

核技术利用建设项目

宁波市第一医院新增 II 类射线装置 建设项目环境影响报告表 (报批稿)

宁波市第一医院

2022 年 9 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

宁波市第一医院新增 II 类射线装置 建设项目环境影响报告表

建设单位名称： _____ 宁波市第一医院 _____

建设单位法人代表（签名或签章）： _____

通讯地址： _____ 浙江省宁波市海曙区柳汀街 59 号 _____

邮政编码： _____ 315000 _____ 联系人： _____

电子邮箱： _____ / _____ 联系电话： _____

目录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	9
表 3 非密封放射性物质	10
表 4 射线装置	13
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	18
表 8 环境质量和辐射现状	18
表 9 项目工程分析与源项	37
表 10 辐射安全与防护	54
表 11 环境影响分析	72
表 12 辐射安全管理	113
表 13 结论与建议	120
表 14 审批	124

表 1 项目基本情况

建设项目名称		宁波市第一医院新增 II 类射线装置建设项目				
建设单位		宁波市第一医院				
法人代表		联系人		联系电话		
注册地址		浙江省宁波市海曙区柳汀街 59 号				
项目建设地点		宁波市奉化方桥东环北路以东，儒江路以南，北仓西路以北 (方桥院区)				
立项审批部门		/		批准文号	/	
建设项目总投资 (万元)		6000	项目环保投资 (万元)	300	投资比例(环保 投资/总投资) 5%	
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他			占地面积 (m ²)	/
应用 类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类			
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类(医疗使用) <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类			
	非密封放 射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物			
		<input type="checkbox"/> 销售	/			
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙			
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类			
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类			
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III 类			
	其他	/				

1.1 项目概述

1.1.1 建设单位基本情况

宁波市第一医院(浙江大学宁波医院)位于浙江省宁波市海曙区柳汀街 59 号,始建于 1913 年,是一所集医疗、教学、科研、预防为一体的三级甲等综合性医院。因发展需求,医院异地建设方桥分院,方桥分院位于宁波市奉化方桥东环北部以东,儒江路以南,北仓西路以北,共分为两期建设,其中一期已建建筑主要包括 1#传染门诊综合楼、2#门急诊医技综合楼、4#医技综合楼、6#病房楼、7#病房综合楼、8#动力中心 1、9#动力中心 2、11#地下室,医院方桥院区一期工程(《宁波市第一医院异地建设(一期)项目环境影响报告书》)于 2019 年 1 月 11 日取得了宁波市生态环境局奉化分局的批复,批复文号为奉环字[2019]3 号,目前方桥院区一期工程部分主体大楼已投入运行。

医院二期工程主要包括 3#门诊综合楼、5#门诊综合楼、10#应急物资库和实验楼、12#病房综合楼、15#发热门诊楼、21#动力中心楼、22#传染病房综合楼 A、23#传染病房综合楼 B、24#垃圾站、31#宿舍楼，医院方桥院区二期工程《宁波市公共卫生临床中心新建项目环境影响报告书》于 2022 年 5 月 19 日取得了宁波市生态环境局奉化分局的批复，批复文号为奉环字[2022]13 号，目前二期主体工程正处在施工建设中。

本项目放疗科的直线加速器机房和射波刀机房拟建址位于二期工程拟建的 12#病房综合楼的地下二层，DSA 杂交手术室拟建址位于一期工程已建的 2#门急诊医技综合楼一层。

1.1.2 项目由来及建设规模

1、项目由来及建设规模

为改善宁波市及周边城区群众门急诊服务质量，提升当地和周边区域群众的医疗服务水平，医院拟在方桥院区的 12#病房综合楼和 2#门急诊医技综合楼开展放射诊疗项目，主要包括：

(1) 12#病房综合楼地下二层的放疗科共建设 2 间直线加速器机房和 1 间射波刀机房，其中 1#、2#机房为直线加速器机房，2 间直线加速器机房各配备 1 台医用直线加速器，3#机房为射波刀机房，配备 1 台射波刀（自带 1 套 X-ray 靶区定位追踪系统），开展放射治疗。放疗科配套建设 2 间模拟定位机房，配备 2 台模拟定位 CT，供射波刀和直线加速器模拟定位使用。

(2) 在 2#门急诊医技综合楼一层的急诊建设 1 间与传统开放式手术相结合的 DSA 杂交手术室，配备 1 台 DSA，开展放射诊断和介入治疗。

为保护环境和公众利益，防止辐射污染，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》、《建设项目环境保护管理条例》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的要求，医院应办理核技术利用项目环境影响评价手续。

因模拟定位 CT 属于 III 类射线装置，将由医院另行进行建设项目环境影响登记备案，本报告不再评价。本次评价内容主要为直线加速器、射波刀和 DSA 项目。本项目核技术利用项目，具体情况见表 1-1。

表 1-1 本项目核技术利用情况一览表

射线装置								
序号	射线装置名称	数量 (台)	最大 管电压 (kV)	最大 管电流 (mA)	类别	工作场所名称	环评 情况	备注
1	DSA (型号未定)	1	125	1250	II	2#楼一楼急诊 DSA 杂交手术室	本次环评	/

2	X-ray 靶区定位追踪系统	1	150	500	III	12#楼地下二层 放疗科 3#射波刀机房	射波刀 配套建 设
3	射波刀 (型号未定)	1	X 线: 6MV		II	12#楼地下二层 放疗科 3#射波刀机房	/
4	直线加速器 (型号未定)	1	X 线: 6/10MV, 电子线: ≤22MeV		II	12#楼地下二层 放疗科 2#直线加速器机房	/
5	直线加速器 (型号未定)	1	X 线: 6/10MV, 电子线: ≤22MeV		II	12#楼地下二层 放疗科 1#直线加速器机房	/

2、人员配置及工作时间

医院计划为本项目直线加速器机房和射波刀机房共配置 6 名操作技师、2 名医师、3 名护士、2 名物理师，共 13 名辐射工作人员；为本项目 DSA 配备 2 名操作技师、6 名介入手术人员（平均分为 3 组）、2 名护士，共 10 名辐射工作人员。本项目辐射工作人员中少部分为医院本部调配（调配后不再从事原辐射工作），其余均为新聘人员。

本项目直线加速器治疗平均每位患者出束治疗 5min，每台日门诊量约为 60 人次，年工作 250 天，则年出束曝光时间约为 1250h；射波刀治疗平均每位患者出束治疗 40min，日门诊量约为 12 人次，年工作 250 天，则年出束曝光时间约为 2000h。

本项目 DSA 杂交手术室使用科室涉及神经外科、神经内科、心内科等，每组介入手术人员年手术量不超过 300 台，平均每台手术透视时间约为 25min、减影时间约为 2min，则每组介入手术人员年透视受照时间约为 125h，年减影受照时间约为 10h；操作技师和护士年透视受照时间约为 375h，年减影受照时间约为 30h。

本项目为使用 II 类和 III 类射线装置，根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），本项目属于“172 核技术利用建设项目”中的“使用 II 类射线装置”，应编制环境影响报告表。为保护环境，保障公众健康，宁波市第一医院委托杭州卫康环保科技有限公司对本项目进行辐射环境影响评价（见附件 2）。评价单位接受委托后，通过现场踏勘、收集有关资料等工作，结合本项目特点，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）的相关要求，编制完成了本项目的环境影响报告表。

1.2 项目周边保护目标及项目选址情况

1.2.1 医院位置

宁波市第一医院方桥院区位于宁波市奉化方桥东环北路以东，儒江路以南，北仓西路以北，医院方桥院区地理位置示意图见附图 1。医院东侧为规划居住用地，南侧为北

仓西路，西侧为东环北路，北侧为儒江路，医院方桥院区平面布局及周围环境情况见附图 2。

1.2.2 放疗科治疗机房周围环境关系

本项目直线加速器机房和射波刀机房拟建址位于 12#病房综合楼地下二层，放疗科治疗机房东侧地下二层 50m 范围依次为放疗科模拟 CT 机房、电梯厅、补风机房和生活水泵房等，南侧地下二层 50m 范围依次为直线加速器辅助机房和工具间、地下车库、细水雾泵房、热水机房和排烟机房，西侧地下二层 50m 范围依次为污水间、楼梯间和工具间、补风机房、地下车库，北侧地下二层 50m 范围依次为直线加速器机房和射波刀机房的控制室、病人等候室、放疗病人和家属等候区、土层，楼上为设备夹层（层高 2m），一层为出入大厅及护士站、药房和检验室等；地上 50m 范围内建筑为 12#病房综合楼南侧的 10#应急物资库和实验室，距放疗科治疗机房约为 14m。12#病房综合楼地下二层平面布局见附图 3，12#病房综合楼地下一层平面布局见附图 4，12#病房综合楼一层平面布局见附图 5。

1.2.3 DSA 杂交手术室周围环境关系

本项目 DSA 杂交手术室拟建址位于 2#门急诊医技综合楼一层，其东侧 50m 范围依次为急诊大厅、门急诊输液等场所、骨科中心，南侧 50m 范围依次为大厅走廊、楼外医院道路，西侧 50m 范围依次为二次候诊复苏室和设备间、EICU 室、留观区、连廊，北侧 50m 范围依次为 DSA 控制室和耗材器械间及更衣室、急诊其他工作场所、4#医技综合楼，楼上为 EICU 室，楼下为地下车库。2#门急诊医技综合楼一层平面布局见附图 6，2#门急诊医技综合楼二层平面布局见附图 7，2#门急诊医技综合楼地下一层平面布局见附图 8。

本项目评价范围内无居民区、学校等环境敏感点，环境保护目标主要是本项目辐射工作人员、医院的其他工作人员和公众人员等。

1.2.4 项目选址合理性分析

本项目拟建地址位于医院院内，用地性质为医疗卫生用地，项目选址符合宁波市主体功能区划及土地利用规划。

本项目 DSA 杂交手术室位于 2#门急诊医技综合楼一层的急诊内，周围无环境制约因素。本项目直线加速器和射波刀所在放疗科位于 12#病房综合楼的底端，不邻接儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中“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”、“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”的要求，以及《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中“放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端”的要求。同时，本项目50m评价范围内无自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、饮用水水源保护区以及基本农田保护区、基本草原、森林公园、地质公园、重要湿地等敏感点存在，故本项目的选址是合理的。经环境影响预测分析表明，在严格执行本评价中提出的辐射管理和辐射防护措施前提下，本项目的开展对周围环境造成的辐射影响在可接受范围内。

1.3 “三线一单”符合性分析

根据《关于实施“三线一单”生态环境分区管控的指导意见（试行）》，环环评〔2021〕108号，“三线一单”即“生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线和生态环境准入清单”，项目建设应强化“三线一单”约束作用。

本项目“三线一单”符合性判定情况见表1-2。

表1-2 “三线一单”符合性分析

生态 保护红线	本项目位于宁波市奉化区方桥地块，根据宁波市生态保护红线划定方案（见附图11），本项目所在地不在宁波市生态保护红线范围内，故本项目的实施未涉及生态保护红线，符合宁波市生态保护红线划定方案。
资源 利用上线	本项目营运过程中会消耗一定量的电源、水资源等，主要来自工作人员的日常生活用水和设施用电，但项目资源消耗量相对区域资源利用总量较少，符合资源利用上线要求。
环境 质量底线	根据环境质量现状监测结果，本项目拟建址及周围环境辐射环境质量现状属于正常本底范围。在落实本环评提出的各项污染防治措施后，本项目运行对周围环境影响很小，能维持周边环境质量现状，满足该区域环境质量功能要求，因此本项目符合环境质量底线要求。
生态环境 准入清单	<p>根据《宁波市“三线一单”生态环境分区管控方案》，项目所在区域位于宁波市奉化区锦屏、岳林、江口、西坞和萧王庙城镇生活重点管控单元（ZH33021320002），该管控单元生态环境准入清单如下：</p> <p>①空间布局约束</p> <p>禁止新建、扩建三类工业项目，现有三类工业项目改建不得增加污染物排放总量，鼓励现有三类工业项目搬迁关闭。禁止新建涉及一类重金属、持久性有机污染物排放等环境健康风险较大的二类工业项目。除工业功能区（小微园区、工业集聚点）外，原则上禁止新建其他二类工业项目。现有二类工业项目改建、扩建，不得增加管控单元污染物排放总量。</p> <p>②污染物排放管控</p> <p>严格实施污染物总量控制制度，根据区域环境质量改善目标，削减污染物排放总量。污水收集管网范围内，禁止新建除城镇污水处理设施外的入河排污口，现有的入</p>

河排污口应限期拆除，但相关法律法规和标准规定必须单独设置排污口的除外。加快污水处理设施建设与提标改造，加快完善城乡污水管网，加强对现有雨污合流管网的分流改造，推进生活小区“零直排区建设。加强噪声和臭气异味防治，强化餐饮油烟治理，严格施工扬尘监管。加强土壤和地下水污染防治与修复。

③环境风险防控

合理布局工业、商业、居住、科教等功能区块，严格控制噪声、恶臭、油烟等污染排放较大的建设项目布局。

④资源开发效率

全面开展节水型社会建设，推进节水产品推广普及，限制高耗水服务业用水。落实煤炭消费减量替代要求，提高资源能源利用效率。

本项目为医疗服务设施建设项目，为卫生和社会工作行业，不属于工业项目，不涉及空间布局约束条件中禁止的项目，且不属于高能耗、高污染、高排放产业和低端制造业发展，符合生态环境准入清单相关要求。

因此，本项目的建设符合“三线一单”的要求。

1.4 产业政策符合性分析

对照国家发展和改革委员会第 29 号令《产业结构调整指导目录（2019 年本）》和国家发展和改革委员会第 49 号令《关于修改〈产业结构调整指导目录（2019 年本）〉的决定》，本项目直线加速器和射波刀属于国家鼓励类的第六项“核能”中第 6 款中“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，DSA 属于国家鼓励类的第十三项“医药”中第 5 款中“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”，符合国家产业发展政策。

1.5 实践正当性评价

本项目投入使用能够更好的满足患者的就诊需求，在做好辐射防护的基础上，本项目的建设和运行对受照个人或社会所带来的利益能够弥补其可能引起的辐射危害，该项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践的正当性”的原则。

1.6 现有核技术利用项目许可及辐射安全管理情况

1.6.1 现有核技术利用项目许可情况

宁波市第一医院目前持有的辐射安全许可证书编号为：浙环辐证[B0018]，许可种类和范围：使用 III 类放射源；使用 II 类、III 类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所。许可证有效期至 2025 年 08 月 30 日。医院辐射安全许可证复印件见附件 4。

1.6.2 该单位现有辐射安全管理情况

医院已成立了专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，已针对现有核技术利用项目制定了辐射安全管理制度，每年委托有资质单位对本单位的辐射工作场所进行了监测，并每年对本单位辐射工作场所的安全和防护状况进行了年度评估，于每年 1 月 31 日前在全国核技术利用辐射安全申报系统上提交了上一年度的放射性同位素与射线装置安全和防护状况评估报告，满足要求。

医院现有辐射工作人员约 100 名，均已参加并通过宁波市医疗机构放射工作人员放射防护培训和考核；医院已安排所有辐射工作人员分别于 2021 年度和 2022 年度在宁波市第一医院进行职业健康体检，并建立了辐射工作人员职业健康监护档案，根据辐射工作人员的职业健康体检报告，现有辐射工作人员均可继续原放射工作；医院委托宁波市疾病预防控制中心对辐射工作人员进行个人剂量监测，并建立了个人剂量档案，根据辐射工作人员的个人剂量检测报告，现有辐射工作人员最近一年的受照剂量均未超过职业人员年剂量管理限值 5mSv/a，满足环保相关管理要求。

医院现有核技术利用项目均已履行了相关环保手续，无遗留环保问题。医院现有核技术利用项目一览表见表 1-3。

表 1-3 医院现有核技术利用项目一览表

放射源										
序号	放射源名称	数量	总活度 (Bq) /活度 (Bq) × 枚数	放射源类别	工作场所名称	活动种类	环评情况	许可情况	验收情况	
1	¹⁹² Ir	1	3.7×10 ¹¹	III	后装机机房	使用	已环评	已许可	已验收	
非密封放射性物质										
序号	工作场所等级	核素名称	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	工作场所名称	活动种类	环评情况	许可情况	验收情况	
1	丙级	²⁰¹ Tl	3.7×10 ⁸	3.7×10 ¹⁰	核医学科	使用	已环评	已许可	已验收	
2	乙级	^{99m} Tc	2.08×10 ⁸	5.2×10 ¹²	核医学科	使用	已环评	已许可	已验收	
3	丙级	⁸⁹ Sr	4.4×10 ⁸	4.4×10 ¹⁰	核医学科	使用	已环评	已许可	已验收	
4	乙级	¹³¹ I	3.7×10 ⁹	3.7×10 ¹¹	核医学科	使用	已环评	已许可	已验收	
5	乙级	¹²⁵ I(粒子源)	3.7×10 ⁷	3.7×10 ¹¹	核医学科	使用	已环评	已许可	已验收	
射线装置：海曙院区										
序号	射线装置名称	数量	管电压 (kV)	管电流 (mA)	类别	工作场所名称	活动种类	环评情况	许可情况	备注
1	SPECT/CT	1	130	345	III	核医学科：3 号楼 1 层 SPECT 机房	使用	已环评	已许可	已验收

2	DR	1	150	900	III	放射科: 3 号楼 1 层 1 号机房	使用	已备案	已许可	/
3	DR	1	150	1100	III	放射科: 3 号楼 1 层 2 号机房	使用	已备案	已许可	/
4	上海联影 CT 机	1	140	420	III	放射科: 3 号楼 1 层放射科 4 号机房	使用	已备案	已许可	/
5	DR	1	150	900	III	放射科: 3 号楼 1 层 3 号机房	使用	已备案	已许可	/
6	数字化乳腺 X 光机	1	35	710	III	放射科: 3 号楼 1 层 5 号机房	使用	已备案	已许可	/
7	CT	1	135	500	III	放射科: 3 号楼 1 层 6 号机房	使用	已备案	已许可	/
8	CT	1	135	550	III	放射科: 3 号楼 1 层 7 号机房	使用	已备案	已许可	/
9	CT	1	140	400	III	放射科: 3 号楼 1 层 9 号机房	使用	已备案	已许可	/
10	数字化乳腺 X 光机	1	150	800	III	放射科: 3 号楼 1 层 10 号机房	使用	已备案	已许可	/
11	DSA	1	125	1250	II	介入科: 3 号楼 2 层 2 号机房 (DSA 室 1)	使用	已环评	已许可	已验收
12	DSA	1	125	1250	II	介入科: 3 号楼 2 层 3 号机房 (DSA 室 2)	使用	已环评	已许可	已验收
13	DSA	1	125	1250	II	介入科: 3 号楼 2 层 4 号机房 (DSA 室 3)	使用	已环评	已许可	已验收
14	DSA	1	125	831	II	介入科: 3 号楼 9 层 DSA 机房	使用	已环评	已许可	已验收
15	骨密度仪	1	76	3	III	放射科: 广济街 31 号健康管理中心四楼全身骨密度机房	使用	已备案	已许可	/
16	CT	1	140	450	III	放射科: 广济街 31 号健康管理中心四楼 CT2 机房	使用	已备案	已许可	/
17	移动式 C 型臂 X 射线系统	1	110	3	III	放射科: 2 楼 3 楼 11 号手术室	使用	已备案	已许可	/
18	DR	1	150	800	III	放射科: 1 号楼 7 层体检中心 DR 室	使用	已备案	已许可	/

19	双能 X 射线 骨密度仪	1	80	0.25	III	放射科：广济街 31 号健康管理中 心四楼双能骨密 度机房	使用	已 备案	已 许可	/
20	口腔 CT 机	1	110	20	III	放射科：5 号楼 3 层口腔 CT 机房	使用	已 备案	已 许可	/
21	口腔全景机	1	90	12	III	放射科：5 号楼 3 层口腔全景机房	使用	已 备案	已 许可	/
22	牙片机	1	70	7	III	放射科：5 号楼 3 层牙片机房	使用	已 备案	已 许可	/
23	方舱 CT	1	140	400	III	放射科：国税楼 一楼发热门诊 CT 机房	使用	已 备案	已 许可	/
24	移动 DR	1	125	500	III	放射科：2 号楼 8 层 ICU 病区	使用	已 备案	已 许可	/
25	移动 DR	1	100	300	III	放射科：全院移 动	使用	已 备案	已 许可	/
26	移动 DR	1	100	300	III	放射科：全院移 动	使用	已 备案	已 许可	/
27	移动 DR	1	133	540	III	放射科：3 号楼 7 层 ICU 病区	使用	已 备案	已 许可	/
28	直线加速器	1	X≤10MV		II	放疗科：地下一 层加速器治疗室	使用	已 环评	已 许可	已 验收
29	大孔径 CT	1	140	500	III	放疗科：地下一 层模拟定位机房	使用	已 备案	已 许可	/
30	DG3310 系列 C 形臂 X 射线	1	110	5	III	放疗科：后装机 房	使用	已 备案	已 许可	/
31	C 形臂 X 光 机	1	150	160	III	放射科：3 号楼 9 楼 6 号手术室	使用	已 备案	已 许可	/
32	CT	1	140	440	III	放射科：3 号楼 1 层放射科 8 号机 房	使用	已 备案	已 许可	/
33	移动式 C 形 臂 X 射线机	1	110	30	III	放射科：2 楼 3 楼 12 号手术室	使用	已 备案	已 许可	/
34	CT	1	140	420	III	放射科：广济街 31 号健康管理中 心四楼 CT1 机房	使用	已 备案	已 许可	/
35	飞利浦透视 摄影 X 射线 机	1	150	714.3	III	介入科：2 号楼 2 楼 ERCP 机房	使用	已 备案	已 许可	/
36	康达 DSA	1	100	1000	II	介入科：3 号楼 2 层 1 号机房	使用	已 环评	已 许可	已 验收
37	泌尿外科诊 疗床	1	125	400	III	放射科：6 号楼 3 楼泌尿外科诊疗 床机房	使用	已 备案	已 许可	/

38	体外冲击破 碎石机	1	110	0.5	III	放射科: 6 号楼泌 尿外科碎石机房	使用	已 备案	已 许可	/
39	40 排 CT	1	140	350	III	放射科: 3 号楼 1 楼 35 号机房	使用	已 备案	已 许可	/
射线装置: 方桥院区										
1	后 64 排 CT	1	150	1300	III	方桥院区 4 号楼 1 楼 12 号机房	使用	已 备案	已 许可	/
2	62 排 CT	1	140	625	III	方桥院区 4 号楼 1 楼 11 号机房	使用	已 备案	已 许可	/
3	移动 C 臂	1	110	35	III	方桥院区全院移 动	使用	已 备案	已 许可	/
4	移动 C 臂	1	110	35	III	方桥院区全院移 动	使用	已 备案	已 许可	/
5	64 排 CT	1	140	667	III	方桥院区 2 号楼 1 楼急诊 1 号机房	使用	已 备案	已 许可	/
6	40 排 CT	1	140	350	III	方桥院区 4 号楼 1 楼 7 号机房	使用	已 备案	已 许可	/
7	40 排 CT	1	140	350	III	方桥院区 4 号楼 3 楼手术室 15 号机 房	使用	已 备案	已 许可	/
8	40 排 CT	1	140	420	III	方桥院区 4 号楼 1 楼 6 号机房	使用	已 备案	已 许可	/
9	移动 DR	1	150	400	III	方桥院区全院移 动	使用	已 备案	已 许可	/
10	移动 DR	1	150	400	III	方桥院区全院移 动	使用	已 备案	已 许可	/
11	双板悬吊 DR	1	150	800	III	方桥院区 4 号楼 1 楼 3 号机房	使用	已 备案	已 许可	/
12	双板悬吊 DR	1	150	800	III	方桥院区 4 号楼 1 楼 2 号机房	使用	已 备案	已 许可	/
13	双板悬吊 DR	1	150	800	III	方桥院区 2 号楼 1 楼急诊 2 号机房	使用	已 备案	已 许可	/
14	乳腺钼靶机	1	35	120	III	方桥院区 4 号楼 1 楼 5 号机房	使用	已 备案	已 许可	/
15	数字肠胃机	1	150	1000	III	方桥院区 4 号楼 1 楼 4 号机房	使用	已 备案	已 许可	/
16	体外冲击波 碎石机	1	110	80	III	方桥院区 1 号楼 4 楼泌尿中心碎石 机房	使用	已 备案	已 许可	/
17	ERCP 专用 X 光机	1	150	714.3	III	方桥院区 4 号楼 2 楼内镜中心 ERCP 机房	使用	已 备案	已 许可	/
18	双能 X 射线 骨密度仪	1	140	10	III	方桥院区 1 号楼 2 楼骨密度仪机房	使用	已 备案	已 许可	/

19	DSA	1	125	1000	II	方桥院区2号楼1楼急诊介入 DSA 机房	使用	已环评	已许可	暂未投入使用
20	DSA(复合手术室双 C)	1	125	1000	II	方桥院区4号楼3楼复合手术室 DSA 机房	使用	已环评	已许可	
21	DSA	1	125	1000	II	方桥院区2号楼3楼介入中心 DSA 机房	使用	已环评	已许可	

表 2 放射源

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

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

表 3 非密封放射性物质

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

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

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	直线加速器	II	1	型号未定	电子	X 线≤10MV 电子线≤22MeV	10MV 1m 处剂量率 1440Gy/h、6MV 1m 处剂量率 840Gy/h	放射治疗	放疗科 1#加速器机房	/
2	直线加速器	II	1	型号未定	电子	X 线≤10MV 电子线≤22MeV	6MV 0.8m 处剂量率 600Gy/h	放射治疗	放疗科 2#加速器机房	/
3	射波刀	II	1	型号未定	电子	X 线: 6MV	6MV 0.8m 处剂量率 600Gy/h	放射治疗	放疗科 3#射波刀机房	/

(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	DSA	II	1	型号未定	125	1250	医疗诊断/ 介入治疗	2#楼一楼急诊 DSA 杂交手术室	/
2	X-ray 靶区定位 追踪系统	III	1	/	150	500	射波刀靶区 定位	放疗科 3#射波刀机房	射波刀 配套建 设

(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	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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
各机房产生的臭氧和氮氧化物	气态	/	/	微量	微量	/	不暂存	经排风系统排出室外，臭氧常温下可自行分解为氧气，对环境影响较小
直线加速器维修维护过程或使用到一定年限后，可能会产生更换下来的废靶部件	固体	感生放射性核素	/	/	/	/	拆卸后先放进屏蔽容器，暂存在加速器机房内	最终送交有资质的单位收贮
/	/	/	/	/	/	/	/	

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m³，年排放总量用 kg。
 2.含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m³）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

<p>法规文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》(修订版), 2015 年 1 月 1 日起施行;</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》(2018 年修正版), 自 2018 年 12 月 29 日起施行;</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》, 2003 年 10 月 1 日起施行;</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》(2017 年修订版), 国务院令 第 682 号, 2017 年 10 月 1 日起施行;</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(2019 年修正版), 国务院令 第 709 号, 2019 年 3 月 2 日起施行;</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(2021 年修正版), 生态环境部令 第 20 号, 自 2021 年 1 月 4 日起施行;</p> <p>(7) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》(2021 年版), 生态环境部令 第 16 号, 2021 年 1 月 1 日起施行;</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》, 环境保护部令 第 18 号, 2011 年 5 月 1 日起施行;</p> <p>(9) 《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》, 国家环境保护总局文件, 环发[2006] 145 号文;</p> <p>(10) 《射线装置分类》(2017 年修订版), 原环境保护部 国家卫生计生委公告 2017 年公告第 66 号公布, 自 2017 年 12 月 5 日起施行;</p> <p>(11) 关于印发《建设项目环境影响评价政府信息公开指南(试行)》的通知, 环办[2013]103 号, 2014 年 1 月 1 日起施行;</p> <p>(12) 《产业结构调整指导目录(2019 年本)》(2021 年修改), 国家发改委第 49 号令, 2021 年 12 月 30 日起施行;</p> <p>(13) 《建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法》, 生态环境部部令 第 9 号, 2019 年 11 月 1 日起施行;</p> <p>(14) 《关于发布<建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法>配套文件的公告》, 生态环境部公告 2019 年第 38 号, 2019 年 11 月 1 日起施行;</p> <p>(15) 《生态环境部关于启用环境影响评价信用平台的公告》, 生态环境部公告 2019 年第 39 号, 2019 年 10 月 25 日生成;</p> <p>(16) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》, 生态环境部公告 2019 年第 57 号, 2020 年 1 月 1 日起施行;</p>
-------------	---

	<p>(17)《浙江省建设项目环境保护管理办法》(2021年修正版),浙江省人民政府令第388号,2021年2月10日起施行;</p> <p>(18)《浙江省辐射环境管理办法》(2021年修正版),浙江省人民政府令第388号,2021年2月10日起施行;</p> <p>(19)《浙江省人民政府办公厅关于印发浙江省辐射事故应急预案的通知》,浙政办发〔2018〕92号,2018年9月18日起施行;</p> <p>(20)《省生态环境主管部门负责审批环境影响评价文件的建设项目清单(2019年本)》,浙环发〔2019〕22号,2019年12月20日起施行;</p> <p>(21)辐射类建设项目环境影响评价文件审批权限仍按照《浙江省环境保护厅关于发布<省环境保护主管部门负责审批环境影响评价文件的建设项目清单(2015年本)>及<设区市环境保护主管部门负责审批环境影响评价文件的重污染、高环境风险以及严重影响生态的建设项目清单(2015年本)>的通知》(浙环发[2015]38号)执行。</p>
技术标准	<p>(1)《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》(HJ2.1-2016);</p> <p>(2)《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);</p> <p>(3)《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021);</p> <p>(4)《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021);</p> <p>(5)《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002);</p> <p>(6)《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第1部份:一般原则》(GBZ/T 201.1—2007);</p> <p>(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房》(GBZ/T 201.2—2011);</p> <p>(9)《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021);</p> <p>(10)《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020);</p> <p>(11)《医用电子直线加速器质量控制检测规范》(WS674-2020);</p> <p>(12)《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020);</p> <p>(14)《职业性外照射个人监测规范》《GBZ128-2019》;</p>
其他	<p>报告附件:</p> <p>(1) 事业单位法人证书(附件1);</p> <p>(2) 项目委托书(附件2);</p> <p>(3) 项目承诺书(附件3);</p>

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">(4) 医院辐射安全许可证复印件（附件 4）；(5) 本项目辐射环境本底监测报告及监测单位资质（附件 5）；(6) 医院一期、二期建设项目环评批复文件（附件 6）；(7) 建设工程规划许可证（附件 7）；(8) 编制单位和编制人员信息表（附件 8）；(9) 编制人员近三个月社保缴费清单（附件 9）；(10) 环评文件编制主持人现场勘查证明材料（附件 10）；(11) 环境影响报告表质量控制记录文件（附件 11）；(12) 技术咨询会专家咨询意见及修改清单（附件 12）。 |
|---|

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016),“放射源和射线装置应用项目的评价范围,通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”。

本项目为使用 II 类和 III 类射线装置,根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016)的要求,本项目评价范围确定为直线加速器机房、射波刀机房、DSA 杂交手术室实体屏蔽边界外 50m 的范围。本项目评价范围见附图 2。

7.2 保护目标

本项目评价范围内无居民区、学校等环境敏感点,环境保护目标主要是本项目辐射工作人员、医院的其他工作人员和公众人员等。本项目直线加速器和射波刀环境保护目标见表 7-1, DSA 环境保护目标见表 7-2。

表 7-1 本项目直线加速器和射波刀环境保护目标分布

名称	场所	环境保护目标	方位	距机房距离	规模
直线加速器和射波刀辐射工作人员	控制室、治疗机房以及辅助机房内	操作技师、医师、护士、物理师	/	/	共 13 名工作人员
评价范围内公众	模拟 CT 定位区	工作人员、病患及陪同家属等公众人员	机房东侧地下二层	0m~10m	约 4 名工作人员,病患约 140 人次/天
	电梯厅	工作人员、病患及陪同家属等公众人员		10m~45m	医院工作人员,病患约 1000 人次/天
	补风机房、生活水泵房等	工作人员		45m~50m	医院工作人员,平时无人员逗留
	工具间	工作人员	机房南侧地下二层	0m~3m	医院工作人员,平时无人员逗留
	排风机房等	工作人员		24m~32m	医院工作人员,平时无人员逗留
	地下车库	工作人员、病患及陪同家属等公众人员		3m~50m	医院工作人员,病患约 1000 人次/天
	楼梯间	工作人员、病患及陪同家属等公众人员		0m~15m	医院工作人员,病患约 1000 人次/天

	工具间、污水间、补风机房等	工作人员		0m~24m	医院工作人员，平时无人逗留
	地下车库	工作人员、病患及陪同家属等公众人员		24m~50m	医院工作人员，病患约 1000 人次/天
	放疗科病人等候区	工作人员、病患及陪同家属等公众人员	机房北侧地下二层	0m~6m	约 4 名工作人员，病患约 140 人次/天
	土层	/		6m~36m	人员不可达
	12#病房综合楼内	楼内工作人员、病患及陪同家属等公众人员	机房楼上	0m~50m	约 100 名工作人员，病患约 1000 人次/天
	10#应急物资库和实验室	楼内工作人员、病患及陪同家属等公众人员	机房地上南侧	14m~50m	约 20 名工作人员

表 7-2 本项目 DSA 环境保护目标分布

名称	场所	环境保护目标	方位	距杂交手术室距离	规模
DSA 辐射工作人员	DSA 工作场所	操作技师和护士	控制室	/	共 4 名工作人员
		介入手术人员	杂交手术室内	/	共 6 名工作人员
评价范围内公众	急诊大厅	工作人员、病患及陪同家属等公众人员	杂交手术室东侧	0m~30m	医院工作人员，病患约 1000 人次/天
	门急诊输液等场所	工作人员、病患及陪同家属等公众人员		30m~48m	约 10 名工作人员，病患约 500 人次/天
	骨科中心	工作人员、病患及陪同家属等公众人员		46m~50m	约 10 名工作人员，病患约 200 人次/天
	大厅走廊	工作人员、病患及陪同家属等公众人员	杂交手术室南侧	0m~8m	医院工作人员，病患约 1000 人次/天
	院内道路及绿化	工作人员、病患及陪同家属等公众人员		8m~50m	医院工作人员，病患约 1000 人次/天
	EICU 室和留观区	工作人员及病患等公众人员	杂交手术室西侧	0m~34m	约 10 名工作人员，病患约 20 人次/天
	连廊	工作人员、病患及陪同家属等公众人员		34m~50m	医院工作人员，病患约 1000 人次/天

