

JXHG(36)-2024001

核技术利用建设项目
赣州市妇幼保健院新院区
医用电子直线加速器改建项目
环境影响报告表
(报批稿)

赣州市妇幼保健院 (盖章)

二〇二四年二月

环境保护部监制

核技术利用建设项目

赣州市妇幼保健院新院区 医用电子直线加速器改建项目 环境影响报告表

建设单位名称：赣州市妇幼保健院

建设单位法人代表：邓辉

通讯地址：江西省赣州市章贡区大公路 106 号

邮政编码：341000

联系人：邱俊杰

电子邮箱：gzfysb@163.com

联系电话：

目录

| | | |
|-------|-------------------------|----|
| 表 1 | 项目基本情况 | 1 |
| 表 2 | 密封放射源 | 8 |
| 表 3 | 非密封放射性物质 | 12 |
| 表 4 | 射线装置 | 13 |
| 表 5 | 废弃物（重点是放射性废弃物） | 14 |
| 表 6 | 评价依据 | 15 |
| 表 7 | 保护目标与评价标准 | 17 |
| 表 8 | 环境质量和辐射现状 | 23 |
| 表 9 | 项目工程分析与源项 | 29 |
| 表 10 | 辐射安全与防护 | 34 |
| 表 11 | 环境影响分析 | 46 |
| 表 12 | 辐射安全管理 | 55 |
| 表 13 | 结论与建议 | 61 |
| 表 14 | 审批 | 65 |
| 附件： | | |
| 附件 1 | 委托书 | |
| 附件 2 | 辐射安全许可证 | |
| 附件 3 | 原有核技术利用项目环评批复 | |
| 附件 4 | 辐射工作人员个人剂量检测报告 | |
| 附件 5 | 职业健康体检报告 | |
| 附件 6 | 辐射工作人员培训统计表 | |
| 附件 7 | 医院 2022 年度评估报告 | |
| 附件 8 | 医院辐射相关文件和规章制度 | |
| 附件 9 | 环境 γ 辐射剂量率现状监测报告 | |
| 附件 10 | 宇宙射线监测报告 | |
| 附件 11 | 监测资质和仪器检定证书 | |

附件12 医院直线加速器机房风管和电缆穿墙方式说明

附件13 本项目医用电子直线加速器场所防护监测报告

附件14 专家意见及修改清单

附件15 专家复核确认函

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医用电子直线加速器改建项目 | | | |
| 建设单位 | | 赣州市妇幼保健院 | | | |
| 法人代表 | 邓辉 | 联系人 | 邱俊杰 | 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赣州市妇幼保健院新院区门诊医技楼地下二层放疗中心直加机房 | | | |
| 立项审批部门 | | / | | 批准文号 | / |
| 建设项目总投资（万元） | 3095（依托原有，本次不增加投资） | 环保投资（万元） | 75（依托原有，本次不增加投资） | 投资比例 | 2.42% |
| 项目性质 | <input type="checkbox"/> 新建 <input checked="" type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他 | | | 占地面积（m ² ） | / |
| 应用类型 | 放射源 | <input type="checkbox"/> 销售 | <input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类 | | |
| | | <input type="checkbox"/> 使用 | <input type="checkbox"/> I类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类 | | |
| | 非密封放射性物质 | <input type="checkbox"/> 生产 | <input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物 | | |
| | | <input type="checkbox"/> 销售 | / | | |
| | 射线装置 | <input type="checkbox"/> 使用 | <input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙 | | |
| | | <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 建设单位情况、项目建设规模、目的和任务

1.1.1 建设单位情况

赣州市妇幼保健院始建于 1956 年，是一所集医疗、教学、科研、保健、康复于一体的三级甲等综合医院。现设有三个院区，其中大公路院区建筑面积 3.4 万平方米，编制床位 580 张；章江北院区（生殖院区）建筑面积 0.64 万平方米，编制床位 100 张；赣康路院区（新院区）建筑面积 13.5 万平方米，编制床位 990 张。医院在职职工 1022 人，内设科室 63 个，其中临床科室 33 个，医技科室 9 个，行政后勤科室 21 个。

1.1.2 项目建设规模

为了适应医院发展需要，满足广大患者的就医需求，2020 年医院拟在赣康路院区（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。

放疗中心拟建设 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。上述放射性同位素与射线装置应用项目于 2020 年委托编制了辐射环境影响报告表，江西省生态环境厅于 2020 年 5 月 22 日出具了环评批复（赣环辐射〔2020〕38 号，批复见附件 3），医院于 2022 年 4 月开始对直线加速器辐射工作场所进行开工建设，

2023年4月19日重新申领辐射安全许可证，将本项目1台直线加速器登记在册，辐射安全许可证证书编号为赣环辐证[B2221]（见附件2），有效期至2027年4月13日。医院在新院区门诊医技楼地下二层放疗中心直加机房已安装VitalBeam型医用电子直线加速器，该医用电子直线加速器X射线能量档位为6MV和10MV，电子束能量有6、9、12、16、20MeV共5档，配套CBCT系统（最大管电压140kV，最大管电流500mA，属III类射线装置）用于放射治疗，且已按已批复环评报告和环评批复要求设置了放疗装置钥匙开关、实时摄像监视、对讲系统、紧急停机按钮、实时辐射水平监测系统、电动防护门门机联锁、手动开门装置、开关门控制系统、辐射安全警示设施等辐射安全与防护措施。

医院发现VitalBeam型医用电子直线加速器在X射线能量为6MV档位具有FFF模式，FFF模式下等中心点处最高输出剂量率为14Gy/min，已批复环评报告《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》表11环境影响分析加速器等中心点处最高输出剂量率为6Gy/min（X射线能量为10MV），两者相比，实际安装加速器等中心点处最高输出剂量率大于已批复环评报告等中心点处最高输出剂量率。因此，医院决定在其他辐射安全与防护措施不变的情况下，本次针对医用电子直线加速器等中心点处最高输出剂量率变化重新进行环评。

本项目配置5名辐射工作人员，其中医师2人，技师3人，均为医院现有辐射工作人员，仅从事本项目工作，不另外增加受照时间。项目直线加速器辐射工作人员每人每年受照时间约为250h。

本项目已安装医用电子直线加速器设备情况见表1-1，人员信息见表1-2。

表 1-1 本次环评射线装置一览表

| 设备名称 | 型号 | 数量 (台) | 设备参数 | 安装位置 | 活动种类 和范围 |
|-------------------|---------------|-----------|--|-------------------------|-------------|
| 医用电子 直线加速 器 | Vital Beam | 1 | X射线标称能量：6MV（最大等中心剂量率为14Gy/min）、10MV（最大等中心剂量率为6Gy/min）。 电子线标称能量6、9、12、16、20MeV共5档。 | 赣康路新院区门诊医技楼地下二层放疗中心直加机房 | 使用，II类射线装置 |

表 1-2 本项目辐射工作人员信息统计表

| 姓名 | 岗位 | 培训 |
|-----|----|----------------------|
| 肖春晖 | 技师 | 尚未培训，安排2024年3月参加培训考核 |
| 李文裕 | 技师 | FS21JX0200029 |
| 卢辛辛 | 医师 | FS21JX0200030 |
| 邱梅英 | 医师 | FS20JX0200202 |
| 徐彬 | 技师 | FS20JX0200200 |

1.1.3 目的和任务

本项目医用电子直线加速器等中心点处最高输出剂量率由已批复环评报告《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》中 6Gy/min 增加到 14Gy/min，该参数变化量超过了 30%，根据《污染影响类建设项目重大变动清单（试行）》（2020 年 12 月）属于重大变动建设项目应重新环评。

为此，赣州市妇幼保健院于 2023 年 10 月正式委托江西省地质局实验测试大队进行辐射环境影响评价。江西省地质局实验测试大队则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。

1.2 项目周边环境概况及选址合理性

1.2.1 项目所在位置

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。

1.2.2 项目所在建筑物及周边环境概述

医院新院区西北面紧邻水南路，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。

本项目直加机房位于赣州市妇幼保健院新院区门诊医技楼地下二层，医院新院区总平面、外环境关系以及核技术利用场址所在位置详见图 1-2。

1.2.3 本次核技术利用项目场址与外环境四至情况

医院新院区门诊医技楼西北面为院内道路，21m 处为水南路，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（后装治疗机尚未安装，以上用房均为备用房）；东南面为直线加速器控制室、患者通道和稳压器水冷机房；西南面为地下停车场、合用前室、楼梯间和电梯间，20m 处为医技楼边界。直加机房上方为管道设备层（无人到达），楼下为土层。本项目直加机房及周边环境平面布置图见图 1-3，剖面图见图 1-4。

1.2.4 本次核技术利用项目选址合理性分析

本项目直加机房及其配套用房相对独立，且位于医院新院区门诊医技楼地下二层的西北端，相邻区域无儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域或者人员流动性大的商业活动区域，评价范围内无学校、幼儿园、居民区等环境敏感目标。因此，本项目选址符合《放

射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中关于放射治疗工作场所选址与布局要求，选址合理可行。

1.2.5 本项目产业政策符合性

对照《产业结构调整指导目录（2024 年本）》要求，项目属于鼓励类内十三、医药的第 4 条“高端医疗器械创新发展：新型基因、蛋白和细胞诊断设备，新型医用诊断设备和试剂，高性能医学影像设备，高端放射治疗设备，急危重症生命支持设备，人工智能辅助医疗设备，移动与远程诊疗设备，高端康复辅助器具，高端植入介入产品，手术机器人等高端外科设备及耗材，生物医用材料、增材制造技术开发与应用”项目，符合国家产业政策。

1.2.6 实践正当性分析

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

1.3 原有核技术利用项目回顾

1.3.1 医院原有核技术应用项目情况

（1）医院原有核技术应用项目情况

医院现有辐射安全许可证内容为使用III类放射源，使用II、III类射线装置。证书编号为赣环辐证[B2221]（见附件 2），发证日期为 2023 年 4 月 19 日，有效期至 2027 年 4 月 13 日。

医院生殖院区现已使用III类射线装置 2 台，包括 1 台胃肠 X 射线机与 1 台移动 DR 机。

医院大公路院区现已使用III类射线装置 6 台，乳腺钼靶机、DR 机、CT、数字胃肠机、骨密度检查仪与牙科 X 射线机各 1 台。

医院赣康路院区（新院区）现已使用III类射线装置 7 台，移动 DR、数字胃肠机、CT、DR 机、乳腺钼靶机、C 臂机与大孔径模拟 CT 定位机各 1 台；已使用II类射线装置 1 台，即本次环评的直线加速器。

上述射线装置于 2017~2023 年履行了辐射环境影响影响评价手续。

医院已有设备详见表 1-3，本项目辐射工作人员辐射安全与防护学习培训信息见表 1-2。。

表 1-3 赣州市妇幼保健院现有射线装置一览表

| 序号 | 机型 | 型号 | 使用场所 | 类别 | 环评情况 | 验收情况 |
|------|----|--------|--------|------|------|------|
| 生殖院区 | | | | | | |
| 1 | 胃肠 | HF51-5 | 生殖大楼一楼 | III类 | 备案号： | / |

| | | | | | | | |
|-------|------------|------------------------|---|------|--------------------------------|---------------------|---|
| | X射线机 | | 放射科 | | 2017360702000000 19 | | |
| 2 | 移动DR | uDR370i | 门诊大楼七楼 新生儿科 | III类 | 备案号: 2020360702000000 38 | | |
| 大公路院区 | | | | | | | |
| 3 | 乳腺钼靶机 | MAMMOM AT | 妇产科住院部 大楼一楼放射 科钼靶室 | III类 | 备案号: 2017360702000000 19 | / | |
| 4 | 32排螺旋CT | Go UP32 | 妇产科住院部 大楼一楼放射 科CT室 | III类 | | | |
| 5 | DR机 | uDR588i | 妇产科住院部 大楼一楼放射 科DR室 | III类 | 备案号: 2020360702000000 38 | | |
| 6 | 数字胃肠机 | Univision | 妇产科住院部 大楼一楼放射 科造影室 | III类 | 备案号: 2023360702000000 20 | | |
| 7 | 双能骨密度检查仪 | LUNAR DPX | 妇产科住院部 大楼一楼放射 科骨密度检查 室 | III类 | | | |
| 8 | 牙科X射线机 | RAY68 (M) | 妇产科住院部 大楼一楼放射 科牙科机房 | III类 | 备案号: 2023360702000000 16 | | |
| 赣康路院区 | | | | | | | |
| 9 | 数字胃肠机 | Univision | 住院部一楼放 射科造影室 | III类 | 备案号: 2020360702000000 38 | | / |
| 10 | X射线机 | Ziehm solo | 住院部四楼手 术室 | III类 | | | |
| 11 | 移动DR | Moble diagnost w | 住院部七楼新 生儿科 | III类 | 备案号: 2023360702000000 16 | | |
| 12 | 64排螺旋CT | CT680 Expert | 住院部一楼放 射科CT室 | III类 | | | |
| 13 | DR机 | C50 65 | 住院部一楼放 射科DR室 | III类 | | | |
| 14 | 乳腺钼靶机 | Nova | 住院部一楼放 射科钼靶室 | III类 | | | |
| 15 | 大孔径模拟CT定位机 | Brilliance Big Bore | 门诊医技楼(住 院部)住院部负 二楼放疗科CT 模拟定位机房 | III类 | | | |
| 16 | 直线加速器 | VitalBeam | 门诊医技楼(住 院部)负二楼放 疗科直线加速 器机房 | II类 | 赣环辐射(2020) 38号 | 设备参数变更,重 新履行环评手续 | |

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

(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《赣州市妇幼保健院放射事件应急处理预案》《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，规章制度都在相关科室上墙，且工作人员严格按照规章制度要求执行。

③医院建立了相应的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）。根据江西同欣监测技术有限公司出具的个人剂量监测报告可知，医院辐射工作人员2022年度个人累计剂量监测结果范围值为（0.02~0.2）mSv，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，也低于剂量约束值5mSv/a。

⑦医院现有的辐射职业人员共29名，其中10名辐射工作人员已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（培训统计表见附件6），有18名辐射工作人员通过了自主考核，另有一名辐射工作人员将于2024年3月参加生态环境主管部门组织的辐射防护与安全培训。

⑧医院配备了1台便携式X-γ辐射剂量率监测仪，每年依照医院制定的监测计划和监测方案定期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7）。

⑨医院2023年委托有资质单位对现有辐射工作场所及周边辐射环境进行验收监测，机房屏蔽体外30cm处周围剂量当量率监测结果在（0.158~0.38）μSv/h之间，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中“机房外的周围剂量当量率应不大于2.5μSv/h”的要求。

1.3.3 现阶段存在的问题及改进意见

医院原有核技术利用项目的辐射防护措施较完善、相关规章制度较齐全，且辐射工作人员均配备了相应的防护用品及个人剂量监测仪，能满足辐射防护最优化原则。但医院存在如下问题：

(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 1 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) 医院法人已变更，未及时更换辐射安全许可证。。

针对上述问题，医院应进一步加强医院辐射安全管理工作，尽快履行辐射安全许可证变更手续和安排未培训辐射工作人员参加辐射安全与防护培训并持证上岗。根据附件 6 可知，医院拟安排 1 名未培训辐射工作人员 2024 年 3 月份参加辐射安全与防护培训考试。

1.4 评价目的

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

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

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

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

1.5 评价因子及评价重点

本项目的污染因子为医用电子直线加速器在应用过程中产生的电离辐射。本次评价采用 X- γ 辐射剂量率和有效剂量作为评价因子，重点评价医用电子直线加速器使用过程中产生的电离辐射对环境敏感点人群的影响。



