核技术利用建设项目

# 南京市江宁医院扩建1台多模式一体化放射治疗系统项目

# 环境影响报告表

（公示版）

南京市江宁医院

**2024年3月**

生态环境部监制

**表 1　项目基本情况**

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="6">南京市江宁医院扩建 1 台多模式一体化放射治疗系统项目</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="6">南京市江宁医院<br>（统一社会信用代码：　　）</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td colspan="2"></td><td>联系人</td><td></td><td>联系电话</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="6">江苏省南京市江宁区鼓山路 168 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="6">江苏省南京市江宁区湖山路 169 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">立项审批部门</td><td colspan="3">/</td><td>批准文号</td><td colspan="2">/</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设项目总投资（万元）</td><td></td><td colspan="2">项目环保总投资（万元）</td><td></td><td>投资比例（环保投资/总投资）</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">项目性质</td><td colspan="4">☐新建 ☐改建 ☑扩建 ☐其他</td><td>占地面积（$m^2$）</td><td>/</td></tr>
<tr><td rowspan="9">应用类型</td><td rowspan="2">放射源</td><td>☐销售</td><td colspan="6">☐Ⅰ类 ☐Ⅱ类 ☐Ⅲ类 ☐Ⅳ类 ☐Ⅴ类</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="6">☑Ⅰ类（医疗使用） ☐Ⅱ类 ☐Ⅲ类 ☐Ⅳ类 ☐Ⅴ类</td></tr>
<tr><td rowspan="3">非密封放射性物质</td><td>☐生产</td><td colspan="6">☐制备 PET 用放射性药物</td></tr>
<tr><td>☐销售</td><td colspan="6">/</td></tr>
<tr><td>☐使用</td><td colspan="6">☐乙　　☐丙</td></tr>
<tr><td rowspan="3">射线装置</td><td>☐生产</td><td colspan="6">☐Ⅱ类 ☐Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>☐销售</td><td colspan="6">☐Ⅱ类 ☐Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="6">☑Ⅱ类 ☑Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>其他</td><td colspan="7">/</td></tr>
</table>

**项目概述：**

**一、建设单位基本情况、项目建设规模及由来**

南京市江宁医院创建于 1935 年，是一所集医疗、教学、科研、预防、保健、康复为一体的三级综合医院。医院现有鼓山路院区、湖山路院区和滨江开发区院区共三个院区，分别位于江宁区鼓山路 168 号、湖山路 169 号和滨江开发区宝象路 56 号。

南京市江宁医院于湖山路院区病房楼负二层放疗科建设有 2 座医用直线加速器机房，2 座机房相邻而建，由西至东分别命名为 1#、2#医用直线加速器机房，计划于机

房内分别配备1台医用直线加速器（型号未定，X射线能量≤15MV，电子线能量≤22MeV），该项目已于2015年6月3日取得江苏省生态环境厅的批复，文号：苏环辐（表）审〔2015〕052号。目前，医院已于1#医用直线加速器机房内配备1台Vital Beam型医用直线加速器（X射线能量为6、8、10MV，电子线能量为6、9、12、15MeV），并于2021年1月19日通过自主竣工环境保护验收（批复和验收意见见附件9），2#医用直线加速器机房内设备暂未配备。

为了更好地为患者服务，提高医院的医疗质量，根据规划，拟在湖山路院区病房楼负二层放疗科预留2#医用直线加速器机房内配备1台Taichi Pro型多模式一体化放射治疗系统，兼具医用直线加速器（X射线能量为6MV，为Ⅱ类射线装置）治疗、伽玛刀（内含18枚$^{60}$Co放射源，总活度为8.88E+14Bq，为医用Ⅰ类集聚源）治疗和CBCT（最大管电压为150kV，最大管电流为64mA，为Ⅲ类射线装置）图像引导功能，用于肿瘤的放射治疗。肿瘤定位工作依托放疗科现有1台Brilliance CT BigBore型CT模拟定位机（已许可）进行。

为保护环境和公众利益，防止辐射污染，根据《中华人民共和国环境影响评价法》《中华人民共和国放射性污染防治法》《建设项目环境保护管理条例》《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律、法规和部门规章，南京市江宁医院扩建1台多模式一体化放射治疗系统项目需进行环境影响评价。受南京市江宁医院的委托，南京瑞森辐射技术有限公司承担了该单位扩建1台多模式一体化放射治疗系统项目的环境影响评价工作（见附件1）。依照《建设项目环境影响评价分类管理名录》（生态环境部令 第16号，2021年版），本项目为扩建1台多模式一体化放射治疗系统项目，属于“172 核技术利用建设项目”中的“医疗使用Ⅰ类放射源的；使用Ⅱ类射线装置的”项目，确定为编制环境影响报告表。南京瑞森辐射技术有限公司通过资料调研、项目工程分析、现场勘察及现场监测等工作的基础上，编制了该项目环境影响报告表。该医院扩建1台多模式一体化放射治疗系统项目情况见表1-1：

表 1-1 扩建 1 台多模式一体化放射治疗系统项目情况一览表

## 二、项目选址情况

南京市江宁医院湖山路院区位于南京市江宁区湖山路 169 号，医院东侧为兴业路，南侧为倪塘路，西侧为湖山南路，北侧为康静街。本项目地理位置示意见附图 1，南京市江宁医院湖山路院区周围环境示意图及总平面图见附图 2。

本次扩建 1 台多模式一体化放射治疗系统项目位于湖山路院区病房楼负二层，该楼为地上十八层、地下二层建筑，病房楼东侧、西侧为院内道路和绿化，南侧为院内道路和门急诊医技楼，北侧为院内道路和核医学科。本项目放疗科预留 2#医用直线加速器机房位于病房楼负二层东南角，2#医用直线加速器机房东侧、南侧、下方为土层，西侧为 1#医用直线加速器机房，北侧为走廊、控制室及病人准备间，上方为覆土层、院内道路及绿化。湖山路院区病房楼负二层平面布置及周围环境示意图见附图 3。

本次扩建 1 台多模式一体化放射治疗系统项目周围 50m 评价范围均位于院区边界内。项目运行后的环境保护目标主要为医院辐射工作人员、院区内的其他医护人员、病患及陪同家属等其他公众等。

本项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然

遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。根据《自然资源部 生态环境部 国家林业和草原局关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》（自然资发〔2022〕142号）和《关于进一步加强生态保护红线监督管理的通知》（苏自然资函〔2023〕880号）要求，经江苏省生态环境厅江苏省生态环境分区管控综合服务系统查询，本项目所在地块位于南京市中心城区（江宁区）重点管控单元（编码：ZH32011523880）内，不在南京市生态保护红线内，评价范围内均不涉及优先保护单元和一般管控单元。根据现场监测和环境影响预测，项目建设满足环境质量底线要求，不会造成区域环境质量下降；对照南京市中心城区（江宁区）重点管控单元管控要求，本项目为核技术利用项目，满足重点管控单元的管控要求（本项目江苏省生态环境分区管控综合查询报告书见附件7）。

本项目的建设符合江苏省“三线一单”生态环境分区管控要求。

## 三、原有核技术利用项目许可情况

南京市江宁医院持有江苏省生态环境厅核发的辐射安全许可证（苏环辐证〔01279〕），有效期至：2026年1月26日，许可种类和范围为“使用Ⅴ类放射源；使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所”。医院辐射安全许可证正副本见附件4，原有核技术利用项目情况见附件5。

医院现有核技术利用项目均已履行完备环保手续，无环保遗留问题。

## 四、实践正当性分析

项目的可行性：本项目涉及的医用直线加速器和伽玛刀放射治疗技术已在各大医院广泛推广，技术已十分成熟，在医疗保障领域起到了十分重要的作用，本项目Taichi Pro型多模式一体化放射治疗系统创新性地将1个6MV医用直线加速器治疗头、1个医用伽玛刀聚焦治疗头和1个CBCT图像引导系统模块集成于同一个滚筒上，从而具备医用直线加速器和伽玛刀2种治疗功能。医院拟加强辐射安全管理并提高辐射工作人员配备要求。本项目建设有一定的直接经济效益，更有巨大的间接经济效益，项目建设对促进社会安定，为城市提供一个安全、健康的生活环境起者重要作用，进而提高相关产业的收入；

社会影响：本项目的运行，可为患者提供放射诊疗服务，并可提高当地医疗卫生水平，具有良好的社会效益和经济效益；

环境影响：本项目多模式一体化放射治疗系统中的伽玛刀聚焦治疗头运行一定时间后会产生废旧放射源，医院拟与放射源生产厂家签订废旧放射源回收协议。本项目

实践过程中采取相应的辐射防护措施，在患者得到诊疗预期效果的同时，对周围环境、公众的辐射影响满足国家辐射防护安全标准的要求；

法规遵从性：本项目不属于《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（2023 年修改）中“限制类”、“淘汰类”项目，项目符合国家产业政策。经辐射防护屏蔽和安全管理后，本项目的建设和运行对受照个人或社会所带来的利益能够弥补其可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）“实践的正当性”的原则。

## 表 2　放射源

| 序号 | 核素名称 | 总活度（Bq）/<br>活度（Bq）×枚数 | 类别 | 活度种类 | 用途 | 使用场所 | 贮存方式与地点 | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | $^{60}Co$ | 8.88E+14（共 18 枚） | 医用Ⅰ类集聚源 | 使用 | 放射治疗 | 湖山路院区病房楼<br>负二层放疗科<br>2#医用直线加速器机房 | 随机器存放于多模式一体化放射治疗系统屏蔽体内 | 使用年限约 6~8 年，半衰期为 5.27 年 |
| / | / | / | / | / | / | / | / | / |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

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

## 表 3　非密封放射性物质

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

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

## 表 4　射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

| 序号 | 名称 | 类别 | 数量 | 型号 | 加速粒子 | 最大能量（MeV） | 额定电流（mA）/剂量率（Gy/h） | 用途 | 工作场所 | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 多模式一体化放射治疗系统 | II 类 | 1 台 | Taichi Pro 型 | 电子 | X 射线：6MV | X 射线最高剂量率：1400cGy/min | 放射治疗 | 湖山路院区病房楼负二层放疗科 2#医用直线加速器机房 | / |
| / | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

（二）X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

| 序号 | 名称 | 类别 | 数量 | 型号 | 最大管电压（kV） | 最大管电流（mA） | 用途 | 工作场所 | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | CBCT | III类 | 1 台 | / | 150 | 64 | 放射检查 | 湖山路院区病房楼负二层放疗科 2#医用直线加速器机房 | / |
| / | / | / | / | / | / | / | / | / | / |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

（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 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 退役放射源 | 固体 | $^{60}Co$ | 使用约 6~8 年后退役，共 18 枚，退役时总活度约为 4.03E+14 Bq（6 年后）~3.10E+14Bq（8 年后） | / | / | / | 暂存在多模式一体化放射治疗系统设备内 | 退役放射源送生产厂家回收处理。 |
| 臭氧、氮氧化物 | 气态 | / | / | 少量 | 少量 | / | 不暂存 | 通过排风系统排入外环境，臭氧在常温下约 50 分钟可自行分解为氧气。 |
| / | / | / | / | / | / | / | / | / |
| | | | | | | | | |

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/m$^3$；年排放总量用 kg。

2.含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m$^3$）和活度（Bq）。

## 表 6　评价依据

| | |
|---|---|
| 法规文件 | （1）《中华人民共和国环境保护法》，1989年12月26日第七届全国人民代表大会常务委员会第十一次会议通过，2014年4月24日第十二届全国人民代表大会常务委员会第八次会议修订，中华人民共和国主席令第9号；<br>（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，2002年10月28日发布，根据2016年7月2日第十二届全国人民代表大会常务委员会第二十一次会议《关于修改〈中华人民共和国节约能源法〉等六部法律的决定》第一次修正，根据2018年12月29日第十三届全国人民代表大会常务委员会第七次会议《关于修改〈中华人民共和国劳动法〉等七部法律的决定》第二次修正；<br>（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，2003年10月1日起实施；<br>（4）《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令 第449号，2005年12月1日起施行；2019年修改，国务院令 第709号，2019年3月2日施行；<br>（5）《建设项目环境保护管理条例》，中华人民共和国国务院令 第253号，1998年11月29日发布，根据2017年7月16日《国务院关于修改<建设项目环境保护管理条例>的决定》（中华人民共和国国务院令 第682号）修订；<br>（6）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021年修正本），生态环境部部令 第20号，2021年1月4日起施行；<br>（7）《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021年版），生态环境部令第16号，2021年1月1日起施行；<br>（8）《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环保部令 第18号，2011年5月1日起施行；<br>（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，2017年12月5日起施行；<br>（10）《放射源分类办法》，国家环境保护总局公告 2005年 第62号，2005年12月23日起施行； |

| | |
|---|---|
| | （11）《产业结构调整指导目录（2024年本）》（2023年修改），国家发展和改革委员会2023年令 第7号，2024年2月1日起施行；<br>（12）《江苏省辐射污染防治条例》（2018年修正本），江苏省第十三届人民代表大会常务委员会第二次会议第2号公告，2018年5月1日起实施；<br>（13）《关于发布<建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法>配套文件的公告》，生态环境部公告 2019年 第38号，2019年10月25日发布；<br>（14）《关于启用环境影响评价信用平台的公告》，生态环境部公告 2019年 第39号，2019年10月25日发布；<br>（15）《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部公告 2019年 第57号，2019年12月24日发布；<br>（16）《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部部令 第9号，2019年11月1日起施行；<br>（17）《自然资源部 生态环境部 国家林业和草原局关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》，自然资发〔2022〕142号，2022年8月16日发布；<br>（18）《省生态环境厅关于进一步做好建设项目环境影响报告书（表）编制单位监管工作的通知》，苏环办〔2021〕187号，2021年5月28日发布；<br>（19）《江苏省生态环境厅关于印发辐射安全许可证办理等工作程序和规范的通知》，苏环规〔2019〕4号，2019年12月10日起施行；<br>（20）《关于进一步加强生态保护红线监督管理的通知》，苏自然资函〔2023〕880号，2023年10月10日发布；<br>（21）《江苏省辐射事故应急预案》（2020年修订版），苏政办函〔2020〕26号，2020年2月19日发布。 |
| 技术标准 | （1）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；<br>（2）《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB 8999-2021）；<br>（3）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）；<br>（4）《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）；<br>（5）《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）；<br>（6）《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）； |

| | |
|---|---|
| | （7）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）；<br>（8）《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）；<br>（9）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）；<br>（10）《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）；<br>（11）《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）；<br>（12）《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）；<br>（13）《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）。 |
| 其他 | 附图：<br>（1）南京市江宁医院扩建 1 台多模式一体化放射治疗系统项目地理位置示意图；<br>（2）南京市江宁医院湖山路院区总平面及周围环境示意图；<br>（3）南京市江宁医院湖山路院区病房楼负二层放疗科 2#医用直线加速器机房平面布置及分区示意图；<br>（4）南京市江宁医院湖山路院区病房楼负一层平面布置及分区示意图；<br>（5）南京市江宁医院湖山路院区病房楼负二层放疗科 2#医用直线加速器机房通风管道布设示意图；<br>（6）南京市江宁医院湖山路院区病房楼一层 2#医用直线加速器机房排风口位置示意图。<br><br>附件：<br>（1）项目委托书；<br>（2）射线装置/放射源使用承诺书；<br>（3）退役源处置承诺书；<br>（4）辐射安全许可证正副本；<br>（5）原有核技术利用项目基本情况一览表； |

（6）本项目辐射环境现状监测报告；

（7）本项目江苏省生态环境分区管控综合查询报告书；

（8）Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统厂家说明材料；

（9）放疗科现有项目环评批复及竣工环境保护验收意见；

（10）放疗科 1#医用直线加速器机房防护检测报告；

（11）放疗科现有辐射工作人员近一年度个人剂量检测报告。

# 表 7　保护目标与评价标准

## 评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）中“放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，甲级取半径 500m 的范围，乙、丙级取半径 50m 的范围。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”的规定，结合本项目的特点，确定本项目评价范围为本次扩建 1 台多模式一体化放射治疗系统项目工作场所实体屏蔽墙体边界外周围 50m 范围内区域，评价范围详见附图 2。

## 保护目标

本次扩建 1 台多模式一体化放射治疗系统项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。根据《自然资源部 生态环境部 国家林业和草原局关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》（自然资发〔2022〕142 号）和《关于进一步加强生态保护红线监督管理的通知》（苏自然资函〔2023〕880 号）要求，经江苏省生态环境厅江苏省生态环境分区管控综合服务系统查询，本项目所在地块位于南京市中心城区（江宁区）重点管控单元（编码：ZH32011523880）内，不在南京市生态保护红线内，评价范围内均不涉及优先保护单元和一般管控单元。对照《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ 19-2022），本项目评价范围内不涉及受影响的重要物种、生态敏感区以及其他需要保护的物种、种群、生物群落及生态空间等生态保护目标。

本项目周围 50m 评价范围均为院内建筑和道路，评价范围内无居民区、学校等环境敏感点，项目运行后的环境保护目标主要为医院辐射工作人员、院区内的其他医护人员、病患及陪同家属等其他公众等。详见表 7-1。

