

复旦大学附属妇产科医院杨浦院区
科教综合楼新增医用电子直线加速器治疗项目
环境影响报告表
(报批稿公示版)

建设单位：复旦大学附属妇产科医院

编制单位：上海核工程研究设计院有限公司

2022年12月



说明

上海核工程研究设计院有限公司受复旦大学附属妇产科医院委托完成对“复旦大学附属妇产科医院杨浦院区科教综合楼新增医用电子直线加速器治疗项目”的环境影响评价工作。现根据国家及本市规定，在向具有审批权的环境保护行政主管部门报批前公开环评文件全文。

本文本的内容为拟报批的环境影响报告表全本，复旦大学附属妇产科医院和上海核工程研究设计院有限公司承诺本文本与报批稿全文完全一致，但不涉及国家秘密/商业秘密/个人隐私。

复旦大学附属妇产科医院和上海核工程研究设计院有限公司承诺本环评文本内容的真实性，并承担内容不实之后果。

本环评文本在报环保部门审查后，复旦大学附属妇产科医院和上海核工程研究设计院有限公司将可能根据各方意见对项目的建设方案、污染防治措施等内容开展进一步的修改和完善工作，“复旦大学附属妇产科医院杨浦院区科教综合楼新增医用电子直线加速器治疗项目”最终的环境影响评价文件，以经环保部门批准的“复旦大学附属妇产科医院杨浦院区科教综合楼新增医用电子直线加速器治疗项目”的环境影响评价文件（报批稿）为准。

复旦大学附属妇产科医院

地址：上海市杨浦区沈阳路128号

邮编：200090201318

联系人：田复波

电子邮箱：hfz13816437512@163.com

电话：021-33189900

上海核工程研究设计院有限公司

地址：上海市徐汇区虹漕路29号

邮编：200233

联系人：黄主任

传真：021-61860728

电话：021-61863253

电子邮箱：huangxd@snerdi.com.cn

核技术利用建设项目

复旦大学附属妇产科医院杨浦院区
科教综合楼新增医用电子直线加速器治疗项目
环境影响报告表



复旦大学附属妇产科医院

2022年12月

环境保护部监制

核技术利用建设项目

复旦大学附属妇产科医院杨浦院区科教综合楼

新增医用电子直线加速器治疗项目

环境影响报告表

建设单位名称：复旦大学附属妇产科医院

建设单位法人代表（签名或签章）：徐丛剑

通讯地址：上海市杨浦区沈阳路 128 号

邮政编码：200090

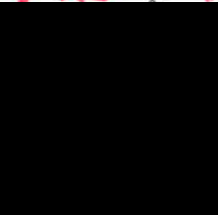
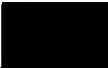
联系人：田复波

电子邮箱：hfz13816437512@163.com

联系电话：021-33189900



编制单位和编制人员情况表

项目编号	792hx7		
建设项目名称	复旦大学附属妇产科医院杨浦院区科教综合楼新增医用电子直线加速器治疗项目		
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）	复旦大学附属妇产科医院		
统一社会信用代码	12100000425007638G		
法定代表人（签章）	徐丛剑		
主要负责人（签字）	田复波		
直接负责的主管人员（签字）	田复波		
二、编制单位情况			
单位名称（盖章）	上海核工程研究设计院有限公司		
统一社会信用代码	91310104132672722W		
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
高真	2015035310352013423070000513	BH010335	
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
高真	项目基本情况、放射源、非密封放射性物质、射线装置、废弃物、评价依据、保护目标与评价标准、环境质量与辐射现状、项目工程分析与源项、辐射安全与防护、环境影响分析、辐射安全管理、结论与建议	BH010335	

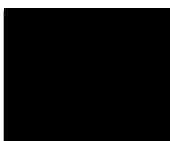
复旦大学附属妇产科医院杨浦院区科教综合楼
新增医用电子直线加速器治疗项目
环境影响报告表

审核、审定人员名单

审定：黄晓冬



审核：王雪



上海核工程研究设计院有限公司

表 1 项目基本情况

项目名称	复旦大学附属妇产科医院杨浦院区科教综合楼新增医用电子直线加速器治疗项目				
建设单位	复旦大学附属妇产科医院				
法人代表	徐丛剑	联系人	田复波	联系电话	021-33189900
注册地址	上海市杨浦区沈阳路 128 号				
项目建设地点	上海市杨浦区杨浦大桥街道沈阳路 128 号				
立项审批部门	/		批准文号	/	
建设项目总投资（万元）	2056	项目环保投资（万元）	200	投资比例（环保投资/总投资）	9.7%
项目性质	☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其它			占地面积（m ² ）	435
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I 类 ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV ☐ V 类		
		☐ 使用	☐ I 类（医疗使用） ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类		
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☐ 使用	☐ 乙 ☐ 丙		
	射线装置	☐ 生产	☐ II 类 ☐ III 类		
		☐ 销售	☐ II 类 ☐ III 类		
		☒ 使用	☒ II 类 ☐ III 类		
	其他	/			

项目概述

1.项目背景及概况

复旦大学附属妇产科医院杨浦院区（以下简称“杨浦院区”）位于上海市杨浦区沈阳路 128 号（详见附图 1），于 2009 年投入使用，现设有科室包括：预防保健科、内科（产内科）、外科、普通外科（限乳腺外科），妇产科，妇女保健科，儿科，急诊医学科、麻醉科、医学检验科，病理科、医学影像科等。该院区外东侧为红睦房中城医院、杨浦区中医药医院、沈阳路 148 号和沈阳路 150 号居民建筑，西侧为杨树浦港，南侧为杭州路 87 弄居民住宅、杭州路 107 弄、惠仁养老院和杭州路，北侧为沈阳路，详见附图 2 所示。

为改善教学科研条件，推进医、教、研协同发展，将复旦大学附属妇产科医院建设成为具有国际影响力的妇产科医学教研中心，建设单位拟在上海市杨浦区沈阳路 128 号杨浦院区内东南部新建科教综合楼 1 幢，该建筑为地上 11 层、地下 2 层，主要用于科研实验、医学教学、医学诊断及相关办公。该项目的主体环评文件《复旦大学

附属妇产科医院科教综合楼工程项目环境影响报告表》于 2021 年 3 月 29 日由上海市生态环境局以沪环保许评[2021]7 号文予以批复（详见附件 1）。目前科教综合楼正在建设中。

为了配合主体项目，更好地为患者提供医疗服务，复旦大学附属妇产科医院拟在该科教综合楼地下 1 层新增 2 座直线加速器机房，加速器最大能量 15MV，用于开展放射治疗；在科教综合楼地下 1 层新增 1 间模拟定位 CT 机房，用于直线加速器治疗前的模拟定位。本项目新增射线装置具体参数见下表。

表 1-1 医用电子直线加速器设备参数情况

名称	型号	数量 (台)	最大 X 射线能 量 (MV)	最大电 子束能 量 (MeV)	X 射 线最 大泄 露率	中子 泄漏 率	射野 范围	1m 处射线最大 剂量率 cGy/min	装置 类别
医用 电子 直线 加速 器	待 定	2	15	18	0.1%	0.02%	40cm× 40cm	1400cGy/min (6MV) 2400cGy/min (10MV) 600cGy/min (15MV)	II 类

表 1-2 模拟定位机设备参数情况

装置 名称	型号	数量	最大管电压 /电流(kV/ mA)	最大工作管电压/ 电流(kV/ mA)	单次定位累积 出束时间(sec)	年定位次 数(次 /a)	装置类 别
模拟 定位 CT	待 定	1	140/715	120/350	30	25000	III 类

项目组成一览表见表 1-3。

表 1-3 项目组成一览表

类型	类别	项目情况
主体工 程	医用电子直线加速器 机房	设置 2 间医用电子直线加速器机房，位于科教综合楼地下 1 层西部
	模拟定位 CT 机房	设置 1 间模拟定位 CT 机房，位于科教综合楼地下 1 层西部。
辅助工 程	场所	2 间加速器机房配套设置控制室、水冷机房、模具间等。 1 间模拟定位 CT 机房配套设置控制室。
	通排风	医用电子直线加速器机房设置通排风系统，采用顶部送风、底部排风，排风口呈对角线布置，换气次数不小于 4 次/h。模拟定位 CT 机房顶棚安装有进风、排风系统，能够满足换气要求。
公用工 程	场所、设施	依托医院公用设施。

环保工程	废气	加速器运行时产生的臭氧、氮氧化物、少量感生放射性废气经排风机送至楼顶排放，排风口位于楼顶，远离人群聚集的地方。 模拟定位 CT 机房无放射性废气产生，房间内设置有进、排风系统，通风效果良好。
	废水	本项目医用电子直线加速器、模拟定位 CT 在运行过程中无废水排放，放射工作人员生活污水纳入科教综合楼项目新建污水处理站处理后纳管排放。
	放射性固体废物	加速器维修或退役产生废活化部件，贮存于加速器机房的专用屏蔽容器中贮存衰变，最终委托资质单位收贮。
	非放射性固体废物	生活垃圾依托医院的生活垃圾收集系统收集，统一交环卫部门处理。
	噪声	机房空调系统和排风系统经过距离衰减后对医院厂界的噪声贡献很小。

根据《关于发布<射线装置分类>的公告》（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），本项目新增最大 X 射线能量 15MV 医用直线加速器为 II 类射线装置，新增的模拟定位 CT 装置为 III 类射线装置。对照《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》（生态环境部第 16 号令），《<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）》，本项目涉及“五十五、核与辐射-172、核技术利用建设项目-使用 II 类射线装置”，需编制环境影响报告表。

2. 项目选址及周边保护目标

本项目位于复旦大学附属妇产科医院杨浦院区院内东南部的科教综合楼地下 1 层，详见附图 1。

科教综合楼东侧为医院东门，南侧为杭州路 107 弄、惠仁养老院，西侧为空地、杭州路 87 弄居民住宅，北侧为门诊楼。医院平面布局及周边环境见附图 2。

医用电子直线加速器机房位于科教综合楼地下 1 层，所在位置东侧为水冷机房和控制室，西、南、北均为土层，顶部为空地，下部为土层；模拟定位 CT 机房位于科教综合楼地下 1 层，所在位置东侧、南侧均为室内走道，西侧为模拟定位 CT 控制室，北侧为土层，顶部为空调机房和消控中心，下部为雨水处理机房、雨水回用清水池泵房、气体灭火机房。本项目医用直线加速器机房、模拟定位 CT 机房所在楼层平面布置图见附图 3，楼上平面布置图见附图 4，楼下平面布置图见附图 5。

3. 核技术应用项目辐射安全许可情况

复旦大学附属妇产科医院已取得上海市生态环境局颁发的辐射安全许可证（沪环辐证[28603]，附件 1），许可种类和范围包括：使用 II 类、III 类射线装置，使用非密封放射性物质，丙级工作场所。具体见下表 1-4、1-5。

表 1-4 复旦大学附属妇产科医院批准使用非密封放射性物质一览表

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
研究所同位素室	丙级	H-3	1.11E+5	5.92E+8	使用

表 1-5 复旦大学附属妇产科医院批准使用射线装置一览表

装置名称	类别	装置数量	活动种类
医用 X 线机	III 类	12	使用
DSA	II 类	1	使用

近年来所实施的核与辐射项目环保手续执行情况见下表。

表 1-6 复旦大学附属妇产科医院杨浦院区现有核与辐射项目环保手续执行情况表

序号	项目	环评批复	主要建设内容	环保验收批文号
1	《妇产科医院 5 台射线装置应用项目》	沪环保许辐[2011]170 号 2011 年 10 月 28 日	杨浦分院新增 1 台 DSA、钼靶、DR 和数字胃肠机机房并配置相应 X 射线装置各 1 台，并新增移动式数字 X 射线机 1 台	自主验收
2	《复旦大学附属妇产科医院杨浦分院新增 2 台 X 射线装置项目》	杨环保许辐[2016]006 号	杨浦分院新增 2 台 III 类射线装置，包括 1 台 CT 和 1 台多功能 X 射线诊断机	杨环保许辐[2016]012 号

4. 放射工作人员情况

本项目医用电子直线加速器设置放射工作人员 8 人，每间加速器机房 4 人，实行 2 班制，每班 2 人；模拟定位 CT 设置放射工作人员 2 人。本项目放射工作人员均为新增放射工作人员，仅从事与本项目相关的放射工作，不参与其他放射操作。

本项目放射工作人员轮流从事放射工作，年工作时间为 250 天，放射工作人员开展放射工作之前须参加生态环境部统一组织的辐射安全与防护考核，并取得考核合格证书后方可上岗。

5. 产业政策相符性分析

本项目主要使用射线装置进行诊疗。根据《产业结构调整指导目录（2019 年版）》，本项目属“鼓励类——三十七、“卫生健康”第 5 条“医疗卫生服务设施建设”。因此，本项目的建设符合国家产业政策。

6. 实践正当性评价

本项目的开展有利于提高医院对于妇科肿瘤的放射诊疗水平，具有良好的社会效益和经济效益，经分析，在其运行过程中产生的辐射影响可以满足国家有关要求，带

来的社会、经济效益可以弥补其可能引起的辐射危害，因此本项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践正当性”的要求。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) /活度 (Bq) ×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

表 3 非密封放射性物质

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

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）。

表 4 射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) /剂 量率 (cGy/min)	用途	工作场所	备注
1	医用电子直线 加速器	II 类	2	待定	电子	18 (最大电子能 量)	1400 cGy/min (6MV) 2400cGy/min (10MV) 600cGy/min (15MV)	放射治疗	科教综合楼 地下 1 层医 用电子直线 加速器机房	最大 X 射 线能量为 15MV

（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
1	模拟定位 CT	III 类	1	待定	140	715	模拟定位	科教综合楼地 下 1 层模拟定 位 CT 机房	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度 (Bq)	月排放量	年排放总量	排放口浓 度	暂存情况	最终去向
医用电子直线加 速器废靶	固态	/	/	/	1 次/2~3 年 (检维修 时)	/	废靶将放置于加 速器机房的专用 贮存屏蔽容器中 进行暂存。	贮存于加速器机房的专用屏蔽容器 中贮存衰变，最终委托资质单位收 贮。

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	(1) 《中华人民共和国环境保护法》(中华人民共和国主席令 2014 年第 9 号), 2015 年 1 月 1 日; (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》, 2018 年 12 月 29 日修订; (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》(国家主席令 2003 年第 6 号), 2003 年 10 月 1 日; (4) 《建设项目环境保护管理条例》(国务院第 682 号令), 2017 年 10 月 1 日实施; (5) 《建设项目环境影响评价分类管理名录(2021 年版)》(生态环境部第 16 号令); (6) 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); (7) 《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), 2019 年 3 月 2 日修订; (8) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(2020 年 12 月 25 日生态环境部第 20 号令修改); (9) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(原环境保护部第 18 号令), 2011 年 5 月 1 日; (10) 《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), 2017 年 12 月 5 日; (11) 《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); (12) 《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》(2017 年 9 月 14 日, 沪环保评[2017]323 号); (13) 《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); (14) 《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);
------	--

技术标准	(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002); (2) 《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020); (3) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020); (4) 《放射工作人员健康要求及监护规范》(GBZ 98-2020); (5) 《医用 X 射线诊断设备质量控制检测规范》(WS 76-2020); (6) 《医用 X 射线诊断机房卫生防护与检测评价规范》(DB31/T 462-2020); (7) 《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); (8) 《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); (9) 《医用电子直线加速器质量控制检测规范》(WS 674-2020); (10) 《辐射环境保护管理导则核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016); (11) 《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021); (12) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ 128-2019); (13) 《医用电子加速器治疗机房卫生防护与检测评价规范》(DB31/T 527-2020); (14) 《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); (15) 《环境空气环境质量标准》(GB3095-2012) 及其修改单; (16) 《大气污染物综合排放标准》(DB31/933-2015)。
其他	(1) 复旦大学附属妇产科医院提供的平面布置图、辐射防护方案等技术资料; (2) 《辐射防护手册 (第一分册)》(李德平主编); (3) 《辐射防护手册 (第三分册)》(李德平主编)。

表 7 保护目标与评价标准

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),“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”。

本项目医用电子直线加速器、模拟定位 CT,取所在机房屏蔽体外部周围 50m 作为评价范围,具体覆盖范围详见附图 2。

保护目标

本项目 50m 评价范围内主要包括本项目所在建筑(科教综合楼)、门诊楼、杭州路 87 弄小区、杭州路 107 弄小区等。因此,本项目主要保护目标包括本项目的放射工作人员、其他医护人员及周边公众,具体见表 7-1。

表 7-1 本项目周边环境及保护目标

场所/ 机房	方位	周边环境	保护对象	距离/m	常驻人员 数量	照射类型	照射剂 量约束 值 mSv/ 年
医用 电子 直线 加速器 01 机房 周围	东	水冷机房	工作人员	紧邻	/	职业照射	5
		控制室	工作人员	紧邻	2-4	职业照射	5
	南	加速器机房 2	工作人员	紧邻	2~4	职业照射	5
	上	地面	公众	紧邻	/	公众照射	0.1
医用 电子 直线 加速器 02 机房 周围	东	水冷机房	工作人员	紧邻	/	职业照射	5
		控制室	工作人员	紧邻	2-4	职业照射	5
	北	加速器机房 1	工作人员	紧邻	2~4	职业照射	5
	上	地面	公众	紧邻	/	公众照射	0.1
模拟 定位 CT 机 房周 围	东	室内走道	公众	紧邻	/	公众照射	0.1
	南	室内走道	公众	紧邻	/	公众照射	0.1
	西	控制室	工作人员	紧邻	1-2	职业照射	5
	上	消控中心、空调机房	公众	紧邻	/	公众照射	0.1
	下	雨水处理机房、雨水回用清水池泵房、气体灭火机房	公众	紧邻	/	公众照射	0.1
项目 所在	地下 二层	地下车库、水泵房、污水处理间和衰变池	公众	紧邻	/	公众照射	0.1

建筑内	地下一层其他区域	放射影像室、核磁共振室、核医学科	工作人员、公众	紧邻~4	20~50	公众照射	0.1
	地上1~11层	学术交流中心、办公和会议、考试中心、实验室、动物房等	工作人员、公众	紧邻-40	200~300	公众照射	0.1
项目所在建筑周围	东	医院东门	公众	45	/	公众照射	0.1
	南	杭州路 107 弄、惠仁养老院	公众	30~50	200~400	公众照射	0.1
	西	空地、杭州路 87 弄	公众	25	200-300	公众照射	0.1
	北	门诊楼	公众	40	100-200	公众照射	0.1
注：医用电子直线加速器 01 机房西、北、下方向为土层；医用电子直线加速器 02 机房南、西、下方向为土层；模拟定位 CT 机房北方向为土层。							

评价标准

1. 剂量限值及剂量约束值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的规定，本项目放射工作人员和公众（包括本项目的非放射工作人员）的年剂量限值以及年剂量约束值见下表 7-2。

7-2 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	公众有效照射剂量
剂量限值	20mSv/年	1mSv/年
剂量约束值	5mSv/年	0.1mSv/年

2. 辐射分区

本项目放射工作场所控制区和监督区的划分遵从以下规定：

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的相关规定，划定控制区和监督区。

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）第 5.2.1 的规定：

“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。

第 5.2.2 的规定，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. 剂量率要求

《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020) 6.3.1 节规定:

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 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 , 见下式:

$$H_c = H_e / (t \times U \times T)$$

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

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剂量率参考控制水平 $H_{c,\max}$:

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 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 H_c 。

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021):

6.1.4 剂量控制应符合以下要求:

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

1) 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子(可依照附录 A

选取)，由以下周剂量参考控制水平（ $\dot{H}_c$ ）求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}(\mu\text{Sv/h})$ ：

机房外辐射工作人员： $\dot{H}_c \leq 100 \mu\text{Sv/周}$ ；

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

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

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

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

《医用 X 射线诊断机房卫生防护与检测评价规范》（DB 31/T 462-2020）4.2 有如下规定。

b)：具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，测量时，X 射线设备连续出束时间应大于仪器响应时间；CT 机、乳腺摄影、乳腺 CBCT、口内牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅摄影、口腔 CBCT 和全身骨密度仪机房外的周围剂量当量率应不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ；具有短时、高剂量率曝光的摄影程序（如 DR、CR、屏片摄影）机房外的周围剂量当量率应不大于 $25 \mu\text{Sv/h}$ 。

《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中包含以下规定：

6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

a)：具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ；

b)：CT 机、乳腺摄影、乳腺 CBCT、口内牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅摄影、口腔 CBCT 和全身骨密度仪机房外的周围剂量当量率应不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ；

综合上述标准的规定，本项目直线加速器机房外辐射剂量率按照“各侧墙体表面 0.3m 处及上下层关注点处小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ”的规定执行，本项目模拟定位 CT 机房的辐射剂量率参照“机房外的周围剂量当量率应不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ”的规定执行。同时确保人员受照剂量满足剂量约束值要求。

4. 医用电子直线加速器感生放射性

《医用电子直线加速器质量控制检测规范》（WS674-2020）4.5.2 规定：

在规定的最大吸收剂量率下，进行 4Gy 照射，以间歇 10min 的方式连续运行 4h 后，在最后一次照射终止后的 10s 开始测量，测得感生放射性的周围剂量当量应满足

下列要求：

a) 累积测量 5min，在离外壳表面 5cm，任何容易接近处 $\leq 10\mu\text{Sv}$ ，离外壳表面 1m 处 $\leq 1\mu\text{Sv}$ ；

b) 在 $\leq 3\text{min}$ 的时间内，测得感生放射性的周围剂量当量率在离外壳表面 5cm 任何容易接近处 $\leq 200\mu\text{Sv/h}$ ，离外壳表面 1m 处 $\leq 20\mu\text{Sv/h}$ 。

5.X 射线设备机房使用面积、单边长度的规定

《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中对 X 射线设备机房（照射室）使用面积、单边长度做出了规定：

表 7-3 X 射线设备机房（照射室）使用面积、单边长度规定

机房类型	机房内最小有效使用面积 m^2	机房内最小单边长度 m
CT 机（不含头颅移动 CT）	30	4.5

《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：

5.2.1 新建机房实际使用面积不小于 38m^2 （不包括迷路面积），机房内混凝土顶板下净层高宜不低于 3.5m，并且机房尺寸不小于加速器厂商推荐的最小尺寸。

6.射线装置及射线机房防护设施性能规定

《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中对 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度做出了规定：

表 7-4 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度规定

机房类型	有用线束铅当量 mm	非有用线束铅当量 mm
CT 模拟定位机房	2.5	2.5

7.环境质量标准

根据《上海市环境空气质量功能区划（2011 年修订版）》，项目所属区域属于大气环境质量二类功能区，执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中的二级标准，本项目 O_3 、 NO_2 环境质量标准见表 7-5。

表 7-5 环境空气质量标准

污染物	浓度限值 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			标准来源
	1h 平均	24h 平均	年平均	
O_3	200	160（日最大 8h 平均）	/	《环境空气质量标准》 （GB3095-2012）二级标准
NO_2	200	80	40	

8.污染物排放标准

《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）中

规定：工作场所空气中臭氧最高容许浓度为 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ ，二氧化氮最高允许浓度为 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 。

《大气污染物综合排放标准》（DB31/933-2015）中规定：氮氧化物（其它源）最高允许排放浓度 $200\text{mg}/\text{m}^3$ ，最高允许排放速率 $0.47\text{kg}/\text{h}$ 。

