# 核技术利用建设项目

## 重庆医科大学附属永川医院新区分院建设工程（辐射部分）

# 环境影响报告表

建设单位：重庆医科大学附属永川医院

编制单位：重庆宏伟环保工程有限公司

编制时间：2021 年 12 月

生态环境部监制

# 核技术利用建设项目

## 重庆医科大学附属永川医院新区分院建设工程（辐射部分）

# 环境影响报告表


建设单位名称：重庆医科大学附属永川医院

建设单位法人代表（签名或盖章）：

通讯地址：重庆市永川区萱花路 439 号

邮政编码：402160　　联系人：赵路

电子邮箱：46*****@qq.com　　联系电话：13*******88

# 目　录

表 1　项目基本情况.....1
表 2　放射源.....20
表 3　非密封放射性物质.....21
表 4　射线装置.....22
表 5　废弃物（重点是放射性废弃物）.....23
表 6　评价依据.....24
表 7　保护目标与评价标准.....27
表 8　环境质量和辐射现状.....51
表 9 项目工程分析与源项.....54
表 10 辐射安全与防护.....103
表 11　环境影响分析.....157
表 12　辐射安全管理.....230
表 13　结论及建议.....244
附录.....250

**表 1　项目基本情况**

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="7">重庆医科大学附属永川医院新区分院建设工程（辐射部分）</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="7">重庆医科大学附属永川医院</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td>龚放</td><td colspan="2">联系人</td><td>赵路</td><td>联系电话</td><td>13*******88</td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="7">重庆市永川区萱花路 439 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="7">重庆市永川区兴龙大道片区 D-1 地块医院新区分院医疗部门诊病房综合楼内</td></tr>
<tr><td colspan="2">立项审批部门</td><td colspan="3">重庆市发展和改革委员会</td><td>批准文号</td><td colspan="2">渝发改社〔2012〕1605 号<br>2012-500118-55-02-025622</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设项目总投资（万元）</td><td>19000</td><td colspan="2">项目环保投资（万元）</td><td>1570</td><td>投资比例（环保投资/总投资）</td><td>8.3%</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目性质</td><td colspan="4">☑新建　☐改扩建　☐其他</td><td>占地面积（$m^2$）</td><td>/</td></tr>
<tr><td rowspan="9">应用类型</td><td rowspan="2">放射源</td><td>□销售</td><td colspan="6">□I 类　☐II 类　□III 类　□IV 类　□V 类</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="6">□I 类（医疗使用）　□II 类　☑III 类　□IV 类　□V 类</td></tr>
<tr><td rowspan="3">非密封放射性物质</td><td>□生产</td><td colspan="6">□制备 PET 用放射性药物</td></tr>
<tr><td>□销售</td><td colspan="6">/</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="6">☑乙　□丙</td></tr>
<tr><td rowspan="3">射线装置</td><td>□生产</td><td colspan="6">□II 类　□III 类</td></tr>
<tr><td>□销售</td><td colspan="6">□II 类　□III 类</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="6">☑II 类　☑III 类</td></tr>
<tr><td>其他</td><td colspan="7">无</td></tr>
</table>

**1.1 建设单位概况**

重庆医科大学附属永川医院是一所集医疗、急救、预防保健、康复、教学和科研为一体的国家三级甲等综合性医大附属医院。是国家卫生健康委员会认定的国际紧急救援中心网络医院、重庆市规划的区域性医疗中心，重庆市医疗急救中心永川分中心，医保跨省异地就医联网即时结算定点医疗机构。2018 年成功创建成为重庆市智慧医院，2020 年成为互联网医院。医疗服务辐射永川、荣昌、璧山、大足、江津、铜梁、合川、川东南、黔西北等约 1000 万人口；医院在职员工 2100 多人。医院分为本部和新区分院（在建）两部分。医院本部位于重庆市永川区萱花路 439 号占地 96 亩，编制床位 1480 张，主要建筑有住院楼（1 号楼）、医技大楼（2 号楼）、门诊大楼（含急诊，3 号楼）、

放疗中心大楼（4 号楼）、传染科大楼（5 号楼）、综合楼（6 号楼）、综合后勤楼（7 号楼）；新区分院位于永川区人民大道与和顺大道交叉口东北侧，占地 174 亩，包括两个地块：D-1 地块的医疗部、A2-8-1 地块的教学部，编制床位 1200 张，目前正在建设中。

新区分院医疗部（D-1 地块）主要建筑包括：已建的全科医生临床培养基地及健康管理中心（简称健康管理中心），待建的门诊病房综合楼、液氧站、发热门诊、污水处理站，远期的值班楼。其中门诊病房综合楼建筑面积为 91067m$^2$，设置呼吸内科、消化内科、口腔科、耳鼻喉科、眼科、皮肤科、超声诊断科、检验科、病理科，不设置传染科等科室。劳动定员 1500 人，预计门诊量 2800 人次/d。

**1.2 任务由来**

重庆医科大学附属永川医院为更好地满足患者多层次、多方位、高质量和快捷便利的就诊需求，医院拟在新区分院的门诊病房综合楼-2F 和 1F 实施“重庆医科大学附属永川医院新区分院建设工程（辐射部分）”。该项目建设内容包括核医学科、放疗科、介入中心。核医学科主要配置 PET/CT（不含校准源）、SPECT/CT 机，并外购含 $^{18}$F、$^{131}$I、$^{68}$Ga、$^{99m}$Tc、$^{177}$Lu、$^{32}$P、$^{89}$Sr、$^{153}$Sm、$^{223}$Ra 共 9 种核素的放射性药物开展临床核医学诊疗工作；放疗科拟配置 1 台 CT 模拟定位机、2 台 15MV 医用电子直线加速器、1 台后装机（含 $^{192}$Ir 放射源）开展肿瘤治疗工作；介入中心拟配置 4 台血管造影 X 射线装置开展放射诊断工作。根据《射线装置分类》、《放射源分类办法》及核算，项目核医学科的放射性核素日等效最大操作量约为 3.794×10$^9$Bq，属于乙级非密封源工作场所，放疗科拟使用的 $^{192}$Ir 放射源最大活度为 3.7×10$^{11}$Bq，为III类放射源，医用电子直线加速器、血管造影 X 射线装置属于II类射线装置，CT 模拟定位机、PET/CT、SPECT/CT 属于III射线装置。

根据《中华人民共和国环境影响评价法》以及《建设项目环境保护管理条例》等相关规定，本项目应进行环境影响评价。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》中的“五十五、核与辐射 172 核技术利用建设项目”可知，使用III类放射源的、使用II类射线装置的、乙级非密封放射性物质工作场所的项目环境影响评价文件形式为编制环境影响报告表，使用III类射线装置的项目环境影响评价文件形式为编制环境影响

登记表。因此，本项目为编制环境影响报告表。

为执行环评影响评价制度，重庆医科大学附属永川医院委托重庆宏伟环保工程有限公司开展该项目的环境影响评价工作。评价单位在进行现场踏勘及收集有关资料的基础之上，并按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的要求，编制完成了《重庆医科大学附属永川医院新区分院建设工程（辐射部分）环境影响报告表》。

**1.3 评价思路**

（1）本项目位于医院新区分院医疗部的门诊病房综合楼内，医院新区分院已经开展了环境影响评价，于2012年编制了《重庆医科大学附属永川医院新区分院项目环境影响报告书》（以下简称《报告书》），并取得批准书（渝（永）环准[2012]75号）。《报告书》中对主体项目施工期影响、运营期非辐射影响（辐射专题含5台III类射线装置辐射影响）进行影响分析和评价。本项目施工与门诊病房综合楼主体一起施工，施工期产排污统一核算，采取同一套污染防治措施。因此，本次评价仅对施工期的环境影响进行简要分析。

（2）《报告书》中的辐射专题对放射科拟配置的5台III类射线装置进行了评价。因年限较长，项目门诊病房综合楼内部布局重新设计调整，且放射科拟配置的数量，其余科室（如手术室、急诊科等）也拟配置一些III类射线装置，目前这些计划正在制定中。因此，本报告不包含该内容，其环评手续在设备安装前另行单独办理。

（3）因本项目涉及多个工作场所（核医学科、放疗科、介入中心等），各工作场所独立运营。因此，本报告在各章节中尽量按照各工作场所单元分开评价。

**1.4 项目概况**

（1）建设规模：项目用房总建筑面积约 5690$m^2$，包括 3 个工作场所：核医学科、放疗科、介入中心。

①拟在新区分院门诊病房综合楼-2F 西北角的核医学科配置 PET/CT、SPECT/CT 机（均为III类射线装置），并外购含 $^{18}F$、$^{131}I$、$^{68}Ga$、$^{99m}Tc$、$^{177}Lu$、$^{32}P$、$^{89}Sr$、$^{153}Sm$、$^{223}Ra$ 共 9 种放射性核素的药物开展临床核医学诊疗工作，设置住院床位 4 张。经核算，核医学科的放射性核素年用量为 $6.751\times10^{12}$Bq，日等效最大操作量约为 $3.794\times10^{9}$Bq，属于

乙级非密封源工作场所。核医学科建筑面积约 2620m$^2$。

②在新区分院门诊病房综合楼-2F 东北角的放疗科配置 1 台 CT 模拟定位机（III类射线装置）、2 台 15MV 医用电子直线加速器（II类射线装置）、1 台后装机（含 1 枚 $^{192}$Ir III类放射源）开展肿瘤治疗工作。放疗科建筑面积约 1700m$^2$。

③在新区分院门诊病房综合楼 1F 西北角的介入中心配置 4 台血管造影 X 射线装置（DSA，II类射线装置）开展放射诊断（介入手术辅助）工作。介入中心建筑面积约 1370m$^2$。

（2）项目投资：总投资约 19000 万元，环保投资约 1570 万元。

（3）施工期：12 个月。

根据项目特点，本项目主要由主体工程、辅助工程、公用工程、储运工程、环保工程 5 部分组成。项目组成情况见下表 1-1。

**表 1-1 本项目组成及现有工程依托关系**

| 项目组成 | | | 具体内容 | 依托关系 |
|---|---|---|---|---|
| 主体工程 | 核医学科 | 工作场所 | 核医学科位于新区分院门诊病房综合楼-2F 西北角。主要功能用房包括卫生通过间（含淋浴）、操作走廊、分装注射室、储源室 1、废物间、负荷试验室（肺通气）、碘分装室、服药室、药品检测室、储源室 2，SPECT/CT 机房（扫描室）、PET/CT 机房（扫描室）、注射走廊、病人走廊、ECT 等候室、PET 等候室、专用等候室、留观室、抢救室，护士站、治疗室、配餐间、送餐间、病房（3 间 4 床）、住院走廊、被服衰减室，以及技师办公室、控制室、污洗间、衰变室等。核医学科用房内空在 4.1m～4.7m 之间。 | 主体结构依托大楼，内部布局新建 |
| | | 放射性核素 | 外购含 $^{18}$F、$^{131}$I、$^{68}$Ga、$^{99m}$Tc、$^{177}$Lu、$^{32}$P、$^{89}$Sr、$^{153}$Sm、$^{223}$Ra 共 9 种放射性核素的药物开展临床核医学诊疗工作。 | 外购 |
| | | 设备 | 拟配置 PET/CT、SPECT/CT 各 1 台，设备型号待定，设备中的 CT 最大管电压均为 130kV，最大管电流均为 345mA，属于III类射线装置。设备不使用密封放射源校准。 | 新购 |
| | 放疗科 | 机房/治疗室 | 放疗科位于新区分院门诊病房综合楼-2F 东北角，内设 1 间 CT 模拟定位机机房（有效内空尺寸：8.38m×7.18m×3.95m）、2 间直线加速器机房（治疗室，有效内空尺寸：8.65m×8.2m×3.8m）、1 间后装机机房（治疗室，有效内空尺寸：7.6m×4.9m×3.4m）。 | 主体结构依托大楼，内部布局新建 |
| | | 设备 | ①CT 模拟定位机：1 台，设备型号待定，最大管电压为 140kV，最大管电流为 500mA，属于III类射线装置。<br>②医用电子直线加速器：2 台，设备型号：待定，X 射线能量：15MV，X 射线最大剂量率 2400cGy/min，属于II类射线 | 新购 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | 装置；<br>③后装机：1 台，设备型号：待定，内含 1 枚 $^{192}Ir$ 放射源，最大活度为 $3.7\times10^{11}Bq$，属于III类放射源。 | |
| | 介入中心 | 机房 | 介入中心位于新区分院门诊病房综合楼 1F 西北角，内设 4 间 DSA 机房（机房有效内空尺寸为：机房 1：6.9m×6.7m，机房 2：6.56m×6.7m，机房 3 和机房 4：7.0m×6.9m），机房内空高 4.4m。 | 主体结构依托大楼，内部布局新建 |
| | | 设备 | DSA：4 台，设备型号待定，最大管电压为 150kV，最大管电流为 1250mA，属于II类射线装置。 | 拟购 |
| 辅助工程 | 核医学科 | | 核医学科辅助用房主要布置在核医学科用房区域的东侧及东南侧，主要有功能测定室、抽血室、登记室、诊室、医生办公室、护士办公室、值班室以及阅片室、更衣室、库房、会议/学习室、卫生间，以及空压机房、真空泵房、排风机房等。 | 依托主体结构大楼，新建用房 |
| | 放疗科 | | 放疗科的辅助用房主要布置在放疗科的南侧和西侧，主要包括等候区、卫生间、更衣间、控制室（多个）、设备间、储源室、辅助机房、排风机房、制模室、准备室、热疗室、治疗室、登记室、诊室、信息机房、主任办公室、医生办公室、物理计划室、示教室等。 | 主体结构依托大楼，新建用房 |
| | 介入中心 | | 介入中心的辅助用房主要位于 DSA 机房周围，主要包括换床室、谈话室、库房、麻醉苏醒室、患者走廊、污物走廊、设备间、控制室、导管室、清洁间、污洗间、污物间、排风机房、空调机房、生活走廊、换鞋间、更衣室、卫生间、铅衣存放室、主任办公室、医生办公室、示教/会议室、值班室、餐厅等。 | 主体结构依托大楼，新建用房 |
| 公用工程 | 给水 | | 依托院内供水管网。 | 依托 |
| | 排水 | | 雨污分流，污污分流。含碘放射性废水和其他放射性废水分开收集处理。放射性废水经废水衰变处理设施处理达标后排入医院污水处理站处理达 GB18466-2005 预处理排放标准后接入市政污水管网。一般生活污水管网接入医院总体污水排水管网进入污水处理站处理。 | 衰变处理设施新建<br>其余依托 |
| | 供电 | | 由市政电网供电，依托院内供配电系统。 | 依托 |
| | 通风 | | 项目各科室均单独设置机械新风系统和排风系统。 | 新建 |
| | | 核医学科 | 核医学科设置独立的排风系统。控制区各用房及部分监督区用房均设置了进风口和排风口，进风口和排风口均设置在用房上方顶部。核医学科设置 9 套废气收集管道，通过 3 个专用排风井引至塔楼顶高于楼顶 3m 排放。各套排风管道的收集范围和排风量具体见表 10-10。 | |
| | | 放疗科 | 放疗科各机房均设置进风口和排风口进行通风换气，进风口仅设置在用房上方顶部，直线加速器机房、后装机机房的排风口设置在距地面 0.2m 处，形成对角的“上进风，下排风”的布置；CT 模拟定位机机房排风口则对角布置在用房上方顶部。<br>单个直线加速器机房抽风量均约 $1800m^3/h$，通风换气次数 4.3 次/h；后装机机房抽风量约 $900m^3/h$，通风换气次数 5 次/h；CT 模拟定位机机房抽风量约 $1100m^3/h$。 | |
| | | 介入中心 | 介入中心设置独立的通排风系统，各 DSA 机房设置机械排风装置，排风量约 $1100m^3/h$。 | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 储运工程 | 储存 | | 在核医学科内设置 2 个储源室（使用面积分别为 5.8m$^2$、3.5m$^2$），分别用于注射放射性药物和口服放射性药物的储存。正常情况下不暂存废源 $^{192}$Ir，特殊情况下暂存在放疗科储源室内。 | 新建 |
| | 运输 | | 放射性药物直接由供货方运至门诊病房大楼西侧核医学科病人出口处，通过核医学科专用电梯达到核医学科，通过病人走廊达到药品检测室，每日送药 1 次；放疗科的放射源由供货方运至门诊病房大楼-2F 车库，通过距离放疗科最近的门进入电梯厅，沿放疗科过道到达后装机机房。废放射源由供货方原路运回处置。 | / |
| 环保工程 | 地面清洁 | | 设置污洗间，清洁核医学科控制区，配置清洁车，设置多个拖把分场地使用，不交叉。<br>放疗科、介入中心按照医院管理常规清洁。 | / |
| | 废水 | 放射性废水 | 项目在核医学科外西北侧-2F 下沉层及-2F 新建两套地埋式混凝土结构废水衰变处理设施，1#衰变处理设施为槽式，用于处理含碘放射性废水（主要含 $^{131}$I 和 $^{177}$Lu），2#衰变处理设施为推流式，用于处理其他放射性废水（主要含 $^{18}$F、$^{99m}$Tc）。单套处理设施包含前处理池、集水池、衰变池（4 个）、排水控制单元。1#衰变处理设施的单个衰变池有效体积为 47.8m$^3$，共 191.2m$^3$；2#衰变处理设施的单个衰变池有效体积为 6.4m$^3$，共 25.6m$^3$。放射性废水排入废水衰变处理设施衰变达标后再排入门诊病房综合楼北侧的医院污水处理站处理。放射性废水收集管网暴露于地面的设置铅皮包裹。<br>放疗科加速器检修时的感生放射性冷却水桶装衰变约 30min 后排入医院废水处理站。 | 废水衰变处理设施及配套管网新建，其余依托 |
| | | 非放射性废水 | 普通医疗废水和生活污水直接接入门诊病房综合楼污水管网，排入门诊病房综合楼北侧的污水处理站（设计处理能力 1000m$^3$/d）处理达标后排入市政管网。 | |
| | 废气 | 核医学科 | 核医学科设置 9 套废气主管收集核医学科控制区及部分监督区的废气，各分支管道内设置防倒灌装置，并保持负压。各套管网将废气通过专用排风井（共 3 个）引至门诊病房综合楼 19F 塔楼顶，分别经活性炭吸附后高于楼顶 3m 排放，其中手套箱废气收集和排放处均设置活性炭吸附装置。<br>衰变池的废气单独收集引至门诊病房综合楼 19F 楼顶高于楼顶 3m 排放。 | 新建 |
| | | 放疗科 | 放疗科设置 2 套废气收集管网，直线加速器机房 1 套，后装机机房、CT 模拟定位机机房 1 套，废气经废气管道收集后通过排风井引至加速器机房上方地面东侧的室外绿化带排放。 | |
| | | 介入中心 | 介入中心的 DSA 机房废气经废气管道收集后汇入门诊病房综合楼排风管网，最终在 19F 塔楼顶排放。 | |
| | 固废 | 放射性固废 | 核医学科分别设置 1 个废物间（使用面积 12.0m$^2$）、1 个衰变室（13.4m$^2$），用于放射性废物的收集和衰变；另住院区设置 1 间被服衰减室（使用面积约 13.1m$^2$），用于住院病床被服暂存衰减。放射性废物在产生处收集至废物间后分类打包，然后运至衰变室进行衰变，在衰变达到规定时间要求并监测合格后作为一般医疗废物交有资质单位处理；病床配置专用被服，换下来的被服先在被服衰减室存放衰变，衰变至少一个半衰期再清洗后再使用。未用完的放射性药物，短半衰期的暂存后作为放射性固废衰 | 新建 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | 变处置，长半衰期的交生产厂家回收处置。<br>$^{192}Ir$ 废源由生产厂家回收，未及时回收的暂存在放疗科储源室内。直线加速器更换下来的活化部件如废靶、电离室等直接由部件更换单位运走处置，不在院内暂存。 | |
| | | 非放射性固废 | 项目运行产生的其他废物依托医院的收运系统，一般医疗废物交有资质的单位处理，生活垃圾交环卫部门处理。 | 依托 |
| | 辐射防护 | | 核医学科工作场所控制区边界及内部、放疗科射线装置机房和介入中心射线装置机房的四周墙体、顶棚、地板、防护门、观察窗等均采用足够厚的相应屏蔽材质（如：混凝土、实心页岩砖、铅板、铅玻璃、铅防护门等）进行辐射屏蔽防护，保证屏蔽体外周围剂量当量率满足标准限值要求。 | 依托主体结构，新建用房 |

## 1.5 辐射防护方案

根据医院提供的资料，项目辐射防护设计方案见表 1-2。

**表 1-2（1） 核医学科辐射防护设计方案表**

| 名称 | 有效尺寸/面积 | 设计防护方案 |
|---|---|---|
| 卫生通过间 | 约 12.3m$^2$ | 墙体：南侧和西侧 400mm 砼，其余 200mm 砼<br>防护门：普通门 |
| 储源室 1 | 约 5.8m$^2$ | 墙体：400mm 砼 防护门：10mmPb |
| 废物间 | 约 12.0m$^2$ | 墙体：400mm 砼 防护门：5mmPb |
| 分装注射室 | 约 39.2m$^2$ | 墙体：400mm 砼 房间内部设隔板分隔（隔成 4 个区域，包含 2 个分装区、两个注射区）<br>防护门：邻储源室 1 为 10mmPb，其余为 5mmPb |
| 负荷试验室（肺通气） | 约 8.8m$^2$ | 墙体：东侧和南侧邻外过道 200mm 砼，南侧邻注射走廊 300mm 砼，其余 400mm 砼<br>防护门：邻注射走廊 2mmPb，邻分装注射室 5mmPb |
| 抢救室 | 约 10.6m$^2$ | 墙体：300mm 砼 防护门：10mmPb |
| 注射走廊 | / | 墙体：300mm 砼，其中注射窗口 400mm 砼<br>防护门：东侧及南侧邻消防过道 20mmPb |
| 病人走廊 | / | 墙体：邻 PET 等候室为 320mm 砼，其余 300mm 砼<br>防护门：西侧 20mmPb 地板：300mm 砼（部分） |
| ECT 等候室 | 约 29.0m$^2$ | 墙体：东侧、南侧 300mm 砼，西侧 320mm 砼，北侧邻操作走廊 400mm 砼，邻库房 300mm 砼<br>防护门：2mmPb |
| PET 等候室 | 约 32.3m$^2$ | 墙体：北侧、西侧邻储源室 400mm 砼，其余 320mm 砼<br>防护门：12mmPb |
| 专用等候室 | 约 19.6m$^2$ | 墙体：东侧邻 PET 等候室为 320mm 砼，南侧、西侧 300mm 砼，其余 400mm 砼<br>防护门：5mmPb 地板：300mm 砼 |
| SPECT/CT 机房 | 8.5m×6.9m×4.1m<br>57.8m$^2$ | 墙体：300mm 砼 防护门、观察窗：5mmPb |

| | | |
|---|---|---|
| PET/CT 机房 | 8.5m×6.9m×4.1m 58.7m² | 墙体：300mm 砼 防护门、观察窗：5mmPb<br>地板：300mm 砼（部分） |
| 留观室 | 约 31.5m² | 墙体：300mm 砼 防护门：10mmPb<br>地板：300mm 砼（部分） |
| 碘分装室 | 约 7.9m² | 墙体：400mm 砼<br>防护门：邻操作走廊 5mmPb，其余 20mmPb<br>服药窗：5mmPb 地板：300mm 砼 |
| 服药室 | 约 4.2m² | 墙体：400mm 砼 防护门：20mmPb 地板：300mm 砼 |
| 储源室 2 | 约 3.5m² | 墙体：400mm 砼 防护门：防盗门 地板：300mm 砼 |
| 药品检测室 | 约 5.3m² | 墙体：400mm 砼 防护门、传递窗：15mmPb<br>地板：300mm 砼 |
| 配餐间 | 约 6.3m² | 墙体：400mm 砼 传递窗：25mmPb<br>地板：300mm 砼 门：普通门 |
| 病房 1 (单人) | 约 28.5m² | 墙体：东侧 450mm 砼，西侧 500mm 砼，其余 400mm 砼<br>防护门：20mmPb 地板：300mm 砼 |
| 病房 3 (单人) | 约 21.3m² | 墙体：邻病房 2 为 450mm 砼，其余 400mm 砼<br>防护门、采光窗：20mmPb 地板：300mm 砼 |
| 病房 2 (双人) | 约 30.0m² | 墙体：北侧为 500mm 砼，其余 450mm 砼<br>防护门：20mmPb 顶棚：400mm 砼 地板：300mm 砼 |
| 住院走廊 | / | 墙体：邻病房 2 为 450mm 砼，其余 400mm 砼<br>防护门：20mmPb 地板：300mm 砼 |
| 被服衰减室 | 约 11.2m² | 墙体：400mm 砼 地板：300mm 砼 防护门：12mmPb |
| 污洗间 | 约 13.1m² | 墙体：400mm 砼 防护门：2mmPb 地板：300mm 砼 |
| 衰变室 | 约 13.4m² | 墙体：400mm 砼 防护门：12mmPb 地板：300mm 砼 |
| 污水泵房（2 个） | 各约 4.5m² | 墙体：邻楼梯电梯为 400mm 砼，其余 200mm 砼<br>防护门：12mmPb 地板：300mm 砼 |
| 甲亢走廊 | / | 墙体：400mm 砼、200mm 砼<br>防护门：东侧南侧出口 12mmPb 地板：300mm 砼 |
| 衰变处理设施 | / | 整体外墙体：400mm、500mm、600mm 砼<br>内部隔墙和池底：300mm 砼<br>顶部：400mm 砼+1500mm 泥土<br>1#井盖：15mmPb+40mm 铁<br>2#井盖：5mmPb+40mm 铁 |
| 放射性废水管网 | / | 暴露地面的含碘废水管网包 5mmPb 铅皮，其他放射性废水管网包 2mmPb，埋地管道上方不低于 500mm 垫层 |

备注：①顶棚：除病房 2 顶棚为 400mm 砼外，控制区内其余用房顶棚为 300mm 砼；
②没有写明地板厚度或部分未明确底板厚度的，地下无建筑，地板厚 350mm 砼。
③整个核医学科在地板混凝土上方设置 600mm 厚垫层，顶棚混凝土上方设 100mm 垫层。

**表 1-2（2） 放疗科辐射防护设计方案表**

| 用房名称 | 有效内空尺寸 | 防护方案 |
|---|---|---|
| CT 模拟定位机机房 | 长：8.38m<br>宽：7.18m | 四周墙体：240mm 实心页岩砖+3mmPb 铅板<br>顶棚：250mm 混凝土+300mm 垫层 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | 高：3.95m<br>有效面积 60.2m² | 地板：250mm 混凝土+600mm 垫层<br>防护门、观察窗：4mmPb | |
| 1#直线加速器机房 | 长：8.65m<br>宽：8.2m<br>高：3.8m<br>有效面积 70.9m² | 东墙(共墙) | 主屏蔽墙：3000mm 混凝土<br>与主屏蔽墙相连的次屏蔽墙：1600mm 混凝土<br>主屏蔽墙带宽：4800mm（两侧凸） |
| | | 南墙 | 迷路内墙：1300mm～1500mm 混凝土，长 6550mm<br>迷路外墙：1600mm 混凝土，长 8750mm<br>迷路内口：宽 4200mm，高 3800mm |
| | | 西墙 | 主屏蔽墙：3000mm 混凝土（未考虑相邻承重墙厚）<br>与主屏蔽墙相连的次屏蔽墙：1600mm 混凝土<br>主屏蔽墙带宽：4800mm（内凸） |
| | | 北墙 | 侧屏蔽墙：1600mm 混凝土 |
| | | 顶棚 | 主屏蔽墙：3000mm 混凝土+1250mm 泥土层<br>与主屏蔽墙相连的次屏蔽墙：1600mm 混凝土+2650mm 泥土层<br>主屏蔽墙带宽：4800mm（外凸） |
| | | 地板 | 1600mm 混凝土+300mm 垫层 |
| | | 防护门 | 2.5cmPb+20cm 含硼 5%的聚乙烯<br>防护门上方墙体 1600mm |
| 后装机机房 | 长 7.6m 宽 4.9m<br>高：3.4m<br>有效面积 37.2m² | 四周墙体、西侧迷道内墙：600mm 混凝土<br>顶棚：600mm 混凝土+500mm 垫层<br>地板：1600mm 混凝土+300mm 垫层<br>防护门：8mmPb | |
| 储源室 | 长 2.67m 宽 1.66m，<br>高：3.4m | 墙体：240mm 空心砖墙 门：防盗门<br>顶棚：250mm 混凝土+300mm 垫层<br>地板：250mm 混凝土+600mm 垫层 | |

备注：2#加速器机房与 1#加速器机房以南北轴镜面对称布置，即上表东墙和西墙方位互换，机房尺寸及其他屏蔽方案设计相同，因此不再单独列出辐射防护设计方案。

**表 1-2（3） 介入中心辐射防护设计方案表**

| 用房名称 | 房间尺寸 | 防护方案 |
|---|---|---|
| DSA1 机房 | 6.9m×6.7m×4.4m<br>有效面积约 46.2m² | 墙体：240mm 实心页岩砖+2mmPb 铅板<br>顶棚：300mm 混凝土+100mm 垫层<br>地板：300mm 混凝土+100mm 垫层<br>防护门：4mmPb<br>观察窗：4mmPb |
| DSA2 机房 | 6.56m×6.7m×4.4m<br>有效面积约 44.0m² | |
| DSA3 机房<br>DSA4 机房 | 7.0m×6.9m×4.4m<br>有效面积约 48.3m² | |

总体备注：①表 1-2 中所有机房尺寸不含迷路。

②屏蔽材质的密度：泥土 1.20g/cm³，混凝土（砼）2.35g/cm³，铅 11.3g/cm³，实心页岩砖密度 1.65g/cm³，垫层不低于 1.8g/cm³，后文密度同此，不再重复。

③100mm 垫层不考虑防护能力，高于 100mm 的垫层考虑防护能力，加速器机房上方泥土层不考虑防护能力。

## 1.6 设备配置

项目核医学科、放疗科、介入中心的主要配套设施设备见表 1-3。

**表 1-3（1） 核医学科工作场所主要配套设施设备配置表**

| 序号 | 名称 | 数量 | 使用位置 | 备注 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | PET/CT<br>（型号待定，64 排） | 1 台 | PET/CT 机房 | III类射线装置<br>最大管电压 130kV，最大管电流 345mA |
| 2 | SPECT/CT<br>（型号待定，16 排） | 1 台 | SPECT/CT 机房 | |
| 3 | 铅屏风 | 15 个 | PET 等候室、ECT 等候室、专用等候室、留观室、甲癌病房等 | 位于床旁、座椅旁，用于病人间射线屏蔽，10mmPb |
| 4 | 除湿器 | 4 台 | PET/CT 机房内<br>SPECT/CT 机房内 | 机房除湿 |
| 5 | 空调 | 4 台 | | 大 3P，机房控温 |
| 6 | 防护手套箱<br>（手套箱+通风橱一体机） | 3 台 | 分装注射室的分装区<br>碘分装室 | 高铅玻璃视窗规格，铅当量 40mmPb；整体≥40mmPb |
| 7 | 碘自动分装仪 | 1 台 | 碘分装室 | 全自动，内含活度计，内含 40mmPb 铅罐 |
| 8 | 注射器防护套 | 2 套 | 分装注射室 | 20mmPb |
| 9 | 注射转运盒 | 2 个 | 分装注射室 | 12mmPb，可同时放置不少于 2 支注射器 |
| 10 | 药品铅罐 | 4 个 | 储源室 1、储源室 2 等 | 盛碘铅罐 40mmPb，其余 30mmPb |
| 11 | 储源柜（带锁） | 2 台 | 储源室 1、储源室 2 | / |
| 12 | 一体化注射防护台 | 2 台 | 分装注射室的注射区 | 注射区 40mmPb<br>标配内置防护废物箱：40mmPb |
| 13 | 活度计 | 2 台 | 分装注射室、碘分装室 | 活度测量 |
| 14 | 锝分析仪 | 1 台 | 药品检测室 | 锝药品测量 |
| 15 | 长柄钳等常规护士器械 | 4 套 | 分装注射室 | / |
| 16 | 器械柜 | 1 个 | 分装注射室 | / |
| 17 | 视频对讲系统 | 1 套 | 病房、留观、用药后等候室等区域 | 与核素诊疗病人随时面对面相互交流 |
| 18 | 医用推车 | 2 个 | 抢救室 | / |
| 19 | 甲状腺功能测定仪 | 1 套 | 功能测定室 | / |
| 20 | 放射废物桶 | 若干 | 分装注射室、废物间、碘分装室、服药室、病房、注射后病人活动区域的卫生间 | 尺寸待定，20mmPb |
| 21 | 表面沾污仪 | 3 台 | 病房走廊、卫生通过间、衰变室等 | 表面污染监测 |
| 22 | 监控系统 | 1 套 | 病房、走廊、储源室、等候室、检查室等设置监控探头 | 提供整个核医学科的监控 |
| 23 | 门禁系统 | 多处 | 病房、核医学科进出口、病人走廊等 | 防止病人倒回，防止无关人员进入，防止住院病人与其他人员接触 |
| 25 | 智能化 X-γ辐射仪 | 1 台 | 核医学科 | 新区分院核医学科 1 台 |
| 26 | 防护手套 | 3 副 | 分装注射室 | 大、中、小号各一副，铅当量 0.5mmPb |
| 27 | 放射性污染防护服 | 2 件 | 碘分装室 | / |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 28 | 个人剂量计、手部剂量计 | 按需 | 核医学科医护人员使用，人员随身携带 | 其中核素操作人员铅衣内外各 1 枚，核素操作人员配置手部剂量计 |
| 29 | 个人剂量报警仪 | 按需 | 核医学科工作场所使用 | / |
| 30 | 铅衣 | 2 件 | 分装注射室、碘分装室 | 铅当量正面 0.5mmPb，背面 0.25mmPb |
| 31 | 铅帽、铅眼镜 | 2 套 | | 铅当量 0.5mmPb |
| 32 | 铅围脖、铅围裙 | 2 套 | | 铅当量 0.5mmPb |
| 33 | 过滤式口罩 | 若干 | 碘分装室 | 碘分装工作人员佩戴 |
| 34 | 洗消设备（含洗消液） | 按需 | 控制区内清洗处 | 配置专用核素洗消液 |

**表 1-3（2） 放疗科主要配套设施设备配置表**

| 序号 | 名称 | 数量 | 位置 | 用途 | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | CT 模拟定位机 | 1 台 | CT 模拟定位机房内 | 肿瘤定位 | III类射线装置，最大管电压 140kV，最大管电流 500mA |
| 2 | 医用电子直线加速器 | 2 台 | 加速器机房内 | 肿瘤治疗 | II类射线装置，15MV |
| 3 | 后装机 | 1 台 | 后装机机房内 | 肿瘤治疗 | 含III类源 $^{192}Ir$ |
| 4 | 监控对讲系统 | 3 套 | 直线加速器机房、后装机 | 监控机房内情况、双向沟通 | / |
| 5 | 排风系统 | 多套 | 放疗科 | 机房内排风 | / |
| 6 | 精密空调 | 4 台 | 直线加速器、后装机、CT 模拟定位机机房内 | 机房内温控 | / |
| 7 | 供电系统 | 4 套 | 直线加速器、后装机、CT 模拟定位机的设备间 | 保证设备供电稳压 | / |
| 8 | 冷却系统 | 2 套 | 直线加速器设备间 | 为设备散热 | 水冷，循环系统 |
| 9 | 固定剂量报警仪 | 3 台 | 直线加速器、后装机机房内 | 监控机房内剂量 | / |
| 10 | 个人剂量报警仪 | 6 台 | 进入加速器、后装机机房内放射工作人员 | 剂量报警 | / |
| 11 | 激光定位系统 | 4 套 | 直线加速器、后装机、CT 模拟定位机机房内 | 摆位定位 | / |
| 12 | 除湿机 | 4 台 | | 湿度控制 | / |
| 13 | 储源铅罐 | 1 个 | 储源室 | 废源暂存 | / |
| 14 | 储源柜 | 1 个 | 储源室 | 放储源铅罐 | / |
| 15 | 长柄镊子 | 1 个 | 后装机机房 | 应急处置 | |
| 16 | 铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、颈套 | 2 套 | CT 模拟定位机机房 | 辐射防护 | 成人不低于 0.25mmPb，性腺防护用品不低于 0.5mmPb |
| 17 | 铅橡胶衣服、帽子、颈套、警戒绳、警示牌、警示灯等 | 1 套 | 后装机换源单位备用 | 辐射防护 | 不低于 0.25mmPb |
| 18 | 个人剂量计 | 按需 | 放射工作人员 | / | 每名放射工作人员佩戴 1 枚 |
| 19 | 智能化 X-γ辐射仪 | 1 台 | 放疗科 | 屏蔽体外剂量监测 | / |

**表 1-3（3） 介入中心主要配套设施设备配置表**

| 序号 | 名称 | 数量 | 用途 | 位置 | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | DSA（150kV，1250mA） | 4 台 | 介入手术 | DSA 机房内 | II类射线装置 |
| 2 | 电源柜 | 4 套 | DSA 配电 | 设备间 | DSA 配套设备 |
| 3 | 高压发生柜 | 4 套 | DSA 高压装置 | 设备间 | |
| 4 | 系统控制柜 | 4 套 | 设备控制和数据传输 | 设备间 | |
| 5 | 控制系统 | 4 套 | DSA 设备操作 | 操作间 | |
| 6 | 中心供氧装置 | 8 套 | 患者供氧 | DSA 机房内 | 手术配套设备 |
| 7 | 除颤仪 | 4 台 | 手术配套用 | DSA 机房内 | |
| 8 | 高压注射器 | 4 台 | 手术配套用 | DSA 机房内 | |
| 9 | 吸痰器 | 4 台 | 手术配套用 | DSA 机房内 | |
| 10 | 电生理仪 | 2 台 | 手术配套用 | 心脏、肺血管 DSA 机房内 | |
| 11 | 中心负压吸引 | 8 套 | 手术配套用 | DSA 机房内 | |
| 12 | 空气消毒机 | 4 台 | 空气消毒 | DSA 机房内 | |
| 13 | 主动脉球囊反搏器 | 4 台 | 心脏手术辅助 | 心脏 DSA 机房内 | |
| 14 | 移动防护屏 | 4 架 | 辐射防护 | DSA 机房内 | / |
| 15 | 个人剂量计 | 按需 | 记录个人受照剂量 | 胸前 | 每人 1 枚，其中手术医生铅衣内外各 1 枚 |
| 16 | 智能化 X-γ辐射仪 | 1 台 | 屏蔽外剂量监测 | 介入中心 | 与放疗科共用 1 台 |
| 17 | 铅橡胶围裙、颈套、眼镜、帽子、介入防护手套 | 16 套 | 介入手术医生防护使用 | DSA 机房内 | 每个机房 4 套 |
| 18 | 床侧防护帘/床侧防护屏、铅悬挂防护屏/铅防护吊帘 | 4 套 | 介入手术医生防护使用 | DSA 机房内 | 每个机房 1 套 |
| 19 | 铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套 | 4 套 | 介入手术病人防护使用 | DSA 机房内 | 每个机房 1 套 |

## 1.7 劳动定员和工作制度

医院拟配置 80 名工作人员，主要包括医师（放疗、核医学等）、技师、护士、物理师（放疗、核医学等）等，均为放射工作人员，具体配置数量如下表。项目工作人员从医院劳动定员中调配和培养。

**表1-4 项目劳动定员情况表**

| 科室 | 医师 | 技师 | 护士 | 物理师 | 合计 |
|---|---|---|---|---|---|
| 核医学科 | 6 | 4 | 5 | 2 | 17 |
| 放疗科 | 20 | 3 | 3 | 3 | 29 |
| 介入中心 | 18 | 8 | 8 | / | 34 |
| 合计 | 44 | 15 | 16 | 5 | 80 |

工作制度：各科室年运营365天，实行轮休制，其中核医学科核素操作天数年不超

过240天。

**1.8 工作负荷**

根据医院提供的资料，核医学科年最多接待诊疗患者 10172 人次，其中年住院 204 人次，具体情况见支撑性材料；放疗科的 CT 模拟定位机年接待约 6000 人次，直线加速器年最多接待 24960 人次，后装机年最多接待 2600 人次；介入中心预计年开展介入手术约 5800 台，包括心脏介入手术、神经介入手术和综合（血管和非血管）介入手术。

**1.9 项目外环境概况**

本项目位于重庆市永川区兴龙大道片区 D-1 地块医院新区分院门诊病房综合楼内。项目所在 D-1 地块医疗部东侧为建设东路，之外为医院 A2-8-1 地块教学部；南侧为人民大道；西侧为和顺大道，之外为忆城·城市铭人小区；北侧为红旗河，之外为昌州大道。根据医院布局，项目所在门诊病房综合楼（-2F/19F）东侧为绿化带、院内道路、液氧站（约 31m）、地面停车场；东南侧约 35m 为健康管理中心（已建）；南侧为医院入口广场；西侧为院内道路（含地下车库出入口）、绿化带；北侧为绿化带、院内道路、发热门诊（约 20m）、为污水处理站（约 30m）。

根据项目所在楼与周围环境位置关系，项目所在楼外环境关系见表 1-5 所示。

**表 1-5 项目所在楼周围外环境关系一览表**

| 序号 | 名称 | 方位 | 最近距离（m） | 高差（m） | 环境特征 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 院内道路、绿化带 | 东侧 | 紧邻 | 0m | 院内绿化及道路 |
| | 液氧站 | | 约 31m | 0m | 院内建筑，公共设施，1F |
| | 地面停车场 | | 约 20m | 0m | 院内地面停车场 |
| 2 | 健康管理中心 | 东南侧 | 约 35m | 0m | 院内建筑，已建，24F/-2F |
| 3 | 入口广场 | 南侧 | 约 3m | 0m | 院内公共区域，含广场、绿化、地面停车位 |
| 4 | 院内道路（含地下车库出入口）、绿化带 | 西侧 | 紧邻 | 约-6m～0m | 院内道路 |
| 5 | 绿化、院内道路 | 北侧 | 紧邻 | 约-6m | 院内绿化及道路 |
| | 发热门诊 | | 约 20m | 约-6m | 院内建筑，2F |
| | 污水处理站 | | 约 30m | 约-6m | 院内公共设施，1F/-1F |

备注：“-”表示其地面一层低于项目所在楼地面一层的位置。

项目周边保护目标主要为该医院从事本项目放射诊疗的放射工作人员以及周围活

动的公众成员。

**1.10 选址可行性**

本项目拟建的核医学科、放疗科、介入中心均布置在新区分院门诊病房综合楼内。

核医学科位于门诊病房综合楼内-2F西北侧，属于建筑底层的一端，独立成一个区域，远离其他非核医学科人流；其不与产科、儿科、食堂等毗邻；核医学科有专用出口电梯，能直达建筑外；病人出口距离医院西侧出口很近，不与门诊大厅、收费处等人口稠密区域相邻/相接。

放疗科位于门诊病房综合楼内-2F东北侧，属于建筑底层的一端，独立成一个区域，放疗机房集中布置在建筑底层，远离其他非放疗科如儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域。

介入中心位于门诊病房综合楼内1F西北侧，独立成一个区域，选址于建筑内的一角，远离其他非介入中心人流。同时，其与放射科毗邻，便于射线装置设备管理。

综上所述，项目涉及的3个科室均位于建筑一角，各自独立成区，远离人口稠密区域，且不与相对敏感区域毗邻，项目选址满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）等相关标准的相关要求。因此，项目选址可行。

**1.11 与项目有关的环境保护问题**

**1.11.1 项目用房的环保手续情况**

重庆医科大学附属永川医院的新区分院已于 2012 年开展了环境影响评价工作，编制了《重庆医科大学附属永川医院新区分院项目环境影响报告书》，并于 2012 年 8 月 22 日重庆市永川区生态环境局（原重庆市永川区环境保护局）以“渝（永）环准[2012]75号”对该报告书进行了批复。根据调查，该项目目前正在建设中，尚未投运，建设过程中未收到环保投诉，无环保遗留问题。

**1.11.2 现有核技术利用情况及现有辐射环境问题**

（1）医院现有核技术利用项目及辐射安全许可情况

医院已取得《辐射安全许可证》，证号为渝环辐证[00272]号，有效期：2023 年 07 月 31 日，许可种类和范围为：使用III类、V类放射源，使用II类、III类射线装置，使用

非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所。

根据调查，医院目前使用和许可的核技术利用项目均位于医院本部。根据医院提供的资料，医院目前已配置了 23 台医用 X 射线装置、3 枚密封放射源，以及 1 个乙级非密封放射源工作场所。射线装置中有II类射线装置 3 台，III类射线装置 20 台，其中有 4 台III类射线装置为新增，1 台III类射线装置变更地址，这些均填写了《建设项目环境影响登记表》（登记表编号：201950011800000224、202050011800000020（2 台）、202050011800000130、202050011800000273），但尚未上证，目前建设单位正在准备上证事宜；同时对比辐射安全许可证射线装置明细表，有 3 台射线装置已报废（牙片机、多功能射线机、X 射线机），设备去功能化后作为一般废物处置。密封放射源中后装机中的III类源 $^{192}Ir$ 已交生产厂家回收，目前医院无 $^{192}Ir$ 使用和暂存，但医院保留 $^{192}Ir$ 的使用工作场所和设备。

医院现有放射源、非密封放射性物质、医用 X 射线装置具体情况见表 1-6（核技术利用项目全部位于医院本部，下表地址简化不再写出）。

根据调查，医院核技术利用项目环保手续齐全。医院核技术利用项目运营以来，未发生过辐射事故，未收到辐射影响投诉和发生辐射纠纷，无辐射环保遗留问题。

**表 1-6（1） 医院现有密封放射源一览表**

| 序号 | 核素 | 类别 | 出厂活度（Bq）/活度（Bq）×枚数 | 放射源编码 | 工作场所 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | $^{137}Cs$ | V 类 | $2.04\times10^{6}\times1$ | 0096CS811135 | 医院本部 4 号楼（放疗中心大楼）三楼、四楼核医学科 |
| 2 | $^{137}Cs$ | V 类 | $2.02\times10^{6}\times1$ | 0000CS811145 | |
| 3 | $^{90}Sr$ | V 类 | $7.40\times10^{8}\times1$ | 0004SR811155 | |

**表 1-6（2） 医院现有非密封放射性物质使用量一览表**

| 序号 | 核素名称 | 日等效最大操作量（Bq） | 年最大用量（Bq） | 工作场所 | 场所等级 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | $^{125}I$ 粒籽 | $4.44\times10^{7}$ | $1.06\times10^{12}$ | 医院本部 4 号楼（放疗中心大楼）三楼、四楼核医学科 | 乙级 |
| 2 | $^{131}I$ | $1.85\times10^{9}$ | $2.73\times10^{11}$ | | |
| 3 | $^{32}P$ | $9.25\times10^{7}$ | $1.11\times10^{10}$ | | |
| 4 | $^{99m}Tc$ | $2.6\times10^{8}$ | $8.88\times10^{11}$ | | |
| 5 | $^{153}Sm$ | $1.66\times10^{8}$ | $2.22\times10^{10}$ | | |
| 6 | $^{89}Sr$ | $3.7\times10^{7}$ | $3.55\times10^{9}$ | | |

**表 1-6（3） 医院现有 X 射线装置一览表**

| 序号 | 设备名称 | 生产厂家 | 类别 | 数量 | 使用场所 | 环保手续情况 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 直线加速器 | 英国医科达 | II类 | 1 台 | 4 号楼一楼放疗科加速器机房 | 已上证 |
| 2 | DSA | 美国通用公司 | II类 | 1 台 | 2 号楼负一楼胸痛中心介入室 | 已上证 |
| 3 | 模拟定位机 | 荷兰 NuletronB-V | III类 | 1 台 | 4 号楼一楼放疗科模拟定位室 | 已上证 |
| 4 | SPECT/CT | 西门子 | III类 | 1 台 | 4 号楼三楼核医学科 SPECT/CT 机房 | 已上证 |
| 5 | 移动 C 型臂 | 上海西门子 | III类 | 1 台 | 1 号楼三楼手术室 11 号手术间 | 已上证 |
| 6 | 移动 C 型臂 | 南京普爱 | III类 | 1 台 | | 已上证 |
| 7 | 多排螺旋 CT | 美国通用 | III类 | 1 台 | 7 号楼一楼发热门诊原多功能机机房 | 换机房，已备案、验收监测，待上证 |
| 8 | 256 层 CT | 飞利浦公司 | III类 | 1 台 | 2 号楼负一楼 CT 室 2 | 已上证 |
| 9 | X 射线机 | 西门子 | III类 | 1 台 | 2 号楼负一楼照片室 1 | 已上证 |
| 10 | X 射线胃肠机 | 日本岛津 | III类 | 1 台 | 2 号楼负一楼照片室 4 | 已上证 |
| 11 | X 射线胃肠机 | 日本岛津 | III类 | 1 台 | 2 号楼负一楼照片室 3 | 已上证 |
| 12 | 全身骨密度仪 | 美国 GE | III类 | 1 台 | 2 号楼负一楼骨密度仪照片室 | 已上证 |
| 13 | 乳腺钼靶机 | 美国 GE | III类 | 1 台 | 2 号楼负一楼乳腺照片室 | 已上证 |
| 14 | 口腔全景机 | 韩国威泰 | III类 | 1 台 | 2 号楼负一楼口腔全景照片室 | 已上证 |
| 15 | 移动床旁 X 射线机 | 北京岛津 | III类 | 1 台 | 病房区 | 已上证 |
| 16 | 日本岛津 DSA | 日本岛津 | II类 | 1 台 | 2 号楼负一楼胸痛中心导管介入室 | 已上证 |
| 17 | 移动 C 型臂 | 西门子 | III类 | 1 台 | 1 号楼三楼手术室 11 号手术间 | 已上证 |
| 18 | DR 机 | 北京岛津 | III类 | 1 台 | 2 号楼负一楼照片室 2 | 已上证 |
| 19 | 移动床旁机 | 日本岛津 | III类 | 1 台 | 病房区 | 已上证 |
| 20 | 64 排 CT | 西门子 | III类 | 1 台 | 2 号楼负一楼 CT 室 1 | 已备案、验收监测，待上证 |
| 21 | 移动床旁机 | 北京岛津 | III类 | 1 台 | 病房区 | |
| 22 | 牙片机 | 法国锐柯 | III类 | 1 台 | 2 号楼 2 楼口腔科牙片机房 | |
| 23 | X 射线机 | 北京岛津 | III类 | 1 台 | 7 号楼一楼发热门诊照片室 | |

另外，医院新区分院已经在2012年的《重庆医科大学附属永川医院新区分院项目环境影响报告书》的辐射专题中开展了放射科5台III类射线装置的环境影响评价。对比环评阶段原放射设计和目前新区分院最新设计，原射线装置的位置和布局已经发生变化，因此，医院拟后期对这些射线装置重新办理环评手续，本报告不再列出原环评的射线装置情况。

（2）辐射管理情况

根据调查，医院现有放射工作人员133人，其中核医学科14人，放疗科24人，介入中心47人，放射科及其他48人。放射工作人员中有2名新进放射工作人员尚未参加辐射安全与防护考核，其余均参加了辐射安全与防护培训，并考核合格，做到持证上岗。持证人员中有4名放射工作人员已超过复训时间。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护例》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的相关规定，医院应尽快安排新进放射工作人员和培训到期人员在国家核技术利用辐射安全与防护学习平台（网址：http://fushe.mee.gov.cn）学习辐射安全与防护知识并通过考试；在辐射安全培训合格证有效期内的，在合格证到期前，需进行再次考核。辐射安全与防护培训成绩合格单有效期为五年。

根据调查，医院所有放射工作人员均佩戴了个人剂量计，每3个月将个人剂量计交有资质单位进行检测，并建立了个人健康档案。医院放射工作人员2020年度的个人剂量监测结果在0.05～3.36mSv/a之间，低于医院的管理目标限值5mSv/a。

医院所有放射工作人员均进行了职业健康体检，并2年内进行复检。目前在岗放射工作人员均无体检异常，无疑似职业病人员。

医院按照要求每年对现有核技术利用项目进行监测，根据医院提供的资料，各放射工作场所监测结果满足评价标准要求。

医院成立有辐射环境管理机构，制定了相应的管理制度和应急预案，并张贴上墙。

医院现有的辐射管理制度见附件七，对制度的评价具体见表12。

（3）小结

根据上述调查，医院核技术利用项目运行至今，无辐射安全事故发生，无环保投诉。医院下一步还应落实如下事宜：①尽快落实未培训或者培训到期的放射工作人员的辐射防护培训工作，待其考核合格后再上岗；②医院报废3台、更换1台、新增4台III类射线装置，医院应及时重新办理《辐射安全许可证》。

**1.12 本项目与医院的依托关系**

本项目主要依托综合楼主体结构、给排水及供配电工程、污水处理站、医疗废物收运系统等，依托可行性分析详见表 1-7。

**表 1-7 项目依托可行性分析**

| 依托工程 | | 可行性分析 |
|---|---|---|
| 主体工程 | | 项目位于医院门诊病房大楼内，项目用房区域已经预留，设计时已综合考虑各科室的总体布局和结构承重等，本项目在预留区域内根据各科室特点再行单独设计。因此，项目主体建筑依托可行。 |
| 公用工程 | 给水 | 医院由市政供水管网供给，项目位于医院内，依托医院给水管网供水可行。 |
| | 排水 | 医院实行雨污分流。雨水排入市政雨水管网；医疗废水经医院污水处理站处理后排入市政污水管网。项目位于医院门诊病房综合楼内，能接入医院的排污管网中。因此，拟建项目依托医院总体排水管网排水可行。 |
| | 供配电 | 医院用电由市政电网引入，同时医院拟配置应急电源柴油发电机，解决停电时临时需要。项目位于医院门诊病房综合楼内，因此，项目依托医院供电系统可行。 |
| | 通风 | 项目位于医院门诊病房综合楼内，核医学科、放疗科、介入中心的通风换气单独设计，仅需依托门诊病房综合楼的送风井等基础设施。 |
| 环保工程 | 废气 | 项目各科室单独设计废气收集管网，依托门诊病房综合楼的排风井等基础设施排放出大楼。核医学科废气经收集后（其中手套箱废气预先经活性炭吸附）依托 3 个排风井引至塔楼顶经活性炭吸附后高于楼顶 3m 排放；放疗科废气依托专用排风井引至地面绿化带排放；介入中心废气依托公用排风井引至大楼塔楼顶排放。 |
| | 废水 | 医院拟在门诊病房综合楼北侧新建一座污水处理站，设计处理能力 1000$m^3$/d。本项目位于医院门诊病房综合楼内，是医院诊疗的多种手段之一，项目建设在医院总考虑范围内，不新增劳动定员、门诊等人数；本项目在污水处理站的纳入范围内。本项目核医学产生的废水经衰变处理后为一般医疗废水，放疗科、介入中心的废水也为一般医疗废水，医院拟建的污水处理站采用“二级处理+氯气消毒”工艺，能够满足对本项目废水的处理需求。因此，项目废水依托医院污水处理站处理可行。 |
| | 固废 | 医院设计建设医疗废物暂存间，位于门诊病房综合楼-2F（下沉层），建筑面积约 108$m^2$，环评要求其按《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2001）进行防渗、防腐、硬化处理。医院危险废物计划交具备相应类别危险废物处置资质的单位。医疗废物暂存间设计时就考虑了项目所在楼（包含本项目）的所有医疗废物暂存量。因此，项目依托可行。 |
| 放射工作人员 | | 项目劳动定员 80 人，从医院劳动定员中调配和培养。现有放射工作人员绝大部分持证上岗，配置了个人剂量计，进行了职业健康体检，建立有相关档案。因此，本项目调配部分放射工作人员可行。 |
| 辐射安全管理 | | 医院成立了辐射管理机构，并制定了相应的辐射安全管理制度，本项目开展的核技术利用项目与医院现有的基本一致，因此，现有管理机构和管理制度等基本能满足本项目的管理要求。依托可行。 |

## 1.13 本项目与医院的发展衔接性

医院分为本部和新区分院，新区分院与本部有一定的距离。因此，医院拟在新区分院重新建设本部对应的核技术利用项目类别，以保证新区分院的诊疗水平和手段。

**项目基本情况** **续表 1**

本项目放射诊疗内容全面，针对不同的患者采用 X 射线诊断、核素诊断，提高了医院医疗诊断能力；针对不同肿瘤患者，分别采用多种核素治疗、放射源治疗及加速器治疗，扩大了医院肿瘤治疗的方法，另外开展介入手术治疗，促进医院心血管、神经学科的发展。本项目的实施对预防控制重大疾病（如：肿瘤、心脑血管疾病、高血压、糖尿病、甲亢等）有着深远的意义。

因此，本项目建设与医院的发展相适应。

**表 2　放射源**

| 序号 | 核素名称 | 总活度（Bq）/<br>活度（Bq）×枚数 | 类别 | 活动种类 | 用途 | 使用场所 | 贮存方式与地点 | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | $^{192}Ir$ | $3.7\times10^{11}$Bq×1 枚 | III类 | 使用 | 肿瘤治疗 | 门诊病房综合楼-2F 放疗科后装机房 | 后装机内 | / |
| 以下空白 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

注：放射源包括放射性中子源，对其要说明是何种核素以及产生的中子流强度（n/s）。

**表 3　非密封放射性物质**

| 序号 | 核素名称 | 理化性质 | 活动种类 | 实际日最大操作量（Bq） | 日等效最大操作量（Bq） | 年最大用量（Bq） | 用途 | 操作方式 | 使用场所 | 贮存方式与地点 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | $^{131}I$ | 液态，中毒组 | 使用 | $3.367\times10^{10}$ | $3.367\times10^{9}$ | $1.617\times10^{12}$ | 显像诊断<br>甲吸测定<br>甲亢甲癌治疗 | 简单操作 | 门诊病房综合楼-2F 核医学科 | 储源室 2 |
| 2 | $^{18}F$ | 液态，低毒组 | | $5.55\times10^{9}$ | $5.55\times10^{6}$ | $1.332\times10^{12}$ | 显像诊断 | 很简单的操作 | | 储源室 1 |
| 3 | $^{68}Ga$ | 液态，低毒组 | | $3.70\times10^{8}$ | $3.70\times10^{6}$ | $3.7\times10^{10}$ | 显像诊断 | 简单操作 | | 储源室 1 |
| 4 | $^{99m}Tc$ | 液态，低毒组 | | $1.628\times10^{10}$ | $1.628\times10^{7}$ | $6.623\times10^{12}$ | 显像诊断 | 很简单的操作 | | 储源室 1 |
| 5 | $^{177}Lu$* | 液态，中毒组 | | $1.11\times10^{9}$ | $1.11\times10^{8}$ | $1.332\times10^{10}$ | 显像诊断 | 简单操作 | | 储源室 1 |
| | | | | **$7.40\times10^{9}$** | **$7.40\times10^{8}$** | $8.88\times10^{10}$ | 核素治疗 | | | |
| 6 | $^{32}P$ | 液态，中毒组 | | $3.70\times10^{8}$ | $3.70\times10^{7}$ | $1.11\times10^{10}$ | 核素治疗 | 简单操作 | | 储源室1 |
| 7 | $^{89}Sr$ | 液态，中毒组 | | $2.96\times10^{8}$ | $2.96\times10^{7}$ | $7.104\times10^{9}$ | 核素治疗 | 简单操作 | | 储源室 1 |
| 8 | $^{153}Sm$ | 液态，中毒组 | | $1.85\times10^{9}$ | $1.85\times10^{8}$ | $2.22\times10^{10}$ | 核素治疗 | 简单操作 | | |
| 9 | $^{223}Ra$ | 液态，极毒组 | | $3.70\times10^{6}$ | $3.70\times10^{7}$ | $4.44\times10^{7}$ | 核素治疗 | 简单操作 | | 储源室 1 |
| 10 | $^{18}F$ | 液态，低毒组 | 使用 | $2.22\times10^{10}$ | $2.22\times10^{6}$ | / | 备药 | 贮存 | / | 储源室 1 |
| 合计 | | / | / | $8.17\times10^{10}$ | $3.794\times10^{9}$ | $6.751\times10^{12}$ | | | | |

注：①日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）。

②*：日等效最大操作量按照床位数核算，$^{177}Lu$住院使用甲癌病床，$^{177}Lu$的毒性因子、操作方式修正因子、住院病人用药量均与$^{131}I$一致，实际日最大操作量和日等效最大操作量计算时不考虑$^{177}Lu$住院病人的用药量。

**表 4　射线装置**

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

| 序号 | 名称 | 类别 | 数量 | 型号 | 加速粒子 | 最大能量（MeV） | 额定电流（mA）/剂量率（Gy/h） | 用途 | 工作场所 | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 医用电子直线加速器 | II类 | 2 台 | 待定 | 电子 | X 射线：15MV<br>电子线：20MeV | X 射线≤2400cGy/min<br>电子线≤1000cGy/min | 肿瘤治疗 | 门诊病房综合楼-2F 放疗科直线加速器机房 | 拟购 |

（二）X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

| 序号 | 名称 | 类别 | 数量 | 型号 | 最大管电压（kV） | 最大管电流（mA） | 用途 | 工作场所 | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | PET/CT | III类 | 1 | 待定 | 130 | 345 | 核医学显像 | 门诊病房综合楼-2F 核医学科 PET/CT 机房 | 拟购 |
| 2 | SPECT/CT | III类 | 1 | 待定 | 130 | 345 | 核医学显像 | 门诊病房综合楼-2F 核医学科 SPECT/CT 机房 | 拟购 |
| 3 | CT 模拟定位机 | III类 | 1 | 待定 | 140 | 500 | 肿瘤定位 | 门诊病房综合楼-2F 放疗科 CT 模拟定位机房 | 拟购 |
| 4 | 血管造影 X 射线装置（DSA） | II类 | 4 台 | 待定 | 150 | 1250 | 介入手术 | 门诊病房综合楼 1F 介入中心 DSA 机房 | 拟购 |

（三）中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

| 序号 | 名称 | 类别 | 数量 | 型号 | 最大管电压（kV） | 最大靶电流（mA） | 中子强度（n/s） | 用途 | 工作场所 | 氚靶情况 | | | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | 活度（Bq） | 贮存方式 | 数量 | |
| 本项目不涉及中子发生器。 | | | | | | | | | | | | | |

## 表 5　废弃物（重点是放射性废弃物）

| 名称 | | | 状态 | 核素名称 | 活度 | 月排放量 | 年排放总量 | 排放口浓度 | 暂存情况 | 最终去向 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 核医学科 | 放射性废水 | | 液态 | 主要含 $^{18}F$、$^{99m}Tc$、$^{131}I$、$^{177}Lu$，含微量 $^{68}Ga$、$^{32}P$、$^{89}Sr$、$^{153}Sm$、$^{223}Ra$ | / | 32.52m$^3$ | 390.21m$^3$ | 总β≤10Bq/L<br>总α≤1Bq/L | 排入核医学科废水衰变处理设施暂存衰变 | 衰变达标后排入医院污水处理站进一步处理。 |
| | 放射性废气 | | 气态 | 主要含 $^{131}I$，含微量 $^{18}F$、$^{99m}Tc$、$^{177}Lu$、$^{68}Ga$、$^{32}P$、$^{89}Sr$、$^{153}Sm$、$^{223}Ra$ 等 | / | 少量 | 少量 | / | 不暂存 | 废气收集后引至门诊病房综合楼 19F 塔楼顶经活性炭吸附处理后高于楼顶 3m 排放。 |
| | 放射性固废 | 废棉签、废纸杯、一次性手套、滤纸、棉球、注射器、针头、餐巾、餐盒、清洁用抹布、废活性炭等 | 固态 | $^{131}I$、$^{18}F$、$^{99m}Tc$、$^{177}Lu$、$^{68}Ga$、$^{32}P$、$^{89}Sr$、$^{153}Sm$、$^{223}Ra$ | / | / | 1060kg/a | α<0.04Bq/cm$^2$<br>β<0.4Bq/cm$^2$<br>辐射剂量率满足环境本底水平 | 暂存在核医学科衰变室内衰变 | 衰变达到规定时间要求后并监测合格后按一般医疗废物交有医疗废物处置资质的单位处理。 |
| | | 未用完的含放射性核素的药物 | 液态 | / | / | 微量 | 微量 | / | 储源室 1、储源室 2 | 短半衰期的暂存后作为放射性固废衰变处置，长半衰期的交生产厂家回收处置。 |
| | | 受核素污染的被服 | 固态 | $^{131}I$、$^{177}Lu$ | / | / | 少量 | β<0.4Bq/cm$^2$<br>辐射剂量率满足环境本底水平 | 暂存在核医学科被服衰减室内衰减 | 待其总活度低于清洁解控水平后清洗消毒处理后再利用。 |
| 放疗科 | 活化冷却水 | | 液态 | 主要含 $^{16}N$、$^{15}O$ | / | 检修时或泄漏时排放，0.05m$^3$ /次 | | / | 不暂存 | 桶装约 30min 后排入医院废水处理站处理。 |
| | 活化气体 | | 气态 | 主要含 $^{11}C$、$^{13}N$、$^{15}O$、$^{41}Ar$ | / | 少量 | | / | 不暂存 | 自然衰减后，通过排风系统排出机房，弥散在大气环境中。 |
| | 活化结构部件（废靶、电离室等） | | 固态 | 主要含 $^{196}Au$、$^{181}W$、$^{185}W$、$^{62}Cu$、$^{64}Cu$、$^{57}Ni$ 等 | / | 结构部件更换时，约 12kg/4a | | / | 不暂存 | 更换下来后直接由部件更换单位运走处置。 |
| | 报废的 $^{192}Ir$ 放射源 | | 固废 | $^{192}Ir$ | / | 半年一次 | | / | 暂存在放疗科储源室内 | 由生产厂家回收处理。 |

注：1、常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/l，固态为 mg/kg，气态为 mg/m$^3$；年排放总量用 kg。

2、含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m$^3$）和活度（Bq）。

**表 6　评价依据**

| | |
|---|---|
| 法规文件 | （1）《中华人民共和国环境保护法》，2015 年 1 月 1 日施行修订版；<br>（2）《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月 29 日最新修订；<br>（3）《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日施行；<br>（4）《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，2020 年 9 月 1 日施行修订版；<br>（5）《建设项目环境保护管理条例》，国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日施行修订版；<br>（6）《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令第 449 号，2005 年 12 月 21 日施行，2014 年 7 月 29 日修订实施；国务院令第 653 号，2014 年 7 月 29 日修订实施；国务院令第 709 号，2019 年 3 月 2 日修订实施；<br>（7）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，生态环境部令第 20 号，2021 年 1 月 4 日第四次修正实施；<br>（8）《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环保部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日施行；<br>（9）《建设项目环境影响评价分类管理名录》（生态环境部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日施行）；<br>（10）《射线装置分类》，环境保护部和国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日施行；<br>（11）《放射源分类办法》，原国家环境保护总局公告第 62 号，2005 年 12 月 23 日；<br>（12）《医疗废物管理条例》，中华人民共和国国务院令第 380 号；<br>（13）《国家危险废物名录》（2021 年版）；<br>（13）《放射性废物分类》，公告 2017 年第 65 号，2018 年 1 月 1 日起施行；<br>（14）《重庆市环境保护条例》，2018 年 7 月 26 日施行修订版；<br>（15）《重庆市辐射污染防治办法》渝府令〔2020〕338号，2021年1月1日起施行；<br>（16）重庆市环境保护局关于印发《重庆市放射性同位素与射线装置辐射安全许可管理规定》的通知，渝环[2017]242号。 |

**续表 6　评价依据**

| | |
|---|---|
| 技术标准 | （1）《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ2.1-2016）；<br>（2）《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）；<br>（3）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）<br>（4）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）；<br>（5）《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）；<br>（6）《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）；<br>（7）《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）；<br>（8）《放射性物质安全运输规定》（GB11806-2004）；<br>（9）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）；<br>（10）《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）；<br>（11）《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）；<br>（12）《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）；<br>（13）《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）；<br>（14）《密封放射源及密封γ放射源容器的放射卫生防护标准》（GBZ114-2006）；<br>（15）《用于光子外照射放射防护的剂量转换系数》（GBZ/T144-2002）；<br>（16）《医用电子直线加速器质量控制检测规范》（WS674-2020）；<br>（17）《后装γ源近距离治疗质量控制检测规范》（WS262-2017）；<br>（18）《医用 X 射线诊断设备质量控制检测规范》（WS76-2020）；<br>（19）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）；<br>（20）《职业性外照射急性放射病诊断》（GBZ104-2017）；<br>（21）《放射工作人员职业健康监护技术规范》（GBZ235-2011）；<br>（22）《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）<br>（23）《环境γ辐射剂量率测定规范》（HJ1157-2021）； |

**续表 6　评价依据**

| | |
|---|---|
| 技术标准 | （24）《医疗废物集中处置技术规范（试行）》；<br>（25）《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素（一）》（GBZ2.1-2019）；<br>（26）《环境空气质量标准》（GB3095-2012）；<br>（27）《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）。 |
| 其他 | （1）评价内容确认函，附件一；<br>（2）新区分院建设核准批复，附件二；<br>（3）新区分院建设环评批准书，附件三；<br>（3）医院《辐射安全许可证》，附件四；<br>（4）《监测报告》（渝泓环（监）[2021]261 号），附件五；<br>（5）NCRP144 号报告、NCRP147 号报告、NCRP151 号报告；<br>（6）ICRP 第 94 号出版物；<br>（7）《辐射防护导论》；<br>（8）《实用辐射安全手册》（第二版）（丛慧玲，北京：原子能出版社）；<br>（9）《辐射防护技术与管理》；<br>（10）《辐射所致臭氧的估算与分析》（王时进等）；<br>（11）《三种电子加速器产生的臭氧危害分析》（中国辐射卫生 2020 年 6 月第 29 卷第 3 期）；<br>（12）医院设计资料及其他资料。 |

## 表 7　保护目标与评价标准

### 7.1 评价范围

按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的相关规定，并结合该项目射线装置为能量流污染的特征，根据能量流的传播与距离相关的特性，确定以该项目核医学科控制区边界、放疗科含源设备机房及射线装置机房、介入中心射线装置机房边界外 50m 区域作为辐射环境的评价范围。

### 7.2 保护目标

**（1）项目所在楼整体介绍**

拟建项目位于在医院新区分院门诊病房综合楼内。门诊病房综合楼由裙楼和塔楼组成，布置方向为南裙北塔，其中裙楼-2F/4F，北侧的塔楼东西方向布置两栋，-2F/19F（-8.7m/89.6m），两塔楼中间 6F 及以下相连，6F 之上独立（16F、17F 有连廊相接），-2F 部分楼层之下还有下沉层。

本项目核医学科位于-2F 西北侧，放疗科位于-2F 东北侧，介入中心位于 1F 西北侧。项目位置与门诊病房综合楼的位置关系示意图见图 7-1，具体情况见附图八。

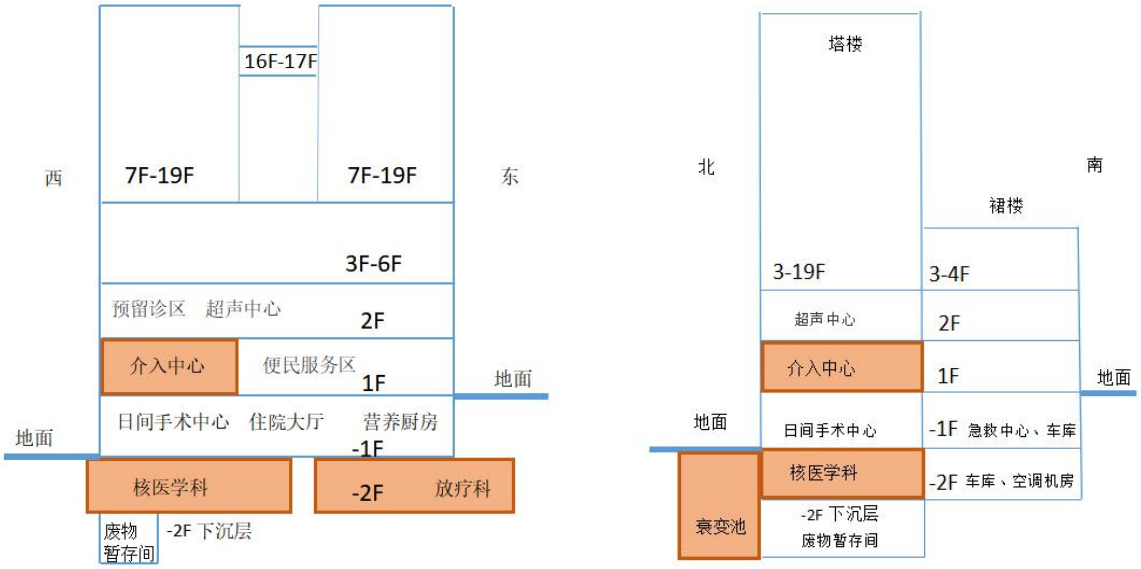



**图 7-1　项目位置与门诊病房综合楼位置关系示意图**

**（2）项目用房/机房周围环境概况及环境保护目标**

①核医学科

项目核医学科位于门诊病房综合楼-2F 西北侧，独立成一个区域。核医学科东侧为

放疗科；南侧为车库、送风机房、空调机房等；西侧为地下车库出入口坡道，之外地面上为和顺大道；北侧为衰变处理设施及辅助机房上空，建筑之外地面上为发热门诊和污水处理站；楼下部分为泥土层，部分为-2F 下沉层，主要布置为医疗废物暂存间、生活垃圾暂存间、楼梯间、电梯间等；楼上为日间手术中心、住院大厅等用房，再之上为介入中心、放射科、门诊区等其他医疗用房。

项目核医学科用房内控制区东北侧主要布置医护走廊、送餐间、护士站、治疗室、医生办公室、护士办公室、值班室等；控制区东侧主要布置为过道、电梯间、楼梯间、空压机房、真空泵房、排风机房、会议/学习室、核医学库房、医生办公室、更衣室、阅片室等；控制区东南侧主要技师办公室、消防过道、候诊区、诊室、登记室、抽血室、功能检测室等；控制区南侧为技师走廊、车库等；控制区西南侧为医疗废物暂存间、生活垃圾暂存间；控制区北侧为衰变处理设施、天井、空调机房上空、排风机房上空等。

项目核医学科评价范围内环境敏感目标统计情况见表 7-1。

**表 7-1　项目核医学科控制区外环境敏感目标一览表**

| 序号 | 敏感目标名称 | 方向 | 最近水平距离 | 最小高差 | 敏感目标特性 | 受影响人群 | 影响因素 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 医护走廊、送餐间、护士站、治疗室、医生办公室、护士办公室、值班室等 | 东北侧 | 紧邻 | 同层 | 核医学科用房，约 10 人 | 放射工作人员<br>公众成员 | 电离辐射 |
| 2 | 过道、电梯间、楼梯间、空压机房、真空泵房、排风机房、会议/学习室、核医学库房、医生办公室、更衣室、阅片室等 | 东侧 | 紧邻 | 同层 | 核医学科用房，约 300 人 | 放射工作人员<br>公众成员 | |
| 3 | 技师办公室、消防过道、候诊区、诊室、登记室、抽血室、功能检测室等 | 东南侧 | 紧邻 | 同层 | 核医学科用房，约 50 人 | 放射工作人员<br>公众成员 | |
| 4 | 技师走廊、车库等 | 南侧 | 紧邻 | 同层 | 项目所在楼，约 10 人 | 放射工作人员 | |
| 5 | 医疗废物暂存间、生活垃圾暂存间 | 西南侧 | 紧邻 | 同层 | 项目所在楼，约 6 人 | 公众成员 | |
| 6 | 发热门诊 | 北侧 | 约 20m | +4m | 医院医疗用房，2F，约 50 人 | 公众成员 | |
| | 污水处理站 | | 约 30m | +4m | 医院环保设施用房，-1F/1F，约 5 人 | 公众成员 | |
| 7 | 门诊病房综合楼 -2F 下沉层 | 楼下 | / | 紧邻 | 项目所在楼，主要为医疗废物暂存间、生活垃圾暂存间、楼梯间、电梯间，约 10 人 | 公众成员 | |
| 8 | 门诊病房综合楼 -1F～19F | 楼上 | / | 紧邻 | 项目所在楼，-1F 为日间手术中心、急救中心、住院大厅等，1F 为介入中心、放射科、便民服务中心等，2F 及以上主要为超声、检验、病房等，约 2000 人 | 公众成员 | |

备注：“+”表示敏感目标高于本项目用房地面，下同。

另外，项目核医学科的地埋式废水衰变处理设施位于核医学科外西北侧。衰变处理设施东侧为空调机房、南侧为医疗废物暂存间（-2F 下沉层）、核医学科病房 2（-2F），西侧和北侧为泥土层，顶上为绿化带和道路。

废气引至门诊病房综合楼楼顶高于楼顶 3m 排放；手套箱废气先经活性炭吸附处理后与核医学其他区域废气一起通过 9 套收集管网 3 个专用排风井引至门诊病房综合楼 19F 塔楼顶，再经活性炭处理后高于楼顶 3m 排放。

在衰变处理设施和废气排放口与周围环境敏感目标情况如下表 7-2 所示。

**表 7-2　项目衰变处理设施及核医学废气排放口周围环境敏感目标表**

| 序号 | 敏感目标 | 基本情况 | 衰变处理设施 | | | 核医学废气排放口（10 个） | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 方位 | 水平最近距离 | 垂直高差 | 方位 | 水平最近距离 | 垂直高差 |
| 1 | 门诊病房综合楼（医疗废物暂存间、核医学科病房 2） | -2F/19F，项目所在楼，平层，水平对应的为医疗用房和后勤辅助用房。 | / | 紧邻 | 池顶与建筑 -1F 地面等高 | 所在楼 | 排放口所在塔楼 | 楼顶低于排放口约 3m |
| | | | | | | 东侧塔楼 | 约 30m | |
| 2 | 健康管理中心 | -2F/24F，医院内建筑 | / | / | / | 东南侧 | 约 140m | 基本等高 |
| 3 | 发热门诊 | 2F，医院内建筑 | 北侧 | 约 5m | 池顶与建筑 1F 地面等高 | 北侧 | 约 25m | 楼顶低于排放口约 80m |
| 4 | 忆城城市铭人小区 | 8F，居住小区 | 西侧 | 约 70m | 池顶与建筑 1F 地面等高 | 西侧 | 约 60m | 楼顶低于排放口约 40m 以上 |

②放疗科

项目放疗科位于门诊病房综合楼-2F 东北侧。直线加速器机房北侧和东侧均为泥土层；南侧为控制室、设备间、辅助机房、更衣间、过道、等候区、空调机房等辅助用房，之外为地下车库；西侧为库房、储源室、后装机机房、楼梯间、过道、CT 模拟定位机机房及其辅助用房等；后装机机房东侧为库房、直线加速器机房等，南侧为过道、模拟定位机机房、准备室等用房，西侧为控制室、示教室等辅助用房，北侧为烟道；CT 模拟定位机机房东侧为准备室、制模室、过道，南侧为过道、车库，西侧为控制室及辅助用房，北侧为过道、后装机机房、示教室等。

直线加速器机房地板和顶棚上方均为泥土层，地面上为道路和绿化带；后装机机房楼下为实土层，楼上为厨房和营养厨房等；CT 模拟定位机机房楼下为隔油间、过道，楼上为厨房配套用房。

项目放疗科机房周围 50m 评价范围内环境敏感目标统计情况见表 7-3。

## 续表 7　保护目标与评价标准

**表7-3（1）　项目放疗科加速器机房周围环境敏感目标表**

| 序号 | 敏感目标名称 | 方向 | 最近水平距离 | 高差 | 敏感目标特性 | 受影响人群 | 影响因素 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.1 | 控制室、设备间、辅助机房、更衣间等 | 南侧 | 紧邻 | 同层 | 项目放疗科用房，约 5 人 | 放射工作人员 | 电离辐射 |
| | 防护门前区、过道等 | | 紧邻 | 同层 | 项目用房区，约 6 人 | 公众成员 | |
| | 等候区、空调机房、地下车库等 | | 约 7m | 同层 | 项目放疗科用房等，约 20 人 | 公众成员 | |
| 1.2 | 库房、储源室、过道、楼梯间等 | 西侧 | 紧邻 | 同层 | 项目放疗科用房等，约 10 人 | 公众成员 | |
| | 后装机机房及放疗科辅助用房等 | | 约 5m | 同层 | 项目放疗科用房，约 4 人 | 放射工作人员<br>公众成员 | |
| | CT模拟定位机机房及辅助用房等 | | 约 12m | 同层 | 项目放疗科用房等，约 4 人 | 放射工作人员<br>公众成员 | |
| 1.3 | 液氧站 | 东侧 | 约 5m | 高于机房顶约 4m | 医院辅助用房，约 2 人 | 公众成员 | |
| 1.4 | 地下车库 | 东南侧 | 约 10m | 同层 | 医院用房，地下出库，约 100 人 | 公众成员 | |
| 1.5 | 门诊病房综合楼 -1F～19F | 斜向楼上 | / | 0 | 项目所在楼，主要为楼梯、厨房、门诊、病房等，约 1000 人 | 公众成员 | |
| 1.6 | 门诊病房综合楼 -2F 下沉层 | 斜向楼下 | / | 0 | 项目所在楼，楼梯、设备用房等，约 10 人 | 公众成员 | |

**表7-3（2）　项目放疗科后装机机房周围环境敏感目标表**

| 序号 | 敏感目标名称 | 方向 | 最近距离 | 高差 | 敏感目标特性 | 受影响人群 | 影响因素 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.1 | 控制室 | 西侧 | 紧邻 | 同层 | 项目放疗科用房，约 4 人 | 放射工作人员 | 电离辐射 |
| 2.2 | 示教室、物理计划室、医生办公室等 | 西侧 | 约 3m | 同层 | 项目放疗科用房等，约 10 人 | 放射工作人员<br>公众成员 | |
| 2.3 | 过道 | 南侧 | 紧邻 | 同层 | 项目放疗科用房，约 10 人 | 公众成员 | |
| | 楼梯间、准备室、CT 模拟定位机机房及辅助用房等 | 南侧 | 约 2m | 同层 | 项目放疗科用房等，约 10 人 | 放射工作人员<br>公众成员 | |
| 2.4 | 库房、储源室、直线加速器机房等 | 东侧 | 紧邻 | 同层 | 项目放疗科用房，约 5 人 | 放射工作人员<br>公众成员 | |
| 2.5 | 门诊病房综合楼 -1F～19F | 楼上 | / | 0 | 项目所在楼，门诊、病房等，约 1000 人 | 公众成员 | |
| 2.6 | 门诊病房综合楼 -2F 下沉层 | 斜向楼下 | / | 0 | 项目所在楼，约 10 人 | 公众成员 | |

## 续表 7　保护目标与评价标准

**表7-3（3）　项目放疗科CT模拟定位机机房周围环境敏感目标表**

| 序号 | 敏感目标名称 | 方向 | 最近距离 | 高差 | 敏感目标特性 | 受影响人群 | 影响因素 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3.1 | 准备室、制模室 | 东侧 | 紧邻 | 同层 | 项目放疗科用房，约 3 人 | 放射工作人员<br>公众成员 | 电离辐射 |
| | 过道、楼梯间等 | | 约 4m | 同层 | 项目放疗科用房等，约 10 人 | 公众成员 | |
| 3.2 | 过道、地下车库 | 南侧 | 紧邻 | 同层 | 项目放疗科用房等，约 10 人 | 公众成员 | |
| 3.3 | 控制室 | 西侧 | 紧邻 | 同层 | 项目放疗科用房等，约 3 人 | 放射工作人员 | |
| | 热疗室、治疗室、诊室等辅助用房 | 西侧 | 约 4m | 同层 | 项目放疗科用房等，约 10 人 | 放射工作人员<br>公众成员 | |
| 3.4 | 物理计划室、医生办公室等 | 西北侧 | 约 2m | 同层 | 项目放疗科用房等，约 10 人 | 放射工作人员<br>公众成员 | |
| 3.5 | 过道、后装机房及控制室、示教室等 | 北侧 | 紧邻 | 同层 | 项目放疗科用房等，约 10 人 | 放射工作人员<br>公众成员 | |
| 3.5 | 门诊病房综合楼 -1F～19F | 楼上 | / | 0 | 项目所在楼，门诊、病房等，约 1000 人 | 公众成员 | |
| 3.6 | 门诊病房综合楼 -2F 下沉层 | 楼下 | / | 0 | 项目所在楼，约 10 人 | 公众成员 | |

③介入中心

项目介入中心位于门诊病房综合楼 1F 东北侧。4 个 DSA 机房基本上集中布置，机房中间有走廊、控制室等间隔。四周分布辅助用房和过道。机房楼下为日间手术中心，楼上为超声中心和预留区。

项目介入中心机房周围50m评价范围内环境敏感目标统计情况见表7-4。

**表 7-4（1）　介入中心 DSA1 机房周围环境敏感目标表**

| 序号 | 环境保护目标 | 方向 | 最小距离 | 高差 | 环境保护目标特性 | 受影响人群 | 影响因素 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.1 | 控制室 1-2、设备间 1-2 | 东侧 | 紧邻 | 同层 | 项目介入中心用房，约 4 人 | 放射工作人员 | 电离辐射 |
| 1.2 | 患者走廊 | 南侧 | 紧邻 | 同层 | | 公众成员 | |
| 1.3 | 库房、清洁间、导管室 | 西侧 | 紧邻 | 同层 | 项目介入中心用房，约 4 人 | 放射工作人员 | |
| | 过道、楼梯间、污洗间、UPS 室等 | | 约 7m | 同层 | 项目介入中心用房，约 10 人 | 公众成员 | |
| 1.4 | 污物走廊 | 北侧 | 紧邻 | 同层 | 项目介入中心用房，约 3 人 | 公众成员 | |
| | 生活走廊、会议室、值班室、医生办公室等 | | 约 2m | 同层 | 项目介入中心用房，约 10 人 | 公众成员 | |

续表 7　保护目标与评价标准

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.5 | 门诊病房综合楼 2F～19F | 楼上 | / | 0 | 项目所在楼，门诊、病房等，约 800 人 | 公众成员 | |
| 1.6 | 门诊病房综合楼 -2F 下沉层～-1F | 楼下 | / | 0 | 项目所在楼，约 200 人 | 公众成员 | |

**表 7-4（2） 介入中心 DSA2 机房周围环境敏感目标表**

| 序号 | 环境保护目标 | 方向 | 最小距离 | 高差 | 环境保护目标特性 | 受影响人群 | 影响因素 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.1 | 控制室 1-2、设备间 1-2 | 西侧 | 紧邻 | 同层 | 项目介入中心用房，约 4 人 | 放射工作人员 | 电离辐射 |
| 2.2 | 患者走廊 | 南侧 | 紧邻 | 同层 | | 公众成员 | |
| 2.3 | 通道 | 东侧 | 紧邻 | 同层 | 项目介入中心用房，约 4 人 | 放射工作人员 | |
| | 电梯等 | | 约 5m | 同层 | 项目所在楼，约 30 人 | 公众成员 | |
| 2.4 | 污物走廊 | 北侧 | 紧邻 | 同层 | 项目介入中心用房，约 3 人 | 公众成员 | |
| | 生活走廊、会议室、医生办公室、换鞋更衣区、卫生间等 | | 约 2m | 同层 | 项目介入中心用房，约 10 人 | 公众成员 | |
| 2.5 | 门诊病房综合楼 2F～19F | 楼上 | / | 0 | 项目所在楼，门诊、病房等，约 800 人 | 公众成员 | |
| 2.6 | 门诊病房综合楼 -2F 下沉层～-1F | 楼下 | / | 0 | 项目所在楼，约 200 人 | 公众成员 | |

**表 7-4（3） 介入中心 DSA3 机房周围环境敏感目标表**

| 序号 | 环境保护目标 | 方向 | 最小距离 | 高差 | 环境保护目标特性 | 受影响人群 | 影响因素 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3.1 | 污物走廊 | 南侧 | 紧邻 | 同层 | 项目介入中心用房，约 3 人 | 公众成员 | 电离辐射 |
| | 更衣室、MRI 等候区等 | | 约 2m | 同层 | 项目所在楼，约 20 人 | 公众成员 | |
| 3.2 | 控制室 3、设备间 3 | 西侧 | 紧邻 | 同层 | 项目介入中心用房，约 4 人 | 放射工作人员 | |
| | 过道、污洗间、UPS 室等 | | 约 5m | 同层 | 项目介入中心用房，约 10 人 | 公众成员 | |
| 3.3 | 患者走廊 | 北侧 | 紧邻 | 同层 | 项目介入中心用房，约 4 人 | 公众成员 | |
| 3.4 | 门诊病房综合楼 2F～19F | 楼上 | / | 0 | 项目所在楼，门诊、病房等，约 800 人 | 公众成员 | |
| 3.5 | 门诊病房综合楼 -2F 下沉层～-1F | 楼下 | / | 0 | 项目所在楼，约 200 人 | 公众成员 | |

续表 7　保护目标与评价标准

表 7-4（4） 介入中心 DSA4 机房周围环境敏感目标表

| 序号 | 环境保护目标 | 方向 | 最小距离 | 高差 | 环境保护目标特性 | 受影响人群 | 影响因素 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4.1 | 控制室 4、设备间 4 | 东侧 | 紧邻 | 同层 | 项目介入中心用房，约 3 人 | 放射工作人员 | 电离辐射 |
| 4.2 | 麻醉苏醒室、过道、换床区等 | | 约 4m | 同层 | 项目介入中心用房，约 10 人 | 公众成员 | |
| 4.3 | 污物走廊 | 南侧 | 紧邻 | 同层 | 项目介入中心用房，约 4 人 | 公众成员 | |
| | 更衣室、MRI 等候区等 | | 约 2m | 同层 | 项目所在楼，约 20 人 | 公众成员 | |
| 4.4 | 患者走廊 | 北侧 | 紧邻 | 同层 | 项目介入中心用房，约 4 人 | 公众成员 | |
| | 控制室 1-2 等 | | 约 2m | 同层 | 项目介入中心用房，约 4 人 | 放射工作人员 | |
| 4.5 | 门诊病房综合楼 2F～19F | 楼上 | / | 0 | 项目所在楼，门诊、病房等，约 800 人 | 公众成员 | |
| 4.6 | 门诊病房综合楼 -2F 下沉层～-1F | 楼下 | / | 0 | 项目所在楼，约 200 人 | 公众成员 | |

评价标准

**（1）相关评价标准及其限值要求**

**1）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）**

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

4.3.2　剂量限制和潜在照射危险限制

B1　剂量限值

B1.1.1.1　应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

a）由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv；

b）任何一年中的有效剂量，50mSv；

c）眼晶体的年当量剂量，150mSv；

d）四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv。

B1.2　公众照射

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不超过下述限值：

a）年有效剂量，1mSv。

4.2.5.2 除非审管部门另有规定，否则清洁解控水平的确定应考虑本标准附录 A（标

准的附录）所规定的豁免准则，并且所定出的清洁解控水平不应高于本标准附录 A（标准的附录）中规定的或审管部门根据该附录规定的准则所建立的豁免水平。

A2.2　c）如果存在一种以上的放射性核素，仅当各种放射性核素的活度或活度浓度与其相应的豁免活度或豁免活度浓度之比的和小于 1 时，才可能考虑给予豁免。

表 A1 中部分核素作为清洁解控水平推荐值见本环评表 7-5。

**表 7-5　部分核素活度浓度表示的清洁解控水平推荐值**

| 核素 | 活度浓度解控水平（Bq/g） |
|---|---|
| $^{18}F$ | $1\times10^{1}$ |
| $^{131}I$ | $1\times10^{2}$ |
| $^{99m}Tc$ | $1\times10^{2}$ |
| $^{177}Lu$ | $1\times10^{3}$ |
| $^{32}P$ | $1\times10^{3}$ |
| $^{89}Sr$ | $1\times10^{3}$ |
| $^{153}Sm$ | $1\times10^{2}$ |
| $^{223}Ra$ | $1\times10^{2}$ |

注：本表数值取自GB18871-2002附录A

6.2.3　表面放射性污染的控制

工作人员体表、内衣、工作服、以及工作场所的设备和地面等表面放射性污染的控制应遵循附录 B（标准的附录 B）B2 所规定的限值要求。

工作场所的表面污染控制水平如表 B11（本环评表 7-6）所列。

**表 7-6　工作场所的放射性表面污染控制水平表　　单位：Bq/cm$^2$**

| 表面类型 | | α放射性物质 | | β放射性物质 |
|---|---|---|---|---|
| | | 极毒性 | 其他 | |
| 工作台、设备、墙壁、地面 | 控制区 1） | 4 | 4×10 | 4×10 |
| | 监督区 | $4\times10^{-1}$ | 4 | 4 |
| 工作服、手套、工作鞋 | 控制区/监督区 | $4\times10^{-1}$ | $4\times10^{-1}$ | 4 |
| 手、皮肤、内衣、工作袜 | | $4\times10^{-2}$ | $4\times10^{-2}$ | $4\times10^{-1}$ |

1）该区内的高污染子区除外

附录 B2.2　工作场所中的某些设备与用品，经去污使其污染水平降低到表 B11（本环评表 7-5）中所列设备类的控制水平的五十分之一以下时，经审管部门或审管部门授权的部门确认同意后，可当作普通物品使用。

6.4　辐射工作场所的分区

应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

**续表 7　保护目标与评价标准**

6.4.3　非密封源工作场所的分级

非密封源工作场所的分级应按附录 C（标准的附录）的规定进行。

第 C1 款　应按表 C1（本环评表 7-7）将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

**表 7-7　非密封源工作场所的分级**

| 级别 | 日等效最大操作量/Bq |
|---|---|
| 甲 | $>4\times10^{9}$ |
| 乙 | $2\times10^{7}$～$4\times10^{9}$ |
| 丙 | 豁免活度值以上～$2\times10^{7}$ |

第 C2 款　放射性核素的日等效操作量的计算

放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量（Bq）与该核素毒行组别修正因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。放射性核素的毒性组别修正因子及操作方式有关的修正因子分别见表 C2（本环评表 7-8）和表 C3（本环评表 7-9）。放射性核素的毒性分组见附录 D（标准的附录）。

**表 7-8　放射性核素毒性组别修正因子**

| 毒性组别 | 毒性组别修正因子 |
|---|---|
| 极毒 | 10 |
| 高毒 | 1 |
| 中毒 | 0.1 |
| 低毒 | 0.01 |

**表 7-9　操作方式与放射源状态修正因子**

| 操作方式 | 放射源状态 | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 表面污染水平较低的固体 | 液体，溶液，悬浮液 | 表面有污染的固体 | 气体，蒸汽，粉末，力很高的液体，固体 |
| 源的贮存 | 1000 | 100 | 10 | 1 |
| 很简单的操作 | 100 | 10 | 1 | 0.1 |
| 简单操作 | 10 | 1 | 0.1 | 0.01 |
| 特别危险的操作 | 1 | 0.1 | 0.01 | 0.001 |

