

核技术利用建设项目

浙江省中医院

湖滨院区放疗科改扩建项目

环境影响报告表

(报批稿)

浙江省中医院、浙江中医药大学附属第一医院（浙江省东方医院）

2023年12月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

浙江省中医院

湖滨院区放疗科改扩建项目

环境影响报告表

建设单位名称：浙江省中医院、浙江中医药大学附属第一医院（浙江省东方医院）

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：浙江省杭州市上城区邮电路 54 号

邮政编码：

联系人：

电子邮箱： /

联系电话

目 录

表 1	项目基本情况.....	1
表 2	放射源.....	16
表 3	非密封放射性物质.....	16
表 4	射线装置.....	17
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）.....	17
表 6	评价依据.....	18
表 7	保护目标与评价标准.....	21
表 8	环境质量和辐射现状.....	27
表 9	项目工程分析与源项.....	31
表 10	辐射安全与防护.....	44
表 11	环境影响分析.....	56
表 12	辐射安全管理.....	81
表 13	结论与建议.....	88
表 14	审批.....	92

表 1 项目基本情况

建设项目名称	浙江省中医院湖滨院区放疗科改扩建项目					
建设单位	浙江省中医院、浙江中医药大学附属第一医院（浙江省东方医院）					
法人代表		联系人		联系电话		
注册地址	浙江省杭州市上城区邮电路 54 号					
项目建设地点	杭州市上城区邮电路 54 号，湖滨院区放疗科：住院部地下二层北侧					
立项审批部门	/		批准文号	/		
建设项目总投资（万元）	约 2100	项目环保投资（万元）	约 100	投资比例（环保投资/总投资）	4.76%	
项目性质	<input type="checkbox"/> 新建 <input checked="" type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他			占地面积（m ² ）	约 258m ²	
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 V类			
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II类 <input checked="" type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类			
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物			
		<input type="checkbox"/> 销售	/			
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙			
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类			
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类			
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类			
	其他	/				
	1.1 项目概况					
1.1.1 医院简介						
<p>浙江省中医院、浙江中医药大学附属第一医院（浙江省东方医院），以下简称“医院”，始建于 1931 年，是一所集医疗、科研、教学、保健、康复为一体的三级甲等综合性医院，是杭州市医保定点医院，是省内中医、西医住院医师规范化培训基地。医院现有三个院区：湖滨院区位于杭州市上城区邮电路 54 号，已设核医学科、放疗科和放射科；下沙院区位于杭州经济技术开发区 9 号大街 9 号，已设放射科；富阳院区位于富阳区银湖街道高桥村，拟设核医学科、放疗科和放射科，目前正在建设中。</p> <p>医院现持有有效的《辐射安全许可证》（见附件 3），证书编号：浙环辐证[A0032]，有效期至 2028 年 07 月 23 日，使用的种类和范围：使用 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。</p>						

1.1.2 项目任务由来

浙江省中医院湖滨院区住院部地下二层北侧设置有放疗科，其内设有 1 间直线加速器机房（原配置 1 台 10MV，等中心 1m 处最高剂量率为 3Gy/min 的直线加速器）、1 间模拟定位机房（配置 1 台 Simulix-HQ 型模拟定位机）以及物理室、计划治疗室、制模室、库房等配套相关功能用房，总建筑面积约 450 平方米。

原直线加速器和模拟定位机于 2008 年 7 月 9 日取得原浙江省环境保护局出具的“关于浙江省中医院直线加速器、医用放射性同位素及射线装置应用项目（扩建）环境影响报告表的审查意见”（浙环辐[2008]62 号，见附件 5）。并于 2015 年 10 月 10 日取得原浙江省环境保护厅出具的验收意见“关于浙江省中医院直线加速器等射线装置应用项目(扩建)环境保护设施竣工验收意见的函”（浙环辐验[2015]91 号，见附件 5）。原配置直线加速器使用年限较长，设备老旧，不能满足使用要求，需要更新换代。原有加速器已走国有资产报废程序，由浙江省环保集团有限公司废旧物资循环利用中心回收（详见附件 11）。

为发展医疗事业，医院拟于放疗科加速器机房内更新配置 1 台 6MV 医用直线加速器，原有设备拟作报废处理。此外，拟将加速器机房东侧用房改造成为后装机工作场所（含 1 间后装治疗机房以及控制室）及备件室、会议室等配套房间，新增 1 台后装机（型号未定，内含 1 枚活度为 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ （10Ci）的 ^{192}Ir 放射源，属于 III 类放射源）。

表 1-1 放射科设备一览表

本项目建设前	本项目建设后	备注
模拟定位机	模拟定位机	不变
10MV 直线加速器 (等中心 1m 处最高剂量率为 3Gy/min)	6MV 医用电子直线加速器（等中心处最大剂量率为 14Gy/min（FFF 模式））	更新配置，原有加速器已走国有资产报废程序
/	后装机（型号未定，内含 1 枚活度为 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ （10Ci）的 ^{192}Ir 放射源，属于 III 类放射源）	新增

根据《关于发布射线装置分类的公告》（原环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号）及《关于发布放射源分类办法的公告》（原国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号），直线加速器属于“粒子能量小于 100 兆电子伏的医用加速器”，属于 II 类射线装置；后装机内含的密封源 ^{192}Ir 属于 III 类放射源。

根据《中华人民共和国环境保护法》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等相关规定，本项目需要进行环境影响评价，按照《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，本项目属于“五十五、核与辐射”中“172、核技术利用建设项目”，本次评价内容为使用 II 类射线装置、使用 III 类放射源，应编制环境影响报告表，并在环评批复后及

时向有权限的生态环境主管部门重新申领《辐射安全许可证》。

为此，浙江省中医院委托卫康环保科技（浙江）有限公司对“浙江省中医院湖滨院区放疗科改扩建项目”开展环境影响评价工作（委托书见附件1）。评价单位接受委托后对项目现场进行了踏勘，实地调查了项目所在地的环境情况，在收集项目相关资料并进行分析后，按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的相关要求，编制完成《浙江省中医院湖滨院区放疗科改扩建项目环境影响评价报告表》。

1.1.3 建设内容及规模

本项目放疗科位于住院部（地下部分两层，地上部分十三层）地下二层北侧，医院拟将现有直线加速器机房的控制室部分墙体以及迷道外侧部分墙体做增加防护处理；拟将直线加速器机房东侧用房（物理室、库房、计划治疗室、制模室和办公室）改造成为后装机工作场所（含1间后装治疗机房以及控制室）及备件室、会议室等配套房间；放疗科原配套相关功能用房（物理室、库房、计划治疗室、制模室和办公室）搬至住院部十一楼。

医院于放疗科直线加速器机房内更新配置1台6MV医用电子直线加速器（最大X射线能量6MV，等中心处最大剂量率为14Gy/min（FFF模式），普通治疗模式4Gy/min，主射方向为东、西、顶棚和地面，属于II类射线装置），原有设备拟作报废处理。后装机房拟配备1台后装机（型号未定，内含1枚活度为 3.7×10^{11} Bq（10Ci）的 ^{192}Ir 放射源，属于III类放射源）。

表 1-2 本项目拟配置放射诊疗设备一览表

评价单元	装置名称	数量	主要参数	工作性质	安装场所
放射治疗单元	医用电子直线加速器	1	X射线最大能量不超过6MV，等中心处最大剂量率 $\leq 14\text{Gy/min}$ （FFF模式），普通治疗模式 4Gy/min ； 电子线最高能量不超过22MeV； 1)X射线：6MV； 2)正常治疗距离（NTD）：100cm； 3)最大方形辐射野：40cm×40cm； 4)最大剂量率：14Gy/min（FFF模式下）； 5)等中心高度： $\leq 128\text{cm}$ ； 6)X射线泄漏率：0.1%。	放射治疗	住院部地下二层北侧放疗科
	后装治疗机	1	拟使用 ^{192}Ir 最大活度为 $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ （10Ci）	放射治疗	

表 1-3 本项目后装治疗机配置放射源主要技术参数

核素名称	物理参数			拟使用最大活度
	平均能量	半衰期	空气比释动能率常数	

^{192}Ir	370 keV (γ)	74.0 d	$0.111\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$	$3.7\times 10^{11}\text{Bq}$ (10Ci)
-------------------	----------------------	--------	---	-------------------------------------

表 1-4 放疗科改动情况一览表

机房	改建前	改建后	备注
加速器机房	西侧墙体主屏蔽区： 240cm 厚混凝土	西侧墙体主屏蔽区： 240cm 厚混凝土+20cm 厚 混凝土	西侧墙体主屏蔽区增加 20cm 厚混凝土，长度 380cm
	迷道外墙（工作人员走廊漏射区域）： 120cm 厚混凝土	迷道外墙（工作人员走廊漏射区域）： 120cm 厚混凝土+10cm 厚混凝土	迷道外墙（工作人员走廊漏射区域）增加 10cm 厚混凝土，长度 250cm
	防护门 10mmPb 当量	防护门 10mmPb 当量	防护门不小于 10mmPb 当量
后装治疗机房	物理室、库房、计划治疗室、制模室和办公室	后装治疗室、控制室、备件室、会议室	拆除：拆除物理室、库房、计划治疗室、制模室和办公室南侧墙体，以及物理室和计划治疗室东侧墙体。 新建：新建后装治疗机房南墙（迷道墙）、东墙、北墙、顶部增加 15cm 现浇混凝土，西墙为加速器机房防护墙，新增电动推拉铅防护门（10mm 铅）。 建设控制室、备件室、会议室。

注：铅密度 $11.3\text{g}/\text{cm}^3$ ，混凝土密度不小于 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$

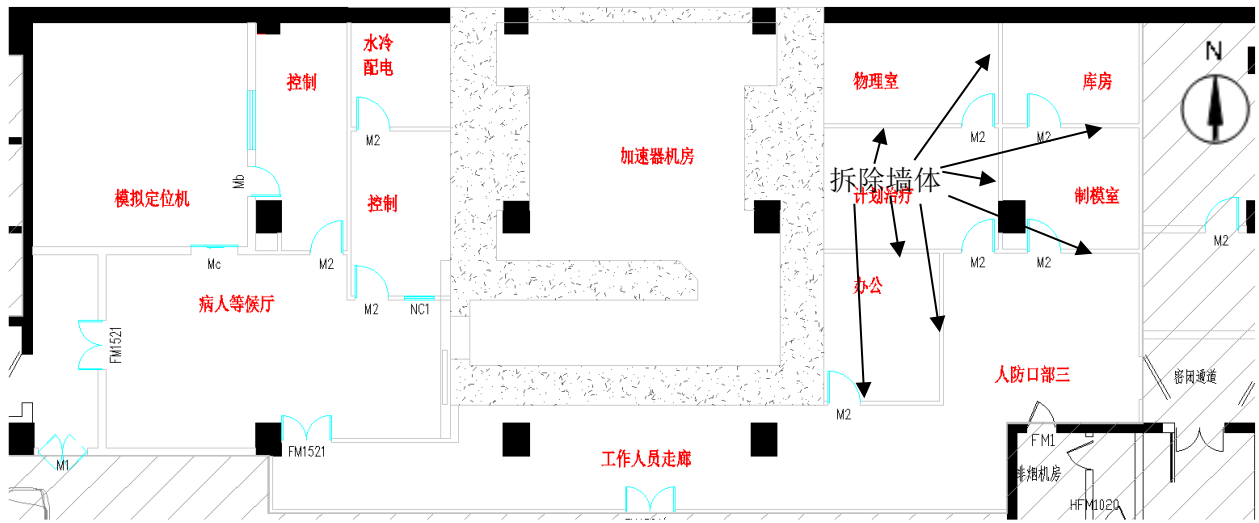


图 1-1 病房楼地下二层放疗科改建前布局图（局部）

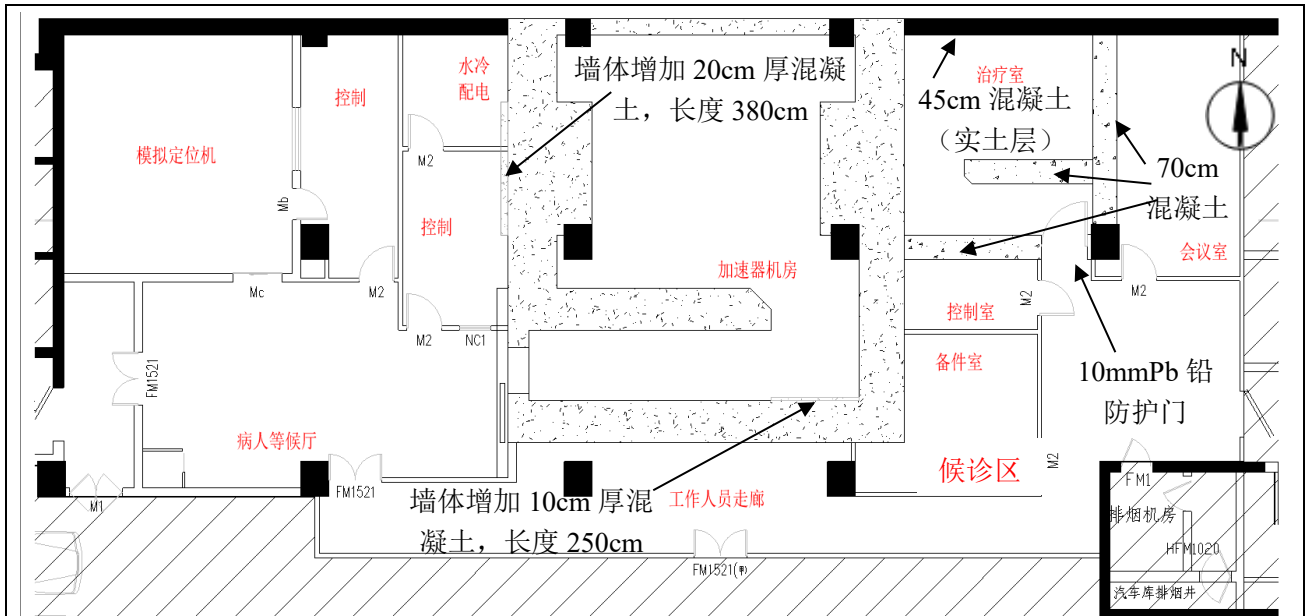


图 1-2 病房楼地下二层放疗科改建后布局图（局部）

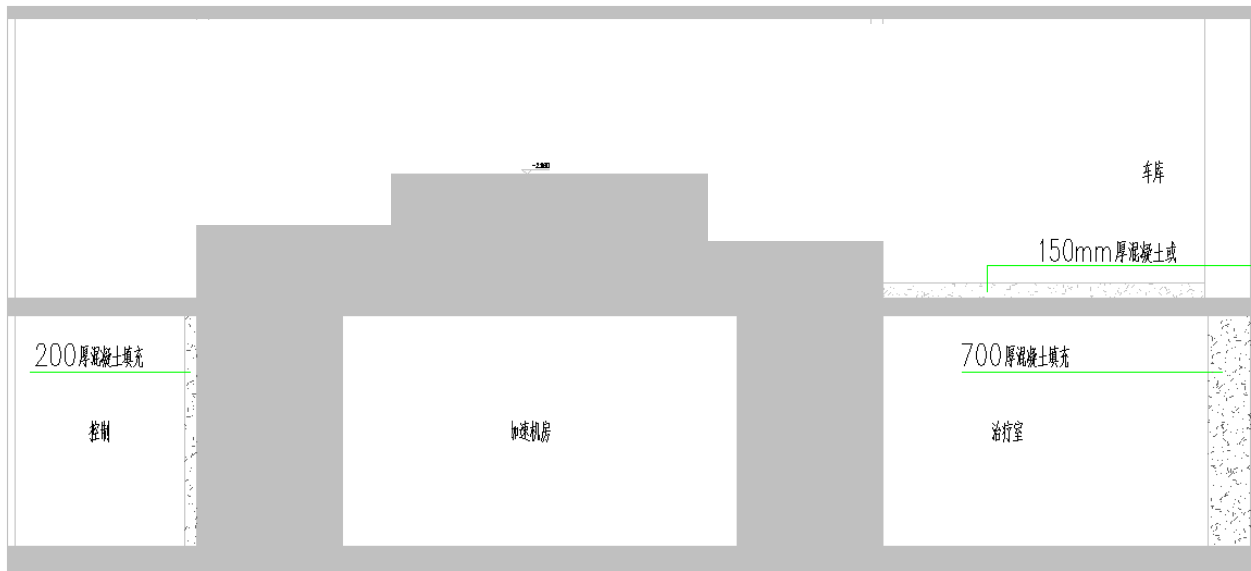


图 1-3 病房楼地下一层和地下二层改建后剖面图（局部）

1.2 项目选址及周边环境保护目标

1.2.1 项目地理位置及外环境关系

浙江省中医院湖滨院区位于杭州市邮电路 54 号，地理位置见附图 1。院区东侧为浣纱路，西侧为吴山路，南侧为邮电路，北侧为仁和路，医院总平面布局见附图 2，医院周围环境关系见附图 3。

1.2.2 辐射工作场所位置及评价范围 50m 内环境特征关系

本项目辐射工作场所位于住院部地下二层北侧，评价范围 50m 内环境特征关系见下表。

表 1-5 辐射工作场周围环境特征

机房	东侧	东南侧	南侧	西侧	西南侧	北侧	顶部
本项目拟建加速器机房和后装治疗机房	会议室、库房	备件室、候诊区及排烟机房、宿舍、电梯、前室、活门室、强电间、零星材料仓库和报废仓库等区域	工作人员走廊、停车场	水冷配电间、加速器机房控制室、模拟定位机控制室及机房、病人等候厅、电梯和步梯通道	排风机房、活门室、淋浴和标本库等区域	紧邻为实土层；住院部地下二层为污水处理站调节池和格栅井区域；地面以上为院内通道，再北侧仁和路、杭州五福里小区、汉庭酒店、浣纱路小区和杭州友好饭店	加速器机房顶部为凸出平台；后装治疗机房顶部为停车库；再上方为住院部地上楼层

1.2.3 规划符合性分析

1、用地规划符合性分析

本项目位于浙江省中医院湖滨院区（位于杭州市邮电路 54 号）住院部地下二层北侧放疗科，利用医院已有加速器机房和医疗相关用房改建。根据医院土地使用证（附件 4），用地性质为医卫用地，周围无环境制约因素。因此，本项目符合土地利用规划的要求。

2、“三线一单”符合性分析

（1）生态保护红线

生态保护红线是生态空间范围内具有特殊重要生态功能必须实行强制性严格保护的区域。根据《杭州市“三线一单”生态环境分区管控方案》，本项目位于“上城区城镇生活重点管控单元”，环境管控单元编码：ZH33010220001，结合杭州市六城区生态保护红线分布图（附图 11）和杭州市市辖区环境管控单元分类图（附图 10），未涉及杭州市生态红线。

（2）环境质量底线

根据环境质量现状监测结果，本项目拟建址及周围环境 γ 辐射空气吸收剂量率属于正常本底范围。在落实本环评提出的各项污染防治措施后，不会对周围环境产生不良影响，能维持周边环境质量现状，满足该区域环境质量功能要求，因此本项目符合环境质量底线要求。

（3）资源利用上线

本项目水、电等公共资源由当地专门部门供应，且整体而言本项目所用资源相对较小，也不占用当地其他自然资源和能源，因此本项目符合资源利用上线的要求。

（4）生态环境准入清单

本项目位于上城区城镇生活重点管控单元（编码：ZH33010220001），为医院建设项目，

满足管控措施，符合生态环境准入清单的要求。该管控单元生态环境准入清单见下表。

表 1-6 本项目所在管控单元生态环境准入清单

管控单元编码	ZH33010220001	所属地市	杭州市	本项目情况	符合性分析
管控单元名称	上城区城镇生活重点管控单元	所属区县	上城区		
管控单元分类	重点管控单元				
空间布局约束	除工业功能区（小微园区、工业集聚点）外，原则上禁止新建其他二类工业项目，现有二类工业项目改建、扩建，不得增加污染物排放总量。严格执行畜禽养殖禁养区规定			本项目不属于工业项目，满足该区“空间布局约束”要求。	符合
污染物排放管控	推进生活小区“零直排”区建设。加强噪声和臭气异味防治，强化餐饮油烟治理，严格施工扬尘监管。			本项目为核技术在医学领域的应用，运营过程中污染物简单，排放量较小，“三废”污染物皆可控制和处理。项目实施后能满足该区“污染物排放管控”要求。	符合
环境风险防控	合理布局工业、商业、居住、科教等功能区块，严格控制噪声、恶臭、油烟等污染排放较大的建设项目布局。			本项目为核技术利用项目。医院已制定《浙江省中医院辐射事故报告制度及应急处理方案》，具备完善的风险防范措施。	符合
资源开发率要求	全面开展节水型社会建设，推进节水产品推广普及，限制高耗水服务业用水			本项目不属于高耗水项目。	符合

综上所述，本项目不涉及生态保护红线，符合环境质量底线、资源利用上线和生态环境准入清单的要求，本项目的建设符合“三线一单”要求。

1.2.4 选址合理性分析

本项目加速器机房和后装治疗机房位于住院部地下二层北侧，不涉及生态保护红线，且用地性质属于医卫用地。经辐射环境影响预测，本项目运营过程中产生的电离辐射，经采取辐射防护屏蔽和安全管理措施后，对周围环境与公众健康的辐射影响是可接受的。因此，本项目选址合理可行。

表 1-7 项目选址与标准要求对照分析表

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）	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。	本项目机房所在住院部属于医疗用楼，不属于民居、写字楼和商住两用的建筑物。	符合
	放射治疗场所宜单独选址、集中建设，或设置在多层建筑物的底层的一端，尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。	本项目机房位于住院部地下二层北侧一端，周边为地下车库，避开了儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，不涉及商业活动区域。	符合

1.3 产业政策符合性

结合国家发展和改革委员会第 29 号令《产业结构调整指导目录（2019 年本）》及国家发展和改革委员会第 49 号令《关于修改〈产业结构调整指导目录（2019 年本）〉的决定》，本项目属于该目录中鼓励类第六项“核能”第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，符合国家产业政策的要求；不属于《杭州市产业发展导向目录与产业平台布局指引（2019 年本）》中限制类和禁止类项目，符合杭州市产业政策的要求。

因此，本项目的实施符合国家及地方产业政策的要求。

1.4 实践正当性分析

本项目在使用时患者、医生及周围的公众会受到一定的照射剂量，但是本项目的建设更能满足患者多层次、多方位、高质量和文明便利的就诊需求，提高对疾病的诊治能力。核技术应用项目的开展，可达到一般非放射性诊治方法所不能及的诊断及治疗效果，对保障人民群众身体健康、拯救生命起了十分重要的作用，本项目开展所带来的利益是大于所付出的代价的，同时对周围环境、公众的辐射影响满足国家辐射防护安全标准的要求，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践正当性”的要求。

1.5 “四性五不批”相符性分析

项目与“四性五不批”相符性分析见下表。

表 1-8 项目与“四性五不批”相符性分析

建设项目环境保护管理条例		符合性分析	是否符合
四性	建设项目的环境可行性	项目所在区域周围环境 γ 辐射空气吸收剂量率属于正常本底范围。项目环保措施可确保项目评价范围内达到标准。	符合
	环境影响分析预测评估的可靠性	项目医用电子直线加速器和后装治疗机运行时周围辐射剂量率根据相关标准进行预测分析。	符合
	环境保护措施的有效性	项目根据各污染物特点及相关要求进行污染防治措施和辐射环境管理。	符合
	环境影响评价结论的科学性	环境影响评价结论符合相关标准、规范要求。	符合
五不批	（一）建设项目类型及其选址、布局、规模等不符合环境保护法律法规和相关法定规划；	本项目为核技术利用项目，符合国家产业政策；项目所在地用地性质为医卫用地，符合土地利用规划的要求，符合环境保护法律法规和相关法定规划。	符合审批要求
	（二）所在区域环境质量未达到国家或者地方环境质量标准，且建设项目拟采取的措施不能满足区域环境质量改善目标管理要	本项目拟建址及周围环境 γ 辐射空气吸收剂量率属于正常本底范围。经预测，在正常工况下，本项目加速器机房和后装治疗机房的各侧墙体及防护门外辐射剂量率均小于《放射治疗	符合审批要求

求；	辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)、《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)等标准规定的限值要求，对周围环境影响较小。	
(三) 建设项目采取的污染防治措施无法确保污染物排放达到国家和地方排放标准，或者未采取必要措施预防和控制生态破坏；	本项目运营过程中产生的电离辐射，经采取辐射防护屏蔽和安全管理措施后，对周围环境与公众健康的辐射影响是可接受的。	符合审批要求
(四) 改建、扩建和技术改造项目，未针对项目原有环境污染和生态破坏提出有效防治措施；	本项目属于改扩建项目，已针对现有项目存在的环境污染和生态破坏提出了有效防治措施。	符合审批要求
(五) 建设项目的环境影响报告书、环境影响报告表的基础资料数据明显不实，内容存在重大缺陷、遗漏，或者环境影响评价结论不明确、不合理。	本环评的基础资料数据真实，环境影响评价结论明确、合理。	符合审批要求

综上，项目符合《建设项目环境保护管理条例》(国务院令第 682 号) 第九条要求(“四性”)，不属于《建设项目环境保护管理条例》(国务院令第 682 号) 第十一条中的不予批准决定的情形(“五不批”)。

1.6 原有核技术利用项目许可情况

1.6.1 原有核技术利用项目环保手续履行情况

医院现有辐射活动均已通过相关的环保审批和竣工验收，环保手续合法齐全，具体见下表和附件 5。

1.6.2 原有核技术利用项目许可情况

医院现持有有效的《辐射安全许可证》，已许可的射线装置、密封源和非密封放射性物质使用的详细台账分别见表 1-9~表 1-11。

表 1-9 医院现有已许可的射线装置基本情况一览表

序号	所属院区	设备名称	类别	数量	型号	性能参数	工作场所位置	环评情况	许可情况	验收情况	使用状态			
1	湖滨院区	DR（单板）	III类	1台	Digital Diagnostic VR	150kV；800mA	湖滨院区影像科：湖滨2楼0201	备案号： 202333010200000152	浙环辐证 [A0032]	备案制，不单独验收	停用			
2		DR（双板）	III类	1台	Digital Diagnostic TH	150kV；1000mA	湖滨院区影像科：湖滨2楼0202				备案号： 201833010200000235	浙环辐（2008）62号	浙环辐验（2015）91号	在用
3		DR	III类	1台	Digital diagnost 3	150kV；100mA	湖滨院区影像科：湖滨2楼0203				备案号： 201833010200000235			
4		320排CT	III类	1台	Aquilion One TSX-301C	140kV；800mA	湖滨院区影像科：湖滨二楼0204	备案号： 201833010200000235						
5		双排螺旋CT	III类	1台	西门子CT Somtomspirit SPIRIT	130kV；800mA	湖滨院区影像科：湖滨二楼0205	浙环辐（2008）62号		浙环辐证 [A0032]	浙环辐验（2015）91号	在用		
6		64排螺旋CT	III类	1台	西门子CT SOMATOM SENSATION 64	120kV；666mA	湖滨院区影像科：湖滨2楼0207							
7		数字胃肠机	III类	1台	Sonialvision Versa 100	150kV；800mA	湖滨院区影像科：湖滨二楼0208	备案号： 201833010200000235		浙环辐（2008）62号	浙环辐证 [A0032]	浙环辐验（2015）91号	在用	
8		DSA	II类	1台	Allura Clarity FD20	125kV；1250mA	湖滨院区影像科：湖滨二楼0210							
9		DSA	II类	1台	Allura Xper FD10	125kV；1250mA	湖滨院区影像科：湖滨二楼0211	备案号： 201833010200000235		浙环辐（2008）62号	浙环辐证 [A0032]	浙环辐验（2015）91号	已报废，待环评后更新辐射安全许可证	
10		平板乳腺机	III类	1台	MAMMOMAT Inspiration	35kV；150mA	湖滨院区影像科：湖滨二楼0212							
11		直线加速器	II类	1台	西门子 Primus	10MV	湖滨院区放疗科：住院部地下二层	浙环辐（2008）62号		浙环辐证 [A0032]	浙环辐验（2015）91号	已报废，待环评后更新辐射安全许可证		
12		模拟定位机	III类	1台	核通 Simulix HQ	150kV；1000mA	湖滨院区放疗科：住院部地下二层							
13		全身骨密度仪	III类	1台	Prodigy	76kV；3mA	湖滨院区门诊二楼：骨伤科骨密度室	备案号： 201833010200000235		浙环辐（2008）62号	浙环辐证 [A0032]	浙环辐验（2015）91号	在用	
14		DR	III类	1台	uDR770i	150kV；800mA	仁和路湖滨体检中心	备案号： 202133010200000020						
15		CT	III类	1台	Ingenuity	140kV；500mA	仁和路湖滨体检中心							
16		移动式C型臂X光机	III类	1台	OEC8800	110kV；10mA	湖滨院区手术室：2号手术室	备案号： 201833010200000235		浙环辐（2008）62号	浙环辐证 [A0032]	浙环辐验（2015）91号	在用	
17		移动式C型臂	III类	1台	Brivo OEC850	110kV；10mA	湖滨院区手术室：5							