9.机房通风要求

根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）6.2.2 节：

“放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；通风换气次数应不小于 $4\text{次}/\text{h}$ 。”

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）8.4.1 节：

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

10.辐射安全防护要求

根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）6.4 节，《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）6.2 节，放射治疗机房应具备以下安全装置和警示标志：

“6.4.2 联锁装置

放射治疗设备都应安装门机联锁装置或设施，治疗机房应有从室内开启治疗机房门的装置，防护门应有防挤压功能。

6.4.3 标志

医疗机构应当对下列放射治疗设备和场所设置醒目的警告标志：

- a) 放射治疗工作场所的入口处，设有电离辐射警告标志；
- b) 放射治疗工作场所应在控制区进出口及其他适当位置，设有电离辐射警告标志和工作状态指示灯。

6.4.4 急停开关

6.4.4.1 放射治疗设备控制台上应设置急停开关，除移动加速器机房外，放射治疗机房内设置的急停开关应能使机房内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。通常应在机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧和控制台等处设置。

6.4.6 视频监控、对讲交流系统

控制室应设有在实施治疗过程中观察患者状态、治疗床和迷路区域情况的视频装

置；还应设置对讲交流系统，以便操作者和患者之间进行双向交流。”

根据《医用电子加速器治疗机房卫生防护与检测评价规范》（DB31/T 527-2020）：

5.3.1.6 当直接与机房相邻的邻室的人员居留因子 $\leq 1/8$ 时，屏蔽核算应考虑在距机房更远处，与机房不直接相邻的居留因子较大场所的公众。

5.4.2 防护门宽于门洞的部分应不小于门与墙间隙的 20 倍，并且防护门两侧与墙面的重合均应不小于 15cm。

5.5 机房辐射安全

5.5.1 机房和控制室之间安装监视和对讲设备。

5.5.2 防护门与加速器联锁。

5.5.3 机房内和控制台均安装能紧急终止照射的应急按钮，机房内宜配置应急灯。

5.5.4 机房入口处设置工作状态指示灯和电离辐射警告标志及在线辐射监测报警装置，工作状态指示灯与加速器联锁。

5.5.5 机房内通风换气次数达到每小时 3 次~4 次。

5.5.6 防护门具备关闭防碰撞装置。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

1. 监测点位

本项目位于上海市杨浦区沈阳路 128 号，项目所在地理位置见附图 1。

本评价辐射本底现状监测点位分别在医用直线加速器机房所在位置地面投影的四周以及加速器机房周边 50m 范围内的敏感点进行布点，模拟定位 CT 机房所在位置地面投影进行布点，并在院区入口布设对照点。

2. 监测基本情况

本项目监测仪器、监测因子等基本情况如下表。

表 8-1 监测仪器、监测因子等基本情况一览表

监测单位	中辐评检测认证有限公司（CMA 资质号：160912341376）
报告编号	2022ZFP01025FH13
检测时间	2022 年 06 月 08 日
检测依据	《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021） 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）
监测因子	周围剂量当量率
检测仪器	6150AD-b/H 辐射防护用 X、 γ 辐射剂量当量率仪（量程：50nSv/h~99.99 μ Sv/h；检测设备校准因子 0.91；能量响应范围：15keV~3MeV；检定日期：2022.01.29）

注：本项目最低检出值大于本项目最低检出限，因此检测仪器可以满足本项目检测需求。

3. 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，并用检验源对仪器进行校验。

（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，经过校对、校核，最后由授权的技术总负责人签发。

4. 监测结果

监测结果见表 8-2。

表 8-2 环境 γ 辐射剂量率辐射本底监测结果

序号	监测点位	环境 γ 辐射剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)
		平均值
0	医技楼北侧门诊区出入口 (空白对照点)	0.11
1	杭州路 87 弄小区东北角	0.11
2	杭州路 107 弄小区和惠仁养老院西北角	0.11
3	模拟定位 CT 机房地面投影中心位置	0.12
4	直线加速器机房 1 水冷机房地面投影中心位置	0.12
5	直线加速器机房 1 控制室地面投影中心位置	0.11
6	直线加速器机房 2 控制室地面投影中心位置	0.11
7	直线加速器机房 2 水冷机房地面投影中心位置	0.11
8	直线加速器机房 1 地面投影北侧	0.11
9	直线加速器机房 1 地面投影中心位置	0.11
10	直线加速器机房 2 地面投影中心位置	0.11
11	直线加速器机房 2 地面投影南侧	0.11
12	直线加速器机房 1 地面投影西侧	0.11
13	直线加速器机房 2 地面投影西侧	0.11

注：以上数据未扣除本底

5. 仪器适用性分析

本项目本底监测所用仪器 6150AD-b/H 辐射防护用 X、 γ 辐射剂量当量率仪的量程为 $50\text{nSv/h} \sim 99.99\text{Sv/h}$ ，根据表 8-2 的检测结果，本项目本底辐射水平范围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。

6. 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(原野)值为 $0.0342 \sim 0.0795 \mu\text{Gy/h}$ ；上海市参考本底范围(道路)值为 $0.0242 \sim 0.110 \mu\text{Gy/h}$ ；本次监测本底辐射剂量当量率为 $0.11 \sim 0.12 \mu\text{Gy/h}$ 。

根据监测结果，本项目所在地环境辐射水平区域环境本底水平，当地辐射水平无异常。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

1.工作原理

1)医用电子直线加速器原理

医用电子直线加速器为远距离放射治疗机，它能产生高能 X 射线和电子线。电子枪发射电子，在由磁控管或速调管为功率源的加速管中加速，电子加速到所需能量，获得高能电子束经过偏转磁铁偏转，直接引出进行电子束治疗，或射到金属靶上产生轭致辐射（X 射线），经准直得到 X 射线进行治疗。高能 X 射线具有高穿透性、较低的皮肤剂量、较高的射线均匀度等特点，适用于治疗深部肿瘤，电子线穿透能力低，适用于治疗浅表肿瘤。

典型医用电子直线加速器如下图所示：

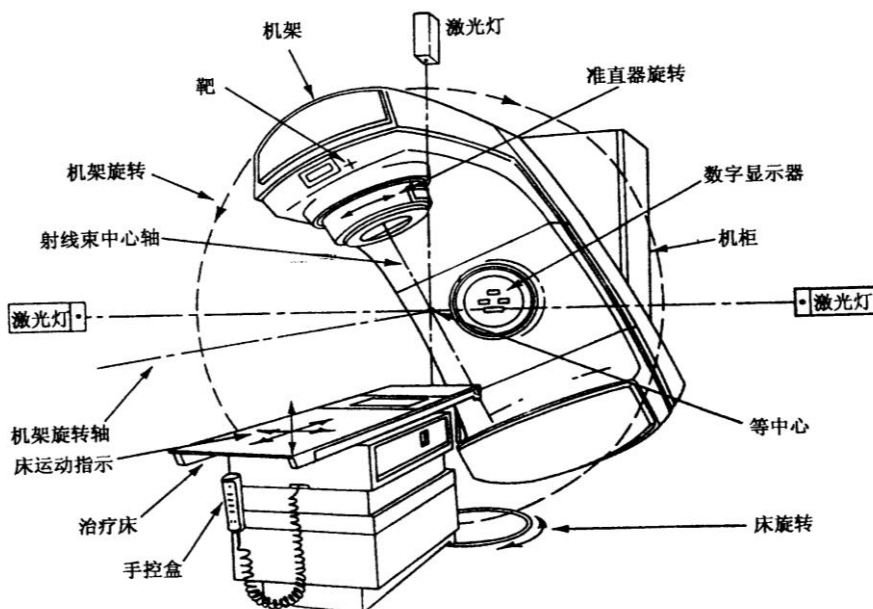


图 9-1 医用电子直线加速器示意图

医用电子直线加速器通常是以磁控管为微波功率源的直线加速器，它的结构单元为：加速管、电子枪、微波系统、调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统和控制保护系统。电子枪产生的电子由微波加速波导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子束由电子窗口射出，通过 2cm 左右的空气射到金属钨靶，产生大量高能 X 射线，经初级准直器和均整器形成剂量均匀的 X 射线束，再通过监测电离室和次级准直器限束，最后到达患者病灶实现治疗目的。医用电子直线加速器内部结构如下图所示。

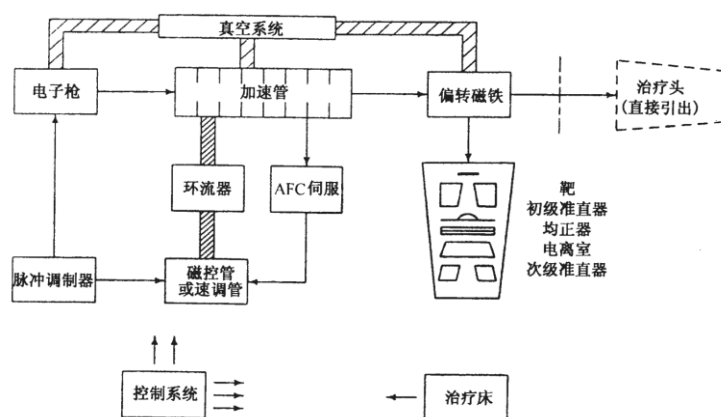


图 9-2 典型医用电子直线加速器内部结构图

2) 模拟定位 CT 工作原理

本项目射线装置由高压电源和 X 射线管组成，其 X 射线管由阴极、阳极和聚焦器组成。利用高压电源加热阴极灯丝使之发射电子，电子被加速后打在阳极金属靶上，由于轫致辐射效应而产生 X 射线。

2.工作流程

本项目医用电子直线加速器的治疗流程如下图所示：

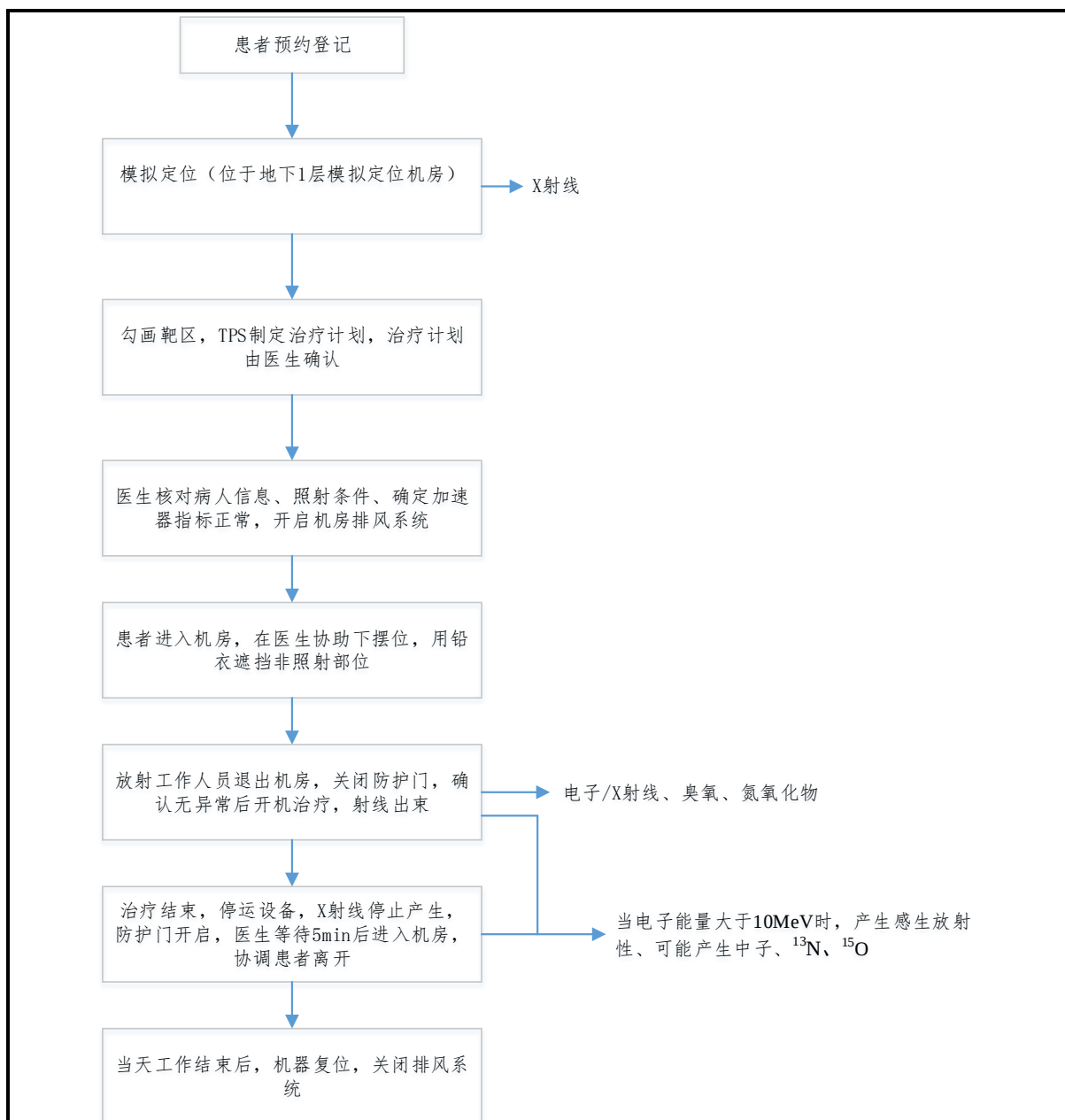


图 9-3 医用电子直线加速器治疗流程图

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、照射的质量保证。

治疗计划：患者在接受放射治疗之前，应有执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，包括体模测量或在体测量，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》（WS 674-2020），因治疗计划及治疗质量保证属职业卫生评价范畴，本环评不对其作深入评价。

本项目直线加速器指定治疗计划所需的模拟定位在模拟定位 CT 机房内进行，定位操作类似 X 射线影像诊断，放射工作人员机房外控制室操作。（定位 CT 属于射线装置，且由模拟定位机房配备的放射工作人员进行操作，本项目仅利用模拟定位诊断后提供的影像数据）。

污染源项描述

1. 主要污染因子

1) 直线加速器主要污染因子

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，当加速器能量大于 10MV 时，高能 X 射线与加速器构件（靶材料等）和机房内物体发生光核反应（ γ , n）产生中子辐射和感生放射性。本项目最大输出的是 15MV 的 X 射线，故在该能量下运行时，需考虑感生放射性和中子辐射的危害影响，对于放射工作人员摆位期间身体受照剂量率，本项目保守按照《医用电子直线加速器质量控制检测规范》（WS 674-2020）中 4.5.2 相关数据：“出束停止后 3min，距外壳 1m 处固定点的周围剂量当量率最大值为 20 μ Sv/h”考虑。

本项目加速器常用三个工作档位，分别为 6MV-1400cGy/min、10MV-2400cGy/min、15MV-600cGy/min 档，本评价下文保守按照三个档位分别进行计算。

本项目加速器机头 X 射线泄漏辐射比率为 0.1%；等中心处的最大治疗野面积为 40cm $\times$ 40cm；主束方向为南、北、顶、底。

本项目每台加速器平均每天治疗工作量为 50 人/d，共 2 台加速器，一年按 250 天计算，年诊疗病人 25000 人/年。开展常规治疗过程中，每个病人平均出束时间约 180s，在调强治疗，每个病人累计出束时间为常规治疗的 5 倍，根据实际临床使用情况，加速器大部分使用调强治疗，本评价保守按全部调强治疗考虑。

2) 模拟定位 CT 主要污染因子

本项目模拟定位 CT 射线装置在使用过程中用于病灶模拟定位作业会产生 X 射线。

X 射线照射人体时，X 射线的致电离作用将会对人体造成损伤。若对射线装置产生的 X 射线没有采取必要的防护措施或防护不当的话，将对射线装置使用场所周围环境造成电离辐射污染，并对周围的摄片人员、普通员工及公众等造成健康危害。

2. “三废”产生情况

(1) 废气

医用直线加速器运行过程中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有毒有害气体，其中以臭氧的毒性最大，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。由于氮氧化物的产生量仅约为臭氧的 1/3，当机房达到一定的通风要求并使室内臭氧浓度达到限值以下时，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。

另外加速器在运行能量大于 10MV 的工况下会产生的感生放射性气体核素主要有 ^{13}N 和 ^{15}O ，高能光子与空气通过 (γ, n) 反应产生 ^{13}N 和 ^{15}O ，均为气态放射性核素。根据《辐射防护手册（第一分册）》3.2.3 表 3.6 中的数据，结合王庆敏等人的研究结果中的参数（王庆敏.15MV 医用电子直线加速器感生放射性影响分析，四川环境，第 29 卷第 5 期，2010 年第 10 月），本项目加速器单次运行结束后， ^{13}N 的总活度约为 $3.99\text{E}+08\text{Bq}$ ， ^{15}O 的总活度约为 $1.89\text{E}+07\text{Bq}$ 。直线加速器开机时间短，产生量较低，且放射性核素衰变期均很短仅几十秒至几分钟，产生后会很快衰变完全。

本项目模拟定位 CT 射线装置正常运行期间无放射性废气。

(2) 废水

本项目医用电子直线加速器、模拟定位 CT 射线装置在运行过程中无废水排放。运行期间废水主要来自放射工作人员日常生活用水，本项目新增 10 名人员，按照每人每天生活污水产生量 0.1t 进行计算，预计新增生活污水约 1t/d，经科教综合楼项目新增污水处理系统处理后排放。

加速器在 10MV 以上运行时，加速器冷却水因活化而产生放射性，该冷却水日常情况下不排放，事故或检修状况下按照放射性废液收集贮存，暂存衰变至低于豁免水

平后作为普通废液处理，并做好存档记录。

(3) 固废

放射性固废主要是医用电子直线加速器更换或退役产生的废靶，更换频次约 2~3 年 1 次，每次更换废靶部件的重量为 3~5kg。由厂家专业技术人员拆卸后于加速器机房内专用屏蔽容器内贮存衰变，最终委托资质单位收贮。运行期间新增 10 名放射工作人员产生的生活垃圾，按每名人员垃圾产生量 0.1t/a 考虑，合计产生生活垃圾约 1t/a。

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

1. 工作场所布局

本项目的医用电子直线加速器位于科教综合楼地下 1 层，所在位置东侧为水冷机房和控制室，西、南、北均为土层，顶部为空地，下部为土层；模拟定位 CT 机房位于科教综合楼地下 1 层，所在位置东侧、南侧均为室内走道，西侧为模拟定位 CT 控制室，北侧为土层，顶部为空调机房和消控中心，下部为雨水处理机房、雨水回用清水池泵房、气体灭火机房。

加速器机房所在区域位于地下 1 层西部，加速器 01 机房内面积为 55.80m²(不包括迷路面积)，东西 7.20m，南北 7.75m，净高 3.9m；加速器 02 机房内面积为 55.80m²(不包括迷路面积)，东西 7.20m，南北 7.75m，净高 3.9m。能够满足《医用电子加速器治疗机房放射防护与检测要求》(DB31/T 527-2020) 5.2.1 新建机房实际使用面积不小于 38m²(不包括迷路面积)，机房内混凝土顶板下净层高不低于 3.5m。模拟定位 CT 机房所在区域位于地下 1 层西部，机房内面积为 49.88m²，东西 7.50m，南北 6.65m，能够满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020) 表 2 CT 机房（不含头颅移动 CT）使用面积、单边长度的要求：机房最小有效使用面积 30m²，最小单边长度 4.5m。

科教综合楼为独立建筑，医用直线加速器机房和模拟定位 CT 机房位于科教综合楼地下 1 层西部，周边区域无儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业区域，距离医院住院楼距离较远，周边除了病人、放射工作人员外，不会有其他人员逗留，从布局上看，本项目的机房设置是合适的。

2. 辐射分区

本项目相关区域辐射分区管理具体如下：

1) 医用电子直线加速器

控制区：医用电子直线加速器机房内为控制区，在治疗作业过程中，除病人外，机房内不得停留任何人员；监督区：医用电子直线加速器机房的水冷机房和控制室，上述区域均设为监督区，在治疗作业过程中，仅允许放射工作人员进入；其他区域对人员活动不作限制。

2) 模拟定位 CT 射线装置

当射线装置机房开展模拟定位作业时，辐射分区如下：

(1) 机房内部为控制区，在作业过程中，除病人及放射工作人员外，不允许其他无

关人员进入及停留；

(2) 机房外的控制室为监督区，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。

辐射分区情况见附图 9。

3. 排风系统

本项目医用电子直线加速器机房设置强制排风系统，直线电子加速器 01 机房进风口设置在机房内东北处顶部，排风口设在机房内西南角下部，进风口与排风口位置对角设置，机房排风风机风量为 1000m³/h，机房最大容积约为 220m³，该通风系统在 1h 内可以使机房内换气 4.5 次；直线电子加速器 02 机房进风口设置在机房内东南处顶部，排风口设在机房内西北角下部，采取全送全排的通风方式，进风口与排风口位置对角设置，机房排风风机风量为 1000m³/h，机房最大自由容积为 220m³，该通风系统在 1h 内可以使机房换气 4.5 次。

模拟定位 CT 机房顶棚安装有进风、排风系统，确保机房内通风良好。

4. 屏蔽防护

本项目相关房间屏蔽情况及周边情况见下表。

表 10-1 本项目医用直线加速器机房屏蔽防护情况

房间名称	方位	周边环境描述	屏蔽设计
医用直线加速器 01 机房内东西宽（不含迷道）： 7.20m 南北长： 7.75m 高：3.9m	北（主屏蔽区）	土层	3300mm 混凝土
	北（次屏蔽区）	土层	1700mm 混凝土
	东（次屏蔽区）	水冷机房	1400mm 混凝土
	东（次屏蔽区）	控制室	1200mm 混凝土迷道内墙+1400mm 混凝土外墙
	东（防护门）	室内走道	20mmPb+150mm 含硼石蜡
	南（主屏蔽区）	加速器 02 机房	3050mm 混凝土
	南（次屏蔽区）	加速器 02 机房	1650mm 混凝土
	西（次屏蔽区）	土层	1300mm 混凝土
	顶（主屏蔽区）	空地	3100mm 混凝土
	顶（次屏蔽区）	空地	1700mm 混凝土
	底	土层	1300mm 混凝土
医用直线加速器 02 机房内东西宽（不含迷道）： 7.20m 南北长： 7.75m 高：3.9m	北（主屏蔽区）	加速器 01 机房	3050mm 混凝土
	北（次屏蔽区）	加速器 01 机房	1650mm 混凝土
	东（次屏蔽区）	控制室	1200mm 混凝土迷道内墙+1400mm 混凝土外墙
	东（次屏蔽区）	水冷机房	1400mm 混凝土
	东（防护门）	室内走道	20mmPb+150mm 含硼石蜡
	南（主屏蔽区）	土层	3400mm 混凝土
	南（次屏蔽区）	土层	1700mm 混凝土
	西（次屏蔽区）	土层	1300mm 混凝土
	顶（主屏蔽区）	空地	3100mm 混凝土

