

核技术利用建设项目

重庆中核华友医院核特色医疗项目（二期 TOMO）

环境影响报告表

（公示版）

建设单位：中核华友重庆医院管理有限公司

编制单位：重庆宏伟环保工程有限公司

编制时间：二〇二〇年十二月

生态环境部监制

打印编号: 1637910901000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	4w 9423		
建设项目名称	重庆中核华友医院核特色医疗项目（二期TOMO）		
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）	中核华友重庆医院管理有限公司 		
统一社会信用代码	91500107M A5UM PN P2T		
法定代表人（签章）	董延武 		
主要负责人（签字）	董延武 		
直接负责的主管人员（签字）	余梅 		
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	915001126912004062		
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	BH 001056	
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
刘媛	项目基本情况、射线装置、评价依据、保护目标与评价标准、环境质量和辐射现状、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、结论与建议	BH 001056	

表 1 项目基本情况

建设项目名称		重庆中核华友医院核特色医疗项目（二期TOMO）			
建设单位		中核华友重庆医院管理有限公司 （统一社会信用代码：91500107MA5UMP2T）			
法人代表	董延武	联系人	余梅	联系电话	158*****965
注册地址		重庆市九龙坡区创业大道 111 号附 1 号			
项目建设地点		重庆市九龙坡区创业大道 111 号附 1 号医院大楼东侧肿瘤中心负二层			
立项审批部门		重庆市九龙坡区发展和改革委员会	批准文号	2020-500107-84-03-142710	
建设项目总投资（万元）	1000	项目环保投资（万元）	70	投资比例（环保投资/总投资）	7%
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他		占地面积（m ² ）	240
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III 类		
	其他	无			
	1.1 建设单位概况				
<p>重庆中核华友医院前身为重庆立三九医院。2019 年 11 月，中核核素医疗投资有限公司与重庆立三九医院管理有限公司、余梅签订《增资扩股协议》；2020 年 3 月，重庆立三九医院管理有限公司更名为中核华友重庆医院管理有限公司。2020 年 4 月，重庆市九龙坡卫生和计划生育委员会核发了新的《医疗机构执业许可证》，重庆立三九医院更名为重庆中核华友医院，医院是中国核工业集团公司旗下国有控股二级综合医院。医院以甲状腺专科为特色，同步开展内科、外科、妇科、儿科门诊与住院诊疗服务，设置有预防保健科、内科、外科、妇产科、计划生育专业、儿童保健科、急诊医学科、康复医学科、临终关怀科、医学检验科、医学影像科及中医科，现实际开设床</p>					

续表1 项目基本情况

位 90 张，牙椅 1 张。

1.2 项目由来

2020~2021 年医院重点建设“核特色项目”，该项目已列入 2020 年九龙坡区重点项目，并于 2020 年 7 月取得《重庆市企业投资项目备案证》(2020-500107-84-03-142710)，具体内容为新增租赁 1、2 层北侧用房，合理规划医院红线内用地，对现有医院综合大楼进行装修改造扩建，增设床位 60 张，新开设核医学科、肿瘤科、体检中心等，完善消防、电气、给排水、污水处理系统及院内环境建设，建成一所以肿瘤、甲状腺疾病治疗、健康管理、康复治疗为特色的二级医疗机构。

根据《重庆中核华友医院核特色医疗项目投资备案证》可知，建设内容包括核医学中心、肿瘤治疗中心、影像中心、体检中心及康复中心等装修改造及设备配置。“重庆中核华友医院核特色医疗项目”非辐射部分环境影响评价工作已委托重庆宏伟环保工程有限公司编制环境影响报告表，并取得《建设项目环境影响评价文件批准书》(渝(九)环准[2021]039 号)。医院核医学科已在 2021 年 5 月编制了《核特色项目辐射部分环境影响报告表》，并取得《建设项目环境影响评价文件批准书》(渝(辐)环准[2021]025 号)。根据《重庆中核华友医院核特色医疗项目环境影响报告表》，核医学中心、肿瘤中心、影像中心的建设属于其主体工程，土建施工已统一纳入《重庆中核华友医院核特色医疗项目环境影响报告表》进行评价。医院将“核特色项目辐射部分”分两期建设，一期建设核医学科及影像科，一期建设的核医学科已于 2021 年 6 月开展环境影响评价，并于 2021 年 6 月 7 日取得《重庆市建设项目环境影响评价文件批准书》(渝(辐)环准[2021]025 号)，目前基本装修完成。二期建设肿瘤中心，目前机房土建工作已完成。本次对肿瘤中心一台 TOMO、一台 CT 模拟定位机营运期辐射环境影响进行评价。

本次评价内容仅包括肿瘤中心负二层配置 1 台螺旋断层放射治疗系统，以下简称：TOMO(6MV, II 类射线装置)及 1 台 CT 模拟定位机(额定电压 140kV、额定电流 670mA, III 类射线装置)开展肿瘤放射治疗工作。根据《射线装置分类》(环境保护部、国家卫生计生委公告，2017 年 12 月 5 日颁布实施)，TOMO 属于 II 类射线装置，CT 模拟定位机属于 III 类射线装置。

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》、《建设项目环境保护管理条例》等相关规定，该项目的建设应进行环境影响评价。根据《建设项

续表1 项目基本情况

目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》的“五十五 核与辐射 172 核技术利用建设项目”可知，使用II类射线装置的项目环境影响评价文件形式为编制环境影响报告表。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》，中核华友重庆医院管理有限公司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《重庆中核华友医院核特色医疗项目（二期 TOMO）环境影响报告表》。

1.3 项目建设内容及规模

1.3.1 项目建设内容及规模

- （1）项目名称：重庆中核华友医院核特色医疗项目（二期 TOMO）
- （2）建设地点：重庆市九龙坡区创业大道 111 号附 1 号东侧肿瘤中心负二层预留机房
- （3）建设性质：新建
- （4）建设单位：中核华友重庆医院管理有限公司
- （5）建设规模：肿瘤中心总建筑面积约 2500m²，位于医院综合大楼东侧地下区域。本次评价内容为在肿瘤中心负二层预留 TOMO 机房配置一台 TOMO（6MV，II类射线装置），在肿瘤中心负二层预留 CT 模拟定位室配置 1 台 CT 模拟定位机（III类射线装置）开展肿瘤治疗工作，本项目建筑面积约 240m²。
- （6）项目投资：总投资约 1000 万元，其中环保投资约 70 万元。
- （7）施工期：3 个月。

1.3.2 项目组成

项目组成情况见下表 1-1。

续表1 项目基本情况

表 1-1 项目组成一览表			
项目组成	具体内容	依托关系	
主体工程	TOMO 机房	利用肿瘤中心负二层东北角预留机房，本次仅装修。机房有效尺寸为（长×宽×高）8.0m×7.0m×3.7m（不含迷路），有效使用面积约 56.0m ² 。	依托，预留机房土建已完成
	CT 模拟定位机机房	利用肿瘤中心负二层中部预留机房，本次仅装修。有效尺寸为（长×宽×高）6.3m×5.75m×3.15m，有效使用面积约 36.2m ² 。	依托，预留机房土建已完成
	设备	TOMO 机房配备 1 台 TOMO，设备型号：RefleXionTomo H 型，X 射线能量：6MV，X 射线剂量率≤860cGy/min，CT 成像能量 3.5MV，CT 成像剂量率≤45cGy/min，II类射线装置。 CT 模拟定位机机房配备 1 台 CT 模拟定位机，设备型号待定，最大管电压为 140kV，最大管电流为 800mA，属于III类射线装置。	拟购
辅助工程	辅助用房	TOMO 机房南侧布置有控制室（面积约 8.7m ² ）、设备间（面积约 7.8m ² ）。计划治疗室、医生办公室位于综合大楼 4F 肿瘤科医生办公用房内。 CT 模拟定位机控制室位于机房北侧（面积约 22.0m ² ）	依托
公用工程	给水	由城市供水管网提供，依托医院已建供水管网。	依托
	排水	实行雨污分流。依托医院已建雨水管网及污水管网；雨水排入市政雨水管网；肿瘤中心不设置单独卫生间，治疗病人依托医院综合大楼卫生间，医疗废水经医院污水处理站处理后排入市政污水管网。	依托
	供配电	由市政电网供电，依托医院供配电系统。	依托
	通风	TOMO 机房设置独立通排风系统，设置有送风口、排风口，采用“上进下出”，送排风口对角位置；CT 模拟定位机机房依托所在-2F 公区布置的新风系统，不单独设置送排风。 TOMO 机房排风风量约 2000m ³ /h，通风换气次数约 9 次/h。 CT 模拟定位机机房与本层其他用房均为机械排风。	新建
环保工程	废水	本项目废水依托医院的污水管网收集至位于医院南侧污水处理站（处理能力为 200m ³ /d）处理达标后接入市政污水管网。	依托
	固废	本项目产生的医疗废物依托医院的医疗废物收集系统收集，暂存于医院综合大楼 1F 东北侧靠近楼梯口，面积为 15m ² ，交同兴医疗废物处理有限公司处理。 本项目产生的生活垃圾依托医院的生活垃圾收集系统收集，统一交环卫部门处理。 报废铅防护用品，交由出售方回收处置。	依托
	废气	TOMO 机房废气引至 TOMO 机房顶部的门卫室旁东侧花台高出花台 0.3m 排放，排放口朝向东侧行道树。	新建
	辐射防护	CT 模拟定位机房采用实心页岩砖、硫酸钡防护涂料、铅防护铅门、铅玻璃进行屏蔽。 TOMO 机房采用混凝土、铅防护铅门进行屏蔽。	依托，预留机房土建已完成，新建铅防护门等安全措施

续表1 项目基本情况

1.4 核医科辐射防护方案设计

本项目辐射防护设计方案见表1-2。

表 1-2 辐射防护方案

名称	房间尺寸	防护方案		备注
TOMO 机房	尺寸为（长×宽×高） 8.0m×7.0m×3.7m（不含迷路），有效使用面积约 56.0m ²	东墙	1000mm 混凝土	预留机房土建已完成
		西墙	1500mm 混凝土	
		北墙	1000mm 混凝土	
		南墙	迷路内墙：1500mm混凝土 迷路外墙：1500mm 混凝土	
		顶棚	1500mm 混凝土	
		防护门	5mmPb	新建
CT 模拟定位机机房	尺寸为（长×宽×高） 6.3m×5.75m×3.15m，有效使用面积约 36.2m ²	东墙	300mm 实心页岩砖+2mmPb 当量硫酸钡防护涂料	预留机房土建已完成
		西墙	350mm 混凝土	
		北墙	300mm 实心页岩砖+2mmPb 当量硫酸钡防护涂料	
		南墙	300mm 实心页岩砖+2mmPb 当量硫酸钡防护涂料	
		顶棚	150mm 混凝土+2mmPb 当量硫酸钡防护涂料	
		防护门、窗	3mmPb	新建

备注：①所有机房尺寸不含迷路。

②页岩砖密度 1.65g/cm³，混凝土密度 2.35g/cm³，铅密度 11.3g/cm³。硫酸钡防护涂料密度 3.5g/cm³。

1.5 肿瘤中心配套设施、设备

医院肿瘤中心目前正在筹备中，设施设备全部为新配，具体见表 1-3。

表 1-3 项目配套设施设备配置一览表

序号	名称	数量（台）	用途
1	穿透式剂量验证系统	1	质控使用
2	PTW 剂量仪	1	质控使用
3	IBA 电离室	1	质控使用
4	IBA 三维水箱	1	质控使用
5	CIRS 模体	1	质控使用
6	个人剂量报警仪	1	放射工作人员使用
7	X-γ 辐射剂量率仪	1	机房外巡测
8	固定式剂量率报警仪	1	TOMO 机房内

续表1 项目基本情况

1.6 项目劳动定员、工作制度及工作负荷

劳动定员：本项目拟配置 10 名工作人员，主要包括放疗医师、物理师、技师、工程师等。

根据建设单位提供资料，本项目 TOMO 使用 CT 成像工作模式平均有效出束时间约 1min/次，TOMO 治疗工作模式平均有效出束时间为 10min/次，则单次治疗平均有效出束时间约 11min。医院预计 TOMO 每年治疗约 2500 人次，年有效开机时间约为 458h。医院放射工作人员年工作 250 天，每周工作 5 天，平均每天治疗 10 人次，平均每周治疗 50 人次。

本项目 CT 模拟定位机用于肿瘤中心 TOMO 等治疗前的肿瘤定位和治疗后的复查，平均每人定位 2 次。则 CT 模拟定位机年最多接待 5000 人次，单个患者 CT 模拟定位扫描时间不超过 2min，则全年有效开机时间不超过 166.7h。放射工作人员年工作 250 天，每周工作 5 天，平均每天定位扫描 20 人次，平均每周定位扫描 100 人次。

1.7 环境保护目标

重庆中核华友医院位于重庆市九龙坡区创业大道 111 号附 1 号，医院用房为 1 栋 10F 高综合大楼，呈“V”字形，无地下层。根据建设单位提供的医院红线图，医院综合大楼东侧外至市政人行道、南侧外至市政人行道均属于医院范围，医院北侧、南侧、东侧沿用地红线范围设置有围栏。医院综合大楼一层设置候诊大厅、导诊索引台、药房、门诊收费处、值班室、肠道发热门诊、核医学科显像诊断区等。医院南侧为金桥路，东侧为创业大道。

肿瘤中心为独立地下二层建筑，之上为医院停车位及门卫房，之下无建筑，北侧为土层，南侧为土层，西侧为医院综合大楼基础，东侧外为市政行道树及人行通道。目前肿瘤中心土建已完成，该地下建筑共设置 2 部楼梯，位于肿瘤中心东、西侧，通过该楼梯可到达肿瘤中心顶部停车场。1 部电梯，位于综合大楼东南侧与医院大厅连接处，通过这部电梯肿瘤中心与医院综合大楼相连通。负二层布置 TOMO 等预留放疗设备机房、CT 模拟定位机、设备间及控制室等，负一层布置排风机房等预留用房，TOMO 等预留放疗设备占用两层层高，肿瘤中心负二层地面至顶部停车场高 6.7m。因此，项目周边保护目标主要为该医院从事本项目放射诊疗的放射工作人员以及周围活动的公众成员。肿瘤中心外环境见表 1-4。

续表1 项目基本情况

表 1-4 肿瘤中心外环境

序号	名称	方位	水平距离 (m)	环境特征
1	医院停车场及门卫	之上	/	2 处门岗
2	重庆愉悦皇玛汽车维修店	西北	约 8m	2F, 汽车维修店
3	医院综合大楼	西	约 2.5m	10F 高, 无地下层
4	创业大道	东	约 6m	主干道 (双向六车道)
5	金桥路	南	约 10m	次干道 (双向四车道)

备注：外环境建筑地面基本与肿瘤中心顶棚齐平。

1.8 选址可行性分析

根据《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020) 工作场所放射防护要求：“放射治疗设施一般单独建造或者建在建筑物底部的一端”。根据《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021) 中第 5.1.1 及 5.1.2 的要求：“放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境的辐射影响，不得设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。放射治疗场所宜单独选址、集中建设，或设置在多层建筑物的底层的一端，尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域”。

本项目 TOMO 机房、CT 模拟定位机机房选址于肿瘤中心负二层，该建筑为独立的地下二层建筑，属于医院用房，且肿瘤中心全部预留放射治疗机房，规划有射波刀、TOMO、直线加速器机房等放射治疗用房，放疗设备集中规划。本次评价的 TOMO 机房位于肿瘤中心东北角，机房周围为其辅助配套用房及预留 TOMO 机房及土层，地下为土层，顶棚为停车区域，远离特殊人群及人员密集区域，工作区域相对独立。项目 CT 模拟定位机与 TOMO 机房位于同一层，在病人等候走廊的两侧，距离约 11m，便于病人定位后在 TOMO 机房内治疗。此外病人可通过肿瘤中心电梯或楼梯下负二层可直接到达本项目区域，区域环境相对较安全，并且该机房也是预留的肿瘤中心 TOMO 机房位置，因此，项目选址可行。

1.9 项目建设背景

1.9.1 医院环保手续情况

医院于 2013 年起纳入排污许可证管理，《重庆市排放污染物许可证》编号为：渝（九）环排证〔2019〕00563 号。2020 年 9 月，医院委托重庆宏伟环保工程有限公司开

续表1 项目基本情况

展重庆中核华友医院核特色医疗项目环境影响评价工作，该项目目前已取得重庆市九龙坡区生态环境局下发的《建设项目环境影响评价文件批准书》（渝（九）环准[2021]039号），目前该项目已建成，投入试运行。

根据调查，医院近年未发生环保纠纷，未收到环保投诉。

1.9.2 医院核技术利用项目开展情况

（1）医院核技术利用项目开展情况

医院目前在综合大楼影像科使用有1台DR机（III类射线装置），计划新增1台医用诊断X射线装置已登记备案，尚未安装。医院于2021年9月17日取得《辐射安全许可证》：渝环辐证[15042]（有效期至2026年9月16日），医院现有射线装置具体情况见表1-5所示。

表 1-5 医院现使用的射线装置情况一览表

序号	射线装置	规格型号	类别	数量	位置	环保手续
1	DR 机	DT520B-2	III类	1 台	综合大楼一楼放射科 DR 检查室	已上证

经现场调查，重庆中核华友医院现有 4 名放射工作人员已配置个人剂量计，并建立个人剂量监测档案和健康体检档案，放射工作人员已组织参加辐射安全防护培训，并考核合格。

医院委托有资质单位对医用诊断 X 射线机机房屏蔽能力进行了监测，机房屏蔽能力满足要求。医院运营至今，辐射设备运营良好，到目前为止未发生辐射安全事故，重庆市九龙坡区生态环境局也未收到辐射环保投诉，也未产生辐射环保纠纷。

（2）已环评尚使用的放射设备

近年来，医院重点发展核特色项目，医院核特色项目中的核医学科已于 2021 年 6 月 7 日取得《重庆市建设项目环境影响评价文件批准书》（渝（辐）环准[2021]025 号），建设内容包括在医院综合大楼 1、2 层北侧区域建设核医学科，总建筑面积约 1000m²。拟购买含 ^{99m}Tc、¹⁸F 的放射性药物在 1 层北侧开展 SPECT/CT（III类射线装置）、PET/CT（III类射线装置）核医学显像诊断；拟购买含 ⁸⁹Sr 的放射性药物在 1 层北侧开展骨转移癌治疗；外购 ¹²⁵I 粒籽在 SPECT/CT 机房内开展粒籽植入手术。目前核医学科处于室内设备安装阶段。

1.9.3 本项目与医院整体的依托可行性分析

重庆中核华友医院核特色医疗项目非辐射部分各项环保设施已全部建成并投入调

续表1 项目基本情况

试运行。重庆中核华友医院核特色医疗项目辐射部分一期建设核医学科及影像科目前基本装修完成，二期建设肿瘤中心各机房土建工作已完成，设备正在招标中。本项目属于医院核特色项目的一部分，本项目与医院依托可行性分析见表 1-6。

表 1-6 本项目与医院依托关系表

依托工程	依托情况	可行性分析	结论
项目用房	建筑主体	统一纳入医院用房管理。	可行
公用工程	供电、供水	依托市政供电，供水。	可行
环保工程	废水排放	肿瘤中心不产生放射性废水及生活污水，未设置卫生间及排水管网。医院污水处理站处理医院产生医疗废水、生活污水，污水处理站处理能力为 200m ³ /d，医院污水处理站出水满足《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表 2 预处理标准后接入市政污水管网。污水处理站考虑了整个医院内所有建筑的废水的产生量。	可行
	固废处理	医疗垃圾暂存间位于医院综合大楼 1F 东北侧靠近楼梯口，面积为 15m ² ，并与同兴医疗废物处理有限公司签订了处置协议，医疗垃圾每天清运。本项目放射工作人员在医院肿瘤科劳动定员内，肿瘤中心患者已纳入住院床位考虑。医疗废物暂存间考虑了整个医院内所有建筑的固废产生量。医院生活垃圾交环卫部门处理。	可行
放射工作人员及管理机构	放射工作人员及辐射环境管理	医院现有放射工作人员已取得辐射防护与安全培训合格证，本次将新增肿瘤中心放射工作人员，统一纳入放射工作人员管理。已成立辐射防护领导小组，部分辐射环境管理制度需要进行修订。	可行

根据表1-6可知，本项目纳入医院肿瘤科管理，依托医院现有环保设施可行。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 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
本项目不涉及。										

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》(GB18871-2002)。

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	TOMO	II类	1台	RefleXionTom oH	电子	X射线: 6MV CT成像能量 3.5MV	X射线≤860cGy/min	肿瘤治疗	肿瘤中心-2层 东北侧 TOMO 机房	拟购
	以下空白									

(二) X射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	CT模拟定位机	III类	1	待定	140	800	肿瘤定位	肿瘤中心-2层CT模 拟定位机机房	拟购
	以下空白								

(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
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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/m³；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/m³）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

法律 法规 文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》，2015 年 1 月 1 日施行修订版；</p> <p>(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；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日施行；</p> <p>(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；</p> <p>(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；</p> <p>(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；</p> <p>(7) 《医疗废物管理条例》，中华人民共和国国务院令 第 380 号；</p> <p>(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 号第四次修订；</p> <p>(9) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原环境保护部令 第 18 号，2011 年 5 月 1 日施行；</p> <p>(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；</p> <p>(11) 关于发布《射线装置分类》的公告，原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；</p> <p>(12) 《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；</p>
----------------	--

