

核技术利用建设项目

江阴市中医院新建放射诊疗项目
环境影响报告表

江阴市中医院

2023年5月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

江阴市中医院新建放射诊疗项目 环境影响报告表

建设单位名称：江阴市中医院

建设单位法人代表（签名或盖章）：

通讯地址：江阴市人民中路 130 号



表 1 项目基本情况

建设项目名称		江阴市中医院新建放射诊疗项目				
建设单位		江阴市中医院 (统一社会信用代码: 12320281466404082E)				
法人代表		■	■	■	■	■
注册地址		江阴市人民中路 130 号				
项目建设地点		江阴市世新路南侧、虹桥路西侧、花北路北侧				
立项审批部门		■		批准文号	江阴市行政审批局	
建设项目总投资 (万元)		2900	项目环保总投资 (万元)	100	投资比例(环保 投资/总投资)	3.4%
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他			占地面积 (m ²)	/
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类			
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类 (医疗使用) <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类			
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物			
		<input type="checkbox"/> 销售	/			
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙			
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类			
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类			
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III 类			
	其他	/				
	<p>项目概述:</p> <p>一、建设单位基本情况、项目建设规模及由来</p> <p>江阴市中医院(以下简称医院)位于江苏省江阴市人民中路 130 号,是一所全民所有制的三级乙等中医医院。</p> <p>为了适应医院发展要求,服务患者,医院拟在世新路南侧、虹桥路西侧、花北路北侧新建院区内新建放射诊疗项目。项目内容包括:拟在门急诊病房楼 1 楼新建 2 座</p>					

数字减影血管造影机 (Digital Subtraction Angiography, 以下简称“DSA”) 机房 (DSA2 机房、DSA3 机房) 及配套设施用房, 将老院区 (江阴市人民中路 130 号所在院区) 住院楼 2 楼 1 台 DSA (型号: Artis Q ceiling, 最大管电压 125kV, 最大管电流 1000mA) 移到 DSA2 机房, DSA3 机房新增 1 台 DSA (型号未定, 最大管电压 125kV, 最大管电流 1250mA); 拟在门急诊病房楼负 2 楼放疗中心新建 1 座直线加速器机房, 并配置 1 台医用直线加速器 (型号: Infinity, X 射线能量最大为 10MV, 电子线能量最大为 15MeV); 拟在门急诊病房楼 1 楼新建一座 CT 模拟定位机房, 并配备 1 台 CT 模拟定位机 (型号未定, 最大管电压 140kV, 最大管电流 1000mA, 属 III 类射线装置)。

江阴市中医院新建院区已于 2019 年 12 月 9 号取得《关于江阴市中医院异地新建项目可行性研究报告的批复》, 项目代码: [REDACTED] (见附件 6); 于 2021 年 1 月 19 日取得无锡市行政审批局《关于江阴市卫生健康委员会江阴市中医院异地新建项目环境影响报告书的批复》, 文号: 锡行审环许 (2021) 1019 号 (见附件 7)。

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, 该项目需进行环境影响评价工作。

受江阴市中医院的委托, 南京瑞森辐射技术有限公司承担了该单位新建放射诊疗项目的环境影响评价工作。依照《建设项目环境影响评价分类管理名录 (2021 年版)》 (生态环境部部令第 16 号), 本项目属于“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。我公司在资料调研、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。

二、项目选址情况

江阴市中医院本次新建院区位于世新路南侧, 新建院区东侧为虹桥路, 南侧为花北路, 西侧为乐途路。本项目地理位置示意图附图 1, 江阴市中医院新建院区平面布置和周围环境示意图见附图 2。

本项目位于于门急诊病房楼, 其东侧、南侧为院内道路, 西侧为发热门诊、院内道路、百草园, 北侧隔院内道路为食堂宿舍办公楼、制剂楼、废水处理垃圾房。门急诊病房楼 1 楼 DSA2 机房东侧为 DSA2 辅房和操作间 2, 南侧为走廊, 西侧为预留 DSA1

机房，北侧为 DSA 污洗，楼上为检验科，楼下为地下停车场、楼梯、仓库；DSA3 机房东侧为操作间 3、DSA3 辅房和 DSA 污洗室，南侧为过道，西侧为辅房 4、物流井和辅房 6，北侧为走廊，楼上为检验科，楼下为走道、仓库（见附图 5-2）。CT 模拟定位机房东侧为 VIP 检查区，南侧为室外，西侧为操作间，北侧为过道，上方为诊室，下方为地下停车场（见附图 4-2）。

门急诊病房楼负 2 楼直线加速器机房东侧为休息室、电梯和过道，南侧为过道，西侧为楼梯，北侧为水冷机房、辅助机房、控制室和过道，上方为杂物仓库，下方为土层（见附图 3-2）。门急诊病房楼负 2 楼~2 楼平面布局及周围环境示意图见附图 3~附图 6。

本项目周围 50m 评价范围均位于医院内，项目运行后的环境保护目标主要是辐射工作人员、评价范围内其他医务人员、病患和其他公众等。

三、原有核技术利用项目许可情况

江阴市中医院现持有无锡市生态环境局颁发的辐射安全许可证（医院正在进行辐射安全许可证的法人信息的变更，见附件 4），证书编号：苏环辐证[00665]，有效期至 2024 年 5 月 31 日，许可种类和范围为：使用 II 类、III 类射线装置。医院原有核技术利用项目均已履行环保手续（见附件 3）。

四、实践正当性分析

本项目的运行，可为病人提供多种医疗诊断和治疗服务，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，其获得的利益远大于对环境的影响，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)“实践的正当性”的原则。

五、“三线一单”相符性分析

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。

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	1	Infinity	电子	X 射线最大能量 10MV 电子线最大能量 15MeV	X 射线 1m 处剂量率： 600cGy/min (常规) 10MV 时 2200cGy/min (3F 束流模式)	放射治疗	门急诊病房 楼负 2 楼直线加速器机房	本次环评

							6MV 时 1400cGy/min (3F 束流模式) 电子线 1m 处剂量率: 600cGy/min			
--	--	--	--	--	--	--	---	--	--	--

(二) X 射线机, 包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	DSA	II	1	Artis Q ceiling	125	1000	医用诊断/介入治疗	门急诊病房楼 1 楼 DSA2 机房	本次环评
2	DSA	II	1	未定	125	1250	医用诊断/介入治疗	门急诊病房楼 1 楼 DSA3 机房	本次环评
5	CT 模拟定位机	III	1	未定	140	1000	模拟定位	门急诊病房楼 1 楼 CT 模拟定位机房	本次环评

(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
臭氧和氮氧化物	气态	/	/	/	微量	微量	不暂存	通过排风系统排入外环境，臭氧在常温条件下约 50 分钟可分解为氧气
DSA 手术过程中产生的棉签、纱布、手套、器具等医疗废物	固体	/	/	20kg	240kg	/	暂存在机房内的废物桶	手术结束后集中收集，作为医疗废物由医院统一委托有资质单位进行处置。
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

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

表 6 评价依据

<p>法规 文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》（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；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，中华人民共和国主席令 第七十七号，2003年9月1号实施；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国主席令 第六号，2003年10月1日起实施；</p> <p>(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；</p> <p>(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；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，（2006年1月18日国家环境保护总局令第31号公布；2008年12月6日经《关于修改放射性同位素与射线装置安全许可管理办法的决定》（环境保护部令第3号）修改；2017年12月20日经《环境保护部关于修改部分规章的决定》（环境保护部令第47号）修改，2019年8月22日经《生态环境部关于废止、修改部分规章的决定》（生态环境部令第7号）修改，2021年1月4日经《关于废止、修改部分生态环境规章和规范性文件的决定》（生态环境部令第20号）修改）；</p> <p>(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；</p> <p>(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；</p> <p>(9) 《关于发布〈射线装置分类〉的公告》，环境保护部、国家卫生和计划生育委员会，公告2017年 第66号，2017年12月5日起施行；</p> <p>(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；</p> <p>(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</p>
------------------	--

	<p>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；</p> <p>(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；</p> <p>(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；</p> <p>(14) 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部部令 第9号，2019年11月1日起施行；</p> <p>(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；</p> <p>(16) 《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；</p> <p>(17) 《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；</p> <p>(18) 《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；</p> <p>(19) 《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，江苏省生态环境厅办公室，2021年5月31日印发；</p> <p>(20) 《产业结构调整指导目录（2019年本）》（2021年修改），国家发展和改革委员会2021年令 第49号，2021年12月30日起施行；</p> <p>(21) 《省政府办公厅关于公布江苏省太湖流域三级保护区范围的通知》，苏政办发〔2012〕221号，江苏省人民政府办公厅，2012年12月28日发布。</p>
<p>技术 标准</p>	<p>(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；</p> <p>(2) 《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）；</p> <p>(3) 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）；</p> <p>(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）；</p> <p>(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）；</p>

	<p>(6) 《医疗机构水污染物排放标准》 (GB 18466-2005) ;</p> <p>(7) 《放射诊断放射防护要求》 (GBZ 130-2020) ;</p> <p>(8) 《建筑施工场界环境噪声排放标准》 (GB 12523-2011) ;</p> <p>(9) 《电离辐射监测质量保证通用要求》 (GB 8999-2021) ;</p> <p>(10) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》 (HJ 2.1-2016) ;</p> <p>(11) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》 (HJ 10.1-2016) ;</p> <p>(12) 《辐射环境监测技术规范》 (HJ 61-2021) ;</p> <p>(13) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》 (HJ 1157-2021) 。</p>
其他	<p>附图：</p> <p>(1) 江阴市中医院项目地理位置示意图；</p> <p>(2) 江阴市中医院平面布置和周围环境示意图；</p> <p>(3) 江阴市中医院门急诊病房楼负 2 楼平面布局示意图；</p> <p>(4) 江阴市中医院门急诊病房楼负 1 楼平面布局示意图；</p> <p>(5) 江阴市中医院门急诊病房楼 1 楼平面布局示意图；</p> <p>(6) 江阴市中医院门急诊病房楼 2 楼平面布局示意图；</p> <p>(7) 本项目与江苏省生态空间保护区域位置关系图。</p> <p>附件：</p> <p>(1) 项目委托书；</p> <p>(2) 射线装置使用承诺书；</p> <p>(3) 医院原有核技术项目情况一览表；</p> <p>(4) 辐射安全许可证正本；</p> <p>(5) 医院辐射环境现状监测报告；</p> <p>(6) 关于《江阴市中医院异地新建项目》的立项文件；</p> <p>(7) 关于《江阴市中医院异地新建项目环境影响报告书》的批复。</p>

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新建放射诊疗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

本项目主要考虑 DSA、医用直线加速器、CT 模拟定位机工作时可能对周围环境产生的辐射影响。本项目 2 座 DSA 机房、1 座医用直线加速器机房、1 座 CT 模拟定位机房周围 50m 评价范围均位于医院内，无学校、居民区等环境敏感点，项目运行后的环境保护目标主要是辐射工作人员、评价范围内其他医务人员、病患和其他公众等。详见表 7-1。

表 7-1 江阴市中医院新建放射诊疗项目保护目标一览表

保护对象类型	场所	环境保护目标	方位/位置	距本项目最近距离	人员规模
辐射工作人员	2 座 DSA 机房	DSA 工作人员	控制室/机房	/	10 人
	医用直线加速器机房	医用直线加速器工作人员	控制室	/	3 人
	CT 模拟定位机房			/	1 人
评价范围内公众	门急诊病房楼	医护人员	DSA 辐射工作场所四周及上下	约 1m	约 70 人
		病患、其他公众			约 200 人
	门急诊病房楼	医护人员	医用直线加速器辐射工作场所四周及上下	约 1m	约 20 人
		病患、其他公众			约 50 人
	院内道路	医护人员、病患、其他公众	四周	约 5m~50m	流动人员

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，1mSv； ②特殊情况下，如果5个连续年的年平均剂量不超过1mSv，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、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）：

4 一般要求

4.1 从事放射治疗的医疗机构应对放射治疗活动的辐射安全与防护全面负责，实现保护从事放射治疗相关辐射工作人员、公众健康与环境安全的目标。

4.2 从事放射治疗的医疗机构应建立健全辐射安全与防护管理体系，制定辐射安全与防护大纲，落实岗位职责及操作规程等管理制度。

4.3 从事放射治疗的医疗机构在规划、设计、建设放射治疗工作场所和开展放射治疗活动的过程中，应遵循实践的正当性、安全与防护的最优化、剂量限制和潜在照射危险限制，确保放射治疗涉及的辐射工作人员和公众受照剂量处于安全合理的水平。

4.4 从事放射治疗的医疗机构应根据放射治疗活动的潜在照射危害水平，根据纵深防御原则，设置相适应的多层防护与安全措施，确保当某一层级的防御措施失效时，可由下一层次的防御措施予以弥补或纠正，达到：

- a) 防止可能引起误照射的事故；
- b) 减轻事故的放射性后果；
- c) 将放射治疗设备恢复到安全状态。

4.7 从事放射治疗的医疗机构应对放射治疗场所和周围环境进行定期的辐射监测和评估，证明采取的辐射安全与防护措施的有效性。

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 H_c ($\mu\text{Sv/h}$)：

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（ H_c ）求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $H_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$)：

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

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

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

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

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

b) 穿出机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射，以年剂量 250 μSv 加以控制。

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

3、《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。

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

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

4、《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）；

5、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）：

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、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）：

5.8 介入放射学、近台同室操作（非普通荧光屏透视）用 X 射线设备防护性能的专用要求

5.8.1 介入放射学、近台同室操作（非普通荧光屏透视）用 X 射线设备应满足其相应设备类型的防护性能专用要求。

5.8.2 在机房内应具备工作人员在不变换操作位置情况下能成功切换透视和摄影功能的控制键。

5.8.3 X 射线设备应配备能阻止使用焦皮距小于 20 cm 的装置。

5.8.4 介入操作中，设备控制台和机房内显示器上应能显示当前受检者的辐射剂量测定指示和多次曝光剂量记录。

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。

6.1.4 移动式 X 射线机（不含床旁摄影机和急救车配备设备）在使用时，机房应满足相应布局要求。

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
单管头 X 射线设备 ^b （含 C 形臂，乳腺 CBCT）	20	3.5

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
C 形臂 X 射线设备机房	2.0	2.0
CT 机房（不含头颅移动 CT） 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；

d) 车载式诊断 X 射线设备工作时，应在车辆周围 3m 设立临时控制区，控制区边界的周围剂量当量率应符合 6.3.1 中 a) ~c) 的要求。

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。

6.4.11 车载式诊断 X 射线设备工作场所的选择应充分考虑周围人员的驻留条件，X 射线有用线束应避开人员停留和流动的路径。

6.4.12 车载式诊断 X 射线设备的临时控制区边界上应设立清晰可见的警告标志牌（例如：“禁止进入 X 射线区”）和电离辐射警告标志。临时控制区内不应有无关人员驻留。

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。

6.5.2 车载式诊断 X 射线设备机房个人防护用品和辅助防护设施配置要求按照其安装的设备类型参照表 4 执行。

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。

6.5.6 对于移动式 X 射线设备使用频繁的场合（如：重症监护、危重病人救治、骨科复位等场所），应配备足够数量的移动铅防护屏风。

7 X 射线设备操作的防护安全要求

7.8 介入放射学和近台同室操作（非普通荧光屏透视）用 X 射线设备操作的防护安全要求。

7.8.1 介入放射学、近台同室操作（非普通荧光屏透视）用 X 射线设备应满足其相应设备的防护安全操作要求。

7.8.2 介入放射学用 X 射线设备应具有记录受检者剂量的装置，并尽可能将每次诊疗后受检者受照剂量记录在病历中，需要时，应能追溯到受检者的受照剂量。

7.8.3 除存在临床不可接受的情况外，图像采集时工作人员应尽量不在机房内停留；对受检者实施照射时，禁止与诊疗无关的其他人员在机房内停留。

7.8.4 穿着防护服进行介入放射学操作的工作人员，其个人剂量计佩戴要求应符合 GBZ 128 的规

定。

7.8.5 移动式C形臂X射线设备垂直方向透视时，球管应位于病人身体下方；水平方向透视时，工作人员可位于影像增强器一侧，同时注意避免有用线束直接照射。

7、《建筑施工现场环境噪声排放标准》（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 建筑施工现场环境噪声排放限值 单位：dB（A）