	顶（次屏蔽区）	空地	1700mm 混凝土
	底	土层	1300mm 混凝土
注：混凝土密度为 2.35t/m ³ ；铅板密度为 11.3t/m ³ ；含硼石蜡中硼的掺合量为 5%，密度约 0.9t/m ³ 。			
表 10-2 本项目模拟定位 CT 机房屏蔽防护情况			
房间名称	方位	周边环境描述	屏蔽设计（等效铅当量）
模拟定位 CT 机房内 东西宽： 7.50m 南北长： 6.65m 面积： 49.88m ²	东侧（墙体）	室内走道	2mmPb+300mm 混凝土(6.7mm)
	东北侧（墙体）	模具间	2mmPb+300mm 混凝土(6.7mm)
	南侧（机房入口）	室内走道	门及门窗：4mm 铅板(4mm)
	南侧（墙体）	室内走道	2mmPb+300mm 混凝土(6.7mm)
	西侧（墙体）	控制室	2mmPb+300mm 混凝土(6.7mm)
	西侧（机房出口）	控制室	门及门窗：4mm 铅板(4mm)
	西侧（观察窗）	控制室	玻璃窗：4mmPb 窗套：4mmPb
	北侧（墙体）	土层	2mmPb+500mm 混凝土(9.8mm)
	上	消控中心、空调机房	2mmPb+180mm 混凝土(4.8mm)
	下	雨水处理机房、雨水回用清水池泵房、气体灭火机房	2mmPb+150mm 混凝土(4.3mm)
注：混凝土密度为 2.35t/m ³ ；铅板密度为 11.3t/m ³ ；综上，模拟定位 CT 机房能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中有用线束铅当量 2.5mm、非有用线束铅当量 2.5mm 要求。			

5.安全措施

5.1 加速器机房

1) 安全联锁

加速器机房入口处安装防护门，控制台上装有电源钥匙开关，只有当射线装置处于安全状态时，将钥匙就位后防护门才能打开。

加速器设置设备联锁，主要包括门机联锁（只有当防护门关闭，设备才能启动出束；反之，如果照射过程中防护门被打开，系统将自动停止出束），红外线防撞联锁（红外线感应装置安装在防护门上，当感应到人员经过时，防护门停止继续关闭，以此来避免防护门意外夹人事故）。防护门未完全关闭、防护门意外打开情况下，均停止出束。

加速器设备拟设置双道剂量监测系统（冗余剂量监测组合），当某道剂量监测系统发生故障时，应保障另一道能正常工作；每道剂量监测系统都能独立地终止照射；每道拟设置为达到预置参数时能终止照射；当剂量监测读数变化大于 5%时，能自动终止照射；当电源故障或元件失灵时，预选参数和剂量读数可以保留至少 20 分钟。

控制台拟配置带有时间显示的照射控制计时器，当照射中断或终止时，可保留计时器读数。

安全联锁系统一旦被触发,将需要人工就地进行复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动。

此外在安装调试及维修情况下,任何联锁旁路都需通过建设单位辐射安全管理机构的批准与见证,工作完成后将及时进行联锁恢复及功能测试。

2) 警示标志和指示灯

放射治疗工作场所入口处设置电离辐射警告标志,贮废靶容器外表面设置电离辐射标志和中文警示说明。控制区进出口及其他适当位置设电离辐射警告标志和工作状态指示灯。

3) 急停按钮

在放射治疗设备的控制台、迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁等关键部位设置急停按钮;急停按钮应有醒目标识及文字显示能够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。

4) 紧急开门按钮

在加速器机房防护门内侧醒目位置安装有紧急开门装置,一旦出现人员被误锁在加速器机房内,可以通过紧急开门按钮迅速打开屏蔽门。

5) 监视系统

在加速器机房、控制室、机房入口装有数量合适的摄像机,相应的监视器装在系统控制室操作台上,以便观察机房周围情况。

6) 语音对讲系统

在加速器机房内及控制室安装对讲系统,患者可通过对讲系统实现机房内与控制室的交流。

7) 剂量率监测报警

在加速器机房迷道内、机房入口防护门内设置了固定式辐射剂量率监测装置,显示及报警系统位于控制室,可对剂量率实时查看,超过设定值时可发出警报。

8) 安全联锁复位

安全联锁一旦被触发后,需通过人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动。

9) 防护门

做好防护门缝隙处屏蔽防护,本项目防护门两侧与墙面的搭接宽度不小于 15cm,

且安装时保证防护门宽于门洞部分不小于门与墙缝隙的 20 倍。

10) 穿线管通风管穿墙要求

本项目医用电子直线加速器穿墙线管或通风管均采用 45° 斜穿、“U”型或“Z”型穿墙线管，确保屏蔽防护能够满足相关标准要求。穿墙管详图详见附图 7。

11) 人员管理要求

治疗期间，将有两名及以上人员协调操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度；加速器试用、调试、检修期间，控制室将有放射工作人员值守。

12) 其他要求

医院需配备 X/γ 辐射剂量巡测仪、中子检测仪用于本项目机房的自行监测。治疗室安装应急照明装置，设火灾自动报警装置等。

加速器产生的废靶，贮存于加速器机房的专用屏蔽容器中贮存衰变，并对专用屏蔽容器进行剂量率检测，张贴电离辐射警告标志及警示说明，最终委托资质单位收贮。

本项目医用电子直线加速器机房安全措施设置能够满足《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020) 和《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021) 的要求。另外，由于医用电子直线加速器在不小于 10MV 工况下运行时将产生感生放射性，因此放射工作人员应注意对感生放射性的防护，在治疗结束后间隔一段时间后再进入机房（一般间隔时间不小于 5min），进入治疗室时应佩戴铅衣、铅帽、铅围脖等防护用品，尽可能缩短进入治疗室的时间，减小感生放射性的影响。

5.2 模拟定位 CT 机房

(1) 本项目模拟定位 CT 机房采取实体屏蔽措施，满足 GBZ130-2020 标准相关要求。

(2) 辐射工作场所实行控制区和监督区分区管理，机房出入口内的所有区域为辐射控制区，控制室为辐射监督区。

(3) 控制室设出束控制钥匙。

(4) 机房和控制室之间设观察窗，并配置对讲系统。

(5) 机房入口电动平移防护门设置红外感应防夹装置，机房入口处醒目位置设置电离辐射警告标志。

(6) 机房入口推开门设置自动闭门装置，入口处醒目位置设置电离辐射警告标志。

(7) 拟在受检者门及与机房连通的通道门上方设置醒目的工作状态指示灯，并与

机房门有效联锁，确保门开灯灭、门关灯亮的联动效应。工作状态指示灯箱上应设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句。

(8) 设有空调通风系统，能防止机房空气中臭氧和氮氧化物等有害气体累积。

(9) 机房配备火灾报警系统，配有灭火用品。

(10) 辐射工作人员拟佩带个人剂量计，定期进行个人剂量监测，建立个人剂量档案；并定期进行职业健康体检，建立个人职业健康档案。

(11) 制定事故应急预案，尽可能地降低事故情况下对环境的污染。

(12) 医院需配备 X/γ 辐射剂量巡测仪用于本项目机房的自行监测。

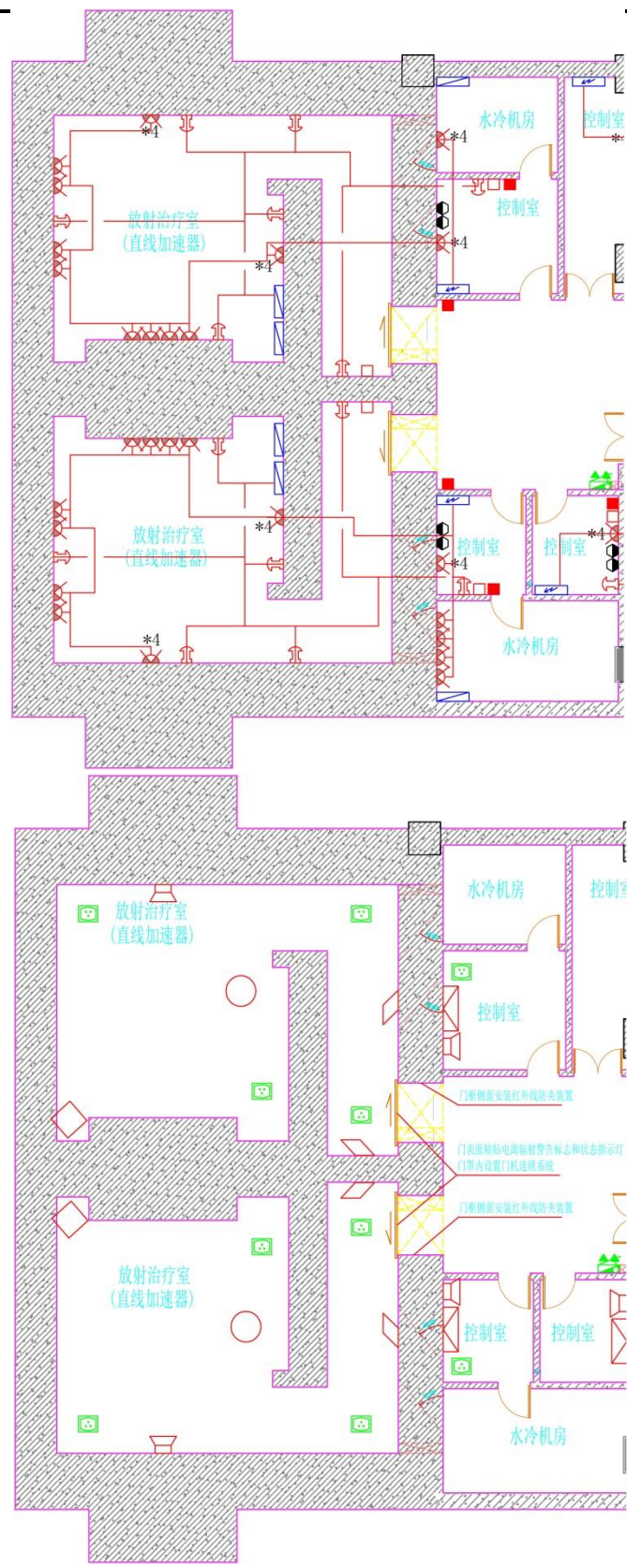
5.3 其他要求

(1) 医院应每年委托有资质单位对辐射工作场所及其周围环境进行 1 次监测，监测数据记录存档。

(2) 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。

(3) 所有从事放射性工作的人员配备个人剂量计，并委托有资质单位进行个人剂量监测（不超过三个月）。

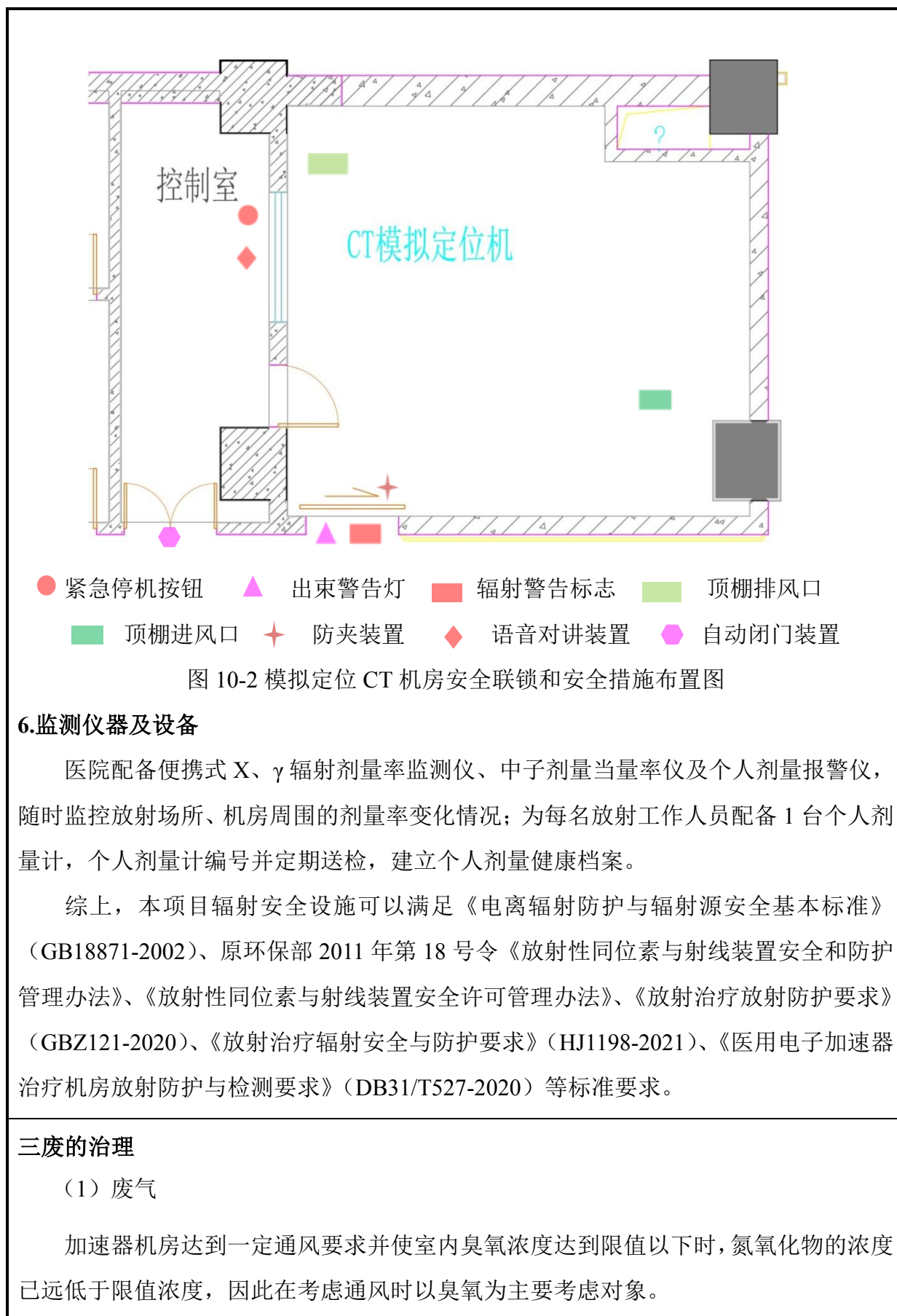
(4) 医院制定有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护措施、台帐管理制度、培训计划和监测方案。



图例:

	强电插座
	4个强电插座
	网络插座
	照明配电箱
	动力配电箱
	急停开关
	开门按钮
	关门按钮
	摄像机
	监视器
	固定式剂量探测仪
	语音对讲系统
	进风口
	出风口

图 10-1 医用直线加速器机房安全联锁和安全措施布置图



本项目加速器机房设计的通风速率，机房 1 为 $1000\text{m}^3/\text{h}$ ，机房 2 为 $1000\text{m}^3/\text{h}$ ，加速器机房 1 最大自由容积为 220m^3 ，加速器机房 2 最大自由容积为 220m^3 。按照该设计，该通风系统在 1h 内可以使机房内换气大于 4 次，机房 1 进风口设在机房内东北角顶部，排风口设在机房内西南角下部，机房 2 进风口设在机房内东南角顶部，排风口设在机房内西北角下部。采取全送全排的通风方式，进风口与排风口位置对角设置，这样上送下出以及对角线送排风形式形成了更好的气流组织，避免送排风的短路。机房排气一并收集后由排风机送至楼顶进行排放，远离人群。

加速器机房符合《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）和《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中对治疗室不小于 4 次/h 换气次数以及对角设置的要求以及《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中“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，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。

本项目模拟定位 CT 机房中设置有通风系统，射线装置正常运行期间能够确保机房内通风良好。

（2）废水

本项目医用电子直线加速器、模拟定位 CT 机房在运行过程中无废水排放。本项目增加定员 10 名，预计新增生活污水约 1t/d ，污水将纳入本项目新建污水处理站处理后纳入市政污水管网。

加速器在 10MV 以上运行时，加速器冷却水因活化而产生放射性，该冷却水日常情况下不排放，事故或检修状况下按照放射性废液收集贮存，暂存衰变至低于豁免水平后作为普通废液处理，并做好存档记录。

（3）固体废弃物

加速器产生的废靶，贮存于加速器机房的专用屏蔽容器中贮存衰变，最终委托资质单位收贮。

对于放射性固废将建立放射性固态废物台账，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，并做好存档记录。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响 本项目位于医院拟建的科教综合楼地下 1 层西部，在科教综合楼完成施工的前提下，本项目建设阶段主要为机房装修及设备安装等，无大规模土建施工，装修期间产生的环境影响包括：扬尘污染、施工噪声、建筑及生活垃圾等。 建筑材料用水泥储存在散装水泥罐内，并在出口处设置防尘袋；建筑材料使用过程中，应加有防尘措施，以防止施工过程中产生大量扬尘向四周扩散。施工过程中产生施工人员生活污水排入市政管网。施工作业时间应合理安排，使固定和移动噪声源影响尽量限制在施工区域内，限制夜间进行有强噪声污染的施工作业。施工过程建筑固体废物及施工人员产生的生活垃圾应分别收集，及时清运，运输车要采取防止散落和尘土飞扬的措施。建筑废物和生活垃圾不得随意丢弃。 本项目施工主要是室内施工，施工期较短，采取上述措施后，施工期对周边环境影响很小。
运行阶段对环境的影响 1.场所周边辐射剂量率水平分析 1) 医用电子直线加速器 本项目医用电子直线加速器位于科教综合楼地下 1 层的医用电子直线加速器机房。本项目直线加速器有用线束方向为南、北、上、下，机房屏蔽方案见表 10-1。 根据机房平面布置图及机房周边环境概况，分别计算直线加速器有用线束主屏蔽区、主屏蔽区相连的次屏蔽区、迷路入口防护门外的剂量率水平。本次评价按照医用电子直线加速器 6MV-1400cGy/min、10MV-2400cGy/min、15MV-600cGy/min 进行计算。 本项目医用电子直线加速器机房的计算关注点见图 11-1~11-3，各关注点位置描述及与中心点位置关系等信息见表 11-1。