续表 6 评价依据

<p>法律 法规 文件</p>	<p>(13) 《重庆市环境保护条例》，2018年7月26日施行修订版；</p> <p>(14) 《重庆市辐射污染防治办法》渝府令（2020）338号自2021年1月1日起施行；</p> <p>(15) 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。</p>
<p>技术 标准</p>	<p>(1) 《《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ2.1-2016）；</p> <p>(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）；</p> <p>(3) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；</p> <p>(4) 《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）；</p> <p>(5) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）；</p> <p>(6) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）；</p> <p>(7) 《医用电子直线加速器质量控制检测规范》（WS674-2020）；</p> <p>(8) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）；</p> <p>(9) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）；</p> <p>(10) 《急性外照射放射病的诊断标准》（GBZ104-2017）；</p> <p>(11) 参照《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021），2021年12月1日实施；</p> <p>(12) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）；</p> <p>(13) 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）；</p> <p>(14) 《医疗废物集中处置技术规范（试行）》；</p> <p>(15) 《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）；</p> <p>(16) 《环境空气质量标准》（GB3095-2012）；</p> <p>(17) 《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）。</p>

续表 6 评价依据

其他	<p>(1) 医院《辐射安全许可证》，支撑性材料附件 1；</p> <p>(2) 项目备案证，支撑性材料附件 2；</p> <p>(3) 医院环评批复及核医学科环评批复，支撑性材料附件 3；</p> <p>(4) 《辐射安全许可证》，支撑性材料附件 4；</p> <p>(5) 医院租房合同，支撑性材料附件 5；</p> <p>(6) 关于请求重庆市大林机械发展有限公司协助工作的函，支撑性材料附件 6；</p> <p>(7) 项目辐射环境本底监测报告，支撑性材料附件 7；</p> <p>(8) 医院现有辐射环境管理制度，支撑性材料附件 8；</p> <p>(9) 医院提供的防护设计方案、通风图等其他资料。</p> <p>(10) 《辐射防护手册》（第三分册）</p> <p>(11) 《辐射防护导论》；</p> <p>(12) 《实用辐射安全手册》（第二版）（丛慧玲，北京：原子能出版社）；</p> <p>(13) 《辐射所致臭氧的估算与分析》（王时进等）；</p> <p>(14) 《三种电子加速器产生的臭氧危害分析》（中国辐射卫生 2020 年 6 月第 29 卷第 3 期）。</p>
----	--

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016)的相关规定,并结合该项目射线装置为能量流污染的特征。根据能量流的传播与距离相关的特性,确定以肿瘤中心 TOMO 机房、CT 模拟定位机机房边界外 50m 区域作为辐射环境的评价范围。

环境保护目标

(1) 医院外环境概况

肿瘤中心北侧外为空坝,以肿瘤中心为边界,其西北侧约 8m 为重庆愉悦皇玛汽车维修店,西侧约 2m 为医院综合大楼,南侧约 7m 为金桥路,肿瘤中心 TOMO 机房设置 1 个排风口,位于门卫房旁花台内,排放口朝向创业大道。

(2) 肿瘤中心平面布局及本项目周围环境保护目标

肿瘤中心为医院发展预留用房,规划有 2 台 TOMO、1 台直线加速器、1 台射波刀、1 台后装机及 1 台 CT 模拟定位机机房,本次评价内容为东北侧 1 台 TOMO 及 1 台 CT 模拟定位机。整个肿瘤中心为地下 2 层独立建筑,设置有 1 部电梯、2 部楼梯通往地面,其中电梯可到达与医院综合大楼 1~3 层。TOMO、直线加速器、射波刀等机房层高占用两层,CT 模拟定位机机房、TOMO 等机房控制室、设备间位于负二层,占用一层层高,负一层为排风机房等预留用房,肿瘤中心负二层地面至顶部停车场高 6.7m。

项目地理位置图见附图1,医院总平面及周围环境示意图见附图2,周围环境及现场照片见附图3。本次评价的东北侧TOMO及CT模拟定位机机房周围环境保护目标见表 7-1。

续表 7 保护目标与评价标准

表 7-1 项目周围环境保护目标一览表								
序号	工作场所	保护目标	方位	与机房边界最近距离 (m)	高差 (m)	环境特征	影响因素	
1	TOMO 机房	医院核医学科	西	约 10m	+6.7	放射工作人员, 公众成员, 约 12 人	电离辐射	
2		预留 TOMO 机房及控制室	西	紧邻	平层	远期预留用房, 控制室 2 名放射工作人员, 机房 1 名公众成员		
3		本项目 TOMO 控制室、设备间	南	紧邻	平层	控制室 2 名放射工作人员		
		预留后装机机房、射波刀机房、直线加速器机房	南	约 6m	平层	远期预留用房, 公众成员, 约 3 人		
		后装机等控制室	南	约 3m	平层	放射工作人员, 约 15 人		
4		重庆愉悦皇玛汽车维修店	西北	约 13m	+6.7	2F, 汽车维修店, 公众成员, 约 15 人		
5		停车位及门卫房	楼上	/	+6.7	公众成员, 约 10 人		
6		CT 模拟定位机机房	CT 模拟定位机控制室	北	紧邻	平层		放射工作人员, 约 2 人
			预留 TOMO 机房及控制室	北	约 5m	平层		远期预留放疗设备用房, 控制室 2 名放射工作人员, 机房 1 名公众成员
			候诊大厅	南	紧邻	平层		公众成员, 约 10 人
			预留直线加速器及射波刀机房	南	约 24m	平层		远期预留放疗设备用房, 控制室 5 名放射工作人员, 机房 2 名公众成员
			预留后装机机房、回旋加速器机房	西	约 3m	平层		远期预留用房, 公众成员, 约 1 人, 放射工作人员 5 人
	停车位及门卫房		楼上	/	+6.7	公众成员, 约 10 人		
10	重庆愉悦皇玛汽车维修店		西北	约 30m	+6.7	2F, 汽车维修店, 公众成员, 约 15 人		
11	废气排放口		门卫房	西	约 0.5m	+0.3	公众成员 1 人	臭氧、氮氧化物
12			重庆愉悦皇玛汽车维修店	西北	约 20m	+0.3	2F, 汽车维修店, 公众成员, 约 15 人	

备注：“+”表示高于本项目

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

续表 7 保护目标与评价标准

B1 剂量限值

第 B1.1.1.1 款 应对工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述控制值。

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。

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。

(2) 《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)

6 工作场所放射防护要求

6.2 空间、通风要求

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

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

6.3 屏蔽要求

6.3.1 治疗机房墙和入口门外关注点周围剂量当量率参考控制水平

6.3.1.1 治疗机房（不包括移动式电子加速器治疗机房）墙和入口门外 30 cm 处（关注点）的周围剂量当量率应不大于下述 a)、b) 和 c) 所确定的周围剂量当量率参考控制水平 \dot{H}_c ：

a) 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，由周剂量参考控制水平求得关注点的周围剂量当量率参考控制水平 \dot{H}_c ，计算公式见（公式 7-1）。

$$\dot{H}_c \leq H_e / (t \times U \times T) \quad (\text{公式7-1})$$

式中： \dot{H}_c ——周围剂量当量率参考控制水平，单位为 $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_e ——周剂量参考控制水平，单位（ $\mu\text{Sv/周}$ ）；其值如下：放射治疗机房外控制区的工作人员： $\leq 100\mu\text{Sv/周}$ ；放射治疗机房外非控制区的工作人员： $\leq 5\mu\text{Sv/周}$ ；

续表 7 保护目标与评价标准

t——设备周最大累积照射的小时数，h/周；

U——治疗设备向关注位置的方向照射的使用因子；

T——人员在关注点位置的居留因子，参见附录 A。

b) 按照关注点人员居留因子的不同，分别确定关注点的最高周围剂量当量率参考

控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ ：

1) 人员居留因子 $T > 1/2$ 的场所： $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$ ；

2) 人员居留因子 $T \leq 1/2$ 的场所： $\dot{H}_{c,max} \leq 10 \mu\text{Sv/h}$ ；

c) 由上述 a) 中的导出周围剂量当量率参考控制水平 \dot{H}_c 和 b) 中的最高周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ ，选择其中较小者作为关注点的周围剂量当量率参考控制水平 \dot{H}_c 。

6.3.2 治疗机房顶屏蔽的周围剂量当量率参考控制水平

6.3.2.1 在治疗机房上方已建、拟建二层建筑物或在治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点至机房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗机房顶外表面 30 cm 处，或在该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处，周围剂量当量率参考控制水平同 6.3.1。

6.3.2.2 除 6.3.2.1 的条件外，若存在天空反射和侧散射，并对治疗机房墙外关注点位置照射时，该项辐射和穿出机房墙透射辐射在相应处的周围剂量当量率的总和，按 6.3.1 确定关注点的周围剂量当量率作为参考控制水平。

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

第 3 款 治疗机房辐射屏蔽的剂量参考控制水平

第 3.1 款 治疗机房墙和入口门外的周围剂量当量率参考控制水平

治疗机房墙和入口门外的周围剂量当量率应同时满足下列 3.1.1 和 3.1.2 的参考控制水平。具体同《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020) 6.3.1.1 中 a)、b) 的相关内容，本报告不再重复列出。

4 治疗机房一般屏蔽要求

4.5.5 迷路外墙的屏蔽透射因子应小于 10^{-2} 。

续表 7 保护目标与评价标准

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

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

4.2 剂量控制要求

4.2.1 治疗机房墙和入口门外关注点的剂量率参考控制水平

治疗机房墙和入口门外关注点的剂量率应不大于下述 a)、b)和 c) 所确定的剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ，具体同《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020) 6.3.1.1 中 a)、b)和 c) 的相关内容，本报告不再重复列出。

4.2.2 治疗机房顶的剂量控制要求

治疗机房顶的剂量应按下述 a)、b)两种情况控制：

a)在治疗机房正上方已建、拟建建筑物或治疗机房旁临近建筑物的高度超过自辐射源点到机房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗机房顶外表面 30cm 处和（或）在该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处，可以根据机房外周剂量参考控制水平 $H_c \leq 5\mu\text{Sv/周}$ 和最高剂量率 $\dot{H}_{c,\text{max}} \leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ ，按照 4.2.1 求得关注点的剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$) 加以控制。

b) 除 4.2.2 中 a)的条件外，应考虑下列情况：

1) 天空散射和侧散射对治疗机房外的地面附近和楼层中公众的照射。该项辐射和穿出机房墙透射辐射在相应处的剂量（率）的总和，应按 4.2.2 中的 a)确定关注点的剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$) 加以控制；

2) 穿出治疗机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射，以相当于机房外非控制区人员周剂量率控制指标的年剂量 $250\mu\text{Sv}$ 加以控制；

3) 对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶，考虑上述 1) 和 2) 之后，

续表 7 保护目标与评价标准

机房顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平可按 $100\mu\text{Sv/h}$ 加以控制（可在相应处设置辐射告示牌）。

(5) 《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021), 2021 年 12 月 1 日实施

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

- a) 一般情况下, 从事放射治疗的工作人员职业照射的剂量约束值为 5mSv/a 。
- b) 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a 。

6 放射治疗场所辐射安全与防护要求

6.1.4 剂量控制应符合以下要求:

a) 治疗室墙和入口门外表面 30 cm 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

$\dot{H}_c, d(\mu\text{Sv/h})$:

机房外辐射工作人员: $\dot{H}_c \leq 100\mu\text{Sv/周}$;

机房外非辐射工作人员: $\dot{H}_c \leq 5\mu\text{Sv/周}$ 。

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

$\dot{H}_c, \text{max}(\mu\text{Sv/h})$:

人员居留因子 $T > 1/2$ 的场所: $\dot{H}_c, \text{max} \leq 2.5\mu\text{Sv/h}$;

人员居留因子 $T \leq 1/2$ 的场所: $\dot{H}_c, \text{max} \leq 10\mu\text{Sv/h}$ 。

b) 穿出机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射, 以年剂量 $250\mu\text{Sv}$ 加以控制。

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

(6) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)

CT 模拟定位机也属于 CT 机范畴, 按照 GBZ130-2020 中相应 CT 要求执行。

续表 7 保护目标与评价标准

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

表 7-2 X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度

设备类型	机房内最小有效使用面积 m ²	机房内最小单边长度 m
CT 机（不含头颅移动 CT）	30	4.5

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

表 7-3 不同类型射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量（mm）	非有用线束方向铅当量（mm）
CT 机（不含头颅移动 CT）	2.5	

第 6.3.1 款 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

在距机房屏蔽体外表面 0.3m 处，机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

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

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

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

（7）医疗废物

医疗废物属于危险废物，按国家危险废物名录分为医疗废物（HW01，废物代码 841-001-01~841-005-01），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。

续表 7 保护目标与评价标准

(8) 《环境空气质量标准》(GB3095-2012)

二级标准：臭氧 1 小时平均限值为 $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ ($0.2\text{mg}/\text{m}^3$)；二氧化氮 1 小时平均限值为 $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ ($0.2\text{mg}/\text{m}^3$)。

(9) 《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： $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ ；氮氧化物的接触限值： $5\text{mg}/\text{m}^3$ 。

(10) 评价标准及相关参数值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)及《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)中第4.9款要求，医院取 $5\text{mSv}/\text{a}$ 作为放射工作人员的年有效剂量管理目标值，取 $0.1\text{mSv}/\text{a}$ 作为公众成员的年有效剂量管理目标值。结合《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)中第6.1.4款、《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.2-2011)，本次评价按照从严考虑，屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率按照 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 进行控制。CT模拟定位机机房外周围剂量当量率执行《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)的要求。综上所述，结合本项目实际情况，确定本项目的评价要求见表7-4所示。

续表 7 保护目标与评价标准

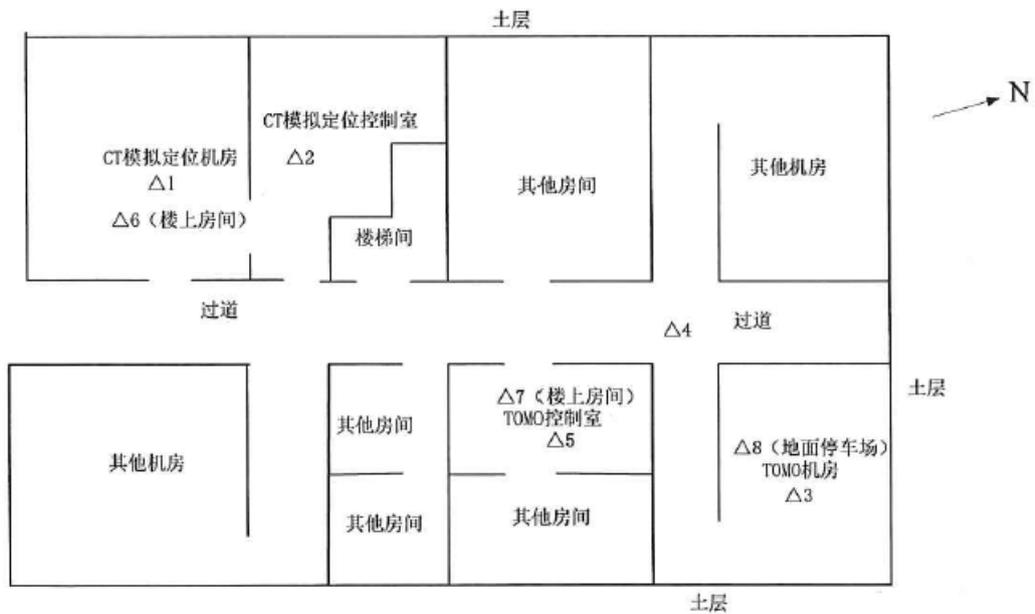
表 7-4 辐射评价标准及相关参数汇总表			
年有效剂量控制要求			执行依据
执行对象	标准限值 (mSv/a)	年有效剂量管理目标 (mSv/a)	HJ1198-2021、GB18871-2002 及医院管理要求
放射工作人员	20	5	
公众成员	1	0.1	
周围剂量当量率限值要求			执行依据
TOMO 机房、CT 模拟定位机机房屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率	屏蔽体外 30cm 处 $\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$		根据 GBZ121-2020 GBZ/T 201.2-2011 核算、HJ1198-2021、 GBZ130-2020
通风要求			执行依据
通风	TOMO 机房内换气应不小于 4 次/h		GBZ121-2020
机房面积及最小单边长要求			
设备名称	机房内最小有效使用面积	机房内最小单边长度	执行依据
CT 模拟定位机	30m ²	4.5m	GBZ130-2020
医疗废物、医疗废水			执行依据
医疗废水	经医院废水处理站处理后方可排放		GB18466-2005
医疗废物	交具有相应资质的单位处置		渝府发[2007]71 号

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

本项目位于医院综合大楼东侧肿瘤中心负二层，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于 2021 年 8 月 12 日对本项目拟建址的环境 γ 辐射剂量率进行了监测，监测报告编号为：[2021]1046 号。

(1) 监测点位：本项目监测 8 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，监测高度距离地面 1.0m。

图 8-1 监测布点图

监测点位合理性分析：监测点位位于本项目机房及机房周围人员可以到达的位置，能够反映本项目所在地辐射环境背景水平。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。

表 8-1 监测方法和依据

监测项目	监测方法	监测依据
环境地表 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 《辐射环境监测技术规范》HJ21-2021

(4) 监测仪器

监测仪器情况见表 8-2。

续表 8 环境质量和辐射现状

表 8-2 监测仪器表

仪器名称及型号	仪器编号	计量检定/校准编号证书	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

(4) 质量控制

本项目监测单位具备有相应的检测资质和检测能力。监测人员、监测仪器及监测结果：监测人员均经过考核并持有合格证书，所有监测仪器均经过计量部门检定，并在有效期内，监测仪器使用前经过检验，监测报告实行三级审核。

(5) 监测结果

监测结果统计见表 8-3。

表 8-3 本项目周围环境 γ 辐射剂量率

监测点位	点位描述	环境 γ 辐射剂量率 (nGy/h)
$\Delta 1$	拟建 CT 模拟定位机机房	68
$\Delta 2$	拟建 CT 模拟定位机控制室	61
$\Delta 3$	TOMO 机房	52
$\Delta 4$	TOMO 机房外过道	56
$\Delta 5$	TOMO 控制室	59
$\Delta 6$	CT 模拟定位机楼上房间	60
$\Delta 7$	TOMO 控制室楼上房间	52
$\Delta 8$	TOMO 机房顶 (地面停车场)	49

根据监测统计结果可知，本项目建设位置及周围环境 γ 辐射剂量率的监测值在 49nGy/h~68nGy/h 之间 (未扣除宇宙射线)。根据《2020 年重庆市生态环境状况公报》，重庆市 2020 年环境 γ 辐射空气吸收剂量率平均值为 95.9nGy/h (未扣除宇宙射线) 之间。两者相比，本项目环境 γ 辐射剂量率均低于重庆市 2020 年环境 γ 辐射空气吸收剂量率平均值。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 施工期

本项目施工期在院内进行，肿瘤中心属于核特色项目一部分，目前土建已经完成，后续主要是新风、排风管道安装，室内装修、设备安装等工作。

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：主要为项目用房装修机械敲打、钻动墙体等产生的粉尘；

噪声：主要来自于装修产生的噪声；

废水：主要为施工人员产生的少量生活污水，无机械废水；

固体废物：主要为装修过程产生的建筑垃圾和包装废物，以及施工人员产生的生活垃圾，产生很少。

9.2 运行期污染工序及污染物产生情况

9.2.1 TOMO 污染工序及污染物产生情况

(1) 设备组成

TOMO 全称为“螺旋断层治疗装置”，集成了计划、剂量计算、X-CT 扫描定位和螺旋照射治疗等多种功能的调强放疗系统。主要包括断层定位系统、三维逆算式优化处理治疗计划系统、断层影像导引放射治疗系统和质量确认系统组成。该系统的主要的特点在于：