	急诊其他工作场所	工作人员、病患及陪同家属等公众人员	杂交手术室 北侧	3.5m~25m	约 20 名工作人员, 病患约 500 人次/天
	连廊	工作人员、病患及陪同家属等公众人员		25m~44m	医院工作人员, 病患约 1000 人次/天
	4#医技综合楼	工作人员、病患及陪同家属等公众人员		44m~50m	约 20 名工作人员, 病患约 500 人次/天
	2#门急诊医技综合楼内	楼内工作人员、病患及陪同家属等公众人员	杂交手术室楼上	0m~20m	约 100 名工作人员, 病患约 1000 人次/天
	地下车库	工作人员、病患及陪同家属等公众人员	杂交手术室楼下	5.5m	医院工作人员, 病患约 1000 人次/天

评价标准

(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)

①剂量限值

本项目辐射工作人员及公众的年照射剂量限值, 见表 7-3:

表 7-3 照射剂量限值

	剂量限值
职业照射 剂量限值	<p>工作人员所接受的职业照射水平不应超过下述限值:</p> <p>①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;</p> <p>②任何一年中的有效剂量, 50mSv;</p> <p>③眼晶体的年当量剂量, 150mSv;</p> <p>④四肢 (手和足) 或皮肤的年当量剂量, 500mSv。</p>
公众照射 剂量限值	<p>实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过下述限值:</p> <p>①年有效剂量, 1mSv;</p> <p>②特殊情况下, 如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv, 则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv。</p>

②辐射管理分区

6.4.1 控制区

6.4.1.1 注册者和许可证持有者应把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区, 以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散, 并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。

6.4.2 监督区

6.4.2.1 注册者和许可证持有者应将下述区域定为监督区：这种区域未被定为控制区，在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。

(2) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第1部份：一般原则》(GBZ/T201.1—2007)

4.2 治疗机房布局要求

4.2.1 治疗装置控制室应与治疗机房分离。治疗装置辅助机械、电器、水冷设备，凡是可以与治疗装置分离的，应尽可能设置于治疗机房外。

4.2.2 直接与治疗机房相连的宽束治疗装置的控制室和其他居留因子较大的用室，应尽可能避开有用束可直接照射到的区域。

(3) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2—2011)

4.2 剂量控制要求

4.2.1 治疗机房墙和入口门外关注点的剂量率参考控制水平

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

- 1) 放射治疗机房外控制区的工作人员: $H_c \leq 100\mu\text{Sv/周}$;
- 2) 放射治疗机房外非控制区的人员: $H_c \leq 5\mu\text{Sv/周}$ 。

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

- 1) 人员居留因子 $T \geq 1/2$ 的场所: $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5\mu\text{Sv/h}$;
- 2) 人员居留因子 $T < 1/2$ 的场所: $\dot{H}_{c,max} \leq 10\mu\text{Sv/h}$ 。

c) 由上述 a) 中的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ 和 b) 中的最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ ，选择其中较小者作为关注点的剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$)。

4.2.2 治疗机房顶的剂量控制要求

治疗机房顶的剂量应按下述 a)、b) 两种情况控制:

a) 在治疗机房正上方已建、拟建建筑物或治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点到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 处和 (或) 在该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处，可以根据机房外周剂量参考控制水平 $H_c \leq 5\mu\text{Sv/周}$ 和最高剂量率 $H_{c,max} \leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ ，按照 4.2.1 求得关注点的剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$) 加以控制。

b) 除4.2.2中a)的条件外,应考虑下列情况:

1) 天空散射和侧散射辐射对治疗机房外的地面附近和楼层中公众的照射。该项辐射和穿出机房墙透射辐射在相应处的剂量(率)的总和,应按4.2.2中的a)确定关注点的剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$)加以控制;

2) 穿出治疗机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射,以相当于机房外非控制区人员周剂量率控制指标的年剂量 $250\mu\text{Sv}$ 加以控制;

3) 对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶,考虑上述1)和2)之后,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(可在相应处设置辐射告示牌)。

(4) 《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)

4 一般要求

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 5 mSv/a 。

b) 公众照射的剂量约束值不超过 0.1 mSv/a 。

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控制措施,但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区(如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等)。

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。

6.1.3 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30 cm处、邻近治疗室的关注点、治疗室房顶外的地面附近和楼层及在治疗室上方已建、拟建二层建筑物或在治疗室旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点治疗室房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗室顶外表面30 cm处和在该立体角区域内的高层建筑人员驻留处的周围剂量当量率应同时满足下列1) 和2) 所确定的剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ：

1) 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子（可依照附录A选取），由以下周剂量参考控制水平（ \dot{H}_c ）求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$):

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

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

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

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

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

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-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；

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；安装调试及维修情况下，任何联锁旁路应通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试。

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。

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/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。

(5) 《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)

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；伽玛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。

6.2 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。

6.4 安全装置和警示标志要求

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

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

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。

(6) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)

5.8 介入放射学、近台同室操作（非普通荧光屏透视）用X射线设备防护性能的专用要求

5.8.1 介入放射学、近台同室操作（非普通荧光屏透视）用X射线设备应满足其相应设备类型的防护性能专用要求。

5.8.2 在机房内应具备工作人员在不变换操作位置情况下能成功切换透视和摄影功能的控制键。

5.8.3 X射线设备应配备能阻止使用焦皮距小于20 cm的装置。

5.8.4 介入操作中，设备控制台和机房内显示器上应能显示当前受检者的辐射剂量测定指示和多次曝光剂量记录。

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。

6.1.5 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 7-4）的规定。

表 7-4 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 ^d (m ²)	机房内最小单边长度 ^e (m)
单管头 X 射线设备（含 C 形臂）	20	3.5

^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。

6.2.1 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（表 7-5）的规定。

表 7-5 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125 kV及以下的摄影机房	2.0	1.0
C 形臂 X 射线设备机房	2.0	2.0

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 $\mu\text{Sv/h}$ 。

6.4 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。

(7) 辐射剂量管理限值

综合考虑上述评价标准，本项目管理目标为：

①辐射剂量率管理限值

a、DSA 杂交手术室四周墙体、顶、底、防护门处表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 。

b、1#直线加速器机房关注点位见图 7-1，关注点剂量率参考控制水平见表 7-6；2#直线加速器机房关注点位见图 7-2，关注点剂量率参考控制水平见表 7-7；射波刀机房关注点位见图 7-3，关注点剂量率参考控制水平见表 7-8。

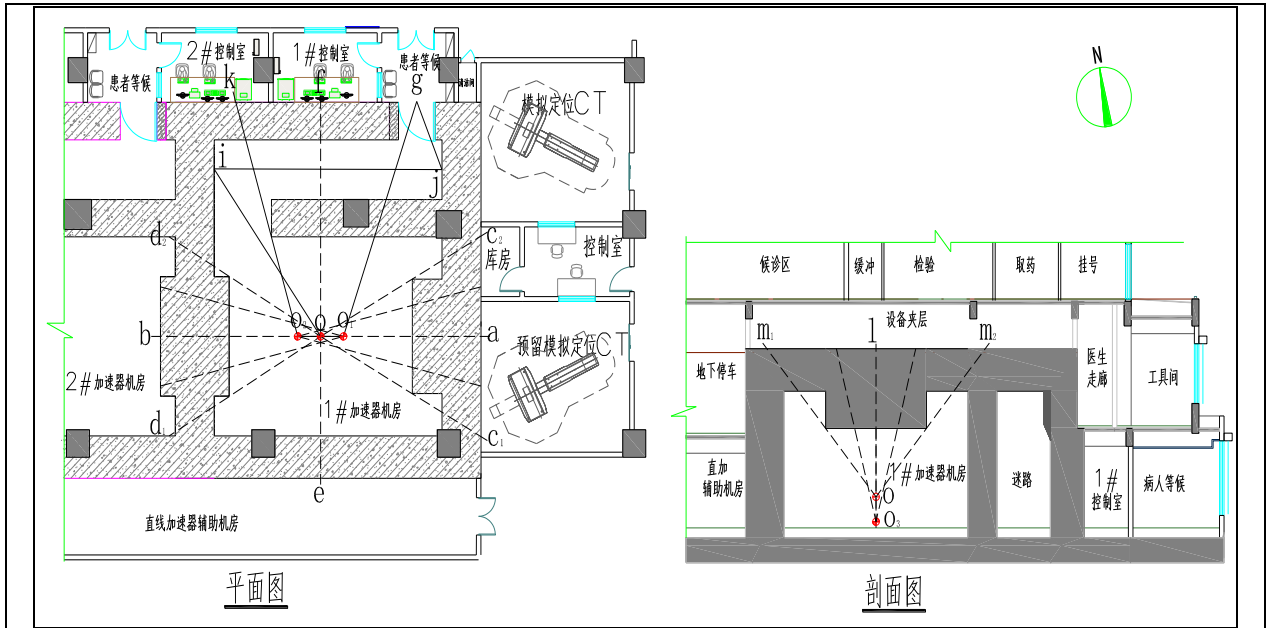


图 7-1 1#直线加速器机房关注点位示意图

表 7-6 1#直线加速器机房关注点剂量率参考控制水平

位置	对应场所	周剂量参考 控制水平 ($\mu\text{Sv}/\text{周}$)	周工作 时间 t (h)	使用 因子 U	居留 因子 T	剂量率参考控制水平 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)		
						$\dot{H}_{c,d}$	$\dot{H}_{c,max}$	\dot{H}_c
东墙主屏蔽 (a 点)	模拟定位 CT 机房	5	25	1/4	1/2	1.6	2.5	1.6
东墙次屏蔽 (c_1 和 c_2 点)	模拟定位 CT 机房 和库房	5		1	1/2	0.4	2.5	0.4
南墙侧屏蔽 (e 点)	加速器辅 助机房	100		1	1/4	16	2.5	2.5
西墙主屏蔽 (b 点)	2#加速器 治疗机房	5		1/4	1/2	1.6	2.5	1.6
西墙次屏蔽 (d_1 和 d_2 点)	2#加速器 治疗机房	5		1	1/2	0.4	2.5	0.4
北侧迷道外墙 (f 点)	1#加速器 控制室	100		1	1	4	2.5	2.5
北侧迷道外墙 (k 点)	2#加速器 控制室	100		1	1	4	2.5	2.5
顶部主屏蔽 (l 点)	设备夹层	5		1/4	1/16	12.8	2.5	2.5
屋顶次屏蔽 (m_1 和 m_2 点)	设备夹层	5		1	1/16	3.2	2.5	2.5
防护门 (g 点)	患者等候 室	5		1	1/8	1.6	2.5	1.6

注：①居留因子 T 取自《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021) 表 A.1 中数值。

② $\dot{H}_{c,max}$ 均保守取 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 的管理限值。

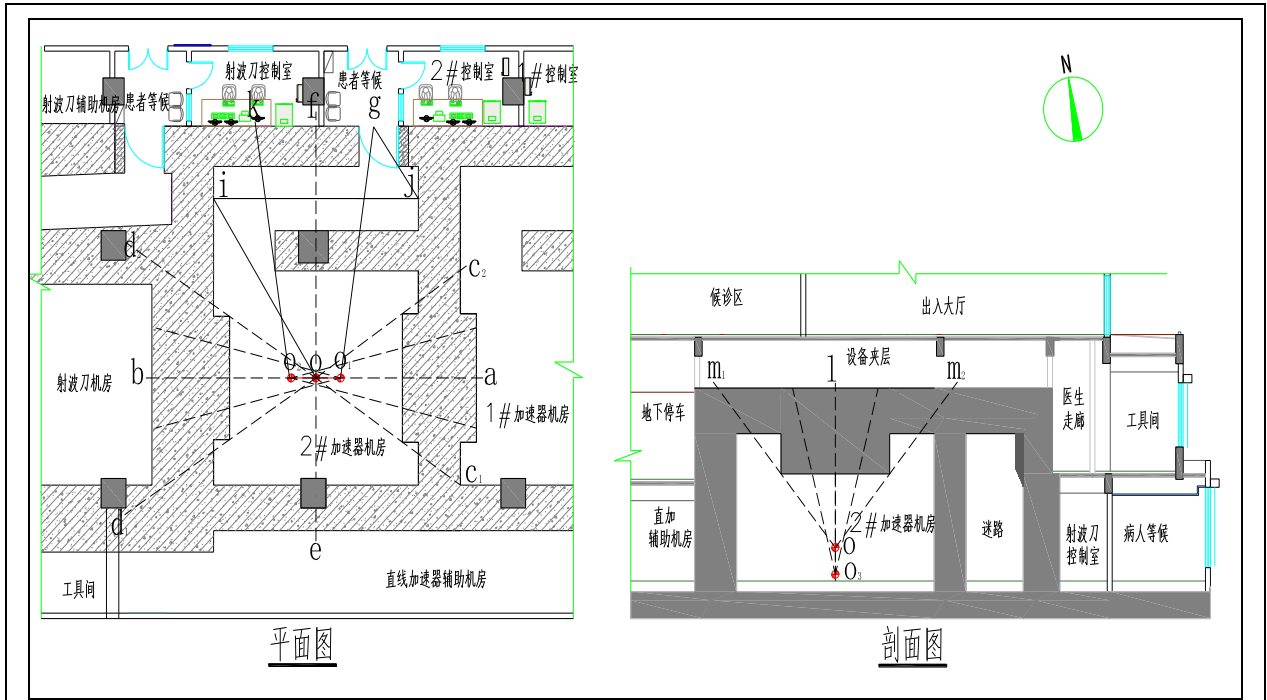


图 7-2 2#直线加速器机房关注点位示意图

表 7-7 2#直线加速器机房关注点剂量率参考控制水平

位置	对应场所	周剂量参考 控制水平 ($\mu\text{Sv}/\text{周}$)	周工作 时间 t (h)	使用 因子 U	居留 因子 T	剂量率参考控制水平 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)		
						$\dot{H}_{c,d}$	$\dot{H}_{c,max}$	\dot{H}_c
东墙主屏蔽 (a 点)	1#加速器治 疗机房	5	25	1/4	1/2	1.6	2.5	1.6
东墙次屏蔽 (c_1 和 c_2 点)	1#加速器治 疗机房	5		1	1/2	0.4	2.5	0.4
南墙侧屏蔽 (e 点)	加速器辅助 机房	100		1	1/4	16	2.5	2.5
西墙主屏蔽 (b 点)	射波刀机房	5		1/4	1/2	1.6	2.5	1.6
西墙次屏蔽 (d_1 和 d_2 点)	射波刀机房	5		1	1/2	0.4	2.5	0.4
北侧迷道外墙 (k 点、f 点)	射波刀 控制室	100		1	1	4	2.5	2.5
顶部主屏蔽 (1 点)	设备夹层	5		1/4	1/16	12.8	2.5	2.5
屋顶次屏蔽 (m_1 和 m_2 点)	设备夹层	5		1	1/16	3.2	2.5	2.5
防护门 (g 点)	患者等候室	5		1	1/8	1.6	2.5	1.6

注：①居留因子 T 取自《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021) 表 A.1 中数值。

②根据图 7-2，西墙次屏蔽区 d_1 和 d_2 点位于射波刀机房的屏蔽墙内，本项目保守将 d_1 和 d_2 点设置在射波刀机房内进行计算。

③ $\dot{H}_{c,max}$ 均保守取 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 的管理限值。

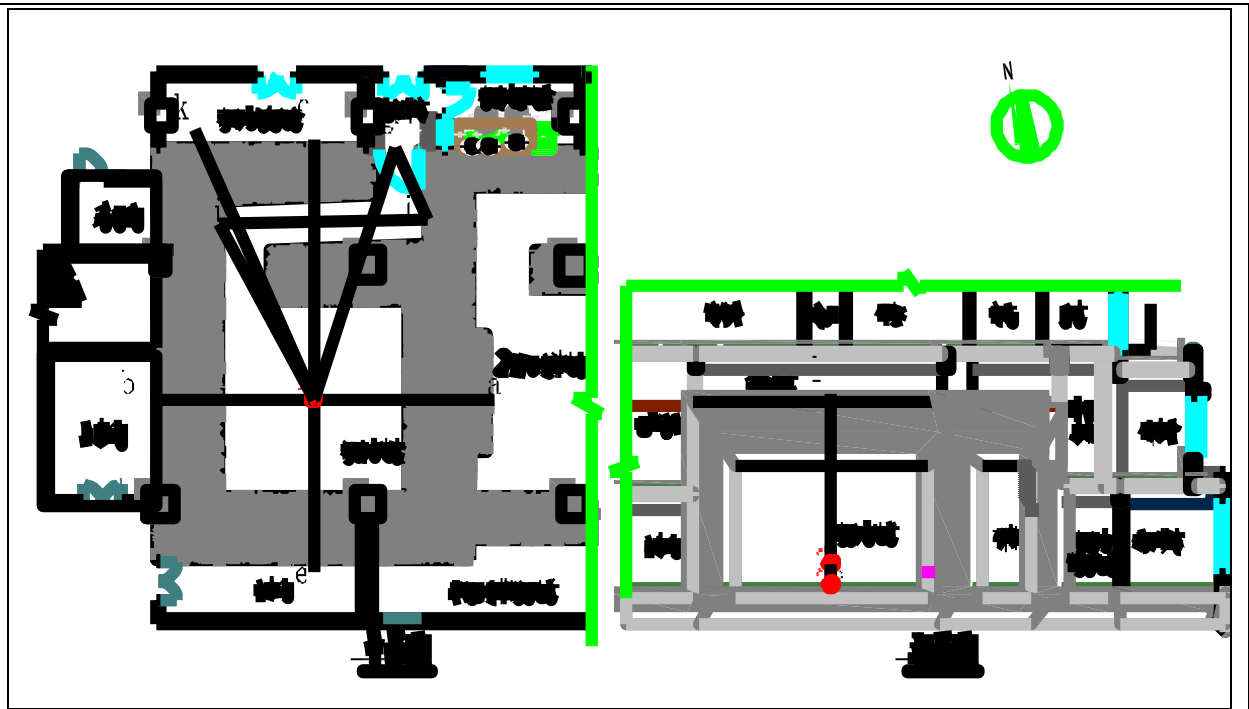


图 7-3 射波刀机房关注点位示意图

表 7-8 射波刀机房关注点剂量率参考控制水平

位置	对应场所	周剂量参考控制水平 ($\mu\text{Sv}/\text{周}$)	周工作时间 t (h)	使用因子 U	居留因子 T	剂量率参考控制水平 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)		
						$\dot{H}_{c,d}$	$\dot{H}_{c,max}$	\dot{H}_c
东侧屏蔽墙 (a 点)	2#加速器治疗机房	5	40	1/20	1/2	5	2.5	2.5
南侧屏蔽墙 (e 点)	工具间和加速器辅助机房	5		1/20	1/4	10	2.5	2.5
西侧屏蔽墙 (b 点)	工具间和楼梯间等	5		1/20	1/4	10	2.5	2.5
北侧迷道外墙 (k 点、f 点)	射波刀辅助机房	100		1/20	1/4	200	2.5	2.5
顶部屏蔽墙 (l 点)	设备夹层	5		1/20	1/16	40	2.5	2.5
防护门 (g 点)	患者等候室	5		1/20	1/8	20	2.5	2.5

注：①居留因子 T 取自《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021) 表 A.1 中数值。

② $\dot{H}_{c,max}$ 均保守取 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 的管理限值。

②年有效剂量管理限值

职业人员年有效剂量不超过 **5mSv**，公众年有效剂量不超过 **0.1mSv**；DSA 介入手术人员四肢或皮肤年受照剂量不超过 **125mSv**，眼晶体年受照剂量不超过 **37.5mSv**。

(8) 参考资料

① 《辐射防护导论》，方杰主编

② 根据《浙江省环境天然放射性水平调查报告》，宁波地区建筑物室内 γ 辐射剂量率的范围为（80~194）nGy/h，道路上 γ 辐射剂量率的范围为（64~128）nGy/h，原野 γ 辐射剂量率的范围为（45~95）nGy/h。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 环境质量和辐射现状

8.1.1 项目地理和场所位置

宁波市第一医院方桥院区位于宁波市奉化方桥东环北路以东，儒江路以南，北仓西路以北，医院东侧为规划居住用地，南侧为北仓西路，西侧为东环北路，北侧为儒江路。

本项目直线加速器机房和射波刀机房拟建址位于 12#病房综合楼地下二层；本项目 DSA 杂交手术室拟建址位于 2#门诊医技综合楼一层。

本项目 12#病房综合楼拟建址和 DSA 杂交手术室拟建址及周围环境现状见图 8-1~图 8-5。



图 8-1 12#病房综合楼拟建场址

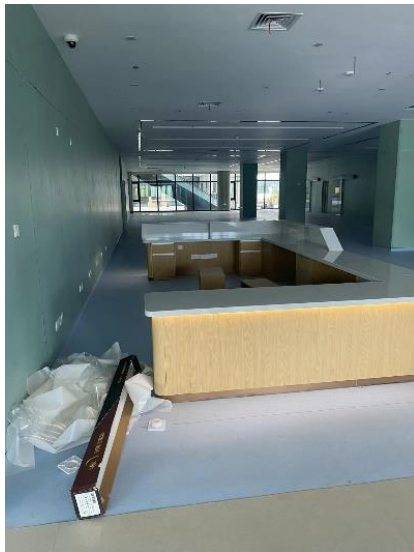


图 8-2 DSA 杂交手术室拟建址东侧



图 8-3 DSA 杂交手术室拟建址南侧



图 8-4 DSA 杂交手术室拟建址西侧



图 8-5 DSA 杂交手术室拟建址北侧

8.1.2 环境现状监测

本项目正处在施工建设阶段，在进行现状调查时，主要调查直线加速器机房和射波刀机房所在 12#病房综合楼拟建址、DSA 杂交手术室拟建址及周围环境的辐射水平。

1、监测因子

γ 辐射空气吸收剂量率

2、监测点位

监测时，根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）等要求，结合现场条件，在直线加速器机房和射波刀机房所在 12#病房综合楼拟建址及周围环境共计布点 6 个监测点位，在 DSA 杂交手术室拟建址及周围环境共计布点 7 个监测点位。

3、监测方案

①监测目的：12#病房综合楼拟建址和 DSA 杂交手术室拟建址及周围辐射环境现状监测；

②监测内容：12#病房综合楼拟建址和 DSA 杂交手术室拟建址及周围环境 γ 辐射空气吸收剂量率；

③监测单位：湖州环安检测有限公司

④监测日期：2022 年 5 月 18 日 天气：晴，气温：23℃，湿度：56%RH

⑤监测仪器及编号：RM-2030 型 X、 γ 辐射空气吸收剂量率仪（2019016）；

⑥能量响应范围：35keV~3MeV；

⑦量程范围：0.01 μ Sv/h~200 μ Sv/h；

⑧检定有效期：2021.12.02~2022.12.01；

⑨布点原则：在 12#病房综合楼拟建址和 DSA 杂交手术室拟建址及周围环境进行布点，共计布点 13 个；

⑩监测方法：监测时，按照《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）中的要求进行，监测时仪器探头水平距离地面 1m，每组读 10 个数据，取算术平均值计算结果。

4、质量保证措施

①委托的检测机构已通过计量认证，具备有相应的检测资质和检测能力，其计量认证证书及检测能力证书见附件 5；

②委托的检测机构制定有质量体系文件，所有活动均按照质量体系文件要求进行，实施全过程质量控制；

③委托的检测机构所采用的监测设备均通过计量部门检定，并在检定有效期内；

④所有检测人员均通过专业的技术培训和考核；

⑤检测仪器在使用前、后进行性能检查；

⑥检测报告实行三级审核。

5、监测结果及评价

本项目直线加速器机房和射波刀机房所在 12#病房综合楼拟建址及周围辐射环境现状监测结果见表 8-1，监测点位见图 8-6，DSA 杂交手术室拟建址及周围辐射环境现状监测结果见表 8-2，监测点位见图 8-7，详细监测结果见附件 5。

表 8-1 本项目 12#病房综合楼拟建址及周围环境的 γ 辐射空气吸收剂量率监测结果

序号	监测点位描述	监测结果 ($\mu\text{Gy/h}$)	标准差
1	12#病房综合楼拟建址西部	0.10	0.01
2	12#病房综合楼拟建址东部	0.09	0.01
3	12#病房综合楼拟建址东侧医院道路	0.10	0.01
4	12#病房综合楼拟建址南侧医院道路	0.09	0.01
5	12#病房综合楼拟建址西侧医院道路	0.09	0.01
6	12#病房综合楼拟建址北侧医院道路	0.08	0.01

注：1、本次测量时，仪器探头垂直向下，距地面的参考高度为 1m，仪器读数稳定后，以 10s 为间隔读取 10 个数据；

2、依据 HJ 1157-2021 标准：测量值=读数平均值 \times 校准因子 k_1 \times 仪器检验源效率因子 k_2 \div 空气比释动能和周围剂量当量的换算系数；校准因子 k_1 为 0.95，效率因子 k_2 取 1，本项目监测仪器读数为空气比释动能率 $\mu\text{Gy/h}$ ，无需再转换；

3、以上监测结果均已对宇宙射线的响应值修正，环境 γ 辐射空气吸收剂量率=测量值-屏蔽修正因子 k_3 \times 测量点宇宙射线响应值 D_c ， k_3 楼房取 0.8、平房取 0.9、原野和道路取 1，仪器对宇宙射线的响应值为 $0.03\mu\text{Gy/h}$ 。

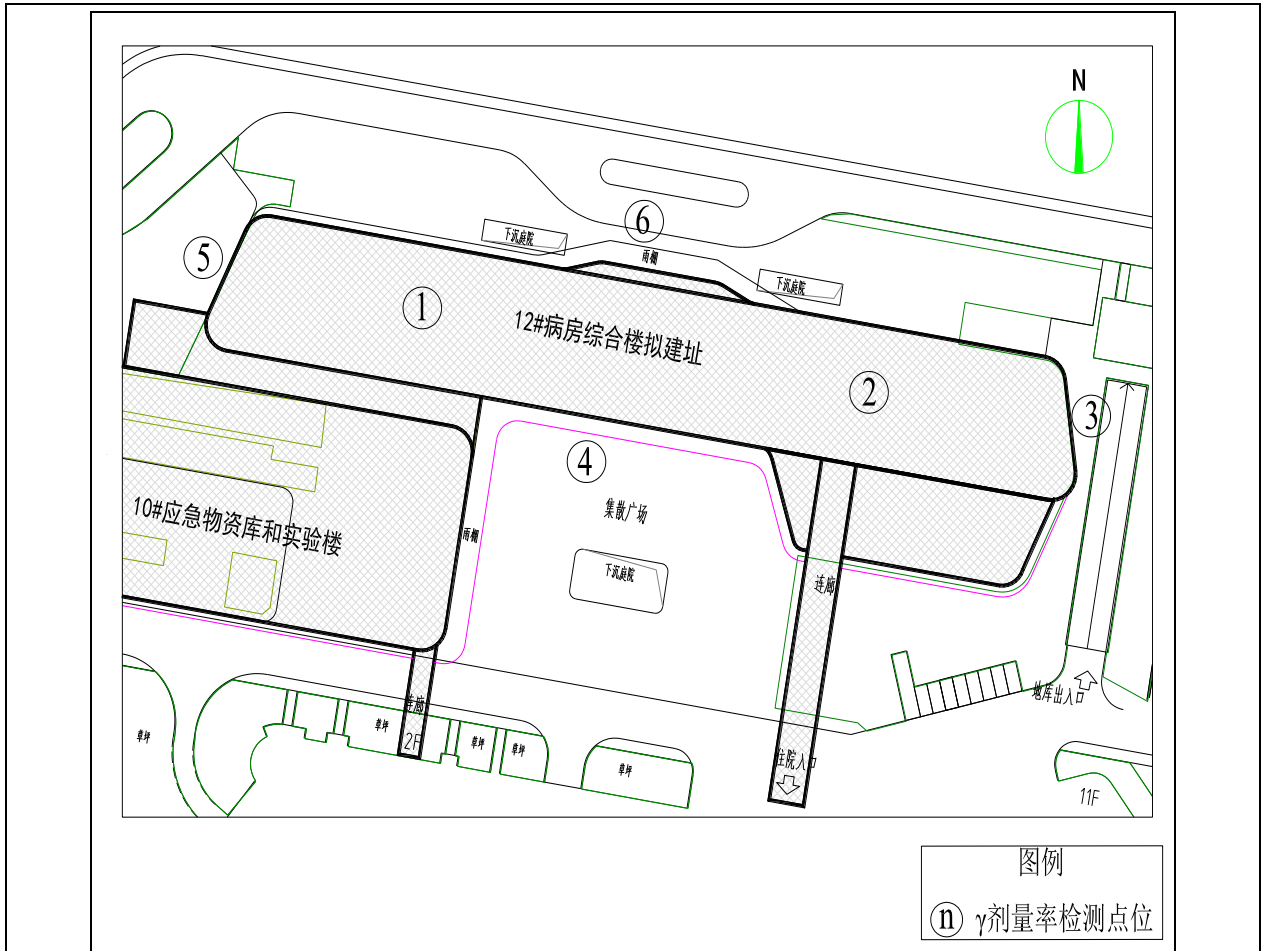


图 8-6 本项目 12#病房综合楼拟建址及周围辐射环境现状监测点位示意图

表 8-2 本项目 DSA 杂交手术室拟建址及周围环境的 γ 辐射空气吸收剂量率监测结果

序号	监测点位描述	监测结果 ($\mu\text{Gy/h}$)	标准差
1	DSA 杂交手术室拟建址	0.11	0.01
2	DSA 控制室拟建址	0.12	0.01
3	DSA 杂交手术室拟建址东侧 (急诊大厅)	0.10	0.01
4	DSA 杂交手术室拟建址南侧 (走廊)	0.12	0.01
5	DSA 杂交手术室拟建址西侧 (拟建二次候诊复苏室)	0.11	0.01
6	DSA 杂交手术室拟建址楼上 (EICU 室)	0.10	0.01
7	DSA 杂交手术室拟建址楼下 (停车场)	0.10	0.01

注：1、本次测量时，仪器探头垂直向下，距地面的参考高度为 1m，仪器读数稳定后，以 10s 为间隔读取 10 个数据；

2、依据 HJ 1157-2021 标准：测量值=读数平均值 \times 校准因子 k_1 \times 仪器检验源效率因子 k_2 \div 空气比释动能和周围剂量当量的换算系数；校准因子 k_1 为 0.95，效率因子 k_2 取 1，本项目监测仪器读数为空气比释动能率 $\mu\text{Gy/h}$ ，无需再转换；

3、以上监测结果均已对宇宙射线的响应值修正，环境 γ 辐射空气吸收剂量率=测量值-屏蔽修正因子 k_3 \times 测量点宇宙射线响应值 D_c ， k_3 楼房取 0.8、平房取 0.9、原野和道路取 1，仪器对宇宙射线的响应值为 $0.03\mu\text{Gy/h}$ 。

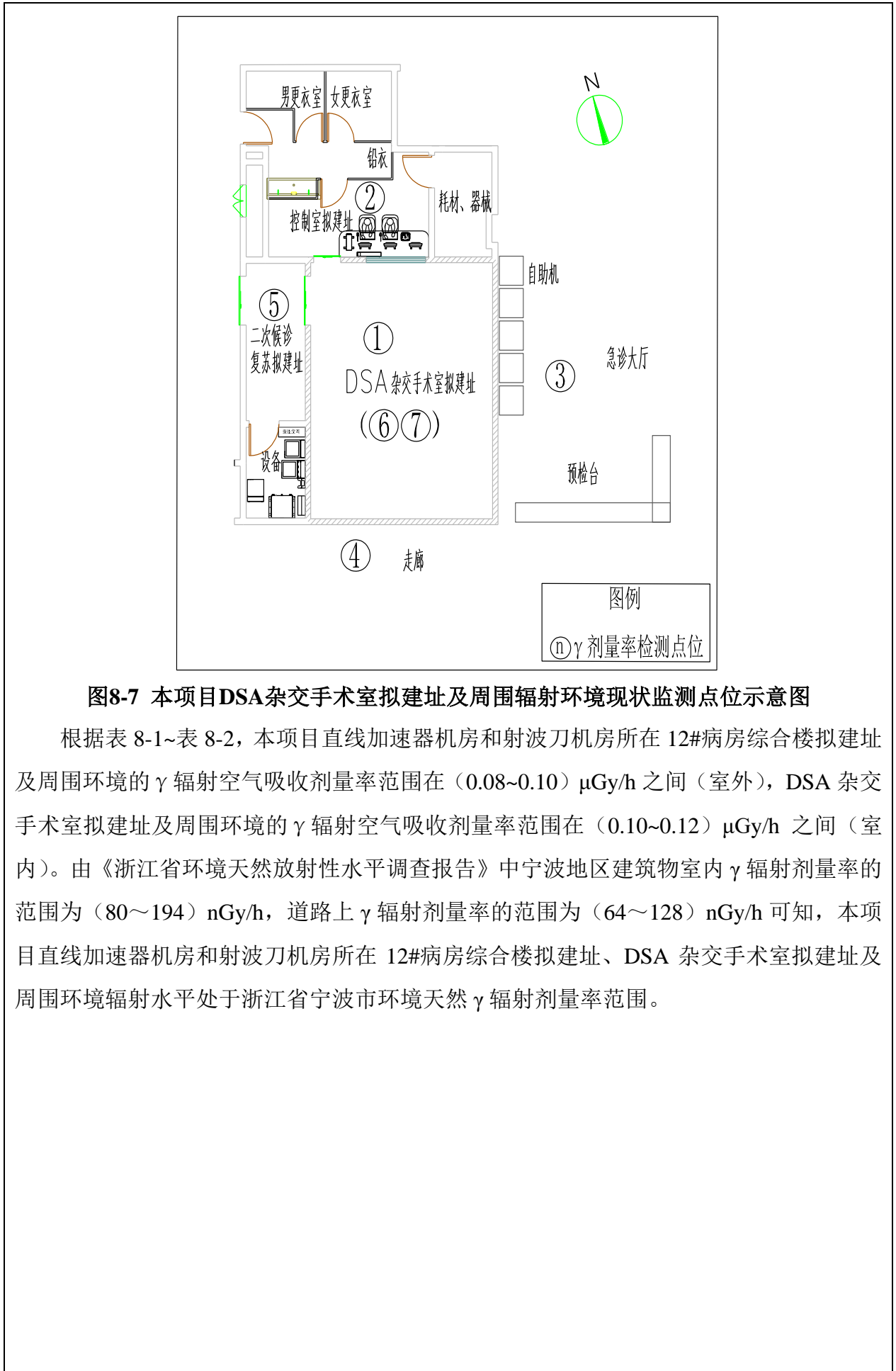


表 9 项目工程分析与源项

9.1 工程设备和工艺分析

9.1.1 工程设备

1、直线加速器

(1) 设备组成及技术参数

医用直线加速器是产生高能 X 射线和电子束的装置，为远距离治疗机。其主要由机架组件、照射头、加速管、微波功率源、微波传输系统、电子枪、束流系统、真空系统、恒温水冷却系统、电源及控制系统、治疗床等组成。

