

核技术利用建设项目

河南省公共卫生医疗中心核技术 应用项目环境影响报告表



生态环境部监制

核技术利用建设项目

河南省公共卫生医疗中心核技术
应用项目环境影响报告表



建设单位名称：河南省公共卫生医疗中心

建设单位法人代表（签名或签章）：



通讯地址：郑州市航空港区华夏大道与洞庭湖路交叉口

邮政编码：451163

联系人：颜秋歌

电子邮箱：zdyfynyqywc@163.com

联系电话：18739933740

打印编号: 1640154881000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	3zx62w		
建设项目名称	河南省公共卫生医疗中心核技术应用项目		
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）	河南省公共卫生医疗中心		
统一社会信用代码	12410000050898533Y		
法定代表人（签章）	雷新强		
主要负责人（签字）	雷新强		
直接负责的主管人员（签字）	颜秋歌	颜秋歌	
二、编制单位情况			
单位名称（盖章）	郑州新知力科技有限公司		
统一社会信用代码	91410105786224443T		
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
任红敬	2017035410352015411801001171	BH015512	任红敬
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
刘龙云	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	BH045318	刘龙云
任红敬	项目基本情况、放射源、射线装置、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	BH015512	任红敬

目 录

表 1 项目基本情况.....	1
表 2 放射源.....	13
表 3 非密封放射性物质.....	13
表 4 射线装置.....	14
表 5 废弃物.....	15
表 6 评价依据.....	16
表 7 保护目标与评价标准.....	18
表 8 环境质量和辐射现状.....	27
表 9 项目工程分析与源项.....	32
表 10 辐射安全与防护.....	44
表 11 环境影响分析.....	59
表 12 辐射安全管理.....	93
表 13 结论与建议.....	98
表 14 审批.....	100
附件	
附件 1: 委托书.....	101
附件 2: 辐射安全许可证.....	108
附件 3: 原有项目环评、验收批复、备案表.....	112
附件 4: 辐射安全防护领导小组文件.....	139
附件 5: 辐射安全应急处理预案.....	141
附件 6: 与本项目有关的部分规章制度.....	143
附件 7: 检测报告.....	157
附图 1: 2 号楼负二楼放疗科平面图	
附图 2: 2 号楼一楼介入中心平面图	
附图 3: 2 号楼三楼日间手术室平面图	
附图 4: 放疗科机房通风图	
附图 5: 放疗科机房施工详图	
附图 6: 放疗科机房立面图	

表 1 项目基本情况

建设项目名称		河南省公共卫生医疗中心核技术应用项目			
建设单位		河南省公共卫生医疗中心			
法人代表	雷新强	联系人	颜秋歌	联系电话	18739933740
注册地址		河南省郑州市郑东新区农业南路 105 号			
项目建设地点		郑州市航空港区华夏大道与洞庭湖路交叉口			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资(万元)	15000	环保投资(万元)	750	投资比例(环保投资/总投资)	5%
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其它		占地面积(m ²)	1000
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I 类 ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类		
		☒ 使用	☐ I 类 (医疗使用) ☐ II 类 ☒ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类		
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☐ 使用	☐ 乙 ☐ 丙		
	射线装置	☐ 生产	☐ II 类 ☐ III 类		
		☐ 销售	☐ II 类 ☐ III 类		
		☒ 使用	☒ II 类 ☐ III 类		
	其他	/			
	1.1 建设单位简介 河南省公共卫生医疗中心（以下简称“建设单位”）是河南省卫生厅直属的卫生事业单位，其前身是中美（河南）结核病防治研究院。于 2009 年 5 月核准建立。根据省卫健委办会议纪要【2014】1 号和郑州航空港区发展规划要求，省公				

共卫生医疗中心发展定位调整为三级综合性医院，是集综合医疗、预防保健、康复、急救、科研和教育培训为一体的省级综合性公立医院。医院总体规划建筑面积约 40 万 m²，规划床位 2000 张

建设单位于 2021 年 11 月并入郑州大学第一附属医院，改为郑州大学第一附属医院南院区，因合并时间较短，《事业单位法人证书》及《辐射安全许可证》暂未变更。

1.2 项目由来

为满足发展需要，建设单位计划于 2 号楼负二楼放疗科 3 个预留直线加速器机房内各安装 1 台电子直线加速器，于预留后装治疗机房内安装 1 台后装治疗机，用于开展放射治疗；另于 2 号楼一楼 D 区介入手术中心建设 5 间数字减影血管造影机（以下简称“DSA”）机房，于 2 号楼三楼日间手术部建设 1 间 DSA 机房，共安装 6 台 DSA，用于开展介入诊疗。

根据《中华人民共和国环境影响评价法》、《中华人民共和国放射性污染防治法》、《中华人民共和国环境保护法》、《建设项目环境保护管理条例》等国家辐射环境管理相关法律法规的规定，建设单位核技术应用项目（包括 DSA、直线加速器、后装机）应当进行环境影响评价，根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》（生态环境令第 16 号），本项目属于“使用Ⅱ类射线装置、使用Ⅲ类放射源”，类别为“五十五、核与辐射中的 172 核技术利用建设项目”，应当编制环境影响评价报告表。

受建设单位委托，郑州新知力科技有限公司（以下简称“评价单位”）承担了本项目的环境影响评价工作。接到委托后，评价单位进行了现场调查、资料收集工作，在此基础上编制完成了本项目的环境影响报告表。

1.3 评价目的

（1）对本项目建设位置周围进行辐射环境现状监测，掌握辐射环境现状水平。

（2）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”。

（3）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，为该项目的辐射环境管理提供科学依据。

（4）从辐射环境保护角度，论述本项目的可能性。

1.4 项目建设规模与具体内容

本次环评建设内容，具体如下：

(1) 2 号楼负二楼放疗科 3 个预留直线加速器机房内各安装 1 台电子直线加速器；

(2) 2 号楼负二楼放疗科预留后装治疗机房内安装 1 台后装治疗机；

(3) 2 号楼一楼 D 区介入手术中心建设 5 间 DSA 机房，每间 DSA 机房内安装 1 台 DSA；

(4) 2 号楼三楼日间手术部建设 1 间 DSA 机房，机房内安装 1 台 DSA；

本次评价所涉及设备参数详见表 1-1，单台设备预期工作量见表 1-2。

表 1-1 评价涉及设备参数一览表

装置名称	型号	数量 (台)	类别	最大参数	有用线束方向	工作场所
直线加速器	暂未定	3	II类	X 线：10MV、 600cGy/min X 线：10MVFFF、 2400cGy/min 电子线：22MeV、 600cGy/min	东西上下旋转出束	2 号楼负二楼放疗科直线加速器机房 2~4
后装机	暂未定	1	/	使用 2 枚铱-192 放射源（工作使用 1 枚，另 1 枚更换时运输到医院），最大源活度 10Ci	/	2 号楼负二楼放疗科后装机房
DSA	暂未定	6	II类	最大管电压 125kV 最大管电流 1250mA	向上	2 号楼一楼 D 区介入手术中心 DSA 机房 1~5 2 号楼三楼日间手术部 DSA 机房 A10

表 1-2 单台设备预期工作量统计

设备名称	单人次最大照射时间	单日病人数	年工作日	年照射时间
直线加速器	调强放疗 3min	60	250	750h
后装机	6min	10	250	250h

DSA	15min(透视 12min, 摄影 3min)	10	250	625h
-----	--------------------------	----	-----	------

1.5 项目位置及周围环境概况

建设单位位于郑州市航空港区华夏大道与洞庭湖路交叉口，院区东侧毗邻华夏大道，南邻洞庭湖路，西侧为凌腾街，北侧为空地。

本项目直线加速器、后装机房位于放疗科北侧，一字排列，自西向东分别为后装机房、直线加速器 4、3、2 号机房，所有机房上方为院内绿化带及道路，下方为土层，北侧为土层，后装机房西侧为土层，2 号加速器机房东侧为在用的直线加速器 1 号机房；

2 号楼一楼 D 区介入手术中心位于 2 号楼一楼东北角，5 间 DSA 机房分布于该手术中心；三楼日间手术部内拟建 DSA 机房位于现有 DSA 机房 A9 东侧。

各机房四周及上下毗邻关系见表 1-3。

表 1-3 项目四周情况一览表

序号	机房名称	东侧	西侧	南侧	北侧	上方	下方
1	直线加速器机房 2	直线加速器机房 1	直线加速器机房 3	走廊	土层	绿化带及道路	土层
2	直线加速器机房 3	直线加速器机房 2	直线加速器机房 4	走廊	土层	绿化带及道路	土层
3	直线加速器机房 4	直线加速器机房 3	后装机房	走廊	土层	绿化带及道路	土层
4	后装机房	直线加速器机房 4	土层	走廊	土层	绿化带及道路	土层
5	2 号楼一楼 D 区介入手术中心 DSA 机房 1	走廊	走廊	走廊	控制室 1	大厅	停车场
6	2 号楼一楼 D 区介入手术中心 DSA 机房 2	走廊	走廊	控制室 2	走廊	大厅	停车场
7	2 号楼一楼 D 区介入手术中心 DSA 机房 3	走廊	走廊	控制室 3	设备间 3	大厅	停车场

8	2 号楼一楼 D 区介入 手术中心 DSA 机房 4	走廊	走廊	走廊	控制室 4	内镜中心	停车场
9	2 号楼一楼 D 区介入 手术中心 DSA 机房 5	走廊	走廊	控制室 5	库房 1、 设备间 5	内镜中心	停车场
10	2 号楼三楼 日间手术 部 DSA 机 房 A10	走廊	走廊	控制室、 设备间	走廊	ICU 病房 更衣室	脑电室

建设单位地理位置图见图 1-1，建设单位平面图见图 1-2，2 号楼负二楼放疗科平面图见图 1-3，2 号楼一楼 D 区平面图见图 1-4，2 号楼三楼日间手术室区域平面图见图 1-5。

1.6 项目选址合理性分析

建设项目选址位于医院院区内部，周围无居民区等制约因素，选址充分考虑了公众及周围场所的防护和安全，本项目选址合理可行。

1.7 产业政策符合性

本项目中 DSA 属于数字化医学影像设备，后装机、直线加速器属于高端放射治疗设备。本项目属于《产业结构调整指导目录（2019 年本）》中第一类鼓励类，第十三项“医药”中第 5 款“新型医用诊断设备和试剂、数字化医学影像设备，人工智能辅助医疗设备，高端放射治疗设备，电子内窥镜、手术机器人等高端外科设备，新型支架、假体等高端植入介入设备与材料及增材制造技术开发与应用，危重病用生命支持设备，移动与远程诊疗设备，新型基因，蛋白和细胞诊断设备”，符合国家产业政策。

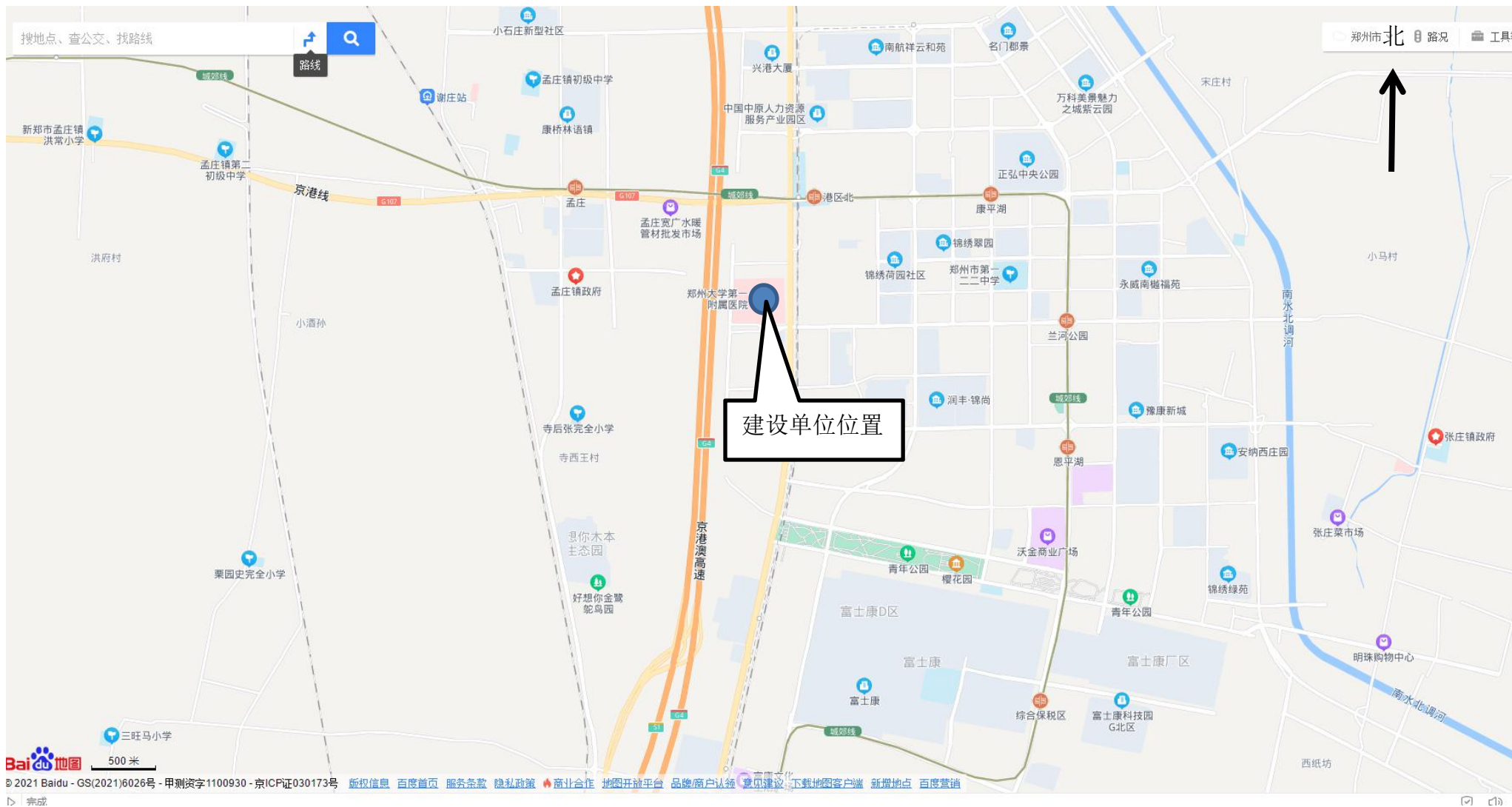


图 1-1 建设单位地理位置图



图 1-2 建设单位平面布置图

放疗科

本次评价 1 间后装机、3 间直线加速器机房位置

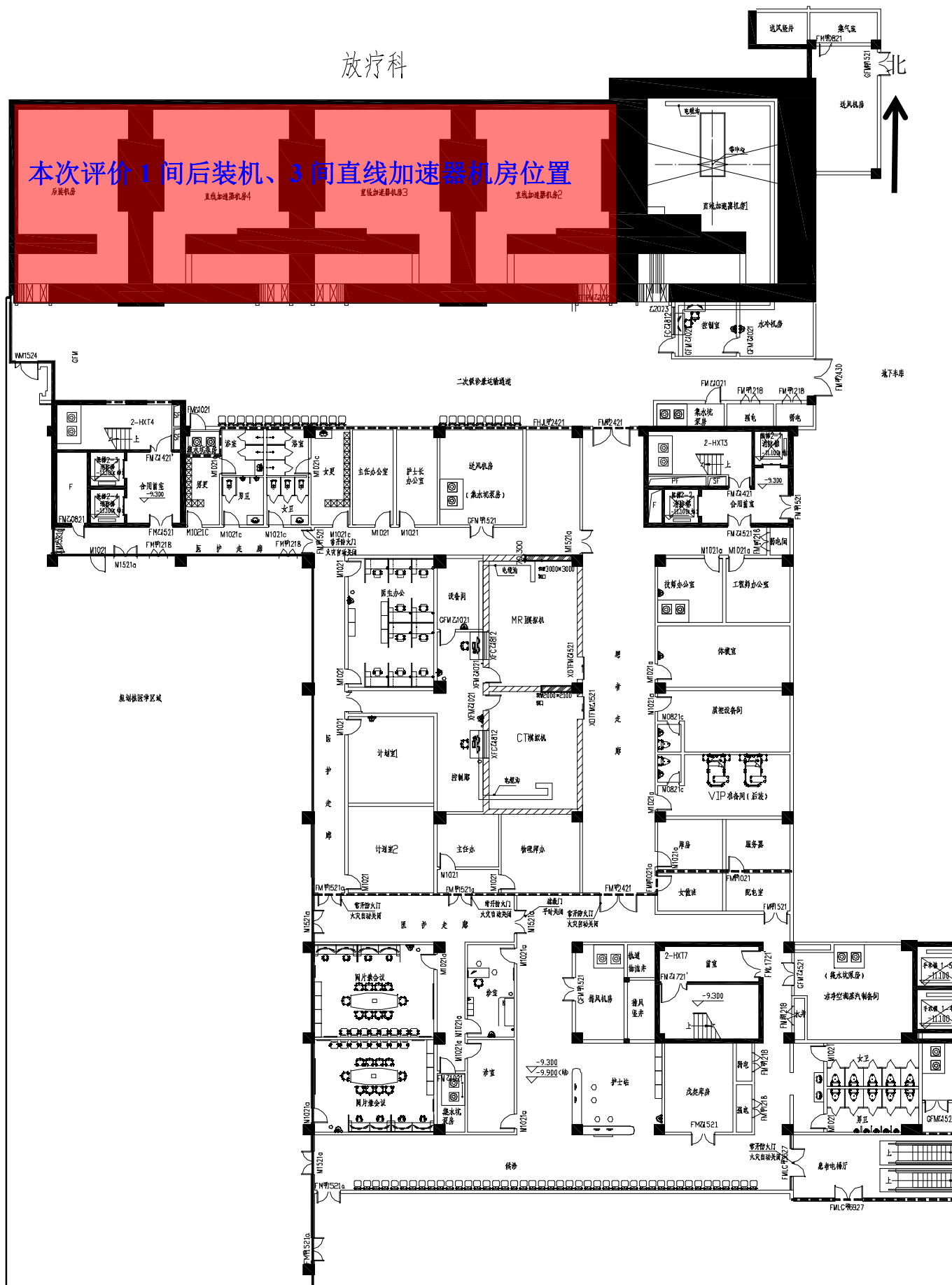


图 1-3 2 号楼负二楼放疗科平面图

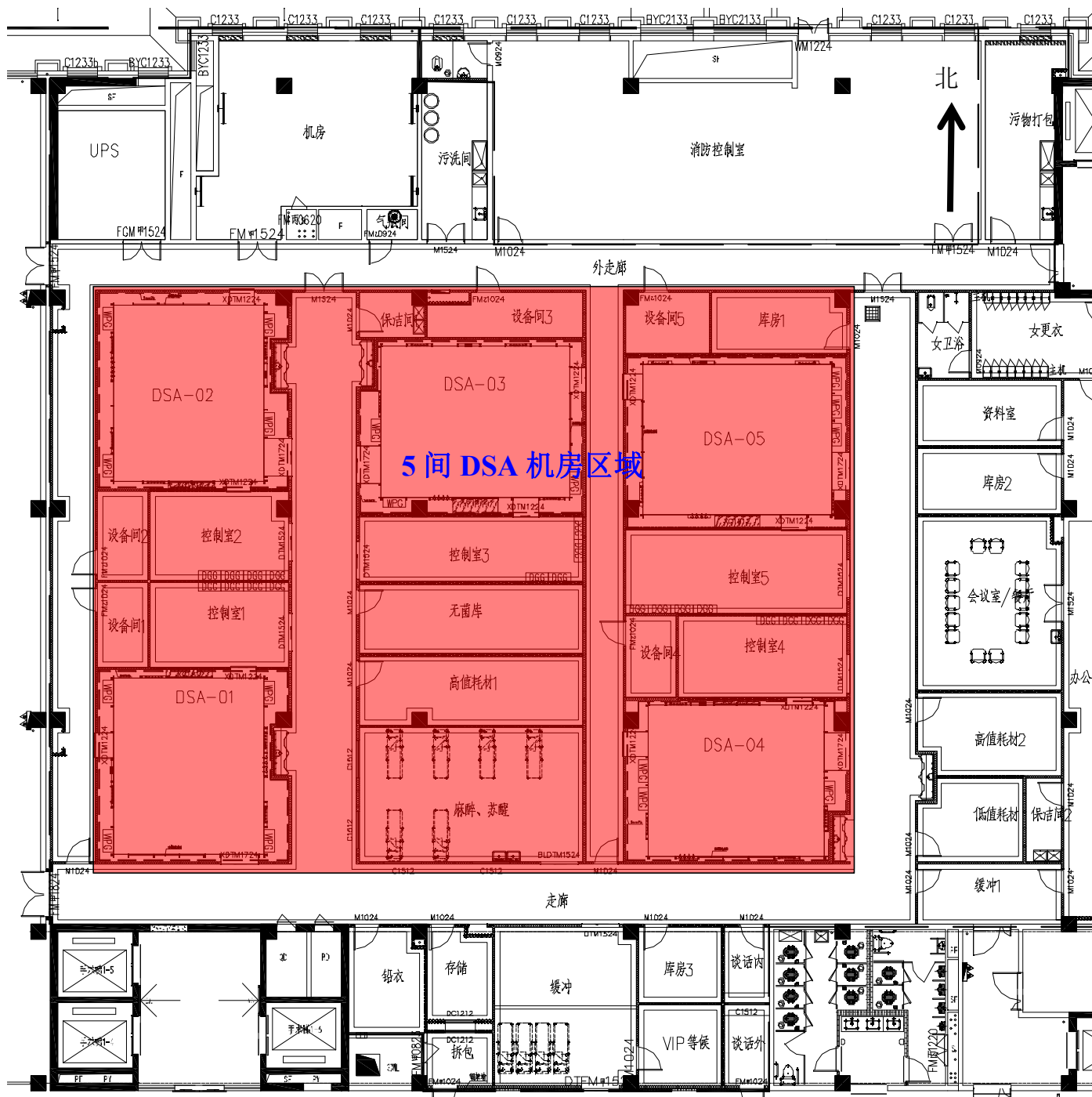


图 1-4 2 号楼一楼 D 区平面图

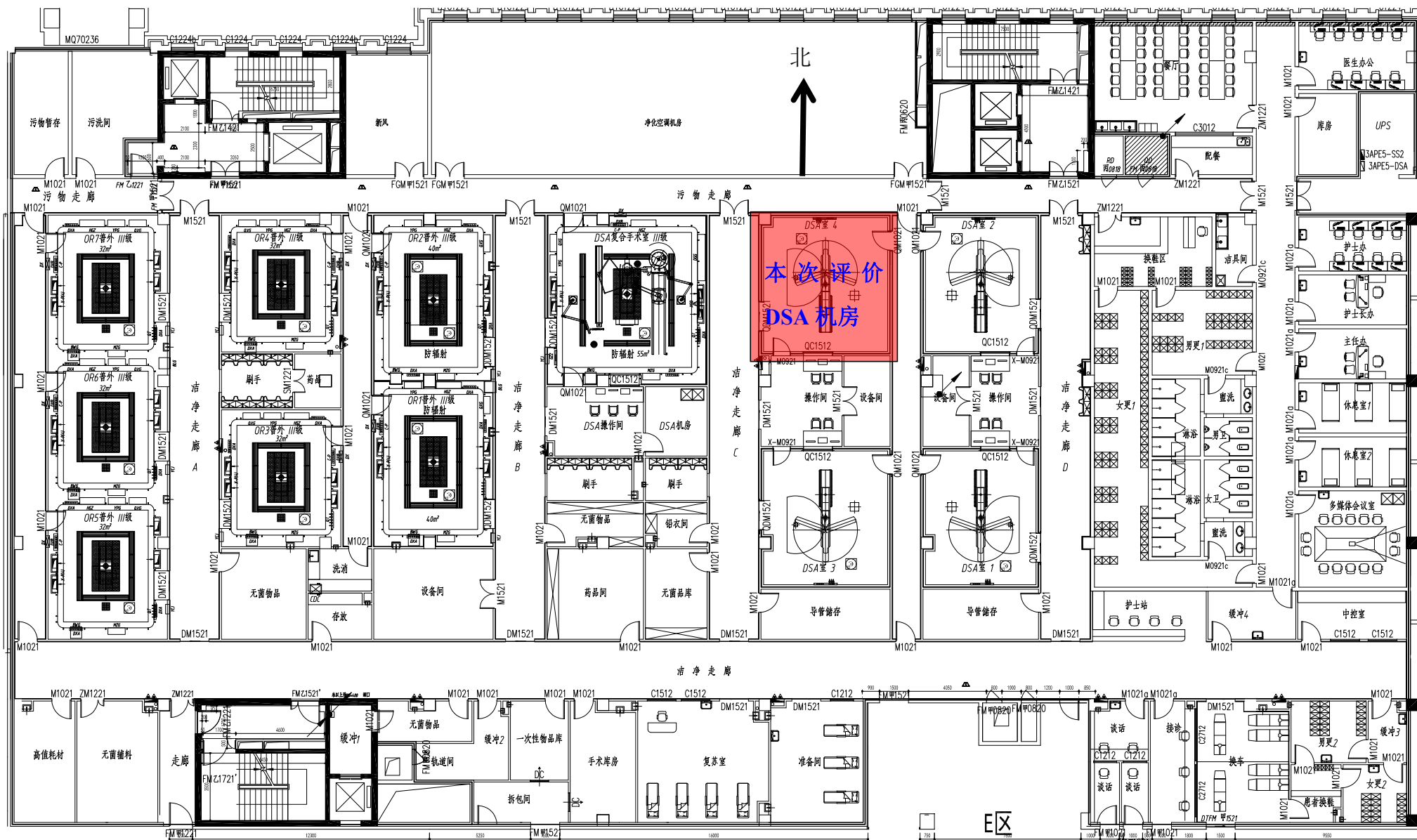


图 1-5 2 号楼三楼日间手术室区域平面图

1.8 原有核技术利用项目许可情况

建设单位目前持有郑州航空港经济综合实验区规划市政建设环保局发放的《辐射安全许可证》，有效期至2024年12月15日，证书编号为豫环辐证【A0403】，许可使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置。原有核技术利用项目环保手续情况详见表 1-4。

