

核技术利用建设项目

杭州市余杭区良渚医院 DSA 装置应用项目 环境影响报告表 (报批稿)

杭州市余杭区良渚医院

2022 年 8 月

生态环境部监制

目 录

表 1 项目基本概况.....	1
表 2 放射源.....	8
表 3 非密封放射性物质.....	8
表 4 射线装置.....	9
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）.....	10
表 6 评价依据.....	11
表 7 保护目标与评价标准.....	13
表 8 环境质量和辐射现状.....	18
表 9 项目工程分析与源项.....	22
表 10 辐射安全与防护.....	27
表 11 环境影响分析.....	344
表 12 辐射安全管理.....	555
表 13 结论与建议.....	60
表 14 审批.....	644

表 1 项目基本概况

建设项目名称		杭州市余杭区良渚医院 DSA 装置应用项目			
建设单位		杭州市余杭区良渚医院			
法人代表	张建峰	联系人	张**	联系电话	1*****
注册地址		余杭区良渚街道莫干山路 1657 号			
项目建设地点		余杭区良渚新城疏港公路以西、康良路以北地块 1#门诊医技楼一层、四层			
立项审批部门		余杭区发展和改革局	批准文号	余发改中心【2017】429 号	
建设项目总投资 (万元)	400	项目环保投资 (万元)	40	投资比例(环保投 资/总投资)	10%
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 迁扩建 <input type="checkbox"/> 其他		占地面积 (m ²)	/
应用 类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类(医疗使用) <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
	非密封放 射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
其他	/				

1.1 项目概述

1.1.1 建设单位简介

杭州市余杭区良渚医院（以下简称医院），现址位于杭州市余杭区良渚街道莫干山路 1657 号，是一家经杭州市余杭区卫生健康局核准登记的政府办非营利性综合医院。医院现有院区于 2014 年 5 月 20 日正式启用，承担着周边约 45 万群众的医疗、预防保健、康复疗养、健康教育等服务，开展包括预防保健科、全科医疗科、内科、外科、妇产科、儿科、眼科、耳鼻咽喉科、口腔科、皮肤科、传染科、急诊医学科、麻醉科、医学检验科、病理科、医学影像科、中医科、中西医结合科等诊疗科目，核准床位 99 张，牙椅 3 张。医院持有浙江省生态环境厅颁发的《辐射安全许可证》，证书编号：浙环辐证 [A3269]，有效期至 2025 年 5 月 25 日，使用种类和范围为：使用 III 类射线装置。

随着余杭区尤其是良渚地区社会经济的飞速发展，现有医疗条件满足不了人民群众看病就医的需要。为改善医疗环境，缓解群众看病难，经杭州市余杭区发展和改革局同意（余发改中心[2017]429 号，见附件 5），医院实施整体迁建工程，拟迁建地址位于杭州市余杭区良渚新城

疏港公路以西、康良路以北地块。根据余杭区建设项目建筑设计方案规划批复（杭规方案简复（2018）1号，见附件5），具体内容如下：该项目位于余杭区良渚街道。项目总用地面积54975平方米，总建筑面积174000平方米，其中地上建筑面积为93000平方米，地下建筑面积为81000平方米。建成后形成800张床位规模，建设内容包括1#门诊医技楼（4F）、2#住院楼（8F）、3#住院楼（8F）、4#住院楼（8F）、5#后勤综合楼（6F）、6#行政办公楼（4F）及其它附属设施。医院整体搬迁后现有6台射线装置（均为III类设备，医院无核素治疗活动）均拟搬迁至新院址，搬迁后老院址无任何辐射活动。医院需在搬迁后对现有6台设备重新备案。

医院委托浙江省工业环保设计研究院有限公司编制的《良渚医院整体迁建项目环境影响报告书》于2018年1月9日取得原杭州市余杭区环境保护局出具的批复（环评批复[2017]13号），目前整个新院区主体工程正在筹建中。

1.1.2 项目建设目的和任务由来

因治疗与诊断的需要，医院拟于1#门诊医技楼一层影像中心和四层手术室建设3间DSA机房及配套用房，并配套新增3台DSA（最大管电压均为150kV，最大管电流均为1250mA）。

对照《射线装置分类》（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《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021年版），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”，环评类别为环境影响报告表。

为保护环境，保障公众健康，杭州市余杭区良渚医院委托杭州卫康环保科技有限公司对本项目进行辐射环境影响评价，环评委托书见附件1。评价单位接受委托后，通过现场踏勘、收集有关资料等工作，结合本项目特点，依据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的相关要求，编制完成了本项目的环境影响报告表，供建设单位上报审批。

1.1.3 项目建设内容和规模

医院拟于1#门诊医技楼一层影像中心和四层手术中心建设3间DSA机房及配套用房，并配套新增3台DSA射线装置，由于型号待定，按其最大管电压为150kV，最大管电流为1250mA，为单球管设备，属于II类射线装置，其基本情况见表1-1。

表 1-1 本项目射线装置基本情况

设备名称	类别	数量	型号	设备参数	工作场所位置	用途
DSA	II类	1台	待定	150kV, 1250mA	1#门诊医技楼一层影像中心 DSA1 机房	放射诊断与介入治疗

DSA	II类	1台	待定	150kV, 1250mA	1#门诊医技楼一层影像中心 DSA2 机房	放射诊断与介入 治疗
DSA	II类	1台	待定	150kV, 1250mA	1#门诊医技楼四层手术中心 DSA3 机房	放射诊断与介入 治疗

1.2 项目选址及周围环境保护目标

1.2.1 项目地理位置

杭州市余杭区良渚医院拟迁建址位于杭州市余杭区良渚新城疏港公路以西、康良路以北地块，地址位置见附图 1。

医院东侧为叶家坝港，隔河为绿化带；南侧为康良街，隔路为万科未来城三期小区（距医院边界约 71m）；西侧为立新路，隔路为周家里小区（距医院边界约 78m）；北侧为良平街，隔路为在建小区（距医院边界约 88m）。医院周围环境情况见附图 2，医院总平面图见附图 3。

1.2.2 项目周围环境概况

本项目 DSA1 机房和 DSA2 机房拟建于医院 1#门诊医技楼一层影像中心，呈东西布置。西侧 DSA1 机房周围环境：东面为谈话间、污物通道、污物打包间，南面为操作室，西面为通道，北面为设备间、病人准备间，机房正上方二层为血常规检验，机房正下方地下一层为停车场；东侧 DSA2 机房周围环境：东面为通道，南面为操作室、设备间，西面为通道，北面为通道，机房正上方二层为采血区，机房正下方地下一层为地下车库。本项目 DSA3 机房拟建于医院 1#门诊医技楼四层手术中心。DSA3 机房周围环境：东面为控制室、导管室，南面为污物走廊，西面依次为消毒间、紧急清洗间和设备间，北面为洁净走廊，机房正上方为屋顶机房区，机房正下方三层为临床检验室、医疗街。

本项目 DSA 工作场所平面布置图见附图 4 和附图 7。

医院南侧万科未来城三期小区距 DSA 工作场所约 125m；西侧周家里小区距 DSA 工作场所约 178m；北侧在建小区距 DSA 工作场所约 172m。

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）的相关规定，确定以 DSA 机房实体边界外 50m 范围作为评价范围。根据现场调查分析可知，本次评价项目机房实体边界外 50m 范围内均为医院内部建筑物与医院内部道路，因此，本项目保护目标主要为本项目辐射工作人员、机房周围的非辐射工作人员与公众。

1.2.3 选址合理性分析

本项目位于余杭区良渚新城疏港公路以西、康良路以北地块，根据不动产权证（见附件 13），属于医卫慈善用地，不涉及生态保护红线。本项目辐射工作场所边界外 50m 范围内主要为医院

内部建筑物与医院内部道路，环境影响预测分析表明，在严格执行本评价中提出的辐射管理和辐射防护措施前提下，本项目的开展对周围环境造成的辐射影响在可接受范围内，故本项目的选址是合理的。

1.2.4 相关规划符合性分析

1、主体功能区规划、土地利用总体规划及城乡规划符合性

本项目位于余杭区良渚新城疏港公路以西、康良路以北地块，用地性质为医卫慈善用地，杭州市规划局已出具建设用地规划许可证（地字第 201701517019 号，见附件 11），因此，项目符合控制性详细规划的相关要求，符合当地土地利用规划的要求。

2、“三线一单”符合性

（1）生态保护红线

生态保护红线是生态空间范围内具有特殊重要生态功能必须实行强制性严格保护的区域。根据《杭州市“三线一单”生态环境分区管控方案》的通知（杭政函[2020]76 号），本项目位于“余杭区临平副城-良渚组团城镇生活重点管控单元”，环境管控单元编码：ZH33011020001，未涉及杭州市生态红线保护区等敏感区域，因此，本项目不涉及生态保护红线。

（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

本项目水、电等公共资源由当地专门部门供应，项目用地为医院用地；且整体而言本项目所用资源相对较小，也不占用当地其他自然资源和能源，因此本项目符合资源利用上限的要求。

（4）环境准入负面清单

本项目位于余杭区临平副城-良渚组团城镇生活重点管控单元（编码：ZH33011020001），为医院建设项目，满足管控措施，不在环境功能区负面清单内，符合生态环境准入清单的要求。

综上所述，本项目不涉及生态保护红线、符合环境质量底线、资源利用上线和环境准入负面清单的要求，本项目的建设符合“三线一单”要求。

3、达标排放符合性分析

经辐射环境影响预测，本项目经营过程中产生的电离辐射，经采取一定的辐射防护措施后对周围环境与公众健康的辐射影响是可接受的，可以做到达标排放。

1.2.5 本项目人员配置

(1) 本项目每间 DSA 机房拟配备 8 名辐射工作人员，共 24 名辐射工作人员，辐射工作人员部分从原有辐射工作人员调剂，不足部分拟新招聘。辐射工作人员均不存在兼职其他辐射工作场所岗位情况。

(2) 工作制度：每天工作 8 小时，每年工作 250 天。

(3) 工作负荷：本项目 DSA 包括透视和减影两种模式，根据建设单位提供的信息并留有发展余量，本项目正常运行后，保守预计每台 DSA 每年最大工作量为 300 台手术。每个 DSA 工作场所需要手术医生 4 位，护士 2 位，技师 2 位（每台手术人员配备为 1 位医生，1 位护士和 1 位技师，医生轮流上岗），则预计单台参与 DSA 介入手术的医生每年最大手术量约为 75 台，参与介入手术的护士年最大手术量为 150 台，参与介入手术的技师年最大手术量为 150 台。DSA 手术类型出束时间长短不一，本项目不涉及长时间复杂手术，保守以 DSA 手术的最大出束时间计，即单台手术透视累积时间 20 分钟、减影累积时间 2 分钟计，则本项目 DSA 最大工作负荷统计见表 1-2。

表 1-2 本项目拟建每台 DSA 最大工作负荷

射线装置	工作状态	平均每台手术最长出束时间 (min)	全年开展手术量 (台)	设备年总出束时间 (h)	单个医生年最大受照时间 (h)	单个护士年最大受照时间 (h)	单个技师年最大受照时间 (h)
DSA	减影	2	300	10	2.5	5	5
	透视	20		100	25	50	50

注：每台 DSA 减影时年出束时间为 10h，透视时年出束时间为 100h，4 位医生轮流上岗，则单个医生减影时年最大受照时间为 2.5h/a，透视时年最大受照时间为 25h/a。

1.3 产业政策符合性和实践正当性分析

1.3.1 产业政策符合性分析

本项目属于《产业结构调整指导目录（2019 年本）》及国家发展和改革委员会第 49 号令《关于修改〈产业结构调整指导目录(2019 年本)〉的决定》中第三十七项“卫生健康”中第 5 款“医疗卫生服务设施建设”，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。

1.3.2 实践正当性分析

本项目的建设目的在于开展放射诊疗工作，最终是为了治病救人。医院在使用过程中，对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，在正确使用和管理射线装置的情况下，可以将该项目辐射产生的影响降至尽可能小。本项目产生的辐射给职业人员、公众及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。

1.4 医院原核技术利用许可情况

1.4.1 现有核技术利用许可情况

医院已取得《辐射安全许可证》，证书编号：浙环辐证 [A3269]，有效期至 2025 年 5 月 25 日，使用种类和范围为：使用Ⅲ类射线装置。

1.4.2 原有核技术利用项目环保手续履行情况

医院现有 6 台Ⅲ类射线装置，通过了相关环保审批。医院现有射线装置详情及环保手续履行情况见表 1-3。

表 1-3 医院现有已许可的射线装置一览表

序号	设备名称	类别	数量	型号	工作场所位置	环评情况	验收情况
1	数字肠胃机	Ⅲ类	1	Uni-vision	放射科	余环辐批 (2014) 19 号	2022 年 4 月 27 日自主验收
2	西门子 DR	Ⅲ类	1	Ysio	放射科		
3	口腔全景机	Ⅲ类	1	Oc200D	放射科		
4	C 臂机	Ⅲ类	1	OEC850C	手术室		
5	移动 DR	Ⅲ类	1	SM-50HF-B-D	急诊室		
6	CT 机	Ⅲ类	1	Sensation4	放射科		

本项目建成后医院现有 6 台Ⅲ类射线装置均拟搬迁至新院址并重新备案。

1.4.3 原有核技术利用项目管理情况

(1) 医院已成立了放射防护管理小组，制定了一系列的辐射工作管理制度：《辐射事故应急预案》、《辐射安全管理管理制度》、《放射科安全管理条例》、《放射防护检测与评价制度》、《放射工作人员职业健康管理制度》、《放射诊疗安全防护管理制度》、《放射诊疗许可证管理制度》、《受检者防护与告知制度》、《医用照射治疗保证方案》、《X 线摄影系统操作规程》、《自行检查和年度评估制度》等。医院现有管理制度内容较为全面，符合相关要求，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。医院严格落实各项规章制度，各辐射防护设施运行、维护、检测工作良好。

(2) 医院现有 26 名辐射工作人员均配备了个人剂量计。根据医院提供的最近 1 年职业外照射个人剂量监测报告，全院现有辐射工作人员年累积受照剂量均不超过职业年照射剂量约束值 5mSv。医院已组织现有辐射工作人员进行了职业健康体检，根据检测报告结果，可继续从事放射工作。医院现有 26 名辐射工作人员均参加了杭州市卫生健康综合行政执法队组织的放射工作人员在岗期间培训考试并考核合格（见附件 7）。

(3) 医院现有辐射工作场所设置有电离辐射警示牌、声光警示装置和工作状态指示灯等。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。

(4) 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，根据建设单位提供的监测报告，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，历年均未发生辐射事故。

(5) 根据医院提供的资料，医院已按要求编写了《2021 年度辐射安全与防护状况年度评估报告》，定期上报至发证机关。

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	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	DSA	II类	1台	待定	150	1250	放射诊断和介入治疗	1#门诊医技楼一层影像中心 DSA1 机房	新增，本次环评
2	DSA	II类	1台	待定	150	1250	放射诊断和介入治疗	1#门诊医技楼一层影像中心 DSA2 机房	新增，本次环评
3	DSA	II类	1台	待定	150	1250	放射诊断和介入治疗	1#门诊医技楼四层手术中心 DSA3 机房	新增，本次环评

(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	排放口浓度	月排放量	年排放总量	暂存情况	最终去向
臭氧和氮氧化物	气态	/	/	微量	微量	不暂存	排放至大气外环境中，臭氧在常温下 20-50 分钟后可自行分解为氧气。

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

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

表 6 评价依据

法律文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法（修订版）》，中华人民共和国主席令第九号，2015年1月1日起实施；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法（2018年修订）》，中华人民共和国主席令第七十七号，2018年12月29日起实施；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国主席令第六号，2003年10月1日起实施；</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令第682号，2017年10月1日起施行；</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例（2019年修改）》，国务院令第七09号，2019年3月2日起施行；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，生态环境部令第20号，2021年1月4日起实施；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原环境保护部令第18号，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》，原环境保护部、国家卫生计生委公告2017年第66号，2017年12月5日起施行；</p> <p>(9) 《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，原国家环境保护总局，2006年9月26日起施行；</p> <p>(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，2021年1月1日起施行；</p> <p>(11) 《浙江省建设项目环境保护管理办法》，2021年省政府令第388号修订，2021年2月10日施行；</p> <p>(12) 《浙江省辐射环境管理办法》，2021年省政府令第388号，2021年2月10日修订；</p> <p>(13) 关于发布《省环境保护主管部门负责审批环境影响评价文件的建设项目清单（2015年本）》及《设区市环境保护主管部门负责审批环境影响评价文件的重污染、高风险以及严重影响生态的建设项目清单（2015年本）》的通知，浙环发（2015）38号，</p>
------	--

