# 核技术利用建设项目

## 重庆大学附属三峡医院新建回旋加速器机房

# 环境影响报告表

重庆大学附属三峡医院

2022 年 1 月

生态环境部制

打印编号：1641538706000

# 编制单位和编制人员情况表

| | |
|---|---|
| 项目编号 | 059k24 |
| 建设项目名称 | 重庆大学附属三峡医院新建回旋加速器机房 |
| 建设项目类别 | 55—172核技术利用建设项目 |
| 环境影响评价文件类型 | 报告表 |
| **一、建设单位情况** | |
| 单位名称（盖章） | 重庆大学附属三峡医院 |
| 统一社会信用代码 | 12500101451746 67XB |
| 法定代表人（签章） | 张先祥 |
| 主要负责人（签字） | 曾文兵 |
| 直接负责的主管人员（签字） | 曾文兵 |
| **二、编制单位情况** | |
| 单位名称（盖章） | 重庆宏伟环保工程有限公司 |
| 统一社会信用代码 | 91500112691200406 2 |
| **三、编制人员情况** | |

1. 编制主持人

| 姓名 | 职业资格证书管理号 | 信用编号 | 签字 |
|---|---|---|---|
| 刘媛 | 2014035550350000003511550046 | BH001056 | 刘媛 |

2. 主要编制人员

| 姓名 | 主要编写内容 | 信用编号 | 签字 |
|---|---|---|---|
| 蒲小洁 | 项目基本情况、评价依据、保护目标与评价标准、环境质量现状、项目工程分析与源项、辐射安全与防护、环境影响分析、辐射安全管理、结论及建议 | BH001011 | 蒲小洁 |

**表 1　项目基本情况**

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="5">重庆大学附属三峡医院新建回旋加速器机房</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="5">重庆大学附属三峡医院</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td>张先祥</td><td>联系人</td><td>许云华</td><td>联系电话</td><td>5*****7</td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="5">重庆市万州区新城路 165 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="5">万州区新城路 165 号医院总院</td></tr>
<tr><td colspan="2">立项审批部门</td><td colspan="2">重庆市万州区发展和改革委员会</td><td>批准文号</td><td colspan="2">2105-500101-04-01-367219</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设项目总投资（万元）</td><td>1806.61</td><td>项目环保投资（万元）</td><td>500</td><td>投资比例（环保投资/总投资）</td><td>27.68%</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目性质</td><td colspan="3">☑新建　□改扩建　□其他</td><td>占地面积（m²）</td><td>149.58</td></tr>
<tr><td rowspan="9">应用类型</td><td rowspan="2">放射源</td><td>□销售</td><td colspan="4">□I 类　□II 类　□III 类　□IV 类　□V 类</td></tr>
<tr><td>□使用</td><td colspan="4">□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="4">☑制备 PET 用放射性药物</td></tr>
<tr><td>□销售</td><td colspan="4">/</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="4">☑乙　☐丙</td></tr>
<tr><td rowspan="3">射线装置</td><td>□生产</td><td colspan="4">□II 类　□III 类</td></tr>
<tr><td>□销售</td><td colspan="4">□II 类　□III 类</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="4">☑II 类　☐III 类</td></tr>
<tr><td>其他</td><td colspan="5">无</td></tr>
</table>

**1.1 建设单位概况**

重庆大学附属三峡医院（曾用名“重庆三峡中心医院”，以下简称“三峡医院”）位于重庆市万州区新城路 165 号，是一所集医疗、教学、科研、预防、保健为一体的大型综合性三级甲等医院，系全市区域性医疗中心，辐射渝、鄂、川、陕等区域，承担着周边 23 个区县 2300 万人口的公共医疗救治任务。

三峡医院设有一个总院、八个分院、六大中心，拥有编制床位 2559 张，开放床位 3150 张。医院总院位于万州区新城路 165 号，总占地面积 245 亩，建筑面积约 20 万 m²，业务用房面积 13 万 m²，包括外科大楼、肿瘤大楼、惠恩楼、急救大楼、行政办公楼、科技大楼、医学美容中心等建筑。医院设有神经内科、

消化内科、神经外科等临床科室和放射科、超声科、检验科等医技科室。其中康复医学和神经病学为重庆市医学重点学科，男性科、肛肠科为重庆市中医重点专科，妇产科、儿科、急诊医学科、普通外科、呼吸内科、内分泌科为重庆市临床重点专科。

**1.2 项目由来**

三峡医院已在总院设立了 PET/CT 影像诊断中心，主要使用非密封放射性药物 $^{18}$F-FDG（氟代脱氧葡萄糖），并配置了 1 台 PET/CT 机（Ⅲ类射线装置）开展核医学显像诊断工作。目前医院使用的非密封放射性药物由原子高科配送，为了满足医院 PET/CT 影像诊断中心的用药需求，使其开展工作更方便快捷，拟在总院建设“重庆大学附属三峡医院新建回旋加速器机房”，用于放射性药物制备。项目拟新建 1 栋 3 层独立建筑，拟配置 1 台回旋加速器（Ⅱ类射线装置），制备放射性药物 $^{18}$F、$^{11}$C、$^{13}$N；使用非密封放射性同位素 $^{68}$Ga（由 $^{68}$Ge-$^{68}$Ga 发生器制备），只开展标记实验工作，不涉及后续实验。该场所日等效最大操作量为 $2.17\times10^{9}$Bq，属于乙级非密封放射性物质工作场所。制备的 $^{11}$C、$^{13}$N 计划在 PET/CT 影像诊断中心使用，$^{11}$C、$^{13}$N 的使用另行办理手续，不在本次评价中。

根据《中华人民共和国环境保护法》、《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》的相关规定，该项目的建设应开展环境影响评价工作。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版）的要求，该项目属于“五十五 核与辐射　172 核技术利用建设项目”中的“制备 PET 用放射性药物的、乙级非密封放射性物质工作场所、使用Ⅱ类射线装置”，环境影响评价报告文件形式为编制环境影响报告表。

为保护环境，保障公众健康，严格执行《中华人民共和国环境影响评价法》，重庆大学附属三峡医院特委托重庆宏伟环保工程有限公司对该项目进行环境影响评价。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《重庆大学附属三峡医院新建回旋加速器机房环境影响报告表》。

**1.3 项目概况**

**续表 1　项目基本情况**

**（1）项目组成**

拟在医院东南侧空地新建 1 栋 3 层的独立建筑作为核素制备的工作场所，包括回旋加速器室、化学合成室（热室）、质控室、放药实验室、各配套功能房间等。拟配置 1 台回旋加速器（Ⅱ类射线装置），用于制备放射性核素 $^{18}F$、$^{11}C$、$^{13}N$；自行淋洗 $^{68}Ga$，开展实验标记工作。本项目制备核素不外售。项目总建筑面积约 486.9m$^2$。

项目总投资 1806.61 万，其中环保投资 500 万；项目施工期预计 12 个月。

本项目工程组成一览表见表 1-1。

**表 1-1　项目组成一览表**

| 分类 | 项目 | 工程组成 | 备注 |
|---|---|---|---|
| 主体工程 | 工作场所 | 一层拟设置回旋加速器室、加速器控制室、气瓶间（衰变池）、回旋设备间、固废间；<br>回旋加速器室内空尺寸长×宽×高：7.9m×6.3m×4.9m（有效使用面积49.77m$^2$）。 | 新建 |
| | | 二层拟设置化学合成室（热室，包括$^{68}Ga$生产区和$^{18}F$、$^{11}C$、$^{13}N$生产区）、热室控制室、质控室、成品药通道、固废间、洁具间、一更、去污淋洗间、缓冲、二更、洗衣整衣间； | |
| | | 三层拟设置废气衰变间、放药实验室、缓冲间等。 | |
| | 核素 | 拟制备 $^{18}F$、$^{11}C$、$^{13}N$、$^{68}Ga$ 共 4 种放射性核素，日等效最大操作量为 2.17×10$^9$Bq，属于乙级非密封放射性物质工作场所。 | 拟自己制备 |
| | 设备 | 拟购 1 台回旋加速器（Ⅱ类射线装置），质子最大能量 10MeV，束流 70μA。<br>$^{68}Ge$-$^{68}Ga$发生器：1支/年，规格为3.7GBq。 | 拟购 |
| 辅助工程 | 辅助用房 | 一层拟设置库房等辅助用房； | 新建 |
| | | 二层拟设置物料间、更衣间、淋浴/卫生间等辅助用房； | |
| | | 三层拟设置净化空调机房、耗材库、值班室、卫生间等辅助用房。 | |
| 储运工程 | 放射性药物储存 | 化学合成室（热室）设置分装热室，生产的放射性药物暂存在分装热室内。 | 新建 |
| 公用工程 | 给水 | 由城市供水管网供给，利用医院内接水点，根据项目布置内部供水管网。 | 依托接水点，新建供水管网 |
| | 排水 | 雨污分流，污污分流。放射性废水经新建的衰变池处理后排入医院西北侧污水处理站（设计处理能力1200m$^3$/d），处理达GB18466-2005预处理排放标准后接入市政污水管网。 | 依托医院已有医院污水处理设施处理，衰变池、内部排水管网新 |

**续表 1　项目基本情况**

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | | 建 |
| | 供配电 | 由市政电网供电。 | 依托 |
| | 排风 | 设置独立排风系统，采用机械排风。 | 新建 |
| 环保工程 | 废水 | 项目气瓶间内设置一座地埋式衰变设施，包括 2 个槽式衰变池（各衰变池的有效容积均为 2.5m³，总有效容积 5m³）。放射性废水经衰变池衰变后接入医院污水处理站处理。 | 新建 |
| | 废气 | 设置 3 套废气收集系统<br>①回旋加速器自屏蔽设备自带 1 根管道，将自屏蔽设备内的废气引至回旋加速器室排风管道内，与机房内的废气通过 1 套管道收集后引至 3 层废气衰变间，经活性炭吸附后引至楼顶高于屋顶排放；<br>②化学合成室内的合成热室、分装热室、淋洗分装热室和放药实验室内的超净层流通风柜都自带活性炭废气处理器，3 个热室废气和 1 个通风柜的废气经自带的活性炭废气处理器处理后由同一套管道收集后引至 3 层废气衰变间，再引至楼顶高于屋顶排放；<br>③控制区内的化学合成室、质控室、固废间、放药实验室、衰变池的废气由同一塔管道收集后引至 3 层废气衰变间，经活性炭吸附后再引至楼顶高于屋顶排放。 | 新建 |
| | 固废 | 一层和二层各设置 1 个固废间，单个面积约 4m²，内设防辐射的专用放射废物桶。一层固废间主要存放回旋加速器室产生的放射性废物，二层固废间主要存放化学合成室、质控室和放药实验室产生的放射性废物。产生的废注射器、抹布、手套、废活性炭等放射性废物置于产生点放射废物桶内，下班后由工作人员统一运至项目二层固废间，待达到清洁解控水平后作为一般医疗废物运至医院医疗废物暂存间暂存，再交有医疗废物处置资质单位处置。废旧 $^{68}$Ge-$^{68}$Ga 发生器由生产厂家回收处置。活化的零件（支架和靶膜等）、放射性沾污的树脂、滤膜、过滤柱等，树脂解控后按危废处理，活化零件不能解控的委托有资质单位收贮，其它类型废物解控后按一般废物处理。 | 新建固废间，依托医院医疗废物暂存间暂存 |
| | | 分类收集。<br>生活垃圾依托医院的生活垃圾收运系统交环卫部门处理。<br>废铅防护用品由医院收集后妥善保存，交生产厂家回收处置。 | 依托医院现有 |
| | 地面清洁 | 分区清洁，控制区单独清洁，不同区域配置不同的清洁工具。 | 新建 |
| | 辐射防护 | 控制区四周墙体、顶棚、地板、防护门均采用足够厚的相应材质（混凝土、铅板等）进行辐射屏蔽防护。 | 新建 |

**（2）项目辐射防护方案**

**续表 1　项目基本情况**

本项目辐射防护设计方案情况见表1-2。

**表 1-2　本项目用房辐射防护设计方案**

| 序号 | 本项目设计情况 | | |
|---|---|---|---|
| | 名称 | 防护方案 | 内空尺寸和面积 |
| 1 | 回旋加速器机房 | 墙体：600mm 混凝土<br>天棚：600mm 混凝土<br>防护门：150mm 聚乙烯+15mmPb | 7.9m（南北）×6.3m（东西）×4.9m（高），约 49.77m$^2$ |
| 2 | 化学合成室 | 化学合成室与控制室之间墙：200mm 混凝土<br>其它墙体：250mm 混凝土<br>天棚：200mm 混凝土<br>地板：600mm 混凝土<br>各传递窗：2mmPb<br>门：2mmPb | 约 33m$^2$ |
| 3 | 质控室 | 墙体：200mm 混凝土<br>天棚：200mm 混凝土<br>地板：200mm 混凝土或 600mm 混凝土<br>门：2mmPb | 约 15m$^2$ |
| 4 | 放药实验室 | 墙体：200mm 混凝土<br>天棚：200mm 混凝土<br>地板：200mm 混凝土<br>门：2mmPb | 约 25m$^2$ |
| 5 | 一层固废间 | 墙体：200mm 混凝土<br>天棚：200mm 混凝土<br>地板：200mm 混凝土<br>门：2mmPb | 约 4m$^2$ |
| 6 | 二层固废间 | 墙体：200mm 混凝土<br>天棚：200mm 混凝土<br>地板：200mm 混凝土<br>门：2mmPb | 约 4m$^2$ |
| 7 | 衰变池 | 池壁：200mm混凝土<br>池顶盖：100mm 混凝土 | 约 5m$^3$ |
| 8 | 放射性废水地面管道 | 包裹 2 mm Pb 铅皮 | / |

备注：混凝土密度 2.35g/cm$^3$，铅密度 11.3g/cm$^3$。

**（3）相关设备配置**

项目拟配套设施设备见表 1-3。

**表 1-3　项目拟配置配套设施设备一览表**

| 序号 | 名称 | 数量 | 规格型号 | 位置 | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 回旋加速器 | 1 台 | GE Qilin | 回旋加速器室 | II 类射线装置 |
| 2 | 全自动化学合成仪 | 2 台 | FASTlab 2 | 化学合成室 | /　热室合成 |
| 3 | 多功能示踪剂合成 | 1 台 | TRACETlab FX2C | 化学合成室 | /　热室合成 |

**续表 1　项目基本情况**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 仪 | | | | |
| 4 | 合成热室（单腔） | 2 台 | BqSv，SHC-75 | 化学合成室（$^{18}F$ 合成） | 正面屏蔽门：75mmPb；其它五面：60mmPb；自带辐射监控系统 |
| 5 | 分装热室 | 1 台 | BqSv，DHC-1060 | 化学合成室（$^{18}F$、$^{11}C$、$^{13}N$ 分装） | 正面屏蔽：75mmPb；其他五面屏蔽：60mmPb；活度计电离室屏蔽：50mmPb；操作手孔屏蔽：60mmPb；铅玻璃窗口：300mm×350mm，60mmPb |
| 6 | 超净层流通风柜 | 1 台 | BqSv，RFH-10 | 放药实验室 | 小样品培养，四周 10mmPb 防护；活度计电离室屏蔽井 10mmPb；放射性固（液）体废弃物屏蔽井 10mmPb |
| 7 | 合成热室（双腔） | 1 台 | BqSv，DSC-75 | 化学合成室（$^{11}C$、$^{13}N$ 合成） | 正面屏蔽门：75mmPb；其它五面：60mmPb；自带辐射监控系统 |
| 8 | 高效液相层析仪 | 1 台 | LC-20AD | 质控室 | / |
| 9 | 气相色谱仪 | 1 台 | CG-8860 | 质控室 | / |
| 10 | 薄层色谱仪 | 1 台 | Mini-Scan，MS-1000 | 质控室 | / |
| 11 | 放射性核素 γ 能谱仪 | 1 台 | Capintec，Captac-t Complete | 质控室 | / |
| 12 | 活度计 | 2 台 | RM-905a | 化学合成室 | / |
| 13 | 全自动分装稀释系统 | 1 套 | BqSv，ADG-1000 | 化学合成室（分装热室） | / |
| 14 | 水冷机组 | 1 套 | AIRSYS | 屋顶 | 冷媒 |
| 15 | 加速器专用气体系统 | 1 套 | 捷瑞 | 气瓶间 | / |
| 16 | 外循环双泵冷却水箱 | 1 台 | AIRSYS | 设备间 | / |
| 17 | 数字化辐射监控系统 | 1 套 | BqSv，01-R300 | 回旋加速器室 | 2 个探头 |
| 18 | 废物防护箱 | 6 个 | BqSv，02-014B | 化学合成室、质控室、放药实验室、回旋加速器室、固废间 | 铅当量 20 mm Pb |
| 19 | 移动注射防护车 | 1 台 | BqSv，02-C021B-35 | 回旋加速器室（洗靶用，由厂家操作） | 铅当量 20 mm Pb |
| 20 | 防护转移罐 | 1 个 | BqSv，02-A005 | 化学合成室 | 45mm 厚钨合金 |

**续表 1　项目基本情况**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 21 | 防护屏 | 2 台 | BqSv,02-G050 | 回旋加速器室（维修用，由厂家操作） | 50mmPb 当量 |
| 22 | 翻转罐 | 1 个 | BqSv,02-A010 | 化学合成室 | 45mm 钨合金屏蔽 |
| 23 | 回旋加速器洗靶防护台 | 1 台 | BqSv,02-G050-B | 回旋加速器室（洗靶用，由厂家操作） | 工作面五面 50mmPb 防护设计；工作台内建两只小型铅废物桶，用于放射性废物的分类暂存 |
| 24 | 超纯水处理系统 | 1 套 | Molecular,Mol atom1810d | 质控室 | / |
| 25 | 电子天平 | 1 台 | JY-1002/1004 | 质控室 | / |
| 26 | 淋洗分装热室 | | $^{68}$Ga 淋洗和分装 | 化学合成室（$^{68}$Ga 合成、分装） | 正面屏蔽门：60mmPb；其它五面：50mmPb |
| 27 | 表面污染监测仪 | 2 台 | / | 二层去污淋洗间、三层缓冲间（及卫生通过间） | / |
| 28 | 便携式多功能射线剂量仪 | 1 台 | / | 办公室 | / |
| 29 | 便携式中子测量仪 | 1 台 | / | 办公室 | / |
| 30 | 个人剂量报警仪 | 2 台 | / | 控制区医务人员随身佩戴 | 剂量当量率量程 0.01 μSv/h－100 mSv/h |
| 31 | 个人剂量计 | 14 套 | / | 控制区医务人员随身佩戴 | |
| 32 | 铅橡胶衣服、围裙、围脖、帽子、眼镜等 | 6 件 | 双面、长袖 | 二层去污淋洗间、三层缓冲间（及卫生通过间） | 帽子 0.25mmPb 其余 0.5mmPb |
| 33 | 一次性工作服、工作帽、工作鞋、手套、口罩等 | 按需购买 | / | / | / |
| 34 | 洗消液 | 若干 | / | 洁具间、去污淋洗间、缓冲间等 | / |

**备注：**目前尚不确定活度计内是否含有刻度用放射源，本次不纳入评价，待确定相关信息后再按照相应要求完善环保手续。

## 1.4　项目主要原辅材料及能耗情况

本项目主要原辅材料及能耗情况见表 1-4。

**表1-4** 项目主要原辅材料及能耗情况**表**

| 名称 | 年消耗量 | 供应商 | 主要成分 |
|---|---|---|---|

续表 1　项目基本情况

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 原辅材料 | 浓缩 $H_2^{18}O$（液） | 2kg | / | $H_2^{18}O$ |
| | $N_2$和 $O_2$混合气体(气) | 200L | / | $N_2$和 $O_2$ |
| | 高纯水（液） | 1kg | / | $^{16}O$ |
| | 氦气 | 200L | / | He |
| | 试剂盒 | 500 盒 | / | 氯化钠等渗溶液 50ml；乙醇 30ml；乙腈 2.20ml；穴醚 222 15mg；碳酸钾溶液 0.55ml；1mol/L 氢氧化钠溶液 1.00ml；1 三氟甘露糖 20mg |
| | 氢气 | 200L | / | $H_2$ |
| 能耗 | 电（kWh） | 120 万度/a | 市政供电 | / |
| | 水量 $m^3$ | $1000m^3/a$ | 市政供水 | / |

## 1.5　劳动定员及工作制度

本项目劳动定员 14 人，设置核医学医师 8 人，药师 1 人，护师 2 人，技师 3 人。年工作 240 天，轮休。该建设项目建成后，其运行人员由从 PET/CT 影像诊断中心和核医学科调入。目前具体人员尚未确定。

## 1.6 工作负荷

根据医院确认，计划每周运营 5 天，每月运营 4 周，年运营 240 天。本项目工作负荷见表 1-5。

**表1-5 工作负荷表**

| 核素 | 用途 | 单次生产量（Bq） | | 日最大次数（次） | 日最大生产量（Bq） | 年最大次数（次） | 年最大生产量（Bq） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $^{18}F$ | 生产 | 2Ci | 7.4E+10 | 2 | 1.48E+11 | 480 | 3.55E+13 |
| $^{11}C$ | | 1.2Ci | 4.44E+10 | 1 | 4.44E+10 | 240 | 1.07E+13 |
| $^{13}N$ | | 0.6Ci | 2.22E+10 | 1 | 2.22E+10 | 240 | 5.33E+12 |
| $^{68}Ge$ | 储存 | 100mCi | 3.70E+9 | 1 | 3.7E+9 | / | 3.7E+9 |
| 核素 | 用途 | 单次实验使用量(Bq) | | 日最大次数（次） | 日最大用量（Bq） | 年最大次数（次） | 年最大用量(Bq) |
| $^{68}Ga$ | 实验 | 5mCi | 1.85E+8 | 12 | 2.22E+9 | 2880 | 6.39E+12 |

## 1.7 项目周围环境概况

本项目位于重庆市万州区新城路 165 号重庆大学附属三峡医院总院内东南

侧，为新建独立建筑，地上三层，地下无建筑。西北侧约 23m 为惠恩楼，东北侧约 10m 为特需病房，西南侧紧邻制氧机房，西南侧约 35m 为外科大楼，东侧为西山公园，西侧为停车场。本项目周围环境见表 1-6。

**表 1-6　本项目外环境关系表**

| 序号 | 名称 | 方向 | 与项目最近距离 | 基本情况 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 惠恩楼 | 西北侧 | 约 23m | 医院用房，27F/-2F，用作门诊和病房，约 500 人 |
| 2 | 特需病房 | 东北侧 | 约 10m | 医院用房，2F，用作住院病房，约 20 人 |
| 3 | 制氧机房 | 西南侧 | 紧邻 | 医院用房，1F，用作设备用房，约 2 人 |
| 4 | 外科大楼 | 西南侧 | 约 35m | 医院用房，10F，用作住院病房，约 200 人 |
| 5 | 西山公园 | 东侧 | 紧邻 | 市政公园，约 50 人 |

**1.8 项目选址可行性**

本项目位于重庆市万州区新城路 165 号重庆大学附属三峡医院总院内东南侧，为新建独立建筑，地上三层，地下无建筑。

（1）本项目选址充分考虑周围场所的安全，项目为新建独栋建筑，周围主要为惠恩楼、特殊病房、制氧机房、外科大楼、西山公园等，无产科、儿科、食堂等部门邻接，做到了独立布置，且设置有单独出、入口，周围人员活动较少。

（2）本项目放射性废水衰变池拟设置于一层气瓶间内，便于二层质控室、三层放药实验室等区域产生的放射性废水自流排入，且本项目为新建独栋建筑，无公众长时间停留。

（3）本项目放射性废气排放口拟设置在 3F 楼顶东南侧，排放高度较高且排放口位置远离周边高层建筑惠恩楼和外科大楼。

（4）根据现状监测可知，本项目拟建址的环境 γ 辐射剂量率的监测值在 62nGy/h～97nGy/h 之间（未扣除宇宙射线），与重庆市 2020 年环境地表 γ 空气吸收剂量率平均值 95.9nGy/h 无明显差异。

综上，本项目回旋加速器室、化学合成室等用房以及衰变池和废气排放口位置选址满足《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）中的选址要求，拟建址及周围环境的辐射环境质量现状

无异常，选址可行。

## 1.9 与项目有关的环境保护问题

### 1.9.1 医院环保手续情况

三峡医院总院于 1998 年建成并投入运营，并纳入排污许可管理，排污许可证编号 1250010145174667XB010V，有效期 2020-07-24 至 2023-07-23。

### 1.9.2 与项目有关辐射环境问题

经现场调查和咨询，医院于 2021 年 12 月 6 日重新申领了《辐射安全许可证》：渝环（辐）证 00309 号（有效期至 2026 年 12 月 5 日，见附件一），目前在许可范围内使用的有 6 台Ⅱ类射线装置，1 枚Ⅲ类放射源，1 枚Ⅴ类放射源，45 台Ⅲ类射线装置，1 个非密封放射性物质乙级工作场所，1 个非密封放射性物质丙级工作场所。

医院现有射线装置、放射源、放射工作场所情况见表 1-7，医院核素使用情况见表 1-8。

**表 1-7 医院现使用的放射工作场所、射线装置与放射源情况一览表**

| 序号 | 装置名称/工作场所 | 类型 | 数量 |
|---|---|---|---|
| 1 | 直线加速器 | Ⅱ类 | 2 台 |
| 2 | DSA | Ⅱ类 | 4 台 |
| 3 | SPECT/CT | Ⅲ类 | 1 台 |
| 4 | PET/CT | Ⅲ类 | 1 台 |
| 5 | CT 模拟定位机 | Ⅲ类 | 1 台 |
| 6 | CT、DR、CR、胃肠机、移动 C 型臂 X 射线机、移动 X 拍片机等普通医用 X 射线装置 | Ⅲ类 | 42 台 |
| 7 | 外科大楼 1 楼核医学科 | 乙级工作场所 | 1 个 |
| 8 | 急救大楼 1 楼 PET/CT 诊断场所 | 丙级工作场所 | 1 个 |
| 9 | 后装机 | Ⅲ类放射源 | 1 枚 |
| 10 | PET/CT 校准源 $^{68}$Ge | Ⅴ类放射源 | 1 枚 |

**表 1-8 医院非密封放射性物质使用情况一览表**

| 序号 | 核素名称 | 理化性质 | 日等效最大操作量（Bq） | 年最大用量（Bq） | 工作场所 | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|---|

**续表 1　项目基本情况**

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | $^{89}Sr$ | 液态 | $2.96\times10^{7}$ | $3.25\times10^{10}$ | 外科大楼 1 楼核医学科 | 日常使用 |
| 2 | $^{153}Sm$ | 液态 | $1.85\times10^{8}$ | $6.66\times10^{9}$ | 外科大楼 1 楼核医学科 | 已上证，未使用 |
| 3 | $^{32}P$ | 固态 | $3.70\times10^{8}$ | $6.66\times10^{9}$ | 外科大楼 1 楼核医学科 | 已上证，未使用 |
| 4 | $^{125}I$ | 液态 | $1.48\times10^{5}$ | $3.70\times10^{8}$ | 外科大楼 1 楼核医学科 | 日常使用 |
| 5 | $^{99m}Tc$ | 液态 | $2.59\times10^{7}$ | $3.28\times10^{12}$ | 外科大楼 1 楼核医学科 | 日常使用 |
| 6 | $^{125}I$ 粒籽 | 固态 | $6.66\times10^{6}$ | $1.036\times10^{12}$ | 外科大楼 1 楼核医学科 | 日常使用 |
| 7 | $^{131}I$ | 液态 | $1.85\times10^{9}$ | $1.41\times10^{12}$ | 外科大楼 1 楼核医学科 | 日常使用 |
| 8 | $^{18}F$ | 液态 | $1.11\times10^{7}$ | $2.664\times10^{12}$ | 急救大楼 1 楼 PET/CT 诊断场所 | 日常使用 |