①加速管

加速管是医用电子直线加速器的核心部分，电子在加速管内通过微波电场加速。加速管主要有两种基本结构——盘荷波导加速管和边耦合加速管。

②微波功率源

微波功率源有两种，磁控管和速调管，行波医用电子直线加速器和低能医用电子直线加速器使用磁控管作为微波功率源，中高能驻波医用电子直线加速器使用速调管作为功率源。

③微波传输系统

微波传输系统主要包括隔离器、波导窗、波导、取样波导、输入输出耦合器、三端或四端环流器、终端吸收负载、频率自动稳频等组成。

④电子枪

电子枪为医用电子直线加速器提供被加速的电子，行波医用电子直线加速器的电子枪的阴极采用钨或钍钨制成，有直热式，间接式和轰击式三种加热方式，驻波医用电子直线加速器的电子枪由氧化物制成。

⑤束流系统

束流系统有偏转线圈、聚焦线圈等组成，可控制束流的方向，提高束流的品质。

⑥真空系统

真空系统为被加速的电子不因与空气中的分子相碰而损失掉提供保证，一般使用离子泵保持医用电子直线加速器的运行真空。

⑦恒温水冷却系统

恒温水冷却系统带走微波源等发热部件产生的热量，为保证整个系统恒温，恒温水冷却系统需要一定的水流压力和流量。

⑧机架组件、照射头、电源及控制系统、治疗床属于应用部分。

常见直线加速器外观见图 9-1，典型医用直线加速器示意图及内部结构图见图 9-2 和

图 9-3。

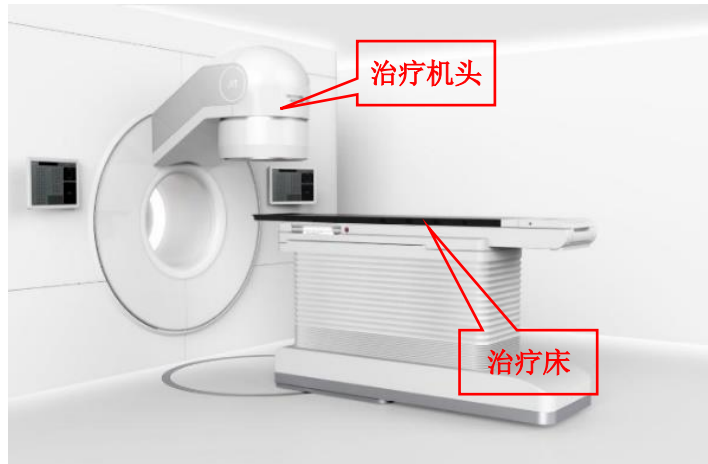


图9-1 常见直线加速器外观示意图

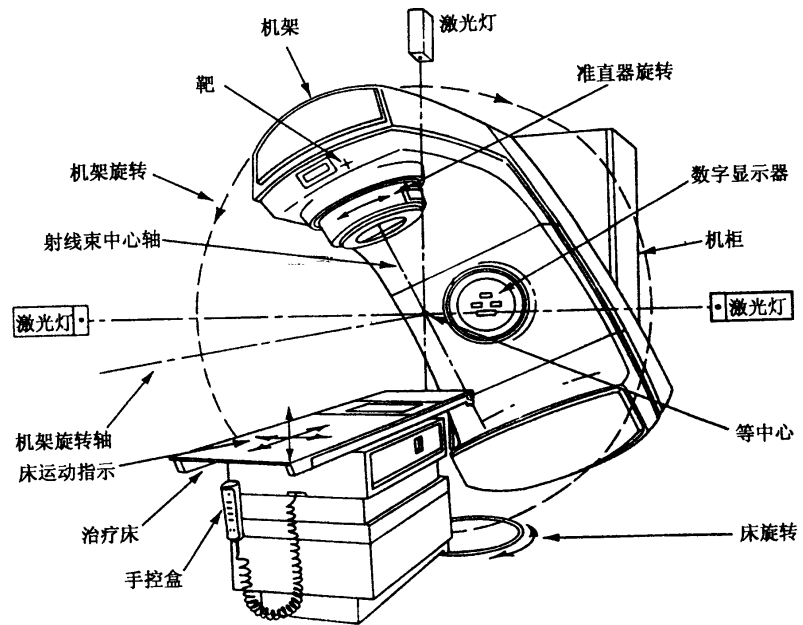


图 9-2 典型医用直线加速器示意图

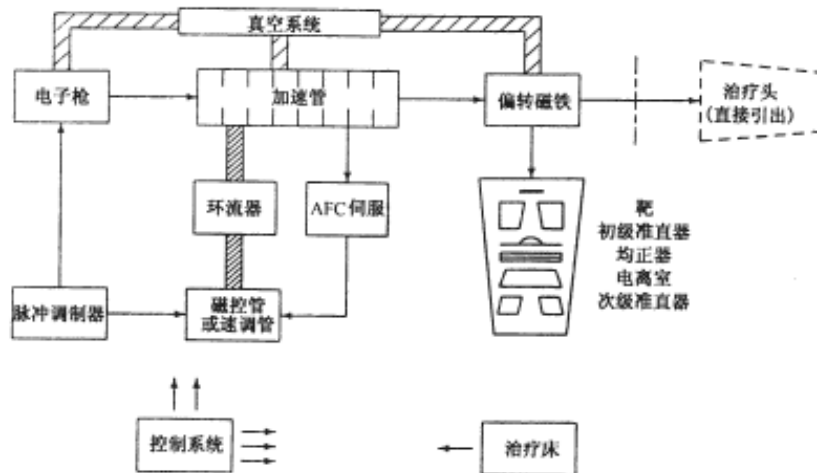


图 9-3 典型医用直线加速器结构图

医院拟购的直线加速器型号未定，根据医院招标计划，医院拟购置的直线加速器主要技术参数见表 9-1。

表 9-1 本项目直线加速器技术参数一览表

项目	参数
设备型号	未定
类别	II 类
加速器粒子	电子
能量	X 射线：6/10MV 电子线：4~22MeV
距靶 1m 处 X 射线最大剂量率	X 射线最高剂量率为：1440Gy/h（10MV，3F 模式）、 840Gy/h（6MV，3F 模式） 电子线最高剂量率为：360Gy/h
泄漏 X 射线	在所有的方向上，距离电子加速路径 1 m 处的 X 线吸收剂量， 均不超过等中心处吸收剂量的 0.1%
最大照射野	40cm×40cm
最大源轴距	SAD = 100cm
射线最大出射角	28°
机架旋转	360°
靶材料	钨合金
等中心点离地高度	1240mm

(2) 工作方式

本项目直线加速器工作场所拟配套相应的治疗机房和控制室，控制室与治疗机房分开设置，辐射工作人员在控制室内通过控制系统操作直线加速器开展放射治疗，其采取的是隔室操作的工作方式。

2、射波刀

(1) 设备组成及技术参数

Cyber Knife（中文译名射波刀或赛博刀）是一种新型立体定向放射治疗装置，由美国 Stanford 大学医疗中心脑外科与 Accuray（安科锐）公司合作研发，1994 年投入使用。它集影像引导系统和高准确性的治疗系统于一身，将一个 6MV X 射线的轻型电子直线加速器安放在一个有 6 个自由度的机械臂上，利用机械臂的全向投照能力对肿瘤进行精确地、非共面和多中心的放射治疗。射波刀是全球唯一整合最先进的机器人技术和智能影像实时监控、追踪系统的放射治疗系统，尤其擅长对颅内肿瘤进行立体定向放射治疗、对运动器官进行追踪治疗。射波刀结构包括：

(1) 直线加速器 (Linear accelerator): 射波刀使用一个紧凑型、能产生 6MV X 射线的轻型直线加速器, 直线加速器安装在由机器人控制的机械臂上. 该直线加速器配有 12 个准直器, 准直器直径从 5mm 到 60mm。

(2) 机器人机械臂 (Robot arm): 机器人机械臂头端上安装有直线加速器, 它带动直线加速器围绕患者在前、后、左、右、上、下六度空间自由转动, 按照计算机预设的路线, 机械臂可将直线加速器调整到最多两百余个位置 (或节点), 在每个节点处可以从 12 个角度投照射线, 因此提供多达最多三千个方位发出射线。每到一个预设治疗点, 机械臂停止运动, 直线加速器对准靶区投照相应的放射剂量。

(3) 治疗床 (treatment table): 射波刀的治疗床也由机器人控制, 可以在六度空间自由移动。

(4) 靶区定位 (影像) 追踪系统 (target localization system): 与传统放射外科使用立体定向架固定患者头部以确保射线精确投照不同, 射波刀使用人体骨骼结构作为参考框架, 颅内病灶与颅骨之间产生固定的对应关系。靶区定位 (影像) 追踪系统是利用天花板上安装的两组诊断 X 射线球管和安装于地板平面下的影像探测器组成, 两组 X 射线球管发出的低能 X 线相互垂直, 交叉穿过头颅 (或患者肿瘤的治疗部位), 影像探测器获得颅骨的数字图像, 并将影像资料传输到数据处理系统 (image processing system, IPS), 计算机与事先 CT 扫描获得的颅骨数字重建图像 (DDR) 相比较, 首先确定颅骨的精确位置, 然后得出治疗靶目标 (病灶) 的精确位置。靶区定位追踪系统使用 4 套计算机软件, 治疗颅内病变时, 使用 6 维颅骨追踪软件; 治疗脊髓、脊柱及其周围肿瘤时, 使用 Xsight Spine (脊柱追踪软件); 治疗部分周围型肺癌时, 使用 XsightLung (肺部追踪软件); 治疗随呼吸运动的肿瘤时或需要埋置金标时, 使用金标追踪和呼吸追踪系统。

(5) 治疗计划系统: 治疗计划系统由计算机工作站和 Multiplan 治疗计划软件组成。病人治疗前, 先作 X-ray 定位, 将定位影像传输到计算机内。医生先勾画出计划治疗的肿瘤和重要器官, 然后设置中心点, 最后选择准直器并给出肿瘤和重要器官的剂量要求, 计算机能自动设计一个满足设定条件、适形满意、剂量分布均匀、照射范围与肿瘤形状几乎吻合的治疗计划。根据治疗的需要, 医生可设计单次治疗, 也可设计分次治疗。射波刀治疗计划系统不仅具有常规的正向治疗计划, 而且还有任意形状逆向治疗计划。正向治疗计划是医生根据病灶的大小和形状, 选择相应的准直器和照射方式逐步设计出一个和病灶形状几乎一样的照射形状, 然后给出周边剂量和中心剂量。逆向治疗计划是医生先勾画出计划照射的靶区以及给出靶区和重要器官的剂量要求, 计算机自动设计一个满足设定条件的治疗计划。

(6) 呼吸追踪系统: 当治疗肺部肿瘤或受呼吸运动影响的肿瘤 (肝癌、胰腺、肺癌

等)时, 肿瘤随着病人的呼吸而上下左右运动。治疗这些体部肿瘤之前, 需要向肿瘤内或周围放置金标(由黄金制成的长5mm、直径0.8mm的圆柱体称为金标), 金标放置5-7天后才能实施射波刀治疗, 呼吸追踪是让病人穿上胸前带有发红光二极管的背心, 呼吸追踪摄像机通过捕捉二极管的运动获得肺部的呼吸运动节律, 计算机建立呼吸模型。治疗时, 通过追踪金标的位置获得肿瘤的精确位置, 同时计算机根据呼吸节律, 自动微调机器人机械臂, 让射线始终精确瞄准病灶。

(7) 计算机网络集成与控制系统: 射波刀拥有一个计算机工作站(SGI), SGI计算机通过网络控制机器人机械臂、控制直线加速器何时投射射线、治疗床的移动和治疗靶区位置的追踪。此外, 治疗时获得的骨骼图像与定位图像的自动比对均在SGI计算机掌控下自动进行。与现有的直线加速器和伽马刀相比较, 射波刀有如下优势:

① 治疗精确: 该设备是一种高精度的影像引导放疗系统, 根据部位的特殊结构, 选取不同的追踪方式, 在影像引导下轻松实现肿瘤的高精度照射治疗, 定位精度误差小于0.1mm。

② 无痛无创: 与头部伽玛刀相比, 无需安装头部固定架, 减少了手术风险和手术并发症的发生, 避免了患者在治疗过程中和治疗后的疼痛及不适。

③ 治疗时间短: 由于其治疗的精确性, 根据病情需要可将单次治疗剂量变成多次分割治疗剂量, 缩短照射时间, 一般常见肿瘤仅需1-5次的照射, 且患者无需住院, 可提高患者治疗的舒适性并降低因长期住院产生的费用。

④ 毒副作用小: 射波刀可以更加有效并最大限度的保护肿瘤周围正常组织。

常见射波刀外观见图9-4, 本项目射波刀技术参数见表9-2。



图9-4 射波刀外观示意图

表 9-2 本项目射波刀主要技术参数

参数名称	参数值
加速器能量	X 线: 6MV
X-ray 靶区定位追踪系统参数	150kV、500mA
生产厂家	Accuray Incorporated
治疗中心处最大辐射剂量率	6MV 下 X 线剂量率最大: 600Gy/h
靶点至治疗中心距离	800mm
等中心处最大照射野尺寸	有 12 种规格的准直器可以在 800mm SAD 下生 5mm-60mm 环形视野
泄漏 X 射线	<等中心处最大吸收剂量的 0.1%
等中心高度	921mm
射线最大出射角	除向上方向外, 机械臂端加速器可从任何角度将射线束投向靶区, 射线束向上照射的最大角度 22° (即与水平夹角 22°)

(2) 工作方式

本项目射波刀工作场所拟配套相应的治疗机房和控制室, 控制室与治疗机房分开设置, 辐射工作人员在控制室内通过控制系统操作射波刀开展放射治疗, 其采取的是隔室操作的工作方式。

3、DSA

(1) 设备组成及技术参数

DSA因其整体结构像大写的“C”, 因此也称作C型臂X光机。DSA成像系统按功能和结构划分, 主要由五部分构成: X线发生装置、影像检测和显示系统、影像处理和系统控制部分、机架系统和检查床、影像存储和传输系统。

① X线发生装置

X线发生装置主要包括X线球管、高压发生器和X线遮光器。介入治疗需要连续发射X射线, 要求有较高的球管热容量和散射率, 因此DSA必须具有阳极热容量在1MHU以上、具有大小焦点的X线球管。此外, 还需具有一个能产生高千伏、短脉冲和恒定输出的高压发生器、X线遮光器用来限制X线照射视野, 避免患者接受不必要的辐射。

② 影像检测和显示系统

影像检测和显示系统用于将X线信息影像转换成可见影像。目前数字成像系统共有两种: 影像增强器和平板探测器。影像增强器接收穿过人体的X线并转换为亮度增强数千倍的输出图像后, 经摄像机转换为电子图像, 再经A/D转换成数字图像; 而平板探测器是直接接收穿过人体的X线信息后转换成数字图像。现代大型DSA设备普遍使用平板探测器,

其转换环节少，减少了噪声，使X线光子信号的损失降到了最低限度，大大提高了光电转换效率。不但保证了优质的图像质量，而且降低了射线剂量。

③ 影像处理和系统控制部分

DSA影像被数字化后，则需进行各种算术逻辑运算，并对减影的图像进行各种后处理。计算机系统是DSA的关键部件，具有快速处理能力，主要对数字影像进行对数变换处理、时间滤波处理和对比度增强处理。系统控制部分具有多种接口，用于协调X线机、机架、计算机处理器和外设联动等。

④ 机架系统和检查床

机架系统有悬吊式和落地式两种，各有利弊，可根据工作特点和机房情况选择。检查床具有手术床和透视诊断床两种功能，多采用高强度、低衰减系统的碳素纤维床面，减少对X线的吸收。

⑤ 影像存储和传输系统

影像存储和传输系统采用在线存储和近线存储两种存储方式，充分利用网络技术实现影像资料的共享，方便随时调阅，更加高效的交流和管理DSA影像信息。

DSA在工作时，能够实现曝光采集及透视功能。目前主流的DSA多采用脉冲透视功能，能够实现短时间、低电压、大电流连续脉冲式动态采集。同时还能自动根据成像区衰减状态调整kV、mA等参数，使X射线管保持最佳负荷状态，在安全辐射剂量范围内获取最佳图像质量。

医院拟购置的DSA型号未定，根据医院招标计划，医院拟购置的DSA最大管电压为125kV、最大管电流为1250mA。常见DSA外观见图9-5。

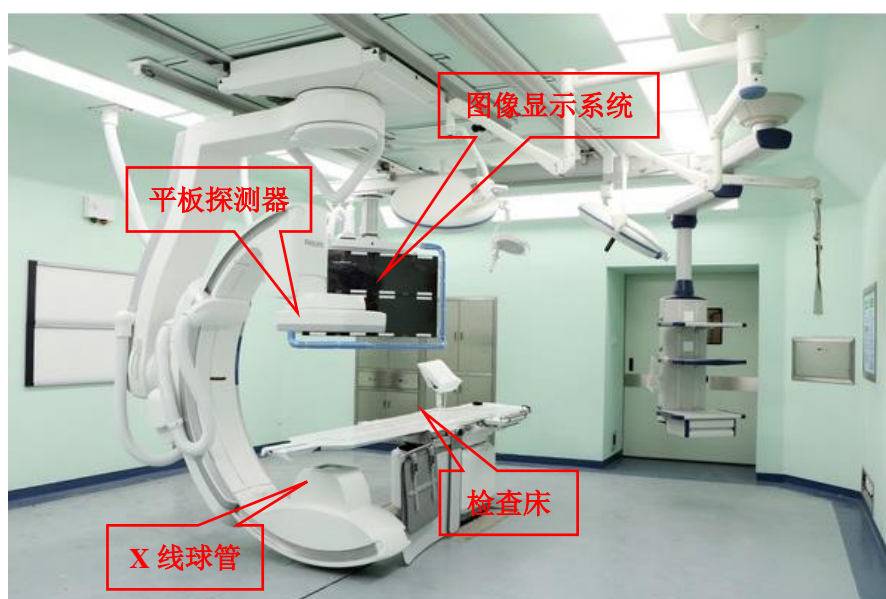


图 9-5 常见 DSA 的外观示意图

(2) 工作方式

本项目 DSA 工作场所拟配套相应的手术室和控制室,控制室与手术室分开设置。DSA 在进行曝光时可分为减影和透视两种情况:

①减影检查:减影是操作技师采取隔室操作的方式(即操作技师在控制室内对患者进行曝光),介入手术人员退出手术室,医生通过铅玻璃观察窗和操作台观察手术室内患者情况,并通过对讲系统与患者交流,曝光并通过电子计算机处理后得到最终的减影图像,医生根据减影图像对患者的病情进行诊断;

②介入治疗:透视是患者需进行介入手术治疗时,为更清楚的了解患者情况时会有连续曝光,并采用脉冲透视,此时操作技术和护士位于控制室,介入手术人员位于手术室铅帘后身着铅服、铅眼镜在手术室内对患者进行直接的介入手术操作。

9.1.2 工作原理、工作流程及产污环节

1、直线加速器

(1) 工作原理

放疗是癌症三大治疗手段之一。是用各种不同能量的射线照射肿瘤,以抑制和杀灭癌细胞的一种治疗方法。放疗可单独使用,也可与手术、化疗等配合,作为综合治疗的一部分,以提高癌症的治愈率。在手术前先作一段放疗使肿瘤体积缩小些,便可使原来不能手术的患者争取到手术的机会。对晚期癌症则可通过姑息性放疗达到缓解压迫、止痛等效果。放疗可分为根治性放疗和姑息性放疗二种。前者剂量较大,照射较彻底,适用于较早期及部分晚期患者,以消灭原发灶、手术后可能的残余灶以及某些转移灶。后者适用于晚期患者,多属权宜之计。根据耐受情况给予剂量,以达改善症状,减轻痛苦、延长生命之效。个别也可达到根治的效果。

本项目拟配置的直线加速器最大能量为 10MV,其有两种治疗模式:①电子束治疗模式,当直线加速器按电子束模式运行时,从电子枪里发出来的电子束经加速管加速后直接从加速管引出用于治疗病人,电子线到达预定部位后能量迅速下降,因而能大大减少射线对病变后面正常组织的危害,特别适于体表或靠近体表的各种肿瘤,例如,采用电子线治疗乳腺癌,肺部及心脏;②X 线治疗模式,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) 工作流程及产污环节

医用直线加速器进行肿瘤放射治疗的一般工作流程为:

①制定治疗方案

放疗前，医师集体讨论每位患者的治疗方案，根据每位患者的临床特征、病理诊断、实验室和影像检查资料、一般情况等，制定合适的个体治疗方案，确定初步的放疗原则。

②体位固定

确定初步的放疗原则后，由医生、物理师和技师根据患者具体情况选择和制作固定模具，保证每次放疗时体位的重复性，并尽量使患者感觉舒适，减少体位变动误差对精确放疗的影响。

③影像学资料的获取

体位固定完成后，要由医生和技师共同完成患者影像学资料的获取工作，即放疗定位和扫描工作。本项目采用 CT 定位扫描技术，对放疗区域行断层扫描，获取患者肿瘤及其周围器官组织详细的影像数据。CT 扫描完成后，即将影像数据传输至 TPS 计划系统，由物理师进行初步的影像数据处理。

④放疗靶区的确定

影像数据经过初步的处理后，即由医师勾画放疗靶区和要保护的重要器官组织轮廓图，放疗靶区包括 GTV（CT 显示的肿瘤轮廓）、CTV（包括 GTV 和肿瘤可能侵犯的亚临床灶）、PTV（考虑了患者器官运动和摆位误差的 CTV）。

⑤计划设计和评估优化

放疗靶区和重要器官组织轮廓勾画完成后，由物理师根据医师要求设计放疗计划。放疗计划设计完成后，要由医师和物理师进行评估优化，评估优化目标是在保证肿瘤获得足够放疗剂量的同时，尽可能控制重要器官组织的照射剂量不超其耐受剂量，而保护重要器官组织的功能和患者生活质量。

⑥放疗计划验证

放疗计划验证包括三项流程：放疗中心位置验证（即复位）、射野验证和剂量验证。

放疗中心位置验证：依照计划系统给出的肿瘤中心位置，找出对应的体表标志作为放疗时摆位的依据。

射野验证：指在确定放疗中心位置后，利用模拟机拍摄 X 光片，核对中心位置、每个照射野形状、入射角度和射野大小等是否正确，可将位置误差控制在 2~3mm 以内。

剂量验证：物理师核实体内所接受的射线照射剂量与计划系统所设计的照射剂量是否一致。

⑦放疗实施

上述准备工作全部完成且核对无误，才可实施真正的放射治疗。技师先在机房内进行摆位，按照标记线摆好患者，加入挡块、楔形板等辅助器材之后就可以离开机房，关

闭迷道门后进入操作室输入放射治疗参数，开启直线加速器进行出束治疗，在治疗中通过患者监视系统和对讲系统，密切监视患者体位是否移动，如果发现患者体位移动或发出求助信息，应立即停止治疗并做相应处理，纠正后再行照射。此过程会产生 X 射线、电子线和微量的臭氧、氮氧化物。

医用直线加速器放疗实施一般工作流程及产污环节示意图 9-6。

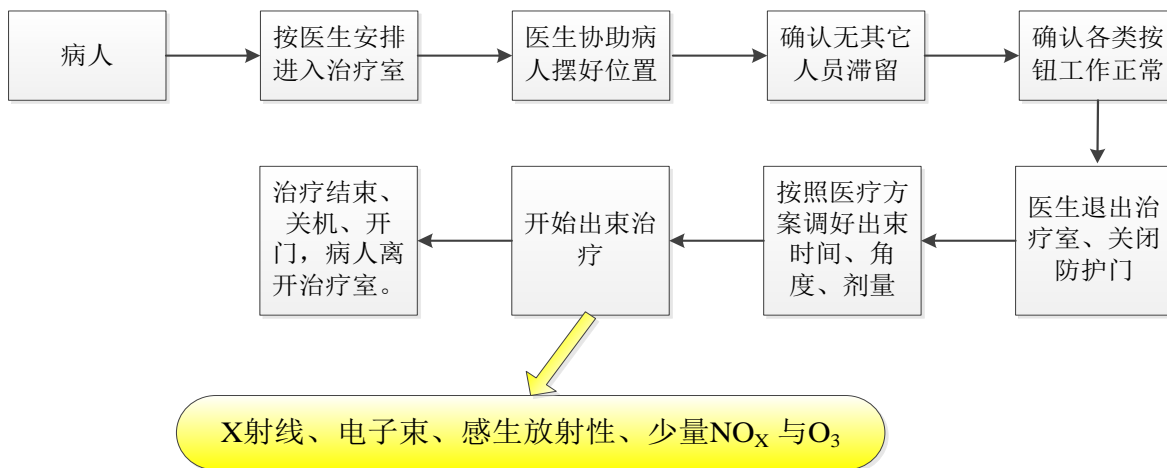


图 9-6 医用直线加速器放疗实施一般工作流程及产污环节示意图

直线加速器在维修维护过程或使用到一定年限需进行更换靶部件，一般每10年更换1~2次，产生的废靶拆卸后先放进屏蔽容器，暂存在加速器机房内，最终送交有资质的单位收贮。

2、射波刀

(1) 工作原理

射波刀是一种立体定位射波手术平台，利用球体堆叠的原理，将直线加速器发射的辐射剂量分散至大量的射线中，并以不同的角度入射，在此情况下，单束的辐射剂量非常低，不会对非目标的组织造成伤害，另外将剂量分散至多束射线，也较方便调整剂量分布，对于治疗不规则的肿瘤能更精准有效的控制辐射分布形状，其出束治疗示意图 9-7。

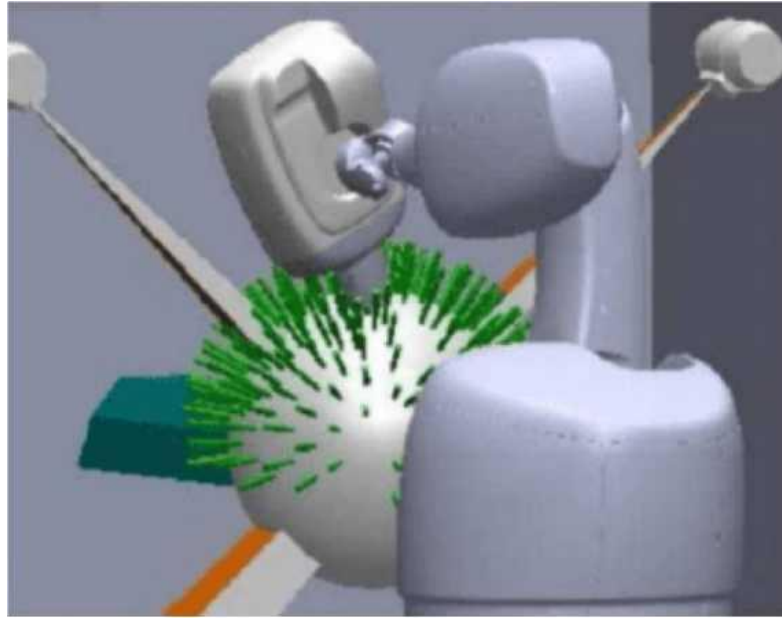


图9-7 射波刀射线治疗示意图

(2) 工作流程及产污环节

本项目射波刀工作流程及产污环节如下：

①定位扫描

通过模拟定位 CT 定位对病变部位进行扫描，用于确定肿瘤的精确位置。

②治疗计划

根据之前定位图像等，主治医师勾画靶区，选择合适的追踪模式，选择准直器的大小、射线强度、靶区范围、剂量分布、治疗剂量和其它参数，计算机能自动设计一个满足设定条件、适形满意、剂量分布均匀、照射范围与肿瘤形状几乎吻合的治疗计划。治疗计划设计完毕，将治疗计划保存并传输到射波刀主控计算机。

③靶区定位

患者平卧并固定在治疗床上，其余人员撤离治疗室，关闭大门。影像系统采集靶区的实时影像，并与治疗计划系统的治疗影像进行比对，找到靶区方位误差，工作人员通过电脑操作，移动治疗床，使实时影像与治疗影像完全拟合。此时计算机获得了患者病灶的初步方位。

④射线治疗

机械臂将直线加速器旋转到初始坐标位，然后按照程序将加速器围绕着患者旋转到预定节点，直线加速器每到一个节点，机械臂停止运动，此时靶区定位追踪系统立刻获得新的靶区影像，计算机确认目前的靶区影像与治疗开始时影像完全一致。如果病人靶区有轻微的移动，靶区定位追踪系统立刻计算出移动造成的偏差，并将此偏差传输到机器人机械臂，机械臂微调加速器的方位或射线的入射角度，最后加速器将所需的剂量精

确投射到病灶内。如果患者的移动超过计算机自动调整的范围，治疗会紧急暂停。加速器每到一个预定节点，将重复上述影像实时验证步骤。在治疗过程中，X射线球管每10秒钟发射一次，靶区影像追踪系统获取一次影像信息，从摄像到调整数据只需要几秒钟，射波刀基本上做到了在治疗过程中实时跟踪治疗靶区，根据病情需要射波刀可将单次治疗变成多次分割治疗。此过程会产生X射线和微量的臭氧、氮氧化物。

⑤治疗结束

加速器完成治疗，机器人回到停车位。工作人员打开防护门，将病人送出治疗机房。

射波刀放疗实施一般工作流程及产污环节示意图 9-8。

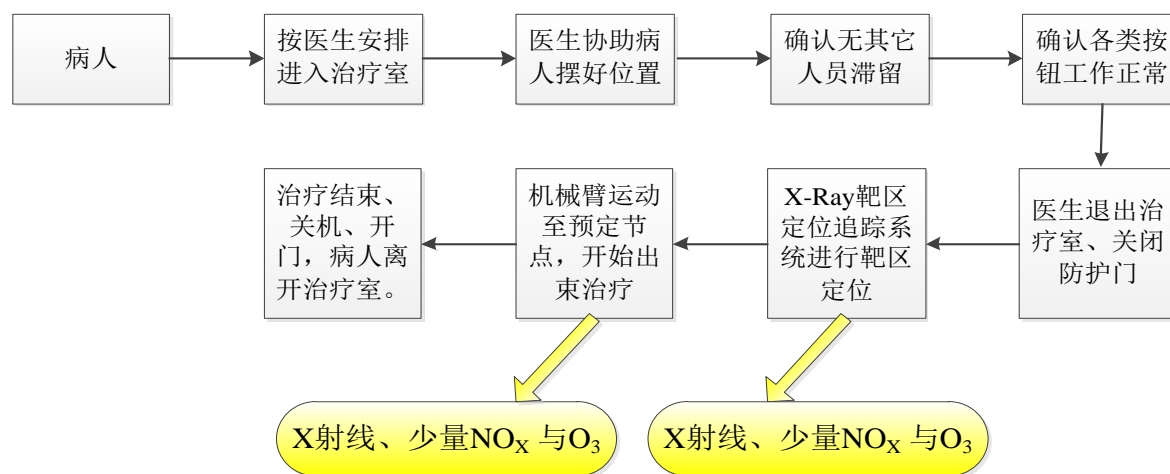


图 9-8 射波刀放疗实施一般工作流程及产污环节示意图

3、DSA

(1) 工作原理

数字减影血管造影技术是常规血管造影术和电子计算机图像处理技术相结合的产物。DSA的成像基本原理为：将受检部位没有注入造影剂和注入造影剂后的血管造影X射线荧光图像，经电子计算机处理并将两幅图像的数字信息相减，最终获得去除骨骼、肌肉和其他软组织，只留下单纯血管影像的减影图像，通过显示器显示出来。通过DSA处理的图像，使血管的影像更为清晰，在进行介入手术时更为安全。

本项目拟配备的DSA属于平板探测器型，其成像原理为：①曝光前对非晶硒两面的偏置电极板预先施加1~5000V正向电压形成偏执电场，像素矩阵处于预置初始状态；②X线曝光时在偏执电场作用下形成电流→垂直运动→电荷采集电极→给储存电容充电；③读取TFT储存电容内的电荷→放大→A/D转换成数字信号→计算机运算→形成数字图像；④消除残存电荷，其系统结构图示意图见图9-9。