表 1-4 现有射线装置一览表

序号	装置名称	型号	类别	位置	环评手续	验收手续
1	64 排 128 层螺旋 CT	Aquilion TSX-101A	Ⅲ类	放射科， CT 室	备案号： 20194199000100000019	
2	多功能数字化 X 线透视摄影系统	WINSCOPEPLess art EX8	Ⅲ类	放射科， 胃肠造影室	备案号： 201841018400000400	
3	移动式 X 线机（移动式 DR）	TMB300R	Ⅲ类	放射科， DR 室	备案号： 201841018400000399	
4	口腔 X 射线机（曲面断层全景机）	CS 8000C	Ⅲ类	放射科， 牙片室	备案号： 20194199000100000019	
5	移动式 C 型臂 X 线机	Compact1	Ⅲ类	放射科， 手术室	备案号： 20194199000100000019	
6	乳腺钼靶机	Selenia Dimensions	Ⅲ类	放射科， 乳腺钼靶室	备案号： 20194199000100000019	
7	口内 X 光机	CS2100	Ⅲ类	放射科， 牙片室 1	备案号： 20194199000100000019	
8	数字减影血管造影机	INNOVA IGS530	Ⅱ类	手术室	郑港辐环 【2019】6 号	2019 年 12 月 自主验收
9	数字减影血管造影机	Artis ZeeIII Floor	Ⅱ类	导管室： DSA 室	郑港辐环 【2019】001 号	2019 年 12 月 自主验收
10	数字化医用 X 射线摄影系统（双立柱 DR）	XGEO-GF50	Ⅲ类	5 号楼 2 楼体检中心	备案号： 20194199000100000020	

11	移动式 X 线机(三星移动式 DR)	GM85	Ⅲ类	放射科 DR 室	备案号: 20194199000100000020	
12	数字化医用 X 射线摄影系统 (DR)	蓝韵/6600	Ⅲ类	放射科 DR 室	备案号: 20194199000100000020	
13	X 射线计算机体层摄影设备 (16 排 CT)	Alexion TSX-034A	Ⅲ类	5 号楼 2 楼体检中心	备案号: 20194199000100000020	
14	模拟定位 CT	Discovery RT	Ⅲ类	模拟定位 CT 室	备案号: 20204199000100000074	
15	16 排 CT 模拟定位机	Alexion TSX-035A	Ⅲ类	放射科, CT 室 1	备案号: 20204199000100000097	
16	直线加速器	Infinity	Ⅱ类	直线加速器机房	郑港辐环【2020】2 号	2020 年 11 月 自主验收

建设单位现有核技术利用项目均已按照相关法律法规进行了环境影响评价工作,各射线装置环保手续齐全,运行正常。

建设单位辐射工作人员已进行辐射安全与防护培训,个人剂量监测工作已委托河南省职业病防治研究院进行,辐射工作人员工作过程中均按规定佩戴有个人剂量计,按照标准要求进行定期检测,并建立有个人剂量档案。

建设单位每年均委托有资质的检测机构对全院射线装置工作场所进行辐射检测,2020 年度检测报告表明各工作场所防护情况良好,满足相关标准要求。2020 年度评估报告已报送当地生态环境主管部门备案。

建设单位现有各核技术应用项目投入运行以来,未发生过辐射安全事故。

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	使用场所名称	贮存方式与地点	备注
1	铯-192	3.7E+11Bq×2 枚	Ⅲ类	使用	后装治疗	后装机房	1 枚安装于后装机内， 另 1 枚在源活度不足替 换时送至后装机房	拟购

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

表 3 非密封放射性物质

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

注：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	直线加速器	II类	3	暂未定	电子	X 线 10MV 电子线：22MeV	X 线：360Gy/h X 线（FFF 模式）： 1440Gy/h 电子线：360Gy/h	放射治疗	放疗科直线加速器 机房 2~4	拟购

(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	最大管电流	用途	工作场所	备注
1	DSA	II类	6 台	未定	125kV	1250mA	介入诊疗	2 号楼一楼 D 区介入手术中心 DSA 机房 1~5；2 号楼三楼日间手术部 DSA 机房 A10	拟购

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

注：1.放射性废弃物主要是指废旧放射源

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
废铯-192密封源	固态	铯-192	/	/	/	/	暂存设备内	返回放射源供应方
直线加速器放射性废靶	固态	/	/	/	/	/	直线加速器机房内	交由具有放射性废物处置资质的单位进行处置

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，气态单位为 mg/Kg；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

6.1 法规文件

- (1) 《中华人民共和国环境保护法》，2015 年 1 月 1 日起施行；
- (2) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日起施行；
- (3) 《中华人民共和国大气污染防治法》，2018 年 10 月 26 日起施行；
- (4) 《中华人民共和国水污染防治法》，2018 年 1 月 1 日起施行；
- (5) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，2020 年 4 月 29 日起施行；
- (6) 《中华人民共和国环境噪声污染防治法》，2018 年 12 月 29 日起施行；
- (7) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月 29 日起施行；
- (8) 《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，2005 年 12 月 1 日起施行，根据《国务院关于修改部分行政法规的决定》（2019 年 3 月 2 日，中华人民共和国国务院令第 709 号）修订；
- (9) 《建设项目环境保护管理条例》，中华人民共和国国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日起施行；
- (10) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，（2006 年 1 月 18 日国家环境保护总局令第 31 号公布；2021 年 1 月 4 日发布的《生态环境部关于废止、修改部分生态环境规章和规范性文件的决定》）第四次修订；
- (11) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，中华人民共和国生态环境部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行；
- (12) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环保部第 18 号令），2011 年 5 月 1 日起施行；
- (13) 《关于发布〈射线装置分类〉的公告》，环境保护部及国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 6 日；
- (14) 《河南省辐射污染防治条例》（2015 年 11 月河南省第十二届人民代表大会常务委员会第十七次会议通过），2016 年 3 月 1 日起施行。

6.2 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) 《环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）；

(3) 《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)；

(4) 《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)；

(5) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ 128-2019)；

(6) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)；

(7) 《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)；

(8) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)；

(9) 《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB 12523-2011)；

(10) 《大气污染物综合排放标准》(GB 16297—1996)；

(11) 《污水综合排放标准》(GB 8978-1996)；

(12) 固体废物：《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》(GB 18599-2020)；

(13) 危险废物：《危险废物贮存污染控制标准》(GB18597-2001)及修改单要求。

6.3 其他

(1) 《辐射防护手册》；第一、三分册；原子能出版社；李德平、潘自强主编；

(2) 联合国原子辐射效应委员会(UNSCEAR)-2000年报告；

(3) 本项目环境影响评价委托书(见附件1)；

(4) 本项目辐射环境检测报告；

(5) 建设单位提供的与本项目有关的其他资料。

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

《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）中“7.核技术利用建设项目环境影响报告书的内容和格式，第一章，1.5 评价范围和保护目标”中要求：“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”，“8.核技术利用建设项目环境影响报告表的内容和格式”中无明确要求。本项目主要是电离辐射对周围环境的影响，考虑到该项目的实际情况，参考报告书的要求确定本项目评价范围为各射线装置机房屏蔽墙体外 50m 范围。

7.2 保护目标

根据项目地理位置及总平面布置图，经过现场调查，确定本项目评价范围内无居民区，主要保护目标为从事本项目放射诊疗工作的职业人员以及可能在本项目评价范围内停留的公众人员，主要保护目标情况见下表 7-1。

表 7-1 本项目主要环境保护目标一览表

机房名称	人员	距离	人数	备注
2 号楼一楼 D 区介入手术中心 DSA 机房 1~5	职业人员	各机房周围控制室及其他功能性配套用房、污物通道、洁净通道内停留或经过的工作人员	约 50 人	职业照射
	公众	各机房上、下方楼层中机房对应区域、房间内	约 20 人	公众照射
2 号楼三楼 日间手术部 DSA 机房 A10	职业人员	机房控制室及其他功能性配套用房、相邻的手术室、周围通道内停留或经过的工作人员	约 10 人	职业照射
	公众	机房上、下方楼层机房对应区域、房间内	约 5 人	公众照射
2 号楼负二楼放疗科 直线加速器机房 2~4	职业人员	机房控制室及其他功能性配套用房、相邻的机房、南侧走廊停留或经过的工作人员	约 20 人	职业照射
	公众	南侧走廊内停留人员	约 20 人	公众照射
2 号楼负二楼放疗科	职业人员	机房控制室及其他功能性配套用房、相邻的机房、	约 20 人	职业照射

后装机房		南侧走廊停留或经过的工作人员		
	公众	南侧走廊内停留人员	约 20 人	公众照射

7.3 评价标准

7.3.1 污染物排放标准

(1) 废气：执行《大气污染物综合排放标准》（GB16297—1996）二级标准；

(2) 废水：执行《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准；

(3) 噪声：执行《建筑施工场界环境噪声排放限值》（GB12523-2011）各阶段标准限值；

(4) 固体废物：《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB 18599-2020）；

(5) 危险废物：《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2001）及修改单要求。

7.3.2 辐射防护标准

(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）

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。

本次环评引用以下条款：

B1 剂量限值（标准的附录 B）

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：

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。本报告取其四分之一，即 5mSv/a。

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：年有效剂量，1mSv。本报告取其四分之一，即 0.25mSv/a（放射治疗部

分除外)。

(2) 《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)

本次环评引用以下条款:

4 一般要求

4.8 辐射工作人员和公众成员的辐射照射应符合 GB18871-2002 中剂量限值相关规定。

4.9 从事放射治疗的工作人员职业照射和公众照射的剂量约束值应符合以下要求:

- a) 一般情况下,从事放射治疗的工作人员职业照射的剂量约束值为 5mSv/a。
- b) 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

5 选址、布局与分区要求

5.1 选址与布局

5.1.1 放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境的辐射影响,不得设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。

5.1.2 放射治疗场所宜单独选址、集中建设,或设置在多层建筑物的底层的一端,尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域,或人员流动性大的商业活动区域。

5.2 分区原则

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

5.2.2 与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全制措施,但需要经常对职业照射条作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)。

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 10MV 的 X 射线放射治疗设备，须考虑中子屏蔽。

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

6.1.4 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 处和在该立体角区域内的高层建筑人员驻留处的周围剂量当量率应同时满足下列 1) 和 2) 所确定的剂量率参考控制水平：

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： $\dot{H}_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$ 。

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

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

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

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

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

6.2 安全防护设施和措施要求

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

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

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

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

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

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

a) 放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置门一机/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；

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。

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。

8.4 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/，排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。

9 辐射监测要求

9.2 放射治疗工作场所监测

9.2.1 应根据使用放射治疗设备种类、能量和使用方式配备相应的辐射监测设备，对辐射工作场所的辐射水平（X- γ 辐射周围剂量当量率、中子辐射周围剂量当量率等）进行监测。

9.2.2 应对放射治疗工作场所机房四周屏蔽墙外 30cm 处、顶棚、操作位、观察窗、防护门，以及其他关注处点开展 X- γ 辐射周围剂量当量率监测；中子源治疗装置、质子/重离子加速器治疗装置、大于 10MV 的 X 射线放射治疗设备还应应对前述位置开展中子剂量当量率监测。

9.2.3 放射治疗设备安装调试阶段，应在最大工况下，由辐射工作人员进行全面的辐射监测，评估辐射安全状况，确保辐射水平达标。

9.2.4 含放射源的放射治疗设备进行放射源倒装时应根据倒装源实施方案开展外照射剂量率监测。

9.3 环境监测

9.3.1 开展放射治疗相关活动的机构应自行或委托有能力的监测机构对工作场所运行工况下周围环境的辐射水平进行监测，监测频次应不少于 1 次年。

9.4 个人剂量监测

9.4.1 放射治疗工作场所的工作人员应佩戴个人剂量计，对个人外照射剂量进行监测。同时应根据射线类型选择合适的个人剂量计。临时工作人员、实习人员应纳入个人剂量监测范围。

9.4.2 个人剂量档案应妥善保存，监测数据异常时，应及时查明原因并报告生态环境主管部门。

（3）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）

本次环评引用以下条款：

①对于比较均匀的辐射场，当辐射主要来自前方时，剂量计应佩戴在人体躯干前方中部位置，一般在左胸前或锁骨对应的领口位置；当辐射主要来自人体背面时，剂量计应佩戴在背部中间。

②对于如介入放射学、核医学放射药物分装与注射等全身受照不均匀的工作情况，应在铅围裙外锁骨对应的领口位置佩戴剂量计。

③对于②所述工作情况，建议采用双剂量计监测方法（在铅围裙内躯干上再佩戴另一个剂量计），且宜在身体可能受到较大照射的部位佩戴局部剂量计（如头箍剂量计、腕部剂量计、指环剂量计等）。

（4）《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）

本次环评引用以下条款：

①X 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和安全。

②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。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 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
单管头 X 射线设备 ^b （含 C 型臂）	20	3.5
^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。		

③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 7-3 的规定：

表 7-3 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
C 型臂 X 射线设备机房	2	2

④机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

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 2.5μSv/h；测量时，X 射线设备连续出束时间应大于仪器响应时间。

⑤机房应设有观察窗或摄影装置，其设置的位置便于观察到受检者的状态及

防护门开闭情况。

⑥机房内不得堆放与该设备诊断工作无关的杂物。机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。

⑦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、灯亮误入”的可视警示语句；候诊区应设置放射防护注意事项告知栏。

⑧平开机房门应有自动闭门装置；推拉式机房门应设置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应有闭门装置，且工作状态指示灯和与机房相同的门能有效联动。

⑨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。

⑩根据工作场所 X 射线的能量和强度的差异或按有关标准的要求，选用不同类型和铅当量的防护材料及用品。使用中的个人防护材料及用品每年应至少自行检查 1 次，防止因老化、断裂或损伤而降低防护质量，若发现老化、断裂或损伤应自行及时更换。

每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 7-4 基本种类要求的工作人员、受检者防护用品与辅助设施，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；除介入防护手套外，防护用品和辅助设施的铅当量应不小于 0.25mmPb；甲状腺、性腺防护用品铅当量应不小于 0.5mmPb；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，防护用品和辅助设施的铅当量应不小于 0.5mmPb。

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
介入放射学操作	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套 选配：铅橡胶帽子	铅悬挂防护屏/铅防护帘、床侧防护帘/床侧防护屏 选配：移动铅防护屏风	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：“—”表示不要求。

(5) 参照《医用 X 射线诊断设备质量控制检测规范》(WS 76-2020)

本次评价参照以下要求:

透视防护区检测平面上周围剂量当量率: 非直接荧光屏透视设备 $\leq 400\mu\text{Sv/h}$ 。

(6) 《室内空气质量标准》(GBT18883-2002) 臭氧 1 小时均值 $\leq 0.16\text{mg/m}^3$ 。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 概况

郑州新知力科技有限公司于 2021 年 12 月 15 日对本项目工作场所周围环境的 γ 辐射空气吸收剂量率进行了现场检测。检测信息见表 8-1。

表 8-1 γ 辐射空气吸收剂量率检测信息表

检测 基本 信息	项目名称	河南省公共卫生医疗中心核技术应用项目辐射环境检测		
	委托单位	河南省公共卫生医疗中心		
	委托单位地址	河南省郑州市郑东新区农业南路 105 号		
	受检单位	河南省公共卫生医疗中心		
	检测地址	2 号楼负 2 楼、2 号楼 1 楼、2 号楼 3 楼		
	检测内容	辐射环境检测	检测参数	γ 辐射空气吸收剂量率
	委托日期	2021 年 12 月 12 日	检测人员	曹轩、鲁端阳
	检测日期	2021 年 12 月 15 日		
	检测环境条件	天气：晴、气温：10.8℃、相对湿度：45.2%		
检测 仪器 信息	仪器名称	环境监测用 X、 γ 辐射空气吸收剂量率仪		
	仪器型号	FD-3013H		
	仪器编号	XZL-FS-009		
	量程范围	辐射剂量率：0.01~200 μ Gy/h		
	准确度	相对误差 $\leq\pm 15\%$		
	检定单位	河南省计量科学研究院		
	检定有效期	2021 年 08 月 10 日-2022 年 08 月 09 日		
	检定证书编号	医字 20210805-0555		
检测 依据	1.《辐射环境监测技术规范》 HJ 61-2021； 2.《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》HJ 1157-2021。			

8.2 质量控制措施

- 1.检测及分析均严格按照国家检测技术规范要求执行；
- 2.检测分析方法采用国家颁布的标准分析方法；
- 3.检测仪器经计量部门检定合格并在有效期内；

4.检测仪器符合国家有关标准和技术要求，检测前后进行仪器状态检查并记录存档；

5.检测人员经培训合格并持证上岗，检测报告严格实行三级审核制度。

8.3 检测结果

8.3.1 2 号楼三楼 DSA 机房

(1) 检测点位示意图

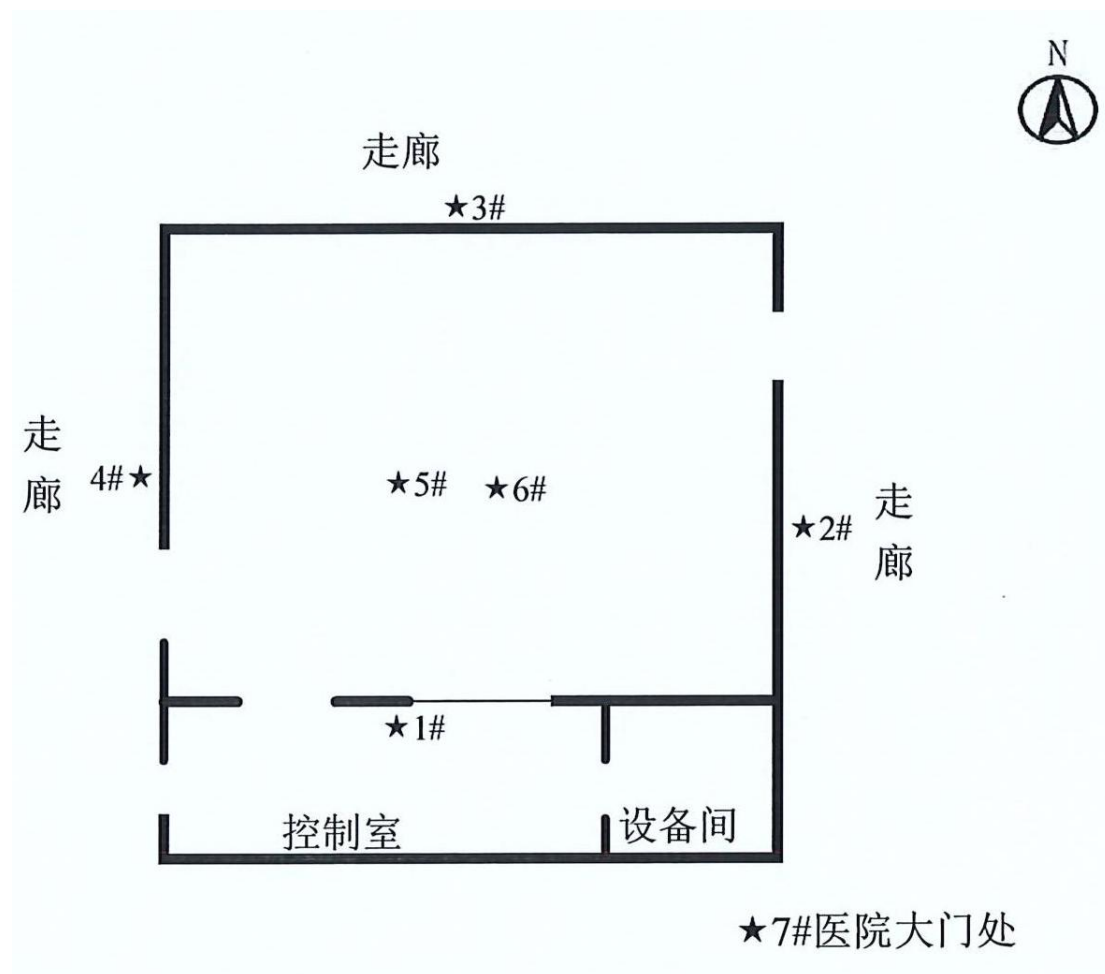


图 8-1 2 号楼三楼 DSA 机房检测点位示意图

(2) 检测布点说明

机房四周及上层检测点位均设置为距地板 100cm 高处，下层检测点位距地板 170cm 高处。

(3) 检测结果

检测结果见表 8-2。

表 8-2 2 号楼三楼 DSA 机房周围 γ 辐射空气吸收剂量率检测结果

序号	点位编号	点位描述	γ 辐射空气吸收剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)	标准差 ($\mu\text{Gy/h}$)
1	1#	DSA 机房南侧	0.07	0.005
2	2#	DSA 机房东侧	0.07	0.004
3	3#	DSA 机房北侧	0.07	0.004
4	4#	DSA 机房西侧	0.07	0.008
5	5#	DSA 机房上方 ICU	0.07	0.003
6	6#	DSA 机房下方脑电室	0.06	0.003
7	7#	医院大门处	0.06	0.005
以下无数据				
注：DSA 机房各检测点位地面为混凝土。				

