

核技术利用建设项目

无锡海吉亚医院有限公司新建放射诊疗项目环境影响报告表

无锡海吉亚医院有限公司

2025 年 5 月

生态环境部监制

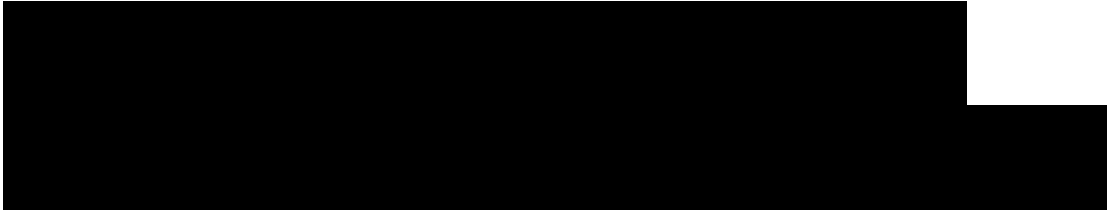
核技术利用建设项目

无锡海吉亚医院有限公司新建放射诊疗项目环境影响报告表

建设单位名称：无锡海吉亚医院有限公司

建设单位法人代表（签名或盖章）：

通讯地址：无锡市滨湖区马山街道梅梁路 88 号



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 - 7 -

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物） - 8 -

表 6 评价依据 - 10 -

表 7 保护目标与评价标准 - 14 -

表 8 环境质量和辐射现状 - 20 -

表 9 项目工程分析与源项 - 24 -

表 10 辐射安全与防护 - 48 -

表 11 环境影响分析 - 66 -

表 12 辐射安全管理 - 109 -

表 13 结论与建议 - 115 -

表 14 审批 - 122 -

表 1 项目基本情况

建设项目名称		无锡海吉亚医院有限公司新建放射诊疗项目			
建设单位		无锡海吉亚医院有限公司 (统一社会信用代码: 91320211MA221YA04J)			
法人代表		■	■	■	■
注册地址		无锡市滨湖区马山街道梅梁路 88 号 321			
项目建设地点		无锡市滨湖区马山街道梅梁路与紫云路交汇处南			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资 (万元)		■	项目环保总投资 (万元)	■	投资比例(环保投资/总投资)
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其他			占地面积 (m ²)
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I 类 ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类		
		☐ 使用	☒ I 类 (医疗使用) ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类		
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☐ 使用	☐ 乙 ☐ 丙		
	射线装置	☐ 生产	☐ II 类 ☐ III 类		
		☐ 销售	☐ II 类 ☐ III 类		
		☒ 使用	☒ II 类 ☒ III 类		
	其他	/			
	项目概述: 一、建设单位基本情况、项目建设规模及由来 无锡海吉亚医院有限公司拟在无锡市无锡太湖国家旅游度假区滨湖区梅梁路与紫云路交叉口西南侧建设无锡海吉亚医院新建项目。无锡海吉亚医院有限公司拟建一所二级综合性医院, 计划设置 460 张床位, 建设内容包含门诊楼、住院楼、康复楼、后勤楼、其他配套及连廊。 《无锡海吉亚医院有限公司无锡海吉亚医院新建项目》于 2022 年 1 月 27 日取得				

无锡太湖国家旅游度假区为民服务中心的批复，批复文号：锡太旅环（2022）003号。

根据医院建设规划，医院拟在新建1#楼（门诊综合楼）开展放射诊疗项目，主要包括：

（一）放疗科项目：于负1楼2座医用直线加速器机房内各新增1台医用直线加速器（型号：Elekta Infinity，X线能量：6、10MV，电子线能量：6、8、10、12、15MeV）；2座陀螺刀机房内各新增1台GMX-I型陀螺旋转式钴-60立体定向放射治疗系统（以下简称“陀螺刀”，内含22枚⁶⁰Co放射源，属I类聚集源，活度为 3.145×10^{14} Bq），用于开展肿瘤的放射治疗，每台陀螺刀配套1套GMX-CBCT-A型放射治疗用锥形束X射线图像引导系统（最大管电压120kV，最大管电流1000mA）。

配合陀螺刀及医用直线加速器使用的CT模拟定位机（型号：SL-IC，最大管电压125kV，最大管电流500mA）位于陀螺刀机房的东侧。

医院拟为每台医用直线加速器配备医师2人、技师1人、物理师1人；每台陀螺刀配备医师2人、技师1人、物理师1人；为1台CT模拟定位机配备医师2人、技师1人，辐射工作人员年工作250天，每台医用直线加速器、陀螺刀日接诊量最大均为50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总计625h。

（二）DSA项目：于4楼OR1手术室内新增1台DSA（型号：Azurion 3 M15，最大管电压125kV，最大管电流1000mA），用于开展医疗诊断和介入治疗。

医院拟为DSA项目配备医师3人，技师1人，护士2人，辐射工作人员年工作250天，其中医生、护士年接触射线时间不超过120.8h，技师年接触射线时间不超过122.7h。

（三）其他III类射线装置项目：于1楼2座CT机房内各新增1台CT（型号：Optima CT680 Expert 64排，最大管电压140kV，最大管电流1000mA）；1座DR机房内新增1台DR（型号：Digitai Diagnost C50排，最大管电压150kV，最大管电流630mA），1座数字胃肠机房内新增1台数字胃肠机（型号：DTP571，最大管电压150kV，最大管电流650mA）；于2楼口腔科1座口腔CBCT机房内新增1台口腔CBCT（型号：X-TREND，最大管电压95kV，最大管电流14mA），1座牙片机房内新增1台牙片机（型号：FOCUS，最大管电压70kV，最大管电流7mA）；于4楼OR3手术室内新增1台高频移动式手术X射线机（型号：PLX112B1，最大管电压120kV，最大管电流100mA，主要用于临床X射线透视和摄影）。

医院拟为其他III类射线装置项目各配备1名辐射工作人员。辐射工作人员年工作

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，无锡海吉亚医院有限公司新建放射诊疗项目需进行环境影响评价。受无锡海吉亚医院有限公司的委托，南京瑞森辐射技术有限公司承担了该单位新建放射诊疗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），本项目为新建放射诊疗项目，属于“172 核技术利用建设项目”中的“医疗使用Ⅰ类放射源的、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。该医院新建放射诊疗项目情况见表 1-1：

[illegible]

CT 模拟定位 机房(负 1 楼)	电梯、排 风机房	走廊	控制室、 设备机房	走廊	地上走道	土层
CT1 机房 (1 楼)	办公室	患者走廊	设备间	操作走廊	诊室、牙片机房	地下停车场
CT2 机房 (1 楼)	设备间	患者走廊	DR 机房	操作走廊	诊室、走廊	地下停车场
DR 机房 (1 楼)	CT2 机房	患者走廊	走廊	操作走廊	诊室、走廊	地下停车场
数字胃肠机房 (1 楼)	预留房间	操作走廊	预留房间	患者走廊	护士站、走廊	地下停车场
口腔 CBCT 机 房 (2 楼)	走廊	操作间	走廊	牙科诊室	走道、办公室	办公室、走廊
牙片机房 (2 楼)	走廊	操作间	诊室	诊室	走道、脱包间、 打包间、蒸汽发 生间、纯水间	CT1 机房、办 公室、患者走 廊
高频移动式手 术 X 射线机房 (4 楼)	清洁走廊	手术室	走廊	手术室	手术室设备区 域	预留房间、无 菌存放区、走 道

无锡海吉亚医院有限公司 1#楼负 1 楼~5 楼平面布置及周围环境示意图见附图 3~附图 8。

本次新建放射诊疗项目周围 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

本项目为医院首次申请核技术利用项目。

四、实践正当性分析

本项目的运行，可为患者提供放射诊疗服务，并可提高医疗卫生水平，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
1	⁶⁰ Co	3.145×10 ¹⁴	I 类 (聚集源)	使用	放射治疗	1#楼负 1 楼 1#陀螺刀机 房	随机器存放于陀螺刀 设备内	使用年限约 6~8 年, 半衰期为 5.27 年
2	⁶⁰ Co	3.145×10 ¹⁴	I 类 (聚集源)	使用	放射治疗	1#楼负 1 楼 2#陀螺刀机 房	随机器存放于陀螺刀 设备内	使用年限约 6~8 年, 半衰期为 5.27 年
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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	2台	Elekta Infinity	电子	X线能量：6、10MV 电子线能量：6、8、10、 12、15Mev	X线最大辐射剂量率（FFF 选项）：6MV 剂量率 1400cGy/min 10MV 剂量率：600cGy/min 电子线剂量率：600 cGy/min	放射 治疗	1#楼负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	1台	Azurion 3 M15	125	1000	医疗诊断，介入治疗	1#楼4楼OR1手术室	/
2	CT模拟定位机	III类	1台	SL-IC	125	500	医疗诊断	1#楼负1楼CT模拟 定位机	/
3	CT	III类	2台	Optima CT680 Expert 64排	140	1000		1#楼1楼CT1机房、 CT2机房	/
4	DR	III类	1台	Digitai Diagnost C50	150	630		1#楼1楼DR机房	/
5	数字胃肠机	III类	1台	DTP571	150	650		1#楼1楼数字胃肠机 机房	/

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
6	口腔 CBCT	Ⅲ类	1 台	X-TREND	95	14		1#楼 2 楼口腔科	/
7	牙片机	Ⅲ类	1 台	FOCUS	70	7		1#楼 2 楼口腔科	/
8	高频移动式手术 X 射线机	Ⅲ类	1 台	PLX112B1	120	100		1#楼 4 楼 OR3 手术室	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(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 10kg	约 120kg	/	暂存在机房内的废物桶,手术结束后集中收集	委托有资质单位进行处理
退役废源	固体	^{60}Co	使用约 6~8 年后退役,退役时活度约为 $1.43 \times 10^{14} \text{Bq}$ (6 年后) $\sim 1.10 \times 10^{14} \text{Bq}$ (8 年后)	/	/	/	暂存在陀螺刀设备内	退役废源送生产厂家回收处理。
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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/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

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) 《关于发布放射源分类办法的公告》，国家环境保护总局公告2005年第62号，2005年12月23日印发； (10) 《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；
------	--

	(11) 《放射性废物安全管理条例》，中华人民共和国国务院令 第612号，2012年3月1日起施行； (12) 《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； (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； (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； (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； (16) 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部令 第9号，2019年11月1日起施行； (17) 《关于印发<生态环境分区管控管理暂行规定>的通知》，生态环境部，环环评〔2024〕41号，2024年7月8日发布； (18) 《自然资源部 生态环境部 国家林业和草原局关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》，自然资发〔2022〕142号，2022年8月16日起试行； (19) 《省生态环境厅关于进一步做好建设项目环境影响报告书（表）编制单位监管工作的通知》，苏环办〔2021〕187号，2021年5月28日发布； (20) 《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； (21) 《关于进一步加强生态保护红线监督管理的通知》，苏自然资函〔2023〕880号，2023年10月10日发布； (22) 《省政府关于印发江苏省国土空间规划（2021—2035年）的通知》，苏政发〔2023〕69号，2023年8月16日发布； (23) 《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。
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)； (13) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ 射线源放射治疗机房》(GBZ/T 201.3-2014)。
其他	附图： (1) 无锡海吉亚医院有限公司新建放射诊疗项目地理位置示意图； (2) 无锡海吉亚医院有限公司总平面及周围环境示意图； (3) 无锡海吉亚医院有限公司 1#楼负 1 楼平面布置及分区图； (4) 无锡海吉亚医院有限公司 1#楼 1 楼平面布置及分区图； (5) 无锡海吉亚医院有限公司 1#楼 2 楼平面布置及分区图； (6) 无锡海吉亚医院有限公司 1#楼 3 楼平面布置及分区图； (7) 无锡海吉亚医院有限公司 1#楼 4 楼平面布置及分区图； (8) 无锡海吉亚医院有限公司 1#楼 5 楼平面布置及分区图。 附件： (1) 项目委托书； (2) 射线装置、放射源使用承诺书； (3) 本项目机房防护设计情况； (4) 退役源处置承诺书；

	(5) 医院一般项目环评批复； (6) 本项目辐射环境现状监测报告； (7) 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新建放射诊疗项目工作场所实体屏蔽墙体边界外周围 50m 范围内区域，评价范围详见附图 2。

保护目标

本项目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。根据《自然资源部 生态环境部 国家林业和草原局关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》（自然资发〔2022〕142 号）、《关于印发<生态环境分区管控管理暂行规定>的通知》（环环评〔2024〕41 号）和《关于进一步加强生态保护红线监督管理的通知》（苏自然资函〔2023〕880 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无锡生物医药研发服务外包区重点管控单元（编码：ZH32021120046）内，不在无锡市生态保护红线内，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 评价范围均位于院区内。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，本项目涉及的 III 类射线装置分散布置在 1#楼东半部的不同楼层、不同科室，即使保守以整个 1#楼东半部周围 50m 为参考范围，均位于院区边界内，无学校、居民区等环境敏感目标。详见表 7-1。

表 7-1 本项目保护目标一览表

本项目的建设符合江苏省“三线一单”生态环境分区管控要求。

评价标准

一、《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。

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。

二、《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。

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）。

三、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）：

四、《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）：

五、《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) ;

六、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分： γ 射线源放射治疗机房》
(GBZ/T201.3-2014)

七、《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020) :

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
双管头或多管头 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
乳腺机、全身骨密度仪	10	2.5
牙科全景机、局部骨密度仪、口腔 CBCT 坐位扫描/站位扫描	5	2.0
口内牙片机	3	1.5

6.2 X 射线设备机房屏蔽

6.2.1 不同类型 X 射线设备（不含床旁摄影设备和便携式 X 射线设备）机房的屏蔽防护应不低于表 3 的规定。

表 3 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量 MmPb	非有用线束方向铅当量 mmPb
C 形臂 X 射线设备机房	2.0	2.0
口腔 CBCT、牙科全景机房（有头颅摄影）	2.0	1.0
透射机房、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;

八、《职业性外照射个人监测规范》(GBZ 128-2019):

5.3 佩戴

5.3.1 对于比较均匀的辐射场, 当辐射主要来自前方时, 剂量计应佩戴在人体躯干前方中部位置, 一般在左胸前或锁骨对应的领口位置; 当辐射主要来自人体背面时, 剂量计应佩戴在背部中间。

5.3.2 对于如介入放射学、核医学放射药物分装与注射等全身受照不均匀的工作情况, 应在铅围裙外锁骨对应的领口位置佩戴剂量计。

5.3.3 对于 5.3.2 所述工作情况, 建议采用双剂量计监测方法(在铅围裙内躯干上再佩戴另一个剂量计), 且宜在身体可能受到较大照射的部位佩戴局部剂量计(如头箍剂量计、腕部剂量计、指环剂量计等)。

九、项目管理目标限值

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

根据《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)、《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)中相关规定及本项目医用直线加速器、陀螺刀周开机治疗时间, 估算得到机房外 30cm 处的周围剂量当量率参考控制水平 H_c , 见表 7-2。

		□	□	□	□			
		□	□	□	□	□	□	□
	□	□	□	□	□	□	□	□
	□	□	□	□		□	□	□
	□	□	□	□		□	□	□
	□	□	□	□		□	□	□
	□	□	□	□		□	□	□

距 DSA 机房墙体、门、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。

十、参考资料：

（一）《辐射防护导论》，方杰主编。

（二）《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。

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

无锡海吉亚医院有限公司位于无锡市滨湖区马山街道梅梁路与紫云路交汇处南，医院东侧为紫云路，南侧为规划道路，西侧为开发路，北侧为梅梁路。

本次新建放射诊疗项目位于医院 1#楼，1#楼东侧为 2#楼、景观花园，南侧为 3#楼、4#楼，西侧为 6#楼、景观花园，北侧为活动广场。

本次新建放射诊疗项目主要包括：

（一）于医院 1#楼负 1 楼新建 2 座医用直线加速器机房，2 座机房东侧、西侧为设备机房和控制室，南侧为走廊，北侧、下方为土层，上方为院内道路。

（二）于医院 1#楼负 1 楼新建 2 座陀螺刀机房，2 座机房东侧、西侧为设备机房、控制室，南侧为走廊，北侧为水冷机房、护士站、走廊，下方为土层。1#陀螺刀机房上方为院内道路、会议室，2#陀螺刀机房上方为卫生间、会议室。

（三）于医院 1#楼 4 楼新建 1 座 OR1 手术室（DSA 机房），其东侧为前室，南侧为设备间，西侧为走廊，北侧为负压后室、体外循环室、控制室，上方为手术室设备区域，下方为预留房间。

