

核技术利用建设项目

江山市人民医院

直线加速器和后装机及 DSA 建设项目

环境影响报告表

(公示稿)

江山市人民医院(江山市人民医院医共体、江山市职业病防治院)

2023 年 11 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

江山市人民医院

直线加速器和后装机及 DSA 建设项目

环境影响报告表

建设单位名称：江山市人民医院（江山市人民医院医共体、江山市职业病防治院）

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：江山市航埠山路 9 号

邮政编码：324102

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.....	10
表 3	非密封放射性物质.....	10
表 4	射线装置.....	11
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）.....	12
表 6	评价依据.....	13
表 7	保护目标与评价标准.....	16
表 8	环境质量和辐射现状.....	23
表 9	项目工程分析与源项.....	27
表 10	辐射安全与防护.....	42
表 11	环境影响分析.....	54
表 12	辐射安全管理.....	89
表 13	结论与建议.....	95
表 14	审批.....	100

表 1 项目基本情况

建设项目名称		江山市人民医院直线加速器和后装机及 DSA 建设项目			
建设单位		江山市人民医院（江山市人民医院医共体、江山市职业病防治院）			
法人代表		联系人		联系电话	
注册地址		浙江省衢州市江山市航埠山路 9 号			
项目建设地点		浙江省衢州市江山市城东新城			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资（万元）		3000	项目环保投资（万元）	540	投资比例（环保投资/总投资） 18.0%
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建（迁建） <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它		占地面积(m ²)	/
应用类型	放射源	<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 checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II类 <input checked="" 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 type="checkbox"/> III类		
	其他	/			

1.1 项目概况

江山市人民医院（以下简称“医院”）始建于 1940 年 12 月，位于浙江省衢州市江山市航埠山路 9 号，是一所集医疗、急救、教学、科研、康复于一体的综合性医院，承担着全市绝大部分的突发性公共卫生事件医疗救助、重危疾病抢救及基本医疗任务，是全市人民的医疗救护中心，同时也是浙江省文明医院和衢州市文明单位，是浙江大学医学院附属一院的协作医院、江西中医学院、衢州学院的教学医院，为非营利性医疗机构和医保定点单位。医院现有职工近 1146 人，开放床位 712 张，设有临床、医技各种功能科室 40 多个，临床各专科 20 多个。医院持有《辐射安全许可证》（浙环辐证[H2059]），见附件 3，种类和范围为使用 II 类、III 类射线装置，许可内容包含 18 台射线装置，有效期至 2025 年 11 月 15 日。

江山市人民医院拟迁建至江山市城东新城，按照三级甲等医院综合性医院建设标准进行建设，规划床位 1500 张，一次规划分期建设，其中一期床位 1200 张，总用地面积

200 亩，建筑面积 21 万平方米。主要建设内容包括：急诊部、门诊部、住院部、医技科室、保障系统、行政管理和院内生活用房、相对独立的传染病院区以及停车场、道路、绿化等配套设施等。项目于 2022 年 2 月 16 日取得江山市发展和改革局出具的《关于江山市人民医院迁建项目建议书的批复》（江发改投建[2022]6 号），见附件 7。《江山市人民医院迁建项目环境影响报告书》于 2023 年 2 月取得衢州市生态环境局出具的《关于江山市人民医院迁建项目环境影响报告书的审查意见》（衢环江建[2023]5 号），见附件 8。医院主体工程目前正在建设中。

1.2 项目建设目的和任务由来

近年来随着江山市社会经济的发展，人们的生活水平逐步提高，健康意识逐渐增强，为更好的满足患者多层次、多方位、高质量和文明便利的就诊需求，使患者的诊治更加精确，医院拟于迁建地址江山市城东新城建设放疗科和 DSA 机房，新建 2 间直线加速器机房、1 间后装机房和 4 间 DSA 机房，放疗科机房内分别新增 2 台 15MV 直线加速器（最大 X 射线能量 15MV，最大电子线能量 22MeV，主射方向均为南、北、顶棚与地面方向，等中心处最大剂量率为 $1.44 \times 10^9 \mu\text{Gy/h}$ ，均属于 II 类射线装置）、1 台后装机（生产厂家未定，使用 1 枚活度为 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ （10Ci）的 ^{192}Ir 放射源，属于 III 类放射源）；DSA 机房内各新增 1 台 DSA 射线装置（1#~3#DSA 机房各新购 1 台 DSA 射线装置，将老院区已许可的 DSA 射线装置迁移至 4#DSA 机房，最大管电压均为 250kV，最大管电流均为 1250mA，均属于 II 类射线装置），以开展放射性诊断和治疗业务。

本项目为使用 III 类放射源、使用 II 类射线装置，根据《中华人民共和国环境保护法》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等相关规定，本项目需要进行环境影响评价，按照《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，本项目属于“五十五、核与辐射”中“172、核技术利用建设项目”中“医疗使用 III 类放射源的；使用 II 类射线装置”的，环境影响评价文件形式应为环境影响报告表。

为此，江山市人民医院委托卫康环保科技（浙江）有限公司对“江山市人民医院直线加速器和后装机及 DSA 建设项目”开展环境影响评价工作，委托书见附件 1。评价单位接受委托后对项目现场进行了踏勘，实地调查了项目所在地的环境情况，在收集项目相关资料并进行分析后，按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的相关要求，编制完成《江山市人民医院直线加速器和后装机及 DSA 建设项目环境影响报告表》。

1.3 项目建设内容及规模

1.3.1 放疗科

(1) 放疗科建设内容

江山市人民医院拟于住院部病房楼地下 1 层东侧一端建设放疗科开展放射诊疗项目，拟建设 2 间医用电子直线加速器机房及控制室等配套用房，各购置 1 台 15MV 医用电子直线加速器（最大 X 射线能量 15MV，最大电子线能量 22MeV，主射方向均为南、北、顶棚与地面方向，等中心处最大剂量率为 $1.44 \times 10^9 \mu\text{Gy/h}$ ，均属于 II 类射线装置）用于放射治疗；拟建设 1 间后装放疗机房及控制室等配套用房，购置 1 台后装治疗机，后装治疗机新增 1 台后装机（生产厂家未定，使用 1 枚活度为 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ （10Ci）的 ^{192}Ir 放射源，属于 III 类放射源）用于放射治疗。放疗科依托的模拟定位机房另行环评备案登记。

放疗科使用的铱-192 放射源活度、使用场所及贮存方式与地点等详细内容详见表 2 放射源；放疗科使用的直线加速器最大能量、剂量率及工作场所等详细内容详见表 4 射线装置（一）加速器。

本项目放疗科建设内容及规模一览表见表 1-1。

表 1-1 放疗科建设内容及规模一览表

所在建筑	工作场所名称	机房名称	辐射源项 (射线装置/放射源/非密封放射性物质)	数量
住院部病房楼地下一层	放疗科	1~2 号医用电子直线加速器机房	2 间机房各新增 1 台医用电子直线加速器（最大 X 射线能量 15MV，最大电子线能量 22MeV，主射方向均为南、北、顶棚与地面方向，由于设备型号未定，设备等中心处最大剂量率本项目保守按 $1.44 \times 10^9 \mu\text{Gy/h}$ 进行预测分析，属于 II 类射线装置）	2 台
		后装治疗机房	使用 1 台后装治疗机，后装治疗机内含 1 枚放射源 ^{192}Ir ，活度为 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，属 III 类放射源。	1 台

1.3.2 DSA 介入诊疗项目

医院拟于医疗综合楼 4 层中部东北侧建设 4 间 DSA 机房及控制室等配套用房，DSA 机房内各新增 1 台 DSA 射线装置（1#~3# DSA 机房各新购 1 台 DSA 射线装置，将老院区已许可的 DSA 射线装置迁移至 4# DSA 机房，最大管电压均为 250kV，最大管电流均为 1250mA，均属于 II 类射线装置），主射方向均由下朝上，均为单球管。DSA 装置参数详见表 4 射线装置（二）X 射线机。本项目 DSA 介入诊疗项目建设内容及规模一览表见表 1-2。

表 1-2 DSA 介入诊疗项目建设内容及规模一览表

所在建筑	射线装置	类别	数量	使用场所	备注
医疗综合楼 4 层	DSA	II	3	1~3 号 DSA 机房	新购
	DSA	II	1	4 号 DSA 机房	搬迁

1.4 项目选址与环境保护目标

1.4.1 医院地理位置

江山市人民医院拟迁建地址位于浙江省衢州市江山市城东新城，医院东侧为经一路，隔路为自然山体；南侧为纬十路、水电站和河渠；西侧为江滨东路；北侧为规划道路和自然山体。地理位置见附图 1。

1.4.2 项目周围环境概况

本项目放疗科拟建址位于住院部病房楼负 1 层东侧一端。放疗科拟建址东北侧 44m 处为垃圾房和液氧站，东侧 45m 处为宿舍楼；南侧 30m 为医疗综合楼其他区域；西南侧 10m 处为内部道路，西侧 24m 处为住院部病房楼；北侧 49m 处为内部道路；上方 2.4m 为医院绿化草坪；下方为土质层。

DSA 机房拟建址位于医疗综合楼 4 层中部东北侧。DSA 机房东侧 32m 为内部道路；东南侧距 DSA 机房 10m 处为门诊医技楼；南侧 7m 处为科研楼；西南侧紧邻医疗综合楼其他区域；西北侧 27m 处为住院部病房楼；上方为医院 5 层心电诊断室、HIV 筛查室和微生物室区域，下方为医院 3 层医工科库房及其他区域。

本项目周围环境关系示意图见附图 2。

1.4.3 项目环境保护目标

本项目各辐射工作场所实体边界外 50m 评价范围主要为医院内部建筑和内部道路。本项目环境保护目标主要为辐射工作人员、机房周围的其他工作人员和公众人员。

1.4.4 相关规划符合性分析

1、用地规划符合性分析

本项目位于江山市城东新城，根据建设项目用地预审与选址意见书，见附件9，本建设主体项目符合国土空间用途管制要求，因此本建设项目也符合城乡规划和当地土地利用规划的要求。

2、“三线一单”符合性分析

(1) 生态保护红线

根据《江山市“三线一单”生态环境分区管控方案》，本项目位于“浙江省衢州市

江山市城区城镇生活重点管控区（ZH33088120029）”，属于重点管控单元，与江山市生态环境保护红线分布图比对，不涉及生态保护红线，见附图 18。

（2）环境质量底线

根据环境质量现状监测结果，本项目拟建场所周围环境 γ 辐射剂量率略高于正常本底范围，中子辐射剂量率低于检测限。在落实本环评提出的各项污染防治措施后，不会对周围环境产生不良影响，且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。

（3）资源利用上线

本项目主要能源为电能，项目电能主要依托市政电力管网，且利用效率高。总体而言，本项目符合资源利用上线的要求。

（4）生态环境准入清单

根据《江山市“三线一单”生态环境分区管控方案》，本项目位于“浙江省衢州市江山市城区城镇生活重点管控区（ZH33088120029）”，属于重点管控单元，该管控单元生态环境准入清单见表 1-3。

表 1-3 生态环境准入清单

生态环境管控要求		本项目情况	符合性分析
空间布局约束	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。严格执行畜禽养殖禁养区规定。推进城镇绿廊建设，建立城镇生态空间与区域生态空间的有机联系。	本项目不属于工业类项目，不涉及畜禽养殖，本项目设置有绿化区域，符合空间布局约束要求。	符合
污染物排放管控	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（或湖）排污口，现有的入河（或湖）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。	本项目运营过程中污染物简单，排放量较小，“三废”污染物皆可控制和处理，故项目运营后对周围环境不会产生较大影响。因此本项目符合污染物排放管控要求。	符合

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。	医院已制定《辐射事故应急预案》，并设置辐射事故应急小组和应急物资，具备完善的风险防范措施，符合环境风险防控要求。	符合
资源开发 率要求	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，到 2020 年，县级以上城市公共供水管网漏损率控制在 10% 以内。	本项目供水水源为市政自来水管网，资源消耗量相对于区域资源利用总量较小。	符合

因此，本项目的建设符合“三线一单”的要求。

1.4.5 选址合理性分析

本项目位于江山市城东新村的江山市人民医院新建院区。根据建设项目用地预审与选址意见书，见附件 9，本项目符合江山市土地利用规划要求，且周围无环境制约因素。项目辐射工作场所 50m 范围内主要为医院内部建筑和内部道路，不涉及自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、居民区及学校等环境敏感区。经辐射环境影响预测分析预测，在严格执行本评价中提出的辐射管理和辐射防护措施后，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，故本项目的选址合理可行。

(1) 放疗科选址合理性分析

本项目放疗科拟建地址位于住院部病房楼地下 1 层东侧一端。放疗科东侧、北侧和下方均为土质层；南侧为集中建设的辅助用房：值班室、TPS 室、物理室、模具室、男女更衣室和卫生间等；西侧为各辐射工作场所的控制室和水冷机房；上方为医院绿化草坪，下方为土质层。

表 1-4 放疗科选址与标准要求对照分析表

序号	标准	要求	设计情况	评价
1	《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)	治疗机房一般设于单独的建筑或建筑物底层的一端。	本项目放疗科机房位于住院部病房楼地下1层东侧一端。	符合
2	《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)	放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端。	本项目放疗科机房位于住院部病房楼地下1层东侧一端。	符合
3	《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)	放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境的辐射影响，不得设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。	本项目放疗科机房所在住院部病房楼属于医疗用楼，不属于民居、写字楼和商住两用的建筑物。	符合
		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，尽量避开儿童	本项目放疗科机房位于住院部病房楼地下1层东侧一端，避开了儿科病房、	符合

	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。	产房等特殊人群及人员密集区域，不涉及商业活动区域。	
--	------------------------------------	---------------------------	--

综上所述，本项目放疗科选址符合《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）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）与《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中选址的要求，本项目属于江山市已规划用地，因此项目符合江山市土地利用总体规划。经后续章节计算，机房周围辐射剂量率和评价范围内职业人员、公众人员年有效剂量均满足评价标准要求，同时 50m 评价范围内无自然保护、风景名胜区和生态保护红线等生态敏感目标，因此本项目放疗科选址合理可行。

(2) DSA 机房选址合理性分析

本项目 DSA 机房拟建地址位于医疗综合楼 4 层中部东北侧，本项目属于江山市已规划用地，因此项目符合江山市土地利用总体规划。经后续章节计算，机房周围辐射剂量率和评价范围内职业人员、公众人员年有效剂量均满足评价标准要求，同时 50m 评价范围内无自然保护区、风景名胜区和生态保护红线等生态敏感目标，因此本项目 DSA 机房选址合理可行。

1.5 产业政策符合性分析

结合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）》及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》，本项目属于该目录中鼓励类第六项“核能”第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”及第十三项“医药”第 5 条“新型医用诊断设备和试剂、数字化医学影像设备，人工智能辅助医疗设备，高端放射治疗设备，电子内窥镜、手术机器人等高端外科设备，新型支架、假体等高端植入介入设备与材料及增材制造技术开发与应用，危重病用生命支持设备，移动与远程诊疗设备，新型基因、蛋白和细胞诊断设备”，符合国家产业政策的要求。

1.6 实践正当性分析

本项目运行时患者、医生及周围的公众会受到一定的照射剂量，但是直线加速器、后装机与 DSA 的建设更能满足患者多层次、多方位、高质量和文明便利的就诊需求，提高对疾病的诊治能力，因此本项目开展所带来的利益是大于所付出的代价的。同时对周围环境、公众的辐射影响满足国家辐射防护安全标准的要求，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践正当性”的要求。

1.7 原有核技术利用项目情况

1.7.1 原有核技术利用许可情况

医院已取得《辐射安全许可证》，证书编号：浙环辐证[H2059]，见附件3，有效期至2025年11月15日，许可种类和范围为使用II类、III类射线装置，许可内容包含18台射线装置。

1.7.2 原有核技术利用项目环保手续履行情况

医院现有18台射线装置，均已履行环保手续，医院现有射线装置详情见表1-4。

表 1-4 医院现已许可的射线装置一览表

序号	装置名称	规格型号	类别	数量	场所	环评批复	验收批复
1	数字牙科 X 射线机	CS 2100	III类	1	口腔科	备案号： 202233088100000032	
2	飞利浦 16 排螺旋 CT 机	Brilliance 16	III类	1	放射科		
3	佳能 DR	NOVA FA	III类	1	放射科		
4	乳腺钼靶机	MAMMOMAT 3000	III类	1	放射科		
5	锐柯 DR	DR 7500	III类	1	放射科		
6	数字胃肠 X 线机	R200	III类	1	放射科		
7	西门子高频拍片机	Multix Pro	III类	1	放射科		
8	GE C 臂机	Ever view 7500	III类	1	手术室		
9	岛津床边机	MUX-10J	III类	1	手术室		
10	飞利浦 C 臂机	BV-Endura	III类	1	手术室		
11	DSA	UNIQ FD20	II类	1	放射科	衢环辐 [2017]1 号	衢卫审 [2018]14 号
12	GE16 排螺旋 CT 机	Optima CT540	III类	1	放射科	备案号： 202233088100000032	
13	CBCT	kaVo 3D eXami	III类	1	放射科		
14	口腔全景机	OC100	III类	1	放射科		
15	万东床边 X 线机	HM-200	III类	1	放射科		
16	飞利浦 C 臂机	BV-Endura	III类	1	手术室		
17	移动数字 X 射线摄影系统	6000B2	III类	1	放射科		
18	X 射线计算机体层摄影设备	MX16-slice 型	III类	1	放射科		

1.7.3 原有核技术利用项目管理情况

(1) 辐射安全管理规章制度

江山市人民医院建院多年，辐射安全管理规章制度成熟，医院已成立辐射安全与防护管理领导小组，制定了一系列辐射工作管理制度：《辐射安全管理制度》、《辐射事故应急预案》、《辐射安全个人防护制度》、《辐射工作人员培训管理制度》、《放射科岗位职责》、《监测计划》、《放射科设备维修保养制度》和《放射科防护用品使用

管理制度》等规章制度。医院现有管理制度内容较为全面，符合相关要求，现有规章制度基本满足医院从事相关辐射活动辐射安全和防护管理的要求。医院严格落实各项规章制度，各辐射防护设施运行、维护、监测工作良好。

(2) 辐射安全管理应急预案

医院现已制定《辐射事故应急预案》，设置了应急组织机构，规定了应急组织机构成员及职责、事件现场应急处置流程、辐射事故的报告程序和应急联系电话等内容。

(3) 辐射场所安全设施和措施落实情况

医院现有辐射工作场所设置有电离辐射警告标志和工作状态指示灯等。根据实际情况划分辐射防护控制区和监督区，采取分区管理，进行积极、有效的管控。

医院每年定期委托浙江亿达检测技术有限公司对辐射工作场所和设备性能进行年度监测，根据建设单位提供的 2022 年年度监测报告，医院各机房屏蔽体外 30cm 处辐射剂量率均满足相关标准和要求，医院现已采取的辐射工作场所防护措施能够满足已开展辐射活动的辐射安全防护的要求。

(4) 辐射工作人员管理情况

医院现有 155 名辐射工作人员，均配备了个人剂量计。根据医院提供的最近 1 年职业照射个人剂量监测报告，全院现有辐射工作人员年累计受照剂量均不超过职业年照射剂量约束值 5mSv，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中对辐射工作人员“剂量限值”的要求，也未超过“剂量约束值”。医院现有辐射工作人员均已进行了职业健康体检并参与了放射工作人员防护培训，根据体检结果，医院现有辐射工作人员可继续从事放射工作。部分现有辐射工作人员防护培训及个人剂量档案汇总见附件 6。

(5) 辐射应急演练和年度评估

医院已制定《辐射事故应急预案》，医院每年均定期开展辐射事故应急演练，并对演练结果进行总结，及时对辐射事故应急预案进行完善和修订。经与医院核实，自核技术利用项目开展以来，未发生过辐射事故。

医院每年编制有《辐射安全和防护状况年度评估报告》，对现有放射性同位素和射线装置辐射工作场所防护状况、人员培训及个人剂量、放射性同位素和射线装置台账、辐射安全与防护制度执行情况等情况进行年度总结和评估，并及时提交至发证机关。

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
1	¹⁹² Ir	3.7×10 ¹¹ /3.7×10 ¹¹ ×1	III	使用	放射治疗	放疗科后装机房	贮存于机头源罐内	新购

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

表 3 非密封放射性物质

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

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

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA)/剂量率 (Sv/h)	用途	工作场所	备注
1	医用电子直线加速器	II	2	未定	电子	最大 X 射线能量 15MV	距靶 1m 处最大剂量率为 1440Gy/h	放射治疗	放疗科 1#、2#直加机房	本次新增，拟购
						最大电子线能量 22MeV	距靶 1m 处最大剂量率为 600Gy/h			

(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	未定	125	1250	介入诊疗	医疗综合楼 4 层 1#DSA 机房	本次新增，拟购
2	DSA	II	1	未定	125	1250	介入诊疗	医疗综合楼 4 层 2#DSA 机房	本次新增，拟购
3	DSA	II	1	未定	125	1250	介入诊疗	医疗综合楼 4 层 3#DSA 机房	本次新增，拟购
4	DSA	II	1	UNIQ FD20	125	1250	介入诊疗	医疗综合楼 4 层 4#DSA 机房	迁移设备

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

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
直线加速器机房 废气	气态	/	/	极少量	极少量	0.12mg/m ³	/	经排风管道排过住院部病房楼中间排风机房排放至室外
感生放射性废气	气态	¹³ N、 ¹⁵ O 等	/	极少量	极少量	/	/	经排风管道排过住院部病房楼中间排风机房排放至室外
后装机房废气	气态	/	/	极少量	极少量	1.04×10 ⁻⁴ mg/m ³	/	经排风管道排过住院部病房楼中间排风机房排放至室外
DSA 机房排放的臭 氧、氮氧化物	气态	/	/	极少量	极少量	/	/	经排风管道排至医疗综合楼排风机房排放至室外
直线加速器废靶件	固态	/	/	/	/	/	在机房 铅桶内暂 存，铅桶外 剂量率应处 于辐射环境 本底水平	加速器靶在更换或退役时，按放射性固体废物处理，拆卸后先放进机房的铅桶衰变暂存，最终送交有资质单位收贮。
废放射源	固态	¹⁹² Ir	/	/	约 3 枚	更换时活度约 6.86E+10Bq	暂存于后装 机房	废 ¹⁹² Ir 放射源放置于贮源器或暂存于 25mmPb 保险柜中，最终由源生产厂家回收，回收前须与源生产厂家签订回收协议。

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》(中华人民共和国主席令第 9 号, 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》(中华人民共和国主席令第 24 号, 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》(中华人民共和国主席令第 6 号, 2003 年 10 月 1 日起施行);</p> <p>(4)《建设项目环境保护管理条例》(国务院令第 682 号, 2017 年 10 月 1 日起施行);</p> <p>(5)《建设项目环境影响评价分类管理名录(2021 年版)》(中华人民共和国生态环境部令第 16 号), 自 2021 年 1 月 1 日起施行;</p> <p>(6)《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(国务院令第 709 号修订, 2019 年 3 月 2 日施行);</p> <p>(7)《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法(2021 年修正本)》(生态环境部令第 20 号, 2021 年 1 月 4 日施行);</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)《放射工作人员职业健康管理辦法》, 中华人民共和国卫生部令第 55 号, 2007 年 3 月 23 日经卫生部部务会议讨论通过, 自 2007 年 11 月 1 日起施行;</p> <p>(10)《关于发布射线装置分类的公告》(环境保护部国家卫生和计划生育委员会 2017 年第 66 号, 2017 年 12 月 5 日施行);</p> <p>(11)《建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法》, 生态环境部令第 9 号, 2019 年 11 月 1 日施行;</p> <p>(12)《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 10 月 24 日施行;</p> <p>(13)《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 日施行;</p> <p>(14)《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, 2019 年 12 月 24 日施行;</p>
-------------	---

	<p>(15) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（国家环保总局，环发[2006]145号）；</p> <p>(16) 《关于发布放射源分类方法的公告》（原国家环保总局公告，2005年第62号，2005年12月23日起实施）；</p> <p>(17) 浙江省生态环境厅关于发布《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（2023年本）》的通知，浙环发〔2023〕33号；</p> <p>(18) 《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，生态环境部办公厅，2021年11月19日印发；</p> <p>(19) 《浙江省建设项目环境保护管理办法》（2021年省政府令第388号），2021年2月10日修订；</p> <p>(20) 《浙江省辐射环境管理办法》（2021年省政府令第388号修订），2021年2月10日施行；</p> <p>(21) 《浙江省生态环境保护条例》（2022年5月27日浙江省第十三届人民代表大会常务委员会第三十六次会议通过）2022年8月1日施行；</p> <p>(24) 《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，浙江省人民政府办公厅，2018年9月28日印发。</p>
<p>技术标准</p>	<p>(1) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）；</p> <p>(2) 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）；</p> <p>(3) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；</p> <p>(4) 《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）；</p> <p>(5) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）；</p> <p>(6) 《电离辐射所致眼晶状体剂量估算方法》（GBZ/T 301-2017）；</p> <p>(7) 《电离辐射所致皮肤剂量估算方法》（GBZ/T244-2017）；</p> <p>(8) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第1部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）；</p> <p>(9) 《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）；</p>

	<p>(10) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ 射线源放射治疗机房》(GBZ/T201.3-2014)；</p> <p>(11) 《后装 γ 源近距离治疗质量控制检测规范》(WS 262-2017)</p> <p>(12) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)；</p> <p>(13) 《电离辐射监测质量保证通用要求》(GB 8999-2021)；</p> <p>(14) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)；</p> <p>(15) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)；</p> <p>(16) 《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》(GBZ2.1-2019) 及 1 号修改单。</p>
其他	<p>(1) 环评委托书；</p> <p>(2) 《江山市人民医院迁建项目环境影响报告书》；</p> <p>(3) 建设单位提供的其它相关技术资料。</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的规定：“放射源和射线装置的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围（无实体边界项目视具体情况而定，应不低于 100m 的范围）”，结合本项目的辐射污染特点（III类放射源、II类射线装置），确定评价范围为直线加速器机房、后装机机房和 DSA 机房边界外 50m 范围，评价范围示意图见附图 2。