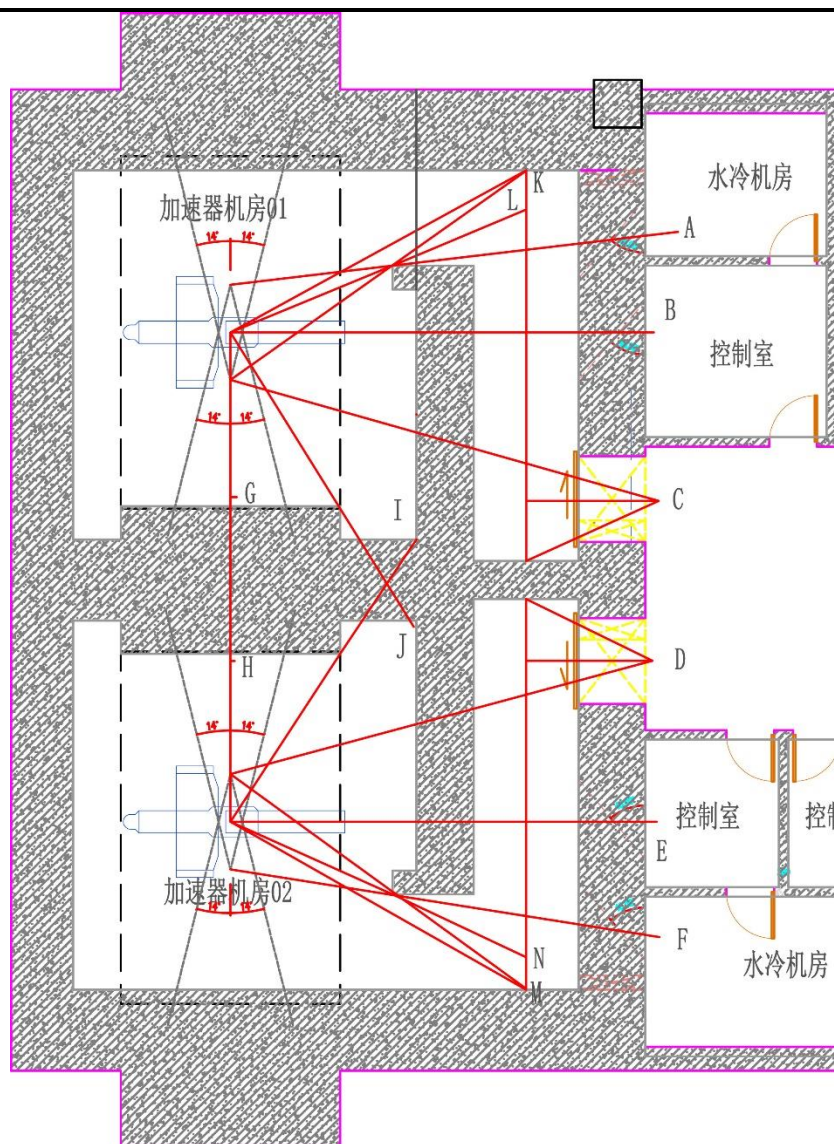


图 11-1 医用电子直线加速器机房四周关注点示意图

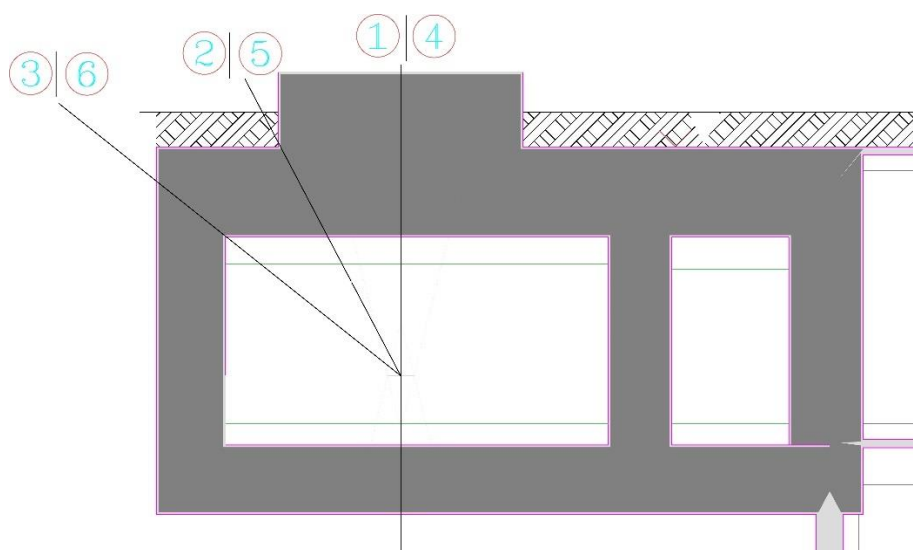


图 11-2 医用电子直线加速器机房顶部及室外临近关注点示意图

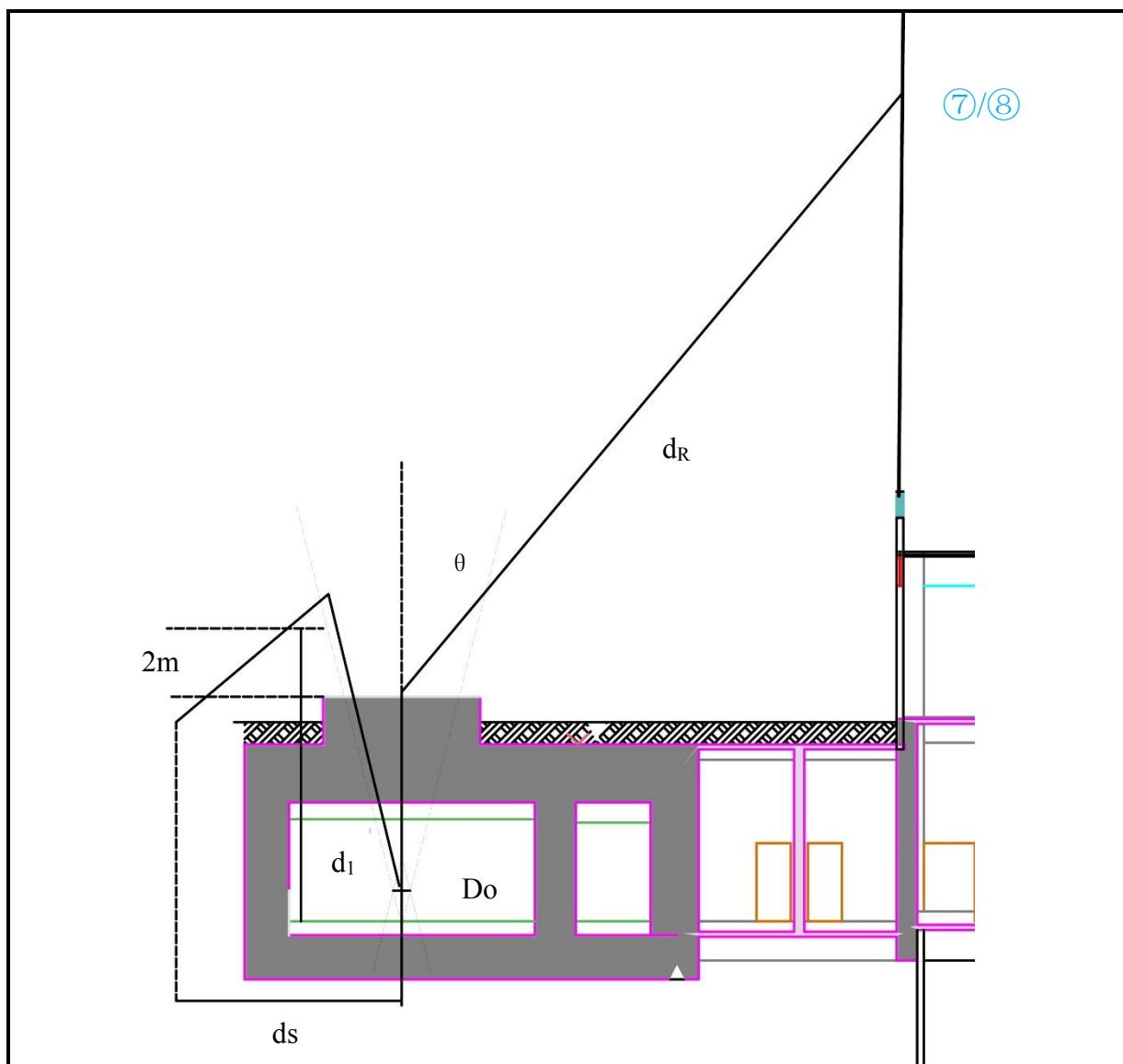


图 11-3 医用电子直线加速器机房天空反散射及屋顶侧散射关注点示意图

表11-1 计算关注点相关参数

机房	计算关注点	方位	环境描述	屏蔽情况
医用电子直线加速器机房 1	A	东（次屏蔽区）	水冷机房	1400mm 混凝土
	B	东（次屏蔽区）	控制室	1200mm 混凝土迷道内墙 +1400mm 混凝土外墙
	C	东（防护门）	室内走道	20mmPb+150mm 含硼石蜡
	H	南（主屏蔽区）	加速器 02 机房	3050mm 混凝土
	J	南（次屏蔽区）	加速器 02 机房	1650mm 混凝土
	①	顶（主屏蔽区）	空地	3100mm 混凝土
	②	顶（次屏蔽区）	空地	1700mm 混凝土
	③	侧顶（次屏蔽区）	户外走道	1700mm 混凝土
医用电子直线加速器机房 2	⑦	上部侧面	科教综合楼	1700mm 混凝土
	D	东（防护门）	室内走道	20mmPb+150mm 含硼石蜡
	E	东（次屏蔽区）	控制室	1200mm 混凝土迷道内墙 +1400mm 混凝土外墙

F	东（次屏蔽区）	水冷机房	1400mm 混凝土
G	北（主屏蔽区）	加速器 01 机房	3050mm 混凝土
I	北（次屏蔽区）	加速器 01 机房	1650mm 混凝土
④	顶（主屏蔽区）	空地	3100mm 混凝土
⑤	顶（次屏蔽区）	空地	1700mm 混凝土
⑥	侧顶（次屏蔽区）	户外走道	1700mm 混凝土
⑧	上部侧面	科教综合楼	1700mm 混凝土

注：加速器 01、02 机房西侧及底部、加速器 01 机房北侧、加速器 02 机房南侧均为土层，因此不参与计算。

本评价根据《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）有用线束主屏蔽区（H、①、G、④）

有用线束主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：

$$H = \frac{H_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad (11-1)$$

H：关注点剂量率，μSv/h；

H₀：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，μSv·m²/h。

取 1400cGy/min×1m²=8.4E+08μSv·m²/h，2400cGy/min×1m²=1.44E+09μSv·m²/h，600cGy/min×1m²=3.6E+08μSv·m²/h（下同）；

R：辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

f：对有用束为 1，对泄漏辐射为泄漏辐射比率，无量纲；

B：辐射屏蔽透射因子，无量纲。 $B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL}$ 。其中，X_e：有效屏蔽厚度，cm（ $X_e = X \cdot \sec \theta$ ，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；TVL₁：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；

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）：对于 6MV 的 X 射线，主射线的 TVL（混凝土）=33cm，TVL₁（混凝土）=37cm；对于 10MV 的 X 射线，主射线的 TVL（混凝土）=37cm，TVL₁（混凝土）=41cm；对于 15MV 的 X 射线，主射线的 TVL（混凝土）=41cm，TVL₁（混凝土）=44cm。

计算结果如下表所示：

表11-2 有用线束主屏蔽区剂量率

机房	方位	关注点位	屏蔽情况	距离 R (m)	斜射角 θ (°)	剂量率 H ($\mu\text{Sv/h}$)		
						6MV-1400cGy/min	10MV-2400cGy/min	15MV-600cGy/min
医用电子直线加速器机房 1	南	H	3050mm 混凝土	8.05	0	9.81E-03	1.63E-01	2.39E-01
	顶	①	3100mm 混凝土	7.00	0	9.15E-03	1.58E-01	2.39E-01
医用电子直线加速器机房 2	北	G	3050mm 混凝土	7.90	0	1.02E-02	1.69E-01	2.48E-01
	顶	④	3100mm 混凝土	7.00	0	9.15E-03	1.58E-01	2.39E-01

(2) 与主屏蔽相连的次屏蔽区 (J、②、③、I、⑤、⑥)

计算与主屏蔽区相连的次屏蔽区的剂量率时，应考虑有用线束水平照射或向顶照射时人体的散射辐射和医用电子直线加速器泄漏辐射的复合作用。

对于泄漏辐射，按公式 (11-1) 的计算方法，取泄漏辐射比率 $f=0.1\%$ 。

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)，对于 6MV 的 X 射线，漏射线的 TVL (混凝土) = 29cm，TVL₁ (混凝土) = 34cm；对于 10MV 的 X 射线，漏射线的 TVL (混凝土) = 31cm，TVL₁ (混凝土) = 35cm；对于 15MV 的 X 射线，漏射线的 TVL (混凝土) = 33cm，TVL₁ (混凝土) = 36cm。

计算结果如下表所示：

表11-3 与主屏蔽区相连的次屏蔽区泄漏辐射剂量率

机房	方位	关注点位	屏蔽情况	距离 R (m)	斜射角 θ (°)	剂量率 H ($\mu\text{Sv/h}$)		
						6MV-1400cGy/min	10MV-2400cGy/min	15MV-600cGy/min
医用电子直线加速器机房 1	南	J	1650mm 混凝土	8.40	30	4.78E-03	1.97E-02	1.06E-02
	顶	②	1700mm 混凝土	6.90	30	4.48E-03	1.90E-02	1.05E-02
	顶	③	1700mm 混凝土	9.50	45	7.15E-05	3.80E-04	2.57E-04
医用电子直线	北	I	1650mm 混凝土	8.40	30	4.78E-03	1.97E-02	1.06E-02
	顶	⑤	1700mm 混凝土	6.90	30	4.48E-03	1.90E-02	1.05E-02

加速器 机房 2	顶	⑥	1700mm 混凝土	9.50	45	7.15E-05	3.80E-04	2.57E-04
-------------	---	---	------------	------	----	----------	----------	----------

对于病人散射辐射，按照以下公式进行计算：

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

H_p ：人体散射线剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_0 ：医用电子直线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} ：病人 400cm^2 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m 处的剂量比例，又称 400cm^2 面积上的散射因子，无量纲，对于 6MV 的 X 射线，散射角为 30° 时， $\alpha_{ph}=2.77\text{E-}03$ ，散射角为 45° 时， $\alpha_{ph}=1.39\text{E-}03$ ；对于 10MV 的 X 射线，散射角为 30° 时， $\alpha_{ph}=3.18\text{E-}03$ ，散射角为 45° 时， $\alpha_{ph}=1.35\text{E-}03$ ；对于 15MV 的 X 射线， α_{ph} 保守取 10MV 的 X 射线的 α_{ph} 参数。

F：治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 ，取 $40\text{cm} \times 40\text{cm} = 1600\text{cm}^2$ ；

R_s ：病人（位于等中心点）至关注点的距离，m；

B：辐射屏蔽透射因子，计算方法同上；

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），混凝土：对于 6MV 的 X 射线，散射角 30° 时的 $\text{TVL}=\text{TVL}_1=26\text{cm}$ （保守估计），散射角 45° 时的 $\text{TVL}=\text{TVL}_1=23\text{cm}$ （保守估计）；对于 10MV 的 X 射线，散射角 30° 时的 $\text{TVL}=\text{TVL}_1=28\text{cm}$ （保守估计），对于 10MV 的 X 射线，散射角 45° 时的 $\text{TVL}=\text{TVL}_1=25\text{cm}$ （保守估计）；对于 15MV 的 X 射线，散射角 30° 时的 $\text{TVL}=\text{TVL}_1=31\text{cm}$ （保守估计），散射角 45° 时的 $\text{TVL}=\text{TVL}_1=26\text{cm}$ （保守估计）。计算结果如下表所示：

表11-4 与主屏蔽区相连的次屏蔽区病人散射剂量率

机房	方位	关注点位	屏蔽情况	距离 R_s (m)	斜射角 θ ($^\circ$)	剂量率 H ($\mu\text{Sv/h}$)		
						6MV- 1400cGy/ min	10MV- 2400cGy/ min	15MV- 600cGy/min
医用电子 直线 加速器 机房 1	南	J	1650mm 混凝土	7.40	30	8.01E-03	5.26E-02	5.99E-02
	顶	②	1700mm 混凝土	5.90	30	7.56E-03	5.15E-02	6.14E-02
	顶	③	1700mm 混凝土	8.50	45	2.30E-06	2.62E-05	1.54E-05

医用电子直线加速器机房 2	北	I	1650mm 混凝土	7.40	30	8.01E-03	5.26E-02	5.99E-02
	顶	⑤	1700mm 混凝土	5.90	30	7.56E-03	5.15E-02	6.14E-02
	顶	⑥	1700mm 混凝土	8.50	45	2.30E-06	2.62E-05	1.54E-05

表11-5 与主屏蔽区相连的次屏蔽区总辐射剂量率汇总 ($\mu\text{Sv/h}$)

机房	工况	方位	关注点位	屏蔽情况	泄露剂量率	病人散射剂量率	剂量率合计 H
医用电子直线加速器机房 1	6MV-1400cGy/min	南	J	1650mm 混凝土	4.78E-03	8.01E-03	1.28E-02
		顶	②	1700mm 混凝土	4.48E-03	7.56E-03	1.20E-02
		顶	③	1700mm 混凝土	7.15E-05	2.30E-06	7.38E-05
	10MV-2400cGy/min	南	J	1650mm 混凝土	1.97E-02	5.26E-02	7.23E-02
		顶	②	1700mm 混凝土	1.90E-02	5.15E-02	7.05E-02
		顶	③	1700mm 混凝土	3.80E-04	2.62E-05	4.06E-04
	15MV-600cGy/min	南	J	1650mm 混凝土	1.06E-02	5.99E-02	7.05E-02
		顶	②	1700mm 混凝土	1.05E-02	6.14E-02	7.19E-02
		顶	③	1700mm 混凝土	2.57E-04	1.54E-05	2.72E-04
医用电子直线加速器机房 2	6MV-1400cGy/min	北	I	1650mm 混凝土	4.78E-03	8.01E-03	1.28E-02
		顶	⑤	1700mm 混凝土	4.48E-03	7.56E-03	1.20E-02
		顶	⑥	1700mm 混凝土	7.15E-05	2.30E-06	7.38E-05
	10MV-2400cGy/min	北	I	1650mm 混凝土	1.97E-02	5.26E-02	7.23E-02
		顶	⑤	1700mm 混凝土	1.90E-02	5.15E-02	7.05E-02
		顶	⑥	1700mm 混凝土	3.80E-04	2.62E-05	4.06E-04
	15MV-600cGy/min	北	I	1650mm 混凝土	1.06E-02	5.99E-02	7.05E-02
		顶	⑤	1700mm 混凝土	1.05E-02	6.14E-02	7.19E-02
		顶	⑥	1700mm 混凝土	2.57E-04	1.54E-05	2.72E-04

(3) 侧屏蔽区 (A、B、E、F)

侧屏蔽区的剂量率计算考虑泄漏辐射, 计算方法如上文。

计算结果如下:

表11-6 侧屏蔽区辐射剂量率

机房	方位	关注点位	屏蔽情况	距离 R (m)	斜射角 θ (°)	剂量率 H ($\mu\text{Sv/h}$)		
						6MV-1400cGy/min	10MV-2400cGy/min	15MV-600cGy/min
医用电子直线加速器机房 1	东	A	1400mm 混凝土	10.1	10	1.53E-01	4.93E-01	2.14E-01
		B	2600mm 混凝土	10.0	0	1.35E-05	7.95E-05	5.87E-05
医用电子直线加速器机房 2	东	E	2600mm 混凝土	10.0	0	1.35E-05	7.95E-05	5.87E-05
		F	1400mm 混凝土	10.1	10	1.53E-01	4.93E-01	2.14E-01

(4) 迷路入口防护门外 (C、D)

在计算迷路入口处剂量率时, 辐射主要来源于 5 个方面: 漏射线经墙体散射所致

防护门外剂量；病人体表散射经墙体所致防护门外剂量；漏射线直接透射迷路所致防护门外的剂量；有用线束穿过人体至墙体经墙体散射所致防护门外剂量；中子所致防护门外剂量。其中加速器主射线在墙体经三次散射后穿过迷道所致防护门外，其剂量已经很小可忽略不计。因此，本次考虑其他 4 方面的剂量率水平。

①漏射线经墙体散射所致防护门外剂量率

$$H_{LS} = \frac{H_0 L_f \alpha_1 A_1 \alpha_2 A_2}{(d_1 d_2 d_3)^2} B \quad (11-3)$$

式中：

H_{LS} ：漏射线经墙体散射所致防护门外的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_0 ：医用电子直线加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ 。

L_f ：泄漏率，无量纲，取 0.1%；

α_1 ：墙体一次散射的散射因子，无量纲；

A_1 ：墙体一次散射时的散射面积， m^2 ；

α_2 ：墙体二次散射的散射因子，无量纲；

A_2 ：墙体二次散射时的散射面积， m^2 ；

d_1 ：辐射源到墙体一次散射点的距离，m；

d_2 ：一次散射点到二次散射点的距离，m；

d_3 ：二次散射点到计算点的距离，m；

B ：辐射屏蔽透射因子，计算方法同上；

对于 6MV、10MV、15MV 的 X 射线，其泄漏辐射经 1 次散射后，能量保守取 0.5MV，取 $\text{TVL}=\text{TVL}_1=1.03\text{cm}$ （铅），经 2 次散射后，能量保守取 0.2MV，取 $\text{TVL}=\text{TVL}_1=0.5\text{cm}$ （铅）。

计算参数及结果如下。

表11-7 漏射线经散射所致防护门外剂量计算

工况	关注点	L_f	$A_1 (\text{m}^2)$	$A_2 (\text{m}^2)$	$d_1 (\text{m})$	$d_2 (\text{m})$	$d_3 (\text{m})$	$H (\mu\text{Sv/h})$
6MV-1400cGy/min	C	0.1%	13.26	8.58	7.60	8.20	3.10	7.70E-12
10MV-2400cGy/min			13.26	8.58	7.60	8.20	3.10	1.32E-11

15MV- 600cGy/min			13.26	8.58	7.60	8.20	3.10	3.30E-12
6MV- 1400cGy/min	D	0.1%	13.26	8.58	7.60	8.20	3.10	7.70E-12
10MV- 2400cGy/min			13.26	8.58	7.60	8.20	3.10	1.32E-11
15MV- 600cGy/min			13.26	8.58	7.60	8.20	3.10	3.30E-12

②病人体表散射经迷路所致防护门外剂量率

$$H_{ps} = \frac{H_0 \alpha_{ph} (F/400) \alpha_1 A_1 \alpha_2 A_2}{(d_1 d_2 d_3)^2} B \quad (11-4)$$

式中：

H_{ps} ：主射线在病人体表散射后经墙体散射所致防护门外的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_0 ：医用电子直线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} ：病人 400cm^2 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m 处的剂量比例，又称 400cm^2 面积上的散射因子，无量纲；根据 GBZ/T201.2-2011 附录 B 表 B.2，当散射角为 45° 时，对于 6MV 的 X 射线，取 $1.39\text{E}-03$ ；对于 10MV 的 X 射线，取 $1.35\text{E}-03$ ；对于 15MV 的 X 射线，保守取 $1.35\text{E}-03$ ；

F：治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 ，本项目加速器为 1600cm^2 ；

α_1 ：墙体一次散射的散射因子，无量纲；根据 GBZ/T201.2-2011 附录 B 表 B.6，取 0.5MeV 栏内值，入射角为 45° 、散射角 0° 时，一次散射因子 α_1 为 $22.0\text{E}-03$ ；

A_1 ：墙体一次散射时的散射面积， m^2 ；

α_2 ：墙体二次散射的散射因子，无量纲；根据 GBZ/T201.2-2011 附录 B 表 B.6，取 0.5MeV 栏内值，入射角为 0° 、散射角 45° 时，一次散射因子 α_2 为 $25.0\text{E}-03$ ；

A_2 ：墙体二次散射时的散射面积， m^2 ；

d_1 ：患者到一次散射墙体散射点的距离，m；

d_2 ：一次散射点到二次散射点的距离，m；

d_3 ：二次散射点到计算点的距离，m；

B：辐射屏蔽透射因子，计算方法同上。

X_i 为铅防护门厚度； TVL_1 (cm) 和 TVL (cm) 为辐射在铅中的第一个十分之一层厚度和平衡十分之一层厚度，迷道入口处射线能量保守取 0.2MeV ，

TVL₁=TVL=0.5cm（铅）。

计算参数汇总如下。

表11-8 病人体表散射经墙体散射所致防护门外剂量率

工况	关注点	A ₁ (m ²)	A ₂ (m ²)	d ₁ (m)	d ₂ (m)	d ₃ (m)	H _p (μSv/h)
6MV-1400cGy/min	C	13.26	8.58	7.10	8.20	3.10	8.97E-10
10MV-2400cGy/min		13.26	8.58	7.10	8.20	3.10	3.73E-10
15MV-600cGy/min		13.26	8.58	7.10	8.20	3.10	3.73E-10
6MV-1400cGy/min	D	13.26	8.58	7.10	8.20	3.10	8.97E-10
10MV-2400cGy/min		13.26	8.58	7.10	8.20	3.10	3.73E-10
15MV-600cGy/min		13.26	8.58	7.10	8.20	3.10	3.73E-10

③漏射线直接透过迷路所致防护门外剂量率

$$H_{LT} = \frac{H_0 \cdot L_f}{d_L^2} \cdot B \quad (11-5)$$

式中：

H_{LT}：漏射线直接透射迷路内墙所致防护门外的剂量率，μSv/h；

H₀：医用电子直线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；

L_f：泄漏率，无量纲；

d_L：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的屏蔽；

$$B = 10^{\frac{X_e + TVL - TVL_1}{TVL} - \frac{X_i + TVL_i - TVL_{1i}}{TVL_i}} \quad (11-6)$$

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、TVL₁：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：射线束在防护门上的有效屏蔽厚度（ $X_e = X \cdot \sec \theta$ ，其中，X：屏蔽物质的厚度；θ：斜射角）。

TVL_i、TVL_{1i}：辐射在防护门屏蔽物质中的平衡什值层和第一什值层，cm。

X射线在混凝土中的 TVL 和 TVL₁ 见前文。6MV、10MV、15MV 的 X 射线漏射

线的 TVL 和 TVL₁ 保守按主射线考虑, TVL=TVL₁=5.7cm (铅)。

计算参数汇总如下。

表11-9 漏射线直接透射所致防护门外剂量率

关注点	L _f	斜射角 θ (°)	屏蔽情况	d _L (m)	剂量率 H (μSv/h)		
					6MV-1400cGy/min	10MV-2400cGy/min	15MV-600cGy/min
C	0.1%	15	1200mm 混凝土	9.3	1.75E-04	5.14E-04	2.06E-04
D	0.1%	15	1200mm 混凝土	9.2	1.79E-04	5.25E-04	2.10E-04

④中子所致防护门外的剂量率

中子反射所致机房入口处的剂量率主要为 10MV 的 X 射线产生中子剂量率以及中子俘获 γ 射线所致剂量率, 按照以下公式进行计算:

$$H = H_r \cdot 10^{-(X_r / TVL_r)} + H_n \cdot 10^{-(X_n / TVL_n)} \quad (11-7)$$

式中:

X_r—防护门铅屏蔽厚度, 取 2cm; 含硼 (5%) 石蜡屏蔽厚度为 15cm, 等效于 1.2cm 的铅, 共计铅厚度为 3.2cm;

X_n—防护门含硼 (5%) 聚乙烯屏蔽厚度, 取 15cm;

TVL_r—中子捕获 γ 射线在铅的十分之一层厚度, 取 3.1cm;

TVL_n—中子在石蜡的十分之一层厚度, 本次保守考虑石蜡十分之一层厚度, 取 4.5cm;

H_r 为无防护门时的中子俘获 γ 射线的剂量率 (μSv/h);

$$H_r = 6.9 \times 10^{-16} \cdot \Phi_B \cdot 10^{-d_2 / TVD} \cdot H_0 \quad (11-8)$$

6.9×10⁻¹⁶—该方法中的经验因子, Sv/(中子数/m²);

d₂—L、N 点至机房入口的距离;

TVD—将 γ 辐射剂量减至其十分之一的距离, 对于 10MV、15MV 加速器保守取值为 3.9m;

注: 本项目中由于中子在迷路中经二阶迷路后散射至防护门外, 且两阶迷路散射距离并非过短, 迷路宽度并非过小, 根据 GBZ/T 201.2-2011, H_r 取式 (11-8) 的 1/3。