(1) 6MV X 射线束 360°旋转聚焦照射肿瘤、靶区适形性佳、剂量分布均匀，能使正常组织及器官得到最大限度的保护；

(2) 具有图像引导功能，每次放疗前在治疗机上进行 MVCT 成像，确认治疗体位在三维空间上与治疗计划一致后再行放疗，从而保证了治疗的精确性；

(3) 可在每次治疗后推算出肿瘤接受到的剂量，适时调整后续的治疗剂量，从而确保治疗剂量的准确性。

TOMO 的结构组成见图 9-1 至 9-3。

续表 9 项目工程分析与源项

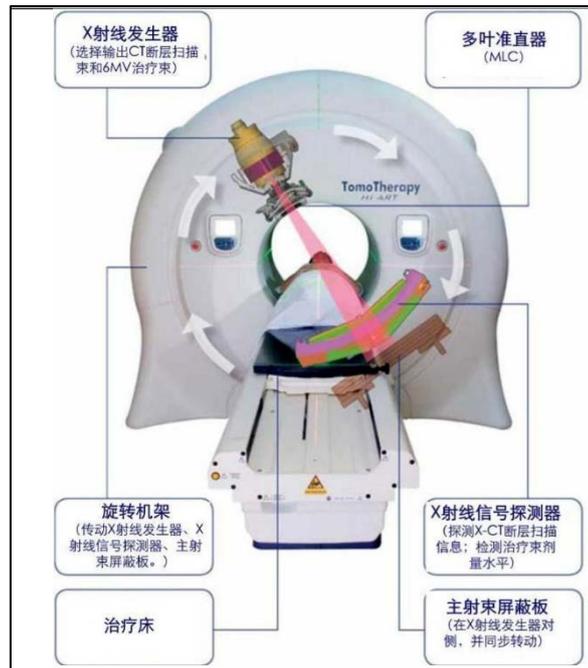


图 9-1 TOMO 结构组成图

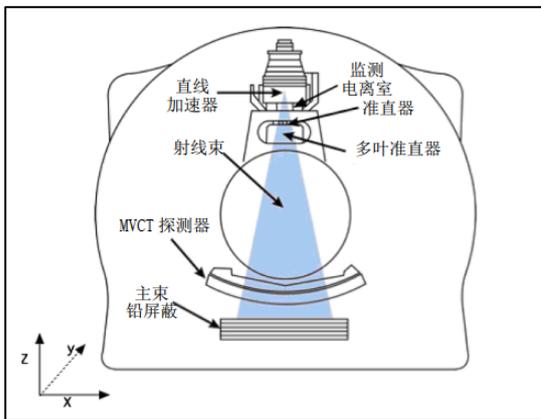


图 9-2 TOMO 主体部件结构图

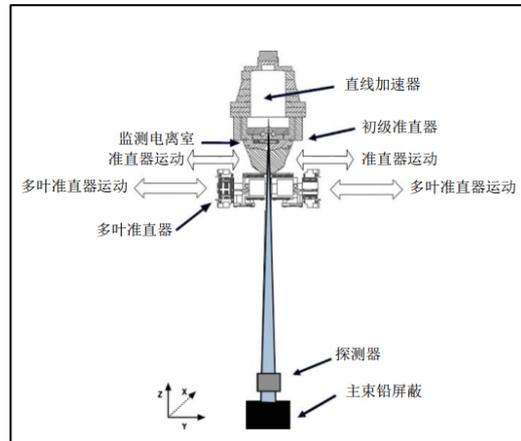


图 9-3 TOMO 束流准直部件侧面图

(2) 设备参数

根据医院提供资料，项目 TOMO 的主要技术指标见表 9-1。

续表 9 项目工程分析与源项

表 9-1 TOMO 主要技术指标	
项目	指标
X 射线治疗能量	6MV, 单能
CT 成像能量	3.5MV
治疗剂量率	860cGy/min (0.85m 处)
CT 成像剂量率	45cGy/min (0.85m 处)
等中心点相对水平地面高度	113cm
射线源到中心轴距离 (SAD)	85cm
系统等中心处最大照射尺寸	5cm×40cm
系统自带主束挡铅厚度	12.5cm

(3) 工作原理

TOMO 是一种可以实现三维扇形束 CT 图像引导的调强放射治疗系统。它用一个 6 兆伏的驻波加速管替代 CT 球管，安装在滑环 CT 机架上，完美的融合了 CT 与直线加速器二者的功能。作为 CT，它使用 3.5 兆伏的扇形 X 线束进行螺旋扫描，产生的三维 CT 图像既可用于治疗前的图像引导摆位验证，也可以用于治疗后的实际照射剂量重建。作为直线加速器，它使用 6 兆伏窄束 X 射线，经多级准直器准直调制后，围绕患者进行 360 度旋转照射，照射的同时患者在检查床上匀速穿过治疗束，实现螺旋断层方式的调强放射治疗。

(4) 操作流程及产污环节

TOMO 营运期的工艺流程和产污环节图如 9-4 所示，其具体治疗流程如下：

- ①患者预约。病人经医生诊断、治疗正当性判断后，确定需要治疗的患者进行预约登记。
- ②进行定位。预约病人先通过 CT 模拟定位机对病变部位进行详细检查，然后确定照射的方向、角度和视野大小，定位。
- ③制订治疗计划。根据患者所患疾病的性质、部位和大小确定照射剂量和照射时间。
- ④固定患者体位。
- ⑤确认治疗计划。通过 TOMO 自带的 CT 扫描结果即 MVCT 确认患者治疗体位在三维空间上与治疗计划一致。
- ⑥启动治疗。确认机房内联锁条件建立后，技师在控制室内启动 TOMO 治疗束部分开始照射治疗，治疗时工作人员隔室操作。
- ⑦照射完毕后，技师协助病人离开机房。

续表 9 项目工程分析与源项

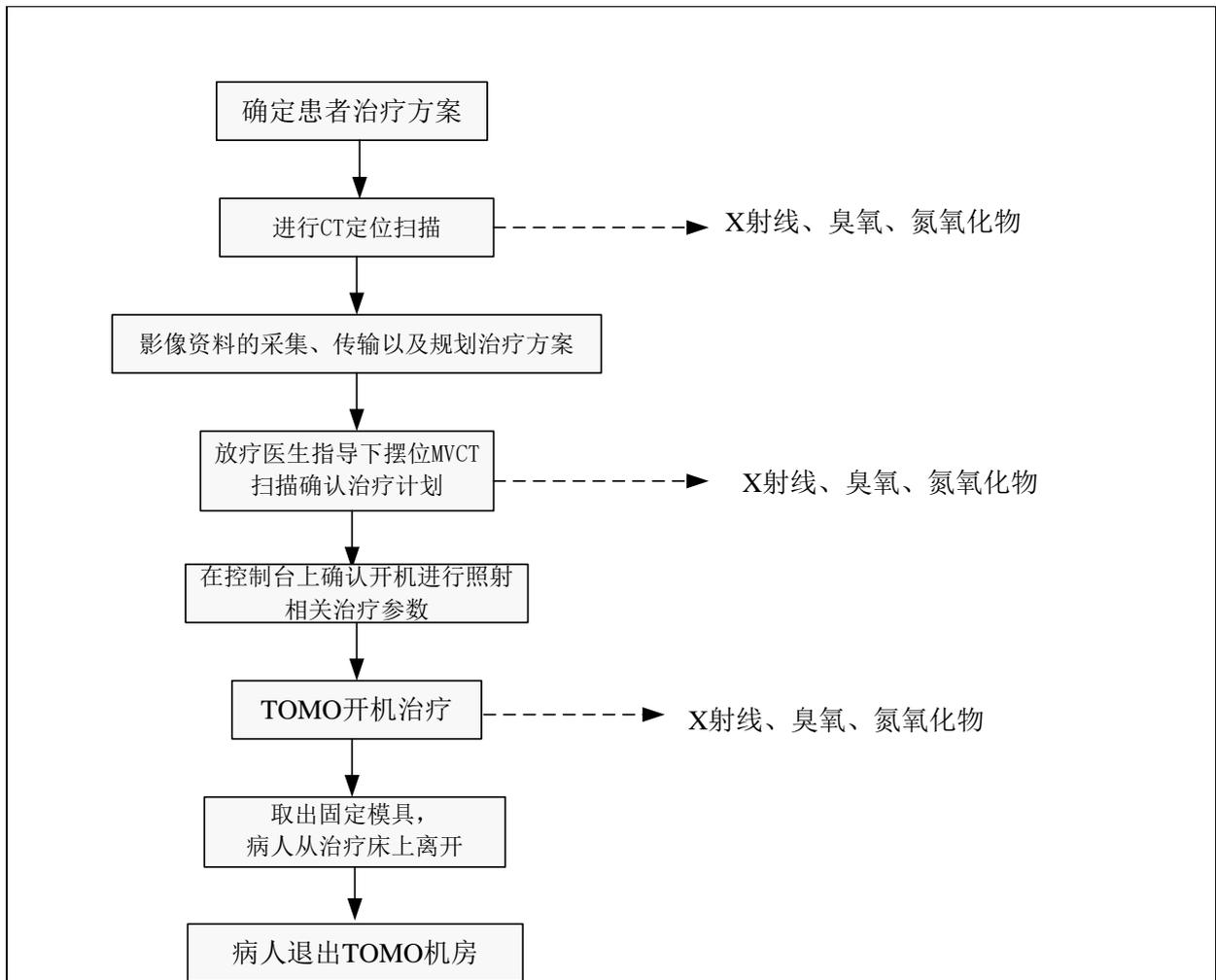


图 9-4 TOMO 治疗流程及产污环节图

(5) 工作负荷

医院肿瘤中心年工作 250 天，每周工作 5 天，平均每天治疗 10 人次，年治疗 2500 人次，工作负荷见表 9-2。

表 9-2 工作负荷一览表

TOMO 工作负荷	周治疗人次 (人次)	单次出束时间 (min)	周开机时间 (h)	年开机时间 (h)
MVCT 扫描模式	50	1	0.83	41.5
TOMO 治疗模式	50	10	8.33	416.5
合计			9.16	458

9.2.2 CT 模拟定位机工艺流程及产污环节

(1) 设备组成

续表 9 项目工程分析与源项

医院拟配置的CT模拟定位机为大孔径CT，主要由扫描床、扫描架、高压发生器、控制台、计算机系统和激光定位系统等组成。典型CT模拟定位机见图9-5，其主要结构见图9-6。



图 9-5 CT 模拟定位机（示例图）

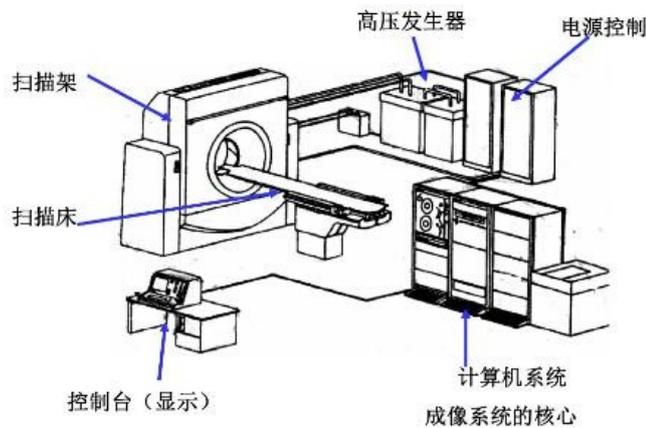


图 9-6 CT 模拟定位机主要组成结构示意图

(2) 设备参数

医院拟配置的 CT 模拟定位机主要性能指标见表 9-3。

表 9-3 CT 模拟定位机设备参数

设备名称	CT 模拟定位机
型号	待定
射线装置类别	III类射线装置
主要技术参数	额定管电压：140kV 额定管电流：800mA

(3) 工作原理

续表 9 项目工程分析与源项

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

(4) 工艺流程及产污环节

模拟定位机工作流程如下：

- ①患者在候诊区等候，做相应准备工作，等待工作人员叫号。
 - ②工作人员通知患者进入机房，为受检者摆位、固定并标记受检者。
 - ③工作人员退出机房回到控制室设置参数并曝光，图像传至物理师办公室，确定初始坐标系统，确定靶区及等中心。工作人员根据等中心坐标标记受检者及固定装置，勾选出关键器官与靶区，设计照射野。
 - ④将受检者材料数据传至 TPS 进行剂量计算。工作人员对 TPS 计划进行评估优化，实施计划验证（检查体位和射野设置、设备几何参数和靶区）。
 - ⑤定位结束，工作人员引导受检者退出机房。
- CT 模拟定位机工作流程及产污环节见图 9-7 所示。

续表 9 项目工程分析与源项

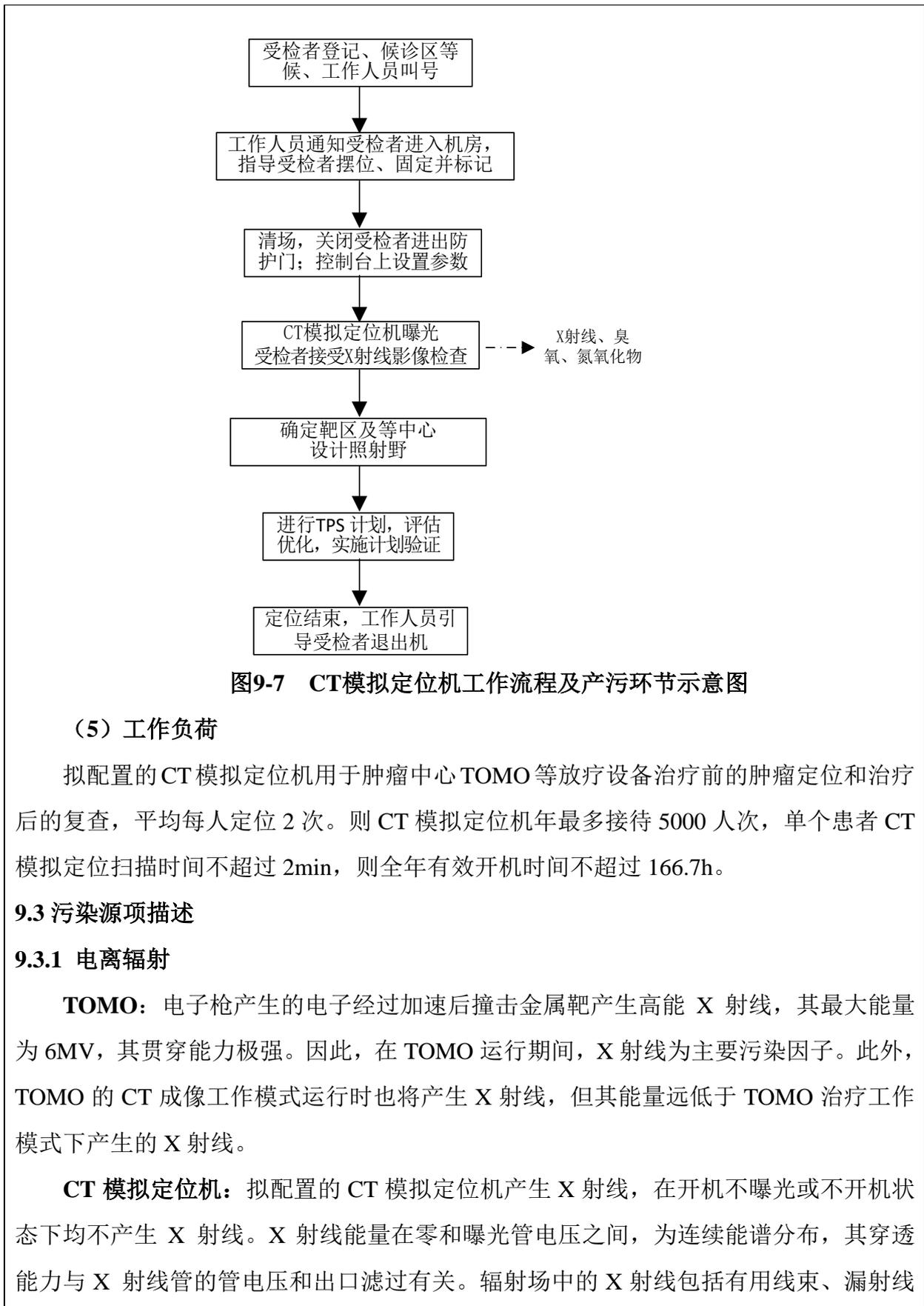


图9-7 CT模拟定位机工作流程及产污环节示意图

(5) 工作负荷

拟配置的CT模拟定位机用于肿瘤中心TOMO等放疗设备治疗前的肿瘤定位和治疗后的复查，平均每人定位2次。则CT模拟定位机年最多接待5000人次，单个患者CT模拟定位扫描时间不超过2min，则全年有效开机时间不超过166.7h。

9.3 污染源项描述

9.3.1 电离辐射

TOMO: 电子枪产生的电子经过加速后撞击金属靶产生高能X射线，其最大能量为6MV，其贯穿能力极强。因此，在TOMO运行期间，X射线为主要污染因子。此外，TOMO的CT成像工作模式运行时也将产生X射线，但其能量远低于TOMO治疗工作模式下产生的X射线。

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

续表 9 项目工程分析与源项

和散射线，因有用线束遭 CT 探测器阻挡，机房内以散射线为主。

①有用线束：CT 模拟定位机过滤板为 3mmAl，额定电压 140kV。根据射线衰减原理和 ICRP33 号报告，不同过滤条件下离靶 1 米处的 X 射线发射率如图 9-5 所示。额定电压 140kV 时，离靶 1 米处的发射率约为 $12.4\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$ 。

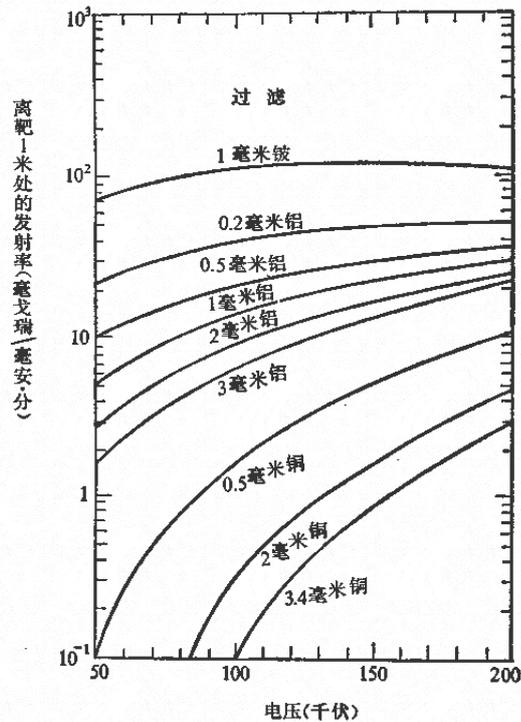


图9-8 不同过滤材质在恒电位X射线发生器在离靶1米处的发射率

②漏射线：由X射线管发射的透过X射线管组装体的射线。泄漏辐射距焦点1m处，在任一 100cm^2 区域内的平均空气比释动能不超过 1mGy/h 。

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

9.3.2 “三废”排放情况

TOMO 运行产生的 X 射线有很强的穿透力，能使周围物质电离、激发，与空气作用产生臭氧和氮氧化物。CT 模拟定位机运行时产生 X 射线与空气作用，可以使气体分子或原子电离、激发，产生臭氧和氮氧化物，影响室内空气质量。

根据文献《辐射所致臭氧的估算与分析》（王时进等，中华放射医学与防护杂志，1994 年 4 月第 14 卷第 2 期）中给出的扩展射线束所致 O_3 产额的公式进行估算，其计算

续表 9 项目工程分析与源项

公式如下：

$$P = 0.39 \times D_o S_o R G \quad (\text{公式 9-1})$$

式中： P ：扩展射线束单位时间内产生的 O_3 的总质量，mg/h；

D_o ：距射线束原点 1m 处的空起比释动能率， $Gy \cdot m^2/min$ ；

S_o ：距源点 1m 处的照射野面积， m^2 。

R ：射线束中心轴上源点至治疗室墙壁的距离，m；

G ：空气吸收 100eV 辐射能量产生的 O_3 分子数，取值为 10；

各参数的取值和计算结果见表 9-4。

表 9-4 TOMO 的 O_3 产额的计算参数和计算结果

治疗室	D_o ($Gy \cdot m^2/min$)	S_o (m^2)	R (m)	G	P (mg/h)
TOMO 机房	8.6	0.02	4.0	10	2.68

根据《三种电子加速器产生的臭氧危害分析》（中国辐射卫生 2020 年 6 月第 29 卷第 3 期），氮氧化物（主要为二氧化氮）产额考虑为 O_3 产额的一半，则 TOMO 运行时，TOMO 机房氮氧化物产额分别为 1.34mg/h。

（2）废水

本项目治疗过程中本身不产生废水，肿瘤中心不设置卫生间，医务人员及病人利用医院大楼卫生间，依托医院现有的污水处理站处理达标后排入市政管网。

（3）固废

项目产生的固体废物主要为医务人员和病人产生的少量生活垃圾和医疗废物。生活垃圾依托医院收运系统交环卫部门处理，医疗废物交同兴医疗废物处理有限公司处理。

铅防护用品在使用一定年限后屏蔽能力减弱，不能达到原有使用功能后成为报废铅防护用品，交由出售方回收处置。

9.4 项目污染因子统计

综上所述，本项目污染因子一览表见表 9-5。

续表 9 项目工程分析与源项

表 9-5 项目污染因子一览表

污染类型	设备	主要污染因子	最大产生量	处理方式及去向
电离辐射	TOMO	X 射线	6MV, 主射束方向 1m 处剂量率最大为 8.6Gy/min	机房屏蔽体防护
	CT 模拟定位机	X 射线	X 射线能量不大于 140keV, 距靶 1m 处主射束的输出量不大于 12.4mGy·m ² /mA·min。	机房屏蔽体防护
废气		臭氧和氮氧化物	少量	机械通风换气, TOMO 机房换气次数大于 9 次/小时
废水		医疗废水	少量	依托医院现有污水处理站处理后排入市政污水管网。
固废		医疗废物	少量	依托医院现有相应设施收集交同兴医疗废物处理有限公司处置
		生活垃圾	少量	依托医院收运系统, 交环卫部门处理
		废铅防护用品	少量	由医院收集、暂存交由出售方回收处置, 并做好相应记录

表 10 辐射安全与防护

10.1 布局与分区

10.1.1 机房面积

本项目各机房的内空尺寸和标准要求见表10-1所示。

表10-1 各机房建设要求对比表

机房名称	设计情况		标准要求		是否满足要求
	机房内最小单边长度, m	机房内最小有效使用面积, m ²	机房内最小单边长度, m	机房内最小有效使用面积, m ²	
CT 模拟定位机机房	5.75	36.2	≥4.5	≥30	满足
TOMO 机房	7.0	56.0	/	/	/

注：内空面积为机房有效使用面积。

由上表可知，CT 模拟定位机机房最小单边长及机房内最小有效使用面积均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）要求。

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）及《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的分区要求，本项目控制区、监督区具体划分见表10-2、图10-1。

