

核技术利用建设项目

福建省立医院 1 台直线加速器项目

环境影响报告表
(公示稿)

福建省立医院

二〇二三年十一月



核技术利用建设项目

福建省立医院 1 台直线加速器项目

环境影响报告表

建设单位名称：福建省立医院

通讯地址：福建省福州市鼓楼区东街 134 号

邮政编码：350001



目录

表 1	项目基本情况	1
表 2	放射源	19
表 3	非密封放射性物质	19
表 4	射线装置	20
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）	21
表 6	评价依据	22
表 7	保护目标与评价标准	24
表 8	环境质量和辐射现状	34
表 9	项目工程分析与源项	40
表 10	辐射安全与防护	46
表 11	环境影响分析	59
表 12	辐射安全管理	78
表 13	结论与建议	86
表 14	审批	90

附件 1 委托书；

附件 2 辐射安全许可证；

附件 3 辐射安全管理机构；

附件 4 福建省立医院放射工作相关管理制度；

附件 5 辐射事故应急预案；

附件 6 辐射培训合格证书；

附件 7 外照射个人剂量监测报告（部分）；

附件 8 职业健康检查结果总结报告；

附件 9 项目机房辐射防护方案；

附件 10 辐射环境检测报告。

表 1 项目基本情况

建设项目名称	福建省立医院 1 台直线加速器项目				
建设单位	福建省立医院				
联系人	***	联系电话	***		
注册地址	福建省福州市鼓楼区东街 134 号				
项目建设地点	福建省福州市鼓楼区东街 134 号福建省立医院 6 号楼				
立项审批部门	/		批准文号	/	
建设项目总投资 (万元)	5000	项目环保投资 (万元)	350	投资比例	7.0%
项目性质	<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它			占地面积 (平方米)	100.28
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		
	其它	/			

1.1 建设单位情况

福建省立医院是福建省卫健委直属单位、非营利性三级甲等综合医院。医院创建于 1937 年，由华侨胡文虎先生投资兴建，是福建省最早创办的公立医院之一，为全省医疗、教学、科研中心和主要的干部保健基地。

医院学科齐全、技术力量雄厚、特色专科突出、多学科综合优势强大，现有本部院区和金山院区（南院），其中本部院区占地面积 38858m²，建筑面积 15.8 万 m²，开放床位 2500 张，年门急诊病人约 200 万人次，住院病人 10 万人次；金山院区（南院）占地面积 14.4 万 m²，一期建筑面积 8 万 m²，开放床位 500 张，年门诊量约 45.9 万人

次，住院病人 1.64 万人次。

作为福建省医学教育中心，医院具有从本科、硕士、博士、博士后到毕业后继续教育的较完整医学教学体系，为国家首批住院医师规范化培训示范基地，是福建医科大学临床医学院。医院现已建立博士后工作站，博士、硕士培养点 30 余个，全院教授、副教授 140 多位，博士、硕士研究生导师近 300 位。近年来，医院先后承担 20 多个专业的临床教学、海外留学生培养任务，是福建医科大学海外学院诊断学教研室挂靠单位，拥有内科、外科等 21 个专业的国家级住院医师规范化培训基地，心血管、呼吸与危重症等 6 个专科培训基地，每年承办国家级、省级继续教育项目近百项。医院先后获得“全国百佳医院”、“全国卫生应急先进集体”、“全国群众满意的医疗机构”等荣誉称号，是一所具有光荣传统、在省内外有影响的著名医院。

1.2 项目由来与建设内容

为提高医院服务质量及服务水平，满足广大患者就医的需要，福建省立医院拟在 6 号楼负 3 楼（最底层）加速器治疗室 2 内安装 1 台 10MV 医用电子直线加速器，用于开展医疗、教学、科研，提高医疗服务体系水平。

本项目在 6 号楼主体建筑上对预留的加速器治疗室 2 进行辐射防护改造，主要包括增加防护门和动力通风装置，并对配套辅助用房等进行功能的分配及装修等，以满足工作场所的辐射屏蔽防护要求。本项目涉及的模拟定位机依托原有模拟定位机（已获得辐射安全许可）。计划购置设备参数详见表 1.2.1。

表 1.2.1 本项目射线装置基本情况

序号	射线装置	型号	数量	类别	最大能量	剂量率	使用场所	备注
1	医用电子直线加速器	医科达 infinity	1	II 类	X 射线最高能量：10MV 电子最高能量：22MeV	2200cGy/min	6 号楼负 3 楼肿瘤内科加速器治疗室 2	新建

本项目为新建项目，根据《中华人民共和国环境影响评价法》、《中华人民共和国放射性污染防治法》以及《建设项目环境保护管理条例》等法律法规，应对建设项目进行环境影响评价。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）可知，直线加速器属于 II 类射线装置；根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》的规定，本项目需编制环境影响报告表。因此，福建省立医院于 2023 年 7 月委托福建省金皇环保科技有限公司对福建省立医

院 1 台直线加速器项目进行环境影响评价工作。

我司接受委托后，派技术人员到现场进行调查和资料收集，在完成污染源分析等工作的基础上结合本项目的特点，依照《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》（HJ 10.1-2016）的相关要求编制完成了《福建省立医院 1 台直线加速器项目环境影响报告表》。本次环境影响评价重点是对项目在施工和运营过程中可能产生的环境影响进行分析，并在此基础上提出相应的环境保护措施，为生态环境主管部门和建设单位提供环境保护管理的依据。

1.3 原有核技术应用项目许可情况

医院现有辐射安全许可证内容为“使用Ⅲ、Ⅴ类放射源，使用Ⅱ、Ⅲ类射线装置，使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所”，证书编号为“闽环辐证[00072]”（见附件 2）。

福建省立医院的 2 个院区均涉及核技术应用项目，其中本部院区共计使用 1 枚Ⅲ类放射源、5 枚Ⅴ类放射源，使用 8 台Ⅱ类射线装置、32 台Ⅲ类射线装置，3 处乙级非密封放射性物质工作场所；南院院区共计使用 1 台Ⅱ类射线装置、13 台Ⅲ类射线装置。

此外，医院在 2023 年 8 月 23 日取得了福建省立医院南院核技术利用项目的环评批复（闽环辐评[2023]40 号），具体建设内容如下：

（1）在南院院区医技及门急诊楼（二期）1 楼设置核医学科区域，新增 1 台 SPECT/CT，并使用非密封放射性物质 ^{99m}Tc 用于显像诊断工作；使用非密封放射性物质 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 、 ^{131}I 用于核素治疗工作，总日等效最大操作量为 $3.86 \times 10^9 \text{Bq}$ ，属乙级非密封放射性物质工作场所。

（2）在南院院区医技及门急诊楼（二期）3 楼手术室 OR10 和手术室 OR16 内分别新增 1 台 DSA，最大管电压 $\leq 125\text{kV}$ ，最大管电流 $\leq 1200\text{mA}$ ，开展放射诊断和介入治疗。

目前，更新辐射安全许可证相关手续正在办理中，医院现有核技术应用项目许可情况见表 1.3.1~表 1.3.4，医院建设中核技术应用项目情况见表 1.3.5~表 1.3.6。

表 1.3.1 医院（本部院区）已许可密封源一览表

序号	核素名称	类别	总活度 (Bq) /活度 (Bq) ×枚数	使用场所	备注
1	Sr-90	V	$1.48 \times 10^9 \times 1$	3 号楼二层核医学科	已环评、已获得辐射安全许可。
2	Ge-68		$4.00 \times 10^8 \times 1$	1 号楼一层核医学科	
3	Ge-68		$3.50 \times 10^6 \times 1$		
4	Ge-68		$1.85 \times 10^7 \times 1$		
5	Ge-68		$4.00 \times 10^7 \times 1$		
6	Ge-68		$5.55 \times 10^7 \times 4$		
7	Ge-68		$1.11 \times 10^8 \times 1$		
8	Ir-192	III	$3.70 \times 10^{11} \times 1$	6 号楼负 3 楼后装治疗室	已环评、已获得辐射安全许可、已验收。

表 1.3.2 医院（本部院区）已许可非密封放射性物质一览表

序号	核素名称	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	等级	使用场所	备注
1	Y-90	1.50×10^8	3.00×10^{12}	乙	3 号楼 2 楼核医学科 (ECT 区域)	已环评、已获得辐射安全许可、已验收。
2	Tc-99m	1.85×10^9	1.11×10^{13}			
3	Sr-89	6.50×10^7	1.48×10^{10}			
4	Sm-153	4.10×10^8	5.55×10^{10}			
5	Ra-223	6.70×10^7	6.70×10^9			
6	Lu-177	7.40×10^8	1.85×10^{11}			
7	I-125 粒子	1.85×10^8	1.85×10^{11}			
8	I-125	3.70×10^6	1.85×10^7			
9	I-131	3.70×10^9	5.55×10^{12}		3 号楼 2 楼核医学科 (^{131}I 治疗区域)	
10	Ge-68 (Ga-68)	7.40×10^7	9.60×10^{10}		1 号楼 1 楼核医学科 (PET/CT 中心)	
11	F-18	2.96×10^9	7.10×10^{12}			
12	C-14	1.20×10^4	3.70×10^6			

表 1.3.3 医院（本部院区）已许可射线装置一览表

序号	设备名称	设备型号	分类	数量	工作场所	使用情况	备注
1	制备 PET 药物用加速器	Minitrace	II 类射线装置	1	1 号楼 1 楼核医学科 (PET/CT 中心) 回旋加速器机房	使用中	已环评, 已取得辐射安全许可证, 已验收。
2	直线加速器	Varian		1	6 号楼负 3 楼肿瘤内科加速器治疗室 1		
3	DSA	Allura Xper FD20		1	3 号楼 2 楼介入导管室 A 间		
4	DSA	ARTIS ZEE FLOOR		1	3 号楼 2 楼介入导管室 B 间		
5	DSA	ARTIS ZEE CEILING		1	3 号楼 1 楼介入放射科 DSA 机房		

6	DSA	Artis Zee Ceiling		1	6号楼2楼介入导管室C间		
7	DSA	Uniq FD20C		1	6号楼2楼介入导管室D间		
8	DSA	Allura Xper FD20		1	6号楼3楼第二手术室手术室(3)		
9	口腔X光机	ELITYS	III类射线装置	1	2号楼5楼口腔科	使用中	已环评,已取得辐射安全许可证。
10	SPECT/CT	GE Discovery NM/CT 670		1	3号楼2楼核医学科ECT(一)室		
11	螺旋CT	Sensation 64		1	3号楼1楼放射科2号机房		
12	移动C型臂	SIREMOBIL Compact L		1	1号楼7楼第三手术室手术室(1)		
13	数字胃肠X光机	EASY DIAGNOST		1	2号楼7楼内镜中心		
14	骨密度仪	Discovery W		1	3号楼2楼核医学科骨密度室		
15	碎石机	Compact Delta II		1	3号楼2楼碎石室		
16	移动C型臂	SIREMOBIL Compact L		1	3号楼3楼第一手术室手术室(20)		
17	移动C型臂	SIREMOBIL Compact L		1	3号楼3楼第一手术室手术室(21)		
18	移动C型臂	SIREMOBIL Compact L		1	3号楼3楼第一手术室手术室(22)		
19	X线摄片机(DR)	Aristos VX Plus		1	3号楼1楼放射科3号机房		
20	X线摄片机(DR)	Aristos VX Plus		1	3号楼1楼放射科9号机房		
21	数字胃肠机	Axiom Luminos drf		1	3号楼1楼放射科7号机房		
22	PET/CT	Discovery PET/CT 710		1	1号楼1楼核医学科(PET/CT中心)PET机房(二室)		
23	SPECT/CT	GE Discovery NM/CT 670 Pro		1	3号楼2楼核医学科ECT(二)室		
24	CT模拟定位机	Brilliance CT BigBore		1	6号楼负3楼肿瘤内科CT模拟定位室		
25	移动式C型臂	Cios connect		1	1号楼7楼第三手术室手术室(2)		
26	口腔X线摄影装置	CS9300C Select		1	2号楼5楼口腔科		
27	乳腺X射线机	Selenia Dimensions		1	3号楼1楼放射科10号机房		
28	数字化X射线摄影机	Ysio Max		1	3号楼1楼放射科4号机房		
29	数字化X射线摄影机	Digital Diagnost		1	3号楼1楼放射科5号机房		
30	X射线计算机断层摄影装置(CT)	SOMATOM Force		1	6号楼1楼放射科CT室		

31	X射线计算机断层摄影装置(CT)	Light Speed VCT	1	5号楼2楼急诊放射科CT室
32	移动C型臂	Cios Select SI	1	6号楼3楼第二手术室手术室(7)
33	CT	SOMATOM go.Top	1	3号楼1楼放射科6号机房
34	DR	Luminos dRF Max	1	5号楼2楼急诊放射科DR机房
35	DR	MOBILETT XP Digital	1	5号楼1楼急救中心
36	X射线计算机断层摄影装置(CT)	Revolution CT	1	3号楼1楼放射科8号机房
37	移动式C型臂	cios spin	1	3号楼3楼第一手术室手术室(19)
38	车载CT	Ingenuity Core 128	1	10号楼门口
39	移动X线机(移动DR)	MOBILETT XP Digital	1	3号楼1楼放射科
40	移动X线机(移动DR)	MOBILETT XP Digital	1	3号楼1楼放射科
41	移动X线机(移动DR)	MOBILETT Mira Max	1	3号楼1楼放射科

表 1.3.4 医院(南院院区)已许可射线装置一览表

序号	设备名称	设备型号	分类	数量	工作场所	使用情况	备注
1	DSA	Allura Xper FD20	II类射线装置	1	南院医技及门急诊楼(一期)3楼病房手术室	使用中	已环评,已取得辐射安全许可证,已验收。
2	牙片X光机	HELIODENT PLUS	III类射线装置	1	南院医技及门急诊楼(一期)2楼口腔科	使用中	已环评,已取得辐射安全许可证。
3	牙片X射线机	OrthophosXG 5Sirona		1	南院医技及门急诊楼(一期)2楼口腔科		
4	CT	SOMATOM Definition		1	南院医技及门急诊楼(一期)1楼放射科		
5	移动式X光机	SIRMOBIL Compact L		1	南院医技及门急诊楼(一期)3楼病房手术室		
6	DR	Lnminofusion		1	南院医技及门急诊楼(一期)3楼健康管理科		
7	DR	Lnminofusion		1	南院医技及门急诊楼(一期)1楼放射科		
8	数字肠胃机	AxiomLumin osdrf		1	南院医技及门急诊楼(一期)1楼放射科		
9	CT	OptimaCT 680 Expert		1	南院医技及门急诊楼(一期)1楼放射科		
10	数字肠胃机	Lnminos Agile		1	南院医技及门急诊楼(一期)2楼消化内镜中心		

11	移动式 C 形臂 X 射线机	ZiehmSolo	1	南院医技及门急诊楼（一期）3 楼病房手术室
12	DR	Ysio	1	南院医技及门急诊楼（一期）1 楼放射科
13	数字乳腺 X 射线摄影系统	HologicSeleniumDimensions	1	南院医技及门急诊楼（一期）1 楼放射科
14	移动式 X 光机	MobiletMira	1	南院医技及门急诊楼（一期）1 楼放射科

表 1.2.5 医院（南院院区）已通过环评审批正在建设中的射线装置项目

序号	设备名称	数 (台)	型号	主要参数	类别	设备位置
1	SPECT/CT	1	待定	最大管电压 140kV 最大管电流 800mA	III 类	医技及门急诊楼（二期）1 楼 SPECT/CT 机房
2	DSA	1	待定	最大管电压 125kV 最大管电流 1200mA	II 类	医技及门急诊楼（二期）3 楼手术室 OR10
3	DSA	1	待定	最大管电压 125kV 最大管电流 1200mA	II 类	医技及门急诊楼（二期）3 楼手术室 OR16

表 1.2.6 医院（南院院区）已通过环评审批正在建设中的非密封放射性物质项目

序号	核素名称	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	使用场所	贮存方式与地点
1	^{99m} Tc	2.22×10 ¹⁰	2.22×10 ⁷	合计： 3.86×10 ⁹ (乙级)	5.55×10 ¹²	显像诊断	核医学科分装注射室的 1#手套箱内
2	⁸⁹ Sr	2.96×10 ⁸	2.96×10 ⁷		2.96×10 ¹⁰	核素治疗	
3	²²³ Ra	1.11×10 ⁷	1.11×10 ⁸		1.11×10 ⁹	核素治疗	
4	¹³¹ I	3.70×10 ¹⁰	3.70×10 ⁹		3.55×10 ¹²	核素治疗	

1.4 原有核技术应用项目辐射安全管理及防护情况

(1) 辐射防护管理制度

福建省立医院成立了以省急救中心副主任***为组长的放射防护领导小组，制定了《福建省立医院辐射事故应急预案》、《放射工作人员管理制度》、《辐射防护工作档案管理制度》、《个人防护用品使用与管理制度》、《辐射工作人员岗位职责》、《辐射防护和安全保卫制度》、《放射性同位素及射线装置使用登记制度》、《放射性同位素及射线装置台帐管理制度》、《射线装置检修和维护制度》、《辐射工作定期自查和监测制度》、《放射性同位素与射线装置质量保证方案》等辐射安全管理制

度，并严格遵守执行。

(2) 辐射工作人员培训、个人剂量监测档案和职业健康监护情况

福建省立医院本部院区现有辐射工作人员共计 274 名，医院已建立辐射工作人员培训、职业健康监护和个人剂量监测档案，根据档案记录：

①截止 2023 年 10 月，福建省立医院本部及金山院区的辐射工作人员均已参加辐射安全与防护培训，并取得合格证书（部分辐射培训合格证书见附件 6）。

②医院已为辐射工作人员配备了个人剂量计，由专人负责收集个人剂量计，并委托有资质单位承担个人剂量监测工作，监测频度为 90 天 1 次。根据杭州普洛赛斯检测科技有限公司提供的《福建省立医院放射工作人员 2022 年 1 月-2022 年 12 月年度职业外照射个人剂量监测结果通知单》和《福建省立医院个人累积剂量检验检测报告（2023 年 2 月-2023 年 6 月）》，辐射工作人员个人剂量监测年统计结果中年度（2022 年 7 月-2023 年 6 月）总有效剂量最大值为 1.173mSv（李晗，男），低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中规定的辐射工作人员剂量管理值 5mSv/a 的要求。

③医院已为辐射工作人员建立职业健康监护档案，由福建省立医院健康管理科对辐射工作人员进行职业健康体检，并出具相应《福建省立医院职业健康检查结果总结报告》，每两年的个人职业健康体检报告均存档备案。

(3) 辐射工作场所监测情况

在设备正常运行状态下，医院每月均对辐射工作场所进行巡测；此外，院方每年委托有监测资质的单位对工作场所及周围辐射环境剂量率进行监测，监测频次为 1 次/年，并将巡测和监测数据记录存档。根据医院 2022 年度辐射工作场所检测报告，院内各辐射场所监测均未出现超标情况。

(4) 辐射监测仪器和防护用品配备情况

福建省立医院本部院区为医护人员和受检者配备了必要的个人防护用品，具体放射防护用品清单见表 1.4.2。

表 1.4.1 医院本部院区放射防护用品一览表

序号	放射防护用品名称	规格型号	数量
1	表面污染检测仪	Inspector	1
2	X-γ 射线区域监测系统	GW1001	3
3	智能化 X-γ 辐射巡检仪	FSXC-100	1
4	表面污染检测仪	RAMSURF-1	1
5	个人剂量报警仪	FJ-3200	6
6	个人剂量当量（率）监测仪	NT6102（P01）型	16
7	铅衣	/	125
8	铅帽	/	77
9	铅手套	/	2
10	铅眼镜	/	24
11	铅围裙	/	60
12	铅围脖	/	117
13	铅屏风	/	17
14	个人剂量计	/	359

（5）辐射工作管理情况

医院日常按照制定的一系列规章制度开展辐射工作管理，已提交 2022 年度安全评估报告；建立个人剂量计档案和职业健康体检档案，并指定专人管理，定期委托有资质的单位开展个人剂量计检测、组织辐射工作人员进行职业健康体检；医院安排责任科室日常定时巡查、检测设备性能，据调查，截止目前，福建省立医院使用的射线装置正常运行，未发生辐射事故；院方已开展 2023 年度辐射应急演练，并正在制定 2024 年度辐射应急演练计划，适时开展。

1.5 项目地理位置和周边概况

1.5.1 项目地理位置

本项目位于福建省福州市鼓楼区东街 134 号福建省立医院 6 号楼负 3 楼（最底层）南侧，医院地理位置见图 1.5-1 所示。

1.5.2 辐射工作场所及周边关系

福建省立医院 6 号楼（心血管大楼）位于院区东部，其北侧为 8 号楼（科研周转楼）和庆城路，东侧为院内通道及五四路，东南侧为 5 号楼（急救中心），南侧为 3 号楼（住院楼），西侧为 7 号楼（住院部）和大斗彩巷，西北侧为 9 号楼（综合楼）。

本项目直线加速器装置设置于 6 号楼负 3 楼（最底层）的肿瘤内科南侧加速器治疗室 2，其北侧为加速器治疗室 2 的控制室、设备间、休息等候区、预留 CT 模拟定位机机房及其控制室等，东侧为医生通道、服务器室、值班室、楼梯间和电缆井，南侧为土壤层，西侧为水冷机房、加速器治疗室 1 及其控制室，机房上方为进风机房、走道和停车场。

本项目直线加速器项目评价范围为机房边界外 50m 范围内，其评价范围及保护目标图见图 1.5-2，6 号楼负 3 楼和负 2 楼的局部平面图见图 1.5-3~1.5-4，现场照片见图 1.5-5。

1.6 项目选址及合理性分析

本项目直线加速器机房位于 6 号楼负 3 楼最南端，位置相对独立，设备有单独的固定机房，与周边非放射性工作场所隔开，避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）的选址要求。在辐射工作场所四周墙体及顶棚采用的屏蔽防护有效、机房设置通风装置正常运行的条件下，对周围环境影响不大。综上所述，项目作业与其他科室不交叉，按照设计的防护措施，项目运行时对周围环境辐射影响小。因此，项目选址基本是合理的。