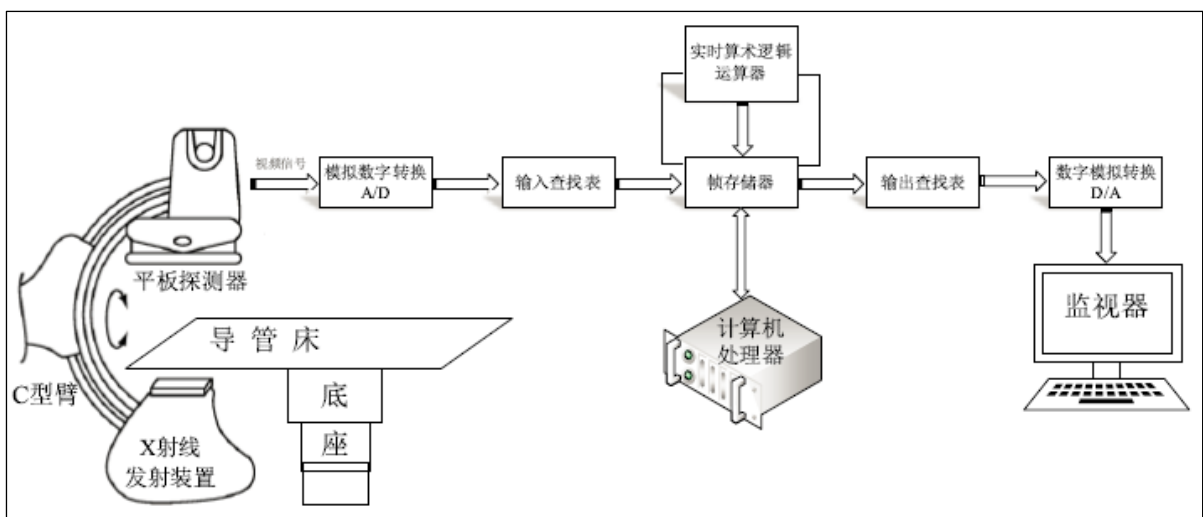


图 9-9 平板探测器型 DSA 系统结构图

介入治疗是在医学影像设备的引导下，通过置入体内的各种导管的体外操作和独特的处理方法，对体内病变进行治疗。介入治疗具有不开刀、创伤小、恢复快、效果好的特点。

(2) 工作流程及产污环节

本项目 DSA 放射诊断和介入治疗的工作流程及产污环节如下：

①医生穿戴铅衣等个人防护用品，做好准备工作后进入手术室，按工作程序完成所有准备工作，包括给患者摆位；

②为患者病变部位拍摄普通片，并在脉冲透视下插入导管至目标部位，此过程会产生 X 射线和微量的臭氧、氮氧化物；

③然后通过导管加压输送造影剂，并拍摄造影片，减影过程会产生 X 射线和微量的臭氧、氮氧化物；

④医护人员根据减影图像进行诊断，无需介入治疗的患者离开手术室，需要介入治疗的患者进行介入手术；

⑤医护人员在 DSA 引导下为患者进行介入手术，手术结束后，患者离开手术室，此过程会产生 X 射线和微量的臭氧、氮氧化物。

本项目 DSA 放射诊断和介入治疗的工作流程及产污环节具体见图 9-10。

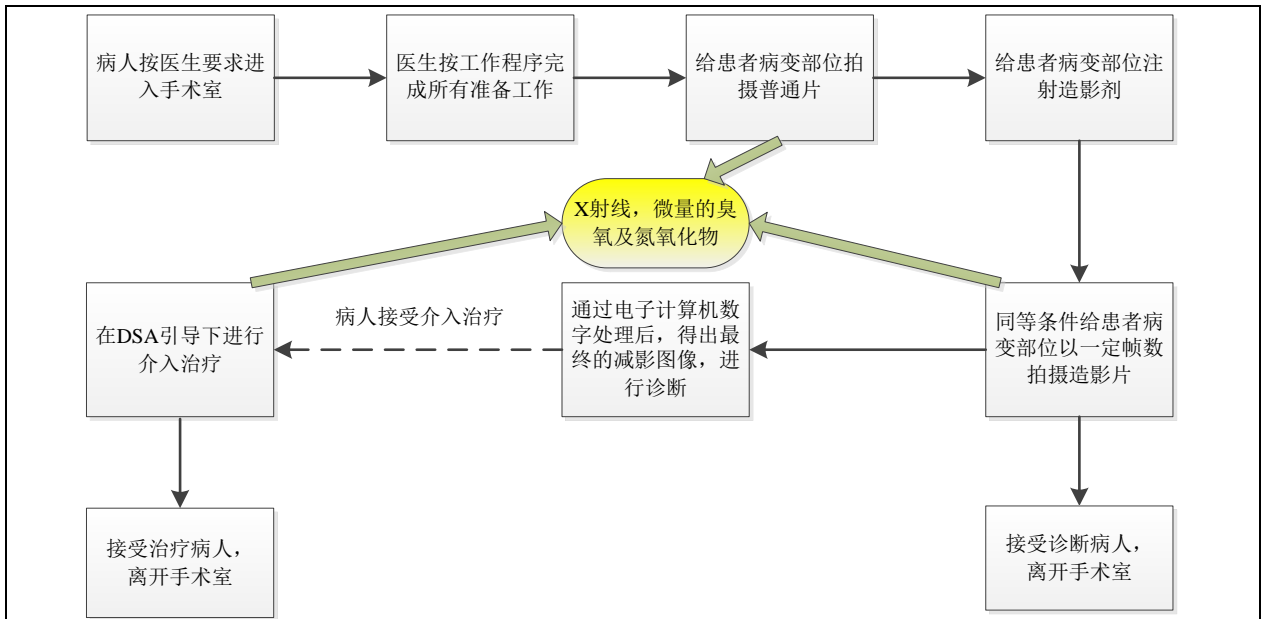


图9-10 本项目DSA放射诊断和介入治疗工作流程及产污环节示意图

9.1.3 人流、物流路径规划

1、直线加速器和射波刀放射治疗项目人流、物流路径

- (1) 医护人员在控制室操作设备，并从机房防护门进入治疗机房为患者摆位。
- (2) 患者先在放疗科入口进出预约登记，然后在等候区候诊，最后进入相应机房进行治疗。

本项目直线加速器、射波刀放射治疗项目人流、物流路径见图 9-11。

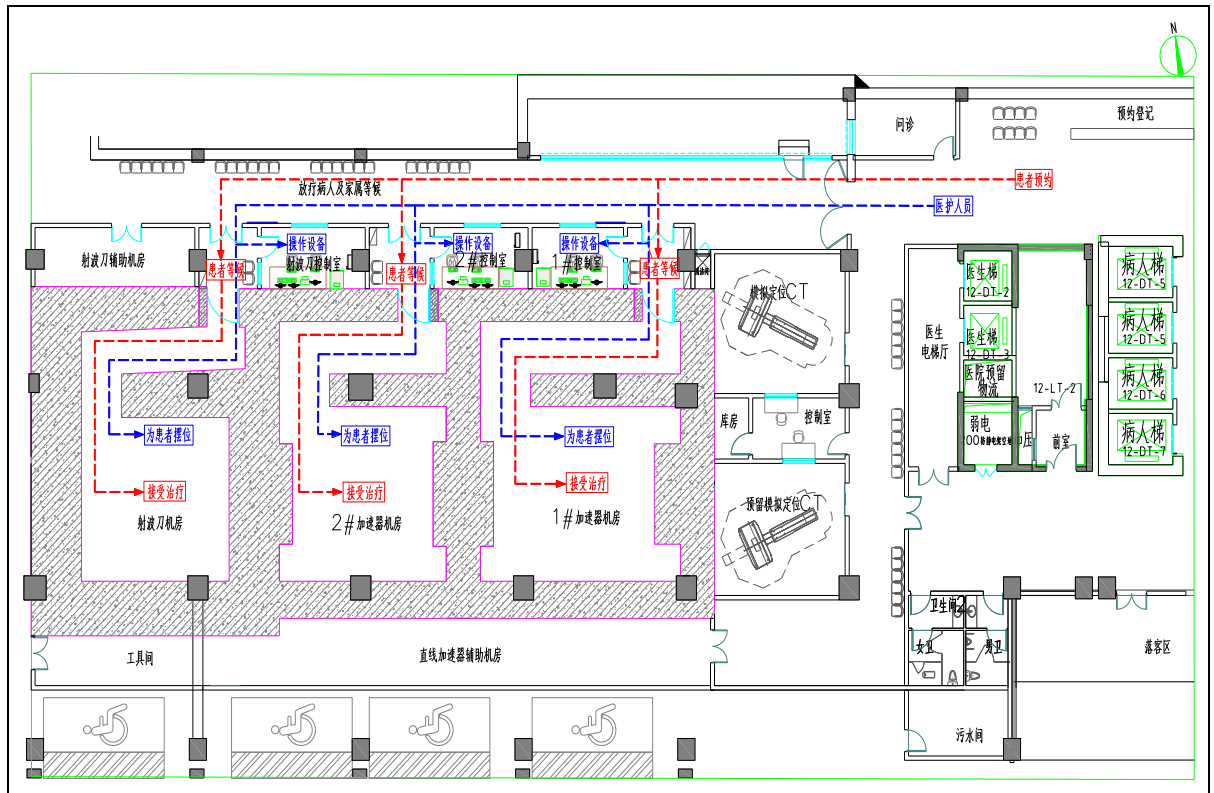


图 9-11 本项目直线加速器、射波刀放射治疗项目人流、物流路径示意图

2、DSA 人流、物流路径

(1) 医护人员路径：操作技师从医护通道进入→控制室操作 DSA；介入手术人员从医护通道进入→更衣室内更衣并穿戴铅衣等防护用品→从机房医护人员通道防护门进入机房进行介入手术。

(2) 患者路径：从患者走道进入→二次候诊→从患者通道防护门进入机房接受诊断与治疗→苏醒→离开。

(3) 污物路径：从机房患者通道防护门运出→医院医疗废物处理站。

本项目 DSA 人流、物流路径见图 9-12。

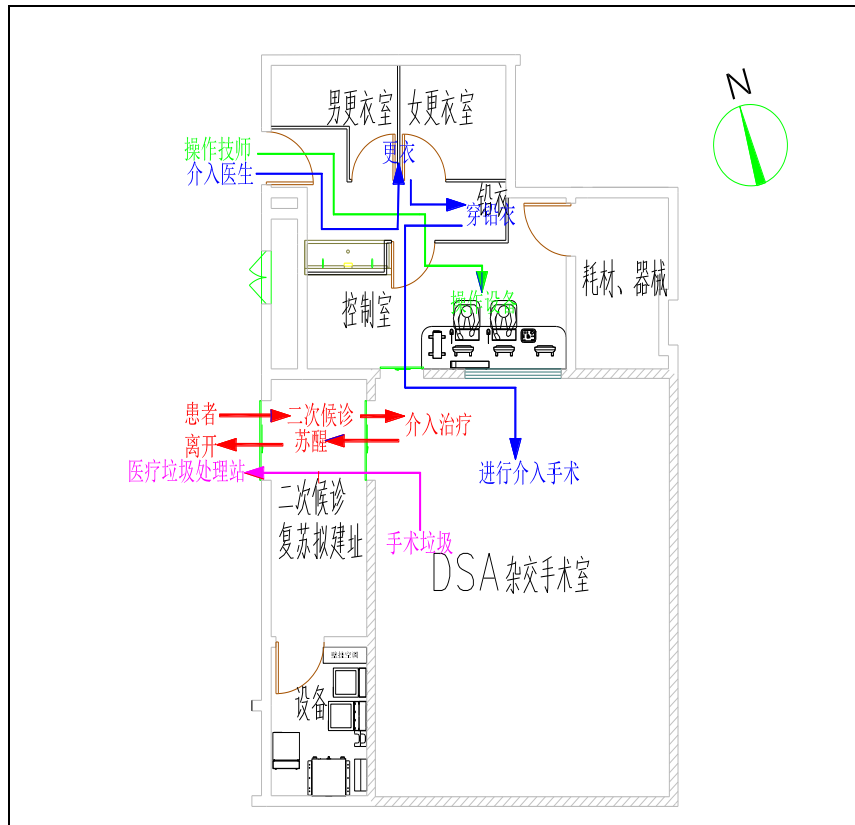


图 9-12 医院 DSA 杂交手术室人流、物流路径规划示意图

9.2 污染源项描述

1、直线加速器

(1) X 射线外照射

直线加速器以 X 射线模式运行时，从加速器电子枪里发出来的电子束，在加速管内经加速电压加速，轰击到钨金靶上，产生 X 射线。发射出来的 X 射线主要用于治疗，治疗剂量与剂量率的大小、加速器电子能量、受照射的靶体材料、电子束流强度、电子入射方向、考察点到源的距离等因素有关。

本项目拟配置的加速器 X 射线最大能量为 10MV，1m 处的 X 线最大吸收剂量率为 1440Gy/h。

(2) 电子束

当直线加速器按电子束模式运行时，从电子枪里发出来的电子束经加速管加速后直接从加速管引出用于治疗病人。产生的电子属初级辐射，贯穿物质时受物质库仑场的影响，贯穿深度有限。

加速器在运行时产生的高能电子束，最大能量为 22MeV，1m 处的 X 线吸收剂量率为 360Gy/h，因其贯穿能力远弱于 X 射线，在 X 射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽。因此，在加速器电子束治疗时间时，电子线对周围环境辐射影响小于 X 射线治疗。

(3) 中子

本项目拟配备的直线加速器X射线最大能量为10MV，根据《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)、《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)，其中子的辐射影响可忽略。

(4) 感生放射性

当入射电子加速电压高于 10MeV，它发射的强电离辐射照射在加速器设备的结构材料，调试机房内的各种设备、器械以及墙壁等物质上时，都可能使它们活化而产生感生放射性。感生放射性主要包括加速器结构材料的感生放射性、空气活化产生的放射性气体和冷却水的感生放射性。感生放射性的剂量水平与加速器加速电子的能量、束流、靶体物质、照射时间等因素有关。它不与加速器辐射的发射同步。

直线加速器机房内空气活化产生的放射性核素，主要是 ^{15}O 、 ^{13}N 、 ^{11}C 和 ^{41}Ar ，大部分半衰期都小于 1 分钟，长半衰期的核素产生率很低，这些放射性气体在空气中存在较短的时间。冷却水中被活化而形成的放射性核素主要是 ^{15}O 和 ^{13}N ，它们的半衰期分别为 2.1min 和 10min，其活度就可衰减到可忽略的水平。所以正常运行时被活化的水对人体的危害是可忽略不计的，但在停机后立即进入机房，活化的放射性核素可能会对人体造成危害。

(5) 废靶

直线加速器在维修维护过程或使用到一定年限需进行更换靶部件，可能会产生废靶，一般每10年更换1~2次。

(6) 非放射性废物

①本项目加速器工作时产生的高能 X 射线使机房内空气发生电离，产生少量的臭氧和氮氧化物。

②本项目直线加速器冷却系统采用去离子蒸馏水，内循环使用，不会产生感生放射性废水。

2、射波刀

(1) X 射线外照射

本项目射波刀含有 1 台直线加速器（X 线能量 6MV）和 1 套 X-ray 靶区定位追踪系统（管电压 150kV、管电流 500mA），X 射线管和直线加速器不同时开机工作。由本项目工作流程可知，只有开启直线加速器或 X 射线管进行出束时，射波刀才会发出 X 射线。因此，射波刀在开机出束期间，X 射线是项目主要污染物。

本项目射波刀拟配置的加速器 X 射线最大能量为 6MV，0.8m 处的 X 线最大吸收剂量率为 600Gy/h。

(2) 非放射性废物

①本项目射波刀工作时产生的高能 X 射线使机房内空气发生电离，产生少量的臭氧和氮氧化物。

②本项目射波刀冷却系统采用去离子蒸馏水，内循环使用，不会产生感生放射性废水。

3、DSA

(1) 辐射

根据 DSA 的工作原理可知，X 射线是随机器的开关而产生和消失。因此，在非诊疗状态下不产生 X 射线，只有在开机处于出线状态时才会发出 X 射线。因此，在开机期间，X 射线为污染环境的主要因子。本项目 DSA 最大管电压为 125kV、最大管电流为 1250mA。

(2) 非放射性废物

本项目 DSA 工作时产生的 X 射线会使手术室内的空气电离产生少量臭氧和氮氧化物。

事故工况下的辐射污染因子与正常工况下的污染因子一致。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 工作场所布局与分区

1、直线加速器和射波刀

(1) 工作场所布局

本项目直线加速器工作场所设有治疗机房以及控制室、辅助机房，治疗机房与控制室、辅助机房分开设置，机房迷道采用“L”型迷道设计，有用线束不向迷道照射，仅向东墙、西墙、屋顶及地面照射；本项目射波刀工作场所设有治疗机房以及控制室、辅助机房，治疗机房与控制室、辅助机房分开设置，治疗机房迷道采用“L”型迷道设计。本项目直线加速器和射波刀工作场所的布局符合《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》(GBZ/T201.1-2007)中治疗装置控制室应与治疗机房分离的规定及《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)中治疗设备控制室应与治疗机房分开设置，治疗机房均应设置迷路等规定，布局合理。

此外，放疗科还设有物理计划室、模具室、医生办公室、值班室、问诊室、等候区等辅助用房，其中问诊室和等候区位于地下二层，物理计划室、模具室、医生办公室、值班室位于地下一层，相关辅助用房设计合理。

(2) 工作场所分区

医院将直线加速器治疗机房、射波刀治疗机房划为控制区，将直线加速器和射波刀的控制室和辅助机房以及机房周围的工具间、污水间、患者等候室划为监督区，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)和《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)有关辐射工作场所的分区规定。本项目直线加速器和射波刀工作场所控制区与监督区的划分见图 10-1。

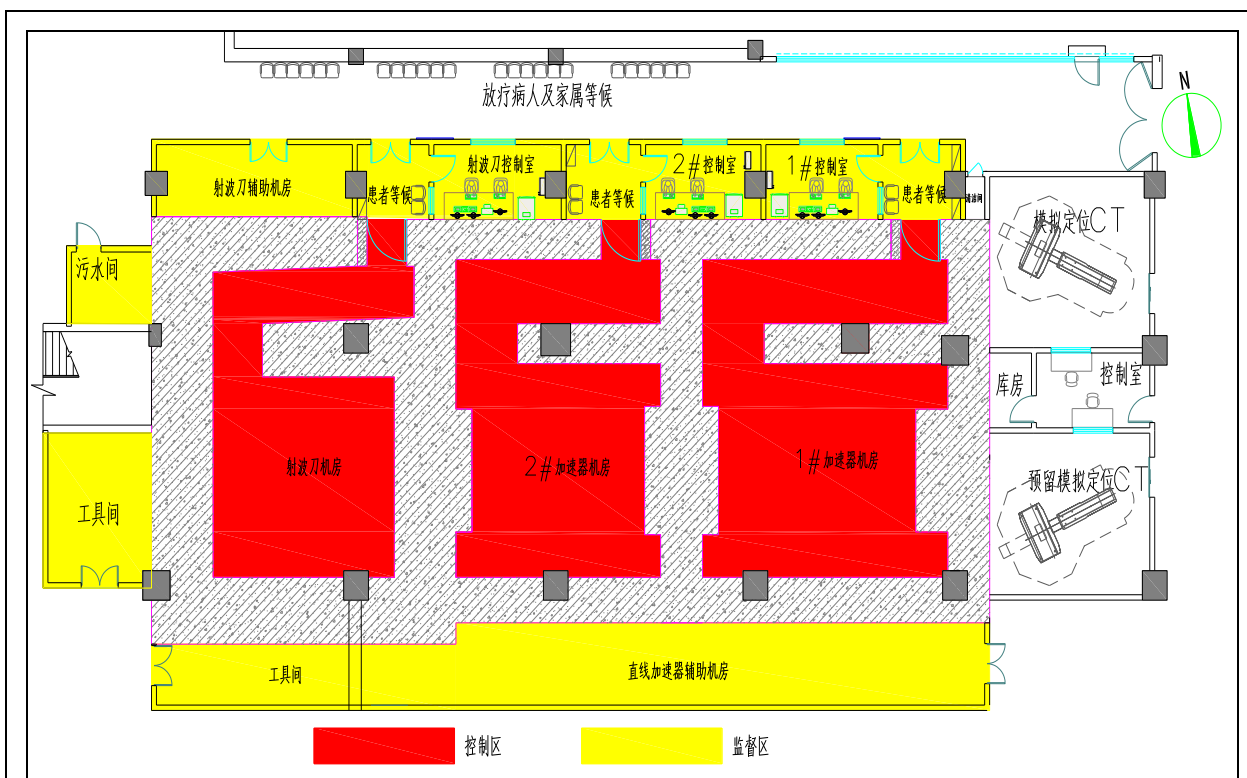


图 10-1 本项目直线加速器和射波刀工作场所控制区与监督区划分示意图

2、DSA

(1) 工作场所布局

本项目 DSA 工作场所设有单独的手术室，控制室位于手术室外，满足拟用辐射设备的布局要求；DSA 手术室内最小使用面积、最小单边长度见表 10-1，符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“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”等标准的相关要求，布局合理。

表 10-1 本项目 DSA 手术室使用面积、单边长度一览表

机房名称	拟用设备	手术室内最小有效使用面积		手术室内最小单边长度		评价
		m ²		m		
		本项目	标准要求	本项目	标准要求	
DSA 杂交手术室	DSA	48.2	20	6.1	3.5	符合要求

(2) 工作场所分区

医院拟对 DSA 工作场所进行分区管理，拟将 DSA 杂交手术室划为控制区；将控制室、耗材器械间、二次候诊复苏室、设备间、男女更衣室划为监督区，严格限制无关人员进入。本项目 DSA 工作场所控制区和监督区划分明显，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）有关辐射工作场所的分区规定。本项目 DSA 工作场所控制区与监督区的划分见图 10-2。

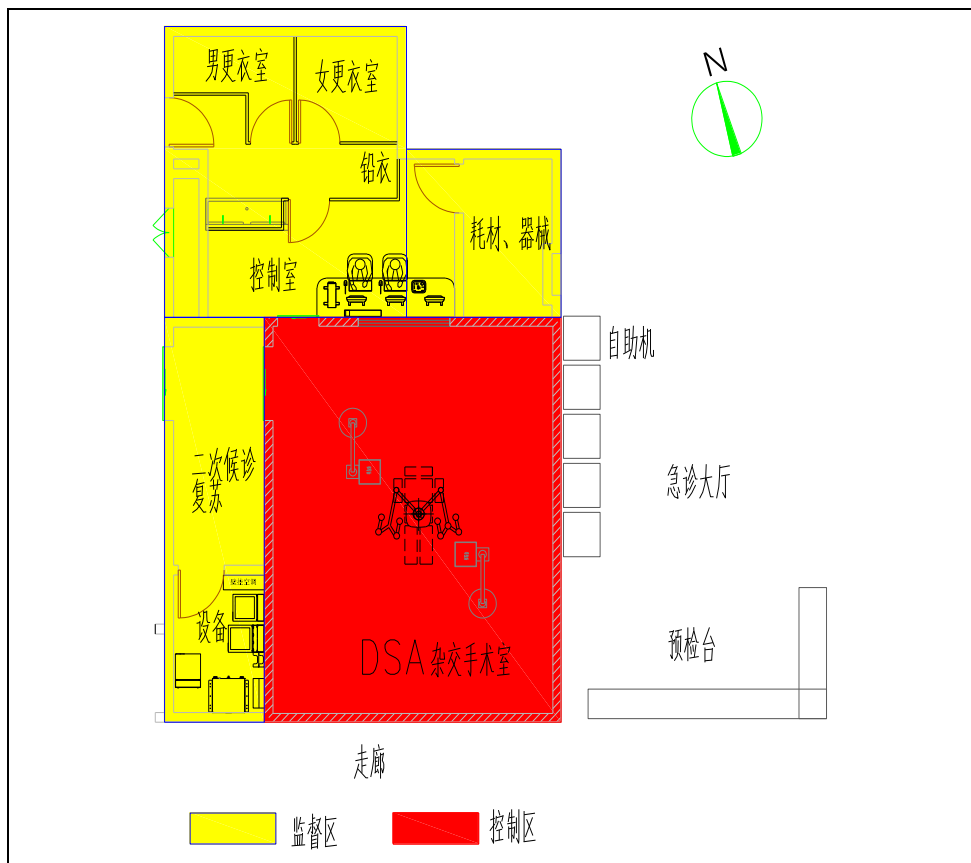


图 10-2 本项目 DSA 工作场所控制区与监督区划分示意图

10.1.2 辐射防护设计

1、直线加速器和射波刀机房

本项目 1#直线加速器机房屏蔽防护设计参数见表 10-2，2#直线加速器机房屏蔽防护设计参数见表 10-3，射波刀机房屏蔽防护设计参数见表 10-4。

表 10-2 本项目 1#直线加速器机房屏蔽防护设计参数一览表

分类		设计厚度	宽度
1#直线加速器机房	东墙	主屏蔽区	3000mm 砼
		次屏蔽区	1700mm 砼
	南墙		1700mm 砼
	西墙	主屏蔽区	3000mm 砼
		次屏蔽区	1700mm 砼
	北墙	迷路内墙	1500mm 砼
		迷路外墙	1500mm 砼
	顶部	主屏蔽区	3200mm 砼
		次屏蔽区	1700mm 砼
	防护门		15mmPb

注：砼的密度为 2.35g/cm³，铅的密度为 11.34g/cm³。

表 10-3 本项目 2#直线加速器机房屏蔽防护设计参数一览表

分类		设计厚度	宽度	
2#直线加速器机房	东墙	主屏蔽区	3000mm 砼	
		次屏蔽区	1700mm 砼	
	南墙		1700mm 砼	
	西墙	主屏蔽区	3150mm 砼	4.6m, 等中心点每侧各 2.3m
		次屏蔽区	2500mm 砼	/
	北墙	迷路内墙	1500mm 砼	迷道宽 2.4m, 高 5.5m
		迷路外墙	1500mm 砼	
	顶部	主屏蔽区	3200mm 砼	4.4m, 等中心点每侧各 2.2m
		次屏蔽区	1700mm 砼	/
	防护门		15mmPb	

注：砼的密度为 2.35g/cm³，铅的密度为 11.34g/cm³。

表 10-4 本项目射波刀机房屏蔽防护设计参数一览表

分类		设计厚度	
射波刀机房	东墙	2500mm~3150mm 砼	
	南墙	2500mm 砼	
	西墙	2500mm 砼	
	北墙	迷路内墙	2000mm~2205mm 砼
		迷路外墙	1850mm~2075mm 砼
	顶部	2500mm 砼	
	防护门	15mmPb	

注：砼的密度为 2.35g/cm³，铅的密度为 11.34g/cm³。

2、DSA 杂交手术室

本项目 DSA 杂交手术室屏蔽防护设计参数见表 10-5。

表 10-5 本项目 DSA 杂交手术室屏蔽防护设计一览表

场所	屏蔽体	屏蔽防护措施
DSA 杂交手术室	四周墙体	240mm 实心砖墙+3mmPb 硫酸钡防护涂料
	顶部	120mm 砼+3mm 铅板
	底部	120mm 砼+3mmPb 硫酸钡防护涂料
	患者防护门、 医护防护门	内嵌 3mm 铅板电动推拉门
	观察窗	3mmPb 铅玻璃

注：实心砖密度不小于 1.65g/cm³，砼密度为 2.35g/cm³，硫酸钡防护涂料密度不小于 3.8g/cm³。

本项目直线加速器机房、射波刀机房、DSA 杂交手术室防护门设计安装时，防护门与屏蔽墙之间的间隙应小于 1cm，防护门与屏蔽墙及地面有重叠搭接，防护门与屏蔽墙的搭接宽度应大于缝隙的 10 倍，防止门缝处的射线泄漏。

10.1.3 辐射安全和防护措施

1、直线加速器和射波刀

为保障本项目直线加速器和射波刀安全运行，避免在出束期间人员误留或误入机房内而发生误照射事故，医院根据国家相关标准要求拟设计相应的辐射安全装置和保护措施，主要有：

(1) 设备固有措施

在设备运营中，为防止出现超剂量照射事故，设备自身采取了多种安全防护措施：

①控制台上辐射类型、标称能量、照射时间、吸收剂量、治疗方式等参数的显示装置，操作人员可随时了解设备运行情况。

②设有联锁装置，只有当射线能量、吸收剂选值、照射方式和过滤器的规格等参数选定，并当治疗室与控制台等均满足预选条件后，才能进行照射。

③设有钥匙开关，决定设备产生辐射的主要控制系统用开关钥匙进行控制，钥匙由专人保管。

④设有剂量控制联锁，剂量分布监测装置与照射终止系统联锁，当剂量分布偏差超过预选值时，或当剂量超过预选值时，可自动终止照射。

⑤控制台上配置有独立于其它任何控制照射终止系统的控制计时器，当断电时，计时器能保留病人已照射的时间、剂量等，计时器清零后，才能启动下次照射。

⑥设有安全联锁设施的检查装置，可保证所有安全联锁系统能够保持良好的运行状态。

⑦设有时间控制联锁，当照射时间达到预选照射时间时，定时器能独立地终止照射。

⑧设备机身标有明显的电离辐射警告标志。

(2) 场所辐射安全措施

①**电离辐射警告标志和工作状态指示灯**：机房入口处拟设置符合 GB18871-2002 规范的电离辐射警告标志和工作状态指示灯，工作状态指示灯与设备联锁，显示设备工作状态。

②**门-机联锁装置**：机房防护门拟设置门-机联锁装置，防护门未完全关闭时不能出束照射，出束状态下开门停止出束。

③**紧急停机按钮**：治疗床、机房内不同方向的墙面合适位置及迷道内、防护门内侧、控制室的操作台上均拟设置急停开关（共 8 个），并在醒目处设置标签，标明使用方法，紧急停机按钮按下后需要手动复位。

④**监控及对讲系统**：机房内拟安装视频监控系统，在治疗过程中医务人员可以实时观察患者状态、治疗床和迷路区域情况；控制室与机房之间拟安装一套语音对讲装置，对讲装置设置于控制台处，以便医务人员和患者之间进行双向交流，防止意外情况的发生。

⑤**紧急开门按钮**：机房迷道内人员易接触的位置拟设置紧急开门按钮（共 1 个），在事故状态下人员逃逸至迷道内可通过该按钮开启防护门，实现紧急逃逸，且防护门设置防夹伤功能。

⑥**固定式辐射剂量监测系统**：机房迷道内口处拟安装一套固定式辐射剂量监测仪并有报警功能，其显示单元设置在控制室内，可实时监测机房内辐射水平。在日常运行过程中，医院应确保固定式辐射剂量监测系统报警功能正常，防止意外情况的发生。

⑦**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；安装调试及维修情况下，任何联锁旁路应通过医院辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试。

⑧各机房至少配备 1 套 0.5mmPb 铅衣、铅橡胶围裙、铅橡胶性腺防护围裙等个人防护用品，用于对患者重要部位的防护。

本项目直线加速器机房和射波刀机房拟采取的辐射安全措施布置示意图见图 10-3，以 1#直线加速器机房的辐射安全措施布置为例。

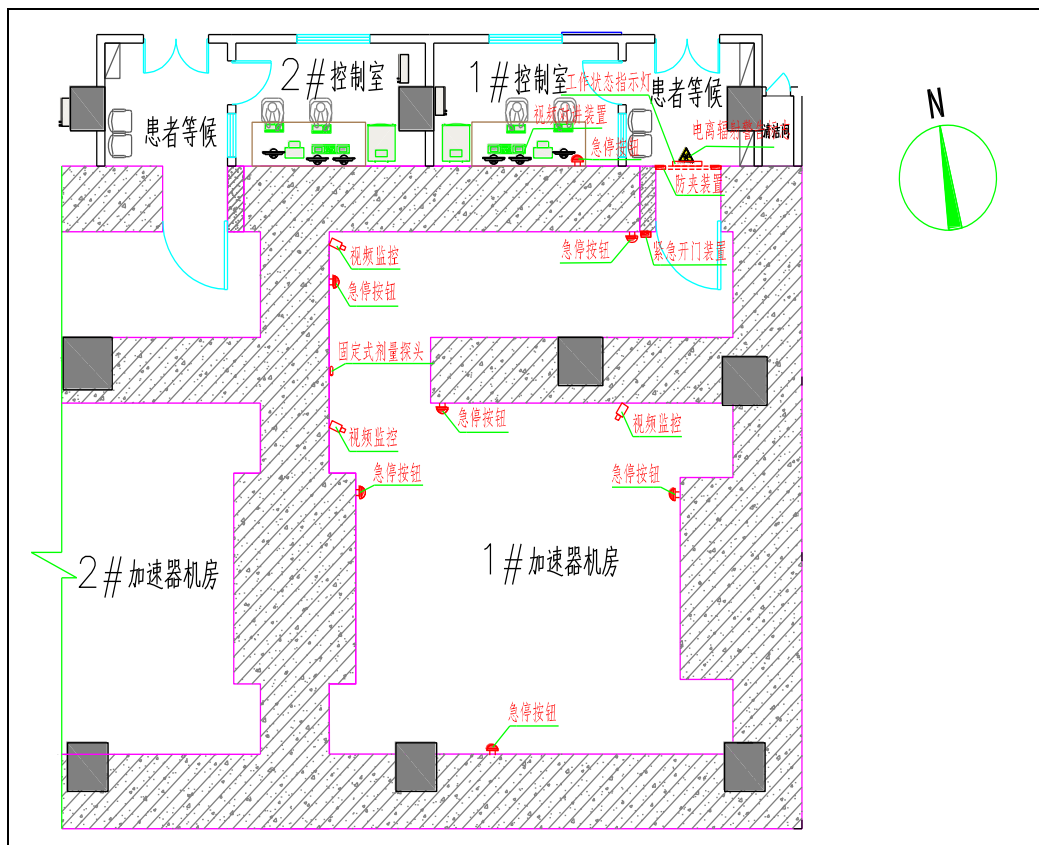


图 10-3 本项目 1#直线加速器机房辐射安全措施布置示意图

本项目直线加速器机房和射波刀机房拟采取的管理措施和辐射安全措施与《放射治疗放射防要求》(GBZ121-2020)、《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)中要求对照,能够满足要求,具体对照符合性分析情况见表 10-6。