医院上述手续齐全的设备运行至今使用情况良好，无辐射安全事故发生。经现场调查，三峡医院放射工作人员配备齐全，建立了个人剂量档案和健康档案，根据医院放射工作人员个人剂量监测报告可知，现有放射工作人员上一年度个人剂量在 0.05mSv/a～0.5mSv/a，远低于医院的管理目标值 5mSv/a，医院未发生放射工作人员的年剂量当量超标情况。放射工作人员均进行了辐射工作安全防护培训，并取得合格证。医院委托有资质单位对运行的射线装置机房、密封放射源使用场所和非密封放射性物质丙级工作场所、乙级工作场所的辐射环境进行了监测，墙体外周围剂量当量率均小于 2.5μSv/h，各机房和丙级、乙级工作场所屏蔽能力满足要求。医院现有辐射设备完整且能正常运行。医院运营至今，未发生环保纠纷，未收到环保投诉，无环保遗留问题。

### 1.9.3 本项目与医院的依托关系

本项目主要依托医院给排水及供配电工程、医院废水处理站、医院医疗废物及生活垃圾收运系统、医院劳动定员和辐射环境管理机构及人员，依托可行性分析详见表 1-9。

**表 1-9 项目依托可行性分析**

| 依托工程 | 依托情况 | 可行性分析 | 结论 |
|---|---|---|---|
| 公用工程 | 供电、供水等公用工程依托 | 医院已经建成运行，其院内的供电电网、供水管网等完善。故项目依托可行。 | 可行 |
| 环保工程 | 医疗废物 | 医院建设有医疗废物暂存间，建筑面积 | 本项目劳动定员 |

**续表 1　项目基本情况**

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | 约 60m²，按危废贮存场所污染控制标准（GB18597）进行防渗、防腐、硬化处理。医院危险废物交重庆市万州区森浩污染物处置有限公司处置。目前，医疗废物每天转运，危废暂存间面积较大，尚有较多空余，完全能够满足本项目的需求。 | 已纳入医院总劳动定员人员。另因本项目建设，不新增医院的住院床位，因此项目固废、废水的总产生量基本无变化。综上所述，本项目依托可行。 |
| | 生活垃圾 | 医院设置了移动式生活垃圾箱，生活垃圾交环卫部门处理。 | |
| | 生活污水 | 本项目医护人员及机房地面清洁用水等生活污水产量很小，新建建筑附近预留有污水管网接口，污水管网接入医院废水处理设施进行处理。医院建设有医疗废水处理站 1 座，处理能力为 1200m³/d，可以接纳整个医院废水。医院的医疗废水处理站满足环保要求，不存在环保遗留问题。 | |
| 劳动定员 | 放射工作人员 | 项目劳动定员 14 人，均计入医院总劳动定员。现有放射工作人员均进行了辐射安全培训，并取得了培训合格证；均配置了个人剂量计；均进行了健康体检，并建立了健康管理档案。 | 可行 |
| 辐射安全管理 | 管理机构、规章制度 | 成立了辐射管理小组，并制定了相应的辐射安全管理制度和档案等，制度齐全，具有可操作性，本次部分可依托。 | 可行 |

由上表可知，本项目依托现有工程是可行的。

### 1.9.4 与医院发展衔接性分析

为了满足医院PET/CT影像诊断中心的用药需求，使其开展工作更方便快捷，医院新建放射性药物制备场所，缩短放射性药物的运输距离和减少放射性药物的损耗，对PET/CT影像诊断中心的发展有着深远的意义。因此，本项目重庆大学附属三峡医院新建回旋加速器机房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 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 本项目不涉及。 | | | | | | | | |

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 | $^{18}F$ | 液态<br>低毒组 | 生产 | 1.48E+11 | 1.48E+9 | 3.55E+13 | 生产后自用 | 简单操作 | 一层回旋加速器室、二层化学合成室（乙级工作场所） | 暂存于分装热室的铅罐 |
| 2 | $^{11}C$ | 液态<br>低毒组 | 生产 | 4.44E+10 | 4.44E+8 | 1.07E+13 | 生产后自用 | 简单操作 | 一层回旋加速器室、二层化学合成室（乙级工作场所） | 暂存于分装热室的铅罐 |
| 3 | $^{13}N$ | 液态<br>低毒组 | 生产 | 2.22E+10 | 2.22E+8 | 5.33E+12 | 生产后自用 | 简单操作 | 一层回旋加速器室、二层化学合成室（乙级工作场所） | 暂存于分装热室的铅罐 |
| 4 | Ge-68<br>(发生器) | 储存<br>中毒组 | 储存 | 3.7E+9 | 3.7E+6 | 3.7E+9 | $^{68}Ga$ 制备 | 源的储存 | 二层化学合成室（乙级工作场所） | 暂存于淋洗分装热室 |
| 5 | Ga-68 | 液态<br>低毒组 | 使用 | 2.22E+9 | 2.22E+7 | 6.39E+12 | 标记实验 | 简单操作 | 放药实验室 | 暂存于通风柜 |
| / | 合计 | / | / | / | 2.17E+9 | / | / | / | / | / |

注：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）。

**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 | 回旋加速器 | II | 1 | GE Qilin | 质子 | 10 | 束流 70μA | 核素制备 | 一层回旋加速器室 | 新建 |

（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(台) | 型号 | 最大管电压（kV） | 最大管电流（mA） | 用途 | 工作场所 | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 本项目不涉及。 | | | | | | | | | |

（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。 | | | | | | | | | | | | | |

**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 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 含放射性核素的废水 | 液态 | $^{18}F$、$^{11}C$、$^{13}N$、$^{68}Ga$ | / | $2.2m^3$ | $26.73m^3$ | 总β<10Bq/L | 衰变池处理 | 放射性废水经衰变池处理后接入医院污水处理装置处理后达标排放 |
| 放射性废气 | 气态 | $^{41}Ar$；药物合成产生的放射性气溶胶 | / | 少量 | 少量 | / | / | 经专用的抽风管道收集后引至 3 楼顶，经活性炭吸附后排放 |
| 放射性固体废物 | 固体 | 废注射器、一次性手套、清洁用抹布等放射性废物 | / | / | 96kg | 废物包装盒外表面 β <0.4Bq/cm$^2$；每袋包装物表面辐射剂量率≤0.1mSv/h。含 $^{18}F$ 的放射性固废低于 10Bq/g | 固废间暂存 | 放射性废物达到清洁解控水平按一般医疗废物处理 |
| | | 更换下来的废活性炭 | / | / | 80.0kg | | | |
| | | 报废的 $^{68}Ge$-$^{68}Ga$ 发生器 | / | / | 1 支/年 | / | 固废间暂存 | 由生产厂家回收处置。 |
| | | 回旋加速器维修零件（活化的支架和靶膜等） | / | / | 0.1t | / | 无 | 解控后按一般废物处理，不能解控的委托有资质单位收贮。 |
| | | 放射性沾污的树脂、滤膜、过滤柱等 | / | / | 0.1t | / | 无 | 树脂解控后按危废处理，其它类型废物解控后按一般废物处理。 |

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**

| | |
|---|---|
| 法律法规文件 | （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 日施行修订版；<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，国务院令第 709 号，2019 年 3 月 2 日修订实施；<br>(1)（7）《医疗废物管理条例》，中华人民共和国国务院令第 380 号，2003 年 6 月 16 日发布并实施，2011 年 1 月 8 日修订实施；<br>（8）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，原国家环境保护总局令第 31 号公布，自 2006 年 3 月 1 日起施行，2021 年 1 月 4 日生态环境部令第 20 号《关于废止、修改部分生态环境规章和规范性文件的决定》）；<br>（9）《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>（10）《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，生态环境部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日施行；<br>（11）《国家危险废物名录（2021 年版）》，部令第 15 号，2021 年 1 月 1 日起施行；<br>（12）关于发布《射线装置分类》的公告，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>（13）关于发布《放射性废物分类》的公告，公告 2017 年第 65 号，2018 年 1 月 1 日起施行；<br>（14）《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430 号）； |

**续表 6　评价依据**

| | |
|---|---|
| 法律法规文件 | （15）《重庆市环境保护条例》，2018 年 7 月 26 日施行修订版；<br>（16）《重庆市辐射污染防治办法》，重庆市人民政府令第 338 号，2021 年 1 月 1 日施行；<br>（17）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。 |
| 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）《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）；<br>（5）《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）；<br>（6）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）；<br>（7）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）；<br>（8）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）；<br>（9）《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）；<br>（10）《医疗废物集中处置技术规范（试行）》；<br>（11）《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>（12）《环境空气质量标准》（GB3095-2012）；<br>（13）《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）；<br>（14）《医院污水处理工程技术规范》（HJ2029-2013）；<br>（15）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》HJ1157-2021。 |

**续表 6　评价依据**

| | |
|---|---|
| 其他 | （1）《重庆市企业投资项目备案证》，支撑性材料附件一；<br>（2）项目相关内容确认函，支撑性材料附件二；<br>（3）项目工作场所背景监测报告，支撑性材料附件三；<br>（4）ICRP 第 33 号出版物；<br>（5）《辐射防护导论》；<br>（6）《中国辐射卫生》；<br>（7）项目设计资料；<br>（8）建设单位提供的项目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，根据能量流的传播与距离相关的特性，确定评价范围为以本项目控制区边界外 50m 区域。

### 7.2 保护目标

**（1）本项目周围环境保护目标**

本项目位于重庆市万州区新城路 165 号重庆大学附属三峡医院总院内，东南侧，为新建独立建筑，地上三层，地下无建筑。西北侧约 23m 为惠恩楼，东北侧约 10m 为特需病房，西南侧紧邻制氧机房，西南侧约 35m 为外科大楼，东侧为西山公园，西侧为停车场。项目用房周围环境保护目标统计见表 7-1。

**表 7-1　本项目周围环境保护目标一览表**

| 序号 | 场所 | 控制区边界 | 保护目标 | 方位 | 最近距离 | 高差 | 保护对象及环境特征 | 影响因素 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 项目所在楼内 | 一层边界 | 加速器控制室（加速器室西南侧） | 西南 | 紧邻 | 平层 | 放射工作人员，约2人 | 电离辐射 |
| | | 二层边界 | 物料间（化学合成室西北侧） | 西北 | 紧邻 | 平层 | 放射工作人员，约2人 | |
| | | 二层边界 | 更衣间（卫生通过间西北侧） | 西北 | 紧邻 | 平层 | 放射工作人员，约2人 | |
| | | 三层边界 | 净化空调机房（放药实验室北侧） | 北 | 紧邻 | 平层 | 放射工作人员，约2人 | |
| | | 三层边界 | 办公室/值班室（放药实验室西南侧） | 西南 | 紧邻 | 平层 | 放射工作人员，约2人 | |

## 续表 7　保护目标与评价标准

续表 7-1　本项目周围环境保护目标一览表

| 序号 | 场所 | 控制区边界 | 保护目标 | 方位 | 最近距离 | 高差 | 保护对象及环境特征 | 影响因素 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 项目所在楼外 | 一层边界 | 惠恩楼 | 西北侧 | 约 23m | 高于项目用房顶部约 72m | 医院用房，27F/-2F，用作门诊和病房，公众成员，约 500 人 | 电离辐射 |
| 3 | | 一层边界 | 特需病房 | 东北侧 | 约 10m | 低于项目用房顶部约 3m | 医院用房，2F，用作住院病房，公众成员，约 20 人 | |
| 4 | | 二层边界 | 制氧机房 | 西南侧 | 紧邻 | 低于项目用房顶部约 4m | 医院用房，1F，用作设备用房，公众成员，约 2 人 | |
| 5 | | 二层边界 | 外科大楼 | 西南侧 | 约 35m | 高于项目用房顶部约 21m | 医院用房，10F，用作住院病房，公众成员，约 200 人 | |

**（2）本项目衰变池周围环境**

本项目衰变池位于一层气瓶间内，衰变池废气和控制区用房废气一起引至 3 楼顶排放。衰变池周围环境保护目标见表 7-2 所示。

**表 7-2 衰变池周围环境保护目标一览表**

| 序号 | 环境保护目标 | 方位 | 水平距离 | 高差 | 环境特征 | 影响因素 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 惠恩楼 | 西北侧 | 约 28m | 0m | 医院用房，27F/-2F，用作门诊和病房，公众成员，约 500 人 | 废气、电离辐射 |
| 2 | 特需病房 | 东北侧 | 约 15m | 0m | 医院用房，2F，用作住院病房，公众成员，约 20 人 | |
| 3 | 制氧机房 | 西南侧 | 约 5m | 0m | 医院用房，1F，用作设备用房，公众成员，约 2 人 | |
| 4 | 外科大楼 | 西南侧 | 约 40m | 高于衰变池约 1m | 医院用房，10F，用作住院病房，公众成员，约 200 人 | |

**（3）废气排放口周围环境概况**

本项目放射性废气均引至 3 楼顶排放，废气排放口离地高度约 12m，项目所在地主导风向为西北风，放射性废气排放口周围环境保护目标见表 7-3。

**表 7-3 放射性废气排放口周围环境保护目标一览表**

| 序号 | 环境保护目标 | 方位 | 水平最近距离 | 高差 | 环境特征 | 影响因素 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 惠恩楼 | 西北侧（上风向） | 约 25m | 高于排气筒约 69m | 医院用房，27F/-2F，用作门诊和病房，公众成员，约 500 人 | 废气 |
| 2 | 特需病房 | 东北侧 | 约 12m | 低于排气筒约 6m | 医院用房，2F，用 | |

续表 7　保护目标与评价标准

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | （侧风向） | | | 作住院病房，公众成员，约 20 人 | |
| 3 | 制氧机房 | 西南侧（侧风向） | 约 15m | 低于排气筒约 3m | 医院用房，1F，用作设备用房，公众成员，约 2 人 | |
| 4 | 外科大楼 | 西南侧（侧风向） | 约 50m | 高于排气筒约 18m | 医院用房，10F，用作住院病房，公众成员，约 200 人 | |

**7.3 评价标准**

**（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 作为职业照射剂量限值。

b）任何一年中的有效剂量，50mSv。

d）四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量不超过 500mSv。

第 B1.2 款　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：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。

清洁解控水平推荐值（本环评表 7-4）

**表 7-4　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） |
|---|---|
| $^{18}F$ | 1×10 |
| 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 7-5）所列。

**表 7-5　工作场所的放射性表面污染控制水平表　　单位：Bq/cm²**

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

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 7-4）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。

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 7-6）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 7-6　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 7-7）和表 C2（本环评表 7-8）。放射性核素的毒性分组见附录 D（标准的附录）。

**表 7-7　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 7-8　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

8.6.1 d）排放所致的公众照射符合本标准附录 B（标准的附录）所规定的剂量限制要求；

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）**

4.4.2 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。

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 2.5 μSv/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。

7.2.1.3 放射性废物每袋重量不超过 20 kg。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。

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。

附 录 A 放射性核素毒性组别修正因子及操作方式修正因子

附 录 A 表 A.2 （本环评表 7-9）给出了核医学常见放射性核素状态与操作方式修正因子。

**表 7-9　核医学常见放射性核素状态与操作方式修正因子**

| 活动类型 | 核素及状态 | 操作方式界定 | 操作方式修正因子 |
|---|---|---|---|
| 发生器淋洗 | 母体（液态） | 贮存 | 100 |
| | 子体（液态） | 简单操作 | 1 |
| 医疗机构使用 | $^{18}$F、$^{99m}$Tc（液态） | 很简单操作 | 10 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | $^{125}$I 籽源（固态） | 很简单操作 | 100 |
| 放射性药品生产 | 分装、标记（液体） | 简单操作 | 1 |
| | 分装、标记（固体） | 简单操作 | 10 |
| 核素治疗 | $^{131}$I（液态） | 简单操作 | 1 |

**（3）《放射治疗辐射安全与防护要求》HJ 1198—2021**

本标准适用于医疗机构放射治疗相关活动中的辐射工作人员和公众的辐射安全与防护管理。

放射治疗设备生产、调试、维修维护活动和科研活动可参照本标准执行。

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 30 cm 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：$\dot{H}c$≤100 μSv/周；

机房外非辐射工作人员：$\dot{H}c$≤5 μSv/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：$\dot{H}c,max$≤2.5 μSv/h；

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

**（4）《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 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，并采取相应的防护措施。

**续表 7　保护目标与评价标准**

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（本环评报告表 7-10），核医学工作场所分类的加权活度计算方法见附录 G。

**表 7-10　不同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**

| 操作方式 | 分类 | | |
|---|---|---|---|
| | Ⅰ | Ⅱ | Ⅲ |
| 结构屏蔽 | 需要 | 需要 | 不需要 |
| 地面 | 与墙壁接缝无缝隙 | 与墙壁接缝无缝隙 | 易清洗 |
| 表面 | 易清洗 | 易清洗 | 易清洗 |
| 分装柜 | 需要 | 需要 | 不必须 |
| 通风 | 特殊的强制通风 | 良好通风 | 一般自然通风 |
| 管道 | 特殊的管道 [a] | 普通管道 | 普通管道 |
| 盥洗与去污 | 洗手盆 [b] 和去污设备 | 洗手盆 [b] 和去污设备 | 洗手盆 [b] |

[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。

G.1 核医学工作场所分类见表 G.1（本环评见表 7-11）。

**表 7-11　非密封源工作场所的分级**

| 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.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 7-12），不同操作性质的修正因子取值见表 G.3（本环评见表 7-13）。

**表 7-12　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 | $^{14}C$、$^{3}H$、$^{81}Kr^{m}$、$^{127}Xe$、$^{133}Xe$ | 0.01 |

本项目使用放射性核素为 $^{18}F$，核素的毒性权重因子为 1。

**表 7-13　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（本环评表 7-10）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 2.5 μSv/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　应根据使用核素的特点、操作方式以及潜在照射的可能性和严重程度，做好工作场所监测，包括场所周围剂量当量率水平、表面污染水平或空气中放射性核素浓度等内容, 工作场所放射防护检测方法见附录 J。 开展核医学工作的医疗机构应定期对放射性药物操作后剂量率水平和表面污染水平进行自主监测，每年应委托有相应资质的技术服务机构进行检测。核医学工作场所的放射性表面污染控制水平见表 2（本环评表 7-5）。

6 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。

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。

8.9 储存场所应具有通风设施，出入处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。

8.11 废物包装体外表面的污染控制水平：β＜0.4Bq/cm$^2$。

**（5）《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）**

6.2　个人监测

6.2.4　个人剂量档案应妥善保存，保存时间应不少于个人停止放射工作后 30 年。

6.3　工作场所监测

6.3.2　工作场所监测的内容和频度根据工作场所内辐射水平及其变化和潜在照射的可能性与大小进行确定。附录 A 给出了一种可供参考的工作场所常规监测的内容与周期（本环评见表 7-14）。

**表 7-14　工作场所常规监测的内容与周期**

| 工作场所级别 | 表面放射性污染 | 气载放射性核素的浓度 | 工作场所辐射水平 |
|---|---|---|---|
| 甲 | 2 周 | 1 周 | 2 周 |
| 乙 | 4 周 | 2 周 | 2 周 |
| 丙 | 8 周 | 4 周 | 4 周 |

本项目属于乙级工作场所，按上述相应要求执行。

**（6）《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。

**（7）《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）**

12.2.3.1　医院、学校、研究所和其他放射性同位素应用单位产生的少量放射性废物（包括废放射源），经审管部门批准可以临时贮存在许可的场所和专用容器中。贮存时间和总活度不得超过审管部门批准的限值。

12.2.3.2　应采用安全可靠的贮存容器，建立必要的管理办法，并配备管理人员，防止废物丢失或污染周围环境。

**（8）《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β排放限值（日均值）：10Bq/L。

**（9）《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$^3$）。

**（10）《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$^3$。

**（11）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 851-001-01）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。

**（12）评价标准及相关参数值**

①年有效剂量

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求，放射工作人员连续 5 年的年平均有效剂量不超过 20mSv，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）。结合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），医院取 GB18871-2002 中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约束值；取公众照射平均剂量估计值的十分之一 0.1mSv/a 作为公众成员的年有效剂量约束值；取四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量限值的四分之一即 125mSv/a 作为放射工作人员手部当量剂量约束值；本项目的公众照射剂量管理取值为 10%，在上述取值范围内，满足 GB18871-2002 要求。

②放射性废水活度排放限值

根据 GB18871-2002 中 8.6.2，给出了放射性废水每月排放的总活度不超过 $10ALI_{min}$，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。本项目涉及核 $ALI_{min}$ 值及 $10ALI_{min}$ 如下。

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 计算：放射性核素 j 的年摄入量限值（$I_{iL}$）计算公式：$I_{iL} = D_L / e_j$，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。

查 GB18871-2002 表 B3，$ALI_{min}$ 是相应于职业照射的食入和吸入 ALI 值中的较小者。因此，本项目放射性废水活度排放限值见表 7-15。

**表 7-15　放射性废水单月、单次排放活度限值计算表**

| 核素 | 吸入 e（g）$_{1\mu m}$（Sv/Bq） | e（g）$_{5\mu m}$（Sv/Bq） | 食入 e（g）（Sv/Bq） | 单次排放限值（$ALI_{min}$）（Bq） | 单月排放限值（10 $ALI_{min}$）（Bq） |
|---|---|---|---|---|---|
| $^{18}F$ | $3.0\times10^{-11}$ | $5.4\times10^{-11}$ | $4.9\times10^{-11}$ | $3.70\times10^{8}$ | $3.70\times10^{9}$ |
| $^{11}C$ | / | / | $2.4\times10^{-11}$ | $8.33\times10^{8}$ | $8.33\times10^{9}$ |
| $^{68}Ga$ | $2.8\times10^{-11}$ | $4.9\times10^{-11}$ | $1.0\times10^{-10}$ | $2.0\times10^{8}$ | $2.00\times10^{9}$ |

③回旋加速器机房屏蔽体外控制水平核算

本评价按照其相关要求保守计算回旋加速器机房的屏蔽体外周围剂量当量率控制水平核算如下：

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 |

本项目设置回旋加速器为10MeV，单台设备周运行时间约10h。按最不利情况考虑，使用因子U均取1。回旋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。

**表7-17　回旋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 | | | | | | |
| 西北侧 | 外环境通道 | 5 | 泄漏辐射 | 1/5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| 西南侧 | 加速器控制室 | 100 | 泄漏辐射 | 1 | 2.5 | 10 | 2.5 |
| 东北侧 | 外环境通道 | 5 | 泄漏辐射 | 1/5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| 东南侧 | 外环境绿化 | 5 | 泄漏辐射 | 1/5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| 顶板 | 化学合成室 | 100 | 泄漏辐射 | 1 | 2.5 | 10 | 2.5 |
| 防护门 | 内部通道 | 100 | 泄漏辐射 | 1/5 | 2.5 | 50 | 2.5 |

备注：地板下方为泥土层，不予考虑。

根据上表核算，回旋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。

综上，本评价根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）等标准以及医院确定的个人剂量管理目标，确定

## 续表 7　保护目标与评价标准

本项目的评价标准见表 7-18。

**表 7-18　辐射评价标准及相关限值汇总表**

<table>
<tr><th colspan="2">年有效剂量控制要求</th><th>执行依据</th></tr>
<tr><td>放射工作人员</td><td>年有效剂量约束值 5 mSv/a</td><td rowspan="3">GB18871-2002<br>HJ1188-2021<br>HJ1198-2021<br>及医院管理要求</td></tr>
<tr><td>放射工作人员手部剂量</td><td>年当量剂量约束值 125mSv/a</td></tr>
<tr><td>公众成员</td><td>年有效剂量约束值 0.1 mSv/a</td></tr>
<tr><th colspan="2">周围剂量控制值</th><th>执行依据</th></tr>
<tr><td colspan="2">控制区外人员可达处、各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率控制目标值应小于 2.5μSv/h</td><td rowspan="4">GBZ120-2020<br>GBZ130-2020<br>HJ1188-2021<br>结合后取保守值</td></tr>
<tr><td colspan="2">工作场所的分装柜或生物安全柜外表面 5cm 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25μSv/h</td></tr>
<tr><td colspan="2">放射性药物合成和分装的箱体、通风橱、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</td></tr>
<tr><td colspan="2">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</td></tr>
<tr><td colspan="2">回旋加速器机房外 30cm 处的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h</td><td>HJ 1198—2021</td></tr>
<tr><th colspan="2">放射性废物排放</th><th>执行依据</th></tr>
<tr><td rowspan="4">放射性固体废物</td><td>每袋废物（重量≤20kg）的表面辐射剂量率≤0.1mSv/h</td><td rowspan="4">GBZ120-2020<br>GB18871-2002<br>HJ1188-2021</td></tr>
<tr><td>废物包装盒外表面：β<0.4 Bq/cm$^2$</td></tr>
<tr><td>放射性废物清洁解控水平推荐值：<br>$^{18}$F：1×10$^1$Bq/g</td></tr>
<tr><td>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</td></tr>
<tr><td rowspan="3">放射性废水</td><td>衰变池总排口：总β≤10Bq/L，总α≤1Bq/L</td><td>GB18466-2005</td></tr>
<tr><td>每月排放的总活度不超过 10ALImin；每一次排放的活度不超过 1ALImin。</td><td>GB18871-2002</td></tr>
<tr><td>槽式衰变池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。</td><td>HJ1188-2021</td></tr>
<tr><td>表面污染</td><td>工作台、设备、墙壁、地面：控制区：β≤4×10Bq/cm$^2$；监督区：β≤4Bq/cm$^2$；<br>工作服、手套、工作鞋：控制区/监督区：β≤4Bq/cm$^2$；</td><td>GB18871-2002<br>HJ1188-2021</td></tr>
</table>

## 续表 7　保护目标与评价标准

| | | | |
|---|---|---|---|
| | 手、皮肤、内衣、工作袜：β≤4×10$^{-1}$Bq/cm$^{2}$。 | | |
| 气载放射性废物 | $^{18}$F | ≤4.0×10$^{6}$Bq/m$^{3}$ | GB18871-2002 |
| | $^{41}$Ar | ≤2.0×10$^{9}$Bq/m$^{3}$ | |
| **通风要求** | | | **执行依据** |
| 通风 | 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。 | | GBZ120-2020<br>HJ1188-2021 |
| 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。 | | |
| **非放射性废物排放** | | | **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

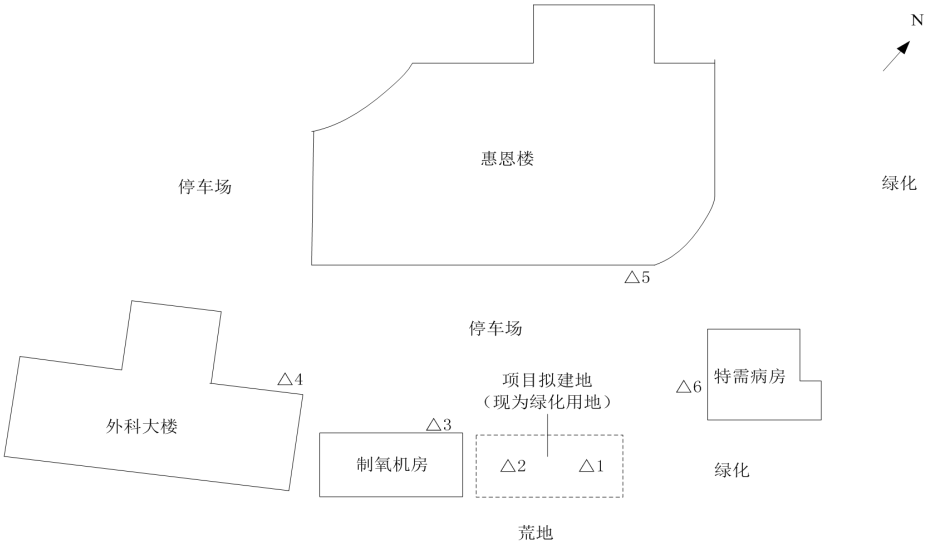
### 8.1 辐射工作场所位置

本项目位于万州区新城路 165 号医院总院内东南侧，新建 1 栋 3 层独立建筑。项目地理位置图见附图 1 所示。

### 8.2 辐射环境现状评价

为掌握本项目所在位置的辐射环境背景水平，重庆泓天环境监测有限公司受医院委托，于 2021 年 9 月 26 日对本项目拟建址的环境γ辐射剂量率背景值进行了监测。监测报告编号为：[2021]1684 号。

