

# 核技术利用建设项目

## 重庆大学附属三峡医院 TOMO 建设项目

### 环境影响报告表

建设单位：重庆大学附属三峡医院

编制单位：重庆宏伟环保工程有限公司

编制时间：2023 年 2 月

生态环境部监制



打印编号: 1676006500000

## 编制单位和编制人员情况表

项目编号	29ba6s		
建设项目名称	重庆大学附属三峡医院TOMO建设项目		
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		
<b>一、建设单位情况</b>			
单位名称 (盖章)	重庆大学附属三峡医院		
统一社会信用代码	1250010145174667XB		
法定代表人 (签章)	张先祥		
主要负责人 (签字)	刘强		
直接负责的主管人员 (签字)	刘强		
<b>二、编制单位情况</b>			
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		
<b>三、编制人员情况</b>			
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
肖英	07355543507550272	BH001035	
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	

**表 1 项目基本情况**

建设项目名称		重庆大学附属三峡医院TOMO建设项目			
建设单位		重庆大学附属三峡医院			
法人代表	张先祥	联系人	许云华	联系电话	58*****57
注册地址		重庆市万州区新城路 165 号			
项目建设地点		万州区新城路 165 号医院总院肿瘤中心 1F			
立项审批部门		重庆市万州区发展和改革委员会	批准文号	2212-500101-04-01-826976	
建设项目总投资 (万元)	4000	项目环保投资 (万元)	40	投资比例 (环保投资/总投资)	1%
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input checked="" type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他		占地面积 (m <sup>2</sup> )	220
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 type="checkbox"/> III类		
	其他	无			
	<b>1.1 建设单位概况</b>				
<p>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。</p> <p>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 m<sup>2</sup>，业务用房面积 13 万 m<sup>2</sup>，包括外科大楼、肿瘤中心、惠恩楼、急救大楼、行政办公楼、</p>					

## 续表1 项目基本情况

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

为健全医院肿瘤中心的治疗手段，提高医院肿瘤治疗水平，重庆大学附属三峡医院拟在总院肿瘤中心 1F 建设重庆大学附属三峡医院 TOMO 建设项目。项目主要是拟将肿瘤中心 1F 原有直线加速器二室（已取消行政许可）、控制室、生活间改建为 TOMO 机房及其辅助配套用房，并配置 1 台螺旋断层放射治疗系统（6MV，以下简称“TOMO”），开展肿瘤放射治疗工作。

根据《关于发布〈射线装置分类〉的公告》（环境保护部、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），本项目涉及的 TOMO 属于 II 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》以及《建设项目环境保护管理条例》，该项目的建设应进行环境影响评价。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版）中的“五十五 核与辐射 172 核技术利用建设项目”可知，使用 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。因此，本项目环境影响评价报告文件形式为编制环境影响报告表。

为执行环评影响评价制度，了解项目建设对周围环境的影响情况，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重庆大学附属三峡医院 TOMO 建设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，编制完成了该项目的环境影响报告表。

### 1.3 肿瘤中心现状概况

肿瘤中心总楼层为 6 层，1F 主要为治疗机房，2F~6F 主要为病房。根据现场调查和医院提供资料，肿瘤中心 1F 主要布置有 3 个直线加速器机房（一室、二室、三室）、1 个后装机房、1 个 CT 模拟定位机机房以及相关配套辅助用房，并配置了 2 台 10MV 加速器（一室、三室内）、1 台后装机、1 台 CT 模拟定位机开展肿瘤治疗工作。目前直线加速器二室为空置，其余各机房正常运营。肿瘤中心现有放射工作人员 24 人，上一年

**续表1 项目基本情况**

度个人剂量为 0.41mSv/a~0.85mSv/a，远低于医院的管理目标值 5mSv/a。两台加速器年工作 250d，每周 5d，每天共治疗 80 人，年共治疗 20000 人，设备有效实际平均出束时间约 2min，两台加速器年有效开机时间为 666.6h。后装机全年治疗约 750 人次，每例病人治疗的出源时间约 8min，则后装机年工作时间不超过 100h；每例病患在后装治疗室安装和拆除施源管时间约 4min，年总时间为 50h。肿瘤中心配置的 CT 模拟定位仅供医用电子直线加速器、后装机治疗前的肿瘤定位。患者每个治疗疗程开始前均需进行 CT 模拟定位，则 CT 模拟定位机年接待约 2100 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 70h。

**1.4 项目建设内容及规模**

**1.4.1 项目建设内容及规模**

- (1) 项目名称：重庆大学附属三峡医院 TOMO 建设项目
- (2) 建设地点：万州区新城路 165 号医院总院肿瘤中心 1F
- (3) 建设性质：改建
- (4) 建设单位：重庆大学附属三峡医院
- (5) 建设规模：拟将肿瘤中心 1F 南侧原直线加速器二室、控制室、生活间改建为 TOMO 机房及其辅助配套用房，并配置一台 TOMO（6MV，II 类射线装置）开展肿瘤治疗工作，本项目建筑面积约 130m<sup>2</sup>。
- (6) 项目投资：总投资约 4000 万元，其中环保投资约 40 万元。
- (7) 施工期：3 个月。

**1.4.2 项目组成**

项目组成情况见下表 1-1。

**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 1F 南侧原直线加速器二室改建。机房有效尺寸为（长×宽×高）7.62m×6.32m×3.2m（不含迷路），有效使用面积约 48.16m <sup>2</sup> 。	依托原直线加速器二室进行改造装修
	设备	TOMO 机房配备 1 台 TOMO，设备型号：TOMO-H 型，X 射线能量：6MV，X 射线剂量率≤850cGy/min，CT 成像能量 3.5MV，CT 成像剂量率≤45cGy/min，II 类射线装置。	拟购
辅助工程	辅助用房	TOMO 机房北侧布置有控制室（面积约 16.3m <sup>2</sup> ），北侧、东侧有服务器房间、变频器房间、空压机房等设备间（面积约 13.5m <sup>2</sup> ）。	依托原控制室、生活间进行改造装修

续表1 项目基本情况

		依托现有放疗科现有治疗辅助用房，包括物理计划室和办公室等，与现有加速器和后装机共用。	依托
	定位设备	依托肿瘤中心 1F 南侧已有的 1 台 CT 模拟定位机用于本项目定位	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；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，设置有新风口、排风口，采用“上进下出”，送排风口对角布置。 TOMO 机房排风风量约 1000m <sup>3</sup> /h，通风换气次数约 4.6 次/h。	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北侧污水处理站（处理能力为 1200m <sup>3</sup> /d），处理达 GB18466-2005 预处理排放标准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，暂存于医院东南侧医疗垃圾暂存间，面积为 60m <sup>2</sup> ，交有资质的单位处理。 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。	依托
	废气	TOMO 机房废气引至 TOMO 机房东侧室外高出地面 8m 排放，排放口朝向南侧西山公园。	新建
	辐射防护	TOMO 机房采用混凝土、铅防护门进行辐射屏蔽防护，保证屏蔽体外周围剂量当量率满足标准限值要求。	依托，机房在原直线加速器二室现有土建基础上改造；防护铅门依托现有防护门，重新建立连锁等安全措施。
其他	辐射环境管理	医院已经建立了辐射防护管理机构，设置了专人管理辐射环境，制定了相应的管理制度和应急预案，拟完善管理制度。	依托

### 1.5 辐射防护方案设计

本项目辐射防护设计方案见表1-2。

续表1 项目基本情况

名称	房间尺寸	现有建筑情况		变化情况	本次防护方案
TOMO 机房	机房有效尺寸为 (长×宽×高) 7.62m×6.32m×3.2m (不含迷路), 有效使用面积约 48.16m <sup>2</sup> 。	东墙	主屏蔽墙: 2300mm 混凝土 与主屏蔽墙相连的次屏蔽墙: 1500mm 混凝土 主屏蔽墙带宽: 5000mm (外凸)	不变	依托现有墙体
		西墙	主屏蔽墙: 2100mm 混凝土 与主屏蔽墙相连的次屏蔽墙: 1300mm 混凝土 主屏蔽墙带宽: 5000mm (外凸)	不变	依托现有墙体
		北墙	迷路内墙: 710mm (长 2.9m) ~1060mm (长 2.51m) 混凝土 迷路外墙: 720mm (长 1.5m) ~1020mm (长 2.45m) ~1240mm (长 0.94m) ~1620mm (长 1.21m) 混凝土	迷路内墙增加 200mm (长 2.51m) ~550mm (长 0.4m) 混凝土; 迷路外墙不变	迷路内墙: 710mm (长 2.5m) ~1260mm (长 2.91m) 混凝土; 迷路外墙依托现有
		南墙	1500mm 混凝土	不变	依托现有墙体
		顶棚	主屏蔽墙: 2390mm 混凝土 与主屏蔽墙相连的次屏蔽墙: 1650mm 混凝土 主屏蔽墙带宽: 5050mm (外凸) 迷道顶部: 510mm 混凝土	不变	依托现有墙体
		防护门	12mmPb	不变	依托现有防护门

备注: ①机房尺寸不含迷路。  
②混凝土密度 2.35g/cm<sup>3</sup>, 铅密度 11.3g/cm<sup>3</sup>。  
③迷路内墙外墙异型处考虑最大厚度, 统一计量长度。

1.6 配套设施、设备

本项目 TOMO 配套设置的设施设备情况见表 1-3 所示。

表 1-3 TOMO 主要配套设施设备一览表

序号	名称	数量	位置	用途
1	TOMO (TOMO-H 型)	1 台	TOMO 机房及辅助用房内	肿瘤治疗 (II 类射线装置 (治疗模式 6MV, CT 模式 3.5MV))
	新型全数字化机架系统	1 套		肿瘤治疗, 包括机架冷却系统、固定靶双能直线加速器系统、叶光栅系统、三维影像引导系统、新型集团服务器及数据管理、运算以及剂量优化系统等 11 个系统
	高性能病人治疗床	1 套		摆位
	系统供电配给单元	1 套		提供断层放疗系统组件、电子电路所需的各种电源, 同时可隔离外部电源电路
	激光定位系统	1 套		定位, 包括代表虚拟等中心的静态绿激光灯, 可移动式红激光灯 (用于病人摆位) 固定激光灯 2 个, 可移动激光灯 5 个。

续表1 项目基本情况

	数据管理系统	1套		存储了运行治疗系统的数据以及治疗患者的数据。它还存储了患者的计划信息（CT图像、轮廓线、剂量体积和计划）。数据服务器连接着优化服务器、计划工作站、操作工作站和治疗投照系统。
2	摄像头	4个	TOMO 机房	监控机房内情况
3	医用组合式 恒温恒湿净化机组	1套		机房通风换气
4	智能化 X-γ辐射仪	1台	控制室	辐射监测，依托现有设备
5	放疗剂量仪	1台	TOMO 机房	设备性能检测，依托现有设备
6	放疗剂量标准水箱	1个		
7	固定式剂量报警仪	1台		辐射监测，拟购
8	个人剂量报警仪	2个	放射工 作人员	剂量报警，拟购
9	个人剂量计	8个		个人剂量监测，依托现有设备

### 1.7 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 8 名放射工作人员，主要包括放疗医师、物理师、技师等，项目工作人员均为肿瘤科内部调配，不新增医院总的劳动定员。本项目工作人员也需同时完成肿瘤中心的其他放疗工作。

放射工作人员年工作 250 天，8 小时工作制。

根据建设单位提供资料，预计 TOMO 每年治疗约 2500 人次，年有效开机时间约为 250h。本项目依托的 CT 模拟定位机，年接待新增约 250 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新增不超过 8.33h。

### 1.8 项目外环境概况

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肿瘤中心 1F。

整个肿瘤中心为 1F~6F 独立建筑，地下无建筑，其中主体建筑为 6F，TOMO 机房、直线加速器一室和直线加速器三室为 1F，与主体建筑连通。肿瘤中心北侧约 10m 为急救大楼，南侧紧邻为西山公园，西侧紧邻为医院营养餐厅，西侧约 15m 为居民楼，西北侧约 50m 为天然气公司办公楼，东侧紧邻为外科大楼。

本项目所在楼外环境关系见表 1-4。



## 续表1 项目基本情况

表 1-4 本项目所在楼外环境关系表

序号	名称	方向	与项目最近距离	高差 (m)	基本情况
1	急救大楼	北	约 10m	0m	医院用房, 8-12F, 用作门诊和病房
2	营养餐厅	西	紧邻	+1m	医院用房, 4F
3	外科大楼	东	紧邻	0m	医院用房, 10F, 用作住院病房
4	居民楼	西	约 15m	+1m	居住小区, 8-12F, 项目涉及 3 栋居民楼
5	天然气公司	西北	约 50m	+1m	办公楼, 7F
6	西山公园	南	紧邻	-10m	市政公园

备注：高差表示其地面一层与项目所在楼地面一层的关系。

项目周边保护目标主要为医院从事本项目放射治疗的放射工作人员以及周围活动的公众成员。

### 1.9 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 机房选址于肿瘤中心底层 1F，属于医院用房，原功能为肿瘤中心直线加速器治疗室，与肿瘤中心现有直线加速器机房等放射治疗用房集中布置在同一层，方便共用物理计划室等辅助用房。TOMO 机房位于肿瘤中心底层 1F 南侧一角，机房周围为其辅助配套用房，地下和顶棚均无建筑，远离医院儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，工作区域相对独立。项目拟依托的 CT 模拟定位机与 TOMO 机房位于同一层，且距离很近，约 5m，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大厅直接到达本项目区域，区域环境相对较安全。因此，项目 TOMO 机房选址可行。

### 1.10 项目建设背景

#### 1.10.1 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。本项目涉及的肿瘤中心于 1998 年建成并投入运营，早于 2003 年，未办理环评手续，其纳入医院排污许可管理。

## 续表1 项目基本情况

### 1.10.2 与项目有关辐射环境问题

经现场调查和咨询，医院于2022年5月9日重新申领了《辐射安全许可证》：渝环（辐）证00309号（有效期至2027年5月8日，见附件3），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，47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1-5，医院核素使用情况见表1-6。

表 1-5 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、口腔X射线机等普通医用X射线装置	III类	44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 <sup>68</sup> Ge	V类放射源	1枚

表 1-6 医院非密封放射性药物使用情况一览表

序号	核素名称	理化性质	实际日等效最大操作量 (Bq)	实际年最大用量 (Bq)	许可日等效最大操作量 (Bq)	许可年最大用量 (Bq)	工作场所	备注
1	<sup>89</sup> Sr	液态	1.48×10 <sup>7</sup>	8.07×10 <sup>8</sup>	2.96×10 <sup>7</sup>	3.25×10 <sup>10</sup>	外科大楼1楼核医学科	日常使用
2	<sup>153</sup> Sm	液态	/	/	1.85×10 <sup>8</sup>	6.66×10 <sup>9</sup>	外科大楼1楼核医学科	已上证，未使用
3	<sup>32</sup> P	固态	1.85×10 <sup>7</sup>	2.05×10 <sup>9</sup>	3.70×10 <sup>8</sup>	6.66×10 <sup>9</sup>	外科大楼1楼核医学科	日常使用

