

表 1 项目基本情况

建设项目名称		长安医院有限公司陀螺刀及直线加速器核技术利用项目			
建设单位		长安医院有限公司			
法人代表	任爱	联系人	██████	联系电话	██████
注册地址		西安市经济技术开发区文景路 17 号			
项目建设地点		西安市经济技术开发区文景路 17 号长安医院医技住院综合楼（A 楼）地下一层放疗科			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资（万元）		1600	项目环保投资（万元）	120	投资比例（环保投资/总投资）
项目性质		☐ 新建 ☐ 改建 ☒ 扩建 ☐ 其他		占地面积（m ² ）	313
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I 类 ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类		
		☒ 使用	☒ I 类（医疗使用） ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类		
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☐ 使用	☐ 乙 ☐ 丙		
	射线装置	☐ 生产	☐ II 类 ☐ III 类		
		☐ 销售	☐ II 类 ☐ III 类		
		☒ 使用	☒ II 类 ☐ III 类		
	其他	/			
	1.1 项目概述 1.1.1 项目背景 1.1.1.1 医院简介 长安医院有限公司（以下简称“长安医院”）位于西安经济技术开发区文景路 17 号，是由原国家卫生部、商务部批准设置，经国家工商总局注册兴建的一所集医疗、科研、教学和健康保健为一体的三级甲等综合性医院。2002 年 9 月开诊，目前开展床位 1030 张。占地面积 120 亩，医疗用房面积 8.6 万平方米。 医院相继引进 PET/CT、ECT、GE64 层 128 排 CT、GE3.0T 磁共振、奥林巴				

斯 CV-290 内镜检查系统、IGRT 等一批世界先进的医疗设备，并紧跟行业趋势不断更新，相继引进了用于全身能谱成像且心脏成像不受心率影响的 GERevolution CT、新光纤 1.5T 核磁、西门子落地六轴平板血管机、西门子检验流水线等先进设备，为临床诊断提供了可靠的诊疗依据。

1.1.1.2 核技术应用的目的是任务

为了满足广大患者的诊疗需求和医院自身发展需要，长安医院拟将医技住院综合楼（A 楼，8F/1D）地下一层（无下层）北侧东部放疗中心 Taichi 机房内的 1 台西安大医集团有限公司研发的 TaichiB 多模式引导立体定向与旋转调强一体化放射治疗设备更换为 1 台上海伽玛星科技发展有限公司生产的 GMX-I 型陀螺旋转式钴-60 立体定向放射治疗系统（以下简称“陀螺刀”），内含 22 枚 ^{60}Co 放射源，属 I 类集束源，总活度为 $3.145 \times 10^{14} \text{Bq}$ （8500Ci）。拟将地下一层北侧西部的 1 间回旋加速器机房（已退役并通过验收）、技术室与 1 间空房间改建为 1 间直线加速器机房及其控制室与水冷机房，加速器机房内安装 1 台医科达（上海）医疗器械有限公司生产的 Infinity 型 10MV 医用电子直线加速器（II 类射线装置）。陀螺刀与直线加速器均用于肿瘤的放射治疗。

1.1.1.3 工作过程概述

根据原环境保护部和国家卫生和计划生育委员会《关于发布<射线装置分类>的公告》（公告 2017 年第 66 号）相关规定，医用电子直线加速器属于 II 类射线装置。根据《关于发布<放射源分类>办法的公告》（国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号）相关规定， ^{60}Co 为 I 类放射源。

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》中“五十五、核与辐射”172、核技术利用建设项目”中“医疗使用 I 类放射源的……；生产、使用 II 类射线装置的……”应编制环境影响报告表。本项目设备涉及医疗使用 I 类放射源和使用 II 类射线装置，因此，长安医院陀螺刀及直线加速器核技术利用项目应编制环境影响报告表。

2024 年 1 月西安旭奥环境科技有限公司（环评单位）接受医院委托，承担对本项目的环境影响评价工作。接受委托后，环评单位组织技术人员进行现场勘察调查，收集、整理有关资料，对项目的建设情况进行了初步分析，并根据建设项目的应用类型及所在地周围区域的环境特征，在现场勘察、资料调研、预测分

析的基础上，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）的基本要求，编制了《长安医院有限公司陀螺刀及直线加速器核技术利用项目环境影响报告表》。

1.1.2 实践正当性分析

使用陀螺刀和电子直线加速器提高恶性肿瘤放疗水平具有重大意义，在保障病人健康的同时也为医院创造了更大的经济效益，具有明显的社会效益。因此，项目建设所带来的个人和社会利益远大于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）“实践的正当性”要求。

1.1.3 相关政策符合性

该项目属于中华人民共和国国家发展和改革委员会令第7号《产业结构调整指导目录（2024年本）》（2023年第7号令修改）鼓励类中“六、核能，4.核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”，符合国家相关法律法规和政策的规定，符合国家产业政策。

1.1.4 项目规模

根据医院提供的资料，本项目所在的长安医院有限公司（原名西安万杰华祥医院）医技住院综合楼A楼于1999年10月取得西安经济技术开发区管理委员会《关于同意西安万杰华祥医院建设项目环境影响报告表及说明的批复》（西经开管发〔1999〕235号），批复及情况说明详见附件3。本项目建设规模包括1间陀螺刀机房、1间直线加速器机房及控制室、水冷机房等其他辅助功能用房。医院拟将医技住院综合楼（A楼）地下一层放疗中心东北角的Taichi机房改建为陀螺刀机房，防护屏蔽措施维持原状，总占地面积约143m²；拟将地下一层放疗中心西北角的1间回旋加速器机房（已退役并通过验收）、技术室与1间空房间改建为1间直线加速器机房及其控制室与水冷机房，总占地面积约170m²。

拟建陀螺刀机房的有效使用面积（不含迷道）约59.64m²（长7.90m×宽7.55m），机房内安装使用1台上海伽玛星科技发展有限公司生产的GMX-I型陀螺刀，内含22枚⁶⁰Co放射源，属I类集束源，总活度为3.145×10¹⁴Bq（8500Ci），陀螺刀控制室紧邻机房西侧。

直线加速器机房的具体改建内容为：直线加速器机房北侧、西侧与南侧墙体均保持原回旋加速器机房墙体，北墙中部增设长度4.0m，宽度0.7m的混凝土，

南墙中部增设长度 4.0m，宽度 0.06m 的钢板与宽度 0.1m 铅板；机房东侧新建厚度 1.2m 的迷路外墙，新建墙体与机房原东墙构成宽度 2m 的迷路，迷路上方屋顶增设 0.3m 厚混凝土板，机房主屏蔽区屋顶增设 0.08m 厚钢板、0.6m 土层与 0.2m 厚混凝土板；重新设计 1 扇铅防护电动推拉门；技术室南墙增设宽度 0.5m 的混凝土墙；拆除机房东侧原有的空房间并建设隔墙，将直线加速器东侧相邻区域设计为水冷机房与直线加速器机房的控制室。改建后直线加速器机房的有效使用面积（不含迷道）约 61.03m²（长 10.45m×宽 5.84m），机房内安装使用 1 台医科达（上海）医疗器械有限公司生产的 Infinity 型 10MV 直线加速器。

陀螺刀机房与直线加速器机房拟配置的设备主要参数见表 1-1。

表 1-1 设备主要技术参数

序号	设备名称	数量	型号、类别	具体参数	用途	工作场所
1	陀螺刀	1	GMX-I、I 类集束源	22 枚 ⁶⁰ Co 放射源， 装源总活度为 3.145×10 ¹⁴ Bq (8500Ci)， 放射治疗用 X 射线锥形束图 像引导系统：120kv、1000mA	放射 治疗	医技住院综合楼 (A 楼) 地下一层 陀螺刀机房
2	直线加速器	1	Infinity、II 类射线装置	最大 X 射线能量 10MV， 高剂量率模式 X 射线最大剂 量率 1400cGy/min， 常规均整 X 线最大剂量率 600cGy/min， 最大照射野为 40cm×40cm 最大电子线能量 15MeV；影 像引导系统：150kV、630mA	放射 治疗	医技住院综合楼 (A 楼) 地下一层 直线加速器机房

1.1.5 劳动定员和工作负荷

1.1.5.1 劳动定员

根据医院提供的相关资料，本项目拟配备辐射工作人员包含：5 名肿瘤医师、4 名放疗技师、2 名影像技师与 3 名物理师，其中陀螺刀机房拟配备 6 名辐射工作人员，加速器机房拟配备 8 名辐射工作人员。本项目辐射工作人员配备计划表见表 1-2，所有人员均从现有工作人员中调配。本项目开展后，14 名辐射工作人员还将参与放疗科其他工作。

本评价要求：项目拟配备的辐射工作人员应全部参加辐射安全与防护培训，取得成绩合格单后上岗；上岗前应进行职业健康检查，检查合格者方能进行相关放射工作；应正确佩戴个人剂量计，并建立个人剂量档案。

表 1-2 辐射工作人员配备计划表

科室	职业类别	人数	新聘/调配
陀螺刀 机房	肿瘤医师	2	调配
	放疗技师	2	
	影像技师	1	
	物理师	1	
直线加速器 机房	肿瘤医师	3	调配
	放疗技师	2	
	影像技师	1	
	物理师	2	

1.1.5.2 工作负荷

陀螺刀投入使用后预计每天最多治疗患者为 30 人，平均每人每次出束时间为 10min，每周工作 5d，年工作 250d，则年出束时间为 1250 小时。

直线加速器投入使用后预计每天最多治疗患者为 30 人，每周工作 5d，年工作 250d，则每年治疗人数为 7500 人，平均每人治疗剂量为 4.5Gy（平均每人每野次治疗剂量 1.5Gy，平均每人治疗照射 3 野次），常规放射治疗下周工作负荷为 675Gy/周；调强放射治疗中，对泄漏辐射，周工作负荷为 3375Gy/周（当调强因子 N=5 时）。本项目拟配置的加速器配备常规均整的 6MV、10MV 两档 X 线能量，等中心处常规均整 X 线最大剂量率为 600cGy/min，高剂量率模式 X 射线最大剂量率为 1400cGy/min，则最长周治疗照射时间 $t=675/6=112.5\text{min}=1.875\text{h}$ ；调强下的工作时间 $N \cdot t=9.375\text{h}$ 。

1.1.6 项目选址及周边环境概况

1.1.6.1 医院地理位置及周边环境关系

长安医院位于西安市北郊经济开发区文景路 17 号，地理坐标为东经：108.934225°，北纬：34.322918°。医院北侧为凤城三路，隔路对面为西安凤城医院（距离本项目约 110m）；西侧为文景路，隔路对面为文景公园（距离本项目约 123m）；南侧为凤吉路，隔路对面为捷力大厦和捷力公寓（距离本项目约 130m）；东侧为凤祥路，隔路对面为文景苑与海荣小区（距离本项目约 265m）。

医技住院综合楼（A 楼）地理位置见图 1-1，医院四邻关系图见图 1-2。

1.1.6.2 医院总平面布置

本项目位于长安医院门诊医技住院综合楼（A 楼），东侧依次相邻医技住院综合楼（B 楼）、学术会议中心，南侧为长安医院 B 楼住院部。

长安医院总平面布置详见图 1-3。

1.1.6.3 项目所在楼层的总平面布置

陀螺刀机房及其控制室位于医技住院综合楼（A 楼）地下一层北侧东部，直线加速器机房及其控制室位于医技住院综合楼（A 楼）地下一层北侧西部，放疗科 CT 模拟定位机房、治疗计划室、讨论室等辅助用房依托医院现有工程。

医技住院综合楼（A 楼）地下一层平面布局示意图详见图 1-4，一层（楼上）平面布局示意图详见图 1-5。

1.1.6.4 项目选址合理性

根据《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）中相关选址要求，陀螺刀机房及直线加速器机房选址合理性分析如下：

①陀螺刀机房与直线加速器机房均位于医技住院综合楼（A 楼）地下一层，非民居、写字楼和商住两用的建筑物。②陀螺刀机房位于医技住院综合楼（A 楼）底层东北角，机房北侧、东侧与正下方为土层，正上方为室外消防通道；直线加速器机房位于医技住院综合楼（A 楼）底层西北角，机房西侧与正下方为土层，正上方为驾驶员体检站、CT 控制室、更衣室等；周围无儿科病房、产房等特殊人群或人员密集区域和人员流动性大的商业活动区域。③陀螺刀机房与直线加速器机房及相关辅助用房合理布置，各设备控制台设置在控制室，与治疗设备分离，实行隔室操作。

表 1-3 放射治疗机房选址合理性分析

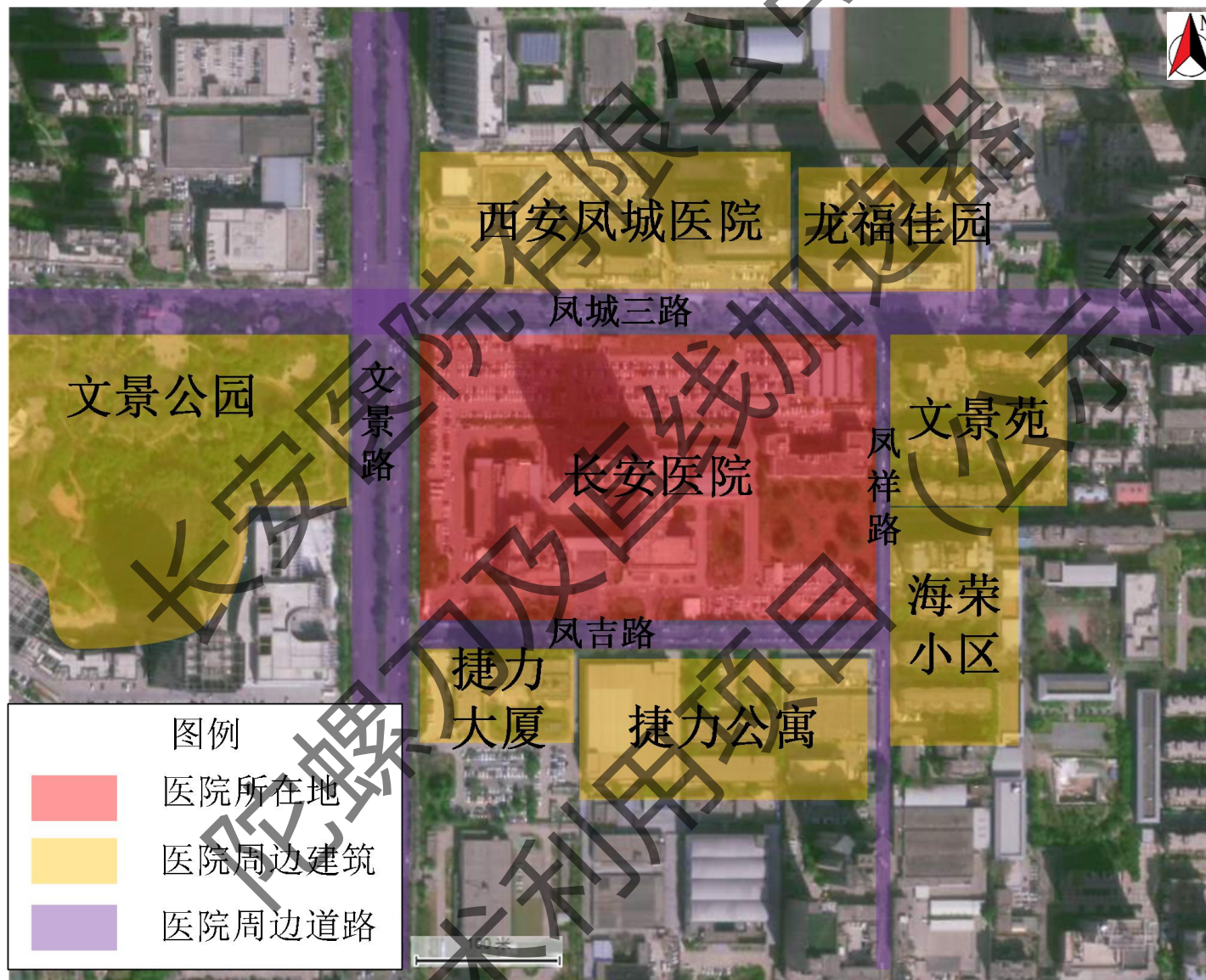
法规标准	标准要求	设计情况	评价
《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）	5.1.1 放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境的辐射影响，不得设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。	陀螺刀机房与直线加速器机房均位于医技住院综合楼（A 楼）地下一层，用地类型为医疗用地，不涉及民居、写字楼及商住两用的建筑物。	符合要求

	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。	陀螺刀机房位于医技住院综合楼（A 楼）底层东北角，机房北侧、东侧与正下方为土层，正上方为室外消防通道；直线加速器机房位于医技住院综合楼（A 楼）底层西北角，机房西侧与正下方为土层，正上方为驾驶员体检站、CT 控制室、更衣室等；周围无儿科病房、产房等特殊人群或人员密集区域和人员流动性大的商业活动区域。	符合要求
《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）	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。	陀螺刀机房位于医技住院综合楼（A 楼）底层东北角，直线加速器机房位于医技住院综合楼（A 楼）底层西北角，2 间放射治疗机房均与其控制室、水冷设备间等同时设计建造并合理布置。	符合要求

陀螺刀机房与直线加速器机房的屏蔽墙体及防护门在采取本评价提出的屏蔽措施后能更大程度的衰减射线强度，减少对机房周边公众及患者家属的影响。因此，放疗机房选址满足《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》（GBZ121-2020）中选址相关要求。



图 1-1 医院地理位置示意图



拟改建直线加速器机房位置

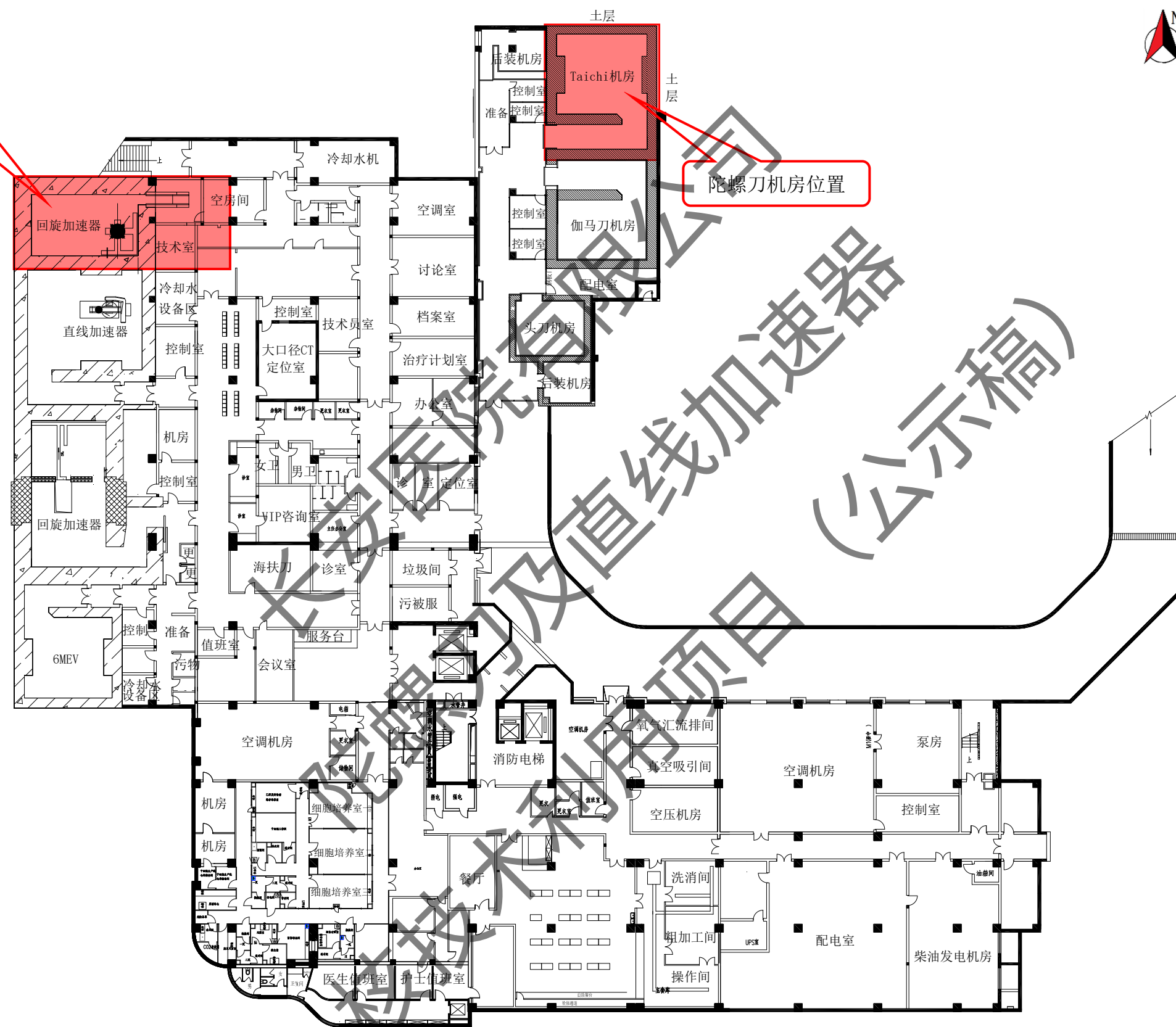


图 1-4 医技住院综合楼（A 楼）地下一层平面布局示意图

1.2 医院已有核技术利用项目许可情况

1.2.1 环保手续履行情况

(1) 现有辐射安全许可证

长安医院现持有 2023 年 12 月 13 日由陕西省生态环境厅核发的辐射安全许可证，证书编号：陕环辐证[00277]，有效期至 2025 年 8 月 6 日。许可种类和范围：使用 I 类、III 类、V 类放射源；使用 II 类、III 类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所。辐射安全许可证核准的种类和范围见表 1-4。

表 1-4 陕环辐证[00277]号核准的种类和范围

(一)放射源					
序号	核素	类别	数量	批准的总活度（Bq）	工作场所
1	Co-60	I	13	4.07×10 ¹³	A 楼地下一楼放疗科体刀室
2	Co-60	I	30	8.8×10 ¹²	A 楼地下一楼放疗科头刀室
3	Ge-68	V	1	5.5×10 ⁸ 5.5×10 ¹²	A 楼一楼影像科 pet/ct 室
4	Co-60	I	18	4.70×10 ¹³	放疗科 Taichi 室
5	Ir-192	III	1	3.7×10 ¹¹	放疗科后装机房
(二)非密封放射性物质					
序号	核素名称	年最大用量 (Bq)	批准的放射性工作场所		
			等级	名称	
1	C-11	1.48×10 ⁸	丙级	A 楼一楼影像科 pet/ct 室	
2	N-13	1.48×10 ⁹	乙级	A 楼一楼影像科 pet/ct 室	
3	F-18	2.442×10 ¹²	乙级	A 楼一楼影像科 pet/ct 室	
4	I-131	7.33×10 ⁶	丙级	A 楼一楼影像科 spect 室	
5	Tc-99m	1.776×10 ¹²	乙级	A 楼一楼影像科 spect 室	
(三)射线装置					
序号	装置名称	型号	类别	数量	工作场所
1	DSA	Artis Zee III Ceiling	II类	1	A 楼二楼导管二室
2	DR	DR-Ascend	III类	1	A 楼一楼体检中心 DR 室
3	CT	Revolution CT	III类	1	A 楼一楼影像科 CT 二室
4	CT	Light Speed VCT	III类	1	A 楼一楼影像科 CT 一室
5	DR	Definium6000	III类	1	A 楼一楼影像科 DR 二室
6	DR	飞腾	III类	1	A 楼一楼影像科 DR 一室

7	PET-CT	Discovery-VCT	III类	1	A 楼一楼影像科 pet/ct 室
8	SPECT	Infinia Hawkeye4	III类	1	A 楼一楼影像科 spect 室
9	移动 X 光机	MV-125P	III类	1	A 楼一楼影像科普放室
10	乳腺 X 线机	perfxma	II类	1	A 楼一楼影像科乳腺机室
11	数字胃肠机	R-30	III类	1	A 楼一楼影像科胃肠机室
12	小 C 型臂	OEC 9900 ELITE	III类	1	B 楼四楼手术室 1 室
13	DSA	Innova3100	II类	1	B 楼三楼导管一室
14	MM50 加速器	MM50	II类	1	放疗科 A45 治疗室
15	TaichiB 型多 模式引导立体 定向与旋转调 强一体化放射 治疗系统	TaichiB	II类	1	放疗科 Taichi 室
16	大口径 CT	Discovery CT590	III类	1	放疗科定位室
17	IGRT 直线加速器	ONCOR EXPRESS ION	II类	1	放疗科治疗二室
18	螺旋断层放射 治疗系统	TOMO(H)	II类	1	放疗科治疗一室
19	口腔 CT	CALILEOS	III类	1	口腔科 CT 室
20	全景 X 线机	Planmeca Promax	III类	1	口腔科全景机室
21	MXD-2 型牙 片机	MXD-III	III类	1	口腔科牙片机室

(2) 现有核技术利用项目环保手续履行情况

医院现有核技术利用项目环保手续履行情况见表 1-5。

陀螺刀机房由 Taichi 机房改建而成，TaichiB 型一体化放疗设备内含 18 枚 ^{60}Co 放射源（属 I 类集束源，总活度 $4.699 \times 10^{13}\text{Bq}$ ），放射源已于 2022 年 12 月 29 日由医院转至成都中核高通同位素股份有限公司（川环辐审（2022）1159 号）。

直线加速器机房由回旋加速器机房及其辅助用房改建而成，陕西省生态环境厅于 2022 年 3 月 8 日关于西安江原安迪科正电子技术有限公司 PET 放射性药物生产场所退役项目环境影响报告表进行批复（陕环批复（2022）11 号），2022 年 9 月 3 日陕西省生态环境厅发出关于西安江原安迪科正电子技术有限公司长安医院退役场所放射性废物清洁解控的函（陕环辐射函（2022）25 号）。2022 年

11月19日，西安江原安迪科正电子技术有限公司PET放射性药物生产场所退役项目开展了竣工环境保护（退役终态）验收会，验收结论如下：

西安江原安迪科正电子技术有限公司认真履行了本项目的环境保护审批和清洁解控手续，落实了环评文件及其批复的要求，退役场所的所有放射性废物已全部清运，无放射性废物遗留，放射性废物已送中核四〇四有限公司放射性废物处置场进行安全处置。清洁解控放射性废物已由西安西苏航商贸公司回收，做到了安全可控。本项目退役过程中辐射安全与防护措施落实到位，没有对辐射工作人员及周围环境造成辐射影响。终态验收监测结果表明，退役工作场所达到了无限制开放使用的条件。验收组一致同意西安江原安迪科正电子技术有限公司PET放射性药物生产场所退役项目（陕环批复〔2022〕11号）通过竣工环境保护（退役终态）验收。

因此，本项目在Taichi机房、回旋加速器机房分别改建陀螺刀机房、直线加速器机房的环保手续齐全，本项目选址可行。

表 1-5 医院现有核技术利用项目环保手续履行情况

项目名称	环评手续			验收手续			备注
	批复文号	批复时间	评价内容	批复文号	批复时间	验收内容	
长安医院核技术应用项目	陕环批复（2009）229 号	2009 年 4 月 30 日	放射性同位素应用 ^{99m}Tc 、 ^{131}I 、 ^{18}F 、 ^{13}N 、 ^{11}C 和应用密封源 ^{252}Cf 、 ^{60}Co 、 ^{68}Ge 和射线装置等	陕环批复（2014）21 号	2014 年 1 月	放射性同位素应用 ^{99m}Tc 、 ^{18}F 和射线装置等	验收期间 3 枚 ^{68}Ge 校验源已回收，同位素 ^{131}I 、 ^{13}N 、 ^{11}C 和密封源 ^{252}Cf 、 ^{60}Co 未开展，XUD150L-3 0F 型 X 线机未购置
长安医院医用 X 射线装置环境影响登记表	1 台乳腺 X 射线机（Performa），1 台全景 X 射线机（Planmeca ProMax）于 2013 年 7 月 4 日进行了登记备案（市环批复（2013）222 号）						
长安医院新增密封放射源核技术应用项目	陕环批复（2015）399 号	2015 年 8 月 7 日	新增 1 台体部伽马刀，内含 13 枚 ^{60}Co I 类放射源；1 台头部伽马刀，内含 30 枚 ^{60}Co II 类放射源；	于 2018 年 10 月 17 日进行了竣工环境保护自主验收		1 台头部伽马刀，内含 30 枚 ^{60}Co ，均为 II 类密封放射源	数码智能放射治疗系统和后装机暂

			1 台数码智能放射治疗系统, 内含 16 枚 ^{60}Co I类放射源; 1 台后装机, 内含 1 枚 ^{192}Ir III类放射源	于 2019 年 5 月 24 日进行了竣工环境保护自主验收	1 台体部伽马刀, 内含 13 枚 ^{60}Co , 均为 I 类密封放射源	未购置
长安医院新增医用射线装置核技术应用项目	陕环批复 (2016) 601 号	2016 年 11 月 18 日	1 台 DSA, 1 台 CT	于 2018 年 10 月 17 日进行了竣工环境保护自主验收	1 台 Artis Zee Ceiling 型 DSA, 1 台 Revolution 型 CT 机	环评、验收一致
长安医院直线加速器更新项目	陕环批复 (2018) 562 号	2018 年 12 月 3 日	对现有医用加速器机房进行改造, 更好医用电子直线加速器	于 2019 年 9 月 30 日进行了竣工环境保护自主验收	TOMO (H) 型 6MV 医用电子直线加速器	环评、验收一致, 本次更换了现有 Clinac600C/D 直线加速器
替换一枚 Ge-68 校验源建设项目环境影响登记表	2018 年 6 月 12 日进行了登记备案 (备案编号: 201861010002000000552)					
DR-Ascend	2018 年 10 月 23 日进行了登记备案 (备案编号: 201861010002000000750)					
口腔 CT (CALILEOS)	2018 年 12 月 20 日进行了登记备案 (备案编号: 201861010002000000866)					
长安医院 TaichiB 型多模式引导立体定位与旋转调强一体化放射治疗设备项目	陕环批复 (2020) 47 号	2020 年 3 月 30 日	对 1 间预留机房进行改造用作 TaichiB 型一体化放疗设备机房, 并开展该设备的型式检验与正式的临床诊疗活动。TaichiB 型一体化放疗设备包括 1 台 6MeV 电	于 2021 年 11 月 9 日进行了竣工环境保护自主验收	对 1 间预留机房进行改造用作 TaichiB 型一体化放疗设备机房, 并开展该设备的型式检验与正式的临床诊疗活动。TaichiB 型一体化放疗设备包括 1 台	环评、验收一致

			子直线加速器，1 台伽马刀治疗头（内含 18 枚 ^{60}Co 放射源），1 台 CBCT 图像引导系统模块		6MeV 电子直线加速器，1 台伽马刀治疗头（内含 18 枚 ^{60}Co 放射源），1 台 CBCT 图像引导系统模块	
长安医院有限公司核医学科 PET/CT 热室改造项目	陕环批复（2023）15 号	2023 年 3 月 10 日	对核医学科药物分装热室以及相关场所进行改扩建，以满足现行标准要求，原有 PET/CT、SPECT/CT 各一台不变，涉及使用 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 非密封放射性物质，并对厂家提供的瓶装 ^{18}F 药物在医院分装热室进行分装操作。	该项目正在建设中。		
PET 放射性药物生产场所退役项目	陕环批复（2022）11 号	2022 年 3 月 8 日	西安安迪科正电子技术有限公司在西安市经开区长安医院健康体检中心西北角地下一层有一台用于生产 PET 诊断用放药的回旋加速器，该设备 2018 年已经停用，本次拟对该回旋加速器生产放药的场所和回旋加速器装置进行退役。	于 2022 年 11 月 19 日进行了竣工环境保护自主验收	长安医院健康体检中心西北角地下一层回旋加速器机房	环评、验收一致
TaichiB 型一体化放疗设备的放射源转让审批表	川环辐审（2022）1159 号	2022 年 12 月 29 日	伽马刀内 18 枚 ^{60}Co 放射源由长安医院转出至成都中核高通同位素股份有限公司，该公司持有国环辐证[00204]。			

1.2.2 辐射安全管理现状

长安医院严格遵守《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》等相关辐射防护法律、法规，配合各级环保部门监督和指导，辐射防护设施的运行、维护、检测工作良好，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。

根据医院提供的资料，医院辐射安全管理现状如下：

（1）辐射防护管理机构设置情况

医院已成立辐射安全与环境管理领导小组，小组由组长、副组长、成员、辐射安全与环境管理专职人员组成，全面负责医院辐射安全与环境管理工作。

（2）规章制度建设及落实情况

医院已制定了一系列辐射防护管理规章制度，包括：《放射治疗室放射源安全管理防护制度》《放射治疗科放射防护管理制度》《放射安全防护及应急措施》《长安医院放疗科放射性事故应急预案及处置措施》《放疗科停电和突然停电应急预案及流程》《治疗中患者出现意外应急预案及处置措施》《患者治疗中机器出现故障应急预案》《防护门发生意外的应急预案及处置措施》《放射治疗意外应急预案》《放射意外事故应急预案演练》《辐射防护制度》《辐射工作人员岗位职责》、《医学装备质量管理体系》《放射工作人员培训教育管理制度》《医学影像科基本工作制度》《影像质量控制标准（X线、CT、MRI）》《放射治疗管理规定》、《放疗科设备工程技术人员培训制度》、《放疗科治疗质量控制制度》《放射治疗质量保证（QA）质量控制（QC）管理制度》《放疗科设备操作工作制度》《放疗科设备维修检修制度》《放疗科工作人员和放疗患者辐射安全防护制度》《医学装备使用人员培训和考核制度》《个人剂量监测管理制度》《放射安全防护制度》《放射工作人员职业健康检查制度》等，并在工作中予以贯彻落实。另外，医院还应制定陀螺刀操作规程、辐射工作场所监测计划，以及全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度等，确保核技术利用项目的有序管理和安全运行。

（3）个人剂量检测情况

医院委托陕西新高科辐射技术有限公司对辐射工作人员进行个人剂量监测

工作，每季度检测一次，建立了个人剂量档案并存档。根据医院提供的 2023 年 1-12 月个人剂量监测报告，医院在岗辐射工作人员连续四个季度的累积剂量最大为 2.23mSv，本项目辐射工作人员连续四个季度的累积剂量最大为 0.35mSv，医院所有辐射工作人员连续四个季度的累积剂量均满足不大于 5mSv/a 的剂量管理目标值。

（4）职业健康检查情况

医院对辐射工作人员进行了职业健康检查，建立了职业健康检查档案并存档。根据医院提供的 2023 年 5 月至 2023 年 12 月期间 76 名辐射工作人员职业性健康体检结果通知书，体检结果显示 3 人（张霄娜、高江波、景彩婷）血红蛋白减少，建议复查血常规（1 月内复查 2 次，2 次间隔 7 天左右）。根据医院提供的资料，张霄娜、高江波已于 2024 年 2 月 7 日复查血常规，景彩婷已于 2024 年 2 月 19 日复查血常规，三人的血红蛋白均处于正常水平（复查结果见附加 10）。医院其余辐射工作人员均未见疑似放射性疾病，体检发现的其他临床异常与职业因素无关，建议临床复查，必要时专科进一步检查、诊治。