图 1-1 本项目地理位置图

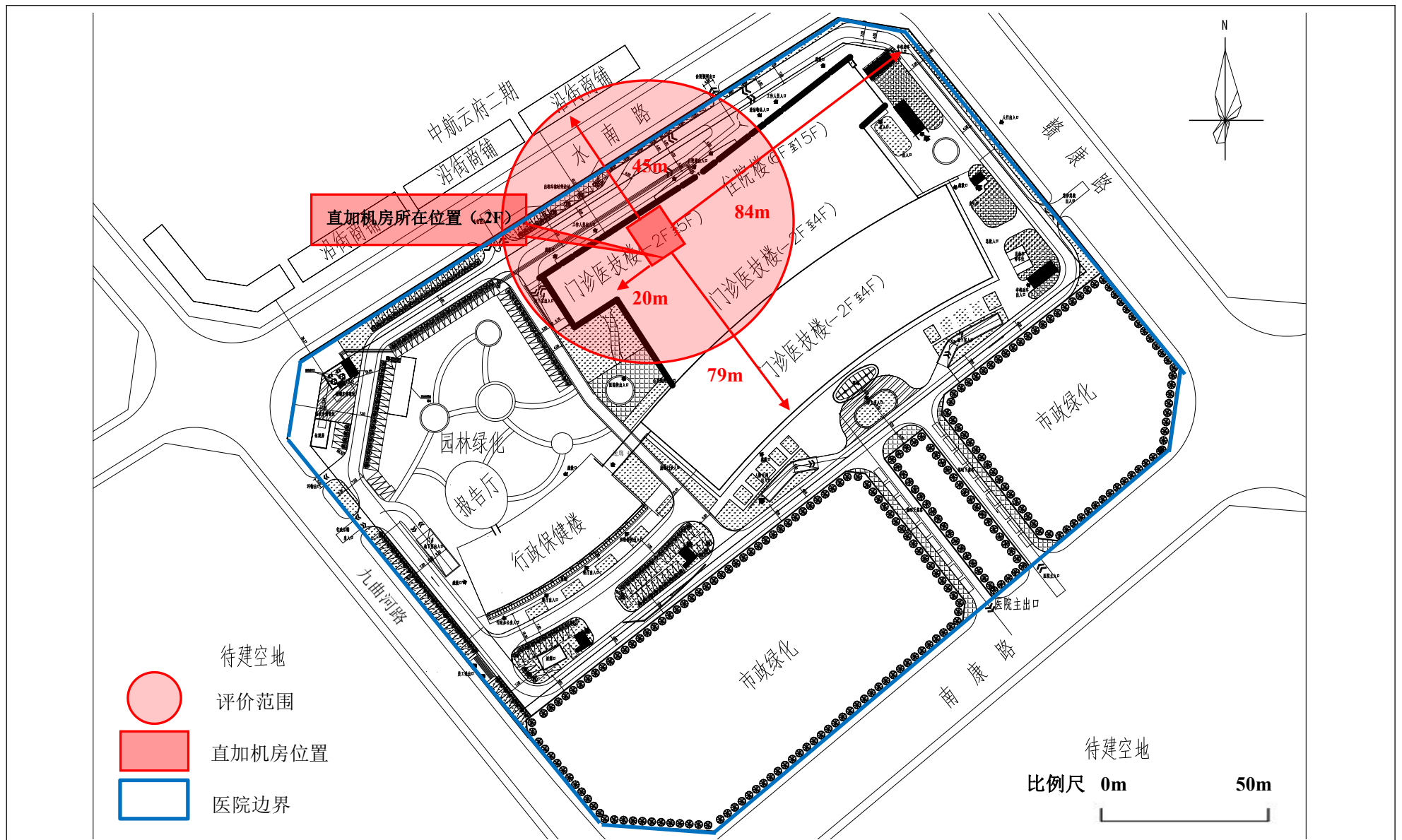


图 1-2 赣州市妇幼保健院新院区总平面布置、外环境关系以及本次核技术利用项目所在位置示意图

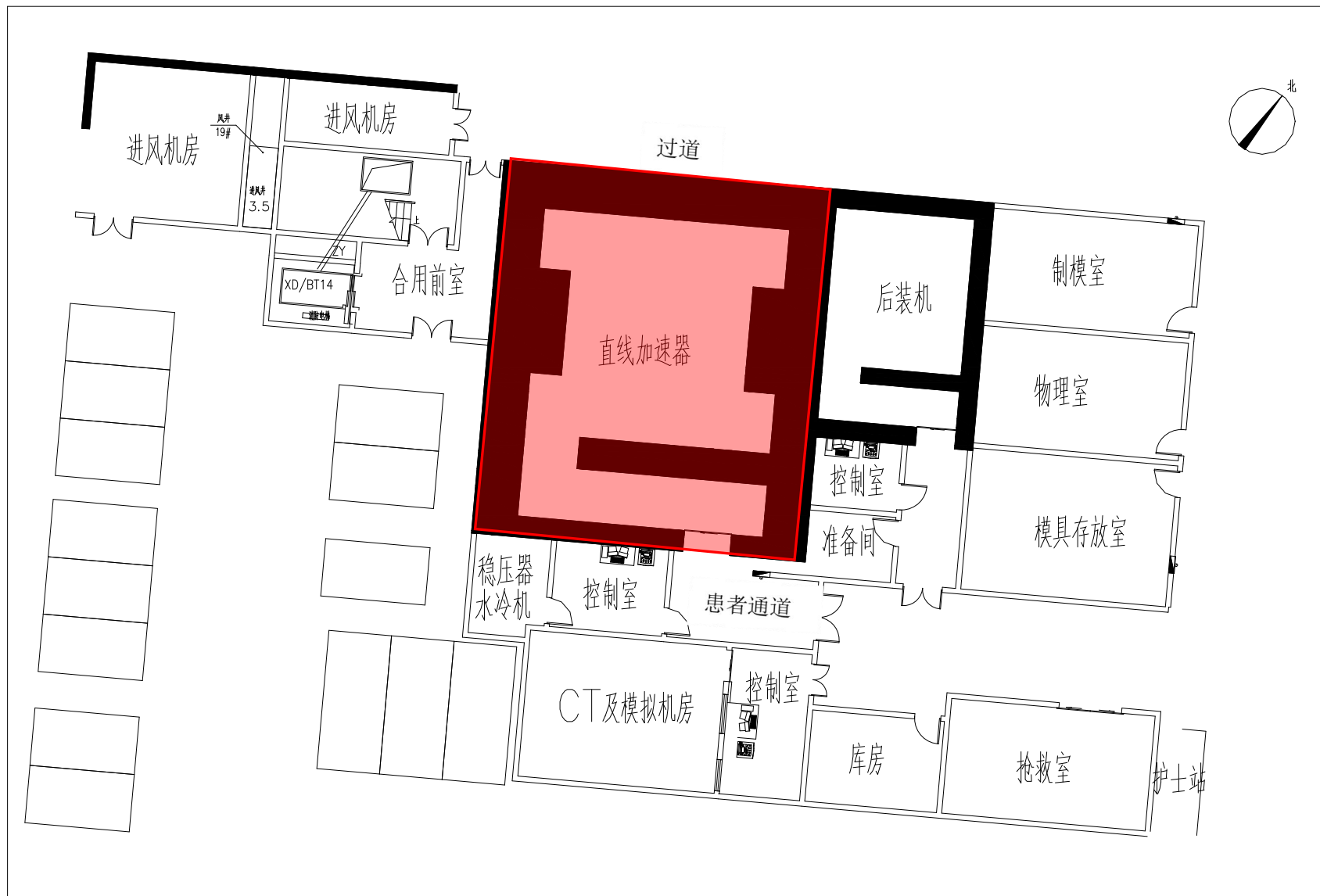


图 1-3 赣州市妇幼保健院新院区直加机房平面布置示意图

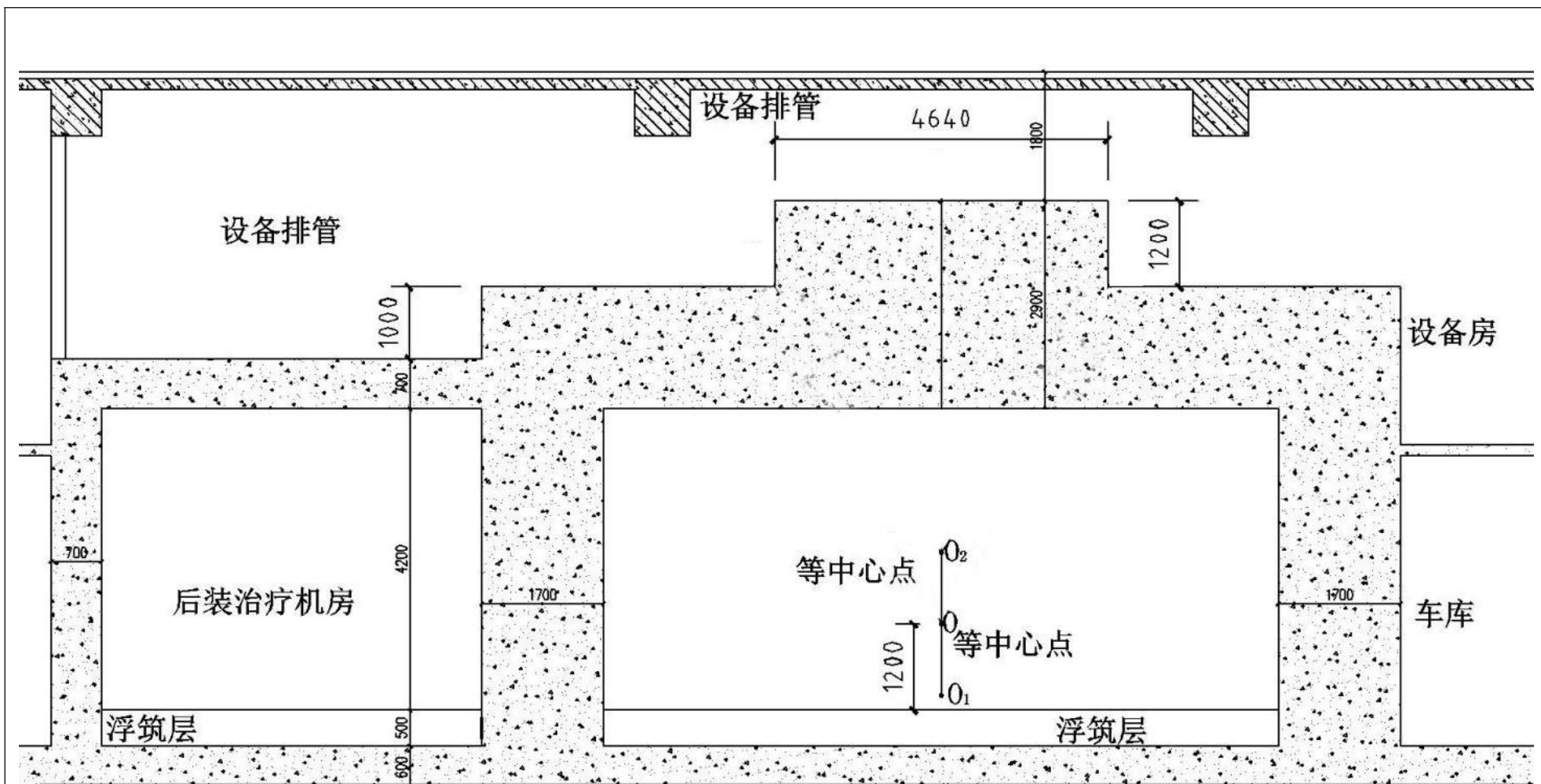


图 1-4 赣州市妇幼保健院新院区直加机房剖面图

表 2 密封放射源

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

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

表 3 非密封放射性物质

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

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

表4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

| 序号 | 名称 | 类别 | 数量 | 型号 | 加速粒子 | 最大能量 (MeV) | 额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h) | 用途 | 工作场所 | 备注 |
|----|-----------|-----|----|-----------|------|-----------------------------------|-------------------------------|------|--------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 医用电子直线加速器 | II类 | 1 | VitalBeam | 电子 | 电子线：6/9/12/16/20MeV X射线：6、10MV | 6MV：14Gy/min； 10MV：6Gy/min | 放射治疗 | 赣州市妇幼保健院新院区门诊医技楼地下二层直加机房 | 改建，配套的CBCT系统最大管电压140kV，最大管电流500mA |

(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 |
|----|----|----|----|----|------------|------------|----|------|----|
| / | / | / | / | / | / | / | / | / | / |

(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 |
|---------------------------|----|------|----|------|-------|-------|------|---------------|
| 废弃直线加速器靶 | 固态 | / | / | / | / | / | / | 交由厂家回收处理 |
| 有害气体 O ₃ 及氮氧化物 | 气体 | / | / | / | / | / | 直接排放 | 经排气系统直接排入环境大气 |

注：1. 常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m³；年排放总量用 kg。

2. 含有放射性的废弃物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度 (Bq/L 或 Bq/kg, 或 Bq/m³) 和活度 (Bq)。

表 6 评价依据

| | |
|------------------|--|
| 法 规 文 件 | <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 自 2015 年 1 月 1 日施行）</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) 《建设项目环境保护管理条例》（国务院令 第 682 号）</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令 第 449 号，2019 年修订）</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（国家环境保护部第 3 号令，2021 年修正版）</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) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》（生态环境部 部令 第 16 号）</p> <p>(9) 关于发布<射线装置分类>的公告（环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号）</p> <p>(10) 关于发布《放射性废物分类》的公告（环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局 公告 2017 年 第 65 号）</p> <p>(11) 《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 2019 年 第 57 号公告）</p> <p>(12) 关于进一步优化辐射安全考核的公告，生态环境部 公告 2021 年 第 9 号，2021 年 3 月 15 日起实施</p> <p>(13) 《关于发布<建设项目竣工环境保护验收暂行办法>的公告》，国环规环评[2017]4 号，2017 年 11 月 20 日</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</p> <p>(15) 《辐射安全与防护监督检查技术程序》，生态环境部，2020 年 2 月</p> <p>(16) 《放射工作人员职业健康管理暂行办法》（卫生部令第 55 号）</p> <p>(17) 《卫生部核事故和辐射事故卫生应急预案》（卫应急发〔2009〕101 号）</p> |
|------------------|--|

| | |
|------|--|
| | <p>(18) 《产业结构调整指导目录（2024 年本）》</p> <p>(19) 《污染影响类建设项目重大变动清单（试行）》（2020 年 12 月发布）</p> |
| 技术标准 | <p>(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）</p> <p>(2) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）</p> <p>(3) 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）</p> <p>(4) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）</p> <p>(5) 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）</p> <p>(6) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）</p> <p>(7) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机》（GBZ/T201.2-2011）</p> <p>(8) 《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）</p> <p>(10) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）</p> <p>(11) 《放射工作人员健康要求及监护规范》（GBZ 98-2020）</p> <p>(12) 《放射事故医学应急预案编制规范》（WS/T 328-2011）</p> <p>(13) 《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ1326-2023）</p> |
| 其他 | <p>(1) 项目环境影响评价委托书（附件 1）</p> <p>(2) 《中国环境天然放射性水平》（中国原子能出版社，2015 年）</p> <p>(3)《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环境影响报告表》</p> <p>(4) 其他技术资料</p> |

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

本项目为使用 II 类医用射线装置，依据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016），放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围（无实体边界项目视具体情况而定，应不低于 100m 的范围）。考虑到本项目的实际情况，本项目评价范围为医用电子直线加速器机房实体屏蔽物外 50m 范围，如图 1-2 和图 1-3 所示。

7.2 保护目标

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，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) | |
|-----------|--------|----------------------|------|-----|------------------|-----|
| 医用电子加速器机房 | 职业工作人员 | 控制室、稳压器水冷机房 | 东南墙外 | 紧邻 | 5 人 | 5 |
| | 公众成员 | 患者通道 | 东南墙外 | 紧邻 | 流动人员 | 0.1 |
| | | 合用前室 | 西南墙外 | 紧邻 | 流动人员 | 0.1 |
| | | 过道 | 西北墙外 | 紧邻 | 流动人员 | 0.1 |
| | | 设备层旁过道 | 上方 | 紧邻 | 流动人员 | 0.1 |
| | | 设备层旁办公室 | 上方 | 紧邻 | 2 人 | 0.1 |
| | | 门诊医技楼其他非辐射工作人员、患者及家属 | 紧邻 | / | 约 1000 人 | 0.1 |
| | | 中航云府二期沿街商铺 | 西北面 | 45m | 约 20 人 | 0.1 |

