

编号：BG-ZFFB26220094

核技术利用建设项目

中国科学院大学附属肿瘤医院

（浙江省肿瘤医院）绍兴院区（浙江滨海医院）

新建工程核技术利用建设项目（DSA及⁹⁰Y部分调整）

生态环境影响报告表

（报批稿）

浙江滨海新区投资发展集团有限公司

2026年10月

生态环境部监制

目 录

表 1 项目基本情况.....	1
表 2 放射源.....	14
表 3 非密封放射性物质.....	14
表 4 射线装置.....	15
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）.....	16
表 6 评价依据.....	17
表 7 保护目标与评价标准.....	20
表 8 环境质量和辐射现状.....	26
表 9 项目工程分析与源项.....	32
表 10 辐射安全与防护.....	47
表 11 环境影响分析.....	61
表 12 辐射安全管理.....	87
表 13 结论与建议.....	93
表 14 审批.....	96

附图

附图 1 项目地理位置图
附图 2 医院总平图及本项目周边环境关系图
附图 3 ^{90}Y 患者及药物转运路径图
附图 4 1#DSA 机房两区划分/人员路径图
附图 5 医技楼二层平面布置图
附图 6 医技楼地下一层平面布置、 ^{90}Y 患者及药物转运路径图
附图 7 绍兴市生态环境分区管控动态更新方案图
附图 8 绍兴市“三区三县”图

附件

附件 1 委托书
附件 2 营业执照
附件 3 主体工程核准文件
附件 4 主体工程环评批复

附件 5 原有核技术利用项目环评批复

附件 6 环境本底检测报告

附件 7 典型 CT 设备剂量率分布图

表 1 项目基本情况

建设项目名称		中国科学院大学附属肿瘤医院（浙江省肿瘤医院）绍兴院区（浙江滨海医院）新建工程核技术利用建设项目（DSA 及 ⁹⁰ Y 部分调整）			
建设单位		浙江滨海新区投资发展集团有限公司			
法人代表		沈国梁	联系人	金祖民	联系电话 0575-89181405
注册地址		浙江省绍兴滨海新区南滨东路 98 号 4 楼			
项目建设地点		浙江省绍兴市滨海新区江滨区，海滨路以西，七六丘北塘河以南，海华路以东，乾诚道以北，浙江省肿瘤医院医技楼一层			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资（万元）		2800	项目环保投资（万元）	70	投资比例（环保投资/总投资） 2.5%
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	/			
	1.1 建设单位概况及项目建设背景简介 为满足滨海新区经济和社会协调发展的需要，着力引接省会城市优质医疗资源提升区域医疗资源配置，切实增强绍兴市域医疗技术水平和服务能力，进一步推进区域医疗卫生事业健康发展，浙江滨海新区投资发展集团有限公司拟开展中国科学院大学附属肿瘤医院（浙江省肿瘤医院）绍兴院区（浙江滨海医院）（以下简称“省肿瘤绍兴院区”）新建工程（绍兴市发展和改革局赋码，项目代码为：2107-330691-04-01-368663），工程选址于绍兴市滨海新区江滨区，海滨路以西，七六丘北塘河以南，海华路以东，乾诚道以北。医院新建工程用地面积 453.59 亩，其中地上建筑面积 39.25 万平方米。在开元东路以南地块（南院区）建设肿瘤外科楼、肿瘤内科楼、放疗楼、综合医技中心、综合病房楼、质子重离心中心、感染楼、科研教学楼、行政综合楼及				

相关配套等，主要布置门急诊、医技、病房、科研、教学、后勤保障等功能，设 2500 张床位；在开元东路以北地块（北院区）主要建设科研中心及辅助用房等。项目建成后日均门诊病人约 8000 人/d，高峰门诊病人约 1.2 万人/d。

2022 年 7 月，绍兴市生态环境局对《中国科学院大学附属肿瘤医院（浙江省肿瘤医院）绍兴院区（浙江滨海医院）新建工程环境影响报告表》进行批复，文件号为绍市环越审[2022]30 号（见附件 4）

经与相关单位沟通确认，本项目以工程前期建设的负责单位——浙江滨海新区投资发展集团有限公司作为本次核技术利用项目的建设单位，在项目主体建筑建成后由运营单位浙江省肿瘤医院进行辐射安全许可证的申领。

医院委托中辐环境科技有限公司编制的《中国科学院大学附属肿瘤医院（浙江省肿瘤医院）绍兴院区（浙江滨海医院）核技术利用建设项目环境影响报告表》，于 2024 年取得浙江省生态环境厅的环评批复文件（文号：浙环辐〔2024〕1 号），该项目建设内容包括：拟在肿瘤内科楼和医技楼，建设 6 个乙级非密封放射性物质工作场所（核素制备场、核医学动物实验场所、核素显像场所、1 号核素治疗场所、2 号核素治疗场所、 ^{90}Y 手术场所）；在放疗楼建设 13 间加速器机房、1 间射波刀机房和 2 间后装治疗机房及配套附属用房；在医技楼一层介入中心，建设 6 间 DSA 机房，其中 1#DSA 机房兼做 ^{90}Y 手术室，涉及使用 ^{90}Y 核素；在医技楼二层手术中心，建设 2 间杂交手术室（杂交手术室 4 和杂交手术室 5），并各配备 1 台 DSA，其中杂交手术室 4 同时配备一台 CT；医技楼地下一层内镜中心，建设 2 间 ERCP 机房等。

目前医院主体建筑正在建设中，医院核技术利用项目暂未投入使用，本次项目仅涉及对原已批复于医技楼一层介入中心的 1#DSA 机房（ ^{90}Y 手术室）和 2#DSA 机房及其配套用房平面布局改造，其余内容不做调整。

1.2 建设内容与规模

为进一步提高医院医疗服务能力，服务广大患者，医院计划将原在医技楼一层介入中心已批复建设的 1#DSA 机房（ ^{90}Y 手术场所）、2#DSA 机房、设备间、部分控制廊进行改建，改建后为 1 间 1#DSA 机房（ ^{90}Y 手术场所）、1 间 2#DSA 机房、1 间 CT 存放间、1 间设备间、1 间储源废物间、1 间卫生通过间、1 间备用间和控制廊，其余 DSA 机房、核医学科部分及 ^{90}Y 专用病房与原环评保持一致。CT 存放间（仅用于 CT 设备暂存，不能作为放射机房使用）位于 1#DSA 机房和 2#DSA 机房之间，内设 1 台滑轨 CT，可移动进入 1#DSA 机房或 2#DSA 机房进行使用（CT 与 DSA 无法同时出束使用）；

其中 1#DSA 机房兼做 ^{90}Y 手术场所。改建前后平面布局见图 1.2-1 和图 1.2-2。

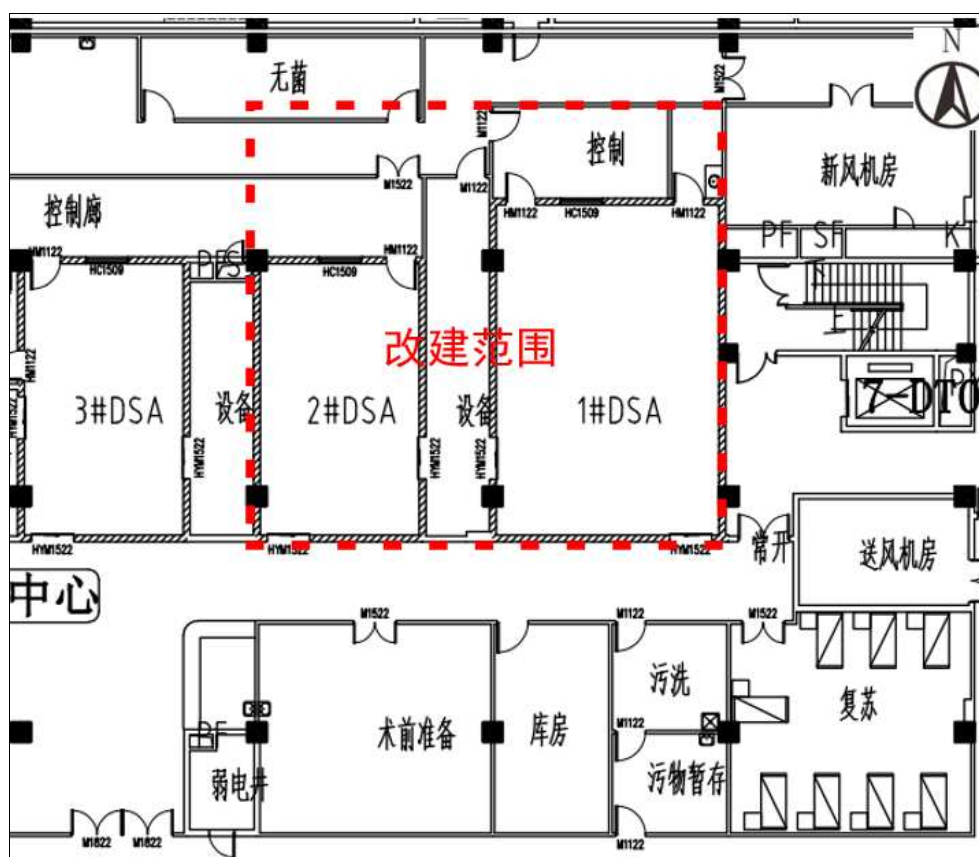


图 1.2-1 本项目改建前平面布局图

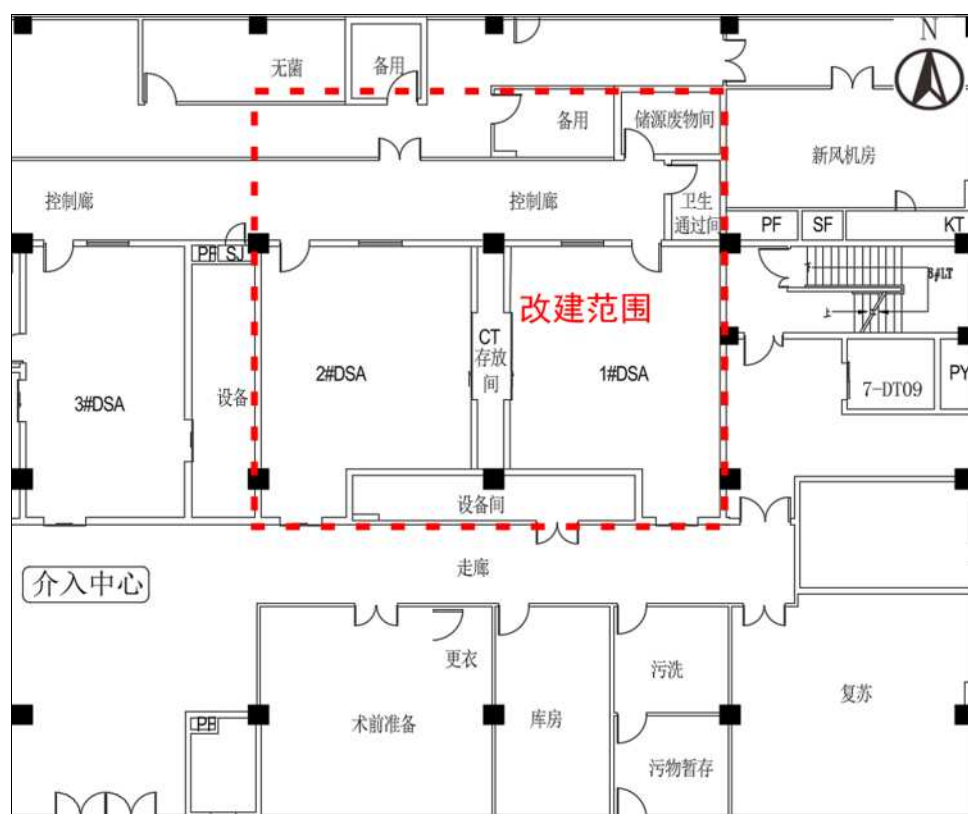


图 1.2-2 本项目改建后平面布局图

根据《中国科学院大学附属肿瘤医院（浙江省肿瘤医院）绍兴院区（浙江滨海医院）核技术利用建设项目》（批复文号：浙环辐〔2024〕1号），肿瘤内科楼地下一层核医学科核素显像场所已批复的核素包括¹⁸F、¹¹C、¹³N、¹⁵O、⁶⁴Cu、⁸⁹Zr、¹²⁴I、⁶⁸Ga、^{99m}Tc、⁶⁷Ga、²⁰¹Tl、¹²³I、¹³¹I、⁸⁹Sr、¹⁵³Sm、¹⁸⁸Re、²²³Ra、²²⁵Ac和³²P，对⁹⁰Y手术场所所需核素⁹⁰Y和^{99m}Tc的分装和测活，日等效最大操作量为 $3.42 \times 10^9 \text{Bq}$ ，为乙级非密封放射性物质工作场所；在医技楼一层1#DSA机房建设⁹⁰Y手术室，使用核素⁹⁰Y和^{99m}Tc开展肿瘤治疗项目，⁹⁰Y手术场所非密封放射性核素日等效操作量为 $3.01 \times 10^7 \text{Bq}$ ，为乙级非密封放射性物质工作场所；

由于1#DSA机房同时涉及⁹⁰Y手术室，因此在改造1#DSA机房时同时也对⁹⁰Y手术室布局及配套功能用房也相应进行了调整，但不涉及核医学科核素显像场所布局调整和核素用量改变，因此核医学科核素显像场所原有规模和日等效最大操作量保持不变，本次报告不对其进行评价。同理依托原环评的⁹⁰Y专用病房，本次报告不对其进行评价。

（1）DSA复合手术室

改建后1#DSA机房和2#DSA机房均为复合手术室，内各设一台DSA；CT存放间（仅用于CT设备暂存，不能作为放射机房使用）位于1#DSA机房和2#DSA机房之间，内设1台滑轨CT，可滑动进入1#DSA机房或2#DSA机房进行使用（CT与DSA无法同时出束使用）。DSA和CT型号未定，DSA最大管电压为150kV，最大管电流为1250mA，属Ⅱ类射线装置；CT最大管电压为140kV，最大管电流为1000mA，CT属Ⅲ类射线装置。

表 1.2-2 本项目射线装置建设内容及规模一览表

设备名称	型号	最大管电压	最大管电流	管头数量	类别	使用场所	备注
DSA	未定	150kV	1250mA	单管头	Ⅱ类	1#DSA 机房（ ⁹⁰ Y 手术场所）	新购
滑轨 CT	未定	140kV	1000mA	/	Ⅲ类	CT 设备间、1#DSA 机房、2#DSA 机房	新购
DSA	未定	150kV	1250mA	单管头	Ⅱ类	2#DSA 机房	新购

注：CT 存放间（仅用于 CT 设备暂存，不能作为放射机房使用）位于 1#DSA 机房和 2#DSA 机房之间，内设 1 台滑轨 CT，可移动进入 1#DSA 机房或 2#DSA 机房进行使用（CT 与 DSA 无法同时出束使用）。

（2）⁹⁰Y 肿瘤治疗项目

由于1#DSA机房同时涉及⁹⁰Y手术室，因此在改造1#DSA机房时同时也对⁹⁰Y手术室布局及配套功能用房也相应进行了调整，本项目使用^{99m}Tc和⁹⁰Y两种放射性核素，依托核医学科核素显像场所对^{99m}Tc进行贮存、质控、分装和⁹⁰Y药物进行贮存、质控、

分装；依托 SPECT/CT 机房进行扫描；利用 1#DSA 机房内的 DSA 血管造影装置进行介入手术和放射性药物输注；最后依托原环评的 ^{90}Y 专用病房进行住院。

根据《中国科学院大学附属肿瘤医院（浙江省肿瘤医院）绍兴院区（浙江滨海医院）核技术利用建设项目环境影响报告表》可知， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 评估阶段于周一至周五任意一天，核素显像场所所有诊疗项目结束后开展，每周最多 5 名患者，每名患者最大 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物用量为 $1.48 \times 10^8 \text{Bq}$ ，每年最多 200 名患者； ^{90}Y 治疗阶段于每周六至周日开展，需订购 ^{90}Y 微球，每瓶 ^{90}Y 微球总活度为 $3.0 \times 10^9 \text{Bq}$ ，仅可供 1 名患者使用，每名患者最大使用量为 $3.0 \times 10^9 \text{Bq}$ 。由于 ^{90}Y 微球治疗人数少，年治疗人数最多为 200 人，因此医院采用预约治疗，每天先在 1#DSA 机房内进行 ^{90}Y 输注手术，手术完成后将患者转运至 ^{90}Y 专用病房，住院 2 天后出院。由于本项目 ^{90}Y 手术室、核医学科核素显像场、 ^{90}Y 专用病房位置均未调整，故患者转运路线同样未作调整。

1#DSA 机房使用核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{90}Y ，日等效最大操作量为 $3.01 \times 10^7 \text{Bq}$ ，进行 ^{90}Y 相关诊疗时，为乙级非密封放射性物质工作场所。

表 1.2-1 ^{90}Y 手术场所放射性同位素使用情况一览表

核素	用途	日最大诊断量	年最大诊断量	单次最大使用量 (Bq)	日最大使用量	年最大用量 (Bq)	日等效最大操作量
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	显像标记	1 人	200 人	1.48×10^8 (4mCi)	1.48×10^8	2.96×10^{10}	1.48×10^5
^{90}Y	肿瘤治疗	1 人	200 人	3.00×10^9 (81mCi)	3.00×10^9	6.00×10^{11}	3.00×10^7
合计							3.01×10^7

1.3 任务由来

根据《中华人民共和国生态环境法典》和《建设项目环境保护管理条例》有关规定，并结合《核技术利用建设项目重大变动清单（试行）》及本项目的实际情况，本次评价内容含使用 II、III 类射线装置，乙级非密封放射性物质工作场所。

根据《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），本项目属于“五十五、核与辐射”中“172、核技术利用建设项目—使用 II 类射线装置，乙级非密封放射性物质工作场所”，环境影响评价文件形式应编制生态环境影响报告表。

为此，浙江滨海新区投资发展集团有限公司委托中辐环境科技有限公司开展“中国科学院大学附属肿瘤医院（浙江省肿瘤医院）绍兴院区（浙江滨海医院）新建工程核技

术利用建设项目（DSA 及 ^{90}Y 部分调整）”（简称“本项目”）的环境影响评价工作。在接受委托后，评价单位组织相关技术人员进行了现场勘察、资料收集和委托辐射环境质量现状监测等工作，并结合项目特点，按照《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》（HJ10.1-2016）等规定要求编制完成本项目生态环境影响报告表。

1.4 人员配备及工作负荷

本项目辐射工作人员实行 8h 单班工作制度，年工作日为 250 天。

根据《中国科学院大学附属肿瘤医院（浙江省肿瘤医院）绍兴院区（浙江滨海医院）核技术利用建设项目环境影响报告表》，1#DSA 机房和 2#DSA 机房拟配置辐射工作人员 16 人；由于本项目仅调整 1#DSA 机房和 2#DSA 机房平面布局，故本项目不新增辐射工作人员。

表 1.4-1 本项目拟配备人员情况表

辐射工作场所		工作内容	人员配置	拟配备人数	备注
^{90}Y 手术室	控制室廊	设备控制	技师	2人	依托原配置介入科工作人员
	1#DSA机房、患者转运、 ^{90}Y 专用病房	介入手术、注射、护理、转运、查房	医生	4人	
			护士	2人	
2#DSA机房	控制廊	设备控制	技师	2人	依托原配置介入科工作人员
	机房内	介入手术	医生	4人	
			护士	2人	

根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告 2019 年第 57 号），本项目辐射工作人员应在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台参加相应类别培训学习，考核合格后上岗，并按时接受再培训和考核。

1.5 项目选址及周边环境保护目标

1.5.1 项目地理位置

中国科学院大学附属肿瘤医院（浙江省肿瘤医院）绍兴院区（浙江滨海医院）位于绍兴市滨海新区江滨区，海滨路以西，七六丘北塘河以南，海华路以东，乾诚道以北。项目地理位置见附图 1。

1.5.2 医院周边概况

省肿瘤绍兴院区东侧为海滨路；南侧为规划河道，隔河道为规划乾诚路道；西侧为规划海华路和园区内河道；北侧为七六丘北塘河，规划开元东路从医院中间穿过，路南侧为省肿瘤绍兴院区南院区，路北侧为北院区。

1.5.3 本项目辐射工作场所周围环境概括

本项目 DSA 机房拟建于医技楼一层，医技楼位于医院中部。本项目 DSA 机房东北侧距离综合病房楼约 48m；东侧距离门急楼约 33m；东南侧距离肿瘤外科楼约 85m；西南侧距离肿瘤外科楼约 99m；西侧距离肿瘤内科楼约 60m；西北侧距离放疗科楼约 65m。

本项目两间 DSA 机房东西并排布置，中间由 CT 存放间相隔，东侧紧邻楼梯间和走廊，南侧紧邻走廊和设备间，西侧紧邻设备间，北侧为控制廊；1#DSA 机房（ ^{90}Y 手术场所）配套储源废物间、卫生通过间位于 1#DSA 机房北侧。正上方为护士站、护士办公室、护士长室、生活间、走廊，正下方为地下停车场。

因此，本项目 50m 评价范围包括医院内部建筑物，不涉及其他环境敏感区域。项目总平面图见附图 2。

1.5.4 选址合理性分析

本项目两间 DSA 手术室集中布置在医技楼一层介入中心，各射线装置辐射工作场所相对集中布置，均设置有患者通道、医护通道和污物通道。射线装置机房四周、地面下方及顶棚上方避开产科、儿科等敏感科室。满足相关介入手术的开展，能有效提高患者诊疗效率，并利于辐射安全防护和管理。

本项目 ^{90}Y 肿瘤治疗项目依托医技楼一层介入中心 1#DSA 机房作为 ^{90}Y 手术室，1#DSA 机房周边设置了控制廊、储源废物间、卫生通过间等辅助用房，满足相关介入手术和 ^{90}Y 药物输注的开展；

本项目 ^{90}Y 手术室、核医学科核素显像场所、 ^{90}Y 专用病房位置及患者转运路线，本次均未发生变动，原项目选址符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）关于核医学工作场所选址的相关要求。

综合以上分析，整个核技术利用项目布置在满足医疗流程完整、顺畅运行的前提下，充分考虑了周围环境的影响和辐射类项目尽量集中设置的原则，因此，本项目布局及主要辐射工作场所的位置选择较为合理。

1.6 相关符合性分析

1.6.1 相关规划符合性

（1）《绍兴滨海新区发展规划(2020-2035 年)》符合性

对照绍兴滨海新区发展规划(2020-2035 年)的规划内容：

依托绍兴滨海新区生物医药产业集聚优势，引入一批特色医疗机构，推动医药、治疗、康复全流程的深度融合，完善医疗健康服务体系，全力打造集高端专科医院、医疗

医学技术研发、运动康复等功能为一体的健康服务基地；加快建成中国科学院大学附属肿瘤医院绍兴分院，合力创建国际一流的肿瘤诊断治疗基地和生命健康科创高地。依托国际生命健康科技产业新城、国科生命健康创新园等项目，积极实施一批医养结合健康项目，打造成为高端医养示范基地。依托绍兴滨海新区独特风光，加快“熊出没”主题乐园、绍兴镜湖文化休闲园（一期）、浙东运河文化园（浙东运河博物馆）等一批山水和文化主题公园落地建设，规划建设滨海湿地公园，推进海防卫所保护开发，提升孙端、沥海生态农业，着力打响滨海休闲旅游品牌。

本项目为中国科学院大学附属肿瘤医院（浙江省肿瘤医院）绍兴院区（浙江滨海医院）新建工程中包含的核技术利用项目，主体工程属于《绍兴滨海新区发展规划》中的重点项目，符合规划要求。

（2）“区域环评+环境标准”符合性分析

根据绍兴市滨海新城管委会办公室《关于印发<绍兴市滨海新城江滨区“区域环评+环境标准”改革实施方案（试行）>的通知》（绍滨海委办[2017]105号）中“精简环评内容：对环评审批负面清单外且符合环境标准的项目，原要求编制环境影响报告书的，其环评内容可以按照编制环境影响报告表的要求进行简化；原要求编制环境影响报告表的，其环评内容可以按照编制环境影响登记表的要求进行简化”的要求，本项目位于绍兴市滨海新城江滨区内，属于《绍兴市滨海新城江滨区“区域环评+环境标准”改革实施方案（试行）》中确定的实施范围内，本项目属于负面清单内的项目（负面清单包括：环评审批权限在省级以上环保部门审批的项目；**电磁类项目和核技术利用项目**；有化学合成反应的石化、化工、医药项目；热电联产、垃圾焚烧、危险废物集中收集和处置项目；以重污染高耗能高环境风险行业、涉及新增重金属污染排放、国家确定的产能过剩行业；环境功能区划中列入三类工业项目）。因此，本项目不可降级，应编制环境影响报告表。

（3）产业政策符合性结论

本项目属于核技术在医学领域内的运用。本项目的建设属于《产业结构调整指导目录（2024年本）》中第一类“鼓励类”第六项“核能”中第4款“核技术应用：**同位素、加速器及辐照应用技术开发**，辐射防护技术开发与监测设备”和第一类“鼓励类”第十三项“医药”第4条“高端医疗器械创新发展：新型基因、蛋白和细胞诊断设备，新型医用诊断设备和试剂，**高性能医学影像设备**，高端放射治疗设备，急危重症生命支持设备，人工智能辅助医疗设备，移动与远程诊疗设备，高端康复辅助器具，高端植入

介入产品，手术机器人等高端外科设备及耗材，生物医用材料、增材制造技术开发与应用”项目。因此，本项目符合国家产业政策要求。

1.6.2 实践正当性分析

省肿瘤绍兴院区项目定位为集肿瘤预防、医疗、教学、科研、康复等功能于一体的，具有国际先进水平的肿瘤专科医院，同时作为绍兴市医疗卫生的教学、科研和培训基地，在为全省人民提供高质量的医疗卫生服务的同时，还兼顾国内外人士对高层次医疗、保健服务的需要。本项目的建设可以更好地满足患者就诊需求，提高对疾病的诊治能力。核技术应用项目的开展，对保障人民群众身体健康、拯救生命起了十分重要的作用，因此，该项目的实践是必要的。

医院在核技术利用项目开展过程中，对射线装置和非密封放射性物质的使用将按照国家相关的辐射防护要求采取相应的防护措施，对射线装置和非密封放射性物质的安全管理将建立相应的规章制度。因此，在正确使用和管理非密封放射性物质和射线装置的情况下，可以将该项目辐射产生的影响降至尽可能小。本项目产生的辐射给患者带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，该核技术应用实践具有正当性，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“实践的正当性”原则。

1.6.3 生态环境分区管控相符性分析

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

根据绍兴市生态环境局关于印发《绍兴市生态环境分区管控动态更新方案》（绍市环发〔2024〕36号）的通知，本项目位于浙江省绍兴市越城区（滨海新区）滨海新城工业园区产业集聚重点管控单元（ZH33060220004），属于重点管控单元，绍兴市生态环境分区管控动态更新方案图见附图9，生态环境准入清单符合性分析见表1.6-1。

表 1.6-1 生态环境准入清单符合性分析

环境管 控单元 名称	要求		本项目情况	是否 符合
浙江省 绍兴市 越城区 （滨海	空 间 布 局 约 束	1、优化产业布局 and 结构，实施分区差别化的产业准入条件。 2、合理规划布局三类工业项目，控制三类工业项目布局范围和 总体规模，鼓励对现有三类工业项目进行淘汰和升级改造。 3、合理规划布局居住、医疗卫生、文化教育等	本项目为医院核 技术利用项目，不 属于工业项目。	符合