7.2 保护目标

结合江山市人民医院总平面布局及现场勘查情况，本项目各辐射场所评价范围 50m 内主要为医院内部建筑和内部道路。因此，本项目环境保护目标主要为评价范围 50m 内的辐射工作人员、机房周围的其他工作人员和公众人员。本项目环境保护目标一览表详见表 7-1。

表 7-1 本项目环境保护目标一览表

方位	环境保护目标	与本项目场所边界的最近距离		人员规模 (人次/天)	受照类型	年剂量约束值 (mSv)
		水平/m	垂直/m			
本项目放疗科机房						
西侧	各机房内、控制室和水冷机房	0	0	15	职业	5
西侧	准备间及住院部病房楼其他区域	3	0	100	公众	0.1
东北侧	垃圾房和液氧站	44	4.5	10		
东侧	宿舍楼	45	4.5	200		
南侧	排烟机房、模具室、等候间及医疗综合楼其他区域	0	0	100		
西南侧	内部道路	10	4.5	200		
北侧	内部道路	49	4.5	200		
上方	医院绿化草坪	/	4.5	10		
本项目 1#~4#DSA 机房						
/	各机房、控制室、设备间	0	0	24	职业	5
北侧	生活、医疗垃圾间、器械预处理、缓冲室等医疗综合楼其他区域	0	0	10	公众	0.1
西南侧	污洗间和污染织物回收、内院等医疗综合楼其他区域	5.5	0	50		
西北侧	住院部病房楼	27	0	200		
西南侧	麻醉耗材、设备室等医疗综合楼其他区域	0	0	50		
南侧	科研楼	7	0	200		
东北侧	内部道路	32	21	200		

东侧	过道、示教室等医疗综合楼其他区域	0	0	50		
东南侧	门诊医技楼	10	0	200		
下层	医工科库房及其他区域	0	4.8	50		
上层	心电诊断室、HIV 筛查室和微生物室区域	0	4.8	150		

注：放疗科东侧与北侧、地下为土层。

7.3 评价标准

7.3.1 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

（1）防护与安全的最优化

4.3.3.1 对于来自一项实践中的任一特定源的照射，应使防护与安全最优化，使得在考虑了经济和社会因素之后，个人受照剂量的大小、受照射的人数以及受照射的可能性均保持在可合理达到的尽量低水平；这种最优化应以该源所致个人剂量和潜在照射危险分别低于剂量约束的潜在照射危险约束为前提条件（治疗性医疗照射除外）。

（2）剂量限值

B1.1 职业照射

B1.1.1.1 应对任何工作人员的照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

- a) 由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量(但不可作任何追溯性平均), 20mSv;
- c) 眼晶体的年当量剂量, 150mSv;
- d) 四肢(手和足)或皮肤的年当量剂量, 500mSv。

B1.2 公众照射

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：

- a) 年有效剂量, 1mSv;

（3）剂量约束值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）和《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021），遵循辐射防护最优化的原则，结合项目实际情况，本项目剂量约束值管理目标为：职业照射剂量约束值取5.0mSv/a，公众照射剂量约束值取0.1mSv/a，其中本项目DSA职业照射四肢（手和足）剂量约束值取125mSv/a，职业照射四肢（眼晶体）剂量约束值取37.5mSv/a。

7.3.2 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）

(1) 工作场所屏蔽体外剂量率控制水平

6.1.4 剂量控制应符合以下要求:

a) 治疗室墙和入口门外表面 30cm 处、邻近治疗室的关注点、治疗室房顶外的地面附近和楼层及在治疗室上方已建、拟建二层建筑物或治疗室旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点治疗室房顶内表面边缘所张立体角区域时,距治疗室顶外表面 30cm 处和在该立体角区域内的高层建筑人员驻留处的周围剂量当量率应同时满足下列 1) 和 2) 所确定的剂量率参考控制水平 \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 (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: $H_c \leq 100 \mu\text{Sv/周}$;

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

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。

(2) 辐射工作场所分区

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021),控制区和监督区分区原则如下:

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)。

(3) 辐射工作场所安全防护要求

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021),放射治疗机房安全设施和措施

要求如下：

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

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

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

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

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

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

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

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

c) 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；

f) 安全连锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动；安装调试及维修情况下，任何连锁旁路应通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后应及时进行连锁恢复及功能测试。

（4）放射源操作的辐射安全与防护要求

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021），放射源操作的辐射安全与防护要求如下：

7.4 应加强放射源倒装活动的辐射安全管理，倒装工作应由有相应能力且通过辐射安全考核的专业人员进行；应制定放射源倒装活动方案，对辐射监测与报警仪器的有效性、操作场所分区隔离设置、倒源屏蔽体搭建进行确认；倒装放射源时应对倒装热室周围和含源

设备表面进行辐射监测，关注倒源屏蔽体的辐射防护效果和含源设备的表面污染情况，做好安装和更换的放射源清点并记录；倒源结束后对含放射源的放射治疗设备、场所与周围环境进行辐射监测。

(5) 通风要求

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)，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。

(6) 放射性废物管理要求

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

8.2.2.2 低水平的活化部件如质子/重离子加速器治疗头器件、磁铁等，以及处理质子/重离子加速器冷却水的废树脂，集中放置在固体废物暂存间暂存衰变，经衰变后仍超出清洁解控水平的（放射性废物豁免的活度、活度浓度见附录 B）送交有资质的单位收贮。

8.2.2.3 建立放射性固体废物台账，存放及处置前进行监测，记录部件名称、质量、辐射类别、监测设备、监测结果（剂量当量率）、监测日期、去向等相关信息，低于清洁解控水平的可作为一般固体废物处置，并做好存档记录。

7.3.3 《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)

根据《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)，放射治疗机房布局要求如下：

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

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

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

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

6.1.5 应合理设置有用线束的朝向，直接与治疗机房相连的治疗设备的控制室和其他居

留因子较大的用室，尽可能避开被有用线束直接照射。

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

7.3.4 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）

（1）工作场所屏蔽体外剂量率控制水平

DSA 机房屏蔽体剂量率控制水平参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）相关规定：机房外周围剂量当量率水平不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

（2）机房建设要求

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

表 7-2 X 射线设备机房（照射室）使用面积、单边长度的要求

设备类型	机房内最小有效使用面积 m^2	机房内最小单边长度 m
双管头或多管头 X 射线设备 ^a (含 C 形臂)	30	4.5
单管头 X 射线机 ^b (含 C 形臂, 乳腺 CBCT)	20	3.5

^a 双管头或多管头 X 射线设备的所有管球安装在同一间机房内。
^b 单管头、双管头或多管头 X 射线设备的每个管球各安装在 1 个房间内。

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 7-3 的规定。

表 7-3 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量 mmPb	非有用线束方向铅当量 mmPb
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

6.5.1 每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 7-4 基本种类要求的工作人员、受检者防护用品与辅助防护设施，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。

表 7-4 个人防护用品好辅助防护设施配置要求

放射检查类型	工作人员		受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
介入放射学操作	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套。选配：铅橡胶帽子	铅悬挂防护屏/铅防护帘、床侧防护屏。选配：移动铅防护屏风	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套。选配：铅橡胶帽子	/
注：‘/’表示不做要求。				

7.3.5 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）

辐射工作人员的个人计量检测，可以根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）：

4.3.1 常规监测的周期应综合考虑放射工作人员的工作性质、所受剂量的大小、剂量变化程度及剂量计的性能等诸多因素。常规监测周期一般为 1 个月，最长不得超过 3 个月。

5.2.3 对于强贯穿辐射和弱贯穿辐射的混合辐射场，弱贯穿辐射的剂量贡献 $\leq 10\%$ 时，一般可只监测Hp(10)；弱贯穿辐射的剂量贡献 $> 10\%$ 时，宜使用能识别两者的鉴别式个人剂量计，或用躯体剂量计和局部剂量计分别测量Hp(10)和Hp(0.07)。

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

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

5.3.3 对于 5.3.2 所述工作情况，建议采用双剂量计监测方法（在铅围裙内躯干上再佩戴另一个剂量计），且宜在身体可能受到较大照射的部位佩戴局部剂量计(如头箍剂量计、腕部剂量计、指环剂量计等)。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

8.1.1 项目地理位置

江山市人民医院拟迁建地址位于江山市城东新村，医院东侧为经一路，隔路为自然山体；南侧为纬十路、水电站和河渠；西侧为江滨东路；北侧为规划道路和自然山体。地理位置见附图 1。

8.1.2 项目场所位置

本项目放疗科拟建址位于住院部病房楼负 1 层东侧一端。放疗科拟建址东北侧 44m 处为垃圾房和液氧站，东侧 45m 处为宿舍楼；南侧 30m 为医疗综合楼其他区域；西南侧 10m 处为内部道路，西侧 24m 处为住院部病房楼；北侧 49m 处为内部道路；上方 2.4m 为医院绿化草坪；下方为土质层。

DSA 机房拟建址位于医疗综合楼 4 层中部东北侧。DSA 机房东侧 32m 为内部道路；东南侧距 DSA 机房 10m 处为门诊医技楼；南侧 7m 处为科研楼；西南侧紧邻医疗综合楼其他区域；西北侧 27m 处为住院部病房楼；上方为医院 5 层心电诊断室、HIV 筛查室和微生物室区域，下方为医院 3 层医工科库房及其他区域。

本项目周围环境关系示意图见附图 2。

8.2 环境现状评价对象

本项目辐射工作场所及周边环境。

8.3 辐射环境质量现状

8.3.1 监测目的

监测地区辐射本底剂量率，为编写本环境影响评价报告表提供依据。

8.3.2 监测因子

监测项目拟建地及周边环境辐射本底水平，为本项目提供依据。

8.3.3 监测点位

根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）等要求，结合现场条件，对本项目辐射工作场所及周围环境进行监测布点

本项目共布设 11 个监测点位，布点情况见附图 16，监测报告见附件 10。

8.3.4 监测方案

- (1) 监测单位：浙江亿达检测技术有限公司（资质证书编号 211112051235）
- (2) 监测时间：2023 年 08 月 1 日
- (3) 监测方式：现场监测
- (4) 监测依据：《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）、《含密封源仪表的放射卫生防护要求》（GBZ125-2009）等；
- (5) 监测频次：依据 HJ 1157-2021 标准予以确定；
- (6) 监测工况：辐射环境本底；
- (7) 天气环境条件：天气：晴；温度：32.7°C；相对湿度：65.8%；
- (8) 监测报告编号：浙亿检（环）字 HJ2023 第 0148 号
- (9) 监测仪器：

表 8-1 监测仪器的参数

检测仪器	x、 γ 辐射周围剂量当量率仪	中子周围剂量当量仪
仪器型号	6150 AD 6/H(内置探头：6150 AD-b/H 外置探头：6150 AD 6/H)	BH3105
仪器编号	167510+165455	001
生产厂家	Automess	中核（北京）核仪器厂
量 程	内置探头：0.05 μ Sv/h~99.99 μ Sv/h 外置探头：0.01 μ Sv/h~10mSv/h	0.1 μ Sv/h~999.9 mSv/h
能量范围	内置探头：20keV-7MeV $\leq\pm 30\%$ 外置探头：60keV-1.3MeV $\leq\pm 30\%$	热中子~14MeV
检定证书编号	2023H21-20-4419850003	DLjs2023-01705
检定证书有效期	2023 年 02 月 15 日至 2024 年 02 月 14 日	2023 年 06 月 07 日至 2024 年 06 月 06 日
检定单位	上海市计量测试技术研究院华东国家计量测试中心	中国计量科学研究院
校准因子 C_f	1.05	1.151
探测限	≥ 10 nSv/h	0.1 μ Sv/h

8.3.5 质量保证措施

(1) 合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性和可比性，同时满足标准要求。

(2) 监测方法采用国家有关部门颁布的标准，监测人员经考核并持合格证书上

岗。

- (3) 监测仪器每年定期经计量部门检定，检定合格后方可使用。
- (4) 每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常。
- (5) 由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。
- (6) 监测报告严格实行三级审核制度，经过校核、审核，最后由技术负责人审定。

8.3.6 监测结果及分析

本项目拟建场所 γ 辐射空气吸收剂量率监测结果见表 8-2，中子剂量当量率监测结果见表 8-3。

表 8-2 本项目拟建场所及周围环境辐射背景监测结果

点位编号	点位描述	γ 辐射空气吸收剂量率 (nGy/h)	位置
		平均值	
1#	DSA 机房拟建址	231	室外
2#	科研楼拟建址	227	室外
3#	多功能厅拟建址	240	室外
4#	医疗综合楼拟建址	223	室外
5#	住院部病房楼拟建址	238	室外
6#	宿舍楼拟建址	221	室外
7#	直线加速器与后装机拟建址	228	室外
8#	生活垃圾房拟建址	225	室外
9#	液氧站拟建址	230	室外
10#	内部道路与（非）机动车位	215	室外
11#	规划道路	218	室外

注：1、本次测量时，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、本次监测设备测量读数的空气比释动能和周围剂量当量的换算系数参照 JJG393，使用 ^{137}Cs 作为检定/校准参考辐射源时，换算系数取 1.20Sv/Gy；
3、 γ 辐射空气吸收剂量率均已扣除宇宙射线响应值 28.46nGy/h，本样品中建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子，1#~11# 点位取 1。

表 8-3 本项目拟建场所及中子剂量当量率监测结果

点位编号	点位描述	中子剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
5#	住院部病房楼拟建址	<LLD
6#	宿舍楼拟建址	<LLD
7#	直线加速器与后装机拟建址	<LLD
8#	生活垃圾房拟建址	<LLD
9#	液氧站拟建址	<LLD
10#	内部道路与（非机动车位）	<LLD
11#	规划道路	<LLD

注：中子剂量当量率仪的探测下限为 $0.1\mu\text{Sv/h}$ ，记为 LLD。

由监测结果可知，本项目拟建场所的室外 γ 辐射空气吸收剂量率为 $215\text{nGy/h}\sim 240\text{nGy/h}$ 。由《浙江环境天然贯穿辐射水平调查研究》可知，江山市原野的 γ 辐射剂量率在 $27\text{nGy/h}\sim 151\text{nGy/h}$ 之间，江山市道路的 γ 辐射剂量率在 $68\text{nGy/h}\sim 171\text{nGy/h}$ 之间。由此可知，本项目辐射工作场所拟建址及周围环境的 γ 辐射剂量率略高于一般本底水平（由于拟建场所建筑材料影响测量结果等原因），中子剂量当量率水平低于设备检测限，未见异常。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 施工期工程分析

本项目土建工程环境影响分析已包含在《江山市人民医院迁建项目环境影响报告书》中，《江山市人民医院迁建项目环境影响报告书》于 2023 年 2 月取得衢州市生态环境局出具的《关于江山市人民医院迁建项目环境影响报告书的审查意见》（衢环江建[2023]5 号）。

本次施工期主要评价内容为：墙体砌筑、防护装修施工及设备安装调试的环境影响。施工期工艺流程及产污环节如下：

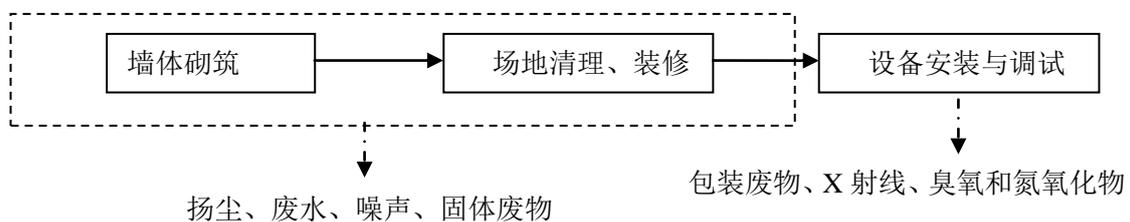


图 9-1 本项目施工期工艺流程及产污环节图

本项目施工期污染物主要包括：

（1）扬尘

由于本项目施工期工程量较小，产生扬尘量较小。建设单位应加强施工场地管理，施工采取湿法作业，尽量降低建筑粉尘对周围环境的影响，现场堆积建筑垃圾应采取一定的遮盖措施，避免风力扬尘。

（2）噪声

施工设备应考虑选择低噪音设备，施工过程防止机械噪声的超标。

（3）废水

施工期产生的废水主要为施工人员的生活污水，生活污水产量较小，可依托临建化粪池等生活污水处理设施处理后纳入市政污水管网，不得随意排放。

（4）固体废物

装修过程中产生的装修垃圾堆放在住建部门指定的地点，严禁随意堆放和倾倒。施工人员产生的生活垃圾可依托市政垃圾收运系统收集处理。

（5）X 射线、臭氧和氮氧化物

本项目调试阶段会产生 X 射线，同时设备安装完成后，会有少量的废包装材料产生。调试阶段在已经做好辐射防护的机房内进行，张贴电离辐射警告标志，避免

无关人员靠近，经墙体的屏蔽及距离衰减后对环境的影响可以接受的。

9.2 营运期工程分析

9.2.1 建设内容

(1) 放疗科

本项目放疗科位于住院部病房楼地下 1 层东侧一端，包括 2 间直线加速器机房、1 间后装机房及辅助用房。直线加速器机房使用 X 射线能量不超过 15MV 的医用电子直线加速器开展放疗；后装机房使用 1 台后装机开展放射治疗，首次装源活度为 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ 的 ^{192}Ir 放射源。

(2) DSA 机房

本项目 DSA 机房位于医疗综合楼 4 层楼中部东北侧，包括 4 间 DSA 机房及辅助用房。DSA 型号未定，最大管电压 125kV，最大管电流 1250mA。

(3) 设备参数

本项目放疗科设备参数及工作量一览表见表 1-1， ^{192}Ir 主要参数见表 1-2。

表 1-1 放疗科拟配置设备参数及工作量一览表

设备	参数	内容	备注	
医用电子直线加速器	数量	2	型号未定，II类射线装置	
	加速粒子	电子	/	
	源轴距	100cm	/	
	最大输出能量	X 射线	$\leq 15\text{MV}$	/
		电子线	$\leq 22\text{MeV}$	/
	最大焦点剂量率	X 射线	$\leq 24\text{Gy/min}$	距靶 1m 处最高吸收剂量率为 24Gy/min ，等中心处治疗模体内参考点的常用最高吸收剂量率为 6Gy/min
		电子线	$\leq 10\text{Gy/min}$	/
	最大照射野	$40\text{cm} \times 40\text{cm}$	/	
	机架旋转角度	$0 \sim 360^\circ$	/	
	等中心点高度	$\leq 1200\text{mm}$	/	
	最大出束角	28°	/	
	X 射线漏射率	$\leq 0.1\%$	/	
	年总出束时间	250h/台	/	
	单日治疗病人次	60 人次/台	/	
年治疗病人次	15000 人次/台	/		
后装治疗机	数量	1	型号未定	
	放射源种类	^{192}Ir	/	
	放射源活度	$3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$	/	
	放射源技术参数	放射源 γ 射线能量： 0.37MeV	III类放射源	
	装源数量	1 枚	/	
	年使用量	3 枚	/	

	年总出束时间	150h	/
	每日治疗病人次	60 人次	/
	年治疗病人次	15000 人次	/

表 1-2 ^{192}Ir 主要参数表

核素名称	数量	类别	半衰期 (d)	衰变类型及其分支比 (%)	出厂活度 (Bq)	平均 γ 射线能量 (MeV)	空气比释动能率常数 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot(\text{h}\cdot\text{MBq})^{-1}$
^{192}Ir	1	III	74.02	γ 衰变, β 衰变 (95.22%) 电子俘获 (4.78%)	3.70×10^{11}	0.37	0.111

注：数据来源于《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分： γ 射线源放射治疗机房》(GBZT 201.3-2014) 中表 C.1。

9.2.2 工作原理和设备工作方式

(1) 医用电子直线加速器

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。设备组成主要包括机架组件、辐射头、水冷系统、速调管、真空系统、充气系统、高压脉冲调制器、栅控电子枪电源、控制柜及操作盒、运控机箱、整机动力配电及低压电源、整机联锁保护电路等。

从电子枪发出的同步电子束注入已建立高梯度的驻波加速场中加速，在加速管末端，电子束加速到所需能量后经过漂移管进入 270 度偏转磁场。在偏转磁场中，电子束偏转 270 度后由水平入射变为垂直出射，并同时完成聚集和消除能谱色差形成直径 2mm 左右的平行束流，经过引出窗到达移动靶件处。移动靶件具有不同工位，可根据治疗需要使电子束轰击合金靶产生 X 辐射或直接穿透初级散射箔产生电子辐射。

典型医用直线加速器示意图见图 9-2，内部结构见图 9-3，典型外观见图 9-4。

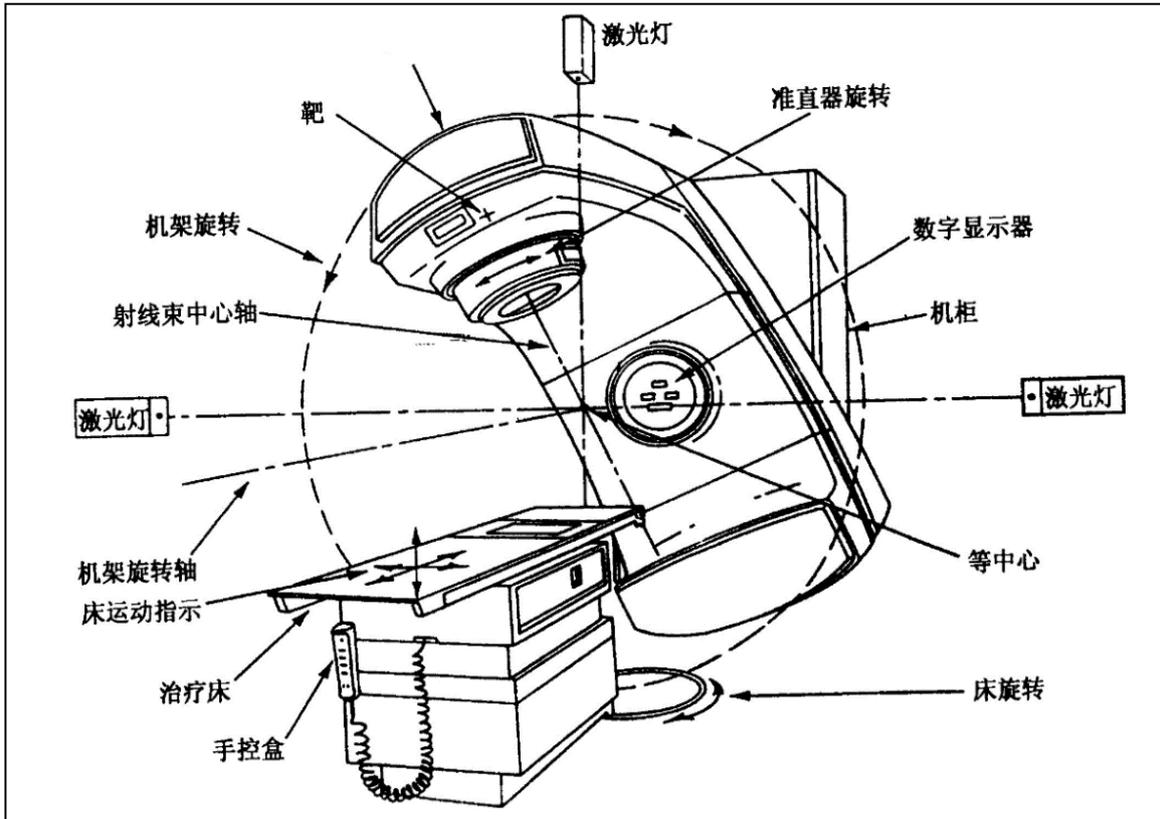


图 9-2 典型医用直线加速器示意图

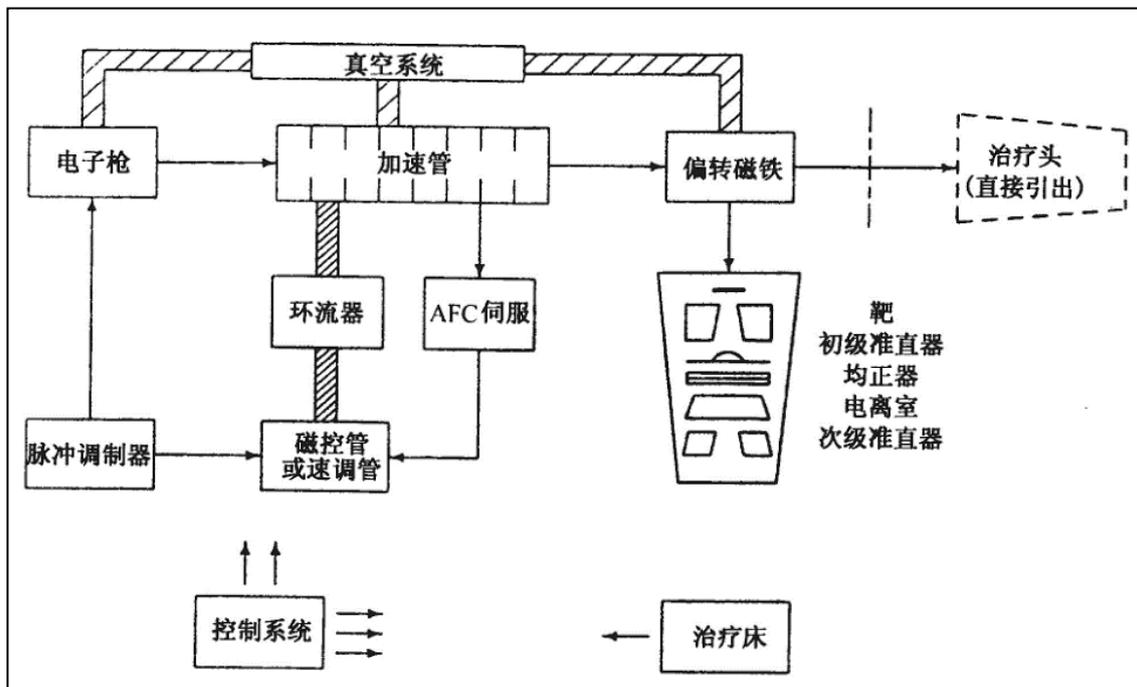


图9-3 典型医用直线加速器结构图

(2) 后装机

后装机的作用是将放射源准确、安全、定时地放置到人体病变部位，可用于宫体、宫颈、直肠、食道、口腔、鼻咽等腔内肿瘤的后装治疗，也可用于皮肤浅表面肿瘤的后装治疗，后装技术就是先在病人身上正确放置好施源器，然后在安全防护条件下用遥控方法自控制室将后装机贮源室内的放射源通过管道送到病人身上的施源器内，其好处是放置施源器有充分的时间，并可用透视或摄片校正位置，从而保证了放射源的正确位置，使 γ 放射源在人体自然腔、管道或组织间驻留而达到预定的剂量及其分布的一种放射治疗手段。