7.3 评价标准

（一）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

①剂量限制和潜在照射危险限制

第 4.3.2.1 款 应对个人受到的正常照射加以限制，以保证本标准 6.2.2 规定的特殊情况

外，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量当量和有关器官或组织的总当量剂量不超过附录 B（标准的附录）中规定的相应剂量限值。不应将剂量限值应用于获准实践中的医疗照射。

B1 剂量限值

B1.1 职业照射

B1.1.1 剂量限值

B1.1.1.1 应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，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；

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；

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198—2021）中 4.9 从事放射治疗的工作人员职业照射和公众照射的剂量约束值应符合以下要求：

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

b) 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

本项目工作人员的职业照射剂量约束值为不大于 5mSv/a，本项目公众人员的照射剂量约束值为不大于 0.1mSv/a。

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

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

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

式中， Y_p ——机房有用束主屏蔽区的宽度，m；

SAD——源轴距，m；

θ ——治疗束的最大张角（相对束中的轴线），即射线最大出射角的一半；

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

（三）《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）

6.3 屏蔽要求

6.3.1 治疗机房墙和入口门外关注点周围剂量当量率参考控制水平

(a) 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子，由周剂量参考控制水平求得关注点的周围剂量当量率参考控制水平 \dot{H}_c ，见式 (1)：

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

式中：

\dot{H}_c ——周围剂量当量率参考控制水平，单位为微希沃特每小时 ($\mu\text{Sv/h}$)；

H_e ——周剂量参考控制水平，单位为微希沃特每周 ($\mu\text{Sv/周}$)，其值按如下方式取值：
放射治疗机房外控制区的工作人员： $\leq 100\mu\text{Sv/周}$ ；放射治疗机房外非控制区的人员： $\leq 5\mu\text{Sv/周}$ 。

t ——设备周最大累积照射的小时数，单位为小时每周 (h/周)；

U ——治疗设备向关注点位置的方向照射的使用因子；

T ——人员在关注点位置的居留因子，取值方法参见附录 A。

6.3.2 治疗机房顶屏蔽的周围剂量当量率参考控制水平

6.3.2.1 在治疗机房上方已建、拟建二层建筑物或在治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点至机房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗机房顶外表面 30cm 处，或在该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处，周围剂量当量率参考控制水平同 6.3.1。

6.3.2.2 除 6.3.2.1 的条件外，若存在天空反射和侧散射，并对治疗机房墙外关注点位置照射时，该项辐射和穿出机房墙透射辐射在相应处的周围剂量当量率的总和，按 6.3.1 确定关注点的周围剂量当量率作为参考控制水平。

(四) 《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)

4.8 辐射工作人员和公众成员的辐射照射应符合 GB 18871-2002 中剂量限值相关规定。

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

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

b) 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a 。

6 放射治疗场所辐射安全与防护要求

6.1 屏蔽要求

6.1.1 放射治疗室屏蔽设计应按照额定最大能量、最大剂量率、最大工作负荷、最大照

射野等条件和参数进行计算，同时应充分考虑所有初、次级辐射对治疗室邻近场所中驻留人员的照射。

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

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

6.1.4 剂量控制应符合以下要求：

a) 治疗室墙和入口门外表面 30cm 处、邻近治疗室的关注点、治疗室房顶外和地面附近和楼层及在治疗室上方已建、拟建二层建筑物或在治疗室旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点治疗室房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗室顶外表面 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 (\dot{H}_c) 求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$)：

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

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

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

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

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

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

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

6.2 安全防护设施和措施要求

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

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

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

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

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

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

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

c) 应在放射治疗设备的控制室/台、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁、质子/重离子加速器大厅和束流输运通道内设置急停按钮；急停按钮应有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发；

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

7 操作的辐射安全与防护要求

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

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

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

8 放射性废物管理要求

8.2 固体废物管理要求

8.2.2 其他固体废物管理要求

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

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

8.4 气态废物管理要求

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

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 核技术利用项目地理位置和场所位置

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，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。

环评工程师现场踏勘改建项目区域及周边的环境现状照片见图 8-1。



医院西南侧为九曲河路



医院东北侧为赣康路



医院东南侧为南康路



医院西北侧为水南路



环评项目负责人进行项目现场踏勘



改建直加机房东北侧为后装控制室



改建直加机房防护门



改建直加机房西南侧为停车场



改建直加机房西北侧为过道



改建直加机房上方为设备层

图 8-1 本次评价项目所在区域及周边环境现状照片

8.2 核技术利用项目机房及其周围辐射环境背景水平监测

为掌握项目所在地的辐射环境现状，江西省地质局实验测试大队于2023年11月8日对项目周围环境进行辐射环境现场监测，监测报告见附件9。

本项目环境现状监测因子为环境 γ 辐射剂量率。根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）中的相关要求，对射线装置辐射工作场所及周边环境敏感点中已存在的辐射水平进行环境 γ 辐射剂量率本底监测，故本次在项目辐射工作场所及周边敏感点布设监测点位，监测点位布设满足《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）相关要求，监测点位具有代表性、布设较为合理。监测布点图见图8-1和图8-2所示。

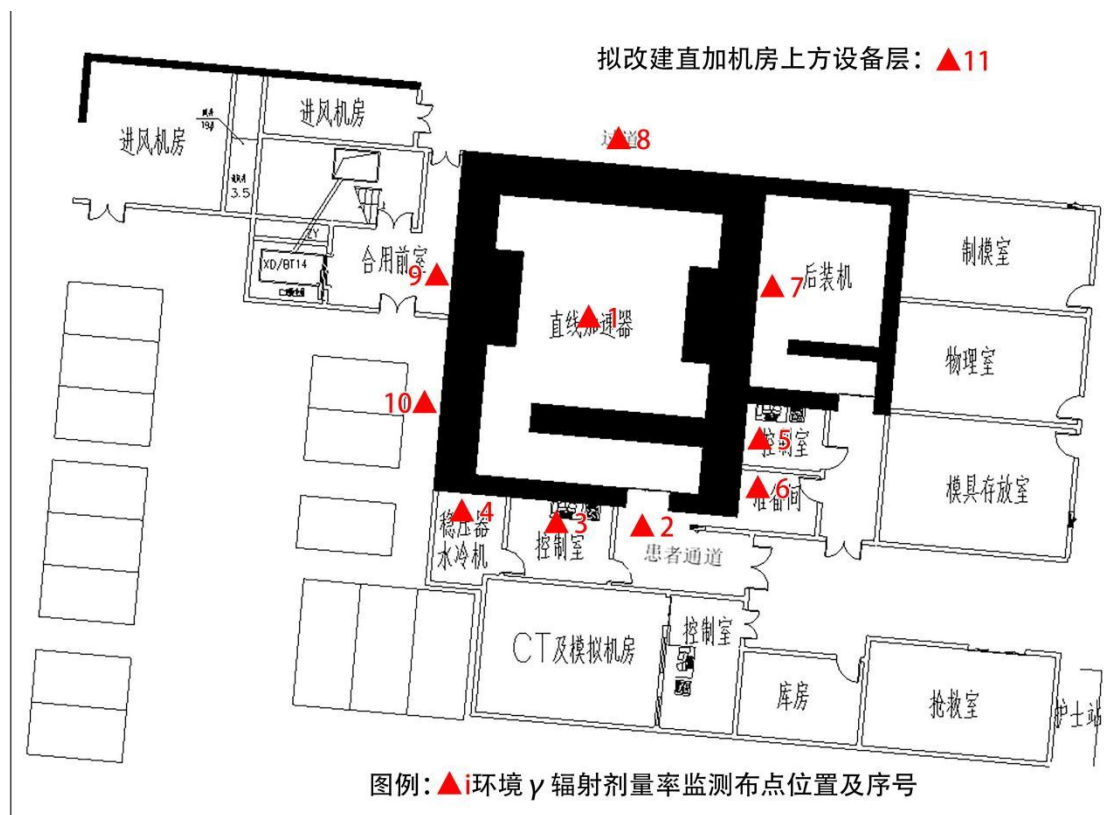


图8-1 本项目改建场址及周边环境区域监测布点示意图(a)

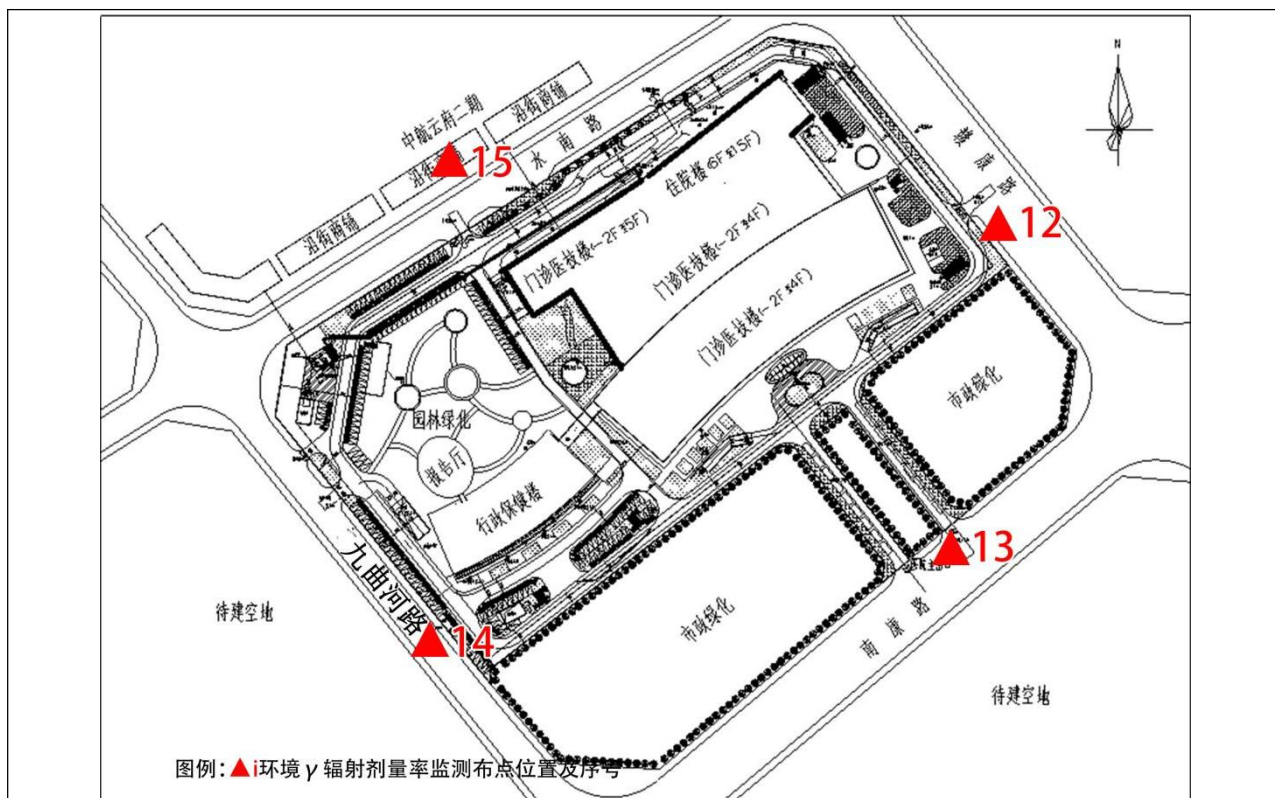


图 8-2 本项目改建场址及周边环境区域监测布点示意图(b)

8.3 监测仪器与规范

电离辐射监测仪器的参数与规范见表 8-1。

表 8-1 监测仪器与监测规范表

| | |
|---------|---|
| 仪器名称 | 便携式 X、 γ 辐射周围剂量当量率仪 |
| 仪器型号及编号 | FH40G 探头: FHZ672 E-10, F118 |
| 生产厂家 | Thermo SCIENTIFIC |
| 测量范围 | 1nSv/h~100 μ Sv/h |
| 能量范围 | 40keV~4.4MeV |
| 监测规范 | 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021) |
| 监测单位 | 江西省地质局实验测试大队 |
| 监测时间 | 2023 年 11 月 8 日 |
| 校准证书编号 | 2023H21-10-4459090002 |
| 发布日期 | 2023 年 3 月 8 日 |
| 校准单位 | 上海市计量测试技术研究院/华东国家计量测试中心 |

8.4 质量保证措施

- a 合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性和可比性，同时满足标准要求。
- b 监测方法采用国家有关部门颁布的标准，监测人员经考核并持有合格证书上岗。
- c 监测仪器每年定期经计量部门检定/校准，检定/校准合格后方可使用。

d 每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常。

e 由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。

f 监测报告严格实行三级审核制度，经过校对、校核，最后由授权签字人审定。

8.5 外环境辐射环境质量现状监测结果

本次项目工作场所周边辐射环境现状监测时，医用电子直线加速器未开机投入使用，检测结果见表 8-2，监测报告见附件 9。

表 8-2 本项目建辐射工作场所及周边环境 γ 辐射剂量率水平监测结果

| 序号 | 监测位置 | 环境 γ 辐射剂量率（nGy/h） | | 备注 |
|----|--------------------|--------------------------|------|------|
| | | 平均值 | 标准偏差 | |
| 1 | 直加机房内 | 144 | 4 | 楼房室内 |
| 2 | 直加机房防护门外 | 156 | 3 | |
| 3 | 直加机房东南侧 30cm 直加控制室 | 141 | 6 | |
| 4 | 直加机房东南侧 30cm 水冷间 | 144 | 3 | |
| 5 | 直加机房东北侧 30cm 后装控制室 | 137 | 4 | |
| 6 | 直加机房东北侧 30cm 后装准备室 | 144 | 3 | |
| 7 | 直加机房东北侧 30cm 后装治疗室 | 140 | 5 | |
| 8 | 直加机房西北侧 30cm 过道 | 141 | 3 | |
| 9 | 直加机房西南侧 30cm 合用前室 | 142 | 3 | |
| 10 | 直加机房西南侧 30cm 地下停车场 | 139 | 5 | |
| 11 | 直加机房上方设备层 | 140 | 4 | |
| 12 | 新院区东北侧赣康路 | 137 | 3 | 楼房室外 |
| 13 | 新院区东南侧南康路 | 141 | 4 | |
| 14 | 新院区西南侧九曲河路 | 143 | 4 | |
| 15 | 新院区西北侧中航云府二期沿街商铺 | 144 | 4 | |

注：本项目监测设备是在 ^{137}Cs 辐射场中采用替代法进行的检定， ^{137}Cs 放射源 γ 射线平均能量为 662keV（0.662MeV）。空气比释动能和周围剂量当量的换算系数参照 JJG 292，使用 ^{137}Cs 作为检定/校准参考辐射源时，换算系数取 1.20Sv/Gy。即本项目监测值（ $\mu\text{Sv/h}$ ）除以 1.20 后即可转换为空气比释动能率（ $\mu\text{Gy/h}$ ）。建筑物屏蔽修正因子楼房取 0.8，道路取 1。

江西省地质局实验测试大队于 2023 年 10 月 12 日使用本项目监测仪器在江西省九江市永修县庐山西海中心水面上对宇宙射线响应值进行监测（仪器宇宙射线监测报告见附件 10）。宇宙射线电离成分的响应值为 10.9nGy/h。辐射剂量率现状监测值扣除宇宙射线响应值时，建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子，楼房取 0.8，道路取 1。

由表 8-2 监测数据可知，项目改建场所评价范围内 γ 辐射剂量率室外现状监测值在

137~144nGy/h 之间，在赣州市室外环境天然放射性本底范围内（赣州市原野及道路本底值为 20.7~287.8nGy/h，摘自《中国环境天然放射性水平》（中国原子能出版社，2015 年））。