8.3.2 2 号楼一楼介入手术中心拟建址

(1) 检测点位示意图

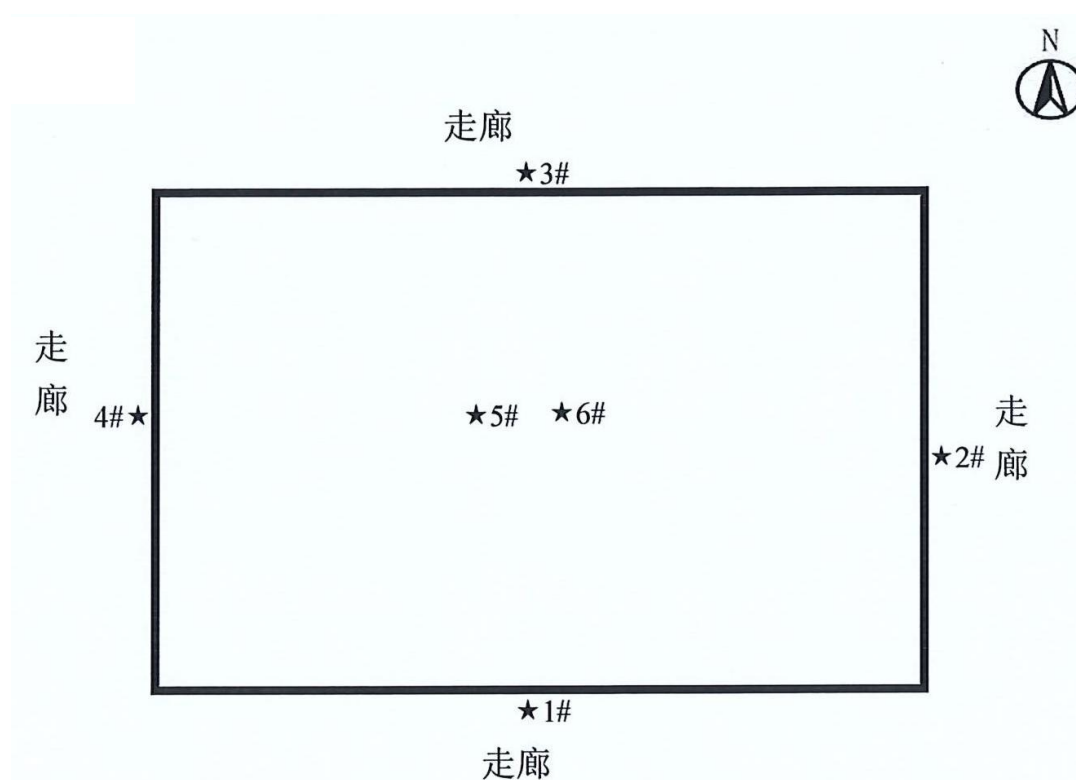


图 8-2 2 号楼一楼介入手术中心拟建址检测点位示意图

(2) 检测布点说明

四周及上层检测点位均设置为距地板 100cm 高处，下层检测点位距地板 170cm 高处。

(3) 检测结果

检测结果见表 8-3。

表 8-3 2 号楼一楼介入手术中心拟建址周围环境的空气吸收剂量率检测结果

序号	点位编号	点位描述	γ辐射空气吸收剂量率 (μGy/h)	标准差 (μGy/h)
1	1#	介入手术中心拟建址南侧	0.07	0.003
2	2#	介入手术中心拟建址东侧	0.07	0.005
3	3#	介入手术中心拟建址北侧	0.07	0.007
4	4#	介入手术中心拟建址西侧	0.07	0.005
5	5#	介入手术中心拟建址上方大厅	0.08	0.005
6	6#	介入手术中心拟建址下方停车场	0.08	0.007
以下无数据				
注：介入手术中心拟建址各检测点位地面为混凝土。				

8.3.3 2 号楼负二楼后装机、直线加速器机房

(1) 检测点位示意图

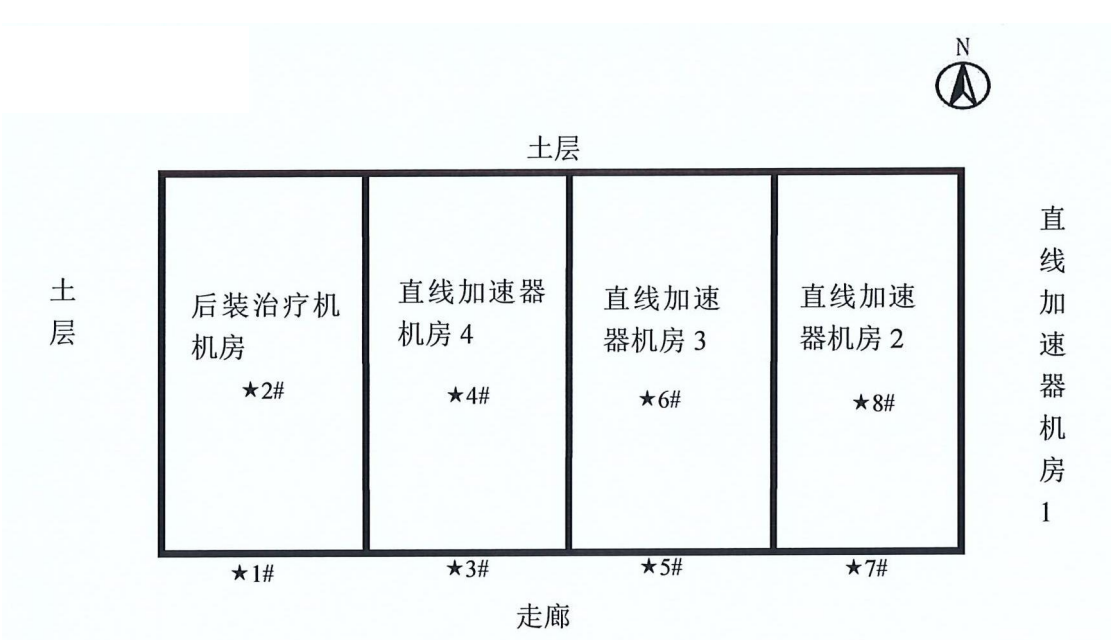


图 8-2 2 号楼负二楼后装机、直线加速器机房检测点位示意图

(2) 检测布点说明

各检测点位均设置为距地面 100cm 高处。

(3) 检测结果

检测结果见表 8-4。

表 8-4 2 号楼负二楼后装机、直线加速器机房周围环境的空气吸收剂量率检测结果

序号	点位编号	点位描述	γ 辐射空气吸收剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)	标准差 ($\mu\text{Gy/h}$)
1	1#	后装治疗机机房南侧	0.06	0.006
2	2#	后装治疗机机房上方道路	0.07	0.003
3	3#	直线加速器机房 4 南侧	0.06	0.004
4	4#	直线加速器机房 4 上方道路	0.07	0.005
5	5#	直线加速器机房 3 南侧	0.07	0.006
6	6#	直线加速器机房 3 上方道路	0.07	0.005
7	7#	直线加速器机房 2 南侧	0.06	0.004
8	8#	直线加速器机房 2 上方道路	0.07	0.005
以下无数据				
注：后装治疗机及直线加速器机房个检测点位地面为混凝土。				

8.4 辐射环境检测结果分析

经检测，河南省公共卫生医疗中心 2 号楼三楼 DSA 机房周围环境的 γ 辐射空气吸收剂量率范围为 0.06~0.07 $\mu\text{Gy/h}$ ；2 号楼一楼介入手术中心拟建址周围环境的 γ 辐射空气吸收剂量率范围为 0.07~0.08 $\mu\text{Gy/h}$ ；2 号楼负二楼后装治疗机、直线加速器机房周围环境的 γ 辐射空气吸收剂量率范围为 0.06~0.07 $\mu\text{Gy/h}$ 。无辐射异常点位。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 施工期环境影响分析

9.1.1 施工流程与产污环节简述

本项目直线加速器机房、后装机房为预留机房，本次建设仅需进行内部装修、设备安装及防护门安装；各 DSA 机房计划使用屏蔽材料为轻钢龙骨隔断内部加铅板，建设内容为隔断施工、内部装修、设备安装及防护门安装，不涉及土建施工。

9.1.2 产污环节

（1）装饰工程

①废气和扬尘：装饰工程机械引起扬尘；废气的产生随装饰材料而异，主要为苯系物污染。

②污水：施工人员生活污水。

③噪声：装饰工程机械产生噪声。

④固废：室内装修产生装修废材等废弃物。

（2）设备安装

①扬尘：设备运输车辆等产生的扬尘。

②污水：施工人员生活污水。

③噪声：设备安装过程中产生的机械噪声。

④固废：废包装材料等固体废弃物。

9.2 运行期环境影响分析

9.2.1 DSA 工程设备及工艺分析

9.2.1.1 工作原理及设备组成

数字减影血管造影(DSA)是计算机与常规血管造影相结合的一种检查方法，是集电视技术、影像增强、数字电子学、计算机技术、图像处理技术多种科技手段于一体的系统。DSA 主要采用时间减影法，即将造影剂未达到欲检部位前摄取的蒙片与造影剂注入后摄取的造影片在计算机中进行数字相减处理，仅显示有造影剂充盈的结构，具有高精密度和灵敏度。

X 射线装置的主要设备组成为：X 射线球管、高频逆变高压发生器、金属影像增强器、数据图像处理器、床体系统等。

DSA 自带有悬吊式铅玻璃防护屏、床侧防护铅帘等，现代数字介入技术一般还采用数字脉冲技术，根据手术部位选择相应的脉冲透视；铜滤波技术，采用多种规格的铜滤片，根据不同需要，自动切换，在保持优质图像的同时，最大程度减少辐射剂量，达到最佳的滤过效果；栅控技术，去除电压爬升与降落时低速电子产生的大量软射线；剂量监测系统，实时显示剂量率，供介入放射工作人员参考；在介入诊疗时，在可能的条件下，要尽量缩小照射野，降低管电压、管电流，缩短曝光时间，遮光器尽量调小，减少散射。

9.2.1.2 操作流程及产污环节

DSA 在进行曝光时分为两种情况：

透视：病人需进行介入手术治疗时，为更清楚的了解病人情况时会有连续曝光，并采用连续脉冲透视。透视诊疗时，患者仰卧并进行无菌消毒，局部麻醉后，经皮穿刺静脉，送入引导钢丝及扩张管与外鞘，退出钢丝及扩张管将外鞘保留于静脉内，经鞘插入导管，推送导管，主治医师位于铅帘后身着铅服、铅眼镜在 X 线透视下将导管送达上腔静脉，两名护士在护士位辅助手术。顺序取血测定静、动脉，并留 X 线片记录，探查结束，撤出导管，穿刺部位止血包扎。

摄影：操作人员采取隔室操作的方式（即操作医师在控制室内对病人进行曝光），医生通过铅玻璃观察窗和操作台观察机房内病人情况。此种情况仅用于手术快完成时的图像保存，占手术时间的很小比例。工作流程及污染物产生位置如图 9-1 所示。

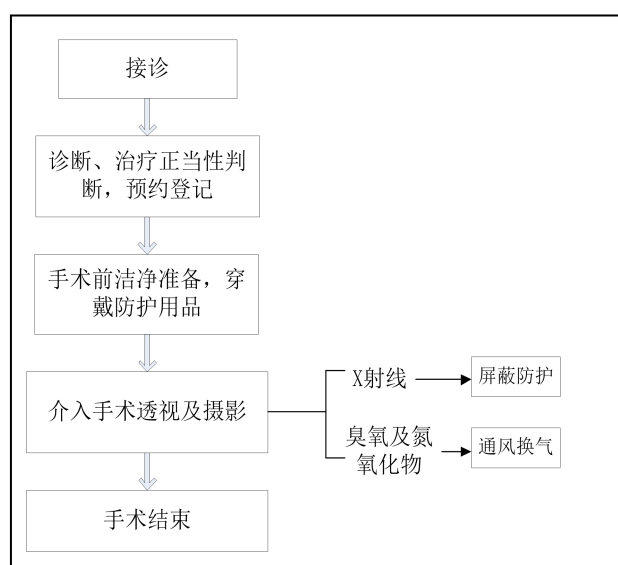


图 9-1 DSA 介入诊疗流程及产污环节示意图

9.2.2 直线加速器

9.2.2.1 工作原理及设备组成

现代在医学里得到广泛使用的医用电子加速器主要是行波电子直线加速器和驻波电子直线加速器两种。行波电子直线加速器和驻波电子直线加速器主要都是由五大系统构成的，它们分别是加速系统、应用系统、剂量检测系统、控制系统以及恒温水冷却和充气系统，两者的区别具体体现在两者的具体结构上。

①作为医用电子直线加速器的核心系统，加速系统的构成成份是加速管、微波功率源、微波传输系统、电子注入系统、高压脉冲调制系统与束流和偏转系统等。加速管的构成包括电子枪、加速结构、引出系统、离子泵几部分。通过阴、阳两极间的高压电场的作用，电子枪会产生具有一定的初始动能的电子通过阴极中心孔道进入到加速腔。行波或驻波电磁场是微波功率在耦合波导馈入的作用下产生的，并且在引出系统的作用下将电子束引出。加速管较短的低能机主要以直射式为主；而加速管较长的中、高能机则多以带偏转磁铁的偏转式引出系统为主。由于必须维持加速管的真空状态的要求，使得真空系统会采用离子泵来吸收气体。微波功率源的频率范围介于 2998MHz 与 2856MHz 之间。在低能的条件下功率源通多采用磁控管，在高能条件下则多采用速调管。这是因为速调管比磁控管高能机在高峰值 RF 脉冲功率的要求下更加具有可靠性。传输波导是微波传输系统主要构成部分。隔离器被用于行波传输系统中吸收反向传输的微波来起到保护微波功率源的作用。而由于驻波传输系统具有较强的反射功率，使得系统的隔离器件必须采用环流器。电子注入系统是由电子枪、导向线圈和预聚焦线圈三部分所构成的。电子枪的作用是发射电子，被安装于电子枪和加速管两者间的导向线圈和预聚焦线圈的作用则是使得电子枪所发射的电子在注入加速管后的散射角达到足够小。高压脉冲调制系统包括了高压直流电源、脉冲形成网络、自动电压控制电路、开关电路和脉冲变压器五个部分，主要被用于产生具有一定波形和频率的脉冲高压，供微波功率源所使用。束流和偏转系统由束流偏转磁铁或扫描磁铁、对中线圈、聚焦线圈所组成。对电子束进行限制、偏转、聚焦作用的是系统中的磁场。加速管外安装能产生使电子产生径向聚焦力的轴向磁场的聚焦线圈的目的是消除电子束同种电荷的斥力和径向电场对电子的散焦作用所带来的影响。

②应用系统包括由电子引出窗、均整器、X 射线靶、光栅、初级准直器、限

光筒、附件架、电离室、散射箔、光野灯和反射镜、光距灯和屏蔽块组成的治疗头、机架及治疗床三部分。治疗头起到使所投射的辐射达到放射治疗的特殊要求的作用。对电子线治疗模式进行选定时，加速器会自动移开“X 射线靶”，使“窗”在对准电子束之后电子线能够直接从窗口引出。由于束流直径只有 3mm 的窄束射线不能达到临床治疗的要求，使得所引出的电子束必须展开变成散射状束流。造成了在对选定电子线治疗模式进行选定时，加速器在自动移走均整块的同时，也会把与电子束能量相适应的金属散射箔移到窗口下。在散射箔的散射作用下电子束变成散射状束流并且在典铃声检测、次级准直器和电子束限光筒的准直限束作用后到达病变位置。因为输出的电子射线仍具有容易散射的特点，为了使输出端口直接与患者皮肤接触，达到降低周围组织的射线受量来对正常组织进行保护的的目的，要求电子束限光筒尽量比较长。治疗床能全方位移动，包括了旋转运动。目前医用电子直线加速器的运动系统采用的是机架、辐射头及治疗床三者的旋转轴线交于一点的等中心原则，此系统的中心误差范围是 $\pm 2\text{mm}$ 。

③剂量监测系统包括了电离室、监测剂量仪及信号放大器。由若干片极所组成的电离室是辐射系统的一部分，监测辐射野内相互垂直的两个方向的均整度和监测辐射的吸收剂量的都有两对干片极，监测辐射的能量变化的则只有一对片极。系统中对剂量给定进行保证的是剂量联锁装置。

④控制系统不仅有电源还有包括水压、水温、水流、高压过载、微波功率源打火等各种保护在内的连锁保护；包括自动均整度控制、自动剂量率控制、自动楔形过滤器控制、自动频率控制、弧形旋转控制在内的自动控制；包括待机、预定、准备、出束等状态的程序控制的正常治疗在内的程序控制。

⑤冷却系统的作用是带走热量，从而使机器的工作温度能够维持在所需范围内。加速管、偏转磁铁线圈、聚焦线圈、微波功率源、靶、隔离器及吸收负载等在工作时都会产生一定的热量。典型的医用行波电子直线加速器的结构系统见图 9-2；加速器机头结构示意图 9-3。

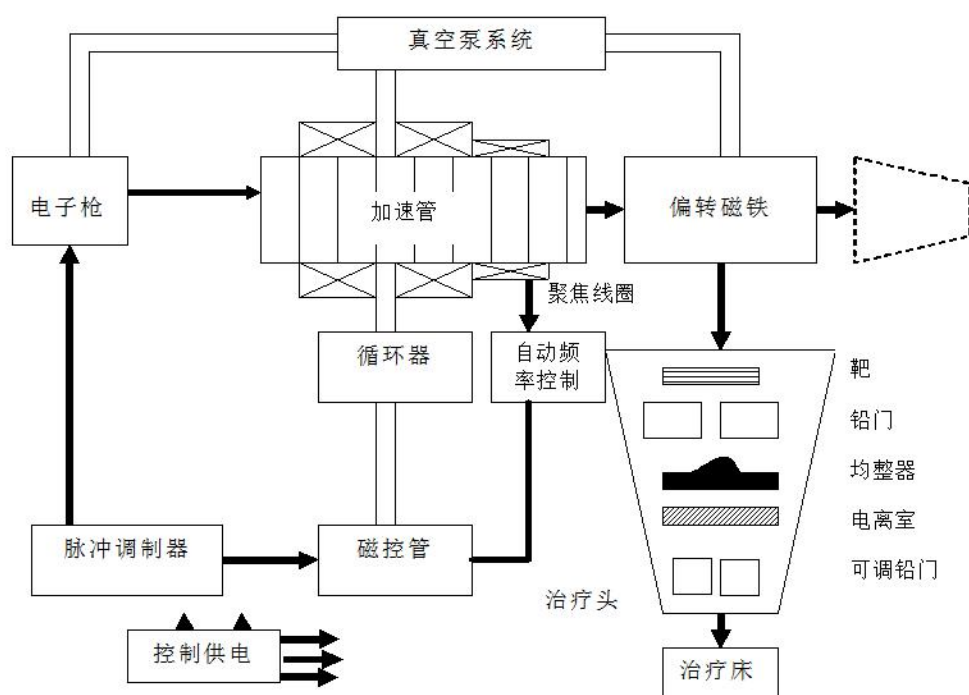


图 9-2 典型的医用行波电子直线加速器的结构系统图

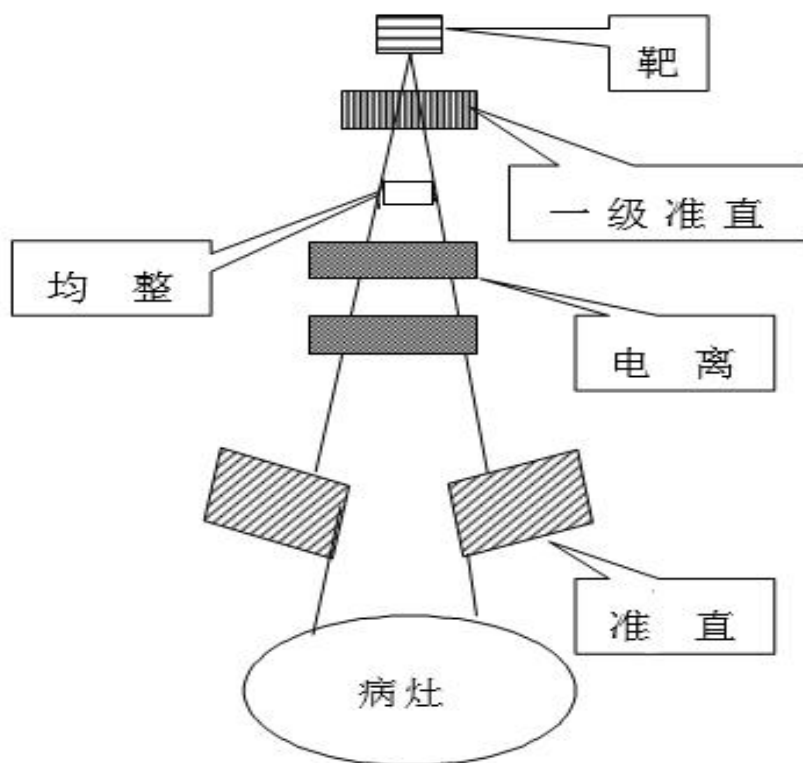


图 9-3 医用电子加速器机头结构示意图

9.2.2.2 操作流程及产污环节

本项目拟购 3 台电子直线加速器进行远距离放射治疗。工作流程如下：

（1）制定治疗方案

医生根据患者情况制定个体治疗方案，为模拟定位做准备。

（2）体位固定及 CT 模拟定位

患者前往 CT 模拟定位室，制作固定模具（真空垫或体膜），体位固定完成后进行模拟扫描定位，获取患者肿瘤及其周围组织器官详细的影像数据。

（3）图像处理及靶区确定

扫描获得的影像数据导入治疗计划系统，进行图像数据处理，工作人员勾画靶区。

（4）计划设计及计划验证

计划设计完成后，进行论证评估并进行计划验证

（5）放疗实施

放射治疗一般由 2 名工作人员完成，先在控制室内核对治疗参数，然后进入机房协助患者进行摆位，摆位完成后离开机房并关闭防护门，治疗过程中通过监视系统观察治疗室内情况。

（6）治疗结束

治疗结束后，工作人员进入机房，引导病人离开。

操作流程及产污环节示意图如下：

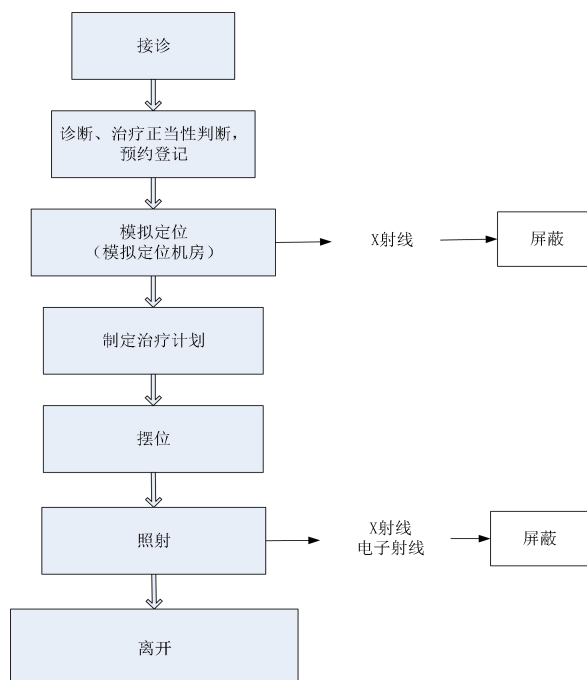


图 9-4 直线加速器放射治疗流程及产污环节示意图

9.2.3 后装机

9.2.3.1 工作原理及设备组成

后装放射治疗是先通过一种特定的施源器借助手术或内窥镜方法放到肿瘤表面或肿瘤中，通过透视观察，确定位置后，使用 CT，模拟定位机等设备获得影像输入计算机，完成治疗计划，将治疗计划传至后装机操作平台并启动治疗程序，将放射源自动送到放在肿瘤表面或肿瘤中的施源器中，开始治疗，使肿瘤接受较大剂量的照射。

