

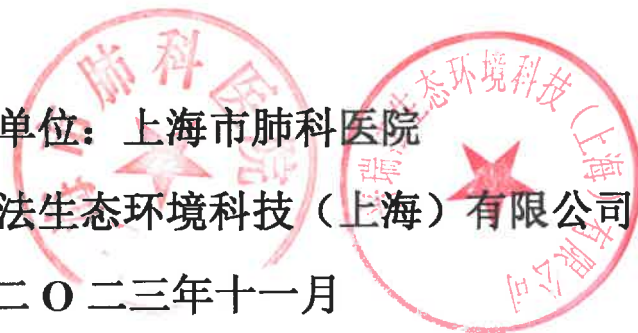
上海市肺科医院新增1台医用电子直线加速器使用项目
环境影响报告表

(报批公示稿)

建设单位：上海市肺科医院

编制单位：普瑞法生态环境科技（上海）有限公司

二〇二三年十一月



说 明

普瑞法生态环境科技（上海）有限公司（环评单位）受上海市肺科医院（建设单位）委托，完成了对“上海市肺科医院新增 1 台医用电子直线加速器使用项目”的环境影响评价工作。现根据国家及本市规定，在向具审批权的生态环境主管部门报批前公开环评文件全文。

本文本内容为拟报批的环境影响报告表全本，上海市肺科医院和普瑞法生态环境科技（上海）有限公司承诺本文本与报批稿全文完全一致，但不涉及个人隐私。

上海市肺科医院和普瑞法生态环境科技（上海）有限公司承诺本文本内容的真实性，并承担内容不实之后果。

本文本在报环保部门审查后，上海市肺科医院和普瑞法生态环境科技（上海）有限公司可能会根据各方意见对项目的建设方案、污染防治措施等内容进行修改和完善，“上海市肺科医院新增 1 台医用电子直线加速器使用项目”最终的环境影响评价文件，以其经生态环境主管部门批准的环境影响评价文件（审批稿）为准。

1、 建设单位联系方式

名称：上海市肺科医院
地址：上海市杨浦区政民路 507 号
联系人：陈瓚
联系电话：13817755131

2、 环评机构联系方式

环评机构名称：普瑞法生态环境科技（上海）有限公司
环评机构地址：上海市杨浦区国顺路 131 弄 10 号楼 6 层 F 室
环评机构联系人：王工
联系电话：021-55060711
电子邮件：yeset2017@163.com

核技术利用建设项目

上海市肺科医院新增 1 台医用电子直线
加速器使用项目
环境影响报告表



上海市肺科医院
2023 年 11 月
生态环境部监制

核技术利用建设项目

上海市肺科医院新增 1 台医用电子直线 加速器使用项目 环境影响报告表

建设单位名称：上海市肺科医院

建设单位法人代表（签名或签章）：艾开兴

通讯地址：上海市杨浦区政民路 507 号

邮政编码：200433

电子邮箱：/

联系人：陈瓚

联系电话：13817755131



A handwritten signature in black ink, appearing to be '艾开兴' (Ai Kaixing), written in a cursive style.

编制单位和编制人员情况表

项目编号	161bq5		
建设项目名称	上海市肺科医院新增1台医用电子直线加速器使用项目		
建设项目类别	55—172核技术利用建设项目		
环境影响评价文件类型	报告表		
一、建设单位情况			
单位名称（盖章）	上海市肺科医院		
统一社会信用代码	12310000425003733B		
法定代表人（签章）	艾开兴		
主要负责人（签字）	陈瓚		
直接负责的主管人员（签字）	陈瓚		
二、编制单位情况			
单位名称（盖章）	普瑞法生态环境科技（上海）有限公司		
统一社会信用代码	91310110MA1G96RA2J		
三、编制人员情况			
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
林丽英	12353143512310430	BH009444	
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
陈琼丽	审核	BH023784	
金可镭	项目基本情况、放射源、非密封放射性物质、射线装置、废弃物、项目工程分析与源项、辐射安全与防护、环境影响分析	BH010456	
林丽英	评价依据、保护目标与评价标准、环境质量和辐射现状、辐射安全管理、结论与建议	BH009444	

目 录

表 1 项目基本情况.....	1
表 2 放射源.....	15
表 3 非密封放射性物质.....	15
表 4 射线装置.....	16
表 5 废弃物（重点是放射性废物）.....	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.....	28
表 9 项目工程分析与源项.....	31
表 10 辐射安全与防护.....	37
表 11 环境影响分析.....	49
表 12 辐射安全管理.....	66
表 13 结论与建议.....	71
表 14 审批.....	74
附图.....	75
附件.....	82

表 1 项目基本情况

建设项目名称		上海市肺科医院新增 1 台医用电子直线加速器使用项目			
建设单位		上海市肺科医院			
法人代表	艾开兴	联系人	陈瓚	联系电话	13817755131
注册地址		上海市杨浦区政民路 507 号			
项目建设地点		上海市杨浦区政民路 507 号			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资 (万元)	3000	项目环保投资 (万元)	60	投资比例 (环保投资/总投资)	2%
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它		占地面积 (m ²)	/
应用类型	放射源	销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
		使用	<input type="checkbox"/> I类 (医疗使用) <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
	非密封放射性物质	生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性物质		
		销售	/		
	射线装置	使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
		生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
其他	使用	<input checked="" type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类			
<p>1.1 建设单位概况</p> <p>上海市肺科医院（以下称“肺科医院”）创建于 1933 年，现为同济大学附属医院。建院九十年来，肺科医院已经成为一家集医疗、教学与科研为一体的现代化三级甲等专科医院，主要诊疗特色为呼吸系统领域常见病、多发病和疑难危重疾病及其它相关疾病的诊断和治疗。医院占地面积约 9.8 万平方米，拥有设施先进的门急诊综合楼、病房大楼和医技综合楼。医院现核定床位 1200 张。</p> <p>1.2 项目建设目的和由来</p> <p>为满足肿瘤患者的治疗需求，建设单位拟于现有放疗楼和立体车库之间的空地新建 1 个加速器机房及其配套工作场所，并拟在机房内新增 1 台医用电子直线加速器（以下简称“加速器”），拆除放疗科 2#加速器机房北侧已弃用的太平间。本项目选用的加速器设备自带 CBCT 系统，配套的模拟定位 CT 机房、模具室、治疗计划室等均拟沿用放疗科原有设施。</p> <p>本项目选用的瓦里安 Halcyon 加速器最大 X 射线能量为 6MV，设备源轴</p>					

距为 1m，射线最大出射角为 15.9°，最大照射野为 28cm×28cm，等中心 1m 处最大剂量率 480Gy/h；设备自带的 CBCT 最大电压为 140kV，最大电流为 630mA。

本项目加速器平均每天诊疗 120 个病人（其中常规放射治疗占 20%，调强治疗占 80%），一年按 250 天计算，年诊疗病人 30000 人次/年。放疗患者进入机房内，由放射工作人员对患者进行摆位，摆位时间约为 2min，摆位由当值的 2 名放射工作人员同时操作；患者结束治疗后机房通风需约 1min。加速器在常规治疗过程中每个病人出束时间约 2min，在调强治疗，每个病人累计出束时间约为常规治疗的 3 倍。

根据《关于发布<射线装置分类>的公告》（国家环保部、国家卫生和计划生育委员会 2017 年第 66 号）进行分类，该设备属于 II 类射线装置，本项目各设备分类情况如下表所示

表 1.2-1 本项目射线装置分类情况

设备名称	数量	类别	分属类别
医用电子直线加速器	1	II	粒子能量小于 100 兆电子伏的医用加速器

为加强辐射环境管理，防止放射事故的发生，确保射线装置的使用不对周围环境和工作人员及公众产生不良影响，根据《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国环境影响评价法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》的规定和要求，本项目需进行环境影响评价。

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》（生态环境部令 第 16 号）、《〈建设项目环境影响评价分类管理名录〉上海市实施细化规定（2021 年版）》（沪环规〔2021〕11 号）及《上海市建设项目环境影响评价重点行业名录（2021 年版）》（沪环规〔2021〕7 号），本项目属于使用 II 类射线装置，不属于重点行业，应该编制环境影响评价报告表。

表 1.2-2 核技术利用建设项目环境影响评价文件编制分类表

编制依据	项目行业类别	报告书	报告表	登记表	本项目	
沪环规〔2021〕11 号	五十五、核与辐射	核技术利用建设项目	生产放射性同位素的（制备 PET 用放射性药物的除外）；使用 I 类放射源的（医疗使用的除外）；销售（含建造）、使用 I 类射线装置的；甲级非密封放射性物质工作场所；以上	制备 PET 用放射性药物的；医疗使用 I 类放射源的；使用 II 类、III 类放射源的；生产、使用 II 类射线装置的；乙、丙级非密封放射性物质工作场所（医疗机构使用植入治疗用放射	销售 I 类、II 类、III 类、IV 类、V 类放射源的；使用 IV 类、V 类放射源的；医疗机构使用植入治疗用放射性粒	本项目使用 II 类射线装置，故应编制环境影响报告表

		项目的改、扩建（不含在已许可场所增加不超出已许可活动种类和等级核素或射线装置，且新增规模不超过原环评规模的 50%）	性粒子源的除外）；在野外进行放射性同位素示踪试验的；以上项目的改、扩建（不含在已许可场所增加不超出已许可活动种类和等级核素或射线装置的）	子源的；销售非密封放射性物质的；销售 II 类射线装置的；生产、销售、使用 III 类射线装置的	
沪环规 [2021] 7 号	未列入				

根据《上海市生态环境局关于发布<实施建设项目环境影响评价文件行政审批告知承诺的行业名单（2019 年度）>的通知》（沪环评〔2019〕187 号）内容，本项目属于“六、核与辐射-15 核技术利用建设项目”中“生产、使用 II 类射线装置的（加速器类射线装置除外）”，本项目为新增加速器装置，不可实施告知承诺制，本项目采取审批制。

为了取得上述医用电子直线加速器使用的辐射安全许可证，上海市肺科医院委托普瑞法生态环境科技(上海)有限公司对本项目进行辐射环境影响评价。在接受委托后，评价单位组织相关技术人员进行了现场勘察、现场监测、收集资料等工作，并结合项目特点，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）等规定要求编制了《上海市肺科医院新增 1 台医用电子直线加速器使用项目环境影响报告表》。

1.3 项目建设内容和规模

1.3.1 建设内容

肺科医院拟拆除放疗科 2#加速器机房北侧已弃用的太平间，新建 2 层放疗用楼（加速器相关工作用房），并于新建放疗用楼内 1 层设置加速器机房。本项目选用的加速器设备自带 CBCT 系统，配套的模拟定位 CT 机房、模具室、治疗计划室等均拟沿用放疗科原有设施。

1.3.2 工作班制和工作时间

本项目拟配置工作人员 8 人，其中需由原放疗科、放射科人员及相关科室人员抽调 4 人，抽调人员均已获得辐射安全与防护培训证书，且证书均在有效期内；另需对外招聘 4 名放射治疗辐射工作人员。本项目运行后抽调人员和新增辐射工作人员仅从事本项目放射工作，不参与其他放射工作。

根据肺科医院提供的资料，本项目加速器机房每天运行 16.4 小时，每天

分为2班，每年工作50周，每周工作5天。预计加速器平均每天治疗病人120人次，平均每人照射2min，周治疗出束时间为20h；按照医院现有加速器机房运行情况，调强治疗占80%（96人次/天），调强因子N=3，泄漏辐射周照射时间为104h，年总照射时间为5200h。设备调试、维修、检测工作委托厂家进行操作，设备日常质控由本项目辐射工作人员进行。

1.3.3 项目组成

本项目组成见表1.3-1。

表 1.3-1 项目组成一览表

类型		项目内容	依托关系
主体工程	场所	加速器机房位于医院南部新建放疗用楼1层。机房内部有效面积为45.9m ² （不含迷道）。机房东西墙及顶层屏蔽为1400mm混凝土；北墙屏蔽为1450mm混凝土；南侧为迷道，迷道墙内墙为500mm~1100mm混凝土，外墙为650mm~1250mm混凝土；防护门为16mm铅板。	新建
	设备	医用电子直线加速器1台，设备参数详见后文表4	新建
	人员	加速器机房配置8名辐射工作人员，包括2名医师、2名物理师、4名技师	/
辅助工程	场所	控制室、水冷机房、空调机房兼排烟机房	新建
	设备	控制室控制设备（电脑等）、数据服务器、桌椅等	新建
公用工程	供电	依托肺科医院新建眼科临床诊疗中心供电系统	依托现有
	给排水	给水由当地市政自来水管网供给；排水依托肺科医院现有排水系统	依托现有
	通风	加速器机房设置送排风系统，废气由排风管引至新建放疗用房楼顶排放，排风量为1100m ³ /h。 该场所东侧为医院门诊楼核化救治科室，门诊楼建筑高度约为16m；场所南侧为医院现有放疗楼，放疗楼建筑高度约为16m；场所西侧为医院医技楼核医学科，医技楼建筑高度约为12m；场所北侧为医院立体车库。	新建
环保工程	废气	加速器机房设备产生的臭氧、氮氧化物通过机房排风系统经排风管引至新建放疗用房楼顶排放，排风口高出本建筑屋脊，排放高度约8m。 该场所东侧为医院门诊楼核化救治科室，门诊楼建筑高度约为16m；场所南侧为医院现有放疗楼，放疗楼建筑高度约为16m；场所西侧为医院医技楼核医学科，医技楼建筑高度约为12m；场所北侧为医院立体车库。	新建
	废水	加速器设备在运行过程中本身无废水排放，运行期间废水主要来自辐射工作人员日常生活污水，经肺科医院现有污水处理系统处理后排放，由于本项目新增4名辐射工作人员，对全院废水产生量影响较小。	依托
	放射性固废	加速器更换或退役产生的废靶，在治疗室铅桶暂存，后由设备厂家回收。	新建
	生活垃圾和医疗废物	运行期间辐射工作人员日常生活垃圾经分类收集后委托环卫清运；医疗废物经收集后委托有资质单位处置。	依托现有

噪声	加速器机房主要噪声为设备及风机运行等噪声，设备设置在专用机房内，设备采取减振等降噪措施；排风机房位于加速器机房上层西南角。	新建
----	---	----

1.4 项目周围环境概况及选址合理性分析

1.4.1 本项目地理位置

上海市肺科医院西北侧及北侧为上海财经大学；西侧为汇文苑小区；南侧为政民路，隔政民路为上海复旦大学；东侧为上海远洋船舶供应公司和国定路555弄小区，详见后文附图3。

1.4.2 本项目周围环境关系

本项目新建放疗用楼位于医院南部，北侧为医院内部，与立体车库相邻；东侧与核化楼相邻，隔核化楼为上海远洋船舶供应公司，距离该公司厂界 29 米；南侧与原有放疗楼相邻，距离南侧政民路 77 米；西侧与现有医技楼相邻，距离医院西侧场界最近距离为 89 米。放疗用楼四周均有通道隔开，与现有建筑均不相连。

本项目新建放疗用楼所在位置区域图见图 1.4-1，新建放疗用楼各楼层平面图见图 1.4-2~1.4-3。



图 1.4-1 本项目新建放疗用楼所在位置区域图

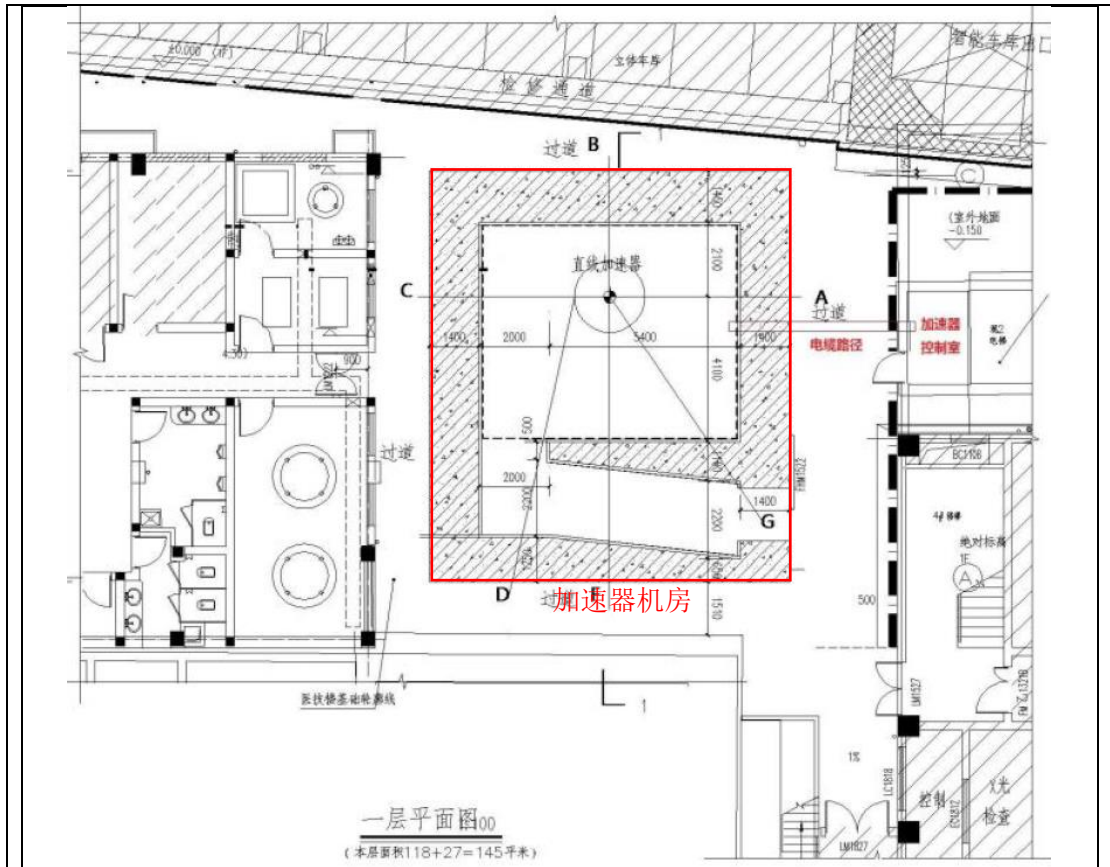


图 1.4-2 新建放疗用楼一层平面布置图

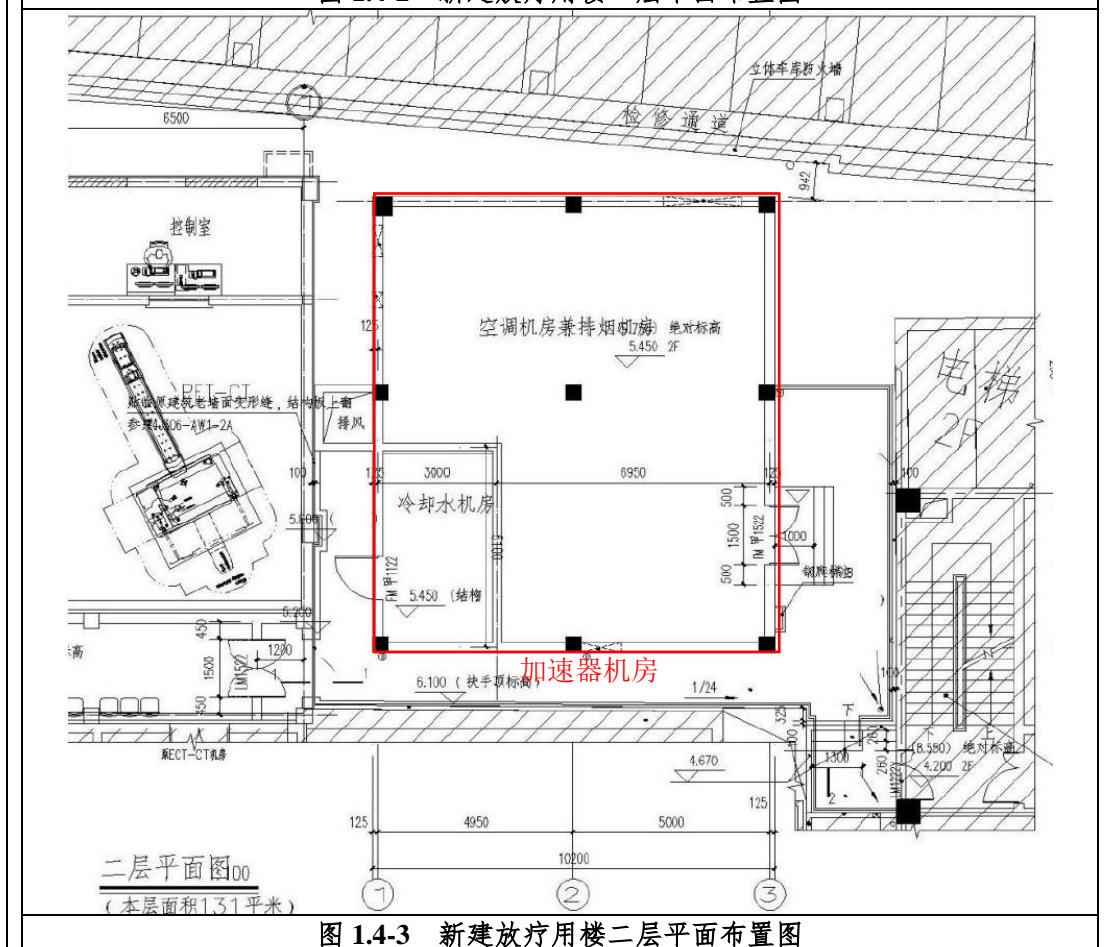


图 1.4-3 新建放疗用楼二层平面布置图

1.4.3 项目选址及平面布置合理性分析

(1) 选址合理性分析

本项目机房选址与《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)要求相符性见表 1.4-1。

表 1.4-1 本项目选址与《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)相符性分析

《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021) 要求		本项目情况	相符情况
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。	本项目加速器机房位于医院南部新建放疗用楼内。建筑共 2 层,机房位于 1 层,上方为空调机房兼排烟机房等配套设施,下方为土层	相符
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。	本项目新建放疗用楼为独立建筑,建筑东侧为核化楼、南侧为现有放疗楼、西侧为医技楼核医学科;建筑周边无儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域	相符

由上表所示,本项目机房选址满足《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)的要求。

本项目机房边界 50m 评价范围内无居民区、学校等敏感区。项目运营过程中产生的电离辐射和废气,经采取一定的防护治理措施后满足国家相关防护标准,不会对周围环境与公众造成危害,故选址合理。