（四）于医院 1#楼负 1 楼~2 楼、4 楼新建 8 座Ⅲ类射线装置机房并配备相应的Ⅲ类射线装置，机房周围情况见表 1-2。

本次新建放射诊疗项目周围 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 8-5。



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，于本次新建放射诊疗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 8-6。

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：FH40G/FHZ672E-10 型 X- γ 辐射监测仪（设备编号：NJRS-103，检定有效期：2022 年 12 月 20 日~2023 年 12 月 19 日，检定单位：江苏省计量科学研究院，检定证书编号：Y2022-0122228）

能量范围：40keV~4.4MeV

测量范围：1nSv/h~100 μ Sv/h

监测日期：2023 年 6 月 27 日

天气：多云

温度：31℃

湿度：61%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 7），具备有相应的检测资质和检测能力，监测按照南京瑞森辐射技术有限公司《质量管理手册》和《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）要求，实施全过程质量控制。

监测人员、监测仪器及监测结果：监测人员均经过考核，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。

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 新建放射诊疗项目拟建址周围 γ 辐射水平

测点编号	测点描述	测量结果 (nGy/h)	备注
■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■

注：1、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 $\dot{D} = C_f(E_f\dot{X} - \mu_c\dot{X}_c')$ 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；

2、监测时医院主体大楼正在土建施工，非建筑工人不可达。



由表 8-1 监测结果可知，无锡海吉亚医院有限公司新建放射诊疗项目拟建址周围环境 γ 辐射剂量率为（41~49）nGy/h 之间，属江苏省道路 γ 辐射（空气吸收）剂量率本底水平（18.1~102.3）nGy/h，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、放疗科项目

(一) 医用直线加速器项目

1、工程设备

无锡海吉亚医院有限公司拟在 1#楼负 1 楼 2 座医用直线加速器机房内各新增 1 台医用直线加速器（型号：Elekta Infinity，X 线能量：6、10MV，电子线能量：6、8、10、12、15MeV），用于开展肿瘤的放射治疗。常见的医用直线加速器外观见图 9-1。



图 9-1 常见的医用直线加速器外观图

医用直线加速器至少应包括：1 个加速场所（加速管）、1 个大功率微波源和波导系统、控制系统、射线均整和防护系统。医用直线加速器按照微波传输的特点分为行波和驻波两类，其基本结构和系统包括电子枪、微波功率源（磁控管或者速调管）、波导管（隔离器、RF（射频微波源）监测器、移相器、RF 吸收负载、RF 窗等）、DC 直流电源（射频发生器、脉冲调制器、电子枪发射延时电路等）、真空系统（真空泵）、伺服系统（聚焦线圈、对中线圈）、偏转系统（偏转室、偏转磁铁）、剂量监测系统、均整系统、射野形成系统等，分别安装于治疗头、固定机架、旋转机架、治疗床、控制台等处。医用直线加速器系统结构示意图见图 9-2。

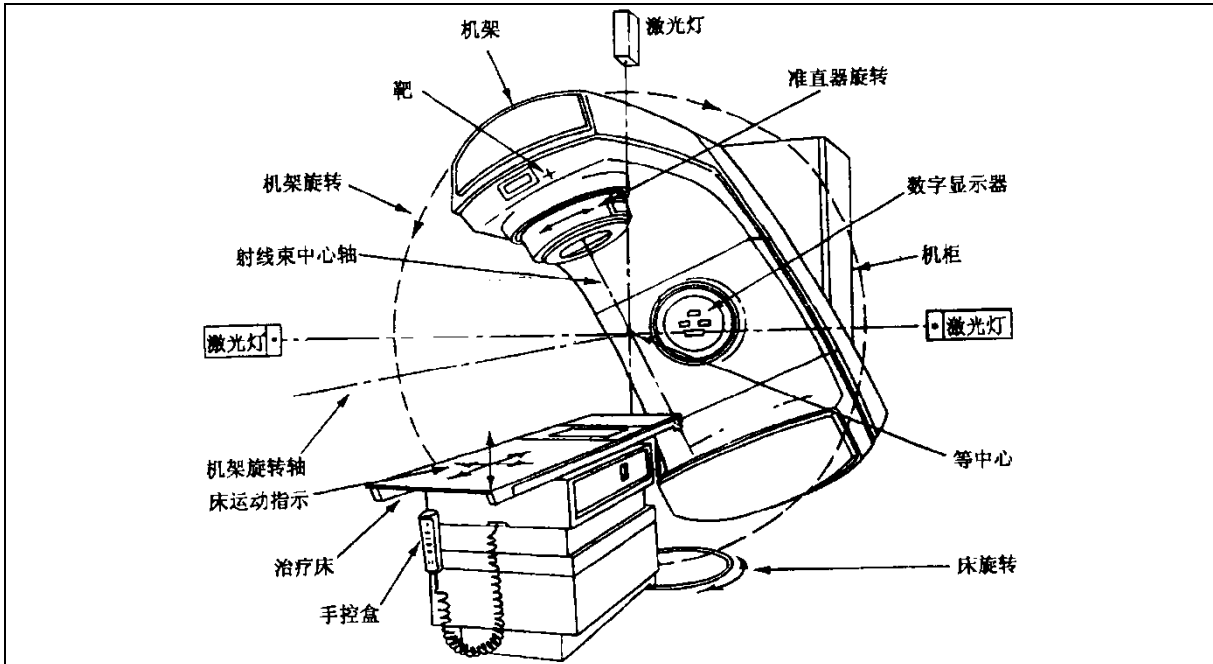


图 9-2 医用直线加速器基本结构示意图

医院拟配备的 2 台医用直线加速器，提供两种治疗模式，即 X 射线模式和电子束模式，本项目拟配备的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

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

注：*设备型号、技术参数由建设单位及供货商提供。

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。

医用直线加速器系统示意图见图 9-3。

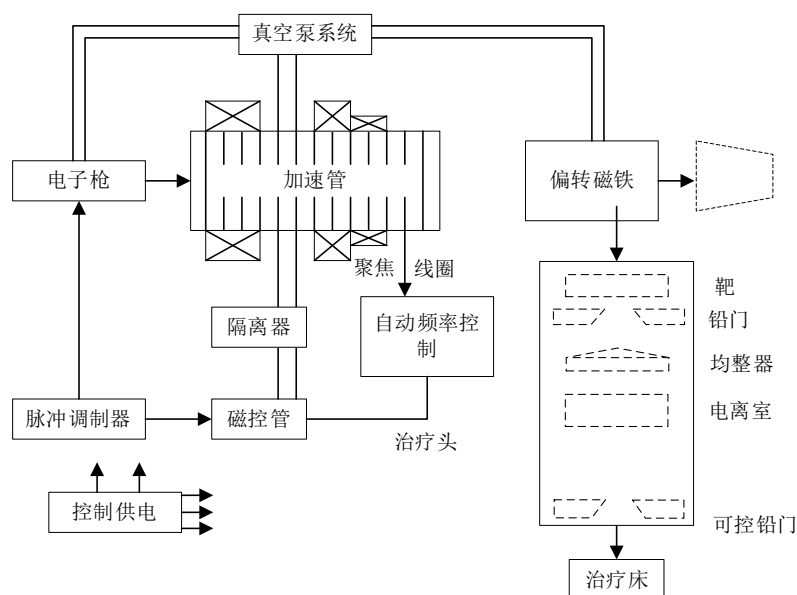


图 9-3 医用直线加速器系统示意图

(2) 工作流程

医用直线加速器工作流程及产污环节分析见图 9-4，其工作流程如下：

- ①患者在经诊断确诊需要进行放射治疗后，根据病灶的部位确定定位体位，通过 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技师在控制室内设置参数，按照医疗方案调整好出束时间、角度、剂量，然后进行出束治疗。治疗过程，会产生 X 射线、电子线，治疗室内的空气会电离产生臭氧和氮氧化物；

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。

（二）陀螺刀项目

1、工程设备

无锡海吉亚医院有限公司拟在 1#楼负 1 楼 2 座陀螺刀机房内各新增 1 台 GMX-I 型陀螺刀（内含 22 枚 ^{60}Co 放射源，属 I 类聚集源，活度为 $3.145 \times 10^{14}\text{Bq}$ ），用于开展肿瘤的放射治疗。医院拟使用的 GMX-I 型陀螺刀，由上海伽玛星科技发展有限公司生产，每台陀螺刀配套 1 套 GMX-CBCT-A 型放射治疗用锥形束 X 射线图像引导系统（最大管电压 120kV，最大管电流 1000mA），陀螺刀是利用 ^{60}Co 在衰变过程中发射 γ 射线对生物肌体的破坏作用来实现对病变细胞的杀伤功能，进而达到损毁病灶的治疗目的的一种新型立体定向放射外科治疗设备。本项目 GMX-I 型陀螺旋转式钴-60 立体定向放射治疗系统外观见图 9-5。



图 9-5 本项目 GMX-I 型陀螺旋转式钴-60 立体定向放射治疗系统外观图

陀螺刀主要由以下部分组成：主机机械系统、立体定位系统、电气控制系统、治疗计划系统等。

（1）主机机械系统：由治疗头、源开关和准直系统、旋转盘、滚筒、源包壳、三维运动床组成，治疗头内安装聚焦式钴源滚筒及旋转盘组成一陀螺转向机构。主要机械系统结构件图 9-6（不含外壳）。

①治疗头

治疗头由源包壳、壳体、贫铀合金屏蔽材料、屏蔽棒和源开关组成。治疗头外观和结构见图 9-7。



壳体由屏蔽材料 ^{238}U 及钢制成， ^{238}U 合金外壳包容在里面，保证了屏蔽的强度及安全性能。壳体一端有偏离中心用于安装源开关的内腔，内腔下方有用于定位开关的轴承孔，位于壳体中心的是装源通道。源包壳固定于屏蔽棒上，装源时，先通过机械手将包壳与屏蔽棒固定，然后再将屏蔽棒与治疗头壳体固定。

②源开关和准直器

源开关由屏蔽材料 ^{238}U 制成，是一圆柱体，整个被安装于治疗头体内腔。一端通过一个交叉滚子轴承和壳体固定，并通过轴承固定端安装的齿轮由伺服电机驱动，源开关和准直器结构图见图 9-8。



开关上有 4 个通孔，分布在同一半径上，互相间隔相同的角度，分布的半径大小与装源通道和开关孔的距离相等，通孔安装有不同孔径的准直器。这样伺服电机按间隔角度带动开关时，源出束孔与准直器孔对准。治疗时根据需要，源开关转动不同的角度来选择不同的准直器孔径，取得不同的焦点剂量和剂量场分布。

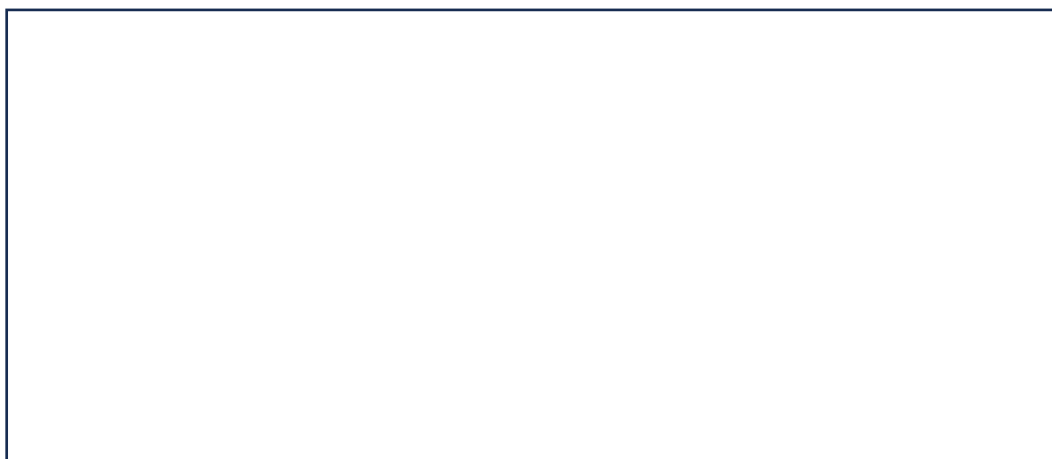
③旋转盘

旋转盘整个结构呈圆盘形，带动整个治疗头（射源装置）做旋转运动时，治疗头的运动轨迹为陀螺状，陀螺旋转式钴-60 放射治疗系统也由此得名。旋转盘体是通过一大型轴承装于滚筒。底部安装一大齿圈，由安装于滚筒上的电机通过直齿带动齿圈旋转，旋转的速度一般设定为 30 转/分钟。

由于治疗头安装后与旋转盘的旋转中心成 25° 的夹角，旋转盘转动时使放射源对靶心进行一次圆锥回旋聚焦，使射线途经人体正常组织时只受到瞬时、几乎无伤害的照射。旋转盘结构图见图 9-9。

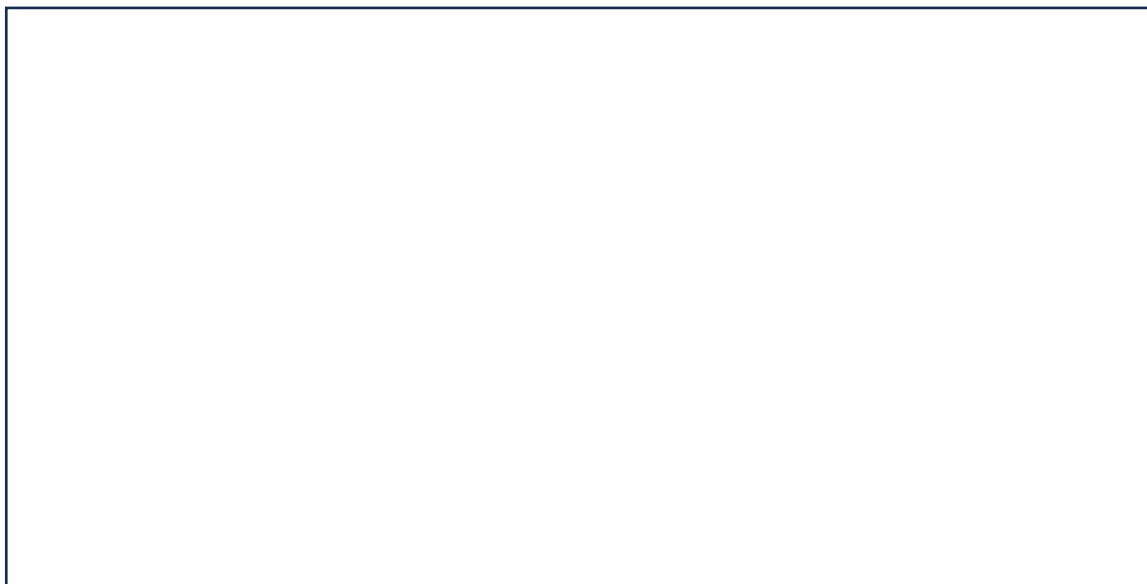


滚筒是带动整个旋转盘作 $\pm 270^\circ$ 旋转（公转）的机构，由两端面的法兰与型钢通过箱形结构焊接成型，通过安装在底座平台上的四个滚轮支撑。滚筒是由变频电机通过齿轮减速机经齿轮传动带动滚筒端面的齿圈进行旋转的，滚筒的两端面分别由两个径向与轴向压轮控制其转动。滚筒做旋转时，带动放射源在自转的同时又沿着人体不断变换入射角度，和回转角度达到第三次聚焦的作用。滚筒的转速出厂设定为 1.0 转/分钟。滚筒结构图见图 9-10。



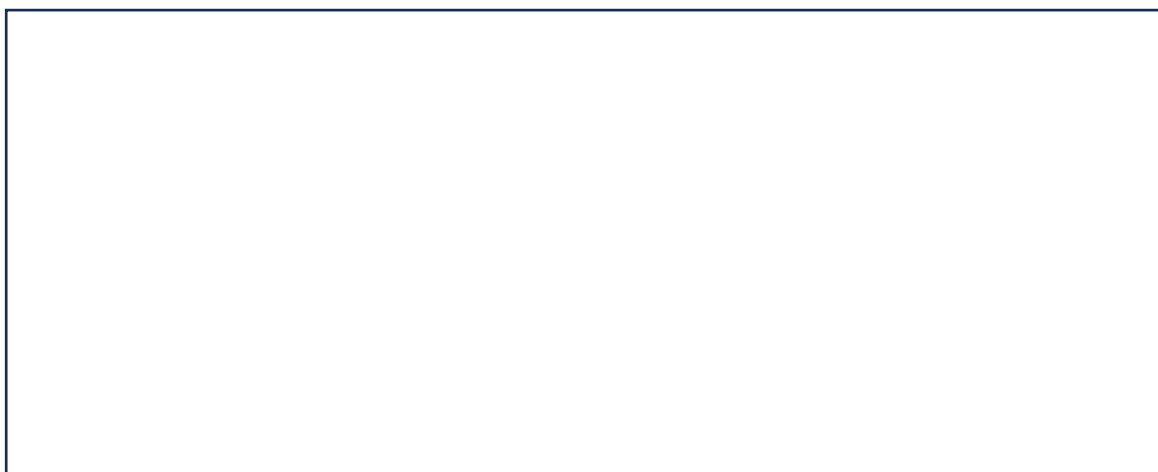
⑤源包壳

本机有一枚组合放射源，活度 $3.145 \times 10^{14} \text{Bq}$ (8500Ci)，钴粒尺寸约 $\Phi 1 \times 1 \text{mm}$ ，以 22 组按聚焦式方式放置在双层不锈钢圆柱形包壳内，用氩弧焊封装，包壳下端有收缩锥面，有助于源的装入，源包壳结构图见图 9-11。放射源是在放射源工厂制备好，并被装入治疗头内，治疗头由特制的密封金属屏蔽容器封装后运输。