1.7 项目建设必要性

随着社会经济的不断发展，人们对医疗日趋重视，治疗需求逐年增加。为保障福州市区及其周边地区的医疗服务，提高医院服务质量及服务水平，福建省立医院拟购置 1 台医用直线加速器，用于开展医疗、教学、科研，提高医疗服务体系水平。目前，医院已有相对成熟的辐射医疗人员团队，并成立了放射诊疗安全与防护管理领导小组，制定一系列辐射安全管理制度和《辐射事故应急预案》，已具有一定开展新项目的技术能力，能为病人提供更方便、快捷、专业的治疗，更好的服务于社会。此外，项目所涉及的医用直线加速器已被广泛应用于各类肿瘤和癌症的治疗，在医院的治疗方案构成中具有其必要性和重要性。

1.8 实践正当性

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）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可能引起的辐射危害时，该实践是正当的。

射线装置的应用在放射治疗等方面有其他技术无法替代的特点，对保障健康、拯救生命起了十分重要的作用。福建省立医院拟新增 1 台直线加速器设备，提升医院医疗服务能力，将为当地病人提供一个更加优越的诊疗环境，具有明显的社会效益。

本项目整体布局较为合理，工作场所均按相关规范、标准要求进行了设计，防护措施满足标准要求。项目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，因此，本项目建设符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中辐射防护“实践正当性”原则。

1.9 国家产业政策符合性分析

根据《产业结构调整指导目录》（2019 年本）（中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 29 号），本项目属于“鼓励类”中“十三、医药”中的“5、……高端放射治疗设备……”以及“三十七、卫生健康”中的“5、医疗卫生服务设施建设”项目，因此本次福建省立医院 1 台直线加速器项目符合国家产业政策。



图 1.5-1 福建省立医院地理位置图

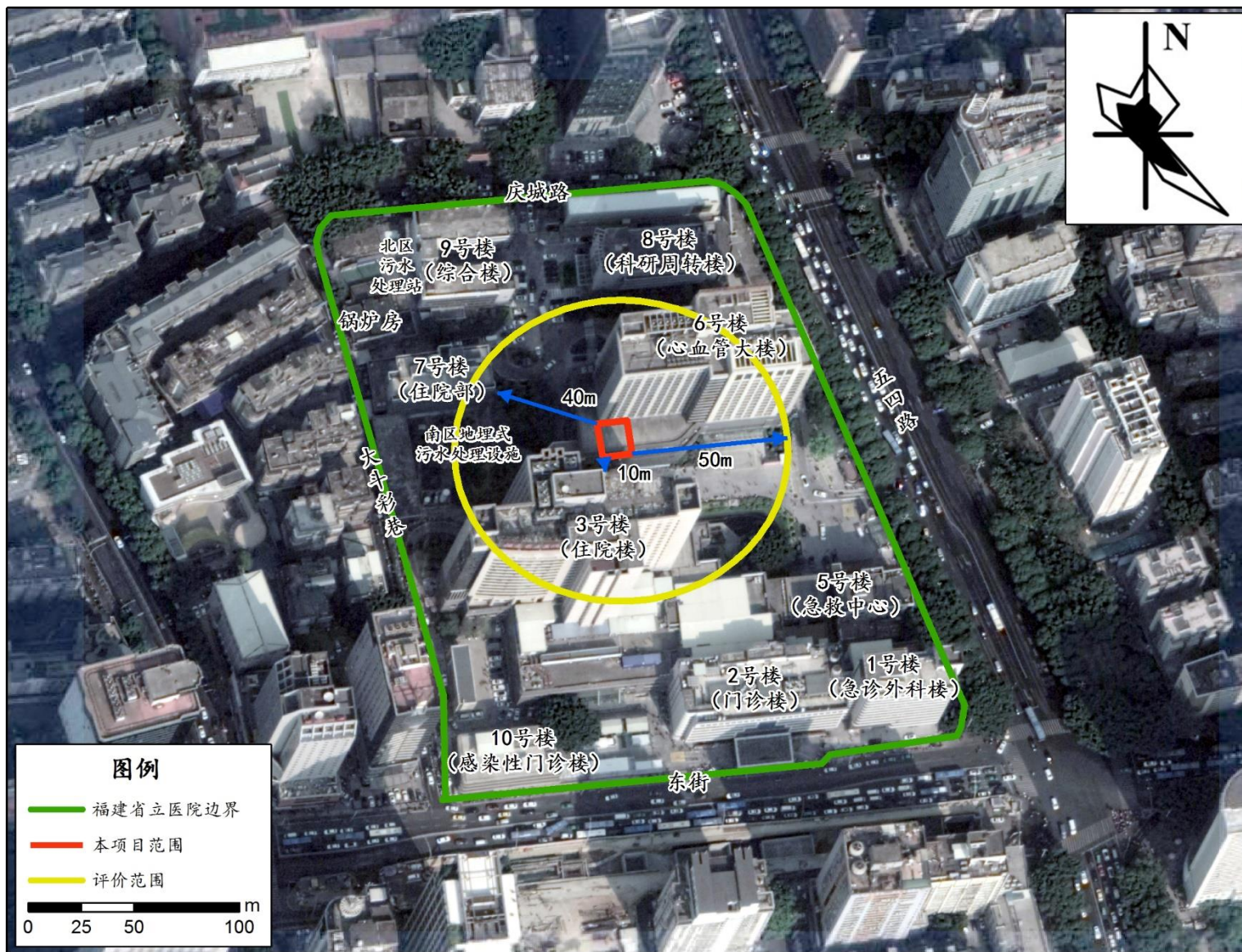


图 1.5-2 本项目评价范围及保护目标图

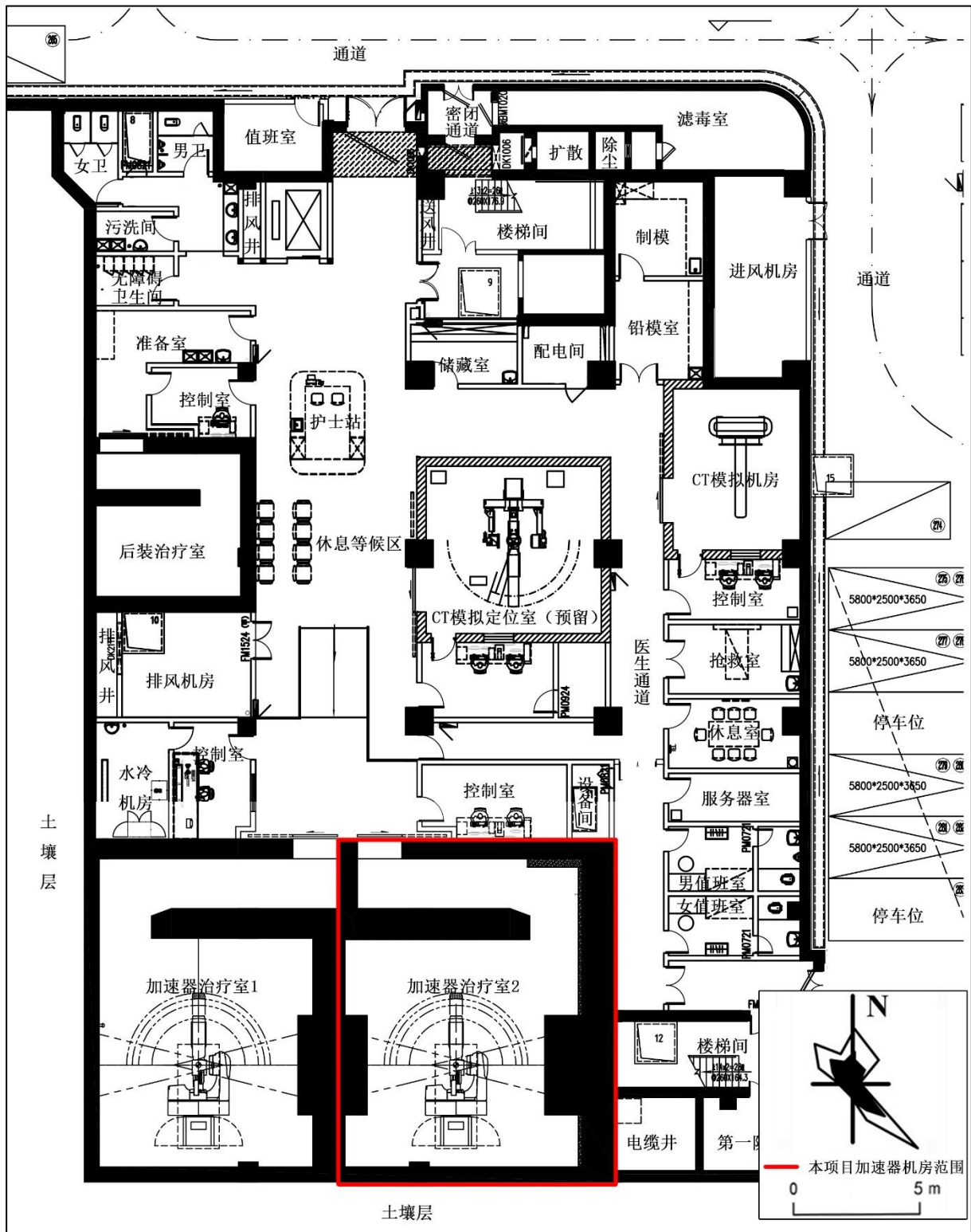


图 1.5-3 福建省立医院 6 号楼负 3 楼局部平面图

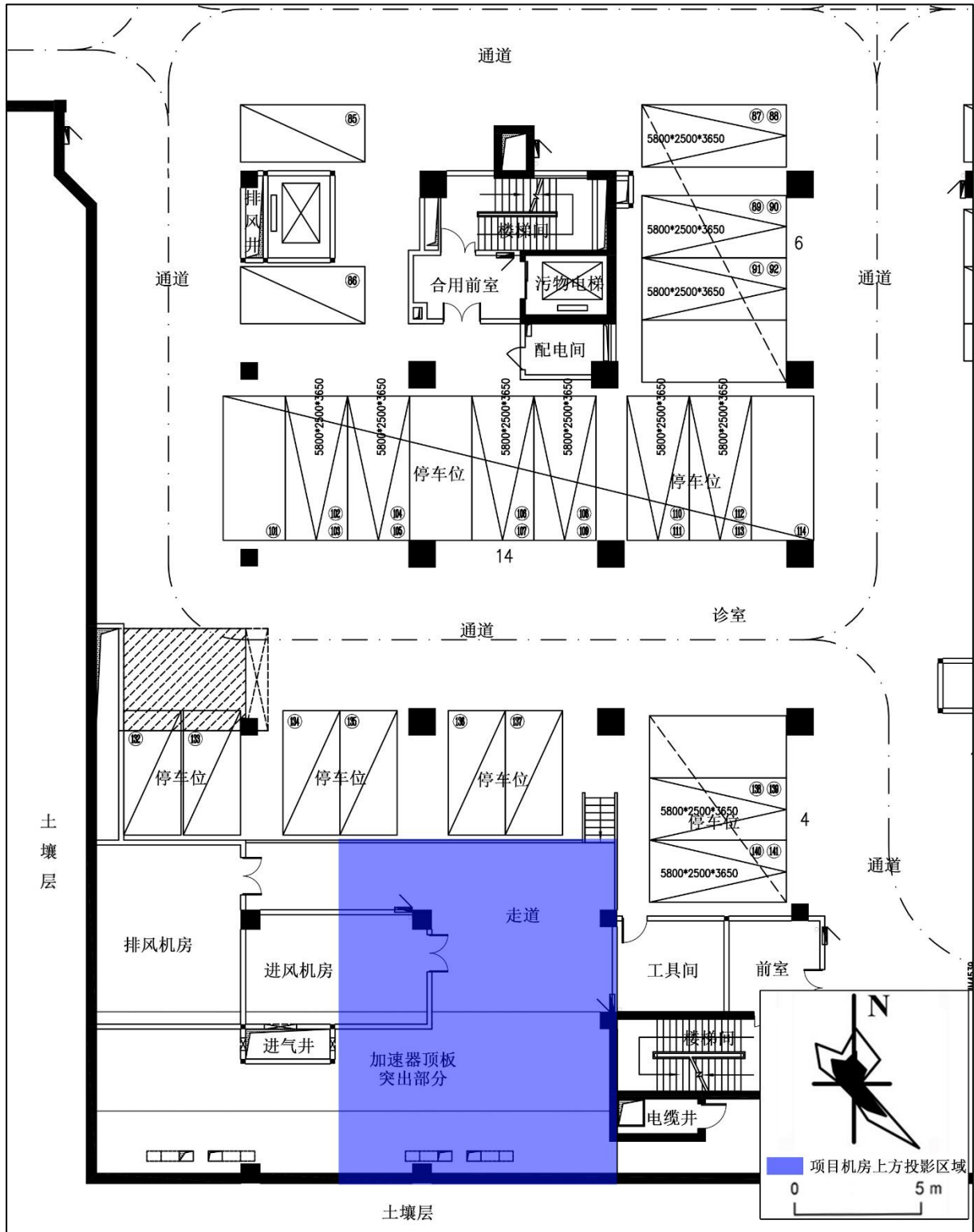


图 1.5-4 福建省立医院 6 号楼负 2 楼局部平面图



加速器治疗室 2 现状



北侧加速器治疗室 2 控制室（现为库房）



北侧休息等候区



北侧设备间



东侧服务器室和值班室



东侧楼梯间



西侧加速器治疗室 1 及其控制室



上方进风机房和走道



项目所在 3 号楼



北侧 8 号楼



东侧院内通道



南侧 3 号楼



西侧7号楼



福建省立医院大门

图 1.5-5 福建省立医院现状照片

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
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	医用电子直线加速器	II类	1	医科达 infinity	电子	X 射线最高能量： 10MV 电子最高能量： 22MeV	2200cGy/min	放射治疗	6 号楼负 3 楼肿瘤内科加速器治疗室 2	/

(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
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(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 (μA)	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	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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
臭氧和氮氧化物	气态	/	/	微量	微量	/	通过机房排风系统排入大气	通过加速器治疗室 2 的排风系统排入大气，臭氧在 20~30 分钟左右可自动分解
直线加速器退役期（含加速器废靶等感生放射性部件）	固体	/	/	/	/	/	置于固体废物暂存间内	经衰变低于清洁解控水平后，作为一般固体废物交由有资质的单位处置
/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：1. 常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 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

法规文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》，2015 年 1 月 1 日实施；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月 29 日修订；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日实施；</p> <p>(4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（修订版），国务院令第 709 号，2019 年 3 月 18 日起施行；</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》，2017 年 10 月 1 日实施；</p> <p>(6) 《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；</p> <p>(7) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，2021 年 1 月 1 日实施；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，2011 年 5 月 1 日；</p> <p>(9) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，2021 年 1 月 4 日修订；</p> <p>(10) 《放射工作人员职业健康管理暂行办法》，2007 年 11 月 1 日；</p> <p>(11) 《关于印发辐射安全许可座谈会会议纪要的函》，环办函[2006]629 号，2006 年 9 月 27 日；</p> <p>(12) 《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》，环发[2006]145 号，2006 年 9 月 26 日；</p> <p>(13) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，中华人民共和国环境保护部办公厅，环办辐射函[2016]430 号，2016 年 3 月 7 日；</p> <p>(14) 《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》中华人民共和国生态环境部，2019 年 12 月 23 日；</p> <p>(15) 《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（2021 年修正版）；</p> <p>(16) 《福建省环境保护条例》，2012 年 3 月 31 日修订；</p> <p>(17) 《福建省环保厅关于印发<核技术利用单位辐射事故/事件应急预案编制大纲>（试行）的通知》（闽环保辐射[2013]10 号），2013 年 3 月 15 日印发；</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》 (HJ 2.1-2016) ;</p> <p>(2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》 (GB 18871-2002) ;</p> <p>(3) 《放射治疗辐射安全与防护要求》 (HJ 1198-2021) ;</p> <p>(4) 《放射治疗放射防护要求》 (GBZ 121-2020) ;</p> <p>(5) 《电离辐射监测质量保证通用要求》 (GB 8999-2021) ;</p> <p>(6) 《辐射环境监测技术规范》 (HJ 61-2021) ;</p> <p>(7) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》 (HJ 1157-2021) ;</p> <p>(8) 《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>(9) 《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>(10) 《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》 (HJ 10.1-2016) ;</p> <p>(11) 《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分: 化学有害因素》 (GBZ 2.1-2019) ;</p> <p>(12) 《职业性外照射个人监测规范》 (GBZ 128-2019) ;</p> <p>(13) 《室内空气质量标准》 (GB/T 18883-2002) ;</p> <p>(14) 《大气污染物综合排放标准》 (GB 16297-1996) ;</p> <p>(15) 《建筑施工场界环境噪声排放标准》 (GB 12523-2011) 。</p>
<p>其 他</p>	<p>(1) 委托书;</p> <p>(2) 医院放射诊疗操作规程、辐射安全管理制度、个人剂量检测报告等资料;</p> <p>(3) 福建省立医院提供的加速器治疗室 2 建筑设计图以及与建设项目相关的技术资料;</p> <p>(4) 福建省立医院辐射安全许可证;</p> <p>(5) 辐射工作人员培训合格证书;</p> <p>(6) 福建拓普检测技术有限公司出具的检测报告。</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

本项目使用 II 类射线装置，根据《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》（HJ 10.1-2016）中，“射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围（无实体边界项目视具体情况而定，应不低于 100m 的范围）……”，根据本项目特点，本项目评价范围确定为：直线加速器机房实体屏蔽物外 50m 范围内，见图 1.5-2。

7.2 保护目标

本项目评价范围及保护目标见图 1.5-2~图 1.5-4，辐射环境评价范围内均无居民点、学校等敏感目标分布，评价范围内保护目标主要为辐射工作人员、医护人员及周边的公众等。本项目环境保护目标情况见表 7.2.1。

表 7.2.1 直线加速器机房环境保护目标一览表

序号	保护目标名称		方位	距离 (m)	单个小时内最大规模	保护要求 (mSv/a)
1	控制室职业人员		北侧控制室	紧邻	约 6 人	5 ^①
			西侧加速器治疗室 1 及其配套控制室	紧邻	约 6 人	
2	机房四周的公众	其他医护人员、其他工作人员、病人及病人家属	北侧休息等候区	紧邻	约 10 人	0.1 ^①
			北侧设备间	紧邻	约 1 人	
			东侧医生通道	紧邻	流动人员约 10 人	
			东侧楼梯间	紧邻	流动人员约 10 人	
			上方进风机房	紧邻	约 1 人	
			上方走道	紧邻	流动人员约 5 人	
			6 号楼其他评价范围内区域	周边	约 300 人	
			南侧 3 号楼	10	约 800 人	
西侧 7 号楼	40	约 200 人				

注：①《放射治疗辐安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中的要求。

7.3 评价标准

7.3.1 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）

4.3.2.1 应对个人受到的正常照射加以限制,以保证本标准 6.2.2 规定的特殊情况外,由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量当量和有关器官或组织的总当量剂量不超过附录 B (标准的附录 B) 中规定的相应剂量限值。

B1.1 职业照射

B1.1.1 剂量限值

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

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

B1.2 公众照射

B1.2.1 剂量限值

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应超过下述限值:

年有效剂量, 1mSv;

6.4 辐射工作场所的分区

应把辐射工作场所分为控制区和监督区, 以便于辐射防护管理和职业照射控制。

6.4.1 控制区

6.4.1.1 注册者和许可证持有者应把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区, 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。

6.4.1.2 确定控制区的边界时, 应考虑预计的正常照射的水平、潜在照射的可能性和大小, 以及所需要的防护手段与安全措施的性质和范围。

6.4.1.3 对于范围比较大的控制区, 如果其中的照射或污染水平在不同的局部变化较大, 需要实施不同的专门防护手段或安全措施, 则可根据需要再划分出不同的子区, 以方便管理。

6.4.2 监督区

6.4.2.1 注册者和许可证持有者应将下述区域定为监督区: 这种区域未被定为控制

区，在其中通常不需要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。

7.3.2 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）

4 一般要求

4.8 辐射工作人员和公众成员的辐射照射应符合 GB 18871-2002 中剂量限值相关规定。

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。

5 选址、布局与分区要求

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。

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。

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……和治疗室，直线加速器机房……等。

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）。

6 放射治疗场所辐射安全与防护要求

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。

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。

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。

6.1.4 剂量控制应符合以下要求：

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

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

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

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 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）。

6.2 安全防护设施和措施要求

6.2.1 放射治疗工作场所，应当设置明显的电离辐射警告标志和工作状态指示灯等：

a) 放射治疗工作场所的入口处应设置电离辐射警告标志，……；

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。

6.2.2 ……、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。

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……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。……；

b) 放射治疗室和……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、……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。

8 放射性废物管理要求

8.1 总体要求

医疗机构应尽量减少放射性废物的产生。

8.2 固体废物管理要求

8.2.2 其他固体废物管理要求

8.2.2.1 ……、直线加速器等治疗装置在调试及运行过程中，如……加速器靶等组成部分，在更换或退役时，应作为放射性固体废物处理，拆卸后先放进屏蔽容器或固体废物暂存间衰变暂存，最终送交有资质的单位收贮。

8.2.2.3 建立放射性固体废物台账，存放及处置前进行监测，记录部件名称、质量、辐射类别、监测设备、监测结果（剂量当量率）、监测日期、去向等相关信息，低于清洁解控水平的可作为一般固体废物处置，并做好存档记录。

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。

9 辐射监测要求

9.1 监测管理

9.1.1 开展放射治疗活动的医疗机构应制定辐射监测计划，并按照计划落实监测工作。不具备辐射监测能力的单位，可以委托有能力的单位进行监测。

9.1.2 所有辐射监测记录应建档保存，测量记录应包括但不限于测量对象、条件、方法、仪器、时间和人员等信息。

9.1.3 应定期对辐射监测结果进行评价，监测中发现异常情况应及时查找原因并报告，同时进行整改。

9.2 放射治疗工作场所监测

9.2.1 应根据使用放射治疗设备种类、能量和使用方式配备相应的辐射监测设备，对辐射工作场所的辐射水平（X- γ 辐射周围剂量当量率、中子辐射周围剂量当量率等）进行监测。

9.2.2 应对放射治疗工作场所机房四周屏蔽墙外 30cm 处、顶棚、操作位、观察窗、防护门，以及其他关注处点开展 X- γ 辐射周围剂量当量率监测。

9.2.3 放射治疗设备安装调试阶段，应在最大工况下，由辐射工作人员进行全面的辐射监测，评估辐射安全状况，确保辐射水平达标。

9.3 环境监测

9.3.1 开展放射治疗相关活动的机构应自行或委托有能力的监测机构对工作场所运行工况下周围环境的辐射水平进行监测，监测频次应不少于 1 次/年。

9.4 个人剂量监测

9.4.1 放射治疗工作场所的工作人员应佩戴个人剂量计，对个人外照射剂量进行监测。同时应根据射线类型选择合适的个人剂量计。临时工作人员、实习人员应纳入个人剂量监测范围。