后装机主要由机座、底座、升降装置、贮源器、分度盘、检修口等组成部分以及根据患者不同腔位及大小而设计的系列施源器组成。后装机有两个相同的绕有钢丝绳的轮，一个是真源轮，一个是假源轮，两个轮的结构和大小相同，在真源轮上放有放射源，两个轮分别由电脑控制的步进电机执行，同时还各装有一个直流电机，用于必要时做快回抽的操作。所载的放射源为高活度微型铱-192源，源运动由电脑控制的步进电机执行，步进距离为2.5mm、5mm及10mm，虽仅为1个放射源，但源可对1~30个通道进行治疗。单一微型源可保证各种功能的执行，易于保护，剂量计算更为精确。

^{192}Ir 放射源装于机头源罐内，源罐由外而内分别为不锈钢外壳、铅防护、钨合金防护，防护性能良好。 ^{192}Ir 放射源源罐结构见图9-4，后装机外形见图9-5，结构见图9-6。

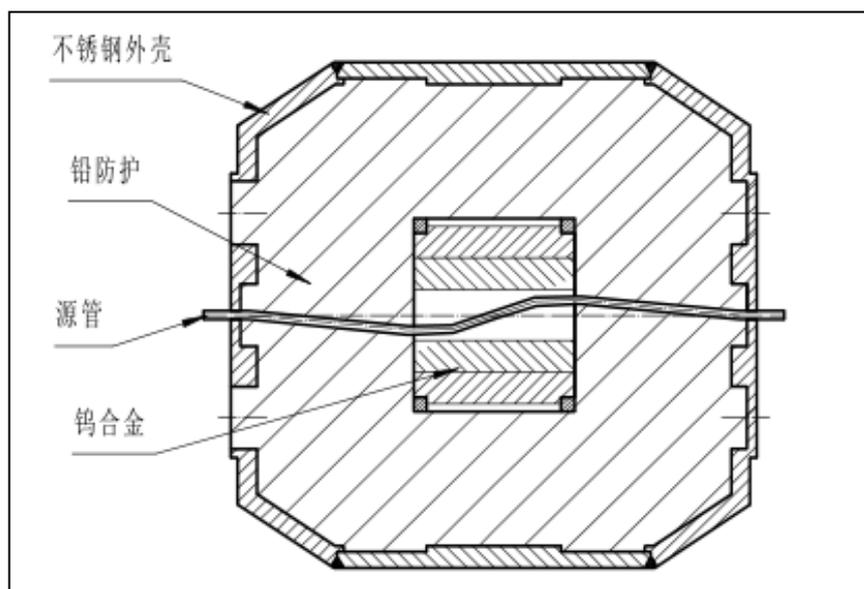


图9-4 ^{192}Ir 放射源源罐结构示意图



图 9-5 ¹⁹²Ir 后装机外形图

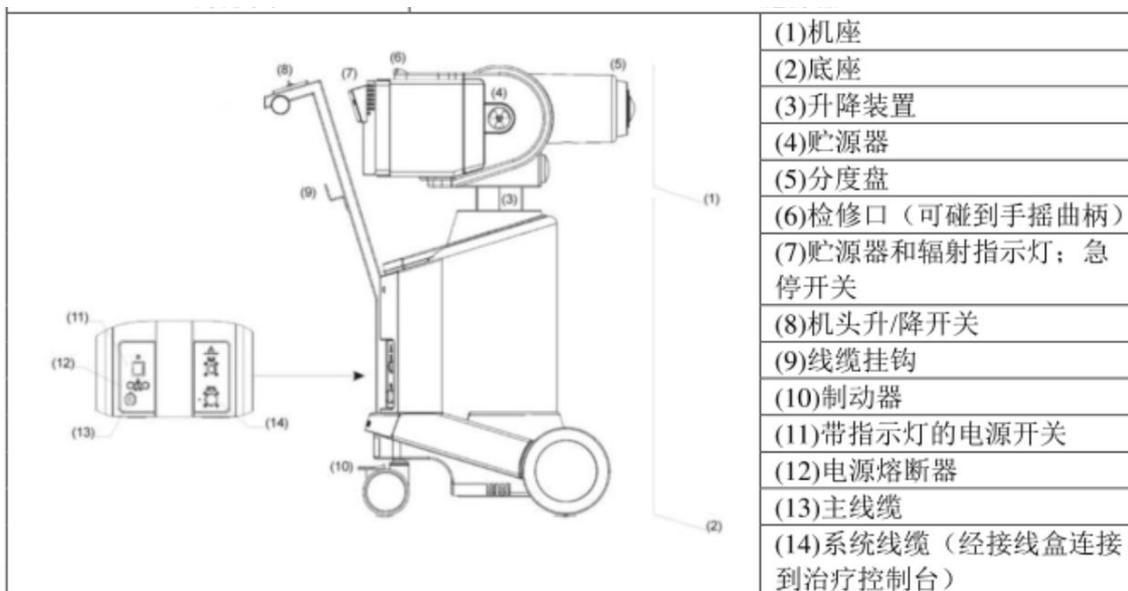


图 9-6 典型 ¹⁹²Ir 后装 γ 源治疗机结构示意图

(3) DSA

DSA是通过电子计算机进行辅助成像的血管造影方法，是应用计算机程序进行两次成像完成的。在注入造影剂之前，首先进行第一次成像，并用计算机将图像转换成数字信号储存起来。注入造影剂后，再次成像并转换成数字信号。两次数字相

减，消除相同的信号，得知一个只有造影剂的血管图像。这种图像较以往所用的常规脑血管造影所显示的图像更清晰和直观，一些精细的血管结构亦能显示出来。且对比度分辨率高，减去了血管以外的背景，尤其使与骨骼重叠的血管能清楚显示；由于造影剂用量少，浓度低，损伤小、较安全；节省胶片使造影价格低于常规造影。通过医用血管造影X射线机处理的图像，使血管的影像更为清晰，在进行介入手术时更为安全。

DSA主要组成部分为带有影像增强器电视系统的X射线诊断机、高压注射器、电子计算机图象处理系统、治疗床、操作台、磁盘或磁带机、多幅照相机。本项目DSA的整体外观示意图如图9-7所示。

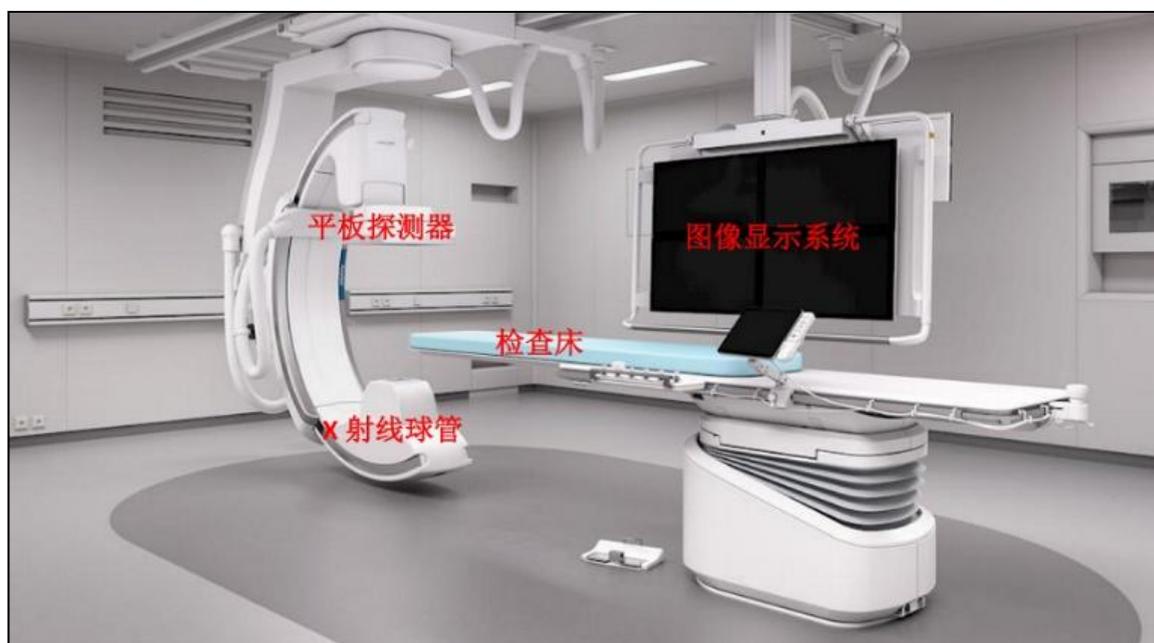


图9-7 DSA射线装置整体外观示意图

9.2.3 操作流程及产污环节

(1) 直线加速器工作流程

- ①根据医生指导意见，需要接受治疗的患者提前预约登记，以确定治疗时间；
- ②预约患者首先在模拟定位机上进行肿瘤定位，确定肿瘤的具体位置和形状；物理师根据定位的情况进行制模；
- ③物理师通过医生给出的治疗剂量，通过治疗计划系统（TPS）制定治疗计划；
- ④肿瘤患者在技师协助下躺上治疗床，进行摆位，根据 TPS 确定照射位置和面积；

⑤确认机房无其他无关人员后，技师离开机房，进入控制室；

⑥确认加速器各系统正常工作，根据 TPS 计划设定好出束时间、角度与剂量，进行出束治疗；

⑦治疗结束后，关机，打开机房防护门，技师进入机房卸载患者，病人离开机房。

工艺流程及产污环节如图 9-8 所示。

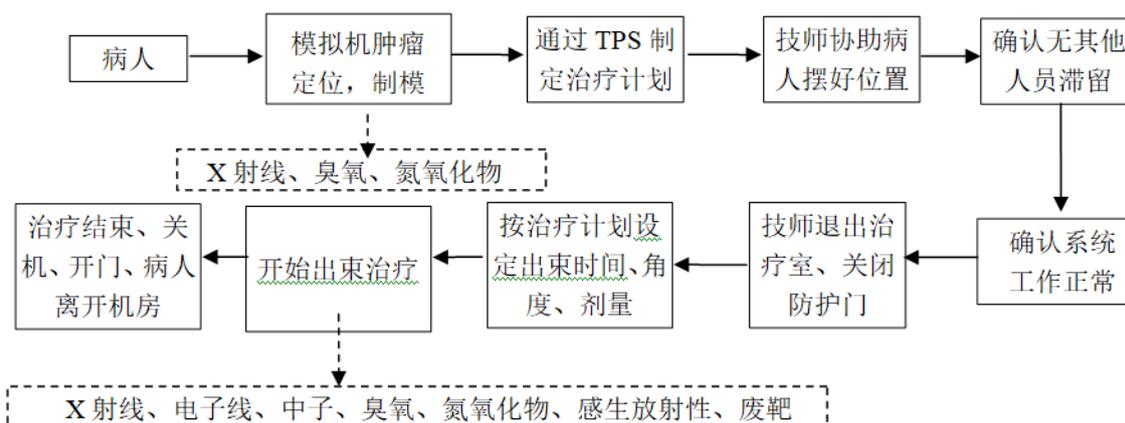


图 9-8 医用电子直线加速器工作流程及产污环节分析图

(2) 后装机工作流程

①根据医生指导意见，需要接受治疗的患者提前预约登记，以确定治疗时间；

②预约患者首先在模拟定位机上进行肿瘤定位，确定肿瘤的具体位置和形状；

③物理师通过医生给出的治疗剂量，通过治疗计划系统（TPS）制定治疗计划；

④肿瘤患者在技师协助下躺上治疗床，进行摆位；

⑤治疗时先由放疗医师根据患者病患情况放置施源器，然后由工作人员将病人送入后装机房内，接上与源相连的导管，然后借助后装治疗机将源送到需要照射的部位，放射源的输送由工作人员在控制室遥控操作。

⑥先驱动假源探路，正常后缩回假源，再驱动真源按计划执行治疗，放射源步进到位精度为 mm 级。

⑦治疗结束后，通过遥控控制源返回贮源器内，系统装有联锁装置，在机房的门未关闭或按下紧急按钮时，源不会送出或将已送出的源撤回，确认源安全返回贮源器内，方可通过操作台控制打开迷路防护门，辐射工作人员将病人送出机房。

本项目后装机治疗流程及产污环节见图 9-9。

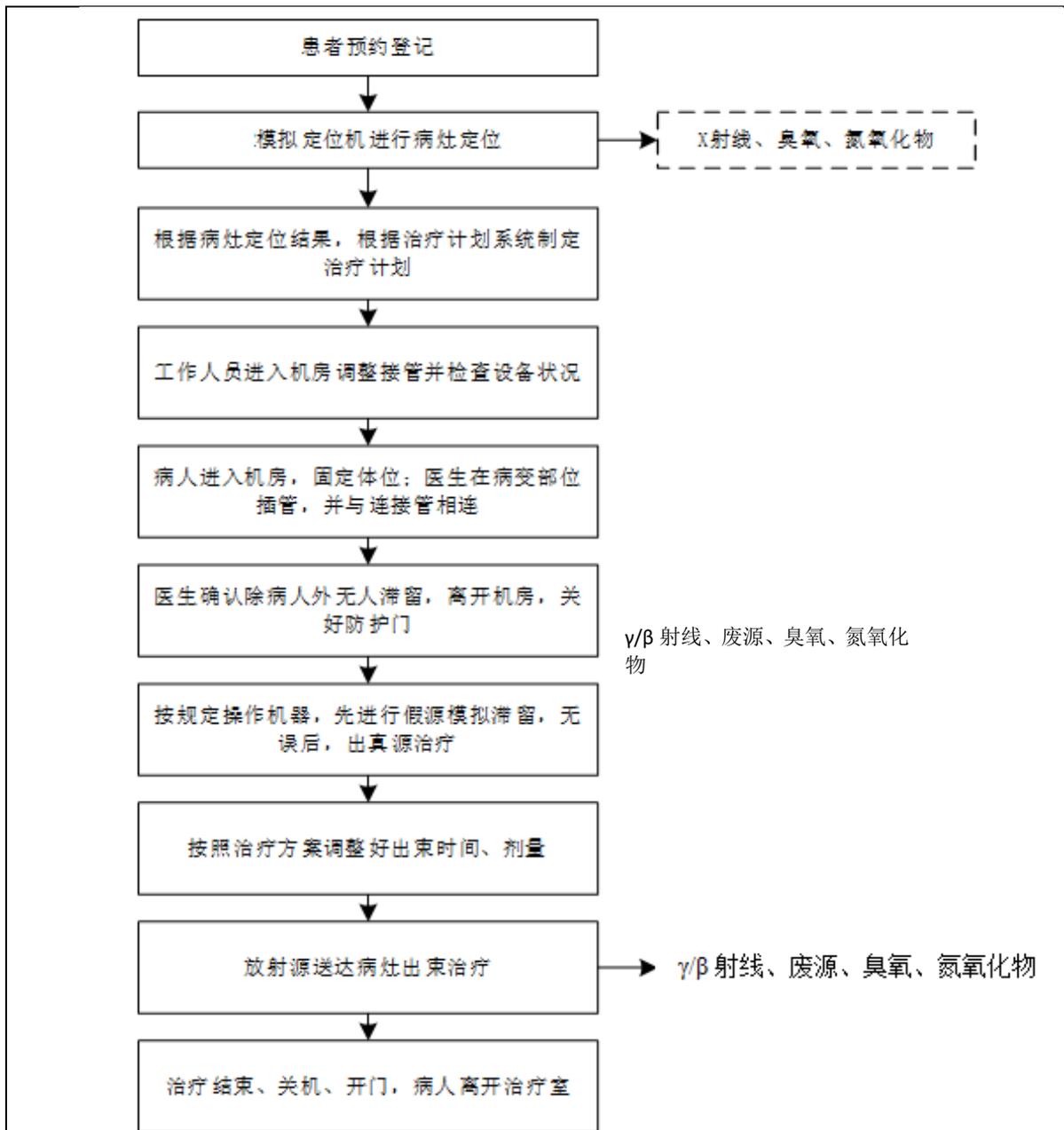


图9-9 后装机工作流程及产污环节分析图

(3) 换源操作

根据放射源出厂活度，后装机约四个月需要更新放射源一次。废源由供源单位按照合同协定负责调换、运输、处置，医院负责日常安全使用及管理。¹⁹²Ir 后装机换源时需制定周密的计划，并且报相关部门备案。

换源流程具体如下：换源工作人员先行将专用的贮源器（专用贮源器的屏蔽能力与后装机未出源时的屏蔽能力基本一致）与后装机用输源管连接，然后退出机房，关闭防护门，通过电脑控制其出源，源进入专用的贮源器后，待回收；然后换源工作人员将含有新源的专用贮源器上一根长约1m的钢丝连接到后装机（钢丝的另一端

即为新源), 然后退出机房, 关闭防护门, 通过电脑控制将钢丝连同新源一起进入后装机, 完成一次换源工作。废源由放射源供货单位负责回收, 回收前废源放置于贮源器中, 暂存于后装机房内东南角的25mmPb的保险柜内。

(4) DSA 工作流程

诊疗时, 患者仰卧并进行无菌消毒, 局部麻醉后, 经皮穿刺静脉, 送入引导钢丝及扩张管与外鞘, 退出钢丝及扩张管将外鞘保留于静脉内, 经鞘插入导管, 推送导管, 在X线透视下将导管送达静脉, 顺序取血测定静、动脉, 并留X线片记录, 探查结束, 撤出导管, 穿刺部位止血包扎。

DSA在进行曝光时分为摄影和透视两种情况:

摄影: 操作人员采取隔室操作的方式(即操作技师在控制室内对病人进行曝光, 医生和护士均退出机房在控制室观察), 医生通过铅玻璃观察窗和操作台观察机房内病人情况, 并通过对讲系统与病人交流。

透视: 医生需进行手术治疗时, 为更清楚的了解病人情况时会有连续曝光, 并采用连续脉冲透视, 此时操作医师位于铅屏风后并身着防护用品, 在曝光室内对病人进行直接的手术操作。

DSA治疗流程及产污环节见图9-10。

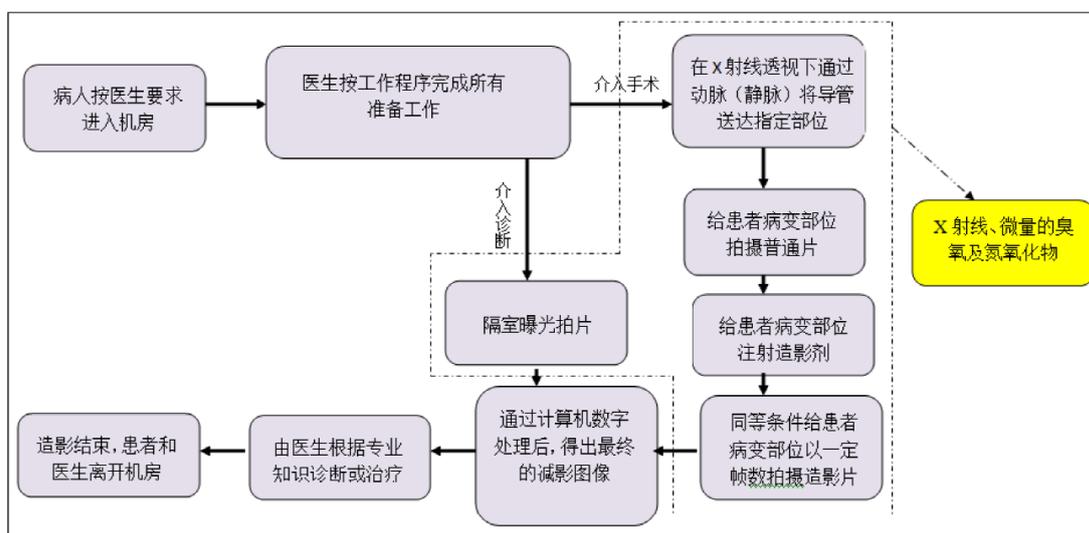


图9-10 DSA工作流程及产污环节示意图

9.2.3 人流、物流路径规划

(1) 放疗科

本项目患者从放疗科入口进入, 在等候区等待叫号, 叫号后经过道进入直加机房或后装机房进行治疗, 治疗完毕后经机房防护门出口从放疗科南侧出入口离开;

本项目负责直线加速器的技师经过道进入直加机房，先进行摆位工作，然后经迷道至控制室进行出束治疗工作，工作结束后将患者带离直加机房，并关闭防护门，然后原路返回。

本项目负责后装机的技师经过道、迷道进入后装机房，先进行摆位工作，然后经迷道至控制室进行治疗工作，工作结束后将患者带离后装机房，并关闭防护门，然后原路返回。

本项目放疗科人流规划路径放疗科见附图 6。

(2) DSA

工作人员路径：技师从洁净通道经准备间进入控制室，技师在控制室内进行设备操作，手术医护人员从洁净通道经准备间或控制室防护门进入机房内部进行手术。

患者路径：患者需工作人员推床经过道从洁净通道经准备间进入DSA机房进行手术。

污物路径：手术结束后，由工作人员将污物经洁净走廊送至DSA机房东侧医疗垃圾间暂存。

9.2.4 劳动定员和工作负荷

(1) 劳动定员

本项目共配置 27 名辐射工作人员，其中放疗科拟配备 15 名辐射工作人员，DSA 机房拟配备 24 名辐射工作人员，均为新增辐射工作人员。本项目辐射工作人员均定岗定职，不存在交叉工作的情况。具体人员配置情况见表 9-3。

表 9-3 本项目辐射工作人员配置情况表

工作岗位		人数(人)	人员类型	居留位置
放疗科	1 号直线加速器机房	1	医师	机房内、控制室、办公室等
		2	技师	
		1	物理师	
		1	护士	
	2 号直线加速器机房	1	医师	机房内、控制室、办公室等
		2	技师	
		1	物理师	
		1	护士	
	后装机	1	医师	机房内、控制室、办公室等
		2	技师	
		1	物理师	
		1	护士	
DSA 机房	1 号~4 号 DSA 机房	8	介入医生	DSA 机房、控制室
		8	技师	
		8	护士	

本项目辐射工作人员均定岗定职，不存在交叉工作的情况。根据《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），本项目新增辐射工作人员应在生态环境部辐射与防护培训平台参加培训或接受放射诊疗的培训并考核合格后方可上岗，并按时接受再培训。

(2) 工作负荷

1#、2#直加机房：单台加速器放射治疗工作量为 60 人次/天，每周工作 5 天，平均每人每野次治疗剂量 2.0Gy，平均每人治疗照射 3 野次，周工作负荷 $W=60 \times 5 \times 2.0 \times 3=1800\text{Gy/周}$ 。根据医院提供的资料，本项目加速器等中心处治疗模体内参考点的常用最高吸收剂量率 (D_0) 为 6Gy/min，单台加速器周治疗照射时间为 $t=W/D_0=5\text{h/周}$ ，则每台年治疗时间为 250h。

后装机房：根据医院提供的资料，后装机每天最大工作量为 3 人次，每周工作 5 天，参考《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分： γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T203.2-2014）中附录 F.1 的“示例条件与基本参数”，放射源活度处于 370GBq 时，平均每位患者的治疗照射时间为 6min，则周治疗时间为 3h。1 年工作 50 周，则每台年治疗时间为 150h。

本项目 4 间 DSA 机房配置手术医生 8 名，护士 8 名，技师 8 名。本项目 DSA 射线装置常用最大摄影工况为管电压 $\leq 100\text{kV}$ 、管电流 $\leq 500\text{mA}$ ；常用最大透射工况为管电压 $\leq 80\text{kV}$ 、管电流 $\leq 20\text{mA}$ ；根据医院提供的资料，单台设备 200 台每年，每次手术 DSA 的最大出束时间包括透视 20 分钟、摄影 2 分钟。

本项目 DSA 最大工作负荷统计见表 9-4。

表 9-4 本项目拟建单台 DSA 工作负荷

射线装置	工作状态	平均每台手术最长出束时间 (min)	单台设备全年开展手术量 (台)	单台设备年总出束时间 (h)	单个医生年最大受照时间 (h)	单个护士年最大受照时间 (h)	单个技师年最大受照时间 (h)
DSA	摄影	2	200	3	3	3	3
	透视	20	200	34	34	34	34

9.3 污染源项描述

9.3.1 放射性源项

(1) 直线加速器

①X 射线（电子线）与中子

本项目医用直线加速器的 X 射线最高能量为 15MV，距靶 1m 处最大剂量率为

1.44×10⁹μGy/h。电子最高能量为22MeV，距靶1m处最大剂量率为6.00×10⁸μGy/h。由于X射线的贯穿能力极强，对周围环境可能造成辐射污染，但运行时产生的X射线随加速器的开、关而产生和消失。加速器在运行时产生的高能电子束，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。在加速器开机的时间内，产生的X射线为主要辐射环境污染因素。医用直线加速器在运行时，电子枪产生大量的电子，电子被加速后聚焦为一股束流，电子束虽然占据的体积小，但能量非常集中，电子束的贯穿能力比X射线弱，加速器四周的混凝土屏蔽墙和防护门均能将其完全屏蔽。

在加速器工作时，高能电子束与靶物质相互作用而产生的韧致辐射，与加速器部件以及空气等物质作用形成放射性核，而会发生光核反应，放出中子。根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中“7.1 对于高于10MV X射线治疗束和质子重离子治疗束的放射治疗，除考虑中子放射防护外，在日常操作中还应考虑感生放射线的放射防护。”，本项目拟建的医用直线加速器能量为15MV，需考虑中子辐射和感生放射性。由治疗机头中产生的中子分为2部分：一部分是混在X射线野内的原射快中子和经治疗机头衰减漏射出来的漏射中子组成的直射中子，另一部分是由治疗室墙壁、天花板、地板多次散射后的散射中子，散射中子其能量较低。上述中子是放射治疗工作中不需要的，所以又统称为污染中子。