表 10-6 本项目直线加速器机房和射波刀拟采取的管理措施和辐射安全措施与相关标准要求对照情况一览表

标准	序号	标准要求	本项目设计方案	对照结论
GBZ121-2020	1	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。	加速器机房和射波刀机房位于 12#病房综合楼地下二层的北端,地下无建筑,治疗机房与其他辅助设施同时设计和建造,并合理布局。	符合要求
	2	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。	加速器和射波刀工作场所分为控制区和监督区进行管理,将加速器和射波刀治疗机房划为控制区,治疗期间严禁任何人进入,将控制室、辅助机房以及机房周围的工具间、污水间、患者等候室划为监督区,严格限制无关人员进入。	符合要求
	3	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。	加速器和射波刀治疗机房采用密度为 2.35g/cm ³ 混凝土浇筑,根据理论预测可知,加速器和射波刀治疗机房的辐射防护设计能满足辐射防护要求。	符合要求
	4	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。	加速器和射波刀工作场所均设有治疗机房、控制室和辅助机房,治疗机房与控制室、辅助机房均分开设置。	符合要求
	5	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。	加速器有用线束只向东墙、西墙、顶棚和底部照射,控制室位于治疗机房北侧,避开了有用线束照射。	符合要求

	6	6.1.6 治疗机房应设置迷路。	加速器和射波刀治疗机房设有迷路。	符合要求
	7	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。	加速器和射波刀治疗机房的有效空间能够满足相应设备使用要求。	符合要求
	8	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。	加速器和射波刀治疗机房内均拟设置独立的机械通风系统，送风口位于机房上部，室内排风口位于机房下部，送风口和排风口呈对角线布置。各机房的排风设计量可使机房换气次数不小于4次/h。	符合要求
	9	<p>6.4.2 连锁装置：放射治疗设备都应安装门机连锁装置或设施，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。</p> <p>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：</p> <p>a) 放射治疗工作场所的入口处，设有电离辐射警告标志；</p> <p>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。</p> <p>6.4.4 急停开关</p> <p>6.4.4.1 放射治疗设备控制台上应设置急停开关，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。</p> <p>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。</p>	加速器机房和射波刀机房均设计有电离辐射警告标志、工作状态指示灯、门-机连锁装置、紧急停机按钮、监控及对讲系统、紧急开门按钮，具体见10.1.3章节。	符合要求
	10	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	加速器控制室和射波刀控制室内均设置2名辐射工作人员，每次2	符合要求

		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。	名辐射工作人员同时在场、协同操作，认真做好当班记录。	
HJ 1198-2021	1	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。	加速器机房和射波刀机房位于 12#病房综合楼地下二层的北端，不邻接儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域和人员流动性大的商业活动区域。	符合要求
	2	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。 5.2.2 与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区（如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等）。	加速器和射波刀工作场所分为控制区和监督区进行管理，将加速器和射波刀治疗机房划为控制区，治疗期间严禁任何人进入，将控制室、辅助机房以及机房周围的工具间、污水间、患者等候室划为监督区，严格限制无关人员进入。	符合要求
	3	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。	加速器机房和射波刀机房的电缆线采取埋地电缆沟穿墙，通风系统的通排风管道从机房防护门上方“Z”型穿墙，避开初级射线直接照射，不破坏墙体的屏蔽效果。	符合要求
	4	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	加速器机房和射波刀机房均设计有电离辐射警告标志、工作状态指示灯、门-机联锁装置、紧急停机按钮、监控及对讲系统、紧急开门按钮，具体见 10.1.3 章节。	符合要求

		<p>其他适当位置应设电离辐射警告标志和工作状态指示灯；</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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：</p> <p>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。</p> <p>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；</p> <p>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；</p> <p>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；安装调试及维修情况下，任何联锁旁路应通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试。</p>			
	5	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	加速器控制室和射波刀控制室内均设置 2 名	符合要求	

		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。	辐射工作人员，每次 2 名辐射工作人员同时在场、协同操作，认真做好当班记录。 设备的安装和调试工作由有相应资质的人员负责，本项目辐射工作人员只负责相应的辅助协调工作。	
	6	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。	加速器和射波刀治疗机房内均拟设置独立的机械通风系统，送风口位于机房上部，室内排风口位于机房下部，送风口和排风口呈对角线布置。各机房的排风设计量可使机房换气次数不小于 4 次/h。	符合要求

综上所述，本项目直线加速器机房和射波刀机房拟采取的辐射安全措施能够满足《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)和《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)中辐射安全相关要求。

2、DSA

为保障 DSA 安全运行，避免在开机期间人员误留或误入手术室内而发生误照射事故，本项目 DSA 拟设计相应的辐射安全装置和保护措施，主要有：

(1) 设备固有措施

- ①设备安装有可调限束装置，使装置发射的线束宽度尽量减小，以减少泄漏辐射。
- ②采用光谱过滤技术：在 X 射线管头放置合适的铜过滤板，以消除软 X 射线及减少二次散射，优化有用 X 射线谱。
- ③采用脉冲透视技术：在透视图像数字化基础上实现脉冲透视，改善图像清晰度，可减少透视剂量。
- ④采用图像冻结技术：每次透视的最后一帧图像被暂存并保留在监视器上显示，即称之为图像冻结，此技术可缩短总透视时间，达到减少不必要的照射。
- ⑤治疗床上设有急停按钮。

(2) 场所辐射安全措施

- ①工作状态指示灯：DSA 杂交手术室患者通道防护门上方拟设置工作状态指示灯，灯箱上设置“射线有害、灯亮勿入”的警示语句，工作状态指示灯与患者通道防护门拟设置门灯联锁装置。

②**防夹和曝光时关闭的管理措施**：DSA 杂交手术室的防护门均为电动推拉门，电动推拉门拟设置防夹装置并设置曝光时关闭的管理措施。

③**电离辐射警告标志**：DSA 杂交手术室各防护门外表面均拟设置电离辐射警告标志，提醒无关人员勿靠近手术室或在附近逗留。

④**监控与对讲装置**：DSA 杂交手术室拟设置观察窗和实时监控装置与一套对讲装置，对讲装置设置于控制台处，工作人员在控制室内可及时了解患者情况及防护门开闭情况，防止意外情况的发生。

⑤**个人防护用品**：医院拟为本项目 DSA 杂交手术室配备至少 2 套 0.5mmPb 的铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、0.25mmPb 铅防护眼镜和 0.025mmPb 的介入防护手套个人防护用品以及 0.5mmPb 的铅悬挂防护屏、床侧防护帘辅助防护设施，并为受检者配备 0.5mmPb 的铅橡胶性腺防护围裙、铅橡胶颈套个人防护用品。介入手术人员在手术室内进行介入手术时穿戴铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜和介入防护手套，同时在 DSA 机头处安装铅悬挂防护屏和床侧防护帘进行防护，对患者重要部位使用铅橡胶性腺防护围裙、铅橡胶颈套进行防护。

⑥**其他辐射安全措施**：由于 DSA 介入治疗需要长时间的透视和大量的摄片，X 射线球管工作时产生的散射线对机房内介入手术人员有较大影响，根据辐射防护“三原则”，医院还应在以下方面加强对介入治疗的防护工作：

◆引入的辐射设备及配套设备必须符合国际的或者国家的标准，满足各种特殊操作的要求，其性能必须与操作性质相符合；设备应该常规调节到满足低剂量的有效范围内，并尽可能提高图像质量；

◆临床介入手术时，采用床侧立地防护屏、防护手术手套、床侧竖屏及床上防护屏、床下帘幕、床侧帘幕等屏蔽防护措施，能够有效降低介入手术人员的吸收剂量；

◆一般说来，降低患者的剂量的措施可以同时降低工作人员的辐射剂量，应加强对介入手术人员的培训，包括辐射防护的培训，参与介入手术的工作人员应该技术熟练、动作迅速，以减少患者和介入手术人员的剂量；

◆操作中减少透视时间和减少照相的次数可以显著降低工作人员的辐射剂量，介入手术人员在操作时应尽量远离检查床。

本项目 DSA 杂交手术室拟采取的辐射安全措施布置示意图见图 10-4。

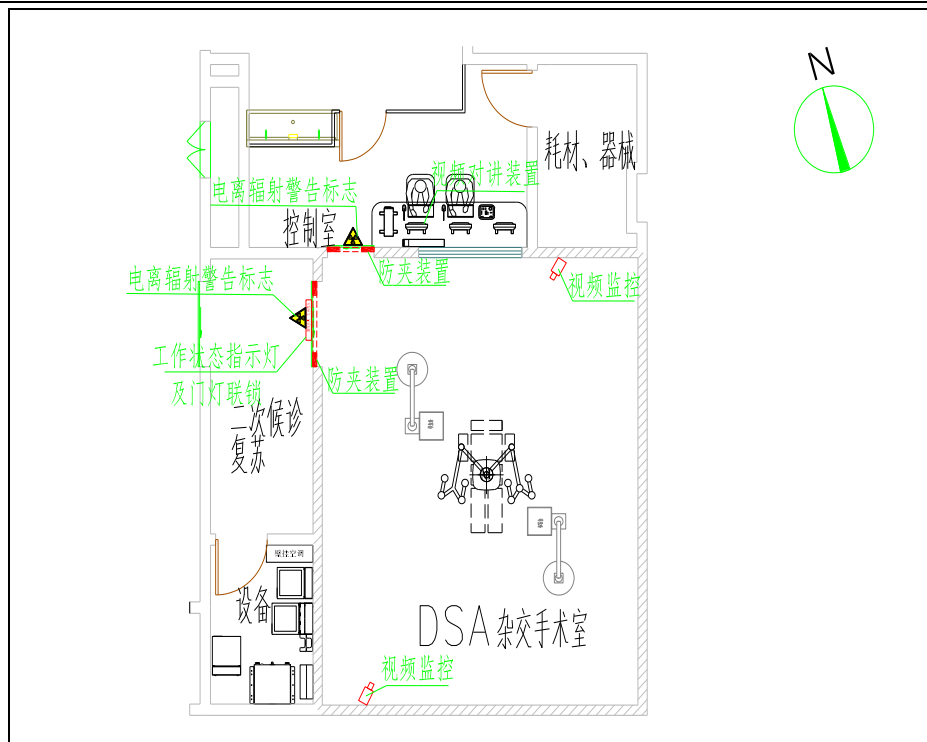


图 10-4 本项目 DSA 杂交手术室拟采取的辐射安全措施布置示意图

本项目 DSA 工作场所拟采取的管理措施和辐射安全措施与《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中要求对照，能够满足要求，具体对照符合性分析情况见表 10-7。

表 10-7 本项目 DSA 拟采取的管理措施和辐射安全措施与标准要求对照情况一览表

序号	GBZ130-2020 要求	本项目设计方案	对照结论
1	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。	DSA 杂交手术室设置有观察窗，同时拟设置实时监控装置和对讲装置，工作人员在控制室内可及时了解患者情况及防护门开闭情况，防止意外情况的发生。	符合要求
2	6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。	DSA 杂交手术室内不堆放与放射诊断/介入治疗工作无关的杂物。	符合要求
3	6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。	DSA 杂交手术室内拟设置动力通风系统，并保持良好的通风。	符合要求
4	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。	DSA 杂交手术室各防护门外表面均拟设置电离辐射警告标志；DSA 杂交手术室患者通道防护门上方拟设置工作状态指示灯，灯箱上设置“射线有害、灯亮勿入”的警示语句；候诊区拟设置放射防护注意事项告知栏。	符合要求

5	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。	DSA 杂交手术室的防护门均为电动推拉门，电动推拉门拟设置曝光时关闭的管理措施；工作状态指示灯与病人通道防护门设置门灯联锁装置，用于显示机房内设备运行状态。	符合要求
6	6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。	DSA 杂交手术室电动推拉防护门拟设置防夹装置。	符合要求
7	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。	受检者在机房外候诊，不在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中，陪检者不允许留在机房内。	符合要求
8	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 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 0.025 mmPb；甲状腺、性腺防护用品铅当量应不小于 0.5 mmPb；移动铅防护屏风铅当量应不小于 2 mmPb。 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 0.5 mmPb。	医院拟为本项目 DSA 杂交手术室配备至少 2 套 0.5mmPb 的铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、0.25mmPb 铅防护眼镜和 0.025mmPb 的介入防护手套个人防护用品以及 0.5mmPb 的铅悬挂防护屏、床侧防护帘辅助防护设施，并为受检者配备 0.5mmPb 的铅橡胶性腺防护围裙、铅橡胶颈套个人防护用品。	符合要求

综上所述，本项目 DSA 杂交手术室拟采取的管理措施和辐射安全防护措施在认真落实后，能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的相关辐射安全要求和开展本项目 DSA 的辐射安全需要。

10.1.4 电缆布设

1、直线加速器和射波刀

本项目直线加速器机房和射波刀机房的控制电缆均通过电缆沟连接至控制室和辅助机房，电缆沟在浇筑混凝土地坪前支模预留，电缆沟采用埋地“U”型穿墙设计，直线加速器机房电缆沟埋地 400mm，射波刀机房电缆沟埋地 350mm，电缆沟穿墙孔均避开有用线束的直接照射，并采用 3mm 铅板+2mm 钢板的盖板进行屏蔽补偿，确保电缆沟不会破坏机房的整体屏蔽防护效果。本项目直线加速器机房和射波刀机房的电缆沟布设及穿墙示意图见图 10-5。

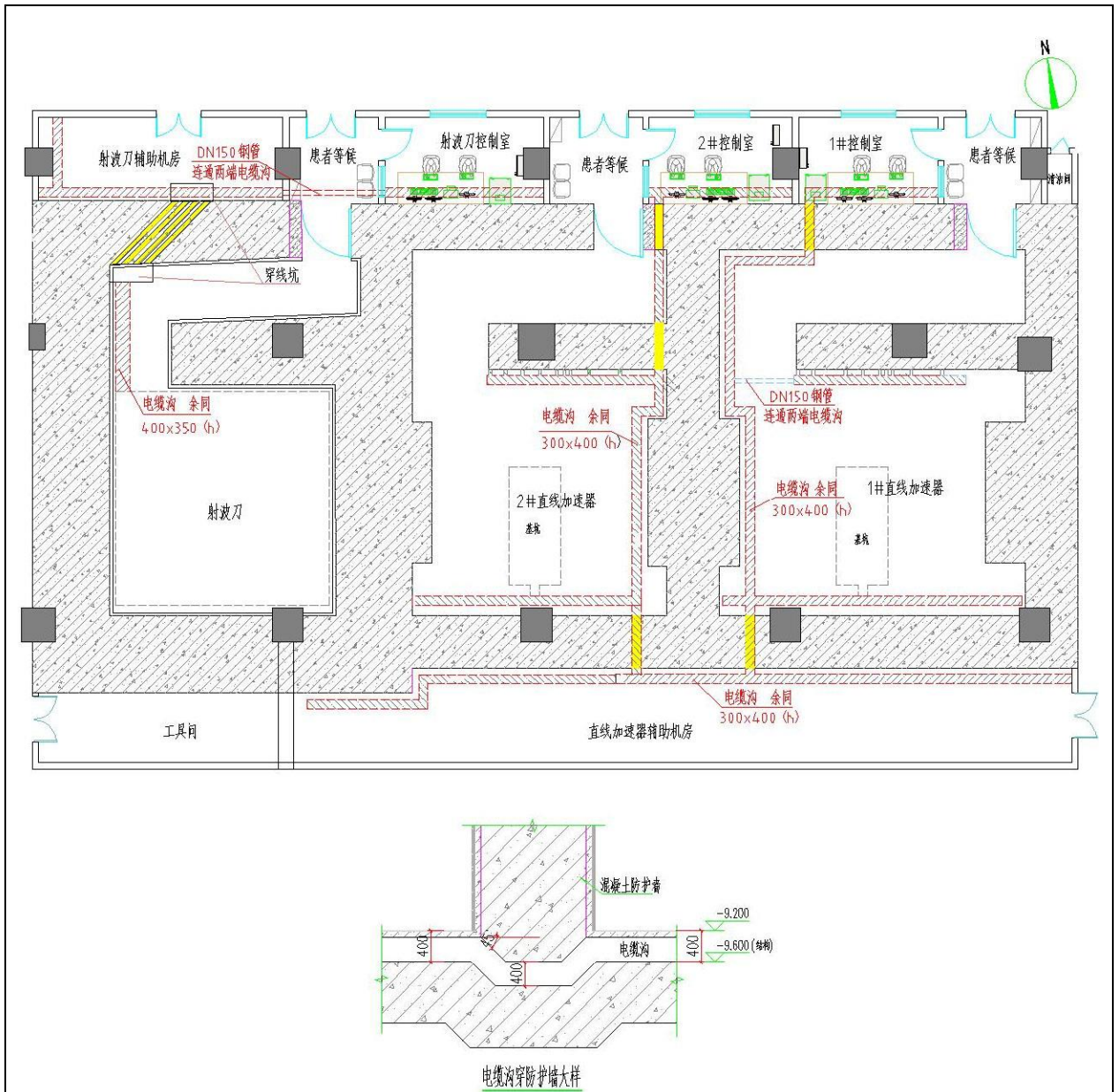


图 10-5 本项目直线加速器机房和射波刀机房电缆沟布设及穿墙示意图（单位：mm）

本项目直线加速器机房和射波刀机房的物理测试管、空调冷凝管从迷道外墙处 45°斜穿墙至控制室，不会破坏机房的整体屏蔽效果。

2、DSA

本项目 DSA 杂交手术室的控制电缆通过电缆沟连接至控制室，电缆沟深 100mm、宽 200mm，X 线球管一般由下往上照射，X 射线至少经过 2 次散射才能通过电缆沟散射至机房外，且电缆沟用 3mm 厚铅板+2mm 钢板进行屏蔽补偿，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的屏蔽防护要求，故电缆沟不会破坏机房的整体屏蔽防护效果。电缆沟示意图见图 10-6。

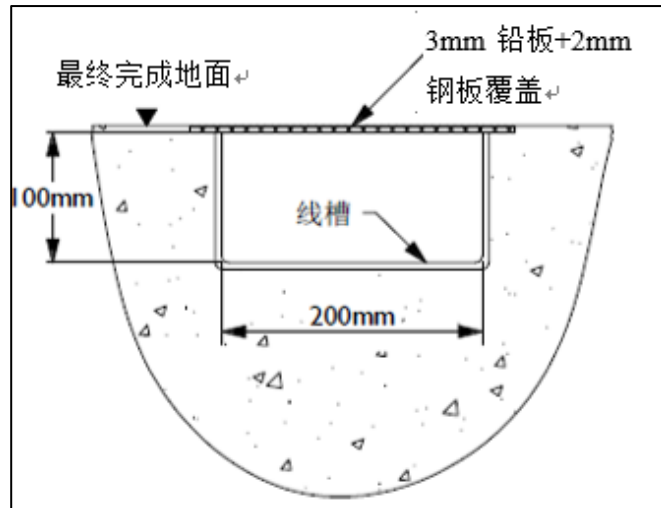


图 10-6 本项目 DSA 杂交手术室电缆沟示意图

10.1.5 通风设计

1、直线加速器和射波刀

根据附图 9 可知，本项目直线加速器机房和射波刀机房通风系统的通排风管道从机房防护门上方吊顶处“Z”型穿墙，直线加速器机房和射波刀机房通排风管道设计为 630mm（宽）×320mm（高）的方管，机房在混凝土浇筑时使用 10mm 钢板支模预留通排风穿墙管道，通排风管道穿墙孔避开初级射线的直接照射，射线至少经过 3 次散射才能到达机房外，通排风管道穿墙孔外侧的辐射剂量将在控制范围内。

2、DSA

本项目 DSA 杂交手术室的通排风管道穿墙口位于吊顶上方，穿墙口处的通排风管道外包裹 3mmPb 的铅皮进行屏蔽，确保通排风管道穿墙孔外侧的辐射剂量将在控制范围内。

10.1.6 项目环保投资

本项目环保投资明细见表 10-8。

表 10-8 本项目环保投资明细一览表

	序号	项目	投资金额（万元）
直线加速器机房和射波刀机房	1	直线加速器机房和射波刀机房辐射防护材料的购买及施工等	200.0
	2	电离辐射警告标志、工作状态指示灯、联锁装置，急停按钮、监控及对讲系统、固定式辐射剂量监测系统辐射安全设施和措施	25.0
	3	工作人员辐射防护培训、个人剂量监测、职业健康体检	3.0
	4	辐射监测仪器及个人防护用品	8.0

	5	辐射安全规章制度上墙、竣工环保验收	8.0
DSA 杂交手术室	6	DSA 杂交手术室辐射防护材料的购买及施工等	43.0
	7	工作状态指示灯、防夹装置、电离辐射警告标志、监控与对讲装置等辐射安全设施和措施	5.0
	8	工作人员辐射防护培训、个人剂量监测、职业健康体检	2.0
	9	辐射监测仪器及个人防护用品	4.0
	10	辐射安全规章制度上墙、竣工环保验收	2.0
合计			300.0

10.2 三废的治理

1、废靶处置措施

本项目直线加速器产生的废靶拆卸后先放进屏蔽容器，暂存在加速器机房内，最终送交有资质的单位收贮。

2、废气治理措施

本项目直线加速器机房和射波刀机房内拟设置机械通风系统，包括新风和排风装置，采用全排全送的通风方式。1#直线加速器机房、2#直线加速器机房和射波刀机房的送风口位于机房西部的天花板上，室内排风口位于机房东部距地板高度为 100mm 处，且送风口和排风口呈对角线布置。本项目直线加速器机房和射波刀机房内臭氧和氮氧化物由排风管道引至排风井，并由排风井引至 12#病房综合楼楼顶排放。综上所述，本项目直线加速器机房和射波刀机房通风系统的设计满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中相关要求。

本项目 1#直线加速器机房的通风系统设计排风量为 4600m³/h，1#直线加速器机房内容积（包含迷道容积）约为 485m³，可使 1#直线加速器机房通风换气 9.5 次/h；2#直线加速器机房的通风系统设计排风量为 4000m³/h，2#直线加速器机房内容积（包含迷道容积）约为 415m³，可使 2#直线加速器机房通风换气 9.6 次/h。射波刀机房的通风系统设计排风量为 4000m³/h，射波刀机房内容积（包含迷道容积）约为 355m³，可使射波刀机房通风换气 11.3 次/h。本项目直线加速器机房和射波刀机房的通风系统满足治疗机房每小时通风次数不小于 4 次的要求。机房产生的臭氧和氮氧化物由通风系统排出，臭氧常温下自动分解为氧气，对周围环境影响很小。本项目直线加速器机房和射波刀机房通风系统布置示意图见附图 9。

本项目 DSA 杂交手术室内拟设计净化通风系统，通风量不小于 300m³/h，产生的微量臭氧和氮氧化物可通过净化通风系统排出 DSA 杂交手术室，室内臭氧和氮氧化物由排风管道引至排风井，并由排风井引至 2#楼楼顶排放，臭氧常温下自动分解为氧气，对周围环境影响很小。

3、废水治理措施

本项目加速器和射波刀冷却系统采用去离子蒸馏水，内循环使用，不会产生感生放射性废水，对周围环境影响很小。

综上所述，本项目的废物处置方式恰当、合理，能够满足当前环保管理的要求。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目直线加速器机房和射波刀机房的建设依托医院 12#综合病房楼的主体工程，DSA 杂交手术室的建设依托 2#门急诊医技综合楼的主体工程，项目建设施工时会产生噪声、固废、废水、废气等环境污染，具体土建和装修施工中的噪声、固废、废水、废气等防护措施按《宁波市公共卫生临床中心新建项目环境影响报告书》及批复文件执行。现就施工期间的环境影响和相应的污染预防治理措施进行分析：

1、土建施工、防护装修期间污染源项分析

(1) 废水：

施工期的废水主要为生产废水和施工人员的生活污水。生产废水主要包括：土建施工、施工机械设备洗涤等产生的废水，这部分废水含有一定量的油污和泥砂。

上述废水水量不大，但如果不经处理或处理不当，同样会危害环境。所以，施工期废水不能随意直排。其防治措施主要有：

① 施工期泥浆不得直接排入污水管网，应经沉淀池沉淀，上清液纳管排放，沉沙作为固体废物处理。

② 生活污水经化粪池预处理后，纳入市政污水管网。

③ 水泥、黄砂、石灰类的建筑材料需集中堆放，并采取一定的防雨措施，及时清扫施工运输过程中抛洒的上述建筑材料。

(2) 废气：

施工期废气主要为施工产生的粉尘以及施工场地扬尘等。主要防治措施有：

① 防物料抛洒泄漏。

② 建筑垃圾和生活垃圾及时清运，对干燥作业面适当洒水，以防二次扬尘。

(3) 噪声：

噪声是施工期主要的污染因子，施工过程中使用的运输车辆及各种施工机械，都是噪声的产生源。为了减轻施工噪声对周围环境的影响，在施工过程中应严格执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）的标准，尽量使用噪声低的先进设备，同时严禁夜间进行强噪声作业，如因工艺特殊情况要求，需在夜间施工而产生环境噪声污染时，按《中华人民共和国环境噪声污染防治法》的规定，需取得当地人民政府或有关主管部门的证明，并公告附近居民。

(4) 固体废物：

施工垃圾主要来自施工所产生的建筑垃圾和施工队伍的生活垃圾。对施工现场要及时

进行清理，建筑垃圾要及时清运、加以利用，防止其因长期堆放而产生扬尘，生活垃圾要进行专门收集，交由环卫部门收集处置，严禁乱堆乱扔，防止产生二次污染。

2、设备安装、调试的环境影响

(1) 设备安装过程会产生一定的噪声，但产生的噪声很小，且随着设备的安装完毕而消失，对周围环境影响很小。

(2) 设备在调试过程会产生 X 射线，对周围人员产生外照射。设备安装、调试均由厂家专业技术人员负责完成，设备在调试时，机房的防护措施已经建设完成，且调试时间很短，产生的 X 射线经机房屏蔽后对周围环境影响很小。

(3) 设备在调试过程 X 射线电离空气产生臭氧和氮氧化物。设备调试时间很短，产生的臭氧和氮氧化物量很少，可通过机房的通风系统排至室外，对周围环境影响很小。

建设单位在施工阶段计划采取上述污染防治措施，将施工期的影响控制在建设单位区内。本项目施工期较短，施工量远小于建设单位建设项目，根据《宁波市公共卫生临床中心新建项目环境影响报告书》及其批复文件，本项目施工阶段在按要求采取相应的污染防治措施后，施工期对建设单位周围环境影响较小。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 直线加速器运行期辐射环境影响分析

本项目拟配备的直线加速器最大能量为 10MV 的加速器，X 线能量 10MV 下距靶 1m 处 X 射线最大剂量率为 1440Gy/h，X 线能量 6MV 下距靶 1m 处 X 射线最大剂量率为 840Gy/h，考虑到射线能量和各能量下的最大剂量率，本报告对 10MV 运行工况下的辐射影响进行估算。

1、1#直线加速器

本项目 1#直线加速器机房外关注点设置见图 11-1。

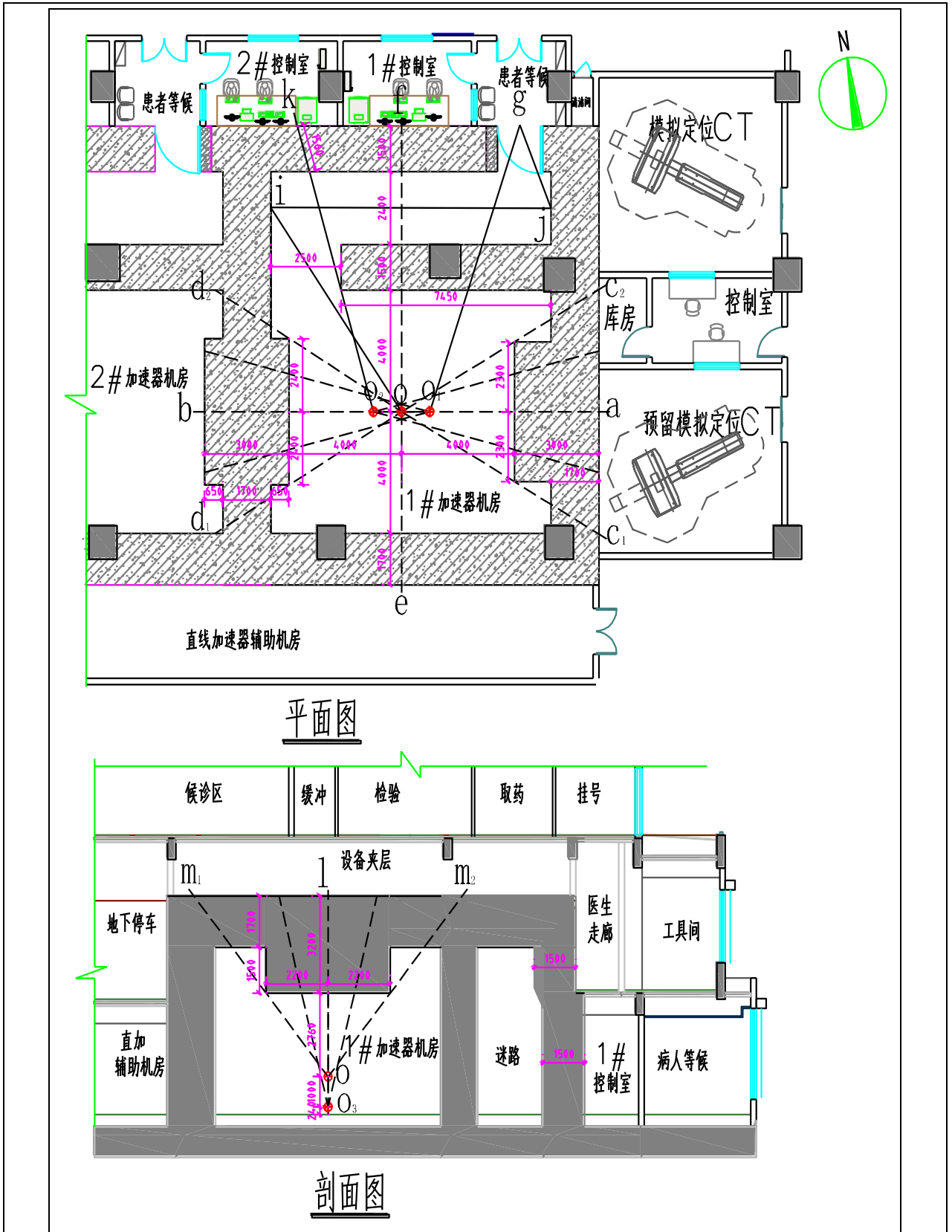


图 11-1 本项目 1#直线加速器机房外关注点设置示意图（单位：mm）

(1) 有用线束主屏蔽区宽度符合性分析

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）的相关公式计算有用线束主屏蔽区的宽度，计算公式如下：

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

式中：Y_p—机房有用线束主屏蔽区的宽度，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。

根据图 11-1，将各参数带入公式（11-1），可估算出本项目 1#直线加速器机房主屏蔽宽度核算结果，结果见表 11-1。

表 11-1 本项目 1#直线加速器机房主屏蔽墙宽度计算参数及计算结果一览表

主屏蔽区	东墙（内凸）	西墙（外凸）	屋顶（内凸）
SAD（m）	1	1	1
θ（°）	14	14	14
a（m）	5.3	7	4.26
Y _p 计算值（m）	1.875×2	2.295×2	1.615×2
Y _p 设计值（m）	2.3×2	2.4×2	2.2×2
评价结果	满足	满足	满足

根据表 11-1 可知，本项目 1#直线加速器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/T201.1-2007）的相关要求。

（2）主屏蔽区屏蔽计算

射线路径（射线类型）：

南墙：o₂→a（主射线），北墙：o₁→b（主射线），顶棚：o₃→l（主射线）

根据 GBZ/T 201.2 的相关公式计算有用线束主屏蔽核算，在给定屏蔽物厚度 X（cm）时，首先按照公式（11-2）计算有效厚度 X_e（cm），按照公式（11-3）估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B，再按照公式（11-4）计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率（μSv/h）。

$$X_e=X/\cos\theta=X \cdot \sec\theta \quad (\text{式 11-2})$$

式中，X—设计屏蔽厚度，cm；

θ—斜射角。

$$B=10^{-(X_e+TVL-TV L_1)/TVL} \quad (\text{式 11-3})$$

式中， TVL_1 (cm) 和 TVL (cm) 为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度，查 GBZ/T 201.2 -2011 附录 B 表 B.1。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad (\text{式 11-4})$$

式中： \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， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ，X 线最大能量为 10MV 时最大为 $1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

R —靶点至参考点的距离，m；

f —对有用线束为 1，对泄漏辐射为 0.001。

将各参数代入模式计算，得到屏蔽体外关注点的剂量率（ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ），辐射剂量率计算参数和计算结果表 11-2。

表 11-2 主屏蔽墙外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果

关注点	东墙主屏蔽（a 点）	西墙主屏蔽（b 点）	顶棚主屏蔽（1 点）
X (cm)	300 砵	300 砵	320 砵
Xe (cm)	300 砵	300 砵	320 砵
TVL (cm)	37	37	37
TVL_1 (cm)	41	41	41
B	1×10^{-8}	1×10^{-8}	2.88×10^{-9}
R (m)	8.3	8.3	7.26
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	1.44×10^9	1.44×10^9	1.44×10^9
f	1	1	1
关注点处辐射剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.209	0.209	0.079
剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	1.6	1.6	2.5
评价结果	满足	满足	满足