8.6 放射性物质向环境排放的控制

8.6.2 不得将放射性废液排入普通下水道，除非经审管部门确认是满足下列条件的低放废液，方可直接排入流量大于 10 倍排放流量的普通下水道，并应对每次排放作好记录：

（a）每月排放的总活度不超过 10ALImin(ALImin 是相应于职业照射的食入和吸入 ALI 值中的较小者）；

（b）每一次排放的活度不超过 1ALImin，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗。

**2）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）**

4.2 辐射工作场所分级

应按照 GB18871 的要求规定，将辐射工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分为甲级、乙级和丙级。核医学常用放射性核素的毒性与操作方式修正因子可参考附录 A。

4.4.2 剂量约束值

4.4.2.1 一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a；

4.4.2.2 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

4.4.3 放射性表面污染控制水平

核医学工作场所的放射性表面污染控制水平按照 GB18871 执行。

4.5.2 接受碘-131 治疗的患者，应在其体内的放射性活度降至 400MBq 以下或距离患者体表 1 米处的周围剂量当量率不大于 25μSv/h 方可出院。

6.1.5 距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30 cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 10μSv/h。

6.1.6 放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构，以保证设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 25μSv/h。

6.1.7 固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道应增加相应屏蔽措施，以保证其外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h。

6.3.5 通风橱应有足够的通风能力。制备放射性药物的回旋加速器工作区域、碘-131 治疗病房以及设有通风橱、手套箱等场所的通风系统排气口应高于本建筑物屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑。

**续表 7　保护目标与评价标准**

7.2.1.3 放射性废物每袋重量不超过 20kg。装满废物的塑料袋应密封后及时转送至放射性废物暂存间贮存。

7.2.3.1 固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α表面污染小于 0.08Bq/cm$^2$、β表面污染小于 0.8Bq/cm$^2$ 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：

a）所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；

b）所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍；

c）含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

7.3.2.3 核医学诊断和门诊碘-131 治疗场所，可设置推流式放射性废液衰变池。推流式衰变池应包括污泥池、衰变池和检测池。应采用有效措施确保放射性废液经污泥池过滤沉淀固形物，推流至衰变池，衰变池本体分为 3-5 级分隔连续式衰变池，池内设导流墙。污泥池池底有防止和去除污泥硬化淤积的措施。

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

a）所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放；b）所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，按照 GB18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总α不大于 1Bq/L、总β不大于 10Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L。

7.3.3.2 对于推流式衰变池贮存方式，所含核素半衰期大于 24 小时的，每年应对衰变池中的放射性废液进行监测，碘-131 和最长半衰期核素的放射性活度浓度应满足 GB 18871 附录 A 表 A1 的要求。

根据 GB18871 附录 D 和 HJ1188 附录 A，拟建项目涉及的放射性核素 $^{223}$Ra 属于极毒组，毒性组别修正因子取 10；$^{131}$I、$^{32}$P、$^{89}$Sr、$^{153}$Sm、$^{177}$Lu 属于中毒组，毒性组别修正因子取 0.1；$^{18}$F、$^{99m}$Tc、$^{68}$Ga 属于低毒组，毒性组别修正因子取 0.01。

根据 GB18871 和 HJ1188，拟建项目涉及的放射性核素均为液体，放射性核素 $^{18}$F、$^{99m}$Tc 的相关操作属于“很简单的操作”，故操作方式与放射源状态修正因子取 10；其他放射性核素的使用属于“简单操作”，操作方式与放射源状态修正因子取 1；$^{18}$F 的备药属

于“源的贮存”，操作方式与放射源状态修正因子取 100。

**3）《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）**

本标准适用于医疗机构开展核医学诊断、治疗、研究和放射性药物制备中使用放射性物质时的防护。

5.2.2　应依据计划操作最大量放射性核素的加权活度对开放性放射性核素工作场所进行分类管理，把工作场所分为I、II、III三类。不同类别核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求见表 1，核医学工作场所分类的加权活度计算方法见附录 G。

G.1　核医学工作场所分类见表 G.1（本环评见表 7-10）。

**表 7-10　核医学科工作场所分类一览表**

| 分类 | 日操作最大量放射性核素的加权活度，MBq |
|---|---|
| I | >50000 |
| II | 50～50000 |
| III | ＜50 |

G.2 加权活度计算方法见式（G.1）：

$$加权活度=\frac{计划的日操作最大活度\times核素的毒性权重因子}{操作性质修正因子}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(G.1)$$

G.3 核医学常用放射性核素的毒性权重因子相关参数见表 G.2（本环评见表 7-11），不同操作性质的修正因子取值见表 G.3（本环评见表 7-12）。

**表 7-11　核医学常用放射性核素的毒性权重因子**

| 类别 | 放射性核素 | 核素的毒性权重因子 |
|---|---|---|
| A | $^{75}Se$、$^{89}Sr$、$^{125}I$、$^{131}I$、$^{32}P$、$^{90}Y$、$^{99}Mo$、$^{153}Sm$ | 100 |
| B | $^{11}C$、$^{13}N$、$^{15}O$、$^{18}F$、$^{51}Cr$、$^{67}Ga$、$^{99}Tc^{m}$、$^{123}I$、$^{111}In$、$^{113}In^{m}$、$^{201}TI$ | 1 |
| C | $^{14}C$、$^{3}H$、$^{81}Kr^{m}$、$^{127}Xe$、$^{133}Xe$ | 0.1 |

**表 7-12　不同操作性质的修正因子**

| 操作方式和地区 | 操作性质修正因子 |
|---|---|
| 贮存 | 100 |
| 废物处理，闪烁法计数和显像，候诊区及诊断病床区 | 10 |
| 配药、分装以及施给药，简单放射性药物制备，治疗病床区 | 1 |
| 复杂放射性药物制备 | 0.1 |

5.2.3　核医学工作场所的通风按表 1 要求，通风系统独立设置，应保持核医学工作场所良好的通风条件，合理设置工作场所的气流组织，遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计，保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉污染，保证工作场所的空气质量。合成和操作放射性药物所用的通风橱应有专用的排风装置，风速应不小于 0.5m/s。排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。

5.3　工作场所的防护水平要求

5.3.1　核医学工作场所控制区的用房，应根据使用的核素种类、能量和最大使用量，给予足够的屏蔽防护。在核医学控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5μSv/h，控制区内屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25μSv/h，宜不大于 2.5μSv/h；核医学工作场所的分装柜或生物安全柜，应采取一定的屏蔽防护，以保证柜体外表面 5cm 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25μSv/h；同时在该场所及周围的公众和放射工作人员应满足个人剂量限值要求。

5.3.2　……核医学工作场所的放射性表面污染控制水平见表 2（本环评见表 7-13）。

**表7-13　核医学工作场所的放射性表面污染控制水平**

单位为贝可每平方厘米

| 表面类型 | | α放射性物质 | | β放射性物质 |
|---|---|---|---|---|
| | | 极毒性 | 其他 | |
| 工作台、设备、墙壁、地面 | 控制区[a] | 4 | 4×10 | 4×10 |
| | 监督区 | $4\times10^{-1}$ | 4 | 4 |
| 工作服、手套、工作鞋 | 控制区监督区 | $4\times10^{-1}$ | $4\times10^{-1}$ | 4 |
| 手、皮肤、内衣、工作袜 | | $4\times10^{-2}$ | $4\times10^{-2}$ | $4\times10^{-1}$ |

[a] 该区内的高污染子区除外。

8　医用放射性废物的放射防护管理要求

8.8　每袋废物的表面剂量率应不超过0.1mSv/h，质量不超过20kg。

8.11　废物包装体外表面的污染控制水平：β＜0.4Bq/cm$^2$。

**4）《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）**

6.1.5　除床旁摄影设备、便携式 X 射线设备和车载式诊断 X 射线设备外，对新建、改建和扩建项目和技术改造、技术引进项目的 X 射线设备机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应符合表 2（本报告表 7-14）的规定。

## 续表 7　保护目标与评价标准

**表 7-14　X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度**

| 设备类型 | 机房内最小有效使用面积 $m^2$ | 机房内最小单边长度 m |
|---|---|---|
| CT 机（不含头颅移动 CT） | 30 | 4.5 |
| 单管头 X 射线设备 [b]<br>(含 C 形臂，乳腺 CBCT) | 20 | 3.5 |

b 单管头、双管头或多管头 X 射线机的每个管球各安装在 1 个房间内。

d 机房内有效使用面积指机房内可划出的最大矩形的面积。

e 机房内单边长度指机房内有效使用面积的最小边长。

本项目 PET/CT、SPECT/CT、CT 模拟定位机均属于特殊的 CT 机，参照标准中 CT 机的要求执行。本项目 DSA 为单管头 C 型臂 X 射线设备，按照上表单管头 X 射线设备的要求执行。

6.2.1　不同类型 X 射线设备（不含床旁摄影设备和便携式 X 射线设备）机房的屏蔽防护应不小于表 3（本报告表 7-15）要求：

**表 7-15　不同类型射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求**

| 机房类型 | 有用线束方向铅当量（mm） | 非有用线束方向铅当量（mm） |
|---|---|---|
| C 型臂 X 射线设备机房 | 2.0 | 2.0 |
| 透视机房、骨密度仪机房、口内牙片机房、牙科全景机房（无头颅摄影）、碎石机房、模拟定位机房、乳腺摄影机房、乳腺 CBCT 机房 | 1.0 | 1.0 |
| CT 机房（不含头颅移动 CT）、CT 模拟定位机房 | 2.5 | |

本项目 PET/CT、SPECT/CT 机房参照 CT 机房的要求执行。本项目 DSA 按照上表 C 型臂 X 射线设备机房的要求执行。

6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

a）具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h；测量时，X 射线机连续出束时间应大于仪器响应时间。

b）CT 机、乳腺摄影、乳腺 CBCT、口内牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅摄影、口腔 CBCT 和全身骨密度仪机房外的周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5μSv/h；

c）具有短时、高剂量率曝光的摄影程序（如 DR、CR、屏片摄影）机房外的周围剂量当量率应不大于 25μSv/h，当超过时应进行机房外人员的年有效剂量评估，应不大

于 0.25mSv。

6.4.3　机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。

6.5.3　除介入防护手套外，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.25mmPb；介入防护手套铅当量应不小于 0.025mmPb；甲状腺、性腺防护用品铅当量应不小于 0.5mmPb；移动铅防护屏风铅当量应不小于 2mmPb。

6.5.4　应为儿童的 X 射线检查配备保护相应组织和器官的防护用品，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.5mmPb。

附录 B

B.1 检测条件　X 射线设备机房防护检测条件和散射模体应按表 B.1 的要求。表 B.1 中备注 1：介入放射学设备按透视条件进行检测。

B.2 关注点检测的位置要求

B.2.1 距墙体、门、窗表面 30cm；顶棚上方（楼上）距顶棚地面 100cm，机房地面下方（楼下）距楼下地面 170cm。

**5）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）**

4.9 从事放射治疗的工作人员职业照射和公众照射的剂量约束值应符合以下要求：

a）一般情况下，从事放射治疗的工作人员职业照射的剂量约束值为 5mSv/a。

b）公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

6.1 屏蔽要求

6.1.4 剂量控制应符合以下要求：

a）治疗室墙和入口门外表面 30cm 处、邻近治疗室的关注点、治疗室房顶外的地面附近和楼层及在治疗室上方已建、拟建二层建筑物或在治疗室旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点治疗室房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗室顶外表面 30cm 处和在该立体角区域内的高层建筑人员驻留处的周围剂量当量率应同时满足下列 1）和 2）所确定的剂量率参考控制水平$\dot{H}_c$：

1）使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子（可依照附录 A 选取），由以下周剂量参考控制水平（$\dot{H}_c$）求得关注点的导出剂量率参考控制水平$\dot{H}_{c,d}$(μSv/h)：

机房外辐射工作人员：$\dot{H}_c$≤100μSv/周；机房外非辐射工作人员：$\dot{H}_c$≤5μSv/周。

2）按照关注点人员居留因子的不同，分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$(μSv/h)：

人员居留因子 T＞1/2 的场所：$\dot{H}_{c,max}$≤2.5μSv/h；

人员居留因子 T≤1/2 的场所：$\dot{H}_{c,max}$≤10μSv/h。

b）穿出机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射，以年剂量 250μSv 加以控制。

c）对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶，机房顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平可按 100μSv/h 加以控制（可在相应位置处设置辐射告示牌）。

8.4.1 放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于 4 次/h，排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。

**6）《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）**

6.2　空间、通风要求

6.2.1　放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要。

6.2.2　放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；通风换气次数应不小于 4 次/h。

**7）《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）**

4.8.3　治疗机房辐射屏蔽涉及诸多物理量：治疗装置有用束给予患者受治部位的剂量为吸收剂量(Gy)、治疗装置的泄漏辐射和可能产生的杂散中子及其散射辐射剂量为周围剂量当量或空气比释动能(Sv 或 Gy)、人员在治疗机房外的受照剂量为有效剂量(Sv)、在治疗机房外的辐射场和剂量仪表的测量值为周围剂量当量(Sv)。为了治疗机房屏蔽剂量估算和评价的方便及统一，在辐射屏蔽及其设计范畴内，不进行诸物理量与本标准中的周围剂量当量之间的转换系数修正。

**8）《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）**

**9）《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）**

**10）《医用电子直线加速器质量控制检测规范》（WS674-2020）**

4.5　在终止照射后感生放射性的测量和要求

4.5.1　感生放射性仅适用于电子能量超过 10MeV 的设备。

4.5.2　在规定的最大吸收剂率下，进行 4Gy 照射，以间歇 10min 的方式连续进行 4h 后，在最后一次照射终止后的 10s 开始测量，测得感生放射性的周围剂量当量 H*(d)，且应满足下列要求：

a) 累积测量 5min，在离外壳表面 5cm 任何容易接近处不超过 10μSv，离外壳表面 1m 处不超过 1μSv；

b) 在≤3min 的时间内，测得感生放射性的周围剂量当量率在离外壳表面 5 cm 任何容易接近处≤200μSv/h，离外壳表面 lm 处≤20μSv/h。

**11）《后装γ源近距离治疗质量控制检测规范》（WS262-2017）**

3.1　……对 $^{192}Ir$ 源、$^{60}Co$ 源后装治疗设备应定期进行稳定性检测（γ源后装治疗设备的检测项目与技术要求应符合表 1 的要求）。

从标准表 1 查得：贮源器表面泄露辐射所致周围剂量当量率 5cm 处不大于 50μSv/h，100cm 处不大于 5μSv/h。

**12）《密封放射源及密封γ放射源容器的放射卫生防护标准》（GBZ114-2006）**

5.8　距离装有活度为 $3.7\times10^{10}$Bq 以上的密封γ放射源容器外表面 100cm 处任意一点辐射的空气比释动能率不得超过 0.2mGy·$h^{-1}$。

5.9　密封γ放射源容器外表面的非固定性放射性污染，β不得超过 4Bq/$cm^2$，α不得超过 0.4Bq/$cm^2$。

**13）《放射性废物分类》（公告 2017 年第 65 号）**

第七条　豁免或者解控的剂量准则：在合理预见的一切情况下，被豁免的实践或源（或者被解控的物质）使任何个人一年内所受到的有效剂量在 10μSv 量级或更小，而且即使在发生低概率的意外不利情况下，所受到的年有效剂量不超过 1mSv。

**14）医疗废物**

医疗废物属于危险废物，按国家危险废物名录分为医疗废物（HW01，废物代码 841-001-01～841-005-01）和废药物、药品（HW03，废物代码 900-002-03），按《医疗废物管理条例》和《重庆市人民政府关于进一步加强医疗废物管理的通告》（渝府发

[2007]71 号）要求进行收集处置；其贮存按《医疗废物集中处置技术规范（试行）》（环发[2003]206 号）、《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2001）执行。

**15）《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）**

4.1.2 县级及县级以上或20张床位及以上的综合医疗机构和其他医疗机构污水排放执行表 2 的规定。

5.4.1 低放射性废水应经衰变池处理。

6.1.2 总α、总β在衰变池出口采样监测。

标准表 2 中，总α排放限值（日均值）1Bq/L，总β排放限值（日均值）10Bq/L。

**16）《环境空气质量标准》（GB3095-2012）**

二级标准：臭氧 1 小时平均限值为 200μg/m$^3$（0.2mg/m$^3$）；二氧化氮 1 小时平均限值为 200μg/m$^3$（0.2mg/m$^3$）。

**17）《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素（一）》（GBZ2.1-2019）**

室内：臭氧浓度的接触限值：0.3mg/m$^3$；氮氧化物的接触限值：5mg/m$^3$。

**（2）本项目执行的评价标准及相关参数值**

**1）年剂量管理目标值**

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 B 要求，放射工作人员连续 5 年的年平均有效剂量不超过 20mSv，四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量不超过 500mSv，公众成员年平均剂量有效剂量不超过 1mSv。条款 11.4.3.2 规定：剂量约束值通常在公众照射剂量限值 10%-30%（即 0.1mSv/a～0.3mSv/a）。根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）要求：一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a；公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

因此，建设单位根据以上要求，选取 GB18871-2002 中工作人员职业照射剂量限值的四分之一即 5mSv/a 作为放射工作人员的年有效剂量管理目标值；手部皮肤当量剂量其要求的二分之一即 250mSv/a 作为核素操作人员的手部皮肤年剂量管理目标值；核医学科、放疗科按照标准要求公众照射剂量管理目标值为 0.1mSv/a，介入中心取其公众照射平均剂量估计值的十分之一即 0.1mSv/a 作为公众成员的年有效剂量管理目标值。上

述取值在相关标准要求范围内，满足标准要求。

**2）加速器、后装机机房屏蔽体外控制水平**

上述标准中《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第1部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第3部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）均对直线加速器、后装机机房屏蔽体外周围剂量当量率参考控制水平有规定，本评价按照其相关要求保守计算直线加速器机房、后装机机房的屏蔽体外周围剂量当量率控制水平核算如下：

①居留因子

根据 HJ1198-2021 附录 A，不同场所的居留因子选取如表 7-16 所示。

**表 7-16　不同场所的居留因子**

| 场所 | 居留因子 | | 示例 |
|---|---|---|---|
| | 典型值 | 范围 | |
| 全居留 | 1 | 1 | 管理人员或职员办公室、治疗计划区、治疗控制区、护士站、咨询台、有人护理的候诊室及周边建筑物中的驻留区域 |
| 部分居留 | 1/4 | 1/2~1/5 | 1/2：相邻的治疗室、与屏蔽室相邻的病人检查室<br>1/5：走廊、雇员休息室、职员休息室 |
| 偶然居留 | 1/16 | 1/8~1/40 | 1/8：各治疗室门<br>1/20：公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室、病人滞留区域、屋顶、门岗室<br>1/40：仅有行人车辆来往的户外区域、无人看管的停车场、车辆自动卸货/卸客区域、楼梯、无人看管的电梯 |

备注：后文加速器、后装机等相应计算中的居留因子参照本表取值，后文不再提及。

②直线加速器机房屏蔽体外周围剂量当量率控制水平核算

本项目设置直线加速器为15MV，单台设备周治疗时间约4.0h。按最不利情况考虑，使用因子U均取1。泄漏辐射的调强因子N全部取5。直线加速器机房屏蔽体外周围剂量当量率控制水平核算结果见表7-17。

## 续表 7　保护目标与评价标准

**表7-17（1）1#直线加速器机房剂量率控制水平核算表　　单位：μSv/h**

| 屏蔽体外关注点 | | $H_c$ (μSv/周) | 辐射类型 | | T | $\dot{H}_{c,max}$ | $\dot{H}_{c,d}$ | | 剂量率参考控制水平 $H_c$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 屏蔽体 | 紧邻环境情况 | | | | | | | | |
| 东墙 | 2#直加机房 | 5 | 有用线束 | | 1/2 | 10 | 2.5 | | 2.5 |
| | | | 复合辐射 | 散射 | | 10 | 5.0 | 5.25 | |
| | | | | 泄漏 | | | 0.25 | | |
| 西墙 | 库房、过道、楼梯 | 5 | 有用线束 | | 1/5 | 10 | 6.25 | | 2.5 |
| | | | 复合辐射 | 散射 | | 10 | 5.0 | 5.625 | |
| | | | | 泄漏 | | | 0.625 | | |
| 北墙 | 实土层 | 5 | 泄漏辐射 | | -- | 10 | -- | | 2.5 |
| 南墙 | 控制室、更衣间、设备间 | 100 | 泄漏辐射 | | 1 | 2.5 | 2.5 | | 2.5 |
| 防护门 | 防护门外、放疗科内部走廊 | 5 | 复合辐射 | 散射 | 1/8 | 10 | 5.0 | 6.0 | 2.5 |
| | | | | 泄漏 | | | 1.0* | | |
| 顶棚 | 院内道路、绿化 | 5 | 有用线束 | | 1/40 | 10 | 50.0 | | 2.5 |
| | | | 复合辐射 | 散射 | | 10 | 5.0 | 10.0 | |
| | | | | 泄漏 | | | 5.0 | | |

**表7-17（2） 2#直线加速器机房剂量率控制水平核算表　　单位：μSv/h**

| 屏蔽体外关注点 | | $H_c$ （μSv/周） | 辐射类型 | | T | $\dot{H}_{c,max}$ | $\dot{H}_{c,d}$ | | 剂量率参考控制水平 $H_c$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 屏蔽体 | 紧邻环境情况 | | | | | | | | |
| 西墙 | 1#直加机房 | 5 | 有用线束 | | 1/2 | 10 | 2.5 | | 2.5 |
| | | | 复合辐射 | 散射 | | 10 | 5.0 | 5.25 | |
| | | | | 泄漏 | | | 0.25 | | |
| 东墙 | 实土层 | 5 | 有用线束 | | -- | 10 | -- | | 2.5 |
| | | | 复合辐射 | 散射 | | 10 | -- | | |
| | | | | 泄漏 | | | | | |
| 北墙 | 实土层 | 5 | 泄漏辐射 | | -- | 10 | -- | | 2.5 |
| 南墙 | 控制室、设备间、辅助机房 | 100 | 泄漏辐射 | | 1 | 2.5 | 2.5 | | 2.5 |
| 防护门 | 防护门外、放疗科内部走廊 | 5 | 复合辐射 | 散射 | 1/8 | 10 | 5.0 | 6.0 | 2.5 |
| | | | | 泄漏 | | | 1.0* | | |
| 顶棚 | 院内道路、绿化 | 5 | 有用线束 | | 1/40 | 10 | 50.0 | | 2.5 |
| | | | 复合辐射 | 散射 | | 10 | 5.0 | 10.0 | |
| | | | | 泄漏 | | | 5.0 | | |

备注：（1）墙体外为实土层的直接按照2.5μSv/h进行控制。地板下方为泥土层，不予考虑。

（2）*：根据GBZ/T 201.2-2011的4.3.2.6及4.3.2.5.1b）可知，机房迷路入口处的加速器泄漏辐射剂量率参考控制水平应小于其1/4（即0.625μSv/h）。因此，本项目加速器迷路内墙的泄漏辐射剂量率以0.6μSv/h来核算所需屏蔽厚度。

③后装机机房屏蔽体外周围剂量当量率控制水平核算

本项目后装机周有效出束时间为6.67h。按最不利情况考虑，后装机机房关注点的使用因子均取1。后装机机房屏蔽体外周围剂量当量率控制水平核算结果见表7-18。

## 续表 7　保护目标与评价标准

**表 7-18　后装机机房剂量率控制水平核算表　　单位：μSv/h**

| 屏蔽体外关注点 | | 辐射类型 | T | U | $H_c$（μSv/周） | $\dot{H}_{c,max}$ | $\dot{H}_{c,d}$ | 剂量率参考控制水平 $H_c$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 屏蔽体 | 紧邻环境情况 | | | | | | | |
| 东墙 | 库房 | 初级辐射 | 1/20 | 1 | 5 | 10 | 15.0 | 2.5 |
| 南墙 | 放疗科内部走廊 | 初级辐射 | 1/5 | 1 | 5 | 10 | 3.75 | 2.5 |
| 西墙 | 控制室 | 初级辐射 | 1 | 1 | 100 | 2.5 | 15.0 | 2.5 |
| 北墙 | 风井 | 初级辐射 | 1/40 | 1 | 5 | 10 | 30.0 | 2.5 |
| 顶棚 | 厨房操作区和卫生间 | 初级辐射 | 1 | 1 | 5 | 2.5 | 0.75 | 0.75 |
| 防护门 | 放疗科内部走廊 | 散射辐射 | 1/8 | 1 | 5 | 10 | 5.0 | 2.5 |

备注：地板下方为泥土层，不予考虑。

根据上表核算，直线加速器机房屏蔽体外周围剂量当量率参考控制水平均不小于2.5μSv/h，本评价统一按 2.5μSv/h 进行控制。根据上表核算，后装机机房屏蔽体外周围剂量当量率参考控制水平顶棚按照核算值 0.75μSv/h 控制，其余屏蔽体外统一按照 2.5μSv/h 进行控制。

**3）放射性废水排放活度**

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），对于槽式衰变池，半衰期大于 24 小时的暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 的暂存超过 180 天），按照 GB18871 的 8.6.2 规定方式排放。对于推流式衰变池贮存方式，所含核素半衰期大于 24 小时的，每年应对衰变池中的放射性废液进行监测，碘-131 和最长半衰期核素的放射性活度浓度应满足 GB 18871 附录 A 表 A1 的要求。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的 8.6.2 要求，核医学科废水排放每月排放的总活度不超过 $10ALI_{min}$（$ALI_{min}$ 是相应于职业照射的食入和吸入 ALI 值中的较小者）；每一次排放的活度不超过 $1ALI_{min}$，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗。

年摄入量限值（ALI）：参考人在一年时间内经吸入、食人或通过皮肤所摄人的某种给定放射性核素的量，其所产生的待积剂量等于相应的剂量限值。ALI 用活度的单位表示。根据 GB18871-2002，放射性核素 j 的年摄入量限值（$I_{i,L}$）计算公式如下：

$$\mathbf{I_{i,L} = D_L / e_j}$$

式中：$D_L$：相应的有效剂量的年剂量限值，mSv。

$e_j$：核素j的单位摄入量所致的待积有效剂量的相应值，Sv/Bq。

本项目核医学科拟使用的非密封放射性同位素有$^{18}F$、$^{131}I$、$^{68}Ga$、$^{99m}Tc$、$^{177}Lu$、$^{32}P$、$^{89}Sr$、$^{153}Sm$、$^{223}Ra$共9种核素，核医学科拟设两套废水衰变处理设施，含$^{131}I$和$^{177}Lu$的放射性废水收集后槽式衰变处理，其他放射性废水（主要含$^{18}F$、$^{99m}Tc$）收集后推流式衰变处理。

进入槽式处理设施的废水中主要含$^{131}I$、$^{177}Lu$，排放口要求为总α≤1Bq/L，总β≤10Bq/L、碘-131放射性活度浓度≤10Bq/L。同时，查表GB18871-2002表B3，根据上述公式核算，核素排放活度核算结果见表7-19。

**表 7-19　放射性废水排放活度核算表　　单位：μSv/h**

| 核素名称 | e（g）$_j$（Sv/Bq） | | | $D_L$（mSv） | $ALI_{min}$（Bq） | $10ALI_{min}$（Bq） |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 吸入1μm | 吸入5μm | 食入 | | | |
| $^{131}I$ | $7.6\times10^{-9}$ | $1.1\times10^{-8}$ | $2.2\times10^{-8}$ | 20 | $9.09\times10^{5}$ | $9.09\times10^{6}$ |
| $^{177}Lu$ | $1.0\times10^{-9}$ | $1.0\times10^{-9}$ | $5.3\times10^{-10}$ | 20 | $2.0\times10^{7}$ | $2.0\times10^{8}$ |

进入推流式衰变处理设施的废水中主要含 $^{18}F$、$^{99m}Tc$，半衰期小于 24 小时。根据《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）等，衰变处理设施排放口执行总α≤1Bq/L，总β≤10Bq/L。

**4）项目剂量限值与污染物排放指标**

本评价根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）、《后装γ源近距离治疗质量控制检测规范》（WS262-2017）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）等标准以及医院确定的个人剂量管理目标，确定本项目的评价标准见表 7-20 所示。

**表 7-20　项目剂量限值及污染物排放指标表**

| **一、年剂量限值要求** | | | **执行依据** |
|---|---|---|---|
| 放射工作人员 | | 年有效剂量管理目标值 5mSv/a，手部皮肤的年当量剂量约束值不超过 250mSv/a。 | GB18871-2002<br>HJ1188-2021<br>HJ1198-2021<br>及医院管理要求 |
| 公众成员 | | 年有效剂量管理目标值 0.1 mSv/a。 | |
| **二、剂量控制值** | | | **执行依据** |
| 核医 | 控制区 | 控制区外人员可达处、各控制区内用房防护门、观察窗、墙壁、顶棚和地板下外表面 30cm 处 | HJ1188-2021<br>GBZ120-2020 |

## 续表 7　保护目标与评价标准

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 学科 | | 的周围剂量当量率控制目标值应小于 2.5μSv/h。 | | GBZ130-2020 综合取值 |
| | 防护手套箱等 | 防护手套箱柜体外表面 5cm 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25μSv/h；<br>防护手套箱、注射窗、自动分装仪等设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h。 | | |
| | 废物桶、管道、衰变池等 | 固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道应增加相应屏蔽措施，以保证其外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h。 | | |
| 放疗科 | 直线加速器机房 | 机房屏蔽体外表面 30cm 处周围剂量当量率控制目标值为 2.5μSv/h。 | | 根据 GBZ/T201 HJ1198-2021 GBZ121-2020 核算后综合取值 |
| | 后装机机房 | 机房顶棚外表面 30cm 处周围剂量当量率控制目标值为 0.75μSv/h，墙体、防护门外 30cm 处周围剂量当量率控制目标值为 2.5μSv/h。 | | |
| | CT 模拟定位机机房 | 距离机房墙体、门、窗表面 30cm，机房顶棚上方距楼上地面 100cm，机房地板下方距楼下地面 170cm 处的周围剂量当量率≤2.5μSv/h。 | | GBZ130-2020 |
| 介入中心 | DSA | 透视条件下，距离机房墙体、门、窗表面 30cm，机房顶棚上方距楼上地面 100cm，机房地板下方距楼下地面 170cm 处的周围剂量当量率≤2.5μSv/h。 | | GBZ130-2020 |
| **三、设备要求** | | | | **执行依据** |
| 直线加速器 (电子能量超过 10MeV) | | 在≤3min 的时间内，测得感生放射性的周围剂量当量率在离外壳表面 5cm 任何容易接近处≤200μSv/h，离外壳表面 lm 处≤20μSv/h。 | | WS674-2020 |
| 后装机 | | 贮源器表面泄露辐射所致周围剂量当量率 5cm 处不大于 50μSv/h，100cm 处不大于 5μSv/h。 | | WS262-2017 |
| **四、放射源储存和运输** | | | | **执行依据** |
| 密封放射源 | | 距离装有活度为 $3.7\times10^{10}$Bq 以上的密封γ放射源容器外表面 100cm 处任意一点辐射的空气比释动能率不得超过 0.2mGy·$h^{-1}$。 | | GBZ114-2006 |
| **五、机房要求** | | | | **执行依据** |
| 设备名称 | | 机房内最小有效使用面积 | 机房内最小单边长度 | / |
| PET/CT、SPECT/CT | | $30m^2$ | 4.5m | GBZ130-2020 |
| CT 模拟定位机 | | | | |
| DSA（单管头） | | $20m^2$ | 3.5m | |
| **六、放射性废物排放** | | | | **执行依据** |
| 核医学科 | 放射性废水 | 槽式衰变处理设施：所含核素半衰期大于 24 小时的暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），排放口总α≤1Bq/L，总β≤10Bq/L，碘-131 的放射活度浓度≤10Bq/L。每月排放的总活度不超过 10ALImin；每一次排放的活度 | | GBZ120-2020 HJ1188-2021 GB18466-2005 GB18871-2002 |

## 续表 7　保护目标与评价标准

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | 不超过 1ALImin。具体见表 7-19。 | |
| | | 推流式衰变处理设施排放口：总α≤1Bq/L，总β≤10Bq/L。 | |
| | 放射性固体废物 | 收集：每袋废物的表面辐射剂量率≤0.1mSv/h，质量不超过 20kg。 | HJ1188-2021<br>GBZ120-2020 |
| | | 排放：所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天，所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍；含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。放射性固废暂存时间满足要求后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α表面污染小于 0.08Bq/cm$^2$、β表面污染小于 0.4Bq/cm$^2$ 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。 | |
| | 表面污染 | ①工作台、设备、墙壁、地面：控制区：α（极毒性）≤4Bq/cm$^2$，β≤4×10Bq/cm$^2$；监督区：α（极毒性）≤4×10$^{-1}$Bq/cm$^2$，β≤4Bq/cm$^2$；<br>②工作服、手套、工作鞋：控制区/监督区：α（极毒性）≤4×10$^{-1}$Bq/cm$^2$，β≤0.4Bq/cm$^2$；<br>③手、皮肤、内衣、工作袜：α（极毒性）≤4×10$^{-2}$Bq/cm$^2$，β≤4×10$^{-1}$Bq/cm$^2$。 | GB18871-2002<br>GBZ120-2020 |
| 放疗科 | 表面污染 | 施源器、治疗床等表面因放射性物质所造成的β污染水平应低于 4Bq/cm$^2$。 | GBZ114-2006 |
| **七、通风要求** | | | **执行依据** |
| 核医学科 | 防护手套箱 | 应有专用的排风装置，风速应不小于 0.5m/s。 | HJ1188-2021<br>GBZ120-2020 |
| | 排气口 | 衰变室、住院病房区应有单独的排气管网，废气经处理后引至高于本建筑物屋顶并尽可能远离邻近的高层建筑。 | |
| 直线加速器、后装机机房 | | 通风换气次数应不小于 4 次/h。 | GBZ121-2020<br>HJ1198-2021 |
| PET/CT、SPECT/CT、CT 模拟定位机、DSA | | 应设置动力通风装置，并保持良好的通风。 | GBZ130-2020 |
| **八、医疗废物、医疗废水** | | | **执行依据** |
| 非放射性废水 | | 经医院污水处理站处理后方可排放。 | GB18466-2005 |
| 非放射性医疗废物 | | 交具有相应资质的单位处置。 | 医疗废物管理条例 |

## 表 8　环境质量和辐射现状

### 8.1 辐射工作场所位置

重庆医科大学附属永川医院新区分院位于永川区人民大道与和顺大道交叉口东北侧，项目位于新区分院医疗部门诊病房综合楼内，其中核医学科和放疗科均位于-2F，介入中心位于 1F。

项目地理位置图见附图 1 所示。

### 8.2 辐射环境现状评价

为了解拟建项目所在位置辐射环境质量背景及现状情况，本次环评委托重庆泓天环境监测有限公司于 2021 年 5 月 22 日对本项目所在位置的环境γ辐射剂量率背景值进行了监测。

#### 8.2.1 监测因子

环境γ辐射剂量率。

#### 8.2.2 监测方案

**（1）监测方法和依据**

监测方法和依据见表 8-1。

**表 8-1　监测方法和依据**

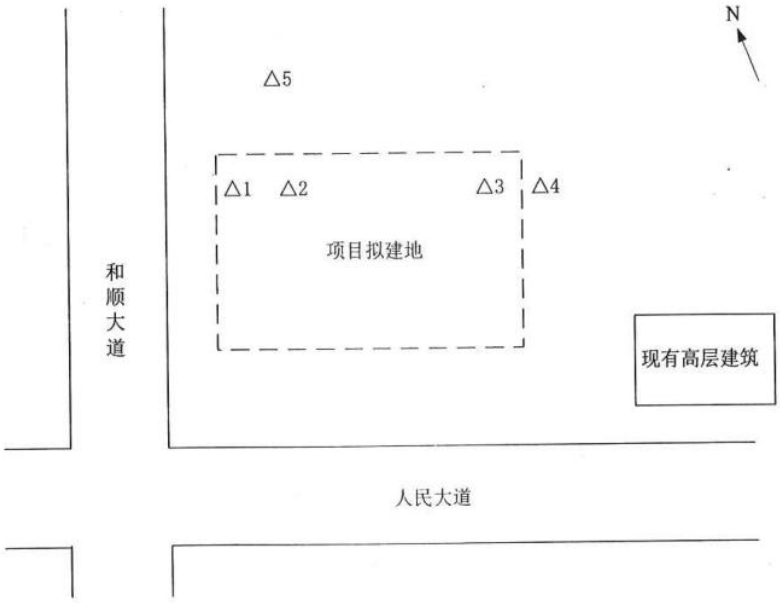
| 监测项目 | 监测方法 | 监测依据 |
|---|---|---|
| 环境γ辐射剂量率 | 仪器法 | 《环境γ辐射剂量率测定规范》（HJ1157-2021） |

**（2）监测点位选取**

监测布点合理性分析：根据现场调查，项目拟建址目前为空地，本次共布设 5 个监测点，其中 2 个监测点位于拟建核医学科、介入中心所在位置，2 个监测点位于拟建放疗科所在位置，还有 1 个监测点位于本项目的环境敏感目标拟建发热门诊楼处。这些监测点布置涉及到本项目拟建址和环境敏感目标，能够反映本项目所在地的辐射环境背景水平，监测布点合理。

监测点位布点示意图见图 8-1，监测点位情况如表 8-3 所示。

**续表 8　环境质量和辐射现状**




备注：△为环境γ辐射剂量率监测点位，监测高度距地面 1.0m。

**图 8-1　项目监测布点示意图**

**（3）测定方式**

本项目选取的测定方式为即时测量，即用监测仪器直接测量出点位上的对应监测因子的监测结果。

**8.2.3 质量保证措施**

**（1）监测仪器**

本项目委托有资质的单位重庆泓天环境监测有限公司进行监测，监测仪器在检定有效期内使用，监测仪器及检定情况见表 8-2。

**表 8-2　监测仪器及检定情况**

| 仪器名称 | 型号 | 仪器编号 | 计量检定证书编号 | 有效期至 | 量程（nGy/h) | 校准因子 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 环境监测用 X、γ辐射空气比释动能率 | JB4010 | 09031 | 2021H21-20-3220801001 | 2022.4.25 | 1～5×104 | 0.93 |

**（2）监测人员及报告审核制度**

监测单位具备所监测项目的资质；合理布设监测点位；监测方法采用国家有关部门颁布的标准；监测人员经过培训后上岗，监测仪器每年送剂量部门检定合格后在有效期

内使用；每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常；监测时由专业人员按操作规程操作仪器，获取足够的数据量，并做好记录；监测报告严格实行三级审核制度，经过校验、审核，最后由技术负责人审定。

### 8.2.4 监测结果

监测结果和监测布点见监测报告：渝泓环（监）[2021]261 号（附件五）。监测结果统计见表 8-3。

**表 8-3　项目所在区域辐射环境监测结果统计**

| 序号 | 监测点位描述 | 环境γ辐射剂量率测量值（nGy/h） |
|---|---|---|
| △1 | 项目拟建址空坝（核医学科、介入中心拟建位置） | 66 |
| △2 | 项目拟建址空坝（核医学科、介入中心拟建位置） | 69 |
| △3 | 项目拟建址空坝（放疗中心拟建位置） | 67 |
| △4 | 项目拟建址空坝（放疗中心拟建位置） | 67 |
| △5 | 项目拟建址空坝（发热门诊楼拟建位置） | 66 |

由监测统计结果可知，项目所在地的环境γ辐射剂量率监测值在 66nGy/h～69nGy/h 之间（未扣除宇宙射线响应值）。根据《重庆市 2020 年辐射环境状况公报》（重庆市生态环境局），2020 年重庆市多个点位的环境地表伽玛空气吸收剂量率平均值为 95.9nGy/h（未扣除宇宙射线的响应值）。两者相比，无明显差异，拟建项目所在地环境的辐射环境质量现状无异常。

## 表 9 项目工程分析与源项

### 9.1 工程设备及施工期污染工序及污染物产生情况

#### 9.1.1 工程设备

项目位于医院新区分院医疗部门诊病房综合楼内。项目用房的土建工程、主体结构、内部基础装修等与门诊病房综合楼主体一起建设。本项目的施工内容主要包括土石方开发、建筑结构建设、项目用房内的装修、设备安装等。项目施工期需要使用到的主要施工机械设备包括载重汽车、人工锤和气锤、电锯、切割机、冲击钻、挖土机、混凝土输送泵、混凝土搅拌机等。

项目运营期使用的主要设备为 PET/CT、SPECT/CT、直线加速器、后装机、CT 模拟定位机、DSA 等，具体见表 1-3 所示。

#### 9.1.2 施工期污染工序及污染物产生情况

项目施工期工艺流程及产污环节见图9-1所示。

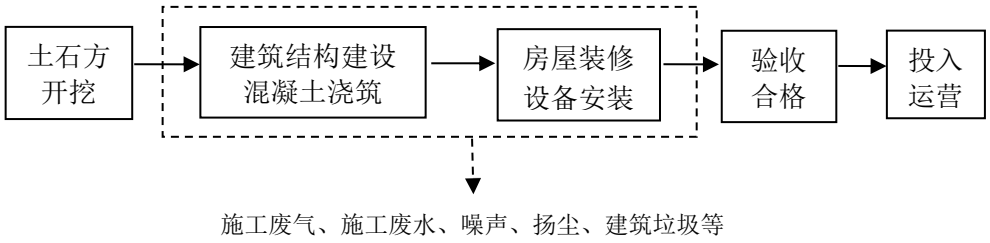



**图 9-1 项目施工期工艺流程及产污环节图**

在施工过程中主要有施工废气、施工废水、施工机械噪声、弃土及建筑垃圾等产生。项目施工与新区分院门诊病房综合楼主体一起施工，产生的施工期污染物一起收集和处置，本报告不再单独核算其产排污量。

（1）施工废气：项目施工产生的废气主要为施工扬尘，主要来自于建筑材料（水泥、沙子、石子等）现场搬运及堆放产生的扬尘、切割打磨装饰材料产生的粉尘、建筑垃圾清理及堆放产生的扬尘。主要采取扫水抑尘等方式降尘。

（2）施工废水：施工期废水主要为施工人员生活污水。生活污水依托新区分院场地内已建建筑的排污管网及污水处理设施处理。

（3）施工噪声：施工噪声主要体现在土石方开挖、混凝土浇筑、装修及现场处理等。各施工设备及施工过程噪声源强约为 75～90dB（A）。主要采取选取低噪声设备，合理布置施工设备，尽量不夜间施工等方式降噪。

（4）施工固废：项目施工期产生的固体废物主要为施工弃方、施工建筑垃圾、施工人员生活垃圾。

①项目建设特别是直线加速器机房的基础建设需要挖方，部分回填后，剩余的弃方与新区分院其他弃方一起运至市政指定的位置堆存。

②施工建筑垃圾主要包括施工过程中产生的废材料如水泥、沙石、石材，还有塑料、包装、金属材料、碎玻璃等。建筑垃圾运至市政指定的合法的建筑垃圾堆放场处置。

③生活垃圾：施工人员产生的生活垃圾收集后交环卫部门统一收运处理。

## 9.2 运行期核医学科污染工序及污染物产生情况

临床核医学是利用核素及其标记物诊断和治疗疾病的临床医学。诊断核医学是以放射性核素显像及脏器功能测定为主的体内诊断法和以体外放射性分析为主的体外诊断法组成。本项目采用的诊断核医学是以放射性核素显像及脏器功能测定为主的体内诊断法。治疗核医学是通过高度靶向性聚集在病变部位的放射性核素或其标记物所发射出的射程很短的核射线对病变进行内照射治疗。

新区分院核医学科拟使用的非密封放射性同位素有 $^{18}F$、$^{131}I$、$^{68}Ga$、$^{99m}Tc$、$^{177}Lu$、$^{32}P$、$^{89}Sr$、$^{153}Sm$、$^{223}Ra$ 共 9 种核素，均为直接购买成品药物。使用放射性素主要在药品检测室、储源室 1、储源室 2、分装注射室、负荷试验室、碘分装室、服药室使用，具体使用场所见表 9-1。

**表 9-1　放射性核素操作工作场所分布情况**

| 功能房间 | | | 操作内容 | 涉及核素 |
|---|---|---|---|---|
| 核医学科 | 药品检测室 | | 药品接收 | $^{18}F$、$^{131}I$、$^{68}Ga$、$^{99m}Tc$、$^{177}Lu$、$^{32}P$、$^{89}Sr$、$^{153}Sm$、$^{223}Ra$ |
| | 储源室 1 | | 存储核素 | $^{18}F$、$^{131}I$（针剂）、$^{68}Ga$、$^{99m}Tc$、$^{177}Lu$、$^{32}P$、$^{89}Sr$、$^{153}Sm$、$^{223}Ra$ |
| | 分装注射室 | 分装区 1<br>注射区 1 | 分装、活度测定、给药（注射） | $^{99m}Tc$、$^{131}I$（针剂）、$^{177}Lu$、$^{32}P$、$^{89}Sr$、 |
| | | 分装区 2<br>注射区 2 | | $^{18}F$、$^{68}Ga$、$^{153}Sm$、$^{223}Ra$ |
| | 负荷试验室 | | 注射（病人气化吸入） | $^{99m}Tc$ |
| | 储源室 2 | | 存储核素 | $^{131}I$（口服） |
| | 碘分装室 | | 甲吸：（手动）活度测定、稀释、分装及给药<br>甲亢、甲癌：（自动）活度测定、稀释、分装及给药 | |
| | 服药室 | | 病人服药 | |

### 9.2.1 核医学显像诊断

**（1）应用正电子放射性药物开展核医学显像诊断**

**1）工作原理**

PET（Positron Emission Tomography，正电子发射型计算机断层显像）核素显像技术是专为探测体内正电子发射体湮没辐射时同时产生的方向相反的能量为 0.511MeV 的两个γ光子的显像仪器。正电子放射性药物注射到受检者体内，让受检者在 PET 的有效视野范围内进行 PET 显像。放射性核素发射出的正电子在体内移动大约 1mm 后与组织中的负电子结合发生湮灭辐射，产生两个能量相等（0.511MeV）、方向相反的γ光子。由于两个光子在体内的路径不同，到达两个探测器的时间也有一定差别，如果在规定的时间窗内（一般为 0～15μs），探头系统探测到两个互成 180 度（士 0.25 度）的光子时，即为一个符合事件。探测器便分别送出一个时间脉冲，脉冲处理器将脉冲变为方波，符合电路对其进行数据分类后，送入工作站进行图像重建，便得到人体各部位横断面、冠状断面和矢状断面的影像，对疾病进行诊断。

**2）基本结构**

医院常用 PET/CT 机见图 9-2。

**图9-2　医院常用PET/CT机（示例）**

PET 的基本结构与其他核医学影像设备相似，都是由探测器（探头）、电子学系统、计算机数据处理系统、显示记录装置、扫描机架和同步检查床等部分组成。

PET/CT 是将 PET 和 CT 两个已经相当成熟的影像技术相融合，实现了 PET 和 CT 图像的同机融合。使 PET 的功能影像与螺旋 CT 结构影像两种显像技术的优点融于一体，形成优势互补，一次成像即可获得 PET 图像，又可获得相应部位的 CT 图像及 PET/CT 的融合图像，即可准确地对病灶进行定性，又能准确定位，PET 和 CT 结果可以互相印

证，相互补充，使 PET/CT 的诊断效能及临床实用价值更高。CT 扫描数据还可用于 PET 图像的衰减校正，大大缩短了 PET 检查时间。

**3）工作流程**

本项目拟使用的 $^{18}F$、$^{68}Ga$ 药物外购，医院根据与患者预约情况提前向有资质的药物供货商/生产商定药，由其负责在合理时段内将药物运输至药品检测室内，之后转移至储源室 1，使用时转移至分装注射室内分装区 2 的防护手套箱内进行活度测定、分装（取药，即注射器吸药），然后再利用注射器转运盒将 $^{18}F$、$^{68}Ga$ 药物针剂运至注射区 2 为病人注射。

应用正电子放射性药物在 PET/CT 开展显像诊断具体工作流程如下：

①根据医护人员指导意见，需要接受全身或脏器显像检查的人员提前预约登记，确定用药量，该项目所需要放射性药物均由有资质的供货商/生产商配药、转运；

②受检者按约定时间在核医学科门诊室进行登记、准备；

③护士根据患者相关信息，锁定患者，将在分装区 2 的防护手套箱内制备、分装完成的放射性药物针剂通过注射器，转运盒运至注射区 2 备用，分装单人份药物时间约 0.5min；

④准备好的受检者经过核医学科患者通道到达注射窗口 2，护士穿戴好个人防护用品，通过注射窗口 2 为患者注射药物，注射时间平均约 0.5min/每人；

⑤注射了放射性药物的患者进入 PET 等候室等候（45min~60min）以及进行检查前的准备；

⑥用药后的患者从 PET 等候室直接进入 PET/CT 机房检查，PET 每次平均扫描时间约 20min/人次，CT 每次平均扫描时间约 2min/人次。

⑦检查完成后，受检者在留观室留观 5~10min，经医务人员确认图像质量满意后，受检者通过核医学科患者通道离开核医学区域。

应用正电子放射性药物在 PET/CT 开展显像诊断流程如下图 9-3。

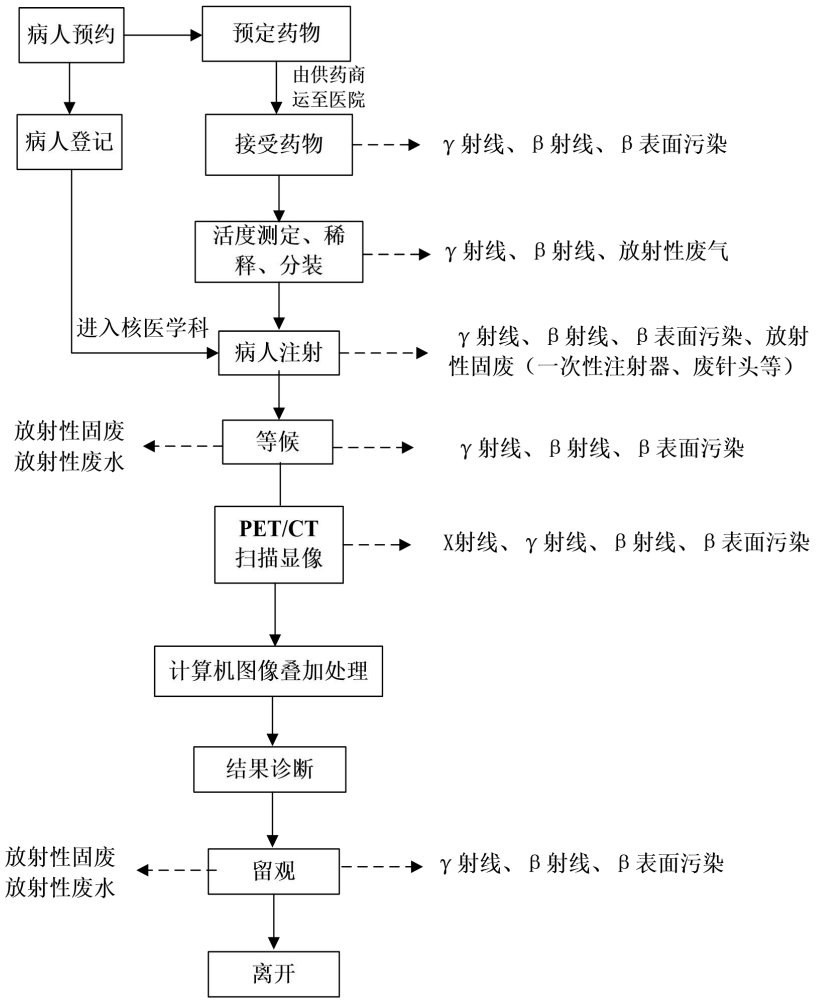



**图 9-3 应用正电子放射性药物在 PET 下显像诊断流程图**

**4）、工作负荷**

医院仅使用 $^{18}F$、$^{68}Ga$ 开展 PET 显像诊断工作，预计全年注射 $^{18}F$ 标记药物进行显像诊断的患者约 3600 人次，$^{68}Ga$ 标记药物进行显像诊断的患者约 200 人次。

$^{18}F$、$^{68}Ga$ 使用情况见表 9-2。

**表 9-2 $^{18}F$、$^{68}Ga$ 使用情况表**

| 核素名称 | 单人次最大用量（Bq） | 日最大人次 | 最大日操作量（Bq） | 最大就诊人次 | | 年最大用量（Bq） | 用途 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 人次/月 | 人次/年 | | |
| $^{18}F$ | $3.7\times10^{8}$ | 15 | $5.55\times10^{9}$ | 300 | 3600 | $1.332\times10^{12}$ | 恶性肿瘤、神经系统疾病、感染性疾病、心脏疾病等诊断 |
| $^{68}Ga$ | $1.85\times10^{8}$ | 2 | $3.70\times10^{8}$ | 17 | 200 | $3.70\times10^{10}$ | 前列腺癌全身转移、神经内分泌肿瘤及转移的诊断 |
| 合计 | / | 17 | $5.92\times10^{9}$ | 317 | 3800 | $1.369\times10^{12}$ | / |

PET/CT 只进行放射性药物显像，PET/CT 工作负荷约 3800 人次/年。PET/CTPET

模式扫描平均每次 20min，年扫描约为 1266.67h/a；采用 CT 模式扫描平均每次进行显像的有效开机时间约为 2min，年有效开机时间约为 126.67h/a。

**（2）应用单光子放射性药物开展核医学显像诊断**

**1）、工作原理**

SPECT（Single Photon Emission Computerized Tomography，单光子发射型计算机断层显像）是利用 $^{99m}$Tc、$^{131}$I、$^{177}$Lu 等放射性核素的示踪作用，不同的显像剂在体内有其特殊的分布和代谢规律，能够选择性的聚集在特定脏器、组织或病变部位，使其与临近组织之间的放射性分布形成一定程度浓度差，而显像剂中的放射性核素可发射出具有一定穿透力的γ射线，利用 SPECT 探头对这些光子进行探测和记录，通过计算机处理从而获得脏器、组织或者病变部位的形态、位置、大小以及脏器功能图像数据。

**2）、基本结构**

SPECT 系统一般由探测器、机架、控制台、计算机（包括接口）和外围设备五部分构成。SPECT/CT 同样是将 SPECT 和 CT 结合成一体化的设备，使用同一个检查床和同一个图像处理工作站，将 SPECT 图像和 CT 图像融合，可以同时放映病灶的病理生理变化和形态结构，明显提高诊断的准确性。

医院常用 SPECT/CT 见图 9-4。

**图9-4　医院常用SPECT/CT机（示例）**

**3）、工作流程**

医院拟使用的 $^{131}$I、$^{99m}$Tc、$^{177}$Lu 显像剂从有资质的药物供货商/生产商直接外购成品

针剂。医院根据与患者预约情况提前向有资质的药物供货商/生产商定药，由其负责将药物运输至核医学科。

患者在核医学科窗口凭预约单在核医学科注射窗口 1 注射药物，其中进行 $^{99m}$Tc 心功能显像检查的患者需要在负荷试验室通过跑步机跑步达一定运动负荷下注射（直接在该房间注射），做肺通气显像检查的患者在负荷试验室吸入气态 $^{99m}$Tc（利用内壁四周衬有防辐射铅屏的密闭 $^{99m}$Tc 气体发生器，在高温下将注入的 $^{99m}$Tc 蒸发成气态，通过接口管引出，患者咬住接口管，捏住鼻子吸入 $^{99m}$Tc 气体）。$^{99m}$Tc 给药后患者在 ECT 等候室等待，待药物在体内分布达到平衡后，进入 SPECT/CT 机房扫描；$^{131}$I、$^{177}$Lu 给药后患者在专用等候室等待，待药物在体内分布达到平衡后，进入 SPECT/CT 机房扫描。

应用单光子放射性药物的患者在 SPECT/CT 下做显像诊断具体流程描述如下：

①根据医务人员指导意见，需要接受全身或脏器显像检查的人员提前预约登记，确定用药量。医务人员根据用药量订购放射性药物，并由有资质的药物供货商/生产商运输至药品检测室内，之后转移至储源室 1，使用时转移至分装注射室分装区 1 的防护手套箱内进行活度测定、分装（即注射器吸药），然后再利用注射器转运盒将 $^{131}$I、$^{99m}$Tc、$^{177}$Lu 药物针剂运至注射区 1 为病人注射。

②受检者按约定时间在核医学科门诊室进行登记、准备；

③准备好的受检者经过核医学科患者通道进入注射区，注射工作人员穿戴好个人防护用品，通过注射区 1 为受检者注射药物（心功能显像检查的患者需要在负荷试验室通过跑步机跑步达一定运动负荷下注射（直接在该房间注射），肺通气显像检查的患者在负荷试验室吸入气态 $^{99m}$Tc），注射时间平均约 30s/人次。

④注射了 $^{99m}$Tc 放射性药物的受检者进入 ECT 等候室等候（5min~20min），注射了 $^{131}$I、$^{177}$Lu 放射性药物的受检者进入专用等候室等候（5min~20min）。

⑤等候后进入 SPECT/CT 机房检查，SPECT 平均扫描时间约 10min/次，CT 平均扫描时间约 2min/次；

⑥检查完成后，$^{99m}$Tc 受检者在留观室留观，$^{131}$I、$^{177}$Lu 受检者在专用等候室留观，留观时间为 5~10min，经医务人员确认图像质量满意后，受检者通过核医学科患者通道离开核医学区域。

应用单光子放射性药物的患者在SPECT/CT下做显像诊断流程如下图9-5。

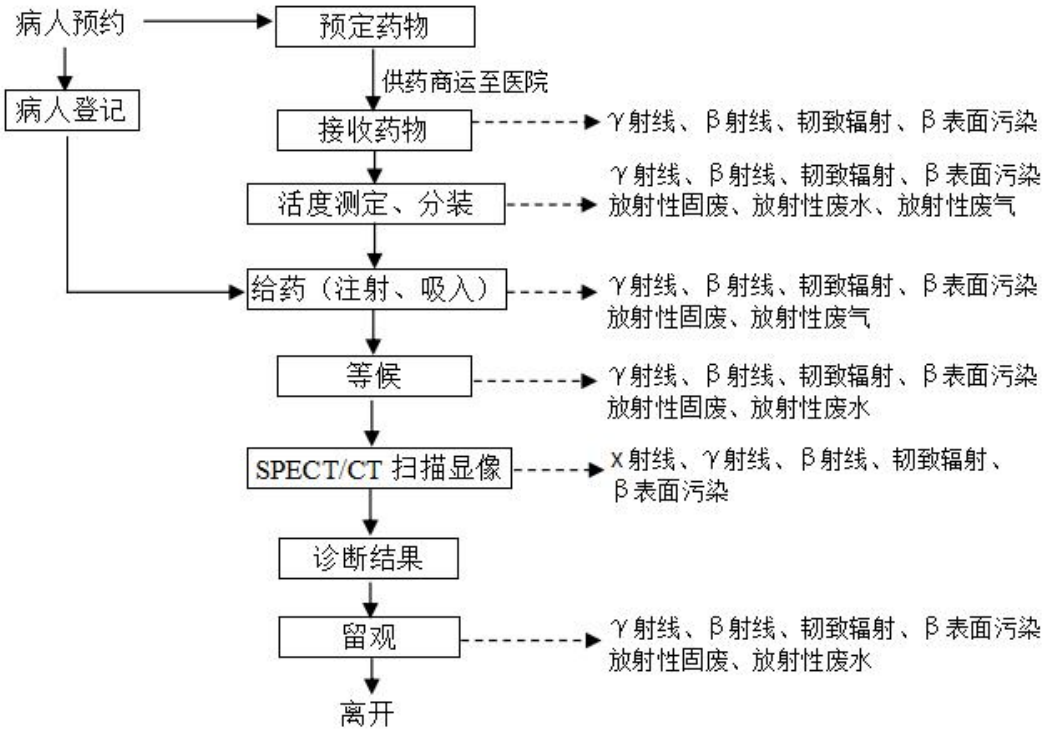



**图 9-5　应用单光子放射性药物在 SPECT/CT 下显像诊断流程图**

**4）、工作负荷**

医院仅使用 $^{99m}$Tc、$^{131}$I、$^{177}$Lu 开展 SPECT/CT 显像诊断工作，$^{99m}$Tc、$^{131}$I、$^{177}$Lu 使用情况见表 9-3。

**表 9-3　$^{99m}$Tc、$^{131}$I、$^{177}$Lu 显像诊断使用情况表**

| 核素名称 | 单人次最大用量（Bq） | 日最大人次 | 最大日操作量（Bq） | 就诊人次 | | 年最大用量（Bq） | 用途 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 人次/月 | 人次/年 | | |
| $^{99m}$Tc | $7.40\times10^{8}$ | 20 | $1.48\times10^{10}$ | 400 | 4800 | $3.552\times10^{12}$ | 心功能检测（最大约 4 人次/天、600 人次/年）、骨转移显像诊断等 |
| | $1.48\times10^{9}$ | 1 | $1.48\times10^{9}$ | 4 | 48 | $7.104\times10^{10}$ | 肺通气显像诊断 |
| $^{131}$I | $1.85\times10^{8}$ | 2 | $3.70\times10^{8}$ | 8 | 96 | $1.776\times10^{10}$ | 甲状腺癌转移的诊断 |
| $^{177}$Lu | $1.11\times10^{9}$ | 1 | $1.11\times10^{9}$ | 1 | 12 | $1.332\times10^{10}$ | 前列腺癌、内分泌肿瘤的诊断 |
| 合计 | / | 24 | $1.406\times10^{10}$ | 413 | 4956 | $3.663\times10^{12}$ | / |

另外，$^{131}$I 甲癌患者出院前也需要进行 SPECT/CT 显像诊断，故 SPECT/CT 工作负荷为以上负荷和住院患者（单人次最多需要两次扫描）数量之和，4956+（192+12）×2=5364 人次/年。SPECT/CT 采用 SPECT 模式扫描，每次 10min，年扫描 894h/a；以 CT 模式扫描每次有效开机时间约为 2min，年有效开机时间约为 178.8h/a。

### 9.2.2 核医学甲状腺功能诊断

本项目核医学科利用 $^{131}I$ 进行甲吸测定，对甲状腺疾病进行诊断。

**（1）甲吸测定工作原理**

甲吸测定全称为甲状腺摄碘率测定。碘是合成甲状腺激素的物质之一，甲状腺细胞通过钠/碘共转运子克服电化学梯度从血循环中浓聚 $^{131}I$，因此患者口服的 $^{131}I$ 药剂大都聚集在甲状腺内。在体外用探测器在颈部测量甲状腺对 $^{131}I$ 的摄取速度和摄取量即吸碘率。利用不同时间段患者摄碘率的变化曲线来判断患者甲状腺功能是否正常，为甲状腺疾病的诊断和放射性碘治疗提供了可靠的数据。

**（2）甲吸测定流程**

甲状腺吸碘功能测定主要用于甲亢治疗、甲癌治疗患者服碘量的计算以及亚急性甲状腺炎患者的诊断，其主要流程包括患者准备、标准源的制备（制备相当于受检者用量的 $^{131}I$ 溶液）、甲功测定和结果判定。

甲吸测定使用的 $^{131}I$ 放射性药物量少，故需要进行手动活度测定、稀释、分装。本项目 $^{131}I$ 放射性药物在碘分装室的防护手套箱内进行，活度测定、稀释、分装时间不超过 3min。核医学科护士将分装好的 $^{131}I$ 放射性药物放置在服药窗口，而后患者进入服药室听取医务人员的指挥在服药窗口取药、服药，服药后 3h、6h、24h 在功能测定室用甲功测定仪测定甲状腺部位的放射性计数，测量前先测定室内自然本底的计数及标准源计数。三次测量之间间隔时间较长，患者可离开医院自由活动。根据测量结果计算出的甲状腺吸碘率值可判定受检者甲状腺功能，检查后即可离开。

根据了解和调查，本项目拟购的自动分装仪（见下文甲亢治疗、甲癌治疗）的屏蔽体 40mmPb，分装精度为 0.1mL。一次分装可使用一周，分装稀释剩余的药物放在储源室 2 的储源柜内。一次自动分装、手动稀释等工作用时约 10min。

应用 $^{131}I$ 甲吸测定流程图见图 9-6。

**（3）工作负荷**

医院仅使用 $^{131}I$ 开展甲状腺功能诊断，预计全年 $^{131}I$ 甲吸测定约 600 人次。$^{131}I$ 甲吸测定药物使用情况见表 9-4。

**表 9-4　$^{131}I$ 甲吸测定药物使用情况表**

| 核素名称 | 单人次最大用量（Bq） | 日最大人次 | 最大日操作量（Bq） | 就诊人次 | | 年最大用量（Bq） | 用途 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 人次/月 | 人次/年 | | |
| $^{131}I$ 甲吸 | $1.85\times10^{5}$ | 20 | $3.70\times10^{6}$ | 50 | 600 | $1.11\times10^{8}$ | 甲吸测定 |

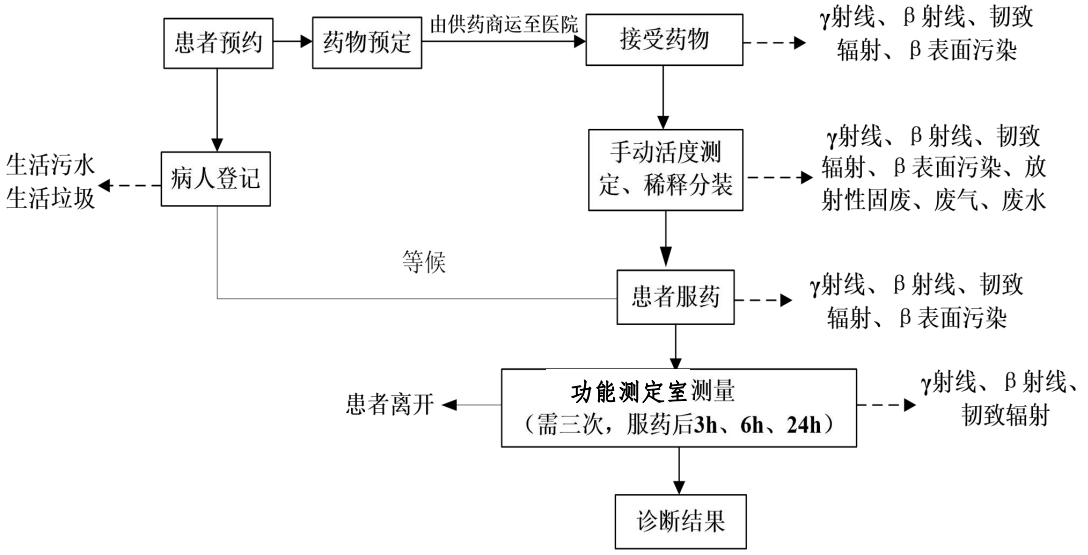



**图 9-6　应用 $^{131}$I 甲吸测定流程图**

### 9.2.3 核医学核素治疗

**(1)放射性核素治疗工作原理**

除上述介绍的核素外，该项目其余的放射性核素治疗项目主要包括 $^{131}$I 甲亢治疗、$^{131}$I 甲癌治疗、$^{177}$Lu 内分泌肿瘤治疗、$^{32}$P 胶体腔内治疗、$^{89}$Sr 骨转移癌治疗、$^{153}$Sm 多发性骨转移治疗、$^{223}$Ra 前列腺癌治疗等。

本项目放射性核素治疗是利用放射性核素参与人体代谢自动在特定组织内聚集，对其周围病变细胞造成杀伤。

**① $^{131}$I 治疗**

本项目主要利用 $^{131}$I 开展甲亢治疗、甲癌治疗工作。

**甲亢治疗**：全称甲状腺功能亢进症治疗。甲状腺细胞对碘化物具有特殊的亲和力，服用药物后 $^{131}$I 能够被甲状腺高度选择性吸收，甲亢患者的甲状腺中功能亢进的病变组织比一般的甲状腺组织的摄碘率更高。医院拟使用的碘[$^{131}$I]化钠口服液（简称 $^{131}$I），用于甲状腺机能亢进（甲亢）的治疗。$^{131}$I 属中毒组核素，在甲状腺内有效半衰期约为 3.5～4.5d，有较长的停留时间；$^{131}$I 衰变时发射的β射线射程平均约 1mm，几乎全部为甲状腺组织吸收；使用适当剂量的 $^{131}$I，其辐射生物效应使功能亢进的甲状腺细胞受破坏，甲状腺缩小、甲状腺激素的合成减少而达到治疗的目的。

**甲癌治疗**：即甲状腺癌治疗。$^{131}$I 是一种带有放射性的碘，摄入体内主要聚集在有

甲状腺和其他摄取碘的组织里。由于分化型甲状腺癌细胞分化较好，因此具备部分摄取碘的能力，但通常比甲状腺组织弱很多，当正常甲状腺组织被去除后，分化好的甲状腺癌组织能够摄取一定量的 $^{131}I$，利用 $^{131}I$ 衰变发出的β射线破坏肿瘤细胞，达到治疗目的。

**②$^{177}Lu$、$^{89}Sr$、$^{153}Sm$、$^{223}Ra$ 治疗**

$^{177}Lu$、$^{89}Sr$、$^{153}Sm$、$^{223}Ra$ 四种治疗核素是利用机体内能高度选择地聚集在病变组织的化合物作为载体，将放射性核素靶向运送到病变组织或细胞，使放射性核素与病变细胞距离贴近。根据当距辐射源的距离增大，来自源的辐射强度随距离平方值增长而减小的原理，使得辐射剂量主要集中在病灶内，而在比较远处的正常健康细胞得到较低的、不太会引起损伤的剂量。

**③ $^{32}P$ 胶体腔内治疗**

$^{32}P$ 胶体腔内治疗是将放射性胶体经充分稀释后，引入病变体腔的，可以比较均匀地覆盖在体腔浆膜和间皮表面或粘着于积液中的游离癌细胞上，核素发射的β射线可以破坏转移灶，抑制其分泌浆液，使积液产生减少或停止，达到治疗的作用。

**（2）工艺流程**

**① $^{131}I$ 治疗流程**

医院根据患者预约情况向有资质的供货商/生产商预定含 $^{131}I$ 的放射性药物（一般每次预定一天的用量），然后由有资质的供货商/生产商当天用专车运抵医院，有资质的供货商/生产商的专业技术人员将装有核素的铅罐放入核医学科药品检测室，然后由核医学科医务人员转运至储源室 2，在使用前将铅罐安装在自动分装仪内，然后医务人员通过电脑控制将蒸馏水注入自动分装仪中对购买的 $^{131}I$ 液态放射性药物进行稀释。操作护士在碘分装室内操作界面上（不在自动分装仪上）设定样品的分配活度、体积和计划使用时间，系统会自动完成将放射性原料（母液）进行稀释处理、定量分配、在线活度测量和样品体积配比的全部工作，测试合格的溶液可用于患者服用。

因为甲吸测定病人服药量很少，低于自动分装仪最低分装量，需要进行人工分装，其余的甲亢治疗和甲癌治疗病人用药全部为自动分装。自动分装仪实物见图9-7。

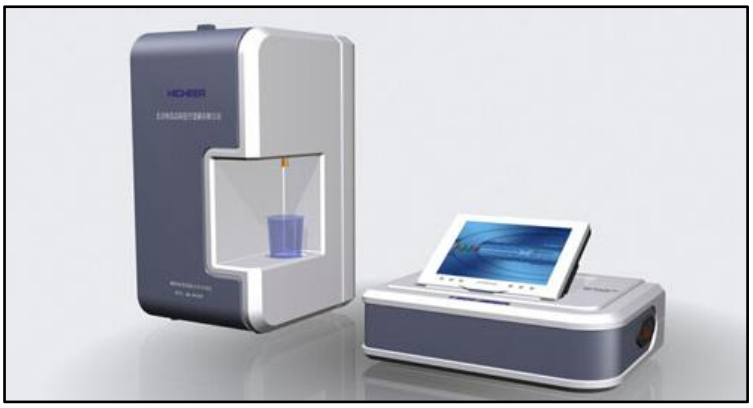


**图 9-7 $^{131}$I 自动分装仪实物图（示例）**

**甲亢治疗流程：**医生首先根据甲状腺吸碘率或吸碘量，确定服药量之后，通过电脑控制从全自动分装仪内放出适量药物，药物用纸杯盛装，并通过视频、对讲设施指导病人在服药室的服药窗口取药并服用。一般情况下，甲亢患者服药量5～10mCi（$1.85\times10^8$～$3.7\times10^8$Bq），患者服药后，经患者通道离开核医学科。

极少数患者核算用药量超过10mCi，可采取两种治疗方案处理，以保证服药量不超过10mCi：①分两次服药，即先服≤10mCi的药量，等待3～6个月后，再次进行甲吸测定确定二次服药量（计为治疗2人次）。②先服用抗甲亢药物进行治疗，缩小甲状腺体积，再进行$^{131}$I甲吸测定和甲亢治疗。因此，本项目甲亢治疗患者最大服药量为10mCi（370MBq），低于离院限值400MBq的要求，病人可以直接离院。

甲亢治疗流程图见图 9-8。

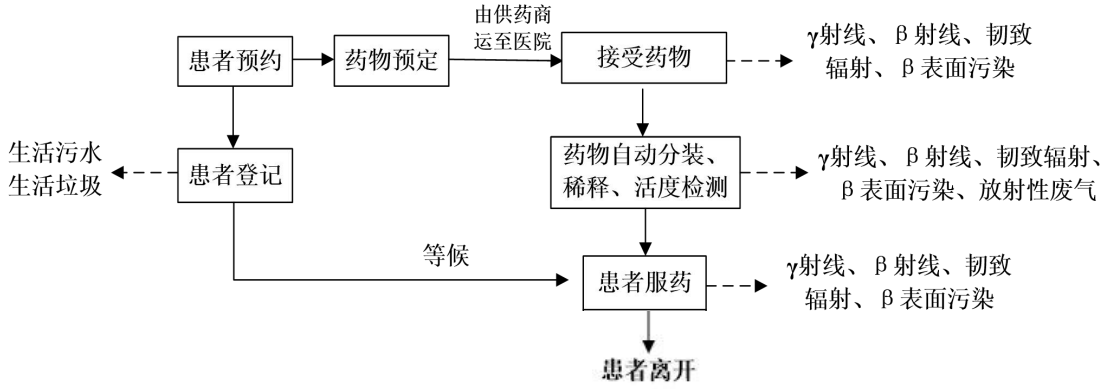



**图 9-8 应用 $^{131}$I 甲亢治疗流程图**

**甲癌治疗流程：**甲癌患者进入核医学科服药室听医务人员指挥，自行在服药窗口取出自动分装仪分装的药物，并服药，服药之后至甲癌病房住院治疗，患者满足出院（体内 $^{131}$I 不高于 400MBq）条件后离开。因 $^{131}$I 用药量一般低于 200mCi/人，其在甲状腺内

有效半衰期/生物半衰期约为 3.5～4.5d，考虑药物的排泄，一般服药后病人住院 3～5 天即可出院。

$^{131}I$ 甲癌治疗流程图见图 9-9。

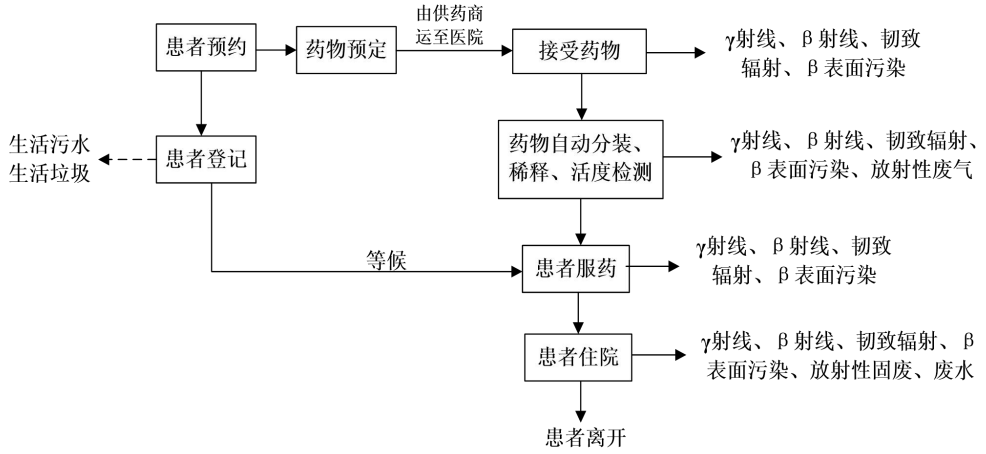



**图 9-9 应用 $^{131}I$ 甲癌治疗流程图**

**②$^{177}Lu$ 治疗流程**

应用 $^{177}Lu$ 治疗流程图见图 9-10。

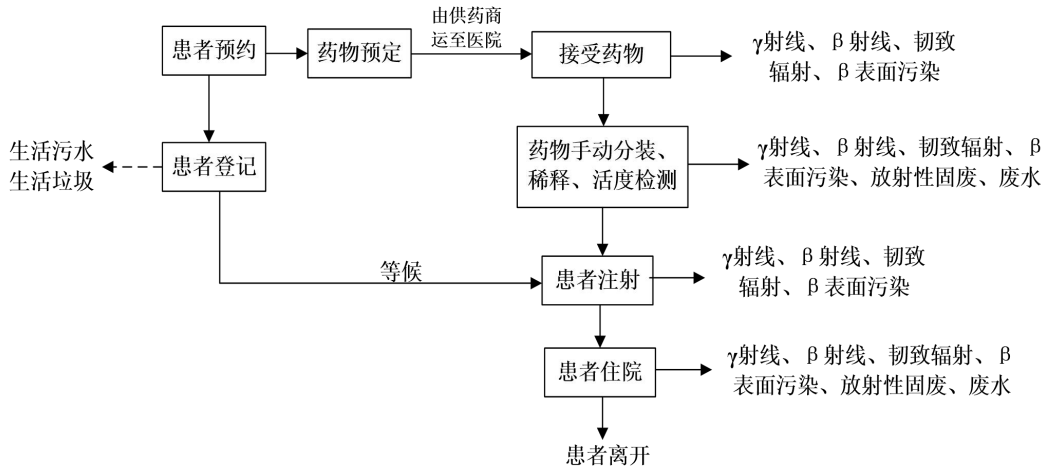



**图 9-10 应用 $^{177}Lu$ 治疗的流程图**

医院根据患者预约情况向药物供货商/生产商预定 $^{177}Lu$ 成品药物，由药物供货商/生产商负责将药物运输至核医学科。核医学科护士将 $^{177}Lu$ 临床药物在分装注射室分装区 1 的防护手套箱中进行活度测定、稀释后注入注射器内备用。患者凭预约单在注射窗口 1 注射药物。注射药物后患者至病房进行住院治疗，患者满足出院条件后离开。因 $^{177}Lu$ 无具体的出院标准要求，医院参照 $^{131}I$ 甲癌治疗执行，即体内残留 $^{177}Lu$ 携带量限值 400MBq，一般住院约为 3 天；病人也在甲癌病房住院，按照甲癌病房建设管理。

根据医院布局，$^{177}$Lu 住院治疗患者入院预约在不多于 3 名甲癌患者住院时。

**③ $^{32}$P、$^{89}$Sr、$^{153}$Sm、$^{223}$Ra 治疗流程**

医院根据患者预约情况向有资质的药物供货商/生产商预定 $^{32}$P、$^{89}$Sr、$^{153}$Sm、$^{223}$Ra 放射性药物成品针剂，由有资质的药物供货商/生产商负责将药物运输至核医学科储源室 1 暂存，然后在分装注射室分装区的防护手套箱内注入注射器内备用。患者在核医学科窗口凭预约单在核医学科的注射窗口注射药物。$^{32}$P、$^{89}$Sr、$^{153}$Sm、$^{223}$Ra 的分注射属于简单的湿法操作，患者注射放射性药物后，如无特殊情况，即由患者专门出口处离开回家。

应用 $^{32}$P、$^{89}$Sr、$^{153}$Sm、$^{223}$Ra 治疗流程图见图 9-11。

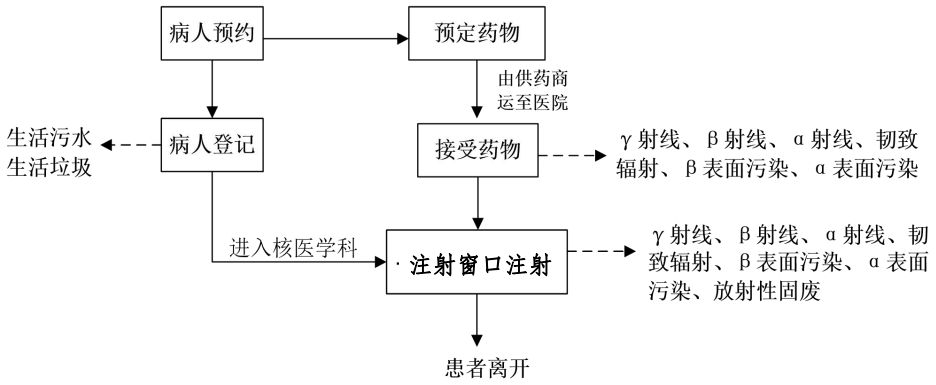



**图 9-11　应用 $^{32}$P、$^{89}$Sr、$^{153}$Sm、$^{223}$Ra 治疗流程图**

**（3）工作负荷**

医院仅使用 $^{131}$I、$^{177}$Lu、$^{32}$P、$^{89}$Sr、$^{153}$Sm、$^{223}$Ra 开展放射性药物治疗，预计全年约 治疗人次。治疗核素使用情况见表 9-5。

**表 9-5　$^{131}$I、$^{177}$Lu、$^{32}$P、$^{89}$Sr、$^{153}$Sm、$^{223}$Ra 治疗核素使用情况表**

| 核素名称 | | 单人次最大用量（Bq） | 日最大人次 | 最大日操作量（Bq） | 最大就诊人次 | | 年最大用量（Bq） | 用途 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 人次/月 | 人次/年 | | |
| $^{131}$I | 甲亢 | $3.70\times10^{8}$ | 10 | $3.70\times10^{9}$ | 40 | 480 | $1.776\times10^{11}$ | 甲亢治疗 |
| | 甲癌 | $7.40\times10^{9}$ | 4 | $2.96\times10^{10}$ | 16 | 192 | $1.421\times10^{12}$ | 甲癌治疗 |
| $^{177}$Lu | | $7.40\times10^{9}$ | 1 | $7.40\times10^{9}$ | 1 | 12 | $8.88\times10^{10}$ | 胃肠胰神经内分泌肿瘤治疗 |
| $^{32}$P | | $1.85\times10^{8}$ | 2 | $3.70\times10^{8}$ | 5 | 60 | $1.11\times10^{10}$ | 胶体腔内治疗 |
| $^{89}$Sr | | $1.48\times10^{8}$ | 2 | $2.96\times10^{8}$ | 4 | 48 | $7.104\times10^{9}$ | 骨转移癌治疗 |
| $^{153}$Sm | | $1.85\times10^{9}$ | 1 | $1.85\times10^{9}$ | 1 | 12 | $2.22\times10^{10}$ | 多发性骨转移治疗 |
| $^{223}$Ra | | $3.70\times10^{6}$ | 1 | $3.70\times10^{6}$ | 1 | 12 | $4.44\times10^{7}$ | 前列腺癌治疗 |
| 合计 | | —— | 21 | $2.842\times10^{10}$ | 68 | 816 | $1.73\times10^{12}$ | —— |

备注：$^{177}$Lu 住院治疗患者入院预约在不多于 3 名甲癌患者住院时。

### 9.2.4 核医学科工作负荷小结

综上所述，项目核医学科核素使用情况见表 9-6，工作负荷见表 9-7 所示。

**表 9-6　核医学科核素用量统计表**

| 核素名称 | 用途 | 单人次最大用量（Bq） | 最多接待人次（人次） | | | 核素用量（Bq） | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 日 | 月 | 年 | 日 | 月 | 年 |
| $^{18}F$ | 扫描诊断 | $3.7\times10^{8}$ | 15 | 300 | 3600 | $5.55\times10^{9}$ | $1.11\times10^{11}$ | $1.332\times10^{12}$ |
| $^{68}Ga$ | 扫描诊断 | $1.85\times10^{8}$ | 2 | 17 | 200 | $3.70\times10^{8}$ | $3.145\times10^{9}$ | $3.70\times10^{10}$ |
| $^{99m}Tc$ | 扫描诊断 | $7.40\times10^{8}$ | 20 | 400 | 4800 | $1.48\times10^{10}$ | $2.96\times10^{11}$ | $3.552\times10^{12}$ |
| | 肺通气诊断 | $1.48\times10^{9}$ | 1 | 4 | 48 | $1.48\times10^{9}$ | $5.92\times10^{9}$ | $7.104\times10^{10}$ |
| $^{131}I$ | 扫描诊断 | $1.85\times10^{8}$ | 2 | 8 | 96 | $3.70\times10^{8}$ | $1.48\times10^{9}$ | $1.776\times10^{10}$ |
| | 门诊诊断（甲吸） | $1.85\times10^{5}$ | 20 | 50 | 600 | $3.70\times10^{6}$ | $9.25\times10^{6}$ | $1.11\times10^{8}$ |
| | 门诊治疗（甲亢） | $3.70\times10^{8}$ | 10 | 40 | 480 | $3.70\times10^{9}$ | $1.48\times10^{10}$ | $1.776\times10^{11}$ |
| | 住院治疗（甲癌） | $7.40\times10^{9}$ | 4 | 16 | 192 | $2.96\times10^{10}$ | $1.184\times10^{11}$ | $1.421\times10^{12}$ |
| $^{177}Lu$ | 扫描诊断 | $1.11\times10^{9}$ | 1 | 1 | 12 | $1.11\times10^{9}$ | $1.11\times10^{9}$ | $1.332\times10^{10}$ |
| | 住院治疗 | $7.40\times10^{9}$ | 1 | 1 | 12 | $7.40\times10^{9}$ | $7.40\times10^{9}$ | $8.88\times10^{10}$ |
| $^{32}P$ | 门诊治疗 | $1.85\times10^{8}$ | 2 | 5 | 60 | $3.70\times10^{8}$ | $9.25\times10^{8}$ | $1.11\times10^{10}$ |
| $^{89}Sr$ | 门诊治疗 | $1.48\times10^{8}$ | 2 | 4 | 48 | $2.96\times10^{8}$ | $5.92\times10^{8}$ | $7.104\times10^{9}$ |
| $^{153}Sm$ | 门诊治疗 | $1.85\times10^{9}$ | 1 | 1 | 12 | $1.85\times10^{9}$ | $1.85\times10^{9}$ | $2.22\times10^{10}$ |
| $^{223}Ra$ | 门诊治疗 | $3.70\times10^{6}$ | 1 | 1 | 12 | $3.70\times10^{6}$ | $3.70\times10^{6}$ | $4.44\times10^{7}$ |
| 合计 | | —— | 82 | 848 | 10172 | $6.690\times10^{10}$ | $5.626\times10^{11}$ | $6.751\times10^{12}$ |

**表 9-7　核医学科设备及人员工作负荷统计表**

| 设备名称 | 工作内容 | 诊断人数（人次/年） | | 单次所需时间 | 年有效开机时间 |
|---|---|---|---|---|---|
| PET/CT（$^{18}F$、$^{68}Ga$） | PET 显像 | 3800 | | 20min/人次 | 1266.67 h/年 |
| | CT 扫描 | 3800 | | 2min/人次 | 126.67 h/年 |
| SPECT/CT（$^{99m}Tc$、$^{131}I$、$^{177}Lu$） | SPECT 显像 | 4956+（12+192）×2 =5364 | | 10min/人次 | 894 h/年 |
| | CT 扫描 | | | 2min/人次 | 178.8h/年 |
| **核素名称** | **工作内容** | **诊疗人数（人次/年）** | | **单次所需时间** | **放射工作人员接触时间** |
| $^{131}I$（手动分装） | 甲吸测定 | 600，手动操作 48 次 | | 10min/次 | 8 h/年 |
| $^{131}I$（自动分装） | 甲亢甲癌治疗 | 480+192=672 | | / | / |
| $^{177}Lu$、$^{32}P$、$^{89}Sr$、$^{153}Sm$、$^{223}Ra$ | 肿瘤治疗 | 144 | 8900 | 分装 0.5min 注射 0.5min | 分装 74.17 h/年 注射 74.17 h/年 |
| $^{18}F$、$^{68}Ga$ | 注射诊断 | 3800 | | | |
| $^{99m}Tc$、$^{131}I$、$^{177}Lu$ | 注射诊断 | 4956 | | | |

由上表可知，项目核医学科最多接待病人 82 人次/d，848 人次/月，10172 人次/a。核医学科放射性核素年用量最大为 $6.751\times10^{12}$Bq/a。

### 9.2.5 核医学科人流、物流规划

**（1）核医学科人流规划**

**①患者（病人）规划路径**

患者从电梯厅往南到核医学科门诊室诊断后，需要进行放射性药物显像诊断的患者在核医学科登记室登记预约。预约患者在核医学科候诊区等候，听到医务人员的语音呼叫后在地面标识引导下通过病人入口（护士控制入口门禁）进入核医学科内部。

门诊注射患者路径：①注射$^{32}P$、$^{89}Sr$、$^{153}Sm$、$^{223}Ra$患者：在注射走廊的注射窗口接受放射性药物注射，然后直接通过注射走廊、病人走廊直接到达核医学专用电梯至医院-1F，离开门诊病房综合楼；②注射$^{18}F$、$^{68}Ga$患者：在注射走廊的注射窗口2接受放射性药物注射，然后通过注射走廊、病人走廊进入PET等候室等候，听到呼叫后进入PET/CT机房扫描，再进入留观室留观，待确认可离开后通过核医学专用电梯至医院-1F，离开门诊病房综合楼；③注射/吸入$^{99m}Tc$患者：在注射窗口1接受注射放射性药物，或者在负荷试验室注射/吸入放射性药物，然后通过注射走廊、病人走廊进入ECT等候室等候，听到呼叫后进入SPECT/CT机房扫描，再进入留观室留观，待确认可离开后通过核医学专用电梯至医院-1F，离开门诊病房综合楼；④注射$^{131}I$、$^{177}Lu$患者：在注射走廊的注射窗口1接受放射性药物注射，然后通过注射走廊、病人走廊进入专用等候室等候，听到呼叫后进入SPECT/CT机房扫描，再返回专用等候室留观，待确认可离开后通过核医学专用电梯至医院-1F，离开门诊病房综合楼。患者出口位于门诊病房综合楼-1F西侧，距离西侧医院的地下车库出入口、急诊出入口、住院污物出入口等很近，能使患者很方便的离院。

口服药物患者：患者直接通过注射走廊、病人走廊在走廊尽头右转进入服药室服药。甲吸甲亢病人服药后围绕楼梯、电梯的走廊到达核医学专用电梯，然后通过核医学专用电梯至医院-1F，离开门诊病房综合楼；甲癌病人服药后继续前行进入病房区域住院，住院结束后沿甲吸甲亢病人通道离开核医学科。

$^{177}Lu$住院患者在注射窗口注射后沿甲癌患者路径住院。

口服药物患者服药后即离开或住院，根据项目情况，口服药物患者较少，医院根据预约时间情况，集中口服患者的服药时间，在口服药物患者进入核医学控制区内时，无注射药物患者在注射走廊和病人走廊内通行。将口服药物患者与注射药物患者分开，保证用药不在核医学科控制区内相遇，用药前病人和用药后病人分开。

**②核医学科医务人员路径规划**

核医学科技师：核医学科技师从电梯厅往南进入到核医学科，然后进入技师走廊，

到达两扫描机房的共用控制室内工作，工作结束后原路返回。

核医学科护士：核医学科护士从电梯厅往北通过医护走廊进入核医学区域，然后经过卫生通过间进入到操作走廊，从事注射工作的护士往东进入分装注射室、储源室1、负荷试验室从事相应工作；从事口服药物的护士往西进入储源室2、碘分装室从事相应工作。工作完成后原路返回。核医学科护士离开核医学科工作场所控制区时，必须通过β表面污染监测仪监测表面污染达标（$\alpha \leq 0.04Bq/cm^2$，$\beta \leq 0.4Bq/cm^2$）后方可离开。

从以上路径可以看出，本项目核医学科患者路径、医护人员路径能完全分开，互不交叉。

**（2）核医学科物流规划**

**①放射性药物**

本项目放射性药物全部采用对外订购的方式获得，每日由有资质的供货商/生产商车行到门诊病房综合楼-1F核医学科病人出口处，通过核医学专用电梯进入核医学科区域，然后进入病人走廊、沿服碘病人走向送达药品检测室，再将放射性药物交给核医学科医务人员。

**②放射性废物**

每日所有患者诊疗完后，核医学医务人员将除病房区外的放射性废物收集到废物间，分类分核素打包、贴标识后通过放射废物桶沿操作通道、药品检测室、甲亢走廊运送到核医学科西侧的衰变室进行衰变。病房区的放射性废物在病人出院后再通过病人出院通道直接送到衰变室衰变。待放射性废物衰变达到相应时间并监测合格后转移至衰变室旁南侧的医疗废物暂存间（收集本楼层的），再运至-2F下沉层的总医疗废物暂存间暂存，最后交有资质单位收集处置。住院病人的被服直接收集后通过住院走廊送至被服衰减室衰减处理。