中子的辐射生物效应远高于X、γ射线，按中子能量高低其辐射权重因子(WR)为5~20，因此在高能医用电子加速器的防护设计中需要考虑中子的防护。一般情况下，治疗室墙体、天花板的屏蔽厚度满足了对X射线的防护要求时也能够满足了对污染中子的防护要求，但要特别注意散射中子的防护，散射中子的影响主要考虑防护门的影响。

②感生放射性

根据《辐射防护手册：辐射源与屏蔽》（第一分册）中P226页，绝大数天然核素的(γ, n)反应阈能在10MeV以上。加速器处于电子束治疗模式且电子线能量大于10MeV，为22MeV，电子线与加速器内部构件和空气作用，使构件激发感生放射性和产生感生放射性核素，如感生放射性核素¹⁵O、¹³N。一般在正常通风情况下，感生放射性气体不会对辐射工作人员和病人造成危害。

③废靶

加速器靶在更换或退役时，按放射性固体废物处理，拆卸后先放进机房的铅桶

衰变暂存，最终送交有资质单位收贮。

(2) 后装机

① γ 射线、 β 射线

^{192}Ir 为密封源， β 射线被完全屏蔽， β 射线的影响可以忽略。后装机正常运行时的主要环境污染因子为能量流形式的 γ 射线。在正常治疗条件下，后装机 ^{192}Ir 放射源发出的 γ 射线经过屏蔽体（包括屏蔽墙、顶棚）屏蔽后对周围工作人员和公众产生外照射影响。放射性核素 ^{192}Ir 的源强见表 9-5。

表9-5 ^{192}Ir 放射源源强

名称	核素	活度A (MBq)	空气比释动能率常数 K_r ($\mu\text{Sv}/(\text{MBq h})$)	距离	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
^{192}Ir 放射源	^{192}Ir	3.7×10^5	0.111	1m	4.11×10^4

② 废源

后装治疗机使用的 ^{192}Ir 放射源四个月左右需更换放射源，废旧放射源由放射源供货单位负责回收，并签订购源、回收协议。

(3) DSA 机房

产生的放射性污染因子为 X 射线。

① 主射与散射距靶点 1m 处的 X 射线输出量

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）第 5.1.5 条款，除牙科摄影和乳腺摄影用 X 射线设备外，X 射线有用线束中的所有物质形成的等效总滤过，应不小于 2.5mmAl，故本项目过滤片保守取为 2.5mmAl。参考《辐射防护导论》（方杰主编）P342 页附图 3，仅有过滤片 2mmAl 和 3mmAl 的曲线图，本次评价保守按过滤片为 2mmAl 进行取值，则摄影（100kV）时 X 射线发射率常数 $\delta_{100\text{kV}}=9\text{mGy m}^2 \text{mA}^{-1} \text{min}^{-1}$ ，则 $H_{0(100\text{kV})}=5.4\times 10^5\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2 \text{mA}^{-1} \text{h}^{-1}$ ；透视（80kV）时 X 射线发射率常数 $\delta_{80\text{kV}}=6\text{mGy m}^2 \text{mA}^{-1} \text{min}^{-1}$ ，则 $H_{0(80\text{kV})}=3.6\times 10^5\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2 \text{mA}^{-1} \text{h}^{-1}$ 。

② 漏射距靶点 1m 处的 X 射线输出量

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》P23 页：“（77）用于诊断目的的每一个 X 线管必须封闭在管套内，以使得位于该套内的 X 射线管在制造厂规定的每个额定值时，离焦点 1 米处所测得的泄漏辐射在空气中的比释动能不超过 1mGy”，故本项目泄漏辐射比释动能率保守取值为 1000 $\mu\text{Gy/h}$ 。

(4) 非放射性源项

加速器和后装机在运行过程中产生的 X 射线和 γ 射线与空气作用可产生少量臭

氧和氮氧化物。通过机房内通风换气，通风换气次数应满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中规定的不小于每小时4次的要求，如此，则产生的非放射性废气对周围大气环境的影响是可以接受的。

本项目DSA在曝光过程中，由于X射线与空气电离作用，会有少量臭氧和氮氧化物产生。DSA机房拟安装通排风系统，应保持机房内良好通风。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 辐射工作场所布局合理性分析

(1) 放疗科

本项目放疗科位于住院部病房楼地下 1 层东侧一端。放疗科东侧、北侧和下方均为土质层；南侧为排烟机房、模具室等辅助用房与模拟定位 CT 机房；西侧为各辐射工作场所的控制室和水冷机房；上方为医院绿化草坪。经分析可知，放疗科直加机房主射方向均为南、北、顶棚和地面朝向，避开控制室和水冷机房。放疗科按照治疗流程方面，各个辐射工作场所排列有序，患者通道简易便捷，不易因布局而产生辐射安全危害，因此放疗科布局合理可行。

(2) DSA 机房

本项目 DSA 机房位于医疗综合楼 4 层中部东北侧。将 4 间 DSA 机房拟看作一个整体，DSA 机房东侧为示教室和手术室；南侧为麻醉耗材、设备室；西侧为污洗间和污染织物回收、内院；北侧为生活、医疗垃圾间、器械预处理、缓冲室；上方为医院 5 层心电诊断室、HIV 筛查室和微生物室区域，下方为医院 3 层医工科库房。经分析可知，DSA 机房主射方向由下朝上，辐射工作场所独立区分，通道路径简洁明了，不易因布局而产生辐射安全危害，因此 DSA 机房布局合理可行。

10.1.2 分区原则和两区划分

(1) 分区原则

建设单位拟按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）与《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）要求，把工作场所分为控制区、监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。其定义为“控制区：在辐射工作场所划分的一种区域，在这种区域内要求或可能要求采取专门的防护手段和安全措施；监督区：未被确定为控制区、通常不需要采取专门防护手段和措施但要不断检查其职业照射条件的任何区域”。

(2) 两区划分

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021），并结合本项目平面布置实际情况，本项目放疗科机房控制区、监督区划分情况见表 10-1，放疗科两区划分图见附图 7；DSA 机房控制区、监督区划分情况见表 10-2，DSA 机房两区划分图见附图

13。

表10-1 放疗科机房控制区和监督区划分

工作场所		控制区	监督区
放疗科	1#、2#加速器机房	加速器机房（含迷道）	控制室、水冷机房、排烟机房、模具室等区域
	后装机房	后装机房（含迷道）	控制室、准备间等区域

表10-2 DSA机房控制区和监督区划分

工作场所		控制区	监督区
DSA机房	1#、2#DSA机房	1#、2#DSA机房内部区域	控制室、设备间、医疗垃圾间、生活垃圾间、麻醉耗材间、麻醉设备间、西北侧走道宽1m部分、东南侧走道宽1m部分等区域
	3#、4#DSA机房	3#、4#DSA机房内部区域	控制室、设备间、后室、器械预处理室、缓冲区、西北侧走道宽1m部分、东南侧走道宽1m部分等区域

(2) 两区管控要求

①控制区防护手段与安全措施

a、控制区进出口及其它适当位置处设立醒目的电离辐射警告标志，并以红色地标线警示控制区的边界；

b、制定职业防护与安全管理措施，包括适用于控制区的规则和程序；

c、运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可制度）和实体屏障（包括门锁、门禁和联锁装置）限制进出控制区；

d、定期审查控制区的实际状况，以确保是否有必要改变该区的防护手段、安全措施或该区的边界；

②监督区防护手段与安全措施

a、以黄线警示监督区的边界；

b、在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；

c、定期检查该区的条件，以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界。

10.1.3 辐射防护屏蔽设计

10.1.3.1 放疗科

(1) 放疗科屏蔽设计方案

本项目放疗科屏蔽设计方案见表 10-3。

表 10-3 放疗科屏蔽设计方案

机房名称	方位	区域	照射线束	材料及厚度
1#加速器机房净尺寸 (长 8400mm×宽 7650mm×高 4000mm)、 2#加速器机房净尺寸 (长 8400mm×宽 8000mm×高 4000mm)	南墙	主屏蔽区	有用线束	3000mm 混凝土 (宽度 4500mm)
		次屏蔽区	非有用线束	1800mm 混凝土
	北墙	主屏蔽区	有用线束	3000mm 混凝土 (宽度 4500mm)
		次屏蔽区	非有用线束	1600mm 混凝土
	西墙	迷道内墙	/	≥1400mm 混凝土
		迷道外墙	/	1800mm 混凝土
		迷道参数	L 型迷道, 迷道内口宽 2400mm, 迷道外口宽 1500mm, 迷道宽 2400mm, 迷道净高 4000mm	
	东墙	侧墙	非有用线束	1600mm 混凝土
	顶棚	主屏蔽区	有用线束	3000mm 混凝土 (宽度 4500mm)
		次屏蔽区	非有用线束	1800mm 混凝土
地面	/	有用线束	厚土层, 无地下层	
防护门		非有用线束	4mm 钢板+20mm 铅板+150mm 含硼聚乙烯 (含硼 10%)	
后装机房 (长 9100mm×宽 6050mm×高 4000mm)	南侧迷道内墙		有用线束	600mm 混凝土
	南侧迷道外墙		有用线束	1800 混凝土 (与加速器共用墙体)
	东侧墙体		有用线束	900mm 混凝土
	西侧墙体		有用线束	600mm 混凝土
	北侧墙体		有用线束	900mm 混凝土
	迷道参数		直迷道, 迷道内口宽 1800mm, 迷道外口宽 1500mm, 南侧迷道宽度 2800mm, 迷道净高 4000mm	
	顶棚		有用线束	900mm 混凝土
	地面		有用线束	厚土层, 无地下层
	防护门		有用线束	4mm 钢板+10mm 铅板
通风设计方案	本项目 1#、2#加速器机房与后装机房内均设有 1 个送风口和 2 个排风口, 送风口位于机房内西侧天花板中间位置, 排风口位于机房内东侧南北对角。送风管道和排风管道以 45 度斜穿墙体通过防护门上方最终通至排风井, 废气最终排放至大气, 排气口位于地面上方草坪。放疗科排风系统风量设计值约为 18000m ³ /h, 经风量计算得出有效通风次数约为 8.7 次/h, 符合标准要求。			
电缆管线穿墙设计方案	本项目放疗科各机房电缆线铺设均采用地下“U”字形布设, 避开设备主射及主射投影区域, 各墙体两侧的电缆坑经布线走线之后, 采用混凝土进行封堵缝隙, 并以不锈钢盖板对电缆坑进行遮挡。			

注: 混凝土密度不小于 2.35g/cm³, 铅板密度不小于 11.34g/cm³。

(2) 通风设计

本项目 1#、2#加速器机房与后装机房内均设有 1 个送风口和 2 个排风口, 送风口位于机房内西侧天花板中间位置, 排风口位于机房内东侧南北对角。送风管道和排风管道以 45 度斜穿墙体通过防护门上方最终通至排风井, 废气最终排放至大气, 排气口位于地面上方草坪。放疗科排风系统风量设计值约为 18000m³/h, 经风量计算得出有效通风次数约为 8.7 次/h, 满足《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021) 中的相关规定。直线加速器机房风管穿墙图见图 10-1, 后装机房风管穿墙图见图 10-2。

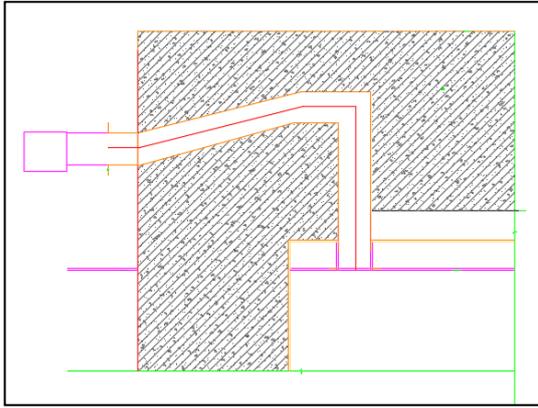


图 10-4 直线加速器机房风管穿墙图

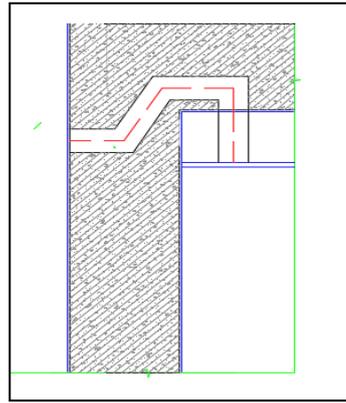


图 10-5 后装机房风管穿墙图

10.1.3.2 DSA 机房

依据 DSA 机房防护设计方案和《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中对 X 射线机房防护设计的技术要求，本项目辐射工作场所拟采取屏蔽防护措施符合性分析结果见表 10-4，机房规格与标准对照分析见表 10-5。

表 10-4 本项目 DSA 辐射工作场所拟采取屏蔽防护措施符合性分析

机房名称	屏蔽体	屏蔽材料及厚度	折算后铅当量	GBZ130-2020 标准要求	符合性分析
1#DSA 机房 净尺寸 (长 8100mm× 宽 6900mm×高 4900mm)	四侧墙体	镀锌方管龙骨+3mm 铅板	3.0	C 型臂 X 射线 设备机房, 有 用线束及非 有用线束方 向铅当量均 为 2mmPb	符合
	防护门	内衬 3mm 铅板	3.0		符合
	观察窗	3mmPb 铅玻璃	3.0		符合
	顶棚	200mm 混凝土	2.7		符合
	地面	200mm 混凝土	2.7		符合
2#DSA 机房 净尺寸 (长 8100mm× 宽 7500mm×高 4900mm)	四侧墙体	镀锌方管龙骨+3mm 铅板	3.0		符合
	防护门	内衬 3mm 铅板	3.0		符合
	观察窗	3mmPb 铅玻璃	3.0		符合
	顶棚	200mm 混凝土	2.7		符合
	地面	200mm 混凝土	2.7		符合
3#DSA 机房 净尺寸 (长 7500mm× 宽 7200mm×高 4900mm)	四侧墙体	镀锌方管龙骨+3mm 铅板	3.0		符合
	防护门	内衬 3mm 铅板	3.0		符合
	观察窗	3mmPb 铅玻璃	3.0		符合
	顶棚	200mm 混凝土	2.7		符合
	地面	200mm 混凝土	2.7		符合
4#DSA 机房 净尺寸 (长 7400mm× 宽 7200mm×高 4900mm)	四侧墙体	镀锌方管龙骨+3mm 铅板	3.0		符合
	防护门	内衬 3mm 铅板	3.0		符合
	观察窗	3mmPb 铅玻璃	3.0		符合
	顶棚	200mm 混凝土	2.7		符合
	地面	200mm 混凝土	2.7		符合
通风设计方案	本项目 DSA 机房内均设置 1 个送风口和 1 个排风口，送风口和排风口分别位于机房门两侧的顶部设置。送风管道和排风管道分别通至医疗综合楼南北两侧的新风井和排风井，DSA 机房排风系统设计排风量约为 7200m ³ /h，产生的臭氧和氮氧化物最终排放至大气，常温下臭氧易分解为氧气，对环境影响较小。				
电缆沟设计方	每个机房均采用浅地沟的形式埋设电缆管线，浅地沟均以南北方向从非铅玻璃对				

案	应部位连至控制室。
注：1、混凝土密度不小于 2.35g/cm ³ ，铅板密度不小于 11.3g/cm ³ 。	
2、DSA：根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C，125kV 条件下 191mm 混凝土等效为 2.5mmPb。	

表 10-5 本项目 DSA 机房规格与标准对照分析表

机房名称	拟设置情况		标准要求		符合性评价
	最小单边长度 (m)	有效使用面积 (m ²)	最小单边长度 (m)	有效使用面积 (m ²)	
1#DSA 机房	6.9	55.9	3.5	20	符合
2#DSA 机房	7.5	60.7	3.5	20	符合
3#DSA 机房	7.2	54.0	3.5	20	符合
4#DSA 机房	7.2	53.3	3.5	20	符合

通过表10-4、表10-5可知，本项目的 DSA 机房面积、最小单边长度均大于标准要求，其四面墙体、顶棚、防护门以及观察窗的屏蔽厚度均高于有用线束和非有用线束铅当量防护厚度标准规定值。本项目 DSA 机房满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的相关机房屏蔽防护的技术要求。

10.1.4 辐射安全和防护及环保措施

10.1.4.1 放疗科

(1) 设备固有防护性能措施

①医用电子直线加速器固有防护性能

a、控制台上具有辐射类型、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。

b、条件显示联锁：加速器具有联锁装置，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，并当机房与控制台等均满足预选条件后，照射才能进行。

c、控制台上配置有独立于其它任何控制辐照终止系统的辐照控制计时器，当辐照终止后能保留计时器读数，计时器复零，才能启动下次辐照。

d、有控制超剂量的联锁装置，当剂量超过预选值时，可自动终止照射。

e、有剂量分布监测装置与辐照终止系统联锁，当剂量分布偏差超过预选值时，可自动终止辐照。

f、有全部安全联锁设施的检查装置，能保证所有安全联锁系统保持良好的运行状态。

g、有时间控制联锁，当预选照射时间已定时，定时器能独立地使照射停止。

②后装机固有防护性能

a、本项目 ¹⁹²Ir 治疗机机头贮源部位设置了两层重金属屏蔽体，里层为 3cm 厚的金

属钨，外层为 5cm 厚的金属铅，最外层为特制的防护钢壳，不易损坏。在储源状态下，后装机表面 100cm 处 γ 辐射剂量率满足《后装 γ 源近距离治疗质量控制检测规范》（WS 262-2017）中“工作贮源器内装载最大容许活度时，距离贮源器表面 100cm 处的球面上，任何一点的泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 $5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。同时机体张贴有醒目的电离辐射警告标识。

b、设有紧急回源装置，在任何紧急情况下（如供电系统中断）放射源可自动返回到贮源位（贮、照联锁、断电联锁），主机本身有贮电电源，计算机有 UPS 系统。

c、后装机设计有独特的放射源驱动装置（若遇到管道堵塞情况可自动回源）、强制回源装置以及手动回源装置，防止不易出现卡源问题。

d、后装机设计有仿真模拟运行，便于操作人员熟悉操作流程，同时在正常运行状态下，控制台显示器可以显示放射源的位置。

e、控制台设置有防止非工作人员操作的锁定开关，只有完成治疗准备后（已正确输入准直器号、治疗时间，机房门已关闭、联锁系统就位等），才能启动按钮开始治疗，如果未完成治疗准备，不能启动治疗按钮。

（2）辐射安全防护措施

①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。

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。防护门未完全关闭时加速器不能出束，加速器出束状态下防护门打开停止出束。

为保证病人治疗剂量准确，不致出现超剂量照射，系统设置了治疗剂量联锁、治疗时间联锁和治疗中旋转机架角度联锁。当治疗剂量、时间及治疗机头旋转角度其中之一到达设定值时，联锁装置会自动停止照射。

医用直线加速器的安全联锁逻辑图如图10-3。

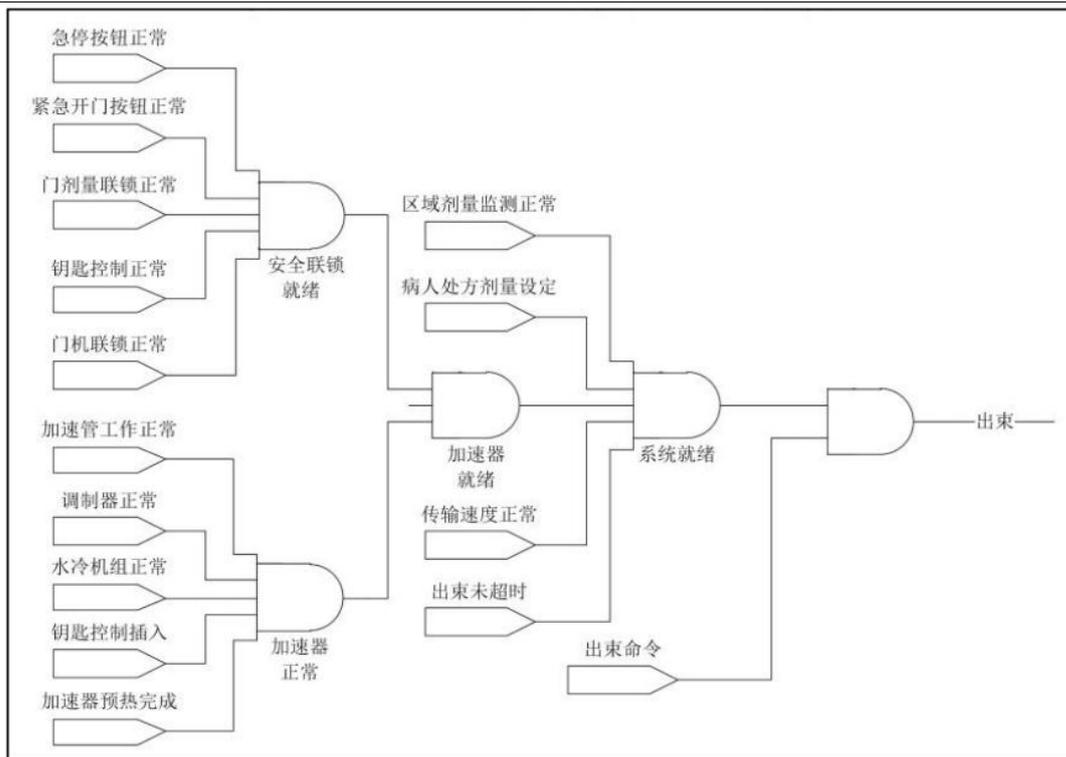


图 10-3 医用直线加速器的安全联锁逻辑图

③紧急停机开关：拟在控制室、治疗机房内关键部位墙面及迷道内墙面处分别安装紧急停机开关，并设置明显的标志，高度为 1.2m。当遇到意外情况，可不必穿越主射线束随时按动急停开关，切断设备电源，停止出束。急停开关一旦被触发后，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。

④电视监控及双向对讲系统：治疗室和控制室之间安装有监视器 3 个（迷道内 1 个，机房内 2 个）、对讲装置 1 套，控制室内能通过视频监视治疗室内患者的治疗情况，并通过对讲系统与室内人员联系，以便于医师在控制室观察患者在治疗室的状况、及时处理意外情况。视频监控数量和位置能实时、全方位观察治疗室及迷道内状况，可以保障治疗室内及迷道不留视频监控死角。

⑤开门按钮：治疗室迷道处人员易接触的位置装有紧急开门按钮，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。

⑥工作状态指示灯：机房防护门口醒目处均安装工作状态指示灯，并与设备工作状态联锁，工作状态指示灯能显示加速器工作状态。

⑦搭接：防护门为电动移门，为减少接缝处射线的泄漏，要求防护门两侧铅板搭接及防护门与墙缝隙搭接宽度大于门缝宽度10倍以上。

⑧在加速器工作场所配备1套固定式剂量监测系统，在迷道入口处设置固定式辐射

剂量监测仪探头（安装高度约1.5m），该监测系统能够显示机房内实时剂量及累积剂量，并有报警功能，只要迷道内的剂量超过预设的剂量阈值，就会报警，其显示单元设置在控制室内。

⑨放疗科机房控制室墙上张贴相应的岗位规章制度、操作规程。上墙制度包括《辐射安全管理规定》、《岗位职责》、《设备操作规程》、《辐射事故应急响应制度》，制度字体醒目，尺寸大小应不小于400mm×600mm。

⑩倒源、换源：倒装源与换源工作应由有相应能力且通过辐射安全考核的专业人员进行；应制定放射源倒装活动方案，对辐射监测与报警仪器的有效性、操作场所分区隔离设置、倒源屏蔽体搭建进行确认；倒装放射源时应对机房周围和含源设备表面进行辐射监测，关注倒源屏蔽体的辐射防护效果和含源设备的表面污染情况，做好安装和更换的放射源清点并记录；倒源结束后对含放射源的放射治疗设备、场所与周围环境进行辐射监测。

⑪加强放射工作人员的培训，并佩戴个人剂量计，进出机房佩戴个人剂量报警仪，做好放射源的监控与防盗。

⑫防护应急装备：后装机房建成投入使用后，医院拟在机房内配备一个铅储源容器、一个长柄镊子，后装机房防护门拟设置报警装置与当地公安“110”联网，管理上应做到双人双锁，确保其具备“防盗、防丢失、防破坏”的功能，同时还需设置红外监控录像设备，且录像保存时间在30天以上，拟设计为铅防盗门，钥匙由专人负责保管；日常由值班人员24小时监控。

⑬密码设置：后装机设置有密码，操作密码只有具体操作人员掌握，只有输入正确的密码后才可能进行操作和参数的修改等。

本项目放疗科机房的辐射安全设施布置示意图见附图8。

10.1.4.2 DSA 机房辐射安全防护措施

（1）设备固有防护性能

- ①设备出线口上应安装限束系统（如限束器、光阑等）。
- ②X射线管组件上应有清晰的焦点位置标示。
- ③X射线管组件上应标明固有滤过，所有附加滤过片均应标明其材料和厚度。
- ④随机文件应说明下列与防护有关的性能：
 - a) X射线管组件的固有滤过；
 - b) X射线源组件的滤过；

- c) 滤过片的特性;
- d) 距焦点100 cm远处球面上泄漏辐射的空气比释动能率;
- e) 限制有用线束的方法;
- f) 在焦点到影像接收器的各种距离下有用线束照射野尺寸;
- g) 焦点到影像接收面的最大和最小距离;
- h) 管电压和管电流加载条件;
- i) 各种使用条件下焦皮距的说明;
- j) 位于有用线束中床板和滤线栅对X射线束的衰减当量;
- k) X射线设备随机文件中应提供等剂量图,描述设备周围的杂散辐射的分布以及工作人员典型位置的杂散辐射值,便于工作人员选择防护方案;

⑤在随机文件中关于滤过的内容,应符合:

