

核技术利用建设项目
张家港市第一人民医院
扩建放射诊疗项目
环境影响报告表

张家港市第一人民医院
2023年4月

生态环境部监制

核技术利用建设项目
张家港市第一人民医院
扩建放射诊疗项目
环境影响报告表

建设单位名称：张家港市第一人民医院

建设单位法人代表（签名或盖章）：

通讯地址：江苏省苏州市张家港市暨阳西路 68 号

邮政编码

联系人：

电子邮箱

联系电话

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.....	- 28 -
表 10	辐射安全与防护.....	- 39 -
表 11	环境影响分析.....	- 51 -
表 12	辐射安全管理.....	- 81 -
表 13	结论与建议.....	- 85 -
表 14	审批.....	- 91 -

表 1 项目基本情况

建设项目名称		张家港市第一人民医院扩建放射诊疗项目			
建设单位		张家港市第一人民医院 (统一社会信用代码: 123205824672232759)			
法人代表	屈陈江	联系人		联系电话	
注册地址		江苏省苏州市张家港市暨阳西路 68 号			
项目建设地点		江苏省苏州市张家港市暨阳西路 68 号			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资 (万元)	3100	项目环保总投资 (万元)	300	投资比例(环保 投资/总投资)	9.68%
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" 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 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>张家港市第一人民医院始创于 1962 年, 是苏州市县级医院首批三甲综合医院、苏州大学附属医院、南京医科大学康达学院张家港临床医学院, 承担医疗、护理的本科教学任务。医院拥有苏州县级医院首个综合性转化医学中心、首个重点实验室, GCP 通过国家机构评审。</p> <p>为了更好地为患者服务, 提升医院医疗水平, 根据规划, 张家港市第一人民医院</p>				

拟将院区4号楼放疗中心一楼西南侧部分房间进行拆除改造，建设1座医用直线加速器机房，并于机房内配备1台Halcyon型直线加速器（X射线能量：6MV，X线最高剂量率：800cGy/min）；拟在新建急诊楼一楼新建2座DSA机房并配备2台数字减影血管造影机（Digital Subtraction Angiography，以下简称“DSA”，管电压≤125kV，管电流≤1000mA）。院区4号楼为院区原有建筑，新建急诊医学中心大楼（地下1层、地上4层建筑，以下简称急诊楼）环评报告表由张家港市凯旋环境咨询有限公司编制，已于2021年3月16日取得苏州市行政审批局关于《张家港市第一人民医院新建市一院急诊医学中心工程项目环境影响报告表》的批复文件，文号：苏行审环评〔2021〕10038号（见附件6）。

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，张家港市第一人民医院扩建放射诊疗项目需进行环境影响评价。受张家港市第一人民医院的委托，南京瑞森辐射技术有限公司承担了该单位扩建放射诊疗项目的环境影响评价工作（见附件1）。依照《建设项目环境影响评价分类管理名录》（生态环境部令 第16号，2021年版），本项目为扩建放射诊疗项目，属于“172核技术利用建设项目”中的“使用II类射线装置的”项目，确定为编制环境影响报告表。我公司通过资料调研、项目工程分析、现场勘察及现场监测等工作的基础上，编制了该项目环境影响报告表。该医院扩建放射诊疗项目情况见表1-1：

表 1-1 扩建放射诊疗项目情况一览表

射线装置									
序号	射线装置名称型号	数量	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	射线装置类别	工作场所名称	活动种类	环评情况	备注
1	医用直线加速器 (Halcyon 型)	1	X 射线：6MV X 线最高剂量率： 800cGy/min		II 类	4 号楼放疗中心 放疗机房	使用	本次环评	/
2	DSA (Azurion 7M20 型)	1	125	1000	II 类	急诊楼一楼 杂交手术室 (1)	使用	本次环评	/
3	DSA (型号未定)	1	≤125	≤1000	II 类	急诊楼一楼 杂交手术室 (2)	使用	本次环评	/

二、项目选址情况

张家港市第一人民医院位于江苏省苏州市张家港市暨阳西路 68 号，医院东侧为永安路，南侧为暨阳西路，西侧为金城花园，北侧为泗杨路。本项目地理位置示意图见附图 1，张家港市第一人民医院周围环境示意图及总平面图见附图 2。

本次扩建放射诊疗项目主要包括：

1、于 4 号楼放疗中心新建 1 座放疗机房，配备 1 台医用直线加速器（型号：Halcyon 型，X 射线能量：6MV，X 线最高剂量率：800cGy/min），用于肿瘤的放射治疗。放疗机房东侧为物理计划室，南侧和西侧均为院内道路和院内绿化，北侧为水冷机房、电气机房、控制室和候诊厅，下方为泥土层，上方病案仓库。张家港市第一人民医院 4 号楼一楼和二楼平面布局图分别见附图 3 和附图 4。

2、于急诊楼一楼新建 1 座杂交手术室（1），配备 1 台 DSA（型号：Azurion 7M20，125kV/1000mA），用于医学诊断及介入治疗。杂交手术室（1）东侧为控制室和设备间，南侧为诊室、过道和设备间，西侧为室外，北侧为处置室和过道，上方为露天平台，下方为后勤库房。

3、于急诊楼一楼新建 1 座杂交手术室（2），配备 1 台 DSA（型号未定，管电压 $\leq 125\text{kV}$ ，管电流 $\leq 1000\text{mA}$ ），用于医学诊断及介入治疗。杂交手术室（2）东侧为室外，南侧为缓冲间和污物通道，西侧为抢救大厅过道，北侧为控制室，上方为中毒中心病房，下方为配电间。急诊楼一楼、二楼及地下一楼平面布局图见图 5 至图 9。

本次扩建放射诊疗项目周围 50m 评价范围除放疗机房西南侧超出院区边界至金城花园小区绿化（距放疗机房最近约 45m 处）外，其余方向均位于院区边界内，详见附图 2。项目运行后的环境保护目标主要为医院辐射工作人员、院区内的其他医护人员、院内病患、周围其他公众和院外金城花园小区部分公众等。

本项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。对照《江苏省国家级生态保护红线规划》（苏政发〔2018〕74 号）、《江苏省生态空间管控区域规划》（苏政发〔2020〕1 号），本项目拟建址评价范围内不涉及江苏省国家级生态保护红线、江苏省生态空间管控区域。根据现场监测和环境影响预测，项目建设满足环境质量底线要求，不会造成区域环境质量下降；本项目对资源消耗极少，不涉及违背生态环境准入清单的问题，根据《江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案》（苏政发〔2020〕

49号)，本项目拟建址评价范围内不涉及江苏省内优先保护单元。本项目与江苏省生态空间保护区域位置关系图见附图 11。

三、实践正当性分析

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

四、原有核技术利用项目许可情况

张家港市第一人民医院持有江苏省生态环境厅核发的辐射安全许可证（苏环辐证〔00584〕），有效期至：2024年02月17日，许可种类和范围为“使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所”。医院辐射安全许可证正副本见附件 3，原有核技术利用项目情况见附件 4。医院已开展的核技术利用项目均已履行环保手续，无环保遗留问题。

表 2 放射源

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

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

表 3 非密封放射性物质

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

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

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速 粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) / 剂量 率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	医用直线 加速器	II类	1 台	Halcyon 型	电子	X 射线：6MV	X 线最高剂量率： 800cGy/min	放射治疗	4 号楼一楼放疗机房	/

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	DSA	II类	1 台	Azurion 7M20	125	1000	介入治疗	急诊楼一楼杂交手术室(1)	/
2	DSA	II类	1 台	待定	≤125	≤1000	介入治疗	急诊楼一楼杂交手术室(2)	/

(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
DSA 手术过程中产生的棉签、纱布、手套、器具等医疗废物	固体	/	/	约 15kg	约 180kg	/	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。
臭氧、氮氧化物	气态	/	/	少量	少量	/	不暂存	通过排风系统排入外环境，臭氧在常温下 50min 左右可自行分解为氧气。
/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/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》（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) 《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令 第49号，2021年12月30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>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) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）；</p> <p>(5) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）；</p> <p>(6) 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；</p> <p>(7) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）</p> <p>(8) 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）；</p> <p>(9) 《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）；</p> <p>(10) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）；</p> <p>(11) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）</p> <p>(12) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》（GBZ/T</p>

	<p>201.1-2007) ;</p> <p>(13) 《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>附图：</p> <p>(1) 张家港市第一人民医院扩建放射诊疗项目地理位置示意图；</p> <p>(2) 张家港市第一人民医院院区总平面及周围环境示意图；</p> <p>(3) 张家港市第一人民医院 4 号楼一楼平面布局图；</p> <p>(4) 张家港市第一人民医院 4 号楼二楼平面布局图；</p> <p>(5) 张家港市第一人民医院急诊楼一楼平面布局图；</p> <p>(6) 杂交手术室 (1) 局部放大图；</p> <p>(7) 杂交手术室 (2) 局部放大图；</p> <p>(8) 张家港市第一人民医院急诊楼二楼平面布局图；</p> <p>(9) 张家港市第一人民医院急诊楼负一楼平面布局图；</p> <p>(10) 张家港市第一人民医院 4 号楼屋顶排风口布设示意图；</p> <p>(11) 本项目与江苏省生态空间保护区域位置关系示意图。</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) 辐射安全许可证正副本；</p> <p>(4) 原有核技术利用项目基本情况一览表；</p> <p>(5) 辐射安全管理机构文件；</p> <p>(6) 《关于对张家港市第一人民医院新建市一院急诊医学中心工程项目环境影响报告表的审批意见》；</p> <p>(7) 本项目辐射环境现状监测报告；</p> <p>(8) 个人剂量检测报告及委托合同；</p> <p>(9) 检测机构资质认定证书。</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“放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”的规定，结合本项目的特点，确定本项目评价范围为本次扩建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

本次扩建放射诊疗项目周围 50m 评价范围除西南侧超出院区边界至金城花园小区绿化（距放疗机房最近约 45m 处）外，其余方向均位于院区边界内。项目运行后的环境保护目标主要为医院辐射工作人员、院区内的其他医护人员、院内病患、周围其他公众和院外金城花园小区部分公众等。本项目保护目标详见表 7-1。

表 7-1 本项目保护目标一览表

保护目标分类	环保目标名称	方位	最近距离 (m)	规模
本项目辐射工作人员	4 号楼放疗中心放疗机房	/	/	10 人
	急诊楼一楼杂交手术室 (1)	/	/	4 人
	急诊楼一楼杂交手术室 (2)	/	/	4 人
评价范围内公众	4 号楼内公众	放疗机房周围	约 3m	流动人员，若干
	金城花园小区	放疗机房西南侧	约 45m	流动人员，若干
	后勤楼 (洗衣房)	放疗机房西侧	约 25m	流动人员，若干
	急诊楼内公众	DSA 机房四周及上、下方	约 3m	流动人员，若干
	医疗综合大楼内公众	DSA 机房西北侧	约 30m	流动人员，若干

本项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。对照《江苏省国家级生

态保护红线规划》（苏政发〔2018〕74号）、《江苏省生态空间管控区域规划》（苏政发〔2020〕1号），本项目拟建址评价范围内不涉及江苏省国家级生态保护红线、江苏省生态空间管控区域。根据《江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案》（苏政发〔2020〕49号），本项目拟建址评价范围内不涉及江苏省内优先保护单元；根据现场监测和环境影响预测，项目建设满足环境质量底线要求，不会造成区域环境质量下降；本项目对资源消耗极少，不涉及违背生态环境准入清单的问题；本项目的建设符合江苏省“三线一单”生态环境分区管控要求。本项目与江苏省生态空间保护区域位置关系图见附图 11。

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

4.8 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 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）。

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； γ 刀治疗设备的治疗机房，根据场所空间和环境条件，确定是否选用迷路；其他治疗机房均应设置迷路。

6.2 空间、通风要求

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

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

于 4 次/h。

6.3 屏蔽要求

6.3.1 治疗机房墙和入口门外关注点周围剂量当量率参考控制水平

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

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

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

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 连锁装置

放射治疗设备都应安装门机连锁装置或设施，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 ^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
双管头或多 X 射线设备 ^a （含 C 形臂）	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
标称 125kV 以上的摄影机房	3.0	2.0
标称 125kV 及以下的摄影机房	2.0	1.0
C 形臂 X 射线设备机房	2.0	2.0

透视机房、骨密度仪机房、口内牙片机房、牙科全景机房（无头颅摄影）、碎石机房、模拟定位机房、乳腺摄影机房、乳腺 CBCT 机房	1.0	1.0
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 2.5 μ 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 μ 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 μ 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 0.25mSv；

6.4 X 射线设备工作场所防护

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

6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。

6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。

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

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

6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。

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

6.4.8 模拟定位设备机房防护设施应满足相应设备类型的防护要求。

6.4.9 CT 装置的安放应利于操作者观察受检者。

6.4.10 机房出入门宜处于散射辐射相对低的位置。

6.5 X 射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求

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

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

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

6.5.5 个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。

表4 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

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

^a工作人员、受检者的个人防护用品和辅助防护设施任选其一即可。

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。

9、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）等评价标准要求，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过 0.1mSv。

DSA 机房工作场所边界周围剂量率控制水平参照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）有关规定，距 DSA 机房墙体、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，根据公式 7-1 导出放疗机房外周围关注点剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ ，结果见表 7-2。

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (t \cdot U \cdot T)$$

式中： H_c —周参考剂量控制水平（ $\mu\text{Sv}/\text{周}$ ）；

t —治疗装置周治疗照射时间，h；

U —有用线束关注位置的方向照射的使用因子；

T —人员在相应关注点驻留的居留因子。

表 7-2 放疗机房外周围关注点剂量率参考控制水平

参考点 ¹⁾		居留因子 T	使用因子 U	周剂量控制值 H_c ($\mu\text{Sv}/\text{周}$)	周工作时间 t (h)	剂量率参考控制水平 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)			
						$\dot{H}_{c,d}$	$\dot{H}_{c,max}$	\dot{H}_c	
(Halcyon 型直线加速器) 放疗机房	东墙 (a 点)	物理计划室	1	1/4	5	10	2	2.5	2
	西墙 (b 点)	院内绿化	1/40	1/4	5		80	10	10
	屋顶 (l 点)	病案仓库	1/20	1/4	5		40	10	10
	北墙 (e 点)	控制室	1	1	100		10	2.5	2.5
	南墙 (f 点)	停车场	1/40	1	5		20	10	10
	迷路入口防护门 (g 点)		1/8	1	5		4	10	4

注：1、放疗机房参考点点位布设详见图 11-1；

2、 \dot{H}_c 为 $\dot{H}_{c,max}$ 与导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ 二者中选择较小者； $\dot{H}_{c,max}$ 取 HJ 1198-2021 中 6.1.4 给出关注点最高剂量率参考水平 $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5\mu\text{Sv}$ （人员居留因子 $>1/2$ 场所）和 $\dot{H}_{c,max} \leq 10\mu\text{Sv}$ （人员居留因子 $\leq 1/2$ 场所）；

3、根据医院提供资料，本项目医用直线加速器放射治疗最大工作量为 40 人/天，每周工作 5 天，单次治疗时间平均约为 3min/人，周工作时间约为 10h。

10、参考资料：

(1) 《辐射防护导论》，方杰主编。

(2) ICRP103 号出版物，2007 年，国际放射防护委员会。

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

江苏省环境天然 γ 辐射剂量率（单位：nGy/h）

	原野剂量率	道路剂量率	室内剂量率
测量范围	33.1~72.6	18.1~102.3	50.7~129.4

均值	50.4	47.1	89.2
标准差 (s)	7.0	12.3	14.0
均值±3s	29.4~71.4	10.2~84.0	47.2~131.2
注：评价时采用“均值±3s”作为辐射现状评价的参考标准。			

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

张家港市第一人民医院位于江苏省苏州市张家港市暨阳西路 68 号，医院东侧为永安路，南侧为暨阳西路，西侧为金城花园，北侧为泗杨路。

本项目 1 座放疗机房位于 4 号楼放疗中心一楼。机房东侧为物理计划室，南侧和西侧均为院内道路和院内绿化，北侧为水冷机房、电气机房、控制室和候诊厅，下方为泥土层，上方为病案仓库。

本项目 1 座杂交手术室（1）位于急诊楼一楼急诊大厅西南侧。机房东侧为控制室和设备间，南侧为诊室、过道和设备间，西侧为室外，北侧为处置室和过道，上方为露天平台，下方为后勤库房。

本项目 1 座杂交手术室（2）位于急诊楼一楼急诊大厅东侧。机房东侧为室外，南侧为缓冲间和污物通道，西侧为抢救大厅过道，北侧为控制室，上方为中毒中心病房，下方为配电间。

本次扩建放射诊疗项目周围 50m 评价范围除西南侧超出院区边界至金城花园小区绿化（距放疗机房最近约 45m 处）外，其余方向均位于院区边界内。项目运行后的环境保护目标主要为辐射工作人员、院区内的其他医护人员、院内病患、周围其他公众和院外金城花园小区部分公众等。

本项目所在机房拟建址周边环境见图 8-1 至图 8-20。



图 8-1 加速器机房拟建址



图 8-2 加速器机房拟建址东侧
(物理室、质控室)



图 8-3 加速器机房拟建址南侧
(停车场及院内道路)