（5）工作人员培训情况

长安医院制定有放射工作人员培训教育管理制度，目前从事辐射相关工作人员 76 人（含本项目拟设置的 14 名辐射工作人员），均已参加辐射安全与防护培训并已取得培训合格证书。

（6）工作场所辐射环境监测情况

2023 年 11 月，医院委托中陕核工业集团综合分析测试有限公司对医院 3 台 CT、3 台 DR、2 台 DSA、1 台乳腺钼靶、1 台口内牙片机、1 台口腔 CT、1 台小 C 型臂与 1 台数字胃肠机的工作场所进行了放射防护检测（报告编号：ZSH（2023）1255FW）；2023 年 11 月和 2023 年 12 月，医院委托陕西思迈奥健康科技服务有限公司对医院 1 台直线加速器、1 台螺旋断层放射治疗系统、1 台 PET/CT、1 台 SPECT/CT 与 1 台头部伽马刀的放射诊疗场所进行了防护检测（报告编号：思迈奥（FH）字（2023）第 458-2 号）。检测结果汇总见表 1-6。

经核实，1 台加速器（MM50）、1 台 TaichiB 型一体化放疗设备、1 台全景 X 线机（Planmeca Promax）、1 台数字胃肠机（岛津 R-30）、1 台口腔 CT

(CALILEOS) 因设备老旧, 目前已停用; 移动 X 光机无固定使用场所, 因此上述 6 台设备未进行辐射工作场所防护检测。医院其余辐射工作场所均在 2023 年进行了辐射工作场所防护检测。

表 1-6 辐射工作场所关注点最大 X、 γ 辐射剂量率

序号	设备名称	规格型号	检测条件	关注点最大 X、 γ 辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	标准限值 ($\mu\text{Sv/h}$)
1	CT	Discovery CT590 RT	电压 140kV, 电流 800mA	1.83	2.5
2	CT	Revolution CT	电压 140kV, 电流 740mA	0.173	2.5
3	CT	LightSpeed VCT	电压 140kV, 电流 800mA	0.242	2.5
4	DR	Definium 6000	电压 150kV, 电流 630mA	0.398	25
5	DR	DRX-Ascend System	电压 150kV, 电流 630mA	0.517	25
6	DR	XR 6000	电压 150kV, 电流 630mA	5.84	25
7	DSA	Innova3100-IQ	电压 125kV, 电流 800mA	0.179	2.5
8	DSA	Artis zee III ceiling	电压 125kV, 电流 1000mA	0.175	2.5
9	乳腺钼靶	Performa	电压 35kV, 电流 120mA	0.188	2.5
10	口内牙片机	MXD-III	电压 65kV, 电流 1.5mA	0.146	2.5
11	口腔 CT	SS-X9010DPro-3 DE	电压 90kV, 电流 10mA	0.149	2.5
12	小 C 型臂	OEC 9900 Elite	电压 120kV, 电流 40mA	0.143	2.5
13	数字胃肠机	DRF-6A	电压 78kV, 电流 160mA	2.169	2.5
14	直线加速器	Oncor	电压 0.4kV, 电流 400mA	0.26	10
15	螺旋断层放射治疗系统	TOMO (H)	粒子能量 6MeV	0.14	2.5
16	PET/CT	Discovery-VCT	电压 48V, 电流 800mA	0.89	2.5
17	SPECT/CT	Infinia Hawkeye4	电压 38V, 电流 700mA	0.89	2.5
18	图像引导头部伽马刀	OUR-XGD/AR	^{60}Co , $(8.8 \times 10^{12}) \times 30\text{Bq}$	0.14	10

根据检测报告结果, 3 台数字化医用 X 射线摄影系统 (DR) 机房外的周围剂量当量率均小于 $25\mu\text{Sv/h}$, 直线加速器机房外的周围剂量当量率小于 $10\mu\text{Sv/h}$, 其余射线装置工作场所各检测点的周围剂量当量率均低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$, 符合标准

《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。

（7）辐射环境自主监测设备检定情况

医院现有 1 台陕西卫峰核电子有限公司制造的 WF-PRM-102 型便携式 γ 剂量率仪，用于医院 X 射线工作场所辐射防护的自主检测，并配备有卫峰仪器制造的 EPM02 型个人剂量报警仪，医院于 2023 年 5 月将上述 2 台设备送至中国测试技术研究院进行了校准，已取得校准证书并将其存档。

1.2.3 针对医院现存问题提出的改进建议

问题：

（1）辐射安全许可证上 1 台加速器（MM50）、1 台 TaichiB 型一体化放疗设备、1 台全景 X 线机（Planmeca Promax）、1 台数字胃肠机（岛津 R-30）与 1 台口腔 CT（CALILEOS）未在 2023 年进行辐射工作场所防护检测；

（2）医院现有的《辐射事故应急预案》缺少医院目前可能发生的辐射事故等级，医院内部与外部应急联络方式不完善。

改进建议：

（1）医院每年应对所有放射诊疗和 X 射线工作场所进行防护检测，并于每年 1 月 31 日前向辐射安全许可证颁发部门报送上一年度辐射安全年度评估报告。医院应及时将已停用的设备：加速器、TaichiB 型一体化放疗设备、全景 X 线机、数字胃肠机与口腔 CT 从辐射安全许可证注销。

（2）医院应及时在辐射事故应急预案中补充陀螺刀与直线加速器可能发生的事故类型及对应的应急处置措施，完善医院目前可能发生的辐射事故等级，补充内部、外部应急联络方式，明确辐射事故发生时，应急预案启动、后续处理措施与应急终止的条件。

表 2 放射源

序号	核素名称	放射性活度 (Bq) / 活度 (Bq) ×枚数	类别	活动类别	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	钴-60	$1.43 \times 10^{13} \text{Bq} \times 22 \text{枚}$	I类	使用	放射治疗	医技住院综合楼（A楼）地下一层陀螺刀机房	储存于医技住院综合楼（A楼）地下一层陀螺刀机房的陀螺旋转式钴-60立体定向放射治疗系统中	新增
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：密封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：日最大等效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	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	直线加速器	II 类	1 台	Infinity	电子	X 射线: 10MV 电子线: 15MeV	X 射线: 等中心处 (距 靶 1m 处) 最大剂量率 1400cGy/min	放射治疗	医技住院综 合楼 (A 楼) 地下一层直 线加速器机 房	新增
/		/	/	/	/	/	/	/	/	/

(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 (mA)	中子强度 (n/s)	用途	工作场所	氘靶情况			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
钴-60 退役放射源	固态	钴-60	/	/	约 10a 更换	/	/	由供源单位回收
加速器废金属钨	固态	/	/	/	通常 1 个靶使用 7~10a 才更换	/	/	由设备供应商更换并处置
臭氧、氮氧化物	气态	/	/	/	/	/	/	由动力排风装置经专用管道 引至裙房四层楼顶排放
/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，气态单位为 mg/kg；年排放总量用 kg。

2.含有放射性的废弃物要注明，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	(1) 《中华人民共和国环境保护法（修订）》，2015 年 1 月 1 日施行； (2) 《中华人民共和国环境影响评价法（修订）》，2018 年 12 月 29 日起施行； (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日起施行； (4) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令第 682 号修改，2017 年 10 月 1 日发布施行； (5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令第 709 号第二次修订，2019 年 3 月 2 日； (6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环保部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日起施行； (7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（修订）》，生态环境部令第 20 号第四次修改，2021 年 1 月 4 日； (8) 《放射工作人员职业健康管理办法》，卫生部令第 55 号，2007 年 11 月 1 日施行； (9) 《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； (10) 《关于发布<放射性废物分类>的公告》，环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局公告 2017 年第 65 号，2018 年 1 月 1 日起施行； (11) 《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 6 日起施行； (12) 《关于发布放射源分类办法的公告》，国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号； (13) 《放射性物品分类和名录（试行）》，国家环境保护总局公告 2010 年第 31 号，2010 年 3 月 4 日； (14) 《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》国家环保总局，环发〔2006〕145 号，2006 年 9 月 26 日起施行；
------	---

	(15)《关于加强放射性同位素与射线装置辐射安全和防护工作的通知》(环发〔2008〕13号)，2008年4月14日； (16)《陕西省放射性污染防治条例(2019年修正)》，陕西省人大，2019年7月31日起施行； (17)陕西省环境保护厅关于印发新修订《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》的通知(陕环办发〔2018〕29号)，2018年6月6日起施行； (18)《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》(生态环境部公告2019年第57号)，自2020年1月1日起施行； (19)《关于进一步优化辐射安全考核的公告》(生态环境部公告2021年第9号)，自2021年3月15日起施行。
技术标准	(1)《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)； (2)《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)； (3)《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/T201.2-2011)； (4)《放射治疗机房的辐射屏蔽规范-第3部分：γ射线源放射治疗机房》(GBZ/T201.3-2014)； (5)《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)； (6)《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)； (7)《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)； (8)《医用电气设备 第2-11部分：γ射束治疗设备的基本安全和基本性能专用要求》(GB 9706.211-2020)； (9)《职业性外照射个人检测规范》(GBZ128-2019)； (11)《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)； (12)《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)； (13)《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)； (14)《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)。

其他	(1) 环境影响评价委托书； (2) 长安医院现有核技术利用项目环评批复及验收批复； (3) 长安医院有限公司提供的本次新增核技术利用项目的技术资料。
----	--

表 7 保护目标和评价标准

7.1 评价范围

本项目医疗设备使用 I 类放射源和 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》（HJ10.1-2016）中“放射源和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”的要求，结合本项目所涉及的辐射工作场所位置和边界，确定辐射工作场所实体屏蔽外周围 50m 范围为本项目环境影响评价范围（不同工作场所重合区域时取最大范围），评价范围示意图详见图 7-1。

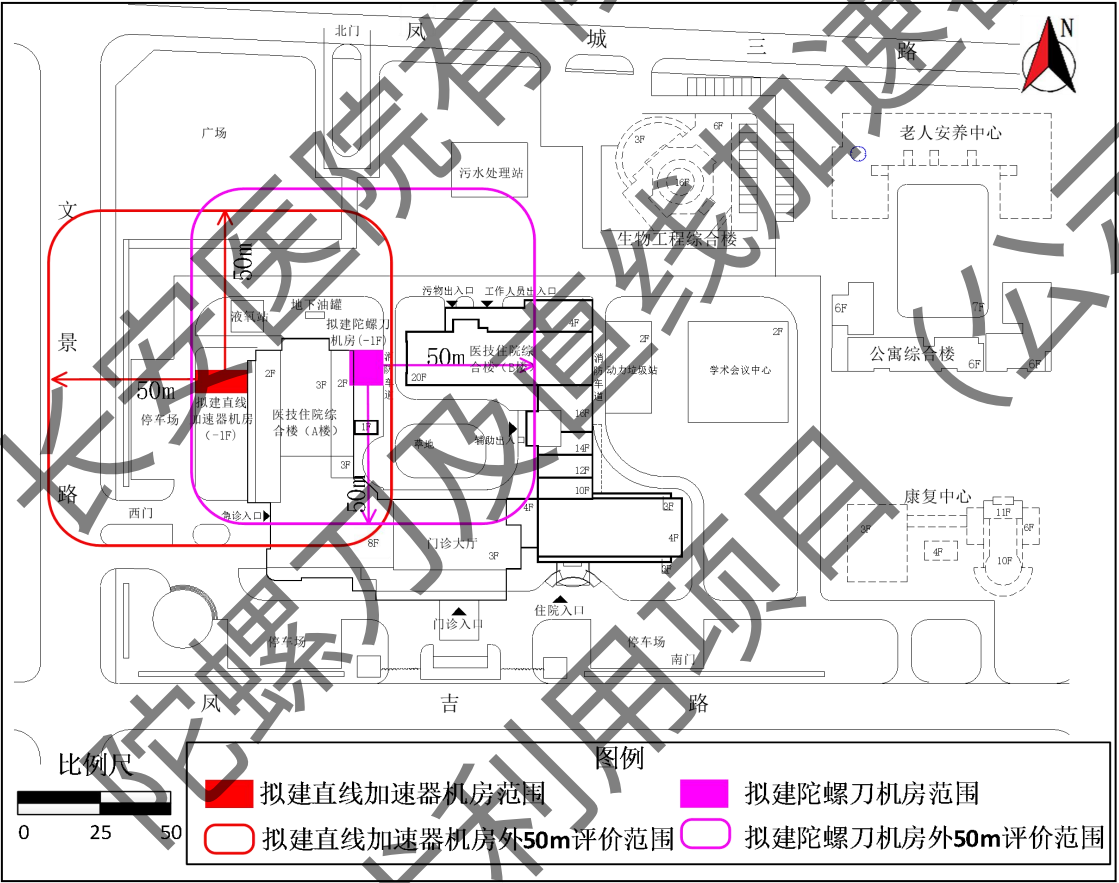


图 7-1 本项目评价范围示意图

7.2 环境保护目标

本项目环境保护目标主要为机房周围 50m 范围内的职业工作人员及公众。具体情况见表 7-1。

表 7-1 主要环境保护目标一览表

保护对象	相对位置			环境保护目标	屏蔽体外最近距离	人口规模	年剂量管理约束值
职业人员	陀螺刀机房	西侧	陀螺刀机房控制室	控制室工作人员	0.3m	6 人	≤5mSv
	直线加速器机房	东侧	直线加速器机房控制室	控制室工作人员	0.3m	8 人	
其他职业人员	陀螺刀机房	西侧	后装机房及其控制室	其他辐射工作人员	0.3m	2 人	
		南侧	伽马刀机房迷道	其他辐射工作人员	0.3m	2 人	
	直线加速器机房	南侧	直线加速器机房迷道	其他辐射工作人员	0.3m	2 人	
		上方	CT 控制室	其他辐射工作人员	1.0m	3 人	
公众	陀螺刀机房	南侧	伽马刀机房迷道	患者	0.3m	流动人员	≤0.1mSv
		西侧	后装机房	患者	0.3m	流动人员	
		西侧	走廊	机房周边的其他非辐射医务人员、患者及陪同家属、短时间滞留人员等	0.3m	流动人员	
		上方	消防通道	患者及陪同家属、短时间滞留人员等	1.0m	流动人员	
	直线加速器机房	东侧	水冷机房	机房周边的其他非辐射医务人员、患者及陪同家属、短时间滞留人员等	0.3m	约 3 人	≤0.1mSv
		北侧	楼梯间	其他非辐射医务人员、患者及陪同家属、短时间滞留人员等	0.3m	流动人员	
		上方	驾驶员体检站、更衣室走廊	患者及陪同家属、短时间滞留人员等	1.0m	流动人员	
		南侧	直线加速器机房迷道	患者	0.3m	流动人员	
	门诊医技住院综合楼	东侧	B 楼	其他非辐射医务人员、患者、院内短时间滞留人员等	25m	约 100 人	≤0.1mSv
		南侧	门诊		48m	约 20 人	
		西侧	停车场		25m	流动人员	
		北侧	停车场		20m		

7.3 评价标准

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》（GBZ 130-2020）等标准，辐射工作人员的年剂量约束值为 5mSv/a，公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

综上所述，确定本项目的评价标准见表 7-2 所示。

表 7-2 本项目剂量限值及其他控制指标一览表

	屏蔽体表面剂量率控制值	执行标准
陀螺刀机房、直线加速器机房	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 $\dot{H}_{c,max}$（$\mu\text{Sv/h}$）： 1) 人员居留因子 $T > 1/2$ 的场所： $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$； 2) 人员居留因子 $T \leq 1/2$ 的场所： $\dot{H}_{c,max} \leq 10 \mu\text{Sv/h}$。 b) 穿出机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射，以年剂量 250μSv 加以控制。 c) 对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶，机房顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平可按 100$\mu\text{Sv/h}$ 加以控制（可在相应位置处设置辐射告示牌）。	HJ1198-2021 GBZ121-2020 GBZ/T201.1-2007 GBZ/T201.2-2011 GBZ/T201.3-2014

机房使用面积、单边长度控制			执行标准
设备名称	机房内最小有效使用面积 (m ²)	机房内最小单边长度 (m)	GBZ130-2020
陀螺刀机房、直线加速器机房通风要求			执行标准
陀螺刀机房、直线加速器机房	放射治疗机房应设置强之排风系统，进风口应设置在放射治疗机房上部，排风口应设置在治疗机房下部，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。		GBZ121-2020
	放射治疗室内应设置强排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于 4 次/h，排气口不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。		HJ1198-2021

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理位置及场所位置

8.1.1 医院地理位置

医院地理位置见图 1-1，医院总平面布置见图 13。

8.1.2 项目场所位置

项目拟在门诊医技住院综合楼地下一层拟建直线加速器和陀螺刀机房，门诊医技住院综合楼地下一层平面布局图见图 1-4。

8.2 辐射环境质量现状评价

8.2.1 监测方法

为了解项目拟建场地及周边环境 γ 辐射本底水平，本次评价引用陕西新高科辐射技术有限公司于 2024 年 2 月出具的《拟建直线加速器和陀螺刀机房及周围区域环境 γ 辐射剂量率检测报告》（报告编号：FHJC-SXGK-002024017）中相关数据。监测方案见表 8-1。

表 8-1 辐射环境质量现状监测方案

监测因子	监测点位	监测频次
X- γ 剂量率	拟建直线加速器机房 1#~9#，楼上 19#	2024 年 1 月 15 日，每个点位连续监测 10 次
	拟建陀螺刀机房 10#~18#，楼上 20#	
	医技住院综合楼（A 楼）四周 50m 范围内 21#~22#	
监测方法：《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）		

8.2.2 监测点位

环境 γ 辐射剂量率监测点位布设情况详见图 8-1。

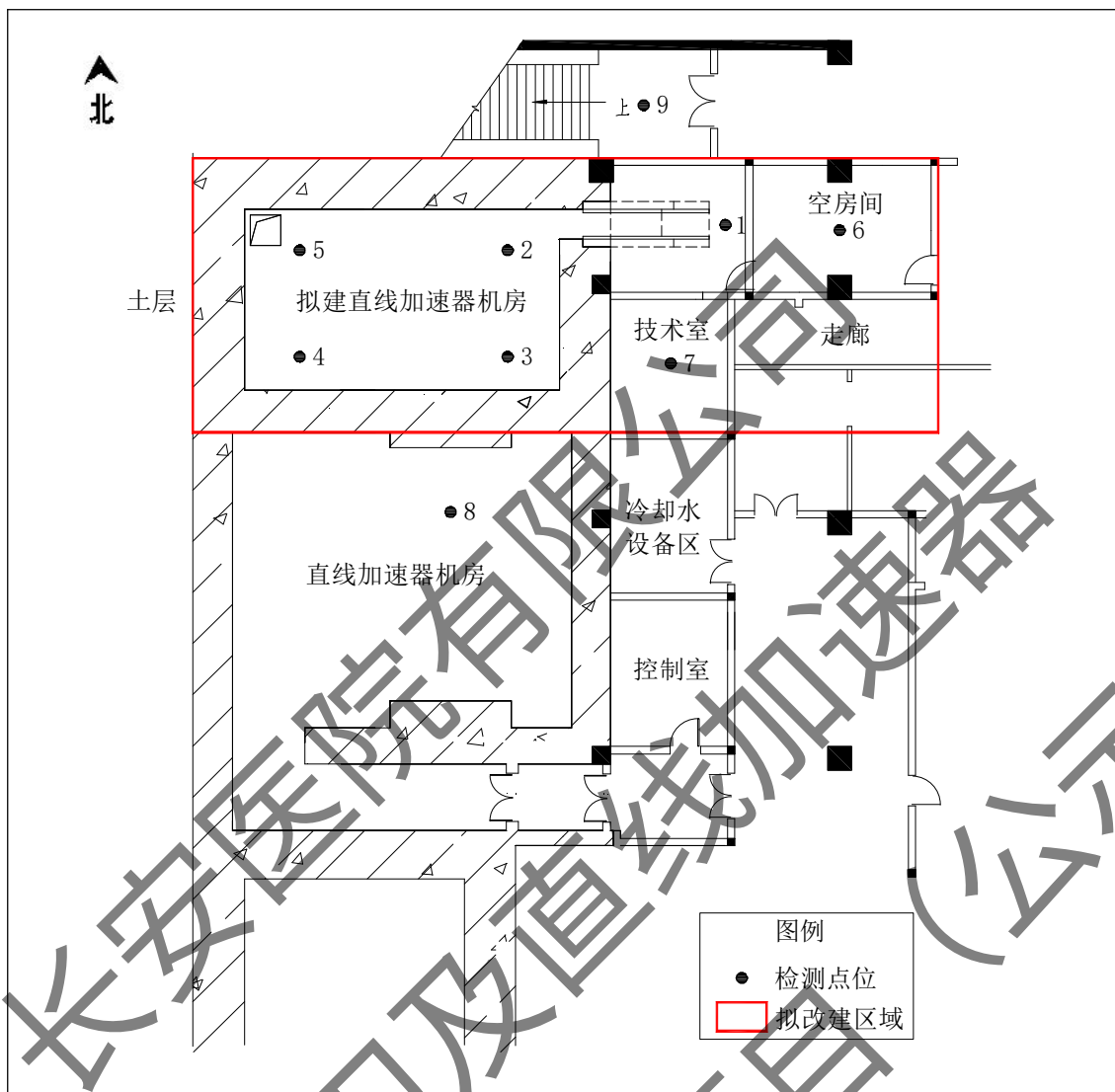


图 8-1 拟建直线加速器机房及周围区域监测点位布设示意图

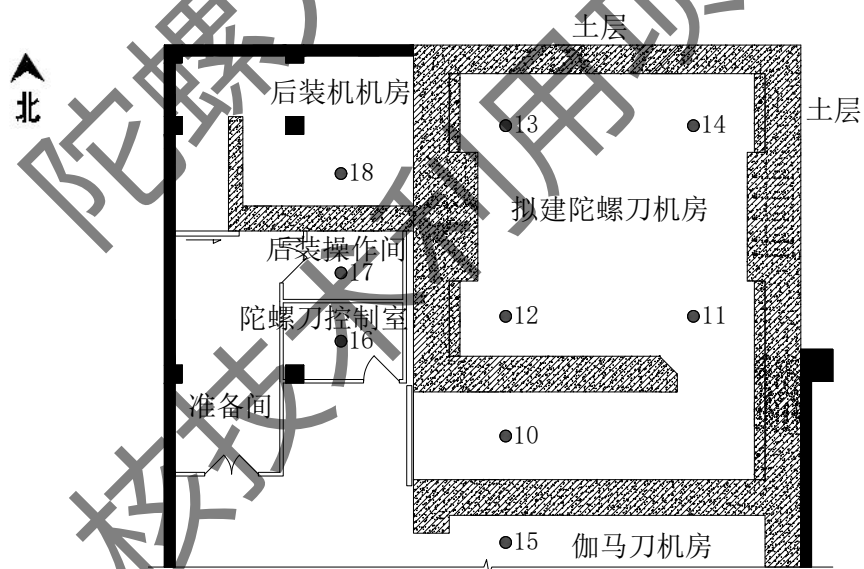


图 8-2 拟建陀螺刀机房及周围区域监测点位布设示意图

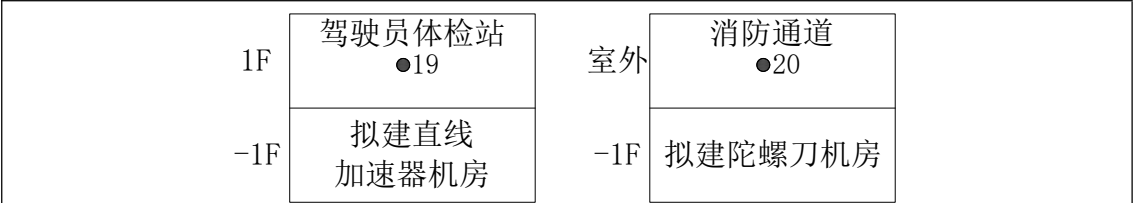


图 8-3 拟建直线加速器机房和陀螺刀机房正上方区域检测点位图

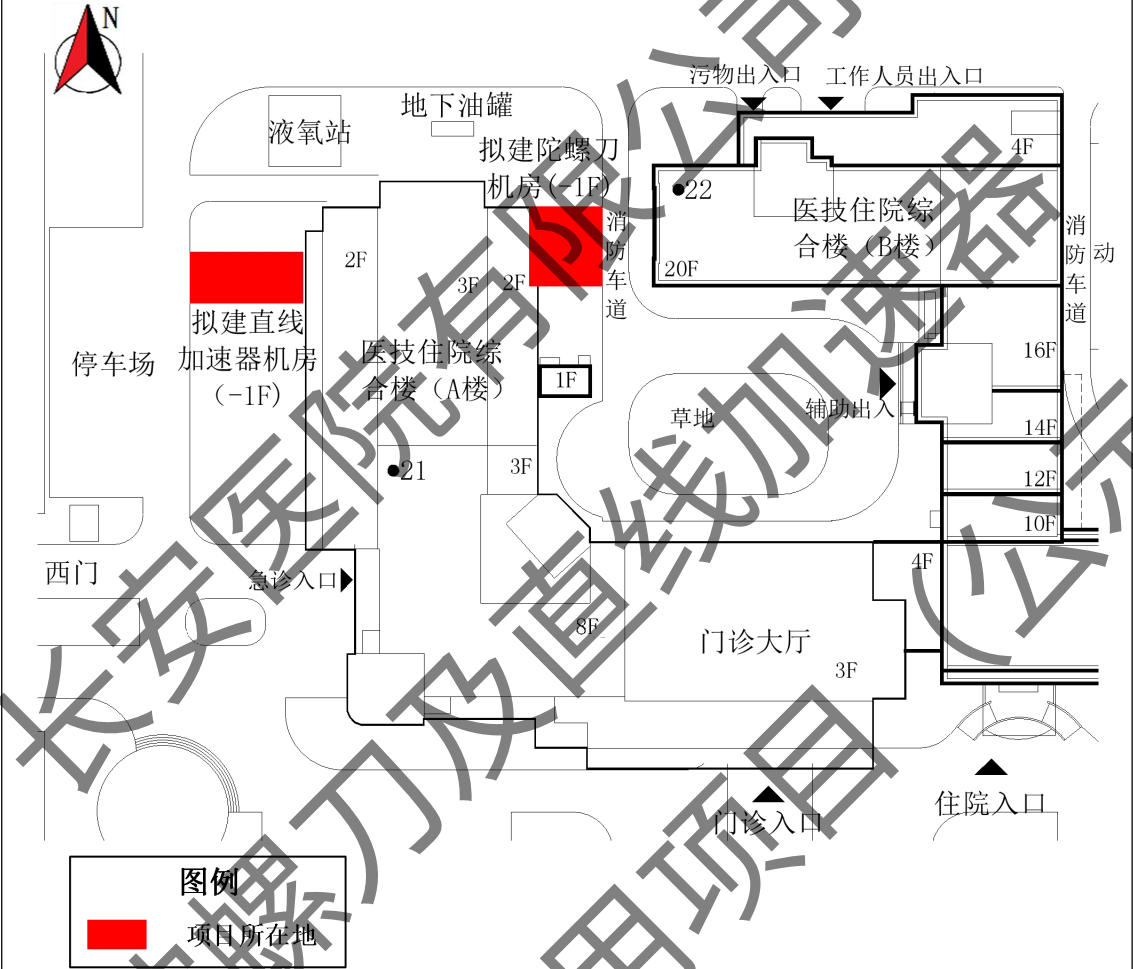


图 8-4 门诊医技住院综合楼周围区域监测点位布设示意图

8.2.3 监测使用仪器

监测仪器相关情况见表 8-2。

表 8-2 监测仪器相关参数一览表

检测仪器 名称、型号、编号	测量范围	检定单位	证书编号	证书有效期
环境监测用 X、γ 辐射 空气比释动能率仪 FD-3013H-6882	0.01μSv/h~ 200μGy/h	中国辐射防护研究院 放射性计量站	检字第 (2023)L454	2023.8.8~ 2024.8.7

8.2.4 质量保证措施

①结合现场实际情况及检测点位的可达性,在项目拟建场地周边环境布设检测点位,充分考虑检测点位的代表性和可重复性,以保证检测结果的客观性和公正性;

②严格按照《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)、《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)进行检测;

③检测仪器每年定期经有资质的计量部门检定、校准,检定合格后方可使用;

④每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常;

⑤检测人员持证上岗;

⑥检测结果经三级审核,保证检测数据的准确。

8.2.5 监测结果及评价

本项目机房及周边环境 γ 辐射剂量率监测结果见表 8-3。

表 8.3 环境 γ 辐射剂量率监测结果

点位编号	点位描述	检测结果 ($\mu\text{Gy/h}$)	
		平均值	标准差
1	拟建直线加速器 机房内	检测点①	0.08
2		检测点②	0.08
3		检测点③	0.08
4		检测点④	0.08
5		检测点⑤	0.07
6	东侧空房间	0.07	0.005
7	东侧技术室	0.07	0.005
8	南侧原直线加速器机房	0.07	0.007
9	北侧楼梯	0.07	0.007
10	拟建陀螺刀 机房内	检测点①	0.08
11		检测点②	0.07
12		检测点③	0.08
13		检测点④	0.09
14		检测点⑤	0.08

15	南侧伽马刀机房	0.08	0.005
16	西侧 TaichiB 机房控制室	0.07	0.005
17	西侧后装操作间	0.07	0.007
18	西侧后装机房	0.08	0.004
19	一层（楼上）驾驶员体检站	0.07	0.004
20	（楼上）室外消防通道	0.08	0.005
21	门诊一层大厅	0.07	0.006
22	B 楼一层大厅	0.07	0.005
注：1.表中数据已扣除宇宙射线响应值，此处宇宙射线响应值为 0.012 μ Gy/h，建筑物对宇宙射线的屏蔽因子按原野、道路取 1（点位 20），其余点位按楼房取 0.8。			

由表 8-3 可知，项目拟建辐射工作场所的环境 γ 辐射剂量率为 70~90nGy/h（已扣除宇宙射线响应值），与《中国环境天然放射性水平》（中国原子能出版社，2015 年）中“西安市 γ 辐射剂量率调查结果（原野：50~117nGy/h，道路：52~121nGy/h，室内：79~130nGy/h）”相当，属天然辐射本底水平。项目所在地辐射剂量率处于正常环境本底水平，辐射环境质量现状无异常，项目所在区域辐射环境质量现状良好。

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 陀螺刀

(1) 设备组成

陀螺刀主要由以下部分组成：主机机械系统、立体定位系统、电气控制系统、治疗计划系统等，其外观如图 9-1 所示。



图 9-1 本项目陀螺刀外观图

(1) 主机机械系统：由治疗头、源开关和准直系统、旋转盘、滚筒、源包壳、三维运动床组成，治疗头内安装聚焦式钴源滚筒及旋转盘组成一陀螺转向机构。主要机械系统结构见图 9-2（不含外壳）。

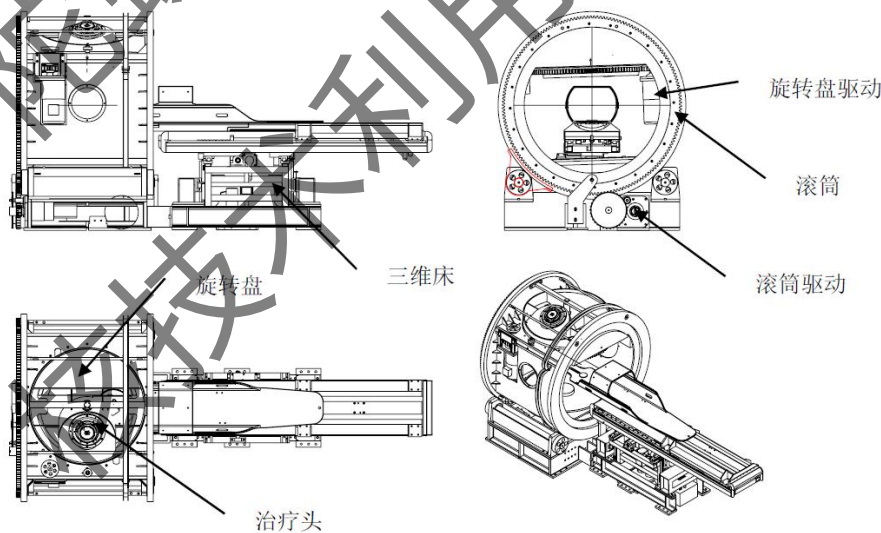


图 9-2 主机机械系统结构示意图

①治疗头由源包壳、壳体、 ^{238}U 屏蔽材料、屏蔽棒和源开关组成。治疗头外观和结构见图 9-3。

壳体由屏蔽材料 ^{238}U 及钢制成， ^{238}U 合金外壳包容在里面，保证了屏蔽的强度及安全性能。壳体一端有偏离中心用于安装源开关的内腔，内腔下方有用于定位开关的轴承孔，位于壳体中心的是装源通道。源包壳固定于屏蔽棒上，装源时，先通过机械手将包壳与屏蔽棒固定，然后再将屏蔽棒与治疗头壳体固定

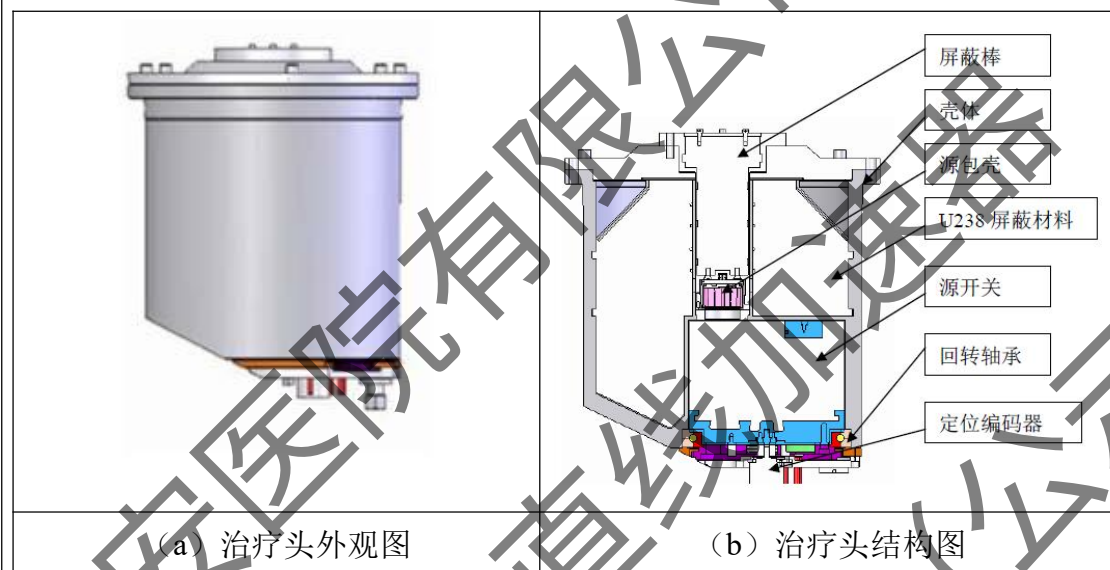


图 9-3 治疗头外观图和结构图

②源开关和准直器

源开关由屏蔽材料 ^{238}U 制成，是一圆柱体，整个被安装于治疗头体内腔。一端通过一个交叉滚子轴承和壳体固定，并通过轴承固定端安装的齿轮由伺服电机驱动，源开关和准直器结构图见图 9-4。