- a) 在正常使用中不可拆卸的滤过部件,应不小于0.5mmAl;
- b) 应用工具才能拆卸的滤片和固有滤过(不可拆卸的)的总滤过,应不小于1.5mmAl;
- c) X射线有用线束中的所有物质形成的等效总滤过,应不小于2.5mmAl。

⑥设备应满足其相应设备类型的防护性能专用要求。

⑦设备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。

⑧设备应配备能阻止使用焦皮距小于20cm的装置。

⑨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。

本项目 DSA 设备拟购买于正规厂家,设备各项安全措施齐备,均能满足以上要求。

(2) 辐射安全防护措施

a、本项目拟合理设置DSA机房的门、窗和管线口位置,避免有用线束直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。

b、机房门外拟设电离辐射警告标志;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。

c、工作人员防护门为平开机房门,设置有自动闭门装置;患者防护门为电动推拉门,拟设置防夹装置;拟设置工作状态指示灯(术中灯和射线装置工作指示灯),灯与门有效关联。

d、候诊区拟设置放射防护注意事项告知栏，警告无关人员请勿靠近；机房患者防护门外拟设置黄色警戒线，警告无关人员请勿靠近；手术期间，陪护人员禁止进入监督区域和控制区域。

e、DSA 机房诊疗床、关键墙面及控制室控制台处各设计有 1 个急停按钮，DSA 出束过程中，一旦出现异常，按动任一个急停按钮，均可停止 X 射线出束，并在急停按钮旁设置醒目的中文提示。

f、DSA 机房内将安装 1 套监控和对讲系统，可实时监控 DSA 机房内情况且操作间的工作人员通过对讲机与 DSA 机房内的手术人员联系；

g、控制室墙上拟张贴相应的辐射工作制度、操作规程、岗位职责、应急响应程序等。

h、建议每位手术医生、护士配备 2 枚个人剂量计，技师配备 1 枚个人剂量计。DSA 医护人员需要在铅围裙外锁骨对应的领口位置佩戴剂量计，在铅围裙内躯干上再佩戴另一个剂量计，内外两个剂量计应有明显标记，防止剂量计戴反。每个季度及时对剂量计送检，建立个人剂量健康档案，并长期保存。

i、DSA 机房内不应堆放与设备诊断无关的杂物，物品摆放有序，保持机房内卫生整洁。

j、DSA 机房拟配置 1 台环境辐射巡测仪，每季度对防护门外、门缝、控制室、各侧屏蔽墙外 30cm 处、顶棚上方、下层医工科库房及评价范围内的关注点位进行监测，并将监测结果记录存档。

k、本项目单台 DSA 装置拟配备防护用品见表 10-6。

表 10-6 本项目单台 DSA 装置拟配备防护用品与标准对照表

机房名称	人员类型	《放射诊断放射防护要求》 (GBZ130-2020) 要求		本项目拟配置情况		是否符合要求
		个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施	
DSA 机房	工作人员	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套 选配：铅橡胶帽子	铅悬挂防护屏/铅防护吊帘、床侧防护帘/床侧防护屏 选配：移动铅防护屏风	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜、铅手套，各3套	铅悬挂防护屏、铅防护吊帘、床侧防护帘，各1件	符合
	患者	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	-	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套成人儿童各1套	-	符合

注：防护手套不小于 0.025mmPb；铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜铅当量不小于 0.5mmPb；铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾铅当量不小于 0.5mmPb；儿童防护用品铅当

量不小于 0.5mmPb；铅悬挂防护屏、铅防护帘、床侧防护帘铅当量不小于 0.5mmPb。

本项目 DSA 机房的辐射安全设施布置示意图见附图 14。

10.1.4.3 辐射安全管理措施

a、本项目放疗科辐射工作人员上岗前均应及时参加国家核技术利用项目辐射安全与防护培训平台的辐射防护与安全培训或放射卫生的培训，经考核合格后方可上岗，并按时接受再培训。

b、操作人员拟定期检查加速器和后装机的安全联锁、紧急停机按钮、钥匙开关、通风换气装置、剂量监测装置与警示标志等，确认其处于正常状态。

c、加速器和后装机操作、安装调试和检修维护人员在工作过程中，应按要求配戴个人剂量计和携带个人剂量报警仪。进行加速器设备与后装机的调试和维修期间，本项目辐射工作人员需将设备的控制权暂时移交给设备厂家工作人员，不参与设备的控制与维修，防止维修期间在加速器机房误照射。加速器试用、调试、检修期间，控制室须有工作人员值守，在出束的情况下严禁调试、检修人员滞留在控制区。

d、后装机控制室内配备铅衣、铅帽、铅防护眼镜、铅手套等应急防护用品，以备在需要人工手动回源时，工作人员穿戴；废源暂存于机房内 25mmPb 的保险柜内。

e、机房出入口门外应设置黄色警戒线，在监督区、控制区墙体合适位置张贴监督区、控制区警示标识，告诫无关人员勿靠近。

f、后装机尽可能在源强最大负荷时开展竣工环境保护验收工作，并做好后装机每次换源的档案管理工作，并与供源方明确各自的安全职责。

g、本项目放疗科拟配备 1 台辐射巡测仪、1 台中子剂量当量率仪、15 支个人剂量计和 6 台个人剂量报警仪，能够满足相关辐射防护相关要求。

10.2 三废的治理

10.2.1 放疗科

(1) 放射性固废

加速器靶再更换或者退役时，需按放射性固体废物处理，拆卸后先放入机房的铅桶内进行衰变暂存，保证铅桶表面剂量率为正常本底水平，最终交于有资质的单位收贮。

本项目后装机运行过程中会产生 3 枚/a 退役的 ^{192}Ir 放射源，退役的 ^{192}Ir 放射源拟与厂家签订回收协议。拟采用的处置措施符合相关环保要求。根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第三十八条规定执行：使用 I 类、II 类、III 类放射源的单位应当按照废旧放射源返回合同规定，在放射源闲置或者废弃后 3 个月内将废旧放射源交回

生产单位或者返回原出口方。确实无法交回生产单位或者返回原出口方的，送交有相应资质的放射性废物集中贮存单位贮存。使用放射源的单位应当在废旧放射源交回、返回或者送交活动完成之日起 20 日内，向其所在地省级生态环境主管部门备案。

因此，本项目废 ^{192}Ir 放射源将交回生产单位，并在送交活动结束后 20 日内到浙江省生态环境厅备案。如确实无法交回生产单位，应送交有相应资质的放射性废物集中贮存单位贮存。

(2) 非放射性废气

本项目放疗科内直线加速器机房、后装机房仅射线与空气发生电离作用下，会产生臭氧和氮氧化物等有害气体。本项目放疗科机房均设计有排风口和新风口。直线加速器机房于东侧对角设有 2 个机械排风口，于西侧中部设有 1 个新风口；后装机房分别于北侧设有 1 个机械排风口，于南侧设有 1 个新风口。放疗科排风系统总排风量可达 18000 m^3/h ，放疗科机房总容积约为 2065 m^3 ，通风次数分别可以达到 8.7 次/h。放疗科产生废气经排风管道通至排风井，最终气体排入大气，排气口位于地面上方草坪，且排放口风管端口进行了防雨、防鸟、防虫设计。

10.2.2 DSA 机房

本项目 DSA 机房运行时，无放射性固废、放射性废水和放射性气体产生，仅当射线与空气发生电离作用下，会产生少量臭氧和氮氧化物。本项目 DSA 机房设计机械排风口，排风量最大可达 7200 m^3/h 。本项目 1#至 4#DSA 机房容积分别约为 285 m^3 、310 m^3 、275 m^3 、271 m^3 ，通风次数分别可以达到 25 次/h、23 次/h、26 次/h、26 次/h。臭氧和氮氧化物等有害气体经排风管道至医疗综合楼东北侧的排风井排入室外大气，由医疗综合楼东南侧的新风机房输送新鲜空气进入 DSA 机房以保持机房内空气的流通。臭氧通常在常温下 20-50 分钟可自行分解为氧气，对环境影响较小。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

11.1.1 土建施工阶段

本次施工期主要评价内容为：墙体砌筑、防护装修施工及设备安装调试的环境影响，施工期污染防治措施主要包括：

(1) 扬尘

由于本项目施工期工程量较小，产生扬尘量较小。建设单位应加强施工场地管理，施工采取湿法作业，尽量降低建筑粉尘对周围环境的影响，现场堆积建筑垃圾应采取一定的遮盖措施，避免风力扬尘。

(2) 噪声

施工设备应考虑选择低噪音设备，施工过程防止机械噪声的超标。

(3) 废水

施工期产生的废水主要为施工人员的生活污水，生活污水产量较小，可依托临建化粪池等生活污水处理设施处理后纳入市政污水管网，不得随意排放。

(4) 固体废物

装修过程中产生的装修垃圾堆放在住建部门指定的地点，严禁随意堆放和倾倒。施工人员产生的生活垃圾可依托市政垃圾收运系统收集处理。

(5) 臭氧和氮氧化物

设备调试阶段产生的废气主要为少量臭氧和氮氧化物。因设备调试时间短，并仅在放疗科和 DSA 机房内进行，放疗科和 DSA 机房均设有机械排风系统。

(6) X 射线

本项目直线加速器、后装机和 DSA 的安装与调试应请设备厂家专业人员进行，建设单位不得自行安装及调试设备；在设备安装调试阶段，应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在放疗科直加机房、后装机房和 DSA 机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近，防止辐射事故的发生。

11.1.2 设备安装阶段

由于设备的安装和调试均在放疗科和 DSA 机房内进行，经过墙体和防护门的屏蔽和距离衰减后对环境的影响是可以接受的。设备安装完成后，建设单位需及时回收包装材料及其它固体废物作为一般固体废物进行处置，不得随意丢弃。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 放疗科

11.2.1.1 直线加速器主屏蔽区宽度校核

由《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），可知有用线束主屏蔽区的宽度为：

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

式中：

Y_p ——机房有用束主屏蔽区的宽度，m；

SAD——源轴距，m；

θ ——治疗束的最大张角（相对束中的轴线）；

a ——等中心点至“墙”的距离，m。当主屏蔽区向机房内凸时，“墙”指与主屏蔽墙相连接的次屏蔽墙（或顶）的内表面；当主屏蔽区向机房外凸时，“墙”指主屏蔽区墙（或顶）的外表面，本项目 1#直加机房北侧主屏蔽墙为内凸，南侧和顶棚主屏蔽墙为外凸。

本项目放疗科直线加速器机房主屏蔽区宽度设计核算结果见表 11-1。

表 11-1 直线加速器机房主屏蔽区宽度计算表

设备	主屏蔽体	a (cm)	SAD(cm)	θ (°)	主屏蔽区宽度计算值 (cm)	宽度设计值 (cm)	结论
1 号加速器机房	北墙（内凸）	382	100	14	241	450	满足
	南墙（外凸）	682	100	14	391	450	满足
	顶棚（外凸）	670	100	14	385	450	满足
2 号加速器机房	北墙（内凸）	400	100	14	250	450	满足
	南墙（外凸）	700	100	14	400	450	满足
	顶棚（外凸）	670	100	14	385	450	满足

备注：由于本项目加速器机房位于 1 层，无地下层，所以地面的防护不予考虑。

由计算结果可知，本项目直加机房主屏蔽区宽度设计均符合要求。设备厂家和建设单位在进行直线加速器安装时，必须严格按照设备等中心既定的位置进行安装，即主射束为北侧、南侧、地面及屋顶，杜绝安装后主射方向超出屏蔽范围的情况出现。

11.2.1.2 直线加速器 X 射线与后装机 γ 射线辐射剂量率预测

(1) 关注点位选取

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的要求，在本项目直线加速器机房和后装机外表面 30cm 处，人员受照的剂量当量可能最大的位置设定关注点对机房的屏蔽体进行核算，放疗科机房关注点位见图 11-1、图 11-2 和图 11-3。

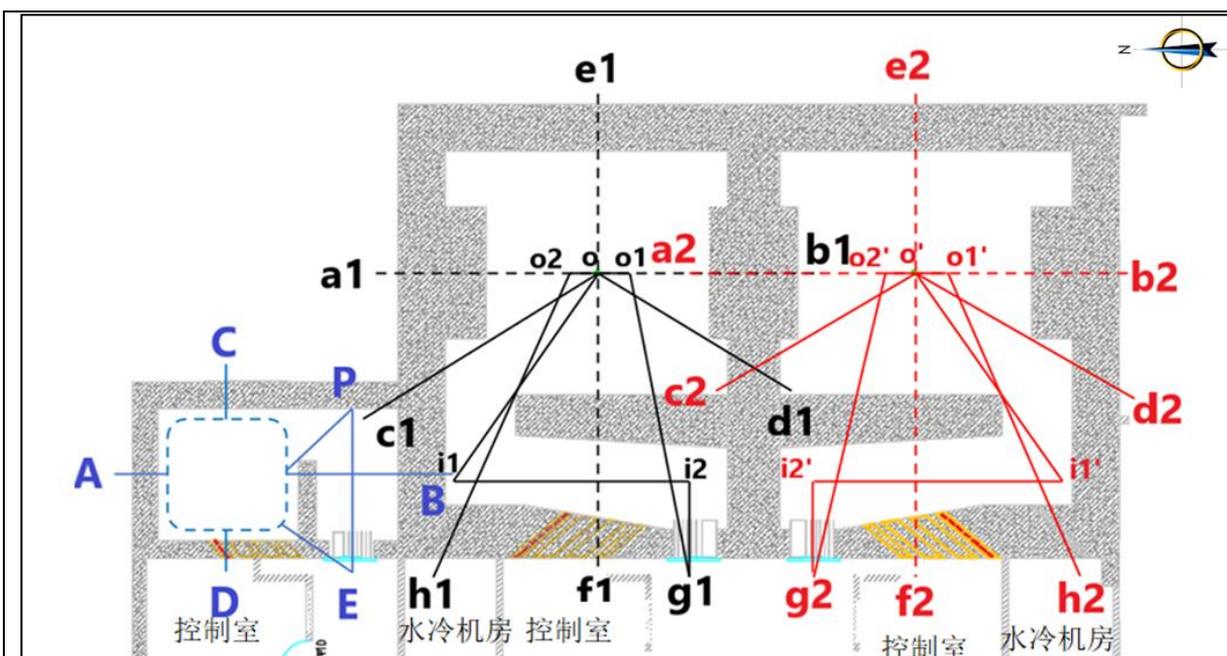


图 11-1 放疗科机房（平面布局）关注点和主要照射路径

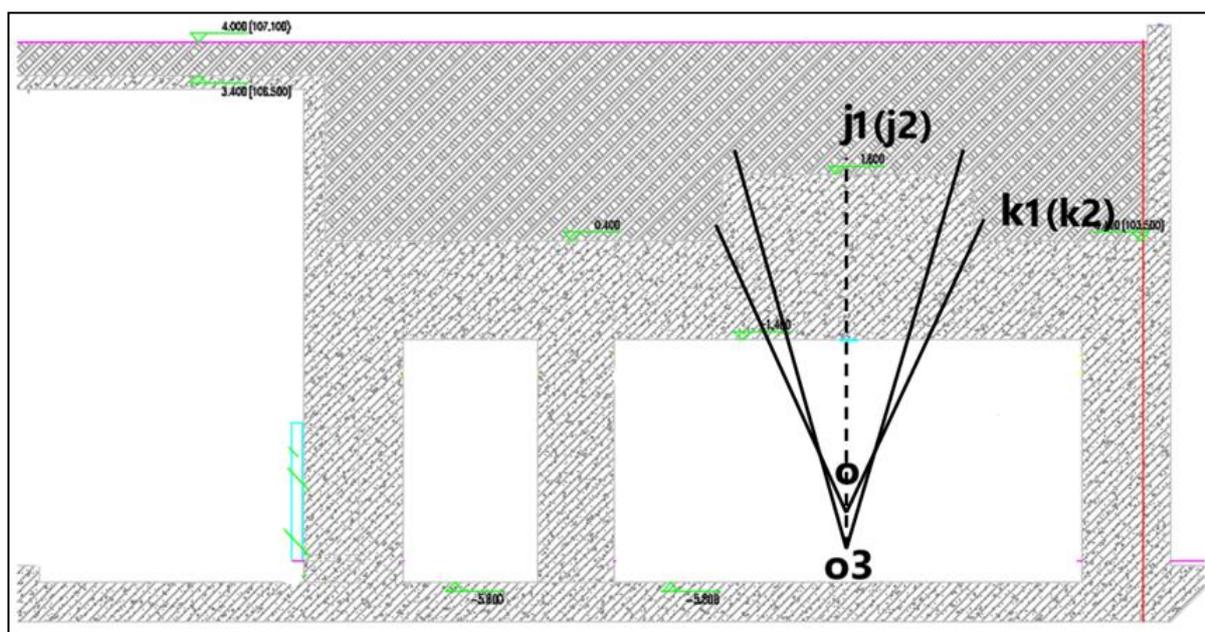


图11-2 直加机房（东西剖面）关注点和主要照射路径

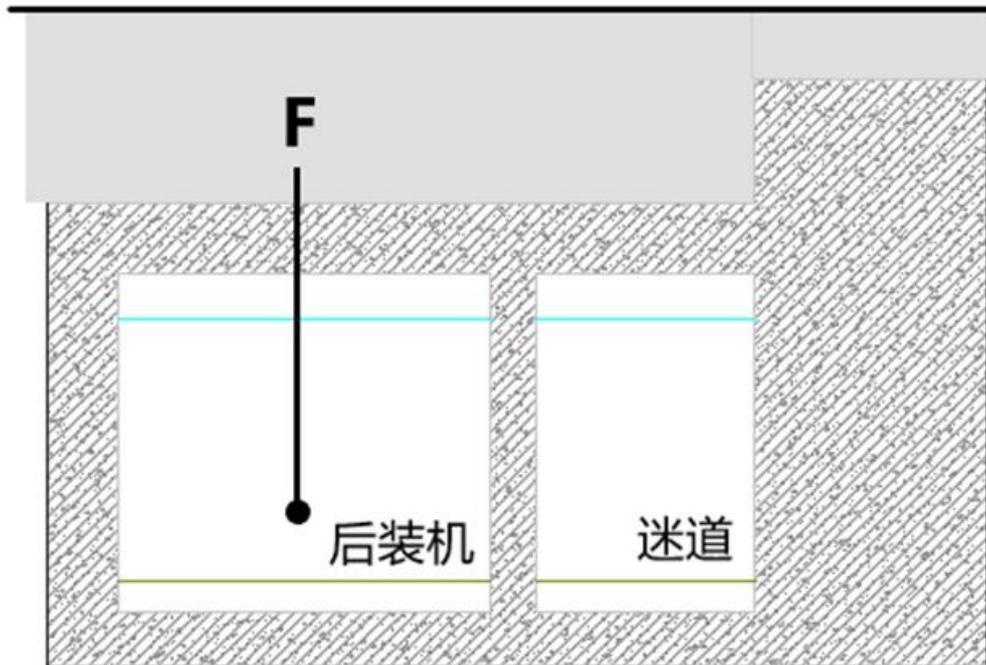


图11-3 后装机房（南北剖面）关注点和主要照射路径

放疗科机房关注点位见表 11-2。

表 11-2 加速器机房各关注点一览表

序号	关注点位	点位描述	居留因子	备注
1#直加机房				
1	a1	北墙主屏蔽区外 30cm 处，土质层	1/40	偶然居留
2	b1	南墙主屏蔽区外 30cm 处，2#直加机房	1/2	部分居留
3	c1	北墙次屏蔽区与主屏蔽区连接处外 30cm 处，后装机房	1/2	部分居留
4	d1	南墙外 30cm 处，2#直加机房	1/2	部分居留
5	e1	东墙外 30cm 处，土质层	1/40	偶然居留
6	f1	西墙外 30cm 处，控制室	1	全居留
7	g1	1#直加机房防护门外 30cm 处，过道	1/8	偶然居留
8	h1	迷道外墙外 30cm 处，水冷机房	1/16	偶然居留
9	j1	机房顶棚（次屏蔽区）30cm 处，地面室外绿化带	1/16	偶然居留
10	k1	机房顶棚（主屏蔽区）30cm 处，地面室外绿化带	1/16	偶然居留
2#直加机房				
1	a2	北墙主屏蔽区外 30cm 处，1#直加机房	1/2	部分居留
2	b2	南墙主屏蔽区外 30cm 处，排烟机房	1/16	偶然居留
3	c2	北墙次屏蔽区与主屏蔽区连接处外 30cm 处，1#直加机	1/2	部分居留

		房		
4	d2	南墙外 30cm 处, CT 模拟定位机房控制室	1	部分居留
5	e2	东墙外 30cm 处, 土质层	1/40	无人居留
6	f2	西墙外 30cm 处, 控制室	1	全居留
7	g2	2#直加机房防护门外 30cm 处, 过道	1/8	偶然居留
8	h2	迷道外墙外 30cm 处, 水冷机房	1/16	偶然居留
9	j2	机房顶棚 (次屏蔽区) 30cm 处, 地面室外绿化带	1/16	偶然居留
10	k2	机房顶棚 (主屏蔽区) 30cm 处, 地面室外绿化带	1/16	偶然居留
后装机房				
1	A	北墙外 30cm 处, 土质层	1/40	无人居留
2	B	南迷道墙外 30cm 处, 1#直加机房	1/2	部分居留
3	C	东墙外 30cm 处, 土质层	1/40	无人居留
4	D	西墙外 30cm 处, 控制室	1	全居留
5	E	后装机房防护门外 30cm 处, 过道	1/8	偶然居留
6	F	后装机房顶棚外 30cm 处	1/16	偶然居留
注: 关注点位 a1、e1、e2、A、C 处为土质层, 属于无人到达区域, 居留因子保守按偶然停留 1/40 考虑, 此处设剂量关注点, 仅为验证直线加速器机房北墙主屏蔽、主次连接外 30cm 处, 东墙外 30cm 处以及后装机房北侧和东侧墙体剂量是否达标。				

(2) 导出剂量率控制水平

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021), 可知关注点的导出剂量率控制水平为:

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (t \cdot U \cdot T) \dots \dots \dots \text{(式 11-2)}$$

式中:

H_c : 周参考剂量控制水平 ($\mu\text{Sv}/\text{周}$),

t: 治疗装置周治疗照射时间, h;

U: 有用线束向关注位置的方向照射的使用因子;

T: 人员在相应关注点驻留的居留因子。

上述导出的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ 与按人员居留因子确定的关注点剂量率参考控制水平:

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

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

放疗机房各关注点剂量率控制水平见表 11-3。

表 11-3 放疗机房各关注点剂量率控制水平

关注点	辐射类型	居留因子 (T)	使用因子 (U)	周治疗照射时间 (t)	H_c ($\mu\text{Sv}/\text{周}$)	$H_{c,d}$ 计算值 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	$H_{c,max}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	\dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) 最终取值
a1	有用	1/40	1	5.0	5.0	40	10.0	10
b1	有用	1/2	1	5.0	5.0	2.0	10.0	2.0
c1	复合	1/2	1	5.0	5.0	2.0	10.0	2.0
d1	复合	1/2	1	5.0	5.0	2.0	10.0	2.0
e1	泄漏	1/40	1	5.0	5.0	40	10.0	10
f1	泄漏	1	1	5.0	100	20	2.5	2.5
g1	复合	1/8	1	5.0	5.0	8.0	10.0	8.0
h1	泄漏	1/16	1	5.0	5.0	16	10.0	10
j1	有用	1/16	1	5.0	5.0	16	10.0	10
k1	复合	1/16	1	5.0	5.0	16	10.0	10
a2	有用	1/2	1	5.0	5.0	2.0	10.0	2.0
b2	有用	1/16	1	5.0	5.0	16.0	10.0	10
c2	复合	1/2	1	5.0	5.0	2.0	10.0	2.0
d2	复合	1/2	1	5.0	5.0	2.0	10.0	2.0
e2	泄漏	1/40	1	5.0	5.0	40	10.0	10
f2	泄漏	1	1	5.0	100	20	2.5	2.5
g2	复合	1/8	1	5.0	5.0	8.0	10.0	8.0
h2	泄漏	1/16	1	5.0	5.0	16	10.0	10
j2	有用	1/16	1	5.0	5.0	16	10.0	10
k2	复合	1/16	1	5.0	5.0	16	10.0	10
A	有用	1/40	1	3.0	5.0	67	10.0	10
B	有用	1/2	1	3.0	5.0	3.3	10.0	3.3
C	有用	1/40	1	3.0	5.0	66.7	10.0	10
D	有用	1	1	3.0	100	33.4	2.5	2.5
E	有用	1/8	1	3.0	5.0	13.3	10.0	10
F	有用	1/16	1	3.0	5.0	26.7	10.0	10

(3) 放疗机房各侧墙体外关注点剂量率估算

本项目后装机使用的放射源为 ^{192}Ir ，根据 GBZ/T201.3-2014 附录 C 中表 C.1，可知
 ① $H_0=A \times K_r=41070\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，(活度 A 为 370GBq， K_r 为 $0.111\mu\text{Sv}/(\text{MBq h})$)；② ^{192}Ir 在混凝土中 TVL 为 152mm。

①加速器有用线束和泄漏辐射的剂量率估算

由《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)，首先计算得出有效厚度 X_e 为：

$$X_e = X \cdot \sec \theta \dots\dots\dots (\text{式 } 11-4)$$

式中：

X_e ：射线束在斜射路径上的有效屏蔽厚度，cm；

X ：屏蔽墙体厚度，cm；

θ : 入射角夹角。

接着估算得出屏蔽物质的屏蔽透射因子 B 为:

$$B = 10^{-(X_e+TVL-TV L_1)/TVL} \dots\dots\dots \text{(式 11-5)}$$

式中:

TVL_l (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。具体数值可查《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分: 电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011) 中表 B.1。

最后计算可知相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$) 为:

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

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 1m 处的最高剂量率, $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$, 本项目 15MV 直线加速器为 $1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ 。

f : 泄漏辐射比率。对有用线束为 1, 泄漏辐射为 0.001。

R : 辐射源点(靶点)至关注点的距离, m;