（1）监测点位：本次监测 6 个点位。监测布点示意图见图 8-1。




备注：△为环境γ辐射剂量率监测点位，监测高度距地面 1.0m。拟建回旋加速器机房位于重庆大学附属三峡医院制氧机房旁。

**图 8-1　监测布点示意图**

监测点位合理性分析：根据以上监测布点可知，在项目拟建址内布置有监测点，50m 范围内的环境保护目标旁均设置监测点位，能够反映本项目拟建址和周围的辐射环境背景水平。因此，项目监测布点合理可行。

（2）监测因子：环境γ辐射剂量率。

（3）监测方法和依据：

监测方法和依据见表 8-1。

## 续表 8　环境质量和辐射现状

**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辐射剂量率测量技术规范》HJ1157-2021 |

（4）监测仪器

监测仪器情况见表 8-2。

**表 8-2　监测仪器情况**

| 监测仪器名称及型号 | 仪器编号 | 计量检定/校准证书编号 | 有效期至 | 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 | 0.93 |

（5）质量保证措施

监测仪器每年送剂量部门检定合格后在有效期内使用；监测时获取足够的数据量，以保证监测结果的统计学精度；监测报告严格实行三级审核制度，经过校对、校核，最后由技术负责人审定。

（6）监测结果统计

监测结果统计见表 8-3。

**表 8-3　拟建项目监测结果统计**

| 监测点位 | 监测点位描述 | γ辐射剂量率（nGy/h） |
|---|---|---|
| △1 | 拟建回旋加速器机房 | 63 |
| △2 | 拟建回旋加速器机房 | 62 |
| △3 | 拟建回旋加速器机房西南侧制氧机房旁 | 93 |
| △4 | 拟建回旋加速器机房西南侧外科大楼旁 | 96 |
| △5 | 拟建回旋加速器机房东北侧惠恩楼旁 | 97 |
| △6 | 拟建回旋加速器机房东北侧特需病房旁 | 71 |

根据监测统计结果可知，本项目拟建位置的环境γ辐射剂量率的监测值在 62nGy/h～97nGy/h 之间（未扣除宇宙射线的响应值）。根据《2020 年重庆市生态环境状况公报》（重庆市生态环境局），重庆市多个点位的 2020 年环境地表γ辐射空气吸收剂量率监测值平均值为 95.9nGy/h。两者相比，拟建址场址及临近环境γ辐射剂量率在其正常波动范围内。

**表 9 项目工程分析与源项**

**工程设备和工艺分析**

**9.1 施工期污染工序及污染物产生情况**

本项目施工期主要为回旋加速器机房建设和回旋加速器设备安装等施工内容，其工艺流程及产污环节见图 9-1。

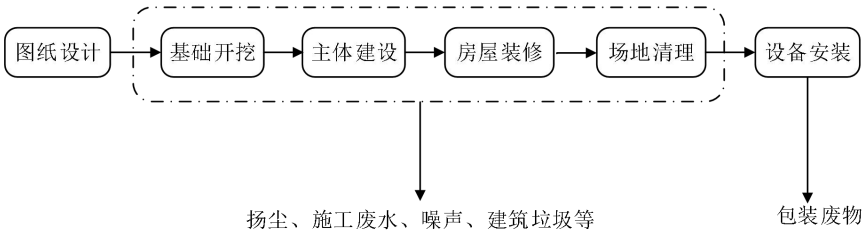



**图 9-1 项目施工期工艺流程及产污环节图**

根据上图可知，本项目施工期主要污染因子有：噪声、扬尘、废水、固体废物等。

扬尘：主要来自于施工过程中建筑材料（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。

噪声：主要来自于施工机械噪声和运输车辆、设备安装的噪声以及混凝土浇筑时的振动噪声；

废水：主要为施工人员产生的生活污水；项目施工期每天最大约 10 人在施工现场作业，生活用水量约为 50L/人·d 计，污水产生系数按用水量的 0.9 计，则生活污水排放量为 0.45$m^3$/d。生活污水依托医院现有的污水处理设施处理后达标后排入市政污水管网。

固体废物：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、包装废物等。

①项目需要新建用房，挖方量约为 30$m^3$，填方量约 27$m^3$（开挖回填），弃方约 3$m^3$。弃方运至市政指定的位置堆存。

②施工建筑垃圾主要包括新建墙体等产生的废木料、水泥、沙石、石材、塑料包装、金属材料、碎玻璃等，根据类比同类型的项目，产生的所有建筑垃圾约为 4t。建筑垃圾运至市政指定的位置处置。

③生活垃圾、包装废物：施工期产生的生活垃圾按每天 10 人计，每人每天

产生生活垃圾 0.5kg，则每天产生 5kg。设备安装过程中会产生少量的包装废物，与生活垃圾一起依托医院现有生活垃圾收集系统收集后交环卫部门统一收运处理。

## 9.2 运行期污染工序及污染物产生情况

### 9.2.1 回旋加速器

本项目新建放射性药品生产场所，包括回旋加速器机房、合成热室、质检及配套用房。拟配置 1 台回旋加速器，主要用于生产放射性核素 $^{18}F$，也用于生产 $^{11}C$、$^{13}N$。

**（1）设备组成**

回旋加速器是专为生产 $^{18}F$ 等正电子发射型核素的小型一体化医用加速器，主要由磁场系统、真空系统、射频系统、离子源系统、束流提取系统、靶系统、冷却系统、气体系统、控制系统等组成，具体见表 9- 1。自屏蔽回旋加速器典型照片见图 9-2。

**表 9- 1 医用回旋加速器系统组成及作用**

| 系统名称 | 组成及作用 |
|---|---|
| 控制系统 | 进行回旋加速器的自动操作，进行联锁管理和安全控制。 |
| 磁场系统 | 提供被加速器的带电粒子做圆周运动所需的磁场。 |
| 真空系统 | 包括真空腔、真空泵、真空计和控制部分。真空系统要求每天 24h 运行，保持真空腔内的真空度，以降低束流的丢失，减少加速器内部的气体活化，同时对高频电场提供绝缘保护。 |
| 射频系统 | 提供提取离子并进行加速的高频振荡电压。 |
| 离子源系统 | 由离子源、离子源电源配给器和气体控制系统组成，主要功能是产生需要的加速器的带电粒子。 |
| 束流提取系统 | 将加速的具有最大能量的带电粒子从真空腔中引出，再通过引出装置将束流引入靶系统。 |
| 靶系统 | 主要由准直器、氦冷却室、靶室、水冷却室和双相三通阀组成。生产正电子核素的核反应在此装置内完成。 |
| 冷却系统 | 水冷却系统——分为一级水冷却系统和二级水冷却系统。一级水冷却系统为普通的冷水机组，常年制冷；二级水冷却系统中的去离子水带走回旋加速器产生的热量，通过热交换传递给一级水冷却系统。<br>氮气冷却系统——在束流轰击期间对靶室和靶窗的 havar 膜与钛膜之间腔隙进行冷却，主要由氦气、压缩机和流量计组成。氦气冷却系统的热量通过热交换传递给一级水冷却系统。 |

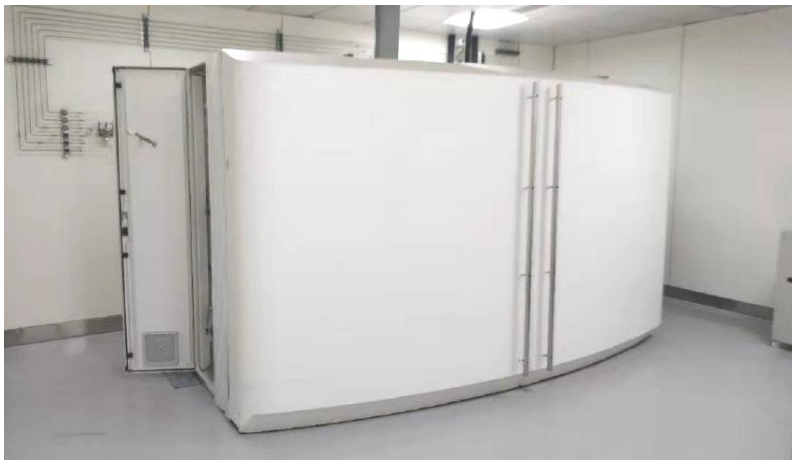


图 9-2　自屏蔽回旋加速器实物照片（示例）

（2）工作原理

回旋加速器工作原理如图9-3所示。回旋加速器使处于真空室内的带电粒子在高频、交变磁场作用下，不断加速，当被加速粒子能量达到一定阈值时偏转引出，引出到加速器外部的入射带电粒子与靶物质相互作用，产生带正电的放射性核素，并根据医院的需要选择不同的靶材料生产相应的放射性核素。

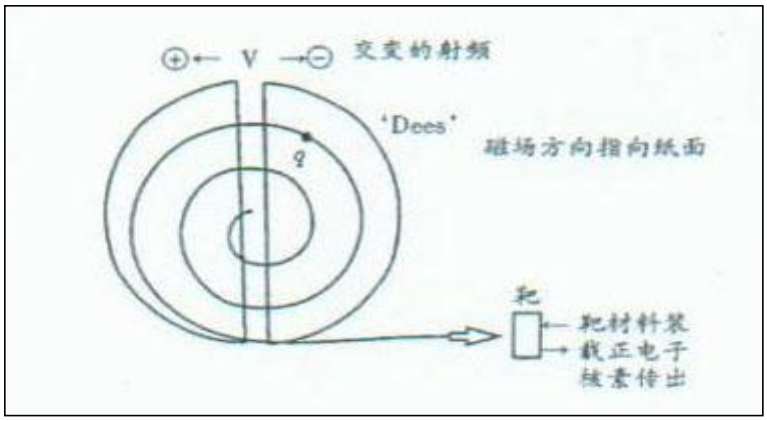
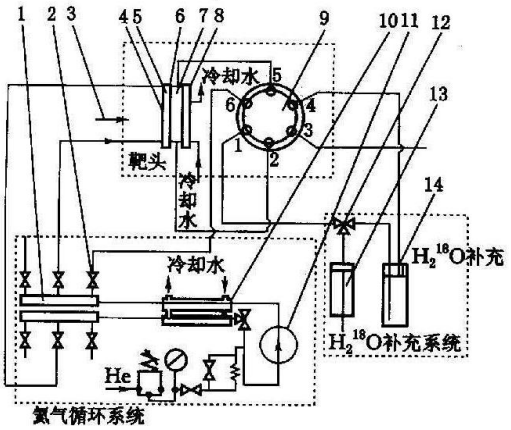



图 9-3　回旋加速器工作原理示意图

以生产 $^{18}F$ 为例，生产 $^{18}F$ 的液体靶辐照系统构成如图 9- 4。系统由靶头、氦气循环系统和 $H_2{}^{18}O$ 补充系统组成。储瓶中的 $H_2{}^{18}O$ 经双相三通阀 1，2 位进入靶室，多余的 $H_2{}^{18}O$ 经 5，4 位流回储瓶，在束流轰击下由 $^{18}O(p,n)^{18}F$ 核反应产生 $^{18}F$。氦气循环系统保证束流窗的冷却。靶室的冷却由水冷循环系统保证。辐照后改变双三通阀相位，以氦气为动力将靶材由靶室经 6，5 位排除，再经 2，3

位送至 $^{18}F$ 药物制备系统。




1. 氦气分配器;2. 氦气压力调节器;3. 束流;4. 铝薄膜窗;
5. 氦气冷却腔;6. Ni-Mn 合金薄膜;7. 靶室;8. 水冷却腔;
9. 双三通阀;10. 冷却套管;11. 氦气压缩机;12. 三通阀;
13. 注射针筒;14. $H_2{}^{18}O$ 储瓶

**图 9-4 回旋加速器液体靶辐照系统构成图**

**（3）工作流程**

回旋加速器生产放射性核素的工艺流程及产污环节见图 9-5。

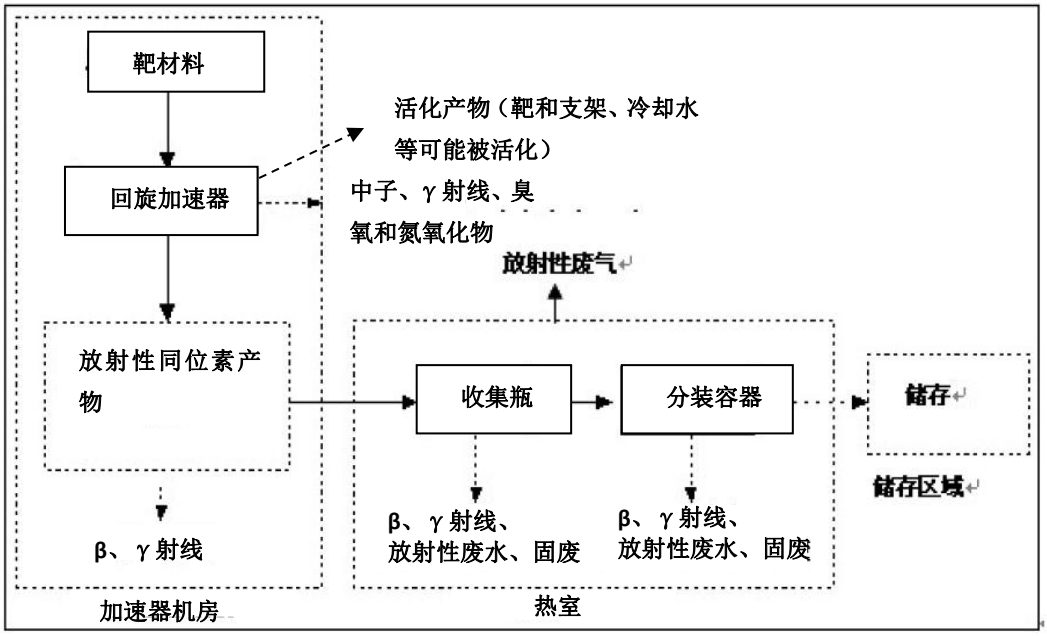



**图 9-5 加速器生产放射性核素的工艺流程及产污环节图**

回旋加速器生产不同的核素需要不同的靶物质。表 9-2 为回旋加速器制备放

射性核素的种类和指标。

**表 9-2 回旋加速器生产的放射性核素**

| 核素 | 半衰期 (min) | 核反应 | 靶材料（物态） | 照射时间 (min) | 产额 (mCi) | 衰变类型 | 毒性分组 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $^{18}F$ | 109.6 | $^{18}O(p.n)^{18}F$ | 浓缩 $H_2{}^{18}O$（液） | 120 | 3500 | $\beta^+$ | 低毒 |
| $^{11}C$ | 20.4 | $^{14}N(p.\alpha)^{11}C$ | $N_2$ 和 $O_2$ 混合气体（气） | 30 | 900 | $\beta^+$ | 低毒 |
| $^{13}N$ | 10.0 | $^{16}O(p.\alpha)^{13}N$ | 高纯水（液） | 25 | 70 | $\beta^+$ | 低毒 |

注：①摘自《中国辐射卫生》1999 年第 8 卷第 1 期，《正电子发射扫描仪和回旋加速器建设中的防护评价》。②单位照射时间和产额由设备厂家提供。

以生产 $^{18}F$ 为例，制备放射性药品 $^{18}F$-FDG 生产工艺总体上包括以下 4 个过程：

①计划产量：根据医院病人预约数量制定当天的制备任务，日最大操作量 4Ci。

②放射性药品 $^{18}F$-FDG 的生产过程

$^{18}F$ 生产准备→$^{18}F$ 靶体内装入 $^{18}O$ 重氧水→回旋加速器开机→选择 $^{18}F$ 核素→回旋加速器定时辐照→轰击 $^{18}O$ 重氧水→通过 $^{18}O(p, n)^{18}F$ 核反应→$^{18}F$ 靶体内生成 $^{18}F$ 核素→自动传送 $^{18}F$ 核素→回旋加速器关机。

回旋加速器在生产 $^{18}F$ 的过程中，是在一个完全的自屏蔽体内自动完成的，由控制室的计算机根据输入的参数来进行控制。轰击过程中若有参数偏差，回旋加速器将自动停止工作。自动生产 $^{18}F$ 过程的时间可以根据 $^{18}F$ 产量的需要预先设定，通常不超过 1h。

③自动合成 $^{18}F$-FDG 的过程

通过铺设于地沟及铅屏蔽内的传输管道，采用氦气正压传输方式自动传送 $^{18}F$ 核素→自动化学合成器→测量活度→装载 QMA 柱→分离回收 $^{18}O$ 水→加入溶液淋洗 $^{18}F$→无水乙腈除水→加入三氟甘露糖→完成氟化取代反应→溶解氟化产物→水解反应→纯化净化→生理盐水混合→产品瓶。$^{18}F$-FDG 合成原理流程图见图 9-6。

续表 9　项目工程分析与源项

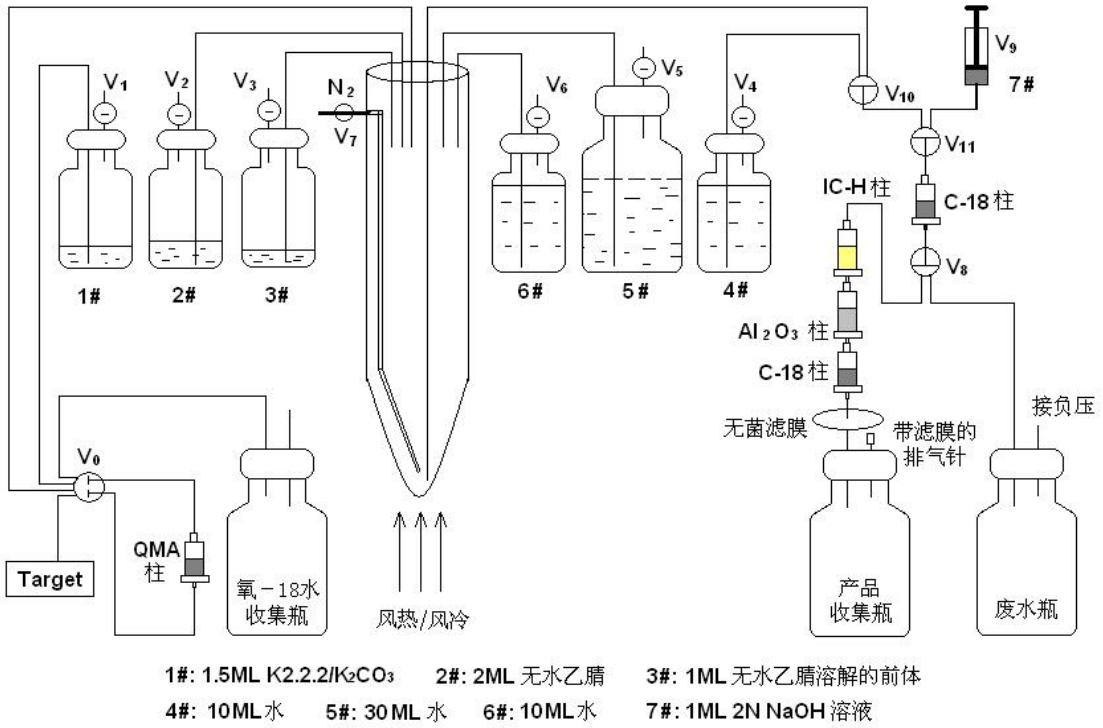



**图 9-6　$^{18}$F-FDG 合成原理流程图**

整个 $^{18}$F-FDG 合成过程是在密闭并且屏蔽了的合成热室内自动完成，化学合成器由计算机自动控制，不需要人工介入。任何一个环节不符合要求，计算机将自动停止合成工作。

④ 分装 $^{18}$F-FDG 的过程

合成后的 $^{18}$F-FDG 先经由带屏蔽的专用管路自动传送到分装热室内，再由分装热室内设置的全自动分装系统，根据医院相关科室预先提出的需求，进行药品的稀释、定量分配、在线活度测量、体积配比、分装等工作，实现全流程自动化，不需要人工操作。

分装人员将装好放射性药品 $^{18}$F-FDG 的铅制运输容器从热室的物料口取出，手提传送至成品传递窗口。

即：自动传送 $^{18}$F-FDG→分装热室→输入预定药品数据（活度、体积）→全自动分装系统根据需求进行药品稀释、体积配比、分装→测量活度→放入铅容器内→取出铅容器→成品传递窗。

合成的药物经质控合格后，在合成热室内分装成需要的活度量。

整个合成、分装生产环节，工作人员预计受照时间约 30min。每次质控时间

为 10min，全年质控最多 480 次。

⑤ 运输暂存过程

将分装后的 $^{18}$F-FDG 药品，装入专用药物转运防护罐内，经专用药梯送至楼下，再通过院内通道送至 PET/CT 影像诊断中心注射室内。

院内运输距离约 80m，整个运输环节，工作人员预计受照时间约 5min。运输时间点一般选择在医院上班时间之前，避开人流高峰时段。

**（4）工作负荷**

本项目拟配置设备回旋加速器质子能量最大为 10MeV，最大束流 70μA，预期运行生产量具体见表 9- 3。

**表9-3　回旋加速器工作负荷表**

| 核素 | 用途 | 单次生产量（Bq） | | 日最大次数（次） | 日最大生产量（Bq） | 年最大次数（次） | 年最大生产量（Bq） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $^{18}$F | 生产 | 2Ci | 7.4E+10 | 2 | 1.48E+11 | 480 | 3.55E+13 |
| $^{11}$C | | 1.2Ci | 4.44E+10 | 1 | 4.44E+10 | 240 | 1.07E+13 |
| $^{13}$N | | 0.6Ci | 2.22E+10 | 1 | 2.22E+10 | 240 | 5.33E+12 |

### 9.2.2 $^{68}$Ge-$^{68}$Ga 发生器

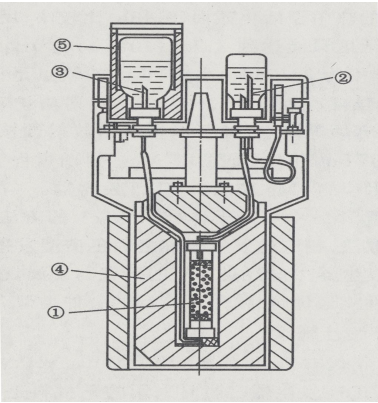
**（1）工作原理**

$^{68}$Ge-$^{68}$Ga 发生器是一种从半衰期较长的母体核素 $^{68}$Ge 中分离出半衰期较短的放射性子体核素 $^{68}$Ga 的装置。

典型的放射性核素发生器发生器外观图见图 9-7，内部结构图见图 9-8。

**图9-7　放射性核素发生器外观图（示例）**

**续表 9　项目工程分析与源项**




1．色谱柱；

2．双针插座（插盐水瓶）；

3．单针插座（插真空瓶）；

4．铅屏蔽体；

5．铅防护容器。

**图 9-8　放射性核素发生器内部结构图（示例）**

$^{68}Ge$-$^{68}Ga$ 发生器属于色谱柱型发生器，采用 $SnO_2$ 作吸附剂。$^{68}Ge$-$^{68}Ga$ 发生器中的 $SnO_2$ 对母体核素 $^{68}Ge$ 有很强的亲和力，子体核素 $^{68}Ga$ 则几乎不被吸附。当用淋洗液淋洗放射性核素发生器的吸附柱时，$^{68}Ga$ 以 $^{68}Ga^{3+}$的形式洗脱出来，而母体核素仍留在放射性核素发生器内，整个过程称为“挤奶”。由于母体核素的不断衰变就不断地产生子体核素，因而核素发生器可以反复淋洗制得子体核素。

**（2）操作流程**

放射性核素发生器的操作流程如下：

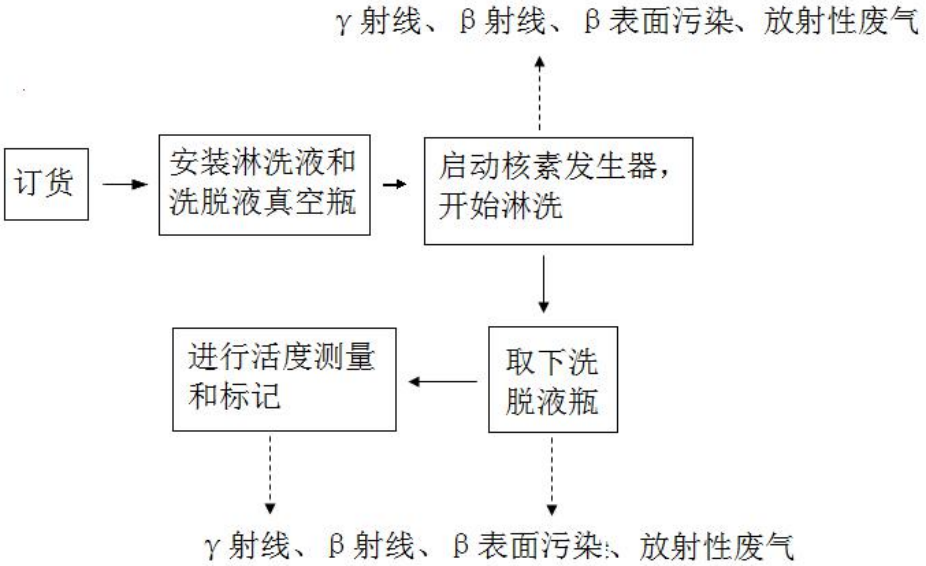



**图 9-9　放射性核素发生器的操作流程**

①订货：医院根据需要确定活度后，直接向厂家购买核素发生器，由生产厂家送货至二层化学合成室淋洗分装热室暂存。

②安装：打开发生器顶部的屏蔽盖，将装有生理盐水的淋洗溶液插入发生器的注入口，然后将放置在铅筒内带有负压或真空状的洗脱液瓶插入发生器的输出口。

③淋洗：启动核素发生器，将淋洗液注入发生器的吸附柱，利用洗脱液瓶的负压或真空状态，将含有 $^{68}$Ga 子体的药液洗脱入洗脱瓶内。淋洗完成后，取走带铅筒的洗脱液，再用另一负压瓶插入发生器输出口，单次淋洗时间一般不超过 1min。

④活度测量：淋洗分装热室内放置活度测量计，工作人员用注射器抽取少量洗脱液，测量该瓶内的比活度，同时测量洗脱液的纯度。该过程操作时间不超过 1min。

**（3）工作负荷**

医院根据实验情况使用放射性核素 $^{68}$Ga，故医院全年将不定时使用 $^{68}$Ge-$^{68}$Ga 发生器。医院拟购置 1 支 3.7GBq/支（约 100mCi/支）的 $^{68}$Ge-$^{68}$Ga 发生器制备 $^{68}$Ga，$^{68}$Ge 半衰期长，医院一年拟购 1 支 $^{68}$Ge-$^{68}$Ga 发生器足够医院使用。按照最不利情况考虑，$^{68}$Ge-$^{68}$Ga 发生器全年淋洗 240 次（1 天淋洗一次,12 次实验的量），则全年总淋洗和活度测量的操作时间为 8h。