		X光机					号手术室				
18		移动式C型臂X光机	III类	1台	ARCADIS orbic	110kV; 15mA	湖滨院区手术室: 2号和5号手术室				
19		移动X线机	III类	1台	SM-50HF-B-D-C (编号41487)	150kV; 500mA	湖滨院区影像科: 移动使用	浙环辐(2008)62号			
20		移动X线机	III类	1台	SM-50HF-B-D-C	150kV; 500mA	湖滨院区影像科: 移动使用	浙环辐(2008)62号			
21		口腔CT	III类	1台	Orthophos SL 3D	90kV; 16mA	湖滨院区影像科: 湖滨院区住院部二楼口腔CT机房	备案号: 20213301020000021			
22		CT	III类	1台	uCT530	140kV; 420mA	湖滨院区发热门诊: CT机房	备案号: 20213301020000010			
23	下沙院区	DR	III类	1台	DigiEye680	150kV; 640mA	钱塘院区体检中心: 3号楼体检中心一层DR机房	备案号: 20213301610000029	备案制, 不单独验收		
24		DR	III类	1台	飞利浦 Digital Diagnost	150kV; 1000mA	钱塘院区影像科: 1号机房	备案号: 20173301610000094			
25		数字胃肠机	III类	1台	Uni-Vision	150kV; 500mA	钱塘院区影像科: 放射科2号机房	备案号: 20183301610000074			
26		数字乳腺X射线机	III类	1台	Selenia Dimensions	39kV; 200mA	钱塘院区影像科: 放射科3号机房	备案号: 20173301610000094			
27		16排CT	III类	1台	ingenuity Flex 16CT	140kV; 500mA	钱塘院区影像科: 2号楼2楼16排CT机房	备案号: 20233301140000045			
28		DR(单板)	III类	1台	飞利浦 VR/S	150kV; 850mA	钱塘院区影像科: 5号机房	浙环辐(2008)62号	浙环辐验(2015)91号		
29		DSA	II类	1台	Optima C1323i	125kV; 1000mA	钱塘院区影像科: 6号机房	杭环辐评批(2017)30号	2019年自主验收		
30		DSA	II类	1台	Azurion7 M12	125kV; 1000mA	钱塘院区影像科: 2号楼1楼DSA1号机房	杭环钱环评批[2023]52号	未完成建设, 暂未验收	未使用	
31		64排螺旋CT	III类	1台	SOMATOM Definition	140kV; 800mA	钱塘院区影像科: 2号楼2楼64排CT机房	备案号: 20233301140000047	备案制, 不单独验收	在用	
32		移动式C型臂X光机	III类	1台	BV Libra	110kV; 20mA	钱塘院区手术室: 2号手术室	备案号: 20173301610000094			
33	移动式C型臂X光机	III类	1台	BV Endura	110kV; 20mA	钱塘院区手术室: 4号手术室	备案号: 20183301610000074				

34		移动式 X 线机	III类	1 台	SM-50HF-B-D-C	150kV; 500mA	钱塘院区影像科: 移动使用	备案号: 201733016100000094			
35		全身骨密度仪	III类	1 台	Prodigy primo	76kV; 3mA	钱塘院区住院楼: 二层骨密度机房				
36		口腔全景机	III类	1 台	OC-200D	85kV; 16mA	钱塘院区影像科: 8号机房				备案号: 202133016100000029
37		G 臂机	III类	1 台	D-Vision	120kV; 50mA	钱塘院区手术室: 手术室 11				备案号: 202333011400000015
38		DR	III类	1 台	DRX-Evolution Plus	150kV; 1000mA	钱塘院区影像科: 2 号楼 1 楼 DR 机房				备案号: 202333011400000028
39		ERCP	III类	1 台	Ultimax-Idrex-UI80	150kV; 800mA	1 号楼医疗街 3 楼消化内镜中心: 5 号诊间				

表 1-10 医院现有已许可的密封源基本情况一览表

序号	所属院区	核素	出厂日期	出厂活度	编码	类别	数量	工作场所位置	环评情况	许可情况	验收情况	使用状态
1	湖滨院区	⁶⁸ Ge	2020.08.26	9.25E+7	US20GE002505	V类	1 枚	核医学科	杭环辐评批 (2017) 14 号	浙环辐证[A0032]	2019 年自主验收	在用
2			2020.08.26	4.625E+7	US20GE002515		1 枚					
3			2020.08.26	4.625E+7	US20GE002525		1 枚					

表 1-11 医院已许可的非密封放射性物质基本情况一览表

序号	所属院区	核素名称	日等效操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	工作场所位置	环评情况	许可情况	验收情况	使用状态			
1	湖滨院区	¹⁸ F	7.40E+06	1.85E+12	湖滨院区核医学科	杭环辐评批 (2017) 14 号	浙环辐证 [A0032]	2019 年自主验收	在用			
2		²⁰¹ Tl	9.25E+06	9.25E+10								
3		⁶⁷ Ga	1.85E+09	1.85E+11								
4		³² P	3.70E+07	9.2E+10								
5		¹⁸⁸ Re	3.70E+08	9.2E+11								
6		¹²⁵ I (粒子源)	1.184E+07	1.924E+11	住院部三楼	湖滨院区核医学科	浙环辐 (2008) 62 号	浙环辐验 (2016) 13 号				
		¹²⁵ I (粒子源)	5.92E+06	5.92E+10	住院部二楼							
8		^{99m} Tc	7.40E+07	2.70E+12	湖滨院区核医学科					浙环辐 (2010) 9 号	未验收 (尚未开展相关业务)	未用
9		¹³¹ I	7.60E+07	1.80E+11								
10		⁸⁹ Sr	7.40E+07	1.80E+10								
11		¹⁵³ Sm	7.40E+08	1.80E+11								

1.6.3 辐射安全管理现状

1、放射安全与防护工作组

医院已发文成立以主任委员黄抒伟为组长的放射安全与防护工作组，负责全单位的辐射安全与防护监督管理工作。委员会人员组成上涵盖了现有核技术利用项目涉及的部门，在框架上基本符合要求，见附件 7。

2、辐射安全制度的制定与落实

医院已开展辐射工作多年，日常工作中制定了《辐射防护和安全保卫制度》、《辐射装置操作规程》、《设备检修维护制度》、《放射性同位素和射线装置使用登记制度》、《放射性同位素和射线装置台账管理制度》、《放射性药品管理制度》、《放射性核素订购、运输和转让处理制度》、《放射性同位素使用期满后的处理方案》、《放射治疗设备质量控制制度》、《受检者放射危害告知与防护制度》、《直线加速器辐射安全和防护制度》、《导管室安全制度》、《放射防护检测与评价制度》、《放射工作人员岗位职责》、《放射工作人员培训计划》、《个人剂量和辐射环境监测方案》、《辐射事故报告制度及应急处理方案》、《质量保证大纲和质量控制计划》等辐射安全规章制度（见附件 7），相关制度均张贴上墙于辐射工作场所现场。

医院现有辐射管理制度较为全面，符合相关要求。医院严格落实各项规章制度，各辐射防护设施运行、维护、检测工作良好，在辐射安全和防护制度的建立、落实及档案管理等方面运行较好。

3、现有辐射工作人员管理

①所有辐射工作人员均参加了辐射安全与防护培训（或放射卫生防护培训）并通过考核，符合持证上岗的要求，所有证书均在有效期内。

②医院已委托浙江省疾病预防控制中心定期进行个人剂量检测，所有辐射工作人员均配备了个人剂量计，并建立了个人剂量档案。根据医院提供的个人剂量检测报告（2023 年度连续 4 个季度），佩戴时间 2023 年 5 月 28 日~2023 年 8 月 27 日 单季度个人监测剂量值 2.085mSv；佩戴时间 2023 年 8 月 28 日~2023 年 11 月 27 日 单季度个人监测剂量值 3.565mSv，医院已进行调查并填写职业性外照射个人监测剂量核查登记表（详见附件 8），根据调查 个人剂量计曾经被留置于放射工作场所内 个人剂量计为正常佩戴。根据核算 年有效剂量约为 1.777 mSv， 年有效剂量为 3.65 mSv，这两人年有效剂量均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员“剂量限值”的要求（职业人员 $\leq 20\text{mSv/a}$ ），也符合剂量约束值要求（职业人员 $\leq 5\text{mSv/a}$ ）。
建议处理措施：发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。其余辐射工作人员年有效剂量均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员“剂量限值”的要求（职业人员 $\leq 20\text{mSv/a}$ ），也符合剂量约束值要求（职业人员 $\leq 5\text{mSv/a}$ ）。

③所有辐射工作人员均已开展职业健康体检，并建立了职业健康监护档案。辐射工作人员岗前、在岗期间和离岗前均进行职业健康体检，在岗期间体检周期不超过 2 年。根据医院提供的职业健康体检报告，在岗辐射工作人员均可继续从事放射性工作，健康无异常。

4、现有辐射防护措施落实情况

①医院所有辐射工作场所均已根据项目实际情况划分了控制区和监督区，实行两区管理。

②普通放射机房（DSA 和 III 类射线装置机房）：射线设备工作场所机房、防护门、电离辐射警告标志、工作状态指示灯等均按标准要求设置。

③加速器机房治疗室和控制室之间已安装监视和对讲设备；治疗室入口处设置了防护门和迷道；防护门与加速器联锁，迷道内设置了紧急停机、开门按钮；防护门安装了工作状态指示灯并张贴了电离辐射警告标志，防护门划定了 1m 的黄色警戒线。

④核医学工作场所：在控制区的进出口及门上设立了醒目的电离辐射警告标志，配备了个人防护用品、污染监测仪器，配套建设了卫生通过间以及被污染防护衣具的贮存柜；控制区实行门禁管理。场所设置了卫生通过间，配备了淋浴设施，还设置了给药后病人专用卫生间。储源室设置了防盗报警装置和视频监控系统，符合防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、防泄漏的要求；实行双人双锁管理模式。

因此，本项目各项辐射安全防护措施均落实到位，可保证现有辐射活动的安全开展。

5、现有“三废”处理情况

医院现有核技术利用项目运行过程中产生的“三废”主要为核医学科产生的放射性废气、放射性废水和放射性固体废物；放疗机房和普通放射机房产生的臭氧和氮氧化物等非放射性气体，现状处理措施和治理效果如下：

①放射性废气

医院核医学科操作放射性药物所均在通风柜（分装柜）内进行，风速大于 0.5m/s，排气口位于楼顶，高于所在建筑屋脊。场所气流设计遵循非限制区到监督区到控制区。

②放射性废水

医院核医学科配套建设了 2 个 4.5m³ 的并联衰变池，交替使用，衰变池的池底和池壁采取了防腐和防渗措施。放射性废水经衰变池存放衰变时间满足 HJ 1188-2021 的相关要求后，经检测达标后排入医院污水处理站。

③放射性固废

放射性废物与非放射性废物，分类收集、处理。放射性固体废物按核素分类，先收集在注射室专用污物桶内，再转移到临时贮存室内集中收储，衰变时间满足 HJ 1188-2021 的相关要求后按一般医疗固体废物处理。专用污物桶具有外防护层和电离辐射标志。放射性固体废物由专人负责管理，建立了固体废物处理台帐。

④臭氧和氮氧化物

医院加速器机房已设置机械排风设施，可保证有效通风换气次数不小于 4 次/h；普通放射机房（DSA 和Ⅲ类射线装置机房）设有机械通风装置，确保室内具有良好通风。

因此，现有核技术利用项目“三废”污染物均得到合理、有效、可行的处置，影响可控。

6、现有辐射监测仪器与防护用品

医院每年准备相应资金采购更新辐射安全防护设施和设备，浙江省中医院辐射安全防护工作总结（2018-2023 年度），现有辐射监测仪器与防护用品见下表。

表 1-12 医院防护用品一览表

序号	名称	数量	用品/设备状态	备注
1	铅围裙	19	正常使用	放射科
2	铅帽	6	正常使用	放射科
3	铅颈套	10	正常使用	放射科
4	半身防护围裙	5	正常使用	放射科
5	乳腺防护	5	正常使用	放射科
6	铅眼镜	4	正常使用	核医学科
7	铅手套	4	正常使用	核医学科

8	医用高性能活度计	1	正常使用	核医学科
9	表面污染检测仪	1	正常使用	核医学科
10	铅防护屏	1	正常使用	核医学科
11	注射器防护套	5	正常使用	核医学科
12	放射性残液贮存箱	3	正常使用	核医学科
13	铅源铅罐	4	正常使用	核医学科
14	铅盒	10	正常使用	核医学科
15	铅砖	100	正常使用	核医学科
16	铅皮	2m ²	正常使用	核医学科
17	核素分源通分柜	1	正常使用	核医学科
18	核素床边注射式升降式防护车	1	正常使用	核医学科

7、现有场所检测与年度评估

医院每年定期委托有资质的单位对辐射工作场所和设备性能进行年度监测，检测结果均满足相关标准要求。同时，医院已配备相应的辐射检测仪器，日常内部常规检测已执行。相关辐射环境监测记录或报告档案均妥善保存备查。

8、现有辐射事故应急

医院已制定《浙江省中医院辐射事故报告制度及应急处理方案》，见附件 7。医院每年均定期开展辐射事故应急预案演练，并对演练结果进行总结，及时对放射事件应急处理预案进行完善和修订。经与建设单位核实，医院自辐射活动开展以来，无辐射事故发生，事故应急小组处于正常运行状态。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) × 枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	¹⁹² Ir	3.7×10 ¹¹ Bq×1 枚	III类	使用	放射治疗	湖滨院区放疗科：住院部地下二层北侧后装治疗机房	不工作时，贮存于后装机的机头内	本次评价

注：放射源包括放射性中子源，对其要说明是何种核素以及产生的中子流强度 (n/s)。

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
	本项目不涉及									

注：1) 日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)。

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) /剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	医用电子直线加速器	II类	1台	uRT-linac 506c	电子	X射线最大能量：6MV； 电子线最大能量：22MeV。	普通治疗模式≤240Gy/h；高剂量FFF治疗模式≤840Gy/h。	放射治疗	湖滨院区放疗科：住院部地下二层北侧加速器机房	拟购（设备更新），本次评价

(二) X射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
本项目不涉及									

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大靶电流 (μA)	中子强度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
本项目不涉及													

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称		状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
加速器机房	臭氧和氮氧化物	气态	/	/	微量	微量	/	不暂存	通过机械排风系统排出加速器机房，由排风管道统一输送至楼顶进行排放。
	废靶	固态	/	/	/	/	/	暂存	机房内的放射性铅废物桶衰变贮存直至经检测其表面γ辐射剂量率符合清洁解控水平后，将由设备厂家负责回收
后装治疗机房	废旧放射源	固态	¹⁹² Ir	/	/	约2枚	/	不暂存	由供源单位回收
	臭氧和氮氧化物	气态	/	/	微量	微量	/	不暂存	通过机械排风系统排出后装机机房，由排风管道统一输送至楼顶进行排放。

注：1、常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m³；年排放总量用 kg。

2、含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度 (Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m³) 和活度 (Bq)。

表 6 评价依据

法 规 文 件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法 (2014 年修订)》，主席令第九号，2015 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法 (2018 年修订)》，主席令第二十四号，2018 年 12 月 29 日起施行；</p> <p>(3) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法 (2020 年修订)》，主席令第四十三号，2020 年 9 月 1 日起施行；</p> <p>(4) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，主席令第六号，2003 年 10 月 1 日起施行；</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令 682 号，2017 年 10 月 1 日起施行；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例 (2019 年修改)》，国务院令 709 号，2019 年 3 月 2 日起施行；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原环境保护部令 18 号，2011 年 5 月 1 日起施行；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法 (2021 年修改)》，生态环境部令 20 号，2021 年 1 月 4 日起施行；</p> <p>(9) 《放射性废物安全管理条例》，国务院令 612 号，2012 年 3 月 1 日起施行；</p> <p>(10) 《关于发布射线装置分类的公告》，原环境保护部、国家卫生计生委公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日起施行；</p> <p>(11) 《关于发布放射源分类办法的公告》，原国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号，2005 年 12 月 23 日起施行；</p> <p>(12) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》，环发〔2006〕145 号，原国家环境保护总局，2006 年 9 月 26 日起施行；</p> <p>(13) 《关于做好放射性废物 (源) 收贮工作的通知》，环办辐射函〔2017〕609 号，原环境保护部办公厅，2017 年 4 月 21 日起施行；</p> <p>(14) 《关于修改〈产业结构调整指导目录 (2019 年本)〉的决定》，国家发展和改革委员会令 49 号，2021 年 12 月 30 日起施行；</p> <p>(15) 《关于实施“三线一单”生态环境分区管控的指导意见 (试行)》，环环评〔2021〕108 号，生态环境部办公厅，2021 年 11 月 19 日印发；</p> <p>(16) 《建设项目环境影响评价分类管理名录 (2021 年版)》，生态环境部令 16 号，</p>
------------------	---

	<p>2021年1月1日起施行；</p> <p>(17)《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，2019年12月24日印发；</p> <p>(18)《建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法》，生态环境部令第9号，2019年11月1日起施行；</p> <p>(19)《浙江省建设项目环境保护管理办法(2021年修正)》，浙江省人民政府令第388号，2021年2月10日起施行；</p> <p>(20)《浙江省辐射环境管理办法(2021年修正)》，浙江省人民政府令第388号，2021年2月10日起施行；</p> <p>(21)《关于开展医疗机构辐射安全许可和放射诊疗许可办事流程优化工作的通知》，浙环函〔2019〕248号，浙江省生态环境厅、浙江省卫生健康委员会，2019年7月18日；</p> <p>(22)关于《浙江省“三线一单”生态环境分区管控方案》的批复，浙政函〔2020〕41号，浙江省人民政府，2020年5月14日起施行；</p> <p>(23)关于印发《杭州市“三线一单”生态环境分区管控方案》的通知，杭环发〔2020〕56号，杭州市生态环境局，2020年8月18日发布；</p> <p>(24)关于印发《杭州市产业发展导向目录与产业平台布局指引(2019年本)》的通知，杭州市发展和改革委员会，2019年7月26日；</p> <p>(25)《浙江省生态环境厅关于发布<省生态环境主管部门负责审批环境影响评价文件的建设项目清单(2023年本)>的通知》(浙环发[2023]33号)，2023年9月9日起实施。</p>
技 术 标 准	<p>(1)《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016)；</p> <p>(2)《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)；</p> <p>(3)《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)；</p> <p>(4)《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)；</p> <p>(5)《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第1部分：一般原则》(GBZ/T 201.1-2007)；</p> <p>(6)《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.2-2011)；</p> <p>(7)《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)；</p>

	<p>(8) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021);</p> <p>(9) 《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021);</p> <p>(10) 《电离辐射监测质量保证通用要求》(GB 8999-2021);</p> <p>(11) 《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》(GA 1002-2012);</p> <p>(12) 《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分: 化学有害因素》(GB/Z 2.1-2019) 及第 1 号修改清单。</p>
其他	<p>(1) 委托书;</p> <p>(2) 建设单位提供的工程设计图纸及相关技术参数资料。</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016)的规定：“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”，并结合本项目实际情况（放射源和射线装置），确定本项目评价范围为加速器机房和后装机机房的实体屏蔽边界外50m区域，评价范围示意图见附图3。

7.2 保护目标

本项目的主要环境影响因素为电离辐射。根据本项目评价范围、医院辐射工作场所布局、总平面布置及外环境特征，本项目环境保护目标为评价范围50m内活动的职业人员和公众成员。评价范围50m内环境保护目标分布情况见下表。

表7-1 本项目评价范围50m内环境保护目标一览表

环境保护目标名称	所处位置	加速器机房&后装治疗机房		规模	剂量约束值	
		相对方位	与机房边界最近距离 (m)			
			水平			垂直
职业人员	电子直线加速器控制室	西侧	0	0	8人	5.0mS v/a
	后装治疗机房	东侧	0	0		
公众成员	会议室、库房等区域	东侧	0	0	5人	0.1mS v/a
	备件室	东南侧	0	0	10人/d	
	候诊区		3	0	20人/d	
	排烟机房、宿舍、电梯、前室、活门室、强电间、零星材料仓库和报废仓库等区域		约5	0	10人/d	
	工作人员走廊、停车场及其他区域	南侧	0	0	100人/d	
	水冷配电间	西侧	0	0	2人/d	
	病人等候厅		约4	0	50人/d	
	模拟定位机房		约6	0	30人/d	
	电梯和步梯等区域		约12	0	流动人员	
	排风机房、活门室、淋浴和标本库等区域	西南侧	约20	0	20人/d	
	住院部地下一层凸出平台和停车库，及住院部地下一层其他区域	楼上	0	0	20人/d	
	住院部地上楼层		0	约5	500人	
	住院部地下二层为污水处理站调节池和格栅井区域	北侧	0	0	5人/d	
	院内通道		0	约5	流动人员	
仁和路	约5		约5	流动人员		

	杭州五福里小区、汉庭酒店、浣纱路小区和杭州友好饭店		约15	约5	500人/d	
--	---------------------------	--	-----	----	--------	--

7.3 评价标准

本次辐射环境评价标准引用《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)和《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)相关要求;医院放射治疗过程相关要求可参考《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)。

7.3.1 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

一、剂量限值

1) 职业照射

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

B1.1.1 剂量限值

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

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

2) 公众照射

B1.2.1 剂量限值

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值:

a) 年有效剂量,1mSv;

二、剂量约束值

结合项目实际情况,并遵循辐射防护最优化的原则,本项目工作人员职业照射和公众照射的剂量约束值取值情况见表7-3。

表7-2 本项目剂量约束值

场所名称	剂量约束值 (mSv/a)		取值依据
	职业照射	公众照射	
放疗科 (加速器机房、后装机房)	5.0	0.1	《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)第4.9条款:“从事放射治疗的工作人员职业照射和公众照射的剂量约束值应符合以下要求:a)一般情况下,从事放射治疗的工作人员职业照射的剂量约束值为5mSv/a; b)公众照射的剂量约束值不超过0.1mSv/a”。

7.3.2放射治疗机房评价标准

(1) 工作场所屏蔽体外剂量率控制水平

本项目放射治疗工作场所为1台医用电子直线加速器和1台后装治疗机，根据《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)相关规定，电子直线加速器机房和后装机机房屏蔽体外剂量率控制水平要求如下：

6.1.4 剂量控制应符合以下要求：

a) 治疗室墙和入口门外表面 30cm 处、邻近治疗室的关注点、治疗室房顶外的地面附近和楼层及在治疗室上方已建、拟建二层建筑物或在治疗室旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点治疗室房顶内表面边缘所张立体角区域时,距治疗室顶外表面 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 (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： $H_c \leq 100 \mu\text{Sv/周}$ ；

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

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

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

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

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

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

(2) 辐射工作场所分区

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)，控制区和监督区分区原则如下：

5.2 分区原则

5.2.1 放射治疗场所应划分控制区和监督区。一般情况下，控制区包括加速器大厅、治疗室(含迷路)等场所，如质子/重离子加速器大厅、束流输运通道和治疗室，直线加速器机房、含源装置的治疗室、放射性废物暂存区域等。开展术中放射治疗时，术中放射治疗室应

确定为临时控制区。

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）。

（3）辐射工作场所布局要求

根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020），放射治疗机房布局要求如下：

6.1.1 放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端；放射治疗机房及其辅助设施应同时设计和建造，并根据安全、卫生和方便的原则合理布置。

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

6.1.3 治疗机房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。

6.1.4 治疗设备控制室应与治疗机房分开设置，治疗设备辅助机械、电器、水冷设备，凡是可以与治疗设备分离的，尽可能设置于治疗机房外。

6.1.5 应合理设置有用线束的朝向，直接与治疗机房相连的治疗设备的控制室和其他居留因子较大的用室,尽可能避开被有用线束直接照射。

6.1.6 X 射线管治疗设备的治疗机房、术中放射治疗手术室可不设迷路； γ 刀治疗设备的治疗机房，根据场所空间和环境条件，确定是否选用迷路；其他治疗机房均应设置迷路。

（4）辐射工作场所安全防护要求

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021），放射治疗机房安全设施和措施要求如下：

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

a) 放射治疗工作场所的入口处应设置电离辐射警告标志，贮源容器外表面应设置电离辐射标志和中文警示说明；

b) 放射治疗工作场所控制区进出口及其他适当位置应设电离辐射警告标志和工作状态指示灯；

c) 控制室应设有在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和迷道区域情况的视频装置，并设置双向交流对讲系统。

6.2.2 质子/重离子加速器大厅和治疗室内、含放射源的放射治疗室、医用电子直线加速器治疗室（一般在迷道的内入口处）应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内或机房门附近。

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连锁措施：

a) 放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置门—机/源连锁装置，防护门未完全关闭时不能出束/出源照射，出束/出源状态下开门停止出束或放射源回到治疗设备的安全位置。含放射源的治疗设备应设有断电自动回源措施；

b) 放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置室内紧急开门装置，防护门应设置防夹伤功能；

c) 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；

f) 安全连锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动；安装调试及维修情况下，任何连锁旁路应通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后应及时进行连锁恢复及功能测试。

(5) 放射源操作的辐射安全与防护要求

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021），放射源操作的辐射安全与防护要求如下：

7.4 应加强放射源倒装活动的辐射安全管理，倒装工作应由有相应能力且通过辐射安全考核的专业人员进行；应制定放射源倒装活动方案，对辐射监测与报警仪器的有效性、操作场所分区隔离设置、倒源屏蔽体搭建进行确认；倒装放射源时应对倒装热室周围和含源设备表面进行辐射监测，关注倒源屏蔽体的辐射防护效果和含源设备的表面污染情况，做好安装和更换的放射源清点并记录；倒源结束后对含放射源的放射治疗设备、场所与周围环境进行辐射监测。

(6) 通风要求

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021），放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于4次/h，排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。

根据《工作场所有害因素职业接触限值 第1部分：化学有害因素》（GB/Z 2.1-2019）及

第 1 号修改清单：工作场所空气中臭氧的最高容许浓度为 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ 、氮氧化物的时间加权平均容许浓度为 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 。

(7) 放射性废物管理要求

8.2.2.1 质子/重离子加速器、直线加速器等治疗装置在调试及运行过程中，如活化后的回旋加速器、准直器、束流阻止器及加速器靶等组成部件，在更换或退役时，应作为放射性固体废物处理，拆卸后先放进屏蔽容器或固体废物暂存间衰变暂存，最终送交有资质的单位收贮。