新区)		功能区块，与工业区块、工业企业之间设置防护绿地、生活绿地等隔离带。		
滨海新城工业园区产业集聚重点管控单元	污 染 物 排 放 管 控	4、严格执行畜禽养殖禁养区规定。 1、严格实施污染物总量控制制度，根据区域环境质量改善目标，削减污染物排放总量。 2、新建二类、三类工业项目污染物排放水平要达到同行业国内先进水平，推动企业绿色低碳技术改造。新建、改建、扩建高耗能、高排放项目须符合生态环境保护法律法规和相关法定规划，强化“两高”行业排污许可证管理，推进减污降碳协同控制。重点行业按照规范要求开展建设项目碳排放评价。 3、加快落实污水处理厂建设及提升改造项目，深化工业园区（工业企业）“污水零直排区”建设，所有企业实现雨污分流。 4、加强土壤和地下水污染防治与修复。	本项目为医院核技术利用项目，不涉及工业污染物总量排放。项目建设有放射性废液、放射性废气及放射性固废处理措施，各放射性废物经衰变处理达标后排放，符合污染物排放管控要求。	符合
	环 境 风 险 防 控	1、定期评估沿江河湖库工业企业、工业集聚区环境和健康风险。 2、强化工业集聚区企业环境风险防范设施设备建设和正常运行监管，加强重点环境风险管控企业应急预案制定，建立常态化的企业隐患排查整治监管机制；加强风险防控体系建设。	本项目为医院核技术利用项目，不属于工业项目。	符合
	资源开发效率要求	推进工业集聚区生态化改造，强化企业清洁生产改造，推进节水型企业、节水型工业园区建设，落实煤炭消费减量替代要求，提高资源能源利用效率。	本项目所用能源主要为城市生活用水和电能，资源利用效率高。	符合

综上所述，本项目为医院核技术利用项目，不属于限制类产业，符合空间布局约束；本项目不涉及工业污染物总量排放；项目建设有放射性废液、放射性废气及放射性固废处理措施，各放射性废物经衰变处理达标后排放，符合污染物排放管控要求，符合污染物排放管控要求；本项目用地性质为医疗用地，符合绍兴市总体规划要求，符合环境风险防控要求；本项目所用能源主要为城市生活用水和电能，符合资源开发效率要求。本项目符合绍兴市生态环境分区管控动态更新方案要求。

1.7 原有核技术利用项目情况

建设单位已委托编制《中国科学院大学附属肿瘤医院（浙江省肿瘤医院）绍兴院区（浙江滨海医院）核技术利用建设项目环境影响报告表》并取得浙江省厅批复（文号：浙环辐〔2024〕1号）。由于医院尚未建成，尚未运营，因此医院尚未领取辐射安全许可证。已批复建设的核技术利用项目如下：

表 1.7-1 已批复的放射源									
序号	核素名称	总活度（Bq） / 活度（Bq）×枚数		类别	活动种 类	用途	使用场所	贮存方式与地点	
1	¹⁹² Ir	7.4×10 ¹¹ /3.7×10 ¹¹ ×2		III	使用	放射治疗	放疗科后装机 机房	放疗科后装机机房后 装机内	
2	⁶⁸ Ge	2.22×10 ⁸ /1.11×10 ⁸ ×2		V	使用	PET 校准	核医学科核素 显像场所 PET 机房	核医学科核素显像场 所储源室	
3	⁶⁸ Ge	2.2×10 ⁸ /5.5×10 ⁷ ×4		V	使用	PET 校准		核医学科核素显像场 所储源室	

表 1.7-2 已批复的非密封放射性物质									
序号	核素 名称	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
1	¹⁸ F	生产	1.12×10 ¹¹	1.12×10 ⁸	2.78×10 ¹³	显像诊断	简单操作	核医学科 核素制备 场所	药物合成、自 动分装后转运 至动物实验场 所或核素显像 场所储源室
2	¹¹ C	生产	5.92×10 ⁹	5.92×10 ⁷	2.81×10 ¹¹	显像诊断	简单操作		
3	¹³ N	生产	5.92×10 ⁹	5.92×10 ⁷	2.81×10 ¹¹	显像诊断	简单操作		
4	¹⁵ O	生产	5.92×10 ⁹	5.92×10 ⁷	2.81×10 ¹¹	显像诊断	简单操作		
5	⁶⁴ Cu	生产	2.22×10 ⁹	2.22×10 ⁸	9.62×10 ¹⁰	显像诊断	简单操作		
6	⁶⁷ Ga	生产	1.85×10 ⁹	1.85×10 ⁸	9.25×10 ¹⁰	显像诊断	简单操作		
7	⁸⁹ Zr	生产	2.22×10 ⁹	2.22×10 ⁸	9.62×10 ¹⁰	显像诊断	简单操作		
8	¹²³ I	生产	1.85×10 ⁹	1.85×10 ⁷	9.25×10 ¹⁰	显像诊断	简单操作		
9	¹²⁴ I	生产	1.85×10 ⁹	1.85×10 ⁸	9.25×10 ¹⁰	显像诊断	简单操作		
10	¹⁸ F	使用	7.4×10 ⁸	7.4×10 ⁵	3.55×10 ¹⁰	动物实验	很简单操 作	核医学科 动物实验 场所	由回旋加速器 制备
11	¹¹ C	使用	3.70×10 ⁸	3.70×10 ⁶	3.70×10 ⁹	动物实验	简单操作		
12	¹³ N	使用	3.70×10 ⁸	3.70×10 ⁶	3.70×10 ⁹	动物实验	简单操作		
13	¹⁵ O	使用	3.70×10 ⁸	3.70×10 ⁶	3.70×10 ⁹	动物实验	简单操作		
14	⁶⁴ Cu	使用	3.70×10 ⁸	3.70×10 ⁶	3.70×10 ⁹	动物实验	简单操作		
15	⁸⁹ Zr	使用	3.70×10 ⁸	3.70×10 ⁷	3.70×10 ⁹	动物实验	简单操作		
16	⁶⁸ Ga	使用	3.70×10 ⁸	3.70×10 ⁶	7.40×10 ⁹	动物实验	简单操作		由锗镓发生器 制
17	¹⁸ F	使用	3.70×10 ¹⁰	3.70×10 ⁷	2.78×10 ¹³	显像诊断	很简单操 作	核医学科 核素显像 场所	由回旋加速器 制备
			1.11×10 ¹¹	1.11×10 ⁸		备药	源的贮存		
18	¹¹ C	使用	1.85×10 ⁹	1.85×10 ⁷	2.78×10 ¹¹	显像诊断	简单操作		
		使用	5.55×10 ⁹	5.55×10 ⁵		备药	源的贮存		
19	¹³ N	使用	1.85×10 ⁹	1.85×10 ⁷	2.78×10 ¹¹	显像诊断	简单操作		
		使用	5.55×10 ⁹	5.55×10 ⁵		备药	源的贮存		

17	¹⁵ O	使用	1.85×10 ⁹	1.85×10 ⁷	2.78×10 ¹¹	显像诊断	简单操作		
		使用	5.55×10 ⁹	5.55×10 ⁶		备药	源的贮存		
18	⁶⁴ Cu	使用	1.85×10 ⁹	1.85×10 ⁷	9.25×10 ¹⁰	显像诊断	简单操作		
19	⁸⁹ Zr	使用	1.85×10 ⁹	1.85×10 ⁸	9.25×10 ¹⁰	显像诊断	简单操作		
20	¹²⁴ I	使用	1.85×10 ⁹	1.85×10 ⁸	9.25×10 ¹⁰	显像诊断	简单操作		
21	⁶⁸ Ga	使用	1.85×10 ⁹	1.85×10 ⁷	4.63×10 ¹¹	显像诊断	简单操作		
22	⁶⁸ Ge 锗镓发生器	贮存	2.78×10 ⁹	2.78×10 ⁶	6.95×10 ¹¹	淋洗药物	源的贮存	由锗镓发生器制备	
23	^{99m} Tc	使用	1.11×10 ¹¹	1.11×10 ⁸	2.78×10 ¹³	显像诊断	很简单操作		
24	²⁰¹ Tl	使用	9.25×10 ⁸	9.25×10 ⁶	2.31×10 ¹¹	显像诊断	简单操作		
25	⁶⁷ Ga	使用	1.85×10 ⁹	1.85×10 ⁷	9.25×10 ¹⁰	显像诊断	简单操作		
26	¹²³ I	使用	1.85×10 ⁹	1.85×10 ⁷	9.25×10 ¹⁰	显像诊断	简单操作		
27	⁸⁹ Sr	使用	5.55×10 ⁸	5.55×10 ⁷	1.39×10 ¹¹	骨癌治疗	简单操作		
28	¹⁵³ Sm	使用	5.55×10 ⁹	5.55×10 ⁸	1.39×10 ¹²	骨癌治疗	简单操作		
29	¹⁸⁸ Re	使用	7.40×10 ⁹	7.40×10 ⁸	1.85×10 ¹²	骨癌治疗	简单操作		
30	²²³ Ra	使用	3.33×10 ⁷	3.33×10 ⁸	8.33×10 ⁹	骨癌治疗	简单操作		
31	²²⁵ Ac	使用	1.11×10 ⁷	1.11×10 ⁸	2.78×10 ⁹	前列腺癌治疗	简单操作		
32	³² P 血液病	使用	1.85×10 ⁹	1.85×10 ⁸	4.63×10 ¹¹	血液疾病治疗	简单操作		
33	¹³¹ I 甲测	使用	3.70×10 ⁶	3.70×10 ⁵	9.25×10 ⁸	甲功测定	简单操作		
34	¹³¹ I 甲亢	使用	3.70×10 ⁹	3.70×10 ⁸	9.25×10 ¹¹	甲亢治疗	简单操作		
35	¹³¹ I 扫描	使用	4.00×10 ⁹	1.00×10 ¹²	4.00×10 ⁸	显像诊断	简单操作		
36	¹⁷⁷ Lu 扫描	使用	8.00×10 ⁸	8.00×10 ⁷	2.00×10 ¹¹	显像诊断	简单操作		
37	^{99m} Tc	使用	1.48×10 ⁸	1.48×10 ⁵	2.96×10 ¹⁰	显像诊断	很简单操作		
38	⁹⁰ Y	使用	3.00×10 ⁹	3.00×10 ⁷	6.00×10 ¹¹	肿瘤治疗	很简单操作		
39	¹³¹ I 甲癌	使用	2.22×10 ¹⁰	2.22×10 ⁹	5.55×10 ¹²	甲癌治疗	简单操作	核医学科 1 号核素治疗场所	由医院根据实际使用量订购，派专人运送，运输来的药物连同包装放置于核素治疗场所储源室
40	¹⁷⁷ Lu	使用	1.48×10 ¹⁰	1.48×10 ⁹	3.70×10 ¹²	前列腺癌治疗	简单操作		
41	¹³¹ I 甲癌	使用	3.33×10 ¹⁰	3.33×10 ⁹	7.77×10 ¹²	甲癌治疗	简单操作	核医学科 2 号核素治疗场所	

42	^{99m}Tc	使用	1.48×10^8	1.48×10^5	2.96×10^{10}	显像诊断	很简单操作	^{90}Y 手术场所	由医院根据实际使用量订购，派专人运送，运输来的药物连同包装放置于核素显像场所储源室，在核素显像场所分装、测活后，派专人运送放置于 ^{90}Y 手术场所
43	^{90}Y	使用	3.00×10^9	3.00×10^7	6.00×10^{11}	肿瘤治疗	很简单操作		

表 1.7-3 已批复的射线装置

序号	名称	类别	数量	型号	技术参数	用途	工作场所
1	回旋加速器	II	2 台	待定	最大能量 $\leq 20\text{MeV}$ 束流强度 $\leq 150\mu\text{A}$	制备放射性药物	肿瘤内科楼地下一层回旋加速器机房
2	直线加速器	II	13 台	待定	X 射线: $15\text{MV}/10\text{MV}$ 电子线: 22MeV	肿瘤治疗	放疗楼地下一层南侧放疗科 1-13 号直线加速器机房
3	射波刀	II	1 台	待定	X 射线: 6MV	肿瘤治疗	放疗楼地下一层南侧放疗科射波刀机房
4	DSA	II	8 台	待定	最大管电压 150kV , 最大管电流 1250mA	影像诊断和介入治疗	医技楼一层介入中心 6 台、医技楼二层手术中心 2 台
5	移动 CT	III	1 台	待定	最大管电压 140kV , 最大管电流 1000mA	显像诊断	医技楼二层手术中心杂交手术室 4
6	ERCP 用 X 射线装置	II	1 台	待定	最大管电压 150kV , 最大管电流 1000mA	影像诊断和介入治疗	医技楼地下一层内镜中心
7	PET/CT	III	4 台	待定	最大管电压 140kV , 最大管电流 1000mA	显像诊断	肿瘤内科楼地下一层核医学科核素显像场所
8	SPECT/CT	III	5 台	待定	最大管电压 140kV , 最大管电流 1000mA	显像诊断	
9	小动物 PET/CT	III	1 台	待定	最大管电压 140kV , 最大管电流 1mA	动物实验显像诊断	肿瘤内科楼地下一层核医学科动物实验场所
10	X-ray (射波刀系统自带)	III	2 台	待定	最大管电压 150kV , 最大管电流 500mA	肿瘤定位	放疗科射波刀机房

本项目仅调整 ^{90}Y 手术室布局及配套功能用房，不涉及核医学科核素显像场所布局调整和核素用量改变，因此 ^{90}Y 手术室、核医学科核素显像场所原有规模和日等效最大操作量保持不变。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq)/ 活度 (Bq) × 枚数	类别	活动种类	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
1	^{99m} Tc	液态/低毒/半衰期 6.02h	使用	1.48×10 ⁸	1.48×10 ⁵	2.96×10 ¹⁰	显像诊断	很简单操作	⁹⁰ Y 手术场所（1#DSA 机房）	由医院根据实际使用量订购，派专人运送，运输来的药物连同包装放置于核素显像场所源库，在核素显像场所分装、测活后，派专人运送放置于 ⁹⁰ Y 手术场所储源废物间
2	⁹⁰ Y	液态/中毒/半衰期 2.67d	使用	3×10 ⁹	3×10 ⁷	6.00×10 ¹¹	肿瘤治疗	很简单操作		

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》（GB18871-2002）。

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
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

（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	待定	150	1250	影像诊断和介入治疗	医技楼一层介入中心 1#DSA 机房	新购
2	DSA	Ⅱ类	1	待定	150	1250	影像诊断和介入治疗	医技楼一层介入中心 2#DSA 机房	新购
3	滑轨 CT	Ⅲ类	1	待定	140	1000	影像诊断	医技楼一层介入中心 CT 存放 间、1#DSA 机房或 2#DSA 机房	新购

（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
核医学科 ^{90}Y 手术场所放射性废液	液态	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{90}Y	/	/	/	总 $\alpha \leq 1\text{Bq/L}$ 总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$	使用专用容器单独收集暂存在储源废物间	放射性废液在专用容器中暂存时间超 30 天后，符合 GB18871-2002 排放条件后，进入医院污水处理站处理后排入城市污水管网
放射性固废	固态	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{90}Y	/	/	/	辐射剂量率处于本底水平， α 表面污染小于 0.08Bq/cm^2 ， β 表面污染小于 0.8Bq/m^2	在储源废物间内暂存	放射性固废（含 ^{90}Y 衰变超过 27 天，含 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 衰变超过 30 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 0.08Bq/cm^2 、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理
		废活性炭	/	/	/			
放射性废气	气态	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{90}Y	/	/	/	/	依托核素显像场所手套箱专用排风管道送至屋顶，由活性炭过滤后排放，活性炭吸附效率不低于 99%。	/

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) 《中华人民共和国生态环境法典》（2026 年 3 月 12 日第十四届全国人民代表大会第四次会议通过），自 2026 年 8 月 15 日起施行； (2) 《建设项目环境保护管理条例》（1998 年 11 月 29 日中华人民共和国国务院令第 253 号发布施行；2017 年 7 月 16 日中华人民共和国国务院第 682 号令修订），自 2017 年 10 月 1 日起施行修订版； (3) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，（2005 年 9 月 14 日经中华人民共和国国务院令第 449 号公布，2019 年 3 月 2 日经中华人民共和国国务院令第 709 号修订），自 2019 年 3 月 2 日起施行修订版； (4) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2006 年 1 月 18 日国家环境保护总局令第 31 号公布，2021 年 1 月 4 日经生态环境部令第 20 号修正），2021 年 1 月 4 日施行修改版； (5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（2011 年 4 月 18 日环境保护部令第 18 号），自 2011 年 5 月 1 日起施行； (6) 《放射性废物安全管理条例》（2011 年 12 月 20 日中华人民共和国国务院令第 612 号公布），自 2012 年 3 月 1 日起施行； (7) 《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），自 2017 年 12 月 5 日起施行； (8) 《关于发布<放射性废物分类>的公告》（环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局 公告 2017 年第 65 号），自 2018 年 1 月 1 日起施行； (9) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》（中华人民共和国生态环境部令第 16 号），自 2021 年 1 月 1 日起施行； (10) 《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（2023 年 12 月 27 日中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 7 号公布，自 2024 年 2 月 1 日起施行； (11) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告 2019 年第 57 号），自 2020 年 1 月 1 日起施行； (12) 《关于进一步优化辐射安全考核的公告》（生态环境部公告 2021 年第 9 号），自 2021 年 3 月 15 日起施行； (13) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函
------	--

	〔2016〕430号），自2016年3月7日起施行； （14）关于发布《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》的公告（国环规环评〔2017〕4号），自2017年11月22日发布； （15）《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发〔2006〕145号），自2006年9月26日起施行。 （16）《医疗废物管理条例》（2003年6月16日中华人民共和国国务院令 第380号公布，根据2011年1月8日中华人民共和国国务院令 第588号修订），自2011年1月8日实施修订版； （17）《国家危险废物名录（2025年版）》（2024年11月26日生态环境部、国家发展和改革委员会、公安部、交通运输部、国家卫生健康委员会令 第36号公布），自2025年1月1日起施行； （18）《核技术利用建设项目重大变动清单（试行）》（环办辐射函〔2025〕313号）； （19）《浙江省建设项目环境保护管理办法》（2011年10月25日浙江省人民政府令 第288号公布，2026年8月25日浙江省人民政府令 第418号第四次修正），自2026年9月5日起施行； （20）《浙江省辐射环境管理办法》（2011年12月18日浙江省人民政府令 第289号公布，2026年8月25日浙江省人民政府令 第418号第二次修正），自2026年9月5日起施行； （21）《关于开展医疗机构辐射安全许可和放射诊疗许可办事流程优化工作的通知》（浙江省生态环境厅 浙江省卫生健康委员会，浙环函〔2019〕248号），自2019年7月18日起施行； （22）《浙江省生态环境厅关于发布<省生态环境主管部门负责审批环境影响评价文件的建设项目清单（2024年本）>的通知》（浙环发〔2024〕67号），自2025年2月2日起施行。
技术标准	（1）《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ2.1-2016）； （2）《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）； （3）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；

	(4) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》 (HJ 1157-2021) ; (5) 《辐射环境监测技术规范》 (HJ 61-2021) ; (6) 《电离辐射监测质量保证通用要求》 (GB8999-2021) ; (7) 《核医学辐射防护与安全要求》 (HJ 1188-2021) 及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》 (辐射函〔2023〕20 号) ; (8) 《核医学放射防护要求》 (GBZ 120-2020) ; (9) 《放射诊断放射防护要求》 (GBZ130-2020) ; (10) 《职业性外照射个人监测规范》 (GBZ 128-2019) ; (11) 《放射性废物管理规定》 (GB 14500-2002) ; (12) 《辐射事故应急监测技术规范》 (HJ 1155-2020) ; (13) 《医疗机构水污染物排放标准》 (GB18466-2005) 及第 1 号修改单。
其他	(1) 《辐射防护手册》，李德平、潘自强主编； (2) 《放射防护实用手册》，赵兰才、张丹枫； (3) 《浙江省环境天然贯穿辐射水平调查研究》； (4) 建设单位提供的其它与本项目有关资料； (5) 项目委托书。

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

参考《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）中对于报告书项目的评价范围规定“乙级非密封放射性物质工作场所项目的评价范围取半径 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”，结合本项目特点，确定评价范围为核技术利用项目辐射工作场所控制区边界外 50m 以内区域（不同工作场所重合区域时取最大范围），具体评价范围示意图见附图 2。

7.2 保护目标

根据现场踏勘情况，本项目涉及核医学科实体屏蔽边界外50m范围主要为内部建筑物和院外道路，不涉及其他环境敏感区域，本项目介入手术项目机房实体屏蔽边界外50m评价范围主要为医院内部建筑物。项目总平面图见附图2。

本项目环境保护目标为评价范围内从事本项目的辐射工作人员、医院其他非辐射工作人员和公众成员。

表 7.2-1 本项目环境保护目标一览表

环境保护目标			方位	与辐射工作场所最近距离 m	规模	年剂量约束值
医技楼内	⁹⁰ Y 手术场所/2#DSA 机房	辐射工作人员	内部	/	约 16 人	职业人员 5.0mSv
		控制廊、卫生通过间	内部	/		
		储源废物间	内部	/		
		新风机房、走廊、楼梯间	东侧	紧邻	流动人员	公众 0.1mSv
		走廊、设备间	南侧	紧邻	流动人员	
		CT 存放间、备用间、设备间	西侧	紧邻	一般无人员居留	
		走廊	北侧	紧邻	流动人员	
		护士站、护士办公室、护士长室、生活间、走廊	上方	5.4	约 10 人/d	
		地下停车场	下方	7.1	流动人员	
医技楼外	综合病房楼		东北侧	48	约 300 人/d	公众 0.1mSv
	门急诊楼		东侧	紧邻	约 300 人/d	
50m 评价范围内其他公众			四周	0~50	约 500 人/d	

7.3 评价标准

7.3.1 剂量限值

剂量限值执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）规定，工作人员的职业照射和公众照射的剂量限值如下：

（1）职业照射

应对任何工作人员职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

- 1) 审管部门决定连续 5 年的年平均有效剂量(但不可作任何追溯性平均), 20mSv;
- 2) 任何一年中的有效剂量, 50mSv;

（2）公众照射

实践使公众中关键人群组的成员所受到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;

7.3.2 剂量约束值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的相关要求，本项目取 5mSv/a 作为职业人员的年剂量约束值，0.1mSv/a 作为公众人员的年剂量约束值。

7.3.3 核医学科辐射工作场所评价标准

（1）辐射防护分区

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）：

4.3.2 核医学工作场所的控制区主要包括回旋加速器机房、放射性药物合成和分装室、放射性药物贮存室、给药室、给药后候诊室、扫描室、核素治疗病房、给药后患者的专用卫生间、放射性废物暂存库、衰变池等区域。

4.3.3 核医学工作场所的监督区主要包括回旋加速器和显像设备控制室、卫生通过间以及与控制区相连的其他场所或区域。

4.3.4 控制区的入口应设置规范的电离辐射警告标志及标明控制区的标志，监督区入口处应设置标明监督区的标志。

（2）辐射工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C，应按表 7.3-2 将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

表 7.3-2 非密封源工作场所的分级

级别	日等效最大操作量/Bq
甲	$>4 \times 10^9$
乙	$2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9$
丙	豁免活度值以上 $\sim 2 \times 10^7$

放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量 (Bq) 与该核素毒性组别修正因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。

(3) 表面污染控制水平

根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 及《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 表 B11, 对于工作场所的放射性表面污染, 应满足表 7.3-3 的控制水平。

表 7.3-3 工作场所放射性表面污染控制水平 (Bq/cm²)

表面类型		α 放射性物质		β 放射性物质
		极毒性	其他	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 ¹⁾	4	4×10	4×10
	监督区	4×10^{-1}	4	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4×10^{-1}	4×10^{-1}	4
	监督区			
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10^{-2}	4×10^{-2}	4×10^{-1}

¹⁾ 该区内的高污染区除外

(4) 核医学科工作场所辐射剂量率控制水平

根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》(辐射函〔2023〕20 号) 中的相关规定, 本项目核医学科辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平见表 7.3-4。

表 7.3-4 本项目核医学科屏蔽体外周围剂量当量率控制水平

场所	位置		剂量率控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)
核医学 工作场所	控制区外人员可到达处, 距屏蔽体外 30cm 处		2.5
	控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处	控制区内工作人员经常性停留的场所 (人员居留因子 $\geq 1/2$)	2.5
		控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所 (人员居留因子 $< 1/2$)	10
	放射性药物分装的箱体、通风柜、注射窗等设备外表面 30cm 处 人员操作位		2.5
	放射性药物合成和分装的箱体等设备外表面 30cm 处非正对人员 操作位		25
	固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性 废液收集罐体和管道外表面 30cm 处		2.5

(5) 放射性废液排放控制要求

根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)中相关规定,结合本项目核素使用情况、衰变池设计情况,放射性废液排放满足以下要求:

a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放;

b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期(含碘-131 核素的暂存超过 180 天),监测结果经审管部门认可后,按照 GB18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 α 不大于 1Bq/L、总 β 不大于 10Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L。

(6) 固体放射性废物排放控制要求

根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)中相关规定,固体放射性废物暂存和处理应满足以下要求:

固体放射性废物暂存时间满足下列要求的,经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平, α 表面污染小于 0.08Bq/cm²、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm² 的,可对废物清洁解控并作为医疗废物处理:

a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天;

b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍;

(7) 核医学工作场所通风要求

根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021),核医学工作场所通风要求如下:

6.3.1 核医学工作场所应保持良好的通风,工作场所的气流流向应遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计,保持工作场所的负压和各区之间的压差,以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。

7.4.1 产生气态放射性废物的核医学场所应设置独立的通风系统,合理组织工作场所的气流,对排出工作场所的气体进行过滤净化,避免污染工作场所和环境。

7.4.2 应定期检查通风系统过滤净化器的有效性,及时更换失效的过滤器,更换周期不能超过厂家推荐的使用时间。更换下来的过滤器按放射性固体废物进行收集、处理。

(8) 患者出院的管理要求

①根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)附录 B,为确保放射治疗患

者出院后，不至于使接触患者的家庭成员及公众超过相关的剂量约束或剂量限值，放射治疗患者出院时体内放射性活度应符合表 7.3-5 的要求。

表 7.3-5 放射治疗患者出院时体内放射性核素活度的要求

放射性核素	主要发射 (keV)			半衰期 (d)	患者出院时体内放射性活度要求 (MBq)
	$\beta_{\max}$	β_{ave}	γ 及 X		
^{90}Y	2284	934	-	2.67	≤ 2500

7.3.4 放射诊断工作场所评价标准

(1) 机房外剂量率控制水平

DSA 机房屏蔽体剂量率控制水平参考《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 相关规定：机房各侧屏蔽体外周围剂量当量率水平不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

(2) 机房建设要求

DSA 机房有效使用面积及最小单边长详见表 7.3-6，机房屏蔽要求详见表 7.3-7，个人防护用品及辅助用品配置要求详见表 7.3-8。

表 7.3-6 X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度

设备类型	机房内最小有效使用面积 dm^2	机房内最小单边长度 em
CT 机（不含头颅移动 CT）	30	4.5
单管头 X 射线设备 ^b （含 C 形臂，乳腺 CBCT）	20	3.5

b 单管头、双管头或多管头 X 射线设备的每个管球各安装在 1 个房间内；
d 机房内有效使用面积指机房内可划出的最大矩形面积；
e 机房内单边长度指机房内有效使用面积的最小边长。

表 7.3-7 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
CT 机房（不含头颅移动 CT） CT 模拟定位机房	2.5	
标称 125 kV 以上的摄影机房	3.0	2.0
C 形臂 X 射线设备机房	2.0	2.0

本项目 DSA 机房为 DSA+CT 复合手术室，因此本项目使用面积及单边长度、铅当量，根据设备特点，综合“CT 机（不含头颅移动 CT）、标称 125kV 以上的摄影机房、C 形臂 X 射线设备机房”的相关要求，按“机房内最小有效使用面积 30m^2 、机房内最小单边长度 4.5m，六面屏蔽体铅当量不小于 3.0mmPb ”执行。

表 7.3-8 个人防护用品及辅助防护设施配置要求

放射检查类型	工作人员		受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
介入放射学操作	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套 选配：铅橡胶帽子	铅悬挂防护屏/铅防护吊帘、床侧防护帘/床侧防护屏 选配：移动铅防护屏风	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	—

注 1：“—”表示不做要求。

注 2：各类个人防护用品和辅助防护设施，指防电离辐射的用品和设施。鼓励使用非铅材料防护用品，特别是非铅介入防护手套。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

中国科学院大学附属肿瘤医院（浙江省肿瘤医院）绍兴院区（浙江滨海医院）位于绍兴市滨海新区江滨区，海滨路以西，七六丘北塘河以南，海华路以东，乾诚道以北。项目地理位置见附图 1。