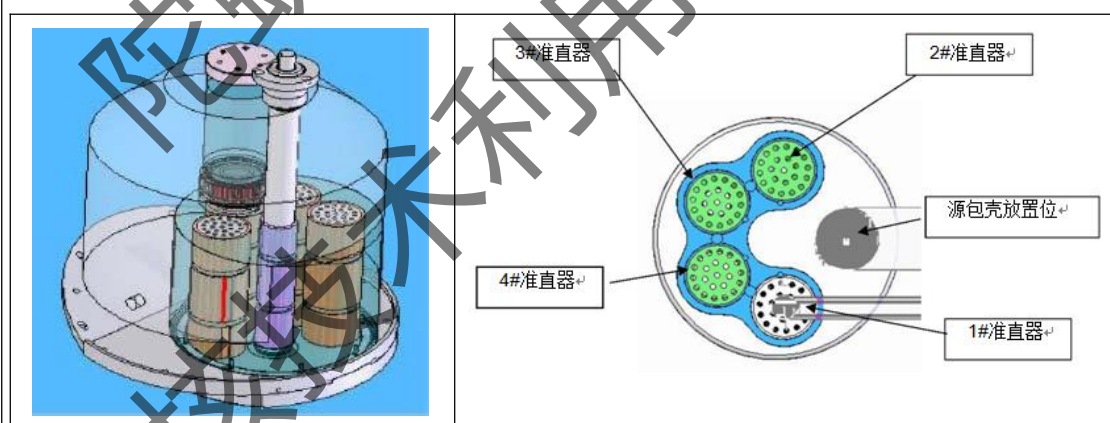


图 9-4 源开关和准直器结构图

开关上有 4 个通孔，分布在同一半径上，互相间隔相同的角度，分布的半径

大小与装源通道和开关孔的距离相等，通孔安装有不同孔径的准直器。这样伺服电机按间隔角度带动开关时，源出束孔与准直器孔对准。治疗时根据需要，源开关转动不同的角度来选择合适的准直器孔径，取得不同的焦点剂量和场域。

③旋转盘

旋转盘整个结构呈圆盘形，治疗头安装后与旋转盘的旋转中心成 25° 的夹角，带动整个治疗头（射源装置）做旋转运动时，治疗头的运动轨迹为陀螺状，陀螺旋转式钴-60 放射治疗系统由此得名。旋转盘体是通过一大型轴承装于滚筒。底部安装一大齿圈，由安装于滚筒上的电机通过直齿带动齿圈旋转，旋转的速度一般设定为 30 转/分钟。

由于治疗头安装后与旋转盘的旋转中心成 25° 的夹角，旋转盘转动时使放射源对靶心进行第二次圆锥回旋聚焦，使射线途经人体正常组织时只受到瞬时、几乎无伤害的照射。旋转盘结构图见图 9-5。

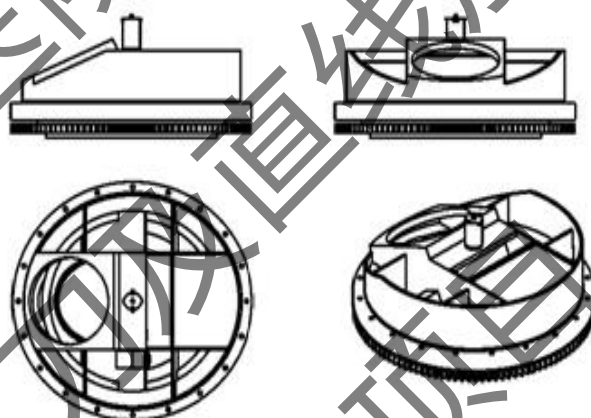


图 9-5 旋转盘结构图

④滚筒

滚筒是带动整个旋转盘作 $\pm 270^\circ$ 旋转（公转）的机构，由两端面的法兰与型钢通过箱形结构焊接成型，通过安装在底座平台上的四个滚轮支撑。滚筒是由伺服电机通过两级齿轮减速机经齿轮传动带动滚筒端面的齿圈进行旋转的，滚筒的两端面分别由两个径向与轴向压轮控制其转动。滚筒做旋转时，带动放射源在自转的同时又沿着人体不断变换入射角度，和回转角度达到第三次聚焦的作用。滚筒的转速出厂设定为 1.0 转/分钟。滚筒结构图见图 9-6。

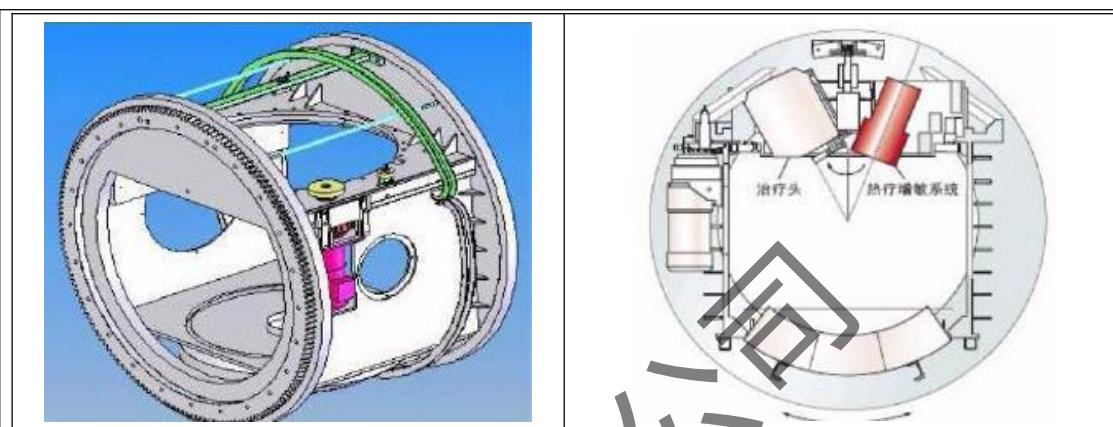


图 9-6 滚筒结构示意图

三次聚焦的结果是病灶部位（等中心）的 γ 射线剂量不断积累直至达到治疗所需的剂量，而病灶周围组织及体表处所接受的 γ 射线剂量是分散的、均匀的，从而在杀死肿瘤细胞的同时保护周围正常组织细胞。三次聚焦几何关系如图 9-7 所示。三次聚焦分别为：第一次放射源在源包壳内聚焦状排列（静止排列），第二次旋转盘带动治疗头自转聚焦（圆周运动），第三次滚筒带动治疗头公转聚焦（圆周运动）。

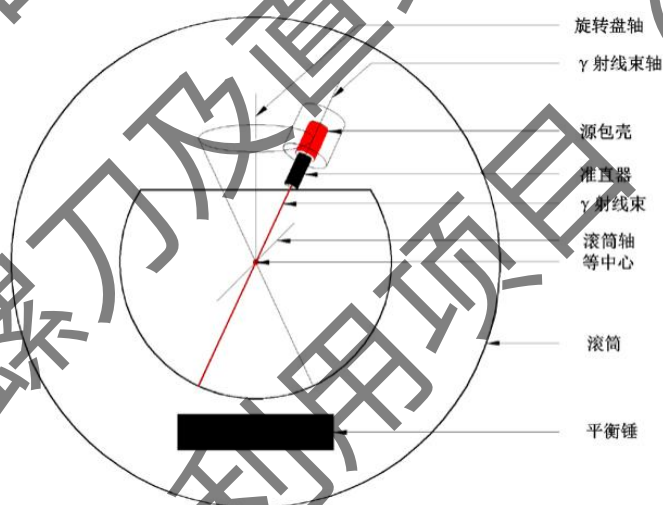


图 9-7 三次聚焦几何关系图

⑤源包壳

本机有一枚组合放射源，总装源量 8500Ci，钴粒尺寸约 $\Phi 1 \times 1\text{mm}$ ，以 22 组按聚焦式方式放置在双层不锈钢圆柱形包壳内，用氩弧焊封装，包壳下端有收缩锥面，有助于源的装入，源包壳结构图见图 9-8。放射源是在放射源工厂制备好，并被装入治疗头内，治疗头由特制的密封金属屏蔽容器封装后运输。

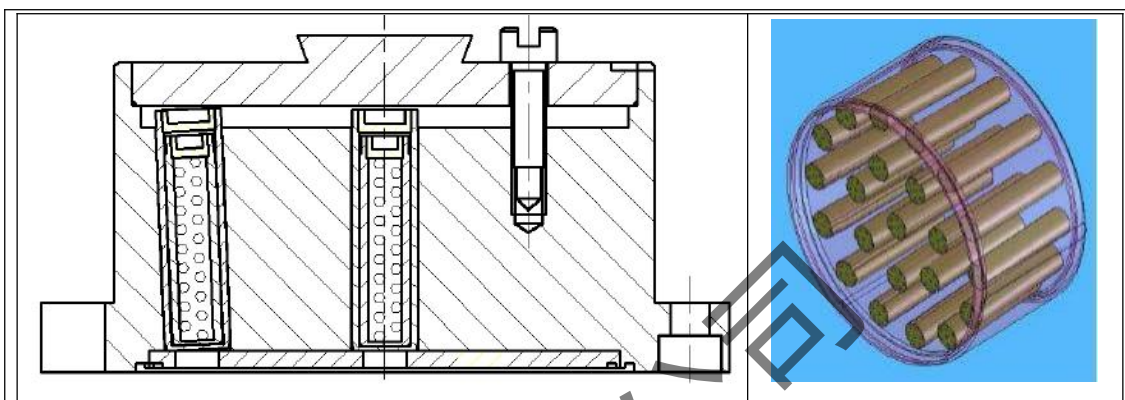


图 9-8 源包壳结构示意图

⑥三维床

由三组伺服电机驱动滚珠丝杠带动三维治疗床作 X、Y、Z 三个方向运动。采用精密的机械传动方法，可以使床沿三个方向做出精确的位移，运动精度在 $\pm 0.05\text{mm}$ 内。整个三维床按结构分为：上拖板，中拖板，升降架及 L 型底座。上拖板按水平长度方向做直线运动，运动距离 $\leq 1200\text{mm}$ ，为整个坐标系的 Z 轴方向。中拖板按水平宽度方向做直线运动，运动距离为 $\pm 200\text{mm}$ ，为整个坐标系的 X 轴方向。升降架按高度方向做直线运动，运动距离为 $\pm 150\text{mm}$ ，为整个坐标系的 Y 轴方向。三维床 X、Y 轴运动速度 $\leq 10\text{mm/s}$ ，Z 轴运动速度 $\leq 40\text{mm/s}$ 。三维床运动结构图见图 9-9。

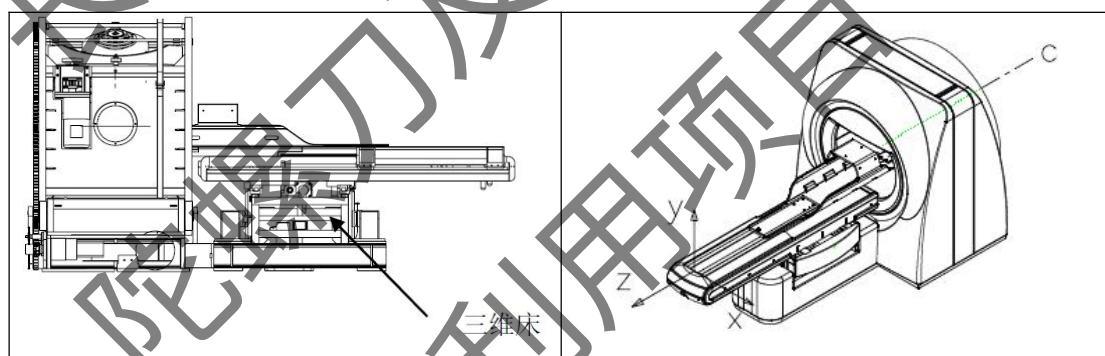


图 9-9 三维床运动结构图

(2) 立体定位系统

GMX-I 型陀螺旋转式 ^{60}Co 放射外科治疗系统采用在立体定位床上的立体定位框架，用负压袋将病人固定，用立体定位框架和病人相对位置固定的方式确定三维立体坐标，以将 CT 图像中病灶的坐标转换到辐射装置的坐标系中，这套定位装置就称为立体定位系统。立体定位系统包括：立体定位床、复位尺、负压袋（用于体部治疗）、头部定位框、固定头钉等（用于头部治疗），头部定位还可

以选择面膜定位、牙托定位等定位方式。

(3) 电气控制系统

电气控制系统包括控制台、电气控制柜、驱动装置、电源以及连接电缆等组成。

控制台包括按钮开关、指示灯、计算机控制系统、对讲系统以及一台放在控制台上的彩色监视器。电气控制柜内包括有可编程控制器、驱动装置、变压器组、空气开关接触器、接线排以及交直流电压变换装置等。电源系统提供 380V 交流接入电气控制柜，电气控制柜提供 220V 交流及 24V 直流输出。电源系统提供后备 UPS 不间断电源，可保证在运行过程中外界供电中断的情况下，保证源开关关闭和三维床退出的操作供电。

驱动装置包括三维治疗床定位驱动伺服电机、大滚筒驱动变频电机、源开关旋转变频电机、源开关控制步进电机以及高精度旋转编码器。

两个彩色摄像机分别放置于设备长轴线两端的墙上，镜头正对着治疗设备。

(4) 治疗计划系统

本系统通过硬件和治疗计划系统 (TPS) 两大部分有机协调运作，达到治疗目的。治疗计划系统是一软件系统，它首先将病人接受 CT 检查后的结果在计算机上做三维重建，结合三维运动床的定位作用，建立起病灶及周围组织的三维模型，然后由医生据此确定放射治疗的位置、放射剂量、入射角度、回转角度、照射时间等一系列治疗参数。这一软件系统同时提供若干专家软件包。最后此治疗计划系统将医生制定的数据自动整理后传输到硬件部分的控制系统，控制系统指挥主机自动执行治疗方案。

(2) 工作原理

主机工作时， ^{60}Co 源被屏蔽在一安全的屏蔽体（治疗头）内，治疗头前方设置一机械源开关，当源开关被旋转至打开时， γ 射线经过准直孔照射到靶点所在位置，同时，治疗头及筒体形成十字交叉方向旋转， γ 射线绕靶点作陀螺回转式聚焦，对病灶进行聚焦照射治疗。放射源由 22 颗 ^{60}Co 粒子按聚焦式排列，形成第一次聚焦。

放射源置于一屏蔽体内装于旋转盘上，旋转盘由于其旋转中心的稳定性使得放射源在随旋转盘旋转时，恰似陀螺机构，对靶心进行第二次回旋聚焦。

陀螺机构在自转的同时又随滚筒做公转，使放射源在自转的同时又沿着人体不断变换入射角度和回转角度，达到第三次聚焦的作用。

三次聚焦的结果是放射路径在人体表皮上不断变化而焦点处的辐射剂量不断积累而达到放射治疗时医生所要求的剂量；相应的体表处所接受的辐射剂量是分散的，均匀的，从而使正常组织受到的辐射剂量达到最小。

（3）放射治疗流程及工艺操作流程

当病人被确诊需要进行 γ 放射治疗后，主治医生首先告知病人可能受到的辐射危害、对病灶位置进行 X 射线模拟定位（依托现有 CT）、制定放射治疗计划、确定照射位置和照射剂量后，开始对病人实施放疗。陀螺刀治疗工作流程及产污环节示意图见图 9-10。

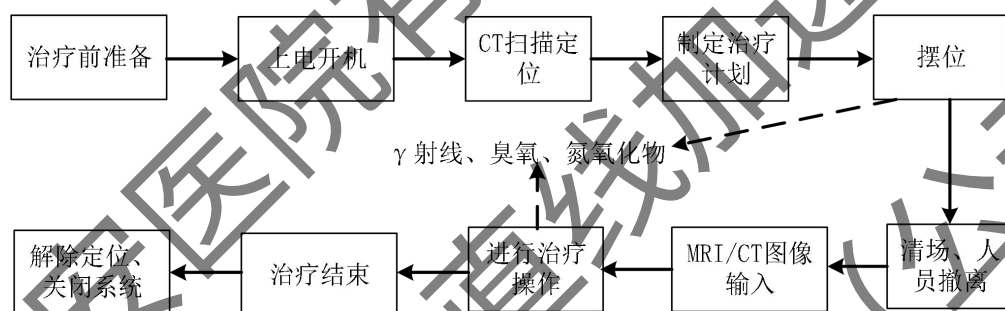


图 9-10 陀螺刀治疗工作流程及产污环节示意图

（4）放射源订购、使用和退役

本项目陀螺刀配有 22 枚 ^{60}Co 放射源，总最大装源量为 $3.145 \times 10^{14} \text{Bq}$ ，整体为 I 类放射源。因此，放射源的运输和医疗使用管理均按 I 类源进行。本项目的放射源从成都中核高通同位素股份有限公司购入。

①订购：医院在订购之前应向省生态环境主管部门提出申请，提交《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第十九条规定的申请材料。订购时，医院根据《辐射安全许可证》许可的范围提出订购需求，本项目陀螺刀生产厂家提供放射源的所有技术参数和文件，并跟踪放射源的生产进度（放射源生产期间工作人员所受照射不在本评价范围内）。订购完成后，医院应当在完成之日起 20 日内，向省级生态环境行政主管部门备案。

②使用：设备正常使用时，由医院负责放射源的安保工作，期间安全由医院负责。

③退役：由放射源生产厂家负责回收退役放射源，陀螺刀生产厂家负责技术

支持（放射源退役时应进行退役评价，工作人员所受照射不在本评价范围内），退役手续由医院办理，回收期间安全由放射源生产厂家负责。

（5）倒源流程

本项目陀螺刀所用钴-60 放射源约 5 年更换一次。医院在换源前应于当地公安、行政主管部门备案，取得他们的协助、监督和认可。倒源需使用专门的工具，有关操作必须由陀螺刀生产厂家派出的具有专门资格证书的专业人员进行，其他任何单位和个人不得私自进行倒源。倒源期间由陀螺刀生产厂家承担主要安全责任，医院承担次要责任。

9.1.2 医用电子直线加速器

（1）设备组成及工作原理

医用电子直线加速器属于 II 类射线装置，它的结构单元包括：加速管、微波系统、电子枪、调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统、电源及控制系统、照射头、治疗床。电子枪产生的电子经微波加速器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形成电子线，也可通过 2cm 左右的空气射到金属钨靶，产生大量高能 X 线，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到达患者病灶，实现治疗目的。

医用直线加速器在开机状态下产生电子线和 X 射线，电子线贯穿能力弱，射程短，因此只适合治疗表浅部位的肿瘤。电子线靠电离效应来破坏生物组织，并在此过程中损失其能量，能量在 35~45MeV 以下的电子线有一个明确的射程，而电子线的大部分能量都损失在射程的末端，射程随能量延长，只要我们调节电子线的能量，使电子线射程恰好超过肿瘤的范围，就能对肿瘤灶有较大的破坏作用，而病灶后面的组织及表层组织则受到很少损害。X 射线主要依靠康普顿散射效应，破坏生物组织细胞，并在此过程损失能量，X 射线有较强的穿透能力，但没有明显的射程，适合治疗人体深部肿瘤。

医用电子直线加速器具备 CBCT 图像引导系统，使用锥形束 X 射线进行信息采集的计算机体层成像技术。它与传统多排探测器 CT 最显著的区别是使用二维数字平板探测器，在一次旋转中产生三维容积图像。CBCT 由 kV imager 影像板和 kV tube 球管等硬件及控制软件组成，球管产生 kV 级 X 射线，X 射线穿过

物体投影到影像板成像。

治疗计划选择 CBCT 图像验证时，病人在加速器治疗室开始治疗前，先完成病人肿瘤位置的验证，控制系统使 CBCT 高压发生器产生高压，球管产生 X 射线，控制系统将使用 CBCT 功能扫描病人，信号经过处理和图像完成重建后，对治疗计划中肿瘤位置图像进行优化和确认，完成图像引导，随后根据控制系统指令，加速器的电子枪产生电子，经加速管加速电子到相应能量打靶形成治疗所需的加速器 X 射线，根据物理师的治疗计划完成肿瘤的照射。CBCT 图像引导和加速器出束治疗不会同时进行。通常是交替开机。

典型医用电子直线加速器内部结构见图 9-11，典型医用电子直线加速器见图 9-12。

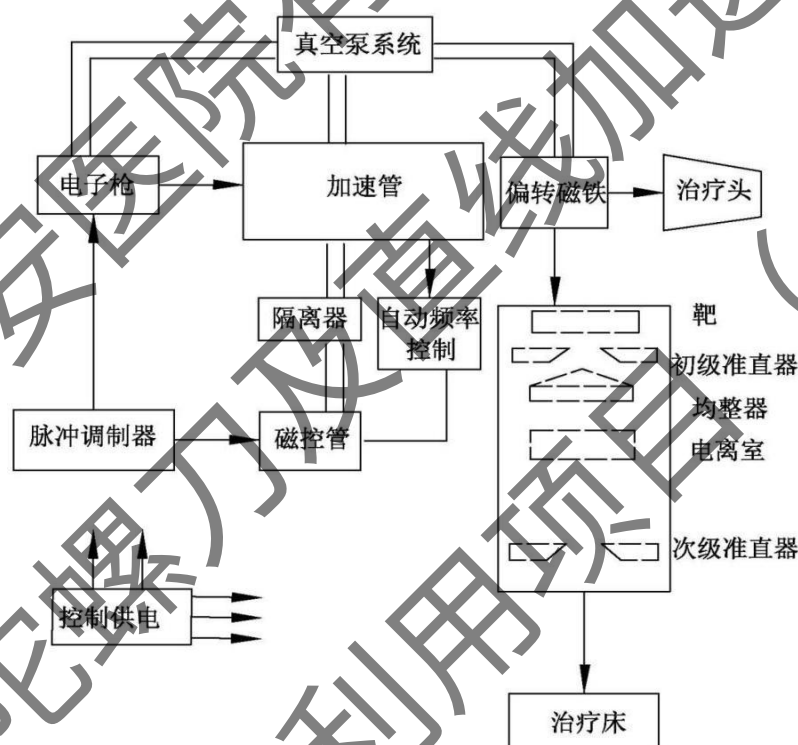


图 9-11 典型医用电子直线加速器内部结构框图

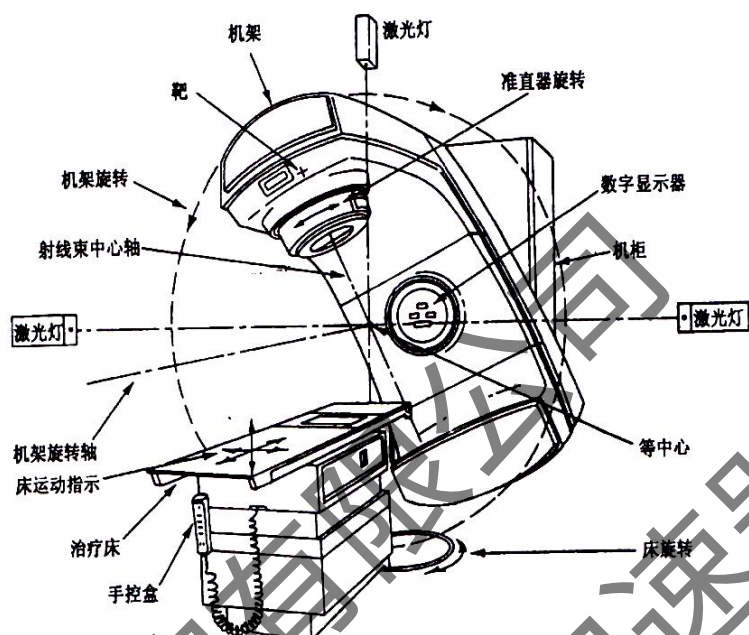


图 9-12 典型医用电子直线加速器示意图

(2) 工作流程及产污环节

医用电子直线加速器在进行放射治疗时，患者位于机房内，医务操作人员位于机房外，进行隔室操作。治疗时，加速器机房可为医务人员以及墙外停留或通过的人员提供足够的屏蔽防护，并可防止在开机过程中，无关人员误入机房。

医用电子直线加速器治疗流程如下：

①模拟定位：借助 CT 模拟定位机确定肿瘤的位置和范围，CT 模拟定位机主要操作流程为：依据检查单→核对摄影部位→确定投照条件→曝光。

②治疗计划设计阶段：借助计算机治疗计划系统（TPS）进行治疗计划设计，选择好能量、照射野大小、治疗剂量与剂量比、楔形滤过板等。

③治疗计划的确认：上述设计好的治疗计划，以跟治疗时同等的摆位条件（如垫肩、加固定器等）放到模拟定位机上进行核对。经证实为可行后，在病人体表上作出相应的照射野标记，填写治疗单，做好治疗固定器、挡野铅块和组织补偿块等，确定后的治疗计划。

④治疗计划的执行：

- a、设置治疗机的物理、几何参数。
- b、放射工作人员将病人送入治疗室并进行摆位。
- c、固定治疗体位，肿瘤中心位于等中心点。
- d、除了待治疗病人，其余人员撤出治疗室，关闭防护门。

e、加速器出束，进行治疗。

f、治疗完毕，加速器停止出束，打开防护门，护理人员将病人送出治疗室。

医用电子直线加速器治疗流程及产污环节见图 9-13。

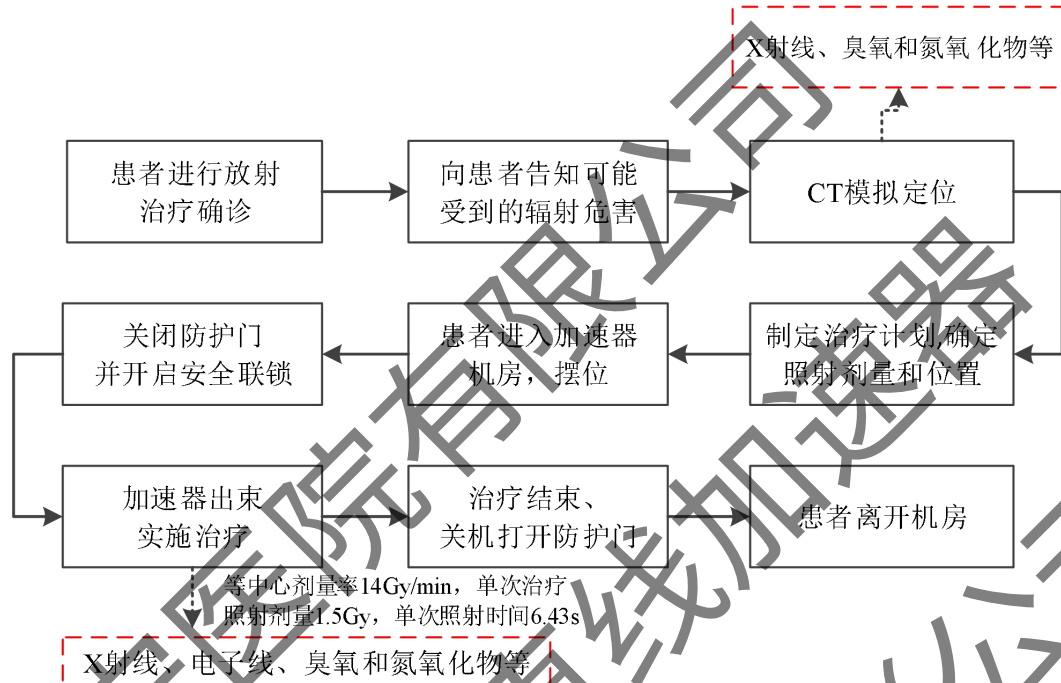


图 9-13 电子直线加速器治疗流程及产污环节示意图

医用电子直线加速器治疗过程中污染因子主要为：电子束、X 射线、臭氧和氮氧化物等。

9.2 污染源项描述

9.2.1 陀螺刀

(1) 放射性污染

①辐射：陀螺刀未使用时，放射源处于屏蔽位，少量的 γ 射线会穿透屏蔽体，对进入陀螺刀机房的人员及室外公众等产生照射。

陀螺刀在治疗过程中，机房治疗室内来自放射源的直射、散射和漏射 γ 射线会穿透屏蔽墙及防护门，对机房外的工作人员和公众产生外照射影响。

本项目拟配备的陀螺刀内含 22 枚 ^{60}Co 放射源，活度为 $3.145 \times 10^{14} \text{Bq}$ ，焦点剂量率 $\geq 3.0 \text{Gy/min}$ ，放射源与焦点的距离为 535mm。核素 ^{60}Co 是一种人工生产的放射性核素，主要由 ^{59}Co 在核反应堆中经中子轰击后生成，半衰期为 5.27 年。 ^{60}Co 核素衰变过程中发射出 0.315MeV 的 β 射线和能量分别为 1.173MeV 和

1.332MeV 的两种 γ 射线，平均能量为 1.25MeV。

②放射性固体废物： ^{60}Co 放射源使用到一定年限后产生退役的放射源，可能会对周围环境产生一定的危害。

(2) 非放射性污染

①废气：陀螺刀治疗过程中发射的 γ 射线，会使机房内的空气产生电离，产生臭氧和氮氧化物，少量臭氧和氮氧化物可通过排风管排出机房，臭氧在空气中短时间可自动分解为氧气。

②废水：工作人员产生的生活污水及本项目产生的医疗废水，将进入医院污水处理系统，处理达标后排入城市污水管网。

③固体废物：手术过程中产生的医疗废物暂存在机房内的废物桶，手术结束后集中收集，作为医疗废物由医院统一委托有资质单位进行处置；工作人员产生的一般生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理。

9.2.2 医用电子直线加速器

(1) 正常工况下污染途径

医用电子直线加速器产生的辐射可分为瞬时辐射和剩余辐射两类。瞬时辐射包括初级辐射（指被加速的带电粒子）及其与金属靶或加速器的结构材料相互作用产生 X 射线和中子等次级辐射。初级辐射和次级辐射在加速器开机时产生，停机后消失。剩余辐射是指加速器产生的初级粒子束和次级辐射在加速器结构材料及环境介质（包括空气、屏蔽物等）中诱发生成的感生放射性，它们在加速器停止运行后继续存在。

加速器正常运行状态下产生的污染因子如下：

①电子束

加速器产生的电子束贯穿能力相对 X 射线和中子而言弱得多，即使是高能电子束，空气中的射程也只有几十米。因此在 X 射线得到充分屏蔽的情况下，电子束也就得到了足够的屏蔽，故无需考虑电子防护问题。

②X 射线

加速器电子枪产生的电子经过加速后，受到金属靶阻止而产生高能 X 射线，X 射线具有较大的贯穿能力，如果没有采取足够防护措施对其进行屏蔽，一旦泄入环境，势必对工作人员和公众造成不必要的辐射影响，危及人们健康与安全。

但这种 X 射线是随加速器的开、关而产生和消失。因此，加速器在开机状态下，X 射线成为加速器污染环境的主要污染因子。

③废靶

直线加速器产生的固体废物为加速器废金属靶，只有在需要更换金属靶时才产生（通常 1 个金属靶使用 7~10 年才更换），根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）8.2.2.1 的要求，废金属靶件作为放射性固废处理，由供应商更换并交由有资质单位处置，不在项目地贮存。

④非放射性气体

当加速器运行产生的 X 射线与空气相互作用，会产生臭氧和氮氧化物等有害气体。

⑤内循环冷却水

加速器运行时，设备中内循环冷却水可能产生感生放射性，冷却水中被活化形成的放射性核素主要为 ^{15}O 、 ^{16}N ，它们的半衰期都很短，只需放置较短的时间其活度就可以衰减到可忽略的水平。加速器冷却水封闭循环，不外排，不会对周围环境产生影响。

（2）事故工况下污染途径

①安全联锁系统故障或失效，机房的防护门未关好即开机导致射线泄漏，造成机房防护门外活动人员受到意外照射；

②安全连锁系统故障或失效，加速器运行中人员闯入受到意外照射，或者人员未退出机房的情况下开机，受到意外照射；

③工作人员或无关人员在治疗过程中滞留机房，受到意外照射。

表 10 辐射安全与防护

10.1 辐射安全防护措施和设施

10.1.1 工作场所布局及合理性分析

本项目陀螺刀机房、直线加速器机房均与各自控制室分离，陀螺刀机房的控制室位于机房西侧，机房有效面积约 59.64m²（不含迷路），机房高度约 3.6m，机房设置“直线型”迷路；拟建直线加速器机房的控制室紧邻机房东侧，机房有效面积约 61.03m²（不含迷路），机房高度约 3.7m，机房设置“L 型”迷路。陀螺刀机房与直线加速器机房布局均符合《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）规定。陀螺刀机房与直线加速器机房位于医技住院综合楼（A 楼）地下一层北侧，未设置在居民、写字楼和商住两用的建筑物内，避开了儿科病房、产房等特殊人群及人员密集或人员流动性大的商业活动区域。满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中关于选址与布局的规定。

本项目陀螺刀及直线加速器机房平面布局合理性分析见表 10-1。

表 10-1 陀螺刀及直线加速器机房平面布局合理性分析

法规标准	条目	标准要求	设计情况	评价
《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）	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。	陀螺刀机房及迷道、直线加速器机房及迷道均划分为控制区，机房周边的控制室、水冷机房等其他辅助用房区域划分为监督区。	符合要求
	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。	根据后文计算结果，陀螺刀机房、直线加速器机房的主屏蔽墙、次屏蔽墙、侧屏蔽墙均能满足屏蔽要求。	符合要求
	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。	陀螺刀机房与控制室、加速器机房与控制室、水冷机房等辅助用房均分开设置。	符合要求
	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。	陀螺刀有用线束向东西方向照射，控制室与机房西侧次屏蔽区相邻；加速器有用线束向南北方向照射，控制室设置在机房东侧，有用线束避开了机	符合要求

			房控制室。	
	6.1.6	X 射线管治疗设备的治疗机房可不设迷路； 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。	陀螺刀机房与加速器机房均已设置迷路。	符合要求
	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。	本项目陀螺刀机房的有效使用面积（不含迷路）为 59.64m ² ，加速器机房的有效使用面积（不含迷路）约为 61.03m ² ，2 间机房面积均能够满足使用要求。	符合要求

根据表 10-1，陀螺刀机房与直线加速器机房工作场所布局均满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中的相关规定，拟建陀螺刀机房与直线加速器机房场所布局均合理可行。

