

表 1. 项目基本情况

建设项目名称		西安交通大学医学院第二附属医院 核医学科改扩建核技术利用项目			
建设单位		西安交通大学医学院第二附属医院			
法人代表	张蓬勃	联系人		联系电话	
注册地址		陕西省西安市新城区西五路 157 号			
项目建设地点		陕西省西安市新城区西五路 157 号 西安交通大学医学院第二附属医院西门诊住院楼负一层、三层			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目 总投资（万元）		1850	项目环保投资 （万元）	961	投资比例（环保 投资/总投资）
项目性质		☐ 新建 ☐ 改建 ☒ 扩建 ☐ 其他			占地面积（m ² ）
应用 类型	放射源	☐ 销售	☐ I 类 ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类		
		☐ 使用	☐ I 类（医疗使用） ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类		
	非密封 放射性 物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☒ 使用	☒ 乙 ☐ 丙		
	射线 装置	☐ 生产	☐ II 类 ☐ III 类		
		☐ 销售	☐ II 类 ☐ III 类		
		☒ 使用	☒ II 类 ☐ III 类		
	其他	/			
1.1. 项目概述 1.1.1. 项目背景 1.1.1.1. 医院简介 西安交通大学医学院第二附属医院（以下简称医院）是国家教育部、国家 卫健委直管的集医疗、教学、科研、康复及预防保健为一体的大型综合性医院， 国家三级甲等医院。					

医院学科设置齐全，设有 6 个专科病院，60 个临床医技科室，以及多个科研实验机构、编辑部等其他业务部门。现有 2 个国家重点学科：泌尿外科、皮肤科；1 个国家工程研究中心：生物诊断治疗国家地方联合工程研究中心；10 个国家临床重点专科：骨外科、消化内科、临床专科护理、地方病科（地方性骨病、心肌病、碘相关及甲状腺疾病）、麻醉科、皮肤科、呼吸内科、耳鼻咽喉头颈外科、急诊科、中医科；4 个国家重大疾病多学科合作诊疗能力建设项目：小儿外科、肿瘤科、心内、神外；2 个省级工程中心和重点实验室：陕西省生物治疗与转化医学工程研究中心、陕西省胃肠动力疾病研究重点实验室；9 个省级医疗质控中心：皮肤科、消化内科、医用超声研究室、小儿外科、急诊科、手术室、康复医学科、泌尿外科、消毒供应科。

为了满足人民群众不断增长的就医需求，突破医院物理空间受限的瓶颈，医院提出以院本部为中心，“压旧扩新”、优质医疗资源向周边辐射扩展的发展战略，清晰绘制出“一院四区”（多区）蓝图框架：“一院”即地处西五路的主院区，“四区”即大明宫院区、秦汉新城院区、临潼渭北院区、宝鸡蟠龙院区。

1.1.1.2. 目的和任务的由来

2014 年 12 月 11 日，《西安交通大学第二附属医院门诊住院楼和妇儿住院楼建设项目环境影响报告书》取得西安市生态环境局（原西安市环境保护局）的批复（市环批复〔2014〕470 号），该项目于 2021 年 9 月 6 日通过竣工环境保护验收。

为进一步改善医院医疗设施条件，医院在门诊住院楼（现更名为西门诊住院楼）开展核医学科核技术应用项目，于 2019 年 5 月 25 日取得陕西省生态环境厅关于《西安交通大学第二附属医院新建核医学科核技术应用项目环境影响报告表》的批复（陕环批复〔2019〕190 号）。2021 年 9 月 15 日，医院拟依托西门诊住院楼负一层核医学科辐射工作场所及辐射工作人员，新增非密封放射性药物与密封放射源，并对该项目编制了辐射安全分析报告，通过了技术评审会。2022 年 7 月 22 日，医院新建核医学科核技术应用项目及核医学科新增非密封放射性物质和放射源应用项目通过竣工环境保护验收，核医学科工作场所使用非密封放射性物质最大日等效操作量为 $1.47 \times 10^9 \text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

医院为拓展业务范围，提高医疗服务水平，更好地满足患者的医疗服务需求，拟使用 ^{131}I 开展甲癌治疗；拟使用 ^{177}Lu 开展实体性肿瘤治疗；拟借助 DSA 的血管造影技术将 ^{90}Y 树脂微球经肝动脉插管直接输送至肿瘤部位，以近距离直接给予癌细胞极高的辐射剂量达到消除肿瘤的目的。

根据原环境保护部和国家卫生和计划生育委员会《关于发布<射线装置分类>的公告》（公告 2017 年第 66 号）相关规定，DSA 属于 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）》中“五十五、核与辐射 172、核技术利用建设项目”中“……生产、使用 II 类射线装置的；乙、丙级非密封放射性物质工作场所（医疗机构使用植入治疗用放射性粒子源的除外）……”应编制环境影响报告表。建设项目符合以上级别的划分原则时，按较高级别的评价等级评价，因此，本项目应编制环境影响报告表。

2024 年 10 月西安旭奥环境科技有限公司（环评单位）接受医院委托，承担对本项目的环境影响评价工作。接受委托后，环评单位组织技术人员进行现场勘察，收集、整理有关资料，对项目的建设情况进行了初步分析，并根据建设项目的应用类型及所在地周围区域的环境特征，在现场勘察、资料调研、预测分析的基础上，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）的基本要求，编制了《西安交通大学医学院第二附属医院核医学科改扩建核技术利用项目环境影响报告表》。

1.1.2. 实践正当性分析

本项目建成后能够实现使用 ^{131}I 开展甲癌治疗，使用 ^{177}Lu 开展实体性肿瘤治疗，使用 ^{90}Y 微球开展肝癌治疗，对满足患者多层次、多方位、高质量和文明便利的就诊需求具有重要意义，对保障人民群众身体健康、拯救生命起了十分重要的作用，因此本项目建设是必要的。

建设单位在放射性治疗过程中，对非密封放射性物质的使用应按照国家相关的辐射防护要求采取相应的防护措施，并建立相应的规章制度和辐射事故应急预案。因此，在正确使用和管理非密封放射性物质的情况下，可以将本项目产生的辐射影响及风险降至尽可能小。本项目产生的辐射给医务人员、公众及社会带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，本项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践的正当性”。

1.1.3. 相关政策符合性

根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（中华人民共和国国家发展和改革委员会令 第 7 号，2023 年 12 月 27 日），本项目属于鼓励类中“十三、医药 4. 高端医疗器械创新发展：……新型医用诊断设备和试剂，高性能医学影像设备，高端放射治疗设备……高端植入介入产品……技术开发与应用”，满足国家相关法律法规和政策规定，符合国家产业政策。

1.1.4. 建设规模

医院拟将西门诊住院楼（地下三层，地上八层）负一层核医学科东北角的资料室改造为数字减影血管造影装置（以下简称 DSA）手术室及其控制室、更衣室、设备间等辅助用房，手术室内拟配备 1 台 DSA，用于 ^{99m}Tc 、 ^{90}Y 药物注射；依托负一层西南角原高活室进行 ^{99m}Tc 、 ^{90}Y 药物暂存、抽取、活度测量；依托原 SPECT-CT 机房 1 或 SPECT-CT 机房 2 进行显像扫描，之后由离开通道进入核医学专用电梯，电梯上至三楼方可开门，患者根据指示进入 ^{90}Y 专用病房留观。DSA 手术室产生的放射性固体废物由铅污物桶收集后暂存于 DSA 手术室旁的污洗间内。

医院拟将西门诊住院楼三层抢救室、库房等区域改造为病区监控室、质控室、源库、服药室、固废间等房间，将南侧 5 间甲状腺外科病房自西向东依次改造为 3 间 ^{131}I 病房、1 间 ^{177}Lu 病房和 1 间 ^{90}Y 病房。

本项目涉及新增 II 类射线装置和乙级非密封放射性物质工作场所，使用的非密封放射性物质 ^{131}I 、 ^{177}Lu 、 ^{90}Y 和 ^{99m}Tc 均按照每天的使用量提前从有资质单位外购。

1、数字减影血管造影机（DSA）

根据医院提供的设计资料，本次新增 DSA 设备参数见表 1-1，DSA 手术室的参数见表 1-2。

表 1-1 数字减影血管造影系统设备参数

名称	型号	数量 (台)	管电压 (kV)	输出电流 (mA)	设备类型	安装位置	备注
DSA	待定	1	125	1250	II 类	西门诊住院楼负一层 DSA 手术室	单管头 X 射线机

表 1-2 DSA 手术室建设规模和辐射防护屏蔽参数一览表

手术室	建设内容		等效铅当量
DSA 手术室	几何尺寸	东西长 5.2m、南北宽 6.2m，有效使用面积 32.2m ² 。 建筑层高为 4.8m，天花高度为 3.6m。	
	四周墙体	4mm 铅板	4.00mmPb
	屋顶	180mm 混凝土楼板+2mm 防护铅板	4.32mmPb
	地板	150mm 混凝土楼板+40mm 高纯度硫酸钡板	3.94mmPb
	观察窗	4mm 铅当量铅玻璃观察窗	4.00mmPb
	东侧患者门	4mm 铅当量电动推拉门	4.00mmPb
	控制室门、无菌 库房门和西侧 患者门	4mm 铅当量手动单开门	4.00mmPb

注：①根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）表 C.2，计算得管电压 125kV 下，150mm 混凝土的等效铅当量约为 1.87mm 铅当量，180mm 混凝土的等效铅当量约为 2.32mm 铅当量。

②根据《辐射防护手册 第三分册》第 63 页表 3.4，在管电压 150kV 条件下，38mm 硫酸钡（密度 2.7g/cm³）相当于 2 个铅当量，65mm 硫酸钡（密度 2.7g/cm³）相当于 3 个铅当量，内插法得 40mm 硫酸钡的等效铅当量保守取值约为 2.07mmPb。

2、非密封放射性物质工作场所

（1）西门诊住院楼负一层

根据医院提供的资料，每瓶 ⁹⁰Y 树脂微球活度为 3×10⁹Bq，每名患者最大用量为 3×10⁹Bq（81mCi/人·次）。药物到达医院后送至负一层西南角的高活室进行暂存、抽取、活度测量工作，然后送至 DSA 手术室进行 ⁹⁰Y 树脂微球治疗手术，手术后患者转运至 SPECT-CT 机房 1 或 SPECT-CT 机房 2 进行显像摄影，以进行剂量学评估；之后患者由离开通道进入核医学专用电梯，电梯上至三楼方可开门，患者转入 ⁹⁰Y 专用病房留观。

在 ⁹⁰Y 树脂微球手术前的 1-2 周时，医院使用 ^{99m}Tc 模拟 ⁹⁰Y 树脂微球在体内的分布，每名患者使用 ^{99m}Tc 的最大用量为 3.7×10⁸Bq（10mCi/人·次），^{99m}Tc 在负一层西南角的高活室进行药物暂存、抽取和活度测量工作，在 DSA 手术室进行血管造影、放置导管和药物注射，然后在 SPECT-CT 机房 1 或 SPECT-CT 机房 2 进行显像摄影，完成后离开医院。

（2）西门诊住院楼三层

根据医院提供的资料，甲癌患者拟在西门诊住院楼三层核医学科服药室口服 ¹³¹I，¹⁷⁷Lu 治疗患者拟在三层质控室窗口注射 ¹⁷⁷Lu，甲癌患者、¹⁷⁷Lu 患者完成给药后直接进入各自的专用病房，满足出院要求从核医学专用电梯离开。每

名甲癌患者的最大用量为 $7.4 \times 10^9 \text{Bq}$ ($200 \text{mCi/人} \cdot \text{次}$)，每名 ^{177}Lu 患者的最大用量为 $3.7 \times 10^9 \text{Bq}$ ($100 \text{mCi/人} \cdot \text{次}$)。

本项目涉及新增非密封放射性物质信息见表 1-3。

表 1-3 本项目涉及非密封放射性物质

核素名称	毒性	半衰期	单次最大操作量 (Bq)	日最大接诊人数 (人)	日最大用量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	日等效用量 (Bq)	来源	备注
^{131}I	中毒	8.02d	7.40×10^9	3	2.22×10^{10}	8.10×10^{12}	2.22×10^9	外购	甲癌口服
^{177}Lu	中毒	6.65d	3.70×10^9	1	3.70×10^9	1.35×10^{12}	3.70×10^8	外购	注射治疗
^{90}Y	中毒	64.2h	3.00×10^9	1	3.00×10^9	1.09×10^{12}	3.00×10^8	外购	介入注射、
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	低毒	6.02h	3.70×10^8		3.70×10^8	1.35×10^{11}	3.70×10^6	外购	ECT 显像

根据《西安交通大学第二附属医院新建核医学科核技术应用项目环境影响报告表》（陕环批复〔2019〕190号），西门诊住院楼负一层核医学科门诊现有日等效最大操作量为 $1.47 \times 10^9 \text{Bq}$ 。本项目在负一层新增非密封放射性物质 ^{90}Y （日等效最大操作量为 $3 \times 10^9 \text{Bq}$ ）和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ （日等效最大操作量为 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ ），通过计算，在增加非密封放射性物质种类和用量后，负一层日等效最大操作量为 $1.77 \times 10^9 \text{Bq}$ ，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），医院西门诊住院楼负一层核医学科仍为乙级非密封放射性物质工作场所。

本项目在西门诊住院楼三层共设置 3 间 ^{131}I 病房、1 间 ^{177}Lu 病房、1 间 ^{90}Y 病房、质控室等辅助用房，经计算，三层核医学科日等效最大操作量为 $2.89 \times 10^9 \text{Bq}$ ，为乙级非密封放射性物质工作场所。

1.1.5. 劳动定员及工作负荷

1、劳动定员

医院计划为本项目 DSA 手术室配备 3 名辐射工作人员，其中包括 1 名医生、1 名护士和 1 名影像工作人员；为三层核医学科质控室配备 2 名辐射工作人员，均依托核医学科原有的辐射工作人员，不新增加。

