

编号：BG-GAFB24720017

核技术利用建设项目

温州医科大学附属第二医院瑶溪院区
新增 ^{90}Y 肿瘤治疗及数字减影血管造影系统
建设项目环境影响报告表
(报批稿)

温州医科大学附属第二医院（温州医科大学附属育英儿童医院）

2024年8月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

温州医科大学附属第二医院瑶溪院区
新增 ^{90}Y 肿瘤治疗及数字减影血管造影系
统
建设项目环境影响报告表



建设单位名称：温州医科大学附属第二医院

（温州医科大学附属育英儿童医院）

建设单位法人代表（签名或签章）

通讯地址：浙江省温州市瑶溪街道温州大道（东段）1111号

邮政编码：325000

电子邮箱：121181680@qq.com

打印编号: 1721639082000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	ik0pzb		
建设项目名称	温州医科大学附属第二医院瓯江院区新增90Y肿瘤治疗及数字减影血管造影系统建设项目.		
建设项目类别	55-172核技术利用建设项目		
环境影响评价文件类型	报告表		
一、建设单位情况			
单位名称 (盖章)	温州医科大学附属第二医院 温州医科大学附属育英儿童医院		
统一社会信用代码	12330000470005930F		
法定代表人 (签章)			
主要负责人 (签字)			
直接负责的主管人员 (签字)			
二、编制单位情况			
单位名称 (盖章)	浙江建安检测研究院有限公司		
统一社会信用代码	91330000768665413L		
三、编制人员情况			
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字

目 录

表 1 项目基本情况	2
表 2 放射源	21
表 3 非密封放射性物质	21
表 4 射线装置	22
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	23
表 6 评价依据	24
表 7 保护目标与评价标准	27
表 8 环境质量和辐射现状	39
表 9 项目工程分析与源项	47
表 10 辐射安全与防护	62
表 11 环境影响分析	84
表 12 辐射安全管理	125
表 13 结论与建议	134
表 14 审批	139

表 1 项目基本情况

建设项目名称	温州医科大学附属第二医院瑶溪院区 新增 ⁹⁰ Y 肿瘤治疗及数字减影血管造影系统建设项目				
建设单位	温州医科大学附属第二医院（温州医科大学附属育英儿童医院）				
法人代表		联系人		联系电话	
注册地址	浙江省温州市学院西路 109 号				
项目建设地点	温州市龙湾区温州大道东段 1111 号，温州医科大学附属第二医院瑶溪院区门诊医技楼五层、地下一层核医学科诊断场所及病房楼九层				
立项审批部门	/		批准文号	/	
建设项目总投资（万元）	2500	项目环保投资（万元）	100	投资比例（环保投资/总投资）	4%
项目性质	<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他			占地面积（m ² ）	/
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
	其他	/			
	1.1 项目概述				
1.1.1 建设单位简介					
<p>温州医科大学附属第二医院（以下简称“医院”），又名温州医科大学附属第二医院、育英儿童医院，是浙江省属三级甲等综合性医院，系温州医科大学第二临床医学院。医院始建于 1976 年，前身为“温州医学院白求恩门诊部”，1982 年经浙江省卫生厅批准改建为温州医学院附属第二医院，1991 年新建儿童医院大楼并更名为“温州医学院附属育英儿童医院”，于 2013 年正式更名为温州医科大学附属第二医院、育英儿童医院。医院现有学科（系）14 个，科室（教研室）89 个，亚专科 186 个，专科门诊 130</p>					

个，实际开放床位 2898 张，职工 5141 人。医院目前拥有 1 个国家临床重点专科、1 个国家中医药管理局学科，多个省级重点学科及实验室。医院现设有瑶溪院区（含康复医学中心）、鹿城院区（含学院路部、南浦部）、瓯江口院区三大院区。

本项目拟建于瑶溪院区，位于温州市龙湾区温州大道东段 1111 号。瑶溪院区于 2020 年建成并投入使用，建成后瑶溪院区作为温州医科大学附属第二医院的新总院区，其内设科室以成人内、外科为主，兼顾妇科、生殖中心、儿童专科、放射影像科、核医学科等，形成大专科小综合的布局情况，其院内建筑主要包括门诊医技楼、后勤科教楼、病房楼等。医院已于 2012 年委托编制了《温州医学院附属第二医院瑶溪分院新建工程环境影响报告书》，并已取得原温州市龙湾区环境保护局批复（龙环建审（2012）192 号，2012.11.29）（详见附件 5），其评价内容包含了除辐射以外的建设内容，该项目已于 2021 年 12 月进行了自主验收。

目前瑶溪院区放射影像科内设 DSA 中心，位于门诊医技楼五层；核医学科设有诊断和治疗 2 个场所，位于门诊医技楼和病房楼地下一层。本项目拟开展于瑶溪院区门诊医技楼五层 DSA 中心、地下一层核医学科诊断场所及病房楼九层部分区域。

1.1.2 项目建设目的和任务由来

瑶溪院区放射影像科 DSA 中心设有 4 间 DSA 机房，每间机房内均配备了一台 DSA 射线装置，目前均正常运行；核医学科诊断场所内设有 PET/CT 及 SPECT/CT 等设备及相关配套设施，已在开展 ^{99m}Tc 、 ^{177}Lu 、 ^{32}P 、 ^{223}Ra 、 ^{131}I 、 ^{89}Sr 、 ^{18}F 等核素治疗或诊断项目。

医院现医疗服务已覆盖整个温州东片区域，为了提高医院的总体医疗水平，改善温州东片医疗集群服务环境，提高疑、难、危重症的诊断治疗能力，促进医院结构完善和当地卫生事业发展，医院拟依托现有地下一层核医学科诊断场所、门诊医技楼五层现有 3 号 DSA 机房及配套用房及病房楼九层 3 间病房开展 ^{90}Y 肿瘤治疗。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的划分标准，本项目核医学科核素诊断场所新增核素后非密封放射性核素日等效最大操作量为 $2.02 \times 10^9 \text{Bq}$ ，DSA 机房非密封放射性核素日等效最大操作量为 $6.06 \times 10^7 \text{Bq}$ ，均为乙级非密封放射性物质工作场所。

^{90}Y 肿瘤治疗开展后，占用了原 3 号 DSA 机房手术容量，为保证维持现有 DSA 机房手术规模和后续介入医疗领域的提升需求，本项目拟于门诊医技楼五层预留区域建设

两间 DSA 机房及其配套用房，并分别安装使用 1 台数字减影血管造影系统（Digital Subtraction Angiography，以下简称“DSA”装置），用于开展心血管疾病、肿瘤疾病等患者的介入手术和影像诊断，DSA 型号未定，最大管电压为 150kV，最大管电流为 1300mA。

对照《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），DSA 属于血管造影用 X 射线装置的分类范围，为 II 类射线装置。

根据《中华人民共和国环境影响评价法》、《建设项目环境保护管理条例》及《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的相关要求，本项目建设前应组织编制环境影响评价文件，并依照国家法定程序上报审批。对照《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），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”，环境影响评价类别为编制环境影响报告表。

受建设单位委托，浙江建安检测研究院有限公司成立环评技术小组，技术人员在现场勘查、收集有关资料的基础上，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）中环境影响报告表的内容和格式，编制了本项目的环境影响报告表。

1.1.3 项目建设内容和规模

1.1.3.1⁹⁰Y 肿瘤治疗

⁹⁰Y 肿瘤治疗全过程如下：首先患者进入 DSA 机房，由医护人员给患者放置导管，并注入 ^{99m}Tc；技师通过 SPECT/CT 设备给患者显像，医生通过显像观察患者情况，筛选出符合 ⁹⁰Y 肿瘤治疗条件的患者安排住院治疗。安排手术当天，患者进入 DSA 机房，由医护人员通过导管给患者注入 ⁹⁰Y 微球开展治疗，⁹⁰Y 微球注入完成后，技师通过 SPECT/CT 设备给患者显像，医生确认 ⁹⁰Y 微球植入位置，位置确认正确后转运患者至 ⁹⁰Y 患者病房休养，观察 2 天后患者即可出院。

考虑各 DSA 设备参数差异及 DSA 机房及其配套用房预留空间情况和药物输送便利性等因素，医院拟依托门诊医技楼五层现有 3 号 DSA 和核医学科相关用房及病房楼相关病房开展 ⁹⁰Y 肿瘤治疗。本项目拟对现有 3 号 DSA 机房部分附属用房及预留区域进行改造，并依托现有核医学科 SPECT/CT 机房、分装注射室、贮源室、病房楼九层 3

间病房（以下分别称 16#、17#、18#病房）等，组成一个相对连续完整的 ^{90}Y 肿瘤治疗工作场所。本项目开展肿瘤治疗采用 ^{90}Y 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素。用于 ^{90}Y 肿瘤治疗的 3 号 DSA 机房改造前后平面布置图详见图 1-2、图 1-3。

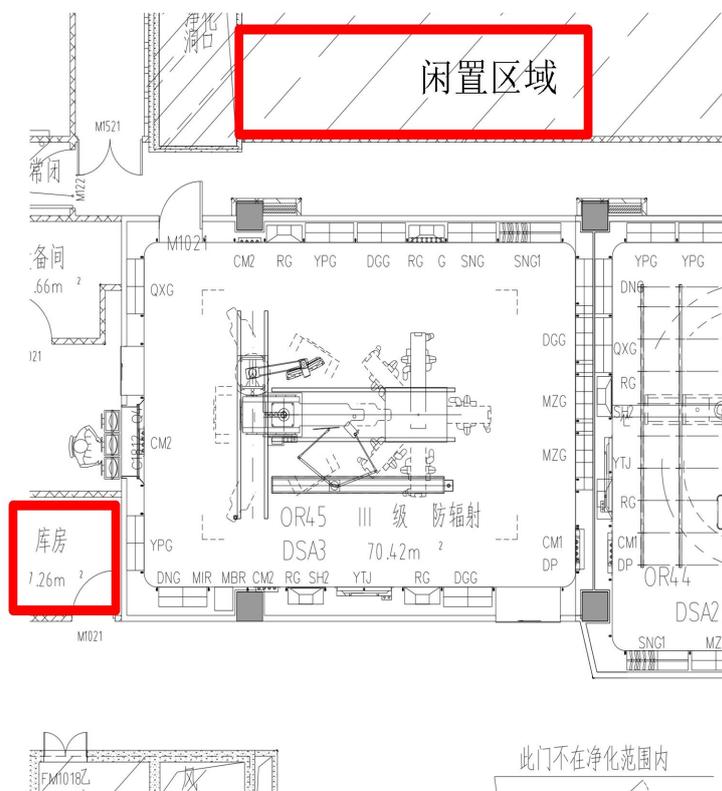


图 1-2 现有 3 号 DSA 改造前平面布置图

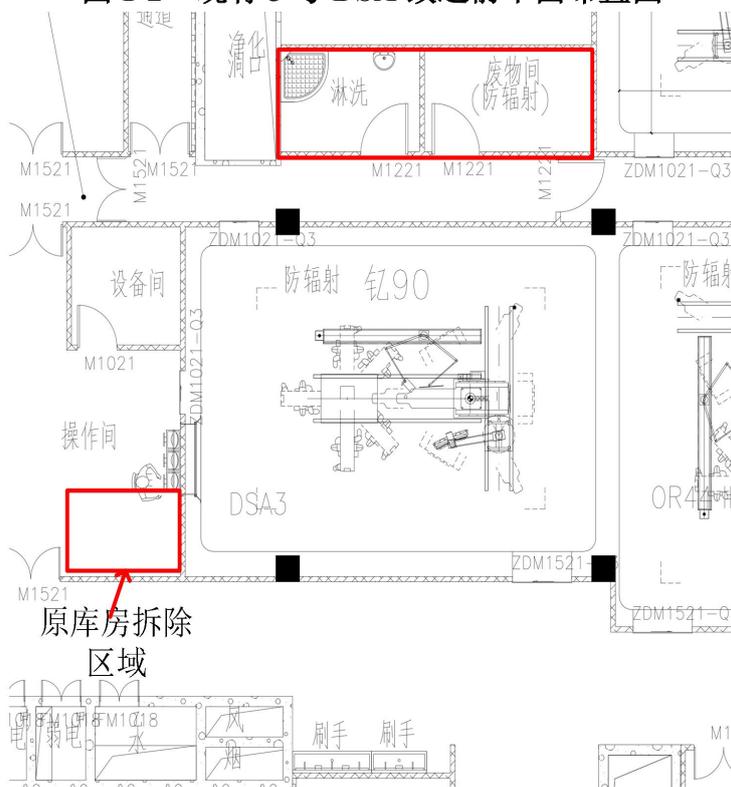


图 1-3 现有 3 号 DSA 机房改造后平面布置图

本项目使用的^{99m}Tc为单支药物，不开展分装，只需测活；⁹⁰Y需护士根据患者需求在核医学科分装注射室手套箱内分装、测活。手术前医护人员将核素从核医学科转移至门诊医技楼五层3号DSA机房储源柜中。手术过程需要的核素⁹⁰Y和^{99m}Tc依托3号DSA机房DSA设备进行导管注射，⁹⁰Y肿瘤治疗前显像判断和注射后位置确认均需依托核医学科SPECT/CT设备进行显像扫描。

本项目依托使用的射线装置情况见表 1-1。

表 1-1 本项目依托射线装置参数一览表

序号	名称	型号	数量(台)	类别	主要参数		使用位置
					最大管电压	最大管电流	
1	DSA	Artis Pheno	1	II类	125kV	1000mA	门诊医技楼五层 3 号 DSA 机房
2	SPECT/CT	SymbiaIntevo Bold	1	III类	140kV	500mA	门诊医技楼地下一层核医学科

医院每周安排两天开展⁹⁰Y 肿瘤治疗，保守每天最多安排 4 名肿瘤患者进行^{99m}Tc核素肿瘤治疗前显像诊断，判断患者是否符合⁹⁰Y 肿瘤治疗条件，符合条件的安排住院治疗。在核医学科分装注射室手套箱内进行^{99m}Tc核素的测活，在 3 号 DSA 机房内进行^{99m}Tc核素导管注射，在核医学科 SPECT/CT 机房内进行^{99m}Tc核素显像诊断，^{99m}Tc核素肿瘤治疗前显像诊断每人最大用药量为 $1.48 \times 10^8 \text{Bq}$ ，则^{99m}Tc日最大操作量为 $5.92 \times 10^8 \text{Bq}$ 。

医院每周安排两天开展⁹⁰Y 肿瘤治疗，经筛查后每天保守最多安排 2 名肿瘤患者进行⁹⁰Y核素肿瘤治疗。⁹⁰Y核素肿瘤治疗时，在核医学科分装注射室手套箱内进行⁹⁰Y核素的测活，在 3 号 DSA 机房内进行⁹⁰Y核素导管注射，在核医学科 SPECT/CT 机房内进行显像，判断⁹⁰Y微球植入位置是否正确。⁹⁰Y核素肿瘤治疗每人最大用药量为 $3 \times 10^9 \text{Bq}$ ，则⁹⁰Y日最大操作量为 $6 \times 10^9 \text{Bq}$ 。本项目非密封放射性物质使用情况见表 1-2。

表 1-2 非密封放射性物质使用情况表

工作场所	核素	单人最大用药量	日最大门诊量	日最大操作量	年最大门诊量	年最大使用量	用途
⁹⁰ Y 肿瘤治疗工作场所	⁹⁰ Y	$3 \times 10^9 \text{Bq}$	2 人	$6 \times 10^9 \text{Bq}$	200 人	$6 \times 10^{11} \text{Bq}$	肿瘤治疗
	^{99m} Tc	$1.48 \times 10^8 \text{Bq}$	4 人	$5.92 \times 10^8 \text{Bq}$	400 人	$5.92 \times 10^{10} \text{Bq}$	肿瘤治疗前显像筛查

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)：医疗机构使用 ^{99m}Tc 相关活动视为“很简单的操作”。

根据《钇-90 树脂微球使用过程辐射安全风险研究报告》（生态环境部核与辐射安全中心）：可将医疗机构 ^{90}Y 核素介入治疗过程中，活度测量、抽取与注射相关活动视为“很简单操作”。

经过毒性组别及核素的操作方式修正后，本项目核医学科放射性药物日最大等效操作量计算见表 1-3。

表 1-3 本项目放射性药物日最大等效操作量计算表

工作场所	核素名称	计划最大日操作量	毒性组别修正因子	操作方式修正因子	计划日等效最大操作量	分级
90Y 肿瘤治疗工作场所（核医学科或 DSA 机房）	^{90}Y	$6 \times 10^9 \text{Bq}$	0.1	10	$6 \times 10^7 \text{Bq}$	乙级
	^{99m}Tc	$5.92 \times 10^8 \text{Bq}$	0.01	10	$5.92 \times 10^5 \text{Bq}$	
	合计				$6.06 \times 10^7 \text{Bq}$	

注：本项目 ^{90}Y 肿瘤治疗工作场所日等效最大操作量为 $6.06 \times 10^7 \text{Bq}$ 出现的情况为后一批 4 名肿瘤患者进行 ^{99m}Tc 核素肿瘤治疗前显像诊断与前一批 2 名肿瘤患者进行 ^{90}Y 核素肿瘤治疗安排于同一天中。 ^{99m}Tc 操作方式修正因子根据《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）取值， ^{90}Y 根据《钇-90 树脂微球使用过程辐射安全风险研究报告》（生态环境部核与辐射安全中心）取值。

核素 ^{90}Y 的分装、测活和 ^{99m}Tc 的测活及术后患者的诊断扫描需在核医学科诊断场所进行，纳入核医学科管理，核医学科诊断场所原非密封放射性核素日等效最大操作量为 $1.96 \times 10^9 \text{Bq}$ ，新增使用本项目核素 ^{90}Y 和 ^{99m}Tc 后，核医学科诊断场所非密封放射性核素日等效最大操作量为 $2.02 \times 10^9 \text{Bq}$ ，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的划分标准，仍为乙级非密封放射性物质工作场所。

核素 ^{90}Y 和 ^{99m}Tc 的导管注射需在门诊医技楼五层 3 号 DSA 机房及其配套用房内进行，同时患者治疗后需在病房楼九层 16#、17#、18#病房内住院。参照《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）中相关要求，结合放射源对环境和工作人员及公众的影响，对本项目 3 号 DSA 机房及患者病房场所进行非密封放射性场所相关分析，详见表 1-4。

表 1-4 非密封场所符合性分析判定情况汇总

单独作为非密封放射性物质工作场所的要求	场所位置		
	3 号 DSA 机房及其配套用房	^{90}Y 患者病房	
《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	有相对独立、明确的监督区和控制区划分	符合	符合
	工艺流程连续完整	放射性药物经专人选择独立通道运送至 3 号 DSA 机房，在避开人流高峰期开展导管手术，患者手术结束后安排专人护送患者从专用电梯进	患者经专人护送进入病房内休息，医护人员定期进入病房查房、术后护理，安排检查时乘坐病房楼专梯直接进入地下一层核医学科诊断场

号)		入病房，整个治疗流程均与其他患者采取了时空隔离的措施，流程相对完整	所，根据医护人员安排进入指定机房进行检查，检查后原路返回，流程相对完整
	有相对独立的辐射防护措施	符合	符合
环境和工作人员及公众的影响		3号 DSA 机房内涉及核素的导管等操作，操作过程可能涉及核素洒漏等意外事故，对周围辐射环境有一定的影响	患者病房内，放射源注射于患者体内，患者病房内放射源主要为 ^{90}Y 所致的 β 射线， β 射线的穿透力较低，在人体内最大射程约为 11mm 几乎穿透不了人体，且患者导管处放置 2mmPb 铅方巾进行屏蔽，经屏蔽后不会对周边辐射环境造成显著影响
单独作为非密封放射性物质工作场所符合性		单独作为非密封放射性场所	不作为非密封放射性场所

本项目 DSA 机房及其配套用房作为非密封放射性物质工作场所管理，其非密封放射性核素日等效最大操作量为 $6.06 \times 10^7 \text{Bq}$ ，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的划分标准，均为乙级非密封放射性物质工作场所。

本项目放射性核素通过外购获得，建设单位应做到：在项目建成运行前确定放射性核素的出售单位，签订相关供货协议，确保出售单位有完善的环保手续和生产、销售的相关资质及许可，并且在今后项目投入运行后继续严格执行放射性核素来源的合法、合规管理。

1.1.3.2 拟建 DSA 部分

医院拟于门诊医技楼五层预留区域建设两间 DSA 机房（以下称 7 号 DSA、8 号 DSA），在两间机房内分别安装使用 1 台 DSA 装置，设备均为新购，型号待定，最大管电压 150kV，最大管电流 1300mA，属于 II 类射线装置。本项目拟配置的 DSA 装置参数见表 1-4。

表 1-4 本项目拟配置的 DSA 装置参数一览表

名称	型号	数量	拟安装位置	类别	额定参数	备注
DSA	未定	1 台	门诊医技楼五层 7 号 DSA 机房	II 类	最大管电压：150kV； 最大管电流：1300mA	新购
DSA	未定	1 台	门诊医技楼五层 8 号 DSA 机房	II 类	最大管电压：150kV； 最大管电流：1300mA	新购

注：1、未确定型号的射线装置，其参数保守按照市面上同类型射线装置最大参数拟定；
2、本项目拟配置单管头 DSA 装置。

项目主要建设内容见表 1-5。

表 1-5 建设项目工程组成表

名称	建设内容及规模
----	---------

主体工程	拟建7号/8号DSA机房	拟于门诊医技楼五层拟建两间 DSA 机房以及配套用房，在两间机房内分别安装使用 1 台 DSA 装置，设备最大管电压 150kV，最大管电流 1300mA			
		辐射防护	四侧墙体	轻钢龙骨隔墙+4.0mm 铅板夹层	
			顶棚	160mm 混凝土+2mm 铅板	
			地坪	160mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡防护涂料	
			防护门	内衬 4.0mm 铅板	
观察窗	4.0mmPb 观察窗				
辅助工程	DSA 机房设有控制室、DAS 设备间、库房等功能用房				
公用工程	给排水、配电、供电和通讯系统依托医院现有设施				
环保工程	废水处理	依托医院现有污水处理站，废水经医院污水处理站处理满足《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表 2 预处理排放标准后，纳入市政污水管网集中处理			
	废气处理	设置机械通排风系统，DSA 机房内产生的臭氧和氮氧化物最终从控制室东侧风井引至楼顶室外排放			
	固废处理	本项目介入手术产生的废药棉、废纱布、废手套等医疗废物，采用专门的收集容器分类收集后，经污物通道暂存至污物存放间，每日与医院其他医疗废物统一送至总医疗废物暂存间进行暂存，依托现有医疗废物处置单位进行处置。			

根据医院提供资料，本项目单台 DSA 年最大手术量为 500 台，主要开展心血管疾病、肿瘤疾病等患者介入手术。因每台手术患者情况和手术要求不同，1 台手术中 DSA 的减影时间和透视时间有较大差别，运行工况也不完全相同。评价按每台手术减影曝光时间 1min，透视时间 20min 作为本项目射线装置出束时间进行保守考虑。根据本项目设备参数情况及年计划最大手术台数，本项目 DSA 最大运行工况和工作负荷详见表 1-6。

表 1-6 本项目单台 DSA 最大运行工况和工作负荷

设备	手术量	最大运行工况		单台手术时间	年出束时间	
		减影	100kV, 500mA		8.3h	175h
DSA	500 台/年	透视	90kV, 15mA	20min	166.7h	

1.1.4 人员配置

1、⁹⁰Y 肿瘤治疗

根据医院提供的资料，本项目门诊医技楼五层原 3 号 DSA 机房配置的工作人员共分为 3 组，每台手术配备 1-2 名手术医生，1-2 名护士，控制室内固定配置 2 名技师，⁹⁰Y 肿瘤治疗手术具有一定专业性，因此本项目拟从中选取两组人员进行培训作为 ⁹⁰Y 肿瘤治疗手术辐射工作人员。门诊医技楼（病房楼）地下一层核医学科现已配置辐射工作人员 19 名，其中负责药物分装、注射护士共 7 名，负责 SPECT/CT 及 PET/CT 摆位和扫描技师共 3 名，医师共 9 名。

本项目 ⁹⁰Y 肿瘤治疗不新增辐射工作人员，均依托核医学科和 3 号 DSA 机房原有辐射工作人员开展肿瘤治疗，本项目建成后年开展 ⁹⁰Y 肿瘤治疗规模为 200 例，DSA

最大手术量为 600 台（第一阶段 400 台，第二阶段 200 台），本项目拟将现有 3 号 DSA 机房 3 组辐射工作人员分出 2 组培训用于开展 ^{90}Y 肿瘤治疗，因此 ^{90}Y 肿瘤治疗 DSA 医生及护士单人承担最大手术台数保守按最大手术量 60% 负荷 360 台计，控制室内拟配置 2 名技师（2 人轮岗），单人承担的最大手术台数保守按 600 台计；本项目依托核医学科内现有工作人员开展 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{90}Y 药物操作以及显像诊断，单人承担的最大手术台数保守按 600 台计。

2、新建两台 DSA

本项目新建 DSA 拟配备辐射工作人员 11 名，包括手术医生 6 人，护士 3 人，技师 2 人，均依托现有 DSA 中心。DSA 机房配置的手术医生和护士拟分为 3 组，一般情况下，每台手术配备 1-2 名手术医生和 1-2 名护士，均依托医院现有 DSA 中心辐射工作人员。根据医院诊疗计划，本项目建成后，新建的两台 DSA 每台年最大手术量均为 500 台，医生和护士同时参与同层其他 DSA 的使用，本项目医生单人承担最大手术台数按 200 台考虑，护士单人承担最大手术台数按 300 台考虑，控制室内拟配置 2 名技师（2 人轮岗），每个人承担的最大手术台数不超过 500 台。

3、汇总

本项目相关辐射工作人员配备情况见表 1-7

1-7 本项目相关辐射工作人员配备情况表

序号	工作场所	人员	人数	岗位	单名人员年最大操作量	备注
1	^{90}Y 肿瘤治疗工作场所	DSA 医护人员	共设两组，每台手术配备 1-2 名手术医生，1-2 名护士	DSA 机房内、病房内	360 台（第一阶段 240 台，第二阶段 120 台）	依托现有
		DSA 技师	2 人	DSA 控制室	600 次	依托现有
		核医学科护士	2 人	药物分装注射室	600 次	依托现有
		SPECT/CT 技师	2 人	SPECT/CT 机房控制室	600 次	依托现有
2	7 号 DSA/8 号 DSA 机房	DSA 医护人员	共 3 组，每台手术配备 1-2 名手术医生，1-2 名护士	DSA 机房	医生：200 台 护士：300 次	依托现有
		DSA 技师	2 人	DSA 控制室	500 次	依托现有

1.2 项目选址及周围环境保护目标

1.2.1 项目地理位置

本项目拟建于温州医科大学附属第二医院瑶溪院区，瑶溪院区位于温州市瑶溪街道

温州大道（东段）1111号。地理位置见附图1。

温州医科大学附属第二医院瑶溪院区东侧为王宅东河、绿化用地、曹龙路；东南侧为朱埠河，隔河为龙瑶大道；西南侧为龙水河、金福路、水埠路，隔水埠路为温州医学院附属口腔医院瑶溪新院区、御水嘉园；医院西侧为龙水河、华夏·云都汇（在建）、国科温州第一初中；医院北侧为温州大道，隔路为规划居住用地（待建）。周边环境示意图见附图2。

1.2.2 项目周围环境概况

本项目⁹⁰Y肿瘤治疗依托核医学科核素诊断场所部分区域、病房楼九层西南侧病房、门诊医技楼五层3号DSA机房及其配套用房形成一个整体的⁹⁰Y肿瘤治疗工作场所，用于开展肿瘤治疗，其中，本项目依托核医学科诊断场所位于门诊医技楼和病房楼地下负一层，为建筑底层；⁹⁰Y用3号DSA机房及其配套用房，位于门诊医技楼五层；⁹⁰Y患者病房位于病房楼九层。本项目拟新建的两间DSA机房（7号DSA、8号DSA）及其配套用房设置于门诊医技楼五层。

1.2.2.1 项目机房与外部建筑环境关系

（1）⁹⁰Y用3号DSA机房

本项目⁹⁰Y用3号DSA机房位于门诊医技楼五层，机房东侧约64m为中心花园；南侧约20m处为病房楼；西侧约61m处为院内停车场。

（2）⁹⁰Y患者病房

⁹⁰Y病房位于病房楼九层，病房南侧约25m处为龙水河；东南侧约47m处为院内缓冲广场；西侧约60m处为院内停车场；北侧约27m处为门诊医技楼。

（3）核医学科诊断场所

本项目⁹⁰Y肿瘤治疗拟依托现有核医学诊断场所进行分装、测活、SPECT/CT显像等，核医学科位于门诊医技楼和病房楼地下负一层。

（4）7号DSA机房、8号DSA机房

7号DSA机房及8号DSA机房均位于门诊医技楼五层，7号DSA机房东侧约33m处为中心花园；南侧约20m处为病房楼；8号DSA机房东侧约24m处为中心花园；南侧约30m处为病房楼。

本项目各场所50m评价范围内主要为院内建筑、道路、龙水河部分河道、金福路部分道路详见附图3。

1.2.2.2 项目机房四至环境关系

(1) ^{90}Y 用 DSA 机房

^{90}Y 用 DSA 机房东侧为 DSA 机房；南侧为过道；西侧为控制室、设备间等用房；北侧为污物走廊、淋洗间、废物间等；上方为楼顶平台；下方为手术区。

(2) ^{90}Y 患者病房

^{90}Y 患者病房区域东侧相邻其他病房；南侧及西侧均为临空；北侧为病房走廊、物品存放间等；上下方均为其他病房。

(3) 核医学科诊断场所

核医学科诊断场所东侧相邻核医学科走廊、战时预留区域、地下停车场等；南侧相邻地下庭院、核医学科核素病房区域等；西侧为放疗科用房；北侧为电梯厅、等候厅、诊室、示教室等功能用房；上方为院区地面消防车道、门诊医技楼一层部分机房及走廊；下方为岩土层。

(4) 7号DSA机房、8号DSA机房

7号DSA机房东侧紧邻控制室、设备间；南侧为洁净走廊，隔走廊为无菌库房、器械间等用房；西侧相邻DSA机房；北侧为污物走廊，隔污物走廊为洁净库房、应急消毒间等用房；上方为楼顶平台，下方为手术区；8号DSA机房东侧为器械间、DSA设备间、无菌库房及库房等用房；南侧为控制室；西侧为缓冲间、污物走廊等，隔缓冲间为物品存放间、应急消毒间等；北侧相邻洁净走廊，隔走廊为患者苏醒区；上方为楼顶平台，下方为手术区。

^{90}Y 用 DSA 机房、7 号 DSA 机房、8 号 DSA 机房平面布置详见附图 4， ^{90}Y 患者病房平面布置图详见附图 5，核医学科诊断场所平面布置图详见附图 6。

1.2.2.3 项目周边环境保护目标及选址合理性

本项目 ^{90}Y 用 3 号 DSA 机房、7 号 DSA 机房、8 号 DSA 机房均设置于门诊医技楼五层， ^{90}Y 用病房设置于病房楼九层， ^{90}Y 肿瘤治疗分装、测活和术后患者的诊断扫描均依托现有核医学科内进行，不新增土地，项目用地属于医疗卫生用地，周围无环境制约因素；根据医院平面布局及现场调查，50m 评价范围内主要为院内建筑、道路、龙水河部分河道、金福路部分道路，主要环境保护目标为从事本项目辐射工作的职业人员及上述区域内活动的其他医患人员与其他一般公众，评价范围内无居民区、学校等环境敏感点，同时避开了产科、儿科病房等敏感人群长时间集中停留的场所。项目运营过程产

生的电离辐射，经采取满足标准要求的辐射防护及管理措施后对周围公众的环境辐射影响是可接受的，故本项目的选址合理。

1.2.3 “三线一单”符合性分析

本项目位于浙江省温州市龙湾区温州大道 1111 号，温州医学院附属第二医院瑶溪院区。根据《温州市“三线一单”生态环境分区管控方案》，本项目位于温州市龙湾生活重点管控单元（ZH33030320004）。本环评对“三线一单”（即生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线和生态环境准入清单）进行对照分析。

（1）生态保护红线

本项目位于浙江省温州市龙湾区温州大道 1111 号，温州医学院附属第二医院瑶溪院区，根据温州市“三区三线”划分成果，项目所在地在城镇开发边界内，其评价范围内不涉及当地饮用水源保护区、风景名胜区、自然保护区等生态保护区，不涉及永久基本农田与生态保护红线，详见附图 11。

（2）环境质量底线

根据环境质量现状监测结果，本项目拟建场址周围环境 γ 辐射剂量和 β 表面污染均属于正常本底范围。在落实本环评提出的各项污染防治措施后，不会对周围环境产生不良影响，能维持周边环境质量现状，满足该区域环境质量功能要求，因此本项目符合环境质量底线要求。

（3）资源利用上线

本项目运营过程主要水源为自来水，由市政自来水管网供给，占比量较小；主要能源为电能，项目电能主要依托市政电力管网。本项目位于温州医学院附属第二医院瑶溪院区，用地为医疗卫生用地，不新增用地。整体而言本项目所用资源相对较少，也不占用当地其他自然资源和能源，因此不会突破资源利用上线。

（4）生态环境准入清单

本项目的建设与该管控单元的生态环境准入清单要求符合性分析见表 1-8。

表 1-8 浙江省温州市龙湾区生活重点管控单元分类准入清单符合性分析

名称	内容	本项目概况	是否符合
空间布局引导	禁止新建、扩建三类工业项目，现有三类工业项目改建不得增加污染物排放总量，鼓励现有三类工业项目搬迁关闭。禁止新建涉及一类重金属、持久性有机污染物排放等环境健康风险较大的二类工业项目。禁止在工业功能区（小微园区、工业集聚点）外新建二类工业项目。城市蓝线范围内严格执行《温州市城市蓝线管理办法》，禁止违反城市蓝线	本项目为核技术利用项目，不属于工业项目，且未在城市蓝线范围内，不属于违反《温州市城市蓝线管理办法》的建设项目，本项目建成后废水依托医院现有污水处理设	符合

	保护和控制要求的建设活动；禁止擅自填埋、占用城市蓝线内水域；禁止影响水系安全的爆破、采石、取土；禁止擅自建设各类排污设施；禁止其他对城市水系保护构成破坏的活动。污水收集管网范围内，禁止新建除城镇污水处理设施外的入河（或湖或海）排污口，现有的入河（或湖或海）排污口应限期纳管。	施处理后纳管排放。	
污染物排放管控	现有二类工业项目改建，只能在原址基础上，并须符合污染物总量替代要求，且不得增加污染物排放总量，不得加重恶臭、噪声等环境影响。	本项目为医院核技术利用项目，非工业项目，且不属于恶臭、噪声等排放较大的建设项目	符合
环境风险防控	禁止涉及易导致环境风险的有毒有害和易燃易爆物质的生产、使用、排放、贮运等新建、改扩建项目。有序搬迁或依法关闭已对土壤造成严重污染的企业，其退出用地，须经评估后，方可进入用地程序。禁止未经法定许可占用水域；除防洪、重要航道必须得护岸外，禁止非生态型河湖堤岸改造；建设项目不得影响河道自然形态和河湖海水生态（环境）功能。	本项目为医院核技术利用项目，不涉及有毒有害和易燃易爆物质的生产、使用、排放、贮运等，本项目建成后废水依托医院现有污水处理设施处理后纳管排放，不会影响河道自然形态和河湖海水生态（环境）功能。	符合
资源开发效率要求	执行《温州市城市总体规划（2003-2020）年》（2017修订），到2020年中心城区人均建设用地控制在85.9平方米。	本项目为医院核技术利用项目，所在地块符合规划要求	符合

综上所述，本项目不涉及生态保护红线、不会突破环境质量底线和资源利用上线、符合准入清单内管控措施要求，本项目的建设符合《温州市“三线一单”生态环境分区管控方案》。

1.2.4、与温州市“三区三线”符合性分析

根据《自然资源部办公厅关于浙江等省（市）启用“三区三线”划定成果作为报批建设项目用地用海依据的函》（自然资办函[2022]2080号）要求，“三区三线”划定成果作为建设项目用地用海组卷报批的依据。其中“三区”具体指农业空间、生态空间、城镇空间三种类型的国土空间，“三线”分别对应永久基本农田、生态保护红线、城镇开发边界三条控制线。

本项目所在医院位于浙江省温州市龙湾区温州大道1111号，根据温州市“三区三线”划分成果，项目所在地在城镇开发边界内，主体工程占地不涉及永久基本农田与生态保护红线，本项目已纳入主体工程征占地，无需新征用地，对照上述各类文件要求，本项目建设符合“三区三线”的要求，项目所在地“三区三线”划分情况见附图11。

1.2.5 产业政策符合性分析

本项目为核技术利用项目，根据国家发展和改革委员会制订的《产业结构调整指导目录（2024年本）》，项目建设内容中的DSA装置属于**第一类 鼓励类**中第六项“核

能”第十三项“医药”中第四条“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……”；项目建设内容中的⁹⁰Y肿瘤治疗不属于其中淘汰类或限制类项目。因此，本项目的建设符合国家现行产业政策。

1.2.6 实践正当性分析

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。

医院在核素治疗、放射诊断和介入治疗过程中，对非密封放射性物质和射线装置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，对非密封放射性物质和射线装置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，该项目辐射产生的影响能降至尽可能小。本项目对社会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。

1.3 “四性五不批”符合性分析

对照《建设项目环境保护管理条例》（国务院令 第 682 号）中的第九条“环境保护行政主管部门审批环境影响报告书、环境影响报告表，应当重点审查建设项目的环境可行性、环境影响分析预测评估的可靠性、环境保护措施的有效性、环境影响评价结论的科学性等”及第十一条“建设项目有下列情形之一的，环境保护行政主管部门应当对环境影响报告书、环境影响报告表作出不予批准的决定”，本项目与“四性五不批”相符性分析见表 1-9。

表 1-9 本项目与“四性五不批”符合性分析

内容		建设项目情况	是否符合要求
四性	建设项目的环境可行性	本项目符合总体规划、土地利用规划的要求，不触及生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线，不在负面清单内，因此符合建设项目的环境可行性。	符合
	环境影响分析预测评估的可靠性	本项目环境影响分析预测依据国家相关规范及建设项目的资料进行影响分析，符合环境影响分析预测评估的可靠性。	符合
	环境保护措施的有效性	本项目运营过程中产生的电离辐射、固废和废气经采取一定的辐射防护和治理措施后，对周围环境与公众健康的辐射影响是可接受的，各污染物可以做到达标排放。本项目采取的环境防护措施有效。	符合

	环境影响评价结论的科学性	本项目选址合理，采取的环境保护措施合理可行，排放的污染物符合国家、省规定的污染物排放标准，因此本项目符合环境影响评价结论的科学性。	符合
五不 批准	（一）建设项目类型及其选址、布局、规模等不符合环境保护法律法规和相关法定规划	本项目选址、布局符合国家产业政策，符合《温州市“三线一单”生态环境分区管控方案》的生态管控要求，符合环境保护法律法规和相关法定规划。	不属于不予批准情形
	（二）所在区域环境质量未达到国家或者地方环境质量标准，且建设项目拟采取的措施不能满足区域环境质量改善目标管理要求	根据《浙江省生态环境状况公报（2023年）》，全省环境电离辐射水平处于本底涨落范围内。根据环境质量现状监测结果，本项目工作场所周围环境 γ 辐射空气吸收剂量率属于当地天然辐射水平范围之内。	不属于不予批准情形
	（三）建设项目采取的污染防治措施无法确保污染物排放达到国家和地方排放标准，或者未采取必要措施预防和控制生态破坏	建设项目采用的辐射安全防护措施和污染防治措施可确保污染物排放达到国家排放标准。	不属于不予批准情形
	（四）改建、扩建和技术改造项目，未针对项目原有环境污染和生态破坏提出有效防治措施	本评价已对项目原有环境辐射影响进行分析，根据年度工作场所和辐射工作人员个人剂量检测报告相关数据，原有辐射项目未出现环境污染或生态破坏的现象。	不属于不予批准情形
	（五）建设项目的环境影响报告书、环境影响报告表的基础资料数据明显不实，内容存在重大缺陷、遗漏，或者环境影响评价结论不明确、不合理	本评价根据建设单位提供的基础资料，按照现行导则进行编制，不存在基础资料数据明显不实，内容存在重大缺陷、遗漏，或者环境影响评价结论不明确、不合理等情况。	不属于不予批准情形

1.4 医院原核技术利用许可情况

1.4.1 原有核技术利用项目环保手续履行情况

医院现持有浙江省生态环境厅颁发的辐射安全许可证，证书编号为：浙环辐证[C0019]（见附件2）；发证日期：2024年5月17日，有效期至：2027年11月22日；许可的辐射工作种类和范围为：使用III类放射源；使用II、III类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所。医院已许可核技术利用项目环保手续履行情况见表1-10~表1-12，相关环保手续文件见附件5。