**9.2.3 标记实验**

**（1）核素标记实验原理**

本项目 $^{68}$Ge-$^{68}$Ga 发生器制备的 $^{68}$Ga 用于药物标记实验。本项目药物标记实验主要在三层的放药实验室开展。

核素标记实验是用放射性同位素作为一种标记，制成含有同位素的标记化合物（本项目主要是放射性药物）代替相应的非标记化合物。本次实验仅验收放射性物质是否标记成功，后续实验不再进行，也不在本次评价范围内。

**（2）操作流程**

核医学化学师在放药实验室配置好化学前体备用，而后根据药物实验的需求，用注射器将淋洗液或核素原液迅速转移至对应的置入好化学前体中进行混合

反应，并充分摇匀，稀释到预设体积，即得标记药物。用注射器抽取少量的标记药物测定其是否标记成功，不涉及其他操作。标记在放药实验室防护通风柜操作。

**（3）工作负荷**

单次标记药物实验操作过程不超过 2min，年操作次数 2880 次，故标记药物实验操作时间为 96h。标记实验负荷具体见表 9- 4。

**表9-4　标记实验工作负荷表**

| 核素 | 用途 | 单次实验使用量（Bq） | | 日最大次数（次） | 日最大用量（Bq） | 年最大次数（次） | 年最大用量（Bq） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $^{68}$Ga | 实验 | 5mCi | 1.85E+8 | 12 | 2.22E+9 | 2880 | 6.39E+12 |

**9.3 路径规划情况**

项目人流物流主要包括放射工作人员路径、药物运输路径、废物运输路径等。

**（1）放射工作人员路径规划**

从项目西侧入口进入一层回旋加速器工作场所，然后根据工作需要，可以直接进入一层加速器机房和控制室；通过楼梯进入二层、三层。进入二层后，通过一更、二更进入合成热室及热室控制室、质控室等进行相关操作，操作完后通过二更、一更，并进行表面污染监测达标后退出。进入三层后，通过缓冲间进入放药实验室进行相关操作，操作完后再通过缓冲间进行表面污染监测达标后退出。

**（2）药物运输路径规划**

放射性核素通过回旋加速器生产后，使用自动传输系统，从一层回旋加速器机房运送二层化学合成室，进入合成热室自动合成，合成后自动输送到分装热室进行自动分装。分装后放入转运铅罐，手提至传递窗，经专用药品传递窗送到成品药通道，然后用推车经专用转运电梯运送至一层和三层，送至一层的药物最后沿医院院内规定路线运至的 PET/CT 中心的注射室，送至三层的药物直接通过电梯送至放药实验室。需要进行质控的样品放入转运铅盒经专用传递窗送到质控室，进行质控。

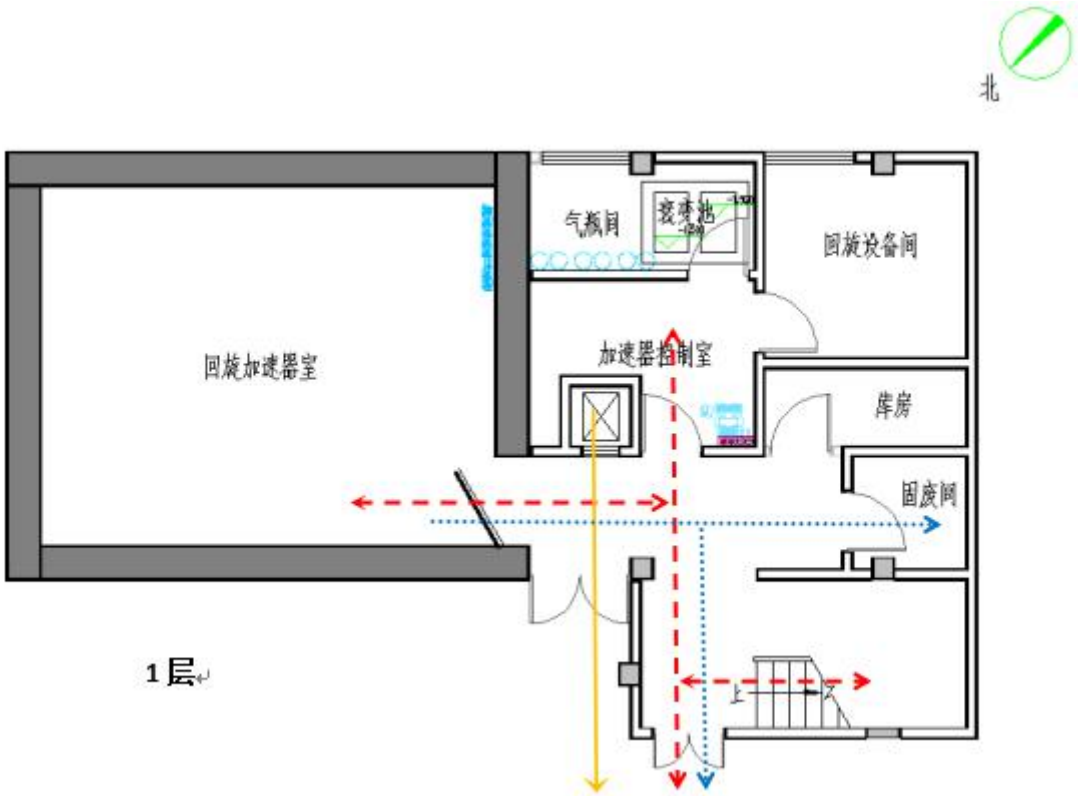
无放射性的物料从一层通过楼梯运送至二层，然后送至化学合成室西侧的物料间，物料准备间设有传递窗。

**（3）放射性废物运出路径规划**

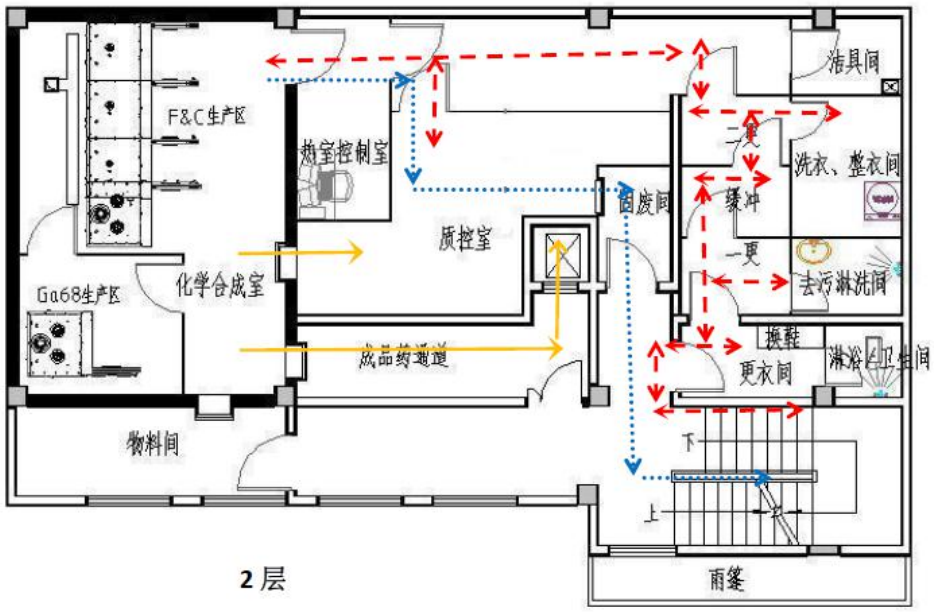
**续表 9　项目工程分析与源项**

一层的固废间主要存放回旋加速器室产生的放射性废物，二层的固废间主要存放二层化学合成室、质控室和三层放药实验室的放射性废物。每日下班后，放药实验室内放射性废物经卫生通过间和人员通道楼梯运至二层固废间，二层化学合成室和质控室内的各放射性废物专用污物箱内污物由专人通过质控室传递窗收集至固废物内→二层和三层放射性废物暂存达到清洁解控水平后作为医疗废物→西北侧楼梯运至一层，经过一层工作人员通道离开大楼→医院医疗废物暂存间。

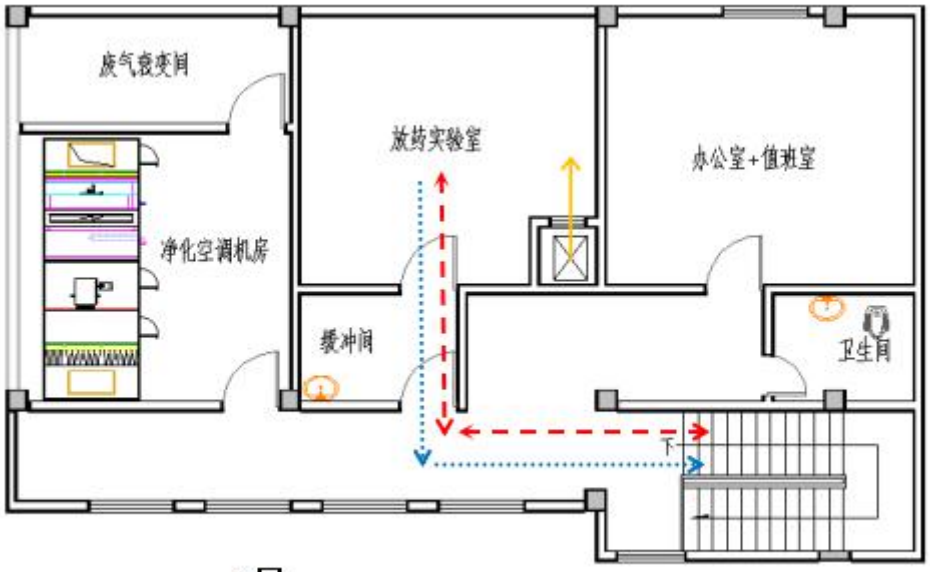
项目人流、物流图见图 9-10。



续表 9　项目工程分析与源项




2 层




3 层

**图例：**

放射工作人员通道：

放射性废物通道：

放射性药品通道：

**图 9-10 项目人流、物流示意图**

## 9.4 污染源项描述

本项目主要涉及 $^{18}F$、$^{11}C$、$^{13}N$、$^{68}Ga$ 共 4 种非密封放射性核素。核素特性参数见表 9-5。

**续表 9　项目工程分析与源项**

**表 9-5　放射性同位素特性**

| 核素名称 | 半衰期 | 衰变模式 | β最大能量MeV | 主要辐射类型 | 光子能量MeV | 物理性状 | 毒性分组 | 周围剂量当量率常数（裸源）μSvm²/MBq·h | 操作方式 | 用途 | 摄入方式 | 工作场所 | 来源 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $^{18}F$ | 109.8min | $\beta^+$，EC | 0.63（+） | γ | 0.511 | 液态 | 低毒 | 0.143 | 简单操作 | 生产 | / | 化学合成室 | 自行制备 |
| $^{11}C$ | 20.39min | $\beta^+$，EC | 0.96（+） | γ | 0.511 | 液态 | 低毒 | 0.148 | 简单操作 | 生产 | / | 化学合成室 | 自行制备 |
| $^{13}N$ | 10.0min | $\beta^+$，EC | 1.19（+） | γ | 0.511 | 液态 | 低毒 | 0.148 | 简单操作 | 生产 | / | 化学合成室 | 自行制备 |
| $^{68}Ge$ | 288d | EC | — | γ | 0.0103 | 固态 | 中毒 | 0.0325 | 源的贮存 | $^{68}Ga$制备 | 淋洗 | 化学合成室 | 外购发生器 |
| $^{68}Ga$ | 68.3min | $\beta^+$，EC | 1.9（+） | γ | 0.511 | 液态 | 低毒 | 0.134 | 简单操作 | 实验 | 标记 | 放药实验室 | 自行制备 |

备注：数据来自《核医学放射防护要求》GBZ120-2020表H.1。

本项目中的回旋加速器在使用过程中产生的电离辐射主要有初级辐射（被加速的带电粒子）、被加速后的带电粒子与物质相互作用产生的次级辐射（中子、γ射线、β等）以及初级、次级辐射与周围物质相互作用产生的缓发辐射（γ射线、β等，即感生放射性物质）和放射性废物等。

从核反应的阈能来看，能够直接产生感生放射性核素的被加速带电粒子能量多数需在 5－10MeV 以上。本加速器的加速质子最大能量为 10MeV，因此质子与加速器部件如准直器等相互作用可使部件活化。加速器打靶过程产生的次生中子与周围物质相互作用产生感生放射性。感生放射性主要产生在加速器的结构材料、冷却水、加速器机房空气中。

本项目涉及核素自然衰变过程为β辐射，射线能量 0.511MeV，β粒子在组织中的最大射程为 2.4mm，辐照影响较小。但β粒子在自然界中不能长时间独立存在，很快发生湮灭反应，同时释放出 2 个能量相同（0.511MeV）、方向相反的γ光子，即γ射线，γ射线贯穿能力较强，会对周围环境产生外照射辐射影响。

**续表 9　项目工程分析与源项**

制备、合成、分装核素和标记实验过程中产生的主要污染物有质子、中子、γ射线、β表面污染及放射性废气、放射性废水、放射性固废等。

**（1）电离辐射**

**① 质子**

回旋加速器将 $H^-$离子加速，$H^-$离子被加速经过碳箔脱离电子后成为质子（p—初级辐射因子），质子轰击靶材料的能量约为 10MeV，考虑到靶膜上质子能量会有损失，因此实际反应能量应低于 10MeV。相对电子而言，质子在物质中的射程较短，其射程仅为同等能量的电子射程的几十分之一到百分之一，质子的穿透性很弱，很容易被物质阻挡，其外照射防护在本项目中不作考虑。

**②中子**

中子是回旋加速器的主要污染因子之一，本项目中生产 $^{18}F$ 时会产生中子。质子射束轰击靶材料时发生 $^{18}O(p，n)^{18}F$ 核反应，核反应发生的位置主要位于靶部位，在生成 $^{18}F$ 的同时，也产生中子。中子的发射率可以由靶的产额估计，由反应式 $^{18}O(p，n)^{18}F$ 可知，中子的发射率和 $^{18}F$ 的生成率 $Y_0$ 相同，中子发射率 $Y_0$（即 $^{18}F$ 的生成率）可由下式计算得到（公式出自“正电子发射扫描仪和回旋加速器建设中的防护评价”，《中国辐射卫生》1999 年第 8 卷第 1 期）。

$$A = Y_0(1 - e^{-0.693t/T}) \qquad (9\text{-}1)$$

式中，

A 为 $^{18}F$ 的产额，Bq；

$Y_0$ 为中子发射率，n/s；

t 为照射时间，min；

T 为 $^{18}F$ 的半衰期，109.8min。

本项目打靶 120min 可生产 $1.295\times10^{11}$Bq（3500mCi）的 $^{18}F$ 药物，由上式可计算得到中子的发射率约为 $2.44\times10^{11}$n/s。

加速器室屏蔽墙内侧中子能量5MeV，污染途径为外照射。

**③γ射线**

γ射线主要有几种来源：

a、中子与自屏蔽体、靶物质等部件作用产生次级γ射线；

b、加速器部件、靶周围器件、准直器、自屏蔽体等受中子照射而活化，生成以短半衰期为主的感生放射性；

c、在加速器打靶时，由 $^{18}O$（p，n）$^{18}F$ 等反应产生发射正电子的核素 $^{18}F$ 等，$^{18}F$、$^{11}C$、$^{13}N$、$^{15}O$ 的$\beta^+$衰变经湮灭后发射出能量为 0.511MeV 的γ射线，污染途径为外照射。

d、放射性药物在进行合成分装和标记实验时，$^{18}F$、$^{11}C$、$^{13}N$ 等核素衰变所产生 0.511MeV 的γ射线穿透铅防护层后会对周围环境产生外照射影响。

e、放射性药物运输时产生0.511MeV的γ射线对周围环境产生外照射影响。

**④β表面污染**

医生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。

**（2）放射性污染物**

**①放射性废气**

当加速器室内空气受到照射，达到或超过产生(γ,n)反应阈能量的γ射线照射时，将产生 $^{15}O$(2.1min)、$^{13}N$(10min)、$^{11}C$(20.4min)、$^{41}Ar$(110min)等放射性气体。$^{15}O$、$^{13}N$、$^{11}C$ 等产生率相当低，关键核素是 $^{41}Ar$(110min)，$^{41}Ar$ 主要特性参数见表 9-6。当药物中间体在合成容器中进行加热时会有微量 $^{18}F$ 随蒸汽一起进入排气管道。

本项目放射性核素制备为自动化工艺，开机后，工作人员无需进入回旋加速器室内进行操作；回旋加速器运行后产生放射性物质，然后进入放化合成过程，在化学合成时会产生少量放射性气体，整个过程在密封的化学合成模块内进行，化学合成模块安装在“带有屏蔽”和“独立排风管道”的合成热室内。本项目回旋加速器室和热室均设有独立的通风系统，经活性炭吸附后，引至3楼顶排放，排放口高出本栋建筑屋顶。

质控室和放药实验室的药物操作比较简单，在正常工作情况下均不会产生气溶胶和蒸汽。若由于操作失误，放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。项目设置废气收集系统，将控制区主要用房内的废气收集后在楼顶排放。

表 9-6　$^{41}Ar$ 主要参数

| 核素名称 | 半衰期（h） | 衰变类型 | 毒性分组 | 辐射能量(keV) | 形状 |
|---|---|---|---|---|---|
| $^{41}Ar$ | 1.83 | α（份额 99.1%） | 低毒 | 1198.7 | 气体 |
| | | γ（份额 99.1%） | | 1294 | |

②放射性废水

回旋加速器的生产运行过程中不产生废水，只有在设备维护的过程中冲洗靶才会产生冲靶后的废水，一年最多维护两次，每次会产生少量的废水。定期对质控室和放药实验室的相关仪器进行清洗也会产生一定的废水。

靶室冷却水为去离子水，受中子活化而生成的短半衰期核素主要是：$^{13}N$($T_{1/2}$=9.96min)和 $^{11}C$（$T_{1/2}$= 20.4min)。由于靶冷却水（二级水冷却系统）采用闭合回路循环，正常情况下，不排放。因设备维修，需排放冷却水时，每次排放少量的冷却水，每年最多排放 2 次。

上述废水的量很小，计入未预见用水量中，集中收集排入衰变池，衰减达标后经污水管网排出。

放射性废水主要来自工作人员操作放射性药物的过程中手部可能受到微量放射性药物污染的洗手水，清洗控制区室内地面、工作台带有微量放射性药物的清洗水等。

放射性药物操作的 2 名放射工作人员污水按用水定额按照 50L/人·d 考虑。

项目放射性排水情况见表 9-7。

**表 9-7　放射性废水排放情况表**

| 用水类别 | 用水定额 | 用水规模 | 用水量（L/d） | 排水量 | | 去向 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | L /d | $m^3$ /a | |
| 操作放射性药物的放射工作人员 | 50L/人·班 | 2 人 | 100.0 | 90.0 | 21.6 | 新建专用衰变池处理达标后排入医院污水处理站进一步处理。 |
| 清洁用水 | 0.05L/$m^2$·次 | 控制区约 250$m^2$ | 12.5 | 11.25 | 2.7 | |
| 未预见水量按以上水量的 10%计 | | | 11.25 | 10.125 | 2.43 | |
| 总计 | | | 123.75 | 111.375 | 26.73 | |

备注：年运营 240 天，排水系数取 0.9。

由上表可知，本项目放射性废水排放量为111.375L/d，约0.11$m^3$/d，26.73$m^3$/a。

**③放射性固废**

回旋加速器运行期间，在电子剥离过程中使用的剥离膜支架，可能会受到照射并被活化，支架主要材质为铝制金属框架，活化后主要的放射性核素为 $^{28}Al$（半衰期为 2.243min）、$^{27}Mg$（半衰期为 9.45min）、$^{30}P$（半衰期为 2.5min），均为短半衰期核素。回旋加速器维护时更换活化的支架和靶膜等，约 0.1t/a。

放射性药物制取时，更换下来的放射性残留物如硅胶、树脂、氧化铝、碳柱、滤膜等，约0.1t/a。

控制区放射性药物操作和清洁时产生注射器、试管、抹布、手套等；产生量约 0.4kg/d，则放射性固体废弃物产生量约 96kg/a。

项目核素制备过程中将产生的废 $^{68}Ge$-$^{68}Ga$ 发生器，全年最多产生 1 支。

本项目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，每次装填的活性炭滤网重约20kg，则废活性炭产生约80kg/a（按每3月更换一次）。

项目放射性药物根据医院预约情况和工作计划定量生产，不会出现剩余的放射性药液。

因此，本项目核医学科产生的放射性固废约376kg/a。

**（3）非放射性污染物**

本项目运行产生的一般生活污水、生活垃圾纳入医院现有环保设施处置。

①废气

加速器运行过程中，空气在γ射线照射下产生少量臭氧（$O_3$）和微量氮氧化物（$NO_x$）。废水衰变处理设施处理废水产生少量臭气。

②废水：本项目运行产生少量生活污水，视为医疗废水直接进入医院的污水收集处理系统处置。

③固体废物：本项目运行医生产生少量生活垃圾。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，交生产厂家回收处置。

综上，本项目主要污染物产生情况统计汇总见表 9-8。

## 续表 9　项目工程分析与源项

**表 9-8　本项目主要污染物情况统计汇总表**

| 污染物 | | 主要污染因子 | 产生量 | 现状处置方式 |
|---|---|---|---|---|
| 电离辐射 | | γ射线、β表面污染 | γ射线：0.511MeV | 屏蔽体防护 |
| 放射性污染物 | 废气 | 含 $^{18}F$ 放射性废气 | 少量 | 收集后引至楼顶排放 |
| | 废水 | 洗靶废水、冷却水、仪器清洗水 | 少量 | 收集后经专用的衰变池处理达清洁解控水平的要求后再排入医院污水处理站 |
| | | 放射工作人员洗手水等，主要含放射性核素 $^{18}F$ 等 | 111.375L/d<br>0.11m$^3$/a | |
| | 固废 | 放射性废物：废棉签、注射器、试管、抹布、手套等 | 0.4kg/d<br>96kg/a | 暂存于污物储存间内轮流使用的放射废物桶中衰变，符合要求后作为一般医疗废物处置 |
| | | 废活性炭 | 80.0kg/a | |
| | | 报废的 $^{68}Ge$-$^{68}Ga$ 发生器 | 1 支/年 | 返回生产厂家处置 |
| | | 活化的零件（支架和靶膜） | 0.1t/a | 解控后按一般废物处理，不能解控的委托有资质单位收贮。 |
| | | 放射性沾污的树脂、滤膜、过滤柱等 | 0.1t/a | 树脂解控后按危废处理，其它类型废物解控后按一般废物处理。 |
| 非放射性 | 废气 | 臭氧、氮氧化物 | 少量 | 加强机房内通风 |
| | 废水 | COD、SS 等 | 少量 | 进入医院污水处理站处理达标后排污市政污水管网 |
| | 固体废物 | 生活垃圾 | 少量 | 交环卫部门收集处理 |
| | | 废铅防护用品 | 少量 | 由医院收集后妥善保存，交生产厂家回收处置 |

**表 10 辐射安全与防护**

**10.1 布局与分区**

**10.1.1 项目布局**

本项目回旋加速器工作场所位于独立的三层建筑，地下除衰变池外无其他建筑，上方为非上人屋面，该建筑不邻接产科、儿科、食堂等部门，无关人员很少靠近。西北侧设有单独的出、入口，出口远离人群稠密区域。

场所一层布置有回旋加速器室、加速器控制室、设备间、气瓶间（衰变池）、固废间和库房。二层布置化学合成室（热室）、热室控制室、全检验质控室、卫生通过（一更、二更、冲淋等房间组成）、物料间、成品通道、固废间、洁具间以及洗衣、整衣。三层为净化空调机房、废气衰变间、放药实验室、缓冲间、值班室、办公室。一层、二层和三层设置有专门的药物运送电梯。化学合成室和物料间之间设置了干净物料专用传递窗口，化学合成室和成品药通道之间设置了放射性药品专用传递窗口，化学合成室和质控室之间设置了质控样品专用传递窗口，质控室和固废间之间设置了废物传递门。

综上，本项目回旋工作场所设计了工作人员通道与物流通道，设计了专用的放射性废水衰变池；回旋加速器机房及控制室、合成热室及控制室、质控室、卫生通过间、固废间、洁具间、气瓶间、回旋加速器设备间以及其他辅助用房等功能房间设置齐全，因此该回旋加速器工作场布局合理。

**10.1.2 工作场所分区**

根据《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）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），本项目放射性药品生产场所拟采取分区管理，划分为控制区及监督区，限制无关人员受到不必要的照射。

GB18871-2002 规定“控制区”：在辐射工作场所划分的一区域，在这种区域内要求或可能要求采取专门的防护手段和安全措施；监督区：未被确定为控制区、通常不需要采取专门防护手段和安全措施但要不断检查其职业照射条件的任何区域”。

GBZ120-2020 规定：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、给药后候诊室、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。

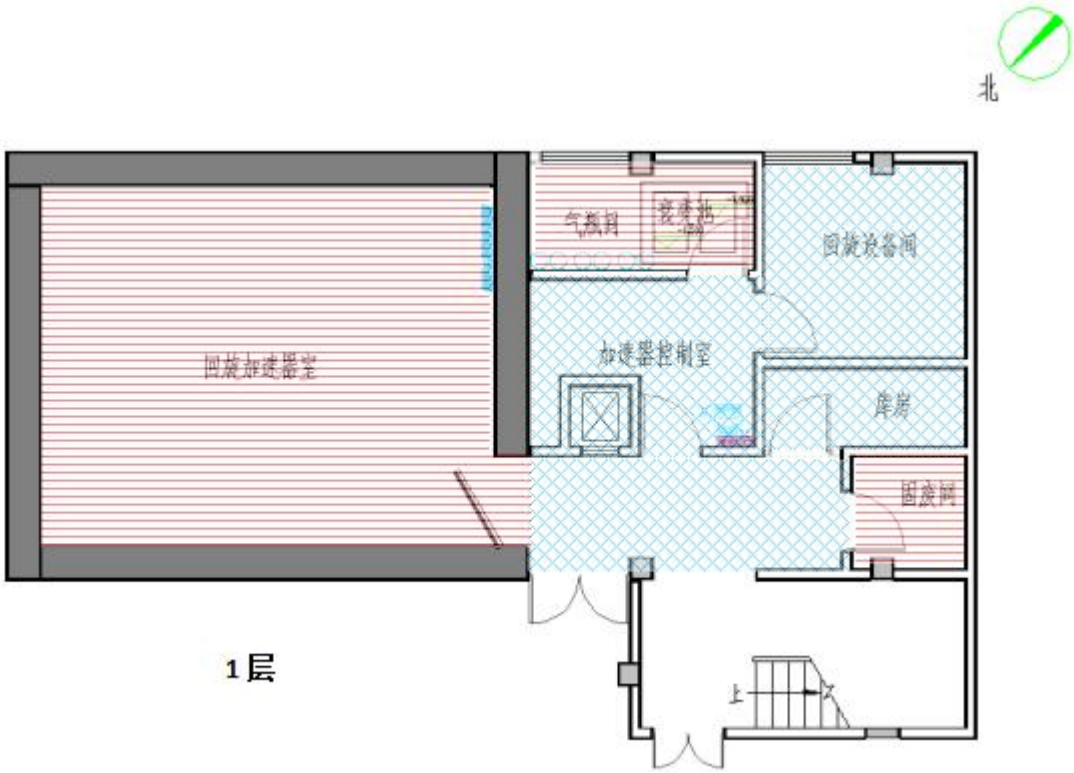
HJ1188-2021 规定：核医学工作场所的控制区主要包括回旋加速器机房、放射性药物合成和分装室、放射性药物贮存室、给药室、给药后候诊室、扫描室、核素治疗病房、给药后患者的专用卫生间、放射性废物暂存库、衰变池等区域；核医学工作场所的监督区主要包括回旋加速器和显像设备控制室、卫生通过间以及与控制区相连的其他场所或区域。