表 7-1 本项目保护目标一览表

| 编号 | 环境保护目标 | | 方位 | 最近距离 | 保护对象类别 | 环境保护要求 | 人口规模 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 湖山路院区病房楼负二层放疗科 | 技师、医师、物理师等 | 控制室、治疗室 | 紧临 | 辐射工作人员 | 5mSv/a（职业人员） | 约 10 人 |
| 2 | 病房楼 | 其他医务人员 | 2#医用直线加速器机房四周及上方 | 约 3m | 公众 | 0.1mSv/a（公众） | 约 650 名 |
| | | 病患、周围公众 | | | | | 约 780 张床位，其余为流动人员 |
| 3 | 产科门诊病房楼 | 其他医务人员 | 东南侧 | 约 47m | 公众 | 0.1mSv/a（公众） | 约 20 名 |
| | | 病患、周围公众 | | | | | 约 20 张床位，其余为流动人员 |
| 4 | 门急诊医技楼 | 其他医务人员 | 南侧 | 约 19m | 公众 | 0.1mSv/a（公众） | 约 400 名 |
| | | 病患、周围公众 | | | | | 其余为流动人员 |
| 5 | 院内道路公众 | | 东、南、北侧及上方 | 约 4m | 公众 | 0.1mSv/a（公众） | 流动人员 |

根据现场监测和环境影响预测，项目建设满足环境质量底线要求，不会造成区域环境质量下降；对照南京市中心城区（江宁区）重点管控单元管控要求，本项目为核技术利用项目，满足重点管控单元的管控要求。本项目 Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统利用 X 射线、γ射线开展肿瘤的放射治疗，不会降低评价范围内的水、气、土壤的环境功能类别和环境质量，本项目的建设符合江苏省“三线一单”生态环境分区管控要求。

## 评价标准

### 一、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）：

工作人员职业照射和公众照射剂量限值

| 对象 | 要求 |
|---|---|
| 职业照射剂量限值 | 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：<br>①由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量，20mSv<br>②任何一年中的有效剂量，50mSv<br>③眼晶体的年当量剂量，150mSv<br>④四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv |
| 公众照射剂量限值 | 实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过下述限值：<br>①年有效剂量，lmSv； |

| | |
|---|---|
| | ②特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 lmSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv。 |

剂量约束值通常应在公众照射剂量限值 10%~30%（即 0.1mSv/a~0.3 mSv/a）的范围之内。

辐射工作场所的分区

应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

控制区：

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

监督区：

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

## 二、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）：

6.1 布局要求

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

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

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

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

6.1.5 应合理设置有用线束的朝向，直接与治疗机房相连的治疗设备的控制室和其他居留因子较大的用室，尽可能避开被有用线束直接照射。

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

6.2 空间、通风要求

6.2.1 放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要。

6.2.2 放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部， 进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；通风换气次数应不小于 4 次/h。

6.3 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

6.3.1.1 治疗机房（不包括移动式电子加速器治疗机房）墙和入口门外 30cm 处（关注点）的周围剂量当量率应不大于下述 a）、b）和 c）所确定的周围剂量当量率参考控制水平$\dot{H}_c$：

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周围剂量当量率参考控制水平$\dot{H}_c$，见式（1）：

$$\dot{H}_c \le H_e/(t \times U \times T) \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

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（μSv/h）；

$H_e$—周剂量参考控制水平，单位为微希沃特每小时（μSv/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：≤100μSv/周；放射治疗机房外非控制区的人员：≤5μSv/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，取值方式参见附录 A。

b）按照关注点人员居留因子的不同，分别确定关注点的最高周围剂量当量率参考控制水平$\dot{H}_{c,max}$：

1）人员居留因子 T＞1/2 的场所：$\dot{H}_{c,max}$≤2.5μSv/h；

2）人员居留因子 T≤1/2 的场所：$\dot{H}_{c,max}$≤10μSv/h。

c）由上述 a）中的导出周围剂量当量率参考控制水平$\dot{H}_c$和 b）中的最高周围当量剂量率参考控制水平$\dot{H}_{c,max}$，选择其中较小者作为关注点的周围剂量当量率参考控制水平$\dot{H}_c$。

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。

**三、《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）：**

4.2 治疗机房布置要求

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

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

4.2.3X 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。

**四、《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）；**

**五、《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）；**

**六、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）：**

4 一般要求

4.8 辐射工作人员和公众成员的辐射照射应符合 GB 18871-02002 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。

4.10 开展放射治疗活动的医疗机构应制定相应的辐射事故应急预案，做好辐射事故应急准备、应急演练和应急响应，确保有效防范辐射事故或缓解辐射事故的后果。

5 选址、布局与分区要求

5.1 选址与布局

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

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

5.1.3 术中放射治疗手术室应采取适当的辐射防护措施，并尽量设在医院手术区的最内侧，与相关工作用房（如控制室或专用于术中放射治疗设备调试、维修的房间）形成一个相对独立区域；术中控制台应与治疗设备分离，实行隔室操作，控制台可设在控制室或走廊内。

5.2 分区原则

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

5.2.2 与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区（如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等）。

6 放射治疗场所辐射安全与防护要求

6.1 屏蔽要求

6.1.4 剂量控制应符合以下要求：

a）治疗室墙和入口门外表面 30cm 处、邻近治疗室的关注点、治疗室房顶外的地面附近和楼层及在治疗室上方已建、拟建二层建筑物或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$\dot{H}_c$（μSv/h）：

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$\dot{H}_{c,d}$（μSv/h）：

机房外辐射工作人员：$\dot{H}_c$≤100μSv/周；

机房外非辐射工作人员：$\dot{H}_c$≤5μSv/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$\dot{H}_{c,max}$（μSv/h）：

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

人员居留因子 T≤1/2 的场所：$\dot{H}_{c,max}$≤10μSv/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 250μSv 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 100μSv/h 加以控制（可在相应位置处设置辐射告示牌）。

6.2 安全防护设施和措施要求

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

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

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

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

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

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

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

6.2.4 后装治疗室内应配备合适的应急贮源容器和长柄镊子等应急工具。

8 放射性废物管理要求

8.1 总体要求

医疗机构应尽量减少放射性废物的产生；对产生的放射性废物按核素的种类、活度、半衰期、理化性质等分类收集处理。

8.2 固态废物管理要求

8.2.1 废旧放射源管理要求

废旧放射源应按法律法规要求返回放射源生产厂家或原出口方。确定无法交回生产单位或者返回原出口方的，送交有相应资质的单位收贮，并承担相关费用。

8.2.2 其他固态废物管理要求

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态废物暂存间衰变暂存，最终送交有资质的单位收贮。

## 七、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）：

6 X 射线设备机房防护设施的技术要求

6.1 X 射线设备机房布局

6.1.1 应合理设置 X 射线设备、机房的门、窗和管线口位置，应尽量避免有用线束直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。

6.1.2 X 射线设备机房（照射室）的设置应充分考虑邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全。

6.1.3 每台固定使用的 X 射线设备应设有单独的机房，机房应满足使用设备的布局要求；每台牙椅独立设置诊室的，诊室内可设置固定的口内牙片机，供该设备使用，诊室的屏蔽和布局应满足口内牙片机房防护要求。

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

表 2 X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度

| 机房类型 | 机房内最小有效使用面积 [d] $m^2$ | 机房内最小单边长度 [e] m |
|---|---|---|
| CT 机（不含头颅移动 CT） | 30 | 4.5 |

6.2 X 射线设备机房屏蔽

6.2.1 不同类型 X 射线设备（不含床旁摄影设备和便携式 X 射线设备）机房的屏蔽防护应不低于表 3 的规定。

表 3 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

| 机房类型 | 有用线束方向铅当量 mmPb | 非有用线束方向铅当量 mmPb |
|---|---|---|
| CT 机房（不含头颅移动 CT）<br>CT 模拟定位机房 | 2.5 | |

6.3 X 射线设备机房屏蔽体外剂量水平

6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

a）具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h；测量时，X 射线设备连续出束时间应大于仪器响应时间；

b）CT 机、乳腺摄影、乳腺 CBCT、口内牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅摄影、口腔 CBCT 和全身骨密度仪机房外的周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h；

c）具有短时、高剂量率曝光的摄影程序（如 DR、CR、屏片摄影）机房外的周围剂量当量率应不大于 25μSv/h，当超过时应进行机房外人员的年有效剂量评估，应不大于 0.25mSv；

6.4 X 射线设备工作场所防护

6.4.1 机房应设有观察窗或摄像监控装置，其设置的位置应便于观察到受检者状态及防护门开闭

情况。

6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。

6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。

6.4.4 机房门外应有电离辐射警告标志；机房门上方应有醒目的工作状态指示灯，灯箱上应设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句；候诊区应设置放射防护注意事项告知栏。

6.4.5 平开机房门应有自动闭门装置；推拉式机房门应设有曝光时关闭机房门的管理措施；工作状态指示灯能与机房门有效关联。

6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。

6.4.7 受检者不应在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中陪检者不应滞留在机房内。

6.4.8 模拟定位设备机房防护设施应满足相应设备类型的防护要求。

6.4.9 CT 装置的安放应利于操作者观察受检者。

6.4.10 机房出入门宜处于散射辐射相对低的位置。

6.5 X 射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求

6.5.1 每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 4 基本种类要求的工作人员、受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作需要，对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣。

6.5.3 除介入防护手套外，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.25mmPb；介入防护手套铅当量应不小于 0.025mmPb；甲状腺、性腺防护用品铅当量应不小于 0.5mmPb；移动铅防护屏风铅当量应不小于 2mmPb。

6.5.4 应为儿童的 X 射线检查配备保护相应组织和器官的防护用品，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.5mmPb。

6.5.5 个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。

表 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 | | 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 |
| CT 体层扫描（隔室） | — | — | 铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套<br>选配：铅橡胶帽子 | 可调节防护窗口的立位防护屏<br>选配：固定特殊受检者体位的各种设备 |

[a] 工作人员、受检者的个人防护用品和辅助防护设施任选其一即可。

## 八、《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）：

5.3 佩戴

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

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

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

## 九、《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）；

4.1 建筑施工过程中场界环境噪声不得超过表 1 规定的排放限值。

表 1 建筑施工场界环境噪声排放限值　单位：dB（A）

| 昼间 | 夜间 |
|---|---|
| 70 | 55 |

## 十、项目管理目标限值

综合考虑《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（**GB 18871-2002**）、《放射治疗放射防护要求》（**GBZ 121-2020**）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（**HJ 1198-2021**）及《放射诊断放射防护要求》（**GBZ 130-2020**）确定本项目的管理目标，本项目剂量约束值为：职业人员年有效剂量不超过 **5mSv**，公众年有效剂量不超 **0.1mSv**。

根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中相关规定及本项目 2#医用直线加速器机房周开机或出源治疗时间，估算得到放疗机房外 30cm 处的周围剂量当量率参考控制水平 $H_c$，见表 7-2。

表 7-2 2#医用直线加速器机房外 30cm 处的周围剂量当量率参考控制水平

| 参考点[1] | | | 居留因子 T | 使用因子 U[2] | 周剂量控制值（μSv/周） | 周工作时间（h）[3] | 剂量率参考控制水平（μSv/h） | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | $H_{c,d}$ | $H_{c,max}$ | **$H_c$** |
| 2#医用直线加速器机房 | 东墙主屏蔽（*a* 点） | 1#医用直线加速器机房 | 1/2 | 1 | 100 | 10 | 20 | 10 | **10** |
| | 屋顶主屏蔽（*l* 点） | 院内绿化 | 1/20 | 1 | 5 | | 10 | 10 | **10** |
| | 西墙次屏蔽（$c_1$、$c_2$ 点） | 1#医用直线加速器机房 | 1/2 | 1 | 100 | | 20 | 10 | **10** |
| | 屋顶次屏蔽（$m_1$、$m_2$ 点） | 院内道路和绿化 | 1/20 | 1 | 5 | | 10 | 10 | **10** |
| | 北侧迷道墙外（*f* 点） | 控制室 | 1 | 1 | 100 | | 10 | 2.5 | **2.5** |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 北侧迷道外墙（$k$ 点） | 病人准备间 | 1 | 1 | 5 | | 0.5 | 2.5 | **0.5** |
| | 迷道入口防护门（$g$ 点） | | 1/8 | 1 | 5 | | 4 | 10 | **4** |

**注：**1、2#医用直线加速器机房参考点点位布设详见图 11-1；

2、因 Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统兼具医用直线加速器治疗和伽玛刀治疗功能，进行参考控制水平计算时，主屏蔽区的使用因子均保守取 1；

3、根据医院提供的工作量，本项目 Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统使用医用直线加速器治疗头年出束运行时间约 300h（日接诊量最大 30 人次，年工作 200 天，每年工作 50 周，患者治疗照射时间平均按 3min 计，故年出束运行时间为 300h），使用伽玛刀治疗头年出源运行时间约 200h（日接诊量最大 6 人次，年工作 200 天，每年工作 50 周，患者治疗照射时间保守按 10min 计，故年出源运行时间为 200h），则 Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统年工作时间为 500h、周工作时间为 10h。

## 十一、参考资料：

（一）《辐射防护导论》，方杰主编。

（二）《江苏省环境天然贯穿辐射水平调查研究》（辐射防护 第 13 卷第 2 期，1993 年 3 月），江苏省环境监测站。

江苏省环境天然γ辐射水平（单位：nGy/h）

| | 原野剂量率 | 道路剂量率 | 室内剂量率 |
|---|---|---|---|
| 测值范围 | 33.1~72.6 | 18.1~102.3 | 50.7~129.4 |
| 均值 | 50.4 | 47.1 | 89.2 |
| 标准差（s） | 7.0 | 12.3 | 14.0 |
| （均值±3s）* | 50.4±21.0 | 47.1±36.9 | 89.2±42.0 |

**注：***测量值已扣除宇宙射线响应值，评价时采用“均值±3s”作为辐射现状评价的参考数值：原野为（50.4±21.0）nGy/h，道路为（47.1±36.9）nGy/h，室内为（89.2±42.0）nGy/h。

# 表 8　环境质量和辐射现状

## 环境质量和辐射现状

### 一、项目位置、布局和周边环境

南京市江宁医院湖山路院区位于南京市江宁区湖山路 169 号，医院东侧为兴业路，南侧为倪塘路，西侧为湖山南路，北侧为康静街。

本项目位于湖山路院区病房楼负二层放疗科预留 2#医用直线加速器机房，2#医用直线加速器机房东侧、南侧、下方为土层，西侧为 1#医用直线加速器机房，北侧为走廊、控制室及病人准备间，上方为覆土层、院内道路及绿化。

本次扩建 1 台多模式一体化放射治疗系统项目周围 50m 评价范围均为院内建筑和道路，评价范围内无居民区、学校等环境敏感点。本项目 2#医用直线加速器机房周边环境见图 8-1 至图 8-4。

图 8-1 2#医用直线加速器机房

图 8-2 2#医用直线加速器机房西侧

图 8-3 2#医用直线加速器机房北侧

图 8-4 2#医用直线加速器机房上方

二、辐射环境现状调查

根据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）相关方法和要求，在进行环境现场调查时，于本次扩建 1 台多模式一体化放射治疗系统项目拟建址周围进行布点，测量本底辐射剂量率。监测结果见表 8-1，监测点位示意图见图 8-5。

监测单位：南京瑞森辐射技术有限公司

检测仪器：FH40G+FHZ672E-10 型 X-γ辐射监测仪（设备编号：NJRS-103，检定有效期：2024 年 1 月 3 日～2025 年 1 月 2 日，检定单位：江苏省计量科学研究院，检定证书编号：Y2023-0196079）

能量范围：48keV～6MeV

测量范围：1nSv/h～100μSv/h

监测项目：γ辐射剂量率

监测日期：2024 年 1 月 18 日

天气：晴

温度：6℃

湿度：77%RH

监测布点：根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）有关布点原则进行布点。

质量控制：本项目监测单位南京瑞森辐射技术有限公司已通过计量认证（证书编号：221020340350，检测资质见附件 6），具备有相应的检测资质和检测能力，监测按照南京瑞森辐射技术有限公司《质量管理手册》和《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）要求，实施全过程质量控制。

监测人员、监测仪器及监测结果：监测人员均经过考核，监测仪器经过计量部门检定，并在有效期内，监测仪器使用前经过检验，监测报告实行三级审核。

数据记录及处理：γ辐射空气吸收剂量率监测每个点位读取 10 个数据，读取间隔不小于 10s，并待计数稳定后读取数值。每组数据计算每个点位的平均值并计算方差。本项目空气比释动能和周围剂量当量的换算系数参照《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021），使用 $^{137}Cs$ 作为检定/校准参考辐射源，换算系数取 1.20Sv/Gy。

