核技术利用建设项目

江阴市人民医院
新增 1 台医用直线加速器项目
环境影响报告表

（公示版）

江阴市人民医院

2022 年 12 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="7">江阴市人民医院新增 1 台医用直线加速器项目</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="7">江阴市人民医院</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td></td><td colspan="2">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="7"></td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="7"></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

江阴市人民医院始建于 1897 年，现已发展成为一所集医疗、教学、科研、预防保健、康复为一体的三级甲等综合医院。江阴市人民医院设城中院区和敔山湾院区两个院区，城中院区位于江阴市寿山路 163 号，敔山湾院区位于江阴市迎瑞路 3 号。

江阴市人民医院于江阴市寿山路 163 号的城中院区放疗中心（为地下单体建筑）1 号直线加速器机房内配备有 1 台 SYNERGY 型医用直线加速器（X 射线能量：6MV、

15MV，1m 处 X 辐射剂量率最大为 600cGy/min），该项目已取得原江苏省环境保护厅的批复文件（编号：苏环辐（表）复[2009]132 号），并通过竣工环保验收（编号：苏环核验[2012]020 号）。

为了更好地为患者服务，提高医院的医疗质量，根据规划，拟在位于江阴市寿山路 163 号的城中院区放疗中心 1 号直线加速器机房东侧预留 2 号直线加速器机房内配备 1 台医科达 Infinity 型医用直线加速器（X 射线能量：6、10MV，电子线：6、8、10、12、15MeV），用于肿瘤的放射治疗。

为保护环境和公众利益，防止辐射污染，根据《中华人民共和国环境影响评价法》《中华人民共和国放射性污染防治法》《建设项目环境保护管理条例》《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》等法律法规的规定，江阴市人民医院新增 1 台医用直线加速器项目需进行环境影响评价。受江阴市人民医院的委托，南京瑞森辐射技术有限公司承担了该单位新增 1 台医用直线加速器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），本项目为新增 1 台医用直线加速器项目，属于“172 核技术利用建设项目”中的“使用Ⅱ类射线装置的”项目，确定为编制环境影响报告表。我公司通过资料调研、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。该医院新增 1 台医用直线加速器项目情况见表 1-1：

表 1-1 新增 1 台医用直线加速器项目情况一览表

射线装置

序号	射线装置名称型号	数量	管电压（kV）	管电流（mA）	射线装置类别	工作场所名称	活动种类	环评情况	备注
1	医用直线加速器（医科达 Infinity 型）	1	X 射线能量：6、10MV 电子线能量：6、8、10、12、15MeV		Ⅱ类	城中院区放疗中心 2 号直线加速器机房	使用	本次环评	/

二、项目选址情况

江阴市人民医院城中院区位于无锡市江阴市寿山路 163 号，医院东侧为三元坊巷居民区，南侧为寿山路，西侧为特惠来生活街区，北侧为环城北路。医院拟在城中院区放疗中心预留 2 号直线加速器机房内配备 1 台医科达 Infinity 型医用直线加速器，放疗中心为地下一层单体建筑，位于院区 1 号楼、3 号楼中间景观绿化下方。本项目

地理位置示意见附图1，江阴市人民医院城中院区周围环境示意图及总平面图见附图2。

本项目2号直线加速器机房位于放疗中心东南角，2号直线加速器机房东侧、南侧、下方均为土层，西侧为1号直线加速器机房，北侧为控制室、辅助机房和水冷机房，上方为景观绿化。放疗中心2号直线加速器机房平面布置及周围环境示意图见附图3。

本项目2号直线加速器机房周围50m评价范围内，东侧为三元坊巷居民区（最近约8m处）、南侧为院内1号楼（最近约3m处）、西侧为院内影像楼（最近约15m处）、北侧为院内3号楼（最近29m处）。项目运行后的环境保护目标主要为医院辐射工作人员、医院内的其他医护人员、病患及陪同家属和院外三元坊巷居民区处其他公众等。

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。对照《江苏省国家级生态保护红线规划》（苏政发〔2018〕74号）、《江苏省生态空间管控区域规划》（苏政发〔2020〕1号），本项目拟建址评价范围内不涉及江苏省国家级生态保护红线、江苏省生态空间管控区域；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；本项目对资源消耗极少，不涉及违背生态环境准入清单的问题；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。本项目与江苏省生态空间保护区域位置关系图见附图5。

三、原有核技术利用项目许可情况

江阴市人民医院现持有辐射安全许可证（苏环辐证[00121]），许可种类和范围为“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”，有效期至：2027年5月17日。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。

医院已开展的核技术利用项目均已履行环保手续，无环保遗留问题。

四、实践正当性分析

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，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）/ 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
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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	医用直线加速器	Ⅱ类	1 台	医科达 Infinity 型	电子	X 射线能量：6、10MV 电子线能量：6、8、10、12、15MeV	X 线最高剂量率：10MV 时 600cGy/min 6MV 时 1400cGy/min（3F 束流模式） 电子线最高剂量率：600cGy/min	放射治疗	城中院区放疗中心 2 号直线加速器机房	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

（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
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

（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
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，对环境影响较小。
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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》（修订版），中华人民共和国主席令第9号，2015年1月1日起实施； （2）《中华人民共和国环境影响评价法》（2018年修正版），中华人民共和国主席令 第二十四号，2018年12月29日发布施行； （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； （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； （5）《建设项目环境保护管理条例》（修订版），国务院令 第682号，2017年10月1日发布施行； （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； （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； （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； （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； （10）《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； （11）《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； （12）《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； （13）《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；

	（14）《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部部令 第9号，2019年11月1日起施行； （15）《省政府关于印发江苏省国家级生态保护红线规划的通知》，苏政发〔2018〕74号，2018年6月9日发布； （16）《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； （17）《省政府关于印发江苏省生态空间管控区域规划的通知》，苏政发〔2020〕1号，2020年1月8日发布； （18）《江苏省政府关于印发江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》，苏政发〔2020〕49号，2020年6月21日发布； （19）《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； （20）《省政府办公厅关于印发江苏省生态空间管控区域监督管理办法的通知》，苏政办发〔2021〕20号，2021年5月1日起实施。
技术标准	（1）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）； （2）《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）； （3）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）； （4）《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）； （5）《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）； （6）《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）； （7）《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB 8999-2021）； （8）《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）； （9）《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）； （10）《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）； （11）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）。

其他	**附图：** （1）江阴市人民医院新增 1 台医用直线加速器项目地理位置示意图； （2）江阴市人民医院城中院区总平面及周围环境示意图； （3）江阴市人民医院城中院区放疗中心 2 号直线加速器机房平面布置及分区示意图； （4）江阴市人民医院城中院区放疗中心 2 号直线加速器机房通风管道布设示意图； （5）本项目与江苏省生态空间保护区域位置关系示意图。 **附件：** （1）项目委托书； （2）射线装置使用承诺书； （3）2 号直线加速器机房防护设计情况； （4）辐射安全许可证正副本； （5）原有核技术利用项目基本情况一览表； （6）本项目辐射工作人员近一年度个人剂量监测报告； （7）本项目辐射环境现状监测报告； （8）1 号直线加速器机房防护检测报告。

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项目 2 号直线加速器机房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

本项目 2 号直线加速器机房周围 50m 评价范围内，东侧为三元坊巷居民区（最近约 8m 处）、南侧为院内 1 号楼（最近约 3m 处）、西侧为院内影像楼（最近约 15m 处）、北侧为院内 3 号楼（最近 29m 处）。项目运行后的环境保护目标主要为医院辐射工作人员、医院内的其他医护人员、病患及陪同家属和院外三元坊巷居民区处其他公众等。详见表 7-1。

表 7-1 本项目保护目标一览表

序号	环境保护目标	方位	距本项目最近距离	保护对象类别	人口规模
1	辐射工作人员	控制室	紧临	辐射工作人员	7 人
2	院外三元坊巷居民区	东侧	约 8m	公众	3~4 层居民楼，约 60 户，约 200 人
3	1 号楼其他医务人员	南侧	约 3m	公众	约 250 人
	1 号楼其他病患、周围公众				流动人员，若干
4	影像楼其他医务人员	西侧	约 15m	公众	约 80 人
	影像楼其他病患、周围公众				流动人员，若干
5	3 号楼其他医务人员	北侧	约 29m	公众	约 600 人
	3 号楼其他病患、周围公众				约 400 张床位，为流动人员
6	院内景观绿化、道路公众	上方、四周	紧临	公众	流动人员，若干

