

表 1 项目基本情况

建设项目名称		赣州市妇幼保健院新院区放射性同位素与射线装置应用项目				
建设单位		赣州市妇幼保健院				
法人代表	陈友佳	联系人		联系电话		
注册地址		江西省赣州市章贡区大公路 106 号				
项目建设地点		江西省赣州市章江新区赣康路				
立项审批部门		/		批准文号	/	
建设项目总投资（万元）		3000	环保投资（万元）	288	投资比例 9.6%	
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 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、核技术应用项目情况

赣州市妇幼保健院老院区位于江西省赣州市章贡区大公路 106 号，始建于 1956 年 10 月，是三级甲等专科医院，国家级爱婴医院，担负着赣州市 19 个县（市、区）妇幼保健业务指导、科研、教学、人才培养的任务。医院占地 14.8 亩，业务用房 2.8 万 m²，开放床位 580 张。医院现有在职职工 927 人，离退休职工 131 人，在职职工中卫技人员 813 人，占职工总数的 87.7%，本科以上学历职工 573 人，硕士学历职工 49 人；正高级职称专家 17 人，副高级职称专家 78 人；医院实行年工作 250 天，每天 8 小时工作制。

为了优化赣州市妇女儿童医疗资源布局，解决赣州市医疗资源供给不足，缓解妇女儿童就医难的民生问题，赣州市妇幼保健院在江西省赣州市章江新区赣康路建设新院区。该院区建设项目已履行了环评手续，并取得了原赣州市环境保护局章贡分局《关于〈赣州市妇幼保健院新院项目环境影响报告书〉的批复》（赣市环章分督字[2016]15 号，见附件 10）。为了适应医院发展需要，满足广大患者的就医需求，医院拟在新院区门诊医技楼地下二层

新建放疗中心，在门诊医技楼一楼新建介入中心。拟建放疗中心设有 1 间医用直线加速器机房和 1 间后装治疗机机房。介入中心拟设置 1 间 DSA 介入手术室。

放疗中心直线加速器机房拟安装使用 1 台 10MV 医用电子直线加速器（等中心点处最大剂量率为 6Gy/min），后装治疗机房拟安装使用 1 台 ^{192}Ir 后装治疗机（含 1 枚 ^{192}Ir 放射源，最大装源活度为 $3.7\times 10^{11}\text{Bq}$ ）。介入中心拟安装使用 1 台数字减影血管造影仪（DSA）用于介入治疗。

本项目放疗中心拟配备放射治疗专业技术人员 6 人，包括放射肿瘤医师（中级以上职称）2 人，放疗技师 2 人，放疗物理师 1 人（大学本科学历或中级以上职称），维修工程师 1 人。介入中心拟配置专职辐射工作人员 6 人。本项目辐射工作人员均为重新招聘专职人员，不与老院区放射科共用辐射工作人员。

本项目放疗中心拟使用的医用直线加速器设备具体情况详见表 1-1，后装治疗机拟使用放射源具体情况详见表 1-2，介入中心拟使用的 DSA 的具体情况详见表 1-3。

表 1-1 本项目拟使用医用电子直线加速器情况一览表

序号	设备名称	型号	数量 (台)	设备参数		安装位置	活动种类和范围
				X 射线	6/10MV		
1	医用电子直线加速器	未定	1	电子线	6~22MeV	门诊医技楼地下二层放疗中心加速器机房	使用 II 类射线装置

表 1-2 本项目拟使用密封源一览表

序号	核素名称	数量	使用场所	放射性活度 (Bq)	活动种类和范围
1	^{192}Ir	1 枚	新院区门诊医技楼地下二层放疗中心后装机房	3.7×10^{11}	使用，III 类放射源

表 1-3 本项目拟使用的 DSA 情况一览表

设备名称	型号	数量 (台)	管电压 (kV)	管电流 (mA)	用途	设备位置	活动种类和范围
数字减影血管造影机 (DSA)	未定	1	125	1250	介入治疗	门诊医技楼一楼介入中心	使用 II 类射线装置

由“关于发布<射线装置分类>的公告（环境保护部、国家卫生和计划生育委员会 公告 2017 年第 66 号）”可知，本项目使用的医用直线加速器和数字减影血管造影仪（DSA）均属于 II 类射线装置。由《关于发布放射源分类办法的公告》（国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号）可知，本项目使用的 ^{192}Ir 放射源（最大装源活度为 $3.7\times 10^{11}\text{Bq}$ ）属于 III 类放射

源。由《建设项目环境影响评价分类管理名录》（环境保护部令第 44 号，2018 修正）可知，赣州市妇幼保健院新院区拟使用的 II 类射线装置，III 类密封源应进行辐射环境影响评价并编制辐射环境影响报告表，报江西省生态环境厅审批。

为此，赣州市妇幼保健院于 2019 年 11 月正式委托江西省核工业地质局测试研究中心进行辐射环境影响评价。江西省核工业地质局测试研究中心则立即组织人员进行了现场踏勘和资料收集等相关工作，在此基础上编制完成了该医院的辐射环境影响报告表。

2、拟评价项目地理位置、周围环境概况以及选址合理性分析

（1）项目地理位置

本项目位于江西省赣州市章江新区赣康路的赣州市妇幼保健院新院区内，本项目建设点，地理坐标为东经 114° 54′ 20.78″、北纬 25° 49′ 27.49″，具体位置详见图 1-1。

（2）周围环境概况

医院新院区西北面紧邻在建道路（水南路），西北面 30m 处为中航云府二期沿街商铺，东北面紧邻赣康路，东南面为南康路，西南面为九曲河路（韶关路）。

本项目拟建放疗中心位于赣州市妇幼保健院新院区门诊医技楼地下二层，介入中心位于门诊医技楼一楼。医院新院区总平面、本项目外关系以及核技术利用场址所在位置详见图 1-2。

本项目所在的门诊医技楼由门诊楼（南侧，-2F 至 4F）、医技楼（北侧，-2F 至 5F）及住院楼（北侧，医技楼以上 6F 至 15F）以及连廊组成。医院新院区门诊医技楼西北面为院内道路，21m 处为在建道路（水南路），45m 处为中航云府二期沿街商铺；门诊医技楼东北面为院内绿化、道路和赣康路；门诊医技楼东南面为院内绿化和道路；门诊医技楼西南面 23m 处为行政办公楼，约 60m 处为报告厅。

本项目放疗中心直线加速器机房西北面为过道和土层，21m 处为在建道路（水南路），45m 处为中航云府二期沿街商铺；东北面为后装机房、后装控制室和准备间；东南面为直线加速器控制室、候诊区和设备间（稳压器、水冷机房）；西南面为合成前室、楼梯间和电梯间。后装治疗机机房西北面为过道和土层，21m 处为在建道路（水南路），45m 处为中航云府二期沿街商铺；东北面为制模式、物理室和模具存放室，东南面为后装治疗和准备间，西南面为直线加速器机房，西北面为过道和土层。放疗中心直线加速器机房及后装治疗机房顶棚均为管道设备层，楼下均为土层。

本项目拟建 DSA 机房西北面为污物间、谈话间和患者准备室，东北面为设备间和导管库，东南面为 DSA 控制室，西南面为空地和绿化。DSA 机房楼上为麻醉室和等候复苏间，

楼下为设备管道层。

本项目放疗中心直线加速器机房及后装治疗机机房及周边环境平面布置图见 1-3, 介入中心平面布置图见 1-4, 本项目现场照片见图 1-5。

(3) 选址合理性分析

本项目拟建放疗中心位于医院新院区门诊医技楼地下二层的西北端, 楼上均为设备管道层, 地下为土层, 西北侧临车辆过道均为土层; 介入中心位于医院新院区门诊医技楼一楼西南端, 50m 评价范围内均为院内用房、市政道路以及沿街商铺, 评价范围内无学校、幼儿园、居民区等环境敏感目标。综上所述, 本项目辐射工作场所通过采取有效治理和屏蔽措施后对周围环境影响较小, 选址合理可行。



图 1-1 本项目地理位置图

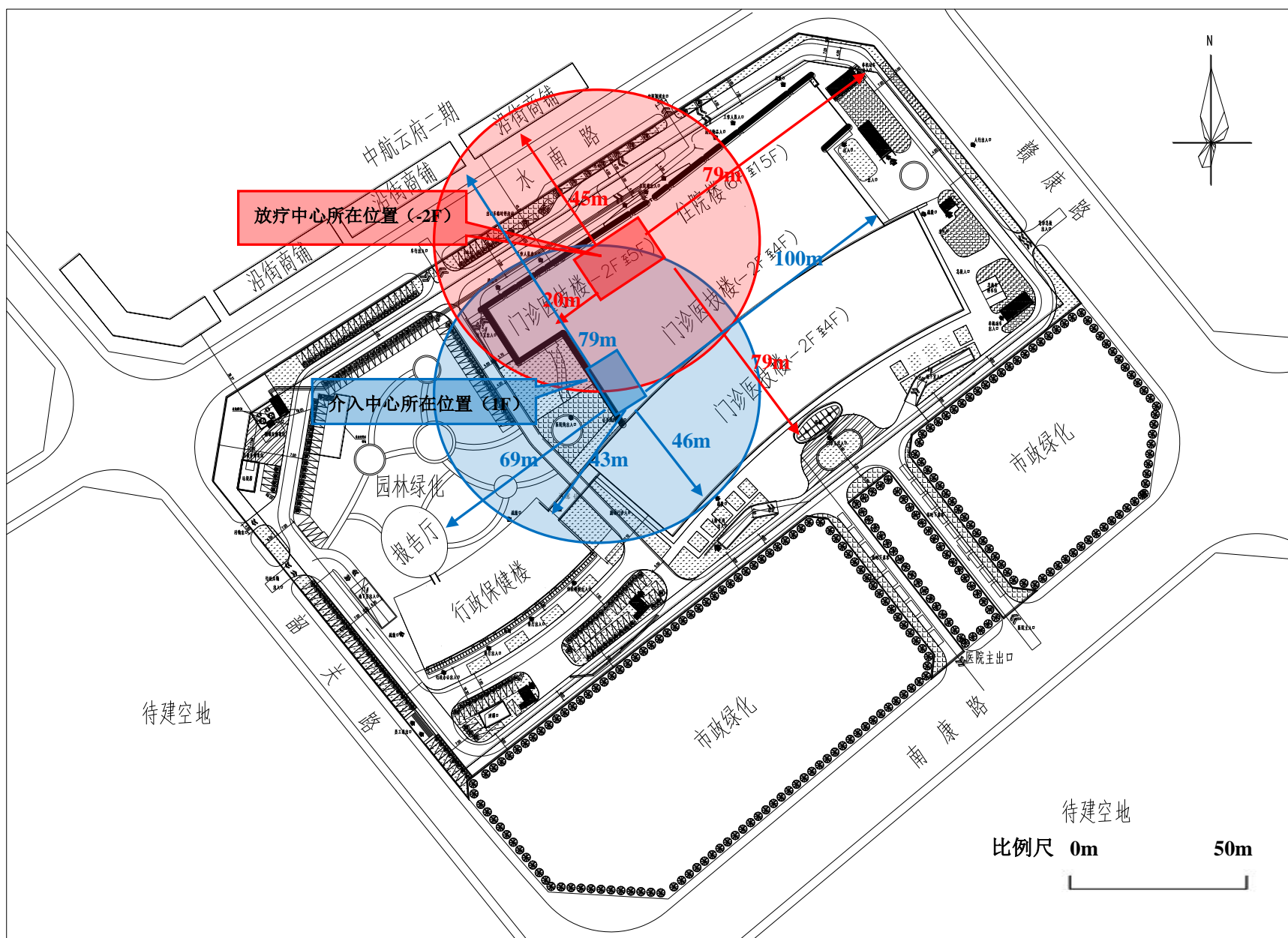


图 1-2 赣州市妇幼保健院新院区总平面布置、外环境关系以及本次核技术利用项目所在位置示意图

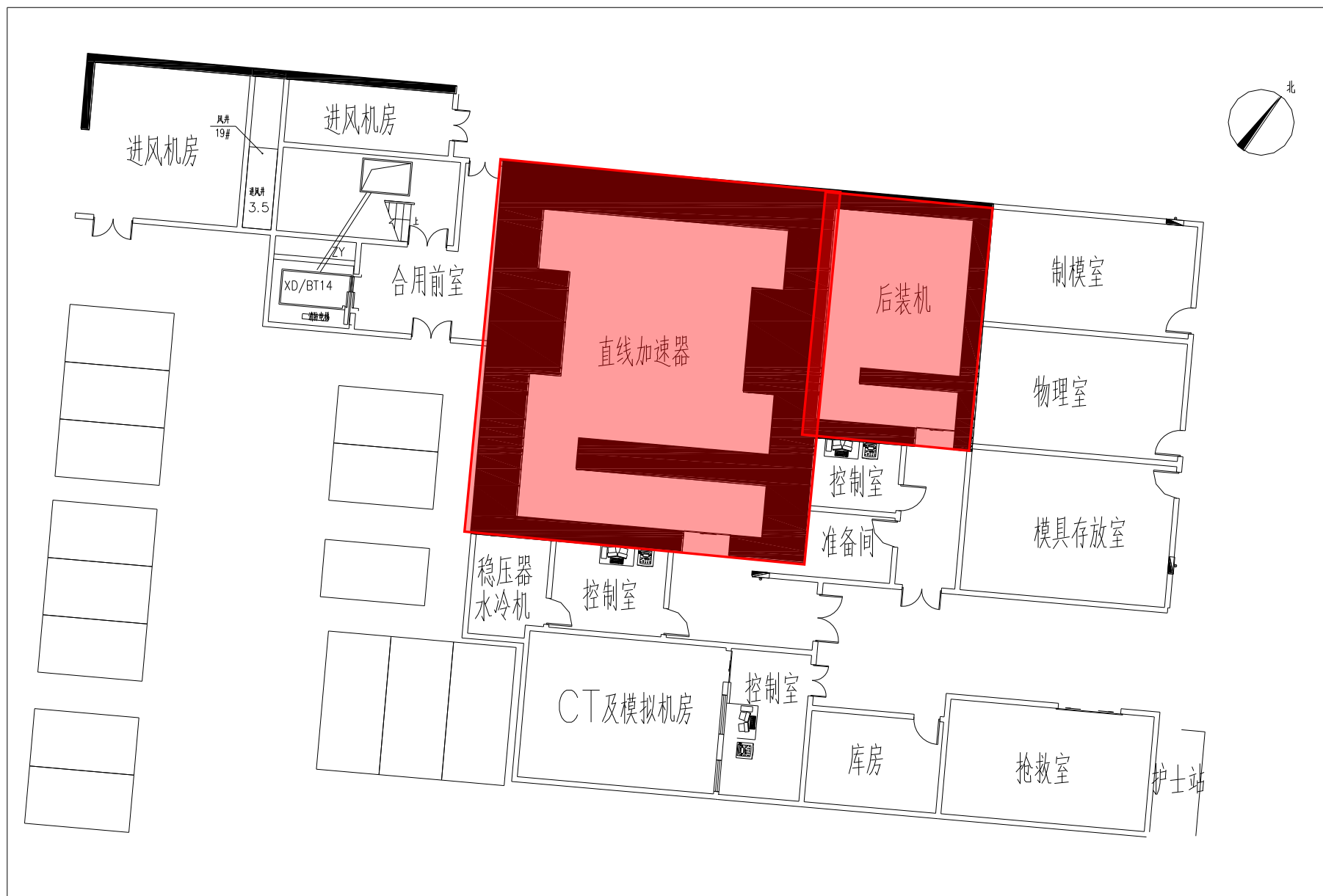


图 1-3 赣州市妇幼保健院新院区拟建直线加速器和后装机机房平面布置示意图



图 1-4 赣州市妇幼保健院新院区拟建 DSA 机房平面布置及周边情况示意图



新院区西北侧为在建水南路、中航云府二期



新院区西南侧为九曲河路（韶关路）



新院区东南侧为南康路



新院区东北侧为赣康路



新院区在建工地



新院区门诊医技楼-1F 设备管道层



新院区门诊医技楼-2F 放疗中心



新院区门诊医技楼 1F 介入中心 (DSA 机房)

图 1-5 本项目所在位置及周边情况现场照片

3、原有核技术利用项目回顾

(1) 医院原有核技术应用项目情况

医院老院区原使用乳腺钼靶机、胃肠 X 射线机、小 C 臂机、DR、CT、牙片机、移动 X 射线机各 1 台，共 7 台 III 类射线装置，已于 2017 年履行了建设项目环境影响登记表备案手续，备案号为 201736070200000019，详见附件 2。医院于 2017 年 11 月办理了辐射安全许可证，证书编号为赣环辐证[B1708]，详见附件 3。

目前医院原许可使用的 MSD-III 牙片机和 HMC-50 型小 C 臂机均已报废。

2020 年医院老院区新增使用移动 DR 机、双能 X 线骨密度仪、DR 机、胃肠 X 线机、小 C 臂机各 1 台，共 5 台 III 类射线装置，医院于 2020 年 3 月履行了建设项目环境影响登记表备案手续，备案号为 202036070200000038，详见附件 2。

医院老院区已履行登记表备案手续并正在使用的 10 台 III 类射线装置详见表 1-4。

表 1-4 赣州市妇幼保健院老院区现有射线装置一览表

序号	设备名称	型号	工作场所	活动种类和范围	环评情况	验收情况	备注
1	乳腺钼靶机	MAMMOMAT INSPIRATION	放射科	使用 III 类射线装置	备案号： 201736 070200 000019	/	在用，已上证
2	胃肠 X 线机	万东 HF51-5	放射科	使用 III 类射线装置			在用，已上证
3	DR 机	新东方 1000A	放射科	使用 III 类射线装置			在用，已上证
4	CT 机	GE Brivo-325	放射科	使用 III 类射线装置			在用，已上证
5	移动 X 线机	万东 YZ021-2	儿童重症病房	使用 III 类射线装置			在用，已上证
6	移动 DR 机	联影 UDR370i	儿科住院部大楼 9 楼新生儿	使用 III 类射线装置	备案号： 202036 070200 000038	/	已购置，未上证
7	双能 X 线骨密度仪	GE LUNAR DPX	妇科住院部大楼一楼放射科	使用 III 类射线装置			已购置，未上证
8	DR 机	联影 UDR588i		使用 III 类射线装置			已购置，未上证
9	胃肠 X 线机	岛津 Uni-Vision		使用 III 类射线装置			已购置，未上证
10	小 C 臂机	奇目	妇科住院部大楼八楼手术室	使用 III 类射线装置			已购置，未上证

(2) 医院辐射安全管理现状

赣州市妇幼保健院根据《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关放射性法律、法规，在辐射防护设施运行、维护、检测工作、辐射安全和防护制度的建立、落实以及档案管理等方面完成了以下工作：

①医院成立了辐射安全领导小组，负责医院的辐射防护与安全工作。

②医院制定了完善的《辐射事故应急处理预案》、《辐射工作人员培训计划和监测方案》、《设备检修维护制度》、《辐射工作人员岗位职责》、《辐射防护和安全保卫制度》、《人员培训计划、监测方案》、《射线装置操作规程》等规章制度，规章制度都在相关科室上墙，