负一层西南角高活室（2 人）、SPECT-CT 机房 1 和 SPECT-CT 机房 2 工作人员（3 人）均依托原有场所的辐射工作人员，不新增加。

2、工作负荷

项目投运后，本项目 DSA 介入手术医生和护士不参与核医学科其他辐射工作，影像技师和负责放射性药物分装、质控的辐射工作人员仍参与院内核医学

科其他辐射工作。

根据医院提供的资料，DSA 手术室每台手术一般透视需要 15min，摄影需要 1min。每个患者在注射 ^{99m}Tc 、 ^{90}Y 时各需要做 1 台，医院预计每天接诊人数不超过 1 人，一年接诊人数不超过 200 人，DSA 预计年手术台数最多为 400 台，DSA 透视出束时间为 100h/a，摄影出束时间为 6.7h/a，年曝光总时间 106.7h。

本项目开展 ^{99m}Tc 注射最长时间为 15min，年操作时间为 50h； ^{90}Y 微球注射过程最长时间为 20min，年操作时间为 66.7h。接受 ^{177}Lu 治疗的患者每天不超过 1 人，每年不超过 250 人，每人注射最长时间为 1min，年操作时间为 4.17h。

本项目用于甲癌治疗的 ^{131}I 放射性药物通过远程自动分装仪给药，工作人员不参与药品的发放。

1.1.6. 项目选址及周边环境概况

1.1.6.1. 医院地理位置及周边环境关系

医院主院区位于陕西省西安市新城区西五路 157 号，地理坐标为东经：108.944702°，北纬：34.272517°。医院东侧为 109 号家属院；南侧紧邻西五路，隔路为西安交通大学第二附属医院的家属院、惠源国际大厦、沿街商铺；西侧为西安市中心医院（南院），北侧为创之星大厦都市名邸、沿街商铺及后宰门路。医院地理位置见图 1-1，医院周边环境关系图见图 1-2。



图 1-1 医院地理位置图

1.1.6.2. 医院总平面布置

本项目位于医院西门诊住院楼核医学科，西门诊住院楼位于院区西南侧，其北侧为西一楼和干部楼，东北侧为门诊住院综合大楼，大楼北侧自西向东依次为肿瘤放疗部和药学部，大楼东侧依次为东住院楼、儿童病院，医院东南角和东北角为行政辅助用房，包括病案室、设备科、污水处理站、锅炉房等。医院总平面布置见图 1-3。

1.1.6.3.项目选址合理性

本项目位于医院西门诊住院楼负一层和三层，其中 ^{99m}Tc 和 ^{90}Y 的分装、质控依托原有的高活室，位于负一层西南角； ^{131}I 、 ^{177}Lu 的分装、质控和给药， ^{131}I 、 ^{177}Lu 和 ^{90}Y 的治疗病房均位于三层西南侧，由抢救室、库房、甲状腺外科病房等改造而成。三层核医学科质控区域上方为处置室，下方为示教室；核医学科病房西侧与南侧均为室外道路上空，北侧为核医学科患者走廊，病房正上方为皮肤科被服间、洁具间、病理样本间和仪器库房；正下方为候诊大厅。

DSA 手术室及其辅助用房由西门诊住院楼负一层核医学科东北角的资料室改造而成，控制室和缓冲间位于 DSA 手术室东侧，无菌库房、患者走廊、设备间、污洗间等位于 DSA 手术室西侧，手术室北侧与土层相邻，南侧与风井相邻，正上方是室外绿化，正下方是地下停车场。患者在 DSA 手术室注射 ^{99m}Tc 和 ^{90}Y 后，由医护人员负责转运，通过时间管控该过程可与核医学科门诊患者就诊分开进行。

西门诊住院楼负一层核医学科区域现状的平面布局示意图见图 1-4，改造后的局部平面布局示意图见图 1-5，DSA 下方和上方区域平面布局示意图分别见图 1-6 和图 1-7；三层核素病房与质控区域现状的平面布局示意图见图 1-8，改造后的局部平面布局示意图见图 1-9，核素病房下方和上方区域改造后的平面布局示意图分别见图 1-10 和图 1-11。

本项目核医学科工作场所不与产科、儿科、食堂等部门及人员密集区相邻，并与非放射性工作场所有明确的分界隔离。医院可通过设计合适的时间、空间模式来控制辐射源的活动，实现工作人员、患者、放射性药物、放射性废物路径相对独立。

核医学科评价范围内主要包括医院内部建筑物、道路或空地，西侧 50m 范

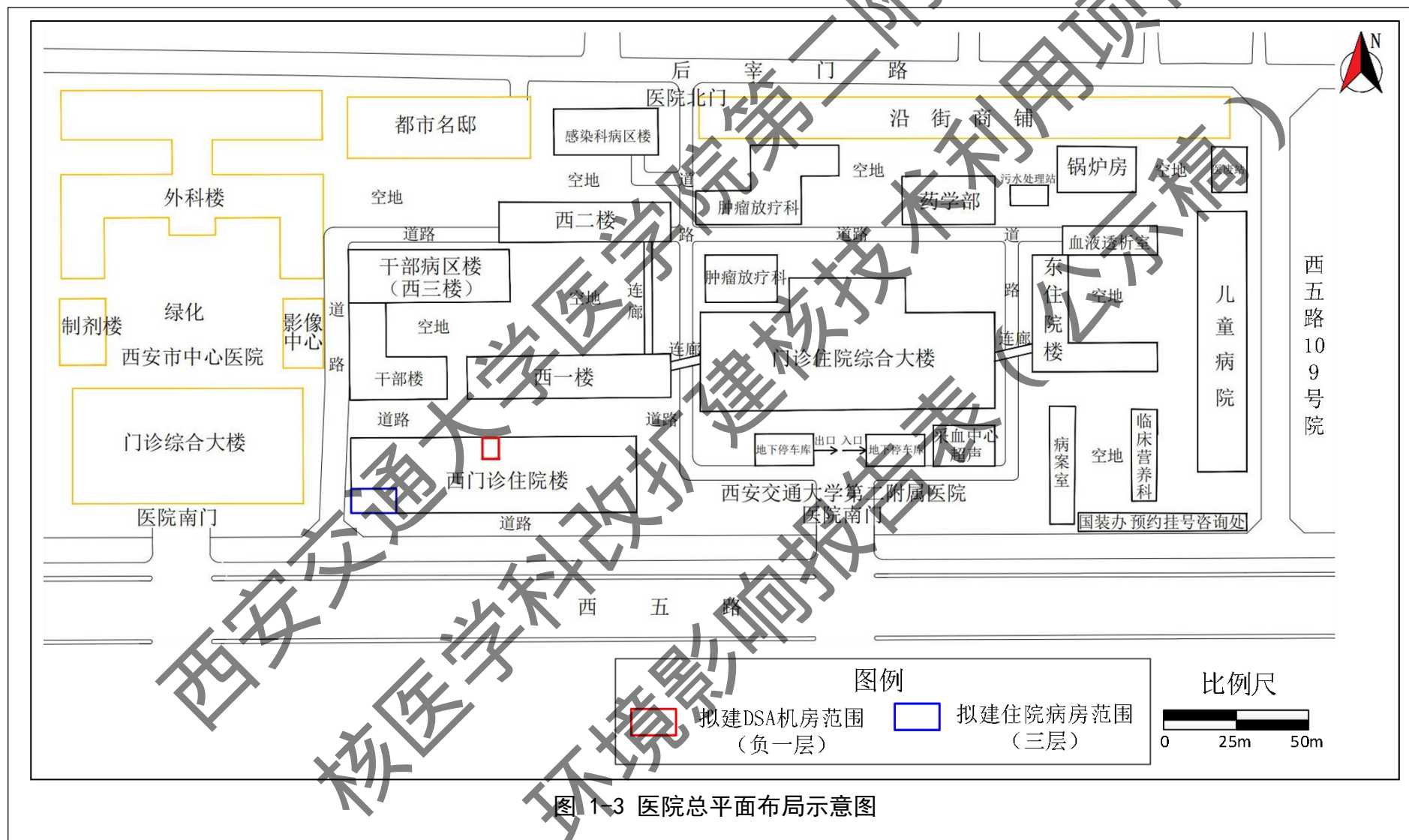
围内包括西安市中心医院门诊综合大楼、影像中心及该医院室外道路，南侧 50m 范围内包括院外道路。