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。对照《江苏省国家级生

态保护红线规划》（苏政发〔2018〕74号）、《江苏省生态空间管控区域规划》（苏政发〔2020〕1号），本项目拟建址评价范围内不涉及江苏省国家级生态保护红线、江苏省生态空间管控区域。根据《江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案》（苏政发〔2020〕49号），本项目拟建址评价范围内不涉及江苏省内优先保护单元；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；本项目对资源消耗极少，不涉及违背生态环境准入清单的问题；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。本项目与江苏省生态空间保护区域位置关系图见附图5。

评价标准

1、《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： ①由审管部门决定的连续5年的年平均有效剂量，20mSv ②任何一年中的有效剂量，50mSv ③眼晶体的年当量剂量，150mSv 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： 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。

2、《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。

6.4 安全装置和警示标志要求

6.4.1 监测报警装置

含放射源的放射治疗机房内应安装固定式剂量监测报警装置，应确保其报警功能正常。

6.4.2 联锁装置

放射治疗设备都应安装门机联锁装置或设施，治疗机房应有从室内开启治疗机房门的装置，防护门应有防挤压功能。

6.4.3 标志

医疗机构应当对下列放射治疗设备和场所设置醒目的警告标志：

a）放射治疗工作场所的入口处，设有电离辐射警告标志；

b）放射治疗工作场所应在控制区进出口及其他适当位置，设有电离辐射警告标志和工作状态指示灯。

6.4.4 急停开关

6.4.4.1 放射治疗设备控制台上应设置急停开关，除移动加速器机房外，放射治疗机房内设置的急停开关应能使机房内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。通常应在机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧和控制台等处设置。

6.4.6 视频监控、对讲交流系统：控制室应设有在实施治疗过程中观察患者状态、治疗床和迷路区域情况的视频装置；还应设置对讲交流系统，以便操作者和患者之间进行双向交流。

3、《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，不得设置在居民、写字楼和商住两用的建筑物内。

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

5.2 分区原则

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

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

6 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收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。

4、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）及《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）等评价标准要求，本项目管理目标值为：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。

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号直线加速器机房周开机治疗时间，估算得到2号直线加速器机房外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 城中院区放疗中心2号直线加速器机房外30cm处的周围剂量当量率参考控制水平

参考点*			居留因子T	使用因子U	周剂量控制值（μSv/周）	周工作时间（h）	剂量率参考控制水平（μSv/h）		
							$H_{c,d}$	$H_{c,max}$	**H_c**
2号直线加速器机房	北墙主屏蔽（*a* 点）	辅助机房	1/5	1/4	5	12.5	8	10	**8**
	南墙主屏蔽（*b* 点）	土层	/	1/4	5		/	/	**/**
	屋顶主屏蔽（*l* 点）	院内景观绿化	1/16	1/4	5		25.6	10	**10**

	北墙次屏蔽（c_1点）	水冷机房	1/16	1	5		6.4	10	**6.4**
	北墙次屏蔽（c_2点）	控制室	1	1	100		8	2.5	**2.5**
	南墙次屏蔽（d_1、d_2点）	土层	/	1	5		/	/	**/**
	屋顶次屏蔽（m_1、m_2点）	院内景观绿化	1/16	1	5		6.4	10	**6.4**
	东墙（e点）	土层	/	1	5		/	/	**/**
	西侧迷路外墙（f点）	1号直线加速器机房	1/2	1	100		16	10	**10**
	西侧迷路外墙（k点）	1号直线加速器机房	1/2	1	100		16	10	**10**
	迷路入口防护门（g点）		1/8	1	5		3.2	10	**3.2**

注：*2号直线加速器机房参考点点位布设详见图11-1。

5、参考资料：

（1）《辐射防护导论》，方杰主编。

（2）ICRP103号出版物，2007年，国际放射防护委员会。

（3）《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。

江苏省原野、道路、建筑物室内γ辐射（空气吸收）剂量率剂量率（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。

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

江阴市人民医院城中院区位于无锡市江阴市寿山路 163 号，医院东侧为三元坊巷居民区，南侧为寿山路，西侧为特惠来生活街区，北侧为环城北路。

医院拟在城中院区放疗中心预留 2 号直线加速器机房内配备 1 台医科达 Infinity 型医用直线加速器，放疗中心为地下一层单体建筑，位于院区 1 号楼、3 号楼中间景观绿化下方。2 号直线加速器机房位于放疗中心东南角，2 号直线加速器机房东侧、南侧、下方均为土层，西侧为 1 号直线加速器机房，北侧为控制室、辅助机房和水冷机房，上方为景观绿化。

本项目 2 号直线加速器机房周围 50m 评价范围内，东侧为三元坊巷居民区（最近约 8m 处）、南侧为院内 1 号楼（最近约 3m 处）、西侧为院内影像楼（最近约 15m 处）、北侧为院内 3 号楼（最近 29m 处）。项目运行后的环境保护目标主要为医院辐射工作人员、医院内的其他医护人员、病患及陪同家属和院外三元坊巷居民区处其他公众等。本项目 2 号直线加速器机房拟建址周边环境现状见图 8-1~图 8-8。



图 8-1 2 号直线加速器机房内部



图 8-2 2 号直线加速器机房西侧



图 8-3 2 号直线加速器机房北侧



图 8-4 2 号直线加速器机房上方



图 8-5 放疗中心东侧三元坊巷居民区



图 8-6 放疗中心南侧 1 号楼



图 8-7 放疗中心西侧影像楼



图 8-8 放疗中心北侧 3 号楼

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，于城中院区放疗中心 2 号直线加速器机房周围进行布点，测量γ辐射剂量率。监测结果见表 8-1，监测点

位示意图见图 8-9。

监测单位：南京瑞森辐射技术有限公司

监测项目：X-γ辐射剂量率

检测仪器：6150AD6/H+6150AD-b/H 型 X-γ辐射监测仪（设备编号：NJRS-126，检定有效期：2021 年 11 月 11 日～2022 年 11 月 10 日，检定单位：江苏省计量科学研究院，检定证书编号：Y2021-0106289）

能量范围：20keV～7MeV

测量范围：1nSv/h～99.9μSv/h

监测日期：2022 年 8 月 18 日

天气：多云

温度：35℃

湿度：60%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 7），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校准或检验，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 20s，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。根据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021），本项目空气比释动能和周围剂量当量的换算系数参照 JJG 393-2018，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：参照江苏省天然贯穿辐射剂量水平调查结果，评价项目周围的辐射环境质量。