项目建场所评价范围内 γ 辐射剂量率室内现状监测值在 137~156nGy/h 之间，在赣州市室内环境天然放射性本底范围内（赣州市室内本底值为 46.3~327.1nGy/h，摘自《中国环境天然放射性水平》（中国原子能出版社，2015 年））。

综上所述，本项目改建场址以及周围辐射环境质量现状良好。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 工程设备和工艺分析

9.1.1 设备组成

本项目医用电子直线加速器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、准直系统、真空系统、恒温水冷系统和控制保护系统。

本项目医用电子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 | 型号 | 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 | VitalBeam | X 线 | 6MV | 源皮距 100cm | 14Gy/min | 40cm×40cm | | |
| | | | 10MV | 源皮距 100cm | 6Gy/min | 40cm×40cm | | |
| | | 电子束 | 6-20MeV | 源皮距 100cm | 14Gy/min | 40cm×40cm | | |
| | | X 线泄漏率 | | | | 等中心高度 | 射线束总张角 | 机架旋转范围 |
| | | ≤0.1% | | | | 1.2m | 28° | 0°~360° |

本项目直线加速器集合 1 台锥形束计算机断层扫描系统（CBCT），与加速器治疗机同轴同床使用，用于图像引导定位，直线加速器与锥形束计算机断层扫描系统不会同时出束。锥形束计算机断层扫描系统包括 CBCT 影像平板、球管、高压发生器以及图像处理软件。CBCT 系统 X 射线机与加速器治疗机同轴，影像平板位于射线机对面，便于在加速器治疗过程中提供病灶的三维图像。

9.1.2 工作原理

医用电子直线加速器是将电子枪产生的电子经加速管加速后形成高能电子束的装置。它既可以产生高能电子束，也可利用高能电子束与靶物质相互作用时的韧致辐射产生 X 射线束。因此，作为一种体外照射的治疗设备，医用加速器利用产生的高能电子束或 X 射线，对人体恶性肿瘤进行照射，使肿瘤组织受到不可逆损伤。可根据癌症类型及其所在位置、患者的身体状况等，选择不同的输出方式对肿瘤进行照射，同时使肿瘤周围正常组织得到最大限度的保护，达到治疗肿瘤的目的。本项目医用电子直线加速器结构示意图见图 9-1。

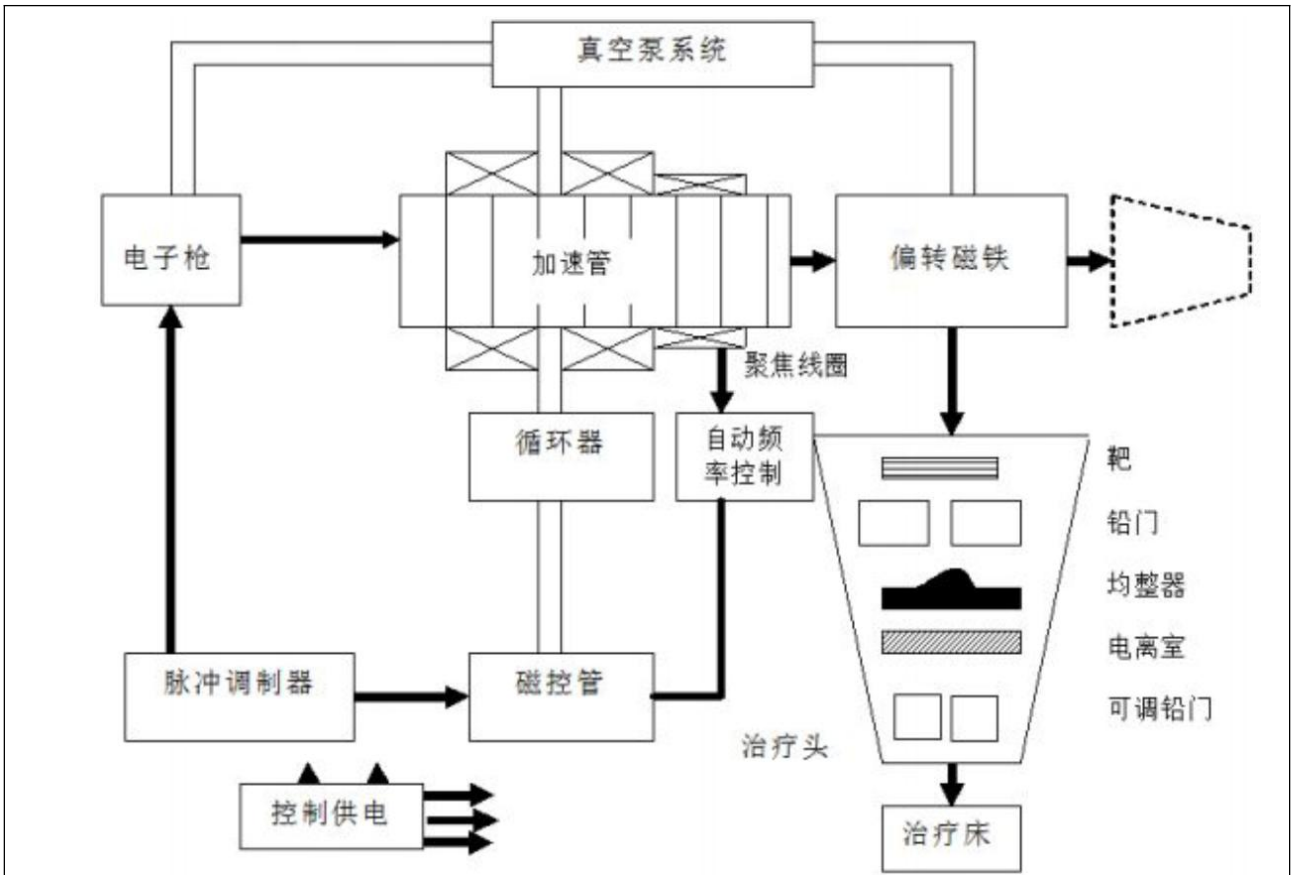


图 9-1 医用电子直线加速器结构示意图

FFF (Flattening Filter-Free) 模式工作原理是将加速器机头上的均整器 (Flattening Filter) 去除, 如图 9-2 所示。均整器自身会吸收射线, 并起到剂量率展平的作用。FFF 模式下去除均整器, 剂量率变大, 改变机头内的射束特性, 减少了散射辐射、机头泄露和通过叶片的穿射剂量, 使照射野周围的剂量能量降低。这些变化转化为积极的临床结果, 减少了在计划目标体积 (PTV) 周围危及器官的剂量。

CBCT 工作原理为 X 线发生器以较低的剂量围绕照射体做环形 DR (数字式投照), 然后将围绕体多次“交集”中所获得的数据在计算机中重组后进而获得三维图像。该系统采用定位床, 用负压袋将患者固定, 用十字激光灯对患者位置进行初始定位, 确定三维立体坐标, 将 CT/MRI 图像中病灶的坐标转换到辐射装置的坐标系中, 在治疗时, 通过基于 CBCT 的图像引导定位装置进行摆位验证, 通过三维床各轴的微动来调整患者的姿态, 以确保放射治疗前靶区的准确性。治疗过程中, 图像引导系统可以随时监测患者靶区的位置偏移, 超出许可范围时给出警告并可中止治疗。

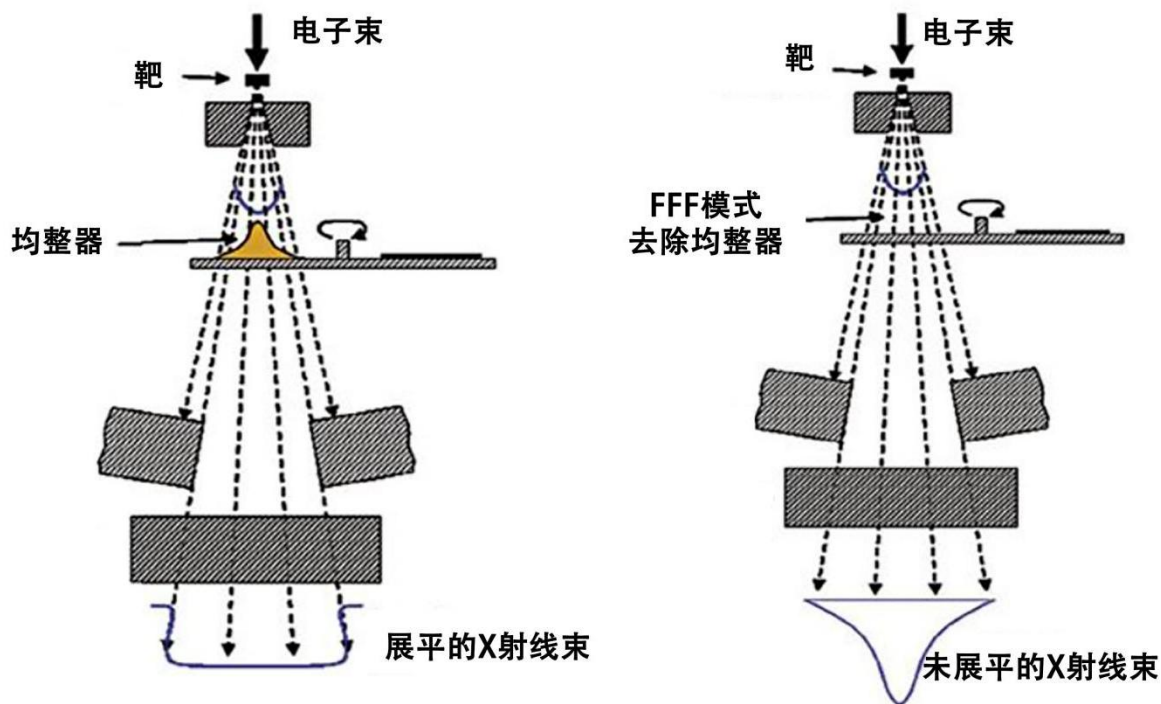


图 9-2 医用电子直线加速器 FFF 模式工作原理示意图

9.1.3 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) 对患者进行诊断、治疗正当性判断，并预约登记。
- (2) 根据每位患者自身治疗的需求，按照其身体某个部位的轮廓制作体位固定模型。
- (3) 进行定位。先通放疗中心配备的 1 台模拟定位机进行模拟定位，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。
- (4) 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。
- (5) 固定患者体位，再利用加速器进行治疗时需需依靠 CBCT 的图像引导系统对患者进行定位，标记，调整照射角度及射野。
- (6) 开机治疗。准备工作就绪后，在控制室通过计算机发出指令，开启加速器，对准患者病灶进行精确治疗。
- (7) 医护人员指导患者离开加速器机房，治疗结束。

直线加速器进行放射治疗的工作流程见图 9-3。

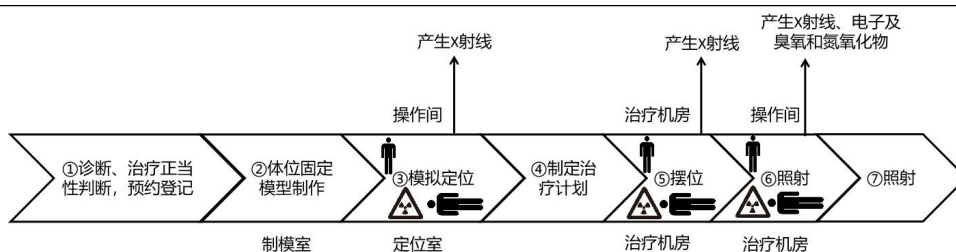


图 9-3 医用电子直线加速器工作流程图

9.1.4 工作负荷

据医院提供资料，医用电子直线加速器共配备 5 名专职辐射工作人员（不从事其他辐射工作）。

本评价项目的医用直线加速器年病人约 7500 人/次，10%使用 10MV 模式，90%使用 6MV 模式，95%为调强放射治疗，调强放射治疗患者治疗照射时间平均为 2min/人次，其余为常规放射治疗，常规放射治疗患者治疗照射时间平均为 1.5min/人次，全按调强放射治疗做保守估算，则年出束时间为 250h。直线加速器设备自带的 CBCT 用于图像引导定位，最大出束时间约为 1min/人次，最大管电压 140kV，最大管电流 500mA。

9.2 污染源项

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。

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°方向）有 X 射线发射，即使沿其它方向也有 X 射线发射。屏蔽设计时，除了关心对 0°方向的 X 射线的屏蔽防护，

还须对 90°方向甚至 180°方向发射的 X 射线的防护。

③中子

当加速器 X 射线标称能量大于 10MV 时，高能光子会与 X 射线靶、一级准直器、X 射线均整器和治疗准直器多种高原子序数的材料如铅、钨等发生 (γ 、n) 光核反应，产生中子辐射。根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》(GBZ/T201.1-2007)《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020) 和《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198—2021)，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。本项目使用的加速器 X 射线能量不大于 10MV，故无需考虑中子辐射及感生放射性影响。

④放射性固体废物

本项目放射性废物是加速器的废弃靶，只在加速器装置需要更换金属钨靶时才产生，换下的废靶交有资质单位收贮。

⑤冷却水

直线加速冷却水循环使用，不外排。冷却水受 X 射线照射被活化而形成的放射性核素主要是 ^{15}O 、 ^{13}N ，半衰期分别为 2.1min、7.3s，只需要放置较短的时间，其活度就可衰减到可忽略的水平。

⑥其他

高能 X 射线、电子束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。

(2) 事故工况

直线加速器的 X 射线受开机和关机控制，关机时没有射线发出。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加速器机房，加速器运行可能产生误照射。

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

③工作人员误操作导致病人受到不必要的照射。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 工作场所布局以及分区情况

(1) 工作场所布局

本项目医用电子直线加速器机房位于新院区门诊医技楼地下二层放疗中心直加机房，医用电子直线加速器机房主要由加速器治疗机房、控制室、稳压器水冷机房组成。加速器治疗机房由治疗室、迷路和防护门组成。本项目医用电子直线加速器治疗机房与控制室分开设置；机房（治疗室）设置“L”型迷路，迷路口设有防护门，其布局符合《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》(GBZ/T201.1-2007)中“治疗装置控制室应与治疗机房分离”的规定。

本项目直线加速器机房工作场所相邻环境状况见表 10-1。

表 10-1 本项目直线加速器机房相邻环境情况一览表

| 机房名称 | 东北侧 | 东南侧 | 西南侧 | 西北侧 | 楼上 | 楼下 |
|---------|---------------------------|------------------|---------------------|-----|-------|----|
| 直线加速器机房 | 后装机房、后装控制室和准备间（以上用房均为备用房） | 控制室、患者通道和稳压器水冷机房 | 地下停车场、合用前室、楼梯间和电梯间； | 过道 | 管道设备层 | 土层 |

根据上表可知，直加机房东北面为后装机房、后装控制室和准备间（后装治疗机尚未安装，以上用房均为备用房）；东南面为直线加速器控制室、患者通道和稳压器水冷机房；西南面为地下停车场、合用前室、楼梯间和电梯间；西北侧为过道。直加机房上方为管道设备层（无人到达），楼下为土层。直加机房避开了儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，周围也没有人员流动性大的商业活动区域，因此本项目医用电子直线加速器工作场所布局满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）关于布局的要求。

(2) 控制区和监督区的划分

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的规定，为了便于辐射防护管理和职业照射控制，控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围，将辐射工作场所分为控制区和监督区。