本项目 DSA 位于医技楼一层。项目地理位置图见附图 1，辐射工作场所位置详见附图 2。

8.2 环境电离辐射水平现状

根据《浙江省生态环境状况公报（2025 年）》，全省辐射环境质量总体良好。全省环境电离辐射水平处于本底涨落范围内。环境 γ 辐射剂量率处于当地天然本底涨落范围内。空气中天然放射性核素活度浓度处于本底水平，人工放射性核素活度浓度未见异常。钱塘江、曹娥江、甬江、椒江、瓯江、飞云江、鳌江、苕溪八大水系及京杭运河、西湖和新安江水库中天然放射性核素浓度处于本底水平，人工放射性核素活度浓度未见异常。地下水天然放射性核素浓度处于本底水平，总 α 、总 β 活度浓度符合《地下水质量标准》（GB/T14848—2017）的 III 类水质标准。城市集中式饮用水水源地水中总 α 、总 β 活度浓度处于本底水平。近岸海域海水、海底沉积物和海洋生物中人工放射性核素活度浓度未见异常，海水中锶-90 和铯-137 等人工放射性核素活度浓度远低于《海水水质标准》（GB 3097—1997）。土壤中天然放射性核素活度浓度处于本底水平，人工放射性核素活度浓度未见异常。

8.3 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

8.3.1 环境现状评价的对象

本项目辐射项目区域及周边环境

8.3.2 监测因子

根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）5.3.3.1 中表 11 和表 12，本项目辐射环境现状监测因子为： γ 辐射剂量率， α 、 β 表面污染。

8.3.3 监测点位

本次监测在拟建辐射工作场所区域及周边环境布设点位，共布置监测点位 28 个；以上点位能够反映项目所在地的辐射环境现状水。具体监测点位示意图 8.3-1~图 8.3-2。

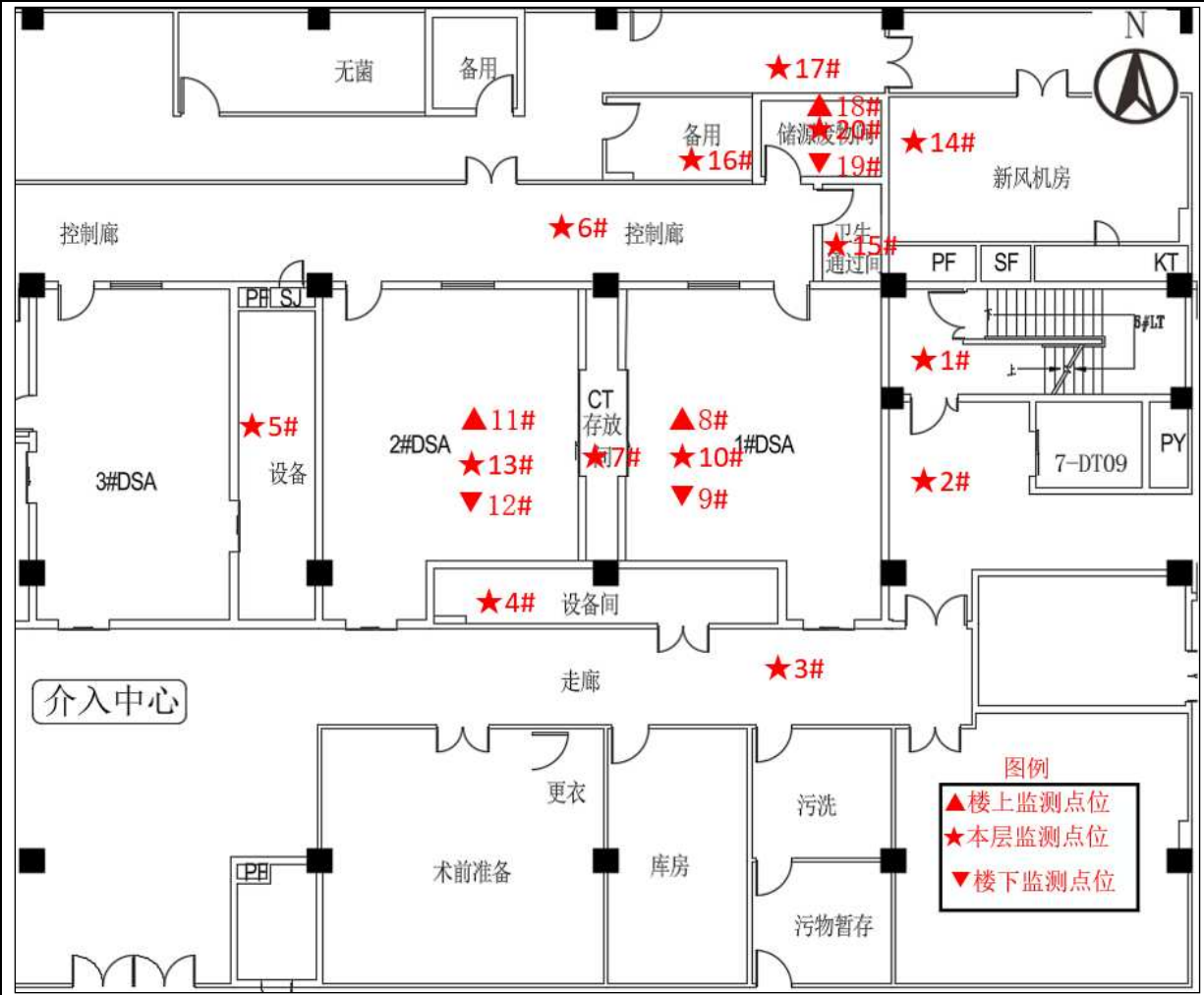


图 8.3-1 本项目监测点位示意图 1

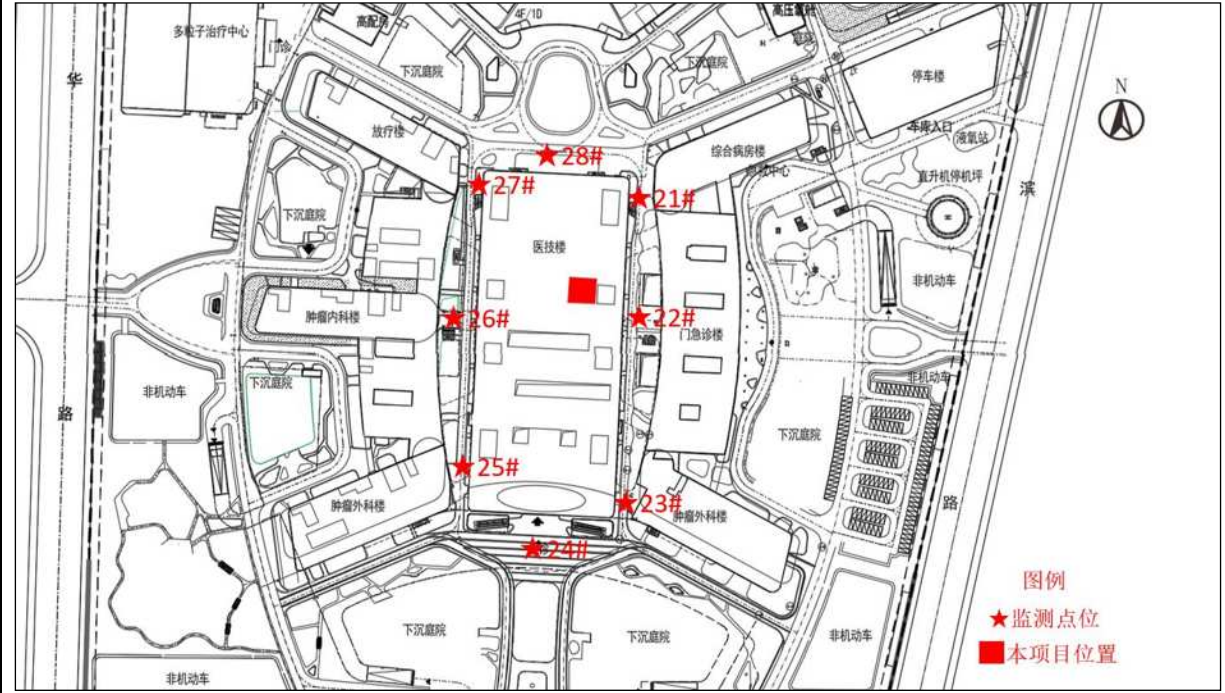


图 8.3-2 本项目监测点位示意图 2

8.4 监测方案、质量保证措施和监测结果

8.4.1 监测方案

①监测单位：浙江建安检测研究院有限公司

②监测日期：2026 年 9 月 12 日

③监测方式：现场检测

④监测依据：《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）、《表面污染测定 第 1 部分： β 发射体（ $E_{\beta\max} > 0.15\text{MeV}$ ）和 α 发射体》（GB/T 14056.1-2008）

⑤监测频次：即时测量

⑥天气环境条件：天气：晴；温度 22°C ，相对湿度 56%

⑦监测设备

表 8.3-1 X、 γ 辐射剂量当量率仪

仪器型号	FH 40G-L10+FHZ 672E-10
仪器名称	便携式 X、 γ 辐射周围剂量当量率仪
生产厂家	Thermo SCIENTIFIC
仪器编号	05035404
能量范围	40KeV $\sim$ 4.4MeV
量程	主机：10nSv/h $\sim$ 100mSv/h；探头：1nSv/h $\sim$ 100 μ Sv/h
校准单位	浙江省质量科学研究院
校准证书	NJYF-20260350243
校准日期	2026 年 03 月 09 日

表 8.3-2 α 、 β 表面污染仪

仪器型号	CoMo-170
仪器名称	α 、 β 表面污染仪
生产厂家	NUVIA
仪器编号	05035883
探测器灵敏窗面积	170cm ²
探测器本底	α :0.1CPS； β :15 $\sim$ 25CPS
检定单位	浙江省质量科学研究院
检定证书	NJYF-20260150590

检定有效期	2026 年 01 月 20 日~2027 年 01 月 19 日		
-------	-----------------------------------	--	--

8.4.2 质量保证措施

(1) 本项目辐射环境监测单位为浙江建安检测研究院有限公司，具有浙江省市场监督管理局颁发的资质认定证书，并在允许范围内开展工作和出具有效的监测报告，保证了监测工作的合法性和有效性；

(2) 采用国家有关部门颁布的监测标准方法，每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常。

(3) 监测仪器每年定期经计量部门检定或校准，检定合格后方可使用。

(4) 监测实行全过程的质量控制，严格按照浙江建安检测研究院有限公司《质量手册》、《程序文件》及仪器作业指导书的有关规定执行，监测人员经培训、考核合格后上岗。

(5) 报告严格实行三级审核制度，经校核、审核，最后由授权签字人审定。

8.4.3 监测结果

辐射环境各监测点位的监测结果见表 8.3-3 和表 8.3-4。

表 8.3-3 本项目辐射环境现状监测结果一览表

监测点编号	监测点位置	监测结果 (nGy/h)	备注
1#	1#DSA 机房东侧楼梯间	147±3	室内
2#	1#DSA 机房东侧走廊	129±3	室内
3#	1#DSA 机房南侧走廊	123±2	室内
4#	2#DSA 机房南侧设备间	160±1	室内
5#	2#DSA 机房西侧设备间	124±3	室内
6#	2#DSA 机房北侧控制廊	131±3	室内
7#	CT 存放间	147±3	室内
8#	1#DSA 机房正上方	145±2	室内
9#	1#DSA 机房正下方	164±3	室内
10#	1#DSA 机房内部	131±2	室内
11#	2#DSA 机房正上方	149±2	室内
12#	2#DSA 机房正下方	135±3	室内
13#	2#DSA 机房内部	122±2	室内
14#	储源废物间东侧新风机房	148±2	室内
15#	储源废物间南侧卫生通过间	147±2	室内
16#	储源废物间西侧备用间	158±3	室内

17#	储源废物间北侧走廊	160±3	室内
18#	储源废物间正上方	146±3	室内
19#	储源废物间正下方	158±2	室内
20#	储源废物间内部	138±2	室内
21#	综合病房楼西侧外	164±2	室外
22#	门急诊楼西侧外	164±1	室外
23#	肿瘤外科楼西侧外	165±2	室外
24#	医技楼南侧外	157±2	室外
25#	肿瘤外科楼东侧外	157±3	室外
26#	肿瘤内科楼东侧外	175±2	室外
27#	放疗楼东侧外	158±2	室外
28#	医技楼北侧外	143±3	室外
注： 1、测量时探头距离地面约 1m； 2、每个监测点测量 10 个数据取平均值，以上监测结果均已扣除仪器对宇宙射线的响应值； 3、环境 γ 辐射空气吸收剂量率=读数平均值×校准因子 k_1 ×仪器检验源效率因子 k_2 ÷空气比释动能和周围剂量当量的换算系数-屏蔽修正因子 k_3 ×测量点宇宙射线响应值 D_c ，校准因子 k_1 为 1.12，仪器使用 ^{137}Cs 进行校准，效率因子 k_2 取 1，换算系数为 1.20Sv/Gy， k_3 楼房取 0.8、平房取 0.9、原野和道路取 1，仪器对宇宙射线的响应值为 9.3nGy/h。			

表 8.3-4 拟建场所及周围 α 、 β 表面污染检测结果

监测点编	监测点位置	α 表面污染监测结	β 表面污染监
1#	1#DSA 机房东侧楼梯间	<0.01	<0.07
2#	1#DSA 机房东侧走廊	<0.01	<0.07
3#	1#DSA 机房南侧走廊	<0.01	<0.07
4#	2#DSA 机房南侧设备间	<0.01	<0.07
5#	2#DSA 机房西侧设备间	<0.01	<0.07
6#	2#DSA 机房北侧控制廊	<0.01	<0.07
7#	CT 存放间	<0.01	<0.07
8#	1#DSA 机房正上方	<0.01	<0.07
9#	1#DSA 机房正下方	<0.01	<0.07
10#	1#DSA 机房内部	<0.01	<0.07
11#	2#DSA 机房正上方	<0.01	<0.07
12#	2#DSA 机房正下方	<0.01	<0.07
13#	2#DSA 机房内部	<0.01	<0.07
14#	储源废物间东侧新风机房	<0.01	<0.07
15#	储源废物间南侧卫生通过间	<0.01	<0.07

16#	储源废物间西侧备用间	<0.01	<0.07
17#	储源废物间北侧走廊	<0.01	<0.07
18#	储源废物间正上方	<0.01	<0.07
19#	储源废物间正下方	<0.01	<0.07
20#	储源废物间内部	<0.01	<0.07
21#	综合病房楼西侧外	<0.01	<0.07
22#	门急诊楼西侧外	<0.01	<0.07
23#	肿瘤外科楼西侧外	<0.01	<0.07
24#	医技楼南侧外	<0.01	<0.07
25#	肿瘤外科楼东侧外	<0.01	<0.07
26#	肿瘤内科楼东侧外	<0.01	<0.07
27#	放疗楼东侧外	<0.01	<0.07
28#	医技楼北侧外	<0.01	<0.07
注：0.01、0.07Bq/cm ² 为 CoMo170α、β 表面污染仪/05034889 探测下限。			

8.4 环境现状调查结果评价

根据表8.3-3的监测结果可知，本项目拟建场址及周边室内点位γ辐射剂量率处于122nGy/h~164nGy 即 $12.2 \times 10^{-8} \text{Gy/h} \sim 16.4 \times 10^{-8} \text{Gy/h}$ ，室外点位γ辐射剂量率处于143nGy/h~175nGy即 $14.3 \times 10^{-8} \text{Gy/h} \sim 17.5 \times 10^{-8} \text{Gy/h}$ 。根据《浙江环境天然贯穿辐射水平调查研究》可知，绍兴市室内γ辐射剂量率在 $6.1 \times 10^{-8} \text{Gy/h} \sim 33.5 \times 10^{-8} \text{Gy/h}$ 之间，绍兴市道路γ辐射剂量率在 $5.1 \times 10^{-8} \text{Gy/h} \sim 15.4 \times 10^{-8} \text{Gy/h}$ 之间，可见项目所在地的γ辐射剂量率处于辐射本底水平，未见异常。

由表8.3-4的监测结果可知，本项目拟建场址及周围各监测点 α、β 表面污染监测值均小于检测下限，未见异常。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 工程设备和工艺分析

9.1.1 ^{90}Y 肿瘤治疗项目

(1) 工作原理

^{90}Y 是一种放射性同位素，半衰期为 2.67 天，发射出的射线为纯 β 射线，在人体组织中穿透距离短，最大约 11mm，平均约为 2.5mm，体外几乎检测不到 β 射线。

^{90}Y 微球是一款靶向放射治疗产品，由含有钇的生物相容性微球组成，直径为 20-60 μm 。该产品被广泛应用于肝癌的选择性体内放射治疗（SIRT）中，即在肝脏病灶处，通过靶向的大剂量高能量 β 辐射起到杀死癌症细胞的目的，同时不伤害健康肝脏组织。被广泛用于手术治疗不可切除的肝癌，包括结直肠癌肝脏转移癌症、原发性肝癌、胆管癌、神经内分泌细胞瘤、乳腺癌肝脏转移癌症等。

(2) 诊疗规划

本项目拟依托医院核医学科核素显像场所、介入科 1#DSA 机房和原环评的 ^{90}Y 患者专用病房开展 ^{90}Y 肿瘤治疗项目。

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 评估阶段，使用核素显像场所已许可的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素，在 1#DSA 机房内介入条件下利用微导管将钨标记聚合物（ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAA，单次最大活度为 $1.48\times 10^8\text{Bq}$ ）注入至患者肝动脉，并在核素显像场所 SPECT/CT 机房对患者进行 SPECT/CT 扫描，以评判患者治疗的适应性。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 评估每天最多 1 名患者，每年最多评估 200 名患者。

治疗阶段， ^{90}Y 核素以外购方式运送至核医学科核素显像场所，每瓶 ^{90}Y 微球总活度为 $3.0\times 10^9\text{Bq}$ ，放置于专用铅罐中，仅可供 1 名患者使用。由于 ^{90}Y 微球治疗人数少，年治疗人数最多为 200 人，因此医院采用预约治疗，若当天有 ^{90}Y 微球治疗患者，将先在一层介入中心 1#DSA 机房内进行 ^{90}Y 微球输注手术，手术完成后将患者转运至原环评的 ^{90}Y 专用病房内，住院 2 天后出院。

表 9.1-1 核素显像场所和 1#DSA 机房 ^{90}Y 微球治疗项目诊疗规划

辐射工作场所	使用核素	最大诊疗量	年最大诊疗量	单人最大使用量 Bq	给药方式	用途	来源
核素显像场所	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1 人/天	200 人	1.48×10^8	/	肿瘤治疗前显像诊断	外购
	^{90}Y	1 人/天	200 人	3.0×10^9	/	肿瘤治疗	
1#DSA 机房	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1 人/天	200 人	1.48×10^8	DSA 介入条件下注入	肿瘤治疗前显像诊断	
	^{90}Y	1 人/天	200 人	3.0×10^9	DSA 介入条件下注入	肿瘤治疗	

(3) 工作流程

本项目使用的 ^{90}Y 放射性药物拟向制药公司订购获得。本项目工作流程及产污环节见图 9.1-1，具体工作流程及产污环节如下：

1. 第一阶段：术前（在周一至周五任意一天，核素显像场所所有诊疗项目结束后开展）

①治疗 1~2 周前，对患者进行影像学和肝肾功能等检查和筛选；

②前一天患者在普通病房内住院，进行术前准备，填妥血管摄影同意书，并通知禁食 6~8 小时，当天手术前排空尿液；

③将当日预留的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 在核医学科核素显像场所 SPECT 手套箱内进行测活后，放置在铅转移盒内，通过专用电梯转运至医技楼一层 1#DSA 机房或储源废物间内；

④患者在医技楼一层介入中心 1#DSA 机房内进行 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 输注手术，在介入条件下，利用微导管将钨标记聚合物（ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAA）注入至患者肝动脉，该过程中涉及 DSA 开机，会产生 X 射线和少量臭氧及氮氧化物，涉及 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物，会产生 γ 射线、放射性表面污染以及放射性固体废物；

④输注完成后，将患者通过专用电梯转移至核医学科核素显像场所进行 SPECT/CT 扫描，医生根据显像结果（ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAA 在体内分布情况），判断该患者是否适合 ^{90}Y 微球治疗，该过程中会产生 X 射线和少量臭氧及氮氧化物，涉及 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物，会产生 γ 射线、放射性表面污染；

⑤扫描后将患者转运至原环评的 ^{90}Y 专用病房内住院观察 2 天。

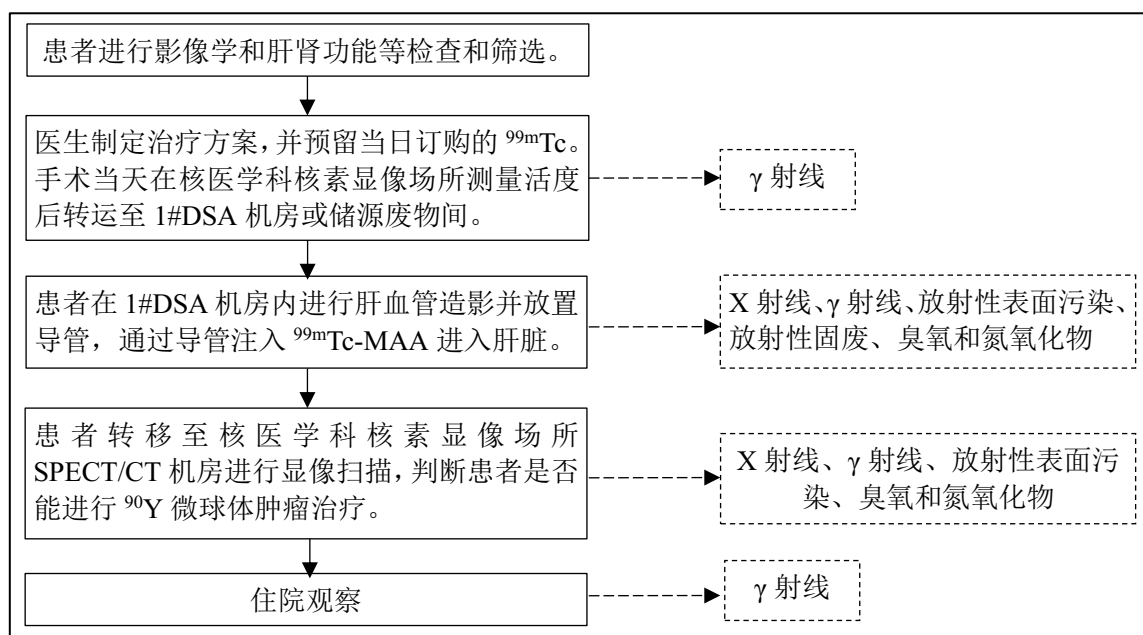


图 9.1-1 ^{90}Y 肿瘤治疗（第一阶段）工作流程及产污环节分析示意图

2.第二阶段：术中

①通过第一阶段注射 ^{99m}Tc (^{99m}Tc -MAA) 并进行显像扫描后判断患者可以进行 ^{90}Y 手术治疗，通知 7-10 天后住院，准备进行第二阶段 ^{90}Y 微球体输注。医院向供货商订购 ^{90}Y 微球。

②按照处方剂量订购的 ^{90}Y 药物每天早上由供货商送入核医学科核素显像场所，经质检人员检查药品包装和外观质量，核对放射性药物名称、活度，与供药公司办理交接手续后，妥善放入核医学科核素显像场所 SPECT 手套箱中。

③工作人员手持内置 ^{90}Y 微球体的西林瓶的防护罐进行摇晃，持续时间大约 30s/例。摇匀后，迅速打开防护罐盖子，使用长柄镊子夹取含 ^{90}Y 微球体的西林瓶放置在活度计测井内，测量 ^{90}Y 微球体总活度并进行记录。其次将带有 15mm 有机玻璃防护的注射器扎入西林瓶底部，快速抽压数次，使西林瓶中 ^{90}Y 微球体混合均匀，抽取一定量的 ^{90}Y 微球体注入无菌 V 瓶，将剩余放射性药物放置在活度计测井中测量，直至抽取完成患者所需的合适的活度为止。注入结束后，拔出注射器并装好针管，将无菌 V 瓶屏蔽罐的顶部塞盖好。 ^{90}Y 微球体的活度测量、抽取过程均于核医学科核素显像场所高活室内进行，大概持续 5 分钟。该过程会产生韧致辐射、 β 射线、 β 表面污染及沾染有放射性核素的手套、输液管、导管、V 型瓶、擦拭废纸、注射器及西林瓶等放射性固体废物。

④工作人员将分装好的 ^{90}Y 微球装在铅转移盒中，并转运至介入中心 1#DSA 机房，将测量完活度的含 ^{90}Y 微球体的无菌 V 瓶放置于注射防护盒内，连接将无菌水或 5%右旋糖苷和造影剂等辅助材料。装配完成后，先注入造影剂复查导管位置；其次注入无菌水或 5%右旋糖苷冲洗导管，避免导管中造影剂与 ^{90}Y 微球体混合；将 ^{90}Y 微球通过病人体内的导管注入患者体内，直达病灶。将微球分小剂量多次注入，注入过程大概持续 20 分钟。最后，将无菌水或 5%右旋糖苷注入导管，避免微球滞留在导管内。完成后，将导管从病人体内取出，将无菌 V 瓶、导管等放置于放射性废物桶内。该过程会产生韧致辐射、X 射线、 β 射线、 β 表面污染、放射性固体废物及少量臭氧及氮氧化物。



图 9.1-2 ^{90}Y 微球注射设施实物图

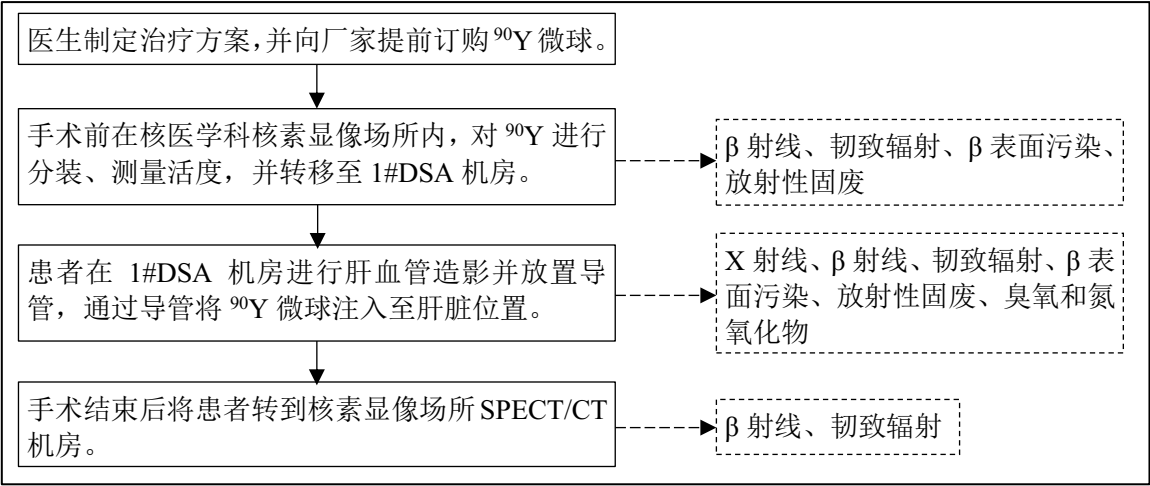


图 9.1-3 ^{90}Y 肿瘤治疗（第二阶段）工作流程及产污环节分析示意图

3.第三阶段：术后

- ①患者经专用电梯转移至核医学科核素显像场所 SPECT/CT 机房进行 SPECT/CT 扫描，扫描时间约为 20min，确认 ^{90}Y 微球位置的准确性。该过程会产生韧致辐射、X 射线、β 射线、β 表面污染及少量臭氧及氮氧化物。
- ②扫描完成后，安排患者到原环评的 ^{90}Y 专用病房进行住院 2 天。该过程会产生韧致辐射、β 射线、β 表面污染、放射性废水及放射性固体废物。

③每名患者 ^{90}Y 最大给药量为 $3.0 \times 10^9 \text{Bq}$ ，经住院 2 天后，患者体内放射性核素活度约为 $1.79 \times 10^9 \text{Bq}$ 。根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）附录 B.1 患者出院的体内放射性核素活度要求可知， ^{90}Y 患者出院时，体内 ^{90}Y 放射性活度低于 $2.5 \times 10^9 \text{Bq}$ 。因此 ^{90}Y 患者住院 2 天后可出院。

