

核技术利用建设项目

苏州永鼎医院有限公司

新增 1 台医用直线加速器、1 台 DSA  
项目环境影响报告表

苏州永鼎医院有限公司

2023 年 4 月

生态环境部监制

# 核技术利用建设项目

苏州永鼎医院有限公司

## 新增 1 台医用直线加速器、1 台 DSA 项目环境影响报告表

建设单位名称：苏州永鼎医院有限公司

建设单位法人代表（签名或盖章）：

通讯地址：江苏省苏州市吴江区松陵镇高新路 1388 号

邮政编码：215200

联系人：徐\*江

电子邮箱：wjdycwr@163.com

联系电话：135\*\*\*\*1932

# 目 录

表 1	项目基本情况	- 1 -
表 2	放射源	- 5 -
表 3	非密封放射性物质	- 5 -
表 4	射线装置	- 6 -
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）	- 7 -
表 6	评价依据	- 8 -
表 7	保护目标与评价标准	- 11 -
表 8	环境质量和辐射现状	- 21 -
表 9	项目工程分析与源项	- 27 -
表 10	辐射安全与防护	- 38 -
表 11	环境影响分析	- 47 -
表 12	辐射安全管理	- 76 -
表 13	结论与建议	- 80 -
表 14	审批	- 86 -
附图 1	苏州永鼎医院有限公司新增 1 台医用直线加速器、1 台 DSA 项目地理位置示意图	- 87 -
附图 2	苏州永鼎医院有限公司平面布置和周围环境示意图	- 88 -
附图 3	医用直线加速器周围环境示意图	- 89 -
附图 4	医用直线加速器平面布局及两区划分示意图	- 90 -
附图 5	医院直线加速器屏蔽设计示意图	- 91 -
附图 6	DSA 检查室平面布局及周围环境示意图	- 92 -
附图 7	DSA 检查室剖面布局示意图	- 93 -
附图 8	本项目与江苏省生态空间保护区域位置关系图	- 94 -
附件 1	项目委托书	- 95 -
附件 2	射线装置使用承诺书	- 96 -
附件 3	辐射安全许可证	- 97 -
附件 4	辐射环境现状监测报告	- 99 -
附件 5	原有核技术利用项目情况一览表	- 105 -

**表 1 项目基本情况**

建设项目名称	苏州永鼎医院有限公司新增 1 台医用直线加速器、1 台 DSA 项目				
建设单位	苏州永鼎医院有限公司 (统一社会信用代码: 913205093021022649)				
法人代表	任爱	联系人	徐*江	联系电话	135****1932
注册地址	江苏省苏州市吴江区松陵镇高新路 1388 号				
项目建设地点	江苏省苏州市吴江区松陵镇高新路 1388 号				
立项审批部门	/		批准文号	/	
建设项目总投资 (万元)	2000	项目环保总投资 (万元)	400	投资比例(环保 投资/总投资)	20%
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 <sup>2</sup> )	/
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 checked="" type="checkbox"/> V 类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
	其他	/			
	<b>项目概述:</b>				
<b>一、建设单位基本情况、项目建设规模及由来</b>					
<p>苏州永鼎医院有限公司(以下简称“医院”)坐落于东太湖之滨,是一座集医疗、教学、科研、预防、保健、康复等为一体,提供高质量医疗服务、培养高层次医学人才、进行高水平医学研究的三级规模大型综合医院,是苏州市城镇职工医疗保险,新农合(居民)医疗保险定点机构和指定转诊医院,苏州市血透惠民政策定点医院、苏州市 120 急救定点医院,可 24 小时承担突发事件的应急抢救工作。医院学科齐全,</p>					

开设床位 1000 余张，现有高级职称医师八十余人，并有学科带头人组成的医学科研队伍在临床一线从事医疗服务和科研工作。2020 年，医院荣获国家卫健委改善医疗服务示范医院。

为了更好地为患者服务，提高医院的医疗质量，根据规划，医院拟在门急诊医技综合楼北侧新建 1 座加速器机房并配置 1 台医用直线加速器（型号为：医科达 Infinity，X 射线能量 6、10MV，电子线能量 6、8、10、12、15MeV），利用原有的 CT 定位机（已履行环保手续）配合开展放射治疗；拟在门急诊医技综合楼裙楼一楼改建 1 座 DSA 检查室并配备 1 台 DSA（型号为 Azurion 7M20，最大管电压 125kV，最大管电流 1000mA），用于开展医疗诊断和介入治疗。

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，该项目需进行环境影响评价工作。

受苏州永鼎医院有限公司的委托，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、1 台 DSA 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》（生态环境部部令第 16 号），本项目新增 1 台医用直线加速器、1 台 DSA 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”，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、1 台 DSA 项目情况见下表：

表 1-1 苏州永鼎医院有限公司新增 1 台医用直线加速器、1 台 DSA 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	使用情况	环评及审批情况	备注
1	DSA (Azurion 7M20)	1	125	1000	II	DSA 检查室	未使用	本次环评尚未许可	/
2	医用直线加速器 (医科达 Infinity)	1	X 射线：6、10MV 电子线：6、8、10、12、15MeV		II	加速器机房	未使用	本次环评尚未许可	/

## 二、项目选址情况

苏州永鼎医院有限公司位于江苏省苏州市吴江区松陵镇高新路 1388 号，医院东

侧为祁连路及太湖新城定销公寓房，南侧为高新路，西侧为吴模路，北侧为体育路、知青河、在建老年医院及新城国际社区。医院地理位置示意图见附图 1，医院总平面布置及周围环境情况见附图 2。

医院本次新增 1 台医用直线加速器、1 台 DSA 项目主要包括：

1、于门急诊医技综合楼北侧新建 1 座医用直线加速器机房及配套设施用房并配置 1 台医用直线加速器。加速器拟建址东侧为空地，南侧为过道及门急诊医技综合楼，西侧为过道，北侧为停车场。机房上方无建筑，下方为土层。本项目医用直线加速器机房平面布局及周围环境示意图见附图 3、附图 4。

2、于门急诊医技综合楼裙楼一楼改建 1 座 DSA 检查室及配套设施用房并配备 1 台 DSA。DSA 检查室拟建址原为预留 DSA 机房，改建后 DSA 检查室拟建址东侧为控制室，南侧由东向西依次为苏醒室、设备间、污物间，西侧、北侧均为门急诊医技综合楼裙楼楼外过道。DSA 拟建址楼上无建筑，下方为土层。本项目 DSA 检查室平面布局及周围环境示意图见附图 6。

本项目医用直线加速器机房、DSA 检查室周围 50m 评价范围东侧、南侧均位于医院范围内，西侧至院外吴模路，北侧至知青河北岸。项目运行后的环境保护目标主要是本项目医用直线加速器、DSA 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；新增 1 台医用直线加速器、1 台 DSA 项目周围 50m 评价范围内均无学校、居民区等环境敏感点。

### 三、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。

### 四、“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。因此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。

#### **五、原有核技术利用项目许可情况**

苏州永鼎医院有限公司现持有江苏省生态环境厅 2022 年 8 月 11 日颁发的辐射安全许可证，证书编号：苏环辐证[01401]，有效期至 2026 年 3 月 16 日，许可种类和范围为：使用 I 类放射源，使用 II 类、III 类射线装置。医院现有核技术利用项目均已履行环保手续，详见附件 5。

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	医科达 Infinity	电子	X 射线：6、10MV 电子线：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	加速器机房	本次环评

(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	Azurion 7M20	125	1000	医用诊断/介入治疗	DSA 检查室	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
介入手术时产生的医用器具和药棉、纱布、手套等医用辅料	固体	/	/	约 16.7kg	约 120kg	/	暂存在机房内的废物桶，手术结束后集中收集	委托有资质单位进行处理
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，臭氧在常温常压下约 50min 可自然分解为氧气

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m<sup>3</sup>；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<sup>3</sup>）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》（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；</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》（2021年修正本），生态环境部部令 第20号，2021年1月4日起施行；</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) 《放射性废物安全管理条例》，中华人民共和国国务院令 第612号，2012年3月1日起施行；</p> <p>(11) 《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>(12) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，环办辐射函 [2016]430号，2016年3月7日起施行；</p> <p>(13) 《关于发布〈建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法〉配套文件的公告》，生态环境部公告2019年第38号，2019年10月25日发布；</p>
------------------	--

	<p>(14) 《关于启用环境影响评价信用平台的公告》，生态环境部公告2019年第39号，2019年10月25日发布；</p> <p>(15) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部公告2019年第57号，2019年12月24日发布；</p> <p>(16) 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部部令第9号，2019年11月1日起施行；</p> <p>(17) 《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>(18) 《省生态环境厅关于进一步做好建设项目环境影响报告书（表）编制单位监管工作的通知》，苏环办〔2021〕187号，2021年5月28日发布；</p> <p>(19) 《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>(20) 《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>(21) 《江苏省辐射事故应急预案》（2020年修订版），苏政办函〔2020〕26号，2020年2月19日发布；</p> <p>(22) 《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) 《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB 8999-2021）；</p> <p>(3) 《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）；</p> <p>(4) 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）；</p> <p>(5) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）；</p> <p>(6) 《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>(7) 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；</p> <p>(8) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）；</p> <p>(9) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）；</p> <p>(10) 《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）；</p>

	<p>(11) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第1部分：一般原则》(GBZ/T 201.1-2007)；</p> <p>(12) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.2-2011)。</p>
其他	<p><b>附图：</b></p> <p>(1) 苏州永鼎医院有限公司新增1台医用直线加速器、1台DSA项目地理位置示意图；</p> <p>(2) 苏州永鼎医院有限公司平面布置和周围环境示意图；</p> <p>(3) 医用直线加速器周围环境示意图；</p> <p>(4) 医用直线加速器平面布局及两区划分示意图；</p> <p>(5) 医院直线加速器屏蔽设计示意图；</p> <p>(6) DSA检查室平面布局及周围环境示意图；</p> <p>(7) DSA检查室剖面布局示意图；</p> <p>(8) 本项目与江苏省生态空间保护区域位置关系图。</p> <p><b>附件：</b></p> <p>(1) 项目委托书；</p> <p>(2) 射线装置使用承诺书；</p> <p>(3) 辐射安全许可证；</p> <p>(4) 辐射环境现状监测报告；</p> <p>(5) 原有核技术利用项目情况一览表。</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“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增 1 台医用直线加速器、1 台 DSA 项目机房实体屏蔽墙边界外周围 50m 范围内区域，评价范围详见附图 2。

保护目标

本项目医用直线加速器机房、DSA 检查室周围 50m 评价范围东侧、南侧均位于医院范围内，西侧至院外吴模路，北侧至知青河北岸。项目运行后的环境保护目标主要是本项目医用直线加速器、DSA 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；新增 1 台医用直线加速器、1 台 DSA 项目周围 50m 评价范围内均无学校、居民区等环境敏感点。本项目保护目标详见表 7-1。

表 7-1 苏州永鼎医院有限公司新增 1 台医用直线加速器、1 台 DSA 项目保护目标一览表

保护目标		方位	距离	规模	环境保护要求
医用直线加速器辐射工作人员		加速器控制室、水冷机房	毗邻加速器机房	3 人	职业照射控制
DSA 辐射工作人员		DSA 东侧控制室	毗邻 DSA 机房	4 人	
绿化空地上其他公众		加速器东侧、西侧	1~50m	流动人员	公众照射控制
门急诊医技综合楼	其他工作人员	加速器南侧、DSA 东侧	3~50m	约 400 张床位，其余为流动人员	
	病患、患者家属				
门急诊医技综合楼裙楼	其他工作人员	DSA 东侧、南侧	3~50m	约 20 人	
	病患、患者家属			流动人员	
停车场上其他公众		加速器北侧	2~27m	流动人员	
		DSA 北侧	18~45m		

院内道路、楼外过道上其他公众	加速器西侧	1~6m	流动人员
	DSA 西侧、北侧	1~50m	流动人员
知青河北岸其他公众	加速器北侧	35~50m	流动人员
吴模路上其他公众	DSA 西侧	17~50m	流动人员

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。因此本项目的建设符合江苏省“三线一单”生态环境分区管控要求。

## 评价标准

### 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； ③眼晶体的年当量剂量，15mSv； ④皮肤的年当量剂量，50mSv。

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

4.8 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  $\dot{H}_c$  ( $\mu\text{Sv/h}$ )：

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

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

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

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

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



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

b) 穿出机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射，以年剂量  $250\mu\text{Sv}$  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  $30\text{cm}$  处的剂量率参考控制水平可按  $100\mu\text{Sv/h}$  加以控制（可在相应位置处设置辐射告示牌）。

## 6.2 安全防护设施和措施要求

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

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

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

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

6.2.2 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。

## 3、《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； $\gamma$  刀治疗设备的治疗机

房，根据场所空间和环境条件，确定是否选用迷路；其他治疗机房均应设置迷路。

## 6.2 空间、通风要求

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

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

## 6.3 屏蔽要求

6.3.1 治疗机房墙和入口门外关注点周围剂量当量率参考控制水平

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

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

$$\dot{H}_c \leq H_e / (t \times U \times T) \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

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

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

$t$ —设备周最大累积照射的小时数，单位为小时每周（h/周）；

$U$ —治疗设备向关注点位置的方向照射的使用因子；

$T$ —人员在关注点位置的居留因子，取值方式参见附录A。

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

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

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

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

6.3.2 治疗机房顶屏蔽的周围剂量当量率参考控制水平

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

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

## 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。

### 4、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）：

#### 6 X 射线设备机房防护设施的技术要求

##### 6.1 X 射线设备机房布局

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

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

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

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

表 2 X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度

机房类型	机房内最小有效使用面积 <sup>d</sup> m <sup>2</sup>	机房内最小单边长度 <sup>e</sup> m
单管头 X 射线设备 <sup>b</sup> (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

### 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  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；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  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；

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  $25\mu\text{Sv/h}$ ，当超过时应进行机房外人员的年有效剂量评估，应不大于  $0.25\text{mSv}$ ；

#### 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 机房出入口宜处于散射辐射相对低的位置。

#### 6.5 X 射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求

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

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  $0.25\text{mmPb}$ ；介入防护手套铅当量应不小于  $0.025\text{mmPb}$ ；甲状腺、性腺防护用品铅当量应不小于  $0.5\text{mmPb}$ ；移动铅防护屏风铅当量应不小于  $2\text{mmPb}$ 。