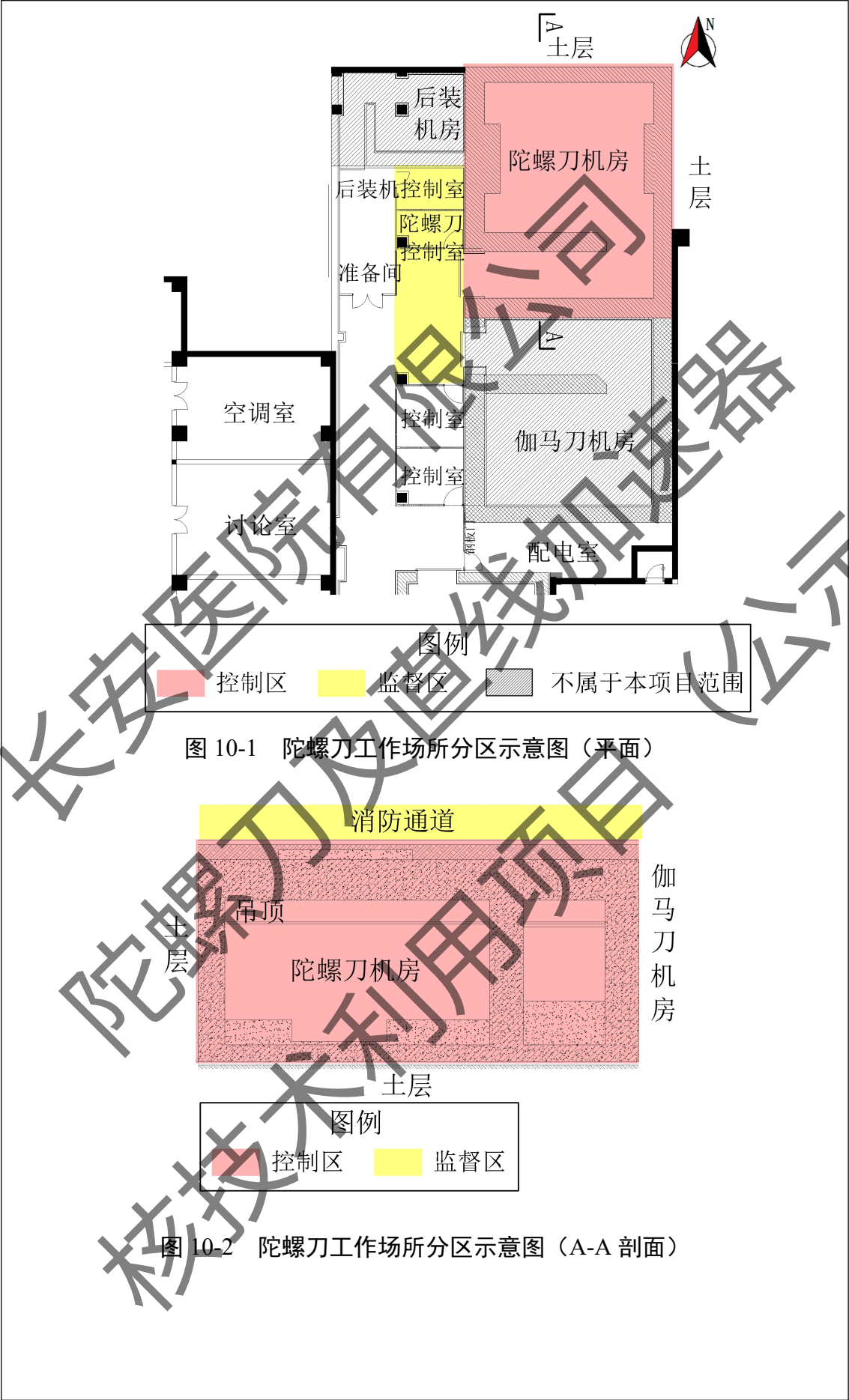
10.1.2 工作场所分区管理

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）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020），辐射工作场所应分为控制区及监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）“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。**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）。”

根据医技住院综合楼（A 楼）地下一层平面布局图，将陀螺刀机房（含迷路）与直线加速器机房（含迷路）划分为控制区，并在各机房防护门外的显著位置张贴符合规定的电离辐射警告标志。将各机房周边的控制室、辅助机房、水冷机房、走廊、楼梯间等，以及陀螺刀机房正上方消防通道，直线加速器机房正上方驾驶员体检站、CT 控制室、更衣室等范围作为监督区管理。

本项目辐射工作场所分区管理示意图详见图 10-1 至 10-4。



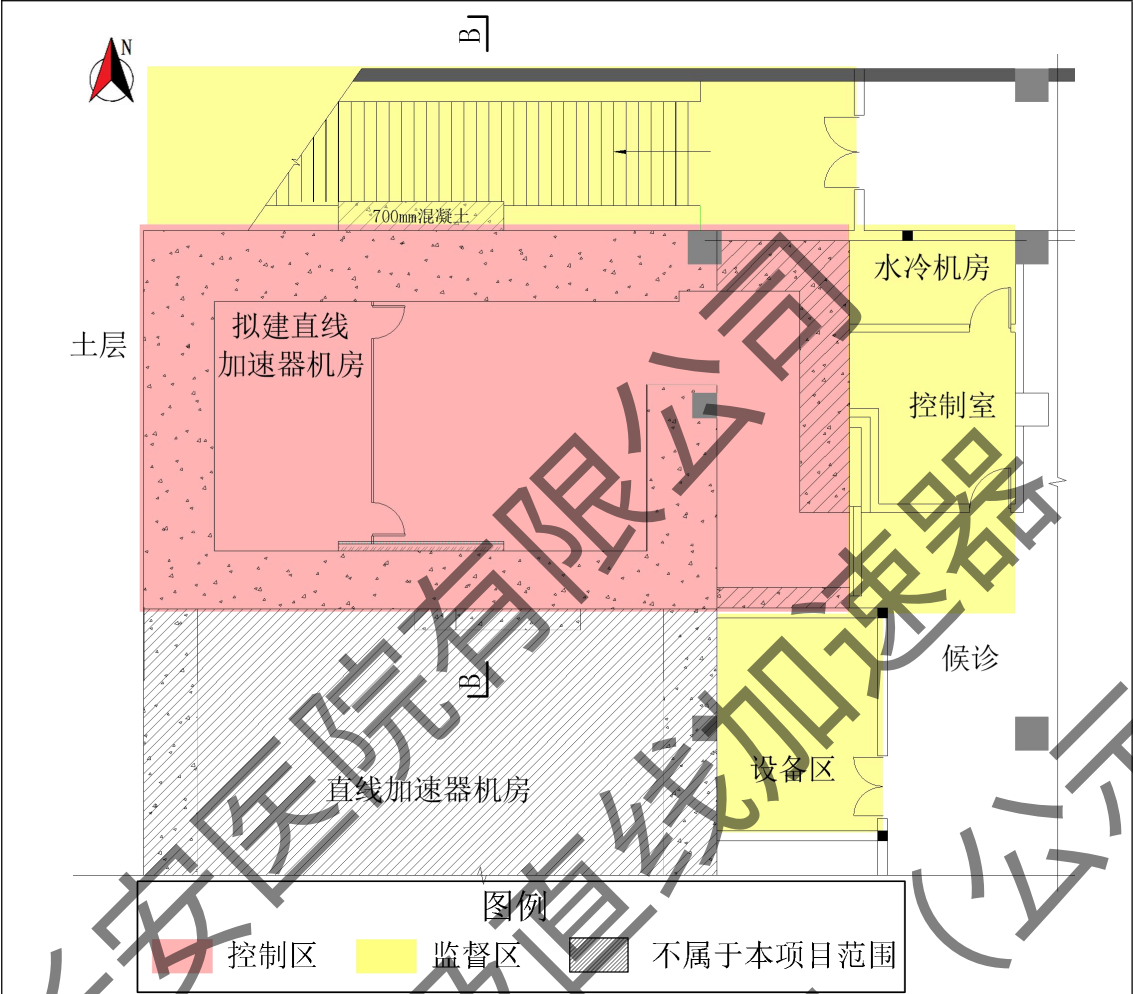


图 10-3 加速器工作场所分区示意图（平面）

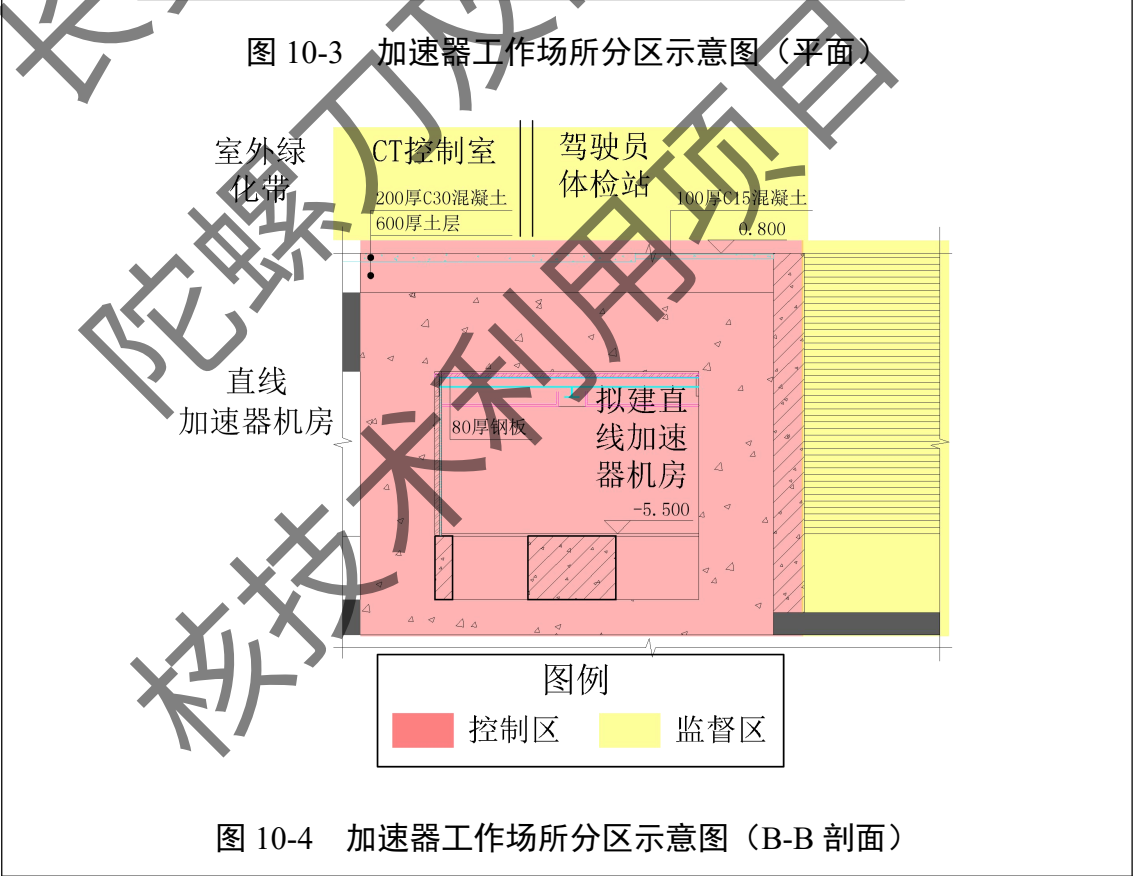


图 10-4 加速器工作场所分区示意图（B-B 剖面）

10.1.3 机房屏蔽设计

根据医院提供的设计图纸,陀螺刀机房与直线加速器机房屏蔽防护参数详见表 10-3。陀螺刀机房、直线加速器机房平面图见图 10-5 和 10-7,剖面图见图 10-6 和 10-8、10-9。

表 10-3 放射治疗机房屏蔽设计一览表

工作场所	项目		具体设计参数
陀螺刀机房	尺寸参数		有效使用面积 59.64m ² ,长 7.90m×宽 7.55m×高 3.60m
	北墙		800mm 厚混凝土,北侧为土层
	东墙	主屏蔽区	宽 3600mm 混凝土,厚 1500mm 混凝土
		次屏蔽区	厚 1300mm 混凝土
	南墙	迷路内墙	厚 1000mm 混凝土
		迷路外墙	厚 1000mm 混凝土
	西墙	主屏蔽区	宽 3600mm 混凝土,厚 1800mm 混凝土
		次屏蔽区	厚 1300mm 混凝土
	屋顶	主屏蔽区	宽 4000mm,厚 1500mm 混凝土,顶上为 150mm 灰土+150mm 混凝土路面
		次屏蔽区	厚 1200mm 混凝土,顶上为 450mm 灰土+150mm 混凝土路面
直线加速器机房	防护门		15mmPb 电动推拉门
	尺寸参数		有效使用面积约 61.03m ² ,长 10.45m×宽 5.84m×高 3.7m
	北墙	主屏蔽区	宽4000mm,厚2400mm混凝土
		次屏蔽区	厚1700mm混凝土
	南墙	主屏蔽区	1400mm厚度混凝土,北侧距西墙内侧3m处叠加4000mm宽,60mm厚钢板与100mm厚铅板;南侧距西墙内侧4.83m处叠加4011mm宽,500mm厚混凝土
		次屏蔽区	厚1400mm混凝土
	西墙		厚 1700mm 混凝土
	东墙	迷路内墙	厚 1700mm 混凝土
		迷路外墙	厚 1200mm 混凝土
	屋顶	主屏蔽区	1800mm 混凝土+600mm 土层,距西墙外侧 0.85m 处叠加 6100mm 宽,200mm 厚 C30 混凝土;其余部分
		次屏蔽区	叠加 6100mm 宽,100mm 厚 C15 混凝土
	防护门		6mmPb电动推拉门

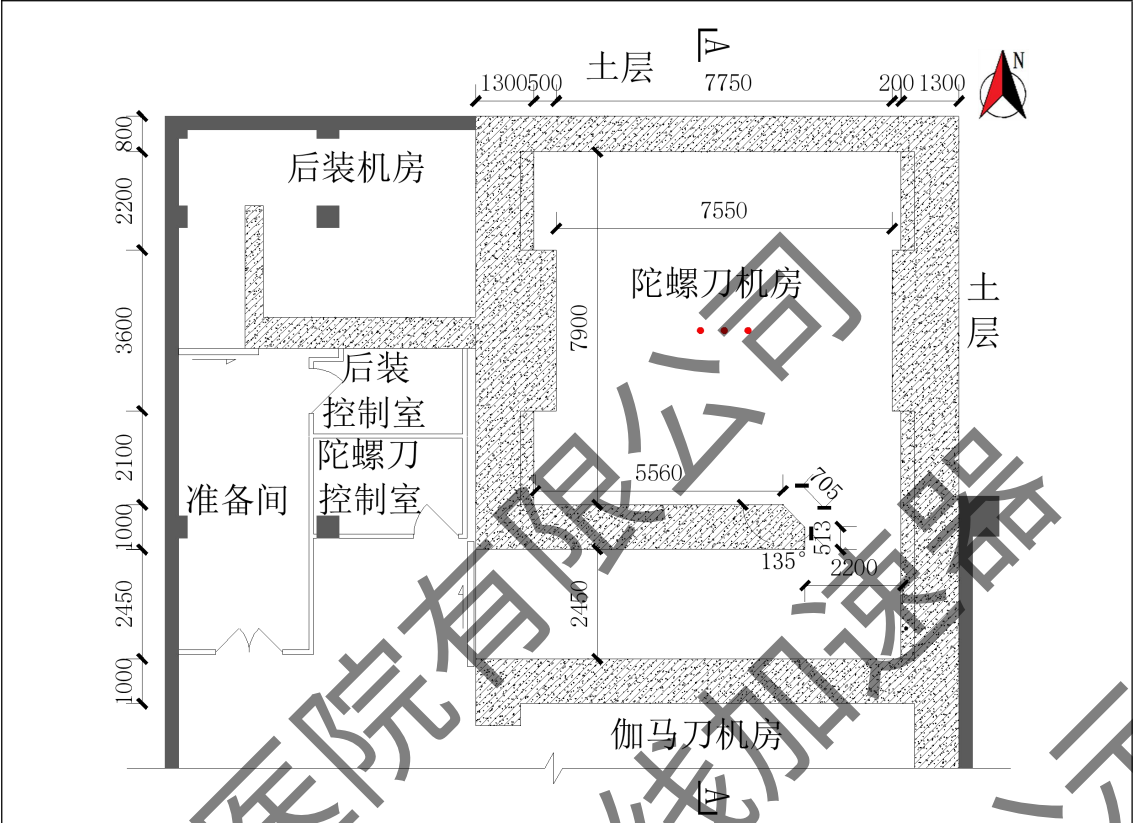


图 10-5 陀螺刀机房平面布局图

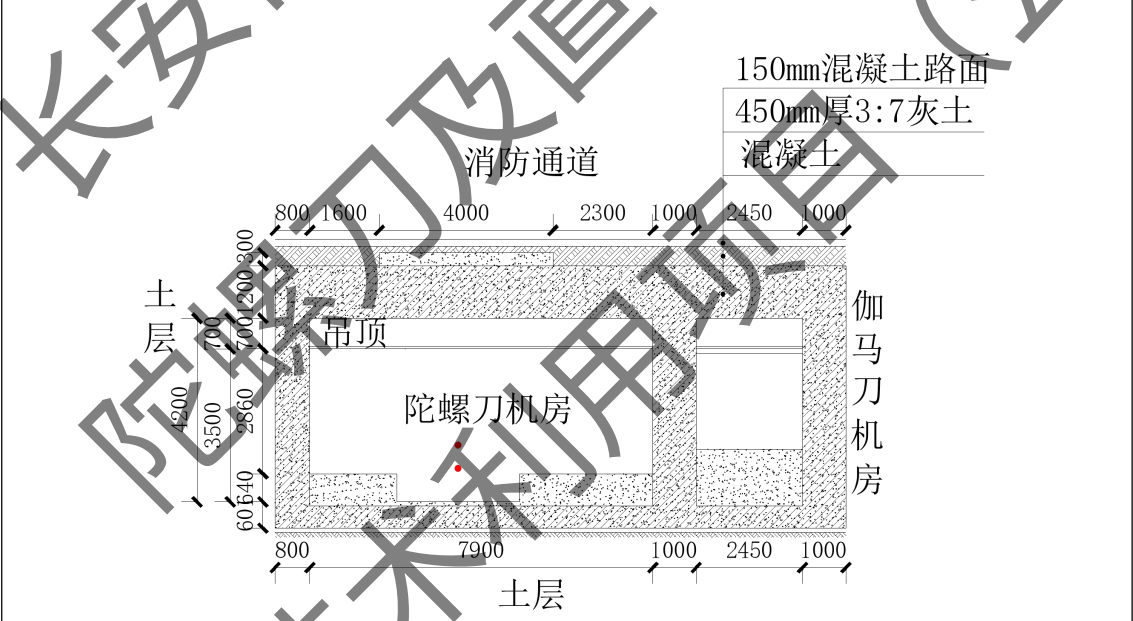


图 10-6 陀螺刀工作场所 A-A 剖面图

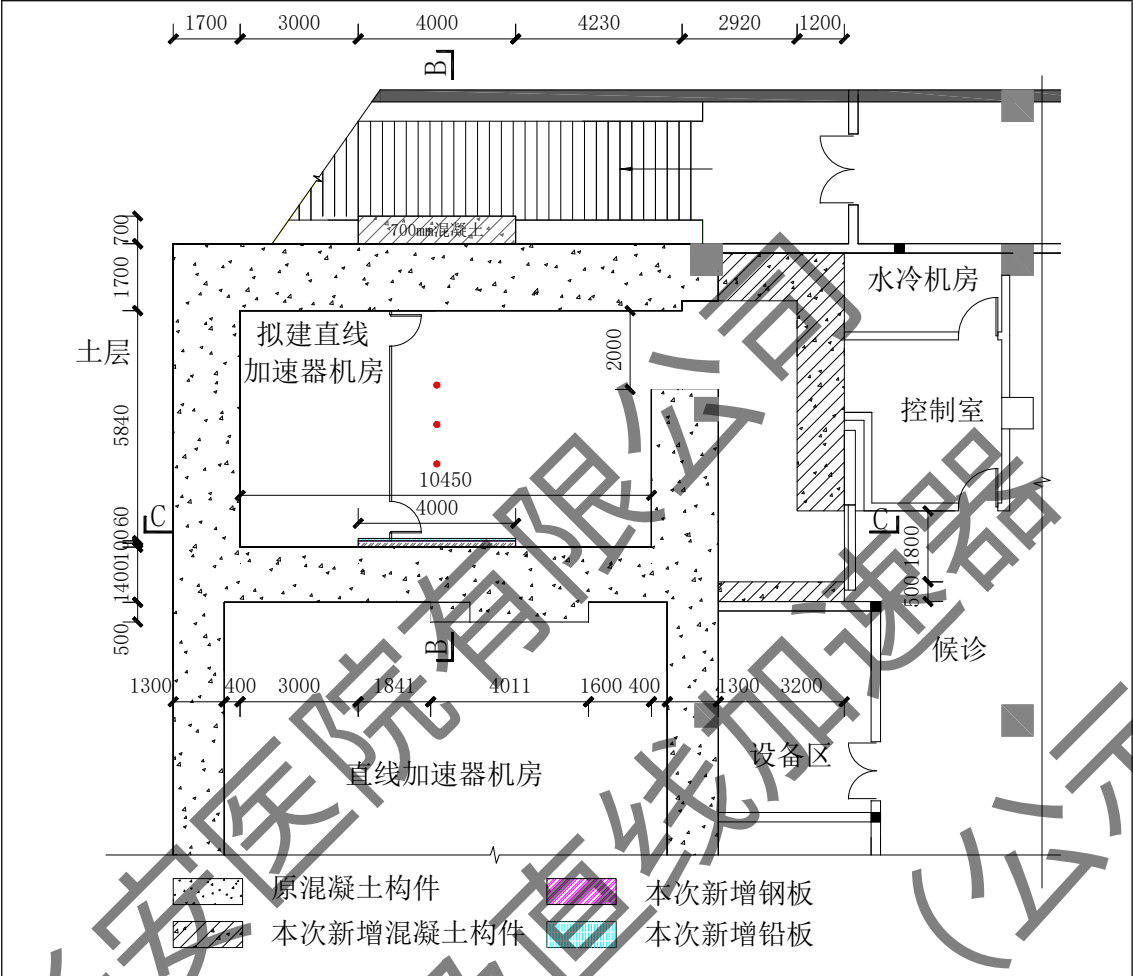


图 10-7 直线加速器机房平面布局图

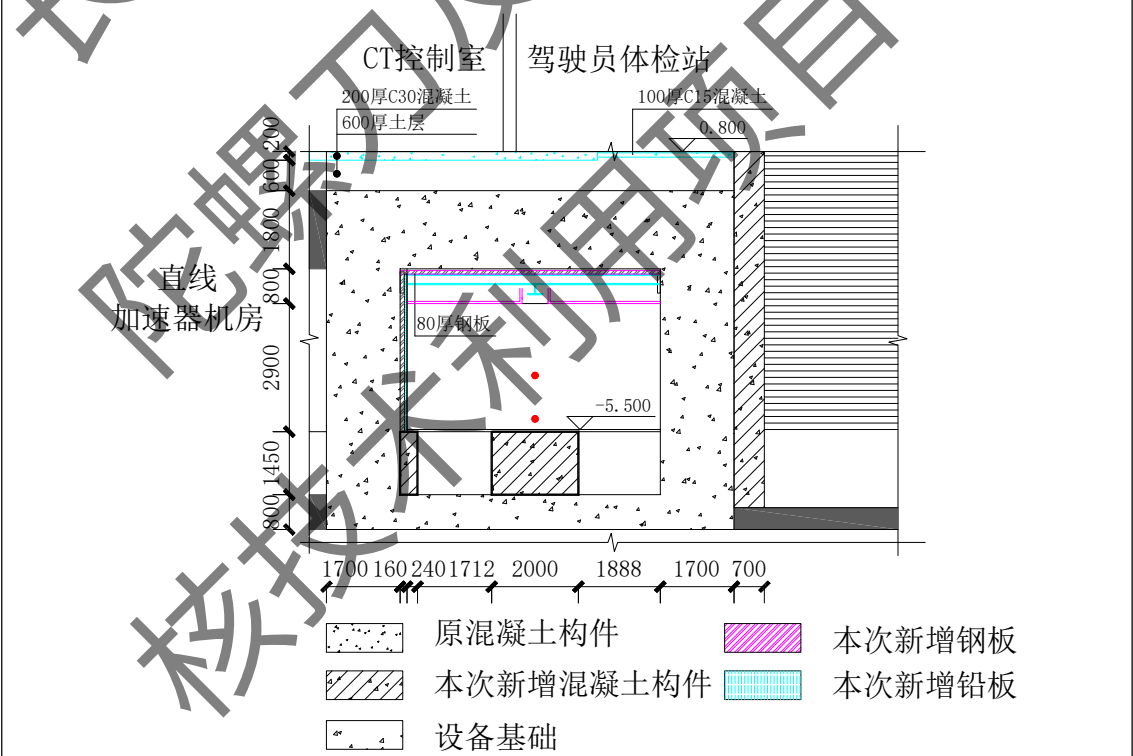


图 10-8 直线加速器工作场所 B-B 剖面图

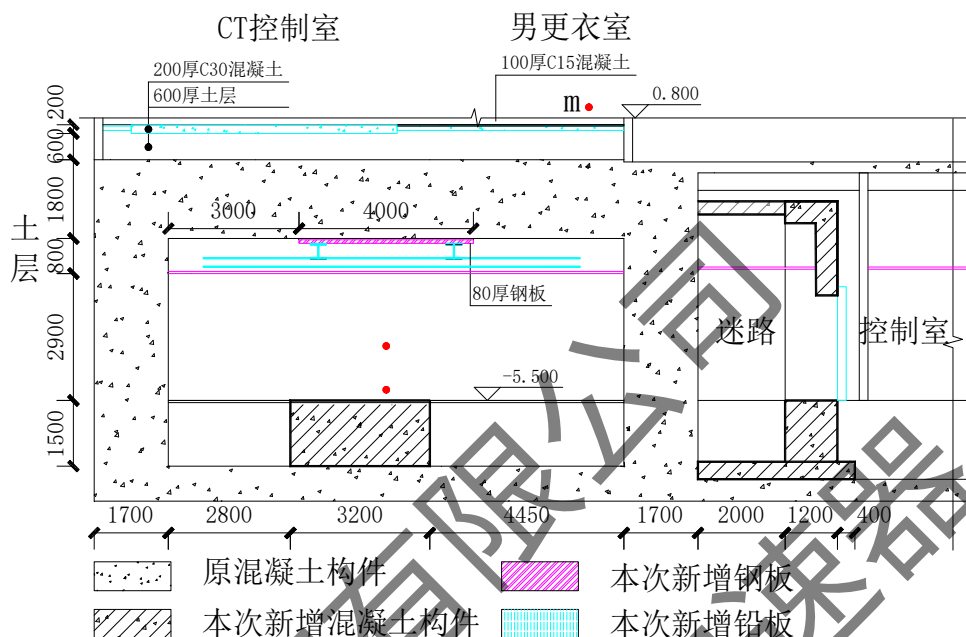


图 10-9 直线加速器工作场所 C-C 剖面图

10.1.4 电缆管线穿墙设计

陀螺刀机房与加速器机房的全部电缆均通过地下电缆沟走线,从安装设备的地坑出线后沿着电缆沟走线,在出口处采用倒梯形设计,并在电缆沟开口处设置盖板,其开口不正对工作人员经常停留的地点。

电缆沟穿屏蔽墙剖面图见图10-10。

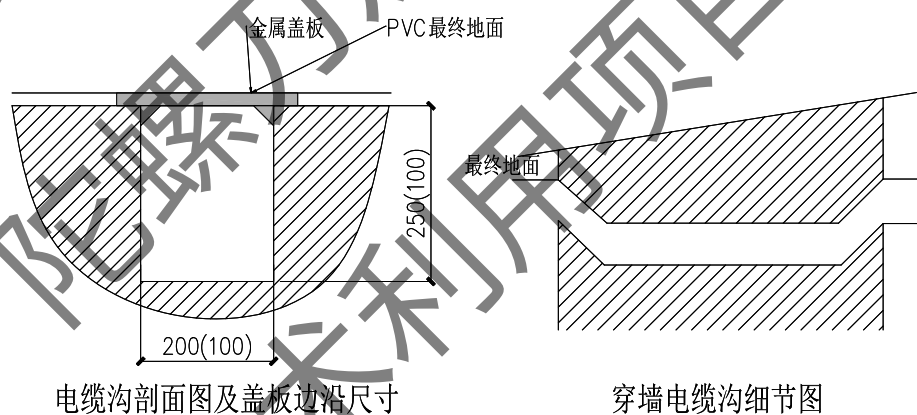


图10-10 电缆沟穿屏蔽墙剖面图

10.1.5 通风设计

设备运行过程中, X射线、 γ 射线与空气发生电离作用, 产生微量臭氧和氮氧化物等有害气体。

陀螺刀机房与加速器机房均应设置机械排风系统, 并采用“上进下排”的进

排风形式。陀螺刀机房天花板东墙北侧和南侧各设置有 1 个 300mm×300mm 的新风口,在机房西北角底部设置 1 个 300mm×300mm 的排风口,西墙距地面 20cm 处设置 1 个 300mm×300mm 的排风口,新风口和排风口形成对角设置。陀螺刀机房面积(含迷路)约为 88.4m²,机房高度 3.6m,容积约为 318.2m³。根据《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)中机房换气次数不小于 4 次/h 的要求,陀螺刀机房的总排风量应不少于 1300m³/h。

直线加速器机房北墙天花板顶部设置 2 个 320mm×320mm 新风口,南墙距地面 30cm 处设置 2 个 400mm×400mm 排风口。直线加速器机房面积(含迷路)约为 79.75m²,机房高度 3.7m,容积约为 295.08m³。根据医院提供的资料,加速器机房总排风量为 1800m³/h,机房通风换气次数约 6.1 次/h,满足机房换气次数不小于 4 次/h 的要求。

送、排风管道应在机房防护门洞口上方呈“L”字型穿过屏蔽墙体,通过折叠设计,增加管道中的射线的散射次数。陀螺刀机房与直线加速器机房内臭氧和氮氧化物等有害气体分别经各自独立的排风管道引至所在多层建筑物顶端,排气口周围无门、窗或人流较大的过道。

陀螺刀机房通风口平面图见图10-11,排风管道照片与通风机参数见图10-12;加速器机房通风口平面图见图10-13,直线加速器机房风管穿墙示意图见图10-14。

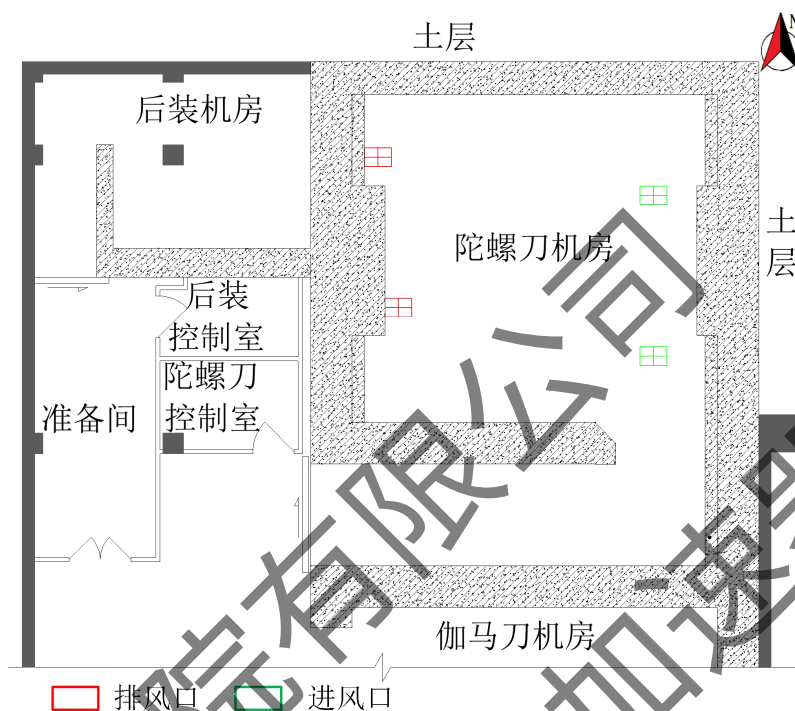


图 10-11 陀螺刀机房通风口平面图



图 10-12 陀螺刀机房排风管道照片及通风机参数

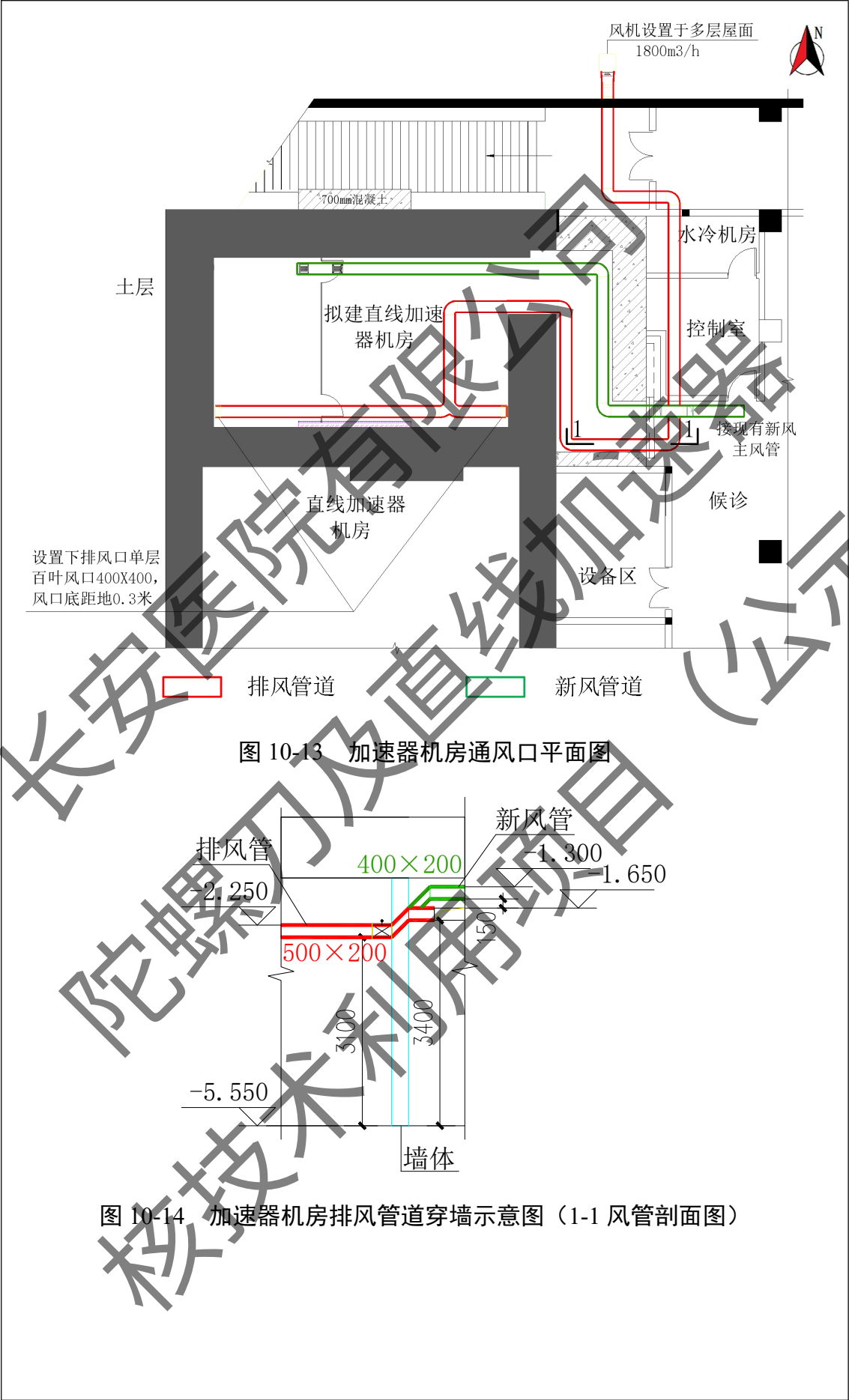


图 10-13 加速器机房通风口平面图

图 10-14 加速器机房排风管道穿墙示意图（1-1 风管剖面图）

10.1.6 其他辐射安全与防护措施

①电离辐射警告标志：拟在陀螺刀机房、直线加速器机房防护门处设置醒目且符合 GB18871 规定的电离辐射警告标志、工作状态指示灯，提醒公众和辐射工作人员周围存在电离辐射源，并尽可能远离辐射源，并保证当陀螺刀、加速器运行时，工作状态指示灯正常工作。在陀螺刀贮源器外表面设置电离辐射标志和中文警示说明。