控制区：应把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，以便控

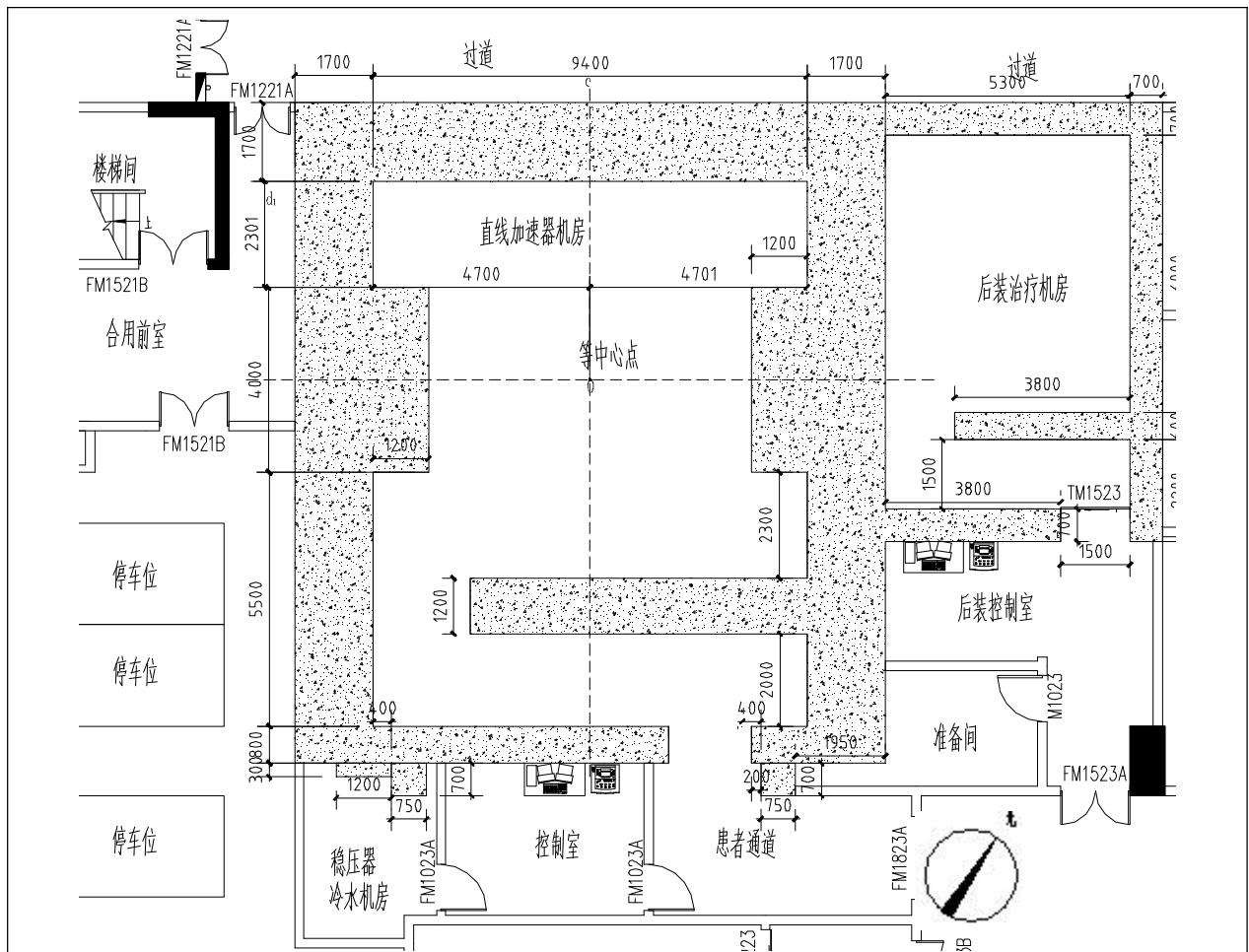


图 10-2 本项目医用电子直线加速器机房平面布置图

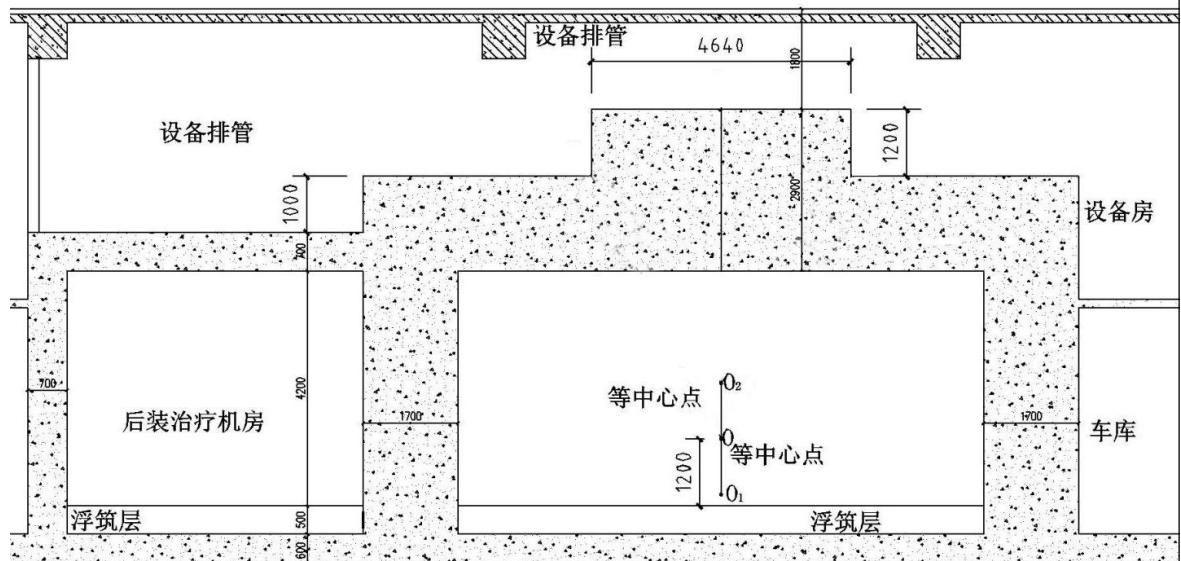


图 10-3 本项目医用电子直线加速器机房立面图

表 10-2 本项目医用电子直线加速器机房防护措施情况一览表

| 机房名称 | 项目 | 厚度 | 备注 |
|------|----|----|----|
|------|----|----|----|

| | | | | |
|-------------|-----------|-------------------------------|---|--|
| 医用电子直线加速器机房 | 治疗室面积及净空高 | | 机房治疗室最小有效使用面积 60.2m ² ，净高 4.2m，容积 362.84m ³ 。 | |
| | 东北墙 | 主屏蔽墙 | 2900mm 混凝土，内凸，宽 4m | |
| | | 次屏蔽墙 | 1700mm 混凝土 | |
| | 东南墙 | 内屏蔽墙 | 1200mm 混凝土 | |
| | | 外屏蔽墙 | 部分为 800mm、部分为 1100mm、部分为 1500mm 混凝土 | |
| | 西北墙 | 次防护墙 | 1700mm 混凝土 | |
| | 西南墙 | 主屏蔽墙 | 2900mm 混凝土，内凸，宽 4m | |
| | | 次屏蔽墙 | 1700mm 混凝土 | |
| | 顶板 | 主屏蔽墙 | 2900mm 混凝土，外凸，宽 4.64m | |
| | | 次屏蔽墙 | 1700mm 混凝土 | |
| 防护门 | | 电动推拉门，25mmPb+120mm 石蜡（含 2% 硼） | | |

四周屏蔽墙体及顶棚一次浇筑而成，混凝土密度不低于 2.35g/cm³，铅密度不低于 11.34g/cm³。

10.1.3 直线加速器机房已采取的其他辐射安全与防护措施

本项目机房依托原有已经采取了下列辐射安全与防护措施。

(1) 放疗装置钥匙开关

本项目医用电子直线加速器设备本身具有电源的钥匙开关，只有该钥匙就位后才能开启电源，启动治疗装置。医用电子直线加速器电源钥匙开关，由专人负责保管。

(2) 实时摄像监视和对讲系统

医院在医用电子直线加速器机房治疗室迷道内墙上设置 3 个摄像头，治疗室西北墙、西南墙、迷道西墙上各设置 1 个监控摄像头。在治疗室内墙上设置两个扩音器，医用电子直线加速器设备和内墙上各设置一个收音器，可实现双向交流。视频监控及对讲装置的设置，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。

(3) 紧急停机按钮

医用电子直线加速器设备上设置 2 个急停按钮，机房西北墙、东北墙、东南墙、西南墙、入口门内侧旁、迷道西墙、控制室内各设 1 个急停按钮，按下急停按钮直线加速器立即停止出束。急停按钮有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。

(4) 实时辐射水平监测系统

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198—2021）中“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”的要求,本项目在医用电子直线加速器机房治疗室内墙内入口处设置固定式辐射剂量监测仪,实时监测到的辐射剂量水平显示单元设置在控制室内,并具有报警功能,以便工作人员及时了解治疗室内的辐射水平和设备的工作情况。

(5) 电动防护门门机联锁、手动开门装置、开关门控制系统

医用电子直线加速器机房入口处设置医用电子直线加速器机房防护门与加速器联锁,即防护门打开时不能出束,出束状态下开门停止出束。防护门外装有红外线防夹传感器,在门体关闭时如检测到障碍物时,门体自动打开,直至障碍物消除后门体才自动关闭。防护门设有电源储备器,在断电的情况下打开防护门。机房门内迷道入口处设置紧急开门按钮,确保一旦有患者家属或无关人员误关在机房内时能及时开门离开;控制室操作位设置具备开、关门功能的控制系统。防护门外设置工作状态指示灯及电离辐射警告标志,工作状态指示灯与直线加速器联锁,出束时灯亮。安全联锁系统一旦被触发后,须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动。任何联锁旁路的调试及维修必须经医院放射防护管理领导小组批准后才能进行,且需派人现场见证。调试及维修完成后将及时进行联锁恢复及功能测试。

(6) 辐射安全警示设施

本项目在直线加速器机房防护门设置醒目的电离辐射警告标志、工作状态指示灯,工作状态指示灯与加速器联锁,绿灯表示准备阶段,红灯表示设备出束状态。机房防护门外 1m 范围内地面粘贴有警示带。

本项目医用电子直线加速器机房辐射安全措施实物见图 10-4,辐射安全措施示意图见图 10-5。直线加速器安全联锁逻辑图见图 10-6。



固定式辐射剂量报警仪



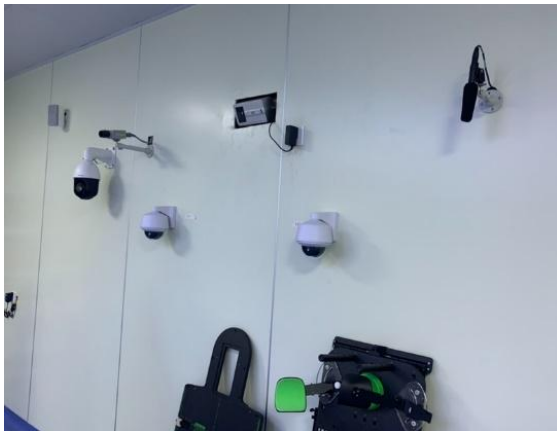
送风口



排风口



紧急停机按钮



监控、对讲装置



工作状态指示灯、电离辐射警告标志



机房防护门防夹装置



迷道内机房门旁紧急开门按钮



控制室操作台紧急开门按钮

图 10-4 医用电子直线加速器机房辐射安全设施布置实物图

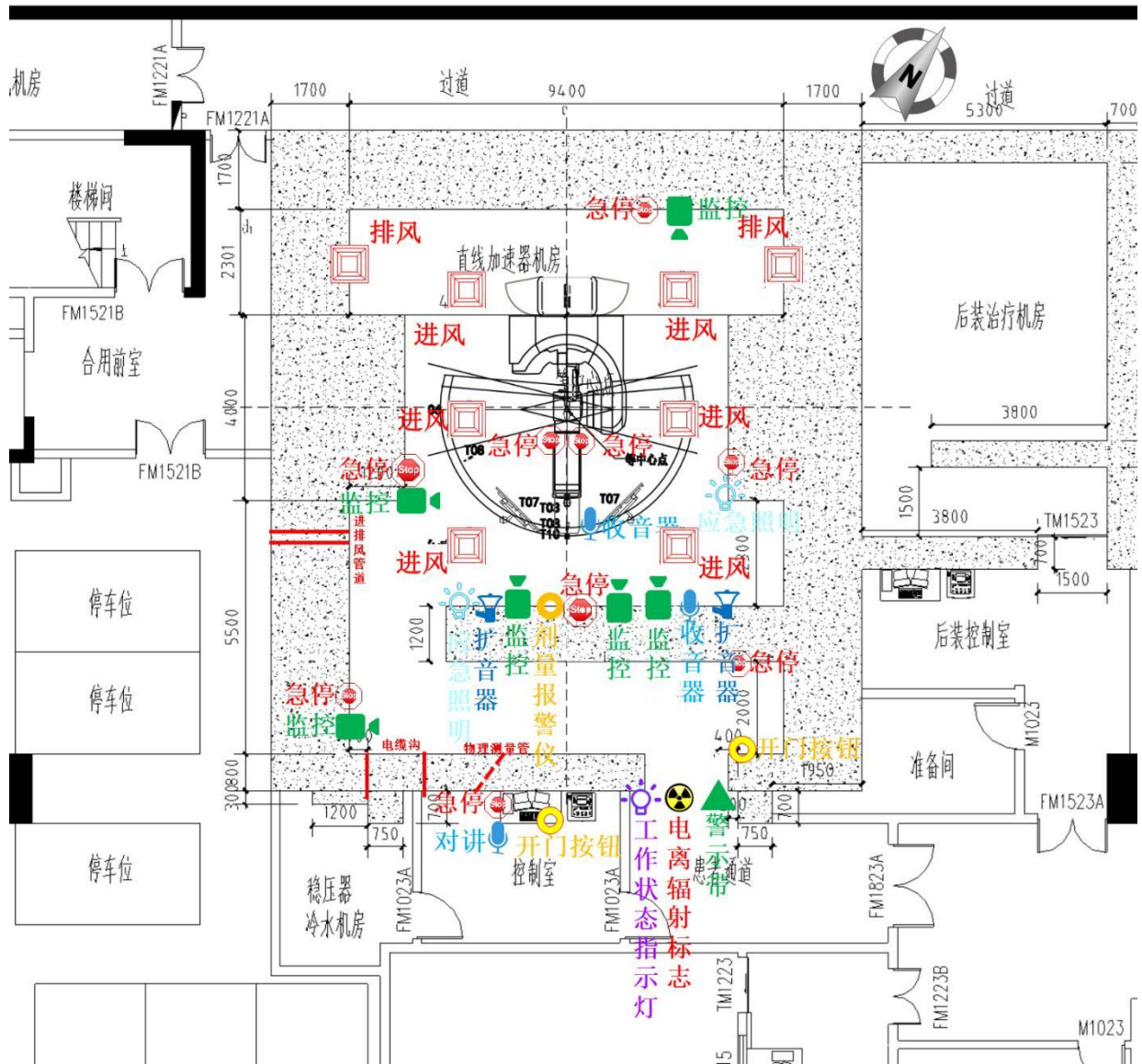


图 10-5 医用电子直线加速器机房辐射安全设施布置示意图

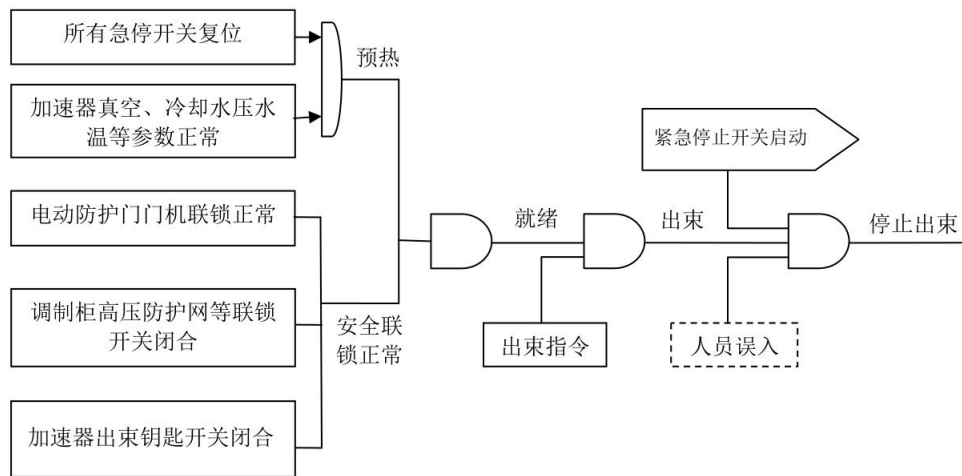


图 10-6 直线加速器安全联锁逻辑示意图

(7) 个人防护用品

医院依托原项目配备 2 台个人剂量报警仪和 1 台便携式 X-γ 辐射剂量率监测仪，配置了铅衣、铅帽、铅围脖、铅围裙、铅方巾等防护用品。医院辐射工作人员进入直线加速器机房前，在控制室内通过控制台、安装在机房内的固定式辐射剂量监测仪等方式确定加速器已停止出束后方可进入加速器机房，进入加速器机房时佩戴个人剂量报警仪、个人剂量计等。个人剂量计每季度定期送检，建立剂量监测档案。