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  $0.5\text{mmPb}$ 。

6.5.5 个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。

表 4 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

放射检查类型	工作人员		受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施

放射诊断学用 X 射线设备隔室透视、摄影 <sup>a</sup>	—	—	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	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
介入放射学操作	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	铅悬挂防护屏/铅防护帘、床侧防护帘/床侧防护屏 选配：移动铅防护屏风	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	—

<sup>a</sup>工作人员、受检者的个人防护用品和辅助防护设施任选其一即可。

#### 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。

### 5、《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）；

4.1 建筑施工过程中场界环境噪声不得超过表 1 规定的排放限值。

表 1 建筑施工场界环境噪声排放限值 单位：dB（A）

昼间	夜间
70	55

### 6、项目管理目标限值

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

DSA 机房四面屏蔽墙、门、观察窗表面外 30cm 处及机房顶上 100cm 处的辐射剂量率目标控制值均为 2.5μSv/h。

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放疗机房周开机治疗时间，估算得到放疗机房外 30cm 处的周围剂量当量率参考控制水平  $H_c$ ，见下表：

参考点	居留因子 T	使用因子 U	周剂量控制值 ( $\mu\text{Sv}/\text{周}$ )	周工作时间 (h)	剂量率参考控制水平 ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )			
					$H_{c,d}$	$H_{c,max}$	$H_c$	
医用直线加速器机房	东墙外 (k, 空地)	1/40	1/4	5	10	80	10	<b>10</b>
	东墙外 (f, 水冷机房)	1/16	1	100		160	10	<b>10</b>
	东墙外 (控制室)	1	1	100		10	2.5	<b>2.5</b>
	迷道口 (g, 过道)	1/5	1/4	5		10	10	<b>10</b>
	南墙次屏蔽 (c1, c2, 过道)	1/5	1/4	5		10	10	<b>10</b>
	南墙主屏蔽 (a, 过道)	1/5	1/4	5		10	10	<b>10</b>
	西墙外 (e, 过道)	1/5	1/4	5		10	10	<b>10</b>
	北墙主屏蔽 (b, 停车场)	1/40	1/4	5		80	10	<b>10</b>
	北墙次屏蔽 (d1, d2, 停车场)	1/40	1/4	5		80	10	<b>10</b>
	屋顶主屏蔽 (l, 无建筑)	/	/	/		/	/	<b>100</b>
	屋顶次屏蔽 (n1, n2, 无建筑)	/	/	/		/	/	<b>100</b>

注：1、根据医院提供资料，本项目医用电子直线加速器放射治疗最大工作量为 40 人/天，每周工作 5 天，平均每人每野次治疗剂量 1.5Gy，平均每人治疗照射 3 野次，治疗出束时间大约为 3 分钟/人次，单台医用电子直线加速器年治疗照射时间约为：500h，周工作时间约为 10h。

2、根据 HJ 1198-2021，人员居留因子  $> 1/2$  的场所： $H_{c,max} \leq 2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；人员居留因子  $\leq 1/2$  的场所： $H_{c,max} \leq 10\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

3、参考点编号详见图 11-1。

### 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) ICRP103 号出版物，2007 年，国际放射防护委员会。

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

江苏省环境天然 $\gamma$ 辐射（空气吸收）剂量率（单位：nGy/h）

	原野	道路	室内
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 $\pm 3s$	29.4~71.4	10.2~84.0	47.2~131.2

注：1、根据《江苏省环境天然贯穿辐射水平调查研究》，表5数据不含宇宙射线电离成分；  
2、评价时采用“均值 $\pm 3s$ ”作为辐射环境本底参考范围。

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

苏州永鼎医院有限公司位于江苏省苏州市吴江区松陵镇高新路 1388 号，医院东侧为祁连路及太湖新城定销公寓房，南侧为高新路，西侧为吴模路，北侧为体育路、知青河、在建老年医院及新城国际社区。

医院本次新增 1 台医用直线加速器、1 台 DSA 项目主要包括：

1、于门急诊医技综合楼北侧新建 1 座医用直线加速器机房及配套设施用房并配置 1 台医用直线加速器。加速器拟建址东侧为空地，南侧为过道及门急诊医技综合楼，西侧为过道，北侧为停车场。机房上方无建筑，下方为土层。

2、于门急诊医技综合楼裙楼一楼改建 1 座 DSA 检查室及配套设施用房并配备 1 台 DSA。DSA 检查室拟建址东侧为控制室，南侧由东向西依次为苏醒室、设备间、污物间，西侧、北侧均为门急诊医技综合楼裙楼楼外过道。DSA 拟建址楼上无建筑，下方为土层。

本项目医用直线加速器机房、DSA 检查室周围 50m 评价范围东侧、南侧均位于医院范围内，西侧至院外吴模路，北侧至知青河北岸。项目运行后的环境保护目标主要是本项目医用直线加速器、DSA 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；新增 1 台医用直线加速器、1 台 DSA 项目周围 50m 评价范围内均无学校、居民区等环境敏感点。

本项目医用直线加速器拟建址及其周围环境现状见图 8-1 至图 8-5，DSA 拟建址及其周围环境现状见图 8-6 至图 8-10。



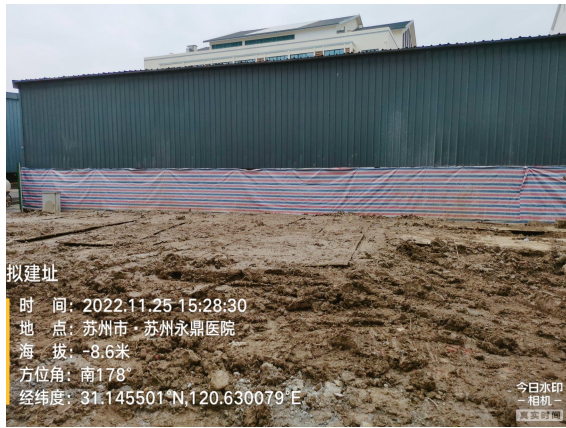


图 8-1 医用直线加速器拟建址现状



图 8-2 医用直线加速器拟建址东侧空地



图 8-3 医用直线加速器拟建址南侧门诊医技综合楼



图 8-4 医用直线加速器拟建址西侧过道



图 8-5 医用直线加速器拟建址北侧停车场



图 8-6 DSA 检查室拟建址现状（尚未改造）



图 8-7 DSA 检查室拟建址东侧



图 8-8 DSA 检查室拟建址南侧



图 8-9 DSA 检查室拟建址西侧



图 8-10 DSA 检查室拟建址北侧

## 二、辐射环境现状调查

根据《环境 $\gamma$ 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，于医院新增 1 台医用直线加速器、1 台 DSA 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 8-2~表 8-3，监测点位示意图见图 8-11~图 8-12。

监测单位：南京瑞森辐射技术有限公司（公司检测资质见附件 4）

监测日期：2022 年 11 月 25 日

监测项目： $\gamma$ 辐射剂量率

天气：多云

温度：（13~16） $^{\circ}\text{C}$

湿度：（62~75）%RH

表 8-1 本项目辐射环境现状调查监测仪器基本信息表

序号	设备名称	型号	设备编号	主要技术指标
1	X- $\gamma$ 辐射监测仪	FH40G+FHZ 672E-10	NJRS-103	能量响应：40keV~4.4MeV 测量范围：1nSv/h~100 $\mu$ Sv/h 检定证书编号：Y2022-0001788 检定有效期限：2022.1.15~2023.1.14

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 $\gamma$ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021），使用 $^{137}\text{Cs}$ 作为检定/校准参考辐射源时，换算系数分别取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。

评价方法：参照江苏省环境天然 $\gamma$ 辐射剂量水平调查结果，评价项目周围的辐射环境质量。

表 8-2 新增医用直线加速器项目拟建址及其周围环境 $\gamma$ 辐射剂量率

测点编号	测点描述	测量结果 (nGy/h)
1	加速器机房拟建址中部 (原野)	61
2	加速器机房拟建址东侧空地 (原野)	70
3	加速器机房拟建址南侧过道 (道路)	53
4	加速器机房拟建址南侧门急诊医技综合楼走廊 (室内)	73
5	加速器机房拟建址西侧过道 (道路)	67
6	加速器机房拟建址北侧停车场 (道路)	51

注：测量结果已扣除宇宙射线响应值。

表 8-3 新增 DSA 项目拟建址及其周围环境 $\gamma$ 辐射剂量率

测点编号	测点描述	测量结果 (nGy/h)
1	DSA 检查室拟建址中部 (室内)	73
2	DSA 检查室拟建址东侧 (室内)	66



3	DSA 检查室拟建址南侧（室内）	71
4	DSA 检查室拟建址西侧院内道路（道路）	64
5	DSA 检查室拟建址北侧院内道路（道路）	75
6	DSA 检查室拟建址东侧门急诊医技综合楼（室内）	58

注：测量结果已扣除宇宙射线响应值。

由表 8-2、表 8-3 监测结果可知，苏州永鼎医院有限公司新增 1 台医用直线加速器项目拟建址及其周围环境 $\gamma$ 辐射剂量率为 51nGy/h~73nGy/h，新增 1 台 DSA 项目拟建址及其周围环境 $\gamma$ 辐射剂量率为 58nGy/h~75nGy/h，均处于江苏省环境天然 $\gamma$ 辐射剂量本底水平涨落范围内，属于江苏省环境天然 $\gamma$ 辐射剂量本底水平。