	<p>原浙江省环境保护厅，2015年10月23日起施行；</p> <p>（14）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（2019年本）》的通知，浙环发〔2019〕22号，浙江省生态环境厅，2019年12月20日起施行；</p> <p>（15）《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》浙环函〔2019〕248号，浙江省生态环境厅、浙江省卫生健康委员会，2019年7月18日；</p> <p>（16）《关于印发浙江省辐射事故应急预案的通知》，浙政办发〔2018〕92号，浙江省人民政府办公厅，2018年9月28日印发；</p> <p>（17）《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部令第9号，2019年11月1日施行；</p> <p>（18）《关于发布<建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法>配套文件的公告》，生态环境部公告2019年第38号，2019年10月24日；</p> <p>（19）《关于启用环境影响评价信用平台的公告》，生态环境部公告2019年第39号，2019年10月25日。</p>
<p>技 术 标 准</p>	<p>（1）《建设项目环境影响评价技术导则总纲》（HJ2.1-2016）；</p> <p>（2）《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ0.1-2016）；</p> <p>（3）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；</p> <p>（4）《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）；</p> <p>（5）《医用 X 射线诊断设备质量控制检测规范》（WS76-2020）；</p> <p>（6）《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）；</p> <p>（7）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）；</p> <p>（8）《电离辐射所致眼晶状体剂量估算方法》（GBZ/T301-2017）；</p> <p>（9）《电离辐射所致皮肤剂量估算方法》（GBZ/T244-2017）；</p> <p>（10）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）。</p>
<p>其 他</p>	<p>（1）环评委托书；</p> <p>（2）院方提供的工程设计图纸及相关技术参数资料。</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

本项目是在固定有实体边界的机房内使用II类射线装置，根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的规定：“放射源和射线装置的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围（无实物边界项目具体情况而定，应不低于 100m 的范围）”，结合本项目的辐射污染特点，确定本项目的评价范围为 DSA 机房实体边界外 50m 区域，评价范围示意图见附图 2。

7.2 保护目标

根据现场勘查情况，本项目评价范围 50m 内主要为医院内部建筑及道路等，无自然保护区、保护文物、风景名胜区、饮用水水源保护区、居民区及学校等环境敏感点。

本项目评价范围内主要环境保护目标为评价范围内从事本项目的辐射工作人员、周围其他非辐射工作人员与公众人员，详见表 7-1。

表 7-1 项目环评范围内环境保护目标一览表

环境保护目标		方位	距离机房最近距离 (m)		规模 (人)	年剂量约束值(mSv)
			水平	垂直		
职业人员	DSA 机房内辐射工作人员	/	/	/	12	5.0
	控制室辐射工作人员	南侧	紧邻	0	12	
公众人员	2#、3#及 4#住院楼公众	东侧	40	0	约 50	0.25
	6#行政办公楼公众	南侧	41	0	约 20	
	所在 1#门诊医技楼地上 1 层~地上 4 层及 3 号 DSA 机房楼顶公众	东侧、南侧、西侧和北侧和楼上 50 m 范围内	紧邻	4.5	约 250	
	所在 1#门诊医技楼地下 1 层地下车库公众	楼下	紧邻	4.5	约 100 人次	
	院内道路公众	南侧	22	0	约 200 人次	

7.3 评价标准

7.3.1 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐照的防护和实践中源的安全。

第 4.3.2.1 款 应对个人受到的正常照射加以限制，以保证本标准 6.2.2 规定的特殊情况外，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量和有关器官或组织的总当量剂量不超过

附录 B（标准的附录 B）中规定的相应剂量限值。不应将剂量限值应用于获准实践中的医疗照射。

附录 B

B1.1 职业照射

B1.1.1.1 应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

- a) 由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均）20mSv；
- b) 任何一年中的有效剂量，50mSv；
- c) 眼晶体的年当量剂量，150mSv。
- d) 四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv。

本环评中辐射工作人员取年有效剂量限值的 1/4 作为辐射工作人员年剂量约束值，即职业人员年有效剂量不超过 5mSv，其中眼晶体的年当量剂量不超过 37.5mSv，四肢（手和足）或皮肤的当量剂量不超过 125mSv 作为职业工作人员的年有效剂量约束值。

B1.2 公众照射

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：

- a) 年有效剂量，1mSv。

本项目取其四分之一，即不超过 0.25mSv 作为公众的年照射剂量约束值。

6.4 辐射工作场所的分区

应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

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。

7.3.2 《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）

本标准适用于 X 射线影像诊断和介入放射学。放射治疗和核医学中的 X 射线成像设备参照本标准执行。

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、机房门、窗和管线口位置，应剂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；

6.1.5 除床旁减影设备、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。

表 7-2 X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度

机房类型	机房内最小有效使用面积 m ²	机房内最小单边长度 m
单管头 X 射线设备（含 C 臂机、乳腺 CBCT）	20	3.5

备注：本项目 DSA 属于单管头 X 射线机。

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

表 7-3 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量 mm	非有用线束方向铅当量 mm
标称 125kV 以上的摄影机房	3.0	2.0
C 型臂 X 射线设备机房	2.0	2.0

备注：本项目 DSA 最大管电压为 150kV，其机房属于标称 125kV 以上的摄影机房。

6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

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

6.4 X 射线设备工作场所防护

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

6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。

6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。

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

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

6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。

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

6.4.10 机房出入口宜处于散射辐射相对低的位置。

6.5 X 射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求

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

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

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

6.5.5 个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。

表 7-4 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

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

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下，图像采集时工作人员应尽量不在机房内停留；对受检者实施照射时，禁止与诊疗无关的其他人员在机房内停留。

7.8.4 穿着防护服进行介入放射学操作的工作人员，其个人剂量计佩戴要求应符合 GBZ 128 的规定。

7.3.3 《医用 X 射线诊断设备质量控制检测规范》（WS76-2020）

表 7-5 X 射线透视设备通用检测项目与技术要求

序号	检测项目	检测要求	验收检测 判定标准	状态检测 判定标准	稳定性检测		条编 号
					判定标准	周期	
1	透视防护区检测平面上周 围剂量当量率/($\mu\text{Sv/h}$)	非直接荧光 屏透视设备	≤ 400.0	≤ 400.0	≤ 400.0	六个月	4.7

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理位置和场所位置

本项目 DSA1 机房和 DSA2 机房拟建于医院 1#门诊医技楼一层影像中心，呈东西布置。西侧 DSA1 机房周围环境：东面为谈话间、污物通道、污物打包间，南面为操作室，西面为通道，北面为设备间、病人准备间，机房正上方二层为血常规检验，机房正下方地下一层为停车场；东侧 DSA2 机房周围环境：东面为通道，南面为操作室、设备间，西面为通道，北面为通道，机房正上方二层为采血区，机房正下方地下一层为地下车库。本项目 DSA3 机房拟建于医院 1#门诊医技楼四层手术中心。DSA3 机房周围环境：东面为控制室、导管室，南面为污物走廊，西面依次为消毒间、紧急清洗间和设备间，北面为洁净走廊，机房正上方为屋顶机房区，机房正下方三层为临床检验室、医疗街。

本项目 DSA 工作场所平面布置图见附图 4 和附图 7。

8.2 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

8.2.1 辐射现状评价对象

DSA 机房及周围环境

8.2.2 监测因子

γ 辐射空气吸收剂量率

8.2.3 监测点位

根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）要求，结合现场条件、项目情况和周围环境情况布设监测点，布点情况见图 8-1，监测报告见附件 12。

8.3 监测方案、质量保证措施及监测结果

8.3.1 监测方案

- (1) 监测单位：浙江亿达检测技术有限公司
- (2) 监测时间：2021 年 12 月 9 日
- (3) 监测方式：现场监测
- (4) 监测依据：《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021)等
- (5) 监测工况：辐射环境本底
- (6) 天气环境条件：天气：晴；温度：17℃；相对湿度：52%
- (7) 监测仪器

表 8-1 监测仪器的参数与规范

检测仪器	X、 γ 辐射周围剂量当量率仪
仪器型号	6150 AD 6(内置探头: 6150 AD-b/H 外置探头: 6150 AD 6/H)
仪器编号	167510+165455
生产厂家	Automess
量 程	内置探头: 0.05 μ Sv/h~99.99 μ Sv/h 外置探头: 0.01 μ Sv/h~10mSv/h
能量范围	内置探头: 20keV-7MeV $\leq\pm 30\%$ 外置探头: 60keV-1.3MeV $\leq\pm 30\%$
检定证书编号	2020H21-20-2925395002
检定证书有效期	2020年12月24日至2021年12月23日
检定单位	上海市计量测试技术研究院华东国家计量测试中心

8.3.2 质量保证措施

- (1) 合理布设监测点位, 保证各监测点位布设的科学性和可比性, 同时满足标准要求。
- (2) 监测方法采用国家有关部门颁布的标准, 监测人员经考核并持合格证上岗。
- (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) 每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常。
- (5) 由专业人员按操作规程操作仪器, 并做好记录。
- (6) 监测报告严格实行三级审核制度, 经过校准、审核, 最后由技术负责人审定。

8.3.3 监测结果

本项目 DSA 机房及周围环境辐射本底水平监测结果见表 8-2。

表 8-2 本项目 DSA 工作场所拟建址周围环境 X- γ 辐射剂量率背景监测结果

点位编号	点位描述	γ 辐射空气吸收剂量率(nGy/h)	
		平均值	标准差
▲1	2#DSA 机房拟建址中间	137	2
▲2	2#DSA 机房拟建址北侧	113	4
▲3	2#DSA 机房拟建址东侧	141	3
▲4	2#DSA 机房拟建址南侧	127	2
▲5	2#DSA 机房拟建址西侧	134	3
▲6	1#DSA 机房拟建址东侧(谈话间)	124	4
▲7	1#DSA 机房拟建址东侧(污物打包间)	132	1
▲8	1#DSA 机房拟建址中间	150	1
▲9	1#DSA 机房拟建址南侧	136	3
▲10	1#DSA 机房拟建址北侧	110	3
▲11	1#DSA 机房拟建址西侧	95	1

◆12	门诊医技楼一层楼上	101	1
◆13	门诊医技楼一层楼下	110	1
▲14	3#DSA 机房拟建址中间	102	3
▲15	3#DSA 机房拟建址东侧	100	1
▲16	3#DSA 机房拟建址南侧	102	1
▲17	3#DSA 机房拟建址西侧	104	2
▲18	3#DSA 机房拟建址北侧	103	3
◆19	门诊医技楼四层楼下	113	2

注：1、上表所列检测值均已扣除宇宙射线响应 30nGy/h；

2、本次检测设备测量读数的空气比释动能和周围剂量当量的换算系数参照 JJG393；使用 ^{137}Cs 作为检定/校准参考辐射系数取 1.20Sv/Gy；

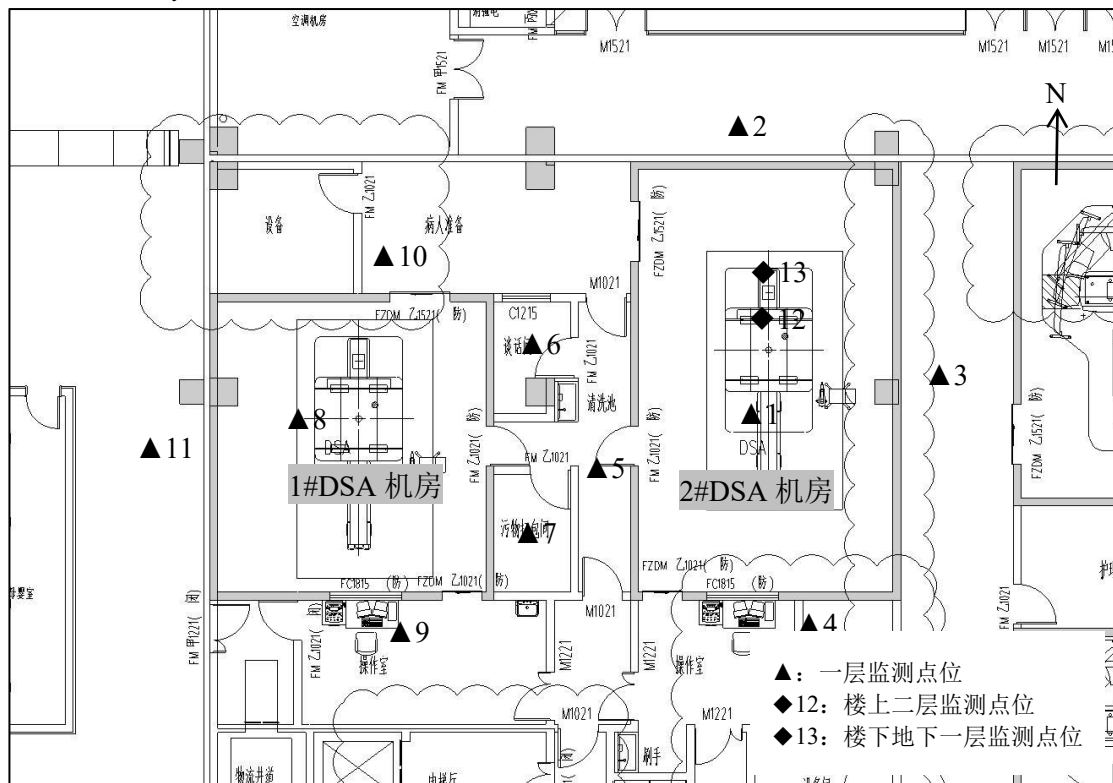


图 1 门诊医技楼一层影像中心 DSA 工作场所

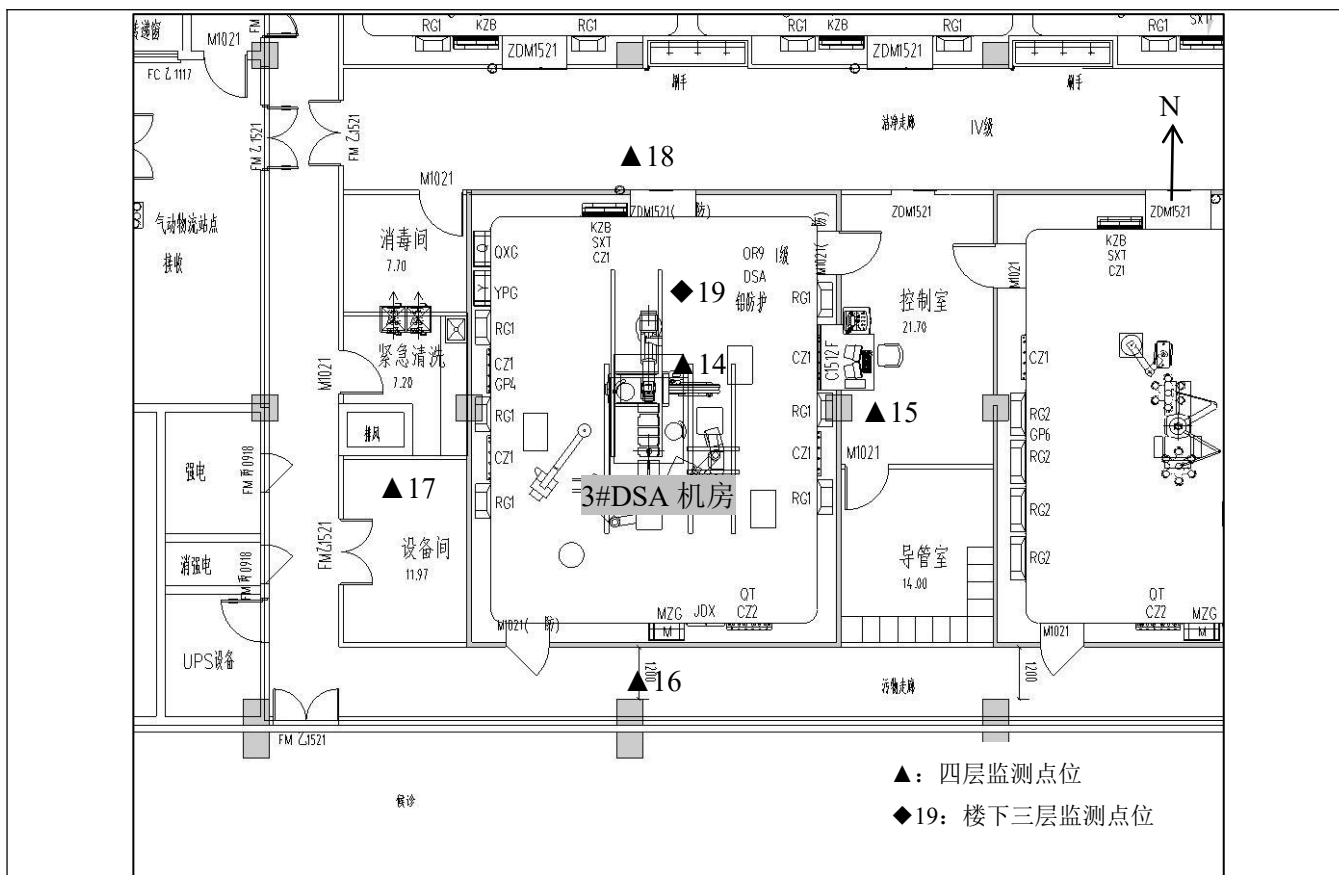


图 2 门诊医技楼四层手术中心 DSA 工作场所

8.4 环境现状调查结果的评价

由上述监测结果可知，本项目 DSA 工作场所及周围环境 γ 辐射空气吸收剂量率范围为 95~150nGy/h（根据《浙江省环境天然贯穿辐射水平调查研究》可知，杭州市室内 γ 辐射剂量率范围为 56~443nGy/h，可见本项目 DSA 工作场所拟建址的 γ 辐射剂量率处于一般本底水平，未见异常。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 施工期工程分析

本项目拟建的 DSA 工作场所位于拟迁建新院区内，目前新院区尚在施工建设中，其建设阶段的工程分析和环境影响分析见《良渚医院整体迁建项目环境影响报告书》（批复文号：环评批复[2017]13 号），本环评不再赘述。

本项目 DSA 工作场所设备安装不涉及放射性药物的使用，仅射线装置调试阶段会产生 X 射线，同时设备安装完成后，会有少量的废包装材料产生。调试阶段应在已经做好辐射防护的机房内进行，张贴辐射警示标识，避免无关人员靠近，经墙体的屏蔽及距离衰减后对环境的影响可以接受的。