9.4.2 个人剂量档案应妥善保存，监测数据异常时，应及时查明原因并报告生态环境主管部门。

7.3.3 《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）

6 工作场所放射防护要求

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。

6.1.2 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。

6.1.3 治疗机房……，其余方向的防护屏蔽应满足漏射线及散射线的屏蔽要求。

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。

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。

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。

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

6.3.3 屏蔽材料

屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能和经济因素，符合最优化要求，新建机房一般选用普通混凝土。

6.4 安全装置和警示标志要求

6.4.1 监测报警装置

含放射源的放射治疗机房内应安装固定式剂量监测报警装置，应确保其报警功能正常。

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。

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。

6.4.4 急停开关

6.4.4.1 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。

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。

7.3.4 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范》

(1) 《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)

关于治疗机房一般屏蔽要求，医院电子直线加速器机房设计应满足如下要求：

1) 治疗机房一般设于单独的建筑或建筑物底层的一端。治疗机房的坐落位置应考虑周围环境与场所的人员驻留条件及其可能的改变，并根据相应条件确定所需要的屏蔽；

2) 治疗装置控制室与治疗机房分离；

3) 直接与治疗机房相连的宽束治疗装置的控制室和其他居留因子较大的用室，应尽可能避开有用束可直接照射到的区域；

4) 治疗机房以混凝土为屏蔽体时，应一次整体浇筑并有充分的震捣，以防出现裂缝和过大的气孔；

5) 穿过治疗机房墙的管线孔（包括通风、电器、水管等）应避开控制台等人员高驻留区，并采用多折曲路，有效控制管线孔的辐射泄漏。

(2) 《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》(GBZ/T 201.2-2011)

4.2.1 治疗机房墙和入口门外关注点的周围剂量当量率参考控制水平：

治疗机房墙外和入口门外关注点的周围剂量当量参考控制水平应不大于下述 a)、b) 和 c) 所确定的剂量率参考控制水平 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，可以依照附录 A（标准中的附录），由下列周剂量参考控制水平 H_c 求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$)：

1) 放射治疗机房外控制区工作人员： $H_c \leq 100\mu\text{Sv/周}$ ；

2) 放射治疗机房外非控制区人员: $H_c \leq 5\mu\text{Sv}/\text{周}$ 。

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

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

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

c) 由上述 a) 中的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ 和 b) 中的最高剂量率参考水平 $\dot{H}_{c,\text{max}}$, 选择其中较小者作为关注点的剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)。

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) 在治疗机房正上方有建筑物或治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自放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 $\dot{H}_c \leq 5\mu\text{Sv}/\text{周}$ 和最高剂量率 $\dot{H}_{c,\text{max}} \leq 2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$, 按照 4.1.1 求得关注点的剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) 加以控制。

b) 除 4.1.2 中 a) 的条件外, 应考虑下列情况:

1) 天空散射和侧散射辐射对治疗机房外的地面附近和楼层中公众的照射。该项辐射和穿透机房墙壁辐射在相应处的剂量率的总和, 应按 4.1.2 中的 a) 确定关注点的剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) 加以控制;

2) 穿透治疗机房屋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;

3) 对无人员停留并只有借助工具才能进入的机房顶, 考虑上述 1) 和 2) 之后, 机房顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平可按 $100\mu\text{Sv}/\text{h}$ 加以控制 (可在相应处设置辐射告示牌)。

附录 A.2.1 单一辐射

单一有用线束与单一泄漏辐射按如下方法导出剂量率参考控制水平:

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 $\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) 见下式:

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (t \cdot U \cdot T)$$

式中: 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 $H_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$) 见下式：

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (N \cdot t \cdot T)$$

式中： N ——调强治疗时用于泄漏辐射的调强因子，通常 $N=5$ ；

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。

7.3.5 其他相关环保标准

(1) 大气污染物排放标准

①施工期大气污染物执行《大气污染物综合排放标准》(GB 16297-1996)表2中的标准，标准限值见表7.3.1。

表 7.3.1 大气污染物排放限值 (摘录)

序号	污染物	无组织排放浓度限值	
		监控点	浓度 (mg/m^3)
1	颗粒物	周界外浓度最高点	1.0

②运营期机房内执行《工作场所有害因素职业接触限值第一部分化学因素》(GBZ 2.1-2019)和《室内空气质量标准》(GB/T 18883-2002)中标准，具体标准限值见表7.3.2。

表 7.3.2 大气污染物标准限值 (摘录)

污染物	浓度限值	标准
臭氧	最高容许浓度 (MAC) $0.30\text{mg}/\text{m}^3$	《工作场所有害因素职业接触限值第一部分化学因素》(GBZ 2.1-2019) 《室内空气质量标准》(GB/T 18883-2002)中标准
臭氧	$0.16\text{mg}/\text{m}^3$ (1小时平均值)	
二氧化氮	$0.24\text{mg}/\text{m}^3$ (1小时平均值)	

(2) 噪声排放标准

项目施工期场界噪声执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB 12523-2011)，标准限值见表7.3.3。

表 7.3.3 建筑施工场界环境噪声排放限值 单位：dB (A)

昼间	夜间
70	55

表 8 环境质量和辐射现状

为掌握项目所在地的辐射环境质量现状，本次评价委托福建拓普检测技术有限公司于 2023 年 9 月 19 日对本项目工作场所及其周围环境进行 X- γ 辐射剂量率背景水平调查。

8.1 项目的地理和场所位置

福建省立医院位于福建省福州市鼓楼区东街 134 号，本项目位于院区东部的 6 号楼负 3 楼（最底层）南侧，其北侧为 8 号楼，东侧为院内通道及五四路，东南侧为 5 号楼，南侧为 3 号楼，西侧为 7 号楼，西北侧为 9 号楼。

项目地理位置见图 1.5-1，周边环境情况见图 1.5-2，机房所在楼层及上方楼层情况见图 1.5-3~1.5-4。

8.2 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

(1) 现状评价的对象：本项目工作场所及周围环境辐射水平。

(2) 监测工况：6 号楼内各类放射源及射线装置正常运行。

(3) 监测因子：X- γ 辐射剂量率。

(4) 监测点位：根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）中有关布点原则和方法，并结合本项目的实际情况，对项目所在辐射工作场所周围布置 12 个监测点位，监测点位见表 8.2.1 和图 8.2-1~8.2-3。

表 8.2.1 X-γ 辐射剂量率背景水平调查点位及检测结果一览表

点位	位置	检测值 (nGy/h)
1#	本项目直线加速器机房处	118.3
2#	本项目直线加速器机房迷路入口处	121.9
3#	本项目直线加速器机房北侧控制室	126.5
4#	本项目直线加速器机房北侧设备间	135.6
5#	本项目直线加速器机房东侧医生通道	132.9
6#	本项目直线加速器机房东侧楼梯间	114.7
7#	加速器治疗室 1 内	117.4
8#	本项目直线加速器机房上方进风机房	99.2
9#	本项目直线加速器机房上方走道	115.7
10#	北侧院内道路	112.8
11#	南侧 3 号楼前	111.0
12#	西侧 7 号楼前	126.5

注：检测方式为巡测，该方向巡测中的最大检测数值；监测点位离地高度为 1.0m，监测点位地面材质为混凝土。

(4) 检测方法、检测仪器及检测条件

本次检测方法依据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)、《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)、《电离辐射监测质量保证通用要求》(GB 8999-2021) 以及《放射治疗辐安全与防护要求》(HJ 1198-2021)。

本次检测仪器为 BG9512P 型 (BG7030 塑料闪烁体) 便捷式多功能射线检测仪，仪器参数见表 8.2.2。

表 8.2.2 检测使用的仪器、参数及检测条件

仪器名称	便捷式多功能射线检测仪
仪器型号	BG9512P 型 (BG7030 塑料闪烁体)
测量范围	主机：0.05μSv/h~30mSv/h BG7030 塑料闪烁体：(10nGy/h~200μGy/h)
能量响应范围	25keV~3MeV
相对固有误差	不超过±15%
检定单位	上海市计量测试技术研究院
检定证书编号	2023H21-20-4733715001
有效日期	2023 年 08 月 03 日至 2024 年 08 月 02 日
检测条件	天气情况：晴；温度：24.9~30.1℃；湿度：56.7-62.8%RH

8.3 质量保证

监测时质量保证措施如下：

- (1) 监测单位：福建拓普检测技术有限公司，公司已通过资质认定，CMA 编号：171320340310；
- (2) 监测布点质量保证：根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）有关布点原则进行布点；
- (3) 监测仪器于 2023 年 08 月 03 日通过上海市计量测试技术研究院检定，证书编号：2023H21-20-4733715001，检定有效期一年，监测期间监测仪器处于有效期内；
- (4) 测量前、后均检查仪器的工作状态是否良好，并用检验源对仪器进行校验；
- (5) 监测方法采用国家有关部门颁布的标准，监测人员经考核并持有合格证书上岗；
- (6) 监测现场由专业人员按照操作规程操作监测仪器，并认真做好记录；
- (7) 检测报告严格实行三级审核制度，经报告编制人、审核人、签发人审核签字后报出。

8.4 监测结果及评价

监测结果详见表 8.2.1，检测报告见附件 10。

从表 8.2.1 可知，在 6 号楼内各类放射源及射线装置正常运营时，本项目位于室内的点位（1#~9#）X- γ 辐射剂量率在 99.2~135.6nGy/h 之间，位于室外的点位（10#~12#）X- γ 辐射剂量率在 111.0~126.5nGy/h 之间。参照《中国环境天然放射性水平》（国家环境保护局，1995 年）中，福州市室内辐射环境本底范围值 89.9~231.0nGy/h，室外（含原野及道路）辐射环境本底范围值 30.1~161.7nGy/h。对比结果显示，本项目所在地及工作场所的 X- γ 辐射剂量率处于正常环境本底水平。

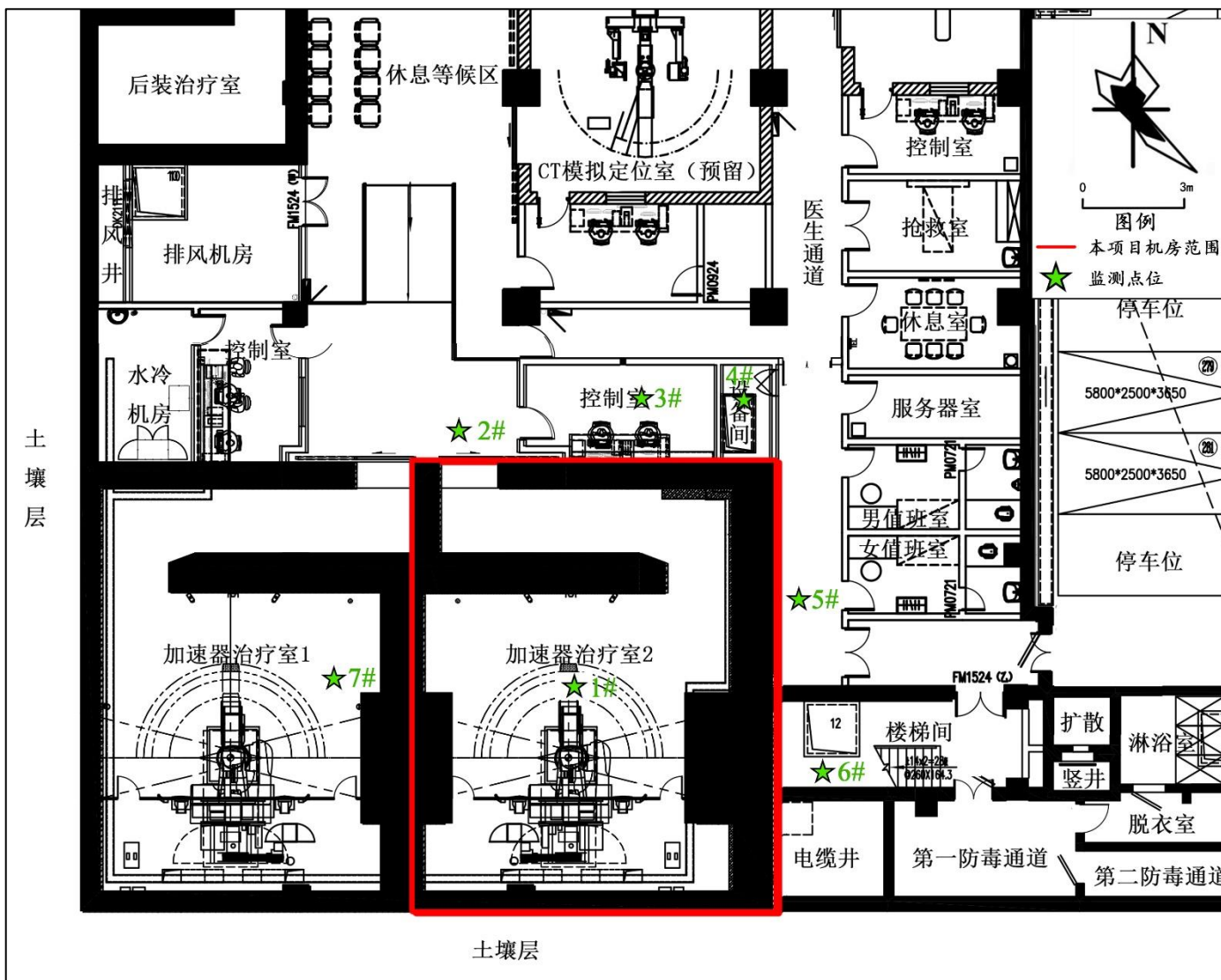


图 8.2-1 X-γ 辐射剂量率背景水平调查点位分布图 (6 号楼负 3 楼局部)

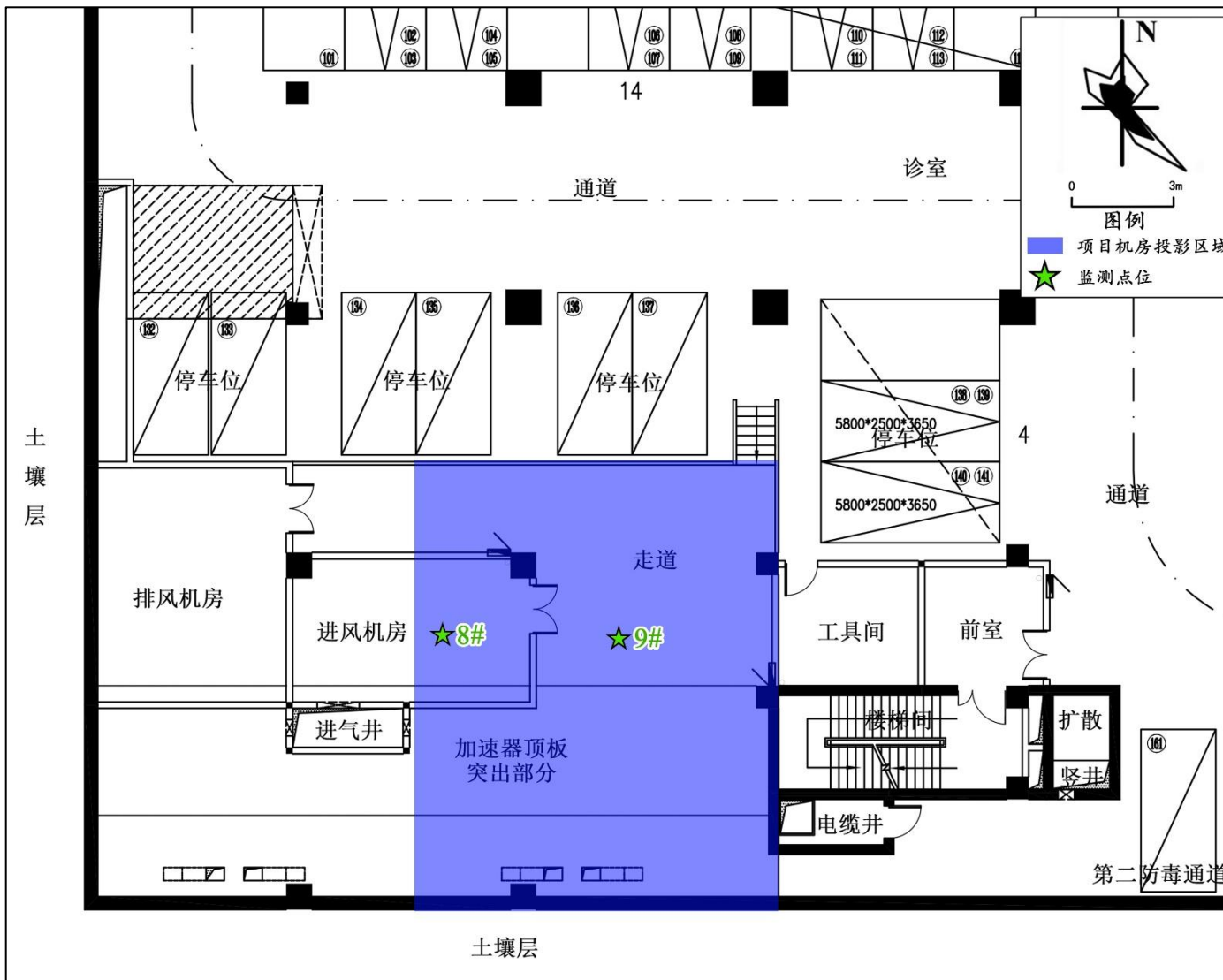


图 8.2-2 X-γ 辐射剂量率背景水平调查点位分布图 (6 号楼负 2 楼局部)

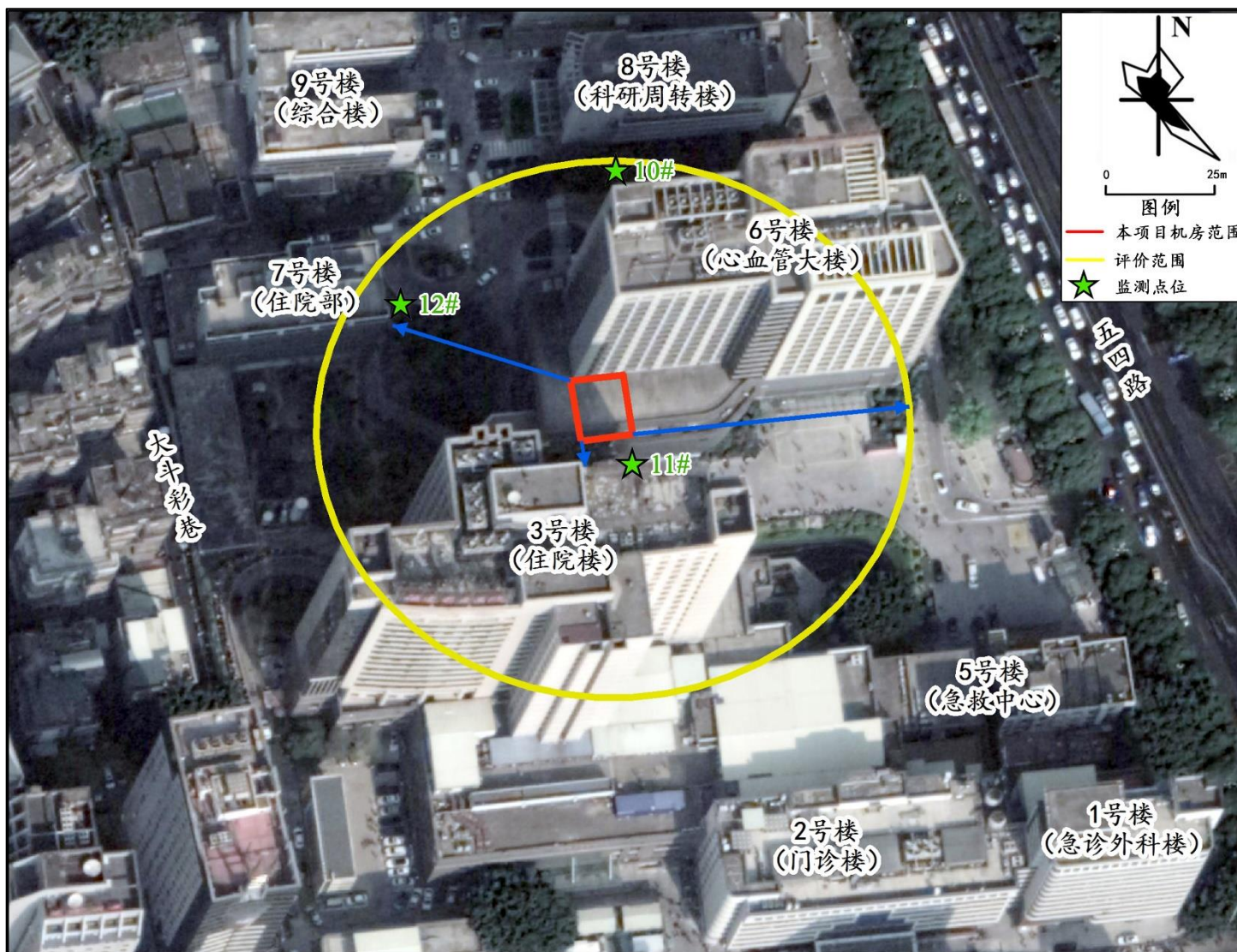


图 8.2-3 X-γ 辐射剂量率背景水平调查点位分布图（外环境关系）

表 9 项目工程分析与源项

9.1 工程设备和工艺分析

9.1.1 直线加速器工作原理、工艺流程

(1) 设备结构及组成

医用电子直线加速器是以磁控管为微波功率源的驻波型直线加速器。它的结构单元为：加速管、电子枪、微波系统、调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统和控制保护系统。医用电子直线加速器示意图见图 9.1-1。