Φ_B—等中心 1Gy 治疗照射时放射点处的总中子注量, (中子数/m²)/Gy;

$$\Phi_B = \frac{Q_n}{4\pi d_1^2} + \frac{5.4Q_n}{2\pi S} + \frac{1.26Q_n}{2\pi S} \quad (11-9)$$

d_1 —等中心点至反射点的距离；

S —治疗机房的总内表面积 (m^2)；

Q_n —在等中心线处每 1Gy 治疗照射时射出加速器机头的总中子数，10MV 工况取 6×10^{10} ，15MV 保守取 7.6×10^{11} ；

H_n 为机房内的中子经迷道散射后在机房入口处无防护门时的剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)；

$$H_n = 2.4 \times 10^{-15} \cdot \Phi_B \cdot \sqrt{\frac{S_0}{S_1}} \cdot [1.64 \times 10^{-(d_2/1.9)} + 10^{-(d_2/T_n)}] \cdot H_0 \quad (11-10)$$

式中：

2.4×10^{-15} —该计算方法中的经验因子， $\text{Sv}/(\text{中子数}/\text{m}^2)$ ；

S_0 —迷道内口的面积，机房 1 $S_0=7.8\text{m}^2$ 、机房 2 $S_0=7.8\text{m}^2$ ；

S_1 —迷道横截面积，机房 1 $S_1=8.58\text{m}^2$ 、机房 2 $S_1=8.58\text{m}^2$ ；

$$T_n = 2.06\sqrt{S_1}$$

中子所致迷宫入口处的剂量率计算参数及结果见下表。

表 11-10 中子经迷道反射所致防护门外剂量率

关注点	工况	屏蔽情况	$d_1(\text{m})$	$d_2(\text{m})$	$S(\text{m}^2)$	$S_0(\text{m}^2)$	$S_1(\text{m}^2)$	$H_\gamma(\mu\text{Sv/h})$	$H_n(\mu\text{Sv/h})$	$H(\mu\text{Sv/h})$
C	10MV-2400cGy/min	20mm Pb+150mm 含硼石蜡	6.7	8.9	228.21	7.8	8.58	6.66E-01	4.26E+01	8.16E-02
	15MV-600cGy/min		6.7	8.9	228.21	7.8	8.58	2.11E+00	1.35E+02	2.59E-01
D	10MV-2400cGy/min		6.7	8.9	228.21	7.8	8.58	6.61E-01	4.22E+01	8.10E-02
	15MV-600cGy/min		6.7	8.9	228.21	7.8	8.58	2.09E+00	1.34E+02	2.56E-01

因此，迷路入口防护门外剂量率计算结果汇总如下表所示：

表 11-11 迷路入口防护门外剂量率计算结果汇总 ($\mu\text{Sv/h}$)

方位	工况	关注点	漏射线散射	患者散射	漏射线直接透射	中子	合计
东	6MV-1400cGy/min	C	7.70E-12	8.97E-10	1.75E-04	/	1.75E-04
	10MV-2400cGy/min		1.32E-11	3.73E-10	5.14E-04	8.16E-02	8.21E-02
	15MV-600cGy/min		3.30E-12	3.73E-10	2.06E-04	2.59E-01	2.59E-01
东	6MV-1400cGy/min	D	7.70E-12	8.97E-10	1.79E-04	/	1.79E-04
	10MV-		1.32E-11	3.73E-10	5.25E-04	8.10E-02	8.15E-02

2400cGy/min							
15MV-600cGy/min		3.30E-12	3.73E-10	2.10E-04	2.56E-01	2.57E-01	

(5) X 射线通过屋顶的侧向散射 (⑦/⑧)

混凝土屋顶 X 射线的侧向散射可用以下经验公式计算:

$$H = \frac{D_{10} F f(\theta)}{d_R^2 10^{1 + \left[\frac{(t-T_1)}{T_e} \right]}} \quad (11-11)$$

式中:

H——X 射线侧向散射周围剂量当量率 (Sv · h⁻¹);

D₁₀——靶上方 1 米处 X 射线的吸收剂量率 (Gy · h⁻¹);

F——靶上方 1 米处照射野的面积 (m²);

f(θ)——X 射线的角度分布函数;

d_R——从屋顶上方束流中心到关注点的距离 (m);

t——屋顶的厚度 (m);

T₁、T_e 分别为屋顶屏蔽材料的第一个和平衡十分之一值层 (m)。

表 11-12 计算关注点屋顶侧向散射剂量率水平

关注点	入射角 (°)	Do (Gy/h)	F (m ²)	f(θ)	d _R (m)	t(m)	T ₁ (m)	T _e (m)	H (μSv/h)	备注
⑦	40	8.40E+02	0.16	0.16	23	1.7	0.34	0.29	1.99E-02	6MV-1400
⑦	40	1.44E+03	0.16	0.16	23	1.7	0.35	0.31	1.58E-02	10MV-2400
⑦	40	3.60E+02	0.16	0.16	23	1.7	0.36	0.33	2.00E-03	15MV-600
⑧	40	8.40E+02	0.16	0.16	23	1.7	0.34	0.29	1.99E-02	6MV-1400
⑧	40	1.44E+03	0.16	0.16	23	1.7	0.35	0.31	1.58E-02	10MV-2400
⑧	40	3.60E+02	0.16	0.16	23	1.7	0.36	0.33	2.00E-03	15MV-600

综上, 本项目各关注点位剂量率汇总如下表。

表 11-13 计算关注点剂量率水平汇总

机房	计算关注点	方位	环境描述	H (μSv/h)			标准限值 (μSv/h)
				6MV-1400cGy/min	10MV-2400cGy/min	15MV-600cGy/min	
机房 1	A	东 (次屏蔽区)	地下 1 层加速器 01 机房的水冷机房	1.53E-01	4.93E-01	2.14E-01	2.5

	B	东（次屏蔽区）	地下1层加速器01机房的控制室	1.35E-05	7.95E-05	5.87E-05	2.5
	C	东（防护门）	地下1层室内走道	1.75E-04	8.21E-02	2.59E-01	2.5
	H	南（主屏蔽区）	地下1层加速器02机房	9.81E-03	1.63E-01	2.39E-01	2.5
	J	南（次屏蔽区）	地下1层加速器02机房	1.28E-02	7.23E-02	7.05E-02	2.5
	①	顶（主屏蔽区）	上部地面空地	9.15E-03	1.58E-01	2.39E-01	2.5
	②	顶（次屏蔽区）	上部地面空地	1.20E-02	7.05E-02	7.19E-02	2.5
	③	侧顶（次屏蔽区）	地面室外走道	7.38E-05	4.06E-04	2.72E-04	2.5
	⑦	上部侧面（侧向散射）	地面科教综合楼	1.99E-02	1.58E-02	2.00E-03	2.5
机房2	D	东（防护门）	地下1层室内走道	1.79E-04	8.15E-02	2.57E-01	2.5
	E	东（次屏蔽区）	地下1层加速器02机房的控制室	1.35E-05	7.95E-05	5.87E-05	2.5
	F	东（次屏蔽区）	地下1层加速器02机房的水冷机房	1.53E-01	4.93E-01	2.14E-01	2.5
	G	北（主屏蔽区）	地下1层加速器01机房	1.02E-02	1.69E-01	2.48E-01	2.5
	I	北（次屏蔽区）	地下1层加速器01机房	1.28E-02	7.23E-02	7.05E-02	2.5
	④	顶（主屏蔽区）	上部地面空地	9.15E-03	1.58E-01	2.39E-01	2.5
	⑤	顶（次屏蔽区）	上部地面空地	1.20E-02	7.05E-02	7.19E-02	2.5
	⑥	侧顶（次屏蔽区）	地面室外走道	7.38E-05	4.06E-04	2.72E-04	2.5
	⑧	上部侧面（侧向散射）	地面科教综合楼	1.99E-02	1.58E-02	2.00E-03	2.5

由上表可见，本项目医用电子直线加速器机房外最大剂量率为 $4.93\text{E-}01\mu\text{Sv/h}$ ，该剂量率满足《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》（GBZ 121-2020）以及《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中限值要求，也满足本评价要求的“各侧墙体表面0.3m处及上下层关注点处小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的规定。

（4）有用线束主屏蔽区半宽复核

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), 有用线束主屏蔽区 (内凸) 的宽度复核公式如下:

$$Y = (100 + a + X_2) \cdot \tan 14^\circ + 30 \quad (11-12)$$

有用线束主屏蔽区 (外凸) 的宽度复核公式如下:

$$Y = (100 + a + X_1 + X_2) \cdot \tan 14^\circ + 30 \quad (11-13)$$

Y: 主屏蔽区半宽度, cm。

a: 等效中心点到墙体距离, cm。

X₁: 次屏蔽区墙体厚度, cm。

X₂: 主屏蔽区凸出区域厚度, cm。

机房 1 北侧主屏蔽区为外凸, 南侧主屏蔽区为内凸, 机房 2 北侧主屏蔽区为内凸、南侧主屏蔽区为外凸, 两个机房顶棚主屏蔽区均为外凸, 两间医用电子直线加速器机房设计相同。根据公式 (11-12)、(11-13) 进行核算, 核算结果如下表。

表 11-14 主屏蔽区半宽核算结果

位置	凸起类型	计算参数 (cm)			计算半宽 (cm)	设计半宽 (cm)	符合判定
		a	X ₁	X ₂			
机房 1 北侧主屏蔽区	外凸	350	170	160	224.5	230	符合
机房 1 南侧主屏蔽区	内凸	350	165	70	159.7	230	符合
机房 1 顶棚主屏蔽区	外凸	260	170	140	197.0	230	符合
机房 2 北侧主屏蔽区	内凸	350	165	70	159.7	230	符合
机房 2 南侧主屏蔽区	外凸	350	170	170	227.0	230	符合
机房 2 顶棚主屏蔽区	外凸	260	170	140	197.0	230	符合

根据表 11-14 的核算结果, 本项目设备机房主屏蔽墙宽度符合《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) D.1.2.5 中半宽计算要求。

2) 模拟定位 CT

本项目模拟定位 CT 射线装置最大管电压为 140kV, 最大管电流为 715mA。为了防止球管烧毁并延长其使用寿命, 模拟定位 CT 设备管电压和管电流都留有较大裕量。本项目按 120kV, 350mA 来估算模拟定位 CT 机房外的剂量率。

(1) 装置周围辐射水平评价

① 泄漏辐射:

$$H_1 = \frac{H_L \cdot B}{R^2}$$

(11-14)

式 11-14 中:

H_1 ——泄漏辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_L ——距靶点 1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ，本项目保守考虑 1mGy/h ， Sv/Gy 转换系数取值为 1，即泄漏辐射量均为 $1000\mu\text{Sv/h}$ ；

B ——屏蔽透射因子，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中附录 C 计算得到屏蔽透射因子 B ；

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{-\alpha \gamma X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad (11-15)$$

R ——辐射源点（即靶点）至关注点的距离，m；

根据建设单位提供的屏蔽防护方案、设备最大参数及项目图纸，通过式 11-14，其机房泄漏辐射剂量率结果见下表 11-15：

表 11-15 泄漏剂量率计算结果

机房	方位	场所	屏蔽厚度	距离 (m)	透射因子 B	泄漏剂量率 $\mu\text{Sv/h}$
模拟 定位 CT 机 房	东	室内走道	2mmPb+300mm 混凝土	4.30	2.87E-08	1.55E-06
	东北	模具室	2mmPb+300mm 混凝土	7.80	2.87E-08	4.73E-07
	南	室内走道 (机房入口)	4mm 铅板	4.40	1.25E-05	6.45E-04
	南	室内走道	2mmPb+300mm 混凝土	4.00	2.87E-08	1.80E-06
	西	控制室(墙体)	2mmPb+300mm 混凝土	4.30	2.87E-08	1.55E-06
	西	控制室(机房出口)	门及门窗：4mm 铅板	4.40	1.25E-05	6.45E-04
	西	控制室(观察窗)	玻璃窗：4mmPb 窗套：4mmPb	4.50	1.25E-05	6.16E-04
	上	消控中心、 空调机房	2mmPb+180mm 混凝土	3.58	2.06E-06	1.61E-04
	下	雨水处理机 房、雨水回 用清水池泵 房、气体灭 火机房	2mmPb+150mm 混凝土	3.55	6.34E-06	5.03E-04
注：机房北侧为土层参与计算						

②散射辐射：

计算得到屏蔽透射因子 B 后，关注点的散射辐射剂量率 H_2 ($\mu\text{Sv/h}$) 可根据《辐射防护导论》（原子能出版社）第三章第三节（P116-P117）散射线的屏蔽计算公式（3.66）进行推导得出，以最不利情况考虑居留因子取 1，管电压修正系数取 1，推导得出本项

目关注点的散射辐射剂量率计算公式如下：

$$H_2 = \frac{I \cdot H_0 \cdot B}{R_s^2} \cdot \frac{F \cdot \alpha}{R_0^2}$$

式 11-16

式 11-16 中：

I——X 射线装置在常用最大管电流，mA，本项目取 120mA；

H₀——距辐射源点（即靶点）1m 处输出量，μSv·m²/（mA·h），以 mGy·m²/（mA·min）为单位的值乘以 6E+04，Sv/Gy 转换系数取值为 1。本项目取 2mmAl 在 100kV 电压下的发射率常数 9mGy·m²/（mA·min）。

B——屏蔽透射因子；

F——R₀ 处的辐射野面积，m²，射线装置运行时的最大照射野面积为 400cm²（20cm×20cm）；

α——散射因子，入射辐射被单位面积 1m² 散射体散射到距其 1m 处的散射辐射剂量率与该面积上的入射辐射剂量率的比；根据《辐射防护手册（第一分册）》P437 页表 10.1 可知，100kV 射线装置在最大散射角情况下 1m 处的每 400cm² 的散射系数为 1.3E-03，则每 m² 散射因子 α=1.3E-03/400；

R_s——辐射源点（即靶点）至散射体的距离，m，对于本项目数值取 0.5；

R₀——散射体至关注点距离，m，根据设备布设位置确定；

根据建设单位提供的屏蔽防护方案、设备最大参数及项目图纸，通过式 11-16，其机房散射辐射剂量率结果见下表 11-16：

表 11-16 散射剂量率计算结果

机房	方位	场所	屏蔽厚度	距离 (m)	透射因子 B	散射剂量率 μSv/h
模拟 定位 CT 机 房	东	室内走道	2mmPb+300mm 混凝土	4.30	2.87E-08	1.53E-03
	东北	模具室	2mmPb+300mm 混凝土	7.80	2.87E-08	4.64E-04
	南	室内走道 (机房入口)	4mm 铅板	4.40	1.25E-05	6.34E-01
	南	室内走道	2mmPb+300mm 混凝土	4.00	2.87E-08	1.77E-03
	西	控制室(墙体)	2mmPb+300mm 混凝土	4.30	2.87E-08	1.53E-03
	西	控制室(机房出口)	门及门窗：4mm 铅板	4.40	1.25E-05	6.34E-01

	西	控制室（观察窗）	玻璃窗：4mmPb 窗套：4mmPb	4.50	1.25E-05	6.06E-01
	上	消控中心、空调机房	2mmPb+180mm 混凝土	3.58	2.06E-06	1.58E-01
	下	雨水处理机房、雨水回用清水池泵房、气体灭火机房	2mmPb+150mm 混凝土	3.55	6.34E-06	4.95E-01
注：机房北侧为土层参与计算						

根据表 11-15 及 11-16，得出本项目模拟定位 CT 射线装置机房周边剂量率，相关工况下周边剂量率详细情况分别详见表 11-17。

表 11-17 辐射剂量率计算结果

机房	方位	环境描述	泄漏剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	散射剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	总剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	标准限值 $\mu\text{Sv/h}$	满足标准
模拟定位 CT 机房	东	室内走道	1.55E-06	1.53E-03	1.53E-03	2.5	合格
	东北	模具室	4.73E-07	4.64E-04	4.65E-04	2.5	合格
	南	室内走道（机房入口）	6.45E-04	6.34E-01	6.34E-01	2.5	合格
	南	室内走道	1.80E-06	1.77E-03	1.77E-03	2.5	合格
	西	控制室（墙体）	1.55E-06	1.53E-03	1.53E-03	2.5	合格
	西	控制室（机房出口）	6.45E-04	6.34E-01	6.34E-01	2.5	合格
	西	控制室（观察窗）	6.16E-04	6.06E-01	6.06E-01	2.5	合格
	上	消控中心、空调机房	1.61E-04	1.58E-01	1.58E-01	2.5	合格
	下	雨水处理机房、雨水回用清水池泵房、气体灭火机房	5.03E-04	4.95E-01	4.95E-01	2.5	合格

由上表可知，本项目模拟定位 CT 机房周围剂量当量率均符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）、《医用 X 射线诊断机房卫生防护与检测评价规范》（DB31/T462-2020）规定：“机房外的周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”。

2.职业照射剂量分析

1) 医用电子直线加速器

本项目医用电子直线加速器共设置 8 名放射工作人员，每间加速器机房 4 人，实行 2 班制，每班 2 人，放射工作人员轮流从事放射工作。

本项目加速器放射工作人员的职业照射主要包括控制室内操作及机房内摆位两部分。

(1) 控制室内操作

放射工作人员在控制室内操作所受剂量按照前文机房所致控制室的最大剂量率水平，结合加速器的工作时间进行计算，放射工作人员按照排班进行操作，考虑保守系数，人员剂量计算详见下表。

表 11-18 医用电子直线加速器放射工作人员（控制室内）剂量计算

设备	单次平均 出束时间 (常规)	每天病 人数	年工作 天数	剂量率 $\mu\text{Sv/h}$			调强系 数	工作人 数	放射工作人员 剂量 mSv/a
				6MV- 1400cGy/m in	10MV- 2400cGy/ min	15MV- 600cGy/ min			
医用电子直线加速器 01	180 秒	50 人	250 天	1.35E-05	7.95E-05	5.87E-05	5	4 人 (2 批次)	2.48E-04
医用电子直线加速器 02	180 秒	50 人	250 天	1.35E-05	7.95E-05	5.87E-05	5	4 人 (2 批次)	2.48E-04

注：1、根据建设单位提供的资料，项目每个机房共由 4 名放射工作人员负责操作，4 人轮流，每班 2 人，每日轮班。2、按照控制室各档位下最大剂量率保守计算。

(2) 机房内摆位

加速器在 10MV 和 15MV 运行时会产生感生放射性，放射工作人员在摆位时会受到感生放射性影响。对于医生在 10MV 和 15MV 加速器停机后为病人摆位时所受到的剂量率，本项目保守按照《医用电子直线加速器质量控制检测规范》（WS 674-2020）中 4.5.2 相关数据：“出束停止后 3min，距外壳 1m 处固定点的周围剂量当量率最大值为 $20 \mu\text{Sv/h}$ ”考虑。放射工作人员每次摆位时间约 2min/次，每间机房一年按 12500 次计算，每间机房放射工作人员人数为 4 人，轮班摆位操作，保守系数取 2，则由于加速器产生的感生放射性所致的人员年剂量为 $20 \times 2 \times 12500 \div 60 \div 1000 \div 4 \times 2 = 4.17 \text{mSv/年}$ 。

当其中 1 个机房在出束过程中，另一个机房在进行摆位时，摆位工作人员受到来自正在出束作业机房的受照量保守按照有用线束不同档位最大剂量计算，综上，本项目加速器机房 01 放射工作人员的年受照剂量为 $4.17 + 2.48 \times 10^{-1} + 2.48 \times 10^{-4} = 4.42 \text{mSv/年}$ ，加速器机房 02 放射工作人员的年受照剂量为 $4.17 + 2.39 \times 10^{-1} + 2.48 \times 10^{-4} = 4.41 \text{mSv/年}$ ，放射工作人员均为新增，不参与其他放射工作，计算所得加速器放射工作人员剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）规定的职业照射年剂量约束值（ 20mSv/年 ）和本项目规定的职业照射剂量约束值（ 5mSv/年 ）。

2) 模拟定位 CT

本项目由 2 名放射工作人员专职负责（2 名技师）。正常单次作业工况下，共需要技师 1 名。作业工况下，病人停留机房内，技师停留在机房外的控制室操作。

根据建设单位提供的射线装置工作参数（详见表 1-2，单次定位出束时间为 30s，年定位 25000 次）及机房屏蔽资料（详见表 10-1）。参考原子能出版社《辐射防护手册第三分册辐射安全》3.4.1.1 “居留因子 T 取值情况：全居留（T=1），包括控制室、实验室、诊室、办公室、电梯等时有人的地方；部分居留（T=1/4），包括公共走廊、休息室、电梯等有时有人的地方；偶然居留（T=1/16），包括厕所、浴室、行人车辆通过的外部区域”，计算得到辐射剂量率计算结果（详见表 11-15 及表 11-16），最后由辐射剂量率计算结果计算得出所致机房周围照射剂量（1 年按 50 周计算），详见表 11-19：

表 11-19 模拟定位 CT 机房所致辐射工作人员照射剂量

机房	方位	环境描述	居留因子	年剂量 mSv/a	照射类型
模拟定位 CT 机房	西	控制室（墙体）	1	3.19E-04	职业照射
	西	控制室（机房出口）	1	1.32E-01	职业照射
	西	控制室（观察窗）	1	1.26E-01	职业照射

本项目共 2 名技师，单次安排 1 名技师，本项目保守系数取 2，由表 11-19 可知：射线装置模拟定位过程所致技师剂量最大值为 1.32E-01mSv/a。综上，每名技术所受职业照射为 $1.32E-01\text{mSv/a} \div 2 \times 1 \times 2 = 1.32E-01\text{mSv/a}$ 。

本项目所致放射工作人员最大职业照射剂量为 1.32E-01mSv/年，该剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的职业照射剂量限值（20mSv/年）、职业照射剂量约束值（5mSv/年）。

3. 周边公众照射剂量分析

1) 医用电子直线加速器

根据前文计算结果，结合本项目平面布置、辐射分区情况，以及业主提资，本次评价保守按 6MV-1400cGy/min 档位、10MV-2400cGy/min 档位、15MV-600cGy/min 档位工作负荷分别占总工作负荷的 70%、20%、10%，对加速器开机时，所致周围职业照射和公众的年剂量进行评价，本项目医用电子直线加速器周围公众受照剂量计算见下表。

表 11-20 医用电子直线加速器机房周边公众年受照剂量表

关注点	环境情况	居留因子	剂量率/ $\mu\text{Sv/h}$			单次照射时间/s	年照射次数/次	调强因子	年剂量/mSv/a
			6MV-1400cGy/min	10MV-2400cGy/min	15MV-600cGy/min				
C	室内走道	1/8	1.75E-04	8.21E-02	2.59E-01	180	12500	5	1.66E-02

①	空地	1/40	9.15E-03	1.58E-01	2.39E-01	180	12500	1	9.67E-04
②	空地	1/40	1.20E-02	7.05E-02	7.19E-02	180	12500	5	2.32E-03
③	户外走道	1/40	1.14E-04	6.18E-04	4.15E-04	180	12500	5	1.91E-05
D	室内走道	1/8	1.79E-04	8.15E-02	2.57E-01	180	12500	5	1.65E-02
④	空地	1/40	9.15E-03	1.58E-01	2.39E-01	180	12500	1	9.67E-04
⑤	空地	1/40	1.20E-02	7.05E-02	7.19E-02	180	12500	5	2.32E-03
⑥	户外走道	1/40	1.14E-04	6.18E-04	4.15E-04	180	12500	5	1.91E-05

