核技术利用建设项目

徐州医科大学附属医院
改建医用直线加速器及 DSA 项目环境
影响报告表

徐州医科大学附属医院

2025 年 10 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

徐州医科大学附属医院
改建医用直线加速器及 DSA 项目环境
影响报告表

建设单位名称：徐州医科大学附属医院

建设单位法人代表（签名或盖章）：

通讯地址：江苏省徐州市泉山区淮海西路 99 号

[redacted]

目 录

表 1　项目基本情况 ..... - 1 -
表 2　放射源 ..... - 6 -
表 3　非密封放射性物质 ..... - 6 -
表 4　射线装置 ..... - 6 -
表 5　废弃物（重点是放射性废弃物） ..... - 8 -
表 6　评价依据 ..... - 9 -
表 7　保护目标与评价标准 ..... - 12 -
表 8　环境质量和辐射现状 ..... - 18 -
表 9　项目工程分析与源项 ..... - 22 -
表 10　辐射安全与防护 ..... - 36 -
表 11　环境影响分析 ..... - 48 -
表 12　辐射安全管理 ..... - 76 -
表 13　结论与建议 ..... - 83 -
表 14　审批 ..... - 89 -

表 1　项目基本情况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="5">徐州医科大学附属医院改建医用直线加速器及 DSA 项目</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="5">徐州医科大学附属医院
（统一社会信用代码：12320000466002657F）</td></tr>
<tr><td colspan="2">[redacted]</td><td>[redacted]</td><td>[redacted]</td><td>[redacted]</td><td>[redacted]</td><td>[redacted]</td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="5">江苏省徐州市泉山区淮海西路 99 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="5">江苏省徐州市泉山区淮海西路 99 号医院本部内</td></tr>
<tr><td colspan="2">立项审批部门</td><td colspan="2">/</td><td>批准文号</td><td colspan="2">/</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设项目总投资（万元）</td><td>[redacted]</td><td>项目环保总投资（万元）</td><td>[redacted]</td><td>投资比例（环保投资/总投资）</td><td>[redacted]</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目性质</td><td colspan="3">☐新建 ☑改建 ☐扩建 ☐其他</td><td>占地面积（m^2）</td><td>/</td></tr>
<tr><td rowspan="9">应用类型</td><td rowspan="2">放射源</td><td>☐销售</td><td colspan="4">☐Ⅰ类 ☐Ⅱ类 ☐Ⅲ类 ☐Ⅳ类 ☐Ⅴ类</td></tr>
<tr><td>☐使用</td><td colspan="4">☐Ⅰ类（医疗使用） ☐Ⅱ类 ☐Ⅲ类 ☐Ⅳ类 ☐Ⅴ类</td></tr>
<tr><td rowspan="3">非密封放射性物质</td><td>☐生产</td><td colspan="4">☐制备 PET 用放射性药物</td></tr>
<tr><td>☐销售</td><td colspan="4">/</td></tr>
<tr><td>☐使用</td><td colspan="4">☐乙　☐丙</td></tr>
<tr><td rowspan="3">射线装置</td><td>☐生产</td><td colspan="4">☐Ⅱ类 ☐Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>☐销售</td><td colspan="4">☐Ⅱ类 ☐Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>☑ 使用</td><td colspan="4">☑Ⅱ类 ☑Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>其他</td><td colspan="5">/</td></tr>
</table>

项目概述：

一、建设单位基本情况、项目建设规模及由来

徐州医科大学附属医院（以下简称“医院”）现有本部（位于泉山区淮海西路 99 号）、东院（位于经开区鲲鹏路 9 号）两个院区，原名为徐州医学院附属医院，是江苏省历史最悠久的医院之一，现已发展成为集医疗、教学、科研、急救、保健、康复等功能任务为一体的三级甲等综合性医院，是江苏省卫生健康委员会直属医院、江苏省卫生事业发展“十二五”“十三五”苏北地区医疗技术指导和服务中心，是江苏省

四大紧急救援基地之一。

医院于本部10号楼1楼东部建设有1座体部伽玛刀（内含30枚^{60}Co放射源，活度3.2E+14Bq）机房（1号机房），已于2021年4月15日进行退役检测；1座头部伽玛刀（内含30枚^{60}Co放射源，活度2.2E+14Bq）机房（2号机房），已于2025年6月13日进行退役检测，检测结果未见异常（见附件6）。上述2台伽玛刀及其工作场所已进行项目环境登记表的退役备案（见附件6）。

医院于本部10号楼1楼西部（现DSA7室）、中部（现DSA6室）分别建设有1座DSA机房，并于2020年2月3日取得江苏省生态环境厅《关于徐州医科大学附属医院扩建两台DSA项目环境影响报告表的批复》，批复文号：苏环辐（表）审〔2020〕8号，于2022年2月24日进行竣工环境保护验收。

根据医院建设规划：

拟将本部10号楼1楼的2座伽玛刀机房（1号、2号）改建（在机房内隔出一个设备间，北墙处增加观察窗，更换防护门）为2座DSA机房，将10号楼1楼DSA6室和DSA7室原先使用的2台DSA设备（型号：Unique FD20，最大管电压125kV，最大管电流1000mA）搬迁至上述2间机房，并完善机房内相应的辐射安全措施；

拟将DSA7室改建为医用直线加速器机房（南墙增加650mm混凝土、增加一堵1300mm 混凝土迷道墙，更换防护门，并增加相应的辐射安全措施），并新增一台Halcyon型医用直线加速器，兼具医用直线加速器（X射线能量：6MV，X线最大辐射剂量率：800cGy/min）治疗和CBCT（最大管电压为150kV，最大管电流为630mA）图像引导功能。

拟将10号楼1楼的高值耗材库房改建为CT模拟定位机房（在原有墙体上增加铅板，更换防护门，新开观察窗），并配备1台CT模拟定位机（型号未定，最大管电压140kV，最大管电流800mA），配合医用直线加速器进行模拟定位。

医院拟为医用直线加速器配备医师2人、技师2人、物理师1人；为CT模拟定位机配备1名医师、1名技师。医用直线加速器日接诊量最大为40人次，患者治疗照射时间平均按3min计，年出束运行时间总计500h。

本项目2台DSA劳动定员共计18人，其中医师12人（平均每位医师年接触射线时间不超过60.2h），技师2人（平均每人年接触射线时间不超过365.7h），护士4人（保守按照技师的接触时间计算，平均每人年接触射线时间不超过182.9h），辐射工作人员年工作250天，为医院原有辐射工作人员。

表 1-1 本项目射线装置机房防护屏蔽调整前后对比一览表

[redacted]	[redacted]		[redacted]	
			[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
		[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
		[redacted]	[redacted]	[redacted]
		[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
		[redacted]	[redacted]	[redacted]
		[redacted]	[redacted]	[redacted]
		[redacted]	[redacted]	[redacted]
		[redacted]	[redacted]	[redacted]
		[redacted]	[redacted]	[redacted]
		[redacted]	[redacted]	[redacted]
		[redacted]	[redacted]	[redacted]
		[redacted]	[redacted]	[redacted]
		[redacted]	[redacted]	[redacted]
		[redacted]	[redacted]	[redacted]
		[redacted]	[redacted]	[redacted]
		[redacted]	[redacted]	[redacted]

注：铅板密度不低于 11.3g/cm^3，重晶石混凝土密度不低于 3.5g/cm^3，混凝土密度不低于 2.35g/cm^3。

为保护环境和公众利益，防止辐射污染，根据《中华人民共和国环境影响评价法》《中华人民共和国放射性污染防治法》《建设项目环境保护管理条例》《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律、法规和部门规章，徐州医科大学附属医院改建医用直线加速器及 DSA 项目需进行环境影响评价。受徐州医科大学附属医院的委托，南京瑞森辐射技术有限公司承担了该单位改建医用直线加速器及 DSA 项目的环境影响评价工作（委托书见附件 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），本项目为改建医用直线加速器及 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”项目，确定为编制环境影响报告表。南京瑞森辐射技术有限公司通过资料调研、项目工程分析、现场勘察及现场监测等工作的基础上，编制了该项目环境影响报告表。该医院改建医用直线加速器及 DSA 项目情况见表 1-2：

表 1-2 改建医用直线加速器及 DSA 项目情况一览表

[redacted]								
序号	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
1	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
2	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
3	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

二、项目选址情况

徐州医科大学附属医院本部位于徐州市泉山区淮海西路 99 号，医院东侧为立德路，南侧为江苏省徐州市第五中学，西侧为西安南路，北侧为淮海西路。本项目地理位置示意见附图 1，徐州医科大学附属医院周围环境示意图及总平面图见附图 2。

本次改建医用直线加速器及 DSA 项目位于医院本部 10 号楼 1 楼，10 号楼东侧隔院内道路为 7 号楼，南侧隔院内道路为高压氧仓楼、9 号楼，西侧隔院内道路为 11 号楼，北侧隔院内道路为 12 号楼。2 座 DSA 机房东侧为楼梯，南侧为室外道路，西侧为排烟机房、DSA6 室及其设备间，北侧为控制室，上方为食堂，下方为土层。医用直线加速器机房东侧为楼梯、室外道路，南侧为过道，西侧为控制室、辅助机房，北侧为食堂粗加工间，上方为食堂加工间，下方为土层。CT 模拟定位机房东侧为控制室，南侧为室外、更衣室，西侧为室外，北侧为走廊，上方为楼梯间，下方为土层。徐州医科大学附属医院本部 10 号楼 1 楼~2 楼平面布置及周围环境示意图见附图 3~附图 4。

本次改建医用直线加速器及 DSA 项目周围 50m 评价范围均位于医院边界内。项目运行后的环境保护目标主要为本项目辐射工作人员、医院内的其他医护人员、病患、陪

同家属及其他公众等。

三、原有核技术利用项目许可情况

徐州医科大学附属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[01318]，见附件5），有效期至：2028年10月12日，许可种类和范围为“使用I类、II类、III类、V类放射源；使用II类、III类射线装置；生产、使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所”。医院已开展的核技术利用项目均已履行环保手续（见附件4），无环保遗留问题。

四、实践正当性分析

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

表 2　放射源

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

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

表 3　非密封放射性物质

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

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

表 4　射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量（MeV）	额定电流（mA）/剂量率（Gy/h）	用途	工作场所	备注
1	医用直线加速器	II 类	1 台	Halcyon	电子	X 线能量：6MV CBCT：150kV/630mA	800cGy/min	放射治疗	本部 10 号楼 1 楼医用直线加速器机房	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

（二）X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压（kV）	最大管电流（mA）	用途	工作场所	备注
1	DSA	Ⅱ类	2 台	Unique FD20	125	1000	医疗诊断，介入治疗	本部 10 号楼 1 楼 1 号、2 号机房	/
2	CT 模拟定位机	III类	1 台	未定	140	800	影像诊断	本部 10 号楼 1 楼 CT 模拟定位机房	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

（三）中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压（kV）	最大靶电流（μA）	中子强度（n/s）	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度（Bq）	贮存方式	数量	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 5　废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
臭氧、氮氧化物	气态	/	/	少量	少量	/	不暂存	通过排风系统排入外环境，臭氧在常温下约 50 分钟可自行分解为氧气。
介入手术时产生的医用器具和药棉、纱布、手套等医用辅料	固态	/	/	约 20kg	约 240kg	/	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
/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m^3；年排放总量用 kg。

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

表 6　评价依据

法规文件	（1）《中华人民共和国环境保护法》，1989年12月26日第七届全国人民代表大会常务委员会第十一次会议通过，2014年4月24日第十二届全国人民代表大会常务委员会第八次会议修订，中华人民共和国主席令 第九号； （2）《中华人民共和国环境影响评价法》，中华人民共和国主席令 第七十七号，2002年10月28日发布，根据2016年7月2日第十二届全国人民代表大会常务委员会第二十一次会议《关于修改〈中华人民共和国节约能源法〉等六部法律的决定》第一次修正，根据2018年12月29日第十三届全国人民代表大会常务委员会第七次会议《关于修改〈中华人民共和国劳动法〉等七部法律的决定》第二次修正； （3）《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国主席令 第六号，2003年10月1日起实施； （4）《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令 第449号，2005年12月1日起施行；2019年修改，国务院令 第709号，2019年3月2日施行； （5）《建设项目环境保护管理条例》，中华人民共和国国务院令 第253号，1998年11月29日发布，根据2017年7月16日《国务院关于修改〈建设项目环境保护管理条例〉的决定》（中华人民共和国国务院令 第682号）修订； （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），生态环境部令 第20号，2021年1月4日起施行； （7）《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021年版），生态环境部令第16号，2021年1月1日起施行； （8）《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环保部令 第18号，2011年5月1日起施行； （9）《关于发布〈射线装置分类〉的公告》，环境保护部、国家卫生和计划生育委员会，公告2017年 第66号，2017年12月5日起施行； （10）《江苏省辐射污染防治条例》（2018年修正本），江苏省第十三届人民代表大会常务委员会第二次会议第2号公告，2018年5月1日起实施；