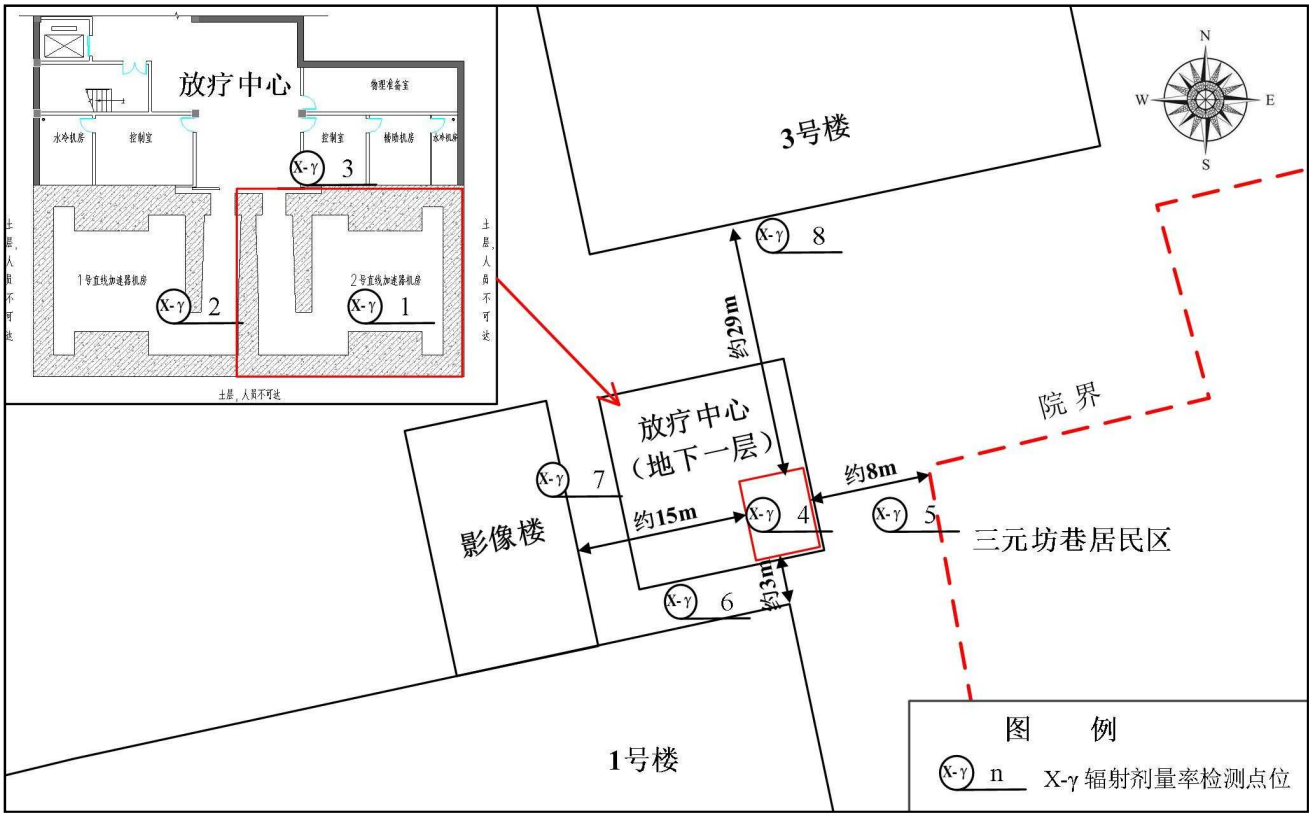

图 8-9 2 号直线加速器机房拟建址周围环境 X-γ辐射监测点位示意图

表 8-1 2 号直线加速器机房周围 X-γ辐射剂量率

测点编号	测点描述	测量结果（nGy/h）	设备状态
1	2 号直线加速器机房内	78	1 号直线加速器机房内设备未出束
		81	1 号直线加速器机房内设备出束
2	2 号直线加速器机房西侧	79	1 号直线加速器机房内设备未出束
3	2 号直线加速器机房北侧	79	1 号直线加速器机房内设备未出束
4	2 号直线加速器机房上方	82	1 号直线加速器机房内设备未出束
5	院区东侧三元坊巷居民区西侧	82	1 号直线加速器机房内设备未出束
6	放疗中心南侧 1 号楼北侧	75	1 号直线加速器机房内设备未出束
7	放疗中心西侧影像楼东侧	79	1 号直线加速器机房内设备未出束
8	放疗中心北侧 3 号楼南侧	77	1 号直线加速器机房内设备未出束

注：1、上表数据已扣除检测仪器宇宙射线响应值；

2、1 号点位检测时，1 号直线加速器机房内设备开机工况为：X 射线能量：6MV，输出剂量率：600cGy/min，射线朝下；

3、2 号直线加速器机房东侧、南侧、下方均为土层，人员不可达。

由表 8-1 监测结果可知，江阴市人民医院新增 1 台医用直线加速器项目周围环境 X-γ辐射剂量率在 75nGy/h～82nGy/h 之间，位于江苏省环境天然γ辐射水平涨落区间，属江苏省环境天然贯穿辐射本底水平。

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

江阴市人民医院拟在城中院区放疗中心预留 2 号直线加速器机房内配备 1 台医科达 Infinity 型医用直线加速器（X 射线能量：6、10MV，电子线：6、8、10、12、15MeV），用于肿瘤的放射治疗。

医科达 Infinity 型医用直线加速器机房外观图见图 9-1。



图 9-1 医科达 Infinity 型医用直线加速器外观图

医用直线加速器至少要包括：1 个加速场所（加速管）、1 个大功率微波源和波导系统、控制系统、射线均整和防护系统。医用直线加速器按照微波传输的特点分为行波和驻波两类，其基本结构和系统包括电子枪、微波功率源（磁控管或者速调管）、波导管（隔离器、RF（射频微波源）监测器、移相器、RF 吸收负载、RF 窗等）、DC 直流电源（射频发生器、脉冲调制器、电子枪发射延时电路等）、真空系统（真空泵）、伺服系统（聚焦线圈、对中线圈）、偏转系统（偏转室、偏转磁铁）、剂量监测系统、均整系统、射野形成系统等，分别安装于治疗头、固定机架、旋转机架、治疗床、控制台等

处。医用直线加速器系统结构示意图见图 9-2。

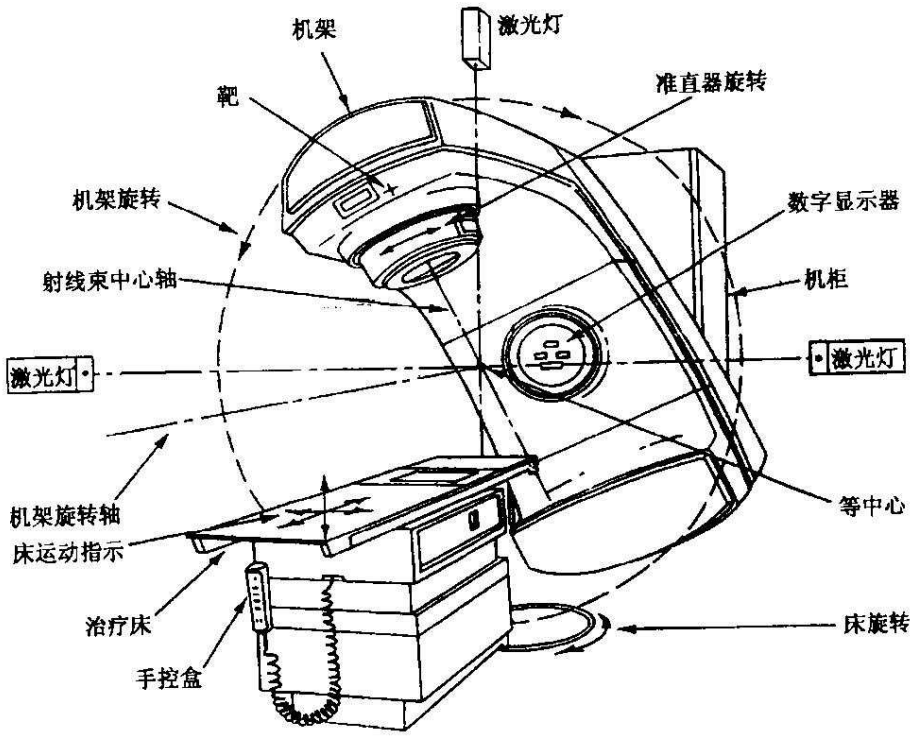

图 9-2 医用直线加速器基本结构示意图

医院拟引进 1 台医科达 Infinity 型医用直线加速器，该加速器提供两种治疗模式，即 X 射线模式和电子束模式，本项目拟配备 1 台医用直线加速器主要技术参数见表 9-1。

表 9-1 本项目医用直线加速器技术参数情况一览表

项目名称	技术参数*
型号	医科达 Infinity 型
位置	放疗中心 2 号直线加速器机房
主要技术指标	X 射线能量：6、10MV，电子线：6、8、10、12、15MeV
射线最大出射角	28°（等中心点每侧 14°）
源轴距 SAD	1m
等中心点至机房地坪的高度	1.25m
距靶 1m 处 X 辐射剂量率	10MV 时 600cGy/min 6MV 时 1400cGy/min（3F 束流模式）
最大照射野大小	40cm×40cm
机架旋转	360°
靶材料	钨合金