⑥三维运动床

由三组伺服电机驱动滚珠丝杠带动三维治疗床作 X、Y、Z 三个方向运动。采用精密的机械传动方法，可以使床沿三个方向做出精确的位移，将并在位置送到聚焦中心。三维运动床结构图见图 9-12。



(2) 立体定位系统

GMX-I 型陀螺旋转式钴-60 放射外科治疗系统采用在立体定位床上的立体定位框架，用负压袋将患者固定，用立体定位框架和患者相对位置固定的方式确定三维立体

坐标，以将 CT 图像中病灶的坐标转换到辐射装置的坐标系中，这套定位装置就称为立体定位系统。立体定位系统包括：立体定位床、复位尺、负压袋（用于体部治疗）、头部定位框、固定头钉等（用于头部治疗），头部定位还可以选择面膜定位、牙托定位等定位方式。

（3）电气控制系统

电气控制系统包括控制台、电气控制柜、驱动装置、电源以及连接电缆等组成。

控制台包括按钮开关、指示灯、计算机控制系统、对讲系统以及一台放在控制台上的彩色监视器。电气控制柜内包括有可编程控制器、驱动装置、变压器组、空气开关接触器、接线排以及交直流电压变换装置等等。电源系统提供 380V 交流接入电气控制柜，电气控制柜提供 220V 交流及 24V 直流输出。

电源系统提供后备 UPS 不间断电源，可保证在运行过程中外界供电中断的情况下，保证源开关关闭和三维床退出的操作供电。

驱动装置包括三维治疗床定位驱动伺服电机、大滚筒驱动变频电机、源开关旋转变频电机、源开关控制步进电机以及高精度旋转编码器。

两个彩色摄像机分别放置于设备长轴线两端的墙上，镜头正对着治疗设备。

（4）治疗计划系统

本系统通过硬件和治疗计划系统（TPS）两大部分有机协调运作，达到治疗目的。

治疗计划系统是一软件系统，它首先将患者接受 CT 检查后的结果在计算机上做三维重建，结合三维运动床的定位作用，建立起病灶及周围组织的三维模型，然后由医生据此确定放射治疗的位置、放射剂量、入射角度、回转角度、照射时间等一系列治疗参数。这一软件系统同时提供若干专家软件包。最后此治疗计划系统将医生制定的数据自动整理后传输到硬件部分的控制系统，控制系统指挥主机自动执行治疗方案。

（5）放射治疗用锥形束 X 射线图像引导系统

GMX-CBCT-A 型放射治疗用锥形束 X 射线图像引导系统（最大管电压 120kV，最大管电流 1000mA）与本项目 GMX-I 型陀螺刀配套使用，用于患者放射治疗的图像引导。由高压发生器、X 射线管组件、动态平板探测器、系统工作站、限束器、滤线器盒、显示器、供电柜、操作控制盒、同步盒及 CBCT 工作站系统软件组成。

本项目拟配备的陀螺刀主要技术参数见表 9-2。

表 9-2 本项目 GMX-I 型陀螺旋转式钴-60 立体定向放射治疗系统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]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED] [REDACTED] [REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]

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。

本项目陀螺刀主机工作时，放射源被屏蔽在一安全的屏蔽体（治疗头）内，治疗头前方设置一机械源开关，当源开关被旋转至打开时， γ 射线经过准直孔照射到靶点所在位置，同时，治疗头及筒体形成十字交叉方向旋转， γ 射线绕靶点作陀螺回转式聚焦，对病灶进行聚焦照射治疗。放射源由 22 颗 ^{60}Co 籽源按聚焦式排列，形成第一次聚焦。

放射源置于一屏蔽体内装于旋转盘上，旋转盘由于其旋转中心的稳定性使得放射源在随旋转盘旋转时，恰似陀螺机构，对靶心进行第二次回旋聚焦。

陀螺机构在自转的同时又随滚筒做公转，使放射源在自转的同时又沿着人体不断变换入射角度和回转角度，达到第三次聚焦的作用。

三次聚焦的结果是放射路径在人体表皮上不断变化而焦点处的辐射剂量不断积累而达到放射治疗时医生所要求的剂量；相应的体表处所接受的辐射剂量是分散的，均匀的，从而使正常组织受到的辐射剂量达到最小。

本项目配备的陀螺刀具备有 CBCT 影像引导设备，使用锥形束 X 射线进行信息采集的计算机体层成像技术。它与传统多排探测器 CT 最显著的区别是使用二维数字平板探测器，在一次旋转中产生三维容积图像。CBCT 由影像板和球管等硬件及控制软件组成，球管产生 kV 级 X 射线，X 射线穿过物体和人体投影到影像板成像。

治疗计划选择 CBCT 图像验证时，病人在加速器治疗室开始治疗前，先完成病人肿瘤位置的验证，控制系统使 CBCT 高压发生器产生高压，球管产生 X 射线，控制系统将使用 CBCT 功能扫描病人，信号经过处理和图像完成重建后，对治疗计划中肿瘤位置图像进行优化和确认，完成图像引导。CBCT 影像引导和陀螺刀放射治疗不会同时进行。通常是交替开机。

CBCT 的优势在于重复模拟定位时的体位，保证与计划设计时靶区、靶区与危及器官和射野空间位置关系一致性，使肿瘤组织得到精准照射，提高治愈率，减少放疗副作用。图像引导放射治疗通过 CBCT 图像引导配准，可以实现病人凸显的在线或离线配准，保证病人每次治疗体位的重复性和一致性。

（2）工作流程

①治疗过程

当病人被确诊需要进行 γ 放射治疗后，主治医生首先向病人告知可能受到的辐射危害、对病灶位置进行CT定位、制定放射治疗计划，使用锥形束X射线图像引导系统(CBCT)进行图像引导系统拍摄放疗体位下的照射部位数字影像，与放疗计划系统进行对比，并校正放疗体位，开始对病人实施放疗。陀螺刀治疗工作流程及产污环节示意图见图 9-13。



②放射源订购、运输、暂存、倒装、调试、使用和退役

本项目每台 GMX-I 型陀螺旋转式 ^{60}Co 立体定向放射治疗系统配有 22 枚 ^{60}Co 放射源，22 枚放射源组合在一起的最大装源量为 $3.145 \times 10^{14}\text{Bq}$ （8500Ci），整体为 I 类放射源。

因此，放射源的运输和医疗使用管理均按 I 类源进行。本项目的放射源由有资质单位购入。

i、订购：医院在订购之前应向省生态环境主管部门提出申请，提交《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第十九条规定的申请材料。订购时，医院根据《辐射安全许可证》许可的范围提出订购需求，上海伽玛星科技发展有限公司提供放射源的所有技术参数和文件，并跟踪放射源的生产进度（放射源生产期间工作人员所受照射不在本评价范围内）。放射源订购完成后，医院应当在完成之日起 20 日内，向省级环境保护部门备案。

ii、运输：放射源生产厂家委托具有 I 类放射源运输资质的单位进行运输（放射源运输期间工作人员所受照射不在本评价范围内），运输期间的安全由运输单位负责。

iii、暂存：放射源运抵医院后、装入设备前，载有放射源的运源罐在陀螺刀治疗机房内暂存（最多 7 天）。暂存期间由医院负责安保工作，配备专人、专锁管制，全程 24h 视频监控，暂存期间安全由医院负责。

iv、倒装：由上海伽玛星科技发展有限公司负责将放射源置于治疗系统内，由上海伽玛星科技发展有限公司负责倒装期间治疗室内安全，由医院负责陀螺刀治疗室外的安保工作。

v、调试：由于该系统的安装调试具有很强的专业性，为保证设备的安装质量和操作安全，所有安装调试过程均由上海伽玛星科技发展有限公司的专业人员进行，期间安全责任由上海伽玛星负责，陀螺刀机房外安全由医院负责。

vi、使用：设备正常使用时，由医院负责放射源的安保工作，期间安全由医院负责。

vii、退役：由放射源生产厂家负责回收退役放射源，上海伽玛星科技发展有限公司负责技术支持（放射源退役时应进行退役评价，工作人员所受照射不在本评价范围内），退役手续由医院办理，回收期间安全由医院负责。

（三）CT 模拟定位机项目

1、工程设备

医院拟于 1#楼负 1 楼新增 1 台 CT 模拟定位机（型号：SL-IC，最大管电压 125kV，最大管电流 5000mA）用于模拟定位，配合医用直线加速器、陀螺刀开展放射治疗。常见的 CT 模拟定位机外观如图 9-14 所示。



图 9-14 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 9-3。

表 9-3 本项目模拟定位机技术参数情况一览表

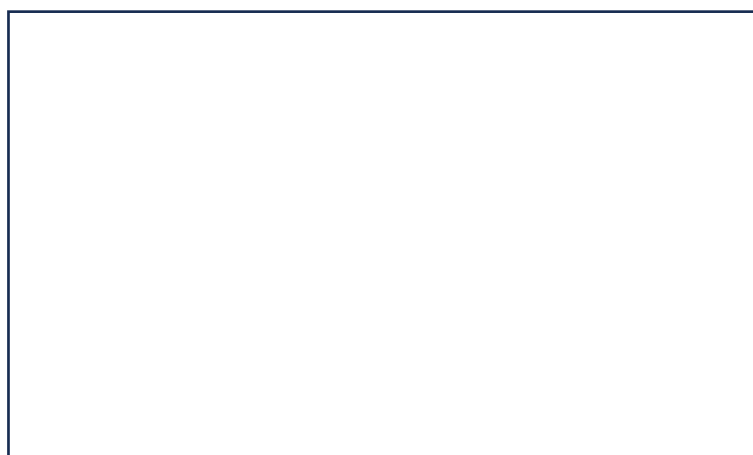
■	■
■	■
■	■
■	■
■	■
■	■
■	■

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 9-15 所示。

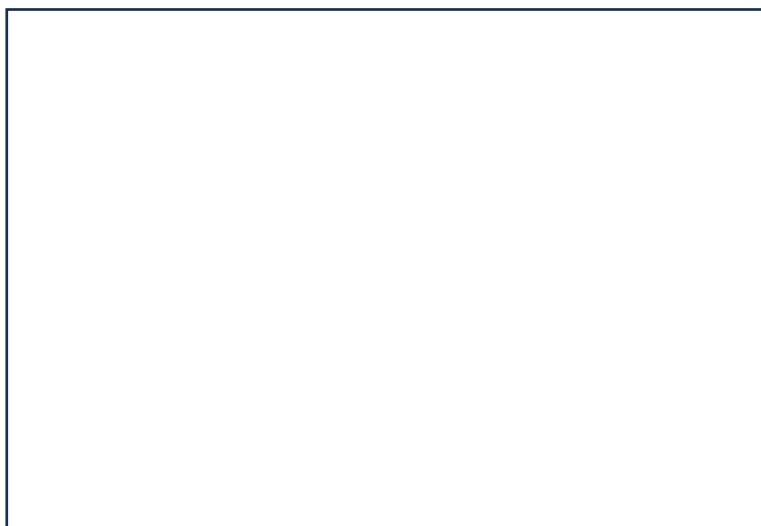


CT 模拟定位机的机架旋转、机头转动、限束器开闭、距离指示、照射野指示、治疗床各部分运动，都与放射治疗机一样，因此它能准确地模拟放射治疗机的一切机械运动。并通过 CT 模拟定位机的 X 线影像系统准确确定出肿瘤的照射位置、照射面积、肿瘤深度、等中心位置等几何参数，以及机架旋转、机头旋转角度、源瘤距、源皮距、限束器开度、升床高度等机械参数，为治疗摆位提供了有力的依据，确保放射治疗的正确实施。

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 9-16。



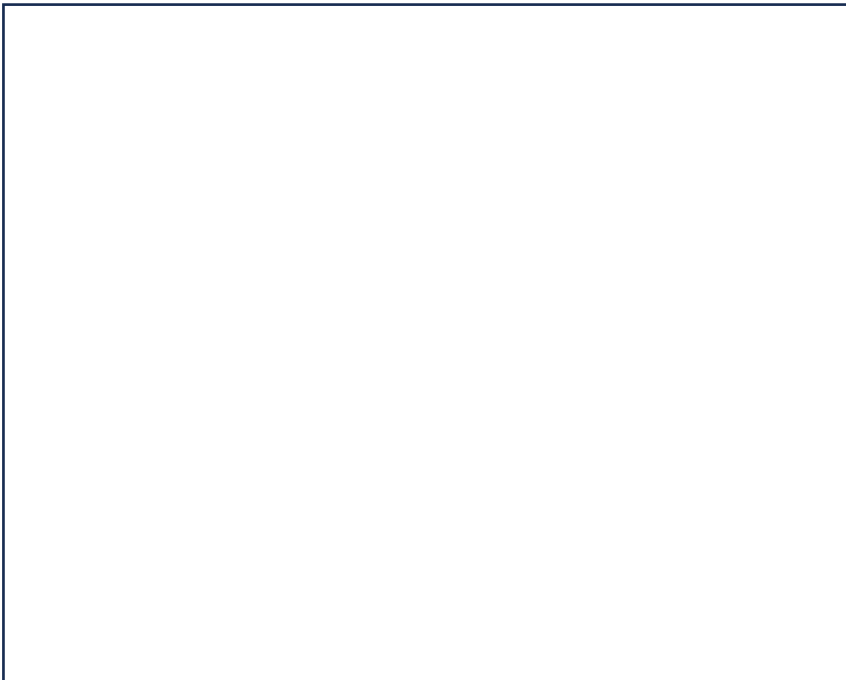
（四）工作负荷及人员配置

每台医用直线加速器、陀螺刀日接诊量最大均为 50 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 625h，本项目为每台医用直线加速器、陀螺刀配备 2 名医师，1 名技师，1 名物理师，为医院新招聘培训人员，共计 16 人，为 CT 模拟定位机项目配备 2 名医师，1 名技师。辐射工作人员年工作 250 天。

二、DSA 项目

（一）工程设备

无锡海吉亚医院有限公司拟在医院 1#楼 4 楼 OR1 手术室内新增 1 台 DSA(型号：Azurion 3 M15，最大管电压 125kV，最大管电流 1000mA)，



指	
型	
设备	
额定管电	
X 射线球	
焦	
注：*设备型号、	
序号	位置
1	设备间
2	设备间
3	设备间
4	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。两次数值相减，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 9-18。

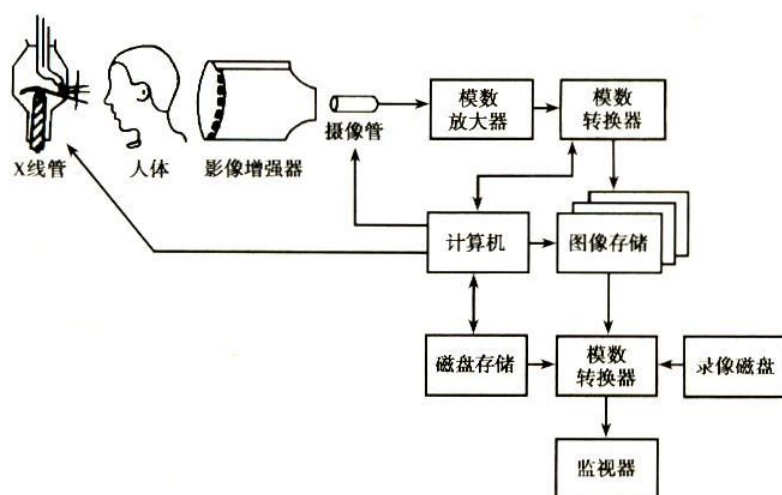


图 9-18 DSA 系统结构图

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、鼻腔、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