	（11）《关于发布〈建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法〉配套文件的公告》，生态环境部公告 2019年 第38号，2019年10月25日发布； （12）《关于启用环境影响评价信用平台的公告》，生态环境部公告 2019年 第39号，2019年10月25日发布； （13）《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部公告 2019年 第57号，2019年12月24日发布； （14）《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部令 第9号，2019年11月1日起施行； （15）《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； （16）《江苏省生态环境厅关于印发辐射安全许可证办理等工作程序和规范的通知》，苏环规〔2019〕4号，2019年12月10日起施行； （17）《江苏省政府关于印发江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》，苏政发〔2020〕49号，2020年6月21日发布； （18）《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； （19）《江苏省辐射事故应急预案》（2020年修订版），苏政办函〔2020〕26号，2020年2月19日发布； （20）《省政府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。
技术标准	（1）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）； （2）《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB 8999-2021）； （3）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）； （4）《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）； （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）； （6）《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）； （7）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）； （8）《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）；

	（9）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）； （10）《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）； （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）； （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）。
其他	**附图：** （1）徐州医科大学附属医院改建医用直线加速器及 DSA 项目地理位置示意图； （2）徐州医科大学附属医院总平面及周围环境示意图； （3）徐州医科大学附属医院本部 10 号楼 1 楼平面布置图（改建前）； （4）徐州医科大学附属医院本部 10 号楼 1 楼平面布置图（改建后）； （5）徐州医科大学附属医院本部 10 号楼 2 楼平面布置图。 **附件：** （1）项目委托书； （2）射线装置使用承诺书； （3）本项目机房防护设计情况； （4）医院现有核技术项目利用一览表； （5）辐射安全许可证正副本； （6）医院原有项目环评批复、验收、退役相关手续； （7）本项目辐射工作人员个人剂量检测报告； （8）医院辐射安全管理规章制度； （9）本项目辐射环境现状监测报告； （10）本项目江苏省生态环境分区管控综合查询报告书。

表 7　保护目标与评价标准

评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）中“放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，甲级取半径 500m 的范围，乙、丙级取半径 50m 的范围。放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”的规定，结合本项目的特点，确定本项目评价范围为本次改建医用直线加速器及 DSA 项目工作场所实体屏蔽体边界外周围 50m 范围内区域，评价范围详见附图 2。

保护目标

本项目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）、《江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案》（苏政发〔2020〕49 号）要求，经江苏省生态环境厅江苏省生态环境分区管控综合服务系统查询，本项目所在地块位于泉山区中心城区重点管控单元（编码：2025722153704）内，不在徐州市生态保护红线内，评价范围内均不涉及优先保护单元和一般管控单元。对照《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ 19-2022），本项目评价范围内不涉及受影响的重要物种、生态敏感区以及其他需要保护的物种、种群、生物群落及生态空间等生态保护目标。

本项目周围 50m 评价范围均位于本部院区边界内。项目运行后的环境保护目标主要为本项目辐射工作人员、医院内的其他医护人员、病患、陪同家属及其他公众等。详见表 7-1。

表 7-1-1 本项目保护目标一览表（医用直线加速器）

[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

[redacted]

表 7-1-2 本项目保护目标一览表（CT 模拟定位机）

[redacted]

	[redacted]	[redacted]			[redacted]	
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	

表 7-1-3 本项目保护目标一览表（DSA）

[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	

	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	

注：本项目医用直线加速器、CT 模拟定位机房与 DSA 工作场所均位于 10 号楼 1 楼，保护目标均为地面建筑，本项目工作场所与保护目标最近距离保守取其水平距离。

评价标准

一、剂量限值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）：

工作人员职业照射和公众照射剂量限值

对象	要求
职业照射剂量限值	应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值： ①由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量，20mSv ②任何一年中的有效剂量，50mSv ③眼晶体的年当量剂量，150mSv ④四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv
公众照射剂量限值	实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过下述限值： ①年有效剂量，lmSv； ②特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 lmSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv。

二、剂量约束值

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）“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”标准要求，确定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。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）附录 B 的要求并结合本项目特点，确定 DSA 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。

三、关注点周围剂量当量参考控制水平

（一）根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）：

1、使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子（可依照附录 A 选取），由以下周剂量参考控制水平（$\dot{H}_c$）求得关注点的导出剂量率参考控制水平$\dot{H}_{c,d}$（μSv/h）：

机房外辐射工作人员：$\dot{H}_c$≤100μSv/周；

机房外非辐射工作人员：$\dot{H}_c$≤5μSv/周。

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

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

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

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

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

根据本项目医用直线加速器周开机治疗时间，导出得到机房外 30cm 处的辐射剂量率控制水平，见表 7-2：

表 7-2 医用直线加速器机房外 30cm 处的周围剂量当量率参考控制水平

[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

注：1）医用直线加速器机房参考点点位布设详见图 11-1；

2）居留因子取自《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）表 A.1；

3）根据医院提供的工作量，本项目医用直线加速器投入使用后，预计日接诊量最大 40 人次，周工作 5 天，患者治疗照射时间平均按 3min 计，则周出束运行时间为 10h；

4）$H_{c,d}$ 为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（机房外辐射工作人员周剂量参考控制水平≤100μSv/周，机房外非辐射工作人员周剂量参考控制水平≤5μSv/周）求得的关注点的导出剂量率参考控制水平；$H_{c,max}$ 为按照关注点人员居留因子的不同确定的关注点的最高剂量率参考控制水平（人员居留因子 T＞1/2 的场所：$H_{c,max}$≤2.5μSv/h，人员居留因子 T≤1/2 的场所：$H_{c,max}$≤10μSv/h）；H_c 为同时满足 $H_{c,d}$、$H_{c,max}$ 所确定的

剂量率参考控制水平。

（二）根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）：

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）“6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：a）具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h；测量时，X 射线设备连续出束时间应大于仪器响应时间；c）具有短时、高剂量率曝光的摄影程序（如 DR、CR、屏片摄影）机房外的周围剂量当量率应不大于 25μSv/h，当超过时应进行机房外人员的年有效剂量评估，应不大于 0.25mSv”的要求，确定本项目 DSA 机房、CT 模拟定位机房外的周围剂量当量率参考控制水平为：距机房墙体、门、观察窗表面外 30cm 处、顶棚上方（楼上）距顶棚地面 100cm 处的辐射剂量率目标控制值均为 2.5μSv/h。

四、其他标准

《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《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）、《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）、《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）。

五、辐射环境质量现状检测评价参考值：

根据《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）确定本项目建设址的辐射环境质量现状检测评价参考值，见下表。

江苏省环境天然 γ 辐射水平（单位：nGy/h）

	原野剂量率	道路剂量率	室内剂量率
测值范围	33.1~72.6	18.1~102.3	50.7~129.4
均值	50.4	47.1	89.2
标准差（s）	7.0	12.3	14.0

注：[*]测量值已扣除宇宙射线响应值，现状评价时，取测值范围数值：即原野为（33.1～72.6）nGy/h；道路为（18.1～102.3）nGy/h；室内为（50.7～129.4）nGy/h。

六、参考资料：

《辐射防护导论》，方杰主编。

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

徐州医科大学附属医院本部位于徐州市泉山区淮海西路 99 号，医院东侧为立德路，南侧为江苏省徐州市第五中学，西侧为西安南路，北侧为淮海西路。

本次改建医用直线加速器及 DSA 项目位于医院本部 10 号楼 1 楼，10 号楼东侧隔院内道路为 7 号楼，南侧隔院内道路为高压氧仓楼、9 号楼，西侧隔院内道路为 11 号楼，北侧隔院内道路为 12 号楼。2 座 DSA 机房东侧为楼梯，南侧为室外道路，西侧为排烟机房、DSA6 室及其设备间，北侧为控制室，上方为食堂，下方为土层。医用直线加速器机房东侧为楼梯、室外道路，南侧为过道，西侧为控制室、辅助机房，北侧为食堂粗加工间，上方为食堂加工间，下方为土层。CT 模拟定位机房东侧为控制室，南侧为室外、更衣室，西侧为室外，北侧为走廊，上方为楼梯间，下方为土层。

本次改建医用直线加速器及 DSA 项目周围 50m 评价范围均位于医院边界内。项目运行后的环境保护目标主要为本项目辐射工作人员、医院内的其他医护人员、病患、陪同家属及其他公众等。本项目周边环境见图 8-1 至图 8-4。

二、辐射环境现状调查

根据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）相关方法和要求，在进行环境现场调查时，于本次改建医用直线加速器及 DSA 项目拟建址周围进行布点，测量本底辐射剂量率。监测结果见表 8-1，监测点位示意图见图 8-5。

监测单位：南京瑞森辐射技术有限公司

监测项目：γ辐射剂量率

检测仪器：6150AD6/H+6150AD-b/H 型 X-γ辐射监测仪（设备编号：NJRS-126，检定有效期：2023 年 10 月 30 日～2024 年 10 月 29 日，检定单位：江苏省计量科学研究院，检定证书编号：Y2023-0173796）

能量范围：20keV～7MeV

测量范围：1nSv/h～99.9μSv/h

监测日期：2024 年 8 月 9 日

天气：阴

温度：31℃

湿度：76%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检验检测机构资质认定（证书编号：221020340350，检测资质见附件 9），具备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，监测仪器经过检验检测部门资质检定，并在有效期内，监测仪器使用前经过检验，监测报告实行三级审核。

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

评价方法：参照江苏省环境天然γ辐射剂量水平调查结果，评价项目周围的辐射

环境质量。

表 8-1 改建医用直线加速器及 DSA 项目拟建址周围 γ 辐射水平

[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

注：上表数据已扣除检测仪器宇宙射线响应。环境 γ 辐射剂量率测量结果按照《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）中公式$\dot{D} = C_f\left(E_f\dot{X} - \mu_c\dot{X_c}'\right)$计算，其中，$C_f$为仪器量程检定/校准因子；$E_f$为仪器检验源效率因子；$\dot{X}$为现场监测时仪器 n 次读数的平均值；μ_c为建筑物对宇宙射线带电粒子和光子的屏蔽因子，楼房取值为 0.8，平房取值为 0.9，原野、道路取值为 1；$\dot{X_c}'$为测点处仪器对宇宙射线的响应值，本仪器的宇宙射线响应值为 30nGy/h。

由表 8-1 监测结果可知，徐州医科大学附属医院改建医用直线加速器及 DSA 项目拟建址周围环境 γ 辐射剂量率在（56~82）nGy/h 之间，位于江苏省建筑物室内 γ 辐射

（空气吸收）剂量率本底水平（50.7~129.4）nGy/h 范围；道路环境天然 γ 辐射剂量率为（36~70）nGy/h，位于江苏省道路 γ 辐射（空气吸收）剂量率本底水平（18.1~102.3）nGy/h 范围内。

表 9　项目工程分析与源项

工程设备与工艺分析

一、放疗科项目

（一）医用直线加速器项目

1、工程设备

徐州医科大学附属医院拟在本部 10 号楼 1 楼 1 座医用直线加速器机房内新增 1 台 Halcyon 型医用直线加速器，兼具医用直线加速器（X 射线能量：6MV，X 线最高剂量率：800cGy/min）治疗和 CBCT（最大管电压为 150kV，最大管电流为 630mA）图像引导功能，用于开展肿瘤的放射治疗。本项目医用直线加速器外观见图 9-1。