图 8-4 加速器机房拟建址西侧 (院内道路)



图 8-5 加速器机房拟建址北侧 (候诊区)



图 8-6 加速器机房拟建址西南侧
(金城花园小区绿化)



图 8-7 急诊楼杂交手术室 (1) 拟建址



图 8-8 急诊楼杂交手术室 (1) 拟建址东侧
(控制室和设备间)



图 8-9 急诊楼杂交手术室（1）拟建址南侧
（诊室、过道和设备间）



图 8-10 急诊楼杂交手术室（1）拟建址西侧
（室外）



图 8-11 急诊楼杂交手术室（1）拟建址北侧
（处置室和过道）



图 8-12 急诊楼杂交手术室（1）拟建址上方
（露天平台）



图 8-13 急诊楼杂交手术室（1）拟建址下方
（后勤库房）



图 8-14 急诊楼杂交手术室（2）拟建址



图 8-15 急诊楼杂交手术室（2）拟建址东侧
（室外）



图 8-16 急诊楼杂交手术室（2）拟建址南侧
（缓冲间和污物通道）



图 8-17 急诊楼杂交手术室（2）拟建址西侧
（抢救大厅过道）



图 8-18 急诊楼杂交手术室（2）拟建址北侧
（控制室）



图 8-19 急诊楼杂交手术室（2）拟建址上方
（中毒中心病房）



图 8-20 急诊楼杂交手术室（2）拟建址下方
（配电间）

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）和《辐射环境监测技术

规范》（HJ 61-2021）相关方法和要求，在进行环境现场调查时，于本次扩建放射诊疗项目拟建址周围进行布点，测量 γ 辐射剂量率。监测结果见表 8-1，监测点位示意图见图 8-21。

监测单位：南京瑞森辐射技术有限公司

监测项目： γ 辐射剂量率

监测日期：2023 年 1 月 10 日

天气：多云

温度：12°C

湿度：50%RH

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

质量控制：本项目监测单位南京瑞森辐射技术有限公司已通过计量认证（证书编号：161012050353，检测资质见附件 9），具备有相应的检测资质和检测能力，监测按照南京瑞森辐射技术有限公司《质量管理手册》和《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）要求，实施全过程质量控制。

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

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

检测仪器：6150AD6/H+6150AD-b/H 型 X- γ 辐射监测仪（设备编号：NJRS-126，检定有效期：2022 年 11 月 14 日~2023 年 11 月 13 日，检定单位：江苏省计量科学研究院，检定证书编号：Y2022-0109288）

能量范围：20keV~7MeV

测量范围：1nSv/h~99.9 μ Sv/h

表 8-1 张家港市第一人民医院扩建放射诊疗项目拟建址周围 γ 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（室内）	118
2	加速器机房拟建址东侧（室内）	108
3	加速器机房拟建址南侧（道路）	109

4	加速器机房拟建址西侧（道路）	113
5	加速器机房拟建址北侧（室内）	114
6	加速器机房拟建址楼上（室内）	114
7	加速器机房拟建址西南侧金城花园小区绿化（原野）	102
8	杂交手术室（1）拟建址（室内）	109
9	杂交手术室（1）拟建址东侧（室内）	106
10	杂交手术室（1）拟建址南侧（室内）	112
11	杂交手术室（1）拟建址西侧（道路）	101
12	杂交手术室（1）拟建址北侧（室内）	110
13	杂交手术室（1）拟建址楼上（室内）	111
14	杂交手术室（1）拟建址楼下（室内）	106
15	杂交手术室（2）拟建址（室内）	108
16	杂交手术室（2）拟建址东侧（道路）	106
17	杂交手术室（2）拟建址南侧（室内）	104
18	杂交手术室（2）拟建址西侧（室内）	110
19	杂交手术室（2）拟建址北侧（室内）	107
20	杂交手术室（2）拟建址楼上（室内）	106
21	杂交手术室（2）拟建址楼下（室内）	102

注：上表数据已扣除检测仪器宇宙射线响应值。

由表 8-1 监测结果可知，张家港市第一人民医院扩建放射诊疗项目拟建址周围环境天然贯穿辐射剂量率在 101nGy/h~118nGy/h 之间，位于江苏省环境天然 γ 辐射水平涨落区间。

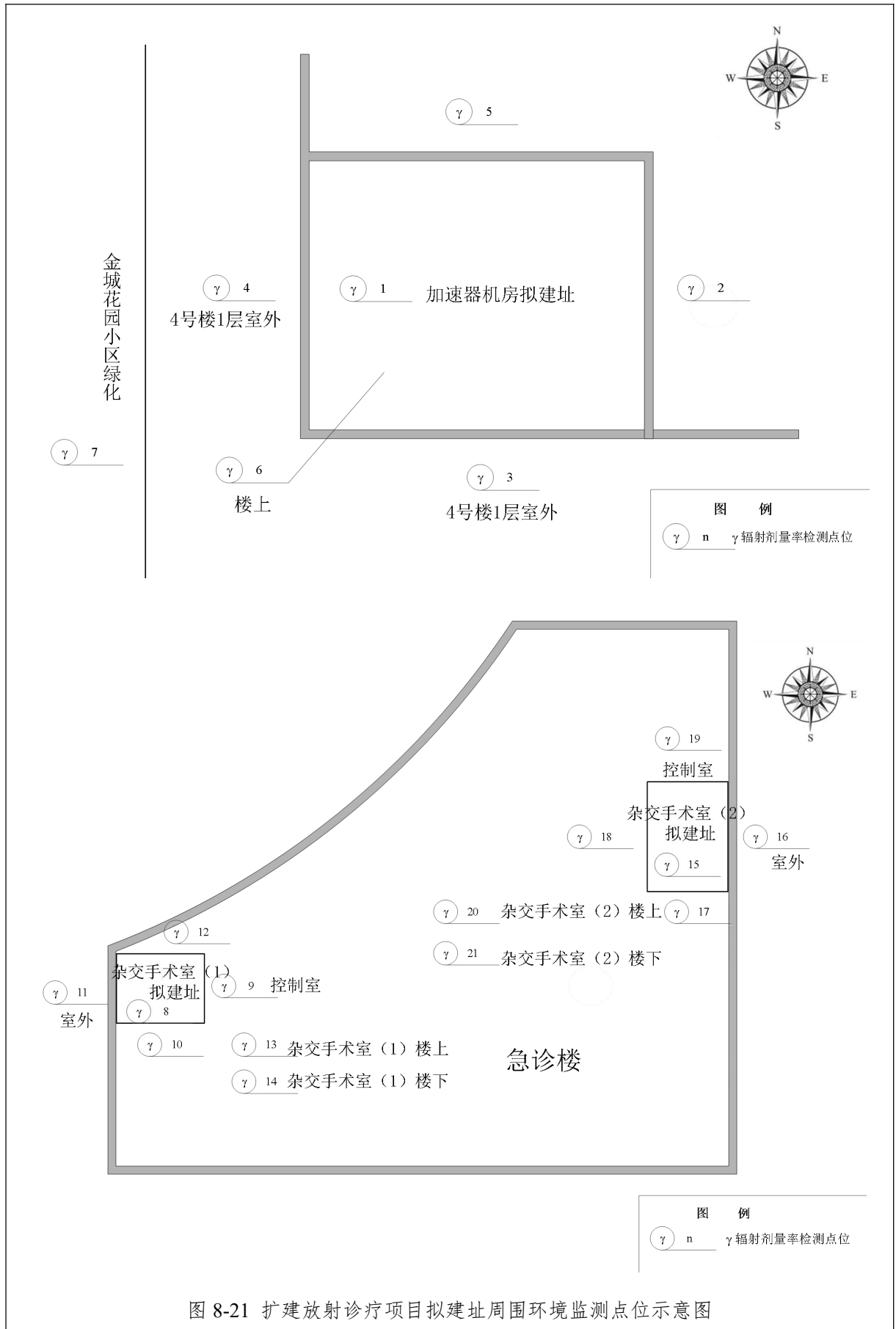


表 9 项目工程分析与源项

工程设备与工艺分析

一、工程设备

张家港市第一人民医院拟在院区 4 号楼内拆除改造部分房间同时新建 1 座放疗机房并配备 1 台 Halcyon 型直线加速器（X 射线能量：6MV，X 线最高剂量率：800cGy/min）；于急诊楼一楼新建 1 座杂交手术室（1）并配备 1 台 DSA（型号：Azurion 7M20，125kV/1000mA）、于急诊楼一楼新建 1 座杂交手术室（2）并配备 1 台 DSA（型号未定，管电压 $\leq 125\text{kV}$ ，管电流 $\leq 1000\text{mA}$ ）。

• Halcyon 型医用直线加速器项目

张家港市第一人民医院拟在院区 4 号楼内新建 1 座放疗机房并分别配备 1 台 Halcyon 型直线加速器（X 射线能量：6MV，X 线最高剂量率：800cGy/min），用于肿瘤的放射治疗。Halcyon 型医用直线加速器外观见图 9-1。

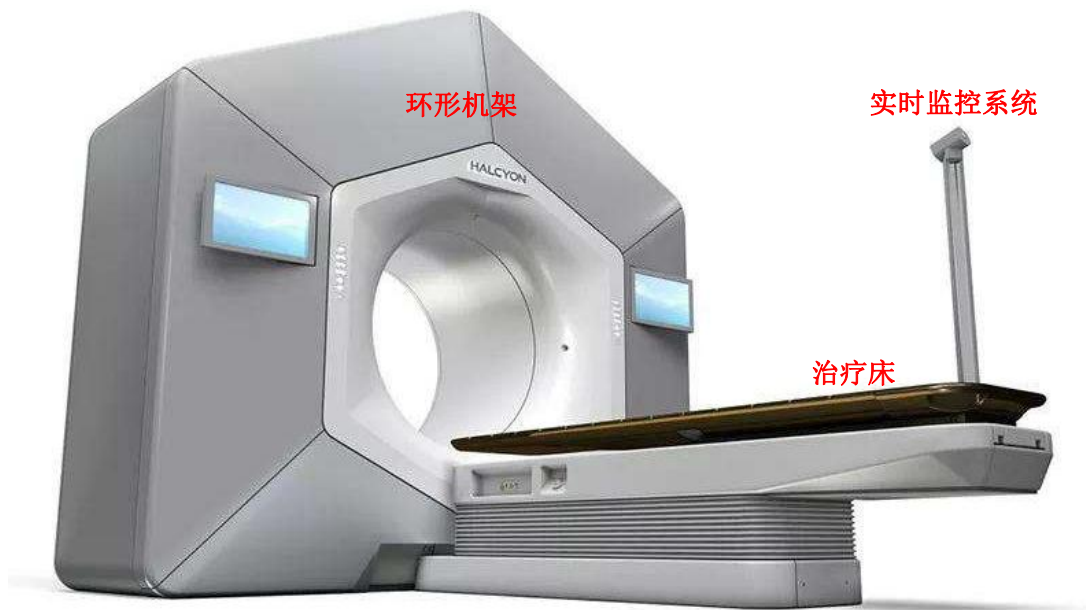


图 9-1 Halcyon 型医用直线加速器外观图

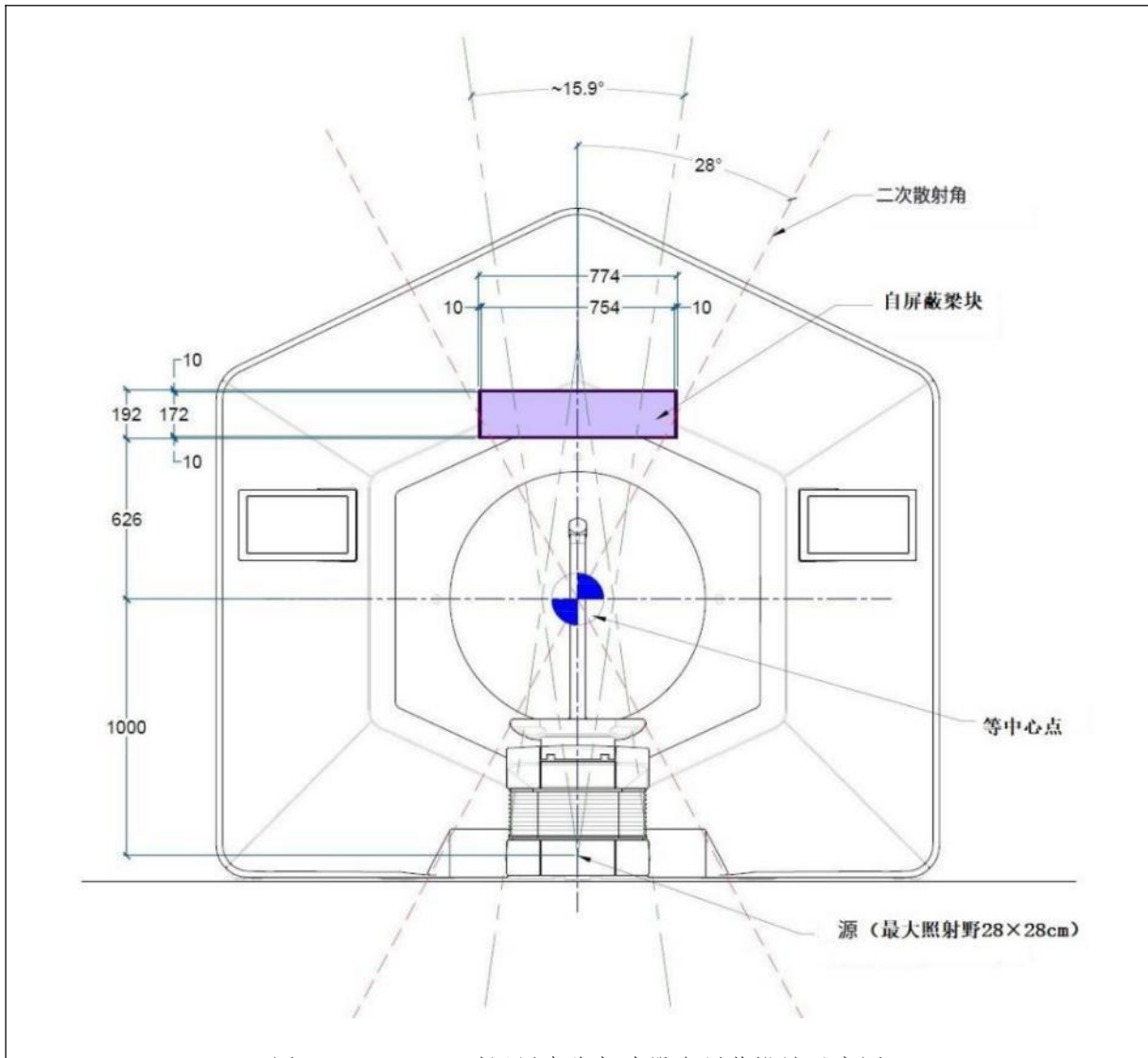


图 9-2 Halcyon 型医用直线加速器自屏蔽设计示意图

Halcyon 型医用直线加速器是美国瓦里安公司推出的区别于经典 C 型臂加速器的创新型放射治疗系统，其结构设计仿照 CT 的造型，体积较小重量较轻，该设备采用环形封闭机架设计，主束自屏蔽体随机架转动可覆盖全部射野；整体装置非常紧凑由高压调制器驱动的磁控管射频源可出束 6MV X 射线，经双层多叶光栅(高强度钨合金)配合 Eclipse 治疗计划系统，可做高速旋转容积调强放射治疗，治疗效率是传统经典构型加速器的 2 倍。

医院拟引进 1 台 Halcyon 型医用直线加速器，其主要技术参数见表 9-1。

表 9-1 本项目 Halcyon 型医用直线加速器技术参数情况一览表

项目名称	技术参数*
型号	Halcyon 型

位置	4号楼一楼放疗中心放疗机房
主要技术指标	X射线：6MV
源轴距 SAD	1m
等中心点至机房地坪的高度	1.10m
距靶 1m 处 X 辐射剂量率	≤800cGy/min
最大照射野大小	28cm×28cm
自带屏蔽壳体	内含 172mm 铅板
靶材料	钨合金
用途	放射治疗

注：*本项目 Halcyon 型医用直线加速器技术参数由建设单位招标意向及供货商提供。

本项目扩建 1 台 Halcyon 型医用直线加速器对肿瘤病人进行治疗，不开刀，损伤小，病人痛苦小，恢复快，对肿瘤周围正常组织损害小，相较于医院现有的医用直线加速器缩短了治疗时间，提高了治疗效率，对提高肿瘤放疗水平具有重大意义；同时也为院方创造更大的经济效益，具有十分突出的社会效益。

• DSA 项目

张家港市第一人民医院拟于急诊楼一楼新建 1 座杂交手术室(1)并配备 1 台 DSA（型号：Azurion 7M20，125kV/1000mA）、于急诊楼一楼新建 1 座杂交手术室（2）并配备 1 台 DSA（型号未定，管电压≤125kV，管电流≤1000mA），用于医学诊断及介入治疗。

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 射线球管及其附件、高压发生器、X 射线控制器等）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）组成。常见的 DSA 外观图见图 9-2。