从以上介绍可以看出，放射性药物在患者进入核医学科诊疗区域前送入，放射性废物在患者离开核医学科后再行运送到衰变室，经错时能与患者完全分开，不与患者接触。

项目核医学科人流、物流走向示意图见图9-12所示。

**9.2.6 核医学污染源项描述**

医院使用的放射性同位素性能特性参数见表 9-8。

续表 9　项目工程分析与源项

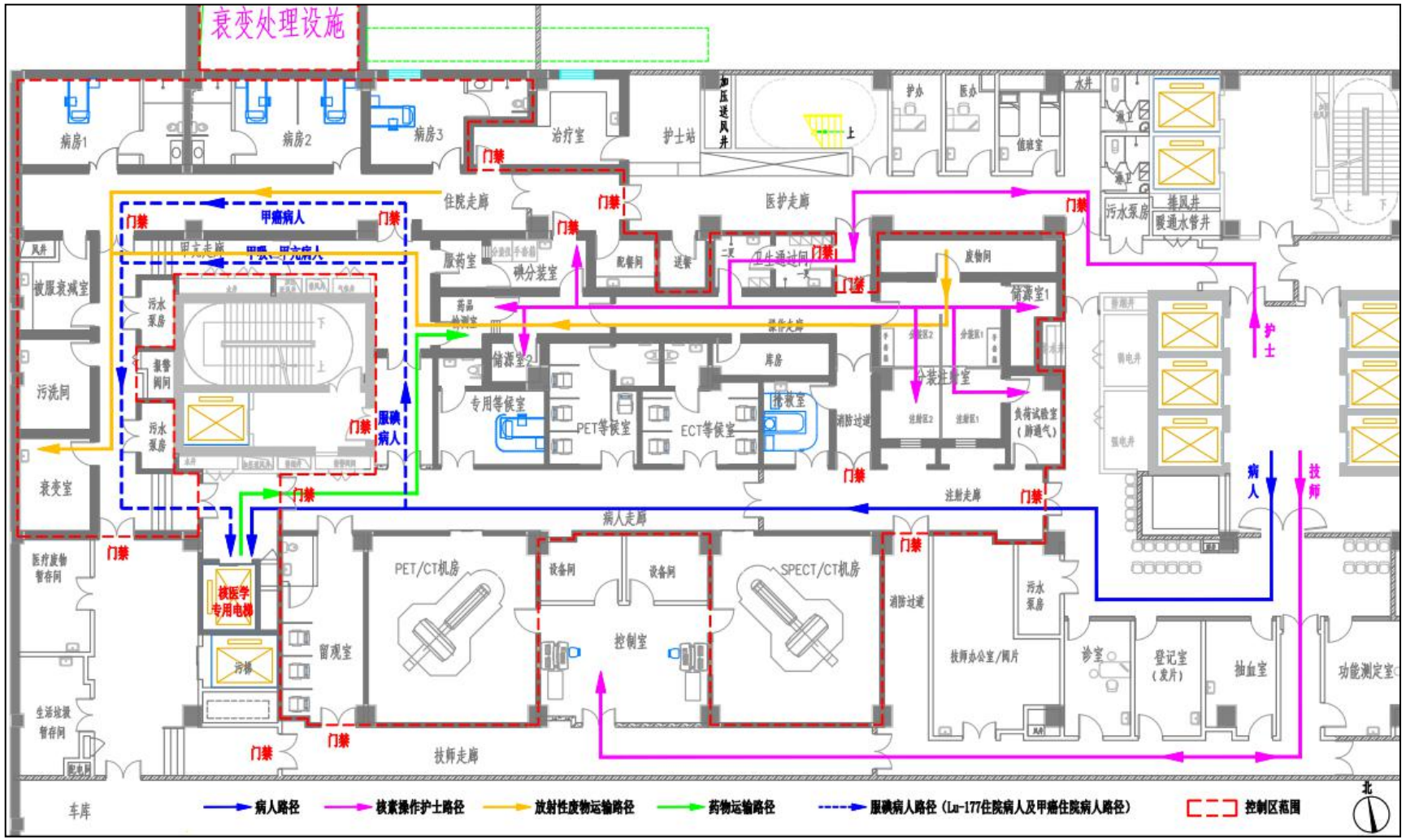



图 9-12　项目核医学科人流物流路径走向示意图

## 续表 9　项目工程分析与源项

**表 9-8　核医学科拟使用放射性同位素特性参数表**

| 序号 | 核素 | | 半衰期 | 衰变模式 | α/β最大能量 MeV | 光子能量 MeV | 毒性分组 | 周围剂量当量率常数（裸源）Γ | 操作方式 | 用途 | 摄入方式 | 主要使用场所 | 来源 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 氟 | $^{18}F$ | 109.8 min | $\beta^+$，EC | 0.63（+） | 0.511 | 低毒 | 0.1430 | 很简单的操作 | PET/CT 显像 | 注射 | 分装注射室 | 外购成品 |
| 2 | 镓 | $^{68}Ga$ | 68.3 min | $\beta^+$，EC | 1.9（+） | 0.511 | 低毒 | 0.134 | 简单操作 | PET/CT 显像 | 注射 | 分装注射室 | 外购成品 |
| 3 | 锝 | $^{99m}Tc$ | 6.02h | 同质异能跃迁 | — | 0.140 | 低毒 | 0.0303 | 很简单的操作 | SPECT/CT 显像 | 注射 | 分装注射室、负荷试验室 | 外购成品 |
| | | | | | | | | | | | 吸入 | 负荷试验室 | |
| 4 | 碘 | $^{131}I$ | 8.02d | $\beta^-$ | 0.602 | 0.284，0.365，0.637 | 中毒 | 0.0595 | 简单操作 | 甲吸测定 | 口服 | 碘分装室、服药室 | 外购成品 |
| | | | | | | | | | | 甲亢甲癌治疗 | 口服 | 碘分装室、服药室 | |
| | | | | | | | | | | SPECT/CT 显像 | 注射 | 分装注射室 | 外购成品 |
| 5 | 镥 | $^{177}Lu$ | 6.73d | $\beta^-$ | 0.2058 | 0.2084 | 中毒 | — | 简单操作 | SPECT/CT 显像 | 注射 | 分装注射室 | 外购成品 |
| | | | | | | | | | | 胃肠胰神经内分泌肿瘤治疗 | 注射 | 分装注射室 | 外购成品 |
| 6 | 磷 | $^{32}P$ | 14.26d | $\beta^-$ | 1.71 | — | 中毒 | — | 简单操作 | 胶体腔内治疗 | 注射 | 分装注射室 | 外购成品 |
| 7 | 锶 | $^{89}Sr$ | 50.53d | $\beta^-$ | 0.5846 | — | 中毒 | — | | 肿瘤骨转移治疗 | | | |
| 8 | 钐 | $^{153}Sm$ | 46.5h | $\beta^-$ | 0.2652 | 0.042，0.047，0.103 | 中毒 | 0.072 | | 多发性骨转移治疗 | | | |
| 9 | 镭 | $^{223}Ra$ | 11.43d | α | 5.8713(α) 0.4270(β) | 0.0117，0.0838，0.2695 | 极毒 | — | | 前列腺癌治疗 | | | |

注：EC表示轨道电子俘获；Γ表示距源1m处的周围剂量当量率常数，单位μSvm$^2$/MBq·h；“—”表示无相关数据；上表数据主要来源于《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录H。

**续表 9　项目工程分析与源项**

由核医学科操作流程及核素辐射特性表可知，本次放射性同位素使用过程中主要污染因子包括：α射线、β射线、γ射线、β表面污染、α表面污染、放射性“三废”，另外，PET/CT、SPECT/CT 在使用 CT 模式下还会产生 X 射线。

**（1）电离辐射**

**1）α射线：**本项目核医学科使用 $^{223}Ra$ 过程中会产生α射线，α射线的最大能量为 5.8713MeV，α射线在空气中、人体组织中的射程均很短，穿不透皮肤表层。因此，本评价不考虑α射线外照射影响。

**2）β射线：**本项目核医学科使用的 $^{18}F$、$^{68}Ga$、$^{131}I$、$^{177}Lu$、$^{32}P$、$^{89}Sr$、$^{153}Sm$ 过程中会产生β射线，其β射线能量在 0.2058MeV~1.9MeV 之间，β射线在人体组织中的射程较短，患者的身体完全能够阻挡β射线，同时人体皮肤也能有效阻挡β射线进入人体。因此，本项目评价时不考虑β射线的影响。

**3）γ射线：**本项目核医学科使用 $^{18}F$、$^{68}Ga$、$^{99m}Tc$、$^{131}I$、$^{177}Lu$、$^{153}Sm$、$^{223}Ra$ 过程中会产生γ射线，其γ射线能量在 0.0117MeV~0.637MeV 之间，γ射线在人体组织中的射程较长，患者的身体不能完全能够阻挡γ射线，同时人体皮肤也不能有效阻挡γ射线进入人体。因此，本项目评价时将考虑γ射线的影响。

①$^{223}Ra$ 的γ射线能量弱，其主要以α射线的辐射影响为主，故放射性核素 $^{223}Ra$ 的γ射线辐射影响忽略不计。

②项目核医学使用产生$\beta^+$的放射性核素 $^{18}F$、$^{68}Ga$。正电子本身是不稳定的，正电子放射性同位素衰变产生的正电子丧失动能后，与物质中的负电子结合，转化为一对运动方向相反、能量均为 0.511MeV 的γ光子，正电子与负电子自身消失，这种现象称为湮没反应，所产生的γ光子也称湮没辐射。使用正电子药物发生湮没辐射产生 0.511MeV 的γ射线。

**4）轫**（通“韧”，下同）**致辐射：**本项目核医学科使用的放射性核素的β粒子穿过周围物质时将产生轫致辐射。

**5）β表面污染：**医务人员在操作放射性核素过程中，不可避免地会引起工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套等放射性沾污，造成β放射性表面污染。

**6）α表面污染：**医生在操作$^{223}Ra$过程中，可能会引起工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套等放射性沾污，造成α放射性表面污染。

**7）X 射线：**核医学科使用的 PET/CT、SPECT/CT 机在 CT 模式扫描产生 X 射线。

以上装置在开机并曝光时产生 X 射线，在开机不曝光或不开机状态下均不产生 X 射线。X 射线能量在零和曝光管电压之间（不超过 130kV），为连续能谱分布，其穿透能力与 X 射线管的管电压和出口滤过有关。辐射场中的 X 射线包括有用线束、漏射线和散射线。

①有用线束：直接由 X 射线球管产生的电子通过打靶获得 X 射线并通过辐射窗口用来照射人体，形成诊断影像的射线。X 射线的能量、强度与 X 射线管靶物质、管电压、管电流有关。X 射线管的管电压、管电流越高，光子束流越强。根据射线衰减原理和《辐射防护导论》中附图 3 恒定电压为 50～200kV 时 X 射线机的发射率常数，本项目核医学科射线装置过滤板均为 3mmAl，最大管电压 130kV，离靶 1 米处的发射率约为 10.4mGy·$m^2$/mA•min。

②漏射线：由 X 射线管发射的透过 X 射线管组装体的射线。

③散射线：由有用线束及漏射线在各种散射体（限束装置、受检者、射线接收装置及检查床、墙壁等）上散射产生的射线。一次散射或多次散射，其强度与 X 射线能量、X 射线机的输出量、散射体性质、散射角度、面积和距离有关。

**（2）废气**

**1）放射性废气**

核医学科开展诊断、治疗活动过程中，放射性药物活度测量、分装、稀释等操作过程中会产生少量的放射性气溶胶废气。根据本项目使用的放射性核素，其中离子型的 $^{131}I$ 放射性药物易氧化析出 $^{131}I$（单质碘），碘在常温下易挥发，产生放射性气溶胶；其他放射性核素均购买成品药物/针剂，操作比较简单，在正常工作情况下均不会产生气溶胶和蒸汽，仅在操作失误，射性物质泼洒在工作台面或地面，可能会有微量药物挥发进入空气中。

核医学科废气经 9 套排风系统收集后引至门诊病房综合楼 19 楼塔楼顶经活性炭吸附后高于楼顶 3m 排放。

**2）非放射性废气**

X 射线、γ射线等与空气作用，产生少量的臭氧和氮氧化物等废气，经核医学科排风系统一起收集后在门诊病房综合楼 19F 塔楼顶高于楼顶 3m 排放。

**（3）废水**

**1）放射性废水**

本项目采用污污分流的方式。放射性废水主要来自病人排泄物、放射性药物操作过

程中沾染的洗手水、一些重复使用的医疗器械的清洗水、工作场所清洁等。

根据设计，项目核医学科设计两套独立的放射性废水处理设施。1#衰变处理设施为含碘放射性废水收集处置，主要收集卫生通过间、配餐间、碘分装室、治疗室、病房、衰变室、污洗间、被服衰减室、专用等候室等涉及到口服 $^{131}I$ 放射性药物的区域放射性废水；2#衰变处理设施为其他放射性废水收集处置，主要收集抢救室、ECT 等候室、PET 等候室、留观室等区域（不涉及 $^{131}I$ 的区域，主要含 $^{18}F$、$^{99m}Tc$）的放射性废水。

项目产生的放射性废水除放射性外，其余因子均为普通医疗废水，因此，放射性废水单独收集后经项目废水衰变处理设施处理后，再排入新区分院医疗部污水处理站进一步处理。

含碘放射性废水产排情况：本项目参与放射性药物的操作的主要为 5 名护士轮换，操作药物过程中洗手水按 50L/人·d 考虑；核医学科每天住院人数最多为 4 人，保守考虑住院时间为 365d/a，住院病人每天洗澡 1 次（约 50-60L）、排泄 5-6 次，则住院病人按 100L/d 计（含诊断过程的排水）；用药含 $^{131}I$、$^{177}Lu$ 的门诊病人在专用等候室等候和留观，最多 3 人次/d（不是每天都有病人诊断，保守考虑计算废水量），考虑排泄频率为 2 次/人次，根据《节水型卫生洁具》(GB/T31436- 2015)规定，节水型蹲便器用水量应不大于 6L，本次考虑洗手水等用水量按 8L/人·次计。住院病人的前扫后后扫在病房排泄。核医学科控制区区域约 860$m^2$，每天清洁 1 次，用水量按照 0.1L/$m^2$·次计。

其他放射性废水产排情况：核医学门诊的诊疗病人除 $^{131}I$、$^{177}Lu$ 外，其余病人用药含 $^{32}P$、$^{89}Sr$、$^{153}Sm$、$^{223}Ra$ 的注射后直接离开核医学科，因此不考虑该部分诊疗病人在核医学科的放射性废水；用药含 $^{68}Ga$、$^{18}F$、$^{99m}Tc$ 的病人需要在核医学科候检或留观，最多 37 人次/d（用药含 $^{68}Ga$ 的，不是每天都有病人诊断，保守考虑计算废水量），同时考虑排泄频率为 2 次/人次，用水量按 8L/人·次计。

因此，本项目核医学科放射性废水产排情况见表 9-9。

**表 9-9　核医学科工作场所放射性废水量核算表**

| 用水类别 | | 用水定额 | 用水规模 | 用水量（$m^3/d$） | 排水量 | | 去向 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | $m^3/d$ | $m^3/a$ | |
| 含碘放射性废水收集区域 | 住院病人 | 100L/人·d | 4 人 | 0.40 | 0.36 | 131.4 | 经 1#衰变处理设施处理达标后排入医院污水处理站。 |
| | 工作人员 | 50L/人 | 5 人 | 0.25 | 0.225 | 54.0 | |
| | $^{131}I$、$^{177}Lu$ 门诊检查 | 8L/人·次<br>2 次/人·天 | 3 人 | 0.048 | 0.043 | 10.37 | |
| | 清洁用水 | 0.1L/$m^2$·次 | 约 860$m^2$ | 0.086 | 0.077 | 28.25 | |
| | 小计 | | | 0.784 | 0.705 | 224.01 | |
| | 未预见水量按以上水量的 10%计 | | | 0.078 | 0.07 | 25.55 | |
| | 合计（1） | | | **0.862** | **0.775** | **249.57** | |
| 其他放射性废水收集区域 | $^{68}Ga$、$^{18}F$、$^{99m}Tc$ 门诊检查 | 8L/人·次<br>2 次/人·天 | 37 人/d | 0.592 | 0.533 | 127.92 | 经 2#衰变处理设施处理达标后排入医院污水处理站。 |
| | 未预见水量按以上水量的 10%计 | | | 0.059 | 0.053 | 12.72 | |
| | 合计（2） | | | **0.651** | **0.586** | **140.64** | |
| 总计 | | | | **1.513** | **1.361** | **390.21** | |

备注：用水定额部分参考《建筑给水排水设计规范》（GB50015-2003，2009 年修订）等；门诊检查病人按照 240d/a 计；周末护士不操作放射性药物，按 240d/a 计；其余按照 365d/a 计；排水系数取 0.9。

根据上表可知，核医学科放射性废水排放量为 1.361$m^3/d$，32.52$m^3/$月，390.21$m^3/a$。

**2）非放射性废水**

本项目主要产生的非放射性废水主要来源于核医学科医务人员、病人（等候未用放射性药物时产生）及家属产生，属于一般医疗废水和生活污水。项目核医学科位于门诊病房综合楼内，这些就诊人员、医院工作人员的废水产生量已纳入整个医院用排水考虑，本报告不再单独核算。该部分废水直接进入医院的污水收集处理系统处置。

**（4）固体废物**

**1）放射性固体废物**

核医学科利用 $^{18}F$、$^{131}I$、$^{68}Ga$、$^{99m}Tc$、$^{177}Lu$ 放射性同位素进行显像诊断，利用 $^{131}I$、$^{177}Lu$、$^{32}P$、$^{89}Sr$、$^{153}Sm$、$^{223}Ra$ 放射性同位素进行治疗。

放射性废物（棉球、注射器、针头等）：核医学科含 $^{18}F$、$^{131}I$（甲吸）放射性药物需分装，产生的放射性固体废物包括棉球、空药瓶、注射器、针头等，其产生量大约为 5.0kg/a。分装注射室的注射区将进行含 $^{18}F$、$^{68}Ga$、$^{99m}Tc$、$^{131}I$、$^{177}Lu$、$^{32}P$、$^{89}Sr$、$^{153}Sm$、

$^{223}$Ra 放射性药物的给药，给药方式为注射，产生的放射性固体废物包括：一次性注射器、针头、手套、棉签等，产生量约 50g/人·次。服药室将进行含 $^{131}$I 放射性药物的给药，给药方式为口服，产生的放射性固体废物包括：一次性纸杯、纸巾，产生量约 10g/人·次。核医学科住院病人产生的放射性固废主要包括：可能沾染放射性药物的餐盒、纸巾等，产生量约 1kg/人。

废活性炭：核医学科放射性废气处理系统采用活性炭吸附，活性炭 3~6 个月更换一次，核医学科废气处理的活性炭吸附设施共 12 个（3 台手套箱各 1 个，9 套管网各 1 个），每次装填的活性炭滤网重约 100kg，则废活性炭产生约 400kg/a（按每 3 月更换一次）。

住院区可能沾染放射性药物的被服（血液、汗液、尿液等沾染），约 3kg/人，待其在被服衰减室内衰减达到清洁解控水平后，清洗消毒处理后再利用。

核医学科实行预约制，非正常情况下少量未用完的放射性药物，短半衰期的直接在手套箱内衰变后到衰变室暂存，达到要求后作为一般医疗废物处理，长半衰期的交生产厂家回收处置。

根据前述分析，核医学科放射性固废产生情况见表 9-10。

**表 9-10　核医学科放射性固体废物产生量统计表**

| 产生来源 | 污染物种类 | 产污系数 | 数量 | 产生量 | 处理方式 |
|---|---|---|---|---|---|
| 药物分装 | 一次性注射器、针头、棉签等 | / | / | 5kg/a | 每天分类收集在废物间，打包后分类暂存在核医学衰变室内衰变处理，达到衰变时间后并经监测合格后作为一般医疗废物交有医疗废物处置资质的单位处置。 |
| 给药 | 一次性注射器、针头、手套、棉签等 | 50g/人·次 | （3800+4956）人·次/a | 438kg/a | |
| 服碘 | 一次性纸杯 | 10g/人·次 | (600+480+192)人·次/a | 13kg/a | |
| 住院 | 纸巾、餐盒等 | 1kg/人 | （192+12）人·次/a | 204kg/a | |
| | 可能沾染放射性药物的被服 | 3kg/人·次 | （192+12）人·次/a | 612kg/a | 暂存在核医学科被服衰减室衰减，达到清洁解控水平后，再进行清洗消毒处理和再利用 |
| 给药 | 未用完的放射性药物 | / | 微量 | / | 短半衰期的暂存后作为放射性固废衰变处置，长半衰期的交生产厂家回收处置。 |
| 放射性废气处理 | 废活性炭 | 100kg/次 | 4 次/a | 400kg/a | 暂存在废物室内，按照要求时间衰变后监测合格后作为一般医疗垃圾处置 |
| / | / | / | / | 1060kg/a | / |
| 备注：经处理后回用或交生产商回收的药物等不计入废物总量。 | | | | | |

核医学放射性药物操作产生的放射性固体废物拟按核素类别和日期分别收集后暂存于放射性废物桶，并转运至衰变室暂存，所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天，所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍；含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。达到暂存时间后经监测合格后按一般医疗废物处理。

住院病房被服仅供核医学科住院患者使用，不与医院其他病房区被服混用和清洗。病人使用后的被服暂存在核医学科病房区被服衰减室，达到清洁解控水平后，再进行清洗消毒处理，而后再利用。

**2）非放射性固体废物**

核医学科配置的铅防护用品使用一定年限后屏蔽能力减弱，不能达到原有使用功能后成为报废铅防护用品，按有关规定由医院收集后妥善保存。

核医学科位于门诊病房综合楼内，核医学科运行产生的非放射性医疗废物和生活垃圾较少，本报告不再单独核算。非放射性固体废物依托医院的固体废物收运系统，医疗废物运至本层医疗废物暂存间暂存，而后运至本建筑-2F 下沉层的总医疗废物暂存间，再交有资质的单位处理，一般生活垃圾则交环卫部门处理。

## 9.3 放疗科污染工序及污染物产生情况

### 9.3.1 CT 模拟定位机工艺流程及污染环节

**（1）设备组成**

项目放疗科拟配置的 CT 模拟定位机主要由扫描床、扫描架、高压发生器、控制台、计算机系统和激光定位系统等组成。

典型 CT 模拟定位机见图 9-13，其主要结构见图 9-14。

**图 9-13　典型 CT 模拟定位机（示例图）**

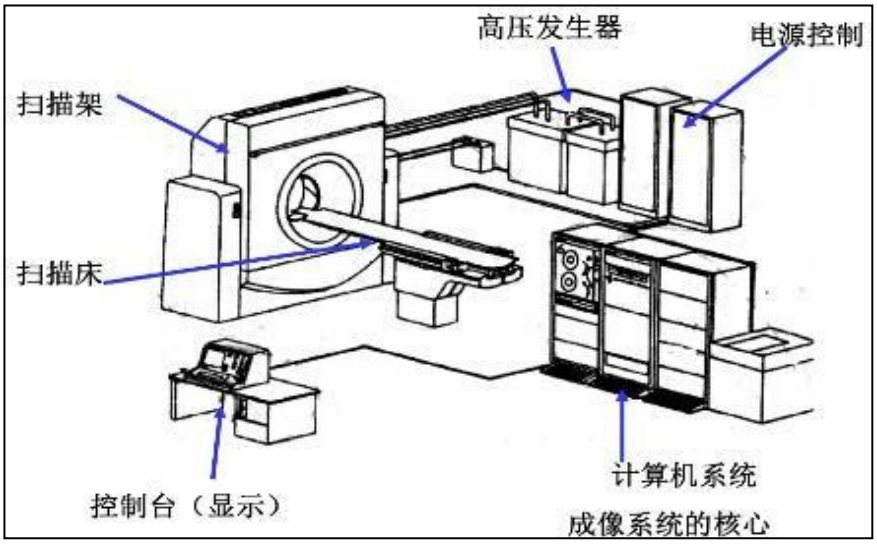



**图 9-14　CT 模拟定位机主要组成结构示意图**

**（2）设备参数**

医院拟配置的 CT 模拟定位机主要性能指标见表 9-11。

**表 9-11　CT 模拟定位机设备参数**

| | |
|---|---|
| 设备名称 | CT 模拟定位机 |
| 型号 | 待定 |
| 射线装置类别 | III类射线装置 |
| 主要技术参数 | 最大管电压：140kV，最大管电流：500mA |

**（3）工作原理**

CT 模拟机可以看作是诊断性 CT 机与传统模拟定位机的有机结合。CT 模拟机不仅

可以像诊断性 CT 机一样为治疗计划系统提供高质量的横断面 CT 影像资料，帮助临床医生精确勾画出肿瘤靶区及危险器官的轮廓，进而帮助计算机计划系统进行组织不均匀性校正，提高剂量计算的准确性。还能够借助复杂的计算机软件，将计划设计的照射野三维空间分布结果重叠在 CT 重建的病人解剖资料之上，在相应的激光定位系统的辅助下，实现对治疗条件的虚拟模拟。

**（4）工艺流程及产污环节**

CT 模拟定位机工作流程及产污环节见图 9-15 所示。

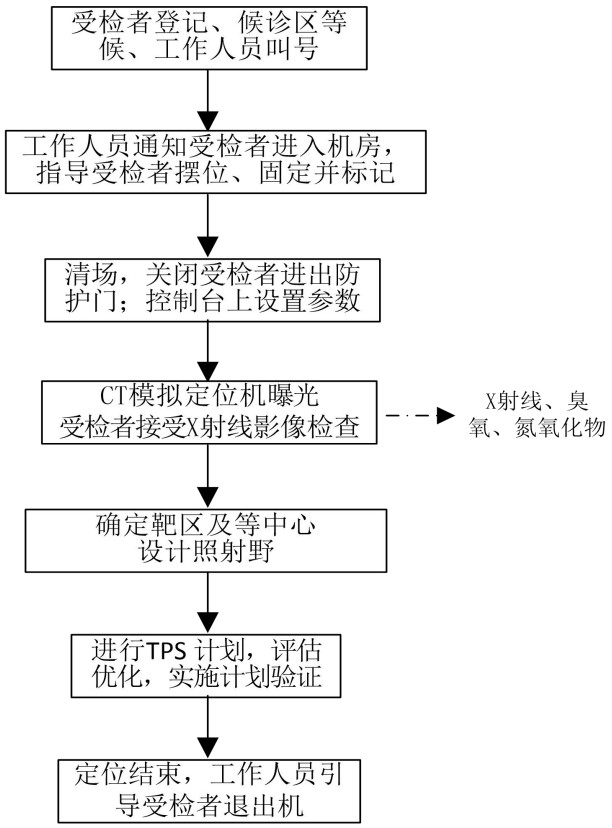



**图 9-15　CT 模拟定位机工作流程及产污环节示意图**

CT 模拟定位机工作流程如下：

①患者在候诊区等候，做相应准备工作，等待工作人员叫号。

②工作人员通知患者进入机房，为受检者摆位、固定并标记受检者。

③工作人员退出机房回到控制室设置参数并曝光，图像传至物理师办公室，确定初始坐标系统，确定靶区及等中心。工作人员根据等中心坐标标记受检者及固定装置，勾选出关键器官与靶区，设计照射野。

④将受检者材料数据传至 TPS 进行剂量计算。工作人员对 TPS 计划进行评估优化，

实施计划验证（检查体位和射野设置、设备几何参数和靶区）。

⑤定位结束，工作人员引导受检者退出机房。

**（5）工作负荷**

放疗科配置的 CT 模拟定位仅供医用电子直线加速器、后装机治疗前的肿瘤定位。患者每个治疗疗程开始前均需进行 CT 模拟定位，则 CT 模拟定位机年接待约 6000 人次，单个患者 CT 模拟定位扫描时间不超过 2min，则全年有效开机时间不超过 200h。

### 9.3.2 直线加速器污染工序及污染环节

**（1）设备基本情况**

本项目拟配置 2 台 15MV 的医用电子直线加速器。直线加速器主要由操作控制台、控制台电子柜、调制柜、机架、治疗头、治疗床等几大物理部件组成。

用于放射治疗的 X 射线是从直线加速器治疗头产生的，治疗头是加速器最终用于治疗的射束的形成部位。治疗头提供射束修整、定位、屏蔽、监测等功能，其基本结构包括偏转系统、X 线靶、均整器、电子散射箔和准直器。散射器常安装在均整器旋转托盘上，还有光野灯、源皮距标尺灯、电离室和联锁装置等。

加速器设备外观见图 9-16，加速器治疗头结构见图 9-17 所示。

**图 9-16　医用电子直线加速器设备外观图（示例）**

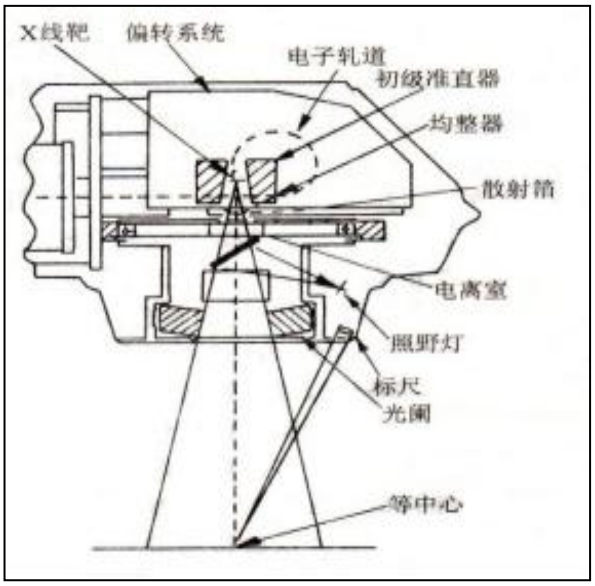



**图 9-17　直线加速器治疗头的结构图**

**（2）设备参数**

根据建设单位提供资料，医用电子直线加速器的主要技术指标见表 9-12。

**表 9-12　加速器主要技术指标表**

| 项目 | 指 标 |
|---|---|
| 射线类型 | X 射线、电子线 |
| 标称能量 | X 射线：15MV，电子线：20MeV |
| 焦点至等中心点高度（$L_A$） | 100cm |
| 射线束最大张角（散射角） | 28° |
| 照射方式 | 具有等中心旋转系统之固定束治疗和移动束治疗的间歇加载连续运行式 |
| 最大照射野 | 40cm×40cm |
| 等中心处最大剂量率 | 普通模式 600cGy/min，FFF 模式 2400cGy/min |
| 等中心点至机房地平的高度 | 1.35m |
| 机架旋转 | ±180° |
| 机架旋转速度 | 0rpm～1.0rpm |
| X 射线泄漏率 | ≤0.1% 主线束 |
| 靶材料 | 钨合金 |

**（3）工作原理**

三相电压经升压、整流和滤波成直流高压，对调制器中的脉冲形成网络（PFN）充

电，经氢闸流管后输入到脉冲变压器；同时另一高压通过直流变压器产生 5kV～10kV 直流高压，供给电子枪发射电子，电子枪产生的电子由微波加速波导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子束由电子窗口射出，经调制、准直后射向患者病灶，或者通过 2cm 左右的空气射到金属钨靶，产生大量高能 X 射线，其最大能量为电子束的最大能量，经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的 X 线束，再通过监测电离室和二次准直器限束，最后达到患者病灶实现治疗目的。医用电子直线加速器既可以利用电子束对患者病灶进行照射，也可利用 X 线束对患者病灶进行照射，杀死肿瘤细胞。

**（4）操作流程及产污环**

待加速器治疗的肿瘤患者需先使用 CT 机对病患靶区部位进行定位，制定治疗计划，进而确定治疗方案，最终进行加速器照射治疗。

本项目直线加速器治疗主要工作流程见图 9-18 所示。

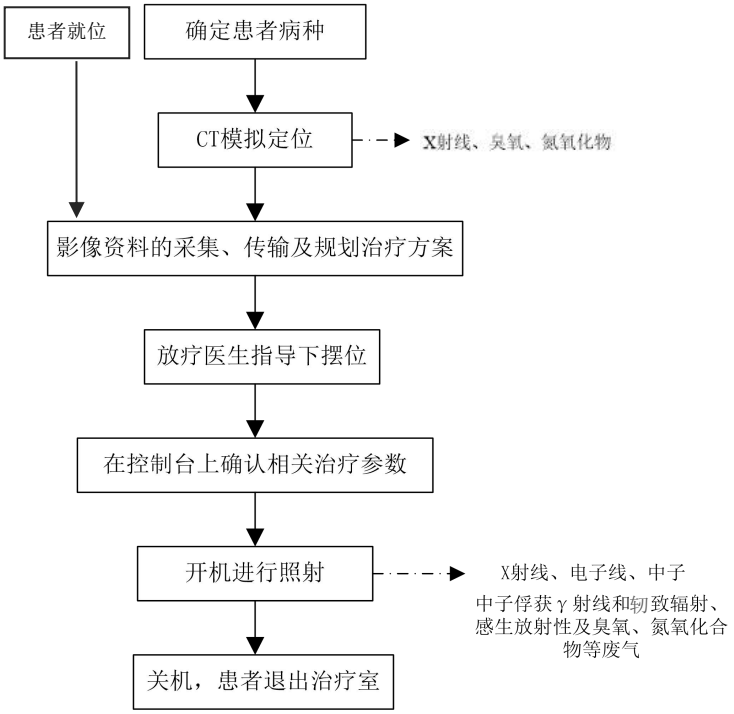



**图 9-18　医用电子直线加速器治疗工艺流程示意图**

加速器治疗流程具体如下：

A、进行定位。先对患者体位进行固定，通过 CT 模拟定位机对病变部位进行详细检查，然后确定照射的方向、角度和视野大小，拍片定位。

B、制订治疗计划。根据患者疾病的性质、部位和大小确定照射剂量和照射时间。

C、摆位。在利用医用电子直线加速器进行治疗前需对患者进行定位，标记，调整照射角度及射野。

D、确认治疗参数工作人员退出机房，回到控制室输入治疗参数。

E、开机治疗。

F、照射结束，工作人员解除体位固定器，引导患者退出机房。

**（5）工作负荷**

本项目单台直线加速器治疗工作量为 12480 人次/a。放疗科年工作 52 周，每周 5 天，单台设备每天最多治疗 48 人次/d·台，平均每人次每野次治疗剂量为 2.0Gy，平均每人次治疗照射 3 野次，则单台设备周工作负荷 W=48×5×2.0×3=1440Gy/W。

直线加速器常规治疗为 6Gy/min，平均每人次患者治疗照射时间约为 1.0min，则单台设备周有效出束时间为 4.0h/W·台，单台设备年有效出束时间为 208h/a·台。

**9.3.3 后装机污染工序及污染环节**

**（1）设备组成**

放疗科拟配置 1 台后装机，使用 1 枚 $^{192}Ir$ 密封放射源，初始活度为 $3.7\times10^{11}Bq$，属于III类放射源。后装治疗是指治疗时先将不带放射源的治疗容器（施源器）置于治疗部位，然后在安全防护条件下用遥控装置将放射源通过导管送到已安装在患者体腔内的施源器内进行放射治疗，由于放射源是后来装上去的，故称之为“后装”。后装机主要由后装主机、近距离治疗计划系统、安全系统组成。后装机见图 9-19。

**图 9-19　后装机实物照片（示例）**

①后装主机主要包括放射源、储源罐、施源器、驱动器等。

$^{192}Ir$ 密封放射源装于机头源罐内，源罐由外而内分别为不锈钢外壳、铅防护、钨防

护（拟建项目为钨镍合金）。$^{192}Ir$ 密封放射源结构见图 9-20，典型 $^{192}Ir$ 密封放射源源罐结构示意图见图 9-21 所示。

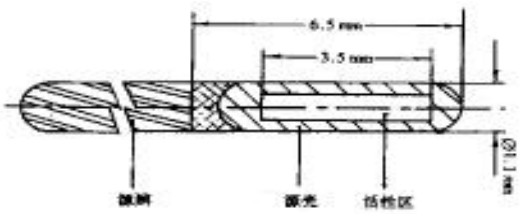



**图 9-20　$^{192}Ir$ 源结构示意图**

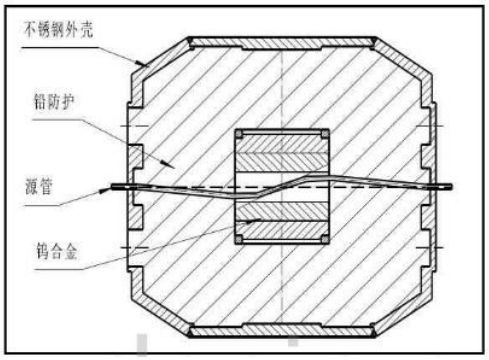



**图 9-21　典型 $^{192}Ir$ 源罐结构示意图**

主机内设置分度头，分度头可以连接多个输源管或施源器，虽然机内只安装 1 枚放射源，但可通过分度头的引导控制，放射源可依次通过相应管道到达治疗区，按照计划实施治疗。

②计划系统主要由硬件（计算机、效字化仪、打印机、绘图仪、摄像机）和软件（操作系统、治疗计划系统软件）组成。

③安全系统主要有各种联锁系统、安全报警系统等，具体情况见表 10 相关内容。

**（2）设备参数**

根据医院提供资料，后装机主要技术指标见表 9-13。

**表 9-13　后装机主要技术指标表**

| 项目 | 技术指标 | 备注 |
|---|---|---|
| 放射源 | $^{192}Ir$ | 铱 192 |
| 最大装源活度 | $3.7\times10^{11}Bq$ | 10Ci |
| 插植管道内直径 | Φ1.4mm | / |
| 最大送源距离 | 1400mm | 适应放射治疗所需大的空间 |
| 源重复到位精度 | ±1mm | / |
| 送源、退源最大时间 | ≤5s | / |
| 每个驻留点的驻留时间 | 0~1500s | 能使用低活度放射源 |
| 升降距离 | >230mm | / |
| 储源罐 | 泄漏量为距源罐表面 1 米处<5μGy/h | / |

**（3）工作原理**

后装机使用 $^{192}Ir$ 密封放射源，属近距离放射治疗。它是将密封放射源置于病灶附近，

提高局部剂量，利用γ射线的生物效应对肿瘤进行治疗。这种方式可用于治疗人体内各种腔道周围的肿瘤，因所选取的核素的射线能量较低，并以射线的距离衰减效应减少正常组织的损伤，同时也减少了操作人员接受的辐射剂量。

后装治疗从传统的妇科领域扩展到能对人体各部位多肿瘤的治疗，尤其是鼻咽、支气管、肺癌、食道癌、直肠、膀胱、前列腺、胰腺、胆管、脑部等。

**（4）工作流程及产污环节**

**①后装机治疗流程及产污环节**

本项目后装治疗主要工作流程见图 9-22 所示。

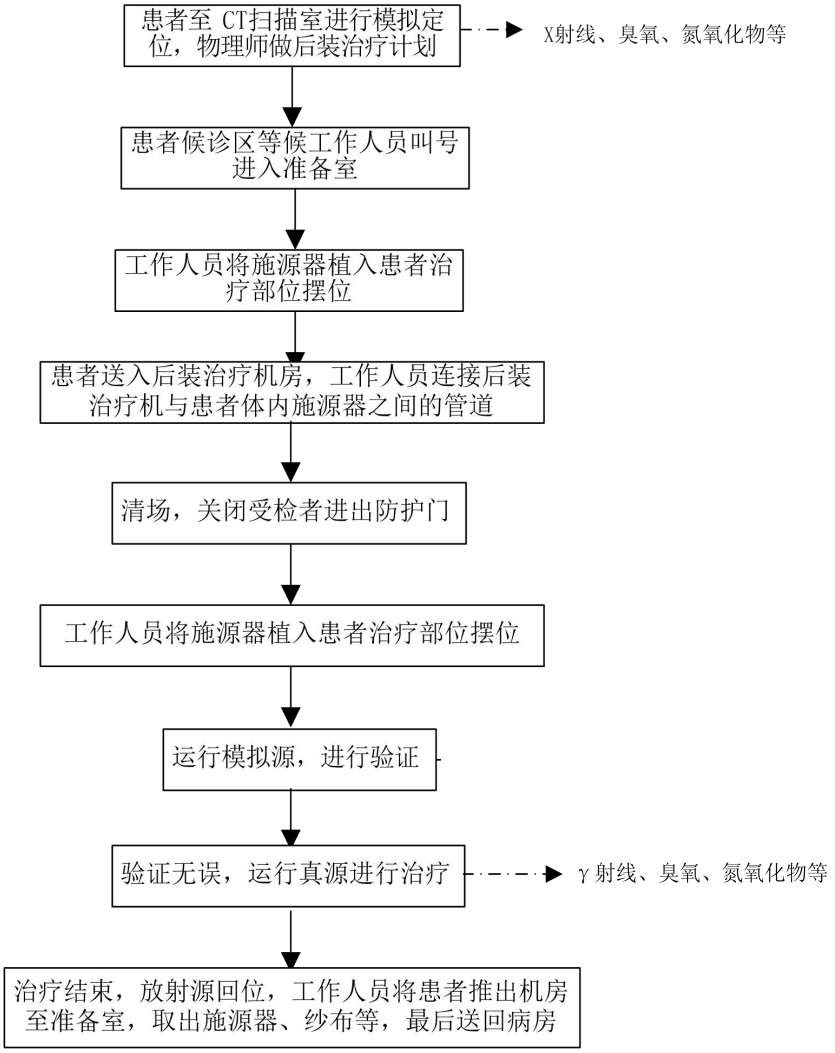



**图9-22　后装机工作流程及产污环节**

后装机治疗流程如下：

A、工作人员将患者送入 CT 模拟定位机机房进行定位扫描。根据扫描结果，物理

师做后装治疗计划，医生评估合格后执行后装治疗；

B、患者排队等候叫号进入准备室进行准备；

C、患者躺到转运病床上，工作人员对患者进行消毒，将施源器植入患者治疗部位；

D、患者送入后装机机房，工作人员连接后装机与患者体内施源器之间的管道，连接完毕后工作人员退出机房，通过视频观察后装机治疗室，关闭治疗室防护门。

E、工作人员在控制室通过计算机遥控，先运行模拟源 3 次，经验证无误后，再运行“真源”进行治疗。

F、治疗结束后，工作人员通过计算机遥控将放射源抽回钨合金储存罐。工作人员进入机房将患者推出机房至准备室，取出施源器和纱布等，最后送回病房。

后装治疗过程中，将病人转移至后装机机房内，调整后装机位置，接好后装机施源管，工作人员离开后装机治疗室，并关闭防护门。该过程一般不超过 2min。

治疗过程首先是走假源 3 次，无故障后开始走真源进行放射治疗，治疗结束后真源自动复位。此过程一般不超过 30min，其中真源出源时间不超过 8min。

工作人员打开防护门，进入治疗室，拆除施源管，将病人移出后装机治疗室。该过程一般不超过为2min。

整个治疗过程全程可视觉监控，在整个治疗过程中病人也不需要移动，保证了治疗靶区与定位靶区的一致性。

**②放射源运输、初装源、换装源**

本项目后装机使用的 $^{192}Ir$ 密封放射源运输及初装源、换装源工作均由有相应资质的专业公司进行，医院提供完成这些工作必备的工作场所、必要的安保协助和与之应急预案的联动，医院工作人员不参与运输、装源工作。

**初装源、换装源：**后装机初装源流程与换装源中的装源流程一致。后装机倒装源流程如下：

取源流程：专业公司的放射源倒装人员持证上岗，进入机房前需穿戴防护衣佩带辐射监测仪器，对设备进行初步检查，在机房内将专用换源施源导管一端连接到后装机机头出源口，另一端接入厂家换源器，打开设备保险，退出机房，关闭防护门后在控制室操作台上将旧源输出，后装机按程序自动将废源送入厂家换源器的储源位，待治疗室内本底剂量达到安全值后，倒源人员开启防护门进入治疗室内，操作换源器上的钢丝锁紧装置，并在后装机机头上释放废源钢丝另一端（不带放射源端）的锁紧机构，再将不带

源的钢丝一端从机头中取出放置换源器中并密封后将装有废源的换源器放置在机房内保险柜内。

装源流程：将装有新源的厂家换源器移入机房，将换源器中不带源的钢丝一端通过装源导管插入后装机机头中，随后锁紧机头中的钢丝端头，开启装有新源的换源器锁紧装置，倒装人员退出机房，关闭防护门后在控制操作台上执行装源程序，机房内后装机按程序自动将新源收入机头铅罐的储源位，待剂量恢复至安全水平以下倒装人员开启防护门进入机房，再用辐射监测仪器确定新源到达指定位置，至此，新源倒装完毕。

后装机初装源过程一般不超过 10min；换装源过程一般不超过 20min。放射源安装和换源过程，医院工作人员均在控制室内，全程不进入后装机机房。

**（5）工作负荷**

根据医院提供资料，预计放疗科后装机治疗的最大工作量约 2600 人次/年，年工作 52 周，每周 5 个工作日，每天接受治疗的患者为 10 人次。后装机单次治疗时间约 4～8min，则后装机放射源有效出源时间约 6.67h/周，346.67h/a。

**9.3.4 放疗科人流物流**

**（1）放疗科医护人员路径**

放疗科医护人员从中间电梯出来后往东侧到达放疗科，根据工作内容从直线加速器机房防护门、后装机机房防护门、CT 模拟定位机控制室与机房之间的防护门进入机房，再原路返回。

CT 模拟定位的就诊病人从机房南侧防护门进入机房，完成定位后出来；后装治疗病人先进入准备室准备，然后从机房防护门进入，然后出来；直线加速器治疗病人从防护门进入然后原路返回。

**（2）放疗科物流**

后装放射源的运输：含源铅罐由有资质专业单位按照向公安部门报备的路线将放射源运达医院后，装源车辆到达-2F 车库，专业公司的专业技术人员将含源铅罐卸下，从最近的电梯厅旁的入口进入放疗科，沿邻车库的过道、邻制模室和准备室过道到达后装机机房内。含源铅罐卸车/装车和单独运输时间（单次）约 5min。废源正常情况下由换源单位运走，特殊情况下通过放疗科走廊运输至后装机机房东侧的储源室暂存。

放疗科放射源的运输路径见附图六（1）所示。

### 9.3.5 放疗科污染源项描述

放疗科拟使用的放射性核素为 $^{192}Ir$。$^{192}Ir$ 是一种沉重的、脆的白色过渡金属，熔点 2443℃，比热 0.13J/kg，沸点 4428℃，蒸发热 604kJ/mol，导热系数 1.47W/cmK，密度 22.4g/cm$^3$（300K），熔化热 26.1KJ/mol。有金属光泽，在空气和水中稳定，对所有酸都呈惰性，但跟熔融的 NaOH 反应。$^{192}Ir$ 主要辐射特性见下表所示。

**表 9-14　$^{192}Ir$ 辐射特性表**

| 半衰期 | 衰变类型<br>分支比，% | 主要辐射能量（MeV）<br>与绝对强度（%）能量 | 物理<br>性状 | 空气比释动能率常数 $K_r$<br>μSv/（h·MBq） | 来源 |
|---|---|---|---|---|---|
| 73.827d | β⁻（95.13）<br>ε（4.87） | β射线：0.6751（48.0）<br>0.5388（41.43）<br>0.02587（5.6）<br>γ射线：0.6124621（5.34）<br>0.31650618（82.75） | 固态 | 0.111 | 外购 |

备注：空气比释动能率常数来自于 GBZ/T201.3-2014 的表 C.1，其余数据来源于《简明放射性同位素应用手册》（卢玉楷　主编）同位素表。

**（1）电离辐射**

**① X 射线**

**医用电子直线加速器：**加速器电子枪产生的电子经过加速后撞击金属靶产生高能 X 射线，其最大能量为 15MV，其贯穿能力极强。X 射线通过以下几种方式对外环境产生影响。

A 主射线：当加速器中光阑完全打开时，从辐射头靶射出的 X 射线为一个半角为（28/2）°的锥形线束，其标称能量为 15MV。主射线是唯一用于治疗目的的射线，又称有用线束。

B 漏射线：由靶向外从各个方向上穿过辐射头泄漏出来的射线成为漏射线，约为主射束的 1‰。

C 散射线：当主射线射入治疗台上的人体时，会产生散布于各个方向上的次级散射辐射，这种散射线能量比主射线能量低得多，剂量率决定于被照区域，初级射线能量和散射角度。

**CT 模拟定位机：**CT 模拟定位机产生 X 射线，在开机不曝光或不开机状态下均不产生 X 射线。X 射线能量在零和曝光管电压之间，为连续能谱分布，其穿透能力与 X 射线管的管电压和出口滤过有关。辐射场中的 X 射线包括有用线束、漏射线和散射线，

因有用线束被 CT 探测器阻挡，机房内以散射线为主。

A 有用线束：CT 模拟定位机额定电压 140kV，过滤板为 3mmAl。根据射线衰减原理和《辐射防护导论》附图 3，离靶 1 米处的发射率约为 11.8mGy·$m^2$/mA•min。

B 漏射线：由 X 射线管发射的透过 X 射线管组装体的射线。

C 散射线：由有用线束及漏射线在各种散射体（限束装置、受检者、射线接收装置及检查床、墙壁等）上散射产生的射线。一次散射或多次散射，其强度与 X 射线能量、X 射线机的输出量、散射体性质、散射角度、面积和距离等有关。

**② 电子线**

直线加速器在运行时产生的高能电子束，其最大能量为 20MeV。

**③ 中子**

加速器治疗机头外的杂散中子称为直接光中子，它来源于 X 射线中能量大于 10MeV 的光子与加速器的靶、准直器、均整器及电子束和光子束通道上的其他物质相互作用发生光核反应所产生的中子。直接光中子平均能量不超过 1MeV。直接光中子与加速器厅壁作用发生弹性散射和非弹性散射，散射中子的能量约为 0.24MeV。直接光中子和散射中子的平均能量约为 0.34MeV。

**④ γ射线**

**医用电子直线加速器：**中子经加速器迷道壁多次散射后，在入口处的平均能量约为 100keV。中子作用于物质时被俘获，同时生成γ射线，称为中子俘获γ射线，其平均能量为 3.6MeV（根据 GBZ/T201.2-2011 附录 C.2.2）。

**后装机：**后装机所使用的放射源是 $^{192}$Ir，衰变时发射出β和γ射线，β射线最大能量为 0.6751MeV，但β射线穿透力弱，直接被源罐屏蔽，评价不予考虑；γ射线最大能量为 0.6124621MeV，具有很强的贯穿能力，部分γ射线能穿透屏蔽材料对治疗室外环境构成辐射影响。另外，根据医院提供的设备参数，密封放射源在储源罐内时，γ射线的泄漏量在距源罐表面 1m 处<5μGy/h。

**初装源、倒装源：**后装机的放射源由有资质单位运输，初装源和倒装源均由有资质单位进行。在医院内部运输过程中放射源位于含源铅罐内，倒装在后装机机房内进行。此过程主要污染因子是泄漏γ射线对环境产生影响。

**⑤感生放射性**

**A：活化气体**

**续表 9　项目工程分析与源项**

根据《辐射防护手册》（第三分册）4.1.5，电子加速器工作时，电子与靶物质相互作用时产生轫致辐射（X 射线），这些轫致辐射又与直线加速器治疗室内物质相互作用产生中子，通常将这种反应成为（γ，n）反应。根据《辐射防护手册》（第三分册）4.4.1，在低能电子加速器上，感生放射性主要是通过（γ，n）反应引起的，而产生（γ，n）这种反应需要轫（同轫，下同）致辐射能量达到一定的阈能。查表 4.4 可知，与空气中物质产生核反应 $^{14}N$（γ，n）$^{13}N$ 的阈能为 10.5MeV，所产生核素 $^{13}N$ 的半衰期为 10min；核反应 $^{16}O(\gamma, n)^{15}O$ 的阈能为 15.7MeV，产生的核素 $^{15}O$ 的半衰期为 124s；核反应 $^{12}C(\gamma, n)^{11}C$ 的阈能为 18.17MeV，产生的核素 $^{11}C$ 的半衰期为 20.5min。

本项目电子能量最大 20MeV，可通过（γ，n）反应产生放射性核素 $^{13}N$、$^{15}O$、$^{11}C$；另外，加速器产生的中子发生热中子俘获会产生 $^{41}Ar$。

直线加速器机房设置了机械排风，含$^{13}N$、$^{15}O$、$^{11}C$和$^{41}Ar$的活化气体经排风系统引至直线加速器机房上方地面东侧绿化带排放。$^{13}N$、$^{15}O$、$^{11}C$的半衰期短，分别为10min、124s、20.5min；$^{41}Ar$半衰期109.34min，但空气中氩气含量仅为1.3%，故中子与空气中氩气发生$^{40}Ar$（n，r）$^{41}Ar$核反应产生$^{41}Ar$的机会极低，故$^{41}Ar$的产生量极少。根据Rawlinson等对机房内照射后48h的剂量当量率测量结果，与本底水平接近。因此，不存在明显的放射性活度长期聚集的问题。

**B：活化冷却水**

直线加速器运行期间产生的中子与水机组冷却水循环系统中的冷却水（去离子水）中的氧发生散裂反应。根据《辐射防护手册》（第三分册）4.4.1：冷却水中被活化而形成的放射性核素主要是$^{16}N$和$^{15}O$，均为短半衰期核素，半衰期分别为7.3s、124s，只需放置较短的时间就可衰减到可忽略的水平。

正常运行情况下，医用电子直线加速器的冷却水闭路循环不排放，仅在设备检修或发生冷却水泄漏事故时才需要排放，单次排放量不超过50L，该类废水桶装后暂存约30min后排入医院废水处理站处理。

**C：活化结构部件**

直线加速器的主要结构部件如靶、准直器、补偿过滤器等均为金属制品，加速器运行期时主要结构部件会被活化。根据 IAEA NO.188 号报告，20MeV 电子直线加速器结构部件主要活化产物主要有 $^{196}Au$（半衰期 6.18d）、$^{181}W$（半衰期 140d）、$^{185}W$（半衰期 75d）、$^{62}Cu$（半衰期 9.76min）、$^{64}Cu$（半衰期 12.8h）、$^{57}Ni$（半衰期 36.0h）等放

射性核素。项目电子线能量与其一致，活化产物一致。根据运行经验，活化结构部件一般 4~5 年更换一次，单台加速器活化结构部件（废靶、电离室等）约 6kg/次。这些废物直接交更换单位运走处置，不在医院内暂存。

**⑥放射性固废**

后装机内的密封源$^{192}$Ir使用一定时间后，由于活度降低，不能达到源使用目的时，报废、退役成为放射性废物，产生量约2枚/年，医院与售源厂家签订合同，换源时由生产厂家回收处理，一般不在医院暂存，特殊情况未能立即运走时暂存于放疗科储源室内。

**（2）非放射性“三废”**

**①废气**

**A：直线加速器**

直线加速器运行产生的 X 射线有很强的穿透力，能使周围物质电离、激发，与空气作用产生臭氧和氮氧化合物。根据文献《辐射所致臭氧的估算与分析》（王时进等，中华放射医学与防护杂志，1994 年 4 月第 14 卷第 2 期）中给出的扩展射线束所致 $O_3$ 产额的公式进行估算，其计算公式如下：

$$P = 2.43 \times D_O (1 - \cos\theta) RG \qquad (9\text{-}1)$$

式中：P：扩展射线束单位时间内产生的 $O_3$ 的总质量，mg/h；

$D_0$：距射线束源点 1m 处的空起比释动能率，Gy·m$^2$/min；

R：射线束中心轴上源点至治疗室墙壁的距离，m；

G：空气吸收 100eV 辐射能量产生的 $O_3$ 分子数，取值为 10；

θ：射线束的半张角，取值为 28°/2=14°。

同时，加速器屏蔽体外部非有用线束区域的漏射线所致臭氧产额为有用线束的 10%，因此，项目加速器机房臭氧产额考虑为上公式计算结果的 1.1 倍。

各参数的取值和计算结果见表 9-15。

**表 9-15 单台直线加速器的 $O_3$ 产额的计算参数和计算结果表**

| 机房 | $D_0$（Gy·m$^2$/min） | R（m） | G | θ（°） | P（mg/h） |
|---|---|---|---|---|---|
| 直线加速器机房 | 24 | 5.58 | 10 | 14 | 106.3 |

根据《三种电子加速器产生的臭氧危害分析》（中国辐射卫生 2020 年 6 月第 29 卷第 3 期），氮氧化物（主要为二氧化氮）产额考虑为 $O_3$ 产额的一半，则医用电子直线

加速器运行时，直线加速器机房机房氮氧化物产额为 53.2mg/h。

**B：后装机**

根据文献《辐射所致臭氧的估算与分析》（王时进等，中华放射医学与防护杂志，1994 年 4 月第 14 卷第 2 期）中给出的点状γ射线密封源所致 $O_3$ 产额的公式进行估算，其计算公式如下：

$$P = 3.02 \times A \times K_{\gamma} \times G \times V^{\frac{1}{3}} \qquad (9\text{-}2)$$

式中：A：放射源活度，TBq；

V：治疗室体积，$m^3$；

$K_{\gamma}$：放射源的空气比释动能率常数，$Gy \cdot m^2/min \cdot TBq$；

其余参数同公式 9.3-2。

考虑后装机机房墙壁的散射线使机房内的 $O_3$ 产额增加 10%，计算结果见表 9-16。

**表 9-16　放射源的 $O_3$ 产额的计算参数和计算结果**

| 放射源 | | A（TBq） | V（$m^3$） | $K_{\gamma}$（$Gy \cdot m^2/min \cdot TBq$） | G | P（mg/h） |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 后装机 | $^{192}Ir$ | 0.37 | 126.6 | $1.85 \times 10^{-3}$ | 10 | 0.11 |

氮氧化物（主要为二氧化氮）产额考虑为 $O_3$ 产额的一半，则后装机时室内氮氧化物产额为 0.06mg/h。

**C：模拟定位机**

模拟定位机运行产生的 X 射线与空气作用，产生少量的臭氧和氮氧化物等废气，经放疗科排风系统一起收集后在加速器机房顶地面东侧绿化带排放。

**②废水**

放疗科医护人员、病人等产生医疗废水、生活污水进入医院污水处理站处理。

该部分废水已经在《重庆医科大学附属永川医院新区分院项目环境影响报告书》中进行了核算，本报告不再单独核算。

**③固废**

放疗科配置的铅防护用品使用一定年限后屏蔽能力减弱，不能达到原有使用功能后成为报废铅防护用品，按有关规定由医院收集后妥善保存。

拟建项目产生的医疗废物依托医院的收运系统运至医疗废物暂存间暂存，而后交有资质的单位处理，一般生活垃圾依托医院的收运系统运至生活垃圾暂存间，再交环卫部

门处理。

## 9.4 介入中心

### 9.4.1 DSA 设备组成

血管造影机系统组成：Gantry，俗称“机架”或“C 型臂”，由“L”臂、PIVOT、“C”臂组成，同时还包括了数字平板探测器、球管、束光器等部件；专业手术床；Atlas 机柜，该机柜由 DL、RTAC、JEDI 构成；球管和数字平板探测器分别通过各自的水冷机控制温度；图像处理系统。该项目设备采用平板探测器（FD）技术成像：FD 技术可以即时采集到患者图像，对图像进行后期处理，轻松保存和传送图像。

DSA 典型照片见图 9-27。

**图9-27　DSA示例照片**

### 9.4.2 DSA 工作原理

DSA 的基本原理是先后将没有注入造影剂和注入造影剂后通过人体 X 线信号进行成像，分别经影像增强器增益后，再用高分辨率的电视摄像管扫描，将图像分割成许多的小方格，做成矩阵化，形成由小方格中的像素所组成的视频图像，经对数增幅和模/数转换为不同数值的数字，形成数字图像并分别存储起来，然后输入电子计算机处理并将两幅图像的数字信息相减，获得的不同数值的差值信号，再经对比度增强和数/模转换成普通的模拟信号，获得了去除骨骼、肌肉和其它软组织，只留下单纯血管影像的减影图像，通过显示器显示出来。通过 DSA 处理的图像，使血管的影像更为清晰，在进行介入手术时更为安全。

DSA 工作示意图见图 9-28。

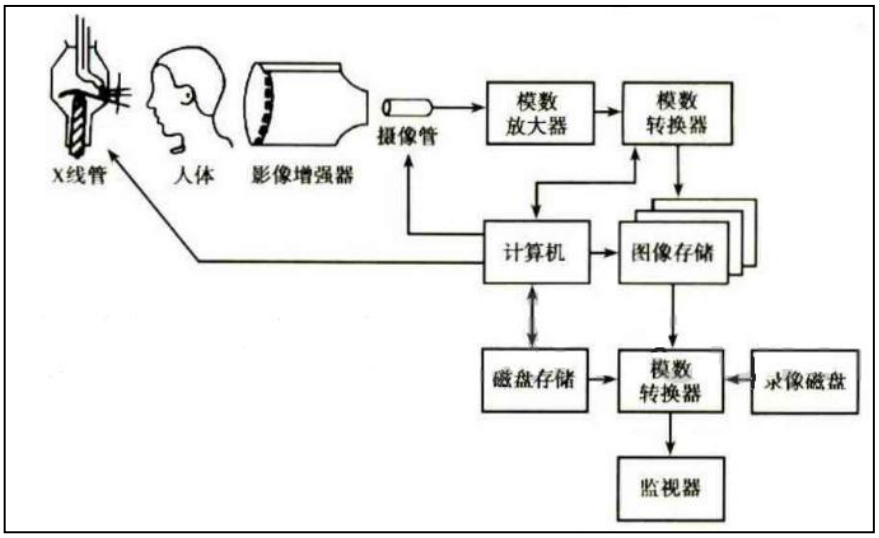



**图 9-28　DSA 工作示意图**

### 9.4.3 操作流程

医护人员用推车将患者送入手术室，引导其躺在手术床上，注入造影剂（不含放射性），工作人员选择病人所需照射部位，调整 DSA 机架和照射野，手术医生和助手穿戴好防护用品后，按手术要求，在医学影像诊断系统的监视和引导下，经皮针穿刺或引入导管做抽吸注射，引流或对管腔、血管等做成型、灌注、栓塞等操作完成相应的手术。在手术过程中，介入手术医生必须在床旁并在 X 射线导视下进行操作。

DSA 在进行曝光时分为两种情况：

第一种情况，采集（摄影）。采集包括电影和减影两种模式，根据手术方案，采集次数不同。一般情况下，电影模式下是医生在 DSA 机房内移动铅屏风后由手术医生直接采集；在减影模式下则采取隔室操作的方式（即 DSA 技师在控制室内对病人进行曝光），医生在控制室内通过铅玻璃观察窗和操作台观察机房内病人情况。无论哪种工作模式，医生在 DSA 机房内必须身着铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护手套等个人防护用品。

第二种情况，透视。病人进行介入手术治疗时，为更清楚的了解病人情况时会有连续曝光，并采用连续脉冲透视，此时介入手术医生位于铅悬挂防护屏、铅防护吊帘、床侧防护帘、床侧防护屏等辅助防护设施后身着铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护手套等个人防护用品在 DSA 机房内对病人进行直接的介入手术操作。

DSA 治疗流程及产污环节见下图所示：

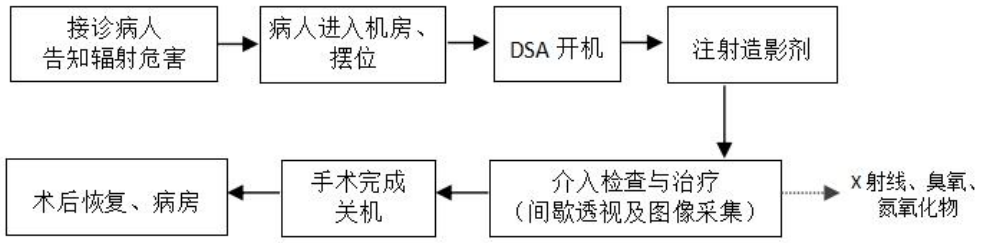



**图 9-29　DSA 操作流程及产污环节图**

### 9.4.4 工作负荷

根据医院提供的资料，DSA1～DSA4 分别以心脏介入、神经介入、外周血管介入、非血管介入为主，并兼顾非主要类型的介入手术。

项目介入手术工作负荷情况见表 9-17 和表 9-18。

**表 9-17　DSA 介入手术有效开机时间表**

| 手术类别 | 单台手术透视曝光时间 | 单台手术采集曝光时间 | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 单次采集时间 | 单台手术采集次数 | 单台手术采集曝光时间 |
| 心脏介入 | 约 20min | 3～4s | 6～10 次 | 约 0.7min |
| 神经介入 | 约 21 min | 6～10s | 4～10 次 | 约 1.7min |
| 外周血管介入<br>非血管介入 | 约 21 min | 3～8s | 7～15 次 | 约 2min |

**表 9-18　介入中心 DSA 工作负荷表**

| A 设备 | 机房 | 介入手术量（台/a） | | | | | 年曝光时间（h/a） | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 心脏介入 | 神经介入 | 外周血管介入 | 非血管介入 | 小计 | 透视 | 采集（摄影） | 合计 |
| DSA1 | DSA1 | 1700 | 100 | 100 | 100 | 2000 | **671.7** | **29.3** | **701.0** |
| DSA2 | DSA2 | 100 | 700 | 100 | 100 | 1000 | **348.3** | **27.7** | **376.0** |
| DSA3 | DSA3 | 100 | 100 | 1500 | 100 | 1800 | **628.3** | **57.3** | **685.6** |
| DSA4 | DSA4 | 100 | 100 | 100 | 700 | 1000 | **348.3** | **30.7** | **379.0** |
| **小计** | / | 2000 | 1000 | 1800 | 1000 | 5800 | **1996.6** | **145.0** | **2141.6** |

| B 手术类型 | 心脏介入 | 神经介入 | 外周血管介入 | 非血管介入 | 小计 |
|---|---|---|---|---|---|
| 手术数量（台/a） | **2000** | **1000** | **1800** | **1000** | **5800** |
| 透视时间（h/a） | **666.6** | **350.0** | **630.0** | **350.0** | **1996.6** |
| 摄影时间（h/a） | **23.3** | **28.3** | **60.0** | **33.3** | **145.0** |
| 总时间（h/a） | **690.0** | **378.3** | **690.0** | **383.3** | **2141.6** |

### 9.4.5 人流物流路径

介入中心人流物流走向示意图见下图所示。

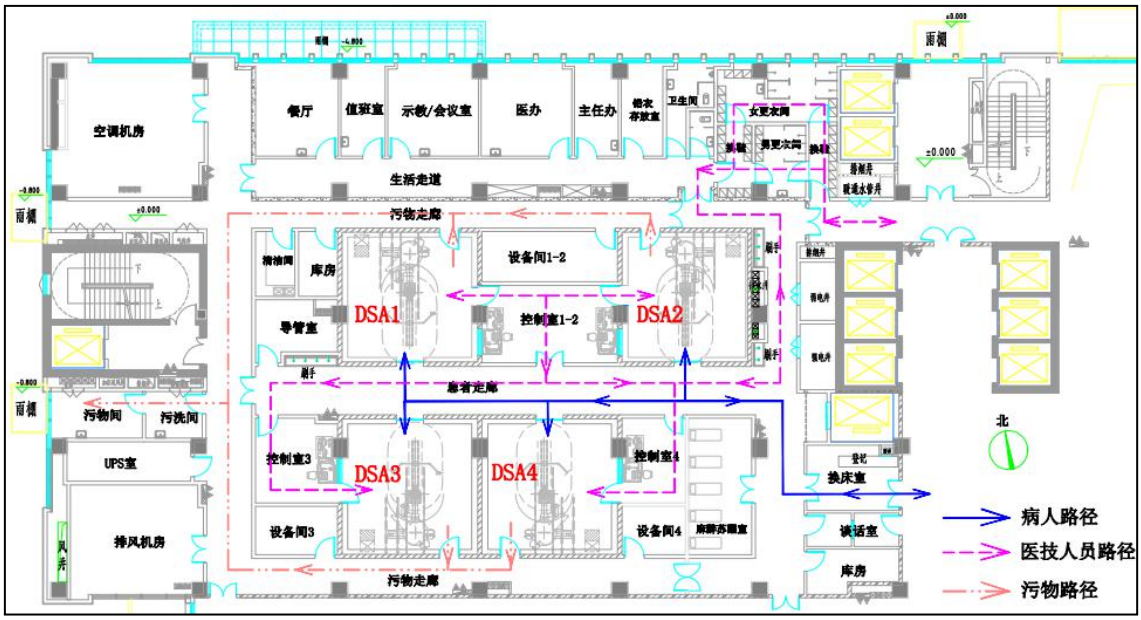



**图 9-30　介入中心人流物流走向示意图**

介入中心人流路径：手术病人由介入中心东侧直接进入换床区换床，然后进入患者走廊的直接进入各DSA机房，手术结束后原路返回，其中还需要在返回路径的麻醉苏醒室停留后再离开；手术医护人员、技师在介入中心生活区换鞋更衣后进入手术区，沿DSA2机房绕行至患者走廊，再进入控制室，手术医护人员通过控制室进入各DSA机房。介入中心物流路径：手术结束后，手术过程中产生的医疗废物通过各 DSA 机房朝向污物走廊的防护门进入污物走廊，再进入介入中心西侧的污物暂存间，之后再通过相邻的污梯送入医院-2F 下沉层的医院医疗废物暂存间。

### 9.4.6 污染源项描述

**①电离辐射**

根据本项目 DSA 介入工作流程，DSA 与电离辐射危害有关的辐射安全环节主要为 X 射线球管出束照射患者期间，它产生的 X 射线能量在零和曝光电压之间，为连续能谱分布，其穿透能力与 X 射线管的管电压和出口滤过有关。辐射场中的 X 射线包括有用线束、漏射线和散射线。

**A 有用线束：**直接由 X 射线球管产生的电子通过打靶获得 X 射线并通过辐射窗口用来照射人体，形成诊断影像的射线。其射线能量、强度与 X 射线管靶物质、管电压、

管电流有关。靶物质原子序数，加在 X 射线管的管电压、管电流越高，光子束流越强。由于本项目 X 射线能量较低，不必考虑感生放射性问题。

DSA 具有自动照射量控制调节功能（AEC），采集时，如果受检者体型偏瘦，功率自动降低，照射量减小；如果受检者体型较胖，功率自动增强，照射量率增大。为了防止球管烧毁并延长其使用寿命，实际使用时，管电压和管电流通常留有约 30%的裕量。根据医院资料提供资料并调查根据调查重庆市多家医院 DSA 的设备工作条件中发现，①在极端情况下，本项目 DSA 透视工况运行最大管电压 150kV 时，电流自动跟随电压，电流不大于 110mA；在极端情况下，本项目 DSA 采集工况运行最大管电压 150kV 时，电流自动跟随电压，电流不大于 500mA。②常用透视工况为 60～90kV/5～20mA，采集工况为 60～90kV/300～500mA。

根据射线衰减原理和《辐射防护导论》附图 3，本项目 DSA 过滤板为 3mmAl，额定电压 150kV 时，离靶 1 米处的发射率约为 13.4mGy•$m^2$/mA•min；工作电压 90kV 时，离靶 1 米处的发射率约为 5.3mGy•$m^2$/mA•min。

**B 漏射线：**由 X 射线管发射的透过 X 射线管组装体的射线。根据 NCRP147 号报告第 138 页 C.2 可知，DSA 的漏射线剂量率很小，泄漏辐射距焦点 1m 处，在任一 100$cm^2$ 区域内的平均空气比释动能不超过 1mGy/h。

**C 散射线：**由有用线束及漏射线在各种散射体（限束装置、受检者、射线接收装置及检查床、墙壁等）上散射产生的射线。一次散射或多次散射，其强度与 X 射线能量、X 射线机的输出量、散射体性质、散射角度、面积和距离等有关。

**② 废气**

X 射线与空气作用，可以使气体分子或原子电离、激发，产生臭氧和氮氧化物，影响室内空气质量。臭氧和氮氧化物是一种对人体健康有害的气体。根据《X 射线工作场所臭氧氮氧化物浓度监测》（中国辐射卫生 1998 年第 7 卷第 3 期，郝海鹰、刘容、王玉海），在正常通风的摄片机房、透视机房、CT 室内（工作电压 70~90kV 下）射线装置正常工作 1 小时后，机房内的臭氧浓度最大为 0.064mg/$m^3$，氮氧化物的浓度最大为 0.042mg/$m^3$。本项目 DSA 机房面积、设备运行参数与其基本一致，因此机房内臭氧等浓度也基本一致。

**③ 固废**

介入手术过程中主要产生感染性和损伤性废物，属于《国家危险废物名录》中 HW01

医疗废物。医院在 DSA 机房内设置感染性和损伤性废物收集桶，并粘贴标识。手术过程中产生废物暂存于污物间后，再通过经污物通道每日运至医院医疗废物暂存间。

DSA 在运行时均采用实时成像系统，不洗片，不产生洗片废液，无废片产生。项目产生生活垃圾依托院内生活垃圾暂存间暂存交环卫部门处理。介入中心拟配置的多套铅橡胶衣、帽子等含铅防护用品，铅防护用品使用一定年限后屏蔽能力减弱，不能达到原有使用功能后成为报废铅防护用品，按有关规定由医院收集后妥善保存。

**④ 废水**

本项目产生的少量医疗废水进入医院污水处理站统一处理，达标后排入市政管网。

**9.5 主要污染物产生及预计排放情况汇总**

综上所述，本项目运营期主要污染物产生及预计排放情况汇总见下表所示。

**续表9　项目工程分析与源项**

**表 9-19　项目运营期污染物产生情况一览表**

| 场所 | 污染物 | | 产排污核素/场所/设备 | 主要污染因子 | 最大产生量 | 处理方式及去向 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 核医学科 | 电离辐射 | | $^{223}Ra$ | α射线、α表面污染 | 能量不大于 5.8713MeV | 屏蔽体防护 |
| | | | $^{18}F$、$^{68}Ga$、$^{131}I$、$^{177}Lu$、$^{32}P$、$^{89}Sr$、$^{153}Sm$ | β射线、β表面污染 | 能量不大于 1.91MeV | |
| | | | $^{18}F$、$^{68}Ga$、$^{99m}Tc$、$^{131}I$、$^{177}Lu$、$^{153}Sm$、$^{223}Ra$ | γ射线 | 能量不大于 0.637MeV | |
| | | | PET/CT、SPECT/CT | X 射线 | X 射线能量不大于 130kV，距靶 1m 处主射束的输出量不大于 10.4mGy/mA•m$^2$•min | |
| | | | $^{131}I$、$^{177}Lu$、$^{153}Sm$ | 韧致辐射 | / | |
| | 放射性三废 | 废气 | 核医学工作场所 | 主要含 $^{131}I$，含微量 $^{18}F$、$^{99m}Tc$、$^{177}Lu$、$^{68}Ga$、$^{32}P$、$^{89}Sr$、$^{153}Sm$、$^{223}Ra$ 等 | 少量 | 收集后引至门诊病房综合楼塔楼顶经活性炭吸附后高于楼顶 3m 排放，其中手套箱废气收集处和排放处均活性炭吸附处理。 |
| | | 废水 | 核医学工作场所 | 主要含 $^{18}F$、$^{99m}Tc$、$^{131}I$、$^{177}Lu$，含微量 $^{68}Ga$、$^{32}P$、$^{89}Sr$、$^{153}Sm$、$^{223}Ra$ | 1.361m$^3$/d，32.52m$^3$/月，390.21m$^3$/a | 排入专用废水衰变处理设施处理后再排入医院污水处理站处理 |
| | | 固废 | 核医学工作场所 | 一次性注射器、针头、手套、棉签等、一次性纸杯、纸巾、餐盒等 | 660kg/a | 在核医学科衰变室暂存，达到衰变时间后经监测合格后作为一般医疗废物交有资质单位处理。 |
| | | | 废气处理 | 废活性炭 | 400kg/a | |
| | | | 未使用完的放射性药物 | $^{131}I$、$^{18}F$、$^{99m}Tc$、$^{177}Lu$、$^{68}Ga$、$^{32}P$、$^{89}Sr$、$^{153}Sm$、$^{223}Ra$ | 微量 | 短半衰期的暂存后作为放射性固废衰变处置，长半衰期的交生产厂家回收处置。 |
| | | | 甲癌病房 | 可能沾染放射性药物的被服 | / | 暂存在核医学科病房区被服衰减室，达到清洁解控水平后，再进行清洗消毒处理，而后再利用 |

**续表9　项目工程分析与源项**

| 场所 | 污染物 | 产排污核素/场所/设备 | 主要污染因子 | 最大产生量 | 处理方式及去向 |
|---|---|---|---|---|---|
| 放疗科 | 电离辐射 | 直线加速器 | X 射线 | 最大 15MV，主射束方向 1m 处剂量率最大为 24Gy/min | 屏蔽体防护 |
| | | CT模拟定位机 | | 最大 140kV，离靶 1 米处的发射率约为 11.8mGy·$m^2$/mA•min。 | |
| | | 直线加速器 | 电子线 | 最大能量 20MeV | 屏蔽体防护 |
| | | 直线加速器 | 中子 | 平均能量约为 0.34MeV | 屏蔽体防护 |
| | | 直线加速器 | γ射线 | 平均能量为 3.6MeV | 屏蔽体防护 |
| | | 后装机 | | 最大能量为 0.6124621MeV；非治疗状态下，后装机γ射线的泄漏量在距源罐表面 1m 处<5μGy/h | |
| | | 后装机 | β射线 | 最大能量为 0.6751MeV | 屏蔽体防护 |
| | 活化废气 | 直线加速器 | 主要含 $^{11}C$、$^{13}N$ 和 $^{15}O$、$^{41}Ar$ | 少量 | 自然衰变，通风换气，引至加速器机房上方地面东侧绿化带排放 |
| | 活化冷却水 | 直线加速器 | 主要含 $^{16}N$、$^{15}O$ | 检修时或泄漏时排放，0.05$m^3$ /次 | 检修前直线加速器停运 30min 或泄漏时暂存 30min，衰变完后排入医院废水处理站 |
| | 活化结构部件（废靶、电离室等） | 直线加速器 | 含 $^{196}Au$、$^{181}W$、$^{185}W$、$^{62}Cu$、$^{64}Cu$、$^{57}Ni$ 等 | 结构部件更换时，约 12kg/4a | 直接由部件更换单位运走处置 |
| | | 后装机 | 退役 $^{192}Ir$ 废源 | 2 枚/年 | 由生产厂家回收处理 |
| 介入中心 | 电离辐射 | DSA | X 射线 | 距靶 1m 处有用线束的发射率：150kV 下不大于 13.4mGy•$m^2$/mA•min；90kV 不大于 5.3mGy•$m^2$/mA•min | 屏蔽体防护 |

**续表9　项目工程分析与源项**

| 场所 | 污染物 | | 产排污核素/场所/设备 | 主要污染因子 | 最大产生量 | 处理方式及去向 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 项目运行场所 | 非放射性三废 | 废气 | PET/CT机房、SPECT/CT机房、$^{18}F$ | 臭氧、氮氧化物等<br>$^{18}O$（重氧） | 少量 | 与核医学科放射性废气一起引至门诊病房综合楼塔楼顶排放 |
| | | | 其他各射线装置机房、后装机机房 | 臭氧、氮氧化物等 | 少量 | 通风换气 |
| | | 废水 | 项目运行场所 | 医疗废水、生活污水 | 少量 | 依托医院污水处理系统收集处理 |
| | | 固废 | 项目运行场所 | 医疗废物 | 少量 | 依托医院医疗废物暂存间暂存，交有资质的单位处理 |
| | | | | 生活垃圾 | | 依托医院收运系统，交环卫部门处理 |
| | | | | 废铅防护用品 | | 由医院收集后妥善保存 |

## 表 10 辐射安全与防护

### 10.1 项目选址和布局

#### 10.1.1 项目选址

本项目拟建的核医学科、放疗科、介入中心均布置在新区分院门诊病房综合楼内。

核医学科位于门诊病房综合楼内-2F西北侧，其东侧为放疗科，南侧为车库，西侧为地下车库出入口坡道，北侧为医院辅助机房上空；楼下部分为泥土层，部分为-2F下沉层，主要布置为医疗废物暂存间、生活垃圾暂存间；楼上为日间手术中心、住院大厅等用房。项目核医学科位于建筑底层一角，独立成一个区域，远离其他非核医学科人流；其不与产科、儿科、食堂等毗邻；核医学科有专用出口电梯，能独立通往医院建筑外地面；出口处为医院西侧院内道路，不与门诊大厅、收费处等人口稠密区域相邻/相接，出口距离医院西侧的急诊出入口、地下车库出入口、住院污物出入口很近，病人能很方便的离开医院。核医学科废气排放口布置在项目所在楼塔楼顶，尽量远离周围高层建筑。

放疗科位于门诊病房综合楼内-2F东北侧，其东侧为泥土层，南侧为空调机房及车库，西侧为核医学科，北侧为分布式能源站上空、烟道；楼下部分为泥土层，部分为-2F下沉层，主要布置为库房、隔油间；楼上为厨房及厨房加工、操作等用房。项目放疗科独立成一个区域，选址于建筑地下层的一角，放疗机房集中布置在建筑底层，远离其他非放疗科如儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域。

介入中心位于门诊病房综合楼内1F西北侧，其东侧为电梯厅，南侧为放射科，西侧和北侧为建筑外空。项目介入中心独立成一个区域，选址于建筑内的一角，远离其他非介入中心人流。同时，其与放射科毗邻，便于射线装置设备管理。

综上所述，项目涉及的3个科室均位于建筑一角，独立成区，远离人口稠密区域，且不与相对敏感区域毗邻，项目选址满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）等相关标准的相关要求。因此，项目选址可行。

#### 10.1.2 项目布局

**（1）核医学科布局**

①核医学科平面布置

根据核医学科平面布置可知，核医学科用房主要围绕电梯厅布置，电梯厅东侧主要布置核医学辅助用房，如库房、会议/学习室、卫生间、阅片室、值班室、医生办公室、

更衣室等；电梯厅南侧主要布置候诊区、功能测定室、抽血室、登记室、诊室；电梯厅西侧及西南侧主要布置核医学科诊疗用房。诊疗用房从北到南主要分为三个部分，北部从东到西主要布置值班室、护士办公室、医生办公室、护士站、治疗室、住院病房；中部从东到西主要为核医学科医护人员工作区域（如储源室1、废物间、分装注射室、卫生通过间、送餐间、配餐间、碘分装室、服药室、储源室2、药品检测室）和病人活动区域（如抢救室、ECT等候室、PET等候室、专用等候室），以及被服衰减室、污洗间、衰变室等；南部区域从东到西主要布置技师办公室、SPECT/CT机房、控制室、设备间、PET/CT机房、留观室等。

②核医学科路径走向布局合理性

核医学科各功能用房按照患者就医流程进行布置，患者就医路径清晰，就诊流程流畅。核医学科工作场所病人进出口、医务人员通道等处均设置门禁，保证患者单向线路唯一，患者进入后不能倒回，避免无关人员出入，尽可能避免给药后患者与医护人员、公众成员的交叉污染；给药后患者在检查前、检查后有不同的等候/留观用房，各场所之间有防护门等隔离，能限制给药后患者的活动空间；医护人员、患者、放射性药物及放射性废物通道通过时间管控后可有效避免交叉影响；注射病人和口服药物患者分时段单独进行，用药位置分开，从时间和地点分开管控；废物间邻近核素操作处设置，方便放射性废物的收集；放射性废物衰变室位于控制区边界，便于废物衰减达标后运出，运输路径短捷。设置患者专用电梯，患者出口距离医院西侧的急诊出入口、地下车库出入口、住院污物出入口很近，病人能很方便的离开医院。因此，核医学科路径走向布局较合理。

③核医学科综合布局合理性

项目核医学科各功能房间设计齐全，能满足核医学科运行的需求。东侧的办公区与西侧的核医学科主要运行业务用房中间以电梯厅分隔，做到清污分区布置。核医学科各功能用房按照低活性区向高活性区、清洁区向污染区分布的原则进行排列，诊断流程、路线清晰。核医学科用房进行了控制区、监督区的划分，控制区集中布置。核医学科医护人员、患者、放射性药物及放射性废物通道通过时间和交通控制能做到相对独立，可有效避免交叉污染；医护人员离开控制区设有卫生通过间；用药后病人活动区域均设置有专门厕所；项目布局将注射病人和服药病人用药处分开，便于患者就诊，并能很好的将放射性废物分类收集和打包；控制区患者进出口、核医学科通道进出口等均设置门禁，

**续表 10　辐射安全与防护**

保证单向线路唯一。住院病床位于核医学科一角，与其他门诊诊断和治疗区域相对独立；$^{177}$Lu住院病人与甲癌病人一起住院，方便管理；$^{177}$Lu住院病人最多1人/月，住院一般3～4天/次，甲癌病人一般住院3～5天即可出院，协调考虑后项目设置的床位数能满足使用需求。此外，核医学科工作场所的放射性废气、废水、固废等通过采取有效的处理措施，满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求。

因此，从辐射防护角度，核医学科总体平面布局合理。

**（2）放疗科布局**

根据放疗科的平面布置可知，放疗科用房位于新区分院门诊病房综合楼-2F东北侧。放疗科直线加速器机房、后装机机房、CT模拟定位机机房相对集中布置在放疗科东北侧角落，位于建筑物底层一端，不与儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域毗邻。两直线加速器机房对称布置，其辅助用房（控制室、设备间、辅助机房、更衣间）在加速器机房的南侧布置；后装机辅助用房（控制室）位于机房东侧，准备室位于机房南侧，储源室距离后装机机房很近，周围活动人员很少；CT模拟定位机机房的辅助用房（制模室、控制室）分别位于机房东西两侧；放疗科其余辅助用房中候诊区位于加速器用房南侧，其他的示教室、物理计划室、办公室、热疗室、治疗室、诊室、登记室等均布置在放疗科用房的西侧。由上可知，放疗科各功能用房齐全，各机房与控制室分开，各机房辅助用房独立布置于机房外，直线加速器机房、后装机机房均设置迷路，直线加速器主射线方向不朝向迷路和控制室，主射线方向主要为共墙、泥土层、楼梯间等人员活动较少的方向，尽可能减少辐射影响。

因此，放疗科平面布局满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）的要求，布局合理。

**（3）介入中心布局**

根据介入中心的平面布置可知，介入中心位于新区分院门诊病房综合楼1F西北侧。介入中心主要分为手术区和办公区。手术区以4个DSA机房为核心，围绕4个DSA机房，周围布置主要的辅助用房如控制室、设备间、导管室、清洁间，污物走廊、患者走廊；机房更外围根据手术流程，布置了换床区、谈话室、排风机房、UPS室、污洗间。办公区最外侧设置换鞋区、卫生间、铅衣室，之后依次布置办公室、会议室、值班室、餐厅、空调机房。

项目介入中心功能用房设置齐全，与其它科室相对独立，内部仅有医护人员、患者活动，无其他公众成员停留。此外，各DSA机房均设置3个防护门和1个观察窗，防护门分别用于工作人员、患者进出及污物运出，通道独立，互不干扰。介入中心人流物流清晰，分区明确。因此，本项目介入中心平面布局合理。

**10.2 项目工作场所分区**

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定：控制区是在辐射工作场所划分的一区域，在这种区域内需要或可能需要采取专门的防护手段或安全措施，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散并预防潜在照射或限制潜在照射的范围；监督区是未被确定为控制区，通常不需要采取专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域。

《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）要求：核医学工作场所的控制区主要包括回旋加速器机房、放射性药物合成和分装室、放射性药物贮存室、给药室、给药后候诊室、扫描室、核素治疗病房、给药后患者的专用卫生间、放射性废物暂存库、衰变池等区域；核医学工作场所的监督区主要包括回旋加速器和显像设备控制室、卫生通过间以及与控制区相连的其他场所或区域。

《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）要求：核医学放射工作场所应划分为控制区和监督区。控制区一般包括使用非密封源核素的房间（放射性药物贮存室、分装及（或）药物准备室、给药室等）、扫描室、给药后等候室、样品测量室、放射性废物储藏室、病房（使用非密封源治疗患者）、卫生通过间、保洁用品储存场所等。监督区一般包括控制室、员工休息室、更衣室、医务人员卫生间等。应根据 GB18871 的有关规定，结合核医学科的具体情况，对控制区和监督区采取相应管理措施。

《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）要求：一般情况下，控制区包括加速器大厅、治疗室（含迷路）等场所，如质子/重离子加速器大厅、束流输运通道和治疗室，直线加速器机房、含源装置的治疗室、放射性废物暂存区域等。开展术中放射治疗时，术中放射治疗室应确定为临时控制区。与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区（如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等）。

《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）要求：放射治疗工作场所应分为控制

区和监督区。治疗机房、迷路应设置为控制区；其他相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需经常检查其职业照射条件的区域设为监督区。

根据上述要求，医院拟对项目工作场所进行分区管理，将各工作场所划分为控制区和监督区，限制无关人员受到不必要的照射。

项目用房控制区、监督区具体划分见表 10-1 及图 10-1（过道区域范围广不画入图中）。

**表 10-1　本项目控制区、监督区划分**

| 工作场所 | 控制区范围 | 监督区范围 |
|---|---|---|
| 核医学科 | 卫生通过间、操作走廊、分装注射室、负荷试验室、储源室 1、废物间、药品检测室、碘分装室、服药室、储源室 2、库房、抢救室、ECT 等候室、PET 等候室、专用等候室、注射走廊、病人走廊、SPECT/CT 机房、PET/CT 机房、留观室、配餐间、住院病房、住院走廊、被服衰减室、污洗间、衰变室、污水泵房，以及衰变处理设施内部 | 护士站、治疗室、技师办公室、医疗废物暂存间、用房内楼梯/电梯间、专用出口电梯、污梯等，以及技师走廊、消防过道、医护走廊等控制区相邻走廊/过道，控制区楼上、楼下正对区域，以及衰变处理设施对应地面区域 |
| 放疗科 | 直线加速器机房（含迷道） | 控制室、设备间、更衣间、辅助机房、排风机房、库房，机房周围过道、机房楼上正对区域 |
| | 后装机机房（含迷道） | 控制室、库房、储源室以及机房周围过道，机房楼上正对区域 |
| | CT 模拟定位机机房 | 控制室、准备室、制模室，以及机房周围过道，机房楼上、楼下正对区域 |
| 介入中心 | DSA1 机房、DSA2 机房<br>DSA3 机房、DSA4 机房 | 各机房控制室和设备间，导管室、库房，机房周围走廊，楼上楼下机房对应区域 |

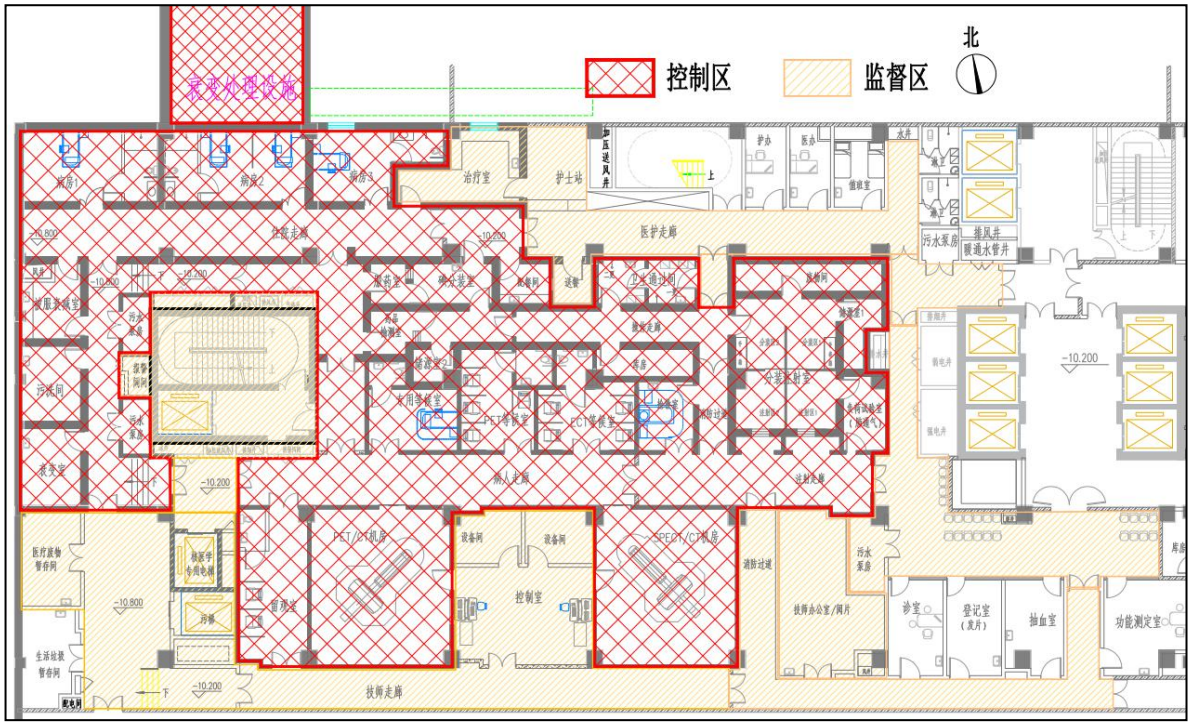



图10-1（1）　项目核医学科分区布置图

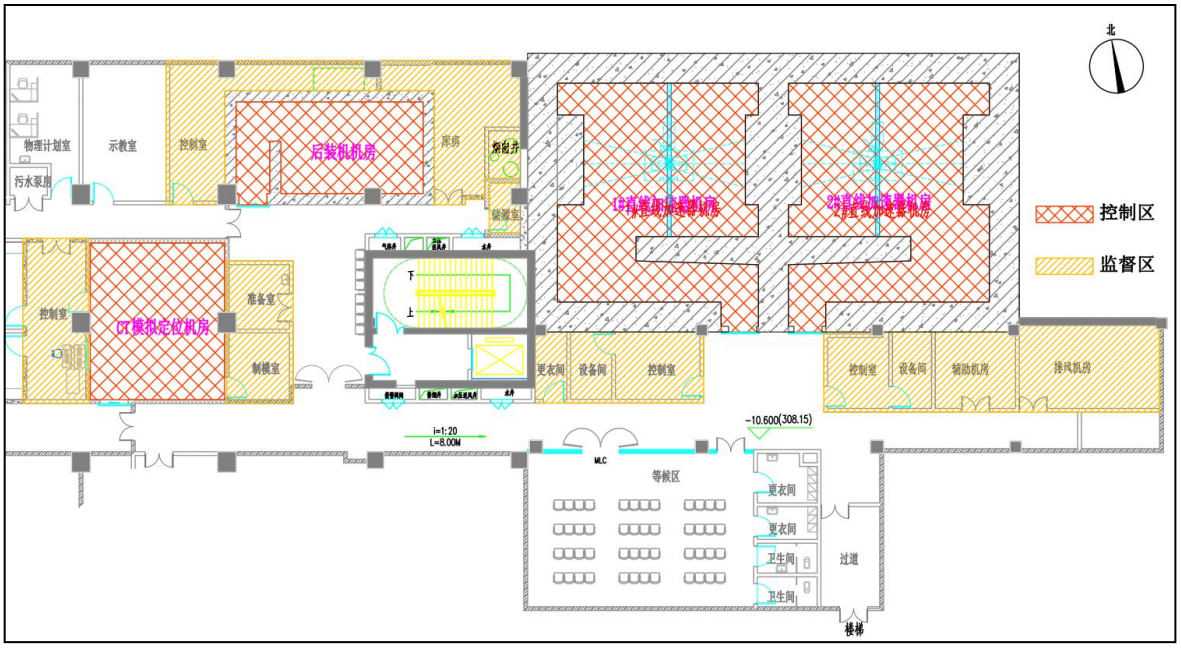



图10-1（2）　项目放疗科分区布置图

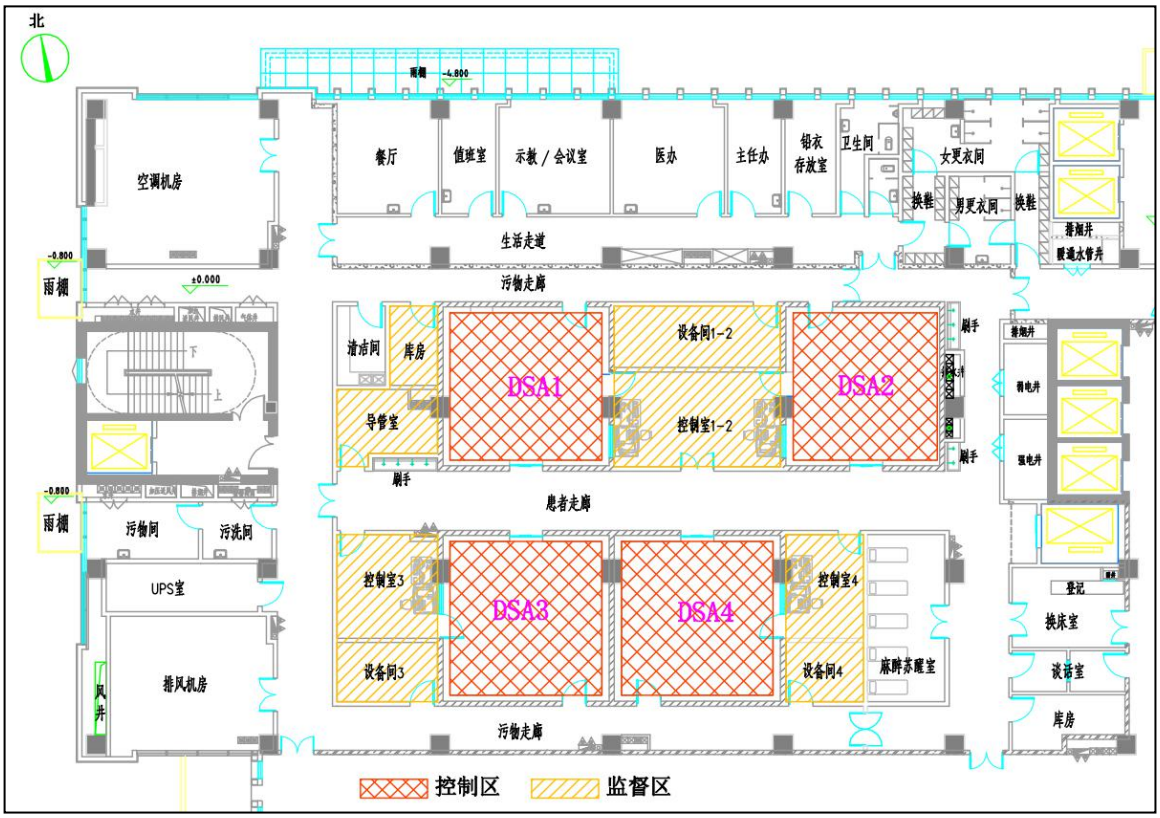



**图10-1（3）　项目介入中心分区布置图**

医院拟严格限制无关人员进出控制区，在正常诊疗的工作过程中，控制区内不得有无关人员滞留，保障该区的辐射安全。控制区设墙体、防护门等实体边界，设置电离辐射警示标志、门禁等设施，并在控制区入口设置规范的电离辐射警告标识及标明控制区的标识，限制无关人员随意进入，按要求定期检查辐射剂量水平，以便控制正常照射和防止（或限制）潜在照射；在监督区入口处的适当位置设立标明监督区的标识（如地面警示贴条）。