8.2.2.2 低水平的活化部件如质子/重离子加速器治疗头器件、磁铁等，以及处理质子/重离子加速器冷却水的废树脂，集中放置在固体废物暂存间暂存衰变，经衰变后仍超出清洁解控水平的（放射性废物豁免的活度、活度浓度见附录 B）送交有资质的单位收贮。

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

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

8.1.1 项目地理位置

浙江省中医院湖滨院区位于杭州市邮电路 54 号，院区东侧为浣纱路，西侧为吴山路，南侧为邮电路，北侧为仁和路。

本项目拟建址位于医院住院部地下二层北侧放疗科。加速器机房东侧紧邻为后装机治疗室、控制室和备件室；南侧紧邻为工作人员走廊；西侧紧邻为水冷配电间和控制室；北侧紧邻为实土层。后装治疗机房东侧紧邻为会议室；南侧紧邻为控制室；西侧紧加速器机房；北侧紧邻为实土层。加速器机房顶部为平台，后装治疗机房顶部为停车库，加速器和后装治疗机房底部为地下实土层。

8.2 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

8.2.1 辐射现状评价对象

拟建电子加速器机房和后装治疗机房及周围环境。

8.2.2 监测因子

γ 辐射空气吸收剂量率。

8.2.3 监测点位

根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）要求，结合现场条件、项目情况和周围环境情况布设监测点，布点情况见图8-1，监测报告及监测单位资质证书见附件7。

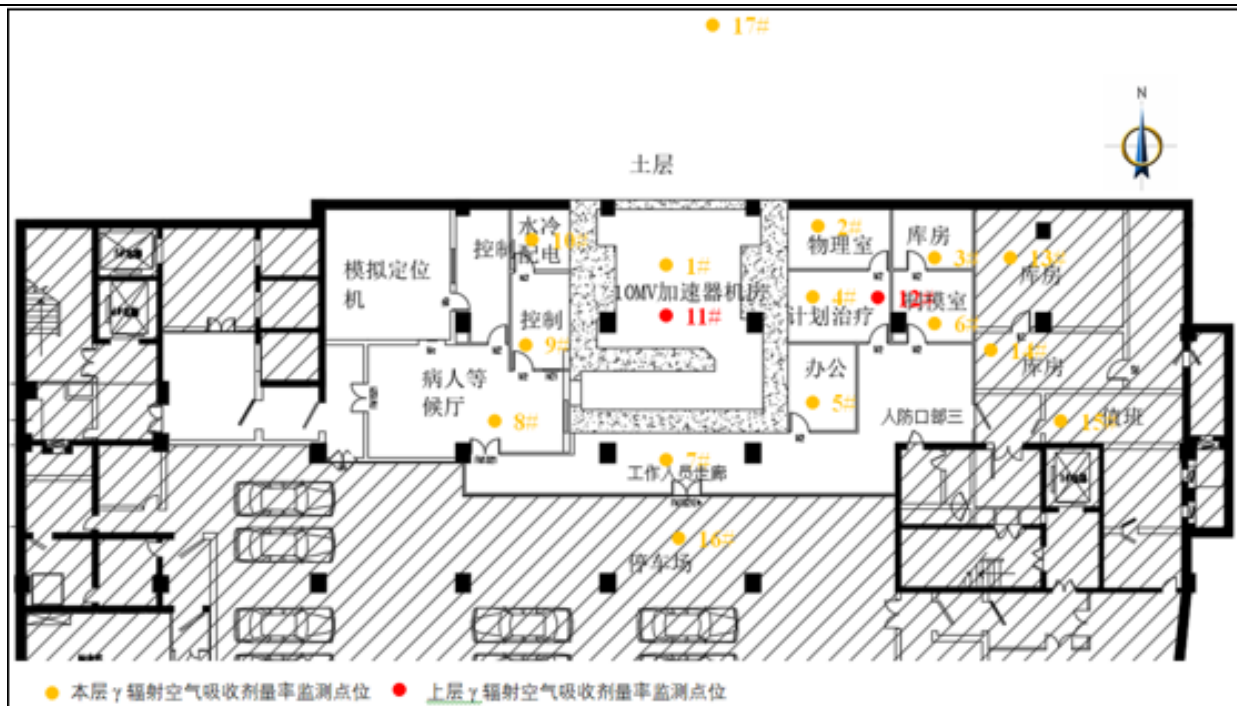


图8-1 拟建场所周边辐射环境监测点位示意图

8.3 监测方案、质量保证措施及监测结果

8.3.1 监测方案

- (1) 监测单位：浙江亿达检测技术有限公司
- (2) 监测时间：2023年05月08日
- (3) 监测方式：现场检测
- (4) 监测依据：《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)等
- (5) 监测工况：辐射环境本底
- (6) 天气环境条件：天气：晴；室外温度：25℃，室内温度：23℃；相对湿度：61%
- (7) 监测仪器

表 8-1 监测仪器的参数与规范

监测仪器	X、γ辐射周围剂量当量率仪
仪器型号	6150 AD 6/H (内置探头：6150 AD-b/H 外置探头：6150 AD 6/H)
仪器编号	167510+165455
生产厂家	Automess
量程	内置探头：0.05μSv/h~99.99μSv/h 外置探头：0.01μSv/h~10mSv/h
能量范围	内置探头：20keV-7MeV≤±30% 外置探头：60keV-1.3MeV≤±30%
检定证书编号	2023H21-20-4419850003

检定证书有效期	2023年02月15日至2024年02月14日
检定单位	上海市计量测试技术研究院华东国家计量测试中心
校准因子 C_f	1.05
探测限	$\geq 10\text{nSv/h}$

8.3.2 质量保证措施

- (1) 合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性和可比性，同时满足标准要求。
- (2) 监测方法采用国家有关部门颁布的标准，监测人员经考核并持合格证上岗。
- (3) 监测仪器每年定期经计量部门检定，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) 由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。
- (6) 监测报告严格实行三级审核制度，经过校准、审核，最后由技术负责人审定。

8.3.3 检测结果及评价

本项目辐射环境本底检测结果见表8-2。

表8-2 本项目辐射工作场所拟改扩建址辐射环境本底监测水平

点位编号	点位描述	γ 辐射空气吸收剂量率 (nGy/h)	备注
		平均值	
1#	加速器机房内	93	室内
2#	物理室 (改建后为后装治疗机房)	101	室内
3#	库房 (改建后为会议室)	93	室内
4#	计划治疗室 (改建后为后装治疗机房)	109	室内
5#	办公室 (改建后为控制室和备件室)	112	室内
6#	制模室 (改建后为会议室)	116	室内
7#	工作人员走廊	99	室内
8#	病人等候厅	96	室内
9#	控制室	95	室内
10#	水冷配电室	88	室内
11#	加速器机房上方	81	室内
12#	计划治疗室上方	82	室内
13#	库房	84	室内
14#	库房	82	室内
15#	值班室	99	室内
16#	停车场	81	室内
17#	杭州五福里小区	86	室外

注：1、本次测量时，测量时仪器探头垂直向下，距地面的参考高度为1m；

2、本次检测设备测量读数的空气比释动能和周围剂量当量的换算系数参照JJG393，使用 ^{137}Cs 作为检定/校准参考辐射源时，换算系数取 1.20Sv/Gy ；

3、 γ 辐射空气吸收剂量率均已扣除宇宙射线响应值 28.47nGy/h ，本样品中建筑物对宇宙射线的屏蔽

修正因子，17#点位取1，其余点位取0.8；

4、监测点位见图8-1；

5、监测时原直线加速器未使用。

由上表可知：本项目辐射工作场所拟建址及周围各检测点位的室外 γ 辐射空气吸收剂量率为（86）nGy/h，室内 γ 辐射空气吸收剂量率范围为（81~116）nGy/h。由《浙江省环境天然放射性水平调查报告》可知，杭州市建筑物室内 γ 辐射剂量率范围为（56~443）nGy/h，杭州市道路上 γ 辐射剂量率为（28~220）nGy/h。因此，本项目辐射工作场所拟建址及周围环境的 γ 辐射空气吸收剂量率处于当地一般本底水平，未见异常。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 建设阶段工程分析

本项目施工期建设内容主要为将现有加速器机房的控制室部分墙体以及迷道外侧部分墙体做增加防护处理。以及后装治疗机房墙体改造、防护装修（含铅防护门、配套用房装修等）。

本项目调试期为电子加速器和后装治疗机的安装调试等内容。本项目建设阶段工艺流程及产污环节如下：

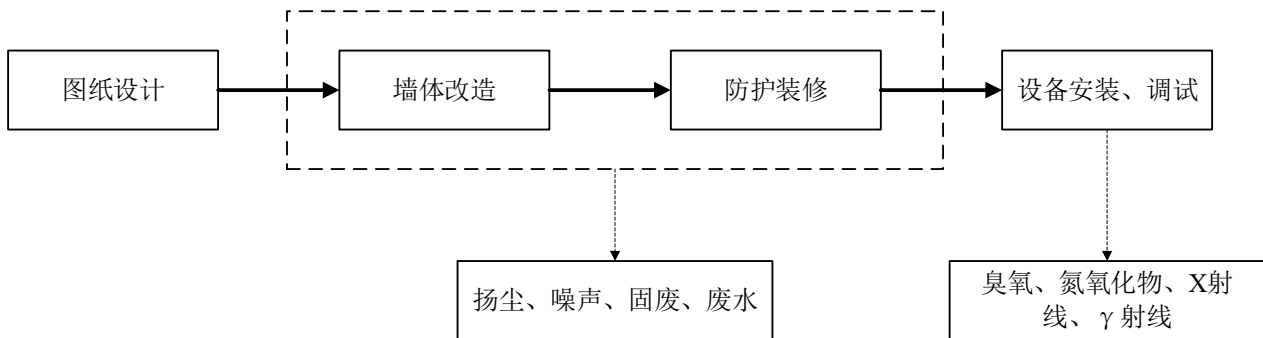


图 9-1 施工期工艺流程及产污环节

9.1.1 建设阶段主要污染物

项目施工期产生的污染物主要包括：

(1) 扬尘

施工过程中会产生扬尘，主要是墙体改造和防护装修过程中产生的扬尘（TSP）。

(2) 噪声

施工期噪声包括各类机械、运输车辆的噪声。

(3) 废水

施工期产生的废水主要包括施工废水和施工人员的生活污水。

(4) 固体废物

施工中产生的废弃物（如废材料、建筑垃圾等）以及施工人员产生的生活垃圾。

(5) 臭氧、氮氧化物

设备调试阶段产生的废气主要为少量臭氧、氮氧化物。

(6) 电离辐射

本项目射线装置及放射源调试阶段会产生 X 射线、 β 射线和 γ 射线，同时设备安装完成后，会有少量的废包装材料产生。

9.2 营运期工程分析

9.2.1 设备组成及工作原理

(1) 医用电子直线加速器

医用直线加速器是产生高能 X 射线和电子束的装置，为远距离治疗机。设备组成主要包括机架组件、辐射头、水冷系统、速调管、真空系统、充气系统、高压脉冲调制器、栅控电子枪电源、控制柜及操作盒、运控机箱、整机动力配电及低压电源、整机联锁保护电路等。

从电子枪发出的同步电子束注入已建立高梯度的驻波加速场中加速，在加速管末端，电子束加速到所需能量后经过漂移管进入 270 度偏转磁场。在偏转磁场中，电子束偏转 270 度后由水平入射变为垂直出射，并同时完成聚集和消除能谱色差形成直径 2mm 左右的平行束流，经过引出窗到达移动靶件处。移动靶件具有不同工位，可根据治疗需要使电子束轰击合金靶产生 X 辐射或直接穿透初级散射箔产生电子辐射。

典型医用直线加速器示意图、内部结构图与典型外观图分别见图9-2、图9-3与图9-4。

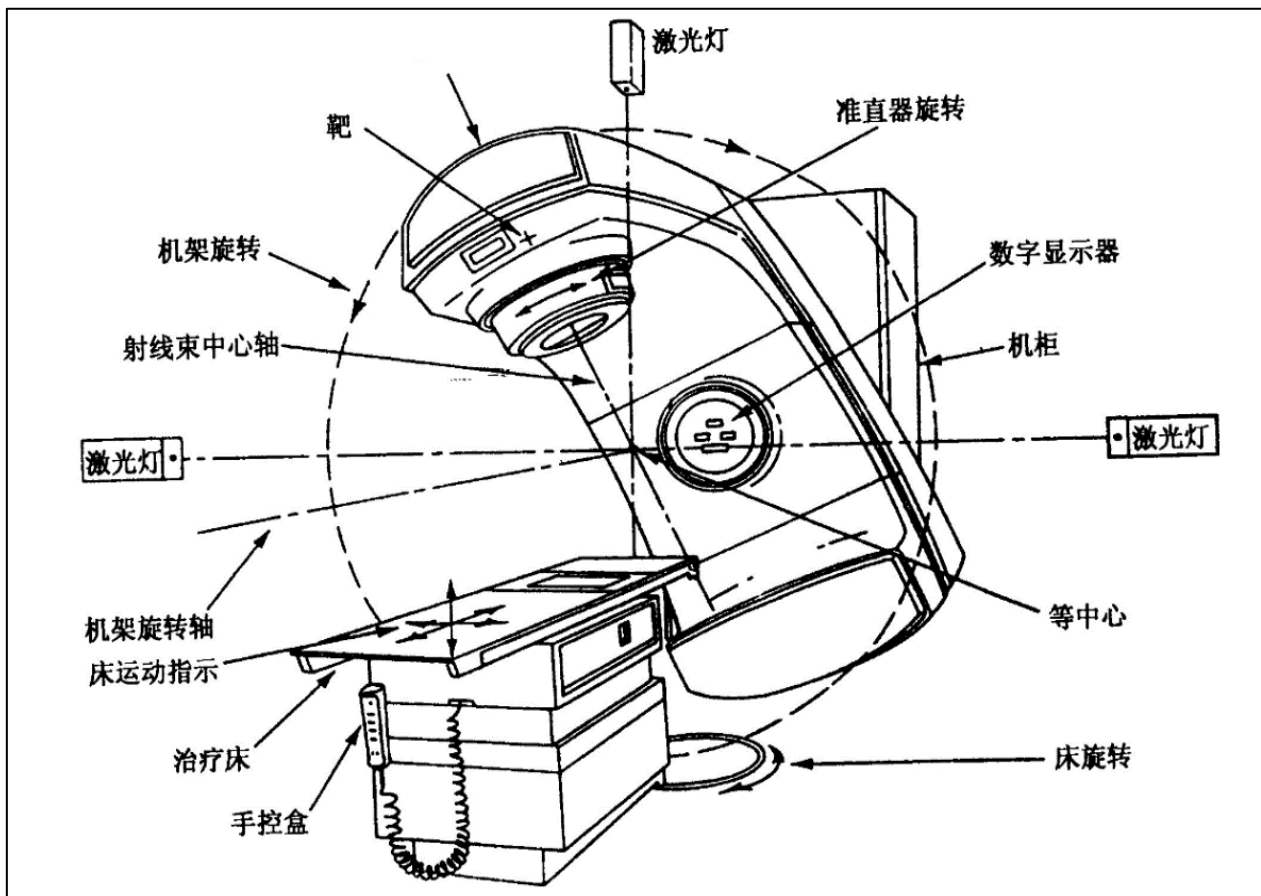


图 9-2 典型医用直线加速器示意图

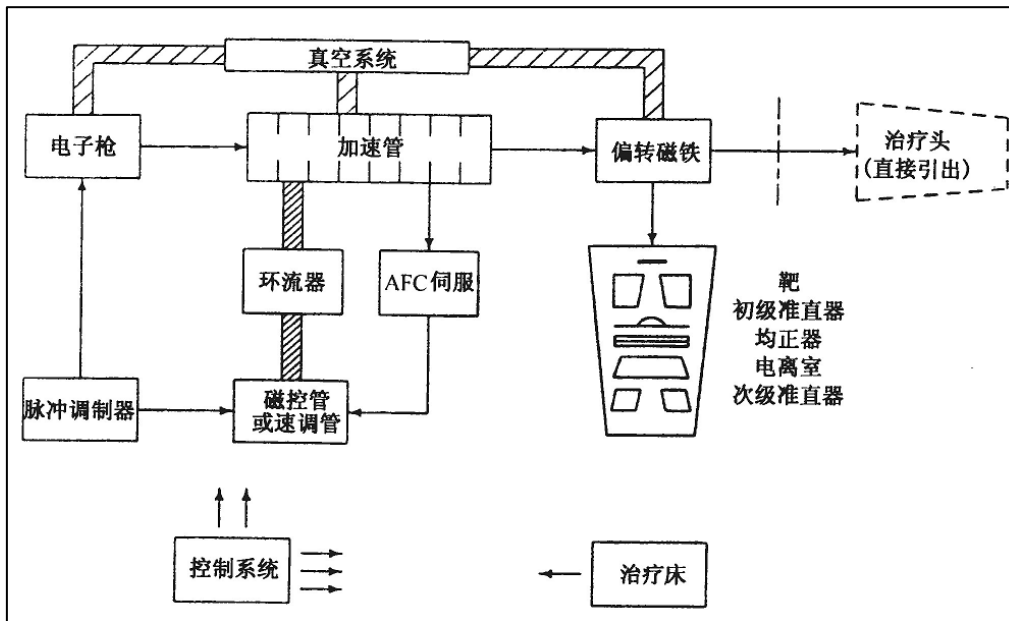


图 9-3 典型医用直线加速器结构图



图 9-4 典型医用直线加速器外观图

(2) 后装治疗机

后装机的作用是将放射源准确、安全、定时地放置到人体病变部位，可用于宫体、宫颈、直肠、食道、口腔、鼻咽等腔内肿瘤的后装治疗，也可用于皮肤浅表面肿瘤的后装治疗，后装技术就是先在病人身上正确放置好施源器，然后在安全防护条件下用遥控方法自控制室将后装机贮源室内的放射源通过管道送到病人身上的施源器内，其好处是放置施源器有充分的

时间，并可用透视或摄片校正位置，从而保证了放射源的正确位置，使 γ 放射源在人体自然腔、管道或组织间驻留而达到预定的剂量及其分布的一种放射治疗手段。

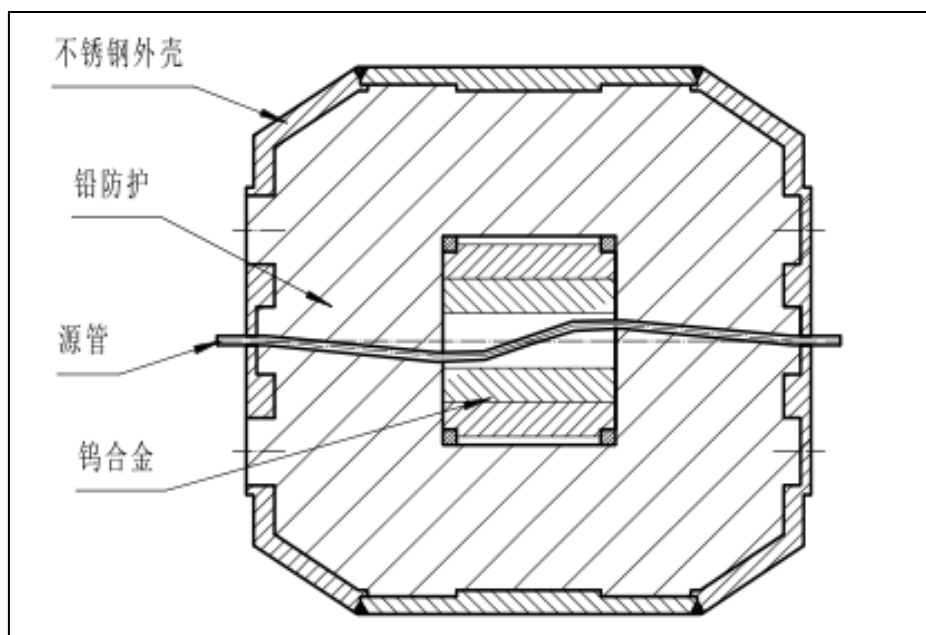


图9-5 ^{192}Ir 放射源源罐结构示意图



图9-6 ^{192}Ir 后装机外形图

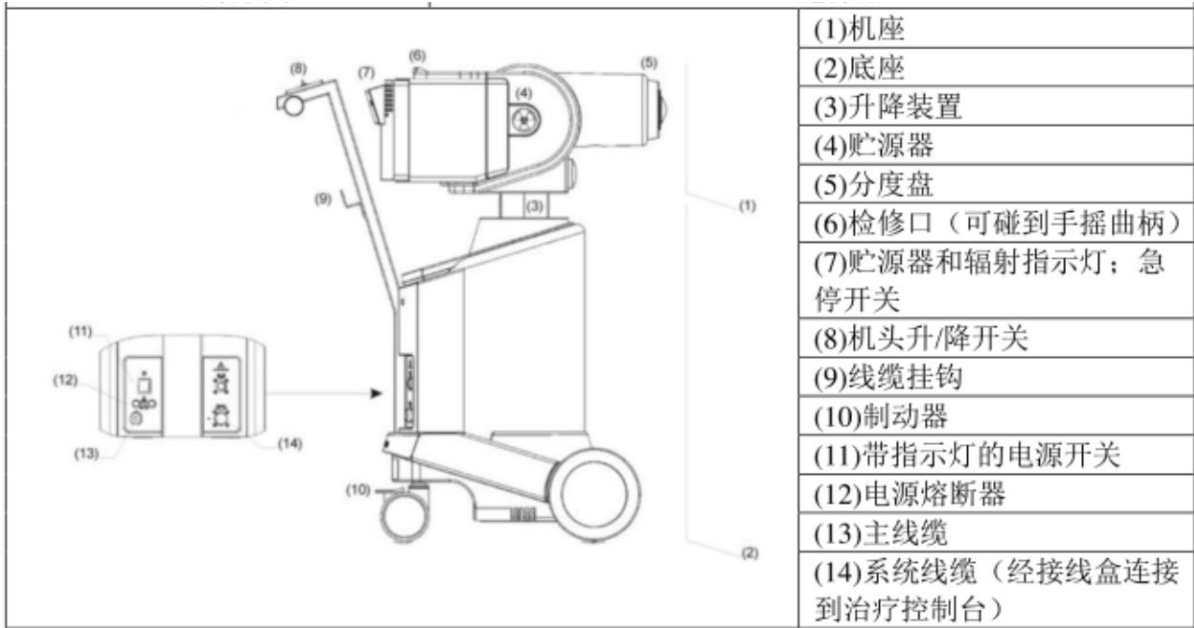


图9-7 典型¹⁹²Ir后装 γ 源治疗机结构示意图

后装机主要由机座、底座、升降装置、贮源器、分度盘、检修口等组成部分以及根据患者不同腔位及大小而设计的系列施源器组成。后装机有两个相同的绕有钢丝绳的轮，一个是真源轮，一个是假源轮，两个轮的结构和大小相同，在真源轮上放有放射源，两个轮分别由电脑控制的步进电机执行，同时还各装有一个直流电机，用于必要时做快回抽的操作。所载的放射源为高活度微型铱-192源，源运动由电脑控制的步进电机执行，步进距离为2.5mm、5mm及10mm，虽仅为1个放射源，但源可对1~30个通道进行治疗。单一微型源可保证各种功能的执行，易于保护，剂量计算更为精确。

¹⁹²Ir放射源装于机头源罐内，源罐由外而内分别为不锈钢外壳、铅防护、钨合金防护，防护性能良好。¹⁹²Ir放射源源罐结构见图9-5，后装机外形和结构如图9-6和图9-7所示。

9.2.2 劳动定员及工作负荷

(1) 人员配备与岗位设置

根据医院提供的资料，本项目放疗工作场所拟配置8名辐射工作人员，均为放疗科现有辐射工作人员。每间放疗机房配置4名，分别为医师1名、技师2名、物理师1名，实行定岗定责制，相互不交叉工作，同时也不兼任院区其他放射性工作，人员具体分工和岗位职责见下表。

表9-8 本项目每间放疗机房辐射工作人员配置计划

场所名称	人员类别	岗位内容	拟配置数量	工作班制
加速器机房（1间）/ 后装机机房（1间）	医生	诊断、读片、患者病房管理	1名	单班制，每班工作 8h，年工作250天
	技师	设备操作、患者摆位	2名	

	物理师	制定TPS治疗计划	1名	
--	-----	-----------	----	--

(2) 工作负荷

根据医院预测的诊疗需要，直线加速器机房投入使用后，预计平均每天接待病人不超过50人次，年接待病人数不超过12500人次，每周工作5d，全年工作50周。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）中附录A的内容，典型的放射治疗工作量为平均每人每野次治疗剂量1.5Gy，平均每人治疗照射3野次，周工作负荷 $W=50 \times 5 \times 1.5 \times 3=1125\text{Gy/周}$ 。本项目加速器等中心处治疗模体内参考点的常用最高吸收剂量 $D_0=4\text{Gy/min}$ （日常工作主要为普通治疗模式，非高剂量FFF模式），则治疗照射时间 $t=W/D_0=1125\text{Gy/周} \div 4\text{Gy/min}=281.25\text{min/周}=4.6875\text{h/周} \approx 5\text{h/周}$ （取整），按50周/年计，则出束时间为250h/a。

后装机房：根据医院提供的资料，后装机每天最大工作量为15人次，每周工作5天，参考《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/T203.2-2014）中附录F.1的“示例条件与基本参数”，放射源活度处于370GBq时，平均每位患者的治疗照射时间为6min，则周治疗时间为7.5h。1年工作50周，则年治疗时间为375h。

9.2.3 人流路径规划

加速器机房：本项目患者在病人等候厅等候，后通过加速器机房防护门经迷道进入加速器机房接受治疗，治疗完毕后原路返回。

工作人员经控制室门进入控制室。工作人员通过加速器机房防护门经迷道进入机房进行摆位工作，工作结束后原路返回。

后装治疗机房：本项目患者在候诊区等候，后通过后装治疗机房防护门经迷道进入后装治疗机房接受治疗，治疗完毕后原路返回。

工作人员经控制室门进入控制室。工作人员通过后装治疗机房防护门经迷道进入机房进行摆位工作，工作结束后原路返回。

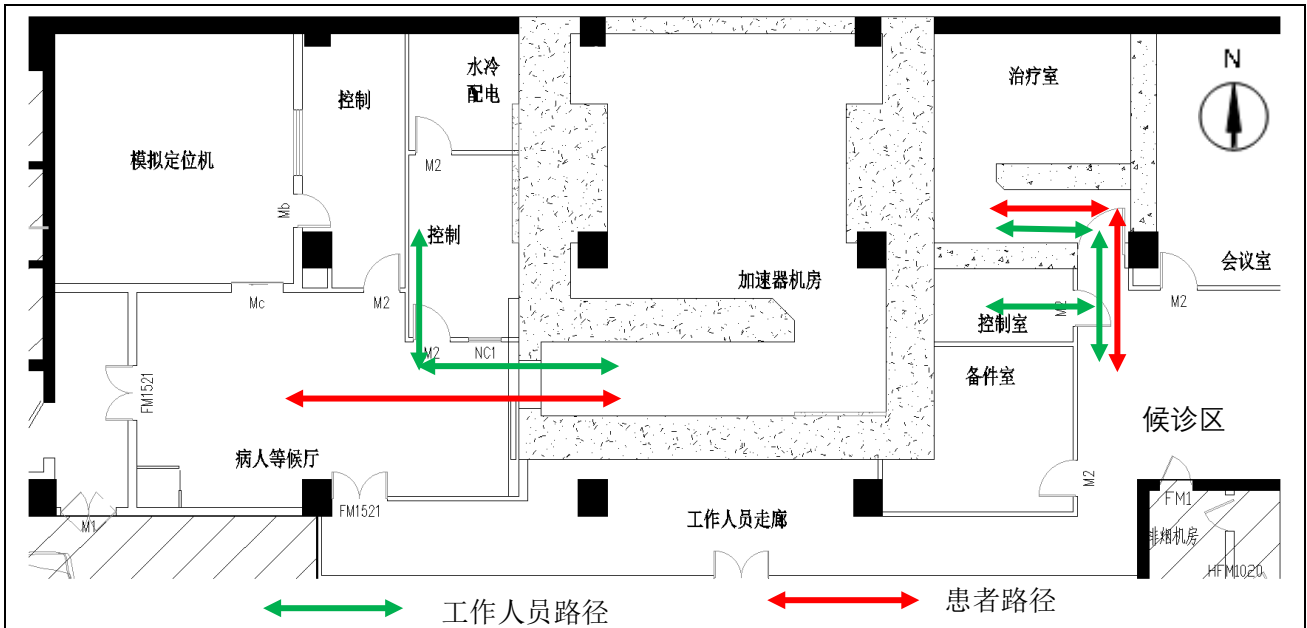


图9-8 本项目人流规划路径图

9.3污染源项描述

9.3.1操作流程及产污环节分析

(1) 直线加速器工作流程

- ①根据医生指导意见，需要接受治疗的患者提前预约登记，以确定治疗时间；
- ②预约患者首先在模拟定位机（依托现有模拟定位机）上进行肿瘤定位，确定肿瘤的具体位置和形状；物理师根据定位的情况进行制模；
- ③物理师通过医生给出的治疗剂量，通过治疗计划系统（TPS）制定治疗计划；
- ④肿瘤患者在技师协助下躺上治疗床，进行摆位，根据TPS确定照射位置和面积；
- ⑤确认机房无其他无关人员后，技师离开机房，进入控制室；
- ⑥确认加速器各系统正常工作，根据TPS计划设定好出束时间、角度与剂量，进行出束治疗；
- ⑦治疗结束后，关机，打开机房防护门，技师进入机房卸载患者，病人离开机房。