表 1-10 现已许可的射线装置环保手续

序号	装置名称	规格型号	工作场所	环评手续	验收手续
1	DSA	Innova2100-IQ	瑶溪院区门诊医技楼五层 DSA 中心	浙环辐[2018]9 号	2024 年 1 月 5 日自主验收
2	DSA	ArtisPheno	瑶溪院区门诊医技楼五层 DSA 中心		
3	DSA	Azurion7M12	瑶溪院区门诊医技楼五层 DSA 中心		
4	DSA	UNIQFD20	瑶溪院区门诊医技楼五层 DSA 中心		

5	移动 DR	MobiEye700T	瑶溪院区 ICU 移动使用	已备案, 备案号 202033030300000348	/
6	移动 DR	MobiEye700T	瑶溪院区 ICU 移动使用		
7	医用电子直线加速器	Infinity	瑶溪院区放疗中心直线 加速器机房	浙环辐[2018]9 号	2024 年 1 月 5 日自主验收
8	大孔径 CT	BrillianceCT BigBore	瑶溪院区放疗中心 CT 模拟定位机房	已备案, 备案号: 202133030300000038	/
9	胃肠机	UniVision	瑶溪院区门诊医技楼一 楼放射科肠胃造影室	已备案, 备案号 202033030300000348	/
10	碎石定位机	HK.ESWL.V	瑶溪院区门诊医技楼三 层泌尿科碎石室		
11	乳腺 X 射线	SeleniaDimensio ns	瑶溪院区门诊医技楼 4 层碎石机房		
12	全身骨密度仪	Prodicity Advance	瑶溪院区门诊医技楼一 层骨密度室		
13	固定式拍片机	DigitalDiagnost	瑶溪院区门诊医技楼一层		
14	固定式拍片机	DigitalDiagnost	瑶溪院区门诊医技楼一层		
15	CT	AquilionLightni ngTSX-035A	瑶溪院区门诊医技楼一 层放射科		
16	CT	Optima CT-660	瑶溪院区门诊医技楼一 层放射科		
17	X 线计算机断层扫描 仪(双排源后 64 排 CT)	SOMATOM Force	瑶溪院区门诊医技楼一 层	已备案, 备案号 202133030300000104	/
18	CT	AquilionLightni ngTSX-035A	瑶溪院区门诊医技楼一 层放射科	已备案, 备案号 202033030300000348	/
19	PET-CT	uMI780	瑶溪院区门诊医技楼地 下一层	浙环辐[2018]9 号	2024 年 1 月 5 日自主验收
20	SPECT/CT	Symbia IntevoBold	瑶溪院区门诊医技楼地 下一层		
21	ERCP 用 X 射线机	LuminosAgile Max	瑶溪院区门诊医技楼三 层内镜中心	已备案, 备案号 202033030300000348	/
22	C 臂机	Cios Alpha	瑶溪院区门诊医技楼三 层内镜中心		
23	DSA	Azurion7M20	瑶溪院区门诊医技楼四 层手术室	温环辐[2021]14 号	2023 年 9 月 1 日 自主验收
24	C 臂机	BV Libra	瑶溪院区手术室使用	已备案, 备案号: 202033030300000348	/
25	移动 DR	DRXR-1	南浦院区新生儿科	已备案, 备案号: 21733030200000268	/
26	移动 DR	MobiEye700T	瑶溪院区 ICU 病房	已备案, 备案号: 202033030300000348	/
27	乳腺 X 射线机	SenographeEsse ntial	南浦院区一楼放射科	已备案, 备案号: 201833030200000315	/
28	固定式拍片机	DigitalDiagnost	南浦院区一楼放射科	已备案, 备案号: 202333030200000135	/
29	骨密度仪	Prodigy	南浦院区一楼放射科		
30	数字医院诊断 X 射线 透视摄影系统	UniVision	南浦院区门诊楼一层子 宫输卵管造影室	已备案, 备案号: 202133030200000056	/
31	DSA	AlluraXperDF20	南浦院区放射科 DSA 机 房 2	温环辐[2016]14 号	2018 年 12 月 11 日自主验收
32	CT	SOMATAM go Fit	南浦院区放射科 CT 机 房 4	已备案, 备案号: 202233030200000122	/
33	16 排 CT	Brilliance	南浦院区放射科 CT 机 房 3	已备案, 备案号: 202333030200000135	/
34	生物辐照仪	RS2000SUPER- C	温医大附二医学研究中 心	已备案, 备案号: 202333030300000130	/
35	移动式 C 臂 X 光机	BVEndura	学院路院区 8 号楼五楼 手术室	已备案, 备案号 202333030200000125	/
36	移动式 C 臂 X 光机	BVEudura	学院路院区 8 号楼五楼 手术室		

37	移动 DR	DRXR-1	学院路院区 1 号楼四楼 ICU	已备案, 备案号: 201733030200000268	/
38	移动拍片机	PRACTIX	学院路院区 8 号楼十九楼新生儿科		
39	移动 DR	uDR380i	学院路院区	已备案, 备案号 202333030200000125	/
40	移动 DR	uDR370i	学院路院区儿童发热门诊	已备案, 备案号: 202033030200000736	/
41	牙科 X 射线机	eXpertDC	学院路院区 1 号楼一楼放射科	已备案, 备案号: 202233030200000168	/
42	体外冲击波碎石机	HDESWL-Vm	学院路院区 6 号楼二楼碎石室	已备案, 备案号: 201833030200000315	/
43	乳腺钼靶机	SeleniaDimensio	学院路院区 7 号楼四楼 5 号机房	已备案, 备案号: 201733030200000268	/
44	口腔 X 射线计算机体层摄影设备	Kavo3DeXam i	学院路院区 1 号楼一层放射科	已备案, 备案号: 202233030200000179	/
45	岛津肠胃机	SONIAVISON	学院路院区 7 号楼四楼 6 号机房	已备案, 备案号: 201733030200000268	/
46	ERCP	BVEndura	学院路院区 7 号楼三楼内镜中心 ERCP 机房	已备案, 备案号: 202233030200000179	/
47	DSA	UNIQFD10	学院路院区 7 号楼四楼 DSA 机房	温环辐[2021]4 号	2023 年 6 月 30 日自主验收
48	DSA	Artis zeeCeling	学院路院区 7 号楼四楼 DSA 机房	温环辐[2016]14 号	2018 年 12 月 11 日自主验收
49	DR	uDR780i	学院路院区 1 号楼一楼放射科	已备案, 备案号: 202233030200000179	/
50	DR	CALYPSO:CHORUS	学院路院区急诊楼	已备案, 备案号: 201833030200000315	/
51	DR	Ysio	学院路院区 7 号楼四楼 4 号机房	已备案, 备案号: 21733030200000268	/
52	DR	uDR780ipro	学院路院区 7 号楼四楼 1 号机房	已备案, 备案号: 202333030200000125	/
53	DR	DigitalDiagnost	学院路院区 7 号楼四楼 3 号机房	已备案, 备案号: 21733030200000268	/
54	40 排 CT	uCT530+	学院路院区 1 号楼一楼放射科	已备案, 备案号: 202233030200000179	/
55	40 排 CT	uCT530	学院路院区 1 号楼一楼放射科		
56	128 排 CT	Brilliance	学院路院区 7 号楼五楼 1 号机房	已备案, 备案号: 201733030200000268	/

表 1-11 医院放射源原有核技术应用项目环保履行情况一览表

序号	放射源	类别	总活度/活度*枚数 (Bq)	环评情况	验收情况
1	Ir-192	III类	$3.7 \times 10^{11} * 1$	温环辐[2021]11 号	自主验收 2023 年 10 月 17 日
2	⁹⁰ Sr (⁹⁰ Y)	V类	$1.11 \times 10^9 * 1$	已备案, 备案号: 202433030300000029	/

表 1-12 医院非密封放射性物质原有核技术应用项目环保履行情况一览表

序号	工作场所名称	场所等级	核素	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	环评手续	验收手续
1	瑶溪院区 DSA 中心	丙级	¹²⁵ I	1.33×10^7	3.33×10^{12}	已备案, 备案号: 202233030300000073	/
2	瑶溪院区放疗中心	丙级	¹²⁵ I	1.33×10^7	3.33×10^{12}		
3	瑶溪院区核医学科	丙级	¹²⁵ I	1.33×10^7	3.33×10^{12}		
4	瑶溪院区核医学科	乙级	^{99m} Tc	1.48×10^7	3.7×10^{12}	浙环辐[2018]9号	2024 年 1 月 5 日自主验收
5			¹⁷⁷ Lu (核素)	1.48×10^9	7.4×10^{11}	豁免环评手续, 已于	/

			治疗场所)			2024年4月11日出具 辐射安全分析报告	
6			³² P	1.11×10 ⁹	5.55×10 ¹¹		
7			²²³ Ra	3.7×10 ⁸	9.25×10 ⁹		
8			¹³¹ I	3.71×10 ⁸	7.42×10 ¹¹	浙环辐[2018]9号	2024年1月5 日自主验收
			¹³¹ I* (核素 治疗场所)	2.22×10 ⁹	1.11×10 ¹²		
9			⁸⁹ Sr	9.25×10 ⁷	2.31×10 ¹¹	豁免环评手续, 已于 2024年4月11日出具 辐射安全分析报告	/
10			¹⁸ F	5.55×10 ⁶	1.39×10 ¹²	浙环辐[2018]9号	2024年1月5 日自主验收
11	学院路院区7 号楼4楼DSA 机房、7号楼五 楼CT2机房	丙级	¹²⁵ I	1.33×10 ⁷	3.33×10 ¹²	已备案, 备案号: 20213303030000088	/
12	学院路院区核 医学科	丙级	⁶⁷ Ga	1.8×10 ⁷	3.6×10 ⁸	浙环辐[2006]89号	核医学科停止 使用
13	学院路院区核 医学科	乙级	^{99m} Tc	1.5×10 ⁸	4.44×10 ¹²		
14			⁸⁹ Sr	3.0×10 ⁷	3.0×10 ⁹		
15			³² P	3.7×10 ⁷	7.4×10 ⁸		
16			¹³¹ I	9.0×10 ⁷	2.22×10 ¹¹		

注*: 经核实医院申请辐射安全许可证时遗漏核医学科核素治疗区域的¹³¹I用量, 且⁹⁰Sr (⁹⁰Y) 错误填写至非密封放射性物质一栏中, 要求医院重新申领辐射安全许可证时进行补充。

1.3.2 原有核技术利用项目运行和相关防护措施情况

经现场调查, 医院在设备运行过程中较好地执行了相关的辐射安全管理制度, 根据上一年辐射工作场所检测报告, 所检各检测点 X 射线剂量率均符合标准要求, 相关屏蔽防护措施满足防护要求。

医院严格遵守《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关辐射防护法律法规, 配合各级生态环境部门监督和指导, 建立了完善的辐射安全和防护制度, 现有规章制度基本满足医院从事相关辐射活动辐射安全和防护管理的要求。医院已严格落实各项规章制度, 各辐射防护设施运行良好。

医院原有核技术利用项目辐射安全防护措施及管理制度汇总见表 1-13。

表 1-13 医院原有核技术利用项目辐射安全防护措施及管理制度汇总一览表

名称	管理情况
辐射防护管理制度	医院已制定了一系列的辐射工作管理制度, 其中包括放射防护知识培训制度、放射个人剂量监测制度、放射工作场所防护监测制度、放射人员职业健康检查制度、受检者告知与防护制度、DSA 操作规程、维修和检测制度、放射事件应急处置预案、辐射(放射)安全防护和管理制度、放射防护用品管理规范等。
辐射屏蔽防护措施	各 X 射线设备工作场所已按《放射诊断放射防护要求》GBZ 130-2020 中表 3 及 6.5 X 射线设备工作场所防护用品及防护设施要求配置, 核医学科场所已按《核医学放射防护要求》GBZ 120-2020 及《核医学辐射防护与安全要求》HJ 1188-2021 中工作场所的放射防护要求配置。
个人剂量监测	医院现有辐射工作人员均配备了个人剂量计, 每三个月委托温州市疾病预防控制中心进行个人剂量检测, 并建立了个人剂量档案。根据医院提供的现有辐射工作人员 2023 年度个人剂量检测报告, 存在一名辐射工作人员个人剂量检测值超标, 经进一步调查核实, 为个人剂量计滞留于辐射工作场所内, 属于意外情况, 其他辐射人员检测结果均处于 0.01~1.2mSv/a 之间, 能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中对职业照射的个人剂量约束值 5mSv 的要求。

职业健康体检	医院定期为辐射工作人员进行在岗期间的职业健康检查,根据医院提供的 2023 年 1 月 7 日至 2024 年 1 月 31 日的职业健康检查报告书,针对现有辐射工作人员检查结论为在岗辐射工作人员均可继续原放射工作。医院应定期(不超过两年)对辐射工作人员进行在岗期间职业健康检查。
辐射工作人员培训	医院严格按照国家相关规定执行辐射工作人员持证上岗制度,医院已组织相关辐射工作人员均参加了温州市卫生监督所组织的核技术利用辐射安全与防护考核,并考核合格。
辐射防护措施	医院现有辐射工作场所设置有电离辐射警告标志、工作状态指示灯等。根据不同项目实际情况划分辐射防护控制区和监督区,采取分区管理,进行积极、有效的管控。
辐射工作场所年度监测	医院每年定期委托有资质的单位对辐射工作场所和设备性能进行年度监测,各辐射工作场所监测结果均满足相关标准要求,医院现已采取的辐射工作场所防护措施能够满足已开展辐射活动的辐射安全防护要求。
辐射应急演练和年度评估	医院已制定放射事件应急预案,并定期开展辐射事故应急演练,对演练结果进行总结,及时对辐射事故应急处理预案进行完善和修订。经医院核实,自辐射活动开展以来,未发生过辐射事故。医院编制有《辐射安全和防护状况年度评估报告》,对现有射线装置辐射工作场所防护状况、人员培训及个人剂量、射线装置台账、辐射安全与防护制度执行情况等进行年度总结和评估,并及时提交至发证机关。

医院现已成立了辐射安全与防护管理小组(见附件 7),管理小组由医院副院长、处长及各个科室主任组成,能够有效统筹安排医院的辐射安全事务。

1.3.3 原有核技术利用项目存在的问题

医院现已建立了完善的辐射安全和防护制度,并有档案管理制度,现有规章制度基本满足医院从事相关辐射活动辐射安全和防护管理的要求。

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	⁹⁰ Y	液态/中毒/半衰期 2.67d	使用	6×10 ⁹	6×10 ⁷	6×10 ¹¹	肿瘤治疗	很简单操作	瑶溪院区地下一层核医学科和门诊	由医院根据实际使用量订购，供药厂家派专人运送，运输来的药物连同铅罐包装放置于核医学科贮源库内。
2	^{99m} Tc	液态/低毒/半衰期 6.02h	使用	5.92×10 ⁸	5.92×10 ⁵	5.92×10 ¹⁰	肿瘤治疗前显像诊断	很简单操作	医技楼五层3号 DSA 机房	

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	1	未定	150	1300	影像诊断与 介入治疗	门诊医技楼五层 7 号 DSA 机房	新购
2	DSA	II	1	未定	150	1300	影像诊断与 介入治疗	门诊医技楼五层 8 号 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 (μ A)	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
放射性废气	气态	^{99m}Tc 、 ^{90}Y	/	/	/	/	/	本项目 ^{90}Y 肿瘤治疗场所依托现有核医学科,拟利用核医学科现有排气筒经活性炭吸附装置处理后将废气通至病房楼楼顶排放;拟利用现有3号DSA机房独立排风管道,将废气通至门诊医技楼楼顶,并新增活性炭吸附装置,使废气经处理后再高空排放
DSA 机房废气	气态	臭氧、氮氧化物	/	极少量	极少量	/	/	经门诊医技楼五层排风井通至楼顶排放
放射性废水 (核医学)	液态	^{99m}Tc 、 ^{90}Y	/	/	3m ³	/	收集于专用容器,暂存于3号DSA北侧废物间	暂存时间超过30天要求后排入院内污水处理设施达标纳管。
放射性固废 (核医学)	固态	^{99m}Tc	/	/	600kg	/	核医学科分装注射室和3号DSA机房设置1个铅废物桶,核医学科废物库设置1个铅衰变箱。	放射性固体废物暂存超过30天,符合HJ1188-2021的暂存条件后作为医疗废物(废活性炭为危险废物)委托有资质单位处置。
		^{90}Y						
		废活性炭			50kg			

注: 1、常规废弃物排放浓度,对于液态单位为 mg/L, 固体为 mg/kg, 气态为 mg/m³; 年排放总量用 kg;

2、含有放射性的废物要注明,其排放浓度、年排放总量分别用比活度 (Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m³) 和活度 (Bq)。

表 6 评价依据

法 规 文 件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》(1989年12月26日第七届全国人民代表大会常务委员会第十一次会议通过;2014年4月24日第十二届全国人民代表大会常务委员会第八次会议修订),中华人民共和国主席令第9号,2015年1月1日施行修订版;</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》(2002年10月28日第九届全国人民代表大会常务委员会第三十次会议通过,自2003年9月1日起施行;2016年7月2日第一次修订;2018年12月29日第二次修订),中华人民共和国主席令第48号,2018年12月29日施行修订版;</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》(2003年6月28日中华人民共和国第十届全国人民代表大会常务委员会第三次会议通过),中华人民共和国主席令第六号,2003年10月1日施行;</p> <p>(4) 《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;</p> <p>(5) 《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,2014年7月29日经中华人民共和国国务院令第653号修订,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;</p> <p>(6) 《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,2008年12月6日经环境保护部令第3号修正,2017年12月20日经环境保护部令第47号修正,2019年7月11日经生态环境部令第7号修改,2020年12月25日经生态环境部令第20号修改),2021年1月4日施行修改版;</p> <p>(7) 《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;</p> <p>(8) 《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;</p> <p>(9) 《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</p>
------------------	--

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；

(10) 《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；

(11) 《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，2023 年 12 月 1 日经国家发展改革委第 6 次委务会通过，2023 年 12 月 27 日国家发展改革委令第 7 号公布，自 2024 年 2 月 1 日起施行；

(12) 《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；

(13) 《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；

(14) 《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4 号），自 2017 年 11 月 20 日起施行；

(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（2021 年版）》（2020 年 11 月 25 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 15 号公布），2021 年 1 月 1 日起施行；

(18) 《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；

(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，2014 年 3 月 13 日浙江省人民政府令第 321 号第一次修正，2018 年 1 月 22 日浙江省人民政府令第 364 号公布第二次修正，2021 年 2 月 10 日浙江省人民政府令第 388 号公布第三次修正），自 2021 年 2 月 10 日起施行修正版；

(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

	<p>第 289 号公布，2021 年 2 月 10 日浙江省人民政府令第 388 号修正），自 2021 年 2 月 10 日起施行修正版；</p> <p>（21）《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（2023 年本）〉的通知》（浙环发〔2023〕33 号），自 2023 年 9 月 9 日起施行。</p>
<p style="text-align: center;">技 术 标 准</p>	<p>（1）《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）；</p> <p>（2）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；</p> <p>（3）《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）；</p> <p>（4）《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）；</p> <p>（5）《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）；</p> <p>（6）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）；</p> <p>（7）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）；</p> <p>（8）《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）；</p> <p>（9）《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）；</p> <p>（10）《操作非密封源的辐射防护规定》（GBZ11930-2010）。</p>
<p style="text-align: center;">其 他</p>	<p>（1）环境影响评价委托书；</p> <p>（2）建设单位提供的其他与本项目有关的资料；</p> <p>（3）《辐射防护手册》（第三分册），李德平、潘自强主编；</p> <p>（4）《放射防护实用手册》，赵兰才、张丹枫主编；</p> <p>（5）《中国环境天然放射性水平》（中国原子能出版社，2015 年）。</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

本项目依托核医学科诊断场所和现有门诊医技楼五层 3 号 DSA 机房及其配套用房形成一个整体的 ^{90}Y 肿瘤治疗工作场所开展肿瘤治疗，并将病房楼九层 16#、17#、18#病房作为本项目 ^{90}Y 患者病房。涉及非密封放射性物质工作场所和使用 II、III 类射线装置，结合《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）的相关规定，因此本次辐射环境评价范围取核医学科、3 号 DSA 机房、本项目 ^{90}Y 患者病房和拟建 7 号 DSA、8 号 DSA 机房的实体屏蔽边界外延 50m 为评价范围。具体评价范围示意图详见附图 3。

7.2 保护目标

根据前述项目周边环境关系情况以及建设单位提供的相关设计图纸等资料可见，本项目评价范围主要包括院内建筑、道路、龙水河部分河道、金福路部分道路，不涉及其他环境敏感区域，项目环境保护目标主要是从事本项目辐射工作的职业人员、评价范围内其他医护人员、患者等其他公众成员，评价报告中列举出辐射工作场所内及 50m 范围内的保护目标情况，具体见表 7-1。

表 7-1 本项目评价范围内环境保护目标情况一览表

工作场所	环境保护目标		规模	方位	距离本项目实体边界最近距离 (m)		剂量约束值
					水平	垂直	
核医学科诊断场所	辐射工作人员	核医学科诊断场所分装注射室、SPECT/CT 使用区域等	19 人	内部	0	0	职业： 5mSv/a
	公众	走廊	约 10 人/天	东侧	紧邻	0	公众： 0.1mSv/a
		地下庭院	约 10 人/天	南侧	紧邻	0	
		消防进风机房	约 5 人/天	南侧	紧邻	0	
		排风机房	约 5 人/天	南侧	紧邻	0	
		放疗科区域	约 20 人/天	西侧	紧邻	0	
		核医学科等候区	约 50 人/天	北侧	紧邻	0	
		示教室	约 10 人/天	北侧	紧邻	0	
		诊室	约 50 人/天	北侧	紧邻	0	
		电梯厅	约 50 人/天	北侧	紧邻	0	
		地下停车场	约 300 人/天	北侧	11	0	
		院区地面消防车道	约 200 人/天	上方	0	相邻	
		门诊医技楼部分机房及走廊	约 200 人/天	上方	0	相邻	
评价范围内其他公众	约 400 人/天	四周及上下	0-50	0			
3 号	辐射	DSA 机房及其控制室	11 人	内部	0	0	职业：

DSA 机房	工作人员							5mSv/a
	公众	其他 DSA 手术室	约 5 人	东侧	紧邻	0	公众: 0.1mSv/a	
		过道	约 20 人/天	南侧	紧邻	0		
		设备间	约 5 人/天	西侧	紧邻	0		
		污物走廊	约 5 人/天	北侧	紧邻	0		
		淋洗间	约 10 人/天	北侧	1.5	0		
		废物间	约 5 人/天	北侧	1.5	0		
		病房楼	约 400 人/天	南侧	20	0		
		楼顶平台	约 5 人/天	上方	0	相邻		
		手术区	约 50 人/天	上方	0	相邻		
评价范围内其他公众	约 400 人/天	四周及上下	0-50	0				
90Y 患者病房	辐射工作人员	⁹⁰ Y 患者病房	11 人	内部	0	0	职业: 5mSv/a	
	公众	其他病房	约 10 人/天	东侧	紧邻	0	公众: 0.1mSv/a	
		患者走廊	约 50 人/天	北侧	紧邻	0		
		物品存放间	约 5 人/天	北侧	3	0		
		避难间	约 5 人/天	北侧	3	0		
		污洗间	约 5 人/天	东北侧	7	0		
		缓冲广场	约 100 人/天	西南侧	47	0		
		门诊医技楼	约 400 人/天	北侧	27	0		
		其他病房	约 6 人/天	上方	0	相邻		
其他病房	约 6 人/天	下方	0	相邻				
评价范围内其他公众	约 400 人/天	四周及上下	0~50	0				
患者 转运 路线	公众	转运路线周边	约 400 人/天	四周及上下	/	/		
7 号 DSA 机房	辐射工作人员	DSA 机房及其控制室	11 人	内部	0	0	职业: 5mSv/a	
	公众	设备间	约 5 人/天	东侧	紧邻	0	公众: 0.1mSv/a	
		中心花园	约 100 人/天	东侧	33	0		
		洁净走廊	约 20 人/天	南侧	紧邻	0		
		无菌库房	约 5 人/天	南侧	2.5	0		
		病房楼	约 400 人/天	南侧	20	0		
		器械间	约 5 人/天	东南侧	3	0		
		其他 DSA 机房	约 5 人/天	西侧	紧邻	0		
		污物走廊	约 5 人/天	北侧	紧邻	0		
		洁净库房	约 5 人/天	北侧	1.5	0		
		物品存放间、应急消毒间	约 5 人/天	北侧	1.5	0		
		手术区	约 50 人/天	下方	0	相邻		
楼顶平台	约 5 人/天	上方	0	相邻				
评价范围内其他公众	约 400 人/天	四周及上下	0-50	0				
8 号 DSA	辐射工作	DSA 机房及其控制室	11 人	内部	0	0	职业: 5mSv/a	

机房	人员						
	公众	器械间	约 5 人/天	东侧	紧邻	0	公众： 0.1mSv/a
		设备间	约 5 人/天	东侧	紧邻	0	
		无菌库房	约 5 人/天	东侧	紧邻	0	
		库房	约 5 人/天	东侧	紧邻	0	
		中心花园	约 100 人/天	东侧	24	0	
		病房楼	约 400 人/天	南侧	200	0	
		缓冲间	约 5 人/天	西侧	紧邻	0	
		物品存放间、应急消毒间	约 5 人/天	西侧	2	0	
		洁净走廊	约 20 人/天	北侧	紧邻	0	
		苏醒间	约 50 人/天	北侧	2.7	0	
		手术区	约 50 人/天	下方	0	相邻	
		楼顶平台	约 5 人/天	上方	0	相邻	
		评价范围内其他公众	约 400 人/天	四周及上下	0-50	0	

7.3 评价标准

7.3.1 剂量限值及剂量管理约束值

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）的规定，以及本项目特点并遵循辐射防护最优化原则，从事本项目辐射工作人员和公众的年剂量限值及剂量管理约束值见表 7-2。

表 7-2 剂量限值及剂量管理约束值

使用范围	职业照射	公众照射
剂量限值	20mSv/a	1mSv/a
剂量管理约束值	5mSv/a	0.1mSv/a

7.3.2 辐射管理分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求，应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

6.4.1 控制区

6.4.1.1 注册者和许可证持有者应把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。

6.4.2 监督区

6.4.2.1 注册者和许可证持有者应将下述区域定为监督区：这种区域未被定为控制区，在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）：

4.3 辐射工作场所分区

4.3.1 应按照 GB18871 的要求将核医学工作场所划分出控制区和监督区, 并进行相应的管理。

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。

7.3.3 非密封源工作场所的分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 的规定, 应按照国家 7-3 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 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。放射性核素的毒性识别修正因子及操作方式有关的修正因子分别见表 7-4 和表 7-5。

表 7-4 放射性核素毒性组别修正因子

毒性组别	毒性组别修正因子
极毒	10
高毒	1
中毒	0.1
低毒	0.01

表 7-5 操作方式与放射源状态修正因子

操作方式	放射源状态			
	表面污染水平较 低的固体	液体、溶液、 悬浮液	表面有污染 的固体	气体、蒸汽、粉末、压 力很高的液体、固体
源的贮存	1000	100	10	1
很简单的操作	100	10	1	0.1
简单操作	10	1	0.1	0.01
特别危险的操作	1	0.1	0.01	0.001

7.3.4 核医学科工作场所评价标准

(1) 辐射工作场所屏蔽体外剂量率水平

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 7-6。

表 7-6 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
核医学科	距核医学工作场所控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处，手套箱、注射窗等设备外表面 30cm 处人员操作位、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 处等控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子 $\geq 1/2$ ）。	$<2.5\mu\text{Sv/h}$
	控制区屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子小于 1/2）	$<10\mu\text{Sv/h}$
	手套箱非正对人员操作位表面	$<25\mu\text{Sv/h}$

(2) 表面污染控制水平

根据《电离辐射防护与辐射源基本安全标准》（GB18871-2002）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）相关规定，核医学科辐射工作场所的放射性表面污染控制水平见表 7-7。

表 7-7 核医学科工作场所放射性表面污染控制水平

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

a 该区内的高污染子区除外

(3) 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：

6.3.4 放射性物质的合成、分装以及挥发性放射性核素的操作应在手套箱、通风橱等密闭设备中进行，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭或其他过滤装

置。

6.3.5 设有通风橱、手套箱等场所的通风系统排气口应高于本建筑物屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑。

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。

7.3.5X 射线设备机房防护要求

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）

6 X 射线设备机房防护设施的技术要求

6.1 X 射线设备机房布局

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

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

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

6.1.5 除床旁摄影设备、便携式 X 射线设备和车载式诊断 X 射线设备外，对新建、改建和扩建项目和技术改造、技术引进项目的 X 射线设备机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应符合表 7-2 的规定。

6.2 X 射线设备机房屏蔽

6.2.1 不同类型 X 射线设备（不含床旁摄影设备和便携式 X 射线设备）机房的屏蔽防护应不低于表 7-3 的规定。

6.2.2 医用诊断 X 射线防护中不同铅当量屏蔽物质厚度的典型值参见附录 C 中表 C.4~表 C.7。

6.2.3 机房的门和窗关闭时应满足表 7-9 的要求。

6.2.4 距 X 射线设备表面 100cm 处的周围剂量当量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 时且 X 射线设备表面与机房墙体距离不小于 100cm 时，机房可不作专门屏蔽防护。

表7-8 X射线设备机房（照射室）使用面积、单边长度的要求

设备类型	机房内最小有效使用面积 ^d m ²	机房内最小单边长度 ^e m
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7-9 不同类型X射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量 mmPb	非有用线束方向铅当量 mmPb
标称 125kV 以上的摄影机房	3.0	2.0

6.3 X 射线设备机房屏蔽体外剂量水平

6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

a) 具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h；测量时，X 射线设备连续出束时间应大于仪器响应时间；

c) 具有短时、高剂量率曝光的摄影程序（如 DR、CR、屏片摄影）机房外的周围剂量当量率应不大于 25μSv/h，当超过时应进行机房外人员的年有效剂量评估，应不大于 0.25mSv；

6.3.2 机房的辐射屏蔽防护检测方法及检测条件按第 8 章和附录 B 的要求；

6.3.3 宜使用能够测量短时间出束和脉冲辐射场的设备进行测量，若测量仪器达不到响应时间要求，则应对其读数进行响应时间修正，修正方法参见附录 D。

6.5 X 射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求

6.5.1 每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 7-4 基本种类要求的工作人员、受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作需要，对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣。

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

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

6.5.5 个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。

表7-10 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

放射检查类型	工作人员		受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
介入放射学操作	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套 选配：铅橡胶帽子	铅悬挂防护屏/铅防护帘、床侧防护帘/床侧防护屏 选配：移动铅防护屏风	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	—
注 1：“—”表示不作要求。 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。				

7 X 射线设备操作的防护安全要求

7.8 介入放射学和近台同室操作（非普通荧光屏透视）用 X 射线设备操作的防护安全要求

7.8.1 介入放射学、近台同室操作（非普通荧光屏透视）用 X 射线设备应满足其相应设备的防护安全操作要求。

7.8.2 介入放射学用 X 射线设备应具有记录受检者剂量的装置，并尽可能将每次诊疗后受检者受照剂量记录在病历中，需要时，应能追溯到受检者的受照剂量。

7.8.3 除存在临床不可接受的情况外，图像采集时工作人员应尽量不在机房内停留；对受检者实施照射时，禁止与诊疗无关的其他人员在机房内停留。

7.8.4 穿着防护服进行介入放射学操作的工作人员，其个人剂量计佩戴要求应符合 GBZ128 的规定。

7.3.3 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）

4 监测要求

4.3 监测周期或频次

4.3.1 常规监测的周期应综合考虑放射工作人员的工作性质、所受剂量的大小、剂量变化程度及剂量计的性能等诸多因素。常规监测周期一般为 1 个月，最长不得超过 3 个月。

5 监测系统与使用要求

5.2 剂量计

5.2.3 对于强贯穿辐射和弱贯穿辐射的混合辐射场，弱贯穿辐射的剂量贡献 $\leq 10\%$ 时，一般可只监测 Hp（10）；弱贯穿辐射的剂量贡献 $> 10\%$ 时，宜使用能识别两者的鉴别式个人剂量计，或用躯体剂量计和局部剂量计分别测量 Hp（10）和 Hp（0.07）。

5.3 佩戴

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

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

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

7.3.6 放射性废物处理规定

(1) 放射性废水

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）：

7.3.3 放射性废液排放

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

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 GB18871-2002 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。

7.3.3.3 放射性废液的暂存和处理应安排专人负责，并建立废物暂存和处理台账，详细记录放射性废液所含的核素名称、体积、废液产生起始日期、责任人员、排放时间、监测结果等信息。

另根据《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）规定，综合医疗机构水污染物排放标准执行表 2 规定限值，详见表 7-11。

表 7-11 综合医疗机构和其他医疗机构水污染物排放标准（日均值）

控制项目	排放标准	预处理标准
总 α (Bq/L)	1	1
总 β (Bq/L)	10	10

(2) 固体放射性废物

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

4.2.5 解控

4.2.5.1 已知或已获准实践中的源（包括物质、材料和物品），如果符合审管部门规定的清洁解控水平，则经审管部门认可，可以不再遵循本标准的要求，即可以将其解控。

4.2.5.2 除非审管部门另有规定，否则清洁解控水平的确定应考虑本标准附录 A（标准的附录）所规定的豁免准则，并且所定出的清洁解控水平不应高于本标准附录 A（标准的附录）中规定的或审管部门根据该附录规定的准则所建立的豁免水平。

表 7-12 本项目放射性核素的豁免活度浓度与豁免活度（摘自附录 A 中表 A1）

核素	活度浓度/（Bq/g）	活度/Bq
^{99m}Tc	1E+02	1E+07
^{90}Y	1E+03	1E+05

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）：

7.2.3 固体放射性废物处理

7.2.3.1 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 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 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；
- c) 含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

7.2.3.2 不能解控的放射性固体废物应该按照放射性废物处理的相关规定予以收集、整备，并送交有资质的单位处理。放射性废物包装体外的表面剂量率应不超过 $0.1\text{mSv}/\text{h}$ ，表面污染水平对 β 和 γ 发射体以及低毒性 α 发射体应小于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、其他 α 发射体应小于 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

7.2.3.3 固体放射性废物的存储和处理应安排专人负责，并建立废物存储和处理台账，详细记录放射性废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息。

(3) 放射性废气

《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）

通风系统独立设置，应保持核医学工作场所良好的通风条件，合理设置工作场所

的气流组织，遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计，保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉污染，保证工作场所的空气质量。合成和操作放射性药物所用的通风橱应有专用的排风装置，风速应不小于 0.5m/s。排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。

7.3.12 本次核技术利用项目限值要求汇总

本项目职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a，公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a，其余标准要求汇总见表 7.3-13。

表 7.3-13 本项目 ⁹⁰Y 肿瘤治疗建设内容相关评价标准要求汇总

工作场所	控制区外 30cm 处	工作场所的放射性表面污染			放射性废液	放射性废气	放射性固废
		位置	控制区	监督区			
3 号 DSA 机房、核医学科诊断场所、 ⁹⁰ Y 患者病房	控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子 $\geq 1/2$ ），周围剂量率应小于 2.5 μ Sv/h；控制区内人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子 $< 1/2$ ）如给药/注射室防护门外，给药后患者候诊室防护门外，核素治疗住院病房防护门外以及核医学科患者走廊等位置，周围剂量当量率应小于 10 μ Sv/h	工作台、设备、墙壁、地面	β 放射性物质不大于 4 $\times 10^3$ Bq/cm ²	β 放射性物质不大于 4Bq/cm ²	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 GB18871-2002 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	通风系统独立设置，应保持核医学工作场所良好的通风条件，合理设置工作场所的气流组织，遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计，保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉污染，保证工作场所的空气质量。合成和操作放射性药物所用的通风橱应有专用的排风装置，风速应不小于 0.5m/s。排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。	废物暂存时间超过 30 天后，经监测， β 表面污染小于 0.8Bq/cm ² 的，可对废物清洁解控，并作为医疗废物处置
标准依据	《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复函的咨询》（辐射函[2023]20 号）	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）			《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）	《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）	

表 7.3-14 本项目 7 号 DSA、8 号 DSA 建设内容相关评价标准要求汇总

工作场所	控制区外 30cm 处	机房要求
7 号 DSA、8 号 DSA 机房	具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 2.5 μ Sv/h；具有短时、高剂量率曝光的摄影程序（如 DR、CR、屏片摄影）机房外的周围剂量当量率应不大于 25 μ Sv/h	标称 125kV 以上的摄影机房有用线束方向铅当量应不小于 3.0mmPb；非有用线束方向铅当量应不小于 2.0mmPb
标准依据	《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）	

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

温州医科大学附属第二医院瑶溪分院位于浙江省温州市瑶溪街道温州大道（东段）1111 号，院区东侧为王宅东河、绿化用地、曹龙路；东南侧为朱埠河，隔河为龙瑶大道；西南侧为龙水河、金福路、水埠路，隔水埠路为温州医学院附属口腔医院瑶溪新院区、御水嘉园；医院西侧为华夏·云都汇（在建）、国科温州第一初中；医院北侧为温州大道，隔路为规划居住用地（待建）。周项目地理位置见附图 1。周边环境示意图见附图 2。

8.2 环境电离辐射现状

根据《浙江省生态环境状况公报（2023 年）》，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地涨落范围内。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、苕溪八大水系以及京杭运河、西湖和新安江水库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。地下水中总 α 和总 β 活度浓度低于《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）的 III 类标准。城市集中式饮用水水源地水中总 α 和总 β 活度浓度符合《生活饮用水卫生标准》（GB5749-2022）。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。

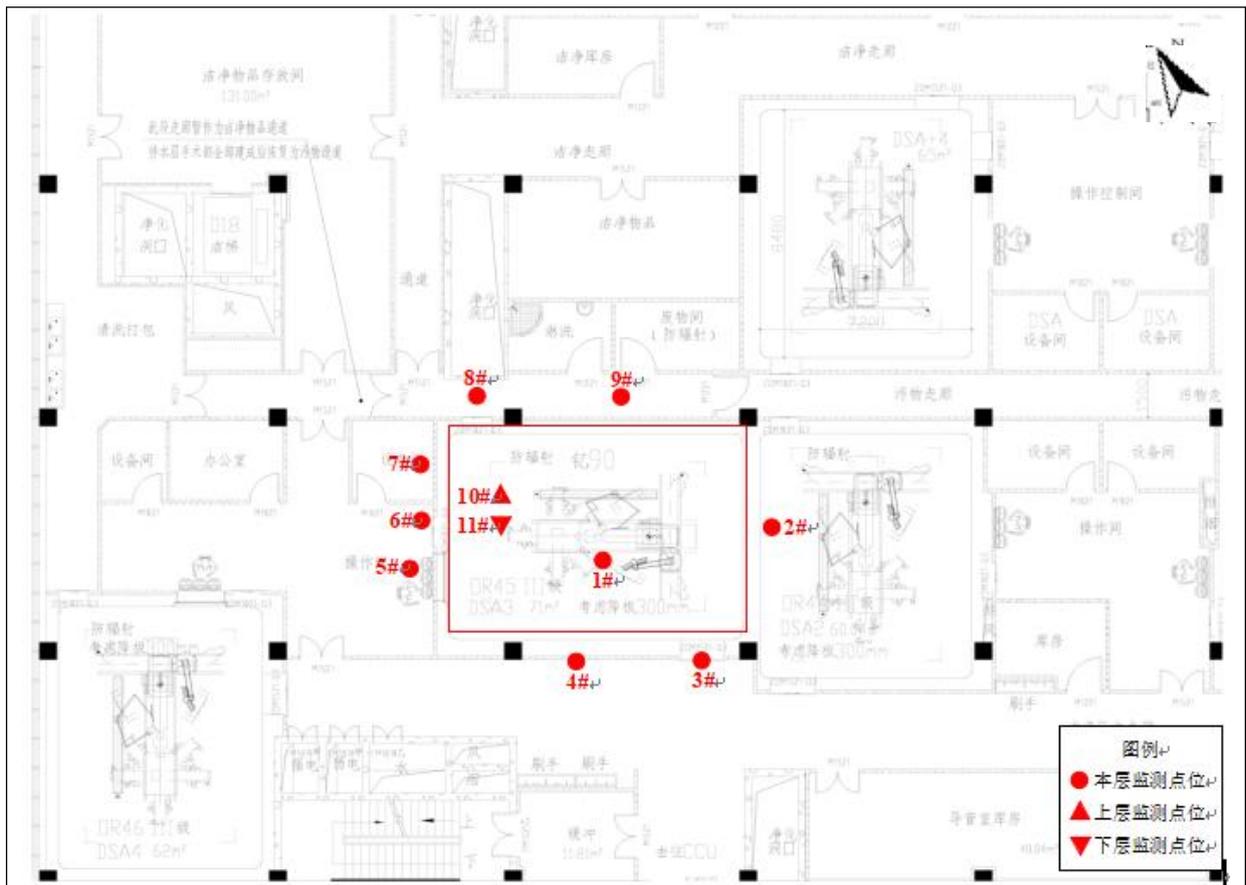
8.3 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

