

核技术利用建设项目

江西省人民医院红谷分院

放射性同位素与射线装置应用项目

环境影响报告表

（报批公示稿）

江西省人民医院（盖章）

二〇二一年十一月

环境保护部监制

核技术利用建设项目

江西省人民医院红谷分院

放射性同位素与射线装置应用项目

环境影响报告表

建设单位名称：江西省人民医院

建设单位法人代表：谭友文

通讯地址：南昌市东湖区爱国路 152 号

邮政编码：330006

电子邮箱：2992637007@qq.com

联系人：林伟

联系电话：——

打印编号: 1634091371000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	041454		
建设项目名称	江西省人民医院红谷分院放射性同位素与射线装置应用项目		
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)	江西省人民医院		
统一社会信用代码	12360000491005892W		
法定代表人 (签章)	谭友文		
主要负责人 (签字)	王映华		
直接负责的主管人员 (签字)	龚震宇		
二、编制单位情况			
单位名称 (盖章)	江西省核工业地质局测试研究中心		
统一社会信用代码	12360000858266387A		
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
吴群	201703536035201 3360710000096	BH010017	
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
吴群	项目基本情况、放射源、非密封放射性物质、射线装置、废弃物（重点是放射性废弃物）、评价依据、保护目标与评价标准、环境质量和辐射现状、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	BH010017	



环境影响评价工程师

Environmental Impact Assessment Engineer



本证书由中华人民共和国人力资源
和社会保障部、环境保护部批准颁发，
表明持证人通过国家统一组织的考试，
具有环境影响评价工程师的职业水平和
能力。

姓 名： 吴 群

证件号码： 360310198506010000

性 别： 男

出生年月： 1985 年 06 月

批准日期： 2017 年 05 月 21 日

管 理 号： 2017035360352013360710000096

仅用于“江西省人民医院红谷分院放射性同位素与射线装置应用项目”



目录

表 1	项目基本情况.....	1
表 2	密封放射源.....	12
表 3	非密封放射性物质.....	12
表 4	射线装置.....	12
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）	14
表 6	评价依据.....	15
表 7	保护目标与评价标准.....	17
表 8	环境质量和辐射现状.....	28
表 9	项目工程分析与源项.....	32
表 10	辐射安全与防护.....	39
表 11	环境影响分析.....	57
表 12	辐射安全管理.....	80
表 13	结论与建议.....	84
表 14	审批.....	88
附件1	委托书	
附件2	辐射安全许可证	
附件3	个人剂量监测报告	
附件4	职业健康体检报告	
附件5	辐射安全与防护培训统计	
附件6	年度评估报告证明文件	
附件7	医院辐射规章制度	
附件8	类比监测报告	
附件9	本项目辐射环境监测报告	
附件10	验收委托书	
附件11	专家意见及修改清单	
附件12	修改意见确认函	

表 1 项目基本情况

建设项目名称		江西省人民医院红谷分院放射性同位素与射线装置应用项目					
建设单位		江西省人民医院					
法人代表		谭友文	联系人	林伟	联系电话	/	
注册地址		南昌市东湖区爱国路 152 号					
项目建设地点		南昌市红谷新区濠江路与丰和北大道交叉口					
立项审批部门		/		批准文号	/		
建设项目总投资（万元）		3000	环保投资（万元）	300	投资比例	10%	
项目性质		☐ 新建 ☐ 改建 ☒ 扩建 ☐ 其他				占地面积（m ² ）	/
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I类 ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V类				
		☒ 使用	☐ I类（医疗使用） ☐ II类 ☒ III类 ☐ IV类 ☐ V类				
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物				
		☐ 销售	/				
		☐ 使用	☐ 乙 ☐ 丙				
	射线装置	☐ 生产	☐ II类 ☐ III类				
		☐ 销售	☐ II类 ☐ III类				
		☒ 使用	☒ II类 ☒ III类				
	其他	/					
	1.核技术利用项目情况 1.1 单位基本情况 江西省人民医院创建于 1897 年，前身是美国卫理公会创办的教会医院，是南昌地区第一所西医医院。医院医疗用房建筑面积 12.02 万 m²，开放床位 1646 张，集医疗、保健、科研、教学和体检于一体，是江西乃至中部地区具有重要影响的三级甲等综合性医院。医院分为本部、阳明路门诊部及红谷分院。医院本部位于南昌市爱国路 152 号，阳明路门诊部位于南昌市阳明路 392 号。红谷分院位于红谷滩新区凤凰洲片区珠江路以南、凤凰北大道以东、濠江路以北、丰和北大道以西地块，地理坐标为：北纬 28°42'21.66"，东经 115°52'22.67"，地理位置见图 1-1。目前医院在职职工 3301 人，其中辐射工作人员 152 人，医院年运行 365 天，实行工作人员每班 8 小时的工作制度。 1.2 项目基本情况 随着医院发展及广大患者的就医需求，江西省人民医院在红谷滩分院医疗综合楼 1 号楼地下一层建设放疗中心，建设医用电子直线加速器机房 2 间，每间机房使用 1 台医用电子直线加速器；建设后装治疗机机房 1 间，使用 ¹⁹²Ir 密封放射源 2 枚，1 枚正常使						

用，另 1 枚放射源储存在后装治疗机房的保险柜内；建设 CT 模拟定位机机房 1 间，使用 CT 模拟定位机 1 台。本项目医用电子直线加速器及后装治疗机依托本项目新增的 CT 模拟定位机进行定位。

本项目后装治疗机拟配备辐射工作人员 5 人，医用电子直线加速器拟配备辐射工作人员 7 人，CT 模拟定位机配备辐射工作人员 4 人，本项目辐射工作人员仅从事本项目内容，不从事其他辐射工作。

2021 年 9 月 10 日现场踏勘时，该项目后装治疗机房和直线加速器机房已随医院主体工程建设完成，但机房未进行装修。CT 模拟定位机房未建设。

本项目放射性同位素与射线装置应用情况见表 1-1~表 1-2。

表 1-1 此次环评射线装置一览表

序号	设备名称	型号	数量 (台)	设备参数	安装位置	类别
1	医用电子直线加速器	待定	1	电子线：6/9/12/15MeV； X 射线：6、10MV；	红谷分院医疗综合楼 1 号楼地下一层直线加速器机房 1	II 类
2	医用电子直线加速器	待定	1	电子线：6/9/12/15MeV； X 射线：6、10MV；	红谷分院医疗综合楼 1 号楼地下一层直线加速器机房 2	II 类
3	CT 模拟定位机	待定	1	140kV，800mA	红谷分院医疗综合楼 1 号楼地下一层模拟定位机房	III 类

表 1-2 本次评价涉及的放射源基本参数一览表

序号	放射源名称	放射源活度 (Bq)	数量	类别	工作场所
1	^{192}Ir	3.7×10^{11}	2 枚	III 类	红谷分院医疗综合楼 1 号楼地下一层后装治疗室

由“关于发布<射线装置分类>的公告（环境保护部、国家卫生和计划生育委员会 公告 2017 年第 66 号）”可知，本项目医用电子直线加速器属于 II 类射线装置，CT 模拟定位机属于 III 类射线装置。由“关于发布<放射源分类办法>的公告（国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号）”可知， ^{192}Ir 放射源属于 III 类密封放射源。由《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》（生态环境部 部令 第 16 号）可知，江西省人民医院红谷分院放射性同位素与射线装置应用项目属于“五十五、核与辐射，172 核技术利用建设项目中使用 II 类射线装置的，医疗使用 III 类放射源的”应进行辐射环境影响评价并编制辐射环境影响报告表，报江西省生态环境厅审批。

为此，江西人民医院于 2021 年 8 月正式委托江西省核工业地质局测试研究中心进行辐射环境影响评价。江西省核工业地质局测试研究中心则立即组织人员进行了现场踏勘和资

料收集等相关工作，在此基础上编制完成了该医院的辐射环境影响报告表。

2.项目周边环境概况及选址合理性

江西省人民医院红谷分院位于濠江路与丰和北大道交叉口。红谷分院北面为商住楼及空地，南面为濠江路，西面为凤凰北大道，东面为丰和北大道。

2.1 后装治疗机

后装治疗机拟安装于医疗综合楼1号楼地下一层西侧后装治疗机机房内，该机房南面为土层，北面为走廊，西面为CT模拟定位机房，东面为控制室和过道间，机房下方为土层，机房楼上为医疗综合楼1号楼西侧入口大厅。后装治疗机机房所在楼层北面、西面、东面50m均为地下停车场，南面为土层。机房上方地面南面25m为医院边界，边界外0m-22m为绿化带和濠江路；机房上方北面50m内为医疗综合楼用房，西面、东面50m内为医疗综合楼用房、过道、绿化带。

2.2 CT 模拟定位机

CT模拟定位机房拟建于医疗综合楼1号楼地下一层，南面为土层，北面依次为走廊，西面依次为控制室和预留机房，东面为后装治疗机机房，机房楼上为医疗综合楼1号楼西侧入口大厅。CT模拟定位机机房北面、西面、东面50m均为地下停车场，南面为土层。机房上方地面南面25m为医院边界，边界外0m-22m为绿化带和濠江路。机房上方北面50m内为医疗综合楼用房，西面、东面50m内为医疗综合楼用房、过道、绿化带。

2.3 医用直线加速器

直线加速器机房1位于医疗综合楼1号楼地下一层，南侧为土层，东侧为直线加速器机房2，北侧为配电室和控制室，西侧为土层。直线加速器机房2东侧为土层，南侧为土层，西侧为直线加速器机房1，北侧为配电室和控制室，机房楼上为1号楼南侧绿地和道路。直线加速器机房范围边界50m内，北面50m为医疗综合楼用房，地面上方西面及东面50m内为院内过道、绿化带；室顶南面10m为医院边界，边界外22m内为绿化带和濠江路，屏蔽体外32m-50m内为空地。

综上所述，本项目后装治疗机机房、医用直线加速器机房及CT模拟定位机房屏蔽体外50m，东、西、北三方向均位于医院内，南侧为濠江路路面和空地。项目四周公众人员较少停留，机房采用良好的屏蔽措施后，对周围环境影响符合相关标准要求。本项目后装治疗机机房、CT模拟定位机房、医用直线加速器机房所选址避开了人群集中点，选址周围无限制性因素，因此本项目选址合理。

医院地理位置见图1-1，医院平面布置及四至图见图1-2，现场照片见图1-3，楼下机

房位置及对应楼上位置见图 1-4、图 1-5。



图 1-1 项目地理位置图

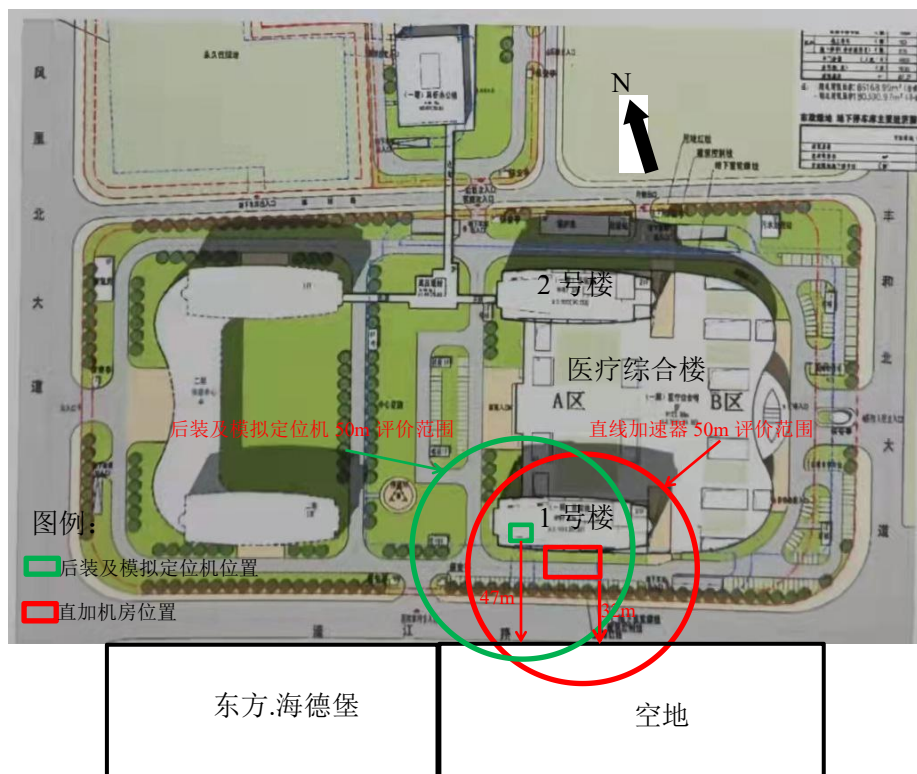


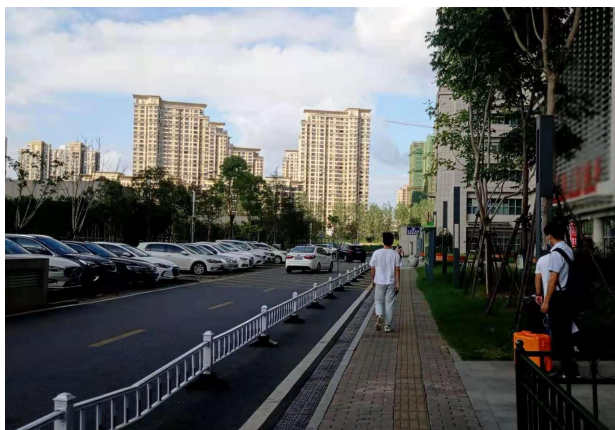
图 1-2 江西省人民医院红谷分院总平面布置图及四至图



1 号楼南面绿化带及过道



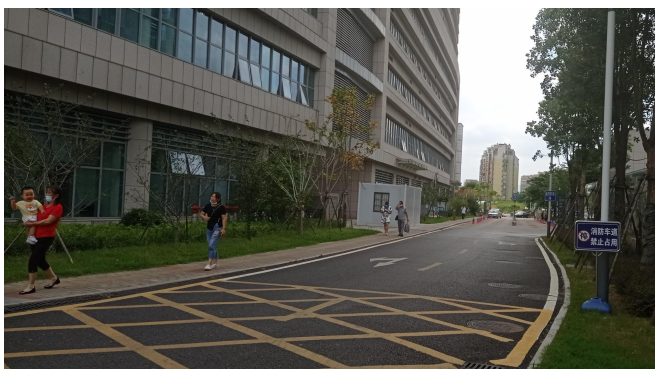
医院南面濠江路



1 号楼西面道路



1 号楼一楼大厅



1 号楼东侧过道



后装治疗机房及北面过道



拟建 CT 模拟定位机位置



直线加速器机房入口

备注：现场踏勘时，本项目射线装置、防护设施、电器等设备未安装，直线加速器机房与后装治疗机房已随医院主体建设完毕。

图 1-3 江西省人民医院周围环境现状照片

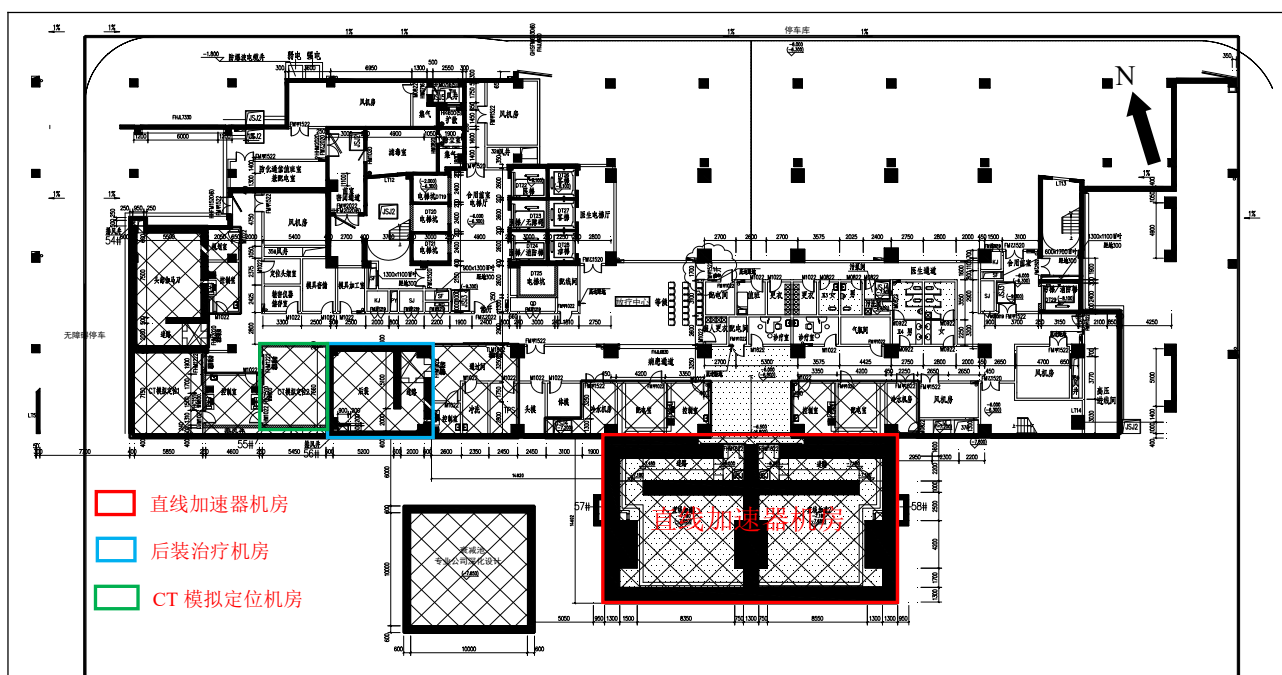


图 1-4 1 号楼地下一层机房平面布置图

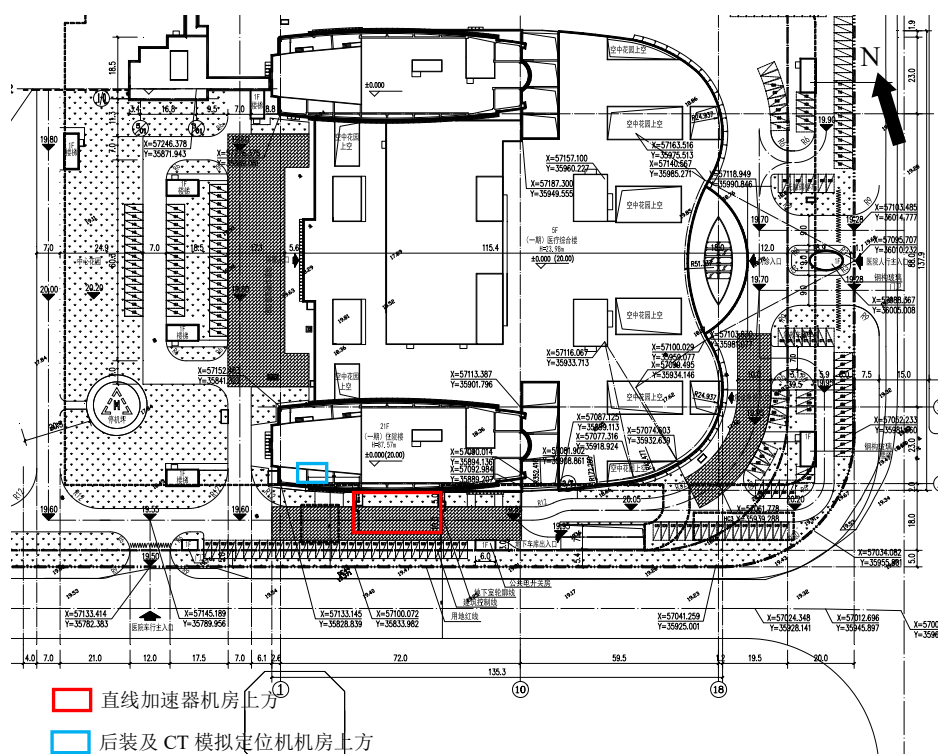


图 1-5 直线加速器、后装治疗机及 CT 模拟定位机楼上位置图

3.产业政策符合性

该项目属于医疗卫生服务设施建设，对照《产业结构调整指导目录》（2019 年本）的规定，属于国家鼓励类项目，故该项目符合国家产业政策。

4.实践正当性

医院本项目内容为使用Ⅱ类、Ⅲ类医用射线装置，医疗使用Ⅲ类放射源开展放射治疗项

目，该项目的开展，能够为患者提供好的医疗服务，本项目对工作人员和公众的辐射影响满足国家相关标准要求。本项目对患者和社会所带来的利益（主要是患者的健康有利）大于可能引起的辐射危害。因此，本项目核技术利用实践活动是正当的。

5.原有核技术利用项目回顾

5.1 医院原有核技术应用项目情况

医院现有数字减影血管造影仪（DSA）4 台、医用电子直线加速器 1 台，回旋加速器 1 台，共计 6 台Ⅱ类射线装置；移动 X 线机、CT 机、牙片机、模拟定位机等 19 台Ⅲ类射线装置以及非密封放射源 ^{125}I 、 ^{131}I 、 ^{125}I 粒子源、 ^{89}Sr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F 、 ^{153}Sm 的应用，均已履行环评手续，医院于 2019 年 6 月取得江西省生态环境厅颁发的辐射安全许可证（赣环辐证[A1921]）。医院现有放射性同位素及射线装置见表 1-2、表 1-3。

医院红谷分院新增的 7 台 DSA、13 台Ⅲ类射线装置以及院本部新增的 1 台 CT 正在办理辐射安全许可证。红谷分院的核医学科工作场所及 DSA 已委托有资质单位进行验收监测，正在履行自主验收手续。

表 1-2 江西省人民医院现有射线装置一览表

序号	设备名称	型号	安装位置	类别	环评情况	验收情况
1	医用直线加速器	ONCOR ImpressionPlus	院本部放疗室：直线加速器机房	Ⅱ类	环审 [2007] 316 号	赣环辐函 [2014]1 5 号
2	DSA	Innova2100	院本部住院部南楼五楼（介入）：一机房	Ⅱ类		
3	DSA	Innova2100 IQ	院本部住院部南楼五楼（介入）：二机房	Ⅱ类		
4	移动 C 臂 X 线机	SIREMOBIL Compact L	院本部住院南 4 楼手术室	Ⅲ类		
5	移动 X 光机	Sirius 130hp	院本部住院部南楼一楼放射科	Ⅲ类	环审 [2007] 316 号	赣环辐函 [2014]1 5 号
6	数字 X 线机	AXIOM Arisos	院本部住院部南楼一楼放射科二号机房	Ⅲ类		
7	数字胃肠机	Uni-vision	院本部住院部南楼一楼放射科数字胃肠机	Ⅲ类		
8	钼靶乳腺机	AMULET f24X30	院本部住院部南楼一楼放射科钼靶乳腺机	Ⅲ类		
9	CT 机	Optima CT660	院本门诊楼一楼 CT 室 1 机房	Ⅲ类		
10	双源 CT 机	Somtom Definition	院本门诊楼一楼 CT 室 2 机房	Ⅲ类		
11	牙片机	HP-I	阳明路门诊部五楼牙片机房	Ⅲ类		