本项目各工作场所按照相关要求进行了分区，控制区、监督区和清洁区互不交叉，分区较为合理。

## 10.3 项目机房面积

拟建项目各机房的内空尺寸和标准要求见表10-2所示。

**表10-2　项目各机房建设要求对比表**

| 机房名称 | 机房尺寸和面积 | | 标准要求 | | 是否满足要求 |
|---|---|---|---|---|---|
| | 内空尺寸（长×宽×高，m） | 内空面积①（$m^2$） | 最小单边长（m） | 面积（$m^2$） | |
| PET/CT 机房<br>SPECT/CT 机房 | 8.5×6.9×4.1 | 58.7 | ≥4.5 | ≥30 | 满足 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| CT 模拟定位机机房 | 8.38×7.18×3.95 | 60.2 | ≥4.5 | ≥30 | 满足 |
| 1#直线加速器机房<br>2#直线加速器机房 | 8.65×8.2×3.8 | 70.9 | — | — | — |
| 后装机机房 | 7.6×4.9×3.4 | 37.2 | — | — | — |
| DSA1 机房 | 6.9×6.7×4.4 | 46.2 | ≥3.5 | ≥20 | 满足 |
| DSA2 机房 | 6.56×6.7×4.4 | 44.0 | | | 满足 |
| DSA3、DSA4 机房 | 7.0×6.9×4.4 | 48.3 | | | 满足 |

注：①有迷路的机房尺寸不含迷路；②内空面积为机房有效使用面积。

本项目PET/CT机房、SPECT/CT机房、CT模拟定位机机房、DSA机房最小单边长及最小有效使用面积均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）要求。直线加速器机房、后装机机房的有效内空面积也能够满足项目运行的需要，有足够的使用面积，能满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中“放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要”的要求。

## 10.4 核医学科分级与分类

### （1）非密封源工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的相关参数和计算方法，日等效最大操作量的计算公式如下：

$$日等效操作量=\frac{实际日操作量\times核素毒性因子}{操作方式修正因子} \qquad (10\text{-}1)$$

放射性工作场所因操作放射性物质的毒性组别和操作量的不同，产生的放射性危害的机率也不同，为了便于管理，非密封性工作场所按所用放射性核素日等效最大操作量并考虑操作因素分为甲、乙、丙三级。

根据医院提供的放射性同位素用量，可以计算本项目使用的各放射性同位素日等效最大操作量见表10-3。

**表10-3　非密封源工作场所分级核算表**

| 工作场所 | 核素名称 | | 日最大操作量（Bq） | 毒性组修正因子 | 操作方式修正因子 | 日等效最大操作量（Bq） |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 核医学科 | $^{18}F$ | 备药量 | $2.22\times10^{10}$ | 0.01 | 100 | $2.22\times10^{6}$ |
| | | 日用量 | $5.55\times10^{9}$ | 0.01 | 10 | $5.55\times10^{6}$ |
| | $^{68}Ga$ | | $3.70\times10^{8}$ | 0.01 | 1 | $3.70\times10^{6}$ |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | $^{99m}$Tc | $1.628\times10^{10}$ | 0.01 | 10 | $1.628\times10^{7}$ |
| | $^{131}$I | $3.367\times10^{10}$ | 0.1 | 1 | $3.367\times10^{9}$ |
| | $^{177}$Lu * | $1.11\times10^{9}$ | 0.1 | 1 | $1.11\times10^{8}$* |
| | $^{32}$P | $3.70\times10^{8}$ | 0.1 | 1 | $3.70\times10^{7}$ |
| | $^{89}$Sr | $2.96\times10^{8}$ | 0.1 | 1 | $2.96\times10^{7}$ |
| | $^{153}$Sm | $1.85\times10^{9}$ | 0.1 | 1 | $1.85\times10^{8}$ |
| | $^{223}$Ra | $3.70\times10^{6}$ | 10 | 1 | $3.70\times10^{7}$ |
| 合计 | — | $8.17\times10^{10}$ | — | — | $3.794\times10^{9}$ |

*备注：①项目根据预约用药情况，由供药商每天送药 1 次。每天最多接待 $^{18}$F 用药病人 15 人次，备药量按照实际用药量的 4 倍考虑。其他核素半衰期稍长，不再考虑药物存储/备药量。

②医院共设置 4 张住院病床，$^{177}$Lu 病人住院时，$^{131}$I 甲癌住院病人少 1 人，且因 $^{177}$Lu 的毒性因子、操作方式修正因子与 $^{131}$I 一致，$^{177}$Lu 与 $^{131}$I 甲癌的单人次住院最大用药量一致。因此，日等效最大操作量核算时住院按照 4 床甲癌考虑，未计入 $^{177}$Lu 住院病人用药量，仅考虑了 $^{177}$Lu 单独显像用药量。

根据拟项目使用的放射性核素的毒性组别、用量及操作因子，本项目核医学科的日等效最大操作量为$3.794\times10^{9}$Bq。根据GB18871-2002的分级，核定本项目核医学科为乙级非密封源工作场所。

**（2）临床核医学工作场所分类**

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）的要求，本项目核医学科工作场所的房间功能及放射性同位素的使用情况对其进行分类，具体见表10-4。

**表10-4　本项目核医学工作场所分类计算**

| 房间名称 | 使用核素 | 非密封性物质操作最大活度（MBq） | 毒性权重因子 | 操作性质修正因子 | 该房间操作最大量放射性核素的加权活度（MBq） | | 分类 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 分装注射室 | $^{18}$F、$^{68}$Ga、$^{99m}$Tc | 22200 | 1 | 1 | 22200 | 1162170 | I |
| | $^{131}$I（针剂）、$^{177}$Lu、$^{32}$P、$^{89}$Sr、$^{153}$Sm、$^{223}$Ra | 11399.7 | 100 | 1 | 1139970 | | |
| 储源室 1 | $^{18}$F、$^{68}$Ga、$^{99m}$Tc | 38850 | 1 | 100 | 388.5 | 11788.2 | II |
| | $^{131}$I（针剂）、$^{177}$Lu、$^{32}$P、$^{89}$Sr、$^{153}$Sm、$^{223}$Ra | 11399.7 | 100 | 100 | 11399.7 | | |
| 负荷试验室（肺通气） | $^{99m}$Tc | 1480 | 1 | 1 | 1480 | 1480 | II |
| 废物间 | $^{18}$F、$^{68}$Ga、$^{99m}$Tc | 222 | 1 | 100 | 2.22 | 449.254 | II |

**续表 10　辐射安全与防护**

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 衰变室 | $^{131}$I（针剂、口服）、$^{177}$Lu、$^{32}$P、$^{89}$Sr、$^{153}$Sm、$^{223}$Ra | 447.034 | 100 | 100 | 447.034 | | |
| ECT 等候室 | $^{99m}$Tc | 16280 | 1 | 10 | 1628 | 1628 | II |
| PET 等候室 | $^{18}$F、$^{68}$Ga | 5920 | 1 | 10 | 592 | 592 | II |
| 专用等候室 | $^{131}$I（针剂）、$^{177}$Lu（诊断） | 1480 | 100 | 10 | 14800 | 14800 | II |
| PET/CT 机房 | $^{18}$F、$^{68}$Ga | 5920 | 1 | 10 | 592 | 592 | II |
| SPECT/CT 机房 | $^{99m}$Tc | 16280 | 1 | 10 | 1628 | 16428 | II |
| | $^{131}$I（针剂）、$^{177}$Lu（诊断） | 1480 | 100 | 10 | 14800 | | |
| 留观室 | $^{18}$F、$^{68}$Ga、$^{99m}$Tc | 22200 | 1 | 10 | 2220 | 2220 | II |
| 碘分装室 | $^{131}$I | 33303.7 | 100 | 1 | 3330370 | 3330370 | I |
| 服药室 | $^{131}$I | 33303.7 | 100 | 1 | 3330370 | 3330370 | I |
| 储源室 2 | $^{131}$I | 33303.7 | 100 | 100 | 33303.7 | 33303.7 | II |
| 药品检测室 | $^{18}$F、$^{68}$Ga、$^{99m}$Tc | 38850 | 1 | 1 | 38850 | 3602690 | I |
| | $^{131}$I、$^{177}$Lu、$^{32}$P、$^{89}$Sr、$^{153}$Sm、$^{223}$Ra | 35638.4 | 100 | 1 | 3563840 | | |
| 住院病房（双人间） | $^{131}$I | 14800 | 100 | 1 | 1480000 | 1480000 | I |
| 住院病房（单人间） | $^{131}$I | 7400 | 100 | 1 | 740000 | 740000 | I |
| 被服衰减室 | $^{131}$I | 296 | 100 | 100 | 296 | 296 | II |

备注：①废物间、衰变室、被服衰减室按照相应患者用量的 1%考虑。

②$^{18}$F 在药品检测室、储源室 1 考虑为备药量，其余考虑为实际操作量。

③住院病房按 4 张床位计算，药品检测室考虑 4 个病人住院用药量，理由同表 10-3 备注。

④各等候室均保守考虑按所有人次核算。各处均不考虑用药后排泄、时间衰变等因素。

⑤GBZ120-2020 表 G.2 中没有的核素，参照同类型核素执行。

由上表的计算结果显示，按照《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中表1工作场所具体分类，本项目核医学科工作场所的分装注射室、碘分装室、服药室、药品检测室、住院病房核定为I类场所，其他的储源室1、负荷试验室（肺通气）、废物间、ECT等候室、PET等候室、专用等候室、SPECT/CT机房、PET/CT机房、留观室、储源室2、被服衰减室、衰变室核定为II类场所。

本项目核医学工作场所根据分类要求，各房间装修设计情况与《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）对比分析如下表所示。

**表10-5　核医学科室内表面及装备结构设计防护与标准对照表**

| 房间 | 本项目设计 | GBZ120-2020 要求 | 分类 | 是否符合 |
|---|---|---|---|---|
| 分装注射室<br>碘分装室<br>服药室<br>药品检测室<br>住院病房 | 地面：PVC 地板胶铺设，墙角线采用铝合金接缝处无缝隙<br>表面：乳胶漆或不锈钢，易清洗<br>防护手套箱：分装注射室、碘分装室拟设置防护手套箱，具有通风橱功能<br>室内通风：独立机械排风系统<br>管道：独立通风管、废水管，废水管根据核医学科布局来布局，尽量短，主管道拟作标记<br>清洗及去污设备：拟配置专用洗手池，配置感应式水龙头，设置单独的污洗间，不同区域设置不同的专用清洗拖把及拖把清洗桶，控制区清洁废水接入衰变处理设施 | 结构屏蔽：需要<br>地面：与墙壁接缝无缝隙<br>表面：易清洗<br>分装柜：需要<br>通风：特殊的强制通风<br>管道：特殊的管道[a]<br>盥洗与去污：洗手盆[b]和去污设备 | I | 是 |
| 储源室 1、废物间<br>负荷试验室（肺通气）<br>ECT 等候室<br>PET 等候室<br>专用等候室<br>SPECT/CT 机房<br>PET/CT 机房<br>留观室、储源室 2<br>被服衰减室、衰变室 | | 结构屏蔽：需要<br>地面：与墙壁接缝无缝隙<br>表面：易清洗<br>分装柜：需要<br>通风：良好通风<br>管道：普通管道<br>盥洗与去污：洗手盆[b]和去污设备 | II | 是 |

[a]：下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测；
[b]：洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制。

同时，《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）也要求：核医学工作场所的放射性核素操作设备的表面、工作台台面等平整光滑，室内地面与墙壁衔接处应无接缝，易于清洗、去污。

根据上表对比分析可知，本项目核医学科的装修设计能满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中对核医学场所室内表面及装备结构要求，同时也满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求。

## 10.5 辐射安全与防护

### 10.5.1 核医学科拟采取的辐射安全与防护措施

**（1）屏蔽措施**

①拟建项目核医学科控制区边界、各房间屏蔽体主要采用 200mm～500mm 混凝土，顶棚采用 300mm、400mm 混凝土；整个核医学科在地板混凝土之上设置 600mm 厚的垫层，顶棚混凝土上方设 100mm 垫层；地下有建筑的地板全部采用 300mm 混凝土防护；防护门主要采用 2~25mmPb 进行防护，观察窗/传递窗主要采用 5mmPb～25mmPb 铅玻璃进行防护。根据后文核算，核医学科各功能用房的屏蔽能力能满足要求，控制区各用房外的周围剂量当量率均不大于 2.5μSv/h。

②核医学科单独建设地埋式混凝土结构废水衰变处理设施，其整体外墙体厚400mm～600mm 混凝土，内部隔墙和池底厚 300mm 混凝土，顶部厚 400mm 混凝土+1500mm 泥土，1#衰变处理设施井盖厚 15mmPb+40mm 铁，2#衰变处理设施井盖厚 5mmPb+40mm 铁。根据核算，衰变处理设施顶部的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h，能满足标准限值要求。

③暴露地面的进入 1#衰变处理设施的含碘放射性废水管网包 5mmPb 铅皮，进入 2#衰变处理设施的其他放射性废水管网包 2mmPb，埋地管道上方有不低于 500mm 厚的垫层。根据核算，管道表面的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h，能满足标准限值要求。

④核医学科的电缆管线等从地下垫层中“U”型穿越；通风、排气、部分污水管网在核医学科用房吊顶上方走线，采用直穿方式穿越，穿越处较高（不低于 3m），管道尺寸根据需要尽量选择小口径管道，射线经多次散射后对人员活动区域的影响能满足要求。

⑤核医学科用房在建设时保证施工质量，防护门、防护窗的生产和安装由有生产资质的厂家承担，注意其与墙体有足够的搭接，不影响屏蔽体的屏蔽效果。

**（2）管理措施**

①核医学科拟按照乙级非密封源工作场所进行管理，注射了放射性药物的受检者在具有防护功能的专用卫生间内入厕，经核医学显像检查后，在留观室等房间内留观，留观区域拟设置专用卫生间。核医学科病房区根据治疗需要，甲亢患者服药后经专用通道离开，甲癌患者住进专用防护病房，病房内拟设置卫生间（含淋浴），出院甲亢及甲癌患者出院体内活度小于 400MBq 由专用通道离院。$^{177}$Lu 住院患者按照甲癌患者要求和管理。

②核医学科工作场所医护工作区拟设置工作人员卫生通过间，操作放射性药物的护士离开控制区前清洗并进行表面污染监测，合格后方可离开（β放射性物质≤0.4Bq/cm$^2$，α放射性物质≤0.04Bq/cm$^2$）。

③核医学科实行预约制，按照预约患者用药量合理订购放射性药物，避免放射性药物浪费。用药前多条件核实病人基本情况及用药情况，预约时尽量做到错开使用不同核素种类的患者，实现患者分流，特别是将口服药物病人和注射药物病人错时诊疗，并拟纳入核医学科管理制度中。在候诊区处将病人告知书等张贴上墙，便于引导工作人员、病人按秩序进行显像诊断、核素诊断和治疗，尽量避免受药患者之间的交叉影响并杜绝

**续表 10　辐射安全与防护**

服错药等事故的发生。病房区制定预约制度及用药计划，确保周末不进行核素操作。

④在储源室设置储源柜，在分装注射室和碘分装室均设置防护手套箱，储源柜内拟拟配置足够厚度的铅罐暂存放射性药物，手套箱也有足够的防护能力。放射性药物一般即定即用，制定放射性药物登记、使用制度。暂存的放射性物质及时登记建档，做到交接账目清楚、账物相符。登记内容包括生产单位、到货日期、核素种类、活度等。拟在储源室1、储源室2、衰变室安装防盗报警装置，由专人负责看管，以确保放射源/放射性废物的安全。

⑤患者或受检者用药前有核医学科工作人员提前告知用药患者用药后注意事项（如住院注意事项，用药离院不宜乘坐公共交通，不在人群集中的区域长时间停留，出院患者与家人等保持一定的距离等），减少对患者周围公众成员的影响。

⑥医院核医学科拟设置 16 个门禁，主要在核医学科患者进出控制区的进出口、医护人员进入控制区的进出口、甲癌住院区的进出口、内部患者分流路口、防止人员不按规定路径走向的消防通道路口等，具体设置位置见附图五（2）所示。

⑦建立核医学诊断工作制度、受检者管理制度等，并拟在核医学科患者路径上明显位置张贴通俗易懂的患者就诊流程，并设置患者活动区域的对讲系统和监控系统，以便放射工作人员能观察患者并与患者进行沟通，正确指导患者就诊，保持核医学工作场所良好的就诊秩序。医院核医学科拟设置 1 套对讲装置（含 12 个对讲口）、1 套监控装置（含 18 处监控摄像头），方便与病人的沟通和交流。工作人员对讲口设置在分装注射室（注射区）、服药室、护士站、控制室，面对患者的对讲口分别位于注射走廊、ECT 等候室、PET 等候室、专用等候室、SPECT/CT 机房、PET/CT 机房、控制室、留观室、服药室、甲癌病房（3 个）；监控摄像头分别位于分装注射室（4 个）、ECT 等候室、PET 等候室、专用等候室、留观室、注射走廊、病人走廊（3 个）、服药室、甲癌病房（3 个）、住院走廊、配餐间等。

⑧口服$^{131}$I放射性药物拟进行自动分装。在碘分装室设置单独的控制台，控制自动分装仪的分装。病房区是相对独立的场所，拟由护士站管控病房区出入口门禁，病人住院后，仅能在病房内、住院走廊活动，本项目有3间病房4张病床，双人间病房间设置铅防护屏，$^{177}$Lu病人住院时住单人间，住院患者不可在病房区内聚集。核医学科病房区日常采用语音、视频查房、医疗指导工作等，一般情况下医护人员不与患者直接接触。病房内使用专门的保洁用品，日常取餐或取生活必需品，均由护士站统一安排，住院患者就

餐听取指令自行前往配餐间取用，不与住院区外人员接触。

⑨PET/CT、SPECT/CT 机房与控制室之间设置铅玻璃观察窗，便于工作人员观察受检者的检查情况。PET/CT、SPECT/CT 机房病人进出门设计为电动推拉门，拟设置防夹装置；机房工作人员进出门设计为平开门，拟设置自动闭门装置；PET/CT、SPECT/CT 斜向安放，各门上方拟设醒目的工作状态指示灯，工作状态指示灯和与机房门联动。

⑩核医学科污洗间配置不少于 2 套专用拖把和抹布，按照住院区、其他控制区分别使用不同的专用拖把和抹布，不混用。清洁时从低活度区域到高活度区域进行；控制区内所有废水均作为放射性废水收集到废水衰变处理设施中进行处理。控制区内的淋浴间、盥洗水盆、清洗池等拟选用脚踏式或自动感应式的开关，以减少场所内的设备放射性污染；头、眼和面部拟采用向上冲淋的流动水。控制区各上水配置洗消处理设备（含洗消液），设置感应式出口。

⑪核医学科设置 9 套废气主管分别收集核医学科各区域放射性废气。主管道内保持负压，各支管设置止回阀，废气收集遵循从低活度向高活度收集的原则。核医学工作人员定期检查防护手套箱、通风风机运行效能，形成检查记录，定期更换活性炭，更换下来的废活性炭作为放射性废物处置。

⑫核医学科内放射性废物在产生处按核素分类收集。每日下班后，放射性废物由专人分类、打包、记录后转移至衰变室，病房区病服、被服待病人出院后，统一转移至被服衰减室内暂存一个半衰期（约 8 天）后再清洗；其他放射性废物按照要求达到各自的暂存时间后，经监测合格后作为一般医疗废物处置和管理。核医学科拟建立放射性废物产生、转移、接收台账。放射性固废拟按照医疗废物（危险废物）的管理要求，实行联单管理制度，跟踪固废的处理方式和最终去向，做好产生、衰变时间、数量等相关的记录台账。

⑬长期使用表面污染监测仪对核医学科工作场所的工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套等进行检测，根据检测结果对工作台、设备、墙壁、地面进行清洗，工作服、手套等则根据检测、使用情况进行衰变处理或更换。

⑭核医学科工作场所张贴放射防护注意事项、病人温馨提示，提示病人用药后等候尽量在等待椅/等待床上，并在核医学工作场所内禁止吸烟。

**（3）标识设置**

①拟在核医学科工作场所控制区出入口、储源室 1、储源室 2、废物间、衰变室、

SPECT/CT 机房、PET/CT 机房等处的防护门上张贴电离辐射警示标志，在放射性废物桶、防护手套箱等设置电离辐射标志。在 SPECT/CT 机房、PET/CT 机房病人进出的防护门拟张贴放射防护注意事项。

②核医学工作场所划分控制区和监督区的标识，同时在地面/墙面设置患者、医生及候诊区设置在核医学科工作场所的行走箭头标识，指示各类人员在核医学科工作场所的活动路径。在候诊区设置诊断注意事项，在住院走廊/住院病房内设置住院要求和注意事项等。在病人专用出口张贴通道说明。

**（4）其他措施**

①拟配置注射器屏蔽套、铅罐、放射废物桶等辅助用品，具体见表 1-3（1）。

②核医学科工作场所拟配备铅衣、铅帽、铅眼镜、铅围脖、铅围裙、个人剂量计、个人剂量报警仪、放射性污染防护服、防护手套、辐射剂量检测警报仪、表面污染监测仪等个人防护用品和监测设备，具体见表 1-3（1）。

**10.5.2 放疗科拟采取的辐射安全与防护措施**

**10.5.2.1 CT 模拟定位机辐射安全与防护**

**（1）设备安全功能**

①设备自带限束系统；设备有清晰的焦点位置标示及过滤条件标示；具备随机文件并能提供等剂量图；

②在扫描程序开始之前，能直接指明某一扫描程序期间所用的 CT 运行条件；对于任意一种 CT 扫描程序，都能在操作者控制台上显示剂量信息。

③CT 模拟定位机设备上拟设置急停按钮。

**（2）屏蔽措施**

①根据医院提供资料，CT 模拟定位机机房四周墙体均为 240mm 实心页岩砖+3mmPb 铅板，顶棚为 250mm 混凝土+300mm 垫层，地板为 250mm 混凝土+600mm 垫层，防护门、观察窗为 4mmPb。根据后文表 11 核算，CT 模拟定位机机房屏蔽体等效铅当量、周围剂量当量率（小于 2.5μSv/h）能满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。

②CT 模拟定位机机房在建设时保证施工质量，穿越防护墙的管线采用“U 型”穿越，防护门、观察窗的生产和安装由有生产资质的厂家承担，注意其与墙体有足够的搭接。

**（3）通风**

CT 模拟定位机机房采用机械通风，机房内拟布置两个进风口、两个出风口，均位于吊顶上方，错开布置。放疗科拟设置独立的排风系统，机房废气经出风口引出后进入排风系统，再统一引至加速器机房上方地面东侧的绿化带排放。

**（4）工作信号指示灯及警示标志**

CT 模拟定位机机房防护门上方拟设置工作状态指示灯，并设置门灯联动装置，防护门上拟设置电离辐射警示标志，警示公众成员，减少无关人员在机房外的停留时间。

**（5）防夹和闭门**

CT 模拟定位机机房病人进出门设计为电动推拉门，拟设置防夹装置；机房工作人员进出门设计为平开门，拟设置自动闭门装置。设备斜向安装，便于观察窗观察。

**（5）个人防护用品及监测仪器**

CT 模拟定位机工作场所拟配置铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、个人剂量计等个人防护用品，具体见表 1-3（2）。

**10.5.2.2 直线加速器辐射安全与防护**

**（1）设备安全功能**

①直线加速器由专用钥匙控制，只有通过专用钥匙才能使加速器出射线。钥匙由专人保管。放疗技术人员离开控制室进入机房时，拔出专用钥匙，随身携带，以防他人误操作而发出射线。

②直线加速器使用计算机控制系统的加速器软件和硬件控制程序设置加密措施，未经允许不得存取或修改；用于监视联锁或作为测量线路、控制线路一部分的计算机一旦发生故障，将终止辐照。

③控制台能显示辐射类型、标称能量、照射时间、吸收剂量、吸收剂量率、治疗方式、楔形过滤器类型及规格等辐照参数预选值。

④吸收剂量的控制：设备具有独立的双道剂量监测系统，其输出显示为剂量监测值，并能用来计算受照靶体积内某一参考点的剂量；双道剂量监测系统可实现冗余剂量监测功能，某道剂量监测系统发生故障时，保障另一道能够正常工作；每道剂量监测系统都能设置为达到预置参数时能终止照射；可设置超过值百分比；任何原因引起的剂量监测读数变化大于 5%时，能自动终止照射；双道剂量监测系统的显示清晰易读，紧靠在一

**续表 10　辐射安全与防护**

起并安置在治疗控制台上预选剂量监测值的显示附近；电源故障或元件失灵造成中断或终止时，两道剂量监测系统显示的预选参数和剂量数据保持不变，失效时刻的预选参数和剂量读数以可读出的方式储存起来，至少保持 20min 以上；中断或终止后把显示器复位到零，下次照射才能启动；控制台上确定剂量监测系统预选参数前，不能开始照射。

辐射头内安装两个辐射探测器，位于均整过滤器和束散射过滤器的患者一侧，其中心在参考轴上；照射过程中，如果辐射探测器偏离参考轴，能终止照射。

在治疗控制台上配置一个控制计时器。控制计时器为递增式计时器，与照射的启动和停止同步，在照射中断或终止后保持其读数，照射终止后，在启动下次照射之前能复位回零，为防止剂量监测系统失效，当预选的时间达到时，终止照射，独立于任何其他控制照射终止系统或子系统，保控制计时器的设定值不超过使用说明书给定的限值，在两次照射之间或在照射前控制计时器能终止照射。

⑤辐射类型的选择和显示：照射终止后，在治疗控制台上重新选择好辐射类型之前，能阻止下一次照射；当要求在治疗室内和治疗室控制台上均进行选择辐射类型时，一处的选择不能在另一处显示出来，只有等两处都完成选择后才给出显示；在治疗室内的选择与治疗控制台的选择不一致时，能阻止照射；在照射期间和在照射之前，能在治疗控制台上显示所用照射类型；联锁装置能确保只能进行被选类型的照射；联锁装置能保证当规定用于电子照射的附件，例如电子限束器就位时，不产生 X 照射；当规定用于 X 射线的附件，不产生电子线；当规定为电子线时能阻止 X 射线；当规定为 X 射线时能阻止电子线。

⑥能量的选择和显示：照射终止后，在治疗控制台上重新选择好能量之前，能阻止下一次照射；当要求在治疗室内和治疗控制台上均进行选择能量操作时，一处的选择能不在另一处显示出来，只有等两处都完成选择后才给出显示；治疗室内的选择和治疗控制台上的选择不一致时，能阻止照射；能产生不同能量辐射束的设备，在照射期间和在照射之前能在治疗控制台上显示在使用说明书上规定的能量值；正常运行时，在所选运行模式和能量的条件下产生的辐射，发生在 X 射线靶上电子轰击平均能量的偏差超过±20%时，或者在电子线窗上电子轰击平均能量偏差超过±20%或±2 MeV（取其小者）时，都能终止照射。

⑦楔形过滤器的选择和型式：加速器能自行选择楔形过滤器，能在治疗室、控制台选择并在控制台显示后才能启动出束。出束前楔形过滤器未到位，能有两个独立的联锁

装置阻止出束或终止照射。

⑧照射限束装置的联锁：当 X 射线限束装置被用作电子线限束系统的一部分时，有联锁，当其实际位置和要求的位置相差超过 10cm（在正常治疗距离处）时，能阻止电子线。

**（2）联锁系统**

①直线加速器机房设置多重联锁装置，以保护人员和设备安全，防止意外事故。门机联锁：采用电动、手动一体化防护门，与加速器启动电路应实行门机联锁方式，即防护门未关闭之前，加速器无法启动。系统联锁：当控制台计算机故障、加速管真空故障等加速器会自动出现系统联锁，不能发出射线。双剂量联锁：加速器有两道独立的剂量监测系统，每一道剂量监测系统能单独终止辐照，一道剂量系统发生故障不影响另一道系统的功能。

②故障保护系统，由主要联锁和次级联锁组成，主要联锁是为了在机器的元器件或子系统出故障时立即停止出束并关闭发热元件，防止故障的进一步扩大。次要联锁提醒操作者可能存在影响机器工作的状态，产生次要联锁时机器马上转到“停止出束”状态。

③单个直线加速器机房内拟设置 7 个急停开关，分别安装在加速器机架、控制台、机房内、迷道上。紧急停机开关为红色按钮式开关，易于辨认，按下后不能自动复位。在紧急情况下，便于机房和控制室内的人员及时终止照射。

多个急停开关能保证在事故状态下治疗室内、操作室内的人员及时按下按钮停止直线加速器出束。

根据设备性能及辐射安全与防护要求，本项目辐射安全联锁逻辑关系见图10-2。

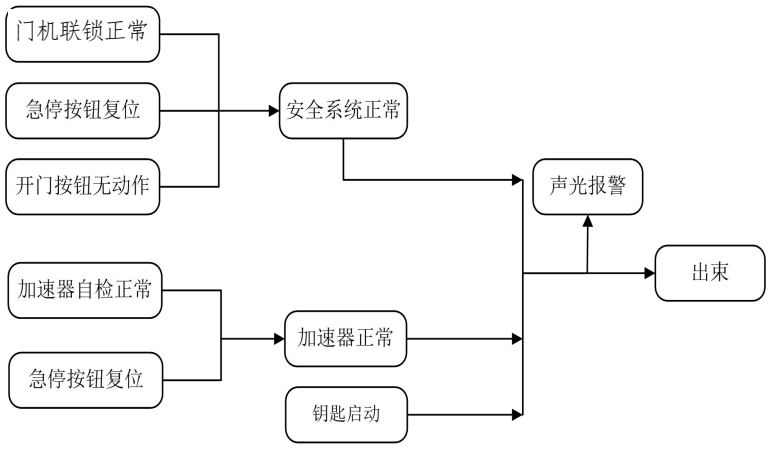



**图 10-2 加速器辐射安全联锁逻辑关系图**

**（3）屏蔽措施**

①根据医院提供的资料，放疗科的 2 个直线加速器机房以南北轴对称布置，以 1#直线加速器机房屏蔽体来说，东侧主屏蔽墙为 3000mm 混凝土，带宽 4800mm，与主屏蔽墙相连的次屏蔽墙为 1600mm 混凝土；南侧迷路内墙为 1300mm～1500mm 混凝土，迷路外墙为 1600mm 混凝土；西侧主屏蔽墙为 3000mm 混凝土，带宽 4800mm，与主屏蔽墙相连的次屏蔽墙为 1600mm 混凝土；北侧侧屏蔽墙为 1600mm 混凝土；顶棚主屏蔽墙为 3000mm 混凝土+1250mm 泥土层，带宽 4800mm，与主屏蔽墙相连的次屏蔽墙为 1600mm 混凝土+2650mm 泥土层。防护门屏蔽防护厚度为 2.5cmPb+20cm 含硼 5%的聚乙烯。2#直线加速器机房在上述描述中，除东墙和西墙方位互换外，其余防护方案一致。根据后文核算，直线加速器机房的屏蔽能力能满足要求，屏蔽体外周围剂量当量率均不大于 2.5μSv/h。

②穿墙管线

各穿墙管的位置及穿墙情况见附图六（2）放疗科加速器机房平立面布置图所示。直线加速器机房穿墙管线包括送排风管、冷媒管/冷凝管、水冷机水冷管、电气穿线管、电缆沟、剂量检测管。

A 送排风管：位于机房防护门上方，包含新风管、排气管、灾后排气管，3 个管道并列布置，管道间距约 200mm，单个管道内预埋 20mm 厚的钢板焊制高“Z”型风筒，排风单个管道内空 400mm×250mm，内低外高，机房内高约 2.9m，机房外高约 3.55m。

B 冷媒管/冷凝管、水冷机水冷管、电气穿线管：这几个穿墙管均在迷路外墙上方穿墙，斜向穿越，穿墙口内高外低，迷道内高约 3.2m，机房外高约 2.68m。穿越预埋管直径 100mm，其中水冷机水冷管 2 根，空调冷媒管/冷凝管 2 根，电气管 4 根，均水平并列布置，间距约 46mm。

C 电缆沟/电缆管：电缆沟穿墙处设置在迷道外墙上，连接辅助机房/设备间，采用地下“U”穿越，穿越点低于地面垫层 300mm。电缆沟位于地面下，截面为 400mm×400mm，从加速器基座旁沿机房内四周边沿设置，上设 30mm 混凝土盖板。

D 剂量检测管：设置在迷道外墙上，连接控制室，采用斜向 45°穿越，离地高度迷路内 300mm，机房外 1200mm，管道直径 80mm。

各穿墙预埋管跟混凝土浇铸同时进行，一次到位。各穿墙管均不在主射线方向上，根据情况尽量采用小尺寸穿越，并采用多种穿越方式，如“Z”、“U”、斜线等，避免一次

散射、漏射线直接穿墙。采取这些措施后，机房管线穿墙方案对机房墙体屏蔽防护能力削弱甚微，不影响墙体的屏蔽防护效果。但建设单位在施工中应采用先进的施工工艺保证施工质量，并在今后的运行中长期监测关注穿墙管线等薄弱处的辐射剂量。

③每个加速器机房各设置 1 个防护门，防护门的生产和安装均交有资质的厂家负责，防护门与墙体有足够的搭接，以保证防护门搭接处的屏蔽能力。防护门的生产和安装应考虑本项目特点，委托有资质的单位生产和安装，合理设置防护门各材质的顺序，保证其屏蔽厚度不低于 2.5cmPb+20cm 含硼 5%的聚乙烯。

**（4）通风**

加速器机房采用机械通风，单个机房送风口 2 个、出风口 2 个（另设一个灾后排烟口，日常不使用），采用“上进风，下出风”的布置方式，且进风口、出风口对角布置。1#加速器机房出风口位于机房内西侧底部，2#加速器机房出风口位于机房内东侧底部，离地高度约 0.2m。废气经出风口、排风井引至机房上方地面东侧的绿化带排放，单个直线加速器机房的排风量 1800$m^3$/h，通风换气 4.3 次/小时，排放口设置防倒灌装置。项目加速器机房内通风换气次数满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中“通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。

**（5）固定式剂量报警装置**

直线加速器机房内拟设置固定式剂量报警装置，仪器探头安装在机房内迷道内口附近墙体上，仪表指示仪装在控制室内，对机房进行实时剂量率监测和报警。实时剂量率监测值显示在主机面板上，实时剂量率的“报警阈值”可通过面板上的按键进行修改。仪器有声光报警装置，以警示现场工作人员，确保工作人员安全。

**（6）对讲系统、视频监控系统**

项目拟在控制室与加速器机房之间设视频监控系统与双向对讲系统，放射工作人员在控制室内便可清晰地观察到患者的治疗情况，如发现患者不适、位置移动、部件脱落、机架与治疗床发生碰撞等异常情况，可及时采取紧急措施。机房与控制室拟设置对讲设备，便于放射工作人员与患者之间进行交流。

单个加速器机房内视频监控系统共包含 7 个监控探头，主要分布在机房内、迷道内，能保证控制室人员全方位无死角的监控机房内的情况。

**（7）工作信号指示灯、警示标识**

项目机房防护门外拟设置规范的电离辐射警告标志和中文警示说明，安装醒目的工

作状态指示灯，提醒周围人员尽量远离该区域。机房内的固定式剂量报警装置有声光报警功能，加速器出束即能报警提醒误入或滞留人员马上离开。

**（8）开门装置**

防护门为电动防护门，防护门的开关设置在控制室，正常情况下由控制室内工作人员操控。另外，防护门内设置应急电动开门按钮，在发生意外时可由机房内人员可通过该按钮打开防护门出来。拟安设手动应急开门装置以备停电时使用，紧急情况下可手动打开防护门。防护门处设置红外防挤压装置，防人员被夹伤。

**（9）管理措施**

①拟配备的操作技术人员应经过辐射安全与防护知识培训和加速器专业知识培训，并经过考核合格后方可上岗。

②工作人员在操作直线加速器之前，要求正确佩戴并开启剂量报警仪，在设备使用之前需要从监控设备中确定机房内是否有无关人员滞留。开机期间单台设备至少有两名操作人员值班，认真做好当班记录，严格执行交接班制度。除接受治疗的患者外，机房内不得有其他人员。

③订购固定式剂量报警装置时，注意其探测器的能量响应，要能满足本项目辐射剂量监控的要求。

④直线加速器机房屏蔽墙体采用普通混凝土一次浇注完成，保证施工质量。购买有经验的商品混凝土搅拌站经配合实验后拌制的混凝土，混凝土浇筑时现场取样，检测其密度，委托有资质单位施工并进行施工质量的监理。

⑤项目迷道内口高 3.8m，考虑加速器运行减少对防护门的压力，建议优化设计，可适当降低迷道内口的高度。

**（10）综合情况**

综上所述，项目直线加速器各类辐射防护与安全设施、防护用品、监测仪器等见表 10-6。项目直线加速器机房主要辐射安全防护设施布置示意图见图 10-3。

**表 10-6　加速器辐射防护与安全设施一览表**

| 工作场所 | 安全防护措施 | 数量 | 说明 | 备注 |
|---|---|---|---|---|
| 直线加速器机房及控制室等 | 急停开关 | 2×7 个 | 红色按钮。分别位于加速器机架、控制台、机房内、迷道上。按下急停按钮后不能自动复位。紧急情况下便于终止治疗。 | 两台加速器布置一致 |
| | 视频监控设备 | 2×7 个 | 布置在机房内、迷道内，便于全方位观察机 | |

**续表 10　辐射安全与防护**

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | 房及迷道内的情况。 | |
| 对讲系统 | 2×1 套 | 方便机房内外工作人员之间、工作人员与病人之间进行沟通交流，病人有困难时方便停止治疗。 | |
| 联锁装置 | 多套 | 直线加速器机房设置多重联锁装置，包括门机联锁、系统联锁、双剂量联锁、故障保护系统等。 | |
| 警示标志警示语 | 若干 | 在机房入口处设置电离辐射警示标志和中文警示说明，防止警示与误进入。 | |
| 应急开门装置 | 2×1 套 | 以备停电时使用。防护门内设置一个开门按钮，并设置手动开门系统。 | |
| 红外防挤压装置 | 2×1 套 | 防人员被夹伤。 | |
| 固定式<br>剂量警报仪 | 2×1 套 | 1 个探头位于机房迷道内口附近墙体上，仪表指示仪装在控制室内。对机房进行实时剂量率、累积剂量监测和声光报警。 | |
| 工作状态指示灯 | 2×1 套 | 两色信号灯，红色：直线加速器运行严禁入内。绿色：电子加速器进入准备出束状态。 | |
| 个人剂量报警仪 | 2×2 台 | 进入直线加速器机房内工作人员使用 | |
| 个人剂量计 | 若干 | 每名放射工作人员佩戴 1 枚 | 根据放疗科人员配置 |
| 智能化 X-γ辐射仪 | 1 台 | 日常监测使用 | 新区分院共用 |
| 剂量扫描仪、水箱 | 1 套 | 设备质量检测使用 | 两台加速器共用 |

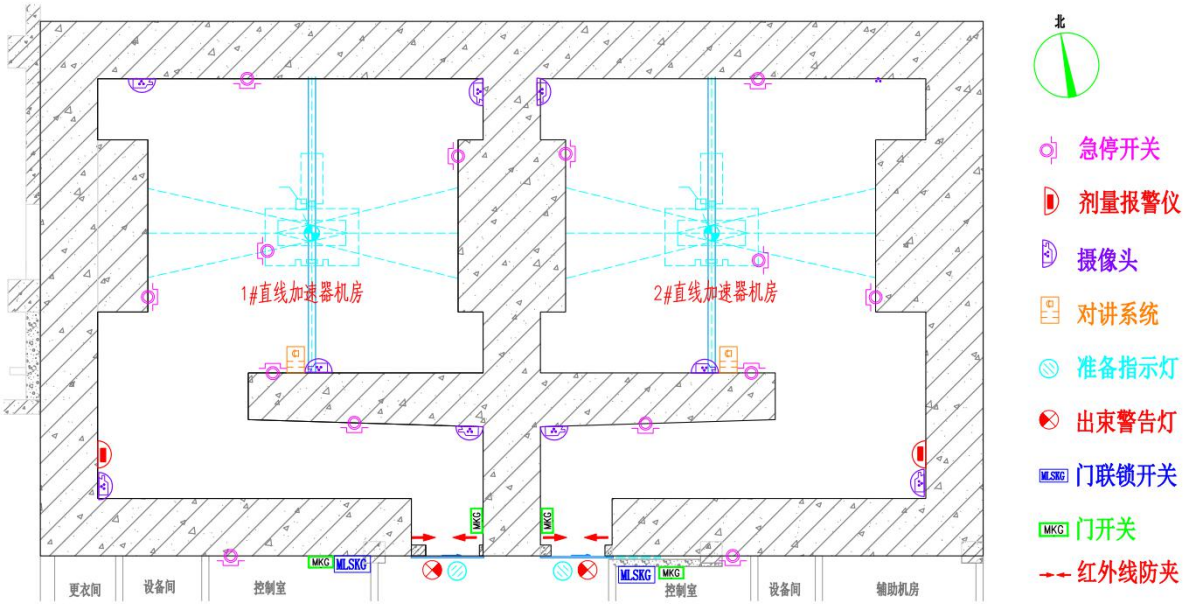



**图10-3　加速器机房辐射安全设施布置示意图**

上述直线加速器机房拟设置的辐射防护安全与设施能满足辐射防护的要求，保证射线装置正常运行，减少对周围环境和人员的影响。

**10.5.2.3 后装机辐射安全与防护**

**（1）设备安全功能**

①本项目拟配置的后装机采用环形槽轮加进、出源限位结构，保证放射源在可控制范围内，保证绝不出现放射源脱离驱动轮的控制从机器跑出而收不回来，能最大限度的减少卡源事故。

②采用强有力的源驱动力，保证能适应多种后装治疗方案。源驱动力可高达 49 牛顿（5kg）。

③有含微处理器的智能化控制系统。可实时监视控制后装机运行及处理各种遇到的情况；后装机的运行为全过程监控，全过程近二百监控检测点，没有安全漏洞；能实时与后装机控制主机通讯，将后装运行状况显示在后装控制主机显示屏上。若出现问题，立即显示错误信息并语音提示，提示处理信息。实现自我诊断，自动显示故障智能化控制系统。该系统有智能装/卸源功能。

④具有多重安全联锁措施：具有阻丝报警自动回源、各种通道检测、在停电故障时自动或者手动收回放射源等，同时具有独立强回源、故障时自动收回放射源。

⑤后装机具有形减速器，内置储蓄电池（不间断电源 UPS），保证在停电状态下，治疗系统的继续使用时间不低于 15min，且能保存治疗信息。

⑥后装机的储源罐采用的材质为含有高性能的贵重金属--钨镍合金，射线防护能力好，能满足相关标准要求。

**（2）联锁系统**

①后装治疗机与防护门进行门机联锁，防护门关闭后才能出源，一旦防护门意外打开，将会紧急回源。后装机房设置门灯联锁。

②放射源出源与施源器联锁，即施源器未连接，不能出源。

③后装治疗机设备上和控制室操作台上均拟设置“急停按钮”。机房内墙上另设置 5 个“急停按钮”。

根据设备性能及辐射安全与防护要求，本项目辐射安全联锁逻辑关系见图 10-4。

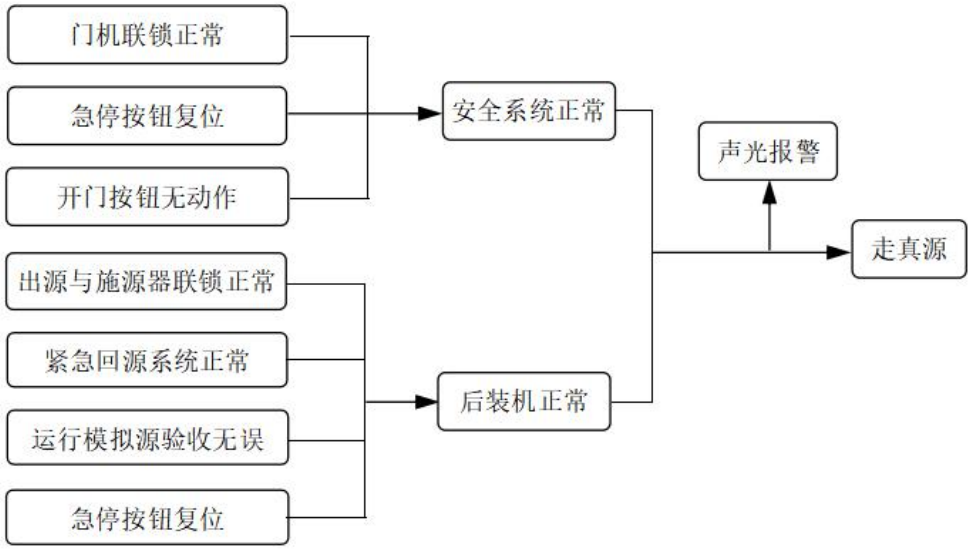



**图 10-4　后装机辐射安全联锁逻辑关系图**

**（3）屏蔽措施**

①根据医院提供的资料，后装机机房的四周墙体均为 600mm 混凝土，迷路内墙也为 600mm 混凝土，顶棚为 600mm 混凝土+500mm 垫层，地板为 1600mm 混凝土，防护门为 8mmPb。根据后文核算，后装机机房的屏蔽能力能满足要求，顶棚外周围剂量当量率均不大于 0.75μSv/h，其余屏蔽体外周围剂量当量率均不大于 2.5μSv/h。

②穿墙管线

项目后装机穿墙管道包括送排风管、电气管道、电缆沟、剂量检测管。

A 送排风管：后装机房风管由门洞上方吊顶内以“Z”型穿屏蔽墙进入机房内，包括新风管、排风管、灾后排烟管，水平并列布置，管道间距约 200mm，穿越处新风管、排风管规格为 320mm×200mm，灾后排烟管为 250mm×200mm，穿墙口内低外高，机房内高约 2.6m，机房外高约 3.25m。

B 电气穿线管：在迷路外墙上方穿墙，斜向穿越，穿墙口内高外低，迷道内高约 2.8m，机房外高约 2.6m。穿越预埋管直径约 100mm，共 2 根水平并列布置，间距 50mm。

C 电缆沟：从机房内南侧墙体边沿沿机房内绕行到东侧、北侧、西侧迷道外墙下，从此处地下“U”穿越到控制室，穿越点低于地面垫层 300mm。电缆沟位于地面下，深 400mm，尺寸为 200mm×100mm，上设 30mm 混凝土盖板。

D 剂量检测管：设置在迷道外墙上，连接迷道与控制室，斜向呈 45°预埋直径 80mm 的物理测试管，离地高度机房内 300mm，机房外 1200mm。

**续表 10　辐射安全与防护**

后装机穿墙管线穿墙平面示意图和穿墙大样图附图六（3）放疗科后装机机房平立面布置图所示。

采取上述措施后，后装机机房穿墙方案对机房墙体屏蔽防护能力削弱甚微，但在施工中应采用先进的施工工艺保证施工质量，并在今后的运行中长期监测关注穿墙管线等薄弱处的辐射剂量。

③后装机房设置 1 个铅防护门，防护门的生产和安装均由有资质的厂家负责。

**（4）通风**

后装机机房采用机械通风，送风口 1 个位于迷道内（西墙处）吊顶上，出风口 1 个位于东墙处（另在西北角设一个设灾后排烟口），离地高度约 0.2m，排烟口 1 个位于；进排风口远离布置，且排风口位于机房内部深处，呈“上进风，下排风”，便于废气的排出。废气经排风系统收集后引至加速器机房上方地面东侧的绿化带排放。后装机房内排风口风量 900$m^3$/h 的风机，保证通风换气约 5 次/小时，满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中“通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。

后装机房排风管网布置布置图见附图六（4）所示。

**（5）对讲、视频监控、剂量监控系统**

①项目拟在控制室与后装机房之间设视频监控系统与对讲系统，放射工作人员在控制室内便可清晰地观察到患者的治疗情况，如发现患者不适、位置移动、部件脱落、机架与治疗床发生碰撞等异常情况，可及时采取紧急措施。机房与控制室拟设置对讲设备，便于放射工作人员与患者之间进行交流。

②后装机房内设置固定式剂量监控系统，保证控制室能准确了解机房内剂量情况，探头位于机房内，剂量显示位于控制室内，剂量报警时有声光警示功能。

③监控视频同时传输至医院保卫室，实时监控放射源的安全。

**（6）警示标识、工作状态指示灯**

项目后装机房防护门外拟设置规范的电离辐射警告标志，张贴辐射防护注意事项、设置醒目的工作状态指示灯等，提醒周围人员尽量远离该区域。指示灯为三色信号灯，与设备联锁。

**（7）开门装置**

安装防护门内手动开门按钮，方便机房内人员开门出来；防护门处设置红外防挤压装置，防护人员被夹伤。

**续表 10　辐射安全与防护**

**（8）应急措施**

后装机工作场所除了急停按钮外，还有以下应急措施：

①后装机具有电磁离合断电收源机构，即在断电情况下能强制回源。回源后，可保存状态，接续治疗。

②后装机的回源有多种方式：程序自动回源、程序强行回源、按“急停按钮”回源、断电后紧急回源、单向手动扳手回源（只能回源，不放出源）。

③设置手动开门装置，以便在停电时手动开门让机房内人员出来。

④配置一个应急储源器，在发生放射源掉落等情况下暂存放射源。

**（9）管理措施**

①购买放射源和治疗系统为合格产品，放射源和设备基本参数设置在醒目位置。

②本项目后装机不是固定安装，可以在机房内活动，因此，日常治疗工作时治疗床和后装机应尽量位于机房内部工作区域，尽量远离迷道内口。

**（10）储源室设施**

储源室设置视频监控设施，实时监控储源室内情况，并传输至医保卫室实时监控，防止盗源。储源室内设置为防盗门，具有报警功能。储源室内配置储源柜和储源铅罐，实行双人双锁。

**（11）换源工作人员防护与管理**

根据工程分析，本项目换源工作一般半年进行一次，每次均由专业技术公司进行，医院仅进行准备工作。为了保证换源工作的正常进行，杜绝环境风险事故的发生，医院拟做到以下防护工作及管理工作。

①制定相应的安保和工作准备方案和换源方案，设置专人负责专项工作，具体内容包含如下：

A、提前与供源单位沟通和联系，核对现场准备要求；

B、每次确认放射源运输车辆的到达时间，提前进行医院内运输通道的清场，设置相应的警戒绳、警示牌、警示灯等，禁止无关车辆和人员的通行；放射源的更换尽量选在夜间，减少对周围人员的影响；

C、提前通知相关管理部门，如区、市生态环境局，以便随时接受监督和检查；

D、提前准备好个人防护用品，如个人剂量报警仪、铅橡胶衣服、铅橡胶帽子、铅橡胶颈套等，作为专业技术工作人员的备用品；

E、在放射源运输和安装的过程中，使用医院的智能化 X-γ辐射仪对屏蔽体外的剂量进行监测，并记录，以了解该工作的辐射影响程度；

F、记录放射源更换各分项工作的时间，多次统计后以相关科室部门的时间配合和安排；

G、做好放射源等的交接工作，填写相应的记录。废源由换源单位带回处理，尽量不暂存在医院内，特殊情况需要在医院暂存的，暂存在加速器机房南侧的储源室内。

②每次装源/换源工作结束后，填写相应记录（如更换时间、放射源编码、出厂活度、人员配置、工作分配、使用到的辐射防护用品、特殊事件情况、处理情况等），总结相应工作；

③建立放射源更换工作档案，将相应资料存档。

**（12）综合情况**

综上所述，项目后装机工作场所各类辐射防护与安全设施、防护用品、监测仪器等见表 10-7。项目后装机机房主要辐射安全防护设施布置示意图见图 10-5。

**表 10-7　后装机工作场所安全防护装置与防护措施表**

| 工作场所 | 安全防护措施 | 数量 | 说明 |
|---|---|---|---|
| 后装机机房及控制室等 | 急停按钮 | 7 个 | 红色按钮，设备、控制台上各一个，迷道外墙内侧、机房内四周墙体上各设置 1 个，按下后不能自动复位。紧急情况下便于终止治疗并回源。 |
| | 视频监控设备 | 1 套 | 便于观察病人，出现紧急情况便于及时处理。并传输至医保卫室实时监控，防止盗源。 |
| | 开门、闭门装置 | 1 套 | 确保铅门闭合，防止射线漏射，设置应急手动开门。机房内设置开门按钮。机房门具有防盗、报警功能。 |
| | 对讲装置 | 1 套 | 方便控制室放射工作人员与机房内人员进行沟通交流。 |
| | 警告标志、警示语 | 若干 | 在后装入口处设置电离辐射警示标志和中文警示说明，贴于机房门上。 |
| | 工作状态指示灯 | 2 个 | 三色信号灯，红色：设备运行严禁入内。橙色：准备或临时停机。绿色：设备停机状态，方可进入。 |
| | 防挤压装置 | 1 套 | 机房内外门框处红外防挤压装置。 |
| | 门机联锁 | 1 套 | 机房门开启不能送源。 |
| | 固定式剂量报警仪 | 1 台 | 探头设置在机房内，有声光警示功能。 |
| | 个人剂量计 | 若干 | 每名放射工作人员均佩戴。 |
| | 个人剂量报警仪 | 2 台 | 进入后装机机房内的工作人员佩戴使用。 |
| | 智能化 X-γ辐射仪 | 1 台 | 新区分院共用。 |
| | 应急储源罐 | 1 个 | 用于应急状态储源。 |

**续表 10　辐射安全与防护**

| | | | |
|---|---|---|---|
| | 长柄镊子 | 1 个 | 后装机工作场所应急使用。 |
| | 铅橡胶衣服、铅橡胶帽子、铅橡胶颈套、警戒绳、警示牌、警示灯等 | 1 套 | 换装源单位备用。 |
| 储源室 | 防盗门 | 1 扇 | 具有防盗、报警功能。 |
| | 视频监控设备 | 1 套 | 便于监控储源室内部情况，并传输至医保卫室实时监控，防止盗源。 |

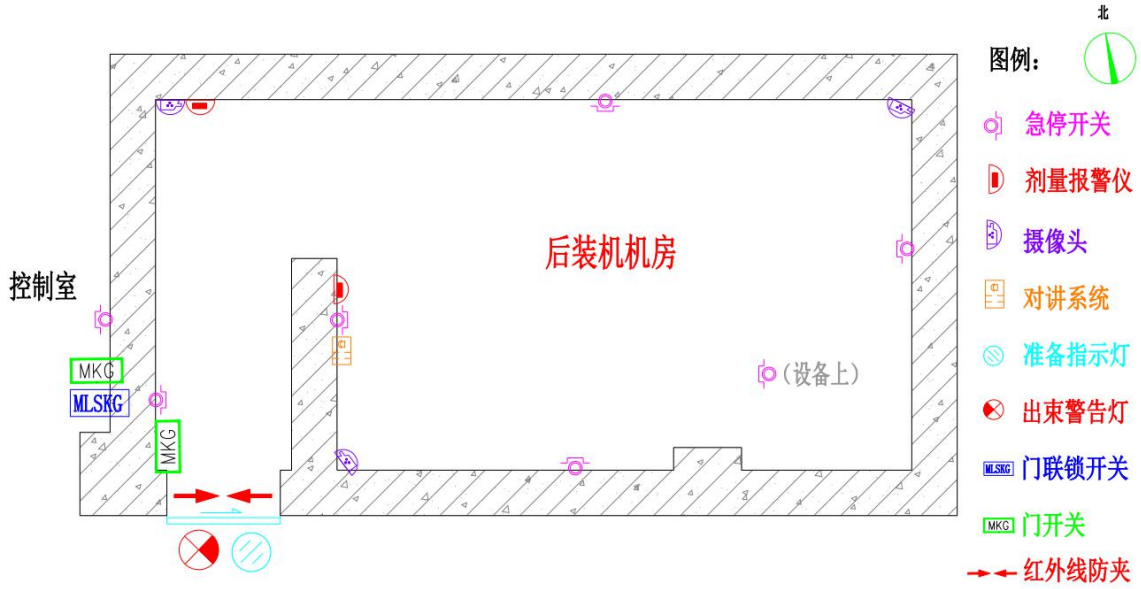



**图10-5　后装机机房辐射安全设施布置示意图**

### 10.5.3 介入中心拟采取的辐射安全与防护措施

**（1）设备固有措施**

本项目拟配置的 DSA 自身拟采取多种固有安全防护措施：

①DSA 设有可调限束装置，使装置发射的线束照射面积尽量减小，以减少泄漏辐射。透视曝光开关为常断式开关，并拟配备透视限时装置。DSA 具备工作人员在不变换操作位置情况下成功切换透视和采集功能的控制键。

②采用光谱过滤技术：在 X 射线管头或影像增强器的窗口处放置合适铝过滤板，以多消除软 X 射线以及减少二次散射，优化有用 X 射线谱。设备提供适应 DSA 不同应用时可以选用的各种形状与规格的准直器隔板和铝过滤板。影像增强器前面可酌情配置各种规格的滤线栅，减少散射影响。

③采用脉冲透视技术：在透视图像数字化基础上实现脉冲透视，改善图像清晰度；并能明显地减少透视剂量。

④采用图像冻结技术：每次透视的最后一帧图像被暂存并保留于监视器上显示，即称之为图像冻结（last image hold，LIH）。充分利用此方法可以明显缩短总透视时间，达到减少不必要的照射。

⑤配备辅助防护设施：设备采购时配辅助防护设施，包括 1 套铅悬挂防护屏、铅防护吊帘、床侧防护帘、床侧防护屏。

⑥应急开关：DSA 设备上及控制台上设置急停开关，按下急停按钮，DSA 设备立即停止出束。

**（2）屏蔽措施**

①屏蔽体防护：根据医院提供资料，4 个 DSA 机房四周墙体均为 240mm 实心页岩砖+2mmPb 铅板，顶棚、地板均为 300mm 混凝土+100mm 垫层，防护门、观察窗为 4mmPb。根据后文核算，机房等效铅当量和机房外周围剂量当量率（小于 2.5μSv/h）均能满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。

②通风管进出口防护：DSA 机房内空高 4.4m，吊顶后内空高 3.6m，DSA 机房内电缆导线、导管、风管均由机房吊顶上方穿越机房屏蔽体，穿墙高度离地约 3.8m，射线经多次散射后对机房外的剂量满足要求。

③每个 DSA 机房均设置 3 个进出铅防护门和 1 个铅防护观察窗。观察窗四周配备防护窗套，窗套屏蔽能力与铅玻璃屏蔽能力相当。铅防护门、铅玻璃窗的生产和安装交有资质的厂家负责。病人进出的防护门为推拉门，设防夹装置，设置门灯联锁；其他防护门为平开门，有自动闭门装置。

**（3）通风**

介入中心设置单独的新风、排风系统。每个 DSA 机房均拟设置 2 个进风口和 2 个排风口，均位于吊顶上对应布置。机房吊顶后高度约 3.6m，每个 DSA 机房设计排风量为 1100$m^3$/h，能使机房内有良好的通风。废气收集后通过门诊病房综合大楼排风井引至建筑塔楼 19F 楼顶排放。

项目介入中心排风系统布置图见附图七（2）所示。

**（4）联锁系统**

本项目各 DSA 机房的各防护铅门均拟设置门灯联锁系统，防护门上方拟设置醒目的工作状态指示灯，灯箱上设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句，在防护门关闭时，指示灯亮，警示无关人员远离该区域；同时在候诊区设置放射防护注意事项告知

栏。

**（5）警示标识**

本项目各 DSA 机房的各防护门外均拟设置电离辐射警告标志，提醒周围人员尽量远离该区域；同时在谈话间设置放射防护注意事项告知栏。

**（6）辐射防护用品**

根据医院提供的资料，介入中心拟配备个人防护用品，具体见表 10-8。

**表 10-8　介入中心拟配置个人防护用品和辅助防护设施情况表**

| 使用对象 | 个人防护用品 | | | 辅助防护设施 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 名称 | 铅当量 | 数量 | 名称 | 铅当量 | 数量 |
| 工作人员 | 铅橡胶围裙<br>铅橡胶颈套 | ≥0.5mmPb | 16套 | 床侧防护帘/床侧防护屏 | ≥0.5mmPb | 4套 |
| | 铅防护眼镜 | ≥0.25mmPb | | 铅悬挂防护屏/铅防护吊帘 | ≥0.25mmPb | |
| | 介入防护手套 | ≥0.025mmPb | 若干 | / | | |
| 患者 | 铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套 | ≥0.5mmPb | 4套 | / | | |

备注：若配置儿童个人防护用品，铅当量不低于0.5mmPb。另外，可以根据工作人员及患者需要选配铅橡胶帽子，铅当量不低于0.25mmPb；工作人员辅助设施还可以根据需要选配移动铅防护屏风，移动铅防护屏风铅当量应不小于2mmPb。

**（7）管理措施**

①医院在进行介入手术时，拟制定最优化方案，在满足诊断前提下，选择合理可行尽量低的射线参数、尽量短的曝光时间，减少放射工作人员和相关公众的受照射时间，避免患者受到额外剂量的照射。

②合理布置机房内急救及手术用辅助设备。

③医院拟合理安排医疗废物运出时间，DSA 机房工作时，严禁医疗废物运出；待 DSA 机房停止工作时，方可进行医疗废物运送。

④DSA 运行后，医院拟持续观察 DSA 机房铅板屏蔽体状态，若发生沉降等现象，及时采取补救措施，确保 DSA 机房屏蔽体的屏蔽效果良好。

## 10.6 项目建设与相关要求的符合性

本项目建设拟采取的辐射安全与防护措施与主要标准：《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《放射诊断放射防

护要求》（GBZ130-2020）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）、《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）等相关要求的对比分析情况见表 10-9 所示。

根据表 10-9 可知，本项目拟采取的辐射安全与防护措施满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）、《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）等相关标准的要求。

## 续表 10　辐射安全与防护

**表 10-9　项目辐射防护措施与标准要求对比情况表**

| 标准号 | 标准要求 | | 项目情况 |
|---|---|---|---|
| HJ1188-2021 | 辐射工作场所分区 | 4.3.1 应按照 GB 18871 的要求将核医学工作场所划分出控制区和监督区，并进行相应的管理。 | 核医学科拟按照要求划分控制区和监督区，并按照相应要求进行管理。 |
| | | 4.3.2 核医学工作场所的控制区主要包括回旋加速器机房、放射性药物合成和分装室、放射性药物贮存室、给药室、给药后候诊室、扫描室、核素治疗病房、给药后患者的专用卫生间、放射性废物暂存库、衰变池等区域。 | 拟将核医学按照左侧要求划分为控制区和监督区，具体分区情况见表 10-1。 |
| | | 4.3.3 核医学工作场所的监督区主要包括回旋加速器和显像设备控制室、卫生通过间以及与控制区相连的其他场所或区域。 | |
| | | 4.3.4 控制区的入口应设置规范的电离辐射警告标志及标明控制区的标志，监督区入口处应设置标明监督区的标志。 | 核医学科控制区拟设置规范的电离辐射警告标志及标明控制区的标志，监督区入口处拟设置标明监督区的标志。 |
| | 选址和布局 | 5.1.1 核医学工作场所宜建在医疗机构内单独的建筑物内，或集中于无人长期居留的建筑物的一端或底层，设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道。 | 本项目核医学科拟建设在门诊病房综合楼底层一端，该区域与其他区域有物理隔离和单独的人员、物流通道。 |
| | | 5.1.2 核医学工作场所不宜毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并应与非放射性工作场所有明确的分界隔离。 | 核医学科周围主要布置放疗科、车库，楼上为日间手术室中心，楼下为废物暂存间等辅助用房，不与产科、儿科、食堂等部门及人员密集区毗邻，于其他区域有明确的分界隔离。 |
| | | 5.1.3 核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。 | 核医学科排风口位于门诊病房综合楼 19 楼塔楼顶，远离周围高层建筑。 |
| | | 5.2.1 核医学工作场所应合理布局，住院治疗场所和门诊诊断场所应相对分开布置；同一工作场所内应根据诊疗流程合理设计各功能区域的布局，控制区应相对集中，高活室集中在一端，防止交叉污染。尽量减小放射性药物、放射性废物的存放范围，限制给药后患者的活动空间。 | 核医学科住院治疗场所与门诊诊断场所相对分开布置，布局按照诊疗流程合理设计，控制区相对集中，分装注射室、碘分装室等高活室集中布置在工作人员活动侧；尽量减少放射性药物、放射性废物的存放范围，给药后病人活动区域有限，不能倒回。 |
| | | 5.2.2 核医学工作场所应设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和患者通道分开，减少给药后患者对其他人员的照射。注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道应尽可能短捷。 | 核医学科的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径相对独立。工作人员通道和患者通道分开，减少给药后患者对其他人员的照射。口服药物患者和注射药物患者错时就诊，保证用药后患者与用药前患者不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道应尽可能短捷。 |
| | | 5.2.3 核医学工作场所宜采取合适的措施，控制无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动，避免工作人员和公众受到不必要的照射。控制区的出入口应设立卫生缓冲区，为工作人员和患者提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备。控制区内应设有给药后患者的专用卫生间。 | 核医学拟在病人控制区进出口等处设置门禁，控制无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动，避免工作人员和公众受到不必要的照射。工作人员进入的控制区入口设置卫生通过间，能更换衣物、穿戴防护用品、冲洗清洁身体、进行表面污染监测。控制区内为给药后患者设置专用卫生间。 |

## 续表 10　辐射安全与防护

| 标准号 | 标准要求 | | 项目情况 |
|---|---|---|---|
| HJ1188-2021 | 场所安全措施要求 | 6.2.1 核医学工作场所的放射性核素操作设备的表面、工作台台面等平整光滑，室内地面与墙壁衔接处应无接缝，易于清洗、去污。 | 核医学科的防护手套箱、注射台/注射窗、工作台台面等拟设置为不锈钢或者乳胶漆饰面，平整光滑，室内地面与墙壁衔接处无接缝，易于清洗、去污。 |
| | | 6.2.2 操作放射性药物场所级别达到乙级应在手套箱中进行，丙级可在通风橱内进行。应为从事放射性药物操作的工作人员配备必要的防护用品。放射性药物给药器应有适当的屏蔽，给药后患者候诊室内、核素治疗病房的床位旁应设有铅屏风等屏蔽体，以减少对其他患者和医护人员的照射。 | 核医学科为已级工作场所，拟设置防护手套箱；本项目拟配置的必要防护用品见表 1-3；拟配置注射器防护套，有一定的屏蔽能力，拟在各等候室、留观室、病房设置铅屏风，以减少对其他患者和医护人员的照射。 |
| | | 6.2.3 操作放射性药物的控制区出口应配有表面污染监测仪器，从控制区离开的人员和物品均应进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，应采取相应的去污措施。 | 核医学科拟在卫生通过间内配置表面沾污仪，从控制区离开的人员和物品均进行表面污染监测，合格后方可离开。 |
| | | 6.2.4 放射性物质应贮存在专门场所的贮存容器或保险箱内，定期进行辐射水平监测，无关人员不应入内。贮存的放射性物质应建立台账，及时登记，确保账物相符。 | 放射性药物暂存在储源室内，拟按照要求定期进行辐射水平监测，进入储源室、衰变室的门拟设置防盗防护门，无关人员不能入内。拟建立放射性药物的暂存、使用等台账。 |
| | | 6.2.5 应为核医学工作场所内部放射性物质运送配备有足够屏蔽的贮存、转运等容器，容器表面应张贴电离辐射标志，容器在运送时应有适当的固定措施。 | 核医学科拟配置药品铅罐、注射转运盒等，有一定的屏蔽能力；容器表面拟粘贴电离辐射标志。容器在运送时有适当的固定措施。 |
| | | 6.2.9 扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。 | PET/CT 机房、SPECT/CT 机房各防护门上方拟设置工作状态指示灯。 |
| | 密闭和通风要求 | 6.3.1 核医学工作场所应保持良好的通风，工作场所的气流流向应遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，保持工作场所的负压和各区之间的压差，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。 | 核医学科拟设置独立 9 套的通排风系统，气流从清洁区向监督区再向控制区流动，保持工作场所负压和压差，各管道设置防倒灌装置，避免交叉污染影响，满足标准要求。 |
| | | 6.3.3 碘-131 治疗病房应设有单独的通风系统，病房的门窗应有封闭措施，保持治疗区域内的负压，治疗区域内的空气应经单独的排气管道有组织排放。 | 核医学科甲癌病房区设置单独的排风系统，废气收集后引至门诊病房综合塔楼顶经活性炭吸附后高于楼顶 3m 排放。1 间病房设置采光窗（无法打开），各病房防护门有封闭措施，能在排风情况下保持病房为负压。 |
| | | 6.3.4 放射性物质的合成、分装以及挥发性放射性核素的操作应在手套箱、通风橱等密闭设备中进行，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭或其他过滤装置。 | 核医学科拟配置防护手套箱，手套箱为密闭设备，设置单独的吸风口，能保持手套箱内为负压，废气通过手套箱上方的活性炭吸附装置吸附后再引至塔楼顶再经活性炭吸附后高于楼顶 3m 排放。 |
| | | 6.3.5 通风橱应有足够的通风能力。制备放射性药物的回旋加速器工作区域、碘-131 治疗病房以及设有通风橱、手套箱等场所的通风系统排气口应高于本建筑物屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑。 | 本项目防护手套箱有独立的吸风口，设计足够的排风量，能保证风速不小于 0.5m/s；本项目废气管道引至门诊病房综合楼高于楼顶 3m 排放，尽量远离周围高层建筑。 |

## 续表 10　辐射安全与防护

| 标准号 | 标准要求 | | 项目情况 |
|---|---|---|---|
| HJ1188-2021 | 放射性废物的管理 | 7.1.1 应根据核医学实践中产生废物的形态及其中的放射性核素的种类、半衰期、活度水平和理化性质等，按放射性废物分类要求将放射性废物进行分类收集和分别处理。 | 本项目在各产生放射性固废位置设置放射废物桶，尽量按核素和废物分类要求分类收集和衰变处理。 |
| | | 7.1.2 应按照废物最小化的原则区分放射性废物与解控废物，不能混同处理，应尽量控制和减少放射性废物产生量。 | 加强管理，严格区分放射性废物和非放射性废物，不混同处理，并尽量控制和减少放射性废物的产生量。 |
| | | 7.1.3 核医学实践中产生的短寿命放射性废物，应尽量利用贮存衰变的方法进行处理，待放射性核素活度浓度满足解控水平后，实施解控。不能解控的放射性废物，应送交有资质的放射性废物收贮或处置机构进行处理。 | 核医学科拟使用的核素半衰期均不长，使用贮存衰变的方法处理，待达到解控水平后作为一般医疗废物处理。 |
| | | 7.1.4 应建立放射性废物收集、贮存、排放管理台账，做好记录并存档备案。 | 核医学科拟建立放射性废物管理台账，做好记录存档备查。 |
| | | 7.2.1.1 固体放射性废物应收集于具有屏蔽结构和电离辐射标志的专用废物桶。废物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物。 | 核医学科拟配置放射废物桶收集和存储放射性废物，废物桶内拟设置专用塑料袋，放射废物桶有一定的屏蔽能力，桶上粘贴电离辐射标志。 |
| | | 7.2.1.2 含尖刺及棱角的放射性废物，应预先进行包装处理，再装入废物桶，防止刺破废物袋。 | 核医学科放射性废物拟按要求对含尖刺及棱角的预先进行包装处理后再装入废物桶，防止刺破废物袋。 |
| | | 7.2.1.3 放射性废物每袋重量不超过 20kg。装满废物的塑料袋应密封后及时转送至放射性废物暂存间贮存。 | 核医学科放射废物打包时拟按要求每袋重量不超过20kg。放射性废物及时密封后转送至衰变室衰变处理。 |
| | | 7.2.2.1 产生少量放射性废物和利用贮存衰变方式处理放射性废物的单位，经审管部门批准可以将废物暂存在许可的场所和专用容器中。暂存时间和总活度不能超过审管部门批准的限制要求。 | 核医学科运行产生一定量的放射性废物，利用贮存衰变方式处理放射性废物，运营后建设单位拟按照省管部门批准要求操作。 |
| | | 7.2.2.2 放射性废物贮存场所应安装通风换气装置，放射性废物中含有易挥发放射性核素的，通风换气装置应有单独的排风管道。入口处应设置电离辐射警告标志，采取有效的防火、防丢失、防射线泄漏等措施。 | 核医学科设置衰变室衰变放射性废物，衰变室设置单独的排气管网，废气引至楼顶后经活性炭吸附处理后排放。衰变室门口拟设置电离辐射警告标志，防护门设置防盗装置，用房四周为混凝土，门为防护门，能有效防火、防丢失、防漏射线。 |
| | | 7.2.2.3 废物暂存间内应设置专用容器盛放固体放射性废物袋（桶），不同类别废物应分开存放。容器表面应注明废物所含核素的名称、废物的类别、入库日期等信息，并做好登记记录。 | 核医学科拟在衰变室内配置多个废物袋（桶），分类衰变不同类别的废物；容器表面拟按照要求注明相应信息，并做好登记。 |
| | | 7.2.2.5 废物暂存间内不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品。 | 核医学科的衰变室内不存放易燃、易爆、腐蚀性物品。 |

## 续表 10　辐射安全与防护

| 标准号 | 标准要求 | | 项目情况 |
|---|---|---|---|
| HJ1188-2021 | 放射性废物的管理 | 7.2.3.1 固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α表面污染小于 0.08Bq/cm$^2$、β表面污染小于 0.8Bq/cm$^2$ 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：a）所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；b）所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍；c）含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。 | 核医学科在产生放射性废物处均按核素分开收集，含碘-131 的暂存超过 180 天，半衰期低于 24 小时的暂存时间超过 30 天，半衰期大于 24 小时的暂存时间超过其半衰期 10 倍时间，暂存时间满足要求后，经监测合格后作为一般医疗废物处理。 |
| | | 7.2.3.2 不能解控的放射性固体废物应该按照放射性废物处理的相关规定予以收集、整备，并送交有资质的单位处理。放射性废物包装体外的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，表面污染水平对β和γ发射体以及低毒性α发射体应小于 4 Bq/cm$^2$、其他α发射体应小于 0.4Bq/cm$^2$。 | 核医学科的放射性废物均自行衰变处理达标后作为一般医疗废物交有资质单位处理。 |
| | | 7.2.3.3 固体放射性废物的存储和处理应安排专人负责，并建立废物存储和处理台账，详细记录放射性废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息。 | 核医学科放射性固废拟安排专人负责管理，建立台账，记录相关信息。 |
| | 液态放射性废物的管理 | 7.3.1.1 核医学工作场所应设置有槽式或推流式放射性废液衰变池或专用容器，收集放射性药物操作间、核素治疗病房、给药后患者卫生间、卫生通过间等场所产生的放射性废液和事故应急时清洗产生的放射性废液。 | 核医学科拟设置 1 套槽式衰变处理设施处理含碘-131、镥-177 的放射性废水，设置 1 套推流式衰变处理设施处理其他放射性废水。放射性废水的收集包含卫生通过间、碘分装室、给药后患者卫生间、污洗间、服药室、住院病房等场所的放射性废水，能将所有放射性废水收集处理。 |
| | | 7.3.1.2 核医学工作场所放射性药物标记、分装、注射后的残留液和含放射性核素的其他废液应收集在专用容器中。含有长半衰期核素的放射性废液应单独收集存放。盛放放射性废液的容器表面应张贴电离辐射标志。 | 核医学科未使用完的放射性核素，短半衰期的衰变后作为放射性废物衰变处置，长半衰期的收集在原药品铅罐中返回生产厂家处置。药品铅罐上均有电离辐射标志。 |
| | | 7.3.1.3 核医学工作场所的上水需配备洗消处理设备（包括洗消液）。控制区和卫生通过间内的淋浴间、盥洗水盆、清洗池等应选用脚踏式或自动感应式的开关，以减少场所内的设备放射性污染。头、眼和面部宜采用向上冲淋的流动水。 | 核医学科拟在工作场所分装注射室配置洗消处理设备（含洗消液），并在卫生通过间、污洗间等处配置专用的核素洗消液；拟在控制区内和卫生通过间的淋浴、盥洗水盆、清洗池、便池等拟选用脚踏式或自动感应式的开关，头、眼和面部拟采用向上冲淋的流动水。 |
| | | 7.3.1.4 放射性废液收集的管道走向、阀门和管道的连接应设计成尽可能少的死区，下水道宜短，大水流管道应有标记，避免放射性废液集聚，便于检测和维修。 | 核医学科放射性废水的收集管道拟按要求设计，尽量减少死区，避免放射性废液集聚，其下水道路径尽量短捷，管道位于同层降板区域内，有足够厚的垫层屏蔽，污水泵房后端的管网设置标记，便于检测和维修。 |
| | | 7.3.2.1 经衰变池和专用容器收集的放射性废液，应贮存至满足排放要求。衰变池或专用容器的容积应充分考虑场所内操作的放射性药物的半衰期、日常核医学诊疗及研究中预期产生贮存的废液量以及事故应急时的清洗需要；衰变池池体应坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑和具有可靠的防泄漏措施。 | 核医学科拟建 1 套槽式、1 套推流式放射性废水衰变处理设施。设施中含有大体积的前处理池、集水池、衰变池、排水控制单元，处理设施能满足放射性废水的暂存时间要求，能保证废水处理后达标排放，同时也能满足事故应急清洗废水的贮存。衰变池采用混凝土结构，坚固、耐酸碱腐蚀，内部进行防渗处理，有无渗透性、内壁光滑和具有可靠的防泄漏措施。 |

## 续表 10　辐射安全与防护

| 标准号 | 标准要求 | | 项目情况 |
|---|---|---|---|
| HJ1188-2021 | 液态放射性废物的管理 | 7.3.2.2 含碘-131 治疗病房的核医学工作场所应设置槽式废液衰变池。槽式废液衰变池应由污泥池和槽式衰变池组成，衰变池本体设计为 2 组或以上槽式池体，交替贮存、衰变和排放废液。在废液池上预设取样口。有防止废液溢出、污泥硬化淤积、堵塞进出水口、废液衰变池超压的措施。 | 核医学科拟建单独的 1 套衰变处理设施（1#）单独处理含碘-131 的放射性废水（含住院治疗病房区）。处理设施包含前处理池、集水池、衰变池（4 个）、排水控制单元。前处理池具有污泥池的功能，衰变池为 4 组，排水控制单元设置采样口。处理设施设置水位检测装置、搅拌破碎装置、报警机制等，实现设施运行状态自行监控、高度智能化控制，能防止废液溢出、污泥硬化淤积、堵塞进出水口、废液衰变池超压。 |
| | | 7.3.2.3 核医学诊断和门诊碘-131 治疗场所，可设置推流式放射性废液衰变池。推流式衰变池应包括污泥池、衰变池和检测池。应采用有效措施确保放射性废液经污泥池过滤沉淀固形物，推流至衰变池，衰变池本体分为 3-5 级分隔连续式衰变池，池内设导流墙。污泥池池底有防止和去除污泥硬化淤积的措施。 | 核医学科拟建 1 套推流式放射性废水衰变处理设施（2#）处理其他门诊诊疗的放射性废水。推流式衰变处理设施包含前处理池、集水池、衰变池（4 个）、排水控制单元。前处理池具有污泥池的功能，设置搅拌破碎装置，有防止和去除污泥硬化淤积的措施；排水控制单元设有采样口；衰变池为 4 级分隔连续式衰变池，池内设重力污水管，相连池体的排水口错位布置，起到增加废水停留时间的作用。 |
| | | 7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：<br>a)所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放；<br>b)所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，按照 GB18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总α不大于 1Bq/L、总β不大于 10Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L。 | 核医学科拟建 1 套槽式废水衰变处理设施（1#）衰变处理设施收集处理半衰期低于大于 24 小时的放射性废水（主要含碘-131、镥-177），衰变池能暂存超过 180 天的废水量。根据核算，衰变处理设施排放口的废水能满足左述限值要求。 |
| | | 7.3.3.2 对于推流式衰变池贮存方式，所含核素半衰期大于 24 小时的，每年应对衰变池中的放射性废液进行监测，碘-131 和最长半衰期核素的放射性活度浓度应满足 GB18871 附录 A 表 A1 的要求。 | 核医学科拟建 1 套推流式放射性废水衰变处理设施（2#）处理其他门诊诊疗的放射性废水，废水中所含核素半衰期小于 24 小时，拟在验收时进行监测。 |
| | | 7.3.3.3 放射性废液的暂存和处理应安排专人负责，并建立废物暂存和处理台账，详细记录放射性废液所含的核素名称、体积、废液产生起始日期、责任人员、排放时间、监测结果等信息。 | 本项目拟按要求设置专人管理放射性废水的处理，建立台账，记录相关信息。 |
| | 气态放射性废物的管理 | 7.4.1 产生气态放射性废物的核医学场所应设置独立的通风系统，合理组织工作场所的气流，对排出工作场所的气体进行过滤净化，避免污染工作场所和环境。 | 本项目拟设置独立的通排风系统，气流从清洁区到监督区到控制区走向，手套箱上方设置活性炭过滤装置处理废气。 |
| | | 7.4.2 应定期检查通风系统过滤净化器的有效性，及时更换失效的过滤器，更换周期不能超过厂家推荐的使用时间。更换下来的过滤器按放射性固体废物进行收集、处理。 | 本项目拟按厂家推荐时间定期更换活性炭。更换下来的活性炭作为放射性废物衰变处理。 |

**续表 10　辐射安全与防护**

| 标准号 | 标准要求 | | 项目情况 |
|---|---|---|---|
| GBZ120-2020 | 工作场所的放射防护要求 | 5.1 工作场所平面布局和分区。 | / |
| | | 5.1.1 在医疗机构内部区域选择核医学场址，应充分考虑周围场所的安全，不应邻接产科、儿科、食堂等部门，这些部门选址时也应避开核医学场所。尽可能做到相对独立布置或集中设置，宜有单独出、入口，出口不宜设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域。 | 项目核医学科选址不邻接产科、儿科、食堂等部门，核医学科病人有单独出、入口，出口为建筑外广场，未设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域。 |
| | | 5.1.2 核医学工作场所平面布局设计应遵循如下原则：a) 使工作场所的外照射水平和污染发生的概率达到尽可能小；b) 保持影像设备工作场所内较低辐射水平以避免对影像质量的干扰；c) 在核医学诊疗工作区域，控制区的入口和出口应设置门锁权限控制和单向门等安全措施，限制患者或受检者的随意流动，保证工作场所内的工作人员和公众免受不必要的照射；d) 在分装和给药室的出口处应设计卫生通过间，进行污染检测。 | 核医学科控制区边界及内部设置足够厚度的屏蔽体屏蔽，尽可能减少对外环境的照射水平；用药后病人与扫描机房有走廊和屏蔽体间隔，能降低对扫描设备的影像质量干扰；控制区的入口和出口设置门禁等安全措施，保证无关人员无法进入、病人不随意流动；用药后病人和医护人员不交叉，医护人员和公众免受不必要的照射；在控制区出口处设置卫生通过间，并进行污染检测。 |
| | | 5.1.3 核医学工作场所从功能设置可分为诊断工作场所和治疗工作场所。 | 核医学科住院区与其他区域分开，口服用药和注射用药分开，通过时间管控可将诊断和治疗分开。 |
| | | 5.1.4 核医学放射工作场所应划分为控制区和监督区。 | 按要求划分了控制区和监督区。 |
| | | 5.1.5 核医学工作场所的布局应有助于开展工作，避免无关人员通过。治疗区域和诊断区域应相对分开布置。根据使用放射性药物的种类、形态、特性和活度，确定核医学治疗区（病房）的位置及其放射防护要求，给药室应靠近病房，尽量减少放射性药物和给药后患者或受检者通过非放射性区域。 | 核医学工作场所独立成一区，诊疗区无关人员无法进入；住院区域与其他诊疗区域分开，设计有足够的屏蔽防护和管理措施，住院给药处于住院区域相邻。给药后患者通过专用通道离开，不经过非放射区域直接离开核医学科。 |
| | | 5.1.6 通过设计合适的时间空间交通模式来控制辐射源（放射性药物、放射性废物、给药后患者或受检者）的活动，给药后患者或受检者与注射放射性药物前患者或受检者不交叉，给药后患者或受检者与工作人员不交叉，人员与放射性药物通道不交叉。合理设置放射性物质运输通道，便于放射性药物、放射性废物的运送和处理；便于放射性污染的清理、清洗等工作的开展。 | 按要求规划人员、药物、废物等路径，见 9.2.5，各路径通过空间布局和时间管控，能做到互不交叉。项目设置独立的污洗间，配置不同区域的专用清洁工具，减少交叉污染和便于工作的开展。 |
| | | 5.1.7 应通过工作场所平面布局的设计和屏蔽手段，避免附近的辐射源（核医学周边场所内的辐射装置、给药后患者或受检者）对诊断区设备成像、功能检测的影响。 | 周围辐射装置与核医学科的水平距离较远、或间隔一个楼层，不会对项目的设备成像产生影响；核医学科内部通过过道、屏蔽体间隔避免用药后病人对设备成像产生影响。 |

**续表 10　辐射安全与防护**

| 标准号 | 标准要求 | | 项目情况 |
|---|---|---|---|
| GBZ120-2020 | 工作场所的放射防护要求 | 5.1.8 正电子药物制备场所，应按相关的药物生产管理规定，合理规划工作流程，使放射性物质的传输运送最佳化，减少对工作人员的照射。回旋加速器室、药物制备室及分装区域的设置应便于放射性核素及药物的传输，并便于放射性药物从分装热室至注射室间的运送。 | 本项目不涉及正电子药物制备。 |
| | | 5.2 放射防护措施要求 | / |
| | | 5.2.1 核医学的工作场所应按照非密封源工作场所分级规定进行分级，并采取相应防护措施。 | 按照要求进行了分级，并采取了相应防护措施，见 10.4.1。 |
| | | 5.2.2 应依据计划操作最大量放射性核素的加权活度对开放性放射性核素工作场所进行分类管理，把工作场所分为I、II、III三类。不同类别核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求见表 1。 | 按照要求进行了分级，并采取了相应的室内表面及装备结构要求，见 10.3.1。 |
| | | 5.2.3 核医学工作场所的通风按表 1 要求，通风系统独立设置，应保持核医学工作场所良好的通风条件，合理设置工作场所的气流组织，遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计，保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉污染，保证工作场所的空气量。合成和操作放射性药物所用的通风橱应有专用的排风装置，风速应不小于 0.5m/s。排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。 | 核医学科工作场所设置独立废气管网收集放射性废气，气流自非放射区向监督区再向控制区的流向，其中防护手套箱废气单独收集，其抽风口速率不低于 0.5m/s。各排风主管道内保持负压，各排风支管均设置防倒灌装置和独立的机械排风装置，避免放射性废气倒灌，废气引至塔楼 19F 楼顶再经活性炭吸附处理后高于楼顶 3m 排放，其中手套箱废气收集处和排放处均设置活性炭吸附装置。 |
| | | 5.2.4 分装药物操作宜采用自动分装方式，$^{131}$I 给药操作宜采用隔室或遥控给药方式。 | $^{131}$I 采用自动分装，给药操作采用隔室电脑操作给药方式，其余药物均购买针剂，不需要分装。 |
| | | 5.2.5 放射性废液衰变池的设置按环境主管部门规定执行。暴露的污水管道应做好防护设计。 | 废水衰变处理设施和部分放射性管网采用地埋式，部分管网在吊顶上，按需设置 5mmPb、2mmPb 进行防护。 |
| | | 5.2.6 控制区的入口应设置电离辐射警告标志。 | 控制区的入口拟设置电离辐射警告标志。 |
| | | 5.2.7 核医学场所中相应位置应有明确的患者或受检者导向标识或导向提示。 | 拟在核医学工作场所中相应位置明确的患者或受检者导向标识或导向提示。 |
| | | 5.2.8 给药后患者或受检者候诊室、扫描室应配备监视设施或观察窗和对讲装置。 | 拟在给药后患者等候室、留观室配备监视设施和对讲装置，扫描室（机房）拟设置观察窗和对讲装置。 |
| | | 5.2.9 应为放射性物质内部运输配备有足够屏蔽的储存、转运等容器。容器表面应设置电离辐射标志。 | 拟配置注射转运盒和注射器防护套、药品铅罐等放射性物质内部运输、储存、转运的容器，容器表面拟设置电离辐射标志。 |
| | | 5.2.10 扫描室外防护门上方应设置工作状态指示灯。 | PET/CT、SPECT/CT 机房外各防护门上方拟设置工作状态指示灯。 |

**续表 10　辐射安全与防护**

| 标准号 | 标准要求 | | 项目情况 |
|---|---|---|---|
| GBZ120-2020 | 操作中的放射防护要求 | 6.1 个人防护用品、辅助用品及去污用品配备 | / |
| | | 6.1.1 个人防护用品及去污用品　开展核医学工作的医疗机构应根据工作内容，为工作人员配备合适的防护用品和去污用品（见附录 K），其数量应满足开展工作需要。对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣。当使用的 $^{99m}$Tc 活度大于 800MBq 时，防护用品的铅当量应不小于 0.5mmPb，个人防护用品及去污用品具体配置见附录 K；对操作 $^{68}$Ga、$^{18}$F 等正电子放射性药物和 $^{131}$I 的场所，此时应考虑其他的防护措施，如：穿戴放射性污染防护服、熟练操作技能、缩短工作时间、使用注射器防护套和先留置注射器留置针等措施。 | 拟为放射工作人员配备符合要求的合适的防护用品和去污用品，对陪检者配备铅橡胶防护衣，使用放射性污染防护服等。 |
| | | 6.1.2 辅助用品　根据工作内容及实际需要，合理选择使用移动铅屏风、注射器屏蔽套、带有屏蔽的容器、托盘、长柄镊子、分装柜或生物安全柜、屏蔽运输容器/放射性废物桶等辅助用品。防护手套箱的典型屏蔽厚度参见附录 I。 | 拟配备注射器防护套、药品铅罐、注射转运盒、长柄钳、防护手套箱、放射废物桶等辅助用品。 |
| | | 6.2 放射性药物操作的放射防护要求 | / |
| | | 6.2.1 操作放射性药物应有专门场所，如临床诊疗需要在非专门场所给药时则需采取适当的防护措施。放射性药物使用前应适当屏蔽。 | 操作放射性药物设置有专门场所，使用前在储源室储存，有专用储存柜和药品铅罐。 |
| | | 6.2.2 装有放射性药物的给药注射器，应有适当屏蔽。 | 拟使用注射器防护套屏蔽。 |
| | | 6.2.3 操作放射性药物时，应根据实际情况，熟练操作技能、缩短工作时间并正确使用个人防护用品。 | 放射性药物操作前进行技能练习，做到熟练操作后再进行实际操作。操作时，正确使用个人防护用品。 |
| | | 6.2.5 控制区内不应进食、饮水、吸烟、化妆，也不应进行无关工作及存放无关物品。 | 拟制定管理制度，要求控制区内不进食、饮水、吸烟、化妆，不进行无关工作及存放无关物品。 |
| | | 6.2.6 操作放射性核素的工作人员，在离开放射性工作场所前应洗手和进行表面污染检测，如其污染水平超过表 2 规定值，应采取相应去污措施。 | 设置卫生通过间，其内设置洗手盆、淋浴，配置表面污染监测设备。工作人员在经卫生通过间离开时洗手后进行表面污染检测，合格后方可离开。 |
| | | 6.2.7 从控制区取出物品应进行表面污染检测，以杜绝超过表 2 规定的表面污染控制水平的物品被带出控制区。 | 拟制定管理制度，从控制区取出物品前进行表面污染检测，达标后方可带离。 |
| | | 6.2.9 放射性物质的贮存容器或保险箱应有适当屏蔽。放射性物质的放置应合理有序、易于取放，每次取放的放射性物质应只限于需用的部分。 | 放射性物质存储在储源室的药品铅罐内，有一定的屏蔽能力。储源室 1 与分装注射室等操作场所相邻，方便取用。 |
| | | 6.2.10 放射性物质贮存室应定期进行放射防护监测，无关人员不应入内。 | 放射性物质贮存室独立设置，拟定期进行放射防护监测，无关人员不会入内。 |