（1）环境现状评价对象：3 号 DSA 机房、核医学诊断场所区域、拟用 ^{90}Y 患者病房、拟建 7 号 DSA、8 号 DSA 机房评价范围内环境辐射水平

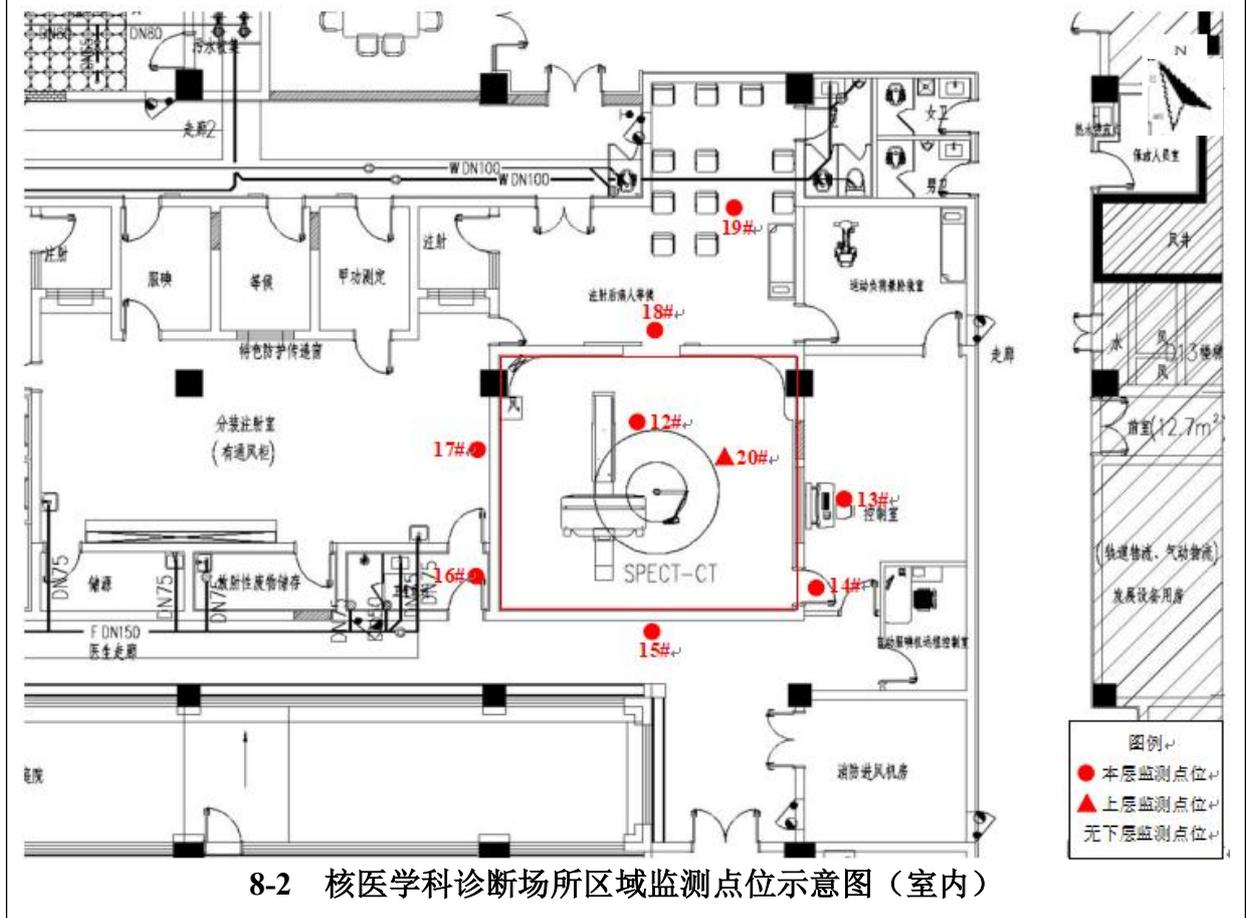
（2）监测因子： γ 辐射空气吸收剂量率和 β 表面污染

（3）监测点位

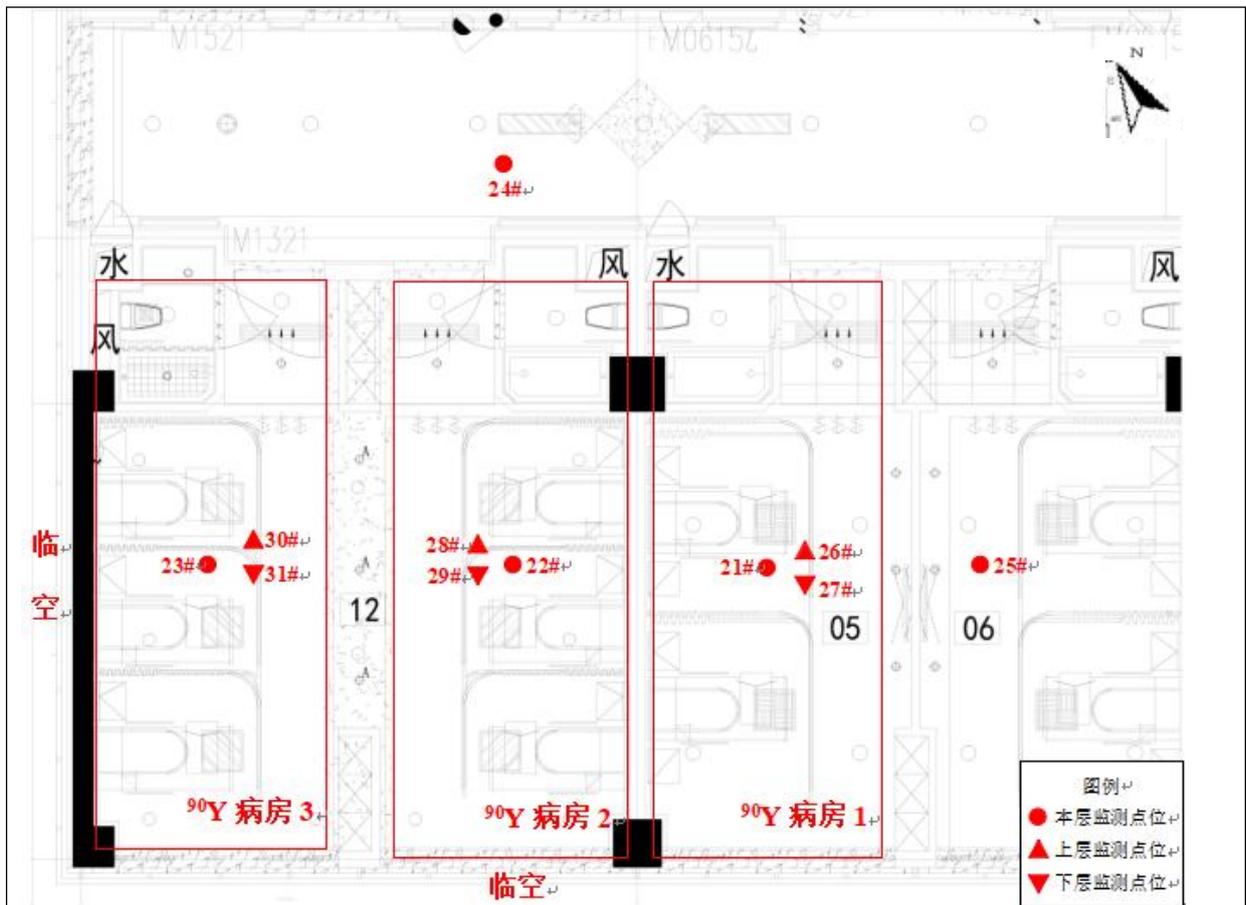
考虑兼顾点位现状可到达性的条件下，在拟建项目所在区域位置及本项目评价范围内涉及的建筑物布设监测点，所布点位能反映本项目评价范围内现有辐射工作场所和拟建场所的辐射环境现状水平。为直观标明监测点位所在位置，本项目在医院平面布置图中标注监测点位，在核医学科诊断场所区域、3 号 DSA 机房、 ^{90}Y 患者病房具体监测点位布置情况详见图 8-1~图 8-4。拟建 7 号 DSA、8 号 DSA 机房周边 50m 范围内敏感区域具体监测点位布置情况详见图 8-5~图 8-6。



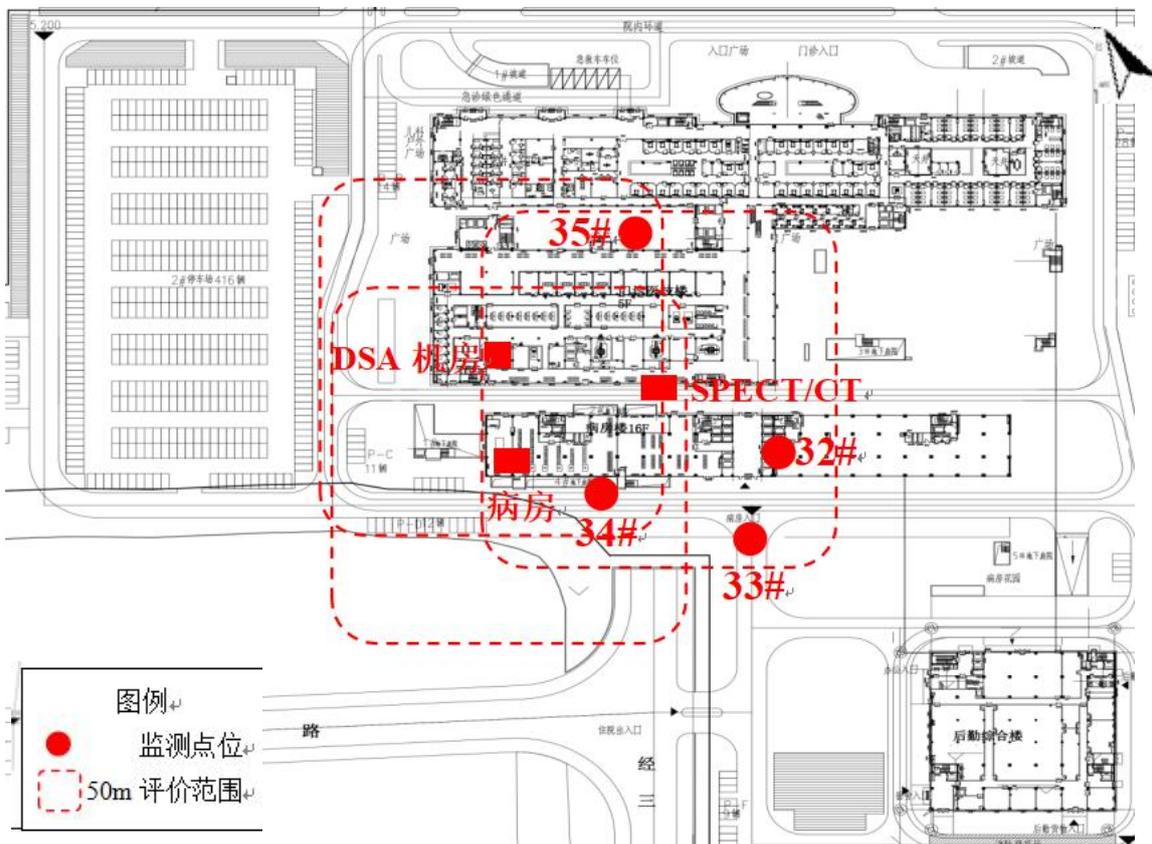
8-1 3号DSA机房监测点位示意图（室内）



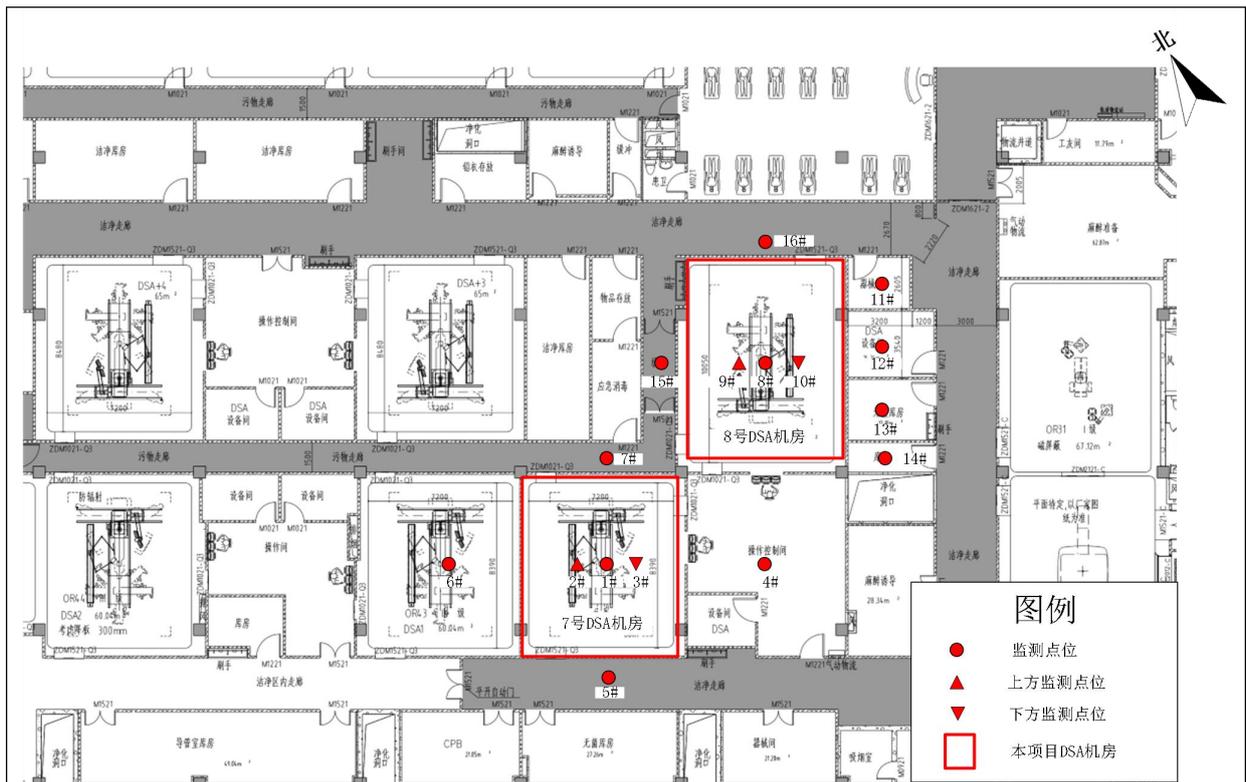
8-2 核医学科诊断场所区域监测点位示意图（室内）



8-3 ^{90}Y 患者病房监测点位示意图（室内）



8-4 ^{90}Y 肿瘤治疗区域监测点位示意图（室外）



8-5 拟建7号DSA、8号DSA机房监测点位示意图（室内）



8-6 拟建7号DSA、8号DSA机房监测点位图（室外）

8.4 监测方案、质量保证措施及监测结果

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：2024年5月28日（BG-GAFB24720017-R）、2024年6月03日（BG-GAFB24720017-R1）
- (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》（HJ1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）
- (5) 监测工况：辐射环境背景监测
- (6) 监测因子： γ 辐射空气吸收剂量率、 β 表面污染
- (7) 天气环境条件：2024年5月28日，温度：26.1℃，相对湿度：40.3%；2024年6月03日，温度：24.2℃，相对湿度：64.8%RH；
- (8) 监测报告编号：BG-GAFB24720017-R、BG-GAFB24720017-R1
- (9) 监测设备

表 8-1 便携式 X、 γ 辐射周围剂量当量率仪相关信息

仪器名称	便携式 X、 γ 辐射周围剂量当量率仪	
仪器型号	6150AD6/H+6150AD-b/H	6150AD6/H+6150AD-b/H
生产厂家	automess	automess
仪器编号	05038132（BG-GAFB24720017-R）	05037878（BG-GAFB24720017-R1）
能量范围	38KeV~7MeV	38KeV~7MeV
测量范围	模拟量程：10nsv/h~100 μ Sv/h；数字量程：1nSv/h~99.9 μ Sv/h	模拟量程：10nsv/h~100 μ Sv/h；数字量程：1nSv/h~99.9 μ Sv/h
校准单位	上海市计量测试技术研究院 华东国家计量测试中心	上海市计量测试技术研究院 华东国家计量测试中心
校准证书	2024H21-20-5074963002	2023H21-20-4777893002
校准有效期	2024年3月5日~2025年3月4日	2023年8月24日~2024年8月23日

表 8-2 α 、 β 表面污染仪相关信息

仪器名称	α 、 β 表面污染仪
仪器型号	CoMo 170
生产厂家	S.E.A
仪器编号	05038153
探测器灵敏窗面积	170cm ²
探测器本底	α : 0.1CPS β : 15~25CPS
校准单位	上海市计量测试技术研究院 华东国家计量测试中心
校准证书	2024H21-20-5104506001
校准有效期	2024年2月23日~2025年2月22日

8.3.2 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，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监测报告严格实行三级审核制度，经校核、审核，最后由技术总负责人审定。

8.3.3 监测结果

本项目辐射环境现状监测结果见表 8-3~表 8-5。

表 8-3 ^{90}Y 肿瘤治疗各场所周围环境 γ 辐射空气吸收剂量率监测结果

监测点编号	监测点位置	监测结果 (nGy/h)	备注
1#	3号 DSA 机房 (^{90}Y 注射)	90±3	室内
2#	3号 DSA 机房东侧 (8号 DSA 机房)	88±3	室内
3#	3号 DSA 机房南侧 (防护门)	92±4	室内
4#	3号 DSA 机房南侧 (洁净走廊)	95±4	室内
5#	3号 DSA 机房西侧 (控制室观察窗)	91±3	室内
6#	3号 DSA 机房西侧 (防护门)	88±3	室内
7#	3号 DSA 机房西侧 (设备间)	81±4	室内
8#	3号 DSA 机房北侧 (防护门)	86±4	室内
9#	3号 DSA 机房北侧 (污物走廊)	82±4	室内
10#	3号 DSA 机房上方区域 (天台设备层)	84±4	室内
11#	3号 DSA 机房下方区域 (手术室)	91±4	室内
12#	SPECT/CT 机房	72±3	室内
13#	SPECT/CT 机房东侧 (控制室观察窗)	88±4	室内
14#	SPECT/CT 机房东侧 (防护门)	80±4	室内
15#	SPECT/CT 机房南侧 (医生走廊)	100±4	室内
16#	SPECT/CT 机房西侧 (卫生通过间)	100±4	室内
17#	SPECT/CT 机房西侧 (分装注射室)	90±3	室内
18#	SPECT/CT 机房北侧 (防护门)	75±4	室内
19#	SPECT/CT 机房北侧 (注射后患者等候区)	85±4	室内
20#	SPECT/CT 机房上方区域	103±4	室内
21#	^{90}Y 病房 1	97±4	室内
22#	^{90}Y 病房 2	100±3	室内
23#	^{90}Y 病房 3	106±3	室内
24#	^{90}Y 病房北侧 (走廊)	94±3	室内
25#	^{90}Y 病房东侧 (病房)	96±3	室内
26#	^{90}Y 病房 1 上方 (病房)	98±4	室内
27#	^{90}Y 病房 1 下方 (病房)	102±4	室内

28#	⁹⁰ Y 病房 2 上方 (病房)	103±4	室内
29#	⁹⁰ Y 病房 2 下方 (病房)	104±4	室内
30#	⁹⁰ Y 病房 3 上方 (病房)	103±4	室内
31#	⁹⁰ Y 病房 3 下方 (病房)	105±2	室内
32#	病房楼	64±4	室内
33#	病房入口	90±3	道路
34#	4#地下庭院	107±2	室内
35#	门诊医技楼	93±4	室内

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=仪器读数平均值×仪器校准因子 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-建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子 k_3 ×测量点宇宙射线响应值 D_c ，校准因子 k_1 为 0.94，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，测量点宇宙射线的响应值为 25nGy/h。

表 8-4 ⁹⁰Y 肿瘤治疗各场所周围环境 β 放射性物质表面污染监测结果

监测点编号	监测点位置	监测结果 (Bq/cm ²)	备注
1#	DSA3 机房 (⁹⁰ Y 注射)	<0.06	室内
2#	DSA3 机房东侧 (8 号 DSA 机房)	<0.06	室内
3#	DSA3 机房南侧 (防护门)	<0.06	室内
4#	DSA3 机房南侧 (洁净走廊)	<0.06	室内
5#	DSA3 机房西侧 (控制室观察窗)	<0.06	室内
6#	DSA3 机房西侧 (防护门)	<0.06	室内
7#	DSA3 机房西侧 (设备间)	<0.06	室内
8#	DSA3 机房北侧 (防护门)	<0.06	室内
9#	DSA3 机房北侧 (污物走廊)	<0.06	室内
10#	DSA3 机房下方区域 (手术室)	<0.06	室内
11#	SPECT/CT 机房	<0.06	室内
12#	SPECT/CT 机房东侧 (控制室观察窗)	<0.06	室内
13#	SPECT/CT 机房东侧 (防护门)	<0.06	室内
14#	SPECT/CT 机房南侧 (医生走廊)	<0.06	室内
15#	SPECT/CT 机房西侧 (卫生通过间)	<0.06	室内
16#	SPECT/CT 机房西侧 (分装注射室)	<0.06	室内
17#	SPECT/CT 机房北侧 (防护门)	<0.06	室内
18#	SPECT/CT 机房北侧 (注射后患者等候区)	<0.06	室内
19#	⁹⁰ Y 病房 1	<0.06	室内
20#	⁹⁰ Y 病房 2	<0.06	室内
21#	⁹⁰ Y 病房 3	<0.06	室内
22#	⁹⁰ Y 病房北侧 (走廊)	<0.06	室内
23#	⁹⁰ Y 病房东侧 (病房)	<0.06	室内
24#	⁹⁰ Y 病房 1 上方 (病房)	<0.06	室内
25#	⁹⁰ Y 病房 1 下方 (病房)	<0.06	室内
26#	⁹⁰ Y 病房 2 上方 (病房)	<0.06	室内
27#	⁹⁰ Y 病房 2 下方 (病房)	<0.06	室内
28#	⁹⁰ Y 病房 3 上方 (病房)	<0.06	室内
29#	⁹⁰ Y 病房 3 下方 (病房)	<0.06	室内
30#	DSA3 机房 (⁹⁰ Y 注射)	<0.06	室内
31#	DSA3 机房东侧 (8 号 DSA 机房)	<0.06	室内

注：1、上述检测结果均已扣除本底；

2、CoMo170 型 α 、 β 表面污染仪/05038153 的 α 表面污染探测下限为 0.01Bq/cm²， β 表面污染探测

下限为 0.06Bq/cm²;

表 8-5 拟建 7 号 DSA、8 号 DSA 机房周围环境 γ 辐射空气吸收剂量率监测结果

监测点编号	监测点位置	监测结果 (nGy/h)	备注
1#	7 号 DSA 机房	108±2	室内
2#	7 号 DSA 机房上方	83±2	室内
3#	7 号 DSA 机房下方	96±2	室内
4#	拟建控制室	105±2	室内
5#	7 号 DSA 机房西南侧洁净走廊	105±3	室内
6#	7 号 DSA 机房西北侧机房	85±2	室内
7#	7 号 DSA 机房东北侧污物走廊	106±2	室内
8#	8 号 DSA 机房	105±2	室内
9#	8 号 DSA 机房上方	82±2	室内
10#	8 号 DSA 机房下方	86±2	室内
11#	8 号 DSA 机房东南侧器械间	104±2	室内
12#	8 号 DSA 机房东南侧设备间	104±2	室内
13#	8 号 DSA 机房东南侧无菌库房	100±2	室内
14#	8 号 DSA 机房东南侧库房	107±2	室内
15#	8 号 DSA 机房西北侧污物走廊	107±2	室内
16#	8 号 DSA 机房东北侧洁净走廊	107±2	室内
17#	中心花园	85±2	道路
18#	病房楼	54±2	室内
19#	医院西北侧道路	82±2	道路
20#	急诊大厅	86±2	室内

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=仪器读数平均值×仪器校准因子 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-建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子 k_3 ×测量点宇宙射线响应值 D_c ，校准因子 k_1 为 1.07，仪器使用 ¹³⁷Cs 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，测量点宇宙射线的响应值为 26nGy/h。

8.4 环境现状调查结果评价

由表 8-3、表 8-5 可知，本项目涉及场所及周边 γ 辐射剂量率范围为 54nGy/h~107nGy/h（ $5.4\sim 10.7 \times 10^{-8}$ Gy/h），周围室外道路 γ 辐射剂量率范围为 82nGy/h~90nGy/h（ $8.2\sim 9.0 \times 10^{-8}$ Gy/h）。由《中国环境天然放射性水平》可知，浙江省室内 γ 辐射剂量率范围在 $4.0\sim 46.7 \times 10^{-8}$ Gy/h 室外道路 γ 辐射剂量率范围在 $1.3\sim 22.0 \times 10^{-8}$ Gy/h 之间，可见，本项目涉及场所及周边监测点位 γ 辐射剂量率处于浙江省天然辐射本底水平。

由表 8-4 可知，核医学科诊断场所 ⁹⁰Y 肿瘤治疗区域及周边各监测点 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 施工期工程分析

9.1.1 施工阶段

本项目 ^{90}Y 肿瘤治疗部分拟依托现有核医学科诊断场所区域、3 号 DSA 机房及配套用房、病房楼九层 16#、17#、18#病房等区域，形成一个整体的 ^{90}Y 肿瘤治疗工作场所，该部分施工期主要为 3 号 DSA 机房的配套用房局部改造工程；此外，拟于门诊医技楼五层预留区域新建两间 DSA 机房，目前拟建区域处于毛坯状态，施工阶段主要涉及拆除原有建筑部分墙体、新建墙体隔断及辐射防护装饰工程的施工等。

9.1.2 设备安装调试阶段

本项目 DSA 装置安装及调试由设备供货方专业人员进行，医院方不得自行安装及调试设备。安装调试阶段是在辐射防护施工完成后进行，在此过程中各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在机房门外设立辐射警告标志，禁止无关人员靠近。设备调试安装过程中会产生废包装纸/袋、X 射线、少量臭氧和氮氧化物。因安装调试时间短，各污染物产生量很少，且调试结束关机后，X 射线将及时消除，因此，本项目设备安装调试造成的环境辐射影响很小。

9.2 工程设备和工艺分析

9.2.1 ^{90}Y 肿瘤治疗

(1) 非密封放射性物质

本项目 ^{90}Y 肿瘤治疗使用的 ^{90}Y 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 均为外购，患者登记后工作人员根据患者所需用量进行订购，并暂存于核医学储源室，其中 ^{90}Y 核素用于肿瘤治疗， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素用于肿瘤治疗前 SPECT/CT 显像诊断，筛选出符合 ^{90}Y 肿瘤治疗条件的患者安排住院治疗。

本项目使用的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 为单支药物，不开展药物分装，只需测活； ^{90}Y 需护士根据患者需求在核医学科分装注射室内分装、测活。手术前医护人员将核素从核医学科连同防护罐一并转移至门诊医技楼五层 3 号 DSA 机房储源柜中。本项目所使用核素的性能参数见表 9-1，计划工作量见表 9-2。

表 9-1 本项目核素的性能参数

核素	半衰期	衰变类型及分支比 (%)	主要 α 、 β 辐射能量 (MeV)	主要 γ 、X 射线能量 (MeV)	1m 处周围剂量当量率常数 (裸源) ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)
----	-----	--------------	----------------------------------	---------------------------	---

⁹⁰ Y	2.67d	β ⁻ (100)	2.284	/	/
^{99m} Tc	6.02h	IT (100)	/	0.140	0.0303

表 9-2 本项目核素的计划工作量

核素	单人最大用药量	日最大门诊量	年最大门诊量	日最大操作量	年最大使用量	用途
⁹⁰ Y	3×10 ⁹ Bq	2 人	200 人	6×10 ⁹ Bq	6×10 ¹¹ Bq	肿瘤治疗
^{99m} Tc	1.48×10 ⁸ Bq	4 人	400 人	5.92×10 ⁸ Bq	5.92×10 ¹⁰ Bq	肿瘤治疗前显像诊断

(2) 射线装置

本项目核素⁹⁰Y和^{99m}Tc需依托3号DSA机房内DSA进行导管注射，肿瘤治疗前显像诊断和⁹⁰Y核素注射后均需在核医学科SPECT/CT机房内进行显像，肿瘤治疗前显像诊断采用^{99m}Tc核素。

3 号 DSA 机房位于门诊医技楼五层，SPECT/CT 机房位于核医学科诊断场所，3 号 DSA 机房的 DSA、SPECT/CT 机房的 SPECT/CT 已于 2018 年医院委托编制了《温州医科大学附属第二医院瑶溪分院核医学及射线装置项目环境影响报告表》，取得原浙江省环境保护局批复，批复文号为浙环辐【2018】9 号，并在 2024 年 1 月完成自主验收。其操作流程和产污环节分析已在《温州医科大学附属第二医院瑶溪分院核医学及射线装置项目环境影响报告表》中进行分析，本报告不再分析。

(3) 工作原理

⁹⁰Y 微球是一款靶向放射治疗产品，由含有钇的生物相容性树脂微球组成，直径为 20-60μm。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。⁹⁰Y 半衰期为 2.67 天，是通过化学方法从 ⁹⁰Sr 中提取，将其离子键结合在树脂微球上制成的微小颗粒，药物为悬浮液形式，通过选择性动脉插管的方法将载有 ⁹⁰Y 放射性核素的颗粒注入肿瘤血管，使 ⁹⁰Y 滞留于肿瘤组织内达到足够剂量杀死人体中的肿瘤细胞，此微球具有不能通过毛细血管网，且不被巨噬细胞所吞噬，生物相容性好、无毒、核素衰变基本完成后，微球开始生物降解而不再栓塞血管的特点。⁹⁰Y 发出的β射线最大能量为 2.284MeV，在人体组织中的最大射程为 11mm。

(4) 工作流程及产污环节

⁹⁰Y 肿瘤治疗分为第一阶段和第二阶段，其中第一阶段用于判断患者是否能够进行

^{90}Y 肿瘤治疗，第二阶段对符合 ^{90}Y 肿瘤治疗条件的患者开展 ^{90}Y 肿瘤治疗。

第一阶段具体步骤如下：

①前一天进行术前准备，患者于当天手术前排空尿液。

②患者被麻醉后，由医护人员送至 DSA 机房做血管造影、放置导管，并栓塞胃肠侧支血管。

③医护人员对患者进行腹部电脑断层扫描，确定导管位置。

④护士通过导管向肝脏注入 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ($^{99\text{m}}\text{Tc-MAA}$)。

⑤由医护人员将患者从 DSA 机房转运至核医学科，进行 SPECT/CT 扫描，确定 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ($^{99\text{m}}\text{Tc-MAA}$) 植入位置，并判断患者是否具备 ^{90}Y 肿瘤治疗条件。

⑥扫描完成后，如无法进行 ^{90}Y 微球体肿瘤治疗，无其他情况，患者即可稍作休息后离院；能进行 ^{90}Y 微球体肿瘤治疗的患者，住院 1 天，待医护人员记录患者身体情况后离院，7-10 天后再通知住院治疗。

第二阶段具体步骤如下：

通过第一阶段注射 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ($^{99\text{m}}\text{Tc-MAA}$) 并进行显像扫描后判断患者可以进行 ^{90}Y 手术治疗，医护人员通知患者 7-10 天后住院，准备进行第二阶段 ^{90}Y 微球体输注。

①前一天进行术前准备，患者于当天手术前排空尿液。

②治疗当天，先将患者麻醉，并转移患者去 DSA 机房做血管造影，由医护人员经由股动脉置入肝动脉导管，通过导管注入 ^{90}Y 微球体。

^{90}Y 微球体输注步骤如下：医护人员手持内置 ^{90}Y 微球体的西林瓶防护罐进行摇晃，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。然后将带有 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、抽取过程大概持续 5min。

医护人员将测量完活度的含 ^{90}Y 微球体的无菌 V 瓶放置于注射防护盒内，连入将无菌水或 5%右旋糖酐和造影剂等辅助材料。配制完成后，先注入造影剂复查导管位置；然后注入无菌水或 5%右旋糖酐冲洗导管，避免导管中造影剂与 ^{90}Y 微球体混合；将 ^{90}Y 微球通过患者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 20min。最后，将无菌水或 5%右旋糖酐注入导管，避免微球滞留在导管内。完成后，将导管从患者体内取出，将无菌 V 瓶、导管等放置于放射性废物桶内。

③同血管摄影检查流程执行术后调理。

④完成治疗后 30h 内医护人员安排患者至核医学科核素诊断场所进行 SPECT/CT 扫描，确定 ^{90}Y 微球体植入位置是否正确。

⑤医护人员将患者转运至病房内住院观察 2 天，每名患者 ^{90}Y 最大给药量为 $3 \times 10^9 \text{Bq}$ ， ^{90}Y 半衰期约为 2.67 天，经过 2 天住院观察后，患者体内 ^{90}Y 放射性活度约为 $1.79 \times 10^9 \text{Bq}$ 。

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 放射性活度需低于 $2.5 \times 10^9 \text{Bq}$ 。因此 ^{90}Y 患者住院 2 天后可出院。

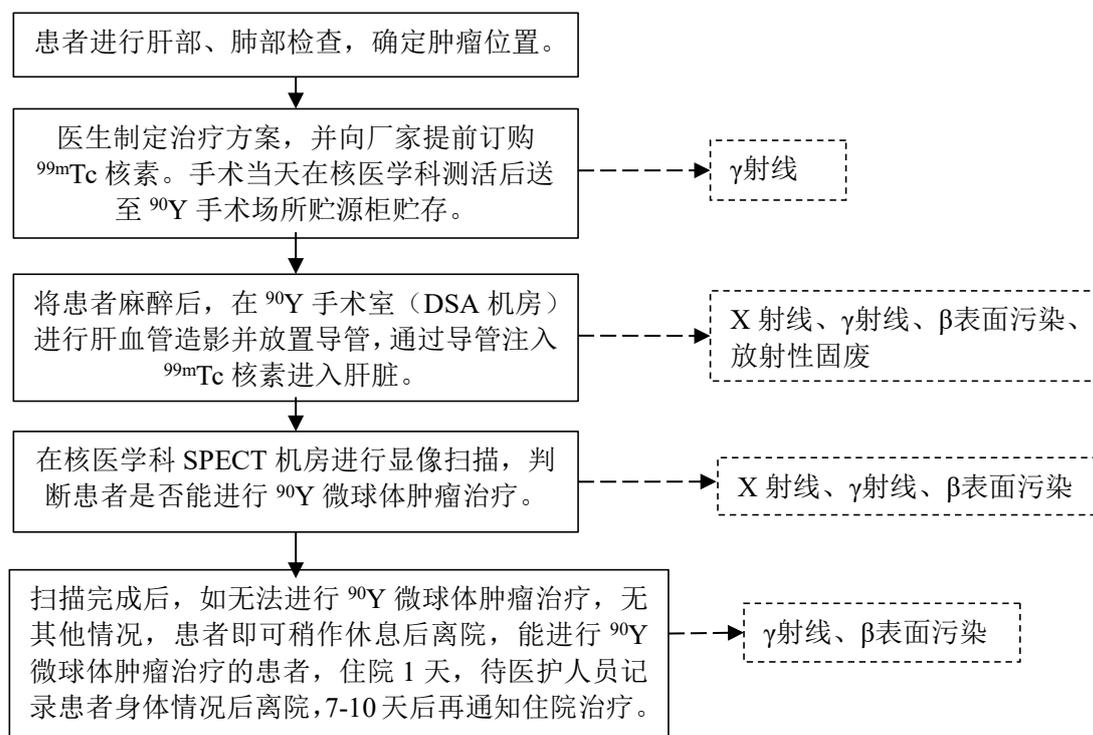


图 9-1 ^{90}Y 手术场所肿瘤治疗工作流程及产污环节分析示意图（第一阶段）

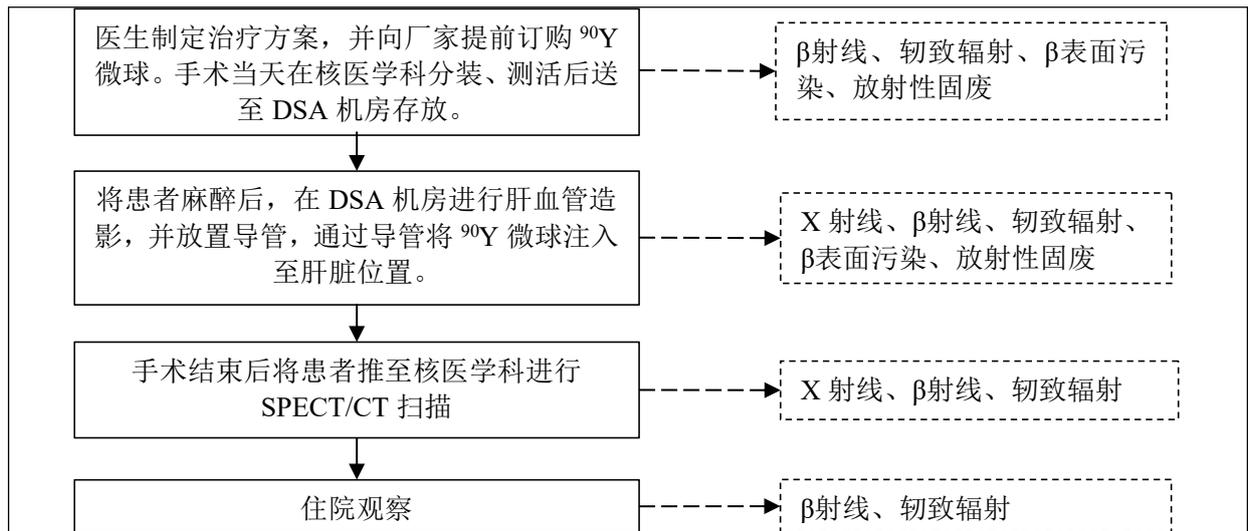


图 9-2 ^{90}Y 手术场所肿瘤治疗工作流程及产污环节分析示意图（第二阶段）



无菌 V 瓶



15mm 有机玻璃防护的注射器



防护罐



注射防护盒

图 9-3 ^{90}Y 微球注射设施实物图

(5) 人流、物流路径规划

① 工作人员路径

DSA 医护人员、技师从门诊医技楼四层换鞋更衣后通过西南侧步梯进入门诊医技楼五层，并分别进入 DSA 控制室和 DSA 机房，技师在控制室内进行设备操作，医生经控制室西侧防护门进入 DSA 机房内部进行手术，工作结束后在机房内进行表面污染测定，测定无误后原路返回。

核医学科医护人员由东侧医生入口向北进入医生走廊，在北侧医生走廊由东向西可依次进出 SPECT-CT 控制室、卫生通过间（分装注射室），工作结束后原路返回。

查房时医护人员通过病房楼电梯厅，乘坐电梯上楼，到达九层病房区域，沿患者走廊进入 ^{90}Y 患者病房内进行查房。

② 患者路径

患者从北侧患者入口由工作人员推床沿洁净走廊进入 3 号 DSA 机房内部进行手术。手术完成后，从 3 号 DSA 机房南侧防护门离开 DSA 机房，经过洁净走廊穿过门诊医技楼与病房楼之间的连廊，通过病房楼手术专用电梯进入患者病房休息，等待医护人员叫号通知。待医护人员通知后，跟随医护人员通过病房楼电梯直接进入核医学科，通过 SPECT/CT 机房北侧防护门进入机房，进行显像扫描。扫描确认后由专人护送患者离开核医学科，从病房楼电梯厅乘坐电梯返回九层患者病房。DSA 机房内核素操作完成后，放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。

③放射性药物路径

^{90}Y 肿瘤治疗使用的核素为外购单支成品药物。工作人员根据临床诊断所需药物的使用量、预约检查的人数，提前向供药单位订购放射性药物，供药单位在约定的时间，将预约用量的药物以单支成品药物送至核医学科贮源库，核医学科安排专人接收药物。核医学科工作人员将放射性药物根据患者手术要求在分装注射间进行分装、测活（ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 不进行分装）。测活完成后，由工作人员在手术前将药物连同铅罐通过核医学科北侧专用电梯直接运输至门诊医技楼五层，沿洁净走廊进入机房，将药物暂存于储源柜中。

④污物路径

本项目介入手术会产生一次性手套、输液管、患者体内导管、注射器、含有残留药物的西林瓶、V 型瓶及有机玻璃防护罐等放射性固体废物，以及若出现手术过程中核素撒漏，可能产生的吸水纸、去污用纸、医护人员手术服、一次性手套等放射性固体废物。以上固体废物产生后由专人收集后，暂存于废物间铅桶内。住院病房内放射性废物，待患者出院后，在下班时段将放射性废物打包运输至核医学科废物库内暂存。