12	DR 机	RAD NEXT150	院本部住院部南楼一楼放射科 1 机房	Ⅲ类		
13	回旋加速器	minitrace	院本部 PET 楼地下室回旋加速器房	Ⅱ类	环审 [2007]31 6 号	赣环辐 函 [2017]4 号
14	PET-CT	Discovery ST16	院本部 PET 楼一楼 PET-CT 机房	Ⅲ类		
15	移动 C 型臂 X 线机	BG9000	院本部住院部：南 3 楼手术室	Ⅲ类	赣环辐 字 [2014] 32 号	
16	全景牙片机	Kodak 8000C	院本部门诊楼四楼全景机房	Ⅲ类		
17	放射治疗模拟定位机	Simulix HQ	院本部放疗室模拟定位机房	Ⅲ类		
18	骨密度测量仪	Metrseam™	院本部体检中心 2 楼骨密度室	Ⅲ类		
19	数字 X 线机	EssentaDR	院本部体检中心 2 楼 DR 机房	Ⅲ类		
20	骨密度仪	Norland Excell	院本部骨密度室	Ⅲ类		
21	DSA	Allura Xper FD20	院本部住院部南楼五楼（介入）：三机房	Ⅱ类		
22	DSA	InnovaLGS520	院本部住院部南楼五楼（介入）：五机房	Ⅱ类	赣环辐 字 [2016] 134 号	2018.0 9.20 自主验收
23	定位小 C 臂机	HB-ESWL	院本部住院部南楼五楼体外碎石室	Ⅲ类	已 备 案	/
24	口腔 X 射线装置 Kodak2100	Kodak2100	院本部门诊部 4 楼牙片机房	Ⅲ类		
25	口腔 CT	KAVO3DEXA MI	院本部门诊部：5 楼口腔 CT 机房	Ⅲ类		
以下内容为正在办理辐射安全许可证内容						
26	医用血管造影 X 射线机	Innova IGS 520	红谷分院门诊楼四楼介入室 DSA 检查室 1	Ⅱ类	赣环辐 字 [2018]63 号	正在办理辐射安全许可证，已委托有资质单位进行监测，正在履行自主验收手续
27	医用血管造影 X 射线系统	AZurion 7 M12	红谷分院门诊楼四楼介入室 DSA 检查室 2	Ⅱ类		
28	医用血管造影 X 射线系统	AZurion 7 M12	红谷分院门诊楼四楼介入室 DSA 检查室 3	Ⅱ类		
29	医用血管造影 X 射线机	Innova IGS 5	红谷分院门诊楼四楼介入室 DSA 检查室 4	Ⅱ类		
30	医用血管造影 X 射线机	Innova IGS 5	红谷分院门诊楼四楼介入室 DSA 检查室 5	Ⅱ类		
31	医用血管造影 X 射线机	Innova IGS 520	红谷分院门诊楼四楼介入室 DSA 检查室 6	Ⅱ类		

32	医用血管造影 X 射线机	Innova IGS 530	红谷分院门诊楼四楼介入室 DSA 检查室 7	II类		
33	单光子发射及 X 射线计算机断层成像系统	Symbia Intevo16	红谷分院核医学科 SPECT-CT 机房	III类	备案号：20183601000100000407。	/
34	X 射线计算机断层摄影设备	Brilliance iCT	红谷分院门诊楼一楼放射科 CT1 机房	III类	备案号：2018360100010000281。	/
35	X 射线计算机体层摄影设备	Revolution CT	红谷分院门诊楼一楼放射科 CT4 机房	III类		/
36	数字化医用 X 射线摄影系统	Digital Diagnost	红谷分院门诊楼一楼放射科 DR2 机房	III类		/
37	数字化医用 X 射线摄影系统	Digital Diagnost	红谷分院门诊楼一楼放射科 DR1 机房	III类		/
38	数字化 X 射线摄影透视系统	Luminos dRF MaX	红谷分院门诊楼一楼放射科数字胃肠机房	III类		/
39	移动式数字摄影 X 射线机	DX-D100	红谷分院病房	III类		/
40	移动式数字摄影 X 射线机	DX-D100	红谷分院病房	III类		/
41	高频直流牙科 X 射线机	FT-H1	红谷分院门诊楼五楼口腔科牙片机房	III类		/
42	口腔颌面锥形束计算机体层摄影设备	NewTom GiANO	红谷分院门诊楼五楼口腔科口腔 CT 机房	III类		/
43	移动式 C 型臂 X 射线机	Cios Select	红谷分院门诊楼五楼手术室、一楼急诊科 01、02、03、04、05、06、16、17、18、19、20、21 号手术室；	III类		/
44	C 型臂 X 射线机	DG3310C1	急诊手术室	III类		/
45	X 射线计算机体层摄影设备	ScintCare CT 128	红谷分院体检车	III类	备案号：20213601000100000066。	/
46	X 射线计算机体层摄影设备	Ingenuity Core 128	院本部 2 号楼一楼健康管理中心	III类	备案号：202136010200000035。	/

表 1-3 江西人民医院现有非密封放射性物质一览表

序号	核素名称	使用场所	年最大用量 (Bq/a)	日等效最大操作量 (Bq)	活动种类和范围	环评情况	验收情况
1	^{99m} Tc	院本门诊部	8.88×10 ¹¹	1.85×10 ⁸	使用、乙级非密封放射性物质工作场所	环审 [2007]316号	赣环辐字 [2014]15号
2	¹³¹ I		4.44×10 ¹¹	1.85×10 ⁹			
3	⁸⁹ Sr		8.88×10 ⁹	4.44×10 ⁷			
4	¹²⁵ I		2.88×10 ¹⁰	1.84×10 ⁷			
5	¹⁸ F	院本部PET-CT室	1.35×10 ⁹	1.11×10 ⁷	使用、丙级非密封放射性物质工作场所	环审 [2007]316号	赣环辐函 [2017]4号
6	¹²⁵ I	红谷分院医技楼	2.88×10 ¹⁰	1.84×10 ⁷	使用、丙级非密封放射性物质工作场所	赣环辐字 [2018]63号	已委托有资质单位进行监测，正在履行自主验收手续
7	⁸⁹ Sr	红谷分院医技楼	7.40×10 ⁹	7.40×10 ⁷	使用、乙级非密封放射性物质工作场所		
8	^{99m} Tc	红谷分院医技楼	1.42×10 ¹²	2.96×10 ⁷			
9	¹³¹ I	红谷分院医技楼	9.324×10 ¹¹	2.59×10 ⁹			
10	¹⁵³ Sm	红谷分院医技楼	3.7×10 ¹⁰	3.7×10 ⁸			
11	¹²⁵ I粒籽	红谷分院医技楼	8.52×10 ¹⁰	1.78×10 ⁷		备案号： 20183601000100000281。	/

注：上表中“/”为未进行竣工环保验收，根据生态环境部“关于环评登记表项目是否要进行环保验收的回复”可知，按照现行法律法规，对编制环境影响登记表的建设项目没有作出竣工环保验收要求。

5.2 医院辐射安全管理现状

江西省人民医院根据《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》等相关放射性法律、法规，在辐射防护设施运行、维护、检测、辐射安全和防护制度的建立、落实以及档案管理等方面完成了以下工作：

（1）医院成立了辐射防护领导小组，负责医院的辐射防护与安全工作。

（2）医院制定了完善的《江西省人民医院辐射事故应急预案》、《辐射工作人员培训计划和监测方案》、《设备检修维护制度》、《辐射工作人员岗位职责》、《辐射防护和安全保卫制度》等规章制度，规章制度都在相关科室墙上，且工作人员严格按照规章制度要求执行。

（3）医院建立了相应的放射性事件应急处理预案及应急小组。

（4）医院各射线装置机房门口设置工作指示灯和规范地张贴电离辐射警告标志，且制定了相应的操作规程。

(5) 医院配置了铅衣、铅帽、铅围脖、铅围裙、铅方巾等防护用品。

(6) 医院所有辐射工作人员均配备了个人剂量计，进行辐射工作时均规范佩戴个人剂量计，并进行个人剂量检测和职业健康检查，建立了个人剂量档案和职业健康监护档案。由 2020 年全年个人剂量检测报告可知，医院辐射工作人员全年个人剂量检测结果均低于剂量约束值 5mSv/a。

(7) 医院安排了辐射工作人员参加辐射安全与防护培训，持证上岗。

(8) 医院已编制了 2020 年度评估报告，并交由上级生态环境主管部门。

6.评价目的

(1) 对医院此次环评的后装治疗机、CT 模拟定位机、医用电子直线加速器机房周边的辐射环境现状进行现场调查和监测，以掌握该场址的辐射水平和辐射环境质量现状。

(2) 通过环境影响评价，预测建设项目对其周围环境影响的程度和范围，提出环境污染控制对策，为建设项目的工程设计和环境管理提供科学依据。

(3) 对不利影响和存在的问题提出防治措施，把辐射环境影响减少到“可合理达到的尽量低水平”。

(4) 提出环境管理和环境监测计划，使该项目满足国家和地方生态环境部门对建设项目环境管理规定的要求，为辐射环境管理提供科学依据。

7. 评价因子及评价重点

本项目的污染因子为后装治疗机、CT 模拟定位机、医用电子直线加速器在应用过程中产生的电离辐射。本次评价采用 X- γ 辐射剂量率、有效剂量作为评价因子，重点评价医用电子直线加速器、后装治疗机和 CT 模拟定位机使用过程中产生的电离辐射对环境敏感点人群的影响。

表 2 密封放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) /活度 (Bq) ×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	¹⁹² Ir	3.7×10 ¹¹ ×2 枚	Ⅲ类	使用	放射治疗	医疗综合楼 1 号楼地下一层, 后装治疗机房	置于后装治疗机屏蔽体内 (后装治疗机房), 废旧放射源置于铅罐内, 暂存在后装治疗机机房治疗室的保险柜内。	1 枚放射源正常使用, 另 1 枚放射源储存在后装治疗机房的保险柜内

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
	无									

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 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	医用电子直线加速器	Ⅱ类	1	待定	电子	电子线: 6/9/12/15MeV; X 射线: 6、10MV;	6MV: 14Gy/min 10MV: 24Gy/min	放射治疗	医疗综合楼 1 号楼地下一层直线加速器机房 1	/

2	医用电子直线加速器	II类	1	待定	电子	电子线：6/9/12/15MeV； X射线：6、10MV；	6MV：14Gy/min 10MV：24Gy/min	放射治疗	医疗综合楼 1 号楼地下一层 直线加速器机 房 2	
---	-----------	-----	---	----	----	----------------------------------	-------------------------------	------	------------------------------------	--

（二）X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压（kV）	最大管电流（mA）	用途	工作场所	备注
1	CT 模拟定位机	III类	1	待定	140	800	模拟定位	医疗综合楼 1 号楼地下一层，CT 模拟定位机房	

（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	
	无												

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素 名称	活度	月排 放量	年排放 总量	排放口浓度	暂存 情况	最终 去向
废弃直线加速器靶	固态	/	/	/	/	/	/	交由厂家回收处理。
废旧或退役的废放射源	固态	¹⁹² Ir	/	/	/	/	/	交由厂家回收处理
有害气体 O ₃ 及氮氧化物	气体	/	/	/	/	/	直接排放	经通风系统直接排入环境大气

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、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第九号 自 2015 年 1 月 1 日施行） (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（中华人民共和国主席令第七十七号 2018 年修订） (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》（中华人民共和国主席令第六号） (4) 《建设项目环境保护管理条例》（国务院令 第 682 号） (5) 《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，2019 年修订） (6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（国家环境保护部第 3 号令，2021 年修正版） (7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（国家环境保部令 第 18 号） (8) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》（生态环境部 部令 第 16 号） (9) 关于发布<射线装置分类>的公告（环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号） (10) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430 号） (11) 《关于发布放射源分类办法的公告》（国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号） (12) 关于发布《放射性废物分类》的公告（环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局 公告 2017 年 第 65 号） (13) 关于进一步优化辐射安全考核的公告，生态环境部 公告 2021 年 第 9 号，2021 年 3 月 15 日起实施 (14) 《关于发布<建设项目竣工环境保护验收暂行办法>的公告》，国环规环评[2017]4 号，2017 年 11 月 20 日 (15) 《建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法》，生态环境部令 第 9 号，2019 年 11 月 1 日 (16) 《辐射安全与防护监督检查技术程序》，生态环境部，2020 年 2 月
技术	(1) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格

标准	式》（HJ 10.1-2016） （2）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021） （3）《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021） （4）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002） （5）《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） （6）《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） （7）《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机》（GBZ/T201.2-2011） （8）《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分：γ射线源放射治疗机房屏蔽规范》（GBZ/T 201.3-2014） （9）《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020） （10）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021） （11）《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020） （12）《后装 γ 源近距离治疗质量控制检测规范》（WS 262-2017） （13）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）
其他	（1）项目环境影响评价委托书 （2）《中国环境天然放射性水平》（国家环境保护局，1995 年）

表 7 保护目标与评价标准

一、评价范围

本项目为使用 II 类、III 类射线装置，使用 III 类放射源场所，依据《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），考虑到该项目的实际情况，本项目评价范围为各工作场所实体屏蔽物外 50m 范围。

二、保护目标

由医院总平面布置及现场调查可得，本项目主要环境保护目标为本项目辐射工作人员、各机房周围偶尔路过或停留的其他非辐射工作人员。本项目的环境保护目标见表 7-1。

表 7-1 环境保护目标一览表

环境保护对象			相对方位	距离（m）	规模（人）
医疗综合楼 1 号楼地下一层后装治疗机机房	职业工作人员	控制室（技师）	东墙外	0.3-50	2
		医师 （后装治疗机机房内）	后装治疗机 机房	0.3-50	3
	公众人员	走廊	北墙外	0.3-50	流动人员
		拟建 CT 模拟定位机房	西墙外	0.3-50	流动人员
		医疗综合楼 1 号楼	紧邻	0.3-50	200 人
		医疗综合楼 1 号楼一楼大厅	楼上	紧邻	流动人员
		机房四周 50m 范围内的流动人员	四周	0-50	流动人员
医疗综合楼 1 号楼地下一层 拟建 CT 模拟定位机房	职业工作人员	控制室	西侧	0.3-50	4 人
	公众人员	拟建后装治疗机机房	东墙外	0.3-50	流动人员
		医疗综合楼 1 号楼一楼大厅	楼上	紧邻	流动人员
		医疗综合楼 1 号楼	紧邻	0.3-50	200 人
		机房四周 50m 范围内的流动人员	四周	0-50	流动人员
医疗综合楼 1 号楼地下一层 医用直线加速器机房 1 和医用直线加速器 机房 2	职业工作人员	机房、控制室、水冷机房、设备室	北侧	0.3-50	7 人
	公众人员	医疗综合楼 1 号楼外南侧绿地及消防过道	楼上	0.3-50	流动人员
		机房四周 50m 范围内的流动人员	四周	0-50	流动人员

三、评价标准

（一）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

①剂量限制和潜在照射危险限制

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

B1 剂量限值

B1.1 职业照射

B1.1.1 剂量限值

B1.1.1.1 应对任何工作人员的照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

a) 由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv；本项目取其四分之一即 5mSv 作为剂量约束值。

B1.2 公众照射

B1.2.1 剂量限值

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：

a) 年有效剂量，1mSv；

本项目取其十分之一即 0.1mSv 作为剂量约束值。

（二）《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）

4.3.3 宽束辐射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，可按下列公式确定：

$$Y_p = 2[(a + SAD) \cdot \tan \theta + 0.3]$$

式中， Y_p ——机房有用束主屏蔽区的宽度，m；

SAD——源轴距，m；

θ ——治疗束的最大张角（相对束中的轴线），即射线最大出射角的一半；

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

（三）《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》（GBZ 2.1-2019）

工作场所空气中化学物质容许浓度（臭氧）：0.3mg/m³；二氧化氮：5mg/m³。

(四) 《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)

6 工作场所放射防护要求

6.1 布局要求

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

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

6.1.3 治疗机房有用线束照射方向的防护屏蔽应满足主射线束的屏蔽要求，其余方向的防护屏蔽应满足漏射线及散射线的屏蔽要求。

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

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

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

6.1.7 使用移动式电子加速器的手术室应设在医院手术区的一端，并和相关工作用房（如控制室或专用于加速器调试、维修的储存室）形成一个相对独立区域，移动式电子加速器的控制台应与移动式电子加速器机房分离，实行隔室操作。

6.2 空间、通风要求

6.2.1 放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要。

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

6.3 屏蔽要求

6.3.1 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 $\dot{H}_c$ ，见式 (1)：

$$\dot{H}_c \leq \frac{H_e}{t \times U \times T}$$

式中：

$\dot{H}_c$ ——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 $\dot{H}_{c,\max}$ ：

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

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

(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 $\dot{H}_{c,\max}$ ，选择其中较小者作为关注点的周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ 。

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，或在该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处，周围剂量当量率参考控制水平同 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。

6.3.3 屏蔽材料

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

6.4 安全装置和警示标志要求

6.4.1 监测报警装置

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

6.4.2 联锁装置

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

6.4.3 标志

医疗机构应当对下列放射治疗设备和场所设置醒目的警告标志：

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

6.4.4 急停开关

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

6.4.6 视频监控、对讲交流系统

控制室应设有在实施治疗过程中观察患者状态、治疗床和迷路区域情况的视频装置；还应设置对讲交流系统，以便操作者和患者之间进行双向交流。

7 放射治疗操作中的放射防护要求

7.1 对于高于 10MV X 射线治疗束和质子重离子治疗束的放射治疗，除考虑中子放射防护外，在日常操作中还应考虑感生放射线的放射防护。

7.3 操作人员应遵守各项操作规程，认真检查安全联锁，应保障安全联锁正常运行。

7.5 实施治疗期间，应有两名及以上操作人员协同操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度，密切注视控制台仪器及患者状况，发现异常及时处理，操作人员不应擅自离开岗位。

（五）《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）

6 X 射线设备机房防护设施的技术要求

6.1 X 射线设备机房布局

6.1.1 应合理设置 X 射线设备、机房的门、窗和管线口位置，应尽量避免有用线束直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。

6.1.2 X 射线设备机房（照射室）的设置应充分考虑邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全。

6.1.3 每台固定使用的 X 射线设备应设有单独的机房，机房应满足使用设备的布局要求；每台牙椅独立设置诊室的，诊室内可设置固定的口内牙片机，供该设备使用，诊室的屏蔽和布局应满足口内牙片机房防护要求。

6.1.5 除床旁摄影设备、便携式 X 射线设备和车载式诊断 X 射线设备外，对新建、改建和扩建项目和技术改造、技术引进项目的 X 射线设备机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应符合表 2（表 7-2）的规定。

表 7-2 X 射线设备机房（照射室）使用面积、单边长度的要求

设备类型	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
单管头 X 射线设备 ^b (含 C 形臂，乳腺 CBCT)	20	3.5

a 双管头或多管头 X 射线设备的所有管球安装在同一间机房内。
b 单管头、双管头或多管头 X 射线设备的每个管球各安装在 1 个房间内。
c 透视专用机指无诊断床、标称管电流小于 5mA 的 X 射线设备。
d 机房内有效使用面积指机房内可划出的最大矩形的面积。
e 机房内单边长度指机房内有效使用面积的最小边长。

6.2 X 射线设备机房屏蔽

6.2.1 不同类型 X 射线设备（不含床旁摄影设备和便携式 X 射线设备）机房的屏蔽防护应不低于表 3 的规定。

6.2.2 医用诊断 X 射线防护中不同铅当量屏蔽物质厚度的典型值参见附录 C 中表 C.4～表 C.7。

表 7-3 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量 mm	非有用线束方向铅当量 mm
标称 125kV 及以下的摄影机房	2.0	1.0
标称 125kV 以上的摄影机房	3.0	2.0
C 形臂 X 射线设备机房	2.0	2.0
CT 机房（不含头颅移动 CT） CT 模拟定位机房	2.5	

6.2.3 机房的门和窗关闭时应满足表 3（表 7-3）的要求。

6.2.4 距 X 射线设备表面 100cm 处的周围剂量当量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 时且 X 射线设备表面与机房墙体距离不小于 100cm 时，机房可不作专门屏蔽防护。

6.3 X 射线设备机房屏蔽体外剂量水平

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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；测量时，X 射线设备连续出束时间应大于仪器响应时间；

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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；

6.3.2 机房的辐射屏蔽防护检测方法按第 8 章和附录 B 的要求。

6.3.3 宜使用能够测量短时间出束和脉冲辐射场的设备进行测量，若测量仪器达不到响应时间要求，则应对其读数进行响应时间修正，修正方法参见附录 D。

6.4 X 射线设备工作场所防护

6.4.1 机房应设有观察窗或摄像监控装置，其设置的位置应便于观察到受检者状态及防护门开闭情况。

6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。

6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。

6.4.4 机房门外应有电离辐射警告标志；机房门上方应有醒目的工作状态指示灯，灯箱上应设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句；候诊区应设置放射防护注意事项告知栏。

6.4.5 平开机房门应有自动闭门装置；推拉式机房门应设有曝光时关闭机房门的管理措施；工作状态指示灯能与机房门有效关联。

6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。

6.4.7 受检者不应在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中陪检者不应滞留在机房内。

6.4.9 CT 装置的安放应利于操作者观察受检者。

6.4.10 机房出入口宜处于散射辐射相对低的位置。

6.5 X 射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求

6.5.1 每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 4（表 7-4）基本种类要求的工作人员、受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作需要，对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣。

6.5.3 除介入防护手套外，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.25mmPb；介入防护手套铅当量应不小于 0.025mmPb；甲状腺、性腺防护用品铅当量应不小于 0.5mmPb；移动铅防护屏风铅当量应不小于 2mmPb。

6.5.4 应为儿童的 X 射线检查配备保护相应组织和器官的防护用品，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.5mmPb。

6.5.5 个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。

表 7-4 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

放射检查类型	工作人员		患者和受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
CT 体层扫描 (隔室)	——	——	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、 铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	——
注 1：“——”表示不需要。				
注 2：各类个人防护用品和辅助防护设施，指防电离辐射的用品和设施。鼓励使用非铅材料防护用品，特别是非铅介入防护手套。				
a 工作人员、受检者的个人防护用品和辅助防护设施任选其一即可。				
b 床旁摄影时的移动铅防护屏风主要用于保护周围病床不易移动的受检者。				

8 X 射线设备机房防护检测要求

8.1 X 射线设备机房防护设施和机房周围辐射剂量检测应满足下列要求：

b) X 射线设备机房的防护检测应在巡测的基础上，对关注点的局部屏蔽和缝隙进行重点检测。关注点应包括：四面墙体、地板、顶棚、机房门、操作室门、观察窗、采光窗/窗体、传片箱、管线洞口、工作人员操作位等，点位选取应具有代表性；

8.2 X 射线设备机房放射防护安全设施应进行竣工验收，在使用过程中，应进行定期检查和检测，定期检测的周期为一年；

8.3 在正常使用中，医疗机构应每日对门外工作状态指示灯、机房门的闭门装置进行检查，对其余防护设施应进行定期检查。

（六）《后装 γ 源近距离治疗质量控制检测规范》（WS 262-2017）

贮源器表面（5cm、100cm）泄露辐射所致周围剂量当量率：5cm（50 μ Sv/h），100cm（5 μ Sv/h）。

（七）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）

6 放射治疗场所辐射安全与防护要求

6.1 屏蔽要求

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

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

6.2.3 放射治疗相关的辐射工作场所，应设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全联锁措施：

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

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；

f) 安全联锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动；

6.2.4 后装治疗室内应配备合适的应急贮源容器和长柄镊子等应急工具。

7 操作的辐射安全与防护要求

7.1 医疗机构应对辐射工作场所的安全联锁系统定期进行试验自查，保存自查记录，保证安全联锁的正常有效运行。

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

7.3 任何人员未经授权或允许不得进入控制区。工作人员须在确认放射治疗或者治疗室束流已经终止的情况下方可进入放射治疗室，进入含放射源或质子/重离子装置的治疗室前须携带个人剂量报警仪。检修人员进入质子/重离子加速器大厅和束流输运通道区域前，应先进入工作场所辐射监测，在单位辐射安全管理机构批准后方可进入。进入质子/重离子加速器大厅和束流输运通道区域的参观人员须在辐射工作人员带领下进入。

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

8 放射性废物管理要求

8.2 固体废物管理要求

8.2.1 废旧放射源管理要求

废旧放射源应按法律法规要求返回放射源生产厂家或原出口方。确定无法交回生产单位或者返回原出口方的，送交有相应资质的单位收贮，并承担相关费用。

8.2.2 其他固体废物管理要求

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

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

的可作为一般固体废物处置，并做好存档记录。

8.4 气态废物管理要求

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

表 8 环境质量和辐射现状

1. 核技术利用项目位置及布局

江西省人民医院红谷分院位于濠江路与丰和北大道交叉口。红谷分院北面为商住楼及空地，南面为濠江路，西面为凤凰北大道，东面为丰和北大道。本项目直线加速器机房、后装治疗机机房及 CT 模拟定位机机房均位于 1 红谷分院 1 号楼底下一层南侧。