昼间	夜间
70	55

8、剂量约束值

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），本项目职业人员剂量约束值不超过5mSv/a，公众剂量约束值不超过0.1mSv/a，四肢（手和足）或皮肤的剂量约束值不超过125mSv/a。

DSA机房、CT机房屏蔽体、门、观察窗表面外30cm处、顶棚上方（楼上）距顶棚地面100cm处、地面下方（楼下）距楼下地面170cm处的辐射剂量率目标控制值均为2.5µSv/h。

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）中相关规定及本项目放疗机房周开机治疗时间，估算得到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H_c，见下表：

表7-2 本项目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

		■	■	■		■	■	■
		■	■	■		■	■	■
		■	■	■		■	■	■
		■	■	■		■	■	■
		■	■	■		■	■	■

注：1、医用直线加速器机房参考点点位布设详见图 11-2；

2、根据医院提供资料，医用直线加速器投入使用后，每次治疗有效出束时间 2~3 分钟，每天治疗人数 40 人，年开展工作 50 周，年出束运行时间约 500h，则周工作时间 t 为 10h。

3、根据 HJ1198-2021，人员居留因子>1/2 的场所： $H_{c,max} \leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ ；人员居留因子 $\leq 1/2$ 的场所： $H_{c,max} \leq 10\mu\text{Sv/h}$ 。

13、参考资料：

(1) 《辐射防护导论》，方杰主编。

(2) 《辐射防护手册（第一分册）》，李德平、潘自强著。

(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。

(4) 《医用外照射源的辐射防护》，国际放射防护委员会第 33 号出版物。

江苏省环境天然 γ 辐射（空气吸收）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 $\pm 3s$) [*]	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 $\pm 3s$ ”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

江阴市中医院本次新建院区位于世新路南侧，新建院区东侧为虹桥路，南侧为花北路，西侧为乐途路。

本项目位于于门急诊病房楼，其东侧、南侧为院内道路，西侧为发热门诊、院内道路、百草园，北侧隔院内道路为食堂宿舍办公楼、制剂楼、废水处理垃圾房。门急诊病房楼 1 楼 DSA2 机房东侧为 DSA2 辅房和操作间 2，南侧为走廊，西侧为预留 DSA1 机房，北侧为 DSA 污洗，楼上为检验科，楼下为地下停车场、楼梯、仓库；DSA3 机房东侧为操作间 3、DSA3 辅房和 DSA 污洗室，南侧为过道，西侧为辅房 4、物流井和辅房 6，北侧为走廊，楼上为检验科，楼下为走道、仓库。CT 模拟定位机房东侧为 VIP 检查区，南侧为室外，西侧为操作间，北侧为过道，上方为诊室，下方为地下停车场。

门急诊病房楼负 2 楼直线加速器机房东侧为休息室、电梯和过道，南侧为过道，西侧为楼梯，北侧为水冷机房、辅助机房、控制室和过道，上方为杂物仓库，下方为土层。

本项目周围 50m 评价范围均位于医院内，项目运行后的环境保护目标主要是辐射工作人员、评价范围内其他医务人员、病患和其他公众等。



图 8-1 院区拟建址东侧（院内道路）



图 8-2 院区拟建址南侧（院内道路）



图 8-3 院区拟建址西侧（院内道路）



图 8-4 院区拟建址北侧（院内道路）

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）相关方法和要求，在进行环境现场调查时，于医院新建放射诊疗项目拟建址周围进行布点，测量辐射现状剂量率，监测结果见表 8-1，监测点位示意图见图 8-5。

检测仪器：FH40G+FHZ 672-10 型 X- γ 辐射监测仪（设备编号：NJRS-103，检定有效期：2022 年 1 月 20 日~2023 年 1 月 19 日，检定单位：江苏省计量科学研究院，检定证书编号：Y2022-0001788）

能量响应：40keV~4.4MeV

测量范围：1nSv/h~100 μ Sv/h

监测日期：2022 年 11 月 15 日

监测因子： γ 辐射剂量率

天气：多云

温度：15℃

湿度：46%

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（检测资质见附件 4），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）的要求，实施全过程质量控制。

数据记录及处理：开机预热，手持仪器。一般保持仪器探头中心距离地面（基础面）为 1m。仪器读数稳定后，每个点位读取 10 个数据，读取间隔不小于 10s。每组数据计算每个点位的平均值并计算标准差。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/校准参考辐射源时，换算系数取 1.20Sv/Gy。

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校准或检验，监测报告实行三级审核。

表 8-1 江阴市中医院新建放射诊疗项目拟建址周围现状辐射剂量率

测点编号	测点描述	测量结果 (nGy/h)
1	院区拟建址东侧（道路）	45
2	院区拟建址南侧（道路）	44
3	院区拟建址西侧（道路）	40
4	院区拟建址北侧（道路）	70
5	院区拟建址负一楼（室内）	81

注：测量数据已扣宇宙射线响应值。

由表 8-1 监测结果可知，江阴市中医院新建放射诊疗项目拟建址周围天然环境 γ 辐射剂量率在 40nGy/h~81nGy/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 γ 辐射本底水平。



图 8-5 江阴市中医院新建放射诊疗项目拟建址周围环境 γ 辐射监测点位示意图

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

本项目内容包括：拟在门急诊病房楼 1 楼新建 2 座 DSA 机房（DSA2 机房、DSA3 机房）及配套设施用房，将老院区（江阴市人民中路 130 号所在院区）住院楼 2 楼 1 台 DSA（型号：Artis Q ceiling，最大管电压 125kV，最大管电流 1000mA）移到 DSA2 机房，DSA3 机房新增 1 台 DSA（型号未定，最大管电压 125kV，最大管电流 1250mA），用于开展医疗诊断和引导介入治疗；拟在门急诊病房楼负 2 楼放疗中心新建 1 座直线加速器机房，并配置 1 台医用直线加速器（型号：Infinity，X 射线能量最大为 10MV，电子线能量最大为 15MeV）；拟在门急诊病房楼 1 楼新增 1 台 CT 模拟定位机（型号未定，最大管电压 140kV，最大管电流 1000mA，属 III 类射线装置），用于模拟定位，配合医用直线加速器开展放射治疗。

• DSA 项目

DSA 因其整体结构像大写的“C”，因此也称作 C 型臂 X 光机，DSA 由 X 线发生装置，包括 X 线球管及其附件、高压发生器、X 线控制器等，和图像检测系统，包括光栅、影像增强管、光学系统、线束支架、检查床、输出系统等部件组成。



图 9-1 常见 DSA 外观示意图

常见的 DSA 外观示意图见图 9-1，本项目 2 台 DSA 的主要设备技术参数见表 9-1。

表 9-1 本项目 DSA 主要设备技术参数

■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■

表 9-2 本项目每台 DSA 配套设备一览表

序号	名称	数量	用途	位置
1	电源柜	1 套	DSA 配电	设备间
2	高压发生柜	1 套	DSA 高压装置	设备间
3	系统控制柜	1 套	设备控制和数据传输	设备间
4	控制系统	1 套	DSA 设备操作	控制室

• 医用直线加速器项目

江阴市中医院拟在门急诊病房楼负 2 楼新建 1 座医用直线加速器机房，配置 1 台医用直线加速器(型号:Infinity, X 射线能量最大为 10MV, 电子线能量最大为 15MeV)，用于肿瘤的放射治疗。常见医用直线加速器外观见图 9-2。

电子直线加速器至少要包括，一个加速场所（加速管），一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 9-3。



图 9-2 常见医用直线加速器外观示意图

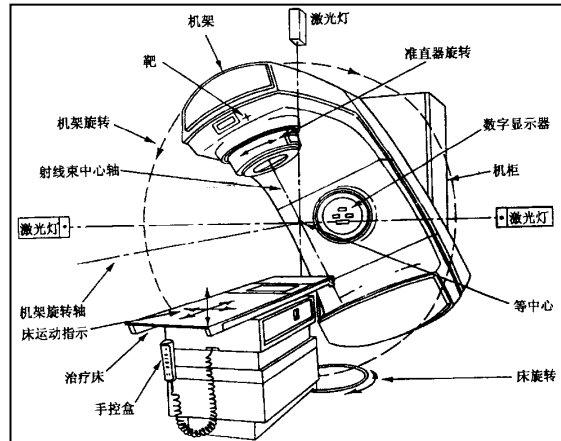


图 9-3 医用直线加速器基本结构示意图

医院拟引进的 **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，本项目拟建医用直线加速器主要技术参数见表 9-3。

表 9-3 本项目医用直线加速器技术参数情况一览表

型 号	Infinity
位 置	门急诊病房楼负 2 楼直线加速器机房
主要技术指标	X 射线能量 (MV) : 6、10 电子线能量 (MeV) : 6、8、10、12、15
源轴距 SAD	1m
等中心点至机房地坪的高度	1.29m
距靶 1m 处 X 辐射剂量率	X 射线: 600cGy/min (常规) 10MV 时 2200cGy/min (3F 束流模式) 6MV 时 1400cGy/min (3F 束流模式)
距靶 1m 处电子线剂量率	600cGy/min
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

• **CT 模拟定位机**

江阴市中医院拟于门急诊病房楼 1 楼新建 1 座 CT 模拟定位机房，配备 1 台 CT 模拟定位机（型号未定，最大管电压为 140kV，最大管电流 1000mA），用于模拟定位。常见的 CT 模拟定位机外观见图 9-4。



图 9-4 常见 CT 模拟定位机外观示意图

CT 模拟定位机是肿瘤放射治疗过程中用到的重要设备之一，在放射治疗中担负着模拟定位、等中心（位置）验证等重要工作，是整个放射治疗中重要的一环，实际上是一台特殊的 X 射线机。

CT 模拟定位机的机架旋转、机头转动、限束器开闭、距离指示、照射野指示、治疗床各部分运动，都与医用直线加速器一样，因此它能准确地模拟医用直线加速器的一切机械运动。并通过模拟定位机的 X 线影像系统准确确定出肿瘤的照射位置、照射面积、肿瘤深度、等中心位置等几何参数，以及机架旋转、机头旋转角度、源瘤距、源皮距、限束器开度、升床高度等机械参数，为治疗摆位提供了有力的依据，确保放射治疗的正确实施。

本项目拟配备的 CT 模拟定位机主要技术参数见表 9-4。

表 9-4 本项目 CT 模拟定位机技术参数情况一览表

项目名称	技术参数
型号	未定
位置	门急诊病房楼 1 楼 CT 模拟定位机房
额定管电压	140kV
额定管电流	1000mA

二、工作原理及工作流程

（一）DSA 项目

1、工作原理

数字减影血管造影技术是常规血管造影术和电子计算机图像处理技术相结合的产物。DSA 的成像基本原理为：将受检部位没有注入造影剂和注入造影剂后的血管造影 X

射线荧光图像，分别经影像增强器增益后，再用高分辨率的电视摄像管扫描，将图像分割成许多的小方格，做成矩阵化，形成由小方格中的像素所组成的视频图像，经对数增幅和模/数转换为不同数值的数字，形成数字图像并分别存储起来，然后输入电子计算机处理并将两幅图像的数字信息相减，获得的不同数值的差值信号，再经对比度增强和数/模转换成普通的模拟信号，获得了去除骨骼、肌肉和其他软组织，只留下单纯血管影像的减影图像，通过显示器显示出来。通过 DSA 处理的图像，使血管的影像更为清晰，在进行介入手术时更为安全。DSA 系统结构图见图 9-4。

DSA 是引导介入放射治疗的重要医学影像设备，通过置入体内的各种导管（约 1.5-2 毫米粗）的体外操作和独特的处理方法，对体内病变进行治疗。介入治疗具有不开刀、创伤小、恢复快、效果好的特点，目前，基于数字血管造影系统指导的介入治疗医生已能把导管或其他器械，介入到人体几乎所有的血管分支和其他管腔结构（消化道、胆道、气管、鼻管、心脏等），以及某些特定部位，对许多疾病实施局限性治疗。

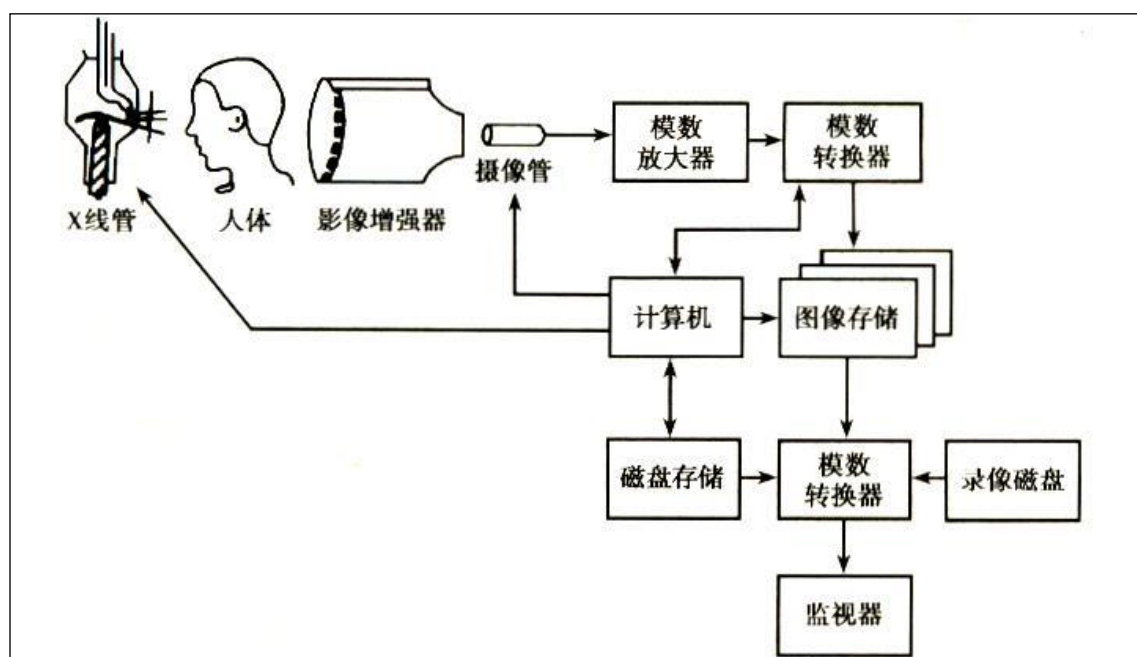


图 9-5 DSA 系统结构图

2、工作流程及产污环节分析

患者在进行 DSA 诊断和在 DSA 引导下进行介入治疗时，先仰卧进行无菌消毒，局部麻醉后，经皮穿刺动脉，送入引导钢丝及扩张血管与外鞘，退出钢丝及扩张管将外鞘保留于静脉内，经鞘插入导管，推送导管，在 X 线透视下将导管送达静脉，顺序取血测定静、动脉，并留 X 线片记录，探查结束，撤出导管，穿刺部位止血包扎。本项目 DSA

在进行曝光时分为两种情况：

第一种情况：血管减影检查。操作人员采取隔室操作的方式（即操作医师在控制室内对病人进行曝光），医生通过铅玻璃观察窗和操作台观察机房内病人情况，并通过对讲系统与病人交流。