②实时摄像监控和对讲系统：拟在陀螺刀机房内、迷路转角处和直线加速器机房内、迷路转角处设置摄像监视系统，监视系统显示屏设置在控制室内，使控制室的工作人员可清楚地观察到机房内陀螺刀和加速器的工作情况，如发生意外情况可及时处理。拟在治疗床附近、控制台安装对讲系统，方便控制室与机房内人员联系，若发生紧急情况，可通过对讲系统及时告知控制室工作人员，避免接受不必要的辐照。

③固定式剂量警报装置：陀螺刀机房、直线加速器机房内拟设置固定式剂量报警装置，仪器探头建议安装在迷路转角处，仪表指示仪装在控制室内。对监测点进行实时剂量率/累计剂量监测和报警。实时剂量率/累计剂量监测值同时显示在主机面板上，实时剂量率/累计剂量的“报警阈值”可通过面板上的按键进行修改。仪器有声光报警，以警示现场工作人员，确保工作人员安全。

④联锁装置：

a.门灯机联锁：机房防护门为电动推拉门，防护门上方设有工作状态指示灯与陀螺刀、加速器联锁，机房门关闭后，装置才能启动，装置启动时工作状态指示灯亮起。加速器治疗过程中一旦防护门意外打开，联锁装置即切断陀螺刀、加速器的出束开关，使陀螺刀、加速器不能正常出束或立即停止出束。

b.计时器-源开关联锁：陀螺刀拟设置主、从两个计时器，当到达预置治疗时间时，主计时器终止辐照；当主计时器故障时，从计时器也能独立终止辐照。

⑤紧急开门装置和防夹装置：防护门内侧拟设置从室内开门的按钮（紧急开门装置），在停电或电动门故障时使用，保障陀螺刀、加速器机房内工作人员及患者安全。防护门拟设置红外防夹装置。

⑥急停开关：拟在陀螺刀控制台上、防护门内旁侧、机房内四周墙面、陀螺刀表面人员易触及处分别设计安装紧急停机按钮；在加速器机房控制台上、防护

门内旁侧、机房内四周墙面、加速器机身分别设计安装紧急停机按钮。急停开关处应有明显的标志，防止误触。在陀螺刀治疗过程中，如果操作人员发现治疗存在问题，可迅速按下操作台上的“急停”按钮来快速中断治疗过程，此时放射源开关立刻关闭，三维床退出，本次治疗过程被中断。在治疗机房中，源开关因意外情况打开，治疗机房中的人员可按下机房四周墙上的红色“急停”按钮来关闭源开关。一旦按下“急停”按钮，红色报警灯闪烁，需按下操作屏上的复位键按钮设备才能重新启动。

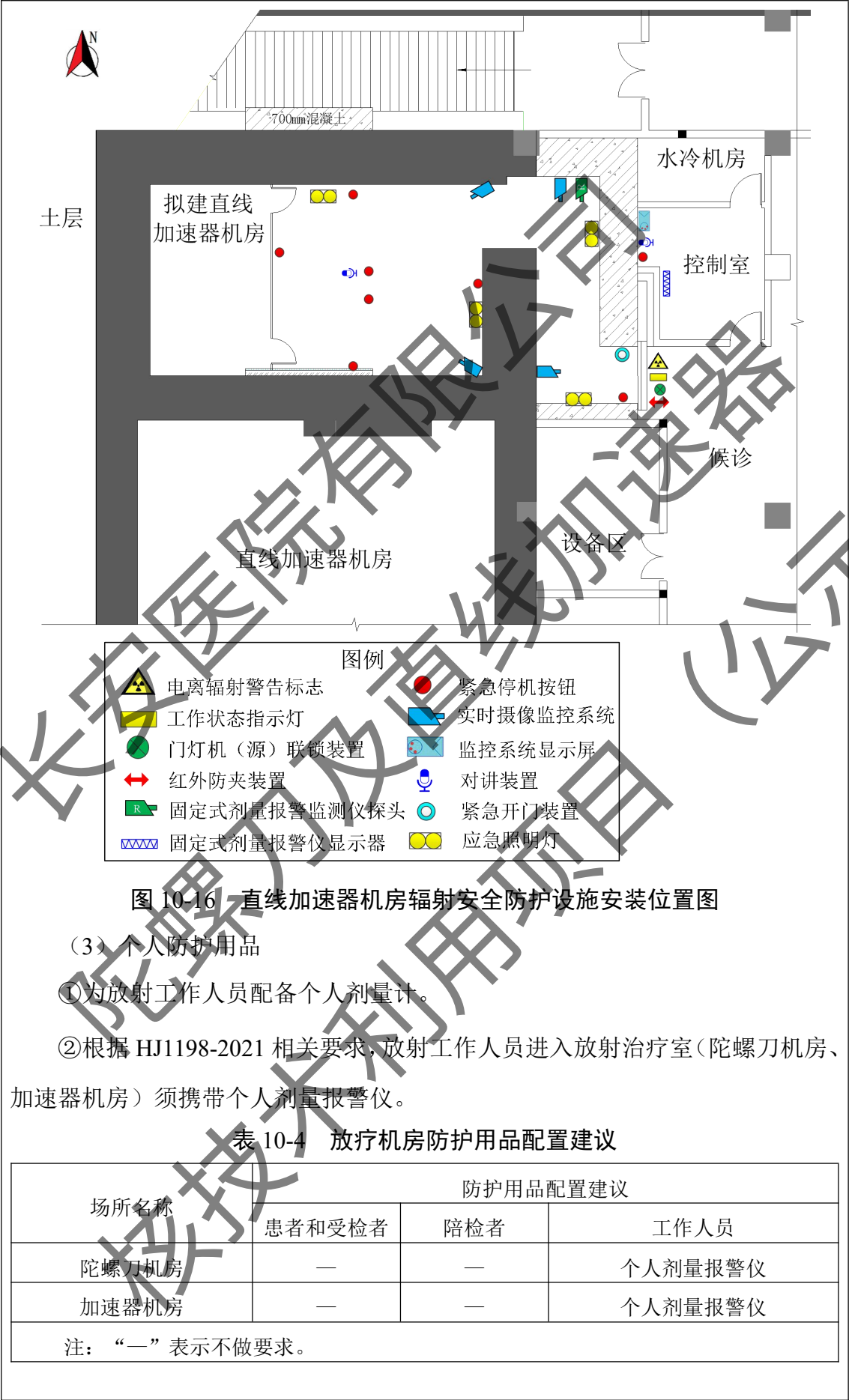
⑦手动关源：陀螺刀拟配置紧急情况下的快速手动关源装置，当自动关源系统出现故障时，可通过手动装置将放射源关闭，保证安全。在治疗主机侧面靠近治疗头的区域护板内有方形驱动轴，使驱动轴上的红线与旋转盘上的红线对齐，即完成手动关源。工作人员手动关源时要做好防护并严格按照操作流程执行。

⑧在线监控系统：拟在陀螺刀机房建立放射源在线监控系统。

⑨UPS 电源：当陀螺刀、加速器治疗过程中发生外部供电中断时，系统自动控制系统会立刻切换至 UPS 后备电源供电。此时，陀螺刀内放射源关闭，三维定位床退出，治疗过程中止。

陀螺刀机房、直线加速器机房及其控制室的辐射安全防护设施安装位置示意图分别见图 10-15、图 10-16。





10.1.7 放疗机房拟采取的防护和安全措施评价

本项目陀螺刀机房、直线加速器机房拟采取的安全防护措施/设施与《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）的符合情况见表10-5。

长安医院有限公司
陀螺刀及直线加速器
核技术利用项目
(公示稿)

表 10-5 陀螺刀机房、直线加速器机房拟采取的安全防护措施和设施与 HJ 1198-2021 符合情况表

序号	安全防护设施和措施	《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021） 标准要求		拟采取的安全防护措施和设施		是否 符合
				陀螺刀机房	加速器机房	
1	标志和指示灯	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；	拟在陀螺刀工作场所入口处设置电离辐射警告标志；贮源容器外表面设置电离辐射标志和中文警示说明；	拟在加速器机房入口处设置电离辐射警告标志；	符合
			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 ；	拟在陀螺刀机房防护门上设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯；	拟在直线加速器机房防护门上设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯；	符合
2	视频监控、对讲交流系统		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 。	拟在陀螺刀机房内、迷道转角处及控制室内安装摄像监控系统，使控制室的工作人员通过监视系统能够对治疗室及迷道内的状况进行实时监控；拟在治疗床附近、控制台安装对讲系统，通过对讲系统可实现与患者双向交流。	拟在加速器机房内、迷道转角处及控制室内安装摄像监控系统，使控制室的工作人员通过监视系统能够对治疗室及迷道内的状况进行实时监控；拟在治疗床附近、控制台安装对讲系统，通过对讲系统可实现与患者双向交流。	符合
3	监测报警装置	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		拟在陀螺刀机房迷道内入口处设置固定式剂量报警仪，剂量报警显示仪表拟设置于陀	拟在加速器机房迷道内入口处设置固定式剂量报警仪，剂量报警显示仪表拟设置于加速器机	符合

		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。		螺刀机房的控制室内。	房的控制室内。	
4	联锁装置、断电自动回源措施	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 ;	拟对陀螺刀机房防护门与陀螺刀设置联锁,机房门未关闭状态下不能启动陀螺刀,出束状态下开门,陀螺刀停止出束。当治疗过程中发生外部供电中断时,系统立刻切换至UPS 后备电源供电,此时放射源关闭,三维定位床退出,治疗过程中止。	拟对加速器机房防护门与加速器设置联锁,机房门未关闭状态下不能启动加速器。当治疗过程中发生外部供电中断时,系统立刻切换至UPS 后备电源供电。	符合
	紧急开门装置和防夹装置		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 ;	项目拟在陀螺刀机房防护门内侧设置紧急开门装置,机房门拟设置红外防夹装置。	拟在加速器机房防护门内侧拟设置紧急开门装置,机房门拟设置红外防夹装置。	符合
	急停按钮		c) 应在放射治疗设备的控制室/台、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁、质子/重离子加速器大厅和束流输运通道内设置 急停按钮 ;急停按钮应有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。	拟在陀螺刀机房四周屏蔽墙面设置急停按钮共4个、防护门内旁侧1个、控制台1个及陀螺刀表面人员易触及处1个,急停按钮设置醒目标识和文字且便于触发。	拟在加速器机房四周屏蔽墙面设置急停按钮共4个、防护门内旁侧1个、控制台1个及靠近治疗床旁2个,急停按钮设置醒目标识和文字且便于触发。	符合

表 10-6 陀螺刀机房、直线加速器机房拟采取的安全防护措施和设施与 GBZ121-2020 符合情况表

序号	安全防护设施和措施	《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020） 标准要求		拟采取的安全防护措施和设施		是否符合
				陀螺刀机房	加速器机房	
1	监测报警装置	6.4.1	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	拟在陀螺刀机房设置固定式剂量报警仪，剂量报警显示仪表拟设置于控制室内。	拟在直线加速器机房设置固定式剂量报警仪，剂量报警显示仪表拟设置于控制室内。	符合
2	联锁装置	6.4.2	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。	陀螺刀机房防护门与陀螺刀设置联锁，机房门未关闭状态下不能启动陀螺刀；陀螺刀机房防护门内侧拟设置开门按钮，防护门拟设置红外防夹装置。	加速器机房防护门与加速器设备设置联锁，机房门未关闭状态下不能启动加速器；加速器机房防护门内侧拟设置开门按钮，防护门拟设置红外防夹装置。	符合
3	标志和指示灯	6.4.3	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。	拟在陀螺刀机房防护门上设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯。	拟在加速器机房防护门上设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯。	符合
4	急停开关	6.4.4	放射治疗设备控制台上应设置急停开关，放射治疗机房内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。	拟在陀螺刀机房四周屏蔽墙面设置急停按钮共 4 个、防护门内旁侧 1 个、控制台 1 个及陀螺刀表面人员易触及处 1 个，急停按钮设置醒目标识和文字且便于触发。	拟在加速器机房四周屏蔽墙面设置急停按钮共 4 个、防护门内旁侧 1 个、控制台 1 个及靠近治疗床旁 2 个，急停按钮设置醒目标识和文字且便于触发。	符合

5	视频监控、对讲交流系统	6.4.6	控制室应设有在实施治疗过程中观察患者状态、治疗床和迷道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。 拟在陀螺刀机房内、迷道转角处及控制室内安装摄像监控系统，使控制室的工作人员通过监视系统能够对治疗室及迷道内的状况进行实时监控；拟在治疗床附近、控制台安装对讲系统，通过对讲系统可实现与患者双向交流。 拟在加速器机房内、迷道转角处及控制室内安装摄像监控系统，使控制室的工作人员通过监视系统能够对治疗室及迷道内的状况进行实时监控；拟在治疗床附近、控制台安装对讲系统，通过对讲系统可实现与患者双向交流。	符合
---	-------------	-------	--	----

10.2 “三废”治理

(1) 固废

本项目陀螺刀治疗头内安装 22 枚钴-60 放射源，随着核素的自然衰变，放射源活度逐渐降低，当活度不能满足治疗需要时，需更换放射源，报废或退役的放射源由原厂家进行回收。

直线加速器产生的固体废物为废金属靶等，只有在需要更换金属靶时才产生（通常 1 个金属靶使用 7~10 年才更换），废金属靶件作为放射性固废，由供应商更换并交由有资质单位处置，不在项目地贮存。

工作人员产生的少量生活垃圾，经医院垃圾桶收集后定期由环卫部门清运。

(2) 废水

本项目运营期不产生放射性废水，辐射工作人员和部分病人产生的生活污水排入医院已有生活污水处理系统，经处理达标后排入周边市政污水管网。

(3) 废气

陀螺刀与直线加速器工作过程中，均会产生少量臭氧和氮氧化物等有害气体，根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）第 6.2.2 条款的要求：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，排风口应设在工作机房下部，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。

陀螺刀机房与直线加速器机房均应设置机械排风系统，并采用“上进下排”的进排风形式。陀螺刀机房在西北角底部设置 1 个 300mm×300mm 的排风口，西墙距地面 20cm 处设置 1 个 300mm×300mm 的排风口；直线加速器机房南墙距地面 30cm 处设置 2 个 400mm×400mm 排风口。2 间机房内的臭氧和氮氧化物等有害气体经各自独立的排风管道引至所在多层建筑物顶端，排气口周围无门、窗或人流较大的过道。陀螺刀机房的总排风量应不小于 1300m³/h，换气次数为 4 次/h；直线加速器机房的总排风量拟设计为 1800m³/h，换气次数为 6.1 次/h，确保 2 间机房换气次数均不小于 4 次/h 的要求。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

11.1.1 改建及装饰施工阶段

本项目机房为已有建筑，拟进行改建。建设阶段主要的污染因子有：噪声、废水、固体废物等。

(1) 噪声及防治措施

噪声主要来自于机房装修过程。通过选取噪音低、振动小的设备操作等，并合理安排施工时间等措施能减轻对外界的影响。

(2) 废水及防治措施

建设阶段产生的废水主要为施工人员的生活污水。生活污水依托医院现有的生活污水处理系统，进入医院污水管网，处理达标后排入市政污水管网。

(3) 固体废物及防治措施

固体废物主要为装修垃圾以及施工人员产生的生活垃圾。施工期产生的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。

11.1.2 设备安装调试阶段

项目设备安装、调试、检测和维修等均由设备供应商的放射工作人员负责。在安装前设备供应商对机房进行初步的安装验收，在满足相关条件后再进行设备的安装、调试。在设备安装、调试阶段，医院及设备供应商应加强辐射防护管理，在此过程中应保证机房各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。人员离开时机房必须上锁并派人看守。在设备安装、调试阶段，不允许其他无关人员进入机房所在区域，防止辐射事故发生。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 陀螺刀

(1) 工作状态下治疗机房内 γ 空气吸收剂量率分布

由于采用了陀螺旋转结构，在公转环集束射线穿过靶心经过的路径上，设置了有效厚度的铅屏蔽层，实现了机内放射源的自屏蔽。此设计既解决了公转环的平衡问题，又可有效防止射线的泄漏。同时，由于机内设计有自屏蔽，即使是治疗过程中，射线穿透机器的散射能量已降至很弱，对机房的屏蔽要求已降至很低。

①螺刀周围的剂量率分布

依据厂家提供的治疗机房内开源状态剂量率分布图（见图 11-2 与附件 7），距等中心 1m 处的吸收剂量率最大值为 17340 μ Sv/h，即 0.01734Sv/h。距等中心 2m 处的吸收剂量率最大值为 4560 μ Sv/h，即 0.00456Sv/h。

②测量条件

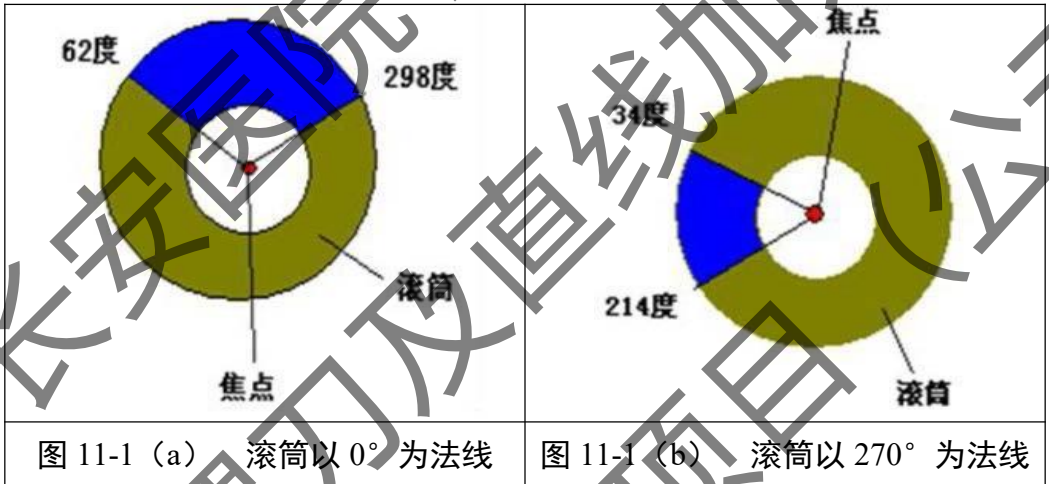
放射源种类： ^{60}Co ；最大装源量：8500Ci（22 颗）

③测试方法

在治疗机房内距离陀螺刀等中心 1m、2m 的各个位置布点，垂直高度等同于焦点至地面的高度 1.2 米，打开源开关至最大准直器 45mm，用环境剂量仪测试一段时间内的累积剂量，转换成剂量率。

a) 测试模式一：滚筒以 0° 法线为轴作旋转运动，见图 11-1（a）；

b) 测试模式二：滚筒以 270° 法线为轴作旋转运动，见图 11-1（b）。



④测试结果如图 11-2 所示

从图 11-2 中可以看出，在两种测量模式下，距陀螺刀等中心 2m 处最大的 γ 辐射剂量率为 4560 μ Sv/h，1m 处最大的 γ 辐射剂量率为 17340 μ Sv/h。

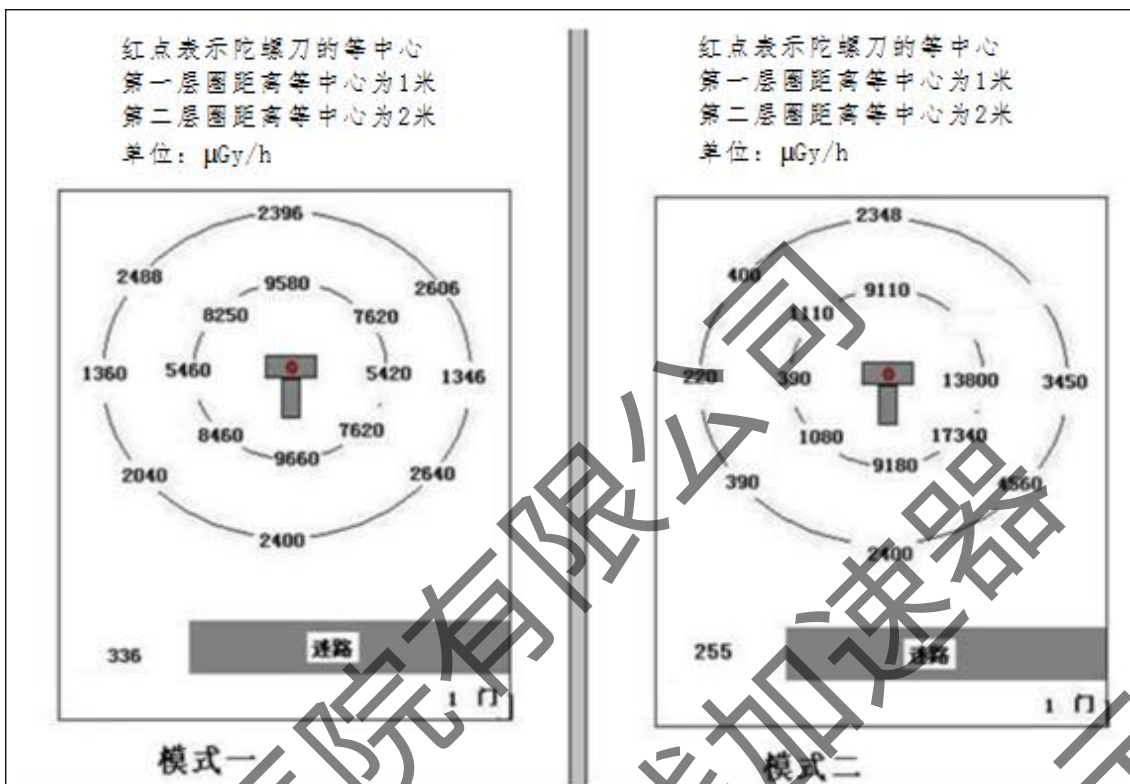


图 11-2 两种测试模式测试结果

(2) 工作状态下治疗机房周围 30cm 处的 γ 辐射剂量率

根据厂家提供的资料及陀螺刀的工作原理，本项目东墙、西墙及屋顶为主射束方向。距焦点 1m 处的吸收剂量率的取值为厂家提供的治疗室内开源状态实测剂量率最大值，但考虑射线源随距离的平方成反比衰减关系，计算得到距焦点 2m 处的吸收剂量率大于距焦点 1m 处射线衰减至 2m 处的剂量率，该数据已包含透过自屏蔽的有用线束、漏射线及散射线束的剂量率。偏安全考虑，本项目以 0.005Sv/h 作为距焦点 2m 处的吸收剂量率。在计算时有用线束、漏射线时均按有用束进行估算（此时 $f=1$ ），对屏蔽墙的屏蔽估算时不再对泄漏射线及散射线束剂量率分别进行估算，仅对防护门处剂量估算时考虑散射线束。

①关注点设置及辐射路径

本项目陀螺刀配备有 X 射线锥形束图像引导系统（最大管电压 120kV，最大管电流 1000mA），陀螺刀机房防护条件在满足开源状态下 γ 射线屏蔽要求的情况下，机房屏蔽体完全可以满足对图像引导系统开机产生 X 射线的防护，对辐射环境影响较小，因此以下主要对陀螺刀运行过程中 γ 射线的环境影响进行分析。

本项目陀螺刀机房位于医技住院综合楼（A 楼）负一层，西侧为控制室、后

装机房及其控制室，南侧为伽马刀机房，北侧与东侧为土层，机房正上方为室外消防通道。本项目东墙、西墙和顶部为主射方向。本次评价仅取治疗机房北墙、南墙（迷路外墙）、西墙、东墙、顶部、防护门外 30cm 处的关注点进行核算，O 点为等中心点，距地 1.2m。

本次评价陀螺刀机房平面、剖面关注点设置及辐射路径如图 11-4、11-5 所示。

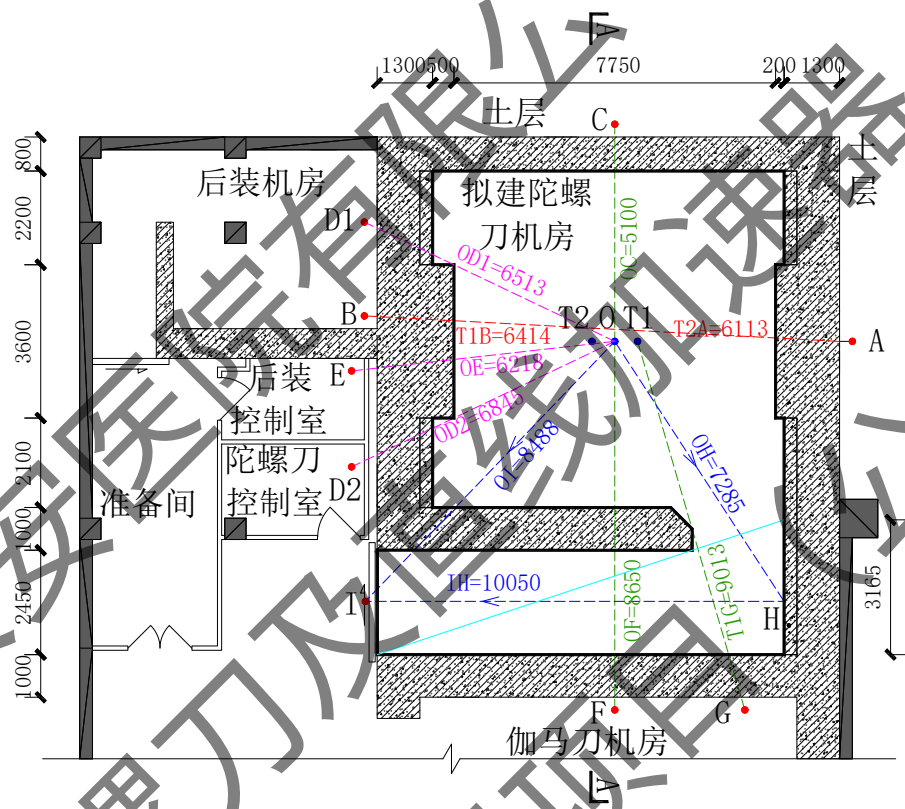


图 11-4 陀螺刀机房周围关注点设定示意图（平面）

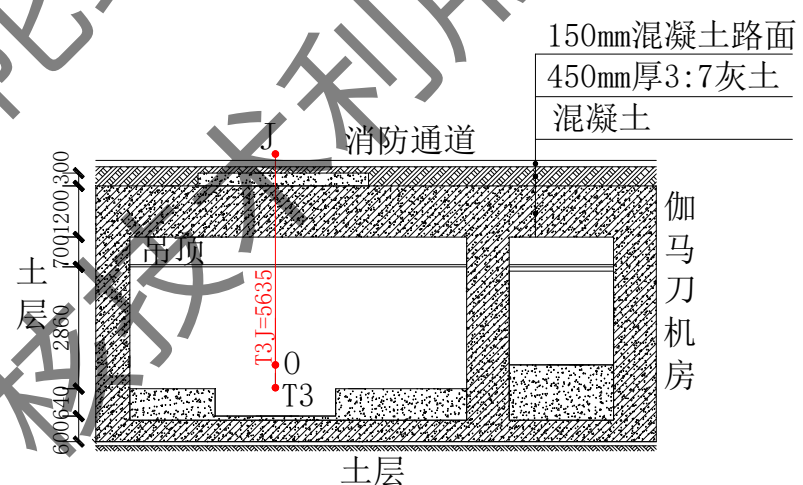


图 11-5 陀螺刀机房关注点设定示意图（A-A 剖面）

②关注点导出剂量率控制水平

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, 根据《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021) 6.1.4, 由以下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 $\dot{H}_{c,d}$:

机房外辐射工作人员, $H_c \leq 100 \mu\text{Sv}/\text{周}$;

机房外非辐射工作人员, $H_c \leq 5 \mu\text{Sv}/\text{周}$ 。

b) 按照关注点人员居留因子 (T) 的不同, 分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ 按以下情况取值:

人员居留因子 $T > 1/2$ 的场所: 最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$;

人员居留因子 $T \leq 1/2$ 的场所: 最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max} \leq 10 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

c) 取 a)、b) 中较小者作为关注的剂量率参考控制水平 ($\dot{H}_c$)。

d) 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 $100 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 加以控制 (可在相应位置处设置辐射告示牌)。

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第3部分: γ 射线源放射治疗机房》(GBZ/T 201.3-2014) 附录 A, 各关注点的剂量率参考控制水平由《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第3部分: γ 射线源放射治疗机房》(GBZ/T 201.3-2014) 附录 A 方法确定:

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (t \cdot U \cdot T) \quad (11-1)$$

式中:

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

t —治疗装置周治疗照射时间, h; 其值为平均每周治疗照射人数和每人治疗照射时间的乘积。本项目治疗时平均每周治疗人数为150人, 每人治疗照射时间为10min, 则周治疗照射时间为25h。

U —关注位置方向照射的使用因子, 均取1;

T —人员在相应关注点驻留的居留因子, 居留因子取值参考HJ1198-2021附录A表A.1。

根据公式 11-1 可计算各关注点剂量率控制水平见表 11-1。

表 11-1 陀螺刀机房各关注点剂量率参考控制水平一览表

关注点位置		周治疗 照射时 间t	使用 因子 U	居留 因子 T	H_c ($\mu\text{Sv}/\text{周}$)	$\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	$\dot{H}_{c,max}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	$\dot{H}_{c,d}$ 最 终取值 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
						计算值		
东墙 (主屏 蔽墙)	A (土层)	25	1	1/40	5	8	10	8
西墙 (主屏 蔽墙)	B (后装机房, 辐射工作人员)	25	1	1/2	100	0.4	10	8
	B (后装机房, 患者)	25	1	1/2	5	0.4	10	0.4
西墙 (次屏 蔽墙)	D1 (后装机房, 辐射工作人员)	25	1	1/2	100	0.4	10	8
	D1 (后装机房, 患者)	25	1	1/2	5	0.4	10	0.4
	D2 (陀螺刀控制室)	25	1	1	100	4	2.5	2.5
	E (后装控制室)	25	1	1	100	4	2.5	2.5
北墙	C (土层)	25	1	1/40	5	8	10	8
南墙 (迷路 外墙)	G (伽马刀机房, 辐射工作人员)	25	1	1/2	100	0.4	10	8
	G (伽马刀机房, 患者)	25	1	1/2	5	0.4	10	0.4
	F (伽马刀机房, 辐射工作人员)	25	1	1/2	100	0.4	10	8
	F (伽马刀机房, 患者)	25	1	1/2	5	0.4	10	0.4
屋顶	J (室外消防通道)	25	1	1/20	5	4	10	4
防护 门外	I (过道)	25	1	1/4	5	0.8	10	0.8

注：关注点 A 与 C 位于土层，其上方均为室外消防通道，本报告对土层上方偶然居留的人员剂量进行估算，因此居留因子 T 取 1/40。

③关注点辐射剂量率计算

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分： γ 放射源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）中推荐的公式：

有效屏蔽厚度：

$$X = X_e \cdot \cos \theta \quad (11-2)$$

屏蔽透射因子：

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \quad (11-3)$$

屏蔽体外关注点的剂量率：公式（11-4a）取自《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第3部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）5.2.2.1b）。在设备关机状态下，将距陀螺刀治疗头内 22 枚密封源近似为点源，根据屏蔽厚度计算透射因子公式（11-3）和反比平方定律，将公式（11-4a）推导为公式（11-4b）。根据厂家提供的开源状态剂量率分布图，选取距陀螺刀等中心 2m 处最大剂量率 4560μSv/h（安全起见，取 5000μSv/h）估算各关注点处的剂量率。

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

$$\dot{H} = \dot{H}_2 \cdot f \cdot \frac{R_2^2}{R^2} \cdot B \quad (11-4b)$$

式中： X_e —有效屏蔽厚度，mm；

X —屏蔽厚度，mm；

θ —斜射角，即入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角；

B —屏蔽物质的屏蔽透射因子；

TVL —辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚度，mm，本项目 TVL 取值根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第3部分：γ放射源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）附录 C 表 C.1 混凝土 $TVL=218\text{mm}$ ，铅 $TVL=41\text{mm}$ 。

TVL_1 —辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度，mm，本项目 TVL_1 取值根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第3部分：γ放射源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）附录 C 表 C.1 混凝土 $TVL_1=245\text{mm}$ ，铅 $TVL_1=41\text{mm}$ 。

$\dot{H}$ —关注点剂量率，μSv/h；

$\dot{H}_0$ —入射剂量率，μSv/h，距等中心 1m 处的最大剂量率；

$\dot{H}_2$ —入射剂量率，μSv/h，本项目取工作状态下，距等中心 2m 处的最大剂量率，由图 11-2 可知，最大剂量率为 $5.0 \times 10^3 \mu\text{Sv/h}$ ；