评价方法：参照江苏省环境天然γ辐射剂量水平调查结果，评价项目周围的辐射

环境质量。

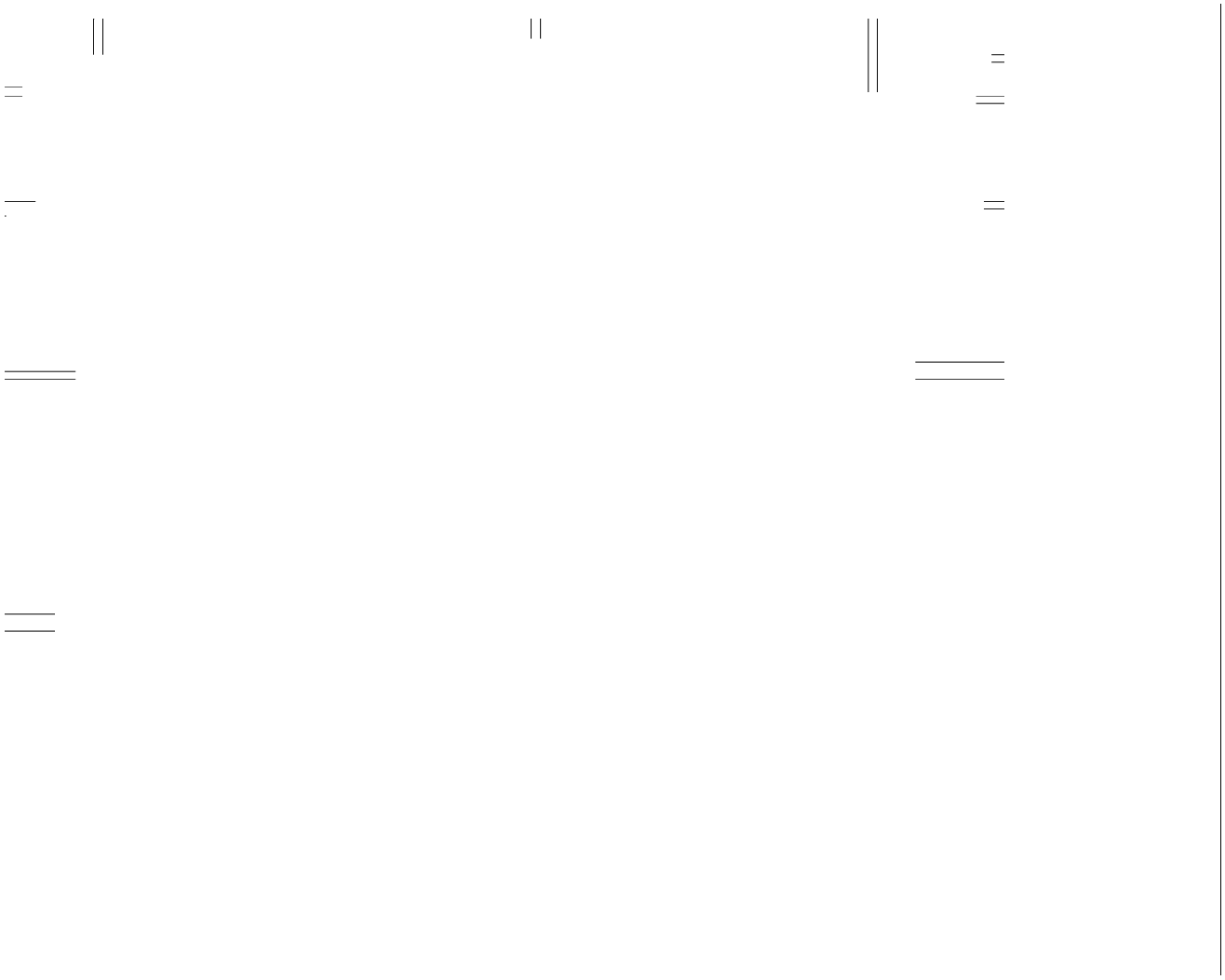

图 8-5 扩建 1 台多模式一体化放射治疗系统项目拟建址周围环境监测点位示意图

表 8-1 扩建 1 台多模式一体化放射治疗系统项目拟建址周围γ辐射水平

| 测点编号 | 测点描述 | 测量结果（nGy/h） | 备注 |
|---|---|---|---|
| 1 | 多模式一体化放射治疗系统拟建址内（2#医用直线加速器机房） | 62.3 | 室内（楼房） |
| 2 | 多模式一体化放射治疗系统拟建址西侧（1#医用直线加速器机房） | 61.1 | 室内（楼房） |
| 3 | 多模式一体化放射治疗系统拟建址北侧（过道） | 57.2 | 室内（楼房） |
| 4 | 多模式一体化放射治疗系统拟建址北侧（控制室） | 59.2 | 室内（楼房） |
| 5 | 多模式一体化放射治疗系统拟上方 | 61.4 | 道路 |

**注：**上表数据已扣除检测仪器宇宙射线响应值。环境γ辐射剂量率测量测量结果按照《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）中公式$\dot{D}_\gamma = k_1 \times k_2 \times R_\gamma - k_3 \times \dot{D}_c$计算，其中，$k_1$为仪器检定/校准因子；$k_2$为仪器检验源效率因子；$k_3$为建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子，楼房取 0.8，平房取 0.9，原野、道路取 1。

由表 8-1 监测结果可知，南京市江宁医院扩建 1 台多模式一体化放射治疗系统项目拟建址室内（1#~4#点位）周围环境γ辐射剂量率在 57.2nGy/h～62.3nGy/h 之间，属江苏省建筑物室内γ辐射（空气吸收）剂量率本底水平（（89.2±42.0）nGy/h）；室外（5#点位）周围环境γ辐射剂量率为 61.4nGy/h，属江苏省道路γ辐射（空气吸收）剂量率本底水平（（47.1±36.9）nGy/h），均位于江苏省环境天然γ辐射水平涨落区间。

## 表 9　项目工程分析与源项

### 工程设备与工艺分析

#### 一、工程设备

南京市江宁医院拟在湖山路院区病房楼负二层放疗科预留 2#医用直线加速器机房内配备 1 台 Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统，兼具医用直线加速器（X 射线能量为 6MV，为Ⅱ类射线装置）治疗、伽玛刀（内含 18 枚 $^{60}Co$ 放射源，总活度为 8.88E+14Bq，为医用Ⅰ类集聚源）治疗和 CBCT（最大管电压为 150kV，最大管电流为 64mA，为Ⅲ类射线装置）图像引导功能，三种功能集成于同一个滚筒中。Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统外观见图 9-1。

图 9-1 Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统外观图

Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统将 1 个 6MV 医用直线加速器治疗头、1 个医用伽玛刀聚焦治疗头和 1 个 CBCT 图像引导系统模块集成于同一个滚筒上，从而具备医用直线加速器和伽玛刀 2 种治疗功能，治疗时医用直线加速器和伽玛刀不同时开机，CBCT 在每次治疗时可进行患者的实时位置验证，减小患者治疗位置误差，提升治疗效果。Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统主要技术参数见表 9-1。

表 9-1 Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统主要技术参数

| 设备型号 | 功能模块 | 参数 | 具体情况 |
| --- | --- | --- | --- |
| | 医用直线 | X 射线能量 | |
| | | 等中心处最大剂量率 | |
| | | 等中心处最大照射野 | |
| | | SAD | |
| | | 聚焦头屏蔽 | |
| | | 伽玛聚焦头对面平衡屏蔽锤体 | |
| | CBCT | 最大管电压 | |
| | | 最大管电流 | |
| | | 距靶 1m 处最大剂量率 | |
| | | 曝光时间 | |
| | | X 射线球管自带屏蔽体 | |
| | 旋转角度 | | |

## 二、工作原理及工作流程

（一）工作原理

Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统由主机系统、电气控制系统、放射治疗计划系统、射野验证系统和高压发生器组成。

**1、主机系统**

主机系统包含滚筒、底座、治疗床等，滚筒中安装医用直线加速器治疗头、伽玛刀聚焦治疗头和 CBCT 图像引导系统模块。主机系统结构示意图见图 9-2。

图 9-2 主机系统结构示意图

1.1 医用直线加速器治疗头

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、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行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 左右的真空射到金属钨靶，产生大量高能 X 射线，经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的 X 射线束，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。

1.2 伽玛刀聚焦治疗头

伽玛刀聚焦治疗头安装在机架的滚筒上，与滚动进行可靠的固定连接。聚焦头主要包括箱体、钨滚筒、钴源匣、准直器、非共面组件、防碰撞组件以及相应的控制和驱动组件组成。

必要的杂散辐射，保护系统的部件免受辐射损伤。

（2）非共面组件

非共面组件安装在箱体两侧，是聚焦头主体与机架之间的连接部件。非共面组件保证聚焦头主体在主机架上有可靠准确的位置，同时实现聚焦头非共面摆动，从而改变照射角度。非共面组件在14°范围内摆动。

（3）钨滚筒

钨滚筒通过两端轴承与聚焦头箱体连接，是固定钴源匣的组件。钨滚筒上有18个预准直通道，与源匣中18颗放射源相对应，用于对放射源发出的伽玛射束进行初步准直。

（4）钴源匣

钴源匣内安装18颗源，分两排排布，每排9颗，两排源之间的夹角为4°，通过准直器在距源下端面750mm处聚焦。放射源在钴源匣中的排布范围为纬度-13.3°至+13.3°。18颗放射源的总活度最大值为24000Ci，单颗放射源活度最大值为1333.33Ci。钴源匣示意图见图9-4。

图9-4 钨滚筒和钴源匣示意图

放射源的活性区为直径约6mm，长30mm的圆柱形，其外形为直径23.5mm，长57.5mm的圆柱体包壳。放射源的外形如图9-5所示。

图9-5 放射源外形示意图

图9-6 准直器示意图

（5）准直体

准直体用于对放射源发出的伽玛射线进行最终约束，共包含 7 组不同规格的准直器，分别为Φ6mm、Φ9mm、Φ12mm、Φ16mm、Φ20mm、Φ25mm、Φ35mm。

Φ12mm 的准直器使用频率最高，定义为标准的准直器。

Φ6mm、Φ9mm、Φ12mm、Φ16mm、Φ20mm 的准直器适用于头部和体部治疗。

Φ25mm、Φ35mm 的准直器只适用于体部治疗。

每组准直器包含 18 个准直孔，排列形式与钴源匣中的 18 颗放射源的几何排列形式一致。18 个孔的轴线在空间上聚焦于一点，即焦点位置。钨滚筒旋转时，同时移动准直体做直线运动，实现开、关源及选择不同规格的准直器的功能。准直器示意图见图 9-6。

准直器是通过导轨安装在箱体上，可以在箱体上进行移动来实现不同准直孔规格的切换。准直器驱动部分是常规的电机、减速机、滚柱丝杠结构，通过软件控制驱动实现准直器的自动切换。在与驱动部分相对的丝杠另一端设置有手摇机构及失电制动器，以保证在失电状态时，准直器能够有效锁紧。准直器检测部分包括光栅和开关。

准直器结构为 70mm 钨，聚焦治疗头对面平衡锤体结构为钢 82mm+铅 305mm+铅锑合金 60mm，聚焦治疗头自身屏蔽能力为在距屏蔽表面 5cm 任一易接近的位置，由于杂散辐射引起的吸收剂量率不超过 0.2mGy/h。

1.3 CBCT 图像引导系统

CBCT 图像引导系统采用治疗床，将患者固定，用十字激光灯对患者位置进行初始定位，确定治疗床坐标，将 CT 图像中病灶的坐标转换到本系统的坐标系中。目前，使用伽玛刀聚焦治疗头治疗支持头部 CBCT 采集，使用医用直线加速器治疗支持头部和体部的 CBCT 采集。在治疗前，通过图像引导定位装置进行摆位验证，和治疗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。

CBCT 图像引导系统主要部件包括：kV 级影像平板、X 射线球管、影像光阑、高压发生器。CBCT 图像引导系统示意图见图 9-7。

1.5 治疗床

由三组伺服电机驱动滚珠丝杠带动三维治疗床分别沿X、Y、Z三个方向做直线运动，从而将病灶位置精确地送到要照射的位置。三维床的升降部分配置了带止动伺服电机，能使床在上升到所需位置时可靠的保证停止在该位置上不变，同时设备还设置了基于CBCT的图像引导定位系统，可以直接以人体骨标记来定位病灶，避免了由于人体体重不同而引起的床变形带来的误差及手动定位引起的误差，以保证治疗精度。

整个三维床按结构分为：上床板、中床板、立柱、支撑及底座。上床板按水平长度方向做直线运动，为整个坐标系的Y轴方向。中床板按水平宽度方向做直线运行，为整个坐标系的X轴方向。立柱按高度方向做直线运动，为整个坐标系的Z轴方向。

1.6 患者定位系统

立体定位系统包括定位床、负压袋和头部定位装置3部分。

定位床是确定靶区的三维坐标基准，由碳纤维及发泡颗粒制成，由于碳纤维及发泡颗粒的比重非常小，对射线的影响几乎没有，同时又具有非常高的强度，使患者的体重对其产生的变形非常小。定位床分为床身、头托，其中在床身两内侧有数个凸台，负压袋可以可靠地固定在床上，患者在床上的位置基本确定。这样在CT/MRI进行病灶扫描时，患者病灶位置与床就会有相对关系。

负压袋是用来定位患者在立体定位床中位置的真空袋，由复合高分子材料制成，通过专门的工具将其抽成真空，又与人体适形，可以满足在多次使用时的重复定位要求。由于人体的形状不同，每个患者都需要专用的负压袋。

头部定位装置专门用于适形头部肿瘤治疗时，确定患者头部肿瘤位置坐标。主要有固定架、头部固定框、左右N线板、头钉等部分组成。“N”线位于两侧的N线板内。本系统为有创定位，做CT扫描时，用头钉刺破头皮直至头骨一定深度，将头部与固定框连为一体固定。

**2、电气控制系统**

电气控制系统由操作控制台、操作计算机、轴控制器控制系统、伺服驱动系统及伺服电机、CBCT、EPID、后备电源、传感器、连接电缆、对讲系统、视频监视系统等组成。

其中操作控制台包括操作台、操作计算机主机及显示器、视频监控系统、对讲系统。控制台安装于治疗室旁的控制室内，通过各种类型的电缆与治疗室内的主机相连，在操作控制台上安装有操纵控制盒、操作计算机、对讲系统、视频监控系统完成对主机的控

制、与患者进行对话、监视患者的状态等用于治疗的一系列操作。操作控制台上安装有紧急停止按钮，在设备运行或调试过程中，如果发现问题可以通过按下紧急停止按钮，关闭放射源，停止设备运行，确保患者人身及设备安全。

**3、放射治疗计划系统**

治疗计划系统是为临床医生提供的交互式断层图像的三维重建工具，确定靶区和重要器官的几何描述；在辅助医生和物理师制定治疗方案时，计算剂量的分布并直观显示，用以评估该方案的效果、提供改进方案的依据；从而确定最优化的治疗计划，并打印输出治疗报告和控制文件。

**4、射野验证系统**

射野验证的作用是质量保证。首先，使用 EPID 离线采集带有准直器投影的参考光野，在后续验证流程中，射野验证程序允许操作人员手动/自动采集待验证光野，进行自动比对，经过手动确认，最终输出射野验证报告。射野验证软件包括射野采集、射野验证、上位机通讯、系统配置、QA 报告、模板上传下载等功能模块。

**5、高压发生器**

高压发生器主要用来在集成控制单元控制下，产生稳定的、高频逆变后的直流高压，提供给 X 射线球管和旋转阳极驱动电路电压。灯丝电流控制电路供给 X 射线球管灯丝产生稳定的管电流。

**6、医用直线加速器治疗头和伽玛刀聚焦治疗头不同时出束治疗控制系统**

Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统有医用直线加速器+CBCT 治疗模式和伽玛刀+CBCT 治疗模式两种治疗模式，医用直线加速器治疗头和伽玛刀聚焦治疗头不同时出束。为控制该系统医用直线加速器治疗头和伽玛刀聚焦治疗头不同时出束，Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统通过以下四个方面设计进行控制：

（1）Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统的治疗过程是由病案驱动的，病案由治疗野组成，治疗野按顺序依序执行，医用直线加速器和伽玛刀治疗不会出现在同一个治疗野中，如果同时出现，则病案自检无法通过。

（2）Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统的治疗控制界面中，有医用直线加速器和伽玛刀两种治疗模式。当切换到伽玛刀治疗模式时，医用直线加速器高压断电，无法产生 X 射线；当切换到医用直线加速器治疗模式时，伽玛放射源和准直器都无法打开。

（3）在治疗、服务和 QA 等模式下，医用直线加速器治疗头和伽玛刀聚焦治疗头都

不允许同时使用。医用直线加速器治疗头出束时，除了停束和急停按钮，其他按钮均失效，无法进行其他操作；同理，伽玛刀聚焦治疗头出束时，也无法进行其他操作。

（4）伽玛刀聚焦治疗头关源不到位时，有硬件联锁，同时关源指示灯闪烁。设备无法进行其他操作，直到关源到位。

（二）工作流程

图 9-8 Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统工作流程及产污环节示意图

Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统具备医用直线加速器和伽玛刀 2 种治疗功能，治疗时医用直线加速器治疗头和伽玛刀聚焦治疗头不同时开机。其工作流程及产污环节分析见图 9-8，其工作流程如下：

1、患者在经诊断确诊需要进行放射治疗后，根据病灶的部位确定定位体位，通过 CT 模拟定位机（依托放疗科现有 1 台 Brilliance CT BigBore 型 CT 模拟定位机）扫描采集影像资料，用于确定靶区位置、形状和大小；