本项目 ^{90}Y 肿瘤治疗部分人员路线图见附图 4-附图 6。

9.2.2 拟建 DSA 部分

(1) 设备组成

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、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 射线装置的整体外观示意图见图 9-4。

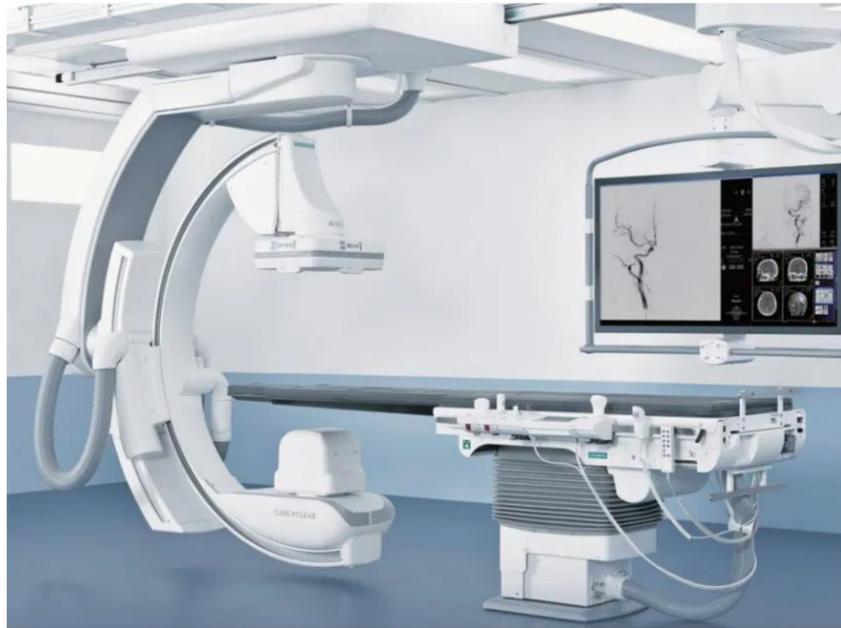


图 9-4 典型 DSA 射线装置整体外观示意图

(2) 工作原理

X 射线诊断装置主要由 X 射线管和高压电源组成，X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成，阴极是钨制灯丝，它装在聚焦杯中，当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。高电压加在 X 射线管和两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度，这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡从而产生 X 射线。典型 X 射线管结构详见图 9-5。

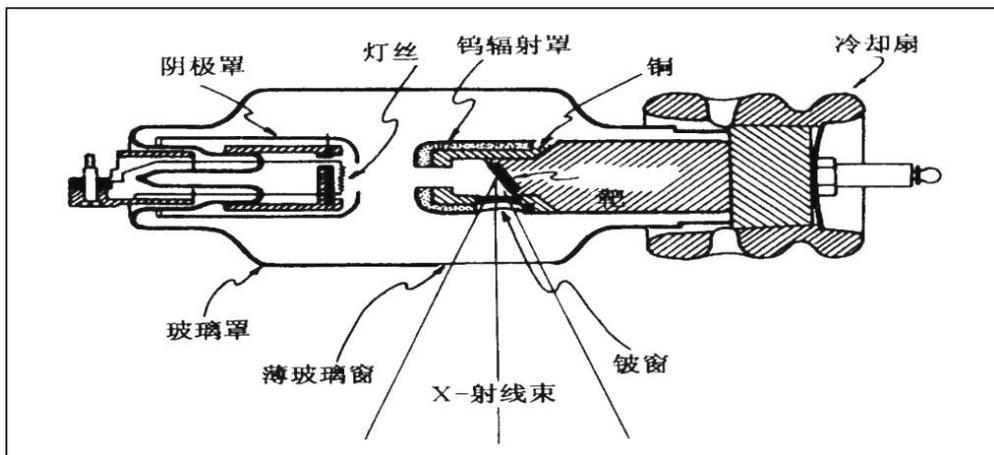


图 9-5 典型 X 射线管结构图

虽然不同用途的 X 射线机因诊疗目的的不同有较大的差别，但其基本结构都是由产生 X 射线的 X 射线管、供给 X 射线管灯丝电压及管电压的高压发生器、控制 X 射线的

“量”和“质”及曝光时间的控制装置，以及为满足诊断需要而装配的各种机械装置和辅助装置组成。

DSA 成像的基本原理是将受检部位注入造影剂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贮存起来，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、肌肉和其它软组织，只留下单纯血管影像的减影图像，通过显示器显示出来。

(3) 操作流程及产污环节

医生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减影初步确认病灶部位后，手术医护人员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减影，当确诊病灶部位后，手术医护人员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，为更清楚地了解患者情况时会有连续曝光，并采用连续脉冲透视，此时操作医师位于铅帘后身着铅服、铅眼镜在机房内对患者进行直接介入手术操作。该种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，减影。操作人员采取隔室操作的方式，通过控制 DSA 的 X 线系统进行曝光，采集减影部位图像。具体方式是将患者麻醉后摆位于检查床上，操作人员调整 X 线球管、患者、影像接收器三者之间的距离，然后进入控制室，关闭防护门。操作人员通过控制室的电子计算机控制 DSA 的 X 线系统曝光，进而采集减影部位图像。

DSA 为 II 类射线装置，装置运行时主要污染因子为 X 射线，出束时还会产生少量的臭氧、氮氧化物，介入手术过程中注入的造影剂不含放射性，非曝光状态下不产生 X 射线，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。DSA 操作流程及产污环节如图 9-6 所示。

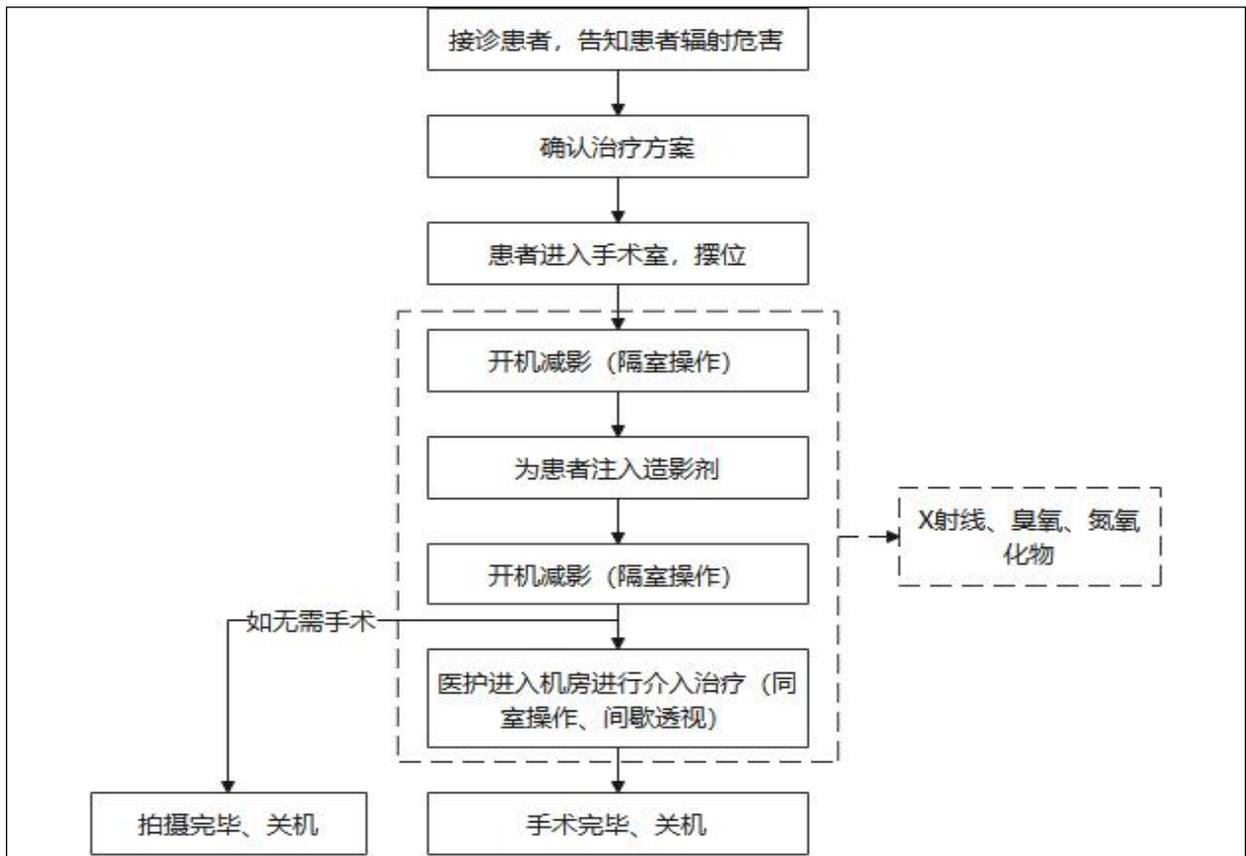


图 9-6 DSA 操作流程及产污环节示意图

综上所述，DSA 在开机状态下，产生的污染因子主要为 X 射线，其次为臭氧和氮氧化物，介入手术会产生医疗废物以及通排风设施噪声，无其他放射性废气、废水及固体废物产生。

(4) 人员和物流路径规划

本项目人员和物流路径主要是工作人员（包括医护人员、技师）路径、患者路径及污物路径，具体人员和物流路径图详见附图 4。

医护人员路径： DSA 医护人员、技师从门诊医技楼四层换鞋更衣后通过西南侧楼梯进入门诊医技楼五层，并进入 DSA 控制室，技师在控制室内进行设备操作，医护经医护防护门进入对应 DSA 机房内部进行手术。

患者路径：

患者在医护人员指引下沿机房西侧内走廊经患者缓冲区进入机房南侧内走廊。7 号 DSA：经 7 号 DSA 机房南侧患者防护门进入 DSA 机房内部接受手术，手术结束后患者由医护人员护送沿洁净走廊进入患者苏醒区，待清醒后离开；8 号 DSA：经 8 号 DSA 机房北侧患者防护门进入 DSA 机房内部接受手术，手术结束后患者由医护人员护送沿

洁净走廊进入患者苏醒区，待清醒后离开。

污物路径：

7号 DSA：手术结束后，由工作人员将污物从 DSA 机房北侧污物防护门沿污物通道运至污物存放间；

8号 DSA：手术结束后，由工作人员将污物从 DSA 机房西侧污物防护门沿污物通道运至污物存放间。

9.3 污染源项描述

9.3.1 拟开展 ^{90}Y 肿瘤治疗部分

(1) 正常工况

① γ 射线和 β 射线

本项目使用 ^{90}Y 进行肿瘤治疗，使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 进行肿瘤治疗前 SPECT/CT 显像扫描。

放射性核素 ^{90}Y 为纯 β 衰变，在衰变过程中仅产生 β 射线以及 β 射线在与物质作用产生的轫致辐射。放射性核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 在衰变过程中释放 γ 射线， γ 射线穿透能力很强，会对周围环境造成一定的辐射影响。因此 γ 射线、 β 射线是核素使用过程中的主要污染因子。

② β 放射性表面污染

放射性核素 ^{90}Y 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 操作过程中，会引起工作台、工作服和手套等产生放射性沾污，造成小面积的 β 放射性表面污染。

③ 放射性废气

本项目放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{90}Y 为非挥发性核素，待注射前放置于铅罐中，注射时药物在针筒或西林瓶内，在正确的操作过程中无开放液面，因此其产生的气溶胶量极少，不会对周围大气环境产生明显影响。

④ 放射性废水

本项目 3 号 DSA 机房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撒漏，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。如发生特殊情况，工作人员可使用 DSA 机房北侧淋洗间进行紧急冲洗，淋洗间洗手池设置阀门可将放射性废水使用专用容器单独收集，每次冲洗产生的废水量为 0.01m^3 ，若一年三次，则年产水量为 $0.03\text{m}^3/\text{a}$ 。

根据《钇-90 树脂微球使用过程辐射安全风险研究报告》（生态环境部核与辐射安全中心）可知，患者在接受 ^{90}Y 树脂微球核素治疗后，0~24h 每例患者尿液中 ^{90}Y 核素

总活度最大为 $3.11 \times 10^5 \text{Bq}$ ，因此低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中单次放射性废水排放总活度 ($7.41 \times 10^6 \text{Bq}$) 的相关要求， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 给药量小于 ^{90}Y ，且半衰期更短，因此不将患者排泄产生的废水作为放射性废水考虑，住院期间产生的废水可直接排放入医院污水处理站。

⑤放射性固体废物

本项目介入手术会产生一次性手套、输液管、患者体内导管、注射器、含有残留药物的西林瓶、V 型瓶及有机玻璃防护罐等放射性固体废物，以及若出现手术过程中核素撒漏，可能产生的吸水纸、去污用纸、医护人员手术服、一次性手套等放射性固体废物。

本项目每年 3 号 DSA 机房最多开展 400 台 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 诊断筛查（第一阶段）及 200 台 ^{90}Y 肿瘤治疗（第二阶段）手术，参考《钇-90 树脂微球使用过程辐射安全风险研究报告》（生态环境部核与辐射安全中心），放射性固体废物产生量保守按 2kg/例考虑，每例 ^{90}Y 肿瘤治疗患者需经过两个阶段的手术，保守各阶段手术产废为 1kg/台手术计，则本项目 ^{90}Y 肿瘤治疗过程 DSA 场所放射性固废产生量为 600kg/a，放射性固废产生后收集于机房内设计的铅桶中，待手术结束后转移至 3 号 DSA 机房北侧废物间内暂存，根据设计单位提供的资料，本项目 3 号 DSA 机房新增废物间面积约 8m²，最多能容纳 5.3t 的废物，能够满足本项目 ^{90}Y 手术过程放射性固体废物贮存的要求。

住院患者产生的废物主要是住院患者产生的医疗废物，按照每人每天 0.5kg 产生量进行估算。本项目每年最多开展 200 例 ^{90}Y 肿瘤治疗，每位患者保守按 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ （即第一阶段）住院 1 天， ^{90}Y （第二阶段）住院 2 天计，则患者住院治疗产生的放射性固废的产生量为 300kg/a，放射性固废产生后收集于病房内铅桶中，待患者出院后派专人收集并转移至核医学科放射性废物间内暂存。

此外，还有废气处理更换的废活性炭。本项目排风管道活性炭总填装量约为 25kg，平均每半年更换一次，则本项目废活性炭产生量为 50kg/a。

(2) DSA和SPECT/CT配套用射线装置污染源项分析

本项目 ^{90}Y 肿瘤治疗需依托DSA机房内1台DSA（属于II类射线装置）和核医学科SPECT/CT机房内1台SPECT/CT（属于III类射线装置）。由X射线装置的工作原理可知，X射线随机器的开、关而产生和消失。医院使用的X射线装置在非诊断状态下不产生射线，只有在开机并处于出线状态时才会发出X射线。因此，在开机期间，污染因子主要为X射线，同时会产生少量臭氧和氮氧化物。

(3) 非正常工况

① DSA 机房或 SPECT/CT 机房门灯联锁装置发生故障时，人员误入正在运行的射线装置机房或滞留在机房内，对人员造成误照射。

② 由于工作人员操作不熟练或违反放射操作规程或误操作等其他原因致使放射性药物撒漏，造成意外照射和辐射污染。

③ 由于未及时锁好防护门或保险柜等药物保管工作不到位致使放射性药剂丢失，可能对公众和周围环境造成辐射污染

④ 医院未管理好给药后患者，患者给药后随意进出核医学科区域，对周边候诊公众及家属造成辐射影响；患者家属误入核医学科注射后候诊区等高活区，造成意外照射。

9.3.2 拟建 DSA 部分

(1) 正常工况

DSA 装置曝光时会产生 X 射线。X 射线在开机时产生，关机时消失。X 射线防护所要考虑的是 X 射线的直射、散射和泄漏辐射。

① 采取隔室操作，并且在设备安全和防护硬件及措施到位的正常情况下，射线装置机房外的工作人员及公众基本上不会受到 X 射线的照射。

② 进行介入手术治疗时，机房内进行手术操作的医生和医护人员会受到一定程度的 X 射线外照射。

(2) 事故工况

本评价项目使用 DSA 射线装置可能发生的辐射事故有以下几种：

① 装置在运行时，由于门灯联锁系统失效，人员误入或滞留在机房内而造成误照射；工作人员或患者家属尚未完全撤离 DSA 机房时，设备开机，会对工作人员或患者家属产生不必要的 X 射线照射；

② DSA 的 X 射线装置工作状态下，没有关闭防护门对人员造成的误照射。

③ 维修射线装置时，因人员误操作造成维修人员受意外照射。

9.3.3 其他污染源项分析

本项目无新增辐射工作人员，均依托现有相关场所辐射工作人员，非辐射类污染源主要是废水、废气、固废和噪声，考虑 ^{90}Y 肿瘤治疗手术量均计于现有射线装置手术量内，不会额外增加废水、废气、固废和噪声，本项目一般废气、废水、固废和噪声的影响主要考虑 7 号 DSA、8 号 DSA 建设部分。

(1) 废气

废气主要为拟建 7 号 DSA、8 号 DSA 在曝光过程中所产生的臭氧和氮氧化物，因射线装置每次曝光时间短，臭氧产生量很少，空气在辐射照射下产生的氮氧化物（NO_x）量约为臭氧的三分之一，氮氧化物产生量更少。DSA 及 SPECT/CT 机房均设有机械排风系统，不会形成室内集聚，臭氧 50min 后可自然分解为氧气，对医院及周边环境空气质量影响较小。

(2) 废水

项目运行后，废水主要为辐射工作人员的生活污水和医疗废水，主要污染因子为 COD_{Cr}、BOD₅、SS、氨氮、粪大肠杆菌等，不含重金属等特殊性质废水。

7 号 DSA、8 号 DSA 机房建成后每年最大手术台数约增加 1000 台（⁹⁰Y 肿瘤治疗手术占用原 3 号 DSA 年手术量，总体手术量不变，新建 7 号 DSA、8 号 DSA 每间机房年最大手术量为 500 台），手术后产生的器械清洗废水和医护手部清洗废水量较少，医疗废水保守按 100L/台手术，则本项目医疗废水产生量约为 100m³/a。

手术后产生的器械清洗废水和医护手部清洗废水依托医院现有污水处理站处理达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表 2 预处理排放标准要求后，纳入市政污水管网集中处理。

(3) 固体废物

拟建 7 号 DSA 机房、8 号 DSA 机房设备运行时诊断结果在显示屏上观察或采用数字技术进行打印，不使用胶片冲洗显影，不会产生废显（定）影液、废胶片和报废感光原料等。

介入手术时会产生废药棉、废纱布、废手套、废缝合针、导丝等医疗废物，一台介入手术约产生上述医疗废物 0.4kg，本项目 DSA 手术量净增加 1000 台/a，则本项目医疗废物总产生量约 400kg/a，即 0.4t/a，所产生的医疗废物由专人收集后暂存于污物间，定期转移至医院总医疗废物暂存库，依托医院现有医疗废物处置单位进行委托处置。

综上，本项目 7 号、8 号 DSA 运行过程产生的医疗废物汇总见表 9-3。

表 9-3 现有项目固体废物分析结果汇总表

序号	固废名称	产生工序	危废代码	危废属性	产生量 t/a	委托利用处置单位
1	废药棉、废纱布、废一次性手套等	DSA 介入手术	HW01, 841-001-01	In	0.4	依托医院现有医疗废物处置单位进行处置
2	废注射器、缝合针、导丝等	DSA 介入手术	HW01, 841-002-01	In		

(4) 噪声

本项目7号DSA、8号DSA建设中噪声源主要为通排风风机产生的噪声，设备选用低噪声设备，距风机1m处等效声级一般在70-75dBA左右，经建筑物墙体隔声及医院场址内的距离衰减后，运行期间场界噪声可达到相关标准要求。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 ⁹⁰Y 肿瘤治疗

10.1.1.1 工作场所布局合理性分析

本项目⁹⁰Y肿瘤治疗依托3号DSA机房及其配套用房和核医学科区域形成一个整体的⁹⁰Y肿瘤治疗工作场所，用于开展肿瘤治疗，并将病房楼九层16#、17#、18#病房作为本项目⁹⁰Y患者病房）。

3号DSA机房位于门诊医技楼五层，机房东侧为其他DSA机房及其配套用房，南侧为过道，西侧为控制室，北侧为污物走廊、淋洗间、废物间，上方为楼顶平台，下方为手术区。

核医学科诊断场所位于门诊医技楼和病房楼地下负一层，东侧相邻核医学科走廊、战时预留区域、地下停车场等；南侧相邻地下庭院、核医学科病房区域等；西侧为放疗科用房；北侧为等候厅、诊室、示教室等功能用房；上方为院区地面消防车道、门诊医技楼部分机房及走廊；下方为岩土层。

⁹⁰Y 患者病房位于病房楼九层 16#、17#、18#号病房，东侧为其他病房，南侧、西侧均为临空，北侧为物品存放间、避难间等，楼上、楼下均为其他病房。

⁹⁰Y 肿瘤治疗辐射工作场所位置及四周布局见表 10-1。

表 10-1 ⁹⁰Y 肿瘤治疗辐射工作场所位置及四周布局一览表

场所位置	方位	周边房间及场所
门诊医技楼五层3号DSA机房	东侧	其他 DSA 机房及其配套用房
	南侧	过道
	西侧	控制室、设备间
	北侧	污物走廊、淋洗间、废物间
	上方	楼顶平台
	下方	手术区
门诊医技楼（病房楼）地下一层核医学科诊断场所	东侧	核医学科走廊、战时预留区域、地下停车场等
	南侧	地下庭院、核医学病房区域
	西侧	放疗科用房
	北侧	电梯厅、等候厅、诊室、示教室等
	上方	院区地面消防车道、门诊医技楼一层部分机房及走廊
病房楼九层16#、17#、18#病房	下方	岩土层
	东侧	其他病房
	南侧	临空
	西侧	临空
	北侧	患者走廊、物品存放间、避难间等
	上方	其他病房

	下方	其他病房
--	----	------

10.1.1.2 非密封放射性物质工作场所分级、分类

(1) 非密封放射性物质工作场所分级

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）：医疗机构使用^{99m}Tc相关活动视为“很简单的操作”。

根据《钇-90树脂微球使用过程辐射安全风险研究报告》（生态环境部核与辐射安全中心）：可将医疗机构⁹⁰Y核素介入治疗过程中，活度测量、抽取与注射相关活动视为“很简单操作”。

经过毒性组别及核素的操作方式双重修正后，本项目核医学科放射性药物日最大等效操作量计算见下表。

表 10-2 现有核医学科诊断场所日最大等效操作量计算表

工作场所	核素名称	最大日操作量 (Bq)	日等效最大操作量	分级
核医学科诊断场所	^{99m} Tc	1.48E+10	1.48E+07	乙级
	³² P	1.11E+10	1.11E+09	
	²²³ Ra	3.7E+07	3.70E+08	
	¹⁸ F	5.55E+09	5.55E+06	
	¹³¹ I	3.71E+09	3.71E+08	
	⁸⁹ Sr	9.25E+08	9.25E+07	
	合计		1.96E+09	

表 10-3 本项目放射性药物日最大等效操作量计算表

工作场所	核素名称	计划最大日操作量	毒性组别修正因子	操作方式修正因子	计划日等效最大操作量	分级
⁹⁰ Y 肿瘤治疗工作场所（核医学科或 DSA 机房）	⁹⁰ Y	6×10 ⁹ Bq	0.1	10	6×10 ⁷ Bq	乙级
	^{99m} Tc	5.92×10 ⁸ Bq	0.01	10	5.92×10 ⁵ Bq	
	合计				6.06×10 ⁷ Bq	

注：本项目⁹⁰Y肿瘤治疗工作场所日等效最大操作量为6.06×10⁷Bq，出现的情况为后一批4名肿瘤患者进行^{99m}Tc核素肿瘤治疗前显像诊断与前一批2名肿瘤患者进行⁹⁰Y核素肿瘤治疗安排于同一天中。^{99m}Tc操作方式修正因子根据《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）取值，⁹⁰Y根据《钇-90树脂微球使用过程辐射安全风险研究报告》（生态环境部核与辐射安全中心）取值。

核素⁹⁰Y的分装、测活和^{99m}Tc的测活及术后患者的诊断扫描需在核医学科诊断场所内进行，纳入核医学科管理。核医学科诊断场所原非密封放射性核素日等效最大操作量为1.96×10⁹Bq，新增使用本项目核素⁹⁰Y和^{99m}Tc后，核医学科诊断场所非密封放射性核素日等效最大操作量为2.02×10⁹Bq，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的划分标准，仍为乙级非密封放射性物质工作场所。

核素⁹⁰Y和^{99m}Tc的导管注射需在门诊医技楼五层3号DSA机房及其配套用房内进行，结合《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）符合性分析，将3号DSA机房及其配套用房作为非密封放射性物质工

作场所管理，非密封放射性核素日等效最大操作量为 $6.06 \times 10^7 \text{Bq}$ ，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的划分标准，为乙级非密封放射性物质工作场所。

(2) 非密封放射性物质工作场所分类

参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 G 核医学的工作场所分类，根据日操作最大量放射性核素的加权活度将场所分为三类，见表 10-4。

表 10-4 工作场所分类一览表

分类	日操作最大量放射性核素发的加权活度, MBq
I	>50000
II	50~50000
III	<50

注：加权活度=（计划的日最大操作活度×核素毒性权重因子）/操作性质修正因子

本项目放射性核素毒性权重因子和操作性质修正因子见表 10-5 和 10-6。

表 10-5 常用放射性核素毒性权重因子

类别	放射性核素	权重系数
A	^{75}Se 、 ^{89}Sr 、 ^{125}I 、 ^{131}I 、 ^{32}P 、 ^{90}Y 、 ^{99}Mo 、 ^{153}Sm	100
B	^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{13}O 、 ^{18}F 、 ^{51}Cr 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{111}In 、 $^{113}\text{In}^{\text{m}}$ 、 ^{123}I 、 ^{201}Tl	1
C	^{14}C 、 ^3H 、 $^{81}\text{Kr}^{\text{m}}$ 、 ^{127}Xe 、 ^{133}Xe	0.01

表 10-6 不同操作性质的修正因子

操作方式和地区	修正系数
贮存	100
废物处理；闪烁法计数和显像；候诊区及诊断病床区	10
配药、分装以及施给药；简单放射性药物制备；治疗病床区	1
复杂放射性药物配置	0.1

按照表 10-5 和 10-6，本项目各场所核素权重活度计算结果见表 10-7、表 10-8。

表 10-7 3号 DSA 机房与 ^{90}Y 患者病房非密封放射性物质（核素）加权活度

工作场所	核素	毒性权重因子	操作性质修正因子	日操作最大活度 (Bq)	放射性核素加权活度 (Bq)	总加权活度 (Bq)	场所分类
3号 DSA 机房	^{90}Y	100	1	6×10^9	6×10^{11}	6×10^{11}	I 类
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	1	5.92×10^8	5.92×10^8		
废物间	^{90}Y	100	10	6×10^9	6×10^{10}	6×10^{10}	I 类
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	10	5.92×10^8	5.92×10^7		

表 10-8 核医学科工作场所非密封放射性物质（核素）加权活度

工作场所	核素	毒性权重因子	操作性质修正因子	日操作最大活度 (Bq)	放射性核素加权活度 (Bq)	总加权活度 (Bq)	场所分类
贮源库	^{90}Y	100	100	6×10^9	6×10^9	1.09×10^{10}	II 类
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	100	5.92×10^8	5.92×10^6		
	核医学科原有放射性核素加权活度				4.9×10^9		
药物分装	^{90}Y	100	1	6×10^9	6×10^{11}	1.09×10^{12}	I 类

及注射间	^{99m} Tc	1	1	5.92×10 ⁸	5.92×10 ⁸		
	核医学科原有放射性核素加权活度				4.90×10 ¹¹		
SPECT/CT 机房	⁹⁰ Y	100	10	6×10 ⁹	6×10 ¹⁰	1.09×10 ¹¹	I类
	^{99m} Tc	1	10	5.92×10 ⁸	5.92×10 ⁷		
	核医学科原有放射性核素加权活度				4.9×10 ¹⁰		

注：核医学科原有放射性核素加权活度根据医院提供的辐射安全许可证、现有核医学科环境影响报告表、辐射安全分析报告进行核算

本项目⁹⁰Y肿瘤治疗工作场所中3号DSA机房、废物间、核医学科药物分装及注射间、SPECT/CT机房均属于I类工作场所，核医学科贮源库属于II类工作场所，对照《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中关于“按不同级别工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求”，各类工作场所要求见下表10-9。

表 10-9 按不同级别工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求

种类	分类		
	I	II	III
结构屏蔽	需要	需要	不需要
地面	与墙壁接缝无缝隙	与墙壁接缝无缝隙	易清洗
表面	易清洗	易清洗	易清洗
分装柜	需要	需要	不必须
通风	特殊的强制通风	良好通风	一般自然通风
管道	特殊的管道 ^a	普通管道	普通管道
盥洗与去污	洗手盆 ^b 和去污设备	洗手盆 ^b 和去污设备	洗手盆 ^b

注^a：下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测。
注^b：洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制。

医院现有核医学科已按表10-9的要求，在辐射工作区的地面采取易清洁、不易渗透的材料，如PVC胶；墙面采取易清洁不易渗透的瓷砖，地板和墙壁接缝采用无缝隙设计；工作台表面采用易清洗的不锈钢材料；含放射性废液的排水管道在满足需要的情况下，尽量缩短管道长度，并做有标记。

10.1.1.3 辐射防护分区原则及区域划分

(1) 分区依据和原则

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》（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：在正常工作情况下控制正常照射或防止污染扩散，以及在一定程度上预防或限制潜在照射，要求或可能要求专门防护手段和安全措施的限定区域。在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的电离辐射警告标志，并给出相应的辐射水平和

污染水平指示。运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可证）和实体屏蔽（包括门锁和门灯联锁装置）限制进出控制区，并定期检查控制区的实际状况，确认是否需要改变该区的防护手段或安全措施，或是更改该区的边界。

监督区：未被确定为控制区，正常情况下不需要采取专门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。在监督区入口处的合适位置设立表明监督区的标牌；并定期检查该区工作状况，确认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。

(2) 分区管理情况

本项目拟建 7 号 DSA、8 号 DSA 机房与 ⁹⁰Y 肿瘤治疗的 3 号 DSA 机房布局较近，根据上述原则，结合现有核医学科管理分区情况及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）辐射工作场所分区的相关要求，本项目两部分辐射工作场所控制区和监督区划分情况见表 10-10。

表 10-10 本项目“两区”划分表

场所名称	控制区	监督区	备注
核医学科诊断场所	核医学科贮源库、分装注射室、SPECT/CT 机房、PET 机房、PET 注射窗口、PET 注射后候诊室、留观室、SPECT/CT 注射窗口、SPECT/CT 注射后候诊室等核医学科诊断场所内部区域	PET、SPECT/CT 控制室、医护走廊、卫生间及控制区实体屏蔽周边 30cm 范围	详见图 10-1
门诊医技楼五层	3 号 DSA 机房内部及配套淋洗间和污物间、7 号 DSA、8 号 DSA 机房内部、相邻 DSA 机房	污物走廊（部分区域）、3 号 DSA 及 7 号 DSA、8 号 DSA 机房控制室、设备间、器械间、无菌库房、库房及控制区实体屏蔽周边 30cm 范围	详见图 10-2
病房楼九层	⁹⁰ Y 患者病房 16#、17#、18#	控制区实体屏蔽周边 30cm 范围	详见图 10-3



图10-3 病房楼九层两区划分图

关于控制区与监督区的防护手段与安全措施，项目建设单位应做到：

A、控制区防护手段与安全措施

- i) 控制区进出口及其它适当位置处设立醒目的警告标志；
- ii) 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；
- iii) 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；

iv) 在进入分装注射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；

v) 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。

B、监督区防护手段与安全措施

- i) 以黄线警示监督区的边界；
- ii) 在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；
- iii) 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。

10.1.1.4 工作场所屏蔽防护设计

根据医院提供资料，本项目 ^{90}Y 肿瘤治疗工作场所现有辐射防护屏蔽参数见表 10-11。

表 10-11 ^{90}Y 肿瘤治疗辐射工作场所已做的屏蔽防护措施分析

场所名称	屏蔽体	主要屏蔽材料及厚度
SPECT/C T 机房	四周墙体	240mm 实心砖+6mm 铅板
	顶棚	250mm 混凝土+2mm 铅板
	防护门	内衬 6mm 铅板

	观察窗	6mmPb 观察窗
分装注射室	东侧墙体	240mm 实心砖+6mm 铅板
	南、西、北侧墙体	240mm 实心砖+4mm 铅板
	顶棚	250mm 混凝土+2mm 铅板
	防护门	内衬 6mm 铅板
贮源库	南侧墙体	240mm 实心砖+8mm 铅板
	东、西、北侧墙体	240mm 实心砖+4mm 铅板
	顶棚	250mm 钢筋混凝土+2mm 铅板
	防护门	内衬 6mm 铅板
3 号 DSA 机房	四侧墙体	水泥砖+4mm 铅板
	顶棚及地坪	160mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡防护涂料
	防护门	内衬 3mm 铅板
	观察窗	3mmPb 观察窗
⁹⁰ Y 患者病房 16#	西侧墙体	轻质隔墙+240mm 混凝土
	东、南、北侧墙体	轻质隔墙
	顶棚	200mm 混凝土
	地坪	200mm 混凝土
⁹⁰ Y 患者病房 17#	四侧墙体	轻质隔墙
	顶棚	200mm 混凝土
	地坪	200mm 混凝土
⁹⁰ Y 患者病房 18#	四侧墙体	轻质隔墙
	顶棚	200mm 混凝土
	地坪	200mm 混凝土

本项目⁹⁰Y患者病房中放射性污染源主要来源于患者体内的放射性药物，患者在注射药物后在手术位置盖有2mmPb铅方巾，且药物的单次注射量较小，病房南侧临空（16#病房东侧临空），西侧、楼上和楼下为普通病房，北侧为物品存放间、避难间，根据表11预测分析，病房周边辐射剂量率满足相关职业人员与公众的年有效剂量满足相关标准要求，故本项目病房四周墙体仍采用原有轻质墙体结构，不增加额外防护。

本项目所涉及的3号DSA装置属于II类射线装置，SPECT/CT属III类射线装置，其屏蔽设计及有效使用面积、最小单边长度和屏蔽防护设计与《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）符合性见表10-12和表10-13。

表 10-12 机房有效使用面积和最小单边长度一览表

机房	拟设置情况		标准要求		是否相符
	最小单边长度 (m)	有效使用面积 (m ²)	最小单边长度 (m)	有效使用面积 (m ²)	
3 号 DSA 机房	7.0	70	3.5	20	是
SPECT/CT 机房	5.3	30.2	4.5	30	是

表 10-13 3 号 DSA 机房和 ECT 屏蔽防护设计评价表

机房名称	屏蔽体	屏蔽材料及厚度	折算后铅当量 (mm)	标准要求 (mm)	是否符合要求
3 号 DSA	四侧墙体	水泥砖+4mm 铅板	4.0mmPb	有用线束	是

机房	顶棚	160mm 现浇混凝土+2mmPb 硫酸钡防护涂料	4.0mmPb	铅当量 ≥3mmPb 非有用线束方向铅当量 ≥2mmPb	是
	地坪	160mm 现浇混凝土+2mmPb 硫酸钡防护涂料	4.0mmPb		是
	防护门	内衬 3mm 铅板	3.0mmPb		是
	观察窗	3mmPb 观察窗	3.0mmPb		是
注：混凝土密度取 2.35g/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 中表 C.5，当管电压为 125kV（有用线束）时，得 158mm 混凝土=2mmPb，217mm 砖=2mmPb，本次评价保守考虑按 160mm 混凝土=2mmPb，24cm 实心粘土砖=2mmPb。参考《放射防护实用手册》表 6.14，硫酸钡防护涂料密度不低于 2.79g/cm ³ ，1cm 厚度硫酸钡防护涂料等效为 1mmPb。					
SPECT/CT 机房	四侧墙体	240mm 实心砖+6mm 铅板	8.0mmPb	有用线束及非有用线束方向铅当量均为 2.5mmPb	是
	顶棚	250mm 钢筋混凝土+2mm 铅板	4.4mmPb		是
	防护门	内衬 6mm 厚铅板	6.0mmPb		是
	观察窗	6mmPb 观察窗	6.0mmPb		是
注：混凝土密度取 2.35g/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 中表 C.4，当管电压为 140kV（CT）时，得顶棚 10.4cm 混凝土=1mmPb。参考《放射防护实用手册》表 6.14，实心砖密度不低于 1.65g/cm ³ ，12cm 厚度实心砖等效为 1mmPb。					

10.1.1.5 ⁹⁰Y 肿瘤治疗工作场所辐射安全和防护、环保相关设施

(1) 核医学科诊断场所区域辐射安全措施

①SPECT/CT 机房防护门上方已设有工作状态指示灯，灯箱上设置了“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句，并设置门灯联锁装置，机房与控制室之间设置了对讲装置与监视器。

②在 SPECT/CT 机房防护门、分装注射室防护门、贮源室防护门、手套箱、衰变桶等处已设有电离辐射警告标志；监督区和控制区入口均设置了警示标识，场所内设置导诊路径。

③核医学科进出防护门均设有单向门禁（只进不出或只出不进），可防止带药受检者随意进出和无关人员滞留或误入。SPECT/CT 控制室内设有监视和对讲系统，受检者通道内的相应位置设置有视频监控系统，监控显示屏设置在控制室内，工作人员能够及时掌握患者状态和活动情况，及时发现突发情况并及时进行处理。

④核素操作在独立的手套箱内进行，手套箱材质主要为铅板，正面为观察窗，其综合屏蔽为 40mmPb，手套箱已设有独立排风管道，排放风速不低于 0.5m/s，排风系统内设置了专用活性炭吸附装置，排风口位置位于病房楼屋顶，符合《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中对通风系统的设置要求。

⑤卫生通过间、药物分装注射室清洗池、显像扫描患者专用厕所洗手台均已设置感应式水龙头。

⑥源室保险柜已实行视频监控和双人双锁管理，并做好防火、防盗措施。药物交接过程实行双人交接，对于核素种类、生产单位、活度、出入库使用及注销等，严格登记建档。

(2) 3号 DSA 机房区域辐射安全措施

①本项目 3 号 DSA 机房所用的 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。

②门灯联锁：机房防护门上方已设置醒目工作状态指示灯，灯箱上设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句。防护门设有自动闭门装置，工作状态指示灯能与机房门有效关联。候诊区设置放射防护注意事项告知栏。

③急停装置：手术床旁已设置急停开关（各开关分别与 X 射线系统连接）。

④视频监控和对讲装置：在 DSA 机房与控制室之间设有 1 套视频监控和对讲装置，工作人员通过对讲机与机房内的手术人员联系，同时可以实时监控机房内情况。

⑤警告标志：DSA 机房门外醒目位置设有电离辐射警告标志和中文说明。

⑥DSA 机房受检者防护门为电动推拉门，且设有防夹装置，工作人员防护门为平开门，设置有自动闭门装置。

⑦机房受检者出入口门外已设置黄色警戒线，告诫无关人员请勿靠近。手术期间，陪护人员禁止进入监督区域和控制区域。防护门外的醒目位置设置明显的电离辐射警告标志，电离辐射警告标志须符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 F 要求。

⑧3 号 DSA 机房内设置独立排风系统，风速不小于 0.5m/s，排风口位置位于门诊医技楼，本项目拟对排风系统进行改造，在排风口末端加装专用活性炭吸附装置，改造后能够满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中相关要求。

⑨每次机房内核素操作完成后，辐射工作人员应对整个机房进行表面污染测定，确保无表面污染，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《电离辐射防护源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准值。

(3) 病房区域辐射安全措施

①⁹⁰Y 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，但是仍应遵守以

下预防措施：如果需要更换输注药物部位/伤口的敷料，护理人员应佩戴手套。将使用过的敷料和手套放在固体废弃物袋子中，统一收集处理。

②为了提示患者是有潜在放射性危害的，应当在床头放置一个写有放射性危害的标牌，且患者应当佩戴一条具有电离辐射危害标志的身份腕带，以示放射危险。

③⁹⁰Y 患者专用病房门外醒目位置设置电离辐射警告标志和中文说明，门外地面应设置黄色警戒线，告诫无关人员请勿靠近。

(4) 放射性药物的存放控制措施

本项目使用的放射性药物提前向供药厂家订购，供药厂家在约定的时间，将预约用量的药物送至核医学科贮源室，医院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核医学科贮源库铅箱内。

医院必须配备专（兼）职人员负责放射性药物的管理，并建立健全放射性药物的保管、领用、注销登记和定期检查制度。要求设置专门的台账（如交收账、库存账、消耗账），加强对放射性药物的管理，严防丢失。放置放射性药物的容器，必须容易开启和关闭，容器外必须有明显的标签（注明元素名称、理化状态、射线类型、活度水平、存放起止时间、存放负责人等）。放射性药物要设有专门可靠的防火防盗等安全设施的贮存场所，且不得将放射性药物与易燃易爆及其他危险物品放在一起。