续表1 项目基本情况

4	$^{125}\text{I}$	液态	/	/	$1.48 \times 10^5$	$3.70 \times 10^8$	外科大楼 1 楼核医学科	已上证, 未使用
5	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	液态	$1.85 \times 10^7$	$8.88 \times 10^{11}$	$2.59 \times 10^7$	$3.28 \times 10^{12}$	外科大楼 1 楼核医学科	日常使用
6	$^{125}\text{I}$ 粒籽	固态	$1.85 \times 10^6$	$5.62 \times 10^9$	$6.66 \times 10^6$	$1.036 \times 10^{12}$	外科大楼 1 楼核医学科	日常使用
7	$^{131}\text{I}$	液态	$1.85 \times 10^8$	$7.69 \times 10^{11}$	$1.85 \times 10^9$	$1.41 \times 10^{12}$	外科大楼 1 楼核医学科	日常使用
8	$^{18}\text{F}$	液态	$7.4 \times 10^7$	$9.99 \times 10^{11}$	$1.11 \times 10^7$	$2.664 \times 10^{12}$	急救大楼 1 楼 PET/CT 中心	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。医院放射性药物实际使用量小于许可量, 许可量考虑了医院今后发展的需要。

经现场调查, 重庆大学附属三峡医院放射工作人员配备齐全, 现有放射工作人员 389 人, 均建立了个人剂量档案和职业健康档案, 医院所有放射工作人员均佩戴了个人剂量计, 每 3 个月将个人剂量计交有资质单位进行检测, 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  $0.05\text{mSv/a} \sim 0.85\text{mSv/a}$ , 远低于医院的管理目标值  $5\text{mSv/a}$ , 医院未发生放射工作人员的年剂量超标情况。医院所有放射工作人员均进行了职业健康体检, 并 2 年内进行复检。目前在岗放射工作人员均无体检异常, 无疑似职业病人员。放射工作人员均进行了辐射工作安全防护培训, 并通过了考核。医院委托有资质单位对运行的射线装置机房、移动式射线装置、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, 屏蔽体外周围剂量当量率均小于  $2.5\mu\text{Sv/h}$ , 各机房和各工作场所屏蔽能力满足要求, 移动式射线装置辐射防护措施满足辐射安全要求。医院现有辐射设备完整且能正常运行。医院成立有辐射环境管理机构, 制定了相应的管理制度和应急预案, 并张贴上墙。

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

### 1.10.3 本项目拟改建机房现状和原有污染问题

本项目用房原为直线加速器二室, 现改用作 TOMO 机房, 功能均为开展放射性治疗。原直线加速器二室的设备、装修、电路管线、通风、安全联系统等均已全部拆除清理, 该机房目前为空置状态, 原有设备已下辐射安全许可证。

根据现场监测, 拟建址的环境  $\gamma$  辐射剂量率与重庆市的地表  $\gamma$  辐射剂量率无明显差

续表1 项目基本情况

异。因此，拟建址不存在与本项目有关的环境污染情况和环境问题。

1.10.4 本项目与医院整体的依托可行性分析

本项目与医院依托可行性分析见表 1-7。

表 1-7 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
主体工程	建筑主体依托	项目用房已建成，用房原为直线加速器二室，主体工程采取一次性现浇，能够保证施工质量。仅对迷路内墙进行改造，增加迷路内墙厚度，本次施工时保证施工质量。机房的穿墙管线等已有开孔，不需要再开孔，不影响机房的屏蔽能力。	可行
辅助工程	CT 模拟定位机、物理计划室等辅助用房	医院肿瘤中心 1F 已配置了 2 台直线加速器和 1 台后装机开展肿瘤工作，其配套的 CT 模拟定位机、物理计划室等辅助用房已正常运作。CT 模拟定位机和物理计划室等辅助用房均位于肿瘤中心 1F，均可通过内部通道直达，距离较近。另外根据后文计算，本次 CT 模拟定位机新增工作负荷后，放射工作人员的个人剂量也能满足标准要求。因此，本项目依托可行。	可行
公用工程	供电、供水	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	废水排放	TOMO 治疗过程不产生污废水，病人及家属利用医院肿瘤中心卫生间。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 1200m <sup>3</sup> /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。	本项目劳动定员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。
	固废处理	医院建设有医疗废物暂存间，建筑面积约 60m <sup>2</sup> ，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。 医院设置了移动式生活垃圾箱，生活垃圾交环卫部门处理。	
劳动定员	放射工作人员	项目劳动定员 8 人，从医院总劳动定员中调配，即现有放射工作人员调配到本项目从事相应放射工作。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	医院已经建立了辐射防护管理机构，设置了专人管理辐射环境，制定了相应的管理制度和应急预案，现有的辐射环境管理机构和管理制度适当完善后可依托。	可行

**续表1 项目基本情况**

根据表1-7可知，本项目纳入医院肿瘤中心管理，依托医院现有主体结构、给排水及供配电工程、污水处理站、医疗废物收运系统等可行。

**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	TOMO-H	电子	治疗模式 X 射线: 6MV CT 模式 X 射线: 3.5MV	X 射线≤850cGy/min	肿瘤治疗	肿瘤中心 1F 的 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
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
本项目不产生和排放放射性废弃物								

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<sup>3</sup>；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<sup>3</sup>）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》，2022年11月1日施行修订版；</p> <p>(14) 《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) 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021），2021年12月1日实施；</p> <p>(5) 《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）；</p> <p>(6) 《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>(7) 《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>(8) 《医用电子直线加速器质量控制检测规范》（WS674-2020）；</p> <p>(9) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）；</p> <p>(10) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）；</p> <p>(11) 《职业性外照射急性放射病诊断》（GBZ104-2017）；</p> <p>(12) 《环境<math>\gamma</math>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> <p>(18) 《螺旋断层治疗装置质量控制检测规范》（WS531-2017）。</p>

续表 6 评价依据

其他	<p>(1) 项目环境影响评价委托书，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) 《辐射安全许可证》，支撑性材料附件 3；</p> <p>(4) 项目辐射环境本底监测报告，支撑性材料附件 4；</p> <p>(5) 医院现有辐射环境管理制度，支撑性材料附件 5；</p> <p>(6) 《辐射防护手册》（第三分册）；</p> <p>(7) 《辐射防护导论》；</p> <p>(8) 《实用辐射安全手册》（第二版）（丛慧玲，北京：原子能出版社）；</p> <p>(9) 《辐射所致臭氧的估算与分析》（王时进等）；</p> <p>(10) 《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> <p>(11) 医院提供的防护设计方案、通风图等其他资料。</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，确定以该项目 TOMO 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**

本项目位于医院肿瘤中心 1F 南侧，结合项目所在位置可知，TOMO 机房北面紧邻为等待区、TOMO 控制室、服务器房间、配电间，之外是 大厅、后装病人准备室、设备室、等候区、三室控制室、三室设备间、直线加速器三室、后装控制室、废源暂存室、后装机房等，之外为急救大楼；南面紧邻为直线加速器一室，之外为西山公园；西面紧邻为加速器一室控制室和过道，之外是医院营养餐厅和居民楼；东北面紧邻为空压机房、变频器房间；东北侧为外科大楼；东面紧邻室外平台，之外为休息室、CT 控制室、会议室、CT 模拟定位机房、办公室、物理计划室、更衣室等；地下和顶棚均无建筑。

本项目周围环境及现场照片见附图3。本次评价的TOMO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	保护目标	方位	与机房边界最近距离 (m)	高差 (m)	环境特征	影响人群	影响因素
1	肿瘤中心	项目所在楼 2~6F	/	/	肿瘤中心住院病房, 约 100 人	公众成员	电离辐射
2	等待区、TOMO 控制室、服务器房间、配电间	北	紧邻	平层	项目配套用房, 约 5 人	放射工作人员 公众成员	
	大厅、后装病人准备室、设备室、等候区		约 4m	平层	项目所在肿瘤中心用房, 约 20 人	公众成员	
	三室控制室、后装控制室		约 15m	平层	项目所在肿瘤中心用房, 约 4 人	放射工作人员	
	三室设备间、废源暂存室、直线加速器三室、后装机房		约 18m	平层	项目所在肿瘤中心用房, 约 1 人	公众成员	
3	西山公园	南	约 10m	-10m	市政公园, 约 50 人	公众成员	
4	一室控制室和过道	西	紧邻	平层	项目所在肿瘤中心用房, 约 20 人	放射工作人员 公众成员	
5	变频器房间、空压机房	东北	紧邻	平层	项目配套用房, 约 1 人	公众成员	
6	室外平台	东	紧邻	平层	室外平台 (一般无人到达)	公众成员	
	休息室、CT 控制室、会议室、CT 模拟定位机		约 1m	平层	项目所在肿瘤中心用房, 约 10 人	放射工作人员、公众成员	
	办公室、物理计划室、更衣室		约 13m	平层	项目所在肿瘤中心用房, 约 5 人	公众成员	
7	急救大楼	北	约 30m	0	医院用房, 8-12F, 用作门诊和病房, 约 200 人	公众成员	
8	营养餐厅	西	约 5m	+1m	医院用房, 4F	公众成员	
9	外科大楼	东北	约 35m	0	医院用房, 10F, 用作住院病房, 约 200 人	公众成员	
10	居民楼	西	约 35m	+1m	居住小区, 8-12F, 项目涉及的 3 栋居民楼共约 120 户	公众成员	

备注: “+”表示低于本项目机房地面的距离, “-”表示低于本项目机房地面的距离。

续表 7 保护目标与评价标准

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

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) 《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)

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

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

b) 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

6 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： $\dot{H}_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$ 。

续表 7 保护目标与评价标准

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

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

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

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  $30 \text{ cm}$  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)。

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  $4 \text{ 次/h}$ , 排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。

### (3) 《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  $4 \text{ 次/h}$ 。

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

#### 4 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  $10^{-2}$ 。

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。

### (5) 《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》

续表 7 保护目标与评价标准

(GBZ/T 201.2-2011)

附录 A.2.1 单一辐射

a) 有用线束

有用线束在关注点的周剂量参考控制水平为  $H_c$  时, 该关注点的导出剂量率参考控制水平  $\dot{H}_{c,d}$  ( $\mu\text{Sv/h}$ ) 见式 (A.2):

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (U \cdot t \cdot T) \quad (\text{A.2})$$

式中:  $H_c$ —周参考剂量控制水平 ( $\mu\text{Sv/周}$ ), 见 4.2.1 的 a);

$t$ —治疗装置周治疗照射时间, h;

$U$ —有用线束向关注点位置的方向照射的使用因子;

$T$ —人员在相应关注点驻留的居留因子。

b) 单一泄漏辐射

泄漏辐射在关注点的周剂量参考控制水平为  $H_c$  时, 该关注点的导出剂量率参考控制水平  $\dot{H}_{c,d}$  ( $\mu\text{Sv/h}$ ) 见式 (A.3):

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (N \cdot t \cdot T) \quad (\text{A.3})$$

式中:  $H_c$ —周参考剂量控制水平 ( $\mu\text{Sv/周}$ ), 见 4.2.1 的 a);

$N$ —调强治疗时用于泄漏辐射的调强因子,  $N=1$ 。

$t$ —治疗装置周治疗照射时间, h;

$T$ —人员在相应关注点驻留的居留因子。

A.2.2 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 A.2.1b) 的 (A.3) 式中的  $H_c$  以  $0.5H_c$  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。



续表 7 保护目标与评价标准

**(6) 医疗废物**

医疗废物属于危险废物，按国家危险废物名录分为医疗废物（HW01，废物代码 841-001-01~841-005-01）和废药物、药品（HW03，废物代码 900-002-03），按《医疗废物管理条例》和《重庆市人民政府关于进一步加强医疗废物管理的通告》（渝府发[2007]71号）要求进行收集处置；其贮存按《医疗废物集中处置技术规范（试行）》（环发[2003]206号）、《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2001）执行。

**(7) 《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。

**(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**

**1) 年剂量约束值**

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 B 要求，放射工作人员连续 5 年的年平均有效剂量不超过  $20\text{mSv}$ ，公众成员年平均剂量有效剂量不超过  $1\text{mSv}$ 。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  $0.1\text{mSv}/\text{a}\sim 0.3\text{mSv}/\text{a}$ ）。根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）要求：一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过  $5\text{mSv}/\text{a}$ ；公众照射的剂量约束值不超过  $0.1\text{mSv}/\text{a}$ 。

因此，建设单位根据以上相关要求，将按照“职业照射的有效剂量约束值不超过  $5\text{mSv}/\text{a}$ ，公众照射的有效剂量约束值不超过  $0.1\text{mSv}/\text{a}$ ”执行。

**2) TOMO 机房屏蔽体外控制水平核算**

上述标准中《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）、《放射治疗机房的辐

续表 7 保护目标与评价标准

射屏蔽规范第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）均对TOMO机房屏蔽体外周围剂量当量率参考控制水平有规定，本评价按照其相关要求保守计算，TOMO机房的屏蔽体外周围剂量当量率控制水平核算如下：

①居留因子

根据 HJ1198-2021 附录 A，不同场所的居留因子选取如表 7-2 所示。

表 7-2 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 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 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: 仅有行人车辆来往的户外区域、无人看管的停车场、车辆自动卸货/卸客区域、楼梯、无人看管的电梯

备注：后文相应计算中的居留因子参照本表取值，后文不再提及。

②TOMO机房屏蔽体外周围剂量当量率控制水平核算

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 模式下平均每人出束时间 5min/次，则周最大治疗时间为 4.17h。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(根据 GBZ/T 201.2-2011 中 D.2.2)。

TOMO机房屏蔽体外周围剂量当量率控制水平核算结果见表7-3。

表 7-3 剂量率参考控制水平核算表 单位：μSv/h

治疗室名称	屏蔽体外关注点		$H_c$ (μSv/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	室外过道	5	泄漏辐射	1/5	1	10	6	2.5
	西墙	控制室	100	泄漏辐射	1	1	2.5	24	2.5
		过道	5	泄漏辐射	1/5	1	10	6	2.5
	北墙	控制室	100	泄漏辐射	1	1	2.5	24	2.5
		配电间	5	泄漏辐射	1/20	1	10	24	2.5
	南墙	加速器机房	5	泄漏辐射	1/2	1	10	2.4	2.4

续表 7 保护目标与评价标准

	顶棚	无人到达	5	泄漏辐射	1/40	1	10	48	2.5	
	防护门	候诊区	5	泄漏辐射	1/8	1	10	0.5*	5.5	2.5
				散射辐射				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 $4.8 \mu\text{Sv/h}$ 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。