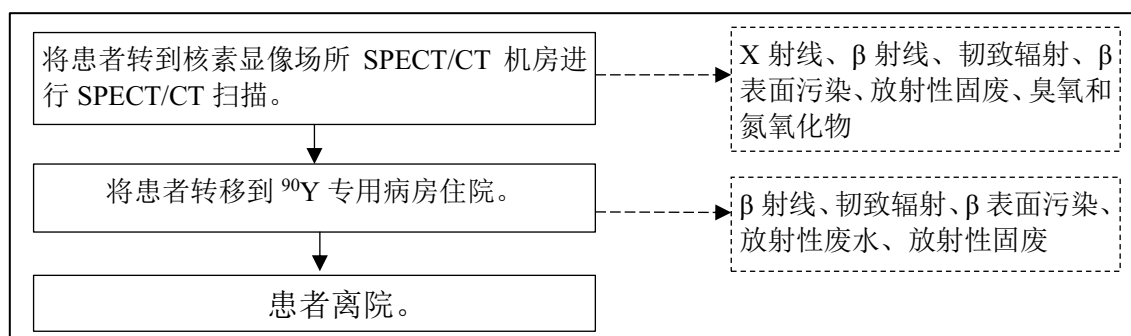


图 9.1-4 ^{90}Y 肿瘤治疗（第三阶段）工作流程及产污环节分析示意图

9.1.2 DSA+CT

（1）工作原理

1) DSA

数字减影血管造影技术（Digital Subtraction Angiography，简称“DSA”）是血管造影术和电子计算机图像处理技术相结合的产物。DSA 成像的基本原理是将受检部位注入造影剂（造影剂主要成分为碘帕醇，是为增强影像观察效果而注入（或服用）到人体组织或器官的化学制品，不含有放射性）之前和注入造影剂后的血管造影 X 射线荧光图像，分别经影像增强器增益后，再用高分辨率的电视摄像管扫描，将图像分割成许多的小方格，做成矩阵化，形成由小方格中的像素所组成的视频图像，经对数增幅和模/数转换为不同数值的数字，形成数字图像并分别储存起来，然后输入电子计算机处理并将两幅图像的数字信息相减，获得的不同数值的差值信号，再经对比度增强和数/模转换为普通的模拟信号，获得去除骨骼、肌肉和其他软组织，只留下单纯血管影像的减影图像，通过显示器显示出来。

2) CT

计算机断层扫描技术（Computed Tomography，简称“CT”）是一种医学影像技术，它通过使用 X 射线对人体进行层析成像，生成身体内部结构的详细图像。CT 扫描的基本原理是利用 X 射线束对人体特定厚度的层面进行扫描。X 射线在穿透人体时，由于不同组织对 X 射线的吸收程度不同，探测器接收到的射线强度会有所变化。这些变化的射线信号被转换为电信号，并通过模拟/数字转换器转换为数字信号，然后输入计算

机进行处理。CT 图像以不同的灰度反映器官和组织对 X 线的吸收程度，具有高密度分辨力，能够清晰地显示软组织和骨骼结构。CT 广泛应用于临床诊断、治疗规划和疾病监测，尤其在肿瘤、血管病变、创伤和感染的诊断上显示出极高的价值。

3) 复合手术

复合手术是通过将现代化影像诊断或介入治疗和外科手术整合在一起，实现介入手术与传统外科开放式手术相结合，从而解决各类复杂手术，降低手术风险，节省手术时间。在复合 DSA 机房施行该类手术，可根据需求来使用 DSA 或 CT，两者不分先后顺序。CT 影像检查可能在麻醉、外科手术、介入手术等操作之前或者之后进行。

(2) 设备组成

1) DSA

DSA 是计算机与常规血管造影相结合的一种检查方法，是集电视技术、影像增强、数字电子学、计算机技术、图像处理技术等多种科技手段于一体的系统。DSA 射线装置主要由影像探测器、X 线管头（本项目 DSA 均为单球管设备）、显示器、导管床、高压注射器、操作台、控制装置及工作站系统组成。典型 DSA 装置整体外观示意图如图 9.1-5 所示。

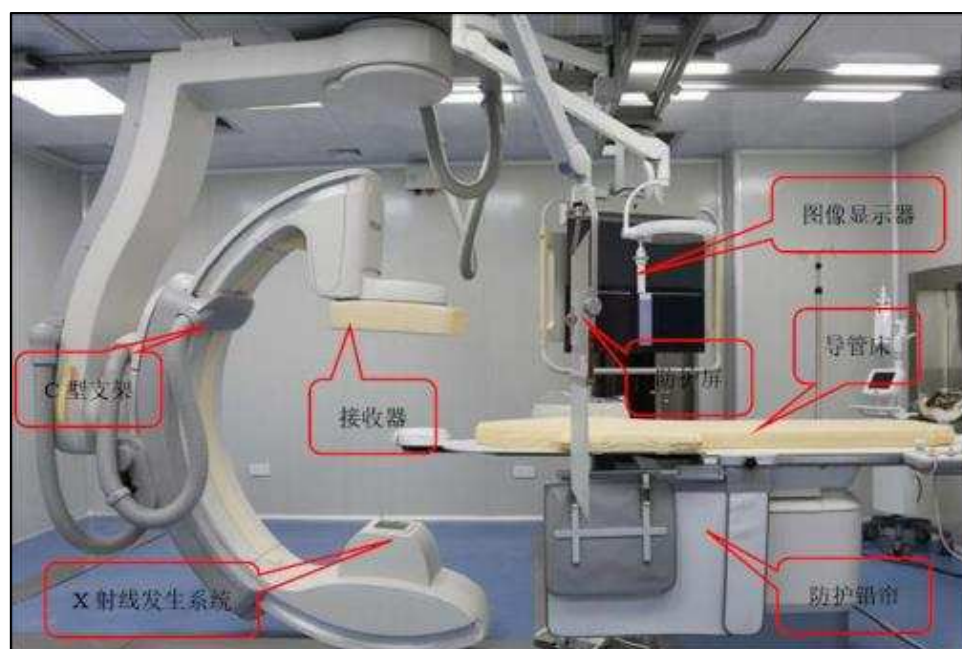


图 9.1-5 典型 DSA 装置整体外观示意图

2) CT

CT 是一种高精度、无创的医学影像诊断技术，被广泛应用于肿瘤、神经系统、心血管、骨骼等疾病的诊断和治疗。CT 设备主要由 X 线管、探测器、扫描架、计算机系统、图像显示与存储系统等部分组成。CT 设备整体外观示意图如图 9.1.1-2 所示。



图 9.1-6 滑轨 CT 设备整体外观示意图

(3) 工作方式

1) DSA: 在医学影像系统监视引导下，经皮针穿刺或引入导管做抽吸注射、引流或对管腔、血管等做成型、灌注、栓塞等。本项目介入手术过程中，介入手术医生须在手术床旁并在 X 射线导视下进行操作。

2) CT: 本项目 DSA 机房除使用 DSA 进行介入诊疗外，还使用 CT 进行患者的术前和术后评价（DSA 和 CT 设备共用一个手术床）。DSA 和 CT 分开放置，通过滑轨精准移动设备，实现结构上和功能上的融合。患者接受 DSA 介入治疗过程中，如果需要 CT 进行影像检查确认，无需更换手术床，可将 CT 通过滑轨移至 DSA 手术床，直接进行 CT 扫描。这样，可以保证患者在不移动的情况下同时接受两种影像设备的检查，提高了治疗的效率及临床的安全性。

(4) 诊疗规划

参考《中国科学院大学附属肿瘤医院（浙江省肿瘤医院）绍兴院区（浙江滨海医院）核技术利用建设项目环境影响报告表》内容，单台 DSA 年最大手术量为 500 台。DSA 主要开展心脏血管、神经介入、外周和综合介入等手术。因每台手术患者和手术要求不同，1 台手术中 DSA 的减影时间和透视时间也不大相同。本项目按照每台手术减影时间最大为 1 分钟，透视时间最大为 20 分钟。每次复合手术，CT 的最大出束扫描时间为 1min，CT 扫描过程年总曝光时间均为 16.67h。

本项目每间 DSA 机房控制室内固定配置 2 名技师轮岗操作，每台手术配备 2 名手术医生，1 名护士，设置两组，则每组手术医生或护士年手术台数不大于 250 台，则透视过程年最大曝光时间为 166.7h。

本项目机房具体工作负荷统计见下表。

表 9.1-3 本项目 DSA 机房最大运行工况和工作负荷一览表

设备	单台设备手术量	最大运行工况		单个机房曝光时间 (h)	年出束时间 (h)
DSA	500 台/年	减影	100kV、500mA	8.33	175
		透视	90kV、15mA	166.67	
CT	500 台/年（单个 DSA 机房内）	140kV、300mA		8.33	8.33

(5) 工作流程

1) DSA

接诊患者后根据其病情确认诊疗方法，告知患者及家属采用 DSA 治疗的辐射危害。患者进入机房后，技师或护士协助摆位后离开机房（患者留下）。开启 DSA 设备，技师在控制室内首次拍片初步确认病灶部位后，手术医生穿戴好防护用品进入机房，在透视操作下插入导管，输入造影剂，之后离开机房，技师在控制室内再次拍片，当确诊病灶部位后，手术医生穿戴好防护用品后再次进入机房进行介入治疗直到治疗结束，关机。

DSA 在进行曝光时分为两种情况：

第一种情况，透视。进行介入手术治疗时，为更清楚的了解病人情况时会有连续曝光，并采用连续脉冲透视，此时操作医师位于铅帘后身着铅服、铅眼镜在曝光室内对病人进行直接的介入手术操作。该情况在实际运行中占绝大多数，是本次评价的重点。

第二种情况，摄影。操作人员采取隔室操作的方式（即技师在控制室内对病人进行曝光），医生通过铅玻璃观察窗和操作台观察机房内病人情况。

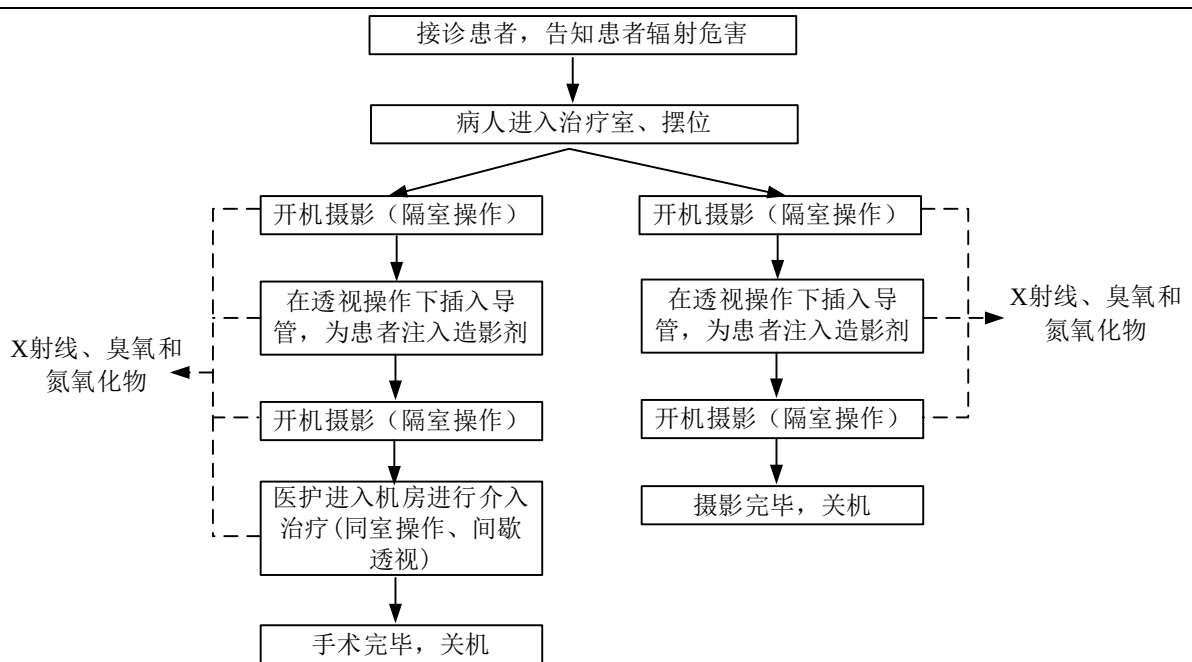


图 9.1-7 DSA 操作流程及产污环节图

2) 杂交手术

本项目除使用 DSA 进行介入诊疗外，还使用 CT 进行患者的术前和术后评价，具体流程如下：

CT 模式：在 DSA 机房使用 CT 时，DSA 的 C 形臂须先处于远离 DSA 检查床的停止位并触发位置信号开关，此时才可将 CT 滑动机架从 CT 存放停止位沿导轨移至工作位，到达工作区域时触发位置信号开关 CT 才可进行曝光操作；在 DSA 机房内使用 CT 模式下，因软硬件互锁 DSA 系统的所有移动和曝光功能均被禁用。

CT 模式改为 DSA 模式：CT 使用结束后，将 CT 滑动机架移出工作位后，到达 CT 存放停止位并触发信号位置开关时，DSA 系统才可恢复正常使用。在 CT 和 DSA 手术联合使用期间，CT 和 DSA 不同时使用。

杂交手术室的工作流程如图 9.1.3-2 所示，手术需由麻醉医生、外科手术医师、影像技师及介入手术医师合作、分步骤完成，当实施介入手术时，麻醉医师、外科手术医师暂时离开手术室，介入手术只能由相应的专业医师操作，当实施影像 CT 检查时，所有工作人员离开手术室。

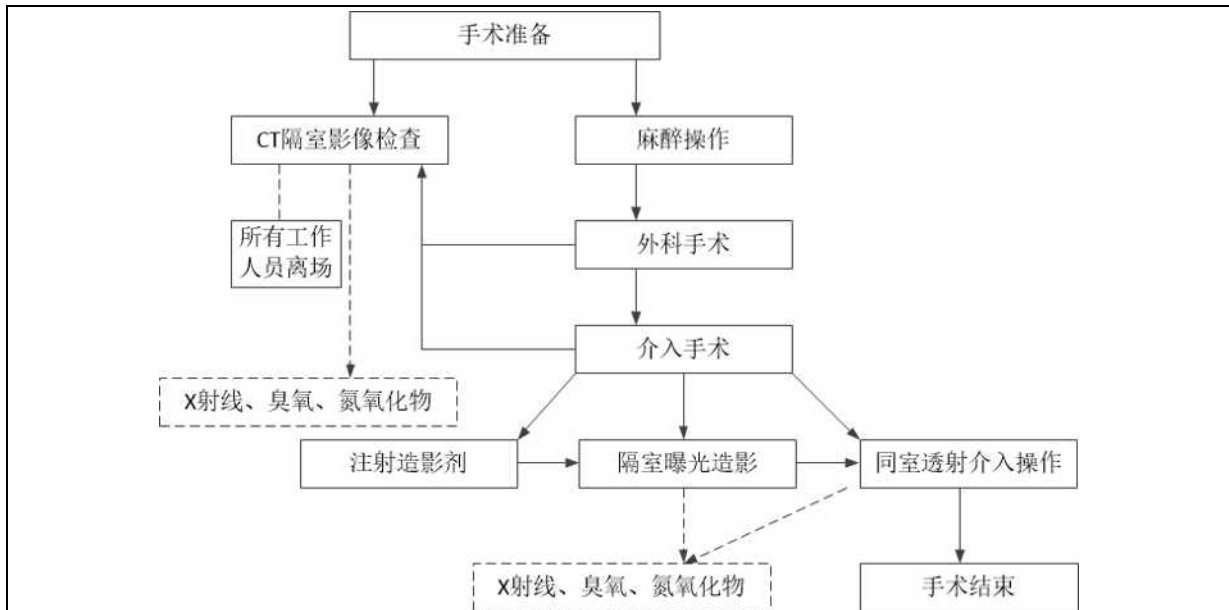


图 9.1-8 本项复合手术室工作流程及产污环节示意图

9.1.3 人员、物流路径

(1) ^{90}Y 肿瘤治疗项目

本项目仅调整 ^{90}Y 手术室平面布局，不调整其位置，不涉及核医学科核素显像场所和 ^{90}Y 专用病房原有规模和布局调整，其人员、物流路径、 ^{90}Y 患者转运路径均与原环评保持一致，按原已通过批复的环评文件内容执行，本次报告不对其进行详细描述。

①工作人员路径

工作人员从西侧走廊进入，经更衣后经医护走廊向东直行，再向南进入控制廊，通过控制廊北侧门进入 1#DSA 机房内进行手术，手术结束后，使用表面污染监测仪在机房内进行表污监测，满足要求后工作人员原路返回；若不满足要求，优先进行擦拭去污，若需要清洗去污，则进入机房北侧卫生通过间进行清洗，直至检测满足要求后方可离开。

②患者路径

$^{99\text{m}}\text{Tc-MAA}$ 评估阶段、 ^{90}Y 手术治疗阶段：患者在南侧患者候诊区等待，随后向北通过走廊，经 1#DSA 机房南侧防护门进入，在机房内输注 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 或 ^{90}Y 药物后，由医护推床至西侧电梯厅前往负一层，后经负一层向西至核医学科核素显像场所，进入 SPECT/CT 机房进行显像扫描，扫描后将患者转运至原环评的 ^{90}Y 专用病房内。

患者在转移过程中为卧床状态，由工作人员负责推床，推床时工作人员与患者分别穿戴 0.5mmPb 铅衣，工作人员尽量与患者保持 1m 以上的距离。经医院确认，患者转移前，提前对电梯进行管控，在开展 ^{90}Y 肿瘤治疗项目期间，将手术电梯 DT09 设为 ^{90}Y 肿瘤治疗项目专用，电梯设置仅在 1 层、-1 层停留，并在电梯口张贴相关文字提示，无

关人员不得乘坐；给药后患者在转移前，由医院安保部提前对转移路径进行管控，清空路径上的公众人员，通知无关人员避开该路径，避免靠近，优先考虑在下班后或周末院内人流较少的时间段开展 ^{90}Y 肿瘤治疗项目，减少对公众的辐射影响。

③放射性药物路径

药物在核医学科核素显像场所分装测活后，手术前工作人员将药物放在推车上，从核医学科核素显像场所出口离开，随后向东侧至医技楼负一层电梯厅，乘电梯上至 1 层，将药物暂存至 1#DSA 机房北侧储源废物间内。药物转运优先选择人流较少的时间段，如医院开诊前或下班时间段将药物转移至手术室暂存。在药物转运时安排 1 名工作人员负责转运工作，转运前提前探查路况，疏散沿路的公众，避开人员聚集区域，避免在转移过程中接触无关人员，药物全程存放在容器中，对药物进行有效屏蔽。

④放射性废物路径

1#DSA 机房：拟在 1#DSA 机房北侧储源废物间内新增专用废物桶，用于收集药物介入输注过程中产生的放射性固体废物（如被污染的一次性手套、输液管、吸水纸等），每天工作结束后暂存在 1#DSA 机房北侧储源废物间内衰变；衰变时间满足要求且经监测符合清洁解控水平后，由储源废物间送至医院医疗废物库收集后按照医疗废物处置。

医院拟在 1#DSA 机房北侧卫生通过间设置独立废水收集器。本项目 ^{90}Y 手术场所介入手术工作人员手术过程中均穿戴手术服和一次性手套，手术台面和地面均铺有吸水纸，若出现手术过程中核素洒漏，工作人员需脱掉手术服、收集手术台面和地面吸水纸并用吸水纸进行去污。如意外情况导致身体沾染放射性核素，工作人员可在卫生通过间进行紧急冲洗和淋浴，废水单独收集至废水收集器（废水收集器一备一用，有效容积不低于 0.05m^3 ），不直接排入衰变池，储存有放射性废液的废水收集器在 DSA 机房北侧储源废物间暂存 30 天（超过十个半衰期）后，按照 GB18871 中 8.6.2 规定方式通过医院卫生间排放至医院污水处理站，进一步处理后纳入市政污水管网。

由于 ^{90}Y 肿瘤治疗项目手术量较少，因此医院采取预约治疗，通过预约控制药物送达时间将手术安排在人流较小时间，并对转运电梯进行临时管控，本项目选取的转移路径人员流动较少，以尽可能减少其他人员与药物和带药患者接触的几率和时间。本项目工作场所路径满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中关于临床核医学工作场所的要求。

1#DSA 机房人员物流路径见附图 4。

（2）DSA+CT

①**辐射工作人员路径**：工作人员从西侧走廊进入，经更衣后经医护走廊向东直行，再向南进入控制廊，通过控制廊北侧门进入 1#DSA 或者 2#DSA 机房内进行手术，手术结束后可按原路返回。

②**患者路径**：患者在南侧患者候诊等待，随后向北通过走廊，进入对应 DSA 机房。治疗结束后，患者可沿原路返回。

③**污物路径**：本项目介入手术会产生药棉、纱布和手套等医疗废物，这些医疗废物采用专用容器收集后，待手术结束从手术室南侧防护门运出机房，通过污洗间进入污物暂存间，在污物暂存间内暂存。

手术中心 DSA 机房人员物流路径见附图 7。

9.1.4 工作负荷

根据《中国科学院大学附属肿瘤医院（浙江省肿瘤医院）绍兴院区（浙江滨海医院）核技术利用建设项目环境影响报告表》内容。每台 DSA 每年最大工作量为 500 台手术（其中 1#DSA 机房的手术量已考虑 ^{90}Y 的手术量）。

由于本项目 ^{90}Y 肿瘤治疗项目仅调整项目位置，故不新增辐射工作人员。

本项目辐射工作人员情况以及工作负荷见表 9.1-4 至 9.1-5。

表 9.1-4 本项目 ^{90}Y 手术室辐射工作人员情况以及操作时间一览表

工作场所	人员数量	操作内容	操作时间	备注
1#DSA 机房控制室	技师 2 人轮岗	摄影	1 分钟/次	原有工序
		透视	20 分钟/次	原有工序
1#DSA 机房	医生 4 人（2 人一组轮岗）、技师 2 人轮岗、护士 2 人轮岗	通过导管给患者注射药剂	20 分钟/次	原有工序
1#DSA 机房、 ⁹⁰ Y 专用病房		患者转运	15 分钟/次	原有工序
		对患者伤口进行术后护理、病房巡查	30 分钟/次	原有工序

表 9.1-5 本项目 DSA 机房辐射工作人员情况以及操作时间一览表

射线装置	工作状态	平均每台手术最长出束时间 (min)	全年开展手术量 (台)	设备年总出束时间 (h)	单个医生年最大受照时间 (h)	单个护士年最大受照时间 (h)	单个技师年最大受照时间 (h)
单台 DSA	摄影	1min	500	8.33	5	5	5
	透视	20min		166.67	100	100	100
单个 DSA 机房内 CT	/	1min	500	8.33	5	5	5

注：①考虑到辐射工作人员可能存在实际工作量不均衡的情况，因此本项目保守考虑每组医护人员和技师年承担一般介入手术台数最大为 300 台。

②DSA 摄影状态和 CT 模式下，医护人员均退出 DSA 机房，在 DSA 控制室隔室观察。

9.1.5 原有工艺不足及改进情况

医院核医学科、放疗科、介入手术等核技术利用项目目前仍处于建设阶段，尚未开展实际运行，不存在现有不足及改进情况。

待医院核技术利用项目开展后，可根据现场实际运行情况、辐射工作场所监测等记录，及时发现工艺流程的不足，并及时进行改进。

9.2 污染源项描述

9.2.1 正常工况下污染源项描述

(1) DSA+CT

①X 射线

DSA 和 CT 装置，其 X 射线诊断机曝光时产生 X 射线。X 射线是随机器的开关而产生和消失。因此，在非诊疗状态下不产生 X 射线，只有在开机处于出线状态时才会发出 X 射线。注入的造影剂不含放射性，同时射线装置均采用先进的数字显影技术，不会产生废显影液、废定影液和废胶片。因此，DSA 和 CT 射线装置在开机状态下，X 射线为污染环境的主要因子。

②非放射性污染源

空气受到 X 线照射会产生一定量的臭氧和氮氧化物等有害气体，只要确保机房保持良好的通风，产生的臭氧和氮氧化物对机房内外环境影响较小。

(2) 核医学工作场所（ ^{90}Y 手术场所）

由前文核医学工作流程可知，射线外照射将伴随核素在核医学诊疗项目整个开展过程中，包括测活、注射（服药）等过程。受诊患者注射（服药）放射性药物后，本身短时间内也成为“辐射体”，随着患者的移动，将对周围环境造成辐射影响，排泄物也成为放射性污染物。在诊疗过程产生的固体废物也可能受放射性污染而成为放射性固体废物。本项目核医学科放射性核素的相关性状见表 9.2-2。

表 9.2-2 本项目涉及放射性核素的相关性状

核素名称	半衰期	衰变模式	毒性分组	β 最大能量 (MeV)	光子能量 (MeV)	周围剂量当量率常数 (裸源) $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6.02h	同质异能跃迁	低毒	/	0.140	0.0303
^{90}Y	2.67d	β^-	中毒	2.288	/	/

注： ^{90}Y 的 β 最大能量来源于《辐射防护手册》（第一分册）表 1.11；表格中其他数据均来源于《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)和《Radionuclide Information Booklet》(Canada's Nuclear Regulator)。

本项目使用的放射性核素衰变过程中会产生 β 射线、 γ 射线，以及 β 射线被其他物质阻止时会产生轫致辐射。

放射性核素使用活动过程中，不可避免地会引起工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套等产生放射性沾污，造成 β 表面污染。

(3) 放射性废水

本项目 ^{90}Y 手术场所介入手术工作人员手术过程中均穿戴手术服和一次性手套，手术台面和地面均铺有吸水纸，若出现手术过程中核素洒漏，工作人员需脱掉手术服、收集手术台面和地面吸水纸并用吸水纸进行去污。如意外情况导致身体沾染放射性核素，工作人员可在卫生通过间进行紧急冲洗和淋浴，废水单独收集至废水收集器（废水收集器一备一用，有效容积不低于 0.05m^3 ），不直接排入衰变池。每次冲洗产生的废水量为 0.03m^3 ，医院核医学科放射性核素均由熟练的医护人员进行操作，日常操作过程中出现身体沾染放射性核素的情况极少，一年不超过 3 次，则年废水产生量为 $0.09\text{m}^3/\text{a}$ 。

^{90}Y 手术场所产生的放射性废水共 $0.09\text{m}^3/\text{a}$ ，单独收集至废水收集器，不直接排入衰变池，待放射性废水储存超过 30 天后，按照 GB18871 中 8.6.2 规定方式通过医院卫生间排放至医院污水处理站，进一步处理后纳入市政污水管网。。

(4) 放射性废气

本项目 ^{90}Y 手术场所使用的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{90}Y 核素均为外购，单支装，其核素操作均在手套箱内进行，使用过程介质均为液体，操作比较简单，不需要加热、振荡等步骤，操作过程中无开放液面，故不考虑放射性气体的辐射影响。

(5) 放射性固废

开展 ^{90}Y 手术治疗时，放射性废物主要是工作人员操作过程产生的 V 型瓶、导管、纱布、一次性卫生用品、手术服、吸水纸等，按照每人 0.8kg 产生量进行估算，正常情况下， ^{90}Y 手术场所年放射性固体废物的产生量为 $200\text{kg}/\text{a}$ 。

调整后放射性三废产生情况

本项目 ^{90}Y 肿瘤治疗项目仅调整 ^{90}Y 手术室平面布局，不改变核素的用量，故核素显像场所和 ^{90}Y 病房放射性三废的产生情况与原环评保持一致。

9.2.2 非正常工况污染源项描述

(1) 由于保管或管理工作不到位，导致放射性药物试剂发生丢失、被盗；

(2) 核素转移过程中由于操作人员违反规定或误操作造成放射性药物打翻、洒漏，导致台面或地面受到放射性污染。

(3) 放射性废水专用收集器故障，造成地面或周围环境受到放射性污染。

(4) 放射性固废、废水未经足够的时间衰变，存放时间过短，即提前进行擅自处理，可能对环境造成污染。

(5) DSA 机房在运行时，由于安全联锁系统失效，人员误入或滞留在机房内而造成误照射。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1⁹⁰Y手术场所

10.1.1.1 工作场所布局

本项目 1#DSA 机房周边设置了控制室、储源废物间、卫生通过间等辅助用房，且在卫生通过间设置单独的废水收集器，卫生通过间包含更衣、淋浴、去污工具并配备表面污染监测仪。满足相关 ⁹⁰Y 手术的开展。