根据医院提供的资料，本项目直线加速器无电子束治疗，因此不考虑中子和感生放射性。工艺流程及产污环节如下图所示。

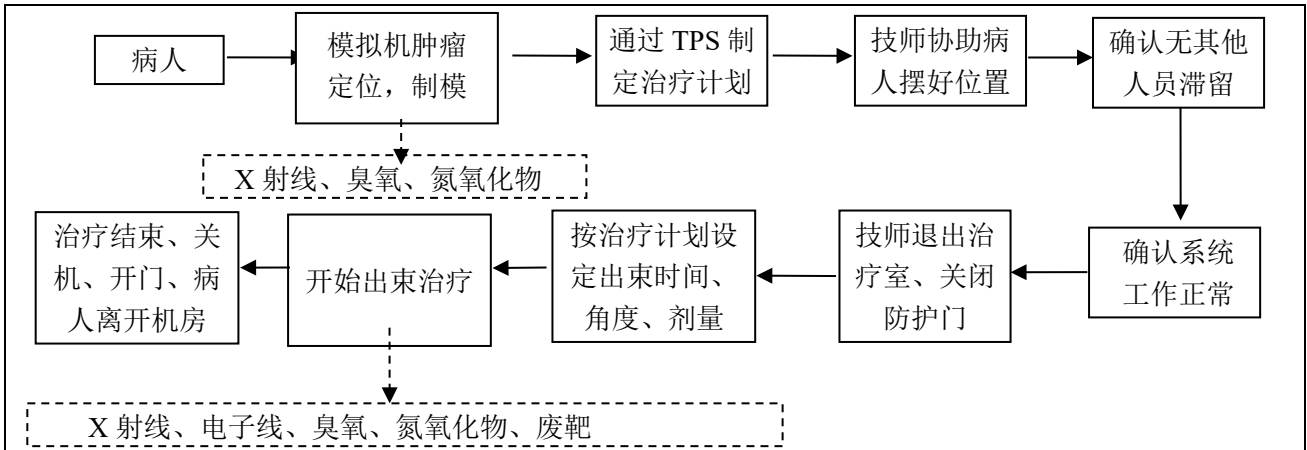


图9-9 医用电子直线加速器工作流程及产污环节分析图

(2) 后装机工作流程

- ①模拟定位。先通过CT对病变部位进行详细检查，然后确定照射的方向、角度和视野大小，拍片定位。
- ②制订治疗计划。根据患者所患疾病的性质、部位和大小确定操作照射剂量和照射时间。
- ③固定患者体位，近距离后装机治疗时，要进行病变部位插管，将输源管和施源器送达腔道的病灶，接上与后装机贮源室相连的导管。
- ④开机治疗，将放射源送达病灶进行治疗，单个病人平均单次出束治疗时间6min。
- ⑤治疗完毕，放射源返回后装机贮源室。

后装机治疗流程见下图。

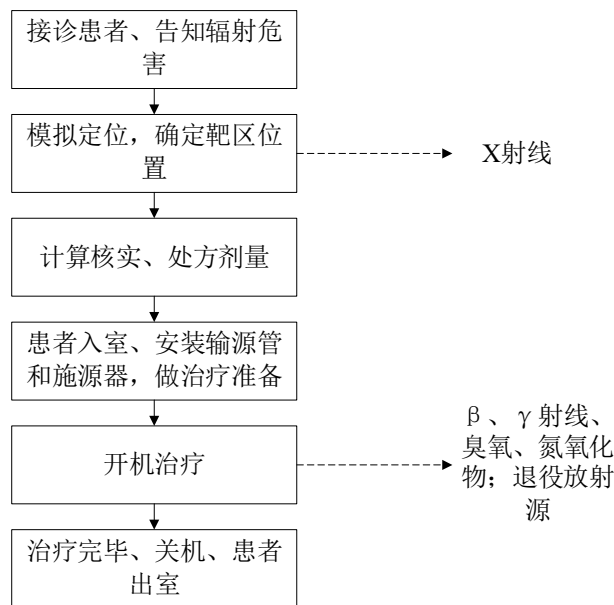


图9-10 后装机工作流程及产污环节分析图

(3) 换源操作

医院购买的后装机与配套使用的放射源 (^{192}Ir) 是分开的。首次导源由后装机生产厂家工程师负责。后期源的购买由医院申购, 新源由放射源生产厂家运输至医院, 导源仍然由后装机生产厂家工程师负责, 退役源 (根据厂家提供资料, 活度约为 $6.9 \times 10^{10} \text{Bq}$) 装在密封铅罐 (25mmPb) 内暂时放置于后装机机房内保险柜内, 换源结束后由生产厂家回收。根据医院提供的资料, 后装治疗机使用UPS对设备进行供电。

根据 ^{192}Ir 放射源半衰期特点 (74.6天), 医院放疗科每年需要2枚铱源。每次申购铱源后由厂家运输至后装治疗机房, 装在密封铅罐 (25mmPb) 内暂时放置于机房内保险柜内等待工程师导源 (暂存时间保守取24h)。当后装机生产厂家工程师导源完毕后, 退役源装在密封铅罐 (25mmPb) 内暂时放置于后装机机房内保险柜内 (暂存时间保守取24h), 换源结束后由生产厂家回收。

根据建设单位提供换源资料和调查其他后装机, 后装机换源和装源分以下几个步骤:

步骤1: 负责更换放射源的人员 (持有放射性操作工作许可证的专业人员) 换源前进入治疗室, 并检查辐射量是否达到安全水平。在治疗室内完成以下操作:

- a、把空的运输/维修用储源罐置于主机分度盘下方地板上;
- b、把主机机头高度调到最低;
- c、把运输/维修用储源罐上的两颗螺丝拧松, 打开盖子;
- d、把导源管一端连接到分度盘上的1通道中, 并锁紧分度盘;
- e、把导源管另一端连接到运输/维修用储源罐中;
- f、确定运输/维修用储源罐中的源夹头是打开的 (夹头向上)。

完成上述操作后, 所有人都必须离开治疗室, 并将治疗室的门关上。回到控制室后, 进入步骤2。

步骤2: 单击后装机上出源按钮, 系统首先进行机器自检, 如果自检结果正常, 则发出将放射源沿导源管送出的指令。放射源被送出后, 进入步骤3。

步骤3: 首先将控制台上钥匙开关拨到停止位置, 停止给后装机供电 (因为后装机铅门和后装机为联锁装置, 如不停止供电, 一旦铅门打开, 放射源将马上被收回到主机上的储源罐, 无法换源)。然后负责更换放射源的人员可以进入治疗室, 并检查辐射量是否达到安全水平, 在治疗室卸下旧的放射源, 然后装上新的放射源。

卸下旧的放射源的步骤:

- a、取下主机机头上方的盖板;

- b、松开分度盘的卡盘，将连接到分度盘上的导源导管连同源线一起拔出；
- c、把导源导管连接到运输/维修用储源罐中的一端拨开；
- d、把源线从导源导管中抽出来；
- e、把源线绕在运输/维修用储源罐里；
- f、把运输/维修用储源罐上的两颗螺丝拧紧，盖上盖子；
- g、把装有旧源的运输/维修用储源罐运输至安全的地方（本项目为装在密封铅罐（25mm铅当量）内暂时放置于后装机机房内保险柜内，换源结束后由生产厂家回收）。

装上新的放射源的步骤：

- a、把装新源的运输/维修用储源罐置于主机分度盘下方的地板上；
- b、把运输/维修用储源罐上的两颗螺丝拧松，打开盖子；
- c、确定运输/维修用储源罐中的源夹头是锁紧的（夹头向下）；
- d、把运输/维修用储源罐里绕着的源线解开；
- e、把装源导管连接到分度盘上的1通道中，并锁紧分度盘；
- f、把源线的端头小心地推入到装源导管中；
- g、确定源线没有弯曲或扭绞；
- h、继续推入源线直至到达放射源主动轮压合处；
- i、松开放射源绕丝轮上的绕线锁阀；
- j、打开运输/维修用储源罐中的源夹头（夹头向上）。

完成上述操作后，所有人都必须离开治疗室，并将治疗室的门关上。进入步骤4。

步骤4：首先恢复给后装机送电。然后单击“回源”按钮，系统发出将放射源收回到储源罐中的指令。放射源被收回后，进入步骤5。

步骤5：负责更换放射源的人员应该进入治疗室，并检查辐射量是否到达安全水平。在治疗室完成以下操作：

①把运输/维修用储源罐上的两颗螺丝拧紧，盖上盖子；

②连接到分度盘中的装源导管拿掉。至此放射源的更换完成。更换放射源完成后，应该添加新的放射源记录，输入新放射源的信息。

综上：换源工作包括两个部分，取出旧的放射源和装填新的放射源。取出的放射源经铅罐收集后暂时放置于后装机机房内保险柜内，换源结束后由生产厂家回收。本项目装源过程持续时间约10min，取源过程约10min。

换源和装源工作为非工作日或晚上，由持有放射性操作工作许可证的专业人员在后装机房内操作，本项目放疗科工作人员不进入机房。

9.3.2 直线加速器污染源项

9.3.2.1 污染因子分析

1、X射线

本项目医用电子加速器X射线最大能量为6MV，1m处最大剂量率为14Gy/min ($8.4 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$ ，FFF模式 $\leq 14\text{Gy/min}$)，加速器产生的电子经过加速后，受到金属靶的阻止而产生韧致辐射，由于X射线的贯穿能力极强，对周围环境可能造成辐射污染，但运行时产生的X射线随加速器的开、关而产生和消失。在加速器开机时间内X射线为主要辐射环境污染因素。

2、电子线

除X射线外，本项目医用电子加速器也会产生的电子线，从而对周围环境产生辐射影响。电子线的穿透能力远弱于X射线，在X射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽。

3、放射性固废

废靶拟放置在机房内的放射性铅废物桶衰变贮存直至经检测其表面 γ 辐射剂量率符合清洁解控水平后，将由设备厂家负责回收。

4、非放射性有害气体

医用电子加速器在开机运行时，产生的X射线与空气作用可产生少量臭氧和氮氧化物等非放射性有害气体。根据表11加速器非放射性气体分析计算，本项目直线加速器在无通风、臭氧无分解条件下照射一个病人臭氧的产生浓度为： $\text{C}_{\text{O}_3} = 0.037\text{ppm}$ ，相当于 0.073mg/m^3 。加速器机房利用原有通排风系统，排风量设计值为 $1200\text{m}^3/\text{h}$ ，加速器机房内净容积约为 178m^3 ，通风换气次数大于4次/h，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）。

冷却水更换在地下1层水冷外机的水箱，水箱阀门打开排水，再加进去自来水。直线加速器冷却水循环使用，根据损失情况（蒸发，漏掉），大概7-10天补水；排水时排进医院下水管，进医院污水处理站。

本项目医用电子加速器开机状态下的主要污染因子：X射线、电子线、废靶件及非放射性有害气体等。

9.3.2.2 运行期事故工况污染源项

直线加速器在事故工况下的污染因子和污染途径与正常工况下基本相同，发生事故的主要原因有：

(1) 加速器运行时机房内有人未撤离，工作人员误操作加速器出束，发生超剂量照射；

(2) 加速器机房由于安全联锁系统失效，加速器运行时无关人员误入机房，发生超剂量照射；

(3) 维修时厂家维修人员和运行单位人员管理不当，加速器系统时发生异常出束，维修人员受到超剂量照射。

9.3.3后装机污染源项分析

9.3.3.1污染因子分析

1、 β 、 γ 射线

后装治疗机使用 ^{192}Ir 密封源（最大装源活度 $3.7\times 10^{11}\text{Bq}$ ），治疗时由储源器将其顺着输源管释放至病变部位进行照射，该放射源自发衰变产生 β 、 γ 射线， β 射线的贯穿能力相对较弱，考虑治疗室对 γ 射线屏蔽时， β 射线已被完全屏蔽，因此本项目主要考虑 γ 射线的屏蔽。

2、废旧放射源（根据厂家提供资料，活度约为 $9.25\times 10^{10}\text{Bq}$ ）

使用 ^{192}Ir 源时，放射源半衰期短，一般使用2个半衰期（148d）更换一次，源更换及废源回收由生产厂家负责。

3、非放射性废气

后装机在工作状态下，会使机房内的空气电离产生少量的臭氧和氮氧化物等非放射性有害气体。根据表11计算，后装机治疗室内臭氧的浓度为 $2.42\times 10^{-4}\text{mg}/\text{m}^3$ 。机房拟设置通排风系统，排风量设计值为 $600\text{m}^3/\text{h}$ ，后装治疗机房内净容积约为 103m^3 ，通风换气次数大于4次/h，可明显降低其浓度，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）。

因此，本项目后装机开机状态下的主要污染因子： γ 射线、废旧放射源及非放射性气体。

9.3.3.2运行期事故工况分析

本项目后装治疗机使用 ^{192}Ir 密封源运行期事故工况分析：

①暂存放射源或废放射源受外力作用，放射源屏蔽容器破损，造成裸源事故；

②暂存放射源或废放射源因管理不善发生丢失、被盗等事故；

③辐射工作人员或公众还未全部撤出机房，外面人员启动，造成有关人员被误照，引发辐射事故；

④安全联锁装置发生故障，工作时无关人员打开屏蔽门并误入，造成有人员被误照射，

引发辐射事故；

- ⑤设备故障，放射源不能正常回落储源容器，造成卡源事故。

表 10 辐射安全与防护

10.1 放疗工作场所安全设施

10.1.1 场所平面布局合理性分析

本项目放疗工作场所位于住院部地下二层北侧放疗科。机房六侧的相邻环境关系见表 10-1。

表10-1 各放疗机房六侧的相邻环境关系

场所名称	场所位置	东侧	南侧	西侧	北侧	正上方	正下方
加速器机房	住院部地下二层北侧	后装治疗机房及控制室和备件室	工作人员走廊	控制室、水冷配电	实土层	凸出平台	实土层
后装治疗机房		会议室	控制室	加速器机房	实土层	停车场	实土层

加速器机房东侧为后装治疗机房及控制室和备件室，南侧为工作人员走廊，西侧为控制室和水冷配电，北侧为实土层，顶部为地下一层凸出平台，下方为实土层。南侧设有直迷道入口，由迷道内墙和迷道外墙组成，迷道口设有防护门（电动平开门）。加速器机房由治疗室、迷道和防护门组成，治疗室与控制室、水冷配电间分开设置。

本项目拟更新医用电子直线加速器（等中心处最大剂量率为14Gy/min（FFF模式））等中心处最大剂量率是原有直线加速器（等中心1m处最高剂量率为3Gy/min）的约4.6倍。根据对直线加速器运行阶段加速器机房关注点周围剂量当量率水平的计算，如不进行屏蔽加厚，加速器控制室和迷道外墙（工作人员走廊漏射区域）周围剂量当量率水平偏大。而且本项目加速器机房于2010年完成建设，布局上存在一定的缺陷，控制室被有用线束直接照射。从实际情况考虑，布局调整难度较大，控制室主射束墙体拟经二次防护优化，可在一定程度上保障放射工作人员的安全，故未对该控制室的位置进行调整。根据表11的计算，本次屏蔽加厚区域加速器控制室和迷道外墙（工作人员走廊漏射区域）周围剂量当量率水平均满足本项目根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）推导出剂量率参考控制水平要求。

本项目后装治疗机房东侧为会议室，南侧为控制室，西侧为加速器机房，北侧为实土层，顶部为地下一层停车库，下方为实土层。南侧设有“L”型迷道入口，由迷道内墙和迷道外墙组成，迷道口设有防护门（电动平开门）。后装机房由治疗室、迷道和防护门组成，治疗室与控制室分开设置。放疗机房选址于地下二层的北侧。根据对直线加速器和后装治疗机运行阶段机房外关注点周围剂量当量率水平的计算，后装治疗机房控制室周围剂量当量率水平能满足标准要求。而且考虑到拆除改建后后装治疗机房周围其他用房（会议室）及功能区（候

诊区)的合理布局,后装治疗机房控制室未避开加速器主射束方向。

放疗机房选址于地下二层的北端,周围不邻近儿科病房、产房及商业活动区域。因此,本项目加速器机房和后装机房的选址和布局均符合《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)、《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)中“选址和布局”要求,基本合理可行。

10.1.2 机房空间要求合理性分析

根据本项目设计方案,加速器机房的治疗室净面积为46.8m²,后装机机房的治疗室净面积为18.99m²,具有足够的有效使用面积,可确保放射治疗设备的临床应用需要,可以满足《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)第6.2.1条款“有效使用空间”要求。

10.1.3 分区管理

根据 GB 18871-2002 中两区划分原则,结合《放射治疗辐射安全和防护要求》(HJ 1198-2021)标准规定,本项目拟将放疗工作场所分为“控制区”和“监督区”,以便于辐射防护管理和职业照射控制。

表 10-2 本项目放疗工作场所(不含模拟定位机房)两区划分情况

场所名称	控制区	监督区	备注
直线加速器工作场所	加速器机房(含迷道)	水冷配电机房、医用电子直线加速器控制室、病人等候区、工作人员走廊、备件室、后装机控制室、医用电子直线加速器机房顶部平台	见附图 5
后装机工作场所	后装治疗机房(含迷道)	后装机控制室、候诊区、会议室、后装治疗机房顶部停车场	

10.1.4 放疗科辐射屏蔽防护设计

(1) 场所屏蔽

根据医院提供资料,本项目放疗机房辐射防护屏蔽设计参数表见表 10-3。

表 10-3 本项目放疗工作场所屏蔽辐射防护屏蔽设计方案

机房名称	屏蔽体	区域	照射线束	改造前屏蔽参数	改造后屏蔽参数	长度	备注
加速器机房	机房尺寸:长 720cm×宽 650cm×高 380cm						
	西墙	主屏蔽区	有用线束	240cm 厚混凝土	240cm 厚混凝土+20cm 厚混凝土	380cm	增加 20cm 厚混凝土
		次屏蔽区	非有用线束	140cm 厚混凝土	140cm 厚混凝土	/	不变
	东墙	主屏蔽区	有用线束	240cm 厚混凝土	240cm 厚混凝土	380cm	不变
次屏蔽区		非有用线束	140cm 厚混凝土	140cm 厚混凝土	/	不变	

	北墙	侧屏蔽区	非有用线束	45.5cm 厚混凝土	45.5cm 厚混凝土	/	不变	
	南墙 (迷道墙)	迷道内墙	非有用线束	120cm 厚混凝土	120cm 厚混凝土	/	不变	
		迷道外墙	非有用线束	120cm 厚混凝土	120cm 厚混凝土	/	不变	
		迷道外墙 (工作人员走廊漏射区域)	非有用线束	120cm 厚混凝土	120cm 厚混凝土 +10cm 厚混凝土	250cm	增加 10cm 厚 混凝土	
	顶棚	主屏蔽区	有用线束	240cm 厚混凝土	240cm 厚混凝土,	宽度 360cm	不变	
		次屏蔽区	非有用线束	130cm 厚混凝土	130cm 厚混凝土	/	不变	
	防护门			10mmPb	10mmPb	/	不变	
	通排风设计方案	加速器机房内设有 1 个送风口和 1 个排风口,送风口位于天花板上(治疗室东北侧),排风口距地板高度为 300mm,位于治疗室的西南角,排风量设计值为 1200m ³ /h。						
	电缆设计方案	加速器机房与控制室操作台之间的各种电缆管线以线缆暗线槽形式在地坪以下部位布置,并以“U”字形从地坪下方穿越墙体。						
后装 治疗 机房	机房尺寸:长 535cm×宽 355cm×高 380cm							
	西墙(与加速器机房共用)	有用线束	/	140cm/240cm 混凝土	/	/	/	
	南墙 (迷道墙)	迷道内墙	有用线束	/	70cm 混凝土	/	/	/
		迷道外墙		/	70cm 混凝土	/	/	/
		迷道参数	L 型迷道,迷道内口宽 140cm,迷道外口宽 130cm,迷道宽度 165cm,迷道净高 380cm					
	东墙	有用线束	/	70cm 混凝土	/	/	/	
	北墙	有用线束	/	45cm 混凝土	/	/	/	
	顶棚	有用线束	45cm 混凝土现浇	45cm+15cm 混凝土现浇	/	/	/	
	防护门	有用线束	/	10mmPb	/	/	/	
	通排风设计方案	后装治疗机房内设有 1 个送风口和 1 个排风口,送风口位于天花板上(治疗室东北侧),排风口距地板高度为 300mm,位于机房的西北角。排风量设计值为 600m ³ /h。						
电缆设计方案	本项目后装治疗机房与控制室操作台之间的各种电缆管线以电缆沟形式在地坪以下部位布置,并以“U”字形从地坪下方穿越墙体。							
注:表中“混凝土”指普通混凝土,密度不低于 2.35g/cm ³ ;铅板密度不低于 11.3g/cm ³ 。								

经辐射影响预测,在上述屏蔽防护措施的基础上,本项目各放疗机房的四周墙壁和防护门外表面 30cm 处的周围剂量当量率均满足《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)中工作场所防护水平要求;职业人员和周围公众年有效剂量均满足 GB 18871-2002 中剂量限值 and 剂量约束值的要求。同时本项目新建放疗机房选用普通混凝土作为屏蔽材料,已考虑其结构性能、防护性能和经济因素,符合最优化要求,满足 GBZ 121-2020 第 6.3.3 条款中对“屏蔽材料”的要求。因此,本项目放疗机房的屏蔽防护设计方案基本合理可行。

(2) 电缆管线穿墙设计

本项目加速器机房与控制室操作台之间的各种电缆管线以线缆暗线槽形式在地坪以下部位布设，并以“U”字形从地坪下方穿越墙体，线缆暗线槽平面布置示意图见图 10-1，线缆暗线槽穿墙示意图见图 10-2。

本项目后装治疗机房与控制室操作台之间的各种电缆管线以电缆沟形式在地坪以下部位布设，并以“U”字形从地坪下方穿越墙体，电缆沟平面布置示意图图 10-1，电缆沟穿墙示意图见图 10-3。电缆沟的坑道两侧均用混凝土填充，穿墙管线入口和出口处均用硫酸钡封堵作为屏蔽补偿，保障不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果。