后装机由治疗主机及控制台、施源器实施治疗的控制系统和近距离治疗计划系统组成，其中除主机施源器以外，其他设备均不在患者环境中。

①治疗主机：由可编程控制器及相关电气器件、放射源驱动电机、放射源贮存罐、通道分配机构和适应患者治疗高度的升降机构组成。置于放射治疗室内治疗床一侧，以利于对病人进行治疗。治疗主机在 PESS 系统（可编程控制器）控制下，可以实现放射源输送、回收、定时、定位停留、通道选择、自检等多项治疗功能。其基本结构如下图 9-5 所示。

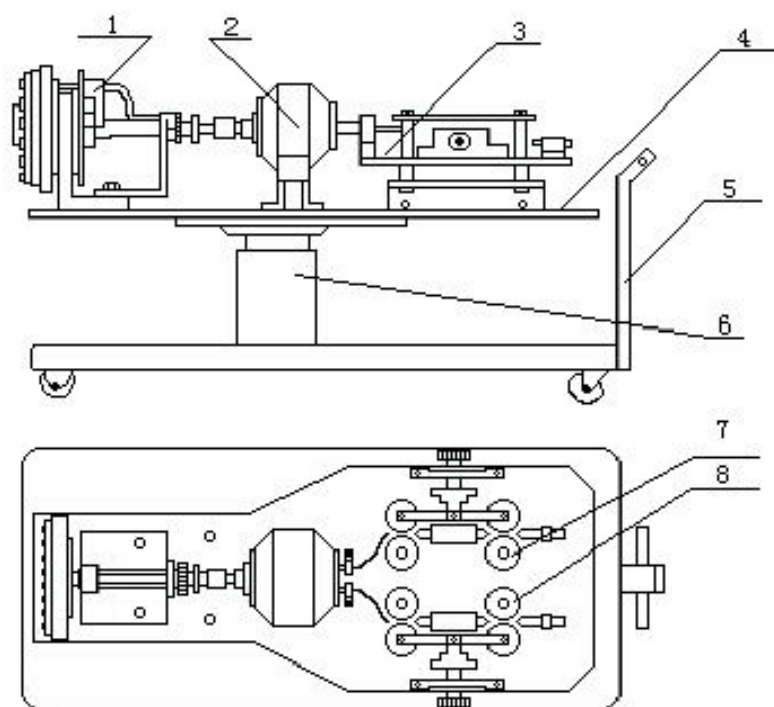


图 9-5 治疗主机示意图

【1.通道分配装置（机头）；2.贮源屏蔽罐；3.放射源驱动装置（传动）；4.托板；5.车架；6.升降机架；7.模拟源急回扳手轴；8.放射源急回扳手轴。】

②施源器：是进入人体治疗部位的装置，放射源在此装置中按预设时间停留，完成治疗动作，该施源器被限制为远源端盲端，使放射源不能与体液有任何接触而被污染。

③控制系统构成：由控制软件和信号控制台组成。控制软件：控制计算机将治疗计划的要求指令输送到治疗主机的可编程控制器。如主机发生故障，控制计算机随时报警并指明故障位置。信号控制台：包括治疗机开关、紧急回源操作按键、门机连锁状态信号、源运行状态信号、网电源状态信号、紧急回源蓄电池电量监视信号等信号指示灯。

④通道连接管：通道连接管是连接治疗机运行通道和施源器的连接设施，该连接管两端均应有可靠连接并且控制系统有专有信号联锁监视。后装机设备有 18 个送源通道备用，所有送源通道能做到任意选通或组合选通送源，其任意选通或组合选通的实际送源通道与控制软件分配与显示的选通通道相一致。

⑤治疗计划系统：通过数字化仪将患者的影像进行正交、半正交和交角的影像重建，通过运算可显示出优化治疗、三维储存显示剂量分布以及解剖结构，系统可以自动修正源衰变，根据源位、病灶大小和形态，计算出等剂量分布曲线。

9.2.3.2 操作流程及产污环节

（2）工作流程

后装治疗属于近距离放疗，是相对于远距离放疗而言。它具有治疗距离短，源周局部剂量很高，周边剂量迅速跌落的特点，因而可提高肿瘤局部照射剂量，有效保护周边正常组织和重要器官。其工作流程如下：

患者定位后，根据患者病情医师和医学物理人员共同制订治疗计划，由放疗医师检查签署治疗计划，物理师将治疗参数传输至治疗机工作站，在治疗前认真核对患者的信息，核对治疗计划，然后由工作人员引导患者由迷路进入治疗机房内，将施源器、连接管、后装机准确连接，连接好后再次核对是否正确，将后装治疗床固定，防止移动，然后确认所有人员离开治疗机房后，关闭防护门，进入控制室操作，导入相应的病人计划，核对患者的治疗信息无误后开始实施治疗，治疗结束后，工作人员确认放射源已回源后，患者体内无放射源滞留时。医技人员进入治疗机房，将连接管与施源器、后装机断开连接，并收拾好，将患者推出离开治疗机房，放射治疗结束。后装机放射治疗流程见图 2-8。

工作流程及产污环节示意图如下：

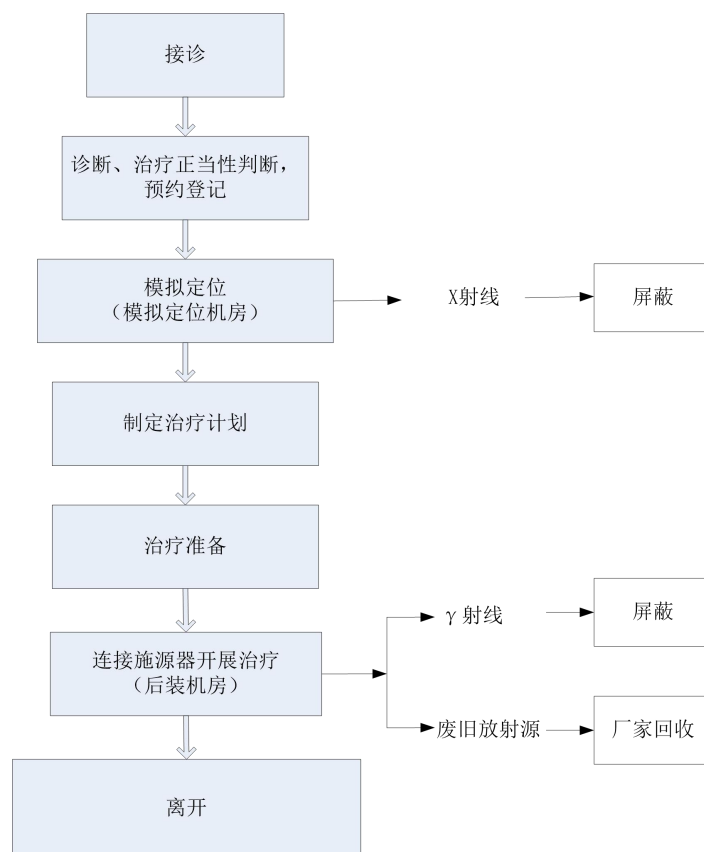


图 9-6 后装机放射治疗流程及产污环节示意图

9.3 污染源项

9.3.1 建设期

(1) 污染源项

施工期环境影响主要是建筑施工过程中的土石方挖掘、建筑材料运输、施工设备装配等行为产生的扬尘、噪声、弃渣、废水等方面的污染问题。因此，本项目施工期环境影响很小。施工期间的主要污染因素有粉尘、噪声，主要对周围声环境质量产生影响，通过控制作业时间、加强施工现场的管理等手段，对周围声环境产生的影响较小，该影响是暂时的，随着建设期的结束而消除。

(2) 非放射性污染源环境影响因子

施工期非放射性环境影响因子主要是：废气、废水、噪声和固体废物。

9.3.2 运行期

9.3.2.1 正常运行状态下的辐射源项

(1) DSA

本项目 DSA 一般使用条件为 70kV~120kV，并且曝光时间较长，DSA 为床下球管，射线从病人下方朝上照射。

由工作原理可知，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将产生轫致辐射，即 X 射线，其最大能量为电子束的最大能量。这种 X 射线是随机器的开、关而产生和消失。本项目使用的 X 射线装置在非诊疗状态下不产生射线，只有在开机并处于出线状态时才会发出 X 射线。由于射线能量较低，故不必考虑感生放射性问题。因此，在开机期间，X 射线成为污染环境的主要因子。

（2）直线加速器

直线加速器在正常运行时存在的辐射种类有：有用线束（X 射线和电子线）、泄漏辐射、散射辐射；X 射线能量>10MeV 时还应考虑中子辐射、中子俘获 γ 射线和机头感生放射性，本项目医用电子加速器能量最高为 10MV，本次评价不考虑中子辐射、中子俘获 γ 射线和机头感生放射性。

本项目医用电子直线加速器 X 射线输出能量最高为 10MeV，有用线束（X 射线）在距靶中心 1m 处的最大治疗剂量率为 24Gy/min；电子线输出能量最高为 22MeV，有用线束（电子线）在距靶中心 1m 处的最大治疗剂量率为 6Gy/min；距加速器机头 1m 处泄漏辐射不超过 24mGy/min（有用线束距靶中心 1m 处剂量率的 0.1%）。

直线加速器靶物质经长期照射后，积累一定数量的感生放射性核素，废靶材（件）属放射性废物，须交由具有放射性废物处置资质的单位进行处置。

（3）后装机

后装机在正常运行和铱-192 源换装情况下，工作人员和公众可能受照的辐射类型有：有用线束（ γ 射线）、泄漏射线（ γ 射线）、散射线（ γ 射线）。后装机中铱-192 放射源衰变到一定程度后不能满足治疗需求，需进行更换，本项目后装机放射源预计需每半年更换一次，更换下的废旧放射源由厂家进行回收处理。

9.3.2.2 异常运行或事故状态下的辐射源项

（1）DSA

运行过程发生异常或事故的可能性包括：

DSA 发生异常或事故的可能情况如下：

①曝光时防护门未关闭，此时防护门外人员可能受到 X 射线照射；

②DSA 近台手术人员未按照标准要求穿戴个人防护用品和辅助防护设施，亦将导致其受到不必要的照射；

③曝光过程中，或因工作指示灯无效其他人员在不知情的情况下误入手术室受到意外照射；

④因设备防护性能问题可能导致受检者接受额外照射；

⑤相关人员在检修射线装置过程中，因误操作导致受到意外照射；

⑥DSA 手术医生长时间接触 X 射线，可能引起手术医生手部皮肤放射性损伤，眼睛晶状体浑浊等。

（2）直线加速器

直线加速器可能出现的异常情况包括：

①设备加速电压异常；

②加速器电子枪或 X 射线球管阴极老化，产生电子数减少；

③加速器机头或者 X 射线球管损坏；

④加速器机房门机联锁装置发生故障，可能发生人员误入辐射现场，受到加速器高能 X 射线或电子束外照射；

⑤当加速器控制系统故障，发出的射线剂量与控制系统标称值明显不符，会给患者造成不必要照射。

（3）后装机

后装治疗机发生异常或事故的可能性包括：

①后装治疗机操作系统发生故障，到达预置治疗时间，放射源无法自动收回，导致患者受超剂量照射；

②工作人员进入辐射场排除故障，会受到较高剂量照射；

③机房门机联锁装置发生故障，可能发生人员误入辐射现场，受到意外照射；

④放射源意外破损时，后装治疗机房还可能会存在泄漏核素污染。

对于直线加速器，异常事故状态下的 X 射线能量及剂量并不会超过辐射设备的额定容量，对于后装治疗机，其 γ 射线能量亦不会改变，剂量只与受到照射的时间成正比。

9.3.2 非放射性污染源项

项目运行过程中，非放射性三废产生情况如下：

（1）固体废弃物

本项目 DSA 及直线加速器运行阶段不涉及洗片，不产生废胶片。项目运行过程中会产生医疗废物（棉签、纱布、一次性医疗用品等产生量约 45kg/天），属于危险废物。

（2）废液

直线加速器、后装机不产生废液，DSA 采用数字成像，无废显、定影液产生。

（3）废气

DSA、直线加速器、后装机运行过程中产生的 X、 γ 射线能造成空气电离从而产生少量臭氧及氮氧化物。

表 10 辐射安全与防护

10.1 辐射防护措施

10.1.1 工作场所布局及分区

(1) DSA 工作场所布局及分区

2 号楼一楼 D 区介入手术中心位于 2 号楼一楼东北角，5 间 DSA 机房分布于该手术中心；每间 DSA 机房均配备有控制室、设备间，并规划有污物通道、库房、办公室等辅助功能区。

三楼日间手术部内拟建 DSA 机房位于现有 DSA 机房 A9 东侧，配备有控制室、设备间，设计有污物通道、准备间等辅助功能区。

(2) 直线加速器、后装机工作场所布局及分区

直线加速器及后装机房位于 2 号楼负二楼放疗科，一字排列，自西向东分别为后装机房、直线加速器 4、3、2 号机房，所有机房上方为院内绿化带及道路，下方为土层，北侧为土层，后装机房西侧为土层，各机房迷道均为 L 型，位于治疗室南侧。

放疗科内还设置有计划室、体模室、办公室、后装准备间、水冷机房等配套功能用房。

为加强各工作场所的管理，限制无关人员进入从而受到不必要的照射，应在机房周围划定辐射控制区和监督区。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）控制区和监督区的定义划定辐射控制区和监督区。

控制区：在正常工作情况下控制正常照射或防止污染扩散，以及在一定程度上预防或限制潜在照射，要求专门防护手段和安全措施的限定区域。在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志并给出相应的辐射水平和污染水平的指示。运用行政管理程序如进入控制区的工作许可证和实体屏蔽（包括门锁和连锁装置）限制进出控制区，放射性操作区应与非放射性工作区隔开。

监督区：未被确定为控制区，正常情况下不需要采取专门防护手段或安全措施，但要不断检查其职业照射状况的制定区域。在监督区入口处的合适位置张贴辐射危险警示标记；并定期检查工作状况，确认是否需要防护措施和安全条件，或是否需要更改监督区的边界。

建设单位将各机房内部划为控制区，对该区域专门采取防护和安全措施，在

控制区出入口设置工作状态指示灯，在控制区出入口及其它适当位置处设立醒目的电离辐射警示标志，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 F 规定的警告标志。

将机房控制室、设备间、候诊区以及和防护门外 0.5m 范围内划为监督区。监督区划定边界，出入处设置警示标志。对监督区不采取专门的防护手段安全措施，但定期检测其辐射剂量水平，工作场所分区图（红色区域为控制区、黄色区域为监督区）见下图 10-1、10-2、10-3。



图 10-1 2 号楼一楼 D 区平面布局及分区示意图

放疗科

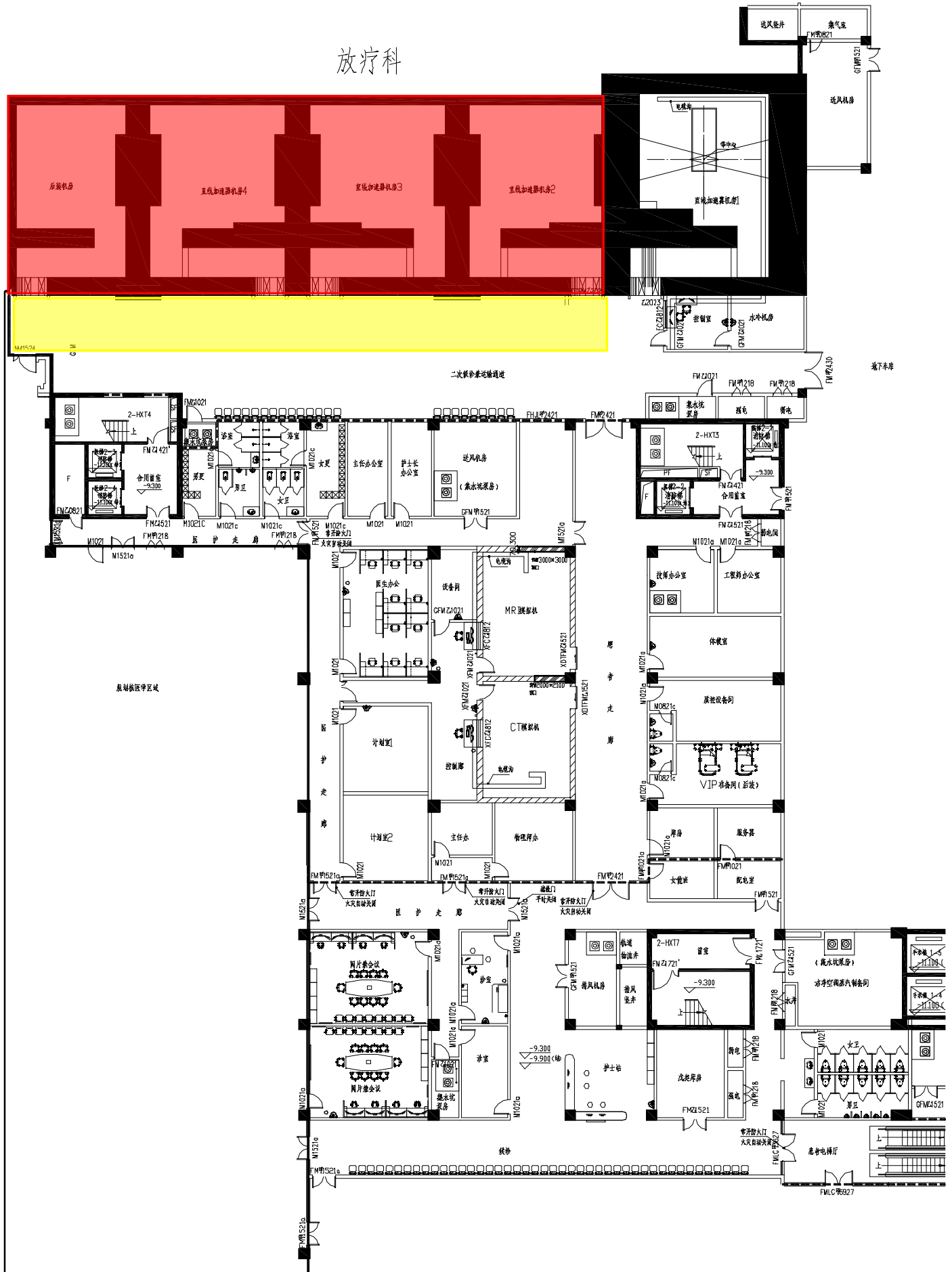


图 10-3 2 号楼负二楼放疗科平面布局及分区示意图

10.1.2 机房辐射防护设计

根据建设单位提供的资料,本项目各 DSA 机房四周墙体采用轻钢龙骨隔断,中间加铅板进行防护,顶棚及地板为混凝土加钡水泥,防护设计具体情况见表 10-1;直线加速器机房、后装治疗机房四周墙体、顶棚拟采用混凝土($\rho=2.35\text{t/m}^3$)浇注而成,加速器机房防护门拟采用铅板和含硼聚乙烯材料制作,后装治疗机房防护门拟采用铅板制成。3 间直线加速器机房防护设计完全一致,直线加速器机房防护设计见表 10-2,后装机房防护设计情况见表 10-3。

表 10-1 各 DSA 机房防护设计

机房名称	屏蔽体	屏蔽材料及厚度	等效铅当量 mmPb	标准要求 mmPb	评价
2 号楼一楼 D 区介入手术中心 DSA 机房 1~5 2 号楼三楼日间手术部 DSA 机房 A10	四周墙体	轻钢龙骨隔断+3mm 铅板	3.0	2.0	符合要求
	顶棚	24cm 混凝土+3mmPb 钡水泥	6.2	2.0	
	地板	24cm 混凝土+3mmPb 钡水泥	6.2	2.0	
	观察窗	3mmPb 铅玻璃	5.0	2.0	
	防护门(每个机房 3 个,共 18 个)	3mmPb 防护门	5.0	2.0	

备注:①钡水泥密度为 3.2g/cm^3 ;混凝土密度为 2.35g/cm^3 ;

②表中铅当量根据《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)折算,24cm 混凝土等效 3.2mmPb。

表 10-2 直线加速器机房防护设计

类别名称			设计情况
机房内部空间尺寸参数	室内净高度		4.5m
	南北最小长度(不含迷路与墙体)		7.8m
	东西长度	主屏蔽区部分	7.5m
		次屏蔽部分	8.9m
	面积(不含迷路与墙体)		64.55m^2
	机房容积		290.5m^3 (不含迷道);

		310.8m ³ （含迷道）
屏蔽体尺寸 参数	东墙主屏蔽区厚度	3.0m
	东墙次屏蔽区厚度	1.6m
	东墙主屏蔽区宽度	4.65m
	西墙主屏蔽区厚度	3.0m
	西墙次屏蔽区厚度	1.6m
	西墙主屏蔽区宽度	4.65m
	顶部主屏蔽区厚度	3.0m（上方有 2.37m 厚回填土）
	顶部次屏蔽区厚度	2.5m（上方有 2.87m 厚回填土）
	顶部主屏蔽区宽度	4.65m
	迷道内墙（南墙）厚度	1.2 及 1.6m
	迷道外墙（南墙）厚度	1.2m 及 1.45m
	北侧屏蔽墙厚度	0.6m
防护门	防护材料及厚度	18mm 厚铅板+150mm 厚含硼 5% 聚乙烯
等中心	距东西主屏蔽墙内表面	2.75m
	距北侧墙内表面	4.325m
	距迷路内墙内表面	3.875m
	距室顶内表面	3.23m
	距地面高度	1.27m
迷路参数	类型	L 型迷路
	迷路长度	8.9m
	迷路宽度	2.0m
	内入口宽度	2.1m
	迷路及内入口高度	4.5m
	内入口截面积	9.45m ²

表 10-3 后装机房防护设计

类别名称	设计情况
机房净面积（不含迷道）	50m ²
机房内高度	4.5m
东侧屏蔽墙厚度	与直线加速器机房西墙共用，厚度为 1.6m 及 3.0m
北侧屏蔽墙厚度	0.6m
西侧屏蔽墙厚度	0.6m
迷道内墙厚度	1.2m
迷道外墙厚度	1.2m
迷道类型及宽度	L 型迷道，宽 2.0m
迷道高度	4.5m
顶棚厚度	1.6m（上方有 3.8m 厚回填土）
防护门	电动推拉门，防护材料为 8mm 铅板

本项目各 DSA 机房的屏蔽防护设计满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的要求，直线加速器机房、后装机房屏蔽防护效果以剂量率估算结果进行评价。

10.1.3 机房面积

本项目各 DSA 机房最小有效使用面积及最小单边长度见表 10-4。

表 10-4 各 DSA 机房最小有效使用面积及最小单边长度一览表

序号	机房名称	最小有效使用面积（m ² ）	单边长度（m）	标准要求		评价
				最小有效使用面积（m ² ）	最小单边长度（m）	
1	2 号楼一楼 D 区介入手术中心 DSA 机房 1	42	东西长度 6.0，南北长度 7.0	20	3.5	符合要求
2	2 号楼一楼 D 区介入手术中心 DSA 机房 2	42	东西长度 6.0，南北长度 7.0	20	3.5	符合要求
3	2 号楼一楼 D 区介入手术中心 DSA 机房 3	45	东西长度 7.5，南北长度 6.0	20	3.5	符合要求