第二种情况：引导介入治疗。病人需要进行介入手术治疗时，为更清楚的了解病人情况时会有连续曝光，并采用连续脉冲透视，此时操作医师位于铅帘后身着铅服、铅眼镜在机房内对病人进行直接的介入手术操作。

本项目采用先进的数字显影技术，电脑成像，不使用显（定）影液，不产生废显影液、废定影液和废胶片。注入的造影剂不含放射性。设备运行过程中产生的污染物主要为 X 射线、少量臭氧和氮氧化物以及手术过程中产生的医疗废物。

本项目 DSA 工作流程及产污环节如下图 9-6：

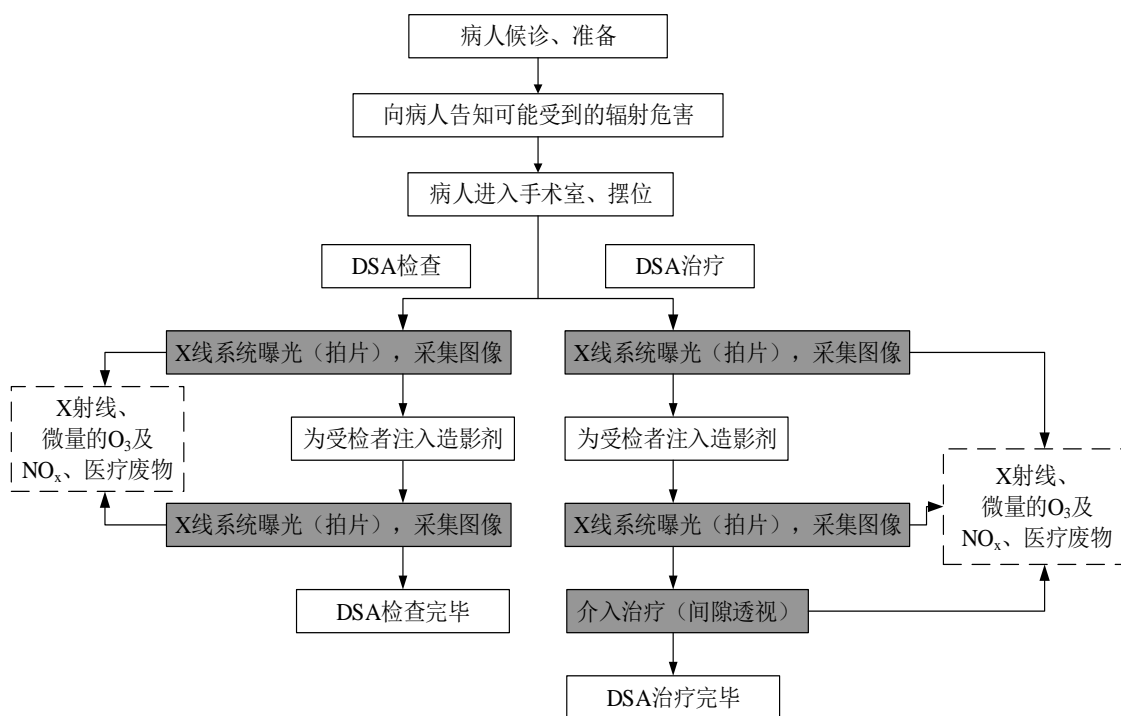


图 9-6 本项目 DSA 工作流程及产污环节示意图

（二）医用直线加速器

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。

电子直线加速器是实现放疗的最常见设备之一，电子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。

当医用直线加速器加上高压后，即产生多种类型的辐射，可大致分为瞬时辐射和剩余辐射。瞬时辐射是指被加速的电子束、以及其与靶材料相互作用产生的高能 X 射线，此外，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），当电子束打靶能量 $>10\text{MeV}$ 时，其韧致辐射产生的高能 X 射线能量还将与直线加速器的高 Z 重金属靶材产生 (γ 、 n) 反应，产生中子。直线加速器产生的高能电子束、高能 X 射线和中子，可能会对工作人员和公众产生辐射危害。

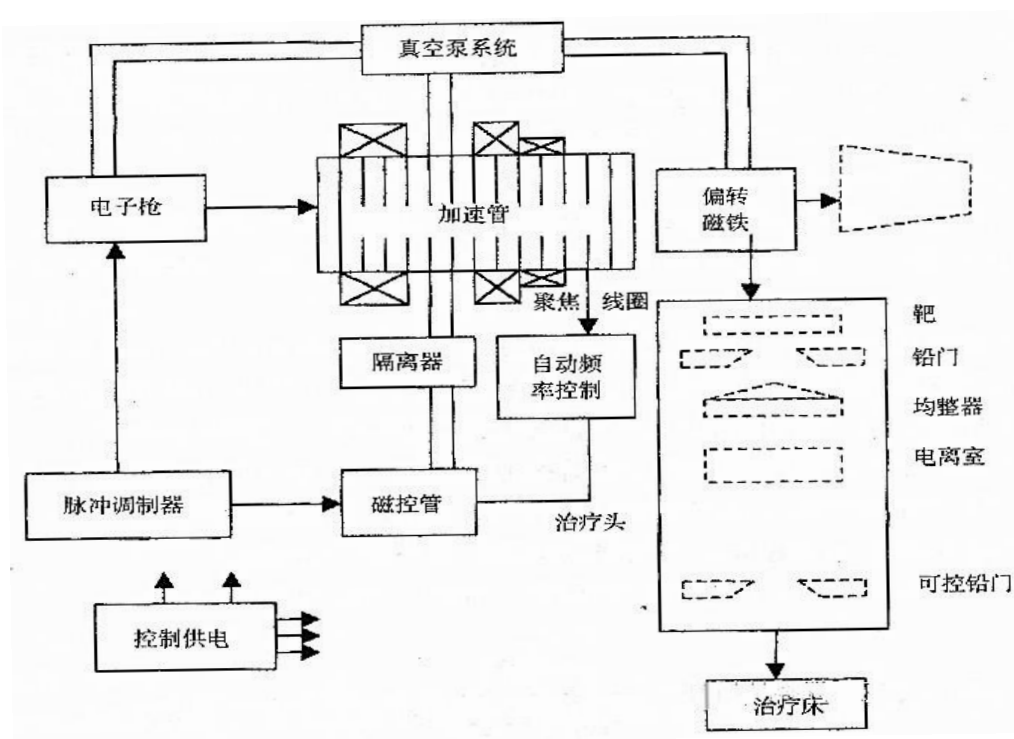


图 9-7 医用直线加速器系统示意图

剩余辐射是指由于中子活化使加速器及周围环境产生短寿命的感生放射性核素，包括固态感生放射性和气态感生放射性。电子直线加速器中产生的感生放射性从物理机制上可分为直接和间接两个过程。直接过程为韧致辐射光子与加速器部件发生的光

核反应；间接过程则主要为光核反应所释放的光中子与加速器部件发生的中子俘获反应，即中子活化。由中子活化产生的放射性核素大多为丰中子核素，其衰变方式多为 β 衰变。一般停机数小时后，感生放射性即可达到可忽略的水平。医用电子直线加速器系统示意图见图 9-7。

2、工作流程

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

2) 制订治疗计划：根据患者所患疾病的性质、部位和大小确定照射剂量和照射时间。

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

4) 技师离开治疗室，进入控制室，根据 TPS 计划进行出束治疗；

5) 治疗结束后，关机，打开治疗室防护门，患者离开治疗室。

医用直线加速器放疗工作一般流程见图 9-8。

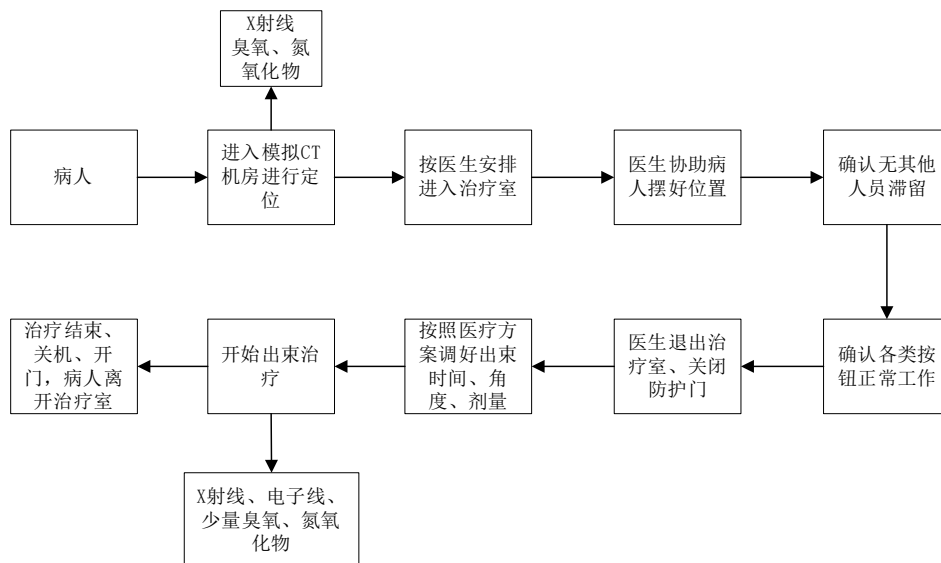


图 9-8 医用直线加速器放疗工作流程及产污环节示意图

(三) CT 模拟定位机项目

1、工作原理

CT 模拟定位机是肿瘤放射治疗过程中用到的重要设备之一，在放射治疗中担负着模拟定位、等中心（位置）验证等重要工作，是整个放射治疗中重要的一环，实际上是一台特殊的 X 射线机。

CT 模拟定位机等 X 射线诊断装置主要由 X 射线管和高压电源组成。X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成，阴极是钨制灯丝，它装在聚焦杯中，当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。高电压加在 X 射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度，这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡从而产生 X 射线。X 射线管基本结构如图 9-9 所示。

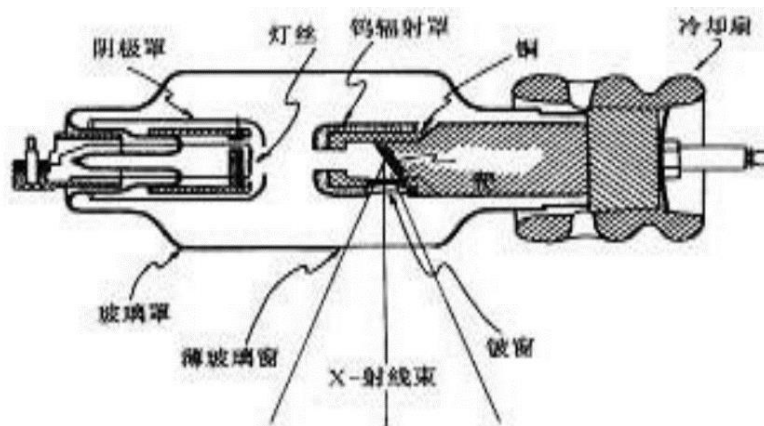


图 9-9 X 射线管基本结构示意图

2、工作流程

患者经医生诊断后，预约登记诊断时间。受检者按约定时间在候诊区准备和等候。受检者进入机房在医务人员的指导下正确摆位。摆位完成后，除患者外，无关人员退出机房。工作人员检查无误后，即开启模拟定位机进行拍片/模拟定位。检查结束后，受检者离开机房。

CT 模拟定位机诊断流程及产污环节见图 9-10。

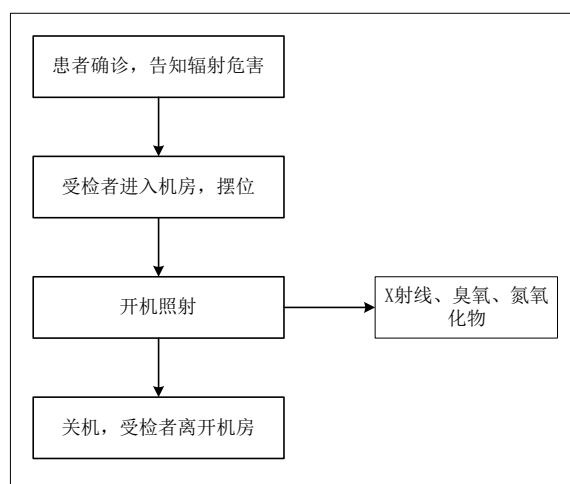


图 9-10 CT 模拟定位机工作流程及产污环节示意图

污染源项描述

一、放射性污染

(一) DSA 项目

DSA 在工作状态下会发出 X 射线，本项目配置的 2 台 DSA，其主要用作血管造影检查及配合介入治疗，由于在荧光影像与视频影像之间有影像增强器，从而降低了造影所需的 X 射线能量，再加上一次血管造影检查需要时间很短，因此血管造影检查的辐射影响较小。而介入放射治疗需要长时间的透视和大量的摄片，对病人和医务人员有一定的附加辐射剂量。

DSA 产生的 X 射线是随机器的开、关而产生和消失，其穿透能力与 X 射线管的管电压和出口滤过有关。在开机出束期间，X 射线是主要污染因子。辐射场中的 X 射线包括有用线束（主束）、漏射线和散射线。由于射线能量较低，不必考虑感生放射性问题。

1、有用线束

本项目 DSA 的有用线束透射方向为由下至上。有用线束的射线能量、强度与 X 射线管靶物质、管电压、管电流有关。DSA 具有自动照射量控制调节功能（AEC），摄影时，如果受检者体型偏瘦，功率自动降低，照射量率减小；如果受检者体型较胖，功率自动增强，照射量率增大。为了防止球管烧毁并延长其使用寿命，实际使用时，管电压和管电流通常留有一定的裕量。根据医院提供资料，当 DSA 运行管电压为额定电压的极端情况时，透视模式下的电流不大于 100mA，拍片模式下的电流不大于 500mA；DSA 正常运行时，透视模式的工况为（60~80）kV/（5~20）mA，拍片模式的工况为（60~80）kV/（100~500）mA。

DSA 运行时离靶 1 米处的 X 射线发射率根据运行时管电压和 DSA 的 X 射线管的过滤条件从《辐射防护导论》（方杰著）附图 3 中查取。本项目 DSA 过滤板为 2.5mmAl，查《辐射防护导论》附图 3，本项目正常运行时最大电压为 80kV，离靶 1 米处的发射率约为 5mGy m²/mA · min。

2、泄漏射线

根据国际放射防护委员会第 33 号出版物《医用外照射源的辐射防护》“（77）用于诊断目的的每一个 X 射线管必须封闭在管套内，以使得位于该套管内的 X 射线管在制造厂规定的每个额定值时，离焦点 1m 处所测得的泄漏辐射在空气中的比释动能不超过 1 mGy/h”（在距离源 1m 处不超过 100cm²的面积上或者在离管或源壳 5cm 处的 10cm²

面积上进行平均测量)，以及《医用电气设备 第一部分：安全通用要求 三、并列标准 诊断 X 射线设备辐射防护通用要求》（GB 9706.12-1997）中 29.204.3 的相应要求，取本项目 DSA 离焦点 1m 处的泄漏辐射空气比释动能率为 1.0mGy/h。

3、散射线

本项目 DSA 的散射线主要考虑有用线束照射到受检者人体产生的侧向散射线，其强度与有用线束的 X 射线能量、X 射线机的输出量、散射面积和距离等有关。

工作负荷：根据医院提供的资料，每 1 台 DSA 的工作负荷情况见表 9-5。

表 9-5 1 台 DSA 工作负荷

(1) 透视					
手术类别	年开展工作量		每台手术透视曝光时间		年透视曝光时间
心脏介入	300 台		约 20min		约 100h
血管外科介入	150 台		约 20min		约 50h
脑血管介入	100 台		约 30min		约 50h
小计	/		/		约 200h
(2) 拍片					
手术类别	年开展工作量	单次采集时	单台手术采集次数	单台手术最大采集时间	年采集时间
心脏介入	300 台	0.5~1s	7~15 次	约 0.25min	约 1.25h
血管外科介入	150 台	0.5~1s	6~10 次	约 0.17min	约 0.42h
脑血管介入	100 台	0.5~1s	4~10 次	约 0.17min	约 0.28h
小计	/	/	/	/	约 2h
总 计					约 202h