B : 屏蔽物质的屏蔽透射因子。

②加速器患者一次散射辐射的剂量率估算

由《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), 可知患者一次散射辐射的剂量率为:

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot a_{ph} \cdot F/400}{R_s^2} \cdot B \dots\dots\dots \text{(式 11-7)}$$

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 1m 处的最高剂量率, $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$, 本项目 15MV 直线加速器为 $1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ 。

a_{ph} : 患者 400cm^2 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m (关注点方向) 处的剂量比例, 又称 400cm^2 面积上的散射因子; 根据 GBZ/T201.2-2011 附录表 B.2, 15MV 加速器保守取值 $a_{ph}=3.18 \times 10^{-3}$ 。

F : 治疗装置有用线束在等中心处的最大治疗野面积, cm^2 ; 本项目直线加速器为 $40\text{cm} \times 40\text{cm}$ 。

R_s : 患者(位于等中心点)至关注点的距离, m;

B : 屏蔽物质的屏蔽透射因子。

③后装机初级辐射的影响预测

根据 GBZ/T201.3-2014, 在给定屏蔽物质厚度 X (mm) 时, 按 (式 11-8) 计算有效厚度 X_e (mm), 按 (式 11-9) 计算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B , 再按 (式 11-10) 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 H ($\mu\text{Sv/h}$)。

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

式中:

X_e : 有效屏蔽厚度, cm;

X : 屏蔽厚度, cm;

θ : 斜射角, 即入射线与屏蔽物质平面的法线的夹角。

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \quad (\text{式 11-9})$$

式中:

B : 辐射屏蔽透射因子;

X_e : 有效屏蔽厚度, mm;

TVL : 辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚, mm。查 GBZ/T201.3-2014 表 C.1^{192Ir} 在混凝土中 TVL 为 152mm, 在铅中为 16mm;

TVL_1 : 辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度, mm。当未指明 TVL_1 时, $TVL_1 = TVL$ 。

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

式中:

\dot{H} : 关注点剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

\dot{H}_0 : 前述计算为 $41070 \mu\text{Sv/h}$;

R : 辐射源至关注点的距离, m;

f : 对有用线束为 1。

④后装机迷道口散射辐射的影响预测

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分: γ 射线源放射治疗机房》(GBZ/T201.3-2014) 中对后装治疗机房迷道口散射辐射屏蔽计算方法, 迷道入口处的散射辐射剂量率采用式 11-11 计算。

$$H_{\text{散}} = \frac{A \cdot K_{\gamma} \cdot S_w \cdot \alpha_w}{R_1^2 \cdot R_2^2} \quad (\text{式 11-11})$$

式中：

$H_{\text{散}}$ ：散射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$A \cdot K_{\gamma}$ ：根据前述计算取值 $41070\mu\text{Sv/h}$ ；

S_w ：迷路内口墙的散射面积，其为辐射源和机房入口迷道可视总边长 $5.0\text{m} \times$ 迷道净高 $4.0\text{m} = 20\text{m}^2$ ；

α_w ：散射体的散射因子； ^{192}Ir 45° 入射辐射和 0° 反散射的散射因子，保守取 0.25MeV 的散射因子，查 GBZ/T201.3-2014 中表 C.4 可知 $\alpha_w = 3.39 \times 10^{-2}$ ；

R_1 ：辐射源至散射点的距离，m；本项目为 5.0m 。

R_2 ：散射点至机房入口的距离，m。本项目为 5.0m 。

⑤后装机防护门外辐射剂量率

经防护门屏蔽后，防护门外的辐射剂量率利用公式 11-12 计算。

$$\dot{H}_c = H_{\text{散}} \times 10^{-(X/TVL)} + H_o \quad (\text{式 11-12})$$

X ：防护门铅板厚度，mm；本项目后装机房为 10mmPb ；

TVL ：辐射线屏蔽物质中的平衡什值层厚度，mm；铅取 5mm ；

$H_{\text{散}}$ ：防护门前 G 点的散射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_o ：初级辐射直接透过迷道内墙到到达迷道口的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ 。

由上述公式可以计算出放疗机房各侧墙体外关注点剂量率水平，见表 11-4。

表 11-4 加速器机房各侧墙体外关注点剂量率估算结果表

关注点	点位描述	TVL (cm)	TVL ₁ (cm)	R 或 R _s (m)	θ (°)	f	\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	设计厚度 (cm 砼)	屏蔽透射因子 B	有用线束或漏射剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	散射剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	总剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	导出剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	符合性评价
1#直加机房														
a1	北墙主屏蔽区外 30cm 处	41	44	8.125	0	1	1.44×10^9	300	5.70×10^{-8}	1.24	/	1.24	10	符合
b1	南墙主屏蔽区外 30cm 处	41	44	8.125	0	1	1.44×10^9	300	5.70×10^{-8}	1.24	/	1.24	2.0	符合
c1	北墙次屏蔽区外 30cm 处	33	36	9.5	30	0.001	1.44×10^9	160	3.10×10^{-6}	4.94×10^{-2}	/	2.71×10^{-1}	2.0	符合
		31	31			/			/	2.22×10^{-1}				
d1	南墙次屏蔽区外 30cm 处	33	36	7.5	30	0.001	1.44×10^9	180	6.22×10^{-7}	1.59×10^{-2}	/	8.04×10^{-2}	2.0	符合
		31	31			/			/	6.45×10^{-2}				
e1	东墙外屏蔽区外 30cm 处	33	36	6.1	0	0.001	1.44×10^9	160	1.75×10^{-5}	6.76×10^{-1}	/	6.76×10^{-1}	10	符合
f1	西侧迷道外墙 30cm 处	33	36	10.1	0	0.001	1.44×10^9	155.6+ 138.4	1.52×10^{-9}	2.15×10^{-5}	/	2.15×10^{-5}	2.5	符合
h1	西侧迷道外墙 30cm 处	33	36	12.1	30	0.001	1.44×10^9	180	6.20×10^{-7}	6.10×10^{-3}	/	6.10×10^{-3}	10	符合
j1	顶棚主屏蔽区外	41	44	7.1	0	1	1.44×10^9	300	5.70×10^{-8}	1.63	/	1.63	10	符合

	30cm 处													
k1	顶棚次屏蔽区外	33	36	6.4	30	0.001	1.44×10^9	180	6.20×10^{-7}	2.18×10^{-2}	/	1.10×10^{-1}	10	符合
	30cm 处	31	31			/			1.98×10^{-7}	/	8.83×10^{-2}			
2#直加机房														
a2	北墙主屏蔽区外 30cm 处	41	44	8.3	0	1	1.44×10^9	300	5.70×10^{-8}	1.19	/	1.19	2.0	符合
b2	南墙主屏蔽区外 30cm 处	41	44	8.3	0	1	1.44×10^9	300	5.70×10^{-8}	1.19	/	1.19	10	符合
c2	北墙次屏蔽区外	33	36	7.7	30	0.001	1.44×10^9	180	6.22×10^{-7}	1.51×10^{-2}	/	7.61×10^{-2}	2.0	符合
	30cm 处	31	31			/			1.98×10^{-7}	/	6.10×10^{-2}			
d2	南墙次屏蔽区外	33	36	8.4	30	0.001	1.44×10^9	160	3.10×10^{-6}	6.34×10^{-2}	/	3.48×10^{-1}	2.0	符合
	30cm 处	31	31			/			1.09×10^{-6}	/	2.85×10^{-1}			
e2	东墙屏蔽区外 30cm 处	33	36	6.1	0	0.001	1.44×10^9	160	1.75×10^{-5}	6.76×10^{-1}	/	6.76×10^{-1}	10	符合
f2	西侧迷道外墙 30cm 处	33	36	10.1	0	0.001	1.44×10^9	155.6+ 138.4	1.52×10^{-9}	2.15×10^{-5}	/	2.15×10^{-5}	2.5	符合

h2	西侧迷道外墙 30cm 处	33	36	12.1	30	0.001	1.44×10^9	180	6.20×10^{-7}	6.10×10^{-3}	/	6.10×10^{-3}	10	符合
j2	顶棚主屏蔽区外 30cm 处	41	44	7.1	0	1	1.44×10^9	300	5.70×10^{-8}	1.63	/	1.63	10	符合
k2	顶棚次屏蔽区外 30cm 处	33	36	6.4	30	0.001	1.44×10^9	180	6.20×10^{-7}	2.18×10^{-2}	/	1.10×10^{-1}	10	符合
		31	31			/			1.98×10^{-7}	/	8.83×10^{-2}			
后装机房														
A	北墙外 30cm 处	15.2	15.2	2.7	0	1	41070	90	1.20×10^{-6}	6.76×10^{-3}	/	6.76×10^{-3}	10	符合
B	南墙外 30cm 处	15.2	15.2	3.4	0	1	41070	180	2.98×10^{-11}	1.06×10^{-7}	/	1.06×10^{-7}	3.3	符合
C	东墙外 30cm 处	15.2	15.2	2.7	0	1	41070	60	1.13×10^{-4}	8.05×10^{-1}	/	6.76×10^{-3}	10	符合
D	西墙外 30cm 处	15.2	15.2	2.4	0	1	41070	90	1.20×10^{-6}	6.76×10^{-3}	/	8.05×10^{-1}	2.5	符合
E	机房防护门外 30cm 处	15.2	15.2	3.0	0	1	41070	60	1.13×10^{-4}	0.07		0.51	10	符合
		5mm 铅	5mm 铅	/	/	/	41070	10mm 铅	1.00×10^{-2}	防护门前 $H_{\text{散}} 44 \mu\text{Sv/h}$ 防护门后 $H_{\text{散}} 0.44 \mu\text{Sv/h}$				
F	顶棚外 30cm 处	15.2	15.2	2.7	0	1	41070	90	1.20×10^{-6}	6.76×10^{-3}	/	6.76×10^{-3}	10	符合

(4) 加速器机房防护门外剂量率计算

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) 4.3.2.6, 对于大于 10MV 加速器的机房, 迷道入口需考虑下列辐射: (a):图 11-1 的 g 点, 应估算三项中子(加座器机头外的杂散中子、杂散中子在机房内壁的散射中子和相互作用中生成的热中子)在迷道内的散射中子和中子俘获 γ 射线在 H 处的辐射剂量。(b):除(a)外, 还应按 4.3.2.5.1(b)核算至 g 处的辐射剂量, 注意到 4.3.2.5.1(a)的散射辐射能量相对中子俘获 γ 射线能量较低, 在防护中子俘获 γ 射线的屏蔽门外, 此部分剂量往往是可以忽略的。

因此, 本项目 15MV 医用直线加速器迷道入口需考虑漏射线和散射中子和中子俘获 γ 射线在 g 处的辐射剂量。

A、散射中子和中子俘获 γ 射线在 g 处的辐射剂量计算公式

a、总中子注量 (Φ_B)

迷道的中子散射路径为“O-i1-i2-g”。在 B 点的总中子注量 Φ_B 为:

$$\Phi_B = 0.85 \cdot \frac{Q_n}{4\pi d_1^2} + 0.85 \cdot \frac{5.4Q_n}{2\pi S} + \frac{1.26Q_n}{2\pi S} \dots\dots\dots \text{(式 11-13)}$$

式中:

Φ_B : 等中心处 1Gy 照射时 B 处的总中子注量, (中子数/m²)/Gy;

0.85: 对于钨屏蔽的加速器机头的衰减因子;

Q_n : 等中心处每 1Gy 照射时加速器机头发射出的总中子数, 参照 NCRP NO.151 表 B.9, 保守取 7.6×10^{11} ;

d_1 : 等中心 O 至 i1 的距离, m; (i1 点为从等中心点与迷道内墙端的连线和迷道长轴中心线的交点), m, d_1 经计算 1#直加机房约为 8.4m, 2#直加机房约为 8.6m。

S: 机房的总内表面积 (m²), 包括四壁墙、顶面和地面, 不包括迷道内各面积。本项目 1#直加机房约为 294.92m², 2#直加机房约为 303.6 m²。

b、机房入口处中子俘获 γ 射线剂量率 (\dot{H}_γ)

机房内及迷道内的中子与屏蔽物质作用时产生中子俘获 γ 射线, 机房入口门外 30cm (g 点) 处无防护门时的中子俘获 γ 射线的剂量率 \dot{H}_γ 为:

$$\dot{H}_\gamma = 6.9 \times 10^{-16} \cdot \Phi_B \cdot 10^{-d_2/\text{TVD}} \cdot \dot{H}_0 \dots\dots\dots \text{(式 11-14)}$$

式中:

6.9×10^{-16} : 该方法中的经验因子, Sv/ (中子数/m²);

d_2 : i1 点至 i2 至机房入口 g 点的距离, m, d_2 经计算 1#直加机房约为 11.1m, 2#直加机房约为 11.6m;

TVD: 将 γ 辐射剂量减至其十分之一的距离 (称为什值距离), 对于 15MV 医用直线加速器为 3.9m;

\dot{H}_0 : 等中心点处 X 射线剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$), 依据 GBZ/T201.1 的 4.8.3, 屏蔽计算中可视为 $\mu\text{Sv/h}$ 。

对于二阶迷道在式 (11-14) 中, \dot{H}_γ 为式 (11-14) 的 1/3。

c、机房入口的中子剂量率 (\dot{H}_n)

机房内的中子经迷道散射后在机房入口门外 30cm (g 点) 处无防护门时的剂量率 \dot{H}_n 为:

$$\dot{H}_n = 2.4 \times 10^{-15} \cdot \Phi_B \cdot \sqrt{\frac{S_0}{S_1}} \cdot [1.64 \times 10^{-(d_2/1.9)} + 10^{-(d/T_n)}] \cdot \dot{H}_0 \dots \dots \text{(式 11-15)}$$

式中:

2.4×10^{-15} : 该计算方法中的经验因子, Sv/ (中子数/m²);

S_0 : 迷道内口的面积; 经计算 1#直加机房约为 3.36m², 2#直加机房约为 3.36m²。

S_1 : 迷道横截面积; 经计算 1#直加机房约为 10.5m², 2#直加机房约为 10.3m²。

d_2 : i1 点至 i2 至机房入口 g 点的距离, m, d_2 经计算 1#直加机房约为 11.1m, 2#直加机房约为 11.6m;

T_n : 迷道中能量相对高的中子剂量衰减至十分之一行径的距离 (m), 称为什值距离。 T_n 是一个经验值, 与迷道横截面积有关, T_n 按下式计算: $T_n = 2.06\sqrt{S_1}$ 。

B、防护门外总中子剂量率计算公式

$$\dot{H} = \dot{H}_\gamma \cdot 10^{-\left(\frac{X_\gamma}{\text{TVL}_\gamma}\right)} + \dot{H}_n \cdot 10^{-\left(\frac{X_n}{\text{TVL}_n}\right)} \dots \dots \text{(式 11-16)}$$

式中: TVL_γ 和 TVL_n 分别为中子俘获 γ 射线和中子在上述两种屏蔽材料中的什值层, cm; 分别为 3.1cm 和 4.5cm。其他符号意义同上。

首先按照公式 (11-13) 计算出总中子注量 Φ_B , 再按照公式 (11-15) 计算机房内的中子经迷道散射后在机房入口门外 30cm (g 点) 无防护门时的剂量率 \dot{H}_n , 按照公

式(11-14)计算机房入口门外 30cm (g 点)无防护门时的中子俘获 γ 射线的剂量率 \dot{H}_r 。

计算结果见表 11-5、表 11-6 和表 11-7。

表 11-5 等中心处 1Gy 治疗照射时 i_1 处的总中子注量 Φ_B 计算

设备参数	Q_n (中子数/Gy)	d_1 (m)	S (m ²)	Φ_B ((中子数/ m ²) /Gy)
1#直加机房	7.6×10^{11}	8.4	294.92	3.13×10^9
2#直加机房	7.6×10^{11}	8.6	303.6	3.03×10^9

表 11-6 中子经迷道散射后在机房入口门外 30cm 处无防护门时的剂量率计算

设备参数	Φ_B ((中子数/ m ²) /Gy)	\dot{H}_0 (μ Sv /h)	S_0 (m ²)	S_1 (m ²)	d_2 (m)	T_n (m)	\dot{H}_n (μ Sv /h)
1#直加机房	3.13×10^9	1.44×10^9	3.36	10.5	11.1	6.68	132.91
2#直加机房	3.03×10^9	1.44×10^9	3.36	10.3	11.6	6.61	106.27

表 11-7 机房入口门外 30cm 处无防护门时的中子俘获 γ 射线的剂量率计算

设备参数	Φ_B (中子数/ m ²) /Gy	\dot{H}_0 (μ Sv /h)	d_2 (m)	TVD (m)	\dot{H}_r (μ Sv /h)
1#直加机房	3.13×10^9	1.44×10^9	11.1	3.9	1.47
2#直加机房	3.03×10^9	1.44×10^9	11.6	3.9	1.06

表 11-8 防护门外的总辐射剂量率计算

设备参数	\dot{H}_r (μ Sv /h)	X_γ (cm)	TVL γ (cm)	\dot{H}_n (μ Sv/h)	X_n (cm)	TVLn (cm)	\dot{H} (μ Sv /h)
1#直加机房	1.47	2	3.1	132.91	15	4.5	0.39
2#直加机房	1.06	2	3.1	106.27	15	4.5	0.29
控制值							2.5
评价结果							满足

由表 11-4 和表 11-8 可以看出，本项目放疗机房在最大 X 射线能量、最大剂量率条件下，机房周围各关注点的剂量率均满足本项目所推导出的剂量率参考控制水平，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021) 的要求。

11.2.1.3 直线加速器电子束环境影响评价

由《辐射防护技术与管理》P123，电子在物质中的最大射程为：

$$d = \frac{1}{2\rho} E_{\beta\max} \dots \dots \dots \text{(式 11 - 17)}$$

式中：

d—最大射程，cm；

ρ —防护材料的密度，g/cm³；

$E_{\beta\max}$ —电子最大能量，MeV。

电子束的最大能量为22MeV时，在混凝土中(2.35g/cm³)的最大射程约为4.68cm。由于加速器机房混凝土厚度均在100cm以上，加速器电子线虽然能量相对于X射线较高，但其贯穿能力远弱于X射线。由此可见，项目加速器机房设计厚度和结构材质完全能满足对电子线的屏蔽，可不再作特殊的防护要求。因此，本项目直线加速器运行期间产生的电子线对周围环境影响轻微。

11.2.1.4 直线加速器感生放射性环境影响分析

由《原子核物理》(卢希庭主编) P244，以⁴¹Ar做具体分析，其小时排放量为：

$$Q = \lambda \cdot \Phi \cdot R \cdot N \cdot \sigma \cdot t \dots \dots \dots \text{(式 11 - 18)}$$

式中：

Q—⁴¹Ar的小时排放量，Bq/h；

λ —⁴¹Ar的衰变常数，取 $1.07 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$ ；

Φ —发射率，n/s，本项目为 $3.55 \times 10^{11} \text{n/s}$ ；

R—房间内空气的有效半径，本项目1#直加机房、2#直加机房均为420cm；

N—单位体积空气中的⁴¹Ar的原子数， $2.53 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ；

σ —⁴¹Ar的活化截面，本项目为 $1.57 \times 10^{-27} \text{cm}^2$ ；

t—运行时间，s；本项目加速器平均每小时出束7.5分钟，450s。

计算可得1#直加机房、2#直加机房⁴¹Ar的小时排放量均为 $2.85 \times 10^6 \text{Bq/h}$ 。

根据设计方案，加速器机房拟安装的排风系统单个机房排风量达到6000m³/h，则可计算得出排放的⁴¹Ar活度浓度约为0.475Bq/L。

设计方案中放疗室内设计的排风设施，能将感生放射性气体等有害气体及时排出室外，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)要求治疗室通风换气次数不小于4次/h的规定。

11.2.1.5 放疗机房的天空反散射环境影响评价

(1) 计算公式

根据NCRP-151号报告，计算公式为：

$$H = \frac{(2.5 \times 10^{-2} D_{10} \cdot \Omega^{1.3})}{(d_i \cdot d_s)^2} \cdot B_{xs} \text{ (式 11-19)}$$

式中：

H: 关注点处周围剂量当量率, $\mu\text{Sv/h}$;

D_{10} : 距靶 1m 处的剂量率, 本项目 15MV 直线加速器为 $1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$, 后装机前述计算为 $41070 \mu\text{Sv/h}$;

B_{xs} 为机房顶棚的屏蔽透射比;

Ω : 射线源与屏蔽墙对向的立体角 (Sr);

d_i : 在机房顶棚上方 2m 处离源的垂直距离 (m), 本项目直线加速器机房取 8.8m, 后装机房取 4.4m;

d_s : 射线源至 P 点的距离 (m), 本项目直线加速器机房取 16.7m, 后装机房取 6.6m;

$$\Omega = 4\text{tg}^{-1} \frac{a \cdot b}{c \cdot d} \quad (\text{式 11-20})$$

式中：

a: 屋顶长度之半, m, 本项目直线加速器机房的屋顶内长为 8.4m, 则 $a=4.2\text{m}$;
后装机房的屋顶内长为 9.1m, 则保守 $a=4.5\text{m}$;

b: 屋顶宽度之半, m; 本项目直线加速器机房的屋顶宽度最小为 7.65m, 则保守 $b=3.8\text{m}$;
后装机房的屋顶宽度为 6.05m, 则保守 $b=3.0\text{m}$;

c: 源到屋顶表面中心的距离, m; 本项目直线加速器机房取值为 $c=6.8\text{m}$, 后装机房取值为 $c=2.4\text{m}$;

d: 源到屋顶边缘的距离, 且 $d=\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}$, m, 本项目直线加速器机房取值为 $d=8.8\text{m}$, 直线加速器机房取值为 $d=5.9\text{m}$;

则可计算出: 直线加速器 $\Omega = 1.04\text{Sr}$, 后装机房 $\Omega = 3.05\text{Sr}$ 。

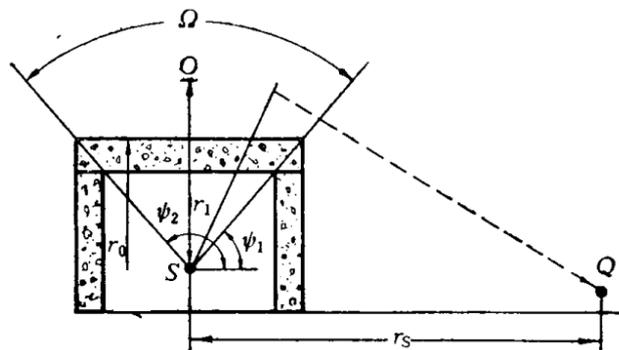


图 11-4 天空散射计算示意图

将相关数据代入式 11-19,得本项目直线加速器机房射线源至 P 点的天空反散射剂量率为 $1.0 \times 10^{-4} \mu\text{Sv/h}$,后装机房射线源至 P 点的天空反散射剂量率为 $6.23 \times 10^{-6} \mu\text{Sv/h}$ 。天空反散射剂量率较小,对周围环境的影响比较小。

11.2.1.5 放疗科人员有效剂量计算

由《辐射防护手册》(第一分册)中计算公式:

$$D_r = D_1 \cdot U \cdot T \cdot t \cdot 10^{-3} \dots\dots\dots \text{(式 11-21)}$$

式中:

D_r —关注点年有效剂量, mSv/a;

D_1 —关注点处的辐射剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

t —每年工作负荷, h/a, 本项目医用直线加速器年工作负荷约为 250h, 后装机年工作负荷约为 150h;

U —使用因子, 取 1;

T —居留因子。

本项目的居留因子选取根据《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)的要求,具体数值见表 11-9。

表 11-9 不同场所的居留因子

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

(1) 周围目标人员有效剂量

① 直线加速器摆位时受到的辐射影响

直线加速器机房工作人员每天放射治疗工作量最多为 60 人次, 1 年为 15000 人次, 摆位时会受到 1 间直加机房和 1 间后装机房的辐射影响, 则保守按照最大剂量率 $1.24+0.805=2.045 \mu\text{Sv/h}$ 计算, 按摆位时间为 1min/人, 则每名技师摆位过程所致年有

效剂量约为 $15000 \times 2.045 \times 1 \div 60 \div 1000 \div 2$ 人=0.26mSv。

②直线加速器摆位时受感生放射性影响

钨靶发生光核反应(γ -n)的阈值为 8.0MeV，本项目 15MV 直线加速器产生的最大电子线能量为 22MeV。加速器的结构材料、冷却水以及加速器机房的空气被中子和 γ 射线照射后，产生感生放射性，因此需要考虑感生放射性对操作人员在摆位过程的影响。

为了核算操作人员在摆位过程中受到的辐射剂量，本项目选取深圳市罗湖区人民医院的一台医用电子直线加速器（15MV）的验收检测报告中感生放射性的检测数据作为参考，如下表 11-10 所示。

表 11-10 感生放射性的检测结果

检测项目	检测条件	检测结果 (μ Sv/h)
感生放射性	10cm \times 10cm 照射野 输出剂量率 600MU/min 照射 4000MU 剂量 停止后 3min 内测得	距设备机头表面 5cm 处: 0.83
		距设备机头表面 100cm 处: 0.33

保守考虑，本项目按工作人员在放射治疗停止后 3min 内进入机房进行摆位，为每名患者摆位时间按 1min 计，则每年的摆位时间为 $15000 \times 1 \div 60 = 250$ h，可知操作人员在摆位过程中受到的年有效剂量为 $0.33 \times 10^{-3} \text{mSv/h} \times 250 \text{h} \div 2 = 0.04 \text{mSv}$ 。

③后装机房摆位时受到的辐射影响

后装机房工作人员每天放射治疗工作量最多为 3 人，1 年为 750 人，摆位时会受到放射源辐射影响，工作贮源器内装载最大容许活度时，距离贮源器表面 100cm 处的球面上，任何一点的泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 $5 \mu\text{Sv/h}$ ，按摆位时间为 1min/人，则工作人员摆位过程所致年有效剂量约为 $750 \times 5 \times 10 \div 60 \div 1000 = 0.07 \text{mSv}$ ；