DSA 工艺流程及产污环节如下：

（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，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 9-19。

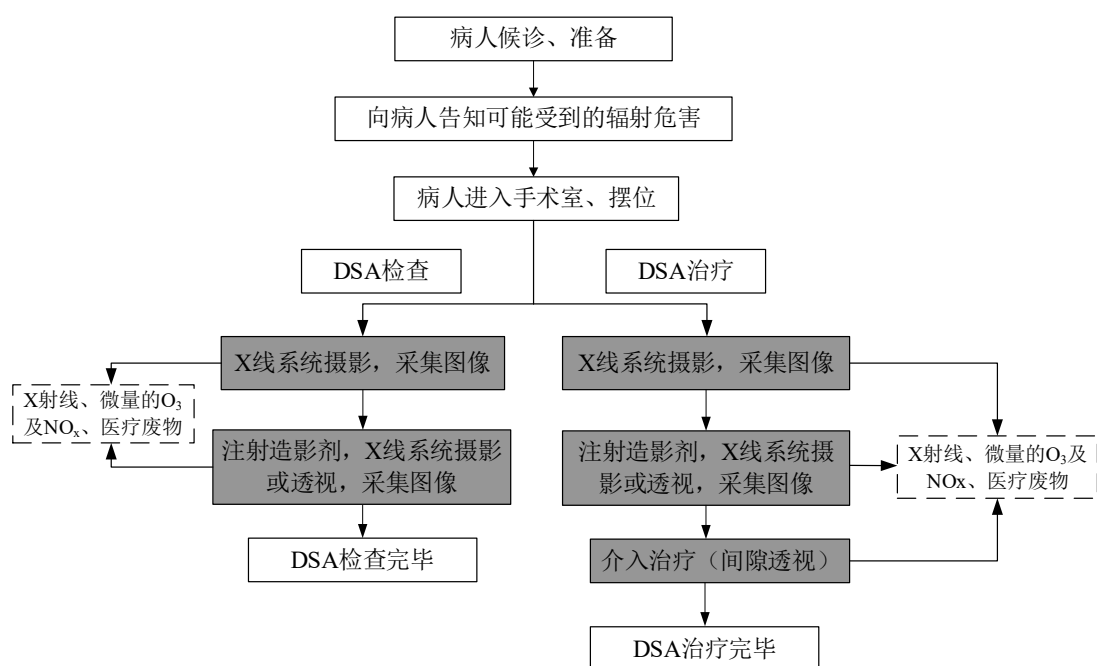


图 9-19 本项目 DSA 工作流程及产污环节示意图

3、工作负荷及人员配置

根据医院提供的资料，预估 DSA 的工作负荷情况见表 9-6。

表 9-6 预估 DSA 机房工作负荷

[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]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[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 DSA 劳动定员 6 人，其中医师 3 人，技师 1 人，护士 2 人，辐射工作人员年工作 250 天，为医院新招聘培训人员。

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，不兼职其它辐射工作。今后医院根据开展项目的实际情况做适当调整。

根据医院提供的 DSA 工作负荷，医生、护士年接触射线时间不超过 120.8h，技师在操作台进行隔室操作设备，其年接触射线时间不超过 122.7h。

三、其他Ⅲ类射线装置项目

(一) 工程设备

无锡海吉亚医院有限公司拟在医院 1#楼 1 楼 2 座 CT 机房内各新增 1 台 CT（型号：Optima CT680 Expert 64 排，最大管电压 140kV，最大管电流 1000mA），1 座 DR 机房内新增 1 台 DR（型号：Digitai Diagnost C50 排，最大管电压 150kV，最大管电流 630mA），1 座数字胃肠机房内新增 1 台数字胃肠机（型号：DTP571，最大管电压 150kV，最大管电流 650mA）；拟在 2 楼口腔科 1 座口腔 CBCT 机房内新增 1 台口腔 CBCT（型号：X-TREND，最大管电压 95kV，最大管电流 14mA），1 座牙片机房内新增 1 台牙片机（型号：FOCUS，最大管电压 70kV，最大管电流 7mA）；拟在 4 楼 OR3 手术室内新增 1 台高频移动式手术 X 射线机（型号：PLX112B1，最大管电压 120kV，最大管电流 100mA）。

（二）工作原理及工作流程

1、工作原理

本项目其他Ⅲ类射线装置项目为不同功能的 X 射线装置，其基本结构都是一致的，因诊断目的不同，在机械装置与辅助装置（各种检查床、影像增减器等）这一部分有很大的差别。其工作时由射线球管产生 X 射线，X 射线穿透人体受检部位后被探测器接收。由于人身体各部分组成物质的不同，X 射线在穿透不同部位时的衰减程度也不一样，最终探测器上接收到的 X 射线强度也不一样。探测器可将不同强度的 X 射线转换成电流信号，电流信号经转换成为数字信号，最终在屏幕上以不同灰度显示出来，就得到了受检部位的影像。

2、工作流程及产污环节分析

Ⅲ类射线装置诊断基本流程如下：

（1）检查正当性判断，预约登记。

（2）确定患者所需进行检查的部位和范围，进行摆位。

（3）进行 X 射线影像诊断检查，隔室（高频移动式手术 X 射线机为同室操作）操作；此环节 X 射线装置出束时会产生 X 射线外照射，同时 X 射线装置机房内空气被 X 射线电离产生少量臭氧及氮氧化物。

（4）诊断结束，患者离开。

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 6、10MV，1m 处 X 射线最高输出剂量率为 1400cGy/min，由于 X 射线的贯穿能力极强，将对工作人员、公众及周围环境辐射造成辐射污染。

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

本项目拟配备的医用直线加速器电子线最大能量为 15MeV，1m 处电子线最高输出剂量率为 600cGy/min。医用直线加速器在运行时产生的高能电子束，因其贯穿能力远弱于 X 射线，在 X 射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽。因此，在医用直线加速器电子束治疗时间时，电子线对周围环境辐射影响小于 X 射线治疗，可忽略对外环境的影响。

（3）中子：本项目拟配备的医用直线加速器的 X 射线能量为 6、10MV。依据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）规定（§4.3.2.5），当加速器 X 射线 $\leq 10\text{MV}$ 时，中子及其影响可忽略。

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

2、陀螺刀项目

(1) 辐射：陀螺刀未使用时，放射源处于屏蔽位，少量的 γ 射线会穿透屏蔽体，对进入陀螺刀机房的人员及室外公众等产生照射。

陀螺刀在治疗过程中，机房治疗室内来自放射源的直射、散射和漏射 γ 射线会穿透屏蔽墙及防护门，对机房外的工作人员和公众产生外照射影响。

本项目拟配备的每台陀螺刀内含 22 枚 ^{60}Co 放射源，活度为 $3.145 \times 10^{14} \text{Bq}$ ，焦点剂量率 $\geq 3.0 \text{Gy/min}$ ，放射源与焦点的距离为 535mm。核素 ^{60}Co 是一种人工生产的放射性核素，主要由 ^{59}Co 在核反应堆中经中子轰击后生成，半衰期为 5.27 年。 ^{60}Co 核素衰变过程中发射出 0.315MeV 的 β 射线和能量分别为 1.173MeV 和 1.332MeV 的两种 γ 射线，平均能量为 1.25MeV。 ^{60}Co 放射源特性见表 9-7，衰变纲图见图 9-21。

本项目配合陀螺刀使用的 GMX-CBCT-A 型放射治疗用锥形束 X 射线图像引导系统（CBCT）工作时会产生 X 射线，在开机出束期间，X 射线是主要污染因子。

(2) 放射性固体废物： ^{60}Co 放射源使用到一定年限后产生退役的放射源，可能会对周围环境产生一定的危害。

3、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 125kV、最大管电流 500mA，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 1 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 的有用线束透射方向为由下至上。有用线束的射线能量、强度与 X 射线管靶物质、管电压、管电流有关。DSA 具有自动照射量控制调节功能（AEC），摄影时，如果受检者体型偏瘦，功率自动降低，照射量率减小；如果受检者体型较胖，功率自动增强，照射量率增大。为了防止球管烧毁并延长其使用寿命，实际使用时，管电压和管电流通常留有一定的裕量。根据医院提供资料，当 DSA 运行管电压为额定电压的极端情况时，透视模式下的电流不大于 100mA，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 $5\text{mGy} \cdot \text{m}^2/\text{mA} \cdot \text{min}$ 。

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 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。

（三）其他Ⅲ类射线装置项目

Ⅲ类射线装置在工作状态下会发出 X 射线，拟配置的 7 台Ⅲ类射线装置最大管电压≤150kV、最大管电流≤1000mA，产生的 X 射线会对患者和医务人员有一定的附加辐射剂量。

二、非放射性污染

（一）废气

医用直线加速器、陀螺刀、DSA、Ⅲ类射线装置在工作状态时，会使机房内的空气产生电离，产生臭氧和氮氧化物。

（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 2 座医用直线加速器机房位于 1#楼负 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 2 座医用直线加速器机房由东向西依次为 1#、2#医用直线加速器机房，于机房内分别配备 1 台医用直线加速器（型号：Elekta Infinity，X 射线能量为 6、10MV，电子线能量 6、8、10、12、15Mev），用于肿瘤的放射治疗。2 座机房东侧、西侧为设备机房和控制室，南侧为走廊，北侧、下方为土层，上方为院内道路。

医用直线加速器机房控制室与治疗室分离，1#医用直线加速器机房控制室位于治疗室东侧，2#医用直线加速器机房控制室位于治疗室西侧，均设置直迷道，迷道口设有防护门；有用线束仅向北墙、南墙、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”的规定及《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中的相关规定，本项目医用直线加速器机房布局合理。

为加强辐射防护管理和职业照射控制，本项目拟将屏蔽产生射线的医用直线加速器机房治疗室、迷道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；拟将与医用直线加速器机房相邻的控制室、设备间作为辐射防护监督区，在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌。本项目医用直线加速器机房辐射防护分区的划分符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《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、陀螺刀项目

本次新建 2 座机房东侧、西侧为设备机房、控制室，南侧为走廊，北侧为水冷机房、护士站、走廊，下方为土层。1#陀螺刀机房上方为院内道路、会议室，2#陀螺刀机房上方为卫生间、会议室。本项目陀螺刀机房控制室与治疗室分离，治疗室设置直迷路，有用线束不向防护门照射。陀螺刀机房布局符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中关于选址与布局的规定。

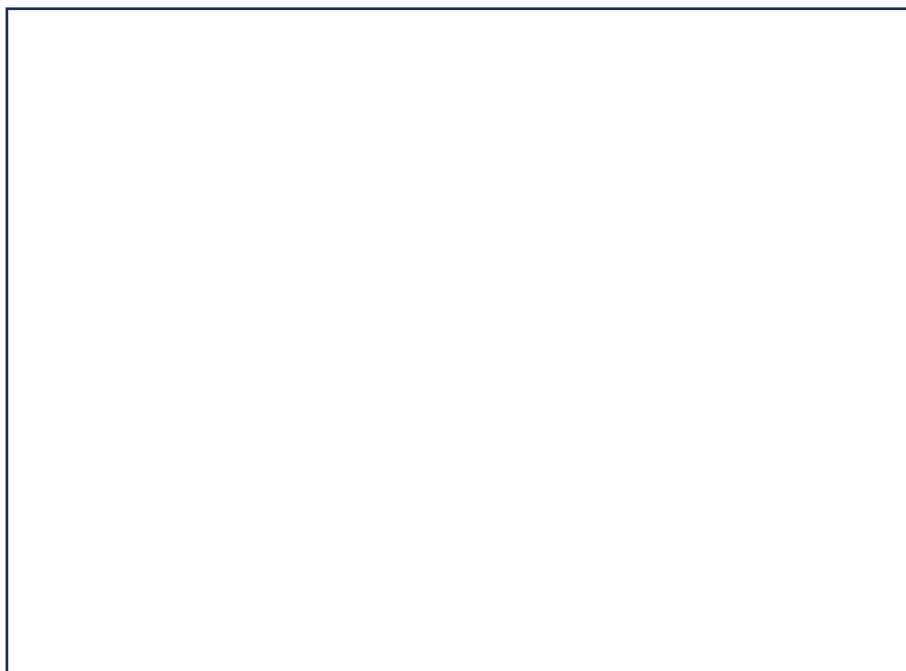
为加强辐射防护管理和职业照射控制，本项目拟将陀螺刀机房作为辐射防护控制区，严格控制人员进出，并在机房入口处设置电离辐射警告标志；拟将机房控制室、设备间、水冷机房、护士站作为辐射防护监督区。本项目辐射防护分区的划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于辐射工作场所的分区规定要求。本项目陀螺刀机房平面布置及分区示意图见图 10-2。



3、CT 模拟定位机项目

本项目拟于 1#楼负 1 楼新建 1 座 CT 模拟定位机机房，配备 1 台 CT 模拟定位机（型号：SL-IC，最大管电压 125kV，最大管电流 500mA），用于模拟定位，配合医用直线加速器、陀螺刀开展放射治疗。CT 模拟定位机房东侧为电梯、排风机房，南侧为走廊，西侧为控制室、设备机房，北侧为走廊，下方为土层，上方为院内道路。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、设备机房划为监督区，在机房入口处粘贴有电离辐射警告标志。本项目辐射防护分区的划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于辐射工作场所的分区规定。CT 模拟定位机房平面布置及分区见图 10-3。



（二）DSA 项目

本项目 DSA 机房东侧为前室，西侧为走廊，南侧为设备间，北侧为负压后室、体外循环室、控制室，上方为手术室设备区域，下方为预留房间。

本项目 1 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 所在机房作为辐射防护控制区，在机房入口处粘贴电离辐射警告标志；拟将与机房相邻的控制室、设备间、负压后室、体外循环室、前室等划为监督

区，在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌。本项目辐射防护分区的划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于辐射工作场所的分区规定。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 10-4。



（三）其他Ⅲ类射线装置项目

本项目其他Ⅲ类射线装置机房周围情况见表 10-1。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。

本项目拟将Ⅲ类射线装置所在机房作为辐射防护控制区，在机房入口处粘贴有电离辐射警告标志，拟将相应控制室划为监督区，在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌。本项目辐射防护分区的划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于辐射工作场所的分区规定，各机房的辐射防护分区见附图 4~附图 5、附图 7。

表 10-1 射线装置机房周围情况一览表

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

二、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 2 座医用直线加速器机房采用混凝土浇筑结构，呈东西向镜像分布，治疗室东西长 11.2m、南北长 9.4m、净面积为 98.49m²（含迷道），机房顶部屏蔽内表面至地面约 4.3m（装饰面层下机房高 3.1m），设置直迷道，迷道横宽 1.8m，迷道口设有防护门。

具体屏蔽设计参数见表 10-2。

表 10-2 医用直线加速器机房屏蔽设计参数

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

注：1、医用直线加速器机房北侧、下方为土层，人员不可达；

2、混凝土密度为 2.35g/cm^3 ，铅密度为 11.3g/cm^3 。

2、陀螺刀项目

本项目 2 座陀螺刀机房采用混凝土浇筑结构，呈东西向镜像分布，治疗室东西长 10.4m、南北长 6m、净面积为 63.68m^2 （含迷道），机房顶部屏蔽内表面至地面约 4.6m，设置直迷道，迷道横宽 2m，迷道口设有防护门。

本项目 2 座陀螺刀机房屏蔽参数见表 10-3。

表 10-3 陀螺刀机房防护屏蔽设计一览表

注：混凝土密度不低于 2.35g/cm³，铅的密度不低于 11.3g/cm³。

3、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 10-4。

表 10-4 本项目III类射线装置机房屏蔽设计参数

注：1、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；
2、根据医院提供的数据，本项目 10mm 硫酸钡水泥约为 1mm 铅当量。

（二）DSA 项目

本项目 1 座 DSA 机房东西长 7.0m、南北长 8.2m，层高 4.2m，机房屏蔽参数见表 10-5。

表 10-5 本项目 1 座 DSA 机房屏蔽设计一览表

注：1、铅密度为 11.3g/cm³，砼密度不低于 2.35g/cm³；
2、DSA 机房上方为设备层，无人员居留；
3、根据医院提供的数据，本项目 10mm 硫酸钡水泥约为 1mm 铅当量。

（三）其他III类射线机房项目

本项目其他 7 间III类射线装置机房具体屏蔽设计参数见表 10-6。

表 10-6 本项目Ⅲ类射线装置机房屏蔽设计参数

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）安全联锁装置

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。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，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、陀螺刀项目

（1）电线电缆布设

医院在陀螺刀机房已经预留地埋式沟槽，陀螺刀机房的控制电缆均拟布设于电缆沟内。电缆沟埋设在地下，沟槽深 20cm，上覆刚性盖板，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) 防护门搭接方式与陀螺刀机房屏蔽体