根据上述规定和要求，本项目具体划分见表 10-1 及图 10-1。

**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 |
| --- | --- | --- |
| 放射性药物生产场所 | 一层：回旋加速器室、气瓶间（衰变池）、固废间；<br>二层：化学合成室、热室控制室、质控室、固废间、洁具间、一更、去污淋洗间、缓冲、二更、洗衣、整衣间；<br>三层：放药实验室、缓冲间、废气衰变间。 | 该放射工作场所中与上述区域相邻区域，包括一层：回旋加速器控制室、回旋设备间、库房、电梯等；二层：成品药通道、电梯、物料间、更衣间、卫生间等；三层：电梯、净化空调机房、办公室、值班室等。 |

**续表 10　辐射安全与防护**




1 层

2层

图 10-1　项目分区图

## 10.2 非密封放射性物质工作场所分级、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）附录 C 提供的非密封源工作场所放射性核素日等效最大操作量计算方法，日等效最大操作量的计算公式如下：

$$日等效操作量=\frac{实际日操作量\times核素毒性因子}{操作方式修正因子}$$

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。根据建设单位提供的放射性同位素用量，可以计算本项目使用的放射性同位素日等效最大操作量见表 10-2。

表 10-2　非密封源工作场所分级核算表

| 核素名称 | 用途 | 操作方式 | 理化性质 | 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) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $^{18}F$ | 生产 | 简单操作 | 液态 | 1.48E+11 | 0.01 | 1 | 1.48E+9 |
| $^{11}C$ | 生产 | 简单操作 | 液态 | 4.44E+10 | 0.01 | 1 | 4.44E+8 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $^{13}N$ | 生产 | 简单操作 | 液态 | 2.22E+10 | 0.01 | 1 | 2.22E+8 |
| $^{68}Ge$ | 储存 | 源的储存 | 固态 | 3.7E+9 | 0.1 | 100 | 3.7E+6 |
| $^{68}Ga$ | 实验 | 简单操作 | 液态 | 2.22E+9 | 0.01 | 1 | 2.22E+7 |
| 总计 | / | / | | / | / | / | 2.17E+9 |

根据该项目使用的放射性核素的毒性组别、用量及操作因子，本项目日等效最大操作量 $2.17\times10^{9}$Bq，根据 GB18871-2002 的分级，核定本项目放射性药品生产场所为乙级非密封放射性物质工作场所。

**（2）核医学工作场所分类**

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 G，本项目放射性药品生产场所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 10-3。加权活度计算公式如下：

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

**表 10-3　本项目核医学场所分类计算**

| 房间名称 | 操作方式 | 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 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 回旋加速器室 | 制备 | $2.146\times10^{5}$ | 1 | 1 | $2.146\times10^{5}$ | I |
| 化学合成室 | 分装、淋洗 | $2.17\times10^{5}$ | | 1 | $2.17\times10^{5}$ | I |
| 质控室 | 标记 | $2.17\times10^{4}$ | | 1 | $2.17\times10^{4}$ | II |
| 放药实验室 | 标记 | $2.22\times10^{3}$ | | 1 | $2.22\times10^{3}$ | II |
| 一层固废间 | 贮存 | $2.17\times10^{3}$ | | 100 | 21.7 | III |
| 二层固废间 | 贮存 | $2.17\times10^{3}$ | | 100 | 21.7 | III |

备注：以上非密封性物质操作最大活度考虑了所有核素相加的单日最大活度，回旋加速器室考虑 $^{18}F$、$^{11}C$、$^{13}N$ 核素，化学合成室考虑所有核素，放药实验室考虑 $^{68}Ga$ 核素。药物质控室只抽取少量的放射性药物进行操作，最大操作量取药物制备量 1/10 计算。固废间取药物制备量 1/100 计算。

由上表计算结果可知，按照《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中工作场所分类，本项目回旋加速器室、化学合成室核定为 I 类场所，质控室、放药实验室核定为 II 类场所。

本项目核医学场所室内表面及装备结构设计防护与标准对照表见表 10-4。

**表 10-4　本项目核医学场所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 |
|---|---|---|---|---|

**续表 10　辐射安全与防护**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 回旋加速器室、化学合成室 | 屏蔽体：采用足够屏蔽厚度的混凝土、防护铅板等屏蔽<br>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，易清洗防护手套箱<br>室内通风：废气独立机械排风<br>管道：独立通风管、废水管，废水管根据核医学场所布局来布局，尽量短，主管道拟作标记，并根据需求外包铅皮<br>清洗及去污设备：配置专门的洗消设备及洗消液，专用洗手池，配置感应式水龙头，标识了各区域清洗的专用拖把及拖把池，控制区清洁废水接入衰变池 | 结构屏蔽：需要<br>地面：地板与墙壁接缝无缝隙<br>表面：易清洗<br>分装柜：需要<br>室内通风：特殊的强制通风<br>特殊的管道[a]<br>盥洗与去污：洗手盆[b]和去污设备 | I | 是 |
| 质控室、放药实验室 | | 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>室内通风：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 |
| 一、二层固废间 | | 结构屏蔽：不需要<br>地面、表面：易清洗<br>分装柜：不必须<br>通风：一般自然通风<br>管道：普通管道<br>盥洗与去污：洗手盆[b] | III | 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。

由上表可知，本项目核医学工作场所设计符合《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。

## 10.3 辐射安全与防护

### 10.3.1 屏蔽措施

（1）根据设备厂商提供的资料，回旋加速器采用完全自屏蔽技术，对γ射线和中子能够起到有效的阻挡作用,自屏蔽外距靶心2.5m处的中子剂量率为8.5μSv/h，距靶心2.5m处的γ射线剂量率为35μSv/h。回旋加速器系统在工作流程上采用自动化操作，避免了工作人员接受不必要的放射性辐射。由于机内设计有自屏蔽，即使是制药过程中，射线穿透机器的散射能量已降至很弱，对机房的屏蔽要求已降至很低。本项目回旋加速器机房四周墙体和顶棚均为600mm混凝土，防护门采用15mmPb铅+150mm聚乙烯。

（2）合成与分装装置的屏蔽

**续表 10　辐射安全与防护**

化学合成室位于回旋加速器机房楼上，化学合成室内放置合成热室、分装热室、淋洗分装热室。

合成热室提供PET正电子放射性药物合成的过程保护。拟购合成热室（单腔）SHC-75内尺寸：940mm（w）×700mm（d）×700mm（h），外尺寸：1220mm（w）×1050mm（d）×2400mm（h）。负压式设计，-50～-150pa，压力可调，通风系统100%外排，全换气次数20~50次/小时（依据进、出风口的流量调整），热室中排放废气采用HEPA高效活性炭过滤器过滤后排放。合成热室正面屏蔽铅当量为75mmPb，其余五面屏蔽铅当量为60mmPb。热室门正面配备液晶监视器及MTC触摸控制屏，可实时监控热室内部视讯及剂量率等讯息，并控制各部件工作。

拟购合成热室（双腔）DSC-75设有上下2个独立的合成空间，每个内胆内部尺寸：740mm（w）×700mm（d）×700mm（h），外尺寸：1020mm（w）×1050mm（d）×2400mm（h）。负压式设计，-50～-150pa，压力可调，通风系统100%外排，全换气次数20~50次/小时（依据进、出风口的流量调整），热室中排放废气采用HEPA 高效活性炭过滤器过滤后排放。合成热室正面屏蔽铅当量为75mmPb，其余五面屏蔽铅当量为60mmPb。热室门正面配备液晶监视器及MTC触摸控制屏，可实时监控热室内部视讯及剂量率等讯息，并控制各部件工作。

分装热室提供PET正电子放射性药物分装操作的过程保护。拟购分装热室DHC-1060内尺寸：880mm（w）×700mm（d）×700mm（h），外尺寸：1130mm（w）×1090mm（d）×2400mm（h）。负压式设计，-20～-80pa，垂直层流通风，洁净度GradeA，通风系统100%外排，内腔全换气次数不低于60次/小时，匹配专用放射性气体过滤器及高效HEPA超过滤器（＞99.95%）。分装热室正面屏蔽铅当量为75mmPb，其余五面屏蔽铅当量为60mmPb，正面设有尺寸300 x 350 mm，屏蔽铅当量为75mmPb铅玻璃视窗，前面设有一对带防护孔盖的操作伸手孔及专用硅橡胶手套，操作手孔屏蔽铅当量为75mmPb。配置屏蔽铅当量为50mmPb的下沉式活度计电离室井。

淋洗分装热室提供$^{68}$Ge-$^{68}$Ga发生器淋洗和放射性核素分装操作的过程保护。拟购淋洗分装热室内尺寸：880mm（w）×700mm（d）×700mm（h），外尺寸：1130mm（w）×1090mm（d）×2400mm（h）。负压式设计，-20～-80pa，垂直层流通风，

洁净度GradeA，通风系统100%外排，内腔全换气次数不低于60次/小时，匹配专用放射性气体过滤器及高效HEPA 超过滤器（ > 99.95%）。分装热室正面屏蔽铅当量为60mmPb，其余五面屏蔽铅当量为50mmPb，正面设有尺寸300 x 350 mm，屏蔽铅当量为60mmPb铅玻璃视窗，前面设有一对带防护孔盖的操作伸手孔及专用硅橡胶手套，操作手孔屏蔽铅当量为60mmPb。

（3）传输管道的屏蔽

加速器制备的放射性同位素经管道自动传输到合成热室中，加速器机房内的设置地沟，东北侧墙角立管穿过加速器机房顶板至化学合成室，至二层热室房间地面穿出接入化学合成室内药物管沟，通过药物管沟至合成热室和分装热室，地沟两侧及上方设置≥50mmPb当量放射性药物传输产品管线的屏蔽防护。合成热室和分装热室之间提供≥50mmPb当量放射性药物传输产品管线的屏蔽防护。

（4）化学合成室与热室控制室之间墙体和顶棚为200mm混凝土，化学合成室其他墙体为250mm混凝土，地板为600mm混凝土；质控室、固废间、放药实验室四周墙体和顶棚均为200mm混凝土，质控室地板与回旋加速器机房对应区域为600mm混凝土，其余区域与固废间、放药实验室的地板均为200mm混凝土。

（5）衰变池：为地埋式混凝土结构，四周池壁和池底 200mm 混凝土，池体隔墙 200mm 混凝土，盖板 100mm 混凝土，2 个盖板为 500mm×1000mm。

项目屏蔽方案具体见表 1-2。根据后文核算，本项目控制区边界、内部各用房屏蔽体外表面 30cm 处周围剂量当量率均低于 2.5μSv/h；热室、通风柜柜体外周围剂量当量率表面 5cm 处不大于 25μSv/h、表面 30cm 处不大于 2.5μSv/h。各屏蔽体的防护能力均能满足标准限值要求。

（5）在项目建设时建设单位拟严格监理施工过程，砂浆饱满，保证混凝土的密度不小于 2.35g/cm$^3$，并将这些纳入施工合同中。热室、分装柜、各防护门、观察窗等铅屏蔽材料的生产和安装由专业厂家承担。此外，回旋加速器机房穿越防护墙的电缆管线、气体管线、冷却水管线、废水管线均采用地下“U”型穿越，回旋加速器机房内排风管采用“Z”型穿越屏蔽墙体。放射性排水管道在地面上的，用 2mmPb 防护，在用房地下的埋深约 100mm，不影响墙体的屏蔽防护效果。控制区其他用房的排风管道尺寸在 150mm×300mm～300mm×600mm，在用房吊

顶（离地高度约 2.8m）与顶棚（离地高度约 3.3m）之间直线穿越，该穿越高度较高，射线经多次散射后穿越墙体，基本不影响各墙体的屏蔽效果。

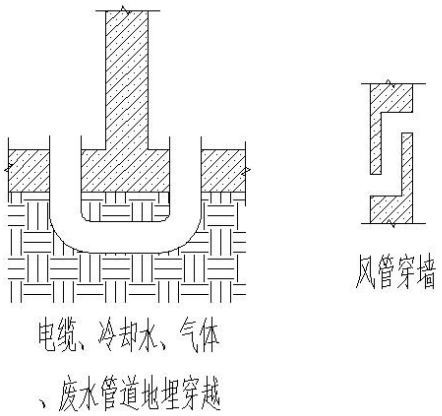



**图 10-2　回旋加速器室穿墙管线示意图**

**10.3.2 安全措施**

**（1）回旋加速器室安全措施**

①回旋加速器运行与自屏蔽装置实现联锁，即：回旋加速器本身有一套完整的安全联锁装置，只有当靶、离子源、D 型盒、磁铁线圈、冷水系统达到一定流量时，束流才能达到靶上；只有当自屏蔽体封闭、离子源射频屏蔽箱盖关闭、射频电源箱柜的门关闭才能出束；

②机房门-机联锁，即：回旋加速器机房门未关闭，或者运行时机房门开启，则回旋加速器无法正常运行，设备不能出束；

③急停按钮。在机房内墙壁以及控制台上分别设置 1 个急停按钮，紧急情况下急停按钮一经按下，系统会无条件关闭加速器束流，停止出束；

④钥匙控制。回旋加速器控制台的开关机用钥匙控制，钥匙由专人保管，其他非加速器控制人员不能接触；

⑤机房门口拟设置声光报警装置和工作状态指示灯，并与加速器联锁。不同工作状态显示不同报警信号，用以警示周围工作人员；

⑥回旋加速器室防护门设置红外线防夹伤功能和延时开门功能。

⑦回旋加速器室内拟设置紧急开门装置，当发生事故或停电时，可以打开防护门。

⑧回旋加速器室内安装摄像头，可以监控机房内的情况，也可以用作清场时确保机房内没有人员停留。

⑨固定式剂量率报警仪：回旋加速器室防护门内、外均安装固定式剂量监测探头，当探测到机房内剂量率超过设置阀值时，机房门口声光报警装置报警，控制室内操作台有剂量率实时显示和报警。

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。

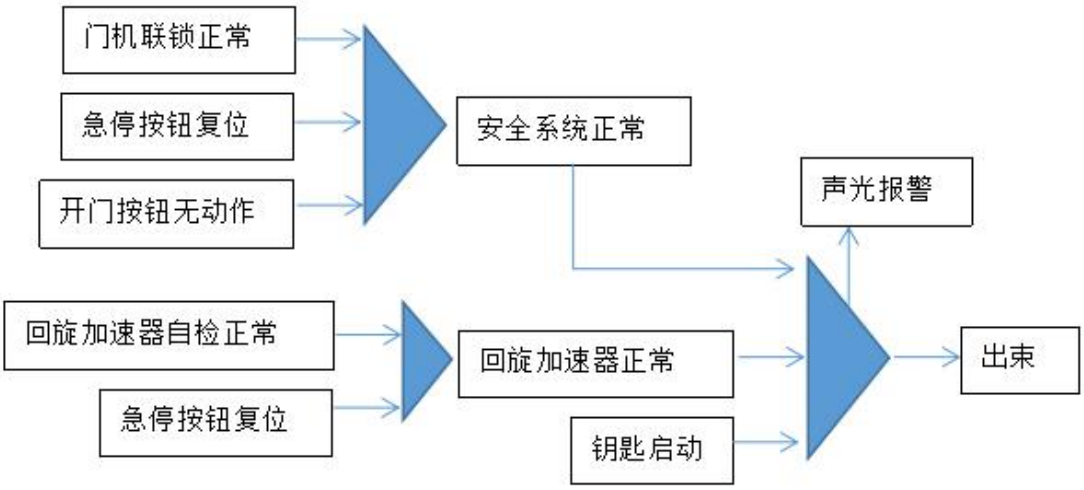



**图10-2 辐射安全联锁逻辑图**

**（2）化学合成室安全措施**

①合成热室腔体内自带GM辐射探头，可有效监测热室内部的实时剂量率变化，并可根据用户设定限值与门联锁控制，当探测到热室内剂量率超过设置阈值时，则热室防护门不能从外部被打开，防止放射性意外照射；热室控制室内操作台上有剂量率实时显示和报警。

②合成热室与核素传输系统联锁。当加速器制备出核素之后，放射性核素传输之前，热室设备将根据程序设定，自动检测合成热室的门是否已经关闭，热室里面的压力是否满足负压要求；只有这两项条件满足的情况下，放射性核素才能通过管道进行传送。

③安装视频监控系统，热室控制室可及时掌握化学合成室内情况。

**10.3.3 其他措施**

（1）管理措施

**续表 10　辐射安全与防护**

按照乙级非密封放射性工作场所建设和管理。分装柜的操作表面、工作台台面等平整光滑，控制区室内地面与墙壁衔接处无接缝，易于清洗、去污。设置工作人员卫生通过间（含淋浴），并配置表面污染检测设备，操作放射性药物的工作人员离开控制区前应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$^2$）。

（2）设置标识

①拟在本项目所有控制区入口、出口、衰变池、放射性废物固废间门口、放射性废物桶上、废气衰变间设置电离辐射警告标志。

②设置项目控制区和监督区的标识，同时在地面设置工作人员和放射性药物的行走箭头标识，指示各类人员在项目内的活动路径。

（3）本项目控制区洁具间内设拖把池，配置 1 套专用拖把和抹布，按照控制区和监督区分别使用不同的专用拖把和抹布，不可混用。清洁时从低活度区域到高活度区域进行；控制区清洁用水接入衰变池内。

（4）化学合成室生产、运出放射性药物及时登记建档，做到交接账目清楚、账物相符。

（5）放射性废物间设置防盗设施，钥匙专人保管，放射性废物每日由专人分类、打包、记录后转移至放射性废物暂存间，建立放射性废物暂存间接收、转移台账。

（6）拟配置带有屏蔽的容器、屏蔽运输容器、放射性废物桶等辅助用品，具体见表 1-3。

（7）拟在配备铅衣、铅帽、铅眼镜、铅围裙、个人剂量计、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。

（8）门禁系统的设置

一层工作人员通道出入口、药物通道出入口均设置门禁，禁止无关人员入内。

续表 10　辐射安全与防护

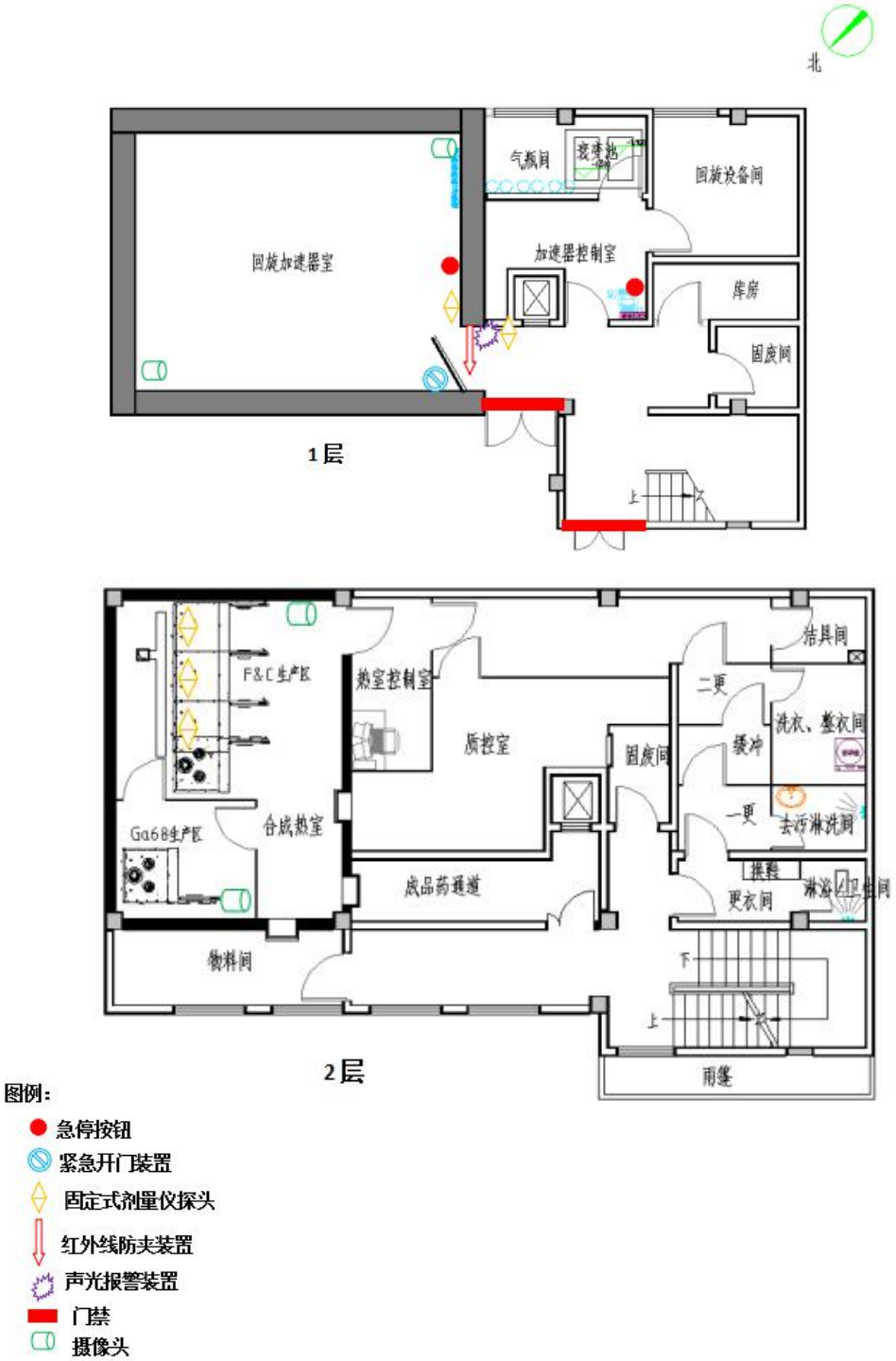



**图10-3 项目防护设施布置示意图**

### 10.3.4 拟采取辐射安全与防护措施与相关要求的符合性分析

本项目拟采取的辐射安全与防护措施与《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）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）等相关要求对比情况见表 10-5。

**表 10-5　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 |
|---|---|---|---|
| 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。 | 本项目拟选址于医院东南侧空地，新建 1 栋 3 层独立建筑，周围主要为医用用房和公园，不邻接产科、儿科、食堂等部门，有单独出、入口，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；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。 | 项目拟在控制区边界及内部设置足够厚度的屏蔽体屏蔽，药物运送有足够厚的铅屏蔽罐，尽可能减少对外环境的照射水平；控制区的出入口设置门禁等安全措施，保证无关人员无法进入；用放射药物和工作人员通道不交叉，工作人员和公众免受不必要的照射；在二层和三层控制区出口处均设置卫生通过间，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。其功能设置要求如下：<br>e)正电子药物制备工作场所至少应包括回旋加速器机房工作区、药物制备区、药物分装区及质控区等。 | 本项目为放射性药物生产场所，不设置诊断工作场所和治疗工作场所。一层拟设置回旋加速器室、固废间；二层拟设置化学合成室（热室，包括 68Ga 生产区和 F&C 生产区）、热室控制室、质控室、成品药通道、固废间、洁具间、一更、去污淋洗间、缓冲、二更、洗衣整衣间；三层拟设置废气衰变间、放药实验室、缓冲间等。拟设置的用房包括了回旋加速器机房工作区、药物制备区、药物分装区及质控区等。 |
| | | 5.1.4 核医学放射工作场所应划分为控制区和监督区。 | 项目拟按要求将一层：回旋加速器室、气瓶间（衰变池）、固废间；二层：化学合成室、热室控制室、质控室、固废间、洁具间、一更、去污淋洗间、缓冲、二更、洗衣、整衣间；三层：放药实验室、缓冲间、废气衰变间等划分控制区。将一层：回旋加速器控制室、回旋设备间、库房、电梯等；二层：成品药通道、电梯、物料间、更衣间、卫生间等；三层：电梯、净化空调机房、办公室、值班室等划分为监督区。 |
| | | 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， | 项目工作场所为单独的一栋建筑，独立成一区，无关人员无法进入；放射性药物和工作人员有独立的通道，不交叉，通 |

| 标准号 | 标准要求 | | 项目情况 |
| --- | --- | --- | --- |
| | | 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。 | 过专用通道离开项目所在建筑。 |
| | | 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。 | 项目按要求规划人员、药物、废物等路径（见本报告表 9），各路径通过空间布局和时间管控，能做到互不交叉。项目设置独立的污染物暂存间，并紧邻废物产生区域，便于放射性废物的清理和运送、处理。 |
| 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。 | 项目加速器生产、热室合成和分装均为全自动，可以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之间设置有管道便于放射性核素及药物的传输。设有专用药物电梯。 |
| | | 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。 | 本项目为乙级非密封源工作场所，并采取相应防护措施。 |
| | | 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。 | 本项目回旋加速器室、化学合成室核定为Ⅰ类场所，质控室、放药实验室核定为Ⅱ类场所，固废间核定为Ⅲ类场所，并采取相应的室内表面及装备结构要求。 |
| | | 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。 | 工作场所拟设置独立废气管网收集放射性废气，由低活区向高活区收集，各排风主管道内保持负压，各排风支管均设置防倒灌装置，避免放射性废气倒灌，最终引至楼顶排放。合成和操作放射性药物所用的通风柜均有专用的排风装置，风速不小于 0.5m/s。各热室和通风柜上方均设置活性炭吸附装置，废气经活性炭吸附后再一起收集排放。 |
| | | 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。 | 本项目放射性药物采用自动分装方式。 |
| | | 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。 | 项目放射性废水收集管网位于地面上的用 2mmPb 铅防护，地下的埋深约 100mm，地下无建筑，未暴露在外，不再采取防护措施。放射性废水处理设施位于房间内地下，顶部和盖板采用混足够厚的混凝土防护。 |

| 标准号 | 标准要求 | | 项目情况 |
|---|---|---|---|
| | | 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。 |
| | | 5.2.9 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。 | 拟配置药品铅罐等用于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。 |
| | | 5.2.11 回旋加速器机房内、药物制备室应安装固定式剂量率报警仪。 | 拟在回旋加速器机房内安装固定式剂量率报警仪；拟购合成热室和分装热室内自带固定式剂量率报警系统。 |
| | | 5.2.12 回旋加速器机房应设置门机联锁装置，机房内应设置紧急停机开关和紧急开门按键。 | 回旋加速器机房拟设置门机联锁装置，机房内拟设置紧急停机开关和紧急开门按键。 |
| | | 5.2.13 回旋加速器机房的建造应避免采用富含铁矿物质的混凝土，避免混凝土中采用重晶石或铁作为骨料。不带自屏蔽的回旋加速器机房的特殊防护措施：<br>a) 在靶区周围采用“局部屏蔽”的方法，吸收中子以避免中子活化机房墙壁；<br>b) 机房墙壁内表面设置可更换的衬层；<br>c) 选择不易活化的混凝土材料；<br>d) 墙体中有含硼等防中子物质。 | 本项目拟配置回旋加速器为自屏蔽设备，加速器机房墙体拟采用密度为 2.35g/cm$^3$ 的混凝土，由专业的公司建设。 |
| | | 5.2.14 回旋加速器机房电缆、管道等应采用 S 型或折型穿过墙壁；在地沟中水沟和电缆沟应分开。不带自屏蔽的回旋加速器应有单独的设备间。 | 本项目拟配置回旋加速器为自屏蔽设备；回旋加速器机房电缆、管道等拟采用 u 型穿过地下；地沟中水沟和电缆沟分开设置。排风管道用 Z 型穿过墙壁。 |
| 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<br>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，具体见表 1-3。项目拟配置的防护用品满足标准要求。 |