图 9-2 常见的 DSA 外观图

本项目拟配备 2 台 DSA 主要设备技术参数见表 9-2，配套设备配置情况见表 9-3。

表 9-2 本项目 DSA 主要设备技术参数

项目名称	技术参数*	
型号	Azurion 7M20	型号未定
位置	急诊楼一楼杂交手术室（1）	急诊楼一楼杂交手术室（2）
额定管电压	125kV	≤125kV
额定管电流	1000mA	≤1000mA
X 射线球管滤过	0.5mmCu 固有过滤+其它附加过滤	≥0.5mmCu
焦距	≥45cm	≥45mm
照射野	最小照射野：8cm×8cm 平板探测器范围：30cm×38cm	最小照射野：8cm×8cm 平板探测器范围：30cm×38cm

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

本项目于新建急诊楼内扩建 2 台 DSA，用于医学诊断及介入治疗，医院放射科现有 2 台 DSA，该项目的实施能够满足日益增长的医疗需求，提高院方医疗卫生服务水平，为院方创造更大的经济效益，具有十分突出的社会效益。

二、工作原理及工作流程

• Halcyon 型医用直线加速器项目

1、工作原理

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

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

本项目 Halcyon 型医用直线加速器相对于普通医用电子直线加速器，该类型加速器大幅精简治疗操作步骤，减少误差发生的可能性，其系统性优化了多弧容积调强、多野调强治疗等先进技术。叶片速度提高到 5cm/s，机架旋转速度提升至四倍，从而提供高质量和高效率的治疗；该加速器采用双重多叶光栅，其在等中心点的最大照射野范围为 28×28cm，比常规直线加速器小，自屏蔽系统具备 100%射野面积覆盖能力；CBCT 图像采集和正侧位成像时间短，无论是常规放射治疗还是调强放射治疗，射束投照时间通常只需约 3 分钟，大大减少了出束时间；叶片布局“层叠交错”，优化了调强能力，并减少叶片间漏射。该类型直线加速器带自屏蔽系统（内含 172mm 铅板），使得机房尺寸及防护要求变低，主射线方向线束在穿过病人身体后经屏蔽系统屏蔽，使主射线透射率小于 0.1%。同时加速器照射野范围比常规加速器小，因此正常组织损伤、放疗副作用等也大大减小。该设备运行过程中，仅产生 6MV 的 X 射线束，不产

生电子束。

医用直线加速器系统示意图见图 9-3。

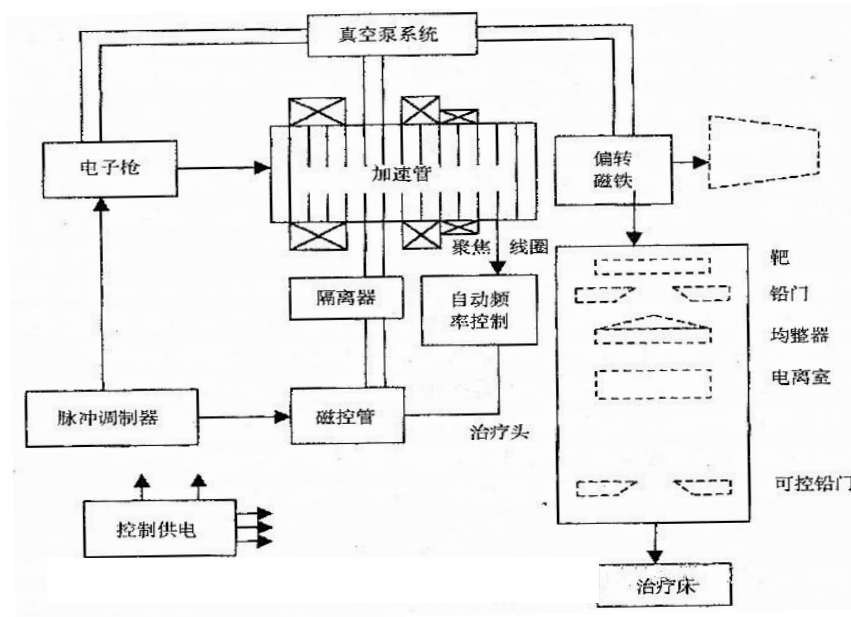


图 9-3 医用直线加速器系统示意图

2、工作流程

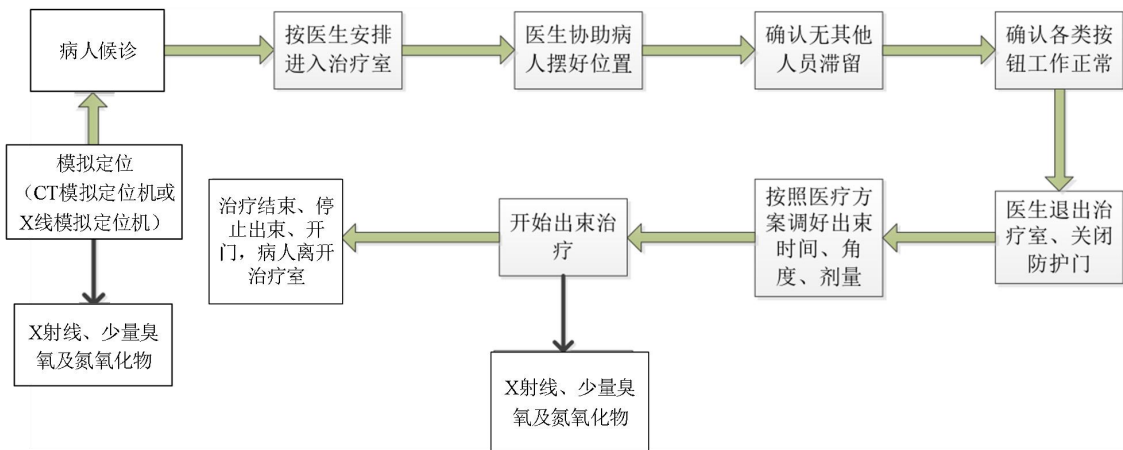


图 9-4 放射治疗工作流程及产污环节示意图

• 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 9-5。

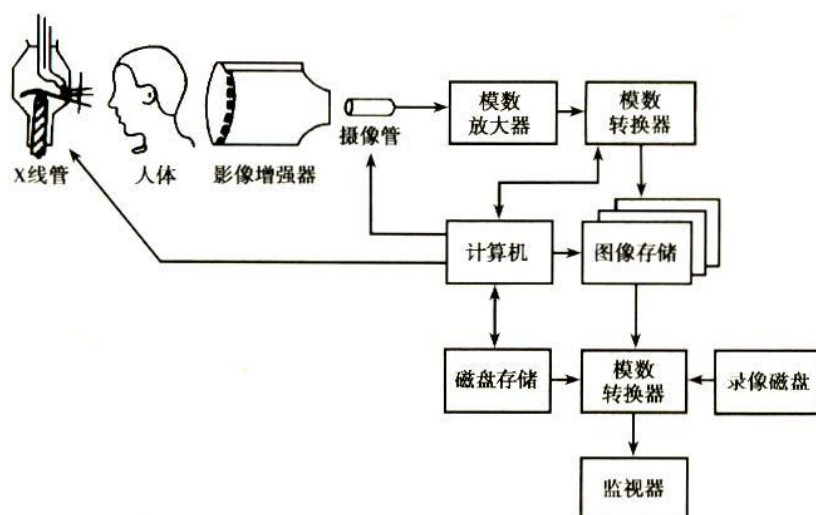


图 9-5 DSA 系统结构图

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。

2、工作流程

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患者进行曝光），医生通过铅玻璃观察窗和操作台观察机房内患者情况，并通过

讲系统与患者交流。

第二种情况：引导介入治疗。患者需要进行介入手术治疗时，为更清楚的了解患者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、铅眼镜在机房内对患者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。DSA 项目工作流程及产污环节如图 9-6。

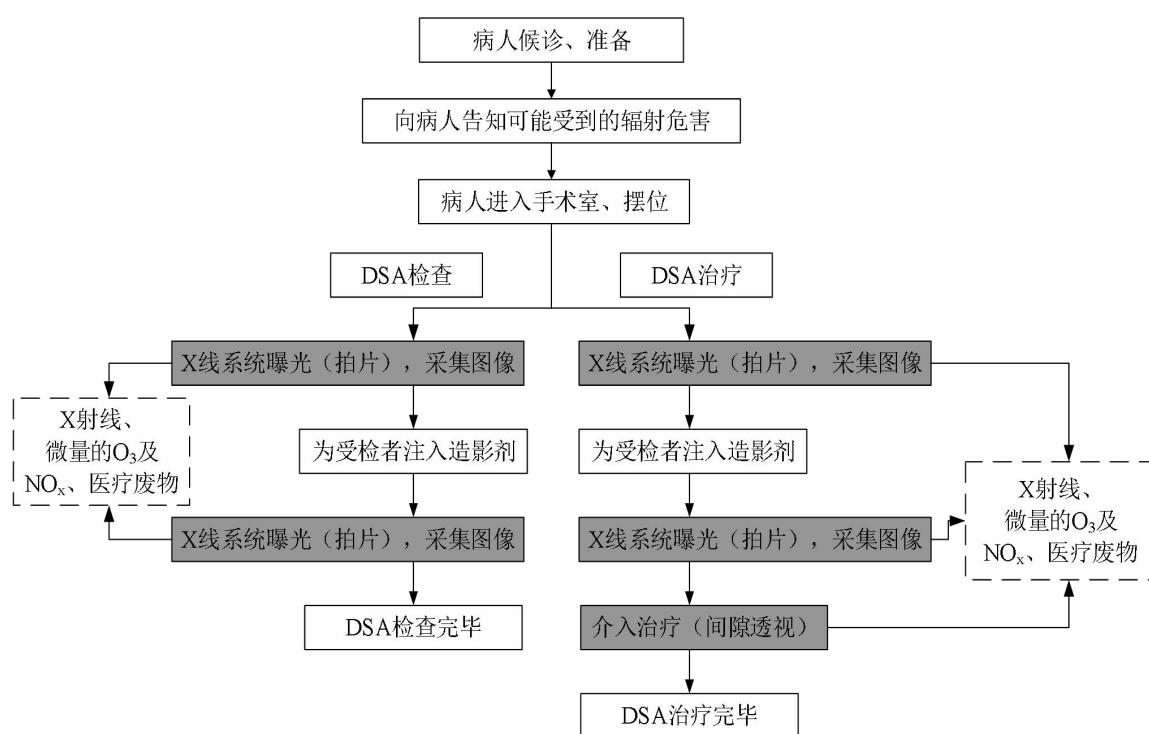


图 9-6 DSA 项目工作流程及产污环节示意图

污染源项描述

一、Halcyon 型医用直线加速器项目

（一）放射性污染

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

本项目拟配备的 1 台 Halcyon 型医用直线加速器 X 射线能量为 6MV，1m 处 X 射

线最高输出剂量率为 800cGy/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：本项目直线加速器只产生 X 射线，无电子束产生。

③中子：本项目拟配备的 1 台 Halcyon 型医用直线加速器 X 射线能量为 6MV，1m 处 X 射线最高输出剂量率为 800cGy/min，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/T201.2-2011）规定（§ 4.3.2.5），当加速器 X 射线 $\leq 10\text{MV}$ 时，中子的影响可忽略。

因此，本项目医用直线加速器开机期间，产生的 X 射线为主要辐射环境污染因素。

工作负荷：根据医院提供的资料，本项目医用直线加速器放射治疗最大工作量为 40 人/天，每周工作 5 天，单次治疗时间平均约为 3min/人，周工作时间约为 10h。医院拟为加速器项目配备 10 名辐射工作人员，其中 LA 医师 3 名，LA 技师 5 名，物理师 2 名，辐射工作人员年工作 250 天。

（二）非放射性污染

①废气：医用直线加速器在工作状态时，会使机房内的空气产生电离，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站，处理达标后排入城市污水管网，对周围环境影响较小。

③固体废物：主要是工作人员产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小。

二、DSA 项目

（一）放射性污染

DSA 在工作状态下会发出 X 射线，拟配置的 2 台 DSA 管电压 $\leq 125\text{kV}$ 、管电流 $\leq 1000\text{mA}$ ，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。而介入放射需要长时间的透视和大量的摄片，对患者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 的有用线束投射方向为由下至上。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 过滤材料保守按照 0.5mmCu 滤片进行剂量预测，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 0.8mGy·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 1mGy/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，本项目每台 DSA 的工作负荷情况见表 9-4。

表 9-4 本项目每台 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
血管介入	150 台	约 20min	约 50.0h
心脏介入	110 台	约 15min	约 27.5h

非血管介入	150 台	约 20min	约 50.0h
小计	/	/	约 127.5h

(2) 拍片

手术类别	年开展工作量	单次采集时间	单台手术采集次数	单台手术最大采集时间	年采集时间
血管介入	150 台	0.5~1s	6~10 次	约 0.17min	约 25min
心脏介入	110 台	0.5~1s	4~10 次	约 0.17min	约 18.3min
非血管介入	150 台	0.5~1s	7~15 次	约 0.25min	约 37.5min
小计	/	/	/	/	约 1.3h
总 计					约 128.8h

医院拟为 DSA 项目配备 9 名辐射工作人员，其中手术医生 4 人，技师 2 人，护士 3 人，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站，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，分类收集后，将交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小。

表 10 辐射安全与防护

项目安全措施

一、工作场所布局及分区

张家港市第一人民医院拟在院区 4 号楼内新建 1 座放疗机房并分别配备 1 台 Halcyon 型直线加速器 (X 射线能量: 6MV); 在急诊楼一楼新建 1 座杂交手术室 (1) 并配备 1 台 DSA (型号: Azurion 7M20, 125kV/1000mA)、在急诊楼一楼新建 1 座杂交手术室 (2) 并配备 1 台 DSA (型号未定, 管电压 $\leq 125\text{kV}$, 管电流 $\leq 1000\text{mA}$)。

• Halcyon 型医用直线加速器项目

本项目拟对 4 号楼一楼放疗中心西南侧的部分房间 (登记室、资料室、库房) 进行改造, 新建 1 座放疗机房并配备 1 台医用直线加速器 (型号: Halcyon 型, X 射线能量: 6MV), 用于肿瘤的放射治疗。放疗机房东侧为物理计划室, 南侧和西侧均为院内道路和院内绿化, 北侧为水冷机房、电气机房、控制室和候诊厅, 上方为病案仓库, 下方为泥土层。放疗机房控制室与治疗室分离, 治疗室东西长 7.0m、南北长 7.0m、净面积为 49.0m² (不含迷路), 机房顶部屏蔽内表面至地面约 4.0m (装饰面层下机房高 3.0m); 设置直迷路, 迷路横宽 2.2m, 迷路内口宽 2.2m, 迷路口设有防护门。放疗机房布局符合《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分: 一般原则》(GBZ/T 201.1-2007) 中“治疗装置控制室应与治疗机房分离”的规定及《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020) 中“放射治疗机房应有足够的有效使用空间, 以确保放射治疗设备的临床应用需求”、“治疗机房均应设置迷路”等规定, 本项目放疗机房布局合理。

为加强辐射防护管理和职业照射控制, 本项目拟将屏蔽产生射线的放疗机房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; 拟将控制室、物理计划室、电气机房和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。本项目放疗机房周围布置及分区示意图见图 10-1。