本项目穿墙管斜穿过墙体，穿墙管线入口和出口处均用硫酸钡封堵作为屏蔽补偿。穿墙管位置示意图见图 10-4，穿墙管剖面示意图见图 10-5。

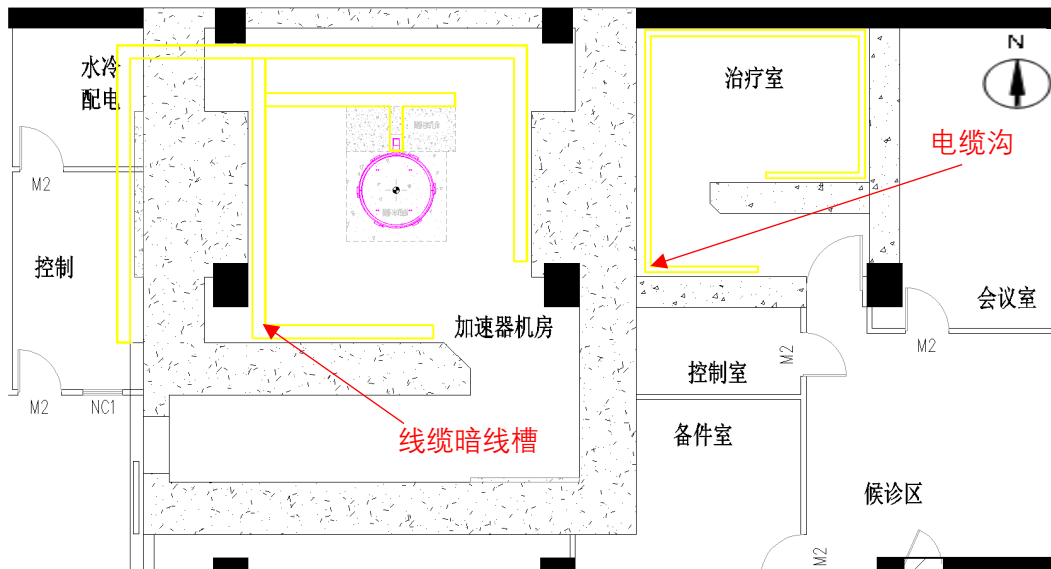


图 10-1 线缆暗线槽、电缆沟走向示意图

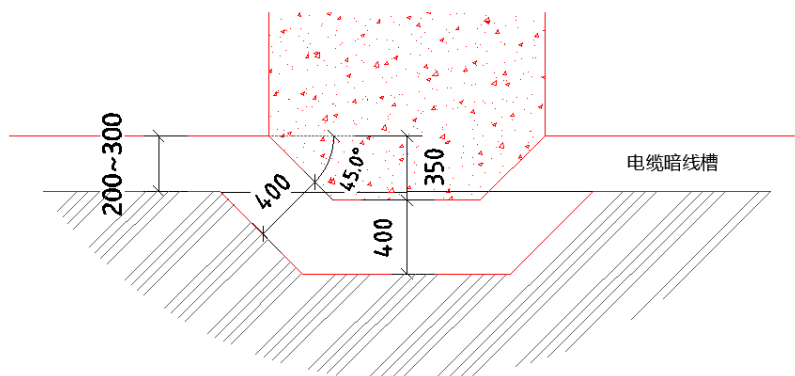


图 10-2 线缆暗线槽过墙洞剖面示意图

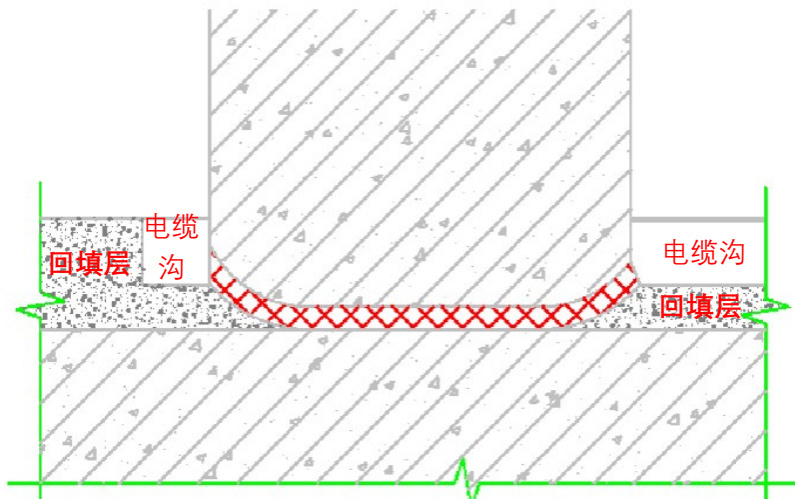


图 10-3 电缆沟穿墙剖面图

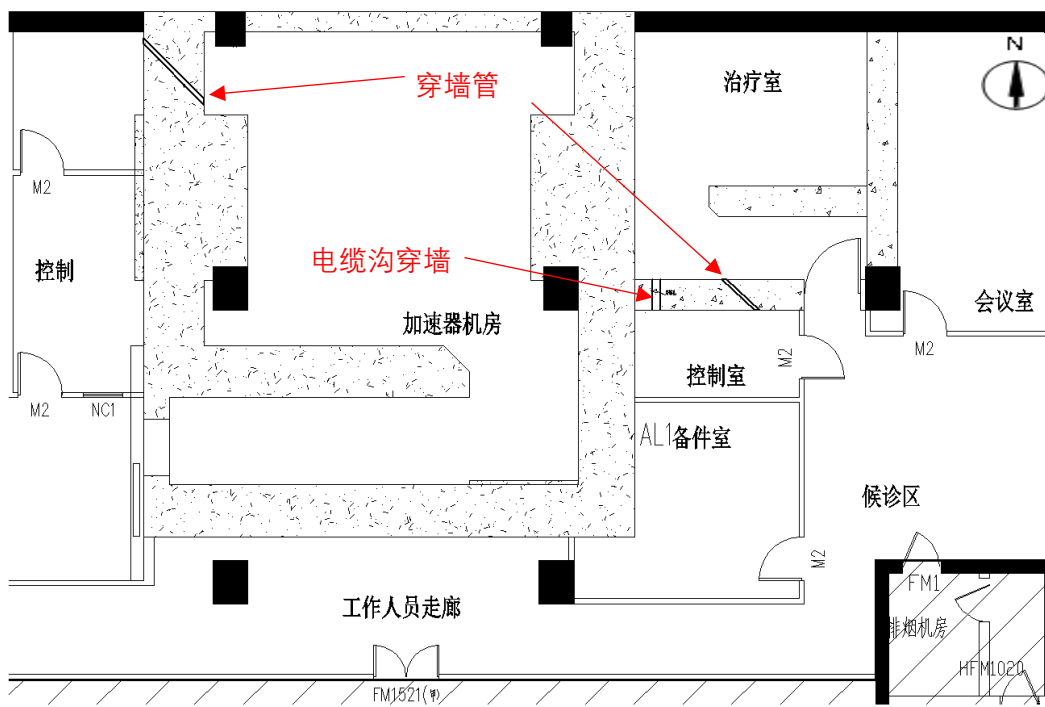


图 10-4 穿墙管位置示意图

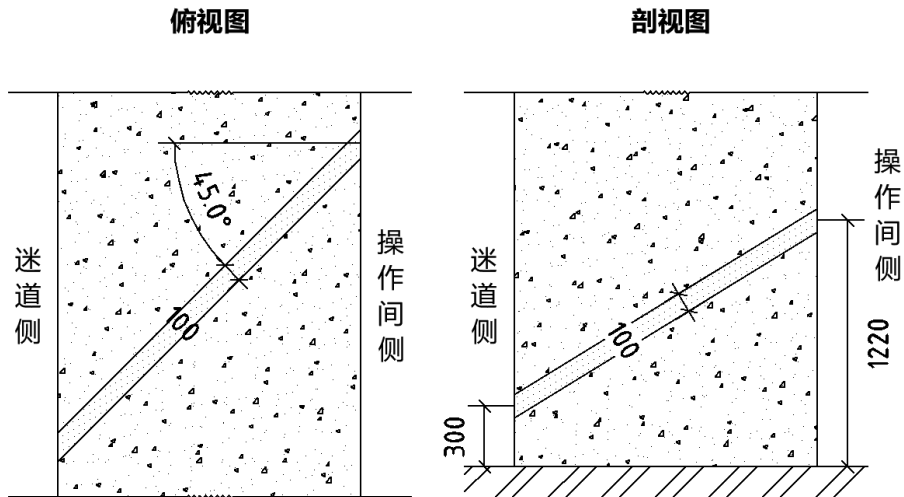


图 10-5 穿墙管剖面示意图

(3) 通排风管道设计方案

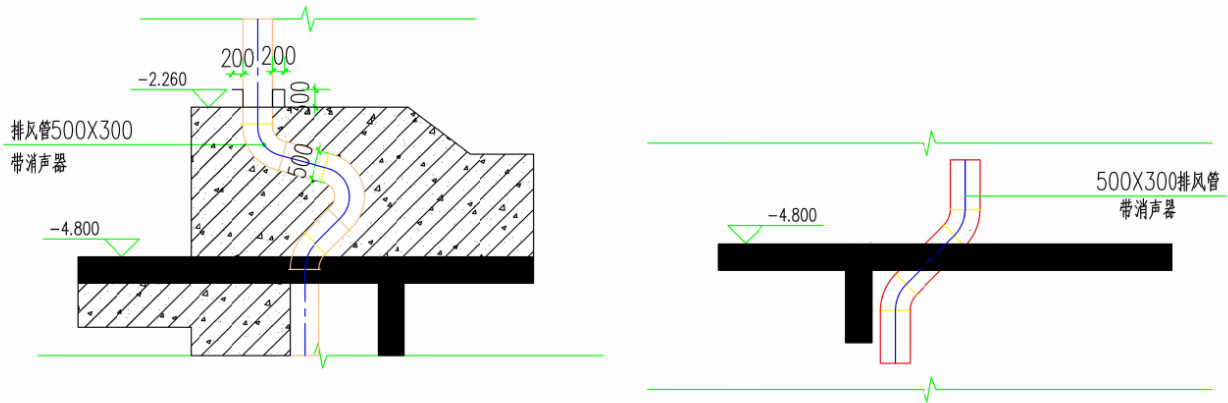
本项目放疗科加速器机房内设置排风系统和新风系统（为利旧设施使用）。后装治疗机房拟设置独立的排风系统，新风系统拟接入楼层原有新风系统。（详见附图8）

本项目放疗科位于地下二层，其上方地下一层停车库东侧中部设有排烟机房（见附图9），用于放疗科治疗机房的排风，统一输送至屋面进行排放，放疗科东侧设有送风机房（详见附图8），为放疗科以及后装治疗机房设置有送风机组，用于新风输送。

加速器机房内设有1个送风口和1个排风口，送风口位于天花板上（治疗室东北侧），排风口距地板高度为300mm，位于治疗室的西南角。排风量设计值为1200m³/h，加速器机房内净容积约为178m³，根据经验公式“通风次数=通风量/总容积”并考虑管道的阻尼效应，通风次数预计大于每小时4次的标准要求。

本项目后装治疗机房内设有1个送风口和1个排风口，送风口位于天花板上（治疗室东北侧），排风口距地板高度为300mm，位于机房的西北角。排风量设计值为600m³/h，后装治疗机房内净容积约为103m³，根据经验公式“通风次数=通风量/总容积”并考虑管道的阻尼效应，通风次数预计大于每小时4次的标准要求。

本项目加速器机房和后装机房的排风管采用S型预埋管道（安装后采用水泥砂浆灌注）从机房顶部上方穿过（图10-6）。加速器机房的新风管采用直穿式预埋管（安装后采用水泥砂浆灌注）从迷道防护门上方穿过，后装机房的新风管采用直穿式预埋管（安装后采用水泥砂浆灌注）从东侧墙体和南侧迷道外墙穿过，新风管穿墙示意图见图10-7。



直线加速器机房风管穿楼板剖面图(利旧原有)

后装机房风管穿楼板剖面图

图10-6 本项目放疗科排风管穿楼板剖面图

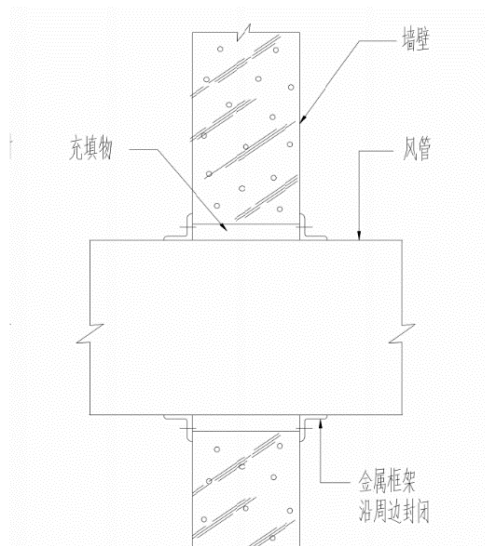


图10-7 本项目放疗科新风管穿墙剖面图

10.1.5 加速器机房辐射安全与防护措施

(1) 钥匙开关联锁：操作台有操纵钥匙开关或电子口令，只有当钥匙开关插入钥匙孔打开锁定或输入电子口令，加速器各项功能才能启动。

(2) 门机联锁：设置门机安全联锁，防护门未完全关闭时不能出束，出束状态下开门停止出束。防护门上方设有工作状态指示灯与加速器关联，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。

防护门为电动平开门，防护门与墙搭接处应尽可能减小缝隙漏泄辐射，防护门宽于门洞的部分应大于“门-墙”间隙的十倍。防护门设红外防挤压装置，防止人员被夹伤。另外防护门设手动开门装置，在紧急情况下能从机房内开门。

防护门外安装工作状态指示灯，门外设置醒目、规范的电离辐射警告标志，门外地面1m

处应设置警示红线，线外缘距门框边0.3m并贴有请勿入内的警示语句。

(3) 紧急停机按钮：机房内关键部位墙面（北侧墙面、东侧和西侧主屏蔽墙、迷路内墙内侧和外侧）和控制室内均设置紧急停止开关并有明显标志，供紧急停止使用。事故处理完毕后，再于本地复位，加速器才能重新启动。

(4) 工作状态指示灯、电离辐射警告标志和声音报警器：防护门外安装工作状态指示灯，其中工作状态指示灯具备开机、停机指示，并与医用电子直线加速器联锁。加速器机房入口醒目位置张贴电离辐射警告标志。

(5) 加速器机房内配备1套固定式剂量监测系统，在治疗室迷道口处设置固定式辐射剂量监测仪探头，该监测系统能够显示机房内实时剂量率并有异常情况下报警功能，并有报警功能，其显示单元设置在控制室。

(6) 监控系统和对讲系统：在加速器机房内设有摄像监视系统，使控制室的工作人员可清楚地观察到机房内加速器的工作情况，如发生意外情况可及时处理。机房和控制室之间设置双向对讲系统，方便操作人员与患者的交流。

(7) 机房控制室墙上张贴相应的岗位规章制度、操作规程。上墙制度包括《辐射安全管理规定》、《岗位职责》、《设备操作规程》、《辐射事故应急响应程度》，制度字体醒目，尺寸大小应不小于400mm×600mm。

医用电子直线加速器的安全联锁逻辑图如下图10-8, 机房安全措施设置示意图见附图10-9。

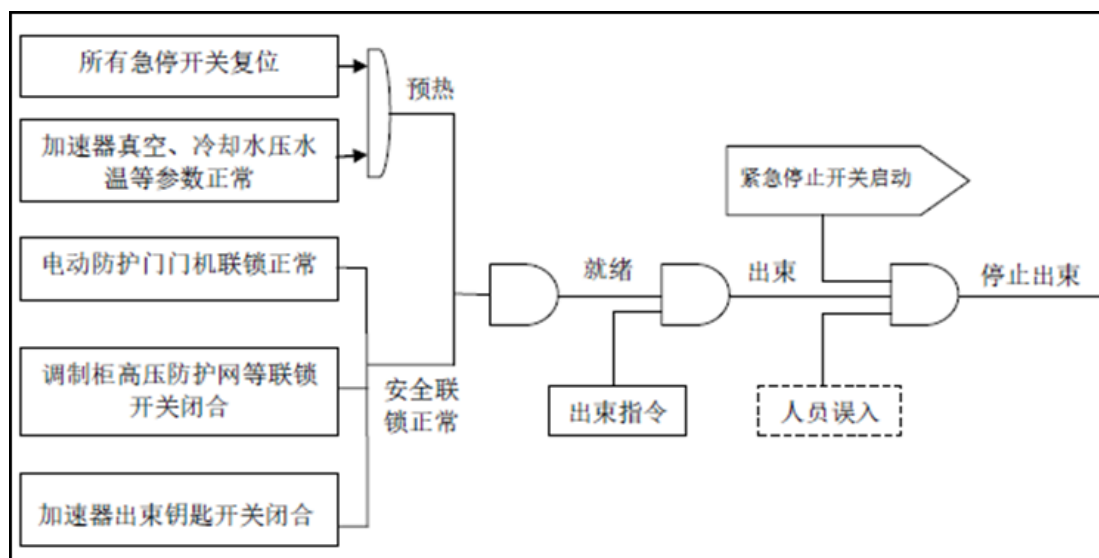


图10-8 医用电子直线加速器的安全联锁逻辑图

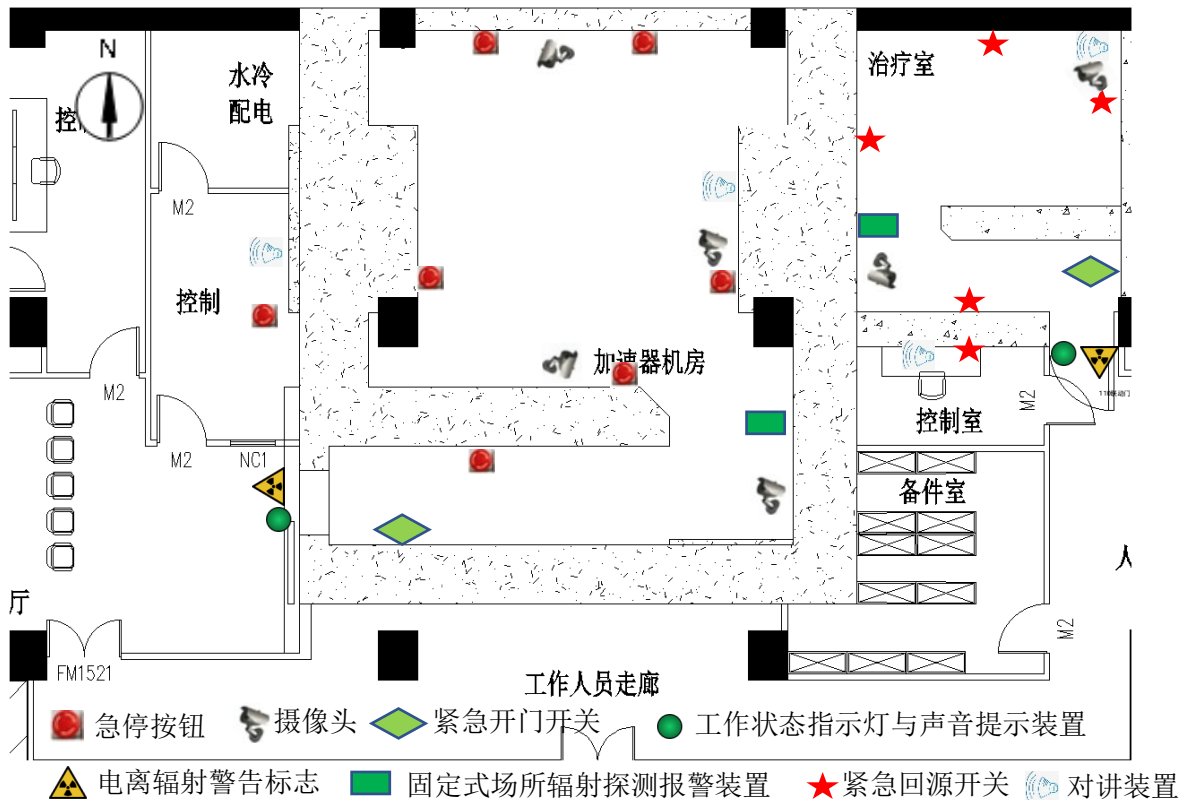


图10-9 辐射安全防护措施示意图

10.1.6 加速器安全管理措施

(1) 本项目辐射工作人员均为医院放疗科现配有放射工作人员，均已按规定开展个人剂量监测和职业健康检查，定期参加放射防护知识培训。

(2) 加速器操作、安装调试和检修维护人员在工作过程中，应按要求配戴个人剂量计和携带个人剂量报警仪。进行加速器设备的调试和维修期间，本项目辐射工作人员需将设备的控制权暂时移交给设备厂家工作人员，本项目辐射工作人员不参与设备的控制与维修，防止维修期间工作人员在加速器机房误照射。

(3) 本项目配备1台辐射巡测仪、1台固定式辐射剂量监测仪和1台个人剂量报警仪（原有利旧），能够满足相关辐射防护相关要求。

10.1.7 后装治疗机房安全管理措施

(1) 钥匙开关联锁：后装治疗机出厂时设置有钥匙联锁或电子口令，只有核对照射参数无误后打开钥匙开关或输入电子口令方可出源进行治疗。

(2) 紧急停机（回源）按键：在机房内墙面（东侧、北侧和西侧）、迷道内墙及控制室内设置紧急停机按钮，在人员误留机房内时能够尽快手动回源。

(3) 拟在治疗机房内设置能够使源迅速返回的应急开关与放射源监测器，拟配备合适

的铅储源容器、长柄镊子等应急设备，治疗机房合适的地方拟张贴应急指示。

(4) 装置故障保护系统：实施放疗期间，当发生停电、卡源或意外中断照射时，放射源能自动返回工作贮源器，同时显示和记录已照射的时间和剂量，直到下一次照射开始。当自动回源装置功能失效时，有手动回源措施进行应急处理；

(5) 后装治疗设备的控制系统，能准确地控制照射条件，有放射源启动、传输、驻留及返回工作贮源器的源位显示与治疗日期、通道、照射总时间及倒计时时间的显示。

(6) 后装治疗设备控制系统设置有安全锁等多重保护和联锁装置。配备能防止由于计时器控制、放射源传输失效，源通道或控制程序错误以及放射连接脱落等电气、机械发生故障或发生误操作的条件下造成对患者误照射的联锁装置。

(7) 控制室设置照射监控系统：治疗室内设置一台摄像机，可对治疗室全景及治疗病员的状况进行扫描监控，并设有对讲系统，治疗时便于操作人员与患者对话，指导患者配合治疗。迷道口设置一台摄像机，便于观察迷道情况。如发生意外情况可及时处理，并且视频保存时间为30天以上。

(8) 声光报警：在机房防护门上方设置工作指示灯，后装治疗机开机时发出声光报警信号。

(9) 固定式辐射剂量监测报警仪：固定式报警仪安装于靠近装源位置的墙面，实时监测放射治疗室内的辐射水平，在操作控制室的操作台上可以直接观察到放射治疗室内的实时辐射水平显示。当发生异常照射情况（如卡源）下，防止人员误入治疗室。

(10) 个人剂量报警器：进入后装机房的工作人员均应佩戴个人剂量报警仪，避免在后装工作时误入机房，提醒人员快速离开，并对意外照射事件进行报告和调查。

(11) 机房防护门设计防挤压功能，设置电动和手动开启方式，以便停电时能够手动开启防护门。防护门外安装工作状态指示灯，门外设置醒目、规范的电离辐射警告标志，门外地面1m处应设置警示红线，线外缘距门框边0.3m并贴有请勿入内的警示语句。

(12) 倒源、换源：倒装源与换源工作应由有相应能力且通过辐射安全考核的专业人员进行；应制定放射源倒装活动方案，对辐射监测与报警仪器的有效性、操作场所分区隔离设置、倒源屏蔽体搭建进行确认；倒装放射源时应对机房周围和含源设备表面进行辐射监测，关注倒源屏蔽体的辐射防护效果和含源设备的表面污染情况，做好安装和更换的放射源清点并记录；倒源结束后对含放射源的放射治疗设备、场所与周围环境进行辐射监测。

(12) 控制室墙上张贴相应的岗位规章制度、操作规程。上墙制度包括《辐射安全管理

规定》、《岗位职责》、《设备操作规程》、《辐射事故应急响应制度》，制度字体醒目，尺寸大小应不小于400mm×600mm。

后装机的安全联锁逻辑图如下图。

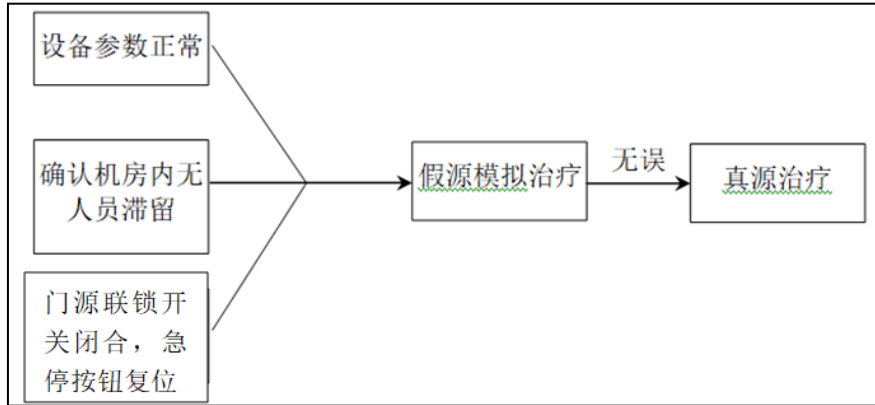


图10-10 后装机安全联锁逻辑图

10.2 “三废”的治理

10.2.1 直线加速器

1、非放射性有害气体

本项目每间直线加速器机房拟利用原有通排风系统，设计排风量为 1200m³/h，机房容积约 178m³（含迷道），有效通风换气次数不小于 6.7 次/h，能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）与《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中“治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。

2、固体废物

加速器靶材（件）在更换或退役时，应作为放射性固体废物处理，拆卸后先放进屏蔽容器或固体废物暂存间暂存，最终送交有资质单位收贮。

10.2.2 后装治疗机

本项目后装机运行过程中不产生放射性废气和放射性废水。

1、非放射性气体

本项目后装机房拟设 1 套通排风系统，设计风量为 600m³/h，机房容积约 103m³（含迷道），有效通风换气次数不小于 5.8 次/h，能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中“治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。

2、退役放射源

本项目废 ¹⁹²Ir 放射源将交源生产厂家回收，废 ¹⁹²Ir 放射源放置于贮源器暂存于 25mmPb

保险柜中，废放射源由源生产厂家回收，回收前须与源生产厂家签订回收协议。

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第三十八条规定执行：使用I类、II类、III类放射源的单位应当按照废旧放射源返回合同规定，在放射源闲置或者废弃后3个月内将废旧放射源交回生产单位或者返回原出口方。确实无法交回生产单位或者返回原出口方的，送交有相应资质的放射性废物集中贮存单位贮存。使用放射源的单位应当在废旧放射源交回、返回或者送交活动完成之日起20日内，向其所在地省级生态环境主管部门备案。本项目拟采用的处置措施符合相关环保要求。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段环境影响分析

本项目利用放疗科原有加速器机房及加速器东侧房间，将现有加速器机房的控制室部分墙体以及迷道外侧部分墙体做加固处理，将加速器机房东侧用房改造成为 1 间后装治疗机房以及相应控制室及备件室、会议室。

本次建设阶段主要评价内容为：加速器机房西墙主屏蔽区及迷道外墙增加防护厚度及后装机房墙体改造施工及设备安装调试的环境影响。

11.1.1 施工环境影响分析

(1) 扬尘

施工过程中会产生扬尘，主要是墙体改造和防护装修过程中产生的扬尘（TSP）。建设单位应加强施工区域管理，对施工场地采取围挡措施，尽量降低建筑粉尘对周围环境和公众的影响。

(2) 废水

施工期产生的废水主要为施工人员的生活污水，生活污水产量较小，可依托建设单位化粪池等生活污水处理设施处理后纳入市政污水管网，不得随意排放。

(3) 噪声

施工设备应考虑选择低噪音设备，施工过程防止机械噪声的超标。

(4) 固体废物

建设过程中产生的装修垃圾堆放在住建部门指定的地点，严禁随意堆放和倾倒。施工人员产生的生活垃圾可依托市政垃圾收运系统收集处理。

综上所述，本项目施工范围较小，在医院的严格监督下，施工方遵守文明施工、合理施工的原则，做到各项环保措施，对环境的影响较小，施工结束后，项目施工期环境影响将随之消除。

11.1.2 设备安装阶段

设备的安装、调试应由设备厂家专业人员进行操作，医院方不得自行安装及调试设备。在设备安装调试阶段，应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在各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。由于各设备的安装和调试均在机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响是可接受的。设备安装完成后，医院方需及时回收包装材料及其它固体废物并作为

一般固体废物进行处置，不得随意丢弃。

11.2 直线加速器运行阶段环境影响分析

11.2.1 X 射线治疗时防护评价

11.2.1.1 加速器机房关注点周围剂量当量率控制水平

1、关注点位选取

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的要求，本项目在直线加速器机房外表面 30cm 处，人员的受照剂量可能最大的位置设定关注点对加速器机房进行剂量率核算，关注点位见图 11-1、11-2，关注点位分布情况表 11-1。根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）附录 A，不同场所的居留因子选取见表 11-2。