| 标准号 | 标准要求 | | 项目情况 |
| --- | --- | --- | --- |
| | | 6.1.2 辅助用品<br>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。防护通风柜的典型屏蔽厚度参见附录 I。 | 拟配备药品铅罐、防护分装热室、放射废物桶等辅助用品，具体见表 1-3。 |
| | | 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。 | 项目拟设置化学合成室、质控室、放药实验室操作放射性药物，有专门场所，放射性药物一般不储存，在分装热室内暂储，生产好后直接运送到 PET 中心使用，有专用药品铅罐。 |
| | | 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。 | 拟对放射性药物操作人员进行培训和技能练习，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。 | 拟设置卫生通过间，其内设置洗手盆、淋浴，配置表面污染监测设备。放射工作人员在经卫生通过间离开时先洗手和进行表面污染检测，合格后再离开。 |
| | | 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。 | 放射性药物暂存在分装热室内的药品铅罐内，有一定的屏蔽能力，且能方便取放。 |
| | | 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。 | 放射性药物暂存在分装热室内的药品铅罐内，拟定期进行放射防护监测，无关人员不会入内。 |
| | | 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。 | 生产好的放射性药物在有屏蔽体的分装热室内暂存，运输放射性药物时拟使用专门的容器，取放容器中内容物时，不污染容器。放射性药物在运输时拟使用有专门的固定措施的平板推车。 |
| | | 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。 | 本项目根据计划生产放射性药物，生产后直接运送到医院的 PET 中心使用，一般不储存。 |
| | | 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 | 建设单位拟修订现有应急预案，将本项目的应急处置方案纳入其中，如发生放射性物质溢出、散漏事故时，按要求进行 |

| 标准号 | 标准要求 | | 项目情况 |
| --- | --- | --- | --- |
| | | 人员皮肤、伤口被污染时，应迅速去污并给予医学处理。 | 处理。 |
| | 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。 | 在项目工作场所内拟设置污物暂存间用于暂存放射性废物，放射性废物拟按要求进行分类收集和暂存。拟设置足够多废物桶。 |
| | | 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。 | 放射性废水处理设施拟布置在项目用房气瓶间内，地埋式混凝土结构，内部表面进行防腐防渗处理。 |
| | | 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。在加速器室、化学合成室、质控室、放药实验室、固废间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，及时转送污物暂存间专用容器中。 |
| | | 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。 | 污物暂存间拟设置通风设施，污物暂存间门上拟张贴电离辐射警告标志。 |
| | | 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$^2$ 后再作为一般医疗废物处置。 |
| HJ1188-2021 | 屏蔽要求 | 6.1.3 回旋加速器机房的建造应避免采用富含铁矿物质的混凝土，避免混凝土中采用重晶石或铁作为骨料；不带自屏蔽的回旋加速器应有单独的设备间，机房选择不易中子活化的混凝土材料。 | 本项目拟配置回旋加速器为自屏蔽设备，加速器机房墙体拟采用密度为 2.35g/cm$^3$ 的混凝土，由专业的公司建设。 |
| | | 6.1.4 回旋加速器机房的电缆管沟、通风管道等穿过屏蔽体时，应采用地沟或 S 型、V 型、Z 型穿过墙壁，并进行屏蔽补偿，确保满足屏蔽体墙外的防护要求。 | 本项目拟配置回旋加速器机房的电缆管沟等穿过屏蔽体时，采用 u 型穿过地下；通风管道采用 Z 型穿过墙壁，并进行 |

| 标准号 | 标准要求 | | 项目情况 |
|---|---|---|---|
| | | 防护门与墙体连接处应进行有效搭接，避免出现防护薄弱环节。 | 屏蔽补偿，确保满足屏蔽体墙外的防护要求。防护门与墙体连接处进行有效搭接，避免出现防护薄弱环节。 |
| | 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。 | 本项目的热室、通风柜、工作台台面等拟设置为不锈钢饰面，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。 | 本项目为乙级工作场所，拟设置热室和通风柜等，本项目拟配置的必要防护用品见表 1-3 所示。 |
| | | 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。 | 本项目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。 | 本项目放射性药物暂存在分装热室内，拟按照要求定期进行辐射水平监测，一层设置门禁，无关人员不能入内。拟建立放射性药物的生产、运输等台账。 |
| HJ1188-2021 | 场所安全措施要求 | 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。 | 本项目拟配置药品铅罐，有一定的屏蔽能力；容器表面拟装贴电离辐射标志。容器在运送时有适当的固定措施。 |
| | | 6.2.8 回旋加速器机房应设置门机联锁装置和延时开门措施，机房内应设置紧急停机开关、紧急开门按钮及清场措施，并安装固定式剂量率报警仪。机房门口应有声光报警装置和工作状态指示灯，并与加速器联锁。 | 本项目回旋加速器机房拟设置门机联锁装置和延时开门措施，机房内拟设置紧急停机开关、紧急开门按钮及摄像头，并安装固定式剂量率报警仪。机房门口拟设置声光报警装置和工作状态指示灯，并与加速器联锁。 |
| | 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。 | 本项目拟设置独立的通排风系统，保持工作场所负压，各管道设置防倒灌装置，避免交叉污染影响，满足标准要求。 |
| | | 6.3.2 使用回旋加速器制备放射性药物的工作场所应设有单独的通风系统，加速器自屏蔽区内应有单独排气管道，并相对加速器室呈负压状态。 | 回旋加速器自屏蔽设备自带 1 套废气收集系统，单独的管道收集回旋加速器运行产生的废气，并相对加速器室呈负压状态，收集后引至 3 层废气衰变间，经活性炭吸附后高于屋顶排放。 |
| | | 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 | 化学合成室内的合成热室、分装热室、淋洗分装热室和放药实验室内的通风柜都自带活性炭废气处理器，3 个热室废气 |

| 标准号 | 标准要求 | | 项目情况 |
|---|---|---|---|
| | | 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。 | 和 1 个通风柜的废气经各自自带的活性炭废气处理器处理后由同一套管道收集后引至 3 层废气衰变间，经活性炭吸附后高于屋顶排放。 |
| | | 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。 | 本项目分装热室有独立的吸风口，能保证风速不小于 0.5m/s；本项目废气管道引至 3 楼楼顶后在建筑顶部东南侧朝向南侧高于建筑排放。根据周围环境布局，西南侧距离高层建筑较远。 |
| | 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。 | 本项目使用核素均为短半衰期核素，分类收集后处理。 |
| | | 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。 | 本项目拟将不同时间的废物分别打包存储衰变，严格区分放射性和非放射性废物，尽量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。 | 本项目拟使用的核素均为短半衰期核素，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。 | 本项目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。 | 本项目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。 |
| | | 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。 | 本项目的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 20 kg。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。 | 本项目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固废间贮存。 |
| | | 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。 | 本项目产生少量放射性废物，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。 |
| HJ1188-2021 | 固体放射性废物的管理 | 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。 | 本项目拟使用的核素不属于易挥发核素，在固废间内拟设置排风口；固废间门口拟设置电离辐射警告标志，固废间设置防盗防护门、屏蔽墙，能防火、防丢失、防漏射线。 |

| 标准号 | 标准要求 | | 项目情况 |
|---|---|---|---|
| | | 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。 | 本项目拟在固废间内配置放射废物桶，容器表面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。 | 本项目固废间内拟不存放易燃、易爆、腐蚀性物品。 |
| | | 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。 | 本项目拟按照要求将放射性废物暂存 30 天后再行监测，达标后作为一般医疗废物处理。 |
| | | 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。 | 本项目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。 | 本项目拟设置槽式放射性废水处理设施，收集处理卫生通过间、化学合成室、质控室、放药实验室等场所的放射性废水。 |
| | | 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。 | 本项目放射性核素根据医院需求来生产，一般无剩余。 |
| | | 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。 | 本项目拟在卫生通过间、污洗间等处配置专用的核素洗消液；拟在控制区内和含卫生通过间的淋浴间、盥洗水盆、清洗池等拟选用脚踏式或自动感应式的开关，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。 | 本项目放射性废水的收集管道拟按要求设计，尽量减少死区，其下水道短，管道位于地面部分用 2mmPb 铅防护，地下部分（埋深约 100mm，地下无建筑），在废水衰变间的管网有标记，设置有检测口。 |
| | | 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。 | 本项目拟采取槽式废水衰变方式处理放射性废水。根据核算，衰变池的体积能满足要求，保证废水处理后能满足达标排放的要求。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，具有无渗透性、内壁光滑和具有可靠的防泄漏 |

| 标准号 | 标准要求 | | 项目情况 |
| --- | --- | --- | --- |
| | | | 措施。 |
| | | 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； | 本项目拟使用的核素半衰期均小于 24 小时，且新建衰变池能存放 30 天的废水量。 |
| | | 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，气流从低到高流经，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。 |
| HJ1198—2021 | 放射治疗场所辐射安全与防护要求 | 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。 | 本项目回旋加速器室屏蔽考虑了中子的屏蔽。 |
| | | 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。 | 本项目回旋加速器室拟在防护门内外各安装个固定式剂量仪探头，其显示单位设置在控制室内，具备在异常情况下报警的功能。 |
| | | 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<br>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一机/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； | 本项目回旋加速器室拟设置门机联锁、紧急开门装置、红外线防夹装置，机房内内和控制台拟设置急停按钮，并设置明显的中文标识。 |

| 标准号 | 标准要求 | | 项目情况 |
| --- | --- | --- | --- |
| | 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。 | 医院拟制定相关管理制度，定期进行自查，确保安全联锁系统的正常有效运行。 |
| | | 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。 | 医院拟制定相关管理制度，加速器试用、调试、检修期间，控制室须有工作人员值守。 |
| | | 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。<br>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。 | 医院拟制定相关管理制度，任何人员未经授权或允许不得进入回旋加速器机房，工作人员进入须携带个人剂量报警仪， |
| | | 7.5 质子/重离子加速器调试、检修期间，应对进入质子/重离子加速器大厅和束流输运通道、治疗室区域的人员加强管理。在出束的情况下严禁调试、检修人员滞留在控制区；对辐射水平热点区域（如回旋加速器、降能器、束流偏转及引出部位等）应考虑进行屏蔽；接入人身安全联锁系统的受照剂量监测设备宜采用直读式的仪器。 | 医院拟制定相关管理制度，任何人员未经授权或允许不得进入回旋加速器机房，工作人员进入须携带个人剂量报警仪， |
| | 放射性废物管理要求 | 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。 | 回旋加速器维护时更换，活化的支架和靶膜等，作为放射性固体废物处理，拆卸后先放进固废间衰变暂存，解控后按一般废物处理，不能解控的委托有资质单位收贮。 |
| | | 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。 | 放射性沾污的树脂、滤膜、过滤柱等，拆卸后先放进固废间衰变暂存，树脂解控后按危废处理，其它类型废物解控后按一般废物处理。 |
| | | 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。 | 拟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。 |
| | | 8.3 液态废物管理要求<br>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。 | 活化冷却水收集后经专用的衰变池处理达清洁解控水平的要求后再排入医院污水处理站。 |

| 标准号 | 标准要求 | | 项目情况 |
| --- | --- | --- | --- |
| | | 8.4.2 质子/重离子加速器停机后，加速器大厅应加强通风排气，采取措施使人员延时进入，以降低活化空气的感生放射性水平，减少人员受照剂量。 | 本项目回旋加速器室内拟设置排风口，拟设置延时开门措施。 |
| GBZ128-2019 | 剂量计 | 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。 | 本项目拟为操作放射性药物的工作人员每人配置 1 组个人剂量计（铅衣内外各 1 枚），其余放射工作人员配置 1 枚个人剂量计。同时拟配置个人剂量报警仪，实时监控放射工作人员周围辐射环境情况。 |
| | | 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、腕部剂量计、指环剂量计等）。 | |

根据表10-5可知，本项目拟采取的辐射安全与防护措施满足《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）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）等相关标准的要求。

**10.4 放射性三废的处理**

**（1）放射性废水**

根据污染源分析，本项核医学废水主要来自操作放射性药物工作人员的清洗水、设备清洗水、冷却水等。放射性废水排放总量约为 111.375L/d（26.73m³/a）。

项目拟新建一个地埋式衰变设施，包括 2 个衰变池，单独处理本项目的放射性废水。位于气瓶间内，总有效体积为 5m³。放射性废水进入衰变池池处理后，达到清洁解控水平的要求后排入医院废水处理站处理后排污市政污水管网。根据后文核算，本项目衰变池的体积能满足本项目的需求。

衰变设施为混凝土结构，为长方体，单个衰变池有效容积为 2.5m³，上层为 100mm 混凝土的盖板，采取防腐蚀防渗措施，内设 2 个衰变池，本项目无注射药物的病人，因此未设置化粪池。2 个衰变池之间为并联结构，放射性废水连接到一条总管，该污水管道敷设在 1F 地下垫层内，最终连接至衰变设施。放射性废水首先进入第一格衰变池，存满 30 天的水量后，通过 PLC 电子控制系统，将新产生的废水切换到第二格池衰变池，第二格池里蓄水 30 天后，排放掉第一格池中的水，第一格池里重新蓄水，依次循环。

衰变池基础及池壁采用 200mm 混凝土，内部隔板采用 200mm 混凝土，上层为 100mm 混凝土的盖板，隔池上方盖板留有 0.5m×0.5m 检查井。地面上部分的放射性废水排水管外包 2mm 铅皮，并采取防腐蚀措施；衰变池设置采样口便于采样。衰变池设警示标识，池壁能够防渗、防漏。衰变池整体埋在土壤层内，其防渗透和辐射屏蔽效果可以满足要求，对周边环境和人员产生的影响是很小的。

**（2）放射性固体废物**

由污染源分析可知，放射性固体废弃物主要包括回旋加速器维护时更换活化的支架和靶膜，放射性沾污的树脂、滤膜、过滤柱，注射器、试管、抹布、手套等物品，报废的 $^{68}Ge$-$^{68}Ga$ 发生器，废活性炭。

本项目二层、三层控制区各放射性废物产生点设置专用防护废物桶，废物桶表面设置电离辐射标志，内放置专用塑料袋收纳废物，含尖刺及棱角的放射性废物，拟预先进行包装处理，再装入废物桶，防止刺破废物袋；放射性废物每袋重量不超过 20 kg。每天下班后由专人分类、打包、记录后转移至固废间，固废间

配置足够数量的废物桶，不同类别废物拟分开存放，废物桶表面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。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，再经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平后进行清洁解控作为医疗废物处理，废物包装体外表面的污染控制水平需满足 β ＜0.4 Bq/cm² 。达到清洁解控水平后作为一般医疗废物运输至医院医疗废物暂存间暂存，统一交有医疗废物处置资质的单位处置。

报废的 $^{68}Ge$-$^{68}Ga$ 发生器，由生产厂家统一回收处理。回旋加速器维护时更换活化的支架和靶膜，解控后按一般废物处理，不能解控的委托有资质单位收贮。放射性沾污的树脂、滤膜、过滤柱等，树脂解控后按危废处理，其它类型废物解控后按一般废物处理。

**（3）放射性废气**

本项目拟设置 3 套独立的排风系统，将放射性废气收集后引至大楼 3 楼顶经活性炭吸附处置后高于楼顶排放，废气排放口朝向东南侧。

①回旋加速器自屏蔽设备自带 1 根管道，将自屏蔽设备内的废气引至回旋加速器室排风管道内，与机房内的废气通过 1 套管道收集后引至 3 层废气衰变间，经活性炭吸附后引至楼顶高于屋顶排放；

②化学合成室内的合成热室、分装热室、淋洗分装热室和放药实验室内的超净层流通风柜都自带活性炭废气处理器，3 个热室废气和 1 个通风柜的废气经自带的活性炭废气处理器处理后由同一套管道收集后引至 3 层废气衰变间，再引至楼顶高于屋顶排放；

③控制区内的化学合成室、质控室、固废间、放药实验室、衰变池的废气由同一塔管道收集后引至 3 层废气衰变间，经活性炭吸附后再引至楼顶高于屋顶排放。

**10.5 工作场所服务期满后退役**

本项目核医学工作场所搬迁或者取消时，应编制工作场所退役方案，妥善处置场所内设施、设备及放射性固废等，并按照相关规定完善退役环保手续。

根据现行法律法规，本项目涉及到的乙级非密封源工作场所、回旋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。其余环保手续按照相关要求办理。

**表 11　环境影响分析**

**11.1 施工期环境影响**

本项目施工期主要为新建用房、装修和设备安装。施工期主要的污染因子有：噪声、扬尘、废水、固体废物等。

（1）扬尘影响及防治措施

为减小施工期间扬尘对外界环境的影响，施工单位应做到以下几点：封闭施工现场；加强施工现场管理，进行适当的加湿处理；施工运送建筑垃圾车辆，车厢应严密清洁，避免产生扬尘对周边居民正常生活造成影响。

（2）废水影响及防治措施

施工期间产生的废水主要表现为施工人员的生活污水。生活污水依托医院现有污水处理设施处理后进入市政污水管网。不会对环境产生影响。

（3）噪声影响及防治措施

项目应按照标准要求使用施工机械，采用房屋隔声、减振等措施，使用低噪声设备、避免大量噪声设备同时使用，在连续浇筑混凝土墙体时要防止夜间施工噪声扰民。采取上述措施能减轻项目施工期间对外界的影响。

（4）固体废物及防治措施

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、包装废物。施工弃方较小，运至市政指定的位置堆存；建筑垃圾运至市政指定的位置处置；生活垃圾和包装废物依托医院现有生活垃圾收集系统收集后交环卫部门统一收运处理。

综上所述，本项目对外界的影响是暂时的，随着施工期的结束，影响也将消失。通过采取相应的污染防治措施后，本项目对外界的影响可接受。

**11.2 营运期辐射环境影响分析**

**11.2.1 屏蔽效能核算**

本项目主要对回旋加速器室和化学合成室的屏蔽效能进行核算。质控室和放药实验室核素使用前存放在有屏蔽的容器内，单次操作的核素量很小，其用房的辐射防护设计能满足其屏蔽需要，因此不对其屏蔽效能进行核算。本项目以日操作量最大的 $^{18}F$ 来进行计算。

（1）计算公式

①回旋加速器室

采用《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 I 中推荐的方法，回旋加速器屏蔽室外的剂量率可采用生产厂家提供的泄漏辐射剂量等高线（具体见图 11-1），采用近似方法估算，估算公式见公式 11-1。

$$\dot{H}_R = \left(\frac{r_0}{R}\right)^2 \cdot \left(\dot{H}_n \times 10^{-x/TVL_n} + \dot{H}_\gamma \times 10^{-x/TVL_\gamma}\right) \quad (11\text{-}1)$$

式中：

$\dot{H}_R$：回旋加速器室外关注点剂量率，μSv/h；

$r_0$：参考点距靶心的距离，根据图 11-1 取 2.5m；

$R$：屏蔽墙外关注点距靶心的距离，m；

$\dot{H}_n$：参考点 $r_0$ 处的中子剂量率，μSv/h，根据图 11-1 取 8.5μSv/h；

$\dot{H}_\gamma$：参考点 $r_0$ 处的 γ 射线剂量率，μSv/h，根据图 11-1 取 35μSv/h；

$TVL_n$：中子射线的十分之一减弱层厚度，cm；

$TVL_\gamma$：γ 射线的十分之一减弱层厚度，cm；

$x$：屏蔽墙厚度，cm。

对 10MeV 回旋加速器泄漏辐射 γ 射线的能量约为 8MeV，中子的能量约为 5MeV，相应不同屏蔽材料的 TVL 值见表 11- 1。

②热室

药物的合成、分装均在热室内完成，热室屏蔽体外剂量率水平可采用点源公式计算，根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 I 中的核算公式：

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

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—单个患者或受检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；

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

$r$—参考点与放射源间的距离，单位为米（m）。

根据上述公式，若已知屏蔽体厚度，则关注点外剂量率 $\dot{H}$ 的核算由公式 11-2 转换为：

$$\dot{H}=\frac{A\times\Gamma}{r^2\times10^{\frac{X}{TVL}}} \qquad (11\text{-}3)$$

**（2）计算参数**

计算参数见表 11-1、表 11-2。

**表 11-1 回旋加速器泄漏辐射不同屏蔽材料的 TVL 值**

| 材料名称 | 密度（g/cm³） | $TVL_\gamma$ (8MeV)，cm | $TVL_n$ (5MeV)，cm |
|---|---|---|---|
| 混凝土 | 2.35 | 38 | 43 |
| 铅 | 11.3 | 5 | 47.8 |
| 聚乙烯 | 0.97 | 80 | 24 |

注：根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 I 中表 1.3。

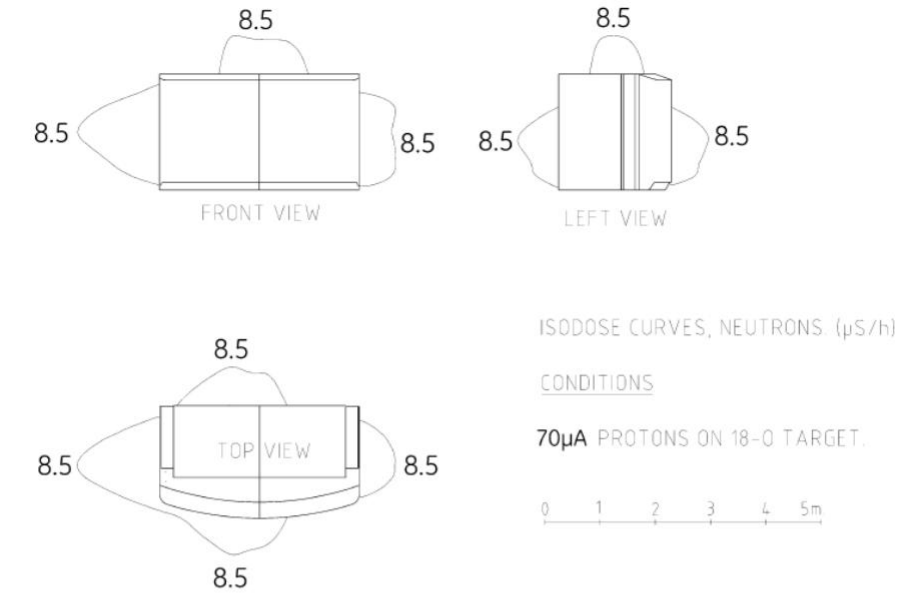
**表 11-2 $^{18}$F 相关计算参数**

| 核素 | 对于裸源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) | TVL | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 铅 | 混凝土 | 砖 |
| $^{18}$F | 0.143 | 16.6mm | 176mm | 263mm |

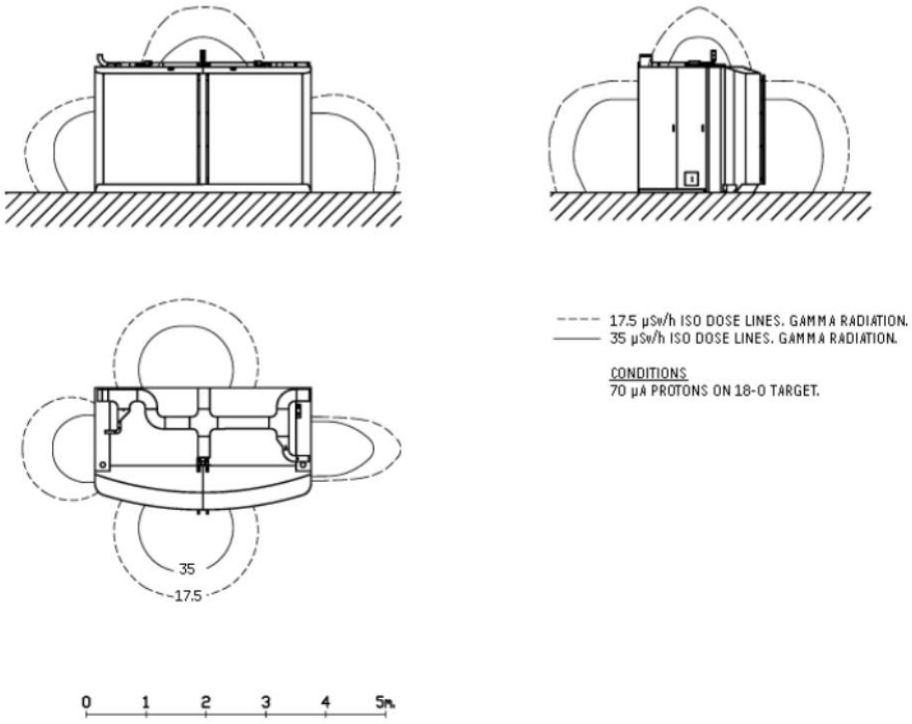
注：根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中附录 I 表 1.1。

生产厂家提供的回旋加速器自屏蔽体外泄漏辐射剂量等高线具体见图 11-1。

续表 11　环境影响分析




中子剂量等高线分布图




Gamma 剂量等高线分布图

**图 11-1 回旋加速器自屏蔽体外中子剂量率和γ剂量率分布图**

**（3）计算结果**

①回旋加速器室

计算时考虑回旋加速器置于机房中间，屏蔽墙体外剂量率水平估算结果见表11-3。

**表 11-3 回旋加速器室屏蔽墙体外剂量率水平**

| 序号 | 方位 | 位置/功能 | 距离 R，m | 屏蔽材料及厚度 | 剂量率，μSv/h |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 西北侧 | 外环境通道 | 4.05 | 砼 600mm | 0.48 |
| 2 | 西南侧 | 加速器控制室 | 4.85 | 砼 600mm | 0.34 |
| 3 | 东北侧 | 外环境通道 | 4.85 | 砼 600mm | 0.34 |
| 4 | 东南侧 | 外环境绿化 | 4.05 | 砼 600mm | 0.48 |
| 5 | 顶板 | 化学合成室 | 5.5 | 砼 600mm | 0.26 |
| 6 | 防护门 | 内部通道 | 4.85 | 150mm 聚乙烯+15mmPb 铅 | 0.26 |

由上表可知，回旋加速器室屏蔽墙体外剂量率均小于2.5μSv/h。

②热室

假设估算时所有核素均在合成热室中间位置，根据建设单位提供的资料，合成热室内核素活度最大2Ci；热室表面及化学合成室屏蔽墙体外剂量率水平估算结果见表11-4。

**表 11-4 热室表面及化学合成室屏蔽墙体外剂量率水平**

| 序号 | 方位 | 位置/功能 | 距离，m | 屏蔽材料及厚度 | 剂量率，μSv/h |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 热室正面 | 工作人员操作位 | 0.375 | 铅 75mmPb | 2.22 |
| 2 | 热室侧面 | 非正对人员操作位表面 | 0.36 | 铅 60mmPb | 19.3 |
| 3 | 西北侧 | 物料间 | 3.31 | 铅 60mmPb 砼 250mm | 7.91E-04 |
| 4 | 西南侧 | 热室控制室和质控室 | 2.975 | 铅 75mmPb 砼 200mm | 2.91E-04 |
| 5 | 东北侧 | 室外悬空 | 1.81 | 铅 60mmPb 砼 250mm | 0.01 |
| 6 | 东南侧 | 室外悬空 | 0.61 | 铅 60mmPb 砼 250mm | 0.69 |
| 7 | 顶板 | 净化空调机房和废气衰变间 | 4.46 | 铅 60mmPb 砼 200mm | 4.62E-04 |
| 8 | 底板 | 回旋加速器机房 | 5.36 | 铅 60mmPb 砼 600mm | 1.18E-6 |
| 9 | 门 | 热室控制室和质控室 | 2.975 | 铅 75mmPb+2mmPb | 0.03 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 10 | 药物窗口 | 药物通道 | 2.975 | 铅 75mmPb+2mmPb | 0.03 |
| 11 | 物料窗口 | 物料间 | 3.31 | 铅 60mmPb+2mmPb | 0.18 |

备注：计算时，放射性药物在热室内按照紧贴屏蔽体，距离按 0 考虑。热室正面铅防护为 75mm，侧面为铅防护为 60mm。

由上表可知，放射性药物合成和分装热室等设备自屏蔽结构外表面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热室等设备自屏蔽结构外非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于25μSv/h。化学合成室四周表面30cm处周围剂量当量率小于2.5μSv/h。