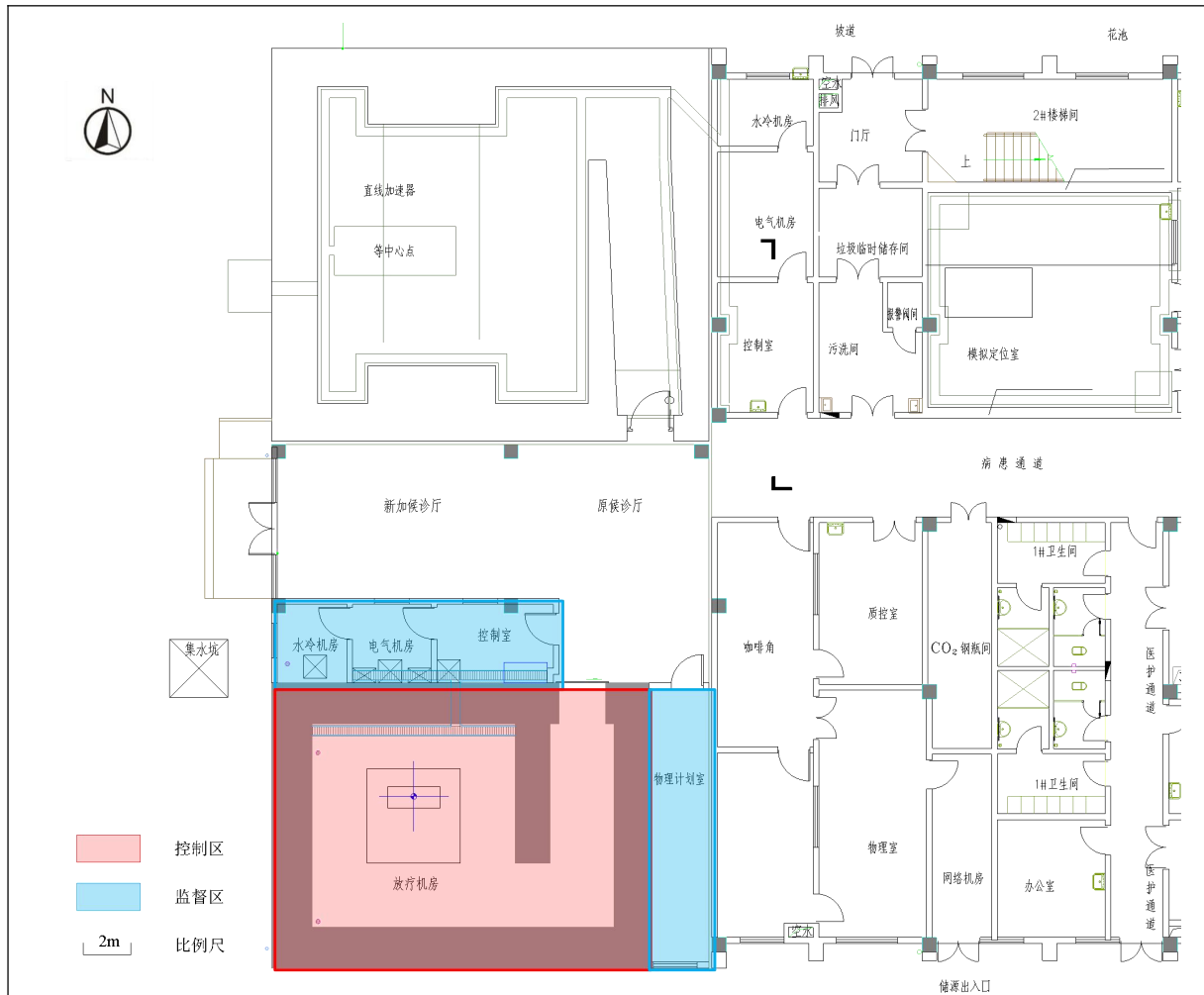


图 10-1 本项目放疗机房平面布置及分区示意图

• DSA 项目

本项目拟于急诊楼一楼新建 1 座杂交手术室（1）并配备 1 台 DSA（型号：Azurion 7M20，125kV/1000mA）、于急诊楼一楼新建 1 座杂交手术室（2）并配备 1 台 DSA（型号未定，管电压 $\leq 125\text{kV}$ ，管电流 $\leq 1000\text{mA}$ ），用于医学诊断及介入治疗。杂交手术室（1）东侧为控制室和设备间，南侧为诊室、过道和设备间，西侧为室外，北侧为处置室和过道，上方为露天平台，下方为后勤库房；杂交手术室（2）东侧为室外，南侧为缓冲间和污物通道，西侧为抢救大厅过道，北侧为控制室，上方为中毒中心病房，下方为配电间。DSA 配套独立用房，房间由射线装置机房和控制室组成。DSA 机房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 DSA 所在机房作为辐射防护控制区，与杂交手术室（1）相邻的处置室、控制室和设备间划为监督区，与杂交手术室（2）相邻的控制室、缓冲间和污物通道

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。急诊楼一楼杂交手术室（1）和杂交手术室（2）平面布置及分区分别见图 10-2 和图 10-3。

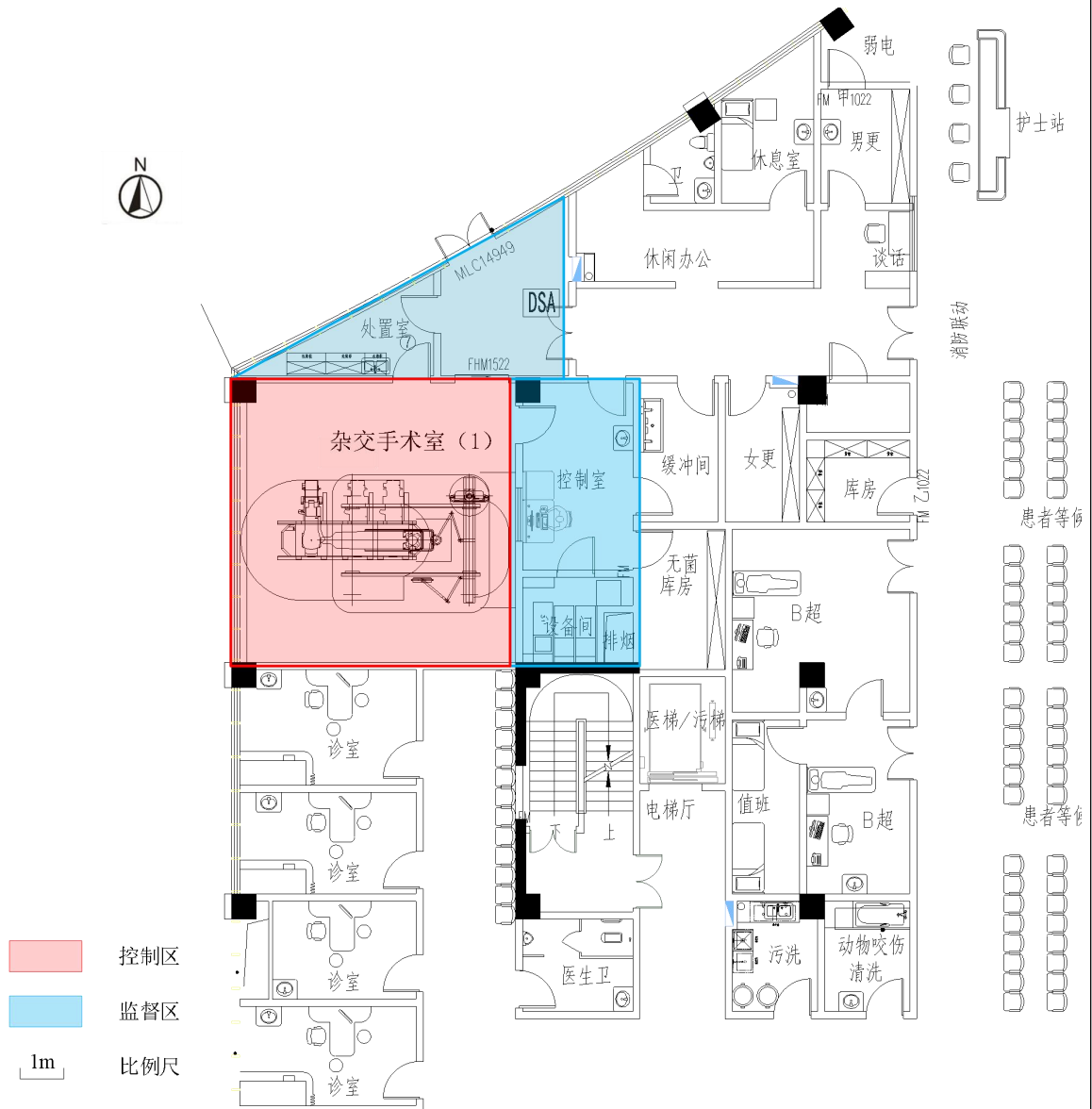


图 10-2 本项目杂交手术室（1）平面布置及分区示意图



图 10-3 本项目杂交手术室（2）平面布置及分区示意图

二、辐射防护屏蔽设计

• Halcyon 型医用直线加速器项目

本项目辐射防护屏蔽设计包括两个部分，直线加速器自带的辐射屏蔽结构（172mm 铅板）以及机房辐射屏蔽结构，机房四周墙体采用混凝土浇筑，迷路入口采用铅防护门，机房具体屏蔽设计参数见表 10-1，屏蔽设计图见图 10-4。

表 10-1 放疗机房屏蔽设计参数

场所名称	屏蔽体 ¹⁾		屏蔽设计（厚度及材质） ²⁾
放疗机房	东墙	迷路内墙	120cm 混凝土
		迷路外墙	120cm 混凝土
	南墙		140cm 混凝土
	西墙		140cm 混凝土
	北墙		140cm 混凝土
	屋顶		140cm 混凝土
	防护门		12mm 铅板

注：1、放疗机房下方为土层，人员不可达；

2、混凝土密度为 2.35g/cm³，铅密度为 11.3g/cm³。

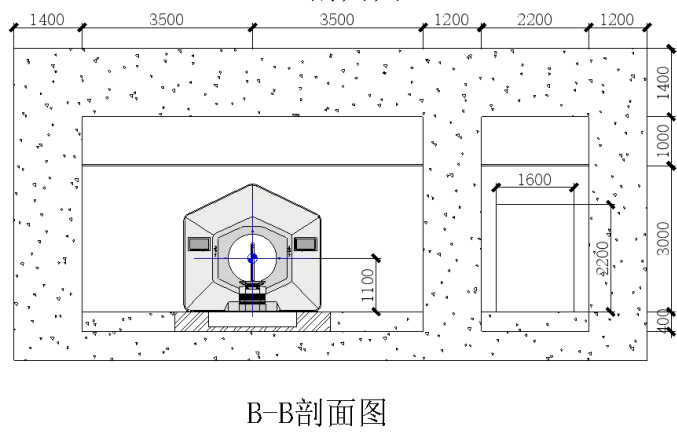
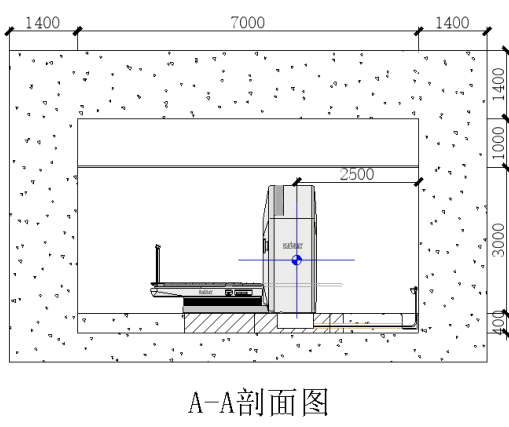
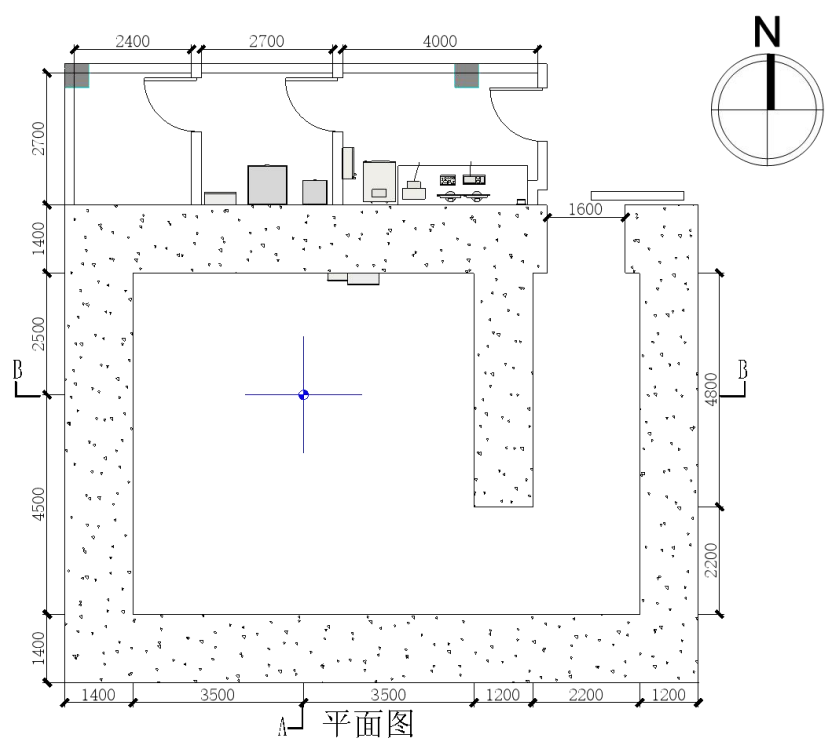


图 10-4 本项目放疗机房屏蔽设计图

• DSA 项目

本项目 2 座 DSA 机房位于急诊楼一楼，具体屏蔽设计参数见表 10-2。

表 10-2 DSA 机房屏蔽设计一览表

序号	射线装置名称型号	数量	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	工作场所名称	屏蔽设计参数 (厚度及材质) *
1	DSA (Azurion 7M20)	1	125	1000	急诊楼一楼 杂交手术室 (1)	四侧墙体: 200mm 轻质混凝土砖+3mm 铅板; 顶面: 180mm混凝土+2mmPb硫酸钡涂料; 地面: 180mm混凝土+2mmPb硫酸钡涂料; 防护门: 3mmPb 铅板; 铅玻璃窗: 3mmPb 铅玻璃
2	DSA (型号未定)	1	≤125	≤1000	急诊楼一楼 杂交手术室 (2)	四侧墙体: 200mm 轻质混凝土砖+3mm 铅板; 顶面: 180mm混凝土+2mmPb硫酸钡涂料; 地面: 180mm混凝土+2mmPb硫酸钡涂料; 防护门: 3mmPb 铅板; 铅玻璃窗: 3mmPb 铅玻璃

三、辐射安全和防护措施

• Halcyon 型医用直线加速器项目

1、电线电缆布设: 放疗机房电缆线穿墙方式拟采用“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, 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。

3、通风: 本项目放疗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。拟设置进风口和排风口各两个, 进风口分别位于治疗室吊顶南部东段、西段, 排风口分别位于治疗室北部东段、西段, 排风口下沿距机房地面 0.3m, 形成对角通风, 以确保室内空气充分交换。放疗机房进排风管道避开主射线方向, 射线经多次散射后, 进出风管道进出口处辐射剂量将在控制范围内。

4、电离辐射警告标志和工作状态指示灯: 放疗机房入口拟设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯, 防止无关人员逗留和误入。

5、紧急停机装置: 在放疗机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧、防护门内迷

路入口处、控制室控制台及设备壳体上均拟设置急停按钮，以避免放疗机房内人员尚未完全清空的情况下开机，产生误照射。

6、开门装置：控制室拟设置门控开关，治疗机房防护门旁拟设置门控按钮，治疗机房内拟安装从室内开启治疗机房门的紧急开门按钮，同时防护门拟设有防挤压功能。

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

8、视频装置和双向交流对讲装置：本项目放疗机房控制室拟设置在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和迷道区域情况的视频装置，并设置双向交流对讲系统，实时观察机房内的动态。

9、固定式辐射剂量监测仪：本项目放疗机房治疗室迷道的内入口处拟设置固定式辐射剂量监测仪并拟有异常情况下报警功能，其显示单元拟设置在控制室内。

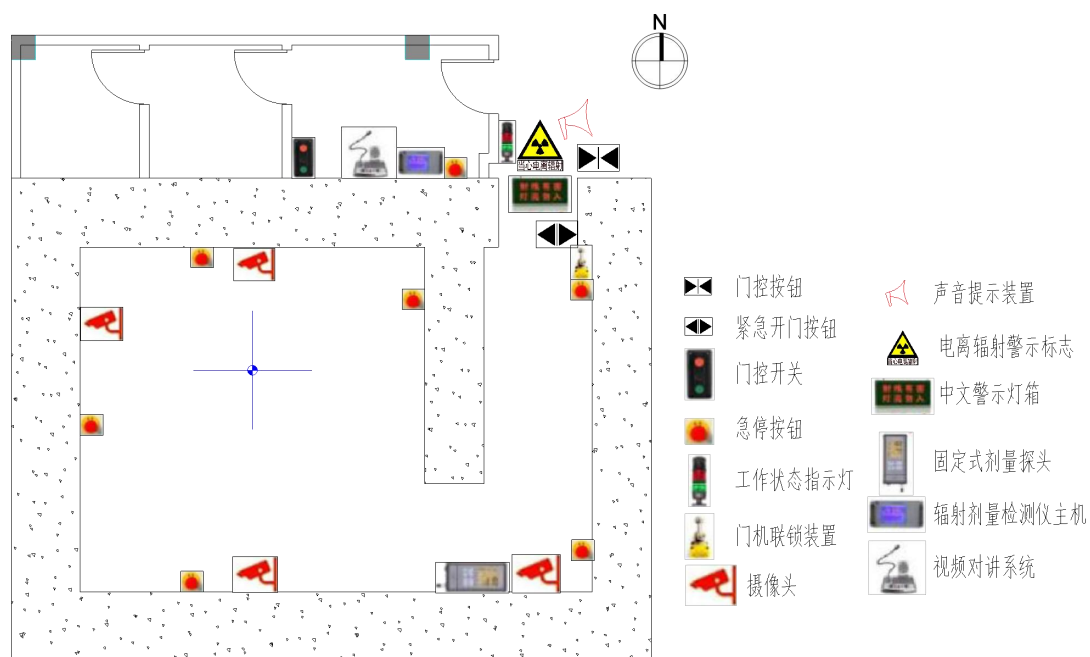


图 10-5 放疗机房主要安全设施位置示意图

• 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，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。平开机房门应设有自动闭门装置，推拉式机房门应设有曝光时关闭机房门的管理措施。

3、急停按钮

DSA 控制室设置 1 个急停按钮，机房内的治疗床边操作面板自带 1 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和对讲装置

DSA 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防护门开闭情况。DSA 机房控制室拟设置对讲装置，方便机房外工作人员与患者交流。

5、防护用品

医院拟为 DSA 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铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套、剂量报警仪、个人剂量计等，医院拟购置的各类防护用品除介入防护手套防护能力不低于 0.025mm 铅当量外，其余防护用品防护能力均不低于 0.5mm 铅当量。本项目 DSA 设备自带铅防护吊帘、床侧防护帘等辅助防护设施。