4	2 号楼一楼 D 区介入手术中心 DSA 机房 4	42	东西长度 7.0, 南北长度 6.0	20	3.5	符合要求
5	2 号楼一楼 D 区介入手术中心 DSA 机房 5	45	东西长度 7.5, 南北长度 6.0	20	3.5	符合要求
6	2 号楼三楼日间手术部 DSA 机房 A10	45.5	东西长度 6.5, 南北长度 7.0	20	3.5	符合要求

本项目各 DSA 机房最小有效使用面积及最小单边长度均符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）相关要求。

10.1.4 安全防护设施

为防止设备在运行过程中其他人员误入机房，受到不必要的照射，本项目机房均设计有安全防护设施，各 DSA 机房安全防护设施设计情况与《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中相关要求的对比情况详见表 10-5；各直线加速器机房安全防护设施设计情况与《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）对比情况详见表 10-6、后装机房安全防护设施设计情况与《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）对比情况详见表 10-7。

表 10-5 各 DSA 机房安全防护设施与标准要求对比一览表

机房名称	项目	项目设计情况	标准要求	评价
2 号楼一楼 D 区介入手术中心 DSA 机房 1~5 2 号楼三楼日间手术部 DSA 机房 A10	电离辐射警告标志、工作状态指示灯、警示语句、放射防护注意事项告知栏	电离辐射警告标志拟张贴于防护门上；防护门上方拟安装工作状态指示灯箱；警示语句设置于灯箱上；候诊区拟张贴放射防护注意事项	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。	符合要求
	闭门装置、门灯联动、防夹装置	各污物通道门为手动平开门，各医生防护门为自动平开门，所有平开门均拟设置自动闭门装置；工作状态指示灯与门保持联动； 所有机房病人防护门均为电动推拉门，均设计有红外防夹人装置，准备曝光时确认电动推拉门关闭到位	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。电动推拉门宜设置防夹装置	

表 10-6 直线加速器机房安全防护设施设计一览表

序号	安全设施	标准要求		项目设计	评价
1	电离辐射警告标志、工作状态指示灯、视频监控、对讲交流系统	HJ 1198-2021 (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。	a) 拟在放疗科入口处设置电离辐射警告标志; b) 拟在机房门外醒目位置张贴电离辐射警告标志,拟在机房门上方安装工作状态指示灯; c) 拟设置视频监控系统对患者状态、治疗床和迷路内的状况进行实时监控,拟设置对讲交流系统;	符合要求
2	固定式剂量监测系统	HJ 1198-2021 (6.2.2)	质子/重离子加速器大厅和治疗室内、含放射源的放射治疗室、医用电子直线加速器治疗室(一般在迷道的内入口处)应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能,其显示单元设置在控制室内或机房门附近	拟在直线加速器机房内设置固定式有异常情况下报警功能的剂量报警装置,显示单元设置在控制室内	符合要求
3	联锁装置、机房门开关、急停按钮	HJ 1198-2021 (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/	a) 拟设置门/机联锁装置,防护门未完全关闭不能出束; b) 拟在迷道内安装电动开门开关,机房门外安装电动开关;断电情况下,门可以手动推开,机房入口处设置红外防碰撞、挤压装置 c) 拟在设备表面、治疗床表面、治疗室墙体表面、迷路墙面和控制台处设置红色紧急停机开关	符合要求

			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；		
表 10-7 后装机房安全防护设施设计一览表					
序号	安全设施	标准要求		项目设计	评价
1	电离辐射警告标志、工作状态指示灯、视频监控、对讲交流系统	HJ 1198-2021 (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。	a) 拟在放疗科入口处设置电离辐射警告标志；后装机储源器外表面拟电离辐射标志和中文警示说明 b) 拟在机房门外醒目位置张贴电离辐射警告标志，拟在机房门上方安装工作状态指示灯； c) 拟设置视频监控系统对患者状态、治疗床和迷路内的状况进行实时监控，拟设置对讲交流系统；	符合要求
2	固定式剂量监测系统	HJ 1198-2021 (6.2.2)	质子/重离子加速器大厅和治疗室内、含放射源的放射治疗室、医用电子直线加速器治疗室（一般在迷道的内入口处）应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内或机房门附近	拟在后装机房内设置固定式有异常情况下报警功能的剂量报警装置，显示单元设置在控制室内	符合要求
3	联锁装置、机房门开关、急停按钮	HJ 1198-2021 (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	a) 拟设置门/机联锁装置，防护门未完全关闭不能出束； b) 拟在迷道内安装电动开门开关，机房门外安装电动开关；断电情况下，门可以手动推开，机房入口处设置红外防碰撞、挤压装置 c) 拟在设备表面、治疗床表面、治疗室墙体表面、迷路墙面	符合要求

			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；	和控制台处设置红色紧急停机开关	
4	应急工具	HJ 1198-2021 (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	拟在后装机房内配备应急贮源罐及长柄镊子	符合要求

本项目各 DSA 机房的安全防护设施设计情况满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）相关要求；直线加速器机房、后装机房的安全防护设施设计情况满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）的相关要求。

10.1.5 通风设施

各机房通风设施情况见表 10-7。

表 10-7 通风情况一览表

序号	机房名称	通风情况	标准要求	评价
1	2 号楼一楼 D 区介入手术中心 DSA 机房 1~5 2 号楼三楼日间手术部 DSA 机房 A10	各 DSA 机房采用层流通风系统	机房应设置动力排风装置，并保持良好的通风	符合要求
2	2 号楼负二楼放疗科直线加速器机房 2~4	直线加速器机房内设置了机械通风为主的通风系统，持续通风。设置有 1 个进风口与 1 个排风口，采用“上进风、下排风”的方式。进风口位于机房顶棚南侧，排风口位于机房北侧下方，直线加速器机房计划安装的风机排风量为 2000m ³ /h，直线加速器内部容积（含迷道）约为 310.8m ³ ，故每小时通风次数约为 6.4 次。	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	符合要求
3	2 号楼负二楼放疗科后装机房	直线加速器机房内设置了机械通风为主的通风系统，持续通风。设置有 1 个进风	放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风	符合要求

		口与1个排风口，采用“上进风、下排风”的方式。进风口位于机房顶棚南侧，排风口位于机房北侧下方，直线加速器机房计划安装的风机排风量为2000m ³ /h，直线加速器内部容积（含迷道）约为255.2m ³ ，故每小时通风次数约为7.8次。	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	
--	--	---	--	--

本项目各 DSA 机房的通风设施设计情况满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）相关要求；直线加速器机房、后装机房的通风设施设计情况满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）的相关要求。

10.1.6 个人防护用品

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求，建设单位应根据工作内容，配置相应的工作人员、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。

除介入手套外，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；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。

建设单位拟为建设项目配置相应的防护用品，具体情况见表 10-8。

表 10-8 本项目 DSA 机房个人防护用品和辅助防护设施配置计划一览表

机房	防护人员		标准要求	拟配备的防护用品及铅当量	评价
2 号楼一楼 D 区介入手术中心 DSA 机房 1~5 2 号楼三楼日间手术部 DSA 机房 A10	工作人员	个人防护用品	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套 选配：铅橡胶帽子	每个机房均配备下列用品 铅橡胶围裙（方形）或方巾 6 件（0.5mmPb）； 铅橡胶颈套 6 件（0.5mmPb）； 铅防护眼镜 6 副（0.25mmPb）； 介入防护手套 6 副（0.025mmPb）	符合要求
		辅助防护设施	铅悬挂防护屏/铅防护吊帘、床侧防护帘/床侧防护屏 选配：移动铅防护屏风	每个机房均配备下列用品： 铅悬挂防护屏 1 块（0.5mmPb）； 床侧防护帘 1 套（0.5mmPb）	

	患者和受检者	个人防护用品	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	每个机房均配备下列用品 成人防护用品： 铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾 1 件（0.5mmPb）； 铅橡胶颈套 1 件（0.5mmPb）； 儿童防护用品： 铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾 1 件（0.5mmPb）； 铅橡胶颈套 1 件（0.5mmPb）	
--	--------	--------	------------------------------------	--	--

本项目各 DSA 机房拟配备的防护用品满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）相关要求。

10.2 三废治理措施

10.2.1 施工期

（1）扬尘

施工扬尘治理措施：废料堆放点应相对集中，以毡布覆盖，废弃材料应及时清运。

（2）废水

施工期施工人员产生的生活污水经预处理池处理后进入医院污水处理站处理，而后排入市政管网。

（3）噪声

合理安排施工工序，尽量缩短施工周期，减轻施工噪声对医院环境和周围环境的影响。

（4）固体废物：建设施工产生的建筑废渣等，送当地指定的建筑垃圾处置场；施工人员产生的生活垃圾，分类收集到医院内垃圾箱，交由环卫部门清运。

10.2.2 运行期

（1）废气治理措施

DSA、直线加速器、后装机运行过程中，X、 γ 射线与空气作用会产生臭氧和氮氧化物等，本项目各 DSA 采用层流通风系统，DSA 运行过程中产生的废气通过机房通风系统排入室外空气，直线加速器、后装机机房设计有机械通风装置，通风次数满足相关标准要求。

（2）废液治理措施

本项目 DSA、直线加速器、后装机运行过程中不产生废液。

（3）固体废弃物治理措施

本项目 DSA 及直线加速器运行阶段不涉及洗片，不产生废胶片。运行过程中产生的医疗废物（棉签、纱布、一次性医疗用品等产生量约 60kg/天），属于危险废物，收集后由污物通道转运并集中存放至医院现有医疗废物收集站，并交有资质单位处理；后装机运行过程中定期更换的废铱-192 源由放射源供应方回收；直线加速器运行过程中产生的废靶交由具有放射性废物处理资质的单位进行处置。

表 11 环境影响分析

11.1 建设期环境影响分析

11.1.1 大气环境影响分析

(1) 施工扬尘

根据工程分析章节可以看出,本项目施工期建筑扬尘会对周围环境产生一定的影响,但这方面的影响仅局限在医院内部,故施工扬尘对大气环境影响不大。施工期间建设单位只要严格按照有关规定和本环评提出的治理措施,做到文明施工、清洁施工和科学施工,就能最大限度地减少扬尘产生量。

(2) 装修废气

装修过程中产生的废气污染物相对较少,采用“环保型”油漆及涂料,装修过程中加强通风或室内空气净化措施,可将装修废气带来的影响降至最低,装修废气不会对周围大气环境产生大的影响。

11.1.2 声环境影响分析

施工期的噪声主要来源于施工机械,施工机械除各种运输车辆外,一般均为固定声源。为了减少项目施工噪声对周边环境的影响,项目在施工中通过合理布局施工现场,合理安排施工时间并制订施工计划;施工机械选型时尽量选用可替代的低噪声设备,设备用完后或不用时应立即关闭。通过采取上述措施后,评价认为其施工期产生的噪声可以减至可接受范围内,施工期噪声不会对周边环境产生明显影响。

11.1.3 水环境影响分析

本项目施工期间产生废水主要为施工人员产生的生活污水。收集处理后进入污水处理站处理后达标排放,不会对周围水环境产生大的影响。

11.1.4 固体废物影响分析

固体废弃物主要是生活垃圾、建筑垃圾。

(1) 生活垃圾

施工期生活垃圾产生量较小,应妥善处置,保持施工区环境的洁净卫生。生活垃圾采用垃圾箱集中分类收集后由环卫部门统一清运;并且在施工活动中,应严格禁止影响城市生态环境和随意抛洒垃圾的行为。

(2) 建筑垃圾

本项目施工产生建筑垃圾主要为装修阶段产生垃圾,主要是一些包装袋、包

装箱等。首先对其中可回收利用的部分进行回收，其次对建筑垃圾要定点堆放，由建设单位或承建单位与市政部门联系外运至住建部门指定的建筑垃圾堆放场。

评价认为施工期的建筑垃圾及生活垃圾均有合适的处置方式，是可行的、合理的，可有效减轻对工程所在地区的环境产生的不利影响。

在建设单位的严格监督下，施工方和设备厂家遵守文明施工、合理施工的原则，落实好各项环保措施，对环境影响不大，施工结束后，项目施工期环境影响将随之消失。

11.2 DSA 运行期环境影响分析

11.2.1 相关参数选取

11.2.1.1 辐射源强

DSA 具有自动调强功能，可根据患者条件差异，自动调节曝光参数和出束剂量，根据同类 DSA 运行经验，一般情况下，透视工况为 60~100kV、5~20mA，摄影工况为 60~110kV、300-500mA。根据设备技术资料，保守取距靶点 1m 处的最大剂量率为：摄影模式下为 $3.0 \times 10^7 \mu\text{Gy/h}$ ，透视模式下为 $5.1 \times 10^5 \mu\text{Gy/h}$ 。

11.2.1.2 工作负荷

根据建设单位提供的资料，项目投运后，日均手术量为 10 台，每年工作 250 天，每台手术透视时间约 12min，摄影时间约 3min，故年透视时间为 500h，年摄影时间为 125h。

11.2.1.3 关注点选取

本项目共设计 6 间 DSA 机房，其 DSA 参数一致，机房防护设计均一致，仅各个机房面积及单边长度有所不同，根据图纸分析 6 间 DSA 机房的防护设计后，选取 2 号楼一楼 D 区介入手术中心 DSA 机房 1 作为代表进行辐射防护核算。

根据机房周边情况及防护设计情况选取本次环评关注点位，根据建设单位提供 DSA 机房设计施工示意图纸上 DSA 设备位置，确定辐射源点距各环评关注点的距离，关注点情况详见表 11-1，关注点位分布示意图见图 11-1、图 11-2。

表 11-1 关注点位一览表

序号	关注点	点位描述	距 DSA 靶点距离 (m)
1	K	机房内医生手术位	0.5
1	A	控制室防护门外 30cm 处	4.45

2	B	观察窗外 30cm 处	4.1
3	C	南墙外 30cm 处	4.2
4	D	西墙外 30cm 处	3.9
5	E	北墙外 30cm 处	4.3
6	F	北走廊防护门外 30cm 处	4.8
7	G	机房防护门外 30cm 处	5.05
8	H	东墙外 30cm 处	3.7
9	I	2 楼地板上方 100cm 处	4.9
10	J	负一楼地板上方 170cm 处	4.2

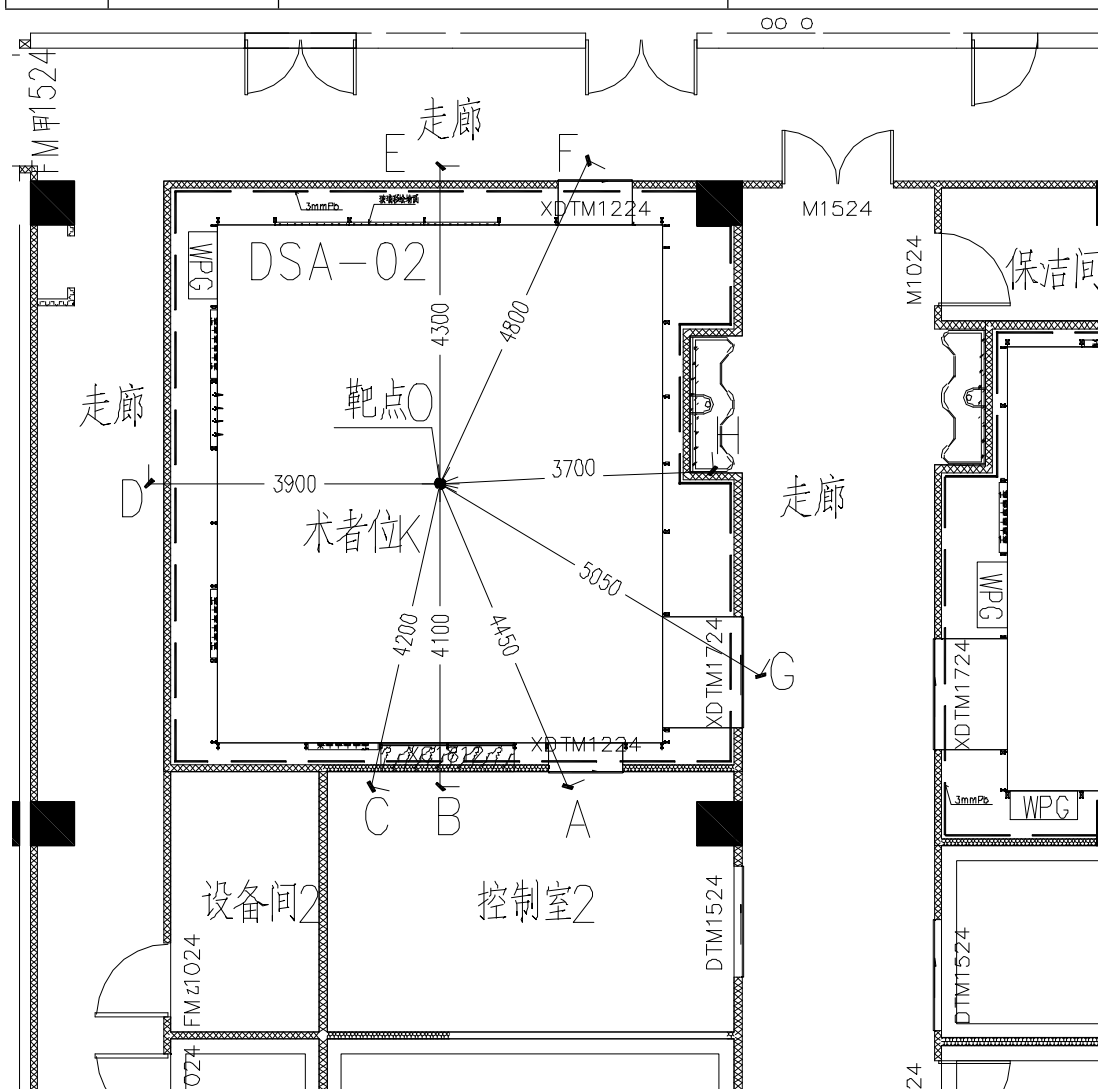


图 11-1 关注点平面分布示意图

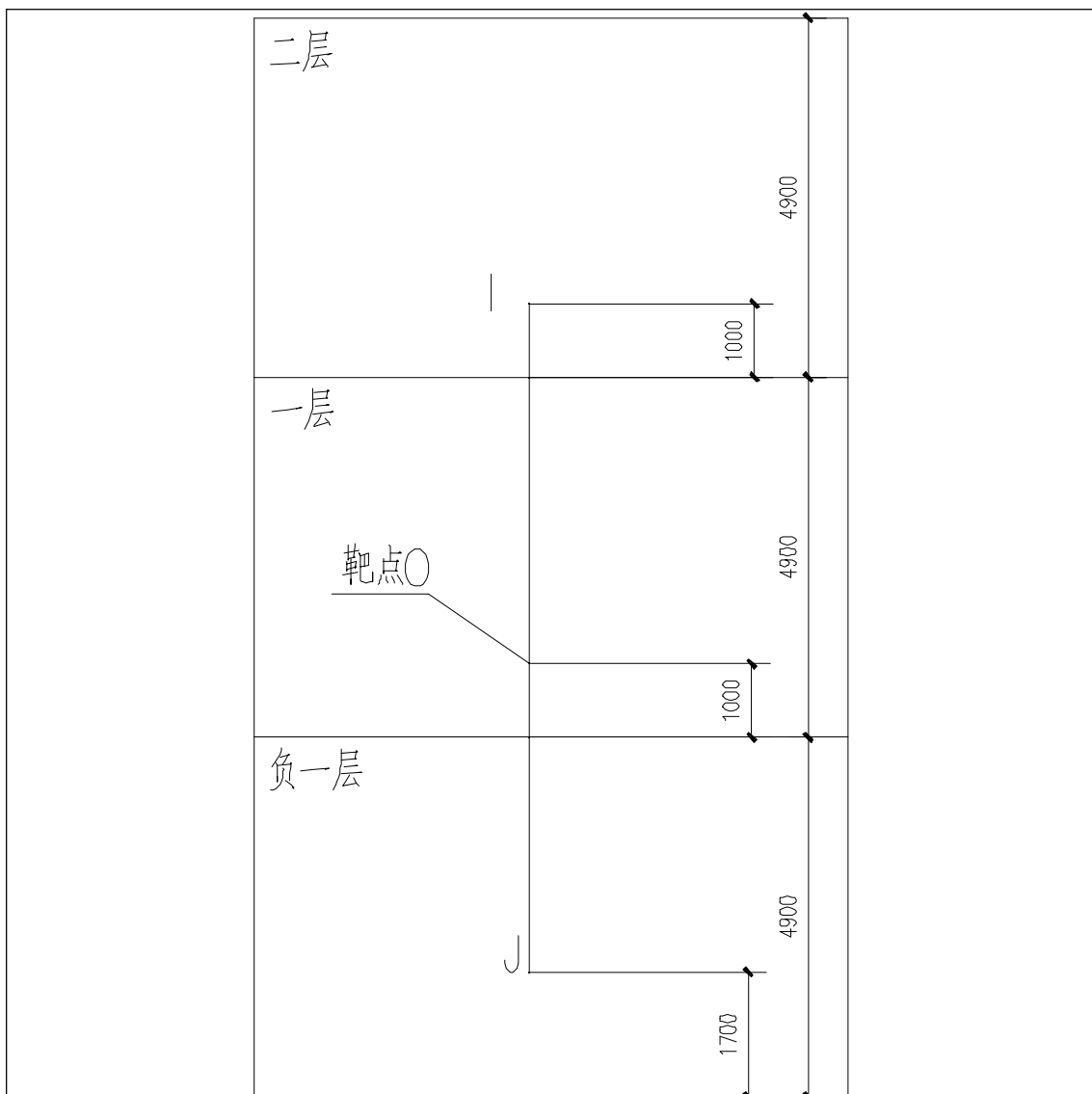


图 11-2 关注点立面分布示意图

11.2.2 剂量估算

根据操作规程，医生在病人旁进行导管操作，正常操作过程分为透视和摄影过程。诊断过程中，机头有用射线直接照射病人，不会直接照射到机房的墙壁、顶棚、防护门及铅玻璃窗，墙壁、地板、防护门及观察窗受到病人体表散射影响及设备泄漏辐射影响，医生在操作过程中受到泄漏辐射及病人体表散射辐射的影响，机房内医生手术位的剂量估算只考虑透视模式。

11.2.2.1 理论剂量率估算

(1) 泄漏辐射附加剂量率

泄漏辐射剂量率按初级辐射束的 0.1% 计算。利用点源辐射进行计算，各预测点位泄漏辐射附加剂量率可用下式 11-1、11-2 进行计算。

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

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha \gamma X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \dots\dots\dots (11-2)$$

式中：

H——各预测点位的泄漏辐射剂量率，μGy/h；

f——泄漏射线比率，0.1%；

H₀——距靶点 1m 处的最大剂量率；

B——屏蔽透射因子；

R——靶点距关注点的距离，m；

X——屏蔽材料铅当量厚度，mmPb；

α、β、γ——此处使用铅对 125kV 管电压 X 射线辐射衰减的有关的三个拟合参数，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）附录 C 中可查得。

（2）病人体表散射附加剂量率

对于病人体表的散射附加剂量率可按下式 11-3（引用李德平、潘自强主编，辐射防护手册第一分册——辐射源与屏蔽[M]北京：原子能出版社，1987:P437）进行预测估算：

$$H_s = \frac{H_0 \cdot \alpha \cdot S \cdot B}{(d_0 \cdot d_s)^2} \dots\dots\dots (11-3)$$