且工作人员严格按规章制度要求执行。

③医院建立了相应的辐射事故应急处理预案及应急领导小组。

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

⑤医院配置了铅衣、铅帽、铅围脖、铅围裙、铅方巾等防护用品。

⑥医院所有辐射工作人员均配备了个人剂量计，进行辐射工作时均规范佩戴个人剂量计，并进行个人剂量检测和职业健康检查，建立了个人剂量档案（见附件 4）和职业健康监护档案（见附件 5）。

⑦医院老院区现有的辐射职业人员共 12 名，其中 2 名辐射工作人员已于 2017 年参加生态环境主管部门组织的辐射防护与安全培训并取得合格证书（培训证书见附件 6），另有 6 名辐射工作人员于 2019 年 11 月参加了生态环境主管部门组织的辐射防护与安全培训（合格证尚未颁发）。

⑧医院每年均委托有资质单位依照医院制定的监测计划和监测方案定期对现有辐射工作场所及周边辐射环境进行监测。

⑨医院每年均对射线装置应用场所及周围环境进行一次辐射监测，建立监测技术档案，并向相关部门提交了《射线装置安全和防护状况年度评估报告》（见附件 11）。

存在问题：

①医院应加强辐射防护工作人员辐射防护与安全培训，尽快安排未培训 4 名辐射工作人员参加由生态环境主管部门组织的辐射安全培训并取得合格证书，持证上岗。

②医院应尽快申请变更辐射安全许可证副本，将新增的 5 台射线装置纳入射线装置台账。

4、评价目的

（1）对医院新建射线装置应用场所及周边的辐射环境现状进行现场调查和监测，以掌握该场址的辐射水平和辐射环境质量现状。

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

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

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

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 ×1 枚	III类	使用	治疗	新院区放疗中心后装机房内	屏蔽在后装治疗机内，储存在放疗中心后装机房内。	装源及换源均由厂家负责。

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

表 3 非密封放射性物质

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

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)以及《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》(环办辐射函[2016]430号)。

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	医用电子直线加速器	II类射线装置	1	待定	电子	X 射线：6/10MV 电子线：6~22MeV	6Gy/min	治疗	新院区门诊医技楼地下二层放疗中心直线加速器机房	新建

(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	数字减影血管造影仪 (DSA)	II类	1	/	125	1250	介入治疗	新院区门诊医技楼一层介入中心 DSA 机房	新建，不带 CT 功能

(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
废弃密封源	固态	^{192}Ir (1枚)	/	/	/	/	/	生产厂家回收
废弃直线加速器靶	固体	/	/	/	/	/	/	生产厂家回收处理

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

表 6 评价依据

法规文件	<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九号 2014 年修订）；</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七十七号 2018 年修订）；</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六号）；</p> <p>(4) 《中华人民共和国职业病防治法》（中华人民共和国主席令，第 52 号 2016 年修订）；</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》（国务院第 253 号令，2017 年修订）；</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 449 号，2019 年修订）；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（国家环境保护部令 第 3 号 2017 年修订）；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（国家环境保部令 第 18 号）；</p> <p>(8) 《放射性废物安全管理条例》（国务院令 第 612 号）；</p> <p>(9) 《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》（环发[2006]145 号）；</p> <p>(10) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2018 年版，2018 年 4 月 28 日实施）；</p> <p>(11) 《关于发布射线装置分类的公告》（环境保护部 国家卫生和计划生育委员会 公告 2017 年第 66 号）；</p> <p>(12) 《关于发布放射源分类办法的公告》（国家环境保护总局 2005 年 第 62 号）；</p> <p>(13) 《生态环境部关于废止、修改部分规章的决定》（生态环境部令 第 7 号，2019 年 8 月 22 日起开始施行）；</p> <p>(14) 《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 日起施行）。</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》 (HJ 10.1-2016)</p> <p>(2) 《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》 (GB/T 14583-93)</p> <p>(3) 《辐射环境监测技术规范》 (HJ/T 61-2001)</p> <p>(4) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》 (GB 18871-2002)</p> <p>(5) 《电子加速器放射治疗放射防护要求》 (GBZ 126-2011)</p> <p>(6) 《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分:化学有害因素》(GBZ 2.1-2007)</p> <p>(7) 《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》 (GBZ 121-2017)</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》 (GBZ/T 201.2-2011)</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/T 201.3-2014)</p> <p>(11) 《医用 X 射线诊断放射防护要求》 (GBZ 130-2013)</p>
<p>其他</p>	<p>(1) 委托书 (附件 1)</p> <p>(2) 《赣州市妇幼保健院新院区医用 X 射线诊断建设项目职业病危害放射防护预评价报告书》 (江西省职业病防治研究院 2019 年 3 月)</p> <p>(3) 《赣州市妇幼保健院新院区放射治疗建设项目职业病危害放射防护预评价报告书》 (江西省职业病防治研究院 2019 年 3 月)</p> <p>(4) 《中国环境天然放射性水平》</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

本项目为使用使用 II 类射线装置，使用 III 类密封源项目，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》（HJ 10.1-2016），考虑到该项目的实际情况，本项目评价范围为各工作场所实体屏蔽物外 50m。

7.2 保护目标

本项目拟建放疗中心位于赣州市妇幼保健院新院区门诊医技楼西北侧地下二层，介入中心位于门诊医技楼一楼。

本项目放疗中心直线加速器机房西北面为过道和土层，21m 处为在建道路（水南路），45m 处为中航云府二期沿街商铺；东北面为后装机房、后装控制室和准备间；东南面为直线加速器控制室、候诊区和设备间（稳压器、水冷机房）；西南面为合成前室、楼梯间和电梯间。后装治疗机机房西北面为过道和土层，21m 处为在建道路（水南路），45m 处为中航云府二期沿街商铺；东北面为制模式、物理室和模具存放室，东南面为后装治疗和准备间，西南面为直线加速器机房，西北面为过道和土层。放疗中心直线加速器机房及后装治疗机房顶棚均为管道设备层，楼下均为土层。

本项目拟建 DSA 机房西北面为污物间、谈话间和患者准备室；东北面为设备间和导管库；东南面为 DSA 控制室；西南面为空地和绿化，35m 处为行政保健楼。DSA 机房楼上为麻醉室和等候复苏间，楼下为设备管道层。

综上所述，本项目辐射工作场所评价范围 50m 内均为医院用地、市政道路以及部分中航云府二期沿街商铺，不涉及居民区、学校等环境敏感目标。故本项目主要环境保护目标为医院的辐射工作人员、工作场所周边偶尔路过或停留的其他非辐射工作人员、患者、家属以及沿街商铺公众人员。本项目辐射工作人员拟均为新招聘工作人员，不与老院区共用辐射工作人员。本项目的环境保护目标见表 7-1。

表 7-1 环境保护目标一览表

环境保护对象		相对方位	距离	规模	剂量约束值 (mSv/a)	
放疗中心直线加速器 和后装治疗机	职业工作人员	操作人员	南墙外	1m	6 人	5
	公众成员	门诊医技楼其他非辐射工作人员	紧邻	/	约 1000 人	0.1
		直线加速器机房、后装治疗机机房周边短暂停留的候诊人员及家属	紧邻	/	流动人员	0.1
		中航云府二期沿街商铺	西北面	45m	约 20 人	0.1

DSA	职业工作人员	操作人员	南墙外	1m	6人	5
	公众成员	门诊医技楼其他非辐射工作人员	紧邻	/	约1000人	0.1
		DSA 机房周边短暂停留的候诊人员及家属	紧邻	/	流动人员	0.1
		行政保健楼工作人员	西南面	35m	约100人	0.1

7.3 评价标准

(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 剂量限制

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

B1 剂量限值

B1.1 职业照射

B1.1.1 剂量限值

B1.1.1.1 应对任何工作人员的照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

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

B1.2 公众照射

B1.2.1 剂量限值

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：

a) 年有效剂量，1mSv；本项目取其十分之一即 0.1mSv 作为管理限值。

(2) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》(GBZ/T 201.1-2007)

4.1 屏蔽所考虑的环境条件

4.1.1 治疗机房一般设于单独的建筑或建筑物底层的一端。治疗机房的坐落位置应考虑周围环境与场所的人员驻留条件及其可能的改变，并根据相应条件确定所需要的屏蔽。

4.1.2 在设计和评价治疗机房顶屏蔽时，应充分考虑“天空散射辐射”和“侧散射辐射”对治疗机房邻近场所中驻留人员的照射。

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，凡是可能与治疗装置分离的，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。

4.2.3 X 射线管治疗装置的治疗机房可不设迷路。γ 刀治疗装置的治疗机房，根据场所空间和环境条件、确定是否选用迷路。除此而外，其他治疗机房应设置迷路。

4.2.4 应根据治疗要求给定治疗装置源点的位置（它可能偏离机房的对称中心）或后装治疗源可能应用的源点的位置与范围。

4.3 需要屏蔽的辐射源项目

4.3.1 治疗机房屏蔽的辐射源项包括：初级辐射(有用束)、次级辐射(包括泄漏辐射和散射辐射)，天空散射和侧散射辐射。

4.3.2 有用束可以是 4π 发射的点源成具有一定立体角范围的宽束辐射。有用束屏蔽相关的基本参量包括辐射类型、辐射质和辐射输出量。

4.3.3 宽束辐射有用束对应的机房屏蔽为主屏蔽区，其范围应略大于有用束在机房屏蔽墙（或顶）的投影区，可按下列式确定：

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

式中， Y_p ——机房有用束主屏蔽区的宽度，m；

SAD——源轴距，m；

θ ——治疗束的最大张角（相对束中的轴线），即射线最大出射角的一半；

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

(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》（GBZ/T 201.2-2011）

4 治疗机房的剂量控制要求与屏蔽考虑

6 辐射屏蔽防护剂量的检测与评价

6.1 检测位置

机房外辐射剂量率的检测位置如下：

a) 治疗机房墙外：沿墙外距墙外表面 30cm 并距治疗机房内地平面 1.3m 高度上的一切人员可以到达的位置，进行辐射剂量率巡测；对相应关注点，进行定点辐射剂量率检测。对

检测中发现的超过剂量率控制值的位置，向较远处延伸测量，直至剂量率等于控制值的位置。

b) 治疗机房顶外：剂量率巡测位置包括主屏蔽区的长轴、主屏蔽区与次屏蔽区的交线以及经过机房顶上的等中心投影点的垂直于主屏蔽区长轴的直线。对关注点进行定点辐射剂量率检测。

c) 使用加速器 (>10MV) 治疗装置时，在治疗机房入口门外 30cm 处以及采用铅、铁等屏蔽的机房顶、外墙外，测量中子的剂量率水平。

附录 D (资料性附录) 不同类型放射治疗机房屏蔽估算示例

D.2 螺旋断层加速器放射治疗装置与机房屏蔽示例

D.2.3 治疗机房屏蔽要点

D.2.3.1 忽略患者散射辐射，按屏蔽泄露辐射考虑机房屏蔽。对有用线束直接投射的区域，也按屏蔽泄露辐射考虑。

(4) 《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011)

治疗室的防护要求：

①在加速器迷宫门处、控制室和加速器机房墙外 30cm 处的周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

②穿越防护墙的导线、导管等不得影响其屏蔽防护效果。

③X 射线能量超过 10MV 的加速器，屏蔽设计应考虑中子辐射防护。

④治疗室和控制室之间应安装监视和对讲设备。

⑤治疗室应有足够的使用面积，新建治疗室不应小于 45m^2 。

⑥治疗室入口处必须设置防护门和迷路，防护门应与加速器联锁。

⑦相关位置 (例如治疗室入口处上方等) 应安装醒目的指示灯及辐射标志。

⑧治疗室通风换气次数应不小于 4 次 h。

(5) 《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》(GBZ 2.1-2007)

工作场所空气中化学物质容许浓度 (臭氧)： $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ ；

(6) 《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》(GBZ 121-2017)

4.2 贮源器

4.2.1 放射源运输贮源器表面应标有放射性核素名称，最大容许装载活度和牢固、醒目的、符合 GB18871 要求的辐射警告标志。

4.2.2 工作贮源器内装载最大容许活度时，距离贮源器表面 5cm 处的任何位置，泄漏辐射的空气比动能率不得大于 $50\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ ；距离贮源器表面 100cm 处的球面上，任何一点的泄

漏辐射的空气比释动能率不得大于 $5\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

4.2.3 装载放射源的运输贮源器或工作贮源器，应存放在限制一般人员进入的放射治疗室或专用贮源库内。

5 治疗室的防护要求

5.1 治疗室必须与准备室和控制室分开设置。治疗室使用面积应不小于 20m^2 ，应将治疗室设置为控制区，在控制区进出口设立醒目的符合 GB18871 规定的辐射警告标志，严格控制非相关人员进入控制区；将控制区周围的区域和场所设置为监督区，应定期对这些区域进行监督和评价。

5.2 治疗室应设置机械通风装置，其通风换气能力应达到治疗期间室内空气每小时交换不小于 4 次。

5.3 治疗室入口应采用迷路形式，安装防护门并设置门-机联锁，开机状态不能出源照射，出源照射状态下若开门放射源自动回到后装治疗设备的安全位置。治疗室外防护门上方要有工作状态显示。治疗室内适当位置应设置急停开关，按下急停开关应能使放射源自动回到后装治疗设备的安全位置。

5.4 治疗室防护门应设置手动开门装置。

5.5 在控制室与治疗室之间应设监视与对讲设施，如设置观察窗，其屏蔽效果应与同侧的屏蔽墙相同。

5.6 设备控制台的设置应能使操作者在任何时候都能全面观察到通向治疗室的通道情况。

5.7 应配备辐射监测设备或便携式测量设备，并具有报警功能。

5.8 治疗室墙壁及防护门的屏蔽厚度应符合防护最优化的原则，治疗室屏蔽体外 30cm 处因透射辐射所致的周围剂量当量率应不超过 $2.5\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

5.9 在治疗室迷道出、入口处设置固定式辐射剂量监测仪并应有报警功能，其显示单元应设置在控制室内或机房门附近。

5.10 治疗室内应配有适合的储源容器、长柄镊子等应急设备。

5.11 治疗室内十个的地方应张贴应急指示。

6 实施后装治疗时的防护要求

6.8 实施治疗时，除病人外，治疗室内不得停留任何人员。

6.9 施源器、治疗床等表面因放射性物质所造成的 β 污染水平应低于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，若高于此污染水平应采取相应去污和放射源处理措施。

(7) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分： γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T

201.3-2014)

4.2.3 治疗机房一般屏蔽要求

除需满足 GBZ/T201.1 的要求外， γ 射线源放射治疗机房屏蔽应考虑下列内容：

a) 后装治疗按 4π 发射的点源考虑机房屏蔽，应在治疗机房的地板标识出相应机房外可能受照剂量最高的使用位置，作为计算屏蔽时的辐射源参考位置。

e) 后装治疗机房、 γ 远距治疗机房和体部 γ 刀治疗机房应设置迷路。

(8) 《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013)

5 X 射线设备机房防护设施的技术要求

5.1 X 射线设备机房（照射室）应充分考虑邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护和安全。

5.2 每台 X 射线机（不含移动式 and 便携式床旁摄影机与车载 X 射线机）应设有单独的机房，机房应满足使用设备的空间要求。对新建、改建和扩建的 X 射线机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应不小于表 7-2 要求。

表 7-2 X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度

设备类型	机房内最小有效使用面积 (m^2)	机房内最小单边长度 (m)
单管头 X 射线机 ^b	20	3.5

b 单管头、双管头或多管头 X 射线机的每个管球各安装在 1 个房间内。
c 透视专用机指无诊断床、标称管电流小于 5mA 的 X 射线机。

5.3 X 射线设备机房屏蔽防护应满足如下要求：

表 7-3 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量 (mm)	非有用线束方向铅当量 (mm)
介入 X 射线设备机房	2	2

5.4 在距机房屏蔽体外表面 0.3m 处，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 射线机在透视条件下检测时，周围剂量当量率控制目标值应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；测量时，X 射线机连续出束时间应大于仪器响应时间。

b) CT 机、乳腺摄影、口内牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅摄影和全身骨密度仪机房外的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；其余各种类摄影机房外人员可能受到照射的年有效剂量约束值应不大于 0.25mSv ；测量时，测量仪器读出值应经仪器响应时间和剂量检定因子修正后得出实际剂量率。

5.5 机房应设有观察窗或摄影装置，其设置的位置便于观察到患者和受检者的状态。

5.6 机房内布局要合理，应避免有用线束，直接照射门、窗和管线口位置；不得堆放与诊断工作无关的杂物。机房应设置动力排风装置，并保持良好的通风。

5.7 机房门外应有电离辐射标志、放射防护注意事项、醒目的工作状态指示灯，灯箱处应设警示语句；机房门应有闭门装置，且工作状态指示灯和与机房相同的门能有效联动。

5.8 患者和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。

5.9 每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 4（见表 7-4）基本种类要求的工作人员、患者和受检者防护用品与辅助设施，其数量应满足开展工作需要，对陪检者应至少配备铅防护衣；防护用品和辅助设施的铅当量应不低于 0.25mmPb；应为不同年龄儿童的不同检查，配备有保护相应组织和器官的防护用品，防护用品和辅助设施的铅当量应不低于 0.5mmPb。

表 7-4 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

放射检查类型	工作人员		患者和受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
介入放射学操作	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜选配：铅橡胶手套	铅悬挂防护屏、铅防护帘、床侧防护帘、床侧防护屏选配：移动铅防护屏风	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、阴影屏蔽器具	—

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

1、项目地理和场所位置

本项目位于江西省赣州市章江新区赣康路的赣州市妇幼保健院新院区内，本项目建设点地理坐标为东经 114° 54′ 20.78″、北纬 25° 49′ 27.49″，项目地理位置图见图 1-1。为掌握项目所在地的辐射环境现状，江西省核工业地质局测试研究中心于 2019 年 11 月 27 日对项目所在地进行了辐射环境现状监测。

2、监测方案与监测因子

为了解拟建项目所在区域的环境现状，对拟建工作场所及周边辐射环境进行了现状监测。监测因子为 γ 辐射剂量率。

3、监测布点原则及监测点布置

根据《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001）中的相关要求，对拟建辐射工作场所中已存在的辐射水平进行 γ 辐射剂量率本底监测，因本项目放疗中心各用房主体结构已建成，但未进行机房装修和设备安装，DSA 机房尚未建设，故本次主要在放疗中心主要辐射用房中央、拟建 DSA 机房所在位置中央、辐射工作场所顶棚所在区域以及评价范围内的有代表性建筑物室内、室外空地等处布设监测点位，监测点位布设满足《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001）相关要求，具有代表性，布设较为合理。

4、监测仪器与规范

本项目电离辐射监测仪器的参数与规范见表 8-1。

表 8-1 监测仪器与监测规范表

仪器名称	环境辐射剂量监测仪
仪器型号	FH40G-L10（主机）+FHZ672 E-10（探头）
生产厂家	Thermo 公司
测量范围	主机：10nSv/h~1Sv/h，探头：1nSv/h~100 μ Sv/h
监测规范	《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001）
监测单位	江西省核工业地质局测试研究中心
监测时间	2019 年 11 月 27 日
检定证书编号	2019H21-10-1879058002
有效日期	2019 年 7 月 4 日至 2020 年 7 月 3 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

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有合格证书上岗。

- (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，并用检验源对仪器进行校验。
- (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，经过校对、校核，最后由技术总负责人审定。