9.2 营运期工程分析

9.2.1 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、介入床、高压注射器、操作台、控制装置及工作站系统组成，DSA 的整体外观示意图如图 9-1 所示。

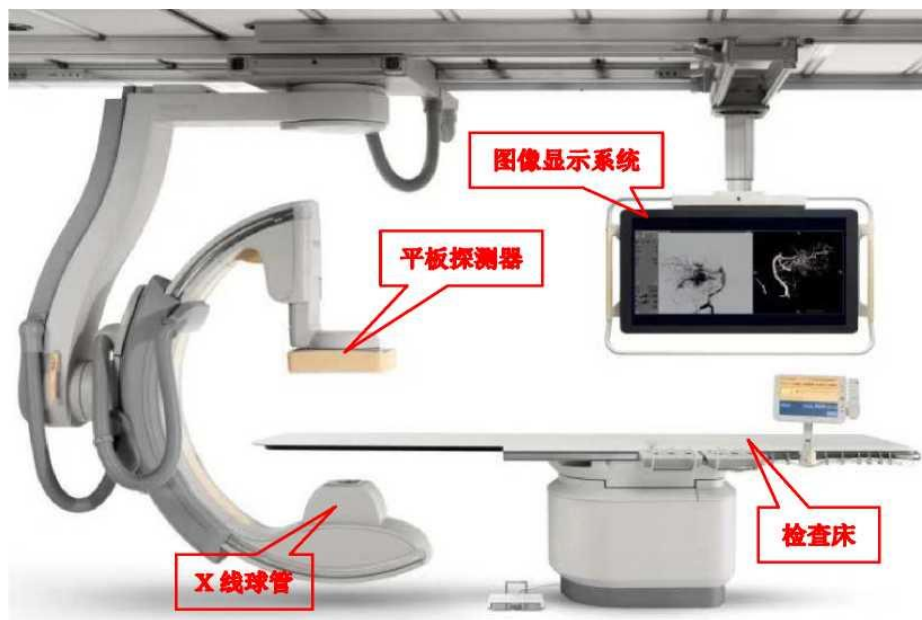


图 9-1 DSA 射线装置整体外观示意图

9.2.2 DSA 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阴极和阳极组成，阴极是钨制灯丝，它装载聚焦杯中，当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，二聚

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 9-2。

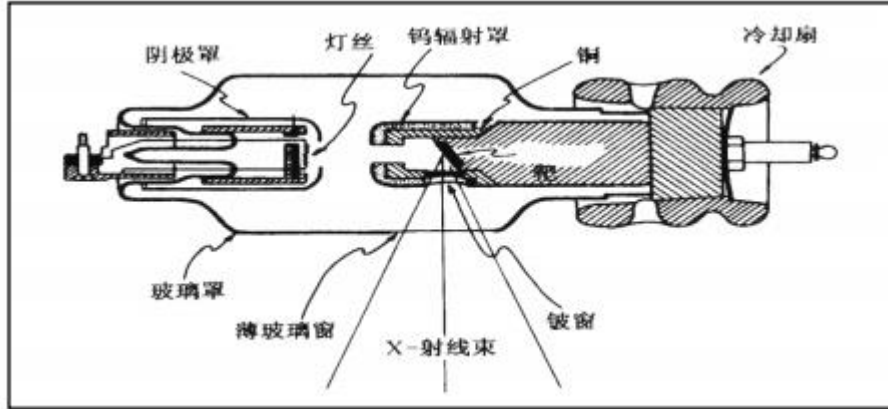


图 9-2 典型 X 射线管结构图

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储存起来，然后输入电子计算机处理并将两幅图像的数字信息相减，获得的不同数值的差值信号，再经对比度增强和数/模转换为普通的模拟信号，获得去除骨骼、肌肉和其它软组织，只留下单纯血管影像的减影图像，通过显示器显示出来。

9.2.3 DSA 路径分析

本项目 DSA 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。

工作人员路径：医护人员及技师从南侧入口经更衣室进入 DSA 机房控制室，技师在控制室内进行设备操作，手术医护人员由 DSA 机房工作人员防护门进入 DSA 机房内部进行手术。

患者路径：患者需工作人员推床从北侧等候区经过道由 DSA 机房患者防护门进入 DSA 机房内部进行手术。

污物路径：手术结束后，由工作人员将污物从 DSA 机房污物防护门运出 DSA 机房，经污物通道将污物送至污物间。

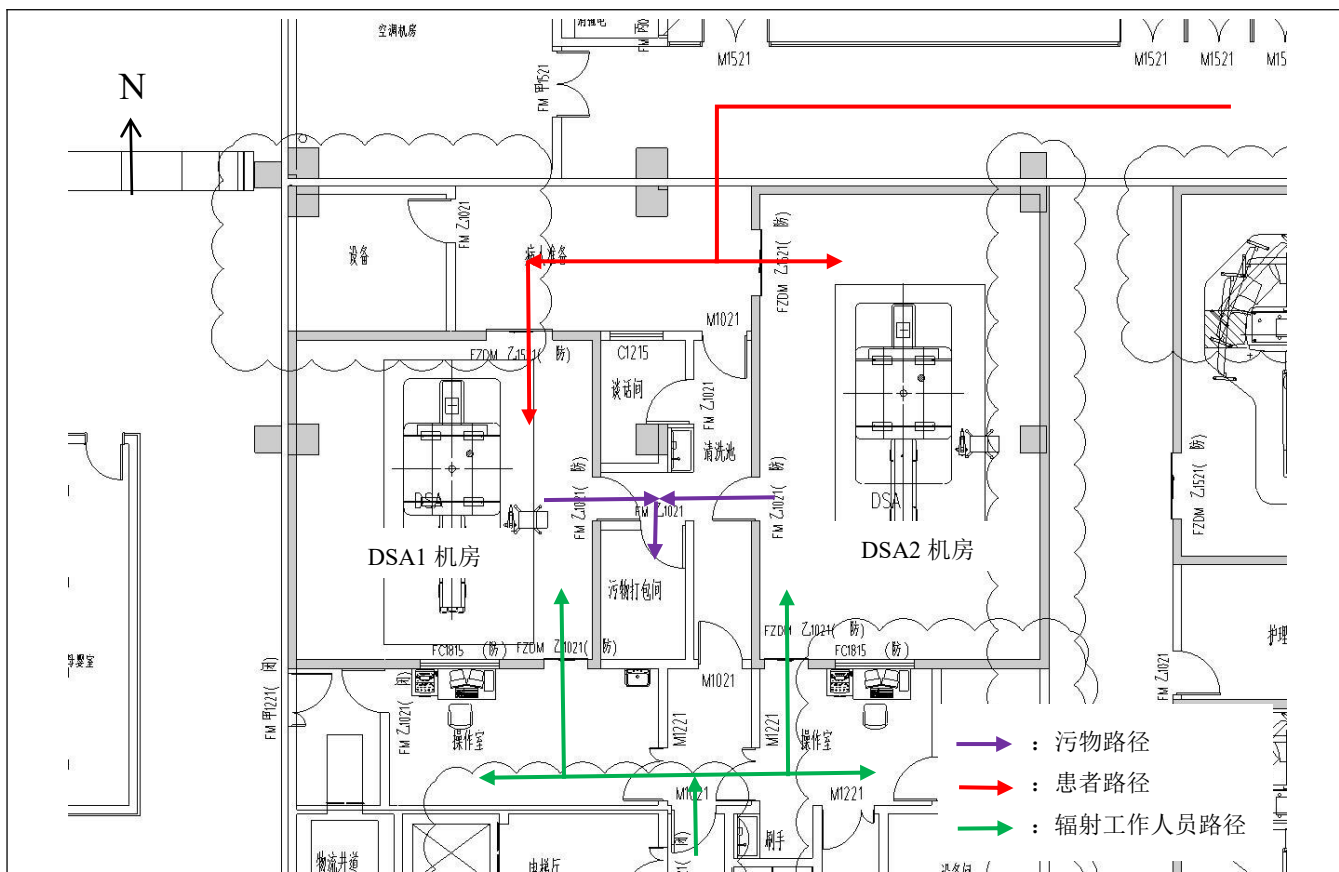


图 9-3 本项目门诊医技楼一层影像中心 DSA 工作场所人流物流示意图

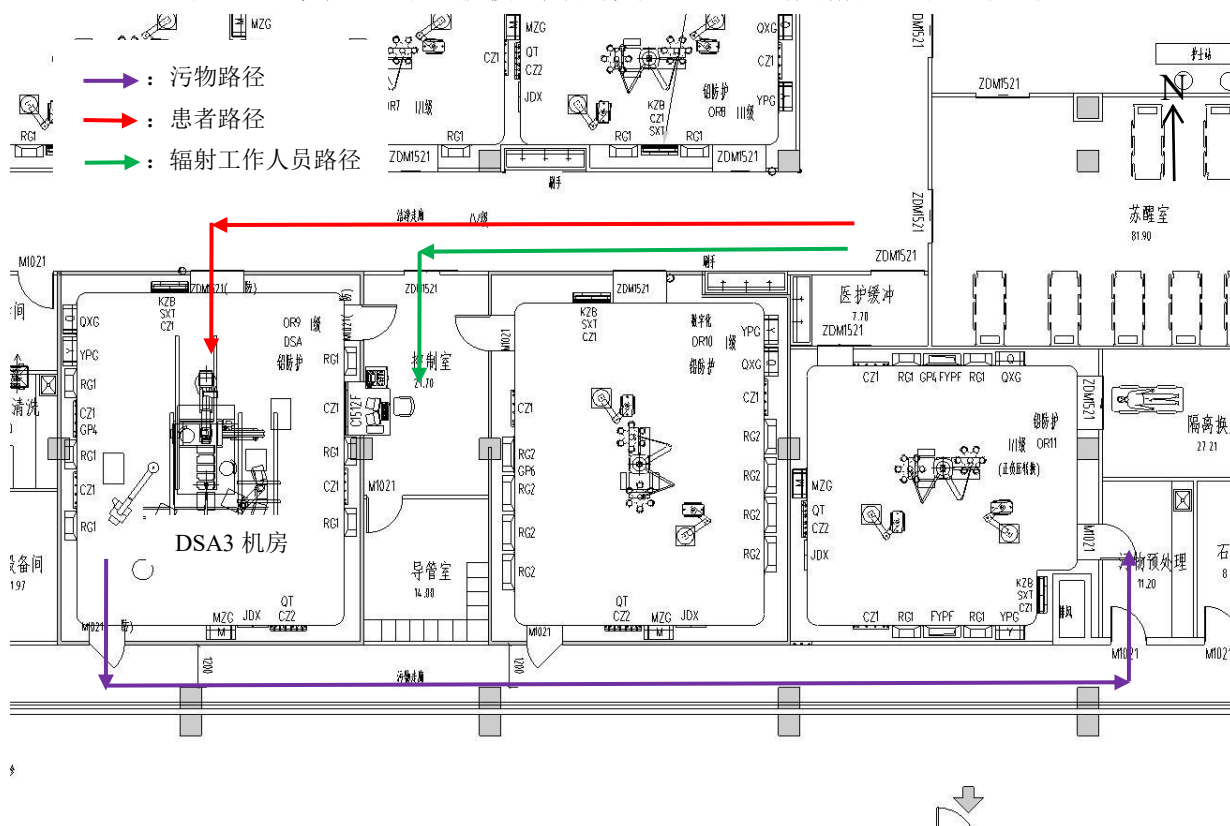


图 9-4 本项目门诊医技楼四层手术中心 DSA 工作场所人流物流示意图

9.2.4 操作流程及产物环节

诊疗时，患者仰卧并进行无菌消毒，局部麻醉后，经皮穿刺静脉，送入引导钢丝及扩张管与外鞘，退出钢丝及扩张管将外鞘保留于静脉内，经鞘插入导管，推送导管，在 X 线透视下将导管送达静脉，顺序取血测定静、动脉，并留 X 线片记录，探查结束，撤出导管，穿刺部位止血包扎。

操作流程：DSA 在进行曝光时分为两种情况：

第一种情况（透视）：医生需进行手术治疗时，采用近台同室操作方式，通过控制 DSA 的 X 线系统曝光，对患者的部位进行间歇或连续式透视。具体方式是受检者位于机房手术床上，介入手术医生位于手术床旁，距 DSA 的 X 线管 0.3~1.0m 处，在非主射束方向，配备个人防护用品（如铅衣、铅围脖、铅手套等），同时手术床旁设有屏蔽挂帘，介入治疗中医生根据操作需求踩动手术床下的脚踏开关启动 DSA 的 X 线系统进行透视（DSA 的 X 线系统连续发射 X 射线），通过显示屏上显示的连续画面，完成介入操作，医生、护士佩戴防护用品。

第二种情况（拍片）：操作人员采取隔室操作的方式（即操作医生在控制室内对病人进行曝光），通过控制 DSA 的 X 射线系统曝光，采集造影部位图像。具体方式是受检者位于机房检查床上，医护人员调整好 X 线球管、人体、影像增强器三者之间的距离，然后进入控制室，关好防护门。医生、操作人员通过操作间的电子计算机系统控制 DSA 的 X 射线系统曝光，采集造影部位图像。医生通过铅玻璃观察窗和操作台观察机房内病人情况，并通过对讲系统与病人交流。DSA 的诊疗流程及产污环节程序如图 9-5 所示。

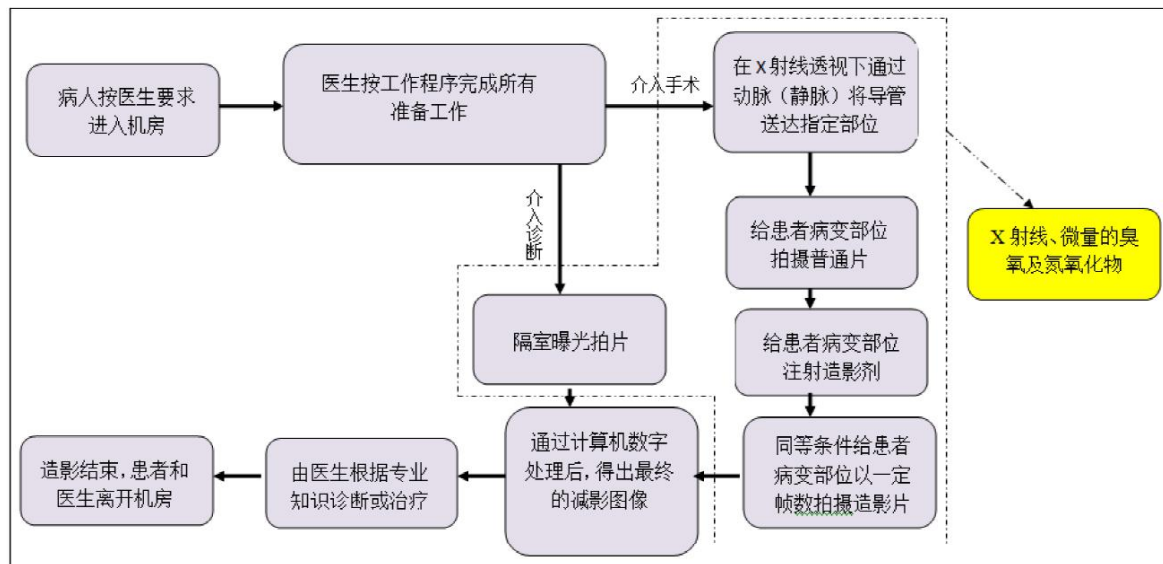


图 9-5 DSA 操作流程及产污环节示意图

综合可知，DSA 在开机状态下，产生的污染因子主要为 X 射线、臭氧和氮氧化物，无其他放射性废气、废水及固体废物产生。

9.3 污染源项描述

9.3.1 正常工况源项

(1) 辐射污染因子

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束状态时才会发出 X 射线。因此，在开机期间，评价因子主要为 X 射线。由于 X 射线贯穿能力强，将对工作人员、公众及周围环境造成一定的辐射污染，包含以下几种 X 射线辐射：

①有用线束

通过控制 DSA 的 X 线系统曝光，采集造影部位图像或者对患者的部位进行间歇式透视。

②泄漏辐射

由靶向外从各个方向穿过辐射头泄漏出来的射线称为漏射线。漏射线遍布机架各处。

③散射辐射

当有用线束射入治疗床上的人体时，会产生散布于各个方面上的次级散射辐射，这种射线的能量和剂量率比有用线束低得多，剂量率大小决定于被照区域，初级射线能量和散射角度。

(2) DSA 工作时，空气在 X 射线的作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体。

本项目 DSA 为 II 类射线装置，其在开机状态下主要辐射为 X 射线，在不开机状态下不产生 X 射线。

9.3.2 事故工况源项

(1) DSA 控制室操作人员或病人家属在防护门关闭后未撤离机房，而射线装置出束时造成的误照射。

(2) DSA 机房安全联锁装置发生故障状况下，人员误入正在运行的 DSA 机房。

(3) 医用射线装置在检修、维护等过程中，检修、维护人员误操作，造成有关人员误照射；

(4) 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。

事故工况产生的污染物与正常工况下相同。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 辐射工作场所布局合理性分析

本项目 3 台 DSA 装置拟分别设置于医院 1#门诊医技楼一层影像中心和四层手术中心，共 3 间 DSA 机房，机房六面情况（东、南、西、北、上、下）如表 10-1 所示。