表10-2 本项目控制区、监督区划分

设备	控制区范围	监督区范围
TOMO	TOMO 机房（含迷道）	控制室、设备间、过道、顶棚之上停车场
CT 模拟定位机	CT 模拟定位机机房	控制室、过道、停车位、楼上对应的房间

续表 10 辐射安全与防护

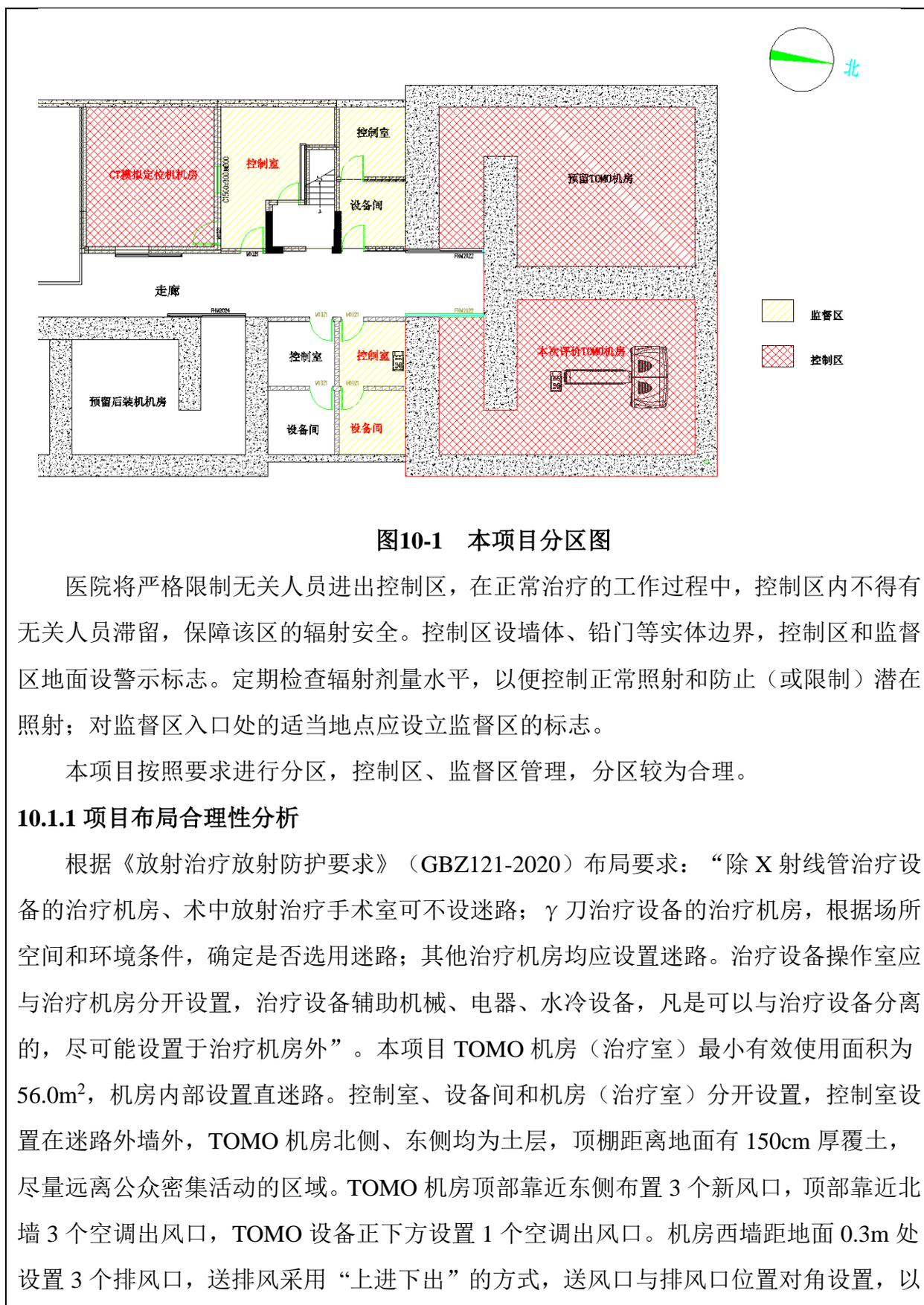


图10-1 本项目分区图

医院将严格限制无关人员进出控制区，在正常治疗的工作过程中，控制区内不得有无关人员滞留，保障该区的辐射安全。控制区设墙体、铅门等实体边界，控制区和监督区地面设警示标志。定期检查辐射剂量水平，以便控制正常照射和防止（或限制）潜在照射；对监督区入口处的适当地点应设立监督区的标志。

本项目按照要求进行分区，控制区、监督区管理，分区较为合理。

10.1.1 项目布局合理性分析

根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）布局要求：“除 X 射线管治疗设备的治疗机房、术中放射治疗手术室可不设迷路； γ 刀治疗设备的治疗机房，根据场所空间和环境条件，确定是否选用迷路；其他治疗机房均应设置迷路。治疗设备操作室应与治疗机房分开设置，治疗设备辅助机械、电器、水冷设备，凡是可以与治疗设备分离的，尽可能设置于治疗机房外”。本项目 TOMO 机房（治疗室）最小有效使用面积为 56.0m^2 ，机房内部设置直迷路。控制室、设备间和机房（治疗室）分开设置，控制室设置在迷路外墙外，TOMO 机房北侧、东侧均为土层，顶棚距离地面有 150cm 厚覆土，尽量远离公众密集活动的区域。TOMO 机房顶部靠近东侧布置 3 个新风口，顶部靠近北墙 3 个空调出风口，TOMO 设备正下方设置 1 个空调出风口。机房西墙距地面 0.3m 处设置 3 个排风口，送排风采用“上进下出”的方式，送风口与排风口位置对角设置，以

续表 10 辐射安全与防护

保证机房内通风。CT 模拟定位机房位于负二层放疗机房斜对面，便于患者定位；CT 模拟定位机机房西侧、地下均为土层，机房外为走廊，便于病人家属等候和病人通行。且距离 TOMO 治疗机房距离近，方便定位后到 TOMO 机房内治疗。

综上所述，本项目满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中相关要求。从辐射防护与环境保护角度，本项目平面布局合理。

10.2 辐射安全与防护

10.2.1 TOMO辐射安全与防护

（1）设备安全功能

①拟购买的 TOMO 配置专用钥匙控制，只有使用专用钥匙 TOMO 才能出射线。钥匙由专人保管。放疗技术员离开控制室进入机房时，拔出专用钥匙，随身携带，以防他人误操作而发出射线。

②拟购买的 TOMO 使用计算机控制系统的 TOMO 软件和硬件控制程序进行加密，未经允许不得存取或修改；用于监视联锁或作为测量线路、控制线路部分的计算机一旦发生故障，终止照射。

③拟购买的 TOMO 具有独立的双道剂量监测系统。双道剂量监测系统显示清晰易读，其剂量监测值能用来计算受照靶体积内某一参考点的剂量；若电源故障或器件失灵造成照射中断或终止时，此时双道剂量监测系统的剂量监测计数应以可读的方式存储起来，并至少保持 20min。此外，双道剂量监测系统的每道剂量监测系统都能独立地终止照射，其联锁装置能确保在两次照射之间或照射前，对没有造成终止照射的剂量监测系统验证其终止照射的能力。

④拟购买的 TOMO 配置两个辐射探测器，能够监测辐射束的不同部分，并在均整度测量的规定深度上，当吸收剂量分布畸变超过 10%或辐射探测器吸收剂量分布探测信号指示变化大于 10%时，在增加的吸收剂量达到 0.25Gy 之前照射终止。

⑤拟购买的 TOMO 配置有一个剂量率监测系统，并在治疗控制台上显示其读数（每秒或每分钟的剂量监测计数）。从该读数应能计算出治疗体积内某一参考点的吸收剂量率。此外，在任何故障维修状态下，如果 TOMO 在正常治疗距离处吸收剂量率超出最大规定值又不大于该值两倍时值两倍还高的吸收剂量率能终止照射。

⑥拟购买的 TOMO 配置一个递增式控制计时器，能与照射的启动和停止同步；并

续表 10 辐射安全与防护

能在照射中断或终止后保持其读数；照射终止后，在启动下次照射之前能复位回零；为防止剂量监测系统失效，当预选的时间达到时，终止照射；递增式控制计时器独立于任何其他控制照射终止系统或子系统，能确保其正常运作。

项目拟采取多重防护与安全措施（即纵深防御），以减少由于某个连锁失效或在某个连锁失效期间产生辐射。

（2）机房屏蔽防护设施

①机房屏蔽防护设计

根据医院提供的资料，本项目 TOMO 机房使用面积（不含迷道）为 56.0m²；TOMO 机房设置有直迷路，机房四周墙体、顶棚辐射屏蔽防护材料主要为混凝土（混凝土密度不小于 2.35g/cm³，下同）。东墙（之外为土层）为 1000mm 混凝土，西墙为 1500mm 混凝土，北墙（之外为土层）为 1000mm 混凝土，南墙迷路内墙为 1500mm 混凝土，迷路外墙为 1500mm 混凝土，顶棚为 1500mm 混凝土，防护门为 5mmPb 当量铅门。详细的屏蔽防护列表见表 1-2，根据后文核算，TOMO 机房的屏蔽能力能满足相应标准要求。

②穿墙管线

本项目在 TOMO 机房的东墙及控制室、设备间北墙设置宽为 0.3m 的电缆沟，TOMO 设备利用该电缆沟接至设备间及控制室，该电缆沟在机房东角采用“U”型穿入机房内，电缆沟内包括强弱电线及设备充气铜管。

另外项目设备间东北角从西至东布置有 1 根 300mmPVC 排风管，1 根 300mmPVC 新风管，1 根 300mmPVC 空调送风管，1 根 200mmPVC 空调送风管。这些管道经外机设备在设备间东北角的 4 根 PVC 管采用“U”型穿入机房地板至机房西北角及设备旁露出。至此经专用管道在 TOMO 机房顶部靠近东侧布置 3 个新风口（距离地面 3.3m），在机房顶部靠近北墙 3 个空调出风口（距离地面 3.3m），TOMO 设备正下方设置 1 个空调出风口（距离地面 0.1m）。机房西墙距地面 0.3m 处设置 3 个排风口。

各穿墙管大样图如下图 10-2、10-3、10-4 所示。

续表 10 辐射安全与防护

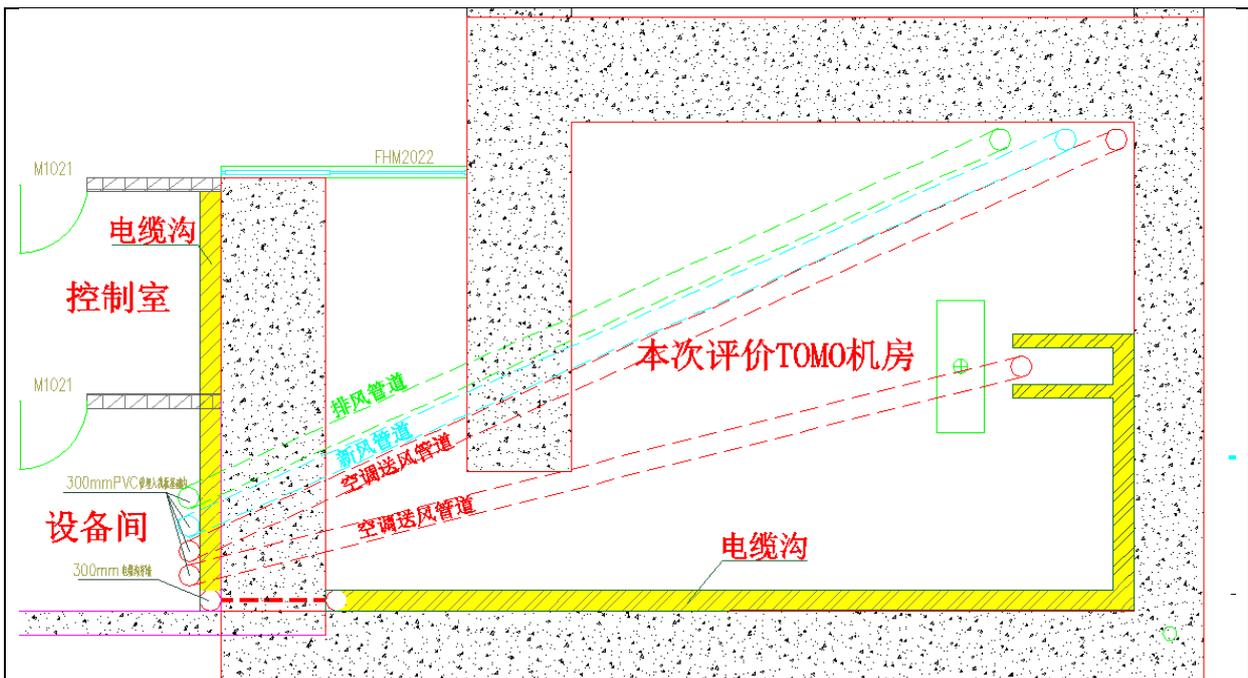


图 10-2 穿墙管平面布置图

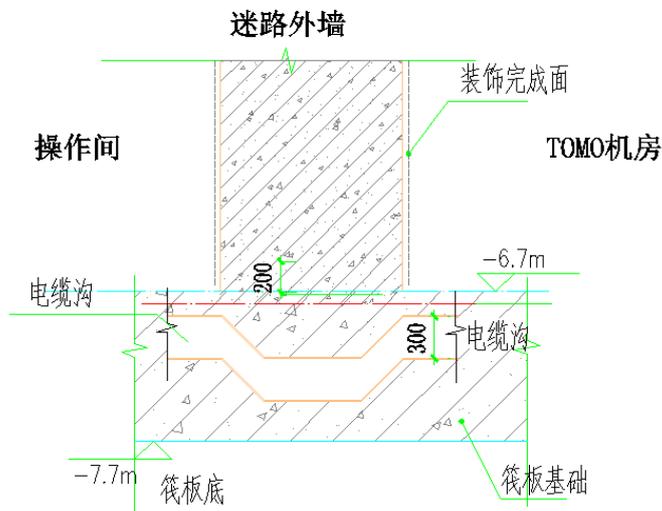


图 10-3 电缆穿墙管线大样图

续表 10 辐射安全与防护

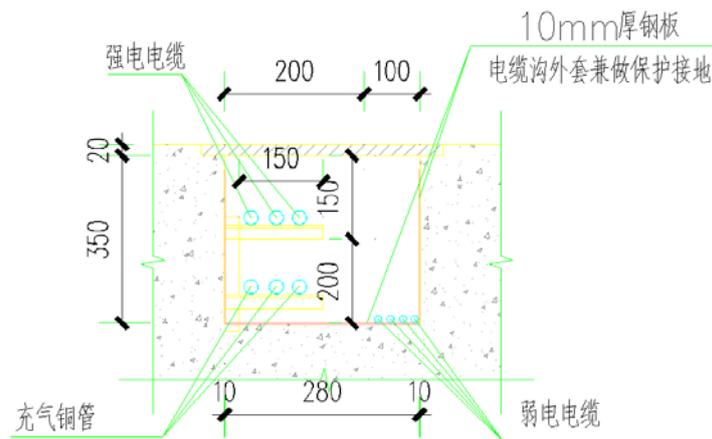


图 10-3 电缆穿墙管线大样图

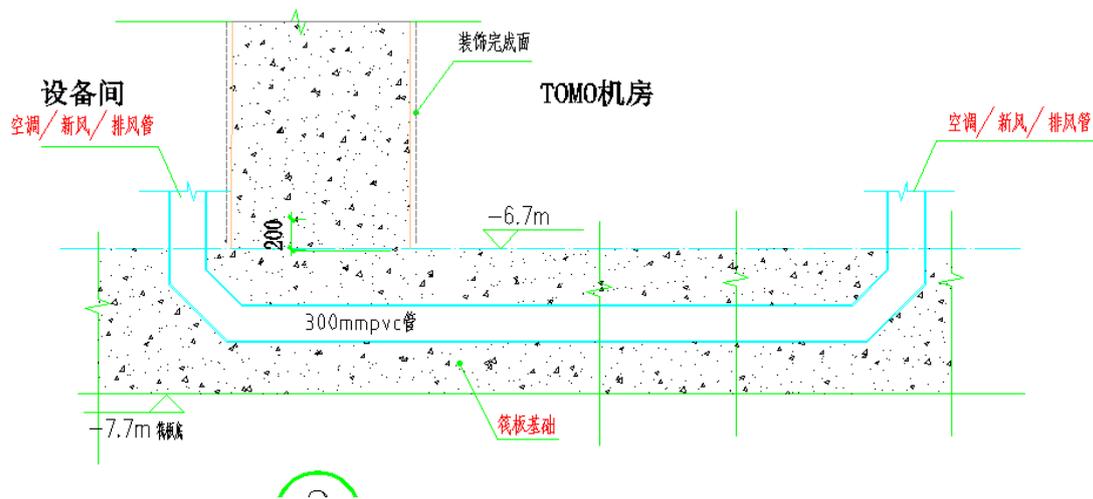


图 10-4 空调、新风、排风穿墙大样图

③防护门

TOMO 机房设置 1 个防护门，防护门的生产和安装均由专业厂家负责，防护门与墙体的重叠长度不小于其缝隙的 10 倍，以保证防护门搭接处的屏蔽能力。

(3) 排风

TOMO 机房内采用机械通风，采用“上进风，下出风”的布置方式，拟在 TOMO 机房顶部靠近东侧布置 3 个新风口，在机房西墙距地面 0.3m 处设置 3 个排风口，送风口与排风口位置对角设置，风机风量为 2000m³/h，通风换气约 9 次/小时。

排风管经负一层排风机房顶部排出朝向东侧市政行道树，风机位于负一层风机房内。项目 TOMO 机房内通风换气次数满足《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)

续表 10 辐射安全与防护

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

(4) 联锁系统

①TOMO 机房内拟设置多重联锁装置，以保护人员和设备安全，防止意外事故。A、门机联锁：采用电动防护门，与 TOMO 启动电路实行门机联锁方式，即防护门未关闭之前，TOMO 无法启动；反之，如果照射过程中防护门打开，系统将自动断电停止出束。B、系统联锁：当控制台计算机故障、TOMO 真空故障等加速器会自动出现系统联锁，不能发出射线。C、双剂量联锁：TOMO 有两道独立的剂量监测系统，每一道剂量监测系统能单独终止辐照，一道剂量系统发生故障不影响另一道系统的功能。

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

③拟设置多个急停开关，其中机房内拟设置 5 个，分别安装在机房内四周墙壁上、迷道外墙，机房内设备机架外壳 2 个，控制室控制台 1 个。墙壁上紧急停止按钮安装高度约 1.4m，急停开关为红色按钮式开关，易于辨认，按下后不能自动复位。在紧急情况下，机房和控制室内的人员可以及时终止照射。多个急停开关能保证在事故状态下机房内、控制室内的人员及时按下按钮停止 TOMO 出束。

根据设备性能及辐射安全与防护要求，本项目辐射安全联锁逻辑关系见图10-5。

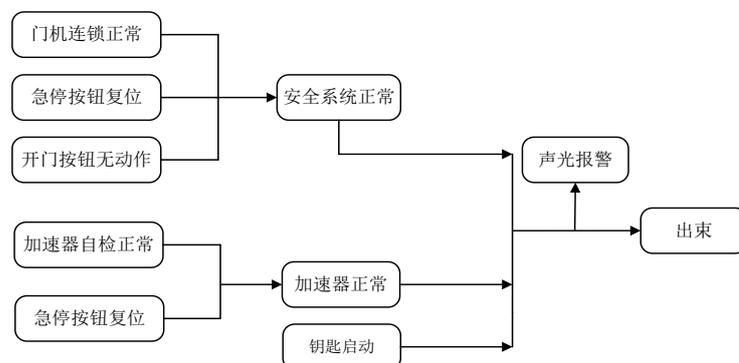


图 10-5 本项目辐射安全联锁逻辑关系图

(5) 对讲系统、视频监控系统

续表 10 辐射安全与防护

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

(6) 工作信号指示灯、警示标识

项目机房防护门外拟设置规范的电离辐射警告标志和中文警示说明，安装醒目的工作状态指示灯，提醒周围人员尽量远离该区域。红色：TOMO 运行中，严禁入内；橙色：TOMO 准备或临时停机，绿色：TOMO 停机状态，方可进入。

(7) 固定式剂量报警装置

TOMO 机房内拟设置固定式剂量报警装置，仪器探头拟安装在机房东墙上，仪表指示仪装在控制室内。固定式剂量报警装置若出现异常会在控制室指示仪上报警。固定式剂量仪可以对机房进行实时剂量率、累积剂量监测和报警。实时剂量率、累积剂量监测值同时显示在主机面板上，实时剂量率、累积剂量的“报警阈值”可通过面板上的按键进行修改。