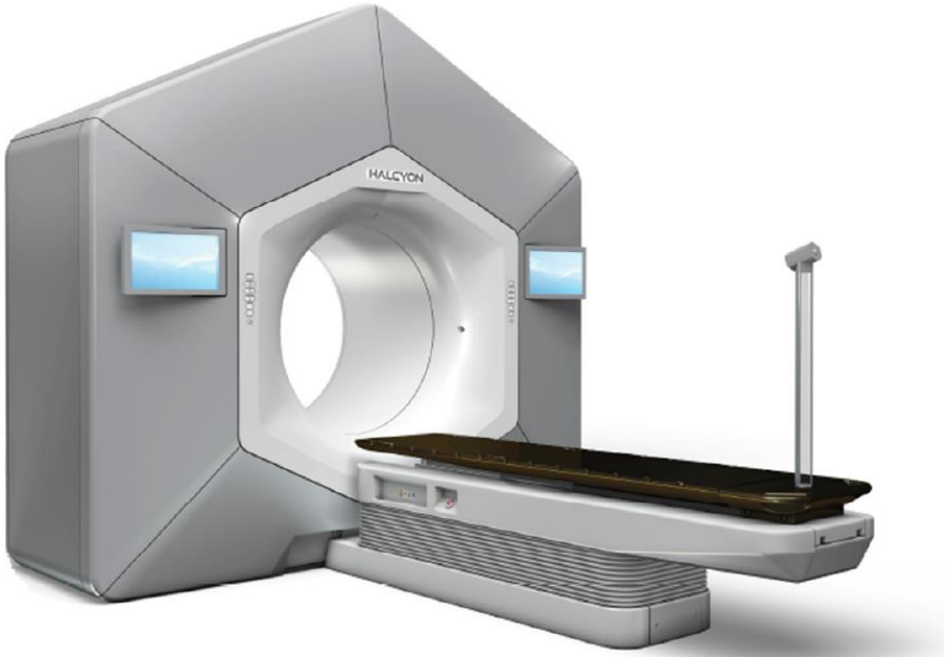


图 9-1 本项目医用直线加速器外观图

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。

Halcyon 型医用直线加速器主要的设备组成与普通医用电子直线加速器相似，通常是以磁控管为微波功率源的驻波型直线加速器，主要由三大部分组成，即电子发射

单元，电子加速单元和电子束引出单元，它的结构单元为：加速管、电子枪、微波系统、调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统和控制保护系统。其机架运动方式为顺时针或逆时针 360° 单圈旋转，运动轨迹随机架旋转绕圆环中心处旋转，自屏蔽铅块位于靶点对侧，运动方式为绕圆环中心旋转而旋转，Halcyon 型医用直线加速器系统示意图见图 9-2，自屏蔽设计示意图见图 9-3。

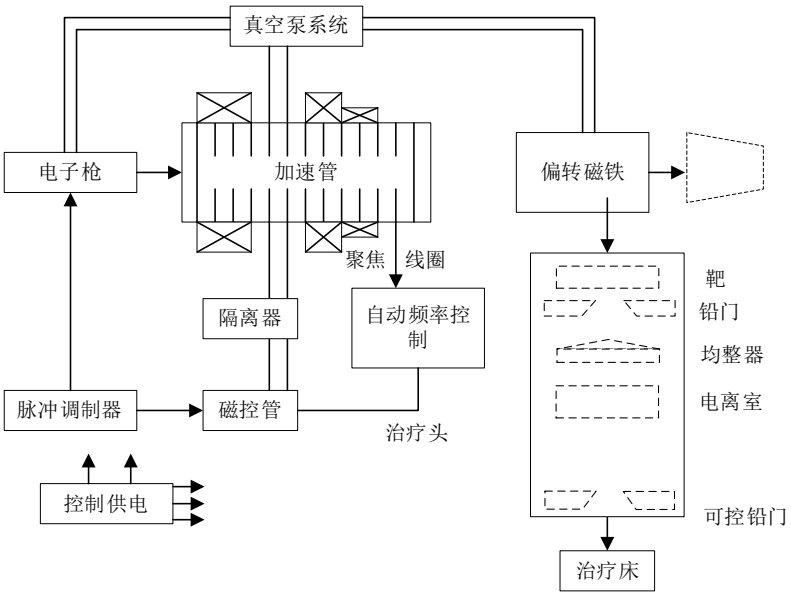


图 9-2 Halcyon 型医用直线加速器系统示意图

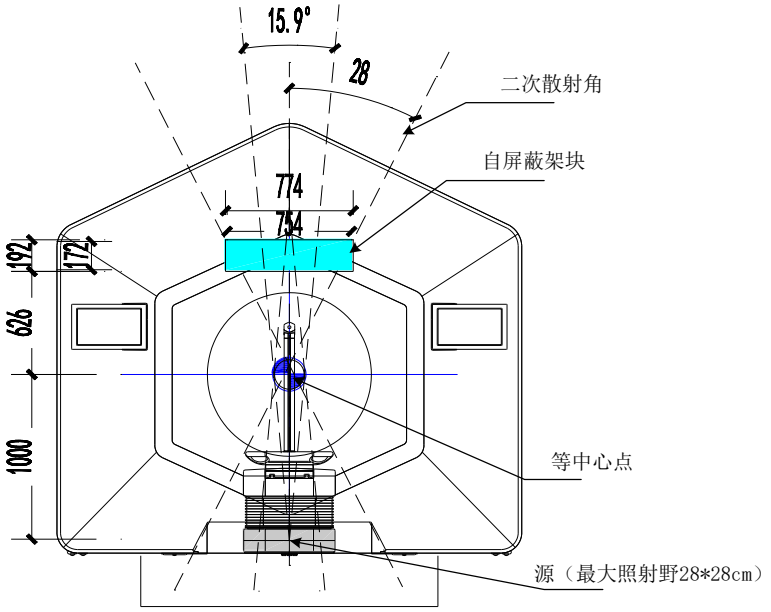
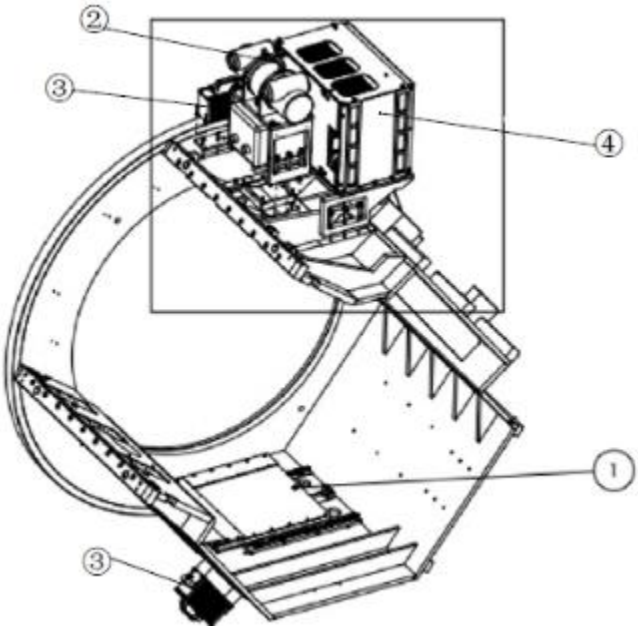


图 9-3 Halcyon 型医用直线加速器自屏蔽设计示意图

CBCT 图像引导系统采用治疗床，将患者固定，用十字激光灯对患者位置进行初始定位，确定治疗床坐标，将 CT 图像中病灶的坐标转换到本系统的坐标系中。在治疗前，

通过图像引导定位装置进行摆位验证，和治疗床各轴的微动来调整患者的姿态，以确保放射治疗前靶区的准确性。CBCT 图像引导系统主要部件包括：kV 级影像平板、X 射线球管、影像光阑、高压发生器。CBCT 图像引导系统示意图见图 9-4。



①kV 级影像平板及其驱动组件 ②X 射线球管组件 ③平板探测器电源模块 ④高压发生器组件

图 9-4 CBCT 图像引导系统示意图

医院拟引进的 Halcyon 型医用直线加速器主要技术参数见表 9-1。

表 9-1 本项目医用直线加速器技术参数情况一览表

[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]

[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]

注：*本项目 Halcyon 型医用直线加速器技术参数由建设单位设备供货商提供。

本项目 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。

2、工作原理及工作流程

（1）工作原理

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

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

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 28cm×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。该类型直线加速器自带自屏蔽系统（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。

（2）工作流程

医用直线加速器工作流程及产污环节分析见图 9-5，其工作流程如下：

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

②放疗医师根据医学影像临床诊断资料，提出放射治疗方案和精确治疗计划；

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

④技师确认治疗室内无其他人员滞留，确认各类按钮工作正常后，关闭防护门；

⑤技师在控制室内使用 CBCT 图像引导系统模块对病灶进行扫描，并与放射治疗模拟机扫描图像做对比，校准摆位精度后，按照医疗方案设置参数，调整好出束时间、角度、剂量，然后进行出束治疗（CBCT 图像引导系统模块与医用直线加速器不同时出束）。治疗过程中，会产生 X 射线，治疗室内的空气会电离产生臭氧和氮氧化物；

⑥治疗结束后，停止出束，解除定位，关闭系统，患者离开治疗室。

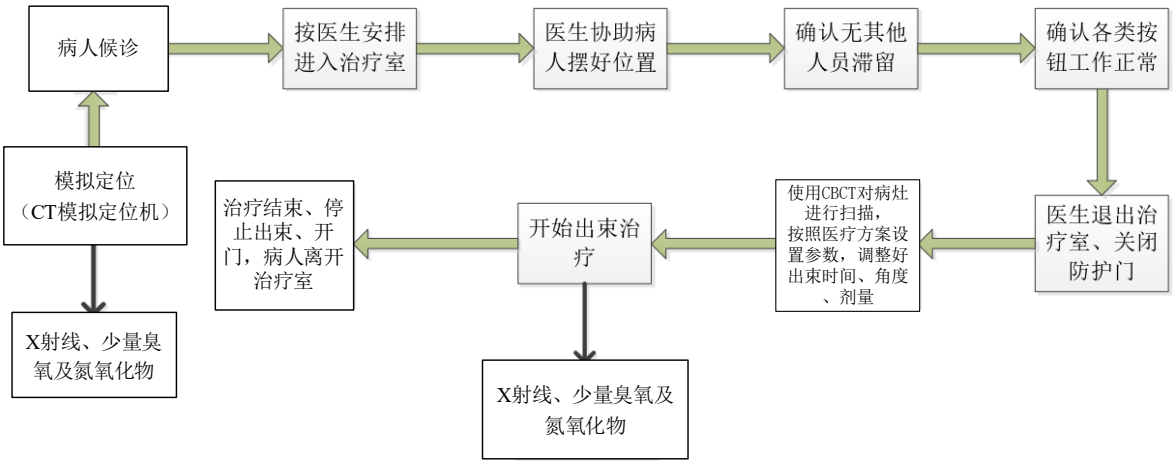


图 9-5 医用直线加速器放疗工作流程及产污环节示意图

（二）CT 模拟定位机项目

1、工程设备

医院拟于 10 号楼 1 楼新增 1 台 CT 模拟定位机（型号未定，最大管电压 140kV，最大管电流 800mA）用于模拟定位，配合医用直线加速器开展放射治疗。常见的 CT 模拟定位机外观如图 9-6 所示。

图 9-6 常见 CT 模拟定位机外观示意图

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

CT 模拟定位机的机架旋转、机头转动、限束器开闭、距离指示、照射野指示、治疗床各部分运动，都与放疗设备一样，因此它能准确地模拟放疗设备的一切机械运动。并通过模拟定位机的 X 线影像系统准确定出肿瘤的照射位置、照射面积、肿瘤深度、等中心位置等几何参数，以及机架旋转、机头旋转角度、源瘤距、源皮距、限束器开度、升床高度等机械参数，为治疗摆位提供了有力的依据，确保放射治疗的正确实施。

本项目拟配备的模拟定位机主要技术参数见表 9-2。

表 9-2 本项目模拟定位机技术参数情况一览表

项目	技术参数
设备	CT 模拟定位机
型号	未定
位置	本部 10 号楼 1 楼 CT 模拟定位机机房
额定管电压	140kV
额定管电流	800mA

2、工作原理及工作流程

（1）工作原理

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

CT 模拟定位机等 X 射线诊断装置主要由 X 射线管和高压电源组成。X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成，阴极是钨制灯丝，它装在聚焦杯中，当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。高电压加在 X 射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度，这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡从而产生 X 射线。X 射线管基本结构如图 9-7 所示。