(5) 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，送入后要妥善贮存及转移，防止意外撒漏；

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，防止放射性药物撒漏；

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《电离辐射防护源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准值。

⑤患者病房在患者出院之后应当使用表面污染监测仪器对病房内部进行表面污染

监测，并使用放射性表面去污用品和试剂进行清洗去污。

(6) 人员防护措施

①辐射工作人员的防护

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。

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。^{99m}Tc 注射器配备注射防护套防护和注射器铅防护盒，⁹⁰Y 注射器配备有机玻璃和注射器防护盒。

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。

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。

②其他人员防护

屏蔽防护：辐射工作场所外围环境中的其他人员主要依托辐射场所墙体、顶棚、门、窗等实体进行屏蔽防护。

时间防护：设置明显的警示措施，提示其他人员尽可能减少在辐射工作场所周围的停留时间。

距离防护：设置必要的防护、隔离、警示措施，尽可能增大人员与辐射场所之间的防护距离。

(7) 操作过程中的防护措施

医生在进行放射性药品核素操作时首先做好个人防护，包括穿戴铅衣，铅眼镜、铅手套、口罩、工作帽等，均具备 0.5mmPb 当量。

分装、测活时药品、铅罐均放置在垫有滤纸的瓷盘内进行，以防止放射性药液撒漏造成操作台污染，分装、测活时工作人员与药品之间采用 40mmPb 观察窗隔挡。核医学科分装注射间内设有 10mmPb 废物铅桶，用于暂时收集放射性固体废物。医护人员进行注射时，^{99m}Tc 注射器配备注射防护套防护和注射器铅防护盒，⁹⁰Y 注射器配备有机玻璃和注射器防护盒。

(8) 对注射后患者防护措施

首先告知患者及家属辐射可能带来的危害性，患者要与陪护人员实行隔离，陪护人员不允许在辐射工作场所内驻留，医院需要划定专门的陪护人员等候区并尽量远离

非密封源工作场所，同时要求患者在手术后在专用病房内静候，禁止随意走动，并在患者腹部盖有 2mmPb 铅方巾。注射后的患者移动路径为：3 号 DSA 机房→核医学科 SPECT/CT 机房→⁹⁰Y 患者病房，当患者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；当患者在本项目各个场所之间转运时，防护措施主要依靠盖在患者手术部位的 2mmPb 铅方巾以及陪护人员的正确引导。

(9) 放射性药物和注射后患者转移过程的防护措施

根据医院规划，在本项目 ⁹⁰Y 肿瘤治疗实际开展过程，医院拟采取时间防护及空间防护两方面对放射性药物和注射后患者转移过程进行防护。

①时间防护

本项目 ⁹⁰Y 肿瘤治疗手术均安排于下午 5 点或其他人流量较少的时段，尽可能减少对公众的影响。

②空间防护

本项目药物在核医学科测活后，由专人将药物连同铅罐通过北侧核医学科专用污梯直接进入门诊医技楼五层手术区；患者在导管手术结束后，在专人陪护下穿过门诊医技楼与病房楼之间连廊乘坐专用电梯，向上进入病房楼九层专用病房或向下直达核医学科，其中门诊医技楼和病房楼连廊位于手术区内，非手术人员不可进入，可极大程度避免注射后患者与其他人员的接触。

(10) 防护设备与防护用品

本项目 ⁹⁰Y 肿瘤治疗依托门诊医技楼地下一层核医学科诊断场所、门诊医技楼五层 3 号 DSA 机房及病房楼九层 16#、17#、18#病房，并新增使用核素 ⁹⁰Y 和 ^{99m}Tc。建设单位结合本项目的情况，目前依托场所已配套防护用品/设施见表 10-14，建设单位拟新增配置的防护用品见表 10-15。

表 10-14 核医学科和 3 号 DSA 机房已配备的防护用品/设施一览表

核医学科				
序号	种类名称	设置场所	数量	铅当量
1	分装柜	分装注射室	3 个	40mmPb
2	嵌入式防护服药窗		1 个	8mmPb
3	废物贮存桶	废物间、分装注射室	12 个	40mmPb (6 个) 10mmPb (6 个)
4	铅罐	废物间、分装注射室	9 个	45mmpb (1 个) 20mmPb (3 个) 10mmPb (2 个)

				6mmPb (3个)
5	铅盒	贮源室	2个	10mmPb
6	铅屏风	PET/CT 机房、 SPECT/CT 机房	2个	5mmPb
7	铅围脖、铅帽	分装注射室、控制室	5套	0.5mmPb
8	铅围裙		2套	0.5mmPb
9	铅衣		3套	0.5mmPb
10	工作服、工作帽、工作鞋、手套、口罩等	/	按需购买	/
3号 DSA 机房				
序号	种类名称	设置场所	数量	铅当量
1	分体式铅橡胶衣、铅橡胶颈套、铅防护眼镜	DSA 机房	3套	0.5mmPb
2	介入防护手套		1套	0.025mmPb
3	铅悬挂防护屏、铅防护吊帘、床侧防护帘、床侧防护屏		1套	0.5mmPb

表 10-15 ^{90}Y 肿瘤治疗工作场所拟新增的防护用品/设施一览表

序号	种类名称	设置场所	数量	铅当量
1	^{90}Y 防护铅罐	贮源室	1个	4mmPb
2	废物贮存桶	废物间	1个	10mmPb
3	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射器防护套	3号 DSA 机房	1个	4mmPb
4	^{90}Y 注射器防护盒		1个	15mm 有机玻璃
5	铅方巾		若干	2mmPb
6	铅桶		1个	10mmPb
7	铅桶	^{90}Y 患者病房	3个	2mmPb
8	放射性废水专用收集容器	淋洗间、分装注射室	2个	10mm 有机玻璃+2mm 铅

10.1.2 拟建 DSA 部分

10.1.2.1 布局分析及分区情况

(1) 工作场所布局分析

医院拟在门诊医技楼五层建设两间 DSA 机房，每间机房新购 1 台 DSA，用于介入治疗和影像诊断。其平面布局详见附图 4，其相邻布局见表 10-16。

表 10-16 辐射工作场所位置及四周布局一览表

场所位置	方位	周边房间及场所
门诊医技楼五层 7 号 DSA 机房	东侧	控制室、设备间
	南侧	洁净走廊、无菌库房、器械间
	西侧	其他 DSA 机房及其配套用房
	北侧	污物走廊、洁净库房、应急消毒间、物品存放间等
	上方	楼顶平台
	下方	手术区
门诊医技楼五	东侧	器械间、设备间、无菌库房、库房

层 8 号 DSA 机房	南侧	控制室
	西侧	缓冲间、物品存放间、应急消毒间
	北侧	洁净走廊、患者苏醒区
	上方	楼顶平台
	下方	手术区

本项目 DSA 机房内 DSA 设备设置于房间正中，有用线束直射方向避开门、窗、管线口和工作人员操作位，机房设置有患者通道、医护通道和污物通道，射线装置经机房实体屏蔽体屏蔽后，屏蔽体外剂量率符合标准要求，对邻室（含楼上和楼下）及周围辐射场所的人员影响是可以接受的，因此本项目各机房平面布局合理可行。

(2) 分区情况

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）等相关标准中对控制区和监督区的定义，本项目 DSA 机房两区划分如下：

DSA 的控制区为机房控制室及相邻 DSA 机房，监督区为机房实体屏蔽体外 30cm 范围及其他相邻房间。控制区和监督区的划分详见图 10-2 所示。

10.1.2.2 工作场所防护屏蔽设计

本项目 DSA 机房屏蔽防护设计方案、设计使用面积及最小单边长详见表 10-17。

表 10-17 DSA 机房屏蔽防护设计与标准对照分析

名称	屏蔽体	主要屏蔽材料及总铅当量厚度	标准要求	评价
7 号 DSA 机房	四侧墙体	轻钢龙骨隔墙+4.0mm 铅板夹层(4.0mmpb)	有用线束铅当量 ≥3mmPb 非有用线束方向铅当量 ≥2mmPb	符合
	地坪	160mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡防护涂料 (3.3mmpb)		
	顶棚	160mm 混凝土+2mm 铅板 (3.3mmpb)		
	防护门	内衬 4mm 铅板 (4.0mmpb)		
	观察窗	4mmPb 观察窗 (4.0mmpb)		
	最小有效使用面积/最小单边长	72m ² /7.2m		20m ² /3.5m
8 号 DSA 机房	四侧墙体	轻钢龙骨隔墙+4.0mm 铅板夹层(4.0mmpb)	有用线束铅当量 ≥3mmPb 非有用线束方向铅当量 ≥2mmPb	符合
	地坪	160mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡防护涂料 (3.3mmpb)		
	顶棚	160mm 混凝土+2mm 铅板 (3.3mmpb)		
	防护门	内衬 4mm 铅板 (4.0mmpb)		
	观察窗	4mmPb 观察窗 (4.0mmpb)		
	最小有效使用面积/最小单边长	60m ² /7.2m		20m ² /3.5m

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》（GBZ 130-2020）中附录 C 中式（C.1）、式（C.2）及表 C.2，得 160mm 混凝土（150kV 有用线束）折算为 1.3mmPb。
②参考《放射防护实用手册》（主编赵兰才、张丹枫）表 6.14，辐射防护涂料采用硫酸钡防护涂料，密度不低于 2.79g/cm³，保守按 10mm 硫酸钡防护涂料等于 1mm 铅当量。

由表 10-17 可知，本项目 DSA 机房屏蔽防护和机房有效使用面积及最小单边长均能满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）相关要求，其中 DSA 机房屏蔽防

护等效铅当量严于标准要求。经与建设单位、设计单位沟通，本次设计主要考虑材料和施工工艺的偏差，因此保守留有一定冗余，总体而言本项目 DSA 机房的屏蔽方案是可接受的。

10.1.2.3 辐射安全及防护措施

本项目 DSA 为 II 类射线装置，主要辐射影响为 X 射线，对 X 射线的基本防护原则是减少照射时间、远离射线源以及加以必要的屏蔽。本项目对 X 射线外照射的防护措施主要有以下几方面。

(1) 工作场所辐射安全防护措施

本项目拟建 DSA 机房安全及防护措施与《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 对照分析见表 10-18。

表 10-18 机房安全及防护措施与标准对照分析

项目	《放射诊断放射防护要求》 (GBZ130-2020) 要求	设置情况	是否满足要求
设备 工作 场所 防护	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	机房内设有观察窗及摄像监控装置，能方便地观察到受检者状态及防护门开闭情况	满足
	机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物	机房内仅放置必备的设备，如血管造影诊断床、手术器械台、储物柜等，储物柜放置手术需要的各种物品，未存放与诊断工作无关的杂物	满足
	机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风	机房设置了动力通风装置，并保持良好的通风	满足
	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	机房门外设有电离辐射警告标志；机房门上方设有醒目的工作状态指示灯，灯箱上设置了“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句；机房、候诊区设置了放射防护注意事项告知栏	满足
	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	患者防护门、污物防护门、医护防护门拟设置电动推拉门，并设置防夹装置，在设备曝光前电动推拉门均由工作人员操控关闭；所有防护门设置门灯联锁装置，门开灯灭、门关灯亮	满足
	电动推拉门宜设置防夹装置		
	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	受检者不在机房内候诊；检查过程中陪检者不滞留在机房内	满足

(2) 设备固有安全性

本项目新增的 DSA 射线装置拟购买于正规厂家，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设备具有可调限束装置，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铝过滤板，以消除软 X 射线及减少二次散射，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，减少不必要的照射；

⑥本项目 DSA 透视脚踏开关为常断式，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减影功能的控制键。

⑦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。

(3) 距离防护

医院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。

(4) 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，根据诊断要求和患者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，也避免患者受到额外剂量的照射。另外，合理安排进行介入治疗手术的医生和护士的手术台数，降低某一工作人员因长时间操作所致剂量。当介入手术医生季度个人剂量超过 1.25mSv 或年剂量超过 5mSv，医院应进行调查，并出具调查报告，在查明原因之前应限制或暂停该工作人员工作时间。

(5) 其他防护

①控制室张贴相应的辐射工作制度、操作规程、岗位职责等；

②DSA 设备配备可升降的含铅挡板或悬挂防护屏，为介入医生的非检查部位提供

遮挡，尽量减少受照剂量。床侧配套防护铅帘或观察窗板，以减少对手术医生的受照剂量；

③机房患者防护门外应设置黄色警戒线，警告无关人员请勿靠近；手术期间，陪护人员禁止进入监督区域和控制区域；

④本项目 DSA 辐射工作人员必须配备个人剂量计，DSA 项目医护人员需要在铅围裙外锁骨对应的领口位置佩戴剂量计，在铅围裙内躯干上再佩戴另一个剂量计，内外两个剂量计应有明显标记，防止剂量计戴反，每个季度及时对剂量计送检，建立个人剂量健康档案，并长期保存。

⑤拟建 DSA 机房应配置 1 台环境辐射巡测仪。各机房内拟设置视频对讲装置 1 套，监视器位于控制位，设置急停按钮 1 个，位于设备床旁操作台；DSA 机房应配备相应的防护用品与辅助防护设施，其配置需按照 GBZ130-2020 的要求进行配置。

(6) 个人防护用品和辅助防护设施配备

本项目 7 号 DSA、8 号 DSA 机房拟配备的个人防护用品和辅助防护设施与《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中表 4 标准对照情况见表 10-19。

表10-19 拟建7号DSA/8号DSA机房拟配备个人防护用品与标准对照表

机房名称	人员类型	《放射诊断放射防护要求》 (GBZ130-2020) 要求		拟配置情况		是否符合要求
		个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施	
7 号 DSA /8 号 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	配备防护铅当量为 0.5mmPb 的铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜各 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/床侧防护屏各 1 件	符合
	患者和受检者	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

(7) 安全保卫措施

为确保本项目辐射工作场所的使用安全，本项目采取的安全保卫措施见表 10-20。

表 10-20 本项目采取的安全保卫措施

工作场所	措施类别	对应措施
DSA 射线装置工作场所	防盗、防抢和防破坏	①本项目 DSA 机房将纳入医院日常安保巡逻的重点工作范围，加强巡视管理以防遭到破坏； ②工作场所安装监控系统实行 24h 实时监控； ③DSA 射线装置将安排有专人进行管理和维护，并进行台账记录，一旦发生盗抢事件，立即关闭设备和防护门，且迅速向公安机关报案； ④射线装置机房和邻近房间禁止存放易燃、易爆、腐蚀性物品等。
	防泄漏	①本项目 DSA 机房安全措施齐备；设置有不同的联锁装置确保运行过程中的辐射泄漏； ②本项目射线装置工作场所将按照有关规范要求进行了辐射防护设计，只要按照设计和环评要求进行落实，机房不存在辐射泄漏的情况。

10.1.2.4 管线设计及穿墙位置屏蔽补偿

针对本项目拟建机房的实际情况，将电缆管线在地面下铺设，避免主射线直接照射，穿墙洞口位置采用与所在墙体相同铅当量的铅盖板进行覆盖，确保管线穿墙口位置与所在墙体具有相同的屏蔽厚度，满足整个机房屏蔽防护要求。

本项目拟建 DSA 机房设置动力通风装置，在天花板吊顶处安装吸顶式排风系统，排风系统设置 1 个排风口，管道穿过 DSA 机房南侧墙体，于门诊医技楼五层风井通至楼顶室外排放，排风口处空间开阔利于气流扩散，不会对周围环境造成影响，能保证机房良好的通风效果。

10.2 三废的治理

10.2.1 ⁹⁰Y 肿瘤治疗

(1) 放射性废气

本项目放射性药物 ^{99m}Tc、⁹⁰Y 为非挥发性核素，待注射前放置于铅罐中，注射时药物在针筒或 V 型瓶内，在正常操作过程中无开放液面，因此其产生的气溶胶量极少，不会对周围大气环境产生明显影响。

本项目依托 3 号 DSA 机房及其配套用房和核医学科诊断场所形成一个整体的 ⁹⁰Y 肿瘤治疗工作场所开展肿瘤治疗，依托现有 3 号 DSA 机房和核医学科废气排放系统对 ⁹⁰Y 肿瘤治疗放射性废气进行处理。

^{99m}Tc 的测活过程、⁹⁰Y 的分装、测活过程在核医学科分装注射室的手套箱内进行，手套箱设计排放风速不低于 0.5m/s，排风口位于病房楼楼顶，排气口高出所在建筑屋脊，并做好防雨防风倒灌措施。排风口和送风口均设置风量调节阀，通过调节风量保证手套箱内为负压，空气流动由低浓度向高浓度区的流向。核医学排风系统所使用的排风过滤器定期更换，更换下来的过滤器存到放射性废物贮存室内，待其放射性衰变到豁免值以下时，再按医疗废物作最终处置。

根据本项目工作流程可知，拟在 DSA 机房内进行放射性核素的导管注射，因此将 3 号 DSA 机房作为非密封放射性物质工作场所考虑。本项目需要对 DSA 机房内排风进行改造，医院拟在风机抽吸口配置活性炭吸附装置，3 号 DSA 机房排气口位于门诊医技楼楼顶，高出所在建筑屋脊，并做好防雨防风倒灌措施。因此项目 3 号 DSA 机房排风设计能满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）关于通风的要求。

3 号 DSA 机房的风机抽吸口配置活性炭吸附装置，活性炭装置填装量约为 25kg，平均每半年更换一次。医院应根据工作量、季节、气候适时增加活性炭更换频次，以维持活性炭的干燥性，保证其吸附能力。

（2）放射性废水

本项目 3 号 DSA 机房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撒漏，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。如发生特殊情况，工作人员可使用 3 号 DSA 机房北侧淋洗间洗手池进行紧急冲洗，洗手池设置阀门可将放射性废水排入有机玻璃+铅材质的专用容器中单独收集。本项目装有放射性废水的专用容器暂存于 3 号 DSA 机房北侧废物间内，待放射性废水贮存超过 30 天后，满足 HJ1188-2021 及其相关条款的复函要求后排入院内污水处理设施达标纳管。

根据《钇-90 树脂微球使用过程辐射安全风险研究报告》（生态环境部核与辐射安全中心）可知，患者在接受 ^{90}Y 树脂微球核素治疗后，0~24h 每例患者尿液中 ^{90}Y 核素总活度最大为 $3.11 \times 10^5 \text{Bq}$ ，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中单次放射性废水排放总活度（ $7.41 \times 10^6 \text{Bq}$ ）的相关要求， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 给药量小于 ^{90}Y 且半衰期更短，因此不将患者排泄产生的废水作为放射性废水考虑，住院期间产生的废水可直接排放入医院污水处理站。

（3）放射性固体废物

本项目介入手术会产生一次性手套、输液管、患者体内导管、注射器、含有残留药物的西林瓶、V 型瓶及有机玻璃防护罐等放射性固体废物，以及若出现手术过程中核素撒漏，可能产生的吸水纸、去污用纸、医护人员手术服、一次性手套等放射性固体废物。

针对该部分污染物，建设单位拟采取以下处理方案：

① 3 号 DSA 机房和 ^{90}Y 患者病房内各新增设置 1 个铅桶，3 号 DSA 机房北侧废物

间新增 1 个废物贮存桶。医院拟将上述放射性固体废物收集于工作场所放射性废物桶内专用塑料包装袋，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。

②每日工作结束后，将当日产生的废物分类转移至 3 号 DSA 机房北侧废物间内，每袋放射性固废须注明核素种类、废物的类别、转入时间，做好台账记录。

③放射性固废待贮存超过 30 天后，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，对废物清洁解控并作为医疗废物进行处理。

医院应做到：

①严格区分放射性废物与非放射性废物，不可混同处理，应力求控制和减少放射性废物产生量。

②对所有放射性固体废物采用先分类收集在各自相关工作场所的专用废物桶内，再将放射性废物桶内的固体废弃物连同垃圾袋分期存放到废物间放射性废物衰变箱内，集中收储一段时间后再分类处理。

③放射性废物的收集、暂存和处置应满足《放射性废物安全管理条例》（国务院令第 612 号）的“放射性固体废物贮存单位应当建立放射性固体废物贮存情况记录档案，如实完整地记录贮存的放射性固体废物的来源、数量、特征、贮存位置、清洁解控、送交处置等与贮存活动有关的事项”等相关规定。

（4）噪声

医院拟依托门诊医技楼五层现有 3 号 DSA 和核医学科相关用房及病房楼相关病房开展 ⁹⁰Y 肿瘤治疗。根据现场踏勘及与医院核实，本项目依托的现有设备均采用低噪声设备，设备基础设置了减振等措施，⁹⁰Y 肿瘤治疗的实施对周围声环境影响较小。

10.2.2 DSA

本项目 DSA 射线装置运营过程无放射性废气、废水、固废产生，仅在曝光过程产生少量臭氧和氮氧化物及运营期内介入手术产生的废药棉、废纱布、废手套等医疗废物、器械清洗废水和医护手部清洗废水、医护人员产生的生活污水和生活垃圾等。

（1）废气

本项目 7 号 DSA、8 号 DSA 机房拟采用机械通排风系统进行通风，进风口及出风口拟设置于机房吊顶，保证机房内有良好的通风。布局时应避免有用线束直接照射通排风系统的管线口位置，通排风系统管道宜采用非金属管材，管线口应使用铅板或辐

射防护板进行屏蔽防护。DSA 机房内产生的臭氧和氮氧化物通过排风管道引至控制室东侧排风井，于门诊医技楼楼顶排放，空间开阔利于气流扩散进入大气环境中，经自然分解，可达标排放，对周围环境影响较小。

(2) 废水

本项目 7 号 DSA、8 号 DSA 拟采用数字成像，无废显影液、定影液产生。医护人员产生的生活污水及手术器械等清洗产生的医疗废水依托医院现有污水处理设施处理达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表 2 预处理排放标准要求后，纳入市政污水管网集中处理。

(3) 固废

本项目 7 号 DSA、8 号 DSA 手术过程中不产生放射性固废，产生的医疗废物由专人收集后暂存于污物暂存间，定期转移至医院总医疗废物暂存库，依托医院现有医疗废物处置单位进行委托处置。

(4) 噪声

本项目设备选用低噪声设备，噪声源主要为风机噪声。通过采取设备基础减振，进出风管加装软接、安装高效消声器、消声弯头等综合降噪措施，经距离衰减后，运行期间院区东侧、南侧、西侧偏北场界噪声可以满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）2类标准要求，西侧偏南、北侧场界噪声可以满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）4类标准要求。

综上所述，本项目7号DSA、8号DSA拟采取的“三废”防治措施均符合国家相关标准的要求。

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

本项目施工期主要涉及拆除原有建筑部分墙体、新建墙体隔断及辐射防护装饰工程的施工等，无土建施工。施工过程简单，工期较短，本项目主要从以下几个方面对本项目施工期环境影响进行简单分析

本项目施工期工程量较少。主要的污染因子为：扬尘、施工人员生活污水、噪声及固体废物，建设单位应采取污染防治措施，减轻对周边环境的影响。

(1) 施工扬尘主要产生于施工过程中粉状物料运输、暂存，属无组织排放，在施工过程中应对施工现场实行合理化管理，使砂石料、水泥统一堆放，用苫布遮盖，并尽量减少搬运环节，搬运时做到轻举轻放，防止包装袋破裂。

(2) 本项目工程为扩建项目，施工人员如厕可利用医院现有厕所，产生的少量生活污水依托医院现有处理设施处理后纳管。

(3) 施工过程应避免在同一时间集中使用大量的动力机械设备，针对施工噪声在夜间影响相比昼间更为突出的特点，应避免夜间施工，运输车辆应减速行驶，禁止鸣喇叭，确保施工期噪声符合《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）规定的限值。

(4) 固体废物主要为施工人员的生活垃圾和建筑垃圾。施工期的生活垃圾和建筑垃圾应分别堆放，及时清运或定期运至环卫部门指定的地点合理处理处置。

本项目施工区域较小，且均在室内施工，施工期较短，在采取一定的施工防护措施情况下，建设阶段环境影响范围较小，并且随施工期的结束而消失。

11.1.2 设备安装调试期间的环境影响分析

DSA 射线装置在安装调试过程中会产生 X 射线、臭氧和氮氧化物，因安装调试时间短，各污染物产生量很少，且调试结束关机后，X 射线将即时消除，因此，本项目设备安装调试造成的环境影响很小。

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。在设备安装调试阶段，医院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

11.2.1 ⁹⁰Y肿瘤治疗

11.2.1.1 β表面污染环境的影响分析

β表面沾污的影响主要来源于医生操作时，放射性物质逸出或飞散在操作台、地板、墙壁、个人防护用品等表面，对职业人员和公众造成辐射影响。核素⁹⁰Y在衰变过程中主要释放β射线，分支比为99.984%，其β射线的能量最大为2.284MeV，在人体组织中的最大射程约为11mm，在空气中很容易被物质阻挡，不会对周围环境产生明显影响。

11.2.1.2 β射线辐射环境影响分析

本项目涉及使用的⁹⁰Y、^{99m}Tc核素在衰变过程中会有β射线，其中^{99m}Tc的β射线⁹⁰Y肿瘤治疗辐射剂量较小，因此主要以⁹⁰Y的β射线辐射环境影响为主，根据《放射防护实用手册》（主编：赵兰才、张丹枫），β射线在介质中的射程可采用下式计算：

$$d = \frac{1}{2\rho} E_{MAX} \dots\dots\dots \text{(式 11-1)}$$

式中：

d—最大射程，cm；

ρ—屏蔽材料密度，g/cm³；

E_{MAX}—β粒子的最大能量，MeV。

⁹⁰Y核素衰变产生的β射线在空气、铅板和观察窗中的射程见表 11-1。

表 11-1 ⁹⁰Y核素β射线在屏蔽材料中理论最大射程

核素	⁹⁰ Y
β射线能量 (MeV)	2.284
空气密度 (g/cm ³)	1.29×10 ⁻³
空气中的射程 (cm)	885.27
铅密度 (g/cm ³)	11.34
铅中的射程 (cm)	0.10
观察窗密度 (g/cm ³)	4.6
观察窗中射程 (cm)	0.25
有机玻璃密度 (g/cm ³)	1.18
有机玻璃中射程 (cm)	0.97

经计算可知，β射线在有机玻璃中的射程最大为 0.97cm，在铅中的射程最大为 0.10cm，医护人员在操作过程中穿戴 0.5mm 铅当量的防护服，且在 15mm 有机玻璃的屏蔽下进行 ⁹⁰Y 的分装、测活和注射，故放射性核素 ⁹⁰Y 产生的β射线对周围环境影响很小。

屏蔽强β粒子的高原子序数材料会产生韧致辐射。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。

$$H_r = 4.58 \times 10^{-14} A \cdot Z_e \cdot \left(\frac{E_b}{r}\right)^2 \cdot \left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right) \cdot q \cdot \eta \quad (\text{式 11-2})$$

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，取自《辐射防护导论》表 4.4，本项目关注点位 1 取 5.85（有机玻璃），其余关注点位取 6.66（水）；

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，本项目取 0.76MeV；

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，本项目取 $2.882 \times 10^{-3} m^2/kg$ （空气）；

q——参考点所在区域相应的居留因子，保守取 1；

η ——透射比，根据公式 $\eta = 10^{-d/TVL}$ 得出（其中 TVL 屏蔽层在 X 射线平均能量下的半值层厚度，由《辐射防护导论》表 3.5 查得 ⁹⁰Y 在铅和混凝土中分别取值：1.75cm、13.45cm）。

表 11-2 ⁹⁰Y 肿瘤治疗工作场所韧致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 (μSv/h)
1	药物分装及注射间	取药位	0.3	⁹⁰ Y 6×10 ⁹	有机玻璃 +4mmPb铅罐 +40mmPb手套箱	3.06E-3	9.09E-02
		药物转运	1	⁹⁰ Y 3×10 ⁹	有机玻璃 +4mmPb铅罐	5.91E-01	7.90E-01
2	SPECT/CT 机房	摆位处	1	⁹⁰ Y 3×10 ⁹	0.5mmPb防护用品 +5mmPb铅屏风	4.85E-01	7.38E-01
3		东侧墙体外 30cm处 (控制室)	4.5	⁹⁰ Y 3×10 ⁹	24cm实心砖 +6mm铅板	2.52E-02	1.89E-03

4	3号 DSA 机房	东侧墙体外 30cm处 (设备间)	5.2	^{90}Y 3×10^9	24cm实心砖 +6mm铅板	2.52E-02	1.42E-03	
5		南侧墙体外 30cm处 (医护走廊)	3.2	^{90}Y 3×10^9	24cm实心砖 +6mm铅板	2.52E-02	3.75E-03	
6		上方30cm处 (消防车道)	6.3	^{90}Y 3×10^9	250mm混凝土 +2mm铅板	1.06E-02	4.07E-04	
7		药物注射位	1	^{90}Y 3×10^9	0.5mmPb铅衣	9.36E-01	1.42	
8		患者体外1m 处	1	^{90}Y 3×10^9	2mmPb铅方巾 +0.5mm铅衣	7.20E-01	1.10	
9		东侧墙体外 30cm处(其他 DSA机房)	5.7	^{90}Y 3×10^9	4mm铅板	5.91E-01	2.77E-02	
10		南侧墙体外 30cm处 (过道)	4.5	^{90}Y 3×10^9	4mm铅板	5.91E-01	4.44E-02	
11		西侧墙体外 30cm处 (控制室)	6.0	^{90}Y 3×10^9	4mm铅板	5.91E-01	2.50E-02	
12		西侧墙体外 30cm处 (设备间)	6.3	^{90}Y 3×10^9	4mm铅板	5.91E-01	2.27E-02	
13		北侧墙体外 30cm处 (污物走廊)	4.3	^{90}Y 3×10^9	4mm铅板	5.91E-01	4.87E-02	
14		上方30cm处 (楼顶平台)	4.7	^{90}Y 3×10^9	160cm混凝土 +2mmPb硫酸钡 防护涂料	4.97E-02	3.42E-03	
15		下方距地面 170cm处(手 术区)	4.9	^{90}Y 3×10^9	160cm混凝土 +2mmPb硫酸钡 防护涂料	4.97E-02	3.51E-03	
16		^{90}Y 患 者病房 16#	查房位	1	^{90}Y 6×10^9	2mmPb铅方巾	7.68E-01	2.34
17			北侧墙体外 30cm处 (患者走廊)	5.9	^{90}Y 6×10^9	2mmPb铅方巾	7.68E-01	6.72E-02
18			上方30cm处 (其他病房)	2.3	^{90}Y 6×10^9	200mm混凝土 +2mmPb铅方巾	2.50E-02	1.44E-02
19	下方距地 170cm处 (其他病房)		2.3	^{90}Y 6×10^9	200mm混凝土 +2mmPb铅方巾	2.50E-02	1.44E-02	
20	^{90}Y 患 者病房 17#	查房位	1	^{90}Y 6×10^9	2mmPb铅方巾	7.68E-01	2.34	
21		北侧墙体外 30cm处 (患者走廊)	5.9	^{90}Y 6×10^9	2mmPb铅方巾	7.68E-01	6.72E-02	
22		上方30cm处 (其他病房)	2.3	^{90}Y 6×10^9	200mm混凝土 +2mmPb铅方巾	2.50E-02	1.44E-02	
23		下方距地 170cm处	2.3	^{90}Y 6×10^9	200mm混凝土 +2mmPb铅方巾	2.50E-02	1.44E-02	

		(其他病房)					
24	90Y 患者病房 18#	查房位	1	90Y 6×10 ⁹	2mmPb铅方巾	7.68E-01	2.34
25		东侧墙体外 30cm处 (其他病房)	1.8	90Y 6×10 ⁹	2mmPb铅方巾	7.68E-01	7.22E-01
26		北侧墙体外 30cm处 (患者走廊)	5.9	90Y 6×10 ⁹	2mmPb铅方巾	7.68E-01	6.72E-02
27		上方 30cm处 (其他病房)	2.3	90Y 6×10 ⁹	200mm混凝土 +2mmPb铅方巾	2.50E-02	1.44E-02
28		下方距地 170cm处 (其他病房)	2.3	90Y 6×10 ⁹	200mm混凝土 +2mmPb铅方巾	2.50E-02	1.44E-02
注：实心粘土砖和硫酸钡按照密度折算成混凝土后，进行计算。本项目每周最多开展 2 天 90Y 肿瘤治疗，每天最多进行 2 例，因此病房 16#、17#、18#均按 2 人进行考虑。							

根据预测结果，本项目 90Y 肿瘤治疗工作场所轍致辐射满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 中实体屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率均小于 2.5μSv/h，控制区内人员居留因子小于 1/2 的场所周围剂量当量率小于 10μSv/h，手套箱和注射窗外表面 30cm 处人员操作位周围剂量当量率小于 2.5μSv/h，手套箱其他面周围剂量当量率小于 25μSv/h 的相关要求，对周围辐射环境影响较小。

11.2.1.3 放射性核素产生的γ射线辐射环境影响分析

90Y 肿瘤治疗工作场所屏蔽计算公式参考《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)，按照点源模式进行估算，辐射剂量率估算公式见下式。其中 90Y 肿瘤治疗工作场所 γ 射线辐射主要源于 99mTc，涉及 99mTc 辐射剂量率估算相关参数取值表见表 11-3。

$$H=10^{-X/TVL} \cdot A \cdot \Gamma / R^2 \dots \dots \dots \text{(式 11-3)}$$

式中：

H ——屏蔽体外关注点剂量率，单位为μSv/h；

X ——屏蔽厚度，单位为 mm；

A ——单个患者或受检者所用放射源的最大活度，单位为 MBq；

Γ ——距源 1m 处的周围剂量当量率常数，单位为μSv·m²/(h·MBq)；

R ——参考点与放射源间的距离，m。

表 11-3 核素辐射剂量率估算相关参数取值表

核素名称	99mTc
铅什值层厚度 mm (ρ=11.3t/m ³)	1
混凝土什值层厚度 mm (ρ=2.35t/m ³)	110
硫酸钡什值层厚度 mm (ρ=2.79t/m ³)	93
砖什值层厚度 mm (ρ=1.65t/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

根据式 11-3， ^{90}Y 肿瘤治疗工作场所辐射剂量率计算结果见表 11-4，关注点位置见图 11-1-图 11-3。

表 11-4 ^{90}Y 肿瘤治疗工作场所辐射剂量率计算结果

序号	位置		距离 (m)	源强 (MBq)	屏蔽厚度	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
1	药物分装注射室	取药位	0.3	$^{99\text{m}}\text{Tc}592$	10mmPb铅罐+40mmPb手套箱	1.99E-48
		药物转运	1	$^{99\text{m}}\text{Tc}148$	10mmPb铅罐	4.48E-10
2	SPECT/CT 机房	摆位处	1	$^{99\text{m}}\text{Tc}148$	0.5mmPb防护用品+5mmPb铅屏风	9.69E-06
3		东侧墙体外 30cm处 (控制室)	4.5	$^{99\text{m}}\text{Tc}148$	24cm实心砖+6mm铅板	4.78E-09
4		东侧墙体外 30cm处 (设备间)	5.2	$^{99\text{m}}\text{Tc}148$	24cm实心砖+6mm铅板	3.58E-09
5		南侧墙体外 30cm处 (医护走廊)	3.2	$^{99\text{m}}\text{Tc}148$	24cm实心砖+6mm铅板	9.46E-09
6		上方 30cm处 (消防车道)	6.3	$^{99\text{m}}\text{Tc}148$	250mm混凝土+2mm铅板	4.12E-06
7		3 号 DSA 机房	药物注射位	1	$^{99\text{m}}\text{Tc}148$	0.5mmPb铅衣
8	患者体外 1m处		1	$^{99\text{m}}\text{Tc}148$	2mmPb铅方巾+0.5mm铅衣	9.69E-03
9	东侧墙体外 30cm处 (其他DSA机房)		5.7	$^{99\text{m}}\text{Tc}148$	4mm铅板	9.43E-06
10	南侧墙体外 30cm处 (过道)		4.5	$^{99\text{m}}\text{Tc}148$	4mm铅板	1.51E-05
11	西侧墙体外 30cm处 (控制室)		6.0	$^{99\text{m}}\text{Tc}148$	4mm铅板	8.51E-06
12	西侧墙体外 30cm处 (设备间)		6.3	$^{99\text{m}}\text{Tc}148$	4mm铅板	7.72E-06
13	北侧墙体外 30cm处 (污物走廊)		4.3	$^{99\text{m}}\text{Tc}148$	4mm铅板	1.66E-05
14	上方 30cm处 (楼顶平台)		4.7	$^{99\text{m}}\text{Tc}148$	160mm混凝土+2mmPb硫酸钡防护涂料	2.97E-03
15	下方距地面 170cm处 (手术区)		4.9	$^{99\text{m}}\text{Tc}148$	160mm混凝土+2mmPb硫酸钡防护涂料	2.73E-03
16	^{90}Y 患者病房 16#	查房位	1	$^{99\text{m}}\text{Tc}296$	2mmPb铅方巾	6.13E-02
17		北侧墙体外 30cm处 (患者走廊)	5.9	$^{99\text{m}}\text{Tc}296$	2mmPb铅方巾	1.76E-03
18		上方 30cm处 (其他病房)	2.3	$^{99\text{m}}\text{Tc}296$	200mm混凝土+2mmPb铅方巾	1.76E-04
19		下方距地 170cm处 (其他病房)	2.3	$^{99\text{m}}\text{Tc}296$	200mm混凝土+2mmPb铅方巾	1.76E-04

20	90Y 患者 病房 17#	查房位	1	99mTc296	2mmPb铅方巾	6.13E-02
21		北侧墙体外 30cm处 (患者走廊)	5.9	99mTc296	2mmPb铅方巾	1.76E-03
22		上方 30cm处 (其他病房)	2.3	99mTc296	200mm混凝土 +2mmPb铅方巾	1.76E-04
23		下方距地 170cm处 (其他病房)	2.3	99mTc296	200mm混凝土 +2mmPb铅方巾	1.76E-04
24	90Y 患者 病房 18#	查房位	1	99mTc296	2mmPb铅方巾	6.13E-02
25		东侧墙体外 30cm处 (其他病房)	1.8	99mTc296	2mmPb铅方巾	1.89E-02
26		北侧墙体外 30cm处 (患者走廊)	5.9	99mTc296	2mmPb铅方巾	1.76E-03
27		上方 30cm处 (其他病房)	2.3	99mTc296	200mm混凝土 +2mmPb铅方巾	1.76E-04
28		下方距地 170cm处 (其他病房)	2.3	99mTc296	200mm混凝土 +2mmPb铅方巾	1.76E-04

注：本项目每周最多开展 2 天 90Y 肿瘤治疗，第一阶段每天最多进行 4 例，保守按照 50% 的患者符合 90Y 肿瘤治疗要求进行住院，因此病房 16#、17#、18#均按 2 人进行考虑。