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。本项目陀螺刀机房防护门与墙之间的间隙小于 1cm，门与墙之间间隙与搭接比值小于 1/10，可有效防止门缝处射线泄漏。本项目陀螺刀机房以混凝土为屏蔽体，1 次整体浇筑，以防止出现裂缝和过大的气孔。

(3) 通风要求

本项目陀螺刀机房拟设计有通风装置，采用机械排风方式，通风换气频率为不低于 4 次/h。陀螺刀机房采用上进下出的通风系统，进风管道、排风管道穿过防护门上方墙体至机房内，进风口拟设置在治疗室东南角或西南角吊顶处，排风口拟设在治疗室西北角或东北角，下沿距治疗室地面 0.3m 高，进风口与排风口成立体对角设置，可实现空气在治疗室内有效对流。通风口和通风管道未破坏治疗室墙体的屏蔽效果，射线经多次散射后，进出风管道进出口处辐射剂量率将在控制范围内。满足 HJ 1198-2021 及 GBZ 121-2020 中的相关要求。

(4) 门机联锁

机房防护门设计安装门机联锁装置。只有在防护门关闭的情况下，才能开机出源治疗；在治疗状态下，如果人为将防护门打开，联锁装置会自动启动关源程序、快速中止辐射。陀螺刀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。

(5) 电离辐射警告标志和工作状态指示灯

在陀螺刀主机外壳、控制台、治疗室防护门外均设计安装与陀螺刀出束联锁的具备“预备”、“照射”工作状态指示灯，门外设置醒目、规范的电离辐射警告标志。

(6) 紧急停止按钮

在陀螺刀控制台、机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧及陀螺刀主机外壳上分别设计安装紧急停止按钮，紧急情况下，按紧急停止按钮后，设备自动启动关源程序、快速中止辐射，保证辐射安全。

(7) 固定式剂量监测报警装置

在陀螺刀治疗室内设计安装固定式剂量监测报警装置，并与门机联锁相联系。该报警装置数字显示装置安装在控制室内，剂量检测探头安装在治疗室内迷路内墙上，医务人员可在控制室内实时了解治疗室内的辐射水平。当辐射剂量超过预定水平时，系统的音响和（或）灯光警告装置发出警告信号。

（8）视频监控和对讲系统

在陀螺刀治疗室内设计安装摄像头，并配备对讲装置，在治疗过程中工作人员可以在控制室内通过实时监控装置及时观察患者情况，与患者交流，防止意外情况的发生。

（9）手动关源

当设备出现机械故障导致放射源不可关闭时，可采用手动关源。

（10）UPS 电源

陀螺刀系统设计配备 UPS，断电情况下可持续供电 30 分钟以上，保证关源步骤的完成，确保患者和技术人员的辐射安全。

（11）医院加强日常工作的监管与工作人员的培训，防止维修停机期间操作不当或其他非维修人员误操作导致辐射事故的发生。



3、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

平开机房门拟设有自动闭门装置，推拉式机房门拟设有曝光时关闭机房门的管理措施，防护门关闭的情况下，设备才能出束照射。同时，电动推拉门均拟设置防夹功能。

(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

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。

(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；候诊区应设置放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 机房患者入口防护门为推拉式电动机房门，拟设置曝光时关闭机房门和防夹装置，医护入口防护门为平开机房门，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。

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 1 台 DSA 配备 6 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、制定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

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

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

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

（3）所有在介入放射治疗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它相关设备应该定期进行检测。

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

(三) 其他III类射线装置项目

本项目其他III类射线装置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，工作状态指示灯拟与防护大门进行联锁，机房设置观察窗或摄像监控装置，设置动力通风装置并保持良好的通风。平开机房门拟设置自动闭门装置，推拉式机房门拟设置曝光时关闭机房门与防夹装置。

无锡海吉亚医院有限公司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。

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。

表 10-7 个人防护用品和辅助防护设置配置符合性

序号	名称	规格	数量	备注
1	铅衣	1.0mmPb当量	2件	
2	铅围脖	0.5mmPb当量	2条	
3	铅帽	0.5mmPb当量	2顶	
4	铅眼镜	0.5mmPb当量	2副	
5	铅手套	0.5mmPb当量	2副	
6	铅帘	0.5mmPb当量	2条	
7	铅屏风	1.0mmPb当量	2面	
8	辐射监测仪	0.1-10μSv/h	2台	
9	个人剂量计	0.01-10mSv	2只	

线加速器机房、陀螺刀机房通风设计平面图详见图 10-7、图 10-8。

本项目 2 座医用直线加速器机房治疗室容积均约 278m^3 （不包括迷道），其排风机的设计排风量为 $1800\text{m}^3/\text{h}$ ，每小时通风换气次数约为 6.47 次/h；2 座陀螺刀机房治疗室容积均约 265.3m^3 （不包括迷道），其排风机的设计排风量为 $2500\text{m}^3/\text{h}$ ，每小时通风换气次数约为 9.42 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

本项目机房建设属于无锡海吉亚医院有限公司新建项目基础建设的部分工程，施工期阶段环境影响已于“无锡海吉亚医院有限公司无锡海吉亚医院新建项目”《建设项目环境影响报告表》中详细描述，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：

一、大气

本项目在建设施工期需进行的挖掘地基、打桩、混凝土浇筑等作业，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：

- （一）及时清扫施工场地，并保持施工场地一定的湿度；
- （二）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；
- （三）施工路面保持清洁、湿润，减少地面扬尘。

二、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。

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。

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

（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 2 台 Elekta Infinity 型医用直线加速器，主要参数为：X 射线能量：6、10MV；电子线能量：6、8、10、12、15MeV；射线最大出射角：28°；1m 处输出剂量率：6MV 时最高剂量率为 1400cGy/min（3F 束流模式），10MV 时最高剂量率为 600cGy/min，故本项目以 X 射线能量为 6MV、10MV 的情况下分别进行辐射影响分析。

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）的要求，在本项目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 1#、2#医用直线加速器机房呈东西向镜像分布，2 座医用直线加速器机房内部尺寸及屏蔽防护设计一致，故本次以 1#医用直线加速器机房为例，进行防护计算分析。

本项目 1#医用直线加速器机房的关注点设定如图 11-1。



(1) 有用线束主屏蔽区的宽度核算

使用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第1部分：一般原则》(GBZ/T 201.1-2007)中的相关公式计算有用线束主屏蔽区的宽度：

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

式中： Y_p —机房有用束主屏蔽区的宽度，m；

SAD —源轴距，m；

θ —治疗束的最大张角（相对束中的轴线），即射线最大出射角的一半；

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

将各参数代入公式 11-1，可估算出本项目 1#医用直线加速器机房的主屏蔽宽度核算结果并评价如表 11-1：

根据表 11-1 计算结果可知, 1#、2#医用直线加速器机房南墙、顶部主屏蔽区域屏蔽宽度能够满足医用直线加速器的有用射线束的防护宽度要求。

(2) 辐射防护效果预测

①有用线束主屏蔽设计核算(南墙 a 点、屋顶 l 点)

i、主射线路径: 南墙 $o_2 \rightarrow a$, 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 11-2 计算有效厚度 X_e (cm), 按照公式 11-3 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B , 再按照公式 11-4 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)。

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

式中: X —设计屏蔽厚度, cm;

θ —斜射角。

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

式中, TVL_I (cm) 和 TVL (cm) 为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度, 当未指明 TVL_I 时, $TVL_I = TVL$ 。可根据加速器 X 射线能量查 GBZ/T 201.2-2011 的附录 B 表 B.1。本项目中, 对应 10MV 的 X 射线能量, 混凝土 TVL_I 为 41cm, TVL 为 37cm; 对应 6MV 的 X 射线能量, 混凝土 $TVL_I = 37\text{cm}$, $TVL = 33\text{cm}$ 。本项目中, a 点、 l 点相应厚度主屏蔽的 B 值核算见表 11-2。

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

式中: $\dot{H}_0$ —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 (以下简称靶) 1m 处的常用最高剂量率, $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$, 本项目中, 对应 6MV 的 X 射线能量, 1m 处的常用最高剂量率为 $8.40\text{E}+08\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$; 对应 10MV 的 X 射线能量, 1m 处的常用最高剂量率为 $3.60\text{E}+08\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$;

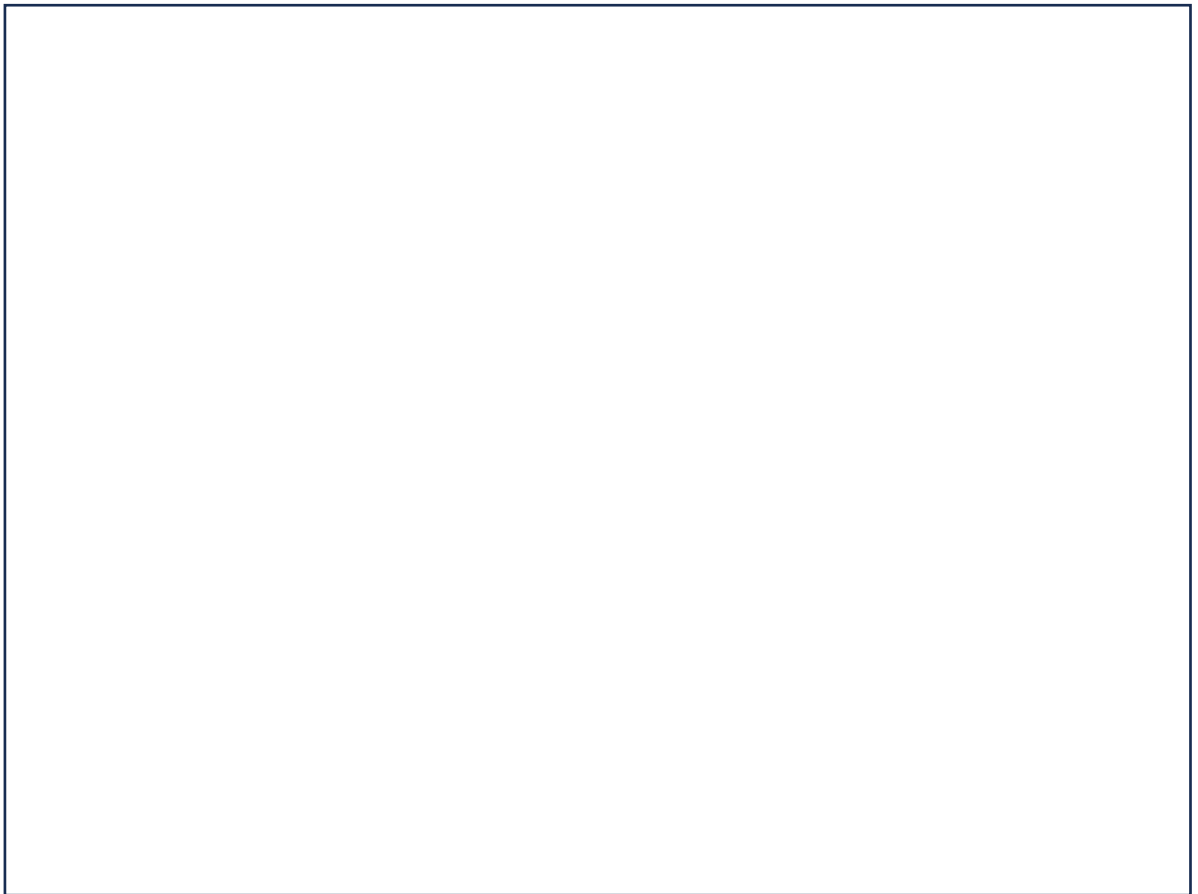
R —靶点至参考点的距离, m, 本项目参考点均为相应墙外 30cm;

f —对有用线束为 1, 对泄漏辐射为泄漏辐射比 0.1%。

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 ($\mu\text{Sv/h}$)，将其与本项目确定的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ 相比，判断机房屏蔽设计是否满足标准要求，计算结果见表 11-2。



②与主屏蔽区相连的次屏蔽区屏蔽设计核算（南墙 c_1 点、 c_2 点、北墙 d_1 点、 d_2 点及屋顶 m_1 点、 m_2 点）

i、射线路径（射线类型）： $o_2 \rightarrow o \rightarrow c_1$ （散射射线）， $o_2 \rightarrow o \rightarrow c_2$ （散射射线）， $o_3 \rightarrow o \rightarrow m_1$ （散射射线）， $o_3 \rightarrow o \rightarrow m_2$ （散射射线）。

$o \rightarrow c_1$ （泄漏射线）， $o \rightarrow c_2$ （泄漏射线）， $o \rightarrow m_1$ （泄漏射线）， $o \rightarrow m_2$ （泄漏射线）。

对于位置 c_1 点、 c_2 点和 m_1 点、 m_2 点，考虑泄漏辐射和散射辐射的复合作用。

ii、泄漏辐射计算模式及参数

泄漏辐射屏蔽，估算方法类似主屏蔽区。 $f=0.001$ （泄漏辐射比率，根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011），加速器的泄漏辐射比率通常取 10^{-3} ），公式 11-3 的 TVL_I 和 TVL 保守取附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，对应 10MV 的 X 射线能量，混凝土 $TVL_I=35\text{cm}$ ， $TVL=31\text{cm}$ ；对应 6MV 的 X 射线能量，混凝土 $TVL_I=34\text{cm}$ ， $TVL=29\text{cm}$ 。

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 11-2 计算或直接在结构图中量出该屏蔽墙的有效厚度 X_e (cm), 按照公式 11-3 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B_s (其中患者散射辐射在混凝土中的什值层, 查表 B.4 知, 当散射角 30° 时, 对于 10MV 射线, 患者散射辐射在混凝土中什值层为 28cm; 对于 6MV 射线, 患者散射辐射在混凝土中什值层为 26cm), 再按照公式 11-5 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$);

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

式中: $\dot{H}_0$ —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 (以下简称靶) 1m 处的常用最高剂量率, $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$, 本项目中, 对应 10MV 的 X 射线能量, 1m 处的常用最高剂量率为 $3.60\text{E}+08\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$; 对应 6MV 的 X 射线能量, 1m 处的常用最高剂量率为 $8.40\text{E}+08\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$;

α_{ph} —患者 400cm^2 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m (关注点方向) 处的剂量比例, 又称 400cm^2 面积上的散射因子。根据散射线能量和考察点斜射角, 查 GBZ/T 201.2-2011 表 B.2。本项目按 10MV、 30° 取值, 为 3.18×10^{-3} ; 按 6MV、 30° 取值, 为 2.77×10^{-3} 。

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

R_s —患者 (位于等中心点) 至关注点的距离, m。

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 11-3, 其中 X_e 、 R 的取值由 CAD 图纸上读取。

表 11-3-1 与主屏蔽相连的次屏蔽外参考点辐射剂量率核算值 (6MV)

注：土层密度约为 1.1g/cm³，按物质密度与射线吸收呈正比的关系，将土层换算成混凝土进行屏蔽计算。

表 11-3-2 与主屏蔽相连的次屏蔽外参考点辐射剂量率核算值（10MV）

注：土层密度约为 $1.1\text{g}/\text{cm}^3$ ，按物质密度与射线吸收呈正比的关系，将土层换算成混凝土进行屏蔽计算。

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，估算方法类似主屏蔽区。公式 11-4 中， $f=0.001$ （泄漏辐射比率，根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011），加速器的泄漏辐射比率通常取 10^{-3} ）。公式 11-3 的 TVL_I 和 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，对应 10MV 的 X 射线能量，混凝土 $TVL_I=35\text{cm}$ ， $TVL=31\text{cm}$ ；对应 6MV 的 X 射线能量，混凝土 $TVL_I=34\text{cm}$ ， $TVL=29\text{cm}$ 。

iii、预测计算结果

e 点、 f 点的辐射剂量率预测结果见下表 11-4，其中 X_e 、 R 的取值由 CAD 图纸上读取。

表 11-4-1 1#医用直线加速器机房侧屏蔽墙泄漏辐射剂量率核算值（6MV）

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

表 11-4-2 1#医用直线加速器机房侧屏蔽墙泄漏辐射剂量率核算值（10MV）

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

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）： $o_2 \rightarrow k$ （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，估算方法类似主屏蔽区。公式 11-4 中， $f=0.001$ （泄漏辐射比率，根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011），加速器的泄漏辐射比率通常取 10^{-3} ）。公式 11-3 的 TVL_l 和 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，对应 10MV 的 X 射线能量，混凝土 $TVL_l=35\text{cm}$ ， $TVL=31\text{cm}$ ；对应 6MV 的 X 射线能量，混凝土