2. 核技术利用项目机房及其周围辐射环境背景水平监测

为了解本项目机房及其周围辐射环境背景水平，江西省核工业地质局测试研究中心于 2021 年 9 月 13 日对项目周围环境进行辐射环境现场监测。

本项目监测因子为 X- γ 辐射剂量率。参照《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）中的有关布点原则和方法，结合本次检测的实际情况，选取该医院本项目机房所在位置及四周环境保护目标处进行布点检测，测量布点及平面布置见图 8-1~图 8-3。

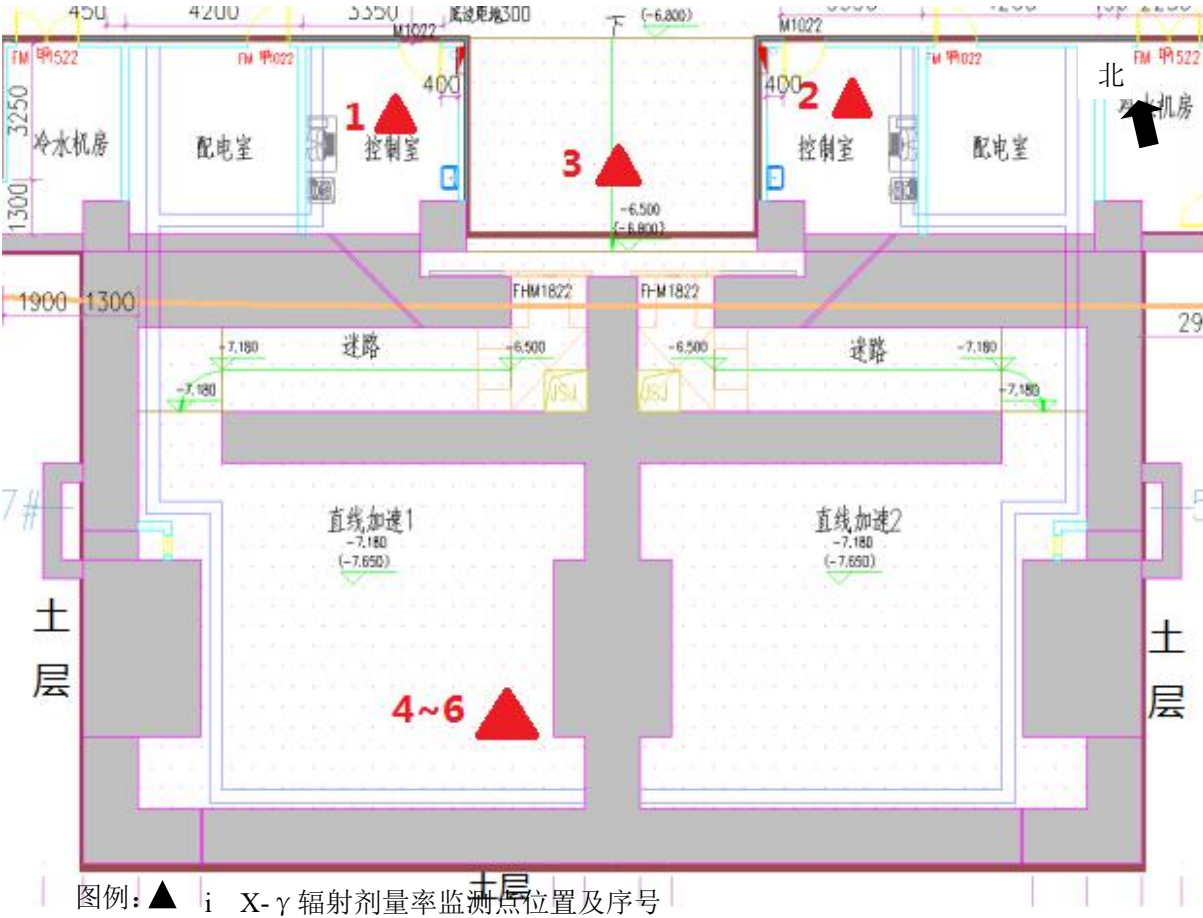


图 8-1 1 号楼负一楼直线加速器机房周边 X- γ 辐射剂量率监测布点示意图

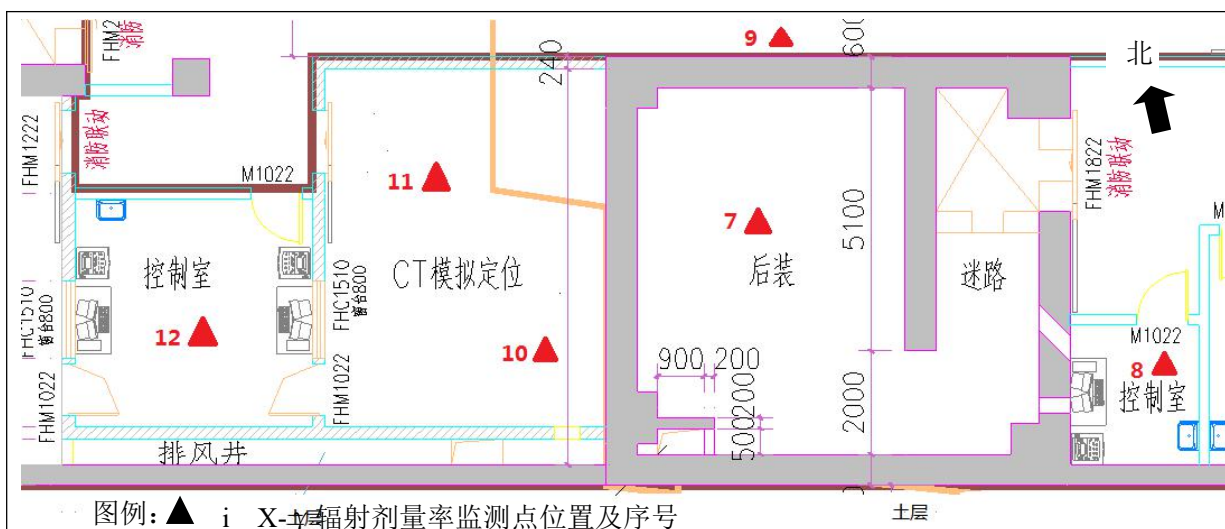


图 8-2 1 号楼负一楼后装治疗机房与 CT 模拟定位机房周边 X-γ 辐射剂量率监测布点示意图

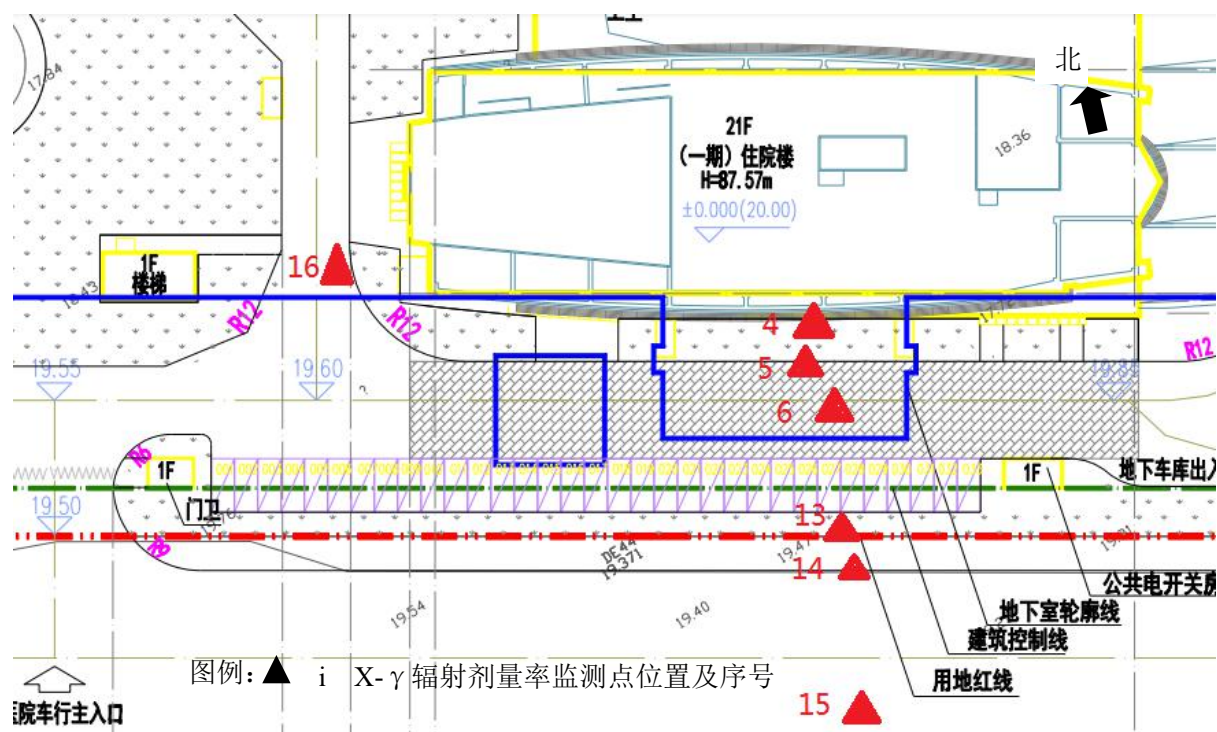


图 8-3 1 号楼外周边 X-γ 辐射剂量率监测布点示意图

3. 监测仪器与规范

电离辐射监测仪器的参数与规范见表 8-1。

表 8-1 监测仪器与监测规范表

仪器名称	便携式 X、 γ 辐射周围剂量当量率仪
仪器型号及编号	FH40G+FHZ 672 E-10, F118
生产厂家	Thermo SCIENTIFIC
测量范围	10nSv/h-1Sv/h
监测规范	《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）
监测单位	江西省核工业地质局测试研究中心
监测时间	2021 年 9 月 13 日
校准证书编号	2021H21-10-3088948002
校准日期	2021 年 3 月 12 日
校准单位	上海市计量测试技术研究院/华东国家计量测试中心

4.质量保证措施

- a 合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性和可比性，同时满足标准要求。
- b 监测方法采用国家有关部门颁布的标准，监测人员经考核并持有合格证书上岗。
- c 监测仪器每年定期经计量部门检定，检定合格后方可使用。
- d 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。
- e 由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。
- f 监测报告严格实行三级审核制度，经过校对、校核，最后由技术总负责人审定。

5.外环境辐射环境质量现状监测结果

本次项目工作场所周边辐射环境现状监测结果见表 8-2。

表 8-2 本项目辐射工作场所及周边环境 X- γ 辐射剂量率水平监测结果

编号	设备名称	监测点位描述		X- γ 辐射剂量率（nSv/h）	
				范围值	平均值
1	医用直线加速器	直线加速器机房 1 控制室	室内	99.3 ~107	103
2		直线加速器机房 2 控制室	室内	95.9 ~108	103
3		直线加速器机房北侧过道	室内	99.3 ~106	103
4		直线加速器机房上方绿化带	室外	121 ~125	123
5		直线加速器机房上方人行过道	室外	103 ~108	106
6		直线加速器机房上方道路	室外	65.0 ~68.8	68.0
7	后装治疗机房与 CT 模拟定位机	后装治疗机房室内	室内	92.6 ~100	96.0
8		后装治疗机房东侧控制室	室内	92.6 ~100	96.5
9		后装治疗机房北侧过道	室内	93.7 ~100	97.5

10		后装治疗机房与 CT 模拟定位机机房上方（大厅）	室内	121~125	122
11		后装治疗机房西侧（CT 模拟定位机房室内）	室内	92.6~100	96.7
12		CT 模拟定位机房西侧（控制室）	室内	91.4~99.3	96.3
13	医疗综合楼 1 号楼外环境	医院南面边界外 4m（人行过道）	室外	69.6~70.7	70.2
14		医院南面边界外 8m（道路）	室外	57.0~61.9	59.2
15		医院南面边界外 21m（人行过道）	室外	55.4~61.3	57.8
16		1 号楼西面 7m 院内道路	室外	58.8~60.7	59.7

注：（1）测值已扣除仪器对宇宙射线的响应值。监测时，仪器探头朝下，距地 1m。（2）现状监测时，直线加速器机房内积水，人员无法到达，故未布点监测。

本项目监测设备是在 ^{137}Cs 辐射场中采用替代法进行的检定， ^{137}Cs 放射源 γ 射线平均能量为 662keV（0.662MeV）。本项目辐射监测设备的周围剂量当量率与空气比释动能率的换算采用该能量。由《用于光子外照射放射防护的剂量换算系数》（GBZ/T 144-2002）附录 B 的公式 B1 算得，0.662MeV 的光子的周围剂量当量 $H^*(10)$ 到自由空气比释动能（Ka）的转换系数为 1.20Sv/Gy（ $H^*(10)/\text{Ka}=1.20$ ）。即本项目监测值（ $\mu\text{Sv/h}$ ）除以 1.20 后即可转换为空气比释动能率（ $\mu\text{Gy/h}$ ）。

表 8-2 监测结果表明：江西医人民医院红谷分院放射性同位素与射线装置应用项目工作场所室外环境 X- γ 辐射剂量率在（57.8~70.2）nSv/h 之间，即（48.2~58.5）nGy/h 之间；室内环境 X- γ 辐射剂量率在（96.0~123）nSv/h 之间，即（80.0~102.5）nGy/h 之间，室内、室外 X- γ 辐射剂量率均处于南昌市道路、原野、室内辐射环境本底范围值内。医院本项目辐射工作场所周围环境 X- γ 辐射剂量率未见明显异常。

由《中国环境天然放射性水平》（国家环境保护局，1995 年）可知，南昌市道路、原野辐射环境本底范围值 27.9~86.4nGy/h，室内辐射环境本底范围值 58.1~134.3nGy/h。江西省全省道路、原野辐射环境本底范围值 12.6~369.4nGy/h，室内辐射环境本底范围值 33.4~365.8nGy/h。上数值已扣除监测设备的宇宙射线响应值。

表 9 项目工程分析与源项

一、工程设备和工艺分析

1.后装治疗机

1.1 设备组成

后装治疗机的结构组成为：施源主机、放射源、控制系统、监视系统、附属安全设备和施源器及治疗床等。医院拟用 ^{192}Ir 后装治疗机采用计算机工作站队后装治疗机控制信号进行发送和接受，外设配置数字化仪、打印机、绘图仪、鼠标和不间断电源，数字化仪是讲 X 光片上的影像数据输入到电脑的设备，彩色打印机输出病例档案、当日源强、各个通道驻留点位置和驻留时间、参考点和参考剂量以及治疗过程记录意外故障情况。彩色绘图仪用以绘制优化后的治疗方案，在指定平面上的等剂量线和驻留点投影。

该系统采用 ^{192}Ir 放射源，设计最大源装量为 3.7×10^{11} （10Ci）， ^{192}Ir 放射源半衰期为 74 天。

1.2 工作原理

后装治疗机属近距离放射治疗，为给肿瘤以足够的辐射剂量，采用不同的途径，紧挨肿瘤植入一个小的放射源 ^{192}Ir ，即将放射源置于病灶附近，提高局部剂量，利用 γ 射线的生物效应对肿瘤进行治疗。这种方式可用于治疗人体各种腔道周围的肿瘤，因所选取核素 ^{192}Ir 的射线能量较低，并以射线的距离衰减效应教师正常组织的损伤，同时也减少了操作人员接受的辐射剂量。



图 9-1 常见后装治疗机外观图

当 ^{192}Ir 放射源活度衰变至不能满足使用需求时须更换放射源。导源时工作人员把导源管一头接入后装机贮源器，另一头接入铅罐插孔中，通过计算机隔室操作先把废源通过导源管导入铅罐中。废源导出后，通过同样方式把新源通过导源管导入后装机贮源器中。换源工作由厂家负责。

1.3 工作流程

后装治疗机放射治疗流程如下：

- ①登记候诊：对病患进行登记、候诊。
- ②模拟定位：使用模拟定位机对患者的肿瘤进行定位检查。
- ③制定治疗计划：根据定位图像和病灶位置、大小，制定相应的治疗计划，并反复优化方案。
- ④摆位准备：将施源器与后装机连接，放入腔内，核对计划。
- ⑤实施照射：控制台输出治疗剂量和时间，实施照射。
- ⑥照射结束：确认放射源结束后，按无菌要求取出施源器，将患者移出机房。

后装治疗机治疗流程见图 9-2

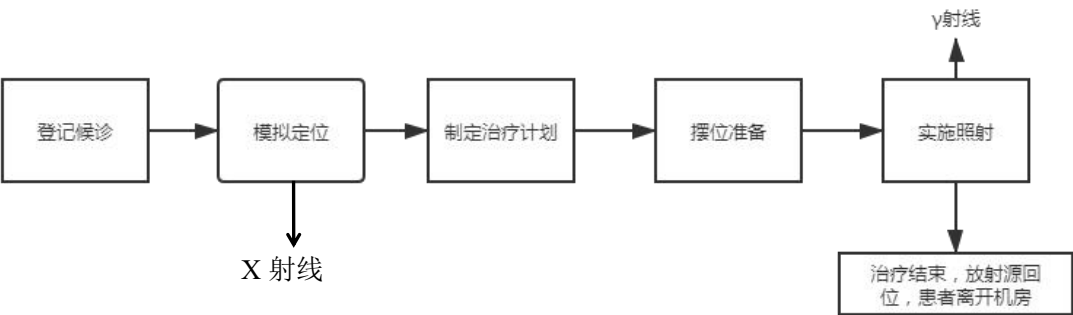


图 9-2 后装治疗机治疗流程图

1.4 工作负荷

据医院提供资料，本项目后装治疗机拟配备辐射工作人员 5 人，其中技师 1 名，物理师 1 人，护士 2 名，医师 1 名。

本项目后装治疗机每天治疗 30 人，每周工作 5d，每年工作 50 周，最大装源活度下病人平均治疗时间为 2min，则出束时间为 1h/天、5h/周、250h/年。工作人员在机房内摆位时间约 2min/人次，则年摆位时间 250h。

2.医用电子直线加速器

2.1 设备组成

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

2.2 工作原理

医用电子直线加速器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 线，经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的 X 线束，再通过监测电离室和二次准直器限束，最后到达患者病灶实现治疗目的。

2.3 工作流程

使用医用电子加速器进行放射治疗项目的主要操作流程是：

- （1）进行定位。先通过模拟定位机对病变部位进行详细检查，然后确定照射的方向、角度和视野大小，拍片定位。
- （2）制订治疗计划。根据患者所患疾病的性质、部位和大小确定照射剂量和照射时间。
- （3）固定患者体位。在利用加速器进行治疗时需对患者进行定位、标记，调整照射角度及射野。
- （4）开机治疗。准备工作就绪后，在控制室通过计算机发出指令，开启加速器，对准患者病灶进行精确治疗。

工作流程见图 9-3。

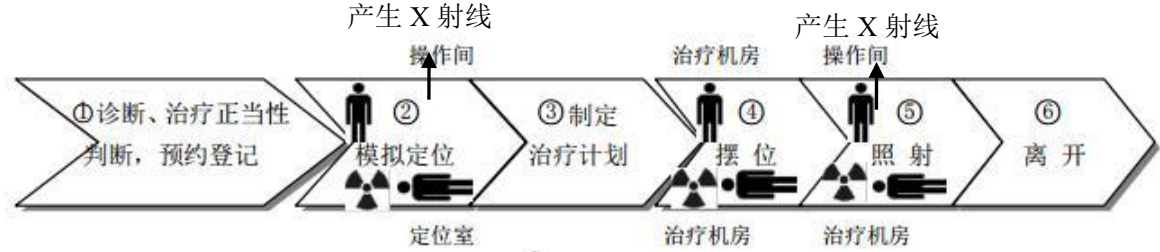


图 9-3 医用电子直线加速器工作流程图

2.4 工作负荷

医用电子直线加速器共配备 7 名辐射工作人员，其中技师 2 名，医师 2 名，护士 2 名，物理师 1 名。

本项目每台直线加速器每天治疗 60 人，每周工作 5d，每年工作 50 周。其中常规放射治疗量约占 1/10，调强放射治疗量约占 9/10；常规放射治疗患者治疗照射时间平均为 2min/

人次，调强放射治疗患者治疗照射时间平均为 5min/人次；摆位时间平均 6min/人次。则单台直线加速器出束时间为 4.8h/天，24h/周，1200h/年。

3.CT 模拟定位机

3.1 工作原理

CT 模拟定位机是产生 X 射线的装置，主要由 X 射线管和高压电源组成。X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成。阴极是钨制灯丝，它装在聚焦杯中，当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。高电压加在 X 射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度，这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡从而产生 X 射线。

CT 是计算机断层 X 射线摄影术(Computed Tomography)的简称，它使用了精确准直的 X 射线从各种不同的离散角度扫描所关注的平面，利用探测器记录透射光束的衰减量，并经过数学运算，电子计算机处理相应数据，从而产生一个以检查层的相对衰减系数为依据的躯体横断面的影像。

3.2 结构组成

CT 模拟就是以 CT 为基础的模拟定位系统，CT 模拟定位系统由一台 CT 扫描机、一套虚拟定位及计划系统和一套三维(或四维)移动激光射野模拟系统三部分组成。三大部分通过数据传输系统在线连接。

3.3 CT 模拟定位机操作流程

放射治疗是利用电离辐射的生物效应杀死肿瘤细胞，该项目医用电子直线加速器和后装治疗机，前者是利用医用电子直线加速器产生的高能 X 射线或电子线进行治疗，后者是利用 ^{192}Ir 衰变发射的 γ 射线进行治疗；进行治疗前需要采用模拟定位设备对肿瘤位置定位，确定肿瘤的具体位置和形状。

(1) 根据医生指导意见，需要接受治疗的患者提前预约登记；

(2) 预约病人进入 CT 模拟定位机机房，辐射工作人员协助摆位；

(3) 清理机房内无关人员后，关闭防护门，再次确认机房内无无关人员停留，辐射工作人员在控制室控制 CT 模拟定位机出束扫描及定位；

(4) 扫描结束，患者离开机房，进行下一位患者扫描。

3.4 工作负荷

CT 模拟定位机配备 4 名辐射工作人员，包含技师 2 名、医师 1 名、护士 1 名。本项目使用一台 CT 模拟定位机进行放疗病人的模拟定位。每周负荷为 750 人，每次出束时间为 30s，按一周 5 天，共 50 周计算，其照射时间约 1.25h/d，周出束时间为 6.25h/周，年出束时间为 312.5h/a。

二、污染源项

1.后装治疗机

拟购置后装治疗机主要辐射参数见表 9-1。

表 9-1 后装治疗机主要辐射特征参数

序号	项目	指标内容
1	放射源	¹⁹² Ir
2	拟装源活度	3.7×10 ¹¹ Bq（10Ci）
3	¹⁹² Ir 半衰期	74d
4	γ射线能量均值	0.32MeV
5	空气比释动功能率常数 Ky	0.111μSv/(h·MBq)

后装治疗机产生的污染物主要包括γ射线、放射性固体及非放射性有害气体。

1.1 正常工况

（1）在正常治疗条件下，后装治疗机 ¹⁹²Ir 放射源漏射线对周围的工作人员和公众产生 γ外照射。

（2）在治疗前、治疗后装卸输源导管时，¹⁹²Ir 源γ辐射有小部分穿过工作容器，对装卸人员产生γ射线外照射。

（3）后装治疗机配置的放射源 ¹⁹²Ir 放射源一定期限后，放射源衰变至其活度不能满足放射治疗需要时，将更换放射源，从而产生退役的废 ¹⁹²Ir 放射源。

（4）后装机房治疗室内放射源产生的γ射线与空气作用可产生少量的氮氧化物（NO_x）和臭氧（O₃）等，它们室具有刺激性作用的非放射性有害气体。

1.2 事故工况

主要环境影响是:后装机可能出现安全联锁失效、人员误入治疗室的情况，还可能发生放射源阻丝、源位异常和误操作等故障。以上故障情况均可能造成超剂量照射事故，使放疗工作人员、误入治疗室的无关人员或患者受过量的照射，但不会影响辐照室外的公众。

2.医用直线加速器

本项目直线加速器的主要技术参数见表 9-1：

表 9-1 直线加速器技术参数一览表

射线类型	射线能量	正常治疗距离	最大输出剂量率	最大照射野	
X 射线	6/10MV	源瘤距 100cm	10MV: 24Gy/min	40cm×40cm	
电子线	6/9/12/15MeV			40cm×40cm	
X 线泄漏率		中子泄漏率	等中心高度	等中心精度	机架旋转范围
≤0.1%		≤0.01%	1.295m	≤2mm	0°~360°