注：C、D 关注点位机房防护门，防护门外为室内走道，居留因子按照各治疗室门 1/8 选取。

综上，本项目医用电子直线加速器所致周边公众照射最大值为 0.0166mSv/a，位于项目东部的室内走道（机房防护门），符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）规定的剂量限值（1mSv/a）及《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）规定的公众照射剂量约束值（0.1mSv/年）。

2）模拟定位 CT

表 11-21 模拟定位 CT 机房周边公众年受照剂量表

机房	方位	环境描述	居留因子	年剂量 mSv/a	照射类型
模拟 定位 CT 机房	东	室内走道	1/5	6.37E-05	公众照射
	东北	模具间	1/5	1.94E-05	公众照射
	南	室内走道（机房入口）	1/5	2.64E-02	公众照射
	南	室内走道	1/5	7.37E-05	公众照射
	上	消控中心、空调机房	1/20	1.65E-03	公众照射
	下	雨水处理机房、雨水回用清水池泵房、气体灭机房	1/20	5.16E-03	公众照射

由表 11-21 可知：本项目射线装置正常运行时所致机房周围公众照射最大剂量为 2.64E-02mSv/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）规定的公众照射剂量约束值（0.1mSv/年）。

4. “三废”处理环境影响

（1）废气

1）通风系统

加速器机房达到一定通风要求并使室内臭氧浓度达到限值以下时，氮氧化物的浓度已远低于限值浓度，因此在考虑通风时以臭氧为主要考虑对象。

本项目加速器机房设计的通风速率，机房 1 排风风量为 1000m³/h，机房 2 排风风量为 1000m³/h，加速器机房 1 最大自由容积为 220m³，加速器机房 2 最大自由容积为

220m³。按照该设计，该通风系统在 1h 内可以使机房内换气大于 4 次，机房 1 进风口设在机房内东北角顶部，排风口设在机房内西南角下部，机房 2 进风口设在机房内东南角顶部，排风口设在机房内西北角下部。采取全送全排的通风方式，进风口与排风口位置对角设置，这样上送下出以及对角线送排风形式形成了更好的气流组织，避免送排风的短路。机房排气一并收集后由排风机送至楼顶进行排放，远离人群。

加速器机房符合《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）和《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中对治疗室不小于 4 次/h 换气次数以及斜对角设置的要求以及《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中“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，排气口位置不得置在有门、窗或人流较大的过道等位置。”的要求。

2) 感生放射性气体

加速器运行过程中产生的感生放射性气态核素包括 ¹⁵O 和 ¹³N，其中 ¹⁵O 的半衰期为 124s，¹³N 的半衰期为 10min。对于本项目最大 15MV 能量的加速器，在不考虑衰变的情况下 ¹³N 的总活度为 3.99E+08Bq，¹⁵O 的总活度为 1.89E+07Bq。本项目电子直线加速器运行时通风系统一直运行，加速器运行结束后，仍需通风 5min 后，才能进行下一个病人治疗，通风率均为 1000m³/h，则通过通风及感生放射性同位素自然衰减后，加速器机房内的感生放射性核素的活度已经迅速衰变降低，加上机房的不断通风，气态核素的浓度将保持在一个较低的水平，由于 ¹⁵O 和 ¹³N 均属于极短半衰期核素，经过时间衰变及机房大风量换气的稀释中，加速器机房单独的排气系统排出的废气对周围环境影响很小，可忽略不计。

3) 通风条件下废气浓度的变化

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有毒有害气体。其中臭氧的危害较氮氧化物大，且产额高，因此主要考虑臭氧的影响。

◆ 臭氧

假设臭氧不分解且在室内均匀分布，在通风条件下臭氧浓度 C_x 为：

$$C_x = 2.79 \times \frac{Id}{V} \left(1 - e^{-\frac{V}{T}t} \right) \quad (11-17)$$

式中：

C_x——t 时刻机房内的臭氧浓度，mg/m³；

v ——排气速率， m^3/min ，本项目机房 1、机房 2 排风速率均为 $1000\text{m}^3/\text{h}$ ，即 $16.67\text{m}^3/\text{min}$ ；

I ——加速器的电子束流强度， mA ，取 0.13mA

d ——电子束在空气中的穿行距离， cm ，取 100cm ；

V ——加速器机房自由容积， m^3 ，本项目机房 1 容积为 220m^3 ，本项目机房 2 容积为 220m^3 ；

t ——通风时间， min 。

按照上式，保守计算开机 1~15min 加速器机房臭氧浓度变化，如下表所示。

表 11-22 臭氧浓度计算结果

时间 (min)	机房 1 臭氧浓度 (mg/m^3)	机房 2 臭氧浓度 (mg/m^3)
1	0.012	0.012
2	0.023	0.023
3	0.034	0.034
4	0.043	0.043
5	0.052	0.052
6	0.060	0.060
7	0.068	0.068
8	0.075	0.075
9	0.082	0.082
10	0.088	0.088
11	0.093	0.093
12	0.098	0.098
13	0.103	0.103
14	0.108	0.108
15	0.112	0.112

由上表可以看到，本项目的医用电子直线加速器机房在现有通风设计下，15min 内机房最大臭氧浓度为 $0.112\text{mg}/\text{m}^3$ ，低于工作场所中 O_3 浓度限值《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），浓度限值为 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ 。

机房内产生的臭氧通过排风系统高空排放，经过大气的稀释和扩散作用其浓度进一步降低，远低于大气环境质量标准中 O_3 浓度限值（《环境空气质量标准》（GB 3095-2012），1h 平均浓度为 $0.2\text{mg}/\text{m}^3$ ），对周围大气环境的影响十分轻微。

◆ 氮氧化物

在多种氮氧化物（ NO_x ）中，以 NO_2 为主，其产额约为 O_3 的 1/3。工作场所中 NO_2 的浓度限值（GBZ2.1-2019，浓度限值为 $5\text{mg}/\text{m}^3$ ）超出 O_3 的 10 多倍，环境空气中其浓度限值（《环境空气质量标准》（GB 3095-2012），1h 平均浓度为 $0.2\text{mg}/\text{m}^3$ ）与 O_3 的浓度限值相同。因而， NO_x 的产生和排放对周围大气环境的影响很小。

（2）废水

本项目医用电子直线加速器在运行过程中无废水排放。本项目新增放射工作人员的生活废水排入科教综合楼新建污水处理站处理后纳入市政污水管网排放。

加速器在 10MV 以上运行时，加速器冷却水因活化而产生放射性，该冷却水日常情况下不排放，事故或检修状况下按照放射性废液收集贮存，暂存衰变至低于豁免水平后作为普通废液处理，并做好存档记录。

（3）固体废弃物

加速器产生的废靶，委托厂家回收，若存在放射性则委托有资质单位收贮。

（4）噪声

加速器机房的空调系统及排风系统，通风风机位于楼顶，经距离衰减后，对医院场界的贡献值很小，对周围环境影响可忽略不计。

事故影响分析

本项目医用电子直线加速器可能发生的辐射事故如下：

(1) 医用电子直线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。

针对该类辐射事故，医院应定期检查各项安全联锁系统的有效性，确保医用电子直线加速器束流联锁系统、各紧急停机按钮、门机联锁、工作状态指示灯正常工作。

(2) 医用电子直线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。

针对该类辐射事故，医院应加强放射工作人员职业操作技能，治疗前制定详细的照射治疗计划，建立质量保证体系；治疗前，仔细确认患者与治疗计划的一致性，并建立治疗档案；对于因加速器误操作或故障，而导致超剂量照射，应立刻评估过量照射量，并上报医院及行政主管部门。

(3) 医用电子直线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。

本项目模拟定位 CT 射线装置可能发生的辐射事故如下：

(1) 射线装置安全联锁系统失效，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) 模拟定位 CT 误操作或设备出现故障，导致出束剂量超过放射治疗要求。

(3) 模拟定位 CT 机房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。

针对以上事故，建议建设单位对辐射事故采取的应急处置措施如下：

①意外发生辐射事故后，在场人员立即报告辐射安全负责人员，并上报放射防护管理领导小组和放射防护管理工作小组，启动辐射事故应急预案。

②辐射安全负责人员要求经检测未受放射性污染的人员离开该区域，确认人员离开后锁上各出入口的大门以防无关人员误入。

③放射防护管理工作小组相关人员立刻到达现场，了解辐射事故发生情况及原因，并制定相应的应急处理对策。同时安排保卫人员负责场所周边安保工作，防止无关人员误入。

④发生辐射事故 2h 内，填写初始报告，向当地生态环境主管部门及人民政府、卫

生部门和公安部门报告。

⑤按照已制定的辐射事应急预案的要求制定辐射事故处置实施方案，并在当地人民政府和辐射安全许可证发证机关的监督、指导下实施具体处置工作，主要包括辐射事故应急处置实施流程、实施过程中放射工作人员个人受照剂量控制、辐射事故应急处置产生的放射性废物管理等工作。

⑥辐射事故处置完毕后，做好辐射事故记录。

建议针对辐射事故采取的日常防范措施如下：

（1）辐射管理规章制度的完善和落实

①定期完善和落实射线装置操作规程、辐射事故应急预案等相关辐射管理规章制度。其中，定期对辐射事故应急预案中的应急组织机构及职责、信息传递、处理程序及应急方案等方面进行修改和完善。②对实施上述辐射管理规章制度期间发现的问题应及时纠正，放射防护管理领导小组和放射防护管理工作小组对规章制度的落实情况开展定期检查工作。

（2）防护设施、设备的配备和使用

正常运行期间使用的个人防护用品、辐射监测仪器等以及辐射事故应急处理所需器材、设备等配备齐全并留有备用，存放场所能快速到达，便于物品取放。

（3）日常辐射安全培训及演练

①在日常时段安排放射工作人员进行模拟操作，增加作业熟练度；正式作业时严格按照规范操作。②定期针对不同类型的辐射事故进行应急和处置演练，提高对辐射事故的应急响应能力。③定期进行放射工作人员进行培训和继续教育。

综上，在严格落实以上日常防范措施和应急处置措施后，项目的环境风险水平是可接受的。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

医院根据《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）设置了辐射安全管理小组专门负责医院的辐射安全和环境保护管理工作，委员会具体成员如下：

（1）人员组成

组长：分管副院长

副组长：科主任/执行科主任

组员：技师长、护士长、设备科负责人等相关人员；

（2）职责分工

组长职责

- 全面负责单位射线装置、非密封放射性物质工作场所、放射源的辐射防护与安全工作，执行国家有关法规、标准；
- 组织制定单位射线装置及放射源的辐射安全管理规定；
- 负责从事单位射线装置及核素放射诊断、放射源作业的放射工作人员的综合管理。

副组长职责

- 具体负责场所放射工作场所的辐射防护与安全工作；
- 负责落实单位及生态环境、卫生、公安等部门提出的管理要求；
- 负责制定、补充、完善辐射安全管理相关规章制度，并检查其执行情况；
- 负责辐射事故的处置工作，并按规定向相关部门报告；
- 每年对员工至少进行一次辐射防护安全教育；
- 每年向生态环境部门书面报告本单位年度辐射安全工作情况。

组员职责

- 对场所的辐射安全管理负直接管理责任，必须严格遵守国家、地方的各项辐射安全管理制度，严格履行本人的安全职责；
- 负责放射性同位素的采购备案登记手续；

- 做好放射性同位素管理工作，确保放射性同位素单独存放，并确保存放场所具有防火、防水、防盗、防丢失、防泄漏的安全措施。按照规定对贮存、使用放射性同位素及时进行登记、检查，做到帐物相符；
- 负责放射工作场所放射性废物的回收与处理；
- 负责组织放射工作人员进行有关法律法规、规章制度、安全操作、安全防护等知识的考核，按期核查、换取放射工作人员证书，做到辐射人员持证上岗；
- 负责建立放射工作人员健康和个人剂量档案，负责按期收发个人剂量计，监督个人剂量计的佩带情况，组织放射工作人员按时接受个人剂量监测和健康检查；
- 负责对本项目放射工作场所及周围区域进行日常巡查，并做好记录。对发现的安全隐患及时报告，并提出整改方案。负责辐射剂量仪器的检查与校准工作；
- 负责放射诊疗设备的管理，开展放射诊疗设备的日常使用管理；开展放射诊疗设备的维护维修管理；联系检测机构对放射诊疗设备进行性能检测；联系检测机构对放射诊疗机房进行防护检测。
- 负责接受上级主管部门对辐射安全相关工作的检查与指导；
- 负责放射事故应急预案的修订与应急预案演练的组织。负责放射事故的紧急处理与事故分析的组织与落实，现场需要时，负责实时辐射剂量监测工作。

辐射安全管理规章制度

1、辐射安全管理规章制度制定情况

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中的有关要求，复旦大学附属妇产科医院已制订了以下规章制度：

- 操作规程：《放疗科直线加速器操作规程》、《放射科操作规程》等；
- 岗位职责：《放疗科放射防护相关人员职责》、《放射科防护相关人员职责》等；
- 辐射防护与安全保卫制度：《放射防护管理组织》、《放射诊疗工作场所防护管理制度》、《辐射危害告知制度》、《介入、放射诊疗设备管理、使用、维修、保养制度》等；

- 设备检修维护：《放疗科设备维护和保养制度》、《放射科设备维护和保养制度》；
- 人员培训和管理：《放射工作人员管理制度》；
- 应急响应：《放疗科辐射事故应急演练制度》、《放疗科直线加速器应急预案》、《放疗科急救预案》、《放射事故应急预案》；
- 质量保证：《放疗科质量控制与质量保证制度》、《放射科质量控制与质量保证制度》。

建议项目在日后运行过程中，根据项目实际运行情况和运行经验，不定期对相关制度进行补充完善。

2、辐射安全管理要求

(1) 现有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和防护管理办法》（原环境保护部第 18 号令）的要求，放射操作人员以及辐射防护负责人，应当按照生态环境部审定的辐射安全考试大纲，通过相应的核技术利用辐射安全与防护考核；考核不合格的，不得上岗。

(3) 需针对射线装置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；射线装置台账；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。

3、辐射安全管理规章制度执行情况

复旦大学附属妇产科医院以及与该项目相关科室的日常辐射防护管理情况如下：

- 1) 定期更新辐射防护管理规章制度。辐射防护管理规章制度的制定和定期更新，建议平均每 2 年更新一次。
- 2) 放射工作人员管理。安排从事放射诊疗作业的医院员工均需通过相应的核

技术利用辐射安全与防护考核，确保考核合格后上岗；对放射工作人员的个人剂量监测进行统一管理，每隔 2 个月送检个人剂量计。

3) 每年度委托有资质的辐射监测单位，对本项目相关工作场所开展辐射监测工作。同时，由本项目相关的不同科室每月自行开展辐射监测工作 1 次。

辐射监测

1. 辐射监测方案

(1) 工作场所监测

项目运行期间需开展定期自行巡测及委托监测，其中：委托监测应委托有资质的机构对射线装置机房进行监测，频率为每年不少于 1 次。

本项目工作场所环境监测计划见下表。

表 12-1 工作场所环境监测计划一览表

机房/场所	监测项目	监测工作场所	监测点位	监测频次	监测工况及条件
医用电子直线加速器机房	X、 γ 剂量率；中子剂量率	东侧墙体；顶棚、控制室操作位；穿墙线管；水冷机房；防护门；科教综合楼临机房侧距地面 18m 处（约 4、5 层）		委外监测频率不低于 1 次/年；自测监测，建议每月一次	选取最高能量档位及常用最高输出剂量率
模拟定位 CT 机房	X、 γ 剂量率	东、西、南墙体；顶棚、控制室操作位；穿墙线管；防护门		委外监测频率不低于 1 次/年；自测监测，建议每月一次	最大常用管电压和管电流

(2) 个人监测

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，放射工作人员在进行放射工作时必须随身佩戴个人剂量片，并配备个人剂量报警仪。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。同时为放射工作人员建立个人剂量档案和健康管理档案，做好工作人员的剂量数据登记和汇总工作。当发现职业操作人员年累积剂量接近剂量约束值时，应立即停止该人员的放射工作，分析和查找剂量接近剂量约束值的原因，并采取相应的整改措施，使实际的屏蔽防护达到要求水平。

(3) 其它要求

根据生态环境主管部门的要求，建设单位应对监测结果做好记录并妥善保存。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环境保护部第 18 号令），建设单位应对本单位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 号前向发证机关提交上一年度的评估报告。定期监测结果应纳入射线装置和放射源安全防护年度评估报告。

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。整改记录应在射线装置与放射源安全防护年度评估报告有所反映。

2. 辐射监测仪器

医院应为参与本项目的每名放射工作人员配备个人剂量计，并在工作场所配备辐射剂量报警仪、辐射剂量巡测仪、中子剂量率仪等监测设备。

建议：①医院加强放射工作人员辐射安全管理，合理分配各放射工作人员从事射线装置操作的时间，保证放射工作人员的个人受照剂量满足剂量约束值（5mSv/年）的要求的同时，尽可能降低个人受照剂量；②加强个人剂量计佩戴管理，放射工作人员从事放射工作作业期间，必须佩戴个人剂量计，遵照《放射工作人员职业健康管理制

辐射事故应急

医院已针对医用电子直线加速器射线装置使用制定了辐射事故应急预案（如《放疗科辐射事故应急演练制度》、《放疗科直线加速器应急预案》、《放疗科急救预案》、《放射事故应急预案》），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。

一旦发生严重事故，应立即封锁现场，迅速安排受照人员接受医学检查，在指定的医疗机构救治；组织有关人员携带仪器设备赶赴现场进行监测，核实事故情况，估算受照剂量，判定事故类型级别，提出控制措施和方案。

建议医院依据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原国家环境保护部第 18 号令，2011 年 5 月 1 日）等相关规定以及上海市处置核与辐射事故应急预案，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，医院必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练。

2) 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、公安部门和消防部门等取得联络。

根据《放射性污染防治法》和《上海市放射性污染防治若干规定》（2015 年 5 月 22 日上海市人民政府第 30 号令修订）的要求，医院的辐射事故应急响应预案应当报杨浦区生态环境局备案。发生放射性污染事故时，应当立即启动本单位的应急预案，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、公安、卫生行政管理部门报告。

环保竣工验收

根据《建设项目环境保护管理条例》（2017 年 7 月 16 日修订）、《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4 号）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），本项目竣工后，建设单位应按照国务院生态环境行政主管部门、上海生态环境局规定的要求和程序，对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告，并依法向社会公开验收报告。建设单位在环境保护设施验收过程中，应当如实查验、监测、记载建设项目环境保护设施的建设和调试情况，不得弄虚作假。本项目环保竣工验收内容建议见表 12-2。

表 12-2 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）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）	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	《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020） 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021） 《医用电子加速器治疗机房放射防护与检测要求》（DB31/T 527-2020） 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）、《医用 X 射线诊断机房卫生防护与检测评价规范》（DB31/T462-2020）	医用直线加速器机房、模拟定位 CT 机房外关注点周围剂量当量率不大于 2.5μSv/h。
三废处理设施	/	(1) 废气：加速器产生的臭氧、氮氧化物以及加速器产生的感生放射性废气经机房独立排风系统排放，直线电子加速器 01 机房的排风风量为 1000m³/h，直线电子加速器 02 机房的排风风量为

		1000m³/h。采用顶部送风、底部排风，排风口呈对角线布置。 (2) 废水：直线加速器、模拟定位 CT 在运行过程中本身无废水排放；放射工作人员生活污水纳入本项目新建污水处理站处理后纳管排放。 (3) 固废：加速器产生的废靶贮存于加速器机房的专用屏蔽容器中贮存衰变，最终委托资质单位收贮。 放射工作人员生活垃圾由环卫部门定期清运。
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)	本项目射线装置机房外设置工作状态指示灯及电离辐射警告标志。
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》(2020 年 12 月 25 日生态环境部第 20 号令修改)	(1) 机房辐射屏蔽措施不低于“表 10-1 机房屏蔽方案”中的屏蔽水平； (2) 辐射安全设施验收要求和内容请详见表 10 辐射安全与防护中 5 安全措施。
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》(2020 年 12 月 25 日生态环境部第 20 号令修改)	为每名放射工作人员配备 1 个个人剂量计（热释光剂量片）；并配备辐射剂量报警仪、X、γ 辐射剂量巡测仪、便携式中子检测仪。
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》(2011 年 5 月 1 日原环境保护部第 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医用电子直线加速器机房、模拟定位 CT 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》(2020 年 12 月 25 日生态环境部第 20 号令修改)	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》(2020 年 12 月 25 日生态环境部第 20 号令修改)	从事放射操作工作人员均取得放射工作人员辐射安全与防护知识考核合格证书，持证上岗。
风险应急预案	《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(2011 年 5 月 1 日原环境保护部第 18 号令)	更新突发辐射事故应急预案。

表 13 结论与建议

结论

1. 项目概况

为了满足医疗服务需要，复旦大学附属妇产科医院杨浦院区拟在科教综合楼地下 1 层新增 2 座直线加速器机房，在科教综合楼地下 1 层新增 1 间模拟定位 CT 机房，用于直线加速器治疗前的模拟定位。

医用电子直线加速器相关参数见表 13-1。

表 13-1 医用电子直线加速器设备参数情况

名称	型号	数量 (台)	最大 X 射线 能量 (MV)	最大电子 束能量 (MeV)	泄漏 率	射野范 围	1m 处射线剂 量率 cGy/min	装置 类别
医用电子直 线加速器	待定	2	15	18	0.1%	40cm× 40cm	1400 cGy/min (6MV) 2400cGy/min (10MV) 600cGy/min (15MV)	II 类

模拟定位 CT 相关参数见表 13-2。

表 13-2 模拟定位 CT 相关参数情况

装置名称	型号	数量	最大管电压/电流(kV/ mA)	装置类别
模拟定位 CT	待定	1	140/715	III 类

对照《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》（生态环境部第 16 号令）及《<建设项目环境影响评价分类名录>上海市实施细化规定（2021 年版）》，本项目涉及“五十五、核与辐射-172、核技术利用建设项目-使用 II 类射线装置”，需编制环境影响报告表。

2. 辐射安全与防护分析

（1）选址布局合理性

本项目的医用电子直线加速器机房位于科教综合楼地下 1 层，所在位置东侧为水冷机房和控制室，西、南、北均为土层，顶部为空地，下部为土层；模拟定位 CT 机房位于科教综合楼地下 1 层，所在位置东侧、南侧均为室内走道，西侧为模拟定位 CT 控制室，北侧为土层，顶部为空调机房和消控中心，下部为雨水处理机房、雨水回用清水池泵房、气体灭火机房。周边除了病人、放射工作人员外，不会有其他人员逗留，项目周围不设置儿科病房、产科等特殊人员及人员密集区域，周围无人员流动性大的商业活动区域。从布局上看，本项目的机房设置是合适的。

（2）辐射分区

本项目相关区域辐射分区管理具体如下：

1) 医用电子直线加速器

控制区：医用电子直线加速器机房内为控制区，在治疗作业过程中，除病人外，机房内不得停留任何人员；监督区：医用电子直线加速器机房的水冷机房和控制室，上述区域均设为监督区，在治疗作业过程中，仅允许放射工作人员进入；其他区域对人员活动不作限制。