**续表 10　辐射安全与防护**

| 标准号 | 标准要求 | | 项目情况 |
|---|---|---|---|
| GBZ120-2020 | 操作中的放射防护要求 | 6.2.11 贮存和运输放射性物质时应使用专门容器，取放容器中内容物时，不应污染容器。容器在运输时应有适当的固定措施。 | 贮存和运输放射性物质时拟使用专门容器，取放容器中内容物时，不污染容器。容器在运输时有适当的固定措施。 |
| | | 6.2.12 贮存的放射性物质应及时登记建档，登记内容包括生产单位、到货日期、核素种类、理化性质、活度和容器表面放射性污染擦拭试验结果等。 | 放射性药物在工作场所内全程登记建档，登记内容包括生产单位、到货日期、核素种类、理化性质、活度和容器表面放射性污染擦拭试验结果等。 |
| | | 6.2.13 所有放射性物质不再使用时，应立即送回原地安全储存。 | 所有放射性物质不再使用时，拟立即送回储源室安全储存。 |
| | | 6.2.14 当发生放射性物质溢出、散漏事故时，应根据单位制定的放射事故处置应急预案，参照使用 6.1.2 和附录 K 所列用品，及时控制、消除放射性污染；当人员皮肤、伤口被污染时，应迅速去污并给予医学处理。 | 医院制定有应急预案，发生放射性物质溢出、散漏事故时，按要求进行处理。 |
| | | 6.2.15 核医学放射工作人员应按 GBZ128 的要求进行外照射个人监测，同时对于近距离操作放射性药物的工作人员，宜进行手部剂量和眼晶状体剂量监测，保证眼晶状体连续 5 年期间，年平均当量剂量不超过 20mSv，任何 1 年中的当量剂量不超过 50mSv；操作大量气态和挥发性物质的工作人员，例如近距离操作 $^{131}$I 的工作人员，宜按照 GBZ129 的要求进行内照射个人监测。 | 核医学科 $^{131}$I 采用自动分装，放射工作接触时间很少。核医学放射工作人员拟按要求进行外照射个人监测。 |
| | 患者或受检者放射防护要求 | 7.2.1 接受 $^{131}$I 治疗的患者，应在其体内的放射性活度降至 400MBq 或距离患者体表 1m 处的周围剂量当量率不大于 25μSv/h 方可出院，以控制该患者家庭与公众成员可能受到的照射。 | 甲亢患者服药已低于 400MBq，可直接离院；甲癌患者在出院前进行 SPECT/CT 扫描及体表剂量率测量，满足出院要求方可离开医院。 |
| | 医用放射性废物的放射防护管理要求 | 8.1 放射性废物分类，应根据医学实践中产生废物的形态及其中的放射性核素种类、半衰期、活度水平和理化性质等，将放射性废物进行分类收集和分别处理。核医学常用放射性核素的物理特性参见附录 H。 | 核医学科设置有废物间，按要求分类收集放射性废物并分类打包，另设置衰变室进行衰变。 |
| | | 8.2 设废物储存登记表，记录废物主要特性和处理过程，并存档备案。 | 拟设废物储存登记表，按要求记录并存档备案。 |
| | | 8.3 放射性废液衰变池应合理布局，池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，并有防泄漏措施。 | 废水衰变处理设施布置在核医学科外西北侧，池底和池壁采用混凝土结构，耐酸碱腐蚀，并涂有防渗材料，能防渗和防漏。 |
| | | 8.4 开展放射性药物治疗的医疗机构，应为住院治疗患者或受检者提供有防护标志的专用厕所，专用厕所应具备使患者或受检者排泄物迅速全部冲入放射性废液衰变池的条件，而且随时保持便池周围清洁。 | 核医学科用药后病人活动区域均设置有防护标志的专用厕所，专用厕所能将患者排泄物迅速全部冲入放射性废液衰变池，能随时保持便池清洁。 |

**续表 10　辐射安全与防护**

| 标准号 | 标准要求 | | 项目情况 |
|---|---|---|---|
| GBZ120-2020 | 医用放射性废物的放射防护管理要求 | 8.5 供收集废物的污物桶应具有外防护层和电离辐射警示标志。在注射室、注射后病人等候室、给药室等位置放置污物桶。 | 放射废物桶拟设置外防护层和电离辐射警示标志。在分装注射室、注射后病人等候室、留观室、碘分装室、服药室等位置均拟放置放射废物桶。 |
| | | 8.6 污物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物，装满后的废物袋应密封，不破漏，及时转送存储室，放入专用容器中存储。 | 放射废物桶内拟放置专用塑料袋直接收纳废物，装满后的废物袋密封，不破漏，及时转送废物间专用容器中。 |
| | | 8.7 对注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，应先装入利器盒中，然后再装入专用塑料袋内。 | 对注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，拟先装入利器盒中，然后再装入专用塑料袋内。 |
| | | 8.8 每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，质量不超过 20kg。 | 每袋废物的表面剂量率不超过 0.1mSv/h，质量不超过 20kg 才进行处理。 |
| | | 8.9 储存场所应具有通风设施，出入处设电离辐射警告标志。 | 核医学科拟在衰变室设置单独的排风系统收集废气引至楼顶，门上拟设电离辐射警告标志。 |
| | | 8.10 废物袋、废物桶及其他存放废物的容器应安全可靠，并在显著位置标有废物类型、核素种类、存放日期等说明。 | 拟设置安全可靠的废物袋、放射废物桶及其他存放废物的容器，并在显著位置标废物类型、核素种类、存放日期等说明。 |
| | | 8.11 废物包装体外表面的污染控制水平：$\beta<0.4$ Bq/cm$^2$。 | 确保废物包装体外表面的污染控制水平：$\beta<0.4$ Bq/cm$^2$ 后再行处置。 |
| | $^{131}$I 治疗患者住院期间的放射防护要求 | 10.1 场所放射防护要求 | / |
| | | 10.1.1 $^{131}$I 治疗病房区应为相对独立的场所，病房区入口处应设缓冲区。患者住院后，只能在治疗区活动。 | $^{131}$I 病房区设置在门诊病房综合楼西北角，场所独立，病房区入口、出口设置门禁，患者住院后只能在病房及走廊内活动。 |
| | | 10.1.2 $^{131}$I 治疗病房区应有独立的通风系统，通风管道应有过滤装置，并定期更换，更换的过滤装置按放射性固体废物处理。 | 病房区拟设置独立的通风系统，废气收集后经排风井引至塔楼顶经活性炭吸附处理后排放，定期更换活性炭并作为放射性废物处置。 |
| | | 10.1.3 $^{131}$I 治疗住院患者的排泄物不应直接排到医院的公共污水管道，应先经过衰变池的衰变。下水管道宜短，露出地面的部分应进行防护和标记。 | 住院病房内设置有专门的卫生间，卫生间废水接入衰变池内，下水管道采用地埋式。病房区与废水衰变设施相邻。 |
| | | 10.1.4 病房内应设置患者专用厕所和淋浴间，厕所内应有患者冲厕所和洗手的提示。 | 病房内拟设置患者专用厕所（能淋浴），厕所内拟设置患者冲厕所和洗手的提示。 |
| | | 10.1.5 病房可设置采光窗，采光窗应进行必要的防护，使其符合 5.3.1 要求。 | 仅 1 间病房设置采光窗，20mmPb，能满足要求。 |

**续表 10　辐射安全与防护**

| 标准号 | 标准要求 | | 项目情况 |
|---|---|---|---|
| GBZ120-2020 | $^{131}$I 治疗患者住院期间的放射防护要求 | 10.1.6 分装室与给药室之间药物传递应便捷，分装好的 $^{131}$I 宜采用机械或自动、半自动的方式传递到给药室，给药过程应有监控。分装室应设置工作人员通过间，通过间应配备表面污染检测及剂量率检测仪表及清洗设施。 | 项目甲癌病人的给药采用 $^{131}$I 自动分装仪分装，自动传递方式给药，分装人员须经过卫生通过间离开控制区，卫生通过间拟配备表面污染检测及剂量率检测仪表及清洗设施。 |
| | | 10.1.7 施用了 $^{131}$I 治疗药物的患者如需住院应使用专用病房。专用病房宜为单人间，如不能实现，每间病房最多不应超过 2 人，并且 2 人之间应设置适当的防护屏蔽。 | 服用了 $^{131}$I 的甲癌患者在专用病房内住院，2 间病房为单人间，1 间病房为双人间，双人间病房之间拟设置铅防护屏。 |
| | | 10.1.8 病房中应配备对讲、监控等设施。 | 病房中拟配备对讲和监控设施。 |
| | | 10.1.9 患者使用过的被服应先进行存放衰变，衰变至少一个半衰期再进行清洗。 | 患者使用过的被服拟在被服衰减室衰减，暂存一个半衰期后再进行清洗。 |
| | | 10.1.10 在 $^{131}$I 病房场所应使用专用的保洁用品，不能和其他场所（包括核医学其他放射性场所）混用，病房区域内应有存放及清洗保洁用品的场所。 | 核医学科在病房区相邻位置设置专用的污洗间，其内拟配置各区单独的清洁用具，病房区域不与其他区域混用。 |
| GBZ130-2020 | 一般要求 | 5.1.1 X 射线设备出线口上应安装限束系统（如限束器、光阑等）。 | 设备自带。DSA、PET/CT、SPECT/CT 及 CT 模拟定位机拟安装限束系统（如限束器、光阑等）。 |
| | | 5.1.2 X 射线管组件上应有清晰的焦点位置。 | 设备出厂时 X 射线管组件上有清晰的焦点位置。 |
| | | 5.1.3 X 射线组件上应标明固有过滤，所有附加滤过片均应标明其材料和厚度。 | 设备出厂时 X 射线管组件上标注相应内容。 |
| | 透视用 X 射线设备防护性能的专用要求 | 5.2.1 C 形臂 X 射线设备的最小焦皮距应不小于 20cm，其余透视用 X 射线设备的最小焦皮距应不小于 30cm。 | 本项目拟购 DSA 设备的焦皮距为 38cm，满足要求。 |
| | | 5.2.2 透视曝光开关应为常断式开关，并配有透视计时及限时报警装置。 | DSA 设备自带。透视曝光开关为常断式开关，并拟配透视计时及限时报警装置。 |
| | | 5.2.3 用于介入放射学、近台同室操作（非普通荧光屏透视）的 X 射线透视设备防护性能专用要求见 5.8。 | DSA 具有 5.8 的要求，具体见后文 5.8 标准内容分析。 |
| | CT 设备防护性能的专用要求 | 5.4.1 在扫描程序开始之前，应指明某一扫描程序期间所使用的 CT 运行条件。 | CT 操作系统中有专用界面填写和显示 CT 运行条件。 |
| | | 5.4.2 对于任意一种 CT 扫描程序，都应在操作者控制台上显示剂量信息。 | CT 操作系统中有界面显示剂量信息。 |
| | | 5.4.3 CT 设备应设置急停按钮，以便在 CT 扫描过程中发生意外时可以及时停止出束。 | CT 设备上设置急停按钮，按下后能及时停止设备出束。 |

**续表 10　辐射安全与防护**

| 标准号 | 标准要求 | | 项目情况 |
|---|---|---|---|
| GBZ130-2020 | 介入放射学、近台同室操作（非普通荧光屏透视）用 X 射线设备防护性能的专用要求 | 5.8.1 介入放射学、近台同室操作（非普通荧光屏透视）用 X 射线设备应满足其相应设备类型的防护性能专用要求。 | 拟购 DSA 防护性能满足要求。 |
| | | 5.8.2 在机房内应具备工作人员在不变换操作位置情况下能成功切换透视和摄影功能的控制键。 | DSA 具备工作人员在不变换操作位置情况下能成功切换透视和摄影功能的脚踩控制键。 |
| | | 5.8.3 X 射线设备应配备能阻止使用焦皮距小于 20cm 的装置。 | 拟购 DSA 焦皮距为 38cm，满足要求。 |
| | | 5.8.4 介入操作中，设备控制台和机房显示器上应能显示当前受检者的辐射剂量测定指示和多次曝光剂量记录。 | DSA 控制台和机房内显示器上能显示当前受检者的辐射剂量测定指示和多次曝光剂量记录。 |
| | X 射线设备防护性能的技术要求 | 6.1.1 应合理设置 X 射线设备、机房的门、窗和管线口位置，应尽量避免有用线束直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。 | DSA、PET/CT、SPECT/CT 及 CT 模拟定位机的机房门、窗、管线口和工作人员操作位可避免有用线束直接照射。 |
| | | 6.1.2 X 射线设备机房（照射室）的设置应充分考虑邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全。 | DSA、PET/CT、SPECT/CT 及 CT 模拟定位机机房四周墙体和楼上、楼下均采用足够厚的屏蔽材料进行防护。 |
| | | 6.1.3 每台固定使用的 X 射线设备应设有单独的机房，机房应满足使用设备的布局要求。 | DSA、PET/CT、SPECT/CT 及 CT 模拟定位机均设有独立的机房。 |
| | | 6.1.5 除床旁摄影设备、便携式 X 射线设备和车载式诊断 X 射线设备外，对新建、改建和扩建项目和技术改造、技术引进项目的 X 射线设备机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应符合表 2 的规定。 | DSA、PET/CT、SPECT/CT 及 CT 模拟定位机机房有效使用面积和最小单边长度均能满足标准要求。 |
| | | 6.2.1 不同类型 X 射线设备（不含床旁摄影设备和便携式 X 射线设备）机房的屏蔽防护应不低于表 3 的规定。 | 根据后文计算，DSA、PET/CT、SPECT/CT 及 CT 模拟定位机房屏蔽体铅当量满足要求。 |
| | | 6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：<br>a)具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h；测量时，X 射线设备连续出束时间应大于仪器响应时间； | DSA 具有透视功能，DSA 透视时机房屏蔽体外的周围剂量当量率不大于 2.5μSv/h。<br>PET/CT、SPECT/CT、CT 模拟定位机机房屏蔽体屏外的周围剂量当量率不大于 2.5μSv/h。 |
| | | 6.4.1 机房应设有观察窗或摄像监控装置，其设置的位置应便于观察到受检者状态及防护门开闭情况。 | DSA、PET/CT、SPECT/CT 及 CT 模拟定位机均设置了观察窗，便于观察到患者和受检者状态。 |
| | | 6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。 | DSA、PET/CT、SPECT/CT 及 CT 模拟定位机机房除必要的配套设施外，不堆放其他杂物。 |

**续表 10　辐射安全与防护**

| 标准号 | 标准要求 | | 项目情况 |
|---|---|---|---|
| GBZ130-2020 | X 射线设备防护性能的技术要求 | 6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。 | DSA、PET/CT、SPECT/CT 及 CT 模拟定位机机房拟设置机械排风装置，能保持良好通风。 |
| | | 6.4.4 机房门外应有电离辐射警告标志；机房门上方应有醒目的工作状态指示灯，灯箱上应设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句；候诊区应设置放射防护注意事项告知栏。 | DSA、PET/CT、SPECT/CT 及 CT 模拟定位机机房门外拟设电离辐射警告标志；上方设醒目的工作状态指示灯，灯箱上拟设置可视警示语句。<br>病人候诊区拟设置放射防护注意事项告知栏。 |
| | | 6.4.5 平开机房门应有自动闭门装置；推拉式机房门应设有曝光时关闭机房门的管理措施；工作状态指示灯能与机房门有效关联。 | DSA、PET/CT、SPECT/CT 及 CT 模拟定位机机房，病人进出门为推拉门，其余门均为平开门。推拉门设置门门灯、灯机联锁，确保曝光时关闭机房门；平开门拟设自动闭门装置。 |
| | | 6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。 | DSA、PET/CT、SPECT/CT 及 CT 模拟定位机机房患者进出的防护门为电动推拉式门，拟设置防夹装置。 |
| | | 6.4.7 受检者不应在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中陪检者不应滞留在机房内。 | 受检者在候诊区候诊；非特殊情况，检查过程中陪检者不滞留在机房内。 |
| | | 6.4.8 模拟定位设备机房防护设施应满足相应设备类型的防护要求。 | CT 模拟定位机机房参照普通 CT 的要求，采取了相应的辐射防护措施。 |
| | | 6.4.9 CT 装置的安放应利于操作者观察受检者。 | PET/CT、SPECT/CT、CT 模拟定位机斜向摆放，能利于操作者观察受检者。 |
| | | 6.4.10 机房出入门宜处于散射辐射相对低的位置。 | DSA、PET/CT、SPECT/CT 及 CT 模拟定位机机房防护门均远离了设备出束位置，处于散射辐射相对低的位置。 |
| | | 6.5.1 每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 4 基本种类要求的工作人员、受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作需要，对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣。 | 根据前文介绍，DSA、CT 模拟定位机拟配置相应的辐射防护用品，数量和铅当量均满足要求。具体配置设施数量和铅当量见表 1 和表 10 相应表格。 |
| | | 6.5.3 除介入防护手套外，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.25mmPb；介入防护手套铅当量应不小于 0.025mmPb；甲状腺、性腺防护用品铅当量应不小于 0.5mmPb；移动铅防护屏风铅当量应不小于 2mmPb。 | 根据前文介绍，项目拟配置相应的辐射防护用品，数量和铅当量均满足要求。具体配置设施数量和铅当量见表 1 和表 10 相应表格。 |
| | | 6.5.4 应为儿童的 X 射线检查配备保护相应组织和器官的防护用品，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.5mmPb。 | 根据前文介绍，拟配置相应的辐射防护用品，数量和铅当量均满足要求。具体拟配置情况见表 1 和表 10 相应表格。 |

**续表 10　辐射安全与防护**

| 标准号 | 标准要求 | | 项目情况 |
|---|---|---|---|
| GBZ130-2020 | X 射线设备防护性能的技术要求 | 6.5.5 个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。 | 拟按照要求采用悬挂或平铺方式存放，不折叠。 |
| | | 7.1.1 放射工作人员应熟练掌握业务技术，接受放射防护和有关法律知识培训，满足放射工作人员岗位要求。 | 放射工作人员参加辐射安全与防护知识培训，合格后方可上岗。 |
| | | 7.4.1 CT 工作人员应根据临床的实际需要，正确选取并优化设备工作参数，在满足诊断需要的同时，尽可能减少受检者受照剂量。 | 拟制定相应制度，按标准要求执行。 |
| | | 7.4.2 对儿童进行 CT 检查时，应正确选取扫描参数，以减少受照剂量，使儿童的 CT 应用达到最优化。 | 拟制定相应制度，按标准要求执行。 |
| | | 7.4.3 CT 工作人员应定期检查操作系统上所显示的剂量信息（如 DLP、CTDIW 或 CTDIVOL），发现异常时应找出原因并加以纠正。 | 拟制定相应制度，按标准要求执行。 |
| | | 7.8.2 介入放射学用 X 射线设备应具有记录受检者剂量的装置，并尽可能将每次诊疗后受检者受照剂量记录在病历中，需要时，应能追溯到受检者的受照剂量。 | 设备自带记录功能，并拟制定相应制度，按标准要求执行。 |
| | | 7.8.3 除存在临床不可接受的情况外，图像采集时工作人员应尽量不在机房内停留；对受检者实施照射时，禁止与诊疗无关的其他人员在机房内停留。 | 在验收前拟根据工作内容制定相关文件，按照标准规定执行。 |
| | | 7.8.4 穿着防护服进行介入放射学操作的工作人员，其个人剂量计佩戴要求应符合 GBZ128 的规定。 | 医院拟为每名介入手术的医生在铅防护衣内外各配置 1 枚个人剂量计。 |
| GBZ121-2020 | 空间、通风要求 | 6.2.1 放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要。 | 加速器机房内空有效面积约 70.9m$^2$，后装机机房内空有效面积 37.2m$^2$，有足够的使用面积，能满足设备的临床应用需要。 |
| | | 6.2.2 放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；通风换气次数应不小于 4 次/h。 | 本项目加速器机房、后装机机房均设置强制机械排风系统，两个进风口两个出风口，采用“上进下出”的通风方式，并对应布置，能保证机房内空气的充分交换。单个加速器机房、后装机机房换气次数分别为 4.3 次/h、5 次/h，满足要求。 |
| | 屏蔽材料 | 屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能和经济因素，符合最优化要求，新建机房一般选用普通混凝土。 | 加速器机房、后装机机房除防护门外均选用普通混凝土。 |
| | 安全装置和警示标志要求 | 6.4.2 联锁装置　放射治疗设备都应安装门机联锁装置或设施，治疗机房应有从室内开启治疗机房门的装置，防护门应有防挤压功能。 | 加速器、后装机机房均拟设置门机联锁装置，并在防护门内拟设置开门按钮，防护门拟设置红外线防夹装置。 |

**续表 10　辐射安全与防护**

| 标准号 | 标准要求 | | 项目情况 |
|---|---|---|---|
| GBZ121-2020 | 安全装置和警示标志要求 | 6.4.3 标志　医疗机构应当对下列放射治疗设备和场所设置醒目的警告标志：a）放射治疗工作场所的入口处，设有电离辐射警告标志；b）放射治疗工作场所应在控制区进出口及其他适当位置，设有电离辐射警告标志和工作状态指示灯。 | 本项目拟在加速器、后装机机房防护门上设置电离辐射警告标志，在防护门入口处设置控制区标识，在防护门上方设置工作状态指示灯。 |
| | | 6.4.4 急停开关　放射治疗设备控制台上应设置急停开关，除移动加速器机房外，放射治疗机房内设置的急停开关应能使机房内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。通常应在机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧和控制台等处设置。 | 本项目加速器、后装机控制室控制台、机房内墙体上，迷道内、设备上均设置急停按钮，机房内的人员能在各个位置上观察到，并便于触发。 |
| | | 6.4.6 视频监控、对讲交流系统　控制室应设有在实施治疗过程中观察患者状态、治疗床和迷路区域情况的视频装置；还应设置对讲交流系统，以便操作者和患者之间进行双向交流。 | 本项目加速器、后装机机房及控制室拟设置视频监控系统，能全方位观察机房、迷道内的情况；同时设置对讲系统，机房内人员和控制室人员能相互沟通交流。 |
| | 放射治疗操作中的放射防护要求 | 7.1 对于高于 10MV X 射线治疗束和质子重离子治疗束的放射治疗，除考虑中子放射防护外，在日常操作中还应考虑感生放射线的放射防护。 | 本项目加速器运行时，排风系统一直运行，且放射工作人员等加速器停止出束几分钟后再进入机房，减少感生放射性的影响。 |
| | | 7.3 操作人员应遵守各项操作规程，认真检查安全联锁，应保障安全联锁正常运行。 | 放射工作人员工作时按照相关要求和操作规程操作，出束/出源治疗前检查各项联锁装置，保证其均正常运行后再行治疗。 |
| | | 7.5 实施治疗期间，应有两名及以上操作人员协同操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度，密切注视控制台仪器及患者状况，发现异常及时处理，操作人员不应擅自离开岗位。 | 项目拟配备多名放射工作人员，按要求在加速器、后装机工作期间各至少 2 名当班操作人员，做好当班记录，严格执行交接班制度，落实操作规程，不擅自离开岗位。 |
| GBZ128-2019 | 剂量计的佩戴 | 5.3.2 对于如介入放射学、核医学放射药物分装与注射等全身受照不均匀的工作情况，应在铅围裙外锁骨对应的领口位置佩戴剂量计。 | 医院拟为本项目每名介入手术医生及核医学科核素操作人员（分装、注射等）在铅防护衣内外各配置 1 枚个人剂量计，其余放射工作人员每人配置 1 枚个人剂量计。 |
| | | 5.3.3 对于 5.3.2 所述工作情况，建议采用双剂量计监测方法（在铅围裙内躯干上再佩戴另一个剂量计），且宜在身体可能受到较大照射的部位佩戴局部剂量计（如头箍剂量计、腕部计量计、指环剂量计等）。 | |
| HJ1198-2021 | 放射治疗场所辐射安全与防护要求 | 6.1.1 放射治疗室屏蔽设计应按照额定最大能量、最大剂量率、最大工作负荷、最大照射野等条件和参数进行计算，同时应充分考虑所有初、次级辐射对治疗室邻近场所中驻留人员的照射。 | 本报告表 11 按照左侧要求核算，现有设计能满足辐射防护要求。 |
| | | 6.1.2 放射治疗室屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能，符合最优化要求。使用中子源放射治疗设备、质子/重离子加速器或大于 10MV 的 X 射线放射治疗设备，须考虑中子屏蔽。 | 本项目加速器机房、后装机机房均选用混凝土、铅防护门作为屏蔽材料，厚度符合最优化要求。加速器为 15MV，铅防护门考虑增加含硼聚乙烯屏蔽中子。 |

**续表 10　辐射安全与防护**

| 标准号 | 标准要求 | | 项目情况 |
|---|---|---|---|
| HJ1198-2021 | 放射治疗场所辐射安全与防护要求 | 6.1.3 管线穿越屏蔽体时应采取不影响其屏蔽效果的方式，并进行屏蔽补偿。应充分考虑防护门与墙的搭接，确保满足屏蔽体外的辐射防护要求。 | 加速器机房、后装机机房穿越墙体的管线根据不同管线类型分别采用斜向、“Z”、“U”型穿越，不影响机房的防护能力。机房门与墙体有足够的搭接，以保证防护门搭接处的屏蔽能力。 |
| | | 6.1.4 剂量控制应符合以下要求。（具体见表 7） | 本项目加速器机房、后装机机房根据标准要求和周围环境取值核算，后装机机房顶棚取 0.75μSv/h、其余屏蔽体外取 2.5μSv/h 作为屏蔽体外的剂量率限值。 |
| | | 6.2 安全防护设施和措施要求 | / |
| | | 6.2.1 放射治疗工作场所，应当设置明显的电离辐射警告标志和工作状态指示灯等：a）放射治疗工作场所的入口处应设置电离辐射警告标志，贮源容器外表面应设置电离辐射标志和中文警示说明；b）放射治疗工作场所控制区进出口及其他适当位置应设电离辐射警告标志和工作状态指示灯；c）控制室应设有在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和迷道区域情况的视频装置，并设置双向交流对讲系统。 | 本项目放疗科入口处拟设置明显的电离辐射警告标志，后装机设备外表面拟设置电离辐射标志和中文警示说明；加速器机房、后装机机房入口处控制区进出口（防护门上）拟设电离辐射警告标志，门上方拟设置工作状态指示灯；设备机房内拟设置视频监控系统，监控显示在控制室内，机房和控制室内拟设置双向交流对讲系统。 |
| | | 6.2.2 质子/重离子加速器大厅和治疗室内、含放射源的放射治疗室、医用电子直线加速器治疗室(一般在迷道的内入口处)应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内或机房门附近。 | 本项目放疗科的固定式辐射剂量监测仪拟设置在加速器、后装机机房内迷道内入口附近，有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内。 |
| | | 6.2.3 放射治疗相关的辐射工作场所，应设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全联锁措施：<br>a）放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置门-机/源联锁装置，防护门未完全关闭时不能出束/出源照射，出束/出源状态下开门停止出束或放射源回到治疗设备的安全位置。含放射源的治疗设备应设有断电自动回源措施；<br>b）放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置室内紧急开门装置，防护门应设置防夹伤功能；<br>c）应在放射治疗设备的控制室/台、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁、质子/重离子加速器大厅和束流输运通道内设置急停按钮；急停按钮应有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发；<br>f）安全联锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动；安装调试及维修情况下，任何联锁旁路应通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试。 | 本项目放疗科拟在加速器机房、后装机机房设置门机/源联锁，防护门未关闭时不能出束/出源，出束/出源状态下开门则停止出束或放射源自动回源；机房内拟设开门按钮，防护门处设红外线防夹装置；两机房拟设多个急停按钮，主要在机房内四周墙上、迷道内、设备上，以及控制室内，急停按钮拟设置醒目中文标识，并能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发；安全联锁一旦被触发后，不能自动复位，需要人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动；建设单位拟建设相关制度，规定设备安装调试及维修情况下，任何联锁旁路拟通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后及时进行联锁恢复及功能测试。 |
| | | 6.2.4 后装治疗室内应配备合适的应急贮源容器和长柄镊子等应急工具。 | 后装机机房内拟配备合适的应急储源罐和长柄镊子等应急工具。 |

**续表 10　辐射安全与防护**

| 标准号 | 标准要求 | | 项目情况 |
|---|---|---|---|
| HJ1198-2021 | 操作的辐射安全与防护要求 | 7.1 医疗机构应对辐射工作场所的安全联锁系统定期进行试验自查，保存自查记录，保证安全联锁的正常有效运行。 | 建设单位拟按照要求制定相应制度，对安全联锁系统定期进行试验自查，保存自查记录，保证安全联锁的正常有效运行。 |
| | | 7.2 治疗期间，应有两名及以上人员协调操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度；加速器试用、调试、检修期间，控制室须有工作人员值守。 | 项目放疗科拟配置 29 名放射工作人员，治疗期间，单台设备至少 2 名放射工作人员协调操作，做好记录，严格执行交接班制度。加速器试用、调试、检修期间，控制室拟设置放射工作人员值守。 |
| | | 7.3 任何人员未经授权或允许不得进入控制区。工作人员须在确认放射治疗或者治疗室束流已经终止的情况下方可进入放射治疗室，进入含放射源或质子/重离子装置的治疗室前须携带个人剂量报警仪。检修人员进入质子/重离子加速器大厅和束流输运通道区域前，应先进行工作场所辐射监测，在单位辐射安全管理机构批准后方可进入。进入质子/重离子加速器大厅和束流输运通道区域的参观人员须在辐射工作人员带领下进入。 | 建设单位拟按照规定制定相关制度，规定放射工作人员在确认直线加速器终止出束、后装机回源后方可进入放射治疗室，进入机房内须随身佩戴个人剂量报警仪。 |
| | | 7.4 应加强放射源倒装活动的辐射安全管理，倒装工作应由有相应能力且通过辐射安全考核的专业人员进行；应制定放射源倒装活动方案，对辐射监测与报警仪器的有效性、操作场所分区隔离设置、倒源屏蔽体搭建进行确认；倒装放射源时应对倒装热室周围和含源设备表面进行辐射监测，关注倒源屏蔽体的辐射防护效果和含源设备的表面污染情况，做好安装和更换的放射源清点并记录；倒源结束后对含放射源的放射治疗设备、场所与周围环境进行辐射监测。 | 项目的后装机放射源的安装和换源均拟委托专业单位负责操作，建设单位的放射工作人员仅从事辅助工作，做好装源/换源前的准备工作和安保工作，做好装源/换源的相应记录。放射源安装/换源后拟对后装机设备表面、场所等进行辐射监测。 |
| | 放射性废物管理要求 | 8.2.1 废旧放射源管理要求　废旧放射源应按法律法规要求返回放射源生产厂家或原出口方。确定无法交回生产单位或者返回原出口方的，送交有相应资质的单位收贮，并承担相关费用。 | 本项目后装机在购源时拟与生产厂家签订回收合同，其运行后产生的废旧放射源拟交生产厂家回收处置。 |
| | | 8.2.2.1 质子/重离子加速器、直线加速器等治疗装置在调试及运行过程中，如活化后的回旋加速器、准直器、束流阻止器及加速器靶等组成部件，在更换或退役时，应作为放射性固体废物处理，拆卸后先放进屏蔽容器或固态废物暂存间衰变暂存，最终送交有资质的单位收贮。 | 本项目直线加速器由生产厂家专业人员维修和保养，更换的活化靶结构等直接由部件更换单位运走处置。 |
| | | 8.2.2.2 低水平的活化部件如质子/重离子加速器治疗头器件、磁铁等，以及处理质子/重离子加速器冷却水的废树脂，集中放置在固态废物暂存间暂存衰变，经衰变后仍超出清洁解控水平的（放射性废物豁免的活度、活度浓度见附录 B）送交有资质的单位收贮。 | 本项目加速器为 15MV，活化冷却水中的放射性核素均为短半衰期核素，加速器关机后放置较短的时间就可衰减到科忽略的水平。因此，直接待加速器关机该类废水桶装后暂存约 30min 即排放。 |

**续表 10　辐射安全与防护**

| 标准号 | 标准要求 | | 项目情况 |
|---|---|---|---|
| HJ1198-2021 | 放射性废物管理要求 | 8.2.2.3 建立放射性固态废物台账，存放及处置前进行监测，记录部件名称、质量、辐射类别、监测设备、监测结果（剂量当量率)、监测日期、去向等相关信息，低于清洁解控水平的可作为一般固态废物处置，并做好存档记录。 | 建设单位拟按照要求建立放射性固废管理台账，按照要求进行监测、记录相应信息，低于清洁解控水平的作为一般固态废物处置。 |
| | | 8.3 液态废物管理要求　事故或检修状况下质子/重离子加速器的活化冷却水按照放射性废液管理要求妥善收集贮存，暂存衰变至低于豁免水平后可作为普通废液处理，并做好存档记录。 | 加速器检修产生的活化冷却水桶装后暂存约 30min 后排入医院废水处理站处理，做好排放记录。 |
| | | 8.4.1 放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于 4 次/h，排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。 | 项目放疗科拟设置单独的强制排风系统，各治疗机房的排风次数不低于 4 次/h，排气口设置在机房上方的绿化带内，排风口不朝向道路等人流量较多的方向。 |
| | 辐射环境监测 | 9.1.1 开展放射治疗活动的医疗机构应制定辐射监测计划，并按照计划落实监测工作。不具备辐射监测能力的单位，可以委托有能力的单位进行监测。 | 本项目放疗科拟按照要求制定监测计划，落实相应监测工作。日常监测为建设单位自行监测，年度监测委托有资质单位监测。 |
| | | 9.1.2 所有辐射监测记录应建档保存，测量记录应包括但不限于测量对象、条件、方法、仪器、时间和人员等信息。 | 放疗科拟建立监测档案，将每一次监测内容、数据等记录在册，存档备查。 |

## 10.6 放射性“三废”的处理

根据工程分析，项目涉及放射性三废的有核医学科和放疗科，介入中心不产生放射性“三废”。

### 10.6.1 核医学科放射性“三废”

**（1）核医学科放射性废气**

根据工程分析，项目核医学科病房区拟使用的$^{131}I$具有挥发性，$^{131}I$分装、病人口服、病房内住院过程会有少量放射性废气产生。核医学分装注射室使用$^{99m}Tc$、$^{18}F$等核素均为针剂，在防护手套箱内进行分装（注射器吸药），产生的废气很少。

根据核医学科废气管网布置图可知，核医学科工作场所共拟设置9套放射性废气收集主管。各管道收集范围和排风量情况见表10-10所示。

**表10-10　核医学科废气收集管基本情况表**

| 排气管道编号 | 主要收集范围 | 排风量（$m^3/h$） | 备注 |
|---|---|---|---|
| ① | **病房卫生间：**病房1卫生间、病房2卫生间、病房3卫生间 | 2000 | 同一排风井 |
| ② | **核医学污物污洗区：**污洗间、污水泵房、报警阀间、被服衰减室 | 2500 | |
| ③ | **病房：**病房1、病房2、病房3 | 2500 | 同一排风井 |
| ④ | **治疗室：**治疗室、住院走廊 | 2500 | |
| ⑤ | **衰变室** | 1000 | |
| ⑥ | **其他用房：**配餐间、送餐间、注射台、注射走廊、抢救室、负荷试验室 | 1500 | 同一排风井 |
| ⑦ | **高活区：**药品检测室、服药室、碘分装室、储源室2、操作走廊、卫生通过间、注射分装室、废物间、储源室1 | 5000 | |
| ⑧ | **手套箱：**分装注射室2台手套箱、碘分装室手套箱 | 2500 | |
| ⑨ | **PET区域：**留观室、PET/CT机房、SPECT/CT机房、ECT等候室、PET等候室、专用等候室、病人走廊 | 7000 | |

项目核医学科各分支管道内设置防倒灌装置，并保持负压。放射性废气收集至废气主管后经3个专用排风井（内部废气管道各自独立）引至19F塔楼顶，再经活性炭吸附后高于楼顶3m排放。活性炭定期更换。

综上所述，核医学科根据控制区的不同区域分别设置了9套废气收集管网，楼顶设置大功率引风机，保证废气的收集效果，且能有效预防各区域废气的交叉污染；手套箱处设置独立的1套收集管网，合理设置风机，保证防护手套箱风速不低于0.5m/s，废气收

集处和排放处均设置活性炭吸附，能保证废气得到充分的吸附。住院区、衰变室均拟设置独立的排风系统，均设置废气过滤装置。因此，项目废气收集管网和处置方式能满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）等标准的要求。

**（2）核医学科放射性废水**

核医学科拟采用污污分流的方式。普通医疗废水进入医院污水处理站处理，放射性废水经衰变处理设施处理达标后直接进入门诊病房综合楼北侧的医院污水处理站进一步处理。

放射性废水拟设计两套独立的放射性废水衰变处理设施。1#衰变处理设施为含碘放射性废水收集处置，主要收集卫生通过间、配餐间、碘分装室、治疗室、病房、衰变室、污洗间、被服衰减室、专用等候室等涉及到$^{131}$I放射性药物的区域放射性废水；2#衰变处理设施为其他放射性废水收集处置，主要收集抢救室、ECT等候室、PET等候室、留观室等区域（非$^{131}$I区域）的放射性废水。两套放射性废水衰变处理设施位于门诊病房综合楼/核医学科西北侧，为地埋式，高度在门诊病房综合楼-2F下沉层和-2F对应位置，上方隔泥土层为院区道路和绿化，无公众长期停留。

放射性废水收集管网拟布置在同层降板区域内（位于地板混凝土上方垫层内），放射性废水通过重力自流经管网收集至两个专用泵房的集水坑，然后泵至吊顶上方，再直接沿吊顶上方引至衰变处理设施内处理。同层降板区域与正常地面高差约60cm，收集管道尺寸主要有Φ50mm、Φ80mm、Φ100mm，管道埋深不低于50cm垫层，不再采取其他防护措施。泵房日常无人到达，四周采用200mm厚混凝土屏蔽（临电梯侧为400mm混凝土），门采用12mmPb防护门。提升后的管网位于同层吊顶与顶棚之间，含碘放射性废水管网采用5mmPb铅皮包裹防护，其他放射性废水管网采用2mmPb铅皮包裹防护。

两套放射性废水衰变处理设施均设计为地埋式的混凝土结构，1#衰变处理设施为槽式处理间歇排放工艺，为高度智能化控制系统，人性化操作管理，拟设置触摸屏控制系统、报警机制和状态提醒机制、剂量监控探测系统，所有运行状态自行监控，实现全自动稳定运行。2#衰变处理设施为推流式，也设置为自动化操作系统，所有运行状态自行监控，实现全自动稳定运行。

两套衰变处理设施均包含前处理池、集水池、衰变池 1、衰变池 2、衰变池 3、衰变

池 4、排水控制单元。前处理池主要具有沉淀、厌氧消化功能，拟设置破碎搅拌设备消除废水中的沉渣，并且设置隔板，清水进入后续池体，防止污泥硬化淤积和后续处理系统堵塞。

1#衰变处理设施的集水池的废水收集到一定水位后自动泵至后续 4 个衰变池进行衰变处理；前 4 个衰变池的废水衰变后排入排水控制单元内，其内设置监测探测系统和采样口，废水经监测合格后再行排放。若出现特殊情况（如发生辐射事故产生清洗放射性废水），放射性废水有异常时，排水控制单元可以充当衰变池功能，增加废水的衰变时间，待其达到最高水位后再行排放。工作流程是：放射性废水经前处理池处理后进入前处理池处理后进入集水池，再进入衰变池 1，待其装满水后启用衰变池 2，以此类推。待衰变池 4 装满水后，此时将衰变池 1 的废水排入排水控制单元中，衰变池 1 废水排放完后继续装水衰变，以此循环。

2#衰变处理设施为推流式，废水从第一个池体一直溢流入下一个池体，最后达到排水控制单元，其内设置采样口，废水水位达到设计水位后再泵出排放。废水在池体内上进下出，溢流口采用错位布置。

两套衰变处理设施并列建设，中间为混凝土隔墙（共墙）。衰变处理设施池体整体外墙体为 40cm～60cm 混凝土；内部隔墙和池底均厚 30cm 混凝土；顶部为 40cm 混凝土+150cm 泥土，池体上方设置检修井，内设 90cm×90cm 的防护井盖（1#衰变处理设施为 15mmPb，2#衰变处理设施为 5mmPb），外（地面）设 100cm×100cm 的球墨铸铁井盖（一般厚度为 4cm 铁）。根据后文核算，废水管道表面、污水泵房外表面、衰变池顶部上方 30cm 处周围剂量当量率均低于 2.5μSv/h，满足评价标准《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）等标准的要求。

1#衰变处理设施的集水池有效体积为 44.8$m^3$，单个衰变池有效体积为 47.8$m^3$，排水控制单元有效体积为 59.8$m^3$，4 个衰变池总有效体积为 191.2$m^3$；2#衰变处理设施的集水池有效体积为 6.0$m^3$，单个衰变池有效体积为 6.4$m^3$，排水控制单元有效体积为 8.0$m^3$，4 个衰变池总有效体积为 25.6$m^3$。根据后文核算，衰变处理设施的体积能满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）等标准的要求，经处理后的废水能达标排放。

放射性废水衰变处理设施所在位置拟按照重点防渗区建设，处理设施池壁内部刷防

渗砂浆，项目放射性废水管道则采用耐腐蚀的特种管道，地面上设电离辐射警示标识。

项目放射性废水收集管网见图附图五（4），衰变处理设施平立面图见附图五（5）。

**（3）核医学科放射性固废**

由污染源分析可知，核医学科放射性固体废弃物主要包括一次性注射器、手套、一次性纸杯、病房区住院病人沾染放射性药物的餐盒、纸巾、被服等，以及更换下来的活性炭吸附网等物品。

病房区住院病人使用过的被服拟在被服衰减室内暂存，达到清洁解控水平后（至少一个半衰期）再进行清洗消毒处理，而后再利用。核医学科病房区的被服单独清洗和使用，不与其他病房的被服一起清洗和混用。

项目拟在核医学科分装注射室旁设置 1 间废物间（内空面积约 12.0m$^2$），在核医学科西侧设置 1 间衰变室（内空面积约 13.4m$^2$）。放射工作人员工作区的放射性废物先分类收集到废物间分类和打包，然后送到衰变室暂存衰变；其他病人活动区域产生的放射性废物直接收集到衰变室暂存衰变。

核医学科工作场所各放射性废物产生点设置放射废物桶，放射性废物每天诊疗工作结束后由专人统一收集至衰变室内衰变处理，待其达到衰变时间要求后，并经监测合格后作为普通医疗废物交有资质单位处理。

**10.6.2 放疗科感生放射性“三废”**

（1）放疗科活化气体

直线加速器运行时产生的中子与空气作用，产生的感生放射性核素均为短半衰期核素，不存在明显的放射性活度长期聚集的问题，机房内拟设置机械排风系统，通风换气次数约4.3次/h。在直线加速器停止工作后，通过规范化管理制度，在结束治疗后等待几分钟后待放射性气体自然衰减和排出后再进入机房，放射工作人员受到的影响非常小，基本不会对放射工作人员造成额外的辐射影响。

（2）放疗科活化冷却水

直线加速器使用冷却水循环系统中的去离子水，其运行期间产生的感生放射性核素均为短半衰期核素。正常运行情况下，直线加速器的冷却水闭路循环不排放，只有在设备检修或发生冷却水泄漏事故时才会排放放射性冷却水。医院配置一个暂存容器（如塑

料水桶），检修前直线加速器停运 30min，冷却水泄漏需排放时，先排入暂存容器保存约 30min 再排放。暂存后，冷却水中的短半衰期放射性核素已基本衰减完，达到可忽略的水平，直接排入医院废水处理站处理。

（3）放疗科活化结构部件及废源

直线加速器运行时其结构部件可能被活化，产生感生放射性核素。被活化结构部件平均4~5年更换一次，更换下来的活化结构部件直接由部件更换单位运走处置，不在医院内暂存。

后装机更换下来的废$^{192}$Ir放射源交生产厂家回收处理。医院拟在放射源购买之初即与售源单位签订回收处置合同。若放射源不能及时回收，则暂存在放疗科储源室。

**10.7 核医学科工作场所服务期满后退役**

若医院核医学科、后装机等工作场所搬迁或者取消时，根据现有法律法规，本项目涉及到的乙级非密封源工作场所、后装机机房有污染的、直线加速机房有污染的需要编制退役环境影响报告表，之后完成退役还需要进行验收监测，重新办理辐射安全许可证；后装机机房不存在污染的填写环境影响登记表，再重新办理辐射安全许可证。

## 表 11　环境影响分析

### 11.1 施工期环境影响

施工期主要为项目用房内的装修以及设备的安装等工作，主要的污染因子有：扬尘、噪声、废水、固体废物等。

扬尘：主要来自于装修过程中切割打磨装饰材料产生的粉尘，项目所在区域比较独立，用塑料布围封施工区域，洒水等措施，可以减少扬尘的扩散。

噪声：主要来自于装修设备和现场处理等，采取合理安排施工时间，选择低噪声设备和工艺等措施减少施工噪声影响。

废水：主要为施工人员产生的少量生活污水，无其他施工废水，生活污水依托医院现有的废水处理系统处理。

固体废物：主要为现有用房装修过程产生的建筑垃圾，以及施工人员产生的生活垃圾，建筑垃圾运至市政指定的弃渣场，生活垃圾交环卫部门统一收运处置。

本项目工程量小，且与新区分院门诊病房综合楼一起施工，对外环境及保护目标的影响较小；项目施工期短，施工期产生的影响随着施工的结束而消失，环境可以接受。

### 11.2 营运期辐射环境影响分析

#### 11.2.1 屏蔽体屏蔽效能核算

##### 11.2.1.1 核医学科工作场所屏蔽效能核算

**（1）核医学科各功能用房设计墙体屏蔽情况**

根据医院提供的资料，项目核医学科控制区各房间四周墙体的屏蔽防护设计情况见表 1-2。

**（2）计算公式**

本次屏蔽核算把注射后的受检者当作一个整体的放射源（点源）进行考虑，按照《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 I 中的核算公式：

$$x = TVL \times \lg(\frac{A \times \Gamma}{\dot{H}_p \times r^2}) \qquad (11\text{-}1)$$

式中：x—屏蔽厚度，mm；

TVL—γ射线的十分之一值层厚度，单位为毫米（mm）；

A—单个患者所用放射源的最大活度，单位为兆贝可（MBq）；

Γ—距源 1m 处的周围剂量当量率常数，单位为μSv·m²/MBq·h；

$H_P$—屏蔽墙外30cm关注点剂量率控制值，单位为微希沃特每小时（μSv/h）；

$r$ ——参考点与靶点间的距离，单位为米（m）；

根据上述公式，已知屏蔽体厚度，则关注点外剂量率 $\dot{H}$ 的核算由公式11-1转换为：

$$\dot{H}=\frac{A\times\Gamma}{r^2\times10^{\frac{X}{TVL}}} \qquad (11\text{-}2)$$

**（3）计算参数**

①根据表9-1~表9-5可知，拟建核医学科项目主要以$^{131}I$显像诊断和治疗、$^{18}F$、$^{99m}Tc$为主。这些核素的主要预测参数见表11-1所示。

**表 11-1　放射性核素相关计算参数一览表**

| 核素 | 对于裸源单位放射性活度所致1m处的周围剂量当量率（μSv·m²(h·MBq)⁻¹） | 患者体内单位放射性活度所致体外 1m 处的周围剂量当量率（μSv·m²(h·MBq)⁻¹） | TVL，mm | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 铅 | 混凝土 | 铁 |
| $^{18}F$ | 0.1430 | 0.092 | 16.6 | 176 | 64 |
| $^{99m}Tc$ | 0.0303 | 0.0207 | 1 | 110 | 19 |
| $^{131}I$ | 0.0595 | 0.0583 | 11 | 170 | 56 |

备注：铁的十分之一值层厚度来自《Radionuclide and Radiation Protection Data Handbook-放射性核素和辐射防护数据手册》(2002年)；其余数据数据来自《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)。

根据上表各放射性核素的射线能量及参数，确定工作场所各用房仅有1种核素的按照该种核素的参数进行预测，有多种核素的根据核素或用药后人流活动情况以$^{131}I$、$^{18}F$、$^{99m}Tc$的先后顺序进行预测。三种核素均有的用房，考虑到$^{99m}Tc$的剂量当量率、TVL值相对另两种核素来说均较小，因此主要以$^{131}I$、$^{18}F$进行核算。

②考虑剂量估算和评价的方便及统一，在屏蔽及设计范畴内，不进行诸物理量与周围剂量当量之间的转换系数修正。

③PET/CT 机房和 SPECT/CT 机房的屏蔽计算时，忽略扫描设备的机架和探测器的衰减。本项目涉及的核素主要为 $^{131}I$、$^{18}F$、$^{99m}Tc$，根据工程分析，这些核素产生的γ光子能量大，远高于 CT 的射线能量，则能屏蔽γ光子即能屏蔽 X 射线，因此，评价按照γ射线进行效核。效核源强按照γ光子源强的 2 倍考虑。

**续表 11　环境影响分析**

④给药后患者视为“点源”。有座椅和床位的，如 PET/CT、SPECT/CT 机房、ECT 等候室、PET 等候室、专用等候室、留观室、住院病房，核算距离以座椅、床位中心核算到四周墙体及防护门外，不考虑用房内配置的铅屏风的屏蔽作用；其余主要考察点按照核素/患者距离屏蔽体外表面 1.0m 考虑。“点源”离地约 1.0m，核医学科用房内空高 4.1m～4.7m，核医学科下方的下沉层净空高 3.0m～3.6m，顶棚厚 0.3m 混凝土（其中病房 2 顶棚为 0.4m 混凝土）+0.1m 垫层，地板厚 0.3m 混凝土+0.6m 垫层。楼上考察点为地面 0.3m，则核算高度总体保守考虑约 3.8m；楼下考察点据地约 1.7m，则核算高度约 3.2m。

顶棚垫层较薄，不考虑其屏蔽效能，地板垫层较厚，考虑其屏蔽效能。根据《辐射防护导论》（方杰、李士骏）P88，砖和混凝土的相当厚度可用密度进行换算，具体公式为：　　$d_1 / d_2 = \rho_2 / \rho_1$　　（11-3）

式中：$d_1$、$d_2$—屏蔽材料 1 和屏蔽材料 2 的厚度，

$\rho_1$、$\rho_2$—屏蔽材料 1 和屏蔽材料 2 的密度。

因此，0.6m 地板垫层相当于约 0.46m 的混凝土。

⑤PET/CT 扫描前患者需要排空，大约排泄掉给药活度的 15%，排泄导致的核素活度校正因子为 0.85。给药后患者至少经 45min 后到 PET/CT 机房接受检查，则注射药物后患者体内核素自然衰变的校正因子为 0.75。给药后患者至少经 65min 后（等候室候诊至少 45min，PET/CT 机房检查至少 20min）到 PET/CT 留观室留观，则注射药物后患者体内核素自然衰变的校正因子为 0.67。

⑥SPECT/CT 的候诊时间较短，诊断核素的半衰期稍长，因此，SPECT/CT 服药后病人停留区域不再考虑注射药物后患者体内核素自然衰变的校正因子。

⑦病人在控制区内部过道流动，医护人员通过视频和呼叫系统让病人尽量到等候室、机房、留观室等指定位置停留，不聚集，在过道内停留时间较短，且过道内的防护/隔离栏主要起到为病人导向的作用，防止病人倒流，因此过道核算时仅考虑控制区边界。

⑧控制区屏蔽体屏蔽效能核算时仅考虑单个核算条件，顶棚地板屏蔽后基本为本底值，本次不再考虑周围用房的剂量叠加影响。

综上所述，核医学科各功能房间核算条件见表11-2。

**表 11-2　核医学科各房间屏蔽计算核算条件**

| 用房名称 | | 核算条件 | 不考虑屏蔽时 1m 处周围剂量当量率（μSv/h） |
|---|---|---|---|
| 分装注射室 | 分装区 | 购买 $^{99m}$Tc、$^{18}$F 成品在准备间通风橱下测量活度，防护手套箱为 40mmPb，其表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 25μSv/h。 | 1.58，见后文表 11-4 |
| | 注射区 | 注射窗口放射性药物活度按每支 370MBq 进行核算，$^{18}$F 剂量率常数 0.143μSv·m$^2$/（h·MBq）；放射性药物均放置在注射器内（具有 20mmPb 的屏蔽能力）。 | 370×0.143=52.91 |
| 储源室 1 | | 储源室 1 主要考虑核素 $^{18}$F、$^{99m}$Tc。含 $^{18}$F、$^{99m}$Tc 放射性药物铅罐（30mmPb）运至储源室 1 内储存。$^{18}$F 放射性药物活度不超过 22200MBq，剂量率常数 0.143μSv·m$^2$/（h·MBq）；$^{99m}$Tc 放射性药物活度不超过 16280MBq，剂量率常数 0.0303μSv·m$^2$/（h·MBq）。 | 22200×0.143+16280×0.0303 =3667.88 |
| 负荷试验室（肺通气） | | 进行 $^{99m}$Tc 吸入及注射，单次最大给药量 1480MBq，$^{99m}$Tc 剂量率常数 0.0303μSv·m$^2$/（h·MBq）。 | 1480×0.0303=44.84 |
| 废物间 | | 核素活度考虑主要核素 $^{131}$I、$^{18}$F 日最大用量的 1%，。$^{131}$I 活度（29600+3700+3.7+370）×1%= 336.74MBq，$^{131}$I 剂量率常数 0.0595μSv·m$^2$/（h·MBq）；$^{18}$F 活度 5550×1%=55.5MBq，$^{18}$F 剂量率常数 0.143μSv·m$^2$/（h·MBq）。放射废物桶 20mmPb。 | 336.74×0.0595+55.5×0.143 =27.97 |
| 抢救室 | | 根据医院运行经验，考虑 $^{18}$F 用药病人抢救，活度为 370MBq，剂量率常数 0.143μSv·m$^2$/（h·MBq）。 | 370×0.143=52.91 |
| 注射走廊病人走廊 | | 考虑 1 名患者在走廊停留，比较计算后 $^{18}$F 患者影响较大。$^{18}$F 活度按 370MBq 计，$^{18}$F 剂量率常数 0.092μSv·m$^2$/（h·MBq）。 | 370×0.092 =34.04 |
| ECT 等候室 | | ECT 等候室可同时容纳 4 名患者，含 $^{99m}$Tc 放射性药物总活度按 3700MBq（3 个 $^{99m}$Tc 扫描诊断+1 个肺通气）核算。考虑吸收因子影响，$^{99m}$Tc 剂量率常数 0.0207μSv·m$^2$/（h·MBq）。 | 3700×0.0207=76.59 |
| SPECT/CT 机房 | | SPECT/CT 机房同一时间仅接纳 1 名患者，放射性药物总活度按 400MBq（$^{131}$I 后扫）核算。考虑吸收因子影响，$^{131}$I 剂量率常数 0.0583μSv·m$^2$/（h·MBq）。 | 400×0.0583=23.32<br>2 倍值为 46.64 |
| PET 等候室 | | PET 等候室可同时容纳 4 名患者，放射性药物总活度按 370×4=1480MBq 核算。考虑吸收因子影响，$^{18}$F 剂量率常数 0.092μSv·m$^2$/（h·MBq）。 | 1480×0.092=136.16 |
| 专用等候室 | | 专用等候室供 1 名患者等候，放射性药物总活度按 400MBq 核算。考虑吸收因子影响，$^{131}$I 剂量率常数取 0.0583μSv·m$^2$/（h·MBq）。 | 400×0.0583=23.32 |

**续表11　环境影响分析**

| | | |
|---|---|---|
| PET/CT 机房 | PET/CT 机房同一时间仅接纳 1 名患者，放射性药物总活度按 370MBq 核算。考虑吸收因子影响，$^{18}F$ 剂量率常数取 0.092μSv·m²/（h·MBq）。排泄导致的衰减校正因子为 0.85，患者体内核素自然衰变的校正因子为 0.75。 | 370×0.092×0.85×0.75 =21.70<br>2 倍值为 43.40 |
| 留观室 | ECT 留观室可同时容纳 3 名患者，选 $^{18}F$ 效核。总活度按 1110MBq 核算，$^{18}F$ 剂量率常数 0.092μSv·m²/（h·MBq），排泄导致的衰减校正因子为 0.85，患者体内核素自然衰变的校正因子为 0.67。 | 1110×0.092×0.85×0.67 =58.16 |
| 碘分装室 | 含 $^{131}I$ 放射性药物的铅罐（40mmPb）在自动分装仪内。$^{131}I$ 放射性药物活度最大约 33303.7MBq，$^{131}I$ 剂量率常数 0.0595μSv·m²/（h·MBq）。 | 1.83，见后文表 11（1）-4 |
| 服药室 | 单名甲癌病人口服最大药量为 7400MBq，$^{131}I$ 剂量率常数 0.0595μSv·m²/（h·MBq）。 | 7400×0.0595=440.3 |
| 储源室 2 | 含 $^{131}I$ 放射性药物铅罐（40mmPb）运至储源室 2 内储存。$^{131}I$ 放射性药物活度最大约 18503.7MBq，$^{131}I$ 剂量率常数 0.0595μSv·m²/（h·MBq）。 | 18503.7×0.0595=1100.97 |
| 药品检测室 | 主要考虑 $^{131}I$、$^{18}F$。$^{131}I$ 活度（185.037+3.7）=18873.7MBq，$^{131}I$ 剂量率常数 0.0595μSv·m²/（h·MBq）；$^{18}F$ 活度 5550MBq，$^{18}F$ 剂量率常数 0.143μSv·m²/（h·MBq）。 | 18873.7×0.0595+5550×0.143 = 1916.64 |
| 配餐间 | 单名甲癌病人取餐（7400MBq），$^{131}I$ 剂量率常数 0.0583μSv·m²/（h·MBq）。 | 7400×0.0583=431.42 |
| 病房<br>住院走廊 | 单名甲癌病人在病房内活动（7400MBq），$^{131}I$ 剂量率常数 0.0583μSv·m²/（h·MBq）<br>双人间病房活度为 14800MBq，$^{131}I$ 剂量率常数 0.0583μSv·m²/（h·MBq）。 | 7400×0.0583=431.42<br>2 人间为 862.84 |
| 甲亢走廊 | 甲亢走廊后半截与甲癌病人出院共用，按 400MBq 计，$^{131}I$ 剂量率常数 0.0583μSv·m²/（h·MBq）。 | 400×0.0583=23.32 |
| 衰变室 | 放射性废物贮存在衰变室内（不考虑铅桶），主要考虑核素 $^{18}F$、$^{131}I$。$^{18}F$ 当天用量活度的 1%，为 55.5MBq，$^{18}F$ 剂量率常数 0.143μSv·m²/（h·MBq）；根据 $^{131}I$ 使用规律，按照用量活度的 1%衰减 0～179 天的总和，根据核算，活度约为 740MBq，$^{131}I$ 剂量率常数 0.0583μSv·m²/（h·MBq）。 | 740×0.0595+55.5×0.143 = 51.97 |
| 被服衰减室 | 考虑甲癌病人最大用量的 1%，即 7400×4×1%=296MBq，$^{131}I$ 剂量率常数 0.0583μSv·m²/（h·MBq）。 | 296×0.0595=17.61 |

**（4）核医学科墙体屏蔽防护效能核实**

①核医学科控制区屏蔽体屏蔽效能核实

核医学科控制区屏蔽体屏蔽效能核算结果见表 11-3。

**表 11-3　核医学科控制区用房屏蔽体屏蔽效能核算结果一览表**

| 场所名称 | | 屏蔽体 | 放射源活度(MBq) | 周围剂量当量率常数 | 关注点距离 m | 防护设计厚度 | 屏蔽厚度1(mm) | | $TVL_1$ (mm) | 屏蔽厚度2(mm) | | $TVL_2$ (mm) | 校正因子 | | 无屏蔽1m处剂量率 μSv/h | 屏蔽体外剂量率 μSv/h | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 分装注射室 | 分装区 | 墙体 | 21830 | 0.143 | 1 | 400mm 砼+40mmPb 防护手套箱+30mmPb 铅罐 | 砼 | 400 | 176 | 铅 | 70 | 16.6 | 1 | 1 | 3121.69 | $1.01\times10^{-3}$ | $2.11\times10^{-3}$ |
| | | | 370 | 0.143 | 1 | 400mm 砼+40mmPb 防护手套箱 | 砼 | 400 | 176 | 铅 | 40 | 16.6 | 1 | 1 | 52.91 | $1.10\times10^{-3}$ | |
| | | 防护门 | 21830 | 0.143 | 1 | 5mmPb+40mmPb 防护手套箱+30mmPb 铅罐 | - | - | - | 铅 | 75 | 16.6 | 1 | 1 | 3121.69 | $9.47\times10^{-2}$ | 0.20 |
| | | | 370 | 0.143 | 1 | 5mmPb+40mmPb 防护手套箱 | - | - | - | 铅 | 45 | 16.6 | 1 | 1 | 52.91 | $1.03\times10^{-1}$ | |
| | | 顶棚 | 21830 | 0.143 | 3.8 | 300mm 砼+40mmPb 防护手套箱+30mmPb 铅罐 | 砼 | 300 | 176 | 铅 | 70 | 16.6 | 1 | 1 | 3121.69 | $2.59\times10^{-4}$ | $5.41\times10^{-4}$ |
| | | | 370 | 0.143 | 3.8 | 300mm 砼+40mmPb 防护手套箱 | 砼 | 300 | 176 | 铅 | 40 | 16.6 | 1 | 1 | 52.91 | $2.82\times10^{-4}$ | |
| | 注射区 | 墙体 | 370 | 0.143 | 1 | 400mm 砼+20mmPb 注射器 | 砼 | 400 | 176 | 铅 | 20 | 16.6 | 1 | 1 | 52.91 | $1.76\times10^{-2}$ | |
| | | 防护门 | 370 | 0.143 | 4.8 | 5mmPb | - | - | - | 铅 | 5 | 16.6 | 1 | 1 | 52.91 | 1.15 | |
| | | 顶棚 | 370 | 0.143 | 3.8 | 300mm 砼+20mmPb 注射器 | 砼 | 300 | 176 | 铅 | 20 | 16.6 | 1 | 1 | 52.91 | $4.51\times10^{-3}$ | |
| 储源室 1 | | 墙体 | 22200 | 0.143 | 1 | 400mm 砼+30mmPb 铅罐 | 砼 | 400 | 176 | 铅 | 30 | 16.6 | 1 | 1 | 3174.60 | 0.26 | 0.26 |
| | | | 16280 | 0.0303 | 1 | | 砼 | 400 | 110 | 铅 | 30 | 1 | 1 | 1 | 493.28 | $1.14\times10^{-31}$ | |
| | | 防护门 | 22200 | 0.143 | 3 | 10mmPb+30mmPb 铅罐 | - | - | - | 铅 | 40 | 16.6 | 1 | 1 | 3174.60 | 1.37 | 1.37 |
| | | | 16280 | 0.0303 | 3 | | - | - | - | 铅 | 40 | 1 | 1 | 1 | 493.28 | $5.48\times10^{-39}$ | |
| | | 顶棚 | 22200 | 0.143 | 3.8 | 300mm 砼+30mmPb 铅罐 | 砼 | 300 | 176 | 铅 | 30 | 16.6 | 1 | 1 | 3174.60 | $6.77\times10^{-2}$ | $6.77\times10^{-2}$ |
| | | | 16280 | 0.0303 | 3.8 | | 砼 | 300 | 110 | 铅 | 30 | 1 | 1 | 1 | 493.28 | $6.40\times10^{-32}$ | |
| 负荷试验室（肺通气） | | 墙体 | 1480 | 0.0303 | 1 | 200mm、300mm、400mm 砼 | 砼 | 200 | 110 | - | - | - | 1 | 1 | 44.84 | 0.68 | |
| | | 防护门 | 1480 | 0.0303 | 1 | 2mmPb（南侧） | - | - | - | 铅 | 2 | 1 | 1 | 1 | 44.84 | 0.45 | |
| | | 顶棚 | 1480 | 0.0303 | 3.8 | 300mm 砼 | 砼 | 300 | 176 | - | - | - | 1 | 1 | 44.84 | $6.13\times10^{-2}$ | |
| 废物间 | | 墙体 | 336.74 | 0.0595 | 1 | 400mm 砼+20mmPb 废物桶 | 砼 | 400 | 170 | 铅 | 20 | 11 | 1 | 1 | 20.04 | $1.35\times10^{-3}$ | $3.99\times10^{-3}$ |
| | | | 55.5 | 0.143 | 1 | | 砼 | 400 | 176 | 铅 | 20 | 16.6 | 1 | 1 | 7.94 | $2.64\times10^{-3}$ | |

**续表11　环境影响分析**

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 防护门 | 336.74 | 0.0595 | 1 | 5mmPb+20mmPb 废物桶 | - | - | - | 铅 | 25 | 11 | 1 | 1 | 20.04 | $1.07\times10^{-1}$ | 0.35 |
| | | 55.5 | 0.143 | 1 | | - | - | - | 铅 | 25 | 16.6 | 1 | 1 | 7.94 | $2.48\times10^{-1}$ | |
| | 顶棚 | 336.74 | 0.0595 | 3.8 | 300mm 砼+20mmPb 废物桶 | 砼 | 300 | 170 | 铅 | 20 | 11 | 1 | 1 | 20.04 | $3.63\times10^{-4}$ | $1.04\times10^{-3}$ |
| | | 55.5 | 0.143 | 3.8 | | 砼 | 300 | 176 | 铅 | 20 | 16.6 | 1 | 1 | 7.94 | $6.77\times10^{-4}$ | |
| 抢救室 | 墙体 | 370 | 0.092 | 1 | 300mm、400mm 砼 | 砼 | 300 | 176 | - | - | - | 1 | 1 | 34.04 | 0.67 | |
| | 防护门 | 370 | 0.092 | 2.7 | 10mmPb | - | - | - | 铅 | 10 | 16.6 | 1 | 1 | 34.04 | 1.17 | |
| | 顶棚 | 370 | 0.092 | 3.8 | 300mm 砼 | 砼 | 300 | 176 | - | - | - | 1 | 1 | 34.04 | $4.65\times10^{-2}$ | |
| ECT等候室 | 墙体 | 3700 | 0.0207 | 1 | 300mm 砼 | 砼 | 300 | 110 | - | - | - | 1 | 1 | 76.59 | 0.14 | |
| | 防护门 | 1480 | 0.0207 | 2.4 | 2mmPb | - | - | - | 铅 | 2 | 1 | 1 | 1 | 30.64 | $5.32\times10^{-2}$ | 0.11 |
| | | 740 | 0.0207 | 2.4 | 2mmPb | | | | | 2 | 1 | 1 | 1 | 15.32 | $2.66\times10^{-2}$ | |
| | | 1480 | 0.0207 | 3.4 | 2mmPb | - | - | - | 铅 | 2 | 1 | 1 | 1 | 30.64 | $2.65\times10^{-2}$ | |
| | 顶棚 | 3700 | 0.0207 | 3.8 | 300mm 砼 | 砼 | 300 | 110 | - | - | - | 1 | 1 | 76.59 | 0.11 | |
| SPECT/CT机房 | 墙体 | 800 | 0.0583 | 4 | 300mm 砼 | 砼 | 300 | 170 | - | - | - | 1 | 1 | 46.64 | $5.01\times10^{-2}$ | |
| | 防护门观察窗 | 800 | 0.0583 | 4 | 5mmPb | - | - | - | 铅 | 5 | 11 | 1 | 1 | 46.64 | 1.02 | |
| | 顶棚 | 800 | 0.0583 | 3.8 | 300mm 砼 | 砼 | 300 | 170 | - | - | - | 1 | 1 | 46.64 | $5.55\times10^{-2}$ | |
| PET等候室 | 墙体 | 1480 | 0.092 | 1 | 320mm 砼 | 砼 | 320 | 176 | - | - | - | 1 | 1 | 136.16 | 2.07 | |
| | 防护门 | 370 | 0.092 | 2.8 | 12mmPb | - | - | - | 铅 | 12 | 16.6 | 1 | 1 | 34.04 | 0.82 | 2.18 |
| | | 370 | 0.092 | 3.7 | 12mmPb | - | - | - | 铅 | 12 | 16.6 | 1 | 1 | 34.04 | 0.47 | |
| | | 370 | 0.092 | 5.0 | 12mmPb | - | - | - | 铅 | 12 | 16.6 | 1 | 1 | 34.04 | 0.26 | |
| | | 370 | 0.092 | 3.2 | 12mmPb | - | - | - | 铅 | 12 | 16.6 | 1 | 1 | 34.04 | 0.63 | |
| | 顶棚 | 1480 | 0.092 | 3.8 | 300mm 砼 | 砼 | 300 | 176 | - | - | - | 1 | 1 | 136.16 | 0.19 | |
| 专用等候室 | 墙体 | 400 | 0.0583 | 1 | 300mm、320mm 砼 | 砼 | 300 | 170 | - | - | - | 1 | 1 | 23.32 | 0.40 | |
| | 防护门 | 400 | 0.0583 | 3.7 | 5mmPb | - | - | - | 铅 | 5 | 11 | 1 | 1 | 23.32 | 0.60 | |
| | 顶棚 | 400 | 0.0583 | 3.8 | 300mm 砼 | 砼 | 300 | 170 | - | - | - | 1 | 1 | 23.32 | $2.78\times10^{-2}$ | |
| | 地板 | 400 | 0.0583 | 3.2 | 300mm 砼+600mm 垫层 | 砼 | 760 | 170 | - | - | - | 1 | 1 | 23.32 | $7.71\times10^{-5}$ | |
| PET/ | 墙体 | 740 | 0.092 | 4 | 300mm 砼 | 砼 | 300 | 176 | - | - | - | 0.85 | 0.75 | 43.40 | $5.36\times10^{-2}$ | |

**续表11　环境影响分析**

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CT机房 | 防护门观察窗 | 740 | 0.092 | 4 | 5mmPb | - | - | - | 铅 | 5 | 16.6 | 0.85 | 0.75 | 43.40 | 1.36 |
| | 顶棚 | 740 | 0.092 | 3.8 | 300mm 砼 | 砼 | 300 | 176 | - | - | - | 0.85 | 0.75 | 43.40 | $5.93\times10^{-2}$ |
| | 地板 | 740 | 0.092 | 3.2 | 300mm 砼+600mm 垫层 | 砼 | 760 | 176 | - | - | - | 0.85 | 0.75 | 43.40 | $2.04\times10^{-5}$ |
| 注射走廊病人走廊 | 墙体 | 370 | 0.092 | 1 | 300mm 砼、320mmPb | 砼 | 300 | 176 | - | - | - | 1 | 1 | 34.04 | 0.67 |
| | 防护门 | 370 | 0.092 | 1 | 20mmPb | - | - | - | 铅 | 20 | 16.6 | 1 | 1 | 34.04 | 2.12 |
| | 顶棚 | 370 | 0.092 | 3.8 | 300mm 砼 | 砼 | 300 | 176 | - | - | - | 0.85 | 0.75 | 21.70 | $2.97\times10^{-2}$ |
| | 地板 | 370 | 0.092 | 3.2 | 300mm 砼+600mm 垫层 | 砼 | 760 | 176 | - | - | - | 0.85 | 0.75 | 21.70 | $1.02\times10^{-4}$ |
| 留观室 | 墙体 | 1110 | 0.092 | 1 | 300mm 砼 | 砼 | 300 | 176 | - | - | - | 0.85 | 0.67 | 58.16 | 1.15 |
| | 防护门 | 370 | 0.092 | 2.2 | 10mmPb | - | - | - | 铅 | 10 | 16.6 | 0.85 | 0.67 | 19.39 | 1.0 / 1.66 |
| | | 370 | 0.092 | 3.3 | 10mmPb | - | - | - | 铅 | 10 | 16.6 | 0.85 | 0.67 | 19.39 | 0.44 |
| | | 370 | 0.092 | 4.7 | 10mmPb | - | - | - | 铅 | 10 | 16.6 | 0.85 | 0.67 | 19.39 | 0.22 |
| | 顶棚 | 1110 | 0.092 | 3.8 | 300mm 砼 | 砼 | 300 | 176 | - | - | - | 0.85 | 0.67 | 58.16 | $7.95\times10^{-2}$ |
| | 地板 | 1110 | 0.092 | 3.2 | 300mm 砼+600mm 垫层 | 砼 | 760 | 176 | - | - | - | 0.85 | 0.67 | 58.16 | $2.73\times10^{-4}$ |
| 碘分装室 | 墙体 | 33303.7 | 0.0595 | 1 | 400mm 砼+40mmPb 铅罐 | 砼 | 400 | 176 | 铅 | 40 | 11 | 1 | 1 | 1981.57 | $2.44\times10^{-3}$ |
| | 防护门 | 33303.7 | 0.0595 | 1 | 5mmPb+40mmPb 铅罐 | - | - | - | 铅 | 45 | 11 | 1 | 1 | 1981.57 | 0.16 |
| | 顶棚 | 33303.7 | 0.0595 | 3.8 | 300mm 砼+40mmPb 铅罐 | 砼 | 300 | 176 | 铅 | 40 | 11 | 1 | 1 | 1981.57 | $6.26\times10^{-4}$ |
| | 地板 | 33303.7 | 0.0595 | 3.2 | 300mm 砼+600mm 垫层+40mmPb 铅罐 | 砼 | 760 | 176 | 铅 | 40 | 11 | 1 | 1 | 1981.57 | $2.15\times10^{-6}$ |
| 服药室 | 墙体 | 7400 | 0.0595 | 1 | 400mm 砼 | 砼 | 400 | 170 | - | - | - | 1 | 1 | 440.30 | 1.95 |
| | 防护门 | 7400 | 0.0595 | 2 | 20mmPb | - | - | - | 铅 | 20 | 11 | 1 | 1 | 440.30 | 1.67 |
| | 顶棚 | 7400 | 0.0595 | 3.8 | 300mm 砼 | 砼 | 300 | 170 | - | - | - | 1 | 1 | 440.30 | 0.52 |
| | 地板 | 7400 | 0.0595 | 3.2 | 300mm 砼+600mm 垫层 | 砼 | 760 | 170 | - | - | - | 1 | 1 | 440.30 | $1.45\times10^{-3}$ |
| 储源室 2 | 墙体 | 33303.7 | 0.0595 | 1 | 400mm 砼+40mmPb 铅罐 | 砼 | 400 | 170 | 铅 | 40 | 11 | 1 | 1 | 1981.57 | $2.03\times10^{-3}$ |
| | 防护门 | 33303.7 | 0.0595 | 1 | 40mmPb 铅罐 | - | - | - | 铅 | 40 | 11 | 1 | 1 | 1981.57 | 0.46 |
| | 顶棚 | 33303.7 | 0.0595 | 3.8 | 300mm 砼+40mmPb 铅罐 | 砼 | 300 | 170 | 铅 | 40 | 11 | 1 | 1 | 1981.57 | $5.45\times10^{-4}$ |
| | 地板 | 33303.7 | 0.0595 | 3.2 | 300mm 砼+600mm 垫层+40mmPb 铅罐 | 砼 | 760 | 170 | 铅 | 40 | 11 | 1 | 1 | 1981.57 | $1.51\times10^{-6}$ |

**续表11　环境影响分析**

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 药品检测室 | 墙体 | 33303.7 | 0.0595 | 1 | 400mm 砼+40mmPb 铅罐 | 砼 | 400 | 170 | 铅 | 40 | 11 | 1 | 1 | 1981.57 | $2.03\times10^{-3}$ | $6.81\times10^{-2}$ |
| | | 5550 | 0.143 | 1 | 400mm 砼+30mmPb 铅罐 | 砼 | 400 | 176 | 铅 | 30 | 16.6 | 1 | 1 | 793.65 | $6.60\times10^{-2}$ | |
| | 防护门 | 33303.7 | 0.0595 | 1 | 15mmPb+40mmPb 铅罐 | - | - | - | 铅 | 55 | 11 | 1 | 1 | 1981.57 | $1.98\times10^{-2}$ | 1.56 |
| | | 5550 | 0.143 | 1 | 15mmPb+30mmPb 铅罐 | - | - | - | 铅 | 45 | 16.6 | 1 | 1 | 793.65 | 1.54 | |
| | 顶棚 | 33303.7 | 0.0595 | 3.8 | 300mm 砼+40mmPb 铅罐 | 砼 | 300 | 170 | 铅 | 40 | 11 | 1 | 1 | 1981.57 | $5.45\times10^{-4}$ | $1.75\times10^{-2}$ |
| | | 5550 | 0.143 | 3.8 | 300mm 砼+30mmPb 铅罐 | 砼 | 300 | 176 | 铅 | 30 | 16.6 | 1 | 1 | 793.65 | $1.69\times10^{-2}$ | |
| | 地板 | 33303.7 | 0.0595 | 3.2 | 300mm 砼+600mm 垫层+40mmPb 铅罐 | 砼 | 760 | 170 | 铅 | 40 | 11 | 1 | 1 | 1981.57 | $1.51\times10^{-6}$ | $5.96\times10^{-5}$ |
| | | 5550 | 0.143 | 3.2 | 300mm 砼+600mm 垫层+30mmPb 铅罐 | 砼 | 760 | 176 | 铅 | 30 | 16.6 | 1 | 1 | 793.65 | $5.81\times10^{-5}$ | |
| 配餐间 | 墙体 | 7400 | 0.0583 | 1 | 400mm 砼 | 砼 | 400 | 170 | - | - | - | 1 | 1 | 431.42 | 1.91 | |
| | 传递窗 | 7400 | 0.0583 | 1 | 25mmPb | - | - | - | 铅 | 25 | 11 | 1 | 1 | 431.42 | 2.30 | |
| | 顶棚 | 7400 | 0.0583 | 3.8 | 300mm 砼 | 砼 | 300 | 170 | - | - | - | 1 | 1 | 431.42 | 0.51 | |
| 病房（单人） | 墙体 | 7400 | 0.0583 | 1 | 400mm 砼 | 砼 | 400 | 170 | - | - | - | 1 | 1 | 431.42 | 1.91 | |
| | 采光窗防护门 | 7400 | 0.0583 | 3.7 | 20mmPb | - | - | - | 铅 | 20 | 11 | 1 | 1 | 431.42 | 0.48 | |
| | 顶棚 | 7400 | 0.0583 | 3.8 | 300mm 砼 | 砼 | 300 | 170 | - | - | - | 1 | 1 | 431.42 | 0.51 | |
| | 地板 | 7400 | 0.0583 | 3.2 | 300mm 砼+600mm 垫层 | 砼 | 760 | 170 | - | - | - | 1 | 1 | 431.42 | $1.43\times10^{-3}$ | |
| 病房（双人） | 墙体 | 14800 | 0.0583 | 1 | 450mm 砼 | 砼 | 450 | 170 | - | - | - | 1 | 1 | 862.84 | 1.94 | |
| | 防护门 | 7400 | 0.0583 | 3.9 | 20mmPb | - | - | - | 铅 | 20 | 11 | 1 | 1 | 431.42 | 0.43 | 0.64 |
| | | 7400 | 0.0583 | 5.6 | 20mmPb | - | - | - | 铅 | 20 | 11 | 1 | 1 | 431.42 | 0.21 | |
| | 顶棚 | 14800 | 0.0583 | 3.8 | 400mm 砼 | 砼 | 400 | 170 | - | - | - | 1 | 1 | 862.84 | 0.27 | |
| | 地板 | 14800 | 0.0583 | 3.2 | 300mm 砼+600mm 垫层 | 砼 | 760 | 170 | - | - | - | 1 | 1 | 862.84 | $2.85\times10^{-3}$ | |
| 住院走廊 | 墙体 | 7400 | 0.0583 | 1 | 400mm 砼 | 砼 | 400 | 170 | - | - | - | 1 | 1 | 431.42 | 1.91 | |
| | 防护门 | 7400 | 0.0583 | 2 | 20mmPb、25mm | - | - | - | 铅 | 20 | 11 | 1 | 1 | 431.42 | 1.64 | |
| | 顶棚 | 7400 | 0.0583 | 3.8 | 300mm 砼 | 砼 | 300 | 170 | - | - | - | 1 | 1 | 431.42 | 0.51 | |
| | 地板 | 7400 | 0.0583 | 3.2 | 300mm 砼+600mm 垫层 | 砼 | 760 | 170 | - | - | - | 1 | 1 | 431.42 | $1.43\times10^{-3}$ | |
| 甲亢 | 墙体 | 400 | 0.0583 | 1 | 400mm 砼 | 砼 | 400 | 170 | - | - | - | 1 | 1 | 23.32 | 0.10 | |

**续表11　环境影响分析**

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 走廊 | 防护门 | 400 | 0.0583 | 1 | 12mmPb | - | - | - | 铅 | 12 | 11 | 1 | 1 | 23.32 | 1.89 | |
| | 顶棚 | 400 | 0.0583 | 3.8 | 300mm 砼 | 砼 | 300 | 170 | - | - | - | 1 | 1 | 23.32 | $2.78\times10^{-2}$ | |
| | 地板 | 400 | 0.0583 | 3.2 | 300mm 砼+600mm 垫层 | 砼 | 760 | 170 | - | - | - | 1 | 1 | 23.32 | $7.71\times10^{-5}$ | |
| 衰变室 | 墙体 | 740 | 0.0595 | 1 | 400mm 砼 | 砼 | 400 | 170 | - | - | - | 1 | 1 | 44.03 | 0.20 | 0.24 |
| | | 55.5 | 0.143 | 1 | | 砼 | 400 | 176 | - | - | - | 1 | 1 | 7.94 | $4.24\times10^{-2}$ | |
| | 防护门 | 740 | 0.0595 | 2.7 | 12mmPb | - | - | - | 铅 | 12 | 11 | 1 | 1 | 44.03 | 0.50 | 0.71 |
| | | 55.5 | 0.143 | 2.7 | | - | - | - | 铅 | 12 | 16.6 | 1 | 1 | 7.94 | 0.21 | |
| | 顶棚 | 740 | 0.0595 | 3.8 | 300mm 砼 | 砼 | 300 | 170 | - | - | - | 1 | 1 | 44.03 | $5.24\times10^{-2}$ | $6.33\times10^{-2}$ |
| | | 55.5 | 0.143 | 3.8 | | 砼 | 300 | 176 | - | - | - | 1 | 1 | 7.94 | $1.09\times10^{-2}$ | |
| | 地板 | 740 | 0.0595 | 3.2 | 300mm 砼+600mm 垫层 | 砼 | 760 | 170 | - | - | - | 1 | 1 | 44.03 | $1.45\times10^{-4}$ | $1.83\times10^{-4}$ |
| | | 55.5 | 0.143 | 3.2 | | 砼 | 760 | 176 | - | - | - | 1 | 1 | 7.94 | $3.73\times10^{-5}$ | |
| 被服衰减室 | 墙体 | 296 | 0.0595 | 1 | 400mm 砼 | 砼 | 400 | 170 | - | - | - | 1 | 1 | 17.61 | $7.81\times10^{-2}$ | |
| | 防护门 | 296 | 0.0595 | 1 | 12mmPb | - | - | - | 铅 | 12 | 11 | 1 | 1 | 17.61 | 1.43 | |
| | 顶棚 | 296 | 0.0595 | 3.8 | 300mm 砼 | 砼 | 300 | 170 | - | - | - | 1 | 1 | 17.61 | $2.10\times10^{-2}$ | |
| | 地板 | 296 | 0.0595 | 3.2 | 300mm 砼+600mm 垫层 | 砼 | 760 | 170 | - | - | - | 1 | 1 | 17.61 | $5.82\times10^{-5}$ | |

备注：①周围剂量当量率常数单位为$\mu Sv\cdot m^2/(h\cdot MBq)$。混凝土（砼）密度 2.35g/cm³；垫层密度 1.8g/cm³；铅密度 11.3g/cm³。②PET/CT、SPECT/CT 机房的剂量率考虑了核素γ光子和 CT 模式 X 射线，仅进行核素显像时剂量率为计算值的一半。

根据表 11-3 可知，按照核医学科现有屏蔽防护设计方案进行建设，距核医学工作场所各控制区边界外人员可达处、内部各用房屏蔽体外的周围剂量当量率均小于 2.5μSv/h，满足评价标准限值要求。

同时，本项目核医学科楼上和介入中心楼下为同一层，受到两科室的共同影响。根据上表核算，核医学科顶棚上方的周围剂量率约在 $5.41\times10^{-4}$～0.52μSv/h 之间，根据后文核算，介入中心 DSA 机房地板下剂量率非常小（约 $3.81\times10^{-3}$μSv/h），因此，介入中心 DSA 基本不会对楼下产生影响，即使考虑叠加影响，核医学科楼上周围剂量当量率也能满足评价标准限值要求。

**②防护手套箱、注射窗屏蔽效能核实**

《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中要求保证分装柜柜体外表面 5cm 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25μSv/h。《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中要求保证通风柜人员操作位、注射窗外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h，通风柜非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 25μSv/h。

本项目核医学科防护手套箱屏蔽估算，考虑到铅对 $^{99m}$Tc 的屏蔽效果良好，则主要考虑含 $^{18}$F 的放射性药物的分装过程，碘分装室主要考虑含 $^{131}$I 的放射性药物自动分装过程。

通常情况下，含 $^{18}$F 放射性药物铅罐（30mmPb）运至储源室 1 内，在分装注射室分装区内的防护手套箱（40mmPb）内进行药物分装，分装完成的药物置于注射器内。放射性药物活度不超过单次运送的放射性药物活度（22200MBq），其中 370MBq 置于注射器（具有 20mmPb 的屏蔽能力）中，剩余 21830MBq 置于防护手套箱内的放射性药物铅罐（30mmPb）中；$^{18}$F 剂量率常数 0.143μSv·m$^2$/（h·MBq）。$^{131}$I 放射性药物甲吸工作在防护手套箱内操作，用量为 3.7MBq，甲亢甲癌在自动分装仪内的药品铅罐（40mmPb）内，当天最大用量为 33300MBq。

核医学科防护手套箱和注射窗外表面的周围剂量当量率估算结果见表 11-4。

**表 11-4　核医学科各设施屏蔽效能核算结果**

| 设施名称 | 核素 | 放射源的最大活度（MBq） | 周围剂量当量率常数 | 预测距离（m） | 屏蔽材料及厚度 | 周围剂量当量率(μSv/h) | | 标准限值(μSv/h) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 防护手套箱 | $^{18}$F | 21830 | 0.143 | 0.25 | 防护手套箱 40mmPb 铅罐 30mmPb | 3.03 | 6.33 | ≤25 |
| | | 370 | | | 防护手套箱 40mmPb | 3.30 | | |
| | $^{18}$F | 21830 | 0.143 | 0.5 | 防护手套箱 40mmPb 铅罐 30mmPb | 0.76 | 1.58 | ＜2.5 |

**续表 11　环境影响分析**

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 370 | | | 防护手套箱 40mmPb | 0.82 | | |
| 注射台 | $^{18}F$ | 370 | 0.143 | 0.25 | 注射台 40mmPb<br>注射器防护套 20mmPb | 0.21 | | / |
| | $^{18}F$ | 370 | 0.143 | 0.5 | | 0.05 | | ＜2.5 |
| 自动分装仪 | $^{131}I$ | 33300 | 0.0595 | 0.25 | 铅罐 40mmPb | 5.09 | | ≤25 |
| | | 33300 | 0.0595 | 0.5 | 铅罐 40mmPb | 1.83 | | ≤2.5 |
| 防护手套箱 | $^{131}I$ | 3.7 | 0.0595 | 0.25 | 防护手套箱 40mmPb | $8.14\times10^{-4}$ | | ≤25 |
| | | 3.7 | 0.0595 | 0.5 | 防护手套箱 40mmPb | $2.03\times10^{-4}$ | | ＜2.5 |
| 放射废物桶 | $^{18}F$ | 55.5 | 0.143 | 0.5 | 铅桶 20mmPb | 1.98 | | ＜2.5 |
| | $^{131}I$ | 336.74 | 0.0595 | 0.5 | 铅桶 20mmPb | 1.22 | | ＜2.5 |

备注：周围剂量当量率常数单位为μSv·m²/（h·MBq）；考虑放射性药物位于手套箱内距离操作面约 20cm，放射废物桶直径约 40cm，废物分核素收集暂存。

根据表 11-4 核算可知，防护手套箱表面 5cm 处周围剂量当量率满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）（不大于 25μSv/h），同时防护手套箱、注射窗、放射废物桶表面 30cm 处的周围剂量当量率也满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）（小于 2.5μSv/h）。因此，项目拟配置的分装柜等防护设施的屏蔽能力满足要求。

**③PET/CT、SPECT/CT 机房屏蔽效能核实**

A、估算公式

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）6.2.2 可知，PET/CT、SPECT/CT 机房的屏蔽防护应不低于 2.5mmPb，其屏蔽能力校核选取附录 C 中公式进行核算。

$$B=\left[\left(1+\frac{\beta}{\alpha}\right)\times e^{\alpha\gamma X}-\frac{\beta}{\alpha}\right]^{-\frac{1}{\gamma}} \qquad (11\text{-}4)$$

式中：B——给定铅的屏蔽透射因子；

β——铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

α——铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

γ——铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

X——铅厚度。

$$X=\frac{1}{\alpha\gamma}\ln\left[\frac{B^{-\gamma}+\frac{\beta}{\alpha}}{1+\frac{\beta}{\alpha}}\right] \qquad (11\text{-}5)$$

式中：X——不同屏蔽物质的铅当量厚度；其余同上。

B、估算参数

PET/CT、SPECT/CT 额定电压为 130kV，因《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）表 C.2 未给出管电压为 130kV 的 CT 的相关。故按不利原则，选取管电压相邻的较高的 140kV 的 CT 的相关参数对屏蔽体进行核算。

《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）要求 CT 机房防护墙体不低于 2.5mmPb，因此，本次按照 GBZ130-2020 标准表 C.6 中 140kV 下 2.5mmPb 对应混凝土厚度为 216mm，根据密度换算（公式 11-3）为对应垫层（密度 1.8g/cm$^3$）的厚度为 282mm；本项目 CT 模拟定位机机房地板上有 600mm 垫层，则在相同条件下相当于 5.32mmPb。

其他预测参数见表 11-5。

**表 11-5　PET/CT、SPECT/CT 机房核算参数**

| 屏蔽材料 | 140kV（CT）拟合参数 | | | 屏蔽材料的密度 g/cm$^3$ |
|---|---|---|---|---|
| | α | β | γ | |
| 铅 | 2.009 | 3.990 | 0.3420 | 11.3 |
| 混凝土 | 0.0336 | 0.0122 | 0.5190 | 2.35 |

③估算结果

根据医院提供的屏蔽防护方案及设备参数，PET/CT、SPECT/CT 机房屏蔽体的铅当量核算结果见表 11-6。

**表 11-6　PET/CT、SPECT/CT 机房屏蔽能力核算对比表**

| 机房名称 | 屏蔽体名称 | 屏蔽防护设计 | 折合铅当量 | 标准要求 | 评价结果 |
|---|---|---|---|---|---|
| PET/CT SPECT/CT | 四周墙体 | 300mm 混凝土 | 3.79mmPb | 2.5mmPb | 满足要求 |
| | 顶棚 | 300mm 混凝土+100mm 垫层 | | | |
| | 地板 | 300mm 混凝土+600mm 垫层 | 9.11mmPb | | 满足要求 |
| | 防护门观察窗 | 5mmPb | 5mmPb | | 满足要求 |
| 备注：顶棚上方的垫层较薄，不考虑防护。 | | | | | |

根据上表核算和对比分析，本项目核医学科 PET/CT、SPECT/CT 机房屏蔽体的屏蔽能力均能满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。

**11.2.1.2 放疗科屏蔽效能核算**

**（1）CT 模拟定位机机房屏蔽效能核算**

①CT 模拟定位机机房铅当量效核

本项目放疗科 CT 模拟定位机额定电压为 140kV，铅当量核算见公式 11-4 和公式 11-5，估算参数见表 11-5。

因《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）未给出 130kV 的 CT 的砖拟合参数，且标准要求 CT 机房防护墙体不低于 2.5mmPb，因此，本次按照 GBZ130-2020 标准表 C.6 中 140kV 下 2.5mmPb 对应混凝土厚度为 216mm，根据密度换算（公式 11-3）为对应实心页岩砖（密度 1.65g/cm$^3$）的厚度为 307.6mm；本项目 CT 模拟定位机机房四周墙体设计为 240mm 实心页岩砖，则在相同条件下相当于 1.95mmPb。同理，可计算垫层的相当铅当量厚度。

根据医院提供的屏蔽防护方案及设备参数，CT 模拟定位机机房屏蔽体的铅当量核算结果见表 11-7。

**表 11-7　CT 模拟定位机机房屏蔽能力核算对比表**

| 机房名称 | 屏蔽体名称 | 屏蔽防护设计 | 折合铅当量 | 标准要求 | 评价结果 |
|---|---|---|---|---|---|
| CT 模拟定位机机房 | 四周墙体 | 240mm 实心页岩砖+3mmPb 铅板 | 4.95mmPb | 2.5mmPb | 满足要求 |
| | 顶棚 | 250mm 混凝土+300mm 垫层 | 5.67mmPb | | 满足要求 |
| | 地板 | 250mm 混凝土+600mm 垫层 | 8.33mmPb | | 满足要求 |
| | 防护门<br>观察窗 | 4mmPb | 4mmPb | | 满足要求 |

备注：实心页岩砖密度 1.65g/cm$^3$，混凝土密度 2.35g/cm$^3$，垫层密度 1.80g/cm$^3$。

根据上表核算和对比分析，本项目放疗科 CT 模拟定位机机房屏蔽体的屏蔽能力均能满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。

②CT 模拟定位机机房屏蔽体外剂量率核算

A：核算公式

根据工程分析，CT 机的影响以散射线为主，机房外剂量率以散射计算。

根据《辐射防护导论》（原子能出版社）第三章第三节（P116-P117）散射线的屏蔽计算公式（3.66）进行推导得出，按最不利情况考虑居留因子取 1，管电压修正系数取 1，推导得出本项目关注点的散射辐射剂量率计算公式如下：

$$\dot{H} = \frac{I \times H_0 \times B}{R_S^{\,2}} \times \frac{F \times \alpha}{R_0^{\,2}} \qquad (11\text{-}6)$$

式中：I—X 射线装置在最高管电压下的常用最大管电流，单位为毫安（mA）；

$H_0$—距辐射源点（靶点）1 m 处输出量，μSv•m²/（mA•h），以 mSv•m²/（mA•min）为单位的值乘以 6×10⁴，Sv/Gy 转换系数取值为 1；

B—屏蔽透射因子；

F—$R_0$ 处的辐射野面积，单位为平方米（m²），射线装置运行时的最大照射野面积为 400cm²（20cm×20cm）；

a—散射因子，入射辐射被单位面积（1m²）散射体散射到距其 1m 处的散射辐射剂量率与该面积上的入射辐射剂量率的比；根据 NCRP147 号报告第 137 页附图 C.1，120kV 射线装置在最大散射角情况下 1m 处的每平方厘米的散射系数约为 7.2×10⁻⁶；