(2) 平面布置合理性分析

本项目加速器机房位于医院南部新建放疗用房 1 层,机房屏蔽层由普通钢筋混凝土一次性浇筑而成;防护门敷设铅板作为屏蔽材料;水冷机房、空调机房兼排烟机房位于机房上层;机房设置有 L 型迷道,主射线不向迷道照射;因受建设空间限制,控制室设置于机房东侧设备有用线束照射方向上,机房位于独立建筑内,北、西、南侧均为过道,东侧为控制室和过道,且设有设备自带铅块及屏蔽墙两层屏蔽,基本符合《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)中放疗机房平面布局要求,平面布局设置合理可行。

1.5 评价因子及评价重点

1.5.1 评价因子

本项目评价因子为机房周边关注点的剂量当量率和项目职业工作人员及周边公众的年有效剂量。

1.5.2 评价重点

根据本项目工艺特点及机房周边情况，确定本次评价工作的重点为：

(1) 根据项目工程分析与源项内容，本项目设备对机房周边辐射环境的影响，并针对拟采取屏蔽措施的可行性进行分析；

(2) 本项目对机房工作人员和周边公众剂量当量和年有效剂量的影响。

1.6 产业政策符合性

对照国家产业政策，本项目属于《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（2021 年修订）中“十三、医药 5 新型医用诊断设备和试剂、数字化医学影像设备，人工智能辅助医疗设备，**高端放射治疗设备**，电子内窥镜、手术机器人等高端外科设备，新型支架、假体等高端植入介入设备与材料及增材制造技术开发与应用”，为鼓励类产业；未列入《上海工业及生产性服务业指导目录和布局指南（2014 年版）》中限制类、淘汰类目录；未列入《上海市产业结构调整指导目录限制和淘汰类（2020 年版）》，本项目的建设符合国家及地方产业政策。

1.7 实践正当性符合性

本项目使用医用电子直线加速器开展肿瘤病人的治疗，治病救人，具有良好的经济效益和社会效益，实践过程中采取了可靠的辐射防护措施，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，其所获利益远大于可能因辐射实践所造成的损害，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。

1.8 上海市“三线一单”相符性分析

根据《关于以改善环境质量为核心加强环境影响评价管理的通知》（环环评[2016]150 号），要求强化“三线一单”的约束作用，建立“三挂钩”机制，“三管齐下”切实维护群众的环境权益。“三线一单”即“生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线和环境准入负面清单”，项目建设应强化“三线一单”约束作用。

①生态保护红线

根据《上海市生态保护红线》（沪府发〔2023〕4 号）对于全市各区划定的生态保护红线，本项目选址与所在区域生态保护红线的位置关系见附图 2。

可见，本项目建设地点不属于生态环境保护红线范围内。

②环境质量底线

根据环境质量现状监测结果，本项目拟建场所周围环境 X- γ 辐射剂量率属于正常本底范围。在落实本报告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，不会突破环境质量底线。

③资源利用上线

本项目位于新建放疗用房内，机房给排水管网、电网等基础设施依托医院现有设施，现已建设完善。本项目营运过程中消耗的电、水等资源相对区域资源利用总量较小，符合资源利用上线要求。

④与《关于本市“三线一单”生态环境分区管控的实施意见》的通知（沪府规[2020]11号）的相符性分析

根据《关于本市“三线一单”生态环境分区管控的实施意见》的通知（沪府规[2020]11号），本项目所在区域为重点管控单元（中心城区），与重点管控单元环境准入及管控要求相符性分析见表 1.8-1，本项目建设符合“三线一单”要求。

表 1.8-1 上海市重点管控单元生态环境准入清单

管控领域	环境准入及管控要求	符合性分析	相符性
空间布局管控	1、发展高端生产性服务业和高附加值都市型工业，现有不符合发展定位的工业企业加快转型。 2、公园、河道等生态空间应严格执行相关法律法规，禁止开展和建设损害主要生态功能、法律法规禁止的活动和项目。	本项目使用 II 类射线装置，不属于工业企业；项目所在地不涉及公园、河道等生态空间。	符合
能源领域污染治理	使用清洁能源、严格禁止煤炭、重油、渣油、石油焦等高污染燃料的使用（除电站锅炉、钢铁冶炼炉窑以外）。2020 年全面完成中小燃油燃气锅炉提标改造。	本项目使用电能，为清洁能源；项目不涉及锅炉内容。	符合
生活污染治理	1、加强生活、交通领域污染治理。深化餐饮油烟污染防治，提高绿色出行比重，加大公交、出租、物流、环卫、邮政等行业新能源车推广。 2、加强城镇地表径流污染控制，实施雨水泵站旱流截污改造，有条件地区建设初雨截留、调蓄设施。	本项目废水汇入上海市肺科医院污水处理站统一处理后纳入市政污水管网，生活垃圾由环卫部门定期清运。	符合

土壤污染 风险防控	南大、桃浦等潜在污染地块应落实《污染地块土壤环境管理办法（试行）》要求，在环境调查、风险评估、治理与修复阶段实施土壤与地下水风险管控，暂不开发利用的地块实施以防治污染扩散为目的的土壤和地下水污染防治，对再开发利用地块实施以安全利用为目的的土壤和地下水污染防治。	本项目所在地不属于潜在污染地块。	符合
资源利用 效率	建设项目能耗、水耗应符合《上海市产业能效指南》相关限值要求。	本项目使用 II 类射线装置，属于核技术利用建设项目，不属于《上海市产业能效指南（2021 年版）》所涉及的行业范围。	符合
地下水资 源利用	地下水开采重点管控区（禁止开采区）内严禁开展与资源和环境保护功能不相符的开发活动，禁止开采地下水和矿泉水（应急备用除外）。	本项目不涉及地下水开发活动。	符合
岸线资源 保护与利 用	严格按照《上海港总体规划》、《上海市内河港区布局规划》等规划进行岸线开发利用，控制占用岸线长度，提高岸线利用效率，加强污染防治。	本项目不涉及岸线开发利用内容。	符合

本项目属于核技术利用项目，目的是开展肿瘤治疗，因此项目符合上海市“三线一单”生态环境分区管控方案的要求。

1.9 现有核技术利用项目许可情况

上海市肺科医院已取得了上海市生态环境局颁发的辐射安全许可证（沪环辐证[28004]），有效期至 2026 年 11 月 14 日，目前仍在有效期内。许可活动的种类和范围为：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、丙级工作场所。

辐射安全许可证详见附件 1，肺科医院现有射线装置情况见表 1.9-1。放射源及非密封放射性物质许可情况见表 1.9-2 和表 1.9-3。

表 1.9-1 肺科医院现有射线装置许可情况一览表

设备名称	所在位置	类别	活动种类
床旁机	放射科流动	III 类	使用
CT 方舱体验车	移动 CT 方舱车	III 类	使用
CT 模拟定位机	模拟定位室（一）	III 类	使用
CT 机	延庆路 CT 机房	III 类	使用
加速器	加速器室：机房 A	II 类	使用
多层螺旋 CT	1 号楼 1 楼：2 号 CT 机房	III 类	使用
PET-CT	PET-CT 机房	III 类	使用
DSA	门诊地下 1 楼：2 号直线加速器机房	II 类	使用
数字平板摄像装置 DR	门诊 2 楼：DR 机房	III 类	使用
SPECT-CT	SPECT/CT(2)机房	III 类	使用

CT 机	1 号楼 1 楼：3 号机房	III 类	使用
床旁机	放射科流动	III 类	使用
床旁机	放射科流动	III 类	使用
CT 机	3 号楼地下 1 楼：CT 室	III 类	使用
CT 机	1 号楼 1 楼：4 号机房	III 类	使用
移动式 C 形臂 X 射线机	内镜中心：2 号楼内镜中心机房	III 类	使用
SPECT-CT	SPECT/CT(1)机房	III 类	使用
DR 机	1 号楼 1 楼：7 号机房	III 类	使用
DR 机	体检中心摄片室	III 类	使用
DSA	门诊地下 1 楼：1 号直线加速器机房	II 类	使用
CT 机	发热门诊：CT 室	III 类	使用
CT 机	门诊 2 楼：CT 室	III 类	使用
加速器	加速器室：机房 B	II 类	使用
CT 模拟定位机	模拟定位室（二）	III 类	使用
CT 机	1 号楼 1 楼：1 号机房	III 类	使用
CT 机	移动 CT 方舱车	III 类	使用

表 1.9-2 肺科医院现有放射源许可情况一览表

序号	核素	类别	总活度（贝可）/ 活度（贝可）×枚数	活动种类
1	Cs-137/Co-60 混合源	V 类	2.00E+05	使用
2	Cs-137/Ba-133/Eu-152 混合源	V 类	1.00E+04	使用
3	Co-60	V 类	2.00E+05	使用
4	Cs-137	V 类	5.00E+04	使用
5	Eu-152	V 类	1.00E+05	使用
6	Am-241	V 类	2.00E+04	使用
7	Am-241（平板源）	V 类	1.00E+04	使用
8	Sr/Y（平板源）	V 类	2.50E+04	使用
9	Ge-68	V 类	9.25E+7*1	使用
10	Ge-68	V 类	4.63E+7*2	使用

表 1.9-3 肺科医院现有非密封放射性物质许可情况一览表

序号	工作场所名称	场所等级	核素	日等效最大操作量（贝可）	年最大用量（贝可）	活动种类
1	核医学科	乙级	Sr-89	2.96E+07	3.60E+09	使用
2	核医学科	乙级	Tc-99m	1.50E+09	1.92E+13	使用
3	核医学科	乙级	I-125	4.20E+05	1.05E+09	使用
4	核医学科	乙级	Sm-153	2.96E+08	7.10E+10	使用
5	核医学科	乙级	F-18	7.40E+07	1.85E+12	使用
6	核医学科	乙级	Tl-201	3.70E+06	2.70E+10	使用
7	核医学科	乙级	Ga-67	3.70E+08	2.7E+11	使用
8	核医学科	乙级	P-32	2.95E+08	7.10E+10	使用
9	核医学科	丙级	C-14 标准溶液	5.00E+04	5.00E+05	使用
10	核医学科	丙级	K-40 标准矿粉	1.00E+02	1.00E+02	使用
11	核医学科	丙级	H-3 淬灭标准源	5.00E+04	1.00E+05	使用
12	核医学科	丙级	Cs-137 标准溶液	1.00E+04	3.00E+05	使用
13	核医学科	丙级	H-3 标准溶液	5.00E+03	5.00E+04	使用
14	核医学科	丙级	Am-241 标准物质	3.00E+05	3.00E+07	使用

15	核医学科	丙级	Sr-90 标准溶液	1.00E+04	3.00E+05	使用
16	核医学科	丙级	Ra-226 标准溶液	1.00E+06	5.00E+07	使用
17	核医学科	丙级	C-14 淬灭标准源	1.50E+04	1.00E+05	使用
18	核医学科	丙级	河流沉积物标准物质 (U、Th、 ²²⁶ Ra、 ⁴⁰ K、 ⁶⁰ Co、 ¹³⁷ Cs)	3.00E+06	3.00E+06	使用
19	核医学科	丙级	滤膜标准源 (¹³⁷ Cs、 ¹³³ Ba)	2.00E+05	2.00E+05	使用
20	核医学科	丙级	模拟土壤标准源 (U、Th、 ²²⁶ Ra、 ⁴⁰ K)	7.00E+06	7.00E+06	使用
21	核医学科	丙级	茶叶灰标准源 (U、Th、 ²²⁶ Ra、 ⁴⁰ K、 ⁶⁰ Co、 ¹³⁷ Cs)	1.00E+06	1.00E+06	使用
22	核医学科	丙级	Th 标准矿粉	3.00E+04	3.00E+04	使用
23	核医学科	丙级	U、 ²²⁶ Ra 标准矿粉	7.00E+06	7.00E+06	使用
24	核医学科	丙级	混合刻度源 (¹⁰⁹ Cd、 ⁵⁷ Co、 ¹²⁹ Ce、 ²⁰² Hg、 ¹¹³ Sn、 ¹³⁷ Cs、 ⁵⁶ Y、 ⁶⁰ Co)	2.50E+05	2.50E+05	使用
25	核医学科	丙级	U 标准溶液	1.00E+03	1.00E+04	使用
26	核医学科	丙级	Th 标准溶液	3.00E+02	3.00E+04	使用

1.10 肺科医院核技术利用项目环保情况回顾

1.10.1 环保手续履行情况

肺科医院现有核技术利用项目环保手续办理情况见表。

表 1.10-1 肺科医院现有核技术利用项目环评及验收情况

项目名称	涉及场所位置	环评批文号及批文时间	验收批文号及批文时间
医用直线加速器、CT 机项目	直线加速器楼	沪环保许管[2006]999号，2006年8月16日	沪环保许管[2008]931号，2008年8月20日
上海市肺科医院 PET-CT 应用项目	放疗中心二层	沪环保许辐[2015]118号，2015年7月21日	沪环保许管[2016]88号，2016年10月14日
上海市肺科医院肺部疾病临床诊疗中心新增 DSA 装置项目	肺部疾病临床诊疗中心 4 层北侧	杨环保评辐[2023]3 号，2023 年 8 月 17 日	尚未竣工

1.10.2 污染物排放及达标情况

(1) 人员剂量

现有核技术利用项目中涉及核素操作、射线装置使用会对工作场所内放射工作人员、工作场所周边公众及环境产生电离辐射影响。

肺科医院委托上海市杨浦区疾病预防控制中心对医院相关科室放射人员受照剂量进行检测，根据上海市杨浦区疾病预防控制中心出具的近期（2022.2~2023.1）个人剂量检测报告，医院现有放射工作人员个人剂量最大值

为 0.881mSv，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的职业照射年剂量限值（20mSv/年）。

（2）工作场所辐射水平

本项目新增加速器设备位于新建放疗用楼内，建筑内无已运行的放射源或射线装置，工作场所环境质量水平现状详见后文“表 8 环境质量和辐射现状”。

（3）放射性废气

现有核医学科核素诊断场所不涉及核素分装及 ^{131}I 操作，未设置独立排风管道。现有加速器机房内设置通风系统，机房内废气送至屋顶排放。

（4）放射性废水

核医学科产生的放射性废水主要为核素诊断场所注射过核素的病人排泄物及冲厕废水及核素治疗区域病人排泄物、冲厕、住院病人淋浴等废水。核素诊断场所、核素治疗场所分别设置衰变池，放射性废水经过独立的污水管道收集后进入衰变池，待废水静置衰变 10 个半衰期，达标后泵入医院污水处理站。

（5）放射性固体废物

核医学科产生的放射性固体废物包括一次性注射器、针头、棉球、手套、药品盒等。放射性废物收集后，置于专用废物桶内，短期暂存于核医学科的放射性废物暂存间内，暂存间实行双人双锁进行管理，产生的废物经贮存衰变解控后作为医疗废物委托上海市固体废物处置有限公司处置。

1.10.3 辐射环境管理

肺科医院设置了辐射安全防护领导小组专门负责医院的辐射安全和环境保护管理工作，并按照国家有关的法规、标准要求，针对核医学科、射线装置的使用制定了辐射安全管理相关的规章制度。

1.10.4 日常辐射监测

目前医院每年委托有资质的单位对放射性工作场所 β 表面污染、X、 γ 剂量率、环境中子剂量率水平及进行监测并定期进行自行监测。

1.10.5 应急预案

肺科医院已制定《放射事件应急预案》，并定期进行应急事故演练。

1.10.6 辐射环保投诉情况

截止目前，肺科医院未接到相关辐射环保投诉。

1.10.7 主要环境问题及以新带老措施

肺科医院现有核医学科、放射科制度齐全，运行规范，无主要环境问题。

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	贮存方式和地点	备注

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式和地点

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

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、可研、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 (MV)	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	医用直线加速器	II	1	瓦里安 Halcyon	电子	6	480Gy/h	肿瘤治疗	新建放疗用房 1 层	该设备集成一套 CBCT 系统 (III 类射线装置) 用于放疗过程中的模拟定位

(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 (uA)	中子强度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	

表 5 废弃物（重点是放射性废物）

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
废靶	固态	/	/	/		/	/	厂家回收
臭氧、氮氧化物	气态	/	/	微量	微量	/	无	通过通风系统由楼顶排放，臭氧常温下约 50 分钟分解为氧气。机房周边为核化楼、放疗楼、医技楼核医学科和立体车库

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.含有放射性的废弃物要注明，其排放浓度用比活度(Bq/l，或 Bq/kg，或 Bq/m³)，年排放总量分别用 Bq 和 kg。

表 6 评价依据

6.1 法 规 文 件	<p>1) 《中华人民共和国环境保护法》（2014 年中华人民共和国主席令第 9 号修订）；</p> <p>2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2002 年中华人民共和国主席令第 24 号发布，2018 年 12 月 29 日第十三届全国人大常委会第七次会议第二次修订）；</p> <p>3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》（2003 年国家主席令第 6 号发布）；</p> <p>4) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（2020 年修订），2020 年 9 月 1 日实施；</p> <p>5) 《建设项目环境保护管理条例》（2017 年修订），国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日起实施；</p> <p>6) 《上海市环境保护局关于贯彻落实新修订的<建设项目环境保护管理条例>的通知》（沪环保评[2017]323 号）；</p> <p>7) 上海市生态环境局关于印发《<建设项目环境影响评价分类管理名录>上海市实施细化规定（2021 年版）》的通知（沪环规[2021]11 号），2021 年 9 月 1 日起实施；</p> <p>8) 《上海市生态环境局关于印发<上海市建设项目环境影响评价重点行业名录（2021 年版）>的通知》（沪环规[2021]7 号），2021 年 9 月 1 日起施行；</p> <p>9) 《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（2017 年 11 月 20 日，国环规环评[2017]4 号）；</p> <p>10) 《上海市环境保护局关于贯彻落实<建设项目竣工环境保护验收暂行办法>的通知》（2017 年 12 月 12 日，沪环保评[2017]425 号）；</p> <p>11) 《关于发布<射线装置分类>的公告》（原国家环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号），2017 年 12 月 5 日实施；</p> <p>12) 《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，国务院令第 709 号修订，2019 年 3 月 18 日公布；</p> <p>13) 《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</p>
-------------------------	---

	<p>号，2011年5月1日起实施；</p> <p>14) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（环保总局令第31号）（2021年修正），生态环境部令第20号，自2021年1月4日起施行；</p> <p>15) 《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，2006年9月26日起实施；</p> <p>16) 《上海市放射性污染防治若干规定》（2009年12月9日上海市人民政府第23号令发布，2015年5月22日上海市人民政府第30号令修订）；</p>
技术标准	<p>1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；</p> <p>2) 《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>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/T 201.2-2011）；</p> <p>4) 《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>5) 《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）；</p> <p>6) 《医用电子加速器治疗机房放射防护与检测要求》（DB31/T 527-2020）；</p> <p>7) 《医用电子直线加速器质量控制检测规范》（WS 674-2020）；</p> <p>8) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）；</p> <p>9) 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）；</p> <p>10) 《大气污染物综合排放标准》（DB 31/933-2015）；</p> <p>11) 《室内空气中氮氧化物卫生标准》（GB/T 17096-1997）</p> <p>12) 《室内空气质量标准》（GB/T18883-2022）。</p> <p>13) 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；</p> <p>14) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）；</p> <p>15) 《工作场所有害因素职业接触限值 第1部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）；</p>

	16) 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）
其他	<p>1) 《上海市肺科医院 PET-CT 应用》及审批意见（杨环保许评[2015]014号）；</p> <p>2) 上海市肺科医院《辐射安全许可证》（沪环辐证[28004]）；</p> <p>3) 上海市肺科医院现有核医学科场所、机房检测报告；</p> <p>4) 上海市肺科医院核医学科放射工作人员个人剂量检测报告；</p> <p>5) 上海市肺科医院新增放射诊疗科室相关图纸、屏蔽设计资料；</p> <p>6) 建设单位提供的其他设计资料。</p> <p>7) 天然放射性水平</p> <p> 参考《上海市环境天然贯穿辐射水平调查》（杨鹤鸣等），上海市参考本底范围（室内建筑物）值为 0.0534~0.1517μGy/h。</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》（HJ10.1-2016），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。

本项目射线装置应用项目，取加速器所在机房及周围 50m 作为评价范围，本项目机房东侧 29 米处为上海远洋船舶供应公司厂界，其余方向均为医院内部，具体见下图。



图 7.1-1 加速器机房周边 50m 范围示意图

7.2 保护目标

本项目的辐射环境影响范围主要为加速器机房周边。因此，本项目保护目标主要为辐射工作人员、机房周围活动的一般医护人员及院内公众等。保护目标详见表 7.2-1。机房平面布置图及上层情况见前文图 1.4-1~1.4-2。

表 7.2-1 保护目标一览表

项目	保护目标名称	保护对象	方位	距离/m	建筑楼高/m	常驻人员规模	保护要求	
项目内	加速器科室工作人员	放射工作人员	/	/	/	6	受照剂量约束值 5mSv/a	
项目场所周围	加速器机房	水冷机房、空调机房兼排烟机房	其他工作人员	上	紧邻	7	2~5	受照剂量约束值 0.1mSv/a
		过道	其他工作人员、公众	四周	紧邻	/	25~50	
		控制室	工作人员	E	紧邻	/	6	
	医技楼	其他工作人员、公众	W	3	8 (2层)	100~200		
	放疗楼	其他工作人员、公众	S	3	8 (2层)	100~200		
	核化楼	其他工作人员、公众	E	5	20 (4层)	100~200		
	立体车库	公众	N	5	10 (3层)	2~5		

7.3 评价标准

7.3.1 辐射剂量约束值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002),结合《放射治疗射安全与防护要求》(HJ1198-2021)标准中 4.9 条款和本项目特点并遵循辐射防护最优化原则建议的年剂量限值及约束值见表 7.3-1。

表 7.3-1 放射工作人员和公众的剂量限值和剂量约束值

适用范围	职业照射有效剂量	公众照射有效剂量
剂量限值	20mSv/年	1mSv/年
剂量约束值*	5mSv/年	0.1mSv/年

注:*根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中第 11.4.3.3 条“剂量约束值通常应在公众照射剂量限值 10%~30% (即 0.1mSv~0.3mSv) 的范围之内,但剂量约束的使用不应取代最优化要求,剂量约束值只能作为最优化值的上限”。参考《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)的相关要求,遵循“防护与安全的最优化”的原则,本项目年剂量管理目标值为:职业人员年有效剂量不超过 5mSv,公众年有效剂量不超过 0.1mSv。