2) 模拟定位 CT 射线装置

当射线装置机房开展模拟定位作业时，辐射分区如下：

①机房内部为控制区，在作业过程中，除病人及放射工作人员外，不允许其他无关人员进入及停留；

②机房外的控制室为监督区，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。

（3）三废治理和控制

本项目模拟定位 CT 射线装置正常运行无放射性废气产生，加速器产生的臭氧和氮氧化物以及感生放射性废气经机房独立排风系统通过楼顶排放，本项目加速器治疗机房 1 排风风量为 $1000\text{m}^3/\text{h}$ ，自由容积 220m^3 ，该通风系统在 1h 内可以使机房内换气 4.5 次；加速器治疗机房 2 排风风量为 $1000\text{m}^3/\text{h}$ ，自由容积 220m^3 ，该通风系统在 1h 内可以使机房内换气 4.5 次，符合《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中对治疗室的换气次数要求：“通风换气次数不小于 4 次/h”。

本项目医用电子直线加速器、模拟定位 CT 射线装置在运行过程中无废水排放，放射工作人员生活污水纳入本项目新建污水处理站处理后纳管排放。

加速器产生的废靶贮存于加速器机房的专用屏蔽容器中贮存衰变，最终委托资质单位收贮。放射工作人员新增生活垃圾由环卫部门定期清运。

3. 环境影响分析

（1）周边辐射水平

计算分析结果表明，本项目医用直线加速器机房外剂量率水平均低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，能够满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）和《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中限值要求；本项目模拟定位 CT 机房外剂量率水平均低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）、《医用 X 射线诊断机房卫生防护与检测评价

规范》（DB31/T462-2020）要求：射线装置机房外表面 0.3m 处 $\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

（2）人员剂量

本项目电子直线加速器、模拟定位 CT 射线装置开机操作时所导致放射工作人员年剂量最大值低于《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）规定的剂量限值（20mSv/年）以及剂量约束值（5mSv/年）。

本项目电子直线加速器、模拟定位 CT 射线装置开机操作时所导致公众年剂量最大值低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）和《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）规定的公众照射剂量限值（1mSv/年）及公众照射剂量约束值（0.1mSv/年）。

4. 辐射安全管理

本项目设置有完善的安全措施，包括门机联锁、急停开关、双道剂量监测系统（冗余剂量监测组合）、紧急开门按钮、监视系统、语音对讲系统等；本项目医用电子直线加速器机房安全措施设置能够满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）和《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的要求。

医院设立辐射安全与环境保护管理机构，并建立完善的辐射安全管理规章制度，制定《放疗科辐射事故应急演练制度》、《放疗科直线加速器应急预案》、《放射事故应急预案》等，同时配备相关的辐射防护及监测设备。

5. 可行性结论

本项目旨在提高放射性诊断水平、提高医疗服务质量，其建设符合国家及地方相关产业政策，符合“实践正当性”要求，且选址、布局合理，因此，该项目是正当可行的。

6. 总结论

综上，在认真贯彻执行国家有关环境管理的法律、法规和国家标准，严格实施本项评价工作提出的环境污染控制措施和加强管理的前提下，本项目的建设具有良好的社会价值和社会效益，不会对周围环境带来不可接受的环境影响，从辐射安全和环境保护的角度上来评价是可行的。

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：

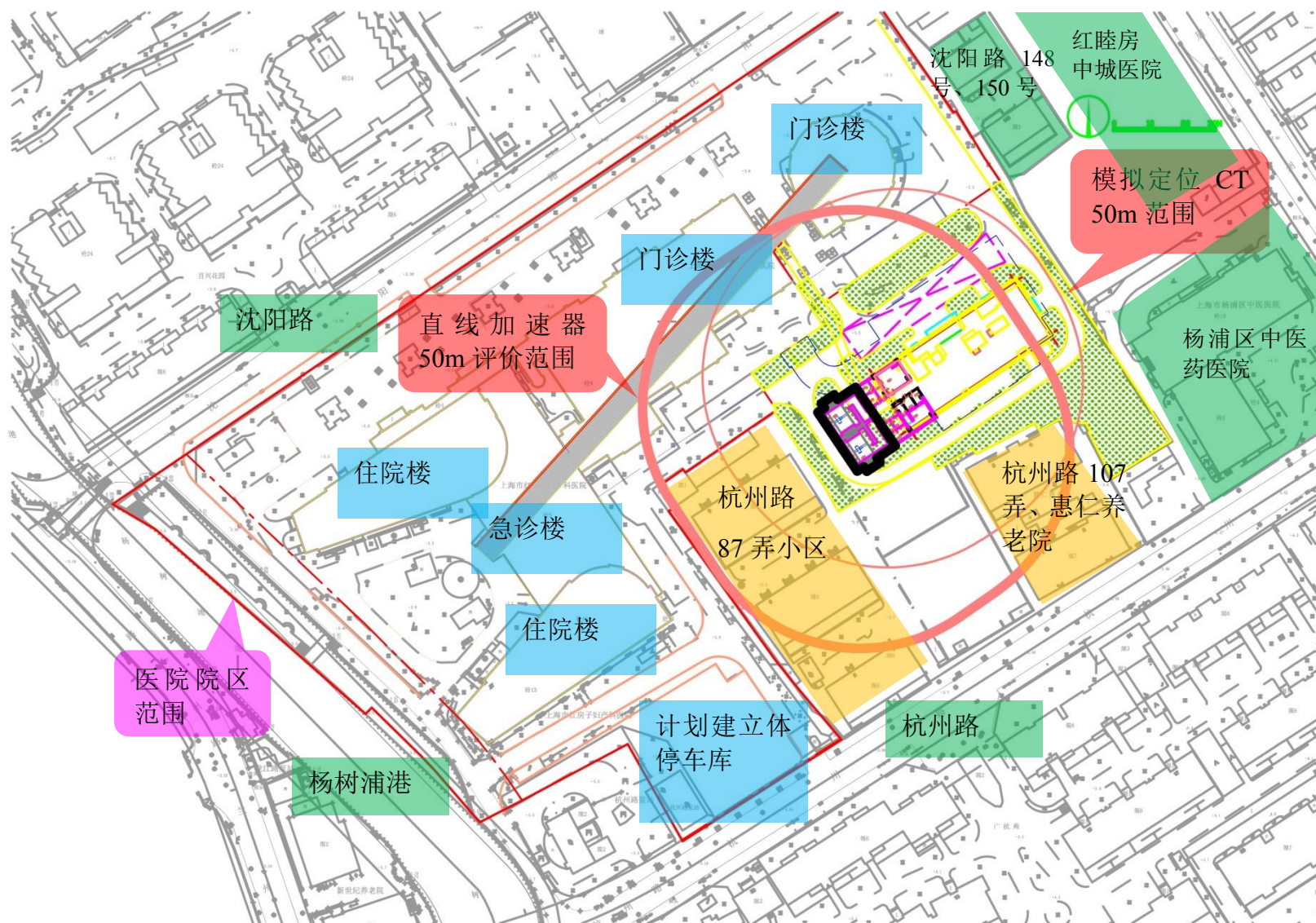
1) 本项目必须在环评审批通过、取得辐射安全许可、并经项目竣工验收合格后，才能正式使用。

2) 合理安排放射工作人员的工作时间，严格按照工作量平均安排每个放射工作人员的作业时间，平均分配放射工作人员的年剂量值。

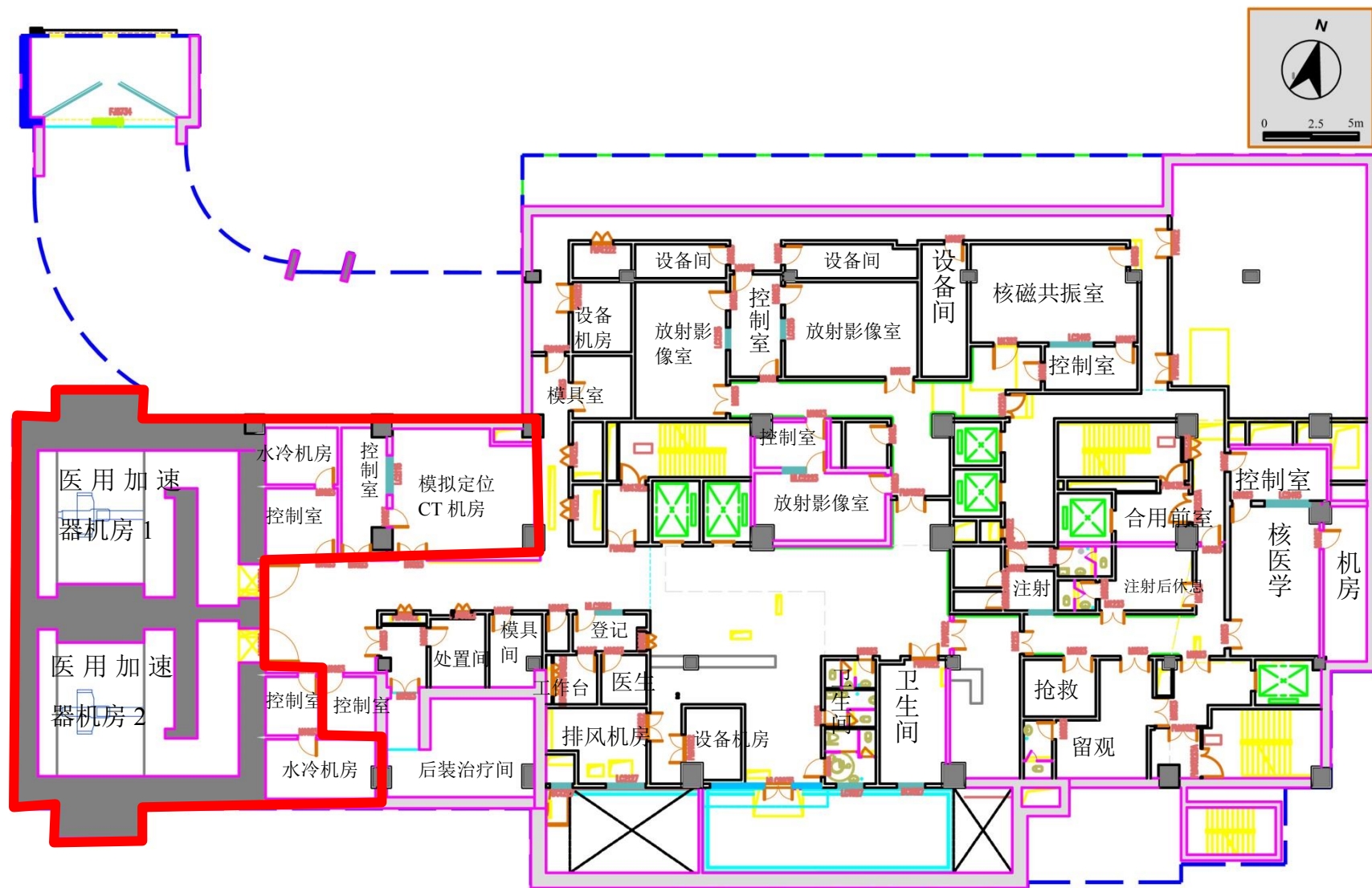
3) 加强放射工作人员个人剂量监测管理工作，及时送检并统一管理维护放射工作人员个人剂量监测档案。



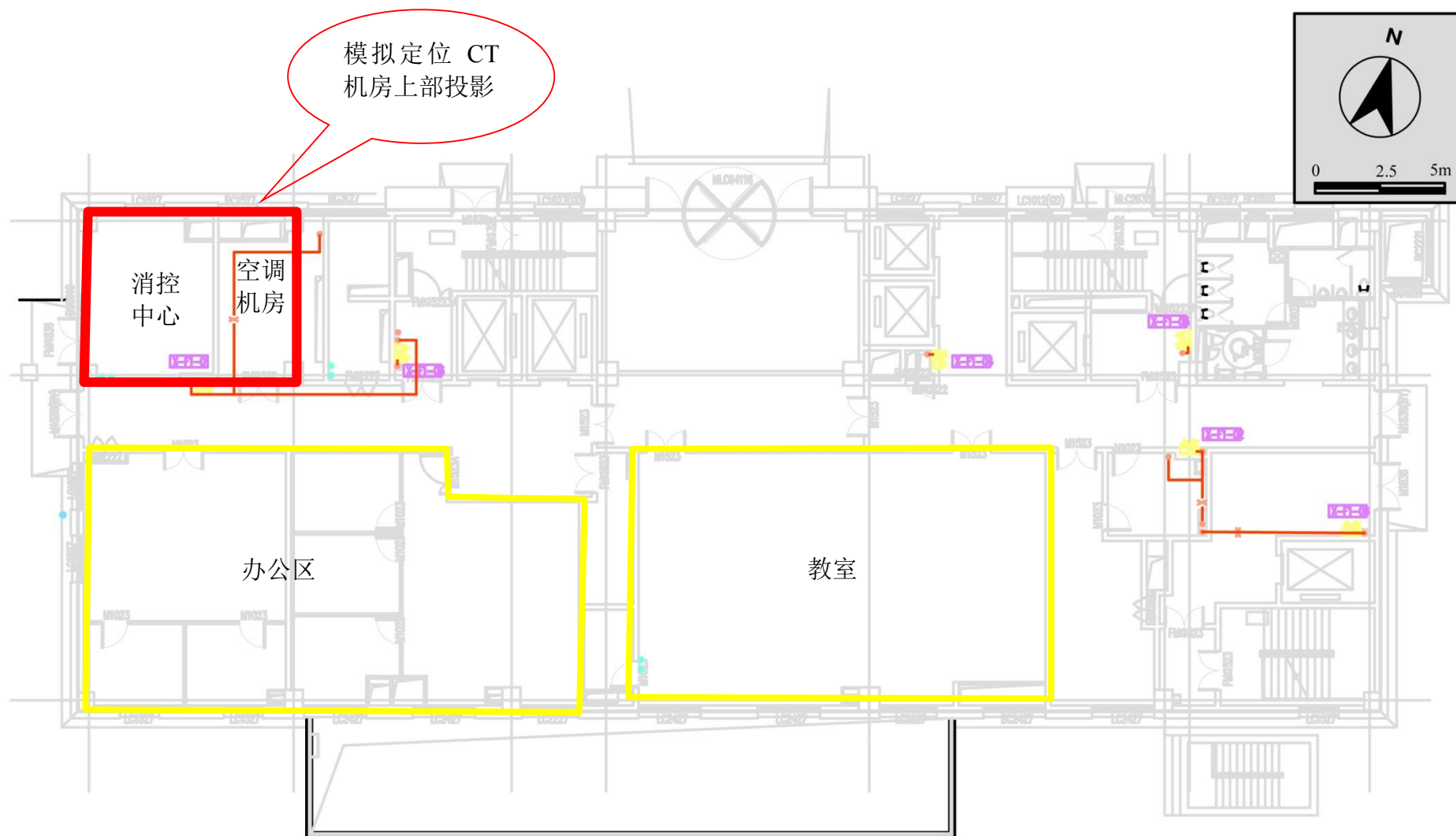
附图1 本项目地理位置示意图



附图2 本项目周边环境示意图及评价范围



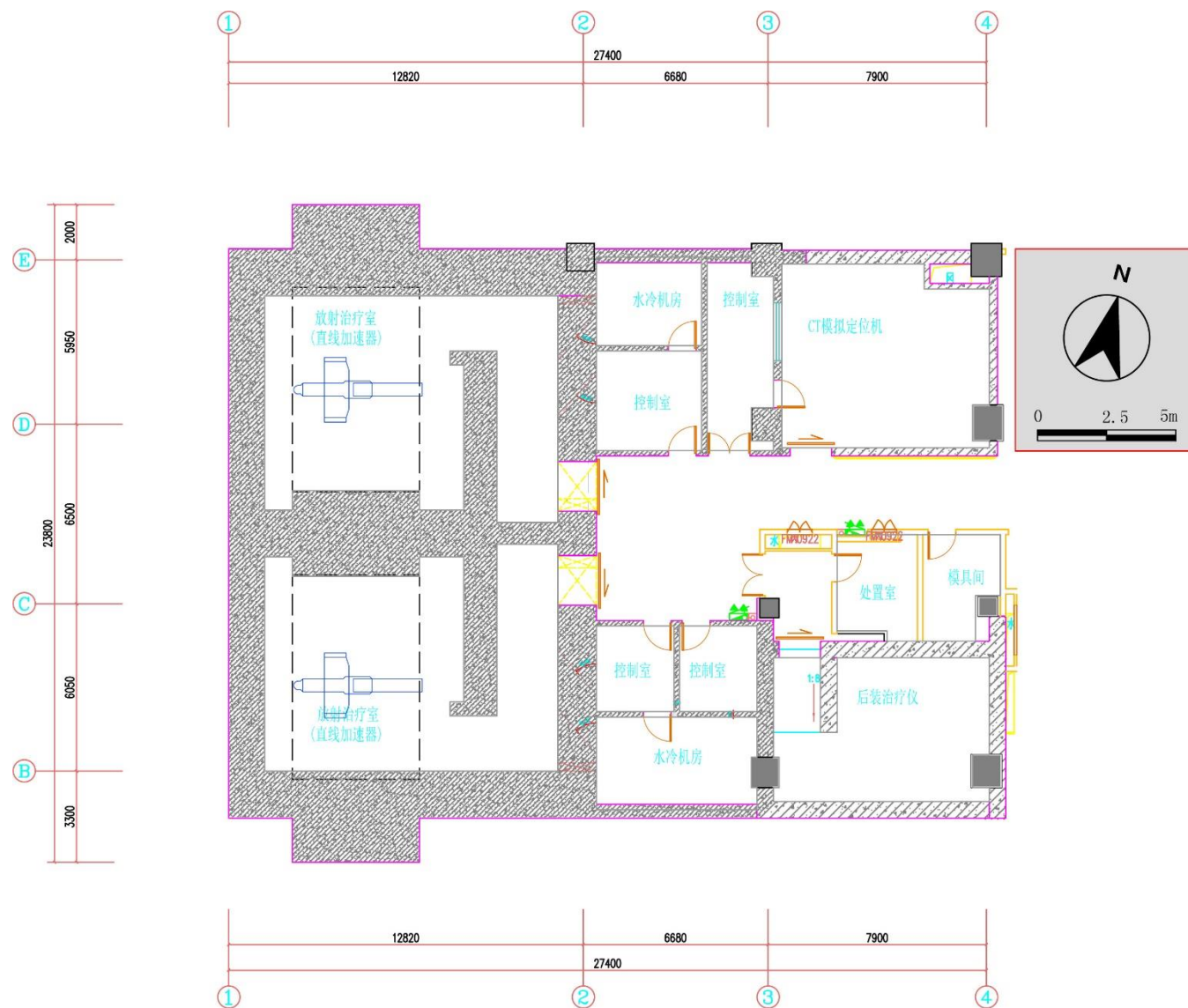
附图3 本项目医用直线加速器机房所在楼层平面布置图



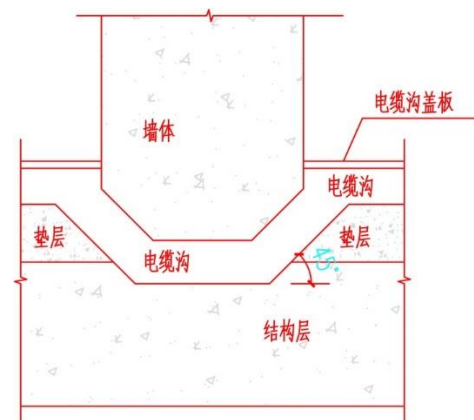
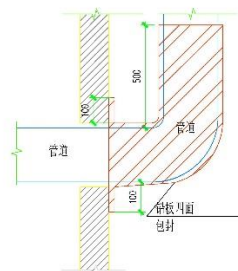
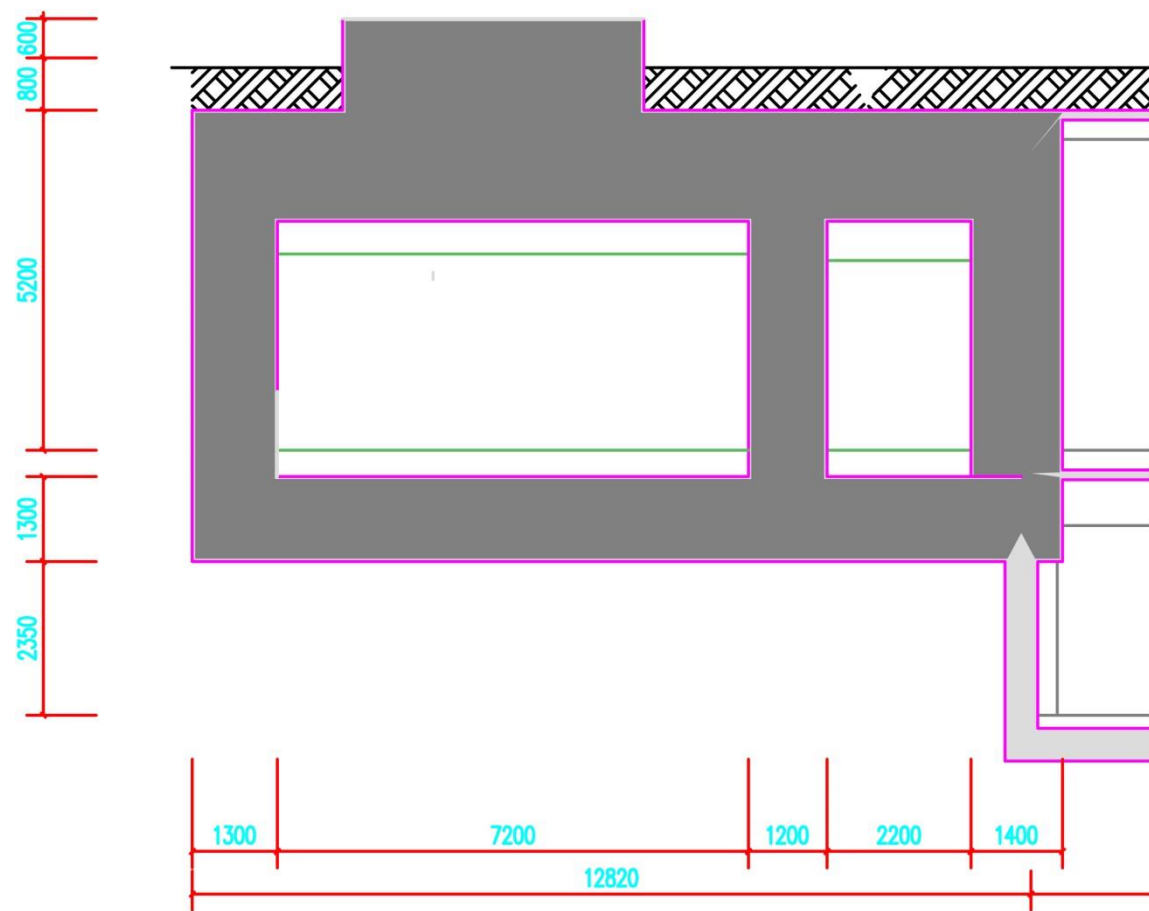
附图 4 本项目医用直线加速器机房所在楼层楼上平面图（注：医用直线加速器机房及水冷机房、控制室上面为地面）