用途	放射治疗

注：*根据医院医疗需求及医科达厂家确定医用直线加速器参数。

二、工作原理及工作流程

1、工作原理

放疗是癌症三大治疗手段之一。是用各种不同能量的射线照射肿瘤，以抑制和杀灭癌细胞的一种治疗方法。放疗可单独使用，也可与手术、化疗等配合，作为综合治疗的一部分，以提高癌症的治愈率。放疗的基本目的是努力提高放疗的治疗增益比，即最大限度地将放射线的剂量集中到病变（靶区）内，而使周围的正常组织和器官少受或免受不必要的照射。

医用直线加速器是实现放疗的最常见设备之一，医用直线加速器是利用具有一定能量的高能电子与大功率微波的微波电场相互作用，从而获得更高的能量。这时电子的速度增加不大，主要是质量不断变大。电子直接引出，可作电子线治疗，电子打击重金属靶，产生韧致辐射发射 X 射线，作 X 线治疗。

江阴市人民医院拟配备的 1 台医用直线加速器，X 射线能量≤10MV，电子线能量≤15MeV。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，中子的影响可忽略，对外环境的影响主要考虑韧致辐射发射的 X 射线。医用电子直线加速器系统示意图见图 9-3。

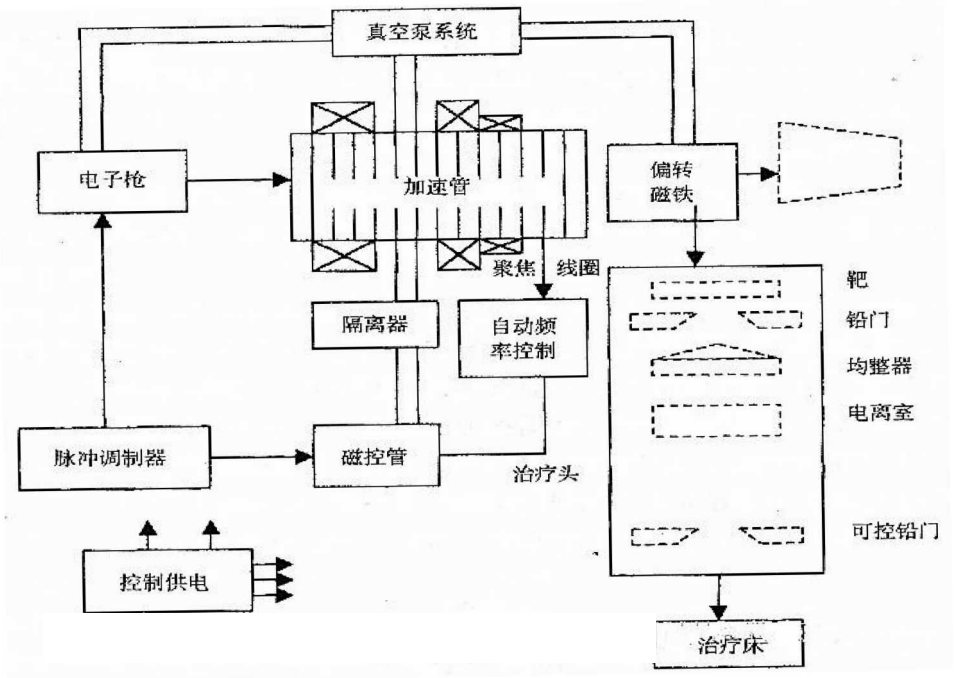

图 9-3 医用直线加速器系统示意图

2、工作流程

医用直线加速器放疗工作一般流程见图 9-4，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，通过模拟定位机(依托放疗中心现有 1 台 Simulix HQ 型模拟定位机)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）技师在控制室内设置参数，按照医疗方案调整好出束时间、角度、剂量，然后进行出束治疗。治疗过程，会产生 X 射线、电子线，治疗室内的空气会电离产生臭氧和氮氧化物；

治疗结束后，停止出束，解除定位，关闭系统，患者离开治疗室。

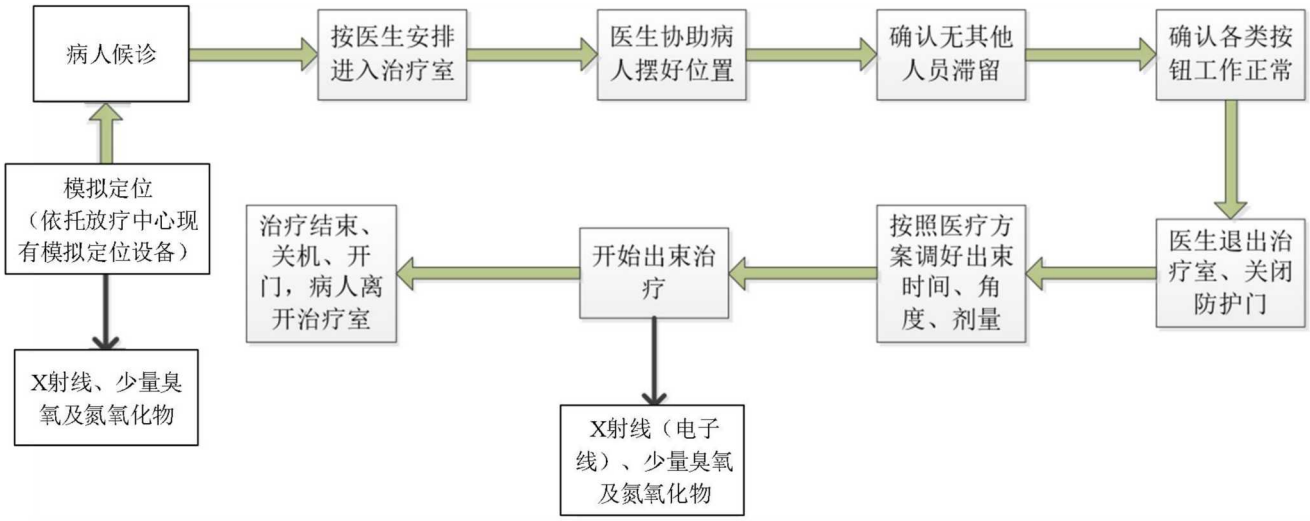

图 9-4 医用直线加速器机房放疗工作流程及产污环节分析示意图

污染源项描述

一、放射性污染

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

该院拟在城中院区放疗中心预留 2 号直线加速器机房内配备 1 台医科达 Infinity

型医用直线加速器，X 射线能量为 6、10MV，10MV 时 1m 处输出剂量率最高为 600cGy/min，6MV 时 1m 处输出剂量率最高为 1400cGy/min（3F 束流模式），电子线能量为 6、8、10、12、15MeV，1m 处输出剂量率最高为 600cGy/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。

②电子束：当医用直线加速器按电子束模式运行时，从电子枪里发出来的电子束经加速管加速后直接从加速管引出用于治疗病人。产生的电子属初级辐射，贯穿物质时受物质库仑场的影响，贯穿深度有限。

医用直线加速器在运行时产生的高能电子束，因其贯穿能力远弱于 X 射线，在 X 射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽。因此，在医用直线加速器电子束治疗时间时，电子线对周围环境辐射影响小于 X 射线治疗，可忽略对外环境的影响。

③中子：江阴市人民医院拟配备的医用直线加速器，X 射线能量为 6、10MV。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，本项目医用直线加速器开机期间，产生的 X 射线为主要辐射环境污染因素。

本项目 2 号直线加速器机房位于放疗中心东南角，放疗中心为地下一层单体建筑，不存在天空反射和侧散射。

二、非放射性污染

①废气：医用直线加速器机房治疗过程中发射的 X 射线，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。

②废水：主要是工作人员产生的生活污水，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。

③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

江阴市人民医院拟在城中院区放疗中心预留 2 号直线加速器机房内配备 1 台医科达 Infinity 型医用直线加速器（X 射线能量：6、10MV，电子线：6、8、10、12、15MeV），用于肿瘤的放射治疗。

本次 2 号直线加速器机房位于放疗中心东南角，放疗中心为地下一层单体建筑，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）中关于选址的规定。