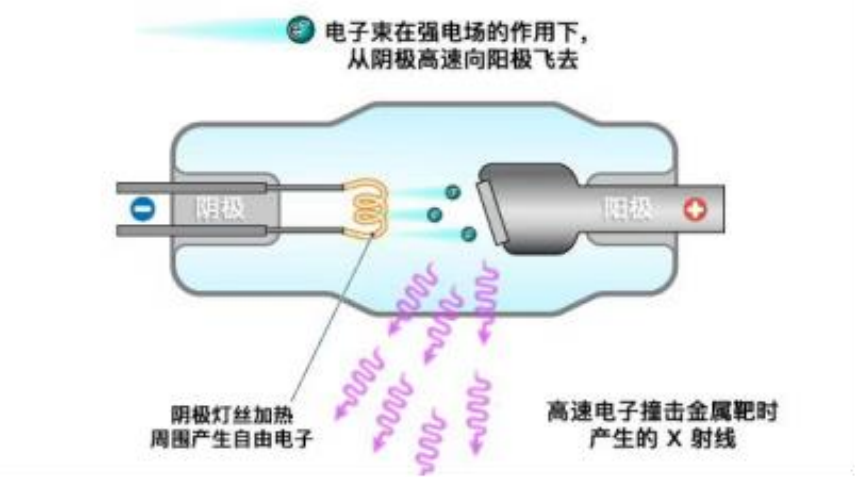


图 9-7 X 射线管基本结构示意图

CT 模拟定位机的机架旋转、机头转动、限束器开闭、距离指示、照射野指示、治疗床各部分运动，都与放射治疗机一样，因此它能准确地模拟放射治疗机的一切机械运动。并通过 CT 模拟定位机的 X 线影像系统准确定出肿瘤的照射位置、照射面积、肿瘤深度、等中心位置等几何参数，以及机架旋转、机头旋转角度、源瘤距、源皮距、限束器开度、升床高度等机械参数，为治疗摆位提供了有力的依据，确保放射治疗的正确实施。

2、工作流程

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

CT 模拟定位机诊断流程及产污环节见图 9-8。

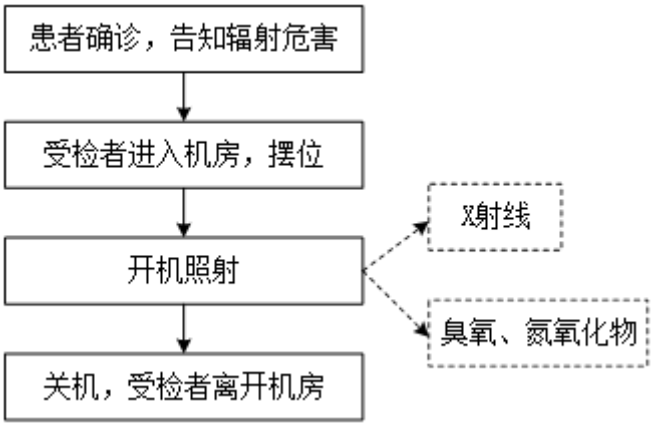


图 9-8 CT 模拟定位机工作流程及产污环节示意图

（三）工作负荷及人员配置

医用直线加速器日接诊量最大为 40 人次，患者治疗照射时间平均按 3min 计，每台设备年出束运行时间为 500h，医院为本项目医用直线加速器配备 2 名医师，2 名技师，1 名物理师，为 CT 模拟定位机项目配备 1 名医师，1 名技师，为医院原有工作人员，不兼职其他辐射工作，人员年工作 250 天。

二、DSA 项目

（一）工程设备

徐州医科大学附属医院拟将本部 10 号楼 1 楼伽玛刀机房改建为 2 间 DSA 机房，同时将 10 号楼 1 楼 DSA6 室和 DSA7 室原先使用的 2 台 DSA 设备搬迁至上述 2 间机房内，用于开展介入诊疗。

DSA 因其整体结构像大写的“C”，因此也称作 C 形臂 X 光机，DSA 由 X 射线发生装置（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 DSA 外观示意图 9-9，本项目配备的 DSA 主要设备技术参数见表 9-3，配套设备配置情况见表 9-4。

图 9-9 本项目 DSA 外观图

表 9-3 本项目 DSA 主要设备技术参数

[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]

注：*设备型号、技术参数由建设单位及供货商提供。

表 9-4 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

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 是通过电子计算机进行辅助成像的血管造影方法，是应用计算机程序进行两次成像完成的。在注入造影剂之前，首先进行第一次成像，并用计算机将图像转换成数字信号储存起来。注入造影剂后，再次成像并转换成数字信号。两次数字相减，消除相同的信号，得到一个只有造影剂的血管图像。这种图像较以往所用的常规血管造影所显示

的图像更清晰和直观，一些精细的血管结构亦能显示出来。且对比度分辨率高，减去了血管以外的背景，尤其使与骨骼重叠的血管能清楚显示；由于造影剂用量少、浓度低、损伤小、较安全，节省胶片使造影价格低于常规造影。通过医用血管造影 X 射线机处理的图像，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 9-10。

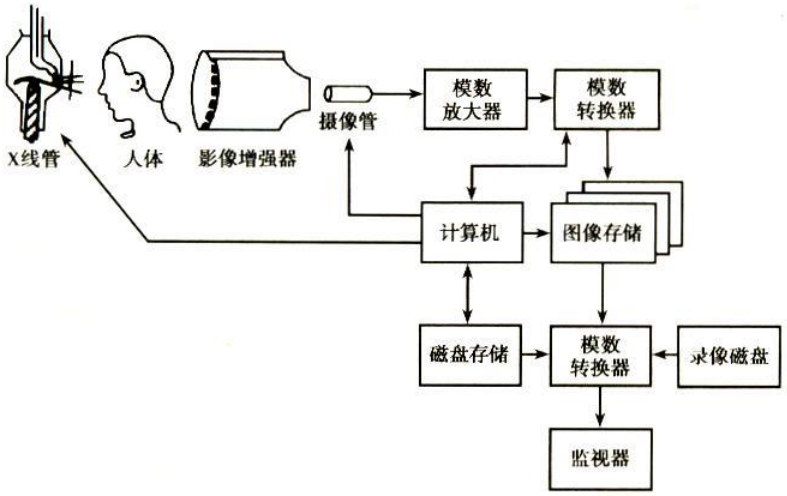


图 9-10 DSA 系统结构图

DSA 是引导介入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、工作流程及产污环节分析

本项目 DSA 在进行曝光时分为两种情况：

（1）医疗诊断

DSA 检查（诊断）采用是根据采集的造影部位图像，对患者病变部位进行诊断，以选择合适的治疗方案。具体方式是受检者位于检查床上，医护人员指导患者摆位并调整 X 射线球管、人体、影像接收器三者之间的距离，然后进行出束摄影，获取底片；下一步为患者注射造影剂、出束摄影或透视，获取样片。计算机将样片信号减去底片信号后，得到仅显示造影剂分布的图像，即血管图像。医护人员根据该图像识别、判断患者病变的具体部位、病变程度及类型，以选择合适的治疗方案。

（2）介入治疗

介入治疗是医师、护士在 DSA 出束曝光条件下，根据影像引导，为患者实施如血管扩张、清淤、送入支架等治疗操作。具体方式是受检者位于检查床上，医护人员指导患者摆位并调整 X 射线球管、人体、影像接收器三者之间的距离，然后进行出束曝光，获取底片；下一步为患者注射造影剂，再次出束曝光，获取样片。计算机将样片信号减去底片信号后，得到仅显示造影剂分布的图像，即血管图像。介入治疗手术过程中，DSA 间歇多次出束透视，获取手术过程中的动态图像，医护人员根据图像引导完成治疗操作。

DSA 的产污环节分析：

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 9-11。

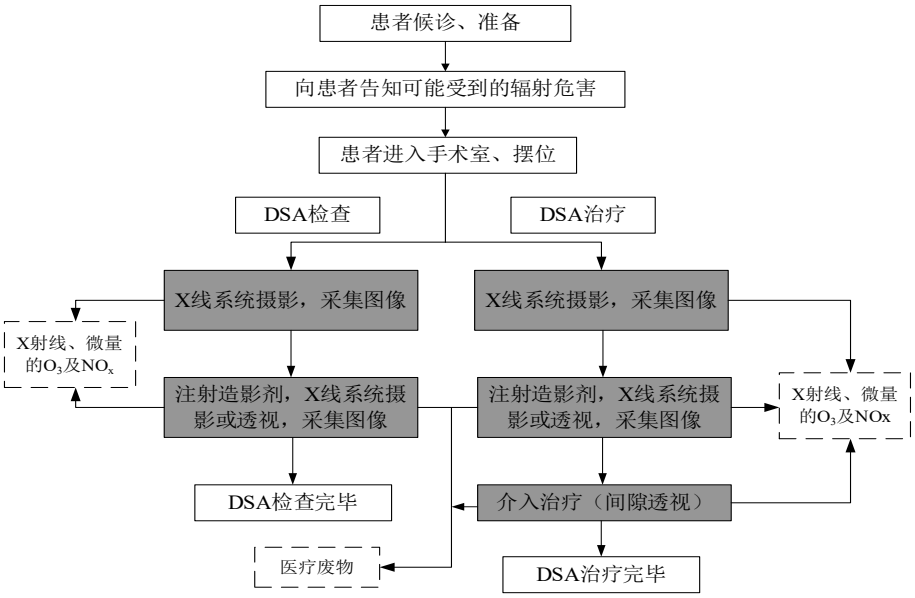


图 9-11 本项目 DSA 工作流程及产污环节示意图

3、工作负荷及人员配置

根据医院提供的资料，本项目 DSA 的工作负荷情况见表 9-5。

表 9-5 本项目配备的 2 台 Unique FD20 型 DSA 总计工作负荷

[redacted]			
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

[redacted]	[redacted]		[redacted]		[redacted]
[redacted]	[redacted]		[redacted]		[redacted]
[redacted]					
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]					[redacted]

本项目 2 台 DSA 劳动定员共计 18 人，其中医师 12 人（第一术者位 9 人，第二术者位 3 人，为 2 台 DSA 共用人员，计划 2 人一组，采用轮岗制度，平均每位医师年接触射线时间不超过 60.2h），技师 2 人（平均每人年接触射线时间不超过 365.7h），护士 4 人（保守按照技师的接触时间计算，平均每人年接触射线时间不超过 182.9h），辐射工作人员年工作 250 天，为医院原有辐射工作人员。

项目开展后，护士在透视模式下主要承担在控制室隔室观察患者、记录手术情况的工作，少部分时间承担同室在铅屏风后传递医疗器械及辅助医生手术的工作，摄影模式下，护士在控制室隔室观察患者、记录手术情况；技师在透视模式和摄影模式下均位于控制室隔室操作；医生在透视模式下同室对患者进行手术操作，摄影模式下在控制室隔室观察患者情况，操作方式既有同室操作又有隔室操作。DSA 机房内和机房外辐射工作不进行轮换，不兼职其他辐射工作。今后医院根据开展项目的实际情况做适当调整。

污染源项描述

一、放射性污染

（一）放疗科项目

1、医用直线加速器项目

（1）X 射线外照射：医用直线加速器以 X 射线模式运行时，从加速器电子枪里发出来的电子束，在加速管内经加速电压加速，轰击到钨金靶上，产生 X 射线。发射出来的 X 射线主要用于治疗，治疗剂量与剂量率的大小、加速器电子能量、受照射的

靶体材料、电子束流强度、电子入射方向、考察点到源的距离等因素有关。

本项目拟配备的医用直线加速器 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：本项目医用直线加速器只产生 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≤10MV 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。

2、CT 模拟定位机项目

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

CT 模拟定位机在工作状态下会产生 X 射线，拟配置的 1 台 CT 模拟定位机最大管电压 140kV、最大管电流 800mA，产生的 X 射线会对患者和医务人员有一定的附加辐射剂量。

（二）DSA 项目

DSA 在工作状态下会发出 X 射线，配置的 2 台 DSA 最大管电压为 125kV、最大管电流为 1000mA，其主要用作血管造影检查及配合介入治疗，由于存在影像增强器，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。而介入治疗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 的有用线束的射线能量、强度与 X 射线管靶物质、管电压、管电流有关。DSA 具有自动照射量控制调节功能（AEC），摄影时，如果受检者体型偏瘦，功率自动降低，照射量率减小；如果受检者体型较胖，功率自动增强，照射量率增大。为了

防止球管烧毁并延长其使用寿命，实际使用时，管电压和管电流通常留有一定的裕量。根据医院提供资料，当 DSA 运行管电压为额定电压的极端情况时，透视模式下的电流不大于 100mA，摄影模式下的电流不大于 500mA；DSA 正常运行时，透视模式的工况为（60～80）kV/（5～20）mA，摄影模式的工况为（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 过滤装置采用束光器自带 2.5mmAl 过滤片+附加过滤器，按照过滤材料为 2.5mmAl 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 5mGy・m^2/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 100cm^2 的面积上或者在离管或源壳 5cm 处的 10cm^2 面积上进行平均测量），以及《医用电气设备 第 1-3 部分：基本安全和基本性能的通用要求 并列标准：诊断 X 射线设备的辐射防护》（GB 9706.103-2020）中 12.4 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。