③药物转运防护罐外表面周围剂量当量率估算

依据建设单位提供的资料，当天生产出的放射性药物$^{18}$F装于转运防护罐内（钨合金运输罐45mm钨合金），配备转运推车由专人转运至院内PET中心，全程用时5min。

依据建设单位提供的资料，转运防护罐内放射性药物活度最大为200mCi。

核素$^{18}$F的γ射线能量为0.511MeV，查《辐射防护手册》（第三分册）P30表2.12，钨的TVL为11mm，由式11-3计算，转运防护罐30cm处的周围剂量当量率为0.95μSv/h。

**11.2.2 剂量估算**

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：

$$H_{Er} = H^{*}_{(10)} \times t \times 10^{-3} \qquad \text{（公式 11-4）}$$

其中:　$H_{Er}$：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，小时。

**（1）放射工作人员**

$^{18}$F制备分装工作人员受照射的环节主要为：药物生产、合成分装、质控、药物运输等。

①回旋加速器运转生产核素及药物合成分装

生产放射性核素及药物合成分装均为自动化工艺。

**续表11　环境影响分析**

制药全过程为系统自动进行，工作人员一般在控制室内停留，根据表11-3计算结果，生产过程中，回旋加速器机房墙外控制室侧的周围剂量当量率为0.34μSv/h。本项目回旋加速器每天开机2次，全年最多开机480次，每次开机时间不超过1h，则加速器全年运行时间最多为480h，根据式11-4，生产过程工作人员受到的年剂量为0.16mSv/a。

药物合成分装为自动进行，药物合成分装过程中，工作人员不在化学合成室内停留，根据表11-4计算结果，化学合成室外热室控制室侧的周围剂量当量率为2.91E-04μSv/h。全年最多合成分装药物480次，每次时间约30min，则药物合成分装过程工作人员受到的年剂量为6.98E-05mSv/a。

②质控

拟配备1名辐射工作人员专职负责质控相关工作。

按每次操作量$3.7\times10^{7}$Bq（1mCi）进行预测，质控过程工作人员穿着0.5mmPb当量防护衣，戴0.5mmPb当量的防护手套，药物距离手部约5cm，距离身体约为50cm。根据式11-3计算可得质控过程工作人员手部受照剂量为1906.09μSv/h，身体受照剂量为19.06μSv/h。每次质控时间为5min，全年质控最多480次，则其工作人员手部的年剂量为76.24mSv/a，工作人员质控受到的年有效剂量为1.52mSv/a。

③运输

根据计算结果可知，转运防护罐外周围剂量当量率为0.95μSv/h；根据建设单位提供资料，整个运输环节，工作人员预计受照时间约10min，单次运输放射性药物活度最大为200mCi，一天最多运输20次，全年工作日按240天计，则运输过程工作人员所受年剂量为0.76mSv/a。

④年剂量合计

本项目拟配置14名工作人员，还未具体分工。假设药物生产、合成分装、质控、药物运输均由同一名工作人员完成，则其受到的年有效剂量为2.44mSv/a，手部当量剂量为152.5mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中规定的工作人员手部500mSv/a、职业照射20mSv/a的年剂量限制，同时满足本评价提出的工作人员手部125mSv/a、职业照射5mSv/a的年管理剂量约束值。

（2）公众成员

本项目所在场所设有门禁，只有放射工作人员才能进入，公众无法进入。根据项目周围布置情况及射线衰减理论，与本项目周边的公众成员受到一定的影响。具体情况如下表 11-5。

**表 11-5　公众成员年有效剂量估算结果表**

| 场所名称 | 与项目主要用房的位置关系 | 控制区屏蔽体外周围剂量当量率（μSv/h） | | 受照射时间（h） | 居留因子 | 年有效剂量（mSv/a） |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 惠恩楼 | 西北侧 | 回旋生产 | 0.01 | 480 | 1 | 0.005 |
| | | 热室合成 | 1.68E-05 | 240 | | |
| 特需病房 | 东北侧 | 回旋生产 | 0.03 | 480 | 1 | 0.014 |
| | | 热室合成 | 1.01E-03 | 240 | | |
| 制氧机房 | 西南侧 | 回旋生产 | 0.34 | 480 | 1/4 | 0.04 |
| | | 热室合成 | 2.91E-04 | 240 | | |
| 外科大楼 | 西南侧 | 回旋生产 | 3.21E-03 | 480 | 1 | 0.002 |
| | | 热室合成 | 2.75E-06 | 240 | | |
| 备注：公众成员主要考虑药物生产、合成分装过程受到的剂量。 | | | | | | |

根据上表可知，本项目控制区屏蔽体外的公众成员受到的年附加剂量最大为 0.04mSv/a，小于医院的年有效剂量管理目标值 0.1mSv/a，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

同时，距离项目更远的公众成员，受到的年附加有效剂量也将低于上述估算值，受到本项目的影响将更低。

另外，项目放射性药物的转运罐本身成为一个活动的放射源，在其附近活动的公众将受到一定的辐射影响。本项目工作人员在运输药物时进行告示，提醒公众远离，选择人员活动少的时段，尽量避免与周围人员近距离接触，减少对周围公众成员的影响。

### 11.2.3 对环境保护目标的影响分析

拟建项目控制区各用房的屏蔽体外周围剂量当量率满足国家相关标准要求。本项目环境保护目标主要受本项目回旋加速器运行时产生的电离辐射（γ射线）影响。根据γ射线衰减规律，辐射影响按距离的平方进行衰减，即距离辐射源越远，受到的影响越小。根据表 11-3 和表 11-5 可知，回旋加速器运行时对周围环境保护目标的周围剂量当量率为 2.75E-06~0.48μSv/h，均不大于 2.5μSv/h。因此，

项目所致周围 50m 范围内环境保护目标的影响甚微，本项目建设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。

**11.2.4 放射性“三废”环境影响分析**

**（1）放射性废水影响分析**

**①放射性废水收集系统**

建设单位拟将本项目产生的放射性废水（由接触放射性药物医护人员洗手及控制区清洁用水、设备清洗水、活化冷却水等）设置单独的收集系统，收集放射性废水的管道均采用耐腐蚀的特种管道，放射性废水通过独立管道收集至项目气瓶间衰变池，衰变池池壁为 200mm 厚钢筋混凝土结构，具有一定的防渗和辐射屏蔽能力。

**②衰变池容积的确定**

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。

A、废水核素产生量，见表 11-6。

**表 11-6 废水核素产生量计算表**

| 核素名称 | 日最大操作量（Bq） | 月最大用量（Bq） | 日最大排放量（Bq） | 月最排放量（Bq） |
|---|---|---|---|---|
| $^{18}F$ | 1.48E+11 | 2.96E+12 | 1.48E+9 | 2.96E+10 |
| $^{11}C$ | 4.44E+10 | 8.88E+11 | 4.44E+8 | 8.88E+9 |
| $^{13}N$ | 2.22E+10 | 4.44E+11 | 2.22E+8 | 4.44E+9 |
| $^{68}Ga$ | 2.22E+9 | 4.44E+10 | 2.22E+7 | 4.44E+8 |

根据建设单位提供资料，本项目核素进入衰变池活度不超过生产量的 1%。

$^{18}F$ 半衰期最长，且日操作量最大，本评价以 $^{18}F$ 的排放为对象对核医学衰变池放射防护设计及容积进行计算。

B、衰变池容积的确定

本项目使用槽式衰变池处理放射性废水，以每天产生的的初始活度值为基数，计算它分别经过 kd、k+1d.、k+2d.....md 衰变后各自单独的活度值，将这 n（m-k+1）份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入环境中的活度值。衰变计算公式如下：

衰变池内的总活度：$A_n = A_0 \cdot \frac{1-e^{-\lambda t}}{1-e^{-\lambda}}$

衰变池每次排出总活度：$A_{排出} = A_n \cdot e^{-\lambda t}$

排放的活度浓度：$A_c = \frac{A_{排出}}{V}$

式中：$A_n$：化粪池内放射性废水总活度,Bq；

$A_0$：每天流入化粪池的活度,Bq；

λ：核素的衰变常数;$\lambda = \frac{0.693}{T_{1/2}}$；$T_{1/2}$为核素的半衰期；

t：化粪池装满所需的时间,时间单位应与$T_{1/2}$的单位一致；

$A_{排出}$:衰变池排放口的活度，Bq；

$A_c$：衰变池排放口的活度浓度，Bq/L；

V:衰变池容积，L。

项目拟新建的两个衰变池并联，单个的有效体积为2.5m$^3$，项目放射性废水产生量为111.375L/d，衰变池池能装约22工作日（自然日约30天）的放射性废水量。根据计算，放射性废水经衰变池衰减后，放射性废水活度总活度为5.7×10$^{-110}$Bq，化粪池排放口废水浓度为5.7×10$^{-110}$Bq/L。能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）的限值要求（10Bq/L）。

因此，本项目拟新建衰变池有效体积及类型能满足本项目的要求。

**③放射性废水处理工艺可行性分析**

根据医院提供资料，放射性废水采用“槽式衰变池”工艺处理放射性废水，而后排入医院污水处理站处理后排入市政污水管网。本项目2个衰变池内设置电磁阀、污水泵，当第一个衰变池内的水装满后，再排入第二个衰变池。本项目废水主要是一些清洗水，因此未设置化粪池。

综上，项目设置有独立的放射性废水收集系统，放射性废水经衰变池处理后，排入医院污水处理设施处理，医院污水处理设施已建成运行多年，能达标排放。因此，项目产生的放射性废水能够得到有效处理，达标排放。

**（2）放射性固废影响分析**

**续表11　环境影响分析**

本项目控制区各放射性废物产生点设置专用防护废物桶，分类收集放射性废物，并由专人分类、打包、记录后转移至废物室，废物室内放置数量足够的废物桶，放射性固体废弃物分类收集在不用废物桶内。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，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平后进行清洁解控作为医疗废物处理，废物包装体外表面的污染控制水平需满足 β＜0.4 Bq/cm²。清洁解控后的废物通过固废间防护门运出至医院医疗废物暂存间暂存，最终交有医疗废物处理资质单位处置。

本项目的固废间日常封闭，仅当废物进出才开门；固废间入口处拟设置电离辐射警告标志，采取有效的防火、防盗措施，并设置紫外消毒及空调系统；废物暂存间内不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品。

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，不可混同处理。应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供收集的专用污物桶应具有外防护层和电离辐射警告标志，污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放射性废物每袋重量不超过 20 kg。

另外，医院一般根据病人预约情况进行生产，不会产生多余放射性余液；$^{68}Ge$-$^{68}Ga$ 废发生器暂存在淋洗热室内(一般暂存时间不超过 2 周)，再交由生产厂家统一回收处理；回旋加速器活化的零件等解控后按一般废物处理，不能解控的委托有资质单位收贮；回旋加速器放射性沾污的树脂、滤膜、过滤柱等，树脂解控后按危废处理，其它类型废物解控后按一般废物处理。

综上，本项目产生的放射性固废均能得到合理的处理，对环境产生较小。

**（3）放射性废气影响分析**

1）加速器机房

**续表11　环境影响分析**

加速器大厅内的空气受中子照射后可生成放射性活化气体，主要由核素 $^{15}O$、$^{13}N$、$^{11}C$、$^{41}Ar$ 等，其中产生量由式（11-5）计算：

$$Q=\lambda\cdot\phi\cdot R\cdot N\cdot\sigma\cdot t \qquad (11\text{-}5)$$

式中：Q——年运行时间核素 $^{41}Ar$ 的年排放量，Bq/a；

t——年运行时间，480h×3600s/h=1.728×$10^6$s（年最大工作时间480h）；

λ——核素 $^{41}Ar$ 的衰变常数，$\lambda=\frac{\ln 2}{T_{1/2}}=\frac{\ln 2}{1.8h\times 3600s/h}=1.07\times 10^{-4}s^{-1}$；

$\phi$——加速器大厅内中子发射率，2.44×$10^{11}$n/s；

σ——母核 $^{41}Ar$ 的活化截面，15.7mb=13.4×$10^{-27}$cm$^2$；

R——房间内空气的有效半径，150cm；

N——单位体积空气中的 $^{40}Ar$ 原子序数，2.53×$10^{20}$n/cm$^3$。

加速器大厅内的空气受中子照射后可生成放射性活化气体，主要核素有 $^{11}C$、$^{13}N$、$^{15}O$ 和 $^{41}Ar$ 等，其中关键核素为 $^{41}Ar$，由公式（11-5）计算出放射性气体 $^{41}Ar$ 的产生量为 2.3×$10^{10}$Bq/a。$^{41}Ar$ 为惰性气体，其所致照射途径仅为空气浸没外照射。

①地面空气浓度计算模式

地面空气浓度计算模式见公式（11-6），该计算模式引自《核设施正常工况气载放射性排出物后果评价模式》（方栋和李红，2002，辐射防护，22（6）：343～348），适用于小型核设施或核技术应用项目的简单稀释模式。

$$C_{a.i}=(P_p\cdot O_i)/(\pi\cdot u_a\cdot H_b K) \qquad (11\text{-}6)$$

式中：$C_{a.i}$——下风向 X（m）距离处的核素 i 的地面空气浓度，81.46Bq/m$^3$；

$P_p$——年中风吹向接受点，在扇形方位 P 的时间份额，保守取 0.25；

$Q_i$——放射性核素 i 的年排放率，1.33×$10^4$Bq/s（根据公式 11-5 计算）；

$u_a$——释放高度上的平均风速，1.3m/s；

$H_b$——临近最高建筑物的高度，10m；

K——经验常数，1m。

②空气浸没外照射

$$D_A = t \cdot S_f \cdot C_i \cdot G_A \qquad (11\text{-}7)$$

式中：$D_A$——年空气浸没全身剂量当量，$2.59\times10^{-5}$Sv/a；

t——年受照时间，480h×3600s/h=$1.728\times10^{6}$s/a；

$S_f$——建筑物屏蔽产生的剂量减弱因子，对于个体，取值 0.7；

$C_i$——地面空气浓度，81.46Bq/m$^3$（由公式 11-6 计算得到）；

$G_A$——烟云浸没照射剂量当量转换因子，对于 $^{41}$Ar 为 $2.63\times10^{-13}$Sv/s.Bq.m$^3$。

本项目放射性气体 $^{41}$Ar 的排放所致公众的空气浸没外照射为 $2.59\times10^{-5}$Sv/a，满足国家和地方管理限值要求。根据建设单位提供的资料，回旋加速器的废气处理排放系统，由埋置在自屏蔽体中的延迟管组成，可处理加速器生产过程中产生的放射性废气。由一根单独的排气管道经高效活性炭过滤排向室外。

2）热室、通风柜

根据工程分析，当药物中间体在热合成室中进行合成时，会有微量放射性气体随蒸汽一起进入排气管道。本项目拟购置的热室和通风柜均自带废气处理系统（风速一般大于 0.5m/s），并有管道接排风系统，各自处理后再汇集到一根排气管道排向室外。

3）控制区用房

项目使用的非气态放射性药物，非正常情况下放射性药物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。本项目控制区用房采用单独的排风系统收集各房间内废气，收集管内设置防倒灌装置并保持负压，保证废气由低放射区至高放射区收集至主管道。风机总风量达 5000m$^3$/h。放射性废气收集后引至项目 3 楼废气衰变间经活性炭吸附后排向室外。

以上 3 套管道均引至的废气衰变间，再汇集到一个排放口引至 3 楼顶东南角排放。项目所在地主导风向为西北风，排放口距离下风向最近建筑为紧邻的制氧机房，排放口高于下风向建筑楼顶约 3m，项目在正常运行过程中，排放到大气环境中的放射性核素浓度很低，基本不会对周围环境产生不良影响。

**11.2.5 非放射性“三废”环境影响分析**

（1）固废：医生产生少量的生活垃圾，生活垃圾交市政环卫部门处理。

（2）废水：医生产生少量的生活污水等，直接排入医院现有污水处理设施处理达标后接入市政污水管网。

（3）废气：本项目回旋加速器运行时产生少量的臭氧和氮氧化物，机房安装有排风系统，能有效保证机房内的通风换气，将室内空气中的有害气体臭氧和氮氧化物浓度降低到国家规定的浓度限值以下。臭氧在空气中分解时间较短（约0.83h），因此，其废气将很快恢复到原来的空气浓度水平，不会对公众造成危害，对环境带来影响。

**11. 3 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。

成年人敏感部位的确定性效应阈值估计值见表 11-7，成人全身受到不同照射剂量的损伤估计情况见表 11-8。

**表 11-7　成年人敏感部位的确定性效应阈值估计值**

| 组织和效应 | | 在一单次短时照射中受到的总剂量（Sv） | 分很多次的照射或迁延照射中受到的总剂量（Sv） | 多年中每年以很多分次照射或迁延照射接受剂量时的年剂量（Sv/a） |
|---|---|---|---|---|
| 睾丸 | 暂时不育 | 0.15 | NA | 0.4 |
| | 永久不育 | 3.5～6.0 | NA | 2.0 |
| 卵巢—不育 | | 2.5～6.0 | 6.0 | ＞0.2 |
| 晶状体 | 可查出的浑浊 | 0.5～2.0 | 5 | ＞0.1 |

**续表11　环境影响分析**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 视力障碍（白内障） | 2.0～10.0 | ＞8 | ＞0.15 |
| 骨髓—造血功能低下 | | 0.5 | NA | ＞0.4 |

备注：表格来自 ICRP，1984；NA 表示不适用，因为该阈值取决于剂量率而不取决于总剂量。

**表 11-8　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 |
| 1～2 | 骨髓型急性放射病 | 轻度 | 乏力，不适，食欲减退 |
| 2～3.5 | | 中度 | 头昏，乏力，食欲减退，恶心，呕吐，白细胞短暂上升后下降 |
| 3.5～5.5 | | 重度 | 多次呕吐，可有腹泻，白细胞明显下降 |
| 5.5～10 | | 极重度 | 多次呕吐，腹泻，休克，白细胞急剧下降 |
| 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。

### 11.3.1 辐射潜在事故风险分析

本项目使用放射性药物在正常营运情况下对于公众和周围环境是安全的。但如果操作不当时，可能对公众和环境造成辐射危害，可能出现的情况有：

**（1）回旋加速器**

1）门-机联锁装置失效。

由于未及时检修，门-机联锁装置失效，门处于半开启状态，加速器仍能运行，人员进入加速器机房机房而受到照射。

2）非工作人员误留或误闯加速器机房

非工作人员误留或误闯进入加速器机房后，未全部撤离，仍有人滞留在机房内某个不意察觉的地方。在加速器开机前，工作人员未仔细从监视器上搜寻，从而意外地留了下来，加速器运行时使滞留人员受到照射。

3）加速器内部放射性液体管道泄露

由于长时间辐照以及腐蚀等原因，造成加速器壳体内管道泄露。

4）人误

不了解加速器基本性能和结构，缺乏操作经验；缺乏防护知识，安全观念淡薄、无责任心；违反操作规程和有关规定，操作失误；设备维（检）修后未进行质量控制检测；管理不善、领导失察等。是人为的因素造成辐射事故（造成患者治疗损伤）的最大原因。

**（2）显像药物事故（事件）分析**

1）放射性药液少量滴落事故分析

制备药品的分装环节，针剂中会有少量的放射性药液滴落在操作台上，造成对操作台面的污染。出现该事故的概率最多为每周1次，每次滴落药液活度不超过2mCi。

2）制备药品过程的分装环节中，由于操作不当，针剂跌落到地面，针头松开针剂内放射性药液全部洒落到地面。出现该事故的概率很低。

**（3）其它事故（事件）分析**

1）放射性药品在运输过程中被盗/抢事故。

2）由于管理不善，导致放射性物品失窃，造成放射性污染事故。

3）操作放射性药物时发生容器破碎、药物泼洒等意外事件，可能污染工作台、地面、墙壁、设备等，甚至造成手和皮肤污染。泼洒的药物挥发将产生少量放射性废气，擦除污染物将产生少量的放射性固体废物。

4）手部有伤仍从事放射性物质操作，可能造成内照射。

5）违反核医学管理规定在控制区内吸烟、进食，可能吸入和食入放射性物质造成人员内照射。

6）工作人员存在不良工作习惯，对自身的防护不重视，一次性手套乱扔，致使室内受到污染，辐射水平增高。

**11.3.2 事故风险危害后果分析**

**①回旋加速器**

回旋加速器在开机过程中，机体外 1m 处辐射剂量最大为 35μSv/h（γ射线剂量率取 35μSv/h，中子剂量率取 8.5μSv/h），假设误入人员位于回旋加速器机体外 1m 处，停留 1h 左右，受到的有效剂量约为 0.035mSv/次，未超过（GB18871-2002）中特殊情况下职业人员 5 个连续年的年平均剂量限值（20mSv），

公众 5 个连续年的年平均剂量限值（1mSv），**不属于辐射事故。**

**②放射性药物丢失事故**

1）事故情景假设

A、加速器传输管道脱落（堵塞事故）造成 $^{18}F$ 泄漏或丢失，放射性药物分装过程和运输过程中造成 F-18 泄漏或丢失；事故计算以回旋加速器区域放射性药物（F-18）最大活度 7.4E+10Bq（2Ci）计算；

B、假设丢失后在整个事故持续时间内放射性药物未发生洒漏，事故持续过程中按点源考虑；

C、保守假设事故持续时间内，丢失的药物被同一人随身携带，距离按 10cm 考虑；

D、受照人员不考虑任何屏蔽措施；

E、事故持续最长时间为 2h；

2）剂量估算模式与参数选取

分别计算距放射源 0.1m、0.2m、0.5m、1.0m、2.0m、5.0m、10m 处的个人有效剂量。事故持续时间分别计算 4h、8h、1d、2d、3d 的情况。

3）计算结果

根据事故情景假设条件计算得出，距源 0.1m~10m 范围内不同事故持续时段的个人有效剂量，计算结果见表 11-9。

**表 11-9 $^{18}F$ 丢失事故下不同持续时间不同距离处个人有效剂量分布**

| 距源距离（m） | 各事故持续时段的 $\gamma$ 射线所致辐射剂量（mGy） | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0~10min | 0~30 min | 0~60 min | 0~90 min | 0~120 min |
| 0.1 | 8.30E+02 | 2.49E+03 | 4.96E+03 | 7.46E+03 | 9.94E+03 |
| 0.2 | 2.08E+02 | 6.21E+02 | 1.24E+03 | 1.86E+03 | 2.49E+03 |
| 0.5 | 3.34E+01 | 9.94E+01 | 1.99E+02 | 2.98E+02 | 3.98E+02 |
| 1.0 | 8.30E+00 | 2.49E+01 | 4.96E+01 | 7.46E+01 | 9.94E+01 |
| 2.0 | 2.08E+00 | 6.21E+00 | 1.24E+01 | 1.86E+01 | 2.49E+01 |
| 5.0 | 3.34E-01 | 9.94E-01 | 1.99E+00 | 2.98E+00 | 3.98E+00 |
| 10.0 | 8.30E-02 | 2.49E-01 | 4.96E-01 | 7.46E-01 | 9.94E-01 |

4）事故后果

由表 11-9 可以看出，在事故持续时间为 10min、30min、60min、90min 和 120min 的情况下，距放射源 0.1m 处的γ射线外照射辐射剂量分别为 830mGy、

2490mGy、4960mGy、7460mGy 和 9940mGy。考虑的整个事故持续周期 2h 内，急性放射病发病率均在 1%之下，事故持续周期内可造成人员超剂量照射，根据环发[2006]145 号文件的规定，属于一般辐射事故。由于核素 $^{18}F$ 的半衰期只有 109.8min，而计算过程中并未考虑其衰变，因此该计算结果是偏保守的。

**③放射性药物撒漏事故**

1）事故情景假设

A、放射性核素分装和运输过程中导致放射性药物试剂瓶或铅罐打翻或破碎，导致 F-18 溶液撒漏于地面。操作人员在放射性药物取药过程中 $^{18}F$ 试剂瓶打翻或破碎，导致 $^{18}F$ 溶液撒漏于操作台；

B、事故计算以回旋加速器区域放射性药物（F-18）最大活度 2Ci 计算；

C、考虑放射性对操作人员手部的烧伤，假设放射性液体均匀洒布在手部皮肤表面；

D、假设事故处理时间持续 2min；

2）剂量估算模式与参数选取

根据吉林医科大学《放射医学》中手部表面污染的公式对手部所受吸收剂量进行计算：

$$D_{0.007}=\frac{D_{0.007}}{\sigma f_z}f_z\times\sigma \qquad \text{……(11-6)}$$

式中：

$D_{0.007}$ —— β射线在 7mg/cm$^2$ 表皮处所产生的吸收剂量，rad·s$^{-1}$；

$f_Z$ —— 与β放射性核素的原子序数 Z 有关的数，以 $^{18}F$ 计算；

$\sigma$ ——每平方厘米内β放射性核素发出的β粒子数，mCi·cm$^{-1}$；

3）计算结果与后果分析

$^{18}F$ 药剂瓶被打碎后均匀分布在手部皮肤表面，由 $^{18}F$ 的最大能量 $E_\beta$和原子序数 Z，在《放射医学》图 5-8 查出与最大能量 $E_\beta$相对应的纵坐标 $D_{0.007}/\sigma fz$ 值乘以 $10^{-8}$rad·衰$^{-1}$·cm$^{-2}$，再由图右下角的曲线查出与原子序数相对应的 $f_Z$ 值，即可由一次最大操作量和手部面积算得本项目事故中手部最大吸收剂量为 6.0mGy/s，假设处理事故时间为 2min，则工作人员在一次处理事故过程中受到的最大剂量为

720mSv/次，大于 GB18871-2002 中对职业人员四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量 500mSv 的限值，根据环发[2006]145 号文件的规定，属于**一般辐射事故。**故工作人员在操作中应严格遵守操作规程，操作过程中尽量避免该类事故的发生。发生事故时尽快进行处理，减小事故处理时间。事故处理时应穿带工作衣帽，带胶手套。事故处理的的冲洗水需统一收集，进入放射性废液收集处理系统，不能直接排放。

**11.3.3 风险防范措施**

**（1）项目事故风险防范措施**

发生在非密封源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内照射。风险防范措施从以下几个方面体现：

1）人员

①尽快消除有害因素，使受照人员尽快撤离现场，检查人员受害程度，采取措施，同时向上级部门报告。

②对疑有污染人员，应进行体表污染监测，确有污染应进行去除污染处理，防止污染进一步扩散；疑有吸入或食入者，应尽早选择适当的促排剂进行促排。

2）污染控制

放射事故一般处理原则是：控制事故源，防止蔓延。控制事故处理时限，把危害降低到最低限度，控制事故影响。

①控制污染，禁止无关人员出入现场，以防扩大污染范围，在采取控制污染措施时，要注意保护好现场。

②发生场所、地面、设备污染事故时，在确定同位素、范围、水平后，尽快地采取相应的去污措施去污。

③发生放射性液体、气体、气溶胶污染空气事故时，要根据监测数据采取相应吸附、过滤、通风等除污净化措施。

④当人员皮肤、伤口被污染时要迅速除去污染和医学处理。

3）按操作规程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-机联锁装置失的情况下违规操作；通过装置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。

4）在加速器机房的防护门上安装门联锁，只有当自屏蔽体封闭、离子源射频屏蔽箱盖关闭及防护门完全关闭后，加速器才能进行运行、出束。一旦防护门被打开，将立即停止出束。运行时发现有人员滞留室内，由控制室紧急按下停机开关；如机房内有工作人员未及时出来，可通过随身携带的仪器报警，立即按下机架上的紧急停机开关，可将辐射危险的严重程度降至最低限度。