根据上表核算，TOMO 机房屏蔽体外周围剂量当量率参考控制水平南墙按照核算值 $2.4 \mu\text{Sv/h}$ 控制，其余屏蔽体外统一按照 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 进行控制。

### 3) 项目剂量限值与污染物排放指标

本评价根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）等标准以及医院确定的个人剂量约束值，确定本项目的评价标准见表 7-4 所示。

**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	机房南墙外表面 30cm 处周围剂量当量率控制目标值为 $2.4 \mu\text{Sv/h}$ ，其余墙体、顶棚、防护门外 30cm 处周围剂量当量率不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。		根据 GBZ/T201 HJ1198-2021 GBZ121-2020 核算后综合取值
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 HJ1198-2021
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		医疗废物管理条例

## 表 8 环境质量和辐射现状

### 8.1 项目地理和场所位置

重庆大学附属三峡医院总院位于重庆市万州区新城路 165 号，本项目位于总院肿瘤中心 1F 南侧。

项目地理位置图见附图 1 所示，项目场所位置见附图 2 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于 2023 年 1 月 11 日对本项目拟建址的环境 $\gamma$ 辐射剂量率进行了监测，监测报告编号为：渝泓环（监）[2023]021 号。

#### 8.2.1 监测因子

环境 $\gamma$ 辐射剂量率。

#### 8.2.2 监测方案

##### （1）监测方法和依据

监测方法和依据见表 8-1。

表 8-1 监测方法和依据

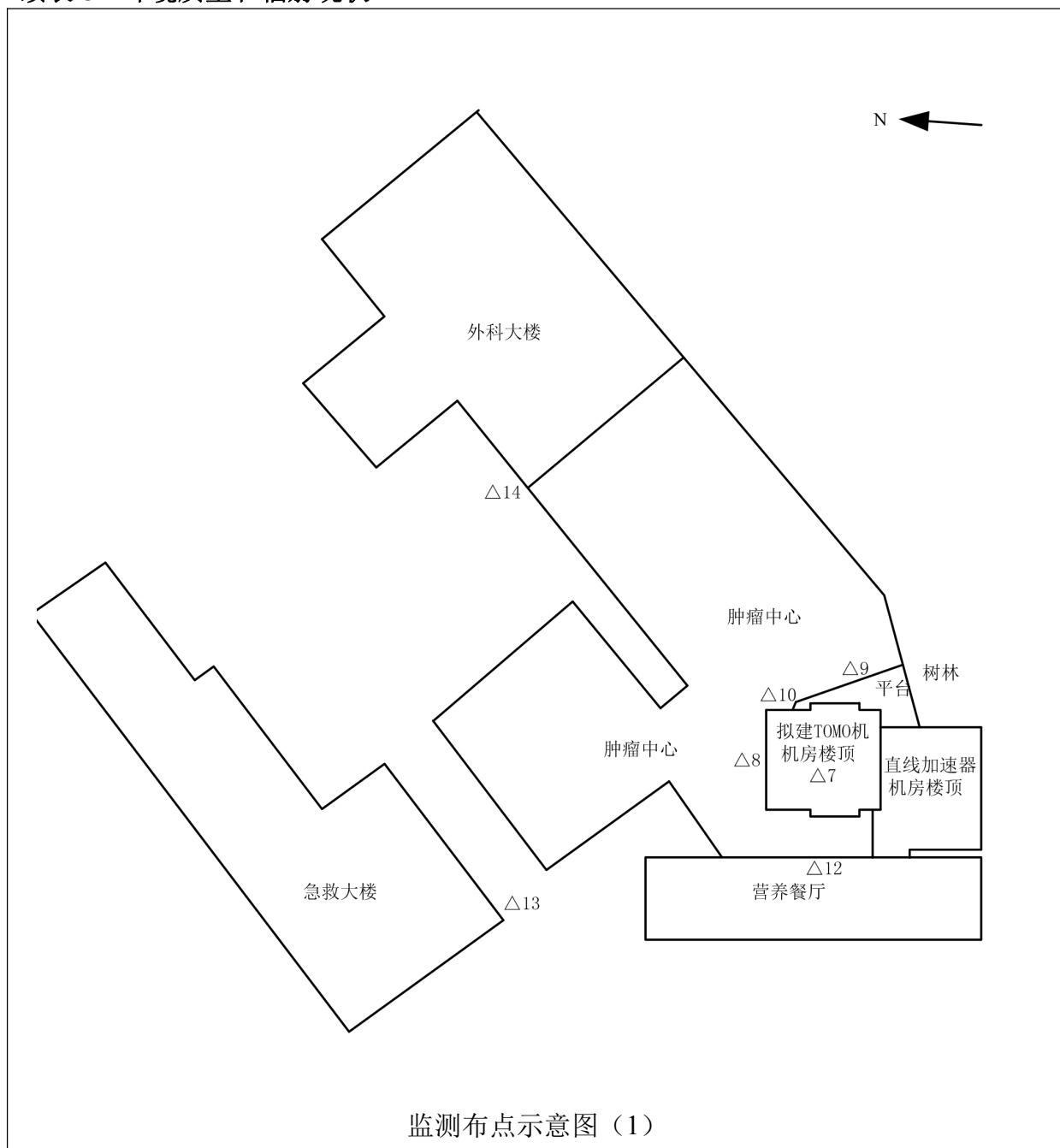
监测项目	监测方法	监测依据
环境 $\gamma$ 辐射剂量率	仪器法	《环境 $\gamma$ 辐射剂量率测定规范》（HJ1157-2021）

##### （2）监测点位选取

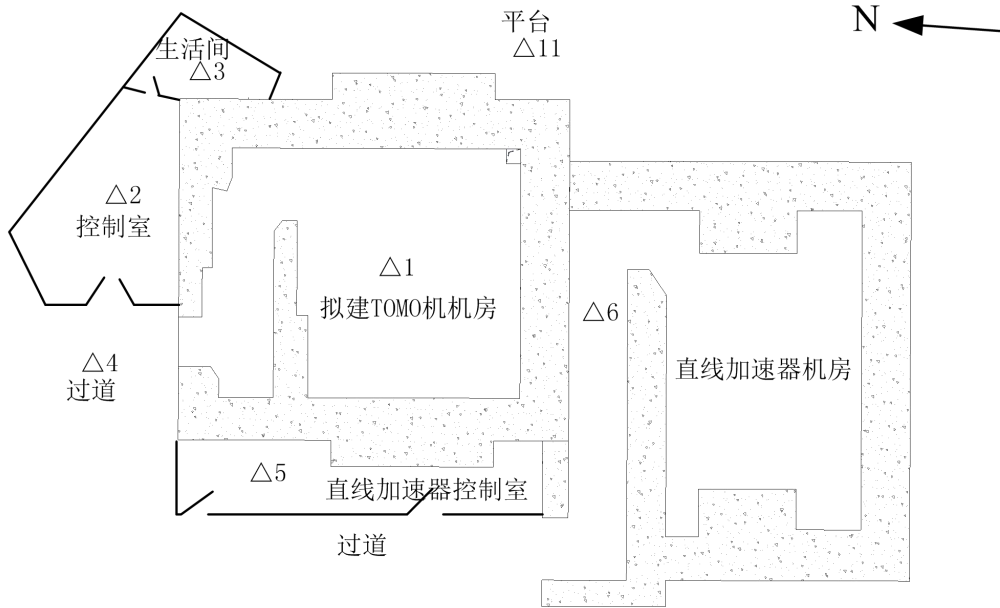
监测布点合理性分析：根据现场调查，项目拟建址目前为空置的机房，本次共布设 14 个监测点，监测点位于本项目机房及机房周围人员可以到达的位置，这些监测点布置涉及到本项目拟建址和周围环境保护目标，能够反映本项目所在地的辐射环境背景水平，监测布点合理。

监测点位布点示意图见图 8-1，监测点位情况如表 8-3 所示。

续表 8 环境质量和辐射现状



续表 8 环境质量和辐射现状



监测布点示意图 (2)

备注：△为环境γ辐射剂量率监测点位，监测高度距地面1.0m。

图 8-1 监测布点图

### (3) 测定方式

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

### 8.2.3 质量保证措施

#### (1) 监测仪器

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

表 8-2 监测仪器及检定情况

仪器名称	型号	仪器编号	计量检定证书编号	有效期至	测量范围	校准因子
环境级χ、γ辐射巡检仪	RGM5200	1222203004005	Y2022-0108775	2023.11.13	0.01μSv/h~15mSv/h	0.95

## 续表 8 环境质量和辐射现状

### (2) 监测人员及报告审核制度

监测单位具备所监测项目的资质；合理布设监测点位；监测方法采用国家有关部门颁布的标准；监测人员经过培训后上岗，监测仪器每年送剂量部门检定合格后在有效期内使用；每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常；监测时由专业人员按操作规程操作仪器，获取足够的数量，并做好记录；监测报告严格实行三级审核制度，经过校验、审核、审定，最后由授权签字人签发。

### 8.2.4 监测结果

监测结果统计见表 8-3。

表 8-3 项目所在区域辐射环境监测结果统计

监测点位	点位描述	环境 $\gamma$ 辐射剂量率 (nGy/h)
$\Delta 1$	拟建 TOMO 机机房所在地	93
$\Delta 2$	TOMO 机机房西北侧控制室	98
$\Delta 3$	TOMO 机机房东北侧生活间	99
$\Delta 4$	TOMO 机机房西北侧过道	101
$\Delta 5$	TOMO 机机房西侧直线加速器控制室	90
$\Delta 6$	TOMO 机机房南侧直线加速器机房	86
$\Delta 7$	TOMO 机机房楼顶	86
$\Delta 8$	TOMO 机机房西北侧 2 楼护士站	86
$\Delta 9$	TOMO 机机房东北侧 2 楼阳台	89
$\Delta 10$	TOMO 机机房 2 楼东北侧办公室	76
$\Delta 11$	TOMO 机机房东南侧平台	86
$\Delta 12$	TOMO 机机房西侧营养餐厅 2 楼库房一	78
$\Delta 13$	TOMO 机机房西北侧急救大楼旁	83
$\Delta 14$	TOMO 机机房东北侧外科大楼旁	84

根据监测统计结果可知，本项目拟建位置及周围环境 $\gamma$ 辐射剂量率的监测值在 76nGy/h~101nGy/h 之间（未扣除宇宙射线的响应值）。根据《二〇二一年重庆市生态环境状况公报》（重庆市生态环境局），2021 年重庆市多个点位的环境地表伽玛空气吸收剂量率平均值为 94.0nGy/h（未扣除宇宙射线的响应值）。项目所在地的环境 $\gamma$ 辐射剂量率监测值在正常涨落范围内，拟建项目所在地环境的辐射环境质量现状良好。

## 表9 项目工程分析与源项

### 9.1 施工期

本项目施工期主要是依托现有建筑主体进行改造和重新布局，装修工程量小，施工期短，其工艺流程及产污环节见图 9-1。

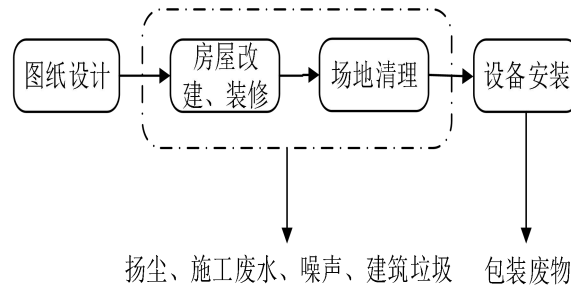


图 9-1 项目施工期工艺流程及产污环节图

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：主要为项目用房改造、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：主要为改造、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。



续表 9 项目工程分析与源项

TOMO 的结构组成见图 9-2 至 9-5。

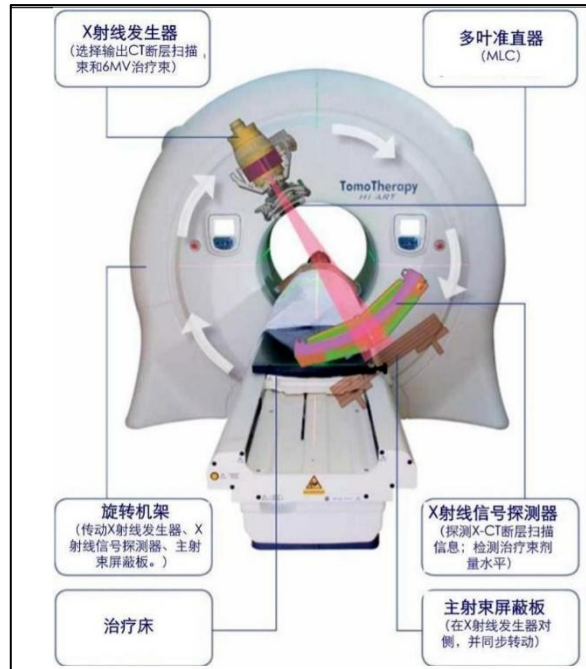


图 9-2 TOMO 结构组成图

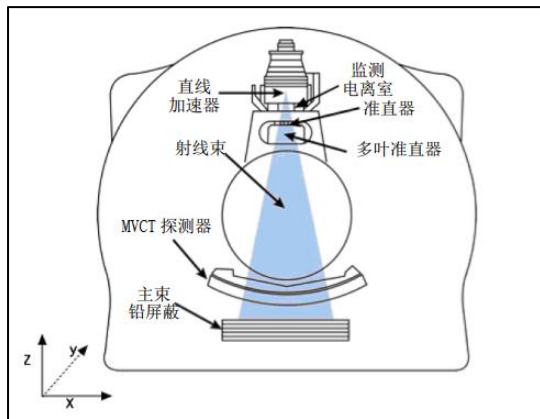


图 9-3 TOMO 主体部件结构图

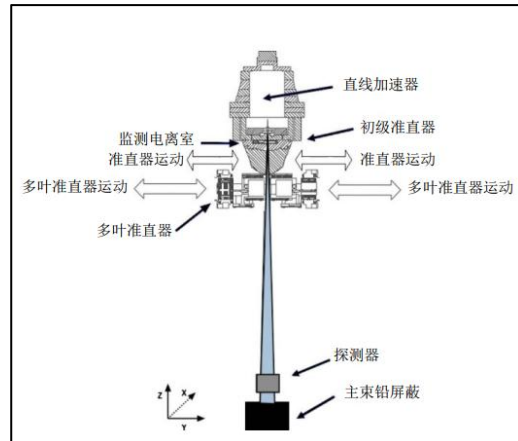


图 9-4 TOMO 束流准直部件侧面图

续表 9 项目工程分析与源项



图 9-5 TOMO (示例图)

### (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。

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	850cGy/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	112.4cm
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
主射束屏蔽板铅厚度	12.5cm

### (3) 工作原理和工作方式

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。TOMO 的 CT 成像和治疗采用同一射线源，在放疗时可在两种模式之间切