二、非放射性污染

（一）废气

医用直线加速器、CBCT、DSA、CT 模拟定位机出束时，会使机房内的空气产生电离，产生臭氧和氮氧化物。

（二）废水、固体废物

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

表 10　辐射安全与防护

项目安全措施

一、工作场所布局及分区

（一）放疗科项目

1、医用直线加速器项目

本项目 1 座医用直线加速器机房位于 10 号楼 1 楼，周围无儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中关于选址与布局的规定。

本项目 1 座医用直线加速器机房东侧为楼梯、室外道路，南侧为过道，西侧为控制室、辅助机房，北侧为食堂粗加工间，上方为食堂加工间，下方为土层。

医用直线加速器机房控制室与治疗室分离，机房内设置“L”型迷道，迷道口设有防护门；有用线束仅向东墙、西墙、地面及屋顶照射，不直接朝控制室和其他居留因子较大的用室照射。医用直线加速器机房布局符合《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）中“治疗装置控制室应与治疗机房分离”、“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）拟将屏蔽产生射线的医用直线加速器机房治疗室、迷道作为辐射防护控制区，拟将与医用直线加速器机房相邻的控制室、辅助房间、防护门外 0.5m 范围内作为辐射防护监督区。本项目医用直线加速器机房辐射防护分区的划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于辐射工作场所的分区规定要求。本项目医用直线加速器机房平面布置及分区示意图见图 10-1。

2、CT 模拟定位机项目

本项目拟于 10 号楼 1 楼新建 1 座 CT 模拟定位机房，配备 1 台 CT 模拟定位机（型号未定，最大管电压 140kV，最大管电流 800mA），用于模拟定位，配合医用直线加速器开展放射治疗。CT 模拟定位机房东侧为控制室，南侧为更衣室、室外，西侧为室外，北侧为走廊，下方为土层，上方为楼梯间。CT 模拟定位机控制室与诊断机房

分开单独布置，区域划分明确，项目布局合理。

本项目拟将 CT 模拟定位机所在机房内部作为辐射防护控制区，与机房相邻的控制室、防护门外 0.5m 范围内划为监督区。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。CT 模拟定位机房平面布置及分区见图 10-2。

（二）DSA 项目

本项目 2 座 DSA 机房东侧为楼梯，南侧为室外道路，西侧为排烟机房、DSA6 室及其设备间，北侧为控制室，上方为食堂，下方为土层。

本项目 2 台 DSA 配套独立用房，DSA 机房与控制室分开单独布置，区域划分明确，平面和空间布局合理，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中关于选址与布局的规定。

本项目将 DSA 所在机房（含机房内的设备间）作为辐射防护控制区，拟将与机房相邻的控制廊划为监督区。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。本项目 DSA 机房平面布置及分区示意图与患者、医护人员及污物路线示意图见图 10-3。

二、辐射工作场所分区管理

关于控制区与监督区的防护手段与安全措施，建设单位应做到：

一、控制区防护手段与安全措施

（一）在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的、符合 GB 18871-2002 附录 F（标准的附录）规定的警告标志，并给出相应的辐射水平和污染水平的指示；

（二）运用行政管理程序和实体屏障（包括门锁和联锁装置）限制进出控制区；

（三）制定辐射防护与安全措施，包括适用于控制区的规则和程序；

（四）在进入控制区有个人防护用品、工作服等；

（五）定期审查控制区的实际状况，以确保是否有必要改变该区的防护手段安全措施或该区的边界。

二、监督区防护手段与安全措施

（一）在监督区的入口处的适当地点设立监督区标识或电离辐射警告标志；

（二）无实体边界的监督区应采用适当的手段（如警示线）划出监督区的边界；

（三）定期检查该区的条件，运行期间应加强对该区域的验收监测、日常监测和年度监测，以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界。

三、辐射防护屏蔽设计

（一）放疗科项目

1、医用直线加速器项目

本项目 1 座医用直线加速器机房采用混凝土浇筑结构，治疗室东西长 8.4m、南北长 9.58m、净面积为 80.47m^2（含迷道），机房顶部屏蔽内表面至地面约 3.35m（装饰面层下机房高 2.95m），设置“L”型迷道，迷道横宽 1.3m，迷道口设有防护门。

具体屏蔽设计参数见表 10-1。

表 10-1 医用直线加速器机房屏蔽设计参数

[redacted]	[redacted]	[redacted]	
		[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted] [redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted] [redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]

	[redacted]	[redacted]	[redacted]

注：1、重晶石混凝土密度不低于 3.5g/cm³，混凝土密度不低于 2.35g/cm³，铅密度为 11.3g/cm³；

2、新增墙体采用 C35 补偿收缩混凝土浇筑，施工前应去除原有建筑面层，新旧混凝土交界处应凿毛处理。采用植筋技术与原有混凝土墙体进行连接；

3、机房内通风穿墙洞为利旧，通风管道为新增。

2、CT 模拟定位机项目

本项目CT模拟定位机机房具体屏蔽设计参数见表 10-2。

表 10-2 本项目 CT 模拟定位机房屏蔽设计参数

[redacted]	[redacted]	[redacted]	
		[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]

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

（二）DSA 项目

本项目 2 座 DSA 机房东西长均为 6.1m（内尺寸）、南北长均为 7.75m（内尺寸，不含机房南侧部分的设备间），机房屏蔽参数见表 10-3。

表 10-3 本项目 2 座 DSA 机房屏蔽设计一览表

[redacted]	[redacted]	[redacted]	
		[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]

注：铅密度为 11.3g/cm³，砼密度不低于 2.35g/cm³

四、辐射安全措施

（一）放疗科项目

1、医用直线加速器项目

（1）电线电缆布设

医用直线加速器机房电缆线穿墙方式采用“U”型穿墙管道，电缆沟上设置刚性盖板，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。本项目医用直线加速器机房门与墙之间的间隙小于 1cm，防护门（平开门）与墙之间的搭接不小于 10cm，可有效防止门缝处射线泄漏。

（3）通风要求

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，进风口拟设置在治疗室西南角、东南角吊顶处，排风口拟设在治疗室东北角、西北角，下沿距治疗室地面 0.3m 高，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”的要求。医用直线加速器机房进排风管道避开主射线方向，射线经多次散射后，进、排风管道进出口处辐射剂量将在控制范围内。废气经排风井内单独管道由 10 号楼楼顶排至室外，排气口位置不设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。

（4）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入口拟设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯，工作状态指示灯与医用直线加速器联锁，防止无关人员逗留和误入。

（5）紧急停机装置

在医用直线加速器机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧、防护门内迷道入口处、控制室控制台及设备壳体上均拟设置急停按钮，急停按钮拟设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，按下急停按钮，即可停止医用直线加速器出束。

（6）紧急开门装置

医用直线加速器机房拟在迷道内设置从室内开启治疗机房门的紧急开门装置，防护门拟设有防挤压功能。

（7）门机联锁装置

医用直线加速器机房拟设置门-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。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

本项目医用直线加速器机房控制室拟设置在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和迷道区域情况的视频装置，摄像头位于机房内，显示器位于控制室内，以便控制室内辐射工作人员能观察到受检者状态及防护门开闭情况，控制室与机房内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

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

2、CT 模拟定位机项目

（1）电离辐射警告标志

机房入口处均拟设置有“当心电离辐射”警告标志和中文警示说明。

（2）工作状态指示灯

患者入口防护门上方均拟设置工作状态指示灯，灯箱上拟设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句，并与机房防护门有效关联。

（3）闭门装置

医护防护门为平开机房门，拟设有自动闭门装置，患者防护门为推拉式机房门，拟设有曝光时关闭机房门的管理措施与防夹装置，防护门关闭的情况下，设备才能出束照射。

（4）急停按钮

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

（5）观察窗与对讲装置

机房控制室侧墙体上设置有观察窗，可有效观察到患者和受检者状态。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。

（6）防护用品

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

（二）DSA 项目

1、电离辐射警告标志

DSA 机房入口处拟设置有电离警告标志和中文警示说明；候诊区应设置辐射防护注意事项告知栏。

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。本项目 DSA 机房患者门为电动推拉式防护门，拟设置防夹和曝光时关闭机房门的管理措施，医护门为平开式防护门，且拟设置自动闭门装置。

3、急停按钮

DSA 的导管床边操作面板自带一个急停按钮并与 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、监控装置和语音对讲装置

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。DSA 机房内的设备间设置监控装置，防止无关人员逗留和误入。

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，其防护能力均不低于 0.5mm 铅当量。

6、人员监护

医院拟为 2 台 DSA 共配备 18 名辐射工作人员，为辐射工作人员配备个人剂量计并定期送检，建立个人剂量监测档案。

7、完善并落实射线装置相关的安全使用制度、管理制度，从事辐射工作的医务人员均须参加辐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，对病人和医务人员来说辐射剂量较高，因此在评估介入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，包括辐射防护的培训，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）所有在介入治疗工作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他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、机器自带的铅吊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、床下吊帘及床上防护屏，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。

徐州医科大学附属医院在落实以上辐射安全措施后，将满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）及《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的相关标准要求。

五、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。

表 10-4 个人防护用品和辅助防护设施配置符合性

[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
		[redacted]	[redacted]	

		[redacted]	[redacted]	[redacted]	
		[redacted]	[redacted]	[redacted]	
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
		[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
		[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

徐州医科大学附属医院已为本部配备辐射巡测仪 1 台、为本项目配备个人剂量报警仪 6 台，拟为本项目医用直线加速器配备固定式剂量监测报警装置 1 套。医院已为 DSA、CT 模拟定位机项目受检者配备相应的防护用品。辐射工作人员工作时将佩戴个人剂量计，以监测累积受照情况。医院拟定期组织辐射工作人员进行健康体检，并将按相关要求建立辐射工作人员个人剂量监测档案和职业健康监护档案。

三废的治理

一、废气

医用直线加速器机房、DSA 机房、CT 模拟定位机房内的空气在 X 射线作用下分解；产生臭氧和氮氧化物，少量臭氧和氮氧化物通过动力排风装置排入大气。

DSA 机房、CT 模拟定位机房内采用上进下出的通风系统，进、排风管道从防护门上方至机房内，进风口与排风口位置拟对角设置。

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

本项目医用直线加速器机房内设有通风装置，采用机械排风方式。机房内采用上进下出的通风系统，进、排风管道从防护门上方至机房内，进风口与排风口位置拟对角设置。医用直线加速器机房排风口拟设在治疗室南侧顶部吊顶处（位于治疗室西南

角、东南角），排风口拟设在治疗室东北角、西北角，下沿距治疗室地面 0.3m 高。废气经管道由 10 号楼楼顶排至室外，排气口位置不设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。10 号楼 1 楼医用直线加速器机房通风设计平面图详见图 10-5。

本项目 1 座医用直线加速器机房治疗室容积约 219.5m^3，其排风机的设计排风量为 2000m^3/h，每小时通风换气次数约为 9.1 次/h，能够满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）及《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中“放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于 4 次/h”的相关要求。

二、废水、固体废物

工作人员和部分患者产生的生活污水，由医院污水处理系统统一处理。工作人员产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理。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分类收集，作为医疗废物由医院统一委托有资质单位进行处置。

表 11　环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本次改建医用直线加速器及 DSA 项目机房建设时主要工作为建筑施工与内饰装潢，将产生施工噪声、扬尘和建筑垃圾污染，建设施工时对环境会产生如下影响：

一、大气：本项目在建设施工期需进行的墙体浇筑等作业，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。

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

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

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

1、医用直线加速器项目

根据建设单位提供的资料，本项目配备的 1 台 Halcyon 型医用直线加速器，主要参数为：X 射线能量：6MV；1m 处输出剂量率：800cGy /min。本项目医用直线加速器具有 CBCT 图像引导功能，主要用于三维成像，其最大管电压为 150kV、最大管电流为 630mA，产生的射线能量远小于 X 射线能量最大为 6MV 的医用直线加速器，故本项目医用直线加速器机房防护条件在满足医用直线加速器屏蔽要求的情况下，机房屏蔽体完全可以满足对 CBCT 开机产生 X 射线的防护。

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，据此进行保守分析可以包络其他运行工况下的辐射环境影响。

本项目医用直线加速器机房的关注点设定如图 11-1

由于 Halcyon 型医用直线加速器有用线束出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，铅板可完全覆盖主射线范围），故本项目设备安装时未考虑机房原有主屏蔽区对主射线范围的覆盖。

（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、屋顶 *l'* 点）

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

ii、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 11-1 计算有效厚度 X_e（cm），按照公式 11-2 计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（μSv/h）。