本项目拟新增 2 台 DSA，共配备 10 名辐射工作人员，每台 DSA 配备 3 名医生、1 名护士、1 名技师，辐射工作人员年工作 250 天。

(二) 医用直线加速器项目

1、X 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。

本项目拟配备的 1 台医用直线加速器 X 射线能量最大为 10MV，1m 处 X 射线输

出剂量率最大为 2200cGy/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。

本项目拟配备的 1 台医用直线加速器电子线最大能量不超过 15MeV，1m 处电子线最高输出剂量率为 600cGy/min。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。

根据医院预测的诊疗需要，本项目医用直线加速器投入使用后，每次治疗有效出束时间 2~3 分钟，每天治疗人数 40 人，预计年工作 250d，医用直线加速器年出束运行时间约 500h，医院拟配备 3 名辐射工作人员，包括医生 1 名，技师 1 名，物理师 1 名，年工作时间 500h。

（三）CT 模拟定位机项目

本项目 CT 模拟定位机采用先进的数字成像技术，不使用显影液、定影液和胶片，因此不会产生废显影液、废定影液和废胶片。

CT 模拟定位机在工作状态下会发出 X 射线，拟配置的 1 台 CT 模拟定位机最大管电压为 140kV、最大管电流 1000mA，产生的 X 射线会对患者和医务人员有一定的附加辐射剂量。

医院拟配备 1 名辐射工作人员，年工作时间 250d。

二、非放射性污染

1、废气：DSA、医用直线加速器、CT 模拟定位机在工作状态时，会使机房内的空气电离产生少量臭氧和氮氧化物。

2、废水：主要是工作人员和部分病人产生的医疗废水和生活污水。

3、固体废物：主要是工作人员产生的生活垃圾和 DSA 手术过程中产生的棉签、纱布、手套、器具等医疗废物。

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

• DSA 项目

本项目位于于门急诊病房楼，门急诊病房楼东侧、南侧为院内道路，西侧为发热门诊、院内道路、百草园，北侧隔院内道路为食堂宿舍办公楼、制剂楼、废水处理垃圾房。门急诊病房楼 1 楼 DSA2 机房东侧为 DSA2 辅房和操作间 2，南侧为走廊，西侧为预留 DSA1 机房，北侧为 DSA 污洗室，楼上为检验科，楼下为为地下停车场、楼梯、仓库；DSA3 机房东侧为操作间 3、DSA3 辅房和 DSA 污洗，南侧为过道，西侧为辅房 4、物流井和辅房 6，北侧为走廊，楼上为检验科，楼下为走道、仓库。

本项目将 DSA 所在机房作为辐射防护控制区，与机房相邻的控制室、辅房、污洗间等划为监督区，在机房入口处粘贴电离辐射警告标志。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。江阴市中医院 DSA 机房平面布置及辐射防护分区详见附图 5-2。

• 医用直线加速器项目

拟在门急诊病房楼负 2 楼新建 1 座加速器机房，配置 1 台医用直线加速器（型号：Infinity，X 射线能量最大为 10MV，电子线能量最大为 15MeV），直线加速器机房东侧为休息室、电梯和过道，南侧为过道，西侧为楼梯，北侧为水冷机房、辅助机房、控制室和过道，上方为杂物仓库，下方为土层。机房控制室与治疗室分离，每座治疗室面积约 102.69m²（不含迷路）；加速器机房设置“L”型迷路，迷路口设有防护门；有用线束仅向南墙、北墙、地面及屋顶照射。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”、“治疗机房一般设于单独的建筑或建筑物底层的一端”的规定及《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中关于选址与布局的规定、《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，布局合理。

为加强辐射防护管理和职业照射控制，本项目根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021），拟将直线加速器治疗室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；将控制室、水冷机房、辅助机房、

休息室作为辐射防护监督区。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。医用直线加速器机房平面布局及分区详见附图 3-2。

• **CT 模拟定位机项目**

本项目拟于门急诊病房楼 1 楼新建 1 座 CT 模拟定位机房，配备 1 台 CT 模拟定位机（型号未定，管电压 $\leq 140\text{kV}$ ，管电流 $\leq 1000\text{mA}$ ），用于模拟定位，配合医用直线加速器开展放射治疗。机房东侧为 VIP 检查区，南侧为室外，西侧为操作间，北侧为过道，上方为诊室，下方为地下停车场。CT 模拟定位机房操作室与诊断机房分开单独布置，区域划分明确，项目布局合理。

本项目拟将 CT 模拟定位机所在机房作为辐射防护控制区，与机房相邻的操作室划为监督区，在机房入口处粘贴有电离辐射警告标志。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。CT 模拟定位机房平面布置及分区详见附图 5-3。

本项目控制区与监督区的划分情况见表 10-1。

表 10-1 本项目控制区和监督区划分情况

项目	控制区	监督区
DSA 项目	DSA 机房	控制室、辅房、污洗间
医用直线加速器项目	医用直线加速器机房	控制室、水冷机房、辅助机房、休息室
CT 模拟定位机项目	CT 模拟定位机房	操作室

1) 控制区的防护手段与安全措施

- ① 采用实体边界划定控制区；采用实体边界不现实时也可以采用其他适当的手段；
- ② 在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的、符合附录（标准的附录）规定的警告标志，并给出相应的辐射水平和污染水平的指示；
- ③ 制定职业防护与安全措施，包括适用于控制区的规则与程序；
- ④ 运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可证制度）和实体屏障（包括门锁和联锁装置）限制进出控制区；限制的严格程度应与预计的照射水平和可能性相适应；
- ⑤ 按需要在控制区的入口处提供防护衣具、监测设备和个人衣物贮存柜；

⑥定期审查控制区的实际状况，以确定是否有必要改变该区的防护手段或安全措施或该区的边界。

2) 监督区的防护手段与安全措施

①采用适当的手段划出监督区的边界；

②在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；

③定期审查该区的条件，以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界。

二、辐射防护屏蔽设计

• DSA 项目

江阴市中医院 DSA 机房辐射防护设计见表 10-2。

表 10-2 本项目 2 座 DSA 机房屏蔽设计一览表

屏蔽体	屏蔽设计（屏蔽体厚度及材质）
四侧墙体	3mm 铅当量铅板
顶面	120mm 混凝土+2mm 铅当量防护涂料
地面	360mm 混凝土
防护门	3mm 铅当量铅板
观察窗	3mm 铅当量铅玻璃

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

• 医用直线加速器项目

江阴市中医院医用直线加速器机房位于门急诊病房楼负 2 楼，机房整体采用混凝土浇筑，设置“L”形迷道，迷道口设铅防护门。医用直线加速器机房具体屏蔽设计参数见表 10-3，屏蔽设计示意图见图 10-1。

表 10-3 医用直线加速器机房屏蔽设计参数

屏蔽体		屏蔽设计（屏蔽体厚度及材质）
东墙	迷道外墙	165cm 砼
	迷道内墙	120cm 砼
南墙	主屏蔽区	290cm 砼（宽度为 400cm）
	次屏蔽区	170 cm 砼

西墙	次屏蔽区	150cm 砼
北墙	主屏蔽区	290cm 砼 (宽度为 400cm)
	次屏蔽区	170cm 砼
屋顶	主屏蔽区	290cm 砼 (宽度为 420cm)
	次屏蔽区	170cm 砼
防护门		1.6cm 铅板+10cm 含硼 5% 聚乙烯

注：铅密度为 $11.3\text{g}/\text{cm}^3$ ，混凝土密度为 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ 。

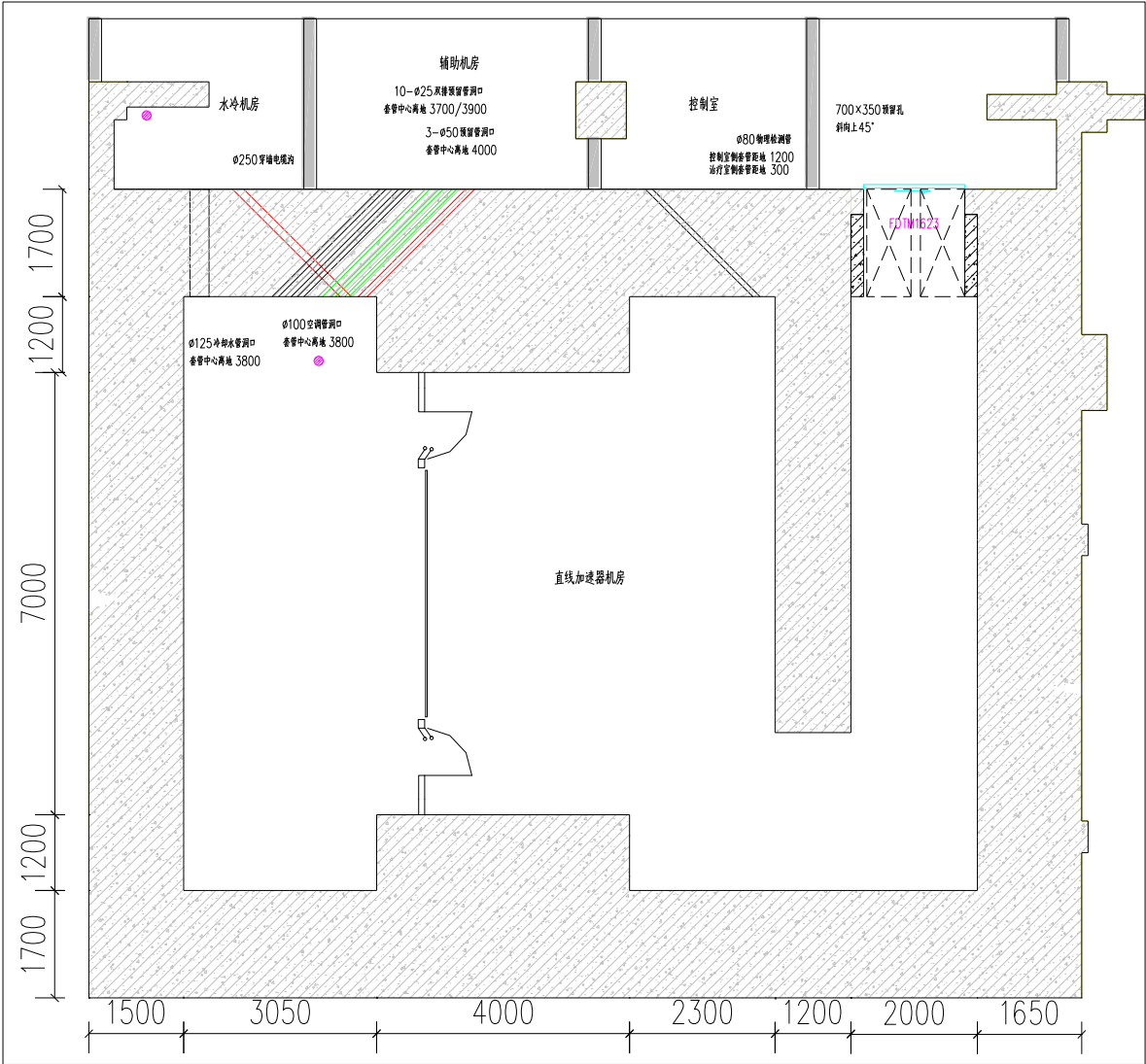


图 10-1 本项目加速器机房屏蔽设计示意图

• CT 模拟定位机项目

江阴市中医院 CT 模拟定位机房屏蔽参数见表 10-4。

表 10-4 CT模拟定位机房屏蔽设计一览表

屏蔽体	屏蔽设计（屏蔽体厚度及材质）
四侧墙体	24cm 实心砖墙+3mmPb 防护涂料
屋顶	12cm 混凝土+2mm 铅板
地面	36cm 混凝土
防护门	4mm铅当量铅板
观察窗	4mm铅当量铅玻璃

注：实心砖密度为 1.65g/cm^3 ，铅密度为 11.3g/cm^3 ，混凝土密度为 2.35g/cm^3 。

三、辐射安全措施

• DSA 项目

1、电离辐射警告标志

DSA 机房入口处拟设置有“当心电离辐射”警告标志和中文警示说明。

2、门灯联动

DSA 机房病人入口防护门上方拟设置工作状态指示灯，防护门设置闭门装置，且工作状态指示灯和与机房相通的门能有效关联。

3、急停按钮

DSA 控制室设置一个急停按钮，机房内的治疗床边操作面板自带一个急停按钮，各按钮分别与 X 射线系统连接，在出现紧急情况下，按下急停按钮，即可停止 X 射线系统出束。

4、观察窗或摄像监控装置

DSA 机房墙上设置有观察窗，可有效观察到患者和受检者状态。

5、防护用品

医院拟为本项目工作人员配备的辐射防护装置及个人防护用品主要有防护铅衣、防护铅围脖、铅眼镜、铅帽、剂量报警仪、个人剂量计等。

6、人员监护

医院拟为本项目配备 10 名辐射工作人员，应为辐射工作人员配备个人剂量计，定期送检且需做好个人剂量档案管理工作。该医院已开展辐射工作人员的职业健康监护，定期安排其在有相应资质医院体检，建立个人剂量档案。

7、完善并落实射线装置相关的安全使用制度、管理制度，从事放射工作的医务人员均须参加放射工作的培训与辐射安全培训考核。医务人员在操作过程中遵守以上制度，严格按操作程序，避免发生事故。

8、DSA 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。

• 医用直线加速器项目

(1) 电线电缆敷设：医用直线加速器机房电缆线穿墙方式（见图 10-2）拟采用“U”型穿墙管道，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。

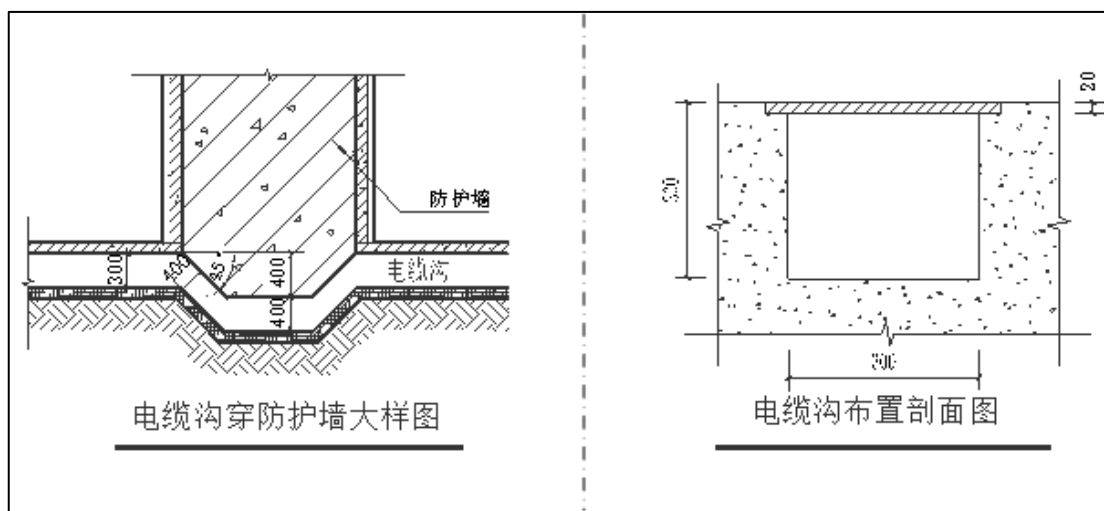


图 10-2 加速器机房电缆沟示意图

(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，还要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。根据经验，建议门与墙之间的间隙小于 1cm，门四周与墙体及地槽的重叠宽度应大于门缝的 10 倍，方能有效避免门缝处的射线泄漏。