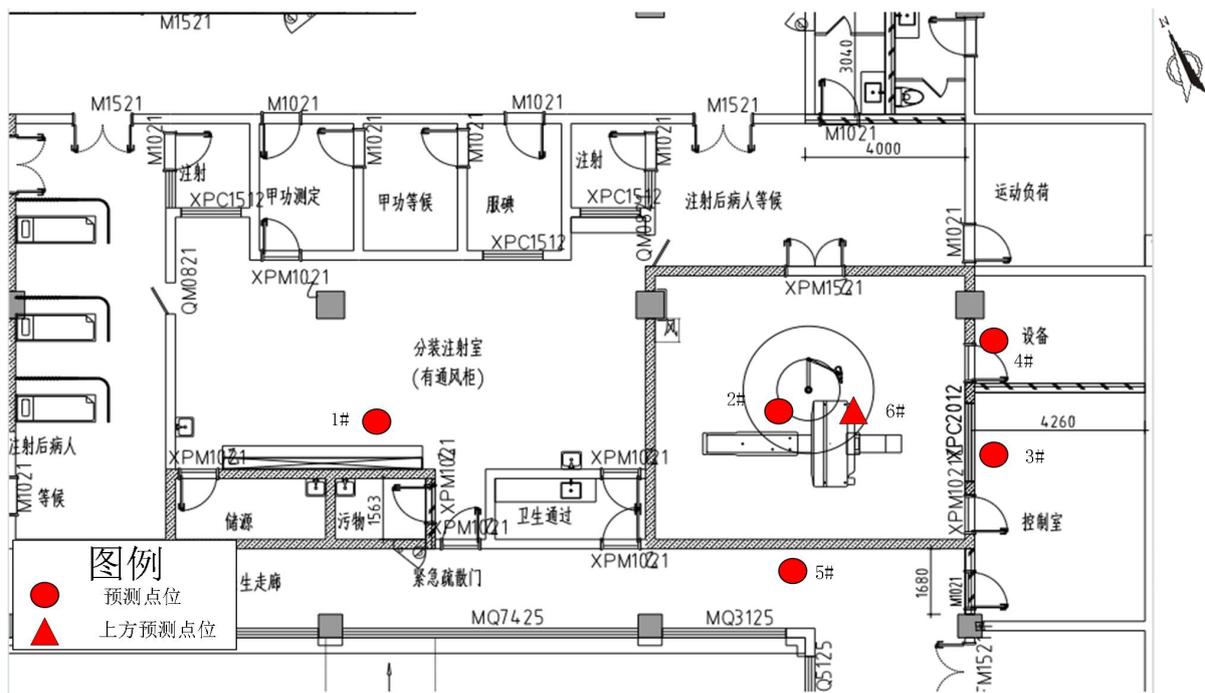


图 11-1 核医学科诊断场所关注点位示意图

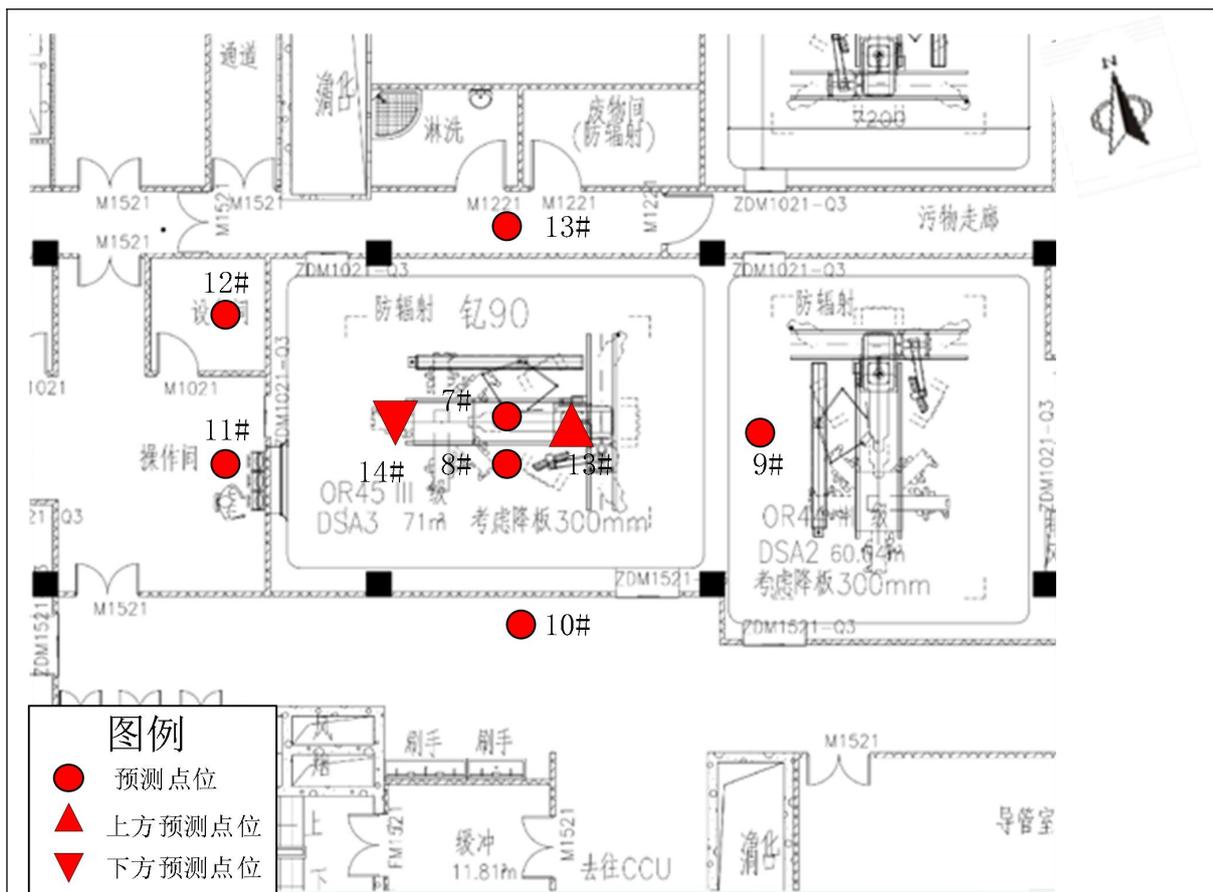


图 11-2 3号DSA关注点位示意图

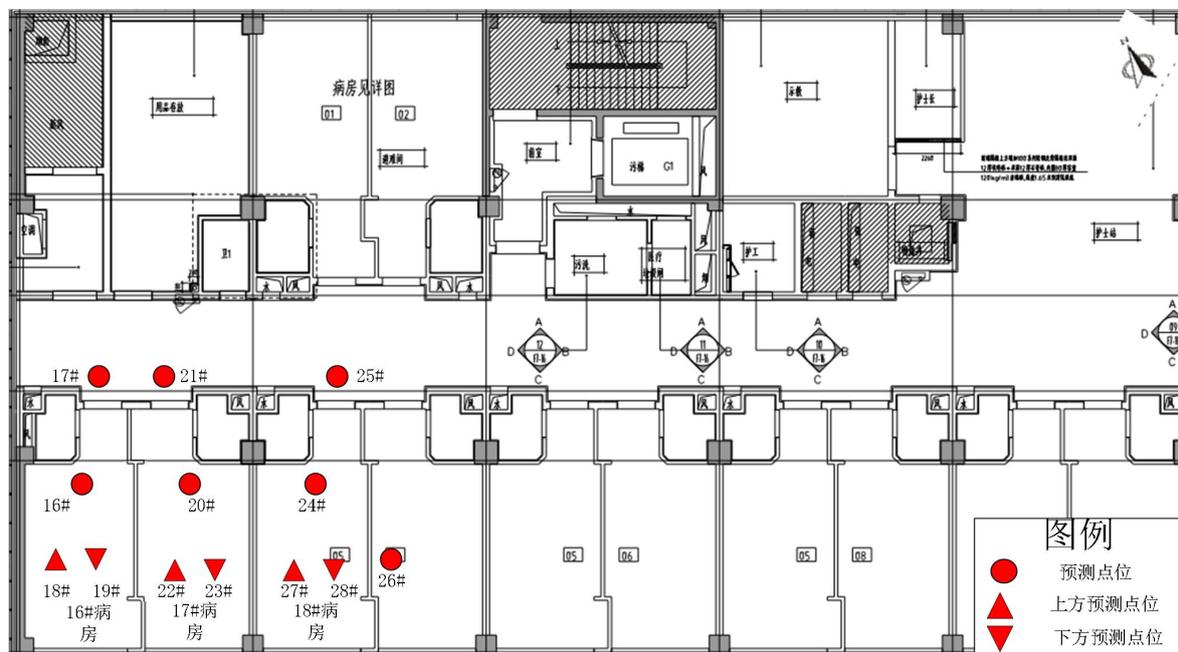


图 11-3 ⁹⁰Y患者病房关注点位图

11.2.1.4 射线装置产生的X射线辐射环境影响分析

(1) DSA 产生的 X 射线辐射影响分析

根据《温州医科大学附属第二医院瑶溪分院核医学及射线装置项目竣工环境保护验收监测》，编号为 GABG-YB23705024-1 的监测报告可知，本项目 3 号 DSA 减影工况下，机房六面（包含工作人员操作位）最大辐射剂量率为 0.158 μ Sv/h。与“表 11-2 ^{90}Y 肿瘤治疗工作场所韧致辐射剂量率计算结果”中 DSA 机房周边辐射剂量率最大处叠加后，DSA 机房周边的辐射剂量率最大为 0.158+4.87E-02=0.207 μ Sv/h，故 DSA 机房外的辐射剂量率均能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中规定的屏蔽体外表面 30cm 处剂量率不大于 2.5 μ Sv/h 的要求。

（2）SPECT/CT产生的X射线辐射影响分析

根据《温州医科大学附属第二医院瑶溪分院核医学及射线装置项目竣工环境保护验收监测》，报告编号：GABG-YB23705024-3可知，SPECT/CT运行情况SPECT/CT机房六面（包括控制室工作位）所致的最大附加剂量率为0.198 μ Sv/h，与“表11-2 ^{90}Y 肿瘤治疗工作场所韧致辐射剂量率计算结果”中SPECT/CT机房周边辐射剂量率叠加后，SPECT/CT机房周边的辐射剂量率最大为0.198+3.75E-03=0.202 μ Sv/h，故SPECT/CT机房外的辐射剂量率均能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中规定的屏蔽体外表面30cm处剂量率不大于2.5 μ Sv/h的要求。

11.2.1.5 工作人员及公众个人剂量估算

（1）工作人员受照剂量估算

根据医院提供的资料，项目正式开展后，医院每周安排两天开展肿瘤治疗，每天最多安排 2 名肿瘤患者。 ^{90}Y 肿瘤治疗工作场所各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷见表 11-5。

表 11-5 各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷一览表

工作场所	人员	操作内容	操作时间	人员数量
药物分装及注射间	核医学科 医护人员	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素测活	30 秒/次	2 人
		^{90}Y 核素分装、测活、抽取	5 分钟/次	
DSA 机房	DSA 介入 医护人员	^{90}Y 核素导管注射	20 分钟/台	共 2 组， 每台手术 配备 1-2 名手术医 生，1-2 名 护士
		$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素导管注射	20 分钟/台	
		透视模式下医护人员近台操作	20 分钟/台	
患者转运		将患者转运至 ECT 机房和病房	30 分钟/人次	
病房		病房巡查	30 分钟/人次	

		术后护理	20 分钟/人次	
DSA 控制室	DSA 技师	技师在控制室操纵设备进行扫描	60 分钟/台	2 人
		减影模式下技师隔室操作	1 分钟/台	
ECT 机房	ECT 技师	指导患者躺至正确的位置	1 分钟/人次	2 人
ECT 控制室		技师在控制室操纵设备进行扫描、图像采集	15 分钟/人次	

根据表11-2和表11-4预测的各关注点处辐射剂量率，结合医院预估工作量，关注点处人员居留因子等参数，由式11-4计算即可得到辐射工作人员的年有效剂量，见表11-7。关注点人员的有效剂量由方杰主编的《辐射防护导论》中的公式计算，计算公式如下：

$$D_{Eff}=Dr \times t \times T \times U \dots \dots \dots \text{（式 11-4）}$$

式中：

D_{Eff} ——辐射外照射人均年有效剂量，Sv；

Dr ——辐射剂量率，Sv/h；

t ——年工作时间，h；

T ——居留因子；

U ——使用因子，U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 11-6。

表 11-6 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、与屏蔽室相邻的患者检查室 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、患者滞留区域、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

表11-7 ⁹⁰Y肿瘤治疗工作场所辐射工作人员年有效剂量估算

工作场所	操作	辐射剂量率 (μSv/h)	对应辐射工作人员年工作时间 (h)	年有效剂量 (mSv)	
药物分装注	药物分	9.09E-02 (1)	16.7h (5min/次×200次/年)	1.52E-03	1.47E-02

射室	装测活	1.99E-48 (1#)	3.33h (30s/次×400次/年)	6.63E-51	
	药物转运	7.90E-01 (1)	16.7h (5min/次×200次/年)	1.32E-02	
		4.48E-10 (1#)	33.4h (5min/次×400次/年)	1.50E-11	
DSA 机房	药物注射和介入手术	1.59 (7)	40.2h (20min/次×200次/年×60%工作负荷)	5.68E-02	
		9.69E-01 (7#)	133.4h (20min/次×400次/年×60%工作负荷)	3.88E-02	
		23.6 (DSA 透视模式下术者位剂量率)	200h (20min/次×600次/年×60%工作负荷)	2.83E+00	
患者转运	转运	1.22 (8)	100h (30min/次×200次/年×60%工作负荷)	6.60E-02	3.23E+00
		9.69E-03 (8#)	200h (30min/次×400次/年×60%工作负荷)	1.16E-03	
病房	查房	3.90 (16)	100h (30min/次×200次/年×60%工作负荷)	1.40E-01	
		9.19E-02 (16#)	100h (30min/次×200次/年×60%工作负荷)	3.68E-03	
	术后护理	3.90 (16)	66.7h (20min/次×200次/年×60%工作负荷)	9.36E-02	
		9.19E-02 (16#)	66.7h (20min/次×200次/年×60%工作负荷)	2.45E-03	
DSA 控制室	扫描	2.78E-02 (11)	200h (60min/次×200次/年)	5.00E-03	3.03E-01
		8.51E-06 (11#)	400h (60min/次×400次/年)	3.40E-06	
		1.49 (DSA 减影模式下控制室剂量率)	200.1h (20min/次×600次/年)	2.98E-01	
SPECT/CT 机房	摆位	8.22E-01 (2)	16.7h (1min/次×200次/年)	1.23E-02	1.25E-02
		9.69E-06 (2#)	33.4h (1min/次×400次/年)	3.24E-07	
SPECT/CT 控制室	扫描	2.11E-03 (3)	50h (15min/次×200次/年)	9.45E-05	
		4.40E-09 (3#)	100h (15min/次×400次/年)	4.40E-10	
		1.98E-01 (CT)	0.83h (5s/次×600次/年)	1.65E-04	
注：本项目保守按辐射工作人员最大负荷进行估算，括号内“1”来源于表 11-2 轭致辐射相应点位辐射剂量率，括号内“1#”来源于表 11-4 γ射线相应点位辐射剂量率；考虑 ⁹⁰ Y 肿瘤手术					

过程人员可能受到 DSA 或 SPECT/CT 照射情况，DSA 对应点位剂量率及 SPECT/CT 剂量率根据对应场所竣工环境保护验收监测数据取值；本项目 ⁹⁰Y 肿瘤治疗 DSA 辐射工作人员为分组制轮班，单名医护人员年最大手术量为总手术量的 60%。

本项目不新增辐射工作人员，依托核医学科和3号DSA机房辐射现有工作人员开展肿瘤治疗，因此⁹⁰Y肿瘤治疗部分工作人员受照剂量需考虑叠加。根据医院最近一年辐射工作人员个人剂量检测报告，取最近一年每个季度本项目核医学科现有辐射工作人员个人剂量最大值进行保守估算可得，核医学科辐射工作人员年有效剂量最大为0.14mSv。

表 11-8 辐射工作人员年有效剂量叠加估算

序号	人员	本项目所致年有效剂量 (mSv)	原岗位所致年有效剂量 (mSv)	叠加后年有效剂量 (mSv)
1	药物分装及注射间工作人员	1.47E-02	0.14	1.61E-01
2	DSA 医护人员	3.23E+00	0.386	3.62E+00
3	DSA 控制室技师	3.03E-01	0.386	6.89E-01
4	SPECT/CT 控制室技师	1.25E-02	0.14	1.39E-01

注：本项目核医学科及 3 号 DSA 目前已投入使用，辐射工作人员叠加受照剂量保守取最近一年度个人剂量监测报告中核医学科与介入辐射工作人员最大年受照剂量。

叠加后本项目辐射工作人员的年有效剂量最大为 3.62mSv，满足辐射工作人员年有效剂量约束值不超过 5mSv 的要求。

(4) 公众受照剂量估算

本项目辐射工作场所周边公众人员主要为医院内工作人员、患者及家属等。对于核医学科、3 号 DSA 机房及 ⁹⁰Y 患者病房等区域周围 50m 范围内其他公众，本评价保守按照与相关用房相邻用房和具有代表性的建筑物、区域进行核算。

根据 ⁹⁰Y 肿瘤治疗场所周围公众的可到达性及停留时间对公众的年受照剂量进行分析。公众年有效剂量按照式 11-4 计算，据表 11-2 及表 11-4 预测结果，公众年有效剂量计算结果见表 11-9。机房外更远的关注点不考虑距离衰减和中间其它屏蔽因素。

表11-9 公众年有效剂量计算结果

场所	位置描述	相对于场所方位	韧致辐射剂量率 (μSv/h)	年受照时间(h)	γ辐射剂量率 (μSv/h)	年受照时间 (h)	叠加辐射剂量率* (μSv/h)	年出束时间 (h)	居留因子	年有效剂量 (mSv)
核医学科 诊断场	走廊	东侧紧邻	3.75E-03	70	9.69E-06	110	1.10E-02	2000	1/5	4.45E-03
	地下庭院	南侧紧邻	3.75E-03	70	9.69E-06	110	1.10E-02	2000	1/20	1.11E-03
	放疗科区域	西侧紧邻	3.75E-03	70	9.69E-06	110	1.10E-02	2000	1/4	5.57E-03
	核医学科	北侧	3.75E-03	70	9.69E-06	110	1.10E-02	2000	1/20	1.11E-03

所	等候区	紧邻								
	示教室	北侧 紧邻	3.75E-03	70	9.69E-06	110	1.10E-02	2000	1/4	5.57E-03
	诊室	北侧 紧邻	3.75E-03	70	9.69E-06	110	1.10E-02	2000	1/4	5.57E-03
	电梯厅	北侧 紧邻	3.75E-03	70	9.69E-06	110	1.10E-02	2000	1/20	1.11E-03
	地下停 车场	北侧 11m	3.75E-03	70	9.69E-06	110	1.10E-02	2000	1/20	9.20E-06
	院区地 面消防 车道	上方 相邻	3.75E-03	70	9.69E-06	110	1.10E-02	2000	1/20	1.12E-03
	门诊医 技楼部 分机房 及走廊 (局部)	上方 相邻	3.75E-03	70	9.69E-06	110	1.10E-02	2000	1/2	1.11E-02
3 号 DS A 机 房	过道	南侧 紧邻	4.87E-02	200	2.97E-03	400	9.00E-03	200	1/5	2.43E-03
	设备间	西侧 紧邻	4.87E-02	200	2.97E-03	400	9.00E-03	200	1/16	7.58E-04
	污物 走廊	北侧 紧邻	4.87E-02	200	2.97E-03	400	9.00E-03	200	1/4	3.03E-03
	淋洗间	北侧 1.5m	4.87E-02	200	2.97E-03	400	9.00E-03	200	1/16	3.37E-04
	废物间	北侧 1.5m	4.87E-02	200	2.97E-03	400	9.00E-03	200	1/16	3.37E-04
	楼顶 平台	上方 相邻	4.87E-02	200	2.97E-03	400	9.00E-03	200	1/16	7.58E-04
	手术区	下方 相邻	4.87E-02	200	2.97E-03	400	9.00E-03	200	1/2	6.07E-03
90Y 患 者 病 房	其他 病房	东侧 紧邻	7.22E-01	4800	1.89E-02	2400	/	/	1/40	8.78E-02
	患者 走廊	北侧 紧邻	6.72E-02	4800	1.76E-03	2400	/	/	1/5	6.54E-02
	物品存 放间	北侧 3m	6.72E-02	4800	1.76E-03	2400	/	/	1/20	1.82E-03
	避难间	北侧 3m	6.72E-02	4800	1.76E-03	2400	/	/	1/16	2.27E-03
	污洗间	东北 侧 7m	6.72E-02	4800	1.76E-03	2400	/	/	1/16	4.17E-04
	其他 病房	上方 相邻	1.44E-02	4800	1.76E-04	2400	/	/	1/40	1.74E-03
	其他 病房	下方 相邻	1.44E-02	4800	1.76E-04	2400	/	/	1/40	1.74E-03

注：本项目辐射剂量率已根据表 11-2 和表 11-4 保守取对应场所最大值进行估算；本项目核医学科诊断场所、3 号 DSA 机房公众年有效剂量拟保守取 SPECT/CT 机房周边辐射剂量率最大点位值进行估算，现有核医学科、3 号 DSA 机房叠加剂量率拟根据《温州医科大学附属第二医院瑶溪分院核医学及射线装置项目竣工环境保护验收监测》保守取对应区域周边监测结果最大值作为叠加剂量率（扣除本底）；其中核医学科 ^{99m}Tc 段年出束时间根据 $400 \text{ 次/年} \times (15\text{min}+1\text{min}+30\text{s})=110\text{h}$ ， ^{90}Y 年出束时间根据 $200 \text{ 次/年} \times (15\text{min}+1\text{min}+5\text{min})=70\text{h}$ 计；本项目 ^{90}Y 肿瘤治疗每周开展 2 天，每天住院患者人数为 2 人，均安排于同间病房，年出束时间为 4800h，辐射剂量率取 3#病房周围对应剂量率计。

由表 11-9 可得，本项目依托核医学科和 3 号 DSA 机房及其配套用房开展肿瘤治疗后，周边公众年最大有效剂量为 $8.78\text{E-}02\text{mSv}$ ，根据关注点剂量率与关注点距辐射源点的距离成反比关系的规律可知，距离机房越远，辐射剂量率越低，距离机房更远

处的公众人员受照剂量不会大于 8.78E-02mSv，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 0.1mSv/a 的公众人员年管理剂量约束值。

11.2.2 拟建 DSA 部分

11.2.2.1 射线装置辐射环境影响分析

本项目 DSA 射线装置拟设于门诊医技楼五层，本次评价对 DSA 机房周围辐射环境影响采用理论计算模式预测的方式进行影响分析。

本项目 DSA 设备暂未确定型号、参数等，本次评价保守参考目前市面上最大管电压、最大管电流的 DSA 型号进行影响分析，参考 DSA 设备参数与工况见表 11-10。

表11-10 本项目 DSA 设备参数与工况及防护情况

设备型号	未定		
技术参数	最大管电压 150kV/最大管电流 1300mA		
过滤材料	不小于 2.5mmAl		
最大照射野	100cm ²		
工况模式	减影	正常工况下 最大常用电压 100kV 最大常用电流 500mA	距靶 1m 处发射率常数
	透视	正常工况下 最大常用电压 90kV 最大常用电流 15mA	
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		
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，发射率常数为 0.09mGy/mA·s，90kV 电压下，发射率常数为 0.075mGy/mA·s； 2.参考国际放射防护委员会第 33 号出版物《医用外照射源的辐射防护》“（77）用于诊断目的的每一个 X 射线管必须封闭在管套内，以使得位于该套管内的 X 射线管在制造厂规定的每个额定值时，离焦点 1m 处所测得的泄漏辐射在空气中的比释动能不超过 1mGy/h”。			

根据《辐射防护导论》射线装置距靶 1m 处的空气比释动能率，按公式 11-4 计算：

$$\dot{K} = I \cdot \delta_x \frac{r_0^2}{r^2} \quad (\text{式 11-4})$$

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/s；

I—管电流 (mA)；

δ_x —管电流为 1mA，距靶 1m 处的发射率常数，mGy/(mA·s)；

$r_0=1\text{m}$ ；

r—源至关注点的距离，m。

表 11-6 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(AI)厚度 (mm)	距靶 1m 处的发射率常数 (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 (μGy/h)
DSA	减影	2.5	0.09	100	500	1.62×10 ⁸
	透视	2.5	0.075	90	15	4.05×10 ⁶

取医生手术位、控制室操作位、防护墙外 30cm 处、铅防护门外 30cm 等处为预测点位，具体预测点位见图 11-4、图 11-5 和表 11-7。

表11-7 本项目DSA机房预测关注点位

关注点位描述		方位	泄漏情况距辐射源点 (靶点) 最近距离 (m)	散射情况距辐射散射点 (患者体表) 最近距离 (m)
7 号 DSA				
1#7 号 DSA 机房术者位	第一术者位 (身体铅衣内、身体铅衣外)	机房内	0.6	0.5
	第二术者位 (身体铅衣内、身体铅衣外)	机房内	1.0	0.9
2#7 号 DSA 机房地坪下方距楼下地面 170cm 处		下方	2.8	3.5
3#7 号 DSA 机房顶棚上方距顶棚地面 100cm 处		上方	4.4	3.7
4#7 号 DSA 机房东侧医护防护门外 30cm 处		东侧	5.5	5.5
5#7 号 DSA 机房东侧观察窗外 30cm 处		东侧	5.2	5.2
6#7 号 DSA 机房东侧墙体外 30cm 处		东侧	5.5	5.5
7#7 号 DSA 机房南侧墙体外 30cm 处		南侧	5.2	5.2
8#7 号 DSA 机房患者防护门外 30cm 处		西侧	5.7	5.7
9#7 号 DSA 机房西侧墙体外 30cm 处		西侧	4.3	4.3
10#7 号 DSA 机房污物防护门外 30cm 处		北侧	5.6	5.6
11#7 号 DSA 机房北侧墙体外 30cm 处		北侧	4.9	4.9
8 号 DSA				
12#8 号 DSA 机房术者位	第一术者位 (身体铅衣内、身体铅衣外)	机房内	0.6	0.5
	第二术者位 (身体铅衣内、身体铅衣外)	机房内	1.0	0.9
13#8 号 DSA 机房地坪下方距楼下地面 170cm 处		下方	2.8	3.5
14#8 号 DSA 机房顶棚上方距顶棚地面 100cm 处		上方	4.4	3.7
15#8 号 DSA 机房东侧墙体 30cm 处 (器械间)		东侧	5.5	5.3
16#8 号 DSA 机房东侧墙体 30cm 处 (设备间)		东侧	4.6	4.8
17#8 号 DSA 机房东侧墙体外 30cm 处 (无菌库房)		东侧	5.7	5.7
18#8 号 DSA 机房东侧墙体 30cm 处 (库房)		东侧	7.3	7.3
19#8 号 DSA 机房南侧观察窗外 30cm 处		南侧	6.9	6.9
20#8 号 DSA 机房医护防护门外 30cm 处		南侧	7.3	7.3
21#8 号 DSA 机房污物防护门外 30cm 处		西侧	7.0	7.0
22#8 号 DSA 机房西侧墙体外 30cm 处		西侧	4.5	4.5
23#8 号 DSA 机房北侧墙体外 30cm 处		北侧	4.8	4.8
24#8 号 DSA 机房患者防护门外 30cm 处		北侧	5.4	5.4

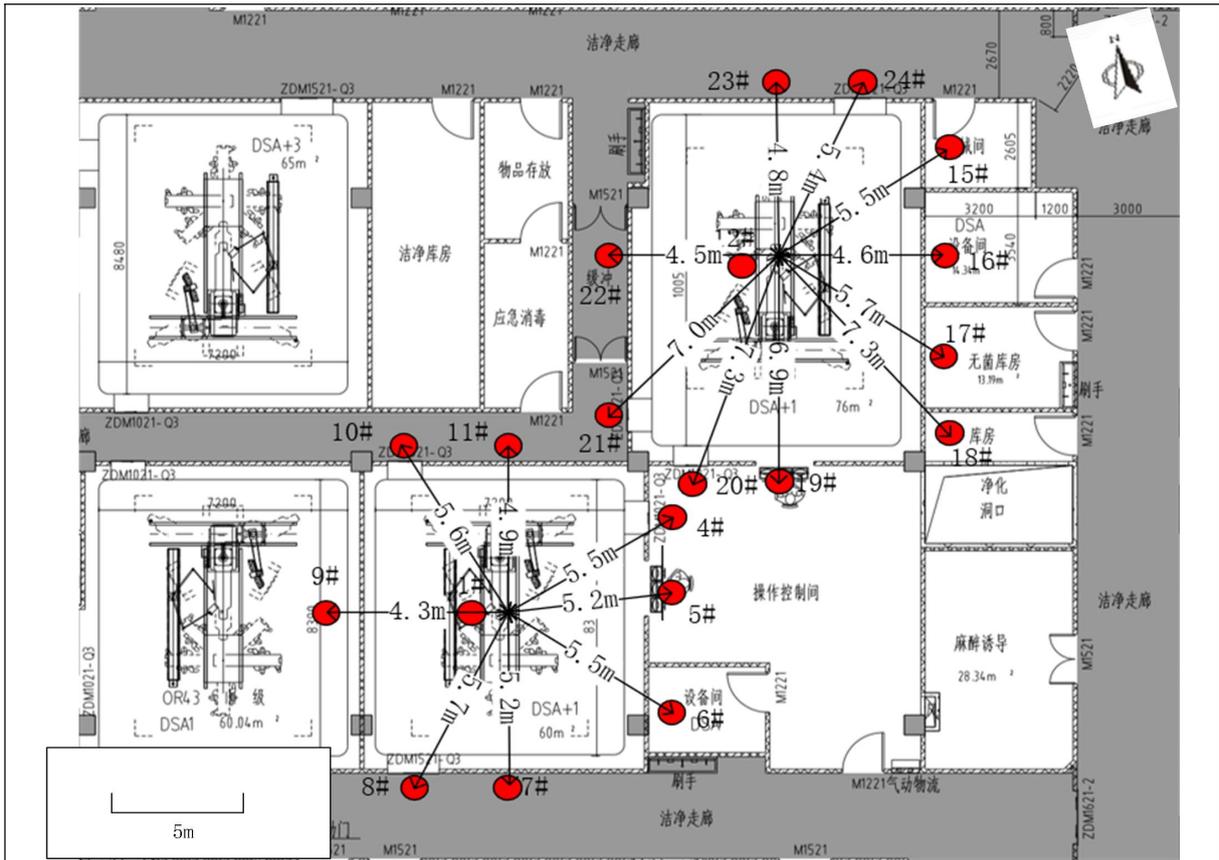


图 11-4 7号 DSA、8号 DSA 机房预测关注点位示意图

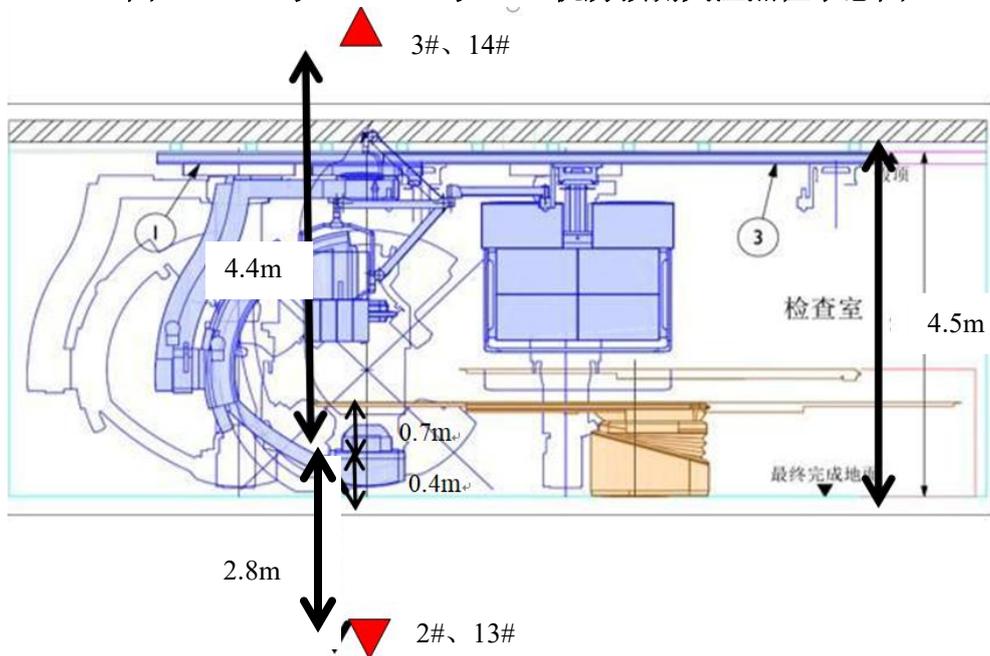


图 11-5 上下层预测点位距源点距离示意图

DSA 设备的辐射场由三种射线组成：主射线、散射线、漏射线。本项目 DSA 拟配备单管头设备，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 X-Ray Imaging Facilities” 4.1.6 节 (Primary Barriers, P41~P45) 及 5.1 节 (Cardiac Angiography, P72) 指出, DSA 屏蔽估算时不需要考虑主束照射。因此, 下述影响分析计算主要考虑泄漏和散射辐射对周围环境的影响。

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。

①患者体表散射屏蔽估算

$$H_s = \frac{H_0 \cdot a \cdot B \cdot (s/400)}{(d_0 \cdot d_s)^2} \quad (\text{式 11-5})$$

式中:

H_s ----预测点处的散射剂量率, $\mu\text{Gy/h}$;

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 ----源与患者的距离, m, 取 0.7m;

d_s ----患者与预测点的距离, m;

B ---屏蔽透射因子, 按照《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 附录C中公式和参数计算, 公式计算见式11-4。

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha \gamma X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad (\text{式 11-6})$$

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11-8。

表 11-8 铅对 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

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

散射辐射各预测点屏蔽透射因子计算结果见表11-9和表11-10。

表 11-9 100kV 减影工况下散射辐射各预测点屏蔽透射因子计算结果

预测点位	防护情况	屏蔽厚度	α	β	γ	B
2#7 号 DSA 机房地坪下方 距楼下地面 170cm 处	160mm 混凝土 +2mmPb 硫酸钡防	3.3mmPb	2.507	15.33	0.9124	2.97E-05

	护涂料					
3#7号 DSA 机房顶棚上方距顶棚地面 100cm 处	160mm 混凝土+2mm 铅板	3.3mmPb	2.507	15.33	0.9124	2.97E-05
4#7号 DSA 机房东侧医护防护门外 30cm 处	内村 4mm 铅板	4.0mmPb	2.507	15.33	0.9124	5.14E-06
5#7号 DSA 机房东侧观察窗外 30cm 处	4.0mmPb 铅玻璃	4.0mmPb	2.507	15.33	0.9124	5.14E-06
6#7号 DSA 机房东侧墙体 外 30cm 处	轻钢龙骨隔墙+4.0mm 铅板夹层	4.0mmPb	2.507	15.33	0.9124	5.14E-06
7#7号 DSA 机房南侧墙体 外 30cm 处	轻钢龙骨隔墙+4.0mm 铅板夹层	4.0mmPb	2.507	15.33	0.9124	5.14E-06
8#7号 DSA 机房患者防护门外 30cm 处	内村 4mm 铅板	4.0mmPb	2.507	15.33	0.9124	5.14E-06
9#7号 DSA 机房西侧墙体 外 30cm 处	轻钢龙骨隔墙+4.0mm 铅板夹层	4.0mmPb	2.507	15.33	0.9124	5.14E-06
10#7号 DSA 机房污物防护门外 30cm 处	内村 4mm 铅板	4.0mmPb	2.507	15.33	0.9124	5.14E-06
11#7号 DSA 机房北侧墙体 外 30cm 处	轻钢龙骨隔墙+4.0mm 铅板夹层	4.0mmPb	2.507	15.33	0.9124	5.14E-06
13#8号 DSA 机房地坪下方距楼下地面 170cm 处	160mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡防护涂料	3.3mmPb	2.507	15.33	0.9124	2.97E-05
14#8号 DSA 机房顶棚上方距顶棚地面 100cm 处	160mm 混凝土+2mm 铅板	3.3mmPb	2.507	15.33	0.9124	2.97E-05
15#8号 DSA 机房东侧墙体 30cm 处（器械间）	轻钢龙骨隔墙+4.0mm 铅板夹层	4.0mmPb	2.507	15.33	0.9124	5.14E-06
16#8号 DSA 机房东侧墙体 30cm 处（设备间）	轻钢龙骨隔墙+4.0mm 铅板夹层	4.0mmPb	2.507	15.33	0.9124	5.14E-06
17#8号 DSA 机房东侧墙体 外 30cm 处（无菌库房）	轻钢龙骨隔墙+4.0mm 铅板夹层	4.0mmPb	2.507	15.33	0.9124	5.14E-06
18#8号 DSA 机房东侧墙体 30cm 处（库房）	轻钢龙骨隔墙+4.0mm 铅板夹层	4.0mmPb	2.507	15.33	0.9124	5.14E-06
19#8号 DSA 机房南侧观察窗外 30cm 处	4mmPb 铅玻璃	4.0mmPb	2.507	15.33	0.9124	5.14E-06
20#8号 DSA 机房医护防护门外 30cm 处	内村 4mm 铅板	4.0mmPb	2.507	15.33	0.9124	5.14E-06
21#8号 DSA 机房污物防护门外 30cm 处	内村 4mm 铅板	4.0mmPb	2.507	15.33	0.9124	5.14E-06
22#8号 DSA 机房西侧墙体 外 30cm 处	轻钢龙骨隔墙+4.0mm 铅板夹层	4.0mmPb	2.507	15.33	0.9124	5.14E-06
23#8号 DSA 机房北侧墙体 外 30cm 处	轻钢龙骨隔墙+4.0mm 铅板夹层	4.0mmPb	2.507	15.33	0.9124	5.14E-06
24#8号 DSA 机房患者防护门外 30cm 处	内村 4mm 铅板	4.0mmPb	2.507	15.33	0.9124	5.14E-06

表 11-10 90kV 透视工况下散射辐射各预测点屏蔽透射因子计算结果

预测点位	防护情况	屏蔽厚度	α	β	γ	B
1#7号 DSA 第一术者位(身体铅衣内)	0.5mmPb 铅衣+0.5mmPb 铅悬挂帘	1.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	4.08E-03
1#7号 DSA 第一术者位(身	0.5mmPb 铅悬挂帘	0.5mmPb	3.067	18.83	0.7726	2.52E-02

体铅衣外)						
1#7号 DSA 第二术者位(身体铅衣内)	0.5mmPb 铅衣 +0.5mmPb 铅悬挂帘	1.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	4.08E-03
1#7号 DSA 第二术者位(身体铅衣外)	0.5mmPb 铅悬挂帘	0.5mmPb	3.067	18.83	0.7726	2.52E-02
2#7号 DSA 机房地坪下方距楼下地面 170cm 处	160mm 混凝土 +2mmPb 硫酸钡防护涂料	3.3mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.16E-06
3#7号 DSA 机房顶棚上方距顶棚地面 100cm 处	160mm 混凝土 +2mm 铅板	3.3mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.16E-06
4#7号 DSA 机房东侧医护防护门外 30cm 处	内衬 4mm 铅板	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07
5#7号 DSA 机房东侧观察窗外 30cm 处	4.0mmPb 铅玻璃	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07
6#7号 DSA 机房东侧墙体外 30cm 处	轻钢龙骨隔墙 +4.0mm 铅板夹层	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07
7#7号 DSA 机房南侧墙体外 30cm 处	轻钢龙骨隔墙 +4.0mm 铅板夹层	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07
8#7号 DSA 机房患者防护门外 30cm 处	内衬 4mm 铅板	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07
9#7号 DSA 机房西侧墙体外 30cm 处	轻钢龙骨隔墙 +4.0mm 铅板夹层	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07
10#7号 DSA 机房污物防护门外 30cm 处	内衬 4mm 铅板	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07
11#7号 DSA 机房北侧墙体外 30cm 处	轻钢龙骨隔墙 +4.0mm 铅板夹层	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07
12#8号 DSA 第一术者位(身体铅衣内)	0.5mmPb 铅衣 +0.5mmPb 铅悬挂帘	1.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	4.08E-03
12#8号 DSA 第一术者位(身体铅衣外)	0.5mmPb 铅悬挂帘	0.5mmPb	3.067	18.83	0.7726	2.52E-02
12#8号 DSA 第二术者位(身体铅衣内)	0.5mmPb 铅衣 +0.5mmPb 铅悬挂帘	1.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	4.08E-03
12#8号 DSA 第二术者位(身体铅衣外)	0.5mmPb 铅悬挂帘	0.5mmPb	3.067	18.83	0.7726	2.52E-02
13#8号 DSA 机房地坪下方距楼下地面 170cm 处	160mm 混凝土 +2mmPb 硫酸钡防护涂料	3.3mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07
14#8号 DSA 机房顶棚上方距顶棚地面 100cm 处	160mm 混凝土 +2mm 铅板	3.3mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07
15#8号 DSA 机房东侧墙体 30cm 处(器械间)	轻钢龙骨隔墙 +4.0mm 铅板夹层	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07
16#8号 DSA 机房东侧墙体 30cm 处(设备间)	轻钢龙骨隔墙 +4.0mm 铅板夹层	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07
17#8号 DSA 机房东侧墙体外 30cm 处(无菌库房)	轻钢龙骨隔墙 +4.0mm 铅板夹层	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07
18#8号 DSA 机房东侧墙体 30cm 处(库房)	轻钢龙骨隔墙 +4.0mm 铅板夹层	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07
19#8号 DSA 机房南侧观察	4mmPb 铅玻璃	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07

窗外 30cm 处							
20#8 号 DSA 机房医护防护门外 30cm 处	内衬 4mm 铅板	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07	
21#8 号 DSA 机房污物防护门外 30cm 处	内衬 4mm 铅板	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07	
22#8 号 DSA 机房西侧墙体外 30cm 处	轻钢龙骨隔墙+4.0mm 铅板夹层	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07	
23#8 号 DSA 机房北侧墙体外 30cm 处	轻钢龙骨隔墙+4.0mm 铅板夹层	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07	
24#8 号 DSA 机房患者防护门外 30cm 处	内衬 4mm 铅板	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07	