2 号直线加速器机房东侧、南侧、下方均为土层，西侧为 1 号直线加速器机房，北侧为控制室、辅助机房和水冷机房，上方为景观绿化。2 号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；设置直迷路，迷路口设有铅防护门。机房周围除控制室外无其他居留因子较大的用室。2 号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 号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 2 号直线加速器机房治疗室、迷路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；拟将控制室、辅助机房及水冷机房作为辐射防护监督区，在监督区入口处的适当地点设立标明监督区的标牌。本项目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。城中院区放疗中心 2 号直线加速器机房平面布置及分区示意图见附图 3。

二、辐射防护屏蔽设计

本项目 2 号直线加速器机房采用混凝土浇筑结构，治疗室东西长 8.2m、南北长 6.3m、净面积为 51.6m^2（不含迷路），机房顶部屏蔽内表面至地面约 3.5m（装饰面层下机房高 3.0m）；设置直迷路，迷路横宽 2.3m，迷路内口宽 2.7m，迷路入口设铅

防护门。具体屏蔽设计参数见表 10-1，屏蔽设计图见图 10-1。

图 10-1 放疗中心 2 号直线加速器机房屏蔽设计示意图

表 10-1 放疗中心 2 号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 号直线加速器机房	东墙	侧屏蔽区	130cm 砼
	南墙	主屏蔽区	285cm 砼（宽度为 4.6m）
		次屏蔽区	135cm 砼

	西墙	迷路内墙	100cm 砼~120cm 砼
		迷路外墙	90cm 砼~130cm 砼
	北墙	主屏蔽区	285cm 砼（宽度为 4.6m）
		次屏蔽区	135cm 砼
	屋顶[2)]	主屏蔽区	255cm 砼（宽度为 4.6m）
		次屏蔽区	140cm 砼
	防护门		15mm 铅板

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

2、2 号直线加速器机房东侧、南侧、下方均为土层，人员不可达。

三、辐射安全和防护措施

1、电线电缆布设：2 号直线加速器机房电缆线穿墙方式拟采用地下“U”型穿墙管道，电缆管道与屏蔽墙体呈 66°倾斜，穿墙处埋地深度为 0.4m，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。

2、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 号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。

3、本项目 2 号直线加速器机房设计有通风装置，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。进风口拟设在放疗机房治疗室东北角、西北角顶部吊顶处，排风口拟设在放疗机房治疗室东南角、西南角，下沿距治疗室地面 0.3m 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。2 号直线加速器机房进出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。

4、电离辐射警告标志和工作状态指示灯：2 号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。

5、紧急停机装置：在 2 号直线加速器机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧、防护门内迷路入口处、控制室控制台及设备壳体上均拟设置急停按钮，以避免放疗机房内人员尚未完全清空的情况下开机，产生误照射。

6、开门装置：2 号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。

7、安全联锁装置：除放疗设备自身所带的安全联锁外，机房拟设置门-机联锁装置，防护门未完全关闭时不能出束照射，出束状态下开门停止出束。安全联锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动；安装调试及维修情况下，任何联锁旁路应通过医院辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试。

8、视频装置和双向交流对讲装置：本项目2号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、治疗室和迷路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。

9、固定式辐射剂量监测仪：本项目2号直线加速器机房治疗室迷路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。

以上辐射防护措施合理可行，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）等标准要求。

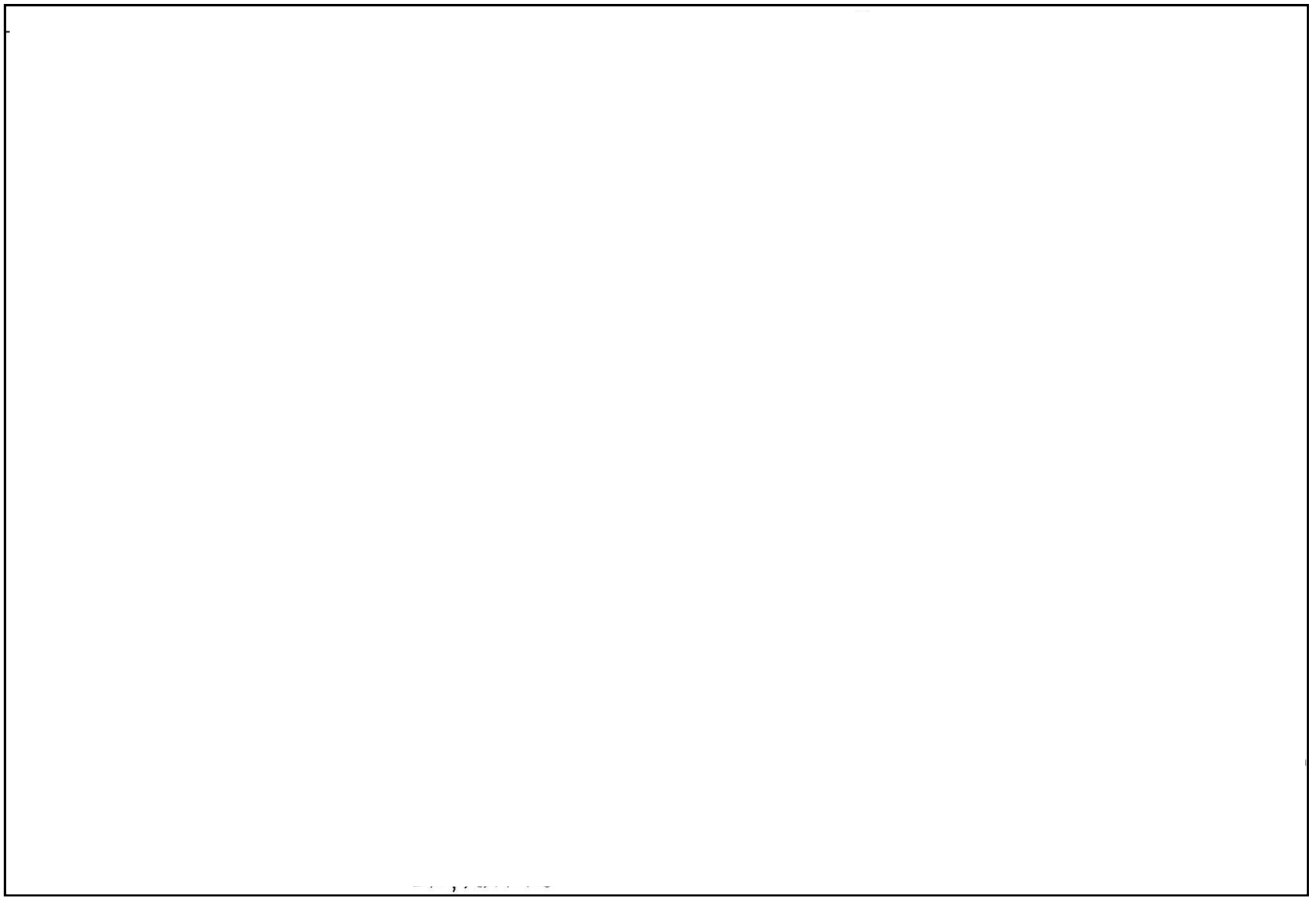

图10-2 放疗中心2号直线加速器机房主要安全设施位置示意图

三废的治理

一、废气

2 号直线加速器机房内的空气在 X 射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，通过动力排风装置排入大气。

根据《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 号直线加速器机房内设有通风装置，采用机械排风方式。2 号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至机房内，进风口位于治疗室东北角、西北角顶部吊顶处，排风口位于治疗室东南角、西南角，下沿距治疗室地面 0.3m 高。城中院区放疗中心 2 号直线加速器机房通风设计平面图详见附图 4。

本项目 2 号直线加速器机房治疗室容积约 253.6m^3（包括迷路），其排风机的设计通风量为 2100m^3/h，每小时通风换气次数约为 8 次，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“通风换气次数应不小于 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，由院内污水处理站统一处理。

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 2 号直线加速器机房为预留机房，不涉及土木工程，仅需进行少量的开槽施工、装修与装饰等工作，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：

1、大气：本项目在建设施工期需进行的装修与装饰及更换防护门等作业，各种施工将产生地面扬尘，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。

2、噪声：整个建筑施工阶段，如装修与装饰及更换防护门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。

3、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，委托由有资质的单位清运，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。