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

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

10.1.4 医用电子直线加速器机房通风措施

医用电子直线加速器机房安装了独立的机械通风装置，采用上进风下排风设置，机房共设有 6 个进风口，直线加速器机房吊顶位置东侧 3 个，西侧 3 个，离地约 3.92m，管道采用 S 型管道；共设有 2 个排风口，直线加速器机房西北角 1 个，东北角 1 个，离地约 40cm。送风管道采用斜插方式穿越墙体，穿墙口位于机房防护门上方墙体；排风管道采用 U 型穿越墙体，穿墙口位于机房东面墙地沟处，机房内射线不会直接照相送排风管道口，经管道多次折返衰减能有效减少射线泄露影响。（见附件 12）

本项目直线加速器排风系统经评价单位现场检测排风量为 3030m³/h，机房体积为 362.84m³，计算可得有效通风换气次数为 8.3 次/h，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》

(HJ1198-2021) 中对放射治疗机房通风换气次数不小于 4 次/h 的要求。机房内废气经机房排风管道至住院楼 15 楼楼顶排出，排气口周围无人停留。排气口设置满足《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021) 中相关要求，能有效减少放疗机房废气对周边环境的影响。

10.1.5 电缆穿墙措施

本项目医用电子直线加速器机房内电缆沟通过地下电缆沟走线，并采用“~”型方式从地坪下穿越屏蔽墙体到达机房外。通过多次折返的电缆沟和下沉地面穿越屏蔽墙的布置，增加泄漏射线的散射次数和衰减，从而保证不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果。(见附件 12) 电缆线走向图见图 10-7。

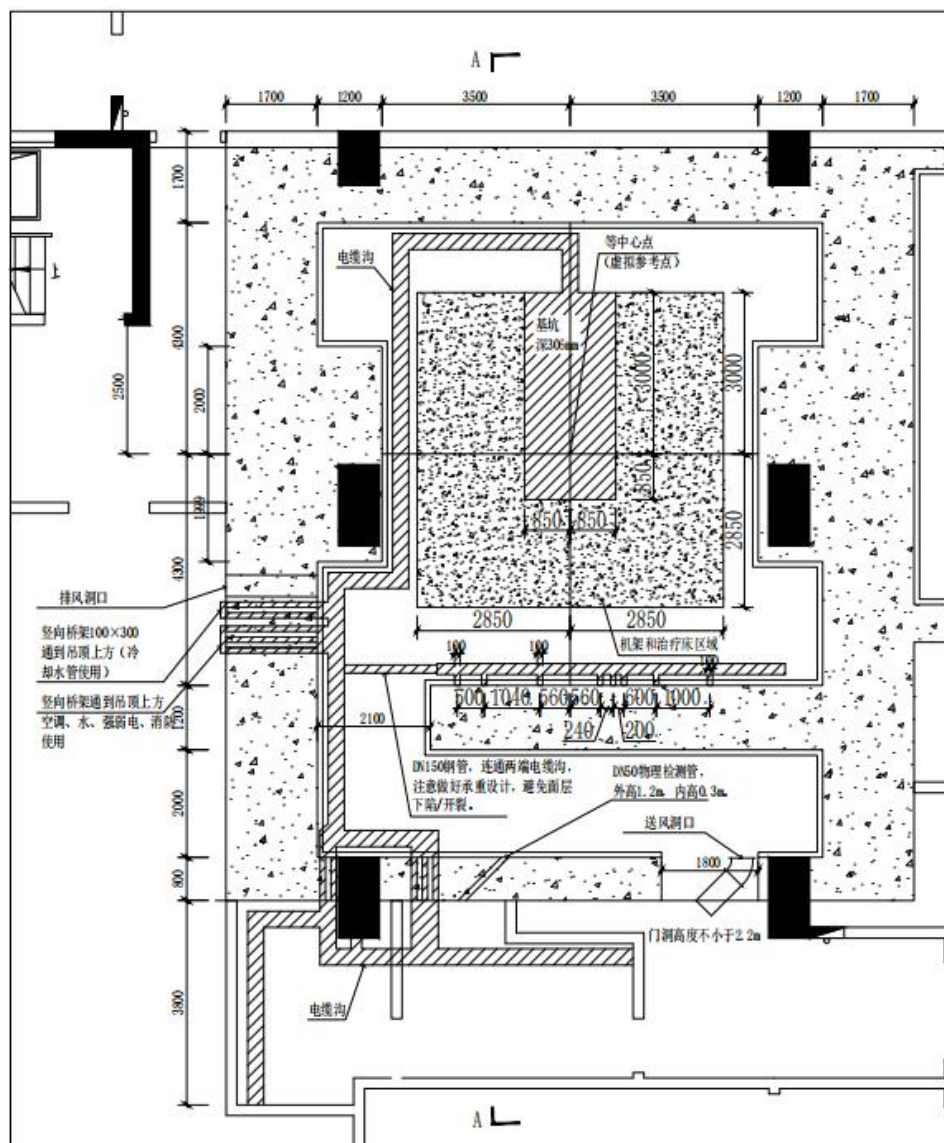


图 10-7 医用电子直线加速器机房电缆走向图

10.1.6 辐射防护措施符合性分析

本项目直线加速器机房已有的辐射防护措施合理性分析采用《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）进行分析，辐射防护措施符合性分析见表 10-3。

表 10-3 本项目医用电子直线加速器机房辐射安全与防护措施符合性分析表

| 标准要求 | 本项目方案 | 符合性 |
|--|---|-----|
| <p>5.1.1 放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境的辐射影响，不得设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。</p> <p>5.1.2 放射治疗场所宜单独选址、集中建设，或设置在多层建筑物的底层的一端，尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。</p> | <p>本项目直线加速器机房设置于门诊医技楼地下二层，不在民居、写字楼和商住两用的建筑物内，机房远离儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，及人员流动性大的商业活动区域。</p> | 符合 |
| <p>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：</p> <p>a) 放射治疗工作场所的入口处应设置电离辐射警告标志；</p> <p>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；</p> <p>c) 控制室应设有在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和迷道区域情况的视频装置，并设置双向交流对讲系统。</p> | <p>本项目直线加速器工作场所防护门（控制区进出口）上设置明显的电离辐射警告标志和工作状态指示灯。</p> <p>医院在直加治疗室迷道内墙上设置 3 个摄像头，治疗室西北墙、西南墙、迷道西墙上各设置 1 个监控摄像头。在治疗室内墙上设置两个扩音器，医用电子直线加速器设备和内墙上各设置一个收音器，可实现双向交流。视频监控及对讲装置的设置，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。</p> | 符合 |
| <p>6.2.2 质子/重离子加速器大厅和治疗室内、含放射源的放射治疗室、医用电子直线加速器治疗室（一般在迷道的内入口处）应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内或机房门附近。</p> | <p>本项目医用电子直线加速器机房治疗室内墙安装 1 个固定式辐射剂量监测仪，固定式辐射剂量监测仪有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内。</p> | 符合 |
| <p>6.2.3 放射治疗相关的辐射工作场所，应设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全连锁措施：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；</p> <p>b) 放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置室内紧急开门装置，防护门应设置防夹伤功能；</p> <p>c) 应在放射治疗设备的控制室/台、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁、质子/</p> | <p>本项目直线加速器相关的辐射工作场所设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全连锁措施，设置门机连锁装置，防护门设置紧急开门装置和红外线防夹伤装置；</p> <p>本项目在医用电子直线加速器设备上设置 2 个急停按钮，机房西北墙、东北墙、东南墙、西南墙、入口门内侧旁、迷道西墙、控制室内各设 1 个急停按钮，按下急停按钮直线加速器立即停止出束。急停按钮有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能</p> | 符合 |

| | | |
|---|---|----|
| <p>重离子加速器大厅和束流输运通道内设置急停按钮;急停按钮应有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发;</p> <p>f) 安全联锁系统一旦被触发后,须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动;安装调试及维修情况下,任何联锁旁路应通过单位辐射安全管理机构的批准与见证,工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试。</p> | <p>观察到且便于触发。</p> <p>本项目安全联锁系统一旦被触发后,须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动。</p> <p>任何联锁旁路的调试及维修必须经医院放射防护管理领导小组批准后才能进行,且应派人现场见证。调试及维修完成后及时及进行联锁恢复及功能测试。</p> | |
| <p>8.4 气态废物管理要求</p> <p>8.4.1 放射治疗室内应设置强制排风系统,采取全排全送的通风方式,换气次数不少于4次/h,排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。</p> | <p>本项目医用电子直线加速器机房设有强制排风系统,两个排风口设置在治疗室西北侧和东北侧墙面距地面0.4m处,经评价单位现场检测直线加速器机房排风量为3030m³/h,直线加速器机房有效通风换气次数为8.3次/h。直线加速器机房的排风外口位于住院楼顶,其周围无人停留。</p> | 符合 |

综上所述,本项目医用电子直线加速器工作场所按相关标准要求进行了建设安装,辐射防护措施符合《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)的相关要求。

10.2 其他

医院制定辐射事故应急预案等辐射安全管理相关的各项规章制度,发生辐射事故时,立即启动应急预案,采取应急措施,并立即向当地生态环境部门和卫生主管部门报告。医院每年对射线装置工作场所安全防护状况进行年度评估,一旦发现安全隐患,应当立即进行整改。

综上所述,医院在贯彻执行《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的过程中做了大量切合实际的工作,医院的辐射防护可满足相关标准的要求,辐射管理制度合理可行。医院应安排未培训的辐射工作人员参加并通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核,在辐射工作人员取得辐射安全和防护培训证书后,医院符合申请领取许可证的相关条件要求。

10.4 三废的治理

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

本项目直线加速器采用水冷却方式,冷却水是在密封的系统中循环利用,不外排,不涉及废水的排放。

本项目直线加速器运行过程中产生的 X 射线与空气作用可产生少量臭氧和氮氧化物等非放射性气体，加速器机房内设置排风系统，机房内有效通风换气次数为 8.3 次/h，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中对放射治疗机房通风换气次数不小于 4 次/h 的要求。医用电子直线加速器机房产生的少量放射性废气、臭氧、氮氧化物，废气收集后经机房排风管道至住院楼楼顶排出，其周围无人员居留。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

医院本项目已经装机，不存在建设阶段的环境影响

11.2 运行阶段对环境的影响

本项目已经装机，实际安装的医用电子直线加速器具有 X 射线能量为 6MV 档位的 FFF 模式，FFF 模式下等中心点处最高输出剂量率为 14Gy/min。已批复环评报告《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》表 11 环境影响分析加速器等中心点处最高输出剂量率为 6Gy/min（X 射线能量为 10MV），两者相比，实际安装加速器等中心点处最高输出剂量率大于已批复环评报告等中心点处最高输出剂量率。医院已委托江西省地质局实验测试大队在医用电子直线加速器 X 射线能量 10MV，等中心点处出束剂量率 6Gy/min，以及 X 射线能量 6MV，等中心点处出束剂量率 14Gy/min 两种工况下，对本项目医用电子直线加速器机房进行监测（见附件 13）。

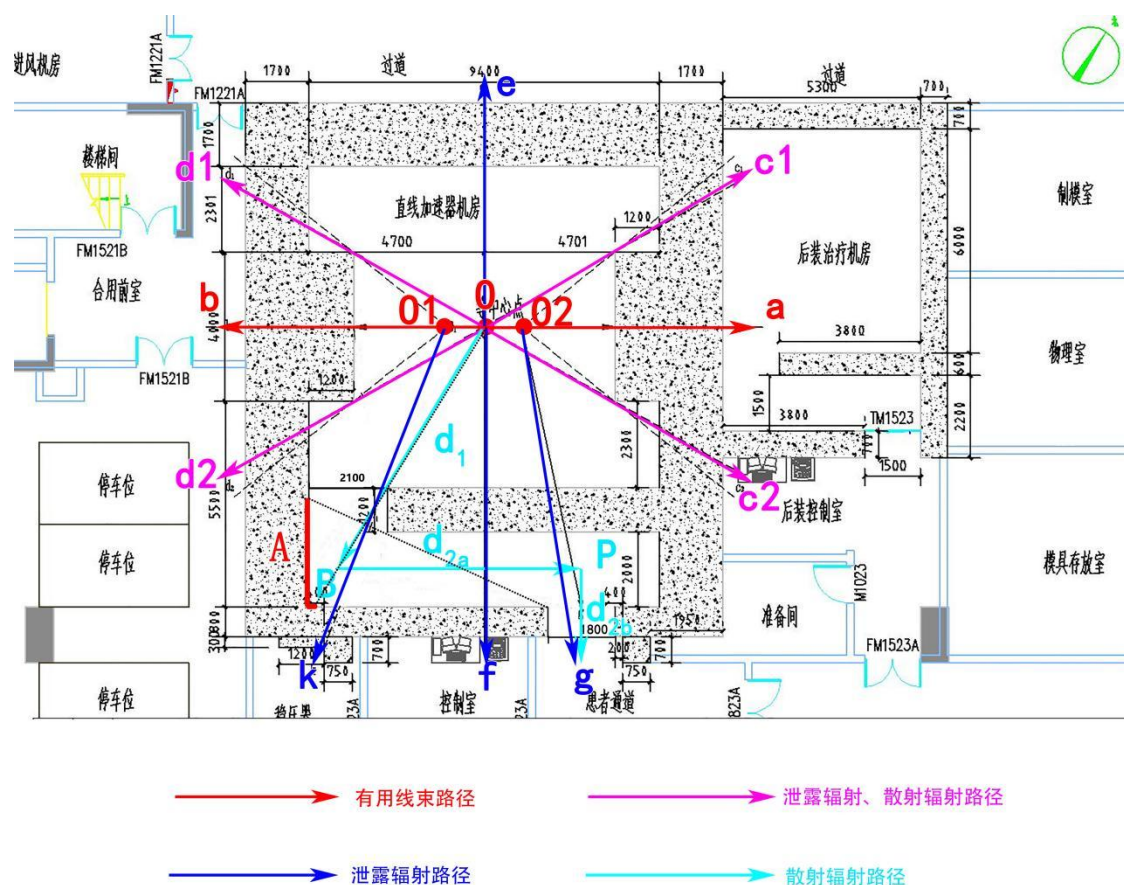
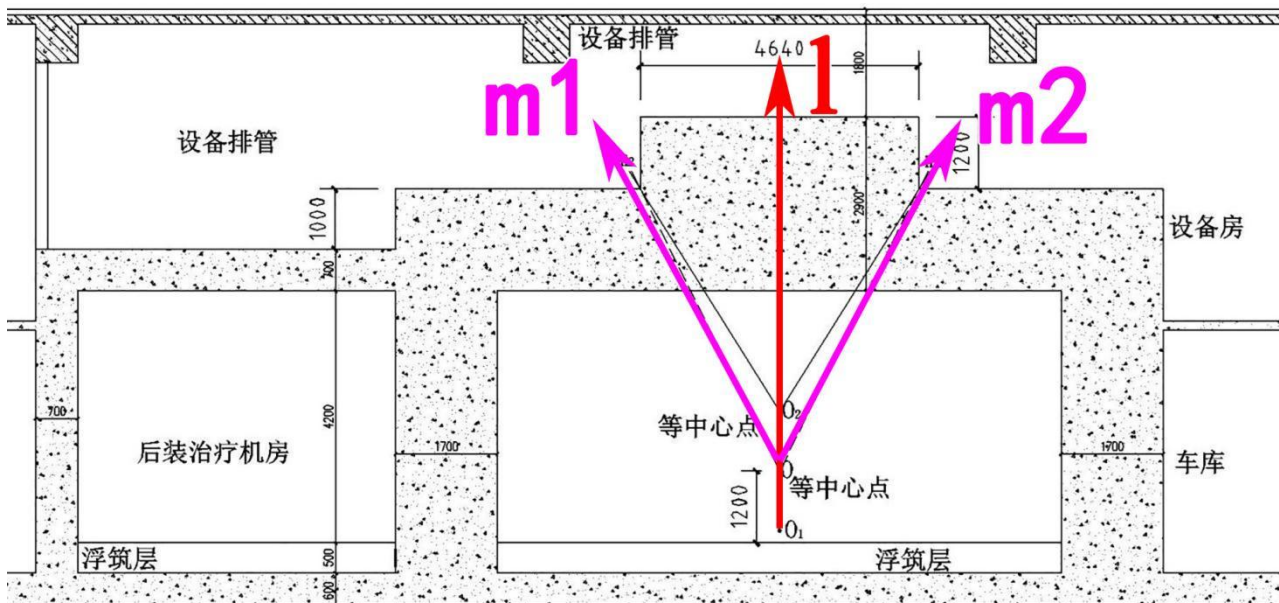