注：① $R_{\text{东墙}} = R_{\text{西墙}} =$ 等中心点到屏蔽墙距离 4m+SAD 1m+墙体厚度 3m+参考点 0.3=8.3m；

② $R_{\text{顶棚}} =$ 等中心点到屏蔽墙距离 2.76m+SAD 1m+墙体厚度 3.2m+参考点 0.3=7.26m。

(3) 侧屏蔽墙屏蔽计算

加速器南墙、北墙主要考虑加速器泄漏辐射的辐射影响。

射线路径（射线类型）：

北墙：o→f（漏射线），南墙：o→e（漏射线）

辐射防护预测模式与主射线估算相同。侧屏蔽墙外参考点剂量率计算参数和计算结果

见表 11-3。

表 11-3 侧屏蔽墙外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果

关注点	北墙侧屏蔽 (f 点)	南墙侧屏蔽 (e 点)
X (cm)	150 砵+150 砵	170 砵
Xe (cm)	300 砵	170 砵
TVL (cm)	31	31
TVL ₁ (cm)	35	35
B	2.83×10^{-10}	4.42×10^{-6}
R (m)	9.7	6
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	1.44×10^9	1.44×10^9
f	0.001	0.001
关注点处辐射剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	4.33×10^{-6}	0.177
剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	2.5	2.5
评价结果	满足	满足

注：①R_{北墙}=等中心点到迷道外墙距离 7.9m+迷道外墙 1.5m+参考点 0.3m=9.7m；

②R_{南墙}=等中心点到南墙距离 4m+南墙 1.7m+参考点 0.3m=6m。

(4) 与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区屏蔽计算

①射线路径 (射线类型)

与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区的辐射影响主要考虑有用线束水平或向顶照射时人体的散射辐射和加速器泄漏辐射，射线照射路径如下：

散射射线路径：

东墙：o₂→o→c₁ (c₂)，西墙：o₁→o→d₁ (d₂)，顶棚：o₃→o→m₁ (m₂)

泄漏射线路径：

东墙：o→c₁ (c₂)，西墙：o→d₁ (d₂)，顶棚：o→m₁ (m₂)

②泄漏辐射屏蔽计算

在进行泄漏辐射防护计算时，为简化漏射线辐射计算，通常假定漏射线与有用线束射线具有相同的能量，且与靶心距离相同的漏射线辐射的最大强度不会超过有用射线强度的 0.1% (即 f=0.001)，辐射防护预测模式与主射线估算相同。

③散射辐射屏蔽计算

散射辐射预测模式可采用 GBZ/T 201.2-2011 第 5.2 章中推荐的估算公式：

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

式中： \dot{H}_0 及 B 意义同前；

R_s^2 —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面积（ cm^2 ），取（ 40×40 ） cm^2 ；

α_{ph} — 400cm^2 面积上的散射因子，即患者 400cm^2 面积上垂直入射 X 射线散射至距离其 1m 处（关注点方向）处的剂量比例。

各关注点处的泄漏辐射及散射辐射剂量率值计算参数和计算结果见表 11-4。

表 11-4 与主屏蔽相连的次屏蔽区外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果

关注点	东墙（ c_1 或 c_2 点）	西墙（ d_1 或 d_2 点）	顶棚（ m_1 或 m_2 点）
\dot{H}_0 （ $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ）	1.44×10^9	1.44×10^9	1.44×10^9
X（cm）	170 砵	170 砵	170 砵
θ （ $^\circ$ ）	保守取 30		
X_e （cm）	196.3 砵	196.3 砵	196.3 砵
R 或 R_s （m）	8.43	7.68	7.23
泄漏辐射	TVL（cm）	31	31
	TVL ₁ （cm）	35	35
	B	6.26×10^{-7}	6.26×10^{-7}
	f	0.001	0.001
	\dot{H} （ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）	0.013	0.015
散射辐射	TVL（cm）	28	28
	TVL ₁ （cm）	28	28
	B	9.76×10^{-8}	9.76×10^{-8}
	α_{ph}	3.18×10^{-3}	3.18×10^{-3}
	F（ cm^2 ）	1600	1600
	\dot{H} （ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）	0.025	0.03
泄漏辐射和散射辐射的复合作用（ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）	0.038	0.045	0.051
剂量率参考控制水平 \dot{H}_c （ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）	0.4	0.4	2.5
评价结果	满足	满足	满足

注：① $R_{东墙} = R_s_{东墙} =$ 等中心点到主屏蔽墙外参考点距离 $7.3\text{m}/\cos 30^\circ = 8.43\text{m}$ ；

② $R_{西墙} = R_s_{西墙} =$ 等中心点到次屏蔽墙外参考点距离 $6.65\text{m}/\cos 30^\circ = 7.68\text{m}$ ；

③ $R_{顶棚} = R_s_{顶棚} =$ 等中心点到主屏蔽墙外参考点距离 $6.26\text{m}/\cos 30^\circ = 7.23\text{m}$ 。

(5) 迷路外墙屏蔽计算

加速器主射线不向迷道照射，加速器机房内加速器机头位于 o_2 点时，北墙 k 点处辐射剂量率最大，泄漏辐射起决定性作用，射线路径（射线类型）： $o_2 \rightarrow k$ （漏射线）。

根据医院提供的设计图纸， o_2 至 k 的泄漏辐射斜射角为 16° ，估算时保守取泄漏辐射斜射角为 0° 。迷路外墙辐射防护预测模式与主射线估算相同，预测结果见表 11-5。

表 11-5 迷路外墙辐射剂量率计算参数及计算结果

关注点	迷路外墙（k 点）
X (cm)	150 砧
θ ($^\circ$)	保守取 0
X_e (cm)	150 砧
TVL (cm)	31
TVL_1 (cm)	35
B	1.95×10^{-5}
R (m)	9.7
\dot{H}_o ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	1.44×10^9
f	0.001
关注点处辐射剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.299
剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	2.5
评价结果	满足

(6) 机房入口防护门屏蔽计算

到达迷道入口的 X 射线成份比较复杂，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》（GBZT 201.2-2011）第 4.3.2.5.1 节，迷道入口处辐射影响较大的射线主要由两部分组成，一部分是加速器的泄漏辐射穿透迷路内墙到达迷路入口处的 X 射线，另一部分是人体受有用线束照射时，散射至 i 点的辐射并经东墙二次散射至 g 点的散射辐射。

① 泄漏辐射

射线路径： $o_1 \rightarrow g$

泄漏辐射防护预测模式与主射线估算相同，根据医院提供的设计图纸， o_1 至 g 的泄漏辐射斜射角最小为 17° ，计算参数及计算结果见表 11-6。

表 11-6 迷道入口处的泄漏辐射剂量率计算参数和计算结果

关注点	机房入口处 (g 点)
X (cm)	150 砩 (迷路内墙厚度)
θ ($^{\circ}$)	17
Xe (cm)	156.8 砩
TVL (cm)	31
TVL ₁ (cm)	35
B	1.17×10^{-5}
R (m)	10.1
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	1.44×10^9
f	0.001
关注点处辐射剂量率 \dot{H}_{og} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.166
剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.4
评价结果	满足

注：①R=等中心点到迷道外墙外参考点距离 $9.7\text{m}/\cos 17^{\circ}=10.1\text{m}$ 。

②泄漏剂量率参考控制水平 \dot{H}_c 取防护门处剂量率参考控制水平 $1.6\mu\text{Sv}/\text{h}$ 的 1/4，即 $0.4\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

②散射辐射

根据图 11-1，射线经患者散射后还需经过 2 次散射才到达 g 点，本项目在估算时，保守按直迷道进行计算，假设射线经患者散射后仅经过 1 次散射到达 g 点，即：

射线路径（射线类型）： $O_1 \rightarrow O \rightarrow i \rightarrow g$ （散射射线）。

迷路入口 g 点处的散射辐射剂量率按照公式（11-6）计算，具体计算参数和计算结果见表 11-7。

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A_1}{R_2^2} \dot{H}_0 \quad (\text{式 11-6})$$

式中， \dot{H}_0 、F 意义同前文；

α_{ph} —患者 400cm^2 面积上的散射因子，计算时取 45° 入射散射角的值；

α_2 —砩墙入射的患者散射辐射的散射因子，本项目保守取 i 处的入射角取 45° ，散射角取 30° 的值，具体取值见 GBZ/T 201.2-2011 附录 B 表 B.6，通常使用其 0.5MeV 栏内的值， 22.5×10^{-3} ；

A—i 处的散射面积，根据图 11-1，保守取迷道的截面积，则散射面积为 $2.4\text{m} \times 5.5\text{m} = 13.2\text{m}^2$ ；

R_1 —等中心点到 i 之间的距离，m；

R_2 —i 到 g 之间的距离，m。

表 11-7 迷路入口 g 点处的散射辐射剂量率计算参数和计算结果

参 数	g 点
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	1.44×10^9
α_{ph}	1.35×10^{-3}
α_2	22.5×10^{-3}
F (cm^2)	1600
R_1 (m)	8.16
R_2 (m)	13.2
A (m^2)	13.2
辐射剂量率估算值 \dot{H}_g ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	199.1

注：① $R_1=\sqrt{4.65^2+6.7^2}=8.16\text{m}$;

② $R_2=9.95\text{m}$ (迷道长度) + 2.95m (迷道中心至迷道口距离) + 0.3m (参考点距离) = 13.2m 。

③加速器机房入口门外总辐射剂量率

直线加速器机房入口门外的总辐射剂量率按公式 (11-7) 计算, g 处的散射辐射能量约为 0.2MeV , 铅中的 TVL 值约为 0.5cm , 机房入口门外辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-8。

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

式中, \dot{H}_g 、 \dot{H}_{og} 意义同前文;

X—防护门铅屏蔽厚度, cm;

TVL—辐射在铅中的什值层, cm, 取 0.5cm 。

表 11-8 机房入口门外的总辐射剂量率计算参数和计算结果

参 数	g 点
\dot{H}_g ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	199.1
X (cm)	1.5 铅
TVL (cm)	0.5
\dot{H}_{og} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.166
防护门外 g 点总辐射剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.365
剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	1.6
评价结果	满足

(7) 加速器电子线治疗时防护评价

本项目直线加速器电子束治疗时，最大电子束能量不会超过 22MeV。由于电子束的穿透能力远小于 X 射线，对治疗 X 射线的屏蔽机房，完全能够满足屏蔽电子束的要求。此外，电子束治疗时，平均束流为 nA 量级，X 射线治疗时，平均束流为 μA 量级，治疗电子束所产生的韧致辐射远小于 X 射线治疗时的辐射，即使电子束能量大于治疗 X 射线的最大能量，对屏蔽电子束的韧致辐射所要求的厚度也远低于对 MV X 射线的屏蔽要求。

(8) 感生放射性防护评价

根据《辐射防护手册》第三分册（李德平、潘自强主编，P₁₁₄）图 4.22 和图 4.23 可以看出，感生放射性的衰变是较快的，停机后（5~10）min 就可减弱到初始值的一半，因此，对感生放射性的有效防护措施之一是等其衰变。为避免加速器治疗机房内感生放射性对工作人员造成的危害，建议工作人员尽可能减少在治疗机房内的滞留时间，或等待停机 5min 后再进入治疗机房，加强加速器机房的通风，减少治疗机房内空气中感生放射性核素的含量。

(9) 小结

本项目 1#直线加速器机房墙、顶、门外理论估算结果汇总见表 11-9。

表 11-9 本项目 1#直线加速器机房墙、顶、门外理论估算结果汇总一览表

位置	关注点	剂量率估算值 ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率参考控制 水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	评价结果	
1#直线 加速器 机房	东墙主屏蔽	a	0.209	1.6	满足
	东墙次屏蔽	c_1 (c_2)	0.038	0.4	满足
	南墙侧屏蔽	e	0.177	2.5	满足
	西墙主屏蔽	b	0.209	1.6	满足
	西墙次屏蔽	d_1 (d_2)	0.045	0.4	满足
	迷道外墙	k	0.299	2.5	满足
	北墙侧屏蔽	f	4.33×10^{-6}	2.5	满足
	顶棚主屏蔽	l	0.079	2.5	满足
	顶棚次屏蔽	m_1 (m_2)	0.051	2.5	满足
	入口防护门	g	0.365	1.6	满足

根据表 11-9 可知，当 1#直线加速器以最大功率（加速器 X 线能量为 10MV）运行时，本项目 1#直线加速器机房墙、顶、门外各关注点处剂量率估算值为($4.33 \times 10^{-6} \sim 0.365$) $\mu\text{Sv/h}$ ，能够满足本项目 1#直线加速器机房周围剂量当量率参考控制水平。

2、2#直线加速器

本项目 2#直线加速器运行期辐射环境影响分析同 1#直线加速器，具体计算参数及计算结果见表 11-10~表 11-18。本项目 2#直线加速器机房外关注点设置见图 11-2。

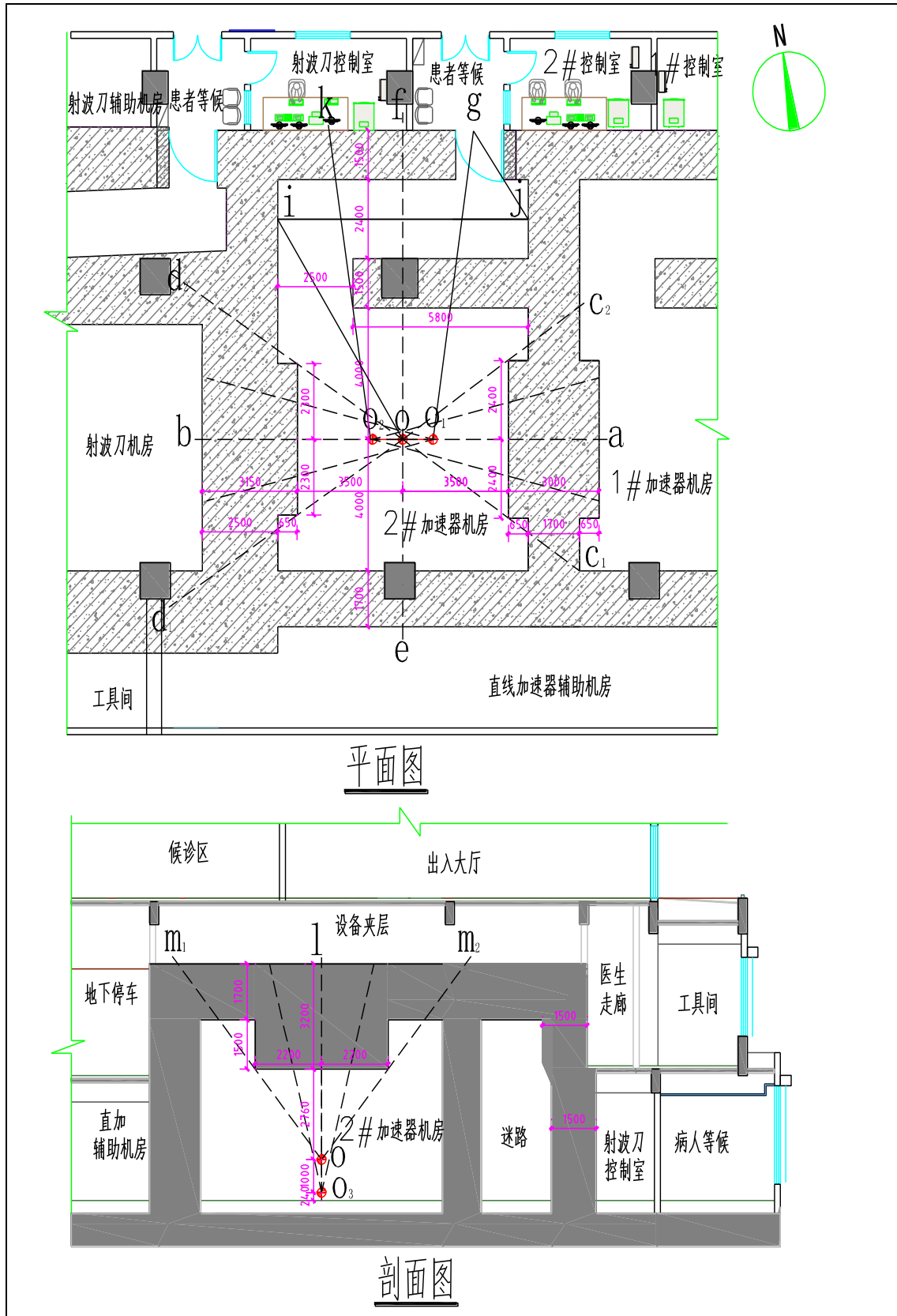


图 11-2 本项目 2#直线加速器机房外关注点设置示意图 (单位: mm)

表 11-10 本项目 2#直线加速器机房主屏蔽墙宽度计算参数及计算结果一览表

主屏蔽区	东墙	西墙	屋顶
SAD (m)	1	1	1
θ (°)	14	14	14
a (m)	6.5	4.15	4.26
Yp 计算值 (m)	2.17×2	1.585×2	1.615×2
Yp 设计值 (m)	2.4×2	2.3×2	2.2×2
评价结果	满足	满足	满足

表 11-11 主屏蔽墙外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果

关注点	东墙主屏蔽 (a 点)	西墙主屏蔽 (b 点)	顶棚主屏蔽 (1 点)
X (cm)	300 砵	315 砵	320 砵
Xe (cm)	300 砵	315 砵	320 砵
TVL (cm)	37	37	37
TVL ₁ (cm)	41	41	41
B	1×10^{-8}	3.93×10^{-9}	2.88×10^{-9}
R (m)	7.8	7.95	7.26
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	1.44×10^9	1.44×10^9	1.44×10^9
f	1	1	1
关注点处辐射剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.237	0.09	0.079
剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	1.6	1.6	2.5
评价结果	满足	满足	满足

注：①R_{东墙}—等中心点到屏蔽墙距离 3.5m+SAD 1m+墙体厚度 3m+参考点 0.3=7.8m；

②R_{西墙}—等中心点到屏蔽墙距离 3.5m+SAD 1m+墙体厚度 3.15m+参考点 0.3=7.95m；

③R_{顶棚}—等中心点到屏蔽墙距离 2.76m+SAD 1m+墙体厚度 3.2m+参考点 0.3=7.26m。

表 11-12 侧屏蔽墙外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果

关注点	北墙侧屏蔽 (f 点)	南墙侧屏蔽 (e 点)
X (cm)	150 砵+150 砵	170 砵
Xe (cm)	300 砵	170 砵
TVL (cm)	31	31
TVL ₁ (cm)	35	35
B	2.83×10^{-10}	4.42×10^{-6}

R (m)	9.7	6
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	1.44×10^9	1.44×10^9
f	0.001	0.001
关注点处辐射剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	4.33×10^{-6}	0.177
剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	2.5	2.5
评价结果	满足	满足

注：① $R_{\text{北墙}}$ 一等中心点到迷道外墙距离 7.9m+迷道外墙 1.5m+参考点 0.3m=9.7m；

② $R_{\text{南墙}}$ 二等中心点到南墙距离 4m+南墙 1.7m+参考点 0.3m=6m。

表 11-13 与主屏蔽相连的次屏蔽区外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果

关注点	东墙 (c_1 或 c_2 点)	东墙 (d_1 或 d_2 点)	顶棚 (m_1 或 m_2 点)	
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	1.44×10^9	1.44×10^9	1.44×10^9	
X (cm)	170 砵	250 砵	170 砵	
θ ($^\circ$)	保守取 30			
X_e (cm)	196.3 砵	288.7 砵	196.3 砵	
R 或 R_s (m)	7.1	8.03	7.23	
泄漏辐射	TVL (cm)	31	31	
	TVL ₁ (cm)	35	35	
	B	6.26×10^{-7}	6.56×10^{-10}	6.26×10^{-7}
	f	0.001	0.001	0.001
	\dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.018	1.47×10^{-5}	0.017
散射辐射	TVL (cm)	28	28	
	TVL ₁ (cm)	28	28	
	B	9.76×10^{-8}	4.9×10^{-11}	9.76×10^{-8}
	α_{ph}	3.18×10^{-3}	3.18×10^{-3}	3.18×10^{-3}
	F (cm^2)	1600	1600	1600
	\dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.036	1.39×10^{-5}	0.034
泄漏辐射和散射辐射的复合作用 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.054	2.86×10^{-5}	0.051	
剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.4	0.4	2.5	
评价结果	满足	满足	满足	

注：① $R_{\text{东墙}}=R_{s\text{东墙}}$ 一等中心点到次屏蔽墙外参考点距离 $6.15\text{m}/\cos 30^\circ=7.1\text{m}$ ；

② $R_{\text{西墙}}=R_{s\text{西墙}}$ 二等中心点到次屏蔽墙外参考点距离 $6.95\text{m}/\cos 30^\circ=8.03\text{m}$ ；

③ $R_{\text{顶棚}}=R_{s\text{顶棚}}$ 一等中心点到主屏蔽墙外参考点距离 $6.26\text{m}/\cos 30^\circ=7.23\text{m}$ 。

表 11-14 迷路外墙辐射剂量率计算参数及计算结果

关注点	迷路外墙 (k 点)
X (cm)	150 砵
θ ($^{\circ}$)	保守取 0
Xe (cm)	150 砵
TVL (cm)	31
TVL ₁ (cm)	35
B	1.95×10^{-5}
R (m)	9.7
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	1.44×10^9
f	0.001
关注点处辐射剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.299
剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	2.5
评价结果	满足

表 11-15 迷道入口处的泄漏辐射剂量率计算参数和计算结果

关注点	机房入口处 (g 点)
X (cm)	150 砵 (迷路内墙厚度)
θ ($^{\circ}$)	9
Xe (cm)	151.9 砵
TVL (cm)	31
TVL ₁ (cm)	35
B	1.7×10^{-5}
R (m)	9.8
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	1.44×10^9
f	0.001
关注点处辐射剂量率 \dot{H}_{og} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.255
剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.4
评价结果	满足

注：①R=等中心点到迷道外墙外参考点距离 $9.7\text{m}/\cos 9^{\circ}=9.8\text{m}$ 。

②泄漏剂量率参考控制水平 \dot{H}_c 取防护门处剂量率参考控制水平 $1.6\mu\text{Sv}/\text{h}$ 的 1/4，即 $0.4\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

表 11-16 迷路入口 g 点处的散射辐射剂量率计算参数和计算结果

参 数	g 点
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	1.44×10^9
α_{ph}	1.35×10^{-3}
α_2	22.5×10^{-3}
F (cm^2)	1600
R_1 (m)	7.88
R_2 (m)	11.55
A (m^2)	13.2
辐射剂量率估算值 \dot{H}_g ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	278.8

注：① $R_1=\sqrt{4.15^2+6.7^2}=7.88\text{m}$;

② $R_2=8.3\text{m}$ (迷道长度) + 2.95m (迷道中心至迷道口距离) + 0.3m (参考点距离) = 11.55m 。

表 11-17 机房入口门外的总辐射剂量率计算参数和计算结果

参 数	g 点
\dot{H}_g ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	278.8
X (cm)	1.5 铅
TVL (cm)	0.5
\dot{H}_{og} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.255
防护门外 g 点总辐射剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.533
剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	1.6
评价结果	满足

表 11-18 本项目 2#直线加速器机房墙、顶、门外理论估算结果汇总一览表

位置	关注点	剂量率估算值 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	剂量率参考控制 水平 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	评价结果	
2#直线 加速器 机房	东墙主屏蔽	a	0.237	1.6	满足
	东墙次屏蔽	c_1 (c_2)	0.054	0.4	满足
	南墙侧屏蔽	e	0.177	2.5	满足
	西墙主屏蔽	b	0.09	1.6	满足
	西墙次屏蔽	d_1 (d_2)	2.86×10^{-5}	0.4	满足
	迷道外墙	k	0.299	2.5	满足
	北墙侧屏蔽	f	4.33×10^{-6}	2.5	满足
	顶棚主屏蔽	l	0.079	2.5	满足

	顶棚次屏蔽	m_1 (m_2)	0.051	2.5	满足
	入口防护门	g	0.533	1.6	满足

综上所述，根据表 11-10 可知，本项目 2#直线加速器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/T201.1-2007)的相关要求；根据表 11-18 可知，当 2#直线加速器以最大功率（加速器 X 线能量为 10MV）运行时，本项目 2#直线加速器机房墙、顶、门外各关注点处剂量率估算值为（ $4.33 \times 10^{-6} \sim 0.533$ ） $\mu\text{Sv/h}$ ，能够满足本项目 2#直线加速器机房周围剂量当量率参考控制水平。

11.2.2 射波刀运行期辐射环境影响分析

本项目射波刀内含 1 台直线加速器，同时配套 1 套 X-ray 靶区定位追踪系统，直线加速器和 X-ray 靶区定位追踪系统不同时开机，直线加速器 X 射线能量为 6MV，靶至等中心的距离为 80cm，在准直束中心轴上距靶 80cm 处的剂量率为 600Gy/h，泄漏辐射比率为 10^{-3} ；X 射线管管电压均为 150kV、管电流均为 500mA。直线加速器的能量远大于 X-ray 靶区定位追踪系统的能量，直线加速器的辐射影响远大于 X-ray 靶区定位追踪系统，机房屏蔽若能满足直线加速器的使用要求，也能满足 X-ray 靶区定位追踪系统的使用要求，故本项目选取直线加速器对机房屏蔽进行分析评价。

1、关注点选取

理论估算时，在本项目调试机房外 30cm 处设定关注点，从保守角度出发，在调试机房设计的尺寸厚度基础上，假定加速器以最大功率运行并针对关注点最不利的情况进行预测计算，关注点设置见图 11-3。

2、机房墙体及屋顶屏蔽效果预测

本项目射波刀属于机器人臂加速器，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）附录 D.3（机器人臂赛博刀与机房屏蔽示例），机房各面均按有用束（ $U < 0.05$ ）考虑机房屏蔽，因此本项目射波刀机房四周墙体和屋顶均按有用束（使用因子 $U < 0.05$ ）来估算法房的屏蔽是否达标。

（1）射线路径

东墙：靶→O→a，西墙：靶→O→b，南墙：靶→O→e，北墙：靶→O→f，迷路外墙：靶→O→k，屋顶：靶→O→l。

（2）估算模式

根据 GBZ/T 201.2-2011 中有用线束的屏蔽估算公式进行估算，在给定屏蔽物厚度 X （cm）时，首先按照公式（11-8）计算有效厚度 X_e （cm），按照公式（11-9）估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B ，再按照公式（11-10）计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）。各计算公式如下：

$$X_e = X / \cos\theta = X \cdot \sec\theta \quad (\text{式 11-8})$$

式中， X —设计屏蔽厚度，cm；

θ —斜射角。

$$B = 10^{-(X_e + \text{TVL} - \text{TVL}_1) / \text{TVL}} \quad (\text{式 11-9})$$

式中， TVL_1 （cm）和 TVL （cm）为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度，查 GBZ/T 201.2-2011 附录 B 表 B.1，对应 6MV 的 X 射线能量，其有用束在混凝土中的 TVL_1 为 37cm， TVL 为 33cm。

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

式中： \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， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / \text{h}$ ，根据 GBZ/T201.2-2011 附录 D.3，本项目 $\dot{H}_0 = 600 \times 0.8^2 \times 10^6 = 3.84 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / \text{h}$ ；

R —靶点至参考点的距离，m；

f —对有用线束为 1。

将各参数代入模式计算，得到相应辐射在机房四周墙壁和顶部外关注点的剂量率 \dot{H} （ $\mu\text{Sv/h}$ ），辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-19。

表 11-19 机房外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果

关注点	东墙		西墙 (b点)	南墙 (e点)	北墙 (f点)	迷路外墙 (k点)	顶棚 (l点)
	(a点)	(a'点)					
X (cm)	315 砵	250 砵	250 砵	250 砵	400 砵	225.2 砵	250 砵
Xe (cm)	315 砵	250 砵	250 砵	250 砵	400 砵	225.2 砵	250 砵
TVL (cm)	33	33	33	33	33	33	33
TVL ₁ (cm)	37	37	37	37	37	37	37
B	3.77×10^{-10}	3.51×10^{-8}	3.51×10^{-8}	3.51×10^{-8}	1×10^{-12}	1.98×10^{-7}	3.51×10^{-8}
R (m)	7.925	7.275	7.275	7.35	10.85	10.85	7.379
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	3.84×10^8	3.84×10^8	3.84×10^8	3.84×10^8	3.84×10^8	3.84×10^8	3.84×10^8
f	1	1	1	1	1	1	1
关注点处辐射剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.002	0.255	0.255	0.25	3.26×10^{-6}	0.646	0.248
剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
评价结果	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足

注：①R_(a点) = 等中心点到东墙距离 3.675m+SAD 0.8m+墙体厚度 3.15m+参考点 0.3=7.925m；
 ②R_(a'点) = 等中心点到东墙距离 3.675m+SAD 0.8m+墙体厚度 2.5m+参考点 0.3=7.275m；
 ③R_(b点) = 等中心点到西墙距离 3.675m+SAD 0.8m+墙体厚度 2.5m+参考点 0.3=7.275m；
 ④R_(e点) = 等中心点到南墙距离 3.75m+SAD 0.8m+墙体厚度 2.5m+参考点 0.3=7.35m；
 ⑤R_(f点) = R_(k点) = 等中心点到北侧迷道外墙外表面距离 9.75m+SAD 0.8m +参考点 0.3=10.85m；
 ⑥R_(l点) = 等中心点到顶部距离 3.779m+SAD 0.8m+顶部厚度 2.5m+参考点 0.3=7.379m。

3、机房防护门屏蔽效果预测

机房防护门处的辐射，是来自迷道内墙的贯穿辐射与来自迷道的散射的叠加。

(1) 贯穿辐射

射线路径：O→g；

迷道内墙的贯穿辐射在入口处造成的辐射剂量率计算方法与墙体估算相同，以 0°斜射角保守计算，计算结果见表 11-20。

表 11-20 防护门外参考点泄漏辐射剂量率计算参数和计算结果

关注点	机房入口处 (g点)
X (cm)	225 砵
θ (°)	0

Xe (cm)	225 砵
TVL (cm)	33
TVL ₁ (cm)	37
B	2×10 ⁻⁷
R (m)	10.85
\dot{H}_0 (μSv·m ² /h)	3.84×10 ⁸
f	1
关注点处辐射剂量率 \dot{H}_{og} (μSv/h)	0.655
剂量率参考控制水平 \dot{H}_c (μSv/h)	0.5
评价结果	满足

(2) 散射辐射

根据图 11-3，射线经患者散射后还需经过 2 次散射才到达 g 点，本项目在估算时，保守按直迷道进行计算，假设射线经患者散射后仅经过 1 次散射到达 g 点，即：

射线路径（射线类型）：O→i→g（散射射线）。

迷路入口 g 点处的散射辐射剂量率按照公式（11-11）计算，具体计算参数和计算结果见表 11-21。

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A_1}{R_2^2} \dot{H}_0 \quad (\text{式 11-11})$$

式中， \dot{H}_0 意义同前文；

α_{ph} —患者 400cm² 面积上的散射因子，见附录表 B.2，通常取 45° 散射角的值，取 1.39×10⁻³；

F—治疗装置有用线束在等中心处的最大治疗野面积，cm²，本项目为 28.26cm²。

α_2 —砵墙入射的患者散射辐射的散射因子，本项目保守取 i 处的入射角取 45°，散射角取 30° 的值，具体取值见 GBZ/T 201.2-2011 附录 B 表 B.6，通常使用其 0.5MeV 栏内的值，22.5×10⁻³；

A—i 处的散射面积，根据图 11-3，保守取迷道的截面积，则散射面积为 2m×4.7m=9.4m²；

R₁—等中心点到 i 之间的距离，m；

R₂—i 到 g 之间的距离，m。

表 11-21 迷路入口 g 点处的散射辐射剂量率计算参数和计算结果

参 数	g 点
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	3.84×10^8
α_{ph}	1.39×10^{-3}
α_2	22.5×10^{-3}
F (cm^2)	28.26
R_1 (m)	5.2
R_2 (m)	11.3
A (m^2)	9.4
辐射剂量率估算值 \dot{H}_g ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	2.31

注：① $R_1=3.675/\cos(45^\circ)=5.2\text{m}$;

② $R_2=8.15\text{m}$ (迷道长度) + 2.85m (迷道中心至迷道口距离) + 0.3m (参考点距离) = 11.3m 。

(3) 加速器机房入口门外总辐射剂量率

机房入口门外的总辐射剂量率按公式 (11-12) 计算, g 处的散射辐射能量约为 0.2MeV , 铅中的 TVL 值约为 0.5cm , 机房入口门外辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-22。

$$\dot{H}=\dot{H}_g\cdot 10^{-(X/\text{TVL})} + \dot{H}_{\text{og}} \quad (\text{式 } 11-12)$$

式中, \dot{H}_g 、 \dot{H}_{og} 意义同前文;

X—防护门铅屏蔽厚度, cm;

TVL—辐射在铅中的什值层, cm, 取 0.5cm 。

表 11-22 机房入口门外的总辐射剂量率计算参数和计算结果

参 数	g 点
\dot{H}_g ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	2.31
X (cm)	1.5 铅
TVL (cm)	0.5
\dot{H}_{og} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.655
防护门外 g 点总辐射剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.657
剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	2.5
评价结果	满足

综上所述, 根据表 11-19 和表 11-22 可知, 当射波刀以最大功率 (加速器 X 线能量为 6MV) 运行时, 本项目射波刀机房墙、顶、门外各关注点处剂量率估算值为

($3.26 \times 10^{-6} \sim 0.657$) $\mu\text{Sv/h}$ ，能够满足本项目设备刀机房周围剂量当量率参考控制水平。

11.2.3 直线加速器、射波刀叠加辐射影响分析

本项目直线加速器机房和射波刀机房相邻而建，机房北侧的直线加速器辅助机房和顶部的设备夹层会同时受到 1#直线加速器、2#直线加速器和射波刀的叠加辐射影响。同时，由于各机房的控制室靠近机房的防护门，1#加速器控制室处会同时受到 1#直线加速器机房北侧迷道外墙处和防护门处的叠加辐射影响，2#加速器控制室会同时受到 1#直线加速器机房北侧迷道外墙处和 2#直线加速器机房防护门处的叠加辐射影响，射波刀控制室会同时受到 2#直线加速器机房北侧迷道外墙处和射波刀机房防护门处的叠加辐射影响，具体见表 11-23。