表 11-11 放疗机房关注点有效剂量估算结果表

工作场所	关注点方向	关注点所在场所	人员属性	剂量率 H (μSv/h)	T	U	t (h)	年有效剂量估算值 (mSv/a)	合计 (mSv/a)	有效剂量控制限值 (mSv/a)	符合性评价
1#直加机房	f ₁	1#直加机房控制室	职业	2.15×10 ⁻⁵	1	1	250	5.4×10 ⁻⁶	0.3	5	符合
				叠加摆位有效剂量 0.26mSv, 感生放射性有效剂量 0.04mSv							
	g ₁	1#直加机房防护门外	公众	0.39	1/8	1	250	1.22×10 ⁻²	1.22×10 ⁻²	0.1	符合
	h ₁	1#直加机房水冷机房		6.10×10 ⁻³	1/16	1	250	9.53×10 ⁻⁵	9.53×10 ⁻⁵	0.1	符合
j ₁	顶棚主屏蔽区外 30cm 处	1.63	1/16	1	250	2.55×10 ⁻²	2.55×10 ⁻²	0.1	符合		
2#直加机房	f ₂	2#直加机房控制室	职业	2.15×10 ⁻⁵	1	1	250	5.4×10 ⁻⁶	0.3	5	符合
				叠加摆位有效剂量 0.26mSv, 感生放射性有效剂量 0.04mSv							
	b ₂	排烟机房、模具室	公众	1.19	1/8	1	250	7.52×10 ⁻³	7.52×10 ⁻³	0.1	符合
	d ₂	CT 模拟定位机房控制室		3.48×10 ⁻¹	1	1	250	8.70×10 ⁻²	8.70×10 ⁻²	0.1	符合
		CT 模拟定位机房、等候区		3.48×10 ⁻¹	1/2	1	250	4.35×10 ⁻²	4.35×10 ⁻²	0.1	符合
	g ₂	2#直加机房防护门外		0.29	1/8	1	250	9.06×10 ⁻³	9.06×10 ⁻³	0.1	符合
	h ₂	2#直加机房水冷机房		6.10×10 ⁻³	1/16	1	250	9.53×10 ⁻⁵	9.53×10 ⁻⁵	0.1	符合
j ₂	顶棚主屏蔽区外 30cm 处	1.63		1/16	1	250	2.55×10 ⁻²	2.55×10 ⁻²	0.1	符合	
后装机房	D	后装机房控制室	职业	8.05×10 ⁻¹	1	1	150	2.01×10 ⁻¹	0.40	5	符合
				叠加摆位有效剂量 0.31mSv, 感生放射性有效剂量 0.07mSv							
		后装机房准备间	公众	8.05×10 ⁻¹	1/8	1	150	1.51×10 ⁻²	1.51×10 ⁻²	0.1	符合
	E	机房防护门外 30cm 处		0.51	1/8	1	150	9.54×10 ⁻³	9.54×10 ⁻³	0.1	符合
F	顶棚外 30cm 处	6.76×10 ⁻³	1/16	1	150	6.36×10 ⁻⁵	6.36×10 ⁻⁵	0.1	符合		

由表 11-11 可知，本项目放疗科工作场所辐射工作人员附加年有效剂量最大值不超过 0.40mSv，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）对职业成员年剂量管理约束值 5mSv 的要求，也满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的年剂量限值 20mSv 的要求。

本项目放疗科工作场所公众附加年有效剂量最大值为 8.70×10^{-2} mSv，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）对公众成员年剂量管理约束值 0.1mSv 的要求，同时也满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中年剂量限值 1mSv 要求。50m 评价范围内的其他保护目标均位于上述预测关注点离 DSA 机房更外的区域，根据辐射剂量率与距离平方成反比的原理，其所受辐射影响不大于靠近机房的预测关注点，同样满足年有效剂量约束值要求。

11.2.2 DSA 机房

11.2.2.1 DSA 机房辐射剂量率预测

（1）关注点位选取

医院拟建 4 间 DSA 机房均位于综合医疗楼 4 楼中部东北侧，本项目依据场所拟建布局，采用理论计算对 DSA 机房周围辐射环境影响进行分析。

由于本项目各 DSA 机房设置及周围辐射环境类似，为简便计算，保守选取面积最小的 4#DSA 机房进行屏蔽预测分析，若屏蔽分析结果符合标准，那么可以推断本项目的 DSA 机房均符合标准。选取各机房术者操作位、四侧墙体外 30cm 处、DSA 机房楼上 100cm 处、DSA 机房楼下 170cm 处作为关注点位。本项目 4#DSA 机房关注点分布及环境特征情况见表 11-13，预测点位示意图见图 11-5 与图 11-6。

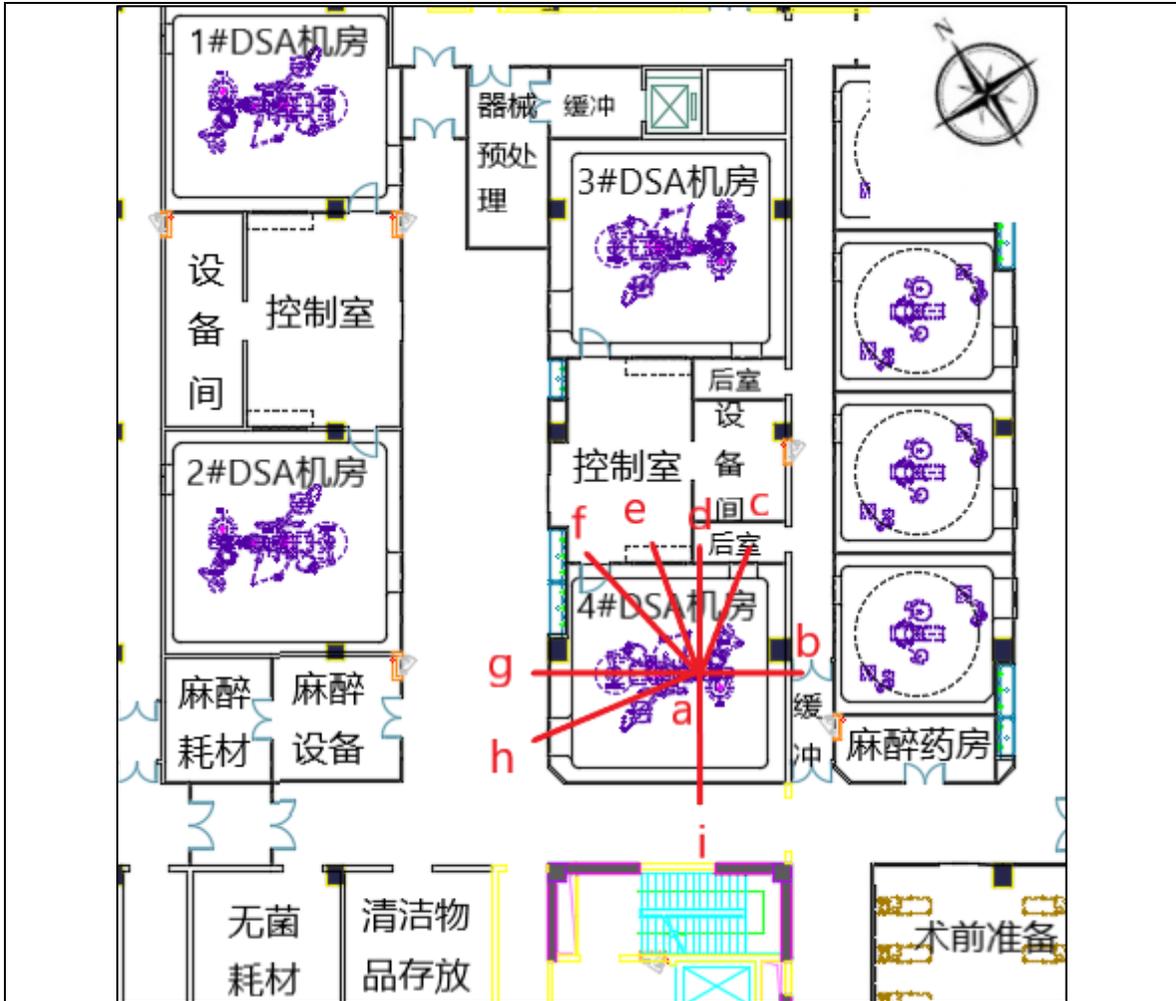


图11-5 DSA机房预测关注点位示意图（平面）

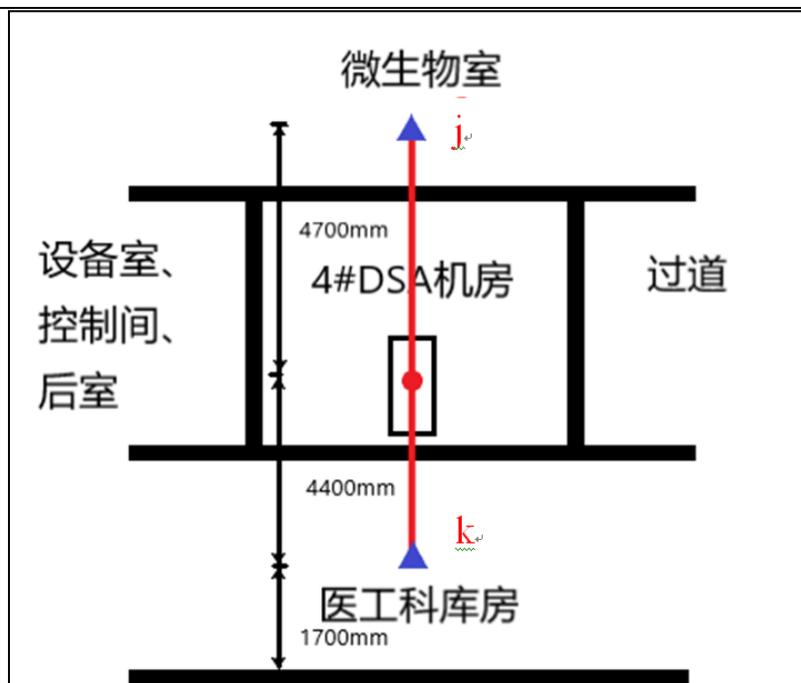


图11-6 DSA机房预测关注点位示意图（剖面）

表11-12 DSA机房预测关注点位分布情况表

点位编号	点位描述	环境特征	需考虑的辐射类型
综合医疗楼4层4#DSA机房			
a	术者操作位 (第一、第二术者操作位(两者防护一致,第一术者位离辐射源更近,以第一术者位为代表))	4#DSA机房	泄漏辐射、散射辐射
b	DSA机房东南侧外30cm处	缓冲区	泄漏辐射、散射辐射
c	DSA机房东北侧窗外30cm处	后室	泄漏辐射、散射辐射
d	DSA机房东北侧外30cm处	后室	泄漏辐射、散射辐射
e	DSA机房东北侧窗外30cm处	控制室	泄漏辐射、散射辐射
f	DSA机房北侧门外30cm处	控制室	泄漏辐射、散射辐射
g	DSA机房西北侧外30cm处	过道	泄漏辐射、散射辐射
h	DSA机房西北侧窗外30cm处	过道	泄漏辐射、散射辐射
i	DSA机房西南侧外30cm处	过道	泄漏辐射、散射辐射
j	DSA机房楼上100cm处	微生物室	主射辐射
k	DSA机房楼下170cm处	医工科库房	泄漏辐射、散射辐射

(2) 屏蔽透射因子

依据《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)附录C中第6.1.2条款,对给定的铅厚度,不同管电压X射线辐射在屏蔽材料中衰减的 α 、 β 、 γ 拟合值见表C.2~表C.3,屏蔽透射因子为:

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha\gamma X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \dots\dots\dots \text{(式11-22)}$$

式中：

B：不同屏蔽材料的屏蔽透射因子；

α 、 β 、 γ ：不同屏蔽材料对不同管电压X射线辐射衰减的有关的拟合参数；

X：屏蔽材料厚度。

本项目摄影工况按100kV取值，透射工况时80kV，保守取90 kV取值。

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，本项目主射方向影像接收器等硬件设施的等
效铅当量为 1.15mm。

屏蔽透射因子计算结果见表 11-13。

表 11-13 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	屏蔽厚度 (mm)	α	β	γ	B
主射辐射	摄影	c、d 后室	3mm 屏蔽铅板	铅： 3+1.15	2.500	15.28	0.7557	2.00×10^{-7}
	透视	e、f 控制室 i 过道			3.067	18.83	0.7726	1.97×10^{-8}
	摄影	j 微生物室 k 医工科库 房	200mm 混凝土 +1.15mm	混凝土： 200	0.03925	0.08567	0.4273	1.32×10^{-7}
				铅：1.15	2.500	15.28	0.7557	
				混凝土： 200	0.04228	0.1137	0.4690	3.37×10^{-8}
				铅：1.15	3.067	18.83	0.7726	
漏射辐射	摄影	c、d 后室 e、f 控制室 i 过道、b 缓 冲区 g、h 过 道	3mm 屏蔽 铅板	铅：3	2.500	15.28	0.7557	4.14×10^{-5}

透视	c、d 后室 e、f 控制室 i 过道、b 缓冲区 g、h 过道	3mm 屏蔽 铅板	铅：3	3.067	18.83	0.7726	7.93×10^{-6}	
	a 术者位	0.5mm 铅 衣	铅：0.5	3.067	18.83	0.7726	2.52×10^{-2}	
	a 术者位	0.25mm 铅眼镜	铅：0.25	3.067	18.83	0.7726	8.41×10^{-2}	
	a 术者位	0.025mm 铅手套	铅：0.025	3.067	18.83	0.7726	0.63	
散射 辐射	摄影	b 缓冲区 g、h 过道	3mm 屏蔽 铅板	铅：3	2.507	15.33	0.9124	6.31×10^{-5}
	透视	b 缓冲区 g、h 过道	3mm 屏蔽 铅板	铅：3	3.067	18.83	0.7726	7.93×10^{-6}
		a 术者位	0.5mm 铅 衣	铅：0.5	3.067	18.83	0.7726	2.52×10^{-2}
		a 术者位	0.25mm 铅眼镜	铅：0.25	3.067	18.83	0.7726	8.41×10^{-2}
a 术者位	0.025mm 铅手套	铅：0.025	3.067	18.83	0.7726	0.63		

(3) DSA 机房各侧墙体外关注点剂量率估算

①有用线束辐射计算

由《辐射防护手册——第一分册》(李德平、潘自强主编)P436~P437 页式(10.8)、(10.9)、(10.10)，将原公式中的利用因子、占用因子均取为 1，可推导出以下计算公式：

$$H = \frac{I \cdot H_0 \cdot B}{d^2} \dots\dots\dots \text{(式 11 - 23)}$$

式中：

H：关注点处的辐射剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

I：管电流，mA；本项目摄影工况管电流为 500mA，透射工况管电流为 20mA；

H_0 ：距靶点 1m 处的 X 射线输出量， $\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ；根据《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)第 5.1.5 条款，除牙科摄影和乳腺摄影用 X 射线设备外，X 射线有用线束中的所有物质形成的等效总滤过，应不小于 2.5mmAl，故本项目过滤片保守取为 2.5mmAl。参考《辐射防护导论》(方杰主编)P342 页附图 3，仅有过滤片 2mmAl 和 3mmAl 的曲线图，本次评价保守按过滤片为 2mmAl 进行取值，

则摄影（100kV）时 X 射线发射率常数 $\delta_{100kV}=9\text{mGy m}^2 \text{ mA}^{-1} \text{ min}^{-1}$ ，则 $H_{0(100kV)}$
 $=5.4\times 10^5\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2 \text{ mA}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ；透视（80kV）时 X 射线发射率常数
 $\delta_{80kV}=6\text{mGy m}^2 \text{ mA}^{-1} \text{ min}^{-1}$ ，则 $H_{0(80kV)}=3.6\times 10^5\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2 \text{ mA}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 。

d: 辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

B: 给定屏蔽物质的屏蔽透射因子。

②泄漏辐射计算

$$H = \frac{H_L \cdot B}{d^2} \dots\dots\dots (\text{式11-24})$$

式中：

H: 关注点处的辐射剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

H_L : 距靶点1m处的泄漏辐射剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；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》P23页：“（77）用于诊断目的的每一个X线管必须封闭在管套内，以使得位于该套内的X射线管在制造厂规定的每个额定值时，离焦点1米处所测得的泄漏辐射在空气中的比释动能不超过1mGy”，故本项目保守取值为1000 $\mu\text{Gy/h}$ 。

d: 辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

B: 给定屏蔽物质的屏蔽透射因子。

③散射辐射计算

$$H = \frac{I \cdot H_0 \cdot \alpha \cdot B \cdot S}{d_0^2 \cdot d_s^2} \dots\dots\dots (\text{式11-25})$$

式中：

H: 关注点处的辐射剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

I: 管电流，取值同上；

H_0 : 距靶点1m处的X射线输出量， $\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2 \text{ mA}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ，取值同上；

α : 患者对入射X射线的散射比，根据《辐射防护手册——第一分册》（潘自强、李德平编）P437页， $\alpha=a/400$ ，其中a为人体对X射线的散射照射量与入射照射量之比。对照该手册的表10.1，本项目摄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，即 $\alpha=3.25\times 10^{-6}$ ；

S: 散射面积, 取 100cm^2 ;

d_0 : 源与患者的距离, 取 0.8m ;

d_s : 散射体(患者)与关注点的距离, m ;

B: 给定屏蔽物质的屏蔽透射因子。

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。

表 11-14 DSA 机房各关注点的剂量率计算结果

工作模式		关注点位	I (mA)	$H_0 (\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \text{h}^{-1})$ 或 $H_L (\mu\text{Gy/h})$	d (m)	B	H ($\mu\text{Gy/h}$)
透视		a术者位 (铅衣内)	/	400	/	2.52×10^{-2}	10.08
		a术者位 (铅衣外)	/	400	/	1	400
		a术者位 (手部;漏射)	/	1.0×10^3	1.5	0.63	1.3×10^3
		a术者位 (手部;散射)	20	3.6×10^5	1.5	0.63	
		a术者位 (眼晶体)	/	400	/	8.41×10^{-2}	33.64
摄影	漏射	b 缓冲区	/	1.0×10^3	3.3	4.14×10^{-5}	0.80
	散射		500	5.4×10^5		6.31×10^{-5}	
透视	漏射		/	1.0×10^3		7.93×10^{-6}	3.39×10^{-3}
	散射		20	3.6×10^5		7.93×10^{-6}	
摄影	漏射	c、d 后室	/	1.0×10^3	3.9	4.14×10^{-5}	0.57
	散射		500	5.4×10^5		6.31×10^{-5}	
透视	漏射		/	1.0×10^3		7.93×10^{-6}	2.43×10^{-3}
	散射		20	3.6×10^5		7.93×10^{-6}	
摄影	漏射	e、f 控制室	/	1.0×10^3	4.1	4.14×10^{-5}	0.52
	散射		500	5.4×10^5		6.31×10^{-5}	
透视	漏射		/	1.0×10^3		7.93×10^{-6}	2.20×10^{-3}
	散射		20	3.6×10^5		7.93×10^{-6}	
摄影	漏射	g、h 过道	/	1.0×10^3	4.7	4.14×10^{-5}	0.39
	散射		500	5.4×10^5		6.31×10^{-5}	
透视	漏射		/	1.0×10^3		7.93×10^{-6}	1.67×10^{-3}
	散射		20	3.6×10^5		7.93×10^{-6}	
摄影	漏射	i 过道	/	1.0×10^3	3.9	4.14×10^{-5}	0.57

影	散射		500	5.4×10^5		6.31×10^{-5}	
透	漏射		/	1.0×10^3		7.93×10^{-6}	2.43×10^{-3}
视	散射		20	3.6×10^5		7.93×10^{-6}	
摄影主射		j 微生物室	500	5.4×10^5	4.7	1.32×10^{-7}	1.61
透视主射			20	3.6×10^5		3.37×10^{-8}	1.1×10^{-2}
摄影主射		k 医工科库房	500	5.4×10^5	4.4	1.32×10^{-7}	1.84
透视主射			20	3.6×10^5		3.37×10^{-8}	1.25×10^{-2}

由上表计算结果分析可知：本项目 DSA 射线装置在摄影时，DSA 手术室周围各关注点处的辐射剂量率最大为 $1.84 \mu\text{Gy/h}$ ，透视时 DSA 手术室周围各关注点处的辐射剂量率为 $1.25 \times 10^{-2} \mu\text{Gy/h}$ ；结合区域辐射环境背景水平，不难得出 DSA 射线装置在正常运行情况下，DSA 手术室周围各关注点处的辐射剂量率能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中规定的“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 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ；具有短时、高剂量率曝光的摄影程序机房外的周围剂量当量率应不大于 $25 \mu\text{Sv/h}$ ”标准限值。

本项目 DSA 有用线束不直接照向管线洞口、排风口，且管线洞口和排风口均设置有与同侧墙体防护当量相当的屏蔽补偿，因此 DSA 手术室相关洞口处剂量率也能满足不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的标准限值。

11.2.2.2 DSA 机房人员有效剂量计算

(1) 周围目标人员有效剂量

⑥ 控制室工作人员与公众有效剂量估算公式

根据式 11-19 对各点位处公众及职业人员的年有效剂量进行计算。

⑦ 机房内工作人员有效剂量估算公式

根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）中对于介入放射工作人员穿戴铅围裙估算有效剂量的计算方法，采用公式 11-26 进行估算。

$$E = \alpha H_u + \beta H_o \dots \dots \dots (\text{式 } 11 - 26)$$

式中：

E——有效剂量中的外照射分量，单位：mSv；

α ——系数，本项目取 0.79；

β ——系数，本项目取 0.051；

H_u ——铅围裙内估算的有效剂量，单位：mSv；

H_o ——铅围裙外估算的有效剂量，单位：mSv。

$$H = Dr \times t \dots \dots \dots (\text{式 } 11 - 27)$$

式中：

H——X-γ射线外照射累积有效剂量，mSv；

Dr——X-γ射线剂量当量率，mSv/h；

t——X-γ射线照射时间，h；根据表9-4，单个介入医生年受照时间最多为34h。

本项目介入手术医生在做手术时拟使用防护厚度 0.5mmPb 的防护服、铅防护眼镜，配置 0.5mmPb 铅防护帘，介入手术人员在铅防护帘后工作，操作位距离球管大约 0.5m。综合以上防护措施，则计算得铅衣内 $H_u=81.1\mu\text{Sv/h} \times 34\text{h} \times 10^{-3}=2.76\text{mSv}$ ，铅衣外 $H_o=320\mu\text{Sv/h} \times 34\text{h} \times 10^{-3}=10.88\text{mSv}$ ， $E=0.79 \times 2.76+0.051 \times 10.88=2.73\text{mSv}$ ，满足项目管理限值 5mSv/a 要求。

⑧手术医生四肢（手和足）和眼晶体年剂量当量估算

介入工作人员进行介入手术时主要工作方式为透视模式，拍片模式时间较短，且拍片模式时工作人员均退出机房，且关闭机房防护门，故拍片模式下对手足部和眼晶体剂量的影响可忽略不计。

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）中皮肤和眼晶体吸收剂量相关公式：

$$D_S = C_{KS}(k \cdot t) \cdot 10^{-3} \dots \dots \dots (\text{式 } 11 - 28)$$

$$D_L = C_{KL}(\dot{k} \cdot t) \cdot 10^{-3} \dots \dots \dots (\text{式 } 11 - 29)$$

$$H = D_S(D_p) \cdot W_R \dots \dots \dots (\text{式 } 11 - 30)$$

式中：

D_S ——皮肤吸收剂量(mGy)；

C_{KS} ——空气比释动能到皮肤吸收剂量的转换系数(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, 前向照射);

k ——X、 γ 辐射场的空气比释动能率($\mu\text{Gy/h}$), 根据前文计算, 皮肤吸收剂量计算时取为 $569.6\mu\text{Gy/h}$, 眼晶体吸收剂量计算时取为 $13.1\mu\text{Gy/h}$;

t ——人员累积受照时间, h;

H ——关注点的当量剂量, mSv (近似 $1\text{Gy}=1\text{Sv}$);

W_R ——辐射权重因数, X 射线取 1。

表 11-15 DSA 机房周围及敏感目标所致年受照剂量估算结果

人员属性	关注点位	工况	最大剂量率或铅衣内外剂量率	受照时间	居留因子	有效剂量或当量剂量	剂量约束限值
辐射工作人员	e、f控制室	摄影	0.52	3	1	1.63×10^{-3}	5
		透视	2.20×10^{-3}	34			
	a 机房内 (身体)	摄影	0.52	3	1	2.73	5
		透视	10.08 (铅衣内) +400 (铅衣外)	34			
		机房内 (手部) (转换系数 $C_{KS}: 1.156$) ($W_R: 1$)	透视	1.3×10^3	34	1	51
	机房内 (眼晶体) 转换系数 $C_{KL}: 1.550$ ($W_R: 1$)	透视	33.64	34	1	1.77	37.5
公众人员	b缓冲区、医疗垃圾、生活垃圾等	摄影	0.80	3*2	1/4	1.78×10^{-4}	0.1
		透视	3.39×10^{-3}	34*2			
	c、d后室	摄影	0.57	3*2	1/8	4.48×10^{-4}	
		透视	2.43×10^{-3}	34*2			
	g、h过道	摄影	0.39	3*2	1/16	2.35×10^{-3}	
		透视	1.67×10^{-3}	34*2			
	i过道、内院	摄影	0.57	3*2	1/16	2.24×10^{-4}	
		透视	2.43×10^{-3}	34*2			
j微生物室	摄影	1.61	3*2	1/4	2.60×10^{-3}		
	透视	1.1×10^{-2}	34*2				

k医工科库房	摄影	1.84	3*2	1/4	3.22×10 ⁻³
	透视	1.25×10 ⁻²	34*2		

由表 11-15 可知，本项目 DSA 机房工作场所辐射工作人员附加年有效剂量最大值不超过 2.73mSv，满足本项目职业成员年剂量管理约束值 5mSv 的要求，也满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)规定的年剂量限值 20mSv 的要求。

由表 11-18 可知，本项目 DSA 机房工作场所公众附加年有效剂量最大值为 3.22×10⁻³mSv，50m 评价范围内的其他保护目标均位于上述预测关注点离 DSA 机房更外的区域，根据辐射剂量率与距离平方成反比的原理，其所受辐射影响不大于靠近机房的预测关注点，同样满足年有效剂量约束值要求。因此，公众附加年有效剂量满足本项目公众成员年剂量管理约束值 0.1mSv 的要求，同时也满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中年剂量限值 1mSv 要求。