表 10-1 DSA 机房周边场所布局一览表

所在区域	辐射场所	方位	周边房间及场所
医院 1#门诊医技楼 一层影像中心	DSA1 机房	东	谈话间、污物通道和污物间
		南	控制室
		西	过道
		北	设备间、病人准备间
		楼上	血常规检验区
		楼下	地下车库
	DSA2 机房	东	过道
		南	控制室
		西	清洗池、污物通道、缓冲区
		北	病人通道
		楼上	采血区
		楼下	地下车库
医院 1#门诊医技楼 四层手术中心	DSA3 机房	东	控制室、导管室
		南	污物走廊
		西	消毒间、紧急清洗间和设备间
		北	洁净走廊
		楼上	屋顶机房区
		楼下	临床检验室、医疗街

(1) 本项目 3 间 DSA 机房分别位于医院 1#门诊医技楼一层影像中心和四层手术中心，DSA 机房和配套房间均集中布置，相对独立且人流较少，降低了公众受到照射的可能性，且周围无明显环境制约因素。

(2) 本项目 DSA 有用线束不照射门、窗、管线口与工作人员操作位，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。

(3) 医院拟为 DSA 机房设置了病人通道、污物通道、医生通道互不交叉，病人通道的宽度满足病人手推车辆的通行，方便治疗。

综上所述，本项目各组成部分功能区明确，既有机联系，又互不干扰，且避开了人流量较大的门诊区或其它人员集中活动区域，并同时兼顾了病员就诊的方便性，所以 DSA 平面布置是合理的。

10.1.2 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（包括门锁和联锁装置）限制进出控制区，放射性操作区应与非放射性工作区隔开。

监督区：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。采用适当的手段划出监督区的边界，在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌，定期审查该区的条件，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。

(2) 分区管理情况

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）相关标准对控制区和监督区的定义，结合项目辐射防护情况，将 DSA 机房内部区域划为控制区，将控制室、缓冲区、机房、污物通道等划为监督区。本项目辐射工作场所分区情况表 10-2，分区详见附图 4 和附图 7。

表 10-2 本项目控制区和监督区划分情况

场所名称	控制区	监督区
DSA 工作场所	DSA1 机房	DSA1 机房控制室、污物打包间、污物通道、谈话间、病人准备间、设备间、西侧过道
	DSA2 机房	DSA2 机房控制室、东侧过道、北侧过道、清洗池、污物通道、缓冲区
	DSA3 机房	DSA3 机房控制室、导管室、污物走廊、洁净走廊、消毒间、紧急清洗间和设备间

控制区通过实体屏蔽措施、警示标志等进行控制管理，在射线装置使用时，除介入治疗的医护人员和患者外，禁止其他人员进入；监督区通过辐射危险警示标志提醒人员尽量避开该区域，并委托有资质的单位定期对监督区进行监测、检查，如果发现异常应立即进行整改，整改完成后方可继续使用射线装置。

10.1.3 辐射安全及防护措施

(1) DSA 机房辐射屏蔽设计

依据建设单位提供的 DSA 机房防护设计方案，将机房各屏蔽体的主要技术参数列表分析，并根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中对 X 射线机房防护设计的技术要求、最小有效使用面积及最小单边长度的要求，对本项目屏蔽措施进行对照分析，结果见表 10-3 和表 10-4，DSA 机房的防护设计图见附图 4 和附图 7。

表 10-3 本项目 DSA 工作场所拟采取屏蔽防护措施分析

机房名称	屏蔽体	屏蔽材料及厚度	折算后铅当量 (mmPb)	GBZ 130-2020 标准要求	符合性分析
DSA1 机房 (150kV)、 DSA2 机房 (150kV)、 DSA3 机房 (150kV)	东墙	24cm 厚实心粘土砖+5cm 硫酸钡防护涂料	5.0	本项目 DSA 射线装置额定参数为管电压 150kV，管电流 1250mA，有用线束有用线束方向铅当量 3mmPb；非有用线束方向铅当量 2mmPb	符合
	南墙	24cm 厚实心粘土砖+5cm 硫酸钡防护涂料	5.0		符合
	西墙	24cm 厚实心粘土砖+5cm 硫酸钡防护涂料	5.0		符合
	北墙	24cm 厚实心粘土砖+5cm 硫酸钡防护涂料	5.0		符合
	工作人员防护门	内衬 4mm 铅板	4.0		符合
	病人通道防护门	内衬 4mm 铅板	4.0		符合
	污物通道防护门	内衬 4mm 铅板	4.0		符合
	观察窗	4mmPb 铅玻璃	4.0		符合
	顶棚	12cm 现浇混凝土+5cm 硫酸钡防护涂料	4.0		符合
地坪	12cm 现浇混凝土+5cm 硫酸钡防护涂料	4.0	符合		

注：实心砖密度不低于 1.65g/cm³，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C，24cm 实心砖保守等效为 2mmPb；混凝土密度不低于 2.35g/cm³，10.6cm 混凝土等效为 1mmPb（150kV）；参考《放射防护实用手册》表 6.14，1.7cm 硫酸钡防护涂料保守等效为 1mmPb（150kV），硫酸钡防护涂料密度不低于 3.8g/cm³。

表 10-4 本项目机房规格与标准对照表

机房名称	拟设计情况		标准要求		符合性评价
	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)	
DSA1 机房	6.7	48.91	3.5	20	符合
DSA2 机房	5.9	61.65	3.5	20	符合
DSA3 机房	7.5	69.75	3.5	20	符合

通过表 10-3、表 10-4 可知，本项目的 3 间 DSA 机房面积、最小单边长度均大于标准要求，其四面墙体、顶棚、防护门以及观察窗均采取了辐射屏蔽措施，充分考虑了邻室及周围场所的人员防护与安全，且屏蔽厚度均高于有用线束和非有用线束铅当量防护厚度标准规定值。从 X

射线放射诊断场所的屏蔽方面考虑，本项目 DSA 机房的防护设施的技术要求满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的相关防护设施的技术要求。

（2）辐射安全防护措施

1、DSA设备固有防护措施

①设备出线口上应安装限束系统（如限束器、光阑等）。

②X射线管组件上应有清晰的焦点位置标示。

③X射线管组件上应标明固有滤过，所有附加滤过片均应标明其材料和厚度。

④随机文件应说明下列与防护有关的性能：

a) X射线管组件的固有滤过；

b) X射线源组件的滤过；

c) 滤过片的特性；

d) 距焦点100 cm远处球面上泄漏辐射的空气比释动能率；

e) 限制有用线束的方法；

f) 在焦点到影像接收器的各种距离下有用线束照射野尺寸；

g) 焦点到影像接收面的最大和最小距离；

h) 管电压和管电流加载条件；

i) 各种使用条件下焦皮距的说明；

j) 位于有用线束中床板和滤线栅对 X 射线束的衰减当量；

k) X射线设备随机文件中应提供等剂量图，描述设备周围的杂散辐射的分布以及工作人员典型位置的杂散辐射值，便于工作人员选择防护方案；

⑤设备应满足其相应设备类型的防护性能专用要求。

⑥设备在机房内应具备工作人员在不变换操作位置情况下能成功切换透视和摄影功能的控制键。

⑦设备应配备能阻止使用焦皮距小于20cm的装置。

⑧介入操作中，设备控制台和机房内显示器上应能显示当前受检者的辐射剂量测定指示和多次曝光剂量记录。

本项目DSA设备拟购买于正规厂家，设备各项安全措施齐备，均能满足以上要求。

2、DSA机房防护措施

①本项目拟合理设置DSA、机房的门、窗和管线口位置，避免有用线束直接照射门、窗、

管线口和工作人员操作位。

②机房拟设置动力通风装置，并保持良好的通风。

③机房门外拟设电离辐射警告标志；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；候诊区拟设置放射防护注意事项告知栏，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DSA1机房和DSA2机房的工作人员防护门和患者防护门、DSA3机房患者防护门拟设平开机房门，DSA1机房和DSA2机房的污物通道门和DSA3机房的工作人员防护门和污物通道门拟设电动推拉门。平开机房门拟设自动闭门装置；电动推拉门拟设曝光时关闭机房门的管理措施，并设置防夹装置；工作状态指示灯能与机房门有效关联。

本项目每台DSA均设有单独的机房，DSA机房内布局合理，避免了有用线束直接照射门、窗和管线口位置和工作人员操作位，充分考虑了邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全，机房设计均能满足以上要求。

3、DSA机房屏蔽设计

①根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）要求：标称125 kV以上的摄影机房有用线束方向机房的屏蔽防护铅当量不低于3mmPb，非有用线束方向机房的屏蔽防护铅当量不低于2mmPb；

②机房的门和窗关闭时应满足以上要求。

本项目所设计各DSA机房墙体、门和窗（关闭时）辐射防护屏蔽能力均能满足辐射环境保护要求（详见表10-3）。

4、DSA工作场所防护用品及防护设施配置

①每台DSA设备根据工作内容，现场应配备不少于表10-5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。

②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。

③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。

④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。

本项目个人防护用品见表10-5，配置满足标准要求。

5、设备操作时的防护安全措施

①放射工作人员应熟练掌握业务技术，接受放射防护和有关法律知识的培训，满足放射工作人员岗位要求。

②根据不同检查类型和需要，选择使用合适的设备、照射条件、照射野以及相应的防护用品。

③合理选择各种操作参数，在确保达到预期诊断目标条件下，使受检者所受到的照射剂量最低。

④如设备具有儿童检查模式可选项时，对儿童实施检查时应使用该模式；如无儿童检查模式，应适当调整照射参数（如管电压、管电流、照射时间等），并严格限制照射野。

⑤X射线设备曝光时，应关闭与机房相通的门、窗。

⑥放射工作人员应按《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求接受个人剂量监测。

⑦在进行病例示教时，不应随意增加曝光时间和曝光次数。

⑧工作人员应在有屏蔽的防护设施内进行曝光操作，并应通过观察窗等密切观察受检者状态。

⑨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。

⑩医院为DSA项目工作人员、患者和受检者配置的个人防护用品和辅助防护设施，全部新购，防护用品的种类、数量、防护厚度须按照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求执行。

6、其他安全措施

①视频监控系统、对讲系统。机房和控制室之间安装有监视、对讲系统，控制室内能通过监控显示系统可观察机房内的情况，并通过对讲系统与室内人员联系，以便于医生在操作室观察患者在机房内的状况、及时处理意外情况。

②本项目所有辐射工作人员拟配备个人剂量计：**建议采用双剂量计检测方法（分别佩戴于铅围裙外锁骨对应的领口位置、铅围裙内躯干上）**，另外DSA手术人员还将在腕部佩戴个人剂量计，以显示手部皮肤所受剂量。

③DSA设备配备可升降的含铅挡板或悬挂防护屏，为受检人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，以减少对手术医生的受照剂量。射线装置均装有可调限束

装置，使装置发射的线束宽度尽量减小，减少泄漏辐射。

表 10-5 本项目 DSA 工作场所拟配备个人防护用品与标准对照表

工作场所	人员类型	《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)要求		本项目拟配置情况		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	
DSA 工作场所	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	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜、铅手套，各 12 套	铅悬挂防护屏、铅床侧防护帘，各 3 件、移动铅防护屏风 3 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	——	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子，成人与儿童各 3 套	——	符合

注：防护手套不小于 0.025mmPb 当量；铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜铅当量不小于 0.5mmPb；铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾铅当量不小于 0.5mmPb；儿童防护用品铅当量不小于 0.5mmPb；铅悬挂防护屏、铅防护帘、床侧防护帘铅当量不小于 0.5mmPb。

表 10-6 本项目 DSA 机房辐射防护措施与标准对比分析

项目	标准要求	本项目设计方案	是否符合
机房通风	机房应设置动力排风装置，并保持良好的通风	机房设计了空调新风系统，保证通风状况良好	符合
机房内布局	机房内布局要合理，应避免有用线束直接照射门、窗和管线口位置；不得堆放与该设备诊断工作无关的杂物	DSA 机房设计避免有用线束直接照射管线口；DSA 设备出束方向由下往上，不直接照射门、窗；机房内未设置与诊断工作无关的设施，保持机房内整洁、不堆放杂物	符合
警示系统	机房门外应有电离辐射标志、辐射防护注意事项、醒目的工作状态指示灯，灯箱处应设警示语句	建设单位拟在 DSA 机房外墙上张贴辐射防护注意事项，机房门外设置电离辐射标志，在机房门上方设置工作状态指示灯、灯箱设置警示语句	符合
安全联锁装置	机房门应有闭门装置，且工作状态指示灯和与机房相通的门能有效联动	DSA 机房患者防护门设门灯联锁装置，保证工作状态指示灯与防护门实现联锁功能	符合
候诊区	不应在机房内候诊	DSA 候诊区未设置在 DSA 机房内区域	符合

10.2 “三废”治理措施

根据工艺分析，本项目运行期间无放射性废水、放射性废气及固体废物产生，仅有少量臭氧、氮氧化物等有害气体，加强通风有利于改善工作场所空气质量。本项目 3 间 DSA 机房均拟采用吸顶式机械排风扇进行通风，排风口设置于机房吊顶，保证机房内有良好的通风。臭氧在常温下 20-50 分钟后可自行分解为氧气，对环境影响较小。按照《浙江省辐射环境管理办法》要求，本项目 DSA 需要报废处理时，建设单位应当对射线装置内的高压射线管进行拆解，并报颁发辐射安全许可证的生态环境部门核销。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目土建等主体工程的施工期环境影响已在《良渚医院整体迁建项目环境影响报告书》进行了具体分析与评价，本项目施工期主要是对已有房间进行墙体改造和装饰施工、设备安装，通过对施工时段的控制以及施工现场严格管理等手段，可使本项目施工期环境影响的范围和强度进一步减小。因此，本项目不对施工期的环境影响进行具体分析。

本环评要求 DSA 设备的安装与调试应请设备厂家专业人员进行，建设单位不得自行安装及调试设备。在设备安装调试阶段，应加强辐射防护管理。在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近，防止辐射事故的发生。

由于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以接受的。设备安装完成后，建设单位需及时回收包装材料及其它固体废物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 屏蔽合理性分析

通过表 10-3、表 10-4 可知，本项目的 DSA 机房面积、最小单边长度均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中相关要求，其四面墙体、顶棚、防护门以及观察窗均采取了辐射屏蔽措施，充分考虑了邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全，且屏蔽厚度均高于有用线束和非有用线束铅当量防护厚度标准规定值。从 X 射线放射诊断场所的屏蔽方面考虑，本项目 DSA 机房的防护设施的技术要求满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的相关防护设施的技术要求。

11.2.2 DSA 机房周围剂量率计算

本项目 DSA 工作场所拟建于医院 1#门诊医技楼一层影像中心和四层手术中心，设备尚未投入使用，本报告对 DSA 机房周围辐射环境影响采用理论计算模式预测的方法进行影响分析。

本项目 3 间 DSA 机房中 DSA1 机房面积和长度最小，3 台 DSA 最大管电压和最大管电流均为 150kV 和 1250mA，因此本报告保守以 DSA1 机房为例进行计算（其中机房宽度保守按最小的 DSA2 机房宽度计），机房尺寸参数详见表 11-1。

同时，保守起见本环评按常用工况（减影：最大常用电压 100kV，最大常用电流 500mA；透视：最大常用电压 80kV，最大常用电流 10mA）和极限工况（减影和透视均为最大电压 150kV，最大电流 1250mA）两种工况条件下对各关注点进行剂量率预测。

1、常用工况下DSA机房周围剂量率计算

根据医院提供资料，DSA设备参数与常用工况、机房防护情况见表11-1。

表11-1 本项目DSA设备参数与常用工况及防护情况

厂家型号	待定		
技术参数	最大管电压为 150kV，最大管电流为 1250mA		
过滤材料	0.5mmCu		
最大照射野	100cm ²		
工况模式 (常用工况)	减影	工况下，最大常用电压 100kV， 最大常用电流 500mA	距靶点 1m 处的空气比释动能率为 5.1×10 ⁷ μGy/h
	透视	工况下，最大常用电压 80kV， 最大常用电流 10mA	距靶点 1m 处的空气比释动能率为 4.8×10 ⁵ μGy/h
泄漏辐射源强		离靶点 1m 处的泄漏辐射在空气中的比释动能率不超过 1mGy/h	
机房尺寸	DSA1	有效使用面积约为 48.91m ² (长 7.3m×宽 6.7m)	
	DSA2	有效使用面积约为 61.95m ² (长 10.5m×宽 5.9m)	
	DSA3	有效使用面积约为 69.75m ² (长 9.3m×宽 7.5m)	
防护设施	四周墙体	24cm 厚实心粘土砖+5cm 硫酸钡防护涂料 (约 5mmPb)	
	防护门	内衬 4mm 铅板	
	观察窗	4mmPb 铅玻璃	
	顶棚	12cm 现浇混凝土+5cm 硫酸钡防护涂料 (约 4mmPb)	
	地坪	12cm 现浇混凝土+5cm 硫酸钡防护涂料 (约 4mmPb)	
	铅屏风	2mmPb 铅板	
	医生	铅衣、铅围脖、铅眼镜等防护用品 (0.5mmPb)、介入防护手套 (0.025mmPb)	

注：①本项目 X 射线过滤材料以 0.5mmCu 计，根据《辐射防护导论》附图 3，采用外延法可知，X 射线过滤材料为 0.5mmCu，100kV 电压下，发射率常数为 1.7mGy·m²/(mA·min)，80kV 电压下，发射率常数为 0.8mGy·m²/(mA·min)。