医院在落实相应辐射安全防护设施及措施后可更大程度的减少对核医学科周边职业人员、公众的影响。

因此，本项目核医学科选址满足《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）中选址相关要求。



图 1-2 医院周边环境关系图



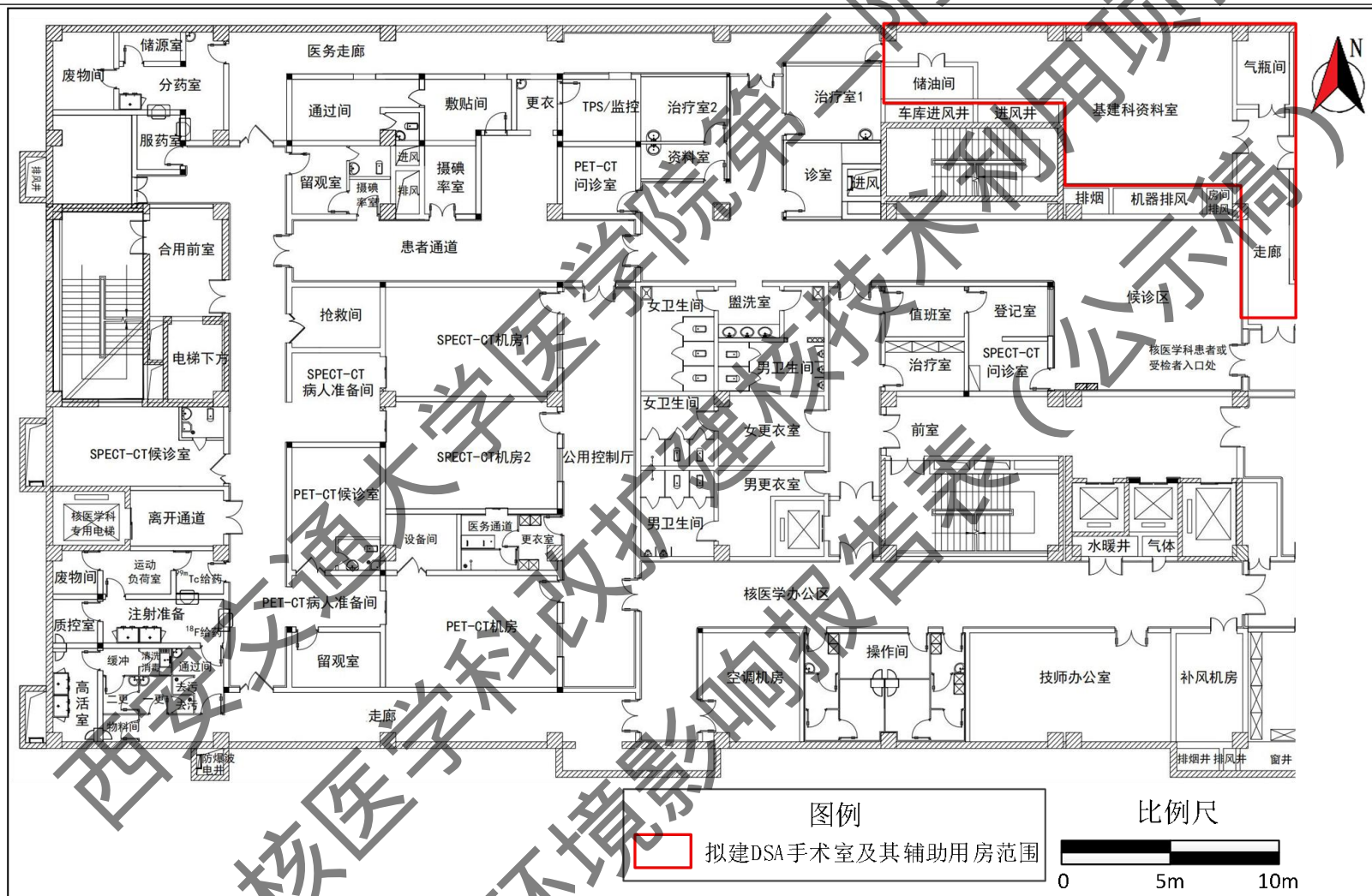


图 1-4 西门诊住院楼负一层核医学科区域平面布局示意图（现状）

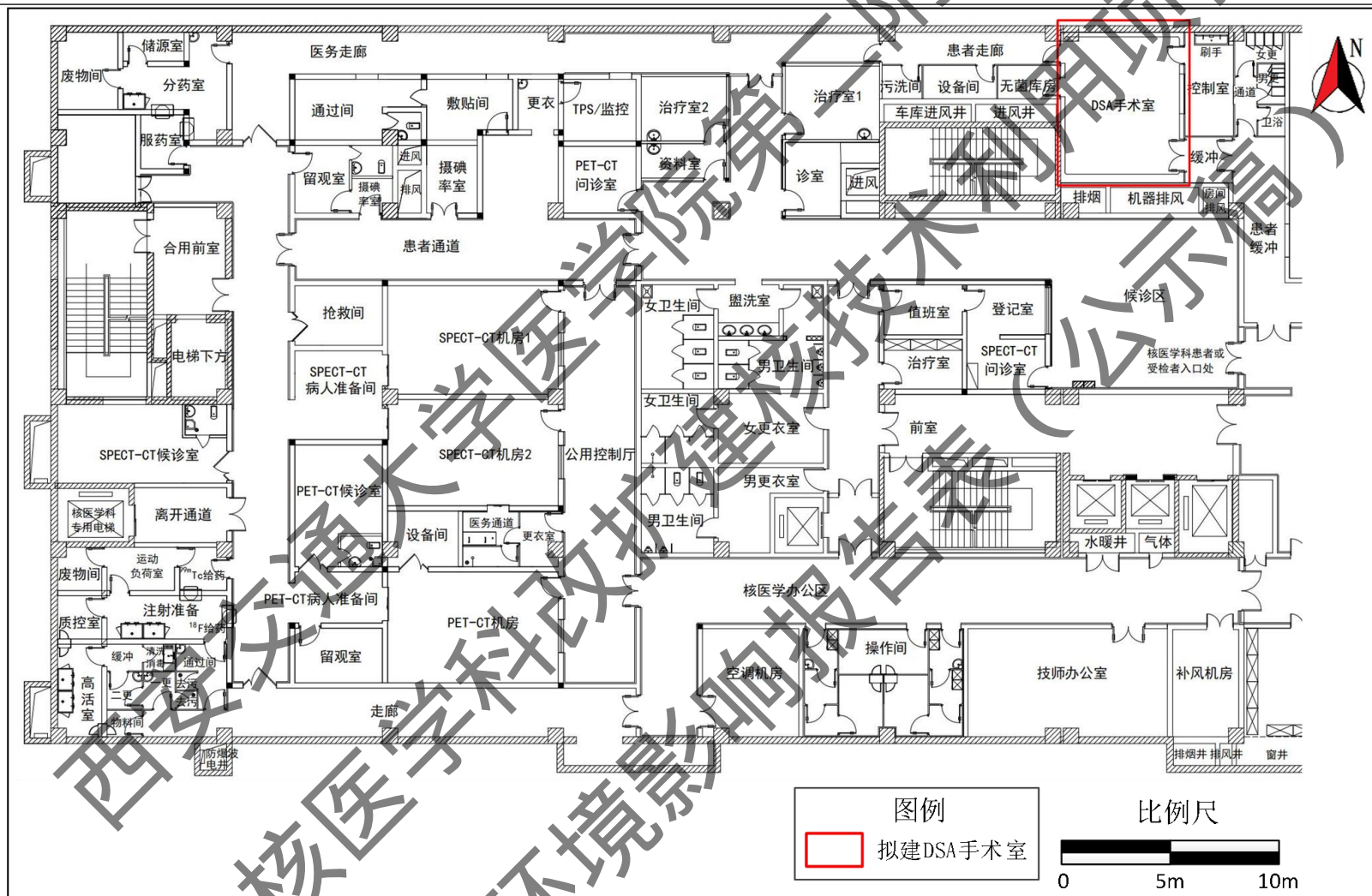


图 1-5 西门诊住院楼负一层核医学科区域平面布局示意图（改造后）

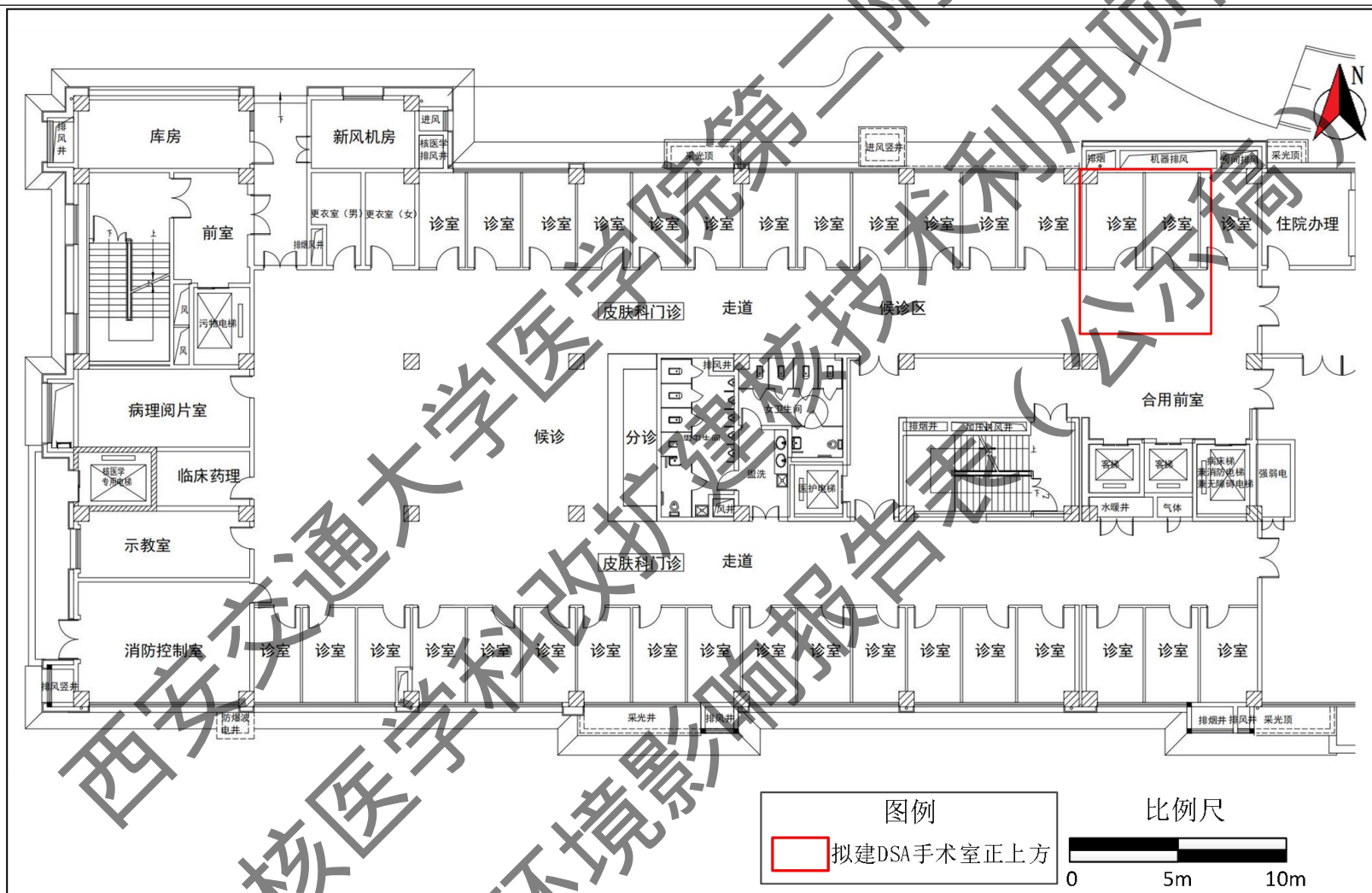
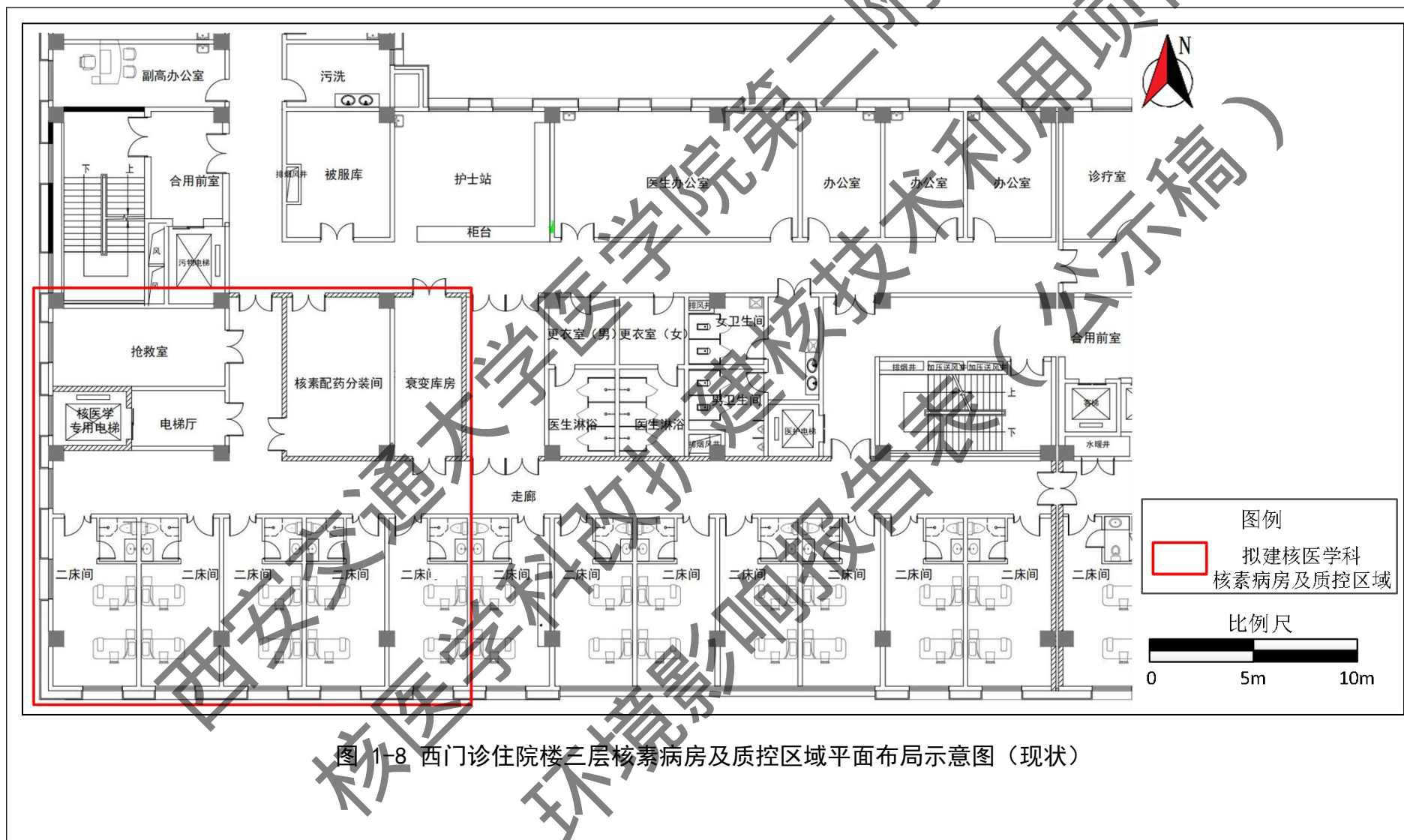
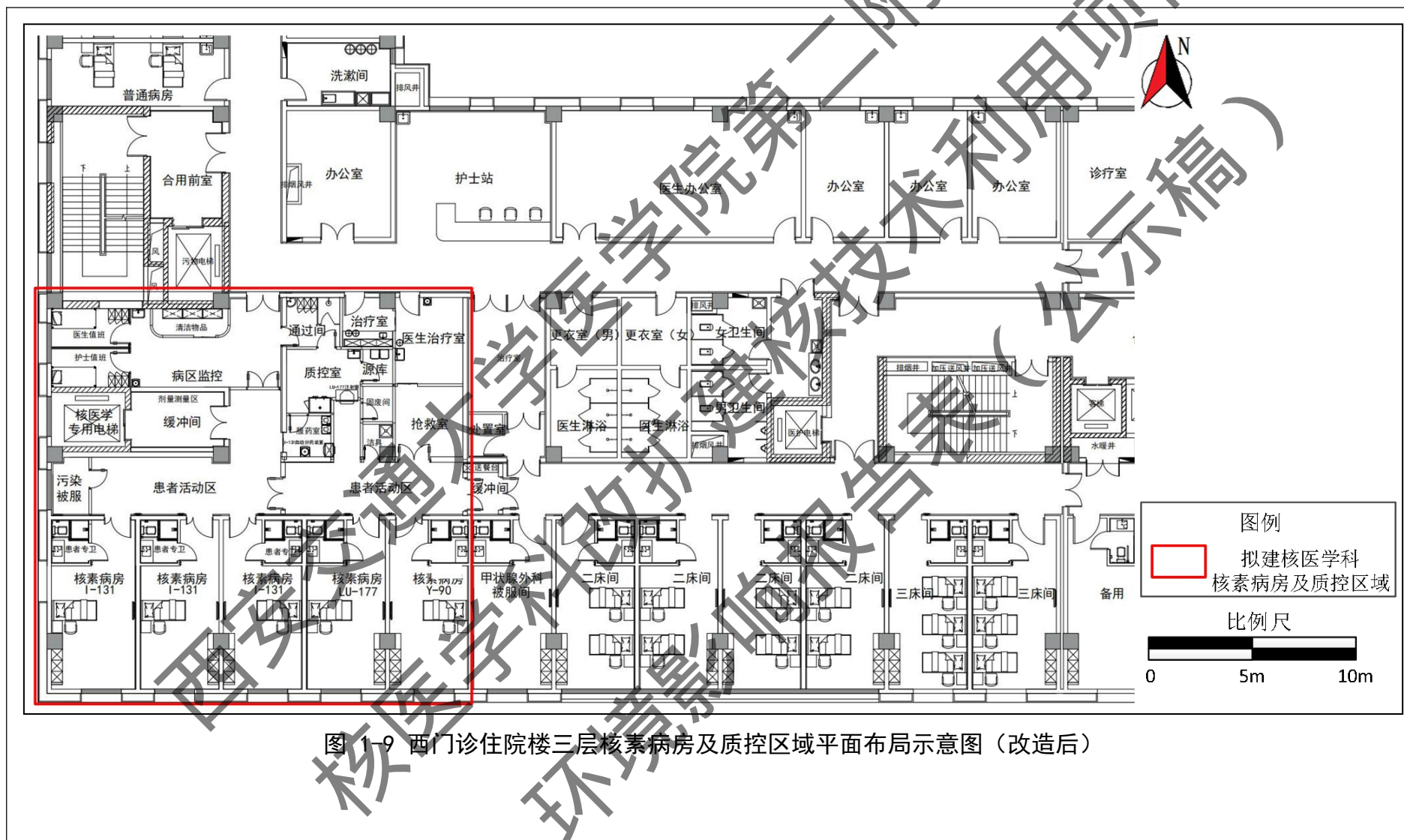