6、辐射环境质量现状监测结果及评价

项目拟建放射工作场所及周边辐射环境检测数据见表 8-2，监测布点图见附图 1 至附图 4，监测报告见附件 8。

表 8-2 本项目拟建辐射工作场所及其周围环境 γ 辐射剂量率监测结果

编号	监测点位描述	环境 γ 辐射剂量率 (nGy/h)		备注
		范围值	平均值	
1	拟建直线加速器机房内	156~170	162	室内
2	拟建直线加速器机房防护门外	155~166	159	室内
3	拟建直线加速器机房顶棚（设备层）	162~189	178	室内
4	拟建后装治疗机机房内	163~170	166	室内
5	门诊医技楼-2F	151~170	160	室内
6	拟建 DSA 机房场址处	146~167	157	室内
7	拟建 DSA 机房楼下	170~182	175	室内
8	新院区西北侧在建道路	139~148	144	室外
9	新院区东北侧赣康路	145~155	150	室外
10	新院区东南侧南康路	146~154	150	室外
11	新院区西南侧九曲河路（韶关路）	145~155	150	室外
12	新院区西北侧中航云府二期沿街商铺	137~142	139	室外

注：以上数据均未扣除宇宙射线的贡献；

从现场检测结果可见，医院新院区本次环评拟建放疗中心以及介入中心 DSA 工作场所及周围室内环境 γ 辐射剂量率为 157nGy/h~178nGy/h 之间，室外环境 γ 辐射剂量率为 139nGy/h~150nGy/h 之间，均与赣州地区室内和道路辐射环境本底水平相当（注：赣州地区室外辐射环境本底范围值 27.9~257.6nGy/h，室内辐射环境本底范围值 46.3~327.1nGy/h，来源于《中国环境天然放射性水平》），说明本项目应用场所及周边辐射环境质量现状较好。

表 9 项目工程分析与源项

一、工程设备和工艺分析

1、DSA

(1) 工作原理

本项目使用的 DSA 为采用 X 射线进行摄影或透视的技术设备。设备中产生 X 射线的装置主要由 X 射线管和高压电源组成。X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成（详见图 9-1），阴极是钨制灯丝，它装在聚焦杯中，当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。高电压加在 X 射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度，这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡从而产生 X 射线。

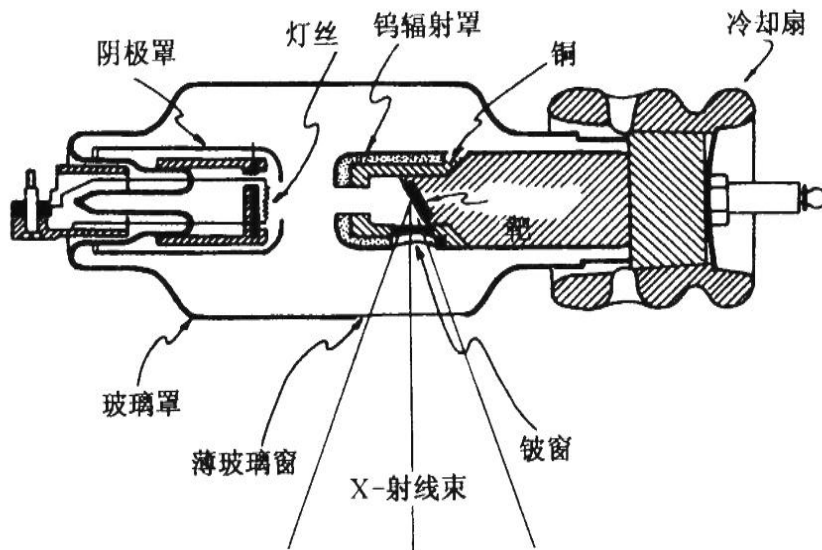


图 9-1 典型 X 射线管结构图

DSA 是数字减影血管造影 (digital subtraction angiography) 的简称，因其整体结构像大写的“C”，因此也称作 C 型臂 X 光机，DSA 由 X 线发生装置，包括 X 线球管及其附件、高压发生器、X 线控制器等，和图像检测系统，包括光栅、影像增强管、光学系统、线束支架、检查床、输出系统等部件组成。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，分别经影像增强器增益后，再用高分辨率的电视摄像管扫描，将图像分割成许多的小方格，做成矩阵化，形成由小方格中的像素所组成的视频图像，经对数增幅和模/数转换为不同数值的数字，形成数字图像并分别存储起来，然后输入电子计算机处理并将两幅图像的数字信息相减，获得的不同数值的差值信号，再

经对比度增强和数/模转换成普通的模拟信号，获得了去除骨骼、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。

介入治疗是在医学影像设备（如 DSA）的引导下，通过置入体内的各种导管（约 1.5-2 mm 粗）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，目前，基于数字血管造影系统指导的介入治疗医生已能把导管或其他器械，介入到人体几乎所有的血管分支和其他管腔结构（气管、鼻管、心脏、消化道、胆道等），以及某些特定部位，对许多疾病实施局限性治疗。

本项目在门诊医技楼一层介入中心设置 1 间 DSA 机房。拟购置使用 1 台数字减影血管造影仪（DSA），本次拟购的 DSA 最大管电压为 125kV，最大管电流为 1250mA，为单球管 X 射线机，主要用于血管造影检查和介入手术治疗。医院拟根据《放射诊疗管理规定》的相关要求配置相关人员，人员来源均为新增辐射工作人员。

根据医院提供资料，医院 DSA 设备主要用于开展心血管、肿瘤以及脑外科等介入治疗手术。由医院提供资料可知，医院每台 DSA 年病人约 1000 人，每台手术透视时间约 15~20min/人，拍片曝光时间约为 5s/人计算，则年透视时间最大为 333.3h，拍片曝光时间为 1.4h。

（2）工作流程

DSA 的工作流程如下：

- ①根据预约接诊患者，医护人员做好手术前洁净准备，并穿戴好防护用品；
- ②根据患者检查部位，选择合适的曝光条件进行影像采集；
- ③医生在透视条件下插入导管，注入造影剂进行检查或进行介入治疗；
- ④注入造影剂后需再次进行影像采集，影像采集或介入治疗完成后由工作人员协助患者离开检查室。

工作流程图见图 9-2。

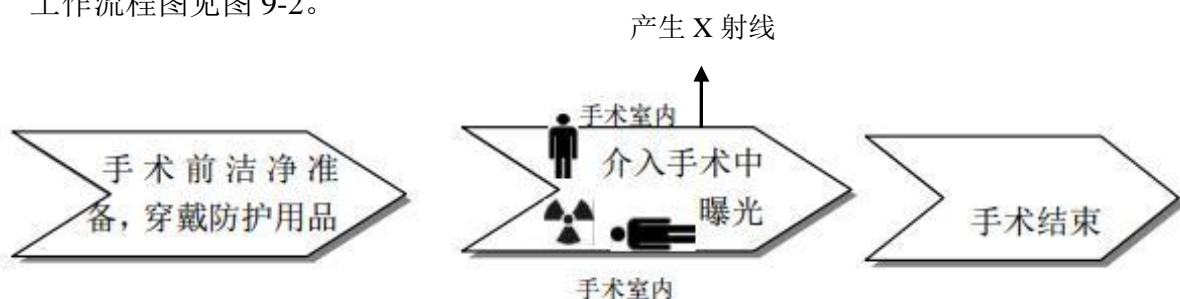


图 9-2 DSA 介入手术工作流程及产污环节示意图

项目 DSA 在进行曝光时分为两种情况：

第一种情况：透视。病人需要进行介入手术治疗时，为更清楚的了解病人情况时会有连

续曝光，并采用连续脉冲透视，此时操作医师位于铅帘后身着铅服、铅眼镜在曝光室内对病人进行直接的介入手术操作。

第二种情况：减影摄片。医生在操作室内对病人进行曝光（隔室操作），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。该种情况一般用于手术期间的图像保存，占整个手术很小的时间比例。

2、医用电子直线加速器

（1）工作原理

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

医用电子直线加速器主要由加速管、脉冲调制器、电子枪、微波系统、射束引出系统、剂量监测系统、治疗头和治疗床组成。

治疗头包括一系列与 X 线治疗机或电子束治疗有关的附属设备。对 X 线治疗，需要在射线路径上加均整器；对电子束治疗，则换以散射片，以分别扩大和均匀 X 线和电子束的射野。输出剂量监测系统由薄壁穿射电离室监测，做成密封型置于次级准直器之前，不受环境温度和气压影响，极板工作电压为 300~1000V，主要功能是监测射线的品质，包括输出剂量率，积分剂量以及照射野的对称性；并设定超剂量限位连锁，以避免出现剂量仪可能出现的记数错误。治疗床可上下、左右、前后运动一定的范围，并可旋转 180°，其旋转轴与加速器的机架和准直器旋转轴相交于一点，定义为机器等中心点。

直线加速器运行过程中，其加速器射击到金属靶后产生 X 射线，该过程将产生大量热量，为保证设备正常运转，采用冷却水闭路循环系统冷却设备。

本项目放疗中心拟配备 1 台模拟定位机进行模拟定位，拟购置直线加速器的主要技术参数见表 9-1。

表 9-1 本项目直线加速器技术参数一览表

设备名称	射线类型	射线能量	正常治疗距离	最大输出剂量率	最大照射野
直线加速器	X 线	6MV	源瘤距 100cm	600cGy/min	40cm×40cm
		10MV	源瘤距 100cm	600cGy/min	40cm×40cm

直线加速器	电子束	6-22MeV	源皮距 100cm	/	40cm×40cm	
	X 线泄漏率		中子污染系数	等中心高度	射线束总张角	机架旋转范围
	≤0.1%		0.01%	1.2m	28°	0°~360°

(2) 工作流程

使用医用电子加速器进行放射治疗项目的操作流程是：

①进行定位。先通过模拟定位机对病变部位进行详细检查，然后确定照射的方向、角度和视野大小，拍片定位。

②制订治疗计划。根据患者所患疾病的性质、部位和大小确定照射剂量和照射时间。

③固定患者体位。在利用加速器进行治疗时需对患者进行定位，标记，调整照射角度及射野。

④开机治疗。

工作流程见图 9-3。

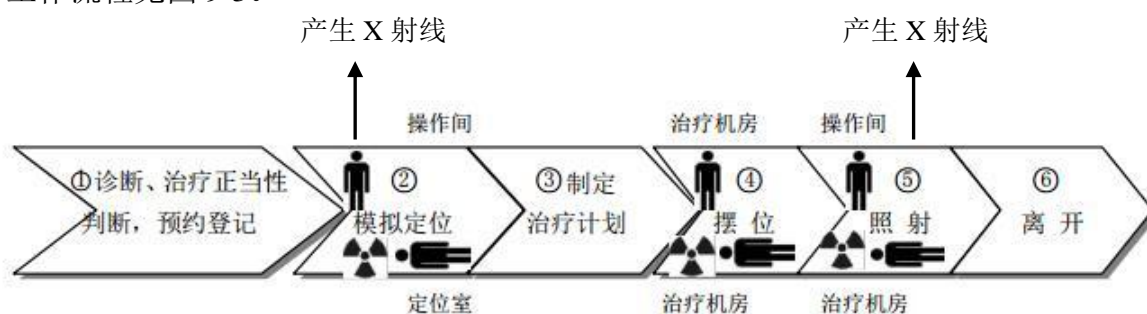


图 9-3 医用电子直线加速器工作流程及产污环节示意图

3、后装治疗机 (^{192}Ir) 项目

(1) 工作原理

后装机是采用遥控技术，将放射源送入腔内的一种近距离治疗装置。现代近距离治疗主要通过后装技术，首先将导源管或施源器、导源针插植到合适的肿瘤表面或中心部位，经 X 线片核实位置，再经过装有近距离治疗剂量计算数学模式的专业程序软件的治疗计划系统计算及优化剂量分布，获得满意结果后，再由计算机控制治疗机系统进行治疗。后装照射可使病灶区获得很高的剂量而又很好地保护周围正常组织，医务人员通过遥控操作，减少了工作人员不必要的受照。后装治疗从传统的妇科领域扩展到能对人体各部位多肿瘤的治疗，尤其是鼻咽、支气管、肺癌、食道癌、直肠、膀胱、前列腺、乳癌、胰腺、脑部等，治疗技术涉及到腔管，腔内、组织间，插入和贴敷，术中等多种施治技术。

^{192}Ir 后装机主要由驱动装置、计算机、打印机、贮源器、治疗床、 γ 射线报警仪以及根据患者不同腔位及大小而设计的系列施用器及其定位支架组成。其结构合理、可靠性高，

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。

当 ^{192}Ir 放射源使用约 6 个月后其活度约为 $6.3 \times 10^{10}\text{Bq}$ 时，其不能满足使用需求须更换放射源。新放射源到达医院后直接导入后装机贮源器中使用，不需要暂存。导源、换源均由厂家具有专门资格证书的人员负责。导源时厂家专业人员把导源管一头接入后装机贮源器，另一头接入铅罐插孔中，通过计算机隔室操作先把废源通过导源管导入铅罐中。废源导出后，通过同样方式把新源通过导源管导入后装机贮源器中。铅罐为厂家送源时使用的专用铅罐，铅当量为 8cm。废源密封在铅罐中置于铁桶内，并封好铁桶贴上源编码及日期，厂家相关人员直接带回厂家回收处置，不在医院暂存。

(2) 治疗流程

①病人经医生诊断、治疗正当性判断后，确定需要治疗的患者与放疗科预约登记，以确定模拟定位和治疗时间。

②预约病人首先在模拟定位机上进行肿瘤定位，确定肿瘤具体位置和形状，确定治疗中心。

③确定肿瘤位置和形状后，物理人员根据医生给出的治疗剂量，通过治疗计划系统 (TPS) 制定治疗计划，该过程通常在电脑上完成。根据患者所患疾病的性质、部位和大小确定照射剂量和照射时间。

④治疗计划制定后，肿瘤病人在技术人员协助下，依据治疗计划在准备室进行施源器插入。

⑤技术人员在治疗室内将储源器和施源器相连接后，进入操作室，确定所有安全措施到位后，启动治疗机进行照射。

⑥照射完毕后，技术人员协助病人离开机房，为下次照射做准备。

后装治疗机工作流程图见图 9-4。



图 9-4 后装治疗机工作流程及产污环节示意图

二、污染源项

1、DSA

(1) 正常工况

①在采取隔室操作的情况下，并且在设备安全和防护硬件及措施到位的正常情况下，X 射线机房外的工作人员及公众基本上不会受到 X 射线的照射。

②对于使用 DSA 的介入手术项目，手术室内进行手术操作的医生和其他医务人员，则会受到一定程度的 X 射线外照射。

本次评价项目中使用的 X 射线装置在显示频上观察摄影结果，不使用胶片摄影，不会产生废显影水、定影水，因此不存在污水污染的问题。

(2) 事故工况

①在使用 X 射线装置发射 X 射线进行放射诊断时，人员误入机房引起误照射。

②操作介入手术的医生或护士未穿戴铅围裙、防护手套、防护帽和防护眼镜等防护用具，而受到超剂量外照射。

2、医用电子直线加速器

医用电子直线加速器在使用过程中产生的主要环境影响及影响因子如下：

(1) 正常工况

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

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

①电子束

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

②高能 X 射线

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

还须对 90° 方向甚至 180° 方向发射的 X 射线的防护。

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

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

③中子

当加速器工作在 10MeV 以上时，无论 X 射线状态还是电子束状态，都有可能使被照射物质原子核产生某种有意义的光致裂变。此时被电子束照射的材料，既是电子—X 射线转换靶，又是 X 射线—中子转换靶。对大多数元素而言，产生中子的激发作用出现在 X 射线能量大于 10MV 以上，本项目中的医用电子直线加速器不处于此范围内。

④感生放射性

感生放射性核素种类较多，半衰期长短不一，短者只有 7.3s，长者达 15h，多数核素在数分钟至半小时之内，感生放射性以靶装置部位为最高。

⑤其他

高能电子与空气中的氧分子作用还会产生臭氧及 NO_x 废气。

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

(2) 事故工况

直线加速器发生的放射事故主要是加速器装置使用发生故障导致受检人员超剂量辐射，或工作人员误入机房引起误照射，污染途径为外照射。

3、后装治疗机 (^{192}Ir) 项目

本项目使用的 ^{192}Ir 放射源为 III 类密封源，其主要辐射特性见表 9-2。

表 9-2 本项目拟使用的放射源特性一览表

核素名称	半衰期	毒性分组	衰变方式	分支比最大的 β 射线最大能量/keV	主要 γ 射线能量及相对强度/keV (%)
^{192}Ir	73.827d	中毒	B-EC	672	208.9 (48.3) 536 (41.4)

(1) 正常工况

由其工作原理可知， ^{192}Ir 后装机放射源会产生 γ 射线污染。

^{192}Ir 放射源需考虑防护的 γ 射线一般分成三类：主射线、漏射线和散射线。

①主射线

主射线又称为有用射线、原射线，它直接来源于 γ 放射源，是放射治疗中所需要的射线，也是机房墙体屏蔽主要防护部位。

②漏射线

漏射线是通过储源罐的防护材料或人体，由 γ 放射源向外发射的射线，它包括除有用射线外的未被人体吸收的射线和在储源罐屏蔽防护材料内产生的散射线两部分。

对放射防护而言，主要应考虑放射源处于照射位置时的情况；当放射源处于贮存位置时，储源罐产生的漏射线已达到可以接受的辐射水平。

③散射线

散射线是有用射线作用在病人或其它物体上，由于散射作用而产生的射线，漏射线也能产生散射线，散射线可以有一次，两次以及更多次的散射。

④废气

后装机工作状态时， γ 射线电离空气产生少量臭氧和氮氧化物。

从上述内容看， ^{192}Ir 放射源使用和暂存过程中产生的放射性污染物为 γ 辐射，其污染途径为直接外照射。同时产生少量臭氧和氮氧化物。

(2) 事故工况

事故主要包括以下六种情况：

①在运输、安装、使用、退役过程中屏蔽储源体（屏蔽装置）发生损坏导致源不能被屏蔽。

②因工作人员操作不当或出现设备故障，在设备安装和换装放射源时，发生放射源由设备或容器中跌落出来，造成安装或操作人员受到强辐射照射。

③治疗仪处于运行状态时，因故障，发生门机联锁装置失效，导致人员误入处于运行状态的机房机房，受到不必要的辐射照射。

④由于管理不善，源使用或废源暂存过程中发生被盗、丢失、遗弃等事故，而引发环境辐射污染。

⑤施源器没有对准医疗部位就进行辐照治疗。

⑥机器故障及卡源等事故。

前四种情况的发生会导致 γ 射线漏出，使周围的 γ 辐射水平增高，从而使工作人员和公众受到较大的附加照射，特别是第四种情况的发生将会对经手人产生比较大的照射，且会引起社会恐慌；后两种情况发生也会给医生和患者一定的附加剂量。

表 10 辐射安全与防护

一、项目安全设施

1、DSA

(1) 工作场所布局

本项目 DSA 拟安装在门诊医技楼一层介入中心的 DSA 机房内。拟购置使用的 1 台数字减影血管造影仪（DSA）。

本项目拟建 DSA 机房，面积约为 68.77m²（8.92m×7.71m）。DSA 辐射工作场所设有控制室，导管库、铅衣室、设备间、污物间、谈话间、患者准备室、恢复室、更衣室、换鞋区、病患通道等。控制室设置观察窗。