各预测点位散射辐射剂量计算参数及结果见表 11-11。

表 11-11 各预测点散射辐射剂量率计算参数及结果

工作模式	关注点位	H_0	α	s	d_0	d_s	B	H_s
		$\mu\text{Gy/h}$	/	cm^2	m	m	/	$\mu\text{Gy/h}$
减影	2#7 号 DSA 机房地坪下方距楼下地面 170cm 处	1.62E+08	0.0013	100	0.7	2.8	2.97E-05	4.07E-01
	3#7 号 DSA 机房顶棚上方距顶棚地面 100cm 处	1.62E+08	0.0013	100	0.7	4.4	2.97E-05	1.65E-01
	4#7 号 DSA 机房东侧医护防护门外 30cm 处	1.62E+08	0.0013	100	0.7	5.5	5.14E-06	1.83E-02
	5#7 号 DSA 机房东侧观察窗外 30cm 处	1.62E+08	0.0013	100	0.7	5.2	5.14E-06	2.04E-02
	6#7 号 DSA 机房东侧墙体外 30cm 处	1.62E+08	0.0013	100	0.7	5.5	5.14E-06	1.83E-02
	7#7 号 DSA 机房南侧墙体外 30cm 处	1.62E+08	0.0013	100	0.7	5.2	5.14E-06	2.04E-02
	8#7 号 DSA 机房患者防护门外 30cm 处	1.62E+08	0.0013	100	0.7	5.7	5.14E-06	1.70E-02
	9#7 号 DSA 机房西侧墙体外 30cm 处	1.62E+08	0.0013	100	0.7	4.3	5.14E-06	2.99E-02
	10#7 号 DSA 机房污物防护门外 30cm 处	1.62E+08	0.0013	100	0.7	5.6	5.14E-06	1.76E-02
	11#7 号 DSA 机房北侧墙体外 30cm 处	1.62E+08	0.0013	100	0.7	4.9	5.14E-06	2.30E-02
	13#8 号 DSA 机房地坪下方距楼下地面 170cm 处	1.62E+08	0.0013	100	0.7	2.8	2.97E-05	4.07E-01
	14#8 号 DSA 机房顶棚上方距顶棚地面 100cm 处	1.62E+08	0.0013	100	0.7	4.4	2.97E-05	1.65E-01
	15#8 号 DSA 机房东侧墙体 30cm 处 (器械间)	1.62E+08	0.0013	100	0.7	5.5	5.14E-06	1.83E-02
	16#8 号 DSA 机房东侧墙体 30cm 处 (设备间)	1.62E+08	0.0013	100	0.7	4.6	5.14E-06	2.61E-02
	17#8 号 DSA 机房东侧墙体外 30cm 处 (无菌库房)	1.62E+08	0.0013	100	0.7	5.7	5.14E-06	1.70E-02
	18#8 号 DSA 机房东侧墙体 30cm 处 (库房)	1.62E+08	0.0013	100	0.7	7.3	5.14E-06	1.04E-02

	19#8号 DSA 机房南侧观察窗外 30cm 处	1.62E+08	0.0013	100	0.7	6.9	5.14E-06	1.16E-02
	20#8号 DSA 机房医护防护门外 30cm 处	1.62E+08	0.0013	100	0.7	7.3	5.14E-06	1.04E-02
	21#8号 DSA 机房污物防护门外 30cm 处	1.62E+08	0.0013	100	0.7	7.0	5.14E-06	1.13E-02
	22#8号 DSA 机房西侧墙体外 30cm 处	1.62E+08	0.0013	100	0.7	4.5	5.14E-06	2.73E-02
	23#8号 DSA 机房北侧墙体外 30cm 处	1.62E+08	0.0013	100	0.7	4.8	5.14E-06	2.40E-02
	24#8号 DSA 机房患者防护门外 30cm 处	1.62E+08	0.0013	100	0.7	5.4	5.14E-06	1.89E-02
透视	1#7号 DSA 第一术者位(身体铅衣内)	4.05E+06	0.0013	100	0.7	0.5	4.08E-03	43.8
	1#7号 DSA 第一术者位(身体铅衣外)	4.05E+06	0.0013	100	0.7	0.5	2.52E-02	271
	1#7号 DSA 第二术者位(身体铅衣内)	4.05E+06	0.0013	100	0.7	0.9	4.08E-03	13.5
	1#7号 DSA 第二术者位(身体铅衣外)	4.05E+06	0.0013	100	0.7	0.9	2.52E-02	83.6
	2#7号 DSA 机房地坪下方距楼下地面 170cm 处	4.05E+06	0.0013	100	0.7	2.8	3.16E-06	1.08E-03
	3#7号 DSA 机房顶棚上方距顶棚地面 100cm 处	4.05E+06	0.0013	100	0.7	4.4	3.16E-06	4.38E-04
	4#7号 DSA 机房东侧医护防护门外 30cm 处	4.05E+06	0.0013	100	0.7	5.5	3.69E-07	3.28E-05
	5#7号 DSA 机房东侧观察窗外 30cm 处	4.05E+06	0.0013	100	0.7	5.2	3.69E-07	3.67E-05
	6#7号 DSA 机房东侧墙体外 30cm 处	4.05E+06	0.0013	100	0.7	5.5	3.69E-07	3.28E-05
	7#7号 DSA 机房南侧墙体外 30cm 处	4.05E+06	0.0013	100	0.7	5.2	3.69E-07	3.67E-05
	8#7号 DSA 机房患者防护门外 30cm 处	4.05E+06	0.0013	100	0.7	5.7	3.69E-07	3.05E-05
	9#7号 DSA 机房西侧墙体外 30cm 处	4.05E+06	0.0013	100	0.7	4.3	3.69E-07	5.36E-05
	10#7号 DSA 机房污物防护门外 30cm 处	4.05E+06	0.0013	100	0.7	5.6	3.69E-07	3.16E-05
	11#7号 DSA 机房北侧墙体外 30cm 处	4.05E+06	0.0013	100	0.7	4.9	3.69E-07	4.13E-05
	12#8号 DSA 第一术者位(身体铅衣内)	4.05E+06	0.0013	100	0.7	0.5	4.08E-03	43.8
	12#8号 DSA 第一术者位(身体铅衣外)	4.05E+06	0.0013	100	0.7	0.5	2.52E-02	271
	12#8号 DSA 第二术者位(身体铅衣内)	4.05E+06	0.0013	100	0.7	0.9	4.08E-03	13.5
	12#8号 DSA 第二术者位(身体铅衣外)	4.05E+06	0.0013	100	0.7	0.9	2.52E-02	83.6
	13#8号 DSA 机房地坪下方距楼下地面 170cm 处	4.05E+06	0.0013	100	0.7	2.8	3.69E-07	1.26E-04

14#8 号 DSA 机房顶棚上方距顶棚地面 100cm 处	4.05E+06	0.0013	100	0.7	4.4	3.69E-07	5.12E-05
15#8 号 DSA 机房东侧墙体 30cm 处 (器械间)	4.05E+06	0.0013	100	0.7	5.5	3.69E-07	3.28E-05
16#8 号 DSA 机房东侧墙体 30cm 处 (设备间)	4.05E+06	0.0013	100	0.7	4.6	3.69E-07	4.68E-05
17#8 号 DSA 机房东侧墙体 外 30cm 处 (无菌库房)	4.05E+06	0.0013	100	0.7	5.7	3.69E-07	3.05E-05
18#8 号 DSA 机房东侧墙体 30cm 处 (库房)	4.05E+06	0.0013	100	0.7	7.3	3.69E-07	1.86E-05
19#8 号 DSA 机房南侧观察窗外 30cm 处	4.05E+06	0.0013	100	0.7	6.9	3.69E-07	2.08E-05
20#8 号 DSA 机房医护防护门外 30cm 处	4.05E+06	0.0013	100	0.7	7.3	3.69E-07	1.86E-05
21#8 号 DSA 机房污物防护门外 30cm 处	4.05E+06	0.0013	100	0.7	7.0	3.69E-07	2.02E-05
22#8 号 DSA 机房西侧墙体 外 30cm 处	4.05E+06	0.0013	100	0.7	4.5	3.69E-07	4.86E-05
23#8 号 DSA 机房北侧墙体 外 30cm 处	4.05E+06	0.0013	100	0.7	4.8	3.69E-07	4.30E-05
24#8 号 DSA 机房患者防护门外 30cm 处	4.05E+06	0.0013	100	0.7	5.4	3.69E-07	3.40E-05

② 泄漏辐射剂量估算

泄漏辐射剂量率利用点源辐射进行计算，各预测点的泄漏辐射剂量率可用式 11-3 进行计算。

$$H_L = \frac{H_0 \cdot B}{d^2} \quad (\text{式 11-3})$$

式中：

H_L —预测点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》（GBZ130-2020）附录 C 中公式和参数计算，公式计算同式 10-1。

泄漏辐射各预测点屏蔽透射因子计算结果见表 11-12、表 11-13。

表 11-12 100kV 减影工况下泄漏辐射各预测点屏蔽透射因子计算结果

预测点位	防护情况	屏蔽厚度	α	β	γ	B
2#7 号 DSA 机房地坪下方距楼下地面 170cm 处	160mm 混凝土 +2mmPb 硫酸钡防护涂料	3.3mmPb	2.5	15.28	0.7557	1.95E-05
3#7 号 DSA 机房顶棚上方距顶棚地面 100cm 处	160mm 混凝土 +2mm 铅板	3.3mmPb	2.5	15.28	0.7557	1.95E-05

4#7号 DSA 机房东侧医护防护门外 30cm 处	内村 4mm 铅板	4.0mmPb	2.5	15.28	0.7557	3.39E-06
5#7号 DSA 机房东侧观察窗外 30cm 处	4.0mmPb 铅玻璃	4.0mmPb	2.5	15.28	0.7557	3.39E-06
6#7号 DSA 机房东侧墙体外 30cm 处	轻钢龙骨隔墙 +4.0mm 铅板夹层	4.0mmPb	2.5	15.28	0.7557	3.39E-06
7#7号 DSA 机房南侧墙体外 30cm 处	轻钢龙骨隔墙 +4.0mm 铅板夹层	4.0mmPb	2.5	15.28	0.7557	3.39E-06
8#7号 DSA 机房患者防护门外 30cm 处	内村 4mm 铅板	4.0mmPb	2.5	15.28	0.7557	3.39E-06
9#7号 DSA 机房西侧墙体外 30cm 处	轻钢龙骨隔墙 +4.0mm 铅板夹层	4.0mmPb	2.5	15.28	0.7557	3.39E-06
10#7号 DSA 机房污物防护门外 30cm 处	内村 4mm 铅板	4.0mmPb	2.5	15.28	0.7557	3.39E-06
11#7号 DSA 机房北侧墙体外 30cm 处	轻钢龙骨隔墙 +4.0mm 铅板夹层	4.0mmPb	2.5	15.28	0.7557	3.39E-06
13#8号 DSA 机房地坪下方距楼下地面 170cm 处	160mm 混凝土 +2mmPb 硫酸钡防护涂料	3.3mmPb	2.5	15.28	0.7557	1.95E-05
14#8号 DSA 机房顶棚上方距顶棚地面 100cm 处	160mm 混凝土 +2mm 铅板	3.3mmPb	2.5	15.28	0.7557	1.95E-05
15#8号 DSA 机房东侧墙体 30cm 处（器械间）	轻钢龙骨隔墙 +4.0mm 铅板夹层	4.0mmPb	2.5	15.28	0.7557	3.39E-06
16#8号 DSA 机房东侧墙体 30cm 处（设备间）	轻钢龙骨隔墙 +4.0mm 铅板夹层	4.0mmPb	2.5	15.28	0.7557	3.39E-06
17#8号 DSA 机房东侧墙体外 30cm 处（无菌库房）	轻钢龙骨隔墙 +4.0mm 铅板夹层	4.0mmPb	2.5	15.28	0.7557	3.39E-06
18#8号 DSA 机房东侧墙体 30cm 处（库房）	轻钢龙骨隔墙 +4.0mm 铅板夹层	4.0mmPb	2.5	15.28	0.7557	3.39E-06
19#8号 DSA 机房南侧观察窗外 30cm 处	4mmPb 铅玻璃	4.0mmPb	2.5	15.28	0.7557	3.39E-06
20#8号 DSA 机房医护防护门外 30cm 处	内村 4mm 铅板	4.0mmPb	2.5	15.28	0.7557	3.39E-06
21#8号 DSA 机房污物防护门外 30cm 处	内村 4mm 铅板	4.0mmPb	2.5	15.28	0.7557	3.39E-06
22#8号 DSA 机房西侧墙体外 30cm 处	轻钢龙骨隔墙 +4.0mm 铅板夹层	4.0mmPb	2.5	15.28	0.7557	3.39E-06
23#8号 DSA 机房北侧墙体外 30cm 处	轻钢龙骨隔墙 +4.0mm 铅板夹层	4.0mmPb	2.5	15.28	0.7557	3.39E-06
24#8号 DSA 机房患者防护门外 30cm 处	内村 4mm 铅板	4.0mmPb	2.5	15.28	0.7557	3.39E-06

表 11-13 90kV 透视工况下泄漏辐射各预测点屏蔽透射因子计算结果

预测点位	防护情况	屏蔽厚度	α	β	γ	B
1#7号 DSA 第一术者位（身体铅衣内）	0.5mmPb 铅衣 +0.5mmPb 铅悬挂帘	1.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	4.08E-03
1#7号 DSA 第一术者位（身体铅衣外）	0.5mmPb 铅悬挂帘	0.5mmPb	3.067	18.83	0.7726	2.52E-02
1#7号 DSA 第二术者位（身体铅衣内）	0.5mmPb 铅衣 +0.5mmPb 铅悬挂帘	1.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	4.08E-03

1#7号 DSA 第二术者位 (身体铅衣外)	0.5mmPb 铅悬挂帘	0.5mmPb	3.067	18.83	0.7726	2.52E-02
2#7号 DSA 机房地坪下 方距楼下地面 170cm 处	160mm 混凝土 +2mmPb 硫酸钡防护 涂料	3.3mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.16E-06
3#7号 DSA 机房顶棚上 方距顶棚地面 100cm 处	160mm 混凝土+2mm 铅板	3.3mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.16E-06
4#7号 DSA 机房东侧医 护防护门外 30cm 处	内村 4mm 铅板	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07
5#7号 DSA 机房东侧观 察窗外 30cm 处	4.0mmPb 铅玻璃	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07
6#7号 DSA 机房东侧墙 体外 30cm 处	轻钢龙骨隔墙 +4.0mm 铅板夹层	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07
7#7号 DSA 机房南侧墙 体外 30cm 处	轻钢龙骨隔墙 +4.0mm 铅板夹层	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07
8#7号 DSA 机房患者防 护门外 30cm 处	内村 4mm 铅板	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07
9#7号 DSA 机房西侧墙 体外 30cm 处	轻钢龙骨隔墙 +4.0mm 铅板夹层	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07
10#7号 DSA 机房污物防 护门外 30cm 处	内村 4mm 铅板	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07
11#7号 DSA 机房北侧墙 体外 30cm 处	轻钢龙骨隔墙 +4.0mm 铅板夹层	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07
12#8号 DSA 第一术者位 (身体铅衣内)	0.5mmPb 铅衣 +0.5mmPb 铅悬挂帘	1.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	4.08E-03
12#8号 DSA 第一术者位 (身体铅衣外)	0.5mmPb 铅悬挂帘	0.5mmPb	3.067	18.83	0.7726	2.52E-02
12#8号 DSA 第二术者位 (身体铅衣内)	0.5mmPb 铅衣 +0.5mmPb 铅悬挂帘	1.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	4.08E-03
12#8号 DSA 第二术者位 (身体铅衣外)	0.5mmPb 铅悬挂帘	0.5mmPb	3.067	18.83	0.7726	2.52E-02
13#8号 DSA 机房地坪下 方距楼下地面 170cm 处	160mm 混凝土 +2mmPb 硫酸钡防护 涂料	3.3mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07
14#8号 DSA 机房顶棚上 方距顶棚地面 100cm 处	160mm 混凝土+2mm 铅板	3.3mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07
15#8号 DSA 机房东侧墙 体 30cm 处(器械间)	轻钢龙骨隔墙 +4.0mm 铅板夹层	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07
16#8号 DSA 机房东侧墙 体 30cm 处(设备间)	轻钢龙骨隔墙 +4.0mm 铅板夹层	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07
17#8号 DSA 机房东侧墙 体外 30cm 处(无菌库房)	轻钢龙骨隔墙 +4.0mm 铅板夹层	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07
18#8号 DSA 机房东侧墙 体 30cm 处(库房)	轻钢龙骨隔墙 +4.0mm 铅板夹层	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07
19#8号 DSA 机房南侧观 察窗外 30cm 处	4mmPb 铅玻璃	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07
20#8号 DSA 机房医护防 护门外 30cm 处	内村 4mm 铅板	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07
21#8号 DSA 机房污物防 护门外 30cm 处	内村 4mm 铅板	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07

22#8号 DSA 机房西侧墙体外 30cm 处	轻钢龙骨隔墙 +4.0mm 铅板夹层	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07
23#8号 DSA 机房北侧墙体外 30cm 处	轻钢龙骨隔墙 +4.0mm 铅板夹层	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07
24#8号 DSA 机房患者防护门外 30cm 处	内衬 4mm 铅板	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07

各预测点位泄漏辐射剂量计算参数及结果见下表11-14。

表 11-14 各预测点泄漏辐射剂量率计算参数及结果

工作模式	关注点位置描述	H_0 ($\mu\text{Gy/h}$)	d (m)	B	H_L ($\mu\text{Gy/h}$)	
减影	2#7号 DSA 机房地坪下方距楼下地面 170cm 处	1×10^3	2.8	1.95E-05	2.49E-03	
	3#7号 DSA 机房顶棚上方距顶棚地面 100cm 处	1×10^3	4.4	1.95E-05	1.01E-03	
	4#7号 DSA 机房东侧医护防护门外 30cm 处	1×10^3	5.5	3.39E-06	1.12E-04	
	5#7号 DSA 机房东侧观察窗外 30cm 处	1×10^3	5.2	3.39E-06	1.25E-04	
	6#7号 DSA 机房东侧墙体外 30cm 处	1×10^3	5.5	3.39E-06	1.12E-04	
	7#7号 DSA 机房南侧墙体外 30cm 处	1×10^3	5.2	3.39E-06	1.25E-04	
	8#7号 DSA 机房患者防护门外 30cm 处	1×10^3	5.7	3.39E-06	1.04E-04	
	9#7号 DSA 机房西侧墙体外 30cm 处	1×10^3	4.3	3.39E-06	1.83E-04	
	10#7号 DSA 机房污物防护门外 30cm 处	1×10^3	5.6	3.39E-06	1.08E-04	
	11#7号 DSA 机房北侧墙体外 30cm 处	1×10^3	4.9	3.39E-06	1.41E-04	
	13#8号 DSA 机房地坪下方距楼下地面 170cm 处	1×10^3	2.8	1.95E-05	2.49E-03	
	14#8号 DSA 机房顶棚上方距顶棚地面 100cm 处	1×10^3	4.4	1.95E-05	1.01E-03	
	15#8号 DSA 机房东侧墙体 30cm 处 (器械间)	1×10^3	5.5	3.39E-06	1.12E-04	
	16#8号 DSA 机房东侧墙体 30cm 处 (设备间)	1×10^3	4.6	3.39E-06	1.60E-04	
	17#8号 DSA 机房东侧墙体外 30cm 处 (无菌库房)	1×10^3	5.7	3.39E-06	1.04E-04	
	18#8号 DSA 机房东侧墙体 30cm 处 (库房)	1×10^3	7.3	3.39E-06	6.36E-05	
	19#8号 DSA 机房南侧观察窗外 30cm 处	1×10^3	6.9	3.39E-06	7.12E-05	
	20#8号 DSA 机房医护防护门外 30cm 处	1×10^3	7.3	3.39E-06	6.36E-05	
	21#8号 DSA 机房污物防护门外 30cm 处	1×10^3	7.0	3.39E-06	6.92E-05	
	22#8号 DSA 机房西侧墙体外 30cm 处	1×10^3	4.5	3.39E-06	1.67E-04	
	23#8号 DSA 机房北侧墙体外 30cm 处	1×10^3	4.8	3.39E-06	1.47E-04	
	24#8号 DSA 机房患者防护门外 30cm 处	1×10^3	5.4	3.39E-06	1.16E-04	
	透视	1#7号 DSA 第一术者位 (身体铅衣内)	1×10^3	0.6	4.08E-03	11.3
		1#7号 DSA 第一术者位 (身体铅衣外)	1×10^3	0.6	2.52E-02	70
1#7号 DSA 第二术者位 (身体铅衣内)		1×10^3	1.0	4.08E-03	4.08	
1#7号 DSA 第二术者位 (身体铅衣外)		1×10^3	1.0	2.52E-02	25.2	
2#7号 DSA 机房地坪下方距楼下地面 170cm 处		1×10^3	2.8	3.16E-06	4.03E-04	
3#7号 DSA 机房顶棚上方距顶棚地面 100cm 处		1×10^3	4.4	3.16E-06	1.63E-04	
4#7号 DSA 机房东侧医护防护门外 30cm 处		1×10^3	5.5	3.69E-07	1.22E-05	
5#7号 DSA 机房东侧观察窗外 30cm 处		1×10^3	5.2	3.69E-07	1.36E-05	
6#7号 DSA 机房东侧墙体外 30cm 处		1×10^3	5.5	3.69E-07	1.22E-05	
7#7号 DSA 机房南侧墙体外 30cm 处		1×10^3	5.2	3.69E-07	1.36E-05	
8#7号 DSA 机房患者防护门外 30cm 处		1×10^3	5.7	3.69E-07	1.14E-05	
9#7号 DSA 机房西侧墙体外 30cm 处		1×10^3	4.3	3.69E-07	2.00E-05	
10#7号 DSA 机房污物防护门外 30cm 处		1×10^3	5.6	3.69E-07	1.18E-05	
11#7号 DSA 机房北侧墙体外 30cm 处		1×10^3	4.9	3.69E-07	1.54E-05	
12#8号 DSA 第一术者位 (身体铅衣内)		1×10^3	0.6	4.08E-03	11.3	
12#8号 DSA 第一术者位 (身体铅衣外)		1×10^3	0.6	2.52E-02	70	

12#8 号 DSA 第二术者位 (身体铅衣内)	1×10^3	1.0	4.08E-03	4.08
12#8 号 DSA 第二术者位 (身体铅衣外)	1×10^3	1.0	2.52E-02	25.2
13#8 号 DSA 机房地坪下方距楼下地面 170cm 处	1×10^3	2.8	3.69E-07	4.71E-05
14#8 号 DSA 机房顶棚上方距顶棚地面 100cm 处	1×10^3	4.4	3.69E-07	1.91E-05
15#8 号 DSA 机房东侧墙体 30cm 处 (器械间)	1×10^3	5.5	3.69E-07	1.22E-05
16#8 号 DSA 机房东侧墙体 30cm 处 (设备间)	1×10^3	4.6	3.69E-07	1.74E-05
17#8 号 DSA 机房东侧墙体外 30cm 处 (无菌库房)	1×10^3	5.7	3.69E-07	1.14E-05
18#8 号 DSA 机房东侧墙体 30cm 处 (库房)	1×10^3	7.3	3.69E-07	6.92E-06
19#8 号 DSA 机房南侧观察窗外 30cm 处	1×10^3	6.9	3.69E-07	7.75E-06
20#8 号 DSA 机房医护防护门外 30cm 处	1×10^3	7.3	3.69E-07	6.92E-06
21#8 号 DSA 机房污物防护门外 30cm 处	1×10^3	7.0	3.69E-07	7.53E-06
22#8 号 DSA 机房西侧墙体外 30cm 处	1×10^3	4.5	3.69E-07	1.85E-05

③漏射和散射总辐射剂量率估算

根据表 11-11 和表 11-14 的计算结果, 将各个预测点的总辐射剂量率统计于下表 11-15。

表 11-15 各个预测点的辐射剂量率

场所	工作模式	关注点位置描述	散射辐射剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)	泄漏辐射剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)	总辐射剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)
DSA 机房	减影	2#7 号 DSA 机房地坪下方距楼下地面 170cm 处	4.07E-01	2.49E-03	4.09E-01
		3#7 号 DSA 机房顶棚上方距顶棚地面 100cm 处	1.65E-01	1.01E-03	1.66E-01
		4#7 号 DSA 机房东侧医护防护门外 30cm 处	1.83E-02	1.12E-04	1.84E-02
		5#7 号 DSA 机房东侧观察窗外 30cm 处	2.04E-02	1.25E-04	2.05E-02
		6#7 号 DSA 机房东侧墙体外 30cm 处	1.83E-02	1.12E-04	1.84E-02
		7#7 号 DSA 机房南侧墙体外 30cm 处	2.04E-02	1.25E-04	2.05E-02
		8#7 号 DSA 机房患者防护门外 30cm 处	1.70E-02	1.04E-04	1.71E-02
		9#7 号 DSA 机房西侧墙体外 30cm 处	2.99E-02	1.83E-04	3.01E-02
		10#7 号 DSA 机房污物防护门外 30cm 处	1.76E-02	1.08E-04	1.77E-02
		11#7 号 DSA 机房北侧墙体外 30cm 处	2.30E-02	1.41E-04	2.31E-02
		13#8 号 DSA 机房地坪下方距楼下地面 170cm 处	4.07E-01	2.49E-03	4.09E-01
		14#8 号 DSA 机房顶棚上方距顶棚地面 100cm 处	1.65E-01	1.01E-03	1.66E-01
		15#8 号 DSA 机房东侧墙体 30cm 处 (器械间)	1.83E-02	1.12E-04	1.84E-02
		16#8 号 DSA 机房东侧墙体 30cm 处 (设备间)	2.61E-02	1.60E-04	2.63E-02
		17#8 号 DSA 机房东侧墙体外 30cm 处 (无菌库房)	1.70E-02	1.04E-04	1.71E-02
		18#8 号 DSA 机房东侧墙体 30cm 处 (库房)	1.04E-02	6.36E-05	1.05E-02
		19#8 号 DSA 机房南侧观察窗外 30cm 处	1.16E-02	7.12E-05	1.17E-02
		20#8 号 DSA 机房医护防护门外 30cm 处	1.04E-02	6.36E-05	1.05E-02
21#8 号 DSA 机房污物防护门外 30cm 处	1.13E-02	6.92E-05	1.14E-02		

		22#8 号 DSA 机房西侧墙体外 30cm 处	2.73E-02	1.67E-04	2.75E-02
		23#8 号 DSA 机房北侧墙体外 30cm 处	2.40E-02	1.47E-04	2.41E-02
		24#8 号 DSA 机房患者防护门外 30cm 处	1.89E-02	1.16E-04	1.90E-02
透视		1#7 号 DSA 第一术者位 (身体铅衣内)	43.8	11.3	55.1
		1#7 号 DSA 第一术者位 (身体铅衣外)	271	70	341
		1#7 号 DSA 第二术者位 (身体铅衣内)	13.5	4.08	17.6
		1#7 号 DSA 第二术者位 (身体铅衣外)	83.6	25.2	109
		2#7 号 DSA 机房地坪下方距楼下地面 170cm 处	1.08E-03	4.03E-04	1.48E-03
		3#7 号 DSA 机房顶棚上方距顶棚地面 100cm 处	4.38E-04	1.63E-04	6.01E-04
		4#7 号 DSA 机房东侧医护防护门外 30cm 处	3.28E-05	1.22E-05	4.50E-05
		5#7 号 DSA 机房东侧观察窗外 30cm 处	3.67E-05	1.36E-05	5.03E-05
		6#7 号 DSA 机房东侧墙体外 30cm 处	3.28E-05	1.22E-05	4.50E-03
		7#7 号 DSA 机房南侧墙体外 30cm 处	3.67E-05	1.36E-05	5.03E-05
		8#7 号 DSA 机房患者防护门外 30cm 处	3.05E-05	1.14E-05	4.19E-05
		9#7 号 DSA 机房西侧墙体外 30cm 处	5.36E-05	2.00E-05	7.36E-05
		10#7 号 DSA 机房污物防护门外 30cm 处	3.16E-05	1.18E-05	4.34E-05
		11#7 号 DSA 机房北侧墙体外 30cm 处	4.13E-05	1.54E-05	5.67E-05
		12#8 号 DSA 第一术者位 (身体铅衣内)	43.8	11.3	55.1
		12#8 号 DSA 第一术者位 (身体铅衣外)	271	70	341
		12#8 号 DSA 第二术者位 (身体铅衣内)	13.5	4.08	17.6
		12#8 号 DSA 第二术者位 (身体铅衣外)	83.6	25.2	109
		13#8 号 DSA 机房地坪下方距楼下地面 170cm 处	1.26E-04	4.71E-05	1.73E-04
		14#8 号 DSA 机房顶棚上方距顶棚地面 100cm 处	5.12E-05	1.91E-05	7.03E-05
		15#8 号 DSA 机房东侧墙体 30cm 处 (器械间)	3.28E-05	1.22E-05	4.50E-05
		16#8 号 DSA 机房东侧墙体 30cm 处 (设备间)	4.68E-05	1.74E-05	6.42E-05
		17#8 号 DSA 机房东侧墙体外 30cm 处 (无菌库房)	3.05E-05	1.14E-05	4.19E-05
		18#8 号 DSA 机房东侧墙体 30cm 处 (库房)	1.86E-05	6.92E-06	2.55E-05
		19#8 号 DSA 机房南侧观察窗外 30cm 处	2.08E-05	7.75E-06	2.86E-05
		20#8 号 DSA 机房医护防护门外 30cm 处	1.86E-05	6.92E-06	2.55E-05
	21#8 号 DSA 机房污物防护门外 30cm 处	2.02E-05	7.53E-06	2.77E-05	
	22#8 号 DSA 机房西侧墙体外 30cm 处	4.86E-05	1.85E-05	6.71E-05	
	23#8 号 DSA 机房北侧墙体外 30cm 处	4.30E-05	2.49E-03	2.53E-03	
	24#8 号 DSA 机房患者防护门外 30cm 处	3.40E-05	1.01E-03	1.04E-03	

本项目拟建 7 号 DSA 机房西侧紧邻其他 DSA 机房，且 7 号 DSA、8 号 DSA 共用控制室，因此本项目拟根据医院提供的现有场所检测报告及验收监测报告中相关检测数据对本项目各预测点位周边辐射剂量率进行叠加，具体叠加情况详见表 11-16。

表 11-16 各个预测点的叠加后总辐射剂量率

工作模式	关注点位置描述	关注点辐射剂量率 (μGy/h)	叠加剂量率 (μGy/h)	总辐射剂量率 (μGy/h)	
减影	2#7 号 DSA 机房地坪下方距楼下地面 170cm 处	4.09E-01	/	4.09E-01	
	3#7 号 DSA 机房顶棚上方距顶棚地面 100cm 处	1.66E-01	/	1.66E-01	
	4#7 号 DSA 机房东侧医护防护门外 30cm 处	1.84E-02	1.17E-02 ^②	3.01E-02	
	5#7 号 DSA 机房东侧观察窗外 30cm 处	2.05E-02	1.17E-02 ^②	3.22E-02	
	6#7 号 DSA 机房东侧墙体外 30cm 处	1.84E-02	/	1.84E-02	
	7#7 号 DSA 机房南侧墙体外 30cm 处	2.05E-02	6.00E-03 ^①	2.62E-02	
	8#7 号 DSA 机房患者防护门外 30cm 处	1.71E-02	6.00E-03 ^①	2.31E-02	
	9#7 号 DSA 机房西侧墙体外 30cm 处	3.01E-02	6.00E-03 ^①	3.61E-02	
	10#7 号 DSA 机房污物防护门外 30cm 处	1.77E-02	7.00E-03 ^①	2.47E-02	
	11#7 号 DSA 机房北侧墙体外 30cm 处	2.31E-02	7.00E-03 ^① +1.14E-02 ^③	4.15E-02	
	13#8 号 DSA 机房地坪下方距楼下地面 170cm 处	4.09E-01	/	4.09E-01	
	14#8 号 DSA 机房顶棚上方距顶棚地面 100cm 处	1.66E-01	/	1.66E-01	
	15#8 号 DSA 机房东侧墙体 30cm 处 (器械间)	1.84E-02	/	1.84E-02	
	16#8 号 DSA 机房东侧墙体 30cm 处 (设备间)	2.63E-02	/	2.63E-02	
	17#8 号 DSA 机房东侧墙体外 30cm 处 (无菌库房)	1.71E-02	/	1.71E-02	
	18#8 号 DSA 机房东侧墙体 30cm 处 (库房)	1.05E-02	/	1.05E-02	
	19#8 号 DSA 机房南侧观察窗外 30cm 处	1.17E-02	2.05E-02 ^③	3.22E-02	
	20#8 号 DSA 机房医护防护门外 30cm 处	1.05E-02	2.05E-02 ^③	3.10E-02	
	21#8 号 DSA 机房污物防护门外 30cm 处	1.14E-02	2.31E-02 ^③	3.45E-02	
	22#8 号 DSA 机房西侧墙体外 30cm 处	2.75E-02	/	2.75E-02	
	23#8 号 DSA 机房北侧墙体外 30cm 处	2.41E-02	/	2.41E-02	
	24#8 号 DSA 机房患者防护门外 30cm 处	1.90E-02	/	1.90E-02	
	透视	1#7 号 DSA 第一术者位 (身	55.1	/	55.1

体铅衣内)			
1#7号 DSA 第一术者位(身体铅衣外)	341	/	341
1#7号 DSA 第二术者位(身体铅衣内)	17.6	/	17.6
1#7号 DSA 第二术者位(身体铅衣外)	109	/	109
2#7号 DSA 机房地坪下方距楼下地面 170cm 处	1.48E-03	/	1.48E-03
3#7号 DSA 机房顶棚上方距顶棚地面 100cm 处	6.01E-04	/	6.01E-04
4#7号 DSA 机房东侧医护防护门外 30cm 处	4.50E-05	2.86E-05 ^②	7.36E-05
5#7号 DSA 机房东侧观察窗外 30cm 处	5.03E-05	2.86E-05 ^②	7.89E-05
6#7号 DSA 机房东侧墙体外 30cm 处	4.50E-03	/	4.50E-03
7#7号 DSA 机房南侧墙体外 30cm 处	5.03E-05	0 ^①	5.03E-05
8#7号 DSA 机房患者防护门外 30cm 处	4.19E-05	0 ^①	4.19E-05
9#7号 DSA 机房西侧墙体外 30cm 处	7.36E-05	3.00E-03 ^①	3.07E-03
10#7号 DSA 机房污物防护门外 30cm 处	4.34E-05	4.00E-03 ^①	4.04E-03
11#7号 DSA 机房北侧墙体外 30cm 处	5.67E-05	4.00E-03 ^① +2.77E-05 ^②	4.08E-03
12#8号 DSA 第一术者位(身体铅衣内)	55.1	/	55.1
12#8号 DSA 第一术者位(身体铅衣外)	341	/	341
12#8号 DSA 第二术者位(身体铅衣内)	17.6	/	17.6
12#8号 DSA 第二术者位(身体铅衣外)	109	/	109
13#8号 DSA 机房地坪下方距楼下地面 170cm 处	1.73E-04	/	1.73E-04
14#8号 DSA 机房顶棚上方距顶棚地面 100cm 处	7.03E-05	/	7.03E-05
15#8号 DSA 机房东侧墙体 30cm 处(器械间)	4.50E-05	/	4.50E-05
16#8号 DSA 机房东侧墙体 30cm 处(设备间)	6.42E-05	/	6.42E-05
17#8号 DSA 机房东侧墙体外 30cm 处(无菌库房)	4.19E-05	/	4.19E-05
18#8号 DSA 机房东侧墙体 30cm 处(库房)	2.55E-05	/	2.55E-05
19#8号 DSA 机房南侧观察窗外 30cm 处	2.86E-05	5.03E-05 ^③	7.89E-05
20#8号 DSA 机房医护防护	2.55E-05	5.03E-05 ^③	7.58E-05

	门外 30cm 处			
	21#8 号 DSA 机房污物防护 门外 30cm 处	2.77E-05	5.67E-05 ^③	8.44E-05
	22#8 号 DSA 机房西侧墙体 外 30cm 处	6.71E-05	/	6.71E-05
	23#8 号 DSA 机房北侧墙体 外 30cm 处	2.53E-03	/	2.53E-03
	24#8 号 DSA 机房患者防护 门外 30cm 处	1.04E-03	/	1.04E-03

注：本项目①处叠加剂量率主要为 7 号 DSA 机房与其西侧现有 1 号 DSA 机房相叠加，拟根据医院提供的《温州医科大学附属第二医院瑶溪分院核医学及射线装置项目竣工环境保护验收监测报告》（GABG-YB23705024-1）中门诊医技楼五层 1 号 DSA 机房相关点位监测数据（已扣除本底），其中机房上方点位数据保守按其最大周围辐射剂量率计，②③处叠加剂量率主要为 7 号 DSA 机房与 8 号 DSA 机房相叠加，拟根据表 11-11 相关点位数据进行叠加。

由表 11-12 计算结果可知：本项目 7 号 DSA、8 号 DSA 处于透视模式时，周边辐射剂量率最大为 4.08E-03 μ Gy/h（11#7 号 DSA 机房北侧墙体外 30cm 处）。减影模式时，DSA 机房周边辐射剂量率最大为 4.09E-01 μ Gy/h（2#7 号 DSA 机房地坪下方距楼下地面 170cm 处）。

综上，本项目 DSA 在正常运行情况下，透视时机房外控制室、四周防护墙外及防护门外的辐射剂量率能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中规定的具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 2.5 μ Sy/h 的要求；减影时本项目机房外控制室、四周防护墙外、防护门外、顶棚、地坪及观察窗外的辐射剂量率能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中具有短时、高剂量率曝光的摄影程序（DR、CR、屏片摄影）机房外的周围剂量当量率应不大于 25 μ Sy/h 的要求。

11.2.2.2 人员年有效剂量估算

DSA 减影曝光时，除存在临床不可接受的情况外工作人员均回到控制室进行操作，DSA 透视曝光时，由主治医生及辅助医生（或护士）在手术间内近台操作，技师通常不在手术间内。各点位处公众及职业人员的年有效剂量由方杰主编的《辐射防护导论》中的公式计算，计算公式如下：

$$D_{Eff} = Dr \times t \times T \quad (\text{式 11-4})$$

式中：

D_{Eff} ——辐射外照射人均年有效剂量，Sv；

Dr ——辐射剂量率，Sv/h；

t ——年工作时间，h；

T ——居留因子；

DSA 在进行曝光时分为两种减影与透视两种情况，下面就两种情况分别进行辐射环境影响评价。

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 11-17。

表11-17 不同场所居留因子的选取

场所	居留因子 (T)		示例
	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、治疗控制区、护士站、咨询台、有人护理的候诊室以及周边建筑物中的驻留区域
部分停留	1/4	1/2-1/5	1/2: 相邻的治疗室、与屏蔽室相邻的患者检查室 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: 各治疗室门 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、患者滞留区域、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

(1) 职业人员剂量估算

根据医院提供的资料，本项目每间 DSA 机房年最大手术量约为 500 台，按 1 台手术减影时间取 1min，透视时间取 20min，则每间 DSA 机房减影过程年总曝光时间为 8.3h，透视过程年总曝光时间为 166.7h，年总曝光时间为 175h。

本项目每间 DSA 拟配备辐射工作人员 11 名，包括手术医生 6 人，护士 3 人，技师 2 人。其中 DSA 机房配置的手术医生和护士拟分为 3 组，一般情况下，每台手术配备 1-2 名手术医生和 1-2 名护士，均依托医院现有介入科辐射工作人员。根据医院诊疗计划，本项目建成后，每台 DSA 年最大手术量均为 500 台，医生和护士同时参与同层其他 DSA 的使用，本项目医生单人承担最大手术台数按 200 台考虑，护士单人承担最大手术台数按 300 台考虑，控制室内拟配置 2 名技师，每个人承担的最大手术台数保守按 500 台计，，本项目辐射工作人员受照时间见表 11-18。

表11-18 DSA机房辐射工作人员的受照时间一览表

工作人员	单人最大手术台数 (台)	工作模式	单台手术时间 (min)	操作方式	工作时间 (h)
医生 1	200	透视	20	同室	66.7
		减影	1	隔室	3.3
医生 2	200	透视	20	同室	66.7
		减影	1	隔室	3.3
技师	500	透视	20	隔室	175
		减影	1		

护士	300	透视	20	同室	100
		减影	1	隔室	5

根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）对于介入放射学、核医学放射药物分装与注射等全身受照不均匀的工作情况，工作人员穿戴铅围裙时受到的有效剂量按照以下公式进行估算：

$$E_{\text{外}} = \alpha H_U + \beta H_O \quad (\text{式 11-5})$$

$E_{\text{外}}$ --有效剂量 E 中的外照射分量，单位为 mSv；

H_U --铅围裙内佩戴的个人剂量计测得的 $H_p(10)$ ，本项目取理论计算的医生铅衣内的年剂量，单位为 mSv；

α --系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.79，无屏蔽时，取 0.81，本项目 DSA 使用时采用铅围脖对医护人员进行甲状腺屏蔽，因此 α 取 0.79；

β --系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.051，无屏蔽时，取 0.1，本项目 DSA 使用时采用铅围脖对医护人员进行甲状腺屏蔽，因此 α 取 0.051；

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 $H_p(10)$ ，本项目取理论计算的医生铅衣外的年剂量，单位为 mSv；