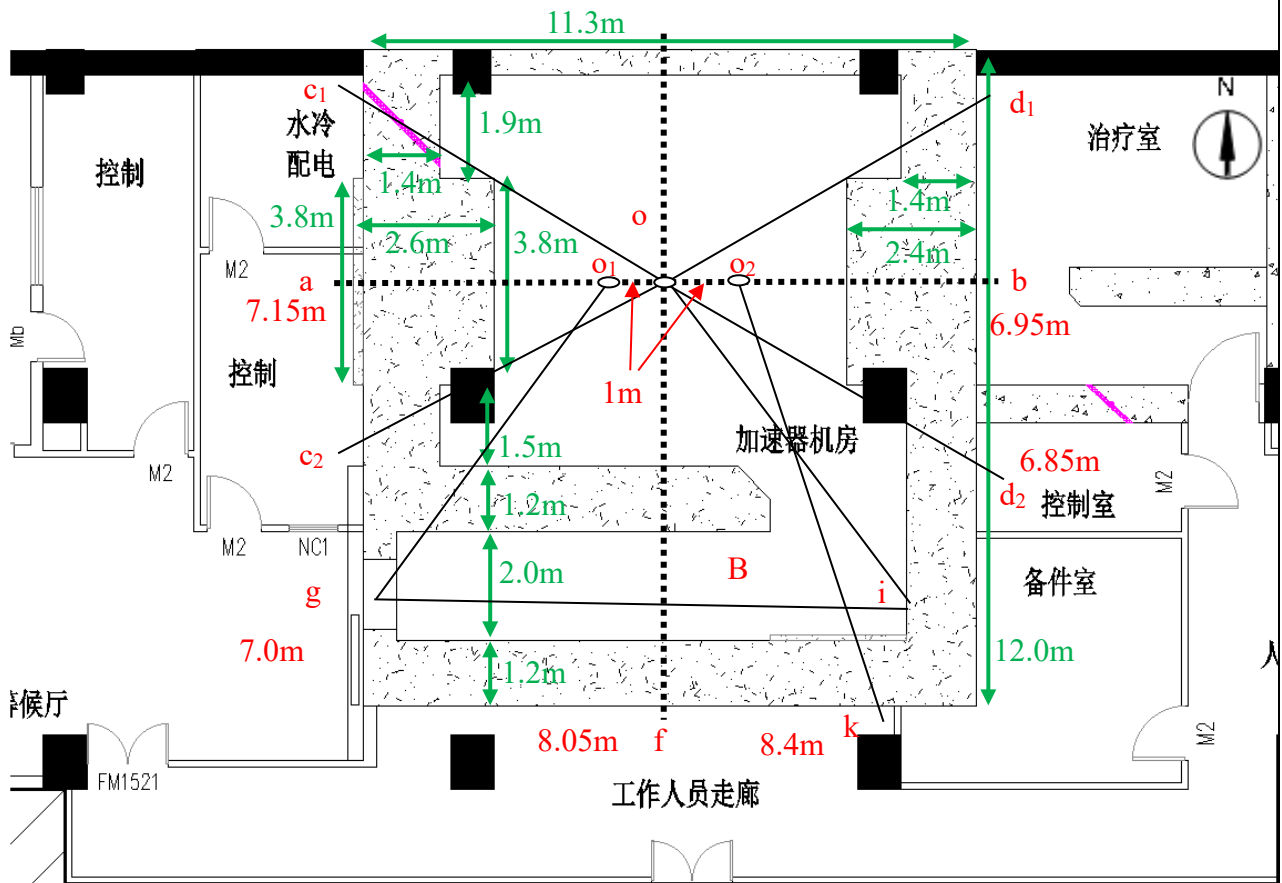


图 11-1 加速器机房（平面布局）预测点位和主要照射路径示意图（单位：m）

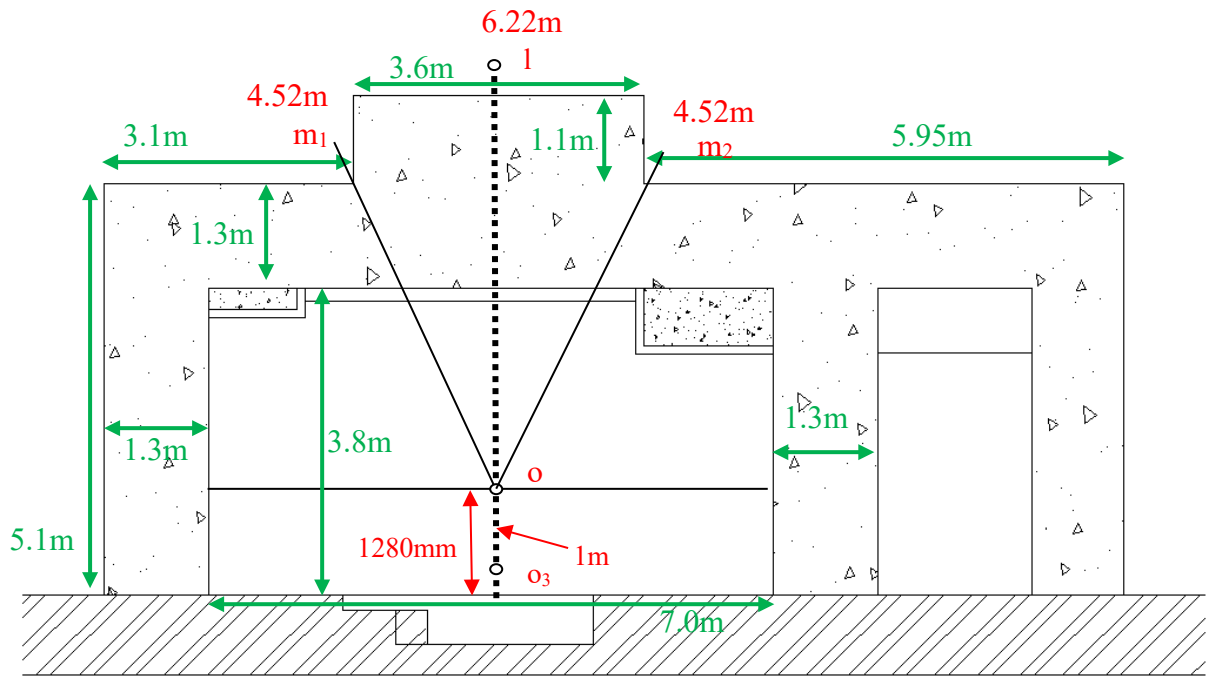


图 11-2 加速器机房（南北剖面）预测点位和主要照射路径示意图（单位：mm）

表 11-1 直线加速器机房各关注点分布情况表

序号	关注点	点位描述	居留因子	备注
1	a	主屏蔽墙体外 30cm 处，为控制室	1	全居留
2	b	主屏蔽墙体外 30cm 处，为后装治疗机房	1/4	部分居留
3	c ₁	次蔽墙外 30cm 处，为水冷配电间	1/16	偶然居留
4	c ₂	次蔽墙外 30cm 处，为控制室	1	全居留
5	d ₁	次屏蔽墙体外 30cm 处，为后装治疗机房	1/4	部分居留
6	d ₂	次屏蔽墙体外 30cm 处，为控制室	1	全居留
7	f	迷路外墙外 30cm 处，为工作人员走廊	1/5	部分居留
8	k	迷路外墙外 30cm 处，为工作人员走廊	1/5	部分居留
9	g	防护门外 30cm 处，为防护门	1/8	偶然居留
10	l	主屏蔽墙外 30cm 处，为凸出平台	1/16	偶然居留
11	m ₁ /m ₂	次蔽墙外 30cm 处，为凸出平台	1/16	偶然居留

表 11-2 不同场所的居留因子

场所	居留因子 (T)		示例
	典型值	范围	
全居留	1	1	管理人员或职员办公室、治疗计划区、治疗控制区、护士站、咨询台、有人护理的候诊室以及周边建筑物中的驻留区域。
部分居留	1/4	1/2~1/5	1/2: 相邻的治疗室、与屏蔽室相邻的病人检查室； 1/5: 走廊、雇员休息室、职员休息室。
偶然居留	1/16	1/8~1/40	1/8: 各治疗室门； 1/20: 公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室、病人滞留区域、屋顶、门岗室； 1/40: 仅有行人车辆来往的户外区域、无人看管的停车场、车辆自动卸货/区域、楼梯、无人看管的电梯。

2、导出剂量率参考控制水平确定

根据 HJ1198-2021 第 6.14 条款，本项目加速器机房墙和入口门外表面 30cm 处、邻近治疗室的关注点、治疗室房顶外的地面附近等关注点的剂量率参考控制水平 \dot{H}_c 确定方式如下：

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021），可知关注点的导出剂量率控制水平为：

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

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；

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。

上述导出的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ 与按人员居留因子确定的关注点剂量率参考控制水平：

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

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

则本项目加速器机房各关注点的剂量率参考控制水平计算结果见表 11-3。

表 11-3 加速器机房各关注点剂量率控制水平

关注点	辐射类型	居留因子 (T)	使用因子 (U)	周治疗照射时间 t (h)	\dot{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 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) 最终取值
a	有用	1	1	5	100	20.00	2.5	2.5
b	有用	1/4	1	5	5	4.00	10	2.5*
c ₁	复合	1/16	1	5	5	16.00	10	2.5*
c ₂	复合	1	1	5	100	20.00	2.5	2.5
d ₁	复合	1/4	1	5	5	4.00	10	2.5*
d ₂	复合	1	1	5	100	20.00	2.5	2.5
f	泄漏	1/5	1	5	5	5.00	10	2.5*
k	复合	1/5	1	5	5	4.00	10	2.5*
g	复合	1/8	1	5	5	8.00	10	2.5*
l	有用	1/16	1	5	5	16.00	10	2.5*
m ₁ /m ₂	复合	1/16	1	5	5	16.00	10	2.5*

注：关注点 b、c₁、d₁、f、k、g、l、m₁/m₂ 处均于人员可到区域，导出剂量率参考控制水平值，的理论计算值均大于 2.5 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。基于辐射安全防护的目的，本次评价保守均取为 2.5 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

11.2.1.2 有用线束主屏蔽区宽度核算

本项目加速器机房主屏蔽区包括顶棚及墙体的部分位置。加速器主射线的最大出束角度为 28° ，有用线束主屏蔽区示意图见图 11-1 和图 11-2，本项目主屏蔽墙的西墙主屏蔽区既有内凸又有外凸，东墙主屏蔽区为内凸，顶棚主屏蔽区为外凸，主屏蔽宽度根据公式 (11-2) 和公式 (11-3) 计算。

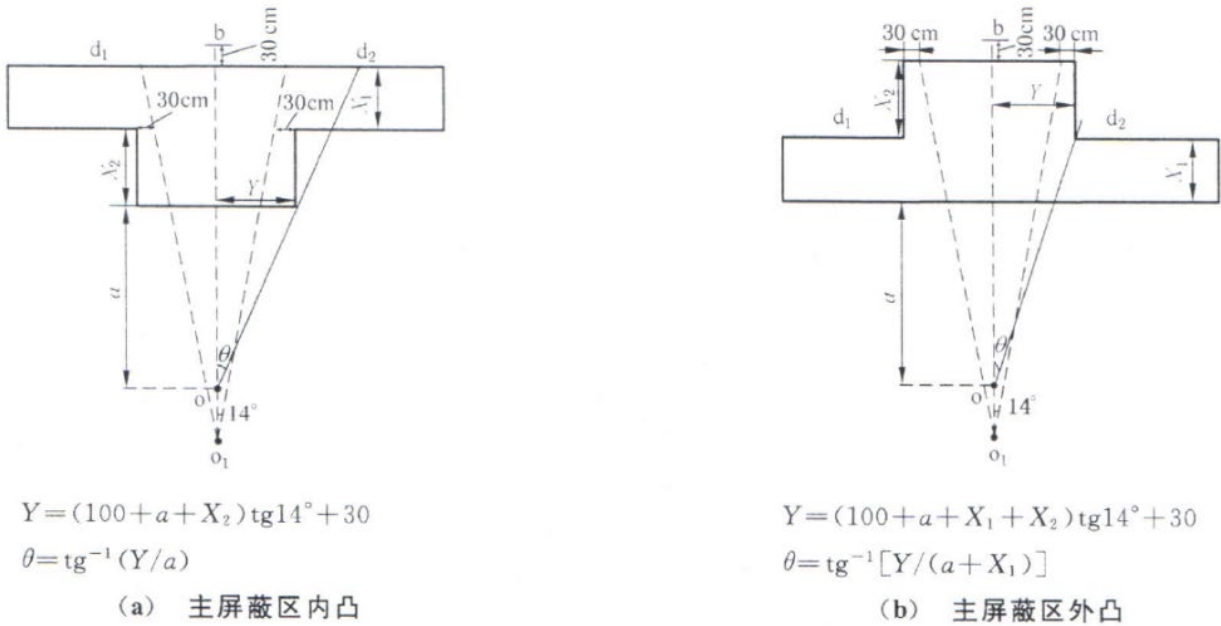


图 11-3 加速器机房主屏蔽区示意图

内凸半宽度计算方法： $Y = (100 + a + X_2) \tan \frac{\theta}{2} + 30 \dots \dots \dots (11-2)$

外凸半宽度计算方法： $Y = (100 + a + X_1 + X_2) \tan \frac{\theta}{2} + 30 \dots \dots \dots (11-3)$

式中：Y——机房有用束主屏蔽区的半宽度，cm；

a——等中心至主屏蔽墙的距离，cm；

X_1 ——墙体厚度，cm；

X_2 ——凸出部分厚度，cm；

θ ——治疗束的最大张角（相对束中的轴线）。

经上述公式计算，本项目加速器机房有用线束主屏蔽区宽度核算情况见表 11-4。

表 11-4 加速器机房有用线束主屏蔽区宽度核算结果

机房名称	主屏蔽墙		a (cm)	X_1 (cm)	X_2 (cm)	θ	Y (cm)	主屏蔽区宽度 2Y (cm)		符合性评价
								理论值	设计值	
加速器机	东墙	内凸	340	100	140	28°	165	330	380	符合
	西墙	内凸	340	140	100	28°	165	330	380	符合

房	顶棚	外凸	252	130	110	28°	150	300	360	符合
---	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----

注：由于本项目加速器机房位于地下二层，无地下层，所以地面的防护不予考虑。

设备厂家和建设单位在进行直线加速器安装时，必须严格按照既定的摆位方式进行安装，即主射束为东侧、西侧、顶棚及地面，杜绝安装后主射方向超出屏蔽范围的情况出现。

11.2.1.3 加速器运行时场所辐射水平预测

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）中“5.2 不同辐射的屏蔽与剂量估算方法”，对本项目加速器机房运行时周围辐射剂量率进行影响预测。

(1) 屏蔽厚度与屏蔽透射因子的相应关系

$$\text{有效屏蔽厚度: } X_e = X \cdot \sec\theta \dots\dots\dots (11 - 4)$$

式中：X_e——有效屏蔽厚度,cm;
X——屏蔽厚度，cm;
θ——斜射角，即入射射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角。

$$\text{屏蔽透射因子: } B = 10^{-(X_e+TVL-TV L_1)/TVL} \dots\dots\dots (11 - 5)$$

式中：B——屏蔽物质的屏蔽透射因子;
X_e——有效屏蔽厚度，cm;
TVL₁——辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度，cm;
TVL——辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚度，cm。
当未指明TVL₁时，TVL₁=TVL。

(2) 有用线束主屏蔽区（a、b 和 l 点）、侧屏蔽墙（f 点）及迷道内墙（g 点）

有用线束和泄漏辐射的屏蔽与剂量估算方法如下：

在给定屏蔽物质厚度X（cm）时，首先按式（11-4）计算有效屏蔽厚度X_e（cm），按式（11-5）估算屏蔽物质的屏蔽透射因子B，再按式（11-6）计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率H（μSv/h）。

$$H = \frac{H_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \dots\dots\dots (11 - 6)$$

式中：H——屏蔽体外关注点的剂量率，μSv/h;
H₀——加速器有用线束中心轴上距产生治疗X射线束的靶1m处的常用最高剂量率，μSv·m²/h，由设备参数可知，X射线模式下加速器最大输出剂量率为14Gy/min，取1Gy=1Sv，即8.4×10⁸μSv·m²/h;

R——辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

f——对有用线束为1，对泄漏辐射为泄漏辐射比率，取0.1%；

B——辐射屏蔽透射因子。

本项目侧屏蔽墙考虑泄漏辐射屏蔽，估算方法类似主屏蔽区。经上述公式计算，本项目有用线束主屏蔽区和侧屏蔽墙外预测点位辐射剂量率估算结果见表11-5。

表11-5 有用线束主屏蔽区和侧屏蔽墙外预测点位辐射剂量率估算结果

参数	主屏蔽墙主屏蔽区			侧屏蔽墙		
	西墙 (a点)	东墙 (b点)	顶棚 (m点)	南墙 (f点)	迷道内墙 (g点)	迷道外墙 (k点)
射线路径	O ₂ -a	O ₁ -b	O ₃ -l	O-f	O ₁ -g	O ₂ -g
辐射类型	有用线束	有用线束	有用线束	泄漏辐射	泄漏辐射	泄漏辐射
屏蔽材料	混凝土	混凝土	混凝土	混凝土	混凝土	混凝土
设计厚度X (cm)	260	240	240	120+120	120	130
斜射角θ (°)	0	0	0	0	30	0
有效厚度X _e (cm)	260	240	240	240	138.5	130
距离R (m)	7.15	6.95	6.22	8.05	7.0	8.4
H ₀ (μSv·m ² /h)	8.4×10 ⁸	8.4×10 ⁸	8.4×10 ⁸	8.4×10 ⁸	8.4×10 ⁸	8.4×10 ⁸
f	1	1	1	0.001	0.001	0.001
TVL ₁ (cm)	37	37	37	34	34	34
TVL (cm)	33	33	33	29	29	29
B	1.75×10 ⁻⁸	7.05×10 ⁻⁸	7.05×10 ⁻⁸	7.88×10 ⁻⁹	3.97×10 ⁻⁶	4.89×10 ⁻⁵
H (μSv/h)	2.87×10 ⁻¹	1.23	1.53	1.02×10 ⁻⁴	4.26×10 ⁻¹	5.19×10 ⁻¹
周围剂量率控制 限值H _c (μSv/h)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
是否达标	达标	达标	达标	达标	达标	达标

(3) 与主屏蔽区相连的次屏蔽区 (c₁、c₂、d₁、d₂、m₁ 和 m₂)

初级辐射束不直接到达该屏蔽墙，屏蔽计算需要考虑泄漏辐射和患者散射辐射的复合作用。

①泄漏辐射

泄漏辐射剂量的屏蔽与估算方法见公式(11-7)，其中 TVL₁、TVL 为 GBZ/T 201.2-2011 附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值。

②患者一次散射辐射

患者一次散射辐射的屏蔽与剂量估算：

在给定屏蔽物质厚度X (cm) 时，首先按式(11-4)计算有效屏蔽厚度X_e (cm)，按式(11-5)估算屏蔽物质的屏蔽透射因子B，再按式(11-7)计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率H (μSv/h)。

$$H = \frac{H_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B \dots\dots\dots (11-7)$$

式中：H——屏蔽体外关注点的剂量率，μSv/h；

H₀——加速器有用线束中心轴上距靶1m处的常用最高剂量率，μSv·m²/h，本项目为8.4×10⁸μSv·m²/h；

R_s——患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

α_{ph}——患者400cm²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400cm²面积上的散射因子。根据GBZ/T 201.2-2011附录B表B.2，本次评价6MV直线加速器的散射角按30°考虑，则本项目α_{ph}取值2.77×10⁻³。

B——辐射屏蔽透射因子；根据GBZ/T 201.2-2011的附录B表B.4，散射角30°条件下，患者散射辐射在混凝土中的什值层TVL=26cm。

F——治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm²，本项目为40cm×40cm=1600cm²。

则与主屏蔽相连的次屏蔽区墙外参考点（c₁、c₂、d₁、d₂、m₁和m₂）剂量率估算结果见下表。

表11-6 与主屏蔽相连的次屏蔽区预测点位辐射剂量率估算结果

参数	西墙 (c ₁ 、c ₂)		东墙 (d ₁ 、d ₂)		顶棚 (m ₁ 、m ₂)	
	O-c ₁ /c ₂	O ₂ -O-c ₁ /c ₂	O-d ₁ /d ₂	O ₁ -O-d ₁ /d ₂	O-m ₁ /m ₂	O ₃ -O-m ₁ /m ₂
射线路径	泄漏辐射	散射辐射	泄漏辐射	散射辐射	泄漏辐射	散射辐射
辐射类型	泄漏辐射	散射辐射	泄漏辐射	散射辐射	泄漏辐射	散射辐射
设计厚度X (cm)	140	140	140	140	130	130
斜射角θ (°)	30	30	30	30	30	30
有效厚度X _e (cm)	161	161	161	161	150	150
距离R _s (m)	6.85	6.85	6.85	6.85	4.52	4.52
H ₀ (μSv·m ² /h)	8.4×10 ⁸	8.4×10 ⁸	8.4×10 ⁸	8.4×10 ⁸	8.4×10 ⁸	8.4×10 ⁸
f	0.001	/	0.001	/	0.001	/
α _{ph}	/	2.77×10 ⁻³	/	2.77×10 ⁻³	/	2.77×10 ⁻³
F (cm ²)	/	1600	/	1600	/	1600
TVL ₁ (cm)	34	26	34	26	34	26
TVL (cm)	29	26	29	26	29	26
B	3.97×10 ⁻⁶	6.07×10 ⁻⁷	3.97×10 ⁻⁶	6.07×10 ⁻⁷	9.93×10 ⁻⁶	1.69×10 ⁻⁶
H (μSv/h)	7.11×10 ⁻²	1.20×10 ⁻¹	7.11×10 ⁻²	1.20×10 ⁻¹	4.08×10 ⁻¹	7.69×10 ⁻¹
	1.92×10 ⁻¹		1.92×10 ⁻¹		1.18	
周围剂量率控制限值H _c (μSv/h)	2.5		2.5		2.5	
是否达标	达标		达标		达标	

(4) 加速器 (≤10MV) 机房迷路入口散射辐射屏蔽与剂量估算 (g点)

本项目加速器机房有用线束不向迷路照射，迷路入口处的辐射剂量主要考虑散射辐射剂量率和泄漏辐射。

①迷道入口处的散射辐射剂量率

迷路入口g点包括下列辐射，具体见表11-7。

表11-7 迷道入口g点处辐射

序号	辐射类型	散射路径
1)	人体受有用线束照射时，散射至i点的辐射并再次受墙的二次散射至g处的辐射	o ₁ -o-i-g
2)	至i点的泄漏辐射受墙散射至g处的辐射	o ₁ -i-g
3)	有用线束穿出人体达到位置h，受主屏蔽墙的散射至n处迷路外墙再次散射，到达g处的辐射。	o ₁ -h-n-g

在估算g处的累计剂量时，以加速器向b方向水平照射并取使用因子U=1时的1)项为以上三项之和的近似估计。

在估算g处的辐射剂量率时，以加速器向b方向水平照射时1)项人体散射辐射作为以上三项之和的近似估计，通常可忽略2)、3)二项。

入口g处的散射辐射剂量率计算公式如下：

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} H_0 \dots\dots\dots (11-8)$$

式中： \dot{H}_g ——入口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，见附录B表B.2，通常取45°散射角的值，即本项目 α_{ph} 取值 1.39×10^{-3} ；

F——治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm²；本项目为40cm×40cm=1600cm²；

α_2 ——砧墙入射的患者散射辐射的散射因子，通常取i处的入射角为45°，散射角为0°， α_2 值见附录B表B.6，通常使用0.5MeV栏内的值，则本项目取值 22.0×10^{-3} ；

A——i处的散射面积，为自入口(g)和等中心位置O共同可视见的区域，包括治疗机房吊装顶上方的区域，m²，本项目散射面积A=3.2m(宽)×2.5m(高)=8.0m²；

R₁——等中心点至散射墙面的距离，m；本项目o-i之间的距离约为7.2m；

R₂——迷道散射墙面至入口处的距离，m；本项目i-g之间的距离约为10.5m；

H₀——加速器有用线束中心轴上距靶1m处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ，本项目为 $8.4 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；

则经计算，迷道入口g处的散射辐射剂量率 $\dot{H}_g=143.8\mu\text{Sv/h}$ 。

②泄漏辐射剂量率

迷道入口g处也需要核算加速器的泄漏辐射（以偏离o的位置o₁为中心）经迷路内墙屏蔽后在迷路入口g处的辐射剂量。根据表11-5，o₂位置穿过迷路内墙的泄漏辐射在g处的剂量率 $H_{og}=6.81 \times 10^{-2}\mu\text{Sv/h}$ 。

③防护门外剂量率

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H计算公式如下：

$$H = H_g \cdot 10^{-(X/TVL)} + H_{og} \dots\dots\dots (11 - 9)$$

式中：H——防护门外的辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_g ——入口处的散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

TVL——迷道入口处散射射线在铅中的什值层厚度，cm；一般取0.5cm（铅）；

H_{o-g} ——O₁位置穿过迷道内墙的泄漏辐射在迷道入口处的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

经屏蔽后防护门外30cm处的辐射剂量率估算结果见表11-8。

表11-8 经屏蔽后加速器机房防护门外的辐射剂量率计算结果

关注 点位	屏蔽材料	H_g ($\mu\text{Sv/h}$)	H_{o-g} ($\mu\text{Sv/h}$)	X (cm)	TVL (cm)	H ($\mu\text{Sv/h}$)	周围剂量率 控制限值 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$)	是否 达标
防护门 外30cm 处(g)	10mmPb	143.8	4.26×10^{-1}	1	0.5	1.86	2.5	达标

综上所述，本项目加速器机房的四周墙壁、室顶、防护门厚度均满足本项目根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）推导出剂量率参考控制水平要求，主屏蔽宽度满足标准要求，机房屏蔽防护设计方案基本可行。

11.2.1.4 人员受照剂量

（1）控制室内职业人员和周围公众成员

根据联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）-2000年报告附录A，X- γ 射线产生的外照射人均年有效剂量按下列公式计算：

$$E = D_r \cdot t \cdot U \cdot T \cdot 10^{-3} \dots\dots\dots (11 - 10)$$

式中：E——年有效剂量，mSv/a；

D_r ——关注点处辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

t——一年受照时间，h/a；

U——使用因子，本次评价保守全部取1；

T——人员在相应关注点驻留的居留因子，取值参考《放射治疗辐射安全和防护要求》（HJ 1198-2021）附录A表A.1。

本项目加速器机房周围职业人员和公众成员的附加年有效剂量估算结果见表11-9。

表11-9 本项目加速器机房周围职业人员及公众年受照剂量估算结果

机房名称	人员属性	关注点位	Dr (μSv/h)	t (h/a)	U	T	E (mSv/a)
加速器机房	职业人员	控制室 (a点)	2.87×10^{-1}	250	1	1	7.18×10^{-2}
		控制室 (c ₂ 点)	1.92×10^{-1}			1	4.79×10^{-2}
		控制室 (d ₂ 点)	1.92×10^{-1}			1	4.79×10^{-2}
	公众成员	水冷配电间 (c ₁ 点)	1.92×10^{-1}			1/16	2.99×10^{-3}
		病人等候厅 (g点)	1.86			1/8	5.82×10^{-2}
		工作人员走廊 (f点)	1.02×10^{-4}			1/5	5.11×10^{-6}
		工作人员走廊 (k点)	5.19×10^{-1}			1/5	2.59×10^{-2}
		治疗室 (b点)	1.23			1/4	7.67×10^{-2}
		治疗室 (d ₁ 点)	1.92×10^{-1}			1/4	1.20×10^{-2}
		顶棚 (l点)	1.53			1/16	2.39×10^{-2}
		顶棚 (m ₁ /m ₂ 点)	1.18			1/16	1.84×10^{-2}

(2) 进入加速器机房治疗内的摆位工作人员

根据医院预测的诊疗需要，医用电子直线加速器机房投入使用后，预计平均每天接待病人不超过50人次，年接待病人数不超过12500人次，每周工作5d，全年工作50周。

辐射工作人员协助患者摆位时在治疗室内的停留时间保守按 10min/人次计，年摆位时间为 2083h (=10min/人次×1/60×12500 人/年)。工作人员进入加速器机房摆位时，会受到东侧后装机机房的辐射影响(附加的辐射剂量率保守按后文表 11-12 中预测点位 C 取值为 $6.16 \times 10^{-10} \mu\text{Sv/h}$ ，后装机年出束时间为 375h)，则单名辐射工作人员摆位过程所受的年有效剂量为：

$$E_{\text{摆位}} = E_{\text{后装机}} = Dr \times t \times U \times T = 6.16 \times 10^{-10} \mu\text{Sv/h} \times 375 \text{h/a} \times 1 \times 1/4 \times 10^{-3} = 5.78 \times 10^{-11} \text{mSv/a}。$$

(3) 年有效剂量叠加

由表 11-9 可知，辐射工作人员在控制室内所受照射剂量为 $7.18 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，考虑到摆位和控制室工作人员可能的重复性，则剂量叠加后，本项目后装机治疗辐射工作人员所受照射的年有效剂量为： $7.18 \times 10^{-2} (E_{\text{控制室}}) + 5.78 \times 10^{-11} (E_{\text{摆位}}) = 7.18 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，满足本项目职业人员剂量约束值不大于 5mSv/a 的要求。