本项目 DSA 机房与控制室等其他房间分开单独布置，区域划分明确，布局基本合理。

本项目拟对 DSA 辐射工作场所实行分区管理，将 DSA 机房划为控制区，在控制区入口设置电离辐射警告标志及工作指示灯，防止人员误闯入或误照。将 DSA 机房南墙外的控制室，北墙外污物间、谈话间、患者准备室，东墙外设备间、导管库以及西墙屏蔽体外 30cm 范围内区域均划为监督区。本项目介入中心 DSA 机房及周边用房的分区情况见图 10-3。

(2) 辐射工作场所拟采取的辐射防护措施

本项目 DSA 机房拟采取的防护措施情况见表 10-1。

表 10-1 本项目拟建 DSA 机房拟采取防护措施情况一览表

项目		辐射防护措施情况
机房位置		新院区门诊医技楼一层介入中心
DSA	墙体	24cm 实心砖墙+3mmPb 铅板（相当于 5.2mm 铅）
	顶棚	11cm 混凝土+2mmPb 钡水泥（相当于 3.5mm 铅）
	地板	18cm 混凝土+1mmPb 钡水泥（相当于 3.5mm 铅）
	防护门、观察窗	防护门：3mmPb 不锈钢平开铅门/平推铅门，观察窗：3mmPb 铅玻璃
	机房大小	68.77m ² （8.92m×7.71m）
机房通风		机房设计吸顶式排风扇进行通风，排风管道连接至楼层排风总管道，
标志、警示灯		机房门外均安装醒目的电离辐射标志和工作指示灯。
其他		医院拟根据《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ 130-2013）的要求，配备相应的防护用品，包括：DSA 工作人员的铅围裙、铅帽、铅围脖、铅手套、铅眼镜拟配备 6 套；DSA 患者和受检者的铅性腺防护围裙或方巾、铅围脖、铅帽等拟配备 1 套；拟配置辅助防护设施：移动铅屏风、前悬挂防护屏、铅防护帘、床侧防护帘、床侧防护屏等； 拟配备辐射监测仪器 1 台；拟为所有辐射工作人员配备个人剂量计。

(3) 辐射防护措施可行性分析

根据医院提供的资料，将本项目 DSA 机房的辐射防护措施合理性分析采用《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ 130-2013）中对 DSA 机房的防护设施的相关技术要求对照分析，本项目 DSA 机房的辐射防护措施符合性分析见表 10-2。

表 10-2 本项目拟建 DSA 机房辐射防护措施符合性分析一览表

射线装置类型	标准防护要求	本项目方案	符合性
门诊医技楼一层介入中心 DSA	每台X射线机应设有单独的机房，机房应满足使用设备的空间要求。 单管头 X 射线机面积应不小于 20m ² ，单边长度不小于 3.5m。	门诊医技楼一层介入中心 DSA 机房尺寸为 8.92m×7.71m，面积约为 68.77m ² ，机房面积大于 20m ² ，单边长度均大于 3.5m。机房内均无无关杂物堆放。	符合
	介入 X 射线设备机房：有用线束方向铅当量 2mm，非有用线束方向铅当量 2mm。	门诊医技楼一层介入中心 DSA 机房：墙体为 24cm 实心砖墙+3mm 铅板（相当于 5.2mm 铅）；顶棚为 11cm 混凝土+2mmPb 钡水泥（相当于 3.5mm 铅）；底板为 18cm 混凝土+1mmPb 钡水泥（相当于 3.5mm 铅）；观察窗为 3mmPb、防护门为 3mmPb。	符合
	在距机房屏蔽体外表面0.3m处，机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求： 具有透视功能的X射线机在透视条件下检测时，周围剂量当量率控制目标值应不大于2.5μSv/h。	表 11-2 类比监测结果表明，DSA 机房在正常工作状态下，机房周边各监测点的 X-γ 剂量率均小于 2.5μSv/h；表 11-3 估算结果表明，DSA 机房外人员可能受到照射的年有效剂量小于 0.25mSv。	符合
其他	机房应设有观察窗或摄影装置，其设置的位置便于观察到患者和受检者的状态。	本项目 DSA 机房设有铅玻璃观察窗，其设置的位置便于观察到患者和受检者的状态。	符合
	机房内布局要合理，应避免有用线束直接照射门、窗和管线口位置；不得堆放与该设备诊断工作无关的杂物；机房应设置动力排风装置，保持良好的通风。	本项目 DSA 机房有用线束未直接照射门、窗和管线口位置，机房内设有通风系统（吸顶空调）。	符合
	机房门外应有电离辐射标志、放射防护注意事项、醒目的工作状态指示灯，灯箱处应设警示语句；机房门应有闭门装置，且工作状态指示灯和与机房相同的门能有效联动。	本项目 DSA 机房门外均设置电离辐射警告标志和工作指示灯。 本项目 DSA 机房门设有闭门装置，且工作状态指示灯和与机房相同的门能有效联动。	符合
	配备适量的符合防护要求的各种辅助防护用品，如铅衣、铅手套、铅围裙等	本项目 DSA 工作人员拟配备铅围裙、铅帽、铅围脖、铅手套、铅眼镜 6 套；拟为患者和受检者的铅性腺防护围裙或方巾、铅围脖、铅帽等配备 1 套；拟配置辅助防护设施：移动铅屏风、前悬挂防护屏、铅防护帘、床侧防护帘、床侧防护屏等。	符合

由表 10-2 对照分析可见，本项目门诊医技楼一层介入中心的 DSA 机房面积大小、屏蔽物质厚度等满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）中的相关要求。

综上所述，本项目拟建的 DSA 机房均按相关标准要求进行了设计，机房的辐射防护措施符合相关规定要求。

2、医用电子直线加速器

（1）工作场所分区

本项目拟建直线加速器机房位于医院新院区门诊医技楼地下二层放疗中心直线加速器机房。医院将直线加速器机房的治疗室及迷道划为控制区，机房控制室、稳压器水冷机房以及机房墙外 30cm 区域划为监督区。具体控制区和监督区分区情况详见图 10-1。

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

（2）辐射工作场所拟采取的辐射防护措施

本项目加速器机房防护措施情况见表 10-3。平面布置及区域划分见图 10-1、图 10-2。

表 10-3 本项目直线加速器机房防护措施情况一览表

项目	设计参数
	新院区门诊医技楼地下二层放疗中心直线加速器机房
治疗室面积及净空高	60.2m ² （8.6m×7.0m），净高 4.2m。
东墙	主屏蔽墙为 2.9m 混凝土，宽 4.0m；次屏蔽墙为 1.7m 混凝土；
南墙	迷道内墙为 1.2m 混凝土，迷道外墙部分为 0.8m 混凝土、部分为 1.1m 混凝土，部分为 1.5m，具体见图 10-2。
西墙	主屏蔽墙厚 2.9m 混凝土，宽 4.0m；次屏蔽墙厚 1.7m 混凝土；
北墙	1.7m 厚混凝土；
迷道长度、宽度以及内口宽度	长：9.4m；宽：2m；内口宽度：2m；
顶棚	主屏蔽墙厚 2.9m 混凝土，宽 4.64m；次屏蔽墙厚 1.7m 混凝土；
防护门	电动铅板屏蔽门，15mm 铅板+120mm 石蜡（含硼 2%）；

其他

①在治疗室及迷路转角均各设 2 个摄像装置，设置对讲装置，便于控制室操作人员观察治疗室内人员停留等情况和与治疗室内人员交流。

②机房入口处设置防护门及迷路，防护门与加速器联锁，即防护门打开时加速器不能出束；防护门设有防夹人装置，即当有人进出防护门时，防护门自动停止关门动作；防护门外设置工作指示灯及电离辐射警告标志，工作指示灯与直线加速器联锁，出束时灯亮且灯箱处设有警示语句，防护门具有手动装置。防护门内外设置应急开门设施。

③直线加速器房控制室控制台、控制室墙面、加速器设备及治疗床、治疗室墙上、迷路墙上均设置紧急停机按钮，按下急停按钮直线加速器立即停止出束。直线加速器、机房迷路转角处设置 1 台固定式剂量报警仪。工作人员在确定加速器已停止出束后方能进入治疗室，能有效的防止人员误入。

④直线加速器采用冗余剂量监测组合的 2 台双道剂量监测系统，每一道剂量监测系统能单独终止辐射，当剂量达到预选值时，停止出束，以防止患者受到超剂量照射；控制台配备独立于其他任何控制辐照终止系统的照射控制计时器，当出束中断或终止后保留计数器读数，必须将计数器复位到零后才能开始下一次辐照。

⑤机房内设置动力排风装置，排风机排风量为 $1700\text{m}^3/\text{h}$ ，机房体积为 388.6m^3 ，换气次数不少于 4.4 次/h。通风管道采用 Z 字型穿越墙体，排风管道采用 U 字型穿越墙体，穿越墙体位置采用 4mm 厚铅皮包裹不锈钢圆管，能有效减少射线泄露影响。直线加速器机房送风机排风路径示意图见图 10-4，送风、排风管道穿越墙体图见图 10-5。

⑥工作人员在控制室操作并配戴个人剂量计，并每季度定期送检，建立剂量监测档案

⑦拟配备个人剂量报警仪 4 个、固定式剂量监测仪 1 台，放疗中心拟配备 X、 γ 辐射监测仪 1 台。

⑧定期对门机联锁、剂量监测系统、辐射安全与防护装置进行定期检查，发现异常时及时维修，确保各辐射安全与防护措施运行正常。

注：上表中的混凝土密度不低于 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ，土层的密度不低于 $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ 。

(3) 辐射防护措施可行性分析

本项目直线加速器机房的主要技术参数列表分析，并与《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ 126-2011）中对医用直线加速器机房的防护设施的相关技术要求对照分析，本项目各直线加速器机房的辐射防护措施符合性分析见表 10-4。

表 10-4 本项目拟建直线加速器机房辐射防护措施符合性分析一览表

射线装置类型	标准防护要求	本项目方案	符合性
医用直线加速器	在加速器迷宫门处、控制室和加速器机房墙外 30cm 处的周围剂量当量率应不大于 2.5 μ Sv/h。	由表 11-15 估算结果可知，医院拟建的直线加速器机房四周屏蔽墙体及防护门外的辐射剂量率范围值为 2.32 $\times 10^{-3}$ ~0.85 μ Sv/h 之间，满足小于 2.5 μ Sv/h 的要求。	符合
	治疗室和控制室之间应安装监视和对讲设备。	直线加速器机房和控制室之间拟安装监视和对讲设备。	符合
	治疗室应有足够的使用面积，新建治疗室不应小于 45m ² 。	本项目直线加速器机房治疗室面积为 60.2m ² ，满足不小于 45m ² 。	符合
	穿越防护墙的导线、导管等不得影响其屏蔽防护效果。	本项目直线加速器机房通风管道采用 Z 字型穿越墙体，排风管道采用 U 字型穿越墙体，并在转折处增加铅板。治疗室与控制室之间的电缆沟采用 U 型管道穿越防护墙体，屏蔽防护效果未受到影响。	符合
	治疗室入口处必须设置防护门和迷路，防护门应与加速器联锁。	治疗室入口处设有防护门和迷路，防护门与加速器联锁，门未关闭或打开时，不能出束。	符合
	相关位置（例如治疗室入口处上方等）应安装醒目的指示灯及辐射标志。	机房门口设有电离辐射警示标志及工作指示灯。	符合
	治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h。	本项目直线加速器机房内拟设置通风装置，排风机排风量为 1700m ³ /h，机房体积为 388.6m ³ ，换气次数不少于 4.4 次/h。	符合

由表 10-4 对照分析可见，本项目放疗中心直线加速器机房的辐射防护措施均满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ 126-2011）的相关要求，机房的辐射防护措施符合相关规定要求。

3、后装治疗机

(1) 工作场所分区

后装治疗机放射工作场所分区：把工作场所分为控制区、监督区，实行分区管理，避免人员误闯入或误照。医院将后装治疗机治疗室划为控制区，将与治疗室相邻的缓冲区、控制室、准备间等区域划为监督区。

控制区：以防护门为界的治疗室，在进行放射诊疗工作时，区内不得有人滞留。以辐射安全联锁和警示装置控制及管理制度保障此区的辐射安全。

监督区：防护门外部分缓冲区、控制室，准备间和划定区域。后装治疗机工作时，监督区只允许操作人员在此区域，公众人员不得进入。

管理上必须严格按区管理，避免人员误闯入或误照。

(2) 辐射工作场所拟采取的辐射防护措施

后装治疗机机房防护措施情况见表 10-5，平面布置及区域划分见图 10-1 和图 10-2。

表 10-5 后装治疗机机房辐射防护措施情况一览表

项目	厚度	备注
面积及净空高	治疗室面积约为 31.8m ² (6.0m×5.3m)，净高 4.2m。	
东墙	70cm 混凝土	四周屏蔽墙体及顶棚均采用密度不低于 2.35g/cm ³ 的混凝土一次浇铸而成。
南墙	路内墙厚为 60cm 混凝土；迷路外墙厚为 70cm 混凝土	
西墙	70cm 混凝土	
北墙	70cm 混凝土	
顶棚	70cm 混凝土	
防护门	电动铅板屏蔽门	8mmPb
其他	①治疗室入口设置防护门及迷路，防护门设置手动开门装置且与后装治疗机联锁，开门状态下严禁出源照射。 ②在治疗室入口设置电离辐射警告标志及工作指示灯，贮源器表面贴有电离辐射警示标志，在治疗室迷道出入口处设置固定式辐射剂量报警仪 1 台，其显示单元位于控制室内； ③控制室与治疗室间设置监视和对讲设施。 ④治疗室迷道内墙及控制室内各设置 1 个紧急停机按钮，防止人员误闯入或误照。设置应急回源装置，且设置回转手柄手动紧急回源。 ⑤治疗室拟设置机械动力排风装置，排风量为 1600m ³ /h，机房体积为 200.34m ³ ，换气次数不少于 7.9 次/h。 ⑥工作人员在操作室操作并配戴个人剂量计。	

- ⑦拟拟配备个人剂量报警仪 2 台。
- ⑧放疗中心拟配备 X、 γ 辐射监测仪 1 台。
- ⑨治疗室内拟配备储源容器、长柄镊子等应急设备。

(3) 辐射防护措施可行性分析

本项目后装治疗机机房均位于医院新院区门诊医技楼地下二层放疗中心。根据医院提供的辐射防护设计资料，将后装治疗机机房的主要技术参数列表分析，并与《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》(GBZ 121-2017) 中对后装治疗室的防护设施的相关技术要求对照分析，本项目后装治疗室的辐射防护措施符合性分析见表 10-6。

表 10-6 本项目拟建后装机机房辐射防护措施符合性分析一览表

射线装置类型	标准防护要求	本项目方案	符合性
后装治疗机	治疗室应与准备室和控制室分开设置。治疗室内有效使用面积应不小于 20m ² ，应将治疗室设置为控制区，在控制区进出口设立醒目的符合 GB 18871 规定的辐射警告标志；将控制区周围的区域和场所设置为监督区。	后装治疗室与准备室和控制室分开设置，治疗室面积约为 31.8m ² (6.0m×5.3m)。医院将后装治疗室设置为控制区，防护门外部分缓冲区、控制室，准备间设为监督区，分区管理，防止无关人员进入。防护门上设置工作指示灯及电离辐射警告标志。	符合
	治疗室应设置机械通风装置，其通风换气能力应达到治疗期间使室内空气每小时交换不小于 4 次。	治疗室拟设置机械通风装置，排风量约为 1600m ³ /h，其通风换气能力达到治疗期间使室内空气每小时交换不少于 7.9 次。	符合
	治疗室防护门应设置手动开门装置。	治疗室防护门设置了手动开门装置供紧急情况下使用。	符合
	在控制室与治疗室之间应设监视与对讲设施，设备控制台的设置应能使操作者在任何时候都能全面观察到通向治疗室的通道情况。	治疗室内设有监视和对讲设备，控制室设有显示屏和对讲装置。	符合
	应配备辐射监测设备或便携式测量设备，并具有报警功能。	本项目后装治疗室拟配备个人剂量报警仪 2 个、固定式剂量监测仪 1 台和 X、 γ 辐射监测仪 1 台。	符合
	治疗室墙壁及防护门的屏蔽厚度应符合防护最优化的原则，治疗室屏蔽体外 30cm 处因透射辐射所致的周围剂量当量率应不超过 2.5 μ Sv h ⁻¹ 。	由表 11-20 理论估算结果可知，后装治疗机开机状态下后装机治疗室屏蔽墙及防护门外的剂量率在 2.99×10 ⁻⁸ μ Sv/h~0.851 μ Sv/h 之间，低于 2.5 μ Sv/h。	符合

	在治疗室迷道出、入口处设置固定式辐射剂量检测仪并应有报警功能，其显示单元应设置在控制室内或机房门附近。	医院在后装治疗室内拟配备固定式剂量监测报警仪 1 台，显示单元拟位于控制室墙上。	符合
	治疗室内应配有合适的储源容器、长柄镊子等应急设备。	医院在治疗室内拟配备储源容器、长柄镊子等应急设备。	符合

由表 10-6 对照分析可见，本项目放疗中心后装机机房采取的辐射防护措施能满足《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》（GBZ 121-2017）的相关要求，本项目后装机机房的辐射防护措施符合相关规定要求。

二、三废的治理

本项目放射性同位素与射线装置使用过程中放射性固体废物、放射性废水及放射性废气产生及处理方案如下：

1、DSA

本项目正常使用过程中，DSA 应用过程中无无放射性废水、放射性废气及放射性固体废物产生。

2、医用电子直线加速器

直线加速器项目放射性废物是加速器的废弃靶，只在加速器装置需要更换金属钨靶时才产生，换下的废靶均由加速器供应厂家回收。

3、密封放射源

密封源使用过程中会产生放射性固体废物，无放射性废水及放射性废气产生。其中，后装治疗机使用过程中产生的废弃 ^{192}Ir 放射源应交由放射源生产单位回收处理，医院购买放射源时应按照国家相关法律法规要求与放射源生产单位签订回收协议。