11.2.3“三废”影响分析

(1) 放射性固废

本项目放疗科产生的加速器靶作为放射性固废，在更换或退役时，按放射性固体废物处理，拆卸后先放进机房的铅桶衰变暂存，保证铅桶表面剂量率为本底水平，最终送交有资质单位收贮。

本项目放疗科后装机房废 ¹⁹²Ir 放射源将交回生产单位，并在送交活动完成后 20 日内到浙江省生态环境厅备案。废 ¹⁹²Ir 放射源放置于贮源器暂存于 25mmPb 保险柜中，废放射源由源生产厂家回收，回收前须与源生产厂家签订回收协议。

(2) 废气

①加速器机房

本项目放疗科直线加速器运行时，X 射线和空气发生作用会产生臭氧和氮氧化物等废气，由于 X 射线模式下产生的臭氧影响较小，故本项目仅估算在直线加速器在运行期间电子束模式情况下产生的臭氧浓度，本项目臭氧的产生浓度参照《粒子加速器辐射防护规定》(GB5172-85)附录 E 的计算公式进行估算：

$$C_{O_3} = 2.79 \times \frac{Id}{V} \times (1 - e^{-\frac{v}{V}t}) \dots \dots \dots \text{(式 11 - 31)}$$

式中：

C_{O_3} : 机房中臭氧浓度, mg/m^3 ;

I: 电子束流强度, mA, 本项目取 0.1mA;

d: 电子束在空气中的径迹长度, cm, 本项目取 100cm;

V: 靶室体积, m^3 , 本项目单个直加机房容积为 $218.8m^3$;

v: 排气速率, m^3/s ; 本项目为 $5m^3/s$;

t: 照射时间, s, 本项目单次最长治疗时间取 180s。

由上式计本项目直线加速器运行时臭氧的浓度为见表 11-17。

表 11-17 直线加速器机房内臭氧浓度预测

序号	机房名称	机房容积	电子束流强度	电子束在空气中的径迹长度	排气速率	治疗结束后机房内的臭氧浓度
1	1#、2#直加机房	$218.8m^3$	0.1mA	100cm	$5m^3/s$	$0.12mg/m^3$

根据计算结果可知, 本项目运行中加速器机房内最高饱和臭氧浓度为 $0.12mg/m^3$, 机房内臭氧浓度可满足《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分: 化学有害因素》(GBZ2.1-2019)中“臭氧最高容许浓度 $0.3mg/m^3$ ”的要求。加速器运行过程中会产生多种氮氧化物, 其中以二氧化氮为主, 其产额约为臭氧的一半, 因此机房内氮氧化物浓度可达到《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分: 化学有害因素》(GBZ2.1-2019)中“氮氧化物的时间加权平均容许浓度为 $5mg/m^3$ ”的要求。

②后装机房

放疗科专用风机房内风量设计值约为 $18000m^3/h$, 经风量计算得出排风约为 8.7 次/h。对于 γ 射线所致机房臭氧浓度, 计算参考参考《辐射防护手册(三分册)》2.6.8 “ γ 辐照室”计算, 假设在辐照期间臭氧无分解, 臭氧在辐照室内均匀分布, 则产生臭氧的浓度由下式计算。

$$P=6.33 \times 10^{-4}AGV^{1/3} \quad (\text{式 11-32})$$

式中:

P: 为机房内臭氧产额; mg/h ;

A: 为放射源活度, 取 $10Ci$;

G: 空气每吸收 $100eV$ 辐射能力所产生的臭氧分子数, 此处取 6;

V: 机房容积, 约 $220m^3$ 。

设臭氧的有效分解时间为 t_d (常取为 0.83h)，机房通风换气周期为平均每次换气需 t_v 小时 (本项目为 0.11h)，臭氧的有效清除时间为 \bar{T} (h)，机房臭氧的最高饱和臭氧浓度为 P (mg/m^3)。

$$\bar{T} = \frac{t_v \cdot t_d}{t_v + t_d} \quad (\text{式 11-33})$$

$$Q = \frac{P \bar{T}}{V} \quad (\text{式 11-34})$$

根据式 11-33， $\bar{T} = 0.10\text{h}$ ；根据式 11-32 与式 11-34，可以计算出 Q 为 $1.04 \times 10^{-4} \text{mg}/\text{m}^3$ 。

根据计算结果可知，本项目运行中后装机房内最高饱和臭氧浓度为 $1.04 \times 10^{-4} \text{mg}/\text{m}^3$ ，机房内臭氧浓度可满足《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》(GBZ2.1-2019) 中“臭氧最高容许浓度 $0.3 \text{mg}/\text{m}^3$ ”的要求。后装机运行过程中会产生多种氮氧化物，其中以 NO_2 为主，其产额约为 O_3 的一半。因而机房内氮氧化物浓度可达到《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》(GBZ2.1-2019) 中“氮氧化物的时间加权平均容许浓度为 $5 \text{mg}/\text{m}^3$ ”，满足标准要求。

③ DSA 机房

本项目 DSA 机房在设备运行时产生的臭氧与氮氧化物量极少。机房设计机械通风系统，使 DSA 机房运行过程中产生的废气经过医疗综合楼楼顶排入室外大气，臭氧在常温下 20-50 分钟后可自行分解为氧气，对环境影响较小。

11.3 事故影响分析

11.3.1 事故影响风险因素

11.3.1.1 后装机

- (1) 暂存放射源或废放射源受外力作用，放射源屏蔽容器破损，造成裸源事故；
- (2) 暂存放射源或废放射源因管理不善发生丢失、被盗等事故；
- (3) 辐射工作人员或公众还未全部撤出机房，外面人员启动，造成有关人员被误照，引发辐射事故；

(4) 安全联锁装置发生故障，工作时无关人员打开屏蔽门并误入，造成有关人员被误照射，引发辐射事故；

(5) 设备故障，放射源不能正常回落储源容器，造成卡源事故。

11.3.1.2 加速器与 DSA

(1) 辐射工作人员或公众还未全部撤出机房，外面人员启动射线装置，造成有关人员被误照，引发辐射事故。

(2) 安全联锁装置发生故障，射线装置工作时无关人员打开屏蔽门并误入，造成有关人员被误照射，引发辐射事故。

(3) 射线装置检修、维护过程，工作人员误操作或者曝光参数设置错误，造成人员被误照射，引发辐射事故。

11.3.2 事故防范应急措施

(1) ^{192}Ir 放射源辐射事故防范及应急措施

① ^{192}Ir 放射源辐射事故防范措施

a、制定和完善放射源安全管理制度，设专人负责，做好 ^{192}Ir 放射源的领取、使用登记台账工作，确保放射源的安全。后装机房设置防盗门（双人双锁）及报警装置等辐射安全设施，并每日做好检查防盗工作。特别是定期对放射源要进行核实，确保其处于指定位置，对放射源实行 24 小时监控。

b、制定完善的后装机操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，定期检查后装机的联锁系统，减少误入、误出束、卡源等事故的发生。

② ^{192}Ir 放射源辐射事故应急措施

a、若发生放射源丢失、被盗，应第一时间将事故情况通报有关（生态环境、公安、卫生等）主管部门；分析确定丢失、被盗事故的具体时间及原因，向相关部门提供信息，根据有关线索，组织人员协同相关部门查找丢失、被盗放射性源，在查找过程中携带辐射监测仪器，防止事故处理人员受到照射。

b、若出现卡堵源情况，首先迅速将病人撤出机房，医院关闭后装机机房，专业技术人员到来前不得开启，同时派专人职守，防止无关人员进入事故现场，及时联系生产厂家或指定维修单位进行处理。专业技术人员排除事故时，应配备应急贮源

罐、长柄镊子、铅衣、铅手套、铅眼镜等防护设施和必要的剂量监测设备，并严格控制与放射源近距离操作的时间。

c、若发生人员误入或误出束的辐射事故，工作人员应立即就近按红色标志的急停开关，切断电源，迫使后装机停止出束；发生辐射事故时，医院应立即启动本单位的辐射事故应急措施，采取必要防范措施，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向生态环境部门和公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向卫生行政部门报告。

(1) 医用电子直线加速器和模拟定位机辐射事故防范

①定期对直线加速器机房、DSA机房的安全和防护措施、设施的安全防护效果进行检查、检测，制定详细管理制度并严格按照要求执行，对发现的安全隐患立即进行整改，避免事故的发生。

②制定详细而科学的《直线加速器操作规程》、《DSA操作规程》，各位辐射工作人员必须严格按照操作规程进行操作，并做好个人的防护，并将操作规程张贴在操作人员可看到的显眼位置。

③医用电子直线加速器和DSA在安装调试和检修维护等工作过程中，安装调试和检修维护工作人员应按要求配戴个人剂量计和按要求携带个人剂量报警仪，本项目辐射工作人员需将设备的控制权暂时移交给设备厂家工作人员，本项目辐射工作人员不参与设备的控制与维修，防止维修期间工作人员在加速器机房误照射。加速器与DSA试用、调试、检修期间，控制室须有工作人员值守，在出束的情况下严禁调试、检修人员滞留在控制区。

(2) 医用电子直线加速器和 DSA 辐射事故应急措施

一旦发现有人误入直线加速器机房、DSA 机房或者有人员在机房工作人员误出束，工作人员应立即利用最近的急停按钮切断设备电源，报告辐射事故应急处理小组，启动医院辐射事故应急预案，采取必要防范措施，并在规定时间内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门和公安部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

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

12.1.1 机构设置情况

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，使用II类射线装置的单位应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。

医院已发文成立以吴江兴为组长、董建英为副组长的放射安全与防护管理领导小组，负责全单位的辐射安全与防护监督管理工作。本项目投入运行后，需将本项目的负责人纳入医院辐射防护领导小组。

12.1.2 辐射工作人员管理情况

本项目依照现有资源配置拟招聘辐射工作人员，共配置39名辐射工作人员，其中放疗科配备15名辐射工作人员，DSA机房拟配备24名辐射工作人员。

(1) 根据生态环境部《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》(2019年，第57号)的相关要求，自2020年1月1日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过生态环境部培训平台 (<http://fushe.mee.gov.cn>) 报名并参加考核。2020年1月1日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效。江山市人民医院的现有辐射工作人员均已取得放射科辐射安全与防护培训证书，且在有效期内。待培训证书期满前重新安排培训与考核，考核通过方可上岗。

(2) 辐射工作人员上岗前，应当进行上岗前的职业健康检查，符合辐射工作人员健康标准的，方可参加相应的放射工作。上岗后的辐射工作人员应定期进行职业健康检查，两次检查的时间不超过2年，必要时可增加临时性检查。辐射工作人员脱离放射工作岗位时，放射工作单位应当对其进行离岗前的职业健康检查。江山市人民医院现有辐射工作人员均已进行年度职业健康检查，医院拟安排辐射工作人员依照规定按时进行职业健康检查。

(3) 辐射工作人员应正确佩戴个人剂量计，建设单位应定期送检，所有辐射

工作人员个人剂量计佩戴及送检的时间不得超过3个月。个人剂量计的佩戴要求参照《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)。江山市人民医院现有辐射工作人员均配备了个人剂量计,每三个月委托有资质单位进行个人剂量检测,并建立了个人剂量档案。

本项目辐射工作人员的人员培训合格证书、职业健康档案记录、个人剂量检测档案三个文件上的人员信息应统一。

12.2 辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《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,使用射线装置的单位,应有“健全的操作规程、岗位职责、辐射防护与安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等,并有完善的辐射应急措施”。

12.2.1 现有辐射安全管理规章制度

江山市人民医院建院多年,辐射安全管理规章制度成熟,医院已成立辐射安全与防护管理领导小组,制定了一系列辐射工作管理制度:《辐射安全管理制度》、《辐射事故应急预案》、《辐射安全个人防护制度》、《辐射工作人员培训管理制度》、《放射科岗位职责》、《监测计划》、《放射科设备维修保养制度》和《放射科防护用品使用管理制度》等规章制度,内容健全完善且合理规范,满足当前项目的管理要求。

12.2.2 本项目新增辐射安全管理制度分析

医院本次项目内容包括:III类放射源、II类射线装置。医院应根据本项目开展的直线加速器、后装机和DSA射线装置等情况,尽快健全和落实相应的规章制度和操作规程,加强对辐射工作人员的安全防护培训和意识教育。

应制定的制度主要内容如下:

(1) 操作规程:针对本项目新增的直线加速器、后装机等设备制定相应的操作规程,明确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操作程序等,重点是工作时必须佩戴个人剂量计和剂量报警仪或检测仪器,避免事故发生。

(2) 岗位职责：明确本项目的辐射管理人员、辐射工作人员、维修人员的岗位职责，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。

(3) 辐射防护和安全保卫制度：根据本项目的辐射工作和设备，制定针对性的辐射防护和安全保卫制度，规定专人负责辐射防护与安全保卫工作，定期对辐射防护与安全保卫相关的用品、仪器进行检查。

(4) 根据本项目建设内容制定台账管理制度，射线装置的名称、型号、射线种类、类别、用途、来源和去向等事项。

(5) 事故应急预案：根据本项目建设内容制定辐射事故应急预案。

(6) 应补充的其他制度：放射源的购买、运输、使用、退役制度，放射性废物治理制度等。

12.3 辐射监测

12.3.1 现有辐射监测情况

江山市人民医院已委托浙江亿达检测技术有限公司完成 2022 年度《放射工作场所防护检测报告》和 2022 年度 4 个季度的《个人累积剂量防护检测报告》。

依据《放射工作场所防护检测报告》中，受检场所 13 间，所有机房外检测点周围剂量当量率均不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，符合标准《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的标准限值要求。

依据《个人累积剂量防护检测报告》中，辐射工作人员受照年有效剂量均满足本项目职业人员剂量约束值不超过 5mSv/a 的要求，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求的工作人员所接受的职业照射水平不应超过 20mSv/a 的剂量限值要求。

12.3.2 本项目辐射监测情况

12.3.2.1 个人剂量监测

个人监测主要是利用个人剂量计进行外照射个人累积剂量监测，每名辐射工作人员需佩戴个人剂量计，监测周期为90天（每季度将个人剂量片送往有资质的检测机构进行检测）。

(1) 个人剂量检测报告（连续四个季度）应当作为医院《安全和防护状况年

度评估报告》的重要组成部分一并提交给辐射安全许可证发证机关。

(2) 辐射工作人员个人剂量档案内容应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。个人剂量档案应终生保存。

12.3.2.2 场所辐射监测

医院应对本项目相关辐射工作场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；医院不具备自行监测能力的，可以委托第三方有资质的环境监测机构进行监测。

医院应委托有资质的单位，定期（每年1次）对辐射工作场所周围环境进行辐射监测，监测数据每年年底须向当地生态环境部门报备。

(1) 监测频度：每年常规监测1次。

(2) 监测范围：放疗科机房和DSA机房各辐射工作场所屏蔽墙外，防护门及缝隙处，候诊区、操作台等。

(3) 监测项目：X、 γ 辐射剂量率和中子剂量当量率。

(4) 监测记录应清晰、准确、完整并纳入档案进行保存。

12.3.2.3 监测计划建议

根据以上分析，本环评建议医院参考表12-1开展监测。

表12-1 辐射工作场所监测计划建议

场所名称	监测内容	监测范围	监测类别	监测频度
放疗科	周围剂量当量率	放疗科机房四周屏蔽墙外30cm、顶棚、操作位、观察窗、防护门及四周门缝处以及各电缆、风管管孔口	年度监测	1次/年
			自主监测	安装调试时全面监测、其他时间1次/月
			验收监测	竣工验收
		倒装源监测	初装或换源时	
DSA机房	周围剂量当量率	防护门外、门缝、管线口、控制室、各侧屏蔽墙外30cm处、楼上100cm、楼下距地170cm及周围需要关注的监督区	年度监测	1次/年
			自主监测	安装调试时全面监测、其他时间1次/月
			验收监测	竣工验收
本项目所有辐	个人剂量当量	所有辐射工作人员	个人剂量检测	监测周期不超过三个月

射场所			
-----	--	--	--

医院应将本项目辐射工作场所的监测结果写入医院《辐射安全和防护状况评估报告》中，并于每年1月31日前向辐射安全许可证发证机关提交上一年度的评估报告。

12.4 年度安全状况评估

江山市人民医院进行年度安全状况评估，并编写《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》，并定期上报至发证机关。在本项目放疗科和 DSA 建设开展之后，应增添相关射线装置与放射源内容至评估报告，并定期上报至发证机关。

12.5 辐射事故应急

12.5.1 辐射事故应急预案制定要求

根据《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）第四十三条规定，应急预案主要包括以下内容：

- （一）应急机构和职责分工（具体人员和联系电话）；
- （二）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；
- （三）辐射事故分级与应急响应措施；
- （四）辐射事故的调查、报告和处理程序；
- （五）辐射事故信息公开、公众宣传方案。

12.5.2 现有辐射事故应急预案情况

医院现已制定《辐射事故应急预案》，设置了应急组织机构，规定了应急组织机构成员及职责、事件现场应急处置流程、辐射事故的报告程序和应急联系电话等内容，以上部分符合国家相关法律法规的要求。

12.5.3 本项目辐射事故应急预案要求

在医院原有《辐射事故应急预案》的基础上，依据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》有关规定和本项目实际情况，建议医院对现有事故应急预案进行以下修订完善：

- （1）增加辐射事故等级划分及适用范围。

(2) 组织专业技术人员排除事故，配合相关部门做好辐射事故调查工作。

(3) 发生辐射事故后，2小时内填写《辐射事故初始报告表》，由放射诊疗安全与防护管理领导小组（由公卫科担任）上报当地生态环境主管部门及省级生态环境主管部门。

(4) 辐射事故信息公开。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目工程概况

(1) 项目概况

医院拟于迁建地址江山市城东新城建设放疗科和 DSA 机房，新建 2 间直线加速器机房、1 间后装机房和 4 间 DSA 机房，放疗科机房内分别新增 2 台 15MV 直线加速器（最大 X 射线能量 15MV，最大电子线能量 22MeV，主射方向均为南、北、顶棚与地面方向，等中心处最大剂量率为 $1.44 \times 10^9 \mu\text{Gy/h}$ ，均属于 II 类射线装置）、1 台后装机（生产厂家未定，使用 1 枚活度为 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ （10Ci）的 ^{192}Ir 放射源，属于 III 类放射源）；DSA 机房内各新增 1 台 DSA 射线装置（1#~3#DSA 机房各新购 1 台 DSA 射线装置，将老院区已许可的 DSA 射线装置迁移至 4#DSA 机房，最大管电压均为 250kV，最大管电流均为 1250mA，均属于 II 类射线装置），以开展放射性诊断和治疗业务。

(2) 项目位置

本项目放疗科拟建址位于住院部病房楼负 1 层东侧一端。放疗科拟建址东北侧 44m 处为垃圾房和液氧站，东侧 45m 处为宿舍楼；南侧 30m 为医疗综合楼其他区域；西南侧 10m 处为内部道路，西侧 24m 处为住院部病房楼；北侧 49m 处为内部道路；上方 2.4m 为医院绿化草坪；下方为土质层。

DSA 机房拟建址位于医疗综合楼 4 层中部东北侧。DSA 机房东北侧 32m 为内部道路；东南侧距 DSA 机房 10m 处为门诊医技楼；南侧 7m 处为科研楼；西南侧紧邻医疗综合楼其他区域；西北侧 27m 处为住院部病房楼；上方为医院 5 层心电图室、HIV 筛查室和微生物室区域，下方为医院 3 层医工科库房及其他区域。

(3) 项目所在地区环境质量现状

本项目辐射工作场所拟建址及周围环境的 γ 辐射剂量率略高于一般本底水平（由于拟建场所建筑材料影响测量结果等原因），中子剂量当量率水平低于设备检测限，未见异常。

13.1.2 辐射安全与防护分析结论

本项目放疗科的屏蔽设计方案见表10-3，DSA机房的屏蔽设计方案见表10-4。经计算分析，直线加速器机房和后装机机房的屏蔽设计方案能达到《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的要求；DSA机房的屏蔽设计方案能达到《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的要求。

本项目实施的安全防护措施详见表 10 中 10.1.4 章节。

13.1.3 环境影响分析结论

（1）主要污染因子

本项目放疗科的主要污染因子是直线加速器产生的 X 射线、中子、电子束、感生放射性、臭氧、氮氧化物及废靶等，后装机产生的 γ 射线、臭氧、氮氧化物和废源等。

本项目 DSA 机房的主要污染因子是 DSA 产生的 X 射线、臭氧、氮氧化物等。

（2）辐射剂量率预测结论

本项目直线加速器机房与后装机房周围各关注点的剂量率均满足本项目所推导出的剂量率参考控制水平，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中相关要求。

DSA 手术室周围各关注点处的辐射剂量率能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中规定的“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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；具有短时、高剂量率曝光的摄影程序机房外的周围剂量当量率应不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ ”标准限值。

（3）有效剂量预测结论

本项目各工作场所所致辐射工作人员受照年有效剂量均满足本项目职业人员剂量约束值不超过 5mSv/a 的要求，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求的工作人员所接受的职业照射水平不应超过 20mSv/a 的剂量限值要求；本项目放疗科工作场所与 DSA 工作场所所致公众人员受照年有效剂量均满足本项目公众人员剂量约束值不超过 0.1mSv/a 的要求，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求的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 1mSv/a 的剂量限值要求。

(4) “三废”影响分析

①放疗科

加速器靶在更换或退役时，按放射性固体废物处理，拆卸后先放进机房的铅桶衰变暂存，保证铅桶表面剂量率为本底水平，最终送交有资质单位收贮。本项目废¹⁹²Ir放射源将交回生产单位，并在送交活动结束后 20 日内到浙江省生态环境厅备案。废¹⁹²Ir放射源放置于贮源器暂存于 25mmPb 保险柜中，由源生产厂家回收，回收前须与源生产厂家签订回收协议。如确实无法交回生产单位，应送交有相应资质的放射性废物集中贮存单位贮存。

本项目运行过程中放疗科和 DSA 机房产生臭氧浓度极低，各机房内臭氧浓度可满足《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》(GBZ2.1-2019)中“臭氧最高容许浓度 0.3mg/m³”的要求。

②DSA机房

本项目运行中 DSA 机房内产生臭氧和氮氧化物极少，且经通排风系统在医技楼楼顶排入大气，臭氧在常温下 20-50 分钟后可自行分解为氧气，对环境影响较小。

13.1.4 辐射安全管理结论

医院已发文成立以吴江兴为组长、董建英为副组长的放射安全与防护管理领导小组，负责全单位的辐射安全与防护监督管理工作。医院应根据本项目开展的直线加速器、后装机和 DSA 射线装置等情况，尽快健全和落实相应的规章制度和操作规程，加强对辐射工作人员的安全防护培训和意识教育。

医院定期委托具有资质的公司对辐射场所和辐射工作人员进行检测，出具《放射工作场所防护检测报告》和《个人辐射累积剂量检测报告》，并依此建立放射场所辐射剂量率监测档案和辐射工作人员的个人剂量监测档案。按照计划开展辐射安全与防护培训并组织考核，考核合格后方可上岗。

江山市人民医院在严格执行相关法律法规、标准规范等文件，严格落实各项辐射管理制度、落实辐射管理措施或设施、完善辐射工作人员管理的前提下，其从事辐射活动的技术能力基本符合相应法律法规的要求。

13.1.5 可行性分析结论

(1) 产业政策符合性分析结论

结合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）》及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》，本项目属于该目录中鼓励类第六项“核能”第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”及第十三项“医药”第 5 条“新型医用诊断设备和试剂、数字化医学影像设备，人工智能辅助医疗设备，高端放射治疗设备，电子内窥镜、手术机器人等高端外科设备，新型支架、假体等高端植入介入设备与材料及增材制造技术开发与应用，危重病用生命支持设备，移动与远程诊疗设备，新型基因、蛋白和细胞诊断设备”，符合国家产业政策的要求。

(2) 实践正当性分析结论

本项目在运行时患者、医生及周围的公众会受到一定的照射剂量，但是直线加速器、后装机与 DSA 项目的建设更能满足患者多层次、多方位、高质量和文明便利的就诊需求，提高对疾病的诊治能力，因此本项目开展所带来的利益是大于所付出的代价的。同时对周围环境、公众的辐射影响满足国家辐射防护安全标准的要求，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践正当性”的要求。

(3) 选址合理性分析

本项目位于江山市城东新村的江山市人民医院拟建址建筑内部。根据建设项目用地预审与选址意见书，见附件 9，本项目符合江山市土地利用规划要求，且周围无环境制约因素。项目辐射工作场所 50m 范围内主要为医院内部建筑和内部道路，不涉及自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、居民区及学校等环境敏感区。经辐射环境影响预测分析预测，在严格执行本评价中提出的辐射管理和辐射防护措施后，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，故本项目的选址合理可行。

(4) 项目可行性

综上所述，江山市人民医院直线加速器和后装机及 DSA 建设项目选址合理，符合国家产业政策的要求，符合“三线一单”的要求，具有“实践正当性”，在落实本

报告提出的各项辐射防护措施、污染防治措施和辐射环境管理要求后，具备从事相应辐射活动的技术能力，本项目射线装置、放射源运行时对周围环境的影响均能符合辐射环境保护的要求，故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设和运行是可行的。

13.2 建议和承诺

13.2.1 建议

(1) 医院应严格实施辐射安全管理办法，并加强辐射安全教育培训，以此来提高医护人员对辐射防护的理解和执行辐射防护措施的自觉性，杜绝放射性事故的发生。

(2) 医院应严格落实辐射档案的管理，辐射档案由专人保管和负责。

13.2.2 承诺

医院承诺按照相关法律法规要求严格履行辐射环评制度、辐射安全许可制度，按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4号）的要求，在规定的验收期限内对此次评价内容进行验收，并编制竣工验收报告。

表 14 审批

下一级生态环境部门预审意见

公章

经办人（签字）：

年 月 日

审批意见

公章

经办人（签字）：

年 月 日