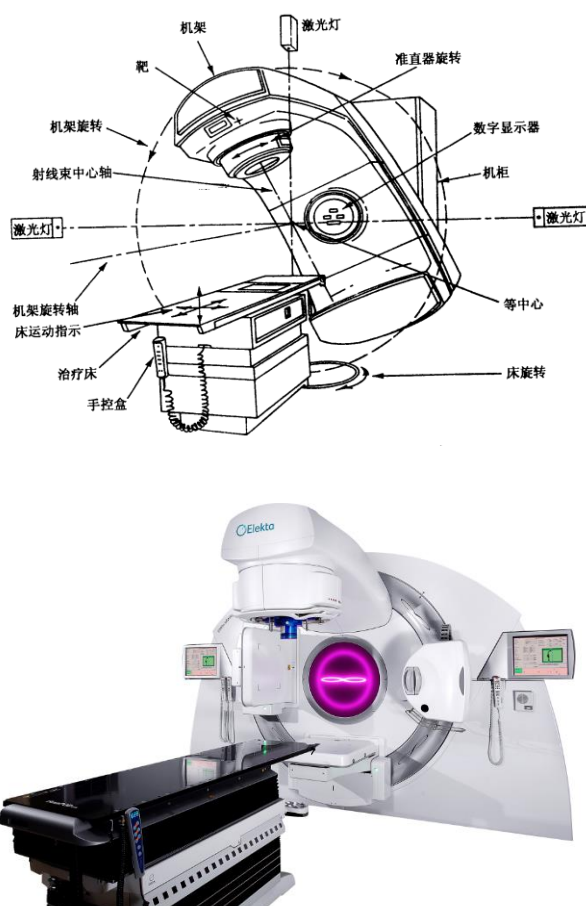


图 9.1-1 医用电子直线加速器物理结构图

(2) 工作原理

放射疗法是 X 射线、 γ 射线或高能电子束等放射线照射癌组织，由于放射线的生物学作用，能大量的杀伤癌细胞，破坏癌组织，使其缩小。其原理是依据大量的放射线所带的能量可破坏细胞的染色体，使细胞停止生长，所以可用于对抗快速生长分

裂的癌细胞。放射治疗最常作为直接或辅助治疗癌症的方式。由于细胞对放射线的敏感性，是在分裂期最高，在 DNA 合成期其敏感性最低，因此放射疗法可以减少损伤周围正常组织，仅是对异常增殖的癌肿给予大量的杀伤，使其缩小，同时机体又再次尽可能发挥最大的调节功能。

医用直线加速器是现实放疗的最常见的设备之一，是产生高能电子束的装置，为远距离放射性治疗机。其工作原理为电子枪产生的电子由微波加速波导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子束由电子窗口射出，经调制、准直后射向患者病灶，或者通过 2cm 左右的空气射到金属钨靶，产生大量高能 X 线，其最大能量为电子束的最大能量，经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的 X 线束，再通过监测电离室和二次准直器限束，最后到达患者病灶实现治疗目的。

因此，医用电子直线加速器既可利用电子束对患者病灶进行照射，也可利用 X 线束对患者病灶进行照射，杀伤肿瘤细胞。

加速器机头可围绕等中心（肿瘤）作 360° 旋转，等中心与加速器靶（即辐射源）距离 100cm，由光阑控制照射野大小。最大照射野 40cm×40cm，实际照射野根据肿瘤大小和形状而定，一般小于 20cm×20cm。医用电子直线加速器具有最佳输出能量、开关方便、大照射野可调、均匀性好、半影区小、对病人产生的副作用小和疗效显著等特点，是目前对肿瘤进行放射治疗的主要技术手段之一。

项目直线加速器主要技术参数详见表 9.1.1。

表 9.1.1 本项目直线加速器主要技术参数

参数名称	参数值
型号	infinity
能量	X 射线≤10MV 电子线≤22MeV
射线最大出射角	28°（等中心点每侧 14°）
源轴距 SAD	1m
距靶 1m 处最高剂量率	3F 模式最大 2200cGy/min
最大照射野尺寸	40cm×40cm
机架旋转角度	360°
等中心点离地高度	130cm
X 射线泄漏率	≤0.1%

（3）工作流程及产污环节

1) 工作流程

①进行定位：先通过 CT 模拟定位机（已备案）对病变部位进行详细检查，然后确定照射的方向、角度和视野大小，拍片定位；

②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；

③固定患者体位：在利用加速器进行治疗时需对患者进行定位，标记，调整照射角度及射野；

④启动治疗：确认各类按钮工作正常后，工作人员退出治疗室，关闭防护门，按照医疗方案调好出束时间、角度、剂量，开机治疗。

⑤治疗完毕后，工作人员协助病人离开机房。

2) 产污环节

电子直线加速器电子枪产生的电子经过加速后，受到金属靶的阻止而产生高能 X 射线，贯穿能力极强，运行时产生的电子束和 X 射线随加速器的开、关而产生和消失。当直线加速器在 10MV 以上的条件下工作时，加速器产生的 X 射线或电子束，与加速器的结构材料、治疗室内各种设备、器械、墙壁、空气等物质作用可能发生光致核反应 (γ, n) 产生中子，并活化形成感生放射性物质，加速器构件及周围环境中主要感生放射性产物详见表 9.1.2。此外，空气中的 O₂ 和 N₂ 分别在 X 射线的作用下生成自由基，易转化为 O₃ 和 NO_x，它们是与辐射相关的非辐射危害因素。

表 9.1.2 加速器构件及周围环境中主要感生放射性产物

部位	材料	感生放射性核素	半衰期	辐射类型
靶	钨	¹⁸¹ W	121.53d	γ
速流管	不锈钢	⁵⁶ Mn	2.6h	β 、 γ
		⁶⁵ Ni	38min	β 、 γ
结构材料	铝	²⁷ Mg	9.5min	β 、 γ
		²⁴ Na	14.9h	β 、 γ
		²⁸ Al	2.3min	β 、 γ
	铜	⁶² Cu	9.7min	β 、 γ
		⁶⁴ Cu	12.8h	β 、 γ
		⁶⁶ Cu	5.1min	β 、 γ
不锈钢	⁵⁶ Mn	2.6h	β 、 γ	
	⁶⁵ Ni	38min	β 、 γ	

注：表格数据来源于刘建防等人关于《对医用加速器产生感生放射性的分析与探讨》的研究。

本次福建省立医院使用的电子直线加速器 X 射线最大能量为 10MV，根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2001），X 射线能量未超过 10MV 的加速器，无需考虑中子辐射及中子俘获 γ 射线。因此，在开机期间，

主要污染因子是 X 射线、感生放射性物质、臭氧和氮氧化合物。工作流程及产污环节见图 9.1-2。

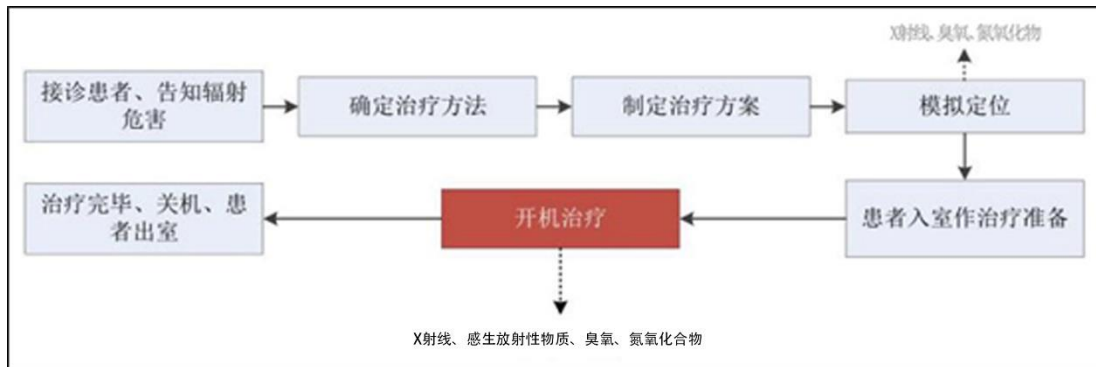


图 9.1-2 医用电子直线加速器工作流程及产污环节

(4) 人员配备及工作负荷

1) 人员配备情况

本项目 1 台直线加速器位于 6 号楼负 3 楼（最底层）的肿瘤内科南侧加速器治疗室 2，拟安排辐射工作人员 6 人，均为新增辐射工作人员，工作制度为两班制。

2) 工作负荷

根据建设单位提供的资料，项目直线加速器的工作量为 80 人/d，每周工作 5d，每年工作 50 周。放射治疗患者的治疗时间平均为 3min/人·次，加速器日治疗出束时间 240min，周治疗出束时间为 1200min（20h），年治疗出束时间为 1000h。

9.2 污染源项描述

9.2.1 建设阶段的污染源项

本项目辐射工作场所在建设阶段不产生放射性废物、放射性废水和放射性气体，直线加速器机房是在福建省立医院 6 号楼主体建筑上进行辐射防护改造，主要包括增加防护门和动力通风装置，并对配套辅助用房等进行功能的分配及装修等，产生的环境影响主要是施工时产生的噪声、扬尘、废水、固体废物等。本项目工程量较小，没有大型机械设备进入施工场地，施工场地安排有序，施工人员较少，有抑尘措施，施工期短，合理安排施工秩序，施工时间，本项目对周围敏感点的影响在可接受的范围内。随着施工期的结束，这些影响也随即结束。

(1) 废气

本项目的环境空气影响主要是扬尘，由散装水泥和建筑材料运输等施工活动将产生。本项目的工程量小，产生的扬尘量很小。

(2) 噪声

本项目产生噪声影响的主要是施工机械、运输及现场处理等。噪声值一般在65~80dB(A)之间，施工场地的噪声对周围环境有一定的影响，但随着施工的结束而结束。

(3) 废水

施工期有混凝土现浇工序，施工用水主要为混凝土搅拌及养护，这类生产废水量小，一般通过蒸发，不外排。其次，施工期会产生少量施工人员生活污水。

(4) 固体废弃物

本项目主要依托6号楼主体建筑施工，工程量小，产生的建筑垃圾很少。

9.2.2 运行阶段污染源项

直线加速器项目在运行过程中不产生放射性废气和放射性废水，主要污染源和污染途径如下：

(1) 电离辐射

根据直线加速器的工作原理可知，只有在开机并出线的状态时，才会有X射线和电子束的产生，X射线是本项目主要污染因子。

1) 主射线辐射：当加速器中光阑完全打开时，从辐射头靶射出的X射线为一个半角为14°的锥形线束，其能量最大为10MV、最大剂量率为2200cGy/min。主射线是唯一用于治疗目的的射线，又称有用线束。

2) 漏射线辐射：由靶向外从各个方向上穿过辐射头泄漏出来的射线为漏射线。漏射线遍布机架各处，因此漏射线辐射源到任一点的距离会因为机架角度不同而异。

3) 散射线辐射：当主射线射入治疗台上的人体时，会产生散布于各个方向上的次级散射线，这种散射线只有比主射线低得多的能量和剂量率，此剂量率决定于被照区域，初级射线能量和散射角度。

(2) 感生放射性物质

直线加速器在运行过程中产生的X射线或电子线与加速器的结构材料以及周边环境介质作用中，会活化形成感生放射性物质，其将在直线加速器停止运行后继续存在一段时间。

(3) 放射性固体废物

直线加速器项目运行过程中产生的放射性固体废物为直线加速器在退役时产生的加速器废靶等部件等。放射性固体废物先置于固体废物暂存间（为本项目机房）内，经衰变低于清洁解控水平后，作为一般固体废物交由有资质的单位处置。

(4) 固体废物

直线加速器项目固废主要为工作人员产生的少量生活垃圾，生活垃圾分类收集后，定期交由环卫部门处置。

(5) 废气

直线加速器工作时产生的高能 X 射线使周围物质电离、激发，与空气作用产生臭氧和氮氧化合物等气体对周围环境造成污染。

(6) 废水

本项目不产生医疗废水，废水主要为工作人员的生活污水，生活污水依托医院现有北区污水处理设施，处理达标后排入市政污水处理管网，统一纳入洋里污水处理厂处理。

(7) 事故工况

本项目辐射工作场所可能发生的辐射事故为：

1) 工作人员或病人家属在防护门关闭前未撤离治疗机房，加速器运行可能产生误照射。

2) 安全联锁装置或报警系统发生故障状况下，人员误入正在运行的加速器治疗机房，造成额外的照射。

3) 工作人员在机房内为患者摆位或其他准备工作，控制台处操作人员误开机出束，对工作人员造成辐射伤害。

4) 加速器控制系统出现故障，照射不能停止，病人受到额外照射。

5) 加速器维修期间，设备维修工程师在检修期间误开机出束，造成辐射伤害。

通过对可能发生的辐射事故分析，在事故工况下 X 射线及电子束是本项目主要污染因子。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 工作场所布局和分区

(1) 机房布局

本项目直线加速器设有单独的机房，控制室位于机房北侧。项目加速器治疗室 2 南北内径长 9.15m，东西内径宽 7.15m（主防护墙之间的距离），高 4.10m，机房面积（含迷路）约 97.95m²，有足够的有效使用空间。机房北侧入口处设置防护门和迷路，设备有用线束设置为东西朝向，尽可能避开被有用线束直接照射与治疗机房相连的控制室和其他居留因子较大的用室，有用线束照射方向的防护屏蔽能满足主射线束的屏蔽要求，其余方向的防护屏蔽也能满足漏射线及散射线的屏蔽要求。

(2) 工作场所分区

为加强核技术应用医疗设备所在区域的管理，限制无关人员受到不必要的照射，应对项目划定控制区和监督区进行分区管理。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中“6.4 辐射工作场所的分区：应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。”的要求。其定义为“控制区：需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域；监督区：未被确定为控制区、通常不需要采取专门防护手段和措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。”

结合定义与现场实际，对本项目的控制区和监督区进行划分：

(1) 控制区：本项目直线加速器机房内（含迷路）；

(2) 监督区：医生通道、楼梯间、电缆井、加速器治疗室 2 的控制室、设备间和休息等候区，辐射工作场所分区示意图 10.1-1。

本项目直线加速器机房防护门上方安装射线装置工作状态指示灯，监督区和控制区外设置明显的放射性警告标识，机房、控制室采用钥匙和密码进出，以保证控制区内只有工作人员可以进入，监督区内限制无关人员进入，避免不必要的照射。

本项目直线加速器机房与医院其他各单元间分隔明确，不相互穿插、干扰。机房内设有迷路，射线通过有效屏蔽，对外环境人员影响很小。从满足安全诊疗和辐射安全与防护的角度来看，本项目辐射工作场所的平面布局和分区是合理的。

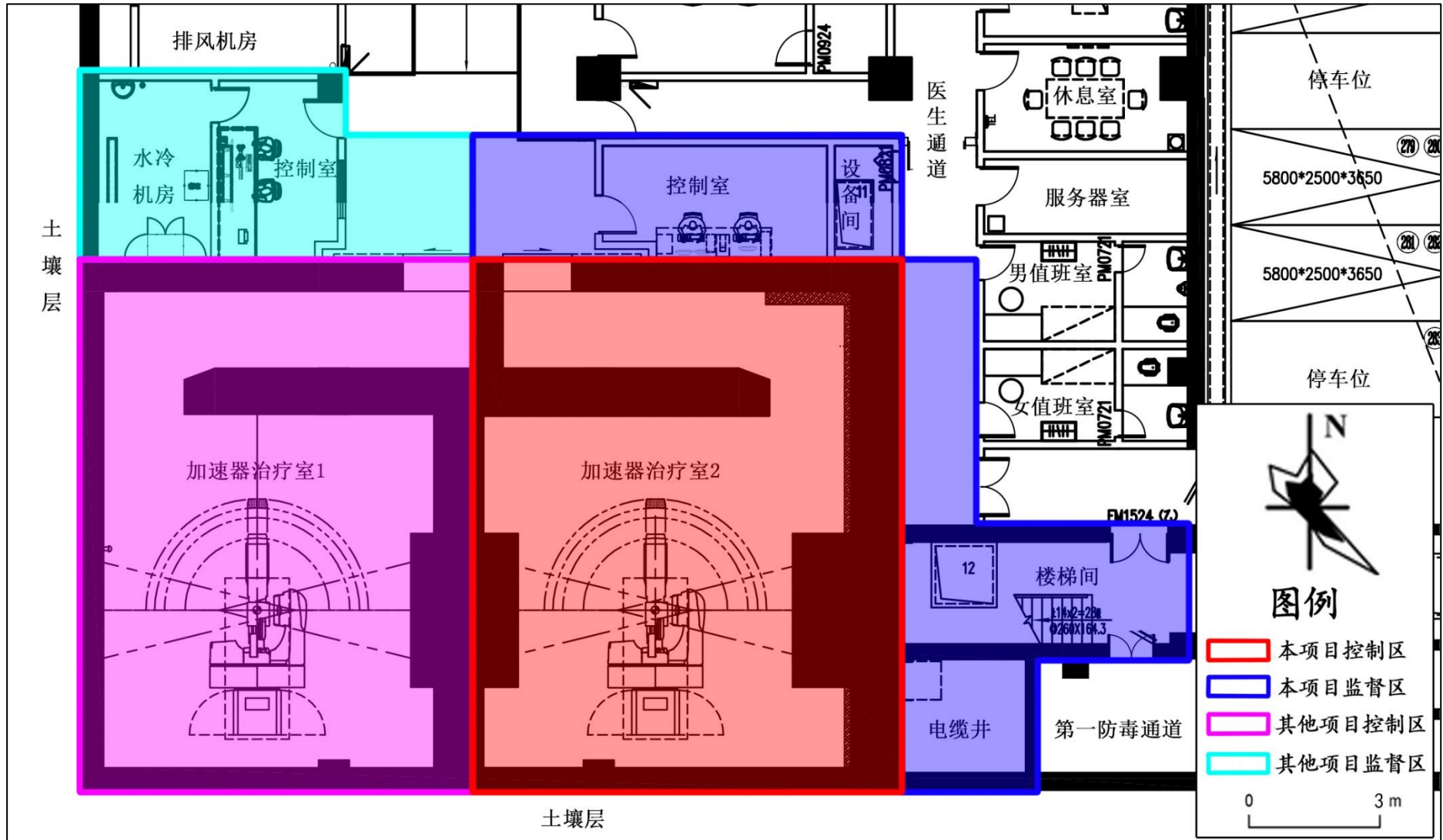


图 10.1-1 本项目分区情况示意图

10.2 工作场所辐射安全和防护

10.2.1 机房结构

本项目直线加速器东西方向为主线束方向。治疗机房（不含迷路）南北内径长 9.15m，东西内径宽 7.15m（主防护墙之间的距离），使用面积 78.10m²，机房占地面积 97.95m²，高 4.10m，容积约为 401.60m³。

在迷路设置排风系统，新风口位置位于在机房北侧吊顶内；机房内设置独立恒温湿空调，室内工作温度：21℃，湿度 50%，无冷凝水；通风换气次数约为 7 次/h。

本项目直线加速器机房的屏蔽防护设计详见表 10.2.1。机房平面图见 10.2-1，机房剖面图见图 10.2-2。

表 10.2.1 直线加速器机房的辐射防护屏蔽设计一览表

辐射项目	屏蔽主体	主屏蔽防护情况	次屏蔽防护情况	
直线加速器机房	东墙	2800mm 混凝土	1450mm 混凝土	
	西墙	2800mm 混凝土	1300mm 混凝土	
	南墙	/	600mm 混凝土	
	北墙	迷路内墙	/	950~1250mm 混凝土
		迷路外墙	/	800~1140mm 混凝土
	顶棚	2800mm 混凝土	1400mm 混凝土	
	防护门	18mm 铅		