7.3.2 辐射分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的相关规定,划定控制区、监督区。控制区和监督区以外区域对人员活动不限制。

根据《放射治疗射安全与防护要求》(HJ1198-2021)中 5.2 规定:

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）

7.3.3 剂量率要求

(1) 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）规定：

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、临近治疗室的关注点、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临近建筑物的高度超过自辐射原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 $H_{c,max}$ ($\mu\text{Sv/h}$)：

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（参照 HJ1198-2021 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 $H_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$)：

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： $H_c \leq 2.5 \mu\text{Sv/周}$ 。

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 $H_{c,max}$ ($\mu\text{Sv/h}$)：

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

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

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) 《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）规定：

6.3.1 治疗机房墙和入口门外关注点周围剂量当量率参考控制水平

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

a) 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子，由周剂量参考控制水平求得关注点的周围剂量当量率参考控制水平 H_c ，见式(1)：

$$\dot{H}_c \leq H_c / (t \times U \times T)$$

式中：

H_c ——周围剂量当量率参考控制水平，单位为微希沃特每小时($\mu\text{Sv/h}$)；

H_e ——周剂量参考控制水平，单位为微希沃特每周($\mu\text{Sv/周}$)，其值按如下方式取值：放射治疗机房外控制区的工作人员： $\leq 100 \mu\text{Sv/周}$ ；放射治疗机房外非控制区的人员： $\leq 5 \mu\text{Sv/周}$ 。

t ——设备周最大累积照射的小时数，单位为小时每周(h/周)；

U ——治疗设备向关注点位置的方向照射的使用因子；

T ——人员在关注点位置的居留因子，取值方法参见 GBZ121-2020 附录 A。

b) 按照关注点人员居留因子的不同，分别确定关注点的最高周围剂量当量率参考控制水平 $H_{c,\max}$ ：

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

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

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

6.3.2 治疗机房顶屏蔽的周围剂量当量率参考控制水平

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

6.3.2.2 除6.3.2.1的条件外，若存在天空反射和侧散射，并对治疗机房墙外关注点位置照射时，该项辐射和穿出机房墙透射辐射在相应处的周围剂量

当量率的总和，按 6.3.1 确定关注点的周围剂量当量率作为参考控制水平。

本项目加速器预计最大工作量情况：120 人/天，平均每人每次照射 2min，周治疗出束时间为 20h，每周 5 天，每年工作约 250 天，调强治疗占 80%，调强因子 N=3，泄漏辐射周照射时间 104h，年总照射时间为 5200h。

表 7.3-2 直线加速器机房周围各关注区域计量控制水平

关注区域		居留因子 T	使用因子 U^*	H_e $\mu\text{Sv/周}$	$\dot{H}_{c(a)}$ $\mu\text{Sv/h}$	$\dot{H}_{c,max}$ $\mu\text{Sv/h}$	\dot{H}_c $\mu\text{Sv/h}$
直线加速器机房	控制室	1	0.25	100	≤ 3.85	≤ 2.5	≤ 2.5
	水冷机房、空调机房兼排烟机房	1	0.25	100	≤ 3.85	≤ 2.5	≤ 2.5
	东、北、西侧过道	1/16	0.25	5	≤ 3.08	≤ 2.5	≤ 2.5
	南侧过道	1/16	0.25	5	≤ 3.08	≤ 2.5	≤ 2.5

注：*根据设备特点，有用线束方向使用因子取 0.25。

7.3.4 污染物排放标准

本项目医用电子加速器在工作状态时，会使治疗室内的空气电离产生少量臭氧和氮氧化物。其中室内执行《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）排放限值要求，室外排气筒执行《大气污染物综合排放标准》（DB31/933-2015）表 1 排放限值要求。

本项目排放的臭氧和氮氧化物执行的排放标准见表 7.3-3。

表 7.3-3 大气污染物排放标准

考核位置	污染物	最高允许排放浓度(mg/m^3)		最高允许排放速率(kg/h)	标准来源
排气筒	NO_x	200		0.47	DB31/933-2015 表 1 NO.4
	O_3	/		/	
考核位置	污染物	最高容许浓度(mg/m^3)	时间加权平均容许浓度(mg/m^3)	短时间接触容许浓度(mg/m^3)	标准来源
室内	NO_x	/	5.0	10.0	GBZ2.1-2019 表 1 NO.35
	O_3	0.3	/	/	

7.3.5 辐射安全防护要求

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）规定：

6.1 屏蔽要求

6.1.1 放射治疗室屏蔽设计应按照额定最大能量、最大剂量率、最大工作负荷、最大照射野等条件和参数进行计算，同时应充分考虑初、次级辐射对治疗室邻近场所中驻留人员的照射。

6.1.2 放射治疗室屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能，符合最优化要求。使用中子源放射治疗设备、质子/重离子加速器或大于 10MV 的

X 射线放射治疗设备，须考虑中子屏蔽。

6.1.3 管线穿越屏蔽体时应采取不影响其屏蔽效果的方式，并进行屏蔽补偿。应充分考虑防护门与墙的搭接，确保满足屏蔽体外的辐射防护要求。

6.2 安全防护设施和措施要求

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

a) 放射治疗工作场所的入口处应设置电离辐射警告标志，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会员措施；

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

c) 应在放射治疗设备的控制室/台、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁、质子/重离子加速器大厅和束流运输通道内设置急停按钮；急停按钮应有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发；

f) 安全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。

7.3.6 室内氮氧化物和臭氧浓度要求

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）规定：

8.4 气态废物管理要求

8.4.1 放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于4次/h，排气口位置不得设置在有门、窗或者人流较大的过道等位置。

根据《室内空气中氮氧化物卫生标准》（GB/T 17096-1997），室内空气中氮氧化物（以二氧化氮计）日平均最高容许浓度规定为 $0.10\text{mg}/\text{m}^3$ ；

根据《室内空气质量标准》（GB/T18883-2022）表1内容，室内臭氧浓度标准参考值为 $0.16\text{mg}/\text{m}^3$ （1小时平均值）。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

上海市肺科医院位于上海市杨浦区政民路 507 号，医院西北侧及北侧为上海财经大学；西侧为汇文苑小区；南侧为政民路，隔政民路为上海复旦大学；东侧为上海远洋船舶供应公司和国定路 555 弄小区。

本项目拟于医院南部建设 1 栋 2 层放疗用楼，加速器机房位于放疗用楼 1 层。放疗用楼北侧为立体车库，东侧与核化楼相邻，南侧与原有放疗楼相邻，西侧与现有医技楼相邻，详见前文图 1.4-1。

8.2 现状评价的对象、监测因子和监测点位

根据项目工作原理及特点，项目运行期间主要的环境污染物为射线装置发射出电子束、韧致辐射、X 射线污染，项目在进行环境现状调查时主要调查评价范围内的环境本底 X- γ 辐射水平。

评价对象：项目建设地点及周围辐射环境；

监测因子：X- γ 辐射剂量率；

8.3 监测方案

监测目的：了解建设地点及周围的辐射环境水平；

监测单位：中辐评检测认证有限公司（CMA 资质号：160912341376）；

监测项目：建设地址周围环境贯穿辐射剂量率；

布点原则和要求：以设备布置位置为中心，在项目周围选择性布点；

监测仪器：采用 6150AD5/H+6150AD-b/H 型便携式 X- γ 辐射周围剂量当量仪对加速器机房所在场所周围 X- γ 剂量率进行检测，仪器相关参数见表 8.3-1。

表 8.3-1 仪器相关参数表

设备名称	设备编号	测量范围	能响范围	检定单位	证书编号	检定有效期
6150AD5/H+	158202+	50nSv/h~	20keV~	上海市计量测试研究院	2023H21-20-4384003002	2024.1.29
6150AD-b/H	160260	99.9 μ Sv/h	7MeV			

监测方法：按照《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）和《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）要求进行。监测时仪器探头水平距离地面 1 米高度，每组读 10 个数据，读数间隔 10 秒。

8.4 质量保证措施

(1) 在场所周边评价范围内选取监测点位，充分考虑点位的代表性，以保证监测结果的科学性和可比性。

(2) 监测方法依据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）的相关规定，采用即时测量方法进行。

(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) 严格按照实验室体系文件中的《质量手册》、《程序文件》及《作业指导书》执行监测任务，监测人员经考核合格后持证上岗。

(6) 监测报告严格实行三级审核制度。

8.5 监测结果与环境现状调查结果评价

1) 监测单位：中辐评检测认证有限公司

2) 监测日期：2023年6月26日；

3) 报告编号：2023ZFP06042FH01；

4) 监测结果：监测结果见表 8.5-1；监测点位见图 8.5-1；

表 8.5-1 监测结果一览表

序号	监测点位名称	监测结果（单位：nGy/h）
1#	加速器机房内部	140±3
2#	加速器机房南侧过道	130±5
3#	加速器机房西侧过道	130±3
4#	加速器机房北侧过道	130±5
5#	加速器机房东侧电缆沟槽口	130±5
6#	加速器机房东侧迷道口	130±6
7#	加速器机房上方空调机房	140±2
8#	环境对照点（医院西门门口）	140±4

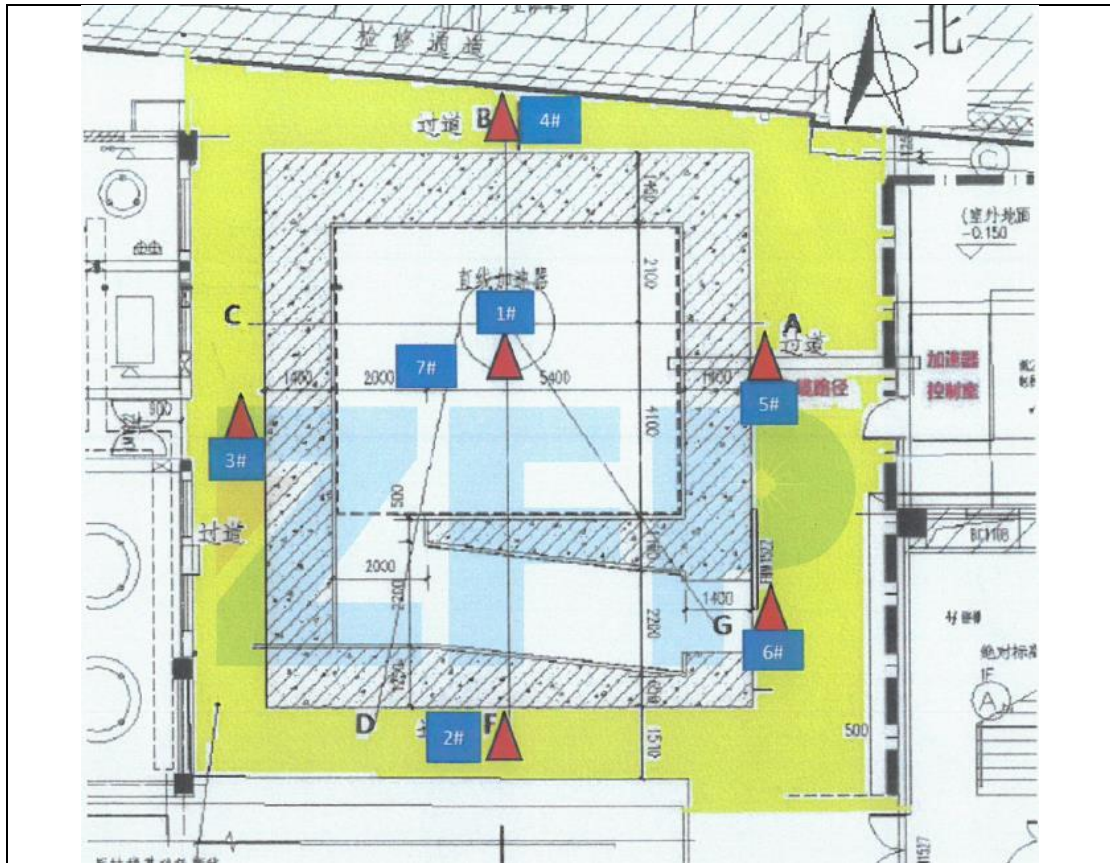


图 8.5-1 机房监测点位图

8.6 仪器适用性分析

根据表 8.5-1 的监测结果，本项目本底辐射水平范围处于 124~144nGy/h，根据 Sv/h 与 Gy/h 换算关系取 1.2，则本底辐射剂量当量率为 149~173nSv/h。本项目本底监测仪器 6150AD5/H 和 6150AD-b/H 辐射防护用 X、 γ 辐射剂量当量率仪的量程为 50nSv/h~99.9 μ Sv/h，本项目辐射剂量当量率均处于所用仪器的有效量程范围内，故采用该仪器所开展的本底监测数据是有效的。

8.7 结果分析

参考《上海市环境天然贯穿辐射水平调查》（杨鹤鸣等），上海市参考本底范围（室内建筑物）值为 0.0534~0.1517 μ Gy/h；根据监测结果，本项目所在地环境辐射水平范围处于 0.124~0.144 μ Gy/h，趋于环境本底水平，当地辐射水平无异常。

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 加速器设备组成

加速器以磁控管为微波功率源的驻波型直线加速器，其结构单元为：加速器、电子枪、微波系统、调制器、束流传输系统、准直系统、真空系统、恒湿水冷系统和控制保护系统。本项目加速器外观见图 9.1-1，内部结构示意图见图 9.1-2。

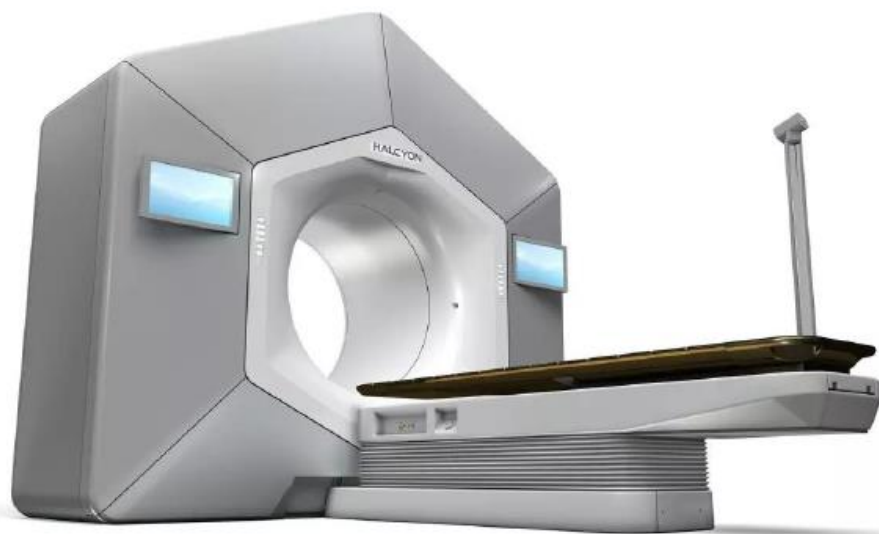


图 9.1-1 本项目加速器外观

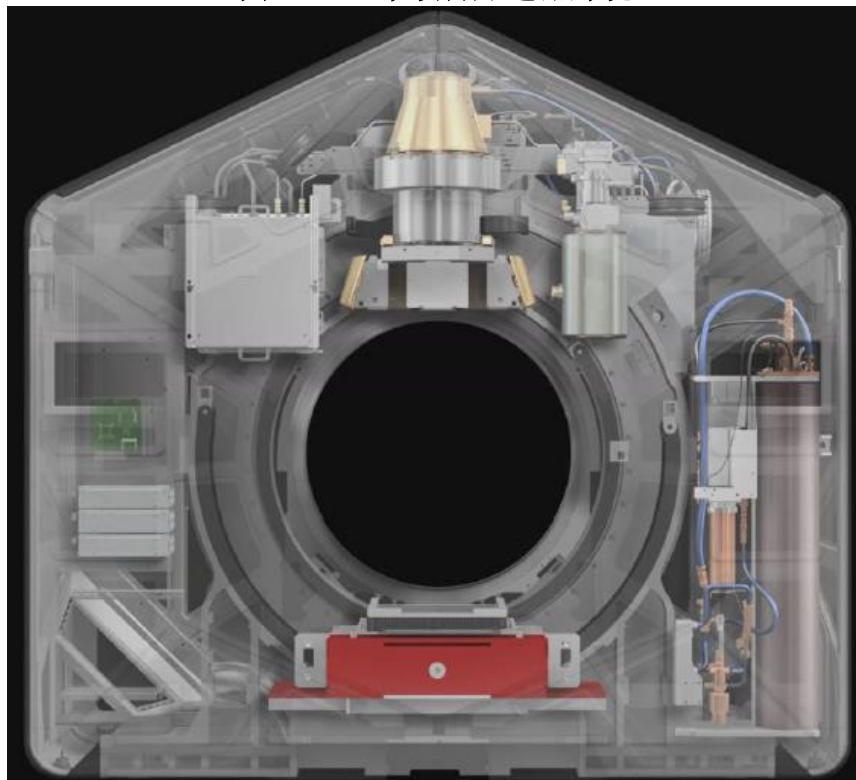


图 9.1-2 加速器结构示意图

本项目所使用的加速器与普通医用电子直线加速器的区别在于以下三点：

1) 本项目 Halcyon 加速器不设置电子束治疗；

2) 本项目 Halcyon 加速器自带有有用线束屏蔽体，由 172mm 防护铅块（含 3% 铋）与配套支持系统组成，防护铅块位于加速器有用线束正对面，与射线管为一体化结构，可保证防护铅块始终随射线管一并旋转，与有用线束的相对位置不变，可覆盖有用线束最大张角范围（具体示意图见后文图 11.2-3）。

3) 本项目 Halcyon 加速器自带 CBCT 功能，最大电压 140kV，最大电流 630mA，用于患者摆位时辅助定位使用。

9.1.2 工作原理

(1) 医用电子直线加速器

医用电子直线加速器由电子枪、加速管、束流控制和靶系统等几个主要部分组成。由主控制台的触发器将调制器触发，产生系列脉冲，加到磁控管阴极及电子枪的阳极，因而磁控管发生震荡，产生微波功率，同时电子枪发射的电子也从轴向进入加速管，在加速管中微波与电子相互作用，使电子从微波电磁场中不断获得能量，最后由加速管终端输出至偏转盒，作为电子线输出，或者通过 2cm 左右的空气射到金属钨靶，产生大量韧致辐射（文中简称 X 射线）。靶的下面是均整器，其下面有平板电离室。平板电离室一方面将电子或 X 射线在其中的电离电流信号输送至剂量监测仪，以确定治疗剂量，另一方面将束流强度变化的信号输送至束流控制系统，通过前后驱动线圈来控制电子的运动轨道和输出量。电子束或 X 射线经均整器形成均匀稳定的线束最后到达患者病灶实现治疗目的；本项目加速器另设有调强适型放疗功能，利用计算机辅助程序使病灶区域内剂量分布达到治疗需要要求，同时使病灶区域外剂量骤降，提高了病灶区域内的治疗疗效，最大程度保护了正常组织。因此，加速器除可利用电子束对患者表浅或偏位病灶进行照射外，也可以利用 X 线束对患者深部病灶进行照射，杀伤肿瘤细胞，达到放射治疗的目的。典型加速器内部结构图见 9.1-2。

(2) CBCT

CBCT，即 Cone beam（锥形束）CT，是锥形束投照计算机重组断层影像设备，其原理是 X 射线发生器以较低的射线量（通常球管电流在 10mA 左右）

围绕投照体作环形 DR（数字式投照），然后将围绕投照体多次（通常 180-360 次，依产品不同而异）数字投照后“交集”中所获得的数据在计算机中重组后进而获得三维图像。CBCT 与体层 CT 的区别在于采用锥形束 X 射线可以显著提高 X 射线的利用率，只需旋转 360° 就可获得重建所需的全部原始数据，而且采用面状探测器采集投影数据可以加速数据的采集速度；此外，CBCT 具有很高的各向同性空间分辨力。

本项目 Halcyon 加速器自带的 CBCT 工作流程为：在治疗前利用 CBCT 采集影像数据，然后与定位 CT 进行配准，若得到的结果在容许误差范围内，则治疗可以进行；若超出容许范围，系统则生产新的摆位参数，直接修正患者治疗的位置参数，从而实现病人定位与治疗时摆位的精确重复，最终达到控制肿瘤和保护周围重要器官的最佳治疗效益。

本项目患者的肿瘤定位依托现有模拟定位 CT 机房，由现有模拟定位 CT 机房的放射工作人员进行操作，不涉及新建 CT 机房或新增定位 CT 工作人员。

9.1.3 工艺过程

本项目加速器典型工艺过程见下图：

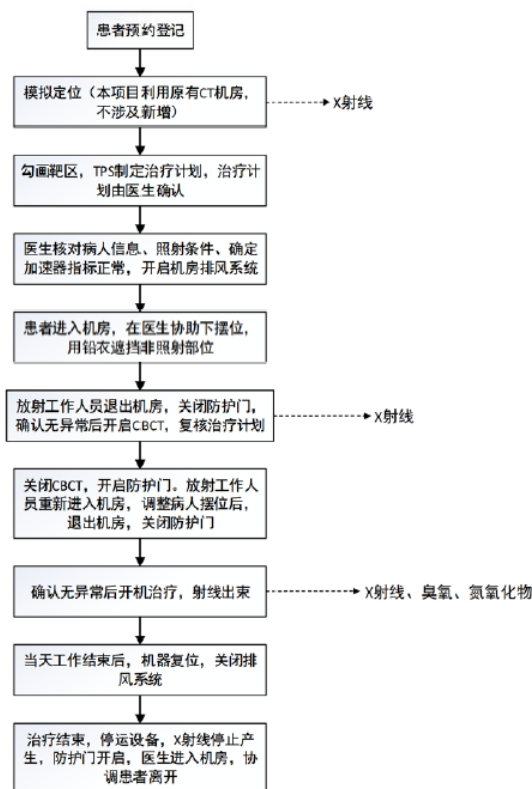


图 9.1-3 本项目加速器治疗流程

开展放射治疗的医疗机构和执业医师应保障放射治疗防护和安全的最优

化，放射照射治疗最优化的过程应包括：治疗照射处方、操作规程、治疗设备质量控制、照射的治疗保证。

治疗计划：患者在接受放射治疗之前应有职业医师标明日期并签署的照射处方。处方应包含下列信息：治疗的位置、总剂量、分次剂量、分次次数和总治疗周期；还应说明在照射体积内所有危及器官的剂量。