图 1-7 本项目 DSA 手术室上方平面布局示意图（一层）





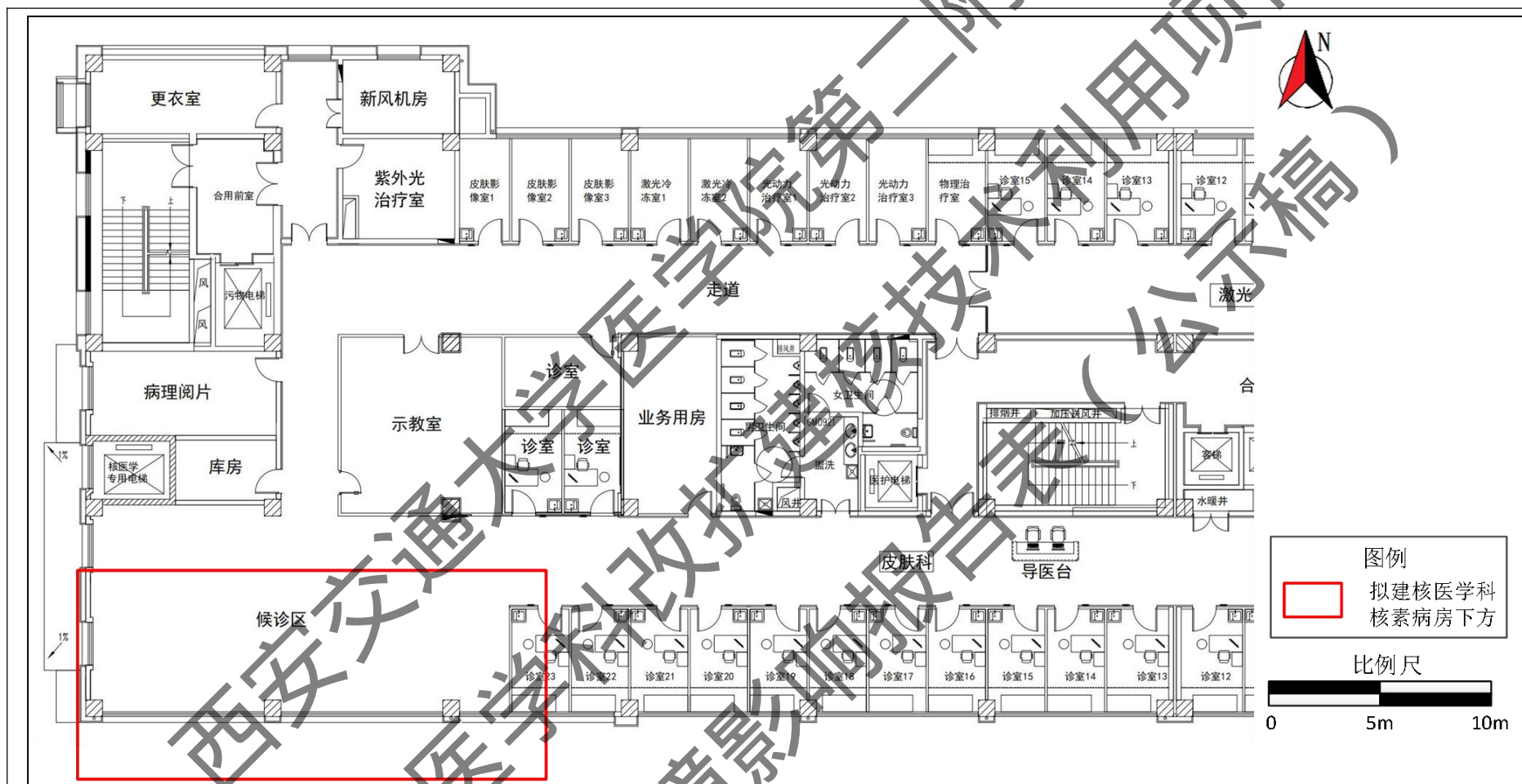


图 1-10 核素病房下方平面布局示意图（二层，改造后）

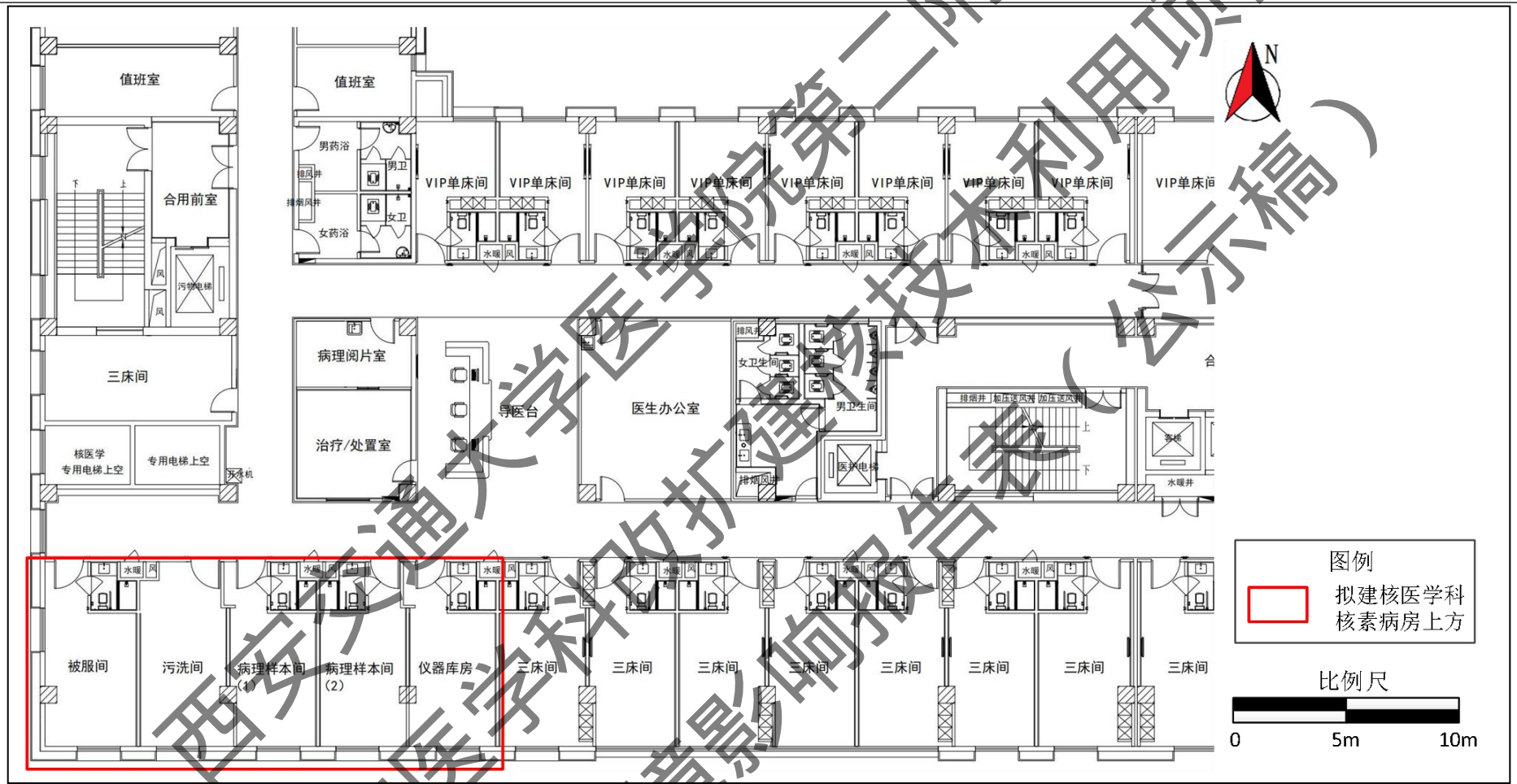


图 1-11 核素病房上方平面布局示意图（四层，改造后）

1.2. 现有核技术利用项目情况

1.2.1. 环保手续履行情况

医院自 2009 年以来开展的核技术利用建设项目、退役项目均履行了环保审批手续，主院区现有的放射源、非密封放射性物质、35 台射线装置以及大明宫院区现有的 10 台射线装置均已履行相应的环保手续，具体内容详见表 1-5。

表 1-4 医院现有核技术利用项目环保手续履行情况

序号	环评审批时间	环评内容	环评批复文号	竣工环保验收时间	竣工验收内容	竣工环保验收结果
1	2009 年 1 月 20 日	使用 1 枚 ^{192}Ir 放射源、3 枚 ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器，使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 、 ^{89}Sr 、 ^{153}Sm 、 ^{32}P 、 ^{125}I 、 ^3H 7 种核素，17 台射线装置	陕环批复（2009）26 号	2013 年 10 月 31 日	使用 3 枚 ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器，使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 、 ^{89}Sr 、 ^{153}Sm 、 ^{32}P 、 ^{125}I ，6 种核素，11 台射线装置	陕环批复（2013）556 号
2	2014 年 2 月 19 日	对 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 、 ^{89}Sr 、 ^{153}Sm 、 ^{32}P 、 ^{125}I 、 ^3H 7 种核素进行增量，新增 ^{18}F ，新增 1 台 6MV 电子加速器、1 枚 ^{192}Ir 放射源、1 台血管造影机、1 台模拟定位机	陕环批复（2014）100 号	2016 年 4 月 4 日	对 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 、 ^{89}Sr 、 ^{153}Sm 、 ^{32}P 、 ^{125}I 6 种核素进行增量，新增 ^{18}F ，新增 1 台 6MV 电子加速器、1 台血管造影机	陕环批复（2016）3 号
3	2015 年 1 月 6 日	搬迁 1 台血管造影机，并新增 4 台 III 类射线装置。	陕环批复（2015）41 号		新增 3 台 III 类射线装置。	
4	2017 年 1 月 23 日	新增 1 台 CT 模拟定位机	备案文号：201761010200000011			
5	2017 年 9 月 4 日	新增 1 台 10MV 电子加速器替换 Varian2300CD 型 6MV 直线加速器	陕环批复（2017）435 号	2018 年 4 月 17 日	使用 1 台模拟定位机，1 台 10MV 电子加速器	自主验收
6	2017 年 9 月 28 日	在大明宫院区新增 4 台 II 类、6 台 III 类射线	陕环批复（2017）493 号	2019 年 6 月 15 日	使用 2 台 DSA、2 台 DR、1 台 CT、1 台骨密度	自主验收

序号	环评审批时间	环评内容	环评批复文号	竣工环保验收时间	竣工验收内容	竣工环保验收结果
		装置		2020 年 12 月 26 日	使用 2 台 DSA	自主验收
7	2018 年 5 月 28 日	核医学科新增 ^{125}I 粒子源治疗	备案号: 2018610102 00000511	2018 年 5 月 28 日环境影响登记备案		^{125}I 粒子源治疗
8	2019 年 5 月 25 日	门诊住院楼新建核医学科, 使用 6 枚 V 类放射源, 3 台 III 类射线装置, 涉及 ^{90}Mo 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F 、 ^{131}I 、 ^{32}P 、 ^{89}Sr 、 ^{153}Sm 、 ^{125}I (粒籽源) 八种非密封放射性物质的使用 (属乙级非密封放射性工作场所)	陕环批复 (2019) 190 号	2022 年 7 月 22 日	新建核医学科, 使用 3 枚 ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器 (V 类 ^{90}Sr 源); 使用 2 台 (1 台 PET/CT 机, 1 台 SPECT/CT 机) III 类射线装置; 使用 ^{90}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器制备 $^{99\text{m}}\text{Tc}$, 共涉及 ^{90}Mo 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F 、 ^{131}I 、 ^{32}P 、 ^{89}Sr 、 ^{153}Sm 、 ^{125}I (粒籽源) 八种非密封放射性物质的使用 (属乙级非密封放射性工作场所); 使用 7 枚 V 类 ^{22}Na 放射源, 使用 ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器制备 ^{68}Ga , 涉及 ^{68}Ge 、 ^{68}Ga 、 ^{223}Ra 三种非密封放射性物质的使用 (属乙级非密封放射性工作场所)	
9	2021 年 9 月 15 日	核医学科新增非密封放射性物质和放射源应用项目, 新增 ^{68}Ga (医院通过自购 ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器淋洗制备)、 ^{223}Ra (向有资质厂家购买), 购置 7 枚 ^{22}Na 密封放射源校准 (代替原环评中 3 枚 ^{68}Ge 校准源)	辐射安全分析报告通过专家技术评审			
10	2019 年 6 月 10 日	新增移动 DR 机核技术利用项目 (大明宫院区)	备案号: 2019610102 00000133	2019 年 6 月 10 日环境影响登记备案		使用 1 台移动 DR
11	2020 年 5 月 27 日	在门诊综合楼新增 2 台移动式 X 射线机	备案号: 2020610102 00000116	2020 年 5 月 27 日环境影响登记备案		使用 2 台移动式 X 射线机
12	2021 年 1 月 6 日	新增移动式 C 形臂 X 射线机核技术利用项目	备案号: 2021610102 00000001	2021 年 1 月 6 日环境影响登记备案		使用 1 台移动式 C 形臂 X 射线机

序号	环评审批时间	环评内容	环评批复文号	竣工环保验收时间	竣工验收内容	竣工环保验收结果
13	2021年3月18日	新增医用X射线装置核技术利用项目	备案号：202161010200000035	2021年3月18日 环境影响登记备案		使用1台双源CT机
14	2021年4月29日	大明宫院区新增射线装置核技术利用项目	备案号：202161010200000051	2021年4月29日 环境影响登记备案		使用1台CT
15	2021年4月29日	新增核技术利用项目	备案号：202161010200000050	2021年4月29日 环境影响登记备案		使用1台移动CT车
16	2022年6月15日	门诊综合楼负一层的原核医学科退役	陕环批复（2022）35号	2022年6月27日，原核医学科搬迁后的工作场址、场所通风设施、排水设施、衰变池及场所内部分可利用物品完成终态验收监测，达到清洁解控水平。		
17	2022年8月11日	西一楼1层新增移动式C形臂X射线机核技术利用项目	市环批复（2022）94号	2024年1月23日	使用1台移动式C形臂X射线机	自主验收
18	2022年9月15日	医院医疗综合大楼负一层新增1台DSA	市环批复（2022）115号	2024年1月23日	使用1台DSA	自主验收
19	2023年4月25日	新增射线装置核技术利用项目	备案号：202361010200000016	2023年4月25日 环境影响登记备案		使用2台CT、1台DR、1台口腔CT、1台牙片机、1台SPECT-CT
20	2023年5月30日	医院后装治疗机核技术利用项目	陕环批复（2023）35号	2024年5月11日 验收	使用1台后装机，含有1枚活度为 3.7×10^{11} Bq的 ^{192}Ir 密封放射源	自主验收
21	2023年6月16日	新增CT核技术利用项目	备案号：202361010200000022	2023年6月16日 环境影响登记备案		使用2台CT