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”。

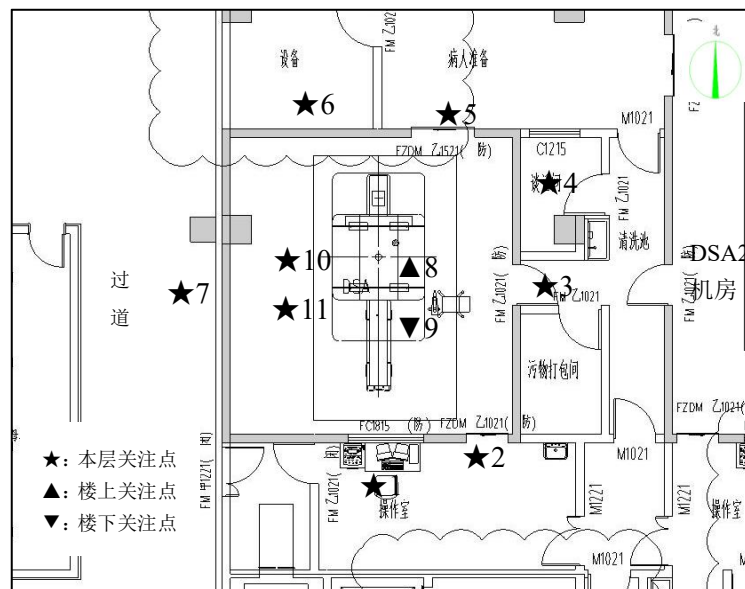


图 11-1 DSA1 机房预测关注点位示意图

参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C 的 C.1.2 中式（C.1）进行屏蔽透射因子的计算。

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

式中：

B——给定铅厚度的屏蔽透射因子；

β ——不同屏蔽物质对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

α ——不同屏蔽物质对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

γ ——不同屏蔽物质对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

X——不同屏蔽物质厚度。

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主射方向屏蔽估算

$$H = \frac{H_0 \cdot B}{d^2} \dots\dots \text{（公式 11-2）}$$

式中：

H——预测点处的透射辐射剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

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

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11-1。

主射方向预测点屏蔽透射因子计算结果列表见表11-2。

表 11-2 主射方向预测点屏蔽透射因子计算参数及结果

工作模式	预测点位	防护情况	屏蔽厚度	α	β	γ	B
减影	8#（楼上离地 100cm 处	5cm 硫酸钡防护涂料	折算为 3mmPb	2.500	15.28	0.7557	3.11×10^{-8}
		120mm 标准混凝土	120mm	0.03925	0.08567	0.4273	
透视	（血常规检验科）	5cm 硫酸钡防护涂料	折算为 3mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.56×10^{-9}
		120mm 标准混凝土	120mm	0.04228	0.1137	0.4690	

注：减影电压取100kV，透视电压保守取80kV。

主射方向预测点辐射剂量率计算结果列表见表11-3。

表 11-3 主射辐射预测点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 ($\mu\text{Gy/h}$)
减影	8# (楼上离地 100cm 处 (血常规检验科))	5.1×10^7	3.62	3.11×10^{-8}	0.12
透视		4.8×10^5		3.56×10^{-9}	1.3×10^{-4}

②病人体表散射屏蔽估算

$$H_s = \frac{H_0 \cdot \alpha \cdot B \cdot (s / 400)}{(d_0 \cdot d_s)^2} \quad (\text{式 11-3})$$

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 ——源与病人的距离, m, 取 0.8m;

d_s ——病人与预测点的距离, 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, 公式计算同式11-1。其中: α 、 β 、 γ ——铅对100kV管电压X射线散射辐射衰减的有关三个拟合参数。

散射辐射各预测点屏蔽透射因子计算结果列表见表11-4。

表 11-4 散射辐射各预测点屏蔽透射因子计算结果

工作模式	预测点位	防护情况	屏蔽厚度	α	β	γ	B
减影	1#控制室操作位	4mmPb 铅玻璃	4mmPb	2.507	15.33	0.9124	5.14×10^{-6}
	2#南侧防护门外 30cm 处 (控制室)	内衬 4mm 铅板	4mmPb	2.507	15.33	0.9124	
	3#东侧防护门外 30cm 处 (污物通道)	内衬 4mm 铅板	4mmPb	2.507	15.33	0.9124	
	4#东侧防护墙外 30cm 处 (谈话间)	24cm 厚实心粘土砖	240mm 粘土砖	0.03520	0.0880	1.149	4.55×10^{-9}
		5cm 硫酸钡涂料	折算为 3mmPb	2.507	15.33	0.9124	
	5#北侧防护门外 30cm 处 (病人准备间)	内衬 4mm 铅板	4mmPb	2.507	15.33	0.9124	5.14×10^{-6}

	6#北侧防护墙外 30cm 处（设备间）	24cm 厚实心粘土砖	240mm 粘土砖	0.03520	0.0880	1.149	4.55×10 ⁻⁹	
		5cm 硫酸钡涂料	折算为 3mmPb	2.507	15.33	0.9124		
	7#西侧防护墙外 30cm 处（过道）	24cm 厚实心粘土砖	240mm 粘土砖	0.03520	0.0880	1.149	4.55×10 ⁻⁹	
		5cm 硫酸钡涂料	折算为 3mmPb	2.507	15.33	0.9124		
	9#楼下距楼下地面 170cm 处（地下车库）	5cm 硫酸钡涂料	折算为 3mmPb	2.507	15.33	0.9124	3.12×10 ⁻⁷	
		12cm 现浇混凝土	120mm 混凝土	0.03950	0.0844	0.5191		
	透视	1#控制室操作位	4mmPb 铅玻璃	4mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69×10 ⁻⁷
		2#南侧防护门外 30cm 处（控制室）	内衬 4mm 铅板	4mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69×10 ⁻⁷
		3#东侧防护门外 30cm 处（污物通道）	内衬 4mm 铅板	4mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69×10 ⁻⁷
4#东侧防护墙外 30cm 处（谈话间）		24cm 厚实心粘土砖	240mm 粘土砖	0.03750	0.0820	0.8920	1.36×10 ⁻⁹	
		5cm 硫酸钡涂料	折算为 3mmPb	3.067	18.83	0.7726		
5#北侧防护门外 30cm 处（病人准备间）		内衬 4mm 铅板	4mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69×10 ⁻⁷	
6#北侧防护墙外 30cm 处（设备间）		24cm 厚实心粘土砖	240mm 粘土砖	0.03750	0.0820	0.8920	1.36×10 ⁻⁹	
		5cm 硫酸钡涂料	折算为 3mmPb	3.067	18.83	0.7726		
7#西侧防护墙外 30cm 处（过道）		24cm 厚实心粘土砖	240mm	0.03750	0.0820	0.8920	1.36×10 ⁻⁹	
		5cm 硫酸钡涂料	折算为 3mmPb	3.067	18.83	0.7726		
9#楼下距楼下地面 170cm 处（地下车库）		5cm 硫酸钡涂料	折算为 3mmPb	3.067	18.83	0.7726	2.44×10 ⁻⁸	
	12cm 现浇混凝土	120mm 混凝土	0.04228	0.1137	0.4690			
10#第一手术位手部（机房内）	0.025mmPb 铅手套	0.025mm Pb	3.067	18.83	0.7726	0.626		
11#第一手术位眼晶体（机房内）	0.5mmPb 铅眼镜	0.5mmPb	3.067	18.83	0.7726	0.025		

注：预测点位以防护最薄弱与距离最短为原则选定关注点的位置；

减影电压取100kV，透视电压保守取80kV。

散射辐射各预测点屏蔽透射因子计算结果列表见表11-5。

表 11-5 各预测点散射辐射剂量率计算参数及结果

工作模式	关注点位置描述	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	1#控制室操作位	5.1×10^7	0.0013	100	0.8	4.15	5.14×10^{-6}	7.7×10^{-3}
	2#南侧防护门外 30cm 处 (控制室)	5.1×10^7	0.0013	100	0.8	4.15	5.14×10^{-6}	7.7×10^{-3}
	3#东侧防护门外 30cm 处 (污物通道)	5.1×10^7	0.0013	100	0.8	3.5*	5.14×10^{-6}	1.37×10^{-2}
	4#东侧防护墙外 30cm 处 (谈话间)	5.1×10^7	0.0013	100	0.8	3.5*	4.55×10^{-9}	9.51×10^{-6}
	5#北侧防护门外 30cm 处 (病人准备间)	5.1×10^7	0.0013	100	0.8	4.15	5.14×10^{-6}	7.7×10^{-3}
	6#北侧防护墙外 30cm 处 (设备间)	5.1×10^7	0.0013	100	0.8	4.15	4.55×10^{-9}	6.84×10^{-6}
	7#西侧防护墙外 30cm 处 (过道)	5.1×10^7	0.0013	100	0.8	3.5*	4.55×10^{-9}	9.51×10^{-6}
	9#楼下距楼下地面 170cm 处 (地下车库)	5.1×10^7	0.0013	100	0.8	3.0	3.12×10^{-7}	8.98×10^{-4}
透视	1#控制室操作位	4.8×10^5	0.0013	100	0.8	4.15	3.69×10^{-7}	5.22×10^{-6}
	2#南侧防护门外 30cm 处 (控制室)	4.8×10^5	0.0013	100	0.8	4.15	3.69×10^{-7}	5.22×10^{-6}
	3#东侧防护门外 30cm 处 (污物通道)	4.8×10^5	0.0013	100	0.8	3.5*	3.69×10^{-7}	7.34×10^{-6}
	4#东侧防护墙外 30cm 处 (谈话间)	4.8×10^5	0.0013	100	0.8	3.5*	1.36×10^{-9}	2.71×10^{-8}
	5#北侧防护门外 30cm 处 (病人准备间)	4.8×10^5	0.0013	100	0.8	4.15	3.69×10^{-7}	5.22×10^{-6}
	6#北侧防护墙外 30cm 处 (设备间)	4.8×10^5	0.0013	100	0.8	4.15	1.36×10^{-9}	1.93×10^{-8}
	7#西侧防护墙外 30cm 处 (过道)	4.8×10^5	0.0013	100	0.8	3.5*	1.36×10^{-9}	2.71×10^{-8}
	9#楼下距楼下地面 170cm 处 (地下车库)	4.8×10^5	0.0013	100	0.8	3.0	2.44×10^{-8}	6.61×10^{-7}
	10#第一手术位手部 (机房内)	4.8×10^5	0.0013	100	0.8	0.5	0.626	610.4
	11#第一手术位眼晶体 (机房内)	4.8×10^5	0.0013	100	0.8	1.0	0.025	6.095

注：*保守按2间DSA机房的最小宽度5.9m取值；
透视模式下， α 保守取100kV下的0.0013。

③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 11-4 进行计算。

$$H_L = \frac{H_0 \cdot B}{d^2} \quad (\text{式 11-4})$$

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 11-1。其中： α 、 β 、 γ ——屏蔽材料对 100kV 管电压 X 射线泄漏辐射衰减的有关三个拟合参数。

泄漏辐射各预测点屏蔽透射因子计算结果见表 11-6。

表 11-6 泄漏辐射各预测点屏蔽透射因子计算结果

工作模式	预测点位	防护情况	屏蔽厚度	α	β	γ	B
减影	1#控制室操作位	4mmPb 铅玻璃	4mmPb	2.500	15.28	0.7557	3.39×10^{-6}
	2#南侧防护门外 30cm 处（控制室）	内衬 4mm 铅板	4mmPb	2.500	15.28	0.7557	3.39×10^{-6}
	3#东侧防护门外 30cm 处（污物通道）	内衬 4mm 铅板	4mmPb	2.500	15.28	0.7557	3.39×10^{-6}
	4#东侧防护墙外 30cm 处（谈话间）	24cm 厚实心粘土砖	240mm 粘土砖	0.03520	0.0880	1.149	2.14×10^{-8}
		5cm 硫酸钡涂料	折算为 3mmPb	2.500	15.28	0.7557	
	5#北侧防护门外 30cm 处（病人准备间）	内衬 4mm 铅板	4mmPb	2.500	15.28	0.7557	3.39×10^{-6}
	6#北侧防护墙外 30cm 处（设备间）	24cm 厚实心粘土砖	240mm 粘土砖	0.03520	0.0880	1.149	2.14×10^{-8}
		5cm 硫酸钡涂料	折算为 3mmPb	2.500	15.28	0.7557	
	7#西侧防护墙外 30cm 处（过道）	24cm 厚实心粘土砖	240mm 粘土砖	0.03520	0.0880	1.149	2.14×10^{-8}
		5cm 硫酸钡涂料	折算为 3mmPb	2.500	15.28	0.7557	
	9#楼下距楼下地面 170cm 处（地下车库）	5cm 硫酸钡涂料	折算为 3mmPb	2.500	15.28	0.7557	3.11×10^{-8}
		12cm 现浇混凝土	120mm 混凝土	0.03925	0.08567	0.4273	

透视	1#控制室操作位	4mmPb 铅玻璃	4mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69×10 ⁻⁷
	2#南侧防护门外 30cm 处 (控制室)	内衬 4mm 铅板	4mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69×10 ⁻⁷
	3#东侧防护门外 30cm 处 (污物通道)	内衬 4mm 铅板	4mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69×10 ⁻⁷
	4#东侧防护墙外 30cm 处 (谈话间)	24cm 厚实心粘土砖	240mm 粘土砖	0.03750	0.08200	0.8920	1.36×10 ⁻⁹
		5cm 硫酸钡涂料	折算为 3mmPb	3.067	18.83	0.7726	
	5#北侧防护门外 30cm 处 (病人准备间)	内衬 4mm 铅板	4mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69×10 ⁻⁷
	6#北侧防护墙外 30cm 处 (设备间)	24cm 厚实心粘土砖	240mm 粘土砖	0.03750	0.08200	0.8920	1.36×10 ⁻⁹
		5cm 硫酸钡涂料	折算为 3mmPb	3.067	18.83	0.7726	
	7#西侧防护墙外 30cm 处 (过道)	24cm 厚实心粘土砖	240mm 粘土砖	0.03750	0.08200	0.8920	1.36×10 ⁻⁹
		5cm 硫酸钡涂料	折算为 3mmPb	3.067	18.83	0.7726	
	9#楼下距楼下地面 170cm 处 (地下车库)	5cm 硫酸钡涂料	折算为 3mmPb	3.067	18.83	0.7726	5.96×10 ⁻⁹
12cm 现浇混凝土		120mm 混凝土	0.03925	0.08567	0.4273		
10#第一手术位手部 (机房内)	0.025mmPb 铅手套	0.025mm Pb	3.067	18.83	0.7726	0.626	
11#第一手术位眼晶体 (机房内)	0.5mmPb 铅眼镜	0.5mmPb	3.067	18.83	0.7726	0.025	

注：减影电压取100kV，透视电压保守取80kV。

各预测点位泄漏辐射剂量计算参数及结果见下表11-7。

表 11-7 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	d	B	H_L
		μGy/h	m	/	μGy/h
减影	1#控制室操作位	1000	4.15	3.39×10 ⁻⁶	9.41×10 ⁻³
	2#南侧防护门外 30cm 处 (控制室)	1000	4.15	3.39×10 ⁻⁶	9.41×10 ⁻³
	3#东侧防护门外 30cm 处 (污物通道)	1000	3.5*	3.39×10 ⁻⁶	2.77×10 ⁻⁴
	4#东侧防护墙外 30cm 处 (谈话间)	1000	3.5*	2.14×10 ⁻⁸	1.75×10 ⁻⁶
	5#北侧防护门外 30cm 处 (病人准备间)	1000	4.15	3.39×10 ⁻⁶	9.41×10 ⁻³
	6#北侧防护墙外 30cm 处 (设备间)	1000	4.15	2.14×10 ⁻⁸	1.24×10 ⁻⁶
	7#西侧防护墙外 30cm 处 (过道)	1000	3.5*	2.14×10 ⁻⁸	1.75×10 ⁻⁶
	9#楼下距楼下地面 170cm 处 (地下车库)	1000	3.0	3.11×10 ⁻⁸	3.46×10 ⁻⁶
透视	1#控制室操作位	1000	4.15	3.69×10 ⁻⁷	2.14×10 ⁻⁵

	2#南侧防护门外 30cm 处（控制室）	1000	4.15	3.69×10^{-7}	2.14×10^{-5}
	3#东侧防护门外 30cm 处（污物通道）	1000	3.5*	3.69×10^{-7}	3.01×10^{-5}
	4#东侧防护墙外 30cm 处（谈话间）	1000	3.5*	1.36×10^{-9}	1.11×10^{-7}
	5#北侧防护门外 30cm 处（病人准备间）	1000	4.15	3.69×10^{-7}	2.14×10^{-5}
	6#北侧防护墙外 30cm 处（设备间）	1000	4.15	1.36×10^{-9}	7.9×10^{-8}
	7#西侧防护墙外 30cm 处（过道）	1000	3.5*	1.36×10^{-9}	1.11×10^{-7}
	9#楼下距楼下地面 170cm 处（地下车库）	1000	3.0	5.96×10^{-9}	6.62×10^{-7}
	10#第一手术位手部（机房内）	1000	0.5	0.626	2504
	11#第一手术位眼晶体（机房内）	1000	1.0	0.025	25