注：混凝土密度为 2350kg/m³；项目防护门在上述铅板结构基础上外贴 1mm 彩钢板，自西向东开启防护门，四周搭接量为单边量 15cm。

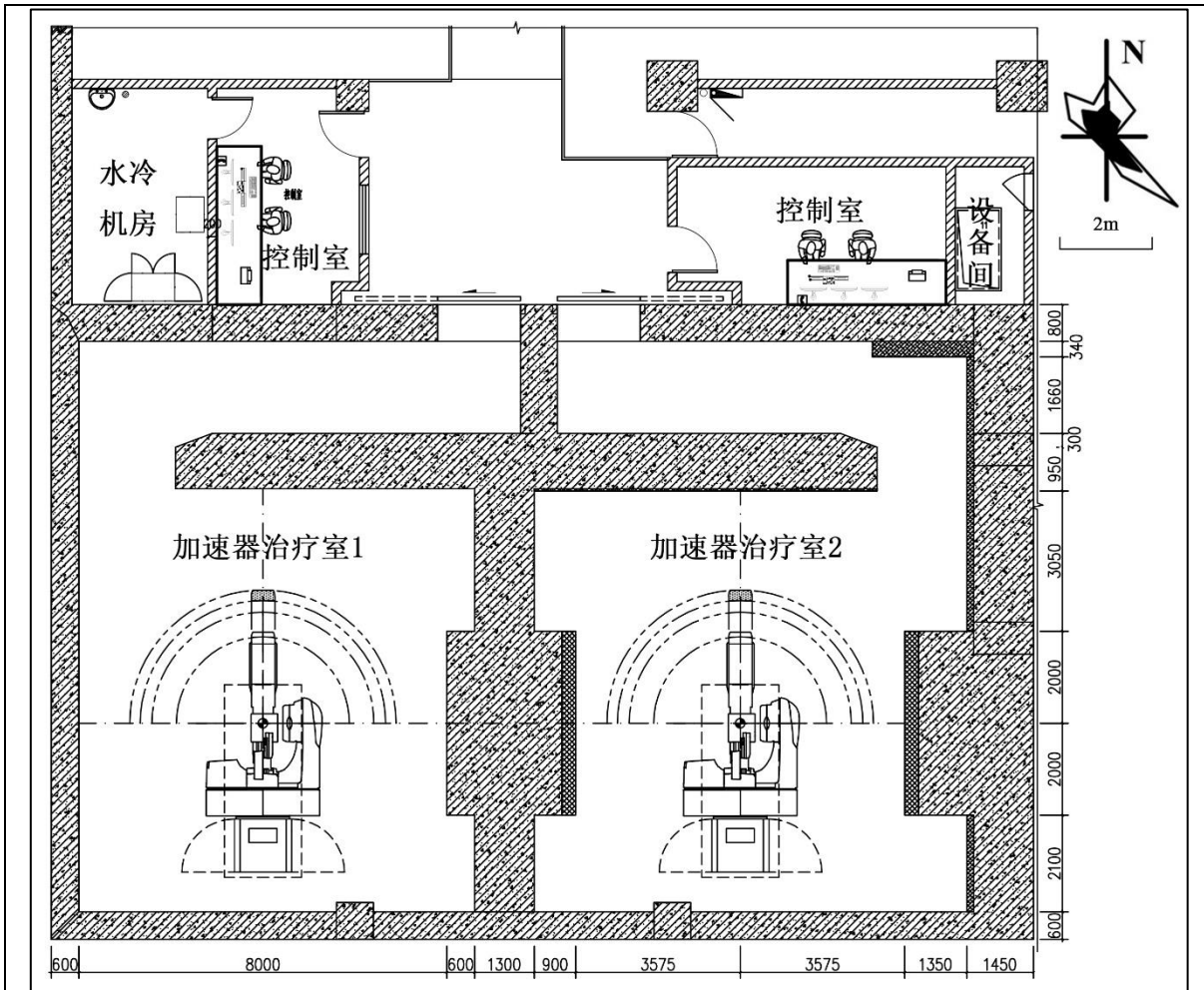


图 10.2-1 本项目机房平面设计图

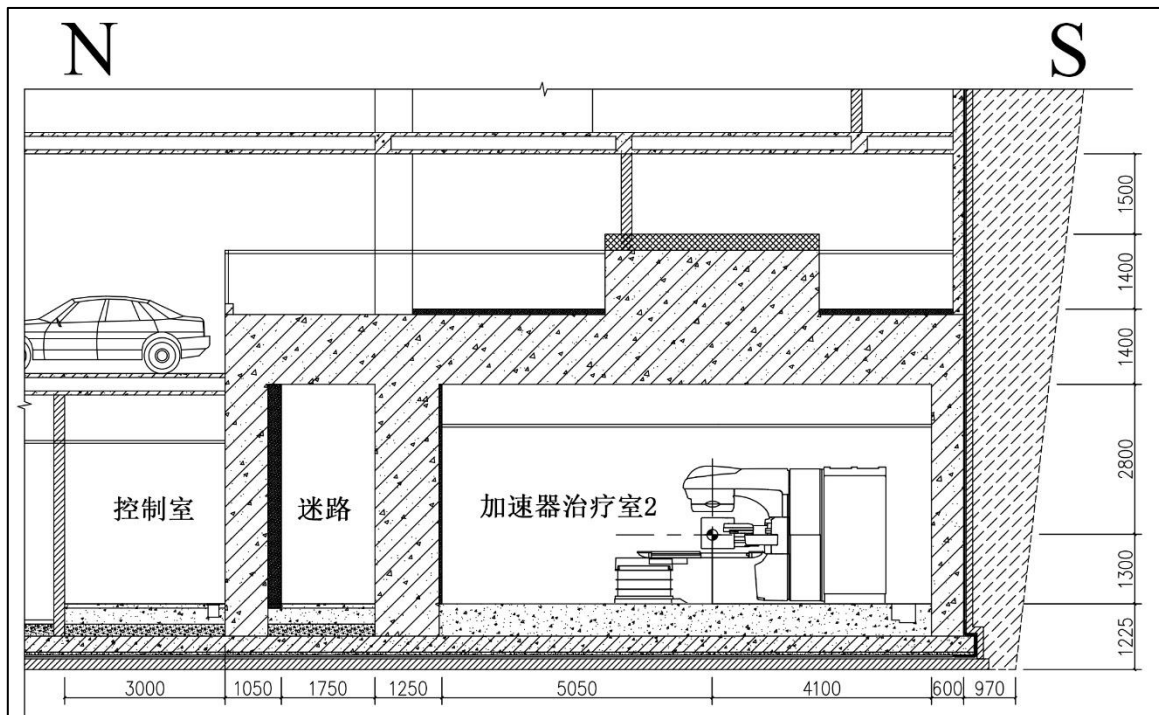


图 10.2-2 本项目机房剖面设计图

10.2.2 直线加速器辐射安全防护措施

为保障直线加速器的安全运行，以及对工作人员和病人的辐射防护，本项目直线加速器机房设计有相应的辐射安全装置和保护措施，主要为：

(1) 机房防护门上方设置工作状态指示灯，直线加速器开机使用时指示灯亮起，并伴有音响提示，以警示人员注意安全；机房防护门上显著位置张贴电离辐射警示标志并附“射线有害，灯亮勿入”等说明。

(2) 机房设置门—灯联动装置、门—机联动装置，只有在防护门关闭状态下且警示灯亮时才可进行治疗，当防护门未关闭或工作状态指示灯损坏时设备均无法出束照射。项目机房的设计充分考虑防护门与墙的搭接，以确保满足屏蔽体外的辐射防护要求。

(3) 机房及其控制室内安装紧急停机按钮，分别设置在控制室的操作台上(1个)、设备表面(1个)、治疗机房墙面(1个)和迷道出入口及防护门内侧(1个)，并有明显的标志，在人员误入机房或遇紧急情况时，按动紧急停机开关设备立即停止出束。紧急停止开关必须采用手动方式才能复位。控制室采用钥匙和密码进出，机房的钥匙开关仅能控制本项目直线加速器的运行，且当钥匙开关为未闭合状态时，直线加速器将无法开机。机房的钥匙开关是唯一的，且只能由院方授权的当班辐射工作人员使用，以防止非工作人员进入操作。

(4) 机房内安装视频监控系统，在实施治疗过程中，便于控制台前工作人员观察患者状态、治疗床和迷路区域情况。

(5) 控制室与机房之间设置语音对讲装置，便于工作人员与机房内人员沟通。

(6) 机房内设置了排风和新风装置，位置呈对角设置，上送下排，新风尺寸分别为 400mm×400mm 和 400mm×320mm，排风管道尺寸分别为 400mm×400mm、400mm×320mm 和 320mm×250mm，排风口距地面 200mm。机房内排风通过机房西南侧经负 2 楼排气井引至 6 号楼楼顶排放，通风量可达 3000m³/h。治疗机房内将设置独立恒温湿空调，位于北墙。通风系统每小时通风换气次数约为 7 次。机房排风管道示意图见图 10.2-4 和 10.2-5。

机房内的管道包括送风排风管道以及电缆沟等，所有管道均设计为“斜 45°”或“U”形管道进入治疗机房，并采用与同侧墙体防护铅当量相同的材料进行封堵。对于在机房内、外墙上嵌入式安装的电器（如配电箱、激光定位灯等）部位，嵌入式安

装与同侧墙具有同等屏蔽效果的材料进行屏蔽补偿。本项目机房内风管、电缆防护大样图见图 10.2-6。

(7) 本项目机房内安装 1 台固定式剂量报警仪，探头安装于迷路入口，显示器安装于控制室内。剂量报警装置可对监测点辐射空气吸收剂量率进行实时监测，且报警仪设置安全阈值，阈值为 $10\mu\text{Sv/h}$ ，当监测点的辐射空气吸收剂量率监测值超过设置阈值时进行报警。同时，本项目与西侧加速器治疗室 1 共用现有的 1 台便携式辐射监测仪，并为本项目配备 1 台个人剂量报警仪。

(8) 机房防护门内侧设置紧急开门按钮，且防护门具有防夹人功能，停电时能够手动开启，使病人安全转移；机房内安装应急照明装置、火灾自动报警装置和干粉灭火器等。

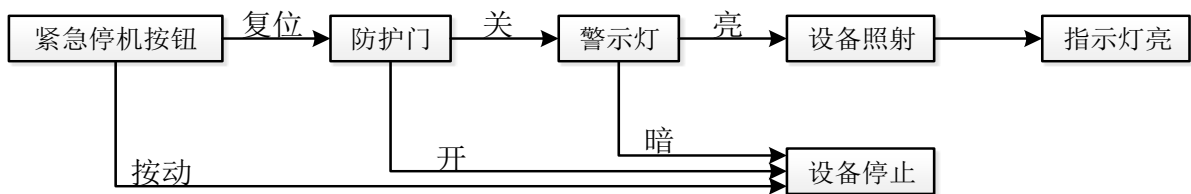


图 10.2-3 安全联锁逻辑关系图

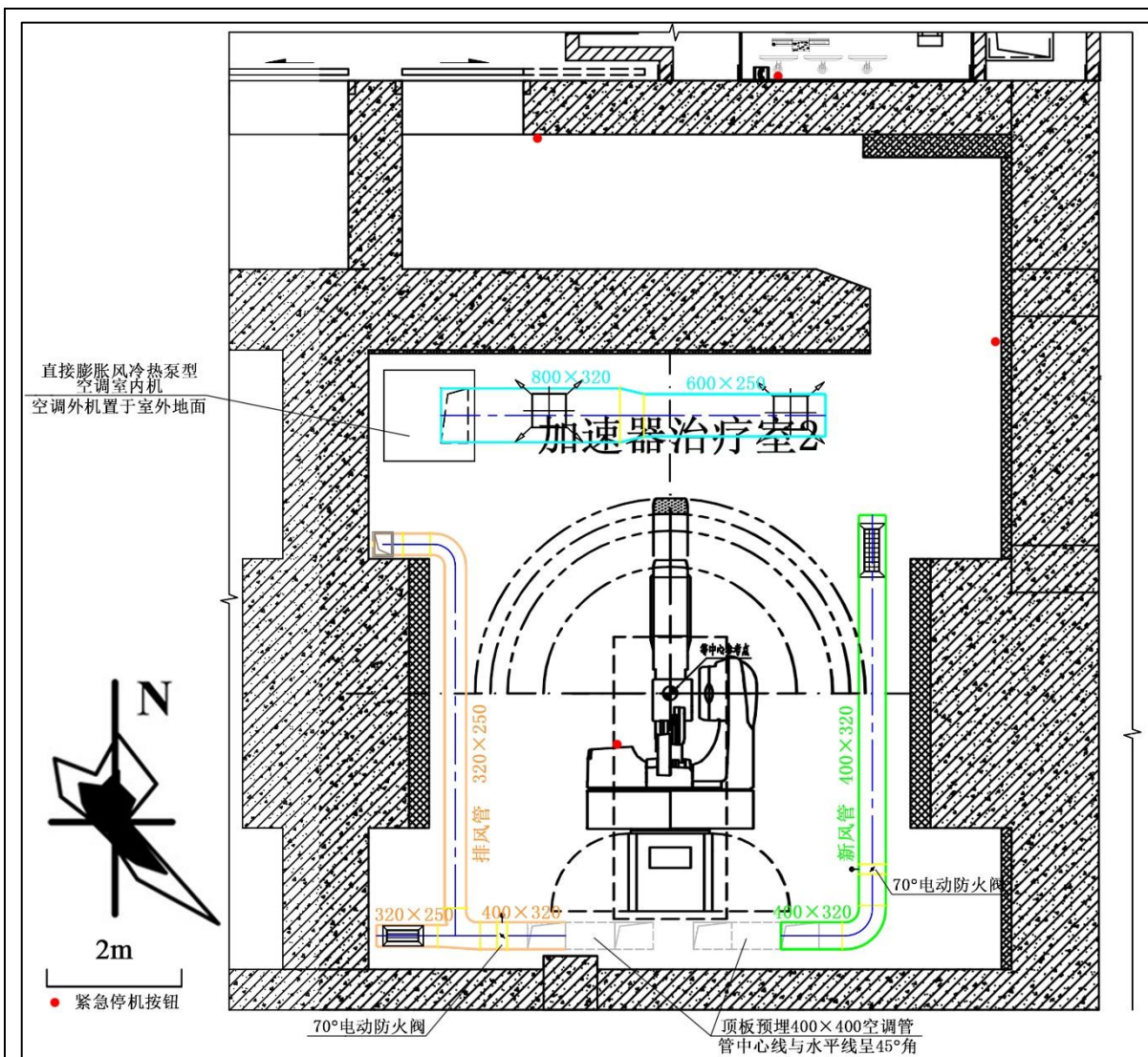


图 10.2-4 项目机房排风管道示意图（负 3 楼）

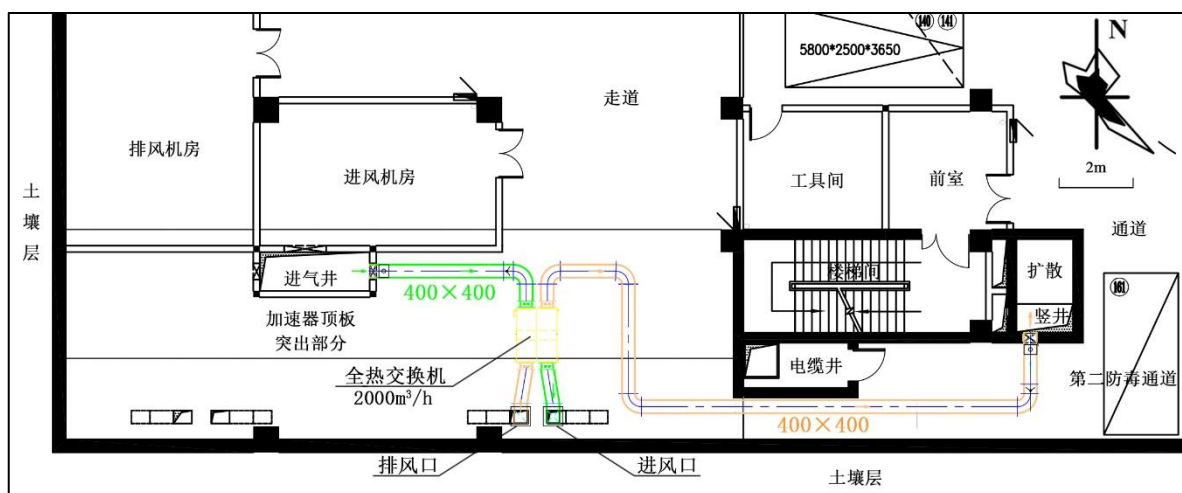


图 10.2-5 项目机房排风管道示意图（负 2 楼）

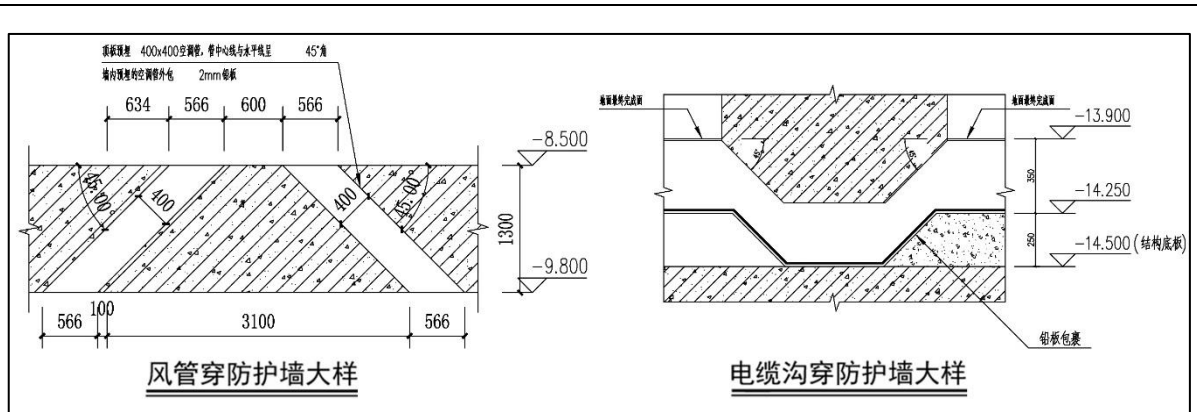


图 10.2-6 项目机房风管、电缆防护大样图

10.2.3 人员的辐射安全和防护

(1) 时间防护

本项目控制室内操作人员采取隔室操作方式，医务人员以及公众要尽可能的减少与辐射源的接触时间，对辐射工作人员限定工作时间，轮岗工作，降低在辐射场所的停留时间，减少不必要的辐射照射。

加强辐射工作人员的培训，严格按照治疗计划对病患进行照射，避免患者受到不必要的辐射照射。

(2) 配备防护用品

医院沿用现有 1 台便携式辐射监测仪，并为本项目拟配置 1 台个人剂量报警仪、6 枚个人剂量计和 1 台固定式剂量报警仪（兼具报警功能），辐射工作人员进入机房及控制室将佩戴个人剂量计，并携带个人剂量报警仪。

(3) 管理制度

医院已制定相关操作规程及防护制度，必须在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台参加培训，持证上岗，并要求严格遵守操作规程进行操作。医院将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。治疗期间，有两名工作人员进行协调操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度。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机房。直线加速器的试用、调试、检修期间，严禁调试、检修人员在出束的情况下滞留在控制区，且控制室须有工作人员值守。

10.3 辐射防护措施符合性分析

本项目直线加速器机房辐射防护措施，按环保部辐射安全与防护监督检查技术程序进行分析，并与《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中对直线加速器机房的防护设施的技术要求对照，均符合该标准要求，符合性分析情况见表 10.3.1 和表 10.3.2。

表 10.3.1 本项目直线加速器机房安全与防护设施设计要求

序号	项目	检查内容	设计建造	备注
1*	A 控制台及安全联锁	防止非工作人员操作的锁定开关	√	钥匙和密码
2*		控制台有紧急停机按钮	√	1 个
3*		电视监控与对讲系统	√	1 套
4*		治疗室门与束流联锁	√	门机联锁
5		治疗室内准备出束音响提示	√	蜂鸣音
6*	B 警示装置	入口电离辐射警告标志	√	标准电离辐射警告标志
7*		入口有加速器工作状态显示	√	工作状态指示灯
8	C 照射室 紧急设施	紧急开门按钮	√	防护门内侧
9		紧急照明或独立通道照明系统	√	应急照明
10*		治疗室内有紧急停机按钮	√	墙壁设 1 个
11*		设备表面有紧急停机按钮	√	设备表面 1 个
12	D 监测设备	治疗室内有固定式剂量率仪	√	配置 1 台固定式剂量率仪
13*		便携式辐射监测仪器	√	配置 1 台便携式辐射监测仪
14*		个人剂量报警仪	√	配置 1 台个人剂量报警仪
15*		个人剂量计	√	每人 1 枚
16	E 其它	治疗室内防夹人装置	√	电动防护门具有防夹功能
17		通风系统	√	设置了动力排风装置
18		火灾报警仪	√	火灾自动报警装置
19		灭火器材	√	干粉灭火器

表 10.3.2 本项目直线加速器机房辐射防护措施符合性分析

标准防护要求		本项目方案	符合性
选址、布局 and 分区要求	<p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p>	<p>本项目直线加速器机房建设于福建省立医院 6 号楼负 3 楼最南端，避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域。机房及其辅助设施同时设计和建造，机房辐射防护由福建省建筑轻纺设计院进行了设计。</p>	符合
	<p>放射治疗工作场所应分为控制区和监督区。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……和治疗室，直线加速器机房、……等。</p> <p>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）。</p>	<p>本项目将加速器治疗室 2（含迷路）设置为控制区，医生通道、楼梯间、电缆井、加速器治疗室 2 的控制室、设备间和休息等候区等设为监督区。</p>	符合
	<p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>治疗机房……，其余方向的防护屏蔽应满足漏射线及散射线的屏蔽要求。</p> <p>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。</p>	<p>本项目机房设计按照额定最大能量、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，且所有初、次级辐射方向的防护屏蔽符合 GBZT 201.1 的相关要求。机房内的所有管道均设计为“斜 45°”或“U”形管道进入治疗机房，并采用与同侧墙体防护铅当量相同的材料进行封堵。项目机房的设计充分考虑防护门与墙的搭接，并设有迷路，确保满足屏蔽体外的辐射防护要求。</p>	符合
空间、通风要求	<p>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。</p>	<p>本项目治疗机房有足够的有效使用空间，满足放射治疗设备的临床应用需要。</p>	符合
	<p>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</p>	<p>机房内设置了排风和新风装置，位置呈对角设置，上送下排。机房的排风量可达 3000m³/h，每小时换气约 7 次。</p>	符合

	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。		
治疗机房顶屏蔽的周围剂量当量率参考控制水平	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30cm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7.3.2。	理论估算表明,本项目直线加速器机房运行后,机房周边墙外30cm处的剂量率均低于标准2.5μSv/h的要求。	符合
安全装置和警示标志要求	……、医用电子直线加速器治疗室(一般在迷道的内入口处)应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能,其显示单元设置在控制室内或机房门附近。	本项目治疗室内安装1台固定式剂量报警仪,探头安装于迷路入口,显示器安装于控制室内。	符合
	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。	本项目治疗机房防护门外设置电离辐射警告标志和工作指示灯。	符合
	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……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。……; b)放射治疗室和……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、治疗室迷路出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁、……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安全管理机构的批准与见证,工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试。	本项目机房及其控制室内均安装紧急停机按钮,分别设置在控制室的操作台上(1个)、设备表面(1个)、治疗机房墙面(1个)和迷路出入口及防护门内侧(1个),并有明显的标志,在人员误入机房或遇紧急情况时,按动紧急停机开关设备立即停止出束。紧急停止开关必须采用手动方式才能复位。控制室采用钥匙和密码进出,以防止非工作人员进入操作。	符合
	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。	机房内安装视频监控系统,在实施治疗过程中,便于控制台前工作人员观察患者状态、治疗床和迷路区域情况。控制室与机房之间设置语音对讲装置,便于工作人员与机房内人员沟通。	符合
	医疗机构应对辐射工作场所的安全联锁系统定期进行试验自查,保存自查记录,保证安全联锁的正常有效运行。	医院将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。	符合
操作的辐射安全与防护要求	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,	治疗期间,有两名工作人员进行协调操作,认真做好当班记录,严格执行	符合

	<p>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。</p> <p>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。</p> <p>在出束的情况下严禁调试、检修人员滞留在控制区。</p>	<p>交接班制度。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机房。加速器试用、调试、检修期间，严禁调试、检修人员在出束的情况下滞留在控制区，且控制室须有工作人员值守。</p>	
--	--	--	--

10.5 三废的治理

10.5.1 放射性固体废物

本项目放射性固体废物主要为直线加速器的废靶等感生放射性部件。加速器靶物质（件）以及机头等金属部件由于受电子的轰击会产生较强的感生放射性，更换靶会产生含放射性废靶件，属于放射性废物，使用寿命与直线加速器的寿命相当。直线加速器的感生放射性部件先置于固体废物暂存间（为本项目机房）内，经衰变低于清洁解控水平后，作为一般固体废物交由有资质的单位处置。

10.5.2 固体废物

本项目固废主要为工作人员产生的少量生活垃圾，经医院垃圾桶分类收集后定期清运。

10.5.2 氮氧化物及臭氧等废气

当直线加速器运行时会产生少量的废气，其主要成分为臭氧 O₃ 和氮氧化物 NO_x，为了防止机房内的臭氧 O₃ 和氮氧化物 NO_x 超标，建设单位拟在项目机房内设置通风系统，通风量为 3000m³/h。机房的有效容积（含迷路）约 401.60m³，机房内的通风次数为 7 次/h，满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ 126-2011）中“治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。产生的臭氧 O₃ 和氮氧化物 NO_x 通过机房西南侧经负 2 楼排气井引至 6 号楼楼顶排放，排气口位置为避开人员经常活动的区域。