R_2 —与放射源的距离，m，本项目取 2.0m；

R —等中心点（靶点）至关注点的距离，m；

f —有用束和泄漏辐射均取 1（保守考虑，本项目在计算时有用线束和泄漏射线均按有用束进行估算（此时 $f=1$ ）；

根据公式 11-2~11-4 得，各关注点的剂量率如下表 11-2 所示。

表 11-2 工作状态下陀螺刀机房墙外 30cm 处关注点 γ 辐射剂量率

方向	关注点	射线路径	屏蔽层厚度	距等中心 2m 处的最大剂量率 H_2 ($\mu\text{Sv/h}$)	R (m)	X (mm)	X_e (mm)	θ ($^\circ$)	f	TVL (mm)	TVL_0 (mm)	B	H ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率参考控制水平值 ($\mu\text{Sv/h}$)	是否满足控制要求
东墙	A	T2-O-A	混凝土 1500mm	5.0×10^3	6.113	1500	1500	0	1	218	245	1.75×10^{-7}	9.37×10^{-5}	8	满足
西墙	B ^①	T1-O-B	混凝土 1800mm	5.0×10^3	6.414	1800	1800	0	1	218	245	7.36×10^{-9}	3.58×10^{-6}	8	满足
西墙	B ^②	T1-O-B	混凝土 1800mm	5.0×10^3	6.414	1800	1800	0	1	218	245	7.36×10^{-9}	3.58×10^{-6}	0.4	满足
西墙	D1 ^①	T1-O-D1	混凝土 1300mm	5.0×10^3	7.048	1300	1440	25.5	1	218	245	3.29×10^{-7}	1.32×10^{-4}	8	满足
西墙	D1 ^②	T1-O-D1	混凝土 1300mm	5.0×10^3	7.048	1300	1440	25.5	1	218	245	3.29×10^{-7}	1.32×10^{-4}	0.4	满足
西墙	D2	T1-O-D2	混凝土 1300mm	5.0×10^3	7.380	1300	1440	25.5	1	218	245	3.29×10^{-7}	1.21×10^{-4}	2.5	满足
西墙	E	T1-O-E	混凝土 1800mm	5.0×10^3	6.753	1800	1811	6.4	1	218	245	6.53×10^{-9}	2.87×10^{-6}	2.5	满足
北墙	C	O-C	混凝土 800mm	5.0×10^3	5.100	800	800	0	1	218	245	2.85×10^{-4}	0.22	8	满足

南墙	G ^①	T1-G	混凝土 2000mm	5.0×10^3	9.013	2000	2000	10.5	1	218	245	6.21×10^{-10}	1.53×10^{-7}	8	满足
南墙	G ^②	T1-G	混凝土 2000mm	5.0×10^3	9.013	2000	2000	10.5	1	218	245	6.21×10^{-10}	1.53×10^{-7}	0.4	满足
南墙	F ^①	O-F	混凝土 1000mm	5.0×10^3	8.650	1000	1017	0	1	218	245	3.44×10^{-5}	9.20×10^{-3}	8	满足
南墙	F ^②	O-F	混凝土 1000mm	5.0×10^3	8.650	1000	1017	0	1	218	245	3.44×10^{-5}	9.20×10^{-3}	0.4	满足
屋顶	J	T3-O-J	混凝土 1500mm	5.0×10^3	5.635	1500	1500	0	1	218	245	1.75×10^{-7}	1.10×10^{-4}	4	满足
注：①表示关注点处的辐射工作人员，②表示关注点处的患者。															

根据表 11-2 计算结果可知，陀螺刀机房北墙 30cm 处的剂量率最大，为 0.22μSv/h，小于导出剂量率控制水平 5μSv/h，满足《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分：γ放射源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）的要求。

④防护门外（迷路入口）关注点 I 处剂量率

a.治疗工作状态条件下，散射线的散射路径示意图如图 11-4 所示，要估算防护门外 I 点处的辐射水平，须先估算出防护门内的辐射水平。

本项目陀螺刀有用线束不向迷路照射。参照标准《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分：γ放射源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014），本项目治疗机房目录入口 I 点的辐射剂量率贡献主要来自以下两个方面：

1) 泄漏辐射穿过迷路内墙到达迷路入口 I 处的辐射，即 O-I（保守按有用线束估算）；

2) 泄漏辐射及人体散射经墙（本项目为东墙）散射至 H 点后再散射的辐射，即 O-H-I。

b.散射辐射能量可按式估算：

$$E_s = \frac{E}{1 + 1.96(1 - \cos \theta)} \quad (11-5)$$

式中：

E_s —散射线的能量；

E —入射线的能量，取 1.25MeV；

θ —散射方向与入射方向的夹角；

参考《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分：γ放射源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）表 C.1， ^{60}Co 源γ射线能量均值为 1.25MeV，当式（11-5）中 E 为入射辐射最高能量时，计算出的 E_s 为散射辐射最高能量。

当 $\theta=45^\circ$ 时，根据公式（11-5）保守估算，并参照厂商提供的参数，经一次散射后的γ射线平均能量 $E_1=0.73\text{MeV}$ ，又由《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分：γ放射源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）表 C.4 可知，反散射角一定的情况下，能量越低，散射因子越大，为保守计算考虑，本评价取 $E_s=0.25\text{MeV}$ 。

c.散射辐射剂量率估算

1) 泄漏辐射穿过迷路内墙到达迷路入口 I 处的辐射剂量率 $\dot{H}_{OI}$ 的估算方法

与有用线束相同，参照估算公式 11-1~11-3；计算可得：

$$B = 10^{-(1000/\cos 43.8^\circ + 218 - 245)/218} = 5.87 \times 10^{-7}$$

$$\dot{H}_{OI} = \frac{5.0 \times 10^3 \times 1 \times 2^2}{8.488^2} \times 5.87 \times 10^{-7} = 1.63 \times 10^{-4} \mu\text{Sv/h}。$$

2) 泄漏辐射及人体散射经墙（本项目为东墙）I 点散射后到达防护门内的辐射剂量率计算公式如下：

$$\dot{H}_I = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot S}{R_2^2} \cdot \frac{\dot{H}_2 \cdot R^2}{R_0^2} \quad (11-6)$$

式中：

α_{ph} —400cm² 面积上的散射因子，参考 GBZ/T201.3-2014 表 C.3，散射角 45°时，散射因子 $\alpha_{ph}=3.7 \times 10^{-3}$ ；

F—治疗装置有用线束在等中心处的最大治疗野面积，单位为平方厘米（cm²）；

α_2 —混凝土墙对入射的患者散射辐射（能量参考 GBZ/T201.3-2014 表 C.2）的散射因子，通常取 H 处的入射角为 45°，散射角为 0°。 α_2 值见表 C.4，当 $E_s=0.25\text{MeV}$ 时， $\alpha_2=3.39 \times 10^{-2}$ ；

S—H 处的散射面积，本项目为 $3.165\text{m} \times 3.6\text{m}=11.39\text{m}^2$ ；

$\dot{H}_2$ —入射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ，本项目取工作状态下，距等中心 2m 处的最大剂量率，即 $5.0 \times 10^3 \mu\text{Sv/h}$ ；

R—与放射源的距离，m，本项目取 2.0m；

R_1 —“O 至 H”之间的距离， $R_1=7.285\text{m}$ ；

R_2 —“I 至 H”之间的距离， $R_2=10.050\text{m}$ ；

R_0 —放射源与等中心位置之间的距离， $R_0=0.535\text{m}$ 。

根据公示 (11-5) 可得，防护门内 I 处的散射辐射剂量率为 $2.96 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ 。

3) 防护门外的辐射剂量率 $\dot{H}$ ：

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

式中：

$\dot{H}$ —防护门外 I 处的辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$\dot{H}_I$ —入口 I 处（防护门内）的散射辐射剂量率， $2.96 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ ；

$\dot{H}_{OI}$ —穿过迷路内墙的泄漏辐射在 I 点处的剂量率， $1.63 \times 10^{-4} \mu\text{Sv/h}$ ；

X —防护门屏蔽材料的厚度，mm；此处由于散射线以 0° 角射入防护门，故屏蔽厚度 $X=15\text{mm}$ ；

TVL —辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚度，mm；式中 $TVL=5.0\text{mm}$ （铅）。

根据公示（11-7）可得，防护门外的辐射剂量率为 $1.66 \times 10^{-4} \mu\text{Sv/h}$ 。

⑤屏蔽墙防护的综合评价

表 11-4 各关注点剂量率预测结果与剂量率参考控制水平比较

关注点	点位描述	预测剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率参考 控制水平值 ($\mu\text{Sv/h}$)	是否满足 控制要求
A	东墙（主屏蔽墙）外 30cm 处 （土层）	9.37×10^{-5}	8	满足
B ^①	西墙（主屏蔽墙）外 30cm 处 （后装机房，辐射工作人员）	3.58×10^{-6}	8	满足
B ^②	西墙（主屏蔽墙）外 30cm 处（后 装机房，患者）	3.58×10^{-6}	0.4	满足
D1 ^①	西墙（次屏蔽墙）外 30cm 处 （后装机房，辐射工作人员）	1.32×10^{-4}	8	满足
D1 ^②	西墙（次屏蔽墙）外 30cm 处 （后装机房，患者）	1.32×10^{-4}	0.4	满足
D2	西墙（次屏蔽墙）外 30cm 处 （陀螺刀控制室）	1.21×10^{-4}	2.5	满足
E	西墙（次屏蔽墙）外 30cm 处 （后装控制室）	2.87×10^{-6}	2.5	满足
C	北墙（侧屏蔽墙）外 30cm 处 （土层）	0.22	8	满足
G ^①	南墙（迷路外墙）外 30cm 处 （伽马刀机房，辐射工作人员）	1.53×10^{-7}	8	满足
G ^②	南墙（迷路外墙）外 30cm 处 （伽马刀机房，患者）	1.53×10^{-7}	0.4	满足
F ^①	南墙（迷路外墙）外 30cm 处 （伽马刀机房，辐射工作人员）	9.20×10^{-3}	8	满足
F ^②	南墙（迷路外墙）外 30cm 处 （伽马刀机房，患者）	9.20×10^{-3}	0.4	满足
J	顶部外 30cm 处（消防通道）	1.10×10^{-4}	4	满足

I	陀螺刀机房防护门外 30cm 处 (过道)	1.66×10^{-4}	0.8	满足
---	--------------------------	-----------------------	-----	----

综上,本项目陀螺刀机房辐射屏蔽措施能够使机房外的辐射剂量率满足相应的剂量率参考控制水平要求,同时,四周墙壁外、控制室及顶部等人员可达区域均满足《医用 γ 射束远距治疗防护与安全标准》(GBZ161-2004)中“治疗室的墙壁及顶部必须有足够的屏蔽厚度,使距墙体外表面 30cm 的可达界面处,由穿透辐射所产生的平均剂量当量率低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的剂量限值要求。

(3) 项目运行对辐射工作人员和周围公众附加剂量的影响

辐射工作人员和周边公众年有效剂量计算公式如下:

$$H = D_r \cdot T \cdot t \cdot U \quad (11-8)$$

式中:

H—年有效剂量当量, Sv/a;

D_r —空气吸收剂量率, Gy/h;

t—年受照时间, h/a; 本项目年累计治疗(出束)时间约1250h;

T—人员在相应关注点驻留的居留因子,居留因子取值参考HJ1198-2021附录A表A.1。

U—关注位置方向照射的使用因子,放射性核素以点源考虑, U取1。

简化估算: 1mGy 近似为 1mSv。

①正常治疗过程中所致辐射工作人员和周围公众年有效剂量估算

表 11-5 辐射工作人员和周围公众附加剂量估算结果

关注点位置		t	T	U	$D_r(\mu\text{Sv/h})$	H(mSv/a)	剂量管理 约束值 (mSv/a)	结论
西墙(主 屏蔽墙)	B(后装机房, 辐射工作人员)	1250	1/2	1	3.58×10^{-6}	2.24×10^{-6}	5	满足
西墙(主 屏蔽墙)	B(后装机房, 患者)	1250	1/2	1	3.58×10^{-6}	2.24×10^{-6}	0.1	满足
西墙(次 屏蔽墙)	D1(后装机房, 辐射工作人员)	1250	1/2	1	1.32×10^{-4}	8.27×10^{-5}	5	满足
	D1(后装机房, 患者)	1250	1/2	1	1.32×10^{-4}	8.27×10^{-5}	0.1	满足

	D2（陀螺刀控制室）	1250	1	1	1.21×10^{-4}	1.51×10^{-4}	5	满足
	E（后装控制室）	1250	1/2	1	2.87×10^{-6}	1.79×10^{-6}	5	满足
南墙 （迷路 外墙）	G（伽马刀机房， 辐射工作人员）	1250	1/2	1	1.53×10^{-7}	9.56×10^{-8}	5	满足
	G（伽马刀机房， 患者）	1250	1/2	1	1.53×10^{-7}	9.56×10^{-8}	0.1	满足
	F（伽马刀机房， 辐射工作人员）	1250	1/2	1	9.20×10^{-3}	5.75×10^{-3}	5	满足
	F（伽马刀机房， 患者）	1250	1/2	1	9.20×10^{-3}	5.75×10^{-3}	0.1	满足
屋顶	J（室外消防 通道）	1250	1/20	1	1.10×10^{-4}	6.89×10^{-6}	0.1	满足
防护 门外	I（过道）	1250	1/4	1	1.66×10^{-4}	5.18×10^{-5}	0.1	满足

②摆位过程受照剂量估算

摆位时受到仪器漏射线的照射。根据医院提供资料，预计门诊量 30 人次/天，每人次摆位最长时间约 5min，每周工作 5 天，全年工作 50 周，年摆位时间约 625h。根据设备厂家提供的资料显示，经过设备自屏蔽后，距源 5cm 处的杂散辐射引起的吸收剂量率不大于 0.2mGy/h。假定摆位过程中，工作人员距离源表面最近距离按 60cm 考虑，则摆位过程所受的辐射剂量= $0.2 \times (5 \div 60)^2 \times 625 = 0.868\text{mGy/a}$ ，即 0.868mSv/a。

③手动关源受照剂量估算

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 10.5.1 款规定，从事干预的工作人员在抢救生命的行动中所受到的照射不得超过职业照射的最大单一年份剂量限值的 10 倍。经核实，手动关源由厂家工作人员负责，依据厂家提供的资料，本项目一次手动关源过程一般需要 5min，经过专门培训后可以缩短到 2min，源距焦点 1m 处的最大辐射剂量率为 0.02Gy/h，因此，关闭放射源期间的操作者（如“卡源”事故的手动关源）的受照剂量为 $0.02\text{Gy/h} \times (5\text{min} \div 60\text{min}) = 1.7\text{mGy}$ ，能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的从事干预的工作人员所受到的照射不得超过职业照射

的最大单一年份剂量限值的 10 倍的要求。本次评价要求医院经常对设备性能进行检查，防止该情况发生。

④辐射工作人员年有效剂量估算

根据上述分析可知，本项目辐射工作人员年有效剂量为正常工况的辐射剂量和摆位过程所受的杂散辐射剂量之和，即 $1.51 \times 10^{-4} + 0.868 = 0.868 \text{mSv/a}$ ，叠加近一年度本项目辐射工作人员最大个人剂量当量值 0.35mSv 后工作人员所受年最大辐射剂量率约 1.22mSv ，低于工作人员的剂量管理限值 5mSv/a 。本项目周边辐射工作人员年有效剂量叠加辐射工作人员近一年度最大个人剂量当量值 0.35mSv 后，工作人员所受年最大辐射剂量率约 0.35mSv ，低于工作人员的剂量管理限值 5mSv/a 。

⑤小结

从表 11-5 和上述分析可以看出，保守估算正常运行所致本项目辐射工作人员最大年有效剂量为 1.22mSv/a ，低于工作人员的剂量管理限值 5mSv/a ；所致公众人员最大年有效剂量为 $5.75 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ ，低于公众人员的剂量管理限值 0.1mSv/a 。因此，本项目陀螺刀运行过程中辐射工作人员、周边公众所受年有效剂量是能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求。

（4）有害气体的影响

本评价主要针对陀螺刀运行期间的臭氧影响进行定量预测，根据《辐射防护手册（第三分册）》P53， γ 辐照室空气中臭氧的产额可由下式进行计算：

$$Q_0 = 6.33 \times 10^{-4} A \times G \times V^{1/3} \quad (11-9)$$

式中：

Q_0 —臭氧的辐射化学产额， mg/h ；

A —放射源的活度， Ci ，本项目 ^{60}Co 放射源总活度为 8500Ci ；

G —空气每吸收 100eV 辐射能量所产生的臭氧分子数， γ 辐照室取 6；

V —辐照室体积， m^3 ，本项目陀螺刀治疗室体积为 318.2m^3 。由此计算臭氧的产额为 220.41mg/L 。

室内臭氧浓度由下式计算：

$$C = Q_0 \times T_v / V \quad (11-10)$$

式中：

C—室内臭氧浓度，mg/m³；

T_v—臭氧有效清除时间，h；

V—治疗室内空间体积；

$$T_v = tv \times ta / (tv + ta) \quad (11-11)$$

式中：

tv—换气一次所需时间，h，本项目4次/h，则换气一次需时约为0.09h；

ta—臭氧分解时间，h，此处取50min。

由此计算陀螺刀治疗室内臭氧的浓度为0.059mg/m³。

综上，本项目陀螺刀机房臭氧浓度均能够满足《室内空气质量标准》（GB/T18883-2002）中臭氧1小时均值≤0.16mg/m³的标准限值，同时也能满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中二级标准中1小时均值≤0.2mg/m³的标准限值。

陀螺刀机房拟设置机械排风系统，2个新风口设置于机房天花板东墙北侧，2个排风口分别设置于机房西北角与西墙距地面30cm处，拟设置排风机排风量为1300m³/h，通风换气次数约为4次/小时，满足《X、γ射线头部立体定向外科治疗放射卫生防护标准》（GBZ168-2005）的要求，对工作人员和患者是安全的。

（5）换装源过程的影响

通常，治疗头的拆卸和安装由设备厂家专业人员进行，治疗头中放射源的安装则由源生产厂家（中核高通公司）专业人员在其专门的车间内完成。更换放射源时，由设备家将治疗头整体拆卸并装入运输铅罐，委托有资质单位运到源生产厂家，由生产厂家将封装好的新放射源装入治疗头，完成整个安装放射源过程，装入新放射源的治疗头再装入运输铅罐由有资质单位运回医院，由设备厂家负责治疗头的装入。

根据设备厂家提供的资料显示，治疗头表面平均剂量率不超过500μSv/h，治疗头安装过程不超过30min，所以换装源过程中工作人员所受吸收剂量不超过

250 μ Sv，即 0.25mSv。

医院负责协助设备厂家进行换装治疗头的外围安保工作，辐射工作人员不进入陀螺刀机房；安装放射源后须请有监测资质的单位对剂量进行监测，因此，换装源过程的影响是可控的。

（6）退役放射源的影响

陀螺刀正常治疗过程中，不产生医用放射性固体废弃物，但经过 5 年的使用年限后，会产生报废或退役的放射源。

按照《放射性废物安全管理条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的有关规定，未经批准不得擅自处理。使用放射源单位应当与生产放射源单位签订废旧放射源返回合同，在放射源废弃后 3 个月内将废放射源交回生产单位进行安全处置废放射源回收参照放射源转让程序办理。废放射源送贮完成之日起 20 日内，应及时向陕西省生态环境厅备案，申请办理放射源注销手续。

医院应与中核高通股份有限公司签订退役放射源回收合同，因此，退役放射源将处于有效的安全管理之中，不会对环境造成影响。

11.2.2 医用电子直线加速器

医院计划配置的直线加速器是可以开展 X 射线和电子线两种束流的放射治疗装置。电子线最大不超过 22MeV，考虑到电子线治疗次数有限（工作负荷不足 X 射线治疗的 1%），且电子线治疗过程中，电子线与机头、治疗床、人体组织等作用，产生韧致辐射的强度和强度远低于 X 射线强度。如果机房及其防护门能够满足 X 射线的屏蔽防护，那么定能满足电子线治疗中产生的韧致辐射的防护要求，因此本次评价不再分析电子线的环境影响。本项目直线加速器的图像引导系统最大管电压为 150kV，最大管电流为 630mA，能量远小于直线加速器，故其产生的 X 射线可以忽略，因此本次评价不再分析图像引导系统所产生的 X 射线环境影响。

（1）主屏蔽墙宽度核算

① 核算公式

主屏蔽墙宽度核算公式如下：

$$Y_p=2[(a+SAD) \tan\theta+0.3] \quad (11-12)$$

式中：

Y_p —机房有用射线束主屏蔽墙的宽度，m；

SAD —源轴距，m，项目取 1m；

θ —治疗束的最大张角（相对束中的轴线），拟配置的加速器治疗束最大张角为 28° ， $\theta=14^\circ$ 。

a —等中心点至“墙”的距离，m。当主屏蔽区向机房内凸时，“墙”指与主屏蔽区相连接的次屏蔽墙（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。

② 核算结果

本项目直线加速器机房平面示意图见图 11-1，为方便计算加速器机房南墙主屏蔽区、次屏蔽区的宽度与厚度，本评价中机房南墙主屏蔽墙防护措施取 1400mm 厚混凝土、60mm 厚钢板与 100mm 厚铅板，钢板与铅板的宽度均为 4000mm，南墙次屏蔽墙防护措施取 1400mm 厚混凝土，简化后直线加速器机房平面示意图见图 11-7。按照公式 11-12，项目加速器机房主屏蔽区的宽度核算结果详见表 11-6。

表 11-6 加速器机房主屏蔽墙的宽度核算结果一览表

项目	主屏蔽区位置	主屏蔽区类型	等中心点至“墙”的距离（mm）	核算宽度（mm）	设计宽度（mm）	评价
加速器机房	北墙主屏蔽区	外凸	5288	3736	4000	符合
	南墙主屏蔽区	内凸	3112	2650	4000	符合
	屋顶主屏蔽区	内凸	2455	2323	4000	符合

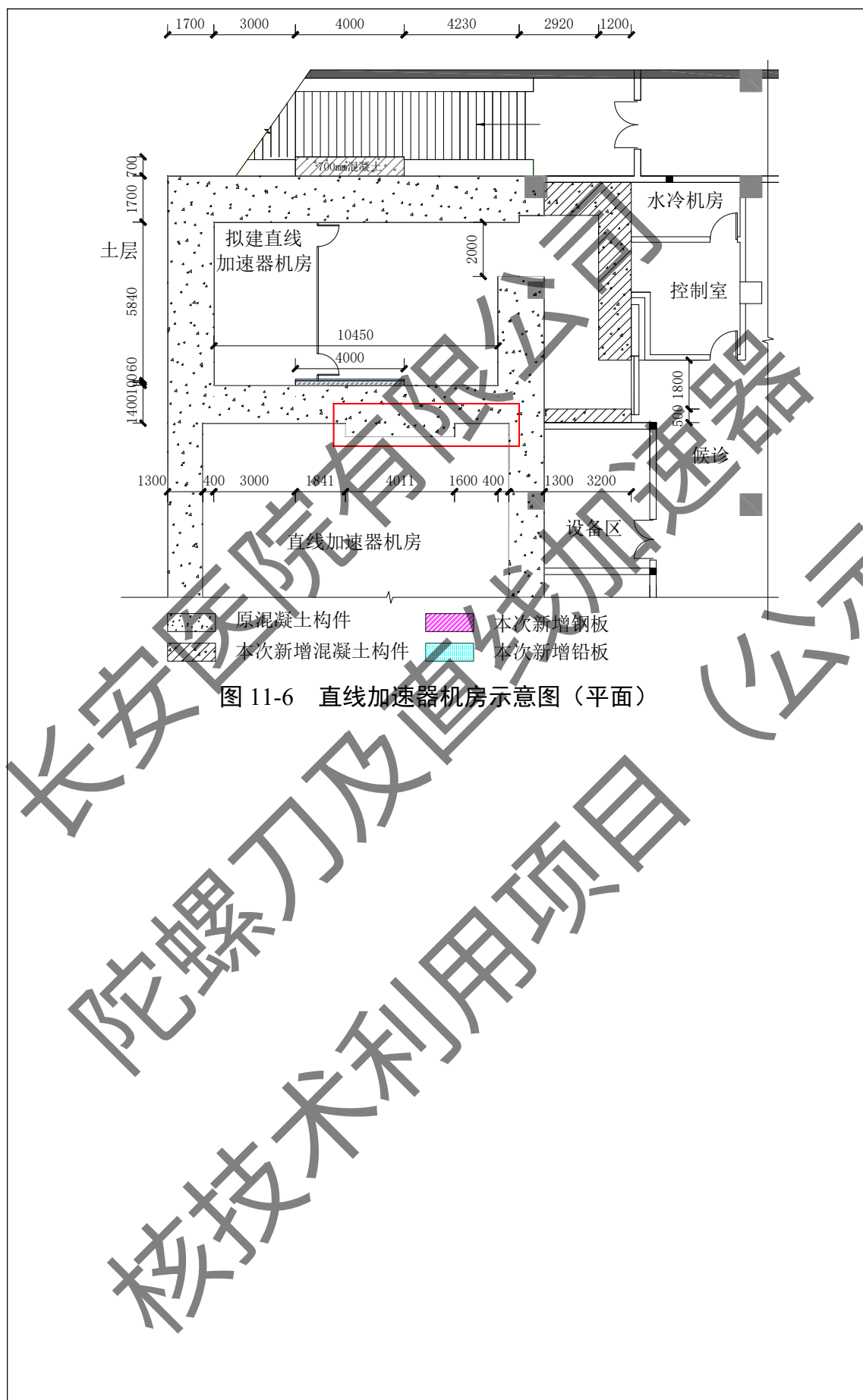
根据表 11-1 可知，项目直线加速器机房南北墙主屏蔽区的设计宽度均满足有用射线束屏蔽宽度要求。

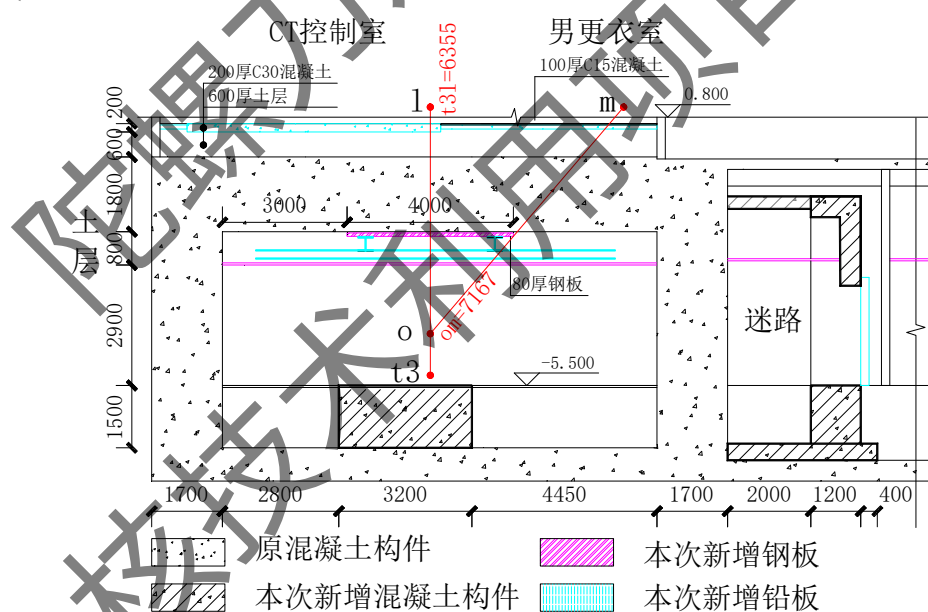
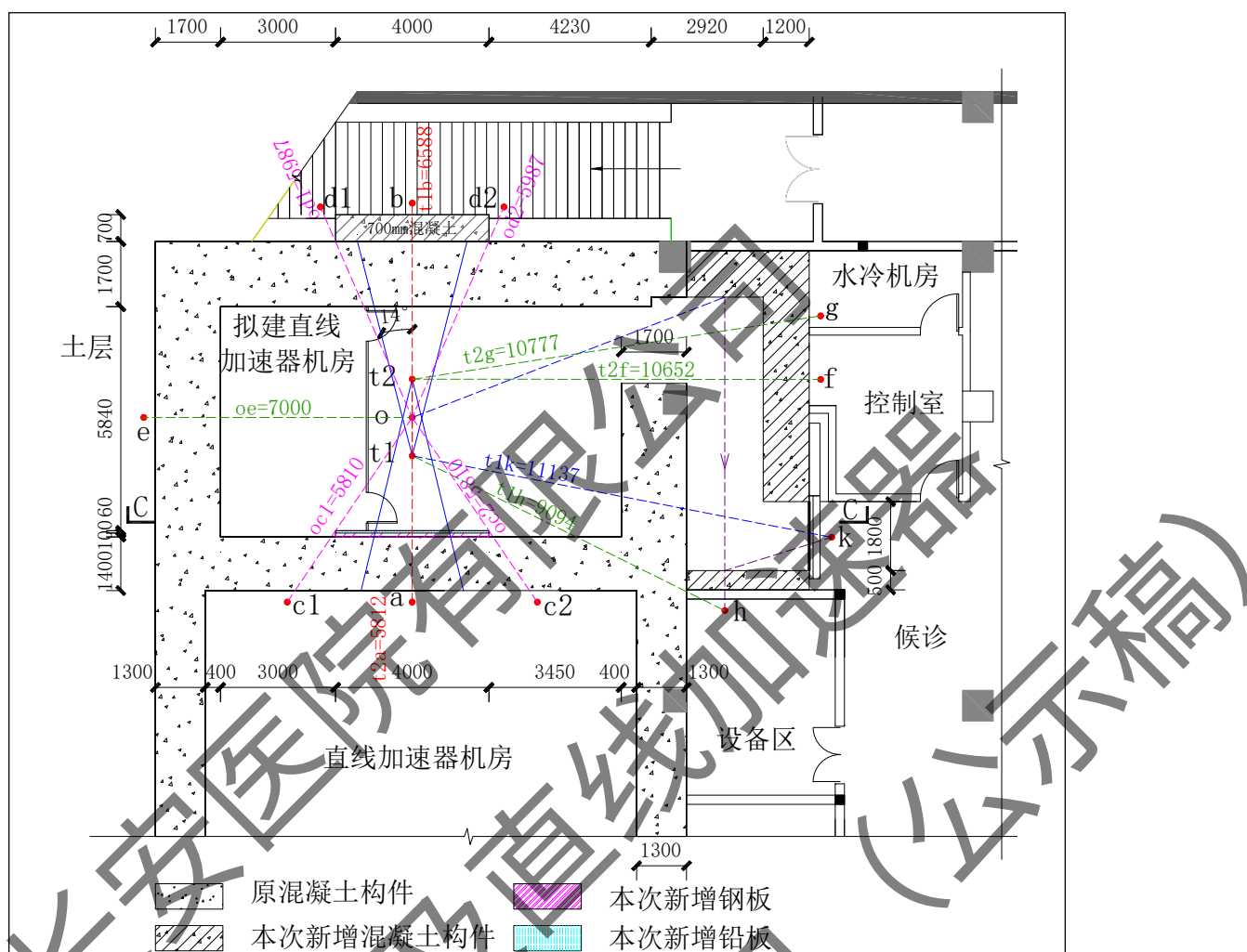
（2）机房防护墙体屏蔽厚度核算

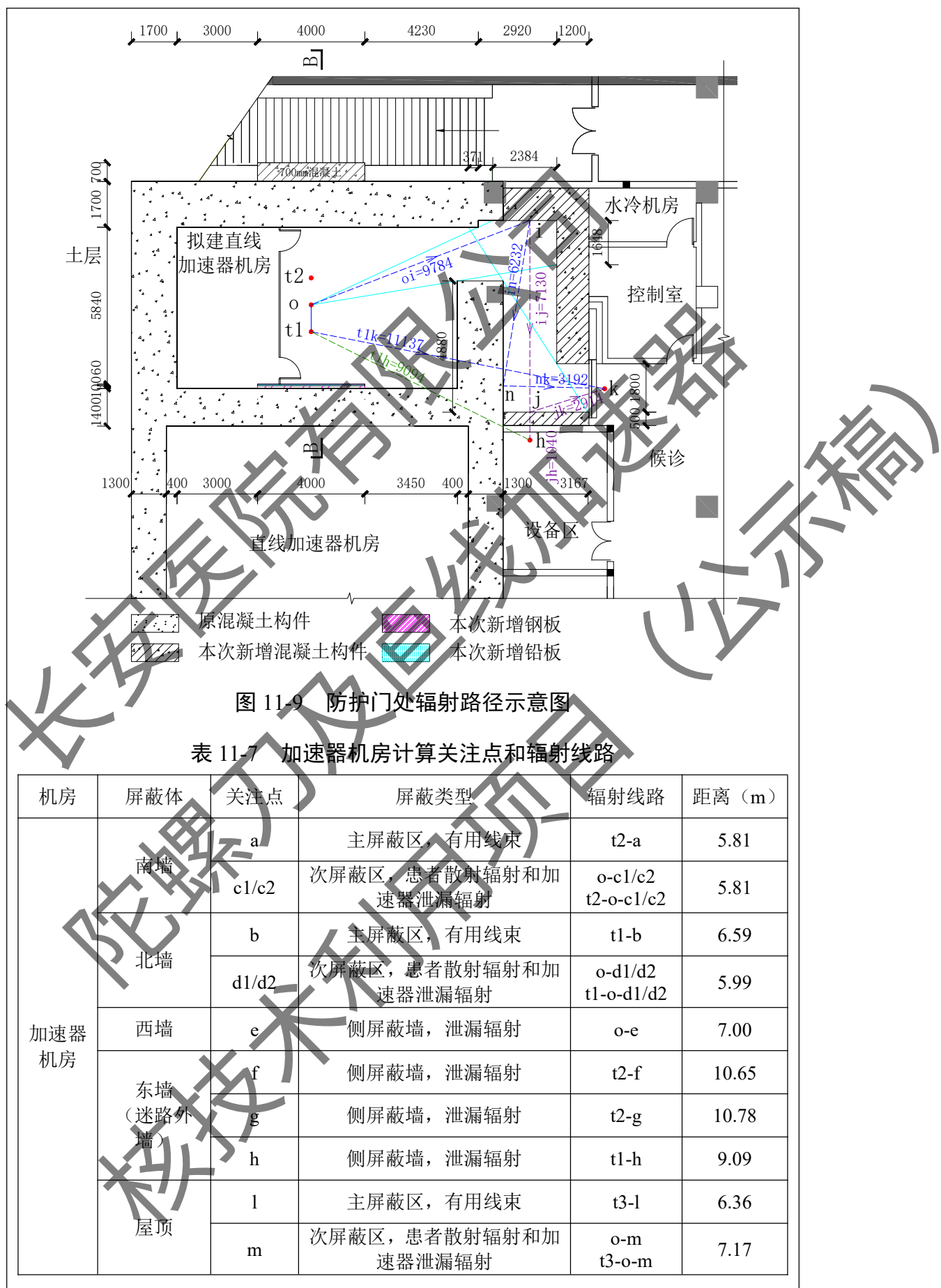
① 关注点的选取

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/T201.2-2011）的要求，在本项目直线加速器机房外设定关注点。从保守角度出发，在直线加速器机房设计的尺寸厚度基础上，假定加速器最大功率运行并针对关注点最不利情况对机房进行辐射屏蔽核算。

加速器机房 X 线辐射影响分析关注点设定情况见图 11-6~图 11-8 和表 11-7。







	防护门外	k	①散射辐射、泄漏辐射	t1-o-i-j-k t1-k	o-i: 9.78 i-j: 7.13 j-k: 2.91 t1-k: 11.14
			②散射辐射、泄漏辐射	t1-o-i-n-k t1-k	o-i: 9.78 i-n: 6.23 n-k: 3.19 t1-k: 11.14