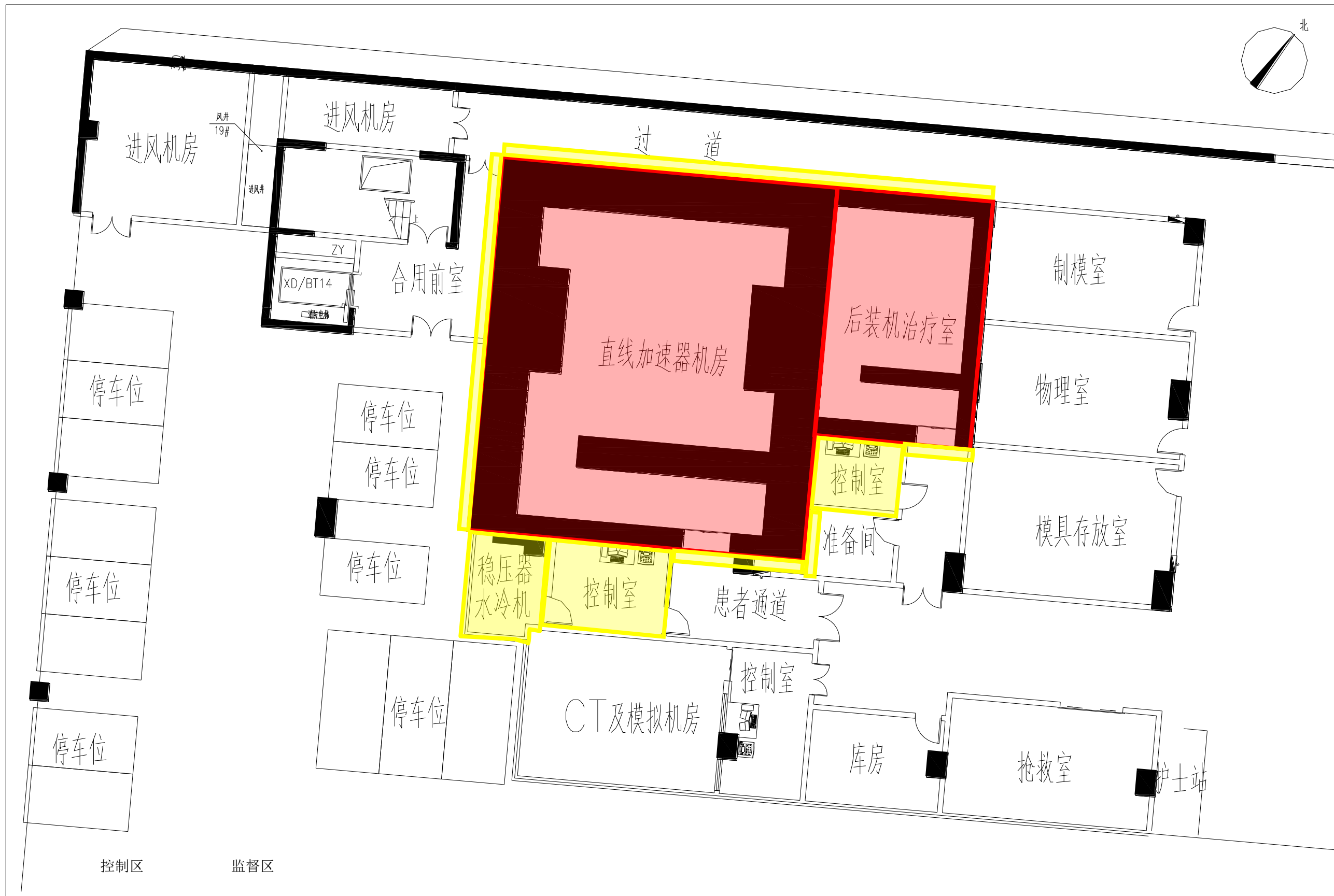


图 10-1 本项目门诊医技楼地下二楼放疗中心（拟建直线加速器机房和后装治疗机机房）平面布置及分区示意图



图 10-3 本项目门诊医技楼一楼介入中心（拟建 DSA 应用场所）平面布置及分区示意图

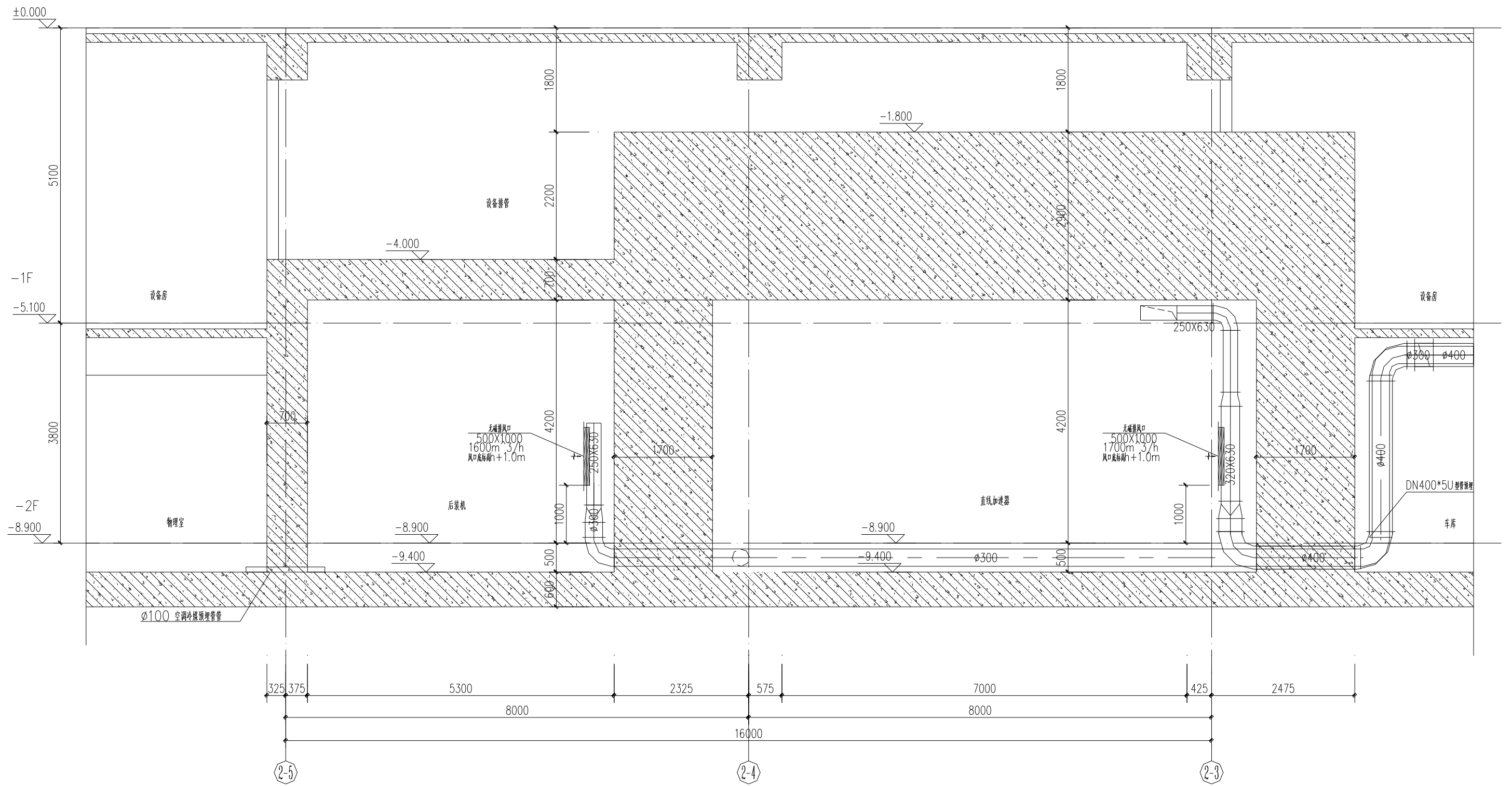


图 10-5 本项目直线加速器、后装机机房通风管道布置剖面示意图

表 11 环境影响分析

一、建设阶段对环境的影响

本项目建设期不涉及放射性同位素与射线装置的使用，但在安装调试的过程当中，一定要严格按照相关使用说明及相关管理制度进行。

二、运行阶段对环境的影响

1、DSA 项目运行期的环境影响预测及评价

1.1 辐射防护措施分析

由表 10-2 对照分析可见，本项目门诊医技楼一层介入中心的 DSA 机房面积大小、屏蔽物质厚度等满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）中的相关要求。

综上所述，本项目拟建的 DSA 机房均按相关标准要求进行了设计，机房的辐射防护措施符合相关规定要求。

1.2 DSA 运行期的辐射环境影响分析

医院此次环评的 DSA 为拟建项目，故采取类比监测的方法预测其运行后的环境影响。

(1) 类比可行性分析

本次拟建 DSA 选择景德镇市第一人民医院综合介入室 IGS330 型 DSA 应用场所的现场监测数据进行分析评价，类比可行性参数对比情况见表 11-1。

表 11-1 本项目 DSA 与类比 DSA 主要技术参数比较表

项目	本项目	类比项目	备注
设备名称型号	未定	IGS330 型 DSA	/
额定管电压、额定管电流	125kV, 1250mA	125kV, 1000mA	额定管电压相同，额定管电流略大于类比对象
常用管电压、常用管电流	80kV, 60mA	透视：69kV, 78mA； 摄片：80kV, 67mA	常用管电压、管电流与类比对象相当
墙体	24cm 实心砖+3mmPb 铅板 (相当于 5.2mm 铅)	24cm 黏土实心砖+1mmPb 的钡水泥(相当于 3mm 铅)	优于类比对象
顶棚、地板	顶棚：11cm 混凝土+2mmPb 钡水泥(相当于 3.5mm 铅)； 底板：18cm 混凝土+1mmPb 钡水泥(相当于 3.5mm 铅)；	顶棚：12cm 砣+2mmPb 的钡水泥(相当于 3.2mm 铅)	优于类比对象
防护门、观察窗	3mm 铅当量的铅	3mm 铅当量	与类比对象相当
机房内尺寸及面积	面积 68.77m ² (8.92m×7.71m)	面积 41.64m ² (6.3m×6.61m)	机房面积大于类比机房

由表 11-1 可知，本项目 DSA 的额定管电压与类比 DSA 一致，额定管电流略大于类比对象，本项目 DSA 机房在机房墙体、顶棚、地板的铅当量厚度均优于类比 DSA，机房防护门、观察窗铅当量厚度均与类比 DSA 相当，机房面积大于类比 DSA 机房。虽然本项目 DSA 额定管电流略大于类比对象，但根据医院提供资料，本项目 DSA 正常运行时常用的管电压、

管电流均与类比的 DSA 工况水平相当，总体来看本项目 DSA 屏蔽效果优于类比项目，故本项目 DSA 对环境辐射影响可参照类比景德镇市第一人民医院综合介入室 IGS330 型 DSA 正常工况下的监测数据进行类比分析是可行的。

(2) 类比监测结果

本项目选用《景德镇市第一人民医院数字减影血管造影仪（DSA）应用项目竣工环境保护验收监测报告》（环监字 2019-713 号）中的综合介入室 IGS330 型 DSA 正常工况下的监测数据进行类比分析是可行的。类比 DSA 应用场所及周边环境辐射水平监测结果见表 11-2，类比监测报告见附件 9。

表 11-2 类比 DSA 应用场所及其周边 X-γ 辐射剂量率监测结果表

序号	设备名称	监测位置	X-γ 辐射剂量率 (nSv/h)		
			开/关机	范围值	平均值
1	IGS330 型 DSA (检测条件: 摄片功能状态下, 管电压为 80kV, 管电流为 67mA, 射线朝上)	操作室防护门外 30cm	开机	89.3~101	94.1
			关机	90.1~95.6	93.7
2		观察窗外 30cm	开机	107~111	109
			关机	107~111	109
3		北墙外 30cm (处理间)	开机	126~135	130
			关机	124~130	128
4		东墙外 30cm	开机	117~122	120
			关机	112~121	116
5		南墙外 30cm	开机	107~113	111
			关机	107~112	109
6		污物间防护门 30cm	开机	100~110	105
	关机		98.8~109	104	
7	复苏室防护门 30cm	开机	85.3~94.8	90.6	
		关机	83.7~94.0	88.0	
8	西墙外 30cm	开机	113~122	118*	
		关机	113~115	114	
9	病人进出防护门 30cm	开机	85.3~109	100	
		关机	82.2~110	97.5	
10	管线口	开机	108~112	110*	
		关机	105~108	107	
11	五龙庵居民区	开机	86.1~94.0	90.9	
		关机	85.3~94.8	89.4	

12	IGS330 型 DSA (检测条件: 透 视功能状态下, 管电压为 69kV, 管电流为 78mA, 射线朝 上)	介入操作位		关机	63.9~67.5	65.4
		介入操 作位	无铅衣屏蔽(铅 挡板和铅玻璃 后)	开机	$2.42 \times 10^3 \sim 3.94 \times 10^3$	2.77×10^3
			铅衣屏蔽后(铅 挡板和铅玻璃 后)	开机	320~338	327*

注: 测值未扣除仪器对宇宙射线的响应值。

由表 11-2 类比监测结果可知, 类比 DSA 正常运行期间, 机房周围所有监测点位的 X-γ 辐射剂量率在 90.6nSv/h~130nSv/h 之间, 符合《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GB 130-2013) 的相关要求, 即满足机房外 30cm 处周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5μSv/h 的要求, 检测结果可见机房四周剂量率均处于较低水平, 说明机房经过相应的屏蔽后辐射泄漏很小, 机房屏蔽效果良好。可以认为类比的 DSA 项目的监测结果基本反映了本项目运行后的实际辐射环境影响, 因此可以推测本项目 DSA 正常运行后对机房四周的辐射环境影响较小, 本项目 DSA 机房设计能够满足相关辐射防护标准的要求。

(3) 工作人员和公众年有效剂量评价

为确定医院 DSA 机房防护的有效性及其项目运行过程中对操作人员和公众产生的附加辐射剂量及其辐射环境影响, 对其进行附加辐射剂量估算评价。

由《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 可知, 受照人员的有效剂量的计算公式如下:

$$E = \sum_T w_T \cdot \sum_R w_R \cdot D_{T,R} \dots\dots\dots \text{式 (11-1)}$$

w_R ——辐射 R 的辐射权重因子; 由 GB18871-2002 附录 J 可知, 光子(所有能量)的辐射权重因子为 1;

w_T ——组织或器官 T 的组织权重因数; 由 GB18871-2002 附录 J 可知, 人体整体的组织权重因数为 1;

$D_{T,R}$ ——辐射 R 在器官或组织 T 内产生的平均吸收剂量, Gy; 数值上约等于空气比释动能, 空气比释动能=空气比释动能率×受照时间。

①对工作人员

DSA 机房内操作人员的附加辐射剂量率为介入操作位透视功能开机状态下的辐射剂量率经铅衣屏蔽后的值(表 11-2 中带*号的数值)与关机状态下操作位辐射剂量率之差, 年工作时间为曝光时间。

考虑最大化, 本项目 DSA 控制室工作人员的附加辐射剂量率为开机状态下机房控制室内各监测点位监测数值中最大辐射剂量率(表 11-2 中带*号的数值)与其关机时辐射剂量率

之差，年工作时间为曝光时间。

②对公众成员

考虑最大化，本项目 DSA 公众成员的附加辐射剂量率为开机状态下机房周围（除控制室外）监测数值中最大辐射剂量率（表 11-2 中带*号的数值）与其关机时辐射剂量率之差，假设公众成员每天在机房周边的时间为曝光时间的四分之一。

由医院提供资料可知，考虑最大化，医院本项目 DSA 年病人约 1000 人，每台手术透视时间约 20min/人，拍片曝光时间约为 5s/人计算，则年透视时间为 333.3h，拍片曝光时间为 1.4h。公众人员居留因子取 1/4。

考虑最大化，剂量估算时假设本项目 6 名介入辐射工作人员不分组轮班，每名辐射工作人员的工作时间均为设备年曝光时间，故计算结果是偏保守和安全的。

本项目 DSA 运行时工作人员及公众人员受照有效剂量如下：

表 11-3 DSA 工作人员及公众人员受照有效剂量估算表

对象		辐射剂量率	辐射剂量率本底	附加辐射剂量率	年曝光时间(h)	附加年有效剂量(mSv/a)
		(nSv/h)				
工作人员	控制室操作位	110	107	3	334.7	1.0×10^{-3}
	介入操作位铅衣内	327	65.4	261.6	333.3	0.09
公众人员		118	114	4	$334.7/4=83.7$	3.35×10^{-4}

由表 11-3 可知，本项目 DSA 正常运行时，对工作人员（控制室操作位）的职业照射的最大年有效受照剂量值为 $1.0 \times 10^{-3} \text{mSv}$ ，低于管理限值 5mSv/a ；对机房周边公众照射的最大年有效受照剂量值为 $3.35 \times 10^{-4} \text{mSv}$ ，低于管理限值 0.1mSv/a ，医院 DSA 介入操作位的辐射工作人员铅衣内的年有效剂量最大为 0.09mSv ，低于管理限值 5mSv/a 。本项目运行后建议工作人员必须佩戴好个人剂量计、穿好铅衣、铅帽、铅围脖等防护用品，同时合理安排操作人员轮流操作；操作时应尽可能缩短曝光时间、优化曝光条件，减少患者的受照剂量，在不影响诊疗的情况下给病人必要的屏蔽防护如铅衣、铅帽、铅围裙等。

2、医用电子直线加速器运行期的辐射环境影响分析

本项目医用直线加速器机房新院区门诊医技楼地下二层的放疗中心，直线加速器机房的设计以及主体结构已经建成，但其他防护措施及其他配套用房均未开工建设。故本评价采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）标准中的相关计算公式进行理论估算，对比实际建设情况及设计材料提出优化建议。

本项目拟使用的直线加速器 X 射线能量最大能量为 10MV，1m 处最大剂量率为 6Gy/min 。

本项目直线加速器机房的平面布置及射线路径见图 11-1。

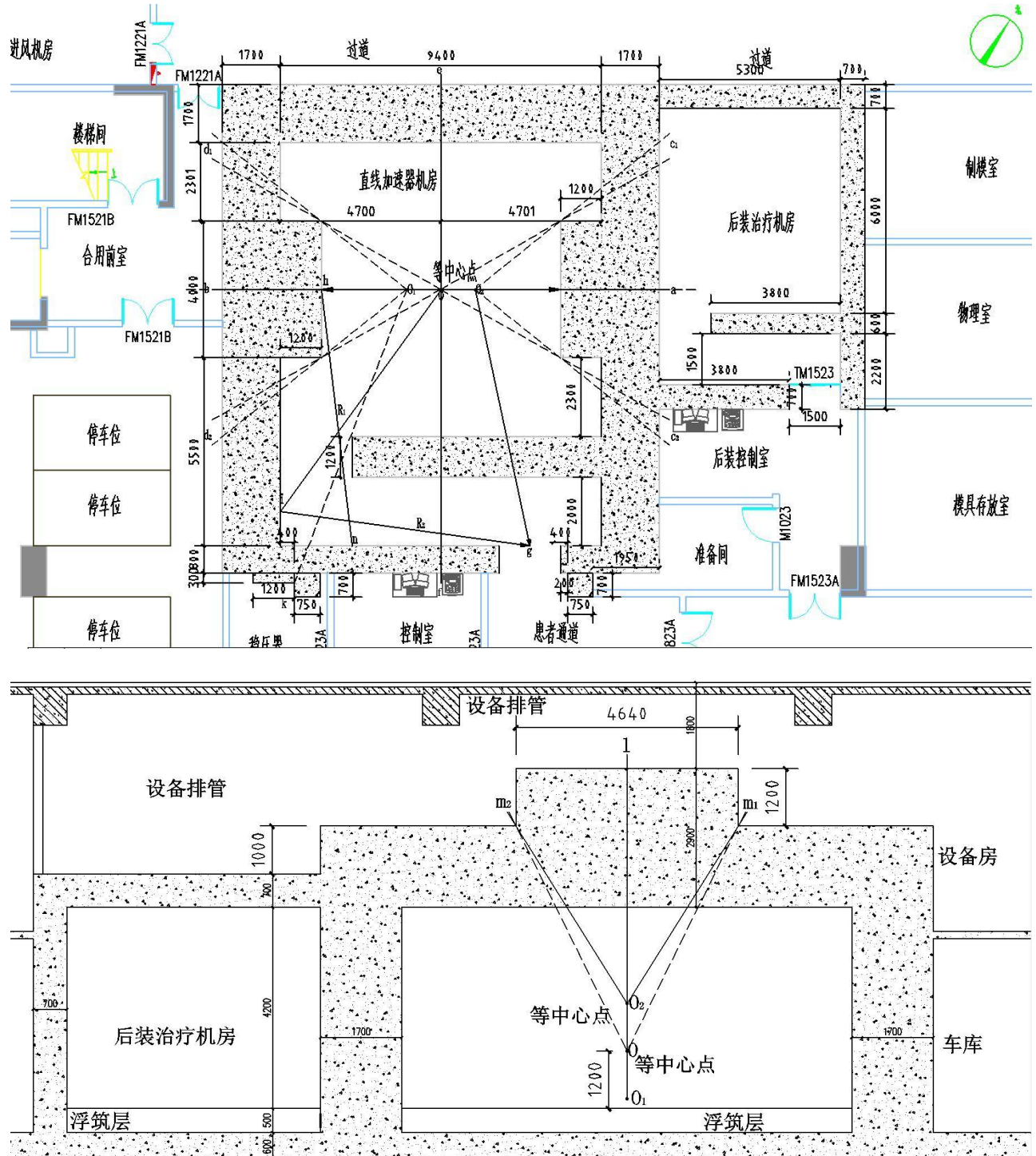


图 11-1 直线加速器计算路径图

2.1 有用线束主屏蔽区半宽度核算

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.2-2007）的相关公式核算加速器机房有用线束主屏蔽区的宽度是否满足标准要求。