式中：

H_s——各预测点位散射剂量率，μGy/h；

H₀——距离靶 1 米处的病人处剂量率；

α——患者对 X 射线的散射比；

S——散射面积，取 400cm²；

d₀——源与病人的距离，取 0.5m；

B——屏蔽透射因子；

d_s——病人与预测点的距离，m。

11.2.2.2 各关注点辐射剂量率估算

各关注点泄漏辐射剂量率计算参数及结果如下表 11-2、11-3。

表 11-2 泄漏辐射各关注点屏蔽透射因子计算结果

序号	关注点	X (mmPb)	α	β	γ	B
1	K	铅衣外 0.5	2.219	7.923	0.5386	5.57×10^{-2}
		铅衣内 1	2.219	7.923	0.5386	1.07×10^{-2}
2	A	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10^{-5}
3	B	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10^{-5}
4	C	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10^{-5}
5	D	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10^{-5}
6	E	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10^{-5}
7	F	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10^{-5}
8	G	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10^{-5}
9	H	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10^{-5}
10	I	6.2	2.219	7.923	0.5386	6.31×10^{-8}
11	J	6.2	2.219	7.923	0.5386	6.31×10^{-8}

表 11-3 各关注点的泄漏辐射剂量率计算参数及结果

序号	模式	关注点	H_0 ($\mu\text{Gy/h}$)	B	f	R (m)	H ($\mu\text{Gy/h}$)
1	透视	K	5.1×10^5	5.57×10^{-2}	0.001	0.5	113.60 (铅衣外)
				1.07×10^{-2}		0.5	21.78 (铅衣内)
2		A		7.97×10^{-5}		4.45	2.05×10^{-3}
3		B		7.97×10^{-5}		4.1	2.42×10^{-3}
4		C		7.97×10^{-5}		4.2	2.30×10^{-3}
5		D		7.97×10^{-5}		3.9	2.67×10^{-3}
6		E		7.97×10^{-5}		4.3	2.20×10^{-3}
7		F		7.97×10^{-5}		4.8	1.76×10^{-3}
8		G		7.97×10^{-5}		5.05	1.59×10^{-3}
9		H		7.97×10^{-5}		3.7	2.97×10^{-3}

10		I		6.31×10^{-8}		4.9	1.34×10^{-6}
11		J		6.31×10^{-8}		4.2	1.82×10^{-6}
12	摄影	A	3.0×10^7	7.97×10^{-5}	0.001	4.45	1.21×10^{-1}
13		B		7.97×10^{-5}		4.1	1.42×10^{-1}
14		C		7.97×10^{-5}		4.2	1.35×10^{-1}
15		D		7.97×10^{-5}		3.9	1.57×10^{-1}
16		E		7.97×10^{-5}		4.3	1.29×10^{-1}
17		F		7.97×10^{-5}		4.8	1.04×10^{-1}
18		G		7.97×10^{-5}		5.05	9.37×10^{-2}
19		H		7.97×10^{-5}		3.7	1.75×10^{-1}
20		I		6.31×10^{-8}		4.9	7.88×10^{-5}
21		J		6.31×10^{-8}		4.2	1.07×10^{-4}

各关注点散射辐射剂量率计算参数及结果如下表 11-4、11-5。

表 11-4 散射辐射各关注点屏蔽透射因子计算结果

序号	关注点	X (mmPb)	α	β	γ	B
1	K	铅衣外 0.5	2.233	7.888	0.7295	7.37×10^{-2}
		铅衣内 1	2.233	7.888	0.7295	1.70×10^{-2}
2	A	3	2.233	7.888	0.7295	1.56×10^{-4}
3	B	3	2.233	7.888	0.7295	1.56×10^{-4}
4	C	3	2.233	7.888	0.7295	1.56×10^{-4}
5	D	3	2.233	7.888	0.7295	1.56×10^{-4}
6	E	3	2.233	7.888	0.7295	1.56×10^{-4}
7	F	3	2.233	7.888	0.7295	1.56×10^{-4}
8	G	3	2.233	7.888	0.7295	1.56×10^{-4}
9	H	3	2.233	7.888	0.7295	1.56×10^{-4}
10	I	6.2	2.233	7.888	0.7295	1.22×10^{-7}
11	J	6.2	2.233	7.888	0.7295	1.22×10^{-7}

表 11-5 各关注点的散射辐射剂量率计算参数及结果

序号	模式	关注点	H ₀ (μGy/h)	B	α	S (cm ²)	d ₀ (m)	d _s (m)	H _s (μGy/h)	
1	透视	K	5.1×10 ⁵	7.37×10 ⁻²	0.0015	400	0.5	0.5	36.08（铅衣外）	
				1.70×10 ⁻²				0.5	8.30（铅衣内）	
2		A		1.56×10 ⁻⁴					4.45	9.67×10 ⁻⁴
3		B		1.56×10 ⁻⁴				4.1	1.14×10 ⁻³	
4		C		1.56×10 ⁻⁴				4.2	1.09×10 ⁻³	
5		D		1.56×10 ⁻⁴				3.9	1.26×10 ⁻³	
6		E		1.56×10 ⁻⁴				4.3	1.04×10 ⁻³	
7		F		1.56×10 ⁻⁴				4.8	8.31×10 ⁻⁴	
8		G		1.56×10 ⁻⁴				5.05	7.51×10 ⁻⁴	
9		H		1.56×10 ⁻⁴				3.7	1.40×10 ⁻³	
10		I		1.22×10 ⁻⁷	0.0018			4.9	7.49×10 ⁻⁷	
11	J	1.22×10 ⁻⁷		4.2		1.02×10 ⁻⁶				
12	摄影	A	3.0×10 ⁷	1.56×10 ⁻⁴	0.0015	400	0.5	4.45	5.69×10 ⁻²	
13		B		1.56×10 ⁻⁴				4.1	6.70×10 ⁻²	
14		C		1.56×10 ⁻⁴				4.2	6.39×10 ⁻²	
15		D		1.56×10 ⁻⁴				3.9	7.41×10 ⁻²	
16		E		1.56×10 ⁻⁴				4.3	6.09×10 ⁻²	
17		F		1.56×10 ⁻⁴				4.8	4.89×10 ⁻²	
18		G		1.56×10 ⁻⁴				5.05	4.42×10 ⁻²	
19		H		1.56×10 ⁻⁴				3.7	8.23×10 ⁻²	
20		I		1.22×10 ⁻⁷	0.0018			4.9	4.40×10 ⁻⁵	
21		J		1.22×10 ⁻⁷				4.2	5.99×10 ⁻⁵	

综上，各关注点总的附加剂量率见下表 11-6。

表 11-6 各关注点的总附加辐射剂量率计算结果

序号	模式	关注点	泄漏辐射剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)	散射辐射剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)	总附加剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)
1	透视	K	113.60 (铅衣外)	36.08 (铅衣外)	149.68 (铅衣外)
			21.78 (铅衣内)	8.30 (铅衣内)	30.08 (铅衣内)
2		A	2.05×10^{-3}	9.67×10^{-4}	3.02×10^{-3}
3		B	2.42×10^{-3}	1.14×10^{-3}	3.56×10^{-3}
4		C	2.30×10^{-3}	1.09×10^{-3}	3.39×10^{-3}
5		D	2.67×10^{-3}	1.26×10^{-3}	3.93×10^{-3}
6		E	2.20×10^{-3}	1.04×10^{-3}	3.24×10^{-3}
7		F	1.76×10^{-3}	8.31×10^{-4}	2.59×10^{-3}
8		G	1.59×10^{-3}	7.51×10^{-4}	2.34×10^{-3}
9		H	2.97×10^{-3}	1.40×10^{-3}	4.37×10^{-3}
10		I	1.34×10^{-6}	7.49×10^{-7}	2.09×10^{-6}
11		J	1.82×10^{-6}	1.02×10^{-6}	2.84×10^{-6}
12	摄影	A	1.21×10^{-1}	5.69×10^{-2}	1.78×10^{-1}
13		B	1.42×10^{-1}	6.70×10^{-2}	2.09×10^{-1}
14		C	1.35×10^{-1}	6.39×10^{-2}	1.99×10^{-1}
15		D	1.57×10^{-1}	7.41×10^{-2}	2.31×10^{-1}
16		E	1.29×10^{-1}	6.09×10^{-2}	1.90×10^{-1}
17		F	1.04×10^{-1}	4.89×10^{-2}	1.53×10^{-1}
18		G	9.37×10^{-2}	4.42×10^{-2}	1.38×10^{-1}
19		H	1.75×10^{-1}	8.23×10^{-2}	2.57×10^{-1}
20		I	7.88×10^{-5}	4.40×10^{-5}	1.23×10^{-4}
21		J	1.07×10^{-4}	5.99×10^{-5}	1.66×10^{-4}

由表 11-6 计算结果可知，DSA 透视防护区检测平面上周围剂量当量率最大值满足《医用 X 射线诊断设备质量控制检测规范》（WS 76-2020）中“透视防护区检测平面上周围剂量当量率：非直接荧光屏透视设备 $\leq 400\mu\text{Sv/h}$ ”的要求，

各 DSA 机房屏蔽体外关注点位辐射剂量率能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中“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 2.5μSv/h”的要求。

11.2.2.3 所致人员剂量估算

按照联合国原子辐射效应联合委员会（UNSCEAR）2000 年报告附录 A，项目致人员辐射剂量可按照下式 11-4 计算。

$$H = \dot{H} \times t \times T \times 10^{-3} \dots\dots\dots (11-4)$$

式中：

H——辐射外照射人均年有效剂量当量，mSv；

$\dot{H}$ ——预测关注点剂量率，μSv/h；

t——年工作时间，h；

T——居留因子；

根据工作负荷和以上辐射剂量率的计算结果，推算得到工作人员和公众人员的年附加有效剂量结果详见表 11-7。

表 11-7 DSA 所致工作人员及公众人员的附加年剂量

序号	关注点	透视		摄影		居留因子	年有效剂量 (mSv)	备注
		附加剂量率 (μGy/h)	年出线时间 (h)	附加剂量率 (μGy/h)	年出线时间 (h)			
1	K	30.08	500	/	125	1	15.04	手术人员
2	A	3.02×10 ⁻³		1.78×10 ⁻¹		1/4	5.94×10 ⁻³	工作人员
3	B	3.56×10 ⁻³		2.09×10 ⁻¹		1	4.39×10 ⁻²	工作人员
4	C	3.39×10 ⁻³		1.99×10 ⁻¹		1/4	6.64×10 ⁻³	工作人员
5	D	3.93×10 ⁻³		2.31×10 ⁻¹		1/8	3.86×10 ⁻³	公众人员
6	E	3.24×10 ⁻³		1.90×10 ⁻¹		1/8	3.17×10 ⁻³	公众人员
7	F	2.59×10 ⁻³		1.53×10 ⁻¹		1/8	2.55×10 ⁻³	公众人员
8	G	2.34×10 ⁻³		1.38×10 ⁻¹		1/8	2.30×10 ⁻³	公众人员
9	H	4.37×10 ⁻³		2.57×10 ⁻¹		1/8	4.29×10 ⁻³	公众人员
10	I	2.09×10 ⁻⁶		1.23×10 ⁻⁴		1/8	2.05×10 ⁻⁶	公众人员
11	J	2.84×10 ⁻⁶		1.66×10 ⁻⁵		1/8	4.37×10 ⁻⁷	公众人员

根据表 11-7 计算结果可知，本项目在正常运行后，单台 DSA 对穿铅衣（0.5mmPb）的手术人员所致最大年附加有效剂量为 15.04mSv，建设单位拟为每个 DSA 机房配备至少 4 组手术人员（每组 2 名），以达到剂量分担目的，分担后单名手术位医生的最大年有效剂量为 3.76mSv，低于年剂量约束限值（职业人员年有效剂量不超过 5mSv）；对公众人员的最大年附加有效剂量为 4.29×10^{-3} mSv，低于年剂量约束限值（公众人员年有效剂量不超过 0.25mSv）；且均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求。

11.3 后装机运行期环境影响分析

11.3.1 后装机机房屏蔽厚度的核算与评价

本次评价对后装机机房屏蔽效果的评价，引用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范—第 3 部分： γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）中相应的计算模式及相关参数。

结合建设单位提供的图纸，选取后装机房周围的关注点示意图见图 11-3、11-4。

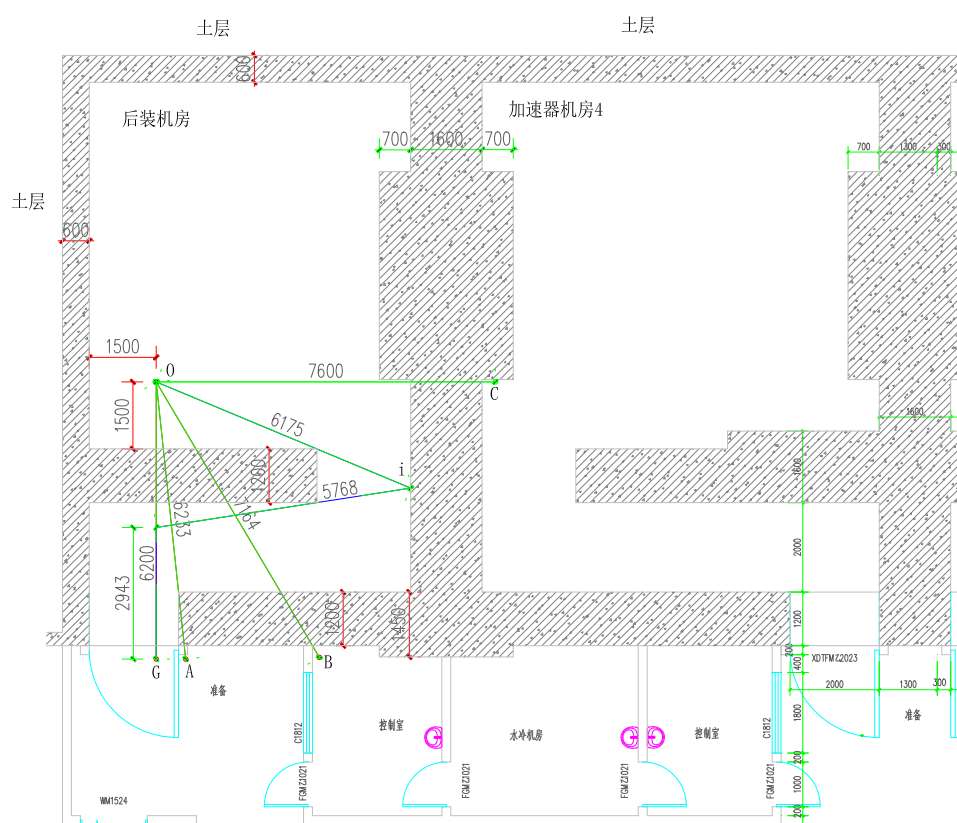


图 11-3 后装机机房关注点示意图

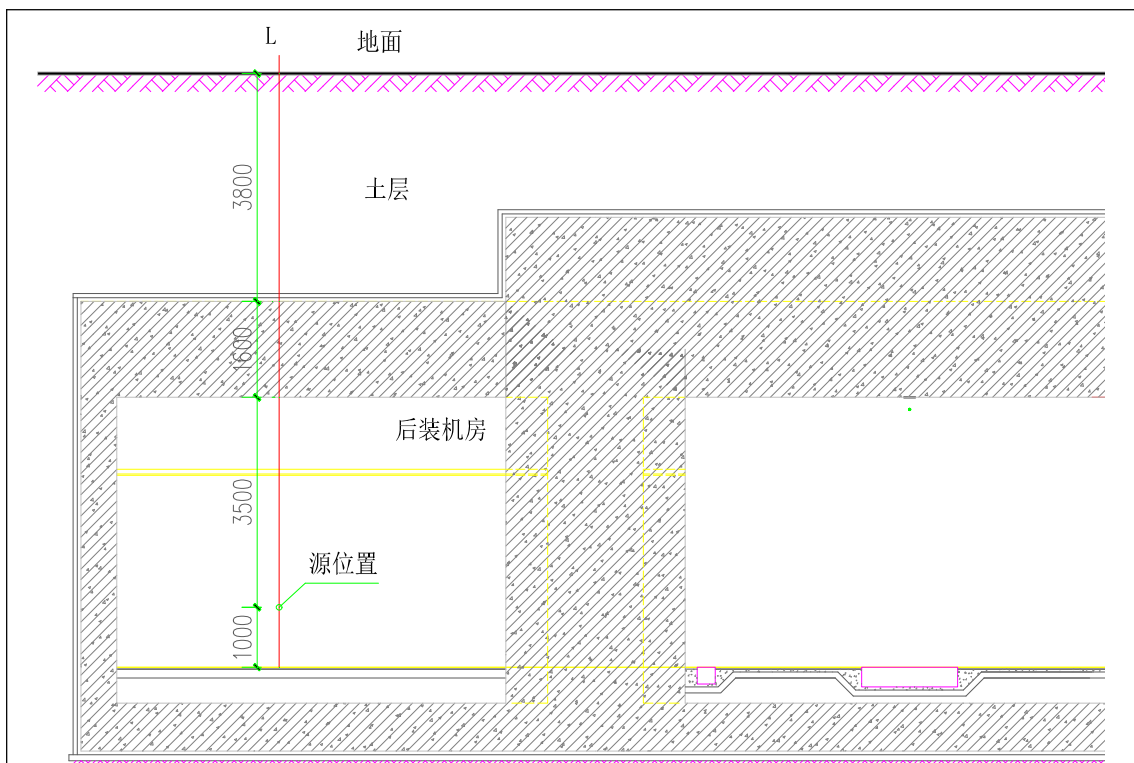


图 11-4 后装机机房房顶关注点示意图

(1) 后装机机房周围各关注点剂量率参考控制水平

关注点的剂量率参考控制水平参考《放射治疗机房的辐射屏蔽规范—第 3 部分： γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）附录 A 中计算公式计算，具体如下式 11-5：

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (t \cdot U \cdot T) \dots\dots\dots (11-5)$$

式中：

H_c —周参考剂量控制水平，机房外辐射工作人员取 $100\mu\text{Sv}/\text{周}$ ，机房外非辐射工作人员取 $5\mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

t —治疗装置周治疗照射时间， h ；

U —关注位置方向照射的使用因子；

T —人员在相应关注点驻留的居留因子。

由放射治疗周工作负荷及各关注点使用因子及居留因子确定各关注点周围导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ 与最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,\text{max}}$ 。取二者之中取较小者作为本项目关注点的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ，结果见表 11-8。

表 11-8 各关注点周围剂量当量率参考控制水平

关注点	A	B	C	G	L
位置	准备间内	控制室内	直线加速器机房内	后装机房门口	绿化带及道路
所受辐射类型	初级辐射	初级辐射	初级辐射	初级辐射	初级辐射
居留因子 T	1/8	1	1/2	1/8	1/20
涉及人员	公众	职业	职业	公众	公众
周治疗时间 t (h)	5				
使用因子 U	1	1	1	1	1
周参考剂量控制水平 $\dot{H}_c$ ($\mu\text{Sv}/\text{周}$)	5	100	100	5	5
导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	8	20	40	8	20
最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,\max}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	10	2.5	10	10	10
剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	8	2.5	10	8	10

(2) 屏蔽厚度估算

①屏蔽墙体厚度理论核算

后装机房各屏蔽墙体均应作为主屏蔽墙进行评价。关注点达到剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ 时, 设计的屏蔽所需要的屏蔽透射因子 B 按照式 11-6 计算, 再按照式 11-7 估算所需要的有效屏蔽厚度 X_e (cm), 最后按照式 11-8 获得所需屏蔽墙体的厚度 X (cm)。

$$B = \frac{\dot{H}_c}{\dot{H}_0} \times \frac{R^2}{f} \dots\dots\dots(11-6)$$

$$X_e = TVL \bullet \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \dots\dots\dots(11-7)$$

$$X = X_e \bullet \cos \theta \dots\dots\dots(11-8)$$

式中:

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

R—辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

f—对初级辐射为 1；

θ —斜射角，入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角，取 0°

$$\dot{H}_0 = A \cdot K_\gamma = 370000 \times 0.111 = 41070 \text{ (}\mu\text{Sv/h)}$$

后装机机房屏蔽厚度核算见下表 11-9。

表 11-9 后装机机房屏蔽厚度核算一览表

关注点	斜射角	R (m)	$\dot{H}_c$ ($\mu\text{Sv/h}$)	TVL ₁ (mm)	TVL (mm)	屏蔽透 射因子 B	理论计 算厚度 X (cm)	设计厚 度 X (cm)	是否 满足 屏蔽 要求
A	0°	6.23	8	152	152	7.56×10^{-3}	32.25	240	满足
B	0°	7.16	2.5	152	152	3.12×10^{-3}	38.09	240	满足
C	0°	7.60	10	152	152	1.41×10^{-2}	28.15	160	满足
G	0°	6.20	8	152	152	7.49×10^{-3}	32.31	120	满足
L	0°	9.20	10	152	152	2.06×10^{-2}	25.63	337.9	满足

注：保守情况下，各关注点斜射角均按 0° 进行估算，R 取值为放射源在距离关注点最近距离，放射源距离地面高度 1m；后装机房顶上方 3.8m 厚回填土折合混凝土厚度为 177.9cm

②机房入口屏蔽厚度理论核算

治疗源在 O 点 4π 发射的 γ 射线（即初级辐射）通过迷路散射至机房入口 g 产生的散射辐射剂量率 $\dot{H}$ ，按下式 11-9 进行计算。

$$\dot{H} = \frac{A \cdot K_r \cdot S_w \cdot \alpha_w}{R_1^2 \cdot R_2^2} \dots\dots\dots (11-9)$$

式中相关计算参数如下：

S_w ：迷路内口墙散射面积，其为辐射源和机房入口共同可视见得墙区面积，单位为 m^2 ，此处为 9；

A—放射源的活度，单位为兆贝克（MBq），此处为 370000；

K_r —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，此时， K_r 的单位记为 $\mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$ ，此处为 0.111；

α_w —散射体的散射因子，此处为 3.39×10^{-2} ；

R₁—辐射源至散射体中心点的距离，单位为m，此处为6.18；

R₂—辐射体中心点至计算点的距离，单位为m，此处为8.71；

经计算可得， $\dot{H}$ 为 4.32μSv/h，g 点剂量率参考控制水平为 8μSv/h，屏蔽前的剂量率已经低于剂量率参考控制水平，入口仅需设置带有连锁的安全门，以防止在放射源出源状态下人员误入机房，建设项目后装机机房防护门设计铅当量为 8mmPb，满足要求。

综合上述计算结果可知，建设项目后装机机房各墙体、顶棚设计厚度均满足防护要求，机房防护门的铅当量厚度满足防护要求。

11.3.2 各关注点辐射剂量率预测分析

(1) 初级辐射屏蔽剂量估算

对于给定的屏蔽物质厚度X时，按照下式11-10计算相应辐射在屏蔽体外关注点辐射剂量率 $\dot{H}$ （μSv/h）。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad \text{.....(11-10)}$$

式中：

$\dot{H}_0$ —活度为 A 的放射源在距其 1m 处的剂量率，μSv/h；

f—对初级辐射为 1；

R—辐射源至关注点的距离，单位为米（m）；

B—屏蔽透射因子；

$$B = 10^{-(Xe+TVL-TV L_1)/TVL} \quad \text{.....(11-11)}$$

式中：

Xe—有效屏蔽厚度，mm；

TVL—辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚度，mm；

TVL₁—辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度，mm；

此处TVL及TVL₁均为152

$$\dot{H}_0 = A \cdot Kr \quad \text{.....(11-12)}$$

式中：

A—放射源的活度，单位为兆贝克（MBq）；

Kr—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，此时，Kr的单位记为μSv/（h.MBq）；

$$X_e = X \bullet \sec \theta \dots\dots\dots (11-13)$$

式中：θ—斜射角，即入射线与物质平面的法线的夹角；

初级辐射屏蔽辐射剂量率估算结果详见下表11-10。

表 11-10 初级辐射屏蔽辐射剂量率估算一览表

关注点	A MBq	Kr μSv/(h.MBq)	Xe cm	TVL mm	B	R m	f	$\dot{H}$ μSv/h
A	3.7×10 ⁵	0.111	240	152	1.62×10 ⁻¹⁶	6.23	1	1.72×10 ⁻¹³
B	3.7×10 ⁵	0.111	240	152	1.62×10 ⁻¹⁶	7.16		1.30×10 ⁻¹³
C	3.7×10 ⁵	0.111	160	152	2.98×10 ⁻¹¹	7.60		2.12×10 ⁻⁸
G	3.7×10 ⁵	0.111	120	152	1.27×10 ⁻⁸	6.20		1.35×10 ⁻⁵
L	3.7×10 ⁵	0.111	337.9	152	5.89×10 ⁻²³	9.20		2.86×10 ⁻²⁰