(8) 开门装置

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

TOMO 机房急停按钮、视频监控等防护措施示意图见图 10-6。

续表 10 辐射安全与防护



续表 10 辐射安全与防护

表 10-3 项目 TOMO 工作场所辐射防护与安全设施一览表			
场所	安全防护措施	数量	说 明
TOMO 机房	急停开关	8 个	红色按钮，TOMO 机架、控制台、机房四周墙体上、迷道上等设置急停开关，不能自动复位。紧急情况下便于终止治疗。
	视频监控设备	4 个	便于观察病人，出现紧急情况便于终止治疗，进行处理。
	对讲系统	1 套	方便机房内外工作人员、病人之间进行沟通交流，病人有困难时方便停止治疗。
	联锁装置	多套	TOMO 设置多重联锁装置，包括门机联锁、系统联锁、双剂量联锁、故障保护系统等。
	警示标志、警示语	若干	在机房入口处设置电离辐射警示标志和中文警示说明，防止警示与误进入。
	手动应急开门装置	1 套	以备停电时使用。
	红外防挤压装置	1 套	防人员被夹伤。
	固定式剂量报警仪	1 套	对机房进行实时剂量率、累积剂量监测和报警，仪表指示仪装在控制室内。
	工作状态指示灯	1 套	三色信号灯，红色：TOMO 运行中，严禁入内。橙色：TOMO 准备或临时停机。绿色：TOMO 停机状态，方可进入。
	固定式剂量报警仪	1 套	探头拟安装在 TOMO 机房内，显示器安装在控制室内

10.2.2 CT 模拟定位机辐射安全与防护

(1) 设备安全功能

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

②在扫描程序开始之前，应指明某一扫描程序期间所用的 CT 运行条件；对于任何一种 CT 扫描程序，都能在操作者控制台上显示剂量信息。

③CT 模拟定位机设备上设置急停按钮。

(1) 屏蔽措施

①根据医院提供资料，CT 模拟定位机机房西墙为 350mm 混凝土，东墙、南墙、北墙为 300mm 实心页岩砖+2mmPb 当量硫酸钡防护涂料，顶棚为 150mm 混凝土+2mmPb 当量硫酸钡防护涂料，防护门、铅窗为 3mmPb，能满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）表 3 的要求。

②CT 模拟定位机机房在建设时保证施工质量，穿越防护墙的管线不影响墙体的屏

续表 10 辐射安全与防护

蔽防护效果。防护门、观察窗的生产、安装由专业的厂家承担。

(3) 门灯联锁

CT 模拟定位机机房防护门外拟设置醒目的工作状态指示灯，工作状态指示灯和与机房门联动。

(4) 警示标志

机房门拟张贴电离辐射警示标志。

(5) 个人防护用品及监测仪器

CT 模拟定位机工作场所拟配置个人防护用品和监测仪器见表 10-4。

表 10-4 拟配置的个人防护用品和监测设备

序号	名称	数量	拟安装/使用位置
1	铅橡胶性腺防护围裙（方形） 或方巾、铅橡胶颈套	2 套	CT 模拟定位机机房（包含儿童防护用品 1 套）
2	个人剂量计	若干	每名放射工作人员佩戴 1 枚

备注：成人防护用品的铅当量应不低于 0.25mmPb，性腺防护用品铅当量和儿童防护用品的铅当量应不低于 0.5mmPb。患者可以根据需要选配铅橡胶帽子，铅当量不低于 0.25mmPb。

10.2.3 拟采取辐射安全与防护措施与相关要求的符合性分析

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《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）等相关要求。

续表10 辐射安全与防护

表 10-5 项目辐射防护措施与相关标准要求对比分析表

标准号	标准要求	项目情况	
《放射治疗放射防护要求》 (GBZ121-2020)	6.1 布局要求	6.1.1 放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端；放射治疗机房及其辅助设施应同时设计和建造，并根据安全、卫生和方便的原则合理布置。	本项目利用预留 TOMO 机房，机房位于肿瘤中心负二层东北角（处于该建筑底部一端），与规划的 TOMO 机房相邻，不于其他建筑及区域交叉，便于肿瘤中心统一管理。
		6.1.2 放射治疗工作场所应分为控制区和监督区。治疗机房、迷路应设置为控制区；其他相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需经常检查其职业照射条件的区域设为监督区。	本项目拟将 TOMO 机房（含迷道）划为控制区，将本项目控制室、设备间以及机房上方正对区域划为监督区。
		6.1.3 治疗机房有用线束照射方向的防护屏蔽应满足主射线束的屏蔽要求，其余方向的防护屏蔽应满足漏射线及散射线的屏蔽要求。	经后文核算，机房各方向防护屏蔽均满足屏蔽要求。
		6.1.4 治疗设备控制室应与治疗机房分开设置，治疗设备辅助机械、电器、水冷设备，凡是可以与治疗设备分离的，尽可能设置于治疗机房外。	本项目控制室、设备间等配套房间均与机房分开设置。
		6.1.5 应合理设置有用线束的朝向，直接与治疗机房相连的治疗设备的控制室和其他居留因子较大的用室，尽可能避开被有用线束直接照射。	TOMO 具有主束屏蔽，控制室不在有用线束方向。
		6.1.6 X 射线管治疗设备的治疗机房、术中放射治疗手术室可不设迷路； γ 刀治疗设备的治疗机房，根据场所空间和环境条件，确定是否选用迷路；其他治疗机房均应设置迷路。	本项目 TOMO 机房设置迷路。
	6.2 空间、通风要求	6.2.1 放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要。	本项目 TOMO 机房有效面积约 56.0m ² ，有足够的使用面积，能满足本项目的运行需求。
		6.2.2 放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；通风换气次数应不小于 4 次/h。	本项目 TOMO 机房设置机械排风系统，进风口位于 TOMO 机房顶部设 3 个送风口，在距离机房西墙地面 0.3m 处设 3 个排风口，采用“上进下出”的通风方式，并对角布置，能保证机房内空气的充分交换。机房内的通风换气次数不小于 9 次/h，满足要求。
	6.3 屏蔽要	6.3.1.1 治疗机房（不包括移动式电子加速器治疗机房）墙和入口门外 30 cm	经后文核算，TOMO 机房墙和防护门外 30cm 处的周围

续表10 辐射安全与防护

	求	处（关注点）的周围剂量当量率应不大于下述 a)、b) 和 c) 所确定的周围剂量当量率参考控制水平 \dot{H}_C ：	剂量当量率满足要求。
		6.3.2.1 在治疗机房上方已建、拟建二层建筑物或在治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点至机房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗机房顶外表面 30 cm 处，或在该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处，周围剂量当量率参考控制水平同 6.3.1。	经后文核算，TOMO 机房顶棚外 30cm 处的周围剂量当量率均满足要求。
		6.3.3 屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能和经济因素，符合最优化要求，新建机房一般选用普通混凝土。	本项目 TOMO 机房使用普通混凝土，经预测能满足屏蔽防护要求。
	6.4 安全装置和警示标志要求	6.4.2 联锁装置 放射治疗设备都应安装门机联锁装置或设施，治疗机房应有从室内开启治疗机房门的装置，防护门应有防挤压功能。	本项目拟设置门机联锁装置，并在防护门内拟设置开门按钮，防护门拟设置红外线防夹装置。
		6.4.3 标志 医疗机构应当对下列放射治疗设备和场所设置醒目的警告标志：a) 放射治疗工作场所的入口处，设有电离辐射警告标志；b) 放射治疗工作场所应在控制区进出口及其他适当位置，设有电离辐射警告标志和工作状态指示灯。	本项目拟在 TOMO 机房防护门上设置电离辐射警告标志，在防护门入口处设置控制区标识，在防护门上方设置工作状态指示灯。
		6.4.4 急停开关 放射治疗设备控制台上应设置急停开关，除移动加速器机房外，放射治疗机房内设置的急停开关应能使机房内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。通常应在机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧和控制台等处设置。	本项目控制室控制台、机房内四周墙壁上，迷道内、设备机架上均设置急停按钮，机房内的滞留人员能在各个方向可快速按下急停开关。
		6.4.6 视频监控、对讲交流系统 控制室应设有在实施治疗过程中观察患者状态、治疗床和迷路区域情况的视频装置；还应设置对讲交流系统，以便操作者和患者之间进行双向交流。	本项目拟设置视频监控系统，能全方位观察机房、迷道内的情况；同时设置对讲系统，机房内人员和控制室人员能相互沟通。
	7 放射治疗操作中的放射防护要求	7.3 操作人员应遵守各项操作规程，认真检查安全联锁，应保障安全联锁正常运行。	放射工作人员工作时按照相关要求和操作规程操作，出束治疗前检查各项联锁装置，保证其均正常运行后再行出束治疗。
		7.5 实施治疗期间，应有两名及以上操作人员协同操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度，密切注视控制台仪器及患者状况，发现异常及时处	项目配备多名放射工作人员，按照要求在 TOMO 工作期间至少有 2 名当班操作人员，做好当班记录，严格执

续表10 辐射安全与防护

		理，操作人员不应擅自离开岗位。	行交接班制度，落实操作规程，不得擅自离开岗位。
《放射治疗辐射安全与防护要求》 (HJ1198-2021)	5.1 选址与布局	5.1.1 放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境的辐射影响，不得设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。	拟建项目用房为医院肿瘤中心预留机房，非居民、写字楼及商住两用的建筑物。
		5.1.2 放射治疗场所宜单独选址、集中建设，或设置在多层建筑物的底层的一端，尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。	TOMO 机房设置在肿瘤中心负二层东北角，位于地下建筑底部的一端，远离儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域。
	5.2 分区原则	5.2.1 放射治疗场所应划分控制区和监督区。一般情况下，控制区包括加速器大厅、治疗室（含迷路）等场所，如质子/重离子加速器大厅、束流输运通道和治疗室，直线加速器机房、含源装置的治疗室、放射性废物暂存区域等。开展术中放射治疗时，术中放射治疗室应确定为临时控制区。	医院拟将 TOMO 机房划分为控制区管理。
		5.2.2 与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区（如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等）。	医院拟将设备间、控制室划分为监督区管理。
	6.1 屏蔽要求	6.1.1 放射治疗室屏蔽设计应按照额定最大能量、最大剂量率、最大工作负荷、最大照射野等条件和参数进行计算，同时应充分考虑所有初、次级辐射对治疗室邻近场所中驻留人员的照射。	后文屏蔽核算按照额定最大能量、最大剂量率、最大工作负荷、最大照射野等条件和参数进行计算，并考虑了散射辐射对机房周围驻留人员的影响。
		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 10 MV 的 X 射线放射治疗设备，须考虑中子屏蔽。	本项目 TOMO 产生 X 射线能量最大为 6MV，不考虑中子屏蔽。
		6.1.3 管线穿越屏蔽体时应采取不影响其屏蔽效果的方式，并进行屏蔽补偿。应充分考虑防护门与墙的搭接，确保满足屏蔽体外的辐射防护要求。	本项目 TOMO 机房各类穿墙管线均采用“U”型，且在机房东南角穿墙，对屏蔽削弱影响不大。
		6.1.4 a) 治疗室墙和入口门外表面30 cm处、邻近治疗室的关注点、治疗室房顶外的地面附近和楼层及在治疗室上方已建、拟建二层建筑物或在治疗室旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点治疗室房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗室顶外表面30cm处和在该立体角区域内的高层建筑人员驻留处的周围剂量当量率应同时满足下列1)和2)所确定的剂量率参考控制	根据后文核算，机房各方向防护屏蔽均满足屏蔽要求。

续表10 辐射安全与防护

		<p>水平\dot{H}_c：</p> <p>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$\dot{H}_c,d(\mu\text{Sv/h})$：</p> <p>机房外辐射工作人员：$\dot{H}_c \leq 100\mu\text{Sv/周}$；</p> <p>机房外非辐射工作人员：$\dot{H}_c \leq 5\mu\text{Sv/周}$。</p> <p>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$\dot{H}_c,max(\mu\text{Sv/h})$：</p> <p>人员居留因子$T > 1/2$的场所：$\dot{H}_c,max \leq 2.5\mu\text{Sv/h}$；</p> <p>人员居留因子$T \leq 1/2$的场所：$\dot{H}_c,max \leq 10\mu\text{Sv/h}$。</p> <p>b) 穿出机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射，以年剂量$250\mu\text{Sv}$加以控制。</p> <p>c) 对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶，机房顶外表面30cm处的剂量率参考控制水平可按$100\mu\text{Sv/h}$加以控制（可在相应位置处设置辐射告示牌）。</p>	
	<p>6.2 安全防护设施和措施要求</p>	<p>6.2.1 放射治疗工作场所，应当设置明显的电离辐射警告标志和工作状态指示灯等：</p> <p>a) 放射治疗工作场所的入口处应设置电离辐射警告标志，贮源容器外表面应设置电离辐射标志和中文警示说明；</p> <p>b) 放射治疗工作场所控制区进出口及其他适当位置应设电离辐射警告标志和工作状态指示灯；</p> <p>c) 控制室应设有在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和迷道区域情况的视频装置，并设置双向交流对讲系统。</p>	<p>本项目 TOMO 机房门口拟设置电离辐射警告标志及工作状态指示灯。机房内拟设置视频监控及对讲装置，通过视频及对讲装置工作人员可在控制室内与病人双向交流。</p>
		<p>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</p>	<p>拟在 TOMO 机房内设置固定式辐射剂量监测仪，其显示器位于控制室内，在异常情况下可报警。</p>

续表10 辐射安全与防护

		附近。	
《放射治疗辐射安全与防护要求》 (HJ1198-2021)	6.2 安全防护设施和措施要求	<p>6.2.3 放射治疗相关的辐射工作场所，应设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全联锁措施：a) 放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置门-机/源联锁装置，防护门未完全关闭时不能出束/出源照射，出束/出源状态下开门停止出束或放射源回到治疗设备的安全位置。含放射源的治疗设备应设有断电自动回源措施；</p> <p>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；</p> <p>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；</p> <p>f) 安全联锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动；安装调试及维修情况下，任何联锁旁路应通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试。</p>	<p>TOMO 机房拟设置门机联锁装置，防护门未完全关闭时，不能出束。出束状态下开门，会立即停止出束。在防护门内拟设置开门按钮，防护门拟设置红外线防夹装置。</p> <p>本项目控制室控制台、机房内四周墙壁上，迷道内、设备机架上均设置急停按钮，滞留在机房内的人员能在各个方向可快速按下急停开关。</p> <p>若按下安全联锁装置，则需要人工复位，且在控制台操作才能再次启动设备。拟建立安装及维修制度，不得随意关闭联锁旁路，维修工作完成后对联锁功能恢复情况进行测试。</p>
	7 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。	拟制定检查、监测制度，定期对辐射工作场所安全联锁系统自查，保存检查记录。
		7.2 治疗期间，应有两名及以上人员协调操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度；加速器试用、调试、检修期间，控制室须有工作人员值守。	项目配备多名放射工作人员，拟制定操作规程，按照要求在 TOMO 工作期间至少有 2 名当班操作人员，做好当班记录，严格执行交接班制度，落实操作规程，不得擅自离开岗位。
	7.3 任何人员未经授权或允许不得进入控制区。工作人员须在确认放射治疗或者治疗室束流已经终止的情况下方可进入放射治疗室，进入含放射源或质子/重离子装置的治疗室前须携带个人剂量报警仪。检修人员进入质子/重离子加速器大厅和束流输运通道区域前，应先进行工作场所辐射监测，	拟建立技师岗位职责，患者进入机房前由技师确认患者身份，放射工作人员进入机房辅助患者摆位应佩戴并打开个人剂量报警仪。	

续表10 辐射安全与防护

		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运输通道区域的参观人员须在辐射工作人员带领下进入。	
	8.4 气态废物管理要求	8.4.1 放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于4次/h，排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。	本项目 TOMO 机房设置机械排风系统，拟在 TOMO 机房顶部靠近东侧布置 3 个新风口，在机房西墙距地面 0.3m 处设置 3 个排风口，送风口与排风口位置对角设置，风机风量为 2000m ³ /h，通风换气约 9 次/小时，排风管经负一层排风机房顶部排出朝向东侧市政行道树。
《医用电子直线加速器质量控制检测规范》（WS674-2020）	4 放射治疗设备防护性能要求	4.1.1 医疗机构在申请验收检测时，需向检测机构提供放射治疗设备生产厂家的随机文件。	厂家提供随机文件，验收检测时按要求提供给检测机构。
		4.1.2 应对设备的泄漏辐射和杂散辐射（包括加速器治疗的感生放射性）进行验收检测，正常情况下可不进行状态和稳定性检测；但当限束设备更换、改装或维修后，应进行泄漏辐射和杂散辐射的检测。	按要求进行检测。
		4.2.1.1 使用的设备应具有独立的双道剂量监测系统，其输出显示为剂量监测值，并应能用来计算受照靶体积内某一参考点的剂量。	设备自带。
		4.2.3.1 应配置一个剂量率监测系统，并在治疗控制台上显示其读数（每秒或每分钟的剂量监测计数）。从该读数应能计算出治疗体积内某一参考点的吸收剂量率。	本项目拟配备。
螺旋断层治疗装置质量控制检测规范（WS531-2017）	质量控制检测一般要求	4.1 开展螺旋断层放射治疗的医疗机构应按 GB 18871、GBZ 126 和 GBZ 179 的要求，制定与该类放射治疗技术相适应的质量保证大纲和质量控制检测计划或方案。	项目运行前，医院拟制定质量保证大纲和质量控制检测计划
		4.2 医疗机构应配置与螺旋断层治疗装置运行相适应的基本剂量学设备和质量控制检测仪器与工具，对治疗装置和检测设备进行有效的维护和保养。	医院拟配置质控设备，具体见表 1-3。
		4.3 螺旋断层治疗装置的质量控制检测包括验收检测、状态检测和稳定性检测。验收检测和状态检测应委托有资质的放射卫生技术服务机构承担；稳定性检测由医疗机构自行或委托检测。	医院拟制定《辐射监测计划》，对医院所有的放疗设备按照要求进行验收监测
		4.4 新安装、重大维修或更换重要部件后的螺旋断层治疗装置，使用前应进	医院拟制定《质量控制检测计划》，每年按照要求对放

续表10 辐射安全与防护

		行验收检测，运行后应每年进行一次状态检测，在运行期间应进行稳定性检测。	疗设备进行稳定性检测。	
《放射诊断放射防护要求》 GBZ130-2020	一般要求	5.1.1 X 射线设备出线口上应安装限束系统（如限束器、光阑等）。	设备自带	
		5.1.2 X 射线管组件上应有清晰的焦点位置。		
		5.1.3 X 射线组件上应标明固有过滤，所有附加滤过片均应标明其材料和厚度。		
	CT 设备防护性能的专用要求	5.4.1 在扫描程序开始之前，应指明某一扫描程序期间所使用的 CT 运行条件。		
		5.4.2 对于任意一种 CT 扫描程序，都应在操作者控制台上显示剂量信息。		
		5.4.3 CT 设备应设置急停按钮，以便在 CT 扫描过程中发生意外时可以及时停止出束。		
	X 射线设备防护性能的技术要求	6.1.1 应合理设置 X 射线设备、机房的门、窗和管线口位置，应尽量避免有用线束直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。		CT 模拟定位机机房的门、窗、管线口和工作人员操作位可避免有用线束直接照射。
		6.1.2 X 射线设备机房（照射室）的设置应充分考虑邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全。		CT 模拟定位机机房四周墙体和楼上均采用足够厚的屏蔽材料进行防护。
		6.1.3 每台固定使用的 X 射线设备应设有单独的机房，机房应满足使用设备的布局要求。		CT 模拟定位机有独立机房。
		6.1.5 除床旁摄影设备、便携式 X 射线设备和车载式诊断 X 射线设备外，对新建、改建和扩建项目和技术改造、技术引进项目的 X 射线设备机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应符合表 2 的规定。		CT 模拟定位机机房有效使用面积为 36.2m ² ，最小单边长为 5.75m，均能满足标准要求。
6.2.1 不同类型 X 射线设备（不含床旁摄影设备和便携式 X 射线设备）机房的屏蔽防护应不低于表 3 的规定。		根据后文计算，CT 模拟定位机机房屏蔽体铅当量满足 GBZ130-2020 表 3 的规定。		
6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求： b)CT 机、乳腺摄影、乳腺 CBCT、口内牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅摄影、口腔 CBCT 和全身骨密度仪机房外的周围剂量当量率应不大		CT 模拟定位机机房屏蔽体屏蔽厚度满足 GBZ130-2020 要求，能确保外的周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h。		

续表10 辐射安全与防护

	于 2.5 μ Sv/h	
	6.4.1 机房应设有观察窗或摄像监控装置，其设置的位置应便于观察到受检者状态及防护门开闭情况。	CT 模拟定位机机房设置了观察窗，便于观察到患者和受检者状态。
	6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。	CT 模拟定位机机房内除必要的配套设施外，不堆放其他杂物。
	6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。	CT 模拟定位机机房拟依托本层机械排风装置，能保持良好通风。
	6.4.4 机房门外应有电离辐射警告标志；机房门上方应有醒目的工作状态指示灯，灯箱上应设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句；候诊区应设置放射防护注意事项告知栏。	CT 模拟定位机机房门外拟设电离辐射警告标志；上方拟设置醒目的工作状态指示灯，灯箱上拟设置可视警示语句；候诊区拟设置放射防护注意事项告知栏。
	6.4.5 平开机房门应有自动闭门装置；推拉式机房门应设有曝光时关闭机房门的管理措施；工作状态指示灯能与机房门有效关联。	CT 模拟定位机机房与控制室之间的门为平开门，拟设自动闭门装置，病人进出的防护铅门为推拉式门，拟设置门灯连锁，确保曝光时关闭机房门。
	6.4.7 受检者不应在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中陪检者不应滞留在机房内。	受检者在候诊大厅候诊，非特殊情况，检查过程中陪检者不滞留在机房内。
	6.4.9 CT 装置的安放应利于操作者观察受检者。	CT 模拟定位机摆放能利于操作者观察受检者。
	6.4.10 机房出入口宜处于散射辐射相对低的位置。	CT 模拟定位机无主射线，防护门均远离了设备出束位置
	6.5.3 除介入防护手套外，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.25mmPb；介入防护手套铅当量应不小于 0.025mmPb；甲状腺、性腺防护用品铅当量应不小于 0.5mmPb；移动铅防护屏风铅当量应不小于 2mmPb。	拟配置相应的辐射防护用品，数量和铅当量均满足要求。具体配置设施数量和铅当量见表 10-5。
	6.5.4 应为儿童的 X 射线检查配备保护相应组织和器官的防护用品，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.5mmPb。	
	6.5.5 个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。	拟采用悬挂或平铺方式存放，不折叠。