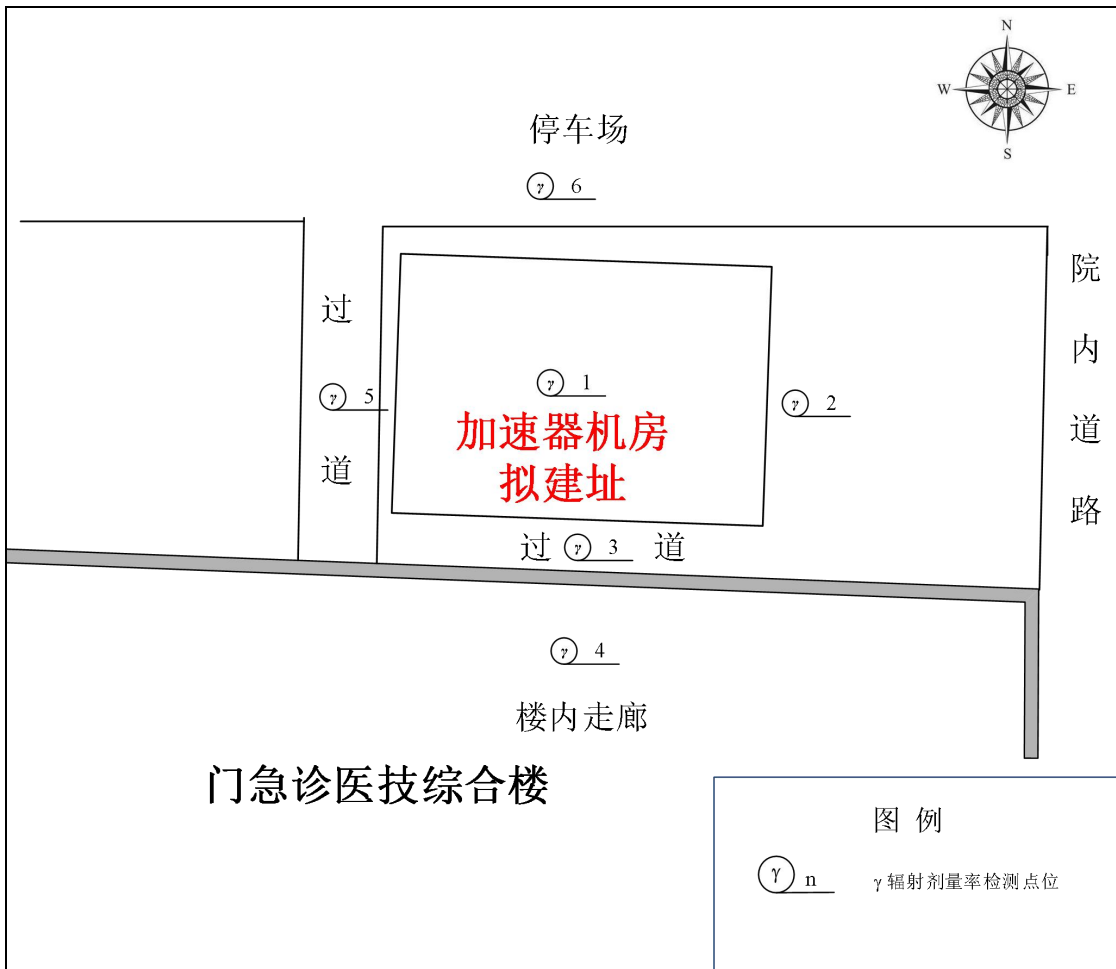


图 8-11 新增 1 台医用直线加速器项目拟建址及其周围环境 $\gamma$ 辐射剂量率检测位点示意图

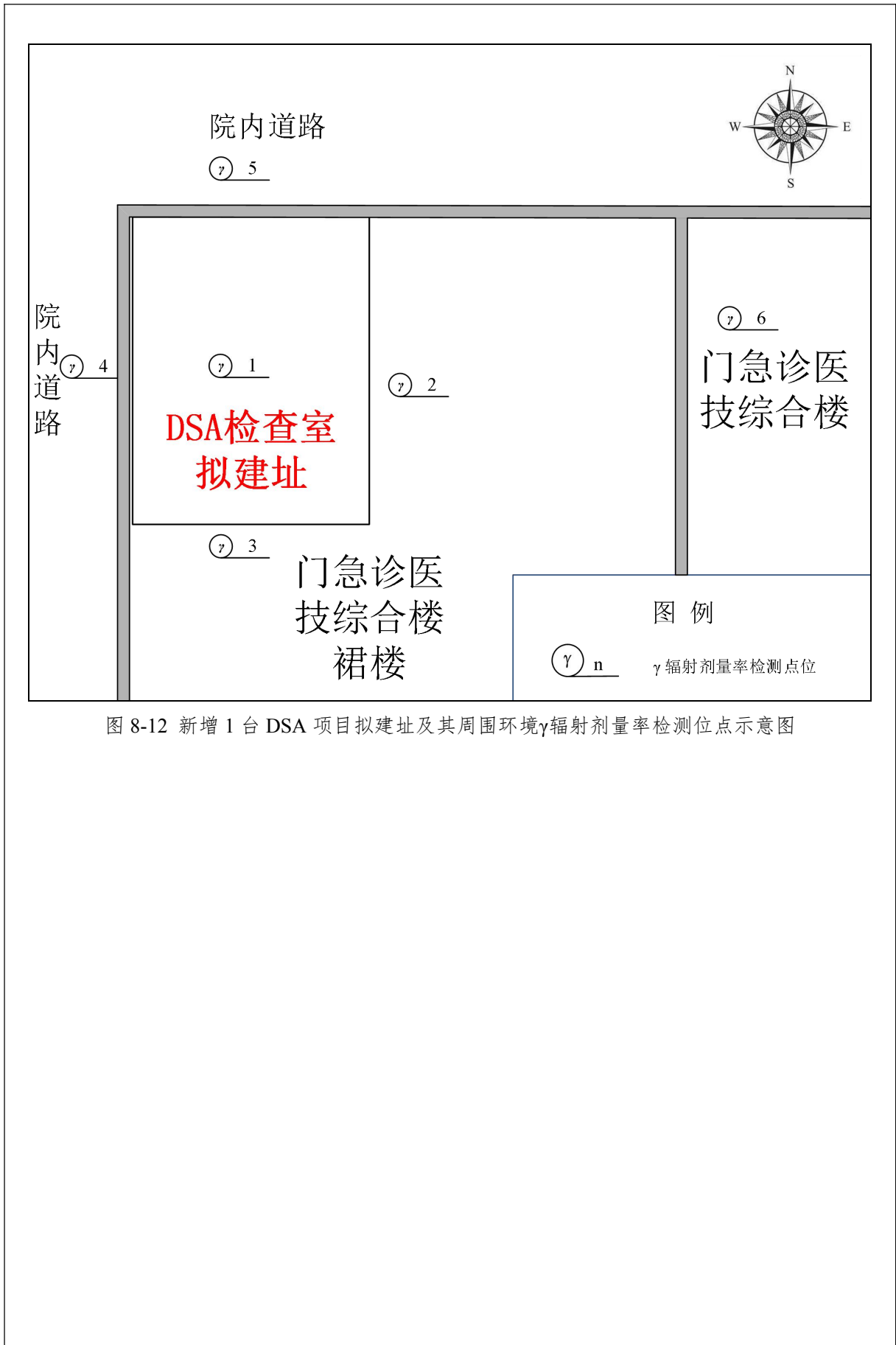


图 8-12 新增 1 台 DSA 项目拟建址及其周围环境 $\gamma$ 辐射剂量率检测点位示意图

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

苏州永鼎医院有限公司拟在门急诊医技综合楼北侧新建 1 座加速器机房并配置 1 台医用直线加速器（型号为：医科达 Infinity，X 射线能量 $\leq 10\text{MV}$ ，电子线能量 $\leq 15\text{MeV}$ ），用于开展放射治疗；拟在门急诊医技综合楼裙楼一楼改建 1 座 DSA 检查室并配备 1 台 DSA（型号为 Azurion 7M20，最大管电压 125kV，最大管电流 1000mA），用于开展医疗诊断和介入治疗。医用直线加速器、DSA 均属 II 类射线装置。

#### （一）医用直线加速器项目

苏州永鼎医院有限公司拟于门急诊医技综合楼北侧新建 1 座医用直线加速器机房，配备 1 台医用直线加速器（型号为医科达 Infinity，X 射线能量 $\leq 10\text{MV}$ ，电子线能量 $\leq 15\text{MeV}$ ），用于开展放射治疗，本项目拟使用的医用电子直线加速器外观图如图 9-1 所示。医院本次拟购置的医用电子直线加速器设备参数详见表 9-1。

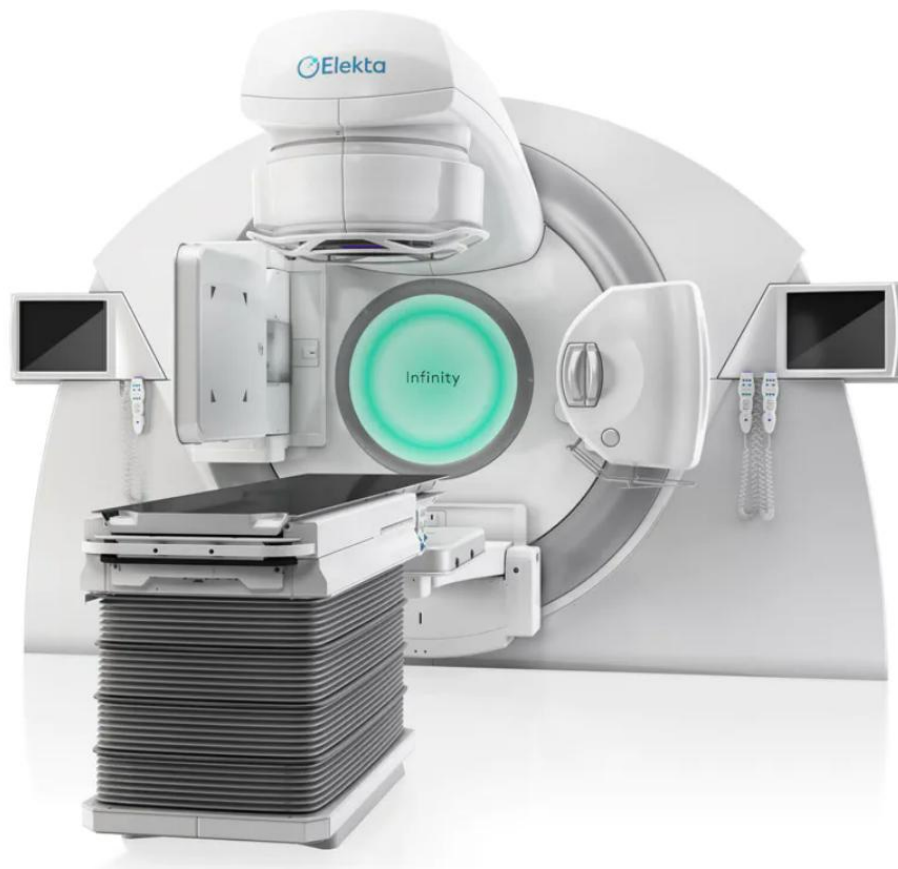


图 9-1 医科达 Infinity 医用电子直线加速器外观示意图

表 9-1 本项目拟配备的医用电子直线加速器技术参数一览表

型号	医科达 Infinity
位置	门急诊医技楼北侧
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
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	1.3m
距靶 1m 处 X 辐射剂量率	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
最大照射野大小	40cm×40cm
机架旋转	360°
靶材料	钨合金

医用电子直线加速器是产生高能 X 射线和电子束的装置,为远距离治疗机。主要由机架组件、辐射头、水冷系统、速调管、真空系统、充气系统、高压脉冲调制器、栅控电子枪电源、控制柜及操作盒、运控机箱、整机动力配电及低压电源、整机联锁保护电路等组成。从电子枪发出的同步电子束注入已建立高梯度的驻波或行波加速场中加速,在加速管末端,电子束加速到所需能量后经过漂移管进入 270° 偏转磁场。在偏转磁场中,电子束偏转 270° 后由水平入射变为垂直出射,并同时完成聚集和消除能谱色差形成直径 2mm 左右的平行束流,经过引出窗到达移动靶件处。移动靶件具有不同工位,可根据治疗需要使电子束轰击合金靶产生 X 辐射或直接穿透初级散射箔产生电子辐射。典型医用直线加速器基本结构示意图见图 9-2。

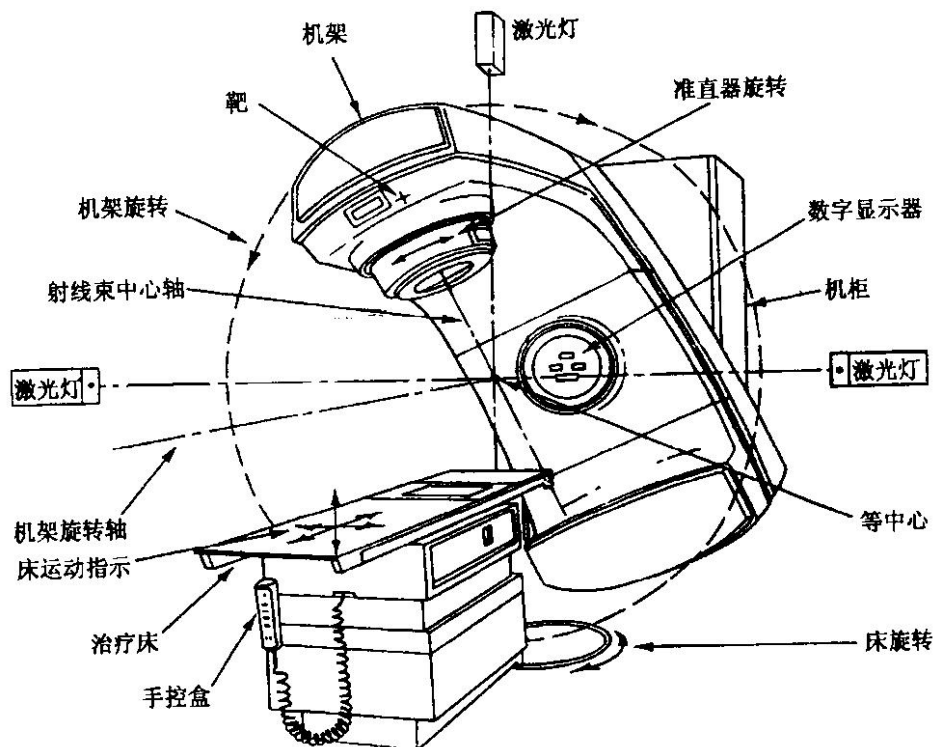


图 9-2 典型医用电子直线加速器基本结构示意图

## (二) 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 9-3 常见 DSA 外观示意图



常见的 DSA 外观图见图 9-3, 门急诊医技综合楼裙楼一楼 DSA 机房平面布置图详见附件 6。本项目拟新增的 1 台 DSA 主要设备技术参数见表 9-2。

表 9-2 本项目 DSA 主要设备技术参数

指 标	技 术 参 数
型 号	Azurion 7M20
数 量	1
额定管电压	125kV
额定管电流	1000mA
X 射线球管固有滤过	$\geq 2.5\text{mmAl}$
X 射线球管附加滤过	$\geq 0.5\text{mmCu}$
照射野	最小照射野: 8cm×8cm 平板探测器范围: 30cm×40cm
焦皮距	$\geq 45\text{cm}$

注: \*设备技术参数根据建设单位招标意向及主流供货商的常用参数确定, 实际采购设备的源强参数不大于表列源强参数且“总滤过条件”相应的滤过效果不低于表中的“滤过条件”。

表 9-3 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

## 二、工作原理及工作流程

### (一) 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。

医用电子直线加速器是实现放疗的最常见设备之一，医用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。

当医用电子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，依据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007），本项目医用电子直线加速器 X 射线能量不大于 10MV，因此不用考虑中子的屏蔽。医用电子直线加速器产生的高能电子束、高能 X 射线，可能会对工作人员和公众产生辐射危害。

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。医用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 $\beta$ -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 9-4。

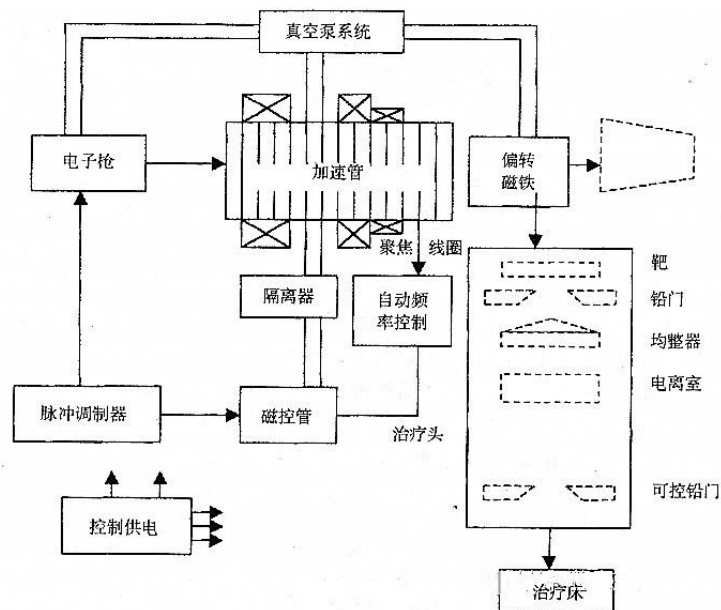


图 9-4 医用电子直线加速器系统示意图

## 2、工作流程及产污环节

- 1) 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；
- 2) 固定患者体位：在利用医用电子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；
- 3) 技师离开治疗室，进入控制室，根据 TPS 计划进行出束治疗；
- 4) 治疗结束后，关机，打开治疗室防护门，患者离开治疗室。