注：*保守按2间DSA机房的最小宽度5.9m取值；

④漏射和散射总辐射剂量率估算

根据表 11-5 和表 11-7 的计算结果，将各个预测点的总辐射剂量率统计于下表 11-8。

表11-8各个预测点的总辐射剂量率

工作模式	关注点位置描述	主射辐射剂量率	散射辐射剂量率	泄漏辐射剂量率	总辐射剂量率
		$\mu\text{Gy/h}$	$\mu\text{Gy/h}$	$\mu\text{Gy/h}$	$\mu\text{Gy/h}$
减影	1#控制室操作位	/	7.7×10^{-3}	9.41×10^{-3}	1.71×10^{-2}
	2#南侧防护门外 30cm 处（控制室）	/	7.7×10^{-3}	9.41×10^{-3}	1.71×10^{-2}
	3#东侧防护门外 30cm 处（污物通道）	/	1.37×10^{-2}	2.77×10^{-4}	1.4×10^{-2}
	4#东侧防护墙外 30cm 处（谈话间）	/	9.51×10^{-6}	1.75×10^{-6}	1.13×10^{-5}
	5#北侧防护门外 30cm 处（病人准备间）	/	7.7×10^{-3}	9.41×10^{-3}	1.71×10^{-2}
	6#北侧防护墙外 30cm 处（设备间）	/	6.84×10^{-6}	1.24×10^{-6}	8.08×10^{-6}
	7#西侧防护墙外 30cm 处（过道）	/	9.51×10^{-6}	1.75×10^{-6}	1.13×10^{-5}
	8#（楼上离地 100cm 处（血常规检验科）	0.12	/	/	0.12
	9#楼下距楼下地面 170cm 处（地下车库）	/	8.98×10^{-4}	3.46×10^{-6}	9.02×10^{-4}
透视	1#控制室操作位	/	5.22×10^{-6}	2.14×10^{-5}	2.66×10^{-5}
	2#南侧防护门外 30cm 处（控制室）	/	5.22×10^{-6}	2.14×10^{-5}	2.66×10^{-5}
	3#东侧防护门外 30cm 处（污物通道）	/	7.34×10^{-6}	3.01×10^{-5}	3.74×10^{-5}
	4#东侧防护墙外 30cm 处（谈话间）	/	2.71×10^{-8}	1.11×10^{-7}	1.38×10^{-7}

5#北侧防护门外 30cm 处 (病人准备间)	/	5.22×10^{-6}	2.14×10^{-5}	2.66×10^{-5}
6#北侧防护墙外 30cm 处 (设备间)	/	1.93×10^{-8}	7.9×10^{-8}	9.83×10^{-8}
7#西侧防护墙外 30cm 处 (过道)	/	2.71×10^{-8}	1.11×10^{-7}	1.38×10^{-7}
8#(楼上离地 100cm 处 (血常规检验科))	1.3×10^{-4}	/	/	1.3×10^{-4}
9#楼下距楼下地面 170cm 处(地下车库)	/	6.61×10^{-7}	6.62×10^{-7}	1.32×10^{-6}
10#第一手术位手部(机 房内)	/	610.4	2504	3114.4
11#第一手术位眼晶体 (机房内)	/	6.095	25	31.1

由表 11-8 计算结果可知：透视时，控制室操作位的辐射剂量率为 $2.66 \times 10^{-5} \mu\text{Gy/h}$ ，机房周边辐射剂量率最大为 $3.74 \times 10^{-5} \mu\text{Gy/h}$ ；减影时，控制室操作位的辐射剂量率为 $0.017 \mu\text{Gy/h}$ ，机房周边辐射剂量率最大为 $0.12 \mu\text{Gy/h}$ 。

综上，本项目 DSA 在正常运行情况下，机房外控制室、四周防护墙外及防护门外的辐射剂量率均能够满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)中规定的屏蔽体外表面 30cm 处剂量率不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的标准限值（本项目保守取 $1\text{Gy}=1\text{Sv}$ ）。

为防止射线泄漏，DSA 机房防护门在设计安装时，门体与墙体之间的缝隙应尽量的小，门体与门洞的搭接长度与缝隙的比例应不小于 10:1。DSA 机房在防护施工以及装饰过程中应严格控制工程质量，并保证 DSA 机房的最小单边长度和有效使用面积不小于《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 的要求。

2、极限工况下 DSA 机房周围剂量率计算

DSA 减影和透视均以最大管电压 150kV，最大管电流 1250mA 的极限工况下运行时，根据《辐射防护导论》附图 3 可知，X 射线过滤材料为 1mmCu，150kV 电压下，发射率常数为 $2.6 \text{mGy} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{min})$ ，其他 DSA 设备参数和防护情况与常用工况相同。

①主射方向屏蔽估算

根据公式 11-1，主射方向预测点屏蔽透射因子计算结果列表见下表。

表 11-9 极限工况下主射方向预测点屏蔽透射因子计算参数及结果

工作模式	预测点位	防护情况	屏蔽厚度	α	β	γ	B
减影	8#(楼上离地 100cm 处(血常规	5cm 硫酸钡防护涂料 +1.15mmPb DSA 影像接	折算为 4.15mmPb	1.757	5.177	0.3156	9.51×10^{-8}

	检验科)	收器等硬件设施					
透视		120mm 标准混凝土	120mm	0.032 43	0.085 99	1.467	

注：1、减影和透视电压保守均取150kV；

2、根据NCPP Report No.147 中4.1.6节可得，影像接收器等硬件设施的等效铅当量为1.15mmPb。

根据公式11-2，主射方向预测点辐射剂量率计算结果列表见表11-10。

表 11-10 极限工况下主射辐射预测点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 ($\mu\text{Gy/h}$)
减影	8#(楼上离地 100cm 处 (血常规检验科))	1.95×10^8	3.62	9.51×10^{-8}	1.42
透视		1.56×10^6	3.62	9.51×10^{-8}	0.012

注：根据《辐射防护导论》附图3可知，X射线过滤材料为1mmCu，150kV电压下，发射率常数为 $2.6\text{mGy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ ，则减影时距靶点1m处的空气比释动能率为 $1.95 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$ （按1250mA计）；透视时距靶点1m处的空气比释动能率为 $1.56 \times 10^6 \mu\text{Gy/h}$ （按10mA计）；

②病人体表散射屏蔽估算

根据公式11-1，散射辐射各预测点屏蔽透射因子计算结果列表见表11-11。

表 11-11 散射辐射各预测点屏蔽透射因子计算结果

工作模式	预测点位	防护情况	屏蔽厚度	α	β	γ	B
减影、 透视 ^①	1#控制室操作位	4mmPb 铅玻璃	4mmPb	1.791	5.478	0.5678	6.72×10^{-5}
	2#南侧防护门外 30cm 处（控制室）	内衬 4mm 铅板	4mmPb	1.791	5.478	0.5678	6.72×10^{-5}
	3#东侧防护门外 30cm 处（污物通道）	内衬 4mm 铅板	4mmPb	1.791	5.478	0.5678	6.72×10^{-5}
	4#东侧防护墙外 30cm 处（谈话间）	24cm 厚实心粘土砖 +5cm 硫酸钡涂料	折算成 5mmPb ^②	1.791	5.478	0.5678	1.11×10^{-5}
	5#北侧防护门外 30cm 处（病人准备间）	内衬 4mm 铅板	4mmPb	1.791	5.478	0.5678	6.72×10^{-5}
	6#北侧防护墙外 30cm 处（设备间）	24cm 厚实心粘土砖 +5cm 硫酸钡涂料	折算成 5mmPb ^②	1.791	5.478	0.5678	1.11×10^{-5}
	7#西侧防护墙外 30cm 处（过道）	24cm 厚实心粘土砖 +5cm 硫酸钡涂料	折算成 5mmPb ^②	1.791	5.478	0.5678	1.11×10^{-5}
	9#楼下距楼下地面 170cm 处（地下车库）	5cm 硫酸钡涂料	折算为 3mmPb	1.791	5.478	0.5678	3.54×10^{-6}
12cm 现浇混凝土		120mm 混凝土	0.03243	0.0859 9	1.467		

注：①减影和透视电压均取150kV，预测点位以防护最薄弱与距离最短为原则选定关注点的位置；

②电压150kV工况下砖的拟合参数空缺，故厚度折算成铅当量计算。

根据公式11-3，散射辐射各预测点屏蔽透射因子计算结果列表见表11-12。

表 11-12 极限工况下各预测点散射辐射剂量率计算参数及结果

工作模式	关注点位置描述	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	1#控制室操作位	1.95×10^8	0.0016	100	0.8	4.15	6.72×10^{-5}	0.476
	2#南侧防护门外 30cm 处 (控制室)	1.95×10^8	0.0016	100	0.8	4.15	6.72×10^{-5}	0.476
	3#东侧防护门外 30cm 处 (污物通道)	1.95×10^8	0.0016	100	0.8	3.5	6.72×10^{-5}	0.669
	4#东侧防护墙外 30cm 处 (谈话间)	1.95×10^8	0.0016	100	0.8	3.5	1.11×10^{-5}	0.111
	5#北侧防护门外 30cm 处 (病人准备间)	1.95×10^8	0.0016	100	0.8	4.15	6.72×10^{-5}	0.476
	6#北侧防护墙外 30cm 处 (设备间)	1.95×10^8	0.0016	100	0.8	4.15	1.11×10^{-5}	0.079
	7#西侧防护墙外 30cm 处 (过道)	1.95×10^8	0.0016	100	0.8	3.5	1.11×10^{-5}	0.111
	9#楼下距楼下地面 170cm 处(地下车库)	1.95×10^8	0.0016	100	0.8	3.0	3.54×10^{-6}	0.048
	透视	1#控制室操作位	1.56×10^6	0.0016	100	0.8	4.15	6.72×10^{-5}
2#南侧防护门外 30cm 处 (控制室)		1.56×10^6	0.0016	100	0.8	4.15	6.72×10^{-5}	3.81×10^{-3}
3#东侧防护门外 30cm 处 (污物通道)		1.56×10^6	0.0016	100	0.8	3.5	6.72×10^{-5}	5.35×10^{-3}
4#东侧防护墙外 30cm 处 (谈话间)		1.56×10^6	0.0016	100	0.8	3.5	1.11×10^{-5}	8.84×10^{-4}
5#北侧防护门外 30cm 处 (病人准备间)		1.56×10^6	0.0016	100	0.8	4.15	6.72×10^{-5}	3.81×10^{-3}
6#北侧防护墙外 30cm 处 (设备间)		1.56×10^6	0.0016	100	0.8	4.15	1.11×10^{-5}	6.28×10^{-4}
7#西侧防护墙外 30cm 处 (过道)		1.56×10^6	0.0016	100	0.8	3.5	1.11×10^{-5}	8.84×10^{-4}
9#楼下距楼下地面 170cm 处(地下车库)		1.56×10^6	0.0016	100	0.8	3.0	3.54×10^{-6}	3.84×10^{-4}

注：减影和透视电压均取150kV， α 在150kV下取0.0016。

③ 泄漏辐射剂量估算

根据公式 11-1，泄漏辐射各预测点屏蔽透射因子计算结果见表 11-13。

表 11-13 泄漏辐射各预测点屏蔽透射因子计算结果

工作模式	预测点位	防护情况	屏蔽厚度	α	β	γ	B
减影、透 视 ^①	1#控制室操作位	4mmPb 铅玻璃	4mmPb	1.757	5.177	0.3156	1.5×10^{-5}
	2#南侧防护门外 30cm 处(控制室)	内衬 4mm 铅板	4mmPb	1.757	5.177	0.3156	1.5×10^{-5}
	3#东侧防护门外 30cm	内衬 4mm 铅板	4mmPb	1.757	5.177	0.3156	1.5×10^{-5}

	处（污物通道）						
	4#东侧防护墙外 30cm 处（谈话间）	24cm 厚实心粘土砖+5cm 硫酸钡涂料	折算为 5mmPb ^②	1.757	5.177	0.3156	2.3×10 ⁻⁶
	5#北侧防护门外 30cm 处（病人准备间）	内衬 4mm 铅板	5mmPb	1.757	5.177	0.3156	1.5×10 ⁻⁵
	6#北侧防护墙外 30cm 处（设备间）	24cm 厚实心粘土砖+5cm 硫酸钡涂料	折算为 5mmPb ^②	1.757	5.177	0.3156	2.3×10 ⁻⁶
	7#西侧防护墙外 30cm 处（过道）	24cm 厚实心粘土砖+5cm 硫酸钡涂料	折算为 5mmPb ^②	1.757	5.177	0.3156	2.3×10 ⁻⁶
	9#楼下距楼下地面 170cm 处（地下车库）	5cm 硫酸钡涂料	折算为 3mmPb ^②	1.757	5.177	0.3156	9.09×10 ⁻⁷
		12cm 现浇混凝土	120mm 混凝土	0.032 43	0.0859 9	1.467	

注：①减影和透视电压均取150kV，预测点位以防护最薄弱与距离最短为原则选定关注点的位置；

②电压150kV工况下砖的拟合参数空缺，故厚度折算成铅当量计算。

根据公式11-4，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 极限工况下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	d	B	H_L
		μGy/h	m	/	μGy/h
减影	1#控制室操作位	1000	4.15	1.5×10 ⁻⁵	8.71×10 ⁻⁴
	2#南侧防护门外 30cm 处（控制室）	1000	4.15	1.5×10 ⁻⁵	8.71×10 ⁻⁴
	3#东侧防护门外 30cm 处（污物通道）	1000	3.5*	1.5×10 ⁻⁵	1.23×10 ⁻³
	4#东侧防护墙外 30cm 处（谈话间）	1000	3.5*	2.3×10 ⁻⁶	1.88×10 ⁻⁴
	5#北侧防护门外 30cm 处（病人准备间）	1000	4.15	1.5×10 ⁻⁵	8.71×10 ⁻⁴
	6#北侧防护墙外 30cm 处（设备间）	1000	4.15	2.3×10 ⁻⁶	1.34×10 ⁻⁴
	7#西侧防护墙外 30cm 处（过道）	1000	3.5*	2.3×10 ⁻⁶	1.88×10 ⁻⁴
	9#楼下距楼下地面 170cm 处（地下车库）	1000	3.0	9.09×10 ⁻⁷	1.01×10 ⁻⁴
透视	1#控制室操作位	1000	4.15	1.5×10 ⁻⁵	8.71×10 ⁻⁴
	2#南侧防护门外 30cm 处（控制室）	1000	4.15	1.5×10 ⁻⁵	8.71×10 ⁻⁴
	3#东侧防护门外 30cm 处（污物通道）	1000	3.5*	1.5×10 ⁻⁵	1.23×10 ⁻³
	4#东侧防护墙外 30cm 处（谈话间）	1000	3.5*	2.3×10 ⁻⁶	1.88×10 ⁻⁴
	5#北侧防护门外 30cm 处（病人准备间）	1000	4.15	1.5×10 ⁻⁵	8.71×10 ⁻⁴
	6#北侧防护墙外 30cm 处（设备间）	1000	4.15	2.3×10 ⁻⁶	1.34×10 ⁻⁴
	7#西侧防护墙外 30cm 处（过道）	1000	3.5*	2.3×10 ⁻⁶	1.88×10 ⁻⁴
	9#楼下距楼下地面 170cm 处（地下车库）	1000	3.0	9.09×10 ⁻⁷	1.01×10 ⁻⁴

注：*保守按3间DSA机房的最小宽度5.9m取值；

④漏射和散射总辐射剂量率估算

根据表 11-12 和表 11-14 的计算结果，将极限工况下各个预测点的总辐射剂量率统计于下表。

表11-15 极限工况下各个预测点的总辐射剂量率

工作模式	关注点位置描述	主射辐射剂量率	散射辐射剂量率	泄漏辐射剂量率	总辐射剂量率
		μGy/h	μGy/h	μGy/h	μGy/h
减影	1#控制室操作位	/	0.476	8.71×10 ⁻⁴	0.477
	2#南侧防护门外 30cm 处 (控制室)	/	0.476	8.71×10 ⁻⁴	0.477
	3#东侧防护门外 30cm 处 (污物通道)	/	0.669	1.23×10 ⁻³	0.67
	4#东侧防护墙外 30cm 处 (谈话间)	/	0.111	1.88×10 ⁻⁴	0.112
	5#北侧防护门外 30cm 处 (病人准备间)	/	0.476	8.71×10 ⁻⁴	0.477
	6#北侧防护墙外 30cm 处 (设备间)	/	0.079	1.34×10 ⁻⁴	0.08
	7#西侧防护墙外 30cm 处 (过道)	/	0.111	1.88×10 ⁻⁴	0.112
	8#(楼上离地 100cm 处 (血常规检验科))	1.42	/	/	1.42
	9#楼下距楼下地面 170cm 处(地下车库)	/	0.048	1.01×10 ⁻⁴	0.048
透视	1#控制室操作位	/	3.81×10 ⁻³	8.71×10 ⁻⁴	4.68×10 ⁻³
	2#南侧防护门外 30cm 处 (控制室)	/	3.81×10 ⁻³	8.71×10 ⁻⁴	4.68×10 ⁻³
	3#东侧防护门外 30cm 处 (污物通道)	/	5.35×10 ⁻³	1.23×10 ⁻³	6.58×10 ⁻³
	4#东侧防护墙外 30cm 处 (谈话间)	/	8.84×10 ⁻⁴	1.88×10 ⁻⁴	1.07×10 ⁻³
	5#北侧防护门外 30cm 处 (病人准备间)	/	3.81×10 ⁻³	8.71×10 ⁻⁴	4.68×10 ⁻³
	6#北侧防护墙外 30cm 处 (设备间)	/	6.28×10 ⁻⁴	1.34×10 ⁻⁴	7.62×10 ⁻⁴
	7#西侧防护墙外 30cm 处 (过道)	/	8.84×10 ⁻⁴	1.88×10 ⁻⁴	1.07×10 ⁻³
	8#(楼上离地 100cm 处 (血常规检验科))	0.012	/	/	0.012
	9#楼下距楼下地面 170cm 处(地下车库)	/	3.84×10 ⁻⁴	1.01×10 ⁻⁴	4.85×10 ⁻⁴