综上所述，本项目加速器机房辐射工作人员的职业照射年有效剂量最大估算值约 $7.18 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，低于本项目职业人员剂量约束值不超过 5mSv/a 的要求；周围公众的年有效剂量最大估算值 $7.67 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，同样低于公众照射剂量约束值不超过 0.1mSv/a 的要求，对周围环境的辐射影响是可以接受的，能满足相关辐射标准要求。根据辐射剂量率与距离的平方成反比的关系式，本项目评价范围内其他环境保护目标年有效剂量同样可以满足本项目剂量约束值的要求。

11.2.2 加速器“三废”影响分析

11.2.2.1 固体废物

加速器靶材（件）在更换或退役时，应作为放射性固体废物处理，拆卸后先放进屏蔽容器或固体废物暂存间暂存，最终送交有资质单位收贮。

11.2.2.2 非放射性气体

本项目直线加速器开机运行时，产生的X射线与空气中的氧气相互作用产生少量的臭氧（ O_3 ）和氮氧化物（ NO_x ）。氮氧化物的产率约为臭氧的三分之一，且以臭氧的毒性最高，同时国家对空气中臭氧浓度的标准严于氮氧化物。因此，本报告在考虑有害气体的影响时，仅考虑臭氧的影响。

参考《辐射防护手册——第三分册》（李德平、潘自强主编）P130页，电子加速器运行时臭氧的产生率按下式计算：

$$C_{\text{O}_3} = 3.25 \times \left[\frac{S_{\text{coj}} \times I \times t \times d}{V} \right] \times 10^{-3} \dots\dots\dots (11 - 11)$$

式中： C_{O_3} ——臭氧生产浓度，ppm；

S_{coj} ——标准状况下电子在空气中的线碰撞阻止本领，其数值与电子能量的关系见《辐射防护手册——第三分册》（李德平、潘自强主编）表4.24，本项目保守取 3.0keV/cm ；

I ——器外电子束流强度，mA；本项目保守取 0.1mA ；

d ——器外电子束在空气中所通过的距离，cm；取 100cm ；

t ——辐照时间，s；本项目单人次最长治疗时间取 67.5s ；

V ——加速器机房容积， m^3 ，本项目单间加速器机房容积约 178m^3 （含迷道）。

由上式计算出：本项目直线加速器在无通风、臭氧无分解条件下照射一个病人臭氧的产生浓度为： $C_{\text{O}_3} = 0.037 \text{ppm}$ ，相当于 0.073mg/m^3 （ O_3 ： $1 \text{ppm} = 1.960 \text{mg/m}^3$ ），能够满足《工作场所有害因素职业接触限值 第1部分：化学有害因素》（GBZ 2.1-2019）中臭氧最高允许浓度 0.3mg/m^3 的要求。

加速器机房拟设置机械通排风系统，排风量为1200m³/h，通风换气次数不小于4次/h，机房内废气经风机能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）与《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）标准中“治疗室通风换气次数应不小于4次/h”的要求，经通风换气后加速器机房内产生的臭氧和氮氧化物对周围环境影响不大。

11.3 后装机运行期环境影响分析

本项目治疗时假设放射源全部被传送至施源器，则辐射环境影响预测时保守将其视为点源来预测计算。本次评价采用《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）中推荐的预测模式进行理论计算，并以后装机¹⁹²Ir最大装源活度3.7×10¹¹Bq为辐射源强，在治疗时¹⁹²Ir密封源处于裸源状态为预测条件。根据GBZ/T 201.3-2014中第6.1条款规定“治疗机房应考虑治疗源4π发射的γ射线（即初级辐射）对墙和室顶的直接照射及其散射辐射在机房入口处的照射”。

11.3.1 后装机机房关注点周围剂量当量率控制水平

1、关注点位选取

由于医院尚未确定后装机在机房中的具体摆放位置，本评价按后装机在机房内对外环境影响最大的位置进行预测估算，因此将治疗室内侧墙体1.5m处为治疗源可能的使用区域，即图11-4中矩形框线区域，该区域边界线位置即为对外环境影响最大的位置。医院应在后装机治疗室地面进行划线标示，后装治疗应严格控制放射源使用位置，不得超出该区域。

根据本项目后装机机房周围环境状况分析，在机房外拟设置6个关注点位，分布图见图11-4及图11-5，关注点描述见表11-10。

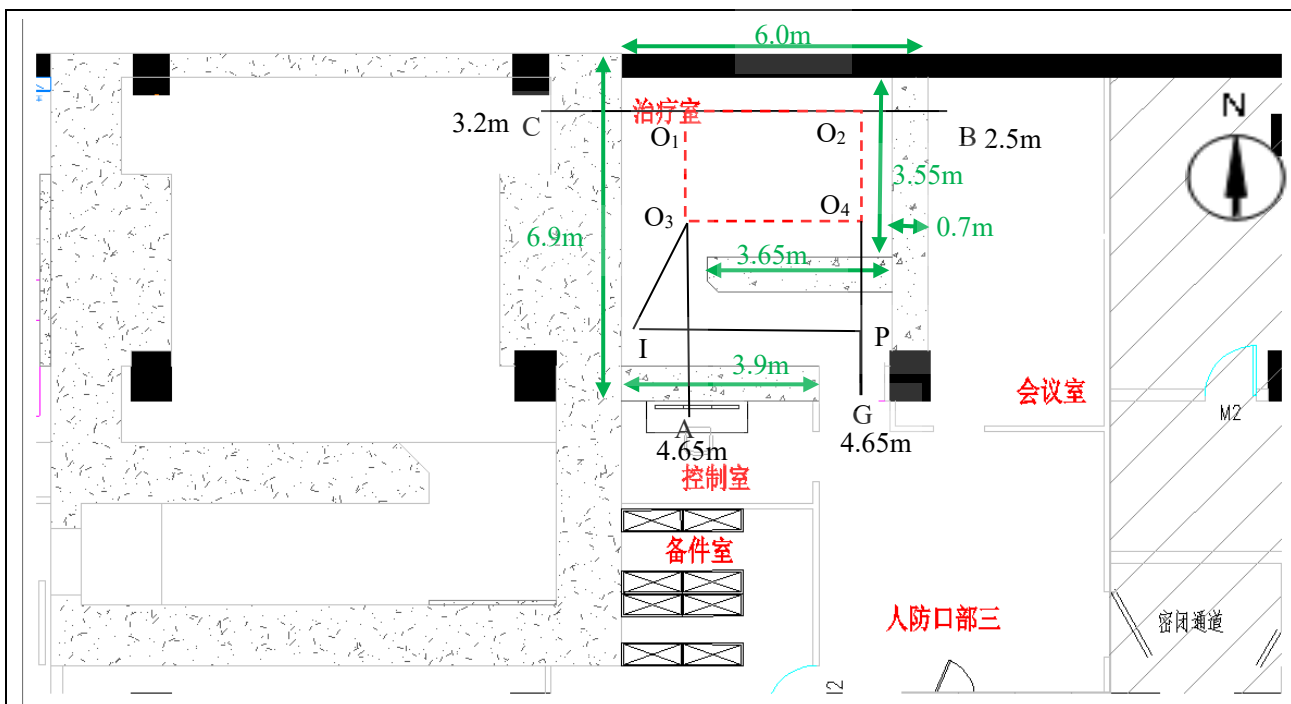


图11-4 后装机机房（平面布局）预测关注点位图（单位：mm）

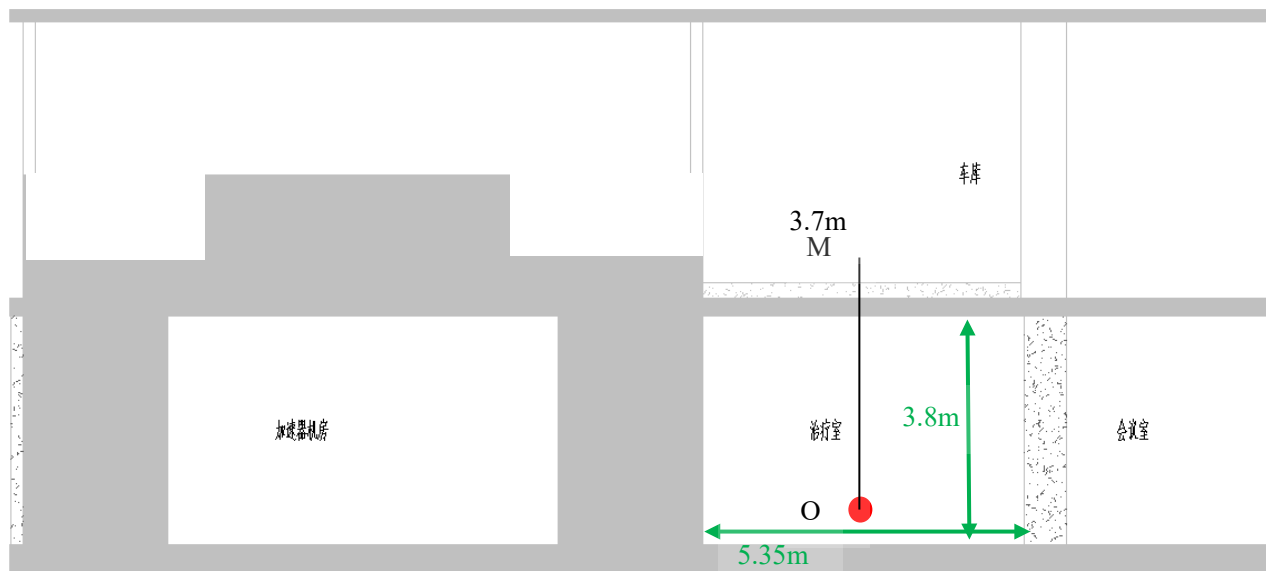


图 11-5 后装机机房（东西剖面）预测关注点位图（单位：mm）

表 11-10 后装机机房各关注点分布情况表

序号	关注点位	点位描述	居留因子	备注
1	A	墙外 30cm 处，为南侧控制室	1	全居留
2	B	墙外 30cm 处，为东侧会议室	1	全居留
3	C	墙外 30cm 处，为西侧加速器机房	1/4	部分居留
4	G	防护门 30cm 处，为南侧防护门外	1/8	偶然居留
5	M	顶棚外 30cm 处，为无人看管停车库	1/40	偶然居留

2、导出剂量率参考控制水平确定

根据医院提供资料，本项目后装机投入使用后预计平均每天治疗工作量 15 人，治疗照射时间为 6min/人次，周工作负荷（治疗照射时间） $t=7.5\text{h}/\text{周}$ 。

根据 HJ1198-2021 第 6.14 条款和附录 A，本项目后装治疗机房墙外和入口门外表面 30cm 处、邻近治疗室的关注点、治疗室房顶外的地面附近等关注点的剂量率参考控制水平 \dot{H}_c 确定方式如下：

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，由周剂量参考控制水平（ \dot{H}_c ）求得关注点的周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ （ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）。

$$\dot{H}_{c,d} = \dot{H}_c / (t \cdot U \cdot T) \dots\dots\dots (11 - 12)$$

式中： \dot{H}_c —周参考剂量控制水平（ $\mu\text{Sv}/\text{周}$ ）；根据 HJ1198-2021 第 6.14 条款，机房外控制区的工作人员， $\dot{H}_c \leq 100\mu\text{Sv}/\text{周}$ ；机房外非控制区人员， $\dot{H}_c \leq 5\mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

t —治疗装置周治疗照射时间，h；

U —关注位置方向照射的使用因子；

T —人员在相应关注点驻留的居留因子。

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周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ 。

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

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

③由上述①中的导出周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ 和②中的最高周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ ，选择其中较小者作为关注点的周围剂量当量率参考控制水平 \dot{H}_c 。

根据 HJ1198-2021 第 6.14 条款，本项目后装机机房顶部为无人看管停车库，属于人员可达区域，故后装治疗机房顶关注点的剂量率参考控制水平应以 $\dot{H}_c \leq 5\mu\text{Sv}/\text{周}$ 和最高剂量率 $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，按上述方法计算出导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ 加以控制。基于后装机机房顶部按有用线束的防护水平进行设，本次评价不再考虑天空反散射和散射辐射影响，重点考虑有用线束的辐射影响。

则本项目后装机机房各关注点的剂量率参考控制水平计算结果见表 11-11。

表 11-11 后装机机房各关注点的剂量率控制水平

关注点	辐射类型	居留因子 (T)	使用因子 (U)	周治疗照射时间 (t)	\dot{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 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) 最终取值
A	有用	1	1	7.5	100	13.33	2.5	2.5
B	有用	1	1	7.5	5	0.67	2.5	0.67
C	有用	1/4	1	7.5	5	2.67	10	2.5
G	有用	1/8	1	7.5	5	5.33	10	2.5
M	有用	1/40	1	7.5	5	26.67	10	2.5

注：1) 关注点 C、G 和 M 处均于人员可到达区域，导出剂量率参考控制水平值 \dot{H}_c 的理论计算值均大于 2.5 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。基于辐射安全防护的目的，本次评价保守均取为 2.5 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。2) 使用因子取值源自 GBZ/T 201.3-2014 附录 F 第 F.2 条款。

11.3.2 后装机单独运行时工作场所辐射水平预测

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) 中“6 后装治疗机房的屏蔽计算”，对本项目后装机机房单独运行时周围辐射剂量率进行影响预测。

(1) 屏蔽厚度与屏蔽透射因子的相应关系

$$\text{有效屏蔽厚度: } X_e = X \cdot \sec\theta \dots\dots\dots (11-13)$$

式中： X_e —有效屏蔽厚度, mm;

X —屏蔽厚度, mm;

θ —斜射角, 即入射射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角。

$$\text{屏蔽透射因子: } B = 10^{-(X_e+TVL-TV L_1)/TVL} \dots\dots\dots (11-14)$$

式中： B —屏蔽物质的屏蔽透射因子;

X_e —有效屏蔽厚度, mm;

TVL_1 —辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度, mm;

TVL —辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚度, mm。

当未指明 TVL_1 时, $TVL_1=TVL$ 。根据 GBZ/T 201.3-2014 附录 C 表 C.1, 本项目 ^{192}Ir 在混凝土中 $TVL=TVL_1=152\text{mm}$; 在铅中 $TVL=TVL_1=16\text{mm}$ 。

(2) 初级辐射的屏蔽 (关注点 A、B、C、D、M、迷道内墙 G)

在给定屏蔽物质厚度 X (mm) 时, 首先按式 (11-13) 计算有效厚度 X_e (mm), 按式 (11-14) 计算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B , 再按式 (11-15) 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 H ($\mu\text{Sv}/\text{h}$):

$$H = \frac{H_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \dots\dots\dots (11 - 15)$$

式中：H—关注点剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

f—对有用线束为 1；

R—辐射源至关注点的距离，m；

H_0 —活度为 A 的放射源在距其 1m 处的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ，计算公式如下：

$$H_0 = A \cdot K_\gamma \dots\dots\dots (11 - 17)$$

式中：A—放射源的活度，MBq，本项目后装机内置 ^{192}Ir 放射源出厂活度为 $3.7 \times 10^5 \text{MBq}$ ；

K_γ —放射源的空气比释动能率常数（或称 K_γ 常数），在屏蔽计算中以周围剂量当量作为空气比释动能的近似，此时， K_γ 的单位记为 $\mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$ 。查 GBZ/T 201.3-2014 附录 C 表 C.1，核素 ^{192}Ir $K_\gamma = 0.111 \mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$ 。

即 $H_0 = 4.107 \times 10^4 \mu\text{Sv/h}$ 。

根据上述公式可计算出，本项目后装机四周墙体外 30cm 处各关注点的辐射剂量率预测结果见表 11-12。

表 11-12 后装机机房四周墙体外各关注点的初级辐射剂量率估算结果

参数	南墙 (A)	东墙 (B)	西墙 (C)	顶棚 (M)	迷道内墙 (G)
射线路径	$O_3 \rightarrow A$	$O_2 \rightarrow B$	$O_1 \rightarrow C$	$O \rightarrow M$	$O_4 \rightarrow G$
辐射类型	有用线束	有用线束	有用线束	有用线束	有用线束
屏蔽材料	混凝土	混凝土	混凝土	混凝土	混凝土
设计厚度 X (mm)	700	700	1400	450+150	700
斜射角 θ ($^\circ$)	0	0	0	0	0
有效厚度 X_e (mm)	700	700	1400	600	700
距离 R (m)	4.65	2.5	3.2	3.7	4.65
H_0 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	4.107×10^4	4.107×10^4	4.107×10^4	4.107×10^4	4.107×10^4
f	1	1	1	1	1
TVL_1 (mm)	152	152	152	152	152
TVL (mm)	152	152	152	152	152
B	2.48×10^{-5}	2.48×10^{-5}	6.16×10^{-10}	1.13×10^{-4}	2.48×10^{-5}
H ($\mu\text{Sv/h}$)	4.71×10^{-2}	1.63×10^{-1}	2.47×10^{-6}	3.39×10^{-1}	4.71×10^{-2}
周围剂量率控制限值 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$)	2.5	0.67	2.5	2.5	2.5
是否达标	达标	达标	达标	达标	达标

注：顶棚防护厚度按照后装机机房顶部自身的防护厚度 450mm 混凝土+150mm 现浇混凝土计，即 600mm 混凝土。

(3) 迷道入口处的辐射屏蔽（关注点：G）

本项目后装机机房迷路入口处的辐射剂量主要考虑散射辐射剂量率和主射束穿过迷路

内墙的初级辐射剂量率。

②迷道入口点处的散射辐射剂量率

无屏蔽情况下，迷道入口 G 处的散射辐射剂量 H_G 采用下式计算：

$$H_G = \frac{A \cdot K_\gamma \cdot S_w \cdot \alpha_w}{R_1^2 \cdot R_2^2} \dots\dots\dots (11 - 16)$$

式中：A——放射源的活度，MBq，本项目取值 3.7×10^5 MBq；

K_γ ——放射源的空气比释动能率常数，本项目核素 ^{192}Ir $K_\gamma=0.111\mu\text{Sv}/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ ；

S_w ——迷路内口墙的散射面积，其为辐射源和机房入口共同可视见的墙区面积， m^2 ；本项目散射面积 $S_w=2.15\text{m}$ （宽） $\times 3.8\text{m}$ （高） $=8.17\text{m}^2$ ；

α_w ——散射体的散射因子，查 GBZ/T 201.3-2014 附录 C 表 C.4， ^{192}Ir 45° 入射和 0° 反散射角的混凝土散射因子，保守地取 0.25MeV 的散射因子，即 $\alpha_w=3.39 \times 10^{-2}$ ；

R_1 ——辐射源至散射体中心点 I 的距离，m，本项目 O_2 -I 之间的距离为 3.3m；

R_2 ——散射体中心点 I 至机房入口 G 的距离，m，本项目 I-G 之间的距离为 4.5m (I-P) $+ 1.7\text{m}$ (P-G) $=6.2\text{m}$ ；

经上述公式计算出，无屏蔽情况下，迷道入口 G 处的散射辐射剂量 $H_G=27.2\mu\text{Sv/h}$ 。

②主射束穿过迷路内墙的初级辐射剂量率

根据表11-12，本项目G点处主射束穿过迷路内墙的辐射剂量率 $H_{O-G}=4.71 \times 10^{-2}\mu\text{Sv/h}$ 。

③防护门外剂量率

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H计算公式如下：

$$H = H_g \cdot 10^{-(X/TVL)} + H_{O-G} \dots\dots\dots (11 - 17)$$

式中：H—防护门外的辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_G —入口G处的散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

TVL—辐射在屏蔽体的平衡什值层厚度，铅门外g点处的散射辐射能量约 0.2MeV ，铅中的TVL值取 5mm （铅）。

H_{O-G} —辐射源穿过迷道内墙的初级辐射在迷道入口处的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

经屏蔽后防护门外30cm处的辐射剂量率估算结果见表11-13。

表11-13 经屏蔽后后装机机房防护门外的辐射剂量率计算结果

关注 点位	屏蔽 材料	H_G ($\mu\text{Sv/h}$)	H_{O-G} ($\mu\text{Sv/h}$)	X (cm)	TVL (cm)	H ($\mu\text{Sv/h}$)	周围剂量率 控制限值 H_c ($\mu\text{Sv/h}$)	是否 达标
防护门外	10mm	27.2	4.71×10^{-2}	1	0.5	0.32	2.5	达标

30cm处 (G)	铅							
--------------	---	--	--	--	--	--	--	--

综上所述，本项目后装机机房的四周墙壁、室顶、防护门厚度均满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中剂量率参考控制水平要求，机房屏蔽防护设计方案基本可行。

11.3.3 后装机与加速器同时运行时场所周围水平预测

本项目后装治疗机房与加速器机房相邻设置，两台设备同时运行时会在机房外产生辐射剂量叠加影响。如图11-4，大部分预测点仅受到单台加速器的辐射影响。结合人员实际可达区域和设备的主射方向，本次评价选取后装治疗机的控制室、后装治疗机房顶部停车库、进行后装机机房与加速器机房同时运行时的辐射影响预测。后装机控制室既受到后装机机房的辐射影响（图11-4中A点，预测值为 $4.71 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ ），又受到加速器机房的辐射影响（图11-1中d₂点，预测值为 $1.92 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h}$ ），则控制室附加的综合辐射剂量率为 $2.39 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h}$ 。停车库同时受到后装机机房（图11-5中M点，预测值为 $3.39 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h}$ ）的辐射影响，又受到加速器机房（图11-2中m₂点，预测值为 $1.18 \mu\text{Sv/h}$ ），后装治疗机房顶部停车库附加的综合辐射剂量率为 $1.52 \mu\text{Sv/h}$ 。因此，当后装机机房与加速器机房同时运时，场所周围辐射剂量率均小于满足本次评价的标准限值要求。

11.3.4 人员受照剂量

（1）控制室内职业人员和机房周围公众受照剂量

根据前文公式（11-10），本项目控制室内职业人员和机房周围公众年有效剂量计算结果见表 11-14。

表11-14 本项目后装机机房周围职业人员及公众年受照剂量估算结果

机房名称	人员属性	关注点位	Dr (μSv/h)	t (h/a)	U	T	E (mSv/a)
后装机 机房	职业人员	控制室（A点）	2.39×10^{-1}	375	1	1	8.96×10^{-2}
	公众成员	会议室（B点）	1.63×10^{-1}			1/4	1.53×10^{-2}
		加速器机房（C点）	2.47×10^{-6}			1/4	2.32×10^{-7}
		后装治疗机房门外（G点）	0.32			1/8	1.50×10^{-2}
		后装治疗机房顶部停车库（M）	1.52			1/40	1.43×10^{-2}

注：基于关注点顶上停车场和后装机控制室，同时受到后装治疗机房（年出束375h）和加速器机房（年出束250h）的辐射影响，为了方便计算，本次评价不考虑二者年出束时间的差异，均按年出束375h计。

（2）进入后装机治疗室内的摆位工作人员

由于辐射工作人员需要进入后装机治疗室内协助患者进行摆位，在摆位过程中会受到放

射源的照射，同时会受到加速器机房的照射影响。

辐射工作人员进入治疗室之前，必须确保放射源处于后装机的贮源器中，并穿戴防护用品、佩戴个人剂量报警仪进入机房。辐射工作人员协助患者摆位时在治疗室内的停留时间按 2min/人次计，年摆位时间为 125h (=2min/人次×1/60×15 人/d×250d/a)，与工作贮源器的平均距离按 1m 考虑。

参考《后装 γ 源近距离治疗质量控制检测规范》(WS 262-2017)，工作贮源器内装载最大容许活度时，距离贮源器表面 100cm 处的球面上，任何一点的泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 $5\mu\text{Sv/h}$ ，本次评价以该泄漏辐射的剂量率限值作为辐射工作人员摆位时的最大辐射剂量率进行计算，则单名辐射工作人员摆位过程所受的年有效剂量为：

$$E_{\text{摆位}}=D\times t\times U\times T\times 10^{-3}=5\mu\text{Sv/h}\times 125\text{h/a}\times 1\times 1\times 10^{-3}=0.625\text{mSv/a}。$$

(3) 年有效剂量叠加

由表 11-14 可知，辐射工作人员在控制室内所受照射剂量为 $8.96\times 10^{-2}\text{mSv/a}$ ，考虑到摆位和控制室工作人员可能的重复性，同时控制室工作人员受到西加速器机房照射剂量贡献值为 $1.92\times 10^{-1}\mu\text{Sv/h}\times 125\text{h/a}\times 1\times 1\times 10^{-3}=0.024\text{mSv/a}$ ，则本项目后装机治疗辐射工作人员所受照射的年有效剂量为 $8.96\times 10^{-2}(E_{\text{控制室}})+0.625(E_{\text{摆位}})+0.024(E_{\text{加速器}})=0.739\text{mSv/a}$ ，满足本项目职业人员剂量约束值不大于 5mSv/a 的要求。

当放射源在后装机的贮源器内时，泄漏辐射剂量率较小，相对于出源治疗时对治疗室外周围环境保护目标的影响很小，可忽略不计。

综上所述，本项目后装机机房辐射工作人员的职业照射年有效剂量最大估算值约 0.739mSv ，低于本项目职业人员剂量约束值不超过 5mSv/a 要求；周围公众的年有效剂量最大估算值约 $6.12\times 10^{-2}\text{mSv}$ ，同样低于公众照射剂量约束值不超过 0.1mSv/a 的要求，对周围环境的辐射影响是可以接受的，能满足相关辐射标准要求。根据辐射剂量率与距离的平方成反比的关系式，本项目评价范围内其他环境保护目标年有效剂量同样可以满足本项目剂量约束值的要求。

(4) 更换放射源过程中的环境影响分析

本项目后装机使用 1 枚放射源 ^{192}Ir ，其半衰期为 74 天。根据医院诊疗计划，本项目放射源使用达到 2 个半衰期时需更换，即 148 天更换一次，每年更换 2 次，产生 2 枚废放射源。更换放射源之前院方将先到当地生态环境主管部门进行备案，待备案完成后再联系厂家进行放射源的更换，由厂家安排换源及换源后的整机调试。贮源容器供运输和使用时贮存放

射源，更换放射源时，厂家使用新的贮源容器运输放射源至医院后装机治疗室内，连同贮源容器一起置换，即换源的过程就是贮源容器的置换过程，退役的放射源连同原贮源容器一起运输至设备厂家进行回收处置。更换放射源全程由厂家专业人员按国家相关规定负责操作完成，医院工作人员不直接参与放射源的更换操作，仅监督辅助厂家专业人员按国家相关规定进行更换操作。

换源过程源强以裸源考虑，每年换源约 2 次，每次装源过程持续时间约 10min，取源过程约 10min（共计约 0.33h），结合表 11-14 控制室内计算的剂量率为 $2.39 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h}$ ，则换源过程中后装机控制室工作人员受照射剂量为 $2.39 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h} \times 0.33\text{h} \times 2 \text{ 次/年} \approx 1.58 \times 10^{-4} \text{mSv/a}$ 。因此，更换放射源时对控制室内人员及机房周围的辐射环境影响较小，可满足本项目评价标准的要求。

（5）运输通道合理性分析

医院放疗科设置有电梯和楼梯通向地下二层的放疗工作场所，运送人员通过楼梯间 5min 内便可到达后装机治疗室，所需时间较短，对医院病人的辐射影响很小。在运输车辆到达前，医院提前疏导人员，尽可能减少对人员的照射。医院内放射源运输时间较短，对病人的辐射影响很小，对运输通道周围人员的辐射剂量较小，放射源运输通道设置合理。

11.3.5 后装机“三废”影响分析

11.3.5.1 废旧放射源

本项目废 ^{192}Ir 放射源将交回供源单位，废 ^{192}Ir 放射源放置于贮源器暂存于 25mmPb 保险柜中，废放射源由源生产厂家回收，回收前须与源生产厂家签订回收协议。

11.3.5.2 非放射性气体

本项目后装机运行时，产生的 γ 射线与空气中的氧气相互作用产生少量的臭氧（ O_3 ）和氮氧化物（ NO_x ）。与前文同理，本报告在考虑有害气体的影响时，仅考虑臭氧的影响。