综合上述，本项目 ⁹⁰Y 手术场所布局满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中关于核医学工作场所对于布局的要求，⁹⁰Y 手术场所布局合理。

10.1.1.2 辐射防护分区原则及区域划分

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，在辐射工作场所内划出控制区和监督区，在项目运营期间采取分区管理措施。控制区是指需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域；监督区是指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的区域。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）对控制区和监督区的定义，结合本项目工作场所辐射防护和环境情况特点，具体划分见表 10.1.1-1，划分图见附图 4。

表 10.1.1-1 核医学科分区表

辐射工作场所	控制区	监督区
⁹⁰ Y 手术场所	1#DSA 机房、储源废物间	控制廊、CT 设备间、卫生通过间以及控制区外 30cm 处

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：

（1）控制区防护手段与安全措施

- ①控制区进出口及其它适当位置处设立醒目的警告标志；
- ②制定辐射防护与安全管理措施，包括适用于控制区的规则和程序；
- ③运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可制度）和实体屏障（包括门锁）限制进出控制区；在射线装置使用时，除辐射工作人员和患者外，禁止其他人员进入；
- ④在进入高活室前卫生通过间应有个人防护用品、工作服、表面污染监测仪、消洗设施和被污染防护衣具的贮存柜等；
- ⑤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。

(2) 监督区防护手段与安全措施

①以黄线警示监督区的边界；

②在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标识；

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

10.1.1.3 工作场所分级

根据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430号，2016年3月7日施行），满足以下特点的放射性药品生产、使用场所，应当作为一个单独场所进行日等效操作量核算：

①有相对独立、明确的监督区和控制区划分；

②工艺流程连续完整；

③有相对独立的辐射防护措施。

本项目⁹⁰Y手术室位于医技楼一层介入中心1#DSA机房内。⁹⁰Y手术室满足相对独立、具有明确的监督区和控制区划分，工艺流程连续完整，有相对独立的辐射防护措施、工作场所和工作人员，因此⁹⁰Y手术场所在开展⁹⁰Y手术时为1个独立的非密封放射性工作场所。

根据《中国科学院大学附属肿瘤医院（浙江省肿瘤医院）绍兴院区（浙江滨海医院）核技术利用建设项目环境影响报告表》可知，本项目⁹⁰Y手术场所非密封放射性物质日等效最大操作量为 $3.01 \times 10^7 \text{Bq}$ ，日等效最大操作量属于 $2 \times 10^7 \text{Bq} \sim 4 \times 10^9 \text{Bq}$ 的范围，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

10.1.1.4 工作场所分类

根据《中国科学院大学附属肿瘤医院（浙江省肿瘤医院）绍兴院区（浙江滨海医院）核技术利用建设项目环境影响报告表》可知，本项目⁹⁰Y手术室为I类场所，⁹⁰Y手术场所其余区域均为II类场所。

本项目I类和II类核医学工作场所用房均设置结构屏蔽，地面与墙壁接触应采用无缝隙设计；工作台表面采用易清洗的材料，如不锈钢；分装室和给药室均设置手套箱；卫生通过间内配备洗手盆和去污设备。另外本项目设有独立的通排风系统；放射性废液有专门的收集器收集。

综上所述，本项目⁹⁰Y手术场所用房室内表面及装备结构设计能够满足相应要求。

10.1.1.5 辐射屏蔽设计

本项目 DSA 装置为 C 形臂结构，影像探测器始终正对 X 射线球管出束方向（主射方向主要朝上），有用线束不会直接照射机房各防护门和观察窗和管线口位置，机房内布局合理。

^{90}Y 手术室防护设计方案和机房尺寸见表 10.1.1-3、表 10.1.1-4。

表 10.1.1-3 本项目辐射工作场所屏蔽防护措施

工作场所	屏蔽体	材料及规格（总铅当量：mmPb）	标准要求	是否符合要求
1#DSA 机房	四侧墙体	240mm 实心砖+20mm 硫酸钡水泥（3.2）	有用线束不大于 3mmPb	是
	顶棚	240mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥（4.0）		是
	地坪	250mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥（4.1）		是
	观察窗	20mm 铅玻璃（4.0）		是
	防护门（3 扇）	内衬 4mm 铅板（4.0）		是
储源废物间	四侧墙体	240mm 实心砖+20mm 硫酸钡水泥	/	/
	顶棚	240mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥	/	/
	地坪	250mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥	/	/
	防护门（1 扇）	内衬 2mm 铅板	/	/

注：①混凝土密度取 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ 核算等效屏蔽厚度，折算铅当量参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中附录 C 中式（C.1）、式（C.2）及表 C.2，在 150kV 电压下，240mm 混凝土折算为 2.8mmPb 当量，250mm 混凝土折算为 2.9mmPb 当量。

②依据《辐射防护手册》（第三分册）辐射安全中表 3.3，取 150kV 下，33mm 厚硫酸钡水泥（ $3.2\text{g}/\text{cm}^3$ ）折合约 2.0mmPb。本项目硫酸钡密度为 $3.8\text{g}/\text{cm}^3$ ，本项目 20mm 硫酸钡水泥折算后为 $20/33 \times 2 = 1.2\text{mmPb}$ ；铅玻璃按 $4.6\text{g}/\text{cm}^3$ 核算等效屏蔽厚度，5mm 铅玻璃等效于 1mmPb。

③由于《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）附录 C 中未提供实心砖在 150kV 电压的拟合参数，无法进行等效铅当量厚度的计算，故参考《放射防护实用手册》（主编赵兰才、张丹枫）表 6.14，实心砖密度取 $1.65\text{g}/\text{cm}^3$ 核算等效屏蔽厚度，24cm 实心砖折算为 2mmPb 当量。

表 10.1.1-4 本项目机房尺寸

位置	机房名称	最小有效使用面积（机房尺寸）	标准要求		符合性
			最小有效使用面积	最小单边长	
医技楼一层介入中心	1#DSA 机房	59m ² (7.5m×7.9m)	20m ²	3.5m	符合

10.1.1.6 辐射安全和防护、环保相关设施

医院拟依托肿瘤内科楼地下一层核医学科核素显像场所、原环评 ^{90}Y 专用病房和医技楼一层介入中心 1#DSA 机房开展 ^{90}Y 肿瘤治疗项目。

由于本项目仅调整 ^{90}Y 手术室及其配套用房平面布局，整体位置未调整， ^{90}Y 肿瘤治疗项目所涉及的核素显像场所及 ^{90}Y 专用病房均与原环评保持一致，不对其布局和防护进行调整，因此核素显像场所和 ^{90}Y 专用病房辐射安全防护措施仍延续原有设置， ^{90}Y 患者转运路线不做调整，本报告不再赘述。

(1) ^{90}Y 手术场所辐射安全防护措施

1) 放射性药物的暂存控制措施

核医学科药物提前一天向供药单位订购放射性药物，供药单位在约定的时间，将预约用量的药物送至核医学科，核医学科安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接手续后暂存在储源室。

^{90}Y 核素使用时由核医学科核素显像场所高活室内手套箱分装、测活后装入铅防护罐中，在使用日当天上班前由专人运输至 1#DSA 机房，或暂存在 1#DSA 机房北侧储源废物间内。

2) 工作场所表面污染控制与防护

①工作场所分区管理和工作人员的防护措施

本项目按照开展临床核医学非密封性放射性同位素的种类及用量，对工作场所进行了划分，从非活性区进出活性工作区需经储源废物间（内设成品卫生通过间，含淋浴和去污功能），并在储源废物间内配备表面污染监测仪等检测设备。

工作人员进入辐射工作场所均更换服装，穿戴工作衣、裤、帽、鞋、防护口罩、胶质手套及相应个人防护用品。工作人员离开放射工作场所，均进行清洗、更衣、并对手部等体表部位进行表面污染测定，确认未受表面污染后离开。

②工作场所表面污染防治

涉及放射性药物操作的工作场所拟按要求采用易清洗且不易渗透材料（如 PVC 板等），拐角使用弧线处理；地面要求平整光滑，易于清洗，可铺设塑料地坪或涂刷塑料油漆；墙面要求平整光滑，1 米以下部位拟采用浅色无光耐酸油漆或其他易于清洗的涂料，瓷质面砖等；工作台面要求平整、光滑、易于清洗。可以铺砌磨光花岗岩板材或不锈钢面板等。墙面与地面、墙面与顶棚、墙面连接转角处，以及工作台边沿宜采取弧形，以尽可能减少表面污染。

3) 工作人员的防护措施

在实际工作中，为了减少辐射工作人员所受到的照射剂量，普遍采用屏蔽防护、时间防护和距离防护。

①屏蔽防护：通过场所的有效实体屏蔽辐射源产生的辐射危害；为核素操作人员配备铅防护手套、铅衣等个人防护用品，注射器配备注射防护套和注射器防护盒。

②时间防护：在满足工作质量的前提下，尽量减少扫描时间，使照射时间最小化。

③距离防护：在不影响工作质量的前提下，保持与辐射源尽可能大的距离，使距离最大化。

4) 其他辐射安全防护措施

①本项目所用的 DSA 从正规厂家购买，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中对 X 射线设备防护性能的技术要求，设备本身采取了多种固有安全防护措施，同后文 10.1.2.4。

②本项目在医技楼一层介入中心未进行其他诊疗工作时，开展 ^{90}Y 肿瘤治疗项目。

③本项目所依托的医技楼一层介入中心建 1#DSA 机房并非 ^{90}Y 肿瘤治疗项目专用机房，故 1#DSA 机房内核素操作完成后，辐射工作人员拟对整个机房进行表面污染测定，确认无表面污染后，方可进行其他手术；若发现表面污染，须用放射性表面去污用品和试剂进行去污，以满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准值，符合开放场所使用要求后，再开展下一轮介入手术。

④放射性衰变桶表面拟设置符合 GB18871-2002 规范的电离辐射警告标志，并附中文警示说明。

（2）对 ^{90}Y 病人转运防护措施

患者转运过程中注射部位均由 2mmPb 铅方巾（核素 ^{90}Y 发出的 β 射线最大能量为 2.284MeV，平均能量为 0.934MeV，在人体组织中的最大射程约 11mm，射线影响在很大程度上将限制在患者身体内。但是需考虑 β 射线与人体产生的韧致辐射，会对周围环境及公众产生影响，故采取有 2mmPb 铅方巾是有必要的，且本项目手术后放射性药物富集于肝脏，采取铅方巾遮盖是可行的）。注射后的病人移动路径为：1#DSA 机房→核医学科核素显像场所 SPECT/CT 机房→ ^{90}Y 患者专用病房，当病人在本项目相关的机房、病房内进行手术、扫描、术后观察时，防护措施主要依靠机房、病房的屏蔽防护以及房间内配备的防护设备和防护用品；注射后的病人会在陪护人员的引导下，按照医院的规划，选择尽可能短的转运路线，且避开人流密集区域，以尽可能降低对公众的影响。

当病人在本项目各个场所之间转运时，防护措施主要依靠盖在病人手术部位的 2mmPb 铅方巾以及陪护人员的正确引导。

（3）表面污染控制措施

为保证非密封源工作场所的表面污染水平达到《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准，环评提出以下管理措施和要求：

- ①放射性药物应当有良好的外包装，送入后要妥善储存及转移，防止意外洒漏；
- ②操作放射性药物时，手术台面和地面需铺垫吸水纸，工作人员需穿手术服，防止放射性物质洒漏；
- ③放射性药物操作人员应当定期参加相关专业培训，具备相应的技能与防护知识，并配备有适当的防护用品。
- ④操作台、地面应当选用易于清污的材料或材质，并且每次操作完成后应当使用表面污染监测仪器对操作台、地面、个人防护用品等进行表面污染监测，并购买放射性表面去污用品和试剂进行去污，以满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准值。

（7）防护设备与防护用品

引用《中国科学院大学附属肿瘤医院（浙江省肿瘤医院）绍兴院区（浙江滨海医院）核技术利用建设项目环境影响报告表》中防护用品配备情况，并结合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）和《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中个人防护用品的配置要求，医院拟配置的防护用品和设备见表 10.1.1-5。

表 10.1.1-5 本项目拟配置的防护用品/设备一览表

核医学科核素显像场所（依托原有）				
1	储源铅箱	储源室	2 个	50mmPb
2	PET 手套箱	分装注射室	1 个	50mmPb
3	SPECT 手套箱	分装注射室	1 个	20mmPb
4	¹³¹ I 手套箱	分装注射室	1 个	20mmPb
5	PET 注射窗	分装注射室	1 个	50mmPb
6	SPECT 注射窗	分装注射室	1 个	20mmPb
7	¹³¹ I 给药窗	分装注射室	1 个	10mmPb
8	注射器防护套	分装注射室	若干	10mmPb
9	注射器防护提盒	分装注射室	2 个	10mmPb
10	活度计	分装注射室	3 台	/
11	脚踏式铅桶	分装注射室、PET 候诊室、ECT 候诊室、PET 留观室、ECT 留观室	若干	20mmPb
12	废物衰变桶	废物间	2 个	20mmPb
13	人员立式注射防护车	运动负荷室	1 个	20mmPb

14	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	分装注射室、控制室	若干	0.5mmPb
15	去污工具组	卫生通过间	1 套	/
14	铅防护屏风	PET 机房	6 个	10mmPb
15	铅防护屏风	SPECT/CT 机房、PET 候诊室、ECT 候诊室、PET 留观室、ECT 留观室	10 个	4mmPb
16	表面污染监测仪	卫生通过间	1 台	/
17	环境辐射巡测仪	卫生通过间	1 台	/
18	个人剂量计	人员随身携带	1 个/人	/
⁹⁰Y 手术场所（根据本项目进行调整）				
1	储源铅箱	储源废物间	1 个	10mmPb
2	废物衰变桶	⁹⁰ Y 手术室、储源废物间	3 个	10mmPb
3	铅方巾	⁹⁰ Y 手术室	若干	2mmPb
4	废水收集铅桶	卫生通过间	1 个	10mmPb
5	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	⁹⁰ Y 手术室	3 套	0.5mmPb
6	去污吸水纸	⁹⁰ Y 手术室	若干	/
7	表面污染监测仪	卫生通过间	1 台	/
8	环境辐射巡测仪	卫生通过间	1 台	介入科共用
9	个人剂量计	人员随身携带	1 个/人	/
10	^{99m} Tc 注射器防护套	⁹⁰ Y 手术室	1 个	4mmPb
11	⁹⁰ Y 注射器防护盒	⁹⁰ Y 手术室	1 个	15mm

本项目运行期间主要污染物为 γ 射线、 β 射线、放射性表面污染等。根据项目特点，医院拟配置便携式 X- γ 射线巡测仪、表面污染监测仪，项目配备的监测仪器符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》对监测仪器的配置要求。

10.1.2 DSA+CT 手术室项目

10.1.2.1 场所选址与布局

(1) 工作场所布局合理性分析

本项目拟在医技楼一层手术中心改建 2 间 DSA 复合手术室，并配置 2 台 DSA 和 1 台 CT，用于介入治疗和影像诊断。

表 10.1.2-1 DSA机房位置及四周布局一览表

位置	工作场所	东	南	西	北	上	下
医技楼一层介入中心	1#DSA 机房	楼梯间和走廊	走廊、设备间	CT 存放间	控制廊	护士站、生活间、走廊	地下停车场
	2#DSA 机房	CT 存放间	走廊、设备间	设备间	控制廊	护士办公室、护士长室	地下停车场

本项目位于医技楼一层，辐射工作场所在满足相应诊疗科室使用需求的情况下尽量集中布置，以减小影响范围，均设置有患者通道、医护通道和污物通道。射线装置机房四周、地面下方及顶棚上方避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域。各射线装置经过机房实体屏蔽体屏蔽后，屏蔽体外剂量率符合标准要求，对周围辐射环境及人员影响是可以接受的，因此各射线装置机房平面布局合理可行。

10.1.2.2 辐射工作场所分区

①分区原则

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防护工作，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的要求，在辐射工作场所内划出控制区和监督区，在项目运营期间采取分区管理措施。

②辐射防护分区管理情况

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）等相关标准对控制区和监督区的定义，结合项目辐射防护情况，本项目 2 间 DSA 机房辐射防护分区管理情况见下表，分区管理图见附图 7。

表 10.1.2-2 本项目 DSA 机房辐射防护分区管理情况

场所名称	控制区	监督区
1#DSA 机房/ 2#DSA 机房	机房内部	控制室、设备间、CT 存放间及机房周边相邻区域

控制区通过实体屏蔽措施、电离辐射警告标志等进行控制管理，在射线装置使用时，除介入治疗的医护人员和患者外，禁止其他人员进入；监督区设置表明监督区的标志，并委托有资质的单位定期对监督区进行监测、检查，如果发现异常应立即进行整改，整改完成后方可继续使用射线装置。

10.1.2.3 工作场所防护屏蔽设计

本项目射线装置机房设计使用面积及最小单边长详见表 10.1.2-3，实体屏蔽设计详见表 10.1.2-4。

表 10.1.2-3 射线装置机房设计使用面积与评价一览表

位置	机房名称	最小有效使用面积 (机房尺寸)	标准要求		符合性
			最小有效使用面积	最小单边长	
医技楼一层 介入中心	1#DSA 机房	59m ² (7.5m×7.9m)	30m ²	4.5m	符合
	2#DSA 机房	56m ² (7.2m×7.9m)	30m ²	4.5m	符合

表 10.1.2-4 射线装置机房屏蔽防护参数

工作场所	屏蔽体	材料及规格 (总铅当量: mmPb)	标准要求	是否符合要求
1#DSA 机房/ 2#DSA 机房	四侧墙体	240mm 实心砖+20mm 硫酸钡水泥 (3.2)	有用线束不 小于 3mmPb	是
	顶棚	240mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥 (4.0)		是
	地坪	250mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥 (4.1)		是
	观察窗	20mm 铅玻璃 (4.0)		是
	防护门 (3 扇)	内衬 4mm 铅板 (4.0)		是

注: ①混凝土密度取 2.35g/cm³ 核算等效屏蔽厚度, 折算铅当量参考《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 中附录 C 中式 (C.1)、式 (C.2) 及表 C.2, 在 150kV 电压下, 240mm 混凝土折算为 2.8mmPb 当量, 250mm 混凝土折算为 2.9mmPb 当量。

②依据《辐射防护手册》(第三分册) 辐射安全中表 3.3, 取 150kV 下, 33mm 厚硫酸钡水泥 (3.2g/cm³) 折合约 2.0mmPb。本项目硫酸钡密度为 3.8g/cm³, 本项目 20mm 硫酸钡水泥折算后为 20/33*2=1.2mmPb; 铅玻璃按 4.6g/cm³ 核算等效屏蔽厚度, 5mm 铅玻璃等效于 1mmPb。

③由于《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020) 附录 C 中未提供实心砖在 150kV 电压的拟合参数, 无法进行等效铅当量厚度的计算, 故参考《放射防护实用手册》(主编赵兰才、张丹枫) 表 6.14, 实心砖密度取 1.65g/cm³ 核算等效屏蔽厚度, 24cm 实心砖折算为 2mmPb 当量。

通过上表可知, 本项目各射线装置机房有效使用面积、最小单边长度均大于标准要求, 其四面墙体、顶棚、地坪、防护门以及观察窗均采取了辐射屏蔽措施, 充分考虑了邻室 (含楼上及楼下) 及周围场所的人员防护与安全, 且屏蔽厚度均高于有用线束和非有用线束铅当量防护厚度标准规定值。从 X 射线放射诊断场所的屏蔽方面考虑, 本项目各射线装置机房的防护设施的技术要求满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 中的相关防护设施的技术要求。

10.1.2.4 安全防护措施

本项目 DSA 射线装置污染因子主要为 X 射线, 对 X 射线的基本防护原则是减少照射时间、远离射线源及加以必要的屏蔽。本项目对 X 射线外照射的防护措施主要有以下几方面。

(1) 设备固有安全性

本项目 DSA 射线装置已确定于正规厂家购买, 采用目前较先进的技术, 设备各项

安全措施齐备，仪器本身具备多种安全防护措施。

①具有可调限束装置，使装置发射的线束宽度尽量减小，以减少泄漏辐射；

②采取栅控技术：在每次脉冲曝光间隔向旋转阳极加一负电压，抵消曝光脉冲的启辉和余辉，起到消除软 X 射线，提高有用射线品质并减少脉冲宽度；

③采取光谱过滤技术：在 X 射线管头或影像增强器的窗口处放置合适的过滤板，以多消除软 X 射线以及减少二次散射，优化有用 X 射线谱；

④采用脉冲透视技术：在透视图像数字化基础上实现脉冲透视，改善图像清晰度，可减少透视剂量；

⑤采用图像冻结技术：每次透视的最后一帧图像被暂存并保留在监视器上显示，即称之为图像冻结，此技术可缩短总透视时间，达到减少不必要的照射；

⑥透视开关为常断式，并配有透视限时装置；机房内具有工作人员在不变换操作位置情况下能成功切换透视和摄影功能的控制键。

⑦配备相应的表征剂量的指示装置：配备有相应的表征剂量的指示装置，当机房内出现超剂量照射时会出现报警提醒。

⑧急停按钮：介入手术床旁设置急停按钮（各开关串联并与 X 射线系统连接）。X 射线系统出束过程中，一旦出现异常，按动急停按钮，可停止 X 射线系统出束，并在急停按钮旁设置醒目的中文提示。

（2）距离防护

机房将严格按照控制区和监督区划分实行“两区”管理，且在机房人员防护门的醒目位置张贴固定的电离辐射警告标志并安装工作状态指示灯。限制无关人员进入，以免受到不必要的照射。

（3）时间防护

在满足诊断要求的前提下，在每次使用射线装置进行诊断之前，根据诊断要求和病人实际情况制定最优化的诊断方案，选择合理可行尽量低的射线照射参数，以及尽量短的曝光时间，减少工作人员和相关公众的受照时间，也避免病人受到额外剂量的照射。

（4）其他辐射安全防护措施

①本项目各机房设有观察窗和双向交流对讲系统各 1 套，观察窗位置能够观察到受检者状态及防护门开闭情况，控制室的工作人员可以实时通过对讲机与机房内的手术人员联系。

②机房内不堆放与本项目诊断无关的杂物。

③机房拟设置动力通风装置，进、排风口均位于机房吊顶处，可以保持机房内良好的通风。

④机房入口处设电离辐射警告标志；防护门上方设有醒目的工作状态指示灯，灯箱设有“射线有害，灯亮勿入”的可视警示语句；候诊区应设置放射防护注意事项告知栏；在监督区墙体合适位置设立表明监督区入口的标志，在控制区其他合适位置设置电离辐射警告标志。

⑤机房患者进出防护门为电动推拉式门，工作人员、污物进出机房防护门为平开式门，机房门墙间均进行了有效搭接，防止射线的泄漏；平开式机房门设有自动闭门装置；电动推拉式机房门设有防夹装置，同时设置有曝光时关闭机房门的管理措施，防止无关照射；工作状态指示灯能与机房门有效关联。

⑥受检者不在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中陪检者不滞留在机房内。

⑦控制室墙上张贴相应的辐射工作制度、操作规程、岗位职责等。

⑧机房患者进出防护门外应设置黄色警戒线，警告无关人员请勿靠近。

⑨拟为本项目所有辐射工作人员配备个人剂量计，手术医护人员每人配备 2 枚个人剂量计，技师每人配备 1 枚个人剂量计。拟配备 1 台 X-γ 辐射剂量率巡检仪对机房周围辐射水平进行自行监测。

⑩机房控制室内应具备工作人员在不变换操作位置情况下能成功切换摄影和透视功能的控制键。

本项目 DSA 手术室其他辐射防护措施与《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)符合性分析见下表。

表 10.1.2-4 本项目各机房其他辐射安全和防护措施符合性分析

《放射诊断放射防护要求》 (GBZ 130-2020) 要求	本项目拟配置情况	符合 情况
6.4.1 机房应设有观察窗或摄像监控装置，其设置的位置应便于观察到受检者状态及防护门开闭情况。	本项目各机房设有观察窗或同时设有摄像监控装置，能够方便的观察到受检者状态及防护门开闭情况。	符合
6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。	机房内不堆放与本项目诊断无关的杂物。	符合
6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。	本项目各机房拟设置动力通风装置进行通排风，进、排风口均位于机房吊顶处，可以保持机	符合

	房内良好的通风。	
6.4.4 机房门外应有电离辐射警告标志；机房门上方应有醒目的工作状态指示灯，灯箱上应设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句；候诊区应设置放射防护注意事项告知栏。	本项目各机房入口处设电离辐射警告标志；防护门上方设有醒目的工作状态指示灯，灯箱设有“射线有害，灯亮勿入”的可视警示语句；候诊区应设置放射防护注意事项告知栏；在监督区墙体合适位置设立表明监督区的标志。	符合
6.4.5 平开机房门应有自动闭门装置；推拉式机房门应设有曝光时关闭机房门的管理措施；工作状态指示灯能与机房门有效关联。 6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。	本项目机房门墙间均进行了有效搭接，防止射线的泄漏；平开式机房门设有自动闭门装置；电动推拉式机房门设有防夹装置，同时设置有曝光时关闭机房门的管理措施，防止无关照射；工作状态指示灯能与机房门有效关联。	符合
6.4.7 受检者不应在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中陪检者不应滞留在机房内。	本项目受检者不在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中陪检者不滞留在机房内。	符合

(5) 个人防护用品和辅助防护用品

本项目 DSA 手术室应配置相应的个人防护用品与辅助防护设施，其配置需按照《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的要求，具体见表 10.1.2-5。

表 10.1.2-5 本项目拟配置的个人防护用品和辅助防护设施与标准对照表

机房名称	人员类型	《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）要求		本项目拟配置情况		符合情况
		个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施	
1#DSA 机房/	工作人员	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套； 选配：铅橡胶帽子	铅悬挂防护屏、铅防护帘、床侧防护帘/床侧防护屏； 选配：移动铅防护屏风	防护铅当量为 0.5mmPb 的铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜 3 套，防护铅当量不低于 0.025mmPb 的介入防护手套 3 套	防护铅当量为 0.5mmPb 的铅悬挂防护屏、铅防护帘、床侧防护帘各 1 件	符合
2#DSA 机房	受检者	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	—	防护铅当量为 0.5mmPb 的方巾 1 套，防护铅当量为 0.5mmPb 的铅橡胶颈套、铅橡胶帽子含儿童、成人尺寸各 1 套	—	符合

注：1.“—”表示不做要求；

2.个人防护用品和辅助防护设施为本项目每间 DSA 手术室的配置情况。

由上表可知，本项目各 DSA 手术室拟配置的个人防护用品和辅助防护设施符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的要求。

10.2 三废的治理

10.2.1.放射性废液

本项目 ^{90}Y 手术场所介入手术工作人员手术过程中均穿戴手术服和一次性手套，手术台面和地面均铺有吸水纸，若出现手术过程中核素洒漏，工作人员需脱掉手术服、收集手术台面和地面吸水纸并用吸水纸进行去污。如意外情况导致身体沾染放射性核素，工作人员可在卫生通过间进行紧急冲洗和淋浴，废水单独收集至废水收集器，不直接排入衰变池，储存有放射性废水的废水收集器在储源废物间内暂存超过 30 天后，按照 GB18871 中 8.6.2 规定方式通过医院卫生间排放至医院污水处理站，进一步处理后纳入市政污水管网。因此不对衰变池间及衰变池设计情况进行调整。

10.2.2 放射性废气

本项目 ^{90}Y 手术场所使用的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{90}Y 核素均为外购，单支装，其核素分装、测活操作均在手套箱内进行，使用过程介质均为液体，操作比较简单，不需要加热、振荡等步骤，操作过程中无开放液面，故不考虑放射性气体的辐射影响。

10.2.3 放射性固体废物

开展 ^{90}Y 手术治疗时，放射性废物主要是工作人员操作过程产生的 V 型瓶、导管、纱布、一次性卫生用品、手术服、吸水纸等，按照每人 1.0kg 产生量进行估算，正常情况下， ^{90}Y 手术场所年放射性固体废物的产生量为 200kg/a。

医院拟于 ^{90}Y 手术结束后，将上述放射性固体废物收集于工作场所铅桶内专用塑料包装袋，包装袋要标明收贮时间、种类及数量等内容。每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，重量不超过 20kg。对注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，先装入硬纸盒或其他包装材料中，然后再装入塑料袋内，装满后的专用塑料包装袋应密封、不破漏，及时转运暂存于储源废物间的铅桶内。放射性物质自行衰变，所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天，所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍（本项目含 ^{90}Y 核素的固废集中贮存衰变超过 27 天，含 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 衰变超过 30 天）后。经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 0.08Bq/cm²， β 表面污染小于 0.8Bq/cm²，可对废物清洁解控并作为医疗废物进行处理。