直线加速器在应用过程中，主要产生以下影响：

2.1 正常工况

加速器产生的电子束和 X 射线束，以及在产生这两种辐射的过程中产生的其它 X 射线和中子等次级辐射，一般均可称之为瞬时辐射，它在加速器运行中产生，关机后立即消失，是加速器屏蔽、防护和监测的主要对象。

与瞬时辐射相对应的还有剩余辐射，剩余辐射是加速器初级粒束和次级辐射在加速器结构材料及环境介质（空气、屏蔽物等）诱发生成的感生放射性，这种辐射在加速器运行停止后继续存在，对于加速器的屏蔽设计不是重点考虑的对象，但对加速器停机后的维修，常规调试，换靶操作等工作而言，都是防护的重点。

(1) 电子束

电子加速器加速的电子本身在物质中的射程很短，很容易被加速器的靶件或其它构件所阻止，不会直接造成危害，然而被加速器加速的电子束穿过薄膜窗从加速器中引出后，成为能量较高的外电子束，它在空气中的射程较长，这时要绝对禁止非治疗人员在加速器开机时误入治疗室，以防被电子束或散射电子照射造成事故。

(2) 高能 X 射线

加速器发出的高能 X 射线一般指电子束被靶或其它物质阻止所产生的具有连续能谱的轫致辐射。它的发射率与电子的能量、束流强度、靶物质原子序数及靶厚度有关，并随发射角度而异，加速电子轰击靶物质时，不仅沿电子入射方向（即 0° 方向）有 X 射线发射，即使沿其它方向也有 X 射线发射。屏蔽设计时，除了关心对 0° 方向的 X 射线的屏蔽防护，还须对 90° 方向甚至 180° 方向发射的 X 射线的防护。

对于特征 X 射线，由于其能量一般低于数十千伏，强度也远小于轫致辐射，所以比较而言，在防护上一般可忽略。

被靶或电子束引出窗反射的电子往往具有足够高的能量，它们打到其它材料上产生 X 射线，X 射线又在各种材料上产生反散射，这些构成的杂散 X 射线也是辐射防护上不可忽

视的辐射来源。

(3) 中子

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）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020），本项目使用的加速器 X 射线能量不大于 10MV，故无需考虑中子辐射及中子俘获 γ 射线影响。

(4) 其他

高能电子与空气中的氧分子作用还会产生臭氧及 NO_x 废气。

因此，在开机期间，X 射线成为加速器污染环境的主要因子，其次为中子及臭氧及 NO_x 废气。极少量的放射性固体废物来自加速器的废弃靶和活化部件。

2.2 事故工况

直线加速器的 X 射线受开机和关机控制，关机时没有射线发出。因此，检修方便，断电状态下也较为安全。在意外情况下，可能出现的辐射事故（事件）如下：

(1) 工作人员或病人家属在防护门关闭前尚未撤离辐照室，加速器运行可能产生误照射。

(2) 安全联锁装置或报警系统发生故障状况下，人员误入正在运行的加速器辐照室受到照射。

(3) 工作人员误操作导致病人受到不必要的照射。

3.CT 模拟定位机

CT 模拟定位机为采用 X 射线进行模拟定位的设备，X 射线是随机器的开、关而产生和消失。其主要放射性污染因子为 X 射线对公众及放射性工作人员的外照射，运行期均没有废气、废水和固体废弃物产生。

3.1 正常工况

放射性污染途径为所产生的 X 射线可能会有少部分泄漏到机房外，对机房外的人员产生 X 射线外照射。

3.2 事故工况

(1) CT 模拟定位机运行时，无关人员误入机房，引起误照射，其外照射剂量一般较小。

(2) 定时装置失灵，X 射线机在工作人员误认为停止出束时持续出束，人员误入机房，可能引起超剂量的误照射。

表 10 辐射安全与防护

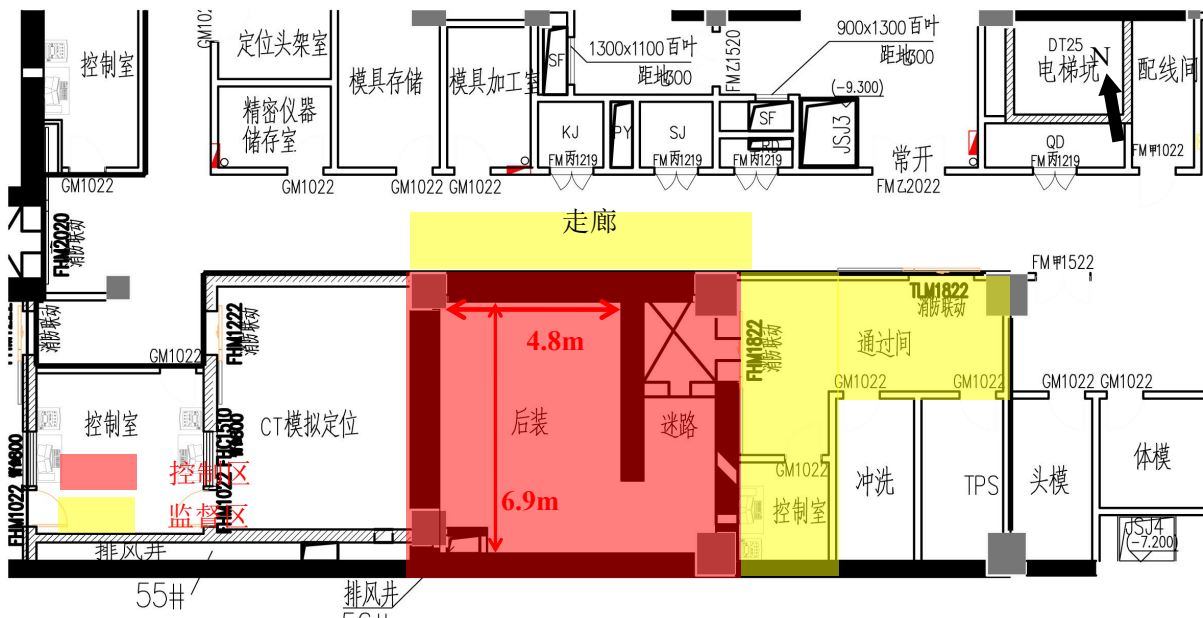
一、项目安全设施

1.后装机

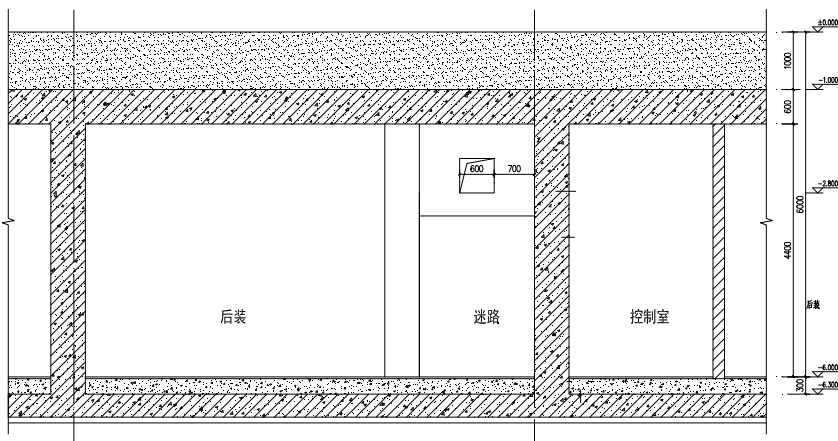
1.1 控制区与监督区

医院将后装机机房的治疗室及迷路划为控制区，将控制室、通过间、北墙外走廊划为监督区。

控制区内不得有人滞留，以辐射安全联锁、视频监控系统及警示装置控制及管理制
度保障此区的辐射安全。监督区只允许操作人员在此区域，公众人员不得进入。管理上
必须严格按区管理，避免人员误闯入或误照，平面布置及分区见图 10-1。



后装治疗机房分区图



后装治疗机剖面图

图 10-1 后装治疗机房分区及剖面示意图

1.2 辐射安全与防护措施

后装治疗机机房四周墙体、顶部及防护门等屏蔽参数见表 10-1。

表 10-1 后装机治疗室墙体及防护门屏蔽参数

项目名称		屏蔽材料及厚度
东墙	迷路内墙	混凝土 600mm
	迷路外墙	混凝土 600mm
北墙、西墙		北墙、西墙均为 800mm 混凝土
南墙		混凝土 600mm
防护门		不锈钢门内加 9mmPb 的铅板
室顶		混凝土 600mm+1000mm 覆土
机房面积及净高		治疗室 34.5m ² (5.0m×6.9m)，净高 4.4m。

注：本项目防护材料密度如下：混凝土密度 2.35g/cm³，铅密度 11.34g/cm³。

为保障后装治疗机的安全运行，避免在开机期间人员误留或误入机房内而发生误照射事故，以及对工作人员和病人的辐射防护，本项目后装治疗机房设计有相应的辐射安全装置和保护措施，主要有：

(1) 机房迷路入口处设计有固定式辐射剂量监测系统并具有报警功能，其显示单元设置在控制室内。

(2) 治疗室入口防护门设计门-机联锁装置，防护门打开或没有关严时，不能出源，开门则源收入贮源罐。在治疗室防护门内、外均设置开门装置，防护门设置红外线感应防夹装置。

(3) 后装治疗机房入口防护门上方设置工作状态指示灯，入口醒目位置张贴电离辐射警告标志。

(4) 在后装治疗机控制室控制台设置一个急停开关，在后装机设备表面人员易触及位置设置一个急停开关，在治疗机房内墙面各设置一个急停开关。在紧急情况下按下急停开关可使源退回贮源罐内。

(5) 治疗室内拟配备合适的储源容器、长柄镊子等应急设备，并在合适的地方张贴应急指示。

(6) 后装机房治疗室与控制室之间拟安装监控设备和对讲装置，在治疗过程中可通过监视器观察病人，可通过对讲装置实现控制室工作人员与机房内人员双向交流。

(7) 主机程序中设计有自检系统，包括机器自检、复位自检和通道自检。进行治疗前，先进行自检和模拟治疗，确保放射源通道通畅，再进行治疗。治疗过程中，若出现故障或意外情况，利用设备自带安全系统，放射源能够自动回到贮存位置。自动回源

装置功能失效时，设备有手动回源的应急处理措施。

(8) 后装治疗机房设置强制排风系统，进风口设在治疗机房上部，排风口设在治疗机房下部，进风口与排风口位置对角设置，以确保室内空气充分交换；后装治疗机机房容积为（治疗室 $5.0\text{m} \times 6.9\text{m}$ + 迷路 $2\text{m} \times 7.1\text{m}$ + 迷路内口 $0.6\text{m} \times 2\text{m}$ ） $\times 4.4\text{m} = 219.56\text{m}^3$ ，拟设置排风机排风量不低于 $1000\text{m}^3/\text{h}$ ，使治疗机房内的通风换气次数不小于 4 次/h。

(9) 管道穿墙：治疗室电缆线及通风管道在穿越墙体时分别按“U”型、“Z”型设计。

(10) 医院给后装治疗机工作场所配备个人剂量报警仪 2 台，工作人员进入后装治疗机机房时，需佩戴个人剂量报警仪。医院配备 1 台便携式 X- γ 辐射剂量率监测设备供本项目使用。

(11) 医院后装治疗机放射源正常使用时，储存在后装治疗机屏蔽体内。后装治疗机废旧放射源置于铅罐内，暂存在治疗室的保险柜内。保险柜实行双人双锁，治疗室设置视频监控装置，配备灭火器材。医院购买放射源时，应与销售放射源的单位签订废旧放射源返回协议。后装治疗机放射源闲置或者废弃后 3 个月内，应按照合同规定将废旧放射源交回生产单位或者返回原出口方。在废旧放射源交回、返回或者送交活动完成之日起 20 日内，医院应向江西省生态环境主管部门备案。

^{192}Ir 放射源每隔半年须更换一次，倒源操作须由具有专门资格证书的人员完成，废旧 ^{192}Ir 放射源须交由生产单位回收处置。医院安排后装治疗机的相应辐射工作人员协助做好辐射安全管理工作，即导源过程中对机房出入口进行管控，装源、维修维护前在辐射工作场所出入口挂警示标志，拉警戒线防止无关人员靠近治疗机房防护门或进入治疗机房内。废旧放射源的回收工作由生产厂家负责，医院安排辐射工作人员进行对接，核实回收单位名称、资质等，确保废旧放射源由生产厂家回收，并将相关记录存档备查。

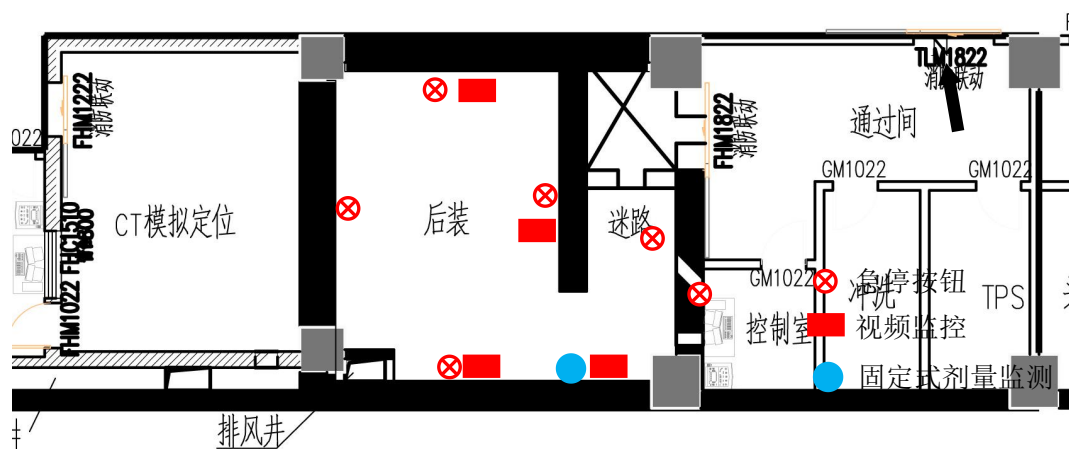


图 10-2 后装治疗机房平面布置及辐射安全措施布置图

1.3 辐射安全与防护措施符合性分析

医院后装治疗机机房辐射防护措施合理性分析采用《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）进行分析，辐射防护措施符合性分析见表 10-2。

表 10-2 医院后装治疗机机房辐射防护措施符合性分析表

项目设计情况	标准要求	符合性
项目建设场地位于地下一层放疗中心，处于建筑底的一端，项目治疗机房及其辅助设施同时设计和建造，并根据安全、卫生和方便的原则合理布置。	放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端；放射治疗机房及其辅助设施应同时设计和建造，并根据安全、卫生和方便的原则合理布置。	符合
项目采取分区管理，将治疗机房划定为控制区管理，治疗机房防护门上设置电离辐射警告标志，严格控制非相关人员进入控制区；将控制室等划为监督区管理，定期对监督区进行监督和评价。	放射治疗工作场所应分为控制区和监督区。治疗机房、迷路应设置为控制区；其他相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需经常检查其职业照射条件的区域设为监督区。	符合
项目后装治疗机设置独立治疗机房，与控制室等分离。	治疗设备控制室应与治疗机房分开设置，治疗设备辅助机械、电器、水冷设备，凡是可以与治疗设备分离的，尽可能设置于治疗机房外。	符合
后装治疗机机房设置迷路。	X 射线管治疗设备的治疗机房、术中放射治疗手术室可不设迷路； γ 刀治疗设备的治疗机房，根据场所空间和环境条件，确定是否选用迷路；其他治疗机房均应设置迷路。	符合
本项目后装治疗机机房面积能满足临床应用需要。	放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要。	符合
后装治疗机房设置强制排风系统，进风口设在治疗机房上部，排风口设在治疗机房下部，进风口与排风口位置对角设置，以确保室内空气充分交换；拟设置排风机排风量不低于 1000m ³ /h，使治疗机房内的通风换气次数不小于 4 次/h。	放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；通风换气次数应不小于 4 次/h。	符合
工作场所设计安装固定式辐射水平监测系统，探头设置于治疗机房迷路出入口处，显示单元设置于控制室内。	含放射源的放射治疗机房内应安装固定式剂量监测报警装置，应确保其报警功能正常。	符合
治疗机房设计迷路，治疗机房防护门与设备出源机构联锁，防护门开启或意外开启状态下，无法出源照射或自动回源至储源器。治疗机房防护门设计安装开门装置，在应急情况下，可以由防护门内侧（迷路一侧）开启防护门，防护门设施有红外线防挤压功能。	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。	符合

治疗机房防护门上设计安装工作状态指示灯和电离辐射警告标志。其中，工作状态指示灯与后装治疗机联锁，显示后装治疗机工作状态。工作状态指示灯具有声光报警功能，在停电或意外中断照射情况下，声光报警提示工作人员。	放射治疗工作场所的入口处，设有电离辐射警告标志；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。	符合
工作场所设计安装紧急停机装置，以便应急状态下停止出束。紧急停机开关设置于控制室控制台、后装机设备表面、治疗机房内墙上、迷道内墙上等位置，便于机房内人员观察到且易于触发。	放射源后装近距离治疗工作场所，应在控制台、后装机设备表面人员易触及位置以及治疗机房内墙面各设置一个急停开关。	符合
项目计划配备储源容器、长柄镊子等应急设备，放置于治疗机房内，以便应急状态下处置放射源。	γ 源后装治疗设施应配备急储器。	符合
治疗机房与控制室之间，设计安装视频监控和语音对讲系统，便于工作人员和患者之间进行双向交流，便于工作人员了解治疗机房内、迷道内情况。	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。	符合

综上所述,医院后装治疗机机房按相关标准要求进行了设计,辐射防护措施符合《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）相关规定要求。

2.医用直线加速器

2.1 控制区与监督区

医院将直线加速器机房的治疗室及迷道划为控制区，将控制室、水冷机房、配电室及防护门外过道内划为监督区。

控制区内不得有人滞留，以辐射安全联锁、视频监控系统及警示装置控制及管理制保障此区的辐射安全。监督区只允许操作人员在此区域，公众人员不得进入。管理上必须严格按区管理，避免人员误闯入或误照，平面布置及分区见图 10-3。

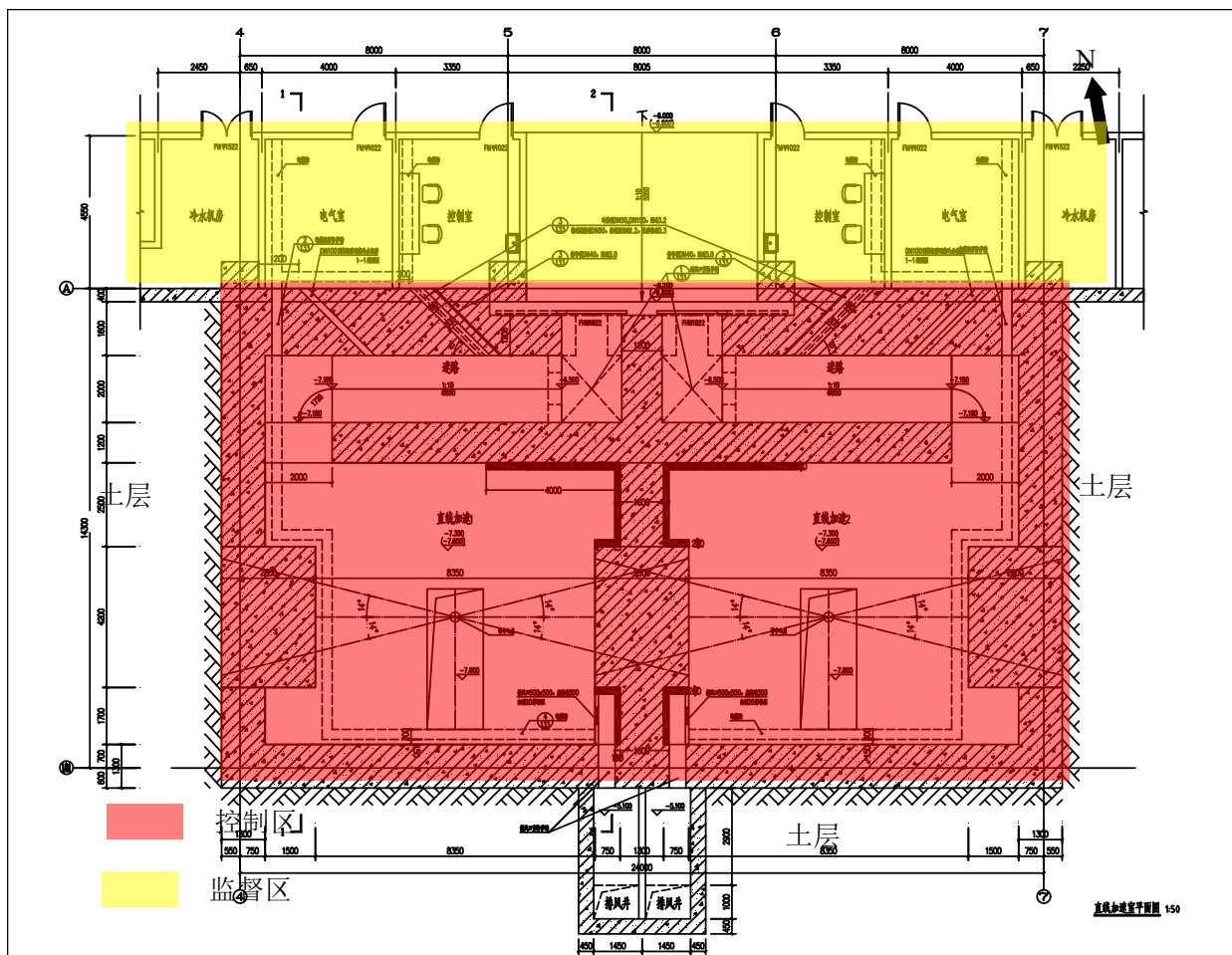


图 10-3 医疗综合楼 1 号楼地下一层直线加速器机房平面布置及分区图

2.2 辐射安全与防护措施

2.2.1 辐射防护措施

医院直线加速器机房防护措施情况见表 10-3，加速器机房平面布置见图 10-3，剖面图见图 10-4。

表 10-3 直线加速器机房辐射防护措施一览表

项目		直线加速器机房 1	直线加速器机房 2
西墙	主防护墙	厚 2800mm 混凝土，宽 4200mm	厚 2800mm 混凝土，宽 4600mm
	次防护墙	厚 1300mm 混凝土	厚 1600mm 混凝土
东墙	主防护墙	厚 2800mm 混凝土，宽 4600mm	厚 2800mm 混凝土，宽 4200mm
	次防护墙	厚 1600mm 混凝土	厚 1300mm 混凝土

北墙		迷路内墙：防护门正对墙 1400mm 混凝土，宽 4000mm，其余墙体厚 1200mm 混凝土 迷路外墙：厚 2000mm 混凝土，长 6700mm；其余墙体厚 1200mm 混凝土	迷路内墙：防护门正对墙 1400mm 混凝土，宽 4000mm，其余墙体厚 1200mm 混凝土 迷路外墙：厚 2000mm 混凝土，长 6700mm；其余墙体厚 1200mm 混凝土
南墙		厚 1300mm 混凝土	厚 1300mm 混凝土
顶板	主防护墙	2600mm 混凝土+900mm 覆土	2600mm 混凝土+900mm 覆土
	次防护墙	厚 1500mm 混凝土	厚 1500mm 混凝土
迷道		宽 2000mm，长 10650mm	
防护门		电动铅板屏蔽门，铅当量为 15mmPb，中间加 80mm 厚含硼（5%）聚乙烯	
面积及净空高		治疗室面积约为 68.47m ² （8.2m×8.35m，不含迷道），净高 3.85m。加速器机房治疗室及迷路体积约 422.8m ³ 。	