质量保证：开展放射治疗的医疗机构应制定放射治疗质量保证大纲，同时，在放射治疗设备新安装、大维修或更换重要部件后应进行验收检测；每年至少接受一次状态检测；开展临床剂量验证工作，包括体膜测量或在体测量，相关质量控制检测规范按照《医用电子直线加速器质量控制检测规范》（WS674-2020）和《锥形束 X 射线计算机体层成像（CBCT）设备质量控制检测标准》（WS818-2023）进行，本环评不对其进行评价。

本项目加速器指定治疗计划所需的模拟定位利用现有放疗楼模拟定位 CT 机房进行，定位操作类似 X 射线影像诊断，放射工作人员隔室操作，本项目利用模拟定位诊断后提供的影像数据进行治疗方案的制定。

模拟定位 CT 的操作流程为：患者进入机房，关闭机房铅防护门；技师根据模拟定位 CT 检查单的要求对患者需诊断部位进行摆位对焦；设置设备参数，完成 CT 扫描后患者离开机房，在此过程主要产生的污染源为 X 射线；最后对扫描结果进行诊断分析，出具检查报告。

9.1.4 加速器参数

本项目拟购 1 台医用电子直线加速器，加速器技术参数见下表：

表 9.1-1 拟购置加速器技术参数一览表

主要参数名称		参数值
型号		瓦里安 Halcyon
能量	X 射线最大能量	6MV
射线最大出射角		等中心点每侧 7.97°（共 15.9°）
射线源到中心轴距离		100cm
等中心点相对水平地面高度		110cm
距靶 1m 剂量率		X 射线：8Gy/min；
最大照射野大小		28cm×28cm
机架旋转		射束±185°
靶材料		钨合金
系统自带自屏蔽		铅块厚度 172mm（含 3% 铋）

9.2 污染源项描述

9.2.1 辐射污染分析

由加速器的工作原理可知，电子枪产生的电子经过加速后，高能电子束与靶物质相互作用时产生高能 X 射线或直接引出电子束，这种 X 射线/电子束随机器的开、关而产生和消失。若对加速器产生的 X 射线/电子线没有采取必要的防护措施或防护不当的话，将对机房周围的环境造成电离辐射污染，并对周围的放射工作人员及公众等造成健康危害。由于电子线穿透能力较 X 射线弱，因此，下文主要以 X 射线进行分析计算。

另外，当加速器 X 射线能量 $\geq 10\text{MV}$ 时，高能光子与加速器构件（靶材料等）和机房内物体发生核反应产生中子辐射和感生放射性物质。由于本项目加速器 X 射线最大输出能量为 6MV ，故不考虑感生放射性物质和中子辐射的危害影响。

9.2.2 放射性固体废物

本项目加速器能量为 $6\text{MV} < 10\text{MV}$ ，一般不考虑医用加速器靶物质活化放射性问题。

9.2.3 其他污染

9.2.3.1 臭氧、氮氧化物

电子束在空气中穿行过程中因与空气相互作用而产生臭氧和氮氧化物等气体，其中以臭氧的产额最高，且环境限值较氮氧化物严格，它不仅对人体有害，而且能使橡胶等材料加速老化。参照《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录 B 内容，氮氧化物的产额约为臭氧的 $1/3$ ，当机房达到一定的通风要求并使室内臭氧浓度低于限值要求时，氮氧化物的浓度已远低于其限值要求，因此在通风条件下将臭氧作为主要考虑对象。

9.2.3.2 废水

本项目无放射性废水产生。

9.2.3.3 固体废物

本项目产生的固体废物主要为加速器靶物质，定期更换后由厂家回收。本项目加速器设备调试、维修工作委托厂家进行操作，调试维修过程中产生的更换零部件由厂家直接回收。

9.2.4 辐射设备工作负荷及相关参数

本项目加速器 X 射线最大能量为 6MV ，最大工况下等中心最大剂量率为

8Gy/min，因此，本评价中按照 6MV-8Gy/min 工况进行计算。本项目加速器机头泄漏辐射比率为 0.1%；等中心处的最大治疗野面积为 28cm×28cm；主束方向为东、西、顶、底。

本项目加速器平均每天诊疗 120 个病人（其中常规放射治疗占 20%，调强治疗占 80%），一年按 250 天计算，年诊疗病人 30000 人次/年。加速器患者进入机房内，由放射工作人员对患者进行摆位，摆位时间约为 2min，摆位由当值的 2 名放射工作人员同时操作；患者结束治疗后机房通风需约 1min。加速器在常规治疗过程中每个病人出束时间约 2min，在调强治疗，每个病人累计出束时间约为常规治疗的 3 倍。

表 10 辐射安全与防护

10.1 工作场所布局、分区原则和区域划分情况

本项目拟配置 1 台加速器，布设在医院南部新建放疗用房 1 层，新建建筑北、西、南侧均为过道，不与现有建筑相连。机房上方为水冷机房、空调机房兼排烟机房。控制室位于机房东侧有用线束照射方向；加速器机房拟于南侧设置斜迷道，并于迷道外墙设置防护门。

加速器工作场所主要由机房、控制室、水冷机房、空调机房兼排烟机房构成。本项目分区见下表：

表 10.1-1 加速器分区一览表

设备名称	控制区	监督区
医用电子直线加速器	加速器机房（包括迷路）	控制室、水冷机房、空调机房兼排烟机房

加速器布局见下图：

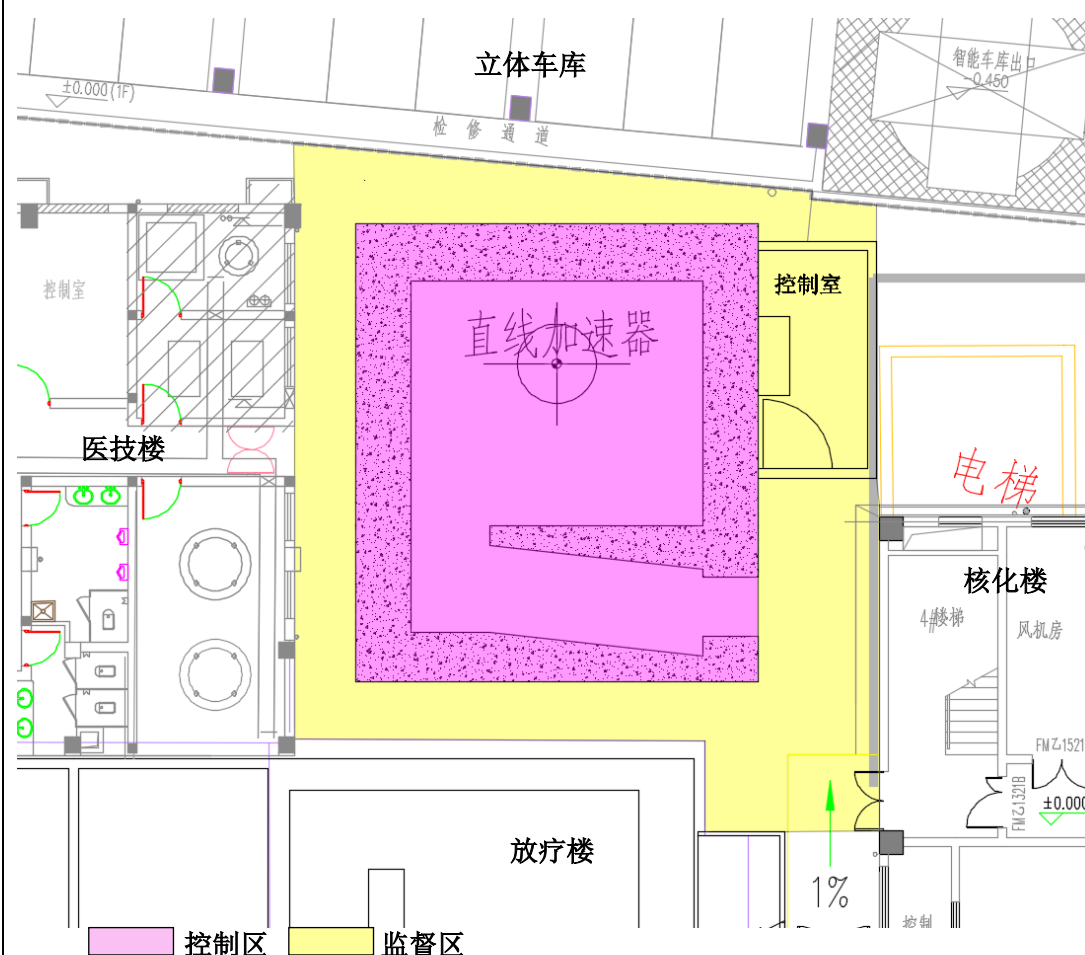


图 10.1-1 加速器机房布局图

本项目加速器机房的控制室位于机房东侧，加速器机房南侧设有 L 型斜迷道，迷道入口设有防护门，布局能够满足《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）中“治疗装置控制室应与治疗机房分离”的规定及《医用电子加速器治疗机房放射防护与检测要求》（DB31/T 527-2020）中“机房入口处设置防护门和迷路”、“加速器控制室与机房分离。可以与加速器分离的辅助机械、电气设备应设置在机房外”等规定，本项目加速器机房布局合理。

10.2 辐射防护屏蔽设计

本项目加速器机房四侧墙体、顶棚及地坪拟选用的屏蔽防护材料为标准混凝土（密度为 2.35g/cm^3 ），防护门拟内衬铅板。机房空间几何尺寸及屏蔽材料厚度详见表下表：

表 10.2-1 本项目加速器机房空间几何尺寸一览表

序号	机房空间	尺寸（mm）	标准要求	依据
1	机房宽度（迷路内墙与北墙间距）	6200	/	/
2	机房长度（东西内墙间距）	7400	/	/
3	迷路长度（西墙与迷路外入口间距）	8800	新建机房 L 型迷路的长度不小于 7m，迷路内口和迷路宽度不大于 2m	《医用电子加速器治疗机房放射防护与检测要求》 (DB31/T 527-2020)
4	斜迷路宽度（迷路中部内外墙间距）	2187*		
5	迷路内路口宽度	2000		
6	迷路外路口宽度	1500		
8	机房高度（地面与顶棚防护墙间距）	3850	机房内混凝土顶板下净层高宜不低于 3.5m	
9	机房有效面积（不含迷道）	45.9m ²	新建机房实际使用面积不小于 38m ² （不包括迷路面积）	

注：*本项目迷道设置为 L 型斜迷道，迷道内、外路口宽度均符合《医用电子加速器治疗机房放射防护与检测要求》（DB31/T 527-2020）要求，迷道中部出于选用设备运输考虑宽度设置为 2187mm。

表 10.2-2 本项目加速器机房屏蔽材料及厚度一览表

序号	屏蔽设施	屏蔽材料及厚度
1	东墙（主射方向）	1400mm 砼
2	迷道内墙	500mm~1100mm 砼
3	迷道外墙	650mm~1250mm 砼
4	西墙（主射方向）	1400mm 砼
5	北墙	1450mm 砼
6	顶部（主射方向）	1400mm 砼
7	防护门	16mm 铅板，外加相应的钢板固定

备注：砼密度为 2.35g/cm^3 ，铅密度为 11.3g/cm^3 。

10.3 其他安全防护措施

为保障放射工作人员和公众的安全和健康，根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）及《放射质量放射防护要求》（GBZ121-2020）中有

关要求开展放射实践活动的场所还应采取相应放射安全防护措施，以预防和控制潜在照射。

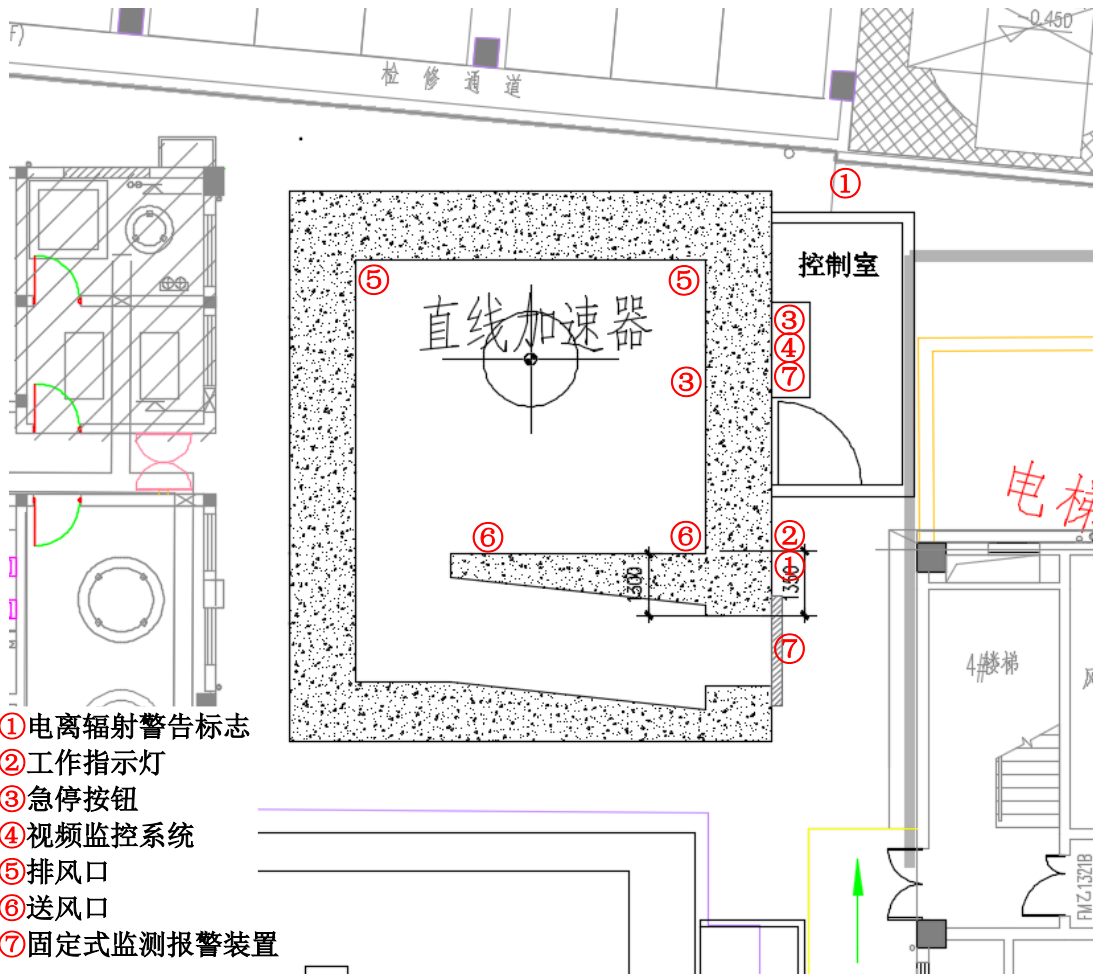


图 10.3-1 辐射安全防护措施布置示意图

本项目加速器机房拟采取的放射安全防护措施见下表：

表 10.3-1 本项目加速器机房拟采取放射安全防护措施一览表

标准文号	条款	标准要求	拟采取的措施	符合性分析
HJ1198-2021	6.2.1 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；	拟在机房防护门上方设置工作状态指示灯、电离辐射警告标志	符合
	6.2.1 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；		符合
	6.2.1 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。	拟设置监控及对讲系统，对治疗室、迷道及迷道入口处的全景状况进行实时监控，通过对讲系统指导患者配合治疗	符合

	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。	拟设置固定式辐射剂量监测仪，拟配置个人剂量报警仪，人员在进入机房时必须携带，并为每位放射工作人员配备个人剂量计	符合
	6.2.3 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会师措施；	加速器设备设有双道剂量监测及其联锁控制系统；操作台拟设置操纵钥匙开关，只有当钥匙开关插入钥匙孔打开锁定，加速器各项功能才能启动	符合
	6.2.3 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；	拟设置门-机联锁装置以及红外防夹人设计	符合
	6.2.3 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；	紧急停机开关：在控制台、治疗机房内关键部位墙面和迷道内墙面设置紧急停机开关，当遇到意外情况，可不必穿越主射线束随时按动急停开关，切断设备电源，停止出束	符合
	6.2.3 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	机房安全连锁系统按照医院相关规章制度运行	符合
	GBZ121-2020	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。	拟设置设备开关联锁：操作台拟设置操纵钥匙开关，只有当钥匙开关插入钥匙孔打开锁定，加速器各项功能才能启动
	6.4.3 a)	放射治疗工作场所的入口处，设有电离辐射警告标志；	拟在机房防护门上方设置工作状态指示灯、电离辐射警告标志	符合
	6.4.3 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。	拟在机房防护门上方设置工作状态指示灯、电离辐射警告标志	符合
	6.4.4.1	放射治疗设备控制台上应设置急停开关，除移动加速器机房	紧急停机开关：在控制台、治疗机房	符合

		外，放射治疗机房内设置的急停开关应能使机房内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。通常应在机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧和控制台等处设置。	内关键部位墙面和迷道内墙面设置紧急停机开关，当遇到意外情况，可不必穿越主射线束随时按动急停开关，切断设备电源，停止出束	
--	--	---	---	--

10.4 通风设计

加速器运行过程中射线会与空气发生电离作用，产生臭氧和氮氧化物等有害气体，参照《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录 B 内容，氮氧化物的产额约为臭氧的 1/3，且以臭氧的毒性最高，因此主要考虑臭氧的影响。考虑到室内臭氧浓度不均匀，设计采用机械排风装置，排风量 1100m³/h，本项目加速器机房净体积约为 252m³（包括迷道），机房内通风换气频率约为 4.37 次/h；能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中“8.4.1 放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于 4 次/h，排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置”的要求。

本项目机房送、排风管道均拟由迷道中部（接近防护门处）采取 45°角穿越顶盖，并拟敷贴相应的铅板作为屏蔽补偿；送、排风管道均经吊顶上方铺设，2 个送风口拟布设在治疗室邻近迷道内墙装饰天花板上；臭氧、氮氧化物密度大于空气平均密度，因此排风口拟设置在机房非主束投照部位北墙东西墙角处各设 1 个排风口，排风口离地约 30cm，排风管道拟由吊顶沿墙体内壁向下延伸至吸风口。通风管道布设及穿墙位置图见图 10.4-1，送、排风管道穿墙剖面图见图 10.4-4。

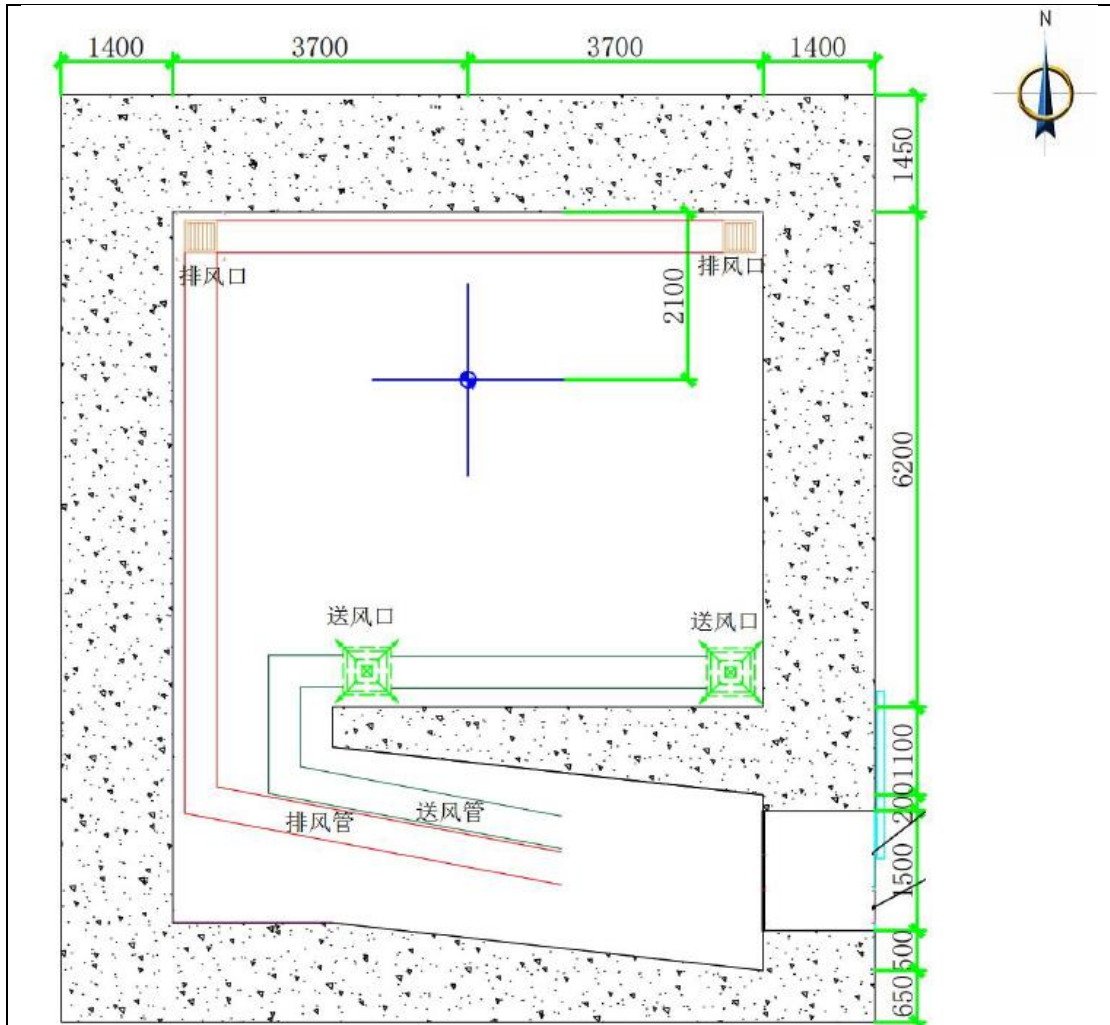


图 10.4-1 本项目加速器机房通风管道布设及穿墙位置图

10.5 管线布设

该项目加速器机房与控制室操作台联通的各种电缆管线拟于地坪下方以“U”形穿越东墙；加速器测试用管线、冷凝水管等穿墙孔拟采用 45°斜插墙体或顶盖。机房内电缆沟布设及穿墙位置图见图 10.4-2，机房各类管道穿墙平面见图 10.4-3，机房各类穿墙管道剖面图见图 10.4-4。