2、放疗医师根据医学影像临床诊断资料，提出放射治疗方案和精确治疗计划；

3、放射治疗计划完成，并经放疗医师确认后，放疗技师领患者进入治疗室，对患者进行摆位；

4、技师确认治疗室内无其他人员滞留，确认各类按钮工作正常后，关闭防护门；

5、技师在控制室内使用 CBCT 图像引导系统模块对病灶进行扫描，并与 CT 模拟定位机扫描图像做对比，校准摆位精度后，按照医疗方案设置参数，进行放射治疗。

治疗过程，会产生X射线、γ射线，治疗室内的空气会电离产生臭氧和氮氧化物；

6、治疗结束后，停止出束，解除定位，关闭系统，患者离开治疗室。

**（三）放射源订购、使用和退役流程**

本项目Taichi Pro型多模式一体化放射治疗系统内含18枚$^{60}$Co放射源，总活度为8.88E+14Bq，为医用Ⅰ类集聚源。因此放射源的运输和医疗使用管理均按Ⅰ类源进行。

1、订购：医院在订购之前应向省生态环境主管部门提出申请，提交《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第十九条规定的申请材料。订购时，医院根据《辐射安全许可证》许可的范围提出订购需求，本项目设备生产厂家提供放射源的所有技术参数和文件，并跟踪放射源的生产进度（放射源生产期间工作人员所受照射不在本评价范围内）。订购完成后，医院应当在完成之日起20日内，向省级生态环境部门备案。

2、使用：设备正常使用时，由医院负责放射源的安保工作，期间安全由医院负责。

3、退役：由放射源生产厂家负责回收退役放射源（放射源退役时应进行退役评价，工作人员所受照射不在本评价范围内），退役手续由医院办理，回收期间安全由放射源生产厂家负责。

**（四）倒源流程**

本项目Taichi Pro型多模式一体化放射治疗系统所用$^{60}$Co放射源约6~8年更换一次。医院在换源前应于当地公安、生态环境部门、卫生主管部门备案，取得他们的协助、监督和认可。$^{60}$Co放射源的生产、运输均由放射源生产厂家负责，每次医院申购放射源后由放射源生产厂家运输至机房，装源工作由设备生产厂家委派的工程师在机房内完成（所受照射不在本评价范围内），医院辐射工作人员不进入机房参与装源、换源工作，倒源操作完毕后，退役放射源交由放射源生产厂家回收处理。倒装工作应由有相应能力且通过辐射安全考核的专业人员进行，其他任何单位和个人不得私自进行倒源。倒装放射源时应对倒装热室周围和含源设备表面进行辐射监测，关注倒源屏蔽体的辐射防护效果和含源设备的表面污染情况，做好安装和更换的放射源清点并记录；倒源结束后对含放射源的放射治疗设备、场所与周围环境进行辐射监测。源退役时，倒源期间由南京市江宁医院承担安全主体责任，源办理完成转移手续后、源由倒

源单位运输离开建设单位后，责任由放射源生产厂家负责。

# 污染源项描述

## 一、放射性污染

### （一）医用直线加速器治疗头

1、X 射线外照射：Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统使用医用直线加速器治疗头以 X 射线模式运行时，从加速器电子枪里发出来的电子束，在加速管内经加速电压加速，轰击到钨金靶上，产生 X 射线。发射出来的 X 射线主要用于治疗，治疗剂量与剂量率的大小、加速器电子能量、受照射的靶体材料、电子束流强度、电子入射方向、考察点到源的距离等因素有关。

本项目拟配备的医用直线加速器治疗头的 X 射线能量为 6MV，1m 处 X 射线最高输出剂量率为 1400cGy/min，由于 X 射线的贯穿能力极强，将对工作人员、公众及周围环境辐射造成辐射污染。

本项目医用直线加速器机房位于湖山路院区病房楼负二层放疗科预留 2#医用直线加速器机房，不存在天空反射和侧散射。

2、中子：本项目拟配备的医用直线加速器治疗头的 X 射线能量为 6MV。依据《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）规定（§4.3.2.5），当加速器 X 射线≤10MV 时，中子及其影响可忽略。

因此，本项目设备使用医用直线加速器治疗头开机期间，产生的 X 射线为主要辐射环境污染因素。

### （二）伽玛刀聚焦治疗头

1、辐射：伽玛刀未使用时，放射源处于屏蔽位，少量的γ射线会穿透屏蔽体，对进入机房的人员及室外公众等产生照射。

伽玛刀在治疗过程中，机房治疗室内来自放射源的直射、散射和漏射γ射线会穿透屏蔽墙及防护门，对机房外的工作人员和公众产生外照射影响。

本项目拟配备的伽玛刀聚焦治疗头内含 18 枚 $^{60}Co$ 放射源，总活度为 8.88E+14Bq，为医用Ⅰ类集聚源。核素 $^{60}Co$ 是一种人工生产的放射性核素，主要由 $^{59}Co$ 在核反应堆中经中子轰击后生成，半衰期为 5.27 年。$^{60}Co$ 核素衰变过程中发射出 0.315MeV 的β射线和能量分别为 1.173MeV 和 1.332MeV 的两种γ射线，平均能量为 1.25MeV。$^{60}Co$

放射源特性见表 9-2，衰变纲图见图 9-9。

表 9-2 $^{60}Co$ 放射性核素特性

| 核素名称 | 半衰期 | 衰变类型及分支比（%） | 主要α、β辐射能量（keV）与绝对强度（%） | 主要γ、X 射线能量（keV）与绝对强度（%） | 空气比释动能率常数（$\mu Gy \cdot m^2 \cdot MBq^{-1} \cdot h^{-1}$） |
|---|---|---|---|---|---|
| $^{60}Co$ | 5.27a | $\beta^-$ | - | $\beta^-$：0.315（99.74%）<br>γ：1.173（99.87%）<br>γ：1.332（99.98%） | 0.308 |

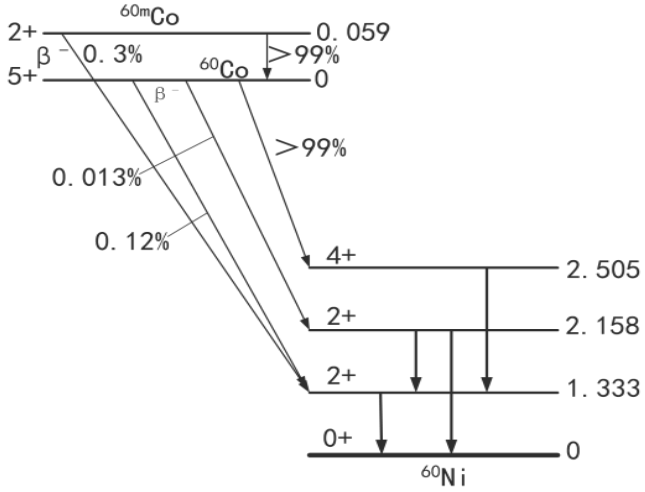


图 9-9 $^{60}Co$ 衰变纲图

根据设备厂家提供的数据，本系统源载体外部采用钨合金准直器、钨合金滚筒以及屏蔽箱体，可以将杂散辐射屏蔽到最低水平。这些设计保证：非治疗状态下距设备表面 1m 处的辐射剂量率小于 20μGy/h，距离放射源 5cm 处的辐射剂量率小于 200μGy/h。开Φ35 准直器模拟治疗状态以及关束后，治疗区内设备周围的辐射剂量率分布见表 9-3。

表 9-3（a） 治疗状态下治疗区内辐射剂量率的矩阵测量结果

| 测量点位置 | | 辐射剂量率（mGy/h） | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $A_1$ | $A_2$ | $A_3$ | $A_4$ | $A_5$ | $A_6$ | $A_7$ | $A_8$ | $A_9$ | $A_{10}$ | $A_{11}$ | $A_{12}$ | $A_{13}$ | $A_{14}$ | $A_{15}$ |
| $B_1$ | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 3 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $B_2$ | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 3 | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | |
|---|---|---|
| $B_3$ | 1 | |
| | 2 | |
| | 3 | |
| $B_4$ | 1 | |
| | 2 | |
| | 3 | |
| $B_5$ | 1 | |
| | 2 | |
| | 3 | |
| $B_6$ | 1 | |
| | 2 | |
| | 3 | |
| $B_7$ | 1 | |
| | 2 | |
| | 3 | |
| $B_8$ | 1 | |
| | 2 | |
| | 3 | |
| $B_9$ | 1 | |
| | 2 | |
| | 3 | |
| $B_{10}$ | 1 | |
| | 2 | |
| | 3 | |
| $B_{11}$ | 1 | |
| | 2 | |
| | 3 | |
| $B_{12}$ | 1 | |
| | 2 | |

| | | |
|---|---|---|
| | 3 | |
| $B_{13}$ | 1 | |
| | 2 | |
| | 3 | |
| $B_{14}$ | 1 | |
| | 2 | |
| | 3 | |
| $B_{15}$ | 1 | |
| | 2 | |
| | 3 | |
| $B_{16}$ | 1 | |
| | 2 | |
| | 3 | |

说明：1、$A_1$-$A_{15}$指治疗区内，面对机架时，从右侧墙壁到左侧墙壁每隔 0.5m 的测量点；
2、$B_1$-$B_{16}$指治疗区内，面对机架时，从前侧墙壁到后侧墙壁每隔 0.5m 的测量点；
3、每列 1、2、3 分别为地面处、等中心高度、等中心高度以上 1.0m 的测量点；
4、“/”为设备所在处。

表 9-3（b） 非治疗状态下治疗区内辐射剂量率的矩阵测量结果

| 测量点位置 | | 辐射剂量率（μGy/h） | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $A_1$ | $A_2$ | $A_3$ | $A_4$ | $A_5$ | $A_6$ | $A_7$ | $A_8$ | $A_9$ | $A_{10}$ | $A_{11}$ | $A_{12}$ | $A_{13}$ | $A_{14}$ | $A_{15}$ |
| $B_1$ | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 3 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $B_2$ | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 3 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $B_3$ | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 3 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $B_4$ | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | |
|---|---|---|
| | 2 | |
| | 3 | |
| $B_5$ | 1 | |
| | 2 | |
| | 3 | |
| $B_6$ | 1 | |
| | 2 | |
| | 3 | |
| $B_7$ | 1 | |
| | 2 | |
| | 3 | |
| $B_8$ | 1 | |
| | 2 | |
| | 3 | |
| $B_9$ | 1 | |
| | 2 | |
| | 3 | |
| $B_{10}$ | 1 | |
| | 2 | |
| | 3 | |
| $B_{11}$ | 1 | |
| | 2 | |
| | 3 | |
| $B_{12}$ | 1 | |
| | 2 | |
| | 3 | |
| $B_{13}$ | 1 | |
| | 2 | |
| | 3 | |

| | | |
|---|---|---|
| $B_{14}$ | 1 | |
| | 2 | |
| | 3 | |
| $B_{15}$ | 1 | |
| | 2 | |
| | 3 | |
| $B_{16}$ | 1 | |
| | 2 | |
| | 3 | |

说明：1、$A_1$-$A_{15}$指治疗区内，面对机架时，从右侧墙壁到左侧墙壁每隔 0.5m 的测量点；
2、$B_1$-$B_{16}$指治疗区内，面对机架时，从前侧墙壁到后侧墙壁每隔 0.5m 的测量点；
3、每列 1、2、3 分别为地面处、等中心高度、等中心高度以上 1.0m 的测量点。

2、放射性固体废物：$^{60}Co$ 放射源使用到一定年限后产生退役的放射源，可能会对周围环境产生一定的危害。

（三）**CBCT 图像引导系统**

CBCT 图像引导系统在工作状态下会发出X射线，最大管电压为 150kV、最大管电流为 64mA。CBCT 产生的 X 射线是随机器的开、关而产生和消失，在开机出束期间，X 射线是主要污染因子。

二、非放射性污染

（一）废气

Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统在工作状态时，会使治疗室内的空气产生电离，产生臭氧和氮氧化物，少量臭氧和氮氧化物可通过通风系统排出治疗室，臭氧在空气中短时间可自动分解为氧气，这部分废气对周围环境影响较小。

（二）废水

主要是工作人员和部分患者产生的生活污水，将进入医院污水处理系统，处理达标后排入城市污水管网，对周围环境影响较小。

（三）固体废物

主要是工作人员产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小。

# 表 10　辐射安全与防护

项目安全措施

一、工作场所布局及分区

南京市江宁医院拟在湖山路院区病房楼负二层放疗科预留 2#医用直线加速器机房内配备 1 台 Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统，兼具医用直线加速器（X 射线能量为 6MV）治疗、伽玛刀（内含 18 枚 $^{60}Co$ 放射源，总活度为 8.88E+14Bq）治疗和 CBCT（最大管电压为 150kV，最大管电流为 64mA）图像引导功能，用于肿瘤的放射治疗。

本项目所在 2#医用直线加速器机房位于湖山路院区病房楼负二层放疗科东南角，机房位于建筑物底部，周围无儿科病房、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，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中关于选址与布局的规定。

2#医用直线加速器机房东侧、南侧、下方为土层，西侧为 1#医用直线加速器机房，北侧为走廊、控制室及病人准备间，上方为覆土层、院内道路及绿化。

2#医用直线加速器机房控制室与治疗室分离，控制室位于治疗室北侧，设置“L”型迷道，迷道口设有防护门；有用线束仅向东墙、西墙、地面及屋顶照射，不直接朝控制室和其他居留因子较大的用室照射。2#医用直线加速器机房布局符合《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）中“治疗装置控制室应与治疗机房分离”的规定及《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中“放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需求”、“治疗机房均应设置迷路”等规定，本项目 2#医用直线加速器机房布局合理。

为加强辐射防护管理和职业照射控制，本项目拟将屏蔽产生射线的医用直线加速器机房治疗室、迷道作为辐射防护控制区，严格控制人员进出，并在治疗室入口处设置电离辐射警告标志；拟将与 2#医用直线加速器机房相邻的走廊、控制室及病人准备间作为辐射防护监督区，在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌。本项目 2#医用直线加速器机房辐射防护分区的划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于辐射工作场所的分区规定要求。南京市江宁医院湖山路院区病房楼负二层放疗科平面布置及分区见附图 3。

## 二、辐射防护屏蔽设计

本项目2#医用直线加速器机房采用混凝土浇筑结构，治疗室东西长8.1m、南北长8.0m、净面积为64.8m$^2$（不含迷道），机房顶部屏蔽内表面至地面约3.7m（装饰面层下机房高3.1m），设置“L”型迷道，迷道横宽2.0m，迷道内口宽2.2m，迷道口设有防护门。

具体屏蔽设计参数见表10-1，屏蔽设计图见图10-1。

表10-1 2#医用直线加速器机房屏蔽设计参数

| 场所名称 | 屏蔽防护设计 | | 屏蔽设计（厚度及材质）[1)] |
|---|---|---|---|
| 2#医用直线加速器机房[2)] | 东墙 | 主屏蔽区 | |
| | 南墙 | 侧屏蔽区 | |
| | 西墙 | 主屏蔽区 | |
| | | 次屏蔽区 | |
| | 北墙 | 迷道内墙 | |
| | | 迷道外墙 | |
| | 屋顶 | 主屏蔽区 | |
| | | 次屏蔽区 | |
| | 防护门 | | |