表 11-23 本项目直线加速器、射波刀叠加辐射影响一览表

关注点	辐射影响因子	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	叠加辐射剂量 率 ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率参考控制 水平 ($\mu\text{Sv/h}$)
直线加速器 辅助机房	1#直线加速器机房南墙 表面 30cm (e 点)	0.177	0.604	2.5
	2#直线加速器机房南墙 表面 30cm (e 点)	0.177		
	射波刀机房南墙 表面 30cm (e 点)	0.25		
机房顶部 设备夹层	1#直线加速器机房顶部 表面 30cm (l 点)	0.079	0.406	2.5
	2#直线加速器机房顶部 表面 30cm (l 点)	0.079		
	射波刀机房顶部 表面 30cm (l 点)	0.248		
1#加速器 控制室	1#直线加速器机房迷道外 墙表面 30cm (f 点)	4.33×10^{-6}	0.365	2.5
	1#直线加速器机房防护门 表面 30cm (g 点)	0.365		
2#加速器 控制室	1#直线加速器机房迷道外 墙表面 30cm (k 点)	0.299	0.832	2.5
	2#直线加速器机房防护门 表面 30cm (g 点)	0.533		
射波刀 控制室	2#直线加速器机房迷道外 墙表面 30cm (k 点)	0.299	0.956	2.5
	射波刀机房防护门 表面 30cm (g 点)	0.657		

由表 11-23 可知，直线加速器机房和射波刀机房外叠加辐射剂量率也能够满足本项目直线加速器机房和射波刀机房周围剂量当量率参考控制水平。

11.2.4 DSA 运行期辐射环境影响分析

1、机房屏蔽符合性分析

本项目拟配备的 DSA 最大管电压为 125kV，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C，在管电压 125kV 下，217mm 砖为 2mmPb，258mm 砖为 2.5mmPb，经内插法可得 240mm 砖约为 2.3mmPb；87mm 砼为 1mmPb，158mm 砼为 2mmPb，经内插法可得 120mm 砼约为 1.5mmPb。DSA 杂交手术室采取的屏蔽厚度符合性分析见表 11-24。

表 11-24 DSA 杂交手术室屏蔽符合性分析

项目		防护参数	等效屏蔽 (mmPb)	标准要求 (mmPb)	符合性
DSA 杂交手 术室	四周墙体	240mm 实心砖墙+3mmPb 硫酸钡防护涂料	2.3+3	2.0	符合
	顶部	120mm 砼+3mm 铅板	1.5+3		符合
	底板	120mm 砼+3mmPb 硫酸钡防护涂料	1.5+3		符合
	防护门	内嵌 3mm 铅板	3		符合
	观察窗	3mm 铅当量铅玻璃	3		符合

从表 11-24 可知，本项目 DSA 杂交手术室的屏蔽防护措施能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中相关要求，即 C 型臂 X 射线设备机房屏蔽防护铅当量厚度不小于 2mm 铅当量的要求。

2、DSA 杂交手术室辐射剂量计算

本项目 DSA 尚未运行，对介入设备机房周围辐射环境影响评价采用模式预测的方法进行影响分析。本项目 DSA 采用微机控制的自动剂量率控制高频 X 射线发生器，实际运行过程中会根据病人的身体情况和防护情况自动进行工况调节。一般情况下，DSA 透视常用最大管电压为 80kV，常用最大管电流 20mA；减影常用最大管电压 100kV，最大管电流 500mA。

本项目 DSA 设备主射方向为由下而上，根据 NCRP Report NO.147: Structural Shielding Design For Medical X-Ray Imaging Facilities》中 4.1.6 节（P42 页），因（FDA，2003c）规定在血管造影术中将使用图像增强器，可阻挡主射线。4.1.6.2 节（P43~P44 页）：事实上，初级辐射的强度会大幅度地被病人、影像接收器和支撑影像接收器的结构减弱…通常，保守起见，会忽略病人起到的显著削弱作用，只考虑成像硬件对于 X 射线的削弱。Dixon 在 1994 年，Dixon 和 Simpkin 在 1998 年的年度 AAPMTG 系列报告中给出了硬件设施的等效铅当量。由文中表 4.6 可得，影像接收器等硬件设施的等效铅当量为 1.15mm。

本项目 DSA 投用后，手术过程中手术室顶部主要考虑主射影响，其他考虑漏射和散射影响。手术室内的辐射工作人员受到散射和漏射的影响。本项目每组 DSA 介入手术量及曝

光时间情况见表11-25。

表 11-25 本项目每组 DSA 介入手术量及曝光时间情况一览表

设备名称	手术室位置	年手术量	平均单台手术透视时间	平均单台手术减影时间	年透视时间	年减影时间	年曝光时间
DSA	2#楼一楼 急诊	300 台	25min	2min	125h	10h	135h

本项目 DSA 杂交手术室内辐射源点至手术室各侧屏蔽体的距离见图 11-4，辐射源点至手术室外关注点的距离见表 11-26。

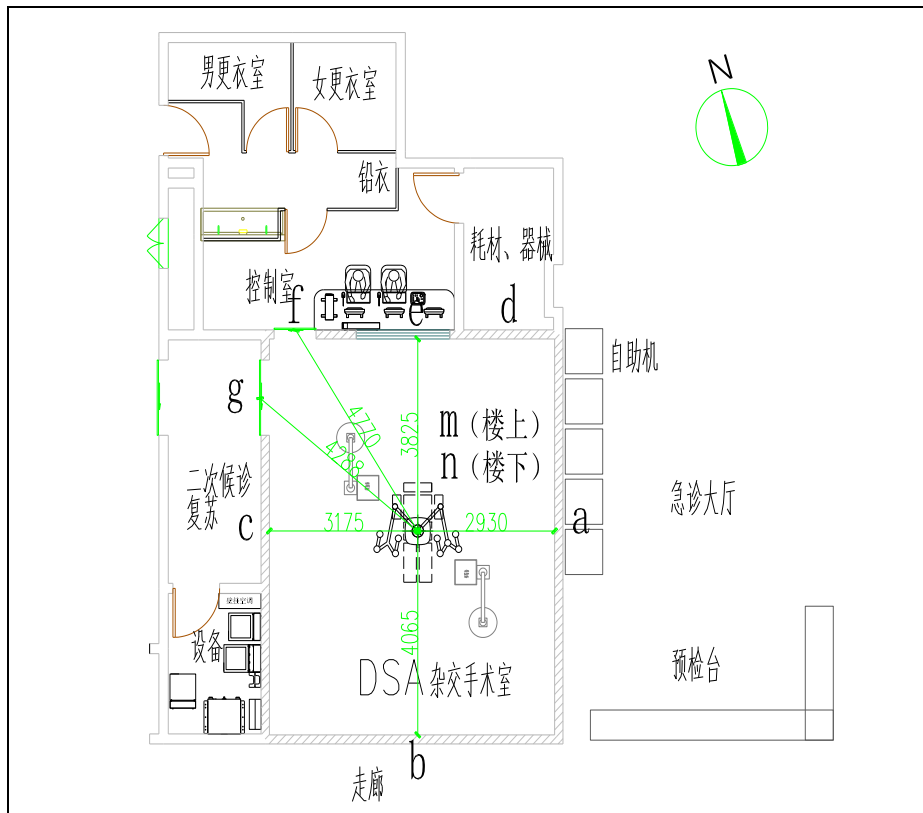


图 11-4 DSA 杂交手术室内辐射源点至手术室各侧屏蔽体的距离示意图（单位：mm）

表 11-26 DSA 杂交手术室内辐射源点至手术室外关注点的距离

	编号	关注点位置	辐射源点至关注点的距离 d (m)
DSA 杂交手 术室	a	手术室东侧屏蔽墙外 30cm (急诊大厅和预检台)	3.47
	b	手术室南侧屏蔽墙外 30cm (走廊)	4.61
	c	手术室西侧屏蔽墙外 30cm (二次候诊复苏室和设备间)	3.72
	d	手术室北侧屏蔽墙外 30cm (耗材器械间)	4.37
	e	观察窗表面 30cm (控制室)	4.37
	f	医护人员通道防护门表面外 30cm (控制室)	5.07

g	患者通道防护门表面外 30cm (二次候诊复苏室和设备间)	4.83
m	手术室正上方 (EICU 室地面 0.3m)	4.8
n	手术室正下方 (地下车库地面 1.7m)	4.1

(1) 有用线束辐射空气比释动能率计算

由《辐射防护手册 (第一分册)》(李德平 潘自强著) 给出的 X 射线机散射线在关注点的周比释动能计算公式 (公式 10.8) 进行推导, 得到有用线束在关注点处的比释动能率 H 的计算公式 (推导中, 将原公式中的使用因子、居留因子均取为 1):

$$H = \frac{H_0 \cdot I \cdot B}{d^2} \quad (\text{式 11-13})$$

式中: H_0 —X 射线机发射率常数 (当管电流为 1mA 时, 距离阳极靶 1m 处由主束产生的比释动能率), $\text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, 本项目 DSA 最大管电压为 125kV, 根据医院提供的资料, 过滤材料为 0.5mmCu, 根据《辐射防护导论》(方杰著) 附图 3, 摄影 (100kV) 时 X 射线发射率常数 $\delta_{100\text{kV}} = 1.8 \text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, 则 $H_{0(100\text{kV})} = 1.08 \times 10^5 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$; 透视 (80kV) 时 X 射线发射率常数 $\delta_{80\text{kV}} = 0.8 \text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, 则 $H_{0(80\text{kV})} = 4.8 \times 10^4 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

I —管电流, 本项目 DSA 透视、减影模式下正常使用的最大管电流分别为 20mA、500mA;

d —源至关注点的距离;

B —给定铅厚度的屏蔽透射因子, 无量纲, 计算公式见公式 11-14 (原公式见 GBZ130-2020.公式 C.1):

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha x} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad (\text{式 11-14})$$

式中: X ——铅厚度;

α 、 β 、 γ ——铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数。

本项目摄影工况按 100kV 取值, 透射工况保守按 90kV 取值 (GBZ 130-2020 附录 C 表 C.2 中仅有管电压 70kV 和 90kV 的参数取值, 无 80kV 的参数取值), 屏蔽透射因子取值如下:

表 11-27 各关注点位的屏蔽透射因子计算结果

类型	工作模式	关注点位	防护情况	折算铅当量	α	β	γ	B
有用线束	摄影	手术室正上方(m点)	120mm 砷+3mm 铅板+1.15mm 影像接收器等硬件设施	5.65mmPb	2.500	15.28	0.7557	5.47×10^{-8}
	透视			5.65mmPb	3.067	18.83	0.7726	2.34×10^{-9}
泄漏辐射	摄影	手术室东侧屏蔽墙外30cm (a点)	240mm 实心砖墙+3mmPb 硫酸钡防护涂料	5.3mmPb	2.500	15.28	0.7557	1.31×10^{-7}
		手术室南侧屏蔽墙外30cm (b点)	240mm 实心砖墙+3mmPb 硫酸钡防护涂料	5.3mmPb	2.500	15.28	0.7557	1.31×10^{-7}
		手术室西侧屏蔽墙外30cm (c点)	240mm 实心砖墙+3mmPb 硫酸钡防护涂料	5.3mmPb	2.500	15.28	0.7557	1.31×10^{-7}
		手术室北侧屏蔽墙外30cm (d点)	240mm 实心砖墙+3mmPb 硫酸钡防护涂料	5.3mmPb	2.500	15.28	0.7557	1.31×10^{-7}
		观察窗表面30cm (e点)	3mm 铅当量铅玻璃	3mmPb	2.500	15.28	0.7557	4.14×10^{-5}
		医护人员通道防护门表面外30cm (f点)	内嵌 3mm 铅板	3mmPb	2.500	15.28	0.7557	4.14×10^{-5}
		患者通道防护门表面外30cm (g点)	内嵌 3mm 铅板	3mmPb	2.500	15.28	0.7557	4.14×10^{-5}
		手术室正下方 (n点)	120mm 砷+3mmPb 硫酸钡防护涂料	4.5mmPb	2.500	15.28	0.7557	9.70×10^{-7}
	透视	手术室东侧屏蔽墙外30cm (a点)	240mm 实心砖墙+3mmPb 硫酸钡防护涂料	5.3mmPb	3.067	18.83	0.7726	6.85×10^{-9}
		手术室南侧屏蔽墙外30cm (b点)	240mm 实心砖墙+3mmPb 硫酸钡防护涂料	5.3mmPb	3.067	18.83	0.7726	6.85×10^{-9}
		手术室西侧屏蔽墙外30cm (c点)	240mm 实心砖墙+3mmPb 硫酸钡防护涂料	5.3mmPb	3.067	18.83	0.7726	6.85×10^{-9}
		手术室北侧屏蔽墙外30cm (d点)	240mm 实心砖墙+3mmPb 硫酸钡防护涂料	5.3mmPb	3.067	18.83	0.7726	6.85×10^{-9}

		观察窗表面 30cm (e 点)	3mm 铅当量铅 玻璃	3mmPb	3.067	18.83	0.7726	7.93×10^{-6}
		医护人员通 道防护门表 面外 30cm (f 点)	内嵌 3mm 铅板	3mmPb	3.067	18.83	0.7726	7.93×10^{-6}
		患者通道防 护门表面外 30cm (g 点)	内嵌 3mm 铅板	3mmPb	3.067	18.83	0.7726	7.93×10^{-6}
		手术室正下 方 (n 点)	120mm 砷 +3mmPb 硫酸钡 防护涂料	4.5mmPb	3.067	18.83	0.7726	7.96×10^{-8}
	⑩第一 术者位		0.5mmPb 铅衣	0.5mmPb	3.067	18.83	0.7726	0.025
			0.25mmPb 铅眼镜	0.25mmPb	3.067	18.83	0.7726	0.084
			0.025mmPb 铅手套	0.025mmPb	3.067	18.83	0.7726	0.626
散射 辐射	摄影	手术室东侧 屏蔽墙外 30cm (a 点)	240mm 实心砖 墙+3mmPb 硫酸 钡防护涂料	5.3mmPb	2.507	15.33	0.9124	1.97×10^{-7}
		手术室南侧 屏蔽墙外 30cm (b 点)	240mm 实心砖 墙+3mmPb 硫酸 钡防护涂料	5.3mmPb	2.507	15.33	0.9124	1.97×10^{-7}
		手术室西侧 屏蔽墙外 30cm (c 点)	240mm 实心砖 墙+3mmPb 硫酸 钡防护涂料	5.3mmPb	2.507	15.33	0.9124	1.97×10^{-7}
		手术室北侧 屏蔽墙外 30cm (d 点)	240mm 实心砖 墙+3mmPb 硫酸 钡防护涂料	5.3mmPb	2.507	15.33	0.9124	1.97×10^{-7}
		观察窗表面 30cm (e 点)	3mm 铅当量铅 玻璃	3mmPb	2.507	15.33	0.9124	6.31×10^{-5}
		医护人员通 道防护门表 面外 30cm (f 点)	内嵌 3mm 铅板	3mmPb	2.507	15.33	0.9124	6.31×10^{-5}
		患者通道防 护门表面外 30cm (g 点)	内嵌 3mm 铅板	3mmPb	2.507	15.33	0.9124	6.31×10^{-5}
		手术室正下 方 (n 点)	120mm 砷 +3mmPb 硫酸钡 防护涂料	4.5mmPb	2.507	15.33	0.9124	1.47×10^{-6}
	透视	手术室东侧 屏蔽墙外 30cm (a 点)	240mm 实心砖 墙+3mmPb 硫酸 钡防护涂料	5.3mmPb	3.067	18.83	0.7726	6.85×10^{-9}

	手术室南侧屏蔽墙外30cm (b点)	240mm 实心砖墙+3mmPb 硫酸钡防护涂料	5.3mmPb	3.067	18.83	0.7726	6.85×10^{-9}
	手术室西侧屏蔽墙外30cm (c点)	240mm 实心砖墙+3mmPb 硫酸钡防护涂料	5.3mmPb	3.067	18.83	0.7726	6.85×10^{-9}
	手术室北侧屏蔽墙外30cm (d点)	240mm 实心砖墙+3mmPb 硫酸钡防护涂料	5.3mmPb	3.067	18.83	0.7726	6.85×10^{-9}
	观察窗表面30cm (e点)	3mm 铅当量铅玻璃	3mmPb	3.067	18.83	0.7726	7.93×10^{-6}
	医护人员通道防护门表面外30cm (f点)	内嵌 3mm 铅板	3mmPb	3.067	18.83	0.7726	7.93×10^{-6}
	患者通道防护门表面外30cm (g点)	内嵌 3mm 铅板	3mmPb	3.067	18.83	0.7726	7.93×10^{-6}
	手术室正下方 (n点)	120mm 砵+3mmPb 硫酸钡防护涂料	4.5mmPb	3.067	18.83	0.7726	7.96×10^{-8}
⑩第一术者位		0.5mmPb 铅衣	0.5mmPb	3.067	18.83	0.7726	0.025
		0.25mmPb 铅眼镜	0.25mmPb	3.067	18.83	0.7726	0.084
		0.025mmPb 铅手套	0.025mmPb	3.067	18.83	0.7726	0.626

注：铅密度不低于 11.35g/cm^3 ；实心砖密度不低于 1.65g/cm^3 ，本项目拟配备的 DSA 最大管电压为 125kV，根据《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 附录 C，在管电压 125kV 下，217mm 砖为 2mmPb，258mm 砖为 2.5mmPb，经内插法可得 240mm 砖约为 2.3mmPb；87mm 砵为 1mmPb，158mm 砵为 2mmPb，经内插法可得 120mm 砵约为 1.5mmPb。

将相关参数代入公式 (11-13) 和公式 (11-14)，计算减影、透视模式下 DSA 杂交手术室上方公众处有用线束辐射空气比释动能率，计算结果见表 11-28。

表 11-28 关注点处有用线束辐射空气比释动能率计算结果

关注点位置	操作模式	H_0 ($\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)	I (mA)	B	d (m)	H ($\mu\text{Gy/h}$)
手术室正上方 (m点)	减影	108000	500	5.47×10^{-8}	4.8	0.128
	透视	48000	20	2.34×10^{-9}	4.8	9.75×10^{-5}

(2) 关注点处非有用线束辐射空气比释动能率计算

① 泄漏辐射空气比释动能率计算

泄漏辐射空气比释动能率 \dot{H}_L 采用下式计算：

$$\dot{H}_L = \frac{H_i \cdot B}{d^2} \quad (\text{式 11-15})$$

式中，d、B 意义同上：

H_i ——距靶 1m 处泄漏射线的空气比释动能率，根据国际放射防护委员会第 33 号出版物《医用外照射源的辐射防护》“（77）用于诊断目的每一个 X 射线管必须封闭在套管内，以使得位于该套管内的 X 射线管在制造厂规定的每个额定值时，离焦点 1m 处所测得的泄漏辐射在空气中的比释动能不超过 1mGy/h”（在距离源 1m 处不超过 100cm² 的面积上或者在离管或源壳 5cm 处的 10cm² 面积上进行平均测量），以及《医用电气设备 第 1 部分：安全通用要求 三.并列标准 诊断 X 射线设备辐射防护通用要求》（GB9706.12-1997）中 29.204.3 的相应要求，本项目 DSA 取离焦点 1m 处的泄漏辐射空气比释动能率为 1.0mGy/h。

将相关参数代入公式（11-15），计算 DSA 杂交手术室外各关注点处的泄漏辐射空气比释动能率，计算结果见表 11-29。

表 11-29 关注点处泄漏辐射空气比释动能率计算结果

工作模式	关注点位置	H_i ($\mu\text{Gy/h}$)	R (m)	B	\dot{H}_L 估算结果 ($\mu\text{Gy/h}$)
减影	手术室东侧屏蔽墙外 30cm (a 点)	1000	3.47	1.31×10^{-7}	1.09×10^{-5}
	手术室南侧屏蔽墙外 30cm (b 点)	1000	4.61	1.31×10^{-7}	6.18×10^{-6}
	手术室西侧屏蔽墙外 30cm (c 点)	1000	3.72	1.31×10^{-7}	9.49×10^{-6}
	手术室北侧屏蔽墙外 30cm (d 点)	1000	4.37	1.31×10^{-7}	6.87×10^{-6}
	观察窗表面 30cm (e 点)	1000	4.37	4.14×10^{-5}	2.17×10^{-3}
	医护人员通道防护门表面外 30cm (f 点)	1000	5.07	4.14×10^{-5}	1.61×10^{-3}
	患者通道防护门表面外 30cm (g 点)	1000	4.83	4.14×10^{-5}	1.77×10^{-3}
	手术室正下方 (n 点)	1000	4.1	9.7×10^{-7}	5.77×10^{-5}
透视	手术室东侧屏蔽墙外 30cm (a 点)	1000	3.47	6.85×10^{-9}	5.69×10^{-7}
	手术室南侧屏蔽墙外 30cm (b 点)	1000	4.61	6.85×10^{-9}	3.22×10^{-7}
	手术室西侧屏蔽墙外 30cm (c 点)	1000	3.72	6.85×10^{-9}	4.95×10^{-7}
	手术室北侧屏蔽墙外 30cm (d 点)	1000	4.37	6.85×10^{-9}	3.59×10^{-7}
	观察窗表面 30cm (e 点)	1000	4.37	7.93×10^{-6}	4.15×10^{-4}
	医护人员通道防护门表面外 30cm (f 点)	1000	5.07	7.93×10^{-6}	3.09×10^{-4}
	患者通道防护门表面外 30cm (g 点)	1000	4.83	7.93×10^{-6}	3.4×10^{-4}
	手术室正下方 (n 点)	1000	4.1	7.96×10^{-8}	4.74×10^{-6}

② 散射辐射空气比释动能率计算

由《辐射防护手册（第一分册）》给出的 X 射线机散射线在关注点的周比释动能计算公式（公式 10.10）进行推导，得到散射线在关注点处的比释动能率 H_s 的计算公式（推导中，将原公式中的使用因子、居留因子均取为 1）：

$$H_s = \frac{H_0 \cdot I \cdot a \cdot (s / 400) \cdot B_s}{d_0^2 \cdot d_s^2} \quad (\text{式 11-16})$$

式中， H_0 、 I 意义同上：

a —— 人体对 X 射线的散射照射量与入射照射量之比值，查《辐射防护手册（第一分册）》表 10.1，本项目减影和透视工况下均取入射能量为 100kV 时 90° 散射，则 a 保守取值 0.0013；

S —— 主束在患者体上的散射面积，考虑手术需要的最大照射面积，本项目取 100cm^2 ；

d_0 —— 源至受照点的距离，本项目 d_0 保守取常用 DSA 的较小值 0.3m（符合 ICRP 33 号报告第 98 段关于使用固定式 X 线透视检查设备的焦皮距的要求）；

d_s —— 受照体至关注点的距离，m；

B_s —— 屏蔽材料对散射线的透射因子，无量纲，计算公式见公式（11-14）。

将相关参数代入公式（11-16），计算 DSA 杂交手术室外各关注点处的散射辐射空气比释动能率，计算结果见表 11-30。

表 11-30 关注点处散射辐射空气比释动能率计算结果

工作模式	关注点位置	H_0 ($\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)	I (mA)	B_s	d_0 (m)	d_s (m)	H_s ($\mu\text{Gy}/\text{h}$)
减影	手术室东侧屏蔽墙外 30cm (a 点)	108000	500	1.97×10^{-7}	0.3	3.47	3.2×10^{-3}
	手术室南侧屏蔽墙外 30cm (b 点)	108000	500	1.97×10^{-7}	0.3	4.61	1.81×10^{-3}
	手术室西侧屏蔽墙外 30cm (c 点)	108000	500	1.97×10^{-7}	0.3	3.72	2.78×10^{-3}
	手术室北侧屏蔽墙外 30cm (d 点)	108000	500	1.97×10^{-7}	0.3	4.37	2.02×10^{-3}
	观察窗表面 30cm (e 点)	108000	500	6.31×10^{-5}	0.3	4.37	0.644
	医护人员通道防护门表面外 30cm (f 点)	108000	500	6.31×10^{-5}	0.3	5.07	0.479
	患者通道防护门表面外 30cm (g 点)	108000	500	6.31×10^{-5}	0.3	4.83	0.528
	手术室正下方 (n 点)	108000	500	1.47×10^{-6}	0.3	4.4	1.48×10^{-2}

透视	手术室东侧屏蔽墙外 30cm (a 点)	48000	20	6.85×10^{-9}	0.3	3.47	1.97×10^{-6}
	手术室南侧屏蔽墙外 30cm (b 点)	48000	20	6.85×10^{-9}	0.3	4.61	1.12×10^{-6}
	手术室西侧屏蔽墙外 30cm (c 点)	48000	20	6.85×10^{-9}	0.3	3.72	1.72×10^{-6}
	手术室北侧屏蔽墙外 30cm (d 点)	48000	20	6.85×10^{-9}	0.3	4.37	1.24×10^{-6}
	观察窗表面 30cm (e 点)	48000	20	7.93×10^{-6}	0.3	4.37	1.44×10^{-3}
	医护人员通道防护门表面外 30cm (f 点)	48000	20	7.93×10^{-6}	0.3	5.07	1.07×10^{-3}
	患者通道防护门表面外 30cm (g 点)	48000	20	7.93×10^{-6}	0.3	4.83	1.18×10^{-3}
	手术室正下方 (n 点)	48000	20	7.96×10^{-8}	0.3	4.4	1.43×10^{-5}

(3) 关注点处辐射空气比释动能率计算结果叠加

根据表 11-28~表 11-30 计算结果, 可得出 DSA 杂交手术室外各关注点处的叠加空气比释动能率, 计算结果见表 11-31。

表 11-31 关注点处空气比释动能率叠加计算结果

工作方式	关注点位置	有用线束 ($\mu\text{Sv/h}$)	泄漏辐射 ($\mu\text{Sv/h}$)	散射辐射 ($\mu\text{Sv/h}$)	总辐射剂量 ($\mu\text{Sv/h}$)	目标限值 ($\mu\text{Sv/h}$)
减影	手术室东侧屏蔽墙外 30cm (a 点)	/	1.09×10^{-5}	3.2×10^{-3}	3.21×10^{-3}	2.5
	手术室南侧屏蔽墙外 30cm (b 点)	/	6.18×10^{-6}	1.81×10^{-3}	1.82×10^{-3}	
	手术室西侧屏蔽墙外 30cm (c 点)	/	9.49×10^{-6}	2.78×10^{-3}	2.79×10^{-3}	
	手术室北侧屏蔽墙外 30cm (d 点)	/	6.87×10^{-6}	2.02×10^{-3}	2.03×10^{-3}	
	观察窗表面 30cm (e 点)	/	2.17×10^{-3}	0.644	0.646	
	医护人员通道防护门表面外 30cm (f 点)	/	1.61×10^{-3}	0.479	0.481	
	患者通道防护门表面外 30cm (g 点)	/	1.77×10^{-3}	0.528	0.53	
	手术室正上方 (m 点)	0.128	/	/	0.128	
	手术室正下方 (n 点)	/	5.77×10^{-5}	1.48×10^{-2}	1.49×10^{-2}	

透视	手术室东侧屏蔽墙外 30cm (a 点)	/	5.69×10^{-7}	1.97×10^{-6}	2.54×10^{-6}	2.5
	手术室南侧屏蔽墙外 30cm (b 点)	/	3.22×10^{-7}	1.12×10^{-6}	1.44×10^{-6}	
	手术室西侧屏蔽墙外 30cm (c 点)	/	4.95×10^{-7}	1.72×10^{-6}	2.22×10^{-6}	
	手术室北侧屏蔽墙外 30cm (d 点)	/	3.59×10^{-7}	1.24×10^{-6}	1.6×10^{-6}	
	观察窗表面 30cm (e 点)	/	4.15×10^{-4}	1.44×10^{-3}	1.86×10^{-3}	
	医护人员通道防护门表 面外 30cm (f 点)	/	3.09×10^{-4}	1.07×10^{-3}	1.38×10^{-3}	
	患者通道防护门表面外 30cm (g 点)	/	3.4×10^{-4}	1.18×10^{-3}	1.52×10^{-3}	
	手术室正上方 (m 点)	9.75×10^{-5}	/	/	9.75×10^{-5}	
	手术室正下方 (n 点)	/	4.74×10^{-6}	1.43×10^{-5}	1.9×10^{-5}	

根据表 11-31 可知, 减影工况条件下, DSA 杂交手术室周围关注点的辐射剂量率最大值为 $0.646 \mu\text{Gy/h}$; 透视工况条件下, DSA 杂交手术室周围关注点的辐射剂量率最大值为 $1.86 \times 10^{-3} \mu\text{Gy/h}$ 。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002), 光子的辐射权重因子 $WR=1$, 当量剂量跟吸收剂量在数值上是相等的, 即 1Sv 数值上等于 1Gy 。因此。本项目 DSA 杂交手术室周围辐射剂量率能够满足机房四周墙体、顶部、防护门、观察窗外表面 30cm 处以及底部下方人员可达处辐射剂量率不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的要求。

(4) 第一术者位辐射水平

DSA 杂交手术室内进行介入手术时, 第一术者位距离辐射源一般为 $0.3 \sim 1.0\text{m}$; 第二术者位距离辐射源一般为 $1.0 \sim 1.5\text{m}$, 均位于非主射方向。本次评价重点考虑第一术者位在透视状态下的剂量影响, 根据辐射剂量率与距离的平方成反比的定律, 如第一术者位受照剂量满足相关标准限值要求, 则第二术者位亦可满足相关要求。

根据《医用 X 射线诊断设备质量控制检测规范》(WS76-2020) 中的规定, X 射线透射设备(非直接荧光屏透视设备)透视防护区检测平面上周围剂量当量率应小于 $400 \mu\text{Sv/h}$, 本项目介入手术医生透视防护区剂量率仪此值进行保守估算, 手部处于非透视防护区, 进行漏射和散射剂量率的叠加计算, 详见表 11-32。

表 11-32 第一术者位辐射剂量率估算结果

工作模式	关注点位	I (mA)	H ₀ (μGy·m ² ·mA ⁻¹ ·h ⁻¹) 或 H _L (μGy/h)	d (m)	B	H (μGy/h)
透视	第一术者位 (铅衣内)	/	400	/	0.025	10
	第一术者位 (铅衣外)	/	400	/	1	400
	第一术者位 (手部: 泄漏)	/	1000	1	0.626	821
	第一术者位 (手部: 散射)	20	48000	1	0.626	
	第一术者位 (眼晶体)	/	400	/	0.084	33.6

11.2.5 保护目标剂量评价

参考点人员的有效剂量由方杰主编的《辐射防护导论》中的公式算出:

$$D_{\text{Eff}} = K_a \cdot t \cdot T \cdot U \quad (\text{式 11-17})$$

上式中: D_{Eff} — 参考点人员有效剂量 (Sv);

K_a — 参考点的周围剂量当量率 (Sv·h⁻¹), 本项目 Gy 与 Sv 的转换因子保守取 1;

t — 参考点处受照时间 (h);

T — 居留因子;

U — 使用因子。

1、直线加速器、射波刀辐射工作人员和周围公众剂量评价

(1) 直线加速器、射波刀辐射工作人员剂量评价

本项目直线加速器机房和射波刀机房相邻而建, 各机房辐射工作人员除受本机房射线装置的辐射影响外, 还受到相邻机房射线装置的辐射影响, 本项目直线加速器和射波刀辐射工作人员年受照剂量计算结果见表 11-33。

表 11-33 本项目直线加速器和射波刀辐射工作人员年有效剂量估算

保护目标	工作位置	参考点位置	参考点辐射剂量率 (μSv/h)	年工作时间 (h)	居留因子	使用因子	年有效剂量 (mSv)	叠加年有效剂量(mSv)
1#直线加速器辐射工作人员	1#加速器控制室内	1#加速器控制室内叠加辐射剂量	0.365	1250	1	1	0.456	0.493
	1#加速器机房内	2#加速器机房东墙表面 30cm (a 点)	0.237		1/2	1/4	0.037	

2#直线加速器辐射工作人员	2#加速器控制室内	2#加速器控制室内叠加辐射剂量	0.832	1250	1	1	1.04	1.11
	2#加速器机房内	1#加速器机房西墙表面 30cm (b 点)	0.209		1/2	1/4	0.065	
		射波刀机房东墙表面 30cm (a' 点)	0.255		1/2	1/20	0.008	
射波刀辐射工作人员	射波刀控制室内	射波刀控制室内叠加辐射剂量	0.956	2000	1	1	1.91	1.93
	射波刀机房内	2#加速器机房西墙表面 30cm (b 点)	0.09		1/2	1/4	0.023	

根据表 11-33 可知，本项目 1#直线加速器辐射工作人员年有效剂量最大约为 0.493mSv，2#直线加速器辐射工作人员年有效剂量最大约为 1.11mSv，射波刀辐射工作人员年有效剂量最大约为 1.93mSv，均满足职业人员年有效剂量不超过 5mSv 的要求。

为防止个别岗位辐射工作人员的年有效剂量偏高，医院可采取每月轮岗的工作方式来平均工作量，降低个别岗位的年受照剂量。医院应加强对辐射工作人员的个人剂量监测管理，当个人累积剂量将超过年有效剂量 5mSv 时，应及时告知本人，并减少其辐射工作量或为其调整工作岗位，确保其年累积剂量不超过项目管理目标。

(2) 直线加速器和射波刀周围公众剂量评价

根据公式 (11-3) 和公式 (11-4)，经设备层楼板 (120mm 砼) 的屏蔽及设备层 (层高 2m) 距离的进一步衰减后，可分别估算出直线加速器机房和射波刀机房对应一层公众处的辐射剂量率最大分别为 0.023 μ Sv/h 和 0.066 μ Sv/h。本项目直线加速器和射波刀周围公众年受照剂量计算结果见表 11-34。