6、人员监护

医院拟为 DSA 项目配备 9 名辐射工作人员，应为辐射工作人员配备个人剂量计，采用双剂量计监测方法，定期送检且需做好个人剂量档案管理工作。该医院应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、辐射安全管理制度

完善并落实射线装置相关的安全使用制度、管理制度，从事辐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

介入治疗需要长时间的透视和大量的摄片，对患者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，降低患者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，以减少患者和介入人员的剂量。

3) 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。

4) 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。

5) 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。

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。

张家港市第一人民医院拟为本项目配备辐射巡测仪 1 台、固定式剂量监测报警装置 1 套及个人剂量报警仪 6 台。辐射工作人员工作时将佩戴个人剂量计，以监测累积受照情况。医院拟定期组织辐射工作人员进行健康体检，并将按相关要求建立辐射工作人员个人剂量监测档案和职业健康监护档案。

三废的治理

• Halcyon 型医用直线加速器项目

①废气：放疗机房内的空气在 X 射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有

有害气体，通过动力排风装置排入大气。臭氧半衰期约 50 分钟，常温下可自行分解为氧气，对周围环境影响较小。

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）和《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 座放疗机房内设有通风装置，采用机械排风方式。放疗机房采用上进下出的通风系统，从防护门上方至机房内，新风口位于治疗室吊顶东南角，排风口位于治疗室西北角，排风口下沿距机房地面约 0.3m，形成对角通风。放疗中心放疗机房通风设计示意图见图 10-6。本项目放疗机房治疗室容积约 268m³（包括迷路），新风口风量约 2000m³/h，排风口风量约 2500m³/h，每小时通风换气次数约为 4~6 次，能够满足相关要求。

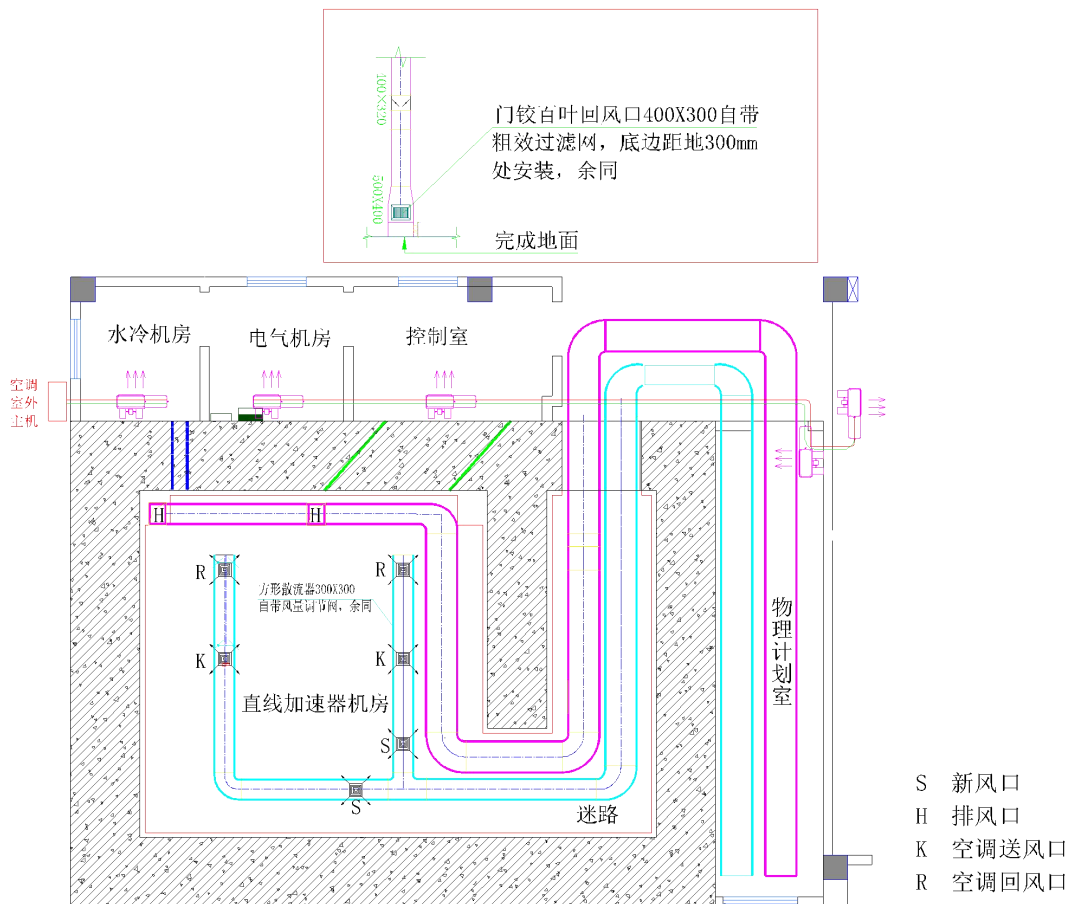


图 10-6 放疗机房主通风设计示意图

②废水：工作人员和部分患者产生的生活污水，由院内污水处理站统一处理，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：工作人员产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理。

• **DSA 项目**

①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，通过通排风系统排至室外，臭氧在常温下 50min 左右可自行分解为氧气，对周围环境影响较小。

②废水：工作人员和部分患者产生的生活污水，由院内污水处理站统一处理，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：本项目 DSA 手术过程中产生的棉签、纱布、手套、器具等医疗废物采用专门的收集容器暂存，由专人每天到科室收集到院内医疗废物暂存点，按照医疗废物执行转移联单制度，定期由有资质的医疗废物处置单位统一收集处置。

本项目工作人员产生的生活垃圾，集中暂存于院区内生活垃圾暂存间，由环卫部门定期统一收集、清运至垃圾处理厂处置。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目新建 1 座医用直线加速器机房和 2 座 DSA 机房，建设时将产生施工噪声、扬尘，同时会产生一定的废水、废气和建筑垃圾等。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，另外机械和运输车辆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：

- ①及时清扫施工场地，并保持施工场地一定的湿度；
- ②车辆在运输建筑材料时尽量采取遮盖、密闭措施，以减少沿途抛洒；
- ③施工路面保持清洁、湿润，减少地面扬尘。

2、噪声：整个建筑施工阶段，如打桩机、混凝土搅拌机、卷扬机及载重车辆等在运行中都将产生不同程度的噪声，对周围环境造成一定的影响。在施工时需严格执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）的要求，尽量使用噪声低的先进设备，同时严禁夜间进行强噪声作业，如需连续施工，在夜间施工而产生环境噪声污染时，按《中华人民共和国环境噪声污染防治法》的规定，需取得当地人民政府或有关主管部门的证明，并公告附近居民。

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，并经隔渣后排放入医院污水收集系统。在施工阶段，将合理安排施工计划，减少施工废水排放，施工人员生活污水利用医院现有污水收集处置设施处置达标后排放。

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

运行阶段对环境的影响

一、辐射环境影响分析

• Halcyon 型医用直线加速器项目

根据建设单位提供的资料，拟于 4 号楼一楼放疗中心改建 1 座放疗机房，配备 1 台型号：Halcyon 型医用直线加速器，主要参数为：X 射线能量：6MV；1m 处最大输出剂量率：800cGy/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/T 201.2-2011）的要求，在本项目放疗机房外设定关注点。从保守角度出发，在放疗机房设计的尺寸厚度基础上，假定 Halcyon 型医用直线加速器最大功率运行并针对关注点最不利的情况进行预测计算。

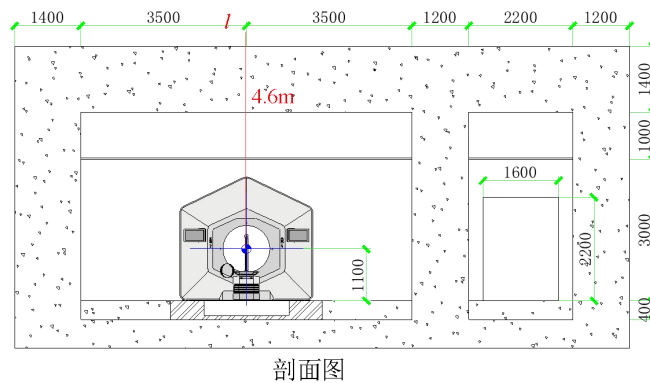
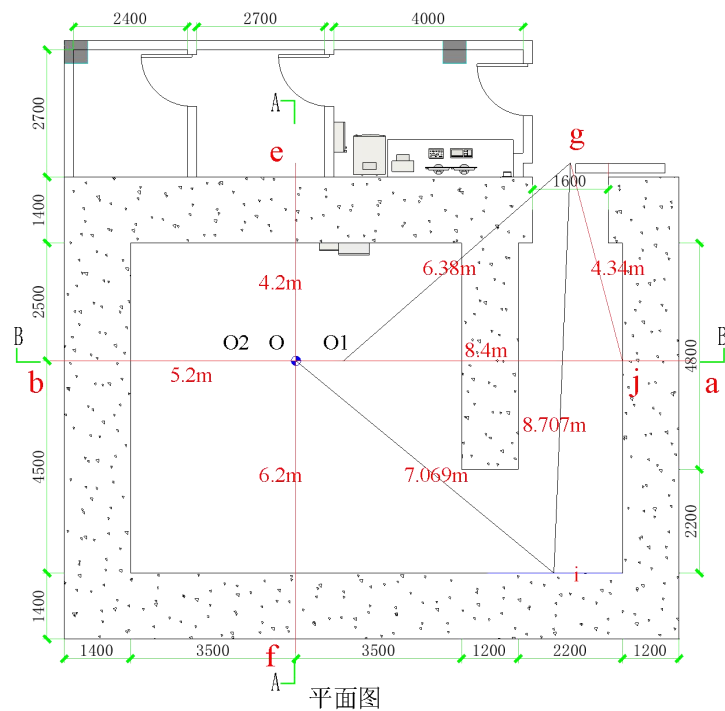


图 11-1 放疗机房估算点位示意图

由于 Halcyon 型医用直线加速器有用线束方向自带自屏蔽装置，有用线束在穿过患者的身体前会穿过该设备内部的屏蔽壳体（内含 172mm 铅板），故有用线束方向墙体未设置次屏蔽区，有用线束方向墙体全按有用线束屏蔽考虑。

本项目放疗机房的关注点设定如图 11-1。

1、辐射防护效果预测

(1) 有用线束主屏蔽设计核算（东墙 a 点、西墙 b 点和屋顶 l 点）

①主射线路径：西墙 $o_2 \rightarrow a$ ，东墙 $o_1 \rightarrow b$ ，屋顶 $o_3 \rightarrow l$ 。

②计算模式及参数选择

使用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）的相关公式进行有用线束主屏蔽设计核算，在给定的屏蔽物质厚度 X (cm) 时，首先按照公式 11-1 计算有效厚度 X_e (cm)，按照公式 11-2 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B ，再按照公式 11-3 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)。

$$X_e = X/\cos\theta = X \cdot \sec\theta \quad \text{公式 11-1}$$

式中： X —设计屏蔽厚度，cm；

θ —斜射角。

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_l)/TVL} \quad \text{公式 11-2}$$

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 6MV 的 X 射线能量，混凝土 TVL_l 为 37cm， TVL 为 33cm；查 NCRP No.151，铅板的 TVL_l 和 TVL 均为 5.7cm。本项目中，a 点、b 点、l 点相应厚度主屏蔽的 B 值核算见表 11-1。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad \text{公式 11-3}$$

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 $4.80 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；

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 —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 ($\mu\text{Sv/h}$)，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 11-1。

表 11-1 放疗机房主屏蔽外参考点辐射剂量率核算值

参数		东墙主屏蔽 (a 点)	西墙主屏蔽 (b 点)	屋顶主屏蔽 (l 点)
X (cm)		140 砷+140 砷+17.2 铅	140 砷+17.2 铅	140 砷+17.2 铅
X_e (cm)		280 砷+17.2 铅	140 砷+17.2 铅	140 砷+17.2 铅
TVL_l (cm)	砷	37		
	铅	5.7		
TVL (cm)	砷	33		
	铅	5.7		
B		4.16E-12	7.27E-08	7.27E-08
R (m)		8.40	5.20	4.60
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)		4.80E+08		
f		1		
\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)		2.83E-05	1.29	1.65
\dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$) (剂量率参考控制水平)		4	10	10
评价		满足	满足	满足

(2) 侧屏蔽墙屏蔽设计核算 (北墙 e 点、南墙 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 11-3 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 11-2 的 TVL_l 和 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，分别为 $TVL_l=34\text{cm}$ ， $TVL=29\text{cm}$ 。

③预测计算结果

e 点、 f 点的辐射剂量率预测结果见下表 11-2，其中 X_e 、 R 的取值由 CAD 图纸上读取。

表 11-2 放疗机房侧屏蔽墙外泄漏辐射剂量率核算值

参数		北墙 (e 点)	南墙 (f 点)
X (cm)		140 砵	140 砵
X_e (cm)		140 砵	140 砵
TVL_l (cm)	砵	34	
TVL (cm)	砵	29	
B		2.21E-05	2.21E-05
R (m)		4.20	6.20
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)		4.80E+08	
f		0.001	
\dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)		0.602	0.276
\dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) 剂量率参考控制水平		2.5	4
评价		满足	满足

(3) 迷路外墙屏蔽设计核算 (迷路外墙 k 点)

本项目放疗机房射线经迷路内墙屏蔽防护，主射线及漏射线不能直射迷路外墙，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) 中 4.3.2.4 b) “当有用线束射向迷路内墙时，迷路外墙在 k 点的厚度同位置 a 处的厚度”的要求，迷路外墙设计满足防护要求。

(4) 迷路入口处辐射水平核算 (g 点)

本项目 Halcyon 型医用直线加速器 X 射线最大为 6MV，且有用线束向迷路照射，根据 GBZ/T201.2-2011，g 点处同时受到加速器的泄漏辐射 o_1 经迷路内墙屏蔽后在迷路入口 g 点的辐射 ($o_1 \rightarrow g$)、加速器的泄露辐射 o 入射至 i 墙的辐射散射至 g 处的辐射 ($o \rightarrow i \rightarrow g$)、穿过迷路内墙的有用线束受迷路外墙散射至 g 处的辐射 ($o_2 \rightarrow j \rightarrow g$) 及入射至 i 墙的辐射散射至 g 处的辐射 ($o_2 \rightarrow o \rightarrow i \rightarrow g$)。

①射线路径 (射线类型)： $o_1 \rightarrow g$ (泄漏射线)， $o \rightarrow i \rightarrow g$ (散射射线)， $o_2 \rightarrow j \rightarrow g$ (散射射线)， $o_2 \rightarrow o \rightarrow i \rightarrow g$ (散射射线)。

②泄漏辐射计算模式、参数选择及预测计算结果

根据 GBZ/T201.2-2011，加速器的泄漏辐射 o_1 经迷路内墙屏蔽后在迷路入口 g 点

的辐射剂量 ($o \rightarrow i \rightarrow g$) 的辐射核算方法同 e 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 11-2 的 TVL_I 和 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，分别为 $TVL_I=34\text{cm}$ ， $TVL=29\text{cm}$ ；查 NCRP No.151，铅板的 TVL_I 和 TVL 均为 10cm 。计算结果见表 11-3。

表 11-3 泄漏辐射经迷路内墙屏蔽后在迷路入口 g 点处的剂量率核算值

参数	迷路入口处 (g 点)
X (cm)	120 砵
X_e (cm)	161.5 砵
TVL_I (cm)	34
TVL (cm)	29
B	4.02E-06
R (m)	6.38
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	4.80E+08
f	0.001
\dot{H}_{oig} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.047
\dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) 剂量率参考控制水平	0.5
评价	满足

③ 散射辐射计算模式、参数选择及预测计算结果

根据 GBZ/T201.2-2011，加速器的泄露辐射 o 入射至 i 墙的辐射散射至 g 点处的辐射 ($o \rightarrow i \rightarrow g$) 的辐射剂量率 \dot{H}_{oig} 按公式 11-4 计算。

$$\dot{H}_{oig} = \frac{f \cdot \dot{H}_0 \cdot A \cdot \alpha_w}{R_L^2 \cdot R^2} \quad \text{公式 11-4}$$

式中： \dot{H}_{oig} —计算点的辐射剂量率， $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

f —加速器的泄露辐射比率，通常取 10^{-3} ；

A —散射面积 m^2 ，泄露辐射始点 o 和计算点共同可视的散射体区域面积；

α_w —砵墙入射的患者散射辐射（能量见附录 B 表 B.6）的散射因子，通常取 i 处的入射角为 45° ，散射角为 0° ； α_2 值见附录 B 表 B.6，查表得 1m^2 面积的散射

因子 $\alpha_w = 6.4 \times 10^{-3}$ (6MV) ;

R_L —“o→i”之间的距离, m;

R —“i→g”之间的距离, m;

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

表 11-4 泄漏辐射经 o 入射至 i 墙的辐射散射至 g 点的辐射剂量率核算值

参数	迷路入口处 (g 点)
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	4.80E+08
f	0.001
A (cm^2)	11.16
α_w	6.4E-03
R_L (m)	7.069
R (m)	8.707
\dot{H}_{oi_g} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	9.05