由表 11-15 计算结果可知：本项目 DSA 在极限工况下（最大管电压 150kV）运行时，控制室操作位的最大辐射剂量率为 1.42μGy/h，机房周边辐射剂量率最大为 0.67μGy/h，均能够满足

《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)中规定的屏蔽体外表面 30cm 处剂量率不大于 2.5μSv/h 的标准限值（本项目保守取 1Gy=1Sv）。

11.2.3 有效剂量估算

本环评根据常用工况下各关注点的剂量率进行年有效剂量估算。

(1) 控制室工作人员与公众有效剂量估算

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，手术医生在手术间内近台操作，护士和技师通常不在手术间内，因此，本项目控制室工作人员主要考虑透视模式下近台操作医生的受照剂量（不考虑减影模式下近台操作医生的受照剂量）。

根据联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）--2000 年报告附录 A 公式以及居留因子的选取，对各点位处公众及职业人员的年有效剂量进行计算。

$$H_1 = H_0 \cdot T \cdot t \cdot l \cdot 10^{-3} \dots\dots \text{(式 11-5)}$$

式中：

H_1 ——X射线外照射有效剂量当量，mSv；

H_0 ——X射线束造成的空气比释动能率，μGy/h；

T ——居留因子；

t ——X射线年照射时间，h/a；

l ——剂量换算系数，Sv/Gy。（本项目保守取 1Gy=1Sv）。

本项目的居留因子参照《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）选取，具体数值见表 11-16。

表 11-16 居留因子的选取

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

计算结果详见表11-17。

表11-17 各机房控制室职业人员及公众年有效剂量估算结果

机房	工作模式	关注点位置描述	总辐射剂量率 H_0	年工作时间 t	居留因子 T	年有效剂量 H_1	涉及人员类型
			$\mu\text{Gy/h}$	h	/	mSv	
DS A1 机房	减影	1#南侧控制室操作位	1.71×10^{-2}	5	1	8.55×10^{-5}	职业人员
		3#东侧防护门外 30cm 处 (污物通道)	1.4×10^{-2}	10	1/8	1.75×10^{-5}	公众人员
		4#东侧防护墙外 30cm 处 (谈话间)	1.13×10^{-5}	10	1/2	5.65×10^{-8}	公众人员
		5#北侧防护门外 30cm 处 (病人准备间)	1.71×10^{-2}	10	1/2	8.55×10^{-5}	公众人员
		6#北侧防护墙外 30cm 处 (设备间)	8.08×10^{-6}	10	1/16	5.05×10^{-9}	公众人员
		7#西侧防护墙外 30cm 处 (过道)	1.13×10^{-5}	10	1/5	2.26×10^{-8}	公众人员
		8#楼上离地 100cm 处 (血常规检验科)	0.12	10	1	1.2×10^{-3}	公众人员
	9#楼下距楼下地面 170cm 处 (地下车库)	9.02×10^{-4}	10	1/40	2.56×10^{-7}	公众人员	
	透视	1#南侧控制室操作位	2.66×10^{-5}	50	1	1.33×10^{-6}	职业人员
		3#东侧防护门外 30cm 处 (污物通道)	3.74×10^{-5}	100	1/8	4.68×10^{-7}	公众人员
		4#东侧防护墙外 30cm 处 (谈话间)	1.38×10^{-7}	100	1/2	6.9×10^{-9}	公众人员
		5#北侧防护门外 30cm 处 (病人准备间)	2.66×10^{-5}	100	1/2	1.33×10^{-6}	公众人员
		6#北侧防护墙外 30cm 处 (设备间)	9.83×10^{-8}	100	1/16	6.14×10^{-1} 0	公众人员
		7#西侧防护墙外 30cm 处 (过道)	1.38×10^{-7}	100	1/5	2.76×10^{-9}	公众人员
8#楼上离地 100cm 处 (血常规检验科)		1.3×10^{-4}	100	1	1.3×10^{-5}	公众人员	
9#楼下距楼下地面 170cm 处 (地下车库)	1.32×10^{-6}	100	1/40	3.3×10^{-9}	公众人员		
DS A2 机房	减影	1#南侧控制室操作位	1.71×10^{-2}	5	1	8.55×10^{-5}	职业人员
		3#西侧防护门外 30cm 处 (污物通道)	1.4×10^{-2}	10	1/8	1.75×10^{-5}	公众人员
		4#西侧防护墙外 30cm 处 (病人准备间)	1.13×10^{-5}	10	1/2	5.65×10^{-8}	公众人员
		5#北侧防护墙外 30cm 处 (过道)	1.71×10^{-2}	10	1/5	3.42×10^{-5}	公众人员
		7#东侧防护墙外 30cm 处 (过道)	1.13×10^{-5}	10	1/5	2.26×10^{-8}	公众人员
		8#楼上离地 100cm 处 (血常规检验科)	0.12	10	1	1.2×10^{-3}	公众人员
		9#楼下距楼下地面 170cm 处 (地下车库)	9.02×10^{-4}	10	1/40	2.56×10^{-7}	公众人员
	透视	1#南侧控制室操作位	2.66×10^{-5}	50	1	1.33×10^{-6}	职业人员
		3#西侧防护门外 30cm 处 (污物通道)	3.74×10^{-5}	100	1/8	4.68×10^{-7}	公众人员
		4#西侧防护墙外 30cm 处 (病人准备间)	1.38×10^{-7}	100	1/2	6.9×10^{-9}	公众人员
		5#北侧防护墙外 30cm 处 (过道)	2.66×10^{-5}	100	1/5	5.32×10^{-7}	公众人员
		7#东侧防护墙外 30cm 处 (过道)	1.38×10^{-7}	100	1/5	2.76×10^{-9}	公众人员
		8#楼上离地 100cm 处 (血常规检验科)	1.3×10^{-4}	100	1	1.3×10^{-5}	公众人员
		9#楼下距楼下地面 170cm 处 (地下车库)	1.32×10^{-6}	100	1/40	3.3×10^{-9}	公众人员
DS	减影	4#东侧控制室操作位	1.13×10^{-5}	5	1	5.65×10^{-8}	职业人员

		1#南侧防护墙外 30cm 处（污物走廊）	1.71×10^{-2}	10	1/2	8.55×10^{-5}	公众人员
		7#西侧防护墙外 30cm 处（消毒间）	1.13×10^{-5}	10	1/2	5.65×10^{-8}	公众人员
		5#北侧防护墙外 30cm 处（走廊）	1.71×10^{-2}	10	1/5	3.42×10^{-5}	公众人员
		8#楼上离地 100cm 处（屋顶）	0.12	10	1/40	3.0×10^{-5}	公众人员
		9#楼下距楼下地面 170cm 处 （医疗街、临床检验室）	9.02×10^{-4}	10	1/2	4.51×10^{-6}	公众人员
	透视	4#东侧控制室操作位	1.38×10^{-7}	50	1	6.9×10^{-9}	职业人员
		1#南侧防护墙外 30cm 处（污物走廊）	2.66×10^{-5}	100	1/2	1.33×10^{-6}	公众人员
		7#西侧防护墙外 30cm 处（消毒间）	1.38×10^{-7}	100	1/2	6.9×10^{-9}	公众人员
		5#北侧防护墙外 30cm 处（走廊）	2.66×10^{-5}	100	1/5	5.32×10^{-7}	公众人员
		8#楼上离地 100cm 处（屋顶）	1.3×10^{-4}	100	1/40	3.25×10^{-7}	公众人员
		9#楼下距楼下地面 170cm 处 （医疗街、临床检验室）	1.32×10^{-6}	100	1/2	6.6×10^{-8}	公众人员

各预测点位年有效剂量估算结果汇总于表11-18。

表11-18 各机房控制室职业人员及公众年有效剂量估算结果

机房	关注点位置描述	减影 (mSv)	透视 (mSv)	年有效剂量 (mSv)		人员类型
				叠加前	叠加后	
DS A1 机房	1#南侧控制室操作位	8.55×10^{-5}	1.33×10^{-6}	8.68×10^{-5}	1.74×10^{-4}	职业人员
	3#东侧防护门外 30cm 处（污物通道）	1.75×10^{-5}	4.68×10^{-7}	1.8×10^{-5}	3.6×10^{-5}	公众人员
	4#东侧防护墙外 30cm 处（谈话间）	5.65×10^{-8}	6.9×10^{-9}	6.34×10^{-8}	1.27×10^{-7}	公众人员
	5#北侧防护门外 30cm 处 （病人准备间）*	8.55×10^{-5}	1.33×10^{-6}	8.68×10^{-5}	1.22×10^{-6}	公众人员
	6#北侧防护墙外 30cm 处（设备间）	5.05×10^{-9}	6.14×10^{-10}	5.66×10^{-9}	/	公众人员
	7#西侧防护墙外 30cm 处（过道）	2.26×10^{-8}	2.76×10^{-9}	2.54×10^{-8}	/	公众人员
	8#楼上离地 100cm 处（血常规检验科）	1.2×10^{-3}	1.3×10^{-5}	1.21×10^{-3}	2.42×10^{-3}	公众人员
	9#楼下距楼下地面 170cm 处 （地下车库）	2.56×10^{-7}	3.3×10^{-9}	2.59×10^{-7}	5.18×10^{-6}	公众人员
DS A2 机房	1#南侧控制室操作位	8.55×10^{-5}	1.33×10^{-6}	8.68×10^{-5}	1.74×10^{-4}	职业人员
	3#西侧防护门外 30cm 处（污物通道）	1.75×10^{-5}	4.68×10^{-7}	1.8×10^{-5}	3.6×10^{-5}	公众人员
	4#西侧防护墙外 30cm 处（病人准备间）	5.65×10^{-8}	6.9×10^{-9}	6.34×10^{-8}	1.27×10^{-7}	公众人员
	5#北侧防护墙外 30cm 处（过道）*	3.42×10^{-5}	5.32×10^{-7}	3.48×10^{-5}	1.22×10^{-6}	公众人员
	7#东侧防护墙外 30cm 处（过道）	2.26×10^{-8}	2.76×10^{-9}	2.54×10^{-8}	/	公众人员
	8#楼上离地 100cm 处（血常规检验科）	1.2×10^{-3}	1.3×10^{-5}	1.21×10^{-3}	2.42×10^{-3}	公众人员
	9#楼下距楼下地面 170cm 处 （地下车库）	2.56×10^{-7}	3.3×10^{-9}	2.59×10^{-7}	5.18×10^{-6}	公众人员
DS A3 机房	4#东侧控制室操作位	5.65×10^{-8}	6.9×10^{-9}	6.34×10^{-8}	/	职业人员
	1#南侧防护墙外 30cm 处（污物走廊）	8.55×10^{-5}	1.33×10^{-6}	8.68×10^{-5}	/	公众人员
	7#西侧防护墙外 30cm 处（消毒间）	5.65×10^{-8}	6.9×10^{-9}	6.34×10^{-8}	/	公众人员
	5#北侧防护墙外 30cm 处（走廊）	3.42×10^{-5}	5.32×10^{-7}	3.48×10^{-5}	/	公众人员
	8#楼上离地 100cm 处（屋顶）	3.0×10^{-5}	3.25×10^{-7}	3.03×10^{-5}	/	公众人员

	9#楼下距楼下地面 170cm 处 (医疗街、临床检验室)	4.51×10^{-6}	6.6×10^{-8}	4.58×10^{-6}	/	公众人员
--	----------------------------------	-----------------------	----------------------	-----------------------	---	------

由计算结果可知，本项目各机房外公众年受照剂量最大为 $2.42 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ ，满足公众剂量约束值不超过 0.25mSv/a 的要求。根据剂量率与距离平方成反比的关系，距离机房越远，辐射剂量率越低，因此机房外 50m 球面体保护范围内公众受照剂量也能满足公众剂量约束值不超过 0.25mSv/a 的要求。操作室年受照剂量最大为 $1.74 \times 10^{-4} \text{mSv/a}$ ，满足满足项目管理限值 5mSv/a 要求。

(2) 机房内工作人员有效剂量估算

根据《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)中对于介入放射工作人员穿戴铅围裙估算有效剂量的计算方法，采用公式 11-5 进行估算。

$$E = \alpha H_u + \beta H_o \dots \dots (11-6)$$

式中：

E ——有效剂量中的外照射分量，单位：mSv；

α ——系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.79，无屏蔽时，取 0.84；

β ——系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.051，无屏蔽时，取 0.100；

H_u ——铅围裙内估算的有效剂量，单位：mSv；

H_o ——铅围裙外估算的有效剂量，单位：mSv。

$$H = D_r \times t \dots \dots (11-7)$$

H ——X- γ 射线外照射累积有效剂量，mSv；

D_r ——X- γ 射线剂量当量率，mSv/h；根据公式11-2和公式11-3，计算得；

t ——X- γ 射线照射时间，h；根据医院提供的资料，本项目每台DSA每年最多300台手术，每位介入医生每年最多75台手术，平均每台手术透视时间约为20分钟，则每位介入医生年受照时间最多为25h。

本项目介入手术医生在做手术时拟使用防护厚度 0.5mmPb 的防护服、铅防护眼镜，配置 0.5mmPb 铅防护帘，介入手术人员在铅防护帘后工作，操作位距离球管大约 0.5m~1m。综合以上防护措施，则计算得铅围裙内 $H_u = 19.9 \times 50 \times 10^{-3} = 0.995 \text{mSv}$ ，铅围裙外 $H_o = 124.38 \times 50 \times 10^{-3} = 6.22 \text{mSv}$ ， $E = 0.79 \times 0.995 + 0.051 \times 6.22 = 1.103 \text{mSv}$ ，满足项目管理限值 5mSv/a 要求。

(3) 手部和眼晶体当量剂量估算

介入工作人员进行介入手术时主要工作方式透视模式，透视时间保守取 20min/人，摄影模式时间极短，且摄影模式时工作人员均退出机房，且关闭机房防护门，故摄影模式下对手足

部和眼晶体剂量的影响本次计算忽略不计。

根据《电离辐射所致皮肤剂量估算方法》（GBZ/T244-2017）、《电离辐射所致眼晶状体剂量估算方法》（GBZ/T301-2017）和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中皮肤和眼晶体吸收剂量相关公式：

$$D_S = C_{KS}(\dot{k} \cdot t) \cdot 10^{-3} \quad (\text{式 11-8})$$

$$D_L = C_{KL}(\dot{k} \cdot t) \cdot 10^{-3} \quad (\text{式 11-9})$$

$$H = D_S \cdot W_R \quad (\text{式 11-10})$$

式中：

D_S ——皮肤吸收剂量，单位为毫戈瑞（mGy）；

C_{KS} ——空气比释动能到皮肤吸收剂量的转换系数，单位为 mGy/mGy，从《电离辐射所致皮肤剂量估算方法》（GBZ/T244-2017）表 A.5 查空气比释动能到皮肤吸收剂量的转换系数 $C_{KS}=1.156\text{mGy/mGy}$ （0.08MeV，AP 入射方式）；

D_L ——眼晶体吸收剂量，单位为毫戈瑞（mGy）；

C_{KL} ——空气比释动能到眼晶体吸收剂量的转换系数，单位为 mGy/mGy，从《电离辐射所致眼晶状体剂量估算方法》（GBZ/T301-2017）表 A.4 查空气比释动能到眼晶体吸收剂量的转换系数 $C_{KL}=1.550\text{mGy/mGy}$ （0.08MeV，AP 入射方式）；

\dot{k} ——X、 γ 辐射场的空气比释动能率，单位为 $\mu\text{Gy/h}$ ，根据前文计算，皮肤吸收剂量计算时取为 $3114.4\mu\text{Gy/h}$ ，眼晶体吸收剂量计算时取为 $31.1\mu\text{Gy/h}$ ；

t ——人员累积受照时间，单位为小时（h）；

H ——关注点的当量剂量，mSv；

D ——皮肤吸收剂量或眼晶体吸收剂量，单位为毫戈瑞（mGy）；

W_R ——辐射权重因数，X 射线取 1。

手部和眼晶体当量剂量估算结果见表 11-19。

表11-19 手部和眼晶体当量剂量估算结果

部位	$C_{KS} (C_{KL})$ (mGy/mGy)	\dot{k} ($\mu\text{Gy/h}$)	t (h)	$D_S (D_L)$ (mGy)	W_R	H (mSv)
手部	1.156	3114.4	25	90	1	90
眼晶体	1.550	31.1	25	1.2	1	1.2

综上所述，本项目机房内辐射工作人员年有效剂量最大为 1.103mSv，操作间辐射工作人员

年有效剂量最大为 $8.68 \times 10^{-5} \text{mSv}$ ，能够满足本项目提出的辐射工作人员剂量约束值（不大于 5mSv/a ）的要求；医生年手部皮肤当量剂量为 90mSv ，满足本项目辐射工作人员手部当量剂量不高于 125mSv/a 的剂量约束值要求；医生年眼晶体当量剂量为 1.2mSv ，满足本项目辐射工作人员眼晶体当量剂量不高于 37.5mSv/a 的剂量约束值要求。