(3) 本项目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。医用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) 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。

(5) 安全联锁装置：除医用直线加速器自身所带的安全联锁外，机房拟设置门-机联锁，只有在机房门关闭时加速器才能出束进行治疗。

(6) 紧急停机装置：除加速器上应设急停按钮外，治疗室靠近迷路位置、防护

门内迷路入口处和控制室控制台上均应设置急停按钮，以避免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。

(7) 监视和对讲装置：本项目医用直线加速器机房拟设计安装监控系统和对讲装置，实时观察机房内的动态。

(8) 开门、关门装置：医用直线加速器机房拟设置从室内开启治疗机房的装置，控制室内与机房外设置门控开关，控制机房防护门的开、关。防护门拟设有防挤压功能。

(9) 固定式报警仪：本项目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。

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。

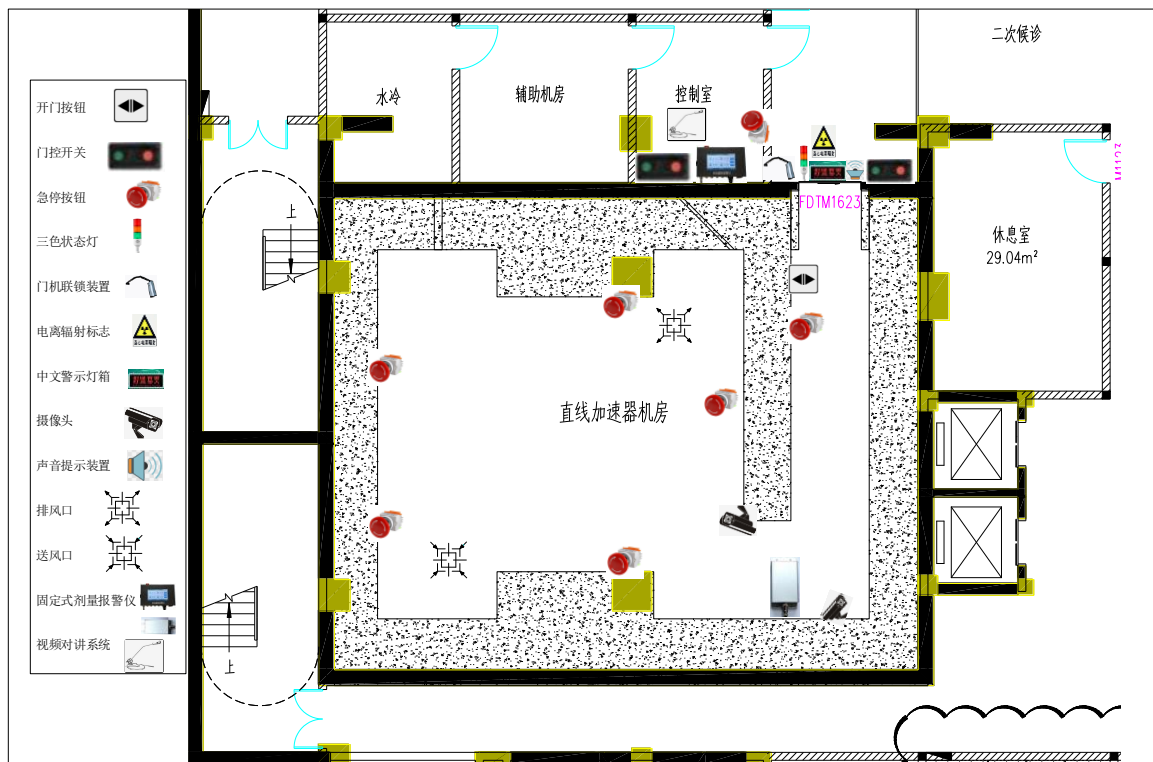


图 10-3 医用直线加速器机房主要安全设施位置示意图

• CT 模拟定位机项目

1、电离辐射警告标志

CT 模拟定位机房入口处拟设置有“当心电离辐射”警告标志和中文警示说明。

2、工作状态指示灯

CT 模拟定位机房患者入口防护门上方拟设置工作状态指示灯，灯箱上拟设置如

“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句，并与机房防护门有效关联。

3、闭门装置

平开机房门拟设有自动闭门装置，推拉式机房门拟设有曝光时关闭机房门的管理措施，防护门关闭的情况下，设备才能出束照射。

4、急停按钮

在 CT 模拟定位机房控制室及设备上均设置有急停按钮，在出现紧急情况下，按下急停按钮，即可停止 X 射线系统出束。

5、观察窗

CT 模拟定位机房控制室墙体上设置有观察窗，可有效观察到患者和受检者状态。

6、防护用品

医院拟为患者配备的个人防护用品主要有铅橡胶性腺防护围裙、铅橡胶颈套等，防护用品防护能力均不低于 0.5mm 铅当量。

本项目（DSA、医用直线加速器、CT 模拟定位机）投入运行前，对楼上和楼下工作人员进行辐射防护和健康影响说明（科普），避免引起恐慌。

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，使用Ⅱ类射线装置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。

• DSA 项目

江阴市中医院拟配备辐射巡测仪 1 台，拟为本项目配备个人剂量报警仪 4 台，拟为辐射工作人员配备铅衣（不低于 0.5mm 铅当量）、铅围脖、铅帽、介入护手套（不低于 0.025mm 铅当量）及铅眼镜等个人防护用品。辐射工作人员工作时将佩带个人剂量计，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。

表 10-5 2 台 DSA 项目个人防护用品和辅助防护设置配置符合性

设备名称	分项		《放射诊断放射防护要求》 (GBZ 130-2020) 要求	本项目拟采取措施
DSA	工作人员	个人防护用品	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套 选配：铅橡胶帽子	10 件铅橡胶围裙、10 件铅橡胶围脖、10 顶铅橡胶帽子、10 副铅防护眼镜、10 副介入防护手套

	辅助防护设施	铅悬挂防护屏/铅防护帘、床侧防护帘/床侧防护屏 选配：移动铅防护屏风	2 件铅悬挂防护屏、4 件床侧防护帘
受检者	个人防护用品	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	2 件铅橡胶围脖、2 顶铅橡胶帽子、2 件铅方巾
	辅助防护设施	/	/

• 医用直线加速器项目

江阴市中医院拟配备辐射巡测仪 1 台，拟为本项目配备个人剂量报警仪 2 台。辐射工作人员工作时将佩带个人剂量计，以监测累积受照情况。医院拟定期组织放射工作人员进行健康体检，并将按相关要求建立放射工作人员个人剂量监测档案和职业健康监护档案。

• CT 模拟定位机项目

江阴市中医院拟配备 1 台辐射巡测仪，拟为本项目配备 1 台个人剂量报警仪，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。医院拟定期组织放射工作人员进行健康体检，并将按相关要求建立放射工作人员个人剂量监测档案和职业健康监护档案。

表 10-6 CT 模拟定位机项目个人防护用品和辅助防护设置配置符合性

设备名称	分项		《放射诊断放射防护要求》 (GBZ130-2020) 要求	本项目拟采取措施
CT 模拟定位机	辐射工作人员	个人防护用品	/	/
		辅助防护设施	/	/
	受检者	个人防护用品	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	1 件铅衣、1 件铅橡胶颈套
		辅助防护设施	可调节防护窗口的立位防护屏 选配：固定特殊受检者体位的各种设备	/

三废治理

一、放射性三废

DSA、医用直线加速器、CT 模拟定位机在正常运行中无放射性三废产生。

二、非放射性三废

1、DSA 项目

(1) 废水：工作人员和部分病人产生的医疗废水和生活污水，由院内污水处理站统一处理达标后排放至市政管网。

(2) 废气：DSA 机房空气在 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，臭氧常温下约 50 分钟可自行分解为氧气。

(3) 固废：本项目 DSA 手术过程中产生的棉签、纱布、手套、器具等医疗废物暂存在机房内的废物桶，手术结束后统一集中收集，作为医疗废物委托有资质单位进行处置。工作人员和病人产生的生活垃圾经分类收集后，定期交市政环卫部门处置。

2、放疗科项目

(1) 废水：工作人员和部分病人产生的医疗废水和生活污水，由院内污水处理站统一处理达标排放至市政管网。

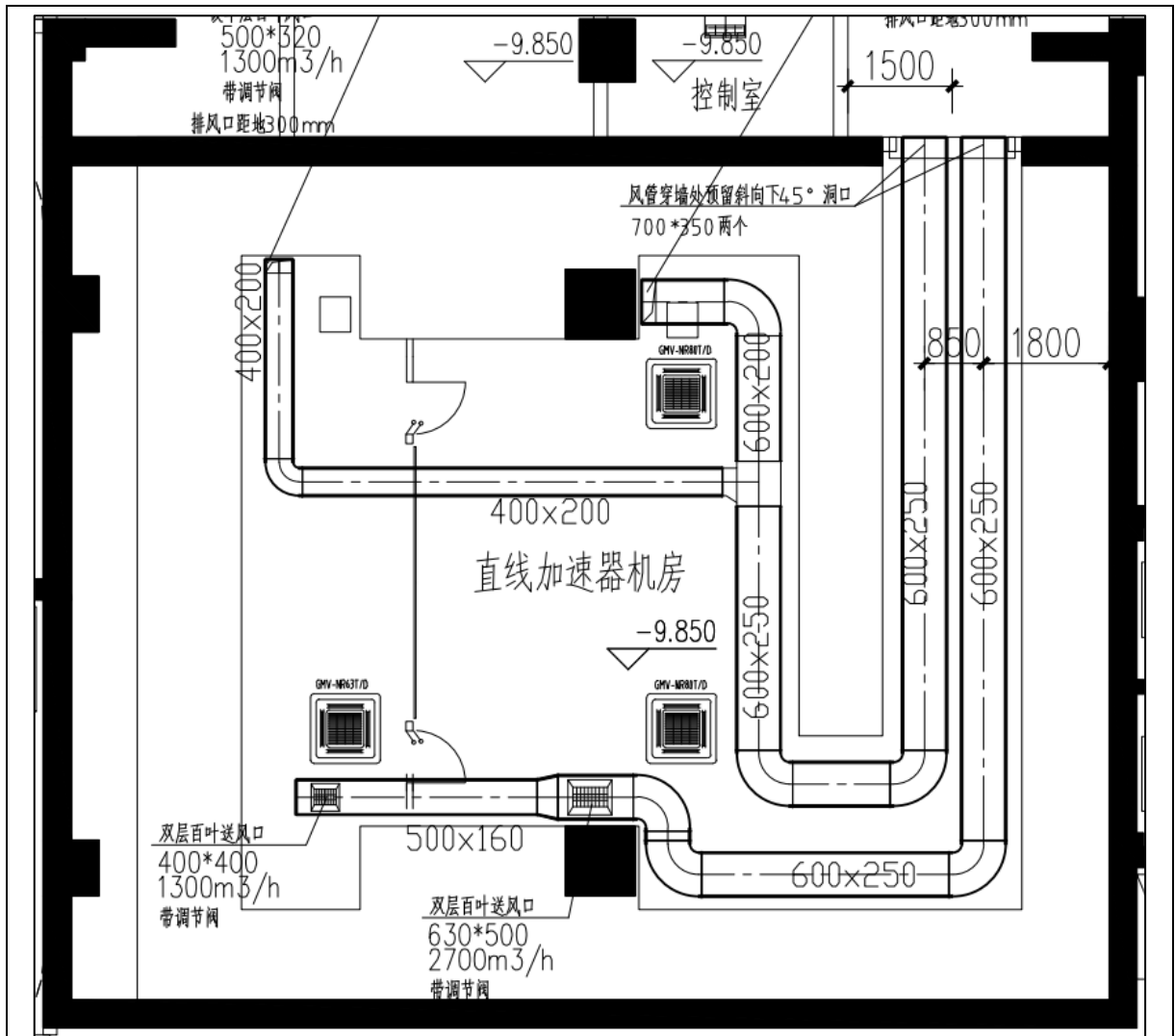
(2) 废气：医用直线加速器、CT 模拟定位机房内的空气在 X 射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，通过动力排风装置排入大气。臭氧常温下约 50 分钟可自行分解为氧气。

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 1 座医用直线加速器机房治疗室容积均约 518.58m³（不含迷路），医用直线加速器机房排风机的设计通风量应不小于 2075m³/h，医用直线加速器机房内设有通风装置，采用机械排风方式。放射治疗机房采用上进下出的通风系统。通风风管从防护门上方斜 45° 穿出墙体，进风口和排风口位置应对角设置。详见图 10-4。

本项目医用直线加速器机房通风设计能够满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中“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”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。

(3) 固体废物：产生的医疗废物集中收集后交资质单位处置；生活垃圾经分类收集后，交由市政环卫部门处理。



10-4 加速器机房暖通示意图

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本次新建放射诊疗项目机房建设时主要工作为建筑施工、墙体隔断与内饰装潢，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：

1、大气：本项目在建设施工期需进行的墙体隔断等作业，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，如混凝土浇筑、墙体连接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。

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区内部，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

（一）DSA 项目

1、DSA 机房的屏蔽防护铅当量厚度与标准要求的相符性分析评价

（1）评价标准

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）表 3 规定，主束方向、非有用线束方向屏蔽体的铅当量均应不小于 2.0mmPb。

（2）本项目 DSA 机房各屏蔽部位的铅当量厚度核算

由表 10-1，本项目 DSA 机房使用的屏蔽材料除铅以外，还涉及顶面（有用线束投射方向）、地面（非有用线束投射方向）的混凝土、防护涂料及铅玻璃。本项目按额定管电压 125kV 极端条件核算 DSA 机房各屏蔽部位屏蔽材料的等效铅当量厚度。

1) 混凝土的等效铅当量厚度核算:

按照 GBZ 130-2020 中 C.1.2 b) 给出的计算公式进行计算:

$$X = \frac{1}{\alpha\gamma} \ln \left(\frac{B^{-\gamma} + \frac{\beta}{\alpha}}{1 + \frac{\beta}{\alpha}} \right) \quad \text{公式 11-1}$$

式中: X —不同屏蔽物质的铅当量厚度;

α 、 β 、 γ —相应屏蔽物质 (本项目为混凝土) 对相应管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数;

B —给定铅厚度的屏蔽透射因子; 给定铅厚度的屏蔽透射因子 B 值对照 GBZ 130-2020 中 C.1.2 a) 相应要求采用给出的计算公式进行计算:

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad \text{公式 11-2}$$

式中: B —给定铅厚度的屏蔽透射因子;

α 、 β 、 γ —铅对对相应管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数;

X —铅厚度。

由 GBZ 130-2020 中表 C.2 和 NCRP147 报告 TABLE A.1、TABLE C.1 查取 70kV 管电压工况下 X 射线 (散射) 辐射衰减的有关的拟合参数、80kV、125kV 管电压工况下 X 射线 (主束) 辐射衰减的有关的拟合参数, 列于表 11-1:

表 11-1 各管电压工况下 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

本项目机房屏蔽部位涉及的 360mm、120mm 混凝土, 分别按公式 11-2、公式 11-1 计算其屏蔽透射因子 B 、铅当量厚度, 计算结果列于表 11-2。

表 11-2 混凝土屏蔽透射因子 B 、铅当量厚度计算结果

--	--	--	--

██████████	██████████	██████████	████
██████████	██████████	██████████	████

(3) DSA 机房的屏蔽防护铅当量厚度与标准要求的相符性

根据前述各屏蔽材料的等效铅当量厚度核算情况，可对本项目 DSA 机房屏蔽体等效铅当量进行汇总，结果见下表：

表 11-3 本项目 2 座 DSA 机房辐射防护设计一览表

████	██████████	██████████	██████████	████
██████████	██████████	████		████
████	██████████	████	██████████	████
████	██████████	████	██████████	████
████	██████████	████	██████████	████
████	██████████	████		████
████	██████████	████	██████████	████
████	██████████	████	██████████	████