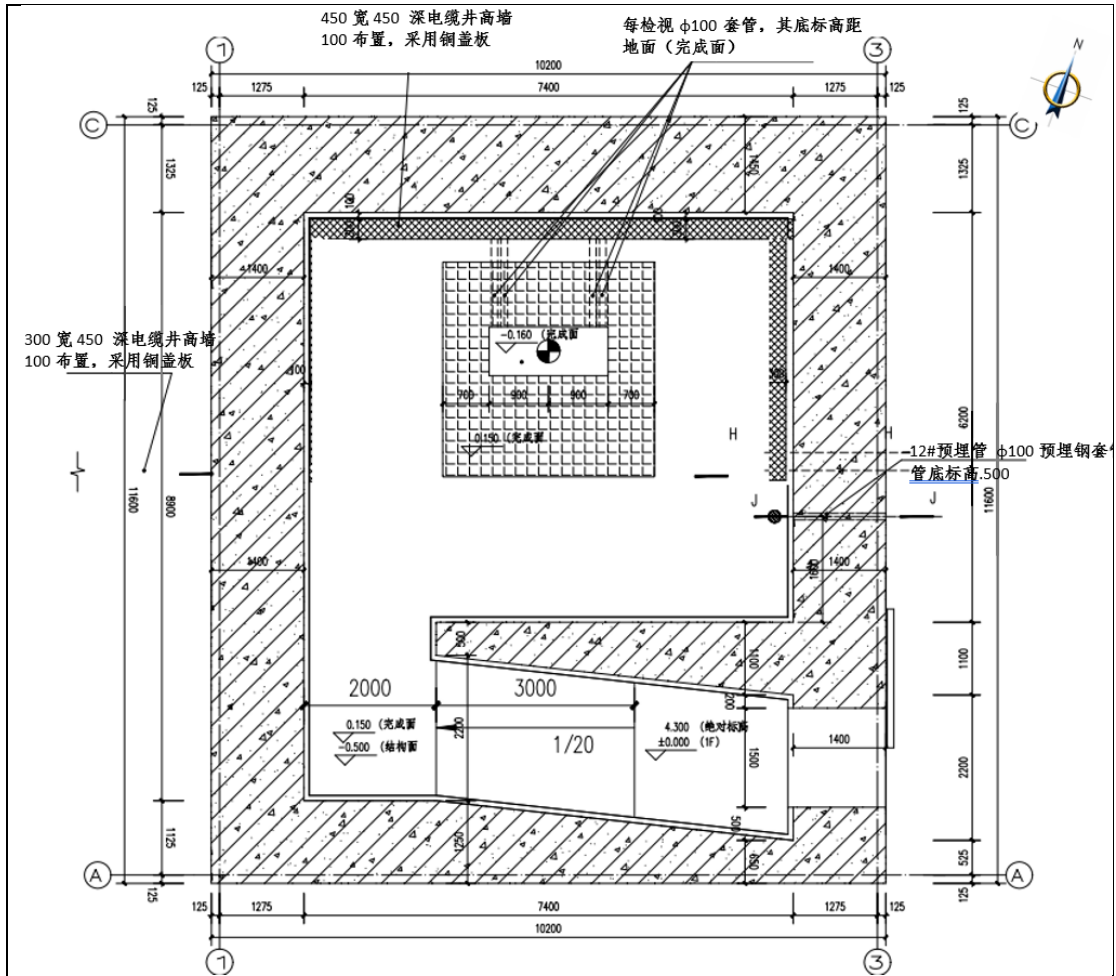


图 10.5-1 本项目加速器机房电缆沟布设及穿墙位置图

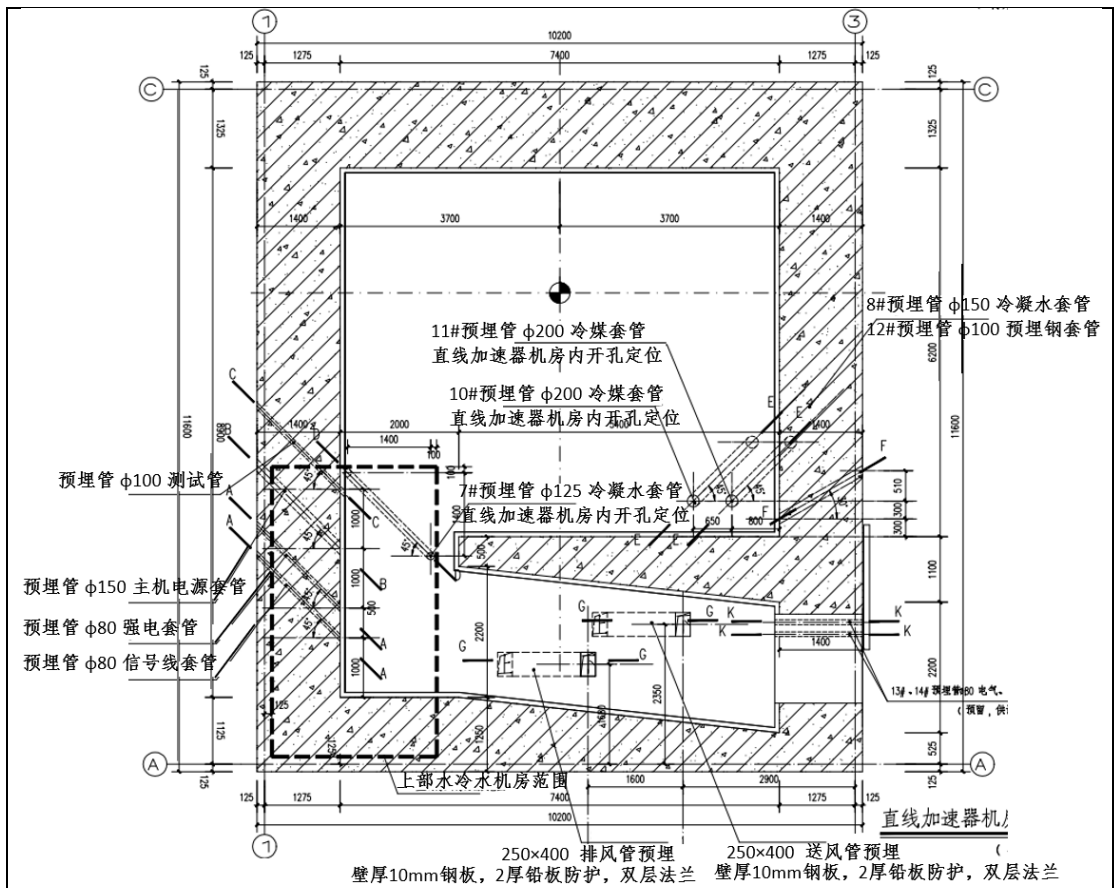
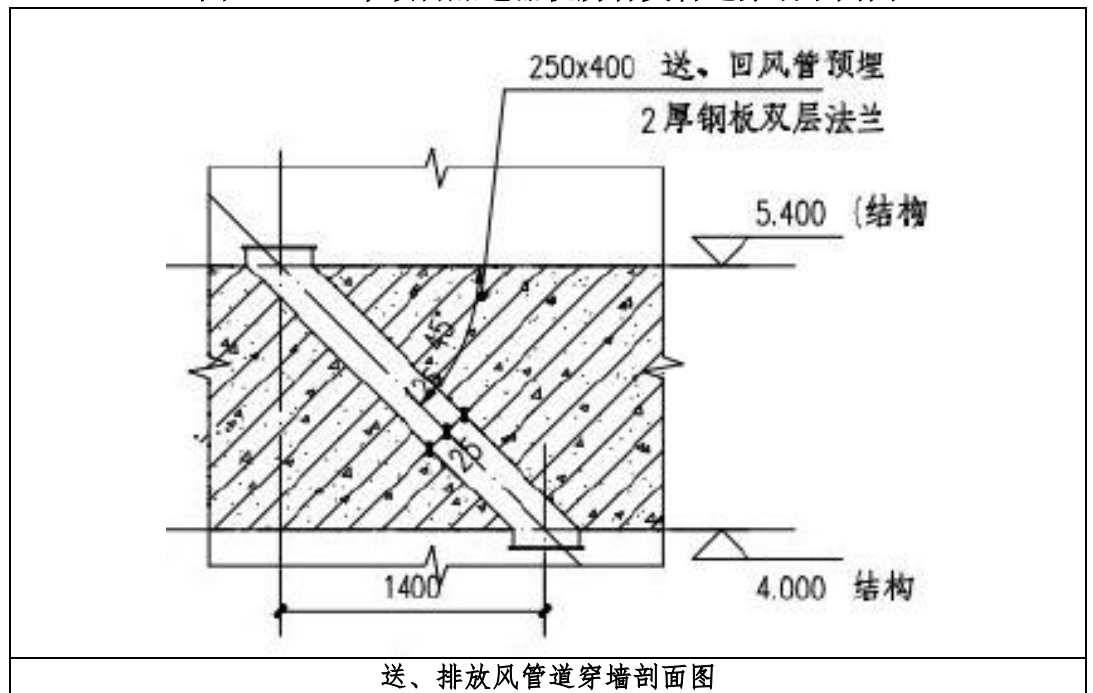


图 10.5-2 本项目加速器机房各类管道穿墙平面图



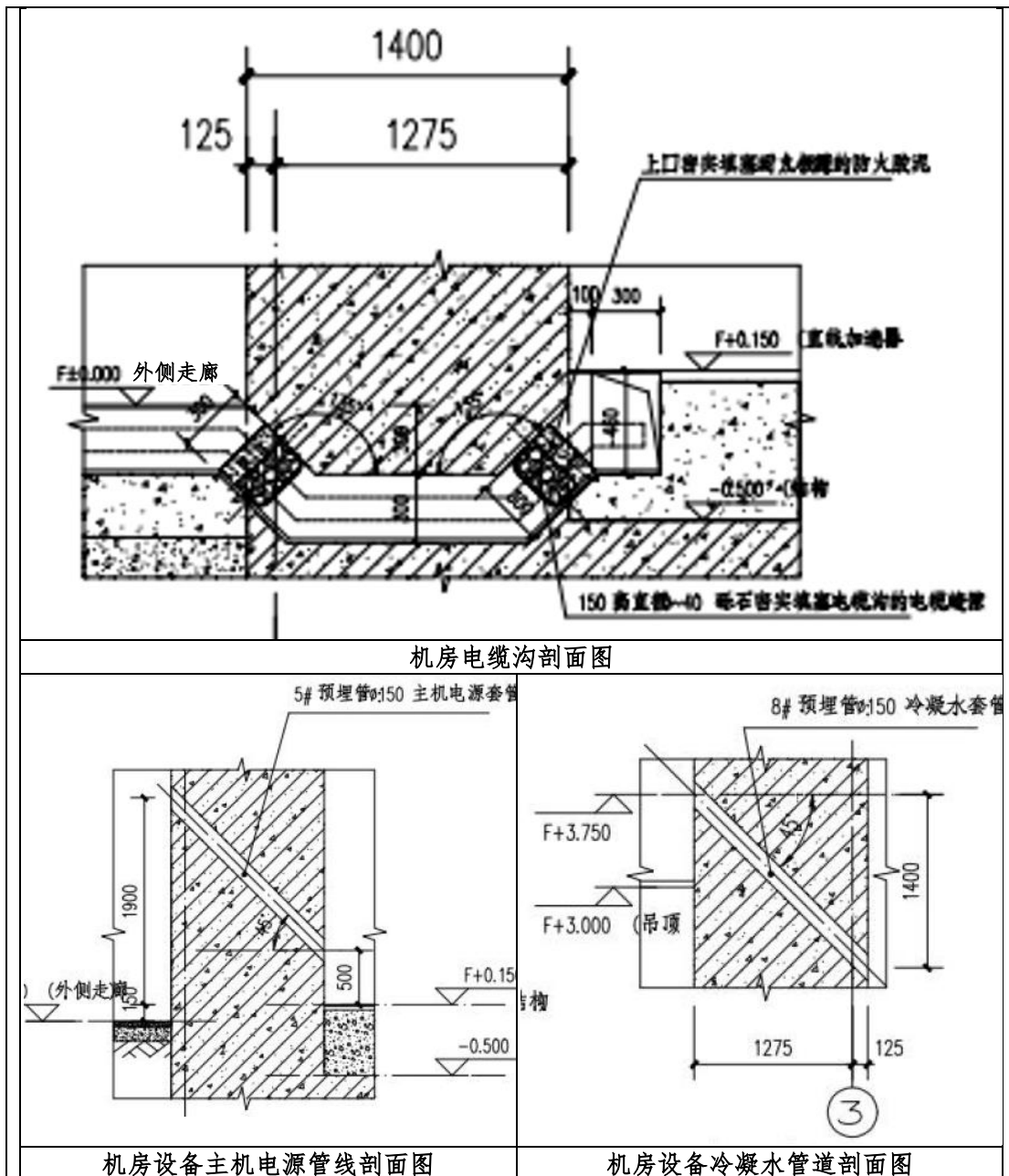


图 10.5-3 本项目加速器机房各类穿墙管道剖面图

10.6 个人防护用品

根据《放射诊疗管理规定》的要求，医院根据加速器的工作特点，拟配备相应防护用品，详见下表：

表 10.6-1 放射治疗单元拟配置的个人防护用品/设施

序号	机房名称	患者	工作人员	符合性评价
1	加速器机房	/	固定式报警仪 1 个， 便携式个人剂量报警仪 (≥2 个)	符合

10.7 对《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的满足情况

原环保部 2011 年第 18 号令《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》对拟使用射线装置的单位提出了具体条件，本项目具备的条件与“18 号

令”要求的对照评估如表 10.7-1 所示。

表 10.7-1 安全和防护能力对照评估情况

序号	放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法	本单位落实情况	符合情况
1	<p>第五条</p> <p>生产、销售、使用、贮存放射性同位素与射线装置的场所，应当按照国家有关规定设置明显的放射性标志，其出口处应当按照国家有关安全和防护标准的要求，设置安全和防护设施以及必要的防护安全联锁、报警装置或者工作信号。</p> <p>射线装置的生产调试和使用场所，应当具有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。</p>	<p>1.本项目加速器机房入口处设置电离辐射警告标志及中文警示说明；</p> <p>2.设备配备高压安全联锁装置和工作状态指示灯，人员无法步入各装置内部，控制室关键部位及机房内个墙面和入口内侧设置急停按钮，当遇到意外情况，可随时按动急停开关，切断设备电源，停止出束；</p> <p>3.辐射工作场所拟实行分区管理，机房设为辐射控制区，控制室、四周过道和上方水冷机房、空调机房兼排烟机房等周围人员可到达的区域设为辐射监督区。</p> <p>4.本项目在机房防护门入口处设置固定式辐射剂量监测仪 1 个</p>	符合
2	<p>第九条</p> <p>生产、销售、使用射线装置的单位，应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托经省级人民政府环境保护主管部门认定的环境监测机构进行监测。</p>	<p>1.医院拟在本项目建成投运后，对辐射工作场所开展定期自行巡测及外委监测并保存监测记录；</p> <p>2.外委监测应委托有资质的机构对加速器机房四周、防护门、控制室及机房上方进行监测，频率为 1 次/年；</p> <p>3.定期自行巡测的频率为 1 次/季。</p>	符合
3	<p>第十二条</p> <p>生产、销售、使用射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。</p>	<p>医院拟在本项目建成投运后，向生态环境主管部门重新申请辐射安全许可证，并按要求于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的年度评估报告。</p>	符合
4	<p>第十七条</p> <p>生产、销售、使用射线装置的单位应当按照环境保护部审定的辐射安全培训和考试大纲，对直接从事生产、销售、使用活动的操作人员以及辐射防护负责人进行辐射安全培训并进行考核；考核不合格的，不得上岗。</p>	<p>医院拟由 8 名辐射工作人员负责本项目射线装置的操作，医院现有辐射安全与防护考核合格的辐射工作人员调配 4 人至该机房，并新增 4 个辐射工作人员。</p>	符合
5	<p>第二十三条</p> <p>生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照法律、行政法规以及国家环境保护和职业卫生标准，对本单位的辐射工作人员进行个人剂量监测；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。</p>	<p>1.本项目所有辐射工作人员均佩带个人剂量计，委托有资质检测机构定期（不超过 3 个月）进行个人剂量检测，并出具个人剂量检测报告。</p> <p>2.如发现个人剂量监测结果异常的，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。</p> <p>3.医院拟设专人建立和管理本项目辐射人员个人剂量档案并终生保存。</p>	符合

6	第二十四条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，不具备个人剂量监测能力的，应当委托具备条件的机构进行个人剂量监测。	医院拟在本项目建成投运后，委托有资质的机构定期（不超过3个月）进行个人剂量检测，并出具个人剂量检测报告。	符合
---	---	--	----

综上所述，本项目射线装置安全与防护措施符合《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中的要求。

10.8 对《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求的满足情况

表 10.8-1 汇总列出了本项目对照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》对使用放射性同位素和射线装置单位要求的对应评估情况。

表 10.8-1 本项目执行《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》对照情况

序号	要求	本项目情况	符合情况
1	第十六条（一）使用I类、II类、III类放射源，使用I类、II类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。	本项目涉及II类射线装置的使用，医院已设置辐射安全管理小组专人负责本项目辐射安全管理工作。	符合
2	第十六条（二）从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。	医院拟由8名辐射工作人员负责本项目射线装置的操作，医院现有辐射安全与防护考核合格的辐射工作人员调配4人至该机房，并新增4个辐射工作人员。	符合
3	第十六条（三）使用放射性同位素的单位应当有满足辐射防护和实体保卫要求的放射源暂存库或设备。	本项目不涉及放射性同位素使用。	不涉及
4	第十六条（四）放射性同位素与射线装置使用场所所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	1.本项目加速器机房入口处设置电离辐射警告标志及中文警示说明； 2.设备配备高压安全联锁装置和工作状态指示灯，人员无法步入各装置内部，控制室内各墙面、入口处等关键部位设置急停按钮，当遇到意外情况，可随时按动急停开关，切断设备电源，停止出束； 3.辐射工作场所拟实行分区管理，机房设为辐射控制区，控制室、四周过道和上方水冷机房、空调机房兼排烟机房等周围人员可到达的区域设为辐射监督区。	符合
5	第十六条（五）配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量监测报警、辐射监测等仪器。	本项目配备固定式辐射剂量监测仪1个，便携式个人剂量报警仪2个，便携式X、γ剂量率仪	符合
6	第十六条（六）有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护措施、射线装置使用台账管理制度、培训计划和监测	医院根据现有核医学科、放射科的核素及射线装置使用情况已制定一套相对完善的辐射安全管理制度和操作规程，包括《操作	符合

	方案。	规程》、《辐射工作人员岗位职责》、《人员培训制度》、《监测方案》、《辐射事故应急响应预案》、《质量保证大纲和质量控制检测计划》、《辐射防护措施》等规章制度，辐射安全管理制度较为健全。 本项目新增 II 类射线装置，医院拟结合本项目特点及 II 类射线装置的相关要求，更新和完善已有的规章制度。	
7	第十六条（七）有完善的辐射事故应急措施。	本项目建成后计划针对可能发生的辐射事故（件）制定应急预案。	符合
8	第十六条（八）产生放射性废气、废液、固体废物的，还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案。	本项目无放射性“三废”产生。	不涉及

根据上表可知，如果按照上述要求开展加速器治疗工作，本项目与《放射同位素与射线装置安全许可管理办法》中相关要求相符。

10.9 三废治理

10.9.1 废气

本项目加速器运行时产生的臭氧、氮氧化物排风管道抽排后经高于屋顶的排气筒排放。排风机排气量为 1100m³/h，机房换气次数可达 4.37 次/h，能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中“8.4.1 放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于 4 次/h”的要求。

10.9.2 废水

本项目放射诊疗设备在运行过程中本身无废水排放，运行期间废水主要来自放射工作人员日常生活污水和质检体膜废水，经医院主体污水处理系统处理后排放，本项目放射工作人员共 8 人，其中 4 人由医院内部调配，另外 4 人为新增工作人员，新增少量生活污水。加速器机房质检工序会产生体膜废水，医院预计年体膜废水产生量为 50m³/a，对医院现有污水处理站影响较小。

10.7.3 固废

本项目放射工作人员共 8 人，其中 4 人由医院内部调配，另外 4 人为新增工作人员，新增少量生活垃圾。现有生活垃圾委托市容环卫部门清运。

本项目加速器使用过程中产生的固体废物是加速器的废弃靶，只在加速器装置需要更换金属钨靶时产生，废靶由生产厂家回收处理。本项目加速器最大 X 射线能量为 6MV。不产生感生放射性物质，因此靶物质不具有放射性。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段环境影响分析

本项目拟建的治疗用楼位于上海市杨浦区政民路 507 号上海市肺科医院南部，施工期约为 6 个月，施工涉及的区域面积较小，施工期以施工噪声影响为主，同时伴有粉尘、废水和固体废物产生。

本项目加速器为现成的设备，需在现场进行安装调试，调试需在防护措施均已落实后进行。

11.1.1 施工期扬尘影响分析

本项目在建设施工期需进行的土建、电气安装、防护门安装等作业，各种施工将产生少量扬尘，另外机械和运输车辆作业时排放废气和扬尘，但这些方面的影响仅局限在施工现场附近区域。

针对上述扬尘污染采取一下措施：

- a) 及时清扫施工场地，并保持施工场地一定的湿度；
- b) 施工场地应进行围挡，设置洒水装置，车辆在运输材料时尽量采取遮盖、密闭措施，以减少沿途抛洒；
- c) 施工路面保持清洁、湿润，减少地面扬尘。

11.1.2 施工期噪声环境影响分析

机房装修电钻作业、设备安装等施工时产生间歇性噪声和振动，最大噪声级可达 85dB(A)，对项目周边人员有一定的影响。

为了降低施工噪声对周围环境的影响，施工时应文明施工，合理安排施工时间，午间和夜间休息时间禁止施工；同时应选址噪声级尽可能低的施工机械进行施工，对施工机械及施工场所采取消声降噪措施，避免对项目周边人员产生影响。

11.1.3 施工期固体废物环境影响分析

项目施工期间固废主要为建筑垃圾、施工废物料及施工人员生活垃圾。

对项目施工期间产生的建筑垃圾、施工废物料，可回收利用的部分应尽量予以回收，不可回收的部分统一收集后交由有资质的渣土运输单位收运处置。建设单位应做好清运工作中的装载工作，防止建筑垃圾在运输途中散落。