医用电子直线加速器放疗流程及产污环节如图 9-5 所示。

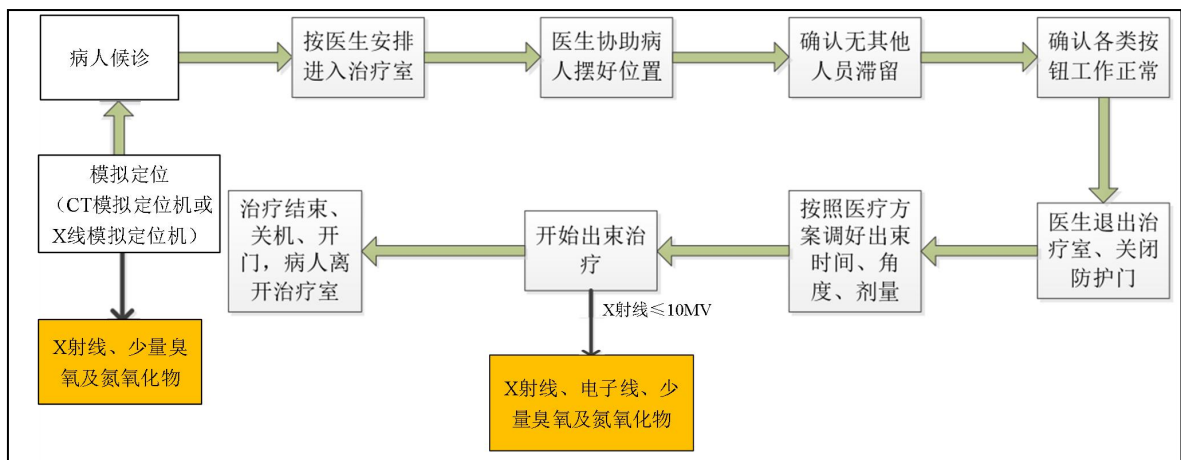


图 9-5 医用电子直线加速器放疗工作流程及产污环节示意图

## (二) DSA

### 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 9-6。

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。

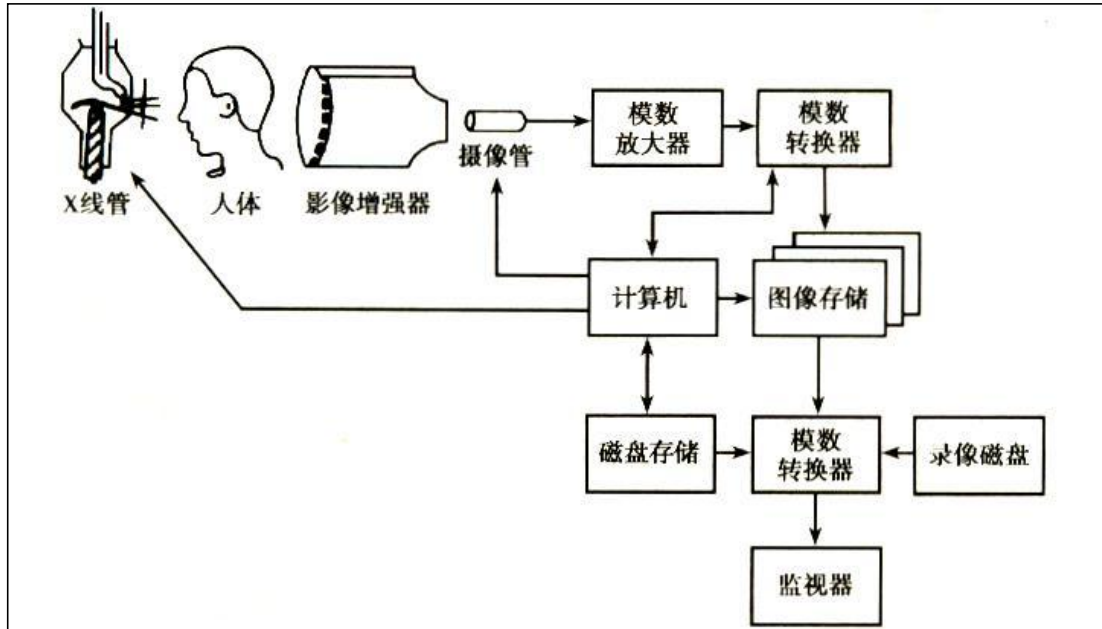


图 9-6 DSA 系统结构图

## 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 9-7:

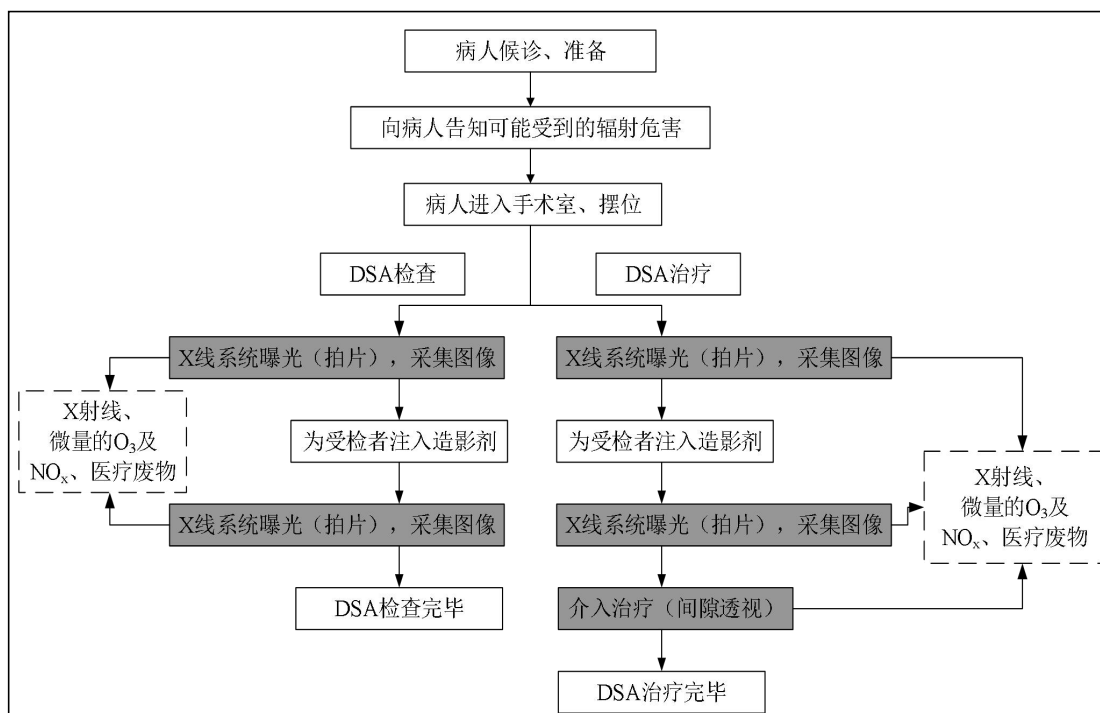


图 9-7 本项目 DSA 工作流程及产污环节示意图

## 污染源项描述

### 一、医用直线加速器

#### (一) 放射性污染

1、X 射线：外照射医用电子直线加速器以 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。

该院拟新增的医用电子直线加速器 X 射线最大能量为 10MV，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：当医用电子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。

医用电子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，在医用电子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：本项目拟配备的医用直线加速器的 X 射线能量为 6、10MV，其中子影响可忽略。

因此，本项目医用电子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。

## （二）非放射性污染

1、废气：医用电子直线加速器在工作状态时，会使治疗室内的空气产生电离，产生臭氧和氮氧化物，少量臭氧和氮氧化物可通过通风系统排出治疗室，臭氧在空气中短时间可自动分解为氧气，这部分废气对周围环境影响较小。

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，经分类收集后，交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小。

## 二、DSA

### （一）放射性污染

DSA 在工作状态下会发出 X 射线，本项目配置的 DSA 型号均为 Azurion 7M20，最大管电压 125kV，最大管电流 1000mA，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，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, 额定电压为 125kV 时, 离靶 1 米处的发射率约为 10mGy·m<sup>2</sup>/mA·min; 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·m<sup>2</sup>/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 100cm<sup>2</sup>的面积上或者在离管或源壳 5cm 处的 10cm<sup>2</sup>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 9-4。

表 9-4 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	100 台	约 15min		约 25h	
神经介入	40 台	约 20min		约 13.3h	
综合介入	150 台	约 20min		约 50h	
小计	/	/		约 88.3h	
(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	100 台	0.5~1s	6~10 次	约 0.2min	约 0.3h

神经介入	40 台	0.5~1s	4~10 次	约 0.2min	约 0.1h
综合介入	220 台	0.5~1s	7~15 次	约 0.3min	约 1.1h
小计	/	/	/	/	约 1.5h
总 计					约 89.8h

本项目拟新增 1 台 DSA，配备 4 名辐射工作人员，辐射工作人员年工作 250 天。

## (二) 非放射性污染

1、废气：DSA 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，少量臭氧和氮氧化物可通过通风系统排至室外，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：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；工作人员产生的生活垃圾进行分类收集后，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、医用直线加速器**

**(一) 工作场所布局及分区**

本项目拟于门急诊医技综合楼北侧新建 1 座加速器机房，配置 1 台医用直线加速器（型号为：医科达 Infinity，X 射线能量 6、10MV，电子线能量 6、8、10、12、15MeV）。加速器机房东侧为空地，南侧为过道及门急诊医技综合楼，西侧为过道，北侧为停车场。机房控制室与治疗室分离，治疗室面积约 65.6m<sup>2</sup>（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）中“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”及“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）”的要求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 4。

**(二) 辐射防护屏蔽设计**

苏州永鼎医院有限公司医用直线加速器机房位于门急诊医技综合楼北侧，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 10-1，屏蔽设计示意图见附图 5。

表 10-1 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）	主屏蔽区宽度
东墙	迷道内墙	120cm 混凝土	/
	迷道外墙	150cm 混凝土	
南墙	主屏蔽区	180cm+120cm=300cm 混凝土	400cm
	次屏蔽区	180cm 混凝土	
西墙	侧屏蔽墙	150cm 混凝土	/
北墙	主屏蔽区	180cm+120cm=300cm 混凝土	400cm
	次屏蔽区	180cm 混凝土	
屋顶	主屏蔽区	180cm+120cm=300cm 混凝土	400cm
	次屏蔽区	180cm 混凝土	
防护门		20mmPb	/

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

### （三）辐射安全措施

（1）电线电缆布设：医用电子直线加速器机房电缆线穿墙方式（见图 11-2）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。

（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（见图 11-2）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）医用电子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：除医用电子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，以避免医用电子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：本项目医用电子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) 开门装置：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。

(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。

(10) 钥匙开关：加速器控制台上设置物理钥匙开关，只有当此钥匙就位且开关打开状态下，加速器才能启动。钥匙由加速器值班医生保管，以避免非本项目辐射工作人员误操作加速器。



图 10-2 医用直线加速器机房主要安全设施位置示意图

## 二、DSA 项目

### (一) 工作场所布局及分区

苏州永鼎医院有限公司拟在门急诊医技综合楼裙楼改建 1 座 DSA 检查室及配套设施用房并配置 1 台 DSA（型号为：Azurion 7M20，最大管电压 125kV，最大管电流

1000mA)，用于开展医疗诊断和引导介入治疗。DSA 控制室与诊断机房分开单独布置，区域划分明确，项目布局合理。

本项目将 DSA 所在机房作为辐射防护控制区，与机房相邻的控制室、苏醒室、设备间、污物间等划为监督区，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。苏州永鼎医院有限公司 DSA 检查室平面布置及辐射防护分区详见附图 6。

## （二）辐射防护屏蔽设计

苏州永鼎医院有限公司 DSA 检查室辐射防护设计见表 10-2。

表 10-2 本项目 DSA 机房屏蔽设计一览表

序号	射线装置名称型号	数量	管电压 kV	管电流 mA	工作场所名称	屏蔽防护
1	DSA (Azurion 7M20)	1	125	1000	门急诊医技综合楼裙楼 DSA 检查室	四侧墙体: 240mm 实心砖+3mm 铅板; 顶面: 150mm 混凝土+3mm 铅板; 地面: 150mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡水泥; 防护门: 3mm 厚铅板; 观察窗: 3mm 铅当量铅玻璃

注：实心砖密度为 1.65g/cm<sup>3</sup>，铅密度为 11.3g/cm<sup>3</sup>，硫酸钡水泥密度为 4.5g/cm<sup>3</sup>，混凝土密度为 2.35g/cm<sup>3</sup>。

## （三）辐射安全措施

### 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联动，防护门关闭的情况下，工作状态指示灯才亮。

### 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，医院拟购置的各类防护用品防护能力均不低于 0.5mm 铅当量。

## 6、人员监护

医院拟为本项目配备 4 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、其他辐射安全措施

介入放射治疗需要长时间的透视和大量的摄片，对病人和医务人员来说辐射剂量较高，因此在评估介入放射治疗的效应和操作时，其辐射损伤必须要加以考虑。由于需要医务人员在机房内，X 射线球管工作时产生的散射线对医务人员有较大影响，根据辐射防护“三原则”，医院还应在以下方面加强对介入放射治疗的防护工作：

(1) 操作中减少透视时间和减少照相的次数可以显著降低工作人员的辐射剂量，介入人员在操作时应尽量远离检查床。

(2) 一般说来，降低病人剂量的措施可以同时降低工作人员的辐射剂量，应加强对介入人员的培训，包括放射防护的培训，参与介入的人员应该技术熟练、动作迅速，以减少病人和介入人员的剂量。

(3) 所有在介入放射治疗机房内的工作人员都应开展个人剂量监测，医院应结合工作人员个人剂量监测的数据采取措施，控制和减少工作人员的受照剂量。

(4) 引入的 DSA 及配套设备必须符合国际的或者国家的标准，满足各种特殊操作的要求，其性能必须与操作性质相符合；设备应该常规调节到满足低剂量的有效范围内，并尽可能提高图像质量。

(5) 介入人员应该结合 DSA 设备的特点，了解一些降低剂量的方法，比如脉冲透视、优化滤线器、除滤线栅、图像处理、低剂量透视等方法。

(6) 加强 DSA 设备的质量保证工作，设备的球管与发生器、透视和数字成像的

性能以及其它相关设备应该定期进行检测。

(7) 临床介入手术时，介入医生需站在 DSA 床边操作，仅依赖于医务人员身着铅衣、机器自带的铅帘等防护设备被动防护。一般来说，床下球管机对医务人员的辐射剂量，由头、颈、胸至腹部呈现剂量逐渐上升的趋势，故操作人员除个人防护用品（铅衣、铅围脖、铅帽及铅眼镜等）外，应着重考虑 X 射线机操作侧的屏蔽，该屏蔽要做到既不影响操作者的操作，又能达到防护目的，且能消毒。本项目 DSA 设备自带床侧竖屏、床下帘幕及床上防护屏，以上组合屏蔽防护措施的设置，能够有效降低介入手术医务人员的吸收剂量。

#### 四、监测仪器和防护用品

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

##### 1、医用直线加速器

苏州永鼎医院有限公司已配备辐射巡测仪 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。公司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 10-3 医用直线加速器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
医用直线加速器	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	6 件铅橡胶围裙、6 件铅橡胶围脖、6 顶铅橡胶帽子、2 副铅防护眼镜、2 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	铅悬挂防护屏、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	3 件铅橡胶围脖、3 顶铅橡胶帽子、3 件铅方巾
		辅助防护设施	/	/

##### 2、DSA

苏州永鼎医院有限公司已配备辐射巡测仪 1 台，为本项目配备个人剂量报警仪 2

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 10-4 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	3 件铅橡胶围裙、3 件铅橡胶围脖、3 顶铅橡胶帽子、3 副铅防护眼镜、2 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	铅悬挂防护屏、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	/	/

## 三废治理

### 一、放射性三废

本项目医用直线加速器、DSA 正常运行中无放射性三废产生。

### 二、非放射性三废

#### 1、医用直线加速器

(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。臭氧常温下可自行分解为氧气，对周围环境影响较小。

本项目医用直线加速器机房治疗室容积均约 334.7m<sup>3</sup>（包括迷路），机房内设有通风装置，采用机械排风方式，设计通风量拟不小于 1400m<sup>3</sup>/h，每小时通风换气次数拟不低于 4.2 次。放射治疗机房采用上进下出的通风系统，进风口位于治疗室顶部吊顶处，排风口下沿距治疗室地面 0.3m 高。医用直线加速器机房通风设计如图 10-3 所示。