注：序号1、2为已退役核医学科工作场所此前涉及的环评及验收内容。

1.2.2. 核技术利用现状及现有辐射安全许可证

医院现持有陕西省生态环境厅2024年9月6日核发的辐射安全许可证（陕环辐证[00125]），有效期至2026年11月29日，许可范围为使用Ⅲ类、Ⅴ类放射源；

使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所。陕环辐证[00125]许可内容详见表 1-6。

表 1-5 陕环辐证[00125]号核准的种类和范围

(一) 放射源						
序号	核素	类别	辐射活动场所名称		总活度(贝克)/活度(贝克)×枚数	活动种类
1	¹⁹² Ir	Ⅲ类	放疗中心		3.7×10 ¹¹ ×1	使用
2	⁹⁰ Sr	V类	西门诊住院楼 负一层核医学科		7.4×10 ⁸ ×1	使用
3	⁹⁰ Sr	V类			2.0×10 ⁸ ×2	使用
4	²² Na	V类			1.48×10 ⁷ ×1	使用
5	²² Na	V类			3.7×10 ⁵ ×6	使用
(二) 非密封放射性物质						
序号	工作场所	场所等级	核素	日等效操作量(Bq)	年最大用量(Bq)	活动种类
1	西门诊住院楼负一层核医学科	乙级	⁶⁸ Ge (⁶⁸ Ga)	7.4×10 ⁵	5.55×10 ⁸	使用
2			²²³ Ra	8.0×10 ⁷	6.4×10 ⁹	使用
3			⁶⁸ Ga	7.4×10 ⁶	5.55×10 ⁹	使用
4			^{99m} Mo (^{99m} Tc)	7.4×10 ⁷	1.85×10 ¹³	使用
5			^{99m} Tc	7.4×10 ⁷	1.85×10 ¹³	使用
6			¹²⁵ I (粒子源)	1.11×10 ⁸	3.33×10 ¹²	使用
7			¹³¹ I	2.775×10 ⁸	7.86×10 ¹¹	使用
8			¹⁵³ Sm	7.4×10 ⁸	2.22×10 ¹²	使用
9			⁸⁹ Sr	5.92×10 ⁷	1.776×10 ¹¹	使用
10			³² P	3.7×10 ⁷	1.85×10 ¹⁰	使用
11			¹⁸ F	7.4×10 ⁶	1.85×10 ¹²	使用
(三) 主院区射线装置						
序号	类别	装置名称	型号	数量	辐射活动场所名称	
1	Ⅱ类	10MV 加速器	TRILOGY	1	放疗中心	
2	Ⅱ类	直线加速器	21EX	1	放疗中心	
3	Ⅱ类	DSA	Innova 4100 IQ	1	介入手术室	
4	Ⅱ类	DSA	Artis Q biplane	1	神内科	
5	Ⅱ类	DSA	Artis zee	1	神内科	
6	Ⅱ类	DSA	Azurion 7 M20	1	DSA 介入室（东）	
7	Ⅱ类	移动式 C 形臂 X 射线机	OEC Elite CFDx	1	西一楼一层呼吸与危重症医学科介入室	
8	Ⅱ类	中 C 型臂	OEC 9900 Elite	1	干部病房楼二楼	
9	Ⅲ类	CT 机	uCT 780	1	D 区第 2 检查室	

10	III类	双源 CT	SOMATOM Definition Flash	1	D 区第 3 检查室
11	III类	CT 机	SOMATOM go.Top	1	D 区第 4 检查室
12	III类	SPECT/CT	NM/CT 870DR	1	SPECT/CT 机房 2
13	III类	移动 DR 机	uDR 370i	1	病房
14	III类	移动 DR 机	Neu Vision 550M Plus	1	病房
15	III类	移动 DR 机	uDR 370i	1	病房
16	III类	CT 模拟定位机	SOMATOM Definition AS	1	放疗中心
17	III类	口腔 CT 机	APSARAS 3D	1	口腔 CT 机房
18	III类	小 C 臂机	GE OEC	1	麻醉手术室
19	III类	小 C 臂机	Vario 3D	1	麻醉手术室
20	III类	小 C 臂机	MULTIMOBIL 5C	1	麻醉手术室
21	III类	PET/CT	Vereos PET/CT	1	西门诊住院楼负一层核医学科
22	III类	SPECT/CT	INFINIA	1	西门诊住院楼负一层核医学科
23	III类	移动 DR	uDR 370i	1	影像中心
24	III类	移动 DR	uDR 370i	1	影像中心
25	III类	车载 CT	uCT 528	1	影像中心
26	III类	碎石机	HB ESWL VG	1	综合楼九楼
27	III类	牙片机	Intro Os 70	1	牙片机房
28	III类	骨密度仪	MEDIX90	1	综合楼十楼
29	III类	数字胃肠机	SONIAL VISION VER	1	A 区 15 室
30	III类	乳腺机	Selenia Dimensions	1	B 区 13 室
31	III类	DR 机	NOVAFA-C	1	B 区 14 室
32	III类	DR 机	AXIOM Aristos VXPIUS	1	C 区 7 室
33	III类	CT	SOMATOM Force	1	C 区第 8 检查室
34	III类	多功能 DR 机	SONIAL VISION C200	1	D 区 5 室
35	III类	CT 机	uCT 780	1	D 区第 1 检查室
(四) 大明宫院区射线装置					
36	II类	DSA	Innova IGS 530	1	四层手术部
37	II类	DSA	Innova IGS 5	1	四层手术部

38	II类	DSA	Innova IGS 520	1	四层手术部
39	II类	DSA	Innova IGS 5	1	四层手术部
40	III类	骨密度仪	PRIMUS	1	体检科
41	III类	DR	Neu Vision 360	1	体检科
42	III类	移动 DR	Neu Vision 550M Plus	1	三层影像科
43	III类	32 排 CT	ANATOM 64Precision	1	三层影像科
44	III类	DR	Ysio Max	1	三层影像科
45	III类	256 排 CT	Revolution CT	1	三层影像科

1.2.3. 辐射安全管理现状

医院遵守《中华人民共和国放射性污染防治法》《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》及《陕西省放射性污染防治条例》等法律、法规，配合各级生态环境保部门监督和指导，辐射防护设施运行、维护、检测工作良好，在辐射安全和防护制度建立、落实以及档案管理等方面运行较好。

(1) 辐射防护管理机构设置情况

医院在国有资产与医学装备管理办公室（以下简称国装办）设立放射防护管理委员会办公室，由院长担任主任委员，主管副院长担任副主任委员，国装办、医学影像科、核医学科、肿瘤放疗科、心血管内科、神经内科、健康管理部、呼吸与危重症医学科、消化内科、泌尿外科、耳鼻咽喉头颈外科、骨科中心、麻醉科（含手术室）、人力资源部、医务部、基本建设办公室、后勤保障部、保卫部、大明宫院区管理办公室主任为放射防护管理委员会委员，负责医院放射防护管理工作。国装办主任兼任办公室主任，国装办副主任兼任办公室副主任。

(2) 规章制度建设及落实情况

医院已制定了一系列辐射防护管理规章制度，包括：《辐射工作人员岗位职责》《辐射工作人员档案管理制度》《辐射工作人员职业健康管理制度》《辐射工作人员个人剂量管理制度》《辐射工作人员档案管理制度》《放射防护安全保卫制度》《辐射工作场所监测制度》《辐射环境监测设备使用与检定管理制度》《射线装置维修保养制度》《维修物理室工作制度》《放射源管理规章制度》《非密封放射源安全管理制度》《辐射事故应急预案》《射线装置操作规程》《血管造影机（DSA）仪器操作规程》《放射性“三废”处理方法》《ECT 操作规程》

《核医学科放射防护规范》《核医学科质控检测计划》《全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度》等，能够满足医院现状管理要求，并严格按照规章制度执行。

（3）工作人员培训情况

根据医院提供的辐射工作人员名单，现有在岗辐射工作人员 223 名，已根据各自的职业类别接受辐射防护安全知识和法律法规教育，并参加了国家核技术利用辐射安全与防护培训平台的考核（含本项目拟配备的 7 名辐射工作人员）或医院统一组织的自主培训，均已取得成绩报告单。

（4）职业健康检查情况

2023 年 12 月，医院组织全院辐射工作人员于在核工业四一七医院进行了职业健康体检，建立了职业健康体检报告档案并存档。根据医院提供的体检报告单，职业健康检查发现 4 人患有职业禁忌症（已脱离放射工作，现在已不属于在岗辐射工作人员），10 人建议复查血常规（已暂时调离放射工作岗位）；其余辐射工作人员的体检结果显示可从事或可继续从事放射工作。

（5）个人剂量检测情况

医院为辐射工作人员均配备了个人剂量计，并委托有资质单位进行了个人剂量检测。根据 2024 年 1 月~2024 年 12 月的个人剂量检测报告，医院辐射工作人员中连续四个季度的个人剂量累积最大值为 1.06mSv；医院核医学科辐射工作人员中连续四个季度的个人剂量累积最大值为 1.06mSv。因此，医院全部辐射工作人员连续四个季度的个人剂量累积值均满足不大于 5mSv 的剂量管理目标值。

（6）工作场所及辐射环境监测情况

2024 年、2025 年，医院委托有资质单位对主院区、大明宫院区辐射工作场所进行了辐射防护检测，并出具了检测报告（报告编号：FHJC-SXGK-002024114、FHJC-SXGK-002024182、FHJC-SXGK-002024220、FHJC-SXGK-002024250 和 FHJC-SXGK-002024309）。

检测结果见表 1-7 及表 1-8：

表 1-6 辐射工作场所关注点最大 X- γ 辐射剂量率

序号	装置名称	型号	检测条件	最大周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	标准限值 ($\mu\text{Sv/h}$)
主院区					
1	双能 X 线骨密度仪	MED1X90	电压 100kV, 电流 2.0mA, 出束时间 2min	0.156	2.5
2	DR	AXIOM Aristos VX Plus	AEC 电压 121kV, 管电流时间积 5.6mAs	0.271	2.5
3	DR	NOVA FA-CA	AEC 电压 120kV, 电流 160mA, 管电流时间 积 5.76mAs	0.20	2.5
4	双源 CT 机	SOMATOM Force	电压 120kV, 管电流时间积 273mAs	0.440	2.5
5	大孔径 CT 定位机	SOMATOM Definition AS	电压 120kV, 管电流时间积 395mAs	0.325	2.5
6	乳腺机	Selenia Dimensions	电压 28kV, 管电流时间积 50mAs	0.142	2.5
7	数字胃肠机	SONIALVISION VERSA 100	透视状态: AEC 电压 93kV, 电流 3.2mA, 时间 10s	0.151	2.5
			点片状态: 电压 120kV, 电流 100mA, 曝光时间 200ms	0.63	2.5
8	移动式 C 形 臂 X 射线机	OEC One	AEC 电压 105kV, 电流 3.7mA, 出束时间 10s	2.03	2.5
			AEC 电压 107kV, 电流 3.8mA, 出束时间 10s	2.2	2.5
9	移动式 C 形 臂 X 射线机	OEC One	AEC 电压 100kV, 电流 3.3mA, 出束时间 10s	1.45	2.5
10	DSA	Innova 4100 IQ	AEC 电压 95kV, 电流 10.9mA, 时间 10s	1.21	2.5
11	牙片机	Intra0s 70	电压 70kV, 电流 7mA, 出束时间 500ms	0.146	2.5
12	口腔 CT	APSARAS 3D	电压 90kV, 电流 12mA, 时间 7.7s	0.72	2.5
13	直线加速器	CLINAC 21EX	能量 6MV, 照射野 40cm $\times$ 40cm, 剂量率 600cGy/min	0.157	2.5
14	直线加速器	TRILOGY	能量 6MV, 照射野 40cm $\times$ 40cm, 剂量率 600cGy/min	1.22	2.5
15	DSA	Azurion 7 M20	AEC 电压 98kV, 电流 15mA, 出束时间 10s	0.41	2.5