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

式中， Y_p ——机房有用束主屏蔽区的宽度，m；

SAD——源轴距， m；

θ ——治疗束的最大张角（相对束中的轴线），即射线最大出射角的一半；

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

将各参数代入式（11-2）得出本项目直线加速器机房的主屏蔽宽度，计算结果见表 11-4。

表 11-4 有用线束主屏蔽区宽度核算结果一览表

直线加速器机房			
主屏蔽区	东墙主屏蔽区	西墙主屏蔽区	顶棚主屏蔽区
a (m)	4.7	4.7	6.4
SAD (m)	1	1	1
θ (°)	14	14	14
Y_p (m)	3.44	3.44	4.29
实际设计宽度 (m)	4.0	4.0	4.64
评价结果	满足	满足	满足

从表 11-4 预测结果可知，本项目放疗中心直线加速器机房主屏蔽区的实际设计宽度均满足不小于理论计算值，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/T201.2-2007）的相关要求。

2.2 剂量控制要求

①治疗机房墙外和入口门外关注点的周围剂量当量率

治疗机房墙外和入口门外关注点的周围剂量当量率（以下简称剂量率）应不大于下述 a)、b)和 c)所确定的剂量率参考控制水平 \dot{H}_c 。

A) 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子，由周剂量参考控制水平求得关注点的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 (T) 的不同，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) 关注点处的剂量率参考控制水平取 a)、b) 中的较小者, 由 a)、b) 可知, 本次项目的机房外控制区的剂量率参考控制水平取 $2.5\mu\text{Sv/h}$, 公众人员的剂量率参考控制水平取 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

②治疗室机房顶的剂量控制

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 $\dot{H}_{c,\text{max}} \leq 2.5\mu\text{Sv/h}$, 按照治疗机房墙外和入口门外关注点的周围剂量当量率求法进行计算。

B) 除上述 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视辐射在相应处的剂量 (率) 的综合, 应按 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年剂量 $250\mu\text{Sv/h}$ 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)。

单一辐射有用线束: 计算公式为: $\dot{H}_{c,d} = \frac{H_c}{t \cdot U \cdot T}$ 式 (11-3)

\dot{H}_c ——周参考剂量控制水平, $\mu\text{Sv/周}$;

U ——关注位置方向照射的使用因子;

T ——人员在相应关注点驻留的居留因子;

t ——治疗装置周治疗照射时间, h ; 由医院提供资料可知, 本项目直线加速器年病人约 15000 人/次, 治疗时间约 2min/人 , 则年出束时间为 500h , 则周出束时间为 10h 。代入参数算得屏蔽区墙外剂量率参考控制水平见表 11-5。

表 11-5 主屏蔽区墙外剂量率参考控制水平

直线加速器机房			
关注点	东墙主屏蔽 (a 点)	西墙主屏蔽 (b 点)	房顶主屏蔽 (1 点)
周剂量参考控制水平 H_c ($\mu\text{Sv/周}$)	5	5	5

治疗照射时间 t	10	10	10
使用因子 U	1/4	1/4	1/4
居留因子 T	1/4	1/4	1/16
导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	8	8	32
关注点的最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,\text{max}}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	10	10	10
剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$)	8	8	10

单一辐射泄露辐射：计算公式为： $\dot{H}_{c,d} = \frac{H_c}{N \cdot t \cdot T}$ 式 (11-4)

\dot{H}_c ——周参考剂量控制水平， $\mu\text{Sv/周}$ ；

N ——强调治疗时用于泄露辐射的调强因子，根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）标准中附录 A，通常 $N=5$ ；

T ——人员在相应关注点驻留的居留因子；

t ——治疗装置周治疗时间，h；

代入参数算得：

表 11-6 侧屏蔽墙外剂量率参考控制水平

机房名称	直线加速器机房		
	北墙 (e 点)	南墙 (f 点)	南墙 (k 点)
关注点			
周剂量参考控制水平 H_c ($\mu\text{Sv/周}$)	5	100	5
治疗照射时间 t (h)	10	10	10
调强因子 N	5	5	5
居留因子 T	1/4	1	1/16
导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	0.4	2	1.6
关注点的最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,\text{max}}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	10	10	10
剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$)	0.4	2	1.6

根据《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ 126-2011）中“在加速器迷宫门处、控制室和加速器机房墙外 30cm 处的周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”，从偏保守和安全考虑，本项目公众人员的剂量率参考控制水平取较小值，直线加速器机房各点的剂量率控制水平如下：

表 11-7 医院直线加速器机房屏蔽体外剂量率控制水平

位置	剂量率控制水平($\mu\text{Sv/h}$)	位置	剂量率控制水平($\mu\text{Sv/h}$)
东墙	2.5	南墙 (控制室)	2.0
西墙	2.5	北墙	0.4
南墙 (水冷机房)	1.6	顶棚	2.5

2.3 屏蔽厚度与屏蔽透射因子的相应关系

①有效屏蔽厚度

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

$$X = X_e \cdot \cos \theta \dots\dots\dots\text{式 (11-5)}$$

其中, θ 为斜射角, 即入射射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角。

②屏蔽物质的厚度与辐射屏蔽透射因子 B 的关系如下:

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \dots\dots\dots\text{式 (11-6)}$$

TVL₁——第一什值层厚度, cm;

TVL——平衡什值层厚度, cm;

X_e——物质的有效屏蔽厚度, cm;

2.4 主屏蔽墙和侧屏蔽墙

有用线束和泄漏辐射的屏蔽与剂量估算:

对于给定的屏蔽物质厚度时, 屏蔽体外关注点的剂量率计算公式如下:

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f \cdot B}{R^2} \dots\dots\dots\text{式 (11-7)}$$

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

\dot{H}_0 ——加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶(以下简称靶) 1m 处的常用最高剂量率, $\mu\text{Sv/h} \times \text{m}^2/\text{h}$, 由设备参数可知, X 射线模式下加速器最大输出剂量率为 6Gy/min, 即 $3.60 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$;

R——辐射源点(靶点)至关注点的距离, m;

f——对有用线束为 1, 对泄漏辐射为泄漏辐射比率, 取 0.1%;

B——辐射屏蔽透射因子, 相应的 TVL₁、TVL 见标准的附录 B 表 B.1;

带入相关参数计算结果见表 11-8:

表 11-8 主屏蔽墙与侧屏蔽墙的剂量率估算结果表

位置		主屏蔽墙体厚度 X (cm)	TVL ₁ (cm)	TVL (cm)	透射因子 B	距离 (m)	剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)
直线加速器机房	东墙 (a 点)	290	41	37	1.86×10^{-8}	7.7	0.11
	西墙 (b 点)	290	41	37	1.86×10^{-8}	7.7	0.11
	顶棚 (l 点)	290	41	37	1.86×10^{-8}	7.2	0.13
	北墙 (e 点)	170	35	31	4.42×10^{-6}	6.3	0.04

	南墙 (f 点)	200	35	31	4.76×10^{-7}	8.6	2.32×10^{-3}
	南墙 (k 点)	117.8	35	31	5.52×10^{-5}	9.5	0.85

2.5 与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区

初级辐射束不直接到达该屏蔽墙，屏蔽计算只考虑加速器装置头的泄漏辐射和来自患者体表的散射辐射，二者之和为该点的总剂量率。由于本次加速器机房治疗室沿等中心线基本呈对称设计，故本次与主屏蔽直接相连的次屏蔽区仅计算其中一侧的剂量率。

(1) 患者体表的散射辐射

利用下列公式对患者体表的散射辐射进行剂量计算：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F / 400) \cdot B}{R_s^2} \dots\dots\dots \text{式 (11-8)}$$

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

\dot{H}_0 ——加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv} \times \text{m}^2/\text{h}$ 。由设备参数可知，直线加速器最大输出剂量率为 $6\text{Gy}/\text{min}$ ；

R_s ——患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

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

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

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

顶棚厚度一致，从偏保守考虑，散射辐射及泄漏辐射在顶棚中的路径为直射。带入相关参数计算得：

表 11-9 患者体表的散射辐射计算结果

位置	散射系数 α_{ph}	在次屏蔽墙内穿过的厚度 Xe (cm)	十分之一层厚度 TVL (cm)	屏蔽墙对应的透射因子 B	F (cm^2)	离患者距离 R_s (m)	剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	
直线加速器机房	东墙 (c ₁ 点)	3.18×10^{-3}	195.8	28	1.02×10^{-7}	1600	7.72	7.81×10^{-3}
	东墙 (c ₂ 点)	3.18×10^{-3}	195.8	28	1.02×10^{-7}	1600	7.72	7.81×10^{-3}
	西墙 (d ₁ 点)	3.18×10^{-3}	195.8	28	1.02×10^{-7}	1600	7.72	7.81×10^{-3}
	西墙 (d ₂ 点)	3.18×10^{-3}	195.8	28	1.02×10^{-7}	1600	7.72	7.81×10^{-3}
	顶棚 (m ₁ 点)	3.18×10^{-3}	189.6	28	1.69×10^{-7}	1600	5.58	2.49×10^{-2}
	顶棚 (m ₂ 点)	3.18×10^{-3}	189.6	28	1.69×10^{-7}	1600	5.58	2.49×10^{-2}

(2) 泄漏辐射

泄漏辐射计算公式见式（11-7），带入相关参数得：

表 11-10 泄漏辐射计算结果

位置		屏蔽墙体厚度 X (cm)	TVL1 (cm)	TVL (cm)	透射因子 B	距离 (m)	剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)
直线加速器机房	东墙 (c ₁ 点)	217.8	31	35	1.27×10^{-7}	7.302	8.56×10^{-4}
	东墙 (c ₂ 点)	217.8	31	35	1.27×10^{-7}	7.302	8.56×10^{-4}
	西墙 (d ₁ 点)	217.7	31	35	1.27×10^{-7}	7.302	8.56×10^{-4}
	西墙 (d ₂ 点)	217.7	31	35	1.27×10^{-7}	7.302	8.56×10^{-4}
	顶棚 (m ₁ 点)	200	31	35	7.88×10^{-7}	4.72	7.69×10^{-3}
	顶棚 (m ₂ 点)	200	31	35	7.88×10^{-7}	4.72	7.69×10^{-3}

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

表 11-11 与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区剂量率

位置			患者体表散射辐射 ($\mu\text{Sv/h}$)	泄漏辐射 ($\mu\text{Sv/h}$)	合计 ($\mu\text{Sv/h}$)
直线加速器机房	东墙	c ₁ 点	7.81×10^{-3}	8.56×10^{-4}	8.67×10^{-3}
		c ₂ 点	7.81×10^{-3}	8.56×10^{-4}	8.67×10^{-3}
	西墙	b ₁ 点	7.81×10^{-3}	8.56×10^{-4}	8.67×10^{-3}
		b ₂ 点	7.81×10^{-3}	8.56×10^{-4}	8.67×10^{-3}
	顶棚	m ₁ 点	2.49×10^{-2}	7.69×10^{-3}	3.26×10^{-2}
		m ₂ 点	2.49×10^{-2}	7.69×10^{-3}	3.26×10^{-2}

2.6 加速器 ($\leq 10\text{MV}$) 机房的迷路散射辐射屏蔽的剂量估算

(1) 有用线束不向迷路方向

入口处的散射辐射剂量率 \dot{H}_g 计算公式如下：

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \cdot \dot{H}_0 \dots \dots \dots \text{式 (11-9)}$$

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

\dot{H}_0 —— 加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv} \times \text{m}^2/\text{h}$ ；

R_1 —— 等中心点至散射墙面的距离，m；

R_2 —— 迷道散射墙面至入口处的距离，m；

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

α_2 ——砼墙入射的患者散射辐射的散射因子，其值见标准的附录 B 表 B.6；

A——散射面积， m^2 ； $2m \times 4.2m = 8.4m^2$ ；

B——辐射屏蔽透射因子，相应的 TVL 见标准的附录 B 表 B.4；

F——治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 ；

(2) 防护门外的辐射剂量率 \dot{H} 计算公式如下

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

\dot{H} ——防护门外的辐射剂量率， $\mu Sv/h$ ；

\dot{H}_g ——入口处的散射辐射剂量率， $\mu Sv/h$ ；

TVL——迷道入口处散射射线在铅的什值层厚度，mm；一般取 5mm；

\dot{H}_{og} ——装置头泄漏辐射在迷道入口处的剂量率，可由式 (11-7) 算得， $\mu Sv/h$ ；

带入相关参数计算得：

入口处的散射辐射剂量率 \dot{H}_g ：

表 11-12 散射辐射在迷道防护门入口处的剂量率

位置	α_{ph}	α_2	F/400	A (m^2)	R_1 (m)	R_2 (m)	\dot{H}_g ($\mu Sv/h$)
直线加速器机房防护门入口处 (g 点)	1.35×10^{-3}	22×10^{-3}	4	8.4	8.02	7.37	103

装置头泄漏辐射在迷道入口处的剂量率： \dot{H}_{og}

表 11-13 泄漏辐射在迷道防护门入口处的剂量率

位置	屏蔽墙体厚度 X (cm)	TVL1 (cm)	TVL (cm)	透射因子 B	距离 (m)	剂量率 \dot{H}_{og} ($\mu Sv/h$)
直线加速器机房防护门入口处 (g 点)	122.7	35	31	$1.48 \times 10^{-4} \times 1 \times 10^{-3}$	8.77	0.694

经铅防护门屏蔽后的剂量率 \dot{H} ：

表 11-14 防护门外的辐射剂量率

位置	\dot{H}_g ($\mu Sv/h$)	铅门厚度 (mm)	TVL (mm)	铅门的透射因子 B	\dot{H}_{og} ($\mu Sv/h$)	剂量率 \dot{H} ($\mu Sv/h$)
直线加速器机房防护门入口处 (g 点)	103	15	5	1×10^{-3}	0.694	0.797

综上所述，医院直线加速器机房墙体及防护门外关注点的剂量率情况如下：

表 11-15 医院直线加速器机房墙体及防护门外关注点的剂量率情况统计表

关注点位置		关注点剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	
直线加速器	东墙	a 点	0.11
		c ₁ 点	8.67×10^{-3}
		c ₂ 点	8.67×10^{-3}
	西墙	b 点	0.11
		d ₁ 点	8.67×10^{-3}
		d ₂ 点	8.67×10^{-3}
	北墙	e 点	0.04
	南墙	f 点	2.32×10^{-3}
		k 点	0.85
	顶棚	l 点	0.13
		m ₁ 点	3.26×10^{-2}
m ₂ 点		3.26×10^{-2}	
防护门	g 点	0.797	

由表 11-15 可知，医院直线加速器机房墙体及防护门外的辐射剂量率范围值为 $2.32 \times 10^{-3} \sim 0.85 \mu\text{Sv/h}$ 之间，满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ 126-2011）的相关要求，即直线加速器机房迷宫门处、控制室和加速器机房墙外 30cm 处的周围剂量当量率应不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，北墙墙体 30cm 处、南墙墙体 30cm 处（控制室）、南墙外（水冷机房）、的辐射剂量率分别为 $0.04 \mu\text{Sv/h}$ 、 $2.32 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ 和 $0.85 \mu\text{Sv/h}$ ，满足表 11-7 中北墙处、南墙外（控制室）、南墙外（水冷机房）剂量率控制水平 $0.4 \mu\text{Sv/h}$ 、 $2.0 \mu\text{Sv/h}$ 和 $1.6 \mu\text{Sv/h}$ ，故本项目直线加速器机房屏蔽设计方案合理可行。

2.7 加速器放疗项目受照人员剂量估算

本评价项目的医用直线加速器年病人约 10000 人/次，治疗时间约 2min/人，则年出束时间为 500h。根据《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）中附录 A，本项目直加控制室职业人员居留因子取 1，直线加速器机房防护门外公众居留因子取 1/8、机房北墙外和西墙外过道公众居留因子取 1/5，南墙外水冷机房和东墙外后装治疗机房公众居留因子取 1/16，东墙外后装控制室工作人员居留因子保守估算取 1，机房顶棚设备管道层公众居留因子取 1/16。计算时辐射工作人员的剂量率保守取机房屏蔽墙外（控制室、防护门）中最大的辐射剂量率贡献值进行预测，公众成员以所在位置各关注点的辐射剂量率贡献值进行预测，代入公式（11-1）计算，预测结果见表 11-16。

表 11-16 直线加速器辐射工作人员及公众成员的年有效剂量

位置	剂量率($\mu\text{Sv/h}$)	年工作时间(h)	年有效剂量 (mSv/a)
工作人员（控制室）	0.797	500	0.399
公众成员	防护门外候诊	$500 \div 8 = 125$	9.96×10^{-2}

	北墙外道路	0.04	500÷5=100	4.0×10 ⁻³
	东墙外（后装治疗室）	8.67×10 ⁻³	500÷16=31.25	2.71×10 ⁻⁴
公众成员	东墙外（后装控制室）	8.67×10 ⁻³	500	4.34×10 ⁻³
	南墙外（水冷机房）	0.85	500÷16=31.25	2.66×10 ⁻²
	西墙外过道	0.11	500÷5=100	1.1×10 ⁻²
	顶棚设备管道层	0.13	500÷16=31.25	4.06×10 ⁻³

由估算结果可知，本项目医用直线加速器工作人员职业照射的最大年有效剂量值为 0.399mSv/a，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，也低于剂量约束值 5mSv/a。对机房屏蔽体外公众照射的最大年有效剂量值为 0.0996mSv/a，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，也低于剂量约束值 0.1mSv/a。

2.8 中子屏蔽分析

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）和《《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）可知，直线加速器 X 射线能量大于 10MV，屏蔽设计需考虑中子辐射防护。本项目直线加速器 X 射线能量不大于 10MV，故可不考虑中子的辐射影响。