注：混凝土密度 2.35 g/cm³，铅密度 11.34g/cm³。

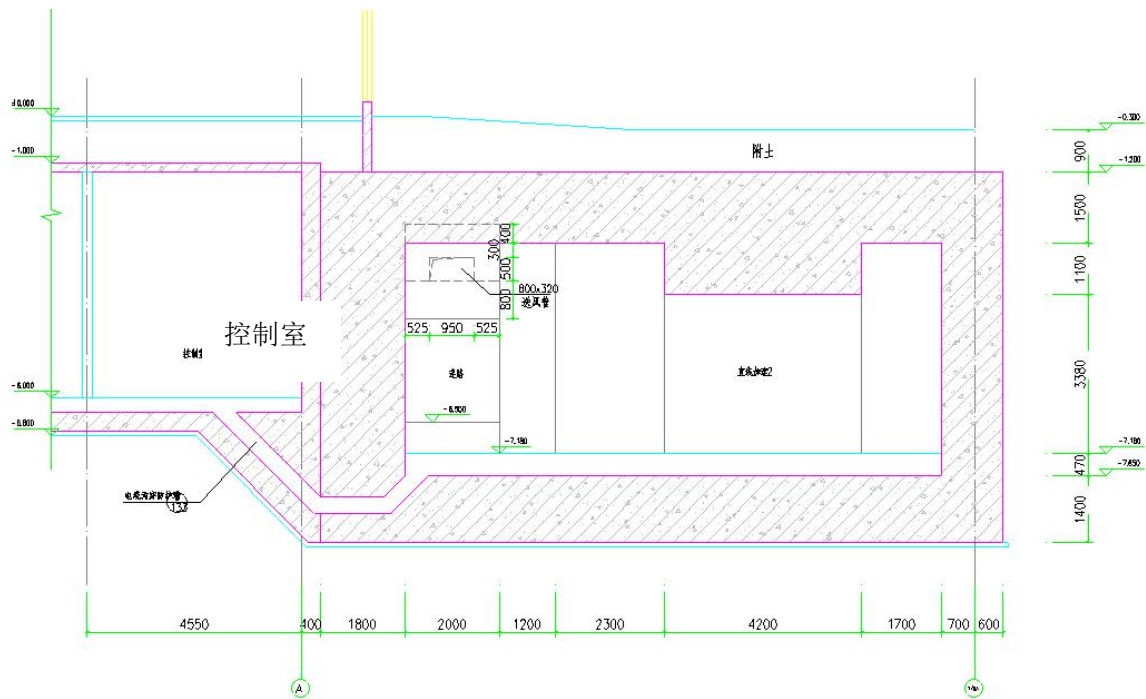


图 10-4 直线加速器机房剖面图

2.2.2 辐射安全措施

（1）在直线加速器治疗室内设置 3 个摄像装置，迷道内各设 1 个摄像装置，设置对讲装置，便于控制室操作人员观察治疗室内人员停留等情况和与治疗室内人员交流。在机房迷道入口设置固定式剂量监测设备。

（2）医用电子直线加速器机房控制室、治疗床及治疗室南、北墙、迷道内设置紧

急停机按钮，按下急停按钮直线加速器立即停止出束。医用电子直线加速器控制台上应设置急停开关，机房内设置的急停开关能使机房内的人员从南、北方向均能观察到且便于触发。在机房内南、北方向的墙面、入口门内旁侧和控制台处设置。

（3）直线加速器机房入口处均设置防护门及迷路，防护门与加速器联锁，即防护门打开时加速器不能出束。防护门外装有红外线防夹传感器，在门体关闭时如检测到障碍物时，门体自动打开，直至障碍物消除后门体才自动关闭；防护门内外均设置开门装置。防护门外设置工作指示灯及电离辐射警告标志，工作指示灯与直线加速器联锁，出束时灯亮。

（4）医院在直线加速器机房设置强制排风系统，进风口设在治疗机房上部，排风口设在治疗机房下部，进风口与排风口位置对角设置，以确保室内空气充分交换；拟设置排风机排风量不低于 2000m³/h，使治疗机房内的通风换气次数不小于 4 次/h。

两个机房均采用上进风下排风的排风方式，排风量大于进风量，使机房内保持负压，防止有害气体通过门缝等位置向外泄露。排风管道经机房南侧排风井后排出室外。

（5）医院给本项目辐射工作人员配备个人剂量计，并每季度定期送检，建立剂量监测档案。

（6）医院配备个人剂量报警仪 4 台供直线加速器机房使用，配备便携式 X-γ 辐射剂量率监测仪 1 台，配备铅衣、铅帽等防护用品。医院辐射工作人员进入直线加速器机房前，在控制室内通过控制台、安装在机房内的固定式监测设备等方式确定加速器已停止出束后方能进入加速器机房，进入加速器机房时佩戴个人剂量报警仪、个人剂量计等。

医院定期对门机联锁、剂量监测系统辐射安全与防护装置进行定期检查，发现异常时及时维修，确保各辐射安全与防护措施运行正常。

医院医用电子直线加速器实施治疗期间，配备两名及以上的操作人员协同操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度，密切注视控制台仪器及患者状况，发现异常及时处理，操作人员不得擅自离开岗位。

2.3 布局合理性分析

本项目医用直线加速器机房位于医疗综合楼 1 号楼地下一层南侧，两间机房成一字排列，两间机房的西面、南面、东面均为土层，北面为控制室、过道等，顶棚上方为绿化带、人行道、车道等，楼下为土层。机房选址避开了人员聚集区，机房四周人员很少停留；机房的控制室与治疗室分离，电气室、冷水机房等可以与治疗设备分离的设置于

治疗机房外；直线加速器有用线束照射区域避开了控制室，各机房设置了迷路，布局合理。

2.4 穿墙管道

本项目直线加速器机房内电缆沟采用 U 型穿越侧屏蔽墙体。穿墙电缆沟平面、剖面图见图 10-5。迷路外墙北侧设置剂量测试孔，机房内侧管口距地面 0.15m，控制室内管口距地面 1.2m。

医用电子直线加速器在迷路外墙设有物理测试孔，避开了有用线束方向；物理测试孔以水平 45°、上下 25°角斜穿墙体，从迷路外墙由下往上向上斜穿墙体，物理测试孔口迷路外墙内侧处距地 30cm，能有效减少散射射线的泄漏辐射影响。

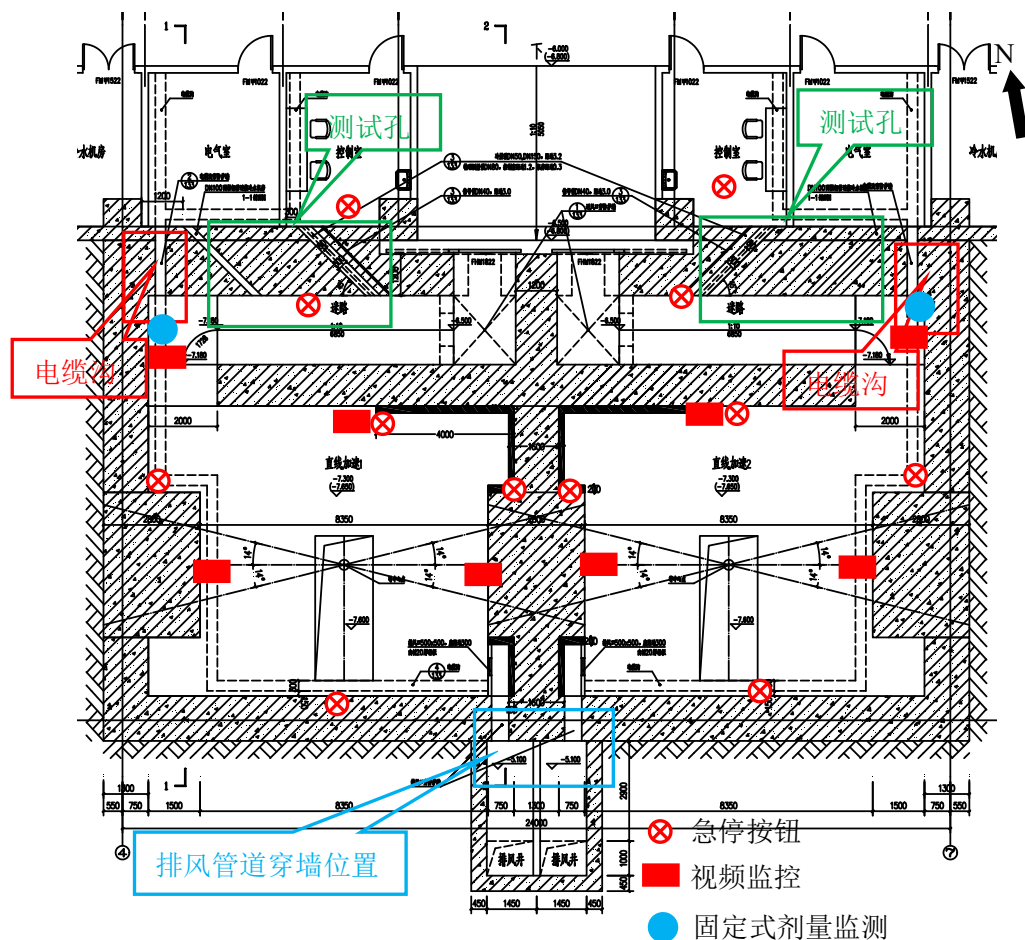


图 10-5 直线加速器平面布置及管线穿越墙体位置

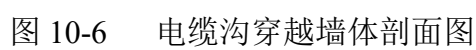
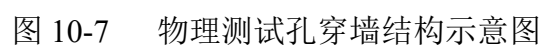
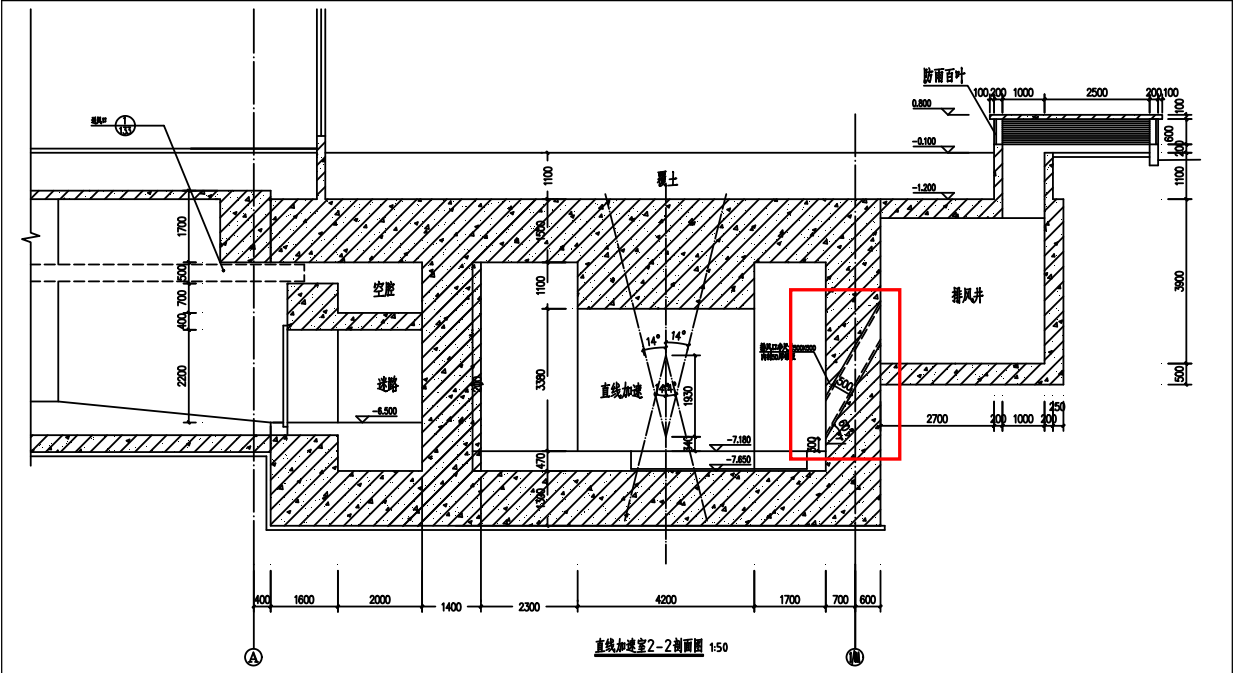
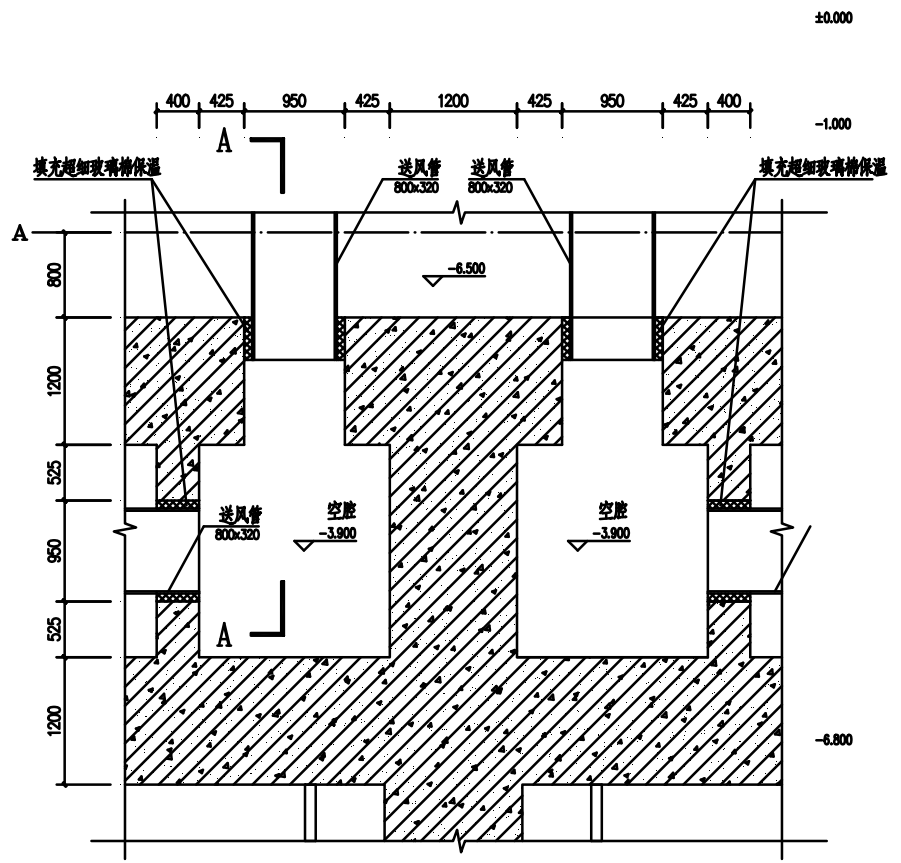


图 10-6 电缆沟穿越墙体剖面图





排风管道结构示意图



① 进风口穿防护墙 1:30

送风管道结构示意图

图 10-8 排风管道、送风管道穿墙结构示意图

2.5 辐射防护措施符合性分析

医院医用电子直线加速器机房辐射防护措施合理性分析采用《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）进行分析，辐射防护措施符合性分析见表 10-4。

表 10-4 医院直线加速器机房辐射防护措施符合性分析表

本项目方案	标准要求	符合性
本项目医用电子直线加速器机房成“—”字排列，位于医疗综合楼 1 号楼地下一层，医院对放射治疗机房及辅助设施进行了设计。	6.1.1 放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端；放射治疗机房及其辅助设施应同时设计和建造，并根据安全、卫生和方便的原则合理布置。	符合
本项目对放射治疗工作场所进行了分区管理，划分了控制区与监督区。将机房治疗室、迷路设置为控制区；将其他相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需经常检查其职业照射条件的控制室、设备间等区域设为监督区。	6.1.2 放射治疗工作场所应分为控制区和监督区。治疗机房、迷路应设置为控制区；其他相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需经常检查其职业照射条件的区域设为监督区。	符合
本项目医用电子直线加速器有用线束方向墙体按主射线进行设计，其余方向的防护屏蔽满足漏射线及散射线的屏蔽要求。	6.1.3 治疗机房有用线束照射方向的防护屏蔽应满足主射线束的屏蔽要求，其余方向的防护屏蔽应满足漏射线及散射线的屏蔽要求。	符合
本项目治疗设备控制室与治疗机房分开设置，设有独立的水冷机房、设备间，治疗设备辅助机械、电器、水冷设备等均设置于治疗机房外。	6.1.4 治疗设备控制室应与治疗机房分开设置，治疗设备辅助机械、电器、水冷设备，凡是可与治疗设备分离的，尽可能设置于治疗机房外。	符合
本项目直线加速器有用线束避开了控制室。	6.1.5 应合理设置有用线束的朝向，直接与治疗机房相连的治疗设备的控制室和其他居留因子较大的用室，尽可能避开被有用线束直接照射。	符合
本项目医用电子直线加速器机房均设置了迷路。	6.1.6 X 射线管治疗设备的治疗机房、术中放射治疗手术室可不设迷路； γ 刀治疗设备的治疗机房，根据场所空间和环境条件，确定是否选用迷路；其他治疗机房均应设置迷路。	符合
本项目直线加速器治疗室面积均为 68.47m ² （8.2m×8.35m，不含迷道）。各机房有足够的有效使用面积以确保放射治疗设备临床需要。	6.2.1 放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要。	符合
医院在直线加速器机房设置强制排风系统，进风口设在治疗机房上部，排风口设在治疗机房下部，进风口与排风口位置对角设置，以确保室内空气充分交换；拟设置排	6.2.2 放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；通风	符合

风机排风量不低于 2000m³/h, 使治疗机房内的通风换气次数不小于 4 次/h。 两个机房均采用上进风下排风的排风方式, 排风量大于进风量, 使机房内保持负压, 防止有害气体通过门缝等位置向外泄露。	换气次数应不小于 4 次/h。	
本项目放射治疗机房墙体均采用普通混凝土。	6.3.3 屏蔽材料 屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能和经济因素, 符合最优化要求, 新建机房一般选用普通混凝土。	符合
直线加速器机房入口处均设置防护门及迷路, 防护门与加速器联锁, 即防护门打开时加速器不能出束; 防护门设有防夹人装置, 即当有人进出防护门时, 防护门自动停止关门动作; 防护门外设置工作指示灯及电离辐射警告标志, 工作指示灯与直线加速器联锁, 出束时灯亮。防护门具有手动装置, 防护门内外设置应急开门设施。	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。	符合
医院在放射治疗工作场所入口处设置电离辐射警告标志及工作状态指示灯。	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。	符合
医用电子直线加速器机房控制室、治疗床及治疗室南、北墙、迷道内设置紧急停机按钮, 按下急停按钮直线加速器立即停止出束。医用电子直线加速器控制台上应设置急停开关, 机房内设置的急停开关能使机房内的人员从南、北方向均能观察到且便于触发。在机房内南、北方向的墙面、入口门内旁侧和控制台处设置。	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。	基本符合
在直线加速器内各设置 3 个摄像装置, 迷道内各设 1 个摄像装置, 设置对讲装置, 便于控制室操作人员观察治疗室内人员停留等情况和与治疗室内人员交流。	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。	符合
综上可知, 医院医用电子直线加速器工作场所按相关标准要求进行了设计, 辐射防护措施符合《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020) 的相关要求。 3.CT 模拟定位机		

3.1 控制区和监督区

医院将 CT 模拟定位机房的治疗室划为控制区，将控制室、西墙外过道、北墙外过道划为监督区。控制区内不得有人滞留，以辐射安全联锁、视频监控系统及警示装置控制及管理制度保障此区的辐射安全。监督区只允许操作人员在此区域，公众人员不得进入。管理上必须严格按区管理，避免人员误闯入或误照，平面布置及分区见图 10-9。

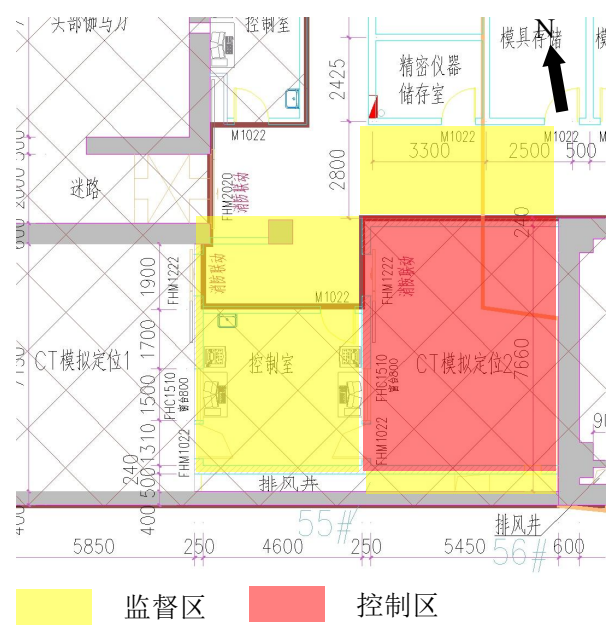


图 10-9 CT 模拟定位机机房平面图及分区

3.2 辐射安全与防护措施

依据建设单位提供的设计方案，现将 CT 模拟定位机房的主要技术参数列表分析，并根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中对 X 射线机房防护设计的技术要求、机房内最小有效使用面积及机房内最小单边长度要求对本次评价项目的实际防护措施对照分析，结果见表 10-5。

表 10-5 CT 模拟定位机房及防护措施情况一览表

项目	辐射防护情况	标准要求	评价
墙体	东墙 600mm 混凝土（约 8.7mmPb）， 其余墙体为 24cm 实心砖墙 +2.5mmPb 防护涂料（约 4.3mmPb）	CT 机房：有用线束方向、非有用 线束方向铅当量 2.5mmPb。	符合
顶棚	600mm 混凝土（约 8.7mmPb）		符合
防护门、观察窗	防护门为不锈钢门内加 4.0mmPb 的 铅板；观察窗为铅玻璃观察窗，铅当 量 4.0mmPb。		符合

机房大小	最小单边长度 5.45m, 最小有效使用面积 37.7m ² (5.45m×6.92m)	CT 机: 机房内最小有效使用面积 30m ² , 机房内最小单边长度 4.5m。	符合
机房通风	CT 模拟定位机房设计排气装置, 保证通风状况良好。	机房应设置动力排风装置, 并保持良好的通风。	符合
X 射线设备 机房布局	CT 模拟定位机房顶棚及墙体等采取了符合标准要求的防护措施, 机房(照射室)充分考虑邻室(含楼上和楼下)及周围场所的人员防护与安全。有用线束避免了直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。	应合理设置 X 射线设备、机房的门、窗和管线口位置, 应尽量避免有用线束直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。	符合
		X 射线设备机房(照射室)的设置应充分考虑邻室(含楼上和楼下)及周围场所的人员防护与安全。	符合
		每台固定使用的 X 射线设备应设有单独的机房, 机房应满足使用设备的布局要求。	符合
X 射线设备 工作场所防 护	本项目 CT 模拟定位机房在控制室侧设置观察窗, 观察窗位置便于观察到受检者状态及防护门开闭情况。	机房应设有观察窗或摄像监控装置, 其设置的位置应便于观察到受检者状态及防护门开闭情况。	符合
	医院射线装置机房内不堆放与该设备诊断工作无关的杂物。	机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。	符合
	CT 模拟定位机房防护门门外设置电离辐射警告标志; 患者出入防护门上方设置醒目的工作状态指示灯, 灯箱上设置“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句; 在候诊区等设置放射防护注意事项告知栏。	机房门外应有电离辐射警告标志; 机房门上方应有醒目在工作状态指示灯, 灯箱上应设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句; 候诊区应设置放射防护注意事项告知栏。	符合
	CT 模拟定位机房平开机房门设置自动闭门装置; 推拉式机房门设置曝光时关闭机房门的管理措施; 工作状态指示灯能与机房门有效关联。	平开机房门应有自动闭门装置; 推拉式机房门应设有曝光时关闭机房门的管理措施; 工作状态指示灯能与机房门有效关联。	符合
	机房电动推拉门设置防夹装置。	电动推拉门宜设置防夹装置。	符合
	一般情况下, 受检者不在机房内候诊; 非特殊情况, 检查过程中陪检者不滞留在机房内。	受检者不应在机房内候诊; 非特殊情况, 检查过程中陪检者不应滞留在机房内。	符合
	机房出入口处于散射辐射相对低的位置。	机房出入口宜处于散射辐射相对低的位置。	符合