注：1、混凝土密度为2.35g/cm$^3$，铅密度为11.3g/cm$^3$；

2、医用直线加速器机房东墙、南墙外及下方均为土层，人员不可达。

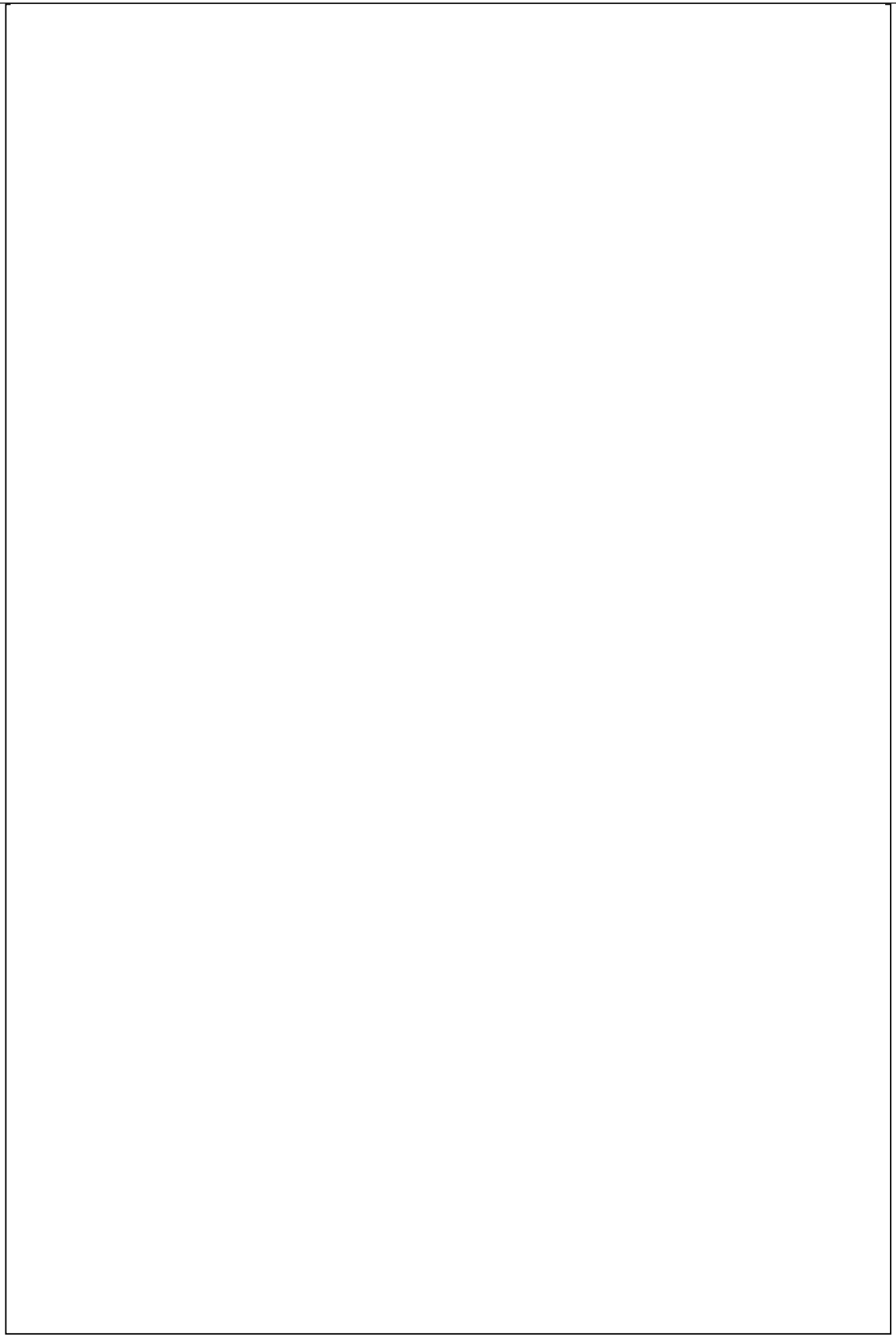

图 10-1 2#医用直线加速器机房屏蔽设计示意图

三、辐射安全措施

（一）电线电缆布设

2#医用直线加速器机房电缆线穿墙方式拟采用“U”型穿墙管道，穿墙处埋地深度为0.40m，电缆沟不会破坏治疗室墙体的屏蔽效果，能够满足辐射防护要求。

（二）防护门搭接方式

机房防护门设计制作时，除要考虑足够的防护厚度外，拟考虑防护门与周围墙壁及地面的重叠搭接，以防止门缝处射线泄漏。本项目2#医用直线加速器机房门与墙之间的间隙小于1cm，防护门与墙之间的搭接不小于10cm，可有效防止门缝处射线泄漏。

（三）通风要求

本项目2#医用直线加速器机房拟设计有通风装置，治疗室内拟采用机械进、出风，通风换气频率为不低于4次/h。进风口拟设在医用直线加速器机房治疗室东南角、迷道入口顶部吊顶处，排风口拟设在医用直线加速器机房治疗室西南角、西北角，下沿距治疗室地面0.2m高，进风口与排风口位置拟对角设置，以确保室内空气充分交换。医用直线加速器机房进排风管道避开主射线方向，射线经多次散射后，进出风管道进出口处辐射剂量将在控制范围内。废气经排风井内单独管道由病房楼一层排至室外，排气口位置不设置在有门、窗或人流较大的过道等位置（2#医用直线加速器机房排风口位置示意图见附图6）。

（四）电离辐射警告标志和工作状态指示灯

2#医用直线加速器机房入口拟设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯，防止无关人员逗留和误入。

（五）紧急停机装置

在2#医用直线加速器机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧、防护门内迷道入口处、控制室控制台及设备壳体上均拟设置急停按钮，以避免2#医用直线加速器机房内人员尚未完全清空的情况下开机，产生误照射。

（六）开门装置

2#医用直线加速器机房拟设置从室内开启治疗机房门的装置，防护门拟设有防挤压功能。

（七）安全联锁装置

2#医用直线加速器机房拟设置门-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。本项目设备设有断电自动回源措施。安全联锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动；安装调试及维修情况下，任何联锁旁路应通过医院辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试。

**（八）视频装置和双向交流对讲装置**

本项目2#医用直线加速器机房控制室拟设置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，实时观察机房内的动态。

**（九）固定式辐射剂量监测仪**

本项目2#医用直线加速器机房治疗室迷道的内入口处拟设置固定式辐射剂量监测仪并拟有异常情况下报警功能，其显示单元拟设置在控制室内。

**（十）其他**

Taichi Pro型多模式一体化放射治疗系统设计配备UPS，断电情况下可持续供电，保证关源步骤的完成，确保患者和辐射工作人员的辐射安全；配置有紧急情况下的快速手动关源装置，当自动关源系统出现故障时，可通过该装置将放射源迅速关闭，保证安全。

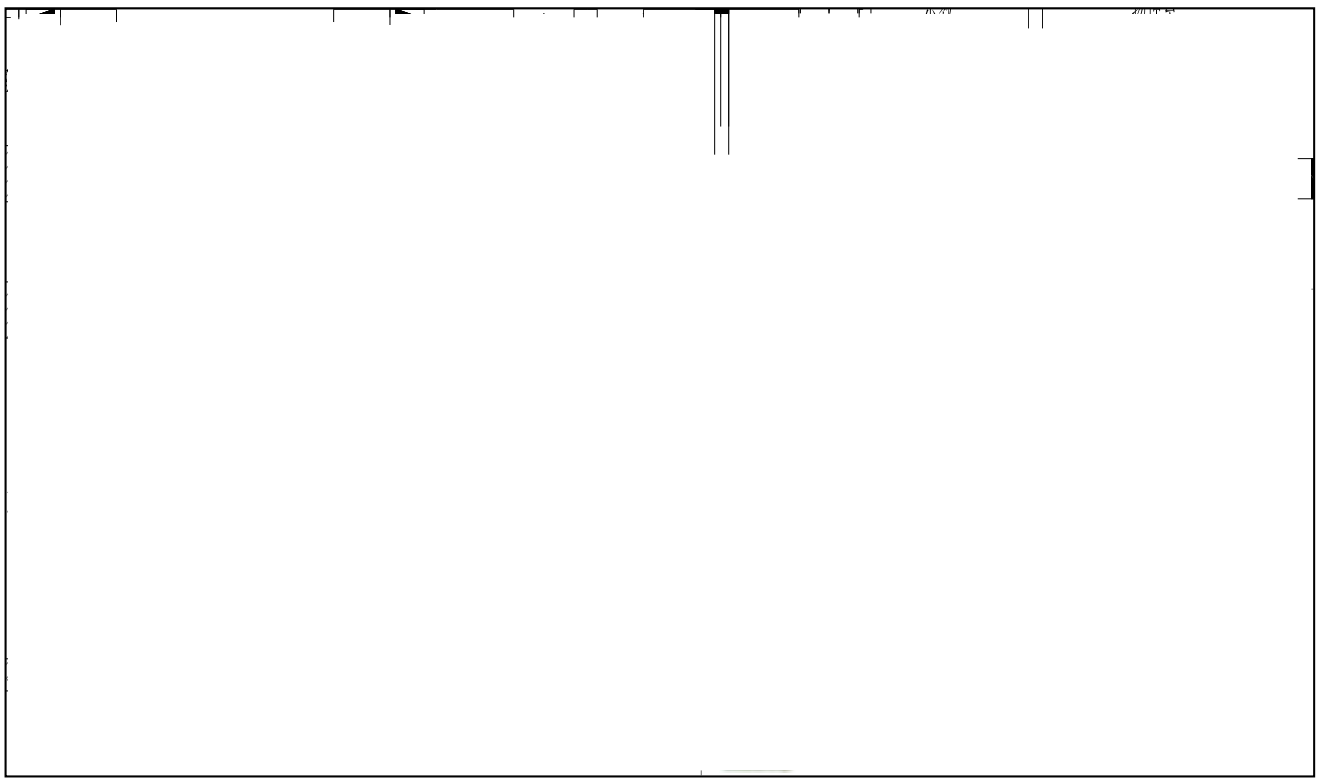

图10-2 2#医用直线加速器机房主要安全设施位置示意图

南京市江宁医院在落实以上辐射安全措施后，将满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中的相关标准要求。

**四、监测仪器和防护用品**

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，开展放射诊疗的单位应配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。

南京市江宁医院已配备有辐射巡测仪 1 台，拟为本项目新配备固定式剂量监测报警装置 1 套和个人剂量报警仪 2 台。辐射工作人员工作时将佩戴个人剂量计，以监测累积受照情况。医院拟定期组织辐射工作人员进行健康体检，并将按相关要求建立辐射工作人员个人剂量监测档案和职业健康监护档案。

# 三废的治理

**一、放射性“三废”**

**放射性固体废物：**$^{60}$Co 放射源使用到一定期限后产生退役的放射源，医院已承诺将退役 $^{60}$Co 放射源交由放射源生产厂家回收处理（见附件 3）。

**二、非放射性“三废”**

（一）废气

2#医用直线加速器机房内的空气在 X 射线、γ射线作用下分解，产生臭氧和氮氧化物，少量臭氧和氮氧化物可通过动力排风装置排入大气。

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）第 6.2.2 条款的要求：放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；通风换气次数应不小于 4 次/h。

本项目 2#医用直线加速器机房内设有通风装置，采用机械排风方式。医用直线加速器机房采用上进下出的通风系统，进、排风管道从防护门上方或迷道外墙至机房内，进风口位于治疗室东南角、迷道入口顶部吊顶处，排风口位于治疗室西南角、西北角，下沿距治疗室地面 0.2m 高，废气经排风井内单独管道由病房楼一层排至室外，排气口位置不设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。湖山路院区放疗科 2#医用直线加

速器机房通风设计平面图详见附图 5 至附图 6。

本项目 2#医用直线加速器机房治疗室容积约 271m$^3$（包括迷道），其排风机的设计通风量为 2000m$^3$/h，每小时通风换气次数约为 7.38 次/h，能够满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）及《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中“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”的相关要求。

（二）废水

工作人员和部分患者产生的生活污水，由医院污水处理系统统一处理。

（三）固体废物

工作人员产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理。

## 表 11　环境影响分析

### 建设阶段对环境的影响

本项目机房建设属于整个院区基础建设的部分工程，土建部分已纳入主体项目同时建设。本项目建设时建设时主要工作为墙体隔断、辐射防护工程施工与内饰装潢，将产生施工噪声、扬尘和建筑垃圾污染，建设施工时对环境会产生如下影响：

一、大气

本项目在建设施工期需进行的墙体隔断、辐射防护工程施工等作业，将产生地面扬尘，另外机械作业时排放废气和扬尘，但这些方面的影响仅局限在施工现场附近区域。针对上述大气污染采取以下措施：及时清扫施工场地，设立围挡，并保持施工场地一定的湿度。

二、噪声

整个建筑施工阶段，如墙体隔断、辐射防护工程与内饰装潢等施工中都将产生不同程度的噪声，对周围环境造成一定的影响。在施工时严格执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）的标准，尽量采用噪声低的先进设备，同时严禁夜间进行强噪声作业。

三、固体废物

项目施工期间，会产生一定量以建筑垃圾为主的固体废弃物，委托有有资质的单位清运，并做好清运工作中的装载工作，防止建筑垃圾在运输途中散落。

四、废水

项目施工期间，有一定量含有泥浆的建筑废水产生，对这些废水进行初级沉淀处理，并经隔渣后排放。

医院在施工阶段计划采取上述污染防治措施，将施工期的影响控制在内局部区域，对周围环境影响较小。

### 运行阶段对环境的影响

一、辐射环境影响分析

Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统将 1 个 6MV 医用直线加速器治疗头、1 个医用伽玛刀聚焦治疗头和 1 个 CBCT 图像引导系统模块集成于同一个滚筒上，从而

具备医用直线加速器+CBCT 治疗模式和伽玛刀+CBCT 治疗模式两种治疗模式，医用直线加速器和伽玛刀不同时出束。CBCT 主要用于三维成像，其最大管电压为 150kV（工况为 150kV/3.6mA 条件下，距靶 1m 处最大剂量率＜0.5mGy/h），产生的射线能量远小于医用直线加速器治疗头（最大能量为 6MV）和伽玛刀聚焦治疗头（最大能量为 1.33MeV），故本项目 2#医用直线加速器机房防护条件在满足医用直线加速器治疗头、伽玛刀聚焦治疗头屏蔽要求的情况下，机房屏蔽体完全可以满足对 CBCT 开机产生 X 射线的防护，对辐射环境影响较小，因此以下主要对医用直线加速器治疗头和伽玛刀聚焦治疗头运行过程中的环境影响进行分析。

医用直线加速器治疗模式根据《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）中的相关内容进行估算；伽玛刀治疗模式根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）中的相关内容进行估算。

（一）医用直线加速器治疗头

本项目 Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统使用的医用直线加速器治疗头，主要参数为：X 射线能量：6MV；1m 处输出剂量率：1400cGy/min；射线最大出射角：27.8°，故本项目以 X 射线能量为 6MV 的情况下，进行辐射影响分析。

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）的要求，在本项目 2#医用直线加速器机房外设定关注点。从保守角度出发，在 2#医用直线加速器机房设计的尺寸厚度基础上，假定医用直线加速器最大功率运行并针对关注点最不利的情况进行预测计算。

本项目 2#医用直线加速器机房的关注点设定如图 11-1。

图 11-1 2#医用直线加速器机房估算点位示意图

**1、有用线束主屏蔽区的宽度核算**

使用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）中的相关公式计算有用线束主屏蔽区的宽度：

$$Y_p = 2[(a + SAD) \cdot \tan\theta + 0.3]$$ 公式 11-1

式中：$Y_p$—机房有用束主屏蔽区的宽度，m；

$SAD$—源轴距，m；

$\theta$—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。

由于 Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统的安装位置不是机房的中间，主屏蔽两侧不对称，故分别对西墙、顶部主屏蔽两侧半宽度进行核算，将各参数代入公式 11-1，可估算出本项目 2#医用直线加速器机房的主屏蔽宽度核算结果并评价如表 11-1：

表 11-1 2#医用直线加速器机房主屏蔽区的宽度设计评价表

| 参数 | 西墙主屏蔽 | | 顶部主屏蔽 | |
|---|---|---|---|---|
| | 南侧 | 北侧 | 南侧 | 北侧 |
| $SAD$（m） | | | | |
| $\theta$（°） | | | | |
| $a$（m） | | | | |
| $SAD$ | | | | |
| 1/2 $Y_p$ 计算值（m） | | | | |
| 1/2 $Y_p$ 设计值（m） | | | | |
| 评价结果 | | | | |

**2、辐射防护效果预测**

（1）有用线束主屏蔽设计核算（西墙 *a* 点和屋顶 *l* 点）

①主射线路径：西墙 $o_2 \rightarrow a$，屋顶 $o_3 \rightarrow l$。

②计算模式及参数选择

使用《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）的相关公式进行有用线束主屏蔽设计核算，在给定的屏蔽物质厚度 $X$（cm）时，首先按照公式 11-2 计算有效厚度 $X_e$（cm），按照公式 11-3 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 $B$，再按照公式 11-4 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率（μSv/h）。

$$X_e = X/cos\theta = X \cdot sec\theta \qquad \text{公式 11-2}$$

式中：$X$—设计屏蔽厚度，cm；

$\theta$—斜射角。

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \qquad \text{公式 11-3}$$

式中，$TVL_1$（cm）和 $TVL$（cm）为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度，当未指明 $TVL_1$ 时，$TVL_1$=$TVL$。可根据加速器 X 射线能量查 GBZ/T 201.2-2011 的附录 B 表 B.1。本项目中，对应 6MV 的 X 射线能量，混凝土 $TVL_1$ 为 37cm，$TVL$ 为 33cm；查 NCRP No.151，铅板的 $TVL_1$ 和 $TVL$ 均为 5.7cm，钢板的 $TVL_1$ 和 $TVL$ 均为 10cm。本项目中，*a* 点、*l* 点相应厚度主屏蔽的 $B$ 值核算见表 11-2。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \qquad \text{公式 11-4}$$

式中：$\dot{H}_0$—加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的常用最高剂量率，μSv·m²/h，本项目为 8.40E+08μSv·m²/h；

$R$—靶点至参考点的距离，m，本项目参考点均为相应墙外 30cm；

$f$—对有用线束为 1，对泄漏辐射为泄漏辐射比 0.1%。

③预测计算结果

本项目医用直线加速器治疗头有用线束方向自带自屏蔽装置，有用线束在穿过患者的身体后会穿过该设备内部的屏蔽壳体（由 120mm 铅板+70mm 钢板构成），将相应主屏蔽厚度得出的辐射屏蔽透射因子 $B$ 值代入，得到相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率（μSv/h），将其与本项目确定的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ 相比，判断机房屏蔽设计是否满足标准要求，计算结果见表 11-2。

表 11-2 2#医用直线加速器机房主屏蔽外参考点辐射剂量率核算值

| 参数 | | 西墙主屏蔽（$a$ 点） | 屋顶主屏蔽（$l$ 点）* |
|---|---|---|---|
| $X$（cm） | | | |
| $X_e$（cm） | | | |
| $TVL_1$（cm） | 砼 | | |
| | 铅 | | |
| | 钢 | | |
| $TVL$（cm） | 砼 | | |
| | 铅 | | |
| | 钢 | | |
| $B$ | | | |
| $R$（m） | | | |
| $\dot{H}_0$（μSv·m²/h） | | | |
| $f$ | | | |
| $\dot{H}$（μSv/h） | | | |
| $\dot{H}_c$（μSv/h）（剂量率参考控制水平） | | | |
| 评价 | | | |