$TVL_I=34\text{cm}$, $TVL=29\text{cm}$ 。

iii、预测计算结果

k 点的辐射剂量率预测结果见下表 11-5, o_2 至 k 的泄漏辐射的斜射角较小, 通常以 0° 垂直入射保守估算, 其中 X_e 、 R 的取值由 CAD 图纸上读取。

表 11-5 迷路外墙泄漏辐射剂量率核算值

[REDACTED]	[REDACTED]	
	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	
[REDACTED]	[REDACTED]	
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	
[REDACTED]	[REDACTED]	

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 ($o_l \rightarrow o \rightarrow i \rightarrow g$) 及加速器的泄漏辐射 o_l 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): $o_l \rightarrow g$ (泄漏射线), $o_l \rightarrow o \rightarrow i \rightarrow g$ (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 11-6。

表 11-6 1#医用直线加速器机房迷路入口处的泄漏辐射剂量率核算值

[REDACTED]	[REDACTED]	
	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	

注：*根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）中 4.3.2.5.1b），“核算加速器的泄漏辐射（以偏离 o 的位置 o_l 为中心）经迷路内墙屏蔽后在迷路入口 g 的辐射剂量。核算结果应为 g 处的参考控制水平的一个分数（应小于 1/4）”，故本项目取 $0.8\mu\text{Sv/h}$ 。

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 11-6 计算。

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

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

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， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ 。

表 11-7 迷路入口处的散射辐射剂量率核算值

iv、预测计算结果

在给定防护门的铅屏蔽厚度 $X(\text{cm})$ 时, 防护门外 g 点处的辐射剂量率 $\dot{H}$ ($\mu\text{Sv/h}$) 按公式 11-7 计算, 预测结果见下表 11-8。

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

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

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

TVL —辐射在铅中的什值层, cm 。

表 11-8 迷路入口防护门外的辐射剂量率核算值



⑥预测计算结果汇总及评价

综上所述，1#医用直线加速器机房墙、顶、门外理论估算结果汇总见表 11-9。

表 11-9 1#医用直线加速器机房墙、顶、门外理论估算结果汇总

本项目 1#、2#医用直线加速器机房呈东西向镜像分布，2#医用直线加速器机房的关注点设定如图 11-2，2#医用直线加速器机房计算方式同 1#医用直线加速器机房一致，其墙、顶、门外理论估算结果汇总见表 11-10。

表 11-10 2#医用直线加速器机房墙、顶、门外理论估算结果汇总

由表 11-1、表 11-9 及表 11-10 可知，本项目 2 座医用直线加速器机房主屏蔽区宽度、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 2 座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，管道经防护门上方由迷道到达机房内，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，电缆沟尺寸为200W×250H，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

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：

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

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。

本项目每台医用直线加速器年出束运行时间约 625h, 考虑周围公众及辐射工作人员的居留因子, 将表 11-9 和表 11-10 中医用直线加速器机房外各典型参考点处的辐射剂量率估算值代入公式 11-8, 估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 11-11。

根据表 11-11 结果分析知，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为 0.09mSv，周围公众的年有效剂量最大为 0.02mSv，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)。

医用直线加速器运行期间, 由于机房有足够的屏蔽, 由部件产生的感生放射性不会对机房外的环境产生辐射污染。但每次治疗结束后, 辐射工作人员需进入治疗室引导治疗后患者离开并对下一位患者进行摆位。往往由于放射治疗患者较多, 辐射工作人员一般在医用直线加速器停机后 3min 左右就进入治疗室内, 此时大部分感生放射性核素未能充分衰变。本项目日接诊量最大 50 人次, 平均每位患者摆位时间为 30s, 一年 250 个工作日, 保守采用《医用电子直线加速器质量控制检测规范》(WS 674-2020)标准规定限值最大值(距离外壳表面 1m 处 $\leq 20\mu\text{Sv/h}$)进行估算, 辐射工作人员在摆位时受到的年有效剂量为 4.167mSv。

(5) 电子线治疗时辐射防护评价

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

(6) 辐射剂量叠加影响

本项目 2 台医用直线加速器同时工作时, 辐射工作人员最大辐射剂量率不超过 $5.55\text{E-}01\mu\text{Sv/h}$, 最大年受照剂量不超过 0.18mSv。本项目辐射工作人员摆位时受到的年有效剂量为 4.167mSv/人, 叠加机房外 30cm 处的年受照剂量总计为 4.347mSv/人。公众最大辐射剂量率不超过 $2.08\mu\text{Sv/h}$, 最大年受照剂量不超过 0.04mSv, 满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)、《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)中对职业人员、公众的剂量要求。

2、陀螺刀项目

(1) 工作状态下治疗机房内 γ 空气吸收剂量率分布

由于采用了陀螺旋转结构，在公转环集束射线穿过靶心经过的路径上，设置了有效厚度的铅屏蔽层，实现了机内放射源的自屏蔽。此设计既解决了公转环的平衡问题，又可有效防止射线的泄漏。同时，由于机内设计有自屏蔽，即使是治疗过程中，射线穿透机器的散射能量已降至很弱，对机房的屏蔽要求已降至很低。

依据设备厂家提供的治疗机房内开源状态剂量率分布图（见图 11-4），距等中心 1m 处的吸收剂量率最大值为 17340 μ Gy/h，为安全起见，本项目进行机房外关注点辐射剂量率计算时，保守采用 2.01E+04 μ Sv/h（转换系数取 1.16）作为距焦点 1m 处的吸收剂量率。

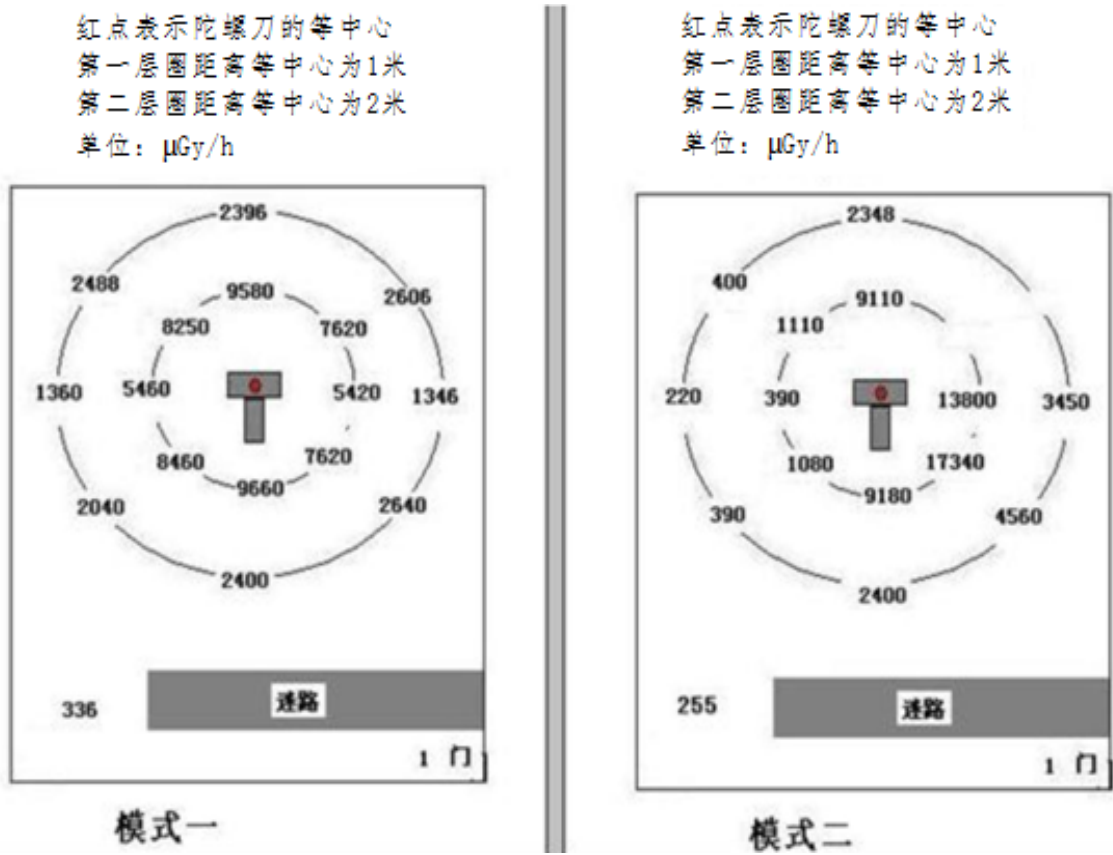


图 11-4 两种测试模式下治疗机房内开源状态剂量率分布图

①测试条件

放射源种类： ^{60}Co ；

最大装源活度： $3.145 \times 10^{14} \text{Bq}$ 。

②测试方法

在治疗机房内距离陀螺刀等中心 1m、2m 的各个位置布点，打开源开关，用剂量仪测试一段时间内的累积剂量，转换成剂量率。

- i、测试模式一：治疗头以 0°法线为轴作旋转运动，见图 11-5（a）；
- ii、测试模式二：治疗头以 270°法线为轴作旋转运动，见图 11-5（b）。

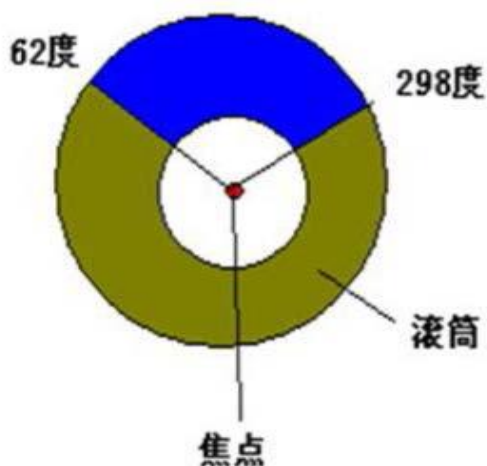


图 11-5（a）治疗头以 0°为法线示意图

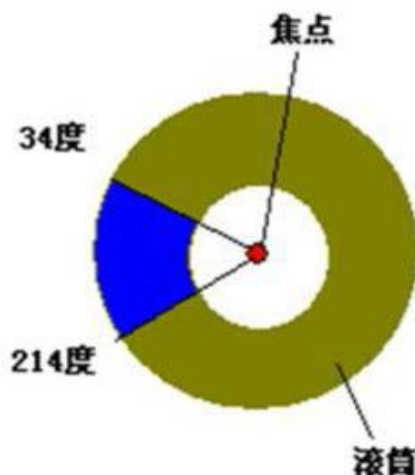


图 11-5（b）治疗头以 270°为法线示意图

（2）工作状态下治疗机房周围关注点处的 γ 辐射剂量率

本项目 1#、2#陀螺刀机房呈东西向镜像分布，2 座机房内部尺寸及屏蔽防护设计一致，故本次以 1#陀螺刀机房为例，进行防护计算分析。

根据厂家提供的资料及陀螺刀的工作原理，本项目北墙、南墙及屋顶为主射束方向。由于距焦点 1m 处的吸收剂量率的取值为厂家提供的治疗室内开源状态实测剂量率最大值，该数据已包含透过自屏蔽的有用线束、漏射线及散射线束的剂量率，因此，偏安全考虑，本项目在计算时有用线束、漏射线时均按有用束进行估算（此时 $f=1$ ），对屏蔽墙的屏蔽估算时不再对漏射线及散射线剂量率分别进行估算，仅对防护门处剂量估算时考虑散射线束。本项目陀螺刀机房辐射屏蔽防护及估算点位示意图见图 11-6（预测点位取墙体或者防护门外 30cm 处）。

①陀螺刀机房墙体及顶部辐射防护设计核算

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014），在给定的屏蔽物质厚度 X （cm）时，首先按照公式 11-9 计算有效厚度 X_e （cm），按照公式 11-10 计算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B ，考虑距离衰减后再按照公式 11-11 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率（μSv/h）。

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

式中： X —设计屏蔽厚度，cm；

θ —斜射角。

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

式中， TVL_I （cm）和 TVL （cm）为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度，当未指明 TVL_I 时， $TVL_I = TVL$ 。本项目 TVL 、 TVL_I 取值根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）附录 C 表 C.1 混凝土 $TVL=218\text{mm}$ 、 $TVL_I=245\text{mm}$ ，铅 $TVL=TVL_I=41\text{mm}$ 。

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

式中： $\dot{H}_0$ —入射剂量率，μSv/h。取工作状态下，距等中心 1m 处的最大剂量率；

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 —有用线束和泄漏辐射均取 1（保守考虑，本项目在计算时有用线束和泄漏辐射均按有用束进行估算）。

依据设备厂家提供的治疗机房内开源状态剂量率分布图，保守采用 $2.01\text{E}+04\mu\text{Sv/h}$ （转换系数取 1.16）作为距焦点 1m 处的吸收剂量率，再考虑距离衰减

后，将相应屏蔽厚度得出的辐射屏蔽透射因子 B 值代入，按照公式 11-11 得到相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)，计算结果见表 11-12，其中 X_e 、 R 的取值由 CAD 图纸上读取。



②陀螺刀机房迷路防护门辐射防护设计核算

本项目陀螺刀机房入口设有直迷路，迷路口用 12mmPb 防护当量的防护门屏蔽散射至迷路入口处的散射线。

入口 g 处的散射辐射剂量采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分： γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）中公式计算：

$$H_s = \frac{\dot{H}_0 \cdot S_w \cdot a_w \cdot f}{R_0^2 \cdot R_l^2} \quad \text{公式 11-12}$$

式中： S_w — i 处的散射面积， m^2 ；

a_w —散射体的散射因子，参考《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分： γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）表 C.4，本项目取 2×10^{-3} ；

R_0 —辐射源至散射体中心点的距离， m ；

R_l —散射体中心点至计算点的距离，m；

f —泄漏辐射比率，保守考虑，本项目在计算时有用线束和泄漏辐射均按有用束进行估算，本项目取 1。

由表 11-12 可知，直接透过迷路内墙和防护门的辐射剂量率为 $1.39\text{E-}05\mu\text{Sv/h}$ ；由表 11-13 可知，防护门处的散射辐射剂量率为 $9.57\text{E-}04\mu\text{Sv/h}$ 。陀螺刀机房入口 g 点处叠加辐射剂量率为 $9.71\text{E-}04\mu\text{Sv/h}$ 。

③预测计算结果汇总及评价

综上所述，陀螺刀机房墙、顶、门外理论估算结果汇总见表 11-14。

本项目 1#、2#陀螺刀机房呈东西向镜像分布，2#陀螺刀机房的关注点设定如图 11-7，2#陀螺刀机房计算方式同 1#陀螺刀机房一致，其墙、顶、门外理论估算结果汇总见表 11-15。

计算结果表明，2 座陀螺刀正常运行工况下，机房四周墙体及防护门处的辐射剂量率为（<0.001~0.525） $\mu\text{Sv/h}$ ，顶部的辐射剂量率<0.001 $\mu\text{Sv/h}$ ；当 2 座机房同时运行时，周围辐射剂量率最大不超过 1.05 $\mu\text{Sv/h}$ ，满足相应的剂量率参考控制水平要求，同时满足《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分： γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）中“机房四侧屏蔽墙外 30cm 处剂量率目标控制值为 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

医院本次拟配备的陀螺刀均带有 CBCT 系统，由于机房的四周、顶面防护墙体均为 800mm 混凝土结构，远远超过《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中相关要求，故可忽略其对周围环境的辐射影响。