4、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医院院内局部区域，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

根据建设单位提供的资料，医院拟在城中院区放疗中心预留 2 号直线加速器机房内配备 1 台医科达 Infinity 型医用直线加速器，主要参数：X 射线能量：6、10MV，电子线：6、8、10、12、15MeV，射线最大出射角：28°，1m 处输出剂量率：10MV 时最高剂量率为 600cGy /min，6MV 时最高剂量率为 1400cGy /min（3F 束流模式），故本项目以 X 射线能量为 10MV、6MV 的情况下分别进行辐射影响分析。

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号直线加速器机房外设定关注点。从保守角度出发，在2号直线加速器机房的尺寸厚度基础上，假定医用直线加速器机房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号直线加速器机房的关注点设定如图11-1。

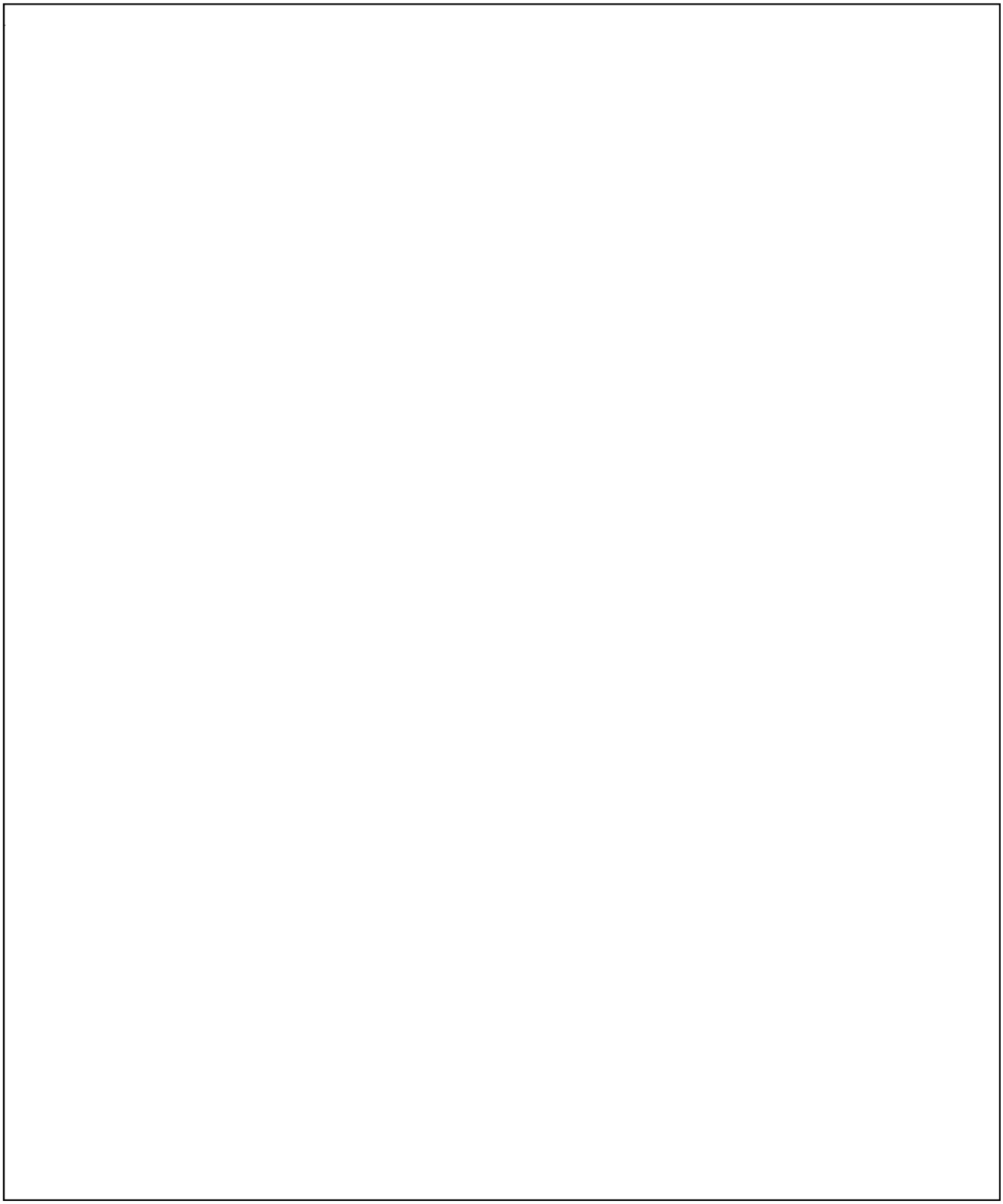

图11-1 放疗中心2号直线加速器机房估算点位示意图

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：

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

式中：Y_p—机房有用束主屏蔽区的宽度，m；

SAD—源轴距，m；

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。

将各参数代入公式11-1,可估算出本项目的主屏蔽宽度核算结果并评价如表11-1：

表11-1 主屏蔽区的宽度设计评价表

参数	南墙主屏蔽	北墙主屏蔽	屋顶主屏蔽
SAD（m）	1	1	1
θ（°）	14	14	14
a（m）	4.65	4.65	3.40
Y_p计算值（m）	3.42	3.42	2.79
Y_p设计值（m）	4.60	4.60	4.60
评价结果	满足	满足	满足

由表11-1的理论估算结果可知，放疗中心2号直线加速器机房南墙、北墙及屋顶主屏蔽区域屏蔽宽度均能够满足医用直线加速器的有用射线束的防护宽度要求。

2、辐射防护效果预测

（1）有用线束主屏蔽设计核算（北墙*a*点、南墙*b*点和屋顶*l*点）

①主射线路径：北墙$o_2 \rightarrow a$，南墙$o_1 \rightarrow b$，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/T201.2-2011）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；

θ—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 10MV 的 X 射线能量，混凝土 TVL_1 为 41cm，TVL 为 37cm；对应 6MV 的 X 射线能量，混凝土 TVL_1=37cm，TVL=33cm。本项目中，a 点、b 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·m^2/h，本项目中，对应 10MV 的 X 射线能量，1m 处的常用最高剂量率为 3.60E+08μSv·m^2/h；对应 6MV 的 X 射线能量，1m 处的常用最高剂量率为 8.40E+08μSv·m^2/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

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（a） 放疗中心 2 号直线加速器机房主屏蔽外参考点辐射剂量率核算值（10MV）

参数	北墙主屏蔽（a 点）	南墙主屏蔽（b 点）	屋顶主屏蔽（l 点）

注：*覆土层密度约在 1.1-1.4g/cm^3 之间，对于经过屏蔽的低能 X 射线，将 25cm 土壤屏蔽效果按密度保守折算成 11.7cm 混凝土（密度为 2.35g/cm^3）屏蔽效果。

表 11-2（b） 放疗中心 2 号直线加速器机房主屏蔽外参考点辐射剂量率核算值（6MV）

参数	北墙主屏蔽（*a* 点）	南墙主屏蔽（*b* 点）	屋顶主屏蔽（*l* 点）

注：*覆土层密度约在 1.1-1.4g/cm^3 之间，对于经过屏蔽的低能 X 射线，将 25cm 土壤屏蔽效果按密度保守折算成 11.7cm 混凝土（密度为 2.35g/cm^3）屏蔽效果。

（2）与主屏蔽区相连的次屏蔽区屏蔽设计核算（北墙 c_1 点、c_2 点、南墙 d_1 点、d_2 点及屋顶 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），$o_1 \rightarrow o \rightarrow d_1$（散射射线），$o_1 \rightarrow o \rightarrow d_2$（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），$o \rightarrow d_1$（泄漏射线），$o \rightarrow d_2$（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、d_1 点、d_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选择

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 10MV 的 X 射线能量，混凝土 TVL_1=35cm，TVL=31cm；对应 6MV 的 X 射线能量，混凝土 TVL_1=34cm，TVL=29cm。