续表 9 项目工程分析与源项

换，但是不能同时使用。

#### (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 9-6 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

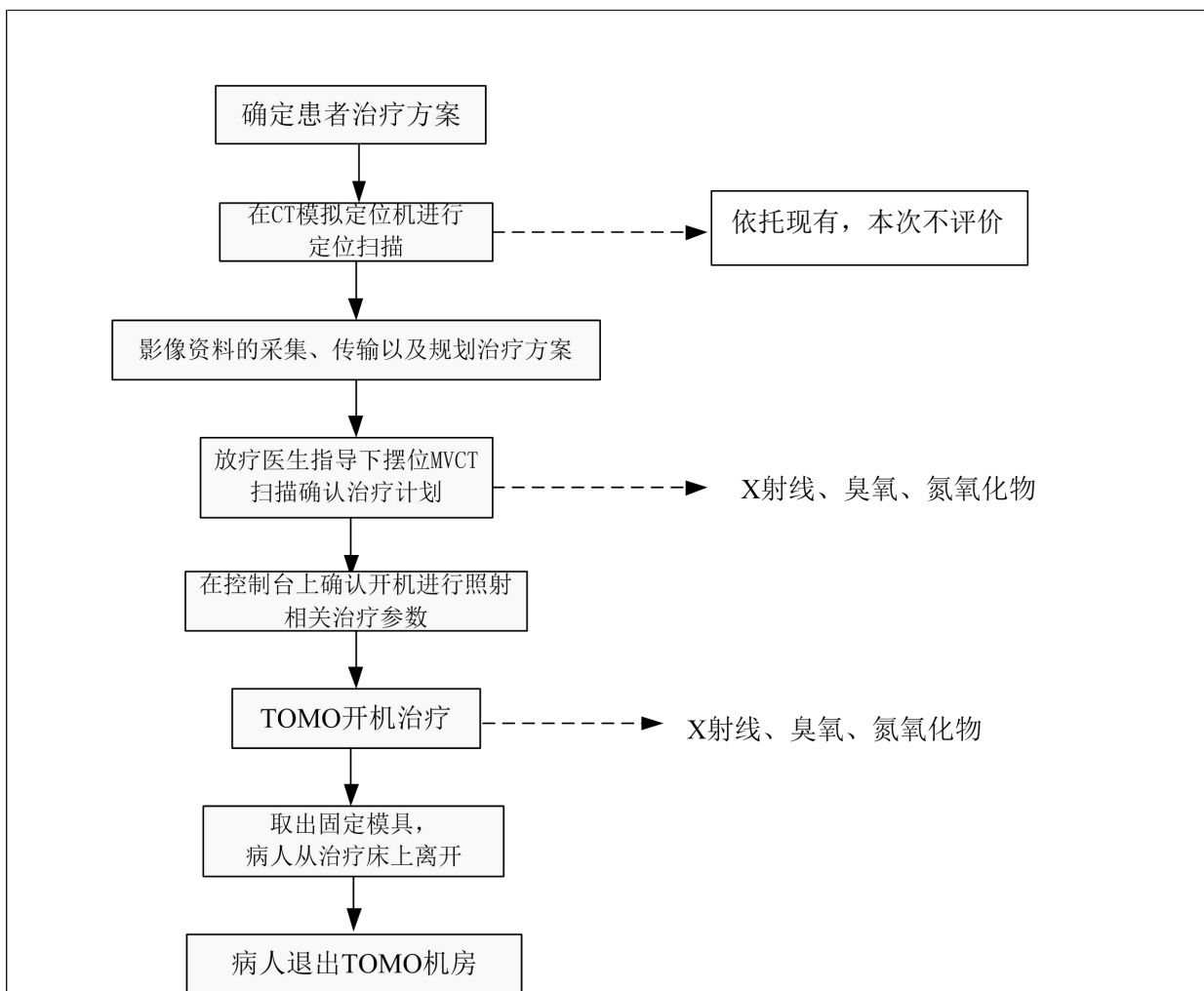


图 9-6 TOMO 治疗流程及产污环节图

(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	41.67
TOMO 治疗模式	50	5	4.17	208.33
合计			5	250

9.3 路径规划

医务人员：从东侧的两个门进入肿瘤中心，通过肿瘤中心内部通道到达 TOMO 控

续表 9 项目工程分析与源项

制室，从 TOMO 机房防护门进入机房，再原路返回。

患者通道：从东侧的两个门进入肿瘤中心，通过肿瘤中心内部通道到达先到 CT 模拟定位机房内定位，完成定位后出来到物理计划室确定治疗方案，然后从 TOMO 机房防护门进入 TOMO 机房治疗，再原路返回。

路径规划见图 9-7。

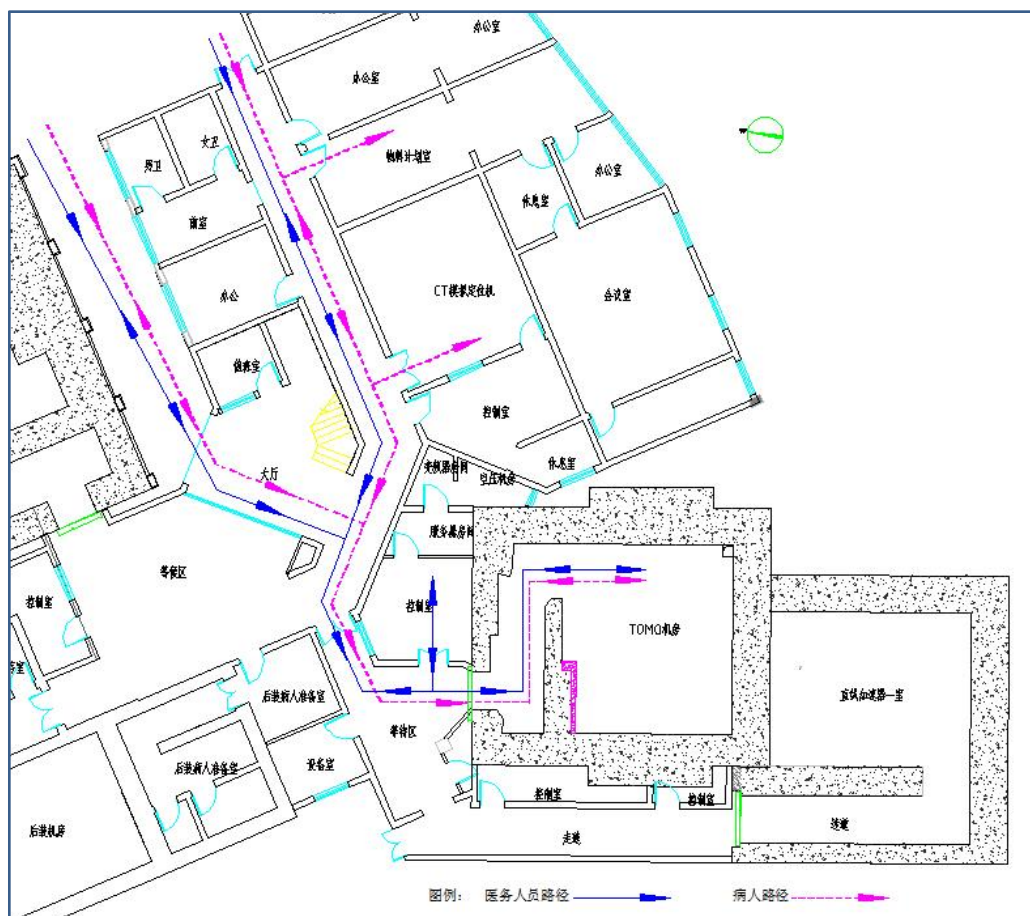


图 9-7 路径规划图

## 9.4 污染源项描述

### 9.4.1 电离辐射

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。0.85m 处 TOMO 的治疗剂量率为 850cGy/min。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 成像工作模式，0.85m 处 X 射线剂量率为 45cGy/min。

续表 9 项目工程分析与源项

9.4.2 “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合物。

根据文献《辐射所致臭氧的估算与分析》（王时进等，中华放射医学与防护杂志，1994 年 4 月第 14 卷第 2 期）中给出的扩展射线束所致 O<sub>3</sub> 产额的公式进行估算，其计算公式如下：

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

式中：P：扩展射线束单位时间内产生的 O<sub>3</sub> 的总质量，mg/h；

D<sub>o</sub>：距射线束原点 1m 处的空起比释动能率，Gy·m<sup>2</sup>/min；

S<sub>o</sub>：距源点 1m 处的照射野面积，m<sup>2</sup>。

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<sub>3</sub> 分子数，取值为 10；

各参数的取值和计算结果见表 9-3。

表 9-3 TOMO 的 O<sub>3</sub> 产额的计算参数和计算结果

治疗室	D <sub>o</sub> (Gy·m <sup>2</sup> /min)	S <sub>o</sub> (m <sup>2</sup> )	R (m)	G	P (mg/h)
TOMO 机房	6.14	0.03	2.96	10	2.13

备注：TOMO 模式 0.85m 处剂量率为 8.5Gy·m<sup>2</sup>/min，则 1m 处剂量率为 6.14Gy·m<sup>2</sup>/min。0.85m 处照射野面积为 0.02m<sup>2</sup>，则 1m 处照射野面积为 0.03m<sup>2</sup>。

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<sub>3</sub> 产额的一半，则 TOMO 运行时，TOMO 机房氮氧化物产额为 1.065mg/h。

(2) 废水

本项目治疗过程中本身不产生废水，项目运营产生的生活污水依托医院的污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，医疗废物依托医院现有医疗废物暂存间收集交

续表 9 项目工程分析与源项

重庆市万州区森浩污染物处置有限公司处理。

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 9-4。

表 9-4 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, TOMO 治疗模式 0.85m 处剂量率最大为 850cGy/min CT 定位扫描扫描模式, 0.85 m 处剂量率最大为 45cGy/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 机房换气次数约 4.6 次/小时
废水		医疗废水、生活废水	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	依托医院现有医疗废物暂存间收集交重庆市万州区森浩污染物处置有限公司处置
		生活垃圾	少量	依托医院收运系统, 交环卫部门处理

**表 10 辐射安全与防护**

## **10.1 布局与分区**

### **10.1.1 项目布局合理性分析**

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 中选址布局的要求及《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中布局要求：“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； $\gamma$  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 机房最小有效使用面积为 48.16m<sup>2</sup>，机房内部设置 L 型迷路。TOMO 机房辅助用房功能设置齐全，控制室、服务器房间、变频器房间、空压机房等设备间和机房分开设置，控制室设置在迷路外墙外。TOMO 机房北面为等待区、TOMO 控制室、服务器房间等辅助用房，南面为直线加速器一室，西面为一室控制室和过道，东北面为变频器房间、空压机房，东面为休息室、CT 控制室、会议室、CT 模拟定位机房等，地下和顶棚均无建筑。TOMO 机房周围主要是肿瘤中心各放射治疗机房的配套用房，周围活动其他公众成员较少，尽可能减少辐射影响。

综上所述，本项目布局满足平面布局满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）的要求，布局合理。

### **10.1.2 工作场所分区**

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

《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）要求：一般情况下，控制区包括加速器大厅、治疗室（含迷路）等场所，如质子/重离子加速器大厅、束流输运通道和治疗室，直线加速器机房、含源装置的治疗室、放射性废物暂存区域等。开展术中放射治疗时，术中放射治疗室应确定为临时控制区。与控制区相邻的、不需要采取专门防护手



**续表 10 辐射安全与防护**

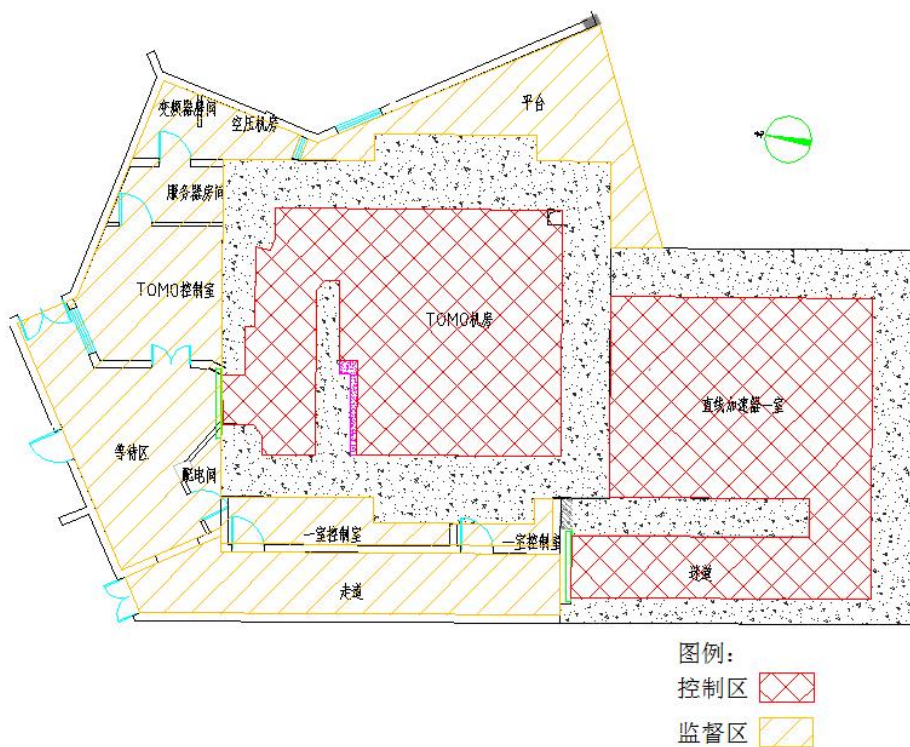
段和安全控制措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区（如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等）。

《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）要求：放射治疗工作场所应分为控制区和监督区。治疗机房、迷路应设置为控制区；其他相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需经常检查其职业照射条件的区域设为监督区。

根据上述要求，医院拟对本项目工作场所进行分区管理，将工作场所划分为控制区和监督区，限制无关人员受到不必要的照射。肿瘤中心已运行多年，结合现有布局，现有设备根据现状分区管理。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）	TOMO 控制室、服务器房间、变频器房间、空压机房、等候区、配电间、一室控制室、顶棚之上正对区域和其他相邻区域



**图10-1 本项目分区图**

医院拟严格限制无关人员进出控制区，在正常诊疗的工作过程中，控制区内不得有无关人员滞留，保障该区的辐射安全。控制区设墙体、防护门等实体边界，设置电离辐射警示标志、门禁等设施，并在控制区入口设置规范的电离辐射警告标识及标明控制区

**续表 10 辐射安全与防护**

的标识，限制无关人员随意进入，按要求定期检查辐射剂量水平，以便控制正常照射和防止（或限制）潜在照射；在监督区入口处的适当位置设立标明监督区的标识（如地面警示贴条）。