(3) 机房门缝处辐射防护评价

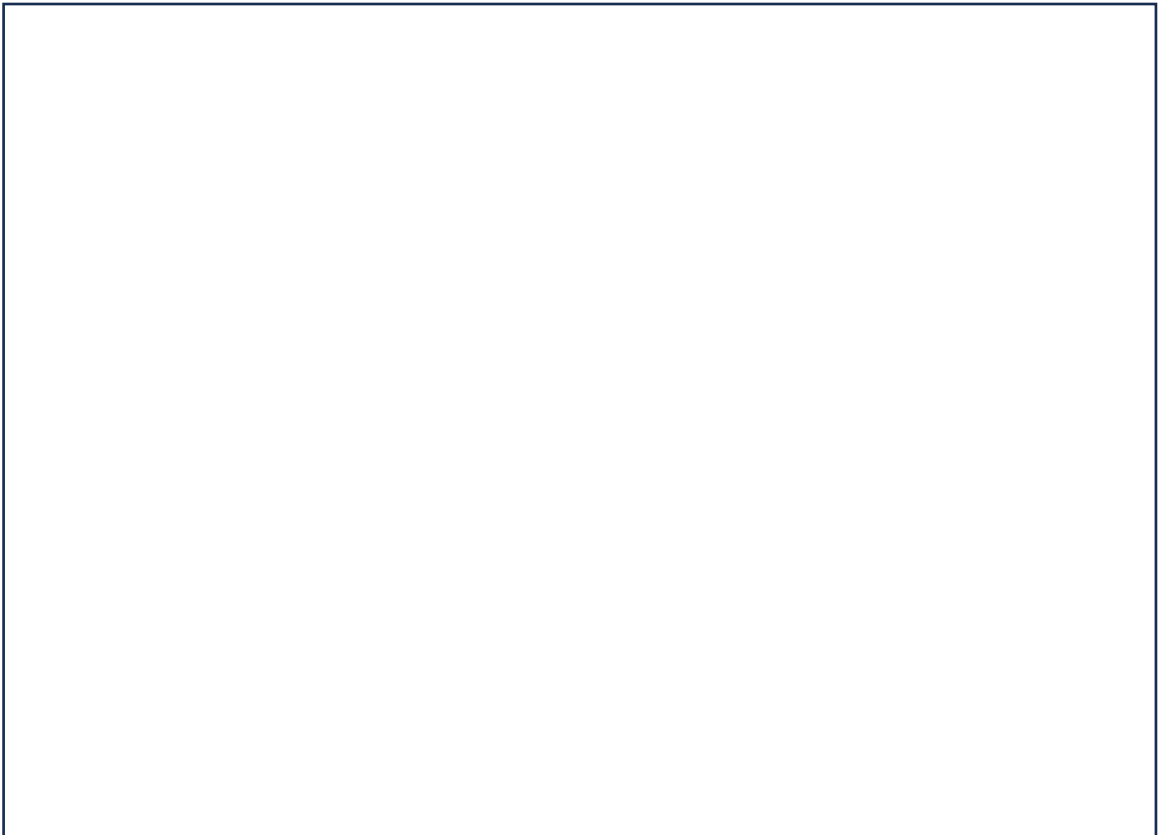
本项目陀螺刀机房防护门设计制作时，除要考虑足够的防护厚度外，拟考虑防护门与周围墙壁及地面的重叠搭接，以防止门缝处射线泄漏。本项目机房门与墙之间的间隙小于 1cm，防护门与墙之间的搭接不小于 10cm，可有效防止门缝处射线泄漏。

(4) 进、排风口处的 γ 辐射剂量率

本项目陀螺刀机房内设有通风装置，采用机械排风方式。陀螺刀机房采用上进下出的通风系统，进风管道、排风管道穿过防护门上方墙体至机房内，进风口位于治疗室西南角或东南角吊顶处；排风口设置于治疗室东北角或西北角距地面 300mm 处，进风口与排风口成立体对角设置，可实现空气在治疗室内有效对流。根据《辐射防护手册（第一分册）》“一个能使射线至少经过三次散射才能到达门口的迷道，将能保证迷道口工作人员的安全”，本项目进、排风管道的设计满足辐射防护的要求（见图 11-8）。

(5) 电缆沟辐射防护评价

医院在陀螺刀机房已经预留地埋式沟槽，沟槽深 20cm，上覆厚钢板，电缆沟不会破坏治疗室墙体的屏蔽效果，射线经几次散射后，出口处辐射剂量在控制范围内，能够满足辐射防护要求。



(6) 保护目标有效剂量评价

考察点人员的年有效剂量由《辐射防护导论》给出的公式进行估算：

$$D_{Eff} = \dot{K}_a \cdot t \cdot T \cdot U \quad \text{公式 11-13}$$

式中： D_{Eff} —考察点人员有效剂量（Sv）；

$\dot{K}_a$ —考察点的周围空气比释动能率（Gy/h）；

t —考察点处年受照时间（h）；

T —居留因子；

U —使用因子；

简化估算：本项目关注点处的 γ 辐射剂量率计算时已将 Sv/Gy 进行换算，保护目标有效剂量保守并简化估算将 1mGy 近似为 1mSv）。

将表 11-14、表 11-15 陀螺刀机房外各典型参考点处的辐射剂量率估算值代入公式 11-13，陀螺刀年运行时间约 625h，根据各考察点处年受照时间，并考虑周围公众及辐射工作人员的居留因子，则陀螺刀机房外辐射剂量预测结果见表 11-16。

表 11-16 陀螺刀机房外辐射剂量预测结果

[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]

注：1、居留因子取值参考 HJ 1198-2021；

2、机房底部人员不可达。

在进行放射治疗前，工作人员需进入机房对患者进行摆位，此时放射源处于贮存状态，工作人员进行摆位时距离设备约 1m，根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）附录 B.2 贮源状态下距源 1m 处的空气比释动能率不大于 20μSv/h，平均每位患者摆位 30s，治疗完成后需解除摆位 30s，年门诊量最大 12500 人次，则辐射工作人员摆位过程中年最大有效剂量为 4.167mSv。

根据表 11-16 理论计算结果，本项目陀螺刀运行后辐射工作人员年剂量估算值 0.328mSv，叠加摆位时受到的年有效剂量总计为 4.495mSv；周围公众年有效剂量最大值为 0.034mSv，均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中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）。

（7）放疗科项目辐射剂量叠加分析

①辐射工作人员辐射剂量叠加

辐射工作人员辐射剂量叠加主要考虑辐射工作人员在同时开展多项放射性工作的情况下，致辐射工作人员所受辐射剂量的总和。

本项目 2 座医用直线加速器机房、2 座陀螺刀机房相邻建设，辐射工作人员在机房内协助患者进行摆位过程中，可能受到相邻机房内医用直线加速器出束对其造成的附加辐射影响，根据表 11-11、表 11-16 计算结果，叠加该辐射影响后，医用直线加速器、陀螺刀项目辐射工作人员的年有效剂量保守估计最大为 0.830mSv（ $8.68E-02mSv \times 2 + 0.328mSv \times 2$ ），能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员的剂量限值要求和本项目剂量约束值要求（职业人员年有效剂量不超过 5mSv）。

②公众辐射剂量叠加

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

本项目 2 座医用直线加速器机房南侧、2 座陀螺刀机房北侧走廊及 4 座机房的上方处公众可能受到 4 台放疗设备同时出束时造成的叠加影响，上述 2 处公众的年有效剂量最大分别约为 0.032mSv（ $1.85\text{E-}03\text{mSv}\times 2+1.38\text{E-}02\text{mSv}\times 2$ ）、0.040mSv（ $0.020\text{mSv}\times 2+<0.001\text{mSv}\times 2$ ）。

根据上述理论估算结果，本项目辐射工作人员和公众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）。

（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

由表 10-4 可知，本项目 DSA 机房使用的屏蔽材料除铅、硫酸钡以外，还涉及顶面、地面的混凝土及北墙的铅玻璃。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：

$$X = \frac{1}{\alpha\gamma} \ln\left(\frac{B^{-\gamma} + \frac{\beta}{\alpha}}{1 + \frac{\beta}{\alpha}}\right) \quad \text{公式 11-14}$$

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：

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha}\right) e^{\alpha\gamma X} - \frac{\beta}{\alpha}\right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad \text{公式 11-15}$$

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 11-17：

表 11-17 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/kV	主束	散射	主束	散射	主束
70					
80					
125					

本项目机房屏蔽部位涉及的 160mm 混凝土按公式 11-15、公式 11-14 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 11-18。

表 11-18 混凝土、实心砖的屏蔽透射因子 B 、等效铅当量厚度 X 计算结果

材料	厚度/mm	透射因子 B	等效铅当量厚度 X /mm
混凝土	160		

② 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 11-19 DSA 机房屏蔽体等效铅当量厚度核算及其与标准要求对比

机房	屏蔽体	等效铅当量厚度 X /mm	标准要求 X /mm	相符性
DSA 机房	铅当量			
	主束			
	散射			
	透射			

注：1）屏蔽要求引自《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）表 3；

2）根据建设单位提供材料，10mm 硫酸钡水泥约为 1mm 铅当量。

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

为了进一步评价屏蔽效果辐射防护效果，采用理论预测的方法进行影响分析。预测点选取如下：

- 1#-DSA 机房东侧防护门外 30cm 处，前室；
 - 2#-DSA 机房东墙外 30cm 处，前室；
 - 3#-DSA 机房南墙外 30cm 处，设备间；
 - 4#-DSA 机房西侧防护门外 30cm 处，清洁走廊；
 - 5#-DSA 机房西墙外 30cm 处，清洁走廊；
 - 6#- DSA 机房北侧防护门外 30cm 处，体外循环；
 - 7#-DSA 机房北墙外 30cm 处，控制室；
 - 8#-DSA 机房北侧观察窗外 30cm 处，控制室；
 - 9#-DSA 机房北侧防护门 30cm 处，控制室；
 - 10#-DSA 机房上方距顶棚地面 100cm 处，手术室设备区；
 - 11#-DSA 机房下方距下方地面 170cm 处，预留房间。
- 共布设 11 预测点，预测点布设见图 11-9 所示。

(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 屏蔽估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：

$$H_L = \frac{H_i \cdot B}{r^2} \cdot K \quad \text{公式 11-16}$$

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 (表 11-19) 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 (表 11-17) 代入公式 11-15, 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 11-16, 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 11-21。

(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：

$$H_s = \frac{H_0 \cdot I \cdot a \cdot (S/400) \cdot B_s}{d_0^2 \cdot d_s^2} \cdot k \quad \text{公式 11-17}$$

式中： H_0 —X 射线机发射率常数（当管电流为 1mA 时，距离阳极靶 1m 处由主束产生的比释动能率）， $\text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ，本项目取 $5 \text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ，即 $300000 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ；

I —管电流，mA；本项目透视、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 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）；对于散射线向机房地面投射的情况，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；对于散射线向机房顶面投射的情况，因《辐射防护手册（第一分册）》表 10.1 中无散射角 0° 的数据，表中所列散射角中以 30° 最接近 0° ，故从该表中散射角为 0° 、管电压为 70kV、100kV 对应的 a 值采用内插法求取 80kV 对应的 a 值为 0.0009（该取值适用于机房顶面关注点相应预测计算）；

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

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 $\theta=90^\circ$) 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 $E/E_0=1/[1+E_0(1-\cos\theta)/0.511]=1/[1+0.08(1-\cos90^\circ)/0.511]=0.865$, 继而计算一次散射线能量 E 对应的 kV 值为 $80\text{kV}\times0.865=69.2\text{kV}$, 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 (见表 11-17); 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 (见表 11-19) 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 11-14, 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 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 11-17，计算透视模式、摄影模式下 DSA 机房外公众、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 11-22。

表 11-22 DSA 机房关注点处散射辐射剂量率计算结果

姓名	性别	出生日期	身份证号	手机号	住址	工作单位	职业	学历
张三	男	1990-01-01	110101199001010001	13910101234	北京市朝阳区	北京科技有限公司	程序员	本科
李四	女	1985-05-15	110102198505150002	13910105678	北京市海淀区	北京咨询有限公司	咨询师	硕士
王五	男	1992-03-10	110103199203100003	13910109012	北京市东城区	北京信息技术有限公司	产品经理	本科
赵六	女	1988-07-20	110104198807200004	13910103456	北京市西城区	北京数据服务有限公司	数据分析师	本科
孙七	男	1995-09-05	110105199509050005	13910107890	北京市丰台区	北京网络工程有限公司	网络工程师	大专
周八	女	1991-11-18	110106199111180006	13910102345	北京市石景山区	北京软件开发有限公司	前端开发工程师	本科
吴九	男	1987-02-28	110107198702280007	13910106789	北京市门头沟区	北京系统集成有限公司	系统集成工程师	本科
郑十	女	1993-06-12	110108199306120008	13910101234	北京市房山区	北京云计算技术有限公司	云计算工程师	本科
冯十一	男	1989-04-03	110109198904030009	13910105678	北京市通州区	北京人工智能有限公司	人工智能研究员	硕士
陈十二	女	1994-08-25	110110199408250010	13910109012	北京市顺义区	北京区块链科技有限公司	区块链开发工程师	本科

[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]
[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]
[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]
[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]
[REDACTED]		[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]		[REDACTED]	[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 11-23 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。

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

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 中的计算公式进行估算：

$$H_{Er} = H_r \times T \times t \quad \text{公式 11-18}$$

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估算

将有关参数代入公式 11-18，估算 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 11-24。

表 11-24 DSA 机房四周公众及控制室辐射工作人员的年附加剂量

位置	距离 (m)	剂量率 (mSv/h)	居留因子	照射时间 (h/a)	年附加剂量 (mSv/a)	是否满足要求
DSA 机房东墙外 1m 处	1	0.001	1	2000	0.001	是
DSA 机房西墙外 1m 处	1	0.001	1	2000	0.001	是
DSA 机房南墙外 1m 处	1	0.001	1	2000	0.001	是
DSA 机房北墙外 1m 处	1	0.001	1	2000	0.001	是
DSA 机房东墙外 2m 处	2	0.00025	1	2000	0.00025	是
DSA 机房西墙外 2m 处	2	0.00025	1	2000	0.00025	是
DSA 机房南墙外 2m 处	2	0.00025	1	2000	0.00025	是
DSA 机房北墙外 2m 处	2	0.00025	1	2000	0.00025	是
DSA 机房东墙外 3m 处	3	0.00011	1	2000	0.00011	是
DSA 机房西墙外 3m 处	3	0.00011	1	2000	0.00011	是
DSA 机房南墙外 3m 处	3	0.00011	1	2000	0.00011	是
DSA 机房北墙外 3m 处	3	0.00011	1	2000	0.00011	是
DSA 机房东墙外 4m 处	4	0.00006	1	2000	0.00006	是
DSA 机房西墙外 4m 处	4	0.00006	1	2000	0.00006	是
DSA 机房南墙外 4m 处	4	0.00006	1	2000	0.00006	是
DSA 机房北墙外 4m 处	4	0.00006	1	2000	0.00006	是
DSA 机房东墙外 5m 处	5	0.00004	1	2000	0.00004	是
DSA 机房西墙外 5m 处	5	0.00004	1	2000	0.00004	是
DSA 机房南墙外 5m 处	5	0.00004	1	2000	0.00004	是
DSA 机房北墙外 5m 处	5	0.00004	1	2000	0.00004	是
DSA 机房东墙外 6m 处	6	0.00003	1	2000	0.00003	是
DSA 机房西墙外 6m 处	6	0.00003	1	2000	0.00003	是
DSA 机房南墙外 6m 处	6	0.00003	1	2000	0.00003	是
DSA 机房北墙外 6m 处	6	0.00003	1	2000	0.00003	是
DSA 机房东墙外 7m 处	7	0.00002	1	2000	0.00002	是
DSA 机房西墙外 7m 处	7	0.00002	1	2000	0.00002	是
DSA 机房南墙外 7m 处	7	0.00002	1	2000	0.00002	是
DSA 机房北墙外 7m 处	7	0.00002	1	2000	0.00002	是
DSA 机房东墙外 8m 处	8	0.00002	1	2000	0.00002	是
DSA 机房西墙外 8m 处	8	0.00002	1	2000	0.00002	是
DSA 机房南墙外 8m 处	8	0.00002	1	2000	0.00002	是
DSA 机房北墙外 8m 处	8	0.00002	1	2000	0.00002	是
DSA 机房东墙外 9m 处	9	0.00001	1	2000	0.00001	是
DSA 机房西墙外 9m 处	9	0.00001	1	2000	0.00001	是
DSA 机房南墙外 9m 处	9	0.00001	1	2000	0.00001	是
DSA 机房北墙外 9m 处	9	0.00001	1	2000	0.00001	是
DSA 机房东墙外 10m 处	10	0.00001	1	2000	0.00001	是
DSA 机房西墙外 10m 处	10	0.00001	1	2000	0.00001	是
DSA 机房南墙外 10m 处	10	0.00001	1	2000	0.00001	是
DSA 机房北墙外 10m 处	10	0.00001	1	2000	0.00001	是

由表 11-24，本项目 DSA 机房四周公众的年附加剂量最大 $<0.001\text{mSv}$ ，控制室辐射工作人员的年附加剂量最大 $<0.001\text{mSv}$ ，均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全

基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员、公众的剂量限值要求和本项目剂量约束值要求（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估算

本项目 DSA 机房周围 50m 评价范围均位于医院边界内。由表 11-24 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）。因此本项目周围保护目标的年有效剂量能够满足 0.1mSv 的剂量约束值要求。

（4）DSA 机房内术者位年有效剂量估算

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）给出的公式进行估算：

$$E = \alpha H_u + \beta H_o \quad \text{公式 11-19}$$

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 11-19，计算第一术者、第二术者年有效剂量，结果列于表 11-25。