11.1.4 施工期废水环境影响分析

施工期废水主要有施工过程中产生的含泥浆建筑废水及施工人员生活污水。

施工期建设场地设置临时沉淀池，建筑废水经临时沉淀池处理后用于施工场地洒水降尘，不外排。

本项目为扩建项目，建设期间不涉及射线装置的使用，故不会对周边环境产生电离辐射影响。

11.2 运行阶段环境辐射影响分析

本项目综合考虑加速器机房的屏蔽防护设计资料及机房平面布置图，设置本次评价加速器机房计算的关注点。

11.2.1 加速器关注点设置情况

本项目加速器设置在新建放疗用房 1 层，机房顶盖上方为水冷机房和空调机房兼排烟机房，下方为土层，机房北、西、南侧均为过道，南侧隔过道为现有放疗楼，西侧隔过道为医技楼，北侧隔过道为立体车库，东侧为控制室和过道，控制室东侧为核化楼。经分析，该机房外主要关注以下 8 个点，关注点设置情况见表 11.2-1；关注点分布见图 11.2-1、图 11.2-2。

表 11.2-1 关注点设置情况一览表

序号	点位名称	方位	环境描述	入射角 (θ°)	距离 (m)
1	A 点	东侧	防护墙外 30cm 处，控制室	0	5.4
2	B 点	北侧	防护墙外 30cm 处，过道	0	3.9
3	C 点	西侧	防护墙外 30cm 处，过道	0	5.4
4	D 点	南侧	迷道外墙外 30cm 处，过道	0	8.4
5	E 点	南侧	迷道外墙外 30cm 处，过道	23	9.0
6	F 点	东南角	防护门外 30cm 处，过道	50	8.3
7	G 点	上方	防护顶面上方 30cm 处，空调机房兼排烟机房	0	4.45
8	H 点*	西侧	防护墙外 30cm 处，过道	28	6.08

注：*H 点为等中心点散射辐射未经自带铅块屏蔽直接照射至防护墙中散射角最小的关注点。

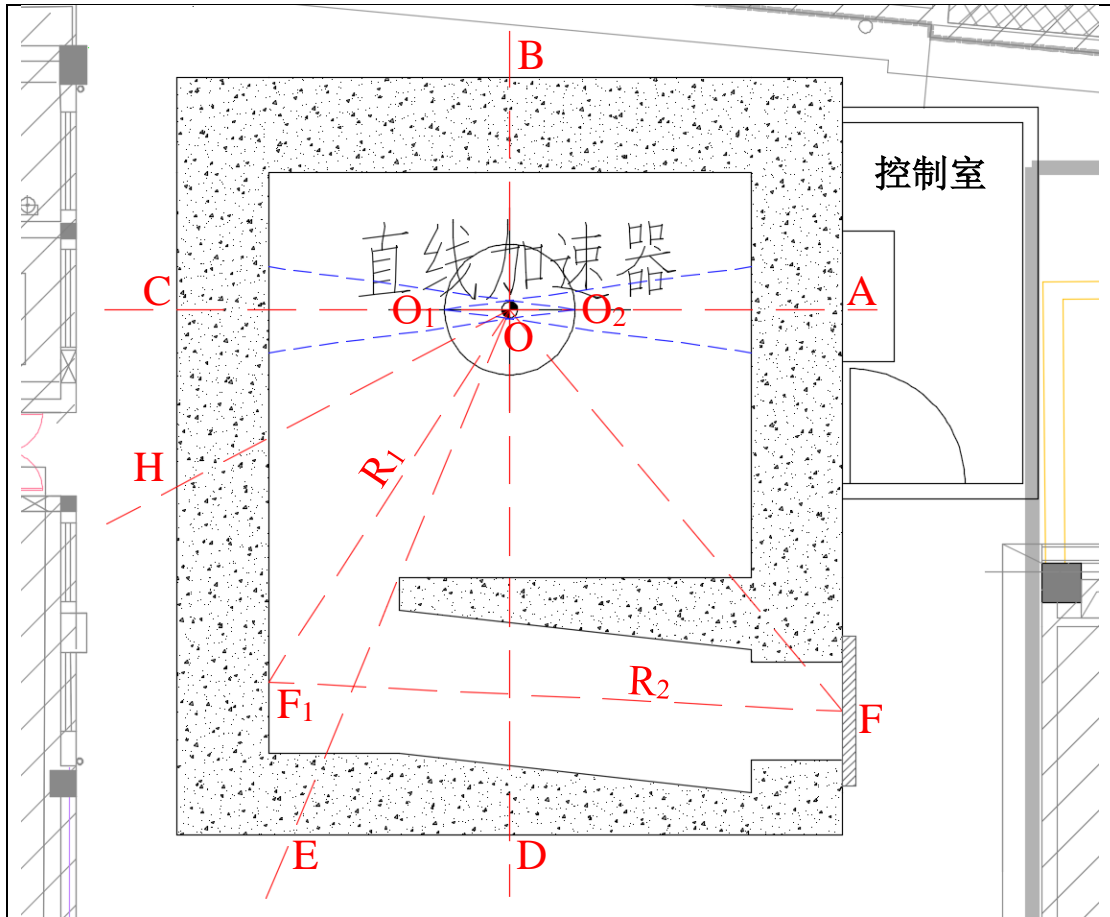


图 11.2-1 加速器机房各关注点平面图
设备机房

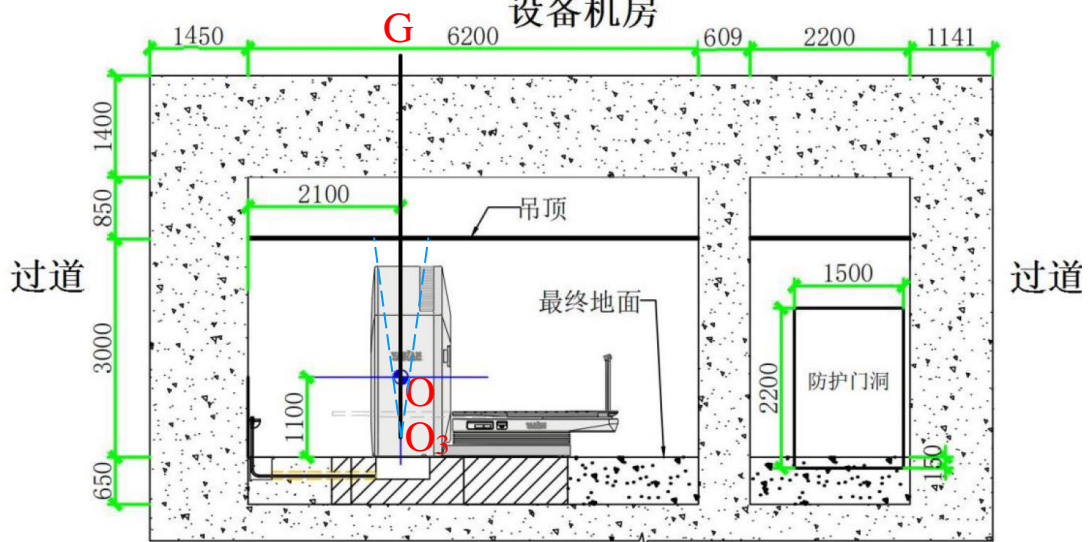


图 11.2-2 加速器机房各关注点剖面图

根据建设单位提供的加速器设备参数，设备最大 X 射线能量为 6MV，主射束中心轴距靶 1m 处最大输出剂量率为 8Gy/min ($4.8 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$)。

11.2.2 加速器机房有用线束主屏蔽区设置

根据本项目加速器设备说明书，设备于主射束方向设置 172mm 铅砖（含 3% 铋）作为内屏蔽，具体设置情况见图 11.2-3。

由图所示，设备靶点与等中心的距离为 1000mm，内屏蔽铅砖距离等中心点距离为 626mm，含 3% 铋的铅砖厚度 172mm，宽度 670mm。

根据《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) 中 4.3.3: 宽束辐射的有用束对应的机房屏蔽为主屏蔽区，其范围应略大于有用束在机房屏蔽墙（或顶）的投影区，具体公式见式（11-1）。

本项目加速器设备自带屏蔽，屏蔽位置距离等中心点较近，故计算过程中暂时不考虑“其范围应略大于有用束在机房屏蔽墙（或顶）的投影区”（即公式中“+0.3”部分）要求。

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

式中：

Y_p : 机房有用束主屏蔽区域宽度，m；

SAD : 源轴距，m；本项目取 1m

θ : 治疗束的最大张角（相对束中的轴线），即射线最大出射角的一半；本项目最大出射角为 15.9° ，即取 7.95° ；

a : 等中心点至“墙”的距离，m。当主屏蔽区向机房内凸时，“墙”指与主屏蔽墙相连接的次屏蔽墙（或顶）的内表面；当主屏蔽区向机房外凸时，“墙”指主屏蔽区墙（或顶）的外表面。本项目中指等中心点至铅砖远端的距离，取 $626+192=818\text{mm}$ 。

将各参数代入式（11-1）可得 $Y_p=2[(0.828+1)\cdot\tan(7.95^\circ)]=0.508\text{m}$ ，本项目铅砖宽度为 670mm，屏蔽体在有用束投影区两侧各有 81mm 余量，与公式（11-1）中 0.3m 混凝土屏蔽体作用相当，满足 GBZ/T201.1-2007 中 4.3.3 条款：“宽束辐射的有用束对应的机房屏蔽为主屏蔽区，其范围应略大于有用束在机房屏蔽墙（或顶）的投影区”的要求。

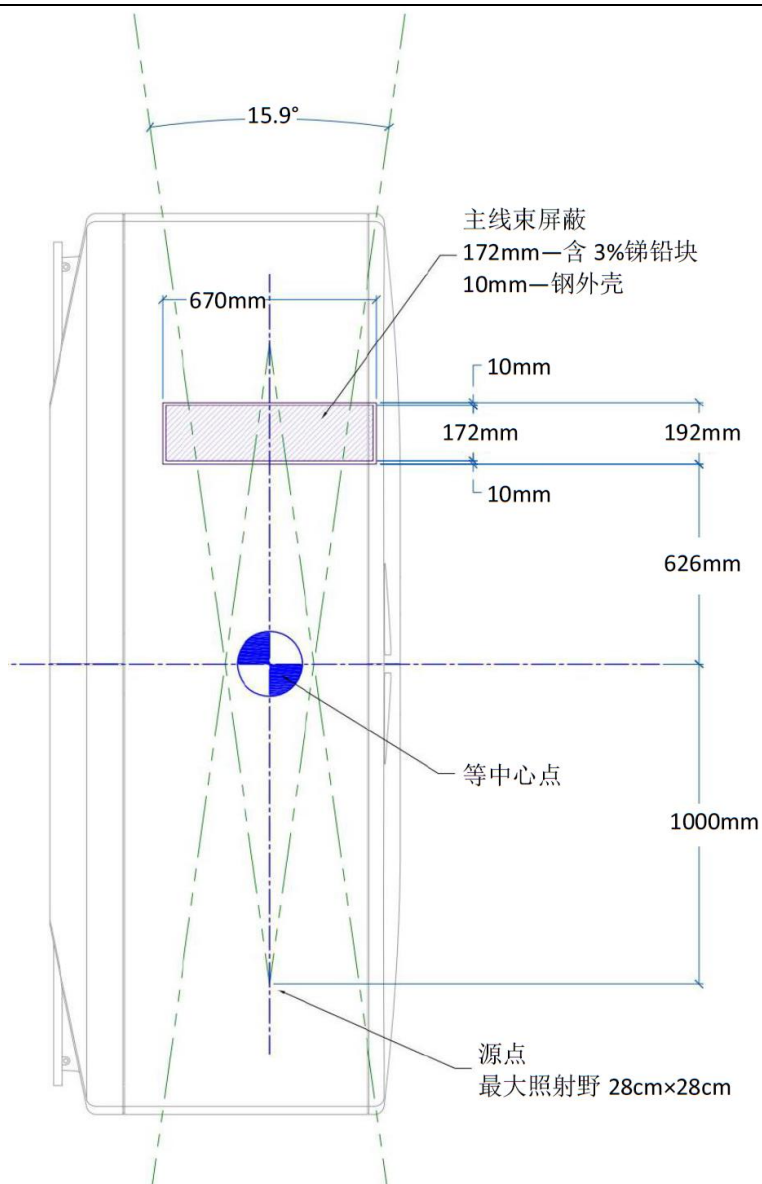


图 11.2-3 加速器设备内屏蔽示意图

11.2.3 加速器机房周围各关注点剂量率预测评价

本评价加速器机房关注点预测根据《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）中计算方法及计算公式进行计算。

（1）有用线束防护效果预测（东侧点、西侧点，上方点）

①射线路径

本项目加速器有用线束屏蔽区射线路径： $O \rightarrow A$ ； $O \rightarrow C$ ； $O \rightarrow G$ ；

②计算模式、参数选择及计算结果

有用线束屏蔽区关注方位的剂量率应按有用线束公式进行计算，具体计算公式如下：

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

式中:

\dot{H} : 关注点剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

\dot{H}_0 : 有用线束中心轴上距产生 X 射线束的靶 (以下简称靶) 1m 处的常用最高剂量率, $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ 。;

R : 辐射源点 (靶点) 至关注方位的距离, m;

f : 对有用束为 1, 对泄漏辐射为泄漏辐射比率, 无量纲;

B : 辐射屏蔽透射因子, 无量纲, 可通过下式进行计算:

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

式中:

X_e : 有效屏蔽厚度, cm; 按 $X_e = X \cdot \sec\theta$ 计算, 其中, X : 屏蔽物质的厚度;
 θ : 斜射角);

TVL : 辐射在屏蔽物质中的平衡什值层 (平衡十分之一层) 厚度, cm;

TVL_1 : 辐射在屏蔽物质中的第一个什值层 (第一个十分之一层) 厚度, cm;

有效屏蔽厚度与射线与屏蔽墙的斜射角 θ 有关, 主屏蔽墙取 0° 。

有用线束照射方向为东、西、顶部, 屏蔽层由自带的 172mm 含 3% 铈的铅砖和 1400mm 混凝土组成, 其辐射屏蔽透射因子 B 计算方法如下:

$$B = 10^{-\frac{X_e + TVL - TVL_1}{TVL} - \frac{X_i + TVL_i - TVL_{1i}}{TVL_i}} \quad \text{式 (11-4)}$$

X_e : 射线束在斜射路径上的有效屏蔽厚度 ($X_e = X \cdot \sec\theta$, 其中, X : 屏蔽物质的厚度; θ : 斜射角)。

TVL 、 TVL_1 : 辐射在混凝土中的平衡什值层厚度和第一什值层厚度, cm。

X_i : 射线束在第二种上的有效屏蔽厚度 ($X_e = X \cdot \sec\theta$, 其中, X : 屏蔽物质的厚度; θ : 斜射角)。

TVL_i 、 TVL_{1i} : 辐射在第二种屏蔽物质中的平衡什值层和第一什值层, cm

本项目铅材料平衡什值层和第一什值层数据取自《美国国家辐射防护委员会 NCRP Report NO.151》中 Appendix B Table 2; 混凝土材料的平衡什值层和第一什值层数据取自《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) 中附录 B 表 B.1。

设屏蔽墙外参考点距离屏蔽墙的距离均为 30cm, 各参考点处的辐射水平

理论估算结果见表 11.2-1。

表 11.2-1 加速器主屏蔽区域防护能力计算结果

参数	东侧 A 点	西侧 C 点	上方 G 点	
斜射角度 θ ($^{\circ}$)	0	0	0	
含 3% 铋铅块屏蔽厚度 X_e (cm)	17.2	17.2	17.2	
TVL_l (cm)	5.7	5.7	5.7	
TVL (cm)	5.7	5.7	5.7	
混凝土屏蔽厚度 X_e (cm)	140	140	140	
TVL_{li} (cm)	37	37	37	
TVL_i (cm)	33	33	33	
B	7.27E-08	7.27E-08	7.27E-08	
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$) (1m 处最大剂量率)	4.80E+08	4.80E+08	4.80E+08	
R (m)	6.4	6.4	5.45	
参考点处辐射 剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	\dot{H} 估算值	0.851	0.851	1.174
	\dot{H} 控制值	2.5	2.5	2.5
	评价结果	满足	满足	满足

由上表中的理论估算结果可知，加速器机房有用线束方向屏蔽区域辐射防护设计能够满足拟配置的加速器的辐射防护要求。

(2) 非有用线束方向屏蔽防护效果预测

非有用线束方向屏蔽区域受到辐射主要为来自加速器机头的泄漏射线和来自患者的一次散射射线及机房地面、墙面的二次或多次散射射线。二次或多次散射射线影响较小，因此主要考虑泄漏射线和患者的一次散射射线的影响，二者剂量率之和为该点的总剂量率。同时考虑垂直方向出束工况下对东侧 A 点、西侧 C 点，以及水平出束工况下对上方 G 点在非有用线束方向的泄漏射线和患者的一次散射射线的影响。

① 射线路径

本项目加速器非有用线束方向屏蔽区射线路径见下表：

表 11.2-2 加速器非有用线束方向屏蔽区射线路径一览表

方位	泄漏辐射射线路径	散射辐射射线路径
东侧 A 点	$O_3 \rightarrow A$	$O_3 \rightarrow O \rightarrow A$
北侧 B 点	$O_3 \rightarrow B$	$O_3 \rightarrow O \rightarrow B$
西侧 C 点	$O_3 \rightarrow C$	$O_3 \rightarrow O \rightarrow C$
南侧 D 点	$O_3 \rightarrow D$	$O_3 \rightarrow O \rightarrow D$
南侧 E 点	$O_3 \rightarrow E$	$O_3 \rightarrow O \rightarrow E$
上方 G 点	$O_1 \rightarrow G$	$O_1 \rightarrow O \rightarrow G$
西侧 H 点	$O_2 \rightarrow H$	$O_2 \rightarrow O \rightarrow H$

② 计算模式、参数选择及计算结果

泄漏辐射的屏蔽能力计算：在进行泄漏辐射防护计算时，为简化漏射线辐

射计算，通常假定漏射线与有用线束射线具有相同的能量，且与靶心距离相同的漏射线辐射的最大强度不会超过有用射线强度的 0.1%（即泄漏辐射比率 f 取 0.001）。辐射防护预测模式与主射线估算相同（同公式（11-2））。

患者一次散射、泄漏辐射散射屏蔽能力计算：散射辐射预测模式可采用 GBZ/T201.2-2011 第 5.2 章中推荐的估算公式，如下：

$$\dot{H}_S = \frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B \quad \text{式 (11-5)}$$

式中：

\dot{H}_S ：人体散射线剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

\dot{H}_0 ：有用线束中心轴上距产生 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ 。

F ：治疗装置有用束在等中心处的最大治疗面积（ cm^2 ），本项目加速器参数为 $28\times 28\text{cm}^2$ ；

α_{ph} ：病人 400cm^2 面积上的散射因子，无量纲，查《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）附录 B 表 B.2 所得；

R_s ：患者（位于等中心点）至参考点的距离，m

B ：辐射屏蔽透射因子；计算方法同式（11-3）；

TVL 、 TVL_l ：泄漏辐射及患者散射辐射在混凝土中的什值层，查《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）附录 B 表 B.1 及表 B.4 所得。

设屏蔽墙外参考点距离屏蔽墙的距离均为 30cm，各参考点处的泄漏辐射及散射辐射水平理论估算结果见表 11.2-3。

表 11.2-3 加速器机房与主屏蔽相连次屏蔽区域防护能力计算结果

参数		A 点	B 点	C 点	D 点	E 点	G 点	H 点
泄 漏 辐 射 估 算	混凝土建筑厚度 $X(\text{cm})$	140	145	140	175	125	140	140
	斜射角度 $\theta (^{\circ})$	0	0	0	0	23	0	28
	有效屏蔽厚度 $X_e(\text{cm})$	140	145	140	175	135.8	140	158.6
	TVL (cm)	29	29	29	29	29	29	29
	TVL_l (cm)	34	34	34	34	34	34	34
	B	2.21E-05	1.49E-05	2.21E-05	1.37E-06	3.09E-05	2.04E-06	5.07E-06
	\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	4.8×10^8	4.8×10^8	4.8×10^8	4.8×10^8	4.8×10^8	4.8×10^8	4.8×10^8
	R (m)	5.4	3.9	5.4	8.4	9.0	4.5	8.1
\dot{H}_L 估算值($\mu\text{Sv/h}$)	0.364	0.469	0.364	0.009	0.183	0.048	0.038	

散射 辐射 估算	斜射角度 θ ($^{\circ}$)	0	0	0	0	23	0	0
	有效屏蔽厚度 X_e (cm)	140	145	140	175	135.8	170	140
	TVL (cm) (90° 散射)	17	17	17	17	17	17	17
	B	5.82E-09	2.96E-09	5.82E-09	5.08E-11	1.03E-08	1.00E-10	4.71E-10
	\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	4.8×10^8	4.8×10^8	4.8×10^8	4.8×10^8	4.8×10^8	4.8×10^8	4.8×10^8
	散射角 ($^{\circ}$)	90	90	90	90	90	90	28
	α_{ph} (90° 散射)	4.26E-04	4.26E-04	4.26E-04	4.26E-04	4.26E-04	4.26E-04	6.73E-03
	R_s (m)	5.4	3.9	5.4	8.4	9	4.5	6.1
	\dot{H}_s 估算值($\mu\text{Sv/h}$)	8.00E-05	7.79E-05	8.00E-05	2.89E-07	5.09E-05	1.15E-04	8.01E-05
泄漏辐射和散射辐射的 总剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	0.364	0.469	0.364	0.009	0.183	0.048	0.038	
\dot{H} 控制值	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	
评价结果	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足	

由上表的理论估算结果可知，非有用线束方向屏蔽防护设计效果能够满足拟配置的加速器的泄漏射线和一次散射 X 射线的辐射防护要求。

(3) 迷路入口处辐射水平核算

①射线路径

根据《GBZ/T 201.2-2011》中“4.3.2.5.1”内容：对于小于等于 10MV 加速器的机房，且有用线束不向迷路内墙照射，相应迷路外入口处的辐射剂量考虑如下：

a) 迷路外入口 F 点包括下列散射辐射：

- 1) 人体受有用线束照射时，散射至 F_1 点的辐射受迷路外墙散射至 F 点的辐射，散射路径为 $O_1 \rightarrow O \rightarrow F_1 \rightarrow F$ ；
- 2) 至 F_1 点的泄漏辐射受墙散射至 F 处的辐射，散射路径为 $O_1 \rightarrow F_1 \rightarrow F$ ；
- 3) 有用线束穿出人体达到西侧主屏蔽墙，散射至迷路外墙，共经 3 次散射达到 F 处的辐射。