（2）机房入口 g 点散射辐射剂量率估算

根据上文计算结果可知，后装机房入口处散射辐射剂量率为 4.32μSv/h，后装机机房防护门为 8mmPb（B=0.025），计算可得防护门外散射辐射剂量率 $\dot{H}$ 为 0.20μSv/h。

后装机机房屏蔽体外各关注点辐射剂量率见表 11-11。

表 11-11 后装机机房屏蔽体外各关注点辐射剂量率汇总表

关注点	A	B	C	G	L
位置	准备间内	控制室内	直线加速器 机房内	后装机房门 口	绿化带及道 路
辐射剂量率 (μSv/h)	1.72×10 ⁻¹³	1.30×10 ⁻¹³	2.12×10 ⁻⁸	0.20	2.86×10 ⁻²⁰

综上可知，建设项目后装机机房屏蔽体的实际屏蔽厚度能够满足理论计算所需厚度要求，各屏蔽体外辐射剂量率能够满足相关标准中规定的限值要求。

11.3.3 所致人员剂量估算

按照联合国原子辐射效应联合委员会（UNSCEAR）2000 年报告附录 A，项目致人员辐射剂量可按照式 11-4 计算。

根据工作负荷和以上辐射剂量率的计算结果，估算得到工作人员和公众人员的年附加有效剂量结果详见表 11-12。

表 11-12 后装机房外关注点散射辐射所致人员剂量

关注人群	关注点	位置	关注点辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	居留因子 /T	年工作时间/t (h)	年有效剂量 (mSv)
公众	A	准备间内	1.72×10^{-13}	1/8	250	5.38×10^{-15}
工作人员	B	控制室内	1.30×10^{-13}	1		2.83×10^{-14}
工作人员	C	直线加速器机房内	2.12×10^{-8}	1/2		2.65×10^{-9}
公众	G	后装机房门口	0.20	1/8		6.25×10^{-3}
公众	L	绿化带及道路	2.86×10^{-20}	1/20		3.58×10^{-22}

根据表 11-12 计算结果可知，本项目后装机在正常运行中，对工作人员所致最大年附加有效剂量为 $2.65 \times 10^{-9} \text{mSv}$ ，低于年剂量约束限值（职业人员年有效剂量不超过 5mSv ）；对公众人员的最大年附加有效剂量为 $6.25 \times 10^{-3} \text{mSv}$ ，低于年剂量约束限值（公众人员年有效剂量不超过 0.1mSv ）；均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求。

11.4 直线加速器运行期环境影响分析

11.4.1 直线加速器机房屏蔽厚度的核算与评价

本次评价中对直线加速器机房设计屏蔽效果的评价，参考《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）中相应的计算模式及相关参数。因 3 间直线加速器机房屏蔽防护设计一致，根据布局情况，选取直线加速器机房 4 进行评价。在直线加速器机房周围工作人员居留房间、公众人员可能居留位置设置关注点，同时根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中附录 A 不同场所的居留因子的取值，确定项目各关注点的居留因子表 11-13。直线加速器机房周围的关注点示意图见图 11-5、11-6。

表 11-13 直线加速器机房周围关注点一览表

关注点	a	b	c	d	f	g	k	L	m ₁ 、m ₂
位置	直线加速器机房 3	后装机房	直线加速器机房 3	后装机机房	控制室	机房门口	水冷机房	绿化带及道路	绿化带及道路
居留因子 T	1/2	1/2	1/2	1/2	1	1/8	1/8	1/20	1/20

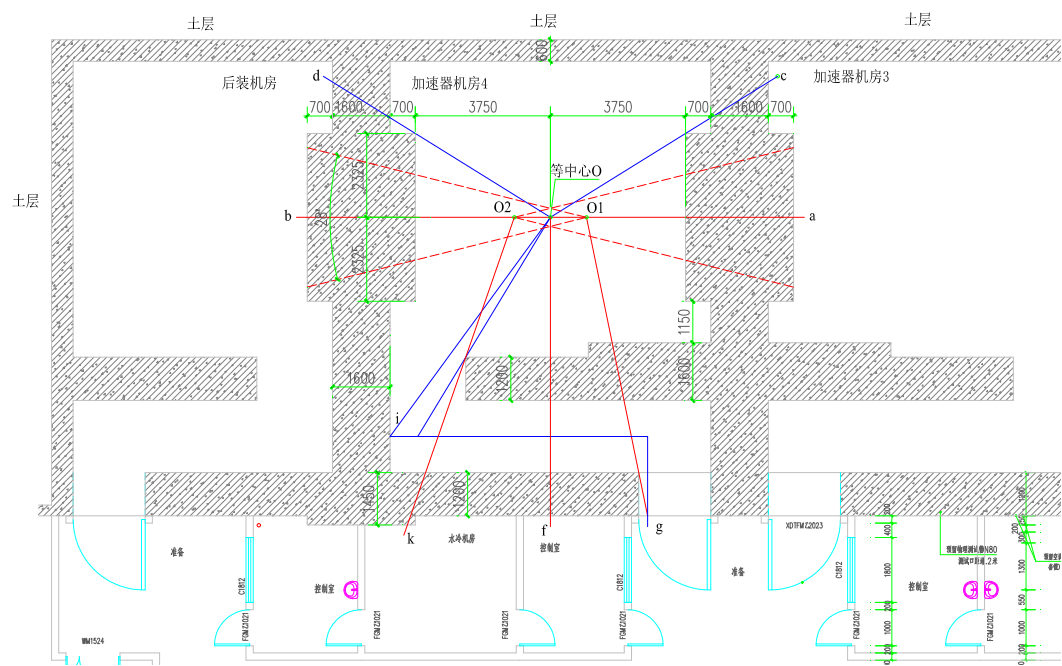


图 11-5 直线加速器机房关注点示意图

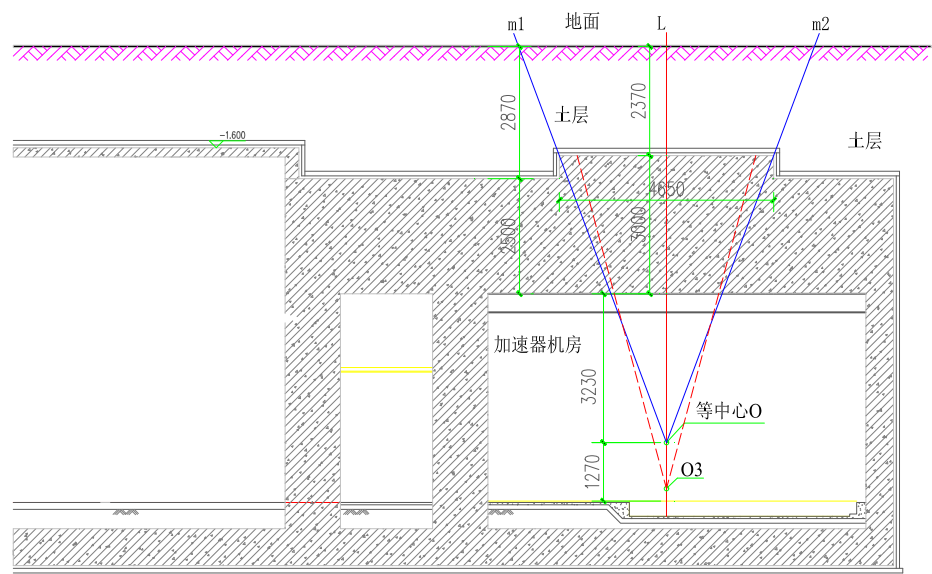


图 11-6 直线加速器机房房顶关注点示意图

(1) 直线加速器机房周围各关注点剂量率参考控制水平

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范—第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）中 4.2 中要求，治疗机房墙和入口门外关注点的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ 由放射治疗周工作负荷、导出剂量率参考控制水平及关注点位置的使用因子和居留因子确定。

单一有用线束在关注点的导出剂量率参考控制水平可按下式 11-14 计算。

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

式中：

H_c —周参考剂量控制水平，机房外辐射工作人员取 100 μ Sv/周，机房外非辐射工作人员取 5 μ Sv/周；

t —治疗装置周治疗照射时间，h；

U —有用线束向关注位置的方向照射使用因子；

T —人员在相应关注点驻留的居留因子。

单一泄漏辐射在关注点的导出剂量率参考控制水平可按下式 11-15 计算。

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (N \cdot t \cdot T) \dots\dots\dots (11-15)$$

式中：

N —调强治疗时用于泄漏辐射的调强因子，已按设备出束时间考虑工作负荷，取 $N=1$ ；

其他同式 11-14。

复合辐射：与主屏蔽区相连的次屏蔽区，剂量率参考控制水平按照《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》中附录 A.2.2 中方式进行计算：

①以 $\dot{H}_{c,max}$ 的一半，作为关注点的导出剂量率参考控制水平，用于估算屏蔽患者散射辐射所需要的屏蔽厚度；

②将式 4-2 中的 H_c 以 $0.5H_c$ 代替，作为关注点的导出剂量率参考控制水平，用于估算屏蔽泄漏辐射所需要的屏蔽厚度。

计算过程中用到的参数及取值：

①放射治疗周工作负荷（ t ）

根据建设单位提供的资料，本项目直线加速器机房建设运行后，每天出束时间约 3h，每周工作 5 天，周治疗照射时间约 15h，每年工作 50 周。

②使用因子（U）

旋转式加速器有用辐射朝向的墙和室顶 $U=1/4$ 。

③居留因子（T），见表 11-13。

由放射治疗周工作负荷及各关注点使用因子及居留因子确定各关注点周围导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ 与最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ ，同时考虑建设单位制定的剂量率控制水平。取三者之中取较小者作为本项目关注点的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ，结果见表 11-14。

表 11-14 关注点剂量率参考控制水平

关注点	a	b	c	d	f	g	k	L	m ₁ 、m ₂
位置	直线加速器机房 3	后装机房	直线加速器机房 3	后装机房	控制室	机房门口	水冷机房	绿化带及道路	绿化带及道路
所受辐射类型	有用线束		漏射、散射		漏射	漏射、散射	漏射	有用线束	漏射、散射
居留因子 T	1/2	1/2	1/2	1/2	1	1/8	1/8	1/20	1/20
涉及人员	职业	职业	职业	职业	职业	公众	公众	公众	公众
周治疗时间 t（h）	15								
使用因子 U	1/4	1/4	/	/	/	/	/	/	/
调强因子 N	/	/	1	1	1	1	1	1	1
周参考剂量控制水平 H_c （ $\mu\text{Sv}/\text{周}$ ）	100	100	100	100	100	5	5	5	5
导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ （ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）	53.33	53.33	漏射 6.67 散射 5	漏射 6.67 散射 5	6.67	5.33	6.67	6.67	漏射 3.33 散射 5
最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ （ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）	10	10	10	10	2.5	10	10	10	10
剂量率参考控制水	10	10	漏射 5 散射 5	漏射 5 散射 5	2.5	漏射 1 散射 4.33	6.67	6.67	漏射 3.33 散射 5

平 $\dot{H}_c$ ($\mu\text{Sv/h}$)									
------------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

(2) 各屏蔽墙体厚度核算

辐射源点至关注点的距离,按照《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“4.4 辐射源点至关注点的距离,按如下进行估算:

a) 直接与治疗机房相连的区域内,关注点为距治疗机房(包括治疗机房顶)外表面 30cm 的相应位置;

b) 对于患者散射辐射,以等中心位置为散射辐射源点;

c) 对主屏蔽区的关注点,辐射源点到关注点的距离为等中心位置至关注点的距离与源轴距(SAD=1m)之和”。

①主屏蔽墙

加速器治疗机房中,有用线束直接照射的主屏蔽墙的屏蔽厚度可采用《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)中的相关公式进行估算。

屏蔽所需要的屏蔽透射因子 B 按照式 11-16 计算,再按照式 11-17 估算所需要有效屏蔽厚度 X_e (cm),最后按照式 11-18 获得所需屏蔽墙体的厚度 X。

$$B = \frac{\dot{H}_c}{\dot{H}_0} \times \frac{R^2}{f} \dots\dots\dots(11-16)$$

$$X_e = TVL \bullet \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \dots\dots\dots(11-17)$$

$$X = X_e \bullet \cos \theta \dots\dots\dots(11-18)$$

式中:

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

$\dot{H}_0$ —加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率, $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$,
本项目为 $1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$;

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 0.001;

θ —斜射角,入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角,取 0°

直线加速器机房主屏蔽墙厚度核算结果见表 11-15。

表 11-15 主屏蔽墙厚度核算一览表

关注点	斜射角	辐射类型及路径	R (m)	$\dot{H}_c$ ($\mu\text{Sv/h}$)	TVL ₁ (cm)	TVL (cm)	理论计算厚度 X (cm)	设计厚度 X (cm)	是否满足屏蔽要求
a	0°	有用线束 O ₂ -a	8.05	10	41	37	238.8	300	满足
b	0°	有用线束 O ₁ -b	8.05	10	41	37	238.8	300	满足
L	0°	有用线束 O ₃ -L	9.9	6.67	41	37	238.7	411	满足

注：直线加速器室顶主屏蔽区有 237cm 回填土，折合 111cm 混凝土。

②迷道内墙

迷道内墙计算方法同主屏蔽墙，f 取 0.001，计算结果见表 11-16。

表 11-16 迷道内墙厚度核算一览表

关注点	斜射角	辐射类型及路径	R (m)	$\dot{H}_c$ ($\mu\text{Sv/h}$)	TVL ₁ (cm)	TVL (cm)	理论计算厚度 X (cm)	设计厚度 X (cm)	是否满足屏蔽要求
g	0°	泄漏辐射 O ₁ -g	8.75	1	35	31	136.5	160	满足

③迷道外墙

迷道外墙计算方法同侧屏蔽墙，结算结果见表 11-17。

表 11-17 迷道外墙厚度核算一览表

关注点	斜射角	辐射类型及路径	R (m)	$\dot{H}_c$ ($\mu\text{Sv/h}$)	TVL ₁ (cm)	TVL (cm)	理论计算厚度 X (cm)	设计厚度 X (cm)	是否满足屏蔽要求
k	0°	泄漏辐射 O ₂ -k	9.33	6.67	35	31	109.2	145	满足
f	0°	泄漏辐射 O-f	8.58	2.5	35	31	124.7	240	满足

④次屏蔽墙

次屏蔽墙同时受到直线加速器机头泄漏辐射和患者散射照射，屏蔽计算时同时考虑这两类射线。

泄漏辐射按式 11-16、11-17、11-18 及表 11-14 中剂量率参考控制水平进行估算；患者散射的屏蔽透射因子 B 按照式 11-19 计算，然后按式 11-17 估算有效屏蔽厚度 X_c，再按式 11-18 转换为屏蔽厚度 X。选取两者厚度较大者作为估算结

果。

$$B = \frac{\dot{H}_c \times R_s^2}{\dot{H}_0 \times \alpha_{ph} \times (F / 400)} \dots\dots\dots(11-19)$$

式中：

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

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

α_{ph} —患者 400cm^2 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m（关注点方向）处的剂量比例，又称 400cm^2 面积上的散射因子； 30° 的散射因子为 3.18×10^{-3} ；

R_s —患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 ，本项目为 1600cm^2 ；

直线加速器机房次屏蔽区厚度核算见下表 11-18。

表 11-18 直线加速器机房次屏蔽区厚度核算一览表

关注点	斜射角	辐射类型及路径	R_s m	$\dot{H}_c$ $\mu\text{Sv/h}$	TVL ₁ cm	TVL cm	理论计算厚度 X (cm)		设计厚度 X cm	是否满足屏蔽要求
							单项	综合		
c	30°	漏射 O-c	7.42	5	35	31	103.3	117.0+ 9.33	160	满足
		散射 O2-O-c	7.42	5	28		117.0			
d	30°	漏射 O-d1	7.42	5	35	31	103.3	117.0+ 9.3	160	满足
		散射 O1-O-d	7.42	5	28		117.0			
m ₁ 、 m ₂	30°	漏射 O-m1、 O-m2	9.48	3.33	35	31	102.3	111.8+ 9.3	384	满足
		散射 O3-O-m1 O3-O-m2	9.48	5	28		111.8			

注：①次屏蔽墙厚度核算时分别核算泄漏辐射和散射辐射，当它们的屏蔽厚度相差一个什值层或更大时，采用其中较厚的屏蔽；当相差不足一个什值层（此处为 31cm）时，在较

厚的屏蔽上增加一个半值层厚度（此处为 9.3cm）。

②直线加速器室顶次屏蔽区有 287cm 回填土，折合 134cm 混凝土。

⑤主屏蔽墙半宽度

主屏蔽区墙投影区宽度计算分为两种情况：主屏蔽区向机房内凸的情况按式 11-20 计算；主屏蔽区向机房外凸的情况按式 11-21 计算。

$$Y=(100+a+X_2)\text{tg}14^\circ+30\text{.....(11-20)}$$

$$Y=(100+a+X_1+X_2)\text{tg}14^\circ+30\text{.....(11-21)}$$

式中：

Y—机房有用束主屏蔽区半宽度，cm；

a—等中心点至主屏蔽墙内表面的距离，cm；

X₁—次屏蔽区厚度，cm；

X₂—主屏蔽区加厚带厚度，cm

主屏蔽区墙投影区宽度计算结果见表 11-19。

表 11-19 主屏蔽区半宽度计算参数及结果

主屏蔽墙	a(cm)	X ₁ (cm)	X ₂ (cm)	理论计算半宽度 Y(cm)	设计半宽度 (cm)	是否满足屏蔽要求
东墙（外凸）	375	160	70	205.8	232.5	满足
西墙（外凸）	375	160	70	205.8	232.5	满足
室顶（外凸）	323	250	50	210.2	232.5	满足

（3）防护门核算

防护门用于屏蔽穿过迷道内墙直接到达机房入口的直线加速器机头漏射线（射线路径 O₁-g）及直线加速器治疗患者时，有用线束照射至患者身体后发生散射，而后经机房西墙、迷道到达机房入口的散射线(射线路径 O₁-O-i-g)。

①泄漏辐射

直线加速器机头漏射线在 g 点所致剂量率 $\dot{H}_{og}$ ，先将迷道内墙厚度及斜射角代入式 11-22 算得有效厚度 X_e，再计算出该厚度对应的屏蔽透射因子 B，而后计算出 $\dot{H}_{og}$ 。

$$X_e = X \bullet \sec \theta \text{ (11-22)}$$

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \dots\dots\dots (11-23)$$

$$\dot{H}_{og} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \dots\dots\dots (11-24)$$

式中：

$\dot{H}_{og}$ —直线加速器机头漏射线在 g 点所致剂量率，μSv/h

$\dot{H}_0$ —加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率，μSv·m²/h；

f—对有用束为 1；对泄漏辐射取 0.1%；

R—辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

B—屏蔽透射因子；

X_e —有效屏蔽厚度，cm；

X—屏蔽物质厚度，cm；

θ —斜射角，入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角；

TVL₁—第一个什值层厚度（未指明 TVL₁ 时，TVL₁=TVL），cm；

TVL—平衡时的什值层厚度，cm。

计算结果见表 11-20。

表 11-20 泄漏辐射穿过迷道内墙透射至迷道入口 g 点处计算参数及结果

参数	$\dot{H}_0$ (μSv·m ² /h)	X_e (cm)	TVL ₁ (cm)	TVL (cm)	f	R (m)	$\dot{H}_{og}$ (μSv/h)
关注点 g	1.44×10 ⁹	160	35	31	0.001	8.75	0.175

②散射辐射

患者散射在 g 点所致剂量率 $\dot{H}_g$ ，依据式 11-25 计算。

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \cdot \dot{H}_0 \dots\dots\dots (11-25)$$

式中：

$\dot{H}_g$ —迷道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靶 1m 处的常用最高剂量率，μSv·m²/h，本项目为 3.6×10⁸；

α_{ph} —患者 400cm² 面积上的散射因子，通常取 45°散射角的值（见附录 B 表

B.2)，本项目 α_{ph} 为 1.35×10^{-3} ；

R_1 —“o-i”的距离，m，本项目为 7.53；

R_2 —“i-g”的距离，m，本项目为 9.45；

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， 1600cm^2 。

α_2 —砼墙入射的患者散射辐射的散射因子，通常使用其 0.5MeV 栏内的值。

本项目取混凝土墙 45° 入射、 0° 散射、 1m^2 的散射因子 $\alpha_2=22 \times 10^{-3}$ 。

A—i 处的散射面积， m^2 ，本项目为 9。

迷道散射辐射计算参数及计算结果见表 11-21。

表 11-21 迷道散射辐射剂量率计算参数及结果

参数	$\dot{H}_0$ ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	α_{ph}	α_2	A (m^2)	R1 (m)	R2 (m)	$\dot{H}_g$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
关注点 g	3.6×10^8	1.35×10^{-3}	22.0×10^{-3}	9	7.53	9.45	304.07

根据表 11-20 和表 11-21 可知，在进行防护门厚度估算时，仅需要考虑患者散射辐射。在无防护门情况下，g 点辐射剂量率为 $304.25\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，g 点散射辐射剂量率参考控制水平为 $4.33\mu\text{Sv}/\text{h}$ （g 点剂量率参考控制水平为 $5.33\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，散射辐射按 4/5 计），故屏蔽透射因子 B 为 0.014。入口处散射辐射能量约为 0.2MeV，防护门所使用材料为铅，其 TVL 为 5mm，则防护门铅厚度（X）为：

$X = TVL \cdot \log B^{-1} = 9.3\text{mm}$ ，建设项目直线加速器机房防护门设计铅厚度为 18mmPb，满足要求。

11.4.2 直线加速器机房屏蔽体外关注点剂量率估算

（1）主屏蔽墙关注点（a、b、L 点）

直线加速器机房主屏蔽墙外（关注点 a、关注点 b）、顶棚外（关注点 L）的辐射剂量率 $\dot{H}$ 利用下列公式进行计算：

$$X_e = X \cdot \sec \theta \quad \dots\dots\dots (11-26)$$

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \quad \dots\dots\dots (11-27)$$

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad \dots\dots\dots (11-28)$$

式中：

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

$\dot{H}$ —在给定屏蔽物质厚度 X 时，屏蔽体外关注点的剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)；

f—对有用束为 1；对泄漏辐射取 0.1%；

R—辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

B—屏蔽透射因子；

X_e —有效屏蔽厚度，m；

X—屏蔽物质厚度，m；

θ —斜射角，入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角，取 0° ；

TVL_1 —第一个什值层厚度（未指明 TVL_1 时， $\text{TVL}_1=\text{TVL}$ ），m；

TVL—平衡时的什值层厚度，m。

主屏蔽墙及顶部外辐射剂量率计算参数及结果见下表 11-22。

表 11-22 有用线束辐射计算参数及结果

参数	斜射角 (度)	$\dot{H}_0$ ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	X_e (cm)	TVL_1 (cm)	TVL (cm)	f	R (m)	$\dot{H}$ ($\mu\text{Sv/h}$)
关注点 a	0	1.44×10^9	300	41	37	1	8.05	0.22
关注点 b	0	1.44×10^9	300	41	37	1	8.05	0.22
关注点 L	0	1.44×10^9	410.9	41	37	1	9.9	1.47×10^{-4}