②关注点的剂量率参考控制水平

a) 使用放射治疗周工作负荷、关注点使用因子和居留因子，根据《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021) 6.1.4, 由以下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 $\dot{H}_{c,d}$:

机房外辐射工作人员, $H_c \leq 100\mu\text{Sv/周}$;

机房外非辐射工作人员, $H_c \leq 5\mu\text{Sv/周}$ 。

b) 按照关注点人员居留因子(T)的不同, 分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ 按以下情况取值:

人员居留因子 $T > 1/2$ 的场所: 最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max} \leq 25\mu\text{Sv/h}$;

人员居留因子 $T \leq 1/2$ 的场所: 最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max} \leq 10\mu\text{Sv/h}$ 。

c) 取 a)、b) 中较小者作为关注的剂量率参考控制水平($\dot{H}_c$)。

d) 对无人员停留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(可在相应处设置辐射告示牌)。

◆根据 GBZ/T201.2-2011 附录 A.2, 单一有用线束在关注点的导出剂量率控制水平按公式 11-13 计算。

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (t \cdot U \cdot T) \quad (11-13)$$

式中:

H_c —周参考剂量控制水平, $\mu\text{Sv/周}$;

t —治疗装置周治疗照射时间, h;

U —有用线束向关注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, 居留因子取值参考HJ1198-2021 附录A表A.1。

◆根据 GBZ/T201.2-2011 附录 A.2, 单一泄漏辐射在关注点的导出剂量率控

制水平按公式 11-14 计算。

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (t \cdot N \cdot T) \quad (11-14)$$

式中：

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

t —治疗装置周治疗照射时间，h；

N —调强治疗时用于泄漏辐射的调强因子，通常 $N=5$ ；

T —人员在相应关注点驻留的居留因子。

◆对于与主屏蔽直接相连的次屏蔽区，属于复合辐射，根据（GBZ/T 201.2-2011）中附录 A2.2 复合辐射，需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。以关注点最高剂量率参考控制水平的一半 $\dot{H}_{c,\max}/2$ 估算屏蔽患者散射辐射所需要的屏蔽厚度，将式11-13中 H_c 以 $0.5H_c$ 代替来估算屏蔽泄漏辐射所需要的屏蔽厚度，选取屏蔽厚度较厚者作为该关注点的屏蔽设计。相应屏蔽下，泄漏辐射和散射辐射在关注点的剂量率之和为该处的剂量控制值。

医院拟配置的加速器 X 线能量分为 6MV、10MV 两档，高剂量率模式 X 射线最大剂量率为 1400cGy/min，常规均整 X 线最大剂量率为 600cGy/min。

当加速器以 10MV，600cGy/min 的技术参数运行时，加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的最高剂量率， $\dot{H}_0=3.6 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ，有用束在混凝土中的什值层 TVL=37cm，TVL_i=41cm；泄漏辐射在混凝土中的什值层 TVL=31cm，TVL_i=35cm。

当加速器以 6MV，1400cGy/min 的技术参数运行时，加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的最高剂量率， $\dot{H}_0=8.4 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ，有用束在混凝土中的什值层 TVL=33cm，TVL_i=37cm；泄漏辐射在混凝土中的什值层 TVL=29cm，TVL_i=34cm。

通过核算，加速器以 10MV，600cGy/min 的技术参数运行时，机房四周屏蔽墙体所需厚度更大，因此本报告以 10MV，600cGy/min 为前提，对屏蔽方案进行核算。

直线加速器投入使用后预计每天最多治疗患者为 30 人，每周工作 5d，平均

每人治疗剂量为 4.5Gy（平均每人每野次治疗剂量 1.5Gy，平均每人治疗照射 3 野次），常规放射治疗下周工作负荷为 675Gy/周，则周治疗照射时间 $t=W/D_0=675/6=112.5\text{min}=1.875\text{h}$ ；调强放射治疗中，对泄漏辐射，周工作负荷为 3375Gy/周（当调强因子 $N=5$ 时），调强下的工作时间 $N \cdot t=9.375\text{h}$ 。X 射线的泄漏率 $\leq 0.1\%$ 。

机房外关注点剂量率参考控制水平见表 11-8。

表 11-8 加速器机房关注点剂量率参考控制水平一览表

关注点位置		射线类型	照射时间 t	使用因子 U	调强因子 N	居留因子 T	H_c ($\mu\text{Sv/周}$)	$\dot{H}_{cd}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	$\dot{H}_{c,max}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	最终取值 ($\mu\text{Sv/h}$)
								计算值		
南墙	a ^① (直线加速器机房)	有用线束	1.875	1/4	/	1/2	100	426.67	10	10
	a ^② (直线加速器机房)	有用线束	1.875	1/4	/	1/2	5	21.33	10	10
	c1 ^① (直线加速器机房) / c2 ^① (直线加速器机房)	患者一次散射辐射	1.875	1/4	/	1/2	100/2	213.33	10/2	5
		泄漏辐射	1.875	/	5	1/2	100/2	10.67	10/2	5
	c1 ^② (直线加速器机房) / c2 ^② (直线加速器机房)	患者一次散射辐射	1.875	1/4	/	1/2	5/2	10.67	10/2	5
		泄漏辐射	1.875	/	5	1/2	5/2	0.53	10/2	0.53
北墙	b (楼梯间)	有用线束	1.875	1/4	/	1/40	5	1000	10	10
	d1 (楼梯间) / d2 (楼梯间)	患者一次散射辐射	1.875	1/4	/	1/40	5/2	213.33	10/2	5
		泄漏辐射	1.875	/	5	1/40	5/2	10.67	10/2	5
西墙	e (土层)	泄漏辐射	1.875	/	5	1/40	5	21.33	10	10
东墙 (迷路外墙)	f (控制室)	泄漏辐射	1.875	/	5	1	100	10.67	2.5	2.5
	g (水冷机房)	泄漏辐射	1.875	/	5	1/20	5	10.67	10	10
	h (设备区)	泄漏辐射	1.875	/	5	1/20	5	10.67	10	10
屋顶	l (CT 控制室)	有用线束	1.875	1/4	/	1	100	213.33	2.5	2.5
	m (男更衣室)	患者一次散射辐射	1.875	1/4	/	1/2	5/2	10.67	10	10
		泄漏辐射	1.875	/	5	1/5	5/2	1.33	10	1.33
防护门外	k	散射、泄漏	1.875	/	5	1/8	5	4.27	10	4.27

注：1、①表示关注点处的辐射工作人员，②表示关注点处的患者。

2、关注点 e 位于土层，其上方为室外绿化带，本报告对土层上方偶然居留的人员剂量进行估算，因此居留因子 T 取 1/40。

③机房屏蔽墙体厚度核算

主屏蔽区仅考虑有用线束，侧屏蔽墙仅考虑泄漏辐射，计算结果与设计厚度进行比较，分析是否满足屏蔽厚度要求。与主屏蔽区相连的次屏蔽区需考虑泄漏辐射和患者一次散射辐射的复合作用，分别计算其所需屏蔽厚度，取较厚者。

有用线束和泄漏辐射屏蔽所需要的透射因子 B 按公式（11-15）计算，散射辐射的透射因子按式（11-16）进行计算，再按公式（11-17）估算所需要的有效屏蔽厚度 X_e (cm)，然后按照公式（11-18）获得屏蔽厚度。

$$B = \frac{\dot{H}_c}{\dot{H}_0} \cdot \frac{R^2}{f} \quad (11-15)$$

$$B = \frac{\dot{H}_c \cdot R_s^2}{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)} \quad (11-16)$$

$$X_e = TVL \cdot \lg B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \quad (11-17)$$

$$X = X_e \cdot \cos \theta \quad (11-18)$$

式中：

B —屏蔽透射因子；

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

$\dot{H}_0$ —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的最高剂量率， $3.6 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；

R —辐射源点至关注点的距离，m；

f —对有用束为 1，对 90° 泄漏辐射为 0.001；

R_s —患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

α_{ph} —与 X 射线的 MV 值及散射角有关，患者 400cm^2 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m（关注点方向）处的剂量比例，又称 400cm^2 面积上的散射因子。

F —治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 。项目治疗最大照射野为 $40\text{cm} \times 40\text{cm}$ ，则 F 取值 1600cm^2 ；

θ —斜射角，即入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角；

TVL_1 、 TVL —辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层；根据

GBZ/T201.2-2011 附录 B 表 B.1 和表 B.4 取值；10MV 加速器有用束在混凝土（ $\rho=2.35\text{g/cm}^3$ ）什值层为 $\text{TVL}_1=41\text{cm}$ ， $\text{TVL}=37\text{cm}$ ；90°泄漏辐射在混凝土中的什值层为 $\text{TVL}_1=35\text{cm}$ ， $\text{TVL}=31\text{cm}$ ；患者散射辐射（按 30°散射角）在混凝土中的什值层为 $\text{TVL}=28\text{cm}$ 。根据附录 B 表 B.2，10MV 加速器有用束在铅板（ $\rho=11.35\text{g/cm}^3$ ）什值层为 $\text{TVL}=5.7\text{cm}$ 。

X_e —有效屏蔽厚度，cm；

X —墙体屏蔽厚度，cm。

表 11-9 加速器治疗模式下机房四周墙体屏蔽厚度核算

关注点点位		距离 (m)	$\dot{H}_c$ ($\mu\text{Sv/h}$)	$\dot{H}_0$ ($\mu\text{Sv/h}$)	B	计算厚度 (砼, cm)		现状屏蔽 (砼, cm)		结论	
加速器 机房	a ^①	5.81	10	3.6×10^8	9.38×10^{-7}	66.31 ^③		6	19.3	66.9 ^③	满足
								41.6			
								6			
	a ^②	5.81	10	3.6×10^8	9.38×10^{-7}	66.31 ^③		6	19.3	66.9 ^③	满足
								41.6			
	c1 ^② / c2 ^①	5.81	散射: 5	3.6×10^8	3.68×10^{-5}	115.71	115.71	140		满足	
		5.81	泄漏: 5	3.6×10^8	4.69×10^{-4}	107.20					
	c1 ^② / c2 ^②	5.81	散射: 5	3.6×10^8	3.68×10^{-5}	115.71	115.71	140		满足	
		5.81	泄漏: 0.53	3.6×10^8	4.97×10^{-5}	81.13					
	b	6.59	10	3.6×10^8	1.21×10^{-6}	222.98		70	170	满足	
								240			
	d1/d2	5.99	散射: 5	3.6×10^8	2.15×10^{-5}	130.68	130.68	170		满足	
	5.99	泄漏: 5	3.6×10^8	4.98×10^{-4}	97.18						
e	7.00	10	3.6×10^8	1.36×10^{-3}	110.04		170		满足		
f	10.65	2.5	3.6×10^8	7.88×10^{-4}	119.09		120		满足		
g	10.78	10	3.6×10^8	3.23×10^{-3}	80.22		120		满足		
h	9.09	10	3.6×10^8	2.30×10^{-3}	87.62		130		满足		
i	6.36	2.5	3.6×10^8	2.81×10^{-7}	72.06 ^④		8	74 ^④	满足		
							53.5				
							6.6				
							5.9				
m		7.17	散射: 10	3.6×10^8	2.64×10^{-4}	68.52	91.44	180		216.9 ^⑤	满足
		7.17	泄漏: 1.33	3.6×10^8	1.90×10^{-4}	91.44		22.2			
								14.69			

注：1、①表示关注点处的辐射工作人员，②表示关注点处的患者。

2、c1/c2 处散射角 34°，散射因子取 10MV 下 30°为 $\alpha_{ph}=3.18 \times 10^{-3}$ ；d1/d2 处散射角 23°，散射因子取 10MV 下 20°为 $\alpha_{ph}=5.79 \times 10^{-3}$ ；m 处散射角 40°，散射因子取 10MV 下 45°为 $\alpha_{ph}=1.35 \times 10^{-3}$ 。

3、“③、④”表示等效为距离辐射源点最近的材料（钢板）的厚度。

③：100mm 铅板等效钢的厚度约 $11 \times 10/5.7=19.3\text{cm}$ ，1400mm 砼等效钢的厚度约 $11 \times 140/37=41.6\text{cm}$ ，因此南墙主屏蔽等效钢的厚度约 66.9cm（简化前，1900mm 砼等效钢的厚度约 $11 \times 190/37=56.5\text{cm}$ ，南墙主屏蔽等效钢的厚度约 81.8cm）。

④：1800mm 砼等效钢的厚度约 $11 \times 180/37=53.5\text{cm}$ ，600mm 土等效钢的厚度约 $11 \times 60/100=6.6\text{cm}$ ，200mm 砼等效钢的厚度约 $11 \times 20/37=5.9\text{cm}$ ，因此屋顶主屏蔽等效钢的

厚度约 74cm。

4、⑤：600mm 土等效砼的厚度约 $37 \times 60 / 100 = 22.2\text{cm}$ ，100mmC15 砼（ $\rho = 1.6\text{g/cm}^3$ ）等效砼（ $\rho = 2.35\text{g/cm}^3$ ）的厚度约 $2.35 \times 10 / 1.6 = 14.69\text{cm}$ ，因此屋顶次屏蔽等效砼的厚度约 216.89cm。

（3）机房防护门屏蔽厚度核算

本项目直线加速器有用线束不向迷路内墙照射，防护门处辐射路径示意图见图11-9，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/T201.2-2011）中4.3.2.5.1，有用线束不向迷路内墙照射时，迷路入口处的辐射剂量率主要考虑以下两方面，本项目选取2个散射路径分别进行核算：

a、人体受有用线束照射时，射线由 O 点散射至迷路内墙 i 点，然后经过二次散射到达 j 点，经过三次散射到达 k 点（ $t1 \rightarrow o \rightarrow i \rightarrow j \rightarrow k$ 照射途径）；或者射线经过二次散射到达 n 点，经过三次散射到达 k 点（ $t1 \rightarrow o \rightarrow i \rightarrow n \rightarrow k$ 照射途径）；

b、加速器泄漏辐射（以偏离 O 的位置 $t1$ 为中心）经迷路内墙屏蔽后在迷路入口 k 处的辐射剂量（ $t1-k$ ）。核算结果应为 k 处的参考控制水平的一个分数（一般小于 1/4）。若此辐射剂量值较高，应增加迷路内墙的屏蔽厚度；

①当散射路径为 $t1 \rightarrow o \rightarrow i \rightarrow j \rightarrow k$ 时，入口 k 处的散射辐射剂量率按公式 11-19 计算。

$$\dot{H}_k = \frac{\alpha_{ph} \cdot F / 400}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A_2}{R_2^2} \cdot \frac{\alpha_3 \cdot A_3}{R_3^2} \cdot \dot{H}_0 \quad (11-19)$$

式中：

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

α_{ph} —患者 400cm² 面积上的散射因子，项目患者散射角按 45°取值，即 α_{ph} 取 1.35×10^{-3} ；

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm²，项目治疗最大照射野为 40cm×40cm，则 F 取值 1600cm²；

α_2 —砼墙入射的患者散射辐射的散射因子，参照 GBZ/T201.2-2011 附录 B 表 B.6，取 45°入射、0°散射、1m² 散射面积（0.5MeV）的散射因子 $\alpha_2 = 22 \times 10^{-3}$ ；

α_3 —砼墙入射的三次散射辐射的散射因子，参照 GBZ/T201.2-2011 附录 B 表 B.6，取 0°入射、75°散射、1m² 散射面积（0.25MeV）的散射因子 $\alpha_3 = 13 \times 10^{-3}$ ；

A_2 、 A_3 —二次散射、三次散射的散射面积，m²，项目分别取 16.28m²、29.78m²

(长(0.37+2.38+1.65m)×高(3.70m); 长(3.17+4.88m)×高(3.70m));

R_1 —等中心点到一次散射的距离, m, 项目取 9.78m;

R_2 —一次散射到迷道口的距离, m, 项目取 7.13m;

R_3 —三次散射点到防护门 0.3m 处的距离, m, 项目取 j-h 的距离, 为 2.91m;

$\dot{H}_0$ —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的最高剂量率, 项目取 $3.6 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$;

经计算, 患者散射至计算点 k 点的辐射剂量率为 $6.55 \mu\text{Sv}/\text{h}$, 患者散射至计算点 j 点的辐射剂量率为 $143.19 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

②当散射路径为 $t1 \rightarrow o \rightarrow i \rightarrow n \rightarrow k$ 时, 入口 k 处的散射辐射剂量率按公式 11-19 计算。

$$\dot{H}_k = \frac{\alpha_{ph} \cdot F/400}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_4 \cdot A_2}{R_4^2} \cdot \frac{\alpha_5 \cdot A_3}{R_5^2} \cdot \dot{H}_0 \quad (11-20)$$

式中:

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

α_4 —砼墙入射的患者散射辐射的散射因子, 参照 GBZ/T201.2-2011 附录 B 表 B.6, 取 45° 入射、 0° 散射、 1m^2 散射面积 (0.5MeV) 的散射因子 $\alpha_4 = 22 \times 10^{-3}$;

α_5 —砼墙入射的三次散射辐射的散射因子, 参照 GBZ/T201.2-2011 附录 B 表 B.6, 取 45° 入射、 0° 散射、 1m^2 散射面积 (0.25MeV) 的散射因子 $\alpha_5 = 36 \times 10^{-3}$;

R_1 —等中心点到一次散射的距离, m, 项目取 9.78m;

R_4 —一次散射到迷道口的距离, m, 项目取 6.23m;

R_5 —三次散射点到防护门 0.3m 处的距离, m, 项目取 n-k 的距离, 为 3.19m;

经计算, 患者散射至计算点 k 点的辐射剂量率为 $13.50 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 。由于散射路径为 $t1 \rightarrow o \rightarrow i \rightarrow n \rightarrow k$ 时, k 点辐射剂量率较大, 因此后续计算中入口 k 处的散射辐射剂量率取 $19.76 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

③泄漏辐射经迷路内墙屏蔽后在 k 处 (t_i-k) 的剂量率按公式 11-21 计算。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad (11-21)$$

式中:

$\dot{H}_0$ —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 100cm 处的最高剂

量率，项目为 $3.6 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；

f —对 90° 泄漏辐射为 0.001。

R —辐射源点至关注点的距离，11.14m；

B —屏蔽透射因子；保守按照迷路内墙厚度 130cm， 90° 泄漏辐射 $\text{TVL}_1=35\text{cm}$ ， $\text{TVL}=31\text{cm}$ ， $B = 10^{-(Xe+\text{TVL}-\text{TVL}_1)/\text{TVL}} = 10^{-(130/\cos 64^\circ+31-35)/31} = 3.65 \times 10^{-10}$ ；

经计算，泄漏辐射经迷路内墙屏蔽后在 k 处的剂量率为 $1.06 \times 10^{-6} \mu\text{Sv/h}$ （小于 $10 \mu\text{Sv/h} \times 1/4 = 2.5 \mu\text{Sv/h}$ ）。

无防护门屏蔽时，机房入口处的剂量率为 $19.76 + 1.06 \times 10^{-6} = 19.76 \mu\text{Sv/h}$ 。

③机房防护门需要的屏蔽透射因子按照公式 11-22 估算：

$$B = \frac{\dot{H}_c - \dot{H}_{tk}}{\dot{H}_k} \quad (11-22)$$

式中：

$\dot{H}_c$ —防护门外辐射剂量率控制水平，取 $4.27 \mu\text{Sv/h}$ ；

$\dot{H}_{tk}$ —泄漏辐射穿过迷路内墙在 k 点的剂量率，经计算为 $1.06 \times 10^{-6} \mu\text{Sv/h}$ ；

$\dot{H}_k$ — k 点的散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ，经计算为 $19.76 \mu\text{Sv/h}$ 。

加速器机房防护门外的剂量率控制水平取 $4.27 \mu\text{Sv/h}$ 时，需要的屏蔽透射因子 $B=0.2161$ ， k 处的散射辐射能量约为 0.2MeV ，铅的 TVL 为 5mm 。相应铅厚度(X)为： $X = \text{TVL} \cdot \log B^{-1} = 3.327\text{mm}$ 。保守考虑，当防护门外辐射剂量率控制水平取 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 时，计算得防护门厚度需要 4.49mmPb 。

④在给定防护门的铅屏蔽厚度 X (cm) 时，防护门外的辐射剂量率按公式 11-23 计算：

$$\dot{H} = \dot{H}_k \cdot 10^{-(X/\text{TVL})} + \dot{H}_{tk} \quad (11-23)$$

本次评价建议加速器机房防护门为 6mmPb ，经计算防护门外 30cm 处的剂量率为 $\dot{H} = 19.76 \times 10^{-(6/5)} + 1.06 \times 10^{-6} = 1.25 \mu\text{Sv/h}$ 。

(4) 屏蔽体外剂量率核算

①机房屏蔽墙体辐射剂量率

根据机房屏蔽墙体的设计厚度，首先按式 (11-24) 估算有效厚度，再按式 (11-25) 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B ；有用线束或泄漏辐射在关注点处的

剂量率按式（11-26）计算；患者一次散射辐射在关注点处的剂量率按式（11-27）计算。

$$X_e = X \cdot \sec\theta \quad (11-24)$$

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1) / TVL} \quad (11-25)$$

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad (11-26)$$

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F / 400)}{R_s^2} \cdot B \quad (11-27)$$

式中：

θ —斜射角，即入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角。

TVL_1 、 TVL —辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层；

$\dot{H}_0$ —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的最高剂量率，项目为 $3.6 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；

R —辐射源点至关注点的距离，m；

B —屏蔽透射因子；

f —对有用束为 1，对 90° 泄漏辐射为 0.001；

α_{ph} —与 X 射线的 MV 值及散射角有关，患者 400cm^2 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m（关注点方向）处的剂量比例；

R_s —患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

F —治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 。项目治疗最大照射野为 $40\text{cm} \times 40\text{cm}$ ，则 F 取值 1600cm^2 。

直线加速器机房屏蔽墙体外周围剂量当量率结果详见表 11-10。设备区（计算点 h）的剂量率需考虑泄漏辐射与患者一次散射辐射至 i 点后二次散射至 j 点并穿过 500mm 混凝土后的剂量率。根据公式 11-13、11-14 计算可得，50cm 混凝土的屏蔽透射因子 $B = 10^{-(50+37-41)/37} = 0.057$ ，经二次散射辐射至 h 点的剂量率 $H = 143.19 \times 0.057 = 8.16 \mu\text{Sv}/\text{h}$ ，低于 h 点剂量率参考控制水平 $10 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

表 11-10 加速器机房屏蔽墙体周围剂量当量率估算结果

关注点点位	墙体厚度 (cm)	θ (°)	有效厚度 (cm)	透射因子 B	距离 (m)	f	α_{ph}	关注点剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	控制值 ($\mu\text{Sv/h}$)	结论
a ^① (直线加速器机房)	66.9 ^④	0	66.9	8.28×10^{-7} ^④	5.81	1	/	8.833	10	满足
a ^② (直线加速器机房)	66.9 ^④	0	66.9	8.28×10^{-7} ^④	5.81	1	/	8.833	10	满足
c1 ^① (直线加速器机房) / c2 ^① (直线加速器机房)	140	34 ^③	168.87	散射: 9.31×10^{-7} 泄漏: 4.80×10^{-6}	5.81	0.001	3.18×10^{-3}	散射: 0.126 泄漏: 5.12×10^{-2} 合计: 0.175	5	满足
c1 ^② (直线加速器机房) / c2 ^② (直线加速器机房)	140	34 ^③	168.87	散射: 9.31×10^{-7} 泄漏: 4.80×10^{-6}	5.81	0.001	3.18×10^{-3}	散射: 0.126 泄漏: 5.12×10^{-2} 合计: 0.175	0.53	满足
b(楼梯间)	240	0	240	2.44×10^{-8}	6.59	1	/	0.200	10	满足
d1(楼梯间) /d2(楼梯间)	170	24 ^③	186.09	散射: 2.68×10^{-9} 泄漏: 1.20×10^{-5}	5.99	0.001	5.79×10^{-3}	散射: 6.23×10^{-4} 泄漏: 0.120 合计: 0.125	5	满足
e(土层)	170	0	170	4.42×10^{-6}	7.00	0.001	/	3.25×10^{-2}	10	满足
f(控制室)	120	0	120	1.81×10^{-4}	10.65	0.001	/	0.515	2.5	满足
g(水冷机房)	120	9	121.50	1.62×10^{-4}	10.78	0.001	/	0.502	10	满足

h (设备区)	130	64	387.80	4.16×10^{-13}	9.09	0.001	/	1.81×10^{-9}	10	满足
l (CT 控制室)	74 ^④	0	74	1.87×10^{-7②}	6.36	1	/	1.67	2.5	满足
m (男更衣室)	216.9	40 ^③	283.14	散射: 8.48×10^{-7} 泄漏: 9.89×10^{-10}	7.17	0.001	1.35×10^{-3}	散射: 3.21×10^{-2} 泄漏: 6.93×10^{-6} 合计: 3.21×10^{-2}	1.33	满足

注: 1、①表示关注点处的辐射工作人员, ②表示关注点处的患者。

2、③表示: c1/c2 处散射角 34° , 散射因子取 10MV 下 30° 为 $\alpha_{ph}=3.18 \times 10^{-3}$; d1/d2 处散射角 24° , 散射因子取 10MV 下 20° 为 $\alpha_{ph}=5.79 \times 10^{-3}$; m 处散射角 40° , 散射因子取 10MV 下 45° 为 $\alpha_{ph}=1.35 \times 10^{-3}$ 。

3、④表示: 墙体厚度为等效为钢的厚度, B 是等效为钢的厚度后相应的透射因子。

(5) 个人剂量估算

辐射工作人员与公众所照射的辐射年剂量按下式计算：

$$H = t \cdot T \cdot \dot{H} \cdot U \times 10^{-3} \quad (11-28)$$

式中：

H—辐射工作人员与公众受照射的辐射年剂量，mSv/a；

t—受照射时间（h）；

T—居留因子，参照 HJ1198-2021 附录 A 表 A.1 取值；

$\dot{H}$ —关注点的周围剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

U—使用因子。

本次评价按照最不利情况估算年受照剂量，计算结果见表 11-11。

表 11-11 加速器辐射工作人员及公众年受照剂量估算结果

关注点点位	最大辐射剂量率($\mu\text{Sv/h}$)	年工作时间h	居留因子T	使用因子U	年受照剂量(mSv)	约束限制
a ^① （直线加速器机房）	0.39 ^③	93.75	1/2	1/4	4.58×10^{-3} ^③	5mSv/a
a ^② （直线加速器机房）	0.39 ^③	93.75	1/2	1/4	4.58×10^{-3} ^③	0.1mSv/a
c1 ^④ （直线加速器机房）/c2 ^① （直线加速器机房）	散射：0.126	93.75	1/2	1/4	1.48×10^{-3}	5mSv/a
	泄漏：5.12 $\times 10^{-2}$	468.75	1/2	1	1.20×10^{-2}	
c1 ^② （直线加速器机房）/c2 ^② （直线加速器机房）	散射：0.126	93.75	1/2	1/4	1.48×10^{-3}	1.35 $\times 10^{-2}$
	泄漏：5.12 $\times 10^{-2}$	468.75	1/2	1	1.20×10^{-2}	
b（楼梯间）	0.202	93.75	1/40	1/4	1.18×10^{-4}	0.1mSv/a
d1（楼梯间）/d2（楼梯间）	散射：6.23 $\times 10^{-4}$	93.75	1/40	1/4	3.65×10^{-7}	1.41 $\times 10^{-3}$
	泄漏：0.120	468.75	1/40	1	1.41×10^{-3}	
e（土层）	3.24×10^{-2}	468.75	/	/	/	/ ^④
f（控制室）	0.575	468.75	1	1	0.27	5mSv/a
g（水冷机房）	0.502	468.75	1/20	1	1.18×10^{-2}	0.1mSv/a
h（设备区）	1.81×10^{-9}	468.75	1/20	1	4.25×10^{-11}	0.1mSv/a
l（CT 控制室）	1.67	93.75	1	1/4	3.91×10^{-2}	5mSv/a
m（男更衣室）	散射：6.93 $\times 10^{-6}$	93.75	1/5	1/4	1.50×10^{-4}	0.1mSv/a
	泄漏：0.032	468.75	1/5	1	6.50×10^{-7}	0.1mSv/a
h（防护门外）	1.25	468.75	1/8	1	7.30×10^{-2}	0.1mSv/a

注：1、①表示关注点处的辐射工作人员，②表示关注点处的患者。

2、③关注点a是在简化后的平面图中选取的，表11-10中计算得到关注点a处剂量率约8.83 μ Sv/h。但加速器机房南墙主屏蔽的实际屏蔽措施比评价中简化的屏蔽措施多500mm混凝土，主屏蔽实际等效钢的厚度约81.8cm，表11-11计算得到关注点a处实际剂量率约0.39 μ Sv/h，此处公众的年受照剂量约4.58 $\times 10^{-3}$ mSv/a。

3、④土层处人员不可能到达，未计算年附加有效剂量。

根据表 11-11 可知，加速器运行所致本项目辐射工作人员最大附加有效剂量为0.27mSv，叠加本项目辐射工作人员近一年度最大个人剂量当量值0.35mSv后，工作人员所受年剂量值约0.62mSv；机房周围其他辐射工作人员的年有效剂量叠加近一年度辐射工作人员最大个人剂量当量值0.35mSv后，其他辐射工作人员所受最大年剂量值约0.35mSv，公众年最大附加有效剂量为7.30 $\times 10^{-3}$ mSv。因此，工作人员与公众最大附加有效剂量均低于项目剂量约束值（工作人员不超过5mSv/a，公众人员不超过0.1mSv/a），满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）相关要求。

本次对直线加速器机房四周关注点的年有效剂量均进行了计算，对于表7-1中所列其他环境保护目标，由于距本项目的距离更远，考虑射线源随距离的平方成反比衰减关系和其他功能房间屏蔽体的阻隔，人员停留位置处剂量率将更低，因此，其他环境保护目标处受照射剂量均低于0.1mSv。因此本项目直线加速器投入使用后对评价范围内环境保护目标环境的影响满足评价标准要求。

（6）非放射废气影响分析

①臭氧

依据《辐射所致臭氧的估算与分析》（中华放射医学与防护杂志 VoL14, 2, P101, 1994）及《辐射防护手册》中的公式，估算辐射所致臭氧的产额和浓度。

1）有用线束的臭氧产额

有用射线束所致的臭氧产额计算公式如下：

$$P_1=2.43D_0(1-\cos\theta)RG \quad (11-29)$$

式中：

P_1 —有用线束的臭氧产额，mg/h；

D_0 —辐射有用线束在距1m处的输出量，Gy/min，本项目取14Gy/min；

R —射线束中心点到屏蔽物（墙）的距离，m，直线加速器机房取2.89m；

G —空气吸收100eV辐射能量产生的臭氧分子数，文献估算时取值为10；

θ —有用束的半张角，项目取 $+14^\circ$ 或 -14° 。

2) 泄漏辐射的臭氧产额

将泄漏辐射看成为 4π 方向均匀分布的点源（包括有用束区限定的空间区），并考虑加速器机房墙壁的散射线使室内的 O_3 产额增加 10%， O_3 的产额 $P_2(\text{mg/h})$ 计算公式如下：

$$P_2=3.32\times 10^{-3}D_0GV^{1/3} \quad (11-30)$$

式中：

P_2 —泄漏辐射的臭氧的产额；

D_0 —辐射有用线束在距 1m 处的输出量，Gy/min，项目取 14Gy/min；

G —空气吸收 100eV 辐射能量产生的臭氧分子数，文献估算时取值为 10；

V —加速器治疗机房容积（含迷道），直线加速器机房取值均为 295.08m^3 （面积约 79.75m^2 ，高度 3.7m ）。

经计算，直线加速器机房有用线束的臭氧产额为 $P_1=29.20\text{mg/h}$ ，泄漏辐射的臭氧产额 $P_2=3.09\text{mg/h}$ ，则臭氧产额合计为 32.30mg/h 。直线加速器考虑泄漏辐射调强治疗下年出束时间 468.75h，则直线加速器机房臭氧的年产生量为 15.14g/a 。

3) 臭氧浓度

项目机房内产生的臭氧一部分由动力排风装置排到室外，另一部分自然分解。如果辐照时间很短（ $t \ll T$ ），则机房内臭氧的平均浓度估算公式如下：

$$Q=\frac{Q_0t}{V} \quad (11-31)$$

式中：

Q —加速器治疗室内 O_3 平衡浓度， mg/m^3 ；

Q_0 — O_3 的化学产额， mg/h ，经上文计算，直线加速器臭氧产额为 32.30mg/h ；

t —照射时间，h；

V —治疗室体积， m^3 ；

有效清除时间 T 由下式计算：

$$T=\frac{T_v \bullet T_d}{T_v+T_d} \quad \dots\dots (11-32)$$

式中：

T_d —臭氧的有效分解时间，取 0.83h ；

T_v —换气一次所需时间，按照 HJ1198-2021，通风换气次数应不小于 4 次/h，直线加速器机房容积（含迷路）均为 295.08m³，机房南墙设置两个排风口，总风量为 1800m³/h，则 T_v 约为 0.16h/次。经计算，有效清除时间 T 为 0.14h。

加速器单次治疗时间最大为 $t=4.5\text{Gy} \div 6\text{Gy/min}=0.75\text{min}=0.0125\text{h}$ ，小于有效清除时间，代入公式 $Q=Q_0t/V$ 计算出直线加速器机房在正常排风时的臭氧浓度为 $1.37 \times 10^{-3}\text{mg/m}^3$ ，低于《工作场所有害因素职业接触限值-化学有害因素》（GBZ2.1-2019）标准限值（0.3mg/m³）。

②氮氧化物

在多种氮氧化物（NO_x）中，以 NO₂ 为主，其产额约为 O₃ 的一半，工作场所中 NO₂ 的限值（5mg/m³）大于 O₃ 的限值。因而，工作场所中 O₃ 浓度达到《工作场所有害因素职业接触限值-第一部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）要求时，NO_x 的浓度也会满足要求。

直线加速器机房产生的臭氧和氮氧化物等有害气体经排风管道引至所在多层建筑屋面，排气口周围无门、窗或人流较大的过道。

直线加速器机房体积约 295.08m³（含迷道），机房设置两个排风口，总排风量为 1800m³/h，机房通风换气次数约为 6.1 次/h。因此，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中机房换气次数不小于 4 次/h 的要求。

综上所述，项目产生的臭氧和氮氧化物等对周围大气环境的影响极小。

11.3 事故影响分析

依据《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）第四十条规定：根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级。

特别重大辐射事故，是指 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，是指 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，是指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，是指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。

11.3.1 陀螺刀

1、可能发生的辐射事故

本项目陀螺刀内配备的 ^{60}Co 放射源（最大装源活度为 $3.145 \times 10^{14}\text{Bq}$ ）为Ⅰ类放射源（集束源）。医院在开展放射治疗和诊断过程中，如果安全管理或防护不当，可能对人员产生误照射。本项目陀螺刀可能发生的辐射事故主要包括：