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

## **10.2 辐射安全与防护**

### **(1) 设备安全功能**

拟购买符合防护性能要求的设备，设备安全功能要求如下：

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；用于监视连锁或作为测量线路、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，其连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），按照纵深防御原则设置相适应的多层防护与安全措施，根据冗余性、多元性、独立性的辐射安全要求进行安全连锁系统等辐射防护安全设施设计，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 48.16m<sup>2</sup>；机房内部设置 L 型迷路，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/cm<sup>3</sup>，下同）。东侧主屏蔽墙为 2300mm 混凝土，带宽 5000mm，与主屏蔽墙相连的次屏蔽墙为 1500mm 混凝土；北侧迷路内墙为 710mm（长 2.9m）~1060mm（长 2.51m）混凝土，迷路外墙为 720mm（长 1.5m）~1020mm（长 2.45m）~1240mm（长 0.94m）~1620mm（长 1.21m）混凝土；西侧主屏蔽墙为 2100mm 混凝土，带宽 5000mm，与主屏蔽墙相连的次屏蔽墙为 1300mm 混凝土；南侧屏蔽墙为 1500mm 混凝土；顶棚主屏蔽墙为 23900mm 混凝土，带宽 5050mm，与主屏蔽墙相连的次屏蔽墙为 1650mm 混凝土，迷道顶部为 510mm 混凝土；防护门为 12mmPb 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。

TOMO 机房拟在改造时保证施工质量，注意新增混凝土与墙体的贴合，不影响屏蔽体的屏蔽效果。

### **②穿墙管线**

电缆沟/电缆管：电缆沟穿墙处设置在迷道外墙上，共两处穿墙，1 处位于东北角，连接服务器房间和控制室，1 处位于西北角，用于机房空调等辅助设备用电，均采用地下“U”穿越，角度为 45°。电缆沟位于地面下，截面为 300mm×350mm。沿机房内四周边沿设置，上设 10mm 厚钢盖板。电缆线、电气线、空调排水管、水冷管等均可从电缆沟穿墙。

新风管、排气管：位于机房东墙上的东南角，穿越方式为深“U”形（低于地面 2.13m），2 个管道并列布置，穿墙管道间距约 100mm，穿墙新风、排风单个管道内空直径均为

续表 10 辐射安全与防护

250mm。

各穿墙管大样图如下图 10-2、10-3 所示。

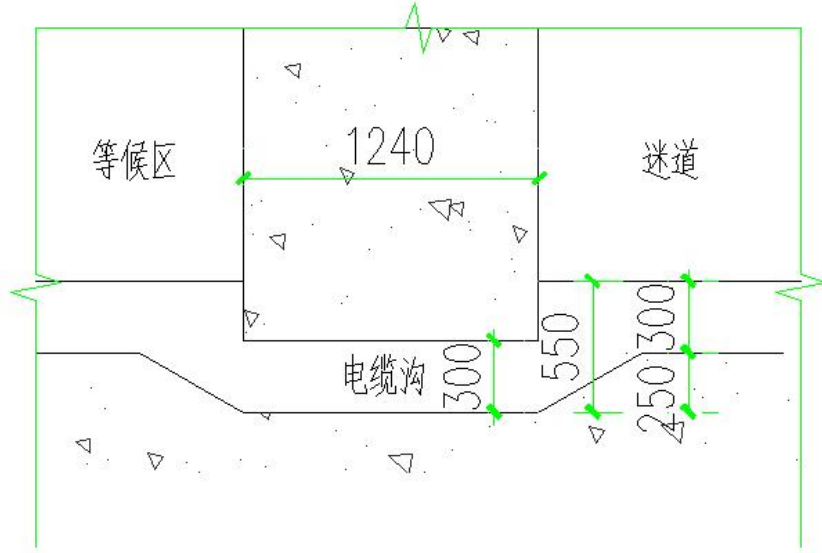


图 10-2 电缆穿墙管线大样图

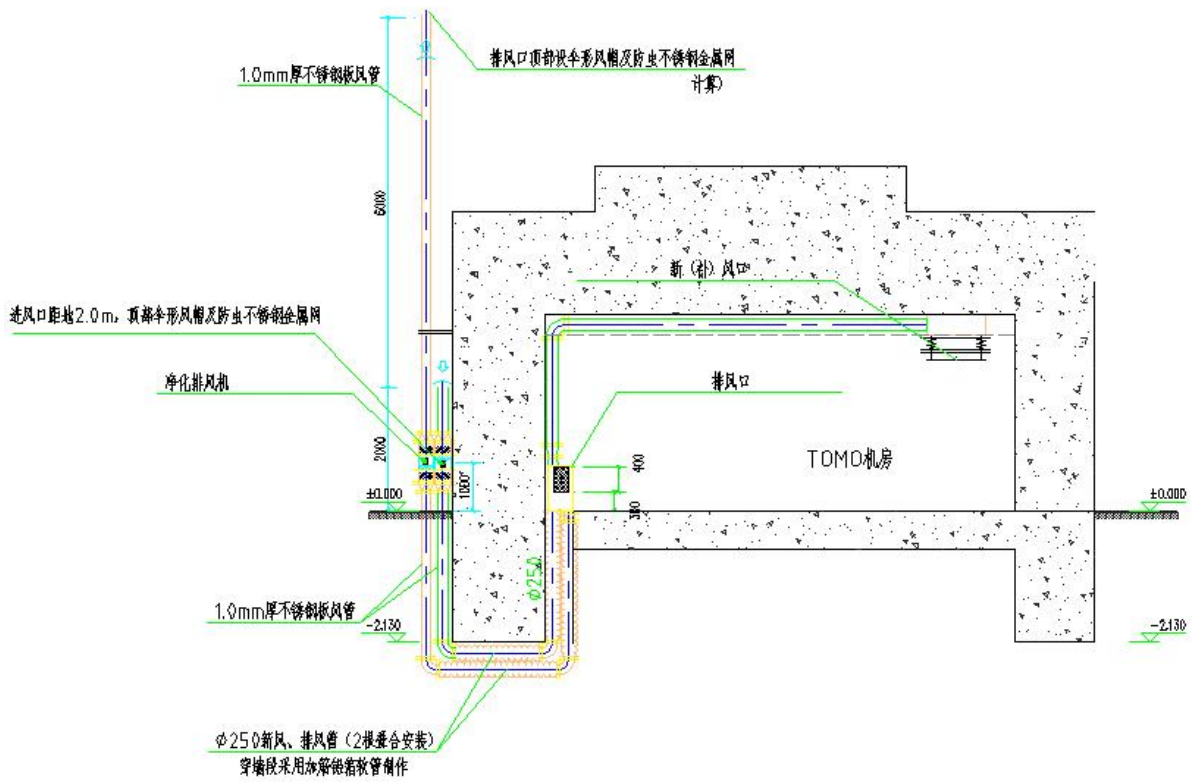


图 10-3 新风、排风穿墙大样图

续表 10 辐射安全与防护

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，机房内新风口与排风口位置对角设置。项目新风管和排风管均从东墙的东南角穿越机房。拟设置 1 根新风管，机房外进风口的离地高度为 2m，穿越机房后，沿东墙和北侧迷路内墙布置，引至迷路内墙西北侧顶部，新风口距离机房地面约 2.46m；拟设置 1 根排风管，机房内排风口位于东墙的东南角，距离机房地面约 0.7m，穿越机房后，引至机房顶，距地面约 8m 处排放，朝南侧西山公园。风机风量为 1000m<sup>3</sup>/h，通风换气约 4.6 次/小时。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）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 8 个急停按钮，分别安装在机房内四周墙壁上、迷道内墙上，机房内设备机架外壳上，控制室控制台上。墙壁上紧急停止按钮安装高度约 1.4m，急停按钮为红色按钮式开关，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。多个急停按钮能保证在事故状态下机房内、控制室内的人员及时按

**续表 10 辐射安全与防护**

下按钮停止 TOMO 出束。

**(5) 对讲系统、视频监控系统**

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。机房与控制室拟设置对讲设备，便于放射工作人员与患者之间进行交流。

**(6) 工作状态指示灯、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，仪器探头拟安装在迷道内入口东墙上，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**

TOMO 机房防护门为电动防护门，设置红外防挤压装置，防止人员被夹伤。防护门的开门按钮设置在控制室，正常情况下由控制室内工作人员操控。另外，防护门内侧迷路外墙上拟设置应急开门按钮，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。在防护门外侧拟设置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。

根据设备性能及辐射安全与防护要求，本项目辐射安全联锁逻辑关系见图10-4。

续表 10 辐射安全与防护

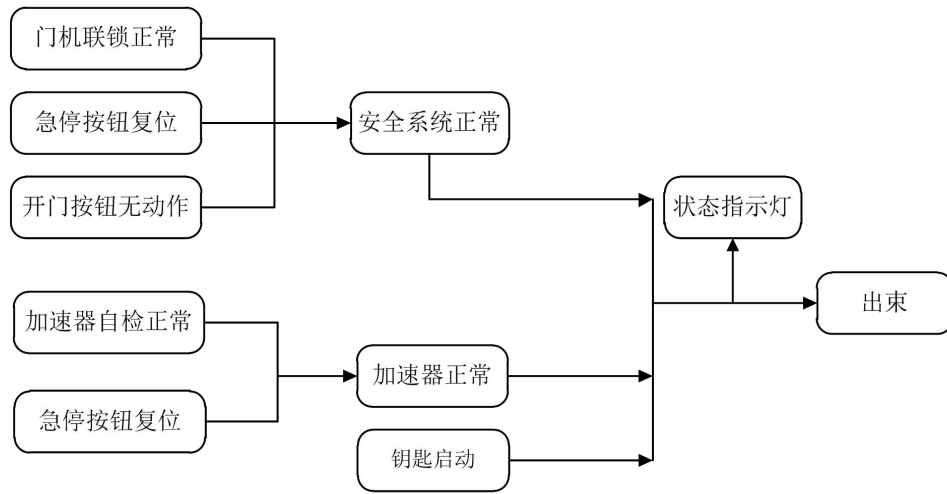


图 10-4 本项目辐射安全联锁逻辑关系图

开机前TOMO自检、急停按钮复位的情况下具备出束条件，同时在门机联锁、急停按钮复位、应急开门按钮三者均为正常（即安全系统正常）的情况下，在TOMO及安全系统均为正常的情况下加速器出束，此时状态指示灯亮。若加速器设备和安全系统中有一个失效，则加速器不能出束。

TOMO 机房急停按钮、视频监控等防护措施示意图见图 10-5。

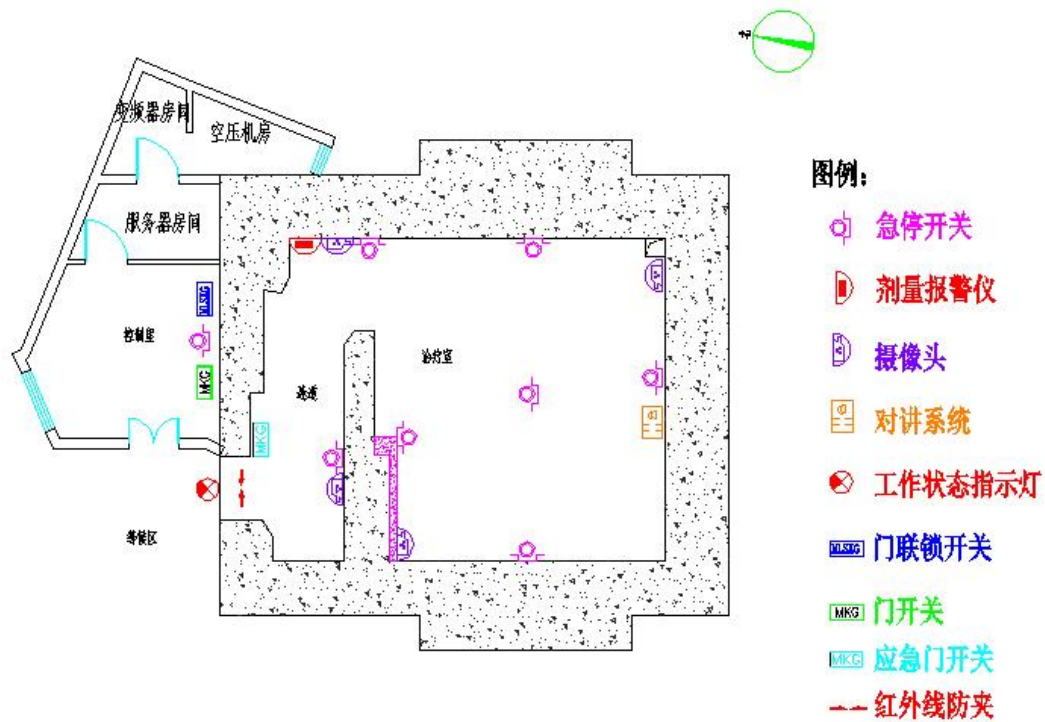


图 10-5 防护措施示意图

## 续表 10 辐射安全与防护

### (9) 管理

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

②工作人员在操作 TOMO 之前，要求正确佩戴并开启剂量报警仪，在设备使用之前需要从监控设备中确定机房内是否有无关人员滞留。开机期间应有两名工作人员协调操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度。除接受治疗的患者外，机房内不得有其他人员。

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

拟建项目工作场所各类辐射防护与安全设施见表 10-3，拟购质控仪器及监测仪器见表 1-3。

**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	急停按钮	8 个	红色按钮，TOMO 机架、控制台、机房四周墙体上、迷道上等设置急停按钮，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。
	防护门开门按钮	1 个	控制室内，技师控制防护门打开、关闭。
	防护门应急开门按钮	1 个	防护门内侧迷路外墙上，发生人员意外滞留机房内的情况可打开防护门
	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。



## 续表 10 辐射安全与防护

### 10.3 放射性“三废”

根据工程分析，本项目 TOMO 不涉及放射性三废。

### 10.4 拟采取辐射安全与防护措施与相关要求的符合性分析

本项目建设拟采取的辐射安全与防护措施与主要标准：《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）、《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）等相关要求的对比分析情况见表 10-4 所示。