防护措施	CT 模拟定位机房配备铅橡胶性腺防护围裙（方形）、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子 2 套。配备铅铅橡胶防护服 2 件给陪检者使用。	每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 4 基本种类要求的工作人员、受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作需要，对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣。 应为儿童的 X 射线检查配备保护相应组织和器官的防护用品，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.5mmPb。 个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。	符合
------	---	--	----

注：（1）本项目防护材料密度如下：混凝土密度 2.35 g/cm³，实心砖密度 1.65g/cm³，铅密度 11.34g/cm³。
（2）屏蔽物质铅当量由《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的附录 C 的式 C.5 算得，140kV（CT），600mm 混凝土对应 8.7mmPb 当量，24cm 实心砖（约 16.8cm 混凝土）对应 1.8mmPb 当量。

模拟定位机房及控制室内各设置 1 个紧急停机按钮，防止人员误闯入或误照。

由表 10-5 可知，医院 CT 模拟定位机房按相关标准要求进行了设计，CT 模拟定位机房内最小有效使用面积、机房内最小单边长度均大于标准要求，各机房的四面墙体、顶棚、防护门以及观察窗的建设均采取了辐射屏蔽，充分考虑邻室（含楼上下）及周围场所的人员防护与安全，且屏蔽厚度均高于有用线束和非有用线束铅当量防护厚度标准规定值。从 X 射线放射诊断场所的屏蔽方面考虑，本评价项目的 CT 模拟定位机房的防护设施的技术要求满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的相关防护设施的技术要求。

4.其他

医院为工作人员、患者和受检者配备必要的辐射防护用品和辅助防护设施。医院所有辐射工作人员均接受个人剂量监测并建立个人剂量档案和职业健康监护档案。在满足医疗诊断的条件下，确保患者和受检者所受到的照射剂量最低。医院制定辐射事故应急预案等辐射安全管理相关的各项规章制度，发生辐射事故时，立即启动应急预案，采取应急措施，并立即向当地环保部门、公安部门和卫生主管部门报告。对放射性同位素与射线装置工作场所安全防护状况进行年度评估，一旦发现安全隐患，应当立即进行整改。

5.建设单位从事核技术能力评价

医院已办理辐射安全许可证。本项目医用电子直线加速器为使用Ⅱ类射线装置，CT 模拟定位机为使用Ⅲ类射线装置，后装治疗机使用的 ¹⁹²Ir 放射源为Ⅲ类密封放射源，与

已许可项目的种类相同，但本项目范围超出已有许可证的许可范围。故本项目环评批复后，医院应按照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（国家环境保护总局令第31号，2021年修正）中规定的许可证申请程序，向江西省生态环境厅重新申请领取辐射安全许可证。根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（国家环境保护总局令第31号，2021年修正）中的有关规定，对使用放射性同位素与射线装置的单位申请领取许可证的满足条件进行符合性分析，对照表见表10-6。

表10-6 使用放射性同位素与射线装置单位申请领取许可证条件对比表

单位情况	《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》	符合情况
医院成立了放射（辐射）防护管理工作领导小组，负责医院的辐射安全与环境保护管理工作。	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名具有大专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。	符合
医院现有的辐射工作人员共152人，均参加了辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核，并通过考核，取得培训合格证书。	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。	符合
^{192}Ir 放射源在后装治疗机内，后装治疗机工作场所设置视频监控及防火防盗等措施。	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。	符合
本项目各机房患者出入防护门门口设置电离辐射警告标志及工作指示灯。	放射性同位素与射线装置使用场所所有防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	符合
医院将配备1台便携式辐射监测设备，配置铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、铅帽、铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾等防护用品。	配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。使用非密封放射性物质的单位还应当有表面污染监测仪。	符合
医院制定了《放射治疗装置维护维修制度》、《加速器机房管理制度》、《模拟定位机操作规程》、《放射治疗操作规程》、《辐射监测计划》、《X射线影像诊断质量保证方案》等制度。	有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。	符合
单位制定了辐射事故应急预案。	有完善的辐射事故应急措施。	符合
后装治疗机废弃的 ^{192}Ir 放射源交由生产厂家回收处理。直线加速器产生的废靶交由生产厂家回收处理。	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。	符合

综上所述，医院在贯彻执行《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的过程

中做了大量切合实际的工作。医院符合申请领取许可证的相关条件要求。

二、三废的治理

1.后装治疗机

本项目后装治疗机诊疗过程中不产生放射性的废气和废水。运行过程中产生的退役或报废的废旧放射源由供源厂家负责回收，医院拟与供源厂家签订废源回收协议，报废或退役放射源由供源厂家于机房内直接换源回收，并负责运输。退役或报废的废旧 ^{192}Ir 放射源可得到妥善处置。

2.直线加速器

直线加速器更换的靶等部件，可能带有长寿命的感生放射性核素，退役时，这些部件应作为放射性固废处置，由生产厂家回收。

本项目直线加速器 X 射线能量在 10MV 时，冷却水会有微量感生放射性。因冷却水循环使用，不会对水环境造成污染。

3.CT 模拟定位机

本次评价的 CT 模拟定位机属于 X 射线进行摄影的医用诊疗设备，只有在设备开机的状态下才产生 X 射线，无放射性废气、废水和固体废弃物产生。

4.非放射性气体

本项目放射性同位素与射线装置运行过程中产生的 X、 γ 射线与空气作用可产生少量臭氧和氮氧化物等非放射性气体，各机房内设置排风系统，经机房通风系统排出室外，对人员影响较小。

表 11 环境影响分析

一、建设阶段对环境的影响

医院此次环评项目建设期不涉及放射性同位素与射线装置的使用，故建设过程本项目不会对周边产生电离辐射影响，但在安装调试的过程当中，一定要严格按照相关使用说明、相关管理制度执行。

二、运行阶段对环境的影响

1. ^{192}Ir 后装治疗机

本次评价采用《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）、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分： γ 射线源放射治疗机房》GBZ/T 201.3-2014）等标准中的相关计算公式进行理论估算。

1.1 估算公式选取

后装机的辐射源在正常运行状态下是一裸源，对其的防护量全方位都是相等的，因此，按最不利情况，假设源处于曝光状态，根据 GBZ/T 201.3-2014 中的推荐公式进行估算。

（1）有效屏蔽厚度

当 X 射线束以 θ 角斜入射厚度为 X(mm) 的屏蔽物质时，射线束在斜射路径上的有效屏蔽厚度 $X_e(\text{mm})$ 见下式：

$$X_e = X \cdot \sec \theta \dots\dots\dots \text{式 (11-1)}$$

其中， θ 为斜射角，即入射线与物质平面的法线的夹角。

（2）屏蔽厚度与屏蔽透射因子的相应关系计算公式

对于给定的屏蔽物质的厚度 X (mm)，按式 (11-1) 计算有效屏蔽厚度 X_e (mm)，相应的辐射屏蔽透射因子 B 的计算见式 (11-2)：

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \dots\dots\dots \text{式 (11-2)}$$

式中： X_e ：有效屏蔽厚度，单位为 mm；

TVL（什值层）：平衡什值厚度，单位为 mm；

TVL₁：第一个什值层厚度，单位为 mm；

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分： γ 射线源放射治疗机房》GBZ/T 201.3-2014) 的附录 C，对于后装治疗机 ^{192}Ir 放射源，混凝土的 TVL₁ 与 TVL 均为 152mm。

B: 辐射屏蔽透射因子;

(3) 屏蔽体外关注点剂量率计算公式

$$H=B \cdot (H_0 \cdot f) / R^2 \dots\dots\dots \text{式 (11-3)}$$

式中:

H: 关注点剂量率, 单位为 $\mu\text{Sv/h}$

H_0 : 活度为 A 的放射源在距其 1m 处的剂量率, 单位为 $\mu\text{Sv/h}$

R: 辐射源至关注点的距离, 单位为 m

f: 辐射比率, 对有用线束为 1;

其中 H_0 计算公式如下:

$$H_0=A \cdot K_{\gamma} \dots\dots\dots \text{式 (11-4)}$$

式中:

H_0 : 活度为 A 的放射源在距其 1m 处的剂量率, 单位为 $\mu\text{Sv/h}$

A: 放射源活度, 单位为 MBq;

K_{γ} : 放射源的空气比释动能率常数, 在屏蔽计算中以周围剂量当量作为空气比释动能的近似, 单位为 $\mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$, 参照 GBZ/T201.3-2014 中附录 C, K_{γ} 为 $0.111\mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$;

(4) 防护门入口处的散射辐射剂量计算公式:

$$H_g=A \cdot K_{\gamma} \cdot S_w \cdot \alpha_w / (R_1^2 \cdot R_2^2) \dots\dots\dots \text{式 (11-5)}$$

式中:

A: 放射源活度, 单位为 MBq;

K_{γ} : 放射源的空气比释动能率常数, 单位为 $\mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$;

S_w : 迷路内口墙的散射面积, 其为辐射源和机房入口共同可见的墙区面积, 单位 m^2 ;

α_w : 散射体的散射因子, 混凝土对 45° 入射辐射在 0° 反散射角下的散射因子, 保守取 0.25MeV 的散射因子, 参照 GBZ/T 201.3-2014 中附录 C 及附录 F, 取 0.25MeV 时 45° 入射 0° 散射 α_w 为 3.39×10^{-2} 。

R_1 : 辐射源至散射体中心点的距离, 单位 m;

R_2 : 散射体中心点至计算点的距离, 单位 m;

经防护门屏蔽后的辐射剂量率计算公式:

$$H=H_g \cdot 10^{-\left(\frac{X}{TVL}\right)}+H_{og} \dots \dots \dots \text{式 (11-6)}$$

式中:

H_g : 防护门入口处的辐射剂量, 单位 $\mu\text{Sv/h}$;

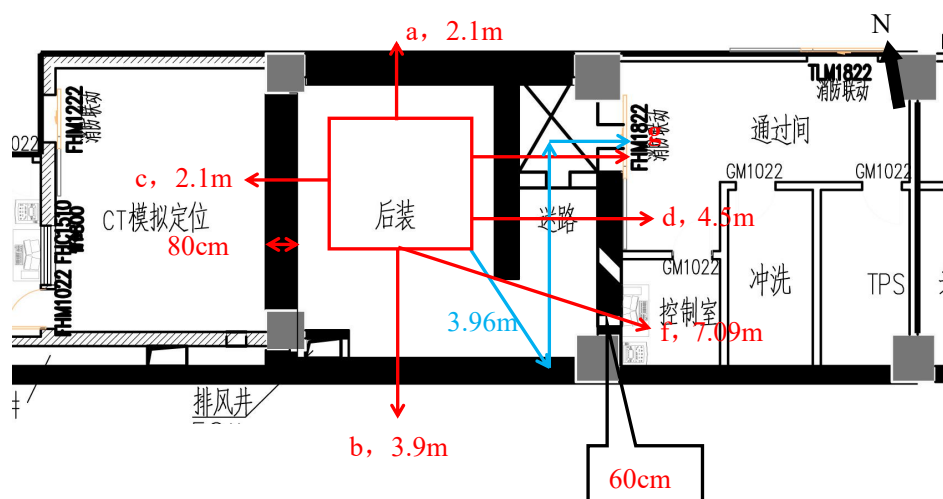
X : 屏蔽墙体厚度, 单位 mm ;

TVL : 铅的什值层厚度, 单位 mm ; 根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第3部分: γ 射线源放射治疗机房》GBZ/T 201.3-2014)的附录F, 对于后装治疗机 ^{192}Ir 放射源, 防护门处散射时铅的 TVL 为 5mm 。

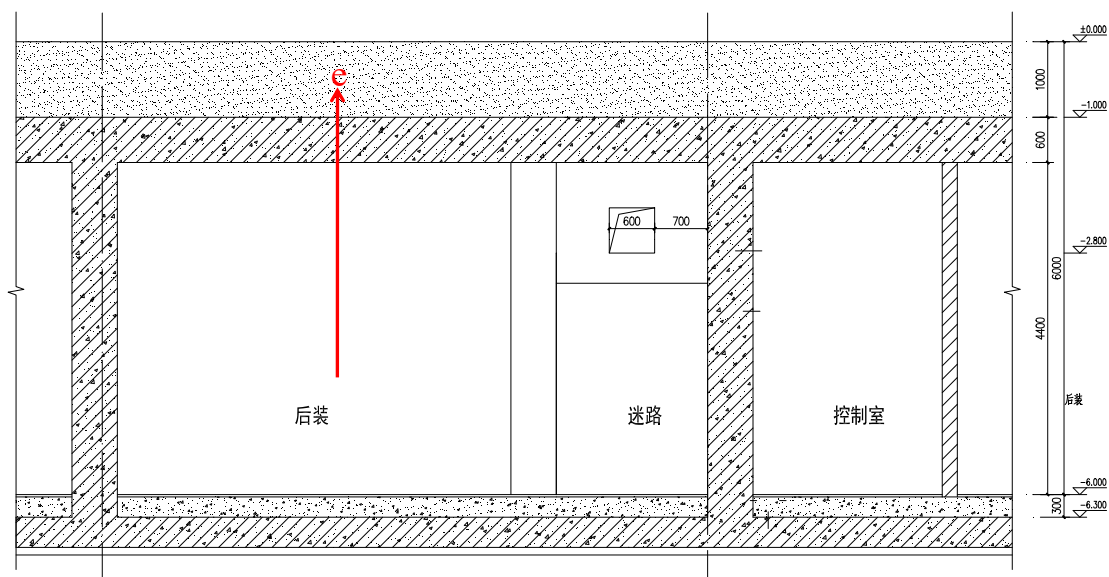
1.2 关注点选取

后装机房内 ^{192}Ir 放射源距离地面最大高度 1.3m , 后装治疗机活动区域距北墙为 1m , 距离西墙为 1m , 距离迷道口 1m , 距迷道内墙为 1m , 距室顶为 3.1m 。

后装机房所在建筑为医疗综合大楼1号楼, 治疗室西侧为CT模拟定位机房, 北侧为走廊和模具加工室, 南侧为土层, 东侧为控制室和通过间。在北墙、西墙和室顶以及防护门外 30cm 处设关注点, 各关注点位置及辐射路径示意图见图 11-1。



平面路径图



剖面路径图

图 11-1 后装治疗室关注点位置及辐射路径示意图

1.3 计算结果

为考察屏蔽墙的屏蔽效果，本评价只考虑在治疗状态下， ^{192}Ir 处于裸源状态时，由公式 11-3 计算出最大装源活度 10Ci 时 1m 处剂量率为 $4.107 \times 10^4 \mu\text{Sv/h}$ ，废旧源 2Ci 时 1m 处剂量率为 $8214 \mu\text{Sv/h}$ 。

废旧 ^{192}Ir 放射源在置于 40mmPb 的铅罐内，存放于治疗室保险柜内。废旧 ^{192}Ir 在治疗室内贮存时，计算其所致墙外 30cm 处的剂量率时的距离按放射源铅罐紧贴墙体计，即 0.9m；贮存时与摆位辐射工作人员的距离按 3m 计。后装治疗机更换放射源的操作由厂家负责，更换放射源时对机房外的环境影响同治疗出束时的影响相同。

(1) 屏蔽墙、室顶外辐射剂量率

本项目各屏蔽墙体及室顶外关注点辐射剂量率计算结果见表 11-1。

表 11-1 治疗室墙体及室顶外关注点辐射剂量率计算结果

关注点	屏蔽墙	1m 处剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)	有效屏蔽厚度	关注点到靶点的距离(m)	关注点剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
a	北墙外 30cm	4.107×10^4	800mm 混凝土	2.1	5.08×10^{-2}
b	南墙外 30cm	4.107×10^4	600mm 混凝土	3.9	0.30

c	西墙外 30cm	4.107×10^4	800mm 混凝土	2.1	5.08×10^{-2}
d	东墙外 30cm	4.107×10^4	1200mm 混凝土	4.5	2.58×10^{-5}
e	顶棚外 30cm	4.107×10^4	600mm 混凝土	4.0	0.29
f	东墙外 30cm	4.107×10^4	626.9mm 混凝土	7.09	6.13×10^{-2}
g	迷道入口	4.107×10^4	600mm 混凝土	4.5	0.23
废旧放射源贮存		8214	40mmPb	1	25.97
废旧放射源贮存（摆位位置）		8214	40mmPb	3	2.89
废旧放射源贮存（墙体外 30cm）		8214	40mmPb+600mm 混凝土	0.9	3.62×10^{-3}

注：（1）顶棚上方为 1m 厚土层，顶棚外剂量率未考虑土层屏蔽及土层厚度。（2）防护门铅当量的透射因子取半值层厚度算得；铅罐厚度较厚，远大于半值层厚度，其透射因子取十值层厚度算得。（3）经计算，在源距南墙内表面 3m、距迷路南墙内表面 3.3m 时，所致后装治疗机机房控制室墙体外 30cm 处剂量率最大。

（2）防护门外辐射剂量率

防护门外侧 g 点处辐射剂量率包括主射束穿过迷路内墙的辐射路径和主射束一次散射路径的叠加。

①g 点处主射束穿过迷路内墙的辐射剂量率

g 点处主射束穿过迷路内墙的辐射剂量率计算结果见表 11-2。

表 11-2 g 点处主射束穿过迷路内墙的辐射剂量率计算结果

关注点	屏蔽墙	1m 处剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)	有效屏蔽厚度 (mm)	关注点到靶向 点的距离 (m)	关注点剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
g	迷道内墙	4.107×10^4	600	4.5	0.23

②g 点处主射束一次散射辐射剂量率

g 点处主射束一次散射辐射剂量率计算结果见表 11-3。

表 11-3 g 点处主射束一次散射辐射剂量率计算结果

关注点	计算参数				计算结果 H_g ($\mu\text{Gy/h}$)
	S_w (m^2)	α_w	R_1 (m)	R_2 (m)	
g	$2.6 \times 4.4 = 11.44$	3.39×10^{-2}	3.96	7.5	9.71

表 11-4 防护门屏蔽后辐射剂量率计算结果

关注点	主射束穿过迷路内墙的辐射剂量率($\mu\text{Gy/h}$)	主射束一次散射辐射剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)	屏蔽厚度 (mmPb)	关注点处辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
g	0.23	9.71	9	0.38

由理论计算结果可知， ^{192}Ir 后装治疗机机房屏蔽体外 30cm 处的剂量率在 $2.58 \times 10^{-5} \sim 0.38 \mu\text{Sv/h}$ 之间；叠加废旧放射源暂存时所致墙体最大剂量率 $3.62 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ 后， ^{192}Ir 后装治疗机机房屏蔽体外 30cm 处最大剂量率为 $0.38 \mu\text{Sv/h}$ ，小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，符合《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）的相关要求。

1.4 有效剂量估算

人员所受辐射剂量估算公式：

$$H = D \times T \times 10^{-3} \dots\dots\dots \text{式 (11-7)}$$

式中：H—辐射外照射人均年有效剂量，mSv；

D—辐射剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

T—年工作时间，h；

由医院提供资料可知，医院每台后装治疗器预计的病人约 150 人/周，最大装源活度时每人治疗时间为 2min，年出束时间约 250h。工作人员在机房内摆位时间约 2min/人次，则年摆位时间 250h。

剂量估算时，后装治疗机机房的工作人员的剂量率取控制室侧墙体的剂量率；公众人员附加剂量率分别取北墙外 30cm、西墙外 30cm、顶棚外 30cm、及机房防护门处的剂量率。

由《后装 γ 源近距离治疗质量控制检测规范》（WS 262-2017）可知，运输贮源器（或工作贮源器）内装载最大容许活度时，距离贮源器表面 5cm 处的任何位置，泄漏辐射的周围剂量当量率不得大于 $50 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ ；距离贮源器表面 100cm 处的球面上，任何一点的泄漏辐射的周围剂量当量率不得大于 $5 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ 。医生摆位时，保守考虑，不考虑放射

源活度随时间衰变的作用，其周围剂量当量率保守取 $5\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ，并叠加废旧放射源时的影响。

根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）附录 A 表 A.1 内容，本项目不同场所的居留因子见表 11-5。

表 11-5 居留因子

场所	居留因子 (T)		示例
	典型值	范围	
全居留	1	1	管理人员或职员办公室、治疗计划区、治疗控制室、护士站、移动式电子加速器的相邻手术室与诊室、咨询台、有人护理的候诊室以及周边建筑中的驻留区
部分居留	1/4	1/2~1/5	1/2: 与屏蔽室相邻的患者检查室 1/5: 走廊、工作人员休息室
偶然居留	1/16	1/8~1/40	1/8: 各治疗机房房门外 30 cm 处、相邻的（共用屏蔽墙）放射诊疗机房 1/20: 公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室、病人滞留区域、屋顶、门岗室 1/40: 仅有来往行人车辆的户外区域、无人看管的停车场、车辆自动卸货区域、楼梯、无人看管的电梯

表 11-6 职业工作人员及公众成员的年有效剂量

位置	剂量率($\mu\text{Sv/h}$)	年工作时间(h)	年有效剂量(mSv/a)	
工作人员（控制室）	6.13×10^{-2}	250	1.53×10^{-2}	1.99
工作人员（摆位）	5	250	1.25	
工作人员（摆位）	2.89	250	0.72	
公众成员（防护门）	0.38	$250\times (1/8)=31.25$	1.19×10^{-2}	
公众成员（西墙外）	5.08×10^{-2}	$250\times (1/8)=31.25$	1.59×10^{-3}	
公众成员（北墙外）	5.08×10^{-2}	$250\times (1/5)=50$	2.54×10^{-3}	
公众成员（顶棚外）	0.29	$250\times (1/40)=6.25$	1.81×10^{-3}	

综上所述，本项目职业工作人员所接受的年有效剂量最大为 1.99mSv/a ，公众人员所接受的年最大有效剂量为 $1.19\times 10^{-2}\text{mSv/a}$ ，满足本评价采用的职业工作人员和公众人员的年管理剂量约束值要求。

2.医用直线加速器

本项目直线加速器机房采用《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）、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）等标准中的相关计算公式进行理论估算。

由直线加速器机房平面布置图可知，直线加速器机房 1 与直线加速器机房 2 紧邻成

一字对称布局，各屏蔽墙体厚度等相同，故选取直线加速器机房 1 做代表性机房进行理论估算。

直线加速器机房 1 的西墙外、直线加速器机房 2 的东墙外及直线加速器机房南墙外均为土层，人员无法到达，故未进行计算。

2.1 有用线束主屏蔽区半宽度核算

使用《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）的相关公式计算有用线束主屏蔽区的宽度。

$$Y_p = 2[(a + SAD) \cdot \tan \theta + 0.3] \dots\dots\dots \text{式 (11-8)}$$

式中， Y_p ——机房有用束主屏蔽区的宽度，m；

SAD——源轴距，m；

θ ——治疗束的最大张角（相对束中的轴线），即射线最大出射角的一半；

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

将各参数代入式（11-8）得出本项目的设计主屏蔽宽度，结果见表 11-7。

表 11-7 直线加速器机房 1 有用线束主屏蔽区宽度核算值

主屏蔽区	东墙主屏蔽区（a）	西墙主屏蔽区（b）	顶棚主屏蔽区（1）
a （m）	6.975	5.675	3.655
SAD（m）	1	1	1
θ （°）	14	14	14
Y_p （m）	4.58	3.93	2.92
实际设计宽度（m）	4.60	4.20	4.20

从表 11-7 的预测结果可以看出，加速器治疗室机房主屏蔽区的实际设计宽度均大于理论计算值，有用线束主屏蔽区的宽度设计满足《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）的相关要求。

2.2 关注点处周围剂量当量率参考控制水平

根据医院提供资料，预计该项目加速器投入使用后，每台加速器治疗患者工作量 60 人次/（天.台），每周 5 天，每年工作约 50 周，主要治疗模式为调强适形治疗，调强治疗与普通治疗比为 9:1，调强治疗时平均每人照射 5min，普通治疗时间 3min，则加速器周出束时间 24h/（周.台）。

根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）第 6.3.1 节、第 6.3.2 节要求对屏蔽体外关注点处的周围剂量当量率参考控制水平进行计算，计算参数及结果如下。