注：屋顶主屏蔽关注点位于机房上方道路表面 30cm 处，保守未考虑覆土层对射线的屏蔽影响。

**（2）与主屏蔽区相连的次屏蔽区屏蔽设计核算（西墙 $c_1$ 点、$c_2$ 点和屋顶 $m_1$ 点、$m_2$ 点）**

**①射线路径（射线类型）：**$o_2 \rightarrow o \rightarrow c_1$（散射射线），$o_2 \rightarrow o \rightarrow c_2$（散射射线），$o_3 \rightarrow o \rightarrow m_1$（散射射线），$o_3 \rightarrow o \rightarrow m_2$（散射射线）。

$o \rightarrow c_1$（泄漏射线），$o \rightarrow c_2$（泄漏射线），$o \rightarrow m_1$（泄漏射线），$o \rightarrow m_2$（泄漏射线）。

对于位置 $c_1$ 点、$c_2$ 点和 $m_1$ 点、$m_2$ 点，考虑泄漏辐射和散射辐射的复合作用。

**②泄漏辐射计算模式及参数**

泄漏辐射屏蔽，估算方法类似主屏蔽区。f=0.001（泄漏辐射比率，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），加速器的泄漏辐射比率通常取 $10^{-3}$），公式 11-3 的 $TVL_1$ 和 $TVL$ 保守取附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，对应 6MV 的 X 射线能量，混凝土 $TVL_1$=34cm，$TVL$=29cm。

③散射辐射屏蔽计算

在给定的屏蔽物质厚度 $X$（cm）时，首先用公式 11-2 计算或直接在结构图中量出该屏蔽墙的有效厚度 $X_e$（cm），按照公式 11-3 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 $B_s$（其中患者散射辐射在混凝土中的什值层，查表 B.4 知，当散射角 30°时，对于 6MV 射线，患者散射辐射在混凝土中什值层为 26cm），再按照公式 11-5 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率（μSv/h）；

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

式中：$\dot{H}_0$—加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的常用最高剂量率，μSv·m²/h，本项目为 8.40E+08μSv·m²/h；

$\alpha_{ph}$—患者 400cm² 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m（关注点方向）处的剂量比例，又称 400cm² 面积上的散射因子。根据散射线能量和考察点斜射角，查 GBZ/T 201.2-2011 表 B.2。本项目按 6MV、30°取值，为 $2.77\times10^{-3}$。

$F$—治疗装置有用线束在等中心处的最大治疗野面积，cm²，本项目为 40cm×40cm=1600cm²。

$R_s$—患者（位于等中心点）至关注点的距离，m。

④预测计算结果

叠加次屏蔽墙外泄漏辐射与患者一次散射辐射的瞬时剂量率值，将其与本项目确定的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ 相比，判断机房屏蔽设计是否满足标准要求，计算结果见表 11-3，其中 $X_e$、$R$ 的取值由 CAD 图纸上读取。

表 11-3 与主屏蔽相连的次屏蔽外参考点辐射剂量率核算值

| 参数 | | 西墙次屏蔽（$c_1$ 点） | 西墙次屏蔽（$c_2$ 点） | 屋顶次屏蔽（$m_1$ 点）* | 屋顶次屏蔽（$m_2$ 点） |
|---|---|---|---|---|---|
| $X$（cm） | | | | | |
| $X_e$（cm） | | | | | |
| $\dot{H}_0$（μSv·m²/h） | | | | | |
| 泄漏 | $TVL_1$（cm） | | | | |

| | | |
|---|---|---|
| 辐射 | $TVL$（cm） | |
| | $B$ | |
| | $R$（m） | |
| | $f$ | |
| | $\dot{H}$（μSv/h） | |
| 散射辐射 | $TVL_1$（cm） | |
| | $TVL$（cm） | |
| | $R_s$（m） | |
| | $\alpha_{ph}$ | |
| | $B$ | |
| | $F$（$cm^2$） | |
| | $\dot{H}$（μSv/h） | |
| $\dot{H}$（μSv/h）<br>泄漏辐射和散射辐射的复合作用 | | |
| $\dot{H}_c$（μSv/h）<br>剂量率参考控制水平 | | |
| 评价 | | |

**注：**屋顶次屏蔽关注点位于机房上方道路表面30cm处，保守未考虑覆土层对射线的屏蔽影响。

**（3）侧屏蔽墙屏蔽设计核算（迷道墙外*f*点）**

**①射线路径（射线类型）：**$o \rightarrow f$（泄漏射线）。

**②计算模式及参数选择**

该区考虑泄漏辐射屏蔽，估算方法类似主屏蔽区。公式11-4中，f=0.001（泄漏辐射比率，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），加速器的泄漏辐射比率通常取$10^{-3}$）。公式11-3的$TVL_1$和$TVL$为附录B表B.1的泄漏辐射值，对应6MV的X射线能量，混凝土$TVL_1$=34cm，$TVL$=29cm。

**③预测计算结果**

*f*点的辐射剂量率预测结果见下表11-4，其中$X_e$、$R$的取值由CAD图纸上读取。

表 11-4 2#医用直线加速器机房迷道墙外泄漏辐射剂量率核算值

| 参数 | 迷道墙外（$f$ 点） |
|---|---|
| $X$（cm） | |
| $X_e$（cm） | |
| $TVL_1$（cm） | |
| $TVL$（cm） | |
| $B$ | |
| $R$（m） | |
| $\dot{H}_0$（μSv·m²/h） | |
| $f$ | |
| $\dot{H}$（μSv/h） | |
| $\dot{H}_c$（μSv/h）剂量率参考控制水平 | |
| 评价 | |

**（4）迷道外墙屏蔽设计核算（迷道外墙 *k* 点）**

**①射线路径（射线类型）：**$o_2 \rightarrow k$（泄漏射线）。

**②计算模式及参数选择**

本项目有用线束不向迷道内墙照射，该区考虑泄漏辐射屏蔽，估算方法类似主屏蔽区。公式 11-4 中，f=0.001（泄漏辐射比率，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），加速器的泄漏辐射比率通常取 $10^{-3}$）。公式 11-3 的 $TVL_1$ 和 $TVL$ 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，对应 6MV 的 X 射线能量，混凝土 $TVL_1$=34cm，$TVL$=29cm。

**③预测计算结果**

*k* 点的辐射剂量率预测结果见下表 11-5，$o_2$ 至 *k* 的泄漏辐射的斜射角较小，通常以 0°垂直入射保守估算，其中 $X_e$、$R$ 的取值由 CAD 图纸上读取。

表 11-5 迷道外墙泄漏辐射剂量率核算值

| 参数 | 迷道外墙（*k* 点） |
|---|---|
| $X$（cm） | |
| $X_e$（cm） | |

| | |
|---|---|
| $TVL_1$（cm） | |
| $TVL$（cm） | |
| $B$ | |
| $R$（m） | |
| $\dot{H}_0$（μSv·m²/h） | |
| $f$ | |
| $\dot{H}$（μSv/h） | |
| $\dot{H}_c$（μSv/h）<br>剂量率参考控制水平 | |
| 评价 | |

**（5）迷道入口处辐射水平核算（*g* 点）**

根据 GBZ/T201.2-2011，*g* 点处同时受到迷道内散射辐射（$o_1 \rightarrow o \rightarrow i \rightarrow g$）及加速器的泄漏辐射 $o_1$ 经迷道内墙屏蔽后在迷道入口 *g* 点的辐射剂量。

**①射线路径（射线类型）：** $o_1 \rightarrow g$（泄漏射线），$o_1 \rightarrow o \rightarrow i \rightarrow g$（散射射线）。

**②泄漏辐射计算模式及参数选择**

*g* 点泄漏辐射剂量核算方法同 *f* 点。

其中 $X_e$、$R$ 的取值由 CAD 图纸上读出，计算结果见表 11-6。

表 11-6 2#医用直线加速器机房迷道入口处的泄漏辐射剂量率核算值

| 参数 | 迷道入口处（*g* 点） |
|---|---|
| $X$（cm） | |
| $X_e$（cm） | |
| $TVL_1$（cm） | |
| $TVL$（cm） | |
| $B$ | |
| $R$（m） | |
| $\dot{H}_0$（μSv·m²/h） | |
| $f$ | |
| $\dot{H}_{og}$（μSv/h） | |
| $\dot{H}_c$（μSv/h）* <br>剂量率参考控制水平 | |

| 评价 | 满足 |
|---|---|

注：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）中4.3.2.5.1b），“核算加速器的泄漏辐射（以偏离 $o$ 的位置 $o_1$ 为中心）经迷路内墙屏蔽后在迷路入口 $g$ 的辐射剂量。核算结果应为 $g$ 处的参考控制水平的一个分数（应小于1/4）”，故本项目取1μSv/h。

③散射辐射计算模式及参数选择

根据GBZ/T201.2-2011，入口 $g$ 点处的散射辐射剂量率 $\dot{H}_g$ 按公式11-6计算。

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

式中：$\dot{H}_g$—$g$ 处的散射辐射剂量率，μSv/h；

$\alpha_{ph}$—患者400cm$^2$面积上的散射因子，见附录B表B.2，通常取45°散射角的值；

$F$—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm$^2$；

$\alpha_2$—砼墙入射的患者散射辐射（能量见附录B表B.6）的散射因子，通常取 $i$ 处的入射角为45°，散射角为0°；$\alpha_2$ 值见附录B表B.6，通常使用其0.5MeV栏内的值；

$A$—$i$ 处的散射面积，m$^2$；

$R_1$—“$o\rightarrow i$”之间的距离，m；

$R_2$—“$i\rightarrow g$”之间的距离，m；

$\dot{H}_0$—加速器有用线束中心轴上距靶1m处的最高剂量率，μSv·m$^2$/h。

表11-7 迷道入口处的散射辐射剂量率核算值

| 参数 | 迷道入口处（$g$ 点） |
|---|---|
| $\alpha_{ph}$ | |
| $F$（cm$^2$） | |
| $\alpha_2$ | |
| $R_1$（m） | |
| $R_2$（m） | |
| $A$（m$^2$） | |
| $\dot{H}_0$（μSv·m$^2$/h） | |
| $\dot{H}_g$（μSv/h） | |

④预测计算结果

在给定防护门的铅屏蔽厚度 $X$（cm）时，防护门外 $g$ 点处的辐射剂量率 $\dot{H}$（μSv/h）按公式 11-7 计算，预测结果见下表 11-8。

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

式中：$\dot{H}_{og}$—$g$ 处的泄漏辐射剂量率，μSv/h；

$\dot{H}_g$—$g$ 处的散射辐射剂量率，μSv/h；

$TVL$—辐射在铅中的什值层，cm。

表 11-8 迷道入口防护门外的辐射剂量率核算值

| 参数 | 机房入口防护门外（$g$ 点） |
|---|---|
| $\dot{H}_{og}$（μSv/h） | |
| $\dot{H}_g$（μSv/h） | |
| $X$（cm） | |
| $TVL$（cm） | |
| $\dot{H}$（μSv/h）<br>防护门外的辐射剂量率 | |
| $\dot{H}_c$（μSv/h）<br>剂量率参考控制水平 | |
| 评价 | |

**3、预测计算结果汇总及评价**

综上所述，2#医用直线加速器机房墙、顶、门外理论估算结果汇总见表 11-9。

表 11-9 2#医用直线加速器机房墙、顶、门外理论估算结果汇总

| 参考点 | | | 剂量率估算值（μSv/h） | 剂量率参考控制水平（μSv/h） | 结论 |
|---|---|---|---|---|---|
| 2#医用直线加速器机房 | 主屏蔽 | $a$ 点 | | | |
| | | $l$ 点 | | | |
| | 次屏蔽 | $c_1$ 点 | | | |
| | | $c_2$ 点 | | | |
| | | $m_1$ 点 | | | |
| | | $m_2$ 点 | | | |
| | 迷道墙外（$f$ 点） | | | | |

| | | |
|---|---|---|
| | 迷道外墙（$k$ 点） | |
| | 迷道入口防护门（$g$ 点） | |

由表 11-9 可知，Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统使用医用直线加速器治疗头以 X 射线模式运行时，本项目 2#医用直线加速器机房屏蔽防护设计能够满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）的要求。

（二）伽玛刀聚焦治疗头

本项目 Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统使用的伽玛刀聚焦治疗头，内含 18 枚 $^{60}Co$ 放射源，总活度为 8.88E+14Bq，为医用Ⅰ类集聚源。

本项目根据设备厂家提供的治疗区内的辐射剂量率分布图来预测 2#医用直线加速器机房屏蔽防护能力，机房外关注点选取和设定如图 11-1。

**1**、计算模式

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014），在给定的屏蔽物质厚度 $X$（cm）时，首先按照公式 11-2 计算有效厚度 $X_e$（cm），按照公式 11-3 计算屏蔽物质的屏蔽透射因子 $B$，依据设备厂家提供的辐射剂量率分布情况表（见表 9-3），选取表中最大的辐射剂量率数值，考虑距离衰减后再按照公式 11-8 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率（μSv/h）。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_{表} \cdot R_{表}^{2}}{R^{2}} \cdot B \qquad \text{公式 11-8}$$

式中：$\dot{H}_{表}$—依据设备厂家提供的辐射剂量率分布情况表，选取表中最大的辐射剂量率数值，单位为μSv/h；

$R_{表}$—依据设备厂家提供的辐射剂量率分布情况表，选取的点位距辐射源点的距离，单位为米（m）；

$R$—辐射源点至关注点的距离，单位为米（m），本项目参考点均为相应墙外 30cm。

**2**、参数选取

根据设备厂家提供的辐射剂量率分布情况表，治疗状态下最大的辐射剂量率数值为 14746μGy/h，位于距设备表面 0.5m、等中心高度处，选取该点位处的辐射剂量率

预测治疗状态下机房外关注点的剂量率。

依据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第3部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014），本设备贮源状态下距源1m处的空气比释动能率不超过20μGy/h，选取该辐射剂量率预测非治疗状态下机房外关注点的剂量率。

查GBZ/T201.3-2014的附录C表C.1，$^{60}$Co放射源γ射线在混凝土中的$TVL_1$为245mm、$TVL$为218mm，在铅中的$TVL_1$和$TVL$均为41mm。

**3、预测计算结果**

在进行本项目设备伽玛刀治疗模式下的辐射环境影响估算时，关注点位布设和防护墙厚度保守按照医用直线加速器治疗模式时选取（即不考虑西墙、屋顶主屏蔽区防护墙凸出部分的防护能力），将相应屏蔽厚度得出的辐射屏蔽透射因子$B$值代入，按照公式11-3得到相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率（μSv/h），计算结果见表11-10和表11-11，其中$X_e$、$R$的取值由CAD图纸上读取。

表11-10 伽玛刀治疗状态下参考点处的辐射剂量率核算值

| 参考点 | 参考距离 $R$（m） | 治疗状态下机房内辐射剂量率分布情况表中最大的辐射剂量率所处点位 | | 屏蔽厚度 $X$（mm）* | 等效厚度 $X_e$（mm） | 辐射屏蔽透射因子 $B$ | 剂量率估算值 $\dot{H}$（μSv/h） | 评价 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 辐射剂量率 $\dot{H}_{表}$（μGy/h） | 距源点距离 $R_{表}$（m） | | | | | |
| 西墙主屏蔽（$a$点） | | | | | | | | |
| 屋顶主屏蔽（$l$点） | | | | | | | | |
| 西墙次屏蔽（$c_1$点） | | | | | | | | |
| 西墙次屏蔽（$c_2$点） | | | | | | | | |
| 屋顶次屏蔽（$m_1$点） | | | | | | | | |
| 屋顶次屏蔽（$m_2$点） | | | | | | | | |
| 迷路墙外（$f$点） | | | | | | | | |
| 迷路外墙（$k$点） | | | | | | | | |

| | |
|---|---|
| 防护门（$g$ 点） | |

**注：**屋顶主屏蔽、次屏蔽关注点位于机房上方道路表面 30cm 处，保守未考虑覆土层对射线的屏蔽影响。

表 11-11 伽玛刀非治疗状态下参考点处的辐射剂量率核算值

| 参考点 | 参考距离 $R$（m） | 非治疗状态下距源 1m 处的空气比释动能率（μGy/h） | 屏蔽厚度 $X$（mm）* | 等效厚度 $X_e$（mm） | 辐射屏蔽透射因子 $B$ | 剂量率估算值 $\dot{H}$（μSv/h） | 评价 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 西墙主屏蔽（$a$ 点） | | | | | | | |
| 屋顶主屏蔽（$l$ 点） | | | | | | | |
| 西墙次屏蔽（$c_1$ 点） | | | | | | | |
| 西墙次屏蔽（$c_2$ 点） | | | | | | | |
| 屋顶次屏蔽（$m_1$ 点） | | | | | | | |
| 屋顶次屏蔽（$m_2$ 点） | | | | | | | |
| 迷路墙外（$f$ 点） | | | | | | | |
| 迷路外墙（$k$ 点） | | | | | | | |
| 防护门（$g$ 点） | | | | | | | |