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。

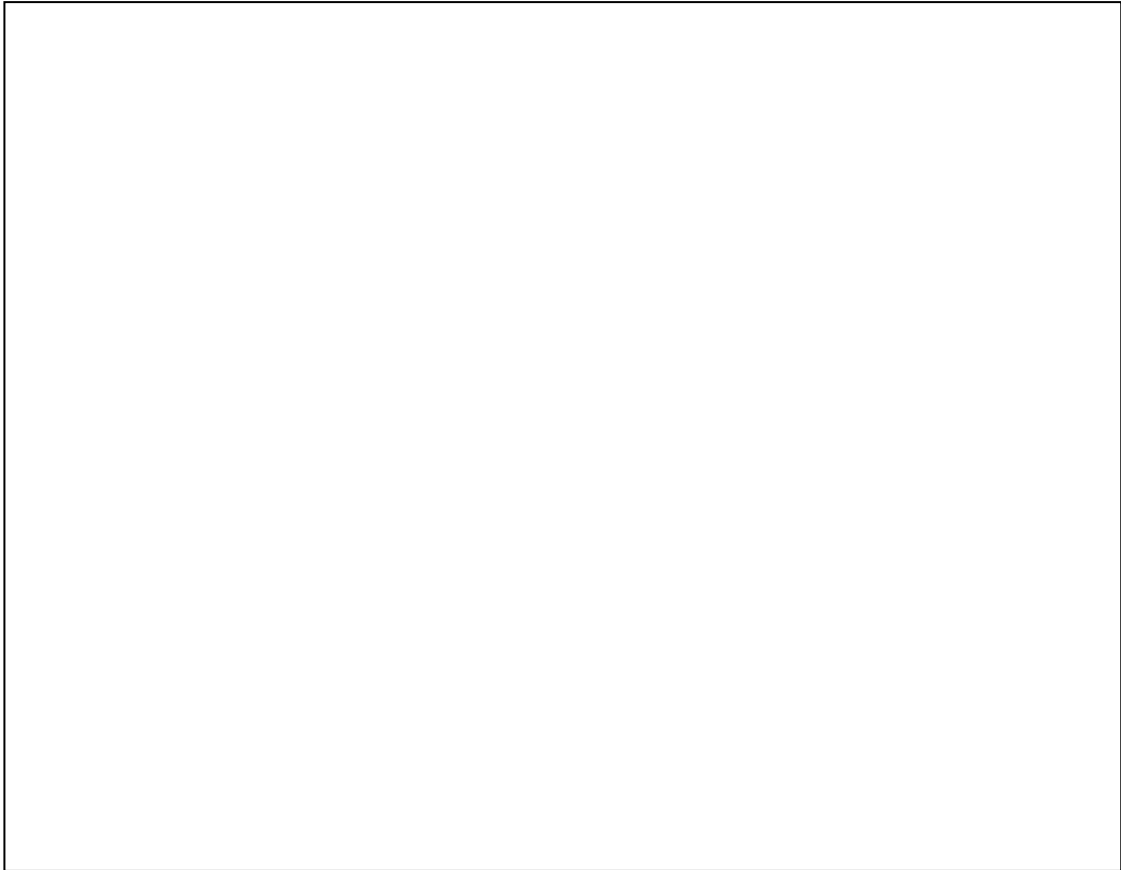


图 10-3 加速器机房排风管道示意图

（3）固废：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，对周围环境影响较小。

## 2、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，臭氧常温下可自行分解为氧气，对周围环境影响较小。

（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。

表 11 环境影响分析

## 建设阶段对环境的影响

本次新增 1 台医用直线加速器、1 台 DSA 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，如墙体拆除、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。

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，并经隔渣后排放或回收用于施工场地洒水降尘。

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）医用直线加速器

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为医科达 Infinity，主要参数为：X 射线能量：6、15MV；电子线能量：6、8、10、12、15MeV；射线最大出射角：28°；1m 处最大输出剂量率：X 射线 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），电子线 15MeV 时最高剂量率为 600cGy/min。故本项目以 X 射线能量为 10MV、6MV 的情况下，分别进行辐

射影响分析计算。

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 11-1。

### 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：

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

式中： $Y_p$ —机房有用束主屏蔽区的宽度，m；

$SAD$ —源轴距，m；

$\theta$ —治疗束的最大张角（相对束中的轴线），即射线最大出射角的一半；

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

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 医用直线加速器机房主屏蔽区的宽度设计评价表

参数	南墙主屏蔽	北墙主屏蔽	顶部主屏蔽
$SAD$ (m)	1	1	1
$\theta$ (°)	14	14	14
$a$ (m)	4.7	4.7	5.33
$Y_p$ 计算值 (m)	3.45	3.45	3.76
$Y_p$ 设计值 (m)	4	4	4
评价结果	满足	满足	满足

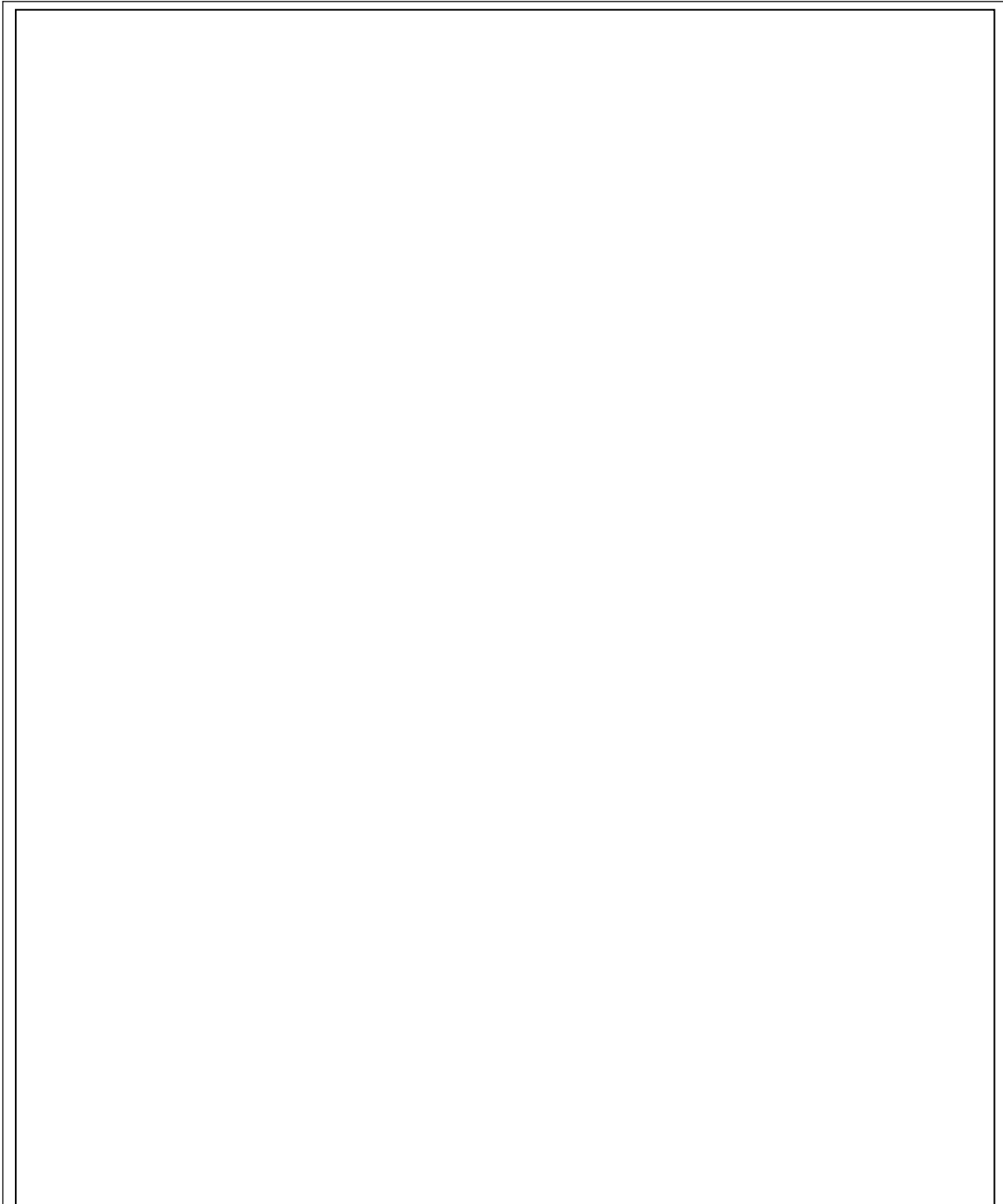


图 11-1 医用直线加速器机房估算点位示意图

## 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  $o_1 \rightarrow a$ ，北墙  $o_2 \rightarrow b$ ，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 11-2 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 ( $\mu\text{Sv/h}$ )。

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

式中： $X$ —设计屏蔽厚度，cm；

$\theta$ —斜射角。

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

式中， $TVL_l$  (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  $TVL_l$  时， $TVL_l = TVL$ 。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  $TVL_l$  为 41cm、 $TVL$  为 37cm，对应 6MV 的 X 射线能量，混凝土  $TVL_l = 37\text{cm}$ 、 $TVL = 33\text{cm}$ 。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。

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

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， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ，本项目中对应 10MV 的 X 射线能量，1m 处的常用最高剂量率为  $3.60 \times 10^8 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ，对应 6MV X 射线能量，1m 处的常用最高剂量率为  $8.40 \times 10^8 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

$R$ —靶点至参考点的距离，m，本项目参考点均为相应墙外 30cm；

$f$ —泄露辐射比，对有用线束为 1，对泄漏辐射为 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 ( $\mu\text{Sv/h}$ )，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) 主屏蔽外参考点辐射剂量率核算值 (6MV)

参数	南墙主屏蔽	北墙主屏蔽	顶部主屏蔽
----	-------	-------	-------

$X$ (cm)	300 砵	300 砵	300 砵
$X_e$ (cm)	300 砵	300 砵	300 砵
$TVL_l$ (cm)	37		
$TVL$ (cm)	33		
$B$	$1.07 \times 10^{-9}$	$1.07 \times 10^{-9}$	$1.07 \times 10^{-9}$
$R$ (m)	6.8	6.8	6.43
$\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ )	$8.40 \times 10^8$		
$f$	1	1	1
$\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	0.019	0.019	0.022
$\dot{H}_c$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ) (剂量率参考控制水平)	10	10	100
评价	满足	满足	满足

表 11-2 (b) 主屏蔽外参考点辐射剂量率核算值 (10MV)

参数	南墙主屏蔽	北墙主屏蔽	顶部主屏蔽
$X$ (cm)	300 砵	300 砵	300 砵
$X_e$ (cm)	300 砵	300 砵	300 砵
$TVL_l$ (cm)	41		
$TVL$ (cm)	37		
$B$	$1.00 \times 10^{-8}$	$1.00 \times 10^{-8}$	$1.00 \times 10^{-8}$
$R$ (m)	6.8	6.8	6.43
$\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ )	$3.60 \times 10^8$		
$f$	1	1	1
$\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	0.078	0.078	0.087
$\dot{H}_c$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ) (剂量率参考控制水平)	10	10	100
评价	满足	满足	满足

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

d2 点及屋顶 n1 点、n2 点)

①射线路径(射线类型):  $o_1 \rightarrow o \rightarrow c1$  (散射射线),  $o_1 \rightarrow o \rightarrow c2$  (散射射线),  $o_2 \rightarrow o \rightarrow d1$  (散射射线),  $o_2 \rightarrow o \rightarrow d2$  (散射射线),  $o_3 \rightarrow o \rightarrow n1$  (散射射线),  $o_3 \rightarrow o \rightarrow n2$  (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),  $o \rightarrow n1$  (泄漏射线),  $o \rightarrow n2$  (泄漏射线)。

对于位置 c1 点、c2 点、d1 点、d2 点和 n1 点、n2 点, 考虑泄漏辐射和散射辐射的复合作用。

### ②泄漏辐射计算模式及参数

泄漏辐射屏蔽, 估算方法类似主屏蔽区。 $f=0.001$  (泄漏辐射比率, 根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分: 电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.2-2011)), 加速器的泄漏辐射比率通常取  $10^{-3}$ , 公式 11-3 的  $TVL_l$  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  $TVL_l=35\text{cm}$ ,  $TVL=31\text{cm}$ ; 对应 6MV 的 X 射线能量, 混凝土  $TVL_l=34\text{cm}$ ,  $TVL=29\text{cm}$ 。

### 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 11-2 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  $30^\circ$  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 ( $\mu\text{Sv/h}$ );

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

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,  $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ , 本项目为  $1.44 \times 10^{10} \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ;

$\alpha_{ph}$ —患者  $400\text{cm}^2$  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  $400\text{cm}^2$  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 10MV、 $30^\circ$  取值, 为  $3.18 \times 10^{-3}$ ; 按 6MV、 $30^\circ$  取值, 为  $2.77 \times 10^{-3}$ 。

$F$ —治疗装置有用线束在等中心处的最大治疗野面积,  $\text{cm}^2$ , 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,  $\text{m}$ 。

#### 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 (6MV)

参数 <sup>1)</sup>		南墙次屏蔽 (c1、c2 点)	北墙次屏蔽 (d1、d2 点)	屋顶次屏蔽 (n1、n2 点)
$X$ (cm)		180 砵	180 砵	180 砵
$X_e$ (cm)		206.6 砵	206.6 砵	200 砵
$\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ )		$8.40\times 10^8$		
泄漏辐射	$TVL_l$ (cm)	34		
	$TVL$ (cm)	29		
	$B$	$1.12\times 10^{-7}$	$1.12\times 10^{-7}$	$1.89\times 10^{-7}$
	$R$ (m)	7.82	7.74	4.89
	$f$	0.001	0.001	0.001
	$\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	0.002	0.002	0.007
散射辐射	$TVL_l$ (cm)	26		
	$TVL$ (cm)	26		
	$R_s$ (m)	7.82	7.74	4.89
	$\alpha_{ph}$	$2.77\times 10^{-3}$		
	$B$	$1.13\times 10^{-8}$	$1.13\times 10^{-8}$	$2.03\times 10^{-8}$
	$F$ ( $\text{cm}^2$ )	1600	1600	1600
	$\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	0.002	0.002	0.008
$\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ) 泄漏辐射和散射辐射的复合作用		0.003	0.003	0.015