③散射辐射计算模式及参数选择

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 10MV 射线，患者散射辐射在混凝土中什值层为 28cm；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，本项目中，对应 10MV 的 X 射线能量，1m 处的常用最高剂量率为 3.60E+08μSv·m²/h；对应 6MV 的 X 射线能量，1m 处的常用最高剂量率为 8.40E+08μSv·m²/h；

α_{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 10MV、30°取值，为 3.18×10^{-3}；按 6MV、30°取值，为 2.77×10^{-3}。

F—治疗装置有用线束在等中心处的最大治疗野面积，cm²，本项目为 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（a） 与主屏蔽相连的次屏蔽外参考点辐射剂量率核算值（10MV）

参数	北墙次屏蔽（c_1点）	北墙次屏蔽（c_2点）	南墙次屏蔽（d_1、d_2点）	屋顶次屏蔽（m_1点）	屋顶次屏蔽（m_2点）

注：*覆土层密度约在 1.1-1.4g/cm^3 之间，对于经过屏蔽的低能 X 射线，将 36.7cm、35.8cm 土壤屏蔽效果按密度分别保守折算成 17.2cm、16.8cm 混凝土（密度为 2.35g/cm^3）屏蔽效果。

表 11-3（b） 与主屏蔽相连的次屏蔽外参考点辐射剂量率核算值（6MV）

参数	北墙次屏蔽（c_1 点）	北墙次屏蔽（c_2 点）	南墙次屏蔽（d_1、d_2 点）	屋顶次屏蔽（m_1 点）	屋顶次屏蔽（m_2 点）

注：*覆土层密度约在 1.1-1.4g/cm^3 之间，对于经过屏蔽的低能 X 射线，将 36.7cm、35.8cm 土壤屏蔽效果按密度分别保守折算成 17.2cm、16.8cm 混凝土（密度为 2.35g/cm^3）屏蔽效果。

（3）侧屏蔽墙屏蔽设计核算（东墙 *e* 点、西侧迷路墙外 *f* 点）

①射线路径（射线类型）： *o*→*e*（泄漏射线），*o*→*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 10MV 的 X 射线能量，混凝土 TVL_1=35cm，TVL=31cm；对应 6MV 的 X 射线能量，混凝土 TVL_1=34cm，TVL=29cm。

③预测计算结果

e 点、*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（a） 放疗中心 2 号直线加速器机房迷路墙外泄漏辐射剂量率核算值（10MV）

参数	东墙（*e* 点）	西侧迷路墙外（*f* 点）

表 11-4（b） 放疗中心 2 号直线加速器机房迷路墙外泄漏辐射剂量率核算值（6MV）

参数	东墙（*e* 点）	西侧迷路墙外（*f* 点）

（4）迷路外墙屏蔽设计核算（西侧迷路外墙 *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路内墙照射，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 10MV 的 X 射线能量，混凝土 TVL_1=35cm，TVL=31cm；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 迷路外墙泄漏辐射剂量率核算值

参数	迷路外墙（*k* 点）	
	10MV	6MV

（5）迷路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、o_2 经迷路内墙屏蔽后在迷路入口 *g* 点的辐射剂量。

①射线路径（射线类型）： $o_1 \rightarrow g$（泄漏射线），$o_2 \rightarrow g$（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，取泄漏因子 f=0.001，公式 11-4 的 TVL_1 和 *TVL* 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，对应 10MV 的 X 射线能量，混凝土 TVL_1=35cm，*TVL*=31cm；对应 6MV 的 X 射线能量，混凝土 TVL_1=34cm，*TVL*=29cm。计算结果见表 11-6。

表 11-6（a） 迷路入口处的泄漏辐射剂量率核算值（10MV）

参数	迷路入口处（*g* 点）	
	$o_1 \rightarrow g$	$o_2 \rightarrow g$

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 0.5μSv/h。

表 11-6（b） 迷路入口处的泄漏辐射剂量率核算值（6MV）

参数	迷路入口处（g 点）	
	$o_1 \rightarrow g$	$o_2 \rightarrow g$

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 0.5μSv/h。

③散射辐射计算模式及参数选择

根据 GBZ/T 201.2-2011，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；

α_{ph}—患者 400cm² 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，cm²；

α_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°；α_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 迷路入口处的散射辐射剂量率核算值

参数	迷路入口处（g 点）	
	10MV	6MV

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 迷路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）	
	10MV	6MV

注：防护门处剂量率参考控制水平取值见表 7-2。

4、预测计算结果汇总及评价

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

表 11-9 放疗中心 2 号直线加速器机房墙、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
	X 射线能量为 10MV	X 射线能量为 6MV		

由表 11-1 及表 11-9 可知，本项目 2 号直线加速器机房内部尺寸、主屏蔽区宽度及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。

本项目 2 号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。

本项目 2 号直线加速器机房采用上进下出的通风系统，进、排风管道穿墙处采用向室内斜向下 45° 设计，管道经防护门上方由迷路到达机房内，进风口位于治疗室东北角、西北角顶部吊顶处，排风口位于治疗室东南角、西南角，下沿距治疗室地面 0.3m 高。管道系统均避开主射线方向，射线经几次散射后，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，电缆管道与屏蔽墙体呈 66° 倾斜，穿墙处埋地深度为 0.4m，未破坏治疗室墙体的屏蔽效果，能够满足辐射防护要求。

图 11-2 预留电缆管道示意图	

4、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：

$$D_{Eff} = H \cdot t \cdot T \cdot U \qquad \text{公式 11-8}$$

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。

将表11-9中2号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。本项目2号直线加速器机房年出束运行时间约625h（日接诊量最大50人次，周工作5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625h），考虑周围公众及辐射工作人员的居留因子，根据公式11-8估算公众及辐射工作人员的年有效剂量，计算结果列于表11-10。

表11-10 放疗中心2号直线加速器机房周围人员年有效剂量

参考点	居留因子T[1)]	使用因子U	剂量率估算值[2)]（μSv/h）	人员可达处年有效剂量（mSv/a）	保护对象（mSv/a）	结论
2号直线加速器机房						

注：1、居留因子取值见HJ 1198-2021附录A；

2、剂量率估算值取10MV和6MV两种工况下的较大值。

医院放疗中心现有8名辐射工作人员，包括6名技术员及2名物理师，均已通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训。本项目投入运行后，2号直线加速

器机房相关辐射工作将由现有放疗中心的辐射工作人员承担，医院已委托江苏省疾病预防控制中心对辐射工作人员进行了个人剂量检测，其在2021年7月至2022年6月的个人剂量检测结果见表11-11（江苏省疾病预防控制中心，编号：（放卫）20211375、（放卫）20221101、（放卫）20221149、（放卫）20221210，见附件6）。由表11-11可知，辐射工作人员年有效剂量最大为0.22mSv，叠加本项目产生的辐射影响，本项目辐射工作人员年有效剂量约为0.33mSv（0.11mSv+0.22mSv），能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员的剂量限值要求和本项目管理目标值要求（职业人员年有效剂量不超过5mSv）。

表11-11 放疗中心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）
		2021年第三季度	2021年第四季度	2022年第一季度	2022年第二季度	
B06001	夏林云					
B06007	贾殿君					
B06012	谢玉玉					
B06015	周洪					
B06022	顾东霞					
B06045	褚辉					
B06047	秦建军					
B06052	居敏					

注：*本周期的调查水平的参考值为：1.25mSv；MDL为0.04mSv。

根据表11-10及结果分析知，该项目医用直线加速器投入运行后，周围公众年有效剂量最高为0.01mSv。放疗中心2座直线加速器机房的防护门相邻，考虑到2座机房内设备同时运行可能对防护门处公众产生叠加辐射影响，根据1号直线加速器机房的防护检测报告（报告编号：瑞森（综）字（2021）第1309号，见附件8）中相关内容，当1号直线加速器机房内SYNERGY型医用直线加速器正常工作时（检测工况：6MV X射线，600cGy/min，40cm×40cm），机房防护门处X-γ辐射剂量率最大为0.12μSv/h，则两台设备同时出束时，防护门处的辐射剂量率为0.284μSv/h（0.164μSv/h+0.12μSv/h），两台设备年出束运行时间均不超过625h，则防护门处公众受到的叠加年有效剂量为0.02mSv。