**注：**屋顶主屏蔽、次屏蔽关注点位于机房上方道路表面 30cm 处，保守未考虑覆土层对射线的屏蔽影响。

由表 11-10 和表 11-11 可知，Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统使用伽玛刀聚焦治疗头治疗状态下和非治疗状态下，本项目 2#医用直线加速器机房屏蔽防护设计均能够满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）的要求。

**（三）门缝、通风系统及电缆沟辐射防护评价**

本项目 2#医用直线加速器机房防护门设计制作时，除要考虑足够的防护厚度外，拟考虑防护门与周围墙壁及地面的重叠搭接，以防止门缝处射线泄漏。本项目 2#医用直线加速器机房门与墙之间的间隙小于 1cm，防护门与墙之间的搭接不小于 10cm，

可有效防止门缝处射线泄漏。

根据《辐射防护导论》（方杰主编）P189 指出：“迷道的屏蔽计算是比较复杂的。一种简易的安全的估算方法，是使辐射在迷道中至少经过三次以上散射才能到达出口处。”

本项目 2#医用直线加速器机房进、排风管道穿墙处均采用“S”型设计，管道为方管，尺寸为 400mm×320mm，管道经防护门上方或迷道外墙由迷道到达机房内，管道系统均避开主射线方向，射线在到达通风管道口前、在通风管道内，至少经过三次散射才能到达管道出口处，通风管道出口处辐射剂量将在控制范围内。

电缆沟埋设在地下，电缆线布设采用地下“U”型穿墙管道，穿墙处埋地深度为 400mm，未破坏治疗室墙体的屏蔽效果，射线至少经过三次散射才能到达电缆沟出口，能够满足辐射防护要求。

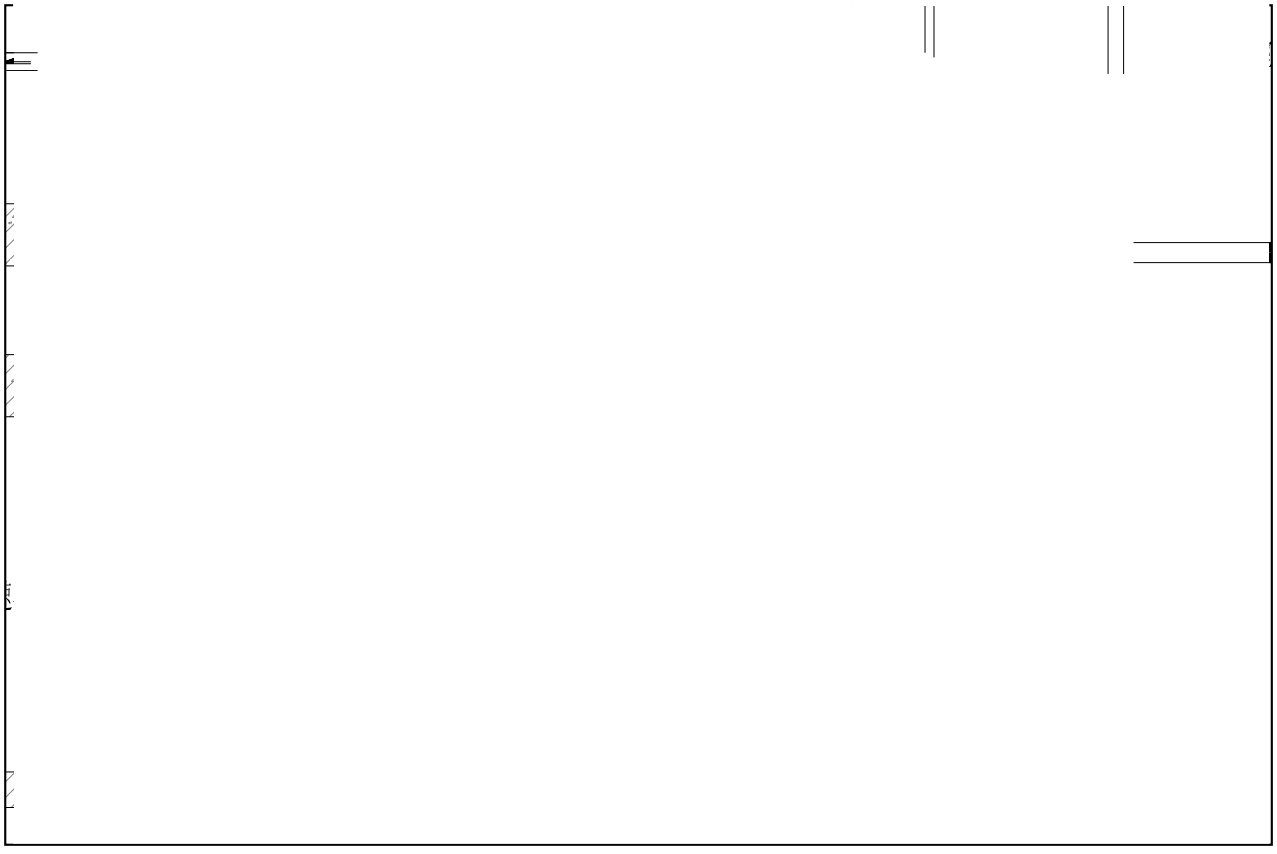

图 11-2 2#医用直线加速器机房通风管道、预留电缆管道示意图

根据表 11-9 至表 11-11 中机房外辐射剂量率估算结果可知，本项目 2#医用直线加速器机房顶部剂量率最大值为 0.432μSv/h，其天空散射和侧散射辐射对机房外的附近地面和楼层中公众的照射较小，能够满足防护要求。同时医院拟在 2#医用直线加速器机房防护门及其他适当位置设置电离辐射警告标志和中文警示，避免公众等无关人员

误入。

## 二、保护目标有效剂量评价

考察点人员的年有效剂量由《辐射防护导论》给出的公式进行估算：

$$D_{Eff} = H \cdot t \cdot T \cdot U \qquad \text{公式 11-9}$$

式中：$D_{Eff}$ —考察点人员有效剂量，Sv；

$H$—考察点的辐射剂量率，Sv/h；

$t$—考察点处年受照时间，h；

$T$—居留因子；

$U$—使用因子。

本项目 Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统使用医用直线加速器治疗头年出束运行时间约 300h（日接诊量最大 30 人次，年工作 200 天，每年工作 50 周，患者治疗照射时间平均按 3min 计，故年出束运行时间为 300h），考虑周围公众及辐射工作人员的居留因子，将表 11-9 中 2#医用直线加速器机房外各典型参考点处的辐射剂量率估算值代入公式 11-8，估算医用直线加速器治疗模式下公众及辐射工作人员的年有效剂量，计算结果列于表 11-12。

表 11-12 医用直线加速器治疗模式下机房周围人员年有效剂量

| 参考点 | | 参考点所在场所 | 居留因子 T* | 使用因子 U | 剂量率估算值（μSv/h） | 人员可达处年有效剂量（mSv/a） |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2#医用直线加速器机房 | | | | | | |

注：居留因子取值见 HJ 1198-2021 附录 A。

本项目 Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统使用伽玛刀聚集治疗头年出束运

行时间约200h（日接诊量最大6人次，年工作200天，每年工作50周，患者治疗照射时间平均按10min计，故年出束运行时间为200h），考虑周围公众及辐射工作人员的居留因子，将表11-10中2#医用直线加速器机房外各典型参考点处的辐射剂量率估算值代入公式11-8，估算伽玛刀治疗模式下公众及辐射工作人员的年有效剂量，计算结果列于表11-13。

表11-13 伽玛刀治疗模式下机房周围人员年有效剂量

| 参考点 | | 参考点所在场所 | 居留因子T* | 使用因子U | 剂量率估算值（μSv/h） | 人员可达处年有效剂量（mSv/a） |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2#医用直线加速器机房 | | | | | | |

注：居留因子取值见HJ 1198-2021附录A。

在进行Taichi Pro型多模式一体化放射治疗系统内放射源非治疗状态下对周围公众及辐射工作人员的年有效剂量估算时，居留时间保守取1600h（日工作8h，年工作200天），考虑周围公众及辐射工作人员的居留因子，将表11-11中2#医用直线加速器机房外各典型参考点处的辐射剂量率估算值代入公式11-8，估算伽玛刀非治疗模式下公众及辐射工作人员的年有效剂量，计算结果列于表11-14。

表 11-14 伽玛刀非治疗模式下机房周围人员年有效剂量

| 参考点 | 参考点所在场所 | 居留因子 T* | 使用因子 U | 剂量率估算值（μSv/h） | 人员可达处年有效剂量（mSv/a） |
|---|---|---|---|---|---|
| 2#医用直线加速器机房 | | | | | |

注：居留因子取值见 HJ 1198-2021 附录 A。

本项目投入运行后，Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统所致 2#医用直线加速器机房外公众及辐射工作人员的年有效剂量汇总结果见表 11-15。

表 11-15 2#医用直线加速器机房周围人员年有效剂量

| 参考点 | 参考点所在场所 | 年有效剂量（mSv/a） | | | 人员可达处年总有效剂量（mSv/a） | 保护对象（mSv/a） | 结论 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 医用直线加速器治疗模式 | 伽玛刀治疗模式 | 伽玛刀非治疗模式 | | | |
| 2#医用直线加速器机房 | | | | | | | |

在进行放射治疗前，辐射工作人员需进入机房对患者进行摆位，此时放射源处于贮存状态，根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第3部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014），本设备贮源状态下距源1m处的空气比释动能率不超过20μGy/h。辐射工作人员协助病人进行摆位及取消摆位时距离设备约1m，停留时间按1min计，本项目年门诊量最大7200人次（（30人/d+6人/d）×200天/年），则辐射工作人员摆位过程中年最大有效剂量为2.40mSv。

湖山路院区放疗科2座医用直线加速器机房相邻而建，共用一面屏蔽墙体，根据1#医用直线加速器机房的检测报告（编号：瑞森（综）字（2019）第0326号，见附件10），该机房内Vital Beam型医用直线加速器正常工作状态下（X射线能量10MV，剂量率为600cGy/min），其防护门处（居留因子取1/8）X-γ辐射剂量率最大为0.28μSv/h、东墙外30cm处（2#医用直线加速器机房内，居留因子取1/2）X-γ辐射剂量率最大为0.16μSv/h、距顶棚地面1m处（院内道路和绿化，居留因子取1/20）X-γ辐射剂量率最大为0.13μSv/h（结果未扣除宇宙射线响应值），Vital Beam型医用直线加速器年出束时间约1000h，考虑周围公众及辐射工作人员的居留因子（使用因子均保守取1），防护门处、距顶棚地面1m处公众年有效剂量分别为0.035mSv、0.007mSv，东墙外30cm处辐射工作人员年有效剂量为0.080mSv。

本项目投入运行后，2#医用直线加速器机房相关辐射工作由医院放疗科现有辐射工作人员承担，其在2022年10月至2023年9月的个人剂量检测结果见表11-16（南京瑞森辐射技术有限公司，编号：瑞森（剂）字（2023）第0346号、瑞森（剂）字（2023）第1603号、瑞森（剂）字（2023）第2604号、瑞森（剂）字（2023）第3651号，见附件11）。

表11-16 湖山路院区放疗科现有辐射工作人员近一年度个人剂量检测结果

| 编号 | 姓名 | 检测结果（mSv） | | | | 年有效剂量（mSv） |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2022年第四季度 | 2023年第一季度 | 2023年第二季度 | 2023年第三季度 | |
| | | | | | | |

由表 11-16 可知，放疗科现有辐射工作人员年有效剂量最大值为 0.08mSv，本项目投入运行后，根据表 11-15 理论计算结果，控制室内辐射工作人员年有效剂量＜0.001mSv，进入治疗室进行摆位时受到本项目 Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统内放射源的年有效剂量 2.40mSv 和 1#医用直线加速器机房 Vital Beam 型医用直线加速器运行时的年有效剂量 0.080mSv，Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统对进入 1#医用直线加速器机房的辐射工作人员的年有效剂量为 0.065mSv，保守按照以上辐射工作均由 1 名辐射工作人员承担，叠加后，该辐射工作人员年最大有效剂量为 2.63mSv；根据表 11-15 理论计算结果，本项目运行后，防护门处公众年有效剂量为 0.05mSv（0.012mSv+0.035mSv），机房上方院内道路和绿化处公众年有效剂量为 0.01mSv（0.002mSv+0.007mSv），均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对职业人员、公众的剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求（职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.1mSv）。

三、放射性“三废”影响分析

**放射性固体废物：**$^{60}$Co 放射源使用到一定期限后产生退役的放射源，医院已承诺将退役 $^{60}$Co 放射源交由放射源生产厂家回收处理（见附件 3）。

三、非放射性“三废”影响分析

（一）废气

2#医用直线加速器机房内的空气在 X 射线、γ射线作用下分解，产生臭氧和氮氧化物，通过动力排风装置排入大气，常温下可自行分解为氧气，对周围环境影响较小。

（二）废水

工作人员和部分患者产生的生活污水，由医院污水处理系统统一处理。

（三）固体废物

工作人员产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理。

## 事故影响分析

本项目拟配备 1 台 Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统，兼具医用直线加速器（X 射线能量为 6MV，为Ⅱ类射线装置）治疗、伽玛刀（内含 18 枚 $^{60}Co$ 放射源，总活度为 8.88E+14Bq，为医用Ⅰ类集聚源）治疗和 CBCT（最大管电压为 150kV，最大管电流为 64mA，为Ⅲ类射线装置）图像引导功能。医院在开展放射治疗和诊断过程中，如果安全管理或防护不当，可能对人员产生误照射。

一、主要事故风险

（一）操作人员违反操作规程或误操作，造成意外超剂量照射；

（二）设备工作过程中，未按工作流程进行清场，人员误留、误入机房内，导致发生误照射；

（三）2#医用直线加速器机房门-机/源联锁失效，导致防护门无法自动关闭，开机时防护门外工作人员或公众受到误照射。

（四）设备实施治疗期间因电气故障、机械故障，伽玛刀聚焦治疗头自动回源装置及手动回源应急措施均失效的情况下，源体不能回归安全位，工作人员须进入治疗机房迅速将患者转移出机房，会对患者及进入机房的辐射工作人员造成意外超剂量照射。

（五）$^{60}Co$ 放射源在倒装过程中，因操作不当，导致工作人员受到误照射。

（六）放射源泄漏。

（七）停机维修期间，因操作不当，导致工作人员受到误照射。

（八）设备年久或更换部件和维、检修后，未进行质量控制检测，设备性能指标发生变化，有可能在诊疗过程中使患者可能受到较大剂量的照射。

二、事故预防措施

（一）当发生误照射时，应立即按下急停开关，确保设备停止工作；

（二）辐射工作人员在每日开展放射治疗前，应对 2#医用直线加速器机房门-机/源联锁装置等安全防护设施进行检查，确保其运行正常；

（三）设备工作时，应定期使用辐射巡测仪进行巡检，发生异常情况应立即停止出束，并检查排除异常，做好记录；

（四）设备应有紧急回源装置，发生事故时放射源回收至装置内，对发生事故的设备或其他设备故障，请设备厂家或相关单位进行检测或维修，分析事故发生原因，不得擅自进行维修。

（五）$^{60}Co$ 放射源的倒装工作由设备生产厂家完成，倒源工作由有相应能力且通过辐射安全考核的专业人员进行，严格按照辐射防护要求进行操作，建设单位负责协助工作并承担安全主体责任，医院辐射工作人员不进入机房参与装源、换源工作。

（六）当设备使用时间较长或因外力使放射源包壳出现破损时，会发生放射源泄漏事件；设备更换部件和维、检修后，未进行质量控制检测，导致性能指标发生变化，发生误照射。在日常工作中，使用辐射巡测仪等仪器对机房周围辐射剂量进行监测并按保准要求定期开展质量控制检测的情况下，此类事件发生几率较低。

（七）医院应加强日常工作的监管，在维修停机期间严格按照规程操作，确保有专人看守，能有效降低辐射事故发生的几率。

（八）对工作人员造成额外照射时，应及时检测个人剂量计，剂量超标则人员应及时就医检查并调岗。

医院应定期对 2#医用直线加速器机房辐射安全措施进行检查、维护，发现问题及时维修；每次工作前均应检查相应辐射安全装置的有效性，定期对工作场所进行检测。医院还应在平时工作中加强工作人员的辐射防护知识的培训，尽可能避免辐射事故的发生。

医院应根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《江苏省辐射污染防治条例》等要求，发生辐射事故的，立即启动事故应急方案，采取必要防范措施，在事故发生后 1 小时内向所在地生态环境和公安部门报告，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》。造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告；对于可能受到大剂量照射的人员，迅速安排医学检查和救治，积极配合政府管理部门做好事故调查和善后工作。

# 表 12　辐射安全管理

## 辐射安全与环境保护管理机构的设置

南京市江宁医院拟在湖山路院区病房楼负二层放疗科预留 2#医用直线加速器机房内配备 1 台 Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统，兼具医用直线加速器（X 射线能量为 6MV，为Ⅱ类射线装置）治疗、伽玛刀（内含 18 枚 $^{60}Co$ 放射源，总活度为 8.88E+14Bq，为医用Ⅰ类集聚源）治疗和 CBCT（最大管电压为 150kV，最大管电流为 64mA，为Ⅲ类射线装置）图像引导功能。根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，医疗使用Ⅰ类放射源和使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置的单位，应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确管理人员职责。从事辐射工作的人员均可通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并考核。