$\dot{H}_c$ ( $\mu\text{Sv/h}$ ) 剂量率参考控制水平 <sup>1)</sup>		10	10	100
评价		满足	满足	满足
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 (10MV)				
参数 <sup>1)</sup>		南墙次屏蔽 ( $c1$ 、 $c2$ 点)	北墙次屏蔽 ( $d1$ 、 $d2$ 点)	屋顶次屏蔽 ( $n1$ 、 $n2$ 点)
$X$ (cm)		180 砵	180 砵	180 砵
$X_e$ (cm)		206.6 砵	206.6 砵	200 砵
$\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ )		$3.60\times 10^8$		
泄漏辐射	$TVL_l$ (cm)	35		
	$TVL$ (cm)	31		
	$B$	$2.91\times 10^{-7}$	$2.91\times 10^{-7}$	$4.76\times 10^{-7}$
	$R$ (m)	7.82	7.74	4.89
	$f$	0.001	0.001	0.001
	$\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	0.069	0.070	0.287
散射辐射	$TVL_l$ (cm)	28		
	$TVL$ (cm)	28		
	$R_s$ (m)	7.82	7.74	4.89
	$\alpha_{ph}$	$3.18\times 10^{-3}$	$3.18\times 10^{-3}$	$3.18\times 10^{-3}$
	$B$	$4.18\times 10^{-8}$	$4.18\times 10^{-8}$	$7.02\times 10^{-8}$
	$F$ ( $\text{cm}^2$ )	1600	1600	1600
	$\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	0.125	0.128	0.551
$\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv/h}$ ) 泄漏辐射和散射辐射的复合作用		0.194	0.198	0.838
$\dot{H}_c$ ( $\mu\text{Sv/h}$ ) 剂量率参考控制水平 <sup>1)</sup>		10	10	100
评价		满足	满足	满足
(3) 侧屏蔽墙屏蔽设计核算 (迷路墙外 $f$ 点、西墙 $e$ 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 11-4 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，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 11-4，其中  $X_e$ 、 $R$  的取值由 CAD 图纸上读取。

表 11-4 (a) 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 (6MV)

参数	迷路墙外 ( $f$ 点)	西墙 ( $e$ 点)
$X$ (cm)	120 砣 (迷路内墙) + 150 砣 (迷路外墙)	150 砣
$X_e$ (cm)	270 砣	150 砣
$TVL_1$ (cm)	34	
$TVL$ (cm)	29	
$B$	$7.28 \times 10^{-10}$	$1.00 \times 10^{-5}$
$R$ (m)	9.3	5.5
$\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ )	$8.40 \times 10^8$	
$f$	0.001	0.001
$\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	$7.07 \times 10^{-6}$	0.278
$\dot{H}_c$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ) 剂量率参考控制水平	10	10
评价	满足	满足

表 11-4 (b) 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 (10MV)

参数	迷路墙外 ( $f$ 点)	西墙 ( $e$ 点)
$X$ (cm)	120 砣 (迷路内墙) + 150 砣 (迷路外墙)	150 砣
$X_e$ (cm)	270 砣	150 砣
$TVL_1$ (cm)	35	
$TVL$ (cm)	31	

$B$	$2.63 \times 10^{-9}$	$1.95 \times 10^{-5}$
$R$ (m)	9.3	5.5
$\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ )	$3.60 \times 10^8$	
$f$	0.001	0.001
$\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	$1.09 \times 10^{-5}$	0.232
$\dot{H}_c$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ) 剂量率参考控制水平	10	10
评价	满足	满足

#### (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) :  $o_l \rightarrow k$  (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  $TVL_l$  和  $TVL$  为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值, 分别为  $TVL_l=35\text{cm}$ ,  $TVL=31\text{cm}$ 。

#### ③预测计算结果

$k$  点的辐射剂量率预测结果见下表 11-5, 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)	
	6MV	10MV
$X$ (cm)	150 砵	
$X_e$ (cm)	165.7 砵	
$TVL_l$ (cm)	34	35
$TVL$ (cm)	29	31
$B$	$2.87 \times 10^{-6}$	$6.08 \times 10^{-6}$
$R$ (m)	10.24	

$\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ )	$8.40\times 10^8$	$3.60\times 10^8$
$f$	0.001	
$\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	0.023	0.021
$\dot{H}_c$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ) 剂量率参考控制水平	10	
评价	满足	

### (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 ( $o_2\rightarrow o\rightarrow i\rightarrow g$ ) 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),  $o_2\rightarrow o\rightarrow i\rightarrow g$  (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。取泄漏因子  $f=0.001$ 。公式 11-3 的  $\text{TVL}_1$  和  $\text{TVL}$  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  $\text{TVL}_1=35\text{cm}$ ,  $\text{TVL}=31\text{cm}$ ; 对应 6MV 的 X 射线能量, 混凝土  $\text{TVL}_1=34\text{cm}$ ,  $\text{TVL}=29\text{cm}$ 。

表 11-6 迷路入口处的泄漏辐射剂量率核算值

参数	迷路入口处 (g 点)	
	6MV	10MV
$X$ (cm)	120 砵	
$X_e$ (cm)	178.1 砵	
$\text{TVL}_1$ (cm)	34	35
$\text{TVL}$ (cm)	29	31
$B$	$1.07\times 10^{-6}$	$2.42\times 10^{-6}$
$R$ (m)	9.95	
$\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ )	$8.40\times 10^8$	$3.60\times 10^8$
$f$	0.001	
$\dot{H}_{og}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	0.009	0.009
$\dot{H}_c$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ) 剂量率参考控制水平	10	

评价	满足
----	----

### 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。

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

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

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

$\alpha_2$ —砼墙入射的患者散射辐射（能量见附录 B 表 B.6）的散射因子，通常取入射角为  $45^\circ$ ，散射角为  $0^\circ$ ； $\alpha_2$  值见附录 B 表 B.6；

$A$ — $i$  处的散射面积， $\text{m}^2$ ；

$R_1$ —“ $o \rightarrow i$ ”之间的距离， $\text{m}$ ；

$R_2$ —“ $i \rightarrow g$ ”之间的距离， $\text{m}$ ；

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

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)	
	6MV	10MV
$\alpha_{ph}$	$1.39 \times 10^{-3}$	$1.35 \times 10^{-3}$
$F$ ( $\text{cm}^2$ )	1600	
$\alpha_2$	$22.0 \times 10^{-3}$	$22.0 \times 10^{-3}$
$R_1$ (m)	7.99	
$R_2$ (m)	11.2	
$A$ ( $\text{m}^2$ )	9.06	
$\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ )	$8.40 \times 10^6$	$3.60 \times 10^8$

$\dot{H}_g$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	116.24	48.39
----------------------------------	--------	-------

#### 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  $\dot{H}$  ( $\mu\text{Sv/h}$ ) 按公式 11-7 计算, 预测结果见下表 11-8。

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

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

$\dot{H}_g$ — $g$  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 11-8 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)	
	6MV	10MV
$\dot{H}_{og}$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	0.009	0.009
$\dot{H}_g$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	116.24	48.39
$X$ (cm)	2.0 (铅)	
$TVL$ (cm)	0.5 (铅)	
防护门外的辐射剂量率 $\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	0.021	0.014
剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	10	
评价	满足	

### 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 11-9。

表 11-9 医用直线加速器机房墙、顶、门外理论估算结果汇总

参考点	剂量率估算值 ( $\mu\text{Sv/h}$ )		剂量率参考控制水平 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	结论	
	6MV	10MV			
主屏蔽	南墙 a 点	0.019	0.078	10	满足
	北墙 b 点	0.019	0.078	10	满足
	顶部 1 点	0.022	0.087	100	满足

次屏蔽	南墙 c1、c2 点	0.003	0.194	10	满足
	北墙 d1、d2 点	0.003	0.198	10	满足
	顶部 n1、n2 点	0.015	0.838	100	满足
迷路墙外 (f 点)		$7.07 \times 10^{-6}$	$1.09 \times 10^{-5}$	10	满足
西墙 (e 点)		0.278	0.232	10	满足
迷路外墙 (k 点)		0.023	0.021	10	满足
迷路入口防护门 (g 点)		0.021	0.014	5	满足

注：控制室处剂量率参考水冷机房剂量率，也能满足控制室 2.5 $\mu$ Sv/h 的参考控制水平要求。

由表 11-24 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：

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

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）；根据医院提供资料，本项目单台医用电子直线加速器放射治疗最大工作量为 40 人/天，每周工作 5 天，平均每人每野次治疗剂量 1.5Gy，平均每人治疗照射 3 次野次，治疗出束时间大约为 3 分钟/人次，单台医用电子直线加速器年治疗照射时间约为：500h，周工作时间约为 10h。

$T$ —居留因子；

$U$ —使用因子。

将表 11-9 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 11-8。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 11-8 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 医用直线加速器机房周围人员年有效剂量

参考点	参考点所在场所	剂量率估算值（ $\mu$ Sv/h）	居留因子 $T^1$	使用因子 $U$	人员可达处年有效剂量（mSv/a）	目标管理值（mSv/a）	结论
-----	---------	---------------------	------------	----------	-------------------	--------------	----

医用直线加速器机房	东墙外 ( <i>k</i> 点)	空地	0.023	1/40	1/4	$7.19 \times 10^{-5}$	0.1	满足
	东墙外 ( <i>f</i> 点)	水冷机房	$1.09 \times 10^{-5}$	1/16	1/4	$8.52 \times 10^{-8}$	0.1	满足
	东墙外	控制室	$1.09 \times 10^{-5}$	1	1/4	$1.36 \times 10^{-6}$	5	满足
	迷道口 ( <i>g</i> 点)	过道	0.021	1/5	1	$2.10 \times 10^{-3}$	0.1	满足
	南墙主屏蔽区外 ( <i>a</i> 点)	过道	0.078	1/5	1	$7.80 \times 10^{-3}$	0.1	满足
	南墙次屏蔽区外 ( <i>c1</i> 、 <i>c2</i> 点)	过道	0.194	1/5	1	$1.94 \times 10^{-2}$	0.1	满足
	西墙外 ( <i>e</i> 点)	室外过道	0.278	1/5	1/4	$6.95 \times 10^{-3}$	0.1	满足
	北墙主屏蔽区外 ( <i>b</i> 点)	停车场	0.078	1/40	1	$9.75 \times 10^{-4}$	0.1	满足
	北墙次屏蔽区外 ( <i>d1</i> 、 <i>d2</i> 点)	停车场	0.198	1/40	1	$2.48 \times 10^{-3}$	0.1	满足

- 注：1、居留因子取值见 HJ 1198-2021 表 A.1；  
2、医用直线加速器机房顶上无建筑且人员不可达；  
3、控制室剂量率估算值参考水冷机房估算结果；  
4、剂量率估算值取 6MV、10MV 两种能量下的较大值。

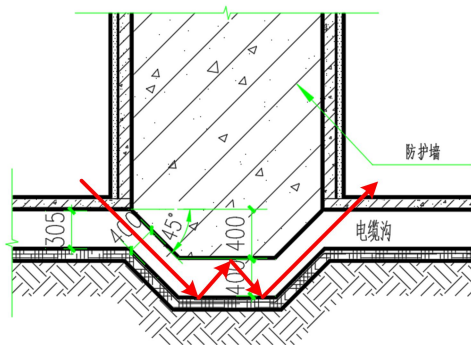
根据表 11-10 结果分析知，该项目医用直线加速器投入运行后，辐射工作人员年有效剂量为  $1.36 \times 10^{-6} \text{mSv}$ ，周围公众年有效剂量最高为  $1.94 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员、公众的剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求（职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.1mSv）。

本项目加速器拟建址南侧为门急诊医技综合楼，参考加速器机房南墙主屏蔽区 *a* 点、次屏蔽区 *c1*、*c2* 点人员有效剂量计算结果，结合辐射剂量距离平方反比衰减的规律及门急诊医技综合楼建筑的屏蔽作用，门急诊医技综合楼内公众的年有效剂量将不大于 0.01mSv，也能满足上述要求。

### 5、医用直线加速器治疗室穿墙管道辐射影响分析

如图 11-2 所示，本项目医用直线加速器机房进风管道、排风管道穿墙处采用“S”型设计，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，未破坏治疗室墙体的屏蔽效果，能够满足辐射防护要求。





**电缆沟穿防护墙大样图**



**送排风管穿墙示意图**

图 11-2 医用直线加速器穿墙线管、风管布设示意图

## (二) DSA

### 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，本项目 DSA 检查室主束方向、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）的混凝土、机房四侧（非有用线束投射方向）的实心砖及铅玻璃等。本项目按额定管电压 125kV 的极端条件核算 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：

$$X = \frac{1}{\alpha\gamma} \ln \left( \frac{B^{-\gamma} + \frac{\beta}{\alpha}}{1 + \frac{\beta}{\alpha}} \right) \quad \text{公式 11-9}$$

式中：X—不同屏蔽物质的铅当量厚度；

$\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ —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：

$$B = \left[ \left( 1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha \gamma X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad \text{公式 11-10}$$

式中： $B$ —给定铅厚度的屏蔽透射因子；

$\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ —铅对相应管电压 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 查取 125kV 管电压下 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，由 NCRP147 报告 TABLE A.1、TABLE C.1 查取 80kV、70kV 管电压下 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，列于表 11-11：

表 11-11 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压	屏蔽材料	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
125kV (主束)	铅	2.219	7.923	0.5386
	混凝土	0.03502	0.07113	0.6974
	实心砖	0.02870	0.06700	1.346
80kV (主束)	铅	4.040	21.69	0.7187
70kV (散射)	铅	5.369	23.49	0.5883

本项目机房屏蔽部位涉及的 150mm 混凝土、240mm 实心砖，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 11-12。

表 11-12 混凝土屏蔽透射因子  $B$ 、铅当量厚度计算结果

管电压	屏蔽材料	屏蔽透射因子 $B$	铅当量厚度 $X$ (mm)
125kV (主束)	150mm 混凝土	$1.09 \times 10^{-3}$	1.9
	240mm 实心砖	$4.17 \times 10^{-4}$	2.3

### (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 11-13 苏州永鼎医院有限公司 DSA 检查室辐射防护设计一览表

屏蔽体		设计厚度	等效铅当量	屏蔽要求	评价
DSA 检查室	四侧墙体 <sup>2)</sup>	240mm 实心砖+3mm 铅板	5.3mmPb	C 形臂 X 射线设备机房屏蔽防护铅当量厚度要求：有用线束方	满足
	防护门 <sup>2)</sup>	3mm 铅板	3mmPb		满足