根据 GBZ/T201.2-2011, 穿过迷路内墙的有用线束受迷路外墙散射至 g 处 ($o_2 \rightarrow j \rightarrow g$) 的辐射剂量率 \dot{H}_{o_2jg} 按公式 11-5 计算。

$$\dot{H}_{o_2jg} = \dot{H}_0 \frac{(F/10^4)}{R^2} \cdot \alpha_w \cdot B_p \quad \text{公式 11-5}$$

式中: \dot{H}_{o_2jg} —计算点的辐射剂量率, $\mu\text{Sv}/\text{h}$;

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

F —治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积, cm^2 ;

10^4 —将 1m^2 面积转换为 10^4cm^2 ;

R —散射体中心点(有用线束在屏蔽墙上的投影点)与计算点的距离, m;

α_w —散射因子, 单位面积 (1m^2) 散射体散射到距其 1m 处的散射辐射剂量率与该面积上的入射辐射剂量率的比, 查附录 B 表 B.5, 0° 入射、 75° 散射时, $\alpha_w = 2.7 \times 10^{-3}$;

B_p —有用线束射入散射体(屏蔽墙)前的屏蔽透射因子。

表 11-5 穿过迷路内墙的有用线束受迷路外墙散射至 g 处的剂量率核算值

参数	迷路入口处 (g 点)
X (cm)	120 砷+17.2 铅板
X_e (cm)	120 砷+17.2 铅板
TVL_l (cm)	37
	5.7
TVL (cm)	33
	5.7
B_p	2.71E-25
R (m)	4.34
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	4.80E+08
F (cm^2)	784
α_w	2.7E-03
\dot{H}_{o_2jg} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	1.46E-21

根据 GBZ/T201.2-2011, 入射至 i 墙的辐射散射至 g 处 ($o_2 \rightarrow o \rightarrow i \rightarrow g$) 的辐射剂量率 \dot{H}_{o_2oig} 按公式 11-6 计算。

$$\dot{H}_{o_2oig} = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \dot{H}_0 \quad \text{公式 11-6}$$

式中: \dot{H}_{o_2oig} —计算点的辐射剂量率, $\mu\text{Sv}/\text{h}$;

α_{ph} —患者 400cm^2 面积上的散射因子, 见附录 B 表 B.2, 散射角为 45° 时,

$$\alpha_{ph} = 1.39 \times 10^{-3};$$

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 —砷墙入射的患者散射辐射 (能量见附录 B 表 B.6) 的散射因子, 通常取 i 处的入射角为 45° , 散射角为 0° ; α_2 值见附录 B 表 B.6, 查表得 1m^2 面积的散射因子 $\alpha_2 = 6.4 \times 10^{-3}$ (6MV);

A — i 处的散射面积, m^2 ;

R_l —“ $o \rightarrow i$ ” 之间的距离, m;

R_2 —“ $i \rightarrow g$ ”之间的距离，m；

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

表 11-6 入射至 i 墙的辐射散射至 g 处的剂量率核算值

参数	迷路入口处 (g 点)
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	4.80E+08
α_{ph}	1.39E-03
F (cm^2)	784
α_2	6.4E-03
R_1 (m)	7.069
R_2 (m)	8.707
A (m^2)	11.16
\dot{H}_{o_2oig} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	24.65

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} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) 按公式 11-7 计算，预测结果见表 11-7。

$$\dot{H} = (\dot{H}_{oig} + \dot{H}_{o_2jg} + \dot{H}_{o_2oig}) \cdot 10^{-(X/TVL_{\text{散射}})} + \dot{H}_{o_1g} \quad \text{公式 11-7}$$

表 11-7 放疗机房入口防护门外的辐射剂量率核算值

参数	机房入口防护门外 (g 点)
\dot{H}_{o_1g} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.047
\dot{H}_{oig} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	9.05
\dot{H}_{o_2jg} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	1.46E-21
\dot{H}_{o_2oig} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	24.65
X (cm)	1.5 (铅)
TVL (cm)	散射 0.5 (铅)
\dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.08
\dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) 剂量率参考控制水平	2
评价	满足

2、预测计算结果汇总及评价

综上所述，放疗机房墙、顶、门外理论估算结果汇总见表 11-8。

表 11-8 放疗机房墙、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
东墙 (a 点)	2.83E-05	2	满足
西墙 (b 点)	1.29	10	满足
屋顶 (l 点)	1.65	10	满足
北墙 (e 点)	0.602	2.5	满足
南墙 (f 点)	0.276	4	满足
迷路入口防护门 (g 点)	0.08	10	满足

由表 11-8 可知，本项目放疗机房屏蔽设计能够满足《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) 的要求。

3、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：

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

将表 11-8 中放疗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 Halcyon 型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 11-9。

表 11-9 放疗机房周围人员年有效剂量

参考点	参考点所在场所	居留因子 T^*	使用因子 U	剂量率估算值 ($\mu\text{Sv/h}$)	人员可达处年有效剂量 (mSv/a)	年剂量约束值 (mSv/a)	结论	
放疗机房	东墙 (a 点)	物理计划室	1	1/4	2.83E-05	<0.001	0.1	满足
	西墙 (b 点)	院内绿化	1/40	1/4	1.29	0.008	0.1	满足
	屋顶 (l 点)	病案仓库	1/20	1/4	1.65	0.010	0.1	满足
	北墙 (e 点)	控制室	1	1	0.602	0.301	5	满足
	南墙 (f 点)	停车场	1/40	1	0.276	0.003	0.1	满足
迷路入口防护门 (g 点)		1/8	1	0.08	0.005	0.1	满足	

注：居留因子取值见 HJ 1198-2021 附录 A。

本项目放疗机房周围 50m 评价范围内环境保护目标处辐射剂量率及公众年受照剂量见表 11-10 至表 11-11。

表 11-10 机房周围 50m 评价范围内环境保护目标处辐射剂量率理论估算结果

环境保护目标	机房名称	计算模式	距离 R (m)	X (cm)	B	所致剂量率估算值 ($\mu\text{Sv/h}$)
金城花园小区部分公众	放疗机房	同西墙 (b 点)	5.20+45	140 砼+17.2 铅	7.27E-08	0.014

表 11-11 机房周围 50m 评价范围内环境保护目标处公众年有效剂量

环境保护目标	机房名称	所致剂量率估算值 ($\mu\text{Sv/h}$)	居留因子 T	使用因子 U	年有效剂量 (mSv/a)
金城花园小区部分公众	放疗机房	0.014	1/40	1/4	<0.001

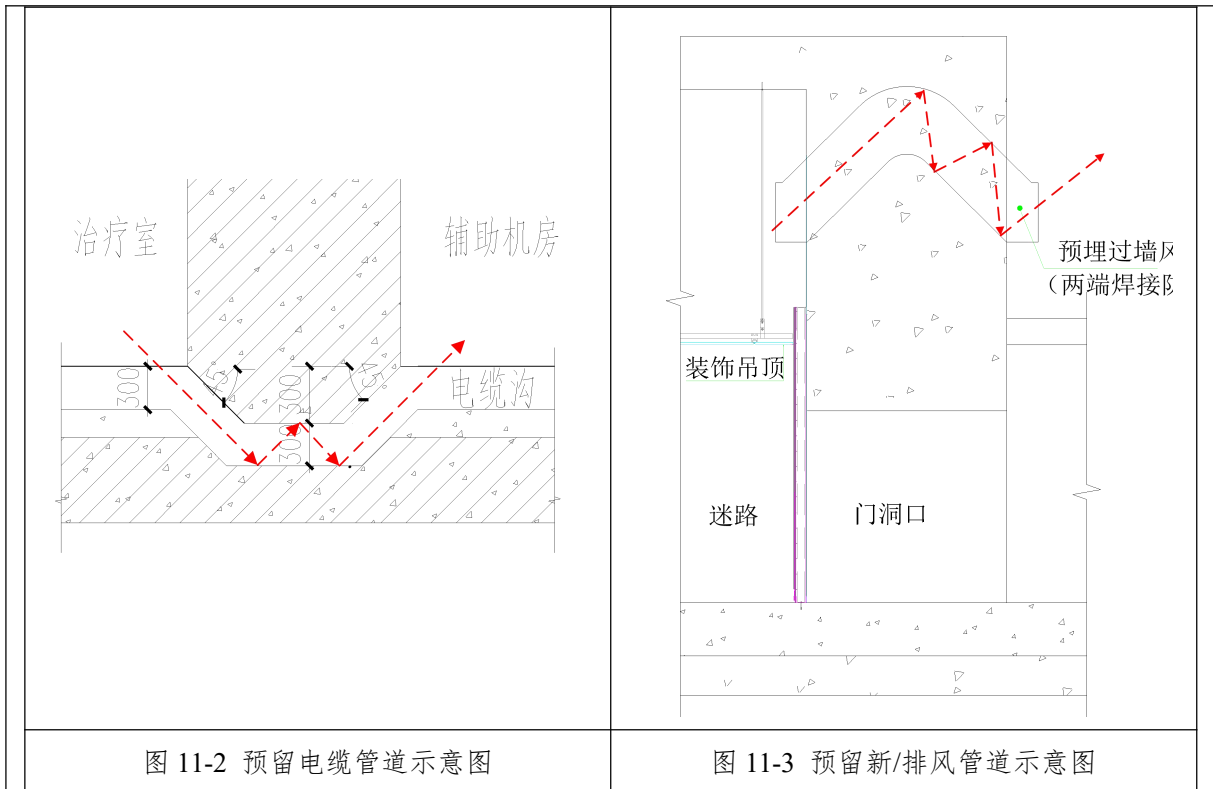
根据表 11-9 结果分析知，该项目 Halcyon 型医用直线加速器投入运行后，辐射工作人员年有效剂量为 0.301mSv，机房周围公众年有效剂量最大为 0.010mSv；由表 11-11 结果分析知，机房周围 50m 评价范围内环境保护目标金城花园小区公众最大年有效剂量 <0.001mSv，能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对职业人员、公众的剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求（职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.1mSv）。

4、放疗机房门缝、通风系统及电缆沟辐射防护评价

本项目放疗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。

本项目放疗机房新、排风管道穿墙处均采用倒“U”型设计，管道均经过防护门上方由迷路到达机房内，管道穿迷路上方屏蔽到达机房内，管道系统均避开主射线方向，射线经三次以上散射后，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，管道为方管。穿墙处理地深度为 0.3m，未破坏治疗室墙体的屏蔽效果，能够满足辐射防护要求。



根据表 11-8 中机房外辐射剂量率估算结果可知,本项目放疗机房顶部剂量率最大值为 $1.65\mu\text{Sv/h}$, 其天空散射和侧散射辐射对治疗机房外的附近公众的照射较小, 能够满足防护要求。

• 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 10-2 可知, 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)和地面(非有用线束投射方向)的混凝土。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。

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；

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：

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

式中： B —给定铅厚度的屏蔽透射因子；

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 NCRP147 报告 TABLE A.1 中查取 125kV 和 80kV 管电压工况下 X 射线(主束) 辐射衰减的有关的拟合参数，由 NCRP147 报告 TABLE C.1 中查取 70kV 管电压工况下 X 射线（散射）辐射衰减的有关的拟合参数，列于表 11-12：

表 11-12 不同管电压工况下 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压	屏蔽材料	α	β	γ
125kV（主束）	铅	2.219	7.923	0.5386
	混凝土	0.03502	0.07113	0.6974
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 180mm 混凝土，按公式 11-9、公式 11-10 计算其屏蔽透射因子 B 、铅当量厚度 X ，计算结果列于表 11-13。

表 11-13 混凝土屏蔽透射因子 B 、铅当量厚度 X 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）	180mm 混凝土	3.78E-04	2.32
80kV（主束）	180mm 混凝土	1.34E-05	2.14

(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 11-14 DSA 机房屏蔽体等效铅当量厚度核算及其与标准要求对比

工作场所	参数	设计厚度	铅当量	屏蔽要求*	评价
急诊楼一楼 杂交手术室 (1)	墙体	200mm 轻质混凝土砖+3mm 铅板	3mm	介入 X 射线设备 机房屏蔽防护铅 当量厚度要求：有 用线束方向铅当 量 2.0mm，非有用 线束方向铅当量 2.0mm。	满足
	防护门	3mmPb 铅板	3mm		满足
	观察窗	3mmPb 铅玻璃	3mm		满足
	顶面	180mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡涂料	4.32mm		满足
	地面	180mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡涂料	4.32mm		满足
	面积	东西长 7.50m（最小单边长度），南北长 5.20m，有效使用面积为 39.0m ² ，层高 5.7m（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 ² ，单边长度不 小于 3.5m。
急诊楼一楼 杂交手术室 (2)	墙体	200mm 轻质混凝土砖+3mm 铅板	3mm	介入 X 射线设备 机房屏蔽防护铅 当量厚度要求：有 用线束方向铅当 量 2.0mm，非有用 线束方向铅当量 2.0mm。	满足
	防护门	3mmPb 铅板	3mm		满足
	观察窗	3mmPb 铅玻璃	3mm		满足
	顶面	180mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡涂料	4.32mm		满足
	地面	180mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡涂料	4.32mm		满足
	面积	东西长 7.0m（最小单边长度），南北长 8.5m，有效使用面积为 59.5m ² ，层高 5.7m（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 ² ，单边长度不 小于 3.5m。

注：屏蔽要求引自《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）表 3。

由表 11-14 可知，本项目 DSA 机房的有效使用面积、最小单边长度及屏蔽防护的等效铅当量满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中 C 形臂 X 射线设备机房的相关要求，即：屏蔽铅当量不少于 2mm，最小单边长度不少于 3.5m，有效使用面积不少于 20m²。因此可推断 DSA 机房周围剂量当量率能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中“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”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。

急诊楼杂交手术室（1）和杂交手术室（2）预测点选取如下：

- 1#-杂交手术室（1）东侧防护门外 30cm 处，控制室；
- 2#-杂交手术室（1）东侧观察窗外 30cm 处，控制室；
- 3#-杂交手术室（1）东侧屏蔽墙外 30cm 处，设备间；
- 4#-杂交手术室（1）南侧屏蔽墙外 30cm 处，过道；
- 5#-杂交手术室（1）南侧屏蔽墙外 30cm 处，诊室；
- 6#-杂交手术室（1）西侧屏蔽墙外 30cm 处，室外；
- 7#-杂交手术室（1）北侧屏蔽墙外 30cm 处，处置室；
- 8#-杂交手术室（1）北侧防护门外 30cm 处，处置室；
- 9#-杂交手术室（1）北侧防护门外 30cm 处，过道；
- 10#-杂交手术室（2）东侧屏蔽墙外 30cm 处，室外；
- 11#-杂交手术室（2）南侧防护门外 30cm 处，污物通道；
- 12#-杂交手术室（2）南侧防护门外 30cm 处，缓冲间；
- 13#-杂交手术室（2）南侧屏蔽墙外 30cm 处，缓冲间；
- 14#-杂交手术室（2）西侧屏蔽墙外 30cm 处，过道；
- 15#-杂交手术室（2）北侧防护门外 30cm 处，控制室；
- 16#-杂交手术室（2）北侧观察窗外 30cm 处，控制室；
- 17#-杂交手术室（2）北侧屏蔽墙外 30cm 处，控制室；
- 18#-杂交手术室（1）楼上（距楼上地面 100cm 处），露天平台；
- 19#-杂交手术室（1）楼下（距楼下地面 170cm 处），后勤库房；
- 20#-杂交手术室（2）楼上（距楼上地面 100cm 处），中毒中心病房；
- 21#-杂交手术室（2）楼下（距楼下地面 170cm 处），配电房。

共布设 21 个预测点，预测点布设见图 11-4 所示。



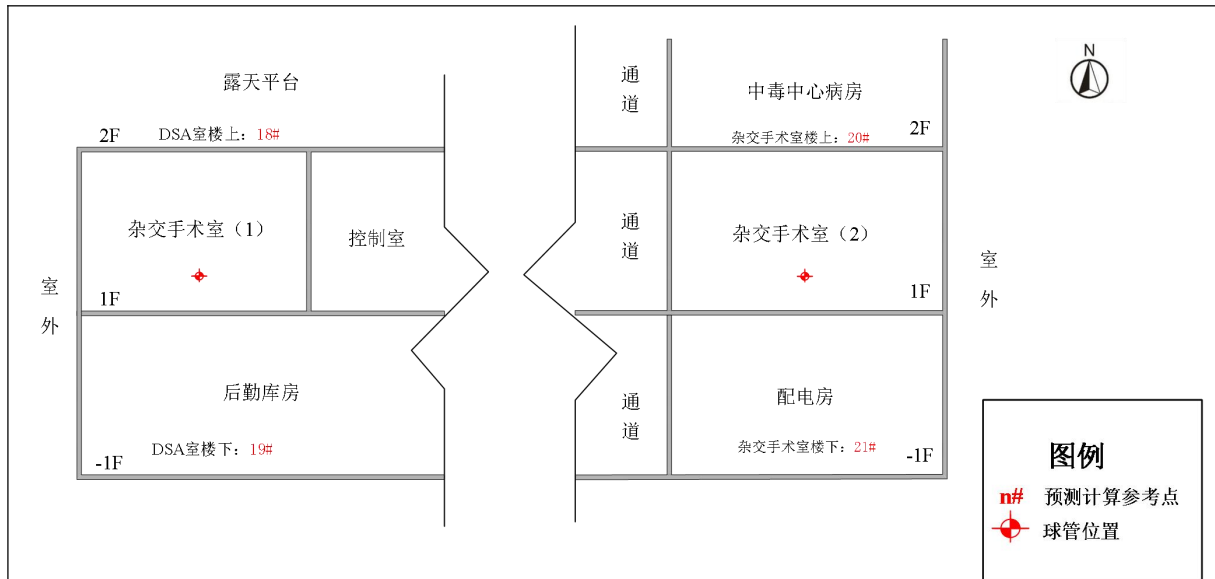


图 11-4 急诊楼杂交手术室（1）和杂交手术室（2）预测点布设示意图

本项目 DSA 的辐射影响情况见表 11-15。

表 11-15 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、控制室操作人员
透视模式	80kV/20mA	机房外公众、控制室操作人员； 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 —关注点处有用线束有效剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