本项目2号直线加速器机房建设于地下，其东侧、南侧墙体外皆为土层，考虑土层、距离对射线的衰减作用，机房周围50m评价范围内敏感目标处辐射剂量率及公众年受照剂量见表11-12。

表11-12 机房周围50m评价范围内敏感目标处辐射剂量率及公众年有效剂量

环境保护目标	计算模式	距离 R（m）	X（cm）*	B	剂量率估算值（μSv/h）	居留因子 T	使用因子 U	年有效剂量（mSv/a）

注：*覆土层密度约在1.1-1.4g/cm^{3}之间，混凝土密度约为2.35g/cm^{3}对于经过屏蔽的低能X射线，将土层折算成混凝土进行屏蔽效果计算。

由表11-12计算结果可知，机房周围50m评价范围内敏感目标处公众年受照剂量不会超过0.01mSv，考虑2座机房内设备同时运行可能对敏感目标处公众产生叠加辐射影响，也能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对公众的剂量限值要求和本项目管理目标值要求（公众年有效剂量不超过0.1mSv）。

5、电子线治疗时辐射防护评价

医用直线加速器处于电子束模式下使用初始电子线进行浅层治疗时，会产生电子线。本项目医用直线加速器最大X射线能量为10MV，电子线最大能量为15MeV，由于电子束的穿透能力远小于X射线，对治疗X射线的屏蔽机房完全满足屏蔽电子束的要求。电子束治疗时，平均束流为nA量级，X射线治疗时平均束流为μA量级，治疗电子束所产生的韧致辐射远小于X射线治疗时的辐射，即使电子线能量大于X射线最大能量，对屏蔽电子束的韧致辐射所需要的厚度也低于对于MV级X射线的屏蔽要求。

二、非放射性“三废”影响分析

1、废气

2号直线加速器机房内的空气在X射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，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。

2、废水

工作人员和部分患者产生的生活污水，由院内污水处理站统一处理。

3、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。

事故状态下影响分析

本项目拟配备的医用直线加速器机为II类射线装置，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。因此本项目主要事故风险为：

（1）医用直线加速器机工作过程中，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；

（2）2号直线加速器机房门机联锁失效，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；

（3）操作人员违反操作规程或误操作，造成意外超剂量照射。

针对本项目可能发生的辐射事故，可采取以下的处理措施：

（1）发生误照射（人员误留、误入机房内；操作人员违反操作规程或误操作；机房门-机联锁装置失效，导致防护门无法自动关闭），应立即按下急停开关，确保医用直线加速器机停止工作。

（2）迅速安排受照人员接受医学检查和救治；

（3）对发生事故的射线装置，请有关供货单位或相关检测部门进行检测或维修，分析事故发生的原因，并提出改进意见。

（4）医院应定期对2号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。

（5）事故发生后，积极配合生态环境等管理部门做好事故调查和善后处理工作。

医院拟根据《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

江阴市人民医院拟在城中院区放疗中心预留 2 号直线加速器机房内配备 1 台医科达 Infinity 型医用直线加速器（X 射线能量：6、10MV，电子线：6、8、10、12、15MeV），用于肿瘤的放射治疗。根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，使用 II 类射线装置的单位，应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作，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。

江阴市人民医院已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，并以文件形式明确管理人员职责。医院拟根据本次新增 1 台医用直线加速器项目修订相关文件，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。本项目辐射安全管理人员及辐射工作人员拟由江阴市人民医院放疗中心现有人员中调用，放疗中心现有辐射工作人员均已通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训。若有新进的辐射工作人员，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，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、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，并有完善的辐射事故应急措施”。目前江阴市人民医院已制定相关制度。拟根据新增 1 台医用直线加速器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。

1）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：

①确保开展辐射工作时所有辐射屏蔽措施均已到位，严格按照规定操作流程操作，防止发生辐射事故；

②从事辐射工作时必须佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪；

③在工作场所严禁吸烟、进食。

2）岗位职责：明确射线装置操作人员、维修人员及辐射安全管理人员的岗位责任，并落实到个人，使每一位相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任。

3）辐射防护和安全保卫制度：根据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：

①定期检查相关的辐射安全装置及检测仪器，发现问题及时修理或更换，确保辐射安全联锁装置、个人剂量报警仪、环境辐射剂量监测仪和固定式剂量监测报警装置保持良好工作状态；

②工作人员定期开展个人剂量检测和职业健康监护。

4）设备维修制度：明确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。

5）人员培训计划和健康管理制度：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。

6）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Ⅱ类射线装置的辐射安全，该单位应制定监测方案，重点是：

①明确监测项目和频次；

②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；

③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，并在一小时内向县（市、区）或者设区的市生态环境行政主管部门报告；

④委托有资质监测单位对本单位的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，江阴市人民医院已配备辐射巡测仪 1 台，拟为本项目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，拟制定如下监测计划：

1）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；

2）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；

3）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；

4）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；

5）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。

江阴市人民医院须根据上述监测计划，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。

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：

①应急机构和职责分工；

②应急的具体人员和联系电话；

③应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；

④辐射事故发生的可能、分级及应急响应措施；

⑤辐射事故调查、报告和处理程序。

对于在医院定期监测或委托监测时发现异常情况或发现放射源丢失、被盗情况时，拟根据《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。

表 13　结论与建议

结论

一、项目概况

为了更好地为患者服务，提高医院的医疗质量，根据规划，江阴市人民医院拟在城中院区放疗中心预留 2 号直线加速器机房内配备 1 台医科达 Infinity 型医用直线加速器（X 射线能量：6、10MV，电子线：6、8、10、12、15MeV），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（2019 年本）》（2021 年修改）、《江苏省工业和信息产业结构调整指导目录（2012 年本）》（2013 年修正）中“限制类”、“淘汰类”项目，项目符合国家和地方产业政策。

五、选址合理性

江阴市人民医院城中院区位于无锡市江阴市寿山路 163 号，医院东侧为三元坊巷居民区，南侧为寿山路，西侧为特惠来生活街区，北侧为环城北路。

本次 2 号直线加速器机房周围 50m 评价范围内，东侧为三元坊巷居民区（最近约 8m 处）、南侧为院内 1 号楼（最近约 3m 处）、西侧为院内影像楼（最近约 15m 处）、北侧为院内 3 号楼（最近 29m 处）。项目运行后的环境保护目标主要为医院辐射工作人员、医院内的其他医护人员、病患及陪同家属和院外三元坊巷居民区处其他公众等。

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。对照《江苏省国家级生

态保护红线规划》（苏政发〔2018〕74号）、《江苏省生态空间管控区域规划》（苏政发〔2020〕1号），本项目拟建址评价范围内不涉及江苏省国家级生态保护红线、江苏省生态空间管控区域。根据《江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案》（苏政发〔2020〕49号），本项目拟建址评价范围内不涉及江苏省内优先保护单元；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；本项目对资源消耗极少，不涉及违背生态环境准入清单的问题；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。

本次2号直线加速器机房位于放疗中心东南角，放疗中心为地下一层单体建筑，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号直线加速器机房控制室与治疗室分离，区域划分明确；设置直迷路，迷路口设有铅防护门。机房周围除控制室外无其他居留因子较大的用室。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

江阴市人民医院本次新增1台医用直线加速器项目拟建址周围环境辐射剂量率在75nGy/h～82nGy/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

根据理论估算结果，江阴市人民医院新增1台医用直线加速器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

2号直线加速器机房内的空气在X射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，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；工作人员和部分患者产生的生活污水，由院内污水处理站统一处理；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

江阴市人民医院拟配备的1台医科达 Infinity 型医用直线加速器机房的X射线最

大能量为 10MV，医用直线加速器机房开机期间，产生的 X 射线为主要辐射环境污染因素。本项目 2 号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 号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，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，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）的安全管理要求。

十、辐射安全管理评价

江阴市人民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。

江阴市人民医院需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。江阴市人民医院已配备有辐射巡测仪 1 台，还需为本项目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。

综上所述，江阴市人民医院新增 1 台医用直线加速器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

1、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。

2、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。

3、定期进行辐射工作场所的检查及监测，及时排除事故隐患。

4、医院取得本项目环评批复后，应及时申请辐射安全许可证，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。