参考《辐射防护手册——第三分册》（李德平、潘自强主编）P52--P53 页的相关公式，本项目后装机运行时空气中臭氧的产额可由下式进行计算：

$$Q_0 = 6.33 \times 10^{-4} AGV^{1/3} \dots\dots\dots (11 - 18)$$

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 ^{192}Ir 放射源总活度为 10Ci；

G——空气吸收 100eV 的电离辐射能量产生的臭氧分子数，本项目取 6；

V——治疗室体积， m^3 ，本项目后装机治疗室体积为 103m^3 （含迷道）；

由此计算后装机治疗室臭氧的产额为 0.178mg/h。

室内臭氧浓度由下式计算：

$$C = \frac{Q_0 \cdot T}{V} \dots\dots\dots (11 - 19)$$

式中：C——室内臭氧浓度，mg/m³；

Q₀——臭氧的辐射化学产额，mg/h；

V——治疗室内空间体积，m³，取值同上；

T——臭氧有效清除时间，h，计算公式如下：

$$T = \frac{t_v \cdot t_d}{t_v + t_d} \dots\dots\dots (11 - 20)$$

式中：t_v——换气一次所需的时间，h，本项目后装机机房拟设机械排风系统，设计风量为 600m³/h，治疗室体积为 103m³（含迷道），则换气频率为 5.8 次/h，则换气一次需约 0.17h；

t_d——臭氧的有效分解时间，h，可取为 50min，即 0.83h。

故 T=0.14h。

由此计算后装机治疗室内臭氧的浓度为 2.42×10⁻⁴mg/m³，能够满足《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》（GBZ 2.1-2019）中臭氧最高允许浓度 0.3mg/m³ 的要求。后装机房内的臭氧和氮氧化物等有害气体经机房内排风系统排出机房后对周围环境影响不大。

11.4 事故影响分析

11.4.1 直线加速器辐射风险识别及防范措施

1、辐射风险识别

①安全联锁装置发生故障情况下，人员误入正在运行的放疗机房而造成 X 射线误照射。

②工作人员或病人家属在防护门关闭后尚未撤离机房，加速器运行，会对工作人员或病人家属产生不必要的 X 射线照射。

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

④加速器控制系统出现故障，照射治疗不能停止，病人受到计划外照射。

⑤维修期间的事故，加速器维修工程师在检修期间误开机出束，造成辐射伤害。

2、风险防范措施

①制定自检制度，且严格进行经常性自查，如发现门机联锁、工作状态指示灯、电离辐

射警告标志不够完善或失灵，以及防护门出现故障，应立即补充和修复。定期进行门机联锁装置、工作指示灯检查，防止人员误入。

②加强职业人员培训，制定规范的操作规程并落实。

③制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，实施照射前控制台工作人员应先观察监控确保机房内摆位工作人员已撤出。

④做好设备保养维护工作，定期对设备开展维护维修。

⑤医院应联系有维修资质的专业技术人员前来对设备进行维护，不得私自拆卸维修加速器。

⑥加速器操作、安装调试和检修维护人员在工作过程中，应按要求配戴个人剂量计和按要求携带个人剂量报警仪。进行加速器设备的调试和维修期间，医院需将设备的控制权暂时移交给设备厂家工作人员，本项目辐射工作人员不参与设备的控制与维修，防止维修期间工作人员在加速器机房误照射。加速器试用、调试、检修期间，控制室须有工作人员值守，在出束的情况下严禁调试、检修人员滞留在控制区

11.4.2 后装机辐射风险识别及防范措施

1、辐射风险识别

①因机房防护门门机联锁故障或控制室人员未能发现治疗室内有人停留等原因，后装治疗机出源治疗致使治疗室内无关人员受到误照射。

②后装机机器发生故障，主要为施源器未插好、通道堵塞等故障。

③发生卡源故障，源不能归位。

④由于管理不善，放射源发生被盗、丢失、遗弃等事故，而引发环境辐射污染。

⑤废放射源 ^{192}Ir 回收时，在导源过程中屏蔽储源体（屏蔽装置）发生损坏导致源不能被屏蔽。因工作人员操作不当或出现设备故障，在导源以及换装新放射源时，发生放射源由设备或容器中跌落出来，造成安装或操作人员受到强辐射照射。

2、风险防范措施

①辐射操作人员持证上岗，定期进行辐射防护知识的培训和安全教育，严格按照设备操作程序操作。

②机房设置门-机联锁装置、视频监控、对讲装置，防护门张贴电离辐射警示标志及安装工作指示灯。工作人员定期检查门-机联锁、视频监控、对讲装置等设备，出现故障及时维修。

③当发生某种机器故障时，计算机报警，源自动退回，当源完全退回储源器时，防护门指示灯亮绿灯，此时工作人员进入治疗室撤离病人。工程师通过计算机控制和机房现场进行维修。

④医院应制定后装机卡源故障应急处置措施并加强工作人员卡源规章演习，当出现卡源故障时严格按应急处置措施进行处理。

当后装机发生卡源故障时，后装治疗机操作人员穿戴好铅衣、铅帽等防护用品，佩戴个人剂量计、个人剂量报警仪，手持便携式辐射监测设备进入后装治疗室内，记录进入时间及治疗室内辐射水平；辐射工作人员尽快把放射源施源器从病人体内取出，置于应急储源容器内，并立即把病人带离至治疗室门口，进行体表辐射监测，监测数据显示无异常后，将病人带离治疗室；最后关上治疗室的防护门，设置醒目的禁入标志，并马上上报科室及医院领导，启动放射事故应急救援机制。

卡源故障发生后，医院应尽快联系后装机的生产厂家安排工程师来院协助故障处理，进行人工退源操作，把放射源退回安全鼓内。在此之前，后装治疗室严禁进入，门前应设隔离区，并注意监测周围的辐射水平。医院对参与紧急处理的人员的受照剂量进行估算并记录，向监督管理部门报告。

⑤废源回收以及新放射源的更换均由生产厂家完成，医院不得擅自换源。

⑥医院加强放射源的辐射管理，后装机机房出入口设置摄像头监控，放射源被盗的几率很小。一旦发生放射源丢失或被盗，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例（2019年修改）》、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法（2021年修改）》、《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》（环发〔2006〕145号）等有关要求，医院应按规定启动本单位辐射事故应急方案，并及时报告当地生态环境部门、公安部门以及卫生部门。

11.4.3 应急处置预案

针对以上可能发生的事故风险，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例（2019年修改）》、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等有关规定，医院应制定辐射事故应急方案，并定期进行演练，及时进行整改，同时还应配置必要的应急装备、器材以及应急资金。当发生或发现辐射事故，当事人应立即向医院的辐射安全负责人和法定代表人报告。当事故发生时，医院应立即启动本单位的辐射事故应急预案，采取必要防范措施，并填写《辐射事故初始报告表》，向生态环境主管部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，

还应同时向卫生主管部门报告。如发生放射源被盗的事故，则还须向公安部门报告。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

12.1.1 机构设置

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（2021年修改）》等法律法规要求，使用放射性同位素和射线装置的单位应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。

浙江省中医院已发文成立以黄抒伟为组长的放射安全与防护工作组（附件7），负责全单位的辐射安全与防护监督管理工作。本次扩建内容与医院现有核技术利用类型基本一致，因此现有的辐射安全管理机构可满足本项目扩建后的机构设置要求。

12.1.2 辐射工作人员管理

（1）现有辐射工作人员辐射安全管理现状见前文表1章节中1.6.3章节，此处不赘述。

（2）本项目辐射工作人员为医院现有辐射工作人员，医院应做好以下管理：①所有辐射工作人员应根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告2019年第57号）的要求参加生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn/>）学习相关知识，经考核合格后方可上岗，并按要求及时参加复训。②所有辐射工作人员应配备个人剂量计，定期送检有资质单位（常规监测周期一般为1个月，最长不应超过3个月），并建立个人剂量档案。③所有辐射工作人员应进行岗前、在岗期间和离岗职业健康检查，在岗期间每两年委托相关资质单位对辐射工作人员进行职业健康检查，建立完整的职业健康档案。④所有辐射工作人员的辐射安全和防护考核成绩报告单、个人剂量检测档案、职业健康档案记录三个文件上的人员信息应统一。同时，按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第二十三条规定，个人剂量档案应当保存至辐射工作人员年满75周岁，或者停止辐射工作30年。按照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（2021年修改）》第四十一条规定，职业健康监护档案应长期保存。

12.1.3 年度评估报告

医院拟按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的要求，每年对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年1月31日前向全国核技术利用安全申报系统上填报上一年度评估报告。

12.2 辐射安全规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（2021年修改）》相关规定，使用放射性同位素和射线装置的单位要建立健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等，并有完善的辐射事故应急措施。使用放射性同位素和射线装置开展诊断和治疗的单位，还应当制定相应的质量保证大纲和质量控制检测计划。

12.2.1 现有制度执行情况

医院已根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》规定制定了一系列辐射安全管理制度，内容包括《辐射防护和安全保卫制度》、《辐射装置操作规程》、《设备检修维护制度》、《放射性同位素和射线装置使用登记制度》、《放射性同位素和射线装置台账管理制度》、《放射性药品管理制度》、《放射性核素订购、运输和转让处理制度》、《放射性同位素使用期满后的处理方案》、《放射治疗设备质量控制制度》、《受检者放射危害告知与防护制度》、《放疗技术工作制度》、《直线加速器辐射安全和防护制度》、《导管室安全制度》、《放射防护检测与评价制度》、《放射工作人员岗位职责》、《放射工作人员培训计划》、《个人剂量和辐射环境监测方案》、《辐射事故报告制度及应急处理方案》、《质量保证大纲和质量控制计划》等辐射安全规章制度，医院现有辐射安全规章制度内容健全完善且规范，基本满足现有核技术利用项目的管理需要。

12.2.2 本项目制度要求

本项目在现有从事的辐射活动的基础上，新增后装机的内容。本次评价建议医院结合本项目开展特点和实际管理经验，对原有辐射安全管理制度进行针对性的补充、完善，重新制定各项规章制度后张贴于本项目相关辐射工作现场，使之切实可行又符合相关管理规定，并付诸严格执行。

对于本项目，医院应做好以下工作：

(1) 对于新增的后装机内容，医院应补充制定：《放射源管理制度（转让、使用、更换、返回、送贮等）》、《后装机操作规程》、《废旧放射源退役管理制度》、《倒源工作辐射安全管理规定》、《后装机卡源应急处置制度》。

(2) 补充辐射安全档案管理制度：应建立辐射安全工作档案，并专人负责保管。除妥善保存辐射工作场所的辐射防护设计档案外，还应保存下列资料：

a、辐射环评、辐射安全许可证及相关审批文件档案：历次核技术利用项目环境影响评

价文件及环评批复文件、历次辐射安全许可证申请和变更、延续等办理手续的材料、辐射安全许可证正副本、历次核技术利用项目验收文件和批复等。

b、辐射安全管理制度：放射性同位素和射线装置（包括含放射源设备）台账、放射性同位素和射线装置（含放射源设备）购买和转让（报废）相关材料、辐射安全管理制度文件资料（包括辐射安全管理领导小组文件、辐射安全责任书、辐射事故应急预案、各项辐射安全管理规章制度等）、放射性同位素和射线装置（包括含放射源设备）使用登记和维修维护记录、历次辐射管理培训和辐射应急演练记录、历次生态环境部门监督检查的检查表及整改报告、历次辐射安全和防护年度评估报告、辐射事故（事件）处理情况相关材料等。

c、辐射工作人员档案：辐射工作人员名单、辐射工作人员辐射岗位培训合格证、历次辐射工作人员个人剂量监测报告和个人剂量监测台账、历次放射性工作场所监测报告、辐射防护仪器设备和用品台账等。

综上所述，医院在落实上述制度后，能够确保本项目放射源和射线装置等的安全使用，满足国家相关的辐射安全管理及技术层面要求。日后的工作实践中，医院应根据核技术利用具体情况以及在工作中遇到的实际问题，并结合现行辐射法律法规的要求及时对辐射安全管理制度进行针对性的补充、更新和完善，提高制度的可操作性。

12.3 辐射监测

辐射监测是安全防护的一项必要措施，通过辐射剂量监测得到的数据，可以分析判断和估计电离辐射水平，防止人员受到过量的照射。根据实际情况，医院需建立辐射剂量监测制度，包括工作场所监测和个人剂量监测。

12.3.1 现有辐射监测开展情况

医院已制定《个人剂量和辐射环境监测方案》，并定期委托有资质的单位进行辐射工作场所监测，日常内部常规检测已执行。

12.3.2 本项目辐射监测要求

12.3.2.1 监测仪器

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（2021年修改）》相关规定，使用放射性同位素与射线装置的单位应配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。

医院应每年准备相应资金采购更新辐射安全防护设施和设备，定期对相关检测设备进行校正和维护，并建立完善的辐射防护检测设备台账。

12.3.2.2个人剂量监测

医院应严格按照国家关于个人剂量监测和健康管理规定，为辐射工作人员配备个人剂量计；同时，应根据每年的工作人员的变化增加个人剂量计，并进行个人剂量监测（常规监测周期一般为1个月，最长不应超过3个月）和职业健康检查（不少于1次/2年），建立个人剂量监测档案和职业健康监护档案。

12.3.2.3辐射工作场所监测

根据辐射管理要求，医院应针对本项目具体情况制定如下监测方案：

（1）正式使用前监测：委托有相关监测资质的监测单位对核技术应用场所的辐射防护设施进行全面的验收监测，做出辐射安全状况的评价。

（2）常规监测：定期自行开展辐射监测（也可委托有资质的单位进行自行监测），制定各工作场所的定期监测制度，监测数据应存档备案。

（3）年度监测：每年委托有资质的单位对辐射工作场所进行辐射环境监测，监测周期为1次/年。年度监测报告应作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成部分一并提交给发证机关。

12.3.2.4放射性固废处理前监测

加速器机房更换的废靶经检测其表面 γ 辐射剂量率满足清洁解控水平后，由设备厂家回收处理。

12.3.2.5本项目辐射监测计划

根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评〔2017〕4号）、《建设项目竣工环境保护验收技术指南——污染影响类》（生态环境部公告2018年第9号）、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《放射治疗辐射安全和防护要求》（HJ1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）等相关规定，本项目辐射监测计划建议见下表。

表 12-1 本项目辐射工作场所监测计划

监测场所	监测项目	监测范围	监测方式	监测频次
直线加速器机房	周围剂量当量率	加速器机房东、南和西侧墙体外 30cm 处、顶棚、操作位、防护门及门缝处、各类穿墙管道洞口（如进排风管、电缆线管、物理测试孔）、上方凸出平台及周围需关注的监督区等。	验收监测	竣工验收
			自主监测	1 次/季
	放射性固废	更换的废靶	年度监测	1 次/年
后装机机房	周围剂量当量率	后装机机房东、南和西侧墙体外 30cm 处、顶棚、操作位、防护门及门缝处、各类穿墙管道洞口（如进排风管、电缆线管）、上	自主监测	每次排放前
			验收监测	竣工验收
			自主监测	1 次/季
			年度监测	1 次/年

		方停车场及周围需关注的监督区等；贮源器表面 5cm 和 100cm 处。		
--	--	--------------------------------------	--	--

所有辐射监测记录应建档保存，测量记录应包括测量对象、测量条件、测量方法、测量仪器、测量时间和测量人员等信息。医院应定期对辐射监测结果进行评价，监测中发现异常情况应查找原因并及时报告，提出改进辐射防护工作的意见和建议。

12.4 年度安全状况评估

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第十二条规定，医院应对本单位的放射性同位素和射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并及时提交至全国核技术利用辐射安全申报系统。

安全和防护状况年度评估报告应当包括下列内容：

- （一）辐射安全和防护设施的运行与维护情况；
- （二）辐射安全和防护制度及措施的制定与落实情况；
- （三）辐射工作人员变动及接受辐射安全和防护知识教育培训情况；
- （四）放射性同位素进出口、转让或者送贮情况以及放射性同位素、射线装置台账；
- （五）场所辐射环境监测和个人剂量监测情况及监测数据；
- （六）辐射事故及应急响应情况；
- （七）核技术利用项目新建、改建、扩建和退役情况；
- （八）存在的安全隐患及其整改情况；
- （九）其他有关法律、法规规定的落实情况。

年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

12.5 环保竣工验收

医院应根据核技术利用项目的开展情况，按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评〔2017〕4号）、《建设项目竣工环境保护验收技术指南——污染影响类》（生态环境部公告2018年第9号）的相关要求，对配套建设的环境保护设施进行验收，自行或委托有能力的技术机构编制验收报告，并组织由设计单位、施工单位、环境影响报告表编制机构、验收监测（调查）报告编制机构等单位代表以及专业技术专家等成立的验收工作组，采取现场检查、资料查阅、召开验收会议等方式开展验收工作。建设项目配套建设的环境保护设施经验收合格后，其主体工程方可投入生产或者使用；未经验收或者验收不合格的，不得投入生产或者使用。

12.6 辐射事故应急

12.6.1 应急预案制定要求

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例（2019年修改）》第四十一条规定，医院应根据可能产生的辐射事故风险，制定本单位的应急预案，做好应急准备。辐射事故应急预案主要包括以下内容：

- （1）应急机构和职责分工；
- （2）应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；
- （3）辐射事故分级与应急响应措施；
- （4）辐射事故调查、报告和处理程序；
- （5）生态环境、卫生和公安部门的联系部门和电话。
- （6）编写事故总结报告，上报生态环境部门归档。

发生辐射事故时，医院应当立即启动本单位的辐射事故应急预案，采取必要的防范措施并在2小时内填报《辐射事故初始报告表》。对于发生的误照射事故，应首先向当地生态环境主管部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，应同时向当地卫生主管部门报告。如发生放射源被盗的事故，则还须向公安部门报告。

12.6.2 现有应急预案执行情况及合理性分析

目前医院已制定《辐射事故报告制度及应急处理方案》，见附件7。该预案明确了事故处理措施，公布了事故情况下各部门的联络电话。该预案内容存在一些不足，本次评价建议医院在现有预案内容的基础上作出相关补充和完善，以更好的满足实际应急的需要。

- ①明确辐射事故应急机构及其成员职责分工。
- ②补充应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备。
- ③补充辐射事故的分级内容及应急响应程序流程图。

经与建设单位核实，医院自辐射活动开展以来，无辐射事故发生，事故应急小组处于正常运行状态。医院每年均定期开展辐射事故应急预案演练，并对演练结果进行总结，及时对放射事件应急处理预案进行完善和修订。因此，医院现有辐射事故应急预案基本合理可行。

12.6.3 本项目应急预案要求

本项目投入运行后，医院应做好以下工作：

- （1）医院应根据本次扩建后辐射活动变化的情况，调整现有的辐射事故应急预案，增加后装机工作场所的风险内容和应急措施，尤其是后装机卡源故障时的应急处置方案，以满

足项目变化后的相关要求。

(2) 医院应制定辐射事故应急培训计划方案，每年对与辐射事故应急有关的人员实施培训和演练，以验证该预案的有效性。演练内容包括放射事故应急处理预案的可操作性、针对性、完整性，演习报告存盘。可提出将每年用于辐射应急工作的（包括应急装备、应急技术支持、培训及演习等）支出，纳入部门预算。

(3) 根据辐射事故的分级和应急响应程序，结合医院的具体情况，分别制定不同级别辐射事故应急预案。内容应包括：紧急出动、现场应急、善后处理、事故总结、信息发布等过程，落实每一步骤的具体参加人员、负责人，明确各自职责以及时限要求等，其内容应当全面具体，具有可操作性。

(4) 医院应根据实际情况定期组织修订放射事故应急预案，使其不断完善健全。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 辐射安全与防护分析结论

(1) 项目概况

医院放疗科位于住院部地下二层北侧，医院拟将现有加速器机房的控制室部分墙体以及迷道外侧部分墙体做加固处理；拟将加速器机房东侧用房（物理室、库房、计划治疗室、制模室和办公室）改造成为后装机工作场所（含 1 间后装治疗机房以及控制室）及备件室、会议室等配套房间；放疗科原配套相关功能用房（计划治疗室和办公室）均搬至病房楼十一楼。

医院拟于放疗科加速器机房内更新配置 1 台 6MV 医用电子直线加速器（最大 X 射线能量 6MV，等中心处最大剂量率为 14Gy/min（FFF 模式），普通治疗模式 4Gy/min，主射方向为东、西、顶棚和地面，属于 II 类射线装置），原有设备作报废处理。后装治疗机房拟配备 1 台后装机（型号未定，内含 1 枚活度为 3.7×10^{11} Bq（10Ci）的 ^{192}Ir 放射源，属于 III 类放射源）。

(2) 项目位置

本项目位于浙江省中医院湖滨院区住院部地下二层北侧放疗科，医用电子加速器机房东侧紧邻为后装机治疗室、控制室和备件室；南侧紧邻为工作人员走廊；西侧紧邻为水冷配电间和控制室；北侧紧邻为实土层。后装治疗机房东侧紧邻为会议室；南侧紧邻为控制室；西侧紧加速器机房；北侧紧邻为实土层。加速器机房顶部为平台，后装治疗机房顶部为停车库，加速器和后装治疗机房底部为地下实土层。

(3) 项目分区及布局

建设单位拟将医用电子直线加速器机房（含迷道）和后装治疗机房（含迷道）划定为控制区，将水冷配电机房、医用电子直线加速器控制室、病人等候区、工作人员走廊、备件室、后装机控制室、候诊区、会议室、医用电子直线加速器机房顶部平台以及后装治疗机房顶部停车场划分为监督区。在正常工作过程中，控制区内不得有无关人员进入，对监督区不采取专门防护手段安全措施，但要定期检测其辐射剂量率。在正常工作过程中，监督区内不得有无关人员滞留。由上述可知，本项目分区符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的规定。

(4) 辐射安全防护措施结论

屏蔽防护设计：本项目放疗科直线加速器、后装机机房采取了实体防护和专业辐射防护

措施，并设有迷道，防护门为铅门，防护性能满足相应标准要求。因此，本项目加速器机房和后装机房的选址和布局均符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中“选址和布局”要求，基本合理可行。

辐射安全设施：直线加速器 and 后装机的机房防护门设置门灯联锁、门机联锁和工作状态指示灯，防护门内设开门装置，防护门外设置电离警示标识，机房内和控制室均设置急停开关，设置视频监控和对讲系统，迷道处设置有固定式剂量率报警仪等辐射安全设施。

（5）辐射安全管理结论

①医院已成立放射安全与防护工作组，负责全单位的辐射安全与防护监督管理工作。同时应根据实际情况及本报告要求，制定和完善相关辐射安全管理制度，以适应当前环保的管理要求。

②医院应组织所有辐射工作人员参加辐射安全与防护培训，经考核合格后方可上岗，并按要求及时参加复训；均配备个人剂量计，进行个人剂量监测和职业健康检查，建立完整的个人剂量监测档案和职业健康监护档案。浙江省中医院在严格执行相关法律法规、标准规范等文件，严格落实各项辐射管理制度、落实辐射管理措施或设施、完善辐射工作人员管理的前提下，其从事辐射活动的技术能力基本符合相应法律法规的要求。

13.1.2 环境影响分析结论

（1）辐射影响预测

经预测，在正常工况下，本项目加速器机房和后装机机房的各侧墙体及防护门外辐射剂量率均小于《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）等标准规定的限值要求，对周围环境影响较小。

（2）保护目标剂量

经预测，本项目投入运行后，在做好辐射安全措施的基础上，本项目辐射工作人员和周围公众成员年有效剂量均能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对职业人员和公众成员的剂量限值要求（职业人员 $\leq 20\text{mSv/a}$ 、公众成员 $\leq 1\text{mSv/a}$ ）以及本项目剂量约束值要求（职业人员 $\leq 5.0\text{mSv/a}$ 、公众成员 $\leq 0.1\text{mSv/a}$ ）。

（3）“三废”影响分析

直线加速器：工作时产生的感生放射性气体和臭氧、氮氧化物经排风系统排出机房，直线加速器机房设置有送排风系统进行通风换气，排风量设计值为 $1200\text{m}^3/\text{h}$ ，加速器机房总体积约为 178m^3 ，根据排风能力计算，加速器机房每小时的通风换气次数约为 6.7 次，每小时

通风次数能满足《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)中关于通风换气次数的要求(通风换气次数应不小于4次/h),满足排放标准要求,对周围大气环境影响较小。更换的废靶件经检测满足清洁解控水平后由设备厂家回收处理。

后装机:工作时产生的臭氧和氮氧化物经排风系统通风,排风量设计值为600m³/h,后装治疗机房内净容积约为103m³,根据排风能力计算,后装治疗机房每小时的通风换气次数约为5.8次,每小时通风次数能满足《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)中关于通风换气次数的要求(通风换气次数应不小于4次/h),对周围大气环境影响较小;更换的废旧放射源¹⁹²Ir不在医院内贮存,由供源单位回收。

13.1.3 可行性分析结论

(1) 产业政策符合性结论

结合国家发展和改革委员会第29号令《产业结构调整指导目录(2019年本)》及国家发展和改革委员会第49号令《关于修改<产业结构调整指导目录(2019年本)>的决定》,本项目属于该目录中鼓励类第六项“核能”第6条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”,符合国家产业政策的要求;不属于《杭州市产业发展导向目录与产业平台布局指引(2019年本)》中限制类和禁止类项目,符合杭州市产业政策的要求。因此,本项目的实施符合国家及地方产业政策的要求。

(2) 实践正当性分析结论

本项目在使用时患者、医生及周围的公众会受到一定的照射剂量,但是本项目的建设更能满足患者多层次、多方位、高质量和文明便利的就诊需求,提高对疾病的诊治能力。核技术应用项目的开展,可达到一般非放射性诊治方法所不能及的诊断及治疗效果,对保障人民群众身体健康、拯救生命起了十分重要的作用,本项目开展所带来的利益是大于所付出的代价的,同时对周围环境、公众的辐射影响满足国家辐射防护安全标准的要求,符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中关于辐射防护“实践正当性”的要求。

(3) 相关规划符合性及选址合理性结论

本项目用地性质属于医卫用地,周围无环境制约因素,符合用地规划要求;项目建设不涉及生态保护红线,符合环境质量底线、资源利用上线和生态环境准入要求,符合《杭州市“三线一单”生态环境分区管控方案》的管控要求,符合“三线一单”的建设要求。经辐射环境影响预测,本项目运营过程中产生的电离辐射,经采取辐射防护屏蔽和安全管理措施后,对周围环境与公众健康的辐射影响是可接受的。

因此，本项目符合相关规划要求，选址合理。

(4) 项目可行性结论

综上所述，浙江省中医院湖滨院区放疗科改扩建项目符合土地利用规划、杭州市三线一单生态环境分区管控和“三线一单”的建设要求，选址基本合理，符合国家及地方产业政策要求和实践正当性的原则。在落实本报告提出的各项污染防治措施和辐射环境管理要求后，医院将具备相应从事的辐射活动的技术能力。本项目投入运行时对周围环境的影响均能符合辐射环境保护的要求。故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设和运行是可行的。

13.2 建议和承诺

13.2.1 建议

医院应加强辐射安全教育培训，提高职业工作人员对辐射防护的理解和执行辐射防护措施的自觉性，杜绝放射性事故的发生。

13.2.2 承诺

(1) 建设单位在本项目报批后，承诺及时向生态环境部门重新申领辐射安全许可证。

(2) 建设单位承诺在本项目加速器正式运行前根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4号），在规定的验收期限内（一般不超过3个月），对配套建设的环境保护设施进行验收，编制竣工验收报告。

表 14 审批

下一级生态环境部门预审意见：	
经办人	公章 年 月 日
审批意见：	
经办人	公章 年 月 日