参考环境保护部电离辐射安全与防护培训系列教材《电离辐射医学应用的防护与安全》（原子能出版社 2009.2）第二章“放射治疗的放射防护与安全”中对光核反应产生中子的屏蔽的分析资料，在电子能量大于 10MeV 时，医用加速器将产生中子。由于中子的剂量率远小于韧致辐射产生的剂量率，如果对韧致辐射光子的屏蔽物质采用混凝土，则伴随产生的中子也将被屏蔽。本项目拟建医用直线加速器机房四周屏蔽墙体、顶棚均采用混凝土，且由表 11-12 估算结果可知，在最大 X 射线能量 10MV 运行情况下，其屏蔽体厚度均能满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ 126-2011）的相关要求。因此，本项目直线加速器机房墙体及防护门的屏蔽措施能满足对 X 射线的屏蔽防护，也能满足对中子的屏蔽防护，中子辐射影响可忽略。

2.9 通风能力分析

医院本项目直线加速器机房排气扇排风能力为 1700m³/h，直线加速器机房治疗室体积为 388.6m³，机房换气 4.4 次/h，满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ 126-2011）中治疗室通风换气次数不小于 4 次/h 的要求。

2.10 臭氧及氮氧化物影响分析

本项目高能电子与空气中的氧分子作用会产生臭氧（O₃）和氮氧化物（NO_x）等有害气体

体。但氮氧化物（NO_x）的产额约为臭氧（O₃）的三分之一，且以臭氧（O₃）的毒性最高，故本次评价仅对臭氧辐射环境影响进行详细分析评价。

（1）臭氧产量

由《辐射所致臭氧的估算与分析》（中华放射医学与防护杂志 Vol14, 2, P101, 1994）可知，有用线束所致臭氧（O₃）的产量由下式计算：

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

式中：P 为臭氧（O₃）产额，mg/h；

\dot{D}_0 为辐射有用线束在 1m 处的输出量，Gy×m²/min；由设备参数可知，直线加速器 X 射线模式下加速器最大输出剂量率为 6Gy/min；

R 为射线束中心轴线上原点至辐照室内壁的距离，m；本项目取 4.29m；

θ 为射线束的半张角，度；本项目直线加速器取 14°；

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

带入相关参数计算得：P=18.58mg/h=0.31mg/min；

（2）臭氧（O₃）浓度

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

$$c(t) = \frac{P \times \bar{T}}{V} [1 - \exp(-t/\bar{T})] \dots\dots\dots \text{式 (11-12)}$$

式中：c(t)——机房内臭氧的浓度，mg/m³；

V——机房内体积，m³；本项目直线加速器机房治疗室体积为 388.6m³；

t——开机运行时间，min；本项目直线加速器开机运行时间为 2min；

\bar{T} ——有效清除时间，min；

$$\bar{T} = \frac{t_v \times t_d}{t_v + t_d} \dots\dots\dots \text{式 (11-13)}$$

式中：t_v——换气一次需要的时间，min；直线加速器机房排气系统排风能力为 1700m³/h，即直线加速器换气一次需要的时间最长为 13.72min/次；

t_d——臭氧的有效分解时间，为 50min；

带入参数算得： \bar{T} = 10.76min；

当机器运行很长时间后，臭氧浓度达到饱和，其平衡浓度计算公式如下：

$$c_s = \frac{P \times t}{V} (t \ll \bar{T}) \dots\dots\dots \text{式 (11-14)}$$

将上述参数带入得：直线加速器出束时，排风机正常运行情况下，直线加速器停机后，机房内臭氧浓度为 $0.0016\text{mg}/\text{m}^3$ ，小于 GBZ 2.1-2007 中有害气体（臭氧）职业接触限值 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ 。

在多种氮氧化物（ NO_x ）中，以 NO_2 为主，其产额约为 O_3 的一半，故本项目工作场所中 NO_2 的浓度约为 $0.0008\text{mg}/\text{m}^3$ ，远远低于《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》中“工作场所中 NO_2 的时间加权平均容许浓度为 $5\text{mg}/\text{m}^3$ ，短时间接触容许浓度为 $10\text{mg}/\text{m}^3$ ”的浓度限值要求。

2.11 放射性固体废物影响分析

直线加速器项目放射性废物是加速器的废弃靶，只在加速器装置需要更换金属钨靶时才产生，换靶由厂家负责，废靶由厂家及时回收处置，不在医院暂存。

3、后装治疗机（ ^{192}Ir 放射源）项目运行期的环境影响预测及评价

医院后装治疗机机房位于地下二层放疗中心，机房北面为过道、南面为控制室，东面为制模室和物理室，西面为直加机房，顶棚上方为设备管道层。本次后装治疗机（ ^{192}Ir 放射源）理论计算公式采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分： γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）中的相关计算公式。后装治疗机机房平面布置图见图 11-2。

本项目后装机房主体结构已设计完成，本次采用估算工作人员及公众的附加年有效剂量来论证机房设计的合理性。因医院委托厂家进行换源操作，本院辐射人员不直接参与导源、换源操作，且废源密封在铅罐中置于铁桶内由厂家相关人员直接带回厂家回收处置，不在医院暂存。故本次评价不对导源、换源以及废源暂存等相关环节进行辐射环境影响预测和评价。

3.1 机房设计合理性论证

（1）初级辐射屏蔽的计算：

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分： γ 放射源放射治疗机房》（GBZ/T301.3-2014），对于后装治疗机机房，屏蔽体外关注点的初级辐射计算如下：

①在给定的屏蔽物质厚度 X （mm）时，屏蔽体外关注点的剂量率 \dot{H} 计算公式为：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad \dots\dots\dots\text{式 (11-15)}$$

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

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

f ——对有用线束为 1；对 γ 射线远距治疗装置的泄露辐射为泄露辐射比率；

R——辐射源到关注点的距离，m。

B——屏蔽物质的屏蔽透视因子。

②活度为 A 的放射源在距其 1m 处的剂量率计算公式如下

$$\dot{H}_0 = A \cdot K_r \quad \dots\dots\dots\text{式 (11-16)}$$

式中：A——放射源的活度，MBq；

K_r ——放射源的空气比释动能率常数， $\mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$ ，查表 C.1，取 0.111。

根据机房设计图可知：机房北墙、西墙、东墙、南墙以及顶棚均为直接照射区。

③对于给定的屏蔽物质的厚度，相应的屏蔽透射因子 B 的计算公式如下

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \quad \dots\dots\dots\text{式 (11-17)}$$

式中：B——屏蔽透射因子；

X_e ——屏蔽厚度，mm；

TVL——辐射在屏蔽物质中的平衡十值层厚度，mm；

TVL₁——辐射在屏蔽物质中的第一个十值层厚度，mm；

式中 TVL、TVL₁ 均查《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分： γ 放射源放射治疗机房》（GBZ/T301.3-2014）中表 C.1。当未指明 TVL₁ 时，TVL₁=TVL。

(2) 散射辐射屏蔽的计算：

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分： γ 放射源放射治疗机房》

（GBZ/T301.3-2014），对于后装治疗机机房，防护门入口 g 处散射辐射剂量 \dot{H} 计算公式如下：

$$\dot{H} = \frac{A \cdot K_r \cdot S_{wi} \cdot a_{wi}}{R_1^2 \cdot R_2^2} \quad \dots\dots\dots\text{式 (11-18)}$$

式中：A——放射源的活度，MBq；

K_r ——放射源的空气比释动能率， $0.111\mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$ ；

S_{wi} ——第 i 次散射的散射面积， m^2 ；

a_{wi} ——第 i 次散射散射体的散射因子；

R_1 ——辐射源至第 1 散射体中心点的距离，m；

R_2 ——第 1 散射体中心点第 2 散射体中心点的距离，m；

由上述公式所得结果及各参数见表11-17~11-20。

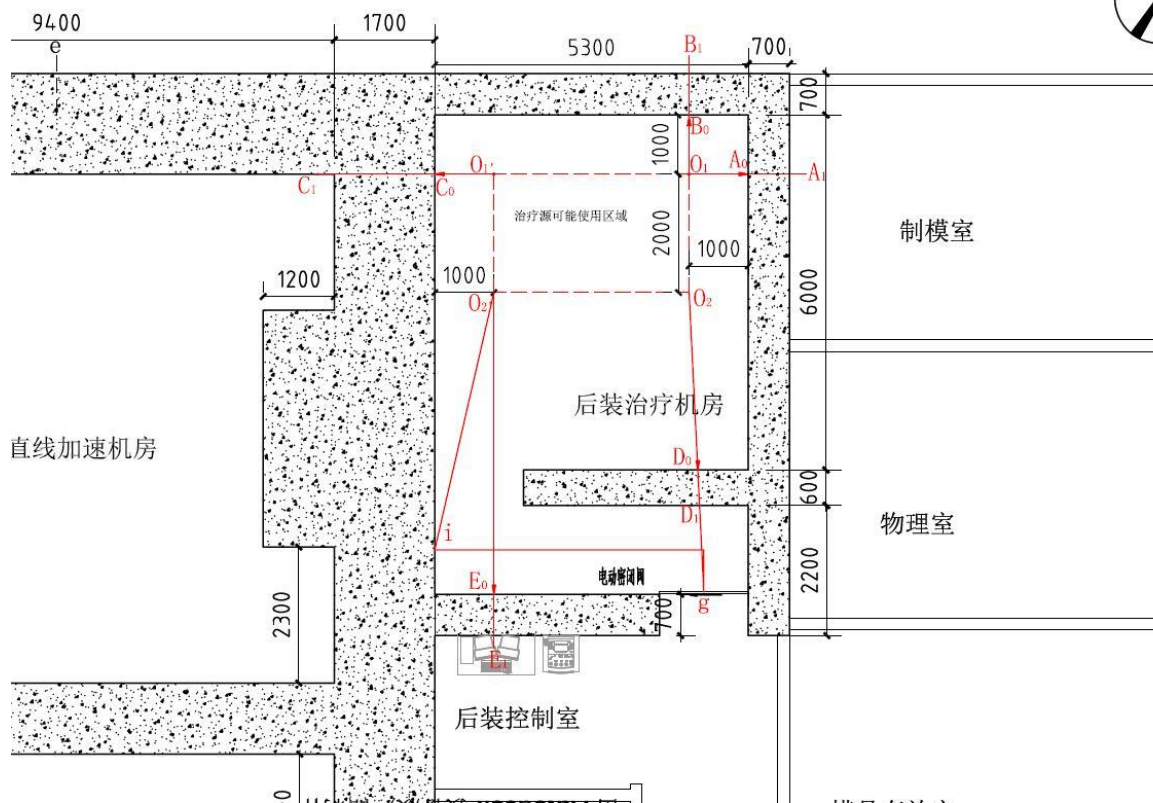


图 11-2 后装机机房平面图

表 11-17 有用线束的剂量率估算结果表

位置	Kr { $\mu\text{Sv}/$ (h MBq)}	\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	屏蔽墙体厚度 X (mm)	TVL (mm)	透射因子 B	距离 (m)	f	剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
出源状态下, 源活度为 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$								
东墙外 A1 点	0.111	4.107×10^4	700 (混凝土)	152	2.48×10^{-5}	2.0	1	0.255
北墙外 B1 点	0.111	4.107×10^4	700 (混凝土)	152	2.48×10^{-5}	2.0	1	0.255
西墙外 C1 点	0.111	4.107×10^4	1700 (混凝土)	152	6.54×10^{-12}	3.0	1	2.99×10^{-8}
南墙 (迷路内墙) 外 D1 点	0.111	4.107×10^4	600 (混凝土)	152	1.13×10^{-4}	3.9	1	0.305
南墙 (迷路外墙) 外 E1 点	0.111	4.107×10^4	700 (混凝土)	152	2.48×10^{-5}	6.0	1	0.028
顶棚外 F1 点	0.111	4.107×10^4	700 (混凝土)	152	2.48×10^{-5}	4.2	1	0.058
源关闭状态下, 源活度为 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$								
贮源器表面	0.111	4.107×10^4	8cm 铅	16mm	1.0×10^{-5}	0.08	1	64.17
贮源器表面 5cm	0.111	4.107×10^4	8cm 铅	16mm	1.0×10^{-5}	0.13	1	24.3
贮源器表面 100cm	0.111	4.107×10^4	8cm 铅	16mm	1.0×10^{-5}	1.08	1	0.35

表 11-18 散射的剂量率估算结果表

位置	A (Bq)	K _r	S _w (m ²)	a _w	R ₁ (m)	R ₂ (m)	\dot{H}_g (μSv/h)
迷道入口 g 点	3.7×10 ¹¹	0.111	6.3	3.39×10 ⁻²	4.46	5.26	18.34

经铅防护门屏蔽后的剂量率 \dot{H} :

表 11-19 防护门外的辐射剂量率

位置	\dot{H}_g (μSv/h)	铅门厚度 (mm)	TVL(mm)	铅门的透射因子 B	剂量率 \dot{H} (μSv/h)
后装机机房	18.34	8	6	6.81×10 ⁻²	0.851

11-20 本项目拟建后装治疗机房墙体及防护门外关注点的剂量率情况统计表

位置		剂量率 (μSv/h)	
后装治疗机房	出源状态下	东墙外 30cm 处 (制模室)	0.255
		北墙外 30cm 处 (过道)	0.255
		西墙外 30cm 处 (直线加速器机房)	2.99×10 ⁻⁸
		南墙外 30cm 处 (后装治疗控制室)	0.028
		防护门 (候诊区)	0.851
		顶棚 (设备管道层)	0.058
后装治疗机	关源状态下	贮源器表面	64.17
		贮源器表面5cm	24.3
		贮源器表面100cm	0.35

由表 11-20 理论估算结果可知:

在非治疗状态下, 本项目 ¹⁹²Ir 放射源贮源器表面 5cm 处的空气比动能率为 24.3μGy·h⁻¹ (1μSv/h=1μGy·h⁻¹), 100cm 处的空气比动能率为 0.35μGy·h⁻¹, 满足《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》(GBZ 121-2017) 中“工作贮源器内装载最大容许活度时, 距离贮源器表面 5cm 处的任何位置, 泄漏辐射的空气比动能率不得大于 50μGy·h⁻¹; 距离贮源器表面 100cm 处的球面上, 任何一点的泄漏辐射的空气比释动能率不得大于 5μGy·h⁻¹”的要求。

在正常治疗状态下, 后装机治疗室屏蔽墙及防护门外的剂量率在 2.99×10⁻⁸μSv/h ~ 0.851μSv/h 之间, 均满足《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》(GBZ 121-2017) 中“治疗室屏蔽体外 30cm 处因透射辐射所致的周围剂量当量率应不超过 2.5μSv h⁻¹”的要求, 说明本项目设计的后装治疗机房的墙体、顶棚、防护门的辐射防护措施合理可行。

3.2 工作人员和公众人员的附加年有效剂量估算

根据医院提供资料, 本次评价后装治疗机年治疗患者人数约为 4500 人, 最大源活度状态下治疗时间平均约 5min /次, 则年出源时间为 375h。医生进行患者摆位时距离储源器至少 5cm, 摆位时间约为 1min/人, 则年摆位时间为 75h。剂量估算时, 考虑最大化, 后装治疗机

工作人员控制室操作人员和摆位人员为同一人，公众人员主要为东墙外的制模室、北墙外通道、防护门外的患者和家属，居留因子取 1/4。根据公式 11-1 带入计算可知，本项目后装治疗室工作人员和公众的最大附加年有效剂量估算结果见表 11-21。

表 11-21 本项目后装治疗室工作人员和公众的最大附加年有效剂量估算结果表

附加年有效剂量					
项目		附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	居留因子	开机治疗时间 (h)	附加年有效剂量 (mSv)
工作人员	南墙控制室	0.028	1	375	0.011
	摆位	24.3	1	75 (4500人/a \times 1min/次)	1.823
公众成员	防护门外	0.851	1/4	375	7.98×10^{-2}
	北墙外	0.255	1/4	375	2.39×10^{-2}
	东墙外	0.255	1/4	375	2.39×10^{-2}
	楼顶	0.058	1/16	375	1.36×10^{-3}
工作人员附加年有效剂量合计：0.011+1.823=1.834mSv。					

由表11-21的估算结果可知，在考虑最大化的情况下，后装机正常运行时对工作人员产生的附加年有效剂量为1.834mSv/a，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》的要求，也显著低于管理限值5mSv的要求；对周边公众成员产生的最大附加年有效剂量为0.0798mSv/a，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871—2002）的要求，也低于管理限值0.1mSv的要求。

3.3 臭氧和氮氧化物影响分析

γ 射线会使空气发生电离分解，从而产生有害气体（如臭氧、氮氧化物）。由于后装机开机照射时间较短，因此产生臭氧（ O_3 ）量很少，氮氧化物的产生量仅是臭氧产额的十分之一。而在治疗室内采用机械抽风的方式进行。本项目后装治疗机房通风量为 $1600\text{m}^3/\text{h}$ ，治疗室的体积为 200.34m^3 ，治疗室通风换气达到每小时 7.9 次，从而解决了臭氧（ O_3 ）及氮氧化物产生的影响，故臭氧和氮氧化物对机房大气环境影响较小。

三、事故影响分析

1、DSA 辐射事故影响分析

本项目使用的 DSA 可能发生的辐射事故情形主要为以下几种：

- (1) 在进行 DSA 介入手术期间时，无关人员误入机房引起误照射；
- (2) 手术室防护门未关到位的情况下，X 射线曝光，导致手术室外的人员收到意外照射。
- (3) 进行 DSA 介入手术的医护人员未穿戴铅衣等个人防护用品而受到不必要的照射，

没有为患者穿戴个人防护用品而受到不必要的照射。

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

一旦发生辐射事故，处理的原则是：

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

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

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

④在事故处理过程中，要在可合理做到的条件下，尽可能减少人员照射。

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

对可能发生的放射事故，应及时采取措施，妥善处理，以减少和控制事故的危害影响，并接受监督部门的处理。同时上报环保部门和卫生部门。

2、医用直线加速器

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

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

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

(3) 工作人员误操作导致病人受到不必要的照射，操作人员均须经培训合格后上岗，

且按操作规程操作，防止事故的发生。当发生误操作时工作人员应立即按下紧急停机按钮。

一旦发生辐射事故，处理的原则是：

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

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

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

(4) 在事故处理过程中，要在可合理做到的条件下，尽可能减少人员照射。

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

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

3、后装机事故影响分析

(1) 后装机故障

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

(2) 卡源事故

当后装机发生卡源事故时，立即将后装机电源关闭，然后打开 24V 稳压电源，长按专用应急退源开关，则放射源立即退回储源器，听到报警声后关掉专用紧急退源开关。工程师通过计算机控制和机房现场进行维修。