续表10 辐射安全与防护

表 10-4 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。	拟建项目用房选址在医院肿瘤中心原直线加速器二室内，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 1F 南侧，位于建筑底部的一端，该肿瘤中心集中布置有其他放射治疗机房。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。TOMO 控制室、服务器房间、变频器房间、空压机房、等候区、一室控制室、顶棚之上正对区域和其他相邻区域等划分为监督区管理。
		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分为监督区（如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等）。	TOMO 控制室、服务器房间、变频器房间、空压机房、等候区、一室控制室、顶棚之上正对区域和其他相邻区域等划分为监督区管理。
	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。根据本报告表 11 核算，现有设计能满足辐射防护要求。
		6.1.2 放射治疗室屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能，符合最优化要求。使用中子源放射治疗设备、质子/重离子加速器或大于 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，不影响机房的防护能力。机房门与墙体有足够的搭接，以保证防护门搭接处的屏蔽能力。
		6.1.4 剂量控制应符合以下要求。（具体见表 7）	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>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：  a) 放射治疗工作场所的入口处应设置电离辐射警告标志，贮源容器外表面应设置电离辐射标志和中文警示说明；  b) 放射治疗工作场所控制区进出口及其他适当位置应设电离辐射警告标志和工作状态指示灯；  c) 控制室应设有在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和迷道区域情况的视频装置，并设置双向交流对讲系统。</p>	<p>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。  TOMO 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附近。</p>	<p>拟在 TOMO 机房内迷道内入口附近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>
<p>《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ119 8-2021）</p>	<p>6.2 安全防护设施和措施要求</p>	<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；  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；  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运输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；  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</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。在防护门内侧迷路外墙上拟设置应急开门按钮，防护门拟设置红外线防夹装置。  本项目拟在控制室控制台、机房内四周墙壁上，迷道、设备机架上均设置急停按钮，急停按钮拟设置醒目中文标识，并能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发；安全联锁一旦被触发后，不能自动复位，需要人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动；建设单位拟建设相关制度，规定设备安装调试及维修情况下，任何联锁旁路拟通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后及时进行联锁恢复及功能测试。</p>

续表10 辐射安全与防护

		安全管理机构的批准与见证，工作完成后应及时进行连锁恢复及功能测试。	
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连锁系统定期进行试验自查，保存自查记录，保证安全连锁的正常有效运行。	拟制定检查、监测制度，定期对辐射工作场所安全连锁系统自查，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。	项目拟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。TOMO 试用、调试、检修期间，控制室拟设置放射工作人员值守。
	7.3	任何人员未经授权或允许不得进入控制区。工作人员须在确认放射治疗或者治疗室束流已经终止的情况下方可进入放射治疗室，进入含放射源或质子/重离子装置的治疗室前须携带个人剂量报警仪。检修人员进入质子/重离子加速器大厅和束流输运通道区域前，应先进行工作场所辐射监测，在单位辐射安全管理机构批准后方可进入。进入质子/重离子加速器大厅和束流输运通道区域的参观人员须在辐射工作人员带领下进入。	拟建立人员岗位职责，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。
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 机房拟设置机械排风系统，拟在 TOMO 机房顶部靠近西北侧布置 1 个新风口，在机房东南侧距地面 0.7m 处设置 1 个排风口，新风口与排风口位置对角设置，风机风量为 1000m <sup>3</sup> /h，通风换气约 4.6 次/小时，排风管经排风机由机房顶部排出朝向南侧西山公园。
《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。
		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。
			本项目利用原直线加速器二室改造，机房位于肿瘤中心 1F 南侧（处于该建筑底部一端），与直线加速器一室相邻，不于其他建筑及区域交叉，便于肿瘤中心统一管理。
			经后文核算，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

	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、服务器房间、变频器房间、空压机房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 设备本身具有主束屏蔽，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； $\gamma$ 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 L 型迷路。
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 48.16m <sup>2</sup> ，设备安装后仍有较大富裕空间用于放射治疗，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，拟在 TOMO 机房顶部靠近西北侧布置 1 个新风口，在机房东南侧距地面 0.7m 处设置 1 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 4 次/h，满足要求。
6.3 屏蔽要求	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。	TOMO 机房均拟设置门机联锁装置，并在防护门内拟设置开门按钮，防护门拟设置红外线防夹装置。
	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。	本项目拟在控制室控制台、机房内四周墙壁上，迷道、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按钮。

续表10 辐射安全与防护

		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，发现异常及时处理，操作人员不应擅自离开岗位。	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，严格执行交接班制度，落实操作规程，不得擅自离开岗位。
《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。	医院已配置质控设备，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	医院拟制定《辐射监测计划》，对 TOMO 设备按照要求进行验收监测

续表10 辐射安全与防护

		定性检测由医疗机构自行或委托检测。	
		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。	医院拟制定《质量控制检测计划》，每年按照要求对TOMO 设备进行稳定性检测。
GBZ128 -2019	剂量计的 佩戴	5.3.2 对于如介入放射学、核医学放射药物分装与注射等全身受照不均匀的工作情况，应在铅围裙外锁骨对应的领口位置佩戴剂量计。	医院为本项目每名放射工作人员每人配置 1 枚个人剂量计。
		5.3.3 对于 5.3.2 所述工作情况，建议采用双剂量计监测方法（在铅围裙内躯干上再佩戴另一个剂量计），且宜在身体可能受到较大照射的部位佩戴局部剂量计（如头箍剂量计、腕部剂量计、指环剂量计等）。	

## 表 11 环境影响分析

### 11.1 施工期环境影响结论

本项目主要为房间改造和装修。施工期主要的污染因子有：噪声、扬尘、废水、固体废物等。项目建设过程中，医院的医疗服务工作仍将正常进行。施工产生的污染特别是扬尘和噪声可对医院自身环境以及周围的环境带来一定影响。

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

主要为房间的改造时机械敲打等产生的粉尘。其工程量小，且为室内施工，影响有限。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：加强施工现场管理，应进行适当的加湿处理。

#### (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。生活污水依托医院的排水系统，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

主要来自于 TOMO 用房装修及现场处理等。通过选取噪音低、振动小的设备操作，且不在午休期间和夜间施工，并合理安排施工时间等措施能减轻对外界的影响。

#### (4) 固体废物及防治措施

主要为建筑垃圾、装修垃圾以及施工人员产生的生活垃圾。施工期产生的固体废物应妥善处理，无回收价值的建筑废料统一收集后，运输至合法堆场堆放。生活垃圾以及装修垃圾经统一收集后交由市政环卫部门处理。

本项目工程量小，施工期短，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小。

### 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



## 续表 11 环境影响分析

### (1) TOMO机房屏蔽能力核算要点

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根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）中D.2机房屏蔽示例，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。因此，忽略被照射物件的散射辐射，按屏蔽泄漏辐射考虑治疗室屏蔽，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。

### (2) TOMO 机房屏蔽效能核算

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

#### ①计算公式

##### 1) 屏蔽厚度与屏蔽透射因子的相应关系：

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \quad (\text{式 11-1})$$

$$X_e = TVL \cdot \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \quad (\text{式 11-2})$$

式中：B—辐射屏蔽透射因子；

TVL<sub>1</sub>—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：

$$B = \frac{\dot{H}_c}{\dot{H}_0} \cdot \frac{R^2}{f} \quad (\text{公式 11-3})$$

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

续表 11 环境影响分析

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

$\dot{H}_o$  —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的常用最高剂量率,  $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$  (以  $\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{min}$  为单位的值乘以  $6\times 10^7$ )。本项目 TOMO 治疗剂量率为  $850\text{cGy}/\text{min}$ , 则 1m 处剂量率为  $3.68\times 10^8\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ 。

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:

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \dot{H}_o \quad (11-5)$$

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

$\alpha_{ph}$  —患者  $400\text{cm}^2$  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,  $\text{cm}^2$ ;

$\alpha_2$  —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;

A—散射面积,  $\text{m}^2$ ;

$R_1$ 、 $R_2$ —折射距离, m;

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

防护门需要的屏蔽透射因子:

$$B = \frac{\dot{H}_c - \dot{H}_{og}}{\dot{H}_g} \quad (11-6)$$

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

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

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

防护门外的辐射剂量率:

续表 11 环境影响分析

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-(X/\text{TVL})} + \dot{H}_{og} \quad (11-7)$$

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

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

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。

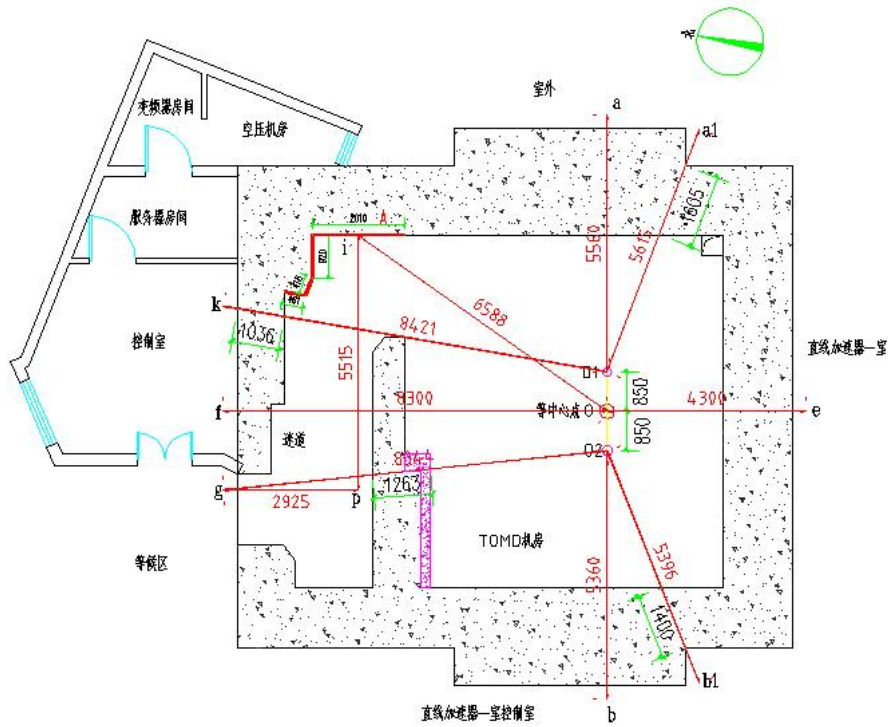


图 11-1 TOMO 机房平面参考点图

续表 11 环境影响分析

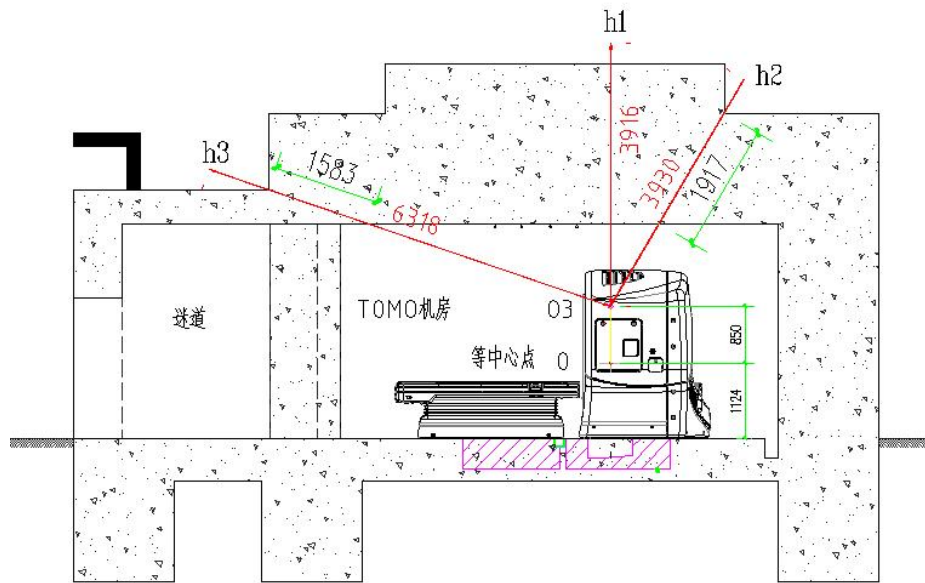


图 11-2 TOMO 机房剖面参考点图

TOMO 机房计算参数见表 11-1。

表 11-1 计算相关参数

参数	单位	取值	取值依据
$\dot{H}_o$	$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$	$3.68\times 10^8$	0.85m 处最高剂量率为 850cGy/min，则 1m 处剂量率为 $3.68\times 10^8\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$
f	/	0.001	漏射线束
R	m	5.56 (O <sub>1</sub> -a)	辐射源点到关注点的距离（东墙外 30cm），图上测量
		5.62 (O <sub>1</sub> -a1)	辐射源点到关注点的距离（东墙外 30cm），图上测量
		5.36 (O <sub>2</sub> -b)	辐射源点到关注点的距离（西墙外 30cm），图上测量
		5.40 (O <sub>2</sub> -b1)	辐射源点到关注点的距离（西墙外 30cm），图上测量
		4.3 (O-e)	等中心点到关注点的距离（南墙外 30cm），图上测量
		8.3 (O-f)	等中心点到关注点的距离（北墙外 30cm），图上测量
		8.42 (O <sub>1</sub> -k)	辐射源点到关注点的距离（迷路外墙 30cm），图上测量
		8.34 (O <sub>2</sub> -g)	辐射源点到关注点的距离（铅门外 30cm），图上测量
		6.32 (O <sub>3</sub> -h3)	辐射源点到关注点的距离（顶棚之上 30cm），图上测量

续表 11 环境影响分析

			3.93(O <sub>3</sub> -h <sub>2</sub> )	辐射源点关注点的距离(顶棚之上 30cm), 图上测量
			3.92(O <sub>3</sub> -h <sub>1</sub> )	辐射源点关注点的距离(顶棚之上 30cm), 图上测量
			R <sub>1</sub> =6.59 (O-i)	图上测量
			R <sub>2</sub> =5.52+2.9 3=8.45 (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 <sup>2</sup>	5×40	最大对称野面积
	α <sub>ph</sub>	cm <sup>2</sup>	1.39×10 <sup>-3</sup>	取自附录 B 表 B.2
	A	m <sup>2</sup>	(2.01+0.92 +0.42+0.46) ×3.2=12.19	共同可视面积
	α <sub>2</sub>	/	6.4×10 <sup>-3</sup>	取自附录 B 表 B.6

(3) TOMO 机房辐射防护核算结果

计算结果见表 11-2。

表 11-2 TOMO 机房屏蔽效能核算结果表

墙体名称	计算参数	设计厚度及其估算			
		设计屏蔽厚度 (cm)	瞬时剂量估算值 (μSv/h)	$\dot{H}_C$ (μSv/h)	是否满足标准要求
东墙	漏射 a 点 R=5.56m (O <sub>1</sub> -a) H <sub>0</sub> =3.68×10 <sup>8</sup> μSv·m <sup>2</sup> /h f=0.001	230	2.08×10 <sup>-4</sup>	2.5	是
	漏射 a1 点 R=5.62m (O <sub>1</sub> -a1) H <sub>0</sub> =3.68×10 <sup>8</sup> μSv·m <sup>2</sup> /h f=0.001	(160.5)	0.05	2.5	是
西墙	漏射 b 点 R=5.36m (O <sub>2</sub> -b) H <sub>0</sub> =3.68×10 <sup>8</sup> μSv·m <sup>2</sup> /h f=0.001	210	1.09×10 <sup>-3</sup>	2.5	是
	漏射 b1 点 R=5.40m (O <sub>2</sub> -b1) H <sub>0</sub> =3.68×10 <sup>8</sup> μSv·m <sup>2</sup> /h f=0.001	(140)	0.28	2.5	是
南墙	漏射 e 点 R=4.3m (O-e) H <sub>0</sub> =3.68×10 <sup>8</sup> μSv·m <sup>2</sup> /h f=0.001	150	0.2	2.4	是
北墙	漏射, 内墙无遮挡, 外墙遮挡 k 点 R=8.42m (O <sub>1</sub> -k) H <sub>0</sub> =3.68×10 <sup>8</sup> μSv·m <sup>2</sup> /h f=0.001	(103.6)	2.07	2.5	是
	漏射, 内墙+	R=8.3 (O-f)	71+72	0.09	2.5