$R_S$—辐射源点（靶点）至散射体的距离，单位为米（m），根据设备参数，本项目取 0.38m；

$R_0$—散射体至关注点的距离，单位为米（m），根据设备布设位置确定。

B：核算参数

根据工程分析，CT 模拟定位机常用最大电压为 120kV，最大运行电流约 280mA；设备在 120kV、3mmAl 过滤板情况下主射线方向 1m 处发射率为 9.0mGy·m²/mA•min。B 的计算公式见公式 11-4、11-5，计算参数见 GBZ130-2020 表 C.2。Sv/Gy 转换系数取值为 1。设备安装位置未定，按散射体位于机房中心考虑。

③核算结果

根据核算公式和上表相关参数，CT 模拟定位机机房外周围剂量当量率核算结果见表 11-8。

**表 11-8　CT 模拟定位机机房屏蔽体外剂量率核算结果表**

| 机房名称 | 屏蔽体名称 | | 距离 R(m) | 设计厚度 | 周围剂量当量率（μSv/h） | 是否满足要求 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| CT 模拟定位机机房 | 东面西面 | 墙体 | 4.13 | 240mm 实心页岩砖+3mmPb 铅板 | 0.15 | 是 |
| | | 铅门、观察窗 | | 4mmPb | 2.21 | 是 |
| | 南面北面 | 墙体 | 4.73 | 240mm 实心页岩砖+3mmPb 铅板 | 0.12 | 是 |
| | | 铅门 | | 4mmPb | 1.68 | 是 |
| | 顶棚 | | 4.5 | 250mm 混凝土+300mm 垫层 | 7.86×10⁻³ | 是 |
| | 地板 | | 3.8 | 250mm 混凝土+600mm 垫层 | 1.38×10⁻⁵ | 是 |

备注：设备离地高度按 1.0m 考虑，顶棚核算到楼上地面 1.0m 处，地板核算到楼下距地面 1.7m 处，机房内空高 3.95m，CT 模拟定位机机房下方的-2F 下沉层内空高 3.65m。顶棚和地板的垫层较厚，考虑其屏蔽能力。

根据上表计算可知，在常用最大工况下，CT 模拟定位机机房屏蔽体外的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。

同时，本项目 CT 模拟定位机房与后装机机房错位布置，有走廊间隔，根据后文核算，后装机防护门外关注点周围剂量当量率较小（约 0.97μSv/h），即使考虑叠加影响，CT 模拟定位机机房外周围剂量当量率也能满足评价标准限值要求。

**（2）直线加速器机房屏蔽效能核算**

**1）直线加速器机房屏蔽效能效核公式**

直线加速器机房屏蔽效核采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）中的效核公式。

①有效屏蔽厚度：

$$X_e = X \bullet \sec\theta \qquad (11\text{-}7)$$

$$X = X_e \bullet \cos\theta \qquad (11\text{-}8)$$

式中：$X$ —屏蔽物质厚度；

$X_e$—有效屏蔽厚度；

$\theta$—斜射角，即入射线与物质平面的法线的夹角。

②屏蔽厚度与屏蔽透射因子的相应关系：

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \qquad (11\text{-}9)$$

$$X_e = TVL \bullet \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \qquad (11\text{-}10)$$

式中：$B$—辐射屏蔽透射因子；

$TVL_1$—辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度；

$TVL$—辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚度。

③有用线束和泄漏辐射的屏蔽与剂量估算：

$$B = \frac{\dot{H}_c}{\dot{H}_0} \bullet \frac{R^2}{f} \qquad (11\text{-}11)$$

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_o \cdot f}{R^2} \bullet B \qquad (11\text{-}12)$$

式中：$\dot{H}_c$ －参考点剂量率参考控制水平，μSv/h；

$\dot{H}_o$ －加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的常用最高剂量率，μSv·m²/h（以 Sv·m²/min 为单位的值乘以 6×10⁷）；

R－辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

f－对有用束为 1；对泄漏辐射为泄漏辐射为泄漏辐射比率。

④患者一次散射辐射的屏蔽与剂量估算：

$$B=\frac{\dot{H}_c\cdot R_s^2}{\dot{H}\cdot\alpha_{ph}\cdot(F/400)} \qquad (11\text{-}13)$$

$$\dot{H}=\frac{\dot{H}_0\cdot\alpha_{ph}\cdot(F/400)}{R_s^2}\bullet B \qquad (11\text{-}14)$$

式中：$\dot{H}_c$ －参考点剂量率参考控制水平，μSv/h；

$\dot{H}_o$ －加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率，μSv·m²/h；

$R_s$ —患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

$\alpha_{ph}$ —患者 400cm² 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m（关注点方向）处的剂量比例，又称 400cm² 面积上的散射因子；

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm²。

⑤加速器（＞10MV）机房的迷路散射辐射计算：

A、总中子注量 $\Phi_B$

$$\Phi_B=\frac{Q_n}{4\pi d_1^2}+\frac{5.4Q_n}{2\pi S}+\frac{1.26Q_n}{2\pi S} \qquad (11\text{-}15)$$

式中：$\Phi_B$—等中心处 1Gy 治疗照射时 B 处的总中子注量，（中子数/m²）/Gy；

$Q_n$—在等中心处每 1Gy 治疗照射时射出加速器机头的总中子数，中子数/Gy；

$d_1$—等中心点 o 至 B 点的距离，m；

S—治疗机房的总内表面积（m²），包括四壁墙、顶面和地面，不包括迷路内各面积；

该公式用于铅屏蔽加速器机头，对于钨屏蔽的加速器机头，式中第一项和第二

项均乘以衰减因子 0.85。

B、机房入口的中子俘获γ射线的剂量率（$\dot{H}_\gamma$）

$$\dot{H}_\gamma = 6.9\times10^{-16}\cdot\Phi_B\cdot10^{-d_2/TVD}\cdot\dot{H}_o \quad (11\text{-}16)$$

式中：$6.9\times10^{-16}$—经验因子，Sv/（中子数/$m^2$）；

$\Phi_B$—等中心处 1Gy 治疗照射时 B 处的总中子注量，（中子数/$m^2$）/Gy；

$d_2$—B 点至机房入口（g）的距离，m；

*TVD*—将γ辐射剂量减至其十分之一的距离（称为什值距离）；

$\dot{H}_o$—等中心点处治疗 X 射线剂量率（μGy/h），屏蔽计算可视为（μSv/h）。

对于二阶迷路（见图 2）在式(15)（上式 11-16）中，以二阶迷路 $d_{2a}$ 和 $d_{2b}$ 之和代替 $d_2$，并且 $\dot{H}_\gamma$ 为式(15)（上式 11-16）的 1/3。这种计算方法适用于 $d_{2b}$ 并非过短、迷路宽度并非过小的情况。

C、机房入口的中子剂量率（$\dot{H}_n$）

$$\dot{H}_n = 2.4\times10^{-15}\cdot\Phi_B\cdot\sqrt{\frac{S_0}{S_1}}\cdot\left[1.64\times10^{-(d_2/1.9)}+10^{-(d_2/T_n)}\right]\cdot\dot{H}_o \quad (11\text{-}17)$$

式中：$2.4\times10^{-15}$—该计算方法中的经验因子，Sv/（中子数/$m^2$）；

$S_0$—迷路内口的面积，$m^2$；

$S_1$—迷路横截面积，$m^2$；

$d_2$—B 点到迷路入口（g）的距离，m；

$T_n$—迷路中能量相对高的中子剂量组分式方括号中的第二项衰减至十分之一行径的距离（m），称为什值距离。$T_n$ 是一个经验值，与迷路横截面积有关。

$$T_n = 2.06\sqrt{S_1} \quad (11\text{-}18)$$

D、入口门屏蔽

入门口屏蔽设计时，通常使中子和中子俘获γ射线屏蔽后有相同的辐射剂量率，对于中子俘获γ射线，以铅屏蔽；对中子，以含硼（5%）聚乙烯屏蔽，所需的屏蔽防护厚度 $X_\gamma$ 和 $X_n$ 如下式：

$$X_\gamma = TVL_\gamma \cdot \log\left[2\dot{H}_\gamma/(\dot{H}_c - \dot{H}_{og})\right] \quad (11\text{-}19)$$

$$X_n = TVL_n \cdot LOG\left[2\dot{H}_n/(\dot{H}_c - \dot{H}_{og})\right] \quad (11\text{-}20)$$

式中：$X_\gamma$和 $X_n$分别为屏蔽中子俘获γ射线和中子这两种辐射的不同屏蔽材料的厚度，cm；

$TVL_\gamma$和 $TVL_n$分别为中子俘获γ射线和中子在上述两种屏蔽材料中的什值层，cm；

$\dot{H}_\gamma$和 $\dot{H}_n$分别为入口处防护门内的辐射剂量率；

$\dot{H}_c$为剂量率控制水平，μSv/h；

$\dot{H}_{og}$为穿过迷路内墙的泄漏辐射在入口处的剂量率。

当给定防护门屏蔽厚度 $X_\gamma$和 $X_n$时，防护门外的辐射剂量率 $\dot{H}$（μSv/h）如下式：

$$\dot{H} = \dot{H}_\gamma \bullet 10^{-(X_\gamma/TVL_\gamma)} + \dot{H}_n \bullet 10^{-(X_n/TVL_n)} + \dot{H}_{og} \bullet B_{og} \quad (11\text{-}21)$$

式中：Bog 为防护门对 $\dot{H}_{og}$的屏蔽透射因子，在 $\dot{H}_{og}$相对 g 处的总剂量率较小时，可以忽略 $\dot{H}_{og} \cdot B_{og}$项。

⑥有用线束主屏蔽区宽度计算：

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007），主屏蔽宽度计算公式如下：

$$Y_p = 2\left[(SAD + a)\tan(\theta) + 0.3\right] \quad (11\text{-}22)$$

式中：$Y_p$—机房有用束主屏蔽区的宽度，m；

*SAD*—源轴距，m，本项目为 1m；

a—等中心至墙面的距离，cm；

$\theta$——治疗束的最大张角（相对束中的轴线），本项目为 14°。

**2）应考虑辐射的关注点**

本项目直线加速器的有用线束均不朝向迷路照射，且两机房以南北轴镜面对称布置（即两机房东墙和西墙方位互换），机房外对称屏蔽体的剂量率控制要求一致，因此，

本次仅以 1#直线加速器机房作为代表进行核算，以此代表两个机房的屏蔽效能核算。项目加速器机房具体核算点位示意图见图 11-1。

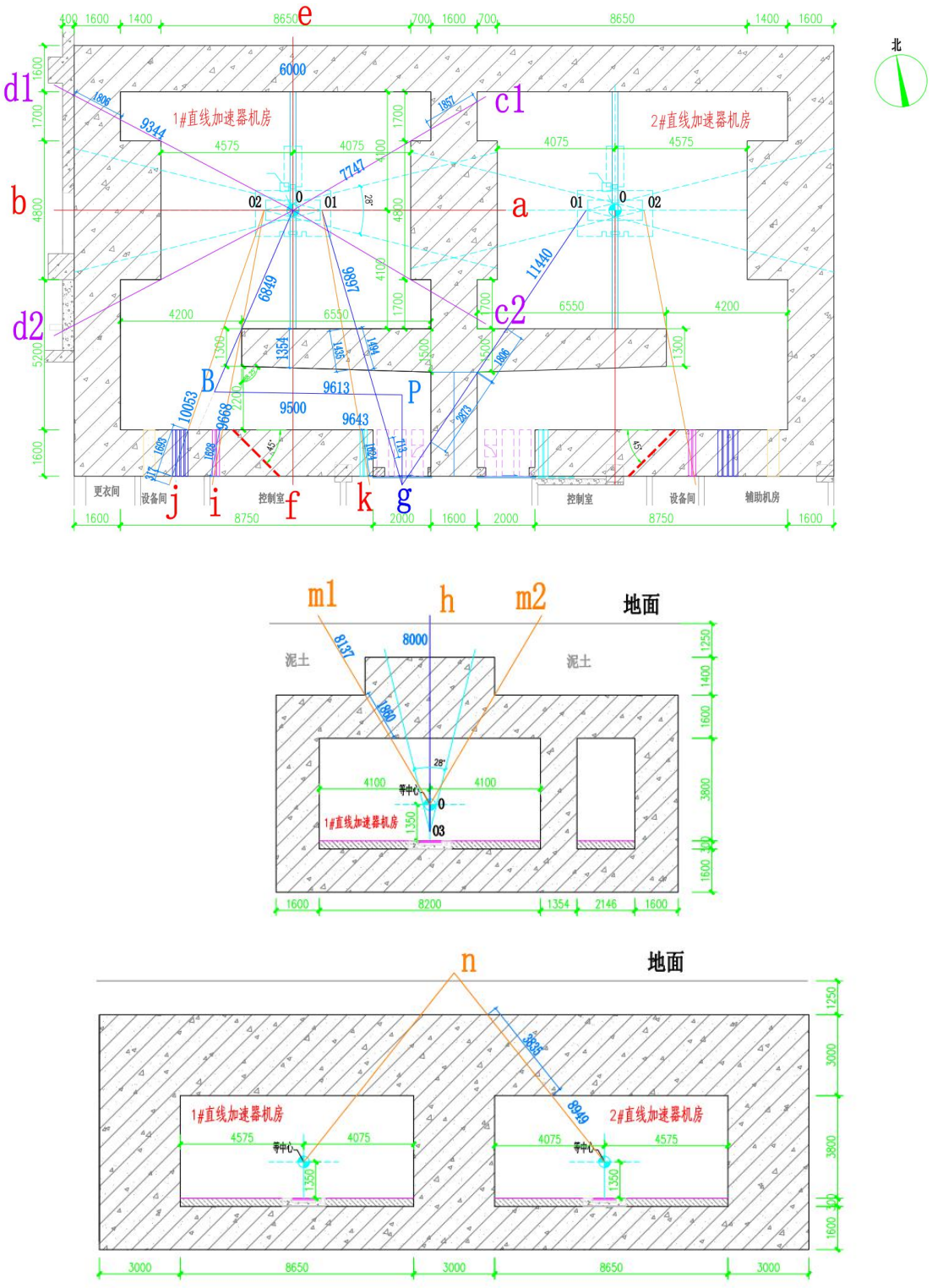



**图 11-1　1#加速器机房核算参考点示意图**

**3）核算参数**

根据项目具体情况，直线加速器机房屏蔽体效核计算所用参数见表 11-9。

**表 11-9　公式中涉及的参数取值**

| 参数 | 单位 | 取值 | 取值依据 | |
|---|---|---|---|---|
| $\dot{H}_c$ | μSv/h | 2.5 | 按 GBZ/T201.2 -2011、GBZ121 -2020 核算相关要求核算取保守值 | 具体见表 7-16 |
| | | 0.6 | 迷路内墙核算取值 | |
| $\dot{H}_o$ | μSv·m²/h | $1.44\times10^9$ | 最高剂量率，2400cGy/min | |
| $Q_n$ | 中子数/Gy | $7.6\times10^{11}$ | NCRP NO.151 表 B.9 | |
| f | / | 1 | 有用线束 | |
| | | 0.001 | 漏射线束 | |
| 有用束 $TVL_1$ | cm | 44 | GBZ/T201.2-2011 附录 B 表 B.1 查出（混凝土） | |
| 有用束 TVL | cm | 41 | | |
| 90°泄漏辐射 $TVL_1$ | cm | 36 | | |
| 90°泄漏辐射 TVL | cm | 33 | | |
| 30°散射辐射 TVL | cm | 31 | | |
| TVLγ | cm | 3.1 | GBZ/T201.2-2011 附录 C 查得（铅） | |
| TVLn | cm | 4.5 | GBZ/T201.2-2011 附录 C 查得（含硼 5%的聚乙烯） | |
| TVD | cm | 3.9 | GBZ/T201.2－2011 | |
| F | $cm^2$ | 40×40 | 最大对称野面积 | |
| $\alpha_{ph}$ | $cm^2$ | $3.18\times10^{-3}$ | 患者 400$cm^2$ 面积上的散射因子，GBZ/T 201.2 -2011 附录 B 表 B.2，考虑预测结果的最不利情况，选取 10MV 的对应取 30°散射角的值 | |
| R | m | 6.0（O-e） | 等中心点至北墙侧屏蔽墙外 30cm 的距离 | |
| | m | 8.38（O2-a） | 辐射源点至东墙主屏蔽墙外 30cm 的距离 | |
| | m | 7.75（O-c1/c2） | 等中心点至东墙次屏蔽墙外 30cm 的距离 | |
| | m | 9.50（O-f） | 等中心点至南墙侧屏蔽墙外 30cm 的距离 | |
| | m | 9.28（O1-b） | 辐射源点至西墙主屏蔽墙外 30cm 的距离 | |
| | m | 9.34（O-d1/d2） | 等中心点至西墙次屏蔽墙外 30cm 的距离 | |
| | m | 8.0（O3-h） | 辐射源点至顶棚上方地面上 30cm 的距离 | |
| | m | 8.95（O3-n） | 辐射源点至两机房共墙顶棚上方 30cm 的距离 | |
| | m | 8.14（O-m1/m2） | 等中心点至顶棚次屏蔽顶外 30cm 的距离 | |
| | m | 9.90（O1-g） | 辐射源点至迷路口外 30cm 的距离 | |
| | m | 9.67（O2-i） | 辐射源点至迷路外墙关注点外 30cm | |
| | m | $d_1$=6.85（O-B） | 设计距离 | |
| | m | $d_2$=9.61（B-P-g） | 设计距离 | |
| S | $m^2$ | 300.16 | 实际设计内表面积 | |
| $S_0$ | $m^2$ | 4.2×3.8=15.96 | 迷道内口面积（宽×高） | |
| $S_1$ | $m^2$ | 2.0×3.8=7.6 | 最小的迷道横截面积（宽×高） | |

**4）屏蔽效能核实结果**

直线加速器机房屏蔽墙屏蔽效能的核算结果见表 11-10。

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）4.3.2.6 可知，机房内各种散射辐射能量相对中子俘获γ射线能量较低，在防护中子俘获γ射线的屏蔽门外，此部分剂量可以忽略。因此，本项目防护门屏蔽核算时仅考虑散射中子俘获γ射线以及加速器泄漏辐射经迷道内墙屏蔽到 g 点的剂量，其余散射剂量忽略不计。直线加速器机房防护门屏蔽效能核算结果见表 11-11。

考虑到两机房的共同影响情况，顶棚上方的共同影响结果为 0.02μSv/h，满足标准限值要求。两机房防护门外受到两个加速器的共同影响，防护门外剂量率最大值保守考虑为各自剂量率的和，即为 0.57+0.57=1.14μSv/h 同理。

因此，根据表 11-10、表 11-11 计算，1#加速器机房按照屏蔽方案建设，机房的屏蔽能力能满足评价标准要求。2#加速器机房与 1#加速器机房呈南北轴对称布置，其机房的屏蔽能力也能满足标准要求。同时，根据上述叠加影响分析，2 套直线加速器同时运行时，屏蔽体外的影响也能满足标准要求。

综上所述，在现有设计条件下，2 个直线加速器机房屏蔽体外周围剂量当量率满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）及评价限值的相关要求。

**表 11-10　1#直线加速器机房屏蔽墙屏蔽效能的核算结果表**

| 墙体名称 | | 关注点 | 射线类型 | | 计算参数 | 屏蔽体厚度（cm） | | 设计厚度条件下周围剂量当量率预测值（μSv/h） | | 剂量率控制水平 $H_c$（μSv/h） | 是否满足要求 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 计算 | 设计 | | | | |
| 北墙 | 次屏蔽墙 | e | 漏射 | | R=6.0m（O-e），$H_0$=1.44×10$^9$μSv·m$^2$/h，$H_C$=2.5μSv/h，f=0.001，TVL=33cm，TVL1=36cm | 142 | 160 | 0.70 | | 2.5 | 是 |
| 东墙 | 主屏蔽墙 | a | 主射 | | R=8.38m（O2-a），$H_0$=1.44×10$^9$μSv·m$^2$/h，$H_C$=2.5μSv/h，f=1，TVL=41cm，TVL1=44cm | 286 | 300 | 1.17 | | 2.5 | 是 |
| | 与主屏蔽相连的次屏蔽墙 | c1<br>c2 | 复合辐射 | 散射 | R=7.75m（O-c1/c2），$H_0$=1.44×10$^9$μSv·m$^2$/h，$H_C$=1.25μSv/h，TVL=31cm，$\alpha_{ph}$=3.18×10$^{-3}$，F=1600cm$^2$ | 167 | 167 | 160（185.7） | 0.31 | 0.38 | 2.5 | 是 |
| | | | | 漏射 | R=7.75m（O-c1/c2），$H_0$=1.44×10$^9$μSv·m$^2$/h，$H_C$=1.25μSv/h，f=0.001，TVL=33cm，TVL1=36cm | 144 | | | 6.97×10$^{-2}$ | | | |
| | 主屏蔽带宽 | —— | —— | | SAD=1.0，a=7.08，θ=14 | 463 | 480 | —— | | —— | 是 |
| 西墙 | 主屏蔽墙 | b | 主射 | | R=9.28m（O1-b），$H_0$=1.44×10$^9$μSv·m$^2$/h，$H_C$=2.5μSv/h，f=1，TVL=41cm，TVL1=44cm | 283 | 300 | 0.95 | | 2.5 | 是 |
| | 与主屏蔽相连的次屏蔽墙 | d1<br>d2 | 复合辐射 | 散射 | R=9.34m（O-d1/d2），$H_0$=1.44×10$^9$μSv·m$^2$/h，$H_C$=1.25μSv/h，TVL=31cm，$\alpha_{ph}$=3.18×10$^{-3}$，F=1600cm$^2$ | 162 | 162 | 160（180.6） | 0.31 | 0.38 | 2.5 | 是 |
| | | | | 漏射 | R=9.34m（O-d1/d2），$H_0$=1.44×10$^9$μSv·m$^2$/h，$H_C$=1.25μSv/h，f=0.001，TVL=33cm，TVL1=36cm | 139 | | | 6.85×10$^{-2}$ | | | |
| | 主屏蔽带宽 | —— | —— | | SAD=1.0，a=5.98，θ=14 | 408 | 480 | —— | | —— | 是 |
| 南墙 | 侧屏蔽墙（迷路内墙+外墙） | f | 漏射 | | R=9.50m（O-f），$H_0$=1.44×10$^9$μSv·m$^2$/h，$H_C$=2.5μSv/h，f=0.001，TVL=33cm，TVL1=36cm | 129 | 295 | 2.26×10$^{-5}$ | | 2.5 | 是 |
| | 迷路内墙 | g | 漏射 | | R=9.90m（O1-g），$H_0$=1.44×10$^9$μSv·m$^2$/h，$H_C$=0.6μSv/h，f=0.001，TVL=33cm，TVL1=36cm | 148 | 142（149.4） | 0.54 | | / | 是 |
| | 迷路外墙 | i | 漏射 | | R=9.67m（O2-i），$H_0$=1.44×10$^9$μSv·m$^2$/h，$H_C$=2.5μSv/h，f=0.001，TVL=33cm，TVL1=36cm | 128 | 160（162.8） | 0.22 | | 2.5 | 是 |
| | | i′ | 漏射 | | R=9.85m（O2-i′），$H_0$=1.44×10$^9$μSv·m$^2$/h，$H_C$=2.5μSv/h，f=0.001，TVL=33cm，TVL1=36cm | 127.5 | 162.8（144.4） | 0.77 | | 2.5 | 是 |

## 续表 11　环境影响分析

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | j′ | 漏射 | R=10.53m（O2-j′），$H_0$=1.44×10$^9$μSv·m$^2$/h，$H_C$=2.5μSv/h，f=0.001，TVL=33cm，TVL1=36cm | 125.6 | 169.3（152.4） | 0.39 | 2.5 | 是 |
| | | k′ | 漏射 | R=9.79m（O2-k′），$H_0$=1.44×10$^9$μSv·m$^2$/h，$H_C$=2.5μSv/h，f=0.001，TVL=33cm，TVL1=36cm | 127.7 | 292.5（272.0） | 1.06×10$^{-4}$ | 2.5 | 是 |
| 顶棚 | 主屏蔽墙 | h | 主射 | R=8.0m（O3-h），$H_0$=1.44×10$^9$μSv·m$^2$/h，f=1，$H_C$=2.5μSv/h，TVL=41cm，TVL1=44cm | 288 | 300 | 1.28 | 2.5 | 是 |
| | 主屏蔽墙 | n | 主射 | R=8.95m（O3-n），$H_0$=1.44×10$^9$μSv·m$^2$/h，f=1，$H_C$=2.5μSv/h，TVL=41cm，TVL1=44cm | / | 300（383.5） | 9.42×10$^{-3}$（叠加值约为 0.02） | 2.5 | 是 |
| | 与主屏蔽相连的次屏蔽墙 | m1<br>m2 | 复合辐射 散射 | R=8.14m（O-m1/m2），$H_0$=1.44×10$^9$μSv·m$^2$/h，$H_C$=1.25μSv/h，TVL=31cm，$\alpha_{ph}$=3.18×10$^{-3}$，F=1600cm$^2$ | 166 | 166 | 160（186） | 0.276 | 0.34 | 2.5 | 是 |
| | | | 漏射 | R=8.14m（O-m1/m2），$H_0$=1.44×10$^9$μSv·m$^2$/h，$H_C$=1.25μSv/h，f=0.001，TVL=33cm，TVL1=36cm | 143 | | | 6.19×10$^{-2}$ | | | |
| | 主屏蔽带宽 | —— | —— | SAD=1.0，a=5.45，θ=14 | 382 | | 480 | —— | —— | —— | 是 |
| 2#加速器机房贡献影响 | | g | 漏射 | R=11.44（2#机房 $O_1$-g），$H_0$=1.44×10$^9$μSv·m$^2$/h，f=0.001，TVL=33cm，TVL1=36cm | —— | | （467.9） | 8.99×10$^{-11}$ | | —— | —— |

备注：①根据 GBZ/T 201.1-2007 第 4.8.3 款相关要求，Sv/Gy 转换系数取 1。

②屏蔽材料默认为混凝土，密度 2.35g/cm$^3$。

③（）里面的数值为斜线屏蔽厚度。

④机房内墙靠迷道侧为斜型，斜度约 1.8°很小，O2-g 的距离和屏蔽厚度均稍大于 O1-g，因此迷路内墙不再进行 O2-g 的校核；

⑤i 点处核算值已扣除穿墙管线的厚度；“i”等表示考察点上方核算点；上方核算点按照实际斜线距离核算；

⑥未考虑机房西侧其他相邻墙体的屏蔽能力；

⑦地板下为泥土层，不进行核算；顶棚上方为泥土层，不考虑其防护能力。

⑧根据核算，顶棚上方主射线影响稍大，叠加影响计算时考虑两机房主射线叠加计算。

**表 11-11　1#直线加速器机房防护门屏蔽效能核算结果表**

| 关注位置 | 关注点 | 辐射类型 | 计算参数（m） | 屏蔽体厚度（cm） | | 周围剂量当量率预测值（μSv/h） | | 剂量率控制水平 $H_c$（μSv/h） | 是否满足要求 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 计算 | 设计 | | | | |
| 防护门 | g | 散射中子中子俘获γ | $H_0$=1.44×10$^9$μSv·m$^2$/h，$H_c$=2.5μSv/h，泄漏辐射 $H_{og}$=（0.54+8.99×10$^{-11}$）μSv/h，$Q_n$=7.6×10$^{11}$中子数/Gy，S=300.16m$^2$，d1=6.85m，d2=9.61m，TVD=3.9m，$S_0$=15.96m$^2$，$S_1$=7.6m$^2$，TVLγ=3.1cm，TVLn=4.5cm | 2.48cmPb+11.77 cm 含硼 5%的聚乙烯 | 2.5cm 铅+20cm 含硼 5%的聚乙烯 | 0.57 | 0.57 | 2.5 | 是 |
| | | 漏射（2#加速器） | 11.44（2#加速器 $O_1$-g），$H_0$=1.44×10$^9$μSv·m$^2$/h，f=0.001，TVL=33cm，TVL1=36cm | / | 467.9 | 8.99×10$^{-11}$ | | | |
| 防护门上方穿墙点 | g′ | 散射 | $H_0$=1.44×10$^9$μSv·m$^2$/h，$H_c$=2.5μSv/h，泄漏辐射 $H_{og}$=2.63×10$^{-3}$ μSv/h，$Q_n$=7.6×10$^{11}$中子数/Gy，S=300.16m$^2$，d1′=6.92m，d2′=9.72m，TVD=3.9m，$S_0$=15.96m$^2$，$S_1$=7.6m$^2$，TVLγ=31cm，$TVL_n$=21cm（GBZ/T 201.2-2011 附录 C） | / | （68.30） | 0.29 | 0.29 | 2.5 | 是 |
| | | 漏射 | R=10.20（$O_1$-g′），$H_0$=1.44×10$^9$μSv·m$^2$/h，$H_C$=1.25μSv/h，f=0.001，TVL=33cm，TVL1=36cm | 127 | 迷道内墙（152.2）+防护门上方（72.6）（扣除风管）=224.8 | 2.63×10$^{-3}$ | | | |

备注：①根据GBZ/T 201.2-2011的D1，聚乙烯7.8cm等效于0.7cm铅，本次核算考虑了含硼5%的聚乙烯的等效铅厚度。

②防护门上方穿墙点核算按照穿墙管布置情况保守考虑最薄的屏蔽体水平67.5cm的防护。

③机房地板为160cm砼，不再考虑斜方向的效核。

④其余备注同前表备注。

**（3）后装机房屏蔽效能核算**

**1）后装机房屏蔽效能核算公式**

后装机治疗室机房屏蔽能力采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）中的公式进行核算。

初级辐射的屏蔽计算方法：

$$B=\frac{\dot{H}_c}{\dot{H}_0}\bullet\frac{R^2}{f} \qquad (11\text{-}23)$$

$$\dot{H}_0=A\bullet K_\gamma \qquad (11\text{-}24)$$

$$\dot{H}=\frac{\dot{H}_o\cdot f}{R^2}\bullet B \qquad (11\text{-}25)$$

式中：$\dot{H}_c$ —剂量率参考控制水平，单位为μSv/h；

$\dot{H}_o$ —活度为 A 的放射源在距其 1m 处的剂量率，单位为μSv/h；

R—辐射源点至关注点的距离，m；

f —有用线束取 1；

A—放射源的活度，单位为 MBq；

$K_\gamma$—放射源的空气比释动能率常数，在屏蔽计算中以周围剂量当量作为空气比释动能的近似，此时，$K_\gamma$的单位记为μSv/（h·MBq）。

机房入口处的散射辐射剂量$\dot{H}$（μSv/h）：

$$\dot{H}=\frac{A\bullet K_\gamma\bullet S_W\bullet\alpha_w}{R_1^{\,2}\bullet R_2^{\,2}} \qquad (11\text{-}26)$$

式中：$S_w$—迷路内口墙的散射面积，其为辐射源和机房入口共同可视见的墙区面积，单位为平方米（$m^2$）；

$\alpha_w$—散射体的散射因子；

$R_1$—辐射源至散射体中心点的距离，单位为米（m）；

$R_2$—散射体中心点至计算点的距离，单位为米（m）。

**2）后装机房屏蔽效能核算关注点**

**续表 11　环境影响分析**

后装机不是固定安装，可以在后装机机房内移动。根据咨询建设单位，后装机机房内设置治疗床，一般设置在远离迷道的角落，因此，本次按照不利情况，考虑治疗床的设置，以放射源与迷路内墙齐平，与其他方向屏蔽体距离 1.0m 进行核算。放射源高度考虑为离地 1.0m。

后装机机房屏蔽体外具体核算点位示意图见图 11-2。

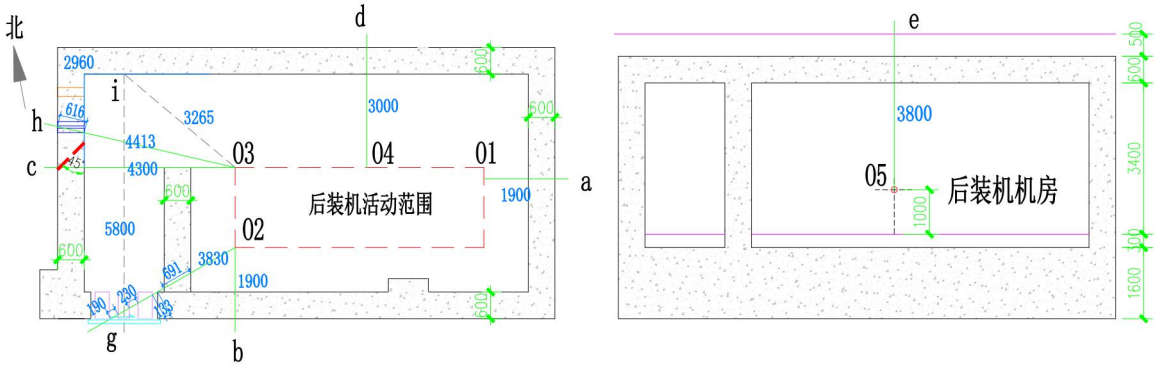



**图11-2　后装机机房核算参考点示意图**

**3）后装机房屏蔽效能核算核算参数**

①根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）6.1 规定，本项目后装机机房四周墙体及顶棚以 4π发射的γ射线（即初级辐射）进行计算，防护门处以散射辐射进行核算。

②后装机机房相关核算参数取值见表 11-12。

**表 11-12　后装机机房核算参数表**

| 参数 | 单位 | 取值 | 取值依据 |
|---|---|---|---|
| $\dot{H}_c$ | μSv/h | 顶棚 0.75<br>其余 2.5 | HJ1198-2021、GBZ121-2020 及相关要求核算后取值 |
| A | MBq | $3.70\times10^{5}$ | 设备最大装源活度 |
| $K_\gamma$ | μSv/（h·MBq） | 0.111 | GBZ/T201.3-2014 附录 C 表 C.1 |
| f | / | 1 | GBZ/T201.3-2014 给出 |
| $\alpha_w$ | $m^2$ | $3.39\times10^{-2}$ | GBZ/T201.3-2014 附录 C 表 C.4 保守取值 |
| $TVL/TVL_1$（初级辐射） | mm | 混凝土：152<br>铅：16 | GBZ/T201.3-2014 附录 C 表 C.1 |
| $TVL/TVL_1$（散射辐射） | mm | 铅 5.0 | 防护门处散射能量约 0.2MeV，GBZ/T201.3-2014 附录 F.3 |
| $S_w$ | $m^2$ | 10.1 | 散射面积：2.96m×3.4m=10.1$m^2$ |
| R | m | 1.9 | O1-a、O2-b，源点至东墙、南墙屏蔽墙外 30cm |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | m | 3.8 | O2-g，源点至防护门外 30cm |
| | m | 4.3 | O3-c，源点至西墙屏蔽墙外 30cm |
| | m | 4.78（空间） | O3-h′，源点至穿墙管线外 30cm |
| | m | 3.0 | O4-d，源点至北墙屏蔽墙外 30cm |
| | m | 3.8 | O5-e，源点至顶棚屏蔽墙外 30cm |
| $R_1$ | m | 3.3 | O3-i，等中心点至 i 点的距离 |
| $R_2$ | m | 5.8 | i-g，i 点至 g 点的距离 |

**3）后装机机房屏蔽效能核实结果**

后装机机房的屏蔽效能核实结果见表 11-13。

**表 11-13　后装机机房屏蔽核算结果表**

| 屏蔽体 | | 关注点 | 距离 R（m） | 屏蔽体厚度（cm） | | 周围剂量当量率预测值（μSv/h） | | 剂量率参考控制水平 $H_c$（μSv/h） | 是否满足要求 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 计算 | 设计 | | | | |
| 东墙、南墙 | | a、b | 1.9 | 55.6 | 60 | 1.28 | | 2.5 | 是 |
| 西墙 | | c | 4.3 | 44.8 | 60（50.3*） | 1.09 | | 2.5 | 是 |
| 西墙穿墙 | | h′ | 4.78 | 43.4 | 61.6（46.2*） | 1.64 | | 2.5 | 是 |
| 北墙 | | d | 3.0 | 49.6 | 60 | 0.52 | | 2.5 | 是 |
| 顶棚 | | e | 3.8 | 46.8 | 60 砼+50 垫层 | $9.70\times10^{-4}$ | | 0.75 | 是 |
| 防护门 | 主射 | g | 3.8 | 46.5 | 60（69） | $2.06\times10^{-3}$ | 0.97 | 2.5 | 是 |
| | 散射 | | 3.3，5.8 | 6mmPb | 8mmPb | 0.96 | | | |
| 防护门上方穿墙孔 | 主射 | g′ | 4.36 | 44.6 | 141.7 | $1.03\times10^{-6}$ | 1.65 | 2.5 | 是 |
| | 散射 | | 3.33，5.91 | 17.7 | 20.4 | 1.65 | | | |

备注：*西墙核算扣除了穿墙管厚度；h′、g′标给出的核算距离等为实际斜线距离。屏蔽材料默认为混凝土。顶棚考虑垫层的屏蔽能力。地板下方为泥土层，不予核算。

由上表 11-13 可知，在现有设计和保证施工质量的情况下，后装机机房屏蔽体外周围剂量当量率均能满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）及评价限值的要求（屏蔽体外 0.3m 处周围剂量当量率顶棚上不大于 0.75μSv/h，其余不大于 2.5μSv/h。

同时，本项目后装机机房与 CT 模拟定位机房错位布置，有走廊间隔，根据前文核算，CT 模拟定位机房北侧屏蔽墙体外关注点处周围剂量当量率较小（约 0.14μSv/h），即使考虑叠加影响，后装机机房外周围剂量当量率也能满足评价标准限值要求。

**11.2.1.3 介入中心屏蔽效能核算**

**（1）DSA 机房铅当量效核**

①核算公式

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）6.2.2 可知，C 形臂 X 射线设备机房的屏蔽防护应不低于 2.0mmPb，其屏蔽体厚度可根据附录 C 中的公式进行核算，具体见本报告公式 11-4、公式 11-5。

②核算参数

根据 DSA 工作原理、工作方式，以及 NCRP147 号报告 5.1 节（P72）可知，DSA 工作时发出的有用线束均会被患者身体和接收器（平板探测器）等阻挡。因此，在屏蔽防护时主要考虑非有用线束的影响。因此，本评价以影响最大的 90°非有用线束屏蔽厚度要求作为核算依据。

因《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）未给出 150kV90°非有用线束的砖的拟合参数，且标准要求 DSA 机房防护墙体不低于 2.0mmPb，因此，本次按照 GBZ130-2020 标准表 C.5 中 150kV90°非有用线束下 2.0mmPb 对应混凝土厚度为 157mm，根据密度换算（公式 11-3）为对应实心页岩砖（密度 1.65g/cm$^3$）的厚度为 223.6mm；本项目 DSA 机房四周墙体设计为 240mm 实心页岩砖，则在相同条件下相当于 2.15mmPb。

其他预测参数见表 11-14。

**表 11-14　DSA 机房核算参数**

| 屏蔽材料 | 150kV（散射） | | |
|---|---|---|---|
| | α | β | γ |
| 铅 | 1.791 | 5.478 | 0.5678 |
| 混凝土 | 0.03240 | 0.07750 | 1.566 |

③核算结果

根据 DSA 机房屏蔽防护设计方案及设备参数，DSA 机房屏蔽体的铅当量核算结果见表 11-15。

**表 11-15　DSA 机房屏蔽厚度核算对比表**

| 机房名称 | 屏蔽体 | 屏蔽防护设计 | 折合铅当量 | 标准要求 | 评价结果 |
|---|---|---|---|---|---|
| DSA 机房（150kV） | 四周墙体 | 240mm 实心页岩砖+2mmPb 铅板 | 4.15mmPb | 2.0 mmPb | 满足要求 |
| | 顶棚、地板 | 300mm 混凝土+100mm 垫层 | 4.49mmPb | | 满足要求 |
| | 铅窗、铅门 | 4mmPb | 4mmPb | | 满足要求 |
| 备注：机房顶棚、地板均有 100mm 垫层，其较薄，不考虑其屏蔽能力。 | | | | | |

根据上表 11-15 可知，本项目介入中心的 DSA 机房的屏蔽体屏蔽能力均能满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。

**（2）DSA 机房屏蔽体外剂量率核算**

①核算公式

DSA 的辐射场由三种射线组成：主射线、散射线、漏射线。同前，本项目 DSA 机房屏蔽估算时不需要考虑主束照射。同时，根据 NCRP147 号报告第 138 页 C.2 可知，DSA 的漏射线剂量率很小（一般不大于 1mGy/h），因此屏蔽计算采用散射进行屏蔽防护的核算。

根据《辐射防护导论》（原子能出版社）第三章第三节（P116-P117）散射线的屏蔽计算公式（3.66）进行推导得出，具体见本报告公式 11-6。

②核算参数

A：DSA 存在透视及采集两种工况，本次评价按照透视常用工况及采集常用工况分别计算 DSA 机房墙体外周围剂量当量率。根据工程分析，本项目透视工况按照常用最大 90kV、20mA 进行计算；采集（摄影）工况按照常用最大 90kV、500mA 进行计算；DSA 在 90kV、3mmAl 过滤板情况下主射线方向 1m 处发射率为 5.3mGy·$m^2$/mA•min。Sv/Gy 转换系数取值为 1。

B：因《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中 90kV 的拟合参数未区分散射和主射，且表 C.5 无 90kV 下等效铅当量厚度，因此本次评价选用相邻的较大的 100kV 90° 非有用线束的相应参数计算。

C：根据 NCRP147 号报告第 137 页附图 C.1，90kV 射线装置在最大散射角情况下 1m 处的每平方厘米的散射系数为 $6.83\times10^{-6}$；

D：设备安装位置未定，设备为 C 型臂，按散射体位于机房中心考虑。同时，机房内四周有一定厚度的装修层，本次保守不考虑其厚度，直接以机房有效尺寸的一半+屏蔽体墙体厚度+考察点到墙体的距离进行核算。防护门、观察窗考虑同侧屏蔽体核算的最短距离。

本次核算相关计算参数见表 11-16。

**表 11-16　DSA 机房外周围剂量当量率核算参数表**

| 设备名称 | 管电压（kV） | 对应管电流 I（mA） | 输出量 $H_0$ μSv•m²/（mA•h） | 散射面积 F（cm²） | 散射因子 α | 散射距离 $R_S$（m） | 关注点距离 $R_0$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| DSA | 90 | 20（透视）<br>500（采集） | $3.18\times10^5$ | 400 | $6.83\times10^{-6}$ | 0.38 | 根据设备布置位置确定 |
| 拟合参数 | 90°非有用线束（按 100kV 参数计算） | | 铅　α：2.507 | β：15.33 | γ：0.9124 | | |
| | | | 混凝土　α：0.03950 | β：0.08440 | γ：0.5191 | | |

③核算示意图

项目介入中心核算示意图见图（以 DSA1 机房为例）11-3 所示。

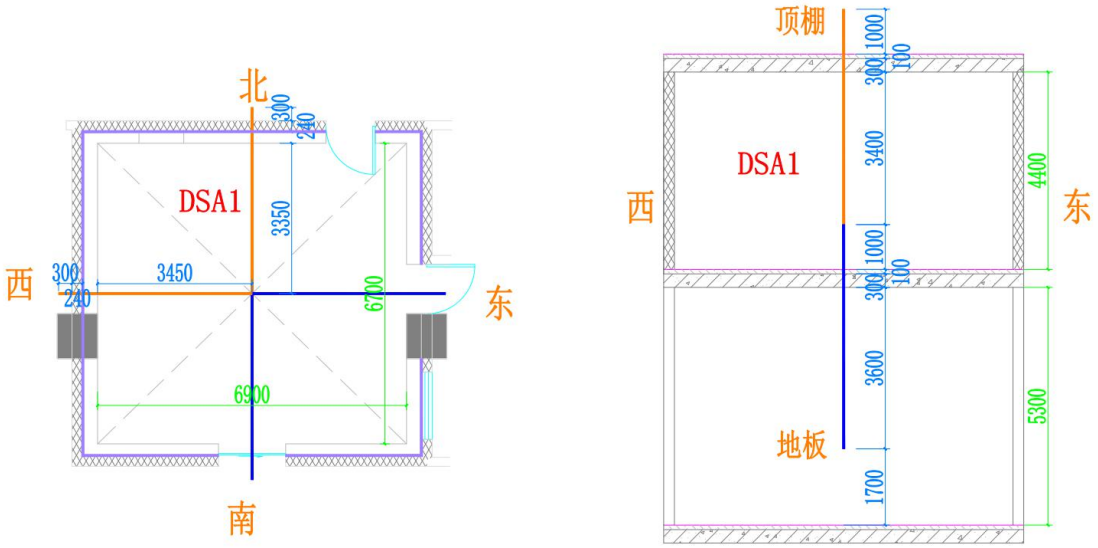



图 11-3　介入中心核算示意图（以 DSA1 机房为例）

③核算结果

根据核算公式和上表相关参数，DSA 机房外周围剂量当量率核算见表 11-17。

**表 11-17　DSA 机房屏蔽体外剂量率核算结果表**

| 机房名称 | 屏蔽体名称 | | 距离 R(m) | 设计厚度 | 周围剂量当量率（μSv/h） | | 是否满足要求 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 透视 | 采集 | |
| DSA1 | 东面<br>西面 | 墙体 | 3.99 | 240mm 实心页岩砖+2mmPb 铅板 | $8.01\times10^{-3}$ | 0.20 | 是 |
| | | 铅门、观察窗 | | 4mmPb | $3.88\times10^{-2}$ | 0.97 | 是 |
| | 南面<br>北面 | 墙体 | 3.89 | 240mm 实心页岩砖+2mmPb 铅板 | $8.42\times10^{-3}$ | 0.21 | 是 |
| | | 铅门 | | 4mmPb | $4.09\times10^{-2}$ | 1.02 | 是 |

**续表 11　环境影响分析**

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| DSA2 | 东面<br>西面 | 墙体 | 3.82 | 240mm 实心页岩砖<br>+2mmPb 铅板 | $8.73\times10^{-3}$ | 0.22 | 是 |
| | | 铅门、观察窗 | | 4mmPb | $4.24\times10^{-2}$ | 1.06 | 是 |
| | 南面<br>北面 | 墙体 | 3.89 | 240mm 实心页岩砖<br>+2mmPb 铅板 | $8.42\times10^{-3}$ | 0.21 | 是 |
| | | 铅门 | | 4mmPb | $4.09\times10^{-2}$ | 1.02 | 是 |
| DSA3<br>DSA4 | 东面<br>西面 | 墙体 | 3.99 | 240mm 实心页岩砖<br>+2mmPb 铅板 | $8.01\times10^{-3}$ | 0.20 | 是 |
| | | 铅门、观察窗 | | 4mmPb | $3.88\times10^{-2}$ | 0.97 | 是 |
| | 南面<br>北面 | 墙体 | 4.04 | 240mm 实心页岩砖<br>+2mmPb 铅板 | $7.81\times10^{-3}$ | 0.20 | 是 |
| | | 铅门 | | 4mmPb | $3.79\times10^{-2}$ | 0.95 | 是 |
| 所有<br>机房 | 楼上 | 顶棚 | 4.8 | 300mm 厚混凝土 | $4.13\times10^{-3}$ | 0.10 | 是 |
| | 楼下 | 地板 | 5.0 | 300mm 厚混凝土 | $3.81\times10^{-3}$ | 0.10 | 是 |

备注：设备离地高度按 1.0m 考虑，顶棚核算到楼上地面 1.0m 处，地板核算到楼下距地面 1.7m 处。1FDSA 机房内空高 4.4m，-1F 内空层高 5.3m。DSA 机房顶棚、地板均有 100mm 垫层，其较薄，不考虑其屏蔽能力。

根据上表计算可知，透视条件下 DSA 机房屏蔽体外的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。

同时，本项目核医学科楼上和介入中心楼下为同一层，其受到两科室的共同影响。根据前文核算，核医学科控制区楼上周围剂量当量率约在 $5.41\times10^{-4}$～0.52μSv/h 之间，考虑叠加影响，介入中心 DSA 机房楼下周围剂量当量率也能满足评价标准限值要求。

### 11.2.2 个人剂量估算及环境保护目标影响

X-γ射线产生的外照射人均年有效剂量当量按下列公式计算：

$$H_{Er}=H^*_{(10)}\times t\times10^3 \qquad (11\text{-}27)$$

式中：$H_{Er}$：X 或γ射线外照射人均年有效剂量，mSv；

$H^*_{(10)}$：X 或γ射线周围剂量当量率，μSv/h；

t：X 或γ射线照射时间，h/a。

#### 11.2.2.1 核医学科个人剂量估算及环境保护目标影响

**（1）放射工作人员全身剂量估算**

**①护士**

本项目核医学科购买放射性药物成品，护士主要负责核医学科含 $^{18}F$、$^{131}I$、$^{68}Ga$、$^{99m}Tc$、$^{177}Lu$、$^{32}P$、$^{89}Sr$、$^{153}Sm$、$^{223}Ra$ 的放射性药物的分装和注射。

**A、$^{18}$F 等分装：**放射性药物分装在分装注射室内分装区的防护手套箱内进行，以 $^{18}$F 为代表计算，防护手套箱柜体外表面 5cm 处的表面剂量当量率取 6.33μSv/h 计算，其余核素保守参照此考虑。根据工程分析，核医学科护士分装一支单人次药物的时间为 0.5min，放射性药物分装操作时间为 74.17h（8900 次/年）。

**B、注射：**护士与放射性药物之间设置注射窗进行注射，注射器有 20mmPb 的注射器防护套。据前文计算，注射含 $^{18}$F 的放射性药物 370MBq，并考虑注射窗、注射器屏蔽效果，则注射窗外表面 5cm 处周围剂量当量率约为 3.30μSv/h。根据工程分析，单次注射时间取 0.5min，放射性药物注射时间为 74.17h（8900 次/年）。

**②技师**

**A、PET/CT 技师：**PET/CT 技师主要负责辅助患者摆位及 PET/CT 扫描显像。

**摆位：**PET/CT 机房与控制室之间拟设置观察窗和对讲装置，正常情况下，技师通过对讲指导患者自行摆位，仅当极少部分的特殊受检者需要技师帮助摆位，此部分按受检者的 1/10 考虑。根据工程分析，每年 PET/CT 显像约 3800 人次，则摆位考虑 380 人次，每次摆位时间按 0.5min 计，则摆位时间约为 3.17h。患者显像时 1m 处的剂量率为 21.70μSv/h，摆位时考虑技师与患者距离约 0.5m，剂量率为 86.8μSv/h。

**显像：**PET/CT 显像过程中，技师位于控制室内，通过观察窗观察机房内情况。PET/CT 机房的观察窗拟采用 5mmPb 铅玻璃进行防护。根据表 11-3 可知，PET/CT 机房观察窗外 30cm 处的瞬时剂量约 1.36μSv/h（考虑了核素和 CT 的共同影响）。根据工程分析，全年进行 PET/CT 显像为 3800 人次/年，其中核素显像时间为 1266.67h/a，CT 扫描时间为 126.67h。

**B、SPECT/CT 技师：**SPECT/CT 技师主要负责辅助患者摆位及 SPECT/CT 扫描显像。

**摆位：**根据工程分析，每年 SPECT/CT 显像约 5160 人次，则摆位同上考虑 1/10 为 516 人次，每次摆位时间按 0.5min 计，则摆位时间约为 4.3h。患者显像时 1m 处的剂量率为 23.32μSv/h，摆位时考虑技师与患者距离约 0.5m，剂量率为 93.28μSv/h。

**显像：**SPECT/CT 显像过程中，技师位于控制室内，通过观察窗观察机房内情况。SPECT/CT 机房的观察窗拟采用 5mmPb 铅玻璃进行防护。根据表 11-3 可知，SPECT/CT

机房观察窗外 30cm 处的瞬时剂量约 1.02μSv/h（考虑了核素和 CT 的共同影响）。根据工程分析，全年进行 SPECT/CT 显像为 5160 人次/年，其中核素显像时间为 894h/a，CT 扫描时间为 178.8h。

**其他：**技师在技师走廊和技师办公室还会受到受药后患者的影响。

核医学科工作人员年有效剂量估算结果见下表所示。

**表 11-18　核医学放射工作人员年有效剂量估算表**

| 分类 | | 受照来源 | 瞬时剂量（μSv/h） | 操作时间（h/a） | 年有效剂量（mSv/a） | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 护士（核素操作） | | 分装 | 6.33 | 74.17 | 0.469 | 0.49 | |
| | | 注射 | 0.21 | 74.17 | 0.016 | | |
| 护士（住院） | | 病人管理 | 2.30（治疗室） | 192 | 0.44 | 0.55 | |
| | | 病人治疗 | 0.58（护士站） | 192 | 0.11 | | |
| 技师 | PET/CT | 摆位 | 86.8 | 3.17 | 0.275 | 1.31 | 2.53 |
| | | 显像 | 0.68 | 1266.67 | 0.861 | | |
| | | 扫描 | 1.36 | 126.67 | 0.172 | | |
| | SPECT/CT | 摆位 | 93.28 | 4.3 | 0.401 | 1.08 | |
| | | 显像 | 0.56 | 894 | 0.501 | | |
| | | 扫描 | 1.02 | 178.8 | 0.182 | | |
| | 技师办公室 | 注射后病人 | 0.67 | 150 | 0.10 | | |
| | 技师走廊 | 留观室 | 1.81 | 49.8 | 0.04 | | |

备注：甲亢和甲癌核素为自动分装，护士基本不接触；甲吸护士操作量小，次数少，不再单独核算。住院区护士年工作 240d，每天 8h，总时间为 1920h，考虑治疗室和护士站两个岗位的总和，病人停留时间为护士工作时间的 1/10，住院病人距离护士站约 2m，距离治疗室约 1m。技师办公室和技师走廊的受照时间和受照剂量见下表备注。技师到留观室门口偶尔停留，居留因子取 1/10）。

由上表可知，核医学科放射工作人员在正常工作情况下，护士受到的年附加有效剂量最大约为 0.55mSv/a；考虑到单名技师完成全年工作，且受到两个机房的共同影响的最不利情况，同时考虑到在技师走廊和技师办公室受到的综合影响最多为 2.53mSv/a。护士和技师的受照剂量均小于建设单位的年有效剂量管理目标 5mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求。

在实际工作中，护士拟正确穿戴和使用防护用品，放射工作人员能熟练操作和轮岗，有效减少操作时间，还可以降低放射工作人员的受照剂量。

**（2）核素操作人员手部剂量估算**

核素操作人员手部剂量估算模式参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中的核算公式（本报告公式 11-2）计算操作时手部处剂量率；再参照公式 11-27 核算手部

年当量剂量。

根据项目使用核素的用量和核素特性，全部以 $^{18}F$ 来计算。单支放射性药物为 370MBq，剂量率常数 0.143μSv·m$^2$/（h·MBq），分装、注射时考虑手部距离放射性药物约 5cm，放射性药物按照裸源考虑注射器屏蔽套屏蔽（20mmPb），分装、注射时计算手部处剂量率最大为 1320μSv/h，根据工程分析表 9-7，核医学科核素的分装、注射时间共约 148.34h/a，则操作核素的护士手部皮肤受到年有效剂量最大为 196mSv/a，满足本项目的剂量管理目标限值 250mSv/a 的要求，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）限值。本项目核医学科配 3 名护师，能分摊分装、注射工作，护师手部受照剂量会更小。

**（3）公众成员剂量估算**

核医学科工作场所控制区屏蔽体外公众成员年有效剂量估算结果见表 11-19。

**表 11-19 核医学科控制区外公众成员年有效剂量估算表**

| 序号 | 环境保护目标 | 方位 | 最小距离 | 关注点最大周围剂量当量率(μSv/h) | 总时间（h） | 居留因子 | 年有效剂量（mSv/a） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 医护走廊（公众）、护士站等（取餐） | 东北侧 | 0m | 2.30 (住院走廊门外) | 365 | 1/20 | 0.04 |
| | 医生办公室、护士办公室、值班室等 | 东北侧 | 约 3m | $4.44\times10^{-4}$ (废物间外) | 1920 | 1 | $8.52\times10^{-4}$ |
| 2 | 过道、电梯间 | 东侧 | 0m | 0.68(肺通气外) | 1920 | 1/20 | 0.07 |
| | 楼梯间、空压机房、真空泵房、排风机房、会议/学习室、核医学库房、医生办公室、更衣室、阅片室等 | 东侧 | 约 20m | $1.70\times10^{-3}$ (肺通气外) | 1920 | 1 | $3.27\times10^{-3}$ |
| 3 | 技师办公室（公众）、消防过道 | 东南侧 | 0m | 0.67 (注射走廊墙外) | 150 | 1/20 | $5.04\times10^{-3}$ |
| | 候诊区 | 东南侧 | 0m | 2.12 (注射走廊门外) | 150 | 1/20 | 0.02 |
| | 诊室、登记室、抽血室、功能检测室等 | 东南侧 | 约 5m | $8.50\times10^{-2}$ (注射走廊门外) | 150 | 1 | 0.01 |
| 4 | 技师走廊 | 南侧 | 0m | 1.66(留观室门外) | 498 | 1/20 | 0.04 |
| | 车库等 | 南侧 | 约 3m | 0.38(留观室门外) | 498 | 1/40 | $1.02\times10^{-3}$ |
| 5 | 发热门诊 | 北侧 | 约 20m | $1.64\times10^{-2}$(单人病房采光窗外) | 2000 | 1 | 0.03 |
| | 污水处理站 | 北侧 | 约 30m | $7.29\times10^{-3}$(单人病房采光窗外) | 2000 | 1/40 | $3.64\times10^{-4}$ |

**续表 11　环境影响分析**

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 | 下沉层 | 办公室 | 楼下 | 0m | $7.71\times10^{-5}$ (专用等候室楼下) | 54 | 1 | $1.54\times10^{-4}$ |
| | | 清洗消毒室 | 楼下 | 0m | $1.43\times10^{-3}$ (单人病房楼下) | 2000 | 1/4 | $7.13\times10^{-4}$ |
| | | 垃圾暂存间等 | 楼下 | 0m | $2.85\times10^{-3}$ (双人病房楼下) | 2000 | 1/20 | $2.85\times10^{-4}$ |
| 7 | -1F 日间手术中心 | 留观室 病人 | 楼上 | 0m | 0.51 (单人病房上方) | 168 | 1 | 0.09 |
| | | 留观室 工作人员 | | | | 2000 | 1/20 | 0.05 |
| | | 过道 | 楼上 | 0m | 0.52 (服药室上方) | 2000 | 1/20 | 0.05 |
| | | 急诊值班室 | 楼上 | 0m | $5.45\times10^{-4}$ (储源室 2 上方) | 2000 | 1 | $1.09\times10^{-3}$ |
| | | 抢救室、处置室 | 楼上 | 0m | 0.19 (PET 等候室上方) | 950 | 1/4 | 0.05 |
| | | 护士站 | 楼上 | 0m | 0.11 (ECT 等候室上方) | 430 | 1 | 0.05 |
| | | 库房、内镜清洗 | 楼上 | 0m | $4.51\times10^{-3}$ (分装注射室上方) | 1920 | 1/10 | $8.67\times10^{-4}$ |
| | | UPS、谈话间 | 楼上 | 0m | $5.93\times10^{-2}$ (PET/CT 机房上方) | 1393.34 | 1/10 | 0.01 |
| | | 缓冲室、清创室、换药间 | 楼上 | 0m | $5.55\times10^{-2}$(SPECT /CT 机房上方) | 1032 | 1 | 0.06 |
| | 1F 及以上 | 介入中心用房等 | 楼上 | -5m | $3.29\times10^{-3}$ | 2000 | 1 | $6.59\times10^{-3}$ |
| 8 | 绿化带和地面活动人员 | | 衰变处理设施 上方 | 0m | 1.37 | 2000 | 1/40 | 0.07 |
| | 空调机房 | | 东侧 | 0m | 1.27 | 2000 | 1/40 | 0.06 |
| | 病房 2 | | 南侧 | 0m | 1.55 | 2000 | 1/40 | 0.08 |

备注：①核医学科门诊诊断和治疗工作 240d/a，每天按 8h 考虑，全年工作时间为 1920h/a。住院区的护士等人员按年工作 240d，每天 3 班考虑，即工作时间为 1920h；住院走廊设置双门，护士站考虑病人取餐时间，单人次一餐取送餐盒共 5min，年时间为 5×4×3/60×365=365h/a；医院其余工作人员按照 250 天，每天 8h，即 2000h/a。“总时间”部分指敏感目标工作/停留时间，部分指核素或用药患者停留时间，视情况而定。

②患者不会在注射走廊、病人走廊走廊长期停留，考虑单个患者在走廊停留时间为 1min，则全年停留时间约（5160+3800）/60=150h。等候室、留观室按照其等候、留观总时间计算。ECT 扫描前最多等候 20min，满额等候室时间为 5160/4×20/60=430h；PET 扫描前最多等候 1h，满额等候室时间为 3800/4×1=950h/a。专用等候室考虑总等候时间 30min/人次，共（96+12）×30/60=54h/a。扫描后留观最多约 10min，留观室满额留观时间为（5160+3800）/3×10/60=498h。SPECT/CT 机房、PET/CT 机房按照实际扫描总时间算。

③同一场所有多个影响场所的，选择最大的影响核算。如技师走廊等。

④核医学科楼上为日间手术中心，也就是急诊科，留观室患者最多留观 1 周，时间为 168h。

⑤居留因子根据 NCRP144 号表 4.4 取值。医护走廊主要是住院区护士和医生通过，除放射工作人员外，其余非放射工作人员很少到此停留，居留因子取 1/20；同理，进入技师办公室、技师走廊的非放射工作人员很少，居留因子取 1/20；住院区的治疗室仅病人需要时护士才去准备，日常不在治疗室停留，住院病人一般在病房内及住院走廊内停留，仅就餐时间到配餐间取送餐盒，因此居

留因子取为 1/20；楼上留观室医务人员不持续停留，居留因子取 1/20。核算衰变处理设施时，病房的病人不予考虑，仅考虑其他人员如清洁人员等不常进入的公众，居留因子取 1/40。

⑥最小距离为屏蔽效核考察点到敏感目标的距离。关注点最大周围剂量当量率除 1F 及以上多考虑一层混凝土楼板外，其余仅考虑距离和控制区边界屏蔽体的屏蔽能力。

⑦楼上受介入中心和核医学科共同影响，其综合影响后文再行分析。

⑧衰变处理设施屏蔽体外剂量率见表 11-30 计算所示。

根据上表可知，核医学科工作场所控制区外的公众成员受到的年附加剂量最大为0.07mSv/a，小于年有效剂量管理目标 0.1mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）等标准要求。

**（3）环境保护目标影响**

核医学科楼上的日间手术中心、住院大厅等同时受到其楼上介入中心DSA运行的辐射影响。因介入中心DSA对楼下的贡献非常微小，基本不会对日间手术中心、住院大厅产生影响。

根据前表11-3、表11-19可知，项目核医学科周围环境保护目标处的周围剂量当量率在$2.28\times10^{-5}$～2.30μSv/h之间，小于相关标准及评价限值的要求，敏感目标的年剂量估算值在$1.23\times10^{-6}$～0.09mSv/a之间。上述核算结果仅考虑了核医学科自身屏蔽体和距离衰减影响，尚未考虑核医学科与环境保护目标之前其他墙体等的阻挡作用（除1F以上的敏感目标外），实际上环境保护目标受到的影响可能更小。

因此，项目核医学科所致周围50m范围内环境保护目标的影响甚微，对各环境保护目标不会带来不利影响，对环境的影响可以接受。

**11.2.2.2 放疗科个人剂量估算及环境保护目标影响**

根据前文核算，放疗科各机房外的周围剂量当量率均很小，这些射线经其他机房屏蔽体屏蔽后均为本底值，因此，除共墙的直线加速器机房外，放疗科放射工作人员和公众成员的剂量估算仅按照设备进行单独估算，不再考虑其他射线的影响。

**（1）CT 模拟定位机机房周围人员剂量估算**

CT 模拟定位机机房外紧邻区域活动人员的年有效剂量当量估算见表 11-20。

**表 11-20　CT 模拟定位机机房外活动人员的年有效剂量估算表**

| 受影响群体 | | 墙体外周围剂量当量率（μSv/h） | 照射时间（h/a） | | | 剂量估算（mSv/a） |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 满负荷工作时间 | 停留系数 | 有效受照时间 | |
| 放射工作人员（西侧控制室） | | 2.21 | 200 | 1 | 200 | 0.44 |
| 公众成员 | 东侧准备室、制模室 | 2.21 | 200 | 1/5 | 40 | $8.84\times10^{-2}$ |
| | 南侧过道 | 1.68 | 200 | 1/5 | 40 | $6.72\times10^{-2}$ |
| | 北侧过道 | 0.12 | 200 | 1/5 | 40 | $4.80\times10^{-3}$ |
| | 楼上厨房用房 | $7.86\times10^{-3}$ | 200 | 1 | 200 | $1.57\times10^{-3}$ |
| | 楼下过道/隔油间 | $1.38\times10^{-5}$ | 200 | 1/5 | 40 | $5.52\times10^{-7}$ |

根据上表可知，放疗科CT模拟定位机机房屏蔽体外的放射工作人员受到的年附加剂量小于项目年有效剂量管理目标5mSv/a，公众成员受到的年附加剂量小于项目年有效剂量管理目标0.1mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》的要求。

**（2）直线加速器机房周围人员剂量估算**

放疗科拟配置 2 台 15MV 的直线加速器，2 台直线加速器承担的治疗项目相同，工作负荷一致，单台医用电子直线加速器年治疗时间约 208h/a。

**①放射工作人员**

A、摆位：放射工作人员在辅助患者摆位时需在机房内停留，若另一个直线加速器机房正在运行，则放射工作人员将受到额外照射。根据表 11-10 可知，放射工作人员在直线加速器机房内受到辐射剂量率约为 1.17μSv/h。

B、治疗：患者治疗时，放射工作人员在控制室内工作。根据表 11-10 和放疗科布置图可知，放射工作人员在控制室内受到辐射剂量率约为 0.23μSv/h（1#加速器机房）、$9.53\times10^{-5}$μSv/h（2#加速器机房）。

直线加速器放射工作人员年有效剂量估算结果见表 11-21。

**表 11-21　直线加速器放射工作人员年有效剂量估算表**

| 工作场所 | 周围剂量当量率（μSv/h） | | 照射时间（h/a） | | | 年有效剂量（mSv/a） | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 满负荷工作时间 | 停留系数 | 有效受照时间 | | |
| 1#直线加速器机房 | 摆位 | 1.17（机房内） | 208 | 1/2 | 104 | 0.122 | 0.35 |
| | 治疗 | 0.22（控制室内 i） | 1040 | 1 | 1040 | 0.229 | |
| | 设备间 | 0.22（参考控制室内 i） | 1040 | 1/40 | 26 | $5.72\times10^{-3}$ | |
| | 更衣间 | 0.22（参考控制室内 i） | 1040 | 1/4 | 260 | $5.72\times10^{-2}$ | |
| 2#直线加速器机房 | 摆位 | 1.17（机房内） | 208 | 1/2 | 104 | 0.12 | 0.12 |
| | 治疗 | $9.53\times10^{-5}$（控制室内 f） | 1040 | 1 | 1040 | $9.91\times10^{-5}$ | |
| | 设备间 | 0.22（控制室内 i） | 1040 | 1/40 | 26 | $5.72\times10^{-3}$ | |
| | 辅助机房 | 0.22（参考控制室内 i） | 1040 | 1/40 | 26 | $5.72\times10^{-2}$ | |

备注：①加速器为调强放射治疗，调强放射治疗因子一般为 5，因此漏射线时间取满负荷工作时间的 5 倍。
②1#机房的设备间、更衣间全部保守参考 i 点的核算结果，不考虑较高位置的穿墙管线处核算结果。
③2#加速器机房的相应数据对照 1#加速器机房的对应位置的预测结果。2#机房的控制室核算距离较 1#机房核算的距离稍大，参照 1#核算结果更保守。

根据上表可知，单台直线加速器放射工作人员受到的附加年有效剂量最大为 0.35mSv/a。考虑到机房的工作量的不完全平均分配，保守考虑 1 名放射工作人员可能进行两台直线加速器所有工作量的操作，则其受到的年附加有效剂量也小于项目的年有效剂量管理目标 5.0mSv/a 和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

**②公众成员**

放疗科直线加速器机房屏蔽体外公众成员年有效剂量估算结果见表 11-22。

**表 11-22　直线加速器机房外公众成员年有效剂量估算表**

| 序号 | 环境保护目标 | 方位 | 最小距离 | 关注点最大周围剂量当量率（μSv/h） | 照射时间（h/a） | | | 年有效剂量（mSv/a） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 满负荷工作时间 | 停留系数 | 有效受照时间 | |
| 1 | 防护门前区、过道等 | 南侧 | 紧邻 | 0.57×2 | 208 | 1/8 | 26 | $2.96\times10^{-2}$ |
| | 等候区、空调机房、地下车库等 | | 约 7m | 0.01×2 | 1040 | 1/20 | 52 | $1.04\times10^{-3}$ |
| 2 | 库房、储源室、过道、 | 西侧 | 紧邻 | 0.95 | 208 | 1/20 | 10.4 | $9.88\times10^{-3}$ |

**续表 11　环境影响分析**

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 楼梯间等 | | | | | | | |
| | 后装机机房及放疗科辅助用房等 | | 约 4m | 0.02 | 208 | 1/20 | 10.4 | $2.08\times10^{-4}$ |
| | CT模拟定位机机房及辅助用房等 | | 约 12m | 0.18 | 208 | 1/20 | 10.4 | $1.87\times10^{-3}$ |
| 3 | 液氧站 | 东侧 | 约 5m | 0.40 | 208 | 1/40 | 5.2 | $2.08\times10^{-3}$ |
| 4 | 健康管理中心（非塔楼下的地下层） | 东南侧 | 约 10m | 0.05 | 1040 | 1/40 | 26 | $1.30\times10^{-3}$ |
| 5 | 门诊病房综合楼-1F～19F | 斜向楼上 | 紧邻 | ＜0.01 | 1040 | 1 | 1040 | ＜$1.04\times10^{-2}$ |
| | 地面（顶棚上方） | 上方 | 紧邻 | 1.28 | 208 | 1/40 | 5.2 | $6.66\times10^{-3}$ |
| 6 | 门诊病房综合楼-2F 下沉层 | 斜向楼下 | 紧邻 | ＜0.01 | 1040 | 1/40 | 26 | ＜$2.60\times10^{-4}$ |

备注：①机房南侧的防护门前区域等受到两台加速器的共同影响，周围剂量当量率保守考虑防护门外剂量率的 2 倍。
②除后装机房及 5、6 环境保护目标考虑其自身的屏蔽外，其余均未考虑加速器机房屏蔽体之外的屏蔽。
③东侧、西侧、顶棚考虑为较大剂量主射线进行核算，南侧防护门前区考虑为散射为主，其余方向按照漏射线考虑调强因子 5，时间按照正常时间的 5 倍计算。

根据上表可知，直线加速器机房屏蔽体外的公众成员受到的年附加剂量远小于评价管理目标限值 0.1mSv/a，也满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的要求。

**（3）后装机机房周围人员剂量估算**

根据《密封放射源及密封γ放射源容器的放射卫生防护标准》（GBZ114-2006）可知，工作贮源器内装载最大容许活度时，距离贮源器表面 100cm 处任意一点辐射的空气比释动能率不得超过 0.2mGy/h。同时，根据《后装γ源近距离治疗质量控制检测规范》（WS262-2017）可知，贮源器表面泄露辐射所致周围剂量当量率 5cm 处不大于 50μSv/h，100cm 处不大于 5μSv/h。后装机机房屏蔽体较厚，故不考虑非治疗状态下机房外活动人员的受照剂量，仅考虑治疗状态下机房外活动人员的受照剂量。

**①放射工作人员**

A、施源管安装、拆卸及进出机房：放射工作人员在连接和卸载后装机与患者体内施源器之间的管道时需在机房内停留。施源管安装、拆卸时间为3~4min，进出机房 1 次约 30s，后装机年治疗患者 2600 人次，则全年施源管安装、拆卸及出入时间约 195h。后装机的最大送源距离为 140cm，评价考虑施源管安装、拆卸及进出机房时放射工作人员

身体距离后装机表面约 100cm，此时放射工作人员处的剂量率约为 5μSv/h。

B、治疗：患者治疗时，放射工作人员在控制室内工作。后装机放射源有效开闸时间约 346.67h/a。根据前文表 11-13 可知，后装治疗机治疗状态下控制室内照射剂量为 1.09μSv/h。

另外，后装机的储源室为双人双锁，换源储源等由专业技术单位负责，医院放射工作人员不直接接触。

后装机放射工作人员年有效剂量估算结果见表 11-23。

**表 11-23　后装机放射工作人员年剂量估算表**

| 工作内容 | | 周围剂量当量率（μSv/h） | 照射时间（h/a） | | | 年受照剂量（mSv/a） | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 满负荷工作时间 | 停留系数 | 有效受照时间 | | |
| 治疗 | 施源管安装、拆卸及进出机房 | 5 | 195 | 1 | 195 | 0.98 | 1.36 |
| | 真源治疗 | 1.09 | 346.67 | 1 | 346.67 | 0.38 | |

根据上表核算可知，保守考虑 1 名后装机放射工作人员操作完成所有工作，则其受到的年附加有效剂量最大为 1.36mSv/a，满足评价管理目标限值 5mSv/a，也满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）等的要求。

**②公众成员**

后装机机房屏蔽体外公众成员年有效剂量估算结果见表 11-24。

**表 11-24　后装机公众成员年有效剂量估算表**

| 序号 | 环境保护目标 | 方位 | 最小距离 | 关注点周围剂量当量率（μSv/h） | 照射时间（h/a） | | | 年有效剂量（mSv/a） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 满负荷工作时间 | 停留系数 | 有效受照时间 | |
| 1 | 示教室、物理计划室、医生办公室等 | 西侧 | 约 3m | 0.09 | 346.67 | 1/20 | 17.33 | $1.56\times10^{-3}$ |
| 2 | 过道 | 南侧 | 紧邻 | 1.28 | 346.67 | 1/5 | 69.33 | $8.87\times10^{-2}$ |
| | 楼梯间、准备室、CT 模拟定位机机房及辅助用房等 | | 约 2m | 0.31 | 346.67 | 1/2 | 173.34 | $5.37\times10^{-2}$ |
| 3 | 库房等 | 东侧 | 紧邻 | 1.28 | 346.67 | 1/20 | 17.33 | $2.22\times10^{-2}$ |
| 3 | 门诊病房综合楼 -1F～19F（厨房等） | 楼上 | 紧邻 | $9.70\times10^{-4}$ | 346.67 | 1 | 346.67 | $3.36\times10^{-4}$ |
| 4 | 门诊病房综合楼 -2F 下沉层 | 斜向楼下 | 紧邻 | $7.0\times10^{-4}$ | 346.67 | 1/40 | 8.67 | $6.07\times10^{-6}$ |

根据上表核算可知，后装机机房周围公众成员受到的附加年有效剂量远低于本评价的管理目标限值（0.1mSv/a），满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的要求。

**（4）放疗科环境保护目标影响**

放疗科的部分环境保护目标可能受到不止一台设备的影响，具体影响如下表所示。

**表 11-25　放疗科环保目标叠加影响估算表**

| 敏感目标名称 | 方位 | 最近距离 | 关注点周围剂量当量率（μSv/h） | 年有效剂量（mSv/a） | |
|---|---|---|---|---|---|
| 库房、过道、楼梯等 | 1#加速器机房西侧 | 紧邻 | 0.95 | $9.88\times10^{-3}$ | $3.21\times10^{-2}$ |
| | 后装机机房东侧 | 紧邻 | 1.28 | $2.22\times10^{-2}$ | |
| 过道 | 后装机机房南侧 | 紧邻 | 1.28 | $8.87\times10^{-2}$ | $9.35\times10^{-2}$ |
| | CT 模拟定位机机房北侧 | 紧邻 | 0.12 | $4.80\times10^{-3}$ | |

根据上表及放疗科公众成员年有效剂量估算表可知，CT 模拟定位机机房、直线加速器机房、后装机机房屏蔽体外的剂量率考虑叠加影响后小于 2.5μSv/h，低于评价标准限值。同时根据估算，机房周围环境保护目标的年附加有效剂量也低于评价标准限值（0.1mSv/a）。因此，本项目放疗科运行对周围环境保护目标的影响可接受。

### 11.2.2.3 介入中心个人剂量估算及环境保护目标影响

**（1）放射工作人员**

①控制室技师

控制室的技师受到 DSA 运行时透视工况和摄影工况下运行产生的影响，其所受到的影响情况如下表 11-26 所示。

**表 11-26　DSA 控制室技师人员年受照剂量估算表**

| 设备名称 | 照射类型 | 周围剂量当量率（μSv/h） | 照射时间（h/a） | | | 年附加有效剂量（mSv/a） | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 满负荷工作时间 | 停留系数 | 有效受照时间 | | | |
| DSA1 | 透视 | $3.88\times10^{-2}$ | 671.7 | 1 | 671.7 | $2.61\times10^{-2}$ | $5.45\times10^{-2}$ | $9.70\times10^{-2}$ |
| | 摄影 | 0.97 | 29.3 | 1 | 29.3 | $2.84\times10^{-2}$ | | |
| DSA2 | 透视 | $4.09\times10^{-2}$ | 348.3 | 1 | 348.3 | $1.42\times10^{-2}$ | $4.25\times10^{-2}$ | |
| | 摄影 | 1.02 | 27.7 | 1 | 27.7 | $2.83\times10^{-2}$ | | |
| DSA3 | 透视 | $4.24\times10^{-2}$ | 628.3 | 1 | 628.3 | $2.66\times10^{-2}$ | $8.74\times10^{-2}$ | |
| | 摄影 | 1.06 | 57.3 | 1 | 57.3 | $6.07\times10^{-2}$ | | |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| DSA4 | 透视 | $4.24\times10^{-2}$ | 348.3 | 1 | 348.3 | $1.48\times10^{-2}$ | $4.73\times10^{-2}$ |
| | 摄影 | 1.06 | 30.7 | 1 | 30.7 | $3.25\times10^{-2}$ | |

项目设置 4 台 DSA，配置 8 名技师，每台 DSA 分配 2 名技师，轮流或共同操作，一般不存在单名技师操作多台 DSA 的情况。同时，考虑到 DSA1 和 DA2 共用控制室，考虑影响叠加情况，则单名技师受到的年附加有效剂量也远低于评价管理目标限值 5mSv/a，也满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

②手术室医护人员

透视工作模式下：参照《医用 X 射线诊断设备质量控制检测规范》（WS76-2020）表 B.1 规定：透视防护区检测平面上的周围剂量当量率不应大于 400μSv/h。手术医护人员均穿戴个人防护设施（考虑 0.5mmPb），以本报告公式 11-4 和相关参数计算防护用品的透射系数，不考虑射线与手术医护人员的距离衰减因素，不区分手术医护人员位置，核算常用电压条件下手术医护人员受照剂量。

采集工作模式：保守考虑医护人员全部位于机房内移动铅屏风后，医护人员均穿戴个人防护用品，结合其他防护设施总体考虑为 0.5mmPb，移动铅屏风为 2mmPb，以公式 11-4 和相关参数计算其透射因子，并考虑射线与手术医护人员的距离衰减因素（2m），核算常用电压条件下手术医护人员受照剂量。

手术医护人员受照剂量估算见表 11-27。

**表 11-27　介入手术医护人员年剂量估算表**

| 屏蔽透射因子 | 周围剂量当量率 | | 手术医护人员铅衣内周围剂量当量率 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 采集：$3.68\times10^{-5}$ | $3.18\times10^{5}$μSv·m²/（mA·h） | | 27.71μSv/h | | |
| 透视：$2.52\times10^{-2}$ | 400μSv/h | | 10.06μSv/h | | |
| 设备名称（按设备） | 年出束时间（h） | | 年有效剂量估算（mSv/a） | | |
| | 采集 | 透视 | 采集 | 透视 | 合计 |
| DSA1 | 29.3 | 671.7 | 0.81 | 6.76 | 7.57 |
| DSA2 | 27.7 | 348.3 | 0.77 | 3.50 | 4.27 |
| DSA3 | 57.3 | 628.3 | 1.59 | 6.32 | 7.91 |
| DSA4 | 30.7 | 348.3 | 0.85 | 3.50 | 4.35 |
| 手术类型（按手术类型） | 年出束时间（h/a） | | 年有效剂量估算（mSv/a） | | |
| | 采集 | 透视 | 采集 | 透视 | 合计 |
| 心脏介入 | 23.3 | 666.7 | 0.65 | 6.71 | 7.35 |
| 神经介入 | 28.3 | 350 | 0.78 | 3.52 | 4.31 |
| 外周血管介入 | 60 | 630 | 1.66 | 6.34 | 8.00 |
| 非血管介入 | 33.3 | 350 | 0.92 | 3.52 | 4.44 |
| 备注：在 GBZ130-2020 中表 C.2 中有 90kV 铅的拟合参数，此表按此参数计算。 | | | | | |

根据本项目单台DSA和各手术类型的工作负荷，在设备常用条件下，DSA1机房（主要从事心脏介入手术）和DSA3机房（主要从事外周血管介入）至少需要配置2组（最少2人1组）手术医护人员，DSA2机房（主要从事神经介入手术）和DSA4机房（主要从事非血管介入手术）至少需配置1组手术医护人员，即能满足单台DSA运行和各手术类型需求。

医院介入中心拟配置18名手术医生、8名护士，医院在合理配置手术医生、护士后，DSA的手术医护人员年受照剂量能满足医院的管理目标值5mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

上述估算是按照透视防护区测试平面上的周围剂量当量率不大 400μSv/h 以及移动铅屏风 2mmPb 防护、距离 2m，以及 0.5mmPb 铅衣防护的基础上计算的。实际手术过程中，手术医生受到的照射剂量与铅悬挂防护屏设置位置、铅防护用品质量、手术医生的手术熟练度、习惯、移动铅屏风的厚度及位置等相关。同时，医院应根据估算，合理配置各手术类型的医务人员。因此，介入手术医生实际受到的年有效剂量以个人剂量计监测结果为准，医院应根据最大手术工作时间及个人剂量监测结果对手术医生进行工作调配，以保证手术医务人员年受照剂量低于管理目标值，确保辐射安全。

另外，医院还应采取以下措施确保辐射安全工作：

A：要求从事介入手术医护人员在实际工作中，正确佩戴个人剂量计，手术室医护人员应在防护铅衣内外各佩戴 1 枚个人剂量计，准确记录受照剂量；

B：医院应定期对个人剂量计进行监测，根据监测报告结果，合理分配工作量，正确有效使用防护用品，确保放射工作人员受到的年有效剂量低于医院的年剂量管理目标值。

**（2）公众成员剂量估算**

项目介入中心独立一区，DSA 机房集中布置，无关人员无法达到，公众成员剂量估算保守考虑各机房中屏蔽体外最大剂量、单台 DSA 最大工作时间（满负荷：透视 617.7h/a，摄影 57.3h/a）、最近距离（紧邻）等简化统一估算。具体见表 11-28 所示。

**表 11-28　介入中心公众成员年有效剂量估算表**

| 序号 | 环境保护目标 | 方位 | 最小距离 | 关注点最大周围剂量当量率（μSv/h） | | 受照时间（h/a） | | 年有效剂量（mSv/a） | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 透视 | 摄影 | 透视 | 摄影 | 透视 | 摄影 | 合计 |
| 1 | DSA 机房外用房 | 四周 | 紧邻 | $4.24\times10^{-2}$ | 1.06 | 123.54 | 11.46 | $5.24\times10^{-3}$ | $1.21\times10^{-2}$ | $1.74\times10^{-2}$ |
| 2 | DSA 机房外用房 | 楼上 | 紧邻 | $4.13\times10^{-3}$ | 0.10 | 617.7 | 57.3 | $2.55\times10^{-3}$ | $5.73\times10^{-3}$ | $8.28\times10^{-3}$ |
| 3 | DSA 机房外用房 | 楼下 | 紧邻 | $3.81\times10^{-3}$ | 0.10 | 617.7 | 57.3 | $2.35\times10^{-3}$ | $5.73\times10^{-3}$ | $8.08\times10^{-3}$ |

备注：机房四周均为介入中心用房，活动人员均为介入中心人员，非放射工作人员一般不进入，停留因子取 1/5。机房楼下有护士站、楼上有超声室等用房，时间停留因子取 1。

根据上表可知，介入中心 DSA 机房外紧邻活动区域的公众成员受到的年附加有效剂量均低于评价管理目标限值 0.1mSv/a 和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。根据射线能量传播特性，距离更远的公众成员受到的影响将更小，也能满足评价限值要求。

同时，介入中心DSA运行时对楼下的辐射影响贡献微小，基本不会对楼下产生影响。楼下的日间手术中心、住院大厅等主要受核医学的影响。根据前文分析，其受到的影响能满足标准评价标准及管理目标的要求。

因此，上述计算考虑了最不利情况，与DSA机房最近的环境保护目标受到的影响能满足评价限值要求，特别是楼上楼下的影响已经为辐射环境本底值，根据射线的影响特性，介入中心运行所致周围50m范围内更远的环境保护目标的影响也能满足评价限值要求，对各环境保护目标和环境的影响可以接受。

### 11.2.3 其他辐射影响

**（1）直线加速器其他影响**

**1）、直线加速器电子线影响分析**

根据《辐射防护手册》第三分册4.1.5加速器的辐射源（P95），能量为E（MeV）的单能电子束，在低Z物质中的射程（单位为$g/cm^2$）约为能量（单位为MeV）的0.6倍。本项目直线加速器以电子档工作时最大电子线能量为20MeV，射程为$20\times0.6=12g/cm^2$，可以估算出20MeV的电子在密度为$2.35g/cm^3$的混凝土中的深度约为5.1cm，而本项目机房的屏蔽体厚度最小的亦为160cm混凝土，能完全屏蔽电子线，可不再作特殊的防护要求，可不再考虑对电子模式产生的X射线的屏蔽。

**2）、直线加速器中子及中子俘获γ影响分析**

本项目加速器有用线束直接投照的屏蔽墙、屋顶按初级辐射屏蔽要求设计，防护门的防护已经考虑了中子以及中子俘获γ射线的影响，防护门设计厚度为 20cm 厚的含硼聚乙烯（吸收热中子）+2.5cmPb 铅板（防护γ射线和 X 射线），经过防护门防护后在防护门外面的辐射剂量率远低于标准要求的限值。因此，本项目加速器产生的中子及中子俘获γ射线对周围环境的影响很小。

**（2）后装机换装源影响分析**

放疗科后装机使用 $^{192}Ir$ 放射源，其半衰期为 73.827d。根据医院诊疗计划，$^{192}Ir$ 放射源一般使用 6 个月需更换。根据放射源活度按《辐射防护实用手册》（赵兰才，张丹峰主编）P19 核素活度计算公式计算：

$$A = A_O \bullet e^{-\left(\frac{0.693t}{T_{1/2}}\right)} \qquad (11\text{-}28)$$

式中：A—放射源活度，MBq；$A_0$—放射源初始活度，MBq；t—放射源衰变时间，a；$T_{1/2}$—放射源半衰期，a。

更换时 $^{192}Ir$ 放射源活度约为 $6.83\times10^{10}$Bq。根据《放射源分类办法》，废放射源活度属于 IV 类，按照 IV 类放射源管理。$^{192}Ir$ 放射源更换之前医院应先到重庆市生态环境局进行备案，待备案完成后再委托有资质的单位进行更换放射源。

含源铅罐由有相应资质的专业公司按照公安部门指定路线将放射源运达医院后，装源车辆暂停于门诊病房大楼北侧院内道路上（-1F）。安保人员事先疏散无关人员，封锁相关区域，设置警戒线。

①车辆运输：$^{192}Ir$ 放射源运输车辆自院外运输至-2F 车库内暂停点单边不超过 10min，全程不超过 20min，时间较短。此外，车辆运输过程 $^{192}Ir$ 放射源位于铅罐内且处于移动状态，对周围活动人员影响可忽略。

②放射源转运：有资质专业单位的工作人员将含源铅罐卸下，通过-2F 车库与放疗科最近的电梯厅旁的入口进入放疗科，然后沿过道进入后装机机房内。警戒线外的工作人员距离含源铅罐不低于 2m，$^{192}Ir$ 放射源在运输车辆与放疗科后装机机房之间的单边运输时间不超过 5min，全程运输时间不超过 10min。根据《密封放射源及密封γ放射源容器的放射卫生防护标准》（GBZ114-2006）：距离装有活度为 $3.7\times10^{10}$Bq 以上的密封γ放射源容器外表面 100cm 处任意一点辐射的空气比释动能率不得超过 0.2mGy·$h^{-1}$。考

虑医院工作人员距离含源铅罐 2m，即剂量率约为 0.05mGy/h（根据 GBZ/T144-2002 转换系数约为 Sv/Gy=1.28，即 0.064mSv/h）。则单次换源 $^{192}$Ir 放射源转运对警戒线外工作人员的附加剂量不超过 0.01mSv/次，一年两次换源，则对警戒线外工作人员的附加剂量不超过 0.02mSv/a，低于评价标准限值（公众成员 0.1mSv/a）。

③换装源：装源、换源过程由放射源单位或者专业单位技术人员操作。根据工程分析，在此过程中，医院工作人员不会进入机房内。根据前文机房外剂量率核算结果，经过机房墙体或防护门屏蔽后，机房外的剂量率最大约为 1.28μSv/h（东墙南墙外），初装源约 10min，换源过程约 20min，则医院工作人员受到的附加剂量约为初装源 $2.1\times10^{-4}$mSv/次，换源 $4.2\times10^{-4}$mSv/次。一年两次换源，则换源附加剂量约为 $8.5\times10^{-4}$mSv/a。

综上所述，放射源运输及放射源初次安装/换源过程中，医院工作人员受到的附加有效剂量非常微小，可以忽略不计。

**11.2.4　放射性“三废”环境影响分析**

根据工程分析，项目涉及到产生放射性“三废”的有核医学科和放疗科。

**11.2.4.1 核医学科放射性“三废”环境影响分析**

**（1）核医学科放射性废水影响分析**

**1）放射性废水来源及排放量**

拟建核医学科使用 9 种放射性核素（$^{18}$F、$^{131}$I、$^{68}$Ga、$^{99m}$Tc、$^{177}$Lu、$^{32}$P、$^{89}$Sr、$^{153}$Sm、$^{223}$Ra），放射性废水主要来自门诊及住院患者的排泄物，还有工作人员操作过程中手部可能受到微量核素污染的洗手水、清洗室内地面、工作台和一些重复使用的医疗器械带有微量核素的清洗水。核医学科拟建设两套放射性废水收集管网和衰变处理设施，1#衰变处理设施处理含碘放射性废水（主要涉及含 $^{131}$I、$^{177}$Lu 的废水），2#衰变处理设施处理其他放射性废水（含其他核素废水，主要含 $^{18}$F、$^{99m}$Tc）。根据工程分析核算，进入 1#衰变处理设施的废水量为：0.775m$^3$/d，20.80m$^3$/月，249.57m$^3$/a；进入 2#衰变处理设施的废水量为：0.586m$^3$/d，11.72m$^3$/月，140.64m$^3$/a。

**2）放射性废水收集及处置系统**

核医学科拟采用污污分流的方式，放射性废水经两套地埋式衰变处理设施处理达标后再排入医院污水处理站处理。单套废水衰变处理设施包含前处理池、集水池、4 个衰

变池、排水控制单元，1#为槽式处理间歇排放工艺，2#为推流式处理工艺。1#衰变处理设施单个衰变池有效体积为 47.8m$^3$，4 个衰变池总有效体积为 191.2m$^3$；2#衰变处理设施单个衰变池有效体积为 6.4m$^3$，4 个衰变池总有效体积为 25.6m$^3$。

**3）衰变池衰变能力的确定**

**①废水排放总量和浓度**

本评价按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求，本项目放射性废水的排放应满足排放总量限值和浓度限值。具体情况见表 7-19。

**②每日放射性废水产生活度**

拟建核医学科使用 9 种核素进行诊断、治疗。根据核医学科各种核素的使用情况可知，$^{32}$P、$^{89}$Sr、$^{153}$Sm、$^{223}$Ra 为门诊治疗，病人注射药物后即离开核医学科，一般不在核医学科内排泄，另外 $^{68}$Ga 用药病人少，用药量小，半衰期短（68.3min）。同时，针剂破碎后使用吸水纸等处理，不使用水冲洗。因此，这些核素 $^{68}$Ga、$^{32}$P、$^{89}$Sr、$^{153}$Sm、$^{223}$Ra 进入废水系统的量非常小，放射性废水中主要含 $^{99m}$Tc、$^{18}$F、$^{131}$I 和 $^{177}$Lu。

同时，这些核素中仅 $^{223}$Ra 为α核素，其余均为β衰变核素。$^{223}$Ra 为门诊治疗核素，病人注射后不在核医学科内停留，直接离开核医学科，基本无含 $^{223}$Ra 的废水产生。因此，放射性废水中基本不含α放射性，本次不予核算。

根据 AAPM Task Group 108：PET and PET/CT Shielding Requirements，PET、PET/CT 扫描前患者需要排空，一般给药 2 小时后，膀胱排出活度约 15%～20%。本评价按照最不利情况考虑，所有患者均排出给药量活度的 20%进入衰变池。根据 ICRP 第 94 号出版物给出的数据，对于甲癌患者，甲癌患者排泄物排泄到废水中活度按给药量的 85%估算（住院第 1 天排泄 55%，第 2 天排泄 22%，第 3 天排泄 6%，第 4 天和第 5 天共排泄 2%）。因此，根据核医学科工作核素用量（表 9-8），本项目放射性药物给药量、放射性废水核素产生量见表 11-29 所示。