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）， $\text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ；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 0.5mmCu 的条件从《辐射防护导论》附图 3 查得 H_0 为 $0.8\text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ，即 $48000\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ；

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；

B —屏蔽材料对散射线的透射因子，无量纲，计算公式见公式 11-9；

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。

鉴于本项目 DSA 运行时最大常用管电压为 80kV，从 NCRP147 报告 TABLE A.1 中查取铅对 80kV 管电压工况下 X 射线（主束）辐射衰减的有关的拟合参数，具体见表 11-12。

将前述有关参数代入公式 11-11，计算机房上方关注点处有用线束辐射影响水平，计算结果见表 11-16。

表 11-16 机房上方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#-杂交手术室(1)楼上, 露天平台	透视模式	48000	20	2.00E-09	6.2	8.35E-05
	拍片模式		500			2.09E-03
20#-杂交手术室(2)楼上, 中毒中心病房	透视模式	48000	20	2.00E-09	6.2	8.35E-05
	拍片模式		500			2.09E-03

(2) 关注点处散射辐射剂量率计算

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 10.10）进行推导，得到散射线在关注点处的有效剂量率 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）：

$$H_s = \frac{H_0 \cdot I \cdot a \cdot (s/400) \cdot B_s \cdot K}{d_0^2 \cdot d_s^2} \quad \text{公式 11-12}$$

式中： H_s —关注点处散射辐射有效剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

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 $48000\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ；

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)；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，根据建设单位提供参数，照射野最小为 $8\text{cm} \times 8\text{cm} = 64\text{cm}^2$ ，最大为 $30\text{cm} \times 38\text{cm} = 1140\text{cm}^2$ ，考虑手术需要的最大照射面积约取 $16\text{cm} \times 16\text{cm}$ ，本项目取 256cm^2 ；

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，m；

B_s —屏蔽材料对散射线的透射因子，无量纲，计算公式见式 11-17。此处散射线是指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，再从 NRCP 147 号报告 TABLE C.1 中查取对应于 70kV 的 α 、 β 、 γ 数值，具体见表 11-12；将机房屏蔽体和介入操作人员防护用屏蔽物的铅当量厚度、表 11-12 中 α 、 β 、 γ 值代入公式 11-10，计算响应的散射辐射屏蔽透射因子值，列于表 11-17；

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。

将前述有关参数代入公式 11-12，计算透视模式下 DSA 机房外公众、控制室操作人

员、机房内介入操作人员处散射辐射剂量率，计算结果见表 11-17。

表 11-17 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)	$X^{1\prime}$ (mm)	B_s	d_0 (m)	$d_s^{2\prime}$ (m)	H_s ($\mu\text{Sv/h}$)
1#-杂交手术室(1) 东侧防护门外 30cm 处, 控制室	透视模式	48000	20	3	5.80E-09	0.45	4.6	1.06E-06
	拍片模式		500					2.66E-05
2#-杂交手术室(1) 东侧观察窗外 30cm 处, 控制室	透视模式	48000	20	3	5.80E-09	0.45	3.5	1.84E-06
	拍片模式		500					4.60E-05
3#-杂交手术室(1) 东侧屏蔽墙外 30cm 处, 设备间	透视模式	48000	20	3	5.80E-09	0.45	4.1	1.34E-06
	拍片模式		500					3.35E-05
4#-杂交手术室(1) 南侧屏蔽墙外 30cm 处, 过道	透视模式	48000	20	3	5.80E-09	0.45	4.2	1.28E-06
	拍片模式		500					3.19E-05
5#-杂交手术室(1) 南侧屏蔽墙外 30cm 处, 诊室	透视模式	48000	20	3	5.80E-09	0.45	4.5	1.11E-06
	拍片模式		500					2.78E-05
6#-杂交手术室(1) 西侧屏蔽墙外 30cm 处, 室外	透视模式	48000	20	3	5.80E-09	0.45	5.4	7.72E-07
	拍片模式		500					1.93E-05
7#-杂交手术室(1) 北侧屏蔽墙外 30cm 处, 处置室	透视模式	48000	20	3	5.80E-09	0.45	5.6	7.18E-07
	拍片模式		500					1.80E-05
8#-杂交手术室(1) 北侧防护门外 30cm 处, 处置室	透视模式	48000	20	3	5.80E-09	0.45	4.9	9.38E-07
	拍片模式		500					2.35E-05
9#-杂交手术室(1) 北侧防护门外 30cm 处, 过道	透视模式	48000	20	3	5.80E-09	0.45	5.3	8.02E-07
	拍片模式		500					2.00E-05
10#-杂交手术室(2) 东侧屏蔽墙外 30cm 处, 室外	透视模式	48000	20	3	5.80E-09	0.45	4.8	9.78E-07
	拍片模式		500					2.44E-05
11#-杂交手术室(2) 南侧防护门外 30cm 处, 污物通道	透视模式	48000	20	3	5.80E-09	0.45	6.7	5.02E-07
	拍片模式		500					1.25E-05
12#-杂交手术室(2) 南侧防护门外 30cm 处, 缓冲间	透视模式	48000	20	3	5.80E-09	0.45	6.6	5.17E-07
	拍片模式		500					1.29E-05
13#-杂交手术室(2)	透视模式	48000	20	3	5.80E-09	0.45	6.8	4.87E-07

南侧屏蔽墙外 30cm 处, 缓冲		拍片模式		500					1.22E-05
14#-杂交手术室 (2) 西侧屏蔽墙外 30cm 处, 过道	透视模式	48000	20	3	5.80E-09	0.45	4.7	1.02E-06	
	拍片模式		500					2.55E-05	
15#-杂交手术室 (2) 北侧防护门外 30cm 处, 控制室	透视模式	48000	20	3	5.80E-09	0.45	3.7	1.65E-06	
	拍片模式		500					4.11E-05	
16#-杂交手术室 (2) 北侧观察窗外 30cm 处, 控制室	透视模式	48000	20	3	5.80E-09	0.45	3.6	1.74E-06	
	拍片模式		500					4.35E-05	
17#-杂交手术室 (2) 北侧屏蔽墙外 30cm 处, 控制室	透视模式	48000	20	3	5.80E-09	0.45	3.6	1.74E-06	
	拍片模式		500					4.35E-05	
18#-杂交手术室 (1) 楼上 (距楼上地面 100cm 处), 露天平台	透视模式	48000	20	4.32	4.85E-12	0.45	6.2	5.51E-10	
	拍片模式		500					1.38E-08	
19#-杂交手术室 (1) 楼下 (距楼下地面 170cm 处), 后勤库房	透视模式	48000	20	4.32	4.85E-12	0.45	3.7	2.75E-09	
	拍片模式		500					6.88E-08	
20#-杂交手术室 (2) 楼上, 中毒中心病房	透视模式	48000	20	4.32	4.85E-12	0.45	6.2	5.51E-10	
	拍片模式		500					1.38E-08	
21#-杂交手术室 (2) 楼下, 配电房	透视模式	48000	20	4.32	4.85E-12	0.45	3.7	2.75E-09	
	拍片模式		500					6.88E-08	
第一术者	铅衣内	透视模式	48000	20	1	1.43E-03	0.45	0.5	4.41
	铅衣外	透视模式	48000	20	0.5	1.37E-02	0.45	0.5	83.11
第二术者	铅衣内	透视模式	48000	20	1	1.43E-03	0.45	1.0	1.10
	铅衣外	透视模式	48000	20	0.5	1.37E-02	0.45	1.0	20.78

注: 1、X 为 70kV 时屏蔽物质等效铅厚度;

2、机房四侧屏蔽体外关注点位于屏蔽体外 30cm 处, 机房下方关注点位于距下方 (楼下) 地面 170cm 处, 机房上方关注点位于距上方 (楼上) 地面 100cm 处。

(3) 关注点处泄漏辐射剂量率计算

泄漏辐射剂量率 H_L 采用下式计算:

$$H_L = \frac{H_i \cdot B}{r^2} \cdot K \quad \text{公式 11-13}$$

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 机房四周屏蔽墙及地面的泄漏射线屏蔽透射因子见表 11-18；

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 11-13，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 11-18。

表 11-18 关注点处漏辐射剂量率计算结果

关注点位置	H_i (mGy/h)	r (m)	B	H_L ($\mu\text{Sv/h}$)
1#-杂交手术室（1）东侧防护门外 30cm 处，控制室	1	4.6	4.15E-07	3.28E-05
2#-杂交手术室（1）东侧观察窗外 30cm 处，控制室	1	3.5	4.15E-07	5.66E-05
3#-杂交手术室（1）东侧屏蔽墙外 30cm 处，设备间	1	4.1	4.15E-07	4.12E-05
4#-杂交手术室（1）南侧屏蔽墙外 30cm 处，过道	1	4.2	4.15E-07	3.93E-05
5#-杂交手术室（1）南侧屏蔽墙外 30cm 处，诊室	1	4.5	4.15E-07	3.42E-05
6#-杂交手术室（1）西侧屏蔽墙外 30cm 处，室外	1	5.4	4.15E-07	2.38E-05
7#-杂交手术室（1）北侧屏蔽墙外 30cm 处，处置室	1	5.6	4.15E-07	2.21E-05
8#-杂交手术室（1）北侧防护门外 30cm 处，处置室	1	4.9	4.15E-07	2.89E-05
9#-杂交手术室（1）北侧防护门外 30cm 处，过道	1	5.3	4.15E-07	2.47E-05
10#-杂交手术室（2）东侧屏蔽墙外 30cm 处，室外	1	4.8	4.15E-07	3.01E-05
11#-杂交手术室（2）南侧防护门外 30cm 处，污物通道	1	6.7	4.15E-07	1.54E-05

12#-杂交手术室(2)南侧防护门外30cm处,缓冲间	1	6.6	4.15E-07	1.59E-05	
13#-杂交手术室(2)南侧屏蔽墙外30cm处,缓冲	1	6.8	4.15E-07	1.50E-05	
14#-杂交手术室(2)西侧屏蔽墙外30cm处,过道	1	4.7	4.15E-07	3.14E-05	
15#-杂交手术室(2)北侧防护门外30cm处,控制室	1	3.7	4.15E-07	5.06E-05	
16#-杂交手术室(2)北侧观察窗外30cm处,控制室	1	3.6	4.15E-07	5.35E-05	
17#-杂交手术室(2)北侧屏蔽墙外30cm处,控制室	1	3.6	4.15E-07	5.35E-05	
18#-杂交手术室(1)楼上(距楼上地面100cm处),露天平台	1	6.2	2.00E-09	8.69E-08	
19#-杂交手术室(1)楼下(距楼下地面170cm处),后勤库房	1	3.7	2.00E-09	2.44E-07	
20#-杂交手术室(2)楼上,中毒中心病房	1	6.2	2.00E-09	8.69E-08	
21#-杂交手术室(2)楼下,配电房	1	3.7	2.00E-09	2.44E-07	
第一术者	铅衣内	1	0.5	1.43E-03	9.55
	铅衣外	1	0.5	1.37E-02	91.52
第二术者	铅衣内	1	1.0	1.43E-03	2.39
	铅衣外	1	1.0	1.37E-02	22.88

(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 11-19。

表 11-19 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 ($\mu\text{Sv/h}$)			
		有用线束	散射线	漏射线	合计
1#-杂交手术室(1)东侧防护门外30cm处,控制室	透视模式	/	1.06E-06	3.28E-05	3.38E-05
	拍片模式	/	2.66E-05		5.94E-05
2#-杂交手术室(1)东侧观察窗外30cm处,控制室	透视模式	/	1.84E-06	5.66E-05	5.84E-05
	拍片模式	/	4.60E-05		1.03E-04
3#-杂交手术室(1)东侧屏蔽墙外30cm处,设备间	透视模式	/	1.34E-06	4.12E-05	4.26E-05
	拍片模式	/	3.35E-05		7.47E-05
4#-杂交手术室(1)南侧	透视模式	/	1.28E-06	3.93E-05	4.06E-05

屏蔽墙外 30cm 处, 过道	拍片模式	/	3.19E-05		7.12E-05
5#-杂交手术室 (1) 南侧 屏蔽墙外 30cm 处, 诊室	透视模式	/	1.11E-06	3.42E-05	3.53E-05
	拍片模式	/	2.78E-05		6.20E-05
6#-杂交手术室 (1) 西侧 屏蔽墙外 30cm 处, 室外	透视模式	/	7.72E-07	2.38E-05	2.45E-05
	拍片模式	/	1.93E-05		4.31E-05
7#-杂交手术室 (1) 北侧 屏蔽墙外 30cm 处, 处置 室	透视模式	/	7.18E-07	2.21E-05	2.28E-05
	拍片模式	/	1.80E-05		4.01E-05
8#-杂交手术室 (1) 北侧 防护门外 30cm 处, 处置 室	透视模式	/	9.38E-07	2.89E-05	2.98E-05
	拍片模式	/	2.35E-05		5.23E-05
9#-杂交手术室 (1) 北侧 防护门外 30cm 处, 过道	透视模式	/	8.02E-07	2.47E-05	2.55E-05
	拍片模式	/	2.00E-05		4.47E-05
10#-杂交手术室 (2) 东侧 屏蔽墙外 30cm 处, 室外	透视模式	/	9.78E-07	3.01E-05	3.11E-05
	拍片模式	/	2.44E-05		5.45E-05
11#-杂交手术室 (2) 南侧 防护门外 30cm 处, 污物 通道	透视模式	/	5.02E-07	1.54E-05	1.59E-05
	拍片模式	/	1.25E-05		2.80E-05
12#-杂交手术室 (2) 南侧 防护门外 30cm 处, 缓冲 间	透视模式	/	5.17E-07	1.59E-05	1.64E-05
	拍片模式	/	1.29E-05		2.88E-05
13#-杂交手术室 (2) 南侧 屏蔽墙外 30cm 处, 缓冲	透视模式	/	4.87E-07	1.50E-05	1.55E-05
	拍片模式	/	1.22E-05		2.72E-05
14#-杂交手术室 (2) 西侧 屏蔽墙外 30cm 处, 过道	透视模式	/	1.02E-06	3.14E-05	3.24E-05
	拍片模式	/	2.55E-05		5.69E-05
15#-杂交手术室 (2) 北侧 防护门外 30cm 处, 控制 室	透视模式	/	1.65E-06	5.06E-05	5.23E-05
	拍片模式	/	4.11E-05		9.18E-05
16#-杂交手术室 (2) 北侧 观察窗外 30cm 处, 控制 室	透视模式	/	1.74E-06	5.35E-05	5.52E-05
	拍片模式	/	4.35E-05		9.69E-05
17#-杂交手术室 (2) 北侧 屏蔽墙外 30cm 处, 控制 室	透视模式	/	1.74E-06	5.35E-05	5.52E-05
	拍片模式	/	4.35E-05		9.69E-05
18#-杂交手术室 (1) 楼上 (距楼上地面 100cm 处), 露天平台	透视模式	8.35E-05	5.51E-10	8.69E-08	8.36E-05
	拍片模式	2.09E-03	1.38E-08		2.09E-03

19#-杂交手术室(1)楼下 (距楼下地面 170cm 处), 后勤库房		透视模式	/	2.75E-09	2.44E-07	2.47E-07
		拍片模式	/	6.88E-08		3.13E-07
20#-杂交手术室(2)楼上, 中毒中心病房		透视模式	8.35E-05	5.51E-10	8.69E-08	8.36E-05
		拍片模式	2.09E-03	1.38E-08		2.09E-03
21#-杂交手术室(2)楼下, 配电房		透视模式	/	2.75E-09	2.44E-07	2.47E-07
		拍片模式	/	6.88E-08		3.13E-07
第一 术者	铅衣内	透视模式	/	4.41	9.55	13.96
	铅衣外	透视模式	/	83.11	91.52	174.63
第二 术者	铅衣内	透视模式	/	1.10	2.39	3.49
	铅衣外	透视模式	/	20.78	22.88	43.66

由表 11-19 结果分析知,拍片模式的非有用线束在 DSA 机房外关注点处的辐射剂量率明显大于透视模式;机房外辐射工作人员关注点剂量率最大为 1.03E-04 μ Sv/h,出现在 DSA 东侧观察窗外控制室关注点处,公众关注点剂量率最大为 2.09E-03 μ Sv/h,出现在杂交手术室(1)上方露天平台和杂交手术室(2)上方中毒中心病房关注点处,本项目 DSA 机房屏蔽设计能够满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)的要求。