注：1、屏蔽要求引自《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）表 3；
 2、为非有用线束方向；
 3、为有用线束方向。

由上表可知，本项目 2 座 DSA 机房屏蔽防护措施能满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的要求。

2、DSA 机房的辐射影响预测

为了进一步评价屏蔽效果辐射防护效果，采用理论预测的方法进行影响分析。本项目 2 座 DSA 机房防护参数相同，故选取面积小（DSA2 机房长、宽皆小于 DSA3 机房）的 DSA2 机房进行计算，预测点选取如下：

- 1#-DSA2 机房东侧屏蔽墙外 30cm，操作间 2；
- 2#-DSA2 机房东侧观察窗外 30cm，操作间 2；
- 3#-DSA2 机房东侧防护门外 30cm，操作间 2；
- 4#-DSA2 机房南侧屏蔽墙外 30cm，走廊；
- 5#-DSA2 机房西侧屏蔽墙外 30cm，预留 DSA1 机房；
- 6#-DSA2 机房北侧屏蔽墙外 30cm，DSA 污洗；
- 7#-DSA2 机房北侧防护门外 30cm，DSA 污洗；

8#-DSA2 机房距楼上地面 100cm，检查室；

9#-DSA2 机房距楼下地面 170cm，车库。

在 DSA2 机房周围共布设 11 个预测点，预测点布设见图 11-1 所示。

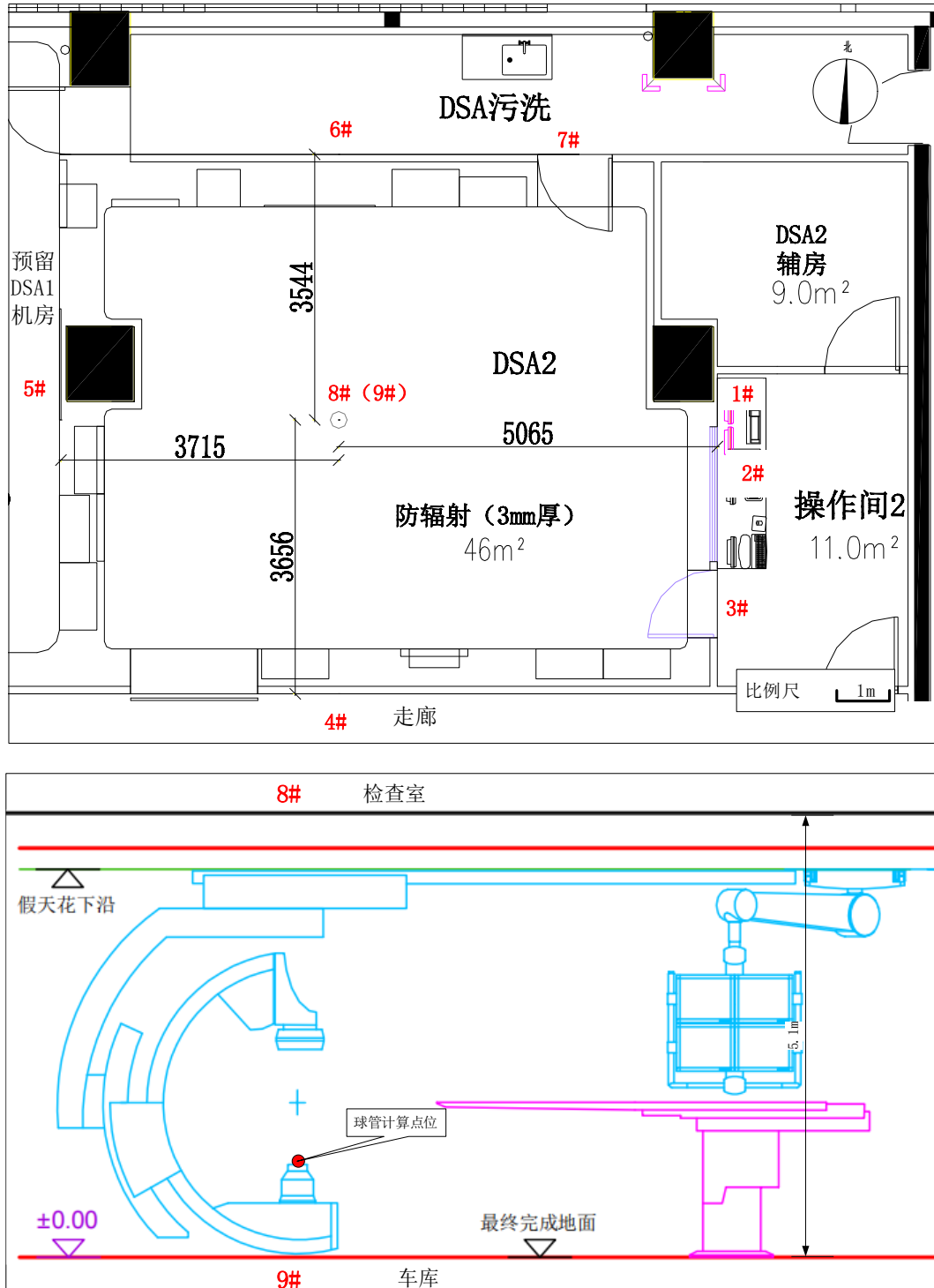


图 11-1 DSA 机房周围预测点布设示意图

本项目 DSA 的辐射影响情况见表 11-4。

表 11-4 本项目 DSA 的辐射影响情况

(1) 关注点处有用线束辐射剂量率计算

由《辐射防护手册（第一分册）》（李德平 潘自强著）给出的 X 射线机散射线在关注点的周比释动能计算公式（公式 10.8）进行推导，得到有用线束在关注点处的比释动能率 H 的计算公式（推导中，将原公式中的使用因子、居留因子均取为 1）：

$$H = \frac{H_0 \cdot I \cdot B}{d^2} \cdot K \quad \text{公式 11-3}$$

式中： H_0 —X 射线机发射率常数（当管电流为 1mA 时，距离阳极靶 1m 处由主束产生的比释动能率）， $\text{mGy m}^2 \text{mA}^{-1} \text{min}^{-1}$ ；具体数值可根据 X 射线机管电压、过滤片等条件从《辐射防护导论》附图 3 查取，按本项目正常使用的最大管电压为 80kV、过滤片为 2.5mmAl 的条件从《辐射防护导论》附图 3 由插值法查得 H_0 为 $5\text{mGy m}^2 \text{mA}^{-1} \text{min}^{-1}$ ，即 $300000\mu\text{Gy m}^2 \text{mA}^{-1} \text{h}^{-1}$ ；

I —管电流，mA；本项目透视、拍片模式下正常使用的最大管电流分取 20mA、500mA；

d —关注点至 X 射线源的距离；

B —屏蔽材料对散射线的透射因子，无量纲，计算公式见公式 11-2：

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha\gamma X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad \text{公式 11-2}$$

式中： X —铅厚度，本项目 DSA 机房屏蔽体的铅厚度见表 11-5；

K —有效剂量与空气比释动能转换系数，Sv/Gy，查《用于光子外照射防护的剂量转换系数》（GBZ/T 144-2002）表 B2，对于本项目 DSA 运行时常用最大管电压 80kV， K 值取 1.67。

α 、 β 、 γ —铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，见表 11-5；

将 DSA 机房屏蔽体的铅厚度 X （表 11-3）、有关的拟合参数 α 、 β 、 γ 值（表 11-5）代入公式 11-2，计算相应的屏蔽透射因子值，将前述有关参数代入公式 11-3，计算透视、拍片模式下 DSA 机房上方公众处有用线束辐射剂量率，计算结果见表 11-5。

表 11-5 关注点处有用线束辐射剂量率计算结果

注：1、有效剂量估算中，有效剂量与空气比释动能转换系数取 1.67Sv/Gy；

2、门急诊病房楼 1 楼层高 5.1m。

(2) 关注点处散射辐射剂量率预测计算

由《辐射防护手册（第一分册）》（李德平、潘自强著）给出的 X 射线机散射线在关注点的周比释动能计算公式（公式 10.10）进行推导，得到散射线在关注点处的辐射剂量率 H_s 的计算公式（推导中，将原公式中的使用因子、居留因子均取为 1）：

$$H_s = \frac{H_0 \cdot I \cdot a \cdot (s/400) \cdot B_s \cdot K}{d_0^2 \cdot d_s^2} \quad \text{公式 11-4}$$

式中： H_0 —X 射线机发射率常数（当管电流为 1mA 时，距离阳极靶 1 m 处由主束产生的比释动能率）， $\text{mGy m}^2 \text{mA}^{-1} \text{min}^{-1}$ ，本项目取 $300000 \mu\text{Gy m}^2 \text{mA}^{-1} \text{h}^{-1}$ ；

I —管电流，mA；本项目透视、拍片模式下正常使用的最大管电流分取 20mA、500mA；

a —人体对 X 射线的散射照射量与入射照射量之比值，由《辐射防护手册（第一分册）》表 10.1 中查取。本项目最大常用管电压为 80kV，对于散射线向机房四侧墙体投射的情况，从《辐射防护手册（第一分册）》表 10.1 中采用内插法查取散射角 90° 时 80kV 对应的 a 值为 0.0008（该取值适用于机房四侧关注点相应预测计算）；对于散射线向机房底面投射的情况，因《辐射防护手册（第一分册）》表 10.1 中无散射角 180° 的数据，表中所列散射角中以 135° 最接近 180° ；故从该表中散射角为 135° 、管电压为 70kV、100kV 对应的 a 值采用内插法求取 80kV 对应的 a 值为 0.0016（该取值适用于机房底面关注点相应预测计算）；对于散射线向机房顶面投射的情况，因《辐射防护手册（第一分册）》表 10.1 中无散射角 0° 的数据，表中所列散射角中以 30° 最接近 0° ；故从该表中散射角为 0° 、管电压为 70kV、100kV 对应的 a 值采用内插法求取 80kV 对应的 a 值为 0.0009（该取值适用于机房顶面关注点相应预测计算）；

S —主束在受照人体上的散射面积，考虑手术需要的最大照射面积，本项目常用最大照射面积取 $16 \times 16 = 256 \text{cm}^2$ ；

K —有效剂量与空气比释动能转换系数，Sv/Gy，查《用于光子外照射防护

的剂量转换系数》(GBZ/T 144-2002)表 B2,按前述 90°方向一次散射线能量对应的 kV 值为 70kV, K 值取 1.60。

d_0 —源至受照点的距离,根据设备参数确定,本项目取 d_0 取最小值 0.45m (符合 ICRP 33 号报告第 98 段关于使用固定式 X 线透视检查设备的焦皮距的要求);

d_s —受照体至关注点的距离。

B_s —屏蔽材料对散射线的透射因子,无量纲,计算公式见式 11-2:

$$B_s = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha \gamma X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad \text{公式 11-2}$$

式中: X —铅厚度,本项目 DSA 机房屏蔽体的铅厚度见表 11-3;

α 、 β 、 γ —铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数;

本项目最大常用管电压 (80kV, 即 0.08MV) 下有用线束 (初级 X 射线) 的散射线,其能量偏保守取有用线束侧向 (散射角 $\theta=90^\circ$) 的一次散射线能量,可借鉴康普顿散射定律计算一次散射线能量 E 与入射的初级 X 射线能量 E_0 之比值 $E/E_0=1/[1+E_0(1-\cos\theta)/0.511]=1/[1+0.08 \times (1-\cos 90^\circ)/0.511]=0.865$,继而计算一次散射线能量 E 对应的 kV 值为 $80\text{kV} \times 0.865=69.2\text{kV}$,近似取为 70kV, 70kV 的 α 、 β 、 γ 数值具体见表 11-1:

将 DSA 机房屏蔽体的铅厚度 X (表 11-3)、有关的拟合参数 α 、 β 、 γ 值 (表 11-1) 代入公式 11-4,计算相应的散射辐射屏蔽透射因子值。同时,利用公式 11-4 对 DSA 机房内介入操作人员防护用品与辅助防护设施的散射辐射屏蔽透射因子进行计算。将前述有关参数代入公式 11-3,计算透视模式、拍片模式下 DSA 机房外公众、操作台操作人员、机房内介入操作人员处散射辐射剂量率,计算结果见表 11-6。

表 11-6 关注点处散射辐射剂量率计算结果

(2) 关注点处泄漏辐射剂量率预测计算

泄漏辐射剂量率 H_L 采用下式计算：

$$H_L = \frac{H_i \cdot B}{r^2} \cdot K \quad \text{公式 11-5}$$

式中： H_L —关注点处泄漏辐射有效剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_i —距靶 1m 处泄漏射线的空气比释动能率， mGy/h 。本项目 1m 处泄漏射线的空气比释动能率取 1.0mGy/h ；

B —机房各屏蔽体的泄漏射线屏蔽透射因子，本项目 DSA 管电压为 80kV （本项目正常运行最大管电压）工况下 DSA 手术间四周屏蔽墙及地面的泄漏射线屏蔽透射因子见表 11-7；

K —有效剂量与空气比释动能转换系数， Sv/Gy ，查《用于光子外照射防护的剂量转换系数》（GBZ/T 144-2002）表 B2，对于本项目 DSA 运行时常用最大管电压 80kV ， K 值取 1.67。

将有关参数代入公式 11-5，计算 DSA 机房周围关注点处、机房内介入操作人员操作位关注点处的泄漏辐射剂量率，计算结果见表 11-7。

表 11-7 关注点处漏辐射剂量率计算结果

[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]

(4) 关注点处预测计算结果汇总

综上所述，DSA 机房外关注点处的辐射剂量率理论估算结果汇总见表 11-8。

表 11-8 关注点处辐射剂量率计算统计结果

[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]			
[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]

██████████		██████████		██████████		██████████
██████████		██████████		██████████	██████████	██████████
██████████		██████████		██████████		██████████
██████████		██████████		██████████	██████████	██████████
██████████		██████████		██████████		██████████
██████████		██████████		██████████	██████████	██████████
██████████		██████████		██████████		██████████
██████████		██████████		██████████	██████████	██████████
██████████		██████████		██████████		██████████
██████████		██████████	██████████			██████████
██████████		██████████	██████████			██████████
██████████		██████████		██████████	██████████	██████████
██████████		██████████		██████████		██████████
██	██████████	██████████		██████████	██████████	██████████
	██████████	██████████		██████████	██████████	██████████
██	██████████	██████████		██████████	██████████	██████████
	██████████	██████████		██████████	██████████	██████████

根据表 11-8 计算统计结果，本项目 DSA 机房外关注点处的辐射剂量率最大为 1.43μSv/h（主束方向），满足《放射诊断防护要求》（GB 130-2020）的标准要求

3、周围公众及辐射工作人员年有效剂量估算

（1）年有效剂量估算模式

DSA 机房周围公众、操作间辐射工作人员年有效剂量计算采用联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）2000 年报告附录 A 中的计算公式进行估算：

$$H_{Er} = H_r \times T \times t \quad \text{公式 11-6}$$

式中： H_{Er} —X射线外照射年有效剂量，mSv/a；

H_r —关注点处辐射剂量率，μGy/h；

T —居留因子；

t —年照射时间, h;

机房内介入操作人员的外照射辐射年有效剂量计算借鉴《职业性外照射个人监测规范》(GBZ 128-2019)给出的公式进行估算:

$$E = \alpha H_u + \beta H_o \quad \text{公式 11-7}$$

式中: α —系数, 有甲状腺屏蔽时, 取 0.79, 无屏蔽时, 取 0.84;