表 11-8 直线加速器机房屏蔽体外关注点处的周围剂量当量率参考控制水平

参考点位置	He	t	U	T	$\dot{H}_c$	$\dot{H}_{c,max}$	$\dot{H}_c$
单位	μSv/周	h/周	/	/	μSv/h	μSv/h	μSv/h
东墙外直线加速器机房 2 (a)	5	24	1/4	1/8	6.67	10	6.67
东墙外直线加速器机房 2 (c ₁ 、c ₂)	5	24	1	1/8	1.67	10	1.67
北墙外控制室 (f)	100	24	1	1	4.17	2.5	2.5
防护门 (g)	5	24	1	1/8	1.67	10	1.67
北墙外设备间 (k)	100	24	1	1/8	33.33	10	10
顶棚 (l)	5	24	1/4	1/40	33.33	10	10
顶棚 (m ₁ 、m ₂)	5	24	1	1/40	8.33	10	8.33

注：西墙外、南墙外为土层，无人到达，故未计算。

2.3 屏蔽体外剂量率

由表 11-9 可知，顶棚外 30cm 处的剂量率为 0.09μSv/h，远小于 2.5μSv/h，故不考虑天空反散射及侧散射影响。

(1) 屏蔽厚度与屏蔽透射因子的相应关系

①有效屏蔽厚度

当 X 射线束以θ角斜入射厚度为 X(cm)的屏蔽物质时，射线束在斜射路径上的有效屏蔽厚度 X_e(cm)见下式：

$$X = X_e \cdot \cos \theta \text{ 或 } X_e = X \cdot \sec \theta \dots\dots\dots \text{式 (11-9)}$$

其中，θ为斜射角，即入射射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角。

②屏蔽物质的厚度与辐射屏蔽透射因子 B 的关系如下：

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

TVL₁——第一什值层厚度，cm；

TVL——平衡什值层厚度，cm；

X_e——物质的有效屏蔽厚度，cm；

(2) 主屏蔽墙和侧屏蔽墙

有用线束和泄漏辐射的屏蔽与剂量估算：

对于给定的屏蔽物质厚度时，屏蔽体外关注点的剂量率计算公式如下：

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

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

$\dot{H}_0$ ——加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\times\text{m}^2/\text{h}$ ，由设备参数可知，X 射线模式下加速器最大输出剂量率为 24Gy/min ，即 $1.44\times10^9\mu\text{Gy/h}$ ；

R——辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

f——对有用线束为 1，对泄漏辐射为泄漏辐射比率，取 0.1%；

B——辐射屏蔽透射因子，相应的 TVL_1 、TVL 见标准的附录 B 表 B.1；

代入相关参数计算得：

表 11-9 主屏蔽墙与侧屏蔽墙的剂量率估算结果表

关注点		东墙主屏蔽(a 点，主束)	顶棚主屏蔽(1 点，主束)	北墙 (f 点，泄露辐射)	北墙 (k 点，泄露辐射)
X_e (cm)	砼	280	317.4	260	231.36
TVL_l (cm)	砼	41	41	35	35
TVL (cm)	砼	37	37	31	31
B		3.47×10^{-8}	1.21×10^{-9}	5.52×10^{-9}	4.63×10^{-8}
R (m)		8.275	7.355	9.30	11.64
$\dot{H}_0$ ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)		1.44×10^9	1.44×10^9	1.44×10^9	1.44×10^9
f		1	1	0.1%	0.1%
相应屏蔽体外关注点剂量率 H ($\mu\text{Sv/h}$)		0.73	0.09	9.19×10^{-5}	4.93×10^{-4}

注：（1）顶棚上方有 90cm 土层，根据 NCRP151 可知，土层相当于 1.5g/cm^3 的混凝土，折算为 2.35g/cm^3 的混凝土厚度为 57.4cm；（2）泄露辐射经迷路内、外墙的最小厚度为 $1.4\text{m}+1.2\text{m}=2.6\text{m}$ ；

（3）与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区

初级辐射束不直接到达该屏蔽墙，屏蔽计算只考虑加速器装置头的泄漏辐射和来自患者体表的散射辐射，二者之和为该点的总剂量率。

①患者体表的散射辐射

利用下列公式对患者体表的散射辐射进行剂量计算：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \bullet \alpha_{ph} \bullet (F / 400) \bullet B}{R_s^2} \dots\dots\dots \text{式 (11-12)}$$

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

$\dot{H}_0$ ——加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\times\text{m}^2/\text{h}$ ，由设备参数可知，X 射线模式下加速器最大输出剂量率为 24Gy/min，即 $1.44\times 10^9\mu\text{Gy/h}$ ；

R_s ——患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

α_{ph} ——患者 400cm^2 面积上的散射因子，其值见标准的附录 B 表 B.2，取 3.18×10^{-3} ；

B——辐射屏蔽透射因子，相应的 TVL 见标准的附录 B 表 B.4；10MV 时取 30° 的值 28cm；

F——治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 ；设备照射野为 $40\text{cm}\times 40\text{cm}$ ；

代入相关参数计算得：

表 11-10 患者体表的散射辐射致关注点处的剂量率

关注点		东墙 c_1 、 c_2 点	顶棚 m_1 、 m_2 点
散射辐射	$X_e(\text{cm})$	182.67	194.16
	$TVL_l(\text{cm})$	28	28
	$TVL(\text{cm})$	28	28
	$R(\text{m})$	7.62	7.32
	α_{ph}	3.18×10^{-3}	3.18×10^{-3}
	B_s	2.99×10^{-7}	1.16×10^{-7}
	$\dot{H}(\mu\text{Sv/h})$	9.44×10^{-2}	3.98×10^{-2}

注：顶棚 m_1 、 m_2 点未考虑土层的厚度及屏蔽作用。

②泄漏辐射

泄漏辐射计算公式见式（11-6），代入相关参数得：

表 11-11 泄漏辐射致关注点处的剂量率

关注点		东墙 c_1 、 c_2 点	顶棚 m_1 、 m_2 点
泄漏辐射	距 $X_e(\text{cm})$	182.67	194.16

	$TVL_I(\text{cm})$	35	35
	$TVL(\text{cm})$	31	31
	$R(\text{m})$	7.62	7.32
	B_L	1.72×10^{-6}	7.34×10^{-7}
	$\dot{H}(\mu\text{Sv/h})$	4.27×10^{-2}	1.97×10^{-2}

注：顶棚 m₁、m₂ 点未考虑土层的厚度及屏蔽作用。

加速器装置头的泄漏辐射和来自患者体表的散射辐射之和为关注点的总剂量率，计算如下：

表 11-12 与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区剂量率

关注点	东墙 c ₁ 、c ₂ 点	顶棚 m ₁ 、m ₂ 点
泄漏辐射和散射辐射的复合作用	1.37×10^{-1}	5.95×10^{-2}

(6) 加速器 (≤10MV) 机房的迷路散射辐射屏蔽的剂量估算

①有用线束不向迷路方向

入口处的散射辐射剂量率 $\dot{H}_g$ 计算公式如下：

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F / 400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \cdot \dot{H}_0 \dots\dots\dots \text{式 (11-13)}$$

$\dot{H}_g$ ——入口处的散射辐射剂量率，μSv/h；

$\dot{H}_0$ ——加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的常用最高剂量率，μSv×m²/h；

R₁——等中心点至散射墙面的距离，m；

R₂——迷道散射墙面至入口处的距离，m；

α_{ph}——患者 400cm² 面积上的散射因子，其值见标准的附录 B 表 B.2；

α₂——砼墙入射的患者散射辐射的散射因子，其值见标准的附录 B 表 B.6；

A——散射面积，m²；宽 3.2m×高 3.85m=12.32m²；

B——辐射屏蔽透射因子，相应的 TVL 见标准的附录 B 表 B.4；

F——治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm²；

②防护门外的辐射剂量率 $\dot{H}$ 计算公式如下

$$\dot{H} = \dot{H}_g \bullet 10^{-(X/TVL)} + \dot{H}_{og} \dots\dots\dots \text{式 (11-14)}$$

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

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

TVL——迷道入口处散射射线在铅的什值层厚度，mm；一般取 5mm；

$\dot{H}_{og}$ ——装置头泄漏辐射在迷道入口处的剂量率，可由式（11-11）算得， $\mu\text{Sv/h}$ ；

代入相关参数计算得：

入口处的散射辐射剂量率 $\dot{H}_g$ ：

表 11-13 散射辐射在迷道防护门入口处的剂量率

位置	α_{ph}	α_2	F/400	A (m^2)	R ₁ (m)	R ₂ (m)	$\dot{H}_g$ ($\mu\text{Sv/h}$)
直线加速器机房 (g 点)	1.35×10^{-3}	22×10^{-3}	4	12.32	8.86	11.95	188.14
防护门外 1m	1.35×10^{-3}	22×10^{-3}	4	12.32	8.86	12.95	160.21

装置头泄漏辐射在迷道入口处的剂量率： $\dot{H}_{og}$

表 11-14 泄漏辐射在迷道防护门入口处的剂量率

位置	屏蔽墙体厚度 X (cm)	TVL ₁ (cm)	TVL (cm)	透射因子 B	距离 (m)	剂量率 $\dot{H}_{og}$ ($\mu\text{Sv/h}$)
直线加速器机房 (g 点)	147.7	35	31	2.32×10^{-5}	9.49	3.70×10^{-1}
防护门外 1m	147.7	35	31	2.32×10^{-5}	10.49	0.30

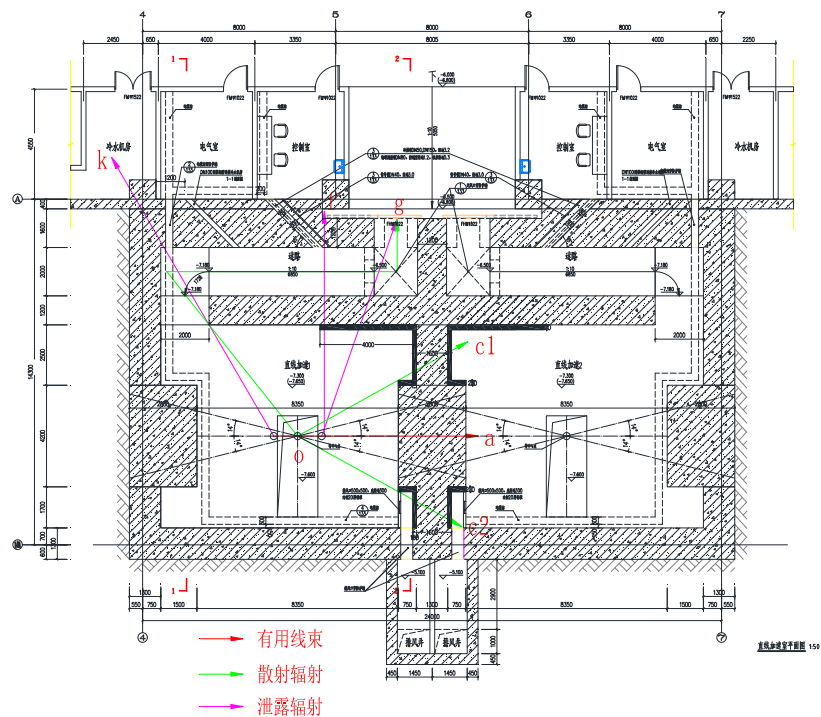
经铅防护门屏蔽后的剂量率 $\dot{H}$ ：

表 11-15 防护门外的辐射剂量率

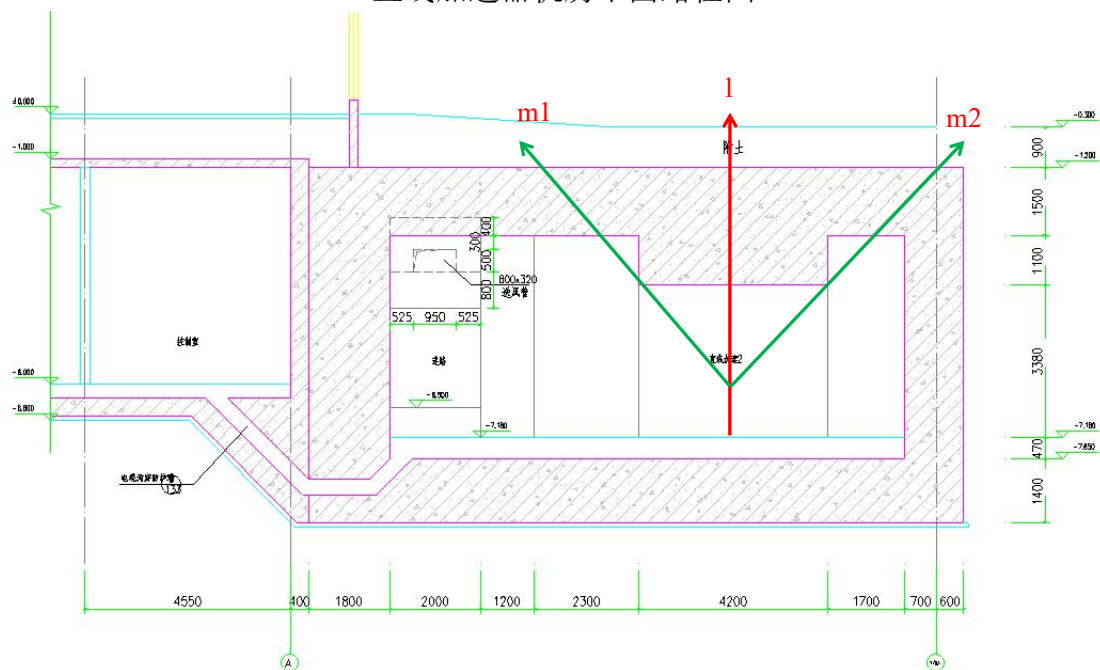
位置	$\dot{H}_g$ ($\mu\text{Sv/h}$)	铅门厚度 (mm)	TVL (mm)	铅门的透射因子 B	$\dot{H}_{og}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率 $\dot{H}$ ($\mu\text{Sv/h}$)
直线加速器机房 (g 点)	188.14	15	5	1.00×10^{-3}	1.88×10^{-1}	5.58×10^{-1}
防护门外 1m	160.21	15	5	1.00×10^{-3}	1.88×10^{-1}	0.16

从偏保守角度考虑，泄露辐射的铅的什值层厚度取有用线束方向的什值层厚度

5.7cm，则泄露辐射经迷路内墙及防护门（15mmPb）屏蔽后 1m 的剂量率为 $0.30 \times 10^{-15/57} = 0.17 \mu\text{Sv/h}$ ，则防护门外 1m 处的剂量率为 $0.33 \mu\text{Sv/h}$ 。



直线加速器机房平面路径图



直线加速器机房剖面路径图

图 11-2 加速器机房理论估算射线路径图

综上所述，医院直线加速器机房墙体及防护门外关注点的剂量率情况如下：

表 11-16 加速器机房墙体及防护门外关注点的剂量率情况统计表 $\mu\text{Sv/h}$

位置	考察点	剂量率值 ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	结论
东墙外主屏蔽区	a	0.73	6.67	满足
东墙外次屏蔽	c ₁ 、c ₂	0.137	1.67	满足
北墙外控制室	f	9.19×10^{-5}	2.5	满足
防护门	g	5.58×10^{-1}	1.67	满足
北墙外设备间	k	4.93×10^{-4}	10	满足
顶棚	l	0.09	10	满足
顶棚次屏蔽	m ₁ 、m ₂	5.95×10^{-2}	8.33	满足

由表 11-16 可知，医院直线加速器机房防护门及墙外 30cm 处的剂量率均符合《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）的相关要求。

因直线加速器机房成对称设计，在顶棚上方及防护门处存在剂量率叠加，从偏保守角度考虑，防护门处及顶棚上方剂量率按 2 倍计算，即分别为 $1.12\mu\text{Sv/h}$ 、 $0.18\mu\text{Sv/h}$ ，也满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）的相关要求。

2.4 加速器项目受照人员有效剂量估算

由医院提供资料可知，医院单台加速器预计年出束时间约 1200h。公众人员（不包括接受治疗的患者）一般无法进入加速器治疗室内，加速器治疗室内停留人员主要为加速器的辐射工作人员，故东墙外所致有效剂量主要考虑工作人员。患者一般在防护门外 1m 以上候诊，考虑剂量叠加时取 1m 处的剂量率进行计算。

表 11-17 职业工作人员及公众成员的年有效剂量

位置	附加剂量率($\mu\text{Sv/h}$)	年工作时间(h)	年有效剂量(mSv/a)
工作人员（控制室）	4.93×10^{-4}	1200	5.92×10^{-4}
公众成员（东墙外直线加速器机房 2）	0.19	$1200 \times 1/8 = 150$	2.85×10^{-2}
公众成员（防护门）	5.58×10^{-1}	$1200 \times 1/8 = 150$	8.37×10^{-2}
公众成员（防护门外 1m）	0.33	$1200 \times 1/8 = 150$	4.95×10^{-2}
公众成员（顶棚上方绿化带）	0.09	$1200 \times 1/40 = 30$	2.70×10^{-3}

由表 11-17 可知，在最大工作负荷的前提下，按照已有的相关设计估算，单台直线加速器运行时对工作人员职业照射的最大附加年有效剂量值为 $5.92 \times 10^{-4}\text{mSv/a}$ ；对公众人员照射的最大附加年有效剂量值为 $8.37 \times 10^{-2}\text{mSv/a}$ ，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，也低于剂量约束值 0.1mSv/a 。

上述估算值为单台设备运行所致，因直线加速器机房成对称设计，在顶棚上方及防护门处存在剂量率叠加。医院给直线加速器治疗患者设有等候间，等候间距加速器机房北墙约 8m，治疗患者听到叫号后在防护门外 1m 处等候治疗，故取防护门外 1m 处的剂量进行叠加。考虑剂量叠加后，防护门外 1m 处剂量率所致公众人员剂量为 $9.60 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，顶棚上方剂量为 $5.40 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ ，均低于剂量约束值 0.1mSv/a 。

2.5 电子线和中子辐射分析

使用电子束模式时，X 射线靶和均整器电子射线束范围内移去，产生电子线的电子束流强度比打靶产生临床 X 射线所需的电子束流强度小 2~3 个数量级(《放射肿瘤物理学：教学手册》IAEA，2005)；电子束出束过程中，电子线与机头、床、人体组织等作用产生韧致辐射的能量和强度均低于电子束撞击钨靶产生的治疗 X 射线的能量和强度，所以，如果机房及其防护门能够满足 X 治疗束的屏蔽防护要求，一定能够满足电子束治疗中产生的韧致辐射的防护要求。

NCRP15 报告指出，由于混凝土有较高的氢含量，对中子的吸收截面较大。经验表明，如果屏蔽层足以屏蔽初级 X 射线和泄漏 X 射线，则无需考虑中子和中子俘获 γ 射线的屏蔽问题。若墙体外附加剂量率满足本项目设定的 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的要求，则中子和中子俘获 γ 射线的贡献可以忽略，可以不再考虑墙体对中子和中子俘获 γ 射线的屏蔽问题。

由表 11-16 可知，医院直线加速器机房防护门及墙外 30cm 处的剂量率均符合本项目关注点的最高剂量率参考控制水平的要求，说明机房及其防护门能够满足 X 治疗束的屏蔽防护要求，也能够满足电子束治疗中产生的韧致辐射的防护要求。此外，中子和中子俘获 γ 射线的贡献可以忽略，可以不再考虑墙体对中子和中子俘获 γ 射线的屏蔽问题。

2.6 通风能力分析

医院在直线加速器机房设置强制排风系统，进风口设在治疗机房上部，排风口设在治疗机房下部，进风口与排风口位置对角设置，以确保室内空气充分交换；拟设置排风机排风量不低于 $2000 \text{m}^3/\text{h}$ ，使治疗机房内的通风换气次数不小于 4 次/h，满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中治疗室通风换气次数不小于 4 次/h 的要求。

2.7 非放射性气体对环境的影响

（1）臭氧产量

由《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) 可知, 有用线束所致臭氧 (O₃) 的产量由下式计算:

$$P = 2.43 \times \dot{D}_0 \times (1 - \cos \theta) \times R \times G \dots\dots\dots \text{式 (11-15)}$$

式中: P 为臭氧 (O₃) 产额, mg/h;

$\dot{D}_0$ 为辐射有用线束在 1m 处的输出量, Gy×m²/min; 由设备参数可知, 直线加速器 X 射线模式下加速器最大输出剂量率为 24Gy/min;

R 为射线束中心轴线上原点至辐照室内壁的距离, m; 本项目取 5.175m;

θ 为射线束的半张角, 度; 本项目直线加速器取 14°;

G 为空气吸收 100eV 辐射能量产生的臭氧 (O₃) 分子数; 本项目取 10;

代入相关参数计算得: P=1.58mg/min;

(2) 臭氧 (O₃) 浓度

假设臭氧在机房内均匀分布, 开机后 t (min) 时刻, 机房内的臭氧浓度计算公式如下:

$$c(t) = \frac{P \times \bar{T}}{V} [1 - \exp(t/\bar{T})] \dots\dots\dots \text{式 (11-16)}$$

式中: c(t)——机房内臭氧的浓度, mg/m³;

V——机房内体积, m³; 本项目直线加速器机房治疗室体积为 422.8m³;

t——开机运行时间, min; 本项目直线加速器开机运行时间取保守值 5min;

$\bar{T}$ ——有效清除时间, min;

$$\bar{T} = \frac{t_v \times t_d}{t_v + t_d} \dots\dots\dots \text{式 (11-17)}$$

式中: t_v——换气一次需要的时间, min;

t_d——臭氧的有效分解时间, 为 50min;

代入参数算得: $\bar{T}$ = 10.12min;

当机器运行很长时间后, 臭氧浓度达到饱和, 其平衡浓度计算公式如下:

$$c_s = \frac{P \times t}{V} (t \ll \bar{T}) \dots\dots\dots \text{式 (11-18)}$$

将上述参数代入得: 直线加速器出束时, 不考虑排风机的排风能力, 直线加速器停机后, 机房内臭氧浓度为 0.027mg/m³, 小于 GBZ 2.1-2019 中有害气体 (臭氧) 职业接

触限值 0.3mg/m³。

在多种氮氧化物（NO_x）中，以 NO₂ 为主，其产额约为 O₃ 的一半，工作场所中 NO₂ 的限值（5mg/m³）大于 O₃ 的限值。因而工作场所中 O₃ 浓度达到《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》（GBZ 2.1-2019）要求时，NO_x 的浓度也会满足要求。

2.8 其他

该项目放射性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才产生，换下的废靶交江西省城市放射性废物库收贮。

3.CT 模拟定位机

3.1 类比分析

本项目 CT 模拟定位机尚未运行故采取类比监测的方法进行分析评价。采用南昌大学第一附属医院已环评且履行了竣工验收监测的 Somatom Definition As 型 128 层螺旋 CT 机的例行监测数据进行类比。CT 类比条件见表 11-18。

表 11-18 CT 类比条件一览表

项目	本项目	类比项目	备注
设备名称型号	待定	Somatom Definition As	/
最大管电压	140kV	140 kV	相同
最大管电流	800mA	800mA	相同
屏蔽墙厚度	东墙 600mm 混凝土(约 8.7mmPb)， 其余墙体为 24cm 实心砖墙 +2.5mmPb 防护涂料(约 4.3mmPb)	37cm 实心砖+1mmPb (约 4mmPb)	优于类比对象
顶棚厚度	600mm 混凝土 (约 8.7mmPb)	30cm 混凝土 (约 3.7mmPb)	优于类比对象
底板厚度	/	30cm 混凝土 (约 3.7mmPb)	/
防护门铅当量	4mm 铅当量	4mm 铅当量	相同
观察窗铅当量	4mm 铅当量	4mm 铅当量	相同
机房面积	37.7m ² (5.45m×6.92m)	40.1m ² (7.36m×5.46m)	小于类比对象

注：实心砖密度为 1.65g/cm³，混凝土密度 2.35g/cm³，实心砖根据密度与厚度乘积换算为混凝土厚度后再换算为铅当量厚度。

由类比条件一览表可知，本项目设备最大管电压、最大管电流与类比对象相同，本项目机房防护门及观察窗等屏蔽物质铅当量厚度与类比对象相当，机房四周墙体、顶棚厚度优于类比对象，机房面积略低于类比对象，但满足标准要求，故本项目类比南昌大学第一附属医院已环评且履行了竣工验收监测的 Somatom Definition As 型 128 层螺旋 CT 机的例行监测数据是可行的。