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:

$$H_{Er} = H_r \times T \times t \quad \text{公式 11-14}$$

式中: H_{Er} —X射线外照射年有效剂量, mSv/a;

H_r —关注点处剂量率, μ Sv/h;

T —居留因子;

t —年照射时间, h。

DSA 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:

$$E = \alpha H_u + \beta H_o \quad \text{公式 11-15}$$

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 $H_p(10)$ ，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 $H_p(10)$ ，mSv。

(2) 年有效剂量估算

将有关参数代入公式 11-14，估算 DSA 机房四周公众及控制室辐射工作人员的年附加剂量，见表 11-20。

表 11-20 DSA 机房四周公众及控制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 ($\mu\text{Sv/h}$)	年有效剂量 H_{Er} (mSv/a)	
1#-杂交手术室(1)东侧防护门外 30cm 处，控制室	透视模式	127.5	1	3.38E-05	4.31E-06	<0.01
	拍片模式	1.3	1	5.94E-05	7.72E-08	
2#-杂交手术室(1)东侧观察窗外 30cm 处，控制室	透视模式	127.5	1	5.84E-05	7.45E-06	<0.01
	拍片模式	1.3	1	1.03E-04	1.33E-07	
3#-杂交手术室(1)东侧屏蔽墙外 30cm 处，设备间	透视模式	127.5	1/16	4.26E-05	3.39E-07	<0.01
	拍片模式	1.3	1/16	7.47E-05	6.07E-09	
4#-杂交手术室(1)南侧屏蔽墙外 30cm 处，过道	透视模式	127.5	1/8	4.06E-05	5.17E-06	<0.01
	拍片模式	1.3	1/8	7.12E-05	9.26E-08	
5#-杂交手术室(1)南侧屏蔽墙外 30cm 处，诊室	透视模式	127.5	1	3.53E-05	5.63E-07	<0.01
	拍片模式	1.3	1	6.20E-05	1.01E-08	
6#-杂交手术室(1)西侧屏蔽墙外 30cm 处，室外	透视模式	127.5	1/16	2.45E-05	1.96E-07	<0.01
	拍片模式	1.3	1/16	4.31E-05	3.50E-09	
7#-杂交手术室(1)北侧屏蔽墙外 30cm 处，处置室	透视模式	127.5	1	2.28E-05	2.91E-06	<0.01
	拍片模式	1.3	1	4.01E-05	5.21E-08	
8#-杂交手术室(1)北侧防护门外 30cm 处，处置室	透视模式	127.5	1	2.98E-05	3.80E-06	<0.01
	拍片模式	1.3	1	5.23E-05	6.80E-08	
9#-杂交手术室(1)北侧防护门外 30cm 处，过道	透视模式	127.5	1/8	2.55E-05	4.06E-07	<0.01
	拍片模式	1.3	1/8	4.47E-05	7.27E-09	
10#-杂交手术室(2)东侧	透视模式	127.5	1/16	3.11E-05	2.47E-07	<0.01

屏蔽墙外 30cm 处, 室外	拍片模式	1.3	1/16	5.45E-05	4.43E-09	
11#-杂交手术室(2) 南侧 防护门外 30cm 处, 污物通 道	透视模式	127.5	1/16	1.59E-05	1.27E-07	<0.01
	拍片模式	1.3	1/16	2.80E-05	2.27E-09	
12#-杂交手术室(2) 南侧 防护门外 30cm 处, 缓冲间	透视模式	127.5	1	1.64E-05	2.09E-06	<0.01
	拍片模式	1.3	1	2.88E-05	3.75E-08	
13#-杂交手术室(2) 南侧 屏蔽墙外 30cm 处, 缓冲	透视模式	127.5	1	1.55E-05	1.97E-06	<0.01
	拍片模式	1.3	1	2.72E-05	3.53E-08	
14#-杂交手术室(2) 西侧 屏蔽墙外 30cm 处, 过道	透视模式	127.5	1/8	3.24E-05	5.16E-07	<0.01
	拍片模式	1.3	1/8	5.69E-05	9.24E-09	
15#-杂交手术室(2) 北侧 防护门外 30cm 处, 控制室	透视模式	127.5	1	5.23E-05	6.66E-06	<0.01
	拍片模式	1.3	1	9.18E-05	1.19E-07	
16#-杂交手术室(2) 北侧 观察窗外 30cm 处, 控制室	透视模式	127.5	1	5.52E-05	7.04E-06	<0.01
	拍片模式	1.3	1	9.69E-05	1.26E-07	
17#-杂交手术室(2) 北侧 屏蔽墙外 30cm 处, 控制室	透视模式	127.5	1	5.52E-05	7.04E-06	<0.01
	拍片模式	1.3	1	9.69E-05	1.26E-07	
18#-杂交手术室(1) 楼上 (距楼上地面 100cm 处), 露天平台	透视模式	127.5	1/16	8.36E-05	6.97E-10	<0.01
	拍片模式	1.3	1/16	2.09E-03	8.18E-12	
19#-杂交手术室(1) 楼下 (距楼下地面 170cm 处), 后勤库房	透视模式	127.5	1/16	2.47E-07	1.97E-09	<0.01
	拍片模式	1.3	1/16	3.13E-07	2.54E-11	
20#-杂交手术室(2) 楼上, 中毒中心病房	透视模式	127.5	1	8.36E-05	1.11E-08	<0.01
	拍片模式	1.3	1	2.09E-03	1.31E-10	
21#-杂交手术室(2) 楼下, 配电房	透视模式	127.5	1/16	2.47E-07	1.97E-09	<0.01
	拍片模式	1.3	1/16	3.13E-07	2.54E-11	

由表 11-20, DSA 机房四周公众、控制室辐射工作人员的年有效剂量均<0.01mSv, 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)。

将有关参数代入公式 11-15, 计算第一术者、第二术者年有效剂量, 结果列于表 11-21。

表 11-21 介入操作人员年有效剂量估算结果

位置	α	β	部位	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)			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	4.41	9.55	13.96	128	2.54
			铅衣外	83.11	91.52	174.63		
第二术者			铅衣内	1.10	2.39	3.49		0.64
			铅衣外	20.78	22.88	43.66		

由表 11-21，DSA 机房内的介入操作第一、第二术者操作位的年有效剂量分别为 2.54mSv、0.64mSv；即使第一、第二术者操作位分别由 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，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，开展 DSA 介入治疗的辐射工作人员采用双剂量计监测方法，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。

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、非放射性“三废”影响分析

①**废气**：放疗机房和 DSA 机房内的空气在 X 射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，通过动力排风装置排入大气，常温下可自行分解为氧气，对周围环境影响较小。

②**废水**：工作人员和部分患者产生的生活污水，由医院污水处理站统一处理。

③**固体废物**：工作人员产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理。

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 Halcyon 型医用直线加速器和 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。

一、主要事故风险

（一）Halcyon 型医用直线加速器项目主要事故风险

- 1、操作人员违反操作规程或误操作，造成意外超剂量照射；
- 2、设备工作过程中，未按工作流程进行清场，人员误留、误入机房内，导致发生误照射；
- 3、放疗机房门机联锁失效，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。

（二）DSA 项目主要事故风险

- 1、在介入手术操作过程中，有未穿戴铅衣、配套铅手套和铅防护眼镜等个人防护用品的公众误留机手术室，室内人员位于手术室床旁，导致发生误照射；
- 2、DSA 控制系统失灵持续拍片，而此时手术室内人员未穿戴铅衣、配套铅手套和铅防护眼镜等个人防护用品，室内人员位于手术室床旁，导致发生误照射；
- 3、设备维护人员在维护 DSA 射线管或测量探测器时，射线管正处于出束状态，维修人员处于机头上方，导致发生误照射。

二、事故处理方法及预防措施

（一）Halcyon 型医用直线加速器项目事故处理方法及预防措施

- 1、当发生误照射时，应立即按下急停开关，确保设备停止工作；
- 2、辐射工作人员应定期检查放疗机房门机联锁装置，确保其运行正常；
- 3、设备工作时，应定期使用辐射巡测仪进行巡检，发生异常情况应立即停止出束，并检查排除异常，做好记录；
- 4、对工作人员造成额外照射时，应及时检测个人剂量计，剂量超标则人员应及时就医检查并调岗。

(二) DSA 项目事故处理方法及预防措施

1、当发生误照射时，应立即按下急停开关，确保 DSA 停止工作；

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

3、对发生事故的 DSA 或其他设备故障，请设备厂家或相关单位进行检测或维修，分析事故发生原因，不得擅自进行维修。

医院应定期对放疗机房、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。

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

张家港市第一人民医院拟于院区 4 号楼内新建 1 座放疗机房并分别配备 1 台 Halcyon 型直线加速器（X 射线能量：6MV）；于急诊楼一楼新建 1 座杂交手术室（1）并配备 1 台 DSA（型号：Azurion 7M20，125kV/1000mA）、于急诊楼一楼新建 1 座杂交手术室（2）并配备 1 台 DSA（型号未定，管电压 $\leq 125\text{kV}$ ，管电流 $\leq 1000\text{mA}$ ）。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。

张家港市第一人民医院已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，并以文件形式明确管理人员职责。医院应根据本次扩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。本项目辐射工作人员为医院原有辐射工作人员，调配至本项目后不兼职其它辐射工作，放疗科、DSA 介入科拟分别配备 10 名、9 名辐射工作人员。本项目辐射工作人员均已纳入到辐射工作人员健康管理，均已参加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并考核合格，其中放疗科辐射工作人员考核科目为放射治疗、DSA 介入科辐射工作人员考核科目为医用 X 射线诊断与介入放射学，同时医院已委托南京瑞森辐射技术有限公司对本项目人员进行个人剂量监测。

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”。张家港市第一人民医院已制定了相关规章制度（详见附件 5），包含：《关于调整市一院辐射安全与环境保护管理领导小组成员的决定》、《张家港市第一人民医

院放射事故应急预案》、《放射治疗质量管理制度》、《肿瘤科放射治疗设备使用制度》、《岗位职责》、《肿瘤放射治疗操作基本流程》、《患者与工作人员放射防护制度》等。医院现有的辐射安全管理制度基本覆盖现有核技术利用需求，建议医院应不断总结工作经验，根据实际情况及以下内容补充并完善相关制度，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：明确射线装置使用工作人员、台帐管理人员及辐射安全管理人员的岗位责任，并落实到个人，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任。

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。医院应组织新进辐射工作人员定期参加职业健康体检（不少于1次/2年），并为其建立辐射工作人员职业健康监护

档案。

6) 监测方案：明确监测频次和监测项目。监测结果定期上报生态环境行政主管部门。为了确保Ⅱ类、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，张家港市第一人民医院拟为本项目配备辐射巡测仪1台、固定式剂量监测报警装置1套及个人剂量报警仪6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。

张家港市第一人民医院已根据上述监测计划，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。已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。

张家港市第一人民医院已委托南京瑞森辐射技术有限公司对该院放射工作人员进行个人剂量监测，医院公共卫生科负责全院人员个人剂量的收发和管理，个人剂量档案均存放于公共卫生科。个人剂量委托合同及上一年度个人剂量报告详见附件8。

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时，应根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《江苏省辐射污染防治条例》等要求，在1小时之内向所在地生态环境行政主管部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的还应当同时向卫生健康部门报告。在发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急预案，采取必要防范措施，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境行政主管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主管部门报告。

张家港市第一人民医院已经制定了《张家港市第一人民医院 放射事故应急预案》（详见附件5）。该预案主要包括成立应急预案领导小组、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。医院已根据应急预案及时组织演练，在物资、通讯、技术、人员、经费等准备方面均已加以落实。

表 13 结论与建议

结论

一、项目概况

张家港市第一人民医院位于江苏省苏州市张家港市暨阳西路 68 号，医院东侧为永安路，南侧为暨阳西路，西侧为金城花园，北侧为泗杨路。为了更好地为患者服务，提高医院的医疗质量，根据规划，拟在院区内扩建放射诊疗项目，主要包括：

于院区 4 号楼内新建 1 座放疗机房并分别配备 1 台 Halcyon 型直线加速器（X 射线能量：6MV），用于肿瘤的放射治疗；于急诊楼一楼新建 1 座杂交手术室（1）并配备 1 台 DSA（型号：Azurion 7M20，125kV/1000mA）、于急诊楼一楼新建 1 座杂交手术室（2）并配备 1 台 DSA（型号未定，管电压 $\leq 125\text{kV}$ ，管电流 $\leq 1000\text{mA}$ ），用于医学诊断及介入治疗。

二、项目建设的必要性

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

三、实践正当性

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

四、项目产业政策符合性分析

本项目不属于《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（2021 年修改）中“限制类”、“淘汰类”项目，项目符合国家产业政策。

五、选址合理性

张家港市第一人民医院位于江苏省苏州市张家港市暨阳西路 68 号，医院东侧为永安路，南侧为暨阳西路，西侧为金城花园，北侧为泗杨路。本次扩建放射诊疗项目周围 50m 评价范围除西南侧超出院区边界至金城花园（距放疗机房最近约 45m 处）外，其余方向均位于院区边界内。评价范围内无居民区、学校等环境敏感点，项目运行后的环境保护目标主要为医院辐射工作人员、院区内的其他医护人员、病患及陪同家属

和院外绿化处其他公众等。

本项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。对照《江苏省国家级生态保护红线规划》（苏政发〔2018〕74号）、《江苏省生态空间管控区域规划》（苏政发〔2020〕1号），本项目拟建址评价范围内不涉及江苏省国家级生态保护红线、江苏省生态空间管控区域。根据《江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案》（苏政发〔2020〕49号），本项目拟建址评价范围内不涉及江苏省内优先保护单元；根据现场监测和环境影响预测，项目建设满足环境质量底线要求，不会造成区域环境质量下降；本项目对资源消耗极少，不涉及违背生态环境准入清单的问题；本项目的建设符合江苏省“三线一单”生态环境分区管控要求。

本项目各放射诊疗设备机房治疗室与控制室分开，区域划分明确，选址及布局合理。

六、辐射环境现状评价

张家港市第一人民医院本次扩建放射诊疗项目拟建址周围环境辐射剂量率在 $101\text{nGy/h}\sim 118\text{nGy/h}$ 之间，位于江苏省环境天然 γ 辐射水平涨落区间。

七、环境影响评价

根据理论估算结果，张家港市第一人民医院扩建放射诊疗项目在做好个人防护措施和安全措施的情况下，项目对辐射工作人员及周围的公众产生的年有效剂量均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员和公众受照剂量限值要求以及本项目的目标管理值要求（职业人员年有效剂量不超过 5mSv ，公众年有效剂量不超过 0.1mSv ）。

八、“三废”的处理处置

放疗机房和 DSA 机房内的空气在 X 射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，通过动力排风装置排入大气，常温下可自行分解为氧气，对周围环境影响较小；工作人员和部分患者产生的生活污水，由医院污水处理站统一处理；工作人员产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小；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。

九、主要污染源及拟采取的主要辐射安全防护措施

张家港市第一人民医院拟配备的 1 台 Halcyon 型医用直线加速器的 X 射线最大能量为 6MV，加速器开机期间，产生的 X 射线为主要辐射环境污染因素。本项目放疗机房入口处拟设置“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，放疗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，放疗机房治疗室迷道的内入口处拟设置固定式辐射剂量监测仪并拟有报警功能，其显示单元拟设置在控制室内，符合《放射治疗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。

张家港市第一人民医院拟配备的 2 台 DSA 管电压 $\leq 125\text{kV}$ 、管电流 $\leq 1000\text{mA}$ ，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。

十、辐射安全管理评价

张家港市第一人民医院已设立辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以医院内部文件形式明确其管理职责。医院拟制定辐射安全管理制度，建议根据本报告的要求，对照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，建立符合本院实际情况的、完善可行的辐射安全管理制度，并在日常工作中落实。

张家港市第一人民医院拟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。张家港市第一人民医院拟为本项目配备辐射巡测仪 1 台、固定式剂量监测报警装置 1 套及个人剂量报警仪 6 台。此外，医院应根据相关标准要求，为 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，张家港市第一人民医院扩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、各项安全措施及辐射防护设施必须正常运行，严格按国家有关规定要求进行操作，确保其安全可靠。

3、定期进行辐射工作场所的检查及监测，及时排除事故隐患。

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

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：放疗机房四侧墙体及顶面采用混凝土结构进行辐射防护，DSA机房四侧墙体采用轻质混凝土砖+铅板、顶面及地面采用混凝土+硫酸钡涂料进行辐射防护，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。		满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对职业人员和公众受照剂量限值要求以及本项目的目标管理值要求。	260
	安全措施	放疗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，放疗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。在治疗室内设置固定式剂量监测报警装置。放疗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。	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。	
		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，机房内拟设置新风系统。	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	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。	20
	拟配备固定式剂量监测报警装置1套。			

	拟配备个人剂量报警仪 6 台。		
	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、铅防护帘、床侧防护帘、床侧防护屏等防护用品。	满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的相关要求。	20
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	/	/	300

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。