10.5.3 废水治理措施

本项目废水主要为工作人员的生活污水。根据《福建心血管病综合大楼建设项目竣工环境保护验收监测表》，6 号楼（原心血管病综合大楼）的生活污水经化粪池后，

送入医院北区污水处理站，污水站采用“生物二级处理系统+激发态氧自由基消毒系统”技术，处理规模为 600t/d，经污水处理站处理后的污水符合《医疗机构水污染排放标准》（GB 18466-2005）表 2 综合医院机构和其他医疗机构水污染排放限值的预处理标准后，排入市政污水处理管网，统一纳入洋里污水处理厂处理。

10.6 环保投资

本项目总投资 5000 万元，环境保护投资共计 350 万元，占本项目总投资额的 7.0%。详见表 10.6.1。

表 10.6.1 本项目辐射防护措施投资明细表

类别	环保措施	投资估算（万元）
辐射防护主体设计施工	机房及其辅助设施的建造	140
专用防护设计	机房防护门、通风电缆等管道防护	40
通风设备	新风和排风系统、独立恒温湿空调	60
辐射防护用品	个人剂量计、个人剂量报警仪、固定式剂量报警仪等	60
其他费用	环境影响评价、竣工环保验收、辐射工作人员培训、职业健康检查、辐射事故应急演练、相关制度上墙等	50
合计		350

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目拟在福建省立医院 6 号楼负 3 楼（最底层）新增 1 台 10MV 医用电子直线加速器。项目是在 6 号楼主体建筑上进行辐射防护改造，主要包括增加防护门和动力通风装置，并对配套辅助用房等进行功能的分配及装修等，环境影响主要是施工时产生的噪声、扬尘、废水、固体废物等。

本项目工程量较小，没有大型机械设备进入施工场地，施工场地安排有序，施工人员较少，有抑尘措施，施工期短，合理安排施工秩序，施工时间，本项目对周围环境保护目标的影响在可接受的范围内。

11.1.1 施工噪声环境影响分析

本项目产生噪声影响的主要是施工机械、运输、混凝土浇注及现场处理等。噪声值一般在 65~80dB（A）之间，施工场地的噪声对周围环境有一定的影响，但随着施工的进行而结束。

为了降低施工噪声对周围环境的影响，满足《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）的要求，本项目应通过文明施工，合理安排施工时间，加快施工进度；选择噪声级尽可能低的施工机械进行施工，对施工机械采取消声降噪措施；施工场所采取消声减震等措施，避免对 6 号楼其他科室产生影响。

11.1.2 施工期扬尘影响分析

本项目位于 6 号楼负 3 楼，施工过程中由于散装水泥和建筑材料运输等活动会产生少量的扬尘，其施工扬尘影响局限在 6 号楼范围内。因此，要求合理安排施工时间，加快施工进度，通过缩短施工时间、封闭施工、洒水等相关措施，将对外环境扬尘影响降至最低。

11.1.3 施工期废水影响分析

施工期污水主要来自两个方面：一是施工废水，二是施工人员的生活污水。

施工废水主要为混凝土搅拌及养护，这类生产废水量小，一般通过蒸发，不外排。

项目施工期间施工人员约 5 人，根据给水排水设计规范，按每人每天用水 80L 计

算，施工时间按 30 天计算，则施工期总用水量约为 12t (0.4t/d)，污水排放量按用水量的 90% 计算，则生活污水总排放量约 10.8t。项目施工生活污水主要是依托现有设施（卫生间），通过下水管道排入医院污水处理设施处理达标后排放，对周围环境影响较小。

11.1.4 施工期固体废物影响分析

本项目工程量小，项目施工期间固废主要为施工人员生活垃圾、少量建筑垃圾及施工废物料。

施工期间，施工人员按 5 人计，生活垃圾量按 0.5kg/人·d 计算，则施工期内每天产生生活垃圾约 2.5kg/d。生活垃圾分类收集至相应的垃圾箱，后交由环卫部门清运。

机房装修及设备安装过程将产生少量建筑装修垃圾、包装纸箱和泡沫填充物等。建筑装修垃圾由施工方统一交由有资质的渣土运输公司处置，对包装纸箱等可回收利用的施工废物料应予以回收利用，其他部分分类收集后交由环卫部门清运。

项目施工期环境影响只是一个短期效应，其影响将随着施工期停止而结束，施工过程中采取抑尘措施、合理安排施工秩序、施工时间等措施，尽量将环境影响降低到最小。总体来说，本项目施工期对周围环境的影响较小。

11.2 运营阶段对环境的影响

直线加速器运行阶段影响评价采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）标准中的相关计算公式进行理论估算。理论计算时，选取直线加速器机房四周墙壁（东侧电缆井和南侧土壤层不计）、顶棚外表面 30cm 处及迷路入口处作为预测点位。

治疗机房内加速器等中心点位置与机房主屏蔽范围内几何中心点位置 O 重合。参考 GBZ/T 201.2-2011 推荐方法设置的关注点位置示意图见图 11.2-1 和图 11.2-2。

11.2.1.1 理论计算

(1) 有用线束主屏蔽区半宽度核算

$$Y_p=2[(a+SAD) \cdot \tan\theta+0.3] \quad \text{式 (11-1)}$$

式中： Y_p ——机房有用束主屏蔽区的宽度，m；

SAD ——源轴距，m；

θ ——治疗束的最大张角（相对束中的轴线），即射线最大出射角的一半；

a ——等中心点至“墙”的距离，m。当主屏蔽区向机房内凸时，“墙”指与主屏蔽墙相连接的次屏蔽墙（或顶）的内表面；当主屏蔽区向机房外凸时，“墙”指主屏蔽区墙（或顶）的外表面。

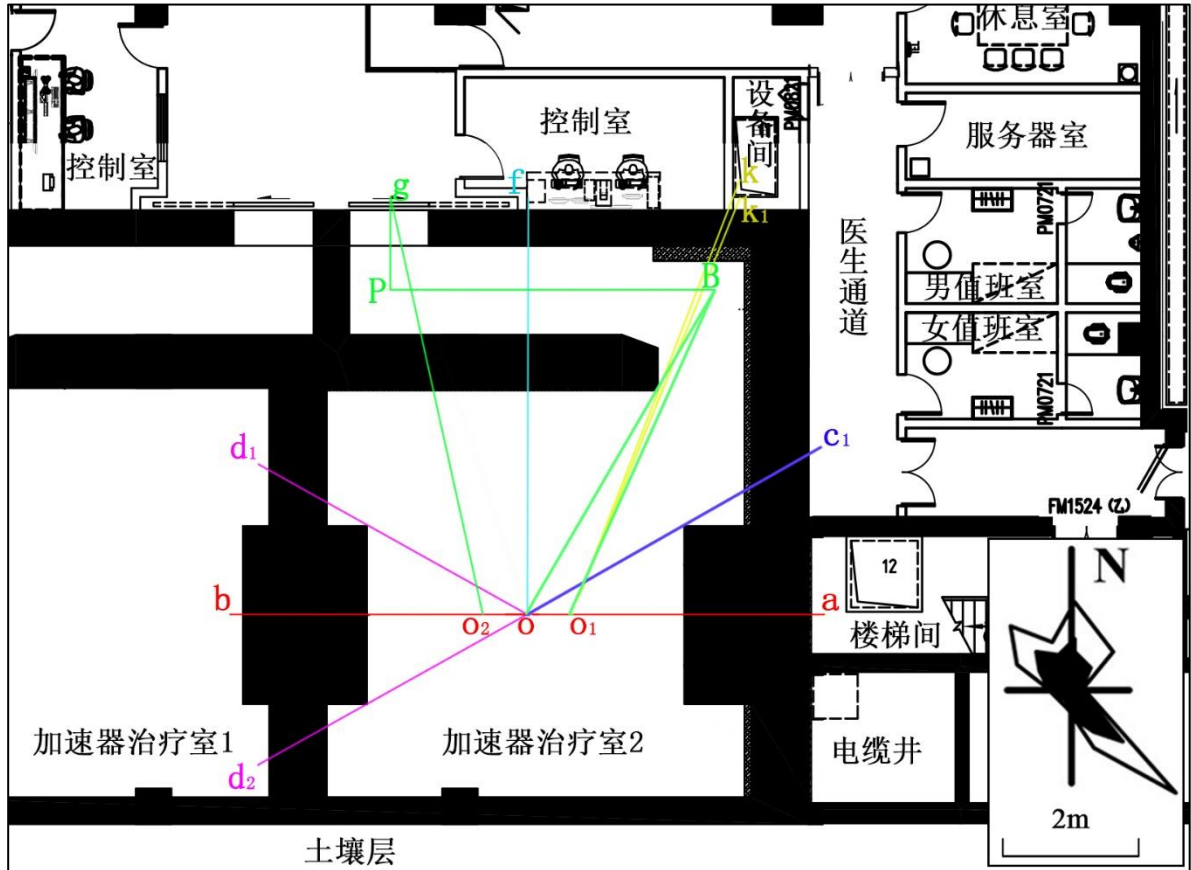


图 11.2-1 直线加速器机房关注点分布图（四周）

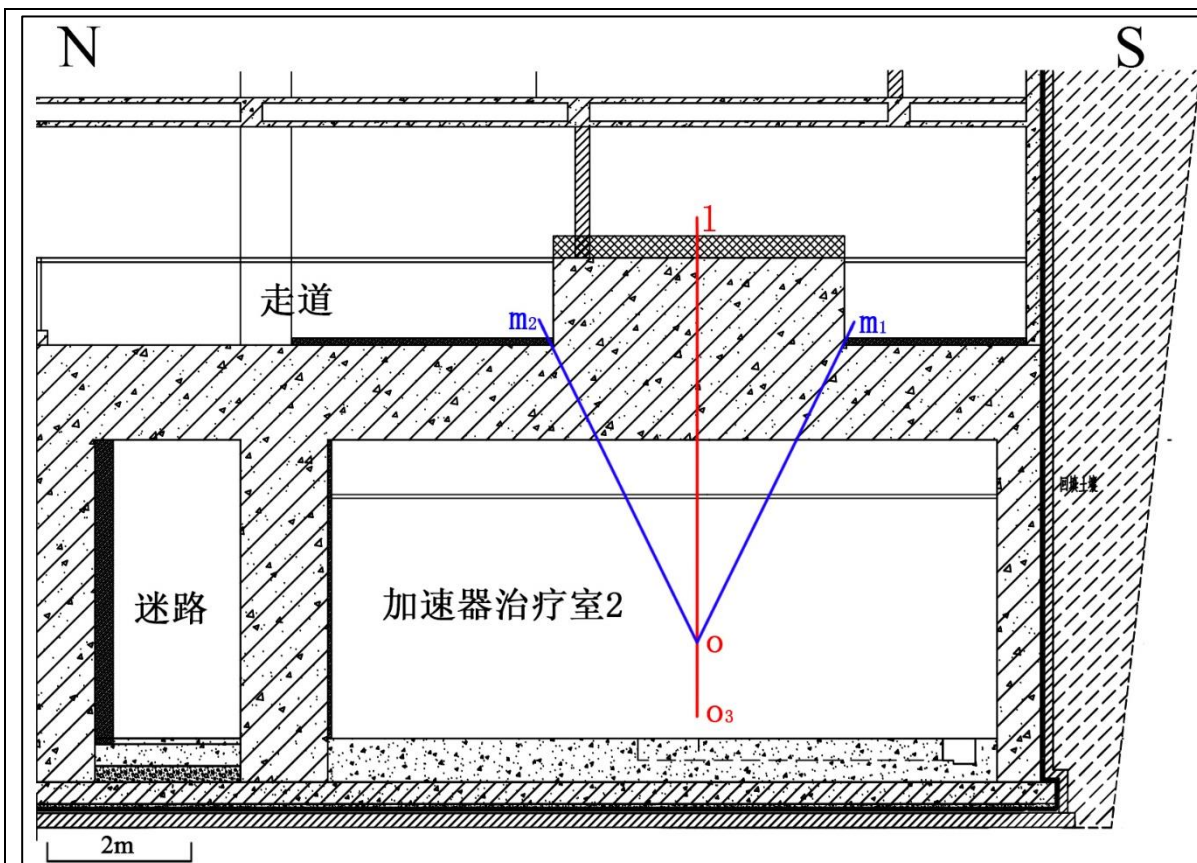


图 11.2-2 直线加速器机房关注点分布图（顶棚）

将各参数代入公式 (11-1) 得出本项目的主屏蔽宽度核算结果，结果见表 11.2.1。

表 11.2.1 直线加速器机房主屏蔽宽度计算参数及计算结果

主屏蔽区	东墙主屏蔽区	西墙主屏蔽区	顶棚主屏蔽区
SAD (m)	1	1	1
θ ($^{\circ}$)	14	14	14
a (m)	4.93	4.48	5.60
Y_p 计算值	3.56	3.33	3.89
Y_p 设计值	4.00	4.00	4.00
评价结果	满足	满足	满足

从表 11.2.1 的预测结果可以看出，本项目直线加速器机房主屏蔽区的实际设计宽度均大于理论计算值，有用线束主屏蔽区的宽度设计满足《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T 201.2-2007）的相关要求。

(2) 剂量控制要求

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》（GBZ/T 201.2-2011）中“4.2 剂量控制要求”，本评价计算治疗机房墙外、房顶和入口门外关注点的剂量率参考控制水平，该计算结果是偏保守和安全的，详见 7.3.4 节。

单一辐射有用线束计算公式为：

$$H_{c,d} = \frac{H_c}{t \cdot U \cdot T} \quad \text{式 (11-2)}$$

式中： H_c —— 周参考剂量控制水平， $\mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

U —— 关注位置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；

t —— 治疗装置周治疗时间， h 。

单一辐射泄漏辐射计算公式为：

$$H_{c,d} = \frac{H_c}{N \cdot t \cdot T} \quad \text{式 (11-3)}$$

式中： N —— 本项目周治疗时间采用实际出束时间，本项目 $N=1$ ；

其他因子同上式。分别估算主侧屏蔽区和次屏蔽区墙外剂量率参考控制水平，见表 11.2.2 和表 11.2.3。

表 11.2.2 主、侧屏蔽区墙外剂量率参考控制水平

关注点	东墙 (a 点)	西墙 (b 点)	顶棚 (1 点)	北墙 (f 点)	迷路外墙 外关注点 (k 点)	迷路外墙 外关注点 (k ₁ 点)
周剂量参考控制水平 H_c ($\mu\text{Sv}/\text{周}$)	5	100	5	100	5	5
治疗照射时间 t (h)	20	20	20	20	20	20
使用因子 U	0.25	0.25	0.25	/	/	/
调强因子 N	/	/	/	1	1	1
居留因子 T	1/40	1/2	1/20	1	1/20	1/20
导出剂量率参考控制 水平 $H_{c,d}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	40	40	20	5	5	5
关注点的最高剂量率 参考控制水平 $H_{c,max}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	10	2.5	2.5*	2.5	10	10
剂量率参考控制水平 H_{c1} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	10	2.5	2.5	2.5	5	5

注：*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) 第 4.2.2a) 中，本项目治疗机房所在 6 号楼以及 3 号楼、7 号楼等的高度超过自然辐射源点到机顶内表面边缘所张立体角区域，距治疗机房顶外表面 30cm 处的最高剂量率可根据 $H_{c,max} \leq 2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 对关注点的剂量率参考控制水平 H_c 加以控制。

表 11.2.3 次屏蔽区墙外剂量率参考控制水平

关注点	东墙次屏蔽墙 (c ₁ 点)	西墙次屏蔽墙 (d ₁ 、d ₂ 点)	顶棚次屏蔽墙 (m ₁ 、m ₂ 点)	迷路口防护门 外(g点)
周剂量参考控制水平 H _c (μSv/周)	5	100	5	5
治疗照射时间 t (h)	20	20	20	20
使用因子	0.25	0.25	0.25	0.25
调强因子 N	1	1	1	1
居留因子 T	1/5	1/2	1/20	1/8
散射辐射导出剂量率参考 控制水平 H _{c1.d} (μSv/h)	5	40	20	8
泄漏辐射导出剂量率参考 控制水平 H _{c.d} (μSv/h)	1.25	10	5	2
关注点的最高剂量率参考 控制水平 H _{c.max} (μSv/h)	10	2.5	10	10
复合辐射剂量率参考控制 水平 H _{c1} (μSv/h)	6.25	2.5	10	10

结合表 11.2.2~11.2.3 计算结果与《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“4.2.1 治疗机房外关注点的剂量率参考控制水平”的要求，从偏保守和安全考虑，本项目直线加速器机房的剂量率参考控制水平取较小值。

11.2.1.2 辐射工作场所辐射屏蔽预测分析

1) 主射线方向屏蔽效果预测 (a、b、1 点)

加速器机房主屏蔽区为有用线束照射方向 (O₂→a, O₁→b, O₃→1)，利用下列公式对初级辐射进行屏蔽计算：

$$H = \frac{H_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad \text{式 (11-4)}$$

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \quad \text{式 (11-5)}$$

式中：H——屏蔽体外关注点的剂量率，μSv/h；

H₀——加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率，1.32×10⁹μSv·m²/h (最大剂量率 2200cGy/min 换算得，下同)；

R——辐射源点 (靶点) 至关注点的距离；

f——对有用束为 1，下同；

X_e——有效屏蔽层厚度，m，X_e=X·secθ；

TVL_l (砵) ——混凝土第一个什值层厚度 (查 GBZ/T 201.2-2011, 附录 B, 表 B.1), 下同;

TVL (砵) ——混凝土平衡时的什值层厚度 (查 GBZ/T 201.2-2011, 附录 B, 表 B.1);

根据院方提供的屏蔽材料和厚度, 计算可得各计算点有效屏蔽层厚度, 主屏蔽墙及屋顶计算参数及结果见表 11.2.4。

表 11.2.4 主屏蔽墙及屋顶外辐射剂量率计算参数及结果

参数名称	单位	关注点 a (东墙)	关注点 b (西墙)	关注点 l (顶棚)
H_0	$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$	1.32×10^9	1.32×10^9	1.32×10^9
f	/	1	1	1
R	m	7.68	7.68	6.90
TVL_l (砵)	m	0.41	0.41	0.41
TVL (砵)	m	0.37	0.37	0.37
X_e	m	2.80	2.80	2.80
B	/	3.47×10^{-8}	3.47×10^{-8}	3.47×10^{-8}
H_e'	$\mu\text{Sv}/\text{h}$	0.78	0.78	0.96

2) 侧屏蔽墙屏蔽效果预测 (f 点)

该区考虑泄漏辐射屏蔽, 以位置 O 点为中心, 路径为 O→f。泄漏辐射剂量率一般按初级辐射束的 0.1% 计, 可利用公式 (11-4) 和公式 (11-5) 对 f 点泄漏辐射进行屏蔽计算。

侧屏蔽墙漏射辐射计算参数及结果见表 11.2.5。

表 11.2.5 侧屏蔽墙泄漏辐射计算参数及结果

参数名称	单位	关注点 f (北墙)
H_0	$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$	1.32×10^9
f	/	0.001
R	m	9.40
TVL_l (砵)	m	0.35
TVL (砵)	m	0.31
X_e	m	2.05
B	/	3.28×10^{-7}
H'	$\mu\text{Sv}/\text{h}$	4.90×10^{-3}

3) 与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区屏蔽效果预测 (c、d、m 点)

由于 c、d、m 点为主屏蔽区与次屏蔽区直接相连区域的所受泄漏辐射和散射辐射

剂量最大处，因此选取 c、d、m 点位参照点，初级辐射束不直接到达该屏蔽墙，屏蔽计算只考虑加速器装置头的泄漏辐射和来自患者体表的散射辐射。

① 散射辐射 ($O_2 \rightarrow O \rightarrow c_1$, $O_1 \rightarrow O \rightarrow d_1$ 、 d_2 , $O_3 \rightarrow O \rightarrow m_1$ 、 m_2)

利用下列公式对患者体表的散射辐射进行屏蔽计算：

$$H_e = \frac{H_o \cdot a_{ph} \cdot (F / 400)}{R_s^2} \cdot B \quad \text{式 (11-6)}$$

式中： H_e ——屏蔽体外关注点的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

X_e ——次屏蔽墙的实际厚度，cm；

B ——相应辐射屏蔽因子，参考公式 (11-5)；

F ——治疗装置有用束在等中心点处的最大治疗野面积，本项目为 1600cm^2 ，下同；

a_{ph} ——患者 400cm^2 面积上垂直入射 X 射线散射 0 至距其 1m 处的剂量比例（查 GBZ/T 201.2-2011 附录 B，表 B.2），下同；

TVL （砼）——混凝土平衡时的什值层厚度（查 GBZ/T 201.2-2011，附录 B，表 B.4）；

R_s ——辐射源点（靶点）至关注点的距离，m。

与主屏蔽墙直接相连的次屏蔽区散射辐射计算参数及结果见下表 11.2.6。

表 11.2.6 散射辐射计算参数及结果

参数名称	单位	关注点 c_1 (东墙)	关注点 d_1 、 d_2 (西墙)	关注点 m_1 、 m_2 (顶棚)
H_o	$\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$	1.32×10^9	1.32×10^9	1.32×10^9
a_{ph}	/	3.18×10^{-3}	3.18×10^{-3}	3.18×10^{-3}
R_s	m	8.60	7.92	5.95
F	cm^2	1600	1600	1600
TVL （砼）	m	0.28	0.28	0.28
X_e	m	1.66	1.49	1.56
B	/	1.17×10^{-6}	4.77×10^{-6}	2.66×10^{-6}
H_e	$\mu\text{Sv/h}$	0.27	1.28	1.26

② 泄漏辐射 ($O \rightarrow c_1$, $O \rightarrow d_1$ 、 d_2 , $O \rightarrow m_1$ 、 m_2)

泄漏辐射剂量率一般按初级辐射束的 0.1% 计，可利用公式 (11-4) 和公式 (11-5) 对与主屏蔽墙直接相连的次屏蔽区泄漏辐射进行屏蔽计算。

与主屏蔽墙直接相连的次屏蔽区漏射辐射计算参数及结果见表 11.2.7。

表 11.2.7 泄漏辐射计算参数及结果

参数名称	单位	关注点 c_1 (东墙)	关注点 d_1 、 d_2 (西墙)	关注点 m_1 、 m_2 (顶棚)
H_0	$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$	1.32×10^9	1.32×10^9	1.32×10^9
f	/	0.001	0.001	0.001
R	m	7.60	6.92	4.95
TVL_l (砼)	cm^2	0.35	0.35	0.35
TVL (砼)	m	0.31	0.31	0.31
X_e	m	1.66	1.49	1.56
B	/	5.90×10^{-6}	2.10×10^{-5}	1.24×10^{-5}
H_e'	$\mu\text{Sv}/\text{h}$	0.13	0.58	0.67