5）加速器机房设有自动监测系统和便携式监测仪器，事故发生后立即停机并封锁现场。由训练有素的专业工作人员进入加速器机房去污，配置合适的去污剂、合理选择去污方法，在去污过程中要防止交叉污染和扩大污染。同时把污染的手套和其它任何受到污染的可更换的物品放进塑料袋，统一处理。

6）辐射工作人员必须加强专业知识学习，加强防护知识培训，了解应当做什么，怎么做，避免犯普通错误；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。

7)明确工作负责人及其工作职责;运输路线及人员;放射性药品装卸及固定;并对安全运输作了相关要求。同时必须加强放射性药品运输过程的安全管理，在休息中应加强巡视，加强放射性药品的保卫工作，严防源被盗/抢事故发生。

**（2）应急措施**

1）发生少量放射性液体洒落的地面或者操作台时，可立即用吸水纸、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，再次基础上用温水仔细清洗污染处，检测安全后方可结束。使用过的吸水纸或纱布视为放射性废物。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，去污后经检测合格方能离开。

2）当发生射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射时，首先应立即切掉电源，对可能受放射损伤的人员，应第一时间将伤员撤离到相对安全区域后，采取暂时隔离和应急救援措施。事故中受超剂量照射需转送到指定救治基地进行救治观察者，应及时由救护车转送。

3）当发生放射源或者放射性药物被盗、丢失时，应第一时间向医院辐射事

故应急小组及向生态环境、公安、卫生主管部门报告。

4）去污后建设单位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《核与放射事故干预及医学处理原则》（GBZ113-2006）和《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。

**11.4 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，只有在考虑了社会、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。

短寿命放射性药物的制备是为满足医院 PET 中心对放射性同位素显像药品的及时性需求，提高对核医学病人的服务水平，对保障健康、拯救生命起到了十分重要的作用。项目竣工营运以后，为医院病人和医护人员提供一个充足、及时的药品供给，具有明显的经济效益和社会效益。

因此，本项目应用放射性同位素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**

项目属于中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 29 号《产业结构调整指导目录（2019）年本》鼓励类中第十三大项第 5 类——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，高端放射性治疗设备，电子内窥镜、手术机器人等高端外壳设备，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。和类鼓励类中第 6 大项第 5 类“——同位素、加速器及辐照应用技术开发。项目符合国家相关法律法规和政策的规定，符合国家产业政策。项目符合国家相关法律法规和政策的规定，符合国家产业政策。

**11.6 环保投资估算**

## 续表11　环境影响分析

本项目环保投资估算共约 500 万，占总投资 27.68%，具体情况见表 11-10。

**表 11-10　项目环保投资一览表**

| 序号 | 辐射安全与防护设施名称 | 投资（万元） |
|---|---|---|
| 1 | 控制区墙体，防护铅门、铅玻璃 | 400 |
| 2 | 放射废物桶、自屏蔽热室等<br>（见表 1-3 防配套用品、用具） | 60 |
| 3 | 个人防护用品及监测仪器 | 20 |
| 4 | 废气收集管网、处置 | 5 |
| 5 | 衰变池 | 5 |
| 6 | 监测、环评、验收、办证等 | 10 |
| 合计 | | 500 |

**表 12　辐射安全管理**

**12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置**

**（1）辐射安全与环境保护管理机构**

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。另外，《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；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。

从医院目前配置的辐射领导小组人员学历构成看，绝大部分为本科学历，有一定的管理的能力。本项目开展后，目前医院的管理人员也能满足配置要求。

**（2）放射工作人员配置**

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条的规定：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《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第二十二条规定：取得辐射安全培训合格证书的人员，应当每四年接受一次再培训。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），放射工作人员应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，并通过培训平台报名参加市生态环境局组织的考核。原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过我部培训平台报名并参加考核。2020 年 1 月 1 日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效。

续表 12　辐射安全管理

本项目劳动定员的 14 人，均为医院现有放射工作人员中调配。目前具体人员尚未确定。医院现有放射工作人员均参加了辐射安全与防护培训并取得了培训合格证，也按要求进行了健康体检和个人剂量监测。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。

**12.2 辐射安全管理规章制度**

**（1）辐射安全管理规章制度**

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，应当具备下列条件：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。

目前，建设单位已制定了《放射工作人员职业健康防护管理制度》、《放射设备防护性能检测制度与措施》、《放射性药品采购、使用登记制度》、《放射性药品贮存管理制度》、《放射性药物管理规定》、《辐射安全管理责任制度》、《辐射安全培训制度》、《辐射工作安全防护管理制度》、《辐射环境监测制度》、《个人剂量管理制度》、《核医学的辐射安全与防护》、《核医学科安全管理制度》、《核医学科工作制度》、《医用放射性废物管理制度》、《辐射事故应急预案》等辐射防护管理制度。上述各种制度基本健全，具有一定的可操作性。医院还应针对本项目的特点，补充操作流程、设备管理、维修和保养制度等，不断完善辐射工作人员培训计划、放射性药物安全操作规程、辐射监测方案与应急预案等制度，进一步补充、完善环境影响评价提出的防护措施和管理制度后，医院能满足辐射环境管理要求。

**（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。

本项目运营后，建设单位拟按照要求管理放射工作人员的个人剂量，保证放射工作人员正确佩戴、定期检测、建立和保存档案。

**（3）职业健康体检**

在项目放射工作人员上岗前，建设单位拟按规定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，放射工作人员拟定期进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不超过 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，拟按照规定脱离辐射工作岗位，并进行离岗前的职业健康检查。项目单位还拟按照要求建立和保存放射工作人员的健康档案。

**（4）档案管理**

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。

本项目运营前，医院应认真落实相关制度和规定，安排新进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。

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”。建设单位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。

**（5）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 2020 年提交过年度评估报告，医院建立并落实了年度评估等制度，于每年 1 月 31 日前通过全国核技术利用辐射安全申报系统向发证机关提交年度评估报告。年度评估报告包括医用 X 射线装置台账、放射性同位素台账、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。

**12.3 核安全文化建设**

核安全文化是从事核与辐射安全相关活动的全体工作人员的责任心，要求核技术利用单位树立并弘扬核安全文化。核安全文化表现在核技术利用单位最高管理者、相关领导与员工应具备核安全文化素养及基本的放射防护与安全知识。

建设单位应建立安全管理体系，明确核技术利用单位各层次人员的职责、不断识别单位内部核安全文化的弱化处并加以纠正，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建设单位应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建设单位应当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。

**12.4 辐射活动能力评价**

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，医院从事的辐射活动能力评价如表 12-2 所示。

**表 12-2　从事辐射活动能力评价**

| 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 | 已成立了辐射防护领导机构，并指定了 1 名具备本科学历的专人负责辐射安全与环境保护管理工作。 |

续表 12　辐射安全管理

| | |
|---|---|
| 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；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。 | 已制定培训计划，新调配放射工作人员上岗前取得培训合格证，待落实后方可开展辐射工作。 |
| （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。 | 拟设置分装热室，内含储源铅罐贮存放射性药物。 |
| （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。 | 拟在设备机房设置门灯、门机联锁装置、相关场所张贴辐射警告标识，项目场所地面指示箭头指导放射工作人员和放射性药物路线。 |
| （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。 | 拟为新调配人员配备个人剂量计，其余放射工作人员也均配备了个人剂量计，配备一定数量的辐射防护用品供放射工作人员和病员使用。拟配置与开展项目相适应的监测仪器及表面污染监测仪。 |
| （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。 | 拟将本项目的管理纳入现有管理制度中，并拟制定相应的核医学专用管理制度，并将制度贴上墙。 |
| （七）有完善的辐射事故应急措施。 | 拟完善现有放射事故应急预案，以满足本项目的管理要求。 |
| （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。 | 根据前表分析，项目产生放射性废气、废液、固体废物的处理方案可行。 |
| 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。 | 项目拟设污物暂存间，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>拟制定放射性药物领取保管和使用制度等。项目拟设置铅罐储放射性药物，设备所在房间有监控系统、防护门（具有防盗功能）。 |

根据上表可知，因此本项目的管理工作依托医院现有的管理体系，已具备了一定的能力，但还应在本项目建设完成后运营前，针对本项目完善相应管理规定，认真落实上述要求后，医院才具备从事本项目辐射活动的能力。

**12.5 辐射环境监测**

**续表 12　辐射安全管理**

**（1）个人剂量监测**

根据调查，医院已将个人剂量检测纳入了管理制度，严格按照国家关于个人剂量监测和健康管理的规定，为放射工作人员配备了个人剂量计，每 3 个月进行 1 次个人剂量监测；建立了个人剂量档案，为放射工作人员长期保存职业照射记录。

本项目建成后，医院也应按照以往的管理认真落实个人剂量监测和个人剂量档案管理的相关工作。

**（2）工作场所外环境监测**

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。

医院拟自行配备仪器进行本项目场所日常监测，发现问题及时整改。监测数据纳入每年的年度评估报告提交至生态环境主管部门。

根据《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930- 2010），医院的日常监测计划如下表 12-3 所示。

**表 12-3　监测内容一览表**

| 监测地点 | | 监测项目 | 监测频率 | 限值要求 |
|---|---|---|---|---|
| 核素制备场所场所 | 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 | 周围剂量当量率 | 4 周一次 | ≤2.5μSv/h |
| | 距离分装柜表面 5cm 处 | 周围剂量当量率 | 4 周一次 | ≤25μSv/h |
| | 距离分装柜表面 30cm 处 | 周围剂量当量率 | 4 周一次 | ≤2.5μSv/h |
| | 放射废物桶、衰变池表面 30cm 处 | 周围剂量当量率 | 4 周一次 | ≤2.5μSv/h |

**续表 12　辐射安全管理**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 内部工作场所（工作台、设备、墙壁、地面），放射工作人员的工作服、手套、工作鞋 | 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） | 控制区：β≤4×10Bq/cm²；<br>监督区：β≤4Bq/cm²； |
| | 人体皮肤、衣服 | β表面污染 | 每次从控制区经卫生通过间离开 | 工作服、手套、工作鞋：β≤0.4Bq/cm²；<br>手、皮肤、内衣、工作袜：β≤4×10⁻¹Bq/cm²。 |
| 放射性固废 | 废物包装外表面 | β表面污染、表面剂量率、比活度 | 每次处理前 | β<0.4Bq/cm²；每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，重量≤20kg。<br>含 $^{18F}$ 的放射性废物≤10Bq/g |
| 放射性废水 | 衰变池排口 | β放射性 | 每次排放前 | 总β放射性<10Bq/L |
| 周围环境 | 周围环境保护目标 | 周围剂量当量率 | 一年一次 | ≤2.5μSv/h |

## 12.6 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》（环保部令第 18 号）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。

### 12.6.1 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。

本项目使用的放射性核素，可能发生的辐射事故主要为放射源丢失和被盗、人员受到不必要的误照射，事故等级最高为一般辐射事故。

### 12.6.2 事故应急方案与措施

建设单位目前已制定辐射事故应预案，给出了报告程序时限，主要针对放射科的事故处置原则和应急处理措施，给出了应急报告电话等。建设单位还应在本项目建设过程中完善该应急预案，将本项目核素制备的相关应急内容纳入，并完

善相关内容。完善后应急预案的内容主要包括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

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》，向市生态环境局、万州区生态环境局、万州区卫生和计划生育委员会等部门报告。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：

政务服务便民热线：12345

医院 24h 电话：023-58103357

万州区生态环境局：58142578

万州区公安局：58293149

万州区卫生和计划生育委员会：58815205

（2）辐射事故应急措施

事故发生后，除了上述工作外，还应进行以下几项工作：

①确定现场的辐射强度及影响范围，划出禁入控制范围，防止外照射的危害。

②现场处置任务的工作人员应佩带防护用具及个人剂量计。

③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。

④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。

⑤医院后续还应进行辐射事故应急演练，并做好演练评估，提高相关人员的辐射应急处置能力，减少辐射事故产生的影响。

**12.5 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，建设单位应进行自主竣工环保验收。本工程竣工环境保护验收一览表见表12-4。

**表 12-4 环保设施竣工验收要求一览表**

| 序号 | 验收内容 | 验收要求 | | 备注 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 环保资料 | 项目建设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 | | 齐全 |
| 2 | 环境管理制度 | 有专人负责，制度上墙 | | 档案管理规范 |
| 3 | 辐射防护与安全措施 | ①项目控制区出入口设置电离辐射警告标志，划分控制区和监督区，在地面设置医生、药品在项目内的行走箭头标识，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 GB120-2006，控制区墙体屏蔽防护满足要求。<br>③设置卫生通过间，工作人员离开时进行表面污染监测，放射源存放间设防盗门。<br>④设置衰变池，并设置电离辐射警告标志。<br>⑤回旋加速器机房墙体、防护门、观察窗防护当量满足要求，设置有门机联锁装置、固定式剂量报警仪、急停、电离辐射警告标志、工作状态指示灯。<br>⑥门与墙搭接满足要求、机房内通风良好。<br>⑦机房内设置摄像监控装置。<br>⑧建立完善的放射性药物、放射性废物管理台账。<br>⑨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，配置表面污染监测仪等监测设备。 | | 齐全 |
| 4 | 人员要求 | 配备核医学医师、技师、护士/护师等，参加辐射安全与防护培训，持证上岗，定期复训 | | 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等 |
| 5 | 电离辐射 | 管理目标 | 放射工作人员年有效剂量≤5mSv<br>放射工作人员手部剂量当量≤250mSv/a<br>公众成员年有效剂量≤0.1mSv | GB18871-2002<br>HJ 1188—2021<br>及医院管理要求 |
| | | 周围剂量率控制 | 控制区外人员可达处、各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率控制目标值应小于 2.5μSv/h；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<br>工作场所的热室、通风柜外表面 5cm 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25μSv/h。<br>放射性药物合成和分装热室表面 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热室非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 25μSv/h。<br>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 | GBZ120-2020<br>GBZ130-2020<br>HJ1188-2021<br>综合后取保守值 |

**续表 12　辐射安全管理**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | 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。 | |
| | | 表面污染 | （1）工作台、设备、墙壁、地面：<br>控制区：β≤4×10Bq/cm$^2$；监督区：β≤4Bq/cm$^2$；<br>（2）工作服、手套、工作鞋：<br>控制区/监督区：β≤0.4Bq/cm$^2$；<br>（3）手、皮肤、内衣、工作袜：<br>β≤4×10$^{-1}$Bq/cm$^2$。 | GB18871-2002 |
| 6 | 放射性废水 | 衰变池及放射性废水收集管道采用防渗、防腐蚀材料，总β<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，衰变池设置采样口，按要求进行监测 | | GB18466-2005<br>GB18871-2002<br>HJ1188-2021 |
| 7 | 放射性废气 | 本项目用房采用单独的排风系统，按照低活性区到高活性区收集废气（废气收集口风速不低于 0.5m/s）。废气收集汇集后引至本项目 3 楼顶经活性炭吸附后高于楼顶排放。 | | GBZ120-2020<br>HJ1188-2021 |
| 8 | 放射性固废 | 设置面积足够的废物室，废物室内设置足够数量废物桶，按放射性固废沾染核素类型、时间分类收集，单独暂存衰变。各放射性废物包装袋上设置标签，标注放射性废物的基本情况。废物衰变至清洁解控水平后作为普通医疗废物交有资质单位处置。每袋废物的表面辐射剂量率≤0.1mSv/h，质量不超过 20kg。<br>废物包装体外表面的污染控制水平：β<0.4 Bq/cm$^2$。<br>放射性废物清洁解控水平推荐值：<br>$^{18}$F：1×10$^1$Bq/g<br>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 | | GBZ120-2020<br>HJ1188-2021 |

**表 13　结论及建议**

**13.1 结论**

**（1）项目概况**

重庆大学附属三峡医院“重庆大学附属三峡医院新建回旋加速器机房”位于重庆市万州区新城路 165 号的医院总院东南侧空地。项目拟新建 1 栋 3 层独立建筑，拟配置 1 台回旋加速器（Ⅱ类射线装置），生产放射性核素 $^{18}F$、$^{11}C$、$^{13}N$；使用非密封放射性同位素 $^{68}Ga$（由 $^{68}Ge$-$^{68}Ga$ 发生器制备），开展实验标记工作。该场所日等效最大操作量为 $2.17\times10^{9}Bq$，属于乙级非密封放射性物质工作场所。项目总建筑面积约 486.9m$^2$，总投资 1806.61 万元，其中环保投资约 500 万。

**（2）实践正当性**

使用放射性同位素的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。

**（3）产业政策符合性**

项目属于中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 29 号《产业结构调整指导目录（2019）》鼓励类中第十三大项第 5 类——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，高端放射性治疗设备，电子内窥镜、手术机器人等高端外壳设备，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和第 6 大项第 5 类“——同位素、加速器及辐照应用技术开发。项目符合国家相关法律法规和政策的规定，符合国家产业政策。

**（4）辐射环境现状**

根据监测统计结果可知，本项目建设位置的地表γ剂量率的监测值在 62nGy/h～97nGy/h 之间（未扣除宇宙射线），与《2020 年重庆市生态环境状况公报》（重庆市生态环境局）中重庆市多个点位的 2020 年环境地表γ辐射空气吸收剂量率监测值平均值为 95.9nGy/h 相比较处于正常波动范围内。项目周围环境的辐射环境质量现状无异常。

**（5）选址合理性**

项目选址人流、物流通道独立，且药物运输出口远离一般诊疗区，可直接离开。放射性药物、废气、废水、固废等通道独立，规划路径远离一般诊疗区病人，与其独立。从辐射环境护角度分析，项目选址可行。

**（6）布局合理性分析**

项目各功能用房基本上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布置，流程、路线清晰。项目医护人员、药物及放射性废物通道相对独立，可有效避免交叉污染，医护人员高、低活性区分界处设有卫生通过间等，大楼进出口设置门禁，保证无关人员无法进入。放射性废气、废水、固废处理措施有效布局合理，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。

**（7）辐射防护与安全措施结论**

①项目控制区四周墙体采用足够的防护厚度。同时严格监理施工过程，保证施工质量。

②按照乙级非密封放射性工作场所管理。设置工作人员卫生通过间，操作放射性药物的医生离开控制区前应清洗并进行表面污染监测，合格后方可离开。

③在项目控制区入口、出口、衰变池表面、放射性废物暂存间门口等设置电离辐射警告标志。

④回旋加速器机房门外拟设置电离辐射警告标志、放射防护注意事项、醒目的工作状态指示灯；门机灯联动。

⑤设置项目控制区和监督区的标识，同时在地面设置放射性药品、医生在项目场所的行走箭头标识，指示各类人员在项目内的活动路径。

⑥在本项目各出入口安装门禁，禁止无关人员进入。项目区域内拟设置视频监控装置，保持工作场所良好的工作秩序。

⑦通过管理措施，尽量避免放射性药物和医生的交叉影响。

⑧放射性废物暂存间设置防盗设施，钥匙专人保管，以确保放射性药品的安全。生产、使用放射性药物及时登记建档，建做到交接账目清楚、账物相符。

⑨放射性废物每日由专人分类、打包、记录后转移至放射性废物暂存间，建立放射性废物暂存间接收、转移台账。本项目核医学用房地面采用地面、墙体表

面采用易清洗材料装修，所有管线均为暗装。

⑩合成和分装放射性药物时，保持负压，通风管道经放射性废气从低活性区向高活性区收集，设置防倒灌设施。核医学工作人员定期检查通风柜及通风风机运行效能，形成检查记录。

⑪各防护门和防护窗的生产应由有生产资质的厂家承担。机房内建设的穿越防护墙的导线、导管等不影响墙体的屏蔽防护效果。

⑫机房设计通风换气设施，保证机房内良好的通风。

⑬拟在配备铅防护污物箱、铅衣、铅帽、铅眼镜、铅围裙、个人剂量计、表面污染监测仪和 X-γ辐射监测仪等个人防护用品和监测设备。

经分析，本项目拟采取的辐射安全与防护措施满足《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）要求。

**（7）环境影响分析结论**

**①辐射环境影响分析**

在现有设计条件下本项目控制区边界人员可达处、内部各屏蔽体外的瞬时剂量小于 2.5μSv/h，合成分装热室、通风柜表面 5cm 处周围剂量当量率满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）（小于 25μSv/h），同时合成分装热室、通风柜、放射废物桶、暴露的管网及衰变池外表面 30cm 处的周围剂量当量率满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）小于 2.5μSv/h 的要求。

通过核算，本项目放射工作人员和公众成员的年附加有效剂量均满足本环评的剂量管理目标的要求（辐射工作人员 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。

**②废气影响**

回旋加速器运行中γ射线与空气电离，产生少量的臭氧和氮氧化物，项目设置新风系统，可满足γ射线装置室内通风换气需要，不会对公众造成危害，对环境带来影响。

**③放射性“三废”污染防治措施**

项目产生放射性废水全部接入项目衰变池内处理后排入医院现有污水处理设施处理后再通过市政污水管网。

**续表 13　结论及建议**

项目放射性固体废弃物收集在专用污物桶内，将污物桶内的固体废弃物连同垃圾袋存放到废物间内，暂存超过 30 天后，再经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平后进行清洁解控作为医疗废物处理。报废的 $^{68}Ge$-$^{68}Ga$ 发生器，由生产厂家统一回收处理。回旋加速器维护时更换活化的支架和靶膜，解控后按一般废物处理，不能解控的委托有资质单位收贮。放射性沾污的树脂、滤膜、过滤柱等，树脂解控后按危废处理，其它类型废物解控后按一般废物处理。放射性固废应按照医疗废物的管理要求，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。严格区分放射性废物与非放射性废物，不可混同处理，力求控制和减少放射性废物产生量。

设置 3 套废气收集系统，各房间废气经分支管道收集汇至主管道，均引至 3 楼废气衰变间，再引至 3 楼顶东南角排放。

**④非放射性废水、固废污染防治措施**

项目控制区域外产生的普通生活污水直接排入医院现有污水处理设施处理后排入市政污水管网。

项目产生的少量生活垃圾交环卫部门处理。

**（8）辐射安全管理**

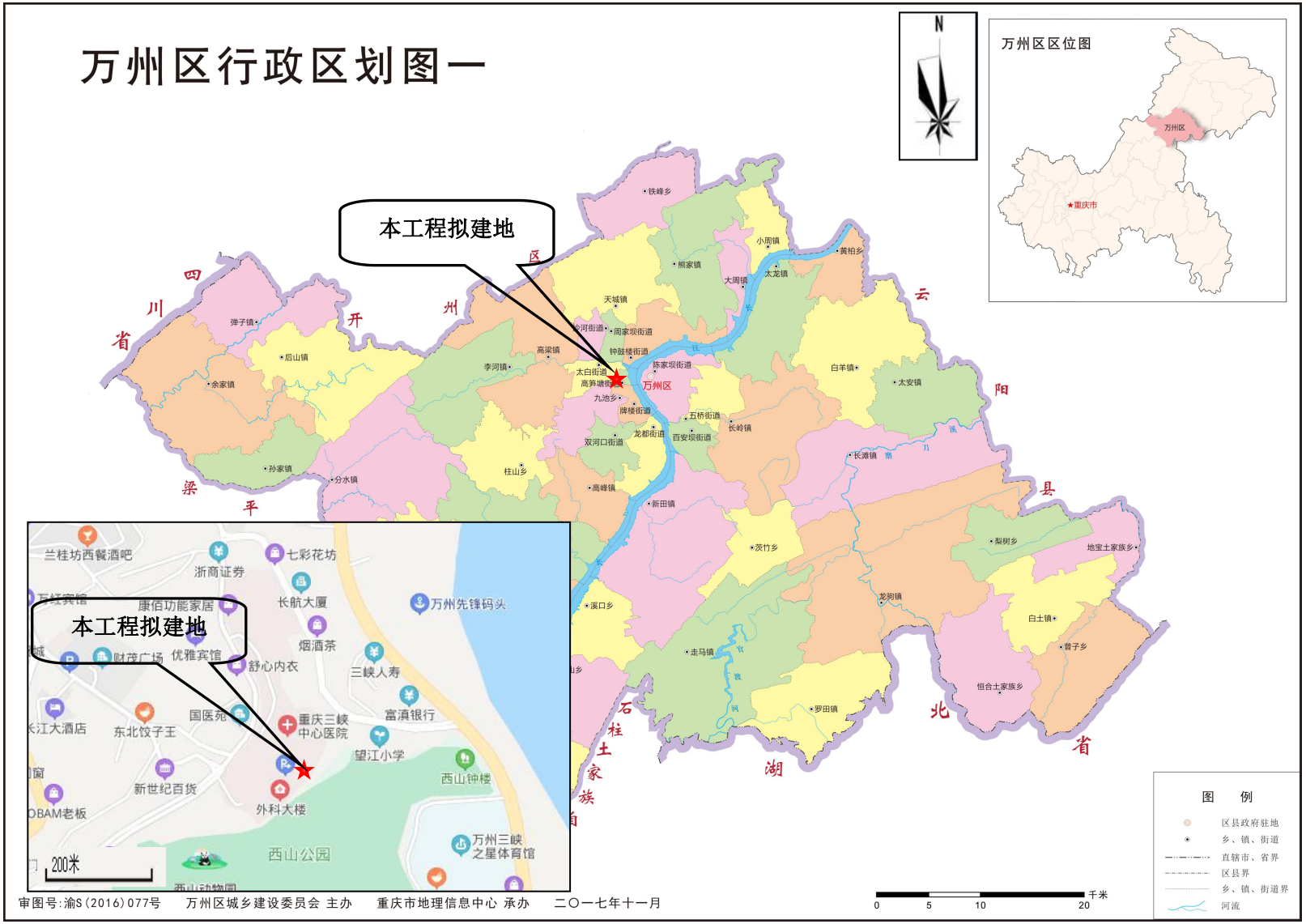
医院成立了辐射防护管理工作领导小组，制定了一些规章制度具有一定的操作性。医院还应针对本项目核医学工作场所的管理，制定相应制度，完善应急预案，加强日常应急响应的准备工作及应急演练。医院在今后的工作中应严格各项规章制度，并不断完善相关管理制度，加强管理，杜绝辐射事故的发生。

**综上所述，重庆大学附属三峡医院新建回旋加速器机房在落实相应的污染防治措施和管理措施后，对周围环境和人员产生的影响满足环境保护和辐射防护的要求，不会对公众和环境造成影响。因此，从环境保护和辐射防护的角度来看，该项目建设可行。**

# 附录

## 附图

附图 1　项目地理位置图


万州区行政区划图一
本工程拟建地
万州区区位图
重庆市
万州区
四川省
开州区
云阳县
梁平
石柱土家族自治
湖北省
铁峰乡
小周镇
黄柏乡
熊家镇
大周镇
太龙镇
天城镇
弹子镇
后山镇
余家镇
高梁镇
李河镇
周家坝街道
钟鼓楼街道
陈家坝街道
太白街道
高笋塘街道
九池乡
牌楼街道
五桥街道
龙都街道
百安坝街道
双河口街道
长岭镇
白羊镇
太安镇
孙家镇
分水镇
柱山乡
高峰镇
新田镇
长滩镇
茨竹乡
梨树乡
地宝土家族乡
溪口乡
龙驹镇
白土镇
普子乡
走马镇
恒合土家族乡
罗田镇
兰桂坊西餐酒吧
浙商证券
七彩花坊
万州先锋码头
康佰功能家居
长航大厦
烟酒茶
财茂广场
优雅宾馆
舒心内衣
三峡人寿
国医苑
重庆三峡中心医院
富滇银行
东北饺子王
望江小学
西山钟楼
新世纪百货
外科大楼
OBAM老板
西山公园
万州三峡之星体育馆
200米
图 例
区县政府驻地
乡、镇、街道
直辖市、省界
区县界
乡、镇、街道界
河流
千米
0
5
10
20
审图号:渝S(2016)077号
万州区城乡建设委员会 主办
重庆市地理信息中心 承办
二〇一七年十一月

附图 1　地理位置图