表 11-25 DSA 机房内介入操作人员年有效剂量估算结果

姓名	性别	年龄	职业	剂量计类型			剂量计编号	剂量计读数
				甲状腺	铅围裙内	铅围裙外		
张三	男	35	介入放射科医生	0.05	0.02	0.01	123456	0.08
			介入放射科医生	0.05	0.02	0.01		0.08
			介入放射科医生	0.05	0.02	0.01		0.08
			介入放射科医生	0.05	0.02	0.01		0.08
李四	女	30	介入放射科医生	0.05	0.02	0.01	789012	0.08
			介入放射科医生	0.05	0.02	0.01		0.08
			介入放射科医生	0.05	0.02	0.01		0.08
			介入放射科医生	0.05	0.02	0.01		0.08

由表 11-25 可知，本项目 1 座 DSA 机房内第一术者操作位由 2 人承担，平均每名工作人员受照年剂量为 3.65mSv；第二术者操作位由 1 人承担，受照年剂量为 1.83mSv；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，根据上述理论估算结果，本项目 1 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。

（四）III类射线装置项目

本项目III类射线装置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 11-26。

表 11-26 III类射线装置机房屏蔽防护设计一览表

射线装置名称	射线装置类别	射线装置型号	射线装置主要参数	射线装置主要用途	射线装置主要防护措施
X 射线诊断装置	Ⅲ类	DR	管电压	管电流	曝光时间
	Ⅲ类		管电压	管电流	曝光时间
	Ⅲ类		管电压	管电流	曝光时间
	Ⅲ类		管电压	管电流	曝光时间
	Ⅲ类		管电压	管电流	曝光时间
X 射线治疗装置	Ⅲ类	直线加速器	管电压	管电流	曝光时间
	Ⅲ类		管电压	管电流	曝光时间
	Ⅲ类		管电压	管电流	曝光时间

注：1、混凝土密度为 2.35g/cm³，铅密度为 11.3g/cm³，实心砖密度为 1.65g/cm³；

2、根据医院提供资料本项目各机房所用硫酸钡中，10mm硫酸钡水泥约为 1mm铅当量。

由上表对照结果可知，本项目Ⅲ类射线装置机房实体屏蔽防护铅当量和使用面积、单边长度均满足《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。

二、放射性“三废”影响分析

陀螺刀中 ⁶⁰Co 放射源经使用 5 年后，因其自然衰变使其活度逐渐下降，当活度过低而不能满足治疗需要时，放射源将被替换出来成为废放射源，建设单位应与放射源生产单位签订退役放射源回收合同，废旧放射源按照要求返回放射源生产厂家或原出

口方。医院已承诺将退役 ^{60}Co 放射源交由放射源生产厂家回收处理（见附件 4）。

三、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、III类射线装置机房内的空气在 X 射线作用下，陀螺刀机房在 X 射线、 γ 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、DSA 为II类射线装置，拟使用的 ^{60}Co 为I类放射源，拟配备的 CT、DR、数字胃肠机、牙片机、口腔 CBCT、高频移动式手术 X 射线机为III类射线装置。医院在开展放射治疗和诊断过程中，如果安全管理或防护不当，可能对人员产生误照射。

一、主要事故风险

（一）医用直线加速器、陀螺刀、DSA 项目

- 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、医用直线加速器、DSA、陀螺刀工作过程中，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、机房门机联锁（门灯联动）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。
- 4、停机维修期间，因操作不当，导致工作人员受到误照射。
- 5、医用直线加速器、DSA 年久或更换部件和维、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。

6、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。

7、陀螺刀设备使用时间较长或因外力使源包壳出现破损时，放射源泄漏，使人员或公众受到误照射。

8、陀螺刀停机维修期间的误照射。

9、陀螺刀卡源、电气系统失控事故。

10、陀螺刀倒源流程过程中的意外情况。

(二) III类射线装置项目

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、设备开机过程中，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、机房门灯联动失效，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、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前，应对各机房门机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。

(七) 本项目陀螺刀所指的卡源是指同轴旋转的准直体和源体不能回归零位，即治疗结束后源始终处于照射状态。出现这种情况是由于控制系统失控或同轴旋转的源体和准直体之间出现故障。这种故障的出现与机器的磨损、维护、检修以及质量有关系。在这种情况下，工作人员可立即用控制室的手动系统将源摇回准直体屏蔽位置，

人员可不必进入治疗机房，若手摇也无法将源回归零位，则工作人员在佩戴个人剂量报警仪、个人剂量计，携带辐射巡测仪的情况下，迅速进入治疗机房将病人撤离，然后手动将屏蔽门关闭，再找专业人员或厂家修理。

（八）当正在治疗时电气系统失控，不能关机时，工作人员同样采取手动的方式完成关源、退床、关闭屏蔽门等程序。

（九）本项目陀螺旋转式 ^{60}Co 立体定向放射治疗系统所用钴-60 放射源每隔 6~8 年须更换一次。医院在换源前应于当地公安、生态环境部门、卫生健康部门备案，取得他们的协助、监督和认可。倒源需使用专门的工具，有关操作必须由上海伽玛星科技发展有限公司派出的具有专门资格证书的专业人员进行，其他任何单位和个人不得私自进行倒源。

医院应定期对医用直线加速器机房、陀螺刀机房、DSA 机房、III类射线装置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

无锡海吉亚医院有限公司拟于 1#楼负 1 楼 2 座医用直线加速器机房内各新增 1 台医用直线加速器（型号：Elekta Infinity，X 线能量：6、10MV，电子线能量：6、8、10、12、15MeV）；2 座陀螺刀机房内各新增 1 台陀螺刀（内含 22 枚 ^{60}Co 放射源，属 I 类聚集源，活度为 $3.145 \times 10^{14}\text{Bq}$ ），用于开展肿瘤的放射治疗；于 4 楼 OR1 手术室内新增 1 台 DSA（型号：Azurion 3 M15，最大管电压 125kV，最大管电流 1000mA）；于负 1 楼~2 楼、4 楼的 8 座 III 类射线装置机房内配备相应的设备。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 I 类放射源、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。

无锡海吉亚医院有限公司拟成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，由院长做小组组长，组员覆盖各辐射科室，并以文件形式明确管理人员职责。医院应根据本次新建放射诊疗项目修订相关文件，明确医院相关辐射项目的管理人员及其职责，将该项目辐射安全管理纳入全院的辐射安全管理工作中。本项目辐射工作人员拟由无锡海吉亚医院有限公司新聘用，不兼职其他放射工作，拟为医用直线加速器项目、陀螺刀项目、DSA 项目共配备 22 名辐射工作人员，新进的辐射工作人员须通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规，从事放疗科项目的辐射工作人员参加“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需参加“医学 X 射线诊断与介入放射学”辐射安全与防护考核，辐射防护管理人员需参加“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需通过医院自主培训考核，合格后方可上岗。同时如有辐射培训证书到期人员还应及时参加生态环境部的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台进行学习并通过考核。

辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的有关要求，使用放射源、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”。无锡海吉亚医院有限公司拟根据新建放射诊疗项目的特点及以下内容制定并完善相关制度，并落实到实际工作中，严格执行，加强辐射安全管理。

一、操作规程

拟制定医用直线加速器、陀螺刀、DSA、III类射线装置操作规程，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（对于如介入放射学等全身受照不均匀的工作情况，辐射工作人员拟佩戴双剂量计）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

医院拟制定岗位职责，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工作人员的岗位责任，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

医院拟根据放射源、射线装置操作的具体情况制定相应的辐射防护和安全保卫制度，重点是：

（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

医院拟制定设备维护检修制度，明确放射源、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。确保放射源、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

医院拟制定辐射工作人员培训计划，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。

六、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 I 类放射源、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放射源和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，无锡海吉亚医院有限公司拟配备辐射巡测仪 1 台，固定式剂量监测报警装置 4 套和个人剂量报警仪 10 台，用于辐射防护监测和报警，同时结合本项目实际情况，拟制定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

无锡海吉亚医院有限公司拟根据上述监测计划，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。

无锡海吉亚医院有限公司拟为辐射工作人员配备个人剂量计，组织辐射工作人员进行个人剂量监测（1 次/季）和职业健康体检（1 次/2 年），辐射安全与环境保护管理机构负责全医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。

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

辐射事故应急

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

- 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。

无锡海吉亚医院有限公司拟制定辐射事故应急处理方案，该预案需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

无锡海吉亚医院有限公司根据医院建设规划,医院拟在新建 1#楼开展放射诊疗项目,主要包括:

(一) **放疗科项目:** 于负 1 楼 2 座医用直线加速器机房内各新增 1 台医用直线加速器(型号: Elekta Infinity, X 线能量: 6、10MV, 电子线能量: 6、8、10、12、15MeV); 2 座陀螺刀机房内各新增 1 台 GMX-I 型陀螺旋转式钴-60 立体定向放射治疗系统(内含 22 枚 ^{60}Co 放射源, 属 I 类聚集源, 活度为 $3.145 \times 10^{14}\text{Bq}$), 用于开展肿瘤的放射治疗, 每台陀螺刀配套 1 套 GMX-CBCT-A 型放射治疗用锥形束 X 射线图像引导系统(最大管电压 120kV, 最大管电流 1000mA)。

配合陀螺刀及医用直线加速器使用的 CT 模拟定位机(型号: SL-IC, 最大管电压 125kV, 最大管电流 500mA) 位于陀螺刀机房的东侧。

(二) **DSA 项目:** 于 4 楼 OR1 手术室内新增 1 台 DSA(型号: Azurion 3 M15, 最大管电压 125kV, 最大管电流 1000mA), 用于开展医疗诊断和介入治疗。

(三) **其他III类射线装置项目:** 于 1 楼 2 座 CT 机房内各新增 1 台 CT(型号: Optima CT680 Expert 64 排, 最大管电压 140kV, 最大管电流 1000mA); 1 座 DR 机房内新增 1 台 DR(型号: Digitai Diagnost C50 排, 最大管电压 150kV, 最大管电流 630mA), 1 座数字胃肠机房内新增 1 台数字胃肠机(型号: DTP571, 最大管电压 150kV, 最大管电流 650mA); 于 2 楼口腔科 1 座口腔 CBCT 机房内新增 1 台口腔 CBCT(型号: X-TREND, 最大管电压 95kV, 最大管电流 14mA), 1 座牙片机房内新增 1 台牙片机(型号: FOCUS, 最大管电压 70kV, 最大管电流 7mA); 于 4 楼 OR3 手术室内新增 1 台高频移动式手术 X 射线机(型号: PLX112B1, 最大管电压 120kV, 最大管电流 100mA)。

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、选址合理性

无锡海吉亚医院有限公司位于无锡市滨湖区马山街道梅梁路与紫云路交汇处南，医院东侧为紫云路，南侧为规划道路，西侧为开发路，北侧为梅梁路。

本次新建放射诊疗项目位于医院 1#楼，1#楼东侧为 2#楼、景观花园，南侧为 3#楼、4#楼，西侧为 6#楼、景观花园，北侧为活动广场。

本次新建放射诊疗项目主要包括：

（一）于医院 1#楼负 1 楼新建 2 座医用直线加速器机房，2 座机房东侧、西侧为设备机房和控制室，南侧为走廊，北侧、下方为土层，上方为院内道路。

（二）于医院 1#楼负 1 楼新建 2 座陀螺刀机房，2 座机房东侧、西侧为设备机房、控制室，南侧为走廊，北侧为水冷机房、护士站、走廊，下方为土层。1#陀螺刀机房上方为院内道路、会议室，2#陀螺刀机房上方为卫生间、会议室。

（三）于医院 1#楼 4 楼新建 1 座 OR1 手术室（DSA 机房），其东侧为前室，南侧为设备间，西侧为走廊，北侧为负压后室、体外循环室、控制室，上方为手术室设备区域，下方为预留房间。

（四）于医院 1#楼负 1 楼~2 楼、4 楼新建 8 座Ⅲ类射线装置机房并配备相应的Ⅲ类射线装置，机房周围情况见表 1-2。

本次新建放射诊疗项目周围 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。根据《自然资源部 生态环境部 国家林业和草原局关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》（自然资发〔2022〕142 号）、《关于印发〈生态环境分区管控管理暂行规定〉的通知》（环环评〔2024〕41 号）和《关于进一步加强生态保护红线监督管理的通知》（苏自然资函〔2023〕880 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

块位于无锡生物医药研发服务外包区重点管控单元（编码：ZH32021120046）内，不在无锡市生态保护红线内，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、陀螺刀机房、DSA 机房、III类射线装置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、陀螺刀机房设置直迷道，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

无锡海吉亚医院有限公司新建放射诊疗项目拟建址周围环境 γ 辐射剂量率为（41~49）nGy/h 之间，属江苏省道路 γ 辐射（空气吸收）剂量率本底水平（18.1~102.3）nGy/h，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，无锡海吉亚医院有限公司新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

^{60}Co 放射源使用到一定年限后产生退役的放射源，医院已承诺将退役 ^{60}Co 放射源交由放射源生产厂家回收处理。

医用直线加速器机房、DSA 机房、III类射线装置机房内的空气在 X 射线作用下，陀螺刀机房在 X 射线、 γ 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，医用直线加速器机房、陀螺刀机房进风口与排风口位置拟对角设置，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

无锡海吉亚医院有限公司拟配备的 2 台医用直线加速器的 X 射线最大能量为 10MV，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；拟配备的陀螺刀内含 22 枚 ^{60}Co 放射源/台，活度为 $3.145 \times 10^{14} \text{Bq}$ /台，为 I 类放射源。主要污染源为放射源的产生的 γ 射线，每台陀螺刀配套的 GMX-CBCT-A 型放射治疗用锥形束 X 射线图像引导系统（最大管电压 120kV，最大管电流 1000mA）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、陀螺刀机房入口处拟设置电离辐射警告标志、工作状态指示灯和门机联锁装置，机房内外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、陀螺刀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。

无锡海吉亚医院有限公司拟配备的 DSA 最大管电压为 125kV，最大管电流为 1000mA；拟配备的 8 台 III 类射线装置的最大管电压 $\leq 150 \text{kV}$ 、最大管电流 $\leq 1000 \text{mA}$ ，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（电动推拉门拟设置曝光时关闭机房门与防夹装置）、门灯联动装置、对讲装置与观察窗，DSA 控制室及导管床侧拟设置急停按钮；III 类射线装置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，射线装置上均设置有急停按钮，机房设置观察窗或者监控装置，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

无锡海吉亚医院有限公司拟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。

无锡海吉亚医院有限公司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。无锡海吉亚医院有限公司拟配备有辐射巡测仪 1 台，固定式剂量监测报警装置 4 套和个人剂量报警仪 10 台，用于辐射防护监测和报警。

综上所述，无锡海吉亚医院有限公司新建放射诊疗项目在落实本报告提出的各项污染防治措施和管理措施后，该医院将具有与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和相应的辐射安全防护措施，其运行对周围环境产生的影响能够符合辐射环境保护的要求，从环境保护角度论证，本项目的建设和运行是可行的。

建议和承诺

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、根据防护与安全的最优化原则，进一步优化完善辐射工作场所屏蔽措施。

四、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

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:医用直线加速器机房、陀螺刀四侧墙体及顶面采用混凝土结构进行辐射防护,DSA 机房、高频移动式手术 X 射线机房四侧墙体采用硫酸钡、顶面、地面采用混凝土加硫酸钡进行辐射防护,其他Ⅲ类射线装置机房四侧墙体采用实心砖加硫酸钡、顶面、地面采用混凝土加硫酸钡进行辐射防护,各防护门均采用铅防护门,观察窗均为铅玻璃观察窗进行辐射防护。详见表 10-2 至表 10-6。		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。	140
	安全措施	医用直线加速器机房、陀螺刀机房入口处拟设置电离辐射警告标志、工作状态指示灯和门机联锁装置,机房内外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、陀螺刀机房治疗室迷道的内入口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、陀螺刀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。	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。	
	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(电动推拉门拟设置曝光时关闭机房门与防夹装置)、门灯联动装置、对讲装置与观察窗,DSA 控制室及导管床侧拟设置急停按钮;Ⅲ类射线装置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,射线装置上均设置有急停按钮,机房设置观察窗或者监控装置,符合《放射诊断放射		满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)的相关要求。	

		防护要求》（GBZ 130-2020）的安全管理要求。		
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。	2
	辐射工作人员在上岗前佩戴个人剂量计（对于如介入放射学等全身受照不均匀的工作情况，辐射工作人员拟佩戴双剂量计），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	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。	8
	拟配备固定式剂量监测报警装置 4 套。			
	拟配备个人剂量报警仪 10 台。			
辐射安全管理制度	制定操作规程、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、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	/		/	150

以上污染防治的措施必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：	
经办人	公 章 年 月 日

审批意见	
经办人	公 章 年 月 日