(2) 迷路外墙（f、k 点）

侧屏蔽墙 e 点与迷路外墙 f、k 点按直线加速器泄漏辐射进行估算，计算方法同主屏蔽墙，f 取 0.001。计算参数及结果见下表 11-23。

表 11-23 侧屏蔽墙泄漏辐射计算参数及结果

参数	斜射角 (度)	$\dot{H}_0$ ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	X_e (cm)	TVL_1 (cm)	TVL (cm)	f	R (m)	$\dot{H}$ ($\mu\text{Sv/h}$)
关注点 f	0	1.44×10^9	240	35	31	0.001	8.58	4.77×10^{-4}
关注点 k	0	1.44×10^9	145	35	31	0.001	9.33	0.47

(3) 次屏蔽墙（c、d、 m_1 、 m_2 点）

初级辐射束不直接到达该屏蔽墙，屏蔽计算考虑加速器的泄漏辐射和来自患者体表的散射辐射。

①散射辐射

根据式 11-26 及式 11-27 求出屏蔽透射因子 B 后利用式 11-29 对患者体表的散射辐射进行屏蔽计算：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B \dots\dots\dots (11-29)$$

式中：

$\dot{H}$ —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靶 1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

α_{ph} —患者 400cm^2 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m（关注点方向）处的剂量比例，又称 400cm^2 面积上的散射因子； 30° 的散射因子为 3.18×10^{-3} ；

R_s —患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 。

散射辐射计算参数及结果见下表 11-24。

表 11-24 散射辐射计算参数及结果

参数	斜射角 (度)	$\dot{H}_0$ $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$	X_c cm	TVL cm	α_{ph}	F cm^2	R_s m	$\dot{H}$ ($\mu\text{Sv/h}$)
关注点 c	30	1.44×10^9	184.8	28	3.18×10^{-3}	1600	7.42	8.39×10^{-2}
关注点 d	30	1.44×10^9	184.8	28	3.18×10^{-3}	1600	7.42	8.39×10^{-3}
关注点 m_1 、 m_2	30	1.44×10^9	443.4	28	3.18×10^{-3}	1600	9.48	2.97×10^{-11}

②泄漏辐射

计算方法同主屏蔽墙，f 取 0.001。计算参数及结果见下表 11-25。

表 11-25 泄漏辐射计算参数及结果

参数	斜射角 (度)	$\dot{H}_0$ $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$	X_c cm	TVL ₁ cm	TVL cm	f	R m	$\dot{H}$ $\mu\text{Sv/h}$
关注点 c	30	1.44×10^9	184.8	35	31	0.001	7.42	3.86×10^{-2}
关注点 d	30	1.44×10^9	184.8	35	31	0.001	7.42	3.86×10^{-2}

关注点 m ₁ 、m ₂	30	1.44×10 ⁹	443.4	35	31	0.001	9.48	1.07×10 ⁻¹⁰
---------------------------------------	----	----------------------	-------	----	----	-------	------	------------------------

(4) 迷道入口处 (g 点)

迷道入口处辐射剂量率计算时, 考虑下列四种辐射:

①漏射辐射, 计算结果为 0.175μSv/h;

②迷路散射辐射, 计算结果为 304.07μSv/h;

建设项目直线加速器机房防护门设计为: 18mm 铅。

加速器机房防护门外 X 射线剂量率 $\dot{H}$ 按式 11-30 计算:

$$\dot{H} = \dot{H}_g \bullet 10^{-(X/TVL)} + \dot{H}_{og} \dots\dots\dots (11-30)$$

式中:

TVL—5mm;

X—铅门铅当量厚度, mm;

防护门外 X 射线剂量率计算参数及计算结果见表 11-26。

表 11-26 防护门外辐射剂量率计算参数及计算结果

参数	$\dot{H}_g$ (μSv/h)	$\dot{H}_{og}$ (μSv/h)	X (mm)	TVL (mm)	$\dot{H}$ (μSv/h)
关注点 g	304.07	0.175	18	5	0.43

直线加速器机房屏蔽体外各关注点辐射剂量率见表 11-27。

表 11-22 直线加速器机房屏蔽体外各关注点辐射剂量率汇总表

关注点	a	b	c	d	f	g	k	L	m ₁ 、m ₂
位置	直线 加速器机 房 3	后装 机房	直线加 速器机 房 3	后装机 房机 房	控制 室	机房 门口	水冷 机房	绿化 带及 道路	绿化带 及道路
辐射剂量 率 (μSv/h)	0.22	0.22	0.12	0.12	4.77 ×10 ⁻⁴	0.43	0.47	1.47 ×10 ⁻⁴	1.37 ×10 ⁻¹⁰

综上可知, 建设项目直线加速器机房屏蔽体的实际屏蔽厚度能够满足理论计算所需厚度要求, 各屏蔽体外辐射剂量率能够满足相关标准要求。

11.4.3 所致人员剂量估算

按照联合国原子辐射效应联合委员会（UNSCEAR）2000 年报告附录 A，项目致人员辐射剂量可按照式 11-4 计算。

根据工作负荷和以上辐射剂量率的计算结果，估算得到工作人员和公众人员的年附加有效剂量结果详见表 11-23。

表 11-23 直线加速器机房外关注点散射辐射所致人员剂量

关注人群	关注点	位置	关注点辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	居留因子 /T	年工作时间/t (h)	年有效剂量 (mSv)
职业	a	直线加速器机房 3	0.22	1/2	750	8.25×10^{-2}
职业	b	后装机房	0.22	1/2		8.25×10^{-2}
职业	c	直线加速器机房 3	0.12	1/2		4.5×10^{-2}
职业	d	后装机房	0.12	1/2		4.5×10^{-2}
职业	f	控制室	4.77×10^{-4}	1		3.58×10^{-4}
公众	g	机房门口	0.43	1/8		4.03×10^{-2}
公众	k	水冷机房	0.47	1/8		4.41×10^{-2}
公众	L	绿化带及道路	1.47×10^{-4}	1/20		5.51×10^{-6}
公众	m ₁ 、m ₂	绿化带及道路	1.37×10^{-10}	1/20		5.14×10^{-12}

根据表 11-23 计算结果可知，本项目直线加速器在正常运行中，对工作人员所致最大年附加有效剂量为 $8.25 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，低于年剂量约束限值（职业人员年有效剂量不超过 5mSv ）；对公众人员的最大年附加有效剂量为 $4.41 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，低于年剂量约束限值（公众人员年有效剂量不超过 0.1mSv ）；且均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求。

11.5 直线加速器机房通风系统

11.5.1 通风系统设计

本项目直线加速器机房设置独立的进风、排风管道及风机。进风管道及排风管道均由铅门上方预留孔洞穿过。每个机房设置有 1 个进风口与 1 个排风口，采用“上进风、下排风”的方式。进风口位于机房顶棚南侧，距机房地面约 3.0m 。排风口位于机房北侧下方，距机房地面 30cm 高处。

直线加速器机房拟配置排风机风量为 2000m³/h，机房净空体积为 310.8m³，换气次数约为 6.4 次/小时，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中不低于 4 次/小时的要求。

另外，本项目机房门上方预留通风管道穿墙孔洞需进行屏蔽补偿，该孔洞位于机房门上方，所需屏蔽厚度同铅门，故对该孔洞进行屏蔽补偿时，防护能力应不低于 9.3mmPb。

11.5.2 臭氧对环境的影响

直线加速器在开机运行时，高能电子线与空气相互作用会产生少量的有害气体，主要是臭氧和氮氧化物。其中臭氧的毒性最大，产额最高，氮氧化物的产额约为臭氧的 1/3，且危害较臭氧小，因此，本次评价仅对臭氧进行预测评价。

加速器 X 射线和电子线是扩展辐射束，依 IAEA188《电子直线加速器工作的辐射安全问题》和《辐射所致臭氧的估算与分析》（中华放射医学与防护杂志 Vol14，2，P101，1994），加速器辐射所致 O₃ 产额估算方法如下：

（1）有用束所致 O₃ 产额

$$P = 2.43 \dot{D}_0 (1 - \cos \theta) R G \dots\dots\dots (11-31)$$

式中：

P—臭氧产率，mg/h；

$\dot{D}_0$ —有用束在距离源点 1m 处的剂量率，Gy·m² /min，本项目取值为 24；

θ—有用线束半张角，本项目为 14°；

R—靶到屏蔽物的距离（m），本项目取等中心点距墙体最近距离 3.23m；

G—为空气每吸收 100eV 辐射能量所产生的臭氧分子数，此处取 6；

（2）泄漏辐射所致 O₃ 产额

将泄漏辐射看成 4π 方向均匀分布的点源（包括有用线束限定的空间区）。并考虑机房墙壁的散射线使治疗室内的 O₃ 产额增加 10%，O₃ 产额为：

$$P = 3.32 \times 10^{-3} \dot{D}_0 G V^{1/3} \dots\dots\dots (11-32)$$

式中：

V—加速器治疗室内空间体积，310.8m³；

其他同式 11-31。

计算得出有用束及泄漏辐射 O₃ 产额共 36.8mg/h。

如照射时间足够长，浓度均匀，则室内附加的臭氧平衡浓度由下式估算：

$$C = P \times T / V \dots\dots\dots (11-33)$$

式中：C 为加速器治疗室内臭氧浓度，mg/m³；

T 为臭氧有效清除时间，h；

V 为加速器治疗室内空间体积，本项目为 310.8m³；

$$T = t_v \times t_a / (t_v + t_a) \dots\dots\dots (11-34)$$

式中：

T_v—每次换气时间，h；本项目机房拟设置风机排风量约为 2000m³/h（连续通风），风机换气次数为每小时换气 6.4 次（机房净空体积为 310.8m³），每次换气时间约 0.156h；

T_a—臭氧分解时间，h；此处取为 0.83h；

经计算：室内臭氧的平衡浓度为 1.55×10⁻²mg/m³，室内臭氧浓度满足《室内空气质量标准》（GB/T18883-2002）中臭氧 1 小时均值≤0.16mg/m³ 的标准限值。

11.5 三废影响分析

（1）固体废弃物

项目运行过程中会产生少量医疗废物，属于危险废物，收集后由污物通道转运并集中存放至医院现有医疗废物收集站，交有资质单位处理；后装机运行过程中定期更换的废铍-192 源由放射源供应方回收；直线加速器运行过程中产生的废靶交由具有放射性废物处理资质的单位进行处置。项目不会对周围环境产生明显影响。

（2）废液

本项目运行过程中不产生废液，不会对周围水环境产生影响。

（3）废气

DSA、直线加速器、后装机运行过程中，X、γ射线与空气作用会产生臭氧和氮氧化物等，本项目各 DSA 采用层流通风系统，DSA 运行过程中产生的废气通过机房通风系统排入室外空气，直线加速器、后装机机房设计有机械通风装置，通风次数满足相关标准要求，直线加速器机房内臭氧浓度低于标准限值。通过通风换气等措施后，对工作人员的影响可控制在合理可接受范围内，不会对周围环

境及公众造成明显影响。

11.6 事故影响分析

11.6.1 事故风险类别识别

(1) DSA 运行过程发生异常或事故的可能性包括：

①曝光过程中，或因工作指示灯无效其他人员在不知情的情况下误入手术室受到意外照射；

②因设备防护性能问题可能导致受检者接受额外照射；

③相关人员在检修射线装置过程中，因误操作导致受到意外照射；

(2) 直线加速器可能出现的异常情况包括：

①加速器机房门机联锁装置发生故障，可能发生人员误入辐射现场，受到加速器高能 X 射线或电子束外照射；

②当加速器控制系统故障，发出的射线剂量与控制系统标称值明显不符，会给患者造成不必要照射。

(3) 后装治疗机发生异常或事故的可能性包括：

①后装治疗机操作系统发生故障，到达预置治疗时间，放射源无法自动收回，导致患者受超剂量照射；

② 机房门机联锁装置发生故障，可能发生人员误入辐射现场，受到意外照射；

③ 放射源意外破损时，后装治疗机房还可能会存在泄漏核素污染。

11.6.2 事故防范措施

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

特别重大辐射事故，是指Ⅰ类、Ⅱ类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果，或者放射性同位素和射线装置失控导致 3 人以上（含 3 人）急性死亡。

重大辐射事故，是指Ⅰ类、Ⅱ类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 2 人以下（含 2 人）急性死亡或者 10 人以上（含 10 人）急

性重度放射病、局部器官残疾。

较大辐射事故，是指Ⅲ类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 9 人以下（含 9 人）急性重度放射病、局部器官残疾。

一般辐射事故，是指Ⅳ类、Ⅴ类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。

本项目可能造成的事故等级为“一般辐射事故”及“较大辐射事故”，为防止辐射事故的发生，制定以下防范措施：

（1）建立建全辐射安全管理机构，落实辐射安全责任人。

（2）完善各项管理制度和事故应急预案；对辐射防护管理人员和操作人员进行必要的辐射防护知识培训并取得培训合格证书。

（3）定期对设备进行维护保养，是设备处于保持良好的工作状态。

（4）机房门口设置工作状态指示灯和报警装置，划为控制区，禁止非工作人员进入。安全管理制度张贴在机房醒目位置。

11.6.3 风险应急预案

建设单位已制定放射事故风险应急预案，一旦发生事故能及时启动应急预案，使事故能得到及时有效的处理。对于建设单位射线装置，安装联锁装置、警示灯等，工作人员严格按照操作规程操作，在开机前检查治疗室内是否还有无关人员在内，防护门是否关好，在仪器开机时打开防护门上方警示信号灯，警示无关人员不要靠近，就可以有效地防止照射事故的发生，如发生辐射照射事故，建设单位应立即启动应急预案措施，按照事故应急程序处理。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置 遵照国务院第 449 号令《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和环境保护部令第 18 号《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的要求，建设单位应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，且至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。 建设单位目前成立有以李常生为组长的辐射安全防护领导小组，负责全院辐射安全监督管理工作，划定职责与分工，保障辐射工作人员、社会公众的健康与安全。该管理机构的基本组成涵盖各射线装置使用部门，在框架上基本符合要求。辐射安全防护领导小组文件见附件。 12.2 辐射工作人员 依据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环保部第 18 号令）的相关规定，医院辐射工作人员需要全部参加辐射安全培训并取得合格证书。 建设项目各机房辐射工作人员均为新招聘人员，拟招聘人数 100 人。在机房投入使用前，建设单位应保证人员到位并组织新增人员参加辐射防护与安全培训，取得合格证书，确保持证上岗。同时，医院应安排新招聘人员进行上岗前职业健康检测，体检合格者才能上岗；职业健康检查的频率为每 1~2 年 1 次。对于新增的介入工作人员，应按标准要求为其配备个人内、外剂量计；并要求工作期间正确佩戴使用剂量计，并定期按时送检。为所有辐射工作人员建立个人剂量档案和职业健康监护档案并为工作人员终生保存；在医院从事过辐射工作的人员在离开该工作岗位时也应进行健康体检。 12.3 辐射安全管理规章制度 根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中第十六条第六款的要求，使用射线装置的单位应当具备有健全的操作规程、岗位职责、辐射安全和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等。 建设单位已制定有相关的辐射安全与防护管理制度，包括《辐射安全管理制度》、《辐射防护和安全保卫制度》、《设备使用、管理及维修保养制度》、《辐射安全和防护设施维护维修制度》、《辐射工作场所监测方案》、《辐射监测仪表使用与检验管理制度》、《辐射岗位职责》、《辐射工作人员个人剂量监测制度》、《辐射防护培训管理制度》、《防止误操作和受到意外照射的安全措
--

施》等，建设单位针对各设备的使用制定相关操作规程。

建设单位目前制定的各项辐射安全与防护管理制度基本能够满足相关法规及实际运行的要求。建设单位应在工作过程中，严格遵守和执行各项管理制度，并根据实际工作需求及法规要求，定期对制度进行更新与完善。

12.4 辐射监测

建设单位已按照《放射性同位素与射线装置安全与防护管理办法》的规定，制定了完善的工作场所及个人剂量监测方案。

（1）个人剂量检测

建设单位辐射工作人员个人剂量监测工作已委托河南省职业病防治研究院进行，检测频次为1次/季度，有专人负责个人剂量监测管理，建立有辐射职业人员个人剂量档案，个人剂量档案终身保存。

（2）辐射工作场所周围环境防护监测

建设单位制定了辐射环境监测计划，配备有X-γ辐射剂量率仪对本项目工作场所进行常规监测。监测点包括控制室、机房墙外、防护门外、相邻楼道等，监测记录存档备查。

定期委托具有监测资质的单位对直线加速器、后装机、DSA机房周围X-γ辐射剂量率进行监测，每年至少进行1次。监测结果反映在年度自评估报告中一并上报发证机关。

按照要求对直线加速器、后装机、DSA工作场所的安全和防状况进行年度评估，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。

12.5 辐射事故应急

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中的规定，使用射线装置的单位应成立放射性事故应急组织机构，制定辐射事故应急方案，保证在出现可能的辐射事故时能够有效的、及时的采取处置行动。

建设单位目前制定有《辐射安全应急处理预案》，在应急处理预案中规定了应急处理程序、事故报告、辐射事故处理流程；明确了应急指挥组织构架及任务分工；并对辐射安全事故培训和演练做出要求。

建设单位制定的《辐射安全应急预案》内容较为详实，具备较强的可操作性，

发生辐射事故时，建设单位应立即启动辐射事故应急预案，采取必要的防范措施，并应在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，并根据事故情况按照应急预案的程序立即向当地生态环境主管部门、公安部门、卫生健康部门报告。

12.6 三同时竣工验收一览表

根据《中华人民共和国环境保护法》第四十一条规定：建设项目中防治污染的设施，应当与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用。根据《建设项目环境保护管理条例》、《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》等相关要求，项目建成后，建设单位应当按照国务院生态环境行政主管部门规定的标准和程序，对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告，验收合格后方可正式运行；环境保护验收设施的验收期限一般不超过 3 个月，需要对该类环境保护设施进行调试或者整改的，验收期限可以适当延期，但最长不超过 12 个月。本项目三同时竣工验收一览表见表 12-2。

表 12-2 三同时竣工验收一览表

时段	污染因素	环保措施	验收内容	达到的标准
运营期	危险废物	收集后由污物通道转运并集中存放至医院现有医疗废物收集站，并交有资质单位处理	危险废物集中存放于医疗废物收集站，并交有资质单位处理	《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2001）及修改单要求
	臭氧、氮氧化物	直线加速器机房、后装机房设置通风系统	直线加速器机房、后装机房排风口风速检测	《放射治疗辐射安全与防护要求》HJ 1198-2021：通风次数不低于 4 次/小时
	电离辐射	设备情况	设备数量、额定参数不大于本次环评	设备主要参数不高于以下内容 直线加速器：10MV、2400cGy/min； 各 DSA：125kV、1250mA； 后装机：10Ci
		机房防护情况	机房防护铅当量	各 DSA 机房的防护铅当量满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中不低于 2mmPb 的要求，同时不低于环评中表 10-1 中内容
		机房防护效果检测达标	各 DSA 机房机房	《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）：“具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检

运营期	电离辐射		门外、观察窗外、墙外辐射剂量率	测时，周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”
			直线加速器、后装机房外辐射剂量率	《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）：治疗机房墙和入口门外 30cm 处，当居留因子 $T \geq 1/2$ 时，其周围剂量当量率参考控制水平为 $H_c \leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ ，当 $T < 1/2$ 时， $H_c \leq 10\mu\text{Sv/h}$
		安全防护设施	各机房病人防护门粘贴电离辐射警告标志、工作状态指示灯、视频监控、对讲交流系统	《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）：机房门外应有电离辐射警告标志； 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）：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。
			急停开关	《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）：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
		配备检测仪器	至少便携式辐射检测仪 1 台、每个机房至少配备个人剂量报警仪 2 个、每名工作人员均配备个人剂量计	《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）：放射治疗工作场所的工作人员应佩戴个人剂量计，对个人外照射剂量进行监测； 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）
		人员持证情况	所有辐射工作人员均经过培训合格并持证上岗	《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）：制定人员培训准则和计划，对人员的专业技能、放射防护知识和有关法律知

				工作岗位要求
		环保手续履行情况	环评批复，辐射安全许可证	取得环评批复，设备登记在辐射安全许可证中
		环保制度执行情况	规章制度	制度执行到位
		日常环境监测开展情况	日常监测	定期开展日常监测并保存有监测记录

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 实践的正当性

本项目的建设可满足更多的病人就诊需求，保障病人健康，促进医院的医疗水平提升。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。

13.1.2 选址合理性分析

本项目各机房均位于医院内部，周围无居民等环境制约因素，选址充分考虑了公众及周围场所的防护和安全，本项目选址合理可行。

13.1.3 产业政策符合性结论

本项目属于《产业结构调整指导目录（2019 年本）》中第一类鼓励类，符合国家产业政策。

13.1.4 辐射防护措施有效性结论

经理论计算及分析可知，本项目机房防护设计和安全设施设计可满足相关标准要求。

13.1.5 剂量估算结论

根据剂量估算，本项目投入运行后，通过合理、科学的安排和分配工作量，DSA 对工作人员的外照射剂量为 3.76mSv/a ；后装机在正常运行中对工作人员所致最大年附加有效剂量为 $2.65\times 10^{-9}\text{mSv}$ ；直线加速器在在正常运行中对工作人员外照射剂量为 $8.25\times 10^{-2}\text{mSv}$ ，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的职业人员 20mSv/a 的年有效剂量限值，同时也低于本报告提出的职业人员 5mSv/a 的年剂量管理限值。

DSA 对公众人员所造成的外照射剂量为 $4.29\times 10^{-3}\text{mSv/a}$ ；后装机在正常运行中对公众人员的最大年附加有效剂量为 $6.25\times 10^{-3}\text{mSv}$ ；直线加速器对公众人员的外照射剂量为 $4.41\times 10^{-2}\text{mSv}$ ，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的公众人员 1mSv 的年有效剂量限值，同时也低于本报告提出的公众人员的年剂量管理限值（DSA 机房外 0.25mSv 、放射治疗机房外 0.1mSv ）。

13.1.6 辐射安全管理综合能力结论

河南省公共卫生医疗中心按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》的相关要求，成立了辐射安全防护领导小组，制定了相关的规章制度以及应急预案，有符合国家环境保护标准和安全防护要求的场所和设施，建设单位从事辐射活动的的能力符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求。

13.1.7 总体结论

综上所述，河南省公共卫生医疗中心核技术应用项目符合正当化原则，根据估算，工作人员及公众受到的年有效剂量均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求。机房选址及设计合理，防护屏蔽措施良好，从辐射安全和环境保护的角度而言，项目可行。

13.2 建议

（1）新招聘辐射工作人员必须参加辐射安全防护培训，并通过考核后才能上岗操作；

（2）为新招聘辐射工作人员配备个人剂量计，定期送检，建立个人剂量档案；

（3）加强 DSA 手术人员操作技能训练，减少工作时间，在操作过程中需要穿戴好防护用品并佩戴个人剂量计；

（4）在实施诊疗之前，应事先告知患者或被检查者辐射对健康的潜在影响；应注意对陪护者的防护，使其在陪护患者的全程诊治中，所受的辐射剂量做到最小化；

（5）建设项目竣工后，建设单位应当按照国务院环境保护行政主管部门规定的标准和程序，对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告；

（6）根据放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法（环保部第 18 号令）的要求，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 01 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见:

审批意见:

公 章

经办人

年 月 日