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

式中：X—设计屏蔽厚度，cm；

θ—斜射角。

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \qquad \text{公式 11-2}$$

式中，TVL_1（cm）和 TVL（cm）为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度，当未指明 TVL_1 时，$TVL_1=TVL$。可根据加速器 X 射线能量查 GBZ/T 201.2-2011 的附录 B 表 B.1。本项目中对应 6MV 的 X 射线能量，混凝土 TVL_1=37cm，TVL=33cm。本项目中，a 点、b 点、l 点相应厚度主屏蔽的 B 值核算见

表 11-1。

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

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，μSv·m²/h，本项目中，对应 6MV 的 X 射线能量，1m 处的常用最高剂量率为 4.80E+08μSv·m²/h；

R—靶点至参考点的距离，m，本项目参考点均为相应墙外 30cm；

f—对有用线束为 1，对泄漏辐射为泄漏辐射比 0.1%。

iii、预测计算结果

将相应主屏蔽厚度得出的辐射屏蔽透射因子 B 值代入，得到相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率（μSv/h），将其与本项目确定的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ 相比，判断机房屏蔽设计是否满足标准要求，计算结果见表 11-1。

的点位。

②与主屏蔽区相连的次屏蔽区屏蔽设计核算（东墙 c_1、c_2 点，西墙 d_1、d_2 点，屋顶 m_1 点）

ⅰ、射线路径（射线类型）：$o_2 \rightarrow o \rightarrow c_1$（散射射线）、$o_1 \rightarrow o \rightarrow c_2$（散射射线）、$o_2 \rightarrow o \rightarrow d_1$（散射射线）、$o_1 \rightarrow o \rightarrow d_2$（散射射线）、$o_3 \rightarrow o \rightarrow m_1$（散射射线）。

$o \rightarrow c_1$（泄漏射线）、$o \rightarrow c_2$（泄漏射线）、$o \rightarrow d_1$（泄漏射线）、$o \rightarrow d_2$（泄漏射线）、$o \rightarrow m_1$（泄漏射线）。

对于位置 c_1 点、c_2 点、d_1 点、d_2 点和 m_1 点，考虑泄漏辐射和散射辐射的复合作用。

ⅱ、泄漏辐射计算模式及参数

泄漏辐射屏蔽，计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 11-2 的 TVL_1 和 TVL 保守取附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，对应 6MV 的 X 射线能量，混凝土 TVL_1=34cm，TVL=29cm。

ⅲ、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 11-1 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 11-2 计算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B_s（其中患者散射辐射在混凝土中的什值层，查表 B.4 知，当散射角 30°时，对于 6MV 射线，患者散射辐射在混凝土中什值层为 26cm），再按照公式 11-4 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率（μSv/h）；

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^{\ 2}} \cdot B \qquad \text{公式 11-4}$$

式中：$\dot{H}_0$—加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的常用最高剂量率，μSv·m²/h，本项目中，1m 处的常用最高剂量率为 4.80E+08μSv·m²/h；

α_{ph} —患者 400cm² 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m（关注点方向）处的剂量比例，又称 400cm² 面积上的散射因子。根据散射线能量和考察点斜射角，查 GBZ/T 201.2-2011 表 B.2。本项目按 6MV、30°取值，为 2.77×10^{-3}。

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

R_s—患者（位于等中心点）至关注点的距离，m。

ⅳ、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 11-2，其中 X_e、R 的取值由 CAD 图纸上读取。

③侧屏蔽墙屏蔽设计核算（东墙 *e* 点、迷路墙外 *f* 点）

ⅰ、射线路径（射线类型）：$o \rightarrow e$（泄漏射线），$o \rightarrow f$（泄漏射线）。

ⅱ、计算模式及参数选择

该区考虑泄漏辐射屏蔽，计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_1 和 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，对应 6MV 的 X 射线能量，混凝土 TVL_1=34cm，TVL=29cm。

ⅲ、预测计算结果

e 点、*f* 点的辐射剂量率预测结果见下表 11-3，其中 X_e、*R* 的取值由 CAD 图纸上读取。

④迷路外墙屏蔽设计核算（迷路外墙 ***k*** 点）

ⅰ、射线路径（射线类型）：$o_1 \rightarrow k$（泄漏射线）。

ⅱ、计算模式及参数选择

本项目有用线束不向迷道内墙照射，该区考虑泄漏辐射屏蔽，计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_1 和 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，对应 6MV

的 X 射线能量，混凝土 TVL_1=34cm，TVL=29cm。

ⅲ、预测计算结果

k 点的辐射剂量率预测结果见下表 11-4，o_1 至 *k* 的泄漏辐射的斜射角较小，通常以 0°垂直入射保守计算，其中 X_e、*R* 的取值由 CAD 图纸上读取。

⑤迷路入口处辐射水平核算（*g* 点）

根据 GBZ/T201.2-2011，*g* 点处同时受到迷道内散射辐射（$o_2 \rightarrow o \rightarrow i \rightarrow g$）及加速器的泄漏辐射 o_2 经迷道内墙屏蔽后在迷道入口 *g* 点的辐射剂量。

ⅰ、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）。

ⅱ、泄漏辐射计算模式及参数选择

*g'*点泄漏辐射剂量核算方法同 *f* 点。

其中 X_e、*R* 的取值由 CAD 图纸上读出，计算结果见表 11-5。

[redacted]

iii、散射辐射计算模式及参数选择

根据 GBZ/T201.2-2011，入口 g 点处的散射辐射剂量率 $\dot{H}_g$ 按公式 11-5 计算。

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \dot{H}_0 \qquad \text{公式 11-5}$$

式中：$\dot{H}_g$—g 处的散射辐射剂量率，μSv/h；

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

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm^2；

α_2—砼墙入射的患者散射辐射（能量见附录 B 表 B.6）的散射因子，通常取 i 处的入射角为 45°，散射角为 0°；α_2 值见附录 B 表 B.6，通常使用其 0.5MeV 栏内的值；

A—i 处的散射面积，m^2；

R_1—“$o \rightarrow i$”之间的距离，m；

R_2—“$i \rightarrow g$”之间的距离，m；

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

表 11-6 迷路入口处的散射辐射剂量率核算值

[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]

[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]

iv、预测计算结果

在给定防护门的铅屏蔽厚度 X（cm）时，防护门外 g 点处的辐射剂量率 $\dot{H}$（μSv/h）按公式 11-6 计算，预测结果见下表 11-7。

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-(X/TVL)} + \dot{H}_{og} \qquad \text{公式 11-6}$$

式中：$\dot{H}_{og}$—g 处的泄漏辐射剂量率，μSv/h；

$\dot{H}_g$—g 处的散射辐射剂量率，μSv/h；

TVL—辐射在铅中的什值层，cm。

表 11-7 迷路入口防护门外的辐射剂量率核算值

[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]

⑥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、门外理论计算结果汇总见表 11-8。

表 11-8 医用直线加速器机房墙、顶、门外理论计算结果汇总

[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]

由表 11-8 可知，本项目 1 座医用直线加速器机房屏蔽防护设计能够满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）的要求。

（3）门缝、通风系统及电缆沟辐射防护评价

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

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

本项目医用直线加速器机房采用上进下出的通风系统，进、排风管道均为方管，尺寸为 500mm×250mm，选用 2mm 厚的钢板风管板材，管道经防护门上方由迷道到达机房内，均于机房内吊顶上方铺设，穿墙处采用斜 45° 设计，管道系统均避开主射线方向，射线在到达通风管道口前、在通风管道内，至少经过三次散射才能到达管道出口处，通风管道出口处辐射剂量将在控制范围内。

电缆沟埋设在地下，电缆线布设采用地下“U”型穿墙管道，穿墙处埋地深度为 300mm，未破坏治疗室墙体的屏蔽效果，射线至少经过三次散射才能到达电缆沟出口，能够满足辐射防护要求。

（4）保护目标有效剂量评价

①医用直线加速器机房外 30cm 处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》给出的公式进行计算：

$$D_{Eff} = H \cdot t \cdot T \cdot U \qquad \text{公式 11-7}$$

式中：D_{Eff}—考察点人员有效剂量，Sv；

H—考察点的辐射剂量率，Sv/h；

t—考察点处年受照时间，h；

T—居留因子；

U—使用因子。

本项目医用直线加速器年出束运行时间约 500h（日接诊量最大 40 人次，周工作 5 天，每年工作 50 周，患者治疗照射时间平均按 3min 计），考虑周围公众及辐射工作人员的居留因子，将表 11-8 中医用直线加速器机房外各典型参考点处的辐射剂量率计算值代入公式 11-7，计算周围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 医用直线加速器机房周围人员年有效剂量

[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

注：*居留因子取值见 HJ 1198-2021 附录 A。

根据表 11-9 结果分析，本项目医用直线加速器投入运行后，辐射工作人员有效剂量最大小于 0.001mSv，周围公众的年有效剂量最大为 0.082mSv，均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对职业人员、公众的剂量限值要求和本项目剂量约束值要求（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）。

②医用直线加速器机房外 50m 范围内公众有效剂量评价

本项目机房周围 50m 评价范围内的高压氧仓楼、9 号楼、11 号楼、12 号楼等其他保护目标，由于辐射影响的距离平方反比衰减规律（不考虑楼梯结构的屏蔽防护），该处辐射剂量率及公众年受照剂量见表 11-10。

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及公众年有效剂量

[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

由表 11-10 计算结果可知，医用直线加速器机房周围 50m 评价范围内环境保护目标处公众年受照剂量最大不超过 0.011mSv。

2、CT 模拟定位机

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

表 11-11 CT 模拟定位机机房屏蔽防护设计一览表

[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]
	[redacted]	[redacted]		[redacted]	[redacted]

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

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

本项目 CT 模拟定位机房外辐射剂量率保守为 2.5μSv/h，CT 出束时间约 20s/次，日接诊量最大 40 人次，年工作 250d，辐射工作人员居留因子为 1，公众居留因子最大为 1/5，得出机房外辐射工作人员、公众年有效剂量分别为 0.139mSv，0.028mSv，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的要求。

（二）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

本项目 DSA 机房使用的屏蔽材料除铅以外，还涉及混凝土及铅玻璃。本项目按

额定管电压 125kV 主束方向的极端条件核算 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：

$$X = \frac{1}{\alpha\gamma} In\left(\frac{B^{-\gamma}+\frac{\beta}{\alpha}}{1+\frac{\beta}{\alpha}}\right) \qquad \text{公式 11-8}$$

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：

$$B = \left[\left(1+\frac{\beta}{\alpha}\right)e^{\alpha\gamma X} - \frac{\beta}{\alpha}\right]^{-\frac{1}{\gamma}} \qquad \text{公式 11-9}$$

式中：B—给定铅厚度的屏蔽透射因子；

α、β、γ—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 A.1、TABLE C.1 查取 80kV 管电压工况下 X 射线（主束）辐射衰减的有关的拟合参数和 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

[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	

本项目机房屏蔽部位涉及的 500mm 混凝土按公式 11-9、公式 11-8 计算其屏蔽透射因子 B、等效铅当量厚度 X，计算结果列于表 11-13。

表 11-13 混凝土的屏蔽透射因子 B、等效铅当量厚度 X 计算结果

[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

②DSA 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

[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]
	[redacted]	[redacted]		[redacted]	[redacted]

注：1）屏蔽要求引自《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）表 3；
2）机房下方为土层，人员不可达。

由上表可知，本项目 DSA 机房在额定最大管电压 125kV 下屏蔽防护措施均能满足《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 机房东墙外 30cm 处，楼梯；

2#-DSA 机房南墙外 30cm 处，室外；

3#-DSA 机房西墙外 30cm 处，设备间；

4#-DSA 机房北墙外 30cm 处，控制廊；

5#-DSA 机房北侧观察窗外 30cm 处，控制廊；

6#- DSA 机房北侧防护门外 30cm 处，控制廊；

7#-DSA 机房上方距顶棚地面 100cm 处，食堂。

共布设 7 预测点，预测点布设见图 11-3 所示。

本项目 DSA 的辐射影响构成情况见表 11-15。

表 11-15 本项目 DSA 的辐射影响情况

[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]

（1）关注点处有用线束辐射影响预测

本项目介入手术过程中，DSA 图像增强器对 X 射线主束有屏蔽作用，NCRP147 号报告“Structural Shielding Design for Medical Imaging X-ray Facilities”4.1.6 节

（Primary Barriers，P41-45）及 5.1 节（Cardiac Angiography，P72）指出，DSA 屏蔽计算时不需要考虑主束照射。因此本项目 DSA 需要屏蔽的辐射仅考虑泄漏辐射和散射辐射。