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

b) 需核算加速器的泄漏辐射（以偏离 O 的位置 O_2 为中心）经迷路内墙屏蔽后在迷路入口 F 处的辐射剂量。当屏蔽内墙为斜型时，还应以位置 O_1 为中心，重复核算泄漏辐射在 F 处的剂量。核算结果应为 F 处的参考控制水平的一个分数（应小于 1/4）。

②计算模式、参数选择及计算结果

a) 防护门外 F 处的散射辐射剂量率（未考虑防护门屏蔽）

$$\dot{H}_F = \dot{H}_0 \cdot \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A_2}{R_2^2} \quad \text{式 (11-6)}$$

式中：

\dot{H}_F ：迷路入口 F 处的散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

\dot{H}_0 ：加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

α_{ph} ：患者 400cm^2 面积上的散射因子，无量纲，取 GBZ/T 201.2-2011 中附录 B 表 B.2 中 45° 散射角的值；

F ：治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 ；取 $28 \times 28 \text{cm}^2$ ；

R_1 ：病人散射点到墙体散射点的距离，m；

α_2 ：迷路内入口一次散射时的散射因子，无量纲；取 GBZ/T 201.2-2011 中附录 B 表 B.6 中 0.5MeV 栏内的值（查 GBZ/T 201.2-2011 中附录 B 表 B.3 患者散射辐射的平均能量，因本项目迷路为斜迷路，迷路内入口一次散射时散射角为 57° ，故取 0.5MeV ），入射角取 45° ，散射角取 60° ；

A_2 ：迷路内入口一次散射时墙体的散射面积， m^2 ；迷路内入口处宽度为 2m，高度为 3m，一次散射面积为 6m^2 ；

R_2 ：迷路内入口一次散射点到迷路外入口的距离，m；

表 11.2-4 加速器 6MV 工况下防护门外 F 处散射辐射剂量参数和计算结果

参数	迷路入口 (F 点)
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	4.8×10^8
α_{ph} (无量纲)	1.39E-03
F (cm^2)	784
α_2 (无量纲)	2.0E-02
A_2 (m^2)	6
R_1 (m)	6.8
R_2 (m)	8.8
迷路入口 F 处的散射辐射剂量率 \dot{H}_F ($\mu\text{Sv/h}$)	48.2

b) 加速器的泄漏辐射（以偏离 O 的位置 O_1 ）为中心经迷路内墙屏蔽后在防护门外 F 处的辐射剂量，计算方法同式（11-2）。

$$\dot{H}_{OF} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f_L}{R^2} \cdot B$$

式中：

\dot{H}_{OF} ：泄漏射线直接透射迷路内墙至防护门外的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

\dot{H}_0 ：加速器有用线束中心轴上距产生 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处

的剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

f_l ：泄漏率，无量纲；取 0.001；

R ：辐射源点至防护门中心点的距离， m ；

B ：辐射屏蔽透射因子，无量纲，考虑迷路内墙的屏蔽和防护门中 20mm 铅层的屏蔽；计算方法同式（11-4）；

加速器的泄漏辐射路径示意图（ O_1F 及 O_2F ）见图 11.2-4。

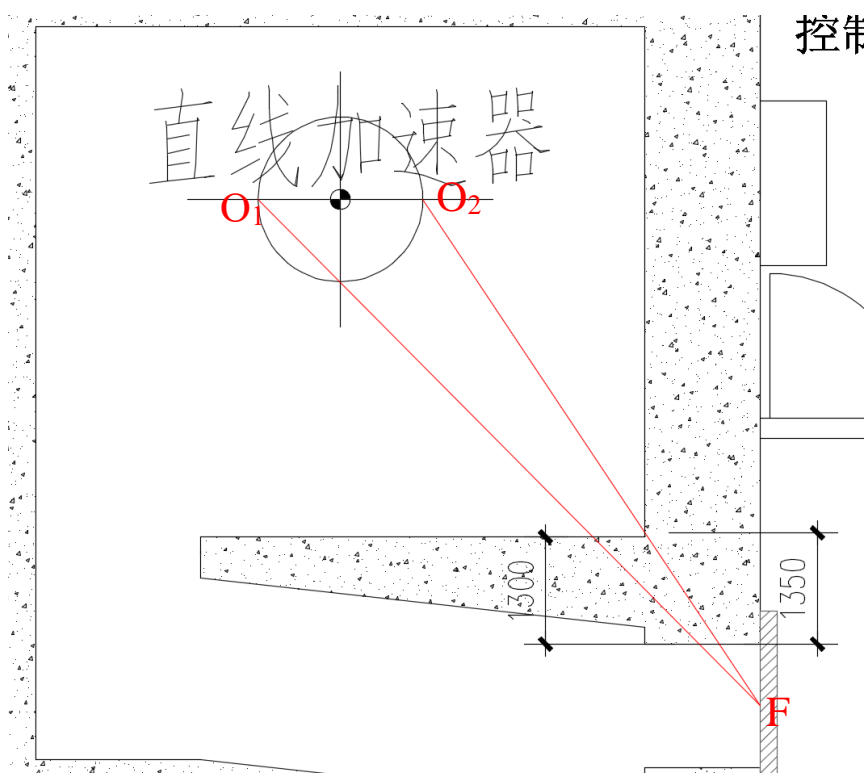


图 11.2-4 加速器的泄漏辐射路径示意图

F 点泄漏辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11.2-5。

表 11.2-5 机房防护门外 F 处泄漏辐射剂量参数和计算结果

参数	防护门外 F 点 ($O_1 \rightarrow F$)	防护门外 F 点 ($O_2 \rightarrow F$)
混凝土厚度 X (cm)	130	135
斜射角度 θ ($^\circ$)	45	34
混凝土有效屏蔽厚度 X_e (cm)	183.8	162.8
TVL_l	34	34
TVL	29	29
防护门铅厚度 X_i (cm)	1.6	1.6
斜射角度 θ_i ($^\circ$)	45	56
防护门铅有效屏蔽厚度 X_{ie} (cm)	2.2	2.4
TVL_{il}	5.7	5.7
TVL_i	5.7	5.7
B	2.73E-07	1.14E-06
泄露率 f_l	0.001	0.001
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	4.8×10^8	4.8×10^8
R (m)	8.7	7.4

迷路入口 F 处的泄漏辐射剂量率 \dot{H}_{OF} ($\mu\text{Sv/h}$)	1.73E-03	9.96E-03
---	----------	-----------------

根据计算结果，O₂→F 路径的泄漏辐射在防护门外 F 点处的剂量率为 9.96E-03，小于参考控制水平（2.5 $\mu\text{Sv/h}$ ）的 1/4，符合规范要求。

c) 在给定防护门的铅屏蔽厚度后，防护门外的辐射剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$) 计算方式如下：

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

式中：

\dot{H} ：防护门外 F 处综合辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

\dot{H}_F ：防护门外 F 处的散射辐射剂量率（未考虑防护门屏蔽）， $\mu\text{Sv/h}$ ；

X：防护门内铅屏蔽厚度，cm；

TVL：屏蔽物质铅的平均什值层厚度，cm；在 F 处的散射辐射能量约为 0.2MeV，铅中的 TVL 值为 0.5cm；

\dot{H}_{OF} ：防护门外 F 处的泄漏辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

机房防护门外综合辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11.2-6。

表 11.2-6 机房防护门外综合辐射剂量率计算参数和计算结果

参数	迷路入口 (F 点)
\dot{H}_F ($\mu\text{Sv/h}$)	48.2
X (cm)	1.6
TVL (cm)	0.5
\dot{H}_{OF} ($\mu\text{Sv/h}$)	1.73E-03
防护门外的综合辐射剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	3.21E-02

由上表的理论估算结果可知，加速器机房迷路及防护门的辐射防护设计能够满足拟配置的加速器的泄漏 X 射线及散射 X 射线的辐射防护要求。

(5) 加速器机房辐射防护评价

加速器各关注点辐射预测结果汇总见下表：

表 11.2-7 加速器机房屏蔽防护设计理论估算结果汇总表

关注点	屏蔽情况	参数	关注点剂量率值 $\mu\text{Sv/h}$	剂量率控制水平 $\mu\text{Sv/h}$	结论
防护墙外 30cm 处，控制室* (A 点)	1400mm 混凝土	6MV；8Gy/min	0.851	2.5	满足
防护墙外 30cm 处，过道* (B 点)	1450mm 混凝土	6MV；8Gy/min	0.469	2.5	满足
防护墙外 30cm 处，过道 (C 点)	1400mm 混凝土	6MV；8Gy/min	0.851	2.5	满足
迷道外墙外 30cm 处，过道 (D 点)	迷道内外墙共 1750mm 混凝土	6MV；8Gy/min	0.009	2.5	满足

迷道外墙外 30cm 处, 过道 (E 点)	1250mm 混凝土	6MV; 8Gy/min	0.183	2.5	满足
防护门外 30cm 处, 过道 (F 点)	16mm 铅板	6MV; 8Gy/min	0.0321	2.5	满足
防护顶面上方 30cm 处, 空调机房兼排烟机房* (G 点)	1400mm 混凝土	6MV; 8Gy/min	1.153	2.5	满足
防护墙外 30cm 处, 过道* (H 点)	1400mm 混凝土	6MV; 8Gy/min	0.038	2.5	满足

注: *对东侧 A 点、西侧 C 点、上方 G 点同时进行有用线束直接照射和泄漏辐射+散射辐射的计算, 根据计算结果, 选取其中较大值作为该关注点最大剂量率;

由上表中理论估算结果可知, 加速器机房的各屏蔽墙及防护门的防护设计能够满足拟配置的加速器的辐射防护要求, 加速器运行过程中治疗室屏蔽墙和防护门外的剂量当量率均能够满足前文表 7.3-2 中的剂量率控制水平要求。

11.2.4 通风系统及电缆沟辐射防护评价

本项目进风管道采用“U”型管道经防护门上方由迷道到达机房内, 排风管道从西南侧墙体上采用内低外高“Z 型”穿出 (内部距地面约 0.2m, 外部距地面约 0.6m), 管道系统均避开主射线方向, 射线经几次散射后, 通风管道出口处辐射剂量将在控制范围内。

电缆线布设采用了地下“U”型穿墙管道, 未破坏治疗室墙体的屏蔽效果, 能够满足辐射防护要求。

11.2.5 加速器机房辐射工作人员和公众年有效剂量评价

(1) 机房周边辐射工作人员和公众年有效剂量评价

为确定本项目加速器治疗室屏蔽防护的有效性及其项目运行过程中对操作人员产生的附加辐射剂量及其辐射环境影响, 对其进行附近辐射剂量估算评价。

根据 GBZ/T201.1-2007 中 4.8.3 条款内容, 为了治疗机房屏蔽剂量估算和评价的方便和统一, 假设有效剂量与周围剂量当量等在数值上相等, 则个人年有效剂量可以按以下模式计算:

$$E = \dot{H} \times T \times t \times 10^{-3} \quad \text{式 (11-8)}$$

式中:

E : 辐射外照射年有效剂量, mSv/a;

\dot{H} : 辐射剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

t : 年工作时间, h/a;

T: 居留因子。

本项目预计加速器平均每天病人 120 人次/天，其中调强治疗占 80%，调强因子 N=3，每周 5 天，每年工作约 250 天，常规治疗每人每次照射 2min，调强治疗每人每次照射 6min，则周治疗出束时间为 104h/wk，年治疗出束时间 5200h/a。加速器设备质检、保养及日常质控时间安排在非工作时段，与病人就医时间不重合。根据医院提供的预计工作计划，加速器设备质检每年 1 次强检（1 天 8h）；设备保养每季度 1 次（1 天 8h）；日常质控中分为日检（1h/次）、周检（半天 4h/次）、月检（1 天 8h/次）、年检（2 天 16h/次）；总计加速器设备质检、保养及日常质控共需 602h，平均检查期间每小时出束时间为 10min，则加速器设备质检、保养及日常质控期间出束时间为 60.2h。

加速器机房东侧的控制室内的操作人员居留因子取 1；公众人员为除加速器操作人员外的其他在加速器机房周边活动的人员，因加速器机房控制室北侧过道加设常闭的应急门，正常情况下，公众人员不会经过机房周边过道，故居留因子取 1/64。

经计算，职业工作人员及公众成员的附加年有效剂量预测结果见表 11.2-8。

表 11.2-8 职业工作人员及公众成员的附加年有效剂量估算值

机房	位置	最大附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	居留因子	年工作时间 (h)	年有效剂量 (mSv/a)	
加速器机房	职业人员	东墙屏蔽 (A 点) 控制室	0.851	1	5200	4.43
		顶部屏蔽 (G 点) (质检人员)	1.153	1	60.2	0.07
	公众	北墙屏蔽 (B 点)	0.469	1/64	5200	0.038
		西侧屏蔽 (C 点)	0.851	1/64	5200	0.069
		南侧迷道内外墙屏蔽 (D 点)	0.009	1/64	5200	0.001
		南墙迷道外墙屏蔽 (E 点)	0.183	1/64	5200	0.015
		防护门 (F 点)	0.0321	1/64	5200	0.003
		西侧屏蔽 (H 点)	0.038	1/64	5200	0.003

根据表 11.2-8 有效剂量估算结果可知，本项目加速器机房工作人员职业照射的最大年有效剂量值均为 4.43mSv/a，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中职业照射有效剂量限值 20mSv/a 和 HJ1198-2021 标准规定的剂量约束值 5mSv/a 的要求。加速器机房对公众照射的最大年有效剂量率为 0.069mSv/a，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-

2002) 中公众照射有效剂量限值 1mSv/a 和 HJ1198-2021 标准规定的剂量约束值 0.1mSv/a 的要求。

11.2.6 臭氧和氮氧化物等气体对环境的影响分析

加速器在开机运行过程中因射线对空气的电离作用,会产生少量臭氧(O₃)和氮氧化物(NO_x)等有害气体。

(1) O₃ 的产额

依 IAEA Technical Report Series No.188 《电子直线加速器工作的辐射安全问题》和《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), 加速器辐射所致 O₃ 的产额估算方法如下:

①有用线束的 O₃ 产额

$$P = 2.43 \times \dot{D}_o(1 - \cos \theta)RG \quad \text{式 (11-9)}$$

式中:

P : O₃ 产额, mg/h;

\dot{D}_o : 辐射有用束在距靶 1m 处的输出量, Gy·m²/min, 取 8Gy·m²/min;

θ : 有用束的半张角, 取 7.95°;

R : 靶到屏蔽物(墙)的距离, m, 机房内有用线束最远距离为 3.7m;

G : 空气吸收 100eV 辐射能量产生的 O₃ 分子数 (G=10);

②泄漏辐射的 O₃ 产额

将泄漏辐射看为 4π 方向均匀分布的点源(包括有用束区限定的空间区), 并考虑机房壁的散射线使室内的 O₃ 产额增加 10%, O₃ 的产额 P (mg/h) 为:

$$P = 3.32 \times 10^{-3} \dot{D}_o RV^{1/3} \quad \text{式 (11-10)}$$

式中:

V : 加速器机房的体积, m³, 本项目机房内体积约为 252m³; 其余符号同(11-9)。

(2) O₃ 的浓度

设: O₃ 的有效分解时间为 t_d (常取为 0.83h), 机房通风换气周期为平均每次换气需通风 t_v 小时 (h), 本项目取 0.23h (机房体积为 252m³/h, 风机风量为 1100m³/h)。

机房最高饱和 O₃ 浓度 (mg/m³) 为:

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

式中:

P : V 为机房的体积, m^3 ;

\bar{T} : O_3 的有效清除时间 (h): $\bar{T} = \frac{t_v \cdot t_d}{t_v + t_d} = \frac{0.23 \times 0.83}{0.23 + 0.83} = 0.18\text{h}$

(3) 参数与结果

① O_3 的产额

按 (11-9)、(11-10) 式估算出 O_3 产额, $P=6.91+0.62=7.53\text{mg/h}$ 。

② O_3 的浓度

按式 (11-11) 估算出机房空气中的 O_3 浓度分别为 $5.38 \times 10^{-3}\text{mg/m}^3$, 远低于最高容许浓度 0.3mg/m^3 。

在多种氮氧化物 (NO_x) 中, 以 NO_2 为主, 其产生量约为 O_3 的 1/2, 工作场所中 NO_x 的时间加权平均容许浓度 (5mg/m^3) 大于 O_3 的最高容许浓度 (0.3mg/m^3)。因此, 工作场所中 O_3 浓度达到 GBZ2.1-2019 要求时, NO_x 的浓度也会满足要求。机房内 O_3 、 NO_x 经排烟管道送至放疗用房屋顶排放。

11.2.7 其他

本项目放射工作人员共 8 人, 其中 4 人由医院内部调配, 另外 4 人为新增工作人员, 新增少量生活垃圾。现有生活垃圾委托市容环卫部门清运。

本项目加速器使用过程中产生的固体废物是加速器的废弃靶, 只在加速器装置需要更换金属钨靶时产生, 废靶由生产厂家回收处理。本项目加速器最大 X 射线能量为 6MV。不产生感生放射性物质, 因此靶物质不具有放射性。

11.3 事故影响分析

本项目加速器可能发生的辐射事故如下:

(1) 加速器的安全联锁系统失效, 装置在机房内部有放射工作人员停留或者机房防护门未关闭的情况下出束, 对工作人员及周围公众造成不必要的照射。

(2) 加速器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) 加速器所在房间的局部屏蔽防护遭损坏, 导致射线泄露、机房外部辐射剂量超标。

医院应保证加速器束流联锁系统、设备控制台紧急停机按钮以及加速器机房内的防护门连锁开关、紧急停机按钮、辐射监控箱正常工作，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对措施，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。

通过采取以上措施，可以有效防止误照射事故的发生。

一旦发生放射性事故，必须马上关机，切断总电源开关，对相关被照射人员进行身体检查，确定对人身是否有损害，以便采取相应的救护措施，其次对仪器设备、设施进行检测，确定其影响状态。事故发生后，立即启动本单位的辐射事故应急方案，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》，向当地生态环境主管部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射时，还应同时向当地卫生行政主管部门报告。事故处理完成后，应查找事故原因，分清事故责任，避免该类事故的再次发生。

此外，若放射工作人员由于不重视个人防护或个人剂量计佩戴不合规等，可能导致个人受照剂量超出剂量限值要求等事故发生，针对此类事故，医院应加强放射工作人员日常培训，严格进行个人剂量管理、个人健康管理，防止事故发生。

为此，院方需要加强管理，严格执行射线装置的操作规程及工作场所分区管理要求。院方还要定期监测射线工作场所的辐射环境剂量率等，确保放射工作场所安全。当发生或发现辐射事故后，当事人需立即向单位的辐射安全负责人报告，启动辐射事故应急预案。

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

医院已根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院第 449 号令）设置了放射事故应急处理领导小组专门负责医院的辐射安全和环境保护管理工作，小组成员如下：

12.1.1 人员组成

建设单位已成立了放射事故应急处理领导小组，设立放射事件应急处置办公室，部门常设机构在医务处。小组成员名单如下：

（1）组长：张哲民；

（2）组员：张鹏、毛彦华、曹卫军、周佳、毛燕君、蒋建仁、李玉平、卫平；

12.1.2 放射事件领导小组职责

- 1、负责向市放射事件应急机构报告院内发生的放射事件；
- 2、负责组织放射事件应急响应准备工作，达到应急状态标准；
- 3、组织事故调查，并对有关人员进行责任追究；
- 4、负责辐射污染事故的医疗救护；
- 5、参与放射事件应急处置工作。

12.2 辐射安全管理规章制度

12.2.1 辐射安全管理规章制度制定情况

建设单位将针对加速器使用制定了如下辐射安全管理规章制度，确保射线装置的安全运行：

- （1）操作规程：《医用电子直线加速器操作规范》；
- （2）岗位职责：《医用电子直线加速器操作岗位职责及工作标准》；
- （3）辐射防护与安全保卫制度：《辐射防护和安全保卫制度》；
- （4）设备检修维护：《放射诊疗设备检修、维修制度》；
- （5）人员培训计划：《放射工作人员培训制度》；
- （6）辐射监测：《环境辐射监测方案》；
- （7）应急响应：《事故预防及应急响应预案》；
- （8）质量控制：《质量保证大纲和质量控制监测计划》。

12.2.2 辐射安全管理要求

(1) 本项目拟制定的辐射安全管理制度较为健全，但应做到根据最新的相关法律法规、条例办法及现行标准的要求，定期更新和完善已有的规章制度

(2) 根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(2021年修正)的要求，从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。

(3) 需针对射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年1月31日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

安全和防护状况年度评估报告应当包括：辐射安全和防护设施的运行与维护情况；辐射安全和防护制度及措施的制定与落实情况；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；装置台账；场所辐射环境监测和个人剂量监测情况及监测数据；辐射事故及应急响应情况；项目新、改、扩建和退役情况；存在的安全隐患及其整改情况；其他有关法律、法规规定的落实情况。

12.3 辐射监测

辐射监测是安全防护的一项必要的措施，通过辐射监测得到的数据，可以分析判断电离辐射水平，防止人员受到超剂量的照射。

12.3.1 辐射监测方案

12.3.1.1 环境及工作场所监测

本项目射线装置开展放射诊疗工作后，医院应每季度自行开展射线装置机房周围环境辐射巡测并做好记录。

此外，医院每年应委托有资质的辐射监测机构对本项目加速器机房周围X- γ 剂量率环境进行监测，频率不低于1次/年。

本项目辐射剂量率监测布点应按照HJ1198-2021标准9.2条款、HJ61-2021、HJ1157-2021开展监测。监测点位位于机房的北、西、南侧墙体外0.3m处、机房上方距地面0.3m处、控制室操作位处及电缆沟穿墙孔点位、机房防护门外0.3m及门缝处。

12.3.1.2 个人剂量监测

个人监测主要是利用个人剂量计进行外照射个人累计剂量监测，医院应委托有资质的单位，由该单位定期对放射工作人员的个人受照剂量（热释光剂量

片)进行检测并出具相关检测报告,放射工作人员个人剂量监测的时间间隔最长不得超过3个月,且根据国家职业病防治的要求定期进行健康检查,且两次检查的时间间隔不应超过2年,需要时可增加临时性检查。