观察窗 <sup>2)</sup>	3mm 铅当量铅玻璃	3mmPb	向铅当量 2mm, 非有用线束方向铅当量 2mm。	满足
顶面 <sup>3)</sup>	150mm 混凝土+3mm 铅板	4.9mmPb		满足
地面 <sup>2)</sup>	150mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡水泥	5.0mmPb		满足
机房面积	东西长 6.36m (最小单边长度), 南北长 8.09m, 有效使用面积为 51.4m <sup>2</sup> , 层高 4.5m (装饰面层下机房高 3.0m)。		单管头 X 射线机机房内最小有效新建面积不小于 20m <sup>2</sup> , 单边长度不小于 3.5m。	满足

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, 苏州永鼎医院有限公司门急诊医技综合楼裙楼 DSA 检查室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。预测点选取如下:

1#-DSA 检查室东侧防护小门外 30cm, 控制室;

2#-DSA 检查室东墙外 30cm, 控制室;

3#-DSA 检查室观察窗外 30cm, 操作位;

4#-DSA 检查室南侧防护大门外 30cm, 苏醒室;

5#-DSA 检查室南墙外 30cm, 设备间;

6#-DSA 检查室南侧防护小门外 30cm, 污物间;

7#-DSA 检查室西墙外 30cm, 楼外过道;

8#-DSA 检查室北墙外 30cm, 楼外过道;

9#-DSA 检查室顶上 100cm, 无建筑。

在两座 DSA 检查室周围共布设 9 个预测点, 预测点布设见图 11-3 所示。

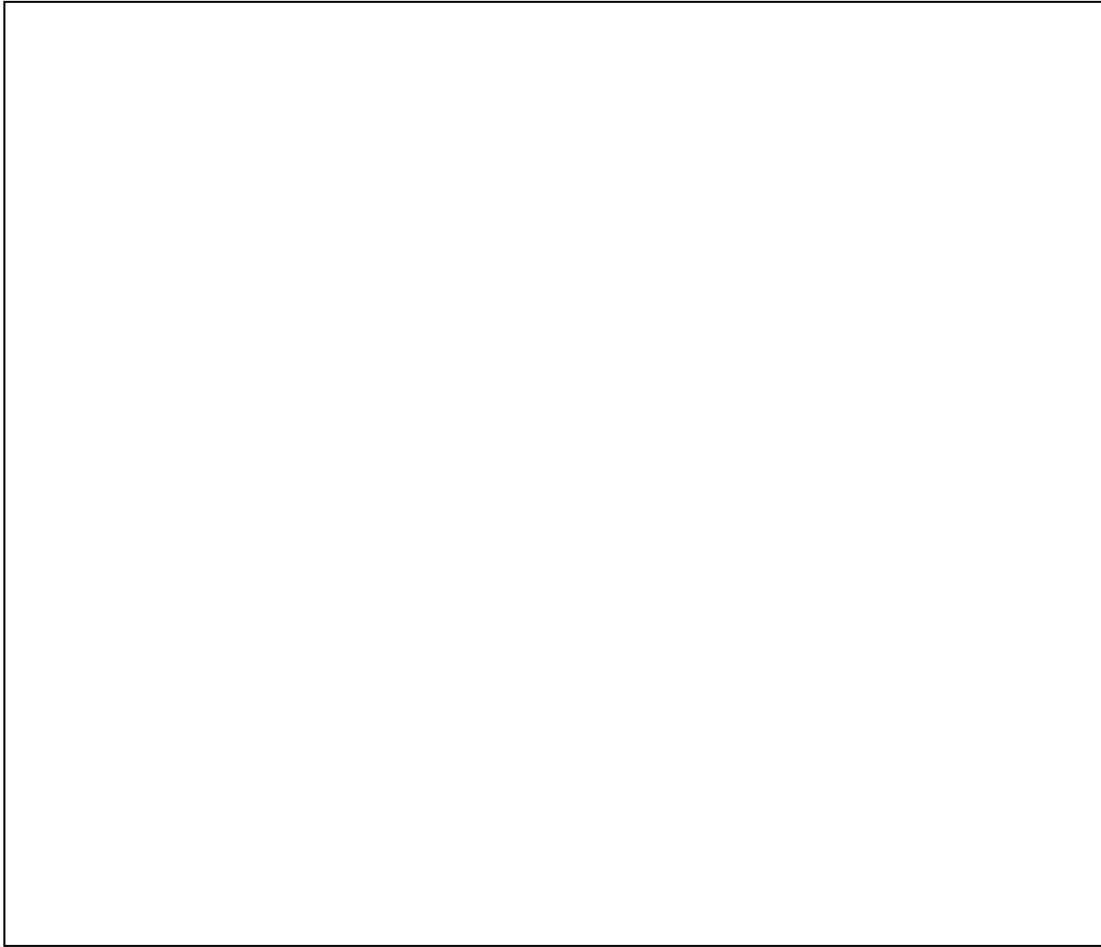


图 11-3 DSA 机房周围预测点布设示意图

本项目 DSA 的辐射影响情况见表 11-14。

表 11-14 本项目 DSA 的辐射影响情况

操作模式	正常运行时最大工况	辐射影响对象
拍片模式	80kV, 500mA	机房外公众、操作室操作人员
透视模式	80kV, 20mA	机房外公众、操作室操作人员； 机房内介入治疗操作人员

(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辐射剂量率  $H$  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）：

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

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）， $\text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ；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 查得  $H_0$  为  $5\text{mGy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ , 即  $300000\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ;

$I$ —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;

$K$ —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;

$B$ —屏蔽材料对散射线的透射因子, 无量纲, 计算公式见公式 11-10。

将前述有关参数代入公式 11-11, 计算透视、拍片模式下 DSA 机房上方公众处有用线束辐射空气比释动能率, 计算结果见表 11-15。

表 11-15 关注点处有用线束辐射剂量率计算结果

关注点位置	操作模式	$H_0$ ( $\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$ )	$I$ (mA)	$B$	$d$ (m)	$H$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )
9#-DSA 检查室 顶上 100cm 处	透视	300000	20	$7.84\times 10^{-10}$	3.5	$2.8\times 10^{-4}$
	拍片		500			$6.99\times 10^{-3}$

## (2) 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):

$$H_s = \frac{H_0 \cdot I \cdot a \cdot (s/400) \cdot B_s \cdot K}{d_0^2 \cdot d_s^2} \quad \text{公式 11-13}$$

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),  $\text{mGy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ , 本项目取  $300000\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ;

$I$ —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）。

$S$ —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。

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  $E/E_0 = 1/[1 + E_0(1 - \cos\theta)/0.511] = 1/[1 + 0.08 \times (1 - \cos 90^\circ)/0.511] = 0.865$ ，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，再从 NCRP147 报告 TABLE C.1 中查取对应于 70kV 的  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  数值，具体见表 11-11。

将前述有关参数代入公式 11-13，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空气比释动能率，计算结果见表 11-16。

表 11-16 关注点处散射辐射剂量率计算结果

关注点位置	操作模式	$H_0$ ( $\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{h})$ )	$I$ (mA)	$X$	$B_s$	$d_0$ (m)	$d_s$ (m)	$H_s$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )
1#-DSA 检查室 东侧防护小门外 30cm, 控制室	透视	300000	20	3	$5.80 \times 10^{-9}$	0.45	4.9	$5.86 \times 10^{-6}$
	拍片		500					$1.47 \times 10^{-4}$
2#-DSA 检查室	透视	300000	20	5.3	$2.51 \times 10^{-14}$	0.45	3.67	$4.53 \times 10^{-11}$

东墙外 30cm, 控制室		拍片		500					$1.13 \times 10^{-9}$
3#-DSA 检查室 观察窗外 30cm, 操作位	透视	300000	20	3	$5.80 \times 10^{-9}$	0.45	3.67	$1.05 \times 10^{-5}$	
	拍片		500					$2.61 \times 10^{-4}$	
4#-DSA 检查室 南侧防护大门外 30cm, 苏醒室	透视	300000	20	3	$5.80 \times 10^{-9}$	0.45	4.62	$6.59 \times 10^{-6}$	
	拍片		500					$1.65 \times 10^{-4}$	
5#-DSA 检查室 南墙外 30cm, 设 备间	透视	300000	20	5.3	$2.51 \times 10^{-14}$	0.45	4.57	$2.92 \times 10^{-11}$	
	拍片		500					$7.30 \times 10^{-10}$	
6#-DSA 检查室 南侧防护小门外 30cm, 污物间	透视	300000	20	3	$5.80 \times 10^{-9}$	0.45	5.14	$5.33 \times 10^{-6}$	
	拍片		500					$1.33 \times 10^{-4}$	
7#-DSA 检查室 西墙外 30cm, 楼 外过道	透视	300000	20	5.3	$2.51 \times 10^{-14}$	0.45	3.75	$4.34 \times 10^{-11}$	
	拍片		500					$1.08 \times 10^{-9}$	
8#-DSA 检查室 北墙外 30cm, 楼 外过道	透视	300000	20	5.3	$2.51 \times 10^{-14}$	0.45	4.58	$2.91 \times 10^{-11}$	
	拍片		500					$7.27 \times 10^{-10}$	
9#-DSA 检查室 顶上 100cm, 无 建筑	透视	300000	20	4.9	$2.15 \times 10^{-13}$	0.45	3.5	$8.53 \times 10^{-10}$	
	拍片		500					$2.13 \times 10^{-8}$	
第一 术者	铅衣内	透视	300000	20	1	$2.83 \times 10^{-4}$	0.45	0.5	27.54
	铅衣外	透视	300000	20	1	$5.34 \times 10^{-3}$	0.45	0.5	519.24
第二 术者	铅衣内	透视	300000	20	0.5	$2.83 \times 10^{-4}$	0.45	1	6.88
	铅衣外	透视	300000	20	0.5	$5.34 \times 10^{-3}$	0.45	1	129.81

### (3) 泄漏辐射剂量率预测计算

泄漏辐射剂量率  $\dot{H}_L$  采用下式计算:

$$\dot{H}_L = \frac{H_i \cdot B}{r^2} \cdot K \quad \text{公式 11-14}$$

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,  $\text{mGy/h}$ 。本项目 1m 处泄漏射线的空气比释动能率取  $1.0\text{mGy/h}$ ;

$B$ —机房各屏蔽体的泄漏射线屏蔽透射因子；

$K$ —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 11-14，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 11-17。

表 11-17 关注点处泄漏辐射剂量率计算结果

关注点位置		$H_i$ (mGy/h)	$X$	$r$ (m)	$B$	$\dot{H}_L$ ( $\mu$ Sv/h)
1#-DSA 检查室东侧防护小门外 30cm, 控制室		1	3	4.9	$4.15 \times 10^{-7}$	$2.88 \times 10^{-5}$
2#-DSA 检查室东墙外 30cm, 控制室		1	5.3	3.67	$3.82 \times 10^{-11}$	$4.74 \times 10^{-9}$
3#-DSA 检查室观察窗外 30cm, 操作位		1	3	3.67	$4.15 \times 10^{-7}$	$5.14 \times 10^{-5}$
4#-DSA 检查室南侧防护大门外 30cm, 苏醒室		1	3	4.62	$4.15 \times 10^{-7}$	$3.24 \times 10^{-5}$
5#-DSA 检查室南墙外 30cm, 设备间		1	5.3	4.57	$3.82 \times 10^{-11}$	$3.05 \times 10^{-9}$
6#-DSA 检查室南侧防护小门外 30cm, 污物间		1	3	5.14	$4.15 \times 10^{-7}$	$2.62 \times 10^{-5}$
7#-DSA 检查室西墙外 30cm, 楼外过道		1	5.3	3.75	$3.82 \times 10^{-11}$	$4.54 \times 10^{-9}$
8#-DSA 检查室北墙外 30cm, 楼外过道		1	5.3	4.58	$3.82 \times 10^{-11}$	$3.04 \times 10^{-9}$
9#-DSA 检查室顶上 100cm, 无建筑		1	4.9	3.5	$1.92 \times 10^{-10}$	$2.62 \times 10^{-8}$
第一术者	铅衣内	1	1	0.5	$1.43 \times 10^{-3}$	9.55
	铅衣外	1	0.5	0.5	$1.37 \times 10^{-2}$	91.54
第二术者	铅衣内	1	1	1	$1.43 \times 10^{-3}$	2.39
	铅衣外	1	0.5	1	$1.37 \times 10^{-2}$	22.88

#### (4) 关注点处预测计算结果汇总

综上所述，DSA 检查室外关注点处的辐射剂量率理论估算结果汇总见表 11-18。



表 11-18 DSA 检查室外关注点处辐射剂量率计算统计结果

关注点位置		操作模式	X 射线辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )			
			主射线	散射线	漏射线	合计
1#-DSA 检查室东侧防护小门外 30cm, 控制室	透视	/	$5.86 \times 10^{-6}$	$2.88 \times 10^{-5}$	$3.47 \times 10^{-5}$	
	拍片	/	$1.47 \times 10^{-4}$		$1.75 \times 10^{-4}$	
2#-DSA 检查室东墙外 30cm, 控制室	透视	/	$4.53 \times 10^{-11}$	$4.74 \times 10^{-9}$	$4.78 \times 10^{-9}$	
	拍片	/	$1.13 \times 10^{-9}$		$5.87 \times 10^{-9}$	
3#-DSA 检查室观察窗外 30cm, 操作位	透视	/	$1.05 \times 10^{-5}$	$5.14 \times 10^{-5}$	$6.19 \times 10^{-5}$	
	拍片	/	$2.61 \times 10^{-4}$		$3.13 \times 10^{-4}$	
4#-DSA 检查室南侧防护大门外 30cm, 苏醒室	透视	/	$6.59 \times 10^{-6}$	$3.24 \times 10^{-5}$	$3.90 \times 10^{-5}$	
	拍片	/	$1.65 \times 10^{-4}$		$1.97 \times 10^{-4}$	
5#-DSA 检查室南墙外 30cm, 设备间	透视	/	$2.92 \times 10^{-11}$	$3.05 \times 10^{-9}$	$3.08 \times 10^{-9}$	
	拍片	/	$7.30 \times 10^{-10}$		$3.79 \times 10^{-9}$	
6#-DSA 检查室南侧防护小门外 30cm, 污物间	透视	/	$5.33 \times 10^{-6}$	$2.62 \times 10^{-5}$	$3.15 \times 10^{-5}$	
	拍片	/	$1.33 \times 10^{-4}$		$1.59 \times 10^{-4}$	
7#-DSA 检查室西墙外 30cm, 楼外过道	透视	/	$4.34 \times 10^{-11}$	$4.54 \times 10^{-9}$	$4.58 \times 10^{-9}$	
	拍片	/	$1.08 \times 10^{-9}$		$5.62 \times 10^{-9}$	
8#-DSA 检查室北墙外 30cm, 楼外过道	透视	/	$2.91 \times 10^{-11}$	$3.04 \times 10^{-9}$	$3.07 \times 10^{-9}$	
	拍片	/	$7.27 \times 10^{-10}$		$3.77 \times 10^{-9}$	
9#-DSA 检查室顶上 100cm, 无建筑	透视	$2.80 \times 10^{-4}$	$8.53 \times 10^{-10}$	$2.62 \times 10^{-8}$	$1.71 \times 10^{-3}$	
	拍片	$6.99 \times 10^{-3}$	$2.13 \times 10^{-8}$		$6.86 \times 10^{-5}$	
第一术者	铅衣内	透视	/	27.54	9.55	37.09
	铅衣外	透视	/	519.24	91.54	610.77
第二术者	铅衣内	透视	/	6.88	2.39	9.27
	铅衣外	透视	/	129.81	22.88	152.69