- （1）调试及维修阶段公众误入机房；
- （2）运营期公众误入正在运行的陀螺刀机房；
- （3）其他医护人员还未全部撤离机房，即进行出源，人员受到不必要的照射；
- （4）在防护门未关闭的情况下即进行出源操作，可能给工作人员和周围活动的人员造成不必要的照射；
- （5）陀螺刀换装源过程和治疗过程中出现放射源卡源事故，导致放射源裸露在外界；
- （6）放射源丢失或被盗。

出现上述（1）～（5）类辐射事故时，如处理或发现不及时，则会导致超剂量照射，从而造成一般辐射事故，如长时间未发现，给人员造成急性重度放射病、局部器官残疾，则会升级为较大或者重大辐射事故。

如果放射源丢失被盗，则会造成重大辐射事故，如果造成大范围辐射污染或者失控导致3人以上（含3人）急性死亡，则会升级为特别重大辐射事故。因此，建设单位应特别重视设备的维护和管理，杜绝上述辐射事故发生。

2、事故分析

（1）本项目陀螺刀所使用的放射源为 ^{60}Co ，属于Ⅰ类放射源（集束源）。根据《放射源分类办法》（国家环保总局，公告2005年第62号）中放射源分类原则，Ⅰ类放射源为极高危险源，没有防护情况下，接触这类源几分钟到1小时就可致人死亡。因此本项目拟使用的 ^{60}Co 若发生丢失、被盗，可造成1名或多名

公众在没有防护情况下近距离接触致其永久性损伤甚至死亡。依据《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）第四十条规定，属于较大辐射事故。

（2）紧急状况下的手动关源：

本项目陀螺刀卡源和传统的 ^{60}Co 治疗机的卡源不同，本项目陀螺刀在安装好以后位置即固定，不会出现单个或者几个源卡住现象，但有可能出现陀螺刀同轴旋转的准直体和源体不能回归零位，即治疗结束后源始终处于照射状态的现象。当电控关源系统失效时，本项目陀螺刀的主机备有手动装置，可帮助完成手动关源。

经核实，手动关源由设备厂家进行操作，医院的辐射工作人员需要在事故发生后立即用控制室的手动系统将源摇回准直体屏蔽位置（可不必进入治疗机房），若手摇也无法将源回归零位，则辐射工作人员（需 2 名）在佩戴个人剂量报警仪、个人剂量计，携带辐射巡测仪的情况下，应迅速进入治疗机房将病人撤离，然后手动将屏蔽门关闭，等待设备厂家的工作人员前来手动关源并修理设备。

本项目陀螺刀带有防泄漏屏蔽体（等效于 150mm 厚的 ^{238}U ）与自屏蔽体（190mm 厚度的铅材料），当源处于照射状态时，辐射工作人员与厂家工作人员进入陀螺刀机房可能造成辐射剂量增加，但只要合理控制现场处理的时间则影响在可接受范围内。

当陀螺刀在治疗过程中出现电控关源系统失效事故时，距等中心 1m 出 γ 射线的最大周围剂量当量率按 $2.0 \times 10^4 \mu\text{Sv/h}$ 计，则在与焦点不同距离上 γ 射线剂量率可由公式 11-33 估算。

$$H = 2.0 \times 10^4 \mu\text{Sv/h} / R^2 \quad (11-33)$$

式中：

H：距陀螺刀源点处的 X 射线的吸收剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）；

R：估算点与陀螺刀源点的距离，m。

根据公式 11-32，将与放射源不同距离的 γ 射线吸收剂量的估算结果列于表 11-12。

表 11-12 事故情况下误入人员受到的吸收剂量率估算结果

风险因子 (γ 射线)	与焦点距离 (m)	吸收剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
	0.5	80000
	1	20000
	1.5	8888.89
	2	5000
	3	2222.22
	5	800
	10	200

当放射源处于裸源状态时，人员近距离接触放射源将产生超剂量辐射，能导致脱发，会严重损害人体血液内的细胞组织，造成白血球减少，引起血液系统疾病，如再生性障碍性贫血症，严重的会使人患上白血病（血癌），根据《放射源同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院第 449 号）本项目陀螺刀可能发生的辐射事故为较大辐射事故。

3、采取的预防措施

针对以上突发事件，本次环评提出以下风险防范措施：

（1）陀螺刀具有紧急停机按钮，当设备出现错误或故障时，能中断照射，并有相应故障显示；医院应对从事辐射的操作人员进行定期培训，进行考核，考核不合格的，不得上岗。加强设备运行管理，使放射源的安全管理制度规范化和制度化。

（2）机房设置了门灯联锁、门机联锁、辐照时间联锁、紧急开关联锁、掉电联锁等措施，防护门外醒目位置设置电离辐射警告标志；

（3）必须按操作规程并经控制台确认验证设置无误时，才能由“启动”键启动照射；

（4）操作医生需确认治疗室内无其他闲杂人等、铅防护门正常关闭之后才能开启曝光；

（5）在控制室和治疗室之间安装有摄像监控、对讲系统，控制室能通过摄像监视治疗室内患者治疗情况，并通过对讲机与室内人员联系；

（6）换装源过程主要由放射源生产厂家来完成，建设单位负责协助工作。在换装源过程中如果操作不当，出现源包壳损坏等状况时亦会对周围环境产生不

利影响。在操作过程中严格按照辐射防护要求操作；

(7) 设备配有可供电 30 分钟的不间断电源，可保证治疗的正常运行和治疗完整性；治疗过程中网电源中断时，计算机检测到此信号，UPS 电源对本机进行供电，可保证完成治疗及陀螺刀的正常运行；

(8) 当机器使用时间较长或因外力使源包壳出现破损时，会发生放射源泄漏事件。日常工作中，在保持设备日常检查并用巡测仪等仪器对治疗机房周围剂量进行监测的情况下，此类事件发生几率较低；

(9) 为防止计算机因某种原因死机，而放射源又没有回到贮存位置，工作人员可立即用控制室的手动系统将源摇回准直体屏蔽位置，人员可不必进入治疗机房，若手摇也无法将源回归零位，则工作人员须迅速进入治疗机房将病人撤离然后手动将屏蔽门关闭，再找专业人员或厂家修理，这种事故下工作人员进入治疗机房可能造成辐射剂量增加，但只要合理控制现场处理的时间则相对影响很小；

(10) 本项目涉及的放射源在陀螺刀治疗头内，在没有专业人员和专业工具的情况下无法卸载，发生放射源被盗、丢失事故的概率很低。一旦发现放射源被盗或丢失，将会对周用环境产生不可估量的影响。在日常工作中，应有专人负责设备管理，非辐射工作人员及患者禁止进入治疗机房，并做好设备的日常检查。放射源被盗或丢失事件发生的几率相对很小，而一旦发生，则应立即启动事故应急预案。

11.3.2 电子直线加速器

1、可能发生的辐射事故

(1) 医用电子直线加速器的安全联锁系统失效，在机房内部有放射工作人员停留，或者病人家属在防护门关闭后尚未撤离，或者机房防护门未关闭的情况下启动出束。

(2) 放射工作人员对医用电子直线加速器进行误操作或医用电子直线加速器出现故障，导致出束剂量超过放射治疗要求。

(3) 医用电子直线加速器所在房间的局部屏蔽防护遭受损坏，导致射线泄漏，机房外部辐射剂量率超标。

依据《射线装置分类》（环境保护部、国家卫计委，公告2017年第66号）附件中射线装置分类的规定，本项目直线加速器属于Ⅱ类射线装置，当设备关机时

不会产生X射线，不存在影响辐射环境质量事故，只有当设备开机时才会产生X射线等危害因素，因此直线加速器可能发生的辐射事故等级为一般辐射事故。

2、事故分析

本项目直线加速器当以 10MV 的 X 线能量运行时，主射束 1m 处最高剂量率为 6Gy/min；当以 6MV 的 X 线能量运行时，主射束 1m 处最高剂量率为 14Gy/min。在对病人开机治疗时，若出现人员误入、误留治疗室，则相关人员均会受到不同程度的辐射影响。本次评价按照环境影响评价最不利原则，分别估算患者家属位于治疗室的不同位置时，一次治疗所受到的剂量（保守以两种技术参数下最大剂量率出束、考虑到平均每人每次治疗剂量 4.5Gy，则一次治疗照射时间分别为 $4.5/6 \times 60 = 45s$ ， $4.5/14 \times 60 = 19.3s$ ）和受照达到年有效剂量限值（公众人员不超过 1mSv/a）的时间下限，以及公众成员位于迷路内入口，和防护门外 30cm 时，一次治疗所受到的剂量。

有用线束方向和泄漏辐射的剂量率按式（11-34）估算，在非有用线束方向受到散射辐射剂量率按式（11-35）计算：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \quad (11-34)$$

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \quad (11-35)$$

式中：

$\dot{H}_0$ —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的最高剂量率，6Gy/min；

f —对有用束为 1，对 90°泄漏辐射为 0.001；

R —辐射源点至关注点的距离，m； $R^2 = (l^2 + R_s^2)$ ；

α_{ph} —患者 400cm² 面积上的散射因子，10MV 加速器取 90° 散射角对应的值，为 3.81×10^{-4} ；6MV 加速器取 90° 散射角对应的值，为 4.26×10^{-4} ；

R_s —患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

F —治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm²。项目治疗最大照射野为 40cm×40cm，则 F 取值 1600cm²。

根据公式 11-34、式 11-35，主束方向、非有用线束方向不同距离不同受照时

间所致人员剂量见表 11-13。

表 11-13 不同照射方向人员滞留机房内受照剂量限值估算表

估算点		吸收剂量率 (mSv/min)	1 次治疗所受剂量 (mSv)
X 线能量: 10MV	有用线束方向, 距靶点 1m 处	6000	4500
	非有用线束方向, 距等中心 1.0m 处	12.14	9.11
	迷路内入口处, 距等中心约 6.5m 处	0.36	0.27
X 线能量: 6MV	有用线束方向, 距靶点 1m 处	14000	4500
	非有用线束方向, 距等中心 1.0m 处	30.86	9.92
	迷路内入口处, 距等中心约 6.5m 处	0.89	0.28

注: 直线加速器一次治疗人员所受剂量均为 4.5Gy。

根据表 11-1 可知, 在设备出束治疗期间, 若出现人员误留治疗室的情况, 人员处于非主束方向受到泄漏辐射和散射辐射照射剂量在一次治疗中最低为 0.27mSv; 防护门未关闭情况下, 公众位于直线加速器防护门处的辐射剂量率根据前文计算结果为 19.76 μ Sv/h, 计算可得相关人员在直线加速器一次治疗中受到的剂量为 2.47×10^{-4} mSv。

综上所述, 当出现人员误入、误留治疗机房时, 相关人员所受剂量较高, 会发生一般辐射事故, 因此医院应加强管理, 杜绝人员误入、误留治疗机房, 当出现上述事故时, 医院应及时启动应急预案, 并根据应急预案的程序及时报告主管部门。

3、采取的预防措施

针对以上突发事故, 本次环评提出以下风险防范措施:

(1) 医院应按操作规程定期对各个连锁装置进行检查, 发现故障及时清除, 严禁在门-机、门-灯连锁装置失效的情况下违规操作; 通过故障报警系统及时发现故障, 及时修复。

(2) 放射工作人员应在开机运行前认真检查机房内人员情况, 除病人外, 一律不得停留。待确认无误后, 方可进行下一步操作。

(3) 放射工作人员须加强专业知识学习, 加强防护知识培训; 加强职业道

德修养，增强责任感，严格遵守操作规程和规章制度；管理人员应强化管理，落实安全责任制，经常督促检查。

（4）医院在采购加速器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；在维护和维修时，决不可擅自解除联锁系统。

（5）医院应保证电子直线加速器紧急停机按钮、设备控制台紧急停机按钮以及机房内的紧急开门装置、紧急停机按钮、固定式剂量报警仪正常工作，同时应确保放射工作人员做好定期辐射巡测工作，熟知相关辐射事故应急措施，在辐射事故发生后及时上报、估算意外照射剂量，并将受意外照射人员及时送医。

11.4 辐射环境影响评价

长安医院本项目正常运行时，工作场所采取相应辐射屏蔽措施后，项目对周边的辐射环境影响满足相关标准限值要求；项目正常运行所致工作人员、公众年附加有效剂量分别满足本次评价 5mSv、0.1mSv 剂量约束值要求；陀螺刀机房与直线加速器机房选址可行、平面布置基本合理。评价认为：长安医院有限公司陀螺刀及直线加速器核技术利用项目，对周围环境的辐射影响在可接受范围之内。

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

为了保证辐射防护措施得到有效落实,指导和督促从事放射活动的人员做好辐射安全和放射防护工作,医院按照《中华人民共和国环境保护法》《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》《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等要求,成立了辐射安全与环境保护管理领导小组,并以正式文件(长院发〔2023〕25号)明确了管理领导小组成员以及相关工作职责。

辐射安全与环境保护管理领导小组主要职责如下:

- (1) 认真贯彻执行国家放射性同位素的法律法规,接受国家和地方环境保护部门、公安部门和卫生部门的监督与检查。
- (2) 对我医院的辐射安全与环境保护管理负全责。
- (3) 制定和监督实施医院的辐射安全与环境保护管理制度。
- (4) 制定医院辐射事故应急预案,负责辐射事故应急预案的日常演练和辐射事故处置。
- (5) 每年定期召开环保专题工作会议,研究部署解决辐射安全与环境保护工作中存在的问题。
- (6) 定期安排辐射安全与环境保护管理专项检查,督促放射工作人员认真执行辐射安全与环境保护管理,消除各种辐射安全与环境保护隐患。
- (7) 发生辐射事故,按职能进行指挥、协调、处理,防止事故蔓延扩大,将放射性伤害和损失降低到最低限度。
- (8) 对发生的事故按照“四不放过”原则组织调查处理,落实防范措施。

12.2 辐射安全管理规章制度

12.2.1 辐射安全管理制度

根据《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》的通知(陕环办发〔2018〕29号)相关规定,长安医院已制定了一系列辐射安全管理制度,并认真落实各项规章制度,对规范辐射工作的正常运行、防止放射事故发生、保障辐射工作人员与公众健康与安全会起到积极作用。

医院已制定了一系列辐射防护管理规章制度，包括：《放射治疗室放射源安全管理防护制度》《放射治疗科放射防护管理制度》《放射安全防护及应急措施》《长安医院放疗科放射性事故应急预案及处置措施》《放疗科停电和突然停电应急预案及流程》《治疗中患者出现意外应急预案及处置措施》《患者治疗中机器出现故障应急预案》《防护门发生意外的应急预案及处置措施》《放射治疗意外应急预案》《放射意外事故应急预案演练》《辐射防护制度》《辐射工作人员岗位职责》《医学装备质量管理制度》《放射工作人员培训教育管理制度》《医学影像科基本工作制度》《影像质量控制标准（X线、CT、MRI）》《放射治疗管理规定》《放疗科设备工程技术人员培训制度》《放疗科治疗质量控制制度》《放射治疗质量保证（QA）质量控制（QC）管理制度》《放疗科设备操作工作制度》《放疗科设备维修检修制度》《放疗科工作人员和放疗患者辐射安全防护制度》《医学装备使用人员培训和考核制度》《个人剂量监测管理制度》《放射安全防护制度》《放射工作人员职业健康检查制度》等，并在工作中予以贯彻落实。另外，医院还应制定相应的射线装置操作规程、辐射工作场所监测计划，以及全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度等，确保核技术利用项目的有序管理和安全运行。

12.2.2 人员管理

（1）本项目安排的 14 名辐射工作人员均由医院统一调配，目前 14 人已参加辐射安全和防护知识教育培训，并取得合格证书。

（2）2023 年 5 月至 2023 年 12 月，医院共 76 名辐射工作人员在核工业四一七医院进行了职业健康检查，建立了职业健康体检报告档案并存档。

根据医院提供的体检报告单，3 人（张霄娜、高江波、景彩婷）血红蛋白减少，建议复查血常规（1 月内复查 2 次，2 次间隔 7 天左右）。经核实，张霄娜、高江波已于 2024 年 2 月 7 日复查血常规，血红蛋白处于正常水平；景彩婷为医院口腔科护士，目前未收到其血常规复查结果。医院其余辐射工作人员体检结果显示“可继续原放射工作”。

（3）医院已为辐射工作人员配备了个人剂量计，并委托有资质的单位（陕西新高科辐射技术有限公司）对其进行个人剂量监测，根据医院提供的 2023 年 1-12 月个人剂量监测报告（报告编号：第 14918-2301-140002 号、第

14918-2302-140006 号、第 14918-2303-140010 号与第 14918-2304-140015 号），辐射工作人员吉皓维连续四个季度的累积剂量为 2.23mSv，是辐射工作人员连续四个季度累计剂量的最大值，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的职业照射年有效剂量不大于 5mSv 限值要求。

12.2.3 辐射安全管理标准化建设

根据《陕西省环境保护厅办公室关于印发新修订的<陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表>的通知》（陕环办发〔2018〕29 号）的相关要求，核技术利用单位应进行辐射安全管理标准化建设。

医院现有的辐射安全管理与标准化建设的具体要求对照情况见表 12-1。

表 12-1 辐射安全管理标准化建设项目表（二）—辐射安全管理部分

管理内容		管理要求	有/无
人员管理	决策层	就确保辐射安全目标做出明确的文字承诺，并指派有决策层级的负责人分管辐射安全工作。	有
		年初工作安排和年终工作总结时，应包含辐射环境安全管理工作内容。	有
		明确辐射安全管理部门和岗位的辐射安全职责。	有
		提供确保辐射安全所需的人力资源及物质保障。	有
	辐射防护负责人	参加辐射安全与防护培训并通过考核取得合格证，持证上岗；熟知辐射安全法律法规及相关标准的具体要求，向员工和公众宣传辐射安全相关知识。	有
		负责编制辐射安全年度评估报告，并于每年1月31日前向发证机关提交上一年度评估报告。	有
		建立健全辐射安全管理制度，跟踪落实各岗位辐射安全职责。	有
		建立辐射环境安全管理档案。	有
		对辐射工作场所定期巡查，发现安全隐患及时整改，并有巡查及整改记录。	有
	直接从事放射工作的作业人员	岗前进行职业健康体检，结果无异常。	有
		参加辐射安全与防护培训并通过考核取得合格证，持证上岗。	有
		了解本岗位工作性质，熟悉本岗位辐射安全职责，并对确保岗位辐射安全做出承诺。	有
		熟悉辐射事故应急预案的内容，发生异常情况时，能有效处理。	有
机构建设	设立辐射环境安全管理机构和专（兼）职人员，以正式文件明确辐射环境安全管理机构和负责人。	有	
制度建立	建立全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度，指定专人负责系统使用和维护，确保业务申报、信息更新真实、准确、及时、完整。	有	

与执行	建立放射性同位素与射线装置管理制度，严格执行进出口、转让、转移、收贮等相关规定，并建立放射性同位素、射线装置台账。	有
	建立本单位放射性同位素与射线装置岗位职责、操作规程，严格按照规程进行操作，并对规程执行情况进行检查考核，建立检查记录档案。	有
	建立辐射工作人员培训管理制度及培训计划，并对制度的执行情况及培训的有效性进行检查考核，建立相关检查考核资料档案。	有
	建立辐射工作人员个人剂量管理制度，每季度对辐射工作人员进行个人剂量监测，对剂量超标人员分析原因并及时报告相关部门，保证个人剂量监测档案的连续有效性。	有
	建立辐射工作人员职业健康体检管理制度，定期对辐射工作人员进行职业健康体检，对体检异常人员及时复查，保证职业人员健康监护档案的连续有效性。	有
	建立辐射安全防护设施的维护与维修制度（包括维护维修内容与频次、重大问题管理措施、重新运行审批级别等），建立维护与维修工作记录档案（包括检查项目、检查方法、检查结果、处理情况、检查人员、检查时间）。	有
	建立辐射环境监测制度，定期对辐射工作场所及周围环境进行监测，并建立有效的监测记录或监测报告档案。	有
	建立辐射环境监测设备使用与检定管理制度，定期对监测仪器设备进行检定，并建立检定档案。	有
*应急管理	结合单位实际，制定可操作性的辐射事故应急预案，定期进行应急演练。	有，需要完善
	辐射事故应急预案应报所在地县级环境保护行政主管部门备案。应急预案应当包括下列内容：①可能发生的辐射事故及危害程度分析；②应急组织指挥体系和职责分工；③应急人员培训和应急物资准备；④辐射事故应急响应措施；⑤辐射事故报告和处理程序。	有，需要完善

根据表 12-1 可知，医院现有的辐射安全管理制度基本满足陕环办发（2018）29 号相关要求，但辐射事故应急预案内容应根据本项目新增的陀螺刀机房，补充可能发生的辐射事故，完善应急响应措施，环评要求医院进一步完善并细化现有辐射事故应急预案并加强演练。

12.3 辐射监测

根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）D.4测量仪器的要求：周围剂量当量率检测设备应使用在检定或校准周期范围内的 γ 和中子剂量率检测。探测下限应不大于 $0.1\mu\text{Sv/h}$ 。医院现有1台陕西卫峰核电子有限公司制造的WF-PRM-102型便携式 γ 剂量率仪，用于医院X射线工作场所放射防护的自主检测，并配备有卫峰仪器制造的EPM02型个人剂量报警仪，医院于2023年5月将上述2台设备送至中国测试技术研究院进行校准，已取得校准证书并存档，2台设备的测量下限均符合规范要求。

医院每年委托有资质单位对辐射工作场所进行一次定期监测，并按时向生态

环境主管部门提交医院的放射同位素与射线装置的安全和防护状况评估报告。医院为现有放射工作人员均配备了个人剂量计，并委托有资质单位每季度对放射工作人员进行个人剂量检测并存档。

项目建成后，医院应定期对本项目辐射工作场所进行监测，监测要求如下：

(1) 辐射工作场所环境监测：a、项目建成后委托有资质的单位对其进行竣工环境保护验收监测，及时组织竣工环境保护验收工作；b、委托有资质单位对本项目辐射工作场所进行监测，监测频次不小于1次/年，监测结果应详细记录并存档；c、利用自主检测设备定期对机房周边环境进行巡检，若发现异常情况，应立即采取应急措施，停止放射工作，并查找原因；d、将本项目辐射工作场所的检测 results 纳入医院辐射安全和防护状况评估报告中，并在每年1月31日之前上报发证机关。

(2) 个人剂量监测：a、项目涉及的放射工作人员应配备个人剂量计，每季度委托具有资质的个人剂量监测技术服务机构进行监测，建立个人剂量检测档案；b、在每年的辐射安全和防护状况评估报告中，应包含放射工作人员个人剂量检测数据及安全评估的内容。

项目辐射监测计划见表12-2。

表 12-2 项目辐射监测计划

位置	监测内容	监测点位	监测因子	监测频次
陀螺刀 机房	防护检测	四周屏蔽墙外30cm处、机房楼上30cm处、控制室、防护门外30cm处、电缆沟、 管线洞口	γ 辐射剂量率	每月自测一次，委托有资质单位每年监测一次
	个人剂量监测	放射工作人员 个人剂量计	个人累积剂量	委托有资质单位每季度监测一次
直线加 速器机 房	防护检测	四周屏蔽墙外30cm处、机房楼上30cm处、控制室、防护门外30cm处、电缆沟、 管线洞口	X- γ 辐射剂量率	每月自测一次，委托有资质单位每年监测一次
	个人剂量监测	放射工作人员 个人剂量计	个人累计剂量	委托有资质单位每季度监测一次

根据 HJ1198-2021 要求，含放射源的放射治疗设备进行放射源倒装时应根据倒装源实施方案开展外照射剂量率监测；放射源倒装活动由供源单位实施，供源

单位进行倒装过程中的外照射剂量率监测，以及运源罐和运源车的周围剂量当量率和表面污染。

(3) 年度评估

医院每年应委托有 X- γ 辐射剂量率检测资质的单位对辐射工作场所进行辐射环境的年度管理监测，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。

12.4 辐射事故应急

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性核素与射线装置安全与防护条例》、《放射性核素与射线装置安全许可管理办法》等相关法律法规规定，医院已制定《辐射事故应急预案》，规定了应急组织机构与职责，确定了应急联络、报警及现场指挥程序，提出了事故处理及应急措施，符合《陕西省环境保护厅办公室关于印发新修订的<陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表>的通知》（陕环办发〔2018〕29 号）的应急管理要求。

一旦发生辐射事故，应立即启动应急预案，采取必要的防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，由辐射事故应急小组上报当地主管部门，同时上报公安部门；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。及时组织专业技术人员排除事故，配合各相关部门做好辐射事故调查工作。

环评要求：医院应进一步完善并细化现有辐射事故应急预案，根据前述 11.3 的事故影响分析，本项目运行前，结合本项目放射源和射线装置的应用情况，针对本项目运行中可能出现的辐射事故，对医院现有的应急预案进行补充修改、完善，将本项目新增的陀螺刀、医用电子直线加速器等纳入医院辐射事故应急预案。针对陀螺刀和医用电子直线加速器使用过程中的事故性出束、人员误入、急停开关失灵、陀螺刀电控关源系统失效、陀螺刀放射源丢失、被盗等辐射事故，医院应在辐射事故应急预案中明确各事故对应的应急处置措施，并修订现有的辐射事故应急预案，使应急预案更具有操作性、可行性。

本项目运行后，医院应确保辐射工作人员取得放射治疗辐射安全与防护培训合格证书；医院的放射事故应急工作领导小组应每两年对应急人员进行一次培训和演练，培训内容包括应急原则和实施程序，放射安全防护和专业知识，可能出

现的放射事故及放射事故经验和教训等，清楚放射事故上报流程；按照防护专业要求为辐射工作人员配备一定数量的检测设备、警示用品及个人防护用品等，提高医院各部门对辐射事故的应急处置能力，确保辐射事故应急处置有条不紊进行。

12.5 环境保护投资与“三同时”环保验收一览表

12.5.1 环保投资

项目总投资 1600 万元，其中环保投资 120 万元，占总投资的 7.50%。环保投资主要用于辐射安全防护设施的建设、放射工作人员培训、职业健康体检、个人防护用品采购以及个剂监测、工作场所监测等。

表 12-3 环保投资估算表

实施时段	类别	污染源	污染防治措施或设施	费用（万元）
运营期	废气	NO _x 、O ₃	动力通风装置	50
	辐射安全防护设施	X 射线、γ 射线	门灯联锁装置、红外防夹装置、自动闭门装置、工作状态指示灯、电离辐射警示标志、摄像监控装置、固定式剂量报警装置、在线监控系统、对讲装置、个人剂量报警仪、个人剂量计等。	47
环境管理	成立辐射安全与环境保护管理领导小组，建立环境管理制度			/
人员管理	辐射安全和防护知识培训			2
	职业健康检查			3
	个人剂量监测			3
	1 台 X-γ辐射剂量率监测仪			依托现有，不计入环保投资
	定期委托监测			5
环境影响评价及竣工环境保护验收费用				10
合计				120

12.5.2 竣工环境保护验收

为规范项目竣工环境保护验收的程序和标准，强化医院环境保护主体责任，根据《建设项目环境保护管理条例》（国务院第 682 号令，2017 年 10 月 1 日起实施）以及《建设项目竣工环境保护验收管理办法》的规定，项目竣工后应及时进行自主验收，编制验收监测报告。验收合格后，并取得新的辐射安全许可证后，

方可投入生产或使用。项目竣工环境保护验收清单见表 12-4。

表 12-4 项目竣工环境保护验收清单

序号	验收内容	验收方式
1	辐射安全管理机构	设立辐射安全与环境保护管理委员会并明确成员职责，负责项目辐射安全与环境管理工作。
2	辐射安全管理制度	根据环评要求以及陕环办发[2018]29 号文件要求，按照项目的实际情况，建立完善、内容全面、具有可操作性的辐射安全规章制度。针对使用的放射源和射线装置使用过程中可能存在的风险，完善应急预案，落实必要的应急物质。定期进行辐射事故应急演练。应急预案应包含本项目陀螺刀和直线加速器的辐射事故应急情况。
3	辐射安全防护措施	①陀螺刀：电离辐射警告标志、工作状态指示灯、门-机-灯联锁装置、光幕式红外防夹装置、防护门紧急开门装置、实时摄像监控系统、对讲装置、双头应急灯、急停按钮（机房内四周墙壁4个、防护门内旁侧1个、控制台1个、陀螺刀表面人员易触及处1个）、固定式剂量警报装置、放射源在线监控系统、便携式辐射剂量监测仪等，新排风系统、换气次数不小于4次/h。 ②电子直线加速器机房：电离辐射警告标志、工作状态指示灯、门-机-灯联锁装置、光幕式红外防夹装置、防护门紧急开门装置、实时摄像监控系统、对讲装置、双头应急灯、急停按钮（机房内四周墙壁4个、防护门内旁侧1个、控制台1个、靠近治疗床2个）、固定式剂量报警装置、便携式辐射剂量监测仪等，新排风系统、换气次数不小于4次/h。
4	防护用品	个人剂量计、个人剂量报警仪等，数量应满足实际工作需求。
5	环境监测仪器	配备 1 台 X-γ剂量监测仪器，定期校准；应定期对辐射工作场所及周围环境进行监测，详细记录监测数据并归档。
6	职业教育培训	辐射工作人员应定期参加辐射安全和防护知识培训，经考核合格并取得合格证后方能上岗。从事辐射安全与防护管理的工作人员也应及时组织参加国家核技术利用辐射安全与防护培训平台的考核并获取辐射安全培训合格成绩单。
7	个人剂量档案	为每名辐射工作人员配备个人剂量计，放射工作时要求佩戴，定期送检并保存辐射工作人员个人剂量监测档案。
8	健康档案	定期对辐射工作人员进行职业健康体检，并建立职业健康检查档案。
9	剂量管理限值	陀螺刀机房和电子直线加速器机房在正常工况下监测机房周围当量剂量率满足剂量率参考控制水平。项目公众年有效剂量约束值取 0.1mSv，职业工作人员年有效剂量约束值取 5mSv。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

医院拟将医技住院综合楼（A 楼）地下一层北侧东部放疗中心 Taichi 机房改建为陀螺刀机房，机房内拟安装使用 1 台陀螺刀，内含 22 枚 ^{60}Co 放射源，属 I 类集束源，总活度为 $3.145 \times 10^{14} \text{Bq}$ （8500Ci），机房楼上为驾驶员体检站、CT 控制室；拟将地下一层北侧西部 1 间回旋加速器机房（已退役并通过验收）、技术室与空房间改建为 1 间直线加速器机房及其控制室与水冷机房，加速器机房内拟安装使用 1 台 10MV 直线加速器，等中心点 X 射线最大剂量率 1400cGy/min ，属 II 类射线装置，楼上为室外消防通道。

13.1.2 实践正当性

使用陀螺刀和电子直线加速器提高恶性肿瘤放疗水平具有重大意义，在保障病人健康的同时也为医院创造了更大的经济效益，具有明显的社会效益。因此，项目建设所带来的个人和社会利益远大于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）“实践的正当性”要求。

13.1.3 辐射环境质量现状

项目所在地空气吸收剂量率处于正常环境本底水平，辐射环境现状无异常，项目所在区域辐射环境现状质量良好。

13.1.4 辐射安全与防护分析结论

（1）陀螺刀机房和直线加速器机房防护门外拟设置电离辐射警告标志、工作状态指示灯、门-灯-机/源联锁装置、光幕式红外防夹装置、紧急开门装置、急停按钮、实时摄像视频装置、双向交流对讲系统、应急照明灯、固定式剂量报警装置，此外，陀螺刀机房拟设置在线监控系统，满足《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》（GBZ121-2020）相关要求。

（2）本次对各辐射工作场所划分了控制区、监督区，并按照国家相关规定进行分区管理，最大程度减少对工作人员、公众辐射影响。根据诊疗工作需要，为放射性工作场所配备相应的辐射安全防护设施，为工作人员配备个人剂量报警仪、个人剂量计等防护用品。

13.1.5 辐射环境影响分析

(1) 辐射环境影响分析

陀螺刀机房实体屏蔽墙、防护门外表面 30cm 处各关注点处剂量率均满足各关注点剂量率参考控制水平，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》（GBZ121-2020）和《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）相关要求。

直线加速器机房主屏蔽墙设计宽度均满足有用射线束屏蔽宽度要求；在正常或调强放射治疗情况下，机房实体屏蔽墙、防护门外表面 30cm 处各关注点的辐射剂量率均在参考控制水平以内，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》（GBZ121-2020）和《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/T201.2-2011）相关要求。

(2) 项目所致职业人员、公众年附加有效剂量

经估算，本项目陀螺刀机房辐射工作人员年有效剂量最大为 1.22mSv，公众年有效剂量最大为 5.75×10^{-3} mSv；直线加速器机房辐射工作人员年有效剂量最大为 0.62mSv，公众年有效剂量最大为 7.30×10^{-2} mSv；均低于放射工作人员的年附加剂量约束值（5mSv/a）和公众的年附加剂量约束值（0.1mSv/a）。

13.1.6 辐射安全管理

医院成立了放射防护与安全管理领导小组，并明确了相关成员职责。医院制定了一系列辐射安全管理制度，用于指导和规范从事放射活动的人员做好辐射安全和放射防护工作。根据本项目的建设内容，医院还应制定陀螺刀操作规程、设备监测方案等规章制度，根据放射源和射线装置实际使用情况，不断完善辐射事故应急预案、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，使其具有更强的针对性和可操作性。项目开展后将其纳入医院现有辐射安全管理体系，并根据人事变动情况及时调整人员名单，明确相关人员职责，可满足项目对辐射安全管理的要求。

13.1.7 项目可行性分析结论

综上所述，长安医院有限公司陀螺刀及直线加速器核技术利用项目符合国家产业政策以及辐射防护实践正当性原则，选址合理，项目在严格落实本报告提出

的各项污染防治措施、辐射安全防护措施和辐射安全管理制度后，具备辐射活动相适应的核技术应用能力。项目运行期对周围环境的辐射影响可达到合理且尽可能低的水平，满足辐射防护最优化原则；运行所致放射工作人员和公众年附加有效剂量满足国家相关标准限制要求，符合剂量限值约束原则。因此，从辐射安全和环境保护角度分析，项目建设可行。

13.2 建议与承诺

（1）项目建设期间，医院应严格按照《陕西省环境保护厅办公室关于印发新修订的<陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表>的通知》（陕环办发〔2018〕29号）相关要求，建立健全各项辐射防护管理规章制度，规范管理与操作，认真开展自查自评工作，发现问题及时整改，竣工验收前须达到辐射安全管理标准化要求。

（2）项目竣工后，医院应按照国家环境保护行政主管部门规定的标准和程序，对项目配套建设的环境保护设施进行自主验收，经验收合格并取得辐射安全许可证后方可投入运行。

（3）结合本项目放射源和射线装置应用情况，完善辐射事故应急预案，使之具有针对性、可操作性，加强日常演练，做到有备无患，确保发生事故时，能够及时有效启动辐射事故应急预案。

（4）项目建成运行后，应严格执行辐射环境监测制度，每年应对射线装置和放射源应用的安全和防护状况进行年度评估，并于每年1月31日前向辐射安全许可证发证机关报送上一年度辐射安全年度评估报告。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见	
经办人	公 章 年 月 日
审批意见	
经办人	公 章 年 月 日