南京市江宁医院已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，由院长做小组组长，组员覆盖各辐射科室，并以文件形式明确管理人员职责。医院应根据本次扩建 1 台多模式一体化放射治疗系统项目修订相关文件，明确医院相关辐射项目的管理人员及其职责，将该项目辐射安全管理纳入全院的辐射安全管理工作中。本项目辐射工作由湖山路院区放疗科现有 10 名辐射工作人员共同承担，辐射工作人员须通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规，参加“放射治疗”辐射安全与防护考核，辐射防护管理人员需参加“医学其他”辐射安全与防护考核，考核合格后方可上岗；同时如有辐射培训证书到期人员还应及时参加生态环境部的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台进行学习并通过考核。

## 辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的有关要求，使用放射源和射线装置的单位要“有健全操作规程、放射诊疗工作职责、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，并有完善的辐射事

故应急措施”。目前南京市江宁医院已针对医用直线加速器等射线装置制定了相关辐射安全与防护管理制度，如《操作规程》《射线装置使用登记、台账管理制度》《设备检修维护制度》《放射诊疗工作职责》《职业健康监护档案管理制度》《放射工作人员培训制度》《放射工作人员个人剂量管理制度》《医院辐射环境监测方案》《放射事故应急措施方案》等。医院现有管理制度内容较为全面，基本满足医院从事相关辐射活动辐射安全和防护管理的要求，拟根据扩建1台多模式一体化放射治疗系统项目的特点及以下内容制定并完善相关制度，并落实到实际工作中，严格执行，加强辐射安全管理。

**一、操作规程**

制定多模式一体化放射治疗系统操作规程，明确辐射工作人员的资质条件要求、操作过程中采取的具体防护措施及步骤。重点是：

（一）确保开展辐射工作时所有辐射屏蔽措施均已到位，严格按照规定操作流程操作，防止发生辐射事故；

（二）从事辐射工作时必须佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪；

（三）在工作场所严禁吸烟、进食；

（四）放射性“三废”的处理需严格按照操作规程执行。

**二、放射诊疗工作职责**

医院已制定《放射诊疗工作职责》，应针对本项目放射源进行完善，明确放射源、射线装置使用工作人员、台帐管理人员及辐射安全管理人员的岗位责任，并落实到个人，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任。

**三、辐射防护和安全保卫制度**

医院应根据放射源、射线装置操作的具体情况制定相应的《辐射防护和安全保卫制度》，重点是：

（一）定期检查相关的辐射安全装置及检测仪器，发现问题及时修理或更换，确保辐射安全联锁装置、个人剂量报警仪、环境辐射剂量监测仪保持良好工作状态；

（二）工作人员定期开展个人剂量检测和职业健康监护。

**四、设备维修制度**

医院已制定《设备检修维护制度》，应针对本项目放射源进行完善，明确放射源、射线装置和辐射监测设备维修计划、维修的记录和在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，并做好记录。确保射线检测装置、安全措施（联锁装置、警示

标志、工作状态指示灯、急停按钮）、剂量报警仪等仪器设备保持良好工作状态。

**五、放射源使用登记制度**

医院应针对本项目放射源，建立放射源台帐，重点是：规范放射源台帐使用登记记录，对购入的放射源进行登记和跟踪记录。

**六、人员培训计划和健康管理制度**

医院已制定《放射工作人员培训制度》，明确培训对象、内容、周期、方式以及考核的办法等内容，并强调对培训档案的管理，做到有据可查。相关辐射工作人员应及时学习最新的国家政策法规及标准，熟练掌握放射性防护知识、最新的操作技术。根据18号令及《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》，辐射工作人员均可通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并通过考核。医院应组织新进辐射工作人员定期参加职业健康体检（不少于1次/2年），并为其建立辐射工作人员职业健康监护档案。

**七、监测方案**

明确监测频次和监测项目。监测结果定期上报生态环境行政主管部门。为了确保医用Ⅰ类集聚源及Ⅱ类、Ⅲ类射线装置的辐射安全，该单位应制定监测方案，重点是：

（一）明确监测项目和频次；

（二）辐射工作人员个人剂量监测数据应建立个人剂量档案，依据《江苏省辐射污染防治条例》（2018年修正），在日常检测中发现个人剂量异常的，应当对有关人员采取保护措施，并在接到监测报告之日起五日内报告发证的生态环境、卫生和健康部门调查处理；

（三）医院应当按照有关标准、规范的要求定期对工作场所及周围环境进行监测或者委托有资质的机构进行监测，发现异常情况的，应当立即采取措施，并在1小时内向县（市、区）或者设区的市生态环境行政主管部门报告；

（四）委托有资质监测单位对本单位的放射性同位素和射线装置的安全和防护状况进行年度检测，每年1月31日前将年度评估报告上传至全国核技术利用辐射安全申报系统，年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

**辐射监测**

根据辐射管理要求，南京市江宁医院已配备有辐射巡测仪 1 台，拟为本项目新配备固定式剂量监测报警装置 1 套和个人剂量报警仪 2 台，用于辐射防护监测和报警，同时结合本项目实际情况，拟制定并完善如下监测计划：

一、委托有资质的单位定期对项目周围环境 X-γ辐射剂量率进行监测，周期：1～2 次/年；

二、辐射工作人员配备个人剂量计监测累积剂量，定期（不少于 1 次/季）送有资质机构进行个人剂量监测，建立个人剂量档案；

三、定期使用辐射监测仪器对项目周围辐射环境进行自检，并保留自检记录；

四、所有辐射工作人员上岗前进行职业健康体检，以排除职业禁忌症。开展辐射工作后，定期开展职业健康体检（不少于 1 次/2 年），并建立个人职业健康档案；

五、出现外照射事故，立即采取应急措施，并在 1 小时之内向县（市、区）或者设区的市生态环境行政主管部门报告。

医院辐射工作场所监测计划一览表见表 12-1。

表 12-1 工作场所监测计划一览表

| 监测对象 | 监测项目 | 监测点位 | 监测周期 | 监测方式 |
|---|---|---|---|---|
| 2#医用直线加速器机房 | X-γ辐射剂量率 | 机房四周及顶部墙体外、防护门缝隙和中央、操作位、通风口外、电缆口外 | 不少于 1 次/季 | 自主监测 |
| | | | 1～2 次/年 | 委托有资质单位监测 |

南京市江宁医院已根据上述监测计划，明确监测项目，定期（不少于 1 次/季）使用辐射监测仪器对项目周围辐射环境进行自检，并保留自检记录，每年委托有资质的单位定期对项目周围环境 X-γ辐射剂量率进行监测，监测结果上报生态环境行政主管部门。

南京市江宁医院已为现有辐射工作人员配备个人剂量计，组织辐射工作人员进行个人剂量监测（1 次/季）和职业健康体检（1 次/2 年），辐射安全与环境保护管理机构负责全医院辐射工作人员个人剂量的收发和管理以及职业健康监护、个人剂量监测档案的存放保管。

南京市江宁医院每年编写放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告，包括射线装置台账、辐射安全和防护设施的运行与维护、辐射安全和防护制度及措施的建立和落实、事故和应急以及档案管理等方面的内容，每年 1 月 31 日前将年

度评估报告上传至全国核技术利用辐射安全申报系统。

根据医院《2023 年度安全和防护状况年度评估报告》显示，2023 年度医院未发生辐射事故，医院辐射安全和防护设施运行良好，定期开展了维护工作，定期检查防护情况，发现的隐患及时处理；医院已制定和完善了相应辐射安全和防护制度及措施，各项制度和措施得到了落实。

2023 年度医院已委托南京瑞森辐射技术有限公司开展了辐射工作场所的辐射安全与防护年度监测，监测结果均符合国家相关标准要求；已委托南京瑞森辐射技术有限公司完成了辐射工作人员的个人剂量监测，所有辐射工作人员监测结果均符合国家相关标准要求。

## 辐射事故应急

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等相关规定，辐射事故应急方案应明确以下几个方面：

一、应急机构和职责分工；

二、应急的具体人员和联系电话；

三、应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；

四、辐射事故发生的可能、分级及应急响应措施；

五、辐射事故调查、报告和处理程序。

假若本项目发生了辐射事故，医院应迅速、有效地采取以下应急措施：

一、一旦发现有其他无关人员误入机房内，辐射工作人员应立即利用最近的紧急停机开关切断设备电源。误入人员应在最短的时间内撤离机房，尽量缩短受照时间。同时，事故第一发现者应及时向医院的辐射事故应急处理领导小组及上级领导报告。辐射事故应急处理领导小组在接到事故报告后，应以最快的速度组织应急救援工作，迅速封闭事故现场，禁止无关人员进入该区域，严禁任何人擅自移动和取走现场物件（紧急救援需要除外）。

二、对可能受到超剂量照射的人员，尽快安排其接受检查和救治，并在第一时间将事故情况通报当地生态环境部门、卫生健康行政部门等主管部门。

三、本项目 Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统使用的 $^{60}Co$ 放射源为医用Ⅰ类集聚源，一旦发生放射源泄漏或卡源等事故，根据《放射性同位素与射线装置安全

和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中的有关要求，人员应在最短的时间内撤离机房并对现场进行封闭，按规定启动辐射事故应急方案，并及时报告所在地生态环境、公安及卫生健康部门。

四、迅速查明和分析发生事故的原因，制订事故处理方案，组织专业技术人员，尽快排除故障。

五、事故的善后处理，总结事故原因，吸取教训，采取补救措施。

对于在医院定期监测或委托监测时发现异常情况时，应根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《江苏省辐射污染防治条例》等要求，在1小时之内向所在地生态环境和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的还应当同时向卫生健康部门报告。在发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，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》，向当地生态环境部门和公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，同时向当地卫生健康行政部门报告。

南京市江宁医院已经制定了《放射事故应急措施方案》，该预案已包括成立辐射事故应急处理领导小组、应急预案领导小组的职责、放射性事故应急处理的责任划分、放射性事故应急处理程序和放射性事故的调查等内容。由辐射事故应急处理领导小组组织辐射工作人员，定期（1次/年）开展应急培训演练，在物资、通讯、技术、人员、经费等准备方面均加以落实。医院开展核技术利用项目至今，未发生辐射事故。

# 表 13　结论与建议

## 结论

### 一、项目概况

南京市江宁医院湖山路院区位于南京市江宁区湖山路 169 号，医院东侧为兴业路，南侧为倪塘路，西侧为湖山南路，北侧为康静街。为了更好地为患者服务，提高医院的医疗质量，根据规划，拟在湖山路院区病房楼负二层放疗科预留 2#医用直线加速器机房内配备 1 台 Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统，兼具医用直线加速器（X 射线能量为 6MV）治疗、伽玛刀（内含 18 枚 $^{60}Co$ 放射源，总活度为 8.88E+14Bq）治疗和 CBCT（最大管电压为 150kV，最大管电流为 64mA）图像引导功能，用于肿瘤的放射治疗。

### 二、项目建设的必要性

本项目的建设，可为医院提供多种诊断、治疗手段，有着重要临床应用价值，可为患者提供放射诊断及治疗服务，并可提高当地医疗卫生水平。

### 三、实践正当性

本项目的运行，具有良好的社会效益和经济效益，经辐射防护屏蔽和安全管理后，本项目的建设和运行对受照个人或社会所带来的利益能够弥补其可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）“实践的正当性”的原则。

### 四、项目产业政策符合性分析

本项目不属于《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（2023 年修改）中“限制类”、“淘汰类”项目，项目符合国家产业政策。

### 五、选址合理性

南京市江宁医院湖山路院区位于南京市江宁区湖山路 169 号，医院东侧为兴业路，南侧为倪塘路，西侧为湖山南路，北侧为康静街。

本次扩建 1 台多模式一体化放射治疗系统项目周围 50m 评价范围均为院内建筑和道路，评价范围内无居民区、学校等环境敏感点，项目运行后的环境保护目标主要为医院辐射工作人员、院区内的其他医护人员、病患及陪同家属等其他公众等。

本项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然

遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。本项目所在地块位于南京市中心城区（江宁区）重点管控单元（编码：ZH32011523880）内，不在南京市生态保护红线内，评价范围内均不涉及优先保护单元和一般管控单元。本项目为核技术利用项目，满足重点管控单元的管控要求。本项目的建设符合江苏省“三线一单”生态环境分区管控要求。

本项目位于湖山路院区病房楼负二层放疗科预留2#医用直线加速器机房，周围无儿科病房、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。2#医用直线加速器机房控制室与治疗室分离，区域划分明确；有用线束不直接朝控制室和其他居留因子较大的用室照射；设置“L”型迷道，迷道口设有铅防护门。本项目选址与布局符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）的要求。

六、辐射环境现状评价

南京市江宁医院本次扩建1台多模式一体化放射治疗系统项目拟建址周围环境辐射剂量率在57.2nGy/h～62.3nGy/h之间，位于江苏省环境天然γ辐射水平涨落区间。

七、环境影响评价

本项目机房建设属于整个院区基础建设的部分工程，土建部分已纳入主体项目同时建设。

根据理论估算结果，南京市江宁医院扩建1台多模式一体化放射治疗系统项目在做好个人防护措施和安全措施的情况下，项目对辐射工作人员及周围的公众产生的年有效剂量均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员和公众受照剂量限值要求以及本项目的目标管理值要求（职业人员年有效剂量不超过5mSv，公众年有效剂量不超过0.1mSv）。

八、“三废”的处理处置

$^{60}$Co放射源使用到一定期限后产生退役的放射源，医院已承诺将退役$^{60}$Co放射源交由放射源生产厂家回收处理。

2#医用直线加速器机房内的空气在X射线、γ射线作用下分解，产生臭氧和氮氧化物，2#医用直线加速器机房拟设计有机械通风装置，进风口拟设在治疗室东南角、迷道入口顶部吊顶处，排风口拟设在治疗室西南角、西北角，下沿距治疗室地面0.2m高，进风口与排风口位置拟对角设置，每小时通风换气次数约为7.38次/h。机房内产

生少量的臭氧、氮氧化物通过通风系统排至室外，臭氧在常温下约50分钟可自行分解为氧气，对周围环境影响较小；工作人员和部分患者产生的生活污水，由医院污水处理系统统一处理；工作人员产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小。

**九、主要污染源及拟采取的主要辐射安全防护措施**

南京市江宁医院拟配备的1台Taichi Pro型多模式一体化放射治疗系统，兼具医用直线加速器（X射线能量为6MV）治疗、伽玛刀（内含18枚$^{60}$Co放射源，总活度为8.88E+14Bq）治疗和CBCT（最大管电压为150kV，最大管电流为64mA）图像引导功能，设备开机期间，产生的X射线、γ射线为主要辐射环境污染因素。本项目2#医用直线加速器机房入口处拟设置“当心电离辐射”警告标志、工作状态指示灯和门机联锁装置，机房内外均设置有急停按钮及监控装置，控制室通过监视器与对讲机与治疗室联络，2#医用直线加速器机房拟设置从室内开启治疗机房门的装置，防护门拟设有防挤压功能，2#医用直线加速器机房治疗室迷道的内入口处拟设置固定式辐射剂量监测仪并拟有报警功能，其显示单元拟设置在控制室内，出源照射状态下若开门放射源自动回到设备的安全位置。医院$^{60}$Co放射源由生产厂家负责放射源运输、换装。符合《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）及放射源的安全管理要求。

**十、辐射安全管理评价**

南京市江宁医院已设立辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以医院内部文件形式明确其管理职责。医院拟制定辐射安全管理制度，建议根据本报告的要求，对照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，建立符合本院实际情况的、完善可行的辐射安全管理制度，并在日常工作中落实。

南京市江宁医院已为本项目辐射工作人员配置个人剂量计，定期送有资质部门监测个人剂量，建立个人剂量档案；定期进行健康体检，建立个人职业健康监护档案。南京市江宁医院已配备有辐射巡测仪1台，拟为本项目新配备固定式剂量监测报警装置1套和个人剂量报警仪2台，用于辐射防护监测和报警。

**综上所述，南京市江宁医院扩建1台多模式一体化放射治疗系统项目在落实本报告提出的各项污染防治措施和管理措施后，该医院将具有与其所从事的辐射活动相适应的**

技术能力和相应的辐射安全防护措施，其运行对周围环境产生的影响能够符合辐射环境保护的要求，从环境保护角度论证，本项目的建设和运行是可行的。

## 建议和承诺

一、该项目运行中，应严格遵循操作规程，加强对操作人员的培训，杜绝麻痹大意思想，以避免意外事故造成对公众和职业人员的附加影响，使对环境的影响降低到最低。

二、各项安全措施及辐射防护设施必须正常运行，严格按国家有关规定要求进行操作，确保其安全可靠。

三、定期进行辐射工作场所的检查及监测，及时排除事故隐患。

四、医院取得本项目环评批复后，应及时重新申领辐射安全许可证，按照法规要求开展竣工环境保护验收工作，环境保护设施的验收期限一般不超过 3 个月，最长不超过 12 个月。

**表 14　审批**

| |
|---|
| 下一级环保部门预审意见：<br><br><br><br><br>公 章<br>经办人　　年　月　日 |
| 审批意见<br><br><br><br><br>公 章<br>经办人　　年　月　日 |