续表 11 环境影响分析

	外墙遮挡 f 点	$H_0=3.68 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ $f=0.001$				
	漏射, 外墙无遮挡, 内墙遮挡 g 点	$R=8.34\text{m}$ ( $O_2\text{-g}$ ) $H_0=3.68 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ $f=0.001$	(126.3)	0.35	0.5*	是
顶棚	漏射 h <sub>3</sub> 点	$R=6.32\text{m}$ ( $O_3\text{-h}_3$ ) $H_0=3.68 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ $f=0.001$	(158.3)	0.05	2.5	是
	漏射 h <sub>2</sub> 点	$R=3.93\text{m}$ ( $O_3\text{-h}_2$ ), $H_0=3.68 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ $f=0.001$	(191.7)	$8.70 \times 10^{-4}$	2.5	是
	漏射 h <sub>1</sub> 点	$R=3.92\text{m}$ ( $O_3\text{-h}_1$ ) $H_0=3.68 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ $f=0.001$	239	$2.05 \times 10^{-4}$	2.5	是
防护门	散射 O-i-g 点 漏射 O <sub>2</sub> -g 点	$R_1=6.59\text{m}$ ( $R_1=O\text{-i}$ ) $R_2=8.45\text{m}$ ( $R_2=i\text{-g}$ ) $A=12.19\text{m}^2$ $H_0=3.68 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ $f=0.001$	12mmPb	0.37	2.5	是

备注: 混凝土密度  $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ , 铅密度  $11.3\text{g}/\text{cm}^3$ 。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  $0.5\mu\text{Sv}/\text{h}$  进行控制。本项目穿墙管线穿越方式均为“U”形, 且穿越处位于机房角落, 不会影响机房的屏蔽, 不再单独计算其影响。

根据上表计算可知, TOMO 机房东墙、西墙、北墙、顶棚、防护门外 30cm 处的周围剂量当量率均小于  $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ , 南墙外 30cm 处的周围剂量当量率均小于  $2.4\mu\text{Sv}/\text{h}$ , 满足《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2021) 的要求。因此, 本项目 TOMO 机房屏蔽体均能满足屏蔽防护的要求。

另外, 西侧一室控制室、机房顶棚受到本项目 TOMO 机房和直线加速器一室的共同影响, 南侧室外平台人员一般不能到达, 不考虑两个机房的共同影响。根据渝惠科(职放测)[2022]0162 号检测报告, 直线加速器一开机运行时, 一室控制室和顶棚的周围剂量当量率监测值均为小于  $0.05\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。根据表 11-2 核算, TOMO 机房西侧屏蔽墙体外(一室控制室)关注点处周围剂量当量率为  $0.28\mu\text{Sv}/\text{h}$ , 顶棚屏蔽墙体外关注点处周围剂量当量率最大为  $0.05\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。考虑叠加影响, 一室控制室处周围剂量当量率最大为  $0.33\mu\text{Sv}/\text{h}$ 、机房顶棚周围剂量当量率最大为  $0.1\mu\text{Sv}/\text{h}$ , 也均能满足评价标准限值要求。

### 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:

$$H_{Er} = H_{(10)}^* \times t \times 10^{-3} \quad (\text{公式 11-8})$$

式中:  $H_{Er}$ : X 或 γ 射线外照射人均年有效剂量, mSv;

续表 11 环境影响分析

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

t: X 或 $\gamma$ 射线照射时间, h。

①放射工作人员

患者治疗时,放射工作人员在控制室内工作。根据表 11-2 和布置图可知,放射工作人员在控制室内受到辐射剂量率约为  $2.07\mu\text{Sv/h}$ 。

TOMO 放射工作人员年有效剂量估算结果见表 11-3。

表 11-3 TOMO 放射工作人员年有效剂量估算表

分类	周围剂量当量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	年有效开机时间 (h)	居留因子	年有效剂量(mSv/a)
控制室放射工作人员	2.07	250	1	0.95

备注: CT 模式时墙体外周围剂量当量率,保守按治疗模式时考虑。

根据上表可知, TOMO 放射工作人员受到的附加年有效剂量最大为  $0.95\text{mSv/a}$ 。考虑到机房的工作量的不完全平均分配,保守考虑 1 名放射工作人员可能进行所有工作量的操作,则其受到的年附加有效剂量也小于项目的年有效剂量约束值  $5.0\text{mSv/a}$  和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的要求。

根据渝惠科(职放测)[2022]0163 号检测报告,CT 模拟定位机控制室的周围剂量当量率监测值为小于  $0.05\mu\text{Sv/h}$ ,本项目 CT 新增工作量为 250 人次,年有效开机时间新增不超过 8.33h,则操作 CT 模拟定位机的放射工作人员受到的附加年有效剂量最多增加  $4.17\times 10^{-4}\text{mSv/a}$ 。

根据医院提供资料,肿瘤中心现有放射工作人员上一年度个人剂量最大为  $0.41\text{mSv/a}\sim 0.85\text{mSv/a}$ ,考虑叠加本项目 TOMO 照射量和 CT 模拟定位机新增照射量,肿瘤中心放射工作人员受到的附加年有效剂量最大为  $1.8\text{mSv/a}$ ,也小于项目的年有效剂量约束值  $5.0\text{mSv/a}$  和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的要求。

②公众成员

TOMO 机房屏蔽体外公众成员年有效剂量估算结果见表 11-4。

续表 11 环境影响分析

序号	环境保护目标	方位	最小距离	关注点最大周围剂量当量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	照射时间 (h/a)			年有效剂量 ( $\text{mSv/a}$ )
					满负荷工作时间	居留因子	有效受照时间	
1	肿瘤中心(2~6F 主要为肿瘤住院病房)	项目所在楼 2~6F	/	0.05	250	1	250	0.01
2	等待区、服务器房间、配电间	北	紧邻	0.37 (g 点外)	250	1/8	31.25	0.01
	大厅、后装病人准备室、设备室、等候区		约 4m	0.95 (k 点外)	250	1/5	50	0.05
	三室设备间、废源暂存室、直线加速器三室、后装机房		约 18m	0.21 (k 点外)	250	1/5	50	0.01
3	西山公园	南	约 10m	0.02	250	1/5	50	0.001
4	一室控制室和过道	西	紧邻	0.28	250	1	250	0.06
5	变频器房间、空压机房	东北	紧邻	0.05	250	1/5	50	0.003
6	室外平台	东	紧邻	0.05	250	1/16	15.6	0.001
	休息室、CT 控制室、会议室、CT 模拟定位		约 1m	0.04	250	1	250	0.01
	办公室、物料计划室、更衣室		约 13m	$4.62 \times 10^{-3}$	250	1	250	0.001
7	急救大楼	北	约 30m	0.1	250	1	250	0.03
8	营养餐厅	西	约 5m	0.08	250	1/2	125	0.01
9	外科大楼	东北	约 35m	0.08	250	1	250	0.02
10	居民楼	西	约 35m	$4.99 \times 10^{-3}$	250	1	250	0.001

备注：CT 模式时墙体外周围剂量当量率，保守按治疗模式时考虑。

根据上表可知，TOMO 机房屏蔽体外的公众成员受到的年附加剂量小于评价约束值  $0.1\text{mSv/a}$ ，也满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的要求。

### 11.2.3 环境保护目标受影响情况分析



续表 11 环境影响分析

拟建 TOMO 机房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 TOMO 运行时产生的电离辐射（X 射线）影响。根据 X 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 11-4 可知，TOMO 运行时对所在楼内和所在楼外的周围环境保护目标的周围剂量当量率为  $4.62 \times 10^{-3} \sim 0.95 \mu\text{Sv/h}$ ，均小于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。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 “三废”影响分析

##### (1) 废气影响分析

X 射线、 $\gamma$ 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  $2.13 \text{mg/h}$ ，氮氧化物产额为  $1.065 \text{mg/h}$ 。根据建设单位提供的资料，风机排风量为  $1000 \text{m}^3/\text{h}$ 。

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  $\text{O}_3$  的分解，机房内空气中  $\text{O}_3$  的平均浓度可由下式计算。

$$Q_{(t)} = \frac{Q_0 T}{V} (1 - e^{-t/T}) \quad (\text{公式 11-9})$$

式中： $Q_{(t)}$ ：t 时刻治疗室内  $\text{O}_3$  的平均浓度， $\text{mg}/\text{m}^3$ ；

$Q_0$ ： $\text{O}_3$  的产生率， $\text{mg}/\text{h}$ ；

V：加速器治疗室体积（不含迷道）， $\text{m}^3$ ；

T：有效清除时间，h。

有效清除时间 T 可由下式计算。

$$T = \frac{t_v \cdot t_d}{t_v + t_d} \quad (\text{公式 11-10})$$

式中： $t_v$ ：换气一次所需要的时间，h；

$t_d$ ： $\text{O}_3$  的有效分解时间，取  $0.83 \text{h}$ 。

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

## 续表 11 环境影响分析

束，因此，本次核算考虑单次治疗（5min）产生的臭氧在设计通风情况下机房内的臭氧浓度。各参数的取值和 O<sub>3</sub> 浓度的计算结果见表 11-5。

表 11-5 TOMO 机房内 O<sub>3</sub> 浓度计算结果

治疗室	Q <sub>0</sub> (mg/h)	V (m <sup>3</sup> )	t <sub>v</sub> (h)	t <sub>d</sub> (h)	T (h)	t (h)	Q <sub>(t)</sub> (mg/m <sup>3</sup> )
TOMO 机房	2.13	162.4	0.17	0.83	0.14	0.083	8.23×10 <sup>-4</sup>

由计算结果可知，TOMO 机房臭氧最大浓度为 8.23×10<sup>-4</sup>mg/m<sup>3</sup>，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<sup>3</sup>，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<sup>3</sup>。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 4.115×10<sup>-4</sup>mg/m<sup>3</sup>，低于 GBZ2.1-2019 中规定的 5mg/m<sup>3</sup>，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<sup>3</sup>。

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 1000m<sup>3</sup>/h，机房体积（含迷道）约 216.5m<sup>3</sup>，通风换气次数约 4.6 次/h，满足 GBZ121-2021 的要求。TOMO 机房废气排风管经风机排出室外，排放口位于东南角室外，朝向南侧西山公园排放。项目所在地主导风向为东北风，距离下风向建筑物较远，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。

### （2）废水

项目运营产生的生活污水依托医院的污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，交重庆市万州区森浩污染物处置有限公司处置。

## 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）》的鼓励类中“六、核能”的加速器技术开发以及“十三、医药”的数字化医学影像设备与高端放射治疗设备制造技术开发与应用，项目为 TOMO 系统(加速器、高端放射治疗设备)与数字化医学影像设备应用，属于产业结构的鼓励类。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。

## 续表 11 环境影响分析

### 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。

项目 TOMO 系统在肿瘤放射治疗的应用,对肿瘤治疗有其他技术无法替代的特点,对保障健康、拯救生命可以起到十分重要的作用。项目将为病人提供一个更加优越的就医环境,具有明显的社会效益,随着医院医疗技术与及服务水平的提高,将吸引更多的就诊人员,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,对环境的影响在可接受范围内。

项目对受电离辐射照射的个人和社会所带来的利益远大于其对环境的辐射影响及可能引起的辐射危害,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。如自屏蔽模块脱落,则导致设备不平衡,不能开机运行。由于设备自身的屏蔽措施以及设备的固有安全连锁装置,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-机连锁装置失效造成误照射

因 TOMO 机房门机连锁装置失效,防护门尚未关闭到位 TOMO 即出束运行,致门外的人员受到误照射。

##### (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

## 续表 11 环境影响分析

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，致机房内滞留人员受到误照射。

### (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，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

续表 11 环境影响分析

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 11-6 所示。

表 11-6 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《职业性外照射急性放射病诊断》（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 11-7。

表 11-7 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 11-8。

表 11-8 急性放射病的发生率、死亡率与辐射剂量的关系

辐射剂量/Gy	急性放射病发生率/%	辐射剂量/Gy	死亡率/%
0.70	1	2.00	1
0.90	10	2.50	20

续表 11 环境影响分析

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等滞留在机房内不易察觉的位置受到误照射，以及设备调试、维修阶段人员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，最大输出剂量率为 850cGy/min，单次照射时间不超过 5min。

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 5min。

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 11-9。

续表 11 环境影响分析

表 11-9 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)
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	3.41E-04
			5	3.41E-03
工作人员在为患者摆位时 TOMO 误出束	散射漏射	1m	0.5	$3.07 \times 10^{-3}$
			5	$3.07 \times 10^{-2}$

(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 850cGy/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; 正常情况下出束后人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 11-10 所示。

表 11-10 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	3.07
			1	6.14
	散射漏射	1m	0.5	$3.07 \times 10^{-3}$
			1	$6.14 \times 10^{-2}$

根据表 11-9 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  $3.07 \times 10^{-2}$ Gy ( $3.07 \times 10^{-2}$  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 11-10 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  $6.14 \times 10^{-2}$ 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 6.14Gy, 可能会造成误照人员发生极重度

续表 11 环境影响分析

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 6.14Gy，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



## 续表 11 环境影响分析

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，先清理并禁止无关人员进入项目机房区域，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

建设单位应建立《TOMO 质量控制制度》，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 40 万，占总投资 1%，具体情况见表 11-11。

表 11-11 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（新增墙体部分）、防护门安装	10
2	设置机械排风系统	8
3	急停按钮、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	10
4	个人剂量计、个人剂量报警仪、固定式剂量报警仪等	6
5	人员培训、监测、环评、验收、办证等	6
	合计	40

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，履行辐射防护职责，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。

医院成立了辐射安全及放射卫生管理工作领导小组，并设置 1 名专职管理人员，学历为本科。文件规定了领导小组的职责，负责全院的辐射环境管理，包括管理制度的建立、修订，人员的培训、考核及职业健康体检、个人剂量检测，建立档案，辐射环境监测等。医院现有的辐射安全与环境保护管理机构设置符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求。