H_u —铅围裙内佩戴的个人剂量计测得的 $H_p(10)$, 单位为毫希沃特(mSv);

β —系数, 有甲状腺屏蔽时, 取 0.051, 无屏蔽时, 取 0.100;

H_o —铅围裙外锁骨对应的衣领位置佩戴的个人剂量计测得的 $H_p(10)$, 单位为毫希沃特(mSv)。

(2) 年有效剂量估算

将有关参数代入公式 11-6, 估算 DSA 机房四周公众及操作间辐射工作人员的年附加剂量, 见表 11-9。

表 11-9 DSA 机房四周公众及操作间辐射工作人员的年附加剂量

██████████	██████████	██████████	█	██████████	██████████	
██████████	██████████	██████████	█	██████████	██████████	██████████
██████████	██████████	█	█	██████████	██████████	
██████████	██████████	██████████	█	██████████	██████████	██████████
██████████	██████████	█	█	██████████	██████████	
██████████	██████████	██████████	█	██████████	██████████	██████████
██████████	██████████	█	█	██████████	██████████	
██████████	██████████	██████████	█	██████████	██████████	██████████
██████████	██████████	█	█	██████████	██████████	
██████████	██████████	██████████	█	██████████	██████████	██████████
██████████	██████████	█	█	██████████	██████████	
██████████	██████████	██████████	█	██████████	██████████	██████████

■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■

由表 11-9，DSA 机房四周公众的年附加剂量为 0.007mSv，满足公众剂量约束 0.1mSv 的要求；操作间辐射工作人员的年附加剂量 < 0.001mSv，满足工作人员项目剂量约束 5mSv 的要求。

将有关参数代入公式 11-7，计算第一术者、第二术者年有效剂量，结果列于表 11-10。

表 11-10 介入操作人员年有效剂量估算结果

■	■	■	■	■			■	■
■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■	■

由表 11-10，本项目 DSA 机房内第一术者操作位的年有效剂量为 12.48mSv，医院拟安排 3 名第一术者医生轮流操作，则单名第一术者医生的年有效剂量不会超过工作人员项目剂量约束 5mSv 的要求；本项目 DSA 机房内第二术者操作位的年有效剂量为 3.12mSv，即使第二术者操作位由 1 人承担，也能满足工作人员项目剂量约束值 5mSv 的要求。手术室内护士保守参考第二术者操作位估算年有效剂量，满足工作人员项目剂量约束 5mSv 的要求。

对于介入手术，由于其实际工作中 DSA 透视工况及操作时间的不确定性，辐射工作人员需要依靠佩戴个人剂量计进行跟踪性监测才能准确的测定其受照剂量的大小，按照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）要求进行佩戴，医院应加强对介入手术工作人员的个人剂量监测管理，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、卫生部门调查处理。介入手术工作人员均按照《放射诊断放射防护要求》

(GBZ 130-2020) 穿戴防护用品(铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套等), 并充分利用自带的铅悬挂防护屏及床侧防护帘等做好自身防护, 确保其年有效剂量满足标准限值要求。

4、保护目标年有效剂量估算

本项目 2 台 DSA 机房周围 50m 评价范围均位于医院内, 由于本项目保护目标距离 DSA 机房远大于机房表面 30cm, 故本项目保护目标处公众所受的辐射剂量将小于上述理论计算值(机房年有效剂量最大值不超过 $0.007 \times 2 = 0.014 \text{mSv/a}$), 其所受的年有效剂量也远低于 0.014mSv 。

综上所述, 根据上述理论估算结果, 本项目 DSA 机房在经实体屏蔽后, 对 DSA 机房外辐射工作人员和周围公众的环境影响较小, 同时在开展介入工作时, 在采取有效的辐射防护措施和医院良好的管理情况下, 辐射工作人员的年有效剂量可以满足标准限值要求。

(二) 医用直线加速器项目

根据建设单位提供的资料, 医院拟配备的 1 台医用直线加速器型号 Infinity, 电子线最大能量为 15MeV 、X 射线最大能量为 10MV , 射线最大出射角为 28° 。电子线穿透能力弱, 容易被屏蔽, X 射线具有很强的穿透力, 故本项目以 X 射线能量为 10MV 的情况下进行辐射影响分析, 1m 处输出剂量率为 $2200 \text{cGy m}^2/\text{min}$ 。

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分: 电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011) 的要求, 在本项目医用直线加速器机房外设定关注点。从保守角度出发, 在医用直线加速器机房设计的尺寸厚度基础上, 假定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。

本项目医用直线加速器机房的关注点设定如图 11-2。

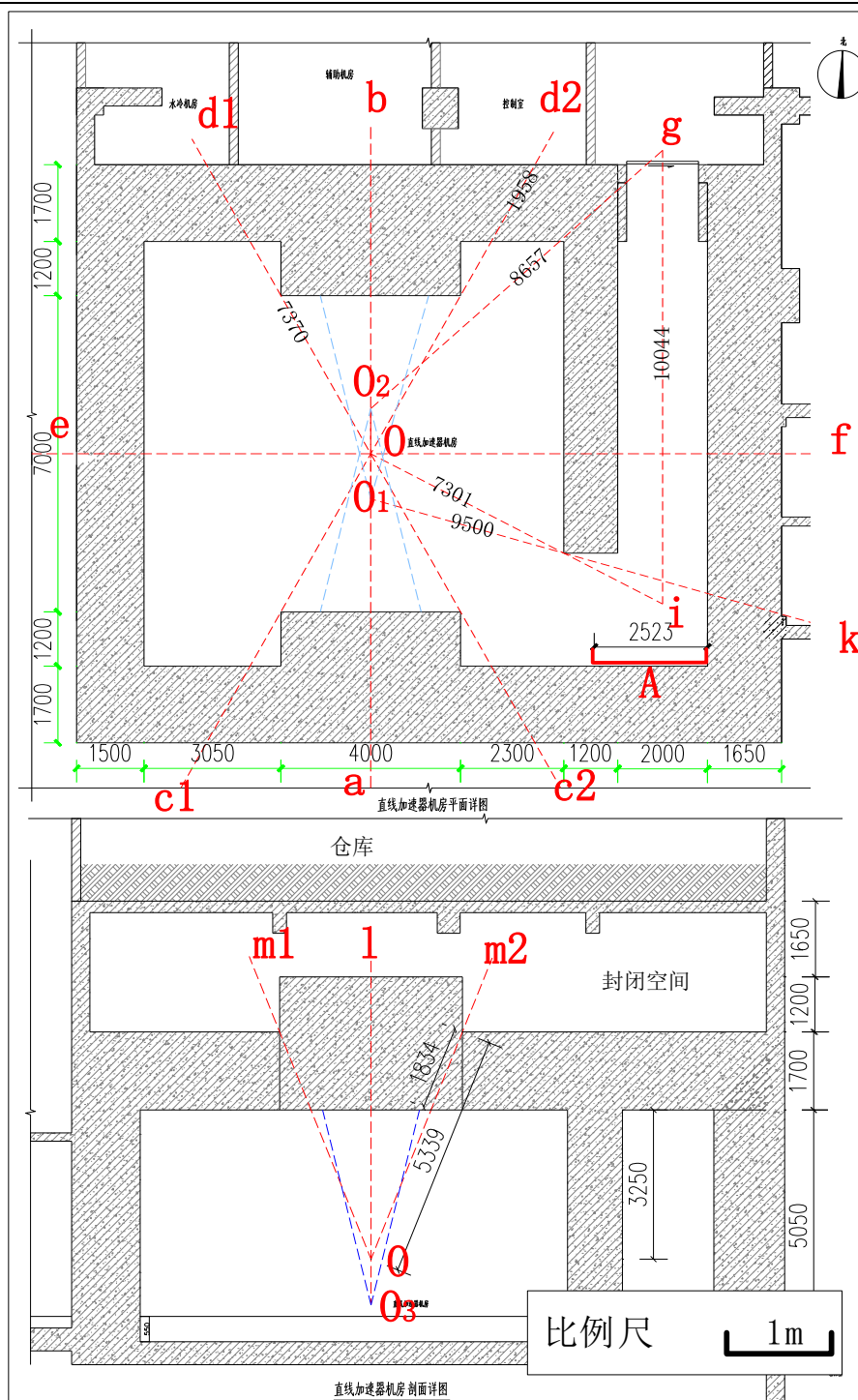


图 11-2 医用直线加速器机房估算点位示意图

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：

$$Y_p = 2[(a + SAD) \cdot \tan\theta + 0.3] \quad \text{公式 11-8}$$

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 11-8，可估算出本项目的主屏蔽宽度核算结果并评价如表 11-11：

表 11-11 医用直线加速器机房主屏蔽区的宽度设计评价表

■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■

2、医用直线加速器机房辐射防护能力分析

(1) 有用线束主屏蔽设计核算（ a 点、 b 点和 l 点）

①主射线路径：南墙 $O_2 \rightarrow a$ ，北墙 $O_1 \rightarrow b$ ，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/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 11-11 计算有效厚度 X_e （cm），按照公式 11-10 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B ，再按照公式 11-11 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）。

$$X_e = X/\cos\theta = X \cdot \sec\theta \quad \text{公式 11-9}$$

式中： X —设计屏蔽厚度，cm；

θ —斜射角。

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_0)/TVL} \quad \text{公式 11-10}$$

式中， TVL_I (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_I 时， $TVL_I=TVL$ 。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_I 为 41cm， TVL 为 37cm。

$$H = \frac{H_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad \text{公式 11-11}$$

式中： H_0 —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ，本项目为 $1.32 \times 10^9 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

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 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)，将其与本项目确定的剂量率参考控制水平 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 11-12。

表 11-12 主屏蔽外参考点辐射剂量率核算值

■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■
■	■		
■	■		
■	■	■	■
■	■	■	■
■	■		
■	■		
■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■

(2) 与主屏蔽区相连的次屏蔽区屏蔽设计核算（西墙 $c1$ 点、 $c2$ 点，东墙 $d1$ 点、

d2 点及屋顶 m1 点、m2 点)

①射线路径(射线类型): $O_2 \rightarrow O \rightarrow c1$ (散射射线), $O_2 \rightarrow O \rightarrow c2$ (散射射线), $O_1 \rightarrow O \rightarrow d1$ (散射射线), $O_1 \rightarrow O \rightarrow d2$ (散射射线), $O_3 \rightarrow O \rightarrow m1$ (散射射线), $O_3 \rightarrow O \rightarrow m2$ (散射射线)。

$O \rightarrow c1$ (泄漏射线), $O \rightarrow c2$ (泄漏射线), $O \rightarrow d1$ (泄漏射线), $O \rightarrow d2$ (泄漏射线), $O \rightarrow m1$ (泄漏射线), $O \rightarrow m2$ (泄漏射线)。

对于位置 c1 点、c2 点、d1 点、d2 点和 m1 点、m2 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 11-10 的 TVL_I 和 TVL 保守取附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值, 分别为 $TVL_I=35\text{cm}$, $TVL=31\text{cm}$ 。

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 11-9 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 11-10 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, 对于 10MeV 射线, 当散射角为 30° 时, 患者散射辐射在混凝土中什值层为 28cm), 再按照公式 11-12 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$);

$$H = \frac{H_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B \quad \text{公式 11-12}$$

式中: H_0 —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶(以下简称靶) 1m 处的常用最高剂量率, $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$, 本项目为 $1.32 \times 10^9 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$;

α_{ph} —患者 400cm^2 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m (关注点方向) 处的剂量比例, 又称 400cm^2 面积上的散射因子。根据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 10MeV、 30° 取值, 为 3.18×10^{-3} 。

F —治疗装置有用线束在等中心处的最大治疗野面积, cm^2 , 本项目为 $40\text{cm} \times 40\text{cm} = 1600\text{cm}^2$ 。

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 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 11-13，其中 X_e 、 R 的取值由 CAD 图纸上读取。

表 11-13 与主屏蔽相连的次屏蔽外参考点辐射剂量率核算值

[Redacted]		[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]		[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]		[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]		[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]		[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]		[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]		[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]

(3) 侧屏蔽墙屏蔽设计核算 (迷路墙外 e 点、西墙 f 点)

①射线路径 (射线类型): $o \rightarrow e$ (泄漏射线), $o \rightarrow f$ (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 11-11 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 11-10 的 TVL_1 和 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，分别为 $TVL_1=35\text{cm}$ ， $TVL=31\text{cm}$ 。

③预测计算结果

e 点、 f 点的辐射剂量率预测结果见下表 11-14，其中 X_e 、 R 的取值由 CAD 图纸上读取。

表 11-14 医用直线加速器机房迷路墙外、西墙外泄漏辐射剂量率核算值

■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■

(4) 迷路外墙屏蔽设计核算（迷路外墙 k 点）

①射线路径（射线类型）： $O_1 \rightarrow k$ （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 11-11 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 11-10 的 TVL_1 和 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，分别为

$TVL_I=35\text{cm}$, $TVL=31\text{cm}$ 。

③预测计算结果

k 点的辐射剂量率预测结果见下表 11-15, 其中 X_e 、 R 的取值由 CAD 图纸上读取。

表 11-15 迷路外墙泄漏辐射剂量率核算值

■	■
■	■
■	■
■	■
■	■
■	■
■	■
■	■
■	■
■	■
■	■
■	■
■	■
■	■
■	■

(5) 迷路入口处辐射水平核算 (g 点)

根据 GBZ/T 201.2-2011, 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_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): $O_2 \rightarrow g$ (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 k 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 11-10 的 TVL_I 和 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值, 分别为 $TVL_I=35\text{cm}$, $TVL=31\text{cm}$ 。计算结果见表 11-16。

表 11-16 迷路入口处的泄漏辐射剂量率核算值

■	■
■	■

██████████	██████████
██████████	█
██████████	█
█	██████████
██████████	█
██████████	██████████
█	██████████
██████████	██████████
██████████	█
██████████	██████████

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 H_g 按公式 11-13 计算。

$$H_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} H_0 \quad \text{公式 11-13}$$

式中： H_g — g 处的散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

α_{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 ；

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 ；

H_0 —加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的最高剂量率， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ 。

表 11-17 迷路入口处的散射辐射剂量率核算值

██████████	████████████████████
██████████	██████████

██████████	████
████	██████████
██████████	████
██████████	████
██████████	████
██████████	████
██████████	██████████
██████████	████

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 H ($\mu\text{Sv/h}$) 按公式 11-14 计算, 预测结果见下表 11-18。

$$H = H_g \cdot 10^{-(X/TVL)} + H_{og} \quad \text{公式 11-14}$$

式中: H_{og} — g 处的泄漏辐射剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;
 H_g — g 处的散射辐射剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;
 TVL —辐射在铅中的什值层, cm。

表 11-18 迷路入口防护门外的辐射剂量率核算值

████	████████████████████
██████████	████
██████████	████
██████████	██████████
██████████	██████████
██████████	████
████████████████████	████
████████████████████	████
████	████

3、预测计算结果汇总及评价

综上所述, 医用直线加速器机房墙、顶、门外理论估算结果汇总见表 11-19。

表 11-19 医用直线加速器机房墙、顶、门外理论估算结果汇总

由表 11-19 可知，本项目医用直线加速器机房屏蔽设计能够满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）的要求。

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：

$$D_{Eff} = H \cdot t \cdot T \cdot U \quad \text{公式 11-15}$$

式中： D_{Eff} —考察点人员有效剂量（Sv）；

H —考察点的周围辐射剂量率（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 11-19 中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 11-15。本项目医用直线加速器年出束运行时间约 500h，考虑周围公众及辐射工作人员的居留因子，根据公式 11-15 估算公众及辐射工作人员的年有效剂量，计算结果列于表 11-20。