图 11-1 本项目医用电子直线加速器机房四周各关注点位置及辐射路径示意图

本章将依据本项目医用电子直线加速器机房在 X 射线能量 10MV，等中心点处出束剂量率 6Gy/min，以及 X 射线能量 6MV，等中心点处出束剂量率 14Gy/min 两种工况下的机房关

注点位置的实测值（见附件 13）进行环境影响分析。

本次评价直线加速器机房工作场所各关注点位置及辐射路径示意图见图 11-1 和图 11-2。



——→ 有用线束路径 ——→ 泄露辐射、散射辐射路径

图 11-2 本项目医用电子直线加速器机房顶棚各关注点位置及辐射路径示意图

11.2.1 有用线束主屏蔽区半宽度核算

使用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）的相关公式计算有用线束主屏蔽区的宽度。

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

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），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（11-1）得出本项目的主屏蔽宽度，结果见表 11-1。

表 11-1 有用线束主屏蔽区宽度核算值

| 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 | 5.9 |
| SAD (m) | 1 | 1 | 1 |
| θ (°) | 14 | 14 | 14 |
| Y_p (m) | 3.44 | 3.44 | 4.04 |
| 实际宽度 (m) | 4.0 | 4.0 | 4.64 |
| 评价结果 | 满足 | 满足 | 满足 |

从表 11-1 的预测结果可知，本项目直线加速器机房主屏蔽区的实际宽度均大于理论计算值，有用线束主屏蔽区的宽度满足《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）的相关要求。

11.2.2 关注点处周围剂量当量率参考控制水平

①治疗机房墙外和入口关注点的剂量控制

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021），治疗机房墙和入口门外关注点周围剂量当量率参考控制水平：

a) 治疗室墙和入口门外表面 30cm 处、邻近治疗室的关注点、治疗室房顶外和地面附近和楼层及在治疗室上方已建、拟建二层建筑物或在治疗室旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点治疗室房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗室顶外表面 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（ \dot{H}_c ）求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ）：

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

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

参考《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子，由周剂量参考控制水平求得关注点的周围剂量当量率参考控制水平 \dot{H}_c ，见下式：

$$\dot{H}_c \leq \frac{H_e}{t \times U \times T} \dots\dots\dots \text{式 (11-2)}$$

式中：

\dot{H}_c ——周围剂量当量率参考控制水平，单位为微希沃特每小时（ $\mu\text{Sv/h}$ ）；

H_c ——周剂量参考控制水平，单位为微希沃特每周（ $\mu\text{Sv/周}$ ）；

t ——设备周最大累积照射的小时数，单位为小时每周（ h/周 ）；

U ——治疗设备向关注点位置的方向照射的使用因子；

T ——人员在关注点位置的居留因子，取值方法参见《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）附录 A。

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 $250 \mu\text{Sv/h}$ 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）。

本评价项目的医用直线加速器年病人约 7500 人/次，10%使用 10MV 模式，90%使用 6MV 模式，95%为调强放射治疗，调强放射治疗患者治疗照射时间平均为 2min/人次，其余为常规放射治疗，常规放射治疗患者治疗照射时间平均为 1.5min/人次，全按调强放射治疗做保守估算，则年出束时间为 250h，则周出束时间为 5h。

根据各关注点所在环境性质，利用公式（11-2）计算机房外关注点导出剂量率参考控制水平，相关计算参数和结果详见表 11-2。

表 11-2 医用电子直线加速器机房屏蔽体外关注点处的周围剂量当量率参考控制水平

| 机房 | 关注点 | H_c ($\mu\text{Sv/周}$) | t (h) | U | T | \dot{H}_c ($\mu\text{Sv/周}$) | $\dot{H}_{c,\max}$ ($\mu\text{Sv/h}$) | H_c ($\mu\text{Sv/h}$) |
|---------------------------------|-------------|-------------------------------|---------|-----|-----|-------------------------------------|--|-------------------------------|
| 医用 电子 直线 加速 器机 房 | 东北墙 a 点 | 5 | 5 | 1/4 | 1/2 | 8 | 10 | 8 |
| | 东北墙 c1、c2 点 | 5 | 5 | 1 | 1/2 | 2 | 10 | 2 |
| | 西南墙 b 点 | 5 | 5 | 1/4 | 1/5 | 20 | 10 | 10 |
| | 西南墙 d1、d2 点 | 5 | 5 | 1 | 1/5 | 5 | 10 | 5 |
| | 西北墙 e 点 | 5 | 5 | 1 | 1/5 | 5 | 10 | 5 |
| | 东南墙 f 点 | 100 | 5 | 1 | 1 | 80 | 2.5 | 2.5 |

| | | | | | | | |
|-------------|-----|---|-----|------|----|-----|-----|
| 防护门 g 点 | 5 | 5 | 1 | 1/8 | 8 | 10 | 8 |
| 东南墙 k 点 | 100 | 5 | 1 | 1 | 20 | 2.5 | 2.5 |
| 顶棚外 1 点 | 5 | 5 | 1/4 | 1/20 | 80 | 10 | 10 |
| 顶棚外 m1、m2 点 | 5 | 5 | 1 | 1/20 | 20 | 10 | 10 |

11.2.3 屏蔽体外剂量率

根据附件 13 可知，本项目直线加速器在 X 射线能量 10MV，等中心点处出束剂量率 6Gy/min，以及 X 射线能量 6MV，等中心点处出束剂量率 14Gy/min 两种工况下，加速器机房周边关注点处的周围剂量当量率见表 11-3。

表 11-3 本项目加速器机房墙体及防护门外关注点的剂量率情况统计表

| 位置 | X 射线能量 10MV，等中心点处出束剂量率 6Gy/min 辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$) | | | X 射线能量 6MV，等中心点处出束剂量率 14Gy/min 辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$) | | | 剂量率控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$) | 结论 |
|----------------|---|-------|-------|---|-------|-------|--|----|
| | 监测值 | 本底值 | 贡献值 | 监测值 | 本底值 | 贡献值 | | |
| 东北墙主屏蔽区 (a 点) | 0.37 | 0.155 | 0.22 | 0.2 | 0.179 | 0.021 | 8 | 满足 |
| 东北墙次屏蔽区 (c1 点) | 0.35 | 0.152 | 0.21 | 0.199 | 0.177 | 0.022 | 2 | 满足 |
| 东北墙次屏蔽区 (c2 点) | 0.216 | 0.155 | 0.061 | 0.196 | 0.178 | 0.018 | 2 | 满足 |
| 西南墙主屏蔽区 (b 点) | 0.38 | 0.157 | 0.22 | 0.192 | 0.172 | 0.02 | 10 | 满足 |
| 西南墙次屏蔽区 (d1 点) | 0.36 | 0.152 | 0.21 | 0.192 | 0.171 | 0.021 | 5 | 满足 |
| 西南墙次屏蔽区 (d2 点) | 0.37 | 0.153 | 0.22 | 0.197 | 0.170 | 0.027 | 5 | 满足 |
| 顶棚设备层旁过道 | 0.157 | 0.150 | 0.007 | 0.158 | 0.153 | 0.005 | 10 | 满足 |
| 顶棚设备层旁办公室 | 0.164 | 0.152 | 0.012 | 0.159 | 0.154 | 0.005 | 10 | 满足 |
| 西北墙 (e 点) | 0.181 | 0.150 | 0.031 | 0.190 | 0.179 | 0.011 | 10 | 满足 |
| 东南墙 (f 点) | 0.169 | 0.151 | 0.018 | 0.192 | 0.153 | 0.039 | 2.5 | 满足 |
| 东南墙 (k 点) | 0.266 | 0.154 | 0.112 | 0.191 | 0.173 | 0.018 | 2.5 | 满足 |
| 防护门 (g 点) | 0.208 | 0.156 | 0.052 | 0.156 | 0.144 | 0.012 | 8 | 满足 |

*注：1、m1 和 m2 点人员不可到达，故对设备层旁过道和办公室两个关注点的辐射影响进行分析，剂量率控制水平沿用 1、m1 和 m2 对应的值。

由表 11-3 可知，本项目直线加速器机房屏蔽体外人员可达的四周墙外 30cm 处、顶棚外以及防护门外 30cm 处的剂量率均符合《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）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）等的相
 关要求，同时均满足表 11-2 中的剂量率控制水平，故本项目直线加速器机房屏蔽建设合理可
 行。根据医院提供资料可知，常规放射治疗状态下，本项目直线加速器 CBCT 用于摆位验证，
 不与直线加速器治疗同时出束，且本项目加速器配备锥形束 CT，锥形束 CT 为 140kV 的最
 大管电压，加速器能量为兆伏级，直线加速器机房的防护能满足加速器的要求，则也能满足
 锥形束 CT 的防护，且直加机房的屏蔽体混凝土厚度足以使锥形束 CT 所致机房周围剂量当
 量率忽略不计，对机房外人员无影响。

(1) 侧散射辐射和天空散射辐射

由表 11-3 可知，在直线加速器机房房顶处最大的辐射剂量率约 0.012 μ Sv/h，再散射至地
 面，辐射剂量率将低于剂量率限值，因此无需考虑侧散射辐射和天空散射辐射的计算。

11.2.4 加速器项目受照人员有效剂量估算

根据医院提供资料，医用电子直线加速器共配备 5 名专职辐射工作人员（不从事其他辐
 射工作），医用直线加速器年病人约 7500 人/次，10%使用 10MV 模式，90%使用 6MV 模式，
 95%为调强放射治疗，调强放射治疗患者治疗照射时间平均为 2min/人次，其余为常规放射治
 疗，常规放射治疗患者治疗照射时间平均为 1.5min/人次，全按调强放射治疗做保守估算，则
 年出束时间为 250h。以附件 13 实测值进行预测，附加剂量率为 X 射线能量 10MV，等中心
 点处出束剂量率 6Gy/min，以及 X 射线能量 6MV，等中心点处出束剂量率 14Gy/min 两种工
 况下各检测点位监测值扣除本底值的最大值。根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ
 1198-2021）中附录 A，本项目直加控制室（f）和稳压器水冷机房（k）职业人员居留因子取
 1，直线加速器机房防护门外（g）公众居留因子取 1/8、机房西北墙外（e）和西南墙外合用
 前室（b, d1）过道公众居留因子取 1/5，机房西南墙外地下停车场（d2）公众居留因子取 1/40，
 东北墙外备用后装机房（a, c1）、备用后装控制室（c2）公众人员居留因子保守取 1/2，机
 房顶棚设备管道层（l, m1, m2）人员不可到达，采用设备层旁过道和办公室监测值与本底
 值差的最大值用于评估，设备层旁过道公众居留因子取 1/5，设备层旁办公室公众居留因子
 取 1。

表 11-4 职业工作人员及公众成员的年有效剂量

| 机 房 | 位 置 | X 射线能量 10MV，等中心 点处出束剂量率 6Gy/min | | X 射线能量 6MV，等中心点 处出束剂量率 14Gy/min | | 年有效剂量 (mSv/a) |
|--------|--------|------------------------------------|----------|------------------------------------|----------|------------------|
| | | 附加剂量 率(μ Sv/h) | 年工作时间(h) | 附加剂量 率(μ Sv/h) | 年工作时间(h) | |

| | | | | | | | |
|-------------------------|------------------|-----------------|-------|--------------|-------|----------------|-----------------------|
| 直线 加速 器 机 房 | 工 作 人 员 | 控制室（f点） | 0.018 | 25×1=25 | 0.039 | 225×1=225 | 9.23×10 ⁻³ |
| | | 稳压器水冷机 房（k点） | 0.112 | 25×1=25 | 0.018 | 225×1=225 | 6.85×10 ⁻³ |
| | 公 众 人 员 | 合用前室（b 点） | 0.22 | 25×1/5=5 | 0.02 | 225×1/5=45 | 2.00×10 ⁻³ |
| | | 西北墙外过道 （e点） | 0.031 | 25×1/5=5 | 0.011 | 225×1/5=45 | 6.50×10 ⁻⁴ |
| | | 机房防护门口 （g点） | 0.052 | 25×1/8=3.125 | 0.012 | 225×1/8=28.125 | 5.00×10 ⁻⁴ |
| | | 顶棚设备层旁 过道 | 0.007 | 25×1/5=5 | 0.005 | 225×1/5=45 | 2.60×10 ⁻⁴ |
| | | 顶棚设备层旁 办公室 | 0.012 | 25×1=25 | 0.005 | 225×1=225 | 1.43×10 ⁻³ |
| | | 备用后装机房 （a点） | 0.22 | 25×1/2=12.5 | 0.021 | 225×1/2=112.5 | 5.11×10 ⁻³ |
| | | 备用后装控制 室（c2） | 0.061 | 25×1/2=12.5 | 0.018 | 225×1/2=112.5 | 2.79×10 ⁻³ |
| | | 地下停车场 （d2） | 0.22 | 25×1/20=1.25 | 0.027 | 225×1/20=11.25 | 5.79×10 ⁻⁴ |

由表 11-4 可知，本项目医用电子直线加速器正常运行时，考虑工作人员在控制室操作的辐射影响，职业照射的最大年有效剂量值为 $9.23 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ ，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，也低于剂量约束值 5mSv/a 。对公众照射的最大年有效剂量值为 $5.11 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ ，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，也低于剂量约束值 0.1mSv/a 。

11.2.5 通风能力分析

医院直线加速器机房设置强制排风系统，直线加速器排风系统排风量为 $3030 \text{m}^3/\text{h}$ ，加速器机房容积为 362.84m^3 ，计算可得有效通风换气次数为 8.3次/h ，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中对放射治疗机房通风换气次数不小于 4次/h 的要求。机房内产生的臭氧以及氮氧化物经机房排风管道至住院楼 15 楼楼顶排出，排气口周围无人停留。

排气口设置满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中相关要求，能有效减少放疗机房废气对周边环境的影响。

11.2.6 其他

该项目放射性废物是加速器的废弃靶，只在加速器装置需要更换金属钨靶时才产生，换下的废靶由生产厂家回收处理。医院将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。

综上所述，医院直线加速器机房防护措施、对周边环境的影响等满足相关标准要求。

11.3 事故影响分析

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

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

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

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。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（国家环境保护部令第 31 号 2021 年修订版）第十六条要求：使用 I 类、II 类、III 类放射源，使用 I 类、II 类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或至少有 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。医院成立了以陈福建为主任，王香香、康剑为副主任，黄金华、黎燕、郭芸、李文艳、李文裕、郭俊、卢辛辛、林丽、郭萍、赖武为委员的放射防护与辐射安全管理委员会（见附件 8），明确了放射防护与辐射安全管理委员会的职责，即：