表 11 环境影响分析

11.1 施工期环境影响结论

施工期主要为用房的装修、设备的安装等工作，主要的污染因子有：扬尘、噪声、废水、固体废物等。

施工扬尘主要为装修机械敲打、钻动墙体等产生的粉尘为机械敲打、钻动墙体等产生的粉尘，项目位于已建地下肿瘤中心内，采取洒水等措施，可以减少扬尘的扩散。

施工噪声主要来自于预留用房装修等，采取合理安排施工时间，禁止在夜间（22：00-6：00）作业，选择低噪声、低振动施工设备和工艺等措施减少施工噪声影响。

施工期废水主要为施工人员产生的少量生活污水，无机械废水，生活污水依托医院的废水处理系统处理。

固体废物：主要为用房装修过程产生的建筑垃圾、包装废物以及施工人员产生的生活垃圾，建筑垃圾运至合法的弃渣场处置，生活垃圾和包装废物交环卫部门统一收运处置。

本项目工程量小，且均在建筑物内施工，对外环境及保护目标的影响较小；项目施工期短，施工期产生的影响随着施工的结束而消失，环境可以接受。

11.2 运行期辐射环境影响分析

11.2.1 TOMO 辐射环境影响分析

（1）机房屏蔽情况

TOMO机房四周墙体、顶棚辐射屏蔽防护材料主要为混凝土，设置直迷路。西墙、迷路内墙、外墙、顶棚为1500mm混凝土，东墙、北墙为1000mm混凝土，之外为岩土层。防护门设计为5mmPb当量铅门，具体见表1-2。

（2）TOMO机房屏蔽能力估算要点

根据GBZ/T 201.2-2011附录D.2给出的TOMO机房屏蔽示例，TOMO机房屏蔽能力估算要点如下：

①拟建项目配置的TOMO还带有3.5MV的X射线低辐射输出剂量的CT影像引导设备，其所至患者剂量约0.5~3cGy，6MV的X射线治疗机房能满足对该CT的辐射屏蔽要求。因此，TOMO治疗室以TOMO治疗状态下6MV的X射线相关参数作为屏蔽计算依据。

②在 TOMO 机架旋转治疗筒内，有用线束对应的筒壁区带有 12.5cm 的铅板，由于其和治疗筒件的总屏蔽效能，使有用束对应的治疗筒外的辐射剂量与泄漏辐射相当。因

续表 11 环境影响分析

此，忽略被照射物件的散射辐射，按屏蔽泄漏辐射考虑机治疗室屏蔽，对有用线束直接投射的区域，也按屏蔽泄漏辐射考虑。

③拟建项目配置的TOMO的X射线最大能量为6MV，按照加速器（≤10MV）机房的迷路散射辐射公式进行机房迷路及防护门屏蔽计算。

(3) 辐射屏蔽的剂量参考控制水平估算

①估算公式

估算公式使用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中估算公式。

周剂量参考控制水平 H_e ($\mu\text{Sv}/\text{周}$):

职业工作人员: $H_e \leq 100 \mu\text{Sv}/\text{周}$

公众: $H_e \leq 5 \mu\text{Sv}/\text{周}$

导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$):

单一泄漏辐射:

$$\dot{H}_{c,d} = H_e / (N \cdot t \cdot T) \quad (\text{公式 11-1})$$

式中: N—调强治疗时用于泄漏辐射的调强因子, 取 1。

T—人员在相应关注点驻留的居留因子;

t—治疗装置周治疗时间, h。

复合辐射: 与主屏蔽直接相连的次屏蔽区需要考虑加速器的泄漏辐射和有用线束水平照射的患者散射辐射:

A、以 4.2.1b)、4.2.2a)或 4.2.2b)中的 $\dot{H}_{c,\max}$ 的一半, 作为关注点的导出剂量率参考控制水平, 依 5.2.2 估算屏蔽患者散射辐射所需要的屏蔽厚度;

B、将公式 11-1 式中的 H_c 以 $0.5 H_c$ 代替, 作为关注点的导出剂量率参考控制水平, 依 5.2.1 估算屏蔽泄漏辐射所需要的屏蔽厚度;

C、取上述 a)和 b)中屏蔽厚度较厚者为该关注点的屏蔽设计。相应屏蔽下, 泄漏辐射和有用线束患者散射辐射在关注点的剂量率之和为该处的剂量率控制值。

②估算参数

续表 11 环境影响分析

根据《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)附录 A,不同场所的居留因子选取如表 11-1 所示。

表 11-1 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、治疗控制室、护士站、移动式电子加速器的相邻手术室与诊室、咨询台、有人护理的候诊室及周边建筑物中的驻留区
部分居留	1/4	1/2~1/5	1/2: 与屏蔽室相邻的病人检查室 1/5: 走廊、工作人员休息室
偶然居留	1/16	1/8~1/40	1/8: 各治疗机房门外 30cm 处,相邻的(共用屏蔽墙)放射诊疗机房 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 1/40: 仅有来往行人车辆的户外区域、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 TOMO 每周工作 5 天,平均每周治疗 50 人次,年工作 50 周, TOMO 模式下平均每人每次出束时间 10min/次,则周最大治疗时间为 8.33h。TOMO 治疗本身为调强治疗,故调强因子取 1;机架旋转调强治疗中,机架向墙或顶照射的使用因子 U 为 0.1。

③估算结果

TOMO 机房屏蔽体外的剂量率参考控制水平见表 11-2。

表 11-2 剂量率参考控制水平核算表 单位: $\mu\text{Sv/h}$

治疗室名称	屏蔽体外关注点		H_e ($\mu\text{Sv}/\text{周}$)	辐射类型	T	N	$\dot{H}_{c,max}$	$\dot{H}_{c,d}$		周围剂量率参考控制水平 H_c
	方位	紧邻环境情况								
TOMO 机房	东墙	土层	5	泄漏辐射	1/40	1	10	24		2.5
	西墙	预留 TOMO 机房	5	泄漏辐射	1/8	1	10	4.8		2.5
	南墙	控制室	100	泄漏辐射	1	1	2.5	12		2.5
	北墙	土层	5	泄漏辐射	1/40	1	10	24		2.5
	顶棚	停车位	5	泄漏辐射	1/20	1	10	12		2.5
	防护门	候诊区	5	泄漏辐射 散射辐射	1/20	1	10	0.5*	5.5	2.5
						5				

备注*: 根据 GBZ/T 201.2-2011 的 4.3.2.5.1b) 可知,机房迷路入口处的加速器泄漏辐射剂量率参考控制水平应小于其 1/4。因此,防护门泄漏辐射剂量率考虑剂量率参考控制水平按其 1/5 即 $2.5 \times 1/5 = 0.5$ 取值,与正常核算结果 $0.5 \times 12 = 6.0 \mu\text{Sv/h}$ 比较,取其中的较小值即 0.5 作为防护门外泄漏辐射剂量控制值。本次评价按照考虑,各屏蔽体外 30cm 的剂量率参考控制水平取 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 严格控制。

续表 11 环境影响分析

(4) TOMO 机房屏蔽效能核算

①计算公式

1) 屏蔽厚度与屏蔽透射因子的相应关系:

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \quad (\text{式 11-2})$$

$$X_e = TVL \cdot \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \quad (\text{式 11-3})$$

式中: B—辐射屏蔽透射因子;

TVL₁—辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度;

TVL—辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚度。

2) 泄漏辐射的屏蔽与剂量估算:

$$B = \frac{\dot{H}_c}{\dot{H}_0} \cdot \frac{R^2}{f} \quad (\text{公式 11-4})$$

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad (\text{公式 11-5})$$

式中: \dot{H}_c —参考点剂量率参考控制水平, $\mu\text{Sv/h}$;

\dot{H}_0 —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的常用最高剂量率, $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ (以 $\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{min}$ 为单位的值乘以 6×10^7)。本项目 TOMO 治疗剂量率为 $860\text{cGy}/\text{min}$, 则 1m 处剂量率为 $3.73 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ 。

R—辐射源点(靶点)至关注点的距离, m;

f—对有用束为 1; 对泄漏辐射为泄漏辐射比率, 取 0.001。

3) 加速器 ($\leq 10\text{MV}$) 机房的迷路散射辐射计算

机房入口处的散射辐射剂量率:

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \dot{H}_0 \quad (11-6)$$

式中: \dot{H}_g —入口处的散射辐射剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

α_{ph} —患者 400cm^2 面积上的散射因子;

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积, cm^2 ;

α_2 —砼墙入射的患者散射辐射(能量见附录 B 表 B.6)的散射因子;

续表 11 环境影响分析

A—散射面积, m^2 ;

R_1 、 R_2 —折射距离, m ;

\dot{H}_0 —加速器距靶处的常用最高剂量率, $\mu Sv \cdot m^2/h$ 。

防护门需要的屏蔽透射因子:

$$B = \frac{\dot{H}_c - \dot{H}_{og}}{\dot{H}_g} \quad (11-7)$$

式中: \dot{H}_{og} —入口处的漏射辐射剂量率, $\mu Sv/h$;

\dot{H}_c —参考点剂量率参考控制水平, $\mu Sv/h$;

\dot{H}_g —入口处的散射辐射剂量率, $\mu Sv/h$ 。

防护门外的辐射剂量率:

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-(X/TVL)} + \dot{H}_{og} \quad (11-8)$$

式中: \dot{H}_{og} —入口处的漏射辐射剂量率, $\mu Sv/h$;

\dot{H}_g —入口处的散射辐射剂量率, $\mu Sv/h$;

X—屏蔽厚度, cm ;

TVL—什值层, cm 。

②计算参数

TOMO 机房核算点位示意图见图 11-1、11-2。

续表 11 环境影响分析

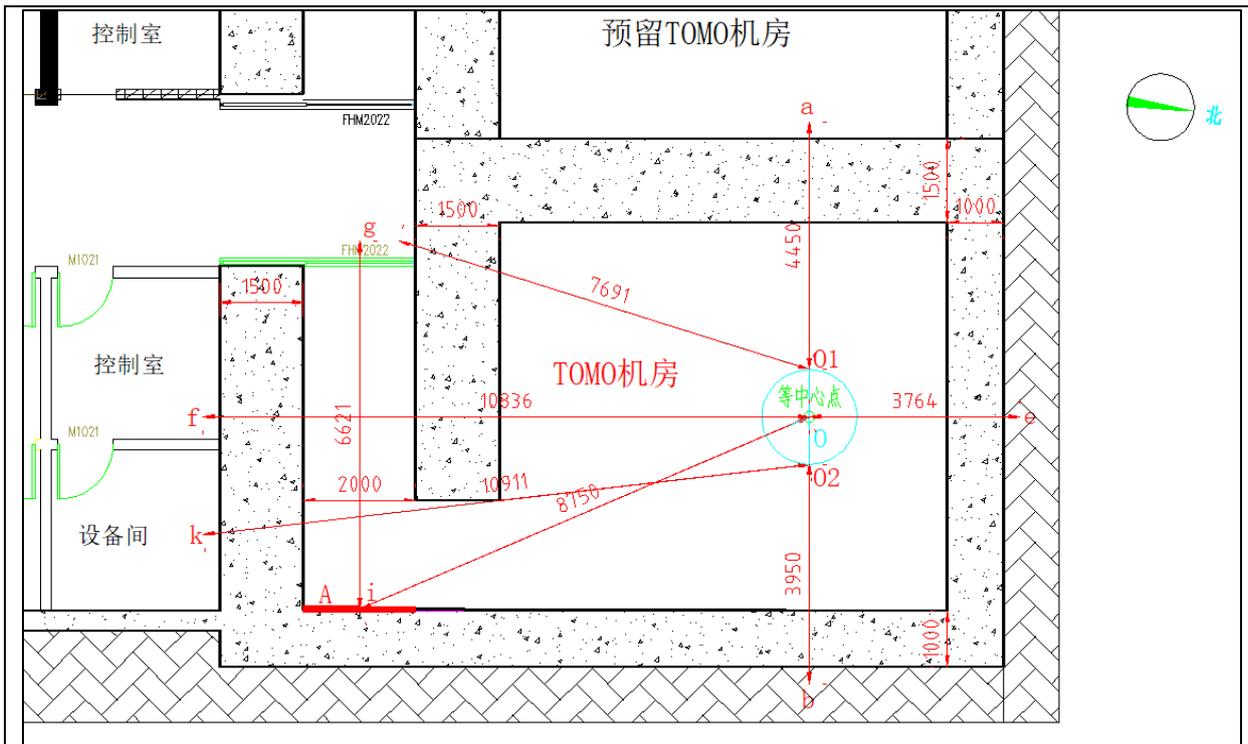


图 11-1 TOMO 机房平面参考点图

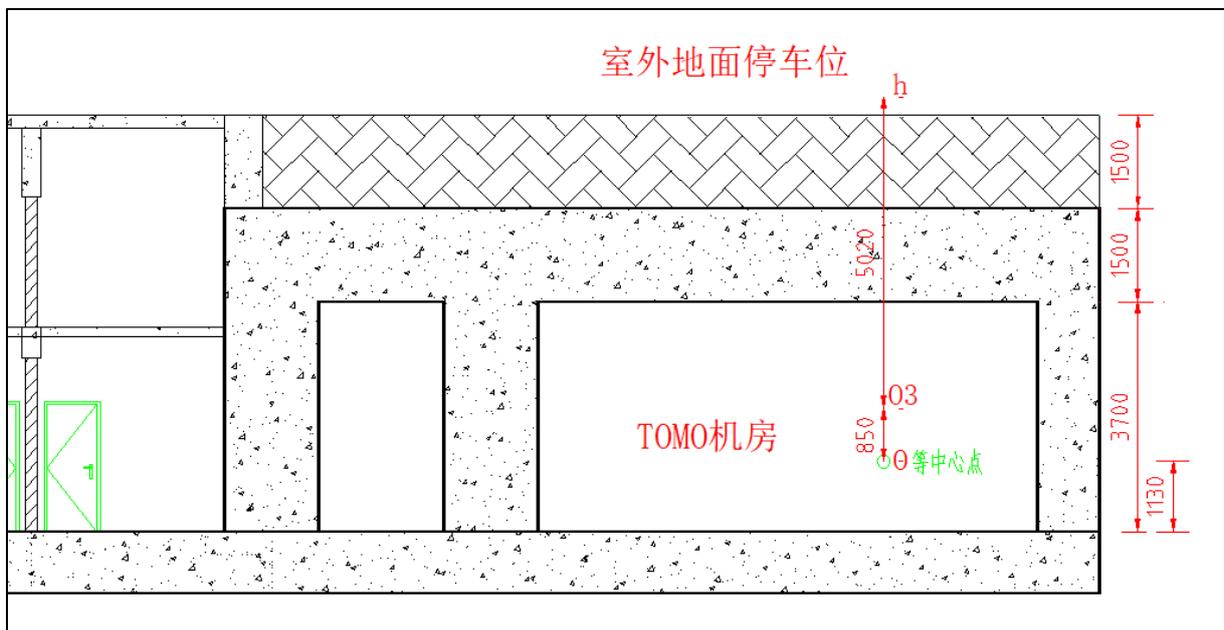


图 11-2 TOMO 机房剖面参考点图

TOMO 机房计算参数见表 11-3。

续表 11 环境影响分析

表 11-3 计算相关参数

参数	单位	取值	取值依据	
\dot{H}_o	$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$	3.73×10^8	最高剂量率, 860cGy/min	
f	/	0.001	漏射线束	
R	m	4.45 (O ₁ -a)	辐射源点到关注点的距离(西墙外 30cm), 图上量得 4.45m	
		3.95 (O ₂ -b)	辐射源点到关注点(东墙外 30cm), 图上量得 3.95m	
		3.76 (O-e)	等中心点到关注点(北墙外 30cm)的距离, 图上量得 3.76m	
		10.83 (O-f)	等中心点到关注点(南墙外 30cm)的距离, 图上量得 10.83m	
		10.91 (O ₂ -k)	辐射源点到关注点(迷路外墙 30cm)的距离与源轴距之和, 图上量得 10.91m	
		7.69 (O ₁ -g)	辐射源点到关注点(铅门外 30cm)的距离与源轴距之和, 图上量得 7.69m	
		5.02 (O ₃ -h)	辐射源点关注点(顶棚覆土之上 30cm)的距离与源轴距之和, 图上量得 5.02m	
		R ₁ =8.75 (O-i)	图上量得	
		R ₂ =6.62 (i-g)	测量距离	
混凝土	90°泄漏辐射 TVL1	cm	34	取自 GBZ/T201.2-2011 附录 B 表 B.1 查出
	90°泄漏辐射 TVL	cm	29	取自 GBZ/T201.2-2011 附录 B 表 B.1 查出
铅	散射 TVL	cm	0.5	取自 GBZ/T201.2-2011
F	cm ²	5×40	最大对称野面积	
α_{ph}	cm ²	1.39×10^{-3}	取自附录 B 表 B.2	
A	m ²	$2.0\times 3.7=7.4$	共同可视见面积	
α_2	/	6.4×10^{-3}	取自附录 B 表 B.6	

(4) TOMO 治疗室辐射防护核算结果

计算结果见表 11-4。

续表 11 环境影响分析

表 11-4 TOMO 机房屏蔽效能核算结果表

墙体名称		计算参数 (m)	设计厚度及其估算			
			设计屏蔽厚度 (cm)	瞬时剂量估算值 ($\mu\text{Sv/h}$)	\dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$)	是否满足标准要求
西墙	漏射 a 点	4.45 (O ₁ -a) H ₀ =3.73×10 ⁸ H _C =2.5 f=0.001	150	1.88×10 ⁻¹	2.5	是
东墙	漏射 b 点	3.95 (O ₂ -b) H ₀ =3.73×10 ⁸ H _C =2.5 f=0.001	100	1.27×10 ¹	2.5	否
北墙	漏射 e 点	3.76 (O ₃ -e) H ₀ =3.73×10 ⁸ H _C =2.5 f=0.001	100	1.40×10 ¹	2.5	否
南墙	漏射, 内墙无遮挡, 外墙遮挡 k 点	10.91 (O ₂ -k) H ₀ =3.73×10 ⁸ H _C =2.5 f=0.001	150	3.13×10 ⁻²	2.5	是
	漏射, 内墙+外墙遮挡 f 点	10.83 (O-f) H ₀ =3.73×10 ⁸ H _C =2.5 f=0.001	150+150	2.14×10 ⁻⁷	2.5	是
	漏射, 外墙无遮挡, 内墙遮挡 g 点	7.69 (O ₁ -g) H ₀ =3.73×10 ⁸ H _C =2.5 f=0.001	150	6.30×10 ⁻²	0.5*	是
顶棚	漏射 h 点	5.02 (O ₃ -h) H ₀ =3.73×10 ⁸ H _C =2.5 f=0.001	150	1.48×10 ⁻¹	2.5	是
防护门	散射 O ₁ -i 点 漏射 O ₁ -g 点	8.75 (R ₁ =O ₁ -i) 6.62 (R ₂ =i-g) A=7.4m ² H ₀ =5.16×10 ⁸ H _C =2.5 f=0.001	5.0mmPb	4.29×10 ⁻¹	2.5	是

备注: 混凝土密度 2.35g/cm³, 铅密度 11.3g/cm³。根据 GBZ/T201.2-2011 中 4.3.2.5.1b) 中要求, 迷道内墙按照穿过迷路内墙漏射剂量小于其 1/4, 取 0.5 $\mu\text{Sv/h}$ 进行控制。

根据上表计算可知, TOMO 机房西墙、南墙、顶棚、防护门外 30cm 处的周围剂量当量率均小于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$, 满足《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2021) 的要求。东墙、北墙外为岩土层, 本评价按照最不利情况估算所需土层的厚度, 估算结果见表 11-5。

表 11-5 泥土层估算厚度计算表

墙体名称		计算参数 (m)	\dot{H}_c	屏蔽厚度计算值	泥土层建议厚度
东墙	漏射 b 点	R=2.83 (O ₁ -b) + 土层厚度 H ₀ =5.16×10 ⁸ H _C =2.5 f=0.001	2.5 $\mu\text{Sv/h}$	100cm 混凝土 +44cm 泥土层	50cm 泥土层
北墙	漏射 e 点	R=3.25 (O ₃ -e) + 泥土层厚度 H ₀ =5.16×10 ⁸ H _C =2.5 f=0.001	2.5 $\mu\text{Sv/h}$	100cm 混凝土 +47cm 泥土层	50cm 泥土层

备注: 混凝土密度 2.35g/cm³, 泥土密度 1.30g/cm³。

结合上表计算结果, 要求 TOMO 机房东墙和北侧墙体在现有设计下 (100cm 混凝土), 需确保墙体外与机房齐高的 50cm 范围内岩土层不开挖。TOMO 机房北墙外为空