10.2.4 一般废气、废水及固废

（1）废气

本项目医技楼一层介入中心 DSA 机房内空气在 X 射线作用下分解产生少量臭氧、氮氧化物，通过机房内设置的动力通风系统排入到大气环境，臭氧可在 50 分钟后自然

分解，氮氧化物只有臭氧产生量的 1/3，因此本项目产生的废气对周围环境影响很小。

(2) 废水

本项目辐射工作人员产生的生活污水依托医院污水处理系统处理达标后排入市政污水管网。

(3) 固体废物

本项目辐射工作人员产生的生活垃圾由医院内设置的垃圾桶收集，并由环卫部门统一清运。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

11.1.1 施工期环境影响分析

《中国科学院大学附属肿瘤医院（浙江省肿瘤医院）绍兴院区（浙江滨海医院）新建工程环境影响报告表》已取得绍兴市生态环境局批复，批复文号：绍市环越审[2022]30号。有关主体工程施工期环境影响内容详见《中国科学院大学附属肿瘤医院（浙江省肿瘤医院）绍兴院区（浙江滨海医院）新建工程环境影响报告表》有关章节，本次评价不再做相关的环境影响评价。

11.1.2 设备安装调试期环境影响分析

本项目设备的安装、调试应请设备厂家专业人员进行，医院方不得自行安装及调试设备，且安装调试阶段不涉及非密封放射性物质的操作。在设备安装调试阶段，应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在各个机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。设备安装调试阶段，不允许其他无关人员进入机房所在区域，防止辐射事故发生。由于各设备的安装和调试均在机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响是可接受的。设备安装完成后，医院方需及时回收包装材料及其它固体废物并作为一般固体废物进行处置，不得随意丢弃。

11.2 运行阶段对环境的影响

由于本项目仅调整 1#DSA 机房（ ^{90}Y 手术场所）、2#DSA 机房平面布局， ^{90}Y 肿瘤治疗项目所涉及的核素显像场所及 ^{90}Y 患者专用病房均与原环评保持一致，《中国科学院大学附属肿瘤医院（浙江省肿瘤医院）绍兴院区（浙江滨海医院）核技术利用建设项目环境影响报告表》中已对核素显像场所及 ^{90}Y 患者专用病房周围剂量率进行了预测，本项目不再对其进行预测，只对本项目调整部分进行预测分析。

11.2.1 DSA 影响分析

本项目 2 台 DSA 参数均为最大管电压 150kV，最大管电流 1250mA，主射方向朝下。表 10.1.2-3 可知，本项目 2 间 DSA 机房屏蔽防护设计均相同，机房大小几乎一致，且 2 间 DSA 机房东西并排布置周围环境基本一致，因此选择 1#DSA 机房作为样本机房分析 DSA 射线装置投入运行后对周围工作人员所造成的影响。本报告对 DSA 机房周围辐射环境影响采用理论计算模式预测的方法进行影响分析。

（1）设备参数及机房防护情况

根据医院提供的资料并结合相关参考材料，本项目 DSA 设备参数与工况、机房防护情况见表 11.2.1-1。

表 11.2.1-1 本项目 DSA 机房设备参数与工况及防护情况

设备		DSA		
最大管电压/管电流		150kV/1250mA		
过滤材料		不小于 2.5mmAl		
最大照射野		100cm ²		
工况模式	摄影	工况下 最大常用电压 100kV 最大常用电流 500mA	距靶点 1m 处空气比 释动能	0.162mGy/mA·s
	透视	工况下 最大常用电压 90kV 最大常用电流 15mA		0.135mGy/mA·s
泄漏辐射源强		离靶点 1m 处的泄漏辐射在空气中的比释动能率不超过 1mGy/h		
机房有效面积尺寸		长 7.9m×宽 7.5m×高 5.4m		
防 护 设施	四侧墙体	240mm 实心砖+20mm 硫酸钡水泥（3.2 mmPb）		
	顶棚	240mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥（4.0mmPb）		
	地坪	250mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥（4.1 mmPb）		
	防护门	内衬 4mm 铅板（4.0mmPb）		
	观察窗	20mm 铅玻璃（4.0mmPb）		
	个人防护用品	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜等防护用品（0.5mmPb）、介入防护手套（0.025mmPb）		
注：①参考《辐射防护手册》（第三分册）P58 图 3.1，当 2.5mmAl 作为过滤材料时，得 100kV 电压下，1m 处发射率常数为 0.09 mGy/mA·s，管电压 90kV 电压下，离靶 1m 处发射率为 0.075 mGy/mA·s，考虑使用三相电源及恒压电源的设备时保守系数 1.8，则 100kV 下本项目 1m 处发射率常数为 0.162 mGy/mA·s，则 90kV 下本项目 1m 处发射率常数为 0.135 mGy/mA·s； ②根据《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》（GB9706.103-2020），X 射线管组件和 X 射线源组件在加载状态下的泄漏辐射，距焦点 1m 处，1h 内在任一 100cm ² 区域（主要线性尺寸不大于 20cm）的空气比释动能不应超过 1mGy。				

根据《辐射防护导论》射线装置距靶 r（m）处的空气比释动能率，按式 11.2.1-1 计算：

$$\dot{K} = I \cdot \delta_x \frac{r_0^2}{r^2} \quad (\text{式 11.2.1-1})$$

式中：

$\dot{K}$ —离靶 r（m）处由 X 射线机产生的初级 X 射线束造成的空气比释动能率，mGy/min；

I—管电流（mA）；

δ_x —距靶 1m 处的发射率常数, mGy/mA·min;

r_0 —取 1m;

r —源至关注点的距离, m。

表 11.2.1-2 DSA 不同运行模式下距靶 1m 处空气比释动能率一览表

设备	运行模式	过滤材料厚度	距靶 1m 处的空气比释动能 (mGy/mA·s)	最大常用电压 (kV)	最大常用电流 (mA)	距靶 1m 处的空气比释动能率 ($\mu\text{Gy/h}$)
DSA	摄影	2.5mmAl	0.162	100	500	2.92×10^8
	透视	2.5mmAl	0.135	90	15	7.29×10^6

(2) 关注点位的选取

取医护手术位、控制室操作位、防护墙外 30cm 处、铅防护门外 30cm 处、楼上离地 30cm 处、楼下距楼下地面 170cm 处作为关注点位。

本项目 DSA 机房关注点位示意图 11.2.1-1, 点位情况见表 11.2.1-3。

表 11.2.1-3 本项目 DSA 机房关注点位情况表

关注点位		方位	散射体到关注点 (m)	辐射源点到关注点 (m)
1#术者位	第一术者位	机房内	0.8	1.1
	第二术者位	机房内	1.2	1.4
2#东侧墙体外 30cm 处 (楼梯间和走廊)		东侧	4.2	4.2
3#南侧防护门外 (走廊)		南侧	6.1	6.1
4#南侧墙体外 30cm 处 (走廊、设备间)		南侧	4.5	4.5
5#西侧防护门外 30cm 处 (CT 存放间)		西侧	4.2	4.2
6#西侧墙体外 30cm 处 (CT 存放间)		西侧	4.2	4.2
7#北侧墙体外 30cm 处 (控制廊)		北侧	4.5	4.5
8#北侧观察窗外 30cm 处 (控制廊)		北侧	4.5	4.5
9#北侧防护门外 30cm 处 (控制廊)		北侧	4.5	4.5
10#上方 30cm 处 (护士站、生活间、走廊)		上方	4.7	6.1
11#下方距地 170cm 处 (地下停车场)		下方	6.4	5.7

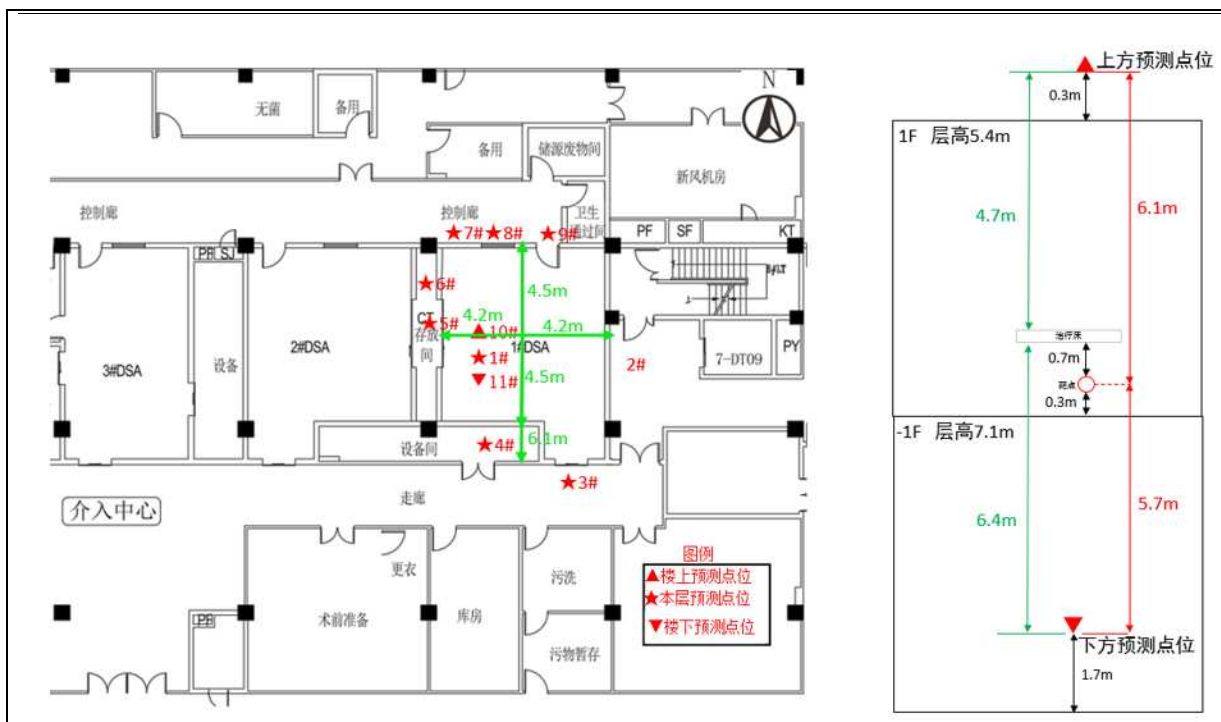


图 11.2.1-1 DSA 手术室关注点位示意图

(3) 1#DSA 机房周围辐射剂量率估算

本项目 DSA 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。

手术医生和护士在 1#DSA 机房内进行介入手术时, 会配铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套等个人防护物品, 另外配备铅悬挂防护屏、铅防护帘、床侧防护帘等辅助防护设施, 其中铅橡胶围裙、铅防护眼镜、铅悬挂防护屏、铅防护帘和床侧防护帘的防护铅当量按 0.5mmPb 计算, 介入防护手套按 0.025mmPb 计算。

以下公式根据李德平、潘自强主编《辐射防护手册》(第一分册—辐射源与屏蔽) 中公式 (10.8)、(10.9)、(10.10) 等公式演化而来。

a. 病人体表散射屏蔽估算

$$H_s = \frac{H_0 \cdot a \cdot B \cdot (s/400)}{(d_0 \cdot d_s)^2} \quad (\text{式 11.2.1-2})$$

式中:

H_s ----关注点位处的散射剂量率, $\mu\text{Gy/h}$;

H_0 ----距靶 1m 处初级 X 射线束造成的空气比释动能率, $\mu\text{Gy/h}$;

α ---患者对 X 射线的散射比；根据《辐射防护手册》（第一分册）表 10.1 查表取 0.0013；

s ---散射面积， cm^2 ，取 100cm^2 ；

d_0 ---源与病人的距离，m，取 0.7m；

d_s ---病人与关注点位的距离，m；

B ---屏蔽透射因子，按照《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）附录 C 中的公式（C.1）和表 C.2 计算。其中： α 、 β 、 γ ——屏蔽材料对 100kV、90kV 管电压 X 射线泄漏辐射衰减的有关的三个拟合参数，具体见表 11.2.1-4。

表 11.2.1-4 铅对 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压 (kV)	铅		
	α	β	γ
100 (主束)	2.5	15.28	0.7557
100 (散射)	2.507	15.33	0.9124
90	3.067	18.83	0.7726

本项目 1#DSA 机房各屏蔽物外屏蔽透射因子计算结果见表 11.2.1-5。

表 11.2.1-5 摄影和透视模式下机房各屏蔽物外屏蔽透射因子计算结果表

运行模式	屏蔽物	铅当量厚度	α	β	γ	B
摄影 (100kV) 主束	四侧墙体	3.2mmPb	2.5	15.28	0.7557	2.51E-05
	防护门和观察窗	4.0mmPb	2.5	15.28	0.7557	3.39E-06
	顶棚	4.0mmPb	2.5	15.28	0.7557	3.39E-06
	地坪	4.1mmPb	2.5	15.28	0.7557	2.64E-06
摄影 (100kV) 散射	四侧墙体	3.2mmPb	2.507	15.33	0.9124	3.82E-05
	防护门和观察窗	4.0mmPb	2.507	15.33	0.9124	5.14E-06
	顶棚	4.0mmPb	2.507	15.33	0.9124	5.14E-06
	地坪	4.1mmPb	2.507	15.33	0.9124	4.00E-06
透视 (90kV)	四侧墙体	3.2mmPb	3.067	18.83	0.7726	4.30E-06
	防护门和观察窗	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07
	顶棚	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07
	地坪	4.1mmPb	3.067	18.83	0.7726	2.72E-07

本项目 1#DSA 机房在透视模式下对于机房内关注点位 1#术者位在不同防护情况和

不同部位受到照射时的屏蔽透射因子计算结果见表 11.2.1-6。

表 11.2.1-6 透视模式下机房内术者位屏蔽透射因子计算结果表

关注点位	防护情况	铅当量厚度	α	β	γ	B
1#第一术者位 (身体铅衣内)	0.5mmPb 铅衣 +0.5mmPb 防护帘	1.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	4.08E-03
1#第一术者位 (身体铅衣外)	0.5mmPb 防护帘	0.5mmPb	3.067	18.83	0.7726	2.52E-02
1#第二术者位 (身体铅衣内)	0.5mm 铅衣 +0.5mmPb 防护帘	1.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	4.08E-03
1#第二术者位 (身体铅衣外)	0.5mmPb 防护帘	0.5mmPb	3.067	18.83	0.7726	2.52E-02

DSA 机房各关注点位散射辐射剂量率估算见表 11.2.1-7。

表 11.2.1-7 DSA 机房各关注点位散射辐射剂量率估算表

工作 模式	关注点位	H_0	d_s	B	H_s
		$\mu\text{Gy/h}$	m	/	$\mu\text{Gy/h}$
摄影	2#东侧墙体外30cm处（楼梯间和走廊）	2.92E+08	4.2	3.82E-05	4.20E-01
	3#南侧防护门外（走廊）	2.92E+08	6.1	5.14E-06	2.68E-02
	4#南侧墙体外30cm处（走廊、设备间）	2.92E+08	4.5	3.82E-05	3.65E-01
	5#西侧防护门外 30cm处（CT存放间）	2.92E+08	4.2	5.14E-06	5.64E-02
	6#西侧墙体外30cm处（CT存放间）	2.92E+08	4.2	3.82E-05	4.20E-01
	7#北侧墙体外30cm处（控制廊）	2.92E+08	4.5	3.82E-05	3.65E-01
	8#北侧观察窗外30cm处（控制廊）	2.92E+08	4.5	5.14E-06	4.92E-02
	9#北侧防护门外30cm处（控制廊）	2.92E+08	4.5	5.14E-06	4.92E-02
	10#上方30cm处（护士站、生活间、走廊）	2.92E+08	4.7	5.14E-06	4.51E-02
	11#下方距地170cm处（地下停车场）	2.92E+08	6.4	4.00E-06	1.89E-02
透视	1#第一术者位（身体铅衣内）	7.29E+06	0.6	4.08E-03	30.82
	1#第一术者位（身体铅衣外）	7.29E+06	0.6	2.52E-02	190.39
	1#第二术者位（身体铅衣内）	7.29E+06	1	4.08E-03	13.70
	1#第二术者位（身体铅衣外）	7.29E+06	1	2.52E-02	84.62
	2#东侧墙体外30cm处（楼梯间和走廊）	7.29E+06	4.2	4.30E-06	1.18E-03
	3#南侧防护门外（走廊）	7.29E+06	6.1	3.69E-07	4.80E-05
	4#南侧墙体外30cm处（走廊、设备间）	7.29E+06	4.5	4.30E-06	1.03E-03
	5#西侧防护门外30cm处（CT存放间）	7.29E+06	4.2	3.69E-07	1.01E-04
	6#西侧墙体外30cm处（CT存放间）	7.29E+06	4.2	4.30E-06	1.18E-03
	7#北侧墙体外30cm处（控制廊）	7.29E+06	4.5	4.30E-06	1.03E-03
	8#北侧观察窗外30cm处（控制廊）	7.29E+06	4.5	3.69E-07	8.81E-05

	9#北侧防护门外30cm处（控制廊）	7.29E+06	4.5	3.69E-07	8.81E-05
	10#上方30cm处（护士站、生活间、走廊）	7.29E+06	4.7	3.69E-07	8.08E-05
	11#下方距地170cm处（地下停车场）	7.29E+06	6.4	2.72E-07	3.21E-05

b. 泄漏辐射剂量估算

② 泄漏辐射剂量率估算

泄漏辐射剂量率利用点源辐射进行计算，各关注点位的泄漏辐射剂量率可用式 11.2.1-5 进行计算。

$$H_L = \frac{H_0 \cdot B}{d^2} \quad (\text{式 11.2.1-3})$$

式中：

H_L —关注点位处的泄漏辐射剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

H_0 —距靶 1m 处的泄漏辐射在空气中的比释动能率， $\mu\text{Gy/h}$ ，本项目取 1mGy/h ；

d —靶点距关注点的距离，m；

B —屏蔽透射因子，按照《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）附录 C 中公式和参数计算。

DSA 机房各关注点位泄漏辐射剂量率估算见表 11.2.1-8。

表 11.2.1-8 DSA 机房各关注点位泄漏辐射剂量率估算表

工作模式	关注点位	H_0	d	B	H_L
		$\mu\text{Gy/h}$	m	/	$\mu\text{Gy/h}$
摄影	2#东侧墙体外 30cm 处（楼梯间和走廊）	1.00E+03	4.2	2.51E-05	1.42E-03
	3#南侧防护门外（走廊）	1.00E+03	6.1	3.39E-06	9.10E-05
	4#南侧墙体外 30cm 处（走廊、设备间）	1.00E+03	4.5	2.51E-05	1.24E-03
	5#西侧防护门外 30cm 处（CT 存放间）	1.00E+03	4.2	3.39E-06	1.92E-04
	6#西侧墙体外 30cm 处（CT 存放间）	1.00E+03	4.2	2.51E-05	1.42E-03
	7#北侧墙体外 30cm 处（控制廊）	1.00E+03	4.5	2.51E-05	1.24E-03
	8#北侧观察窗外 30cm 处（控制廊）	1.00E+03	4.5	3.39E-06	1.67E-04
	9#北侧防护门外 30cm 处（控制廊）	1.00E+03	4.5	3.39E-06	1.67E-04
	10#上方 30cm 处（护士站、生活间、走廊）	1.00E+03	6.1	3.39E-06	9.10E-05
	11#下方距地 170cm 处（地下停车场）	1.00E+03	5.7	2.64E-06	8.12E-05
透视	1#第一术者位（身体铅衣内）	1.00E+03	0.9	4.08E-03	5.04
	1#第一术者位（身体铅衣外）	1.00E+03	0.9	2.52E-02	31.11
	1#第二术者位（身体铅衣内）	1.00E+03	1.2	4.08E-03	2.83

1#第二术者位（身体铅衣外）	1.00E+03	1.2	2.52E-02	17.50
2#东侧墙体外 30cm 处（楼梯间和走廊）	1.00E+03	4.2	4.30E-06	1.42E-03
3#南侧防护门外（走廊）	1.00E+03	6.1	3.69E-07	9.10E-05
4#南侧墙体外 30cm 处（走廊、设备间）	1.00E+03	4.5	4.30E-06	1.24E-03
5#西侧防护门外 30cm 处（CT 存放间）	1.00E+03	4.2	3.69E-07	1.92E-04
6#西侧墙体外 30cm 处（CT 存放间）	1.00E+03	4.2	4.30E-06	1.42E-03
7#北侧墙体外 30cm 处（控制廊）	1.00E+03	4.5	4.30E-06	1.24E-03
8#北侧观察窗外 30cm 处（控制廊）	1.00E+03	4.5	3.69E-07	1.67E-04
9#北侧防护门外 30cm 处（控制廊）	1.00E+03	4.5	3.69E-07	1.67E-04
10#上方 30cm 处（护士站、生活间、走廊）	1.00E+03	6.1	3.69E-07	9.92E-06
11#下方距地 170cm 处（地下停车场）	1.00E+03	5.7	2.72E-07	8.36E-06

c. 总辐射剂量率估算

根据表 11.2.1-7 和 11.2.1-8 的计算结果，将各个预测点的总的辐射剂量率统计于表 11.2.1-9。

表 11.2.1-9 各个预测点的总辐射剂量率

场所	工作模式	预测点位置描述	散射辐射剂量率	泄漏辐射剂量率	总辐射剂量率
			μGy/h	μGy/h	μGy/h
1#DSA 机房	摄影	2#东侧墙体外 30cm 处（楼梯间和走廊）	4.20E-01	1.42E-03	4.21E-01
		3#南侧防护门外（走廊）	2.68E-02	9.10E-05	2.68E-02
		4#南侧墙体外 30cm 处（走廊、设备间）	3.65E-01	1.24E-03	3.67E-01
		5#西侧防护门外 30cm 处（CT 存放间）	5.64E-02	1.92E-04	5.66E-02
		6#西侧墙体外 30cm 处（CT 存放间）	4.20E-01	1.42E-03	4.21E-01
		7#北侧墙体外 30cm 处（控制廊）	3.65E-01	1.24E-03	3.67E-01
		8#北侧观察窗外 30cm 处（控制廊）	4.92E-02	1.67E-04	4.93E-02
		9#北侧防护门外 30cm 处（控制廊）	4.92E-02	1.67E-04	4.93E-02
		10#上方 30cm 处（护士站、生活间、走廊）	4.51E-02	9.10E-05	4.52E-02
		11#下方距地 170cm 处（地下停车场）	1.89E-02	8.12E-05	1.90E-02
	透视	1#第一术者位（铅衣内）	30.8	3.4	34.20
		1#第一术者位（铅衣外）	190.4	20.8	211.21
		1#第二术者位（铅衣内）	13.7	2.1	15.78
		1#第二术者位（铅衣外）	84.6	12.9	97.47
		2#东侧墙体外 30cm 处（楼梯间和走廊）	1.18E-03	2.43E-04	1.42E-03
		3#南侧防护门外（走廊）	4.80E-05	9.92E-06	5.79E-05

	4#南侧墙体外 30cm 处（走廊、设备间）	1.03E-03	2.12E-04	1.24E-03
	5#西侧防护门外 30cm 处（CT 存放间）	1.01E-04	2.09E-05	1.22E-04
	6#西侧墙体外 30cm 处（CT 存放间）	1.18E-03	2.43E-04	1.42E-03
	7#北侧墙体外 30cm 处（控制廊）	1.03E-03	2.12E-04	1.24E-03
	8#北侧观察窗外 30cm 处（控制廊）	8.81E-05	1.82E-05	1.06E-04
	9#北侧防护门外 30cm 处（控制廊）	8.81E-05	1.82E-05	1.06E-04
	10#上方 30cm 处（护士站、生活间、走廊）	8.08E-05	9.92E-06	9.07E-05
	11#下方距地 170cm 处（地下停车场）	3.21E-05	8.36E-06	4.04E-05

（4）DSA 机房周围辐射剂量率叠加分析

根据本项目 DSA 机房平面布局，1#DSA 可能受 2#DSA 机房影响，2#DSA 机房可能受 1#DSA 和 3#DSA 影响，保守考虑 3 台 DSA 共同影响。根据《中国科学院大学附属肿瘤医院（浙江省肿瘤医院）绍兴院区（浙江滨海医院）核技术利用建设项目环境影响报告表》，3#DSA 机房摄影模式下机房周围最大剂量率为 $9.25\text{E-}02\mu\text{Gy/h}$ ，透视模式时，机房周围辐射剂量率最大为 $5.00\text{E-}04\mu\text{Gy/h}$ ；则本项目摄影模式时，DSA 手术室周围辐射剂量率最大为 $4.21\text{E-}01\times 2+9.25\text{E-}02=8.51\text{E-}01\mu\text{Gy/h}$ 。透视模式时，机房周围辐射剂量率最大为 $9.06\text{E-}03\times 2+5.00\text{E-}04=1.86\text{E-}02\mu\text{Gy/h}$ 。

综上，本项目 DSA 在正常运行情况下，机房各屏蔽体外辐射剂量率在透视模式下不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，在摄影模式下不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ （剂量换算系数， Sv/Gy 取 1），满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中对“具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；具有短时、高剂量率曝光的摄影程序机房外的周围剂量当量率应不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ 。”的要求。

（5）职业人员及周围公众年有效剂量估算

根据各预测点处辐射剂量率，结合建设单位预估工作量，预测点处人员居留因子等参数，由式 11.2.1-6 计算即可得到辐射工作人员的年有效剂量。根据联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）--2000 年报告附录 A 公式以及居留因子的选取，对各关注点位处职业人员及公众的年有效剂量进行估算。

$$H_1 = H_0 \cdot T \cdot t \cdot l \cdot 10^{-3} \quad (\text{式 } 11.2.1-4)$$

式中： H_1 —X 射线外照射有效剂量当量， mSv ；

H_0 —X 射线束造成的空气比释动能率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

T —居留因子；

t —X 射线年照射时间, h;

l —剂量换算系数, Sv/Gy 取 1。

居留因子参照《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)选取,具体数值见表 11.2.1-10。

表 11.2.1-10 居留因子的选取

场所	居留因子 (T)		停留位置
	典型值	范围	
全停留	1	1	管理人员或职员办公室、治疗计划区、治疗控制室、护士站、咨询台、有人护理的候诊室及周边建筑物中的驻留区
部分停留	1/4	1/2-1/5	1/2: 相邻的治疗室、与屏蔽室相邻的病人检查室 1/5: 走廊、雇员休息室、职员休息室
偶然停留	1/16	1/8-1/40	1/8: 各治疗门 1/20: 公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室、病人滞留区域、屋顶、门岗室 1/40: 仅有来往行人车辆的户外区域、无人看管的停车场, 车辆自动卸货/卸客区域、楼梯、无人看管的电梯

DSA 职业人员及周围公众年有效剂量估算见表 11.2.1-11。

表 11.2.1-11 DSA 职业人员及周围公众年有效剂量估算表

工作模式	关注点位	对应预测点位	H_0	t	T	H_I	人员类型
			$\mu\text{Gy/h}$	h	/	mSv	
摄影	东侧楼梯间和走廊	2#	4.21E-01	8.33	1/5	7.01E-04	公众
	南侧走廊	3#	2.68E-02	8.33	1/5	4.47E-05	公众
	南侧设备间	4#	3.67E-01	8.33	1/5	6.11E-04	公众
	西侧 CT 存放间	6#	4.21E-01	8.33	1/16	2.19E-04	公众
	北侧控制廊、卫生通过间	7#	3.67E-01	8.33	1	1.83E-03	职业
	上方护士站、生活间、走廊等	10#	4.52E-02	8.33	1	3.76E-04	公众
	下方地下停车场	11#	1.90E-02	8.33	1/16	9.89E-06	公众
透视	第一术者位 (铅衣内)	1#	34.20	100	1	3.42	职业
	第一术者位 (铅衣外)	1#	211.21	100	1	21.12	职业
	第二术者位 (铅衣内)	1#	15.78	100	1	1.58	职业
	第二术者位 (铅衣外)	1#	97.47	100	1	9.75	职业
	东侧楼梯间和走廊	2#	1.42E-03	166.67	1/5	4.74E-05	公众
	南侧走廊	3#	5.79E-05	166.67	1/5	1.93E-06	公众
	南侧设备间	4#	1.24E-03	166.67	1/5	4.13E-05	公众
	西侧 CT 存放间	6#	1.42E-03	166.67	1/16	1.48E-05	公众
	北侧控制廊、卫生通过间	7#	1.24E-03	166.67	1	2.06E-04	职业