③c、d、m 点屏蔽效果

c、d、m 点屏蔽效果见表 11.2.8。

表 11.2.8 c、d、m 点复合辐射计算结果

参数名称	单位	关注点 c_1 (东墙)	关注点 d_1 、 d_2 (西墙)	关注点 m_1 、 m_2 (顶棚)
H_e	$\mu\text{Sv}/\text{h}$	0.27	1.28	1.26
H_e'	$\mu\text{Sv}/\text{h}$	0.13	0.58	0.67
H	$\mu\text{Sv}/\text{h}$	0.40	1.86	1.93

4) 迷路屏蔽效果预测 (k 、 k_1 点)

迷路外 k 、 k_1 点的泄漏辐射可利用公式 (11-4) 和公式 (11-5) 进行屏蔽计算, 计算参数及结果见表 11.2.9。

表 11.2.9 泄漏辐射计算参数及结果

参数名称	单位	关注点 k	关注点 k_1
H_0	$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$	1.32×10^9	1.32×10^9
f	/	0.001	0.001
R	m	10.39	10.11
TVL_l (砼)	m	0.35	0.35
TVL (砼)	m	0.31	0.31
X_e	m	1.55	1.23
B	/	1.35×10^{-5}	1.45×10^{-4}
H_k	$\mu\text{Sv}/\text{h}$	0.16	1.87

5) 防护门屏蔽效果预测 (g 点)

① X 射线泄漏辐射 ($O_2\rightarrow g$)

该部分射线为泄漏辐射穿过迷路内墙在防护门处的剂量率, 计算方法同公式 (11-

4) 和公式 (11-5)。迷路入口处 (g 点) 泄漏辐射计算参数及结果见表 11.2.10。

表 11.2.10 入口 g 处的泄漏辐射计算参数及结果

参数名称	单位	关注点 g (迷路入口)
		O ₂ →g
H_0	$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$	1.32×10^9
f	/	0.001
R_d	m	9.63
TVL _l (砼)	m	0.35
TVL (砼)	m	0.31
X_e	m	1.42
B	/	3.53×10^{-5}
H_{og}	$\mu\text{Sv}/\text{h}$	0.50

② 患者一次散射辐射 (O→B→P→g)

该部分射线为加速器靶心向患者照射至迷路墙面后散射至 g 处, 按以下公式计算:

$$H_{o_1g} = \frac{\alpha_{ph}\cdot(F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2\cdot A}{R_2^2} \cdot \dot{H}_0 \quad \text{式 (11-7)}$$

式中: H_{o_1g} —— 入门处患者一次辐射剂量率, $\mu\text{Sv}/\text{h}$;

α_2 —— 墙入射的患者散射辐射的散射因子, 通常取入射角为 45° , 散射角为 0° , 0.5MV 栏内的值; 查 GBZ/T 201.2-2011 附录 B 表 B.6, 本项目 α_2 为 0.022。

A —— 散射面积, m^2 ; A 为自泄漏辐射始点和关注点共同可见的散射体区域的面积, $1.96\text{m}\times 4.10\text{m}=8.04\text{m}^2$;

R_1 —— “O→B” 之间的距离, m;

R_2 —— “B→P→g” 之间的距离, m。

其他因子同前述公式, 计算参数及结果见表 11.2.11。

表 11.2.11 入口 g 处患者一次散射辐射计算参数结果

参数名称	单位	关注点 g (迷路入口)
H_0	$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$	1.32×10^9
a_{ph}	/	1.35×10^{-3}
F	cm^2	1600
a_2	/	0.022
A	m^2	8.04
R_1	m	8.47
R_2	m	9.48
H_{O_1g}	$\mu\text{Sv}/\text{h}$	195.46

③ 泄漏辐射在屏蔽墙上的一次散射辐射 ($O_1\rightarrow B\rightarrow P\rightarrow g$)

该部分射线为加速器靶心的泄漏辐射至迷路墙面后散射至 g 处, 按以下公式计算:

$$H_{O_2g} = \frac{f \cdot H_0 \cdot A \cdot \alpha_w}{R_3^2 \cdot R_4^2} \quad \text{式 (11-8)}$$

式中: H_{O_2g} —— 入门处泄漏辐射在屏蔽墙上的一次辐射剂量率, $\mu\text{Sv}/\text{h}$;

α_w —— 散射体的散射因子, 由于加速器的泄露辐射能量小于有用线束的能量, 本评价保守取入射角为 45° , 散射角为 0° , 6MV 栏内的值; 查 GBZ/T 201.2-2011 附录 B 表 B.6, 本项目 α_w 为 0.0064。

R_3 —— “ $O_1\rightarrow B$ ” 之间的距离, m;

其他因子同前述公式, 计算参数及结果见表 11.2.12。

表 11.2.12 入口 g 处泄漏辐射在屏蔽墙上的一次散射辐射计算参数结果

参数名称	单位	关注点 g (迷路入口)
H_0	$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$	1.32×10^9
f	/	0.001
A	m^2	8.04
α_w	/	0.0064
R_3	m	8.01
R_2	m	9.48
H_{O_2g}	$\mu\text{Sv}/\text{h}$	11.77

④ 防护门外 (g 点) 辐射剂量率

泄漏辐射在屏蔽墙上的一次散射射线的能量, 采用康普顿散射辐射光子能量计算公式:

$$E = \frac{E_0}{1+E_0(1-\cos\theta_s)/0.511} \quad \text{式 (11-9)}$$

式中： E —— 泄漏辐射在屏蔽墙上的一次散射射线的能量，MeV；

E_0 —— 初始射线的平均能量，为设备最大能量的 1/3，MeV；

θ_s —— 散射方向与入射方向的夹角，取 135°。

本项目直线加速器最大能量为 10MeV，初始射线的平均能量约为 3.3MeV，通过公式 (11-9) 计算可得，直线加速器机房的迷路防护门处泄漏辐射在屏蔽墙上的一次散射射线能量约为 0.3MeV。根据《放射性同位素手册》（马崇智 等 编著）中第 460 页，此时铅中的 TVL 值为 0.8cm。此外，本评价引用 GBZ/T 201.2-2011 中第 9 页，直线加速器机房的迷路防护门处患者一次散射辐射能量约为 0.2MeV，此时铅中的 TVL 值为 0.5cm。

本项目加速器防护门为 18mm 铅，防护门外的辐射剂量率采用以下公式计算：

$$\dot{H} = H_{O_{1g}} \times 10^{-(X/TVL_1)} + H_{O_{2g}} \times 10^{-(X/TVL_2)} + H_{O_g} \quad \text{式 (11-10)}$$

式中： H —— 防护门外的辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$H_{O_{1g}}$ —— 入口处患者一次散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$H_{O_{2g}}$ —— 入口处泄漏辐射在屏蔽墙上的一次散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_{O_g} —— 入口处 X 射线泄漏辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

TVL_1 —— 患者一次散射辐射能量对应铅的半值层，cm；

TVL_2 —— 泄漏辐射在屏蔽墙上的一次散射辐射能量对应铅的半值层，cm。

防护门外辐射剂量率计算参数及结果见表 11.2.13。

表 11.2.13 防护门外辐射剂量率计算参数及结果

参数名称	X	TVL_1	$H_{O_{1g}}$	TVL_2	$H_{O_{2g}}$	H_{O_g}	H
单位	cm	cm	$\mu\text{Sv/h}$	cm	$\mu\text{Sv/h}$	$\mu\text{Sv/h}$	$\mu\text{Sv/h}$
g 点	1.8	0.5	195.46	0.8	11.77	0.50	0.62

6) 辐射环境影响预测分析结论

通过预测分析，本项目直线加速器机房外各关注点剂量水平满足《放射治疗机房辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）中，关于治疗机房和入口门外关注点剂量率参考控制限值。各关注点当量剂量率见表 11.2.14。

表 11.2.14 治疗状态下直线加速器机房外各关注点剂量当量

关注点	关注点描述	预测关注点剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	导出剂量率参考控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	评价结果
a	东墙主屏蔽	0.78	10	满足
b	西墙主屏蔽	0.78	2.5	满足
l	顶棚主屏蔽	0.96	2.5	满足
f	北墙侧屏蔽	4.90×10^{-3}	2.5	满足
c ₁	与东主屏蔽墙直接相连的次屏蔽墙	0.40	6.25	满足
d ₁ 、d ₂	与西主屏蔽墙直接相连的次屏蔽墙	1.86	2.5	满足
m ₁ 、m ₂	与顶棚主屏蔽墙直接相连的次屏蔽墙	1.92	10	满足
k	迷路外墙	0.16	5	满足
k ₁	迷路外墙	1.87	5	满足
g	迷路口防护门外	0.62	10	满足

由表 11.2.14 可知，本项目直线加速器机房墙体（四周和顶棚）及防护门外 30cm 处各关注点的辐射剂量率在 $4.90 \times 10^{-3} \sim 1.92 \mu\text{Sv/h}$ 之间，均满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）和《放射治疗机房辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）的相关要求。

11.2.1.3 年有效剂量估算

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中附表 A.1 不同场所的居留因子，本项目各场所的居留因子详见表 11.2.15。

表 11.2.15 居留因子

人员	居留因子	场所描述
职业人员	1	北侧控制室
	1/2	西侧加速器治疗室 1 及其控制室
公众人员	1/5	东侧医生通道
	1/8	北侧防护门外（休息等候区）
	1/20	北侧设备间、上方进风机房、上方走道
	1/40	东侧楼梯间

项目致人员辐射剂量，按照联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）2000 年报告附录 A 公式变式进行计算。

$$H_E = D_r \times H \times t \times T \quad \text{式 (11-11)}$$

式中： H_E —— γ 射线外照射人均有效剂量当量（mSv/a）；

D_r —— γ 射线空气吸收剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$) ;

t —— γ 射线年照射时间 (h) ;

T —— 居留因子。

项目致人员辐射剂量,按照公式(11-11)进行计算。经计算,本项目直线加速器机房周边的辐射工作人员及公众成员年有效剂量见表 11.2.12。

表 11.2.12 直线加速器机房周边的年有效剂量估算结果

关注点	关注点描述	预测关注点剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	居留因子	工作时间 (h/a)	年有效剂量(mSv/a)	目标管理值 (mSv/a)	评价结果
a	东墙(楼梯间)	0.78	1/40	1000	1.94×10^{-2}	0.1	满足
b	西墙(加速器治疗室 1)	0.78	1/2	1000	0.39	5	满足
l	顶棚(进风机房、走道)	0.96	1/20	1000	4.81×10^{-2}	0.1	满足
f	北墙(控制室)	4.90×10^{-3}	1	1000	4.90×10^{-3}	5	满足
c ₁	东次屏蔽墙(医生通道)	0.40	1/5	1000	8.01×10^{-2}	0.1	满足
d ₁ 、 d ₂	西次屏蔽墙 (加速器治疗室 1)	1.86	1/2	1000	0.93	5	满足
m ₁ 、 m ₂	顶棚次屏蔽墙 (进风机房、走道)	1.93	1/20	1000	9.60×10^{-2}	0.1	满足
k	迷路外墙(设备间)	0.16	1/20	1000	8.23×10^{-3}	0.1	满足
k ₁	迷路外墙(设备间)	1.87	1/20	1000	9.36×10^{-2}	0.1	满足
g	迷路口防护门外(休息等候区)	0.62	1/8	1000	7.73×10^{-2}	0.1	满足

根据表 11.2.12 估算得,本次福建省立医院 1 台直线加速器项目运营后,对辐射工作人员年有效剂量为 $4.90 \times 10^{-3} \sim 0.93\text{mSv}$,公众人员年有效剂量为 $8.23 \times 10^{-3} \sim 9.60 \times 10^{-2}\text{mSv}$,均低于《放射治疗辐安全与防护要求》(HJ 1198-2021)提出的剂量约束值(职业人员 5mSv/a ,公众人员 0.1mSv/a)。

根据杭州普洛赛斯检测科技有限公司提供的《福建省立医院放射工作人员 2022 年 1 月-2022 年 12 月年度职业外照射个人剂量监测结果通知单》和《福建省立医院个人累积剂量检验检测报告(2023 年 2 月-2023 年 6 月)》,现有医院辐射工作人员个人剂量监测年统计结果中年总有效剂量最大值为 1.173mSv ,加上本项目对周边辐射工作人员的影响(0.93mSv)为 2.103mSv ,仍低于《放射治疗辐安全与防护要求》(HJ 1198-2021)、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)以及本报告提出的剂量约束值(职业人员 5mSv/a ,公众人员 0.1mSv/a)。

本项目直线加速器摆位工作人员在摆位操作过程中,会受到机房内的感生放射性

的照射。本项目直线加速器在射线关闭后，将会对机房内部进行持续 2min 以上的通风换气，而后做好个人防护措施的工作人员再进入机房内。根据安海军等人关于《关于高能医用直线加速器的感生放射性辐射场特点及其防护措施探讨》的研究，通过以上措施能够有效的做好感生放射性对人体所产生的危害。因此，项目运行对周围环境及人员活动的辐射影响有限。

11.2.2 三废治理措施

(1) 放射性固体废物

本项目放射性固体废物主要为直线加速器的加速器废靶等感生放射性部件。本项目直线加速器在退役时将产生的加速器废靶等感生放射性部件，先置于固体废物暂存间内进行衰变，经检测达到清洁解控水平后，作为一般固体废物交由有资质的单位处置。

(2) 氮氧化物及臭氧等气体废物

项目运行期产生的废气主要为直线加速器运行时放射源发射出的 X 射线与空气发生相互作用产生的少量臭氧和氮氧化物。

本项目机房内设有机械通风系统，包括新风系统和排风系统，室内排风口距地板高度为 200mm，送风口位于天花板上，室外排风口拟设置于 6 号楼楼顶，送风口和排风口呈对角线布置，能够有效促进室内气体流动。项目机房排风系统设计排风量为 3000m³/h，直线加速器机房内有效容积（包含迷路体积）为 401.60m³，机房内的通风次数为 7 次/h，满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中“治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。

①臭氧产生估算方法

1) 臭氧的产生

加速器机房内的臭氧辐射化学产额由下式估算：

$$P=0.39\times H_0\times F\times R\times G \quad \text{式 (11-12)}$$

式中：P —— O₃ 的辐射化学产额，mg/h；

R —— 表示射线束中心轴上源点至辐照室内壁的距离，m；

G —— 表示每吸收 100eV 辐射能量产生的臭氧分子数，一般为 6~10，为留安全系数，取 10。

其他因子同上式。估算本项目直线加速器机房 O₃ 的辐射化学产额，见表 11.2.13。

表 11.2.13 本项目直线加速器机房 O₃ 的辐射化学产额

参数名称	单位	直线加速器机房
H_0	Gy·m ² /min	22
F	m ²	0.16
R	m	3.58
G	/	10
P	mg/h	49.15

2) 臭氧的平衡浓度

辐射所致有害气体以 O₃ 为主，在考虑通风情况下，空气中的 O₃ 平衡浓度由下式估算：

$$Q = \frac{P \times T}{V} \quad \text{式 (11-13)}$$

式中： Q —— 加速器治疗室内 O₃ 平衡浓度，mg/m³；

T —— 有效清洗时间，h；

V —— 治疗室体积，m³。

其中，有效清洗时间 T 由下式计算：

$$T = \frac{T_v \cdot T_d}{T_v + T_d} \quad \text{式 (11-14)}$$

式中： T_v —— 换气一次所需时间，h；

T_d —— O₃ 有效分解时间，取 0.83h。

公式 (11-12) ~ (11-14) 均来自《辐射所致臭氧的估算与分析》（王时进、娄云著）。

根据公式 (11-13) 和公式 (11-14) 式得出不同换气次数时的 O₃ 平衡浓度见表 11.2.14。

表 11.2.14 本项目机房内 O₃ 平衡浓度

参数名称	单位	直线加速器机房
T_v	h	0.14
T_d	h	0.83
T	h	0.12
P	mg/h	49.15
V	m ³	401.60
Q	mg/m ³	0.015

根据表 11.2.14, 本项目直线加速器机房内臭氧的平衡浓度为 $0.015\text{mg}/\text{m}^3$, 即能够满足《室内空气质量标准》(GB/T 18883-2002) 中臭氧浓度限值要求 ($0.16\text{mg}/\text{m}^3$ 、1 小时平均值)。

②氮氧化物对环境的影响

在多种氮氧化物 (NO_x) 中, 以 NO_2 为主, 其产额约为 O_3 的二分之一, 工作场所中 NO_2 的限值 ($0.24\text{mg}/\text{m}^3$) 大于 O_3 的限值。因而工作场所中 O_3 浓度达到《室内空气质量标准》(GB/T 18883-2002) 要求时, NO_x 的浓度也会满足要求。本项目机房产生的少量臭氧和氮氧化物可通过排风系统排出机房, 弥散在大气环境中, 对环境影响较小。

(3) 废水

本项目不产生放射性废水, 废水主要为工作人员的生活污水。本项目工作人员的生活污水依托医院污水处理设施, 处理达标后排入市政污水处理管网, 统一纳入洋里污水处理厂处理。

(4) 固体废物

本项目工作人员产生的少量生活垃圾经分类收集后, 定期交由环卫部门处置, 对环境影响较小。

11.3 事故影响分析

11.3.1 可能发生的辐射事故

本项目直线加速器工作场所可能发生的辐射事故为:

① 工作人员或病人家属在防护门关闭前未撤离治疗室, 直线加速器运行可能产生误照射。

② 安全联锁装置或报警系统发生故障状况下, 人员误入正在运行的治疗室, 造成额外的照射。

③ 工作人员在机房内为患者摆位或其他准备工作, 控制台处操作人员误开机出束, 对工作人员造成辐射伤害。

④ 直线加速器控制系统出现故障, 照射不能停止, 病人受到额外照射。

⑤ 直线加速器维修期间, 设备维修工程师在检修期间误开机出束, 造成辐射伤害。

11.3.2 事故处理原则及应急措施

(1) 处理原则

根据上述分析，本项目可能发生的辐射事故及风险的发生主要是在管理上出问题，工作人员平时必须严格执行各项管理制度，严格遵守设备的操作规程，进行辐射工作前检查是否已按要求穿戴好各种辐射防护用品，并定期检查机房的性能，及有关的安全警示标志是否正常工作，避免无关人员误入正在使用的治疗室。

一旦发生辐射事故，处理的原则是：

① 立即消除事故源，防止事故继续蔓延和扩大，即第一时间断开电源，停止射线的产生。

② 及时检查、估算受照人员的受照剂量，如果受照剂量较高，应及时安置受照人员就医检查。

③ 及时处理，出现事故后，应尽快集中人力、物力，有组织、有计划的进行处理。这样，可缩小事故影响，减少事故损失。

④ 在事故处理过程中，要在可合理做到的条件下，尽可能减少人员照射。

⑤ 事故处理后应累计资料，及时总结报告。医院对于辐射事故进行记录：包括事故发生的时间和地点、所有涉及的事故责任人和受害者名单、对任何可能受到照射的人员所做的辐射剂量估算结果、所做的任何医学检查及结果、采取的任何纠正措施、事故的可能原因、为防止类似事件再次发生所采取的措施。

⑥ 对可能发生的放射事故，应及时采取措施，妥善处理，以减少和控制事故的危害影响，并接受监督部门的处理，同时及时上报生态环境部门和卫生部门。

(2) 应急措施

针对可能发生的辐射事故，本项目采取的预防措施如表 11.3.1。

表 11.3.1 本项目拟采取预防措施

辐射工作场所	可能产生的辐射事故	采取的预防措施
直线加速器机房	工作人员或病人家属在防护门关闭前未撤离治疗室，加速器运行可能产生误照射。	①本项目直线加速器机房总图布置和建筑安全等设计要求应严格按照《建筑设计防火规范》（GB50016-2006）等国家有关的法规、标准执行。 ②本项目加速器防护门上方设置工作状态指示灯、电离辐射警告标识及中文说明。加速器室设置了门机联锁，紧急停机按钮、固定式报警仪、视频监控系统等一系列安全联锁系统，可有效防止事故的发生。 ③已为辐射工作人员配置个人剂量计、铅防护服等辐射防护用品。 ④已制定《操作规程》等辐射安全管理相关制度，辐射工作人员经培训后上岗，严格按照操作规程操作。
	安全联锁装置或报警系统发生故障状况下，人员误入正在运行的加速器治疗室，造成额外的照射。	
	工作人员在机房内为患者摆位或其他准备工作，控制台处操作人员误开机出束，对工作人员造成辐射伤害。	
	加速器控制系统出现故障，照射不能停止，病人受到额外照射。	
	加速器维修期间，设备维修工程师在检修期间误开机出束，造成辐射伤害。	
工作人员或病人家属在防护门关闭前未撤离治疗室，加速器运行可能产生误照射。		

事故发生后，除了上述工作外，还应进行以下几项工作：

- ① 确定现场的辐射强度及影响范围，划出禁入控制范围，防止外照射的危害。
- ② 根据现场辐射强度，确定工作人员在现场处置的工作时间。
- ③ 现场处置任务的工作人员应佩戴防护用具及个人剂量计和剂量报警仪。

④ 应尽可能记录下现场有关情况，对工作人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。

⑤ 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。

- ⑥ 以上应急响应流程医院应每年组织演练一次。

(3) 事故预防措施

① 现有放射防护领导小组应制定完善的规章制度，并在实际工作过程中严格执行；

② 加强辐射安全管理，加强辐射工作人员技能培训和辐射安全与防护知识的培训，提高个人的技能和辐射安全防范意识；

③ 辐射工作场所按要求设置相应的辐射安全与防护设施，定期检查各辐射工作场所和设备的辐射安全措施运行情况，确保各项安全措施始终保持良好的工作状态。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

12.1.1 机构设置

本项目使用 II 类射线装置，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中规定，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，并以文件形式明确其管理职责。为此，医院已设立以省急救中心副主任***为组长的放射防护领导小组，负责医院日常辐射安全防护管理工作。

(1) 福建省立医院放射防护领导小组

(2) 主要职责

①制订本院辐射安全与防护工作的计划和总结；对辐射安全控制效果进行评议；定期对突发辐射事故应急预案、各辐射安全与防护制度进行修订。

②每年定期召开工作会议 1~2 次，研究辐射安全与防护工作中存在的问题，提出建议和措施。

③负责对全院辐射安全与防护工作进行监督，检查各种制度以及防护措施贯彻落实情况。

④负责监督本院放射诊疗人员的健康档案管理。

⑤组织实施放射诊疗工作人员关于辐射安全与防护相关的法律法规及防护知识的培训工作。

⑥会同上级有关部门按有关规定调查和处理辐射事故，并对有关责任人员提出处理意见。

12.1.2 辐射工作人员配备及培训情况

依据《放射性同位素与射线装置安全与防护管理办法》的规定，使用射线装置操作人员与辐射防护负责人应进行辐射安全培训，并持证上岗，对应本项目的辐射工作人员应接受初级辐射安全培训。