序号	装置名称	型号	检测条件	最大周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	标准限值 ($\mu\text{Sv/h}$)
16	CT 机①	SOMATOM Definition Flash	电压 120kV, 管电流时间积 200mAs, 准直宽度 10mm	0.202	2.5
17	CT 机②	uCT 780	电压 120kV, 管电流时间积 200mAs, 准直宽度 10mm	0.200	2.5
18	CT 机③	uCT 780	电压 120kV, 管电流时间积 200mAs, 准直宽度 10mm	0.197	2.5
19	CT 机④	SOMATOM go. Top	电压 120kV, 管电流时间积 200mAs, 准直宽度 10mm	0.197	2.5
20	多功能 DR 机	SONIALVISION C200	透视状态下: 83kV, 3.2mA, 出束时间 8s	0.202	2.5
			拍片状态下: 电压 120kV, 电流 100mA, 曝光时间 136ms	0.208	2.5
21	移动 DR 机	NeuVision 550M Plus	电压 80kV, 管电流时间积 20mAs	操作位: 0.48	2.5
22	碎石机	XY.S. SUI-6X	73kV, 2.1mA, 出束时间 8s	0.159	2.5
23	PET/CT	Vereos PET/CT	辐射源 ^{18}F , 活度 370MBq (10mCi), 电压 120kV, 管电流时间积 200mAs, 准直宽度 10mm	0.68	2.5
24	SPECT/CT①	Infinia	辐射源 $^{99\text{m}}\text{Tc}$, 活度 388.5MBq (10.5mCi), CT 部分故障	0.137	2.5
25	SPECT/CT②	NM/CT 870 DR	辐射源 $^{99\text{m}}\text{Tc}$, 活度 388.5MBq (10.5mCi), 电压 120kV, 管电流时间积 200mAs, 准直宽度 10mm	0.157	2.5
26	后装治疗机	Flexitron HDR	辐射源 ^{192}Ir 活度: 333GBq (9.0Ci)	0.46	2.5
27	中 C 臂机	OEC Elite CFDx	电压 89kV, 电流 7mA, 出束时间 10s	0.137	2.5
28	DSA	Syngo X WorkPlace	AEC 纵向电压 82kV, 电 流 119mA, 出束时间 10s; AEC 横向电压 78kV, 电 流 121mA, 出束时间 10s	0.175	2.5
29	移动 DR①	uDR 370i	电压 80kV, 管电流时间 积 20mAs, 曝光时间 133.3ms	操作位 0.65	25
30	移动 DR②	uDR 370i	电压 80kV, 管电流时间 积 20mAs, 曝光时间 133.3ms	操作位 1.00	25

序号	装置名称	型号	检测条件	最大周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	标准限值 ($\mu\text{Sv/h}$)
31	移动 DR③	uDR 370i	电压 80kV, 管电流时间积 20mAs	操作位 0.131	25
32	移动 DR④	uDR 370i	电压 80kV, 管电流时间积 20mAs	操作位 0.124	25
大明宫院区					
33	DSA 机①	Innova IGS 5	AEC 电压 82kV, 电流 11.6mA, 出束时间 10s	0.35	2.5
34	DSA 机②	Innova IGS 5	AEC 电压 81kV, 电流 11.8mA, 出束时间 10s	0.147	2.5
35	DSA 机③	Innova IGS 520	AEC 电压 81kV, 电流 11.8mA, 出束时间 10s	0.33	2.5
36	DSA 机④	Innova IGS 530	AEC 电压 80kV, 电流 12mA, 出束时间 10s	0.145	2.5
37	CT 机①	Revolution CT	电压 120kV, 管电流时间积 200mAs, 准直宽度 10mm	0.156	2.5
38	CT 机②	ANATOM 64 Precision	电压 120kV, 管电流时间积 200mAs, 准直宽度 10mm	0.137	2.5
39	车载 CT 机	uCT 528	电压 120kV, 管电流时间积 200mAs, 准直宽度 11mm	0.271	2.5
40	DR 机①	NeuVision 360	AEC 电压 120kV, 电流 100mA, 曝光时间 63ms	0.38	2.5
41	DR 机②	Ysio Max	AEC 电压 121kV, 管电流时间积 5.6mAs	0.133	2.5
42	移动 DR 机①	NeuVision 550M plus	电压 80kV, 电流 100mA, 曝光时间 200ms	操作位: 0.154	25
43	移动 DR 机②	NeuVision 550M plus	电压 80kV, 电流 100mA, 曝光时间 200ms	操作位: 0.163	25
44	全身骨密度仪	PRIMUS	电压 80kV, 电流 3mA, 出束时间 2min	0.153	2.5

表 1-7 核医学科工作场所表面活度、周围剂量当量率检测最大值

序号	工作场所	表面活度 (Bq/cm^2)	标准限值 (Bq/cm^2)
1	PET/CT 相关工作场所	0.10	4
2	SPECT/CT 相关工作场所	0.16	4
3	患者走廊	0.22	4
序号	工作场所	最大周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	标准限值 ($\mu\text{Sv/h}$)
4	储源室	0.184	10

根据医院提供的防护检测报告, 检测结果如下:

①医用直线加速器和后装治疗机在规定条件下，各机房的放射工作人员操作处、人员门和四周墙体外的周围剂量当量率辐射水平符合 GBZ121-2020《放射治疗放射防护要求》的要求。

②DR、数字胃肠机在规定条件下，机房的辐射工作人员操作位、观察窗、人员门、四周墙体外及机房楼上、楼下的环境辐射水平符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中 6.3.1c）条“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 $25\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

③CT、骨密度仪、乳腺机、数字胃肠机、牙片机、DSA、中C臂机、移动式C形臂X射线机在规定条件下，机房外的周围剂量当量率均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，工作场所环境辐射水平符合GBZ130-2020《放射诊断放射防护要求》。

④车载 CT 机在规定条件下，车厢内的放射工作人员操作位、人员进出门、观察窗、车厢壁外的环境辐射水平符合 GBZ130-2020《放射诊断放射防护要求》和 GB18871-2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》的要求。

⑤PET/CT 机和 SPECT 机在规定条件下，各机房的辐射工作人员操作位、观察窗、人员门、四周墙体外和机房楼下的环境辐射水平符合《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中 5.3.1 条“在核医学控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，控制区内屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ ，宜不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

⑥核医学工作场所的表面污染检测结果均符合《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中 5.3.2 条“控制区工作场所的放射性表面污染控制水平应不大于 40Bq/cm^2 ，监督区工作场所的放射性表面污染控制水平应不大于 4Bq/cm^2 ”的要求。

⑦移动DR的使用和防护符合GBZ130-2020《放射诊断放射防护要求》中7.7的要求。

⑧主院区神内科的 1 台 Artis zee 型 DSA 和干部病房楼二楼的 1 台 OEC 9900 Elite 型中 C 臂机已停用，正在办理报废手续；1 台 DigiArc 100AC 型移动式 G 型臂 X 射线机发生故障，因此未进行辐射工作场所防护检测。

（7）2024 年 8 月医院委托有资质单位对污水总排口进行监测并出具了检测报告，报告编号为 H2407084。根据检测报告可知，监测结果结论为：总 α 放射性

日均值为 0.141Bq/L，总 β 放射性日均值为 0.249Bq/L，均符合《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表 2 中预处理标准限值的要求。

医院严格执行按照陕西省生态环境厅的各项要求，并且认真履行各项规章制度，每年接受生态环境主管部门的监督检查和环境辐射监测。

（8）辐射环境监测设备配备及检定情况

医院已配备 2 台表面污染检测仪，4 台 X- γ 剂量监测仪（1 台型号为 YD-1105，3 台型号为 FD-3013B）及 2 台个人剂量报警仪。2024 年 10 月，医院已委托中国测试技术研究院对监测设备进行校准，已取得校准证书并将其存档。

（9）其他

医院严格按照相关法律法规及陕西省生态环境厅的各项要求，认真履行各项规章制度。每年接受省、市生态环境主管部门的监督检查和辐射环境监测，并按时提交年度评估报告。

1.2.4. 现存问题及改进要求

1.2.4.1. 现存问题

目前医院已停用主院区神内科的 1 台 Artis zee 型 DSA 和干部病房楼二楼的 1 台 OEC 9900 Elite 型中 C 臂机，未在辐射安全许可证进行注销。

1.2.4.2. 改进要求

对于已停用的 2 台射线装置，医院应在完成相应的报废手续后，及时将其从辐射安全许可证上注销。

表 2. 放射源

序号	核素名称	放射性活度 (Bq) / 活度 (Bq) × 枚数	类别	活动类别	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：1.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	悬浮液，中毒， 半衰期 64.2h	使用	3.0×10^9	3.0×10^8	5.99×10^{11}	治疗	介入注射， 简单操作	西门诊住院 楼负一层	西门诊住院楼 负一层西南角
2	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	液体，低毒， 半衰期 6.02h	使用	3.7×10^8	3.7×10^6	1.35×10^{11}	治疗	介入注射， 简单操作	DSA 手术室	高活室手套箱
5	^{131}I	液体，中毒， 半衰期 8.02d	使用	2.22×10^{10}	2.22×10^9	8.10×10^{12}	治疗	简单操作	西门诊住院 楼三层核医 学科病房	西门诊住院楼 三层质控室 手套箱
6	^{177}Lu	液体，中毒， 半衰期 6.65d	使用	3.7×10^9	3.7×10^8	1.35×10^{12}	治疗	简单操作	西门诊住院 楼三层核医 学科病房	西门诊住院楼 三层质控室 手套箱
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：日最大等效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

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	125	1250	介入治疗	西门诊住院楼负一层 DSA 手术室	新增
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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
沾有放射性核素的注射器、手套、擦拭废纸、废活性炭等	固态	^{90}Y 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 、 ^{177}Lu	/	122.5kg	1470.5kg	/	负一层 DSA 手术室旁污洗间内的放射性废物桶，三层固废间内放射性废物桶	暂存至其放射性活度低于相应清洁解控水平，含 ^{131}I 的放射性固体废物暂存时间超过 180 天后，按普通医疗固体废物处理，
放射性废水（清洗废水、患者排泄物等）	液态	^{90}Y 、 ^{177}Lu	/	4.1m ³	50m ³	总 β <10Bq/L	负二层 A 组衰变池	暂存时间超过 10 倍最长半衰期后，排至医院污水处理站
放射性废水（清洗废水、患者排泄物等）	液态	^{131}I 、 ^{90}Y 、 ^{177}Lu	/	6.8m ³	82.5m ³	总 β <10Bq/L	负二层 B 组衰变池	暂存时间超过 180 天后，排至医院污水处理站

放射性废气	气体	主要为 ^{131}I , 含有极少量的 ^{177}Lu	/	微量	微量	微量	/	经活性炭吸附过滤后通过专用排风管道排放至西门诊住院楼八层楼顶
臭氧、氮氧化物	气体	/	/	微量	微量	微量	/	经专用管道排放至西门诊住院楼裙房一层楼顶
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

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

表 6. 评价依据

法规文件	(1) 《中华人民共和国环境保护法（修订）》，2015 年 1 月 1 日起施行； (2) 《中华人民共和国环境影响评价法（修订）》，2018 年 12 月 29 日起施行； (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日起施行； (4) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令第 682 号修改，2017 年 10 月 1 日发布施行； (5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令第 449 号第二次修订，2019 年第二次修订； (6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环保部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日起施行； (7) 《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 7 号第三次修改，2019 年 8 月 22 日； (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，2017 年 12 月 6 日起施行； (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、国家国防科技工业局公告 2017 年第 65 号； (10) 《放射性废物安全管理条例》，国务院令第 612 号，2012 年 3 月 1 日； (11) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》生态环境部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日； (12) 《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》国家环保总局，环发〔2006〕145 号，2006 年 9 月 26 日起施行； (13) 《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（国家发展和改革委员会令第 7 号，2023 年 12 月 27 日）； (14) 《陕西省放射性污染防治条例（2019 年修正）》，陕西省人大，2019 年 7 月 31 日起施行； (15) 陕西省环境保护厅关于印发新修订《陕西省核技术利用单位辐射安
------	--

	全管理标准化建设项目表》的通知（陕环办发〔2018〕29号），2018年6月6日起施行； （16）《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； （17）《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； （18）《关于核医学标准相关条款咨询的复函》，生态环境部辐射函〔2023〕20号，2023年9月11日； （19）《放射工作人员职业健康管理辦法》，中华人民共和国卫生部令第55号，2007年11月1日施行。
技术标准	（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）； （2）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）； （3）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）； （4）《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）； （5）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； （6）《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）； （7）《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）； （8）《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）； （9）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）； （10）《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号）
其他	（1）环境影响评价委托书； （2）建设单位提供的其他与本项目相关的资料。

表 7. 保护目标和评价标准

7.1.评价范围

根据《辐射 环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）中相关规定“乙级、丙级非密封放射性物质工作场所项目的评价范围取半径 50m 的范围，放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”。

根据上述要求并结合项目所涉及的工作场所布局和边界，给出相应辐射工作场所实体屏蔽外周围 50m 范围为项目环境影响评价范围（不同工作场所重合区域时取最大范围），评价范围示意图详见图 7-1。

7.2. 环境保护目标

项目环境保护目标主要为评价范围内的辐射工作人员、医院内活动的其他医护人员、患者、患者家属以及医院周边公众。

项目环境保护目标详见表 7-1。

表 7-1 项目环境保护目标一览表

序号	保护目标位置	方位	距屏蔽体外表面距离 (m)	人口数量	剂量约束值
1	DSA 手术室	内部	0.5m ^①	2 名医生(辐射工作人员, 轮岗) ^④	≤5mSv/a (职业工作人员)
2		内部	0.5m ^①	2 名护士(辐射工作人员, 轮岗) ^④	
3	控制室	东	0.3	1 名影像技师(辐射工作人员) ^④	
4	SPECT-CT 间、诊室、登记室、核医学科值班室、技师办公室等	南	4~25	5 名其他辐射工作人员	
5	DSA 手术室(负一层)、治疗室、监控室、诊室、PET-CT 问诊室、敷贴间、分药室、医务走廊、公用控制厅、质控室、高活室等	西	8.2~50	10 名其他辐射工作人员	
6	缓冲区	西	0.3	流动人员	≤0.1mSv/a (公众人员)
7	更衣室、配电室、制冷站、水泵房、新风机房等	东	2.2~50	约 4 名医务人员及流动人员	
8	候诊区、前室、走廊等	南	1.4~25	流动人员	
9	无菌库房、患者走廊	西	0.3	流动人员	
10	设备间、污洗间等	西	2.9~8.2	流动人员	