续表 11 环境影响分析

坝、东墙外为人行道及创业大道，基本不存在开挖利用的可能性。因此，本项目 TOMO 机房屏蔽体均能满足屏蔽防护的要求。

11.2.2 CT 模拟定位机机房屏蔽效能核算

本项目 CT 模拟定位机额定电压为 140kV，因《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）未给出管电压为 140kV 的 CT 的砖拟合参数，故本报告页岩砖的铅当量厚度通过混凝土的参数进行换算。根据《辐射防护导论》（方杰、李士骏）P88，实心页岩砖和混凝土的相当厚度可用密度进行换算，具体公式如下：

$$d_1 / d_2 = \rho_2 / \rho_1 \quad (\text{公式 11-9})$$

式中： d_1 、 d_2 —屏蔽材料 1 和屏蔽材料 2 的厚度，

ρ_1 、 ρ_2 —屏蔽材料 1 和屏蔽材料 2 的密度。

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

表 11-6 CT 模拟定位机机房屏蔽厚度核算对比表

机房名称	屏蔽防护体	屏蔽防护设计	折合铅当量	标准要求	评价结果
CT 模拟定位机机房	墙体	东墙: 300mm 实心页岩砖+2mmPb 当量硫酸钡防护涂料	4.4mmPb	2.5mmPb	满足要求
		西墙: 350mm 混凝土	4.6mmPb		满足要求
		北墙: 300mm 实心页岩砖+2mmPb 当量硫酸钡防护涂料	4.4mmPb		满足要求
		南墙: 300mm 实心页岩砖+2mmPb 当量硫酸钡防护涂料	4.4mmPb		满足要求
	顶棚	150mm 混凝土+2mmPb 当量硫酸钡防护涂料	3.6mmPb		满足要求
	防护门	3mmPb 铅板	3mmPb		满足要求
	观察窗	3mmPb 铅玻璃	3mmPb		满足要求

备注：页岩砖密度 1.65g/cm³；混凝土密度 2.35g/cm³。

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

11.2.3 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：

$$H_{E_T} = H_{(10)}^* \times t \times 10^{-3} \quad (\text{公式 11-10})$$

续表 11 环境影响分析

式中： H_{Er} ：X 或 γ 射线外照射人均年有效剂量，mSv；

$H^*_{(10)}$ ：X 或 γ 射线周围剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

t：X 或 γ 射线照射时间，h。

(1) TOMO

TOMO 机房外人员年有效剂量估算结果见表 11-7。

表 11-7 TOMO 机房外人员年有效剂量估算表

分类	周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年最大工作时间 (h)	居留因子	年有效剂量(mSv/a)
控制室放射工作人员	2.14×10^{-7}	458	1	<0.01
公众成员	候诊区	4.29×10^{-1}	1/20	0.01
	设备间	3.13×10^{-2}	1/40	<0.01
	顶棚之上停车位	1.48×10^{-1}	1/20	<0.01

根据表 11-7 可知，TOMO 机房技师及机房外公众成员受到的年有效剂量最大为 0.01mSv/a，小于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 和建设单位制定的放射工作人员年有效剂量管理目标 5.0mSv/a，公众成员 0.1mSv/a。

(2) CT 模拟定位机

CT 模拟定位机机房外人员年有效剂量估算结果见表 11-8。

表 11-8 CT 模拟定位机机房外人员年有效剂量估算表

分类	周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年最大工作时间 (h)	居留因子	年有效剂量(mSv/a)
控制室放射工作人员	<2.5	166.7	1	0.42
公众成员	候诊区	166.7	1/20	0.02
	顶棚之上停车位	166.7	1/20	0.02

根据表 11-8 可知，CT 模拟定位机机房技师受到的年有效剂量小于 0.42mSv/a，机房周围公众成员受到的年有效剂量最大为 0.02mSv/a，小于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 和建设单位制定的放射工作人员年有效剂量管理目标 5.0mSv/a，公众成员 0.1mSv/a。

续表 11 环境影响分析

11.2.4 “三废”影响分析

(1) 废气影响分析

X 射线、 γ 射线与空气作用，可以使气体分子或原子电离、激发，产生臭氧和氮氧化物。在保持通风换气的条件下，臭氧和氮氧化物浓度甚小，少量的有害气体直接与大气接触、不累积，很快被空气的对流而扩散，不会影响机房外大气环境质量。

TOMO 运行时产生的非放射性废气主要为臭氧、氮氧化物（主要为二氧化氮），根据工程分析，TOMO 机房臭氧产额为 2.68mg/h，氮氧化物产额为 1.34mg/h。根据建设单位提供的资料，风机排风量为 2000m³/h。

根据文献《辐射所致臭氧的估算与分析》（王时进等，中华放射医学与防护杂志，1994 年 4 月第 14 卷第 2 期），考虑 TOMO 机房运行时的连续排风和 O₃ 的分解，机房内空气中 O₃ 的平均浓度可由下式计算。

$$Q_{(t)} = \frac{Q_0 T}{V} (1 - e^{-t/T}) \quad (\text{公式 11-17})$$

式中：Q_(t)：t 时刻治疗室内 O₃ 的平均浓度，mg/m³；

Q₀：O₃ 的产生率，mg/h；

V：加速器治疗室体积（不含迷道），m³；

T：有效清除时间，h。

有效清除时间 T 可由下式计算。

$$T = \frac{t_v \cdot t_d}{t_v + t_d} \quad (\text{公式 11-21})$$

式中：t_v：换气一次所需要的时间，h；

t_d：O₃ 的有效分解时间，取 0.83h。

因本项目 TOMO 运行单次后，需要转移病人，给下一位病人准备等，不是连续出束，因此，本次核算考虑单次治疗（10min）产生的臭氧在设计通风情况下机房内的臭氧浓度。各参数的取值和 O₃ 浓度的计算结果见表 11-9。

表 11-9 TOMO 机房内 O₃ 浓度计算结果

治疗室	Q ₀ (mg/h)	V (m ³)	t _v (h)	t _d (h)	T (h)	t (h)	Q _(t) (mg/m ³)
-----	-----------------------	---------------------	--------------------	--------------------	-------	-------	---------------------------------------

续表 11 环境影响分析

TOMO 机房	2.68	207.2	0.10	0.83	0.089	0.16	9.6×10^{-4}
---------	------	-------	------	------	-------	------	----------------------

由计算结果可知，TOMO 机房臭氧最大浓度为 $9.6 \times 10^{-4} \text{mg/m}^3$ ，低于《工作场所有害因素职业接触限值-化学有害因素》（GBZ2.1-2019）中规定的臭氧浓度限值 0.3mg/m^3 ，也低于《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准中规定的臭氧 1 小时平均限值 0.2mg/m^3 。单次治疗时间很短，臭氧同氮氧化物一样未分解，因此单次治疗后氮氧化物平均浓度为 $4.8 \times 10^{-4} \text{mg/m}^3$ ，低于 GBZ2.1-2019 中规定的 5mg/m^3 ，也低于 GB3095-2012 二级标准中规定的二氧化氮 1 小时平均限值 0.2mg/m^3 。

此外，根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020），TOMO 机房通风换气次数应不小于 4 次/h，即能满足机房的通风换气要求。根据设计，TOMO 机房排风量约为 $2000 \text{m}^3/\text{h}$ ，机房体积(不含迷道)约 207.2m^3 ，通风换气次数大于 9 次/h，满足 GBZ121-2021 的要求。TOMO 机房废气排风管经负一层风机房排出室外，排放口位于门卫房旁市政绿化带，朝向东侧市政行道树排放。项目所在地主导风向为东北风，距离下风向最近的建筑物二郎街道办事处约 100m，排放后废气经大气扩散和分解后，浓度将进一步降低。因此，TOMO 产生的废气对周围环境影响小。

CT 模拟定位机运行时产生的臭氧和氮氧化物量极少，机房依托本层机械排风系统，保持机房内良好的通风，废气排放后废气经大气扩散和分解后，浓度将进一步降低。因此，CT 模拟定位机产生的废气对周围环境影响小。

(2) 废水

本项目治疗过程中本身不产生废水，且肿瘤中心不设置卫生间。医务人员及病人利用医院大楼卫生间，依托医院现有的废水处理设施处理达标后排入市政管网。

(3) 固废

项目产生的固体废物主要为医护人员和病人产生的少量医疗废物，依托医院医疗废物暂存间内暂存，交重庆同兴医疗废物处理有限公司处置。

11.3 产业政策符合性分析

根据《产业结构调整指导目录》（2019 年本）第一类 鼓励类中“六、核能 6、同位素、加速器及辐照应用技术开发”、“十三、医药 5、新型医用诊断设备和试剂、数字化医学影像设备，人工智能辅助医疗设备，**高端放射治疗设备**，电子内窥镜、手术机器人等高端外科设备，新型支架、假体等高端植入介入设备与材料及增材制造技术开发与

续表 11 环境影响分析

应用，危重病用生命支持设备，移动与远程诊疗设备，新型基因、蛋白和细胞诊断设备”。

本项目为高端放射治疗设备螺旋断层放射治疗系统的应用，属于产业结构鼓励类，符合国家产业政策。

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。

本项目 TOMO 在肿瘤治疗方面有其他技术无法替代的特点，对保障健康、拯救生命起到了重要的作用。项目营运以后，建设单位将为病人提供一个更加优越的诊疗环境，具有明显的社会效益。同时将提高医院的医疗技术以及服务水平，将吸引更多的就诊人员，保障病人健康，医院在为患者健康服务的同时也将创造更大的经济效益。项目拟采取的辐射安全与防护措施符合要求，对环境的影响也在可接受范围内。在项目营运过程中建设单位应掌握好适应症，正确合理地使用 TOMO 进行医疗照射。

因此，本项目 TOMO 的使用对受电离辐射照射的个人和社会所带来的利益远大于其引起的辐射危害，项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践的正当性”的原则与要求。

11.5 事故影响分析

11.5.1 辐射潜在风险事故类型

本项目主要污染因子为 X 射线，X 射线受开机和关机控制，关机时没有射线发出。因此，断电状态下较为安全。

本项目 TOMO 的安装、检修由设备销售厂家负责。建设单位只负责日常安全使用及管理。由于设备自身的屏蔽措施以及设备的固有安全联锁装置，设备在正常使用的情况下发生事故的极小，在意外情况下，可能发生的辐射事故主要包括：

（1）TOMO 机房门-机联锁装置失效造成误照射

因 TOMO 机房门机联锁装置失效，防护门尚未关闭到位 TOMO 即出束运行，致门外的公众成员受到误照射。

（2）人员滞留在机房内造成误照射

①放射工作人员为病人摆位时，控制室人员未确认摆位人员是否离开机房即出束治

续表 11 环境影响分析

疗，造成该摆位人员受到误照射。

②病人治疗前，工作人员、病人家属等进入机房后尚未全部撤离，仍有人滞留在机房内某个不易察觉的地方，控制室放射工作人员未发现即出束治疗，致机房内人员受到误照射。

(3) 医疗照射不正当化造成误照射

滥用射线装置对病员进行诊断、治疗，造成病员受到不必要的照射。

(4) 设备调试、维修时造成误照射

①调试阶段公众误入机房

在设备安装调试过程中，机房安全防护措施未完全到位或者运行，至无关人员进入机房，在设备开机出束过程中受到误照射。

②维修阶段人员误入受到误照射

TOMO 结构复杂，故障率较高，常见故障有机械故障（如多叶准直器故障、限位开关损坏）、电气故障（如自动稳频故障、剂量异常、电离室损坏、磁控管损坏、测距灯/光野灯损坏）和软件故障（如电脑死机、网络传输故障）。上述故障发生后由专业维修人员对设备进行维修，维修人员在维修 TOMO 时，TOMO 控制台钥匙由维修人员控制，机房防护门保持敞开且 TOMO 不能出束操作，维修完成后维修人员再关闭机房防护门进入控制室通过钥匙开机出束并检查。在此过程中若有人误入机房停留在监控死角未被维修人员发现而开机出束导致机房内误入人员受到误照射。

③调试、维修阶段维修人员受到误照射

TOMO 故障发生后由专业维修人员对设备进行维修、调试，维修人员在机房内维修、调试时，其他维修人员误开机，造成维修人员受到误照射。

(5) 未进行质量控制检测

TOMO 使用年久或更换部件和维、检修后，未进行质量控制检测，机器性能指标发生变化，有可能在诊疗过程中使患者可能受到较大剂量的照射。

11.6 事故影响分析

11.6.1 电离辐射引发的生物效应

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

续表 11 环境影响分析

相应的生化代谢紊乱，并由此产生一系列临床症状。这类效应存在阈值效应，分为确定性效应和随机性效应，在剂量超过一定的阈值时才能发生的是确定性效应，而随机性效应则不存在阈值。确定性效应定义为通常情况下存在剂量阈值的一种辐射效应，超过阈值时，剂量越高则效应的严重程度越大。同时不同个体不同组织和器官对射线照射的敏感度差异较大。在非正常情况下，急性大量辐射照射可以造成人或者生物的死亡。

成人全身受到不同照射剂量的损伤估计情况见表 11-10 所示。

表 11-10 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 0.25~0.5 0.5~1	/		不明显和不易察觉的病变 可恢复的机能变化，可能有血液学的变化 机能变化，血液变化，但不伴有临床症状
1~2 2~3.5 3.5~5.5 5.5~10	骨髓型 急性 放射病	轻度	乏力，不适，食欲减退
		中度	头昏，乏力，食欲减退，恶心，呕吐，白细胞短暂上升后下降
		重度	多次呕吐，可有腹泻，白细胞明显下降
		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。

根据《放射源同位素与射线装置安全和防护条例》，辐射事故从重到轻分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级，见表 11-11。

表 11-11 辐射事故等级分级一览表

事故等级	危害后果
特别重大辐射事故	I类、II类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果，或者放射性同位素和射线装置失控导致3人以上(含3人)急性死亡。
重大辐射事故	I类、II类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致2人以下(含2人)急性死亡或者10人以上(含10人)急性重度放射病、局部器官残疾。
较大辐射事故	III类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致9人以下(含9人)急性重度放射病、局部器官残疾
一般辐射事故	IV类、V类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射

根据《实用辐射安全手册》(第二版)(丛慧玲,北京:原子能出版社)急性放射病的发生率以及急性放射病的死亡率与辐射剂量的关系,见表 11-12。

表 11-12 急性放射病的发生率、死亡率与辐射剂量的关系

辐射剂量/Gy	急性放射病发生率/%	辐射剂量/Gy	死亡率/%
---------	------------	---------	-------

续表 11 环境影响分析

0.70	1	2.00	1
0.90	10	2.50	20
1.00	20	2.80	20
1.05	30	3.00	30
1.10	40	3.20	40
1.20	50	3.50	50
1.25	60	3.60	60
1.35	70	3.75	70
1.40	80	4.00	80
1.60	90	4.50	90
2.00	99	5.50	99

根据上述分析，项目运行产生的最大可信辐射事故主要是人员受到误照射，主要为 TOMO 机房门-机联锁装置失效时人员 TOMO 误入机房、工作人员或病人家属人员滞留在机房内不易察觉的位置受到误照射，以及设备调试、维修阶段公众误入加速器机房受到误照射。

11.6.2 辐射潜在事故剂量估算及事故等级

(1) 设备正常运行时误入受到误照射剂量核算

本项目 TOMO 在对病人开机治疗时，常用输出剂量率为 860cGy/min，单次照射时间不超过 10min。

门-机联锁装置失效时人员误入机房，或者工作人员、病人家属滞留在机房内不易察觉的位置时，其距离 TOMO 辐射源点距离按照 3m 考虑；工作人员为病人摆位时受到误照射时距离 TOMO 辐射源点较近，其距离 TOMO 辐射源点距离按照 1m 考虑。正常情况下，TOMO 出束治疗时，设备会发出出束警报，同时机房内设置有视频监控、固定式剂量率仪，工作人员或公众成员听到声响后可就近按下机房内急停按钮或者控制室放射工作人员发现后可按下紧急停止按钮，该反应时间考虑为 0.5min；非正常情况下，设备不发生出束警报，视频监控不显示，工作人员不能及时按下急停按钮，该受照时间考虑为单次治疗时间 10min。

根据上述条件，并根据本报告表 TOMO 的散射、漏射公式等，此种情况下人员受到的误照射剂量见下表 11-13。

表 11-13 事故状态下人员受到的剂量估算表

续表 11 环境影响分析

事故情况	射线类型	距离	照射时间 (min)	剂量 (Gy)
门-机联锁装置失效误入、工作人员或公众成员滞留在机房内不易察觉的角落是出束	散射漏射	3m	0.5	3.45E-04
			10	6.90E-03
工作人员在为患者摆位时 TOMO 误出束	散射漏射	1m	0.5	3.11E-03
			10	6.21E-02

(2) 调试、维修阶段误入受到误照射剂量核算

TOMO 调试、维修阶段, 输出剂量率最大为 860cGy/min, 开机照射时间不超过 1min。

TOMO 调试、维修阶段时人员误入机房在机房内不易察觉的位置, 其距离 TOMO 辐射源点较远, 维修状态(主射线丧失屏蔽)的误照射考虑主射方向和非主射方向的 1m; 正常情况下出束后公众成员听到出束警报声响后可就近按下机房内急停按钮或者从不易察觉的位置出来后控制室放射工作人员发现后立即按下紧急停止按钮, 该反应时间考虑为 0.5min 或更长。

按照射线的衰减理论(与距离的平方成反比), 则此种情况下, 误入人员的事故受照剂量估算如下表 11-14 所示。

表 11-14 维修事故状态下人员受到的剂量估算表

事故情况	射线类型	距离	照射时间 (min)	剂量 (Gy)
TOMO 调试、维修时人员误入	主射	1m	0.5	3.11
			1	6.21
	散射漏射	1m	0.5	3.11E-03
			1	6.21E-03

根据表 11-13 可知, 设备正常运行时人员受到误照射的事故情况下, 单次误入人员受到的剂量最大为 6.21×10^{-2} Gy (6.21×10^{-2} Sv), 超过公众成员年剂量管理目标限值, 属于一般辐射事故, 不会发生急性放射病, 但可能会导致随机性效应发生概率增加。

根据表 11-14 可知, 调试、维修阶段误入人员受到误照射的情况下, 单次误入人员在非主射方向上受到的剂量最大为 6.21×10^{-2} Gy, 超过公众成员的年剂量限值, 属于一般辐射事故; 在主射线方向受到的剂量最大为 6.21Gy, 可能会造成误照人员发生极重度放射性病, 出现多次呕吐, 腹泻, 休克, 白细胞急剧下降等症状, 严重者会造成死亡。设备维修、调试一般由设备厂家派 1~3 名专业人员进行维修。因此, 维修人员最多不会

续表 11 环境影响分析

超过 3 名。设备维修、调试时维修人员分布设备四周维修，故停留在主射方向上的维修人员一般不会超过 2 名，其受到最大剂量为 6.21Gy，导致死亡人数不会超过 2 个，最高辐射事故等级为重大辐射事故。

在设备维修、调试时，医院做好相应辅助工作，维修人员佩戴个人剂量报警仪，开机出束前项目用房区域外设置警示标示、警示带、安排安保人员警戒，先清理无关人员后再禁止无关人员进入项目用房区域，负责维修的设备厂家自身安保人员全部在外围巡视，保证除调试技术人员外，禁止无关人员进入 TOMO 机房和控制室。在采取以上措施的情况下，基本不存在人员误入机房和维修人员误照射的情况。因此，发生重大辐射事故的可能性极小。

11.6.3 事故防范措施

为减少辐射事故的发生，建设单位拟采取的防范措施如下：

①TOMO 门-机联锁装置失效风险防范措施

按照规范要求定期对各个联锁装置进行检查，发现故障及时清除，严禁在门-机联锁装置失效的情况下违规操作；通过 TOMO 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。

②人员滞留在机房内风险防范措施

开机出束运行前，按照操作规程清点人数工作人员和病人家属，并按程序通过监控系统对 TOMO 机房全视角搜寻；并用对讲机呼叫，提醒机房内滞留人员设备将启动出束，以便滞留人员快速反应（呼叫控制室工作人员或及时按下紧急停机按钮）。同时，经常检查监控系统，单个摄像头损坏要及时维修，保证监控系统能全视角无死角的监控机房和迷道。

③医疗照射不正当化产生辐射事故的风险防范措施

放射工作人员须加强专业知识学习，加强辐射防护知识培训，加强职业技能培训，增强责任感，严格遵守操作规程和规章制度；管理人员应强化管理，落实安全责任制，经常督促检查。

④TOMO 调试、维护维修时风险防范措施

调试阶段由设备方/辐射安全设施单位负责。调试前建设单位做好辅助工作，开机出束前项目用房区域外设置警示标示、警示带、安保人员等，先清理无关人员后禁止无关

续表 11 环境影响分析

人员进入项目用房区域，自身安保人员全部在外围巡视，保证除调试技术人员外，禁止无关人员进入 TOMO 机房和控制室。

医院在采购时应充分考虑生产企业的售后产品技术支持，提高产品可靠性，减少设备维修频率；在维护和维修时，佩戴个人剂量报警仪，TOMO 运行钥匙由设备维护维修人员掌控，避免其他人员误操作造成误照射；同时维修后开机出束试机前，按照操作规程通过监控系统对 TOMO 机房全视角搜寻；用对讲机呼叫，声灯报警警示，确保安全无人在机房后才能试机。