（2）类比监测结果

类比监测结果见表 11-19，类比监测报告见附件 8。

表 11-19 类比监测结果表

检测位置		主射线朝向	周围剂量当量率 μSv/h	检测位置		主射线朝向	周围剂量当量率 μSv/h
观察窗	上	纵向旋转	0.15	机房大门	上	纵向旋转	0.49
	中		0.15		中		0.51
	下		0.16		下		0.63*
	左		0.16		左		0.36
	右		0.15		右		0.38
机房小门	上	纵向旋转	0.32	墙	东	纵向旋转	0.16
	中		0.33		南		0.17
	下		0.34		西		0.18
	左		0.36		北		0.19
	右		0.32	楼上（胃肠机操作室）			0.16
——	——	——	——	楼下（职工停车场）			0.16
检测条件：120kV，200mA，出束时间 5.6s。本底值 0.12~0.15μSv/h。							

注：1）监测结果未扣除本底值。

由类比监测结果可知，类比 CT 在正常使用件下，机房周边各点的周围剂量当量率监测结果在（0.15~0.63） $\mu\text{Sv/h}$ 之间，符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的相关要求，即满足 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 $\mu\text{Sv/h}$ 的要求。检测结果可见，机房四周剂量率均处于较低水平，说明机房经过相应的屏蔽后辐射泄漏很小，机房屏蔽效果良好。可以认为类比的 CT 项目的监测结果基本反映了本项目运行后的实际辐射环境影响，因此可以推测本项目 CT 正常运行后对机房四周的辐射环境影响符合相关标准要求，该院机房设计能够满足拟建的 CT 辐射防护标准的要求。

3.2 有效剂量估算

为确定医院 CT 模拟定位机运行过程中对操作人员和公众产生的辐射剂量及其辐射环境影响，对其进行辐射剂量估算评价。

本项目 CT 模拟定位机配备 4 名辐射工作人员，分两组。CT 模拟定位机年病人数为 37500 人次，平均出束为 30s，年出束时间为 312.5h。CT 模拟定位机公众成员和辐射工作人员受到的最大附加年有效剂量见表 11-20。

表 11-20 医院本项目 CT 所致工作人员和公众最大附加年有效剂量估算表

对象	辐射剂量率(μSv/h)	年曝光（工作）时间(h)	年有效剂量（mSv/a)
控制室操作人员	0.63-0.12=0.51	312.5	0.16
公众成员	0.16-0.12=0.04	312.5×（1/4）=78.125	3.13×10 ⁻³

由表 11-20 可知，本项目 CT 正常运行时对工作人员职业照射的最大附加年有效剂量值为 0.16mSv，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，也低于剂量约束值 5mSv/a；本项目 CT 对公众照射的最大附加年有效剂量值为 3.13×10⁻³mSv，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，也低于剂量约束值 0.1mSv/a。

3.3 后装治疗机与 CT 模拟定位机叠加影响分析

后装治疗机与 CT 模拟定位机紧邻，成“—”次排列，在机房的北墙外过道及顶棚上方大厅存在剂量叠加。从偏保守角度考虑，CT 模拟定位机机房外的剂量率取类比监测值中的最大值（0.51μSv/h）进行叠加，叠加后 CT 模拟定位机、后装治疗机北墙外的剂量率为 0.56μSv/h；顶棚上方的最大剂量率为 0.80μSv/h（未考虑顶棚上方土层屏蔽）。考虑剂量率叠加后，后装治疗机与 CT 模拟定位机机房外的剂量率均小于 2.5μSv/h，分别满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的相关要求。

后装治疗机与 CT 模拟定位机北墙外过道及顶棚上方为公众人员停留位置，叠加剂量后分别为 5.67×10⁻³mSv/a（北墙外）、4.94×10⁻³mSv/a（顶棚外），符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，也低于剂量约束值 0.1mSv/a。

三、事故影响分析

1.CT 模拟定位机

X 射线装置应用项目可能发生的辐射事故及风险的发生主要是在管理上出问题，工作人员平时必须严格执行各项管理制度，严格遵守设备的操作规程，进行辐射工作前检查是否已按要求穿戴好各种辐射防护用品，并定期检查机房的性能，及有关的安全警示标志是否正常工作，避免无关人员误入正在使用机房内。一旦发生辐射事故，处理的原则是：

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

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

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

（4）在事故处理过程中，要在可合理做到的条件下，尽可能减少人员照射。

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

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

2.医用电子直线加速器

医院医用电子直线加速器产生的 X 射线受开机和关机控制，关机时没有射线发出。因此，检修方便，断电状态下也较为安全。在意外情况下，可能出现的辐射事故如下：

（1）工作人员或病人家属在防护门关闭前尚未撤离治疗室，加速器运行可能产生误照射。在治疗室防护门内与操作室设置有人工紧急停机及开门按钮，只要未撤离人员了解该按钮的位置及作用，可避免此类事故的发生。因此，在加速器机房内应设置此按钮醒目的指示和说明，便于在紧急情况下使用。

（2）安全联锁装置或报警系统发生故障状况下，人员误入正在运行的加速器治疗室。因此，工作人员应每天检查安全联锁装置，且医务人员必须严格按照加速器操作程序进行治疗，防止事故的发生。当发生事故时立即按下紧急按钮停止治疗，减少事故的影响。

(3) 工作人员误操作导致病人受到不必要的照射，操作人员均须经培训合格后上岗，且按操作规程操作，防止事故的发生。当发生误操作时工作人员应立即按下紧急停机按钮。

3.¹⁹²Ir 后装治疗机

(1) 后装机故障

后装机机器故障主要有施源器未插好、通道堵塞等故障，当发生某种故障时，计算机报警，源自动退回，当源完全退回储源器时，防护门指示灯亮绿灯，此时工作人员进入治疗室撤离病人。工程师通过计算机控制和机房现场进行维修。

(2) 卡源事故

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

卡源事故时，辐射工作人员佩戴个人剂量计、个人剂量报警仪，手持便携式辐射监测设备，穿戴好铅衣、铅帽等辐射防护用品进入治疗室内进行处置，处置时间一般为1min，人员距源0.5m。后装治疗机最大装源活度时，由式(11-3)算得距裸源1m处的剂量率为41070μSv.m²/h，则工作人员处置期间的受照有效剂量为41070μSv.m²/h÷(0.5m)²×(1/60h)=2.74mSv。

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

(3) 废放射源(¹⁹²Ir)回收过程中的事故主要如下：

①在导源过程中屏蔽储源体(屏蔽装置)发生损坏导致源不能被屏蔽。

②因工作人员操作不当或出现设备故障，在导源以及换装新放射源时，发生放射源由设备或容器中跌落出来，造成安装或操作人员受到强辐射照射。

(4) 放射源被盗丢失：由于管理不善，放射源发生被盗、丢失、遗弃等事故，而

引发环境辐射污染。

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

(6) ^{192}Ir 后装机事故防范措施主要包括:

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

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

③制定后装机卡源事故应急处置措施并加强工作人员卡源事故演习,当出现卡源事故时严格按应急处置措施进行处理。

④废源回收以及新放射源的更换均由设备供应商或厂家完成。

⑤医院加强放射源的辐射管理,后装机机房出入口设置摄像头监控,放射源被盗的几率很小。一旦发生放射源丢失或被盗,根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(国务院令 第 449 号)、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(环保部令 第 18 号)、《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》(国家环保总局,环发[2006]145 号)以及《突发环境事件信息报告办法》(环保部令 第 17 号)中的有关要求,医院应按规定启动本单位辐射事故应急方案,并及时报告当地生态环境部门、公安部门以及卫健委等行政主管部门。

表 12 辐射安全管理

一、辐射安全与环境保护管理机构的设置

为保证建设项目建设期和运营期的辐射防护措施落实情况，医院成立了辐射防护领导小组，领导小组职责如下：

- 1.组织贯彻落实国家和地方政府、医院有关辐射安全与环境保护工作的方针、政策；
- 2.定期（每季度一次）召开会议，听取辐射安全与环境保护工作情况汇报，讨论决定辐射安全与环境保护工作中的重大问题和采取的措施；
- 3.组织开展射线装置安全检查活动，组织处理、通报事故；
- 4.组织制定和完善射线装置管理制度和操作规程，监督检查各规章制度的执行，督促整改辐射事故隐患。

二、辐射安全管理规章制度

1.已有规章制度及落实情况

（1）现有规章制度制定情况

医院已建立《辐射事故应急预案》、《辐射工作人员培训计划和监测方案》、《设备检修维护制度》、《辐射工作人员岗位职责》、《辐射防护和安全保卫制度》、《直线加速器操作规程》、《直线加速器质量保证和质量控制制度》等规章制度，规章制度都在相关科室上墙，且工作人员严格按规章制度要求执行。

（2）医院每年委托有资质的单位对医院辐射工作场所进行监测，并向上级主管部门提交年度评估报告。

（3）医院给辐射工作人员佩戴个人剂量计，接受剂量监测，已委托有资质单位定期检测，建立剂量健康档案并存档。

（4）医院放射性工作场所设置有电离辐射警告标志、工作指示灯等辐射安全措施。

（5）医院安排了辐射工作人员参加职业健康体检，建立了健康体检档案。

（6）医院现有辐射工作人员 152 人，均在有效期内。

综上所述，医院各规章制度得到了较好的落实，在以后的工作中，医院应加强辐射防护工作人员建档工作。

2.本项目规章制度

本项目依托医院原有制度，现有制度涵盖了直线加速器、模拟定位机等内容，制度切实可行，能满足本项目需要。针对本项目内容，医院还应结合实际设备情况制定相应的操作规

程，根据法律法规及时更新相关规章制度。医院应针对仅从事Ⅲ类射线装置的辐射工作人员进行自主培训和考核；安排其他人员参加相应专业类别的辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核，并通过考核，取得培训合格证书，定期复训。

三、辐射监测

1.已有项目的辐射监测开展情况

①验收监测：医院已运行项目，已委托有相关监测资质的监测单位对辐射工作场所的辐射防护设施进行全面的验收监测。

②辐射工作人员佩戴个人剂量计上岗，并每季度送有资质单位进行监测。

2.此次项目辐射监测计划

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）等的要求，医院针对此次核技术应用项目制定相应的辐射监测计划（表12-1），包括：

（1）给辐射工作人员配备个人剂量计，并定期（每季度1次）送检。

（2）每年委托有资质的单位对辐射工作场所进行辐射环境的监测，并于每年1月31日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

（3）医院定期对直线加速器工作场所的辐射安全与防护措施进行检查，定期对机房周围辐射环境进行自行监测。

表 12-1 辐射监测计划

监测对象		监测方案	监测项目	监测频率	监测性质
医用电子 直线加速 器、后装治 疗机	防护性能	拟建机房四周屏蔽墙外 30cm处、操作位、防护门 门缝处、楼上等	X-γ辐射剂量率	1次/年	委托有资 质单位
				1次/季度	自行监测
	安全防护 措施	实测并检查	安全	每次使用前	自行监测
CT模拟定 位机	防护性能	拟建机房四周屏蔽墙外 30cm处、操作位、防护门 门缝处、观察窗、楼上等	X-γ辐射剂量率	1次/年	委托有资 质单位
				1次/季度	自行监测
	安全防护 措施	实测并检查	安全	每次使用前	自行监测
辐射工作人员		佩带个人辐射剂量计	年有效剂量	操作时，每季 度送检1次	委托有资 质单位
外环境		实测	X-γ辐射剂量率	每年1次	

四、辐射事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规要求，医院根据可能发生的辐射事故的风险，制定了江西省人民医院辐射事故应急预案，成立了专门的指挥机构，包括领导小组及专家小组，明确了各自的职责。发生辐射事故时，单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要的防护措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门、公安部门和卫生部门报告。医院辐射事故应急预案包括了以下内容：

- (1) 应急机构及其职责；
- (2) 辐射事故分级；
- (3) 应急预案的启动、报告和终止；
- (4) 应急处置原则、应急处置程序；
- (5) 应急保障；
- (6) 辐射事故调查及处理报告。

医院运行至今，未发生放射性事故。医院应根据相关法律法规要求，定期修改完善应急预案等相关规章制度，每年应组织人员进行应急演练，并记录。

五、辐射环境保护“三同时”验收清单

本项目环评批复后，应及时更新辐射安全许可证。本项目医用电子直线加速器运行后，应及时委托有资质单位进行竣工环境保护验收监测，本项目验收主要内容如下：

表 12-2 项目竣工环境保护验收清单

污染源或保护源	主要环保措施	验收标准	完成验收时间	环保投资（万元）
电离辐射防护措施	后装治疗机机房：四周墙体均为 600mm 混凝土，迷路内墙及顶棚厚 600mm 混凝土，防护门 9mmPb。 设置视频监控、急停按钮、对讲装置、固定剂量率仪监测装置、门机联锁、送风排风装置等辐射安全与防护措施。	《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）；	与总体工程同步	60
	直线加速器机房 1：西墙主屏蔽区厚 2800mm 混凝土，宽 4200mm，次屏蔽墙 1300mm；东墙主屏蔽区厚 2800mm 混凝土，宽 4600mm，次屏蔽墙 1600mm；南墙厚 1300mm 混凝土；迷路内墙（北墙）：防护门正对墙 1400mm 混凝土，宽 4000mm，其余墙体厚 1200mm 混凝土；迷路外墙（北墙）：厚 2000mm 混凝土，宽 6700mm，其余墙体厚 1200mm 混凝土；顶棚主屏蔽区厚 2600mm 混			200

	凝土，宽 4200mm，次屏蔽墙 1500mm。 直线加速器机房 2：东墙主屏蔽区厚 2800mm 混凝土，宽 4200mm，次屏蔽墙 1300mm；西墙主屏蔽区厚 2800mm 混凝土，宽 4600mm，次屏蔽墙 1600mm；南墙厚 1300mm 混凝土；迷路内墙（北墙）：防护门正对墙 1400mm 混凝土，宽 4000mm，其余墙体厚 1200mm 混凝土；迷路外墙（北墙）：厚 2000mm 混凝土，宽 6700mm，其余墙体厚 1200mm 混凝土；顶棚主屏蔽区厚 2600mm 混凝土，宽 4200mm，次屏蔽墙 1500mm。 电动铅板屏蔽门，铅当量为 15mmPb，中间加 80mm 厚含硼（5%）聚乙烯。设置门灯联锁装置、视频监控、对讲装置、设置急停按钮、固定式剂量率仪监测装置、门机联锁、送风排风装置等。			
	CT 模拟定位机：东墙 600mm 混凝土（约 8.7mmPb），其余墙体为 24cm 实心砖墙 +2.5mmPb 防护涂料（约 4.3mmPb）；顶棚 600mm 混凝土（约 8.7mmPb），防护门、观察窗 4.0mmPb。设置对讲装置。			24
	机房门外设置工作指示灯及电离辐射警告标志，机房内设置通风设施。			5.0
	铅衣、铅帽、铅围裙、铅围脖等防护用品。			4.0
	便携式辐射监测设备 1 台，个人剂量报警仪 6 台。	/		2.0
	制定相应的规章制度和应急预案，规章制度上墙。	/		1.5
	辐射工作人员佩带个人剂量计，并按时送检，建立完善的个人剂量档案；所有辐射工作人员每年进行职业健康体检，并建立完善健康档案。	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871—2002）及剂量约束值 5mSv。		1.5
	所有辐射工作人员参加辐射防护与安全培训，并取得合格证。	/		1.0
	日常例行监测、射线装置安全和防护状况年度评估报告。	/		1.0
合计	/	/	/	300

表 13 结论与建议

一、结论

江西人民医院红谷院位于南昌市红谷新区濠江路与丰和北大道交叉口。随着医院发展及广大患者的就医需求，医院在红谷分院 1 号楼地下一层南侧建设后装治疗机机房及 CT 模拟定位机机房各 1 间，医用电子直线加速器机房 2 间，使用 ^{192}Ir 后装治疗机 1 台（2 枚 ^{192}Ir 放射源，1 枚放射源正常使用，另 1 枚放射源储存在后装治疗机房的保险柜内）、医用电子直线加速器 2 台、CT 模拟定位机 1 台。

1. 实践正当性

医用电子直线加速器、CT 模拟定位机以及后装治疗机的应用在我国是较为成熟的技术，它在医学治疗方面有其他技术无法替代的特点，对保障健康、拯救生命起了十分重要的作用。江西人民医院拟使用的后装治疗机、CT 模拟定位机、医用电子直线加速器将为病人提供一个更加优越的诊疗环境，具有明显的社会效益，同时医院对拟建机房按相关要求进行了设计，防护措施满足相关标准要求。因此，本项目建设符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践正当性”的要求。

该项目属于综合医院项目，对照《产业结构调整指导目录》（2019 年本）的规定其属于国家鼓励类的项目，故该项目符合国家产业政策。

2. 辐射安全与防护

（1）后装治疗机

本项目后装治疗机机房合理设计了四周墙体、防护门、顶棚等屏蔽体厚度及机房有效使用面积；对后装治疗机机房实行分区管理，将后装治疗机机房的治疗室及迷道划为控制区，将控制室、通过间、北墙外过道划为监督区；防护门外设置工作指示灯及电离辐射警告标志，防止人员误闯入或误照；治疗室及控制室设有监视和对讲设备，并设置紧急停机按钮；机房入口设置防护门及迷路，防护门与后装治疗机联锁；治疗室内设置送风及排风装置，通风换气次数不小于 4 次/h；在控制室侧墙体设有电缆沟，电缆沟避开控制室操作台，采用“U”型、“Z”型下穿方式穿越侧屏蔽墙体，有效减少射线的散射和泄漏辐射；为工作人员和患者配备必要的辐射防护用品和辅助防护设施；所有放射工作人员均接受个人剂量监测并建立个人剂量档案和职业健康监护档案；在满足医疗治疗的条件下，确保患者所受到的照射剂量最低，医院后装治疗机机房防护设施满足《放射治疗

放射防护要求》（GBZ121-2020）等标准的要求。

（2）医用电子直线加速器

本项目医用电子直线加速器机房合理设计了四周墙体、防护门、顶棚等屏蔽体厚度及机房有效使用面积；对直线加速器机房实行分区管理，将直线加速器机房的治疗室及迷道划为控制区，将控制室、配电间、防护门外 30cm 内划为监督区；防护门外设置工作指示灯及电离辐射警告标志，防止人员误闯入或误照；治疗室及控制室设有监视和对讲设备，并设置紧急停机按钮；机房入口设置防护门及迷路，防护门与加速器联锁；治疗室内设置送风及排风装置，通风换气次数不小于 4 次/h；在控制室侧墙体设有电缆沟，电缆沟避开控制室操作台，采用“U”型、“Z”型下穿方式穿越侧屏蔽墙体，有效减少射线的散射和泄漏辐射；为工作人员和患者配备必要的辐射防护用品和辅助防护设施；所有放射工作人员均接受个人剂量监测并建立个人剂量档案和职业健康监护档案；在满足医疗治疗的条件下，确保患者所受到的照射剂量最低，医院医用电子直线加速器机房防护设施满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）的要求。

（3）CT 模拟定位机

由辐射工作场所的辐射防护措施分析可知，医院 CT 模拟定位机机房屏蔽墙体厚度、最小有效使用面积、最小单边长度等防护设施的技术要求总体上满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的相关要求。

3.环境影响分析

3.1 后装治疗机

由理论计算结果可知， ^{192}Ir 后装治疗机机房屏蔽体外 30cm 处的剂量率在 $2.58 \times 10^{-5} \sim 0.38 \mu\text{Sv/h}$ 之间；叠加废旧放射源暂存时所致墙体外最大剂量率 $3.62 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ 后， ^{192}Ir 后装治疗机机房屏蔽体外 30cm 处最大剂量率为 $0.38 \mu\text{Sv/h}$ ，小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，符合《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）的相关要求。

由理论计算结果可知，本项目后装治疗机职业工作人员所接受的年有效剂量最大为 1.99mSv/a ，公众人员所接受的年最大有效剂量为 $1.19 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，满足本评价采用的职业工作人员和公众人员的年管理剂量约束值要求。

3.2 医用电子直线加速器

由理论计算结果可知，直线加速器机房各关注点处剂量率均符合《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）的相关要求。

由理论计算结果可知，在最大工作负荷的前提下，按照已有的相关设计估算，单台直线加速器运行时对工作人员职业照射的最大附加年有效剂量值为 $5.92 \times 10^{-4} \text{mSv/a}$ ；对公众人员照射的最大附加年有效剂量值为 $8.37 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，也低于剂量约束值 0.1mSv/a 。

3.3CT 模拟定位机

由类比监测结果可知，类比 CT 在正常使用件下，机房周边各点的周围剂量当量率监测结果在 $(0.15 \sim 0.63) \mu\text{Sv/h}$ 之间，符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的相关要求，即满足 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 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的要求。检测结果可见，机房四周剂量率均处于较低水平，说明机房经过相应的屏蔽后辐射泄漏很小，机房屏蔽效果良好。可以认为类比的 CT 项目的监测结果基本反映了本项目运行后的实际辐射环境影响，因此可以推测本项目 CT 正常运行后对机房四周的辐射环境影响符合相关标准要求，该院机房设计能够满足拟建的 CT 辐射防护标准的要求。

本项目 CT 正常运行时对工作人员职业照射的最大附加年有效剂量值为 0.16mSv ，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，也低于剂量约束值 5mSv/a ；本项目 CT 对公众照射的最大附加年有效剂量值为 $3.13 \times 10^{-3} \text{mSv}$ ，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，也低于剂量约束值 0.1mSv/a 。

3.4 叠加影响

（1）后装治疗机与 CT 模拟定位机

后装治疗机与 CT 模拟定位机紧邻，成“—”次排列，在机房的北墙外过道及顶棚上方大厅存在剂量叠加。从偏保守角度考虑，CT 模拟定位机机房外的剂量率取类比监测值中的最大值 $(0.51 \mu\text{Sv/h})$ 进行叠加，叠加后 CT 模拟定位机、后装治疗机北墙外的剂量率为 $0.56 \mu\text{Sv/h}$ ；顶棚上方的最大剂量率为 $0.80 \mu\text{Sv/h}$ （未考虑顶棚上方土层屏蔽）。考虑剂量率叠加后，后装治疗机与 CT 模拟定位机机房外的剂量率均小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，分别满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的相关要求。

后装治疗机与 CT 模拟定位机北墙外过道及顶棚上方为公众人员停留位置，叠加剂量后分别为 $5.67 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ （北墙外）、 $4.94 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ （顶棚外），符合《电离辐射防护

与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，也低于剂量约束值 0.1mSv/a。

（2）医用电子直线加速器

因直线加速器机房成对称设计，在顶棚上方及防护门外存在剂量率叠加，从偏保守角度考虑，顶棚上方及防护门外剂量率按 2 倍计算，即分别为 0.18 μ Sv/h、1.12 μ Sv/h，也满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）的相关要求。

因直线加速器机房成对称设计，在顶棚上方及防护门外存在剂量率叠加。医院给直线加速器治疗患者设有等候间，等候间距加速器机房北墙约 8m，治疗患者听到叫号后在防护门外 1m 处等候治疗，故取防护门外 1m 处的剂量进行叠加。考虑剂量叠加后，防护门外 1m 处剂量率所致公众人员剂量为 9.6×10^{-2} mSv/a，顶棚上方剂量为 5.40×10^{-3} mSv/a，均低于剂量约束值 0.1mSv/a。

4.放射性三废处置

本项目医用电子直线加速器产生的废靶送厂家回收，废旧放射源交由厂家回收处理，本项目放射性固体废物处置方案可行。

5.总结论

江西省人民医院放射性同位素与射线装置应用项目旨在改善患者就医环境，经评价分析，只要认真落实本报告提出的环境保护措施，严格按照程序操作，切实执行国家各项法规、制度，使本项目实践符合辐射实践的正当性、辐射防护的最优化、个人剂量的限制三原则，则该项目从辐射环保角度来说运营是可行的。

二、建议

医院此次项目环评批复后，医院应及时更换新的辐射安全许可证。本项目内容运行后应及时履行竣工环保手续，验收合格后方可运行。