（2）关注点处泄漏辐射影响预测

泄漏辐射存在于透视操作和摄影操作过程。泄漏辐射剂量率 $\dot{H}_L$ 采用下式计算：

$$H_L = \frac{H_i \cdot B}{r^2} \cdot K \qquad \text{公式 11-10}$$

式中：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，将 DSA 机房各屏蔽体的铅当量厚度 *X* 和铅对 80kV（本项目正常运行最大管电压）管电压 X 射线（主射）辐射衰减的有关的拟合参数 α、β、γ 值代入公式 11-9，计算相应的屏蔽透射因子 *B* 值；

r—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《外照射放射防护剂量转换系数标准》（WS/T 830-2024）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 11-10，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 11-16。

表 11-16　DSA 机房关注点处泄漏辐射剂量率计算结果

[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

注：DSA 出束点距离地面约 0.5m。

（3）关注点处散射辐射水平计算

散射辐射存在于透视操作和摄影操作过程。

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比释动能率 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），继而在公式中增加“有效剂量与空气比释动能转换系数”修正因子，得到散射辐射有效剂量率 H_s 计算公式：

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

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 1m 处由主束产生的比释动能率），$mGy \cdot m^2 \cdot mA^{-1} \cdot min^{-1}$，本项目取 $5mGy \cdot m^2 \cdot mA^{-1} \cdot min^{-1}$，即 $300000\mu Gy \cdot m^2 \cdot mA^{-1} \cdot h^{-1}$；

I—管电流，mA；本项目透视、摄影模式下正常使用的最大管电流分别取 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 90º 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 0º 的数据，表中所列散射角中以 30º 最接近 0º，故从该表中散射角为 0º、管电压为 70kV、100kV 对应的 a 值采用内插法求取 80kV 对应的 a 值为 0.0009（该取值适用于机房顶面关注点相应预测计算）；

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

d_0—源至受照点的距离，根据设备参数确定，本项目 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，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 θ=90°）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_o 之比值 $E/E_0=1/[1+E_0(1-\cos\theta)/0.511]=1/[1+0.08(1-\cos 90°)/0.511]=0.865$，继而计算一次散射线能量 E 对应的 kV 值为 80kV×0.865=69.2kV，近似取为 70kV，再利用 NCRP147 报告 TABLE C.1 查取散射线 70kV 下铅的 α、β、γ 拟合参数；将机房各屏蔽体和介入操作人员防护用屏蔽物的铅当量厚度 *X* 和铅对 70kV 管电压 X 射线（主射）辐射衰减的有关的拟合参数 α、β、γ 值代入公式 11-9，计算相应的屏蔽透射因子 *B* 值；

K—有效剂量与空气比释动能转换系数，Sv/Gy，查《外照射放射防护剂量转换系数标准》（WS/T 830-2024）表 B2，按前述 90º 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 11-11，计算透视模式、摄影模式下 DSA 机房外公众、操作台操作人员、机房内介入操作人员处散射辐射剂量率，计算结果见表 11-17。

表 11-17　DSA 机房关注点处散射辐射剂量率计算结果

[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
		[redacted]		[redacted]					[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

注：DSA 导管床表面距离地面约 1m。

（4）关注点处预测计算结果汇总

综上所述，DSA 机房关注点处的辐射剂量率理论计算结果汇总见表 11-18。

表 11-18　DSA 机房关注点处辐射剂量率计算统计结果

[redacted]		[redacted]	[redacted]		
			[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
		[redacted]	[redacted]		[redacted]
[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
		[redacted]	[redacted]		[redacted]
[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
		[redacted]	[redacted]		[redacted]
[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
		[redacted]	[redacted]		[redacted]
[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
		[redacted]	[redacted]		[redacted]
[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
		[redacted]	[redacted]		[redacted]
[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
		[redacted]	[redacted]		[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

根据表 11-18 结果分析可知，本项目机房外辐射工作人员关注点剂量率最大<0.001μSv/h；公众关注点剂量率最大<0.001μSv/h。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。

本项目 2 台 DSA 同时出束时，机房外周围辐射剂量率最大<0.001μSv/h，满足上述要求。

3、周围公众及辐射工作人员年有效剂量计算

（1）年有效剂量计算模式

机房周围公众、操作台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 中的计算公式进行计算：

$$H_{Er} = H_r \times T \times t \qquad \text{公式 11-12}$$

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，μSv/h；

T—居留因子；

t—年照射时间，h。

（2）辐射工作人员与机房周围公众年有效剂量计算

将有关参数代入公式 11-12，计算 DSA 机房四周公众及操作台辐射工作人员的年附加剂量，见表 11-19。

表 11-19 DSA 机房四周公众及控制室辐射工作人员的年附加剂量

[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]		[redacted]	[redacted]	
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]		[redacted]	[redacted]	
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]		[redacted]	[redacted]	
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]	[redacted]	
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]		[redacted]	[redacted]	
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]		[redacted]	[redacted]	
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]		[redacted]	[redacted]	

由表 11-19，本项目 2 台 DSA 机房四周公众的年附加剂量最大<0.001mSv，控制室辐射工作人员的年附加剂量最大<0.001mSv，均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员、公众的剂量限值要求和本项目剂量约束值要求（职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.1mSv）。

（3）本项目 50m 范围内涉及的公众年有效剂量计算

本项目 DSA 机房周围 50m 评价范围均位于医院边界内。由表 11-19 可知，本项目机房 50m 评价范围内环境保护目标处公众受照剂量最大<0.001mSv/a，且在考虑其他建筑结构的屏蔽、人员居留情况及距离的衰减后，对周围人员的年有效剂量还将进一步降低，远小于上述保守计算结果，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剂量约束值要求（公众年有效剂量不超过 0.1mSv）。

（4）DSA 机房内术者位年有效剂量计算

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）给出的公式进行计算：

$$E = \alpha H_u + \beta H_o \qquad \text{公式 11-13}$$

式中：α—系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.79，无屏蔽时，取 0.84（本项目取有甲状腺屏蔽时的系数，即 0.79 进行计算）；

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（本项目取有甲状腺屏蔽时的系数，即 0.051 进行计算）；

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。

将有关参数代入公式 11-13，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 DSA 机房内介入操作人员年有效剂量计算结果

[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]			[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		
			[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		
			[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		
			[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		

由表 11-20 可知，本项目 2 座 DSA 机房内第一术者操作位由 9 人承担，平均每名工作人员受照年剂量为 4.85mSv；第二术者操作位由 3 人承担，平均受照年剂量为 3.64mSv；手术室内护士保守参考第二术者操作位计算年有效剂量，均能满足工作人员剂量约束值 5mSv/a 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、卫生健康部门调查处理。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，根据上述理论计算结果，本项目 2 座 DSA 机房在经实体屏蔽后，对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）辐射工作人员个人剂量检测结果分析

本项目辐射工作人员 2024 年的个人剂量检测结果见表 11-21。

表 11-21 辐射工作人员个人累积剂量监测结果

[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]				[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	

[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	

注：1、MDL（mSv）：0.04。

根据表 11-21 的检测结果，辐射工作人员 2024 年个人累积剂量监测结果最大为 0.68mSv，建议医院关注辐射工作人员工作期间剂量计佩戴情况及监测结果。

（三）医院本部 10 号楼 1 层辐射剂量叠加影响分析

本项目 4 台射线装置均位于医院本部 10 号楼 1 层，需考虑 4 台装置的辐射叠加影响，保守只考虑距离的衰减，选取机房外同侧预测点位的最大辐射剂量进行计算（见图 11-4）。

	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]			

根据表 11-22 可知，医院 10 号楼 1 层辐射剂量满足相关标准要求。

二、非放射性“三废”影响分析

（一）废气

医用直线加速器机房、DSA 机房、CT 模拟定位机房内的空气在 X 射线作用下分解，产生臭氧和氮氧化物，通过动力排风装置排入大气，常温下约 50 分钟可自行分解为氧气，对周围环境影响较小。

（二）废水

工作人员和部分患者产生的生活污水，由医院污水处理系统统一处理。对周围环境影响较小。

（三）固体废物

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

事故影响分析

本项目拟配备的医用直线加速器、搬迁的 DSA 为II类射线装置，拟配备的 CT 为III类射线装置。医院在开展放射治疗和介入诊疗过程中，如果安全管理或防护不当，可能对人员产生误照射。

一、主要事故风险

（一）操作人员违反操作规程或误操作，造成意外超剂量照射；

（二）医用直线加速器、DSA、CT 模拟定位机工作过程中，未按工作流程进行清场，人员误留、误入机房内，导致发生误照射；

（三）在防护门未关闭的情况下即进行曝光操作，可能给工作人员和周围活动的人员造成不必要的照射。

（四）停机维修期间，因操作不当，导致工作人员受到误照射。

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

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

二、事故预防措施

（一）当发生误照射时，应立即按下急停开关，确保设备停止工作；

（二）辐射工作人员在每日开展放射治疗和介入诊疗前，应对各机房的联锁装置等安全防护设施进行检查，确保其运行正常；

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

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

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

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

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

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

表 12　辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

徐州医科大学附属医院拟将本部 10 号楼 1 楼的 2 座伽玛刀机房改建为 2 座 DSA 机房，将 10 号楼 1 楼 DSA6 室和 DSA7 室原先使用的 2 台 DSA 设备（型号：Unique FD20，最大管电压 125kV，最大管电流 1000mA）搬迁至上述 2 间机房。DSA7 室改建为医用直线加速器机房，并新增一台 Halcyon 型医用直线加速器，兼具医用直线加速器（X 射线能量：6MV，X 线最大辐射剂量率：800 cGy/min）治疗和 CBCT（最大管电压为 150kV，最大管电流为 630mA）图像引导功能。拟将 10 号楼 1 楼的高值耗材库房改建为 CT 模拟定位机房并配备 1 台 CT 模拟定位机（型号未定，最大管电压 140kV，最大管电流 800mA），配合医用直线加速器进行模拟定位。根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置的单位，应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确管理人员职责。从事辐射工作的人员均可通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并考核。

徐州医科大学附属医院已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，由院长做小组组长，组员覆盖各辐射科室，并以文件形式明确管理人员职责。医院应根据本次改建医用直线加速器及 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。本项目辐射工作人员为徐州医科大学附属医院原有人员，不兼职其他辐射工作，已为放疗科项目、DSA 项目共配备 25 名辐射工作人员，辐射工作人员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，从事医用直线加速器的辐射工作人员已参加“放射治疗”辐射安全与防护考核，从事 DSA 项目的辐射工作人员已参加“医学 X 射线诊断与介入放射学”辐射安全与防护考核，辐射防护管理人员已参加“辐射安全管理”辐射安全与防护考核，Ⅲ类射线装置的辐射工作人员已通过医院自主培训考核。如有辐射培训证书到期人员还应及时参加生态环境部的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台进行学习并通过考核。

辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的有关要求，使用射线装置的单位要“有健全操作规程、放射诊疗工作职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等，并有完善的辐射事故应急措施”。目前徐州医科大学附属医院本部已针对医用直线加速器、DSA、CT 模拟定位机等射线装置制定了相关辐射安全与防护管理制度，如《放射诊疗安全防护管理制度》《放射防护检测与评价制度》《放射诊疗设备及场所监测制度》《放射工作人员职业健康监护制度》《放射工作人员职业健康体检制度》《放射工作人员安全防护培训制度》《放射工作人员个人剂量监测制度》《射线装置及辐射场所环境监测制度》《放射诊疗设备检修维护制度》《日常监督检查制度》《放射诊疗安全防护管理制度和操作规程》《徐医附院辐射防护和安全保卫制度》《关于调整院高水平医院建设领导小组等组织成员的通知》《徐医附院辐射事故应急预案》等。医院现有管理制度内容较为全面，具有一定的针对性和可操作性，基本满足医院从事相关辐射活动辐射安全和防护管理的要求。医院已开展医用直线加速器、CT 模拟定位机、DSA 放射诊疗多年，相关辐射安全管理规章制度较完善，现对医院已制定的辐射安全管理制度的重点总结如下：

一、操作规程

已制定医用直线加速器、DSA、CT 模拟定位机操作规程，明确辐射工作人员的资质条件要求、操作过程中采取的具体防护措施及步骤。重点是：

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

（二）从事辐射工作时必须佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪；

（三）在工作场所严禁吸烟、进食。

二、岗位职责

医院已制定《放射工作人员岗位职责》，应针对本项目射线装置进行完善，明确射线装置使用工作人员、台账管理人员及辐射安全管理人员的岗位责任，并落实到个人，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任。