上方护士站、生活间、走廊等	10#	9.07E-05	166.67	1	1.51E-05	公众
下方地下停车场	11#	4.04E-05	166.67	1/16	4.21E-07	公众

根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）中对于佩戴双剂量计的放射工作人员穿戴铅围裙估算有效剂量的计算方法，采用公式 11.2.1-5 进行估算。

$$E=\alpha H_u+\beta H_o \text{ (式 11.2.1-5)}$$

式中：

E ——有效剂量中的外照射分量，mSv；

α ——系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.79，无屏蔽时，取 0.84；本项目为职业人员配备铅防护颈套，因此取 0.79；

β ——系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.051，无屏蔽时，取 0.100；本项目为职业人员配备铅防护颈套，因此取 0.051；

H_u ——铅围裙内佩戴的个人剂量计测得的 $H_{p(10)}$ ，mSv，本评价取铅围裙内的理论计算数据；

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，本评价取铅围裙外的理论计算数据。

则第一手术位（身体）的受照的年有效剂量为 3.78mSv，第二手术位（身体）的受照的年有效剂量为 1.74mSv。

DSA 职业人员及周围公众年有效剂量汇总见表 11.2.1-12。

表 11.2.1-12 DSA 职业人员及周围公众年有效剂量汇总表

关注点位	年有效剂量			人员类型
	摄影	透视	合计	
	mSv	mSv	mSv	
1#第一术者位	1.83E-03	3.78	3.78	职业
1#第二术者位	1.83E-03	1.74	1.74	职业
东侧楼梯间和走廊	7.01E-04	4.74E-05	7.48E-04	公众
南侧走廊	4.47E-05	1.93E-06	4.66E-05	公众
南侧设备间	6.11E-04	4.13E-05	6.52E-04	公众
西侧 CT 存放间	2.19E-04	1.48E-05	2.34E-04	公众
北侧控制廊、卫生通过间	1.83E-03	2.06E-04	2.04E-03	职业
上方护士站、生活间、走廊等	3.76E-04	1.51E-05	3.91E-04	公众
下方地下停车场	9.89E-06	9.74E-07	1.09E-05	公众

*注：摄影模式下，介入医护人员退出介入机房，进入控制室，因此摄影模式下需考虑介入医护人员在控制廊内的受照剂量，受照剂量同控制室工作人员。

由上述计算可知：本项目 DSA 在正常运行时，机房内职业人员受照的最大年有效剂量为 3.78mSv，控制室内职业人员受照的最大年有效剂量为 2.04E-03mSv，满足本项目职业人员受照的年有效剂量不超过 5mSv 的年剂量约束值要求；

DSA 机房周围公众受照的最大年有效剂量为 7.48E-04mSv，满足本项目公众受照的年有效剂量不超过 0.1mSv 的年剂量约束值要求。

(6) DSA 职业人员及周围公众辐射影响叠加分析

根据本项目 DSA 机房平面布局，1#DSA 控制廊工作人员可能受 2#DSA 机房影响，2#DSA 机房控制廊工作人员可能受 1#DSA 和 3#DSA 影响，则 1#DSA 控制廊工作人员受照的最大年有效剂量为 $2.04\text{E}-03 \times 2 = 4.04\text{E}-03\text{mSv}$ ；根据《中国科学院大学附属肿瘤医院(浙江省肿瘤医院)绍兴院区(浙江滨海医院)核技术利用建设项目环境影响报告表》，3#DSA 机房对北侧控制廊工作人员剂量贡献为 $7.97\text{E}-05\text{mSv}$ ，则 2#DSA 机房控制廊工作人员剂量为 $2.04\text{E}-03 \times 2 + 7.97\text{E}-05 = 4.12\text{E}-03\text{mSv}$ ，仍满足本项目职业人员年有效剂量不超过 5mSv 的年剂量约束值要求；

1#DSA 机房周围公众受照的最大年有效剂量为 $7.48\text{E}-04 \times 2 = 4.04\text{E}-03\text{mSv}$ ；根据《中国科学院大学附属肿瘤医院（浙江省肿瘤医院）绍兴院区（浙江滨海医院）核技术利用建设项目环境影响报告表》，3#DSA 机房周围公众受照的最大年有效剂量为 $8.54\text{E}-04\text{mSv}$ ，则 2#DSA 机房控制廊工作人员剂量为 $7.48\text{E}-04 \times 2 + 8.54\text{E}-04 = 2.35\text{E}-03\text{mSv}$ ，仍满足本项目公众年有效剂量不超过 0.1mSv 的年剂量约束值要求；

对于 DSA 手术室屏蔽物边界外 50m 范围内的其他公众，由于剂量率与距离平方成反比以及评价范围内固有建筑物的屏蔽，随着距离的增加，周围 50m 范围内公众所受年有效剂量更小，能够满足本项目 DSA 机房周围公众受照的年有效剂量不超过 0.1mSv 的年剂量约束值要求。

由此说明，本项目 DSA 手术室的辐射屏蔽防护设计满足要求，其正常运行后产生的辐射影响在国家标准允许的范围以内。上述估算仅是理论推算，实际应用时，工作人员的受照剂量应以佩戴的个人剂量剂检测结果为准。

11.2.2 CT 影响分析

根据厂家提供的该型号 CT 设备剂量场分布图（140kV 下，见附件 7），本次按照工作中常用最大管电流 300mA 考虑，则结合剂量场分布图，距离等中心点 1m 处散射辐射和泄漏辐射总剂量率水平为 $208224\mu\text{Gy/h}$ 。

根据表 10.1.2-4 可知, DSA 机房屏蔽体外最低铅当量为 3.2mmPb, 根据《放射诊断放射防护要求》附录 C 的 C.1.2 中式 C.1 计算得屏蔽透射因子为 8.24E-05。距离屏蔽体外最近关注点的距离取 4.2m, 以上述数据核算, CT 设备运行所致的辐射剂量率为 0.974μSv/h, 由于 CT 与 DSA 不会同时出束, 故机房外剂量率满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 规定的 2.5μSv/h 控制剂量率要求。

移动 CT 工作量为每年 1000 台手术, 且移动 CT 与 DSA 不同时出束, 因此仅考虑 CT 隔室操作时对周边人员的影响。单台手术 CT 曝光时间为 1min, 年出束时间约 16.67h, 则对机房周围全居留人员的年附加剂量贡献为 1.62E-02mSv, 对周边公众和职业人员影响较小。

叠加后 DSA 机房辐射工作人员和周围的公众所受外照射年有效剂量仍符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 中关于“限值”的要求, 也低于年剂量约束值即工作人员 5mSv 和公众 0.1mSv。

11.2.3 β 射线及表面污染辐射影响分析

①β 射线

本项目使用的放射性核素 ⁹⁰Y 衰变过程中会有 β 射线, β 射线在介质中的射程按式 11.2.3-1 计算, β 射线的屏蔽厚度按式 11.2.3-2 计算, 计算结果见下表。

$$R=0.412E_{max}^{(1.265-0.0954\ln E_{max})} \quad (\text{式 11.2.3-1})$$

$$d=R/\rho \quad (\text{式 11.2.3-2})$$

式中:

R——β 射线在介质中射程, g/cm²;

ρ——介质的密度, g/cm³;

E_{max}——β 射线的最大能量, MeV;

d——β 射线的屏蔽厚度, cm。

⁹⁰Y 核素发射纯 β 射线, 最高能量达 2.284MeV, 其衰变产生的 β 射线在空气、铅板和铅玻璃中的射程见表 11.2.3-1。

表 11.2.3-1 核素衰变产生的 β 射线在各介质中的所需屏蔽厚度

序号	材料	有效原子序数	密度 ρ (g/cm ³)	射程 (cm)
1	空气	7.36	1.293×10 ⁻³	850.74
2	水 (人体)	6.66	1	1.10

3	普通玻璃	10.6	2.4	0.457
4	有机玻璃	5.85	1.18	0.93
5	塑料	/	1.4	0.78
6	混凝土	14	2.35	0.47
7	铅	82	11.34	0.097
注：介质的密度和有效原子序数取值来源于《辐射防护导论》表 4.4。				

经计算可知，放射性核素 ^{90}Y 产生的 β 射线在空气中的射程为 850.74cm，在未屏蔽情况下对周围环境影响较大，通常使用有机玻璃对其进行屏蔽；本项目 ^{90}Y 装在西林瓶中，外设有铅罐，且本项目 ^{90}Y 治疗项目工作场所设置了足够的空间，且有墙体和铅门进行屏蔽，可有效降低 β 射线对周围环境的影响。

②放射性表面污染分析

放射性表面污染的影响主要来源于放射性核素操作时打翻、洒漏造成地面、台面、设备仪器表面污染，对周围环境产生辐射影响。本项目辐射工作场所各功能用房的放射性表面污染水平应根据表面类型执行 GB18871-2002（见表 7.3-3）相应的表面污染控制水平。

为了使本项目非密封放射性物质工作场所的放射性表面污染水平达到 GB18871-2002 规定的要求，建设单位应采取以下防护措施：

- ①操作放射性核素的人员应经过培训，具备相应的技能与防护知识；
- ②不允许用裸露的手直接接触放射性核素或进行污染物的操作；
- ③当天工作结束后，应进行辐射水平和表面污染监测，如发现表面污染水平超过 GB18871-2002 规定限值，应及时进行去污，经监测符合标准要求后方可重新开展业务。

11.2.4 韧致辐射影响分析

强 β 粒子被高 Z 物质阻挡会产生韧致辐射。根据《辐射防护导论》，对 β 辐射源，韧致辐射采用下式进行计算。

$$H_r = 4.58 \times 10^{-14} A \cdot Z_e \cdot \left(\frac{E_b}{r}\right)^2 \cdot \left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right) \cdot q \cdot \eta \quad (\text{式 11.2.4-1})$$

式中：

H_r ——距离屏蔽层源 r 米处的辐射剂量率，Gy/h；

r——参考点与屏蔽层的距离，m；

A——放射源活度，Bq；

Z_e ——屏蔽材料的有效原子序数；屏蔽材料的有效原子序数，取自《辐射防护导论》表 4.4，普通玻璃取 10.6，有机玻璃取 5.85，空气取 7.36，水取 6.66；本项目 ^{90}Y 手术

室取 6.66，储源废物间取 5.85；

E_b ——韧致辐射的平均能量 E_b 是入射 β 粒子的最大能量的 1/3，即 $E_b=E_{\max}/3$ ，MeV；

μ_{en}/ρ ——平均能量为 E_b 的韧致辐射在空气中的质量能量吸收系数， m^2/kg ；取自《辐射防护导论》附表 1 干燥空气中的质量能量吸收系数，并由内插法取得 $2.903E-03$ ；

q ——参考点所在区域相应的居留因子，本项目取 1；

η ——透射比；根据公式 $\eta=10^{-d/TVL}$ 得出（其中 d 为屏蔽材料的厚度，TVL 为屏蔽层在 β 粒子平均能量下的什值层厚度； ^{90}Y 的 β 平均能量 $0.761MeV$ ，根据《辐射防护导论》附表 9、11，取衰变倍数为 10 时， $0.662MeV$ 和 $1MeV$ 下的参数进行内插法计算， ^{90}Y 在铅中的 TVL 约为 $2.76cm$ ，在混凝土中的 TVL 约为 $27.6cm$ ，在实心砖中的 TVL 约为 $39.3cm$ （实心砖密度取 $1.65 g/cm^3$ ，什值层根据混凝土密度 $2.35g/cm^3$ 按比例折算），在硫酸钡水泥中的 TVL 约为 $20.3cm$ （硫酸钡水泥密度取 $3.2g/cm^3$ ，什值层根据混凝土密度 $2.35g/cm^3$ 按比例折算）；

表 11.2.4-1 ^{90}Y 肿瘤治疗项目工作场所（DSA 机房）关注点辐射剂量率估算

序号	位置	距离 (m)	源强 (Bq)	屏蔽厚度	透射比	辐射剂量率 ($\mu Sv/h$)
1	药物注射位	0.5	$^{90}Y 3 \times 10^9$	10mm有机玻璃 +0.5mmPb铅衣	9.59E-01	5.93E+00
	患者体外 1m 处	1	$^{90}Y 3 \times 10^9$	2mmPb铅方巾 +0.5mm铅衣	8.12E-01	1.26E+00
2	东侧墙体外 30cm处 (楼梯间和走 廊)	4.2	$^{90}Y 3 \times 10^9$	240mm实心砖 +20mm硫酸钡水 泥	2.45E-01	2.15E-02
3	南侧防护门外 (走廊)	6.1	$^{90}Y 3 \times 10^9$	内衬 4mm铅板	7.16E-01	2.98E-02
4	南侧墙体外 30cm处 (走廊、设备 间)	4.5	$^{90}Y 3 \times 10^9$	240mm实心砖 +20mm硫酸钡水 泥	2.45E-01	1.87E-02
5	西侧防护门外 (CT存放间)	4.2	$^{90}Y 3 \times 10^9$	内衬 4mm铅板	7.16E-01	6.28E-02
6	西侧墙体外 30cm处 (CT存放间)	4.2	$^{90}Y 3 \times 10^9$	240mm实心砖 +20mm硫酸钡水 泥	2.45E-01	2.15E-02
7	北侧墙体外 30cm处 (控制廊、卫	4.5	$^{90}Y 3 \times 10^9$	240mm实心砖 +20mm硫酸钡水 泥	2.45E-01	1.87E-02

		生通过间)					
8		北侧观察窗外 30cm处 (控制廊)	4.5	$^{90}\text{Y } 3 \times 10^9$	20mm铅玻璃	7.16E-01	5.47E-02
9		北侧防护门外 30cm处 (控制廊)	4.5	$^{90}\text{Y } 3 \times 10^9$	内衬 4mm铅板	7.16E-01	5.47E-02
10		上方 30cm处 (护士站、生 活间、走廊)	4.7	$^{90}\text{Y } 3 \times 10^9$	240mm混凝土 +20mm硫酸钡水 泥	1.35E-01	9.45E-03
11		下方距地 170cm处(地 下停车场)	6.4	$^{90}\text{Y } 3 \times 10^9$	250mm混凝土 +20mm硫酸钡水 泥	1.24E-01	4.69E-05
12	储 源 废 物 间	东侧防护墙外 30cm处(新风 机房)	2.0	$^{90}\text{Y } 3 \times 10^7$	10mm有机玻璃 +10mmPb铅桶 +240mm实心砖 +20mm硫酸钡水 泥	1.06E-01	3.61E-04
13		南侧防护墙外 30cm处(卫生 通过间)	1.6	$^{90}\text{Y } 3 \times 10^7$	10mm有机玻璃 +10mmPb铅桶 +240mm实心砖 +20mm硫酸钡水 泥	1.06E-01	5.65E-04
14		南侧防护门外 30cm处(控制 廊)	1.6	$^{90}\text{Y } 3 \times 10^7$	10mm有机玻璃 +10mmPb铅桶+内 衬 4mm铅板	3.11E-01	1.65E-03
15		西侧防护墙外 30cm处(备用 间)	2.0	$^{90}\text{Y } 3 \times 10^7$	10mm有机玻璃 +10mmPb铅桶 +240mm实心砖 +20mm硫酸钡水 泥	1.06E-01	3.61E-04
16		北侧防护墙外 30cm处(走 廊)	1.6	$^{90}\text{Y } 3 \times 10^7$	10mm有机玻璃 +10mmPb铅桶 +240mm实心砖 +20mm硫酸钡水 泥	1.06E-01	5.65E-04
17		上方 30cm处 (走廊)	4.9	$^{90}\text{Y } 3 \times 10^7$	10mm有机玻璃 +10mmPb铅桶 +240mm混凝土 +20mm硫酸钡水	5.86E-02	3.61E-05

					泥		
18		下方距地 170cm处（地 下停车场）	6.4	^{90}Y 3×10^7	10mm有机玻璃 +10mmPb铅桶 +250mm混凝土 +20mm硫酸钡水 泥	5.39E-02	1.79E-05

根据以上预测结果,本项目 ^{90}Y 手术场所轫致辐射所致控制区内屏蔽体外表面 30cm 处、控制区外屏蔽体表面 30cm 处的周围剂量当量率预测值均小于《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关要求,工作场所防护屏蔽满足要求。

11.2.5 γ 射线影响分析

（1） γ 射线剂量率估算

本项目 ^{90}Y 微球治疗项目使用的放射性核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 衰变过程中会产生 γ 射线。 γ 射线影响屏蔽计算公式参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 I 中的计算公式进行计算。

$$H = \frac{A \times \Gamma}{r^2} \cdot 10^{-x/TVL} \quad (\text{式 } 11.2.5-1)$$

式中:

H ——屏蔽体外预测点剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

A ——放射源活度, MBq;

Γ ——距源 1m 处的周围剂量当量率常数, $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{MBq} \cdot \text{h})$;

r ——预测点与放射源间的距离, m;

x ——屏蔽厚度, mm;

TVL ——半值层, mm。

表 11.2.5-1 相关参数取值表

核素名称	$^{99\text{m}}\text{Tc}$
铅半值层厚度 mm ($\rho=11.3\text{t/m}^3$)	1
混凝土半值层厚度 mm ($\rho=2.35\text{t/m}^3$)	110
硫酸钡水泥半值层厚度 mm ($\rho=3.2\text{t/m}^3$)	80.8
砖半值层厚度 mm ($\rho=1.65\text{t/m}^3$)	160
周围剂量当量率常数(裸源) $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{h} \cdot \text{MBq})$	0.0303
患者体外 1m 处的周围剂量当量率 $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{h} \cdot \text{MBq})$	0.0207

表 11.2.5-2 ^{90}Y 肿瘤治疗项目工作场所（DSA 机房部分）辐射剂量率计算结果

序号	位置	距离 (m)	源强 (Bq)	屏蔽厚度	透射比	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
1	药物注射位	0.5	$^{99\text{m}}\text{Tc}1.48\times10^8$	0.5mmPb铅衣	3.16E-01	5.67E+00
	患者体外 1m 处	1	$^{99\text{m}}\text{Tc}1.48\times10^8$	2mmPb铅方巾 +0.5mm铅衣	3.16E-03	9.69E-03
2	东侧墙体外 30cm处（楼梯 间和走廊）	4.2	$^{99\text{m}}\text{Tc}1.48\times10^8$	240mm实心砖 +20mm硫酸钡水 泥	3.16E-02	5.49E-03
3	南侧防护门外 （走廊）	6.1	$^{99\text{m}}\text{Tc}1.48\times10^8$	内衬 4mm铅板	1.00E-04	8.23E-06
4	南侧墙体外 30cm处（走 廊、设备间）	4.5	$^{99\text{m}}\text{Tc}1.48\times10^8$	240mm实心砖 +20mm硫酸钡水 泥	3.16E-02	4.78E-03
5	西侧防护门外 30cm处（CT 存放间）	4.2	$^{99\text{m}}\text{Tc}1.48\times10^8$	内衬 4mm铅板	1.00E-04	1.74E-05
6	西侧墙体外 30cm处（CT 存放间）	4.2	$^{99\text{m}}\text{Tc}1.48\times10^8$	240mm实心砖 +20mm硫酸钡水 泥	3.16E-02	5.49E-03
7	北侧墙体外 30cm处（控制 廊、卫生通过 间）	4.5	$^{99\text{m}}\text{Tc}1.48\times10^8$	240mm实心砖 +20mm硫酸钡水 泥	3.16E-02	4.78E-03
8	北侧观察窗外 30cm处（控制 廊）	4.5	$^{99\text{m}}\text{Tc}1.48\times10^8$	20mm铅玻璃	1.00E-04	1.51E-05
9	北侧防护门外 30cm处（控制 廊）	4.5	$^{99\text{m}}\text{Tc}1.48\times10^8$	内衬 4mm铅板	1.00E-04	1.51E-05
10	上方 30cm处 （护士站、生 活间、走廊）	4.9	$^{99\text{m}}\text{Tc}1.48\times10^8$	240mm混凝土 +20mm硫酸钡水 泥	6.58E-03	9.12E-04
11	下方距地 170cm处（地 下停车场）	6.2	$^{99\text{m}}\text{Tc}1.48\times10^8$	250mm混凝土 +20mm硫酸钡水 泥	5.34E-03	3.99E-04
12	储源废物间 东侧防护墙外 30cm处（新风 机房）	2.0	$^{99\text{m}}\text{Tc}1.48\times10^6$	10mmPb铅桶 +240mm实心砖 +20mm硫酸钡水 泥	3.16E-12	3.55E-14
13	南侧防护墙外 30cm处（卫生	1.6	$^{99\text{m}}\text{Tc}1.48\times10^6$	10mmPb铅桶 +240mm实心砖	3.16E-12	5.54E-14

		通过间)			+20mm硫酸钡水泥		
1 4		南侧防护门外 30cm处(控制 廊)	1.6	$^{99m}\text{Tc}1.48\times10^6$	10mmPb铅桶+内 衬 4mm铅板	$1.00\text{E}-14$	$1.75\text{E}-16$
1 5		西侧防护墙外 30cm处(备用 间)	2.0	$^{99m}\text{Tc}1.48\times10^6$	10mmPb铅桶 +240mm实心砖 +20mm硫酸钡水 泥	$3.16\text{E}-12$	$3.55\text{E}-14$
1 6		北侧防护墙外 30cm处(走 廊)	1.6	$^{99m}\text{Tc}1.48\times10^6$	10mmPb铅桶 +240mm实心砖 +20mm硫酸钡水 泥	$3.16\text{E}-12$	$5.54\text{E}-14$
1 7		上方 30cm处 (走廊)	4.7	$^{99m}\text{Tc}1.48\times10^6$	10mmPb铅桶 +240mm混凝土 +20mm硫酸钡水 泥	$6.58\text{E}-13$	$1.34\text{E}-15$
1 8		下方距地 170cm处(地 下停车场)	6.4	$^{99m}\text{Tc}1.48\times10^6$	10mmPb铅桶 +250mm混凝土 +20mm硫酸钡水 泥	$5.34\text{E}-13$	$5.84\text{E}-16$

由上表估算结果可知， ^{90}Y 手术室控制区实体屏蔽体外 30cm 处的周围剂量当量率满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》(辐射函〔2023〕20 号)中的相关规定。

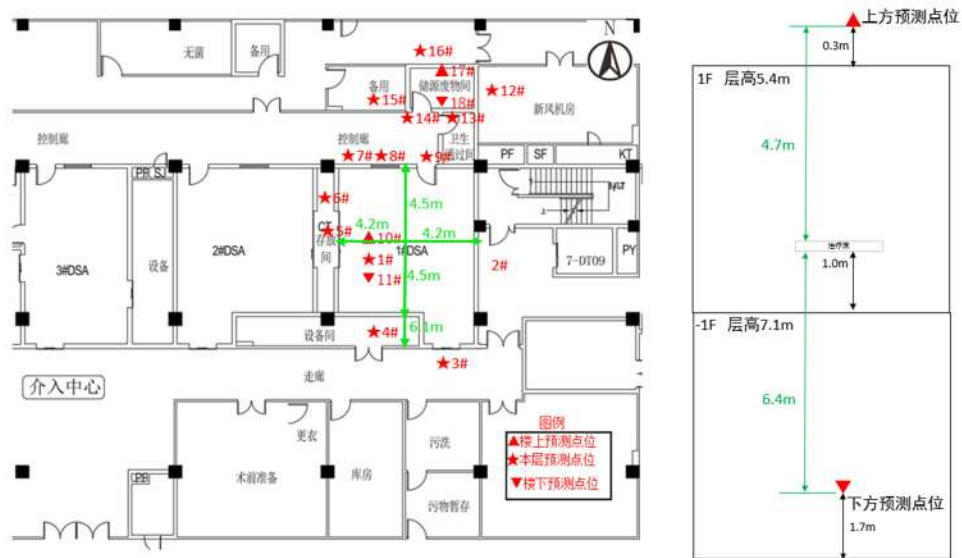


图 11.2.5-1 ^{90}Y 手术场所关注点位图

11.2.6 ^{90}Y 手术场所辐射影响分析

本项目 1#DSA 机房涉及介入手术和 ^{90}Y 手术，工作人员和公众需考虑核素的辐射影响和设备 X 射线的叠加影响。

(1) 工作场所辐射影响分析

^{90}Y 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的辐射剂量率见表 11.2.4-1 和表 11.2.5-2，DSA 机房周围辐射剂量率见表 11.2.1-9 和 11.2.1 (4)，汇总见下表。

表 11.2.6-1 ^{90}Y 手术场所周围剂量率叠加估算

预测点位	位置	^{90}Y 所致辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	DSA 所致辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	叠加后辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
2	东侧墙体外 30cm 处 (楼梯间和走廊)	2.15E-02	5.49E-03	1.42E-03	2.84E-02
3	南侧防护门外 (走廊)	2.98E-02	8.23E-06	5.79E-05	2.99E-02
4	南侧墙体外 30cm 处 (走廊、设备间)	1.87E-02	4.78E-03	1.24E-03*2	2.60E-02
5	西侧防护门外 30cm 处 (CT 存放间)	6.28E-02	1.74E-05	1.22E-04*2	6.31E-02
6	西侧墙体外 30cm 处 (CT 存放间)	2.15E-02	5.49E-03	1.42E-03*2	2.98E-02
7	北侧墙体外 30cm 处 (控制廊、卫生通过间)	1.87E-02	4.78E-03	1.24E-03*2	2.60E-02
8	北侧观察窗外 30cm 处 (控制廊)	5.47E-02	1.51E-05	1.06E-04*2	5.49E-02
9	北侧防护门外 30cm 处 (控制廊)	5.47E-02	1.51E-05	1.06E-04*2	5.49E-02
10	上方 30cm 处 (护士站、生活间、走廊)	9.45E-03	9.12E-04	9.07E-05*2	1.05E-02
11	下方距地 170cm 处 (地下停车场)	4.69E-05	3.99E-04	4.04E-05*2	5.27E-04
12	东侧防护墙外 30cm 处 (新风机房)	3.61E-04	3.55E-14	/	3.61E-04
13	南侧防护墙外 30cm 处 (卫生通过间)	5.65E-04	5.54E-14	/	5.65E-04
14	南侧防护门外 30cm 处 (控制廊)	1.65E-03	1.75E-16	/	1.65E-03
15	西侧防护墙外 30cm 处 (备用间)	3.61E-04	3.55E-14	/	3.61E-04
16	北侧防护墙外 30cm 处 (走廊)	5.65E-04	5.54E-14	/	5.65E-04
17	上方 30cm 处 (走廊)	3.61E-05	1.34E-15	/	3.61E-05
18	下方距地 170cm 处 (地下停车场)	1.79E-05	5.84E-16	/	1.79E-05

此外根据本项目平面布置，控制廊和卫生通过间处剂量率应叠加，则控制廊处最大剂量率为 $5.49\text{E-}02+1.65\text{E-}03=5.66\text{E-}02\mu\text{Sv/h}$ ，卫生通过间处最大剂量率为 $2.60\text{E-}02+5.65\text{E-}04=2.66\text{E-}02\mu\text{Sv/h}$ 。此外，CT 所致机房外最大剂量率为 $0.974\mu\text{Sv/h}$ ，叠加后仍小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。根据以上预测结果，本项目所致控制区内屏蔽体外表面 30cm 处、控制

区外屏蔽体表面 30cm 处的周围剂量当量率预测值均小于《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 相关要求, 工作场所防护屏蔽满足要求。

(2) 工作人员辐射影响分析

^{90}Y 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的辐射剂量率见表 11.2.4-1 和表 11.2.5-2, 工作人员受核素的辐射影响见下表。