由计算结果可知，本项目机房外公众年受照剂量最大为 $2.42 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ ，满足公众剂量约束值不超过 0.25mSv/a 的要求。根据剂量率与距离平方成反比的关系，距离机房越远，辐射剂量率越低，因此机房外 50m 球面体保护范围内公众受照剂量也能满足公众剂量约束值不超过 0.25mSv/a 的要求。

由于本项目介入治疗手术过程中辐射工作人员的受照剂量受多种不确定因素的影响，工作人员的受照射情况复杂多变难以准确估算其年有效剂量。因此上述理论估算结果只能大致反映出工作人员受辐射照射程度。本项目参与介入手术的医务人员在手术过程中均应佩戴个人剂量计，医院应根据个人剂量检测结果对工作人员工作岗位进行调整，确保其年有效剂量满足本项目的目标管理值要求。

11.2.4 “三废”影响分析

DSA 产生的 X 射线能量较小，其臭氧产生量较小通过排放措施后对环境的影响较小。本项目 DSA 机房顶部均拟设置机械排风装置，产生的臭氧通过机械排风系统经排风井至楼顶排放。排气扇位置应做好射线防护，增加铅板或者使用环保型辐射防护板，防止射线外漏。本项目产生的臭氧对环境的影响较小。

11.3 事故影响分析

11.3.1 事故风险分析

DSA 射线装置运行过程中主要的事故类型有：

- （1）DSA 控制室操作人员或病人家属在防护门关闭后未撤离机房，而射线装置出束时造成的误照射。
- （2）DSA 机房安全联锁装置发生故障状况下，人员误入正在运行的 DSA 机房。
- （3）医用射线装置在检修、维护等过程中，检修、维护人员误操作，造成有关人员误照射；
- （4）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。

11.3.2 辐射事故应急预案

为了防止事故的发生，医院在辐射防护设施方面应做好以下工作：

- ①购置工作性能和防护条件均较好的介入诊疗设备；

②实施介入诊疗的质量保证；

③做好医生的个人防护；

④做好病人非投照部位的防护工作；

⑤DSA安装调试和检修维护人员在工作过程中，应按要求配戴个人剂量计和按要求携带个人剂量报警仪。调试和维修期间，本项目辐射工作人员需将设备的控制权暂时移交给设备厂家工作人员，本项目辐射工作人员不参与设备的控制与维修，防止维修期间工作人员在DSA机房误照射。

对于上述可能发生的各种事故，医院方面除在硬件上配齐、完善各种防范措施外，在软件设施上也注意了建设、补充和完善，使之在安全工作中发挥约束和规范作用，其主要内容有：

①建立全院安全管理领导小组，组织管理医院的安全工作。

②建立岗位的安全操作规程和安全规章制度，注意检查考核，认真贯彻实施。

③制定全院重大事故处理预案、完善组织、落实经费、准备物资、加强演练、时刻准备应对可能发生的各种事故和突发事件。

以上各种事故的防范与对策措施，可减少或避免放射性事故的发生率，从而保证项目正常运营，也保障工作人员、公众的健康与安全。

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、III 类 X 射线装置的单位应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，专职负责辐射安全与环境保护管理工作；辐射工作人员必须通过生态环境部在线培训平台培训，经培训合格后方可上岗。

本项目建设单位已按照国务院令 709 号《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，结合卫生、生态环境等行政主管部门的规章制度，建设单位已成立并于 2021 年 12 月根据实际工作需要调整了医院放射防护管理小组（组长：张建峰；副组长：郭智东；成员：许建平、罗莉莉、张冬艳、莫兰峰、洪丽芳、章洪标、邢晶、张娇、孙胜南），并明确了相关职责，详见附件 10。

主要职责：组长负责组织学习有关放射防护法律法规，严格执行国家规定，切实做好放射防护工作，杜绝放射事故的发生，对放射防护方面事宜总负责，相应成员负责日常工作防护，文件归档保存、协调等相关工作。

12.1.2 辐射人员管理

（1）辐射工作岗位人员配置和能力现状分析

①人员配置

医院现有辐射工作人员 26 名。本项目拟配置 24 名辐射工作人员，其中，12 名手术医生，手术医生根据手术类型进行调配，轮岗安排手术；6 名护士，轮岗安排手术；控制室固定 6 名技师，轮岗安排操作。

②目前现有辐射工作人员均配备了个人剂量计。每三个月送往浙江亿达检测技术有限公司进行检测，并建立了个人剂量档案，由专门部门负责辐射工作人员个人剂量档案管理。根据医院最近 1 年度个人剂量监测报告显示个人剂量情况正常，每季度均低于 1.25mSv，每年均低于工作人员目标管理值 5mSv，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的个人剂量限值 20mSv/a 的要求，也满足本项目提出的工作人员年有效剂量目标管理值 5mSv/a 的要求。

③职业健康体检情况：医院已为辐射工作人员进行了上岗前、在岗期间职业健康检查，由

杭州市职业病防治院承担，并建立了职业健康监护档案。医院拟继续安排辐射工作人员到有资质的单位进行职业健康检查，每2年一次，符合要求。

④培训情况

目前医院共有26名辐射工作人员，均参加了放射工作人员在岗培训考试并考核合格。

(2) 辐射工作人员能力培养方面还需从以下几个方面加强：

①医院应严格执行辐射工作人员培训制度，组织辐射工作人员及相关管理人员在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（<http://fushe.mee.gov.cn/>）上进行报名和培训并进行考核，经考核合格后方可上岗，并定期复训。

②所有辐射工作人员应正确佩戴个人剂量计，个人剂量计的佩戴要求参照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019），应在铅围裙外锁骨对应的领口位置佩戴剂量计。介入医护人员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)。

个人剂量档案管理人员应将每季度的检测结果告知辐射工作人员，如发现结果异常，将在第一时间通知相关人员，查明原因并解决发现的问题。

12.1.3 年度评估报告

根据医院提供的资料，医院已按要求编写了放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告，每年定期上报至发证机关。

本项目介入治疗项目正式开展后，医院应将本项目射线装置纳入辐射安全与防护评估报告，定期上报至发证机关。

12.2 辐射安全档案资料管理和规章制度

(1) 档案管理分类

医院应对相关资料进行分类归档放置，包括以下八大类：“制度文件”、“环评资料”、“许可证资料”、“射线装置台账”、“监测和检查记录”、“个人剂量档案”、“培训档案”、“辐射应急资料”。

(2) 已建立主要规章制度

本项目涉及使用II类射线装置，医院现已有较为完善的规章制度。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》与《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等有关要求，将医院现有制度与规定要求的各项制度对照如表 12-1。

表 12-1 项目单位辐射安全管理制度制定要求

序号	项目	规定的制度	落实情况	备注
1	场所	辐射安全与环境保护管理机构文件	已制定	需根据新增项目完善
2		辐射安全管理制度	已制定	需根据新增项目完善并悬挂于辐射工作场所墙上
3		辐射工作设备操作规程	已制定	需根据新增项目完善并悬挂于辐射工作场所墙上
4		辐射安全和防护设施维护维修制度（包括机构人员、维护维修内容与频度、重大问题管理措施、重新运行审批级别等）	未制定	需制定，并包含新增项目内容
5		射线装置台账管理制度	未制定	需制定，并包含新增项目内容
6	监测	监测方案	未制定	需制定，并包含新增项目内容
7		监测仪表使用与校验管理制度	已制定	需根据新增项目完善
8	人员	辐射工作人员个人剂量管理制度	已制定	需根据新增项目完善
9		辐射工作人员培训/再培训制度	未制定	需制定
10		辐射相关人员岗位职责	未制定	需制定，并包含新增项目内容，悬挂于辐射工作场所墙上
11	应急	辐射事故/事件应急预案	已制定	需根据新增项目完善，预案中“辐射事故应急响应程序”应悬挂于辐射工作场所墙上
12	其他	质量保证大纲与质量控制检测计划	已制定	需根据新增项目完善

医院所有相关制度应以医院正式文件形式制定，并将各项管理制度、操作规程等悬挂于辐射工作场所。上墙制度的内容应体现现场操作性和实用性，字体醒目，尺寸大小应不小于 400mm×600mm。

医院应根据规章制度内容认真组织实施，并且应根据国家发布的新的相关法规内容，结合医院实际及时对各项规章制度补充修改，使之更能符合实际需要。建设单位在按照环评要求对制度、人员、场所、设施等进行补充完善后，项目符合辐射安全及环境保护要求。

12.3 辐射监测

12.3.1 监测仪器和防护设备

本项目 DSA 属 II 类射线装置，根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，本项目应配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括辐射剂量巡测仪、个人剂量计等仪器，用于对 DSA 机房周围的辐射水平进行巡测。

本项目拟配备一台辐射剂量巡测仪，并为每名辐射工作人员配备若干个人剂量计（每名医生配备 2 个，每名技师和护士各配备 1 个，共 36 个），配备后满足相关要求。

12.3.2 监测计划

医院可委托有资质的单位，定期（每年 1 次）对辐射工作场所周围环境进行辐射监测，监测数据每年年底须向生态环境部门上报备案。监测计划见表 12-1。

表 12-1 工作场所年度监测和日常监测计划一览表

监测类别	工作场所	监测因子	监测频度	监测设备	监测范围	监测类型
年度监测	DSA 机房	周围剂量当量率	1 次/年	按照国家规定进行计量检定	防护门外、门缝、控制室、各侧屏蔽墙外 30cm 处、顶棚外 100m，楼下距地 170m、观察窗、手术位、电缆/空调/风管穿墙处及周围需要关注的监督区	委托监测
日常监测	DSA 机房	周围剂量当量率	1 次/季度	按照国家规定进行		常规监测
验收监测	DSA 机房	周围剂量当量率	项目完成 3 个月内	按照国家规定进行		委托监测
个人剂量检测	/	个人剂量当量	不超过 3 个月	个人剂量计	所有辐射工作人员	委托监测

建设单位拟将 DSA 工作场所的监测方案纳入原有监测制度，并将每次监测结果记录存档备查。

12.4 辐射事故应急

医院目前已制定《辐射事故应急预案》，设置了应急组织机构，规定了应急组织机构成员及职责、辐射事故应急处理物资与设备、事件现场应急处置流程、辐射事故的报告程序、应急联系电话等内容，以上部分符合国家相关法律法规的要求。缺少适用范围、辐射事故等级划分。

本评价根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例（2019 年修改）》及《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》有关规定，建议医院对现有事故应急预案进行修订完善，增加辐射事故等级划分及适用范围，一旦发生辐射事故，立即启动应急预案，采取必要的防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，由辐射事故应急处理领导小组上报当地生态环境主管部门及省级生态环境主管部门；同时上报公安部门，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。并及时组织专业技术人员排除事故。配合各相关部门做好辐射事故调查工作。

12.5 竣工验收

医院应根据项目的开展情况，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）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。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 辐射安全与防护分析结论

(1) 项目概况

医院拟于 1#门诊医技楼一层影像中心和四层手术室建设 3 间 DSA 机房及配套用房,并各配置 1 台 DSA 射线装置,其最大管电压为 150kV,最大管电流为 1250mA,属于 II 类射线装置。

(2) 项目位置

本项目 3 间 DSA 机房拟建于医院 1#门诊医技楼一层影像中心和四层手术室。医院南侧万科未来城三期小区距 DSA 工作场所约 125m;西侧周家里小区距 DSA 工作场所约 178m;北侧在建小区距 DSA 工作场所约 172m。

本项目 DSA1 机房和 DSA2 机房拟建于医院 1#门诊医技楼一层影像中心,呈东西布置。西侧 DSA1 机房周围环境:东面为谈话间、污物通道、污物打包间,南面为操作室,西面为通道,北面为设备间、病人准备间,机房正上方二层为血常规检验,机房正下方地下一层为停车场;东侧 DSA2 机房周围环境:东面为通道,南面为操作室、设备间,西面为通道,北面为通道,机房正上方二层为采血区,机房正下方地下一层为地下车库。本项目 DSA3 机房拟建于医院 1#门诊医技楼四层手术中心。DSA3 机房周围环境:东面为控制室、导管室,南面为污物走廊,西面依次为消毒间、紧急清洗间和设备间,北面为洁净走廊,机房正上方为屋顶机房区,机房正下方三层为临床检验室、医疗街。

(3) 项目分区及布局

本项目 DSA 工作场所的控制区和监督区划分见表 10-2。在正常工作过程中,控制区内不得有无关人员进入;监督区不采取专门防护手段安全措施,但要定期检测其辐射剂量率,在正常工作过程中,监督区内不得有无关人员滞留。因此,本项目分区符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的规定。

(4) 辐射安全防护措施结论

DSA 机房四侧墙体采用 24cm 厚实心粘土砖+5cm 硫酸钡防护涂料,顶棚采用 12cm 现浇混凝土+5cm 硫酸钡防护涂料,防护门采用符合屏蔽要求厚度的铅防护门(4mmPb),观察窗采用 4mmPb 铅玻璃。

机房防护门上方均拟设置工作状态指示灯、电离辐射警告标识和文字说明,且拟设置门灯

联锁装置。控制室拟设对讲系统等装置。拟配备相应的铅衣、铅围脖等个人防护用品，为辐射工作人员配备了个人剂量计等；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。

在落实以上辐射安全措施后，本项目的辐射安全措施能够满足辐射安全要求。

(5) 辐射安全管理结论

医院已成立了放射防护管理小组、明确了相关职责，并将加强监督管理，医院已制定了包括《辐射事故应急预案》在内的一系列管理制度，并适时进行修订、完善。医院应根据本单位项目开展的情况，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严格落实执行；现有项目 26 名辐射工作人员，均参加了放射工作人员在岗培训考试并考核合格，且均在有效期内。建设单位已委托有资质的单位对本项目辐射工作人员进行个人剂量监测及职业健康检查，建立个人剂量监测档案和职业健康监护档案。建设单位拟定期（不少于 1 次/年）请有资质的单位对辐射工作场所和周围环境的辐射水平进行监测。

建设单位成立了辐射防护管理领导小组、建立健全相应的辐射管理制度和操作规程后，能够具备从事辐射活动的的能力。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，其从事辐射活动的技术能力符合相应法律法规的要求。

13.1.2 环境影响分析结论

(1) 辐射剂量率影响预测结论

经计算分析，本项目正常运行时满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）要求的 X 射线设备机房屏蔽体外表面 30cm 处的辐射剂量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求，对周围辐射环境影响在可接受范围内。

(2) 个人剂量影响预测结论

经理论计算分析，职业人员受照的有效剂量最大为 1.103mSv/a ，满足本项目职业人员剂量约束值不超过 5mSv/a 的要求，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求的工作人员所接受的职业照射水平不应超过 20mSv/a 的剂量限值要求；医生手部受照的有效剂量当量为 90mSv/a ，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）对职业人员四肢要求的剂量限值 500mSv/a 和本项目目标管理值 125mSv/a 的要求；医生年眼晶体当量剂量为 1.2mSv ，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）对职业人员眼晶体要求的剂量限值 150mSv/a 和本项目目标管理值 37.5mSv/a 的要求。公众人员受照的有效剂量最大为 $2.42\times 10^{-3}\text{mSv/a}$ ，满足本项目公众人员剂量约束值不超过 0.25mSv/a 的要求，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求的实践使公众有关关键人群组的成

员所受的平均剂量估计值不应超过 1mSv/a 的剂量限值要求。

(3) 非辐射环境影响分析结论

本项目 DSA 机房内设置机械排风系统。机房内空气在 X 射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，通过新风系统排入大气，臭氧在常温下 20-50 分钟后可自行分解为氧气，对环境影响较小。

13.1.3 可行性分析结论

(1) 产业政策符合性分析结论

本项目属于《产业结构调整指导目录（2019 年本）》及国家发展和改革委员会第 49 号令《关于修改〈产业结构调整指导目录(2019 年本)〉的决定》中第三十七项“卫生健康”中第 5 款“医疗卫生服务设施建设”，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。

(2) 实践正当性分析结论

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

(3) 选址合理性分析

本项目位于余杭区莫干山路 1657 号 1#门诊医技楼，根据不动产权证（见附件 13），属于医卫慈善用地。

本项目辐射工作场所边界外 50m 范围内主要为医院内部建筑及道路，不涉及生态保护红线优先保护单元；环境影响预测分析表明，在严格执行本评价中提出的辐射管理和辐射防护措施前提下，本项目的开展对周围环境造成的辐射影响在可接受范围内，故本项目的选址是合理的。

(4) 项目可行性

综上所述，本项目选址合理，该项目在落实本报告提出的各项污染防治措施和管理措施后，建设单位将具有与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和具备相应的辐射安全防护措施，其运行对周围环境产生的影响能够符合辐射环境保护的要求，从辐射环境保护角度论证，该项目的建设 and 运行是可行的。

13.2 建议与承诺

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) 医院在本项目取得批复后，承诺及时向生态环境主管部门重新申领辐射安全许可证。

(2) 医院承诺在本项目 DSA 装置正式运行前根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4 号），在规定的验收期限内（一般不超过 3 个月），对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告。

(3) 医院承诺按照国家相关法律法规及本报告的要求，补充更新《辐射事故应急预案》及辐射安全管理规章制度。

(4) 医院承诺本项目新增辐射工作人员应在生态环境部辐射安全与防护培训平台参加培训，经考核合格后方可上岗，并按时接受再培训。新增辐射工作人员均配备个人剂量仪，每三个月委托有资质单位进行个人剂量监测，并建立个人剂量档案；新增辐射工作人员进行岗前、在岗期间和离岗职业健康检查，每两年委托相关资质单位对放射工作人员进行职业健康检查，建立职业健康档案。