12.3.1.3 其他要求

医院应对定期开展的辐射监测结果做好记录进行妥善保存,监测结果应纳入该单位的放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告。

医院应定期和不定期的对辐射工作场所进行监测。在开展辐射监测期间,若发现监测数据超过国家标准规定的限值,应立即查找监测数据异常原因(如机房的屏蔽防护、装置屏蔽防护是否受到损坏等)并进行相应整改,整改后应再次开展辐射监测进行确认。整改记录应在医院的安全防护年度评估报告有所反映。

12.3.2 医院现有辐射监测开展情况

医院定期委托复旦大学放射医学研究所对医院现有核技术利用项目相关工作场所的 β 放射性表面污染水平、环境X、 γ 射线周围剂量当量率和环境中子辐射水平进行监测,频次为1年/1次。

医院定期委托上海市杨浦区疾病预防控制中心对医院现有核技术利用项目工作人员佩戴的热释光剂量计进行检测,频次为2-3月/1次。

12.3.3 监测仪器

医院需为每名放射工作人员配备1个个人剂量计(热释光剂量片),加速器工作场所配备1台剂量监测报警仪、1台环境级X、 γ 辐射剂量巡测仪。

12.4 辐射事故应急

医院已制定了辐射事故应急预案,并对应急机构和职责分工以及应急程序做了较详细的规定。本项目落实后,医院将根据本项目情况对现有辐射事故应急预案进行增订。

医院应依据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(国务院令 709号)等相关规定以及区域放射性污染事故应急预案,同时结合年度评估报告和本单位的具体情况,每年定期对应急响应预案进行修改和完善(包括应急机构人员组成、联系方式更新等)。

本着有备无患、万无一失的原则,医院须按照以下原则加强辐射事故应急

管理工作和应急措施的执行：

- 1) 定期对放射工作人员进行事故处理知识的培训和应急演习。
- 2) 做好应急准备工作，确定紧急联络方式，并有相应的预防、处理和现场急救措施。
- 3) 保证对外联络畅通，以确保在事故发生后能第一时间与当地生态环境主管部门、卫生主管部门等取得联络。

根据《放射性污染防治法》第三十三条和《上海市放射性污染防治若干规定》（上海市人民政府令第 23 号，沪府令第 30 号修订）第七条和第十四条的要求，上海市肺科医院的辐射事故应急预案应当报杨浦区生态环境部门备案。发生放射性污染事故时，应当立即启动本单位的应急方案，采取应急措施，并立即向杨浦区人民政府突发公共事件应急联动机构或者生态环境、卫生行政管理部门报告。

12.5 竣工验收

医院应根据《建设项目环境保护管理条例》（国务院第 682 号令）、《上海市环境保护局关于贯彻落实新修订的<建设项目环境保护管理条例>的通知》（沪环保评[2017]323 号）、《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4 号）以及《上海市环境保护局关于贯彻落实<建设项目竣工环境保护验收暂行办法>的通知》（沪环保评[2017]425 号）的要求，本项目需开展竣工环保验收，竣工环境保护验收责任主体为上海市肺科医院。本项目环保竣工验收内容建议见表 12.5-1。

表 12.5-1 环保竣工验收内容建议一览表

验收项目	验收标准	验收内容及要求
个人受照剂量约束	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）	职业照射剂量约束值 5mSv/年； 公众照射剂量约束值 0.1mSv/年。
工作场所周围环境剂量率控制水平	《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）	机房辐射屏蔽措施不低于“表 10-1 加速器机房屏蔽方案”中的屏蔽水平； 加速器机房在治疗过程中，机房的东、西、南、北侧墙体外 0.3m、离地 1.2m 处；机房上方距地面 0.3m 处，周围剂量参考控制水平不大于 2.5 μ Sv/h，并提供检测报告。
三废处理设施	废气：《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）	废气：加速器设备产生的臭氧和氮氧化物经大楼排风系统于楼顶排放，换气次数大于 4 次/h； 废水：加速器机在运行过程中本身无废水排放；

		固废：主要是加速器定期更换的废靶以及运行期间放射工作人员日常生活垃圾，其中：废靶由加速器厂家定期回收；
电离辐射警告标志	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）； 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）	加速器机房外设置电离辐射标识及电离辐射警告标志级中文警示说明。
辐射安全设施	《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》 2017年12月12日第二次修订； 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）	机房门外设置电离辐射警告标志、放射防护注意事项、醒目的工作状态显示；机房门设置门-机联动系统。控制室内设置紧急停机按钮、对讲系统等
辐射监测仪器及个人防护用品	《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》 2017年12月12日第二次修订	为每名放射工作人员配备1个人剂量计（热释光剂量片），加速器机房配备1台辐射报警仪、1台X、 γ 辐射剂量巡测仪，并在机房迷道出入口处设置1台具有报警功能的固定式X、 γ 辐射剂量监测仪。
辐射环境监测	《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部第18号令）	建立辐射监测制度，定期对场所开展自行监测，并做好记录；外委有资质的机构对加速器机房进行剂量率监测，不低于1次/年。
规章制度	《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》 2017年12月12日第二次修订	制定操作规程、岗位职责、辐射防护与安全保卫制度、设备检修维护、人员培训、辐射监测、突发辐射事故应急处理预案等辐射安全管理制度，并对上述制度进行宣贯落实。
人员配置及培训	《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021年修正）	从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核

表 13 结论与建议

13.1 项目概况

为满足肿瘤患者的治疗需求，建设单位拟于现有放疗楼和立体车库之间的空地新建 1 个加速器机房及其配套工作场所，并拟在机房内新增 1 台医用电子直线加速器，拆除放疗科 2#加速器机房北侧已弃用的太平间。本项目选用的加速器设备自带 CBCT 系统，配套的模拟定位 CT 机房、模具室、治疗计划室等均拟沿用放疗科原有设施。

13.2 辐射安全与防护分析

13.2.1 选址布局基本合理

本项目加速器机房位于医院南部新建放疗用房 1 层，下方为土层；机房周边无儿科病房、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，机房选址满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的要求。

本项目各机房边界 50m 范围内无居民区、学校等敏感区。项目运营过程中产生的电离辐射和臭氧、NO_x 等，经采取一定的防护治理措施后满足国家相关防护标准，不会对周围环境与公众造成危害，故选址合理。

13.2.2 辐射分区

根据《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），对本项目加速器装置工作场所进行分区管理，具体如下：

①辐射控制区：加速器治疗机房为辐射控制区，在治疗作业过程中，除病人外，机房内不得停留任何人员；

②辐射监督区：加速器机房控制室为辐射监督区，在治疗作业过程中，仅允许放射工作人员进入；

③其他区域对人员活动不作限制。

13.2.3 辐射防护措施

本项目选用的 Halcyon 加速器自带 172mm 铅屏蔽层，能有效屏蔽有用线束（自屏蔽层外的辐射水平可按屏蔽泄漏辐射考虑机房屏蔽）；加速器机房采用钢筋混凝土实体屏蔽进行防护，防护门为铅门，机房各侧墙体及防护门屏蔽厚度满足屏蔽要求。

加速器机房均设置有门机（源）联锁及工作状态指示灯；机房内设置有视频监控及双向对讲；机房内设置有急停开关和固定式剂量报警装置；机房防护门及墙体醒目位置设置电离辐射警告标志；防护门安装紧急开门装置和防夹装置，辐射安全与防护措施配置满足相关要求。各机房的辐射工作人员配个人剂量计和个人剂量报警仪，建立职业健康体检和个人剂量监测档案，并长期保存。

13.2.4 “三废”治理和控制

废气：本项目加速器运行过程中，废气主要是电子束在空气中穿行过程中因与空气相互作用而产生臭氧和氮氧化物等气体；加速器机房设置排风系统，臭氧和氮氧化物经机房二层排烟机房于房顶排放，排风风量为：1100m³/h，可使机房内换气4次，符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中对治疗室的换气次数要求：“治疗室通风换气次数不小于4次/h”，对周边环境影响很小。

废水：本项目放射诊疗设备在运行过程中本身无废水排放，运行期间废水主要来自放射工作人员日常生活污水和质检体膜废水，经医院主体污水处理系统处理后排放，本项目放射工作人员共8人，其中4人由医院内部调配，另外4人为新增工作人员，新增少量生活污水。加速器机房质检工序会产生体膜废水，医院预计年体膜废水产生量为50m³/a，对医院现有污水处理站影响较小。

固废：主要是加速器定期更换的废靶以及运行期间放射工作人员生活垃圾，其中：废靶由厂家回收；放射工作人员生活垃圾，经分类收集后，委托环卫清运，本项目新增4名放射工作人员，新增的生活垃圾相较于医院现有生活垃圾影响较小。

13.3 环境影响分析结论

本项目射线装置机房经采取有效屏蔽措施后，经分析计算，加速器运行过程中，机房外30cm处的剂量当量率均低于2.5μSv/h及表7.3-2中限值要求，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中限值要求。

职业照射剂量：从事本项目放射工作人员可能接受的辐射照射最大附加年有效剂量保守估算值为4.43mSv/a，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标

准》（GB 18871-2002）规定的职业照射剂量限值（20mSv/a）及《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中 4.9 条款要求的职业照射剂量约束值（5mSv/a）。

公众照射剂量：本项目正常运行时可能导致机房周围公众人员最大附加年有效剂量保守估算值为 0.069mSv/年，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的公众照射剂量限值（1mSv/年）及《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中规定的公众照射剂量约束值（0.1mSv/年）。

13.4 辐射安全管理

医院设立了辐射安全与环境保护管理机构，并建立了完善的辐射安全管理规章制度，制定了《辐射事故应急预案》，同时配备相关的辐射防护及监测设备，确保射线装置运行过程中的人员安全。医院现有的辐射安全和防护管理工作表明，医院现有辐射安全各项规章制度完善，未发生过辐射安全事故。医院拟针对本项目特点补充完善相关规章制度。

13.5 可行性分析结论

医院新增 1 台加速器用于治疗旨在改善患者就医环境，符合实践正当性原则，建设方案按照环境保护法规和有关影响能够符合辐射环境保护的要求，从环境保护和辐射防护角度论辐射防护要求进行设计，建设过程严格按照设计方案进行施工，建筑施工质量能达到要求，并且完善本次评价对该项目提出的各项要求及措施，则本项目正常运行时，对周围环境的证，该项目是可行的。

13.6 建议和承诺

为更好的做好本项目的环保工作，提出以下建议及要求：

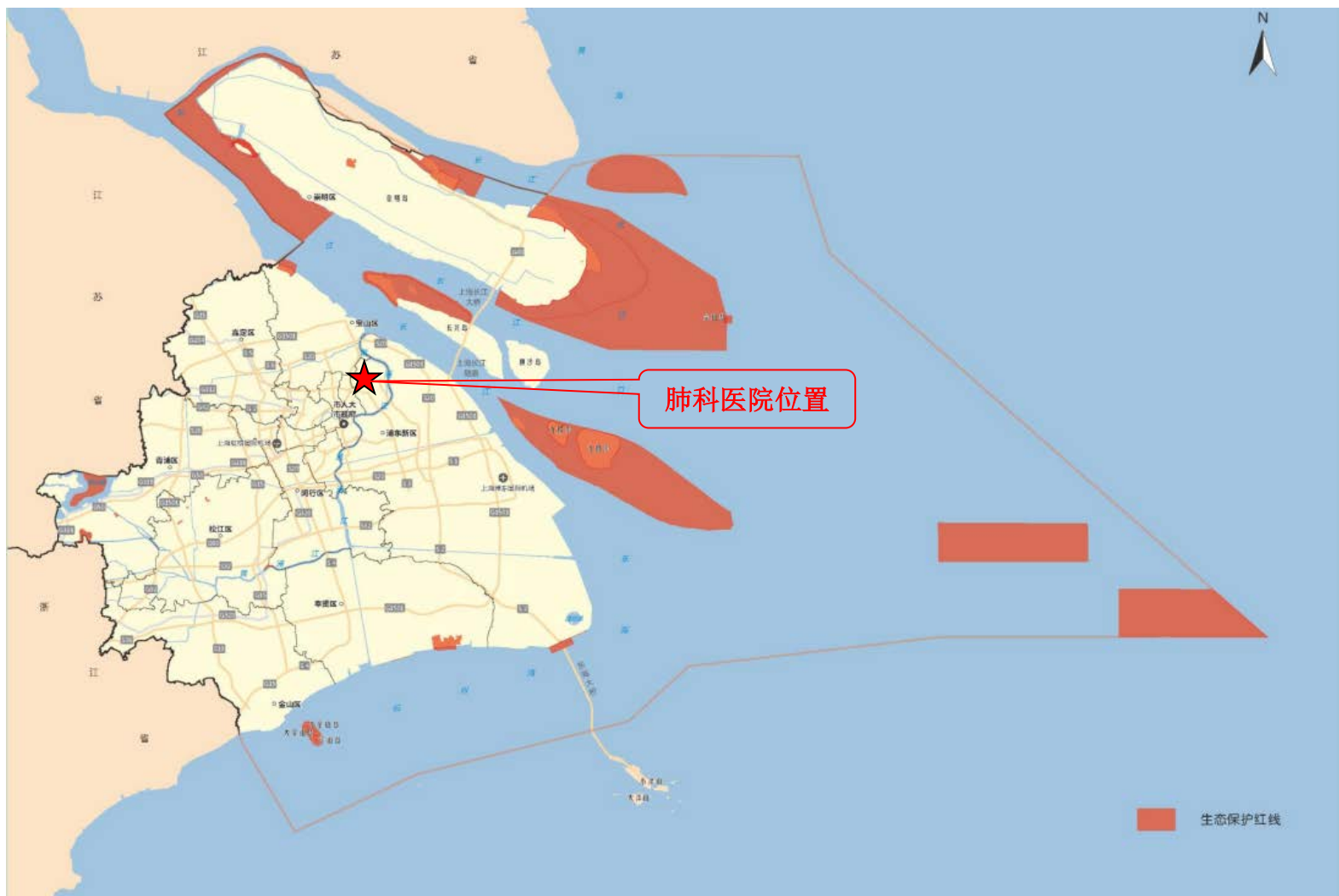
- 1) 本项目环评获批后，医院应及时更新辐射安全许可证。
- 2) 竣工验收前取得辐射安全许可证，验收合格后方可从事许可种类和范围内的活动；
- 3) 在设备安装的同时，应确保辐射防护措施和管理措施的建设，切实落实环境保护设施和主体工程“同时设计、同时施工、同时投产”。
- 4) 根据《建设项目竣工环境保护验收管理办法》的规定，项目建设竣工后，按照规定程序开展竣工环境保护验收工作。

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



附图 1 本项目所在地理位置图



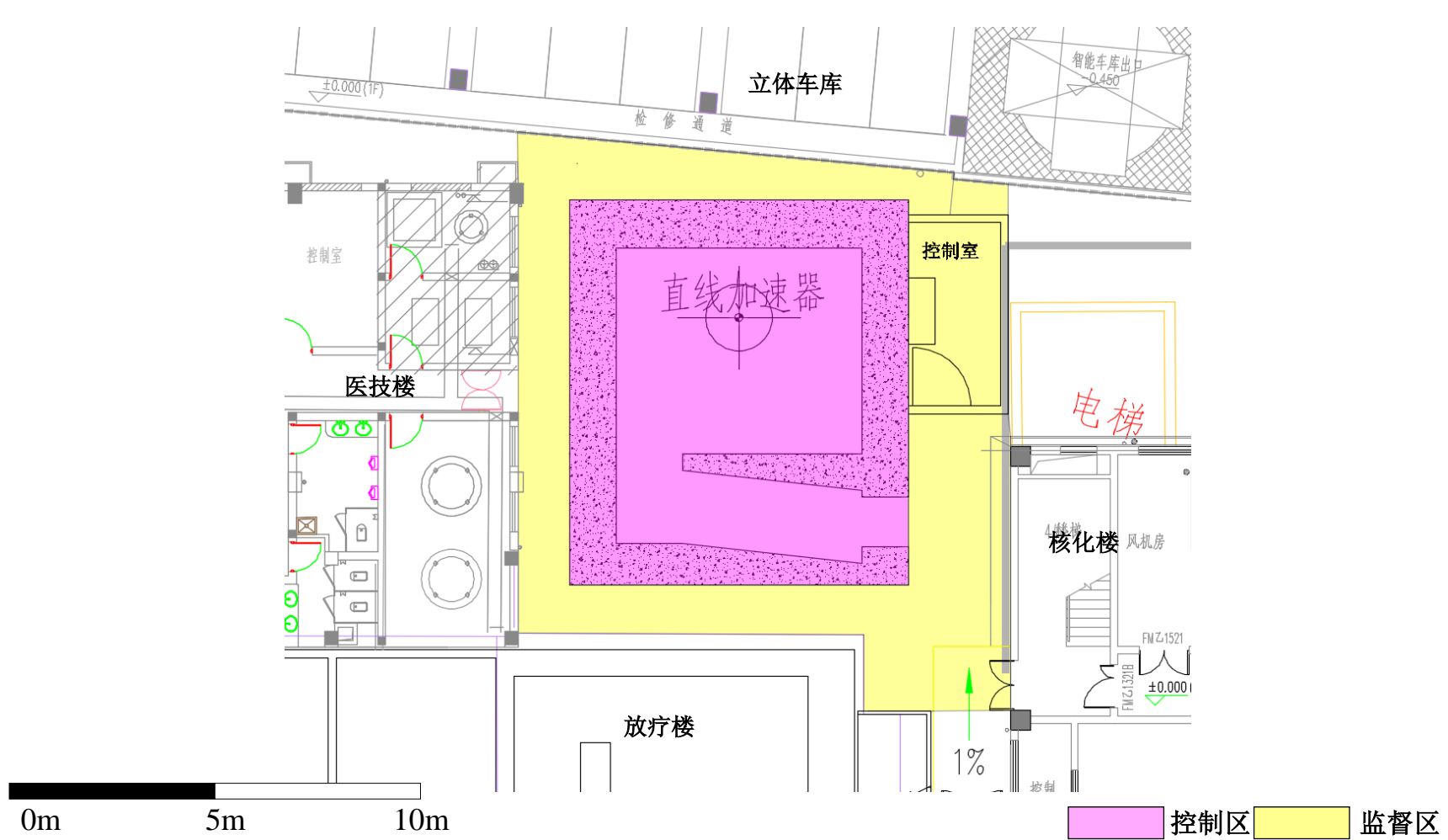
附图 2 项目与上海市生态保护红线位置关系图



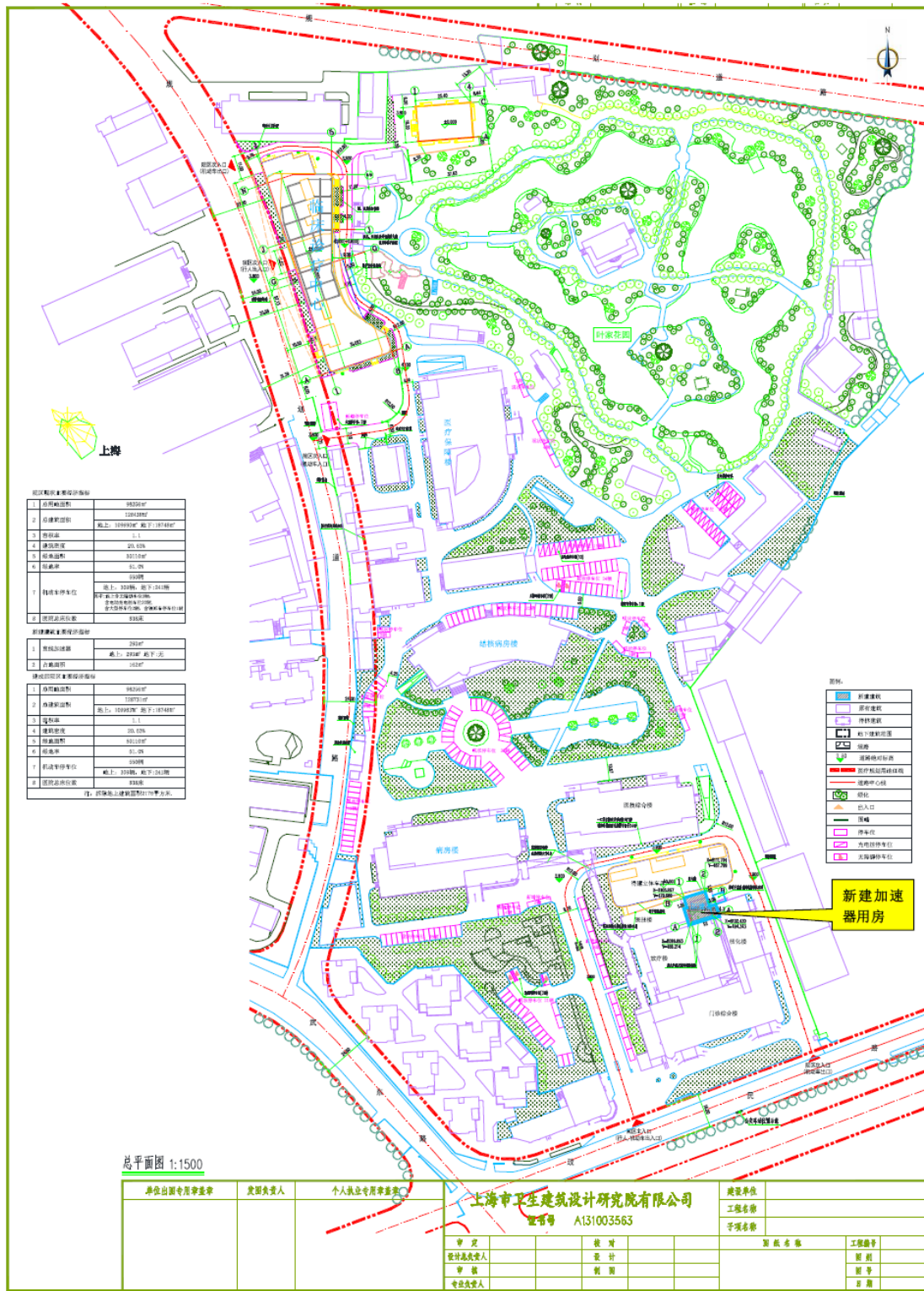
附图3 肺科医院周边位置关系图



附图4 本项目周边环境及评价范围示意图



附图 5-1 项目直线加速器机房平面布局及两区划分图



附图 6 医院全院平面布局图