**表 11-29　核医学科用药量及废水核素产生量计算表**

| 核素名称 | 单人最大用量（Bq） | 最大人数（人） | | 最大用量（Bq） | | 产生比例 | 最大产生量（Bq） | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 每日 | 每月 | 每日 | 每月 | | 日 | 月 |
| 含碘放射性废水活度 | | | | | | | | |
| $^{131}I$ | $7.40\times10^{9}$ | 4 | 16 | $2.96\times10^{10}$ | $1.184\times10^{11}$ | 第 1 天 55% | $1.628\times10^{10}$ | / |
| | | | | | | 第 2 天 22% | $6.51\times10^{9}$ | / |
| | | | | | | 第 3 天 6% | $1.78\times10^{9}$ | / |
| | | | | | | 第 4 天 1% | $2.96\times10^{8}$ | / |
| | | | | | | 第 5 天 1% | $2.96\times10^{8}$ | / |
| $^{177}Lu$ | $7.40\times10^{9}$ | 1 | 1 | $7.40\times10^{9}$ | $7.40\times10^{9}$ | 总 85% | $6.29\times10^{9}$ | $6.29\times10^{9}$ |
| $^{131}I$ | $1.85\times10^{8}$ | 2 | 8 | $3.7\times10^{8}$ | $1.48\times10^{9}$ | 20% | $7.40\times10^{7}$ | $2.96\times10^{8}$ |
| $^{177}Lu$ | $1.11\times10^{9}$ | 1 | 1 | $1.11\times10^{9}$ | $1.11\times10^{9}$ | 20% | $2.22\times10^{8}$ | $2.22\times10^{8}$ |
| 其他放射性废水活度 | | | | | | | | |
| $^{18}F$ | $3.7\times10^{8}$ | 15 | 300 | $5.55\times10^{9}$ | $1.11\times10^{11}$ | 20% | $1.11\times10^{9}$ | $2.22\times10^{10}$ |
| $^{99m}Tc$ | $7.4\times10^{8}$ | 20 | 400 | $1.48\times10^{10}$ | $2.96\times10^{11}$ | 20% | $2.96\times10^{9}$ | $5.92\times10^{10}$ |
| 小计 | / | 35 | 700 | $2.035\times10^{10}$ | $4.07\times10^{11}$ | / | $4.07\times10^{9}$ | $8.14\times10^{10}$ |

含碘放射性废水核算说明：根据表 9-8 可知，$^{131}I$ 半衰期 8.04d、$^{177}Lu$ 半衰期为 6.73d，$^{177}Lu$ 住院与 $^{131}I$ 住院错开分别计算。

**③衰变池处理效果核算**

**A 含碘放射性废水核算：**

本项目核医学科含碘放射性废水拟使用槽式衰变池处理设施，放射性废水衰变的计算思路为：以每天产生放射性废水的初始活度值为基数，计算经过衰变 n 天到排放时的活度，并将这些（m-k+1）天的不同活度值的放射性废水的总活度作为单次放射性废水排出的活度值。衰变计算公式如下：

$$A(\mathrm{n}) = A_0 \times \mathrm{e}^{-(0.693\mathrm{n}/T_{1/2})} \qquad (11\text{-}29)$$

$$A_{出水} = \sum_{\mathrm{n=k}}^{\mathrm{m}} A_{(\mathrm{n})} \qquad (11\text{-}30)$$

式中：$A_0$—每天产生的初始放射性活度；

$A_{(n)}$—单份衰变 n 天后的放射性活度；

$A_{出水}$—衰变池排放口的活度，Bq；

$T_{1/2}$—核素半衰期，d；

m—单份放射性废水最长衰变时间，d；

k—单份放射性废水最短衰变时间，d；

n—衰变天数（k≤n≤m），d。

排放废水的活度浓度公式为：

$$A_c = \frac{A_{出水}}{V} \quad (11\text{-}31)$$

式中：$A_c$—衰变池排放口的活度浓度，Bq/L；

V—衰变池容积，L。

根据核算，含碘放射性废水产生量为 0.775$m^3$/d，单个衰变池有效体积为 47.8$m^3$，每个衰变池能接纳约 61d（核素不操作日也有住院病人产生废水，直接按此时间核算）的放射性废水。在不考虑放射性废水在前处理池、集水池、排水控制单元中的衰变，衰变池 1#装满后，依次装 2#、3#、4#，当 4#装满后，衰变池 1 废水再排入排水控制单元监测合格后再排放。此时，衰变池 1 的第一份废水衰变天数 m 为 4×61-1=243d，最后一份废水衰变天数 k 为 3×61-1=182d。

注射 $^{177}$Lu 病人 1 次/月，保守考虑其最少的衰变时间，即分别衰减 182 天和 212 天。根据计算，含碘放射性废水经衰变后，废水进入排水控制单元时，废水中含碘-131 活度约为 5.78×$10^3$Bq，含 Lu-177 活度约为 49.43Bq，总活度为 5.83×$10^3$Bq；废水衰变完成后每月最多排放一池的废水，即月排放碘-131 活度为 5.78×$10^3$Bq，总活度为 5.83×$10^3$Bq，废水排放碘-131 浓度和β总浓度均为 0.12Bq/L，能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）（$^{131}$I 的 1$ALI_{min}$ 为 9.09×$10^5$Bq，10$ALI_{min}$ 为 9.09×$10^6$Bq，$^{177}$Lu 的 1$ALI_{min}$ 为 2.0×$10^7$Bq，10$ALI_{min}$ 为 2.0×$10^8$Bq）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）（总β不大于 10Bq/L、碘-131 不大于 10Bq/L）及《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）的排放浓度要求（β＜10Bq/L）。

**B 其他放射性废水核算：**

核医学科其他放射性废水拟采取推流式衰变处理设施处理。

推流式衰变处理设施的废水衰变计算思路与槽式基本一致，仅每次排放废水为出水活度为该池内的平均活度，即上述公式 11-31 除以 m（衰变池体能装废水的天数）。

根据核算，其他放射性废水产生量为 0.586$m^3$/d，集水池有效体积为 6.0$m^3$，单格衰变池有效体积为 6.4$m^3$，集水池和每一格衰变池能接纳约 10d（有核素操作的天数，自

然日约为 14d）的放射性废水。在不考虑放射性废水在前处理池、排水控制单元中的衰变，放射性废水进入排水控制单元时的活度约为 $6.42\times10^{-6}$Bq/L。放射性废水经衰变后，放射性物质已经基本衰变完全，废水中已基本无放射性物质，废水排放能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871 -2002）的排放活度要求及《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）的排放浓度要求（β＜10Bq/L）。

综上所述，本项目放射性废水经衰变后，废水排放能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）的要求，本项目拟新建的衰变池有效容积及类型能满足本项目的要求。

**4）放射性废水处理工艺可行性分析**

核医学科放射性废水分别采用槽式衰变间歇排放、推流式的工艺处理放射性废水，而后排入医院污水处理站进一步处理。两套废水处理设施均为自动化控制，实现全自动稳定运行和排放。

为确保衰变池正常的运行，本项目核医学科拟在处理设施前端设置前处理池，用于沉淀、厌氧消化功能，拟设置破碎搅拌设备消除废水中的沉渣，并且设置隔板，防止污泥硬化淤积和后续处理系统堵塞；固形物经破碎、消化后最终与经衰变后的废水一起排放，不需要定期清掏沉渣而产生二次污染。

综上所述，项目拟设置独立的放射性废水收集和处理系统，且按照核素特性分开收集和衰变，放射性废水经废水衰变处理设施处理后能满足相应标准要求，之后排入医院污水处理站进一步处理。因此，项目产生的放射性废水能够得到有效处理，达标排放。

**5）、废水衰变处理设施建设要求**

①放射性废水衰变处理设施屏蔽效能核算

项目废水衰变处理设施位于地下，两套衰变处理设施并列建设，中间为混凝土隔墙（共墙）。衰变处理设施池体整体外墙体为 40cm～60cm 混凝土（东侧 40cm，南侧 50cm）；内部隔墙和池底均厚 30cm 混凝土；顶部为 40cm 混凝土+150cm 泥土，池体上方设置检修井，内设 90cm×90cm 的防护井盖，外（地面）设 100cm×100cm 的球墨铸铁井盖（一般厚度为 4cm 铁）。1#衰变处理设施的防护井盖为 15mmPb，2#衰变处理设施的防护井盖为 5mmPb。

放射性废水衰变处理设施各部位屏蔽效能核算结果见表 11-30。

**表 11-30　放射性废水衰变处理设施屏蔽效能核算结果表**

| 分类 | 部位 | 衰变池屏蔽材料及厚度 | 核素名称 | 最大活度（MBq） | 周围剂量当量率常数 | 预测距离（m） | 周围剂量当量率（μSv/h） | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1#衰变处理设施 | 顶部 | 40cm 砼+150cm 泥土 | $^{131}I$ | $4.77\times10^{4}$ | 0.0595 | 5.75 | $1.19\times10^{-5}$ | 0.72 |
| | | 15mmPb+40mm 铸铁 | $^{131}I$ | $4.77\times10^{4}$ | 0.0595 | 5.75 | 0.72 | |
| | 东侧 | 40cm 砼 | $^{131}I$ | $4.77\times10^{4}$ | 0.0595 | 3.15 | 1.27 | |
| | 南侧 | 50cm 砼 | $^{131}I$ | $4.77\times10^{4}$ | 0.0595 | 1.45 | 1.55 | |
| 2#衰变处理设施 | 顶部 | 40cm 砼+150cm 泥土 | $^{18}F$ | $1.11\times10^{3}$ | 0.1430 | 3.7 | $2.75\times10^{-6}$ | 1.37 |
| | | | $^{99m}Tc$ | $2.96\times10^{3}$ | 0.0303 | | | |
| | | 5mmPb+40mm 铸铁 | $^{18}F$ | $1.11\times10^{3}$ | 0.1430 | 3.7 | 1.37 | |
| | | | $^{99m}Tc$ | $2.96\times10^{3}$ | 0.0303 | | | |
| | 南侧 | 50cm 砼 | $^{18}F$ | $1.11\times10^{3}$ | 0.1430 | 1.45 | 0.41 | |
| | | | $^{99m}Tc$ | $2.96\times10^{3}$ | 0.0303 | | | |

备注：①周围剂量当量率常数单位为μSv·m²/（h·MBq）；②衰变池中废水活度：含碘放射性废水的活度按照废水装满时含碘的总活度（镥-177 每月排放 1 次，按衰减 0 天和 30 天计，其活度计入碘-131 中一起核算），其他放射性废水的活度按照核素当日产生活度考虑。同时前处理池体积稍小于衰变池，保守按衰变池的活度计算。③距离取水体中心至关注点外 0.3m 处；④泥土密度 1.2g/cm³，垫层密度 1.8g/cm³，按密度折合混凝土核算；⑤根据核素特性，1#衰变处理设施考虑 $^{131}I$，2#衰变处理设施仅考虑 $^{18}F$、$^{99m}Tc$。⑥衰变池的混凝土和泥土较厚，对废水的屏蔽效能很好，且其余池体的废水活度远低于考察池体废水活度，因此，核算不再考虑相邻池体的叠加影响。

根据上述核算结果，项目放射性废水衰变处理设施池顶的周围剂量当量率最大为 1.55μSv/h，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的限值要求（小于 2.5μSv/h）。

同时，建设单位拟加强管理，地面划出在衰变处理设施区域，设置禁停标志和电离辐射警示标志，避免区域内停车和公众成员长时间停留，以减少对人员的影响。

②废水管网影响核算

核医学科内排水管网布置在同层降板区域内（位于地板 40cm 混凝土上方），放射性废水通过重力自流经管网收集至两个专用泵房的集水坑，然后泵至吊顶上方，再直接沿吊顶上方引至衰变处理设施内处理。同层降板区域与正常地面高差约 60cm（垫层厚度），收集管道尺寸主要有Φ50mm、Φ80mm、Φ100mm，管道埋深不低于 50cm 垫层，不再采取其他防护措施。提升后的管网位于同层吊顶与顶棚之间，含碘放射性废水管网采用 5mmPb 铅皮包裹防护，其他放射性废水管网采用 2mmPb 铅皮包裹防护。

根据前文核算，放射性废水收集管网中的废水活度浓度按照当天产生的放射性废水

活度浓度考虑，即 $^{131}I$ 的为 $1.628\times10^{10}Bq/0.775m^3=2.10\times10^4Bq/cm^3$，$^{18}F$ 的为 $1.11\times10^9Bq/0.586m^3=1.89\times10^3Bq/cm^3$（根据前文核算，$^{99m}Tc$ 的影响远远小于 $^{18}F$，此处不再考虑）。将废水管网看为无限长线源，考虑管道半径为 5cm，考察点为管道外人员所达处，根据《辐射防护手册》第一分册相应公式，查《用于光子外照射放射防护的剂量转换系数》（GBZ/T144-2002）表 B.1 的参数，可以计算出经过屏蔽的含碘放射性废水管网人员可达处的周围剂量当量率为 1.76μSv/h（铅防护）、0.11μSv/h（垫层防护），其他放射性管网人员可达处周围剂量当量率为 0.52μSv/h（铅防护）、0.02μSv/h（垫层防护）。

因此，项目废水管网按照现有设计防护方案建设，放射性管网的辐射影响满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求。放射性管网具有流动性，不停留，对周围人员产生的影响很小。

③污水泵房防护效核

项目污水泵房外为走廊，墙体采用 400mm（临电梯侧）、200mm 厚混凝土屏蔽，门采用 12mmPb 防护门。泵房内管网长约 6m，泵房内管网内的废水活度约为：含碘放射性废水 $9.89\times10^8Bq$，其他放射性废水 $8.92\times10^7Bq$。根据公式 11-2，取 r=1.5m，则泵房外周围剂量率最大为 1.74μSv/h（屏蔽墙外），低于评价标准限值《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的限值要求（小于 2.5μSv/h）。

④施工要求

废水衰变处理设施拟采用高等级抗渗混凝土结构，然后采用环氧树脂涂料进行防腐，确保各池体满足屏蔽防护、防渗、耐酸碱腐蚀、无渗透和泄露的要求；废水衰变处理设施处拟设标识，排放口拟设置排污口并便于采样。

综上，核医学科的废水衰变处理设施能满足核医学科运行产生的放射性废水衰变达到相关标准限值要求（总α≤1Bq/L，总β≤10Bq/L）。

**（2）核医学科放射性废气影响分析**

项目核医学科使用的放射性药物为非气态放射性药物，仅 $^{131}I$ 属于碘化钠化合物，离子型的 $^{131}I$ 放射性药物易氧化析出 $^{131}I$（单质碘），碘在常温下易挥发，产生放射性气溶胶，肺通气检查 $^{99m}Tc$ 气化操作过程中会产生少量的放射性气溶胶废气，其余核素在诊疗过程中均不易挥发。

本项目核医学科拟设置独立的排风系统，设置9套废气收集系统收集核医学科放射性废气，收集后通过管道进入专用排风井，引至门诊病房综合楼19F楼顶经活性炭处理后高于楼顶3m排放。各排风支管均设置防倒灌装置，避免放射性废气泄漏。此外，本项目核医学科废水衰变处理设施产生的放射性废气单独收集后引至门诊病房综合楼19F楼顶高于楼顶3m排放。

项目所在地主导风向为东风和西北风，放射性废气排放口位于门诊病房综合楼（西侧塔楼）西北侧，项目周围较近的高层建筑为项目所在的门诊病房综合楼的东侧塔楼（距离约为 30m）、医院内东南侧的健康管理中心（约 140m），东侧塔楼不在主导风向下风向，健康管理中心距离排放口较远；同时，核医学科内废气均活性炭吸附处理后再排放，活性炭定期更换，吸附效果好。因此，项目核医学科产生的放射性废气排放周围环境的影响很小。

**（3）核医学科放射性固废影响分析**

本项目产生放射性固体废物拟分类收集在专用放射废物桶内，桶内设专用塑料袋，每天下班由专人统一将桶内的放射性固体废物连同垃圾袋存放到衰变室暂存，待其衰变达到时间要求后，并监测合格后作为一般医疗废物交有资质单位处理。

项目放射性固废应严格采取以下治理措施：

（1）严格区分放射性废物与非放射性废物，不混同处理，力求控制和减少放射性废物产生量。

（2）放射性固废应按照医疗废物（危险废物）的管理要求，实行联单管理制度，跟踪固废的处理方式和最终去向，做好产生、衰变时间、数量等相关的记录台账。

（3）供收集的专用废物桶应具有外防护层和电离辐射警告标志，废物桶放置点应避开工作人员作业和经常走动的地方。

（4）内装注射器及碎玻璃等物品的废物袋应附加不易刺破的外套（如硬牛皮纸外套）。

（5）衰变室设空调调节室温，设紫外灯消毒杀菌，经常检修排风系统，保持室内良好的通风。

**11.2.4.2 放疗科感生放射性“三废”环境影响分析**

**（1）活化冷却水**

直线加速器使用冷却水循环系统中的去离子水，其运行期间产生的感生放射性核素

均为短半衰期核素。正常运行情况下，直线加速器的冷却水闭路循环不排放。只有在设备检修或发生冷却水泄漏事故时才需要排放，检修前直线加速器停运30min，冷却水泄漏需排放时，先排入暂存容器（如塑料水桶内）保存约30min再排放至医院废水处理站处理。此时冷却水感生放射性核素基本衰变完全，其对环境的辐射影响可接受。

**（2）活化气体**

直线加速器运行时产生的中子与空气作用，产生的感生放射性核素均为短半衰期核素，不存在明显的放射性活度长期聚集的问题，机房内拟设置机械排风系统，通风换气次数为4.3次/h，排放出的废气经扩散和衰减后对环境的辐射影响可接受。在直线加速器停止工作后，通过规范化管理制度，在结束治疗后等待几分钟后待放射性气体衰减和排出后再进入机房，待放射性气体自然衰减和排出后再进入机房，放射工作人员受到的影响更小，基本不会对放射工作人员造成额外的辐射影响。

**（3）活化结构部件**

直线加速器运行期时其结构部件可能被活化，产生感生放射性核素。被活化结构部件平均4~5年更换一次，更换下来的活化结构部件由部件更换单位直接运走处置，不在医院内暂存。

## 11.3 非放射性“三废”环境影响分析

### 11.3.1 废水

项目运行产生少量的生活污水、医疗废水等直接排入医院门诊病房综合楼北侧拟新建的污水处理站处理。

### 11.3.2 固体废物

医务人员、病人及家属产生的少量生活垃圾交市政环卫部门处理。医务人员、病人诊疗过程产生少量的医疗废物，医疗废物转存于-2F 下沉层的医疗废物暂存间内，暂存间内拟设置感染性废物和损伤性废物收集桶，相应类别的塑料桶旁墙上贴中文标签，医疗废物暂存间大门贴有警示标识；医疗废物暂存间为封闭空间，日常不使用时锁闭大门，设专人管理，防止非工作人员接触医疗废物；面积足够，能够暂存整个新区分院不低于 2 天内产生的医疗废物；设置紫外线消毒装置消毒，设置换气扇进行通风换气。医院拟与资质单位签订医疗废物处置协议，交该单位每天收集、处置。因此，本项目产生医疗废物及时运送至医疗废物暂存间，此种处理措施依托可行。

铅防护用品在使用一定年限后屏蔽能力减弱，不能达到原有使用功能后成为报废铅防护用品，由医院收集后妥善保存。

项目产生的固体废物均能得到合理的处理，不会对环境产生影响。

**11.3.3 废气**

X 射线、γ射线等与空气作用，可以使气体分子或原子电离、激发，产生臭氧和氮氧化物。各科室用房在保持通风换气的条件下，臭氧和氮氧化物浓度甚小。少量的有害气体直接与大气接触、不累积，很快被空气的对流而扩散，不会影响机房、机房外大气环境质量。

**（1）核医学科废气**

核医学科 PET/CT、SPECT/CT 的 CT 模式运行时产生的臭氧和氮氧化物量极少。该类废气经核医学科排风系统一起收集后引至门诊病房综合大楼塔楼顶高于楼顶排放，排放后废气经大气扩散和分解后，浓度将进一步降低。因此，PET/CT、SPECT/CT 的 CT 模式运行产生的废气对周围环境影响小。

**（2）放疗科废气**

**1）放疗科废气排放浓度**

**①CT 模拟定位机废气**

放疗科 CT 模拟定位机运行时产生的臭氧和氮氧化物量极少。CT 模拟定位机机房设置独立机械排风系统，排风量约为 1100m³/h，可确保良好的通风效果。

**②医用电子直线加速器废气**

直线加速器运行时产生的非放射性废气主要为臭氧、氮氧化物（主要为二氧化氮）。根据工程分析，单台直线加速器机房臭氧产额为 106.3mg/h，氮氧化物产额为 53.2mg/h。根据设计资料，单个机房排风量为 1800m³/h。根据文献《辐射所致臭氧的估算与分析》（王时进等，中华放射医学与防护杂志，1994 年 4 月第 14 卷第 2 期），考虑直线加速器机房运行时的连续排风和 $O_3$ 的分解，机房内空气中 $O_3$ 的平均浓度可由下式计算。

$$Q_{(t)}=\frac{Q_O T}{V}\left(1-e^{-t/T}\right) \qquad (11\text{-}32)$$

式中：$Q_{(t)}$：t 时刻机房内 $O_3$ 的平均浓度，mg/m³；

$Q_0$：$O_3$ 的产生率，mg/h；

V：加速器机房体积（不含迷道），m³；

T：有效清除时间，h。

有效清除时间 T 可由下式计算。

$$T = \frac{t_v \cdot t_d}{t_v + t_d} \qquad (11\text{-}33)$$

式中：$t_v$：换气一次所需要的时间，h；

$t_d$：$O_3$ 的有效分解时间，取 0.83h。

因本项目加速器运行单次后，需要转移病人，给下一位病人准备等，不是连续出束，因此，本次核算考虑单次治疗（1.5min）产生的臭氧在设计通风情况下机房内的臭氧浓度。各参数的取值和 $O_3$ 浓度的计算结果见表 11-31。

**表 11-31　加速器机房内 $O_3$ 浓度计算结果表**

| 机房 | $Q_0$（mg/h） | V（$m^3$） | $t_v$（h） | $T_d$（h） | T（h） | t（h） | $Q_{(t)}$（$mg/m^3$） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 单台直线加速器机房 | 106.3 | 296.8 | 0.11 | 0.83 | 0.14 | 0.025 | 0.008 |

由上述计算可知，单次治疗后直线加速度机房臭氧的浓度为 0.008mg/$m^3$，低于《工作场所有害因素职业接触限值-化学有害因素》（GBZ2.1-2019）中规定的臭氧浓度限值 0.3mg/$m^3$，也低于《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准中规定的臭氧 1 小时平均限值 0.2mg/$m^3$。

单次治疗后氮氧化物浓度为 0.004mg/$m^3$，远低于 GBZ2.1-2019 中规定的 5mg/$m^3$，也远低于 GB3095-2012 二级标准中规定的二氧化氮 1 小时平均限值 0.2mg/$m^3$。

此外，根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020），直线加速器机房通风换气次数应不小于 4 次/h。根据设计，直线加速器机房排风量约为 1800$m^3$/h，通风换气次数为 4.3 次/h，满足上述标准的要求。

**③后装机废气**

后装机在使用过程中，γ射线与空气电离会产生少量的臭氧等废气。

根据工程分析，后装机房内臭氧产额为 0.11mg/h，氮氧化物产额为 0.06mg/h。根据设计资料，机房排风量为 900$m^3$/h。根据上述臭氧浓度计算公式，后装机机房臭氧浓度为 $2.04\times10^{-5}$mg/$m^3$，氮氧化物浓度为 $1.02\times10^{-5}$mg/$m^3$，远低于 GBZ2.1-2019 和 GB3095-2012 的标准限值。

根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020），后装机房通风换气次数应不小

于 4 次/h。根据设计，后装机机房排风量约为 900m³/h，通风换气次数为 5 次/h，满足上述标准的要求。

**2）放疗科废气排放影响**

放疗科设置独立的排风系统，废气经排风系统引至直线加速器机房上方地面东侧的绿化带排放。放疗科产生的臭氧、氮氧化物浓度小，远远低于环境空气质量标准的限值要求，排放后废气经大气扩散和分解，不累积，浓度将进一步降低。

排放口不朝向道路，其周围主要为液氧站、地面停车位，距离院内建筑较近的为液氧站（约 10m）、门诊病房综合楼（约 30m），此处人流量较小。因此，项目放疗科产生的废气对周围环境影响小。

**（3）介入中心废气**

介入中心 DSA 机房 DSA 运行时产生的臭氧和氮氧化物量极少。介入中心设置独立机械排风系统，单个 DSA 机房的排风量约为 1100m³/h，可确保良好的通风效果。废气经介入中心的排风系统引至医院门诊病房综合楼塔楼顶排放，排放后废气经大气扩散和分解后，浓度将进一步降低。因此，介入中心产生的废气对周围环境影响小。

## 11.4　实践正当性分析

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”要求，对于一项实践，只有在考虑社会、经济和其他有关因素之后，其对受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害时，该实践才是正当的。

放射性同位素的应用及放射源、射线装置在医疗诊断治疗方面有其他技术无法替代的特点，对保障健康、拯救生命起了十分重要的作用。本项目营运以后，建设单位将为病人提供一个更加优越的诊疗环境，具有明显的社会效益；同时将提高医院的医疗技术与及服务水平，将吸引更多的就诊人员，保障病人健康，医院在为患者健康服务的同时也将创造更大的经济效益。项目拟采取的辐射安全与防护措施符合要求，对环境的影响也在可接受范围内。在项目营运过程中建设单位应掌握好适应症，正确合理地使用设备进行医疗照射。

因此，该项目放射性同位素的应用及射线装置的使用对受电离辐射照射的个人和社会所带来的利益远大于其引起的辐射危害，项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践的正当性”的原则与要求。

### 11.5　产业政策符合性

根据《产业结构调整指导目录》（2019 年本）第一类 鼓励类中“六、核能　6、同位素、加速器及辐照应用技术开发”、“十三、医药 5、新型医用诊断设备和试剂、数字化医学影像设备，人工智能辅助医疗设备，高端放射治疗设备，电子内窥镜、手术机器人等高端外科设备，新型支架、假体等高端植入介入设备与材料及增材制造技术开发与应用，危重病用生命支持设备，移动与远程诊疗设备，新型基因、蛋白和细胞诊断设备”。

本项目为同位素应用、高端放射治疗设备加速器的应用、介入设备应用、数字化医学影响设备应用，属于产业结构鼓励类，符合国家产业政策。

## 11.6 事故影响分析

电离辐射引起生物效应的作用是一种非常复杂的过程。目前仍不清楚，但是大多数学者认为放射损伤发生是按一定的阶梯进行的。生物基质的电离和激发引起生物分子结构和性质的变化，由分子水平的损伤进一步造成细胞水平、器官水平的损伤，继而出现相应的生化代谢紊乱，并由此产生一系列临床症状。这类效应存在阈值效应，分为确定性效应和随机性效应，在剂量超过一定的阈值时才能发生的是确定性效应，而随机性效应则不存在阈值。确定性效应定义为通常情况下存在剂量阈值的一种辐射效应，超过阈值时，剂量越高则效应的严重程度越大。同时不同个体不同组织和器官对射线照射的敏感度差异较大。在非正常情况下，急性大量辐射照射可以造成人或者生物的死亡。

成人全身受到不同照射剂量的损伤估计情况见表 11-32 所示。

**表 11-32　不同照射剂量对人体损伤的估计**

| 剂量（Gy） | 类型 | | 初期症状和损伤程度 |
|---|---|---|---|
| ＜0.25 | / | | 不明显和不易察觉的病变 |
| 0.25～0.5 | | | 可恢复的机能变化，可能有血液学的变化 |
| 0.5～1 | | | 机能变化，血液变化，但不伴有临床症象 |
| 1.0～2.0 | 骨髓型急性放射病 | 轻度 | 乏力，不适，食欲减退 |
| 2.0～4.0 | | 中度 | 头昏，乏力，食欲减退，恶心，1h~2h 后呕吐，白细胞短暂上升后下降 |
| 4.0～6.0 | | 重度 | 1h 后多次呕吐，可有腹泻，腮腺肿大，白细胞数明显下降 |
| 6.0～10.0 | | 极重度 | 1h 内多次呕吐和腹泻、休克、腮腺肿大，白细胞数急剧下降 |
| 10～50 | 肠型急性放射病 | | 频繁呕吐，腹泻严重，腹疼，血红蛋白升高 |
| ＞50 | 脑型急性放射病 | | 频繁呕吐，腹泻，休克，共济失调，肌张力增高，震颤，抽搐，昏睡，定向和判断力减退 |

备注：来自《急性外照射放射病的诊断标准》（GBZ104-2017）和《辐射防护导论》P33。

根据《放射源同位素与射线装置安全和防护条例》，辐射事故从重到轻分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级，见表 11-33。

**表 11-33　辐射事故等级分级一览表**

| 事故等级 | 危害后果 |
|---|---|
| 特别重大辐射事故 | I类、II类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果，或者放射性同位素和射线装置失控导致 3 人以上（含 3 人）急性死亡。 |
| 重大辐射事故 | I类、II类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 2 人以下（含 2 人）急性死亡或者 10 人以上（含 10 人）急性重度放射病、局部器官残疾。 |
| 较大辐射事故 | III类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 9 人以下（含 9 人）急性重度放射病、局部器官残疾 |
| 一般辐射事故 | IV类、Ⅴ类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射 |

根据《实用辐射安全手册》（第二版）（丛慧玲，北京：原子能出版社）急性放射病的发生率以及急性放射病的死亡率与辐射剂量的关系，见表 11-34。

**表 11-34　急性放射病的发生率、死亡率与辐射剂量的关系**

| 辐射剂量/ Gy | 急性放射病发生率/% | 辐射剂量/Gy | 死亡率/% |
|---|---|---|---|
| 0.70 | 1 | 2.00 | 1 |
| 0.90 | 10 | 2.50 | 20 |
| 1.00 | 20 | 2.80 | 20 |
| 1.05 | 30 | 3.00 | 30 |
| 1.10 | 40 | 3.20 | 40 |
| 1.20 | 50 | 3.50 | 50 |
| 1.25 | 60 | 3.60 | 60 |
| 1.35 | 70 | 3.75 | 70 |
| 1.40 | 80 | 4.00 | 80 |
| 1.60 | 90 | 4.50 | 90 |
| 2.00 | 99 | 5.50 | 99 |

### 11.6.1 非密封放射性工作场所事故影响分析

#### 11.6.1.1 非密封放射性工作场所辐射潜在风险事故类型

①由于管理不善，导致放射性药物保管不善丢失、被盗，可能对公众和周围环境造成辐射污染。

②工作人员未认真核对姓名、药物名称、种类、给药途径、用量等，致使他人用药错误或过量而造成误照射。

③由于工作人员操作不熟练或者其他原因造成工作时放射性药物撒漏，或者病人服

药过程中纸杯撒漏，可能污染工作台、地面、墙壁、设备等，造成手和皮肤污染，还可能产生放射性废水和处理产生放射性固废。

④放射性固体废物未经足够长时间的暂存衰变，擅自处置，可能对环境造成污染和对公众造成危害。

⑤违反核医学管理规定在核医学科工作场所吸烟、进食，可能吸入和食入放射性物质造成人员内照射。

⑥手部有伤仍从事放射性物质操作，也可能造成内照射。

⑦工作人员存在不良工作习惯，对自身的防护不重视，注射用棉签，一次性手套未妥善收集和处置，致使室内受到污染，辐射水平增高。

**11.6.1.2 非密封放射性工作场所风险事故后果**

（1）①类辐射事故

根据上述事故类型，本项目针剂类放射性药物进入核医学科后，拟放置在储源室1储源柜内，使用前才由放射工作人员从其中拿出来；$^{131}I$口服放射性药物进入核医学科后，放置在储源室2的储源柜内，病人服药前才由放射工作人员拿出放到自动分装仪内，再通过电脑控制自动分装药物。储源室设置防盗防护门、有视频监控工设施，且进入核医学科控制区的门均为铅防护门，设置有门禁，日常无关人员无法进入，因此，①类事故发生概率较低，本报告不予核算。

（2）②类辐射事故

核医学科工作人员严格执行相关管理制度，科室采用语音呼叫系统，一次呼叫1人进入注射区，并多处核实身份信息，发生注射错误药物和过量放射性药物致使他人用药错误和过量而造成误照射事故的概率极低，本报告不与核算。

（3）③～⑦类事故

③～⑦类事故发生后，以③放射性药物撒漏事故概率较大，且放射性药物事故活度最大，对人员和周围环境产生的影响最大。

医院拟使用的大部分放射性药物均购买成品针剂直接注射，$^{131}I$ 采用自动分装仪进行分装，故分装过程中发生辐射事故的概率低。因此，本项目核医学科工作场所可能发生放射性药物撒漏事故的工作环节主要考虑 $^{18}F$ 分装、$^{99m}Tc$ 分装、患者给药环节。

根据项目核素使用情况，本次评价考虑项目使用较多的主要病人 $^{131}I$ 口服时撒泼，以及医务人员操作 $^{18}F$ 针剂、$^{99m}Tc$ 针剂破碎的情况进行事故剂量估算。

放射性药物 $^{131}I$ 撒泼后，病人及时脱掉沾药衣物，医务人员及时清洁处理（擦拭、冲洗、检测），直到满足要求为止。$^{18}F$ 针剂、$^{99m}Tc$ 针剂破碎一般发生在分装过程，涉及人员为医务人员。

估算参数及结果见表 11-35。

**表 11-35　事故剂量核算参数/条件表**

| 核素 | 裸源 1 米处的周围剂量当量率常数 ($\mu Sv m^2/MBq \cdot h$) | 撒泼药量（MBq） | 处理距离（m） | | 处理/受照时间（min） | | 事故剂量（mSv/次） | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 公众 | 医务人员 | 公众 | 医务人员 | 公众 | 医务人员 |
| $^{131}I$ | 0.0595 | 7400（甲癌） | 0.05 | 0.2 | 2 | 30 | 5.9 | 5.5 |
| $^{18}F$ | 0.1430 | 370 | -- | 0.2 | / | 30 | -- | 0.7 |
| $^{99m}Tc$ | 0.0303 | 550 | -- | 0.2 | / | 30 | -- | 0.2 |

根据上述核算，单次$^{131}I$口服药物撒漏及$^{18}F$针剂、$^{99m}Tc$针剂破损时，公众成员和医务人员的受照剂量超过年剂量限值，可能导致机能变化，血液变化，但不伴有临床症象的病变，属于一般辐射事故。

### 11.6.1.3 非密封放射性工作场所风险防范措施及应急处置

**（1）事故风险防范措施**

发生在非密封放射性工作场所的放射事故主要是污染事故，导致人员的照射方式主要是外照射和放射性沾染。针对本项目辐射潜在事故类型，主要的风险防范措施如下：

①加强核医学科管理，严格按《放射性药品管理办法》制订“放射性药品的保管制度”。每日工作开始前、结束后检查保险柜、防护门、门禁等，保证其能正常工作。

②严格执行核医学科的预约制，尽量通过时间将各种核素诊疗病人分开，杜绝用错药的情况；核医学科拟设置视频监控和语音对讲系统，在每位病人用药前，认真核对病人姓名、性别等基本信息，确认后再行用药。

③放射工作人员加强操作练习，严格执行操作规程，轻拿轻放，避免药物撒泼和破损；提前警示病人自取服药口杯并拿稳口杯，减少病人撒泼药物的概率。

④放射性固废在每天工作结束后由专人处置后放到污物储存间暂存衰变，每个废物袋表明核素名称、数量、暂存时间等，严格按照要求暂存足够时间后，对每个废物包装进行监测，合格后再行处置。制定放射性废物管理制度，建立废物进出台账，责任落实到人，定期清查。

⑤在核医学科明显位置张贴警示标语，禁止任何人在核医学科内吸烟、进食。加强放射工作人员管理和提前与病人宣贯必要的防护知识。

⑥加强放射工作人员管理，禁止手部有伤仍从事放射性物质操作。

⑦加强放射工作人员管理，严格区分放射性废物和非放射性废物，放射性废物产生后立即全部进入放射废物桶内。

**（2）事故风险应急处置措施**

放射性药物丢失、被盗事故：发生放射性药物丢失、被盗事件后，应第一时间向医院辐射环境管理机构报告，由其及时向市生态环境局、区生态环境局、公安部门、卫生部门报告，按要求进行追查处置。

服错药或超剂量事故、在核医学科吸烟进食的、手部有伤可能受到内照射的：发生该类事故后，应及时向医院辐射环境管理机构报告，由其根据具体情况酌情向卫生行政部门报告，按要求进行处置。

发生放射性固废暂存不到位即处理的、放射性废物未全部收集暂存的，发现后应及时追查并纠正处置。

药物撒泼事故：发生药物撒泼后，应立即报告辐射环境管理机构，禁止无关人员进入事故区域，禁止事故区域人员随意走动。现场处置的立即用吸水纸、纱布等自外而内螺旋形吸水，换用吸水纸或纱布自外而内擦干，在此基础上用温水仔细清洗污染处，用表面污染监测仪测量污染区，如果β表面污染大于 40Bq/cm$^2$，表明该污染区未达到控制标准，这时应继续使用药棉或纸巾擦拭，直到该污染区β表面污染小于 40Bq/cm$^2$ 为止。处理过程中使用过的吸水纸、纱布、药棉、纸巾等均视为放射性废物。当发生人员身体、衣物受到表面污染时，受沾污人员应及时去污，防止污染扩散。体表沾污应用温水加肥皂或者洗涤剂冲洗，配合软毛刷或棉签刷洗。注意操作要轻柔，防止皮肤损伤，去污后经表面污染监测仪测量合格后方能离开。

去污后医院应根据人员受照剂量，判定事故类型和级别，提出控制措施及救治方案，迅速安排受照人员接受医学检查、救治和医学监护。具体处理方法按《辐射损伤医学处理规范》（卫生部、国防科委文件卫法监发[2002]133号）进行。发生照射事故时，人员接受医学检查或在指定的医疗机构救治，并在2小时内向市生态环境局和卫生主管部门报告。

### 11.6.2 加速器事故影响分析

#### 11.6.2.1 加速器辐射潜在风险事故类型

本项目直线加速器的安装、检修由设备销售厂家负责。建设单位只负责日常安全使用及管理。由于设备自身的屏蔽措施以及设备的固有安全联锁装置，设备在正常使用的情况下发生事故的概率极小，在意外情况下，可能发生的辐射事故主要包括：

（1）直线加速器门-机联锁装置旁路/失效造成误照射

因加直线速器门机联锁装置旁路/失效，至门尚未关闭到位直线加速器即出束运行，致门外的公众成员受到误照射；或无关人员推门进入正在运行的直线加速器机房内而受到误照射。

（2）人员滞留在机房内造成误照射

①放射工作人员为病人摆位时，控制室人员未观察即出束治疗，造成该摆位人员受到误照射。

②病人治疗前，工作人员、病人家属等进入机房后尚未全部撤离，仍有人滞留在机房内某个不意察觉的地方，控制室放射工作人员未发现即出束治疗，致机房内人员受到误照射。

（3）医疗照射不正当化造成误照射

滥用射线装置对病员进行诊断、治疗，造成病员受到不必要的照射。

（4）直线加速器调试、维修时造成误照射

①调试阶段公众误入机房

在设备安装调试过程中，机房安全防护措施未完全到位或者运行，至无关人员进入机房，在设备开机出束过程中受到误照射。

②维修阶段人员误入受到误照射

直线加速器结构复杂，故障率较高。常见故障有机械故障（如多叶准直器故障、限位开关损坏）、电气故障（如自动稳频故障、剂量异常、电离室损坏、磁控管损坏、测距灯/光野灯损坏）和软件故障（如电脑死机、网络传输故障）。上述故障发生后由专业维修人员对设备进行维修，维修人员在维修加速器时，加速器钥匙由维修人员控制，机房防护门保持敞开且加速器不能出束操作，维修完成后维修人员再关闭机房防护门进入控制室通过钥匙开机出束并检查。在此过程中若有人误入机房停留在不易察觉的角落未

被维修人员发现而开机出束导致机房内误入人员受到误照射。

（5）未进行质量控制检测

直线加速器年久或更换部件和维、检修后，未进行质量控制检测，机器性能指标发生变化，有可能在诊疗过程中使患者可能受到较大剂量的照射。

**11.6.2.2 加速器风险事故后果**

根据上述分析，加速器运行产生的最大可信辐射事故主要是人员受到误照射，主要为加速器门-机联锁装置失效时人员误入加速器机房、工作人员或病人家属人员滞留在机房内不易察觉的位置受到误照射，以及设备调试、维修阶段公众误入加速器机房受到误照射。

（1）设备正常运行时误入受到误照射剂量核算

根据建设单位提供的资料，直线加速器在对病人开机治疗时常用输出剂量率为6Gy/min，单次照射时间不超过 1.0min。

门-机联锁装置失效时人员误入机房，或者工作人员、病人家属滞留在机房内不易察觉的位置时，其距离直线加速器辐射源点较远，考虑为非主射方向的 3m；工作人员为病人摆位时受到误照射时距离直线加速器辐射源点较近，考虑为非主射方向的 1m。正常情况下，加速器出束治疗时，设备会发出出束警报，同时机房内设置有视频监控，工作人员或公众成员听到声响后可就近按下机房内急停按钮或者控制室放射工作人员发现后可按下紧急停止按钮，该反应时间考虑为 0.5min；非正常情况下，设备不发生出束警报，视频监控不显示，工作人员不能及时按下急停按钮，该受照时间考虑为单次治疗时间 1.0min。

根据上述条件，并根据本报告直线加速器屏蔽效能核算公式，此种情况下人员受到的误照射剂量见下表 11-36。

**表 11-36　正常治疗误入事故状态下人员受到的剂量估算表**

| 事故情况 | 射线类型 | 距离 | 照射时间 | 剂量 |
|---|---|---|---|---|
| 门-机联锁装置失效误入、工作人员或公众成员滞留在机房内不易察觉的角落是出束 | 散射<br>漏射 | 3m | 0.5min | $4.7\times10^{-3}$ Gy |
| | | | 1.0min | $9.3\times10^{-3}$ Gy |
| 工作人员在为患者摆位时加速器误出束 | 散射<br>漏射 | 1m | 0.5min | $4.2\times10^{-2}$ Gy |
| | | | 1.0min | $8.4\times10^{-2}$ Gy |

（2）调试、维修阶段误入受到误照射剂量核算

加速器调试、维修阶段，输出剂量率最大为24Gy/min，开机照射时间不超过30s。

加速器调试、维修阶段时人员误入机房在机房内不易察觉的位置，其距离直线加速器辐射源点较远，考虑为主射方向的3m和非主设方向的3m。该时间较短，放射工作人员或者机房内人员不及反应，受到该次全时间照射。

按照射线的衰减理论（与距离的平方成反比），则此种情况下，误入人员的事故受照剂量估算如下表 11-37 所示。

**表 11-37　调试、维修阶段事故状态下人员受到的剂量估算表**

| 事故情况 | 射线类型 | 距离 | 照射时间 | 剂量 |
|---|---|---|---|---|
| 加速器调试、维修时人员误入 | 主射线 | 3m | 30s | 1.3Gy/次 |
| | 散射、漏射 | 3m | 30s | $1.9\times10^{-2}$ Gy/次 |

根据上述核算，直线加速器发生单次辐射事故时，公众成员和放射工作人员的受照剂量超过年剂量限值，可能导致轻度骨髓性急性放射病，病症体现为乏力，不适，食欲减退，其属于一般辐射事故。若发生多次辐射事故，可能会导致更严重的辐射损伤甚至死亡的较大及以上辐射事故。

### 11.6.2.3 加速器风险防范措施及应急处置

**（1）加速器事故风险防范措施**

为减少各种辐射事故的发生，建设单位应采取的防范措施如下：

①直线加速器门-机联锁装置失效风险防范措施

按照规范要求定期对各个联锁装置进行检查，发现故障及时清除，严禁在门-机联锁装置失效的情况下违规操作；通过直线加速器故障报警系统及时发现故障，及时修复；通过纵深防御以减少由于某个联锁失效或在某个联锁失效期间产生辐射。设备维修单位维修时，旁路联锁系统需缺的辐射安全管理机构的批准，并在维修后及时进行联锁恢复及功能测试。

②人员滞留在机房内风险防范措施

开机出束运行前，按照操作规程清点人数工作人员和病人家属，并按程序通过监控系统对直线加速器机房全视角搜寻；用对讲机呼叫，声光报警警示。同时，经常检查监控系统，单个摄像头损坏要及时维修，保证监控系统能全视角无死角的监控机房和迷道。

③医疗照射不正当化产生辐射事故的风险防范措施

放射工作人员须加强专业知识学习，加强辐射防护知识培训，加强职业技能培训，增强责任感，严格遵守操作规程和规章制度；管理人员应强化管理，落实安全责任制，经常督促检查。

④加速器调试、维护维修时风险防范措施

调试阶段由设备方/辐射安全设施单位负责。调试前建设单位做好辅助工作，开机出束前项目用房区域外设置警示标示、警示带、安保人员等，先清理无关人员后禁止无关人员进入项目用房区域，自身安保人员全部在外围巡视，保证除调试技术人员和控制室值守人员外，禁止无关人员进入加速器机房和控制室。

医院在采购加速器时应将充分考虑生产企业的售后产品技术支持，提高产品可靠性，减少设备维修频率；在维护和维修时，佩戴个人剂量报警仪，加速器运行钥匙由设备维护维修人员掌控，避免其他人员误操作造成误照射；同时维修后开机出束试机前，按照操作规程通过监控系统对直线加速器机房全视角搜寻；用对讲机呼叫，声灯报警警示，确保安全无人在机房后才能试机。

⑤未进行质量控制检测风险防范措施

建设单位按照规范要求做好设备稳定性检测和状态检测以及辐射防护与安全措施定期检查，使设备及各项辐射防护安全措施始终保持在有效状态下工作。

建设单位在认真落实上述措施后，能有效减少和杜绝辐射事故的发生，减少对周围环境和公众的影响。

**（2）加速器事故风险应急处置措施**

由于各种管理不善或人误等造成的误照射，导致人员的照射方式主要是外照射。根据直线加速器运行原理，加速器在开机出束状态下才会产生辐射影响，未出束则不会产生辐射影响。因此，发生误照射事故时应第一时间切断装置电源（就近按下急停按钮），确保装置停止出束，再对人员进行救治。

### 11.6.3 后装机事故影响分析

#### 11.6.3.1 后装机辐射潜在风险事故类型

后装治疗系统一般由专业单位进行检修和保养，医院不自行维（检）修，不拆开后装机。因此，在意外情况下，后装治疗系统可能出现的辐射事故（事件）分析如下：

①放射源丢失、被盗

后装机装源、换源等过程中管理不善，或者建设单位对更换下来的废源管理不善，造成放射源被盗、丢失、遗弃等事故，而引发环境辐射污染。

②放射源脱落、卡源

从事换源工作人员若未做好充分的准备工作，工作人员缺乏经验，情绪紧张，致使放射源脱落，发生放射源事故；因施源管高差太大、工作人员操作不当或出现设备故障等，在治疗过程中、初装源、换源过程中，发生卡源（放射源卡在输源管中无法收回储源容器）。

③治疗过程中误照射

因故障发生门机联锁装置失效，导致人员误入处于运行状态（走真源）的机房内，受到不必要的辐射照射。工作人员或患者家属陪伴进入后装机房后，未全部撤离，在真源治疗前，工作人员未仔细从监视器上搜寻，从而意外地留了下来，后装机真源运行时，滞留人员受到照射。仪器维（检）修后直接使用，未对设备表面进行剂量监测，可能产生放射源屏蔽体有裂缝或者破损等，造成机房内剂量率较高。

④院内运输路径中源容器掉落

根据运输源容器固有安全措施可知，即使在院内运输过程中整个源容器掉落在运输通道上，放射源也不会脱落出来，仅发生一般运输事故，不会造成辐射事故。放射源容器脱落后工作人员处理过程受照剂量与运输过程放射工作人员相似，后文不再提及。

**11.6.3.2 后装机风险事故后果**

根据前述分析，项目后装机运行产生的最大可信辐射事故主要是放射源丢失/被盗、放射源脱落卡源，以及人员误入受到误照射。

（1）放射源丢失/被盗

放射源丢失、被盗后，辐射影响随着接触距离、接触时间等不同，受到的辐射影响也不同。核算以不利情况（裸源）考虑，具体影响见下表所示。

**表 11-38　放射源丢失被盗后人员受照影响估算表**

| 放射源 | 1m 处量率 | 受照时间 | 1m 处受照剂量 | 2m 处受照剂量 |
|---|---|---|---|---|
| $^{192}Ir$ | 41.07mSv/h | 1min | 0.68mSv | 0.17mSv |
| | | 5min | 3.42mSv | 0.86mSv |
| | | 10min | 6.85mSv | 1.71mSv |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 30min | 20.54mSv | 5.13mSv |
| | | 60min | 41.07mSv | 10.27mSv |
| | | 2h | 82.14mSv | 20.54mSv |
| | | 10h | 410.7mSv | 102.7mSv |

由上表可知，发生该事故后，放射源对临近人员产生的影响随时间的增长、距离的减少而持续增加。

（2）放射源脱落、卡源

①放射源脱落

发生放射源脱落事故后，工作人员穿戴好防护用品（本次核算不考虑其削弱影响）后进入治疗室，通过长柄镊子等工具将放射源放入储源罐内，距离放射源约 1m，操作时间为 5min，则该名人员受到附加有效剂量约为 3.42mSv/次。

位于机房外的人员经机房屏蔽体屏蔽后受到的附加剂量很小，本次不再估算。

②放射源卡源

发生卡源事故后，在控制室操作台上和设备上均有强制回源按钮能回源，从发现到处理完毕的时间按1min计。则后装机出真源状态下距离设备5cm处人员（病人）所受剂量为273.8mSv/次。

（3）误照射

在联锁系统出现故障，工作人员或其他人员误入正在出真源过程中的机房从而受到不必要的照射。进入后距离放射源约2m，从发现到处理完毕的时间按15s（10s反应时间+5s回源时间）计，则该人员受到的误照射剂量为0.04mSv/次。

综上所述，发生III类放射源丢失、被盗，属于较大辐射事故，其放射源对临近人员产生的影响随时间的增长、距离的减少而持续增加。发生放射源卡源、放射源脱落、误照射等，可能会发生超过年剂量限值，属于一般辐射事故，其辐射照射一般不会导致严重辐射损伤，但可能会导致随机性效应发生概率增加；发生多次放射源卡源、放射源脱落、误照射时可能会受到较大剂量的照射，达到发生确定性效应剂量阈值，导致较大的辐射损伤。

**11.6.3.3 后装机风险防范措施及应急处置**

**（1）后装机事故风险防范措施**

针对上述风险事故类型，建设单位应采取相应预防措施，降低或者避免辐射事故的

发生。

①放射源丢失、被盗事故防范措施：换源或装源必须由有资格的专业单位的技术人员进行，做好换装源程序和一切准备工作，专业人员严格按照操作规程，多次检查施源管的安装到位，放射源取出后应按照要求对储源罐上锁，对暂存的保险柜上锁；操作工作人员必须佩带辐射监测仪器，穿戴防护衣帽，对后装机房及周围进行清场，打开医院的监控设施，全程监控；严格加强 $^{192}Ir$ 放射源的安全管理，严格按照规定的实施方案进行换装源，确保环境和人员安全，杜绝事故（事件）发生。收源单位未及时回收的废放射源暂存在放疗科储源室内，储源室内设置实时监控，防盗门钥匙由专人保管，定期查看，杜绝事故（事件）发生。

②放射源脱落、卡源事故防范措施：同上，放射源装源/换源由必须由有资格的专业单位的技术人员进行。严格按照操作规程，后装机机头、施源管、施源器的高差等参数在规定范围内；加强对后装机设备的质量检测和安全检测，定期进行设备稳定性检测、校正和维护保养，并由专人负责，防治出现卡源事故。

③治疗过程中误照射事故防范措施：制定自检制度且严格进行经常性自检，经常检查和维修联锁系统、防护门、监视器、工作状态指示灯、急停按钮、剂量监测报警装置、辐射警告标志等防护设施，并且将检查结果记录备案；一旦发现联锁系统出现故障，应立即停止治疗工作，组织技术人员对联锁系统进行检查维修，在确认联锁系统恢复正常后，设备才能重新投入使用。加强后装机表面剂量监测，确保放射源在贮源状态设备表面剂量达标，发现问题及时处理。加强放射工作人员的辐射安全与防护培训，提高意识，严守操作规程，每次开机运行前要确认机房内无其他人员时，才能开始进行治疗。

**（2）后装机事故风险应急处理措施**

①放射源丢失、被盗事故应急处理措施：发现放射源丢失或被盗，保护好现场，立即报告医院辐射环境管理机构，并向区、市生态环境局、公安局报告。

②放射源脱落、卡源事故应急处理措施：在后装机房内放射源脱落，由工作人员穿戴防护用品，采用长柄镊子等工具将放射源放入储源罐内。发生卡源事故时，按下控制室操作台上的强制回源按钮，若还是不行，则关闭防护门，请求专业单位技术人员到场处理。

③治疗过程中误照射事故应急处理措施：后装机真源治疗过程中发现人员误入或滞

留在机房内时，机房内人员或控制室人员及时按下紧急回源装置回源。待相应问题解决后后装机再运行。

### 11.6.4 DSA 及III类射线装置事故影响分析

#### 11.6.4.1 DSA 及III类射线装置辐射潜在风险事故类型

项目涉及到的 X 射线装置有核医学科的 PET/CT、SPECT/CT，放疗科的 CT 模拟定位机，介入中心的 DSA。

根据 X 射线装置的运行特性，可能发生的辐射事故主要如下：

①在设备故障等极端风险情况下，出现 X 射线装置在最大管电压情况下运行造成 DSA 机房外公众成员的误照射。

②DSA 机房内除手术人员外、其他射线装置机房除病人外，其他无关人员（如清洁人员、医疗废物运输人员、病人家属等）在防护门关闭前因未及时撤离而滞留在机房内，防护门未关闭或射线装置工作时门被开启，此时射线装置开机出束，造成射线装置机房内公众成员的误照射。

#### 11.6.4.2 DSA 及III类射线装置风险事故后果

（1）最大管电压运行受照

操作人员不按照相关要求，采用各X射线装置的最大管电压运行，机房外人员受到的照射剂量计算见表11-39。

**表11-39 最大管电压下机房外人员受照剂量估算表**

| 设备名称 | | 最大运行参数 | 屏蔽体外最大周围剂量当量率（μSv/h） | 最大受照时间（min） | 有效剂量（mSv/次） | 总有效剂量（mSv） |
|---|---|---|---|---|---|---|
| DSA | 透视 | 150kV，110mA<br>1m 处剂量率 13.4 | 8.80 | 单台手术：21 | 0.003 | 0.004 |
| | 摄影 | 150kV，500mA<br>1m 处剂量率 13.4 | 39.98 | 单台手术：2 | 0.001 | |
| CT 模拟定位机 | | 140kV，500mA<br>1m 处剂量率 11.8 | 6.55 | 2 | $2.18\times10^{-4}$ | |

备注：1m处剂量率单位为mGy•m$^2$/mA•min，Sv、Gy换算系数取1。PET/CT、SPECT/CT机房扫描时以γ射线为主，X射线影响很小，本小节不再单独核算。

（2）误入、滞留受照

因各种原因导致 X 射线装置在常用最大工况下运行过程中人员滞留机房内或者误

入而发生误照射（散射方向），其受照剂量估算情况见表 11-40。

**表 11-40 误照射人员所受辐射剂量估算表**

| 设备名称 | | 核算工况/参数 | 受照时间（min） | 距离（m） | 有效剂量（mSv/次） |
|---|---|---|---|---|---|
| DSA | 透视 | 90kV，20mA，1m 处剂量率 5.3 | 1 | 1 | 0.14 |
| | 摄影 | 90kV，500mA，1m 处剂量率 5.3 | 10s | 1 | 0.57 |
| CT 模拟定位机 | | 120kV，280mA，1m 处剂量率 9.0 | 1 | 1 | 2.95 |

备注：1m处剂量率单位为mGy•m$^2$/mA•min，Sv、Gy换算系数取1；DSA未考虑铅防护设施（吊帘、防护屏等）的屏蔽。

综上核算，项目DSA及III类射线装置发生的单次误照射可能会造成人员受到超过年剂量限值，属于一般辐射事故，其辐射照射可能导致不明显和不易察觉的病变，一般不会导致严重辐射损伤，但可能会导致随机性效应发生概率增加。

**11.6.4.3 DSA 及III类射线装置风险防范措施及应急处置**

**（1）DSA 及III类射线装置事故风险防范措施**

由于各种管理不善或人因失误等造成的误照射，导致人员的照射方式主要是外照射，医院应采取以下措施防范风险事故的发生。

①项目共 4 台 DSA，开展 4 大类型的介入手术工作。介入中心配置多名手术医护人员，医院应合理安排各手术医护人员的工作量，尽量做到平均分配，降低单名手术医护人员的受照剂量。同时，加强管理，培植手术医护人员的安全文化素养，提高手术医护人员的个人防护意识，在开展介入手术时正确穿戴防护用品和使用铅防护设施（吊帘、防护屏等），并正确佩戴个人剂量计，且个人剂量计要按照规定不低于 3 个月检测一次，发现问题及时处理和纠正，保证个人受照剂量低于管理目标限值。个人防护用品不使用时，采用悬挂或平铺方式妥善存放，防止断裂后减弱防护能力。

②医院应定期做好设备稳定性检测和质控检测，加强设备维护，使设备始终保持在最佳状态下工作，尽可能避免最不利条件运行的风险事故发生。

③撤离 X 射线装置机房时应清点人数，放射工作人员对机房按搜寻程序进行查找，确认没有无关人员停留在机房后才开始操作。加强防护门等的联锁检查，确保门灯联锁、工作状态指示灯等能正常工作，减少误入的几率。机房内的清洁、医疗废物转运等尽量由手术医护人员处理，尽量避免医院后勤人员（如清洁人员、医疗废物运输人员等）进

入机房，杜绝在 X 射线装置运行时进入机房；也可加强医院后勤人员（如清洁人员、医疗废物运输人员等）的教育，做到在确认 X 射线装置在非运行状态下才能进入机房工作。此外，各 X 射线装置上设置有紧急停机按钮，日常加强对放射工作人员的教育，让其熟悉其功能和操作，发生辐射事故后能及时作出反应和正确的操作，减少事故受照剂量。

医院在认真落实上述措施后，能有效减少和杜绝辐射事故的发生，减少对周围环境和公众的影响。

**（2）DSA 及III类射线装置事故风险应急处置措施**

由于各种管理不善或人误等造成的误照射，导致人员的照射方式主要是外照射。根据DSA及III类射线装置的运行原理及特性，DSA及III类射线装置在开机出束状态下才会产生辐射影响，未出束则不会产生辐射影响。因此，发生误照射事故时应第一时间切断装置电源（就近按下急停按钮），确保装置停止出束，再对人员进行救治。

## 11.7　环保投资估算

本项目环保投资估算共约 1570 万，占总投资 8.3%，具体情况见表 11-41。

**表 11-41　项目环保投资一览表**

| 序号 | 项目 | 环境保护（辐射防护）措施 | 投资（万元） |
|---|---|---|---|
| 1 | 辐射安全管理 | 管理制度建立、修订等，制度上墙，各处标识标牌、警示标志等 | 10 |
| 2 | 人员 | 辐射安全与防护培训与考核 | 10 |
| 3 | 监测仪器和防护用品 | 固定式剂量报警仪、个人剂量报警仪、智能化 X-γ辐射仪、剂量扫描仪、水箱、表面污染检查仪、个人剂量计、活度计等 | 300 |
| 4 | 防护设施和防护用品 | 工作服、口罩、手套等 | |
| | | 表 1-3 各工作场所辐射防护设施、防护用品 | |
| 5 | 废气治理措施 | 废气收集管网、处置 | 150 |
| 6 | 废水治理措施 | 放射性废水收集管网、废水衰变设施 | 250 |
| 7 | 固体废物治理设施 | 衰变室、污水泵房、污洗间等防渗、衰变室废物分类衰变场所设计和建设 | 40 |
| 8 | 噪声治理设施 | 风机减振基座、消声设施、专用设备房等 | 30 |
| 9 | 辐射防护设施工程 | 各防护门、铅板、铅窗、管网铅包裹等 | 750 |
| | | 核医学科控制区、各机房墙体屏蔽 | 计入工程投资 |
| 10 | 环境影响评价、竣工验收、辐射安全许可证办理等 | | 30 |
| 合计 | | | 1570 |

## 表 12　辐射安全管理

### 12.1 辐射安全与环境保护管理机构设置

按照《电离辐射防护与辐射安全基本标准》关于“营运管理”的要求，为确保辐射防护可靠性，维护辐射工作人员和周围公众的权益，履行放射防护职责，尽可能的避免事故的发生，医院应培植和保持良好的安全文化素养，减少因人为因素导致人员意外照射事故的发生。

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条要求：使用放射性同位素、射线装置的单位使用I类、II类、III类放射源，使用I类、II类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。

医院成立了辐射安全与环境保护管理领导小组，办公室设置在预防保健科。医院根据人员情况于 2019 年 6 月进行了调整（重医永川医院预〔2019〕17 号），调整后以医院院长和党委书记为组长，以各科室科长/副科长、主任/副主任为成员，并设置 2 名专职管理人员，学历为本科及以上。医院现有的辐射安全与环境保护管理机构设置符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求。

本项目开展后，目前医院的管理机构和管理人员也能满足相关要求，因此，本项目的辐射环境管理可直接纳入现有管理机构管理。

### 12.2 放射工作人员及培训

本项目劳动定员 80 人，主要包括医师（放疗、核医学科等）、技师、护士、物理师等，均为放射工作人员。项目工作人员从医院劳动定员中调配和培养。目前具体人员尚未确定。

根据调查，医院现有放射工作人员 133 人，其中核医学科 14 人，放疗科 24 人，介入中心 47 人，放射科及其他 48 人。放射工作人员中有 2 名新进放射工作人员尚未参加辐射安全与防护考核，其余均参加了辐射安全与防护培训，并考核合格，做到持证上岗。持证人员中有 4 名放射工作人员已超过复训时间。根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条规定：使用放射性同位素、射线装置的单位从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（公告 2019 年第 57 号），辐射安全与防护培训需求的人员可通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护

**续表 12　辐射安全管理**

培训平台（以下简称培训平台，网址：http：//fushe.mee.gov.cn）免费学习相关知识，并参加考核，取得辐射安全培训合格证书，持证上岗。已持证上岗的，在辐射安全培训合格证有效期到期前，需进行再次考核。

因此，医院应及时清理在岗放射工作人员，核查其培训情况及持证到期情况，督促其做到持在有效期内的辐射安全与防护培训合格证上岗。新招聘的放射工作人员也按照上述要求管理。

**12.3 辐射安全管理制度、档案等**

**12.3.1 规章制度**

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条规定：使用放射性同位素、射线装置的单位申请领取许可证，应当建立有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护、安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、台账管理制度、监测方案。

目前医院已制定了一系列管理制度，主要有《辐射安全与环境保护管理领导小组职责》、《放射防护管理制度》、《核医学科管理制度》、《放疗科管理制度》、《介入室管理制度》、《DSA 操作规程》、《辐射工作人员培训制度》、《监测计划》、《放射设备台账管理制度》、《医疗设备巡检、保养、维修制度》、《核事故和辐射事故应急预案》。

上述各种制度考虑到了核技术利用项目的操作使用和安全防护，制度基本健全，具有一定的可操作性。医院在此之前按照各项管理制度执行，到目前为止未曾发生过放射事故。

本项目的核技术利用项目未超出医院现有的核技术利用项目类型和范围，因此，现有管理制度能满足本项目辐射环境管理的需求。因上述制度制定之后，部分国家规章制度和条例规范、标准等有更新，因此，医院应及时根据最新的法律法规、标准等对现有制度进行更新，并根据不同院区场址的核技术利用项目日常管理情况，对现有制度进行不断的完善和修订。同时，建设单位也还需要根据本项目的具体情况补充相应制度，如 PET/CT 操作规程、SPECT/CT 操作规程、介入中心 DSA 使用制度、放射性废物收集储存处理制度、放射性废水管理系统操作要求等。

建设单位主要制度需要更新完善的内容主要有：

①《核医学科管理制度》中：A 应明确本新区分院的查房方式正常情况为视频查房，有特殊需求时才能现场查房，并应明确现场查房的防护要求；B 明确项目所有核素均为根据病人诊疗需求来提前预定，不得多定药储存在核医学科内；C 新区分院核医学科的口服病人和注射病人错时诊疗，不同核素的病人也错时诊疗，因此应将此纳入管理制度中，要求提前制定周密的时间安排方案，并报科主任同意；D 根据本项目核医学科放射性废水收集范围等，在制度中明确不同核素病人的在相应的等候室等候，不得随意更换；E 特殊情况下未用完的放射性药物，短半衰期的在手套箱内暂存衰变后转移至衰变室衰变，长半衰期的交第二天交生产厂家收回处置；F 根据新标准 HJ1188-2021、GBZ120-2020，修改核医学科放射性固废的暂存时间要求和排放标准限值要求；根据本项目的放射性废水衰变处理设施设置情况，完善放射性废水控制程序的使用、管理、监测等要求；G 明确核医学科哪些房间设置防盗门，钥匙由专人保管；H 完善核医学科应急预案中的核素、电话等内容。

②《放疗科管理制度》中，补充对直线加速器控制钥匙的管理要求；补充对后装放射源的装源、换源、废源管理等相关制度内容。

③《监测计划》中，更新里面的标准号，更新新标准对应的内容，如新标准中的防护手套箱及其排风速率不小于 0.5m/s，将部分核医学放射性药物操作的一般防护要求纳入核医学科管理制度中等。

④《医疗设备巡检、保养、维修制度》中，应明确直线加速器维修产生的冷却水处置方式，以及靶结构等由维修厂家直接收回处置，不在医院内暂存。

⑤《核事故和辐射事故应急预案》中，更新环境保护举报热线电话，补充医院的主要的辐射事故和应急处理措施，配置相应的应急设施和用品等。

**12.3.2 个人剂量管理**

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第二十三条规定：生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当安排专人负责个人剂量监测管理，建立辐射工作人员个人剂量档案。个人剂量档案应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。个人剂量档案应当保存至辐射工作人员年满 75 周岁，或者停止辐射工作 30 年。另外，放射工作人员上岗期间，必须正确佩戴个人剂量计，

并对个人剂量计严格管理，不允许将个人剂量片相互传借，不允许将个人剂量片带出项目建设单位。

建设单位现有放射工作人员均配置了个人剂量计，每 3 个月进行一次个人剂量监测，医院 2020 年个人剂量监测结果均小于年剂量管理目标值 5mSv/a，未出现超年剂量的情况。本项目的放射工作人员尚未确定，在本项目运行前，医院也按照现有管理制度要求为每名放射工作人员配置个人剂量计，并按照要求进行剂量监测，建立个人剂量档案。

**12.3.3 职业健康体检**

放射工作人员上岗前，应进行岗前职业健康检查，符合辐射工作人员健康标准的方可参加相应的辐射工作。

从事辐射工作期间，放射工作人员应定期进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不应超过 2 年，必要时可增加临时性检查。对不适宜继续从事辐射工作的，应脱离辐射工作岗位，并进行离岗前的职业健康检查。项目单位应建立和保存放射工作人员的健康档案。

根据调查，医院现有放射工作人员均按照要求在每两年进行一次职业健康体检，目前在岗放射工作人员均无体检异常，无疑似职业病人员。待本项目放射工作人员落实到位后，也按照要求进行岗前职业健康体检，并按照相关要求进行复检，并建立相应档案。

**12.3.4 年度评估**

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第十二条规定：生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

医院已按照上述要求每年均按要求提交了上一年度的年度评估报告，医院今后仍应继续落实年度评估制度，于每年 1 月 31 日前均向原发证机关提交年度评估报告。年度评估报告应包括核素使用记录、医用 X 射线装置台账、辐射安全和防护设施的运行与维护、辐射安全和防护制度及措施的建立和落实、事故和应急以及档案管理等方面的内容。

同时，该年度评估的要求应纳入医院的辐射环境管理制度中。

**12.3.5 档案管理**

辐射安全与防护管理档案资料分以下九大类：“制度文件”、“环评资料”、“许可证资料”、“射线装置台账”、“监测和检查记录”、“个人剂量档案”、“培训档案”、“年度评估”、

“辐射应急资料”。

本项目运营前，医院应认真落实相关制度和规定，新增放射工作人员进行职业健康体检、配置个人剂量计、参加辐射安全与防护培训并取得合格证，将健康体检报告、个人剂量监测报告、辐射安全培训合格证等建立档案保存。档案信息和保存等按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》规定执行。

医院应根据自身辐射项目开展的实际情况将档案资料整理后分类管理。

## 12.4 核安全文化建设

核安全文化是从事核安全相关活动的全体工作人员的责任心，对于核技术利用项目核安全文化的建设要求建设单位树立并弘扬核安全文化。核安全文化表现在从事单位核技术利用工作的相关领导与员工及最高管理者具备核安全文化素养及基本的放射防护与安全知识。

医院已建立了辐射环境安全管理体系，明确了医院各层次人员的职责、不断识别医院内部核安全文化的薄弱处并加以纠正，落实两个“零容忍”，即对隐瞒虚报“零容忍”，对违规操作“零容忍”，将核安全文化的建设贯彻在核技术利用项目的各个环节，确保项目的辐射安全。

具体操作参考如下：

①医院组织核安全文化培训，制定出符合自身发展规划的核安全文化；

②医院建立有关的部门管理，通过专项的管理能够让核安全文化一步步落实到员工的工作过程中，并让核安全文化建设更加有效。

## 12.5 辐射活动能力评价

根据根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（第十六条）、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（第七条）的相关规定，医院从事本项目辐射活动的能力评价如表 12-1。

**表 12-1　医院从事本项目辐射活动能力评价表**

| 应具备条件 | 落实情况 |
| --- | --- |
| （一）使用I类、II类、III类放射源，使用I类、II类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境 | 已成立辐射安全与环境保护管理领导小组，负责医院的辐射安全与环境保护管理工作，并设置 2 名专职管理人员，学历为本科及以上。 |

**续表 12　辐射安全管理**

| | |
|---|---|
| 保护管理工作；其他辐射工作单位应当有 1 名具有大专以上学历的技术人员专职或者兼职负责辐射安全与环境保护管理工作。 | |
| （二）从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。 | 本项目放射工作人员尚未到位，项目工作人员从医院劳动定员中调配和培养。医院已制定培训计划，医院后期会按照制度落实持证上岗。 |
| （三）使用放射性同位素的单位应当有满足辐射防护和实体保卫要求的放射源暂存库或设备。 | 项目拟设置储源室、保险柜、铅罐存储放射性药物，后装机治疗室、储源室、衰变室等拟设置监控系统、防护门（具有防盗功能）等。 |
| （四）放射性同位素与射线装置使用场所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。 | 项目各工作场所拟设置警示标志、剂量监控、各种多重联锁、就诊指示标志、分区标识等措施，配置防护用品、个人剂量计、剂量报警仪等设施。 |
| （五）配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。使用非密封放射性物质的单位还应当有表面污染监测仪。 | 项目拟配备表面污染监测仪、智能化 X-γ 辐射仪、固定式剂量警报仪、个人剂量计、个人剂量报警仪等，同时拟配置铅橡胶衣服、铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、铅橡胶帽子、铅悬挂防护屏/铅防护吊帘、床侧防护帘/床侧防护屏等防护设施和防护用品。 |
| （六）有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。 | 医院现有辐射环境管理制度交齐全，但还应补充部分新设备的操作规程，并根据现有运行经验和更新的法律法规、标准等完善现有管理制度，相应制度张贴上墙。 |
| （七）有完善的辐射事故应急措施。 | 已制定辐射事故应急措施，还需要进一步完善。 |
| （八）产生放射性废气、废液、固体废物的，还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案。 | 项目运行将产生放射性“三废”，医院拟采取相应的处理措施（具体见表 10），保证放射性废物达标排放，对环境的影响可接受。 |
| 第七条 放射性同位素和被放射性污染的物品应当单独存放，不得与易燃、易爆、腐蚀性物品等一起存放，并指定专人负责保管。<br>贮存、领取、使用、归还放射性同位素时，应当进行登记、检查，做到账物相符。对放射性同位素贮存场所应当采取防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、放射线泄漏的安全措施。<br>对放射源还应当根据其潜在危害的大小，建立相应的多重防护和安全措施，并对可移动的放射源定期进行盘存，确保其处于指定位置，具有可靠的安全保障。 | 核医学科拟设衰变室，用于专门储存放射性固废，室内无其它易燃、易爆、腐蚀性物品，并指定专人负责保管。<br>医院已制定有核医学科放射性药物订购领取保管和使用制度、核医学交接班管理制度等。项目拟设置储源室、保险柜存储放射性药物，设置监控系统、防护门（具有防盗功能）、四周墙体设计为辐射防护屏蔽体，具有防火、防水等功能。<br>后装机机房拟设置门机联锁等多重联锁装置，设置剂量监控、视频监控、对讲等设施。本项目在医院最多同时存在 2 枚源（1 枚使用源、1 枚废源），拟定期检查，确保其在指定位置。 |

本项目尚未建设，但医院已开展有其他核技术利用项目。根据上表可知，医院已建

立有相应的管理体系，因此，本项目的辐射环境管理工作依托现有的管理体系，对于从事本项目的辐射活动有一定的能力。但医院还应针对本项目补充部分管理制度，如《PET/CT 操作规程》等。另外，医院还应根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的相关规定完善已经制定的《辐射工作人员培训》、《放射事件应急预案》等制度。医院在认真落实上述要求后，方具备从事本项目辐射活动的能力，本项目方可投入正式运行。

## 12.6 辐射环境监测

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中的相关要求，建设单位应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托有资质的环境监测机构进行监测，并将监测记录资料统计结果及时上报主管部门，以便主管部门及时了解项目安全运行情况。

建设单位可配备相应的监测仪器，或委托有资质的单位定期对辐射工作场所及周围环境进行监测，按规定要求开展各项目监测，做好监测记录，存档备查。

根据调查，医院委托有资质单位每年对现有辐射工作场所进行监测，监测结果均满足相关标准的要求，现有辐射项目运行对周围环境和人员的影响满足要求。

本项目辐射监测内容包括：

**（1）个人剂量监测**

对放射工作人员进行个人照射累积剂量监测。要求放射工作人员在工作时必须佩戴个人剂量计，专人专戴，并将个人剂量结果存入档案。

监测单位：具有个人剂量监测资质的单位；

监测频率：3 个月测读一次个人剂量计；

监测结果处理：年剂量超过 5mSv，报告发证机关，开展调查，根据调查结果改正或者调岗等。

**（2）工作场所及周围环境监测**

为保证项目辐射工作场所的安全，项目建成后的监测包括验收监测、例行监测和日常监测。

①验收监测：验收时监测一次，委托有资质单位监测。监测结果交生态环境主管部

门存档。

②例行监测：每一年监测一次，委托有资质单位监测。监测结果纳入年度评估报告提交生态环境主管部门。

③日常监测：按照监测计划开展日常监测，日常监测由建设单位自行监测。设备换源、大修后应委托有资质单位进行监测。做好监测记录，存档备查，发现问题及时整改。

监测因子及执行标准限值如下表所示。

**表 12-2　项目监测及检查内容一览表**

| 监测地点 | | 监测项目 | 日常监测频率 | 限值要求 |
|---|---|---|---|---|
| 核医学科 | 环境场所周围环境 | 周围剂量当量率 | 一年 1 次 | / |
| | 工作场所控制区边界人员可达处、控制区内部屏蔽体外 30cm 处 | | 4 周一次 | ≤2.5μSv/h |
| | 距离手套箱表面 5cm | | 4 周一次 | ≤25μSv/h |
| | 距离通风橱、放射废物桶表面 30cm | | 4 周一次 | ≤2.5μSv/h |
| | 放射性废物包装袋表面 | | 每次工作结束后 | ≤0.1mSv/h |
| | 放射性废物包装袋表面 | | 每次处理前（出现放射性药物洒落应及时监测） | 本底水平 |
| | 放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面、等候室等 | β表面污染 | 每次工作结束后（出现放射性药物洒落应及时监测） | 工作台、设备、墙壁、地面：控制区：α（极毒性）≤4Bq/cm$^2$，β≤4×10Bq/cm$^2$；监督区：α（极毒性）≤4×10$^{-1}$Bq/cm$^2$，β≤4Bq/cm$^2$ |
| | 人体手、皮肤、衣服、工作鞋、工作袜等 | | 每次从控制区的高活区经卫生通过间离开 | 工作服、手套、工作鞋：控制区/监督区：α（极毒性）≤4×10$^{-1}$Bq/cm$^2$，β≤0.4Bq/cm$^2$；手、皮肤、内衣、工作袜：α（极毒性）≤4×10$^{-2}$Bq/cm$^2$，β≤4×10$^{-1}$Bq/cm$^2$。 |
| | 废物包装外表面 | | 每次解控处理前 | β<0.4Bq/cm$^2$ |
| 放疗中心 | CT 模拟定位机机房屏蔽体外 | 周围剂量当量率 | 每年一次（涉及换源、设备大修等应进行监测） | ≤2.5μSv/h（其中后装机机房顶棚上表面 30cm 处控制目标值为 0.75μSv/h） |
| | 直线加速器机房屏蔽体外 | | | |
| | 后装机机房屏蔽体外 | | | |
| | 直线加速器机房内感生放射性 | | 医院管理制度要求 | 在离外壳表面 5cm 任何容易接近处不超过 200 μSv/h，离外壳表面 lm 处不超过 20μSv/h。 |

**续表 12　辐射安全管理**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 后装机施源器、治疗床 | β表面污染 | 每年一次（涉及换源、辐射事故等应进行监测） | ＜4Bq/cm$^2$ |
| 介入中心 | DSA 机房屏蔽体外 | 周围剂量当量率 | 每年一次（涉及设备大修等应进行监测） | ≤2.5μSv/h |
| 备注：上述监测中，在屏蔽体外的监测，监测点位主要布置在四周屏蔽体 0.3m 处、防护门外 0.3m 处、门缝搭接、穿墙管线等屏蔽相对薄弱处，以及屏蔽体楼上距地面 0.3m（DSA 的为 1.0m），楼下距地面 1.7m 处等。核医学科监测点可参考表 11-3 的关注点；加速器、后装机、CT 模拟定位机机房的监测布点可以参考前文机房屏蔽效能核算点。 | | | | |

## 12.7 辐射事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》及重庆市环境保护局关于印发《重庆市放射性同位素与射线装置辐射安全许可管理规定》的通知》（渝环〔2017〕242 号）要求，辐射工作单位应建立完善的辐射事故应急方案或具有针对性与操作性的应急措施。

### 12.7.1 事故分级

根据《放射性同位素与射线装置安全与防护条例》第四十条：根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级。

本项目涉及到核医学科非密封源工作场所及III类射线装置，放疗科直线加速器、后装机、CT 模拟定位机，以及介入中心的 DSA。根据本报告表 11 分析，发生III类放射源丢失、被盗，属于较大辐射事故，单次发生放射源卡源、脱落、放射性药物撒泼、针剂破碎、II类射线装置误照射等属于一般辐射事故，若发生多次辐射事故，相关人员可能会受到较大剂量的照射，达到发生确定性效应剂量阈值，导致较大的辐射损伤。

### 12.7.2 事故应急方案与措施

医院目前已经制定了辐射事故应预案，预案内容包括了需要考虑制定的应急机构组织、应急准备与响应程序、应急能力的培训、演练和应急响应能力的保持等。主要内容如下：

（1）事故报告程序和电话

根据《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》在事故发生后 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向重庆市生态环境局、永川区生态

环境局等部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

报告联系电话如下：

医院总值班电话：85381600　　院内短号 8600

医院辐射安全与环境保护管理领导小组（预防保健科）：85381157、85364785、15*******67（手机值班电话）

重庆市辐射环境监督管理站值班电话：15998951300

政务服务便民热线：12345

重庆市卫健委电话：023-67706707

永川区生态环境局：023-49584710

永川区卫健委电话：023-49822982

（2）辐射事故应急措施

①发生放射源/放射性物质丢失、被盗事故时，密切配合公安部门、生态环境主管部门迅速查找、侦查，尽快追回丢失的放射源/放射性物质。

②发生工作场所、地面、设备放射性污染事故时，应配合生态环境部门、卫生行政部门等确定污染的范围、水平，尽快采取相应的去污措施。

③放射事故中人员受照时，要通过个人剂量计或其它工具、方法迅速估算受照人员的受照剂量。造成或可能造成人员超剂量照射的，应及时将人员送往指定医院救治。

④负责迅速组织控制区内人员的撤离工作，并及时控制事故影响，防止事故的扩大蔓延，防止演变成公共卫生事件。

（3）放射性事故应急处理程序

①事故发生后，当事人应立即通知同工作场所的工作人员离开，并及时上报；

②辐射安全与环境保护管理领导小组（医院应急指挥机构）召集相关专业人员，根据具体情况迅速制定事故处理方案；

③事故处理必须在单位负责人的领导下，在有经验的工作人员和卫生防护人员的参与下进行。未取得防护检测人员的允许不得进入事故区。

（4）其他事项

除上述工作外，防护检测人员还应进行以下几项工作：

①应尽可能记录现场有关情况，对工作人员和公众成员可能受到的事故照射剂量，可针对事故实际情况进行评估，并对工作人员和公众成员进行健康检查和跟踪，按照国家有关放射卫生防护标准和规范以及相关程序，评估事故对工作人员健康的影响。

②事故处理后必须组织有关人员进行讨论，分析事故发生的原因，从中吸取经验和教训，必须采取措施防止类似事故再次发生。

③加强医院各辐射工作场所的检查和管理，认真做好事故预防措施，杜绝其他辐射工作场所辐射事故的发生。

④医院后续还应进行辐射事故应急演练，并做好记录，加强相关人员的辐射应急处置能力，减少辐射事故扩大影响的几率。

## 12.8 竣工验收

根据《建设项目环境保护管理条例》，工程建设执行污染治理设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用的“三同时”制度。建设项目正式投产运行前，建设单位应当如实查验、监测项目环境保护设施运行情况，编制验收（调查）报告，完成自主竣工环保验收工作。同时，项目建成后，应及时更换《辐射安全许可证》，在许可范围内从事核技术利用项目。

本工程竣工环境保护验收一览表见表 12-3。

**表 12-3　项目环保设施竣工验收内容及管理要求一览表**

| 序号 | 验收内容 | 验收要求 | | | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 环保资料 | 建设项目的环境影响评价文件、环评批复、有资质单位出具的验收监测报告等 | | | 齐全 |
| 2 | 核技术利用工作场所及设备 | 核医学科：乙级非密封放射性工作场所，并配置 PET/CT 机、SPECT/CT 机各 1 台。<br>放疗科：1 台 CT 模拟定位机、2 台 15MV 医用电子直线加速器、1 台后装机。<br>介入中心：4 台 DSA。 | | | 不超过该范围 |
| 3 | 机房面积及尺寸要求 | 机房名称 | 最小单边长度 | 最小面积 | GBZ130-2020 |
| | | PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、CT 模拟定位机 | ≥4.5m | ≥30m$^2$ | |
| | | DSA 机房 | ≥3.5m | ≥20m$^2$ | |
| | | 直线加速器机房、后装机房 | 有足够的使用面积 | | GBZ121-2020 |
| 4 | 年有效剂量管理 | 放射工作人员年有效剂量管理目标值 5 mSv/a<br>公众成员年有效剂量管理目标值 0.1 mSv/a | | | GB18871-2002<br>HJ1188-2021<br>HJ1198-2021<br>及医院管理要求 |
| 5 | 剂量率控制 | 核医学科 | ①控制区外人员可达处、控制区内用房屏蔽体外表面 30cm 处周围剂量当量率控制目标值应小于 2.5μSv/h。<br>②防护手套箱：距离屏蔽体外表面5cm处周围剂量当量率 | | HJ1188-2021<br>GBZ120-2020<br>GBZ130-2020 |

## 续表 12　辐射安全管理

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | 控制目标值应不大于25μSv/h。<br>③防护手套箱、注射窗、自动分装仪、放射废物桶、暴露于地面的管道表面30cm处周围剂量当量率控制目标值小于2.5μSv/h。 | |
| | | 放疗中心 | 距离机房墙体、门、窗表面 30cm，机房顶棚上方距楼上地面 100cm，机房地板下方距楼下地面 170cm 处的周围剂量当量率≤2.5μSv/h。 | GBZ130-2020 |
| | | | 距离直线加速器、后装机机房的屏蔽体外表面 30cm 处周围剂量当量率控制目标值不大于 2.5μSv/h（其中后装机机房顶棚上表面 30cm 处控制目标值为 0.75μSv/h）。 | 多标准要求，环评核算后综合取值 |
| | | | 直线加速器：在≤3min 的时间内，测得感生放射性的周围剂量当量率在离外壳表面 5 cm 任何容易接近处≤200μSv/h，离外壳表面 lm 处≤20μSv/h。 | WS674-2020 |
| | | | 后装机：贮源器表面泄露辐射所致周围剂量当量率 5cm 处不大于 50μSv/h，100cm 处不大于 5μSv/h。 | WS262-2017<br>GBZ114-2006 |
| | | 介入中心 | 透视条件下，距离机房墙体、门、窗表面 30cm，机房顶棚上方距楼上地面 100cm，机房地板下方距楼下地面 170cm 处的周围剂量当量率≤2.5μSv/h。 | GBZ130-2020 |
| 6 | 表面污染 | 核医学科：①工作台、设备、墙壁、地面：控制区：α（极毒性）≤4Bq/cm$^2$，β≤4×10Bq/cm$^2$；监督区：α（极毒性）≤4×10$^{-1}$Bq/cm$^2$，β≤4Bq/cm$^2$； | | GB18871-2002 |
| | | ②工作服、手套、工作鞋：控制区/监督区：α（极毒性）≤4×10$^{-1}$Bq/cm$^2$，β≤0.4Bq/cm$^2$； | | GBZ120-2020 |
| | | ③手、皮肤、内衣、工作袜：α（极毒性）≤4×10$^{-2}$Bq/cm$^2$，β≤4×10$^{-1}$Bq/cm$^2$。 | | |
| | | 后装机：施源器、治疗床等表面因放射性物质所造成的β污染水平应低于 4Bq/cm$^2$。 | | GBZ114-2006 |
| 9 | 辐射防护与安全措施 | 核医学科 | ①核医学科工作场所设置电离辐射警告标志，划分控制区和监督区，设置相应的分区标识；在地面/墙面设置病人、医生在场所内的行走箭头标识，规定各类人员的活动路径。<br>②核医学室内表面及装备结构要求满足 GBZ120-2020，控制区屏蔽体的防护能力满足要求。<br>③设置卫生通过间（含淋浴），工作人员离开时进行表面污染监测，储源室（两个）门、衰变室门设防盗装置。工作场所设置对讲装置、视频监控、门禁装置等。配置手套箱、铅罐、碘自动分装仪等防护设施。设置用药后病人专用卫生间，设置单独的污洗间，分区配置清洁设施、分区清洁；控制区内上水设置洗消设备（含洗消液），各出口设置感应式开关/出口。<br>④病房区视频查房，独立区域管控，听指令取餐。<br>⑤机房的各门上方设置工作状态指示灯，并进行门灯联锁，设置电离辐射警告标志，平开门设置自动闭门装置，推拉门设置防夹装置。<br>⑥加强管理，建立完善的就医流程、放射性药物、放射性废物管理台账。<br>⑦设置 2 套放射性废水衰变处理设施，分类收集处置放射性废水，并设置电离辐射警告标志。设置 9 套废气收集管网收集并设置活性炭吸附装置处理工作场所废气。设置废物间、衰变室、放射废物桶等收集、贮存放射性废物。<br>⑧配备个人防护用品及辅助防护设施，每个放射工作人员佩戴个人剂量计，工作场所配置表面污染监测仪、个人剂量报警仪等，具体见表 1-3。 | 齐全，满足相关要求 |
| | | 放疗科 CT模拟定位机 | ①CT 模拟定位机机房的屏蔽能力能满足要求，机房外周围剂量当量率均不大于 2.5μSv/h；<br>②机房内设置有机械排风设施，保持良好的通风，防护门外设有电离辐射标志，并安设醒目的工作指示灯，设置门灯联锁；平开门设置自动闭门装置，推拉门设置防夹装置。 | |

## 续表 12　辐射安全管理

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | ③设备斜向安装。 | |
| 9 | 辐射防护与安全措施 | 放疗科 | 直线加速器 | ①直线加速器机房的屏蔽能力能满足要求，机房内各类穿墙管线应不削弱屏蔽防护能力，注意门墙的搭接，机房外周围剂量当量率均不大于 2.5μSv/h；<br>②机房内设置急停开关、固定式辐射剂量监测报警仪、紧急开门按钮、视频监控系统与对讲系统，防护门处设置红外防挤压装置；<br>③医用电子直线加速器自带多重联锁装置，如系统联锁、双剂量联锁，并设置故障保护系统等，并设置门机联锁；<br>④防护门外设置电离辐射警告标志、醒目的工作状态指示灯。 | 齐全，满足相关要求 |
| | | | 后装机 | ①后装机机房的屏蔽能力能满足要求，机房内各类穿墙管线应不削弱屏蔽防护能力，注意门墙的搭接，机房顶棚外周围剂量当量率不大于 0.75μSv/h，其余屏蔽体外周围剂量当量率均不大于 2.5μSv/h；<br>②机房内设置急停开关、固定式辐射剂量监测报警仪、紧急开门按钮、视频监控系统与对讲系统，防护门处设置红外防挤压装置；<br>③后装机自带多重安全联锁装置，如施源器联锁等，并设置门机联锁装置；<br>④机房防护门外张贴电离辐射警示标志，安装工作状态指示灯。<br>⑤放疗科储源室设监控系统，设防盗门，双人双锁。 | |
| | | 介入中心 | | ①机房的屏蔽能力能满足要求，机房内各类穿墙管线应不削弱屏蔽防护能力，机房外周围剂量当量率均不大于 2.5μSv/h；<br>②DSA 机房各防护门外均设置电离辐射警告标志，安装工作状态指示灯，并设置门灯联锁。<br>③机房内设置有机械排风设施，保持良好的通风，防护门外设有电离辐射标志，并安设醒目的工作指示灯，设置门灯联锁；平开门设置自动闭门装置，推拉门设置防夹装置。 | |
| 10 | 废物排放 | 废气 | | 核医学科控制区设置 9 套废气管网收集工作场所的废气，各处废气收集后引至门诊病房综合楼塔楼顶经活性炭吸附后高于楼顶 3m 排放。各套废气收集管设置防倒灌装置并保持负压，其中手套箱废气收集口和排放口均设置活性炭吸附装置，手套箱废气收集口风速不低于 0.5m/s。衰变处理设施废气引至门诊病房综合楼塔楼顶排放。<br>放疗科直线加速器机房单独设置一套废气收集管网，通过排风井引至加速器机房上方地面东侧的绿化带排放。直线加速器机房的通风换气次数应不小于 4 次/h。 | HJ1188-2021<br>HJ1198-2021<br>GBZ120-2020<br>GBZ121-2020<br>GBZ130-2020<br>按要求建设，满足相关要求。 |
| | | | | 放疗科后装机机房、CT 模拟定位机机房设置 1 套废气收集管网，通过排风井引至加速器机房上方地面东侧的绿化带排放。后装机机房的通风换气次数应不小于 4 次/h。<br>PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、CT 模拟定位机、DSA 机房内设置动力通风装置，并保持良好的通风。 | |
| | | 废水 | | 核医学科设置 2 套地埋式放射性废水衰变处理设施，分类收集处置放射性废水，最后进入医院污水处理站进一步处理。1#为槽式处理，2#为推流式处理。单套衰变处理设施包含前处理池、集水池、衰变池（4 个）、排水控制单元。含碘-131 的放射性废水收集到 1#衰变处理设施内，单个衰变池有效体积为 47.8$m^3$，4 槽共 191.2$m^3$；其余放射性废水收集到 2#衰变处理设施内，单个衰变池有效体积为 6.4$m^3$，4 个衰变池共 25.6$m^3$。放射性废水收集管网暴露于地面的设置铅皮包裹。<br>放疗科加速器检修时的感生放射性冷却水桶装衰变约 30min 后排入医院废水处理站。<br>排放要求为：①槽式衰变处理设施：所含核素半衰期大于 | |

## 续表 12　辐射安全管理

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | 24 小时的暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），排放口总α≤1Bq/L，总β≤10Bq/L，碘-131 的放射活度浓度≤10Bq/L。每月排放的总活度不超过 10ALImin；每一次排放的活度不超过 1ALImin。②推流式衰变处理设施排放口：总α≤1Bq/L，总β≤10Bq/L。 | |
| | | | 非放射性废水直接经门诊病房综合楼污水管网进入医院污水处理站处理。 | |
| | | 固废 | 核医学科设置废物间、衰变室处理放射性废物，放射性废物按照核素等类别分类收集贮存衰变。收集的每袋放射性废物的表面辐射剂量率≤0.1mSv/h，质量不超过 20kg。衰变时间要求为：所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天，所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍；含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。放射性固废暂存时间满足要求后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α表面污染小于 0.08Bq/cm$^2$、β表面污染小于 0.4Bq/cm$^2$ 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物交有资质单位处置。住院被服在被服衰减室衰减至少一个半衰期再进行清洗。<br>放疗科 $^{192}$Ir 废源由生产厂家回收，未及时回收的暂存在放疗科储源室内。直线加速器更换下来的活化部件如废靶、电离室等直接由部件更换单位运走处置。 | |
| | | | 一般医疗废物依托医院医疗废物暂存间暂存，交有资质的单位处理；生活垃圾依托医院收运系统，交环卫部门处理；废铅防护用品由医院收集后妥善保存。 | |
| 11 | 人员要求 | 拟配备核医学医师、放疗医师、介入手术医师、技师、物理师、护士等，参加辐射安全与防护培训并考核合格，按要求复训。 | | 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等 |
| 12 | 辐射安全管理 | 有辐射环境管理机构；有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、年度评估制度、辐射事故应急预案等。相应制度张贴上墙。 | | 档案管理规范 |
| 13 | 防护用品 | 每名放射工作人员均配置 1 枚个人剂量计（其中核医学技师、DSA 手术医务人员铅衣内外各配置 1 枚），根据工作场所配置适宜数量的个人剂量报警仪，具体见报告表 1-3 对应内容。 | | GBZ130-2020<br>GBZ128-2019<br>HJ1188-2021 |
| | | 配备与诊断、治疗、手术相适宜的辅助防护设施及个人防护用品，包括铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套、铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾；铅悬挂防护屏/铅防护吊帘、床侧防护帘/床侧防护屏等，具体见报告表 1-3 对应内容。 | | |

## 表 13　结论及建议

### 13.1 项目概况

重庆医科大学附属永川医院拟在新区分院的门诊病房综合楼-2F 和 1F 实施“重庆医科大学附属永川医院新区分院建设工程（辐射部分）”。项目建设内容包括核医学科、放疗科、介入中心。

核医学科位于门诊病房综合楼-2F 西北角，总建筑面积约 2620m$^2$，主要配置 PET/CT 机、SPECT/CT 机（不含校准源，均为III类射线装置），并外购 $^{18}$F、$^{131}$I、$^{68}$Ga、$^{99m}$Tc、$^{177}$Lu、$^{32}$P、$^{89}$Sr、$^{153}$Sm、$^{223}$Ra 共 9 种放射性核素开展临床核医学诊疗工作，设置住院床位 4 床。经核算，核医学科放射性核素年用量为 6.751×10$^{12}$Bq，日等效最大操作量约为 3.794×10$^{9}$Bq，属于乙级非密封源工作场所。