本项目拟安排的辐射工作人员 6 人，均为新增人员，新进的辐射工作人员应及时在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台参加培训，经考核合格后方可上岗。

新录用或调入的拟从事放射治疗的人员必须进行上岗前职业健康检查，符合《放射工作人员健康标准》的方可从事放射治疗工作。放射工作人员在工作期间必须按规定佩带个人剂量计，并按时定期送检，每3个月检测一次，一年四次。检测结果抄录在《放射工作人员证》中。所有放射工作人员上岗后间隔不超过2年进行一次职业健康检查。

12.2 辐射安全管理规章制度

福建省立医院严格遵守《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关放射性法律、法规，配合各级生态环境部门监督和指导，现有辐射防护设施运行、维护、检测工作正常，在辐射安全和防护制度的建立、落实以及档案管理等方面运行良好，现已成立了放射防护领导小组，制定一系列辐射安全管理制度。

(1) 为加强对辐射安全和防护管理工作，医院成立了以省急救中心副主任***为组长的放射防护领导小组，负责医院日常辐射安全防护管理工作。

(2) 医院已建立《辐射工作人员岗位职责》、《辐射工作定期自查和监测制度》、《放射性同位素与射线装置质量保证方案》、《射线装置检修和维护制度》，对放射科人员的防护意识、资质、技术操作等作出规定；要求严格按照操作说明书及维护保养手册，检修和维护保养射线装置。

(3) 医院制订了《放射工作人员管理制度》，要求放射工作人员上岗前，应当进行上岗前健康检查，符合放射工作人员健康标准的，方可参加相应的放射工作；医院组织上岗后的放射工作人员定期进行在岗期间的健康检查，周期一般为1~2年；并为放射工作人员建立并终生保存职业健康监护档案。

(4) 制定管理制度，已安排专人及时更新射线装置台账，和负责开展年度的辐射安全评估报告。

(5) 制定“三废处置”、监测方案、岗位职责等制度，建立完善的放射性同位素、射线装置台账、放射性废物处置台账、废水台账等。

医院在上述管理制度的基础上，制订了《辐射防护工作档案管理制度》、《个人防护用品使用与管理制度》、《辐射防护和安全保卫制度》、《放射性同位素及射线装置使用登记制度》、《放射性同位素及射线装置台帐管理制度》等配套制度，以完善医院放射工作管理体系，并严格遵守执行。

12.3 辐射监测

12.3.1 监测设备配置

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，使用Ⅱ、Ⅲ类射线装置的单位应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。

医院沿用现有 1 台便携式辐射监测仪，并为本项目拟配置 1 台个人剂量报警仪（具有报警功能）、6 枚个人剂量计和 1 台固定式剂量报警仪（兼具报警功能）。项目运行后医院将定期对直线加速器机房周围环境辐射水平监测，并做好监测记录。

12.3.2 辐射工作场所监测

（1）日常监测计划

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（中华人民共和国生态环境部令第 3 号）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（中华人民共和国生态环境部令第 18 号）中的相关要求，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，以便了解和监护防护设施的运行情况，为主管部门下一步辐射防护决策提供科学技术依据。根据医院 2022 年度辐射工作场所检测报告，院内各辐射场所监测均未出现超标情况。

具体监测方案如下：

① 每月均对辐射工作场所进行巡测，每年委托有资质的单位对辐射工作场所及环周围环境辐射水平进行监测，于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

② 监测项目：周围剂量当量率、辐射空气吸收剂量率。

③ 监测频度：每年委托有资质单位进行一次年度监测。

④ 监测范围：主要对辐射工作场所四周屏蔽墙外 30cm 处、顶棚、操作位、防护门以及其他关注点处进行监测。

⑤ 定期检查直线加速器的安全性能，防止射线泄漏，周期：每年 1~2 次。

（2）验收监测计划

本项目工作场所建成后，及时组织开展竣工环保验收工作，根据《放射治疗辐安全与防护要求》（HJ 1198-2021）以及《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中相关规定对辐射工作场所开展竣工环保验收监测。本项目竣工环境保护验收辐射监测计划见表 12.3.1。

12.3.3 个人剂量监测

所有进入控制室从事辐射工作的人员均需佩戴个人剂量计，按每季度 1 次的频率送相关单位进行个人剂量监测，并按《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的要求，以及医院已建立的《辐射防护工作档案管理制度》，落实个人剂量档案。医院应关注工作人员每一次的累积剂量监测结果，对监测结果超过剂量管理限值的原因进行调查和分析，优化实践行为，并向生态环境部门报告。

本项目工作人员也将委托有资质的第三方检测机构对个人剂量进行在岗、岗后的持续监测，并做好档案管理。

12.3.4 项目辐射监测计划汇总

福建省立医院针对本项目制定相应的辐射监测计划汇总见表 12.3.1。

表 12.3.1 本项目辐射监测计划

监测对象	监测点位	监测方案	监测项目	年度监测频率
直线加速器机房	机房四周屏蔽墙外 30cm 处、顶棚、操作位、防护门和各电缆管道口	实测	周围剂量当量率/辐射空气吸收剂量率	每年 1 次委托有资质单位监测； 每月 1 次设备科巡测
项目敏感点	北侧院内道路、南侧 3 号楼前、西侧 7 号楼前 (参考图 8.2-3)	实测		每年 1 次
辐射工作人员	佩戴个人辐射剂量计	实测	累计计量	每季度 1 次
竣工环境保护验收监测	各机房四周屏蔽墙外 30cm 处、顶棚、操作位、防护门和项目敏感点	实测	周围剂量当量率/辐射空气吸收剂量率	本项目建成后

12.4 辐射事故应急处置

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十一条“生产、销售、使用放射性同位素和射线装置的单位，应当根据可能发生的辐射事故的风险，制定本单

位的应急方案，做好应急准备”的规定，福建省立医院为使用放射源、同位素和射线装置的单位，已建立《福建省立医院辐射事故应急处理预案》。

预案根据《放射性同位素与射线装置安全与防护条例》（国务院第 449 号令）和《放射性同位素及射线事故管理规定》等相关文件精神，并结合医院实际进行编制，预案主要包括：（1）总则；（2）单位基本情况；（3）辐射事故分级；（4）应急响应组织体系及职责；（5）应急响应；（6）事故报告；（7）应急预案程序与后续整改；（8）预案管理。

12.4.1 应急机构设置和职责分工

（1）应急机构

医院成立辐射事故应急处理领导小组，组长为***，小组成员主要由各有关科室负责人共同组成，组织、开展辐射事故的应急处理救援工作。当放射事故/事件发生时，在辐射事故应急处理领导小组的统一指挥下，积极调动各方资源确保现场救护和后勤保障。

（2）机构主要职责

① 在上级核和辐射事故应急领导小组统一指挥下，贯彻执行国家、省核和辐射事故应急工作方针和应急预案。

② 组织本院核和辐射安全有关工作规范规章制度、卫生应急预案的制订、修订；并对规章制度执行情况定期进行检查。

③ 经常向医务人员进行安全教育培训，组织开展省级核和辐射事故卫生应急方面的培训和演练。

④ 组织有关职能科室定期进行安全检查或根据公安、卫生、生态环境等监督机关的通知，有计划有步骤地采取防范措施，迅速消除隐患，防止事故发生。

⑤ 负责协调全院的放射源管理工作中的各项问题，对各项具体分工进行监督检查。

⑥ 组织协调全院各处（科）室开展核和辐射事故卫生应急准备和响应工作。若本单位发生因放射源处理不当而发生火灾、爆炸、泄漏、中毒、伤亡等事故，及时组织力量扑救处理，并认真做好善后工作。同时，根据事故性质，严肃追究有关人员责任。

⑦ 发生非本院的核和辐射事故，根据本单位职责，做好事发地和群众临时安置点伤病员医疗救治，防范和处置传染病疫情及突发公共卫生事件，依法实施饮用水卫生

监管，保障临床用血安全等工作，完成上级核和辐射事故卫生应急领导小组安排的其他任务。

⑧ 组织专家对事故进行分析评估，总结经验教训，提出对策建议，防止事故再度发生。

12.4.2 应急处置原则

放射事件应急处置遵循及时发现、及时报告、快速反应、及时控制、保护现场、收集证据的原则，实现应急工作的科学化、规范化。

12.4.3 放射事件报告程序

（一）发生辐射事故后，立即关闭辐射源（如关闭射线装置应急开关等），立即撤离有关工作人员和受检者，封锁现场；禁止无关人员进入辐射区，同时报告科室负责人和辐射事故应急处理领导小组，辐射事故应急处理领导小组启动应急预案。

（二）辐射事故应急处理领导小组召集相关人员，按照辐射事故的具体情况，迅速确定事故处理方案。

（三）迅速安排受照人员到职业病防治机构接受医学检查、救治和医学观察，同时对危险源采取应急安全处理措施。对可能受放射损伤的人员，立即采取暂时隔离和根据需要实施其他医学救治应急救援措施。

（四）在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向生态环境主管部门报告。

（五）发生放射事故的科室及个人，必须积极配合生态环境部门、卫生行政部门、公安机关对放射事故的调查、处置、监测等，做好善后处理工作。

12.4.4 应急处置措施

（一）事故发生后，当事人应立即终止放射诊疗操作，关闭操作电源；

（二）封锁现场，疏散患者及现场的工作人员，切断一切可能的污染源；

（三）报告科室负责人，由其按照事件报告流程依次报告上级相关部门和人员；

（四）实行现场警戒，划定紧急隔离区，以控制事故影响，防止事故的扩大蔓延。

同时保护现场，保留导致事故的材料、设备和工具，必要时做好录音和录像；

（五）事故中人员受照时，要通过个人剂量计或其它工具、方法迅速估算受照人员的受照剂量，并迅速对其进行检查、救治及医学观察；

（六）辐射事故应急处理领导小组召集相关专业人员，根据具体情况迅速制定事

故处置方案；

（七）事故处理后，医院组织有关人员讨论，分析事故发生原因，总结经验教训，采取适当措施，防止类似事故重复发生。

12.4.5 预案管理

多方式开展辐射事故应急培训学习，包括在本院开展辐射环境保护知识的宣传和教育，普及辐射安全基础知识和预防常识、参加院外辐射安全知识的培训和辐射事故/事件应急措施的培训学习等。

按照应急预案的要求，每年定期组织不同级别的辐射事故应急演练，提高防范和处置突发辐射事故的技能。应急演练前编制演习计划由设备科编写，含演练模拟的事故、事件情景、演练参与人等。

12.5 建设项目竣工环境保护验收一览表

建设项目竣工环境保护验收一览表见表 12.5.1。

表 12.5.1 辐射环境保护“三同时”验收清单

污染源或保护源	主要环保措施	验收标准				
辐射防护措施	直线加速器机房（含迷路）面积约 97.95m ² ；东墙主防护墙为 2800mm 混凝土结构；东墙次防护墙为 1450mm 混凝土结构；西墙主防护墙为 2800mm 混凝土结构；西墙次防护墙为 1300mm 混凝土结构；南墙为 600mm 混凝土结构；北墙迷路内墙为 950~1250mm 混凝土结构；北墙迷路外墙为 800~1140mm 混凝土结构；顶棚主防护墙为 2800mm 混凝土结构；顶棚次防护墙为 1400mm 混凝土结构；防护门内衬 18mmPb 铅板。	1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002） 2、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021） 3、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）				
	机房门外设置安全指示灯及电离辐射警告标志并与各治疗设备连锁。					
	机房和控制室设有紧急停机按钮。					
	配备个人剂量计（所有辐射工作人员）、个人剂量报警仪、便携式辐射监测仪、固定式剂量报警仪等辐射监测仪器与防护用品。					
	机房内设置了排风和新风装置，机房内所有管道均设计为“斜 45 度”或“U”形管道进入治疗机房，并采用与同侧墙体防护铅当量相同的材料进行封堵。嵌入式安装的电器与同侧墙具有同等屏蔽效果的材料进行屏蔽补偿。					
	机房内安装视频监控系统，控制室与机房之间设置语音对讲装置。					
管理措施	机房周边墙外 30cm 处和项目敏感点的剂量率满足相关标准要求。					
	辐射工作人员佩带个人剂量计并建立个人剂量档案。					
	制定相应的规章制度和应急预案，规章制度应张贴在相关控制室。					
	建立完善的射线装置台帐。					
	医院辐射工作人员参加电离辐射安全与防护培训，并通过考核。					
	所有辐射工作人员均应参加职业健康体检，周期间隔不超过两年。					
废物处置措施	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="331 1339 379 1406">固废</td> <td data-bbox="379 1294 1193 1406">本项目直线加速器在退役时产生的加速器废靶等感生放射性部件等，先置于固体废物暂存间内衰变，经检测达到清洁解控水平后，作为一般固体废物交由有资质的单位处置。</td> </tr> <tr> <td data-bbox="331 1406 379 1456"></td> <td data-bbox="379 1406 1193 1456">生活垃圾经医院垃圾桶分类收集后定期清运。</td> </tr> </table>	固废	本项目直线加速器在退役时产生的加速器废靶等感生放射性部件等，先置于固体废物暂存间内衰变，经检测达到清洁解控水平后，作为一般固体废物交由有资质的单位处置。		生活垃圾经医院垃圾桶分类收集后定期清运。	验收措施落实情况
	固废	本项目直线加速器在退役时产生的加速器废靶等感生放射性部件等，先置于固体废物暂存间内衰变，经检测达到清洁解控水平后，作为一般固体废物交由有资质的单位处置。				
		生活垃圾经医院垃圾桶分类收集后定期清运。				
废气	产生的臭氧 O ₃ 和氮氧化物 NO _x 通过机房的通风系统引至楼顶排出。					
废水	生活污水依托现有方式处理，通过下水管道排入医院污水处理设施处理达标后排放。					

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

福建省立医院位于福建省福州市鼓楼区东街 134 号，医院 6 号楼位于院区东部。为提高医院服务质量及服务水平，满足广大患者就医的需要，福建省立医院拟在 6 号楼负 3 楼（最底层）新建 1 台直线加速器项目。项目主要是在 6 号楼主体建筑上对原预留的加速器治疗室 2 进行辐射防护改造，包括增加防护门和动力通风装置，并对配套辅助用房等进行功能的分配及装修等。项目新增 1 台 10MV 直线加速器用于放射治疗。本项目辐射工作的种类和范围为使用 II 类射线装置。

13.1.2 选址合理性分析

本项目直线加速器机房位于 6 号楼负 3 楼最南端，位置相对独立，设备有单独的固定机房，与周边非放射性工作场所隔开，避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）的选址要求。在辐射工作场所四周墙体及顶棚采用的屏蔽防护有效、机房设置通风装置正常运行的条件下，对周围环境影响不大。综上所述，项目作业与其他科室不交叉，按照设计的防护措施，项目运行时对周围环境辐射影响小。因此，项目选址基本是合理的。

13.1.3 辐射安全与防护分析结论

（1）辐射安全设施

本项目直线加速器采取的屏蔽防护能满足辐射防护要求。项目机房布局较为合理，辐射工作场所控制区和监督区划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的要求。同时本项目按《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）以及《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中相关要求对屏蔽防护进行了设计，设置动力排风装置进行通风换气，并配备相应的个人防护用品。

（2）辐射安全管理

福建省立医院已成立放射防护领导小组负责辐射安全与环境保护管理工作，已制定了较为完善的辐射安全管理制度和放射工作流程。本项目辐射工作人员均为新增人

员，新进的辐射工作人员应及时在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台参加培训，经考核合格后方可上岗。在认真落实以上辐射安全管理制度的情况下，本项目辐射安全管理能满足辐射安全管理要求。

13.1.4 环境影响评价结论

本项目主要是在 6 号楼负 3 楼的主体建筑上，对项目机房进行改造及装修。施工期工程量小，通过加强施工管理、采取抑尘、合理安排施工秩序等措施，对环境影响较小。

直线加速器机房（含迷路）面积约 97.95m²；东墙主防护墙为 2800mm 混凝土结构；东墙次防护墙为 1450mm 混凝土结构；西墙主防护墙为 2800mm 混凝土结构；西墙次防护墙为 1300mm 混凝土结构；南墙为 600mm 混凝土结构；北墙迷路内墙为 950~1250mm 混凝土结构；北墙迷路外墙为 800~1140mm 混凝土结构；顶棚主防护墙为 2800mm 混凝土结构；顶棚次防护墙为 1400mm 混凝土结构；防护门内衬 18mmPb 铅板。

此外，机房防护门上方设置工作状态指示灯，设有门—灯联动装置、门—机联动装置，防护门上显著位置张贴电离辐射警示标志；在机房和控制室设有紧急停机按钮、监控和对讲系统；设置排风和新风装置进行通风换气；辐射工作人员进入机房及控制室时佩戴个人剂量计，并携带个人剂量报警仪；为本项目工作人员及患者配备个人防护用品等措施，有效降低工作人员和患者的吸收剂量。同时，医院成立了放射防护领导小组，建立《放射工作人员管理制度》、《辐射防护工作档案管理制度》、《个人防护用品使用与管理制度》、《辐射工作人员岗位职责》、《辐射防护和安全保卫制度》、《放射性同位素及射线装置使用登记制度》、《放射性同位素及射线装置台帐管理制度》、《射线装置检修和维护制度》、《辐射工作定期自查和监测制度》、《放射性同位素与射线装置质量保证方案》等相应的规章制度和辐射事故应急预案。

在上述工程防护和管理措施基础上，本评价对本项目直线加速器机房的影响进行了预测。根据理论计算可知，直线加速器机房正常运行时，机房墙体（四周和顶棚）及防护门外 30cm 处各关注点的辐射剂量率在 $4.90 \times 10^{-3} \sim 1.92 \mu\text{Sv/h}$ 之间，符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《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）等相关要求。

本次福建省立医院 1 台直线加速器项目运营后，对辐射工作人员年有效剂量为 $4.90 \times 10^{-3} \sim 0.93 \text{mSv}$ ，公众人员年有效剂量为 $8.23 \times 10^{-3} \sim 9.60 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，低于《放射治疗辐安全与防护要求》（HJ 1198-2021）提出的剂量约束值（职业人员 5mSv/a ，公众人员 0.1mSv/a ）。

13.1.5 “三废” 处置措施

（1）施工期

项目施工期环境影响主要是施工噪声、扬尘、废水、固体废物等，拟采取以下措施：

①合理安排施工时间，采取消声降噪等措施，降低施工噪声影响。

②通过缩短施工时间、封闭施工、洒水等相关措施，降低施工扬尘影响。

③施工废水主要为混凝土养护水，产生量小，一般通过蒸发，不外排；施工人员生活污水主要是依托现有方式处理，经化粪池后，排入医院污水处理设施处理。

④建筑装修垃圾由施工方统一交由有资质的渣土运输公司处置，包装纸箱等可回收利用的施工废物料予以回收利用，其他部分分类收集后交由环卫部门清运；施工人员生活垃圾分类收集至相应的垃圾箱后交由环卫部门清运。

（2）运营期

正常运行时，本项目机房不产生放射性废气和医疗废水，在射线装置作用下仅有少量的臭氧和氮氧化物、加速器废靶件，以及工作人员的生活污水和生活垃圾。

①放射性固体废物

本项目放射性固体废物主要为退役时直线加速器的加速器废靶等部件。直线加速器的加速器废靶等部件先置于固体废物暂存间内进行衰变，经检测达到清洁解控水平后，作为一般固体废物交由有资质的单位处置。

②固体废物

本项目工作人员产生的少量生活垃圾经分类收集后，定期交由环卫部门处置。

②废气

本项目机房设置排风和新风装置进行通风换气，通风方式为上送下排，通风量可达 $3000 \text{m}^3/\text{h}$ ，均满足每小时换气不小于 4 次的要求。机房内产生的臭氧 O_3 和氮氧化物 NO_x 被引至楼顶排出。

③废水

本项目工作人员的生活污水依托医院污水处理设施，处理达标后排入市政污水处理管网，统一纳入洋里污水处理厂处理。

13.1.6 产业政策符合性

根据《产业结构调整指导目录》（2019年本）（中华人民共和国国家发展和改革委员会令 第29号），本项目属于“鼓励类”中“十三、医药”中的“5、……高端放射治疗设备……”以及“三十七、卫生健康”中的“5、医疗卫生服务设施建设”项目，因此本次福建省立医院1台直线加速器项目符合国家产业政策。

13.1.7 总结论

福建省立医院1台直线加速器项目旨在为更多的治疗患者提供良好的就医环境，建设方案中已按照环境保护法规和有关辐射防护要求进行设计，项目建设过程严格按照设计方案进行施工，建筑施工质量能达到要求，并且落实本次评价对该项目提出的各项辐射防护要求及措施，则本项目机房正常运行时，对周围环境的影响能够符合辐射环境保护的要求，从环境保护和辐射防护角度论证，该项目是可行的。

13.2 建议和要求

- (1) 本环评获批后，医院应及时在全国核技术利用辐射安全申报系统中更新。
- (2) 在设备安装的同时，应确保辐射防护设施和管理措施的建设，切实做到环境保护设施和主体工程“同时设计、同时施工、同时验收、同时投产”。
- (3) 根据《建设项目竣工环境保护验收管理办法》的规定，项目建成并试运行后，按照规定程序开展竣工环境保护验收。
- (4) 医院操作人员的流动性，工作性质的交叉性使管理工作难度加大，因此应加强个人剂量及职业健康体检的管理，完善辐射工作人员职业健康监护档案。
- (5) 新进的辐射工作人员应及时在参加国家核技术利用辐射安全与防护培训，经考核合格后方可上岗；同时要做好已取得合格证书人员的复训工作。
- (6) 医院应每年安排1~2次应急预案模拟演练，强化避险救治常识，以培训、演练相结合，提高合作、协同的应急能力。
- (7) 不断加强医院的辐射安全管理工作，持续完善辐射安全管理制度，落实辐射安全管理责任。

表 14 审批

<p>下一级环保部门预审意见</p> <p style="text-align: right;">盖章 年 月 日</p> <p style="text-align: center;">经办人</p>
<p>审批意见</p> <p style="text-align: right;">盖章 年 月 日</p> <p style="text-align: center;">经办人</p>