表 11-34 本项目直线加速器和射波刀周围公众年有效剂量估算

关注对象	参考点位置 (参考点)	参考点辐射剂量率(μ Sv/h)	受照时间 (h)	居留因子	使用因子	年有效剂量(mSv)	叠加年有效剂量(mSv)
1#直线加速器机房东侧模拟定位 CT 工作人员	1#直线加速器机房东墙表面 30cm (参考点 a)	0.209	1250	1/2	1/4	0.033	0.036
	1#直线加速器机房东墙表面 30cm (参考点 c ₂)	0.038	1250	1/16	1	0.003	

机房南侧地下车库处公众	保守取加速器辅助机房处叠加辐射剂量率	0.604	1250	1/16	1	0.047	0.047
射波刀机房南侧工具间处公众	射波刀机房南墙表面 30cm (参考点 e)	0.25	2000	1/16	1/20	1.56×10^{-3}	1.56×10^{-3}
射波刀机房西侧工具间、楼梯间和污水间处公众	射波刀机房西墙表面 30cm (参考点 b)	0.255	2000	1/16	1/20	1.59×10^{-3}	1.59×10^{-3}
机房北侧病人及家属等候区	参考 1#直线加速器机房防护门表面 30cm (参考点 g)	0.365	1250	1/8	1	0.057	0.057
	参考 2#直线加速器机房防护门表面 30cm (参考点 g)	0.533	1250	1/8	1	0.083	0.083
	参考射波刀机房防护门表面 30cm (参考点 g)	0.657	2000	1/8	1/20	0.008	0.008
机房楼上设备夹层处公众	1#直线加速器机房楼上表面 30cm (参考点 1)	0.079	1250	1/16	1/4	1.54×10^{-3}	4.63×10^{-3}
	2#直线加速器机房楼上表面 30cm (参考点 1)	0.079	1250	1/16	1/4	1.54×10^{-3}	
	射波刀机房楼上表面 30cm (参考点 1)	0.248	2000	1/16	1/20	1.55×10^{-3}	
机房楼上一层大厅处公众	1#直线加速器机房楼上一层	0.023	1250	1/16	1/4	4.49×10^{-4}	1.31×10^{-3}
	2#直线加速器机房楼上一层	0.023	1250	1/16	1/4	4.49×10^{-4}	
	射波刀机房楼上一层	0.066	2000	1/16	1/20	4.13×10^{-4}	
机房楼上一层护士站、药房及检验室等工作区处公众	1#直线加速器机房楼上一层	0.023	1250	1	1/4	7.19×10^{-3}	0.021
	2#直线加速器机房楼上一层	0.023	1250	1	1/4	7.19×10^{-3}	
	射波刀机房楼上一层	0.066	2000	1	1/20	6.6×10^{-3}	

根据表 11-34 可知, 本项目直线加速器机房和射波刀机房周围公众年有效剂量最大约为 0.083mSv, 50m 评价范围内其他公众距本项目直线加速器机房和射波刀机房相对较远, 经距离的进一步衰减后, 基本湮灭在环境本底辐射中, 故本项目直线加速器 and 射波刀所致公众年受照剂量满足公众年有效剂量不超过 0.1mSv 的要求。

2、DSA 辐射工作人员和周围公众剂量评价

(1) DSA 介入手术人员剂量计算

根据《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)的要求,每名介入手术人员需佩戴 2 枚个人剂量计,1 枚佩戴在铅围裙外锁骨对应的领口处,1 枚佩戴在铅围裙内躯干上。本项目 DSA 介入手术人员年受照剂量可根据《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)中公式进行估算,估算方法如下:

$$E = \alpha H_u + \beta H_o \quad (\text{式 11-18})$$

式中: E—有效剂量中的外照射分量,单位为 mSv;

α —系数,取 0.79;

H_u —铅围裙内佩戴的个人剂量计测得的 $H_p(10)$,单位为 mSv;

β —系数,取 0.051;

H_o —铅围裙外锁骨对应的衣领位置佩戴的个人剂量计测得的 $H_p(10)$,单位为 mSv。

本项目每组 DSA 介入手术人员年透视时间不超过 125h,将相关参数代入公式 11-18,可计算得出本项目每组 DSA 介入手术人员的年受照剂量,计算结果见表 11-35。

表 11-35 每组 DSA 介入手术人员年受照剂量估算结果

工作人员	工作模式	α	β	位置	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年照射时间 (h)	年有效剂量 (mSv)
第一手术者位	透视	0.79	0.051	铅衣内	10	125	3.54
				铅衣外	400		

根据表 11-35 可知,本项目每组 DSA 介入手术人员年有效剂量最大约为 3.54mSv,满足职业人员年受照剂量不超过 5mSv 的要求。

(2) 介入手术人员手部皮肤和眼晶状体剂量计算

根据《电离辐射所致皮肤剂量估算方法》(GBZ/T244-2017)、《电离辐射所致眼晶状体剂量估算方法》(GBZ/T301-2017)和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002),有辐射场空气比释动能率信息时,皮肤当量剂量用公式(11-19)和公式(11-21)进行估算,眼晶体当量剂量用公式(11-20)和公式(11-21)进行估算。

$$D_S = C_{KS} (\dot{k} \cdot t) \cdot 10^{-3} \quad (\text{式 11-19})$$

$$D_L = C_{KL} (\dot{k} \cdot t) \cdot 10^{-3} \quad (\text{式 11-20})$$

$$H = D \cdot W_R \quad (\text{式 11-21})$$

式中: D_S —皮肤吸收剂量,单位为毫戈瑞, mGy;

C_{KS} —空气比释动能到皮肤吸收剂量的转换系数，单位为mGy/mGy，从《电离辐射所致皮肤剂量估算方法》（GBZ/T244-2017）表A.5 查空气比释动能到皮肤吸收剂量的转换系数 $C_{KS}=1.156\text{mGy/mGy}$ （0.08MeV，AP入射方式）；

D_L —眼晶体吸收剂量，单位为毫戈瑞，mGy；

C_{KL} —空气比释动能到眼晶体吸收剂量的转换系数，单位为mGy/mGy，从《电离辐射所致眼晶状体剂量估算方法》（GBZ/T301-2017）表A.4 查空气比释动能到眼晶体吸收剂量的转换系数 $C_{KL}=1.55\text{mGy/mGy}$ （0.08MeV，AP入射方式）；

\dot{k} —X、 γ 辐射场的空气比释动能率，单位为 $\mu\text{Gy/h}$ ，具体取值见表11-32；

t —人员累积受照时间，单位为小时，h，介入手术人员年透视时间约为125h；

H —当量剂量，mSv；

D —皮肤吸收剂量或眼晶体吸收剂量，单位为毫戈瑞，mGy；

W_R —辐射权重因数，X射线取1。

将相关参数代入公式（11-19）~公式（11-21），可计算得出本项目每组 DSA 介入手术人员手部皮肤和眼晶状体的年受照剂量，计算结果见表 11-36。

表 11-36 每组 DSA 介入手术人员手部皮肤和眼晶状体年受照剂量估算结果

工作人员	部位	漏射和散射总辐射剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)	转换系数 (mGy/mGy)	年照射时间 (h)	年有效剂量 (mSv)
第一术者位	手部	821	1.156	125	119
	眼晶状体	33.6	1.55		6.51

注：本项目保守取 $1\text{Sv}=1\text{Gy}$ 。

根据表 11-36 可知，本项目每组 DSA 介入手术人员手部年受照剂量最大约为 119mSv，满足介入手术人员手部年当量剂量约束值不超过 125mSv 的要求；每组 DSA 介入手术人员眼晶状体受照剂量约为 6.51mSv，满足介入手术人员眼晶状体年当量剂量约束值不超过 37.5mSv 的要求。

（3）DSA 操作技师及护士剂量计算

将相关参数带入公式（11-17），可估算出本项目 DSA 控制室内操作技师及护士的年受照剂量，计算结果见表 11-37。

表 11-37 DSA 操作技师及护士年受照剂量估算结果

关注点	受照人群	模式	t (h)	T	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年有效剂量 H_{Er} (mSv/a)	
观察窗表面 30cm (操作位 e 点)	操作技师及护士	减影	30	1	0.646	0.019	0.024
		透视	375		1.86×10^{-3}	6.98×10^{-4}	

医护人员通道防护门表面外 30cm (f 点)	操作技师及护士	减影	30	1/8	0.481	1.8×10^{-3}
		透视	375		1.38×10^{-3}	6.47×10^{-5}
手术室北墙表面外 30cm (耗材器械间 d 点)	操作技师及护士	减影	30	1/16	2.03×10^{-3}	3.81×10^{-6}
		透视	375		1.6×10^{-6}	3.75×10^{-8}
患者通道防护门表面外 30cm (二次候诊复苏室 g 点)	操作技师及护士	减影	30	1/8	0.53	1.99×10^{-3}
		透视	375		1.52×10^{-3}	7.13×10^{-5}
手术室西墙表面外 30cm (设备间 c 点)	操作技师及护士	减影	30	1/16	2.79×10^{-3}	5.23×10^{-6}
		透视	375		2.22×10^{-6}	5.2×10^{-8}

根据表 11-37 可知, 本项目 DSA 操作技师及护士年有效剂量最大约为 0.024mSv, 满足职业人员年受照剂量不超过 5mSv 的要求。

(4) DSA 周围公众剂量评价

将相关参数带入公式 (11-17), 可估算出本项目 DSA 周围公众的年受照剂量, 计算结果见表 11-38。

表 11-38 DSA 周围公众年受照剂量估算结果

关注点	受照人群	模式	t (h)	T	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年有效剂量 $H_{\text{E}}(\text{mSv/a})$	
手术室东侧屏蔽墙外 30cm (急诊大厅和预检台 a 点)	公众	减影	30	保守取 1	3.21×10^{-3}	9.63×10^{-5}	9.73×10^{-5}
		透视	375		2.54×10^{-6}	9.53×10^{-7}	
手术室北侧屏蔽墙外 30cm (走廊 b 点)	公众	减影	30	1/16	1.82×10^{-3}	3.41×10^{-6}	3.44×10^{-6}
		透视	375		1.44×10^{-6}	3.38×10^{-8}	
手术室正上方 (EICU 室 m 点)	公众	减影	30	保守取 1	0.128	3.84×10^{-3}	3.88×10^{-3}
		透视	375		9.75×10^{-5}	3.66×10^{-5}	
手术室正下方 (地下车库 n 点)	公众	减影	30	1/16	1.49×10^{-2}	2.79×10^{-5}	2.83×10^{-5}
		透视	375		1.9×10^{-5}	4.45×10^{-7}	

根据表 11-38 可知, 本项目 DSA 周围公众的年有效剂量最大约为 $3.88 \times 10^{-3} \text{mSv}$, 50m 评价范围内其他公众距本项目 DSA 相对较远, 经距离的进一步衰减后, 基本湮灭在环境本底辐射中, 故本项目 DSA 所致公众年受照剂量满足公众年有效剂量不超过 0.1mSv 的要求。

11.2.6 三废的治理评价

1、废靶处置措施评价

本项目直线加速器产生的废靶拆卸后先放进屏蔽容器, 暂存在加速器机房内, 最终送交有资质的单位收贮, 满足相关环保要求。

2、废气治理措施评价

本项目直线加速器机房和射波刀机房内拟设置机械通风系统，通风系统的设计满足 HJ1198-2021 中相关要求。本项目 1#直线加速器机房的通风系统设计排风量为 4600m³/h，2#直线加速器机房的通风系统设计排风量为 4000m³/h，射波刀机房的通风系统设计排风量为 4000m³/h，满足治疗机房每小时通风次数不小于 4 次的要求。机房产生的臭氧和氮氧化物由通风系统排出，臭氧常温下自动分解为氧气，对周围环境影响很小。

本项目 DSA 杂交手术室内拟设计净化通风系统，产生的微量臭氧和氮氧化物可通过净化通风系统排出 DSA 杂交手术室，臭氧常温下自动分解为氧气，对周围环境影响很小。

3、废水治理措施评价

本项目加速器和射波刀冷却系统采用去离子蒸馏水，内循环使用，不会产生感生放射性废水，对周围环境影响很小。

采取上述措施后，本项目的废物处置方式合理恰当，能够满足当前环保管理的要求。

11.3 事故影响分析

1、本项目可能产生的辐射事故主要有：

(1) 直线加速器和射波刀

①机房门机联锁装置、工作状态指示灯等发生故障，人员误入射线装置正在运行的机房导致误照射；

②其他医护人员还未全部撤离机房，即进行出束治疗，致使人员受到不必要的照射；

③门机联锁装置发生故障，在防护门未关闭的情况下即开始出束治疗，给工作人员和周围公众造成不必要的照射；

④设备维修维护过程中，责任者脱离岗位，他人误开机，致使滞留机房内的维修人员受到误照射。

(2) DSA

①DSA 正常工作时，人员误留、误入手术室，导致发生误照射；

②操作人员违反操作规程或误操作，造成意外超剂量照射；

③工作状态指示灯发生故障的状况下，人员误入 DSA 正在运行的手术室。

2、辐射事故预防措施

(1) 定期对射线装置的安全和防护措施的安全防护效果进行检查、检测，严格执行门-机联锁、急停开关、工作状态指示灯等辐射安全措施定期检查制度，并将检查结果记录备案。一旦发现门-机联锁系统、急停开关或工作状态指示灯存在故障，应立即停止工作，组织技术人员对其进行检查维修，只有在确认门-机联锁系统、急停开关、工作状态

指示灯等辐射安全措施恢复正常后，设备方能重新投入使用。

(2) 加强对工作人员安全教育，严格按操作规程操作，每次开机运行前均确认机房内无其他无关人员时，才能开机出束。

(3) 定期对直线加速器、射波刀、DSA的安全装置进行维护、保养，对可能引起操作失灵的关键零配件定期更换，并建立维护、维修台账。

3、辐射事故处置措施

(1) 如发生误照射，应立即切断电源或按下急停按钮，确保射线装置停止工作。

(2) 立即向单位领导汇报，并控制现场区域，防止无关人员进入。

(3) 对可能受到大剂量照射的人员，应及时送医院检查和治疗。

针对以上可能发生的事故风险，医院应对制定的辐射事故应急方案进行补充和完善，发生辐射事故时，医院应当立即启动事故应急方案，采取必要的防范措施，并在事故发生后 1 小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告。同时，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报告。

医院应加强管理，严格要求辐射工作人员按照操作规程进行操作，并在实际工作中不断对辐射安全管理制度进行完善，加强职工辐射防护知识的培训，定期检查辐射安全措施的有效性，定期对工作场所进行检测，尽可能避免辐射事故的发生。

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

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规要求，医院应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定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；从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。

医院已成立了专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确了各成员管理职责。

本项目辐射工作人员少部分从本院区现有辐射工作人员中调配，另外一部分为新招工作人员。医院现有辐射工作人员均已参加并通过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，并已进行个人剂量监测和职业健康体检，建立了个人剂量档案及职业健康档案。

医院应及时关注辐射工作人员辐射安全和防护专业知识的培训时间，辐射安全培训合格证书快到期人员和本项目新增辐射工作人员应当及时通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）报名，自主学习并报名参加考核，通过相关考核后，方能从事辐射工作。同时，医院应为本项目新增辐射工作人员配备个人剂量计并定期送检，定期组织其进行职业健康体检，建立个人剂量档案及职业健康档案。

12.2 辐射安全管理规章制度

宁波市第一医院已根据现有核技术利用项目制定了相关的辐射安全管理制度，主要有《辐射防护和安全保卫制度》、《操作规程》、《岗位职责》、《设备检修维护制度》、《人员培训计划》、《监测方案》、《台账管理制度》及《辐射事故应急方案》等，医院制定的辐射安全管理规章制度具有一定的针对性和可操作性，满足现有核技术利用项目对辐射安全管理规章制度的需求。

医院已开展直线加速器放射治疗和 DSA 放射诊疗项目多年，工作人员具有较丰富的经验，直线加速器和 DSA 相关的规章制度较齐全，医院主要应根据本项目射波刀项目对现有辐射安全管理规章制度进行补充和完善，本报告对各项制度需补充的要点提出以下建议：

辐射防护和安全保卫制度：根据本项目的具体情况补充完善相应的辐射防护和安全保卫制度。重点是：①定期检查相关的辐射安全装置及检测仪器，发现问题及时修理或更换，确保辐射安全装置、个人剂量报警仪、环境辐射剂量监测仪保持良好工作状态；

②工作人员定期开展个人剂量检测和职业健康监护；做好辐射工作场所的安全保卫工作，并定期检查。

操作规程：补充制定射波刀操作规程，明确射波刀辐射工作人员的资质条件要求、操作过程中采取的具体防护措施及步骤。重点是：①确保开展辐射工作时所有辐射屏蔽措施均已到位，严格按照规定操作流程操作，防止发生辐射事故；②从事辐射工作时必须佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪。

岗位职责：完善岗位职责，明确射波刀管理人员、辐射工作人员、维修人员的岗位责任，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，并层层落实。

设备检修维护制度：完善设备检修维护制度，明确射波刀和机房门-机联锁装置等在正常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，确保工作安全装置有效运转；重点是辐射安全联锁装置、剂量报警仪或检测仪器等必须保持良好工作状态。

放射性同位素、射线装置使用登记制度：针对本项目射线装置制定使用登记制度，规范射线装置台帐和使用登记记录，对购入的射线装置的使用情况进行专人登记和跟踪记录，确保正确无误、帐物相符。

人员培训计划：完善人员培训计划，明确射波刀操作人员的培训内容、周期、方式以及考核的办法等内容，内外结合，加强对培训档案的管理，做到有据可查。

个人剂量监测方案和职业健康管理：明确辐射工作人员开展辐射工作时均应佩戴个人剂量计，个人剂量计定期送有资质部门进行监测，明确个人剂量计的佩戴和监测周期，个人剂量监测结果及时告知辐射工作人员，使其了解其个人剂量情况，以个人剂量检测报告为依据，严格控制职业人员受照剂量，防止个人剂量超标；明确辐射工作人员进行职业健康体检的周期，建立个人累积剂量和职业健康体检档案。

辐射环境监测方案：明确日常工作的监测项目和监测频次，监测结果定期上报生态环境行政主管部门。

事故应急预案：针对射波刀可能产生的辐射事故完善辐射事故应急预案，明确射波刀辐射防护措施及事故处理程序等。依据《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发[2006]145号文）的要求，必须明确建立应急机构和人员职责分工，应急人员的组织、培训以及应急，辐射事故分类与应急响应的措施。发生辐射事故时，医院应当立即启动事故应急预案，采取必要的防范措施，并在事故发生后1小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告。同时，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报告。

医院在之后的实际工作中还应不断根据法律法规及实际情况对各管理制度进行补充和完善，使其具有较强的针对性和可操作性。

12.3 辐射监测

12.3.1 监测仪器

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，使用放射性同位素和射线装置的单位，应配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量报警、固定式和便携式辐射监测等设备，对直接从事使用活动的工作人员进行个人剂量监测和职业健康检查，建立个人剂量档案和职业健康监护档案。

医院将为方桥院区配备 1 台环境辐射巡测仪，为本项目各机房分别配备 2 台个人剂量报警仪，并为每间直线加速器机房和射波刀机房配备 1 套固定式辐射剂量监测系统。落实后，能够满足辐射监测仪器配备要求。

12.3.2 监测方案

根据国家相关法律法规要求，开展辐射工作的单位应当对其工作场所防护以及放射工作人员职业受照情况定期开展自主或者委托监测，以保障辐射工作的正常开展以及人员的健康和安​​全。医院已根据现有核技术利用项目制定了相应的辐射监测计划，并已认真落实以上监测方案，并于每年 1 月 31 日前在浙江省核技术利用辐射安全申报系统提交了上一年度的评估报告。

本项目监测计划如下：

1、个人剂量和职业健康监测

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》、《放射工作人员职业健康管理办​​法》和《职业性外照射个人监测规范》的相关要求，医院定期委托有资质的单位定期（不少于 1 次/3 个月）对辐射工作人员个人剂量进行监测，并建立辐射工作人员个人剂量档案，并对个人剂量档案终生保存。

按照《放射工作人员健康标准》、《放射工作人员职业健康管理办​​法》和《放射工作人员职业健康监护技术规范》的相关规定，医院组织辐射工作人员定期进行职业健康检查，职业健康检查包括上岗前、在岗期间、离岗时、受到应急照射或者事故照射时的健康检查，以及职业性放射性疾病患者和受到过量放射工作人员的医学随访观察；放射工作人员在岗期间职业健康检查周期为 1~2 年，但不得超过 2 年，必要时可适当增加检查次数。医院对从事辐射工作的工作人员建立并终生保存职业健康监护档案，并由专人负

责管理。

2、工作场所及周围环境监测

(1) 企业自主监测

医院利用自配的辐射监测仪器对工作场所进行定期自主监测，并建立档案，监测内容包括：用自配备的环境辐射巡测仪定期对直线加速器机房、射波刀机房和 DSA 杂交手术室四周屏蔽墙外 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，并记录档案，监测频次建议每季度 1 次。

(2) 年度监测

医院应委托有资质的单位定期对直线加速器机房、射波刀机房和 DSA 杂交手术室四周屏蔽墙外 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，周期：1 次/年。监测结果连同单位的年度辐射安全评估报告一起，在次年的 1 月 31 日前在全国核技术利用辐射安全申报系统提交。

本项目监测方案见表 12-1。

表 12-1 本项目辐射监测计划

监测项目	监测类型	监测因子	监测单位和监测频	监测点位	控制要求
工作场所监测	竣工环保验收监测	γ 辐射剂量率	请有资质单位监测，取得辐射安全许可证后 3 个月内	① 机房四周墙体、顶外 30cm； ② 各防护门外 30cm，测门表面和四周门缝； ③ 控制室内人员操作位、机房周围人员经常活动的位置； ④ 管线孔洞处。	DSA 机房外辐射剂量率不大于 2.5μSv/h；加速器机房和射波刀机房外辐射剂量率限值见表 7-6~表 7-8
	年度监测	γ 辐射剂量率	请有资质单位监测，不少于 1 次/年		
	日常监测	γ 辐射剂量率	自主监测，建议不少于 1 次/季度		
个人剂量监测	/	职业性外照射个人剂量	定期送有资质部门进行监测，不少于 1 次/三个月	/	/

12.4 辐射事故应急

依照国家环保总局的《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发[2006]145 号文）中的有关要求，辐射事故可分为特别重大辐射事故、重大事故、较大事故和一般辐射事故。本项目事故多为开机误照射。

为加强辐射工作过程中的辐射安全和管理，预防和控制放射性突发事件的发生而造成的危害，保障辐射工作人员和周围公众的健康与安全，医院已制定了事故应急方案，应急方案内容包括：

- (1) 应急机构和职责分工；
- (2) 辐射事故分级与应急响应措施；
- (3) 应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；
- (4) 应急演习计划；
- (5) 辐射事故调查、报告和处理程序。

医院应根据本项目射波刀可能产生的辐射事故对辐射事故应急方案进行补充和完善，明确射波刀辐射防护措施及事故处理程序等，使其具有一定的操作性。医院应加强管理，加强职工辐射防护知识的培训，学习结束后应进行总结，积极开展辐射应急演习，发现问题及时解决，并在实际工作中不断完善辐射安全管理制度，尽可能避免辐射事故的发生，确保辐射工作安全有效运转。

当发生辐射事故时，医院应当立即启动事故应急方案，采取必要的防范措施，并在事故发生后 1 小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告。同时，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报告。

12.5 “三同时”验收

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》，本项目竣工后，医院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自主验收，编制验收报告，“三同时”验收清单见表 12-2。

表 12-2 “三同时”验收一览表

项目	“三同时”验收内容	验收要求
防护措施	直线加速器机房、射波刀机房均采取实体屏蔽方式，具体屏蔽参数见报告中表 10-2~表 10-4。	满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中相关要求。
	DSA 杂交手术室均采取实体屏蔽方式，具体屏蔽参数见报告中表 10-5。	满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中相关要求。

安全措施	直线加速器和射波刀	①钥匙控制 ②电离辐射警告标志和工作状态指示灯 ③门-机联锁装置 ④紧急停机按钮 ⑤监控及对讲系统 ⑥紧急开门按钮 ⑦固定式辐射剂量监测系统 ⑧安全联锁人工复位 ⑨个人防护用品	满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）和《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中辐射安全相关要求和开展本项目的辐射安全需要。
	DSA	①工作状态指示灯 ②防夹和曝光时关闭的管理措施 ③电离辐射警告标志 ④监控与对讲装置 ⑤个人防护用品	满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中相关辐射安全要求和开展本项目的辐射安全需要。
通风措施	直线加速器、射波刀	机房内设置机械通风系统，送风口和排风口呈对角线布置，通风换气次数不低于4次/h。	满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中相关通风要求。
	DSA	手术室内设置净化通风系统。	满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中相关通风要求。
人员配备		所有辐射工作人员均参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训，考核合格后上岗。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中人员培训要求。
		所有辐射工作人员均配备个人剂量计，并定期（不超过3个月）送有资质部门进行监测，医院建立个人累积剂量档案。	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》、《职业性外照射个人监测规范》中个人剂量监测的要求。
		所有辐射工作人员均定期（不超过1次/2年）进行职业健康体检，医院建立职业健康监护档案。	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中职业健康体检的要求。
监测仪器和防护用品		医院配备1台环境辐射巡测仪。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中监测仪器和防护用品配备的要求。
		直线加速器机房、射波刀机房和DSA杂交手术室各配备2台个人剂量报警仪（共8台个人剂量报警仪）。	
		各场所配备足够的个人防护用品。	

管理措施	管理机构	成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确各成员管理职责。	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中辐射安全管理的要求。
	管理制度	针对本项目具体情况制定辐射安全管理制度，制度主要应包括：操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、使用登记制度、人员培训计划、个人剂量监测方案、辐射环境监测方案、辐射事故应急方案。 其还应在之后的实际工作中不断根据法律法规及实际情况对各管理制度进行补充和完善。	

表 13 结论与建议

13.1 结论

1、项目概况

为改善宁波市及周边城区群众门急诊服务质量，提升当地和周边区域群众的医疗服务水平，医院拟在 12#病房综合楼地下二层的放疗科建设 2 间直线加速器机房和 1 间射波刀机房，配备 2 台医用直线加速器和 1 台射波刀（自带 1 套 X-ray 靶区定位追踪系统），开展放射治疗；在 2#门急诊医技综合楼一层的急诊建设 1 间 DSA 杂交手术室，配备 1 台 DSA，开展放射诊断和介入治疗。

本项目直线加速器 X 射线最大能量为 10MV，射波刀 X 射线最大能量为 6MV，DSA 最大管电压为 125kV、最大管电流为 1250mA，均属于 II 类射线装置；射波刀配套的 X-ray 靶区定位追踪系统最大管电压为 150kV、最大管电流为 500mA，属于 III 类射线装置。

2、产业政策符合性和实践正当性评价

对照国家发展和改革委员会第 29 号令《产业结构调整指导目录（2019 年本）》和国家发展和改革委员会第 49 号令《关于修改〈产业结构调整指导目录（2019 年本）〉的决定》，本项目直线加速器和射波刀属于国家鼓励类的第六项“核能”中第 6 款中“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，DSA 属于国家鼓励类的第十三项“医药”中第 5 款中“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”，符合国家产业发展政策。

本项目投入使用能够更好的满足患者的就诊需求，在做好辐射防护的基础上，本项目的建设运行对受照个人或社会所带来的利益能够弥补其可能引起的辐射危害，该项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践的正当性”的原则。

3、选址、布局合理性评价

宁波市第一医院方桥院区位于宁波市奉化方桥东环北路以东，儒江路以南，北仑西路以北，本项目 DSA 杂交手术室拟建址位于 2#门急诊医技综合楼一层，直线加速器机房和射波刀机房拟建址位于 12#病房综合楼地下二层，不邻接儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，周围无环境制约因素，项目选址合理。

本项目直线加速器工作场所设有治疗机房以及控制室、辅助机房，治疗机房与控制室、辅助机房分开设置，机房迷道采用“L”型迷道设计，有用线束不向迷道照射，仅向东墙、西墙、屋顶及地面照射；本项目射波刀工作场所设有治疗机房以及控制室、辅助机

房，治疗机房与控制室、辅助机房分开设置，治疗机房迷道采用“L”型迷道设计。本项目直线加速器和射波刀工作场所的布局符合《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）中治疗装置控制室应与治疗机房分离的规定及《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中治疗设备控制室应与治疗机房分开设置，治疗机房均应设置迷路等规定，布局合理。

本项目 DSA 工作场所设有单独的手术室，控制室位于手术室外，满足拟用辐射设备的布局要求；DSA 手术室内最小使用面积、最小单边长度符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“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”等标准的相关要求，布局合理。

医院将直线加速器治疗机房、射波刀治疗机房划为控制区，将直线加速器和射波刀的控制室和辅助机房以及机房周围的工具间、污水间、患者等候室划为监督区，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）有关辐射工作场所的分区规定。

医院将 DSA 杂交手术室划为控制区；将控制室、耗材器械间、二次候诊复苏室、设备间、男女更衣室划为监督区，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）有关辐射工作场所的分区规定。

4、辐射防护措施评价

本项目直线加速器机房和射波刀机房采用混凝土浇筑；DSA 杂交手术室墙体采用实心砖+硫酸钡防护涂料，顶部采用混凝土+铅板，底部采用混凝土+硫酸钡防护涂料，门采用铅防护门，观察窗采用铅玻璃实体屏蔽防护措施。根据理论预测及分析，本项目直线加速器机房、射波刀机房和 DSA 杂交手术室的屏蔽防护设计满足辐射防护要求。

5、辐射安全措施评价

本项目拟采取的辐射安全措施主要有：

（1）直线加速器和射波刀：①钥匙控制，②电离辐射警告标志和工作状态指示灯，③门-机联锁装置，④紧急停机按钮，⑤监控及对讲系统，⑥紧急开门按钮，⑦固定式辐射剂量监测系统，⑧安全联锁人工复位，⑨个人防护用品。

（2）DSA：①工作状态指示灯，②防夹和曝光时关闭的管理措施，③电离辐射警告标志，④监控与对讲装置，⑤个人防护用品。

落实以上辐射安全和防护措施后，能够满足有关辐射安全和防护要求。

6、辐射防护监测仪器

医院将为方桥院区配备 1 台环境辐射巡测仪，为本项目各机房分别配备 2 台个人剂

量报警仪，并为每间直线加速器机房和射波刀机房配备 1 台固定式辐射剂量监测系统。落实后，能够满足辐射监测仪器配备要求。

7、保护目标剂量评价

根据理论估算结果，本项目在做好个人防护措施、安全措施的情况下，辐射工作人员和公众年有效剂量能够满足职业人员年有效剂量不超过 5mSv、公众年有效剂量不超过 0.1mSv 的剂量限值要求。

8、三废治理措施评价

(1) 废靶处置措施评价

本项目直线加速器产生的废靶拆卸后先放进屏蔽容器，暂存在加速器机房内，最终送交有资质的单位收贮，满足相关环保要求。

(2) 废气治理措施评价

本项目直线加速器机房和射波刀机房内拟设置机械通风系统，通风系统的设计满足 HJ1198-2021 中相关要求。本项目 1#直线加速器机房的通风系统设计排风量为 4600m³/h，2#直线加速器机房的通风系统设计排风量为 4000m³/h，射波刀机房的通风系统设计排风量为 4000m³/h，满足治疗机房每小时通风次数不小于 4 次的要求。机房产生的臭氧和氮氧化物由通风系统排出，臭氧常温下自动分解为氧气，对周围环境影响很小。

本项目 DSA 杂交手术室内拟设计净化通风系统，产生的微量臭氧和氮氧化物可通过净化通风系统排出 DSA 杂交手术室，臭氧常温下自动分解为氧气，对周围环境影响很小。

(3) 废水治理措施评价

本项目加速器和射波刀冷却系统采用去离子蒸馏水，内循环使用，不会产生感生放射性废水，对周围环境影响很小。

9、辐射安全管理评价

宁波市第一医院已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以医院内部文件形式明确了各成员的管理职责。医院现有辐射工作人员均已参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训并已考核合格，并均已佩戴了个人剂量计和参加了职业健康体检，已按相关要求建立了辐射工作人员个人剂量监测档案和职业健康监护档案。医院应根据本项目具体情况对辐射管理制度及辐射事故应急方案进行补充和完善，还应组织本项目新进辐射工作人员参加辐射安全和防护专业知识的培训，并进行个人剂量监测和职业健康体检，并为其建立个人剂量档案和职业健康监护档案。

可行性结论:

综上所述,宁波市第一医院新增 II 类射线装置建设项目在落实本报告所提出的各项污染防治和管理措施后,该院具备与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和辐射安全防护措施,其运行对周围环境产生的影响较小,故从辐射环境保护角度论证,该项目的建设运行是可行的。

13.2 建议与承诺

(1) 项目在建造和运行过程中必须严格落实项目设计及本报告表中提出的安全防护措施和相关管理要求。

(2) 所有设备资料、台帐和监测资料等均应妥善保管,存档备案。

(3) 项目运行过程中,应严格遵循操作规程,加强对医务人员的培训,杜绝麻痹大意思想,以避免意外事故造成对公众和职业人员的附加影响,使对环境的影响降到最低。

(4) 项目取得批复并建成后,应根据有关规定及时重新申领辐射安全许可证。

(5) 建设项目竣工后,医院应按照国家生态环境行政主管部门规定的程序 and 标准,组织对配套建设的环境保护设施进行验收,编制验收报告,公开相关信息,接受社会监督,确保建设项目需要配套建设的环境保护设施与主体工程同时投产或者使用,并对验收内容、结论和所公开信息的真实性、准确性和完整性负责,不得在验收过程中弄虚作假。

除需要取得排污许可证的水和大气污染防治设施外,其他环境保护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。

验收期限是指自建设项目环境保护设施竣工之日起至建设单位向社会公开验收报告之日止的时间。

表 14 审批

<p>下一级生态环境部门预审意见</p> <p>公 章</p> <p>年 月 日</p> <p>经办人</p>
<p>审批意见</p> <p>公 章</p> <p>年 月 日</p> <p>经办人</p>