1. 制订本院放射防护与辐射安全工作的计划和总结，对辐射安全控制效果进行评议。
2. 定期对突发辐射事故应急预案、防护与辐射安全制度进行修订。
3. 负责对全院防护与辐射安全工作进行监督，检查各种制度以及防护措施的贯彻落实情况。
4. 负责本院放射人员的健康档案管理，按时组织放射工作人员进行上岗前、上岗中和离岗前的职业健康体检。
5. 组织实施放射人员进行辐射安全与防护相关的法律法规及防护知识的培训与考核工作。
6. 按照国家有关标准、规范的要求，安排好放射工作人员接受个人剂量监测，并保存好个人剂量监测档案；定期对放射诊疗场所防护和放射设备性能进行检测；
7. 负责院内所有涉及新建、改扩建放射诊疗场所建设及各类放射诊疗设备（包括放射源及非密封物质）购置等建设项目在卫生和环保部门的审批工作。
8. 接受省、市卫生部门及环保部门对我院放射防护工作的检查及对仪器的监测、工作场所的监测评价，并做好整改工作；
9. 定期组织开展放射事故应急演练；会同上级有关部门按有关规定调查和处理放射事故，并对有关责任人员提出处理意见。

12.2 辐射安全管理规章制度

（1）现有规章制度制定情况

医院已建立《赣州市妇幼保健院放射事件应急处理预案》《辐射安全管理制度》《放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》《放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，且工作人员严格按规章制度要求执行。

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

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

(4) 医院放射性工作场所设置有电离辐射警告标志、工作指示灯等辐射安全措施。

(5) 医院安排了辐射工作人员参加职业健康体检，建立了健康体检档案。

(6) 医院现有的辐射职业人员共 29 名，其中 10 名辐射工作人员已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（培训统计表见附件 6），有 18 名辐射工作人员通过了自主考核，另有一名辐射工作人员将于 2024 年 3 月参加生态环境主管部门组织的辐射防护与安全培训。

医院现有射线装置运行正常，未发生过辐射事故，现有辐射类规章制度能够满足医院现有射线装置运行需要。

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

12.3 辐射监测

(1) 已有项目的辐射监测开展情况

①验收监测：医院对需依法履行竣工环保验收手续的已运行核技术利用项目，已委托有相关监测资质的监测单位对相关辐射工作场所的辐射防护设施进行了全面的验收监测。

②常规监测：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，包括射线机房的各面屏蔽墙、观察窗、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，并每季度送有资质单位进行检测，个人剂量检测报告见附件 5。

(2) 此次项目辐射监测计划

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

①给所有辐射工作人员配备个人剂量计，并定期（每季度 1 次）送检，建立个人剂量档案；发现个人剂量监测结果异常时，应立即核实和调查。安排辐射工作人员上岗前、在岗、离岗前的职业健康体检，建立健康档案，职业健康体检报告见附件 6。

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医院利用配备的便携式 X-γ辐射剂量率监测仪定期对直线加速器工作场所的辐射安全与防护措施进行检查，定期对机房周围辐射环境进行自行监测。

表 12-1 辐射监测计划

| 监测对象 | 监测方案 | 监测项目 | 监测频率 | 监测类型 | 剂量控制水平 |
|-------------|--------------------------------------|---------|---------------|----------|------------------------|
| 医用电子直线加速器机房 | 四周屏蔽墙外 30cm 处、操作位、防护门门缝处、风管电缆穿墙孔、上方等 | 周围剂量当量率 | 每年 1 次 | 年度监测 | 剂量控制水平 (本报告中表 11-2) |
| | | | 竣工验收 | 验收监测 | |
| | | | 每季度 1 次 | 自主监测 | |
| 辐射工作人员 | 佩带个人辐射剂量计 | 年有效剂量 | 操作时,每季度送检 1 次 | 送有资质单位检测 | 不超过 5mSv/a |

医院制定的辐射监测计划符合医院实际情况，包含了年度监测、辐射工作人员个人剂量监测、验收监测以及日常自主监测，内容全面，符合《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》（HJ61-2021）和《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)等的要求。

综上所述，医院辐射监测计划较为全面，能够涵盖核技术利用项目的各个环节，且监测频率较为合理，辐射监测计划整体可行。

（3）项目竣工环境保护验收监测

根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4 号），建设单位是建设项目环境保护验收的责任主体，本项目竣工后，建设单位应按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》规定的程序和标准，组织对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告，验收报告分为验收监测（调查）报告、验收意见和其他需要说明的事项等三项内容。

建设单位应如实查验、监测、记载建设项目环境保护设施的建设和调试情况，编制验收

监测（调查）报告。建设单位不具备编制验收监测（调查）报告能力的，可以委托有能力的技术机构编制。验收监测（调查）报告编制完成后，建设单位应当根据验收监测（调查）报告结论，逐一检查是否存在验收不合格的情形，提出验收意见。存在问题的，建设单位应当进行整改，整改完成后方可提出验收意见。为提高验收的有效性，在提出验收意见的过程中，建设单位可以组织成立验收工作组，采取现场检查、资料查阅、召开验收会议等方式，协助开展验收工作。验收工作组可以由设计单位、施工单位、环境影响报告书（表）编制机构、验收监测（调查）报告编制机构等单位代表以及专业技术专家等组成，代表范围和人数自定。环保设施的验收期限一般不超过 3 个月；需要对环境保护设施进行调试或者整改的，验收期限最长不超过 12 个月。

本项目污染防治措施“三同时”验收一览表见表 12-2。本项目仅加速器设备参数变更，其采用的辐射防护措施均依托原有，具体如下。

表 12-2 项目竣工环境保护验收清单

| 污染源或保护源 | 主要环保措施 | 验收标准 | 完成验收时间 | 环保投资（万元） |
|----------|---|---|---------|----------|
| 电离辐射防护措施 | 直线加速器机房：东北、西南墙主屏蔽区厚 2900mm 混凝土，宽 4000mm，次屏蔽墙 1700mm；西北墙厚 1700mm 混凝土；东南迷路外墙部分厚 800mm 混凝土+部分厚 1100mm+部分厚 1500mm 混凝土，迷路内墙厚 1200mm 混凝土；顶棚主屏蔽区厚 2900mm 混凝土，宽 4640mm，次屏蔽墙 1700mm。电动铅板屏蔽门，铅当量为 25mmPb+120mm 含 5%硼石蜡。 | 《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021) | 与总体工程同步 | 67 |
| | 直线加速器机房设置门灯联锁装置、视频监控、对讲装置、设置急停按钮、固定式辐射剂量仪监测装置、门机联锁、送风排风装置、直线加速器机房机房门外设置工作指示灯及电离辐射警告标志等。 | | | 3 |
| | 1 台 X、γ辐射仪、2 台 X、γ个人剂量报警仪 | | | / |
| 辐射管理措施 | 制定相应的规章制度和应急预案，规章制度上墙。 | / | | 0.5 |
| | 辐射工作人员佩戴个人剂量计，并按时送检，建立完善的个人剂量档案；所有辐射工作人员每年进行职业健康体检，并建立完善健康档案。 | 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 及剂量约束值 5mSv。 | | 1 |
| | 所有辐射工作人员参加辐射防护与安全培 | / | | 0.5 |

| | | | | |
|----|---------------------------|---|---|----|
| | 训,并取得合格证。 | | | |
| | 日常例行监测、射线装置安全和防护状况年度评估报告。 | / | / | 1 |
| 合计 | / | / | / | 75 |

12.4 辐射事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规要求,医院根据可能发生的辐射事故的风险,制定了《赣州市妇幼保健院放射事件应急处理预案》,《赣州市妇幼保健院放射事件应急处理预案》包括了以下内容:

1.应急机构及其职责

医院成立了放射性事件应急处理领导小组,组成情况如下:

组 长:陈友佳 邓辉

常务副组长:谢光平

副组长:王松云 熊烜俊 张琪 谢源源 康剑

领导小组下设办公室,办公室组成如下:

主任:康剑

成员:王香香 谢萍 郭芸 李文裕 郭俊

2.事件分级

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

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

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

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

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

医院根据本项目内容可能发生的辐射事故,对辐射事故进行了分级,符合相关法律法规要求。

3.放射事件的报告程序

发生或发现放射性事件时，第一发现人应立即向本科室主任及医务科报告，8小时工作时间外向行政总值班报告，医务科或行政总值立即向医院应急办、主要领导和分管领导报告，医院放射事件应急领导小组立即启动本单位的放射事件应急预案，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》，向赣州市辐射环境监督（8372386）、赣州市卫生健康委报告（8169023）报告。造成或可能造成放射源丢失、被盗的、利用放射性同位素实施故意伤害等情况的，应同时向保卫科及当地派出所（8197139）报告。

赣州市妇幼保健院制定的《赣州市妇幼保健院放射事件应急处理预案》，内容详实，可操作性较强，能够满足在发生辐射安全事故时的应急处理的需要，医院运行至今，未发生放射性事故。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。

综上所述，评价认为，赣州市妇幼保健院辐射环境管理满足《电离辐射防护与辐射安全基本标准》（GB18871-2002）、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 修订）等相关法律法规及标准的相关要求。

表 13 结论与建议

13.1 结论

赣州市妇幼保健院设有三个院区,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。医院在新院区门诊医技楼地下二层放疗中心直加机房实际安装 VitalBeam 型医用电子直线加速器,该医用电子直线加速器 X 射线能量挡位为 6MV 和 10MV,电子束能量有 6、9、12、16、20MeV 共 5 档,配套 1 台 CBCT,最大管电压为 140kV,最大管电流为 500mA。医院在 2020 年对医用电子直线加速器及其工作场所履行了环评手续,并于 2020 年 5 月 22 日取得环评批复(赣环辐射〔2020〕38 号,批复见附件 3),医院实际安装加速器等中心点处最高输出剂量率为 6MV(等中心剂量率为 6Gy/min,FFF 模式下 14Gy/min)、10MV(等中心剂量率为 6Gy/min),较环评批复(赣环辐射〔2020〕38 号)增加了 6MV 下的 FFF 模式(等中心点剂量率 14Gy/min),最高剂量率变化范围高于环评批复的 30%以上属于重大变动,故重新进行环境影响评价。

13.1.1 实践正当性

医用电子直线加速器的应用在我国是一门成熟的技术,它在疾病治疗方面有其他技术无法替代的特点,对保障健康、拯救生命起了十分重要的作用。赣州市妇幼保健院新院区医用电子直线加速器改建项目建设的目的在于更好开展放射治疗工作,该建设项目建成以后,将提高医院放射治疗水平,改善居民就医环境,与国家医疗产业政策相符,并具有明显的社会效益,能在保障病人健康的同时为医院创造更大的经济效益。在落实本次评价提出的各项污染防治措施后其获得的利益远大于辐射所造成的损害,符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中辐射防护“实践正当性”的要求。

13.1.2 产业政策符合性

本次核技术利用新建项目的建设旨在提高诊断治疗水平,更好的解除病人痛苦,挽救病人的生命,提高医疗质量、改善患者就医环境,符合国家卫生事业发展的产业政策。另外,本项目的建设属于《产业结构调整指导目录(2024 年本)》(国家发展和改革委员会令 7 号,2023 年 12 月 27 日修订版)中鼓励类十三、医药的第 4 条“高端医疗器械创新发展:新型基因、蛋白和细胞诊断设备,新型医用诊断设备和试剂,高性能医学影像设备,高端放射治疗设备,急危重症生命支持设备,人工智能辅助医疗设备,移动与远程诊疗设备,高端康复辅助器具,高端植入介入产品,手术机器人等高端外科设备及

耗材，生物医用材料、增材制造技术开发与应用”项目，因此本项目符合国家产业政策。

13.1.3 辐射安全与防护

本项目医用电子直线加速器机房合理建设了四周墙体、防护门、顶棚等屏蔽体厚度；对直线加速器机房实行分区管理，为加强医用电子直线加速器机房所在区域的管理，限制无关人员受到不必要的照射，本项目将直线加速器机房的治疗室及迷道划为控制区，直加机房控制室、稳压器水冷机房划为监督区。防护门外设置工作状态指示灯及电离辐射警告标志，防止人员误闯入或误照；治疗室及控制室设有监视和对讲设备，并设置紧急停机按钮；机房入口设置防护门及迷路，防护门与加速器联锁；治疗室内设置送风及排风装置，通风换气次数不小于 4 次/h；在控制室侧墙体设有电缆沟，电缆沟避开控制室操作台，采用“∩”型穿越侧屏蔽墙体，有效减少射线的散射和泄漏辐射；为工作人员和患者配备必要的辐射防护用品和辅助防护设施；所有辐射工作人员均接受个人剂量监测并建立个人剂量档案和职业健康监护档案；在满足医疗治疗的条件下，确保患者所受到的照射剂量最低。本项目医用电子直线加速器屏蔽物质厚度等辐射安全与防护措施满足《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机》（GBZ/T201.2-2011）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）的相关要求。

13.1.4 环境影响分析

由表 11-3 可知，本项目在医用电子直线加速器 X 射线能量 10MV，等中心点处出束剂量率 6Gy/min，以及 X 射线能量 6MV，等中心点处出束剂量率 14Gy/min 两种工况下，直线加速器机房各关注点处剂量率最大值为 0.22 μ Sv/h，均符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）的相关要求。

由实测的附加剂量率进行估算可知，本项目直线加速器正常运行时，工作人员职业照射的最大年有效剂量值为 9.23×10^{-3} mSv/a，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，也低于剂量约束值 5mSv/a。对公众照射的最大年有效剂量值为 5.11×10^{-3} mSv/a，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，也低于剂量约束值 0.1mSv/a。

13.1.5 辐射安全管理

医院已建立了《赣州市妇幼保健院放射事件应急处理预案》《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》《放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，并按照规章制度执行。医院将定期完善辐射事故应急预案和辐射安全领导管理小组等相关制度。本项目所有辐射工作人员均需参加生态环境部门组织的辐射安全与防护知识培训，并且考试成绩合格；发生辐射事故时，立即启动应急预案，采取应急措施，并立即向当地生态环境部门、卫生主管部门报告。对射线装置应用场所辐射安全防护状况进行年度评估，一旦发现安全隐患，立即进行整改。

13.1.6 三废处置

本项目无放射性废水产生，医用电子直线加速器产生的废靶由生产厂家回收处理。医用电子直线加速器产生少量的放射性废气由排风装置引至住院楼 15 楼楼顶排出，排气口周围无人停留

13.1.7 代价利益分析

建设单位已投资 3095 万元建成医用电子直线加速器机房，此项目的实施不仅可以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，从长远发展来看，此项目能获得的利益将远远大于付出的代价。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。

13.1.8 结论

本评价项目建设方案中已按照环境保护法规和有关辐射防护要求进行建设，本项目正常运行时，对周围环境的影响能符合辐射环境保护的要求，从环境保护和辐射防护角度论证，该评价项目是可行的。

13.2 建议

（1）医院应认真学习贯彻国家相关的环保法律、法规，加强核与辐射安全知识宣传，不断提高遵守法律的自觉性和安全文化素养，切实做好各项环保工作；

（2）项目运行前，相关辐射工作人员均需参加辐射安全与防护培训，持证上岗；检查和评估工作人员的个人剂量，建立个人剂量档案；

（3）严格落实辐射工作场所各项辐射防护措施，并严格执行已制定的各项辐射安全管理制度。

(4) 根据《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021) 6.2.3 中“应在放射治疗设备的控制室/台、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁、质子/重离子加速器大厅和束流输运通道内设置急停按钮。”建议在直加机房治疗室南墙增加一个急停按钮。

(5) 要做好辐射安全相关档案管理工作，避免丢失和遗漏。

表 14 审批

下一级生态环境部门预审意见：

经办人：

单位盖章

年 月 日

审批意见：

经办人：

单位盖章

年 月 日