序号	保护目标位置		方位	距屏蔽体外表面距离 (m)	人口数量	剂量约束值
11		摄碘率室、留观室、候诊室、病人准备间等	西	8.2~50	约 10 名医务人员及流动人员	
12		室外绿化	/	1.0 ^②	4 人 (公众)	
13	DSA 手术室向上投影至地面	诊室、候诊区、药库、挂号收费处、门诊住院大厅、院外道路等	南	1.4~50	约 40 名医务人员及流动人员	
14		院内道路、空地、干部楼一层大厅、西一楼一层大厅等	北	0.3~50	约 30 名医务人员及流动人员	
15		院内道路	东	48~50	流动人员	
16		院内道路	西	46~50	流动人员	
17	DSA 手术室下方	地下二层车库	/	1.7 ^③	流动人员	
18		质控室、通过间、值班室、监控室等	北	4.4~10	2 名辐射工作人员	≤5mSv/a (职业工作人员)
19	核素病房 (三层)	办公室、值班室、病房、治疗室、护士站、新风机房等	北	12~32	约 10 名医务人员及流动人员	≤0.1mSv/a (公众人员)
20		甲状腺外科被服间	东	0.3	流动人员	
21		病房、示教室、手术间、办公室、治疗室等	东	3.7~50	18 名住院患者、陪同家属、约 10 名医务人员及流动人员	
22		病房、治疗室、办公室、换药室、护士站等 (四层)	上	0.3	50 名住院患者、陪同家属、约 10 名医务人员及流动人员	
23		诊室、候诊大厅、检查室等 (二层)	下	0.3	约 40 名医务人员及流动人员	

序号	保护目标位置		方位	距屏蔽体外表面距离（m）	人口数量	剂量约束值
24	核素病房向下投影至一层	西安市中心医院门诊综合大楼一层大厅、影像中心一层大厅、道路等	西	0.3~50	约 20 名医护人员和流动人员	
注：①表示距辐射源点距离； ②表示顶棚上方（楼上）距顶棚地面 1.0m； ③表示机房地面下方（楼下）距楼下地面 1.7m 处的距离；其余距离均表示环保目标距屏蔽体外表面距离； ④本项目每台介入手术需 1 名医生、1 名护士和 1 名影像技师参与。						
7.3. 评价标准						
本项目的评价标准见如 7-2 所示。						
表 7-2 本项目剂量限值及其他控制指标一览表						
剂量要求					执行标准	
执行对象	年剂量限值（mSv/a）					GB18871-2002
辐射工作人员	20					
公众	1					
屏蔽体表面剂量率控制值					执行标准	
核医学科工作场所	剂量控制应符合以下要求： 1.工作场所控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子≥1/2）房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h； 2.控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子<1/2），如给药/注射室防护门外、给药后患者候诊室门外、核素治疗住院病房门外以及核医学科患者走廊等位置，其周围剂量当量率应小于 10μSv/h； 3.放射性药物分装箱体、注射窗外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h； 4.放射性药物分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率应小于 25μSv/h。					HJ1188-2021 GBZ120-2020 《关于核医学标准相关条款咨询的复函》 （辐射函（2023）20 号）
SPECT-CT 机房	距机房屏蔽体外表面 30cm 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5μSv/h。					GBZ130-2020
DSA 机房	距机房屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率不大于 2.5μSv/h。					GBZ130-2020
表面污染控制水平					执行标准	
表面类型			极毒性α放射性	β放射性物质		GB18871-2002

		物质（Bq/cm ² ）	（Bq/cm ² ）	GBZ120-2020
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	4	4×10	
	监督区	4×10 ⁻¹	4	
工作服、手套、工作鞋	控制区、监督区	4×10 ⁻¹	4	
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10 ⁻²	4×10 ⁻¹	
非密封放射性物质工作场所分级				执行标准
级别	日等效最大操作量/Bq			GB18871-2002
甲	>4×10 ⁹			
乙	2×10 ⁷ ~4×10 ⁹			
丙	豁免活度值以上~2×10 ⁷			
核医学常用放射性核素毒性组别修正因子				执行标准
毒性组别	常用核素名称		毒性组别修正因子	HJ1188-2021
中毒	⁹⁰ Y、 ¹³¹ I、 ¹⁷⁷ Lu		0.1	
低毒	^{99m} Tc		0.01	
毒性组别		毒性组别修正因子		GB18871-2020
极毒		10		
高毒		1		
中毒		0.1		
低毒		0.01		
核医学科场所分类				执行标准
分类	日操作最大量放射性核素的加权活度 MBq			GBZ120-2020
I	>50000			
II	50~50000			
III	<50			
核医学常用放射性核素的毒性权重因子				执行标准
毒性组别	常用核素名称		毒性组别修正因子	GBZ120-2020
A	⁹⁰ Y、 ¹³¹ I		0.1	
B	^{99m} Tc		0.01	
不同操作性质的修正因子				执行标准
操作方式和地区		操作性质修正因子		GBZ120-2020
贮存		100		
废物处理		10		
闪烁法计数和显像 候诊区及诊断病床区		1		
配药、分装以及施给药 简单放射性药物制备 治疗病床区		0.1		
复杂放射性药物制备		0.1		
核医学常用放射性核素状态与操作方式修正因子				执行标准
活动类型	核素及状态	操作方式界定	操作方式修正因子	HJ1188-2021

医疗机构使用	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (液态)	很简单操作	10	
核素治疗	^{131}I (液态)	简单操作	1	
场所分区管理				执行标准
控制区	把需要或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。			GB18871-2002
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,但要经常对职业照射条件进行监督和评价。			
选址和布局				执行标准
选址	1.核医学工作场所宜建在医疗机构内单独的建筑物内,或集中于无人长期居留的建筑物的一端或底层,设置相应的物理隔离和单独的人员、物 4*/流通道。 2.核医学工作场所不宜毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区,并应与非放射性工作场所有明确的分解隔离。 3.核医学工作场所排风口的的位置尽可能远离周边高层建筑。			HJ1188-2021 GBZ120-2020
布局	1.核医学科工作场所应合理布局,住院治疗场所和门诊诊断场所应相对分开布置;同一工作场所内应根据诊疗流程合理设计各功能区域的布局,控制区应相对集中,高活室集中在一端,防止交叉污染。尽量减小放射性药物、放射性废物的存放范围,限制给药后患者的活动空间。 2.核医学工作场所应设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和患者通道分开,减少给药后患者对其他人员的照射。注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉,人员与放射性药物通道不交叉,放射性药物和放射性废物运送通道应尽可能短捷。 3.核医学工作场所宜采取合适的措施,控制无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动,避免工作人员和公众受到不必要的照射。控制区的出入口应设立卫生缓冲区,为工作人员和患者提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备。控制区内应设有给药后患者的专用卫生间。			
机房使用面积、单边长度控制				执行标准
设备名称	机房内最小有效使用面积 (m ²)	机房内最小单边长度 (m)	GBZ130-2020	
单管头X射线设备(含C形臂、乳腺CBCT)	20	3.5		
服药患者出院要求				执行标准
放射性核素	出院活度要求			HJ1188-2021
^{131}I	$\leq 400\text{MBq}$; 或 1m 处周围剂量当量率 $\leq 25\mu\text{Sv/h}$			
^{90}Y	$\leq 2500\text{MBq}$			

通风要求			执行依据
核医学科工作场所	核医学工作场所应保持良好的通风，工作场所的气流流向应遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，保持工作场所的负压和各区之间的压差，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。 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、手套箱等密闭设备中进行，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。手套箱、手套箱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。 手套箱应有足够的通风能力。制备放射性药物的回旋加速器工作区域、碘-131 治疗病房以及设有手套箱、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。		HJ1188-2021
	核医学工作场所通风系统独立设置，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手套箱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。		GBZ120-2020
	X 射线设备工作场所	机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。	GBZ130-2020
辐射监测			执行标准
监测内容	监测点位	监测频次	HJ1188-2021
核医学科辐射水平自行监测	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点位和存有放射性物质的装置/设备的表面。监测 ^{125}I 区域的仪器最小探测能量应小于 27keV。	不少于 1 次/月	
核医学科表面放射性污染自行监测	放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面，给药后患者候诊室，核素治疗场所的设施、墙壁和地面等，放射性废物桶和包装袋表面，工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等。	每次工作结束（出现放射性药物洒漏应及时进行监测）	
放射性废物管理			执行标准
固体放射性废物	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 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$、$\beta$ 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；		HJ1188-2021

	c) 含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。				
液态放射性废物	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 GB 18871 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。				HJ1188-2021
气态放射性废物	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。 应定期检查通风系统过滤净化器的有效性，及时更换失效的过滤器，更换周期不能超过厂家推荐的使用时间。更换下来的过滤器按放射性固体废物进行收集、处理。				HJ1188-2021
防护用品					执行标准
放射检查类型	工作人员		受检者		GBZ130-2020
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护用品	
介入放射性操作	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 防护屏/床侧 防护帘 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：“—”表示不需要。					
防护用品					执行标准
场所	辐射工作人员		患者或受检者	GBZ120-2020	
	必备	选备			
普通核医学和 SPECT 场所	铅橡胶衣、铅橡胶围裙和放射性污染防护服、铅橡胶围脖	铅橡胶帽、 铅玻璃眼镜	—		
正电子放射性药物和 ¹³¹ I 的场所	放射性污染防护服	—	—		

表 8. 环境质量和辐射现状

8.1. 项目地理位置及场所位置

8.1.1. 医院地理位置

医院地理位置见图 1-1，医院总平面布置见图 1-3。

8.1.2. 项目场所位置

医院拟将西门诊住院楼负一层核医学科东北角的资料室改造为 DSA 手术室及其控制室、更衣室、设备间等辅助用房；将西门诊住院楼三层抢救室、库房等区域改造为病区监控室、质控室、源库、服药室、固废间等房间，将南侧 5 间甲状腺外科病房自西向东依次改造为 3 间 ¹³¹I 病房、1 间 ¹⁷⁷Lu 病房和 1 间 ⁹⁰Y 病房。

8.2. 辐射环境质量现状评价

8.2.1. 监测方法

为了解项目拟建场地及周边环境γ辐射本底水平，本次评价采用陕西新高科辐射技术有限公司于 2024 年 11 月 6 日对项目场地周边环境γ辐射剂量率检测报告中相关数据（检测报告编号：FHJC-SXGK-002024255）。监测方案见表 8-1。

表 8-1 辐射环境质量现状监测方案

监测因子	监测点位	监测频次
X-γ剂量率	拟建 DSA 机房及周围相邻区域 1#~11#， 楼上 12#，楼下 13#	2024 年 11 月 6 日，每个 点位连续监测 10 次
	拟建核素病房及周围相邻区域 14#~27#， 楼上 28#和 29#，楼下 30#和 31#	
	拟建 DSA 机房及核素病房周围 50m 范围内 32#~40#	
监测方法：《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）		