表 11-20 医用直线加速器机房周围人员年有效剂量

--	--	--	--	--	--	--	--

注：1、居留因子取值见 HJ 1198-2021 表 A.1。

根据表 11-20 结果分析知，该项目医用直线加速器投入运行后，辐射工作人员年有效剂量为 0.022mSv，周围公众年有效剂量最高为 0.034mSv，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、公众的剂量限值要求和本项目剂量约束值要求（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）。

（1）电缆沟辐射防护评价

电缆沟埋设在地下，电缆线布设采用地下“U”型穿墙管道，未破坏治疗室墙体的屏蔽效果，射线经不少于 3 次散射后，出口处辐射剂量将在控制范围内（电缆沟散射线路径见图 11-3），能够满足辐射防护要求。

（2）预留风管道穿墙辐射防护评价

本项目医用直线加速器机房进风管道、排风管道穿墙处斜向上 45° 设计，管道经防护门上方由迷路到达机房内，管道系统均避开主射线方向，通风管道出口处为封闭空间，无人员居留，辐射剂量将在控制范围内（管道散射线路径见图 11-4）。

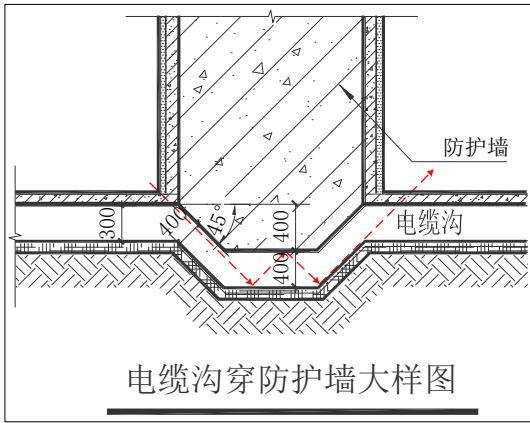


图 11-3 加速器机房电缆沟散射路径示意图

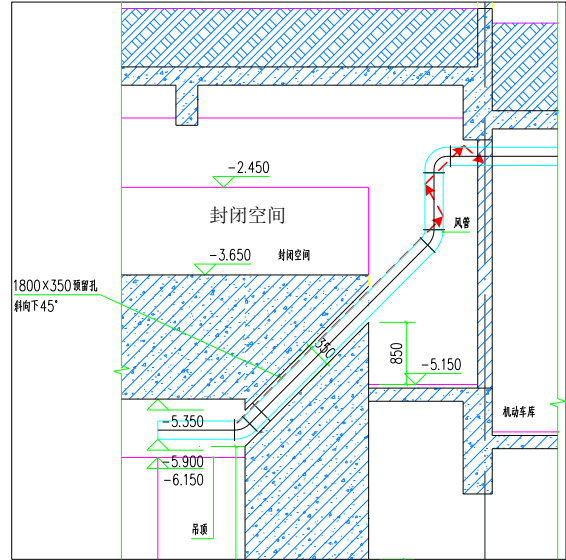


图 11-4 加速器机房预留风管道散射路径示意图

(3) 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。

(4) 加速器机房门缝处辐射防护评价

本项目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。本项目放疗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) CT 模拟定位机项目

本项目 CT 模拟定位机房实体屏蔽防护设计与《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020) 中 X 射线设备机房屏蔽防护要求对照分析见表 11-21。

表 11-21 CT 模拟定位机房屏蔽防护设计一览表

■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■

注：实心砖密度不低于 1.65g/cm³，铅密度为 11.3g/cm³，混凝土密度为 2.35 g/cm³。

由上表对照结果可知，本项目 CT 模拟定位机房实体屏蔽防护满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的要求，机房实体屏蔽设计合理。

公众叠加剂量影响分析：

公众辐射剂量叠加主要考虑公众同时接近不同辐射工作场所的情况下，致公众年所受辐射剂量的总和。

本项目 2 台 DSA 机房周围辐射受照剂量最大为 0.014 mSv/a，医用直线加速器机房周围辐射受照剂量最大为 0.034mSv/a，本项目 50m 范围内环境保护目标位于医院内，院内公众、患者及工作人员受到本项目辐射剂量总和不超过 0.048mSv/a，满足满足《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剂量约束值要求。

一、放射性“三废”影响分析

DSA、医用直线加速器、CT 模拟定位机在正常运行中无放射性三废产生。

二、非放射性“三废”影响分析

1、废气

DSA 机房、医用直线加速器机房、CT 模拟定位机房内的空气在 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，臭氧常温下约 50 分钟可自行分解为氧气。

2、废水

工作人员和部分患者产生的医疗废水和生活污水，由院内污水处理站统一处理。

3、固体废物

工作人员和病人产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理。

本项目 DSA 手术过程中产生的棉签、纱布、手套、器具等医疗废物暂存在机房内的废物桶，手术结束后集中收集，作为医疗废物由医院统一委托有资质单位进行处置。

事故影响分析

本项目新建的医用直线加速器、DSA 为 II 类射线装置，CT 模拟定位机为 III 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、DSA、CT 模拟定位机工作状态下，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) 医用直线加速器、DSA 机房、CT 模拟定位机房门机联锁失效，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。

(4) 使用 DSA 的医生或护士在手术室内曝光时未穿戴铅围裙、铅防护手套、铅防护帽和防护眼镜等防护用具，而受到超剂量外照射；

(5) 医用直线加速器、DSA、CT 模拟定位机检修时，误开机，维修人员受到意外的照射伤害。

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、DSA、CT 模拟定位机停止工作。

(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) 医院应定期对医用直线加速器机房、DSA 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) 严禁无关人员进入，防止事故蔓延和扩大。

(6) 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，立即启动事故应急预案，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

江阴市中医院拟在世新路南侧、虹桥路西侧、花北路北侧新建院区内新建放射诊疗项目。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、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。

根据上述要求，江阴市中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。医院应根据本次新建放射诊疗项目修订相关文件，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。医院拟为本项目共配备 14 名辐射工作人员（2 台 DSA 共 10 名、医用直线加速器 3 名、CT 模拟定位机 1 名）。辐射管理人员及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，放射治疗的辐射工作人员应参加“放射治疗”辐射安全与防护考核，DSA 项目的辐射工作人员应参加“医学 X 射线诊断与介入放射学”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”。目前江阴市中医院已制定相关辐射安全与防护管理制度，如《岗位职责》《辐射安全管理制度》《影像科质量管理制度》《放射工作人员培训计划》《放射工作人员职业健康管理制度》《放射工作人员个人剂量管理制度》《放射诊疗和放射防护管理制度》《放射事故应急预案》及不同设备相应的《操作规程》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，拟根据本次新建放射诊疗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：明确射线装置工作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。

3) 辐射防护和安全保卫制度：根据射线装置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：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。

7) 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、III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，江阴市中医院拟配备辐射巡测仪1台、拟为本项目配备个人剂量报警仪共7台，用于辐射防护监测和报警，同时结合本项目实际情况，已制定如下监测计划：

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。

江阴市中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。

江阴市中医院已为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），医院公共卫生科负责全院人员个人剂量的收发和管理，职业健康监护、个人剂量监测档案均存放于公共卫生科。

江阴市中医院每年编写射线装置安全和防护状况年度评估报告年度评估报告，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。

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，辐射事故应急预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的，医院应根据《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》（原国家环保总局，环发[2006]145号）和《江苏省辐射污染防治条例》等要求，发生辐射事故的，立即启动事故应急预案，采取必要防范措施，并在事故发生后1小时内向所在地生态环境和公安部门报告，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；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。

江阴市中医院已经制定了《辐射事故应急预案》，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各相关科室，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，暂未发生辐射事故。

表 13 结论与建议

结论

一、项目概况

江阴市中医院拟在世新路南侧、虹桥路西侧、花北路北新建院区内新建放射诊疗项目。本项目内容包括：拟在门急诊病房楼 1 楼新建 2 座 DSA 机房（DSA2 机房、DSA3 机房）及配套设施用房，将老院区（江阴市人民中路 130 号所在院区）住院楼 2 楼 1 台 DSA（型号：Artis Q ceiling，最大管电压 125kV，最大管电流 1000mA）移到 DSA2 机房，DSA3 机房新增 1 台 DSA（型号未定，最大管电压 125kV，最大管电流 1250mA），用于开展医疗诊断和引导介入治疗；拟在门急诊病房楼负 2 楼放疗中心新建 1 座直线加速器机房，并配置 1 台医用直线加速器（型号：Infinity，X 射线能量最大为 10MV，电子线能量最大为 15MeV）；拟在门急诊病房楼 1 楼新增 1 台 CT 模拟定位机（型号未定，最大管电压 140kV，最大管电流 1000mA，属 III 类射线装置），用于模拟定位，配合医用直线加速器开展放射治疗。

二、项目建设的必要性及产业政策符合性

本项目的建设，对照《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（2021 年修正），不属于“限制类”或“淘汰类”项目，符合国家现行的产业政策。

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，经落实辐射防护屏蔽设计和安全管理措施后，本项目的建设和运行对受照个人和社会公众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、选址合理性

江阴市中医院本次新建院区位于世新路南侧，新建院区东侧为虹桥路，南侧为花北路，西侧为乐途路。

本项目位于于门急诊病房楼，门急诊病房楼东侧、南侧为院内道路，西侧为发热门诊、院内道路、百草园，北侧隔院内道路为食堂宿舍办公楼、制剂楼、废水处理垃圾风。门急诊病房楼 1 楼 DSA2 机房东侧为 DSA2 辅房和操作间 2，南侧为走廊，西侧为预留 DSA1 机房，北侧为 DSA 污洗，楼上为检验科，楼下为车库；DSA3 机房东侧为操作间 3、DSA3 辅房和 DSA 污洗，南侧为过道，西侧为辅房 4、物流井和辅房

6, 北侧为走廊, 楼上为检验科, 楼下为车库。CT 模拟定位机房东侧为 VIP 检查区, 南侧为室外, 西侧为操作间, 北侧为过道, 上方为诊室, 下方为地下停车场。

门诊急诊病房楼负 2 楼直线加速器机房东侧为休息室、电梯和过道, 南侧为过道, 西侧为楼梯, 北侧为水冷机房、辅助机房、控制室和过道。

本项目周围 50m 评价范围均位于医院内, 项目运行后的环境保护目标主要是辐射工作人员、评价范围内其他医务人员、病患和其他公众等。新建放射诊疗项目周围 50m 评价范围内均无学校、居民区等环境敏感点。

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。

本项目各放射诊疗设备机房均划分了控制区及监督区, 布局合理。

五、辐射环境现状评价

本项目拟建址周围本底辐射剂量率在 40nGy/h~81nGy/h 之间, 与江苏省环境天然 γ 辐射水平调查结果相比较, 未见异常。

六、环境影响评价

根据预测估算结果, 江阴市中医院新建放射诊疗项目在落实本报告提出的各项辐射安全与防护措施的情况下, 项目投入运行后对辐射工作人员和公众所受辐射剂量能够满足《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年有效剂量限值要求以及本项目剂量约束限值要求(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)。

七、“三废”的处理处置

医用直线加速器机房、DSA 机房、CT 模拟定位机房内的空气在 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, 臭氧常温下约 50 分钟可自行分解为氧气; 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; 工作人员和病人产生的生活垃圾, 分类收集后, 将交由城市环卫部门

处理；本项目 DSA 手术过程中产生的棉签、纱布、手套、器具等医疗废物暂存在机房内的废物桶，手术结束后集中收集，作为医疗废物由医院统一委托有资质单位进行处置。

八、主要污染源及拟采取的主要辐射安全防护措施

江阴市中医院拟配备的 2 台 DSA，最大管电压皆为 125kV、最大管电流分别为 1000mA、1250mA，DSA 开机期间，产生的 X 射线为主要辐射环境污染因素。本项目 DSA 机房入口处拟设置“当心电离辐射”警告标志和工作状态灯，DSA 机房设有闭门装置，射线装置机房内外均设置有急停按钮，符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的安全管理要求。

江阴市中医院拟配备的 1 台医用直线加速器的 X 射线最大能量为 10MV，电子线最大能量为 15MeV，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，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，治疗室迷道口拟设置固定式剂量报警仪，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）的安全管理要求。

医院拟配备的 1 台 CT 模拟定位机的最大管电压 140kV、最大管电流 1000mA，开机期间，产生的 X 射线为主要辐射环境污染因素。本项目 CT 模拟定位机房入口处拟设置“当心电离辐射”警告标志和工作状态灯，CT 模拟定位机房设有门机联锁装置，射线装置机房内外均设置有急停按钮，符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的安全管理要求。

九、辐射安全管理评价

江阴市中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。

江阴市中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。江阴市中医院还需配备辐射巡测仪 1 台、为本项目配备个人剂量报警仪 7 台。此外，医院应根据相关标准要求，为本项目工作人员和受检者配备足够数量的个人防护用品和辅助防护设施。

综上所述，江阴市中医院新建放射诊疗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、根据防护与安全的最优化原则，进一步优化完善辐射工作场所屏蔽措施。

3、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。

4、定期进行辐射工作场所的检查及监测，及时排除事故隐患。

5、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。

辐射污染防治“三同时”措施一览表

项目	“三同时”措施	预期效果	预计投资 (万元)
辐射安全管理机构	建立辐射安全与环境保护管理机构，或配备不少于 1 名大学本科以上学历人员从事辐射防护和环境保护管理工作。医院已设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。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》相关要求。	/
辐射安全和防护措施	屏蔽措施：DSA 机房四侧墙体采用铅板、屋顶采用混凝土加防护涂料，地面采用混凝土进行防护；医用直线加速器机房四侧墙体、顶面采用混凝土进行辐射防护；CT 机房四侧墙体采用实心砖加防护涂料，顶面采用混凝土加铅板，地面采用混凝土进行防护，各防护门均采用铅防护门，观察窗均为铅玻璃观察窗进行辐射防护。	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剂量约束值要求。	93
	DSA 机房入口处均拟设置“当心电离辐射”警告标志和工作状态指示灯；DSA 机房设有闭门装置，机房内外均设置有急停按钮。	满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)的相关要求。	
	医用直线加速器机房设置门机联锁装置，并设置急停按钮、视频监控系统及对讲装置，防护门外设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯，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，治疗室迷道口拟设固定式剂量报警仪。	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》(GBZ121-2020)的相关要求。	
	CT 模拟定位机房入口处拟设置“当心电离辐射”警告标志和工作状态灯，模拟定位机房设有门机联锁装置，射线装置机房内外均设置有急停按钮。	满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)的相关要求。	
人员配备	辐射安全管理人员和辐射工作人员均需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，考核合格后上岗。	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》要求。	/
	辐射工作人员在上岗前佩戴个人剂量计，并定期送检（两次监测的时间间隔不应超过 3 个月），加强个人剂量监测，建立个人剂量档案。		
	辐射工作人员定期进行职业健康体检（不少于 1 次/2 年），并建立放射工作人员职业健康档案。		
监测仪器和防护用品	拟配备辐射巡测仪 1 台	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》有关要求。	7
	拟配备个人剂量报警仪 7 台		

	<p>DSA 介入治疗医生配备铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套等，同时设置铅悬挂防护屏、铅防护吊帘、床侧防护帘、床侧防护屏等。</p> <p>CT 模拟定位机配备铅帽、铅围脖、包裹式铅方巾、铅衣等。</p>		
辐射安全管理制度	<p>制定操作规程、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、辐射事故应急措施等制度；根据环评要求，按照项目的实际情况，补充相关内容，建立完善、内容全面、具有可操作性的辐射安全规章制度。</p>	<p>满足《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》有关要求。</p>	/
总计	/	/	100

以上污染防治的措施必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：

经办人：

公 章
年 月 日

审批意见：

经办人

公 章
年 月 日