放疗科位于门诊病房综合楼-2F 东北角，总建筑面积约 1700m$^2$，主要配置 1 台 CT 模拟定位机（III类射线装置）、2 台 15MV 医用电子直线加速器（II类射线装置）、1 台后装治疗机（内含 1 枚 $^{192}$Ir 放射源，最大活度为 3.7×10$^{11}$Bq，III类放射源）开展肿瘤治疗工作。

介入中心位于门诊病房综合楼 1F 西北角，总建筑面积约 1350m$^2$，主要配置 4 台 DSA（II类射线装置），用于开展介入手术。

建设项目拟投资约 19000 万元，环保投资约 1570 万元。

### 13.2 实践正当性

医院非密封放射性物质、放射源、射线装置的使用，在医疗诊断治疗方面有其他技术无法替代的特点，对保障健康、拯救生命起了十分重要的作用，对受电离辐射照射的个人和社会所带来的利益远大于其引起的辐射危害，项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践的正当性”的原则与要求。

### 13.3 产业政策符合性

核医学科、放疗科主要是利用同位素、X 射线开展放射诊断、治疗等工作，属于《产业结构调整指导目录》（2019 年本）第一类 鼓励类中“六、核能”的“6、同位素、加速器及辐照应用”和“十三、医药”的“5、高端放射治疗设备的应用”；介入中心 DSA、放疗科 CT 模拟定位机及核医学科的 PET/CT 机、SPECT/CT 机，属于《产业结构调整指导目录》（2019 年本）第一类 鼓励类中的“十三、医药”的“5、数字化医学影像设备的应用”。因此，本项目属于产业结构鼓励类，符合相关产业政策。

**13.4 辐射环境现状**

根据监测统计结果，项目所在地的环境γ辐射剂量率监测值在 66nGy/h～69nGy/h 之间（未扣除宇宙射线响应值），与重庆市 2020 年环境地表伽玛空气吸收剂量率无明显差异。项目周围环境的辐射环境质量现状无异常。

**13.5 选址合理性及布局合理性**

**（1）选址合理性**

本项目核医学科、放疗科、介入中心均布置在新区分院门诊病房综合楼内。

核医学科位于门诊病房综合楼内-2F西北侧，其东侧为放疗科，南侧为车库，西侧为地下车库出入口坡道，北侧为医院辅助机房上空；楼下部分为泥土层，部分为-2F下沉层，主要布置为医疗废物暂存间、生活垃圾暂存间；楼上为日间手术中心、住院大厅等用房。项目核医学科独立成一个区域，远离其他非核医学科人流；其不与产科、儿科、食堂等毗邻；核医学科有专用出口电梯，能独立通往医院建筑外地面；出口处为医院西侧院内道路，不与门诊大厅、收费处等人口稠密区域相邻/相接。

放疗科位于门诊病房综合楼内-2F东北侧，其东侧为泥土层，南侧为空调机房及车库，西侧为核医学科，北侧为分布式能源站上空、烟道；楼下部分为泥土层，部分为-2F下沉层，主要布置为库房、隔油间；楼上为厨房及厨房加工、操作等用房。项目放疗科独立成一个区域，选址于建筑地下层的一角，其中射线装置基本为建筑底层，远离其他非放疗科人流。

介入中心位于门诊病房综合楼内1F西北侧，其东侧为电梯厅，南侧为放射科，西侧和北侧为建筑外空。项目介入中心独立成一个区域，选址于建筑内的一角，远离其他非介入中心人流。同时，其与放射科毗邻，便于射线装置设备管理。

综上，项目涉及的 3 个科室均位于建筑一角，独立成区，远离人口稠密区域，且不与相对敏感区域毗邻。项目选址满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）等相关标准的相关要求。因此，项目选址较合理。

**（2）布局合理性**

项目核医学科各功能房间设计齐全，能满足核医学科运行的需求。东侧的办公区与

西侧的核医学科主要运行业务用房中间以电梯厅分隔，做到清污分区布置。核医学科各功能用房按照低活性区向高活性区、清洁区向污染区分布的原则进行排列，诊断流程、路线清晰。核医学科用房进行了控制区、监督区的划分，控制区集中布置。核医学科医护人员、患者、放射性药物及放射性废物通道通过时间和交通控制能做到相对独立，可有效避免交叉污染和影响；医护人员离开控制区设有卫生通过间；用药后病人活动区域设置有专门厕所；控制区患者进出口、核医学科通道进出口等均设置门禁，保证单向线路唯一。住院病床位于核医学科一角，与其他门诊诊断和治疗区域相对独立。此外，核医学科工作场所的放射性废气、废水、固废等通过采取有效的处理措施，满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的相应要求。因此，从辐射防护角度，核医学科平面布局合理。

放疗科用房位于新区分院门诊病房综合楼-2F 东北侧。放疗科机房相对集中布置在放疗科东北侧角落。机房主要辅助用房（如控制室、设备间等）紧邻机房布置，其余辅助用房主要布置在放疗科北侧和西侧。放疗科各功能用房齐全，各机房与控制室分开，各机房辅助用房独立布置于机房外，直线加速器机房、后装机机房均设置迷路，直线加速器主射线方向不朝向迷路和控制室，能尽可能减少辐射影响。因此，从辐射防护角度，放疗科平面布局能满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020），布局合理。

项目介入中心功能用房设置齐全，与其它科室相对独立，内部仅有医护人员、患者活动，无其他公众成员停留。此外，各DSA机房均设置3个防护门和1个观察窗，防护门分别用于工作人员、患者进出及污物运出，通道独立，互不干扰。因此，从辐射防护角度，本项目介入中心平面布局合理。

**13.6 辐射防护与安全措施结论**

①分区：本项目按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）等的要求进行了分区，按照要求进行分区管理，限制无关人员受到不必要的照射。

②屏蔽体防护：本项目核医学科控制区内各用房、放疗科和介入中心各机房均设计了足够厚度的屏蔽体，可保证房间屏蔽体外周围剂量当量率满足辐射防护的要求；各屏蔽体的穿墙管线采用多种穿越方式（如“Z”、“U”、斜线、吊顶上直穿）等，对屏蔽体的

防护能力削弱甚微，不影响墙体的屏蔽防护效果；铅防护门的生产和安装均交有资质的厂家负责，以保证防护门搭接处的屏蔽能力；施工时保证施工质量。

③辐射安全与防护设施/措施

A：项目核医学科人流、物流（废物）相对独立，并拟设置多个门禁系统；拟在控制区工作人员出入口设置卫生通过间，配备防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备；拟设放射性药物分装操作的自动分装仪、通风装置等设备及相应辅助设施；注射给药及给药后病人活动区域拟设置对讲、视频监控装置；两储源室设置安保防盗设施。放射性药物分装注射场所、操作台面设计建造为易于去除污染；控制区各功能房间均配置通风系统，放射性药物分装时通风装置保持负压；气流组织遵循自清洁区向低活性区再向高活性区的流向设计，并设置防倒灌设施，以防止工作场所放射性气体交叉污染。控制区分区清洁，各上水设置感应式开关/出口。核医学非密封放射源工作场所辐射安全防护措施符合相关标准规范，亦满足辐射安全要求。

B：本项目拟配置的直线加速器、后装机自身安全性能较好；机房设置多重联锁、急停按钮、监控系统、对讲系统；机房内设置固定式剂量报警装置，具有声光报警功能；防护门上方设置醒目的工作状态指示灯，与设备运行状态联锁，并设置中文说明；防护门上设置电离辐射警示标识；防护门内外设置开门按钮，并设置手动开门装置；防护门处设置红外线防挤压装置。储源室设监控系统、防盗门，双人双锁。

C：DSA 及III类射线装置机房设置门灯联锁，各防护门外上方拟设置醒目的工作状态指示灯、电离辐射警告标志；每台 DSA 拟配置 1 套铅悬挂防护屏、铅防护吊帘、床侧防护帘、床侧防护屏等辅助防护设施；按有关标准要求配备介入手术工作人员和患者个人防护用品。

④通风：项目核医学科、放疗科、介入中心均设置独立的通排风系统。核医学科废气收集至19F塔楼顶后经活性炭吸附后再高于楼顶3m排放，其中手套箱废气收集口和排放口均设置活性炭吸附装置；放疗科废气引至加速器机房顶部地面东侧的绿化带排放；介入中心废气经排风系统引至塔楼顶高空排放。核医学手套箱排风风速不小于0.5m/s，加速器机房、后装机机房通风换气次数不低于4次/h，其余射线装置机房有良好的通风。

⑤医院拟在项目各科室配置个人剂量报警仪、智能化X-γ辐射仪等监测仪器，并拟配置设备质量检测仪器，保证设备、放射工作人员、公众成员的安全。

综上，建设单位拟采取的辐射安全与防护措施落到实处后，项目的建设能够满足辐射防护的要求。

**13.7 环境影响分析**

①本项目核医学科控制区边界、控制区内各用房屏蔽体外、放疗科各机房、DSA 机房（透视条件下）屏蔽体外周围剂量当量率均低于 2.5μSv/h（其中后装机顶棚外 30cm 处的周围剂量当量率低于 0.75μSv/h），防护手套箱表面 5cm 处的周围剂量当量率控制目标值不大于 25μSv/h，防护手套箱、注射窗、自动分装仪等设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h。固体放射性废物收集桶、放射性废水管道（人员可接近处）、衰变处理设施（人员可接近处）等外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h。屏蔽体外的剂量率满足评价标准限值要求。

②项目各类放射工作人员、公众成员的年附加有效剂量均满足本环评的剂量管理限值的要求（工放射作人员 5mSv/a，公众成员 0.1mSv/a），符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及相关标准的要求。项目运行后，对周围环境保护目标的影响有限，能为环境所接受。

③项目涉及的各科室均设置单独的排风系统。核医学科放射性废气收集至 19F 塔楼顶经活性炭吸附装置吸附处理后高于楼顶 3m 排放，周围高层建筑距离核医学废气排放口较远或者不在其下风向，因此，核医学科废气经处理和大气扩散后对周围环境的影响较小。放疗科、介入中心各科室采用独立排风系统，可保持各射线装置机房内良好的通风，放疗科废气在加速器机房上方地面东侧绿化带排放，介入中心废气在门诊病房综合楼顶排放，废气排出室外扩散后，对周围环境影响小。

④项目产生的放射性废水经 2 套地埋式混凝土结构衰变处理设施，1#衰变处理设施为槽式，主要处理含碘放射性废水，2#衰变处理设施为推流式，主要处理其他放射性废水。放射性废水经衰变处理至低于排放标准后排入医院废水处理站处理，非放射性废水直接排入医院污水处理站处理。项目运行产生的废水得到有效处理，对环境的影响小。

⑤放射性固废在产生处使用废物桶收集，而后按核素、废物种类等分类暂存于衰变室，衰变时间满足要求并监测合格后作为一般医疗废物处理。医疗废物依托医院危废暂存间暂存后交有资质单位处理，危险废物实行联单管理制度，跟踪固废的处理方式和最终去向，做好产生、衰变时间、数量等相关的记录台账。生活垃圾交环卫部门处理，废

铅防护用品由医院收集后妥善保存。项目各固体废物均能得到有效处理，对周围环境影响小。

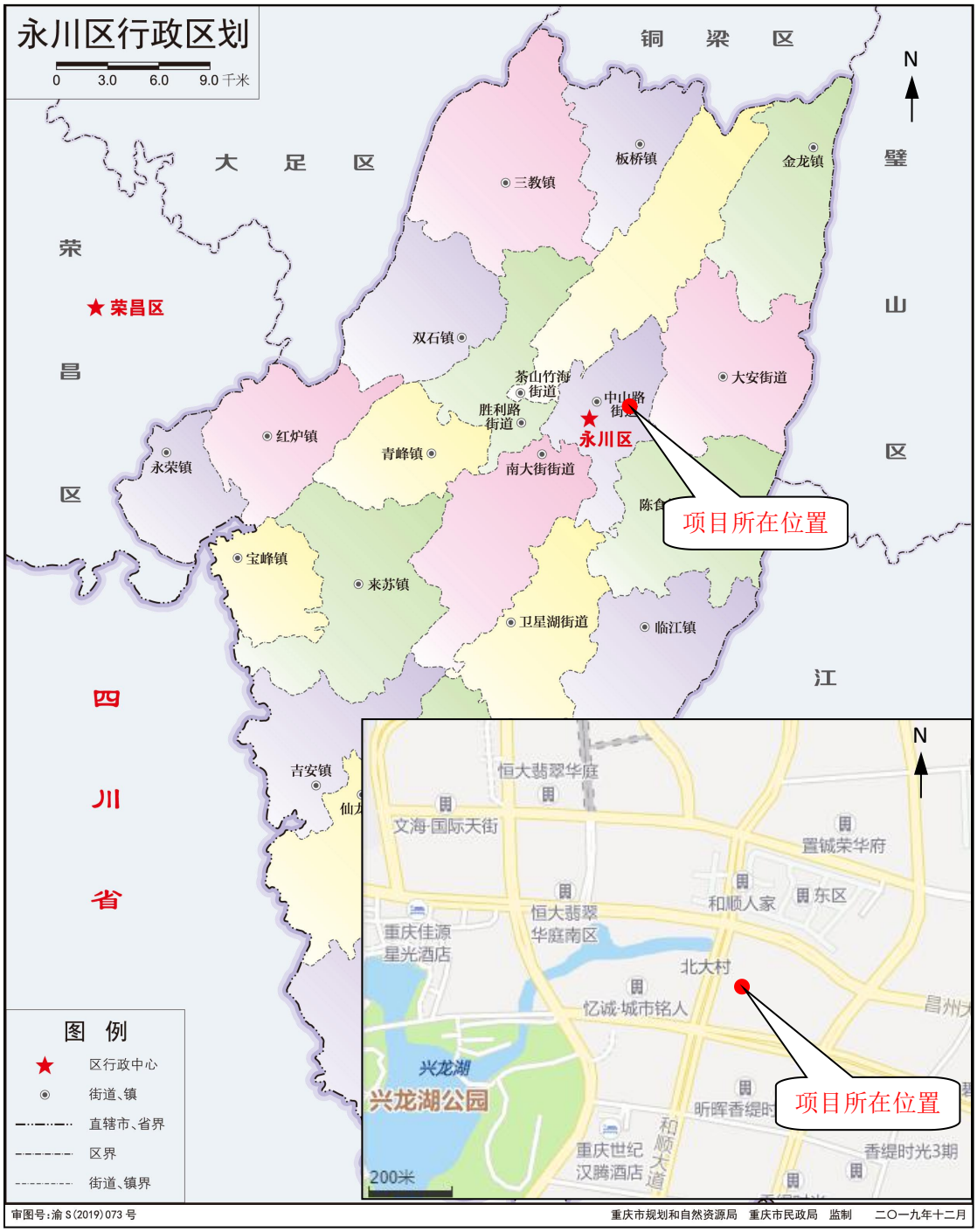
**13.8 辐射环境管理**

医院成立了辐射安全与环境保护管理领导小组，各项规章制度、操作规程、应急处理措施基本健全、具有可操作性。但仍需按照新的法律法规、标准等完善现有管理制度，并加强日常应急响应的准备工作及应急演练。医院应严格执行各项规章制度执行，放射工作人员需经辐射防护与安全培训并考核合格后才能上岗，在工作时正确佩戴个人剂量计，定期进检测并进行健康体检。医院还应在今后的工作中，不断完善相关管理制度，加强管理，杜绝辐射事故的发生。

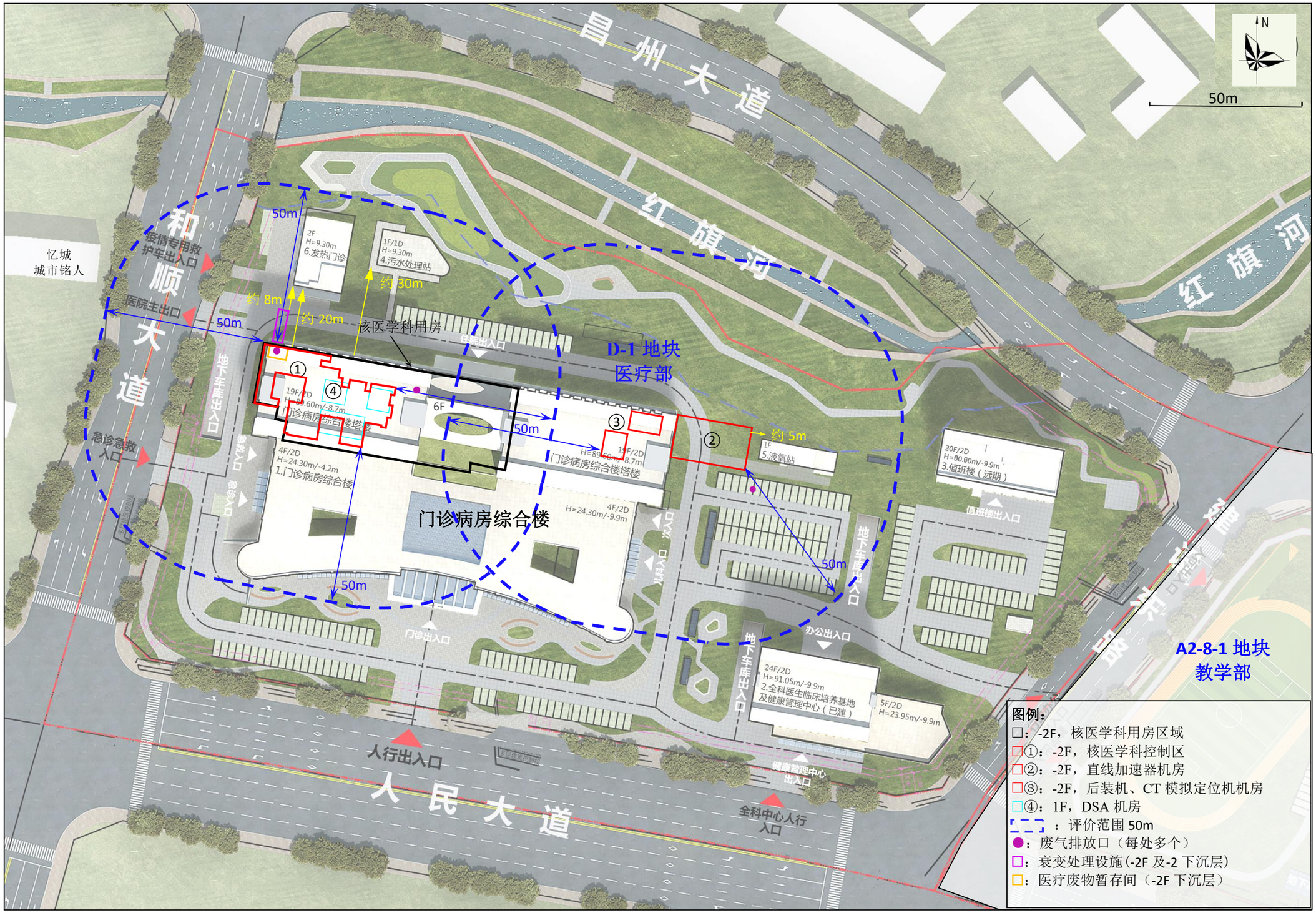
**综上所述，重庆医科大学附属永川医院新区分院建设工程（辐射部分）符合国家产业政策，符合辐射防护“实践的正当性”要求，项目选址可行，平面布局合理。在完善相应的辐射安全防护措施和管理措施后，项目环境风险可防可控，能实现辐射防护安全的目标及污染物的达标排放。因此，从环境保护的角度来看，该项目的建设是可行的。**

# 附录

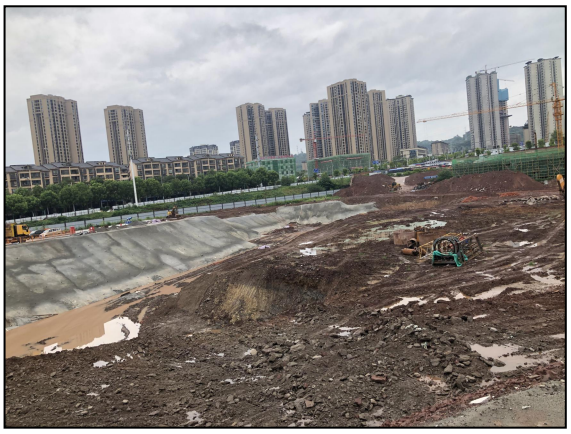
| | |
|---|---|
| **附图** | |
| 附图一 | 项目地理位置图 |
| 附图二 | 医院总平面布置及环保目标布置图 |
| 附图三 | 项目现场相关照片 |
| 附图四 | （1）门诊病房综合楼二层平面图 |
| | （2）门诊病房综合楼一层平面图 |
| | （3）门诊病房综合楼负一层平面图 |
| | （4）门诊病房综合楼负二层平面图 |
| | （5）门诊病房综合楼负二层下沉层平面图 |
| | |
| 附图五 | （1）核医学科平面布置图 |
| | （2）核医学科规划路径图 |
| | （3）核医学科废气管网布置图 |
| | （4）核医学科排水管网图 |
| | （5）核医学科废水衰变设施平立面图 |
| | |
| 附图六 | （1）放疗科平面布置图 |
| | （2）加速器机房平立面布置图 |
| | （3）后装机机房平立面布置图 |
| | （4）放疗科废气管网布置图 |
| | |
| 附图七 | （1）介入中心平面布置图 |
| | （2）介入中心排气管网图 |
| 附图八 | 项目主要用房高程关系示意图 |


永川区行政区划
0 3.0 6.0 9.0 千米
铜 梁 区
大 足 区
璧 山 区
荣 昌 区
四 川 省
江
N
★荣昌区
三教镇
板桥镇
金龙镇
双石镇
茶山竹海街道
中山路街道
胜利路街道
大安街道
★永川区
红炉镇
青峰镇
永荣镇
南大街街道
陈食
项目所在位置
宝峰镇
来苏镇
卫星湖街道
临江镇
吉安镇
仙龙
恒大翡翠华庭
文海·国际天街
置铖荣华府
和顺人家
东区
恒大翡翠华庭南区
重庆佳源星光酒店
北大村
忆诚·城市铭人
昌州大
兴龙湖
兴龙湖公园
昕晖香缇时
项目所在位置
重庆世纪汉腾酒店
和顺大道
香缇时光3期
200米
图 例
区行政中心
街道、镇
直辖市、省界
区界
街道、镇界
审图号：渝S(2019)073号
重庆市规划和自然资源局 重庆市民政局 监制 二〇一九年十二月

**附图 1　项目地理位置图**




**附图 2　医院新区分院总平面布置及环境敏感目标布置示意图**



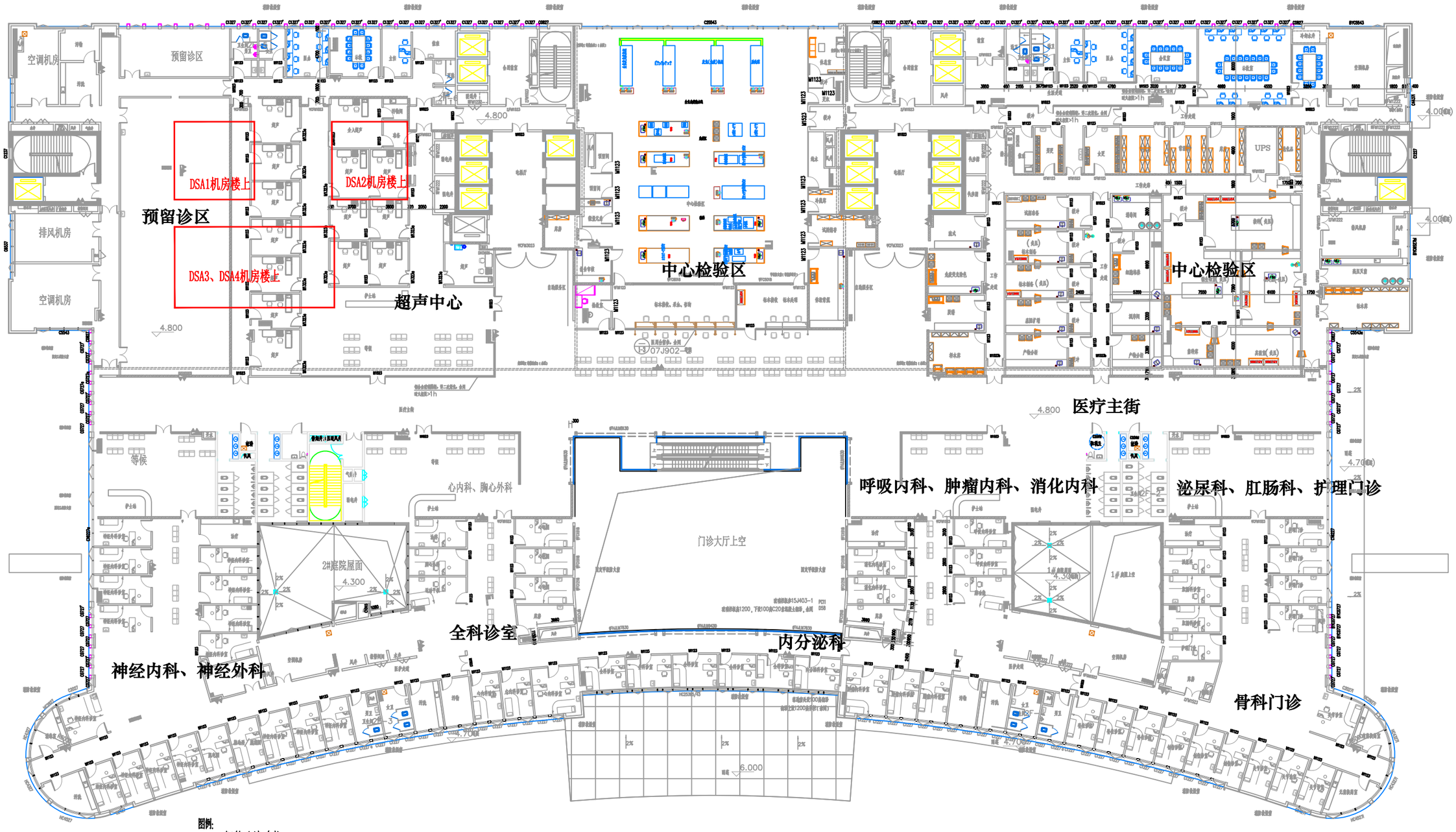
项目用地现状

东南面已建的健康管理中心

北面的红旗河

西面的道路及城市铭人小区

**附图 3　项目现场相关照片**




# 附图四（1）门诊病房综合楼二层平面图

介入中心用房边界

介入中心

DSA1

DSA2

DSA3

DSA4

设备间1-2

设备间3

设备间4

控制室

患者走廊

污物走廊

导管室

UPS

空调机房

排风机房

放射科

MRI

MRI

DR

DR

DR

乳腺钼靶

CT

CT

挂号收费

住院大厅上空

门诊大厅

门诊药房

便民服务区

等候

自助服务

门诊办公

便民门诊

便民药房

员工餐厅

消防控制室

患者餐厅

儿科

医疗主街

门诊主入口

次入口

儿科门诊入口

北

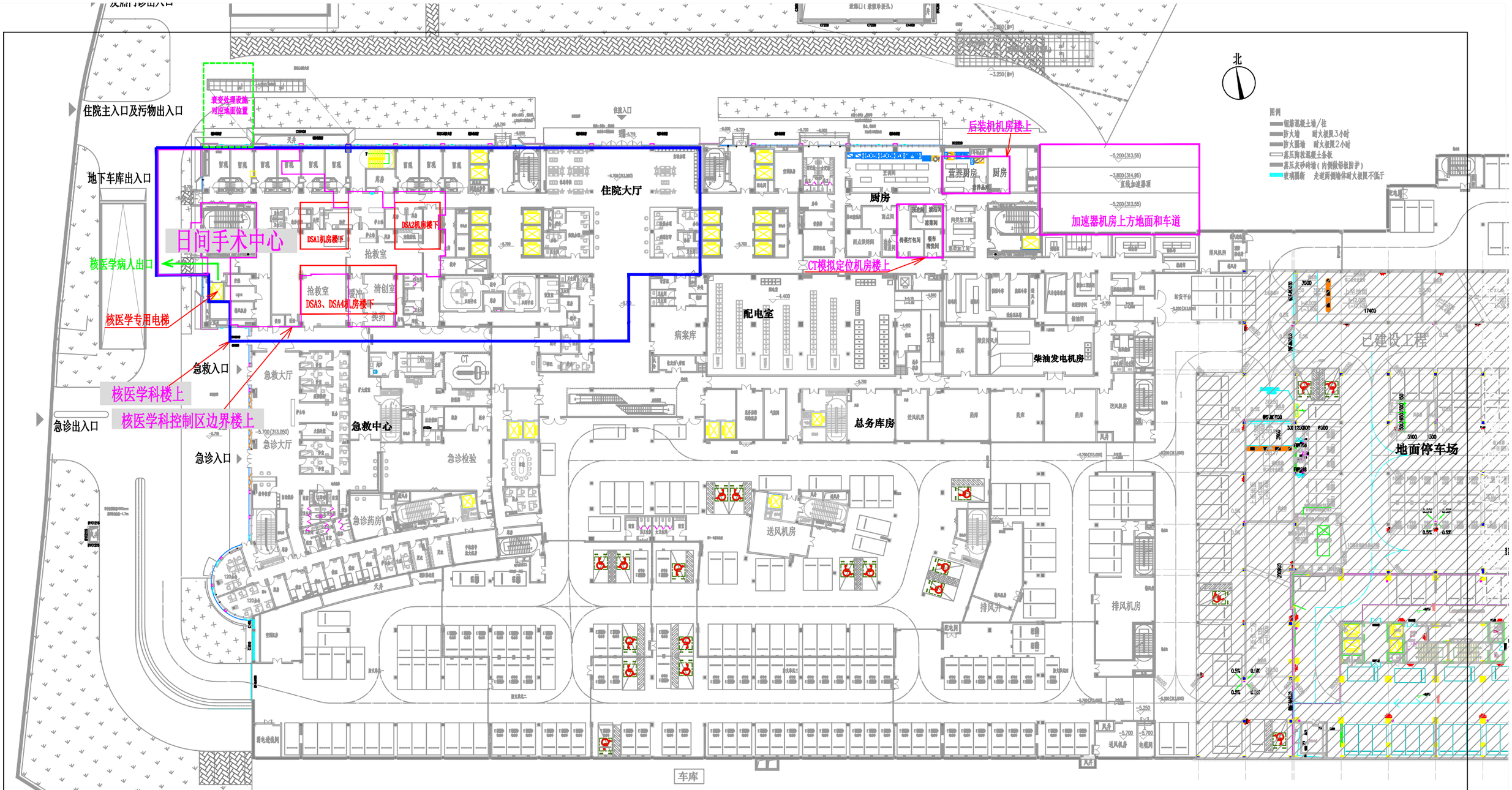
1:150

图例

- 钢筋混凝土墙/柱
- 防火墙　耐火极限3小时
- 防火隔墙　耐火极限2小时
- 蒸压陶粒混凝土条板
- 蒸压灰砂砖墙（内侧做铝板防护）
- 玻璃隔断　走道两侧墙体耐火极限不低于1小时

# 附图四（2）门诊病房综合楼一层平面图

由GstarCAD教育版产品制作




附图四（3）门诊病房综合楼负一层平面图

由GstarCAD教育版产品制作

核医学科用房边界

放疗科用房边界

核医学科

放疗科

核医学科控制区边界

车 库

车 库

已建设工程

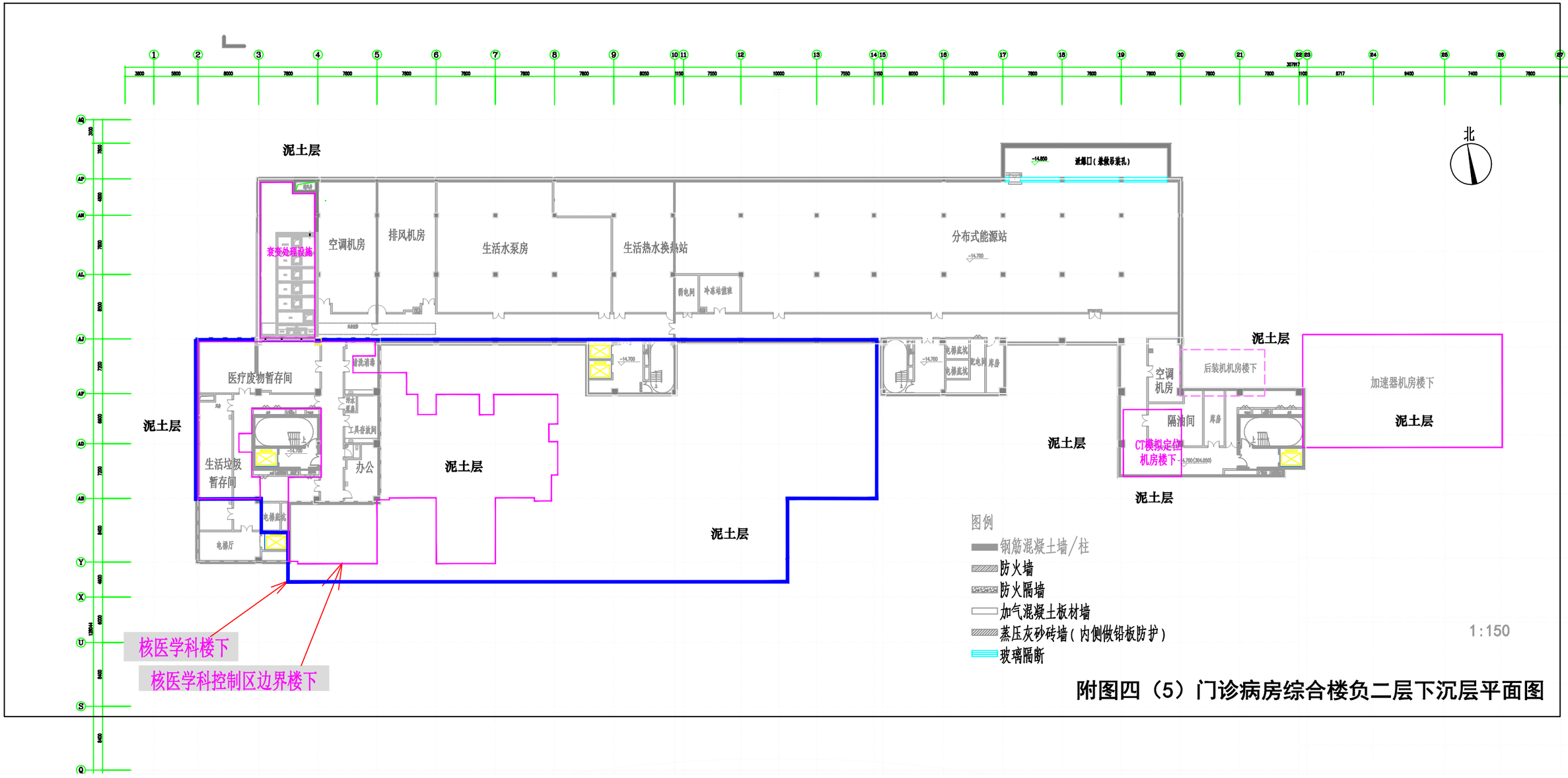
健康管理中心

车库

1:150

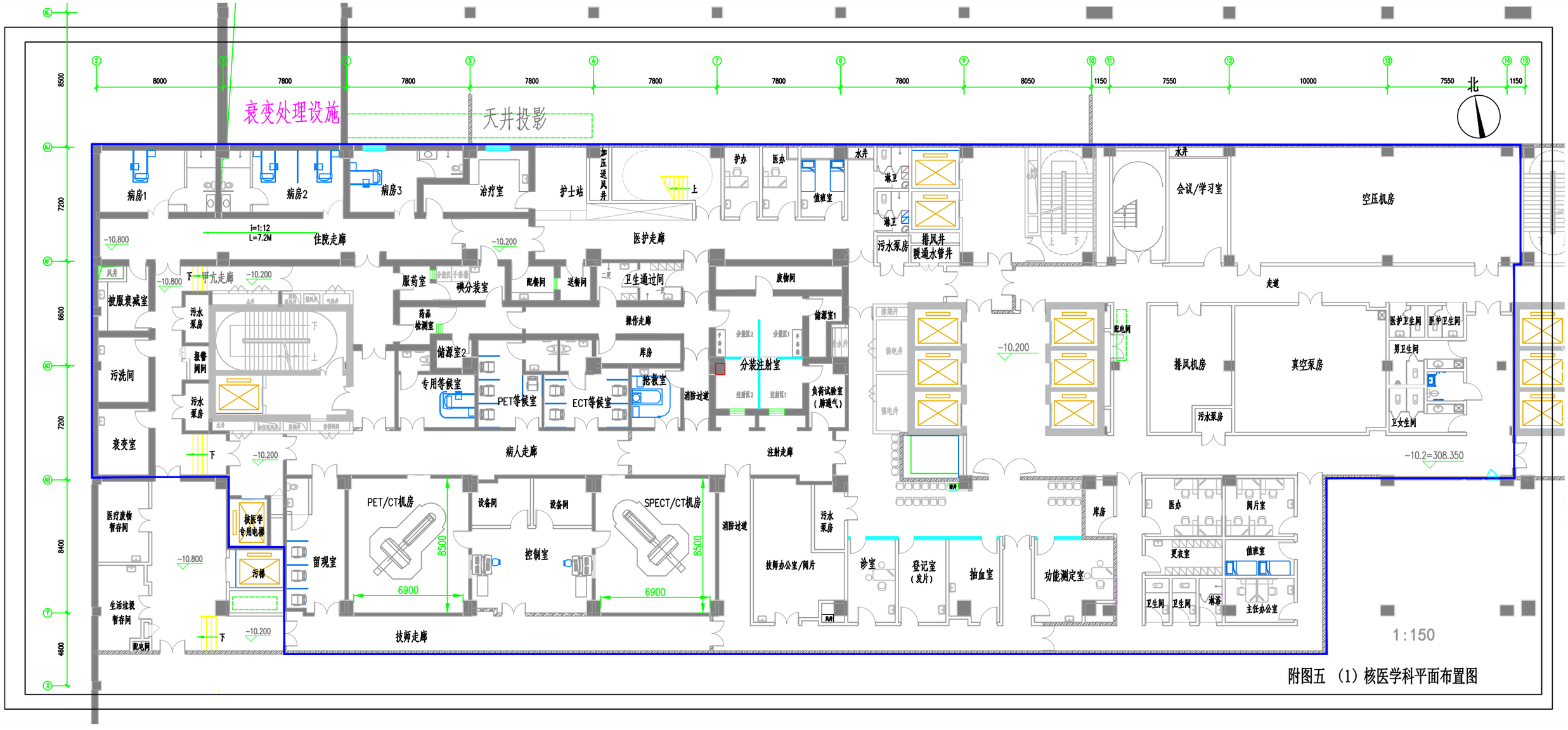
# 附图四（4）门诊病房综合楼负二层平面图

由GstarCAD教育版产品制作



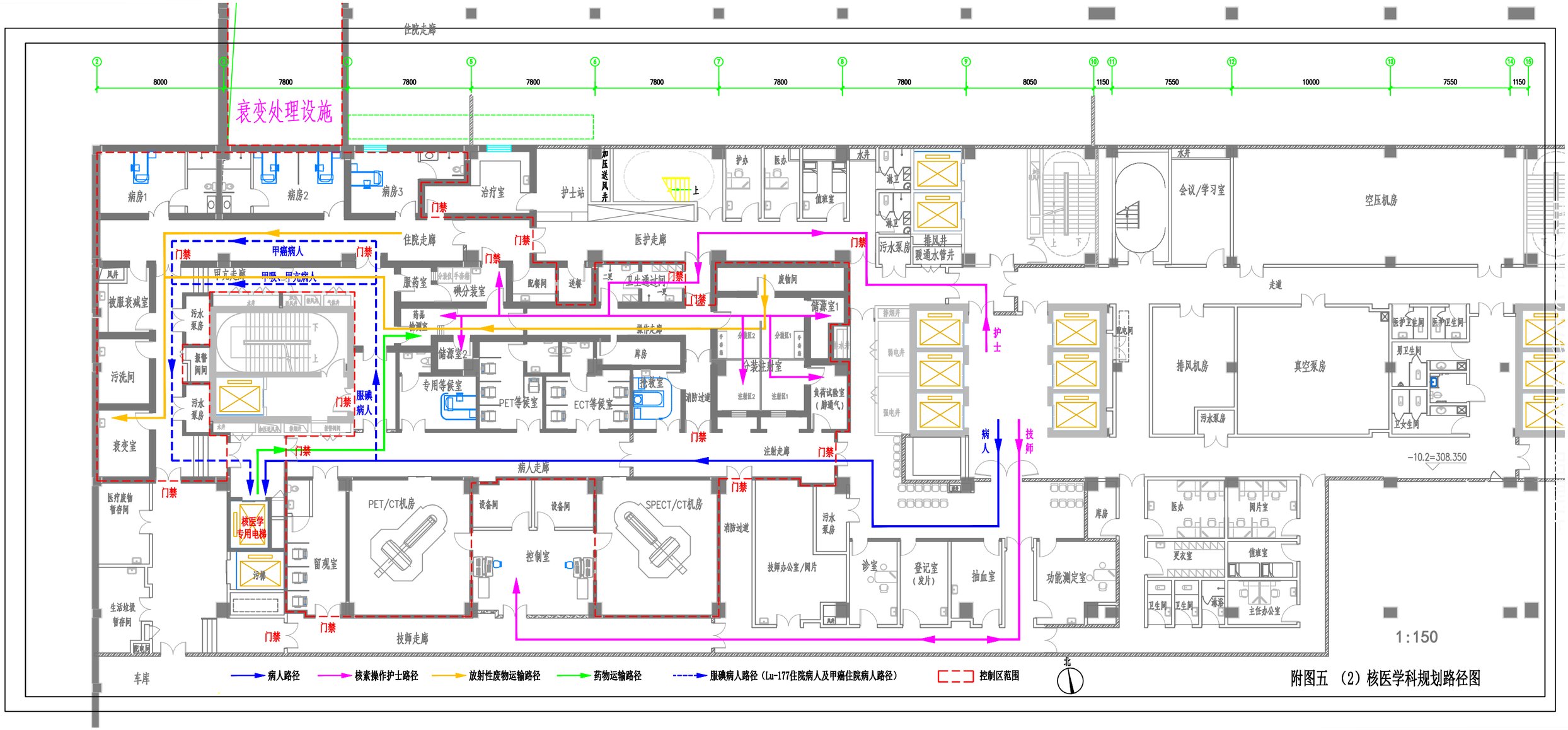

附图四（5）门诊病房综合楼负二层下沉层平面图

由GstarCAD教育版产品制作



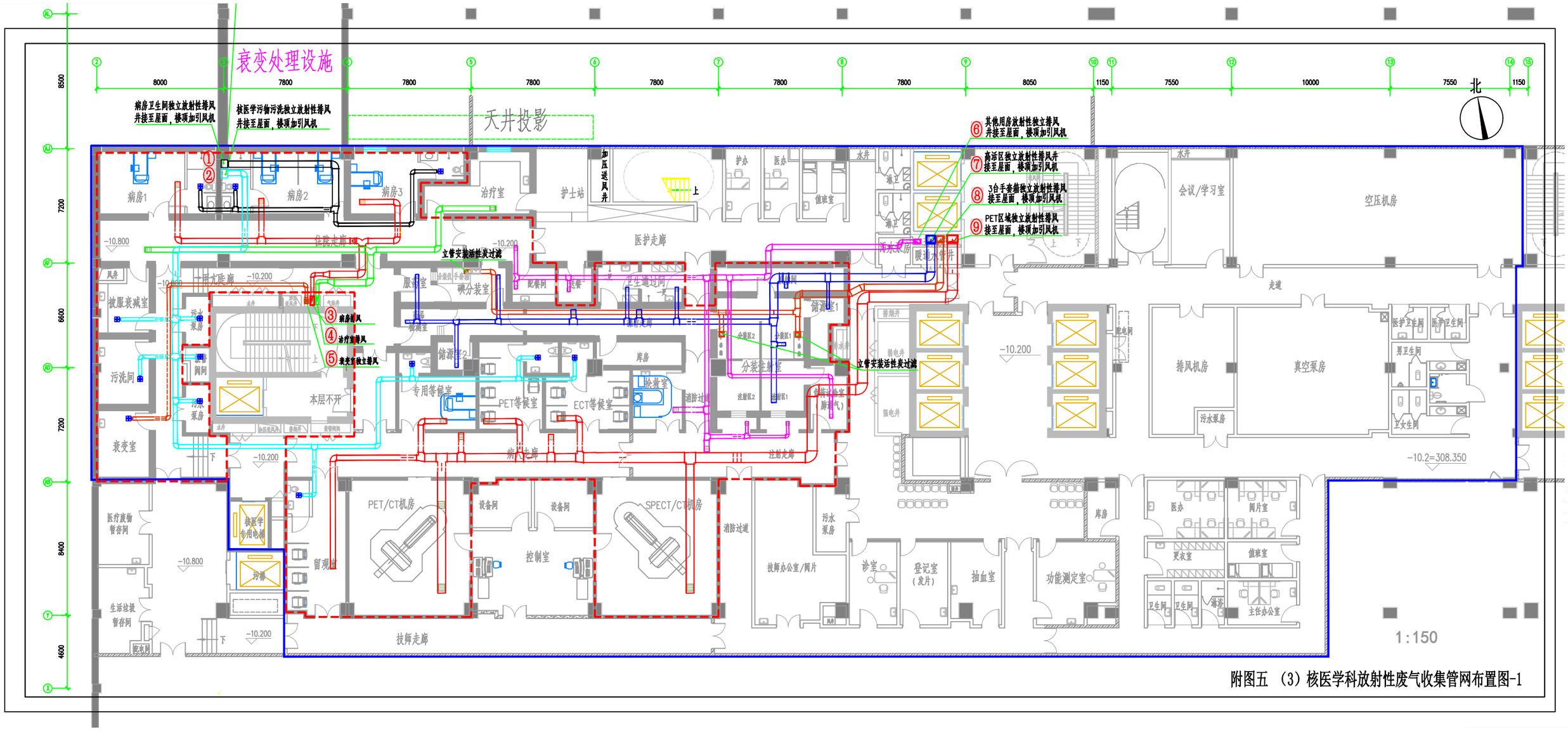

附图五 （1）核医学科平面布置图

由GstarCAD教育版产品制作

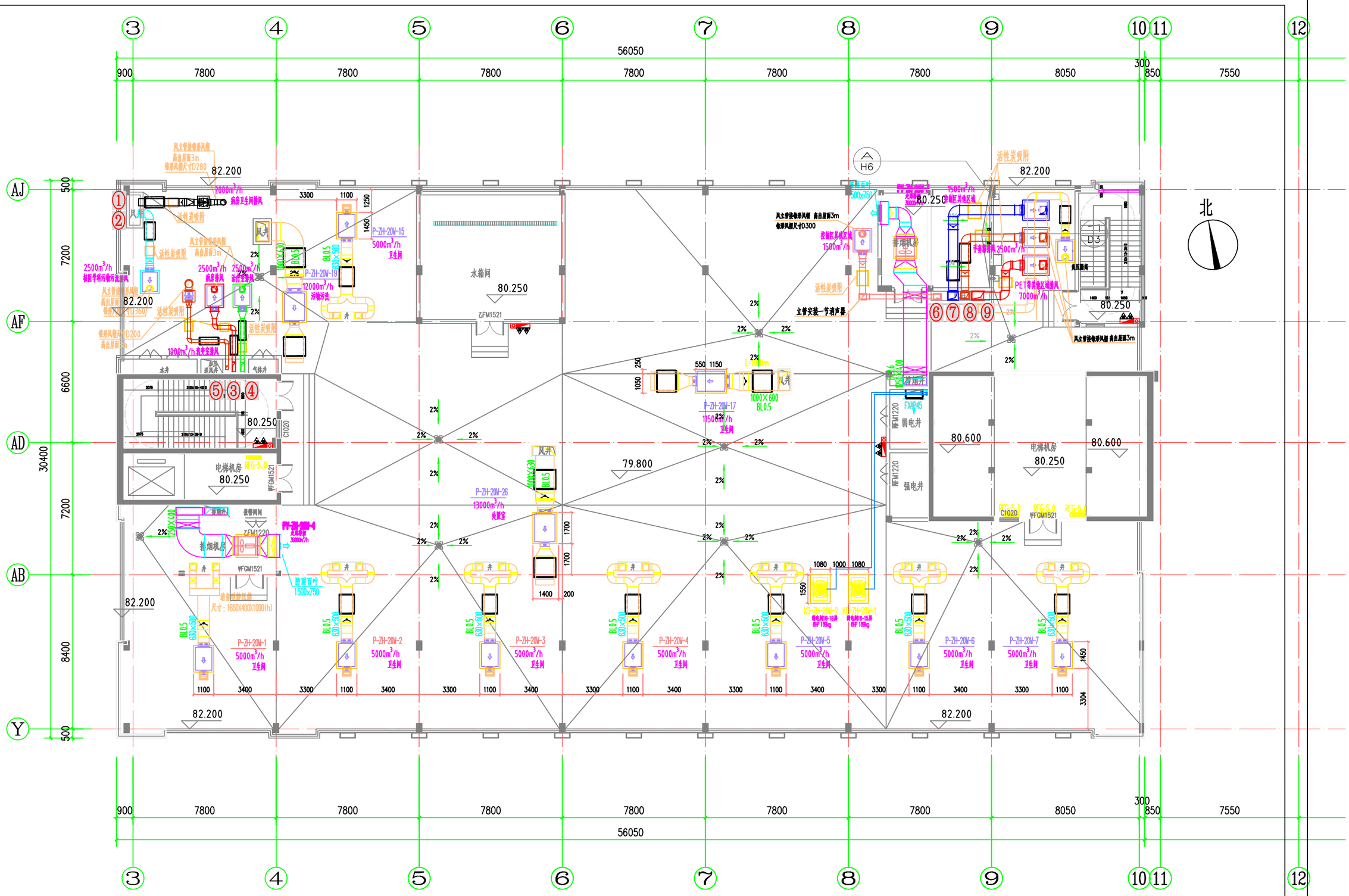



附图五 （2）核医学科规划路径图

由GstarCAD教育版产品制作



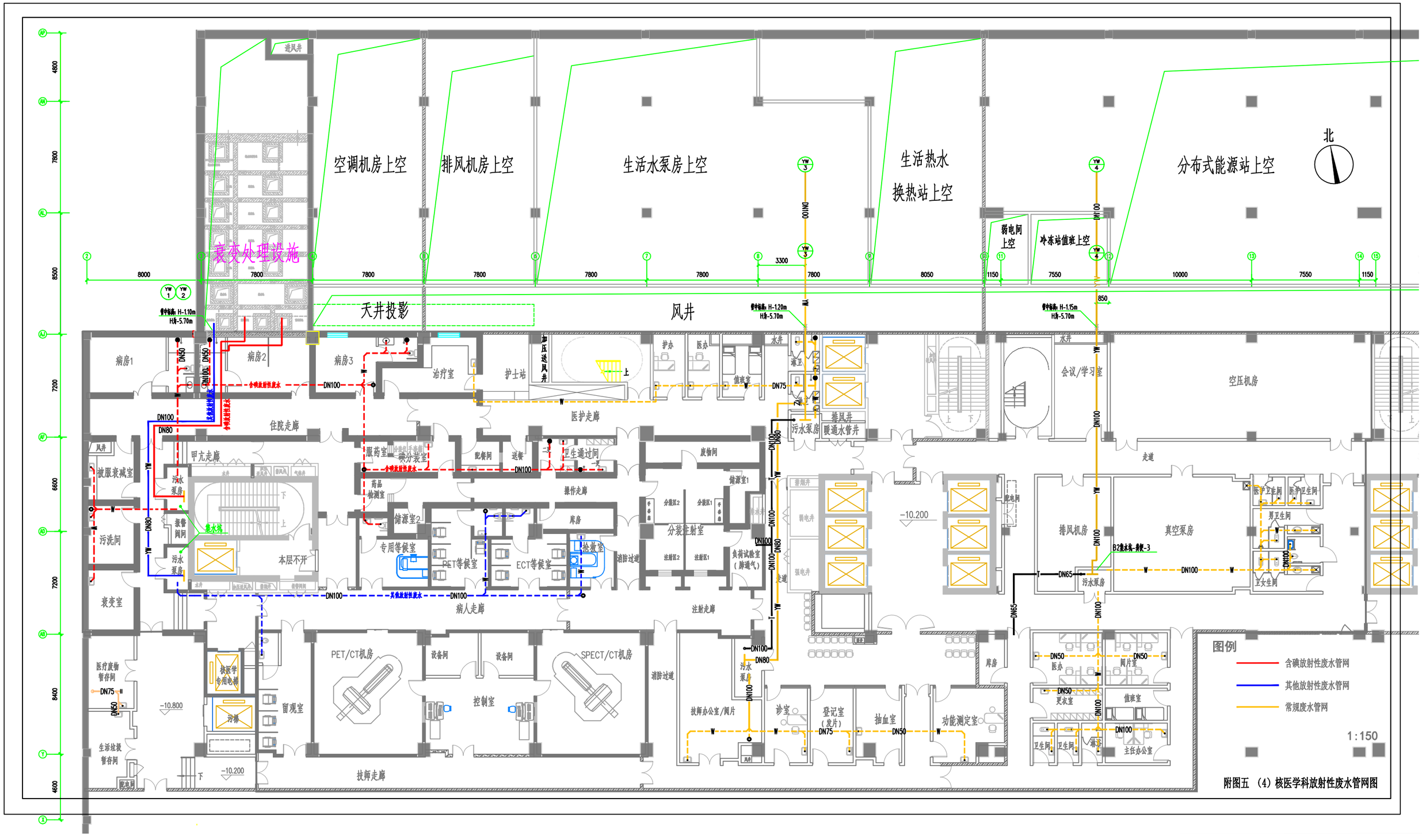

附图五 （3）核医学科放射性废气收集管网布置图-1



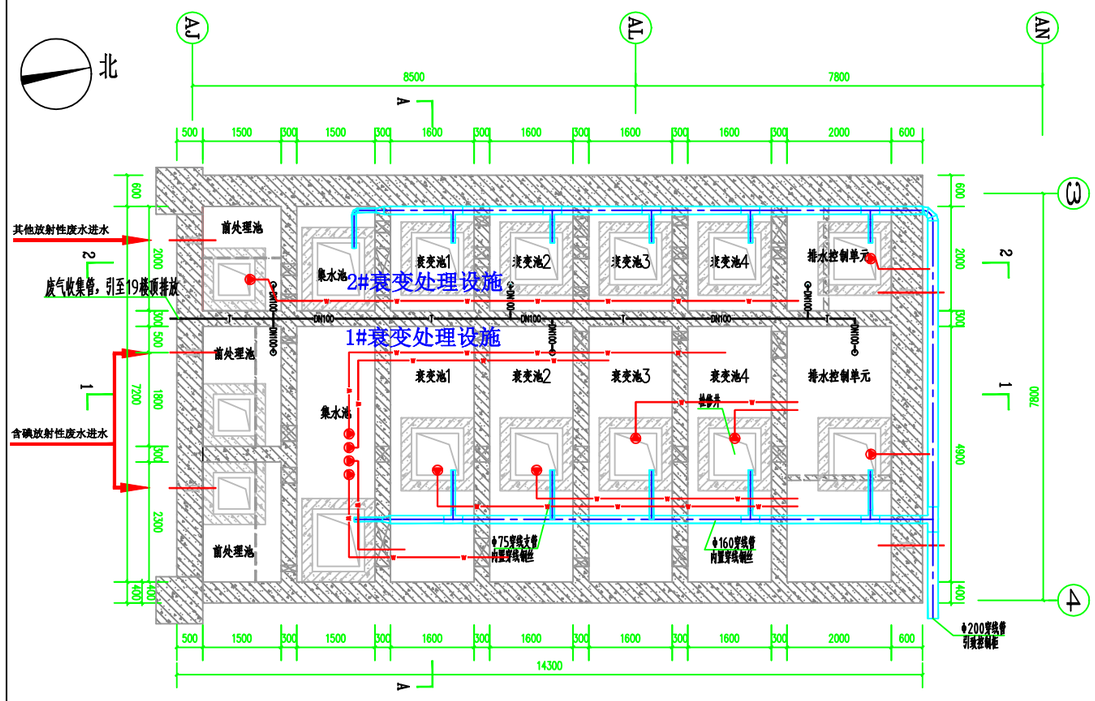

注：管道穿屋面应采用防水套管，作法参考图集01R409《管道穿墙、屋面防水套管》。

附图五 （3）核医学科放射性废气收集管网布置图-2

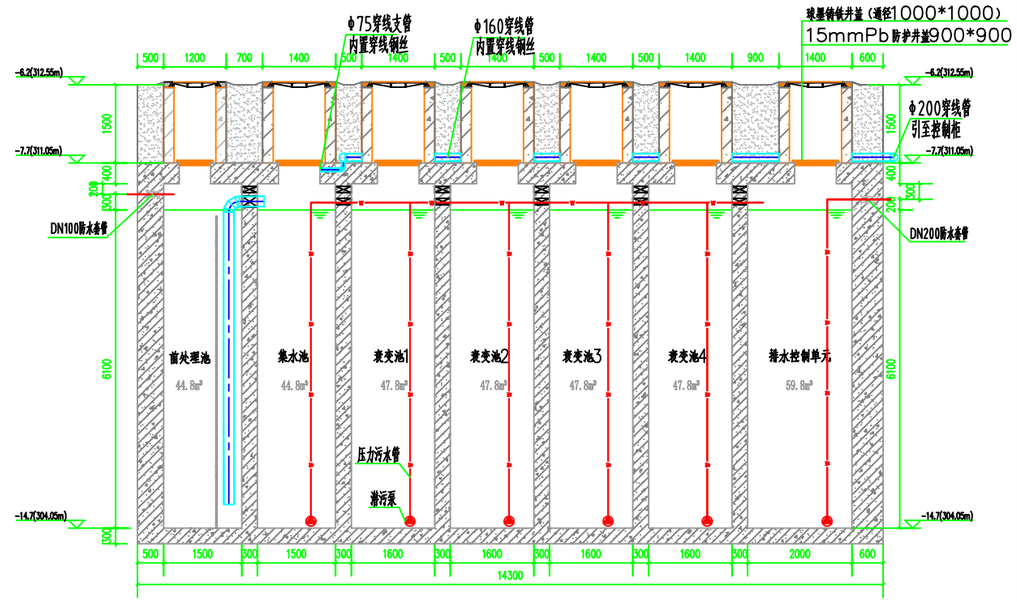
由GstarCAD教育版产品制作



由GstarCAD教育版产品制作




废水衰变处理设施平面图



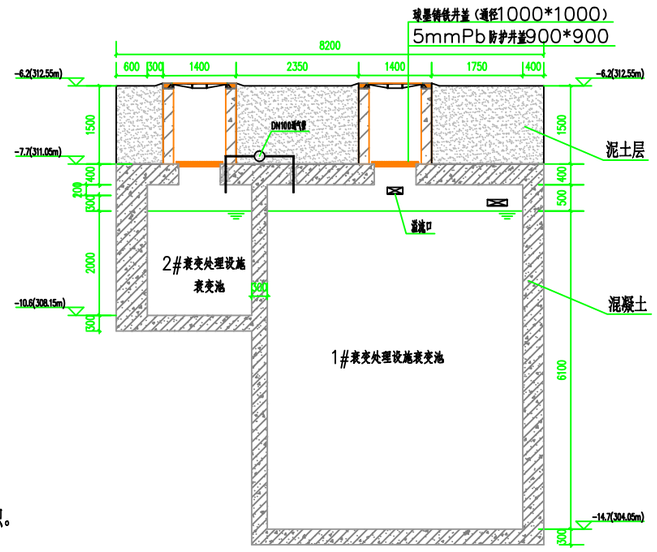

1-1剖面图

图例：

—W— 压力污水管

潜污泵

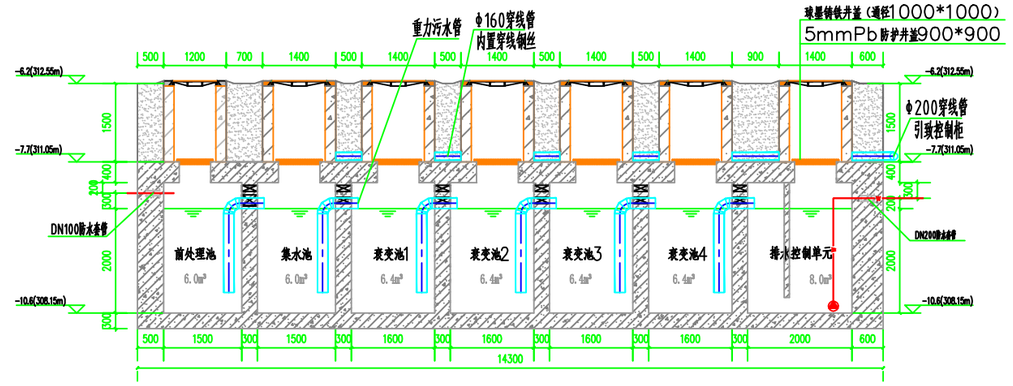
重力污水管




A-A剖面图

比例 1:50

备注：池体体积标注为有效体积。




2-2剖面图

附图五 （5）核医学科废水衰变处理设施平立面图

由GstarCAD教育版产品制作

由GstarCAD教育版产品制作

北

衰变处理设施

天井投影

图例：混凝土　防火墙　防火隔墙

蒸压陶粒混凝土条板　控制区边界

顶棚400mm混凝土+100mm垫层　地下建筑范围线

说明：控制区内其余顶棚300mm混凝土+100mm垫层；地下无建筑的地板350mm混凝土++600mm厚垫层，地下有建筑的300mm混凝土+600mm厚垫层。混凝土密度2.35g/cm³，垫层密度不低于1.8g/cm³。

病房1　病房2　病房3　住院走廊　治疗室　护士站　加压送风井　护办　医办　值班室　水井　淋卫　淋卫　污水泵房　排风井　暖通水管井

风井　甲亢走廊　被服衰减室　污水泵房　报警阀间　污洗间　水井　加压送风井　排风井　气体井　分装仪　手套箱　碘分装室　服药室　药品检测室　储源室2　专用等候室　配餐间　送餐间　二更　卫生通过间　一更　操作走廊　废物间　储源室1　排烟井　排水井　弱电井　强电井　分装区2　分装区1　手套箱　分装注射室　库房　抢救室　PET等候室　ECT等候室　消防过道　注射区2　注射区1　负荷试验室（肺通气）

衰变室　污水泵房　报警阀间　水井　加压送风井　排风井　病人走廊　注射走廊　消防过道

医疗废物暂存间　核医学专用电梯　污梯　留观室　PET/CT机房　设备间　设备间　控制室　SPECT/CT机房　技师办公室/阅片　污水泵房　诊室　登记室（发片）

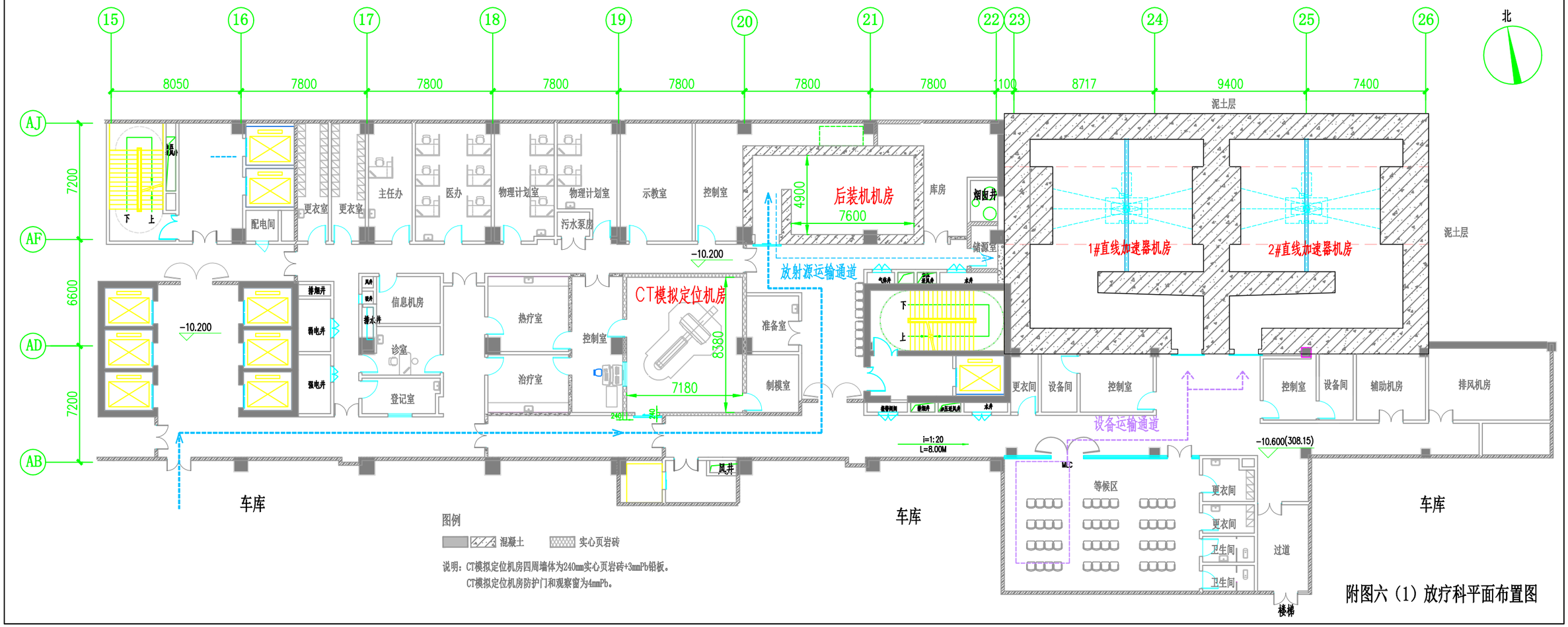
生活垃圾暂存间　配电间　技师走廊

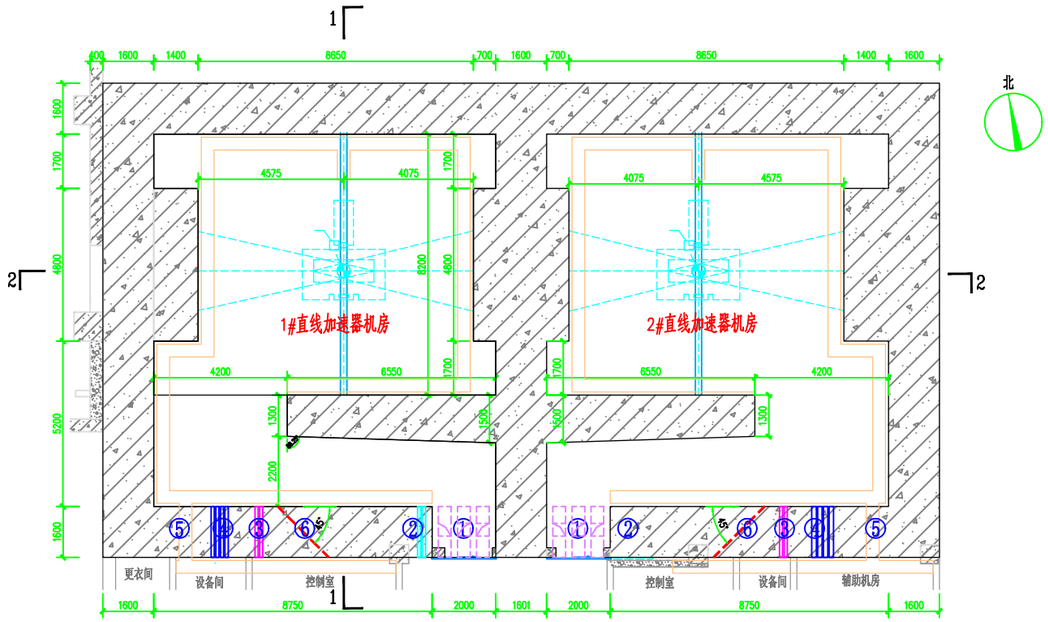
-2F下沉层范围线

1:150

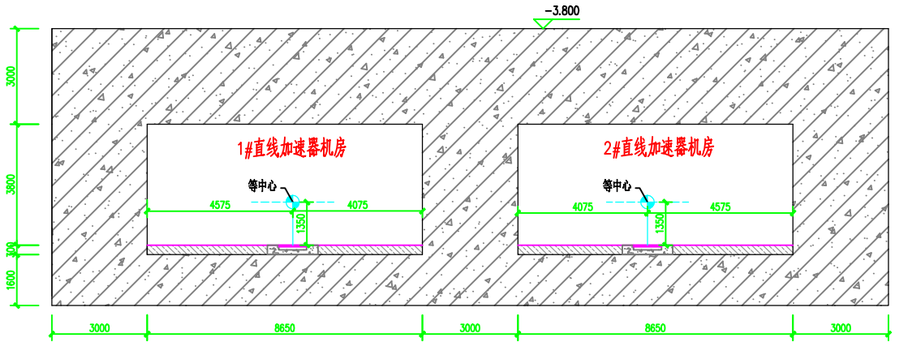
附图五　（6）核医学科屏蔽设计方案图

由GstarCAD教育版产品制作

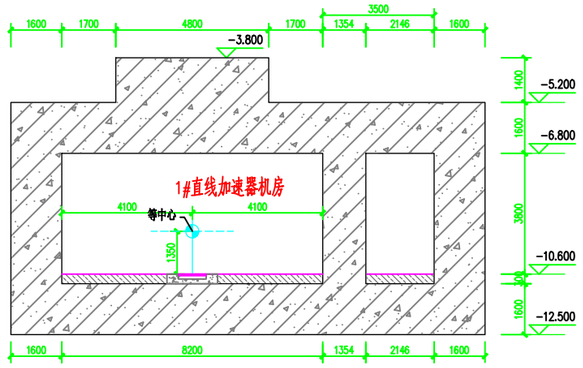

15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
8050
7800
7800
7800
7800
7800
7800
1100
8717
9400
7400
AJ
AF
AD
AB
7200
6600
7200
北
泥土层
泥土层
下
上
配电间
更衣室
更衣室
主任办
医办
物理计划室
物理计划室
污水泵房
示教室
控制室
后装机机房
4900
7600
库房
烟囱井
储源室
1#直线加速器机房
2#直线加速器机房
-10.200
放射源运输通道
-10.200
排烟井
弱电井
强电井
信息机房
诊室
登记室
热疗室
治疗室
控制室
CT模拟定位机房
8380
7180
240
240
准备室
制模室
下
上
更衣间
设备间
控制室
设备运输通道
控制室
设备间
辅助机房
排风机房
i=1:20
L=8.00M
-10.600(308.15)
MLC
等候区
更衣间
更衣间
卫生间
卫生间
过道
楼梯
风井
车库
车库
车库
图例
混凝土
实心页岩砖
说明：CT模拟定位机房四周墙体为240mm实心页岩砖+3mmPb铅板。
CT模拟定位机房防护门和观察窗为4mmPb。
附图六（1）放疗科平面布置图




加速器机房平面布置图




2-2剖面布置图




1-1剖面布置图

备注和说明

①：新风管和排风管

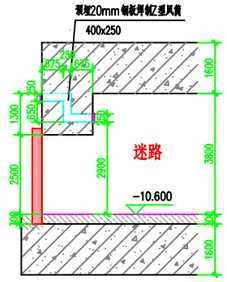
②：冷凝管、冷媒管

③：加速器水冷机水冷管

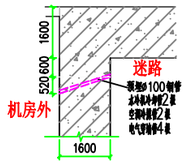
④：电气穿线管

⑤：电缆沟

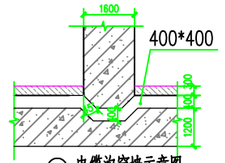
⑥：剂量检测管



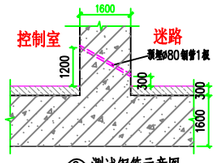

①送排风管穿墙示意图




②③④管道穿墙示意图

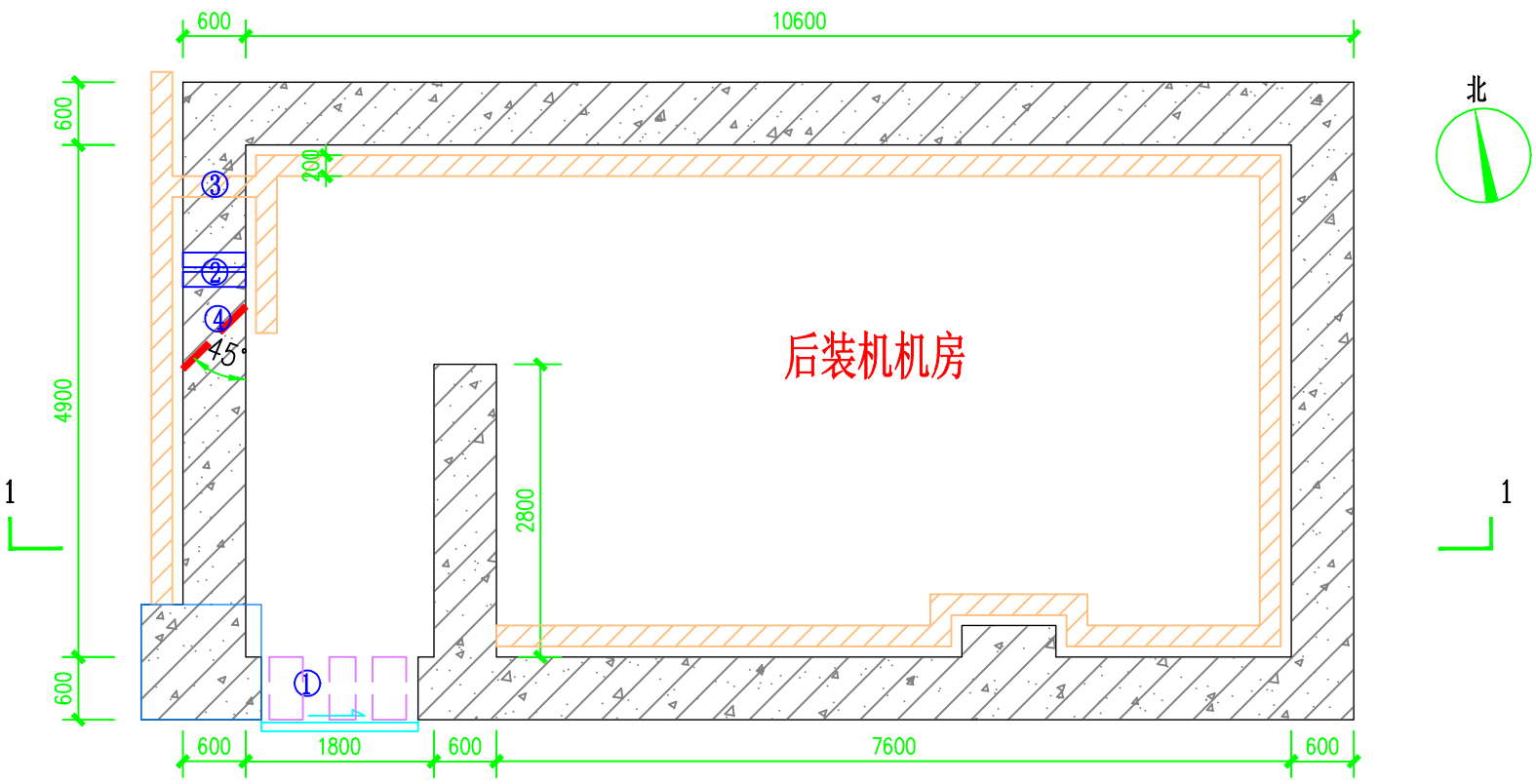



⑤ 电缆沟穿墙示意图

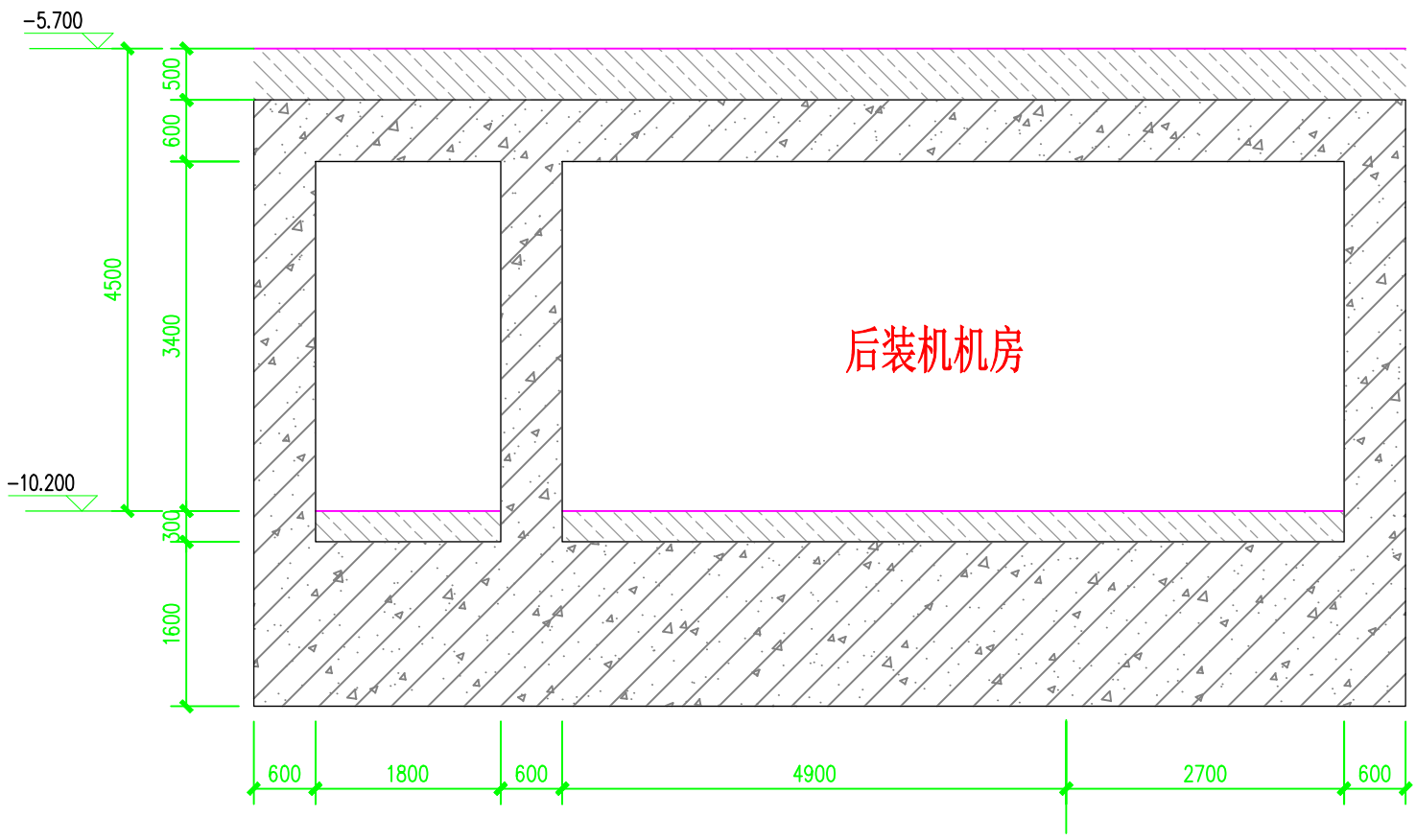



⑥ 测试钢管示意图

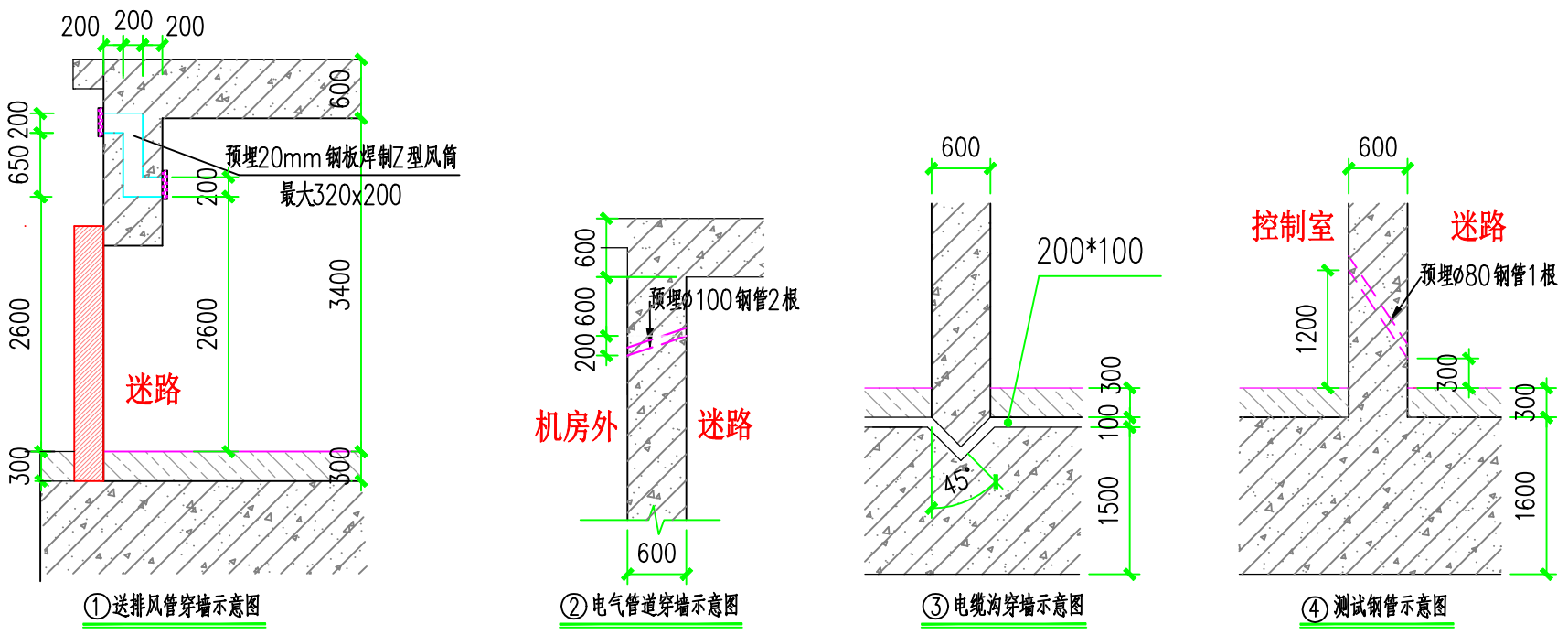
附图六（2）放疗科加速器机房平立面布置图




后装机机房平面图




1-1剖面图




①送排风管穿墙示意图　②电气管道穿墙示意图　③电缆沟穿墙示意图　④测试钢管示意图

# 附图六（3）放疗科后装机机房平立面布置图

北

泥土层

更衣室 更衣室 主任办 医办 物理计划室 物理计划室 示教室 控制室 污水泵房 后装机机房 库房 烟囱井 储源室

900m3/h 1800m3/h 1800m3/h

泥土层

电间 排烟井 弱电井 信息机房 热疗室 控制室 CT模拟定位机房 准备室 制模室

1100m3/h

诊室 治疗室 登记室

下 上

设备间 更衣间 控制室 设备间 控制室 辅助机房 排风机房

立管接至室外百叶

i=1:20
L=8.00M

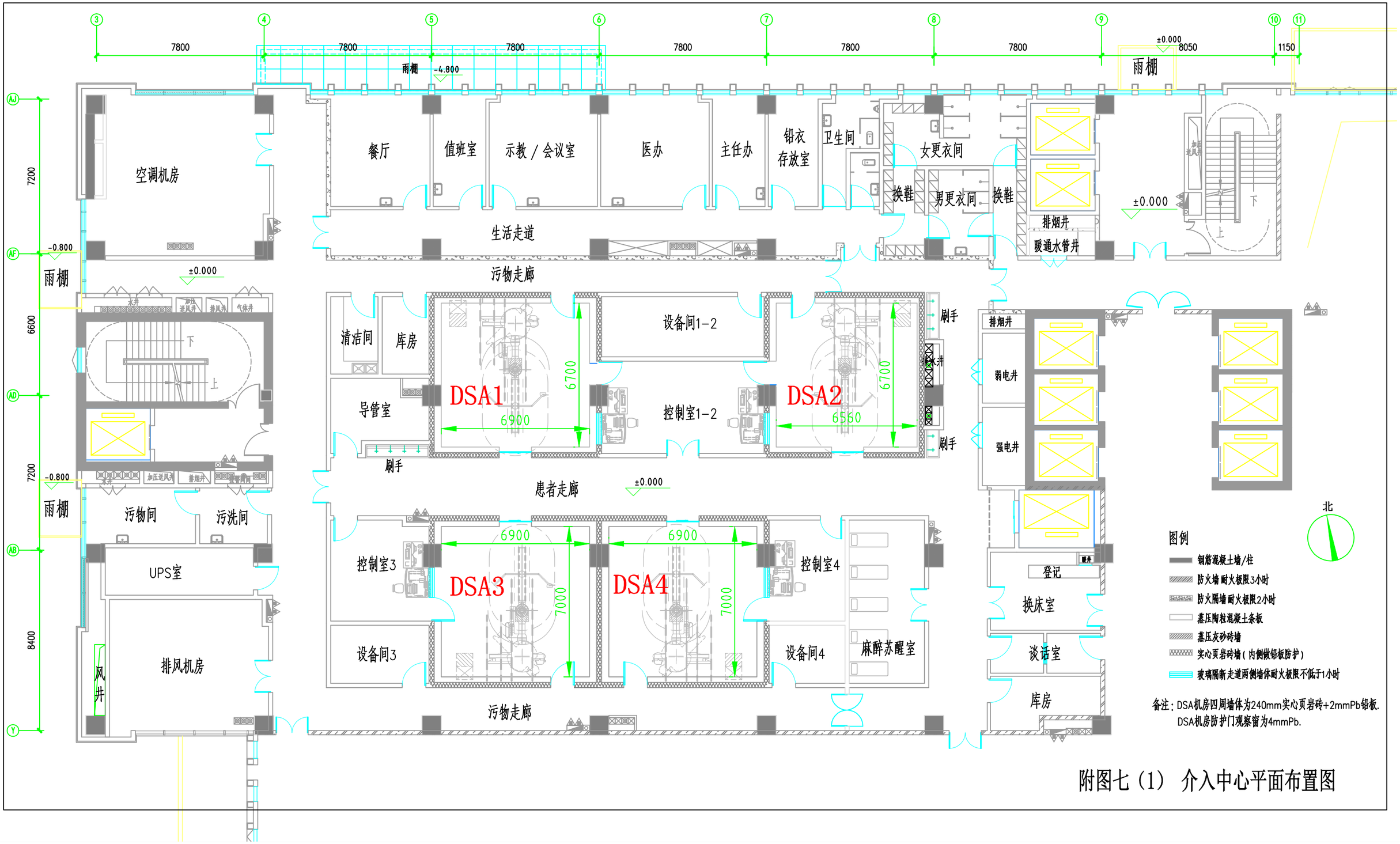
MLC 等候区 更衣间 更衣间 卫生间 卫生间 过道

图例

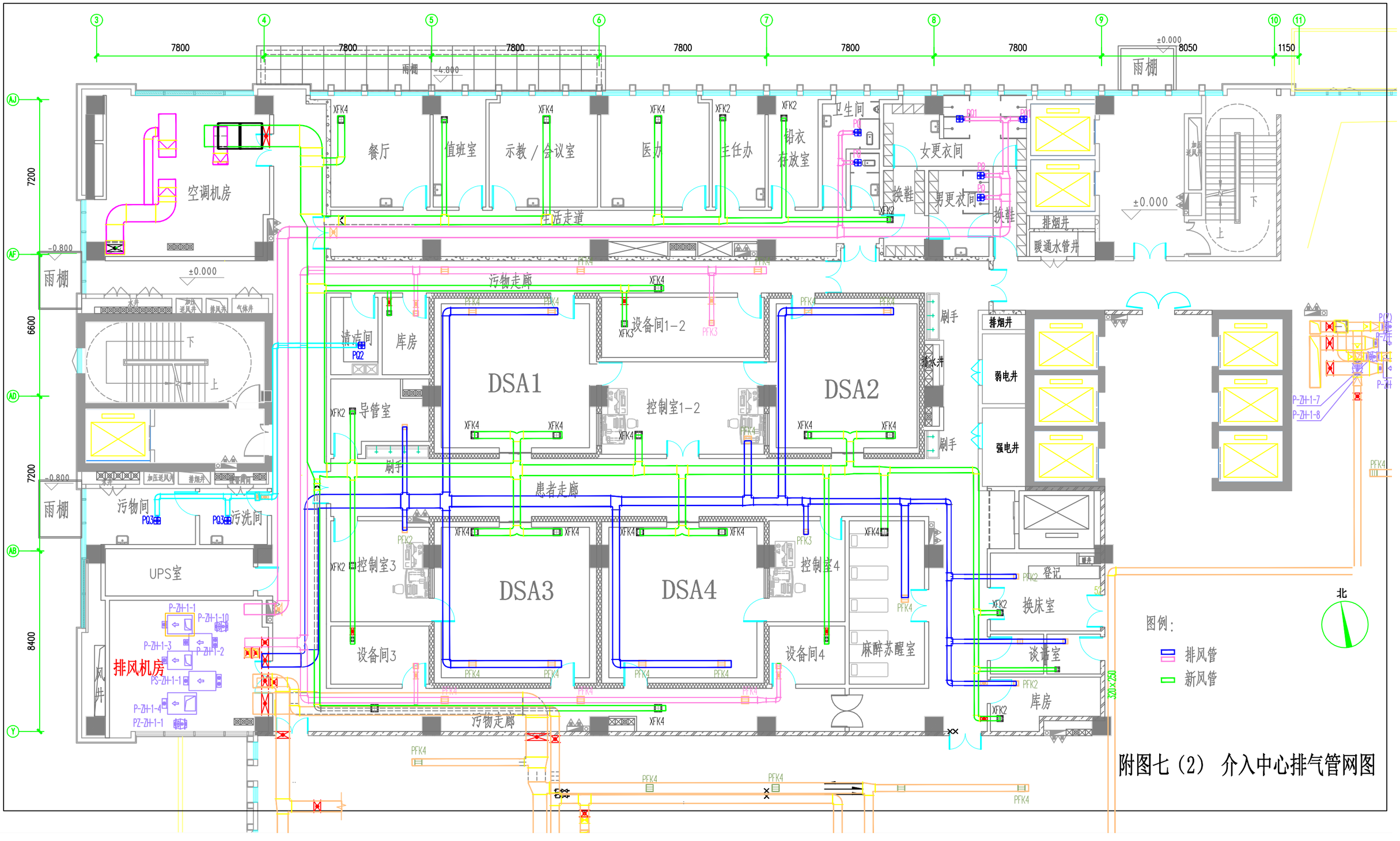
加速器机房废气收集管　工作区用房排气管　加速器机房灾后排气管

卫生间等排气管　新风管　后装机、CT模拟定位机房灾后排气管

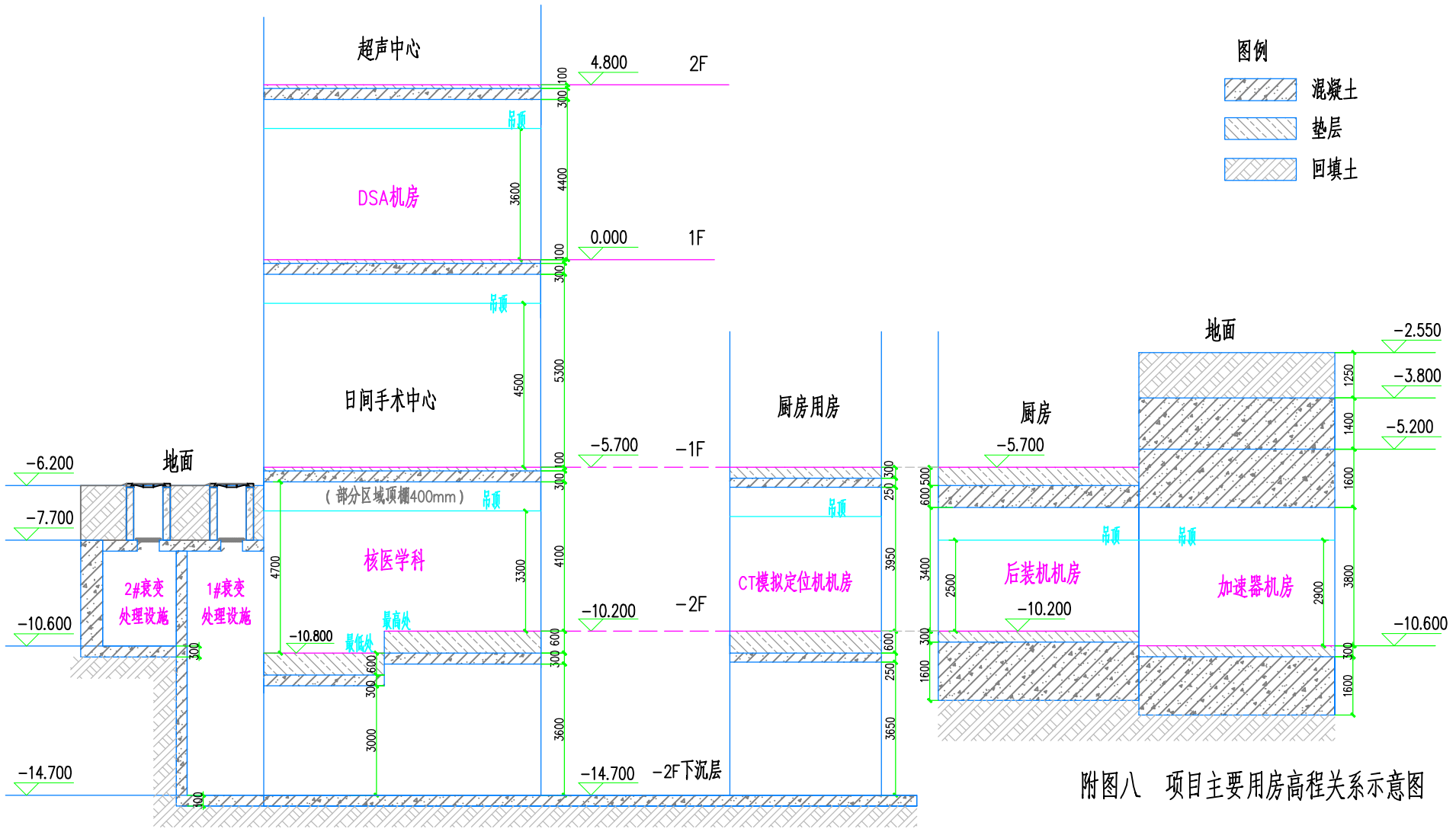
附图六（4）放疗科废气管网布置图




附图七（1） 介入中心平面布置图




附图七（2） 介入中心排气管网图




附图八　项目主要用房高程关系示意图