表11.2.6-2 ^{90}Y 肿瘤治疗项目辐射工作人员年有效剂量估算

工作场所	操作	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年工作时间 (h)	年有效剂量 (mSv)		
1#DSA 机房	注射	5.67 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$, 1#)	66.7h (20min/次×200 人/年)	0.378	8.37E-01	4.19E-01 /人
		5.93 (^{90}Y , 1#)	66.7h (20min/次×200 人/年)	0.396		
患者转运	转运	9.69E-03 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$, 1#)	50h (15min/次×200 人/年)	4.85E-04		
		1.26 (^{90}Y , 1#)	50h (15min/次×200 人/年)	6.30E-02		
控制廊	扫描	4.78E-03 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$, 9#)	250h (1h/次×250 人/年)	1.20E-03	1.86E-02	9.30E-03 /人
		1.31E-02 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$, 14#)	250h (1h/次×250 人/年)	3.28E-03		
		1.65E-03 (^{90}Y , 14#)	250h (1h/次×250 人/年)	4.13E-04		
		5.47E-02 (^{90}Y , 9#)	250h (1h/次×250 人/年)	1.37E-02		

注: ① ^{90}Y 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的辐射剂量率见表 11.2.1-1 和表 11.2.3-2;
②本项目 DSA 控制室技师受照时间按整台手术时间 1h 考虑。

本项目 ^{90}Y 手术开展依托介入中心1#DSA机房辐射工作人员开展肿瘤治疗项目。因此本项目工作人员受照剂量需考虑叠加DSA手术剂量以及滑轨CT剂量。

表 11.2.6-3 DSA 辐射工作人员年有效剂量叠加估算

序号	人员	^{90}Y 手术场所所致年有效剂量 (mSv)	DSA 所致年有效剂量 (mSv)	滑轨 CT (mSv)	叠加后年有效剂量 (mSv)
1	DSA 介入医护人员	4.19E-01	3.78	1.62E-02	4.22E+00
2	DSA 控制室技师	9.30E-03	4.04E-03	1.62E-02	2.96E-02

叠加后本项目辐射工作人员的年有效剂量最大为 4.22mSv, 满足辐射工作人员年有效剂量约束值不超过 5mSv 的要求。

(3) 公众辐射影响分析

根据预测的各关注点处辐射剂量率, 结合 ^{90}Y 手术场所周围公众情况、关注点处人员居留因子等参数, 计算即可得到 ^{90}Y 手术场所周围公众的年有效剂量, 见表11.2.6-4。

表11.2.6-4 ^{90}Y 手术场所公众人员年有效剂量估算

关注场所		人员类型	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	距离 (m)	居留因子	受照时间 (h)	年有效剂量 (mSv)
^{90}Y 手术场所	东侧楼梯间和走廊	公众	2.15E-02 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$, 2#)	紧邻	1/5	2000	1.03E-02
			4.25E-03 (^{90}Y , 2#)		1/5	2000	
	南侧走廊		2.98E-02 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$, 3#)	紧邻	1/5	2000	1.19E-02
			8.23E-06 (^{90}Y , 3#)		1/5	2000	
	南侧设备间		4.78E-03 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$, 4#)	紧邻	1/16	2000	2.94E-03
			1.87E-02 (^{90}Y , 4#)		1/16	2000	
	西侧 CT 存放间		5.49E-03 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$, 6#)	紧邻	1/16	2000	8.54E-03
			6.28E-02 (^{90}Y , 5#)		1/16	2000	
	上方护士站、生活间、走廊等		9.12E-04 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$, 10#)	紧邻	1	2000	3.01E-03
			9.45E-03 (^{90}Y , 10#)		1	2000	
	下方地下停车场		3.99E-04 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$, 11#)	紧邻	1/16	2000	5.57E-05
			4.69E-05 (^{90}Y , 11#)		1/16	2000	
储源废物间	东侧新风机房	公众	3.55E-14 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$, 2#)	紧邻	1/16	2000	4.51E-05
			3.61E-04 (^{90}Y , 2#)		1/16	2000	
	西侧备用间		3.55E-14 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$, 2#)	紧邻	1	2000	7.22E-04
			3.61E-04 (^{90}Y , 2#)		1	2000	
	北侧走廊		5.54E-14 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$, 2#)	紧邻	1/5	2000	2.26E-04
			5.65E-04 (^{90}Y , 2#)		1/5	2000	
	上方走廊		1.34E-15 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$, 2#)	紧邻	1/5	2000	1.44E-05
			3.61E-05 (^{90}Y , 2#)		1/5	2000	
	下方地下停车场		5.84E-16 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$, 2#)	紧邻	1/16	2000	2.24E-06
			1.79E-05 (^{90}Y , 2#)		1/16	2000	
患者转运		公众	9.69E-03 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$, 1#)	/	1/40	50 (15min/ 次 $\times$ 200 人/年)	1.59E-03
			1.26 (^{90}Y , 1#)		1/40		
注：①患者转运时与周边公众为瞬时接触，故考虑居留因子为1/40。							

本项目 ^{90}Y 手术开展依托介入中心 1#DSA 机房开展肿瘤治疗项目，因此 ^{90}Y 手术场所公众还需要叠加考虑 DSA ($4.04\text{E-}03\text{mSv/a}$) 和滑轨 CT ($1.62\text{E-}02\text{mSv/a}$) 的影响，DSA 和 CT 影响分析具体见 11.2.1 (6) 和 11.2.2。叠加后 DSA 机房周边公众人员受照的年有效剂量最大为 $1.19\text{E-}02+4.04\text{E-}03+1.62\text{E-}02=3.21\text{E-}02\text{mSv}$ ，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 对公众要求的剂量限值 1mSv/a ，同时满足剂量约束值 0.1mSv/a 的要求。

随着距离越远， ^{90}Y 手术场所 50m 范围内公众所受的年有效剂量越小，因此本项目满足公众年剂量约束值不超过 0.1mSv 的要求。

11.3 “三废” 影响分析

11.3.1 放射性废液

本项目 ^{90}Y 手术场所介入手术工作人员手术过程中均穿戴手术服和一次性手套，手术台面和地面均铺有吸水纸，若出现手术过程中核素洒漏，工作人员需脱掉手术服、收集手术台面和地面吸水纸并用吸水纸进行去污。如身体沾染放射性核素，工作人员可使用储源废物间内成品卫生通过间进行紧急冲洗和淋浴，废水单独收集至废水收集器（废水收集器一备一用，有效容积不低于 0.05m^3 ），不直接排入衰变池。每次冲洗产生的废水量为 0.03m^3 ，医院核医学科放射性核素均由熟练的医护人员进行操作，日常操作过程中出现身体沾染放射性核素的情况极少，一年不超过 3 次，则年废水产生量为 $0.09\text{m}^3/\text{a}$ ，单独收集至废水收集器，不直接排入衰变池，待放射性废水储存超过 30 天后（满足 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{90}Y 暂存要求）后，按照 GB18871 中 8.6.2 规定方式通过医院卫生间排放至医院污水处理站，进一步处理后纳入市政污水管网。

11.3.2 放射性废气

本项目 ^{90}Y 手术场所使用的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{90}Y 核素均为外购，单支装，其核素操作均在手套箱内进行，使用过程介质均为液体，操作比较简单，不需要加热、振荡等步骤，操作过程中无开放液面，故不考虑放射性气体的辐射影响。

11.3.3 放射性固体废物

本项目开展 ^{90}Y 手术治疗时，放射性废物主要是工作人员操作过程产生的 V 型瓶、导管、纱布、一次性卫生用品、手术服、吸水纸等。

医院拟对放射性固废进行分类收集分类贮存衰变处理。本项目放射性固废收集于 1#DSA 机房储源废物间铅桶内，使用专用塑料包装袋，包装袋标明收贮时间、种类及数

量等内容。每袋废物的表面剂量率控制在 0.1mSv/h 以下，重量不超过 20kg。装满后的专用塑料包装袋应密封、不破漏，让放射性物质自行衰变至符合清洁解控水平后按照医疗废物处置。含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天，所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍（本项目含 ^{90}Y 核素的固废集中贮存衰变超过 27 天，含 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 衰变超过 30 天）经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染小于 0.8Bq/cm² 后，按医疗废物委托当地有资质单位处置。

11.4 辐射事故影响分析

11.4.1 可能发生的辐射事故

- （1）由于保管或管理工作不到位，导致放射性药物试剂发生丢失、被盗；
- （2）核素转移过程中由于操作人员违反规定或误操作造成放射性药物打翻、洒漏，导致台面或地面受到放射性污染。
- （3）放射性废水专用收集器故障，造成地面或周围环境受到放射性污染。
- （4）放射性固废、废水未经足够的时间衰变，存放时间过短，即提前进行擅自处理，可能对环境造成污染。
- （5）DSA 机房在运行时，由于安全联锁系统失效，人员误入或滞留在机房内而造成误照射。

11.4.2 事故防范措施

①制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，减少药物洒漏事故的发生。若少量放射性物质洒漏，应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。若大量放射性物质洒漏，医院应立即封锁相关场所，并向上级有关部门报告，等待专业人员前来处理。事故处理结束后，使用表面污染监测仪对洒漏放射性液态的区域进行表面污染监测，符合国家相关标准后，结束应急状态。事后及时总结经验，形成纸质报告并存档。

②制定经常性自检制度，对门灯联锁、监视器、电离辐射警告标志、工作状态指示灯等防护设施进行经常性检查，如发现这些防护设施不够完善或失灵，立即维护、修复；当发生误照射时，应立即按下急停开关，确保射线装置停止工作；

③制定和完善放射性核素安全管理制度，设专人负责，做好核素的领取、使用登记工作，确保放射性药物的安全。专用贮存间设置防盗门及报警装置等设施，做好防火防盗工作。

当发生放射性药物丢失事故时，事故发生者应立即报告医院辐射事故应急指挥领导小组，保护现场。领导小组立即启动本单位辐射事故应急预案，疏散现场无关人员，设置警戒区及警示标志；协助公安、生态环境和卫生健康部门对丢失放射性药物进行侦查和追缴，力争在最短时间内将放射性物品找回。

④加强对有药患者的管理，在不影响诊断和治疗的情况下，限制其服药量，限制患者出院时的放射性药物携带量，并对出院的有药患者提供与他人接触时的辐射防护措施的书面的指导，使患者明白并自觉做到短期内不到公众场所活动，并避免与家人近距离密切接触。

⑤加强放射性废物的管理，对储存的放射性废物在废物桶外标明放射性废物的类型、核素种类和存放日期的说明，并做好相应的记录。放射性固体废物经足够长的时间衰变后，方可排放或按照普通医疗垃圾处理，并做好监测记录。

⑥辐射工作场所个人防护用品主要包括工作服、工作鞋、帽子等基本防护用品，以及铅防护衣、防护镜等附加防护用品。工作人员进入监督区必须穿戴放射防护用品，个人剂量仪佩戴于铅衣内部左胸前。在进行分装及注射放射性药物时穿铅衣、放射性污染防护服、戴口罩、手套，必要时戴防护眼镜。尽量利用长柄钳、镊子等工具操作，增加与放射性药物的距离。为病人注射放射性药物时，工作人员手部有一定受照量，操作者应使用注射器屏蔽装置。科主任负责个人防护用品使用方法培训及个人防护用品的存放、更新工作。

⑦医务人员必须严格按照 X 射线装置操作程序进行诊断，确定机房内工作人员及病人家属均离开机房后方可开机，以避免工作人员和公众接受不必要的辐射照射；

⑧医护人员进行手术前，一定要配置铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套等防护物品，并佩戴个人剂量计后方可进行手术操作；

⑨制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，减少意外照射事故的发生；

⑩项目应严格遵循所用辐射设备的安全使用年限，避免机械故障造成辐射事故，严禁超期使用；

⑪严格按照辐射监测计划进行辐射水平监测，如验收监测及年度监测结果表明外墙、防护门缝隙、观察窗、孔洞等处辐射水平偏高时，应立即停机，查明原因并优化屏蔽设计和施工，未整改到位前，设备不得开机；

⑫定期开展安全装置与设施检查，制定并落实操作规范，工作人员定期培训。

11.4.3 事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十条、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等有关规定，医院应制定辐射事故应急预案，医院应在以后辐射工作开展过程中定期进行演练，及时进行整改。同时医院应配置必要的应急装备、器材以及应急资金。发生辐射事故时，医院应当立即启动本单位的辐射事故应急预案，采取必要防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境主管和公安部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

医院在落实本次环评提出的环境事故风险防范措施，并落实辐射事故应急预案中提出的各项应急措施和设施的前提下，本项目辐射事故影响可控制在可接受水平内。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

12.1.1 机构的设置

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》相关要求，写结合原已审批项目环评文件，医院应设置设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或至少有 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。

医院拟设立专门的辐射安全与环境保护管理机构，全面负责辐射安全管理工作及相关工作，或至少有 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。

12.1.2 辐射工作人员管理

（1）职业健康检查

本项目新增辐射工作人员应进行岗前、在岗期间和离岗职业健康检查，每一年或两年委托有相关资质的单位对现有辐射工作人员进行职业健康检查，建立职业健康档案。

（2）辐射工作人员培训

本项目新增辐射工作人员，上岗前应参加国家核技术利用辐射安全与防护培训平台相应类别培训学习（1#DSA 机房辐射工作人员参加“医用 X 射线诊断与介入放射学”和“核医学”专业类别，2#DSA 机房辐射工作人员参加“医用 X 射线诊断与介入放射学”专业类别），考核合格后上岗，并按时接受再培训。

（3）个人剂量监测

本项目新增辐射工作人员应配备个人剂量计，每三个月委托有资质单位进行个人剂量监测，并建立个人剂量档案。医院应做到以下几个方面：

本项目辐射工作人员的职业健康档案记录、人员培训合格证书、个人剂量监测档案三个文件上的人员信息应统一；职业照射个人监测档案应长期保存。建设单位应设专人进行环保档案的整理、存档，项目环保档案应包括：项目环境影响评价资料、相关环保会议纪要、辐射安全许可证申请资料、项目竣工环境保护验收资料、日常监测资料（或台账）、辐射工作人员培训资料、体检报告、个人剂量监测报告及相关调查资料。以上资料按年度进行整理、规范化保存，发现问题及时上报、解决，以满足生态环境主管部门档案检查的要求。

12.1.3 年度评估报告

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，本项目正式开展后，建设单位应当对其放射性同位素的辐射安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

12.2 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》等法规要求，使用放射性同位素、射线装置的单位，应有“健全的操作规程、岗位职责、辐射防护与安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等，还应有完善的辐射应急措施”。

由于浙江省肿瘤医院绍兴院区（浙江滨海医院）核技术利用项目暂未投入使用，因此根据《中国科学院大学附属肿瘤医院（浙江省肿瘤医院）绍兴院区（浙江滨海医院）核技术利用建设项目环境影响报告表》，在建设单位应根据拟开展的核技术利用项目的特点，制定以下方面的管理制度，以保证本项目辐射工作安全有序开展。

- （1）安全管理制度：根据项目的具体情况制定辐射防护和安全保卫制度；
- （2）放射性药物的制备、采购、领取、保管等制度；
- （3）放射性药物登记、使用、核对及注销制度；
- （4）放射性核素安全操作及防护制度；
- （5）放射性三废的管理：放射性三废的管理规定，对放射性三废的收集、处理、处置等作出的明确规定；
- （6） ^{90}Y 、DSA 和 CT 的操作规程。

12.3 辐射监测

12.3.1 监测仪器和防护设备

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，使用放射性同位素、射线装置的单位应该配置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。使用非密封放射性物质的单位还应当有表面污染监测仪。根据以上要求结合《中国科学院大学附属肿瘤医院（浙江省肿瘤医院）绍兴院区（浙江滨海医院）核技术利用建设项目环境影响报告表》，建议本项目辐射工作场所辐射仪器配置情况详见表 12-1。

表 12-1 本项目辐射工作场所辐射监测仪器拟配置情况

工作场所		监测仪器	配置情况说明
介入中心	1#DSA 机房	便携式 X- γ 射线巡测仪	配置 1 台（介入手术项目共用）
		个人剂量报警仪	配置 1 台
		α/β 表面污染监测仪	配置 1 台
	2#DSA 机房	便携式 X- γ 射线巡测仪	配置 1 台（介入手术项目共用）

本项目运行期间主要污染物为 X 射线、 γ 射线、 β 射线、放射性表面污染等，根据项目特点，医院拟配置 α/β 表面污染仪、便携式 X- γ 射线巡测仪等，项目配备的监测仪器符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》对监测仪器的配置要求。

12.3.2 日常监测

日常工作中，辐射工作场所应采用自购的辐射巡测仪和 α/β 表面污染监测仪定期对核医学科辐射工作场所进行监测，采用自购的辐射巡测仪定期对介入手术中心辐射工作场所进行监测，以确保辐射工作场所屏蔽防护性能的良好。

12.3.3 年度常规监测

医院应对本项目相关辐射工作场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；医院不具备自行监测能力的，可以委托第三方有资质的环境监测机构进行监测。

医院应委托有资质的单位，定期（每年 1 次）对辐射工作场所周围环境进行辐射监测，监测数据上报上级生态环境主管部门。

- （1）监测频度：每年常规监测 1 次。
- （2）监测范围：控制区、监督区及周围环境。
- （3）监测项目：
 - 1#DSA：周围剂量当量率、 α/β 表面放射性污染
 - 2#DSA：周围剂量当量率

- （4）监测记录应清晰、准确、完整并纳入档案进行保存。

医院应将本项目辐射工作场所的监测结果写入医院《辐射安全和防护状况年度评估报告》中，并于每年 1 月 31 日前将评估报告上传至全国核技术利用辐射安全申报系统。

12.3.4 个人剂量监测

个人监测主要是利用个人剂量计进行外照射个人累积剂量监测，每名辐射工作人员需佩戴个人剂量计（其中 DSA 辐射工作人员采用双剂量计监测方法，分别佩戴于铅橡胶围裙外锁骨对应的领口位置、铅橡胶围裙内躯干上），定期（最长不得超过 3 个月）送检，建立个人剂量监测档案。个人剂量档案应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量

监测结果等材料。个人剂量监测档案应长期保存，辐射工作人员可查看和复制本人个人剂量监测档案。

12.3.5 监测计划建议

根据以上分析，医院可参考表 12-2 开展监测，并根据相关监测要求更新情况及项目开展、前期监测结果情况进行相应的调整和完善。

表 12-2 辐射工作场所监测计划建议

工作场所	监测内容	监测点位	自行监测频度	年度监测频度
1#DSA 机房	周围剂量当量率	防护门外、门缝、控制室、各侧屏蔽墙外 30cm 处、顶棚上方 30cm 处，楼下距地 170cm 处及周围需要关注的监督区	1 次/月	1 次/年
	α/β 表面放射性污染	工作服、手套、工作鞋、手、皮肤、设备表面、1#DSA 机房内部、墙壁及地面等可能污染的位置	每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测）	1 次/年
2#DSA 机房	周围剂量当量率	防护门外、门缝、观察窗、控制室操作位、各侧屏蔽墙外 30cm 处、顶棚上方 100cm 处、楼下距地 170cm 处及周围需要关注的监督区	1 次/季度	1 次/年
个人剂量监测	个人剂量当量	每个辐射工作人员配备的个人剂量计	/	1 次/季度

医院需定期对辐射工作场所进行监测，随时掌握辐射工作场所剂量变化情况，发现问题及时维护、整改。做好监测数据的审核，制定相应的报送程序，监测数据及报送情况存档备查。委托有资质监测单位进行监测，其仪器必须在检定有效期内，监测工作人员必须持证上岗；对监测中出现辐射超标问题，及时向院方提出，并提出整改意见，在院方整改完成后，进行复测，直至符合要求，提供满足要求的监测报告。医院自主监测时，所用仪器须按国家规定进行剂量检定，监测时须按《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）制定监测方案及实施细则执行。

①应急情况下产生的放射性废液排放

本项目装有放射性废水的专用容器暂存于 1#DSA 机房储源废物间内，待放射性废水储存超过 30 天后，按照 GB18871 中 8.6.2 规定方式通过医院卫生间排放至医院污水处理站，进一步处理后纳入市政污水管网。

医院应建立放射性废液排放台账，排放时在台账上详细记录废水监测结果、排放废水量、废水暂存起始日期，处置人员和处置日期等信息，并存档备查。

②放射性固体废物处理

放射性废物应分类收集在废物桶专用的塑料袋，每袋废物表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，重量不超过 20kg。废物袋必须标有废物类型、核素种类和存放日期等说明，

废物包装体外表面的污染控制水平满足 $\alpha < 0.08 \text{Bq/cm}^2$, $\beta < 0.8 \text{Bq/cm}^2$ 。装满后及时转送至废物间的衰变箱内贮存, 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天, 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍。经监测符合清洁解控水平后, 作为医疗废物(活性炭作为危险废物)委托有资质单位处置。

医院应建立固废排放台账, 每次固废排放应详细记录固废排放量、固废种类、核素种类、监测数据、贮存时间等参数, 并存档备查。

12.3.6 竣工环境保护验收监测

医院应根据核技术利用项目的开展情况, 按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》(国环规环评[2017]4 号)、《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》(HJ 1326-2023)的相关要求, 在项目建成后三个月内, 对配套建设的环境保护设施进行自主验收, 自行或委托有能力的技术机构开展竣工验收监测, 编制验收报告, 并组织专家采取现场检查、资料查阅、召开验收会议等方式开展验收工作, 建设项目配套建设的环境保护设施经验收合格后, 其主体工程方可投入生产或者使用; 未经验收或者验收不合格的, 不得投入生产或者使用。

12.4 辐射事故应急

12.4.1 应急预案的要求

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》及《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》有关规定, 医院应制定辐射事故应急预案。辐射事故应急预案应当包括以下内容:

- (一) 应急机构和职责分工;
- (二) 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;
- (三) 辐射事故分级与应急响应措施;
- (四) 辐射事故调查、报告和处理程序。

本项目投入运行前, 建设单位应依据本项目情况制定《辐射事故应急预案》。同时医院应定期、具有针对性的对可能发生的辐射事故进行演习和辐射安全的法律、法规知识的培训, 演习内容包括辐射事故应急处理预案的可操作性、针对性、完整性, 相关演习和培训记录存档。在预案的实施中, 应根据国家发布新的相关法规内容, 结合实际及时对预案作补充修改, 使之更能符合实际需要。

12.4.2 辐射事故上报的要求

对于在医院定期监测或委托监测时发现异常情况的，应根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》等要求，向生态环境主管部门报告。

一旦发生辐射事故，医院拟根据国家规定立即启动应急预案，采取必要的防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，由辐射事故应急处理领导小组上报当地生态环境主管部门及省级生态环境主管部门，同时上报公安部门；造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫健委报告，并及时组织专业技术人员排除事故；配合各相关部门做好辐射事故调查工作。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

随着医院的建设推进和相关科室的组建，经医院研究，计划对原已批复的核技术利用项目部分内容进行调整。

医院计划将原已批复建设的 1#DSA 机房（ ^{90}Y 手术场所）、2#DSA 机房、设备间、部分控制廊改建，改建后为 1 间 1#DSA 机房（ ^{90}Y 手术场所）、1 间 2#DSA 机房、1 间 CT 存放间、1 间设备间、1 间储源废物间、1 间卫生通过间、1 间备用间和控制廊，其余核医学科部分及 ^{90}Y 专用病房与原环评保持一致。CT 存放间（仅用于 CT 设备暂存，不能作为放射机房使用）位于 1#DSA 机房和 2#DSA 机房之间，内设 1 台滑轨 CT，可移动进入 1#DSA 机房或 2#DSA 机房进行使用（CT 与 DSA 无法同时出束使用）；其中 1#DSA 机房兼做 ^{90}Y 手术场所，使用核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{90}Y ，日等效最大操作量为 $3.01 \times 10^7 \text{Bq}$ ，进行 ^{90}Y 相关诊疗时，为乙级非密封放射性物质工作场所。

改建后 1#DSA 机房和 2#DSA 机房均为复合手术室，内各设一台 DSA，均依托原有；CT 存放间（仅用于 CT 设备暂存，不能作为放射机房使用）位于 1#DSA 机房和 2#DSA 机房之间，内设 1 台滑轨 CT，为新增，可滑动进入 1#DSA 机房或 2#DSA 机房进行使用（CT 与 DSA 无法同时出束使用）。DSA 和 CT 型号未定，DSA 最大管电压为 150kV，最大管电流为 1250mA，属 II 类射线装置；CT 最大管电压为 140kV，最大管电流为 1000mA，CT 属 III 类射线装置。

13.1.2 辐射安全与防护分析结论

本项目机房四侧墙体采用实心砖+硫酸钡水泥进行屏蔽，顶棚和地坪均采用混凝土+硫酸钡水泥进行屏蔽，各防护门均采用铅防护门，观察窗为铅玻璃，并配有个人防护用品，其屏蔽要求及个人防护用品配置均符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求。

在满足实际工作需要的基础上对工作人员及公众进行了必要的防护，减少不必要的照射，根据理论估算分析结果，本项目拟采取的辐射防护措施能够符合辐射防护要求。

13.1.3 环境影响分析结论

（1）主要辐射污染因子分析

本项目核医学产生的主要污染因子是 γ 射线、 β 射线、放射性表面污染、放射性废

液、放射性固废、放射性废气等；DSA、CT 主要污染因子是 X 射线。

(2) 辐射环境影响分析

经模式预测，在正常工况下，本项目 ^{90}Y 肿瘤治疗项目所涉及场所控制区边界外、DSA 机房各侧墙体及防护门外 30cm 处辐射剂量率均小于目标控制值，对周围环境影响较小。

在正常工况下，本项目辐射工作人员所受外照射年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“限值”要求，也低于本次评价提出的 5.0mSv 年剂量约束值；本项目公众所受外照射年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求，也低于本次评价提出的 0.1mSv 年剂量约束值。

(3) “三废”环境影响分析

①放射性废液

本项目 ^{90}Y 手术场所放射性废液单独收集至废水收集器，不直接排入衰变池，待放射性废水储存超过 30 天后，排放至医院污水处理站进一步处理，对周围水环境影响很小。

②放射性固体废物

医院拟对放射性固废进行分类收集分类贮存衰变处理。所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天，所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍（本项目含 ^{90}Y 核素的固废集中贮存衰变超过 27 天，含 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 衰变超过 30 天），经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ ， β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，按医疗废物委托当地有资质单位处置。

③放射性废气

本项目 ^{90}Y 手术场所使用的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{90}Y 核素均为外购，单支装，其核素分装、测活操作均在手套箱内进行，使用过程介质均为液体，操作比较简单，不需要加热、振荡等步骤，操作过程中无开放液面，故不考虑放射性气体的辐射影响。

13.1.4 可行性分析结论

(1) 产业政策符合性结论

本项目属于核技术在医学领域内的运用。本项目的建设属于《产业结构调整指导目录（2024 年本）》中“鼓励类”项目。因此，本项目符合国家产业政策要求。

(2) 实践正当性结论

医院实施本项目，目的在于开展放射诊疗和放射治疗工作，最终是为了治病救人，其获得的利益远大于辐射所造成的损害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”的要求。

(3) 项目可行性结论

综上所述，中国科学院大学附属肿瘤医院（浙江省肿瘤医院）绍兴院区（浙江滨海医院）新建工程核技术利用建设项目（DSA 及 ^{90}Y 部分调整）选址合法合理，符合产业政策和实践正当性，在落实本报告提出的各项辐射安全管理、辐射防护措施后，其运行时对周围环境和人员的影响能够满足辐射环境保护相关标准的要求，因此从环境保护和辐射安全角度分析，该项目的建设是可行的。

13.2 建议与承诺

13.2.1 建议

(1) 加强辐射安全教育培训，提高辐射工作人员辐射防护意识，杜绝辐射事故发生。

(2) 尽快招聘相应放射诊疗专业的人员，进行核技术利用项目辐射安全管理工作交接和人员落实，安排专人负责核技术利用项目统筹建设工作，加强辐射安全管理。

(3) 医院有条件的情况下，DSA 和核医学辐射工作人员开展手部剂量监测。

13.2.2 承诺

(1) 建设单位承诺按照相关法律法规要求严格履行环评制度、辐射安全许可制度，按照《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ 1326-2023）的要求自行验收，加强环保档案管理，由专人或兼职人员负责。

(2) 建设单位承诺严格按照本报告的屏蔽防护设计方案、辐射安全措施、辐射安全设施及装置、“三废”治理装置及措施等辐射环保内容进行建设。加强辐射工作人员的管理，监督人员防护用具的使用。

(3) 加强辐射工作人员的管理，监督人员防护用具的使用。严格按照本报告提出的要求进行辐射工作人员的培训、个人剂量监测、健康检查，并按要求建立保管辐射工作人员档案。

表 14 审批

下一级生态环境部门预审意见：

经办人： 公章

年 月 日

审批意见：

经办人： 公章

年 月 日