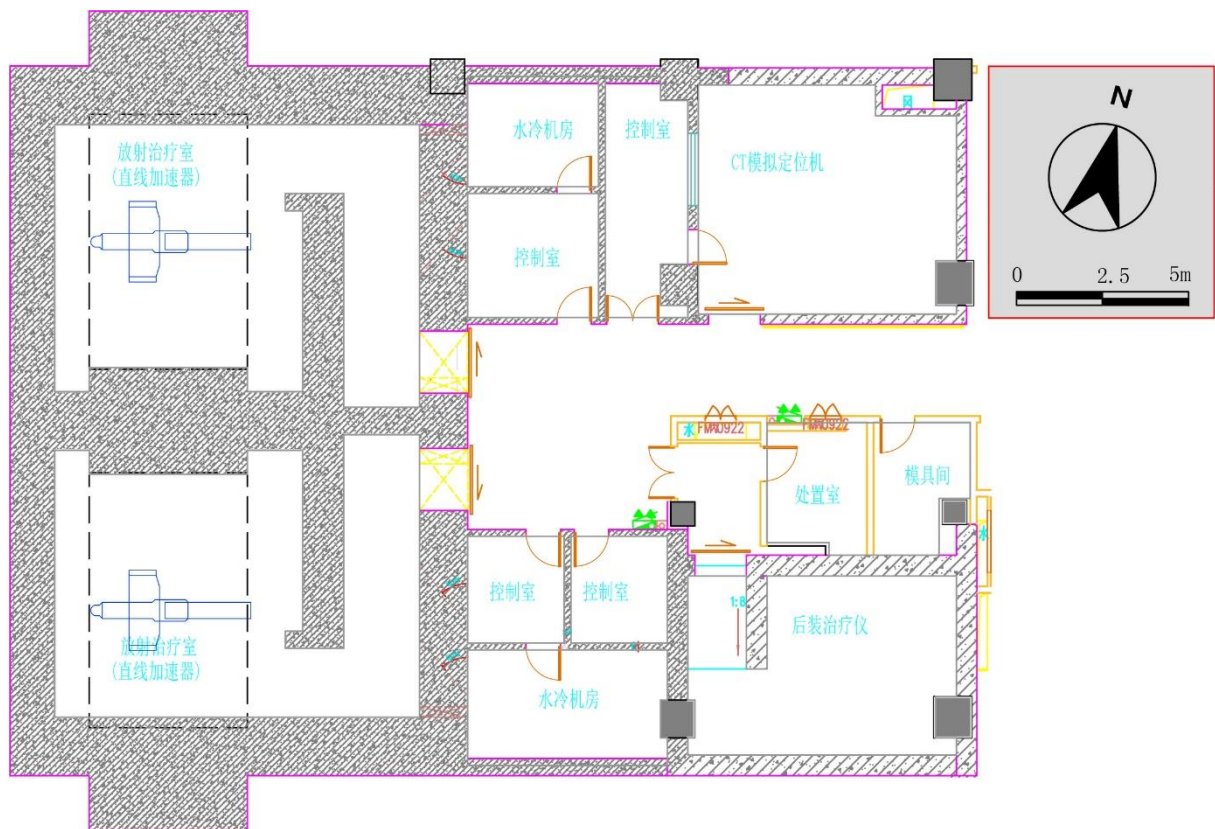
附图 5 本项目医用直线加速器机房所在楼层楼下平面图



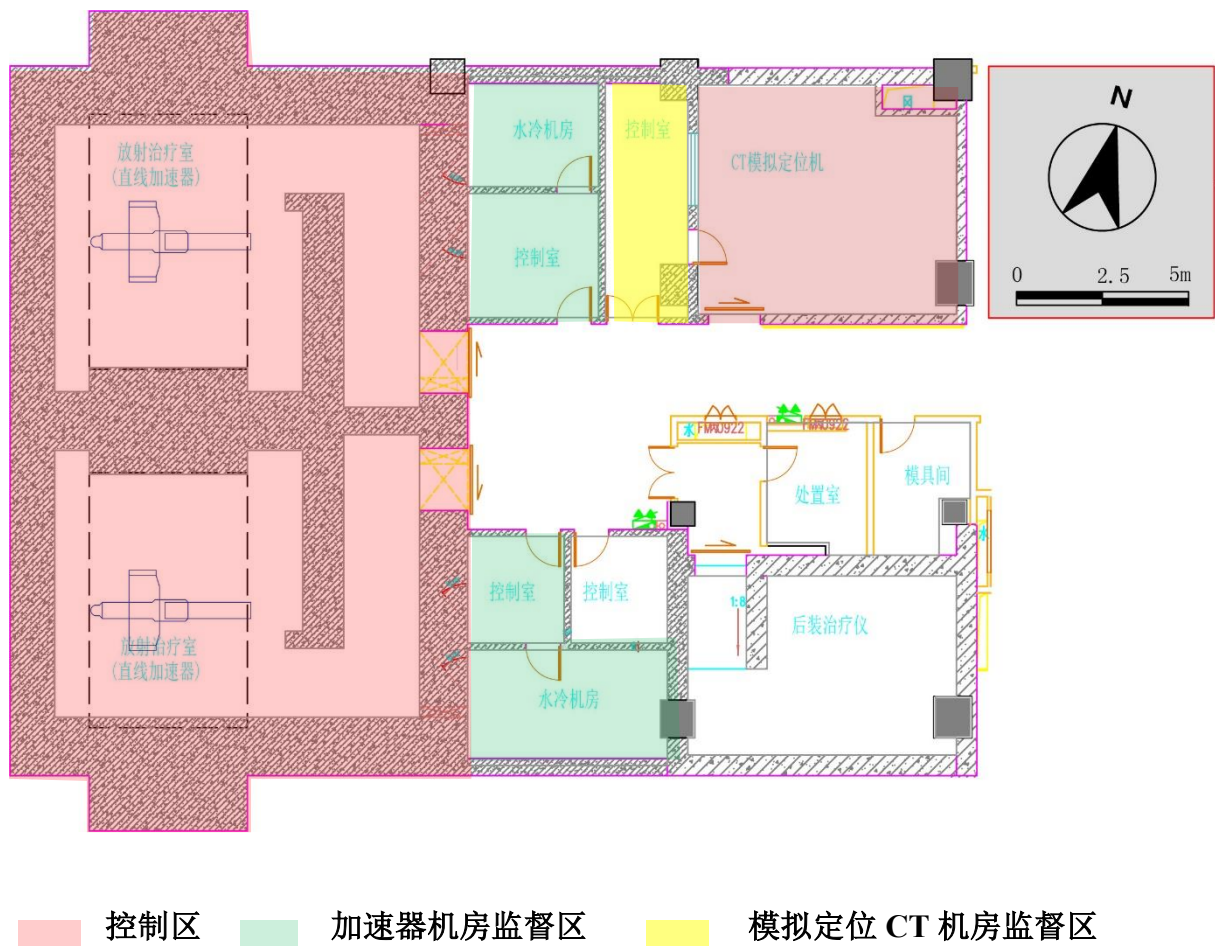
附图 6 本项目机房屏蔽方案平面图



附图 7 本项目医用直线加速器机房屏蔽方案剖面图及穿墙管线图



附图 8 本项目医用直线加速器机房平面布置图



附图 9 本项目医用直线加速器及模拟定位 CT 辐射分区示意图

附件 1 环评批复



上海市生态环境局

登记号: 110-21-18

沪环保许评[2021]7 号

上海市生态环境局关于复旦大学附属妇产科医院科教综合楼工程项目环境影响报告表的审批意见

复旦大学附属妇产科医院:

你单位向我局提交的《复旦大学附属妇产科医院科教综合楼工程项目环境影响报告表》(以下简称《报告表》)及其相关材料收悉并受理,现已审理完结。

一、你单位申报情况:

(一)项目拟在杨浦区沈阳路 128 号复旦大学附属妇产科医院院内东南部新建科教综合楼 1 幢,作为医院妇产科科学教学、生殖与发育科学研究的场所。该建筑为地上 11 层、地下 2 层,总建筑面积 15214 平方米,主要用于科研实验、医学教学、医学诊断及相关办公,不涉及床位新增。

本项目有关辐射或放射性设备等内容需按国家规定另行办理辐射环境影响评价。

1

(二) 你单位委托橙志(上海)环保技术有限公司编制了《报告表》。

二、经审查,我局做出以下决定:

(一) 根据《报告表》分析、结论意见以及建设单位环保措施落实承诺,从环保角度原则同意项目建设。

(二) 在项目设计、施工、运行中应按《报告表》提出的要求,落实环保设施和污染防治措施,保护环境。具体有:

1、项目应实行雨、污水分流。地下车库冲洗废水经隔油沉砂处理后、实验室废水经预处理后,与生活污水、纯水制备尾水、水浴锅废水、动物房笼具清洗废水、诊疗废水(衰变池处理解控后)一并进入新建污水处理站处理;餐饮废水依托现状隔油池处理后,依托现状污水处理站进行处理。所有废水经总排口一并纳入市政管网,最终排入竹园污水处理厂集中处理。纳管口水质须满足《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)中表2的预处理标准要求,其中氨氮排放浓度须满足《污水综合排放标准》(DB31/199-2018)中表2的三级标准要求。

2、项目实施后,各类废气收集处理后经52米高排气筒排放,油烟废气依托现有食堂净化系统排放。实验废气应符合《大气污染物综合排放标准》(DB31/933-2015)中相应的标准限值要求;动物房和污水处理站废气中污染物浓度应符合《恶臭(异味)污染物排放标准》(DB31/1025-2016)表1、表2相应的限值要求;餐饮油烟应符合《餐

饮食油烟排放标准》(DB 31/844-2014)标准要求。排气筒进出口应按规范设置采样平台和监测采样孔。

3、应按《上海市大气污染防治条例》提出的要求,严格控制废气的无组织排放。地下汽车库排风系统须满足《机动车停车场(库)环境保护设计规程(DGJ08-98-2014)》相关规定。非甲烷总烃的园区内浓度须满足《挥发性有机物无组织排放控制标准》(GB 37822-2019)表 A.1 中特别排放限值的要求;园区厂界处污染物浓度须满足《恶臭(异味)污染物排放标准》(DB31/1025-2016)中表 3 和表 4 及《大气污染物综合排放标准》(DB31/933-2015)表 3 中相应标准限值要求。

4、应合理布局,采取有效降噪、减振措施,确保厂界噪声达到《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)中 2 类功能区标准要求。

5、各类固体废物应分类收集,按《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》和本市有关规定要求分别妥善处理。危险废物贮存场所设置应符合《危险废物贮存污染控制标准》要求,产生的危险废物应委托有资质单位处置。

6、应落实环评文件要求,严格落实风险防范制度,加强日常管理,应按照国家 and 上海市相关要求制定突发环境事件应急预案并按规定报生态环境主管部门备案备查。

7、应按照环评文件落实环境管理、环境监测等各项要求,认真做好环保设施运行效果记录和日常监测。应加强环保设施日常管理,

确保污染治理设施稳定运行。

8、应按照环评文件要求落实施工期间各项环保措施，文明施工，减少和控制污废水、扬尘、噪声等对环境的影响。夜间施工应根据相关规定提前向有关部门申报。

（三）在建设中，如果项目的内容、性质、规模、地点、采用的生产工艺或防治污染、防止生态破坏的措施发生重大变动的，应重新报批建设项目环评文件。

（四）项目建设应严格执行配套建设的环保设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用的环保“三同时”制度。项目建成后，建设单位应当按照规定对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告，并向社会公开。

（五）如项目审批或核准机关调整并导致环评审批权限发生变化时，你单位应另行向有审批权限的生态环境部门申请环评审批。

（六）按照排污许可管理有关规定，纳入排污许可管理的单位，应当在启动生产设施或者在实际排污之前申请或变更排污许可证。

三、请市生态环境局执法总队、杨浦区生态环境局负责项目施工期间的环境保护检查工作。

四、申请人如不服本受理决定，可以自收到本审批意见之日起六十日内到上海市人民政府或生态环境部申请行政复议，也可以自收到本审理决定之日起六个月内直接向人民法院提起行政诉讼。

五、如项目建设和运行依法需要其他行政许可的，申请人应按规

定办理其他审批手续后方可开工建设或运行。



抄送: 市生态环境局执法总队、杨浦区生态环境局、橙志(上海)
环保技术有限公司、上海环境科学学会

附件 2 辐射安全许可证



辐射安全许可证

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的规定，经审查准予在许可种类和范围内从事活动。

单位名称：复旦大学附属妇产科医院
地 址：上海市黄浦区方斜路 419 号
法定代表人：徐丛剑
种类和范围：使用 II 类、III 类射线装置，
使用非密封放射性物质，丙级工作场所
证书编号：沪环辐证[28603]
有效期至：2026 年 09 月 28 日



发证机关：上海市生态环境局
发证日期：2021 年 09 月 29 日

中华人民共和国生态环境部制

单位名称	复旦大学附属妇产科医院		
地址	上海市黄浦区方斜路419号		
法定代表人	徐丛剑	电话	33189900
证件类型	身份证	号码	140104196611042779
涉源部门	名称	地址	负责人
	同位素室	肇周路413号	李大金
	杨浦放射科	沈阳路128号	张国福
	黄浦放射科	方斜路419号	张国福
	以下空白		
种类和范围	使用II类、III类射线装置,使用非密封放射性物质,丙级工作场所		
许可证条件			
证书编号	沪环辐证[28603]		
有效期至	2021年09月28日		
发证日期	2016年09月29日(发证机关章)		

放射性物质
证书编号: 沪环辐证[28603]

[illegible]

扫描全能王 创建



活动种类和范围

(三) 射线装置

证书编号: 沪环辐证[28603]

[illegible]

王能全 创建



台帐明细登记

(三) 射线装置

证书编号:

沪环辐证[28603]

序号	装置名称	规格型号	类别	用 途	场 所	来源 / 去向		审核人	审核日期
						来源	去向		
1	多功能 X 射线诊断机	ULTIMAX-I DREX-UI80	III类	放射诊断用普通 X 射线机	杨浦放射科 8 号机房	来源	日本 Toshiba 公司	贺佳婕	2016-9-22
	乳腺 X 射线摄影机	Senographe DS	III类	乳腺 X 射线机	杨浦放射科 4 号机房	去向			
						来源	通用电气医疗系统	贺佳婕	2016-9-22
	X 射线机	Toshiba Ultimax	III类	放射诊断用普通 X 射线机	黄浦放射科 2 号机房	去向			
						来源	科学器材有限公司	贺佳婕	2016-9-22
	数字减影血管造影 X 射线系统	INNOVA 4100-IQ	II类	数字减影血管造影装置	杨浦放射科 1 号机房	来源	通用电气医疗系统	贺佳婕	2016-9-22
						去向			
	数字 X 射线摄影机	DigitalDiagnost	III类	放射诊断用普通 X 射线机	杨浦放射科 3 号机房	来源	PHILIPS 公司	贺佳婕	2016-9-22
						去向			
	移动式数字 X 射线摄影机	MOBILETT XP Digital	III类	放射诊断用普通 X 射线机	杨浦放射科	来源	SIEMENS 公司	贺佳婕	2016-9-22
						去向			
	数字胃肠 X 射线机	Ultimax	III类	放射诊断用普通 X 射线机	杨浦放射科 2 号机房	来源	日本 Toshiba 公司	贺佳婕	2016-9-22
						去向			
	MG	Senographe DS	III类	乳腺 X 射线机	黄浦放射科 4 号机房	来源	科学器材有限公司	贺佳婕	2016-9-22
						去向			

序号	装置名称	规格型号	类别	用途	场所	来源 / 去向		审核人	审核日期
9	移动 X 线机	MOBILETT XP Digital	III类	放射诊断用普通 X 射线机	黄浦放射科	来源	SIEMENS 公司	贺佳婕	2016-9-22
						去向			
10	DXA	Discovery-Wi	III类	放射诊断用普通 X 射线机	黄浦放射科 4 号机房	来源	美国 HOLOGIC	贺佳婕	2016-9-22
						去向			
11	多功能 X 射线诊断机	ULTIMAX-I DREX-UI80	III类	放射诊断用普通 X 射线机	黄浦放射科 1 号机房	来源	日本 Toshiba 公司	贺佳婕	2016-9-22
						去向			
12	数字化 X 射线摄影系统	VX3733-sys	III类	放射诊断用普通 X 射线机	黄浦放射科 3 号机房	来源	锐珂医疗公司	贺佳婕	2016-9-22
						去向			
13	CT	Ingenuity	III类	放射诊断用普通 X 射线机	杨浦放射科 7 号机房	来源	PHILIPS	贺佳婕	2016-9-22
						去向			
	以下空白					来源			
						去向			
						来源			
						去向			
						来源			
						去向			



监测报告

报告编号: 2022ZFP01025FH13

委托单位: 上海核工程研究设计院有限公司

受检单位: 复旦大学附属妇产科医院杨浦分院

项目地址: 上海市杨浦区沈阳路 128 号

项目类别: 环境 γ 辐射剂量率

委托批号: 2022ZFP01025FH13

中辐评检测认证有限公司

2022 年 06 月 14 日

一、项目基本情况

委托单位名称	上海核工程研究设计院有限公司
委托单位地址	上海市虹漕路 29 号
受检单位名称	复旦大学附属妇产科医院杨浦分院
受检单位地址	上海市杨浦区沈阳路 128 号
监测项目	γ 辐射剂量率
监测日期	2022 年 06 月 08 日
监测地点	复旦大学附属妇产科医院杨浦分院新增直线加速器拟建场所
监测环境	温度: 23.6°C, 相对湿度: 48.6%RH, 气压: 101.5kPa
主要监测仪器	6150AD-b/H 便携式 X、 γ 辐射周围剂量当量率仪 (检定日期: 2022.01.29; 量程: 50nSv/h~99.9 μ Sv/h; 编号: ZFPYQ-B-2; 主机编号 158202, 探头编号 160260)
监测依据	《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157—2021)
项目描述	本公司受上海核工程研究设计院有限公司委托, 对复旦大学附属妇产科医院杨浦分院有限公司新增直线加速器拟建场所进行环境 γ 辐射剂量率本底水平监测。监测点示意图详见附图 1、2。

二、监测结果

1. 测点编号: 01025FH13-1

表 1 新增直线加速器拟建场所环境 γ 辐射剂量率监测结果一览表

序号	监测位置	测量 次数	监测结果 ($\mu\text{Gy/h}$)		
			最低值	最高值	平均值
1	杭州路 87 弄小区东北角	10	0.11	0.11	0.11
2	杭州路 107 弄小区和惠仁养老院西北角	10	0.11	0.12	0.11
3	模拟定位 CT 机房地面投影中心位置	10	0.11	0.12	0.12
4	直线加速器机房 1 水冷机房地面 投影中心位置	10	0.11	0.12	0.12
5	直线加速器机房 1 控制室地面 投影中心位置	10	0.10	0.12	0.11
6	直线加速器机房 2 控制室地面 投影中心位置	10	0.11	0.12	0.11
7	直线加速器机房 2 水冷机房地面 投影中心位置	10	0.11	0.12	0.11
8	直线加速器机房 1 地面投影北侧	10	0.11	0.12	0.11
9	直线加速器机房 1 地面投影中心位置	10	0.11	0.12	0.11
10	直线加速器机房 2 地面投影中心位置	10	0.10	0.12	0.11
11	直线加速器机房 2 地面投影南侧	10	0.11	0.12	0.11
12	直线加速器机房 1 地面投影西侧	10	0.11	0.12	0.11
13	直线加速器机房 2 地面投影西侧	10	0.10	0.12	0.11
14	医技楼北侧门诊区出入口(室外对照点)	10	0.11	0.12	0.11

备注:

①监测设备校准因子: 0.91;

②按照《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157—2021), 使用 ^{137}Cs 作为检定/校准参考辐射源时, 空气比释动能与周围剂量当量转换系数取 1.20Sv/Gy ;

③表中监测结果未扣除仪器对宇宙射线的响应值;

④本报告仅对本次监测点位及监测结果负责。

编

制:

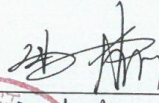
审

核:

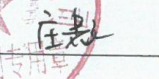
批

准:

批准日期:







2022.06.14

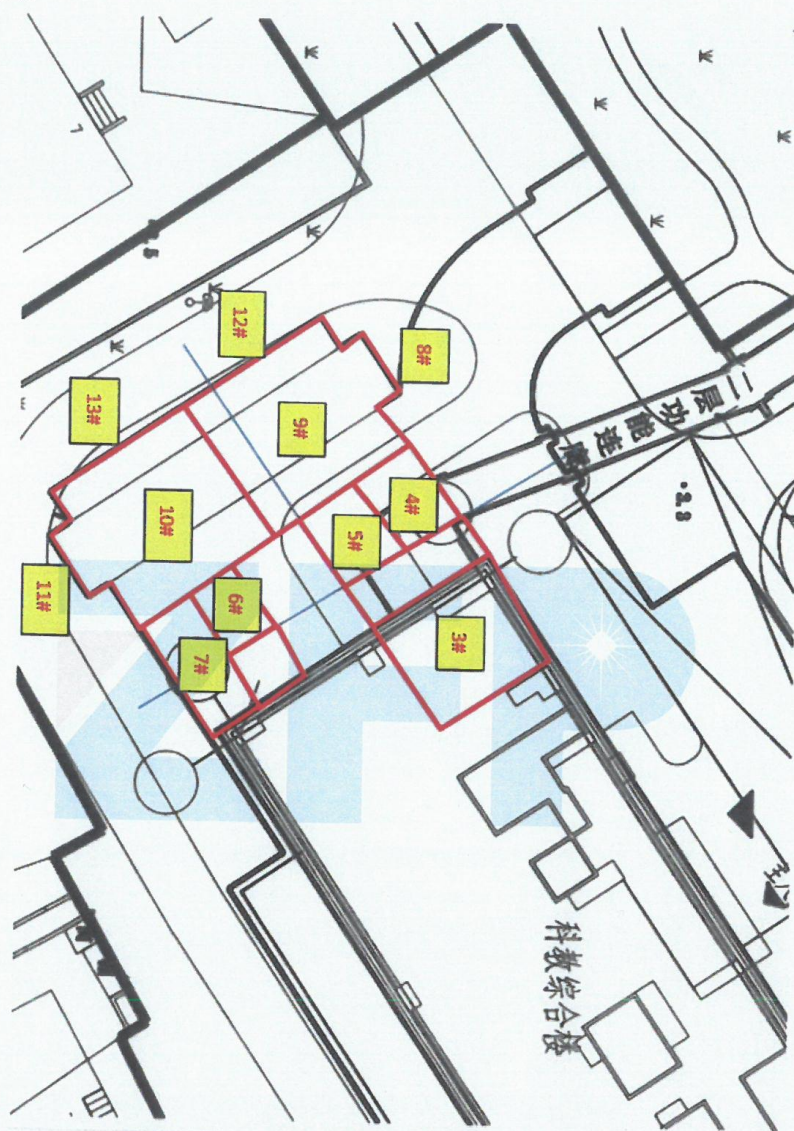
ZFP

附图一



拟建直线加速器辐射环境场所本底监测点位

附图二



拟建直线加速器辐射环境场所本底监测点位

报告内容至此结束