本项目开展后，目前医院的管理机构和管理人员也能满足相关要求，因此，本项目的辐射环境管理可直接纳入现有管理机构管理。

### 12.1.2 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），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。

**表 12 辐射安全管理**

根据建设单位资料，本项目工作人员配备情况见下表。

**表 12-1 项目放射工作人员情况表**

序号	姓名	性别	工作岗位及职称	科室	辐射安全培训合格证	个人剂量编号
1	刘强	男	高级工程师（物理师）	放射治疗物理技术室	FS22CQ0200003	27001123
2	牟艳红	女	工程师（物理师）	放射治疗物理技术室	FS22CQ0200021	27001128
3	方志祥	男	助理工程师（物	放射治疗物理技术室	FS22CQ0200024	27001134
4	刘丽丽	女	主管技师	放射治疗物理技术室	FS22CQ0200029	27001127
5	骆小青	男	工程师（物理师）	放射治疗物理技术室	FS22CQ0200009	27001130
6	冉付荣	女	技师	放射治疗物理技术室	FS22CQ0200010	27001126
7	李刚	男	主任医师	肿瘤消化病区	FS22CQ0200001	27001148
8	熊德明	男	副主任医师	肿瘤呼吸病区	FS22CQ0200020	27001154

由上表可知，本项目劳动定员的 8 人，均在现有放射工作人员中调配。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。拟配备放射工作人员满足上岗要求。

## 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。

医院已制定了《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》、《辐射安全管理责任制度》、《辐射安全培训制度》、《放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》、《辐射事故应急预案》等辐射防护管理制度。建设单位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 TOMO 操作流程和 TOMO 维修、保养制度等。医院已经建立了《辐射环境监测制度》，需要补充 TOMO 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《TOMO 维修、保养制度》中明确 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

**表 12 辐射安全管理**

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。

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 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，建立放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放射工作人员年满 75 周岁，或者停止辐射工作 30 年。另外，放射工作人员上岗期间，必须正确佩戴个人剂量计，并对个人剂量计严格管理，不允许将个人剂量片相互传借，不允许将个人剂量片带出项目建设单位。

建设单位现有放射工作人员均配置了个人剂量计，每 3 个月进行一次个人剂量监测，医院 2022 年个人剂量监测结果均小于年剂量年有效剂量约束值 5mSv/a，未出现超年剂量的情况。本项目的放射工作人员在现有放射工作人员中调配，医院已按照现有管理制度要求为每名放射工作人员配置了个人剂量计，并按照要求进行剂量监测，建立个人剂量档案。

本项目建成后，个人剂量按现有管理规定执行，本项目放射工作人员在医院内部调整，则该放射工作人员的个人剂量计应做到计随人走，正确剂量该放射工作人员受到的年剂量情况。

## 表 12 辐射安全管理

### 12.2.3 职业健康体检

放射工作人员上岗前，应进行岗前职业健康检查，符合放射工作人员健康标准的方可参加相应的辐射工作。

从事辐射工作期间，放射工作人员应定期进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不应超过 2 年，必要时可增加临时性检查。对不适宜继续从事辐射工作的，应脱离辐射工作岗位，并进行离岗前的职业健康检查。项目单位应建立和保存放射工作人员的健康档案。

根据调查，医院现有放射工作人员均按照要求在每两年进行一次职业健康体检，目前在岗放射工作人员均无体检异常，无疑似职业病人员。本项目放射工作人员为现有放射工作人员调配，按照相关要求进行了复检，并完善了相应档案。

### 12.2.4 年度评估

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第十二条规定：生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

医院已按照上述要求每年均按要求提交了上一年度的年度评估报告，医院今后仍应继续落实年度评估制度，于每年 1 月 31 日前均向原发证机关提交年度评估报告。年度评估报告应包括核素使用记录、医用 X 射线装置台账、辐射安全和防护设施的运行与维护、辐射安全和防护制度及措施的建立和落实、事故和应急以及档案管理等方面的内容。

本项目建成后，医院拟将本项目 TOMO 纳入年度评估管理中。

### 12.3.5 档案管理

辐射安全与防护管理档案资料分以下九大类：“制度文件”、“环评资料”、“许可证资料”、“射线装置台账”、“监测和检查记录”、“个人剂量档案”、“培训档案”、“年度评估”、“辐射应急资料”。

本项目运营前，医院应认真落实相关制度和规定，放射工作人员进行职业健康体检、配置个人剂量计、参加辐射安全与防护培训并取得合格证，将健康体检报告、个人剂量监测报告、辐射安全培训合格证等建立档案保存。档案信息和保存等按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》规定执行。

医院应根据自身辐射项目开展的实际情况将档案资料整理后分类管理。

**表 12 辐射安全管理**

**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心，对于核技术利用项目核安全文化的建设要求建设单位树立并弘扬核安全文化。核安全文化表现在从事单位核技术利用工作的相关领导与员工及最高管理者具备核安全文化素养及基本的放射防护与安全知识。

医院已建立了辐射环境安全管理体系，明确了医院各层次人员的职责、不断识别医院内部核安全文化的薄弱处并加以纠正，落实两个“零容忍”，即对隐瞒虚报“零容忍”，对违规操作“零容忍”，将核安全文化的建设贯彻在核技术利用项目的各个环节，确保项目的辐射安全。

具体操作参考如下：

①医院组织核安全文化培训，制定出符合自身发展规划的核安全文化；

②医院建立有关的部门管理，通过专项的管理能够让核安全文化一步步落实到员工的工作过程中，并让核安全文化建设更加有效。

**12.4 辐射活动能力评价**

根据根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（第十六条）的相关规定，医院从事本项目辐射活动的的能力评价如表 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
<p>（一）使用 I 类、II 类、III 类放射源，使用 I 类、II 类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作；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。</p>	<p>已成立放射防护管理领导小组，负责医院的辐射安全与环境保护管理工作，并设置 1 名专职管理人员，学历为本科。</p>
<p>（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。</p>	<p>本项目放射工作人员从医院现有放射工作人员中调配，均已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。</p>
<p>（四）放射性同位素与射线装置使用场所所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。</p>	<p>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连锁装置、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。</p>

**表 12 辐射安全管理**

<p>(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。</p>	<p>项目拟配备固定式剂量警报仪、个人剂量报警仪等, 同时依托已有的智能化 X-<math>\gamma</math>辐射仪、个人剂量计等。</p>
<p>(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。</p>	<p>医院已制定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、监测方案等辐射环境管理制度, 还应补充 TOMO 的管理制度和操作规程, 并根据现有运行经验和更新的法律法规、标准等完善现有管理制度, 相应制度张贴上墙。</p>
<p>(七) 有完善的辐射事故应急措施。</p>	<p>已制定辐射事故应急措施, 还需要进一步完善。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。</p>

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。

建设单位可配备相应的监测仪器, 或委托有资质的单位定期对辐射工作场所及个人剂量进行监测, 按规定要求开展各项目监测, 做好监测记录, 存档备查。

根据调查, 医院委托有资质单位每季度对放射工作人员个人剂量计进行监测, 监测结果远低于医院年剂量约束限值; 委托有资质单位每年对现有辐射工作场所进行监测, 监测结果均满足相关标准的要求, 现有辐射项目运行对周围环境和人员的影响满足要求。

本项目辐射监测内容包括:

**表 12 辐射安全管理**

**(1) 工作场所监测**

为保证项目辐射工作场所的安全，项目建成后的监测包括验收监测、例行监测和日常监测。

①验收监测：验收时监测一次，委托有资质单位监测。监测结果交生态环境主管部门存档。

②例行监测：每一年监测一次，委托有资质单位监测。监测结果纳入年度评估报告提交生态环境主管部门。

③日常监测：按照监测计划开展日常监测，日常监测由建设单位自行监测。设备换源、大修后应委托有资质单位进行监测。做好监测记录，存档备查，发现问题及时整改。

监测因子及执行标准限值如下表所示。

**表 12-3 项目监测及检查内容一览表**

监测地点	监测项目	日常监测频率		限值要求
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）	周围剂量当量率	每年一次	涉及设备大修等应进行监测	机房南墙外表面 30cm 处周围剂量当量率控制目标值为 2.4 $\mu$ Sv/h，其余墙体、顶棚、防护门外 30cm 处周围剂量当量率不大于 2.5 $\mu$ Sv/h。

**(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，并长期保存放射工作人员个人剂量计监测档案。

监测单位：具有个人剂量监测资质的单位。

监测频率：每 3 个月测读一次个人剂量计，如发现异常可加密监测频率。

监测结果处理：年剂量超过 5mSv，报告发证机关，开展调查，根据调查结果改正或者调岗等。

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 日常安全检查**



**表 12 辐射安全管理**

为了确保放疗中心机房的安全运行，需定期对 TOMO 工作场所各项安全联锁设施进行检查，确保其处于正常状态，检查内容和频率见表 12-4。

**表 12-4 TOMO 工作场所安全措施检查一览表**

检查地点	检查项目	日常检查频率
TOMO 机房	工作状态指示灯、安全联锁装置、个人剂量报警仪	每日
	通风的有效性、急停按钮、固定式剂量率仪报警装置	每月
	TOMO 设备的安全状况	半年

TOMO 常用安全设备或安全程序发现异常情况时必须及时修复。TOMO 设备的安全状况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。

建设单位目前已制定辐射事故应急预案，给出了报告程序时限，主要针对放射设备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 TOMO 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。

#### （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、万州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。

报告联系电话如下：

医院 24h 电话：58103357

政务服务便民热线：12345

重庆市卫健委电话：67706707

万州区生态环境局：58142578

**表 12 辐射安全管理**

万州区公安局：58293149

万州区卫生健康委员会：58815205

(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。

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 12-5。

表 12 辐射安全管理

表 12-5 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	设备数量及机房	1 间 TOMO 机房, 1 台 TOMO。		/
3	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
4	年有效剂量管理	放射工作人员年有效剂量管理目标值 5 mSv/a 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
5	通风	TOMO	TOMO 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
6	剂量率控制	TOMO	机房南墙外表面 30cm 处周围剂量当量率控制目标值为 2.4 $\mu$ Sv/h, 其余墙体、顶棚、防护门外 30cm 处周围剂量当量率不大于 2.5 $\mu$ Sv/h。	根据 GBZ/T201 HJ1198-2021 GBZ121-2020 核算后综合取值
7	辐射防护与安全措施	TOMO	①机房内设置急停按钮、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; ②TOMO 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; ③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
8	辐射安全管理	有辐射环境管理机构; 有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、年度评估制度、辐射事故应急预案等。相应制度有专人负责, 定期更新, 张贴上墙。		档案管理规范
9	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

表 13 结论及建议

### 13.1 项目概况

重庆大学附属三峡医院拟开展重庆大学附属三峡医院 TOMO 建设项目，建设内容包括拟将肿瘤中心 1F 南侧原直线加速器二室、控制室、生活间改建为 TOMO 机房及其辅助配套用房，并配置一台 TOMO（6MV，II 类射线装置）开展肿瘤治疗工作。

项目总投资约 4000 万元，其中环保投资约 40 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 $\gamma$ 辐射剂量率的监测值为 76~101nGy/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 $\gamma$ 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 机房选址在布局在医院肿瘤中心底层 1F 南侧一角，拟依托 CT 模拟定位机布局在 TOMO 机房东侧，两个机房距离很近，方便定位后到 TOMO 机房内治疗。与该肿瘤中心已有两个在用的直线加速器放射治疗机房在同一层，方便共用物理计划室。其布局远离医院儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域。本项目 TOMO 机房内部设置 L 型迷路，控制室、服务器房间、变频器房间、空压机房等设备间和机房分开设置，控制室设置在迷路外墙外。TOMO 机房周围主要是肿瘤中心各放射治疗机房的配套用房，周围活动其他公众成员较少，尽可能减少辐射影响。从辐射防护与环境保护角度，项目选址及平面布局合理。

## 续表 13 结论及建议

### 13.6 辐射安全与防护分析结论

(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; 拟配置两个辐射探测器; 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  $48.16\text{m}^2$ ; TOMO 机房设置有 L 型迷路, 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  $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ )。东侧主屏蔽墙为 2300mm 混凝土, 带宽 5000mm, 与主屏蔽墙相连的次屏蔽墙为 1500mm 混凝土; 北侧迷路内墙为 710mm (长 2.9m)~1060mm (长 2.51m) 混凝土, 迷路外墙为 720mm (长 1.5m)~1020mm (长 2.45m)~1240mm (长 0.94m)~1620mm (长 1.21m) 混凝土; 西侧主屏蔽墙为 2100mm 混凝土, 带宽 5000mm, 与主屏蔽墙相连的次屏蔽墙为 1300mm 混凝土; 南侧屏蔽墙为 1500mm 混凝土; 顶棚主屏蔽墙为 23900mm 混凝土, 带宽 5050mm, 与主屏蔽墙相连的次屏蔽墙为 1650mm 混凝土, 迷道顶部为 510mm 混凝土; 防护门为 12mmPb 铅门。电缆沟在机房东北角和西北角采用“U”型穿入机房内, 电缆沟内包括强弱电线及设备充气铜管等。新风、排风管在机房东南角采用“U”型穿入机房。TOMO 机房设置 1 个防护门, 防护门依托现有, 安装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 机房顶部靠近西北侧布置 1 个新风口, 在机房东南侧距地面 0.7m 处设置 1 个排风口, 新风口与排风口位置对角设置, 风机风量为  $1000\text{m}^3/\text{h}$ , 通风换气约 4.6 次/小时, 废气经排风管引至机房顶部排出朝向南侧西山公园。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。

(5) 机房拟设置门机连锁、系统连锁、双剂量连锁等; 机房四周墙体和迷道内、

### 续表 13 结论及建议

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，实时测量机房内的剂量，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，依托肿瘤中心已有设备质量检测仪器，保证设备、放射工作人员、公众成员的安全。

### 13.7 环境影响分析结论

#### (1) 辐射环境影响分析

经核算，TOMO 机房的四周墙体、顶棚及防护门的屏蔽厚度均能满足屏蔽防护要求，其屏蔽体外（包括防护门外）的周围剂量当量率均符合《放射治疗放射防护要求》

（GBZ121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）等相关标准及辐射防护安全要求。

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（工放射作人员 5mSv/a，公众成员 0.1mSv/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 4.6 次/h，满足 GBZ121-2021 的要求。TOMO 机房废气排风管经风机排出室外，排放口位于东墙外东南角，朝向南侧西山公园排放。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。

#### (3) 废水

项目运营产生的生活污水依托医院的污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

### 续表 13 结论及建议

物暂存间内暂存，交重庆市万州区森浩污染物处置有限公司处置。

#### 13.8 辐射与环境保护管理

重庆大学附属三峡医院成立有辐射安全及放射卫生管理工作领导小组，辐射事故应急预案、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，重庆大学附属三峡医院 TOMO 建设项目符合国家产业政策，符合辐射防护“实践的正当性”要求，项目选址可行，平面布局合理。在完善相应的辐射安全防护措施和管理措施后，项目环境风险可防可控，能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。

## 附录

### 附图

附图1 项目地理位置图



# 万州区行政区划图一



附图1 地理位置图