三、辐射防护和安全保卫制度

医院已根据射线装置操作的具体情况制定相应的《徐医附院辐射防护和安全保卫制度》，重点是：

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

（二）工作人员定期开展个人剂量检测和职业健康监护。

四、设备维修制度

医院已制定《放射诊疗设备检修维护制度》，应针对本项目射线装置进行完善，明确射线装置和辐射监测设备维修计划、维修的记录和在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，并做好记录。确保射线检测装置、安全措施（联锁装置、警示标志、工作状态指示灯、急停按钮）、剂量报警仪等仪器设备保持良好工作状态。

五、人员培训计划和健康管理制度

医院已制定《放射工作人员安全防护培训制度》，明确培训对象、内容、周期、方式以及考核的办法等内容，并强调对培训档案的管理，做到有据可查。相关辐射工作人员应及时学习最新的国家政策法规及标准，熟练掌握放射性防护知识、最新的操作技术。根据 18 号令及《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，辐射工作人员均可通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并通过考核。

六、监测方案

医院已购置相应的监测设备，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：

（一）明确监测项目和频次；

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

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

（四）委托有资质监测单位对本单位的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，徐州医科大学附属医院已为本部配备辐射巡测仪 1 台、为本项目配备个人剂量报警仪 6 台，拟为本项目医用直线加速器配备固定式剂量监测报警装置 1 套，用于辐射防护监测和报警，同时结合本项目实际情况，拟制定并完善如下监测计划：

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

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

三、定期使用辐射监测仪器对项目周围辐射环境进行自检，并保留自检记录；

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

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

医院辐射工作场所监测计划一览表见表 12-1。

表 12-1 工作场所监测计划一览表

[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]		
	[redacted]	[redacted]	[redacted]		
	[redacted]	[redacted]	[redacted]		
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]		
	[redacted]	[redacted]	[redacted]		
	[redacted]	[redacted]	[redacted]		

[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		
	[redacted]	[redacted]	[redacted]		
	[redacted]	[redacted]	[redacted]		
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

医院已根据上述监测计划，明确监测项目，定期（不少于 1 次/季）使用辐射监测仪器对项目周围辐射环境进行自检，并保留自检记录，每年委托有资质的单位定期对项目周围环境 X-γ 辐射剂量率进行监测，监测结果上报生态环境行政主管部门。医院已委托南京瑞森辐射技术有限公司开展了 2024 年度辐射工作场所的辐射安全与防护年度监测，监测结果均符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）等国家相关标准要求，均未出现剂量率超标的情况。

医院已为现有辐射工作人员配备个人剂量计，组织辐射工作人员进行个人剂量监测（1 次/季）和职业健康体检（1 次/2 年），已指定专人负责全院辐射工作人员个人剂量的收发和管理以及职业健康监护、个人剂量监测档案的存放保管。医院已委托徐州市疾病预防控制中心完成了 2024 年度辐射工作人员的个人剂量监测，所有辐射工作人员监测结果均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）等国家相关标准要求，均未出现异常。

医院每年编写放射源、放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告，包括射线装置、放射性同位素台账、辐射安全和防护设施的运行与维护、辐射安全和防护制度及措施的建立和落实、事故和应急以及档案管理等方面的内容，每年 1 月 31 日前将年度评估报告上传至全国核技术利用辐射安全申报系统。

根据医院《2024 年度安全和防护状况年度评估报告》显示，2024 年度医院未发生辐射事故，医院辐射安全和防护设施运行良好，定期开展维护工作，定期检查防护情况，发现的隐患及时处理；医院已制定和完善了相应辐射安全和防护制度及措施，各项制度和措施得到了落实。医院自开展核技术利用项目以来未发生过辐射事故，暂无需要改进完善的情况。

辐射事故应急

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

一、应急机构和职责分工；

二、应急的具体人员和联系电话；

三、应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；

四、辐射事故发生的可能、分级及应急响应措施；

五、辐射事故调查、报告和处理程序。

假若本项目发生了辐射事故，医院应迅速、有效地采取以下应急措施：

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

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

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

四、事故的善后处理，总结事故原因，吸取教训，采取补救措施。

对于在医院定期监测或委托监测时发现异常情况时，应根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《江苏省辐射污染防治条例》等要求，在 1 小时之内向所在地生态环境和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的还应当同时向卫生健康部门报告。在发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门和公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，同时向当地卫生健康行政部门报告。

徐州医科大学附属医院已制定辐射事故应急处理方案，该预案包括成立辐射事故应急处理领导小组、应急预案领导小组的职责、放射性事故应急处理的责任划分、放

射性事故应急处理程序和放射性事故的调查等内容。由辐射事故应急处理领导小组组织辐射工作人员，定期（1 次/年）开展应急培训演练，在物资、通讯、技术、人员、经费等准备方面均加以落实。

表 13　结论与建议

结论

一、项目概况

徐州医科大学附属医院拟将本部 10 号楼 1 楼的 2 座伽玛刀机房改建为 2 座 DSA 机房，将 10 号楼 1 楼 DSA6 室和 DSA7 室原先使用的 2 台 DSA 设备（型号：Unique FD20，最大管电压 125kV，最大管电流 1000mA）搬迁至上述 2 间机房。DSA7 室改建为医用直线加速器机房，并新增一台 Halcyon 型医用直线加速器，兼具医用直线加速器（X 射线能量：6MV，X 线最大辐射剂量率：800cGy/min）治疗和 CBCT（最大管电压为 150kV，最大管电流为 630mA）图像引导功能。拟将 10 号楼 1 楼的高值耗材库房改建为 CT 模拟定位机房并配备 1 台 CT 模拟定位机（型号未定，最大管电压 140kV，最大管电流 800mA），配合医用直线加速器进行模拟定位。

二、项目建设的必要性与项目产业政策符合性分析

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

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

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、选址合理性

徐州医科大学附属医院本部位于徐州市泉山区淮海西路 99 号，医院东侧为立德路，南侧为江苏省徐州市第五中学，西侧为西安南路，北侧为淮海西路。

本次改建医用直线加速器及 DSA 项目位于医院本部 10 号楼 1 楼，10 号楼东侧隔院内道路为 7 号楼，南侧隔院内道路为高压氧仓楼、9 号楼，西侧隔院内道路为 11 号楼，北侧隔院内道路为 12 号楼。2 座 DSA 机房东侧为楼梯，南侧为室外道路，西侧为排烟机房、DSA6 室及其设备间，北侧为控制室，上方为食堂，下方为土层。医用

直线加速器机房东侧为楼梯、室外道路，南侧为过道，西侧为控制室、辅助机房，北侧为食堂粗加工间，上方为食堂加工间，下方为土层。CT 模拟定位机房东侧为控制室，南侧为更衣室、室外，西侧为室外，北侧为走廊，下方为土层，上方为楼梯间。

本次改建医用直线加速器及 DSA 项目周围 50m 评价范围均位于医院边界内。项目运行后的环境保护目标主要为本项目辐射工作人员、医院内的其他医护人员、病患、陪同家属及其他公众等。

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）、《江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案》（苏政发〔2020〕49 号）要求，经江苏省生态环境厅江苏省生态环境分区管控综合服务系统查询，本项目所在地块位于泉山区中心城区重点管控单元（编码：2025722153704）内，不在徐州市生态保护红线内，评价范围内均不涉及优先保护单元和一般管控单元。

本项目医用直线加速器机房、DSA 机房、CT 模拟定位机房控制室与治疗室分离，区域划分明确；有用线束不直接朝控制室和其他居留因子较大的用室照射；医用直线加速器机房设置“L”型迷道，迷道口设有铅防护门。本项目选址与布局符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的要求。

六、辐射环境现状评价

徐州医科大学附属医院改建医用直线加速器及 DSA 项目拟建址周围环境 γ 辐射剂量率在（56~82）nGy/h 之间，位于江苏省建筑物室内 γ 辐射（空气吸收）剂量率本底水平（50.7~129.4）nGy/h 范围；道路环境天然 γ 辐射剂量率为（36~70）nGy/h，位于江苏省道路 γ 辐射（空气吸收）剂量率本底水平（18.1~102.3）nGy/h 范围内。

七、环境影响评价

根据理论预测结果，徐州医科大学附属医院改建医用直线加速器及 DSA 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）。

八、“三废”的处理处置

医用直线加速器机房、DSA 机房、CT 模拟定位机房内的空气在 X 射线作用下分解，产生臭氧和氮氧化物，少量臭氧和氮氧化物可通过动力排风装置排入大气。本项目机房内拟设计有机械通风装置，进风口与排风口位置拟对角设置，其中医用直线加速器机房每小时通风换气次数大于 4 次/h。机房内产生少量的臭氧、氮氧化物通过通风系统排至室外，臭氧在常温下约 50 分钟可自行分解为氧气；工作人员和部分患者产生的生活污水，由医院污水处理系统统一处理；工作人员产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理；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。对周围环境影响较小。

九、主要污染源及拟采取的主要辐射安全防护措施

徐州医科大学附属医院拟配备的 1 台医用直线加速器的 X 射线最大能量为 6MV，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，医用直线加速器机房入口处拟设置电离辐射警告标志、工作状态指示灯（与医用直线加速器联锁）和门机联锁装置，机房内外设置相应的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，机房拟设置从室内开启治疗机房门的紧急开门装置，防护门拟设有防挤压功能，机房迷道的内入口处拟设置固定式辐射剂量监测仪并拟有报警功能，其显示单元拟设置在控制室内，符合《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）的安全管理要求。

徐州医科大学附属医院配备的 DSA 最大管电压为 125kV，最大管电流为 1000mA；拟配备的 1 台 CT 模拟定位机的最大管电压为 140kV、最大管电流为 800mA，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指示灯，DSA 机房拟设闭门装置（电动推拉门拟设置防夹装置）、对讲装置与观察窗，DSA 设备上拟设置急停按钮，机房内设备间设置监控装置；CT 模拟定位机房入口处拟设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯，机房设有门灯联动装置，射线装置上设置有急停按钮，机房与控制室之间设置双向对讲装置，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

徐州医科大学附属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。医院已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。

徐州医科大学附属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。徐州医科大学附属医院已为本部配备辐射巡测仪 1 台、为本项目配备个人剂量报警仪 6 台，拟为本项目医用直线加速器配备固定式剂量监测报警装置 1 套，用于辐射防护监测和报警。

综上所述，徐州医科大学附属医院改建医用直线加速器及 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，该医院将具有与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和相应的辐射安全防护措施，其运行对周围环境产生的影响能够符合辐射环境保护的要求，从环境保护角度论证，本项目的建设和运行是可行的。

建议和承诺

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

二、定期进行辐射工作场所的检查及监测，及时排除事故隐患。

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

辐射污染防治“三同时”措施一览表

<table>
<tr><th>项目</th><th colspan="2">“三同时”措施</th><th>预期效果</th><th>[redacted]</th></tr>
<tr><td>辐射安全管理机构</td><td colspan="2">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。</td><td>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。</td><td>[redacted]</td></tr>
<tr><td rowspan="3">辐射安全和防护措施</td><td colspan="2">屏蔽措施：DSA 机房、医用直线加速器机房四侧墙体及顶面采用混凝土结构进行辐射防护，CT 模拟定位机房四侧墙体采用实心砖加铅板、顶面采用混凝土加铅板进行辐射防护，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。</td><td>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剂量约束值要求。</td><td rowspan="3">[redacted]</td></tr>
<tr><td rowspan="2">安全措施</td><td>医用直线加速器机房入口处拟设置电离辐射警告标志、工作状态指示灯（与设备联锁）和门机联锁装置，机房内外设置相应的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，机房拟设置从室内开启治疗机房门的紧急开门装置，防护门拟设有防挤压功能，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。医用直线加速器机房内拟设置强制排风系统，进风口拟设在放射治疗机房上部，排风口拟设在治疗机房下部，进风口与排风口位置拟对角设置，通风换气次数拟不小于 4 次/h。</td><td>满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）的相关要求。</td></tr>
<tr><td>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指示灯，DSA 机房拟设闭门装置（电动推拉门拟设置防夹装置）、对讲装置与观察窗，DSA 设备上拟设置急停按钮，机房内设备间设置监控装置；CT 模拟定位机房入口处拟设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯，机房设有门灯联动装置，射线装置上设置有急停按钮，机房与控制室设置双向对讲装置。DSA 机房、CT 模拟定位机房内设置通风装置。</td><td>满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的相关要求。</td></tr>
</table>

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），并建立辐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。	▌
	拟配备固定式剂量监测报警装置 1 套。		
	已配备个人剂量报警仪 6 台。		
辐射安全管理制度	制定操作规程、辐射诊疗工作职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、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	/	/	■

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： 公 章 经办人　　年　月　日
审批意见 公 章 经办人　　年　月　日