职业人员居留因子均取 1，辐射工作人员年有效剂量估算结果见表 11-19。

表 11-19 辐射工作人员年有效剂量估算结果

工作人员	操作方式	工作时间 (h)	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)		居留因子	年有效剂量 (mSv)	剂量约束值 (mSv)
7 号 DSA							
医生 1	同室	66.7	第一术者位 (铅衣外)	341	1	4.06	5
			第一术者位 (铅衣内)	55.1			
	隔室	3.3	7 号 DSA 机房观察窗外 30cm 处	3.22E-02			
医生 2	同室	66.7	第二术者位 (铅衣外)	109	1	1.30	5
			第二术者位 (铅衣内)	17.6			
	隔室	3.3	7 号 DSA 机房观察窗外 30cm 处	3.22E-02			
技师	隔室	166.7	7 号 DSA 机房观察窗外 30cm 处	7.89E-05	1	2.80E-04	5
		8.3		3.22E-02			
护士	同室	100	第二术者位 (铅衣外)	109	1	1.95	5
			第二术者位 (铅衣内)	17.6			
	隔室	5	7 号 DSA 机房观察窗外 30cm 处	3.22E-02			
8 号 DSA							
医生 1	同室	66.7	第一术者位 (铅衣外)	341	1	4.06	5
			第一术者位 (铅衣内)	55.1			
	隔室	3.3	7 号 DSA 机房观察窗外 30cm 处	3.22E-02			

医生 2	同室	66.7	第二术者位（铅衣外）	109	1	1.30	5
			第二术者位（铅衣内）	17.6			
	隔室	3.3	7号 DSA 机房观察窗外 30cm 处	3.22E-02			
技师	隔室	166.7	7号 DSA 机房观察窗外 30cm 处	7.89E-05	1	2.80E-04	5
		8.3		3.22E-02			
护士	同室	100	第二术者位（铅衣外）	109	1	1.95	5
				第二术者位（铅衣内）			
	隔室	5	7号 DSA 机房观察窗外 30cm 处	3.22E-02			

注：各点位剂量率取值均已根据表 11-12 考虑叠加。

由上表可知，本项目 DSA 辐射工作人员年有效剂量最大值为 4.06mSv，能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）关于职业照射剂量限值的要求，同时满足本项目提出的辐射工作人员剂量约束值（不高于 5mSv/a）的要求。

（2）公众剂量估算

本项目辐射工作场所周边公众人员主要为医院内工作人员、患者及家属等。对于机房周围 50m 范围内其他公众，本评价保守按照与机房相邻用房和具有代表性的建筑物、区域进行核算。

根据 DSA 机房周围公众的可到达性及停留时间对公众的年受照剂量进行分析。公众年有效剂量按照式 11-4 计算，据表 11-16 总辐射剂量率计算结果，公众年有效剂量计算结果见表 11-20。机房外更远的关注点不考虑距离衰减和中间其它屏蔽因素。

表11-20 公众年有效剂量计算结果

场所	位置描述	相对于DSA 机房方位	透视模式DSA 辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年出束 时间 (h)	减影模式DSA 辐射剂量率* ($\mu\text{Sv/h}$)	年出束 时间 (h)	居留 因子	年有效剂 量 (mSv)
7号 DSA	设备间	东侧紧邻	4.50E-03	166.7	1.84E-02	8.3	1/16	5.64E-05
	洁净走廊	南侧紧邻	5.03E-05	166.7	2.62E-02	8.3	1/5	4.52E-05
	无菌库房	南侧 2.5m	5.03E-05	166.7	2.62E-02	8.3	1/16	2.26E-06
	器械间	东南侧 3m	5.03E-05	166.7	2.62E-02	8.3	1/16	1.57E-06
	污物走廊	北侧紧邻	4.08E-03	166.7	4.15E-02	8.3	1/5	2.05E-04
	洁净库房	北侧 1.5m	4.08E-03	166.7	4.15E-02	8.3	1/16	2.85E-05
	物品存放 间、应急消 毒间	北侧 1.5m	4.08E-03	166.7	4.15E-02	8.3	1/16	2.85E-05
	手术区	下方相邻	1.48E-03	166.7	4.09E-01	8.3	1/2	3.97E-03
	楼顶平台	上方相邻	6.01E-04	166.7	1.66E-01	8.3	1/16	2.34E-04
8号 DSA	器械间	东侧紧邻	4.50E-05	166.7	1.84E-02	8.3	1/16	1.00E-05
	设备间	东侧紧邻	6.42E-05	166.7	2.63E-02	8.3	1/16	1.43E-05
	无菌库房	东侧紧邻	4.19E-05	166.7	1.71E-02	8.3	1/16	9.31E-06

库房	东侧紧邻	2.55E-05	166.7	1.05E-02	8.3	1/16	5.71E-06
缓冲间	西侧紧邻	6.71E-05	166.7	2.75E-02	8.3	1/5	4.79E-05
物品存放间、应急消毒间	西侧 2m	6.71E-05	166.7	2.75E-02	8.3	1/16	3.74E-06
洁净走廊	北侧紧邻	2.53E-03	166.7	2.41E-02	8.3	1/5	1.24E-04
苏醒间	北侧 2.7m	2.53E-03	166.7	2.41E-02	8.3	1/20	4.26E-06
手术区	下方相邻	1.48E-03	166.7	4.09E-01	8.3	1/2	1.82E-03
楼顶平台	上方相邻	6.01E-04	166.7	1.66E-01	8.3	1/16	9.24E-05

综上所述，公众身体受照的年有效剂量最大为 $3.97\text{E-}03\text{mSv}$ ，低于本项目公众照射 0.1mSv 年有效剂量约束值。

根据关注点剂量率与关注点距辐射源点的距离成反比关系的规律可知，距离机房越远，辐射剂量率越低，距离机房更远处的公众人员受照剂量不会大于 $3.97\text{E-}03\text{mSv}$ ，满足本项目提出的公众剂量约束值不超过 0.1mSv/a 的要求。

11.2.3 运营期三废影响分析

1、 ^{90}Y 肿瘤治疗

(1) 放射性废气

本项目使用的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 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，因此其产生的气溶胶量极少。

核医学拟利用现有排气筒经活性炭吸附装置处理后病房楼楼顶排放，DSA 机房利用现有 3 号 DSA 机房独立排风管道，将废气通至门诊医技楼楼顶，并新增活性炭吸附装置，使废气经处理后再高空排放，高出所在建筑屋脊并做好防雨防风倒灌措施。排风管内保持负压，医院拟安装防回流装置，并拟在风机抽吸口设活性炭过滤装置，本项目产生的放射性废气对周围环境影响较小。

本项目放射性废气收集管道均吊顶设置，因核素操作在手套箱内完成且操作过程无开放液面，放射性气溶胶产生量很低，因此放射性废气收集管道对周围辐射环境影响很小。

(2) 放射性废水

本项目 3 号 DSA 机房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撒漏，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。如发生特殊情况，工作人员可使用

DSA 机房北侧淋洗间进行紧急冲洗，洗手池设置阀门可将放射性废水使用专用容器单独收集，每次冲洗产生的废水量为 0.01m^3 ，若一年三次，则年产水量为 $0.03\text{m}^3/\text{a}$ 。

本项目装有放射性废水的专用容器暂存于 3 号 DSA 机房北侧废物库内，待放射性废水贮存超过 30 天后，满足 HJ1188-2021 及其相关条款的复函要求后排入院内污水处理设施达标纳管。

根据《钇-90 树脂微球使用过程辐射安全风险研究报告》（生态环境部核与辐射安全中心）可知，患者在接受 ^{90}Y 树脂微球核素治疗后，0~24h 每例患者尿液中 ^{90}Y 核素总活度最大为 $3.11 \times 10^5 \text{Bq}$ ，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中单次放射性废水排放总活度（ $7.41 \times 10^6 \text{Bq}$ ）的相关要求， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 给药量小于 ^{90}Y 且半衰期更短，因此不将患者排泄产生的废水作为放射性废水考虑，住院期间产生的废水可直接排放入医院污水处理站。

（3）放射性固体废物

本项目介入手术会产生一次性手套、输液管、患者体内导管、注射器、含有残留药物的西林瓶、V 型瓶及有机玻璃防护罐等放射性固体废物，以及若出现手术过程中核素撒漏，可能产生的吸水纸、去污用纸、医护人员手术服、一次性手套等放射性固体废物。

核医学科分装注射室和 DSA 机房内各设置 1 个铅桶，核医学科废物库设置 1 个放射性废物铅衰变箱。医院拟将上述放射性固体废物收集于工作场所放射性废物桶内专用塑料包装袋，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，分装注射室产生的放射性废物转运暂存于核医学科放射性废物库内，3 号 DSA 机房产生的放射性废物及时转运暂存于 3 号 DSA 机房北侧废物库内，待放射性固体废物暂存超过 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 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，对废物清洁解控按医疗固废委托当地有资质单位处置。

医院应做到：

①严格区分放射性废物与非放射性废物，不可混同处理，应力求控制和减少放射性废物产生量。

②对所有放射性固体废物采用先收集在各自相关工作场所的铅废物桶内，再将铅废物桶内的固体废弃物连同专用塑料包装袋，转移到对应场所的放射性废物间的衰变

暂存容器内，收储一段时间后再分类处理。每次收集时专用塑料包装袋表面应贴上标签，标明物品及最后一天的收集时间，内装注射器及碎玻璃等物品的废物袋应附加不易刺破的外套（如硬牛皮纸外套）。

③放射性废物的收集、暂存和处置应满足《放射性废物安全管理条例》（国务院令 第 612 号）的相关规定。

(4) 噪声

医院拟依托门诊医技楼五层现有 3 号 DSA 和核医学科相关用房及病房楼相关病房开展 ^{90}Y 肿瘤治疗。根据现场踏勘及与医院核实，本项目依托的现有设备均采用低噪声设备，设备基础设置了减振等措施， ^{90}Y 肿瘤治疗的实施对周围声环境影响较小。

2、DSA

(1) 废气

DSA 射线能量低，电离产生的臭氧和氮氧化物浓度非常低，且臭氧可自然分解为氧气，本项目 DSA 机房设有机械排风系统，将产生的臭氧和氮氧化物通过排风管道引至机房东侧排风井，于门诊医技楼楼顶排放，经自然分解，对周围环境影响较小。

(2) 废水

DSA 手术产生的生活污水和医疗废水依托医院现有污水处理设施预处理，达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表 2 预处理排放标准要求后，纳入市政污水管网进行集中处理。项目废水不直接排放，对环境的影响较小。

(3) 固废

DSA 手术过程中不产生放射性固废，产生的医疗废物由专人收集后暂存于污物间，定期转移至医院总医疗废物暂存库，依托医院现有医疗废物处置单位进行委托处置。

(4) 噪声

本项目拟建 DSA 设备选用低噪声设备，噪声源主要为风机噪声。通过采取设备基础减振，进出风管加装软接、安装高效消声器、消声弯头等综合降噪措施，经距离衰减后，运行期间院区东侧、南侧、西侧偏北场界噪声可以满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）2 类标准要求，西侧偏南、北侧场界噪声可以满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）4 类标准要求。

11.3 事故影响分析

11.3.1 环境风险评价的目的

环境风险评价的目的是分析和预测建设项目存在的潜在危害和有害因素，以及项目在运营期间可能发生的事故（一般不包括自然灾害与人为破坏），引起有毒、有害（本项目为电离辐射）物质泄漏，所造成的环境影响程度和人身安全损害程度，并提出合理可行的防范、应急与减缓措施，以使项目事故发生率、损失和环境影响达到可以接受的水平。

1、⁹⁰Y 肿瘤治疗辐射事故影响分析辐射事故情况

（1）可能发生的事故

主要考虑电离辐射损伤和药物失控对环境的影响。

① DSA 机房或 SPECT/CT 机房门灯联锁装置发生故障时，人员误入正在运行的射线装置机房或滞留在机房内，对人员造成误照射。

② 由于工作人员操作不熟练或违反放射操作规程或误操作等其他原因致使放射性药物撒漏，造成意外照射和辐射污染。

③ 由于未及时锁好防护门或保险柜等药物保管工作不到位致使放射性药剂丢失，可能对公众和周围环境造成辐射污染。

④ 医院未管理好给药后患者，患者给药后随意进出核医学科区域，对周边候诊公众及家属造成辐射影响；患者家属误入核医学科注射后候诊区等高活区，造成意外照射。

（2）辐射事故等级分析

本项目为使用 ⁹⁰Y 及 ^{99m}Tc 核素进行肿瘤治疗及显像，该过程使用的核素量较少，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》内辐射事故等级分类依据，本项目可能发生的辐射事故为一般辐射事故。

（3）工作场所防范措施

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，减少药物撒漏事故的发生。若少量放射性物质撒漏，应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。若大量放射性物质撒漏，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，使用表面污染检测仪对撒漏放射性液体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。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，事故发现者应立即报告医院辐射安全与防护管理小组，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；向当地生态环境主管部门、公安部门、卫生主管部门报告，在2小时内填写《辐射事故初始报告单》；协助公安、生态环境和卫生主管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。

③加强放射性废物的管理，对贮存的放射性废物在废物桶外标明放射性废物的型、核素种类和存放日期的说明，并做好相应的记录。

④个人防护用品主要包括工作服、工作鞋、帽等基本防护用品，以及铅橡胶围裙、铅防护眼镜等防护用品。工作人员进入控制区必须穿戴放射防护用品，个人计量仪佩戴于铅橡胶围裙内部左胸前。在进行分装及注射放射性药物时穿铅橡胶围裙、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。为患者注射放射性药物时，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。

⑤严格按照辐射监测计划进行辐射水平监测，如果控制区各房间辐射水平监测结果表明防护墙外辐射水平偏高，应适当增加防护墙厚度。

⑥将射线装置放置于专用机房内，机房墙体采用铅板进行屏蔽，观察窗采用铅玻璃，并设置控制廊防护铅门、受检者防护铅门。受检者防护门处安装工作状态指示灯、设置电离辐射警告标志，防护门关闭时，工作状态指示灯亮，警示人员勿入，同时装置操作台处设置急停开关，操作人员可通过急停开关等停机操作来确保人员安全。

⑦工作人员平时必须严格执行各项管理制度，遵守操作规程，进行辐射工作前检查是否已按要求穿戴好各种辐射防护用品，并定期检查设备性能及有关安全警示标志和设施是否正常。对可能发生的辐射事故，应及时采取应急措施，妥善处理，以减少和控制事故的危害影响，同时上报生态环境部门和卫生行政部门，并接受监督部门的处理。

⑧所有出入口均设有单向门禁系统，非工作人员的引导不能进入，给药后患者只能通过单向门禁从出口处离开。

(3) 应急处置措施

发生事故时，采取的应急处理措施如下：

①由于操作不慎，有少量的液态药物溅洒。发生这种事故应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。然后用备用的塑料袋装清洗过程中产生的污染物品和湿的药棉、纸巾，从溅洒处移去垫子，用药棉或纸巾擦抹，应注意从污染区的边沿向中心擦抹，直到擦干污染区。最后用表面沾污仪测量污染区，如果 β 表面污染大于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，表明该污染区未达到解控标准，这时应用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，直到该污染区表面污染小于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 为止。若大量放射性物质撒漏，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，使用表面污染检测仪器对撒漏放射性液体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。处理药物撒漏的擦拭物收集放到固体放射性废弃物衰变箱中，作为固体放射性废物进行管理。

②因不慎造成放射性核素污染了地面或台面时，应先用吸收滤纸将其吸干，以防扩散，并立即标记污染范围，注明放射性核素名称、日期。根据污染程度及时报告上级领导和有关部门。人体溅污放射性核素时，应先用吸水纸吸干体表，避免污染面积扩大。之后根据不同核素分别去污。

③若发生放射性药物丢失、被盗，应第一时间将事故情况通报有关（生态环境、公安、卫生等）主管部门；分析确定丢失、被盗事故的具体时间及原因，向相关部门提供信息，根据有关线索，组织人员协同相关部门查找丢失、被盗放射性同位素，在查找过程中携带辐射监测仪器，防止事故处理人员受到照射；对放射性同位素丢失前存放场所进行监测，根据现场辐射剂量率的大小确定是否受污染。如现场受到污染出现辐射剂量率异常情况，根据辐射剂量率大小划定警戒线，撤离警戒区域内的所有人员，事故处理人员应穿戴防护用品，佩戴个人剂量计进入事故现场。

④放射性废物处置或管理不当造成污染时，立即划定警戒区，并设置放射性污染标识，限制无关人员靠近，由专业人员处理，经监测满足解控要求后再解除警戒。

2、DSA 建设项目辐射事故影响分析辐射事故情况

(1) 可能发生的事故

①装置在运行时，由于门灯联锁系统失效，人员误入或滞留在机房内而造成误照射；工作人员或患者家属尚未完全撤离 DSA 机房时，设备开机，会对工作人员或患者家属产生不必要的 X 射线照射；

②DSA 的 X 射线装置工作状态下，没有关闭防护门对人员造成的误照射；

③维修射线装置时，因人员误操作造成维修人员受意外照射。

(2) 辐射事故等级分析

本项目为医用II类射线装置使用项目，X 射线能量较低，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》内辐射事故等级分类依据，本项目可能发生的辐射事故为一般辐射事故。

(3) 辐射事故防范措施

①医院已成立放射诊疗安全与防护管理小组，并制定了放射诊疗管理相关制度与预案，拟定工作计划组织实施；对全院辐射安全管理工作进行监督、检查，定期对放射诊疗安全事件进行演练，针对演练不足进行持续改进。

②医院已制定了《放射事件应急处置预案》《放射事故预防措施》《放射防护安全管理制度》《放射诊疗质量保证制度》《放射作业人员岗位职责》《放射工作人员管理培训制度》等相关辐射管理制度。本评价要求医院对应急预案及其他已有制度进行修订更新，将本项目所涉及的射线装置纳入辐射防护管理体系，各辐射工作场所日常工作中严格按照各种制度执行，防止辐射事故的发生。

③制定经常性自检制度，对门-灯联锁、监视器、工作状态指示灯、电离辐射警告标志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。

④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。

⑤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患者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。

⑥医护人员进行 DSA 手术前，一定要穿好防护铅服，戴铅眼镜，佩戴个人剂量计后方可进行手术作业。

⑦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。

⑧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。

⑨完善事故应急预案，并每年定期进行一次演练；发现问题，及时整改。

⑩维修人员进入机房前，必须确认射线装置未出束，同时需断开电源，并应携带个人剂量报警仪，调试和维修时须在控制室外设置醒目的警示牌。设备维修应由有维修资格的人员操作，并按其操作规范进行操作。

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》等有关法律法规，使用II类射线装置的，应当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。

医院已成立辐射安全与防护管理小组，小组成员如下：

组 长：

副组长：

组 员：

成立文件中明确了小组成员组成及相关职责，故建设单位原有辐射安全与环境保护管理机构能够满足本项目辐射安全管理工作的需求，在核技术利用项目运行过程中，建设单位应根据人事变动情况及时调整机构组成。

12.1.2 辐射工作人员管理

1、职业健康检查

辐射工作人员上岗前，应当进行上岗前的职业健康检查，符合辐射工作人员健康标准的，方可参加相应的放射工作。上岗后辐射工作人员应定期进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不超过 2 年，必要时可增加临时性检查。辐射工作人员脱离放射工作岗位时，放射工作单位应当对其进行离岗前的职业健康检查。

医院现有辐射工作人员均于 2023 年 1 月-2024 年 1 月进行了在温州医科大学附属第二医院的在岗期间的职业健康检查，检查结论均为“在岗辐射人员均无异常，可继续从事放射工作”。本项目辐射工作人员均依托现有辐射工作人员，医院已对现有辐射工作人员建立职业健康档案，每一年或两年委托有相关资质的单位对辐射工作人员进行职业健康检查。

2、辐射工作人员培训

根据生态环境部《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》（2019 年，第 57 号）和《关于进一步优化辐射安全考核公告》（生态环境部公告第 2021 年第 9 号），医院应及时组织从事使用 II 类射线装置、涉及放射性同位素使用的

辐射工作人员在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台参加培训，且需考核合格，并按时接受再培训，建立成绩档案。

本项目辐射工作人员均依托现有辐射工作人员，医院已执行辐射工作人员培训制度，现有辐射工作人员均已参加温州市卫生监督所主办的放射工作人员放射防护知识培训平台，并考核合格。

3、个人剂量管理

本项目辐射工作人员拟依托现有辐射工作人员，每名辐射工作人员均已配备个人剂量计，每三个月委托温州市疾病预防控制中心进行个人剂量监测，并已建立个人剂量档案。

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；个人剂量档案应当保存至辐射工作人员年满七十五周岁，或者停止辐射工作三十年。医院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。

年度个人剂量超过 5mSv（季度超过 1.25mSv）时，医院要对该辐射工作人员进行干预，要进一步调查明确原因，并由当事人在情况调查报告上签字确认；当全年个人剂量超过 5mSv 时，医院需进行原因调查，并形成正式调查报告，经本人签字确认后，上报发证机关；当单年个人剂量超过 50mSv 时，应立即采取措施，报告发证机关，并开展调查处理。检测报告及有关调查报告应存档备查。

12.1.3 年度评估

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，使用放射性同位素、射线装置的单位，应当对本单位放射性同位素和射线装置的安全和防护状况进行年度评估，编写辐射安全和防护状况年度评估报告，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。医院年度评估报告包括：放射性同位素与射线装置台账、辐射安全和防护设施的运行与维护、辐射安全和防护制度及措施的建立和落实、事故和应急以及档案管理等方面的内容。

医院已按照要求执行年度评估。本项目建成后，医院应将本项目辐射工作场所纳入现有辐射安全与防护状况评估。

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》等法律法规要求，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”。

医院已建立《辐射防护知识培训制度》、《放射个人剂量监测制度》、《放射工作场所防护监测制度》、《放射人员职业健康检查制度》、《受检者告知与防护制度》、《DSA 操作规程》、《维修和检测制度》、《辐射安全事件应急预案》、《辐射（放射）安全防护和管理制度》、《放射防护用品管理规范》等相关辐射管理制度，现有规章制度基本满足医院从事相关辐射活动辐射安全和防护管理的要求，医院应认真落实各项规章制度，并根据本项目特点，对已制定的相关规章制度进行更新和完善。

医院应将制定的所有规章制度中关于操作规程、辐射工作人员岗位职责和应急响应程序等内容张贴上墙，各辐射工作场所日常工作中严格按照各种制度执行，防止辐射事故的发生。

医院应对相关资料进行分类归档，根据环境影响评价文件、竣工环境保护验收文件、单位辐射工作文件、辐射安全许可证、年度评估报告、辐射安全和防护管理制度、工作人员辐射防护等文件要求建立不同类别的档案，并安排专人对核技术利用项目环保相关文件及档案进行管理。

12.3 辐射监测

辐射监测是安全防护的一项必要措施，通过辐射剂量监测得到的数据，可以分析判断和估计电离辐射水平，防止人员受到过量的照射。根据实际情况，项目建设单位需建立辐射剂量监测制度，并委托有资质单位定期对本项目辐射工作场所及其周围环境进行辐射环境监测。

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。

本项目 ^{90}Y 肿瘤治疗在依托 3 号 DSA 机房及其配套用房和核医学科诊断场所现有监测仪器的基础上配置 1 台表面污染监测仪进行日常监测，拟建 7 号 DSA、8 号 DSA 机房拟依托现有 DSA 中心监测仪器进行日常监测。现有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配置情况

工作场所	监测仪器	配置情况说明
^{90}Y 肿瘤治疗工作场所	X- γ 辐射剂量率仪	配置 1 台，依托现有
	表面污染监测仪	配置 1 台
	个人剂量报警仪	配置 2 台，依托现有
	个人剂量计	每名辐射工作人员配备个人剂量计，依托现有
7 号 DSA	X- γ 辐射剂量率仪	配置 1 台，依托现有
	个人剂量计	每名辐射工作人员配备个人剂量计，依托现有
8 号 DSA	X- γ 辐射剂量率仪	配置 1 台，依托现有
	个人剂量计	每名辐射工作人员配备个人剂量计，依托现有

12.3.2 监测计划

1、监测依据：《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）、《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）。

2、监测因子：周围剂量当量率、个人剂量当量、 β 表面污染水平等、放射性废水、放射性固废。

3、监测网点布设：监测布点应参考环评提出的监测计划或验收监测布点方案。

4、监测频次：

①年度监测

继续委托有资质的单位对辐射工作场所的剂量进行监测，年度监测报告应作为《辐射安全和防护状况年度评估报告》的重要组成部分一并上传至全国核技术利用辐射安全申报系统。

②日常自行监测

定期自行开展辐射监测（也可委托有资质的单位进行监测），制定各工作场所的定期监测制度，监测周期为 1 次/季度，监测数据应存档备案。

③验收监测

项目建成试运营 3 个月后，医院需委托有资质的单位对辐射工作场所的剂量进行监测，出具验收监测报告。

5、监测数据采集与处理：监测数据应记录完善，并将数据实时汇总，建立好监测数据台账以便核查。

6、监测分析方法：根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）中辐射环境监测方法的一般要求执行。

监测范围：控制区和监督区域及周围环境。

表 12-2 辐射工作场所监测计划一览表

工作场所	监测类别	监测因子	监测点位	监测方式	监测周期
90Y 肿瘤治疗工作场所（核医学科）	年度监测	β表面污染	工作台、注射窗、手套箱、工作服、手套、工作鞋、手、皮肤、设备表面、分装注射室、放射性废物库、贮源库、候诊区、注射后候诊区、墙壁及地面等可能污染的位置	委托监测	1 次/年
		周围剂量当量率	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的单位和存放放射性物质的装置/设备的表面	委托监测	1 次/年
		放射性固废	废物间（辐射剂量率满足所处环境本底水平，β表面污染小于 0.8Bq/cm ² ）	/	/
	日常监测	β表面污染	工作台、注射窗、手套箱、工作服、手套、工作鞋、手、皮肤、设备表面、分装注射室、放射性废物库、贮源库、候诊区、注射后候诊区、墙壁及地面等可能污染的位置	自行监测	每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测）
		周围剂量当量率	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的单位和存放放射性物质的装置/设备的表面	自行监测	1 次/月
		放射性固废	放射性废物库（辐射剂量率满足所处环境本底水平，β表面污染小于 0.8Bq/cm ² ）	自行监测	每次排放前
	验收监测	β表面污染	工作台、注射窗、手套箱、工作服、手套、工作鞋、手、皮肤、设备表面、分装注射室、放射性废物库、贮源库、候诊区、注射后候诊区、墙壁及地面等可能污染的位置	委托监测	项目建成后 3 个月内
		周围剂量当量率	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的单位和存放放射性物质的装置/设备的表面	委托监测	
		放射性固废	放射性废物库（辐射剂量率满足所处环境本底水平，β表面污染小于 0.8Bq/cm ² ）	委托监测	
	90Y 肿瘤治疗工作场所（3 号 DSA 机房）	年度监测	β表面污染	工作服、手套、工作鞋、手、皮肤、设备表面、DSA 机房内部、墙壁及地面等可能污染的位置	委托监测
周围剂量当量率			控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的单位和存放放射性物质的装置/设备的表面	委托监测	1 次/年
放射性			放射性废水收集容器（总β≤10Bq/L）	/	/

	日常监测	废水				
		放射性固废	放射性废物库（辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ）	/	/	
		β 表面污染	工作服、手套、工作鞋、手、皮肤、设备表面、DSA 机房内部、墙壁及地面等可能污染的位置	自行监测	1 次/月	
		周围剂量当量率	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的单位和存放放射性物质的装置/设备的表面	自行监测	1 次/月	
		放射性废水	放射性废水收集容器（总 $\beta\leq 10\text{Bq}/\text{L}$ ）	自行监测	每次排放前	
		放射性固废	放射性废物库（辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ）	自行监测	每次排放前	
	验收监测	β 表面污染	工作服、手套、工作鞋、手、皮肤、设备表面、DSA 机房内部、墙壁及地面等可能污染的位置	委托监测	项目建成后 3 个月内	
		周围剂量当量率	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的单位和存放放射性物质的装置/设备的表面	委托监测		
		放射性废水	放射性废水收集容器（总 $\beta\leq 10\text{Bq}/\text{L}$ ）	委托监测		
		放射性固废	放射性废物库（辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ）	委托监测		
	^{90}Y 患者病房	年度监测	β 表面污染	墙壁及地面等可能污染的位置	委托监测	1 次/年
			周围剂量当量率	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的单位和存放放射性物质的装置/设备的表面	委托监测	1 次/年
			放射性固废	放射性废物库（辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ）	/	/
		日常监测	β 表面污染	墙壁及地面等可能污染的位置	自行监测	每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测）
周围剂量当量率			控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的单位和存放放射性物质的装置/设备的表面	自行监测	1 次/月	
放射性固废			放射性废物库（辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ）	自行监测	每次排放前	
β 表面污染			墙壁及地面等可能污染的位置	委托监测	项目建成后 3 个月内	
周围剂量当量率		控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的单位和存放放射性物质的装置/设备的表面	委托监测			
放射性固废		放射性废物库（辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ）	委托监测			
7 号 DSA、8		年度监测	周围剂量当量	DSA 机房距墙体、门窗表面 30cm 处、顶棚上方（楼上）距顶棚地面 100cm 处、	委托监测	1 次/年

号 DSA 机房	日常监 测	率	地坪下方距地面 170cm 处及周围需要关注的监督区、机房防护门及门缝、观察窗、控制室操作位、手术位、电缆/空调/风管穿墙处等	自行监测	1 次/月
	验收监 测			委托监测	项目建成 后 3 个月 内
/	个人剂 量监测	个人剂 量当量	本项目所有辐射工作人员	委托监测	至少 1 次/ 三个月

12.3.3 竣工环境保护验收

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》（HJ1326-2023）的相关要求，对配套建设的环境保护设施进行验收，自行或委托有能力的技术机构编制验收报告，并组织由设计单位、施工单位、环境影响报告表编制机构、验收监测（调查）报告编制机构等单位代表以及专业技术专家等成立的验收工作组，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

根据国务院令第 449 号《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，医院按照对应急措施、事故后续处理等作出要求，明确建立应急机构和人员职责分工，应急人员的组织、培训以及应急，辐射事故分类与应急响应的措施。制定了《放射事件应急处置预案》，医院既有辐射事故应急预案包括了以下内容：目的、范围、定义、内容、制定依据，具有一定的可操作性，在本项目实施后医院应根据本单位开展辐射工作的变化，及时修订《放射事件应急处置预案》，在日常工作中定期组织辐射事故应急演练，并认真记录、总结，发现隐患和不足应及时进行整改、完善。

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。在发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急预案，采取必要防范措施，并根据要求在 2h 内填写《辐射事故初始报告表》，向生态环境主管部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生部门报告。

12.5 从事辐射活动能力评价

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条规定，使用放射性

同位素、射线装置的单位应具备相应的条件，对其从事辐射活动能力的评估详见表 12-3。

表 12-3 从事辐射活动能力评估一览表

序号	应具备条件	本项目投运后落实情况
1	使用I类、II类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作	医院已根据要求成立辐射安全与防护管理小组，并设有符合要求的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作
2	从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核	现有辐射工作人员均在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（ http://fushhe.mec.gov.cn/ ）上进行培训学习并报名参加相应类别的考核，经考核合格后方可上岗，并定期复训。本项目新增人员拟按规定参加培训和考核
3	使用放射性同位素的单位应当有满足辐射防护和实体保卫要求的放射源暂存库或设备	本项目放射源拟暂存于现有核医学科储源室，能够满足辐射防护和实体保卫要求
4	放射性同位素与射线装置使用场所所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射要求的安全措施	本项目放射性同位素与射线装置使用场所均配备了急停开关、视频监控设备和对讲系统，并设置警示灯及电离辐射警告标志等安全措施，核医学诊断场所内设有手套箱，并配备防护铅衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅桶等防护用品
5	配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量监测报警、辐射监测等仪器	本项目 ⁹⁰ Y肿瘤治疗场所拟根据要求新增配备 ⁹⁰ Y防护铅罐、铅方巾、铅桶等防护用品及表面污染监测仪器、个人剂量报警仪、X-γ辐射剂量率仪等监测仪器，新建DSA机房拟根据要求配备铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套等防护用品及1台环境辐射巡测仪
6	有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等	医院已制定了上述制度，本项目投运后拟根据本项目特点进行修订和完善，能够满足要求
7	有完善的辐射应急措施	医院已制定了辐射事故应急预案，本项目投运后拟根据本项目特点进行修订和完善
8	产生放射性废气、废液、固体废物的，还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案	本项目开展过程不产生放射性废气，放射性废液经专用容器收集后暂存于废物间，满足衰变要求后纳管排放，放射性固废经铅桶收集后暂存于废物间，满足衰变要求后作为医疗废物进行处置

综上所述，本项目在严格执行相关法律法规、标准规范等文件，严格落实各项辐射安全管理、防护措施的前提下，医院从事辐射活动的技术能力符合相应法律法规的

要求。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

(1) ^{90}Y 肿瘤治疗

医院拟对门诊医技楼五层现有 3 号 DSA 机房部分附属用房及预留区域进行改造，并依托现有核医学科 SPECT/CT 机房、分装注射室、贮源室及病房楼九层 16#、17#、18#病房开展 ^{90}Y 肿瘤治疗。

(2) DSA

医院拟于门诊医技楼五层预留区域建设两间 DSA 机房，并分别新购 1 台 DSA（型号未定，最大管电压 150kV，最大管电流 1300mA）用于开展介入手术。

1.3.1.2 辐射安全与防护分析结论

(1) 辐射安全防护措施结论

本项目 ^{90}Y 肿瘤治疗依托现有场所屏蔽防护措施，能够有效屏蔽 X 射线、 β 射线和 γ 射线等的辐射影响。依托现有分装注射室内已配备了专用手套箱、放射药物专用注射窗，放射性核素操作人员均配备了铅衣、铅围裙、铅围脖、铅帽等个人防护用品；核医学科工作场所设置了电离辐射警告标志、工作状态指示灯、对讲及监控设施，配有表面污染仪、个人剂量报警仪等监测设备；设置有放射性固废收集铅桶、放射性废气专用排风管线及活性炭吸附装置，现有核医学科各屏蔽防护墙及防护门的屏蔽防护设计，室内表面及装备结构设计均满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）的相关要求。

本项目 ^{90}Y 肿瘤治疗依托 3 号 DSA 机房场所现有屏蔽防护措施，四周墙体均采用水泥砖+4mm 铅板作为屏蔽材料，顶棚及顶棚采用 160mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡防护涂料作为屏蔽材料，各防护门采用 3mmPb 铅防护门，观察窗为 3mmPb 铅玻璃，并配有个人防护用品，其屏蔽厚度及个人防护用品配置均符合《放射诊断放射防护要求》（130-2020）的要求。

本项目拟新建两间 DSA 机房四周均采用轻钢龙骨隔墙+4mm 铅板夹层作为屏蔽材料，顶棚及地坪拟分别采用 160mm 混凝土+2mm 铅板、160mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡防护涂料作为屏蔽防护材料，各防护门采用 4mmPb 铅防护门，观察窗为 4mmPb 铅玻璃，并配有个人防护用品，其屏蔽厚度及个人防护用品配置均符合《放射诊断放射防护要

求》（130-2020）的要求。

医院对辐射工作场所进行分区管理，划分为监督区和控制区，并设置相应的警示标志，限制无关人员进入。医院制定针对性的操作规程，职业人员工作时穿戴铅衣、铅围脖，佩戴防护眼镜等辐射防护用品。为辐射工作人员配备个人剂量计，并配备个人剂量报警仪，场所配备 X- γ 辐射监测仪、表面污染监测仪等；定期对辐射工作人员开展个人剂量监测和职业健康检查监护。

综上所述，医院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，减少了不必要的照射，根据理论估算分析结果，本项目拟采取的辐射防护措施符合辐射防护要求。

（2）辐射安全管理结论

管理机构：医院已成立了辐射安全与防护管理小组、明确了相关职责，并将加强监督管理。

规章制度：医院已制定了包括《放射事件应急处置预案》在内的一系列管理制度。医院应根据本单位核技术利用项目开展的情况，不断对各项管理制度进行调整、补充和完善，并在以后的实际工作中落实执行。

本项目不新增辐射工作人员，现有辐射工作人员均已在温州市卫生监督所主办的放射工作人员放射防护知识培训平台参加培训，并考核合格上岗。辐射工作人员将按要求佩戴个人剂量计上岗，个人剂量计按要求定期送检。

综上所述，医院管理机构、规章制度及辐射工作人员的管理均可满足本项目对辐射安全管理的要求。

13.1.2 环境影响分析结论

（1）辐射影响分析结论

根据本报告表 11 章节对本项目运行过程中，对周边环境及人员的辐射影响分析可知，在正常工况下，本项目辐射工作场所周围辐射剂量率水平满足相关标准的要求，在运行过程中对辐射工作人员和周围环境中的公众辐射影响均能满足本报告提出的剂量约束值的要求，即工作人员受照剂量不超过 5mSv/a，公众受照剂量不超过 0.1mSv/a，同时满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求。

（2）“三废”影响分析

本项目 ^{90}Y 肿瘤治疗放射性废气均利用场所现有排风系统，经活性炭吸附装置处

理后通至相应大楼楼顶排放；放射性废水拟采用专用容器进行收集，并暂存于3号 DSA 北侧废物间内，待贮存超过 30 天后，满足 HJ1188-2021 及其相关条款的复函要求后排入院内污水处理设施达标纳管；分装注射室产生的放射性固体废物收集暂存于核医学科放射性废物库铅桶内，3 号 DSA 机房产生的放射性固体废物收集暂存于机房北侧废物间内，待放射性固体废物暂存超过 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 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，对废物清洁解控按医疗固废委托当地有资质单位处置。

本项目拟新建 DSA 机房均设有机械排风系统，将产生的臭氧和氮氧化物通过排风管道引至机房东侧排风井，于门诊医技楼楼顶排放；DSA 介入手术过程产生的生活污水和医疗废水依托医院现有污水处理设施处理后纳管排放；介入手术过程产生的医疗废物由专人收集后暂存于污物间内，依托医院现有医疗废物处置单位进行处置。

13.1.3 可行性分析结论

(1) 产业政策符合性

本项目为核技术利用项目，根据国家发展和改革委员会制订的《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目拟开展 ^{90}Y 肿瘤治疗不属于限制类和淘汰类项目，本项目拟建设的 DSA 装置属于**第一类 鼓励类**中第十三项“医药”中第四条“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……**”项目。因此，本项目的建设符合国家现行产业政策。

(2) 实践正当性分析

本项目建设的根本目的在于开展放射诊疗工作、治病救人，实践过程中采取了可能的辐射防护措施，经预测分析，本项目运行后，在给患者带来利益的同时，引起的对工作人员和公众人员的照射剂量满足国家辐射防护安全标准的要求，同时满足根据最优化原则设置的项目管理约束值的要求，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践的正当性”要求。

(3) 选址合理性分析

本项目 ^{90}Y 用 DSA 机房、7 号 DSA 机房、8 号 DSA 机房均设在门诊医技楼五层， ^{90}Y 用病房设置于病房楼九层， ^{90}Y 肿瘤治疗分装、测活和术后患者的诊断扫描均依托现有核医学科内进行，不新增土地，项目用地属于医疗卫生用地，周围无环境制约因素。本项目 50m 评价范围内主要为院内建筑、道路、龙水河部分河道、金福路部分道路，主要环境保护目标为从事本项目辐射工作的职业人员及上述区域内活动的其他医

患人员与其他一般公众，评价范围内无居民区、学校等环境敏感点，同时避开了产科、儿科病房等敏感人群长时间集中停留的场所，经屏蔽防护及距离衰减后，项目运营过程产生的电离辐射，对周围环境辐射影响是可接受的，故本项目的选址是合理的。

(4) “三线一单”符合性

根据《温州市“三线一单”生态环境分区管控方案》，本项目位于温州市龙湾生活重点管控单元（ZH33030320004）。本项目为医疗机构核技术利用项目，经分析，项目符合《温州市“三线一单”生态环境分区管控方案》的要求，并且能够符合“三线一单”的管控要求。

(5) “三区三线”符合性分析

本项目位于浙江省温州市龙湾区温州大道 1111 号，根据温州市“三区三线”划分成果，项目所在地为城镇开发边界，符合“三区三线”的要求。

(6) 项目可行性结论

综上所述，温州医科大学附属第二医院新增⁹⁰Y肿瘤治疗及数字减影血管造影系统建设项目的建设符合城市主体功能区划、土地利用规划、产业政策和实践正当性，符合“三线一单”要求，选址合法合理；在落实本报告提出的各项辐射管理、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 建议和承诺

13.2.1 建议

医院应加强辐射安全教育培训，提高职业工作人员对辐射防护的理解和执行辐射防护措施的自觉性，杜绝放射性事故的发生。

13.2.2 承诺

①严格按照本次报批核技术利用项目类型和范围进行建设，若发生变动，将按要求办理相关环保手续。

②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。

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。

④制定完善各项辐射安全管理制度和辐射事故应急预案，并监督执行各项制度。
按照应急预案处理和上报辐射事故。

⑤严格执行辐射监测计划，发现问题及时整改。

⑥本项目环评审批后，及时重新申领辐射安全许可证。

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