根据表 11-18 计算统计结果, 本项目 DSA 机房外关注点处的辐射剂量率均不超

过 0.01μSv/h, 满足《放射诊断防护要求》(GB 130-2020) 的标准要求及本项目“DSA 机房四面屏蔽墙、门、观察窗表面外 30cm 处及机房顶上 100cm 处的辐射剂量率目标控制值均为 2.5μSv/h。”的管理目标限值要求。

### 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、控制室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:

$$H_{Er} = D_r \times T \times t \quad \text{公式 11-15}$$

式中:  $H_{Er}$ —X射线外照射年有效剂量, mSv/a;

$D_r$ —关注点处空气比释动能率, 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:

$$E = \alpha H_u + \beta H_o \quad \text{公式 11-16}$$

式中:  $\alpha$ —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);

$\beta$ —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 11-15, 估算 DSA 机房四周公众及操作室辐射工作人员的年附加剂量, 见表 11-19。

表 11-19 DSA 检查室四周公众及操作室辐射工作人员的年附加剂量

关注点位置	操作模式	$t$ (h)	$T$	辐射剂量率 (μSv/h)	年有效剂量 $H_{Er}^*$ (mSv/a)	
1#-DSA 检查室东侧 防护小门外 30cm, 控 制室	透视模式	88.3	1	$3.47 \times 10^{-5}$	$3.06 \times 10^{-6}$	$3.33 \times 10^{-6}$
	拍片模式	1.5	1	$1.75 \times 10^{-4}$	$2.63 \times 10^{-7}$	

2#-DSA 检查室东墙 外 30cm, 控制室	透视模式	88.3	1	$4.78 \times 10^{-9}$	$4.22 \times 10^{-10}$	$4.31 \times 10^{-10}$
	拍片模式	1.5	1	$5.87 \times 10^{-9}$	$8.80 \times 10^{-12}$	
3#-DSA 检查室观察 窗外 30cm, 操作位	透视模式	88.3	1	$6.19 \times 10^{-5}$	$5.46 \times 10^{-6}$	$5.93 \times 10^{-6}$
	拍片模式	1.5	1	$3.13 \times 10^{-4}$	$4.69 \times 10^{-7}$	
4#-DSA 检查室南侧 防护大门外 30cm, 苏 醒室	透视模式	88.3	1/4	$3.90 \times 10^{-5}$	$8.62 \times 10^{-7}$	$9.36 \times 10^{-7}$
	拍片模式	1.5	1/4	$1.97 \times 10^{-4}$	$7.40 \times 10^{-8}$	
5#-DSA 检查室南墙 外 30cm, 设备间	透视模式	88.3	1/8	$3.08 \times 10^{-9}$	$3.40 \times 10^{-11}$	$3.48 \times 10^{-11}$
	拍片模式	1.5	1/8	$3.79 \times 10^{-9}$	$7.10 \times 10^{-13}$	
6#-DSA 检查室南侧 防护小门外 30cm, 污 物间	透视模式	88.3	1/4	$3.15 \times 10^{-5}$	$6.96 \times 10^{-7}$	$7.56 \times 10^{-7}$
	拍片模式	1.5	1/4	$1.59 \times 10^{-4}$	$5.98 \times 10^{-8}$	
7#-DSA 检查室西墙 外 30cm, 楼外过道	透视模式	88.3	1/16	$4.58 \times 10^{-9}$	$2.53 \times 10^{-11}$	$2.58 \times 10^{-11}$
	拍片模式	1.5	1/16	$5.62 \times 10^{-9}$	$5.27 \times 10^{-13}$	
8#-DSA 检查室北墙 外 30cm, 楼外过道	透视模式	88.3	1/16	$3.07 \times 10^{-9}$	$1.69 \times 10^{-11}$	$1.73 \times 10^{-11}$
	拍片模式	1.5	1/16	$3.77 \times 10^{-9}$	$3.53 \times 10^{-13}$	

注：DSA 检查室顶上无建筑且人员不可达。

由表 11-19，DSA 检查室四周公众的年附加剂量最大不超过 0.01mSv，满足公众管理目标 0.1mSv 的要求；操作室辐射工作人员的年附加剂量最大不超过 0.01mSv，满足工作人员项目管理目标 5mSv 的要求。

将有关参数代入公式 11-16，计算第一术者、第二术者年有效剂量，结果列于表 11-20。

表 11-20 介入操作人员年有效剂量估算结果

位置	$\alpha$	$\beta$	部位	辐射剂量率 ( $\mu\text{Svh}$ )			年照射 时间 (h)	年有效剂 量 $E^*$ (mSv)
				散射线	漏射线	合计		
第一 术者	0.79	0.051	铅衣内	27.54	9.55	37.09	88.3	5.34
			铅衣外	519.24	91.54	610.77		
第二 术者			铅衣内	6.88	2.39	9.27		1.33
			铅衣外	129.81	22.88	152.69		

由表 11-20, 本项目 DSA 机房内第一术者操作位的年有效剂量为 5.34mSv, 医院拟安排 2 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管理目标 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 1.33mSv, 即使第二术者操作位由 1 人承担, 手术室内护士保守参考第二术者操作位估算年有效剂量, 也均能满足工作人员项目管理目标 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

本项目 DSA 机房周围 50m 评价范围东侧、南侧位于医院内, 西侧至吴模路, 北侧至知青河。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, 其所受的年有效剂量也远低于 0.01mSv。

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。

#### (三) 辐射叠加影响

本项目医用直线加速器、DSA 的 50 米评价范围有重叠, 当加速器、DSA 同时运行时, 处于重叠区域的公众会受到加速器和 DSA 的辐射叠加影响。保守参考 DSA 东侧、加速器西侧人员的年有效剂量, 处于叠加区域的公众年有效剂量不会超过 0.01mSv, 能够满足标准限值及本项目管理目标限值要求。

## 二、放射性“三废”影响分析

本项目 DSA、医用直线加速器运行过程中无放射性废物产生。

### 三、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内的空气在 X 射线、电子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，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。本项目主要事故风险为：

(1) 医用直线加速器、DSA 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、DSA 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 机房工作场所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。

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

表 12 辐射安全管理

### 辐射安全与环境保护管理机构的设置

苏州永鼎医院有限公司拟在门急诊医技综合楼北侧新建 1 座加速器机房并配置 1 台医用直线加速器，用于开展放射治疗；拟在门急诊医技综合楼裙楼一楼改建 1 座 DSA 检查室并配备 1 台 DSA，用于开展医疗诊断和介入治疗。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。

根据上述要求，苏州永鼎医院有限公司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。医院应根据本次新增 1 台医用直线加速器、1 台 DSA 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 7 名辐射工作人员（DSA4 名、医用直线加速器 3 名），均为新培训辐射工作人员。根据《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）：“自 2020 年 1 月 1 日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过生态环境部‘核技术利用辐射安全与防护培训平台’（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）报名并参加考核。2020 年 1 月 1 日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效”。本项目拟配置的辐射工作人员须在生态环境部“核技术利用辐射安全与防护培训平台”报名，医用直线加速器辐射工作人员参加“放射治疗”类、DSA 辐射工作人员参加“医用 X 射线诊断与介入放射学”类辐射安全与防护相关知识的学习，并参加考核，考核合格后方可上岗。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，考核合格的人员，每 5 年接受一次再培训考核。

### 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”。建议医院根据本次新增 1 台医用直线加速器、1 台 DSA 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：**针对本项目医用直线加速器、DSA 制定操作规程，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，重点是工作时必须佩戴个人剂量计和剂量报警仪或检测仪器，避免事故发生。

**2) 岗位职责：**明确与本次新增医用直线加速器、DSA 相关的管理人员、射线装置操作人员、维修人员的岗位责任，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，并层层落实。

**3) 辐射防护和安全保卫制度：**根据单位的具体情况制定辐射防护和安全保卫制度，规定专人实时负责射线装置的防护与安全保卫工作，定期对辐射防护与安全保卫相关的用品、仪器进行检查。

**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（急停按钮、闭门装置、警示标志、工作状态指示灯、视频监控等）、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：**明确本项目的培训对象、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。

**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，苏州永鼎医院有限公司已配备辐射巡测仪1台，并拟为本项目配备个人剂量报警仪共4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- $\gamma$ 辐射剂量率进行监测，周期：1~2次/年；

2) 辐射工作人员开展个人剂量监测（周期：每1至3个月1次），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。

苏州永鼎医院有限公司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。发现工作场所及周围环境监测结果异常情况的，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。此外，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，使用放射源和射线装置的单位，应当对本单位的射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年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。

表 13 结论与建议

## 结论

### 一、项目概况

**项目名称：**苏州永鼎医院有限公司新增 1 台医用直线加速器、1 台 DSA 项目

**建设单位：**苏州永鼎医院有限公司

**建设地点：**江苏省苏州市吴江区松陵镇高新路 1388 号

#### **建设内容与规模：**

医院拟在门急诊医技综合楼北侧新建 1 座加速器机房并配置 1 台医用直线加速器（型号为：医科达 Infinity，X 射线能量 6、10MV，电子线能量 6、8、10、12、15MeV），利用原有的 CT 定位机配合开展放射治疗；拟在门急诊医技综合楼裙楼一楼改建 1 座 DSA 检查室并配备 1 台 DSA（型号为 Azurion 7M20，最大管电压 125kV，最大管电流 1000mA），用于开展医疗诊断和介入治疗。医用直线加速器和 DSA 均为 II 类射线装置。

### 二、产业政策相符性

本项目新增 1 台医用直线加速器、1 台 DSA，对照《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（2021 年修改），不属于其中“禁止类”、“淘汰类”项目，符合当前国家的产业政策。

### 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

苏州永鼎医院有限公司位于江苏省苏州市吴江区松陵镇高新路 1388 号，医院东侧为祁连路及太湖新城定销公寓房，南侧为高新路，西侧为吴模路，北侧为体育路、知青河、在建老年医院及新城国际社区。

医院本次新增 1 台医用直线加速器、1 台 DSA 项目主要包括：

1、于门急诊医技综合楼北侧新建 1 座医用直线加速器机房及配套设施用房并配

置 1 台医用直线加速器。加速器拟建址东侧为空地，南侧为过道及门急诊医技综合楼，西侧为过道，北侧为停车场。机房上方无建筑，下方为土层。

2、于门急诊医技综合楼裙楼一楼改建 1 座 DSA 检查室及配套设施用房并配备 1 台 DSA。DSA 检查室拟建址东侧为控制室，南侧由东向西依次为苏醒室、设备间、污物间，西侧、北侧均为门急诊医技综合楼裙楼楼外过道。DSA 拟建址楼上无建筑，下方为土层。

本项目医用直线加速器机房、DSA 检查室周围 50m 评价范围东侧、南侧均位于医院范围内，西侧至院外吴模路，北侧至知青河北岸。项目运行后的环境保护目标主要是本项目医用直线加速器、DSA 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；新增 1 台医用直线加速器、1 台 DSA 项目周围 50m 评价范围内均无学校、居民区等环境敏感点。

## 五、辐射环境现状评价

苏州永鼎医院有限公司新增 1 台医用直线加速器拟建址及其周围环境 $\gamma$ 辐射剂量率为 51nGy/h~73nGy/h,新增 1 台 DSA 拟建址及其周围环境 $\gamma$ 辐射剂量率为 58nGy/h~75nGy/h,均处于江苏省环境天然 $\gamma$ 辐射剂量本底水平涨落范围内,属于江苏省环境天然 $\gamma$ 辐射剂量本底水平。

## 六、环境影响评价

根据预测估算结果,苏州永鼎医院有限公司新增 1 台医用直线加速器、1 台 DSA 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管理目标限值要求(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 检查室内的空气在 X 射线、 $\gamma$ 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,对周围环境影响较小;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

苏州永鼎医院有限公司拟配备的 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。

医院拟配备的 DSA 最大管电压 125kV、最大管电流 1000mA，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。

## 九、辐射安全管理评价

苏州永鼎医院有限公司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。

苏州永鼎医院有限公司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。苏州永鼎医院有限公司已配备辐射巡测仪 1 台、并拟为本项目配备个人剂量报警仪共 4 台。此外，公司应根据相关标准要求，为医用直线加速器、DSA 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，苏州永鼎医院有限公司新增 1 台医用直线加速器、1 台 DSA 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，该公司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、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	辐射屏蔽措施：医用直线加速器机房采用混凝土一体浇筑，DSA 机房四侧墙体采用实心砖+铅板、顶部采用混凝土+铅板、地面采用混凝土+硫酸钡水泥进行辐射防护，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。详见表 10-1、表 10-2。	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。	360
	辐射安全措施：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，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，治疗室迷道口拟设固定式剂量报警仪。加速器机房内拟设置强制排风系统，进风口拟设在放疗机房上部，排风口拟设在放疗机房下部，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；通风换气次数拟不小于4次/h。 DSA 机房入口处均拟设置“当心电离辐射”警告标志，防护大门上方设置工作状态指示灯；DSA 机房设有闭门装置，机房内外均设置有急停按钮；DSA 机房内设置动力通风装置。	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)、《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，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	已配备辐射巡测仪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。	5
	拟配备个人剂量报警仪4台。		
	为医用直线加速器工作人员配备必要的个人防护用品；为 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	满足《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)、《放射治疗辐射安全与	35

	置铅悬挂防护屏、铅防护吊帘、床侧防护帘、床侧防护屏等防护用品。	防护要求》（HJ 1198-2021）及《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的相关要求。	
辐射安全管理 制度	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。	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。	/
总计	/	/	400

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