⑤未进行质量控制检测风险防范措施

建设单位按照规范要求做好设备稳定性检测和状态检测以及辐射防护与安全措施定期检查，使设备及各项辐射防护安全措施始终保持在有效状态下工作。

建设单位在认真落实上述措施后，能有效减少和杜绝辐射事故的发生，减少对周围环境和公众的影响。

11.7 环保投资估算

本项目环保投资估算共约 70 万，占总投资 7%，具体情况见表 11-15。

表 11-15 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	机房墙体建设（计入主体工程）、防护门安装	16
2	设置机械排风系统	10
3	急停开关、视频监控、对讲系统、联锁装置、警示标志、警示语、应急开门、红外线防挤压、工作状态指示灯等	30
4	个人剂量计、个人剂量报警仪、固定式剂量报警仪、智能化 X-γ 辐射仪、质检设备等	8
5	人员培训、监测、环评、验收、办证等	6
合计		70

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构及人员

12.1.1 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。

按照《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。

医院成立有辐射防护与安全管理领导小组，具体成员如下表 12-1 所示。

表 12-1 辐射防护与安全管理领导小组成员基本情况表

职务	姓名	性别	职务或职称	学历	工作部门	专职/兼职
组长	董**	男	总经理兼副院长，主任医师	研究生	医院领导班子成员	兼职
副组长	谢**	男	副总经理兼副院长	本科	医院领导班子成员	兼职
副组长	李**	男	副主任医师	研究生	核医学科	专职
成员	易**	男	副主任医师	本科	医务部	兼职
成员	王**	男	主治医师	本科	放射科负责人	专职
成员	蒲**	女	部门经理	本科	保障部	兼职

由上表可知，医院设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，小组成员均在岗，管理人员学历均为本科以上学历，符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求。

12.1.2 放射工作人员配置

本项目劳动定员共计 10 人，尚在招聘中，包括放疗医师、物理师、技师、工程师等。人员能力应满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规的要求。

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

表 12 辐射安全管理

考核有关事项的公告》（公告 2019 年第 57 号），辐射安全与防护培训需求的人员可通过我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。原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过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。

本项目营运前，各放射工作人员应取得辐射防护与安全培训合格证，建立健康体检档案，并配置个人剂量计后方可从事辐射工作。

12.2 辐射安全管理

12.2.1 规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条规定：使用放射性同位素、射线装置的单位申请领取许可证，应当具备下列条件：（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。

中核华友重庆医院为首次使用II类射线装置，医院已建立《辐射防护安全制度》，应根据本项目情况完善安全保卫制度，重点是TOMO的日常运行和维修时辐射安全管理。医院已经建立了《辐射安全和防护检测方案》，需要补充放疗设备新安装、大维修或更换重要部件后进行验收检测、TOMO定期进行稳定性检测内容、TOMO工作场所外辐射环境监测等内容，同时还应在《设备维修保养制度》中补充TOMO安全设施具体检查内容，确保安全设施正常使用。

操作规程：明确操作人员的资质条件要求、TOMO操作流程及操作过程中应采取的具体防护措施，重点是明确TOMO操作步骤以及出束过程中必须采取的辐射安全措施。

设备维修制度：明确TOMO的设备维修计划、维修的记录和在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，确保TOMO安全措施（急停按钮、门机联锁、警示标志、工作状态指示灯）、剂量报警仪等仪器设备保持良好工作状态。

人员岗位职责：明确物理师、技师、医师、工程师的岗位责任，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，并层层落实。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。

人员培训计划和健康管理制：明确培训对象、内容、周期、方式以及考核的办法等内容，并强调对培训档案的管理，做到有据可查。

表 12 辐射安全管理

在项目建成前，以上辐射环境管理要求应落实到位，组织科室人员培训学习，并张贴上墙。

12.2.2 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。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。

医院按照相关要求，建立了放射工作人员个人剂量档案，包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料，并且组织上岗后的放射工作人员定期进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不超过 2 年。

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考核合格后方可上岗，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。

12.2.3 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。

医院按照上述要求每年均提交了上一年度的年度评估报告，医院应依制度执行，继续于每年 1 月 31 日前均向原发证机关提交年度评估报告。年度评估报告应包括医用 X 射线装置台账、非密封放射性物质台账、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安全相关活动的全体工作人员的责任感，对于核技术利用项目核安全文化的建设要求建设单位树立并弘扬核安全文化。核安全文化表现在从事单位核技术利用工作的相关领导与员工及最高管理者具备核安全文化素养及基本的放射防护与安全知识。

医院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

表 12 辐射安全管理

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医院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医院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》第十六条的相关规定，医院从事的辐射活动能力评价如表 12-2。

表 12-2 从事本项目辐射活动能力评价

应具备的主要条件	落实情况
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。	成立了辐射防护与安全管理领导小组，并指定组长负责射线装置的安全和防护工作，专职人员为本科以上学历。
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，放射工作人员培训考核合格后方可上岗。
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。	拟购买的设备自带急停按钮，TOMO 机房内拟设置急停按钮，同时本项目拟设置门机联锁装置、工作状态指示灯、声光报警装置等，门口显眼位置设置电离辐射警示标识和警示语。
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。	医院拟为每名放射工作人员配备个人剂量计，配备 1 台个人剂量报警仪，1 台固定式剂量率仪。
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、射线置装使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。	医院已经建立了《辐射安全和防护检测方案》，需要补充“放疗设备新安装、大维修或更换重要部件后进行验收检测”及“TOMO 定期进行稳定性检测内容”等内容，同时还应在《设备维修保养制度》中补充 TOMO 安全设施具体检查内容，确保安全设施正常使用。建立人员岗位职责，待在本项目建成后，将相关制度在本项目工作场所张贴上墙。
有完善的辐射事故应急措施。	应完善应急预案，包括应急准备、典型辐射事故的处置措施，应急演练要求。

表 12 辐射安全管理

根据上表可知，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，针对本项目使用 TOMO 的辐射防护要求，完善相应管理制度，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 辐射环境监测及日常检查

12.5.1 工作场所环境监测

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。医院制定的工作场所监测方案尚不包括肿瘤中心，本环评提出以下监测要求。

(1) 工作场所监测

验收监测应委托有资质的单位进行；医院拟自行配备仪器进行日常监测，每年委托有资质单位进行工作场所的监测，发现问题及时整改，并将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。

验收监测内容见验收监测一览表（表 12-4），日常监测内容如下表所示。

表 12-3 项目日常监测内容一览表

监测地点	监测项目	日常监测频率		限值要求
CT 模拟定位机机房四周屏蔽体外 30cm 处、顶棚上方 1.0m 处，楼下地板上方 1.7m 处以及防护门外、门缝搭接、穿墙管线等屏蔽相对薄弱处等	周围剂量当量率	每年一次	涉及设备大修等应进行监测	≤2.5μSv/h
TOMO 机房屏蔽体外 30cm 处、防护门外、门缝搭接、穿墙管线等屏蔽相对薄弱处等（详见计算点示意图）			涉及设备大修等应进行监测	

(2) 个人剂量监测

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。

监测频率：常规监测周期一般为 1 个月，最长不应超过 3 个月测读一次个人剂量计；

表 12 辐射安全管理

如发现异常可加密监测频率。

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。

12.5.2 日常检查

日检查：TOMO常用安全设备应每天进行检查，发现异常情况时必须及时修复。常规日检查项目应包括以下内容：工作状态指示灯、安全联锁装置、个人剂量报警仪。

月检查：对TOMO安全设备或安全程序应每月定期进行检查，包括通风的有效性、急停按钮、固定式剂量率仪报警装置。

半年检查：对TOMO的安全状况每6个月定期由工程师检查，发现异常情况时必须及时采取改正措。

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》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，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。

医院目前已制定了放射安全事件应急预案，预案内容包括应急机构组织、应急准备与响应程序等内容，但应完善应急能力的培训、演练和应急响应能力的保持等内容，并定期进行演练。开展放射治疗活动的医疗机构应制定相应的辐射事故应急预案，做好辐射事故应急准备、应急演练和应急响应，确保有效防范辐射事故或缓解辐射事故的后果。

（1）事故报告程序

一旦发生辐射事故，放射工作人员立即停机，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、九龙坡区生态环境局和公安部门报告。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。

（2）辐射事故应急措施

发生辐射事故时，应立即切断设备电源或者就近按下急停按钮，迅速控制事故发展，消除事故源。之后还应做到：

①应尽可能记录现场有关情况，对工作人员和公众成员可能受到的事故照射剂量，可针对事故实际情况进行评估，并对工作人员和公众成员进行健康检查和跟踪，按照国家有关放射卫生防护标准和规范以及相关程序，评估事故对工作人员健康的影响。

表 12 辐射安全管理

②事故处理后必须组织有关人员进行讨论，分析事故发生的原因，从中吸取经验和教训，必须采取措施防止类似事故再次发生。

③医院后续还应进行辐射事故应急演练，并做好记录，加强相关人员的辐射应急处置能力，减少辐射事故扩大影响的几率。

④加强管理，做好事故预防措施，杜绝辐射事故的发生。

⑤医院应做好可能发生的事故应急准备，完善辐射事故应急预案，并根据已完善的应急预案定期开展应急演练。

12.7 竣工验收

根据《建设项目环境保护管理条例》，建设项目需要配套建设的环境保护设施需与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用。项目正式投产运行前，医院应进行自主竣工环保验收。

本项目竣工环境保护验收一览表见表 12-4。

表 12-4 项目环保设施竣工验收内容及管理要求一览表

序号	验收内容	验收要求		备注
1	环保资料	建设项目的环评评价文件、环评批复、有资质单位出具的验收监测报告		齐全
2	设备数量及机房	肿瘤中心负二层东北角 1 间 TOMO 机房，1 台 TOMO，1 间 CT 模拟定位机房，1 台 CT 模拟定位机。		/
3	环境管理制度	有专人负责，定期更新，制度上墙		有
4	人员要求	拟配与所开展放射诊疗工作相匹配的工作人员包括物理师、技师、医师等，参加培训考核合格后方可上证，5 年进行 1 次复训。		《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等
5	年有效剂量管理	放射工作人员年有效剂量管理目标值 5 mSv/a 公众成员年有效剂量管理目标值 0.1mSv/a		GB18871-2002 、HJ1198-2021 及医院管理要求
6	机房面积及尺寸要求	CT 模拟定位机房：面积≥30m ² ，单边长度≥4.5m		GBZ130-2020
7	通风	TOMO	TOMO 机房机房设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口设在机房下部，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；通风换气次数应不小于 4 次/h。	GBZ120-2020、HJ1198-2021
		CT 模拟定位机	CT 模拟定位机机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。	GBZ130-2020
8	剂量率控制	TOMO	TOMO 机房屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5μSv/h。	GBZ120-2020、HJ1198-2021

表 12 辐射安全管理

		CT 模拟定位机	CT 模拟定位机房外周围剂量当量率应不大于 2.5 μ Sv/h。	GBZ130-2020
9	辐射防护与安全措施	TOMO	①TOMO 机房的屏蔽能力能满足要求, 机房内各类穿墙管线应不削弱屏蔽防护能力, 机房屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率均不大于 2.5 μ Sv/h; ②机房内设置急停开关、固定式辐射剂量监测报警仪、紧急开门按钮、视频监控系统与对讲系统, 防护门外设置红外防挤压装置; ③TOMO 自带多重联锁装置, 如系统联锁、双剂量联锁, 并设置故障保护系统等, 并设置门机联锁; ④防护门外设置电离辐射警告标志、醒目的工作状态指示灯。	GBZ120-2020 HJ1198-2021
		CT 模拟定位机	①CT 模拟定位机房的屏蔽能力能满足要求, 机房外周围剂量当量率均不大于 2.5 μ Sv/h; ②机房内保持良好的通风, 防护门外设电离辐射标志, 并安设醒目的工作指示灯, 灯箱处设有警示语句; ③工作状态指示灯与机房防护门能有效联动	GBZ130-2020
10	辐射安全管理	有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、年度评估制度、辐射事故应急预案等。		档案管理规范
11	防护用品及监测仪器	每名放射工作人员均配置 1 枚个人剂量计, 根据工作场所配置适宜数量的个人剂量报警仪。		GBZ128-2019、 GBZ130-2020

表 13 结论及建议

13.1 项目概况

中核华友重庆医院管理有限公司拟开展重庆中核华友医院核特色医疗项目（二期 TOMO），建设内容包括在重庆中核华友医院综合大楼东侧地下区域肿瘤中心负二层预留 TOMO 机房配置一台 TOMO（6MV，II 类射线装置），在负二层预留 CT 模拟定位室配置 1 台 CT 模拟定位机（III 类射线装置）开展肿瘤治疗工作。

项目总投资约 1000 万元，其中环保投资约 70 万元。

13.2 实践正当性

本项目 TOMO 在肿瘤治疗方面有其他技术无法替代的特点，对保障健康、拯救生命起到了重要的作用。项目运行对受电离辐射照射的个人和社会所带来的利益远大于其引起的辐射危害，项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践的正当性”的原则与要求。

13.3 产策符合性

本项目属于《产业结构调整指导目录》（2019 年本）中的鼓励类，符合国家产业政策。

13.4 辐射环境质量现状

为了解本项目拟建地的辐射环境质量现状，重庆市泓天环境监测有限公司对项目所在位置的辐射环境水平现状进行了监测，项目建设位置及周围环境 γ 辐射剂量率的监测值为 49~68nGy/h（未扣除宇宙射线响应值），监测结果表明，项目所在地的环境地表 γ 辐射剂量无明显异常。

13.5 选址可行性及布局合理性

本项目 TOMO 机房、CT 模拟定位机机房选址于医院综合大楼东侧肿瘤中心内，肿瘤中心为独立地下二层建筑，TOMO 机房位于肿瘤中心东北角，机房周围为其辅助配套用房及预留的肿瘤中心其他放疗机房。控制室、设备间和机房（治疗室）分开设置，控制室设置在迷路外墙外，TOMO 机房北侧、东侧均为土层，顶棚距离地面有 150cm 厚覆土，之上为停车场。机房选址位于建筑物底层一端且尽量远离了公众密集活动的区域。TOMO 机房顶部靠近东侧布置 3 个新风口，顶部靠近北墙 3 个空调出风口，TOMO 设备正下方设置 1 个空调出风口。机房西墙距地面 0.3m 处设置 3 个排风口，送排风采用“上进下出”的方式，送风口与排风口位置对角设置保证机房内通风。CT 模拟定位

续表 13 结论及建议

机房位于负二层放疗机房斜对面，便于患者定位；CT 模拟定位机机房西侧、地下均为土层，机房外为走廊，便于病人家属等候和病人通行。且距离 TOMO 治疗机房距离近，方便定位后到 TOMO 机房内治疗。从辐射防护与环境保护角度，项目选址及平面布局合理。

13.6 辐射安全与防护分析结论

13.6.1 TOMO 拟采取的辐射防护与安全措施

(1) 本项目按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 要求进行了分区，将机房划分为控制区，控制室等机房相邻区域划分为监督区，分区较为合理。

(2) 拟购买的 TOMO 设备具有固有安全性，包括配置专用钥匙控制，使用计算机控制系统的加速器软件和硬件控制程序进行加密；具有独立的双道剂量监测系统；配置两个辐射探测器；配置有一个剂量率监测系统；递增式控制计时器，能与照射的启动和停止同步。采取多重防护与安全措施减少由于某个连锁失效或在某个连锁失效期间产生辐射。

(3) 项目 TOMO 机房使用面积(不含迷道)为 56.0m²；TOMO 机房设置有直迷路，机房四周墙体、顶棚辐射屏蔽防护材料主要为混凝土(混凝土密度不小于 2.35g/cm³，下同)。东墙(之外为土层)为 1000mm 混凝土，西墙为 1500mm 混凝土，北墙(之外为土层)为 1000mm 混凝土，南墙迷路内墙为 1500mm 混凝土，迷路外墙为 1500mm 混凝土，顶棚为 1500mm 混凝土，防护门为 5mmPb 当量铅门。电缆沟在机房东角采用“U”型穿入机房内，电缆沟内包括强弱电线及设备充气铜管。新风、空调、排风管在设备间东北角的 4 根 PVC 管均采用“U”型穿入机房底板至机房西北角及设备旁露出。TOMO 机房设置 1 个防护门，防护门的生产和安装均交由专业的厂家负责，防护门与墙体的重叠长度不小于其缝隙的 10 倍，以保证防护门搭接处的屏蔽能力。经核算，TOMO 机房的屏蔽能力能满足相应标准要求。

(4) 排风：TOMO 机房内采用机械通风，采用“上进风，下出风”的布置方式，拟在 TOMO 机房顶部靠近东侧布置 3 个新风口，在机房西墙距地面 0.3m 处设置 3 个排风口，送风口与排风口位置对角设置，风机风量为 2000m³/h，通风换气约 9 次/小时，排风管经负一层排风机房顶部排出朝向东侧市政行道树。项目 TOMO 机房内通风换气次数满足《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020) 的要求。

续表 13 结论及建议

(5) 机房拟设置门机联锁、系统联锁、双剂量联锁等；机房四周墙体和迷道内、操作室、设备机架外壳等设置多个急停按钮，设置监控系统，能全方位监控治疗室和迷道；设置对讲系统，方便治疗室内和操作室内人员之间的沟通；TOMO机房内设施固定式剂量报警装置，实时测量治疗室内的剂量，并有报警功能；防护门上方设置醒目的工作状态指示灯，与设备运行状态联锁，并设置中文说明；防护门上设置电离辐射警示标识；防护门内外设置开门按钮，并设置手动开门装置；防护门处设置红外线防挤压装置。

(6) 医院拟配置个人剂量报警仪等监测仪器，并拟配置设备质量检测仪器，保证设备、放射工作人员、公众成员的安全。

13.6.2 CT 模拟定位机拟采取的辐射防护与安全措施

(1) CT 模拟定位机机房西墙为 350mm 混凝土，东墙、南墙、北墙为 300mm 实心页岩砖+2mmPb 当量硫酸钡防护涂料，顶棚为 150mm 混凝土+2mmPb 当量硫酸钡防护涂料，防护门、铅窗为 3mmPb，能满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 表 3 的要求。

(2) CT 模拟定位机机房在建设时保证施工质量，穿越防护墙的管线不影响墙体的屏蔽防护效果。防护门、观察窗的生产、安装由专业厂家承担。

(3) CT 模拟定位机机房防护门外拟设置醒目的工作状态指示灯，工作状态指示灯和机房门联动。

(4) 机房门拟张贴电离辐射警示标志，每名放射工作人员均配置 1 枚个人剂量计，根据工作场所需要配置适宜数量的防护用品。

13.7 环境影响分析结论

(1) 辐射环境影响分析

经核算，项目 TOMO 机房西墙、南墙、顶棚、防护门外 30cm 处的周围剂量当量率均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，满足《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2021) 的要求。机房东墙和北侧墙体在现有设计下 (100cm 混凝土)，需确保墙体外与机房齐高的 50cm 范围内岩土层不开挖。TOMO 机房北墙外为空坝、东墙外为人行道及创业大道，基本不存在开挖利用的可能性。本项目 CT 模拟定位机机房屏蔽体的屏蔽能力均能满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 的要求。

经估算，放射工作人员、公众成员的年附加有效剂量均低于本环评的剂量管理限值

续表 13 结论及建议

（工放射作人员 5mSv/a，公众成员 0.25mSv/a），满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及相关标准的要求。项目运行后，项目对周围环境保护目标的影响基本与辐射背景水平相当，不会对周围环境保护目标带来不利影响，能为环境所接受。

（2）废气

TOMO 机房通风换气次数约为 9 次/h，满足 GBZ121-2021 的要求。TOMO 机房废气排风管经负一层风机房排出室外，排放口位于门卫房旁花台内，朝向东侧市政行道树排放。项目所在地主导风向为东北风，排放后废气经大气扩散和分解后，浓度将进一步降低。因此，TOMO 产生的废气对周围环境影响小。

CT 模拟定位机运行时产生的臭氧和氮氧化物量极少，机房依托本层机械排风系统，保持机房内良好的通风，废气排放后废气经大气扩散和分解后，浓度将进一步降低。因此，CT 模拟定位机产生的废气对周围环境影响小。

（3）废水

本项目治疗过程中本身不产生废水，且肿瘤中心不设置卫生间。医务人员及病人利用医院大楼卫生间，依托医院现有的废水处理设施处理达标后排入市政管网。

（4）固废

项目产生的固体废物主要为医护人员和病人产生的少量医疗废物，依托医院医疗废物暂存间内暂存，交重庆同兴医疗废物处理有限公司处置。铅防护用品在使用一定年限后屏蔽能力减弱，不能达到原有使用功能后成为报废铅防护用品，交由出售方回收处置。

13.8 辐射与环境保护管理

中核华友重庆医院管理有限公司成立有辐射防护与安全管理领导小组，辐射事故（事件）应急预案、辐射管理人员和辐射工作人员岗位职责、辐射安全和防护制度等制度，本项目实施依托医院现有的管理体系，应在本项目建设完成后运营前，针对本项目使用 TOMO 的辐射防护要求，进一步补充、完善本环评提出的防护措施和管理制度后，能满足辐射环境管理要求。

综上所述，重庆中核华友医院核特色医疗项目（二期 TOMO）符合国家产业政策，符合辐射防护“实践的正当性”要求，项目选址可行，平面布局合理。在完善相应的辐射

续表 13 结论及建议

安全防护措施和管理措施后，项目环境风险可防可控，能够实现辐射防护安全目标及污染物的达标排放。因此，从环境保护的角度来看，该项目的建设是可行的。