(3) 废 ^{192}Ir 放射源回收过程中的事故主要如下：

a 在导源过程中屏蔽储源体（屏蔽装置）发生损坏导致源不能被屏蔽。

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

C 由于管理不善，放射源发生被盗、丢失、遗弃等事故，而引发环境辐射污染。

(4) ^{192}Ir 后装机事故防范措施主要包括：

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

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

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

④废源回收以及新放射源的更换均由设备供应商或厂家完成。

⑤医院加强放射源的辐射管理，后装机机房出入口设置摄像头监控，放射源被盗的几率很小。

(5) 放射源偷盗、丢失事件的处理

①确认密封源被偷盗、丢失事件的发生。

②查证密封源的核素名称、数量、活度，被偷盗、丢失的可能时间、地点和嫌疑人等。

③及时向环保、卫生部门报告，积极配合公安部门的调查。

④写出事件处理结果报告，查找事件发生的原因及可能的环节，评估事件影响。

(6) 应急预案的启动

①一旦发生辐射事故，即时启动《辐射事故应急预案》。发生辐射事故时，当事人应即刻报告辐射事故应急处理小组组长，组长随即通知辐射事故应急处理小组有关成员采取应急相应救助措施。

②发生辐射事故时，应急处理小组各成员应认真履行各职责，各相关部门应积极协调配合，以便能妥善处理所发生的辐射事故。

③各应急救助物质应准备充分、调配及时。

④发生事故后应在 2 小时内报告环保、卫生行政和公安部门。

通过分析可知，在采取上述事故防范措施情况下，事故发生的几率很小，事故辐射影响很小。

表 12 辐射安全管理

一、辐射安全与环境保护管理机构的设置

为保证建设项目建设期和运营期的辐射防护措施的落实情况，医院成立了以陈福建为组长，王香香、郭俊为副组长，钟新侃、王奕、陈远明、周花、温天生、谢东、李历坤、林丽莉、黎阳为组员的赣州市妇幼保健院辐射安全领导小组，主要职责如下：

(1) 负责全院辐射与防护安全工作的监督管理。保证辐射防护、安全和放射诊疗质量符合有关规定和规范的要求。

(2) 组织贯彻落实国家和地方政府、医院有关辐射安全与环境保护工作的方针、政策，组织制定各项辐射防护管理制度；

(3) 定期组织对辐射工作场所、设备和人员进行辐射防护检测、监测和检查；

(4) 组织开展放射性同位素和射线装置应用场所的安全检查活动，组织处理、通报事故；

(5) 组织制定和完善放射性同位素与射线装置管理制度和操作规程，监督检查各规章制度的执行，督促整改辐射事故隐患。

(6) 组织辐射工作人员接受专业技术、辐射防护知识及有关规定的培训和职业健康检查。

医院已按照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（环境保护部令第 3 号，2017 修订），环境保护部令第 3 号第十六条要求成立了辐射安全与环境保护管理机构—赣州市妇幼保健院辐射安全领导小组，并落实了机构的成员及其职责，建立了完善的辐射安全防护责任制度，落实了安全责任，并制定了辐射防护措施和使用放射源和射线装置的相关操作规程、辐射事故应急预案，能保证本项目建设期和运营期的辐射防护措施和设施的有效落实和正常运行。

二、辐射安全管理规章制度

1、已有规章制度及落实情况

(1) 现有规章制度制定情况

医院已建立《辐射事故应急预案》、《辐射安全管理制度》、《辐射工作人员的岗位职责》、《辐射防护和安全保卫制度》、《辐射安全防护设施维护与维修制度》、《放射工作人员职业健康管理制度》、《辐射工作人员培训计划》、《辐射监测计划》、《射线装置使用登记制度》、《射线装置操作规程》、《设备检修维护制度》、《辐射工作人员培训计划和监测方案》等规章制度（附件 7），规章制度都在相关科室上墙，且工作人员严格按规章

制度要求执行。

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

(3) 医院给辐射工作人员佩戴个人剂量计，接受剂量监测，已委托有资质单位定期检测，建立剂量健康档案并存档。由赣州市疾病预防控制中心出具的全院辐射工作人员连续 4 个季度的个人剂量检测报告(见附件 4)可知，所有辐射工作人员个人剂量值为 1.64~2.24mSv；低于职业工作人员剂量约束值 5mSv/a。

(4) 医院放射性工作场所设置有电离辐射警示牌、报警装置和工作指示灯。

(5) 医院安排了辐射工作人员参加职业健康体检，建立了健康体检档案，体检报告见附件 5。

(6) 医院现有辐射工作人员 12 人，其中 2 名辐射工作人员已于 2017 年参加生态环境主管部门组织的辐射防护与安全培训并取得合格证书（培训证书见附件 6），另有 6 名辐射工作人员于 2019 年 11 月参加了生态环境主管部门组织的辐射防护与安全培训（合格证尚未颁发）。

综上所述，除 4 名辐射人员未参加培训外，医院各规章制度得到了较好的落实，在以后的工作中，医院应加强辐射工作人员辐射防护与安全培训，按相关要求尽快安排未培训人员参加培训并取得合格证书。

2、本项目规章制度

本项目依托医院原有制度，针对拟建的直线加速器、DSA、后装机制定了相应的《直线加速器操作规程》、《直线加速器质量保证和质量控制制度》、《DSA 操作规程》、《DSA 质量保证方案》、《后装放射源管理制度》、《后装机换源操作规程》、《后装机治疗室安全管理制度》、《后装机卡源辐射事故应急处理制度》、《放射源贮存制度》等规章制度，对照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（环境保护部令第 3 号，2017 修订）中“有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等；有完善的辐射事故应急措施”等相关要求，建设单位建立的辐射安全管理制度较为完善，且规章制度内容符合建设单位实际情况，切实可行。。

三、辐射监测

1、已有项目的辐射监测开展情况

①验收监测：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）、《建设项目竣工环境保护验收技术指南污染影响类》（生态环保部公告 2018 年第 9 号）

的相关要求，医院原有核技术利用项目均为III类射线装置的使用，无竣工环保验收要求。

②常规监测：每年均委托有资质的单位对辐射工作场所进行辐射环境的监测，包括射线装置及后装治疗机房的各面屏蔽墙、观察窗和防护门等，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

③辐射工作人员佩戴个人剂量计上岗，并每季度送赣州市疾病预防控制中心进行监测，个人剂量检测报告见附件 4。

2、此次项目辐射监测计划

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《辐射环境监测技术规范》（HJ/T 61-2001）、《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）等的要求，医院针对此次核技术应用项目制定相应的辐射监测计划，包括：

①给新增辐射工作人员配备个人剂量计，并定期（每季度 1 次）送检。

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

③医院利用拟购置的 X-γ 辐射监测仪等仪器自行定期对医院各工作场所进行监测。

表 12-1 辐射监测计划

监测对象		监测方案	监测点位	监测项目	监测频率
DSA	防护性能	实测并检查	四周屏蔽墙外 30cm 处、操作位、观察窗、防护门门缝处、楼上、楼下等	X-γ 辐射剂量率	委托有资质单位每年 1 次，医院内部自行监测每月 1 次
	防护装置		/	安全	每天 1 次
医用电子直线加速器	防护性能	实测并检查	四周屏蔽墙外 30cm 处、顶棚、操作位、防护门门缝处。	X-γ 辐射剂量率	委托有资质单位每年 1 次，医院内部自行监测每月 1 次
	安全连锁		/	安全	每天 1 次
¹⁹² Ir 后装治疗机	防护性能	实测并检查	四周屏蔽墙外 30cm 处、操作位、防护门门缝处处、楼上等	X-γ 辐射剂量率	委托有资质单位每年 1 次，医院内部自行监测每月 1 次
	防护装置		/	安全	每天 1 次
工作人员		佩带个人剂量计	/	个人累积剂量	进行放射性工作时，每季度送
外环境		实测	医院周边环境及敏感点	X-γ 辐射剂量率	每年 1 次

四、辐射事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，医院根据可能发生的辐射事故的风险，制定了《赣州市妇幼保健院放射事件应急处理预案》，成立了专门的指挥机构—赣州市

妇幼保健院辐射事故防治工作领导小组。领导小组主要职责如下：

- (1) 执行国家辐射事故应急工作的法规和政策。
- (2) 制定医院内辐射事故应急计划，做好辐射事故应急准备工作；
- (3) 确定辐射事故应急状态等级，统一指挥本单位的辐射事故应急响应行动；
- (4) 及时向环保与公安、卫生等主管部门报告事故情况，协助和配合指定的部门做好辐射事故应急管理工作。

发生辐射事故时，医院应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要的防护措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境主管部门、公安部门和卫生部门报告。

医院运行至今，未发生放射性事故。但本项目运行后，还应做好以下工作：

- (1) 医院每年应组织人员进行应急演练，并记录；
- (2) 医院应定期修改完善应急预案等相关规章制度。

五、项目环保投资

本项目总投资 3000 万元，其中环保投资 288 万元，环保投资占总投资比例的 9.6%。

表 12-2 项目环保投资情况一览表

序号	环保投资项目	金额（万元）	备注
1	辐射屏蔽措施	250	直线加速器机房、后装机机房和 DSA 机房建设、屏蔽门、铅玻璃窗等。
2	防护用品	10	铅衣、铅眼镜、铅帽、铅围裙、铅围脖等
3	辐射监测仪器	8	1 台 X-γ 辐射剂量巡测仪、1 套固定式 γ 辐射剂量报警仪、6 台个人剂量报警仪。
4	个人剂量监测、健康体检等	4	个人剂量计、健康体检等
5	工作指示灯、电离辐射标志、规章制度上墙、安全设施等	9	治疗室内和控制台安装急停开关、固定式剂量率检测装置、实时监视和对讲装置、机房通风设施；机房控制室操作台和防护门设置安全连锁装置。
6	废放射源交回生产单位进行安全处置	5	/
7	合计	288	/

六、三同时验收清单

根据《建设项目环境保护管理条例》（中华人民共和国国务院令 682 号）、《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》等相关规定，项目投入运行后，应按有关要求竣工环保验收监测。环评建议本项目三同时验收内容如表 12-3 所示。

表 12-3 本项目三同时验收内容

序号	验收内容	主要内容及验收标准要求
1	环保手续完善	项目建设的环境影响评价文件、环评批复、及时完成辐射安全许证变更、有资质单位出具的验收监测报告。
2	项目建设情况	实际建设内容及规模与环评一致
3	剂量限值达标	满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)中“剂量限值”要求,亦满足职业人员 5mSv/a、公众人员 0.1mSv/a 的年剂量约束值。
4	屏蔽能力达标	<p>DSA 机房面积大小、屏蔽物质厚度均符合《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013)中的相关要求。DSA 正常运行期间,机房周围所有监测点位的 X-γ 辐射剂量率均符合《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ 130-2013)的相关要求,即满足机房外 30cm 处周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5μSv/h 的要求。</p> <p>直线加速器机房墙体及防护门外的辐射剂量率满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ 126-2011)的相关要求,即直线加速器机房迷宫门处、控制室和加速器机房墙外 30cm 处的周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h,同时满足 GBZ126—2011 及《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)中的控制限制要求。</p> <p>¹⁹²Ir 放射源在非治疗状态下,贮源器表面 5cm 处和 100cm 处的空气比动能率满足《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》(GBZ 121-2017)中“工作贮源器内装载最大容许活度时,距离贮源器表面 5cm 处的任何位置,泄漏辐射的空气比动能率不得大于 50μGy·h⁻¹;距离贮源器表面 100cm 处的球面上,任何一点的泄漏辐射的空气比释动能率不得大于 5μGy·h⁻¹”的要求。</p> <p>在正常治疗状态下,后装机治疗室屏蔽墙及防护门外的剂量率满足《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》(GBZ 121-2017)中“治疗室屏蔽体外 30cm 处因透射辐射所致的周围剂量当量率应不超过 2.5μSv h⁻¹”的要求。</p>
5	安全防护设施	<p>DSA 机房入口处设置符合规范的电离辐射警告标志和工作状态指示灯,工作状态指示灯与机房门设置联锁装置。</p> <p>直线加速器和后装机机房防护门上方安装工作状态指示灯,安装门-灯(机)联锁;控制室内电源钥匙由专人保管,机房内、控制台上均设置紧急停机按钮,控制室与机房间安装对讲系统;机房内设置防护门紧急开门按钮;治疗室及迷路转角均设摄像装置;直线加速器采用冗余剂量监测组合的 2 台双道剂量监测系统;</p> <p>后装机治疗室入口设置防护门及迷路,防护门设置手动开门装置且与后装治疗机联锁,开门状态下严禁出源照射。在治疗室入口设置电离辐射警告标志和工作指示灯,在治疗室迷道出、入口处设置固定式辐射剂量报警仪,控制室与治疗室间设置监视与对讲设施。治疗室迷道内墙及控制室内各设置 1 个紧急停机按钮,防止人员误闯入或误照。治疗室内配备储源容器、长柄镊子等应急设备;</p> <p>直线加速器机房和后装机机房均设置机械排风装置,治疗室通风换气次数满足不小于 4 次/h。</p>
6	设置警示标识	各机房防护门外醒目位置张贴电离辐射警告标志和中文警示说明;后装机贮源器表面贴有电离辐射警示标志。
7	管理规章制度	制定各项管理规章制度和操作规程,并张贴于各辐射工作场所控制室墙上。
8	事故应急预案	制定了详细完整、合理可行的《辐射事故应急处理预案》
9	落实监测计划	建立职业健康检查和个人剂量检测档案,落实日常环境监测,并有详细记录。
10	人员持证情况	职业人员均参加辐射安全与防护培训,并取得合格证书。
11	配置防护用品	配置铅衣、铅帽、铅眼镜、铅围脖等等辐射防护用品,配置 X-γ 辐射剂量巡测仪 1 台、个人剂量报警仪 6 台,辐射工作人员佩戴个人剂量计。

表 13 结论与建议

1. 结论

赣州市妇幼保健院新院区位于江西省赣州市章江新区赣康路。医院拟在新院区门诊医技楼地下二层放疗中心使用 1 台医用电子直线加速器和 1 台 ^{192}Ir 后装治疗机用于放射治疗；在门诊医技楼一楼介入室使用 1 台 DSA 用于介入治疗。

(1) 可行性分析结论

赣州市妇幼保健院新院区拟开展的放射性同位素与射线装置应用项目的目的在于为病人提供一个更加优越的诊疗环境，具有明显的社会效益，同时将提高医院档次及服务水平，吸引更多的就诊人员，因而在保障病人健康的同时也为医院创造了更大的经济效益。因此，本项目建设符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践正当性”的要求。

该项目属于综合医院项目，对照《产业结构调整指导目录》（2011 年本，2019 修正）的规定其属于国家鼓励类的项目，故该项目符合国家产业政策。

(2) 选址合理性分析

本项目拟建放疗中心位于赣州市妇幼保健院新院区门诊医技楼西北侧地下二层，介入中心位于门诊医技楼一楼。本项目辐射工作场所评价范围 50m 内均为医院用地、市政道路以及部分中航云府二期沿街商铺，不涉及居民区、学校等环境敏感目标。

综上所述，本项目辐射工作场所通过采取有效治理和屏蔽措施后对周围环境影响较小，选址合理可行。

(3) 辐射安全与防护可行性分析

根据由表 10-2 对照分析可见，本项目拟建的 DSA 机房均按相关标准要求进行了设计，机房面积大小、屏蔽物质厚度均符合《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）中的相关要求。根据类比分析可知 DSA 正常运行期间，机房周围所有监测点位的 X- γ 辐射剂量率均符合《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ 130-2013）的相关要求，即满足机房外 30cm 处周围剂量当量率控制目标值应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

由表 11-15 可知，医院直线加速器机房墙体及防护门外的辐射剂量率范围值为 $2.32\times 10^{-3}\sim 0.85\mu\text{Sv/h}$ 之间，满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ 126-2011）的相关要求，即直线加速器机房迷宫门处、控制室和加速器机房墙外 30cm 处的周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。北墙墙体 30cm 处、南墙墙体 30cm 处（控制室）、南墙外（水冷机房）的辐射剂量率分别为 $0.04\mu\text{Sv/h}$ 、 $2.32\times 10^{-3}\mu\text{Sv/h}$ 和 $0.85\mu\text{Sv/h}$ ，均满足表 11-7 中

北墙处、南墙外（控制室）、南墙外（水冷机房）剂量率控制水平 $0.4\mu\text{Sv/h}$ 、 $2.0\mu\text{Sv/h}$ 和 $1.6\mu\text{Sv/h}$ ，故本项目直线加速器机房屏蔽设计方案合理可行。

根据由表 11-20 理论估算结果可知：在非治疗状态下，本项目 ^{192}Ir 放射源贮源器表面 5cm 处的空气比动能率为 $24.3\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ ($1\mu\text{Sv/h}=1\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$)，100cm 处的空气比动能率为 $0.35\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ ，满足《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》（GBZ 121-2017）中“工作贮源器内装载最大容许活度时，距离贮源器表面 5cm 处的任何位置，泄漏辐射的空气比动能率不得大于 $50\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ ；距离贮源器表面 100cm 处的球面上，任何一点的泄漏辐射的空气比释动能率不得大于 $5\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ ”的要求。

在正常治疗状态下，后装机治疗室屏蔽墙及防护门外的剂量率在 $2.99\times 10^{-8}\mu\text{Sv/h}\sim 0.851\mu\text{Sv/h}$ 之间，均满足《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》（GBZ 121-2017）中“治疗室屏蔽体外 30cm 处因透射辐射所致的周围剂量当量率应不超过 $2.5\mu\text{Sv h}^{-1}$ ”的要求，说明本项目后装治疗机房的墙体、顶棚、防护门的辐射防护措施合理可行。

（4）环境影响分析结论

由类比估算结果可知，本项目 DSA 正常运行时，对工作人员（控制室操作位）的职业照射的最大年有效受照剂量值为 $1.0\times 10^{-3}\text{mSv}$ ，低于管理限值 5mSv/a ；对机房周边公众照射的最大年有效受照剂量值为 $3.35\times 10^{-4}\text{mSv}$ ，低于管理限值 0.1mSv/a ，医院 DSA 介入操作位的辐射工作人员铅衣内的年有效剂量最大为 0.09mSv ，低于管理限值 5mSv/a 。

由估算结果可知，在最大工作负荷的前提下，赣州市妇幼保健院新院区放疗中心直线加速器和后装治疗机正常运行时对工作人员职业照射的最大附加年有效剂量值分别为 0.399mSv/a 和 1.834mSv/a ，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业照射剂量限值 20mSv/a 的要求，也低于管理限值 5mSv/a 。对公众人员照射的最大附加年有效剂量值分别为 0.0996mSv/a 和 0.0798mSv/a ，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中公众照射剂量限值 1mSv/a 的要求，也低于管理限值 0.1mSv/a 。

（4）总结论

赣州市妇幼保健院新院区放射性同位素与射线装置应用项目的建设旨在改善患者就医环境，经评价分析，在认真落实本报告提出的环境保护措施和优化调整建议的情况下，严格按照程序操作，切实执行国家各项法规、制度，使本项目实践符合辐射实践的正当性、辐射防护的最优化、个人剂量的限制三原则，则该项目从辐射环保角度来说运营是可行的。

2、建议

建议项目单位认真做好以下几项工作：

- (1) 定期检查放射工作场所设置的电离辐射标志、工作指示灯、安全连锁装置。
- (2) 对本报告表提出的辐射防护措施，应严格执行。
- (3) 医院应安排未培训的和新增的辐射工作人员参加江西省生态环境厅组织的辐射安全与防护培训，并应取得相关合格证。
- (4) 医院应根据实际情况及时修订和完善《辐射事故应急预案》。

表 14 审批

生态环境部门审批意见：

经办人：

单位盖章

年 月 日