8.2.2. 监测点位

环境γ辐射剂量率监测点位布设情况详见图 8-1 至图 8-3。

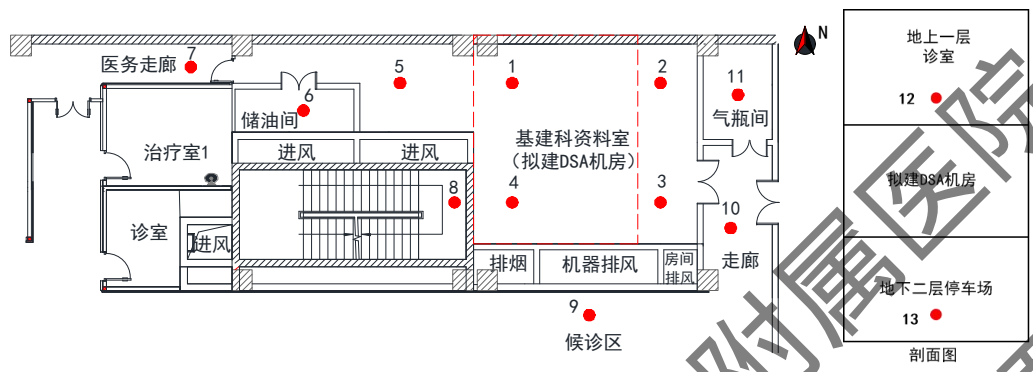


图 8-1 拟建 DSA 手术室及周围区域检测点位图

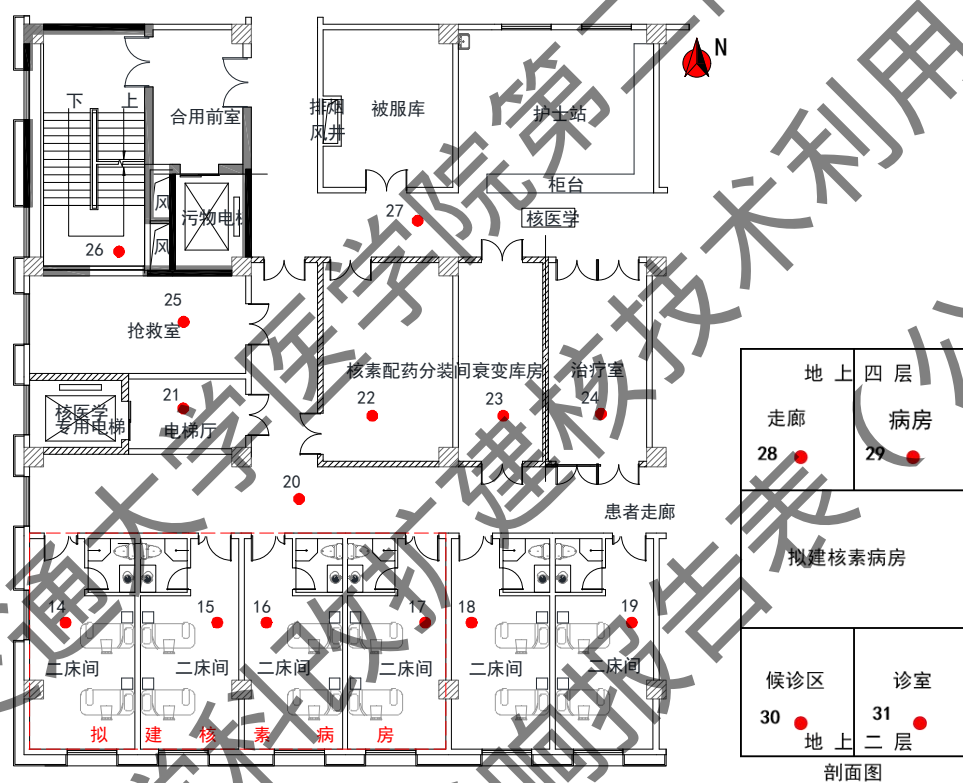


图 8-2 拟建核素病房及周围区域检测点位图



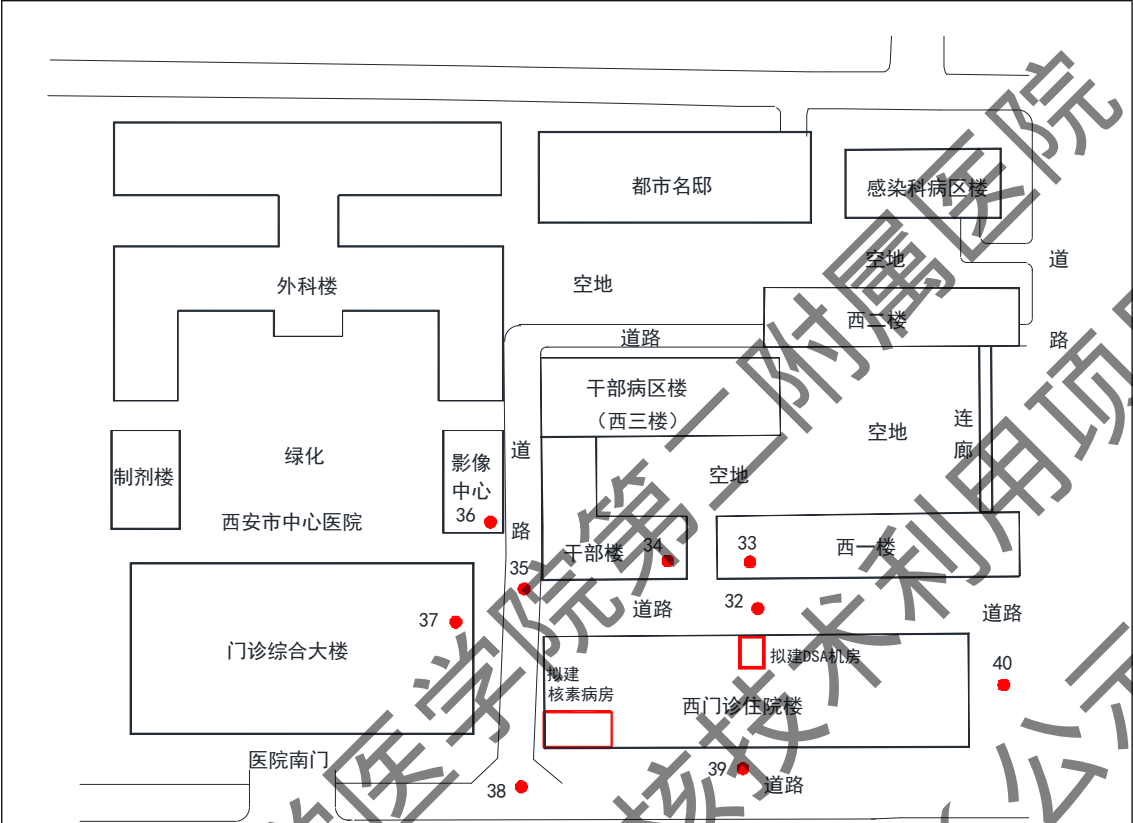


图 8-3 西门诊住院楼周围区域检测点位图

8.2.3. 监测使用仪器

监测仪器相关情况见表 8-2。

表 8-2 监测仪器相关参数一览表

检测仪器 名称、型号、编号	测量范围	检定单位	证书编号	证书有效期
环境监测用 X、γ 辐射 空气比释动能率仪 FD-3013H-6882	0.01~200 μGy/h	中国辐射防护研究 院放射性计量站	检字第 [2024]-L0593	2024.8.9~ 2025.8.8

8.2.4. 质量保证措施

①结合现场实际情况及检测点位的可达性，在项目拟建场地周边环境布设检测点位，充分考虑检测点位的代表性和可重复性，以保证检测结果的客观性和公正性；

②严格按照《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）进行检测；

③检测仪器每年定期经有资质的计量部门检定、校准，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检测人员持证上岗；

⑥检测结果经三级审核，保证检测数据的准确。

8.2.5. 监测结果及评价

项目拟建机房及周边环境 γ 辐射剂量率监测结果见表 8-3。

表 8-3 环境 γ 辐射剂量率监测结果

点位编号	点位描述	检测结果 ($\mu\text{Gy/h}$)	
		平均值	标准差
1	西门诊住院楼 地下一层	0.09	0.005
2		0.10	0.007
3		0.10	0.004
4		0.10	0.005
5		0.10	0.005
6		0.11	0.006
7		0.11	0.006
8		0.10	0.007
9		0.10	0.005
10		0.10	0.006
11		0.10	0.005
12	西门诊住院楼 一层	0.09	0.005
13	西门诊住院楼 地下二层	0.11	0.004
14	西门诊住院楼 三层	0.11	0.005
15		0.11	0.004
16		0.11	0.008
17		0.11	0.005
18		0.11	0.007
19		0.11	0.007
20		0.11	0.005
21		0.12	0.004
22		0.12	0.004
23		0.12	0.007
24		0.11	0.007
25		0.10	0.007
26		0.11	0.005
27		0.12	0.006

点位编号	点位描述		检测结果（μGy/h）	
			平均值	标准差
28	西门诊住院楼 四层	走廊（拟建核素病房楼上）	0.11	0.005
29		病房（拟建核素病房楼上）	0.11	0.005
30	西门诊住院楼 二层	候诊室（拟建核素病房楼下）	0.11	0.007
31		诊室（拟建核素病房楼下）	0.10	0.005
32	西门诊住院楼北侧道路		0.09	0.005
33	西一楼		0.10	0.008
34	干部楼		0.10	0.004
35	院外西侧道路		0.09	0.004
36	西安市中心医院影像中心		0.10	0.007
37	西安市中心医院门诊综合楼		0.11	0.005
38	院外道路西南角		0.10	0.005
39	西门诊住院楼南侧道路		0.11	0.007
40	西门诊住院楼东侧道路		0.11	0.007

注：表中数据已扣除宇宙射线响应值，此处宇宙射线响应值为 0.012μGy/h，建筑物对宇宙射线的屏蔽因子：点位 32、点位 35、点位 38、点位 39、点位 40 按原野、道路取 1，其余点位按楼房取 0.8。

由表 8-3 可知，项目拟建辐射工作场所及周围 50m 范围内的环境γ辐射剂量率为 90~120nGy/h（已扣除宇宙射线响应值），与《中国环境天然放射性水平》（中国原子能出版社，2015 年）中“西安市γ辐射剂量率调查结果（室内：79~130nGy/h，室外：50~124nGy/h）”相当，属天然辐射本底水平，辐射环境质量现状无异常。

表 9. 项目工程分析与源项

9.1. 工程设备和工艺分析

9.1.1. ^{131}I 甲癌治疗

9.1.1.1. 工作原理

非密封放射性物质 ^{131}I 可以高度选择性聚集在分化型甲状腺癌及转移灶，利用 ^{131}I 衰变时放射出 β 射线射线的电离辐射生物效应，抑制或破坏病变组织，杀死甲癌细胞，而邻近的正常组织的吸收剂量很低，从而达到治疗目的。

9.1.1.2. ^{131}I 用药量情况

根据医院计划，甲癌患者需提前预约治疗。医院每年工作50周，每周工作5天，每天最多收治3名甲癌患者，单人最大给药量为200mCi。

本项目使用的 ^{131}I 送至西门诊住院楼三层源库后，需要时转运至服药室内自动分药装置中。分装仪根据患者治疗计划为患者分装药物，患者根据语音提示，在服药室等候，医护人员通过视频对讲系统引导患者正确服药。患者服药后根据治疗流程进行下一步治疗。

项目甲癌治疗拟使用非密封放射性物质相关情况见表9-1。

表 9-1 甲癌治疗拟使用非密封放射性物质情况

核素	形态	半衰期	主要射线和能量 (MeV)	单人核素最大用量 (Bq)	日诊疗人数	日最大操作量 (Bq/d)	年最大操作量(Bq)	用途
^{131}I	液体	8.02d	β 射线 (0.608MeV) γ 射线 (0.364MeV)	7.40×10^9 (200mCi)	3 人	2.22×10^{10}	8.10×10^{12}	甲癌治疗

9.1.1.3. 工作流程及产污环节

①接收患者

门诊接诊患者，询问患者病史和临床表现，对患者进行相关辅助检查（一般为甲功五项、甲状腺超声、肝肾功能、甲状腺吸碘率等），医生根据检查结果做出判断并制定相应的治疗方案，告知患者治疗前注意事项。

②医生根据患者病情确定非密封放射性物质用量

根据临床诊断需药量，提前一天向供药单位订购所需放射性药物。供药单位按照订购要求在使用当天用专车运送至医院核医学科，核医学科安排专人接收，经确认无误完成相关交接手续，并将放射性药物暂存在三层源库内。

③患者经预约问诊后，前往 ^{131}I 自动分药装置处口服药物，服药后根据语音提示进入甲癌治疗病房住院观察。

甲癌治疗的工作流程及产污环节见图9-1。

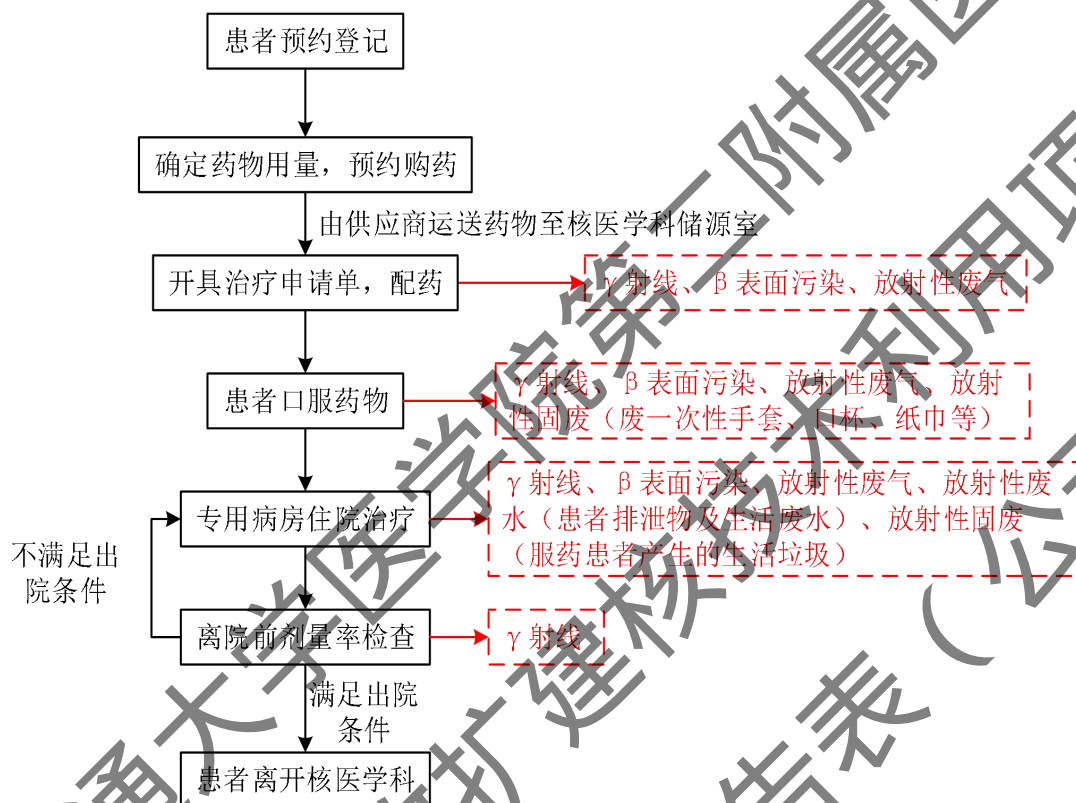


图 9-1 甲癌治疗工作流程及产污环节示意图

9.1.2. ^{177}Lu 实体性肿瘤治疗

9.1.2.1. 工作原理

^{177}Lu 是一种优良的治疗性非密封放射性物质，半衰期为 161h，可以标记较小的肽类，靶向性较好。 ^{177}Lu 衰变时发射 β 射线和 γ 射线， β 射线能量为 0.497MeV，在组织中的平均射程为 2mm，治疗过程较为安全。用于实体性肿瘤治疗。

9.1.2.2. ^{177}Lu 用药量情况

本项目使用的非密封放射性物质 ^{177}Lu 送到医院西门诊住院楼三层源库后，需要时转运至质控室的手套箱中。医护人员通过注射窗完成注射。

本项目非密封放射性物质 ^{177}Lu 依照预约治疗计划购药，放射性药品为整支外购成品药物，无需分装。

^{177}Lu 的使用情况见表9-2。

表 9-2 非密封放射性物质 ^{177}Lu 使用情况一览表

核素	毒性	半衰期	单人核素最大用量 (Bq)	诊疗人数	日最大操作量 (Bq/d)	年最大操作量 (Bq)	用途
^{177}Lu	中毒	6.65d	3.70×10^9 (100mCi)	1 人/天	3.70×10^9	1.35×10^{12}	实体性肿瘤治疗

9.1.2.3. 工作流程及产污环节

非密封放射性物质治疗流程主要为患者预约就诊、确定治疗方案并告知患者可能受到的辐射影响、剂量确定、病人注射药物等。

工作人员按照工作计划叫号，被叫到的患者验证身份后进入核医学科，在注射窗口处接受放射性药物注射。

注射 ^{177}Lu 的患者需要住院观察，体外 1m 处剂量率降至 $25\mu\text{Sv/h}$ 后方可出院，非密封放射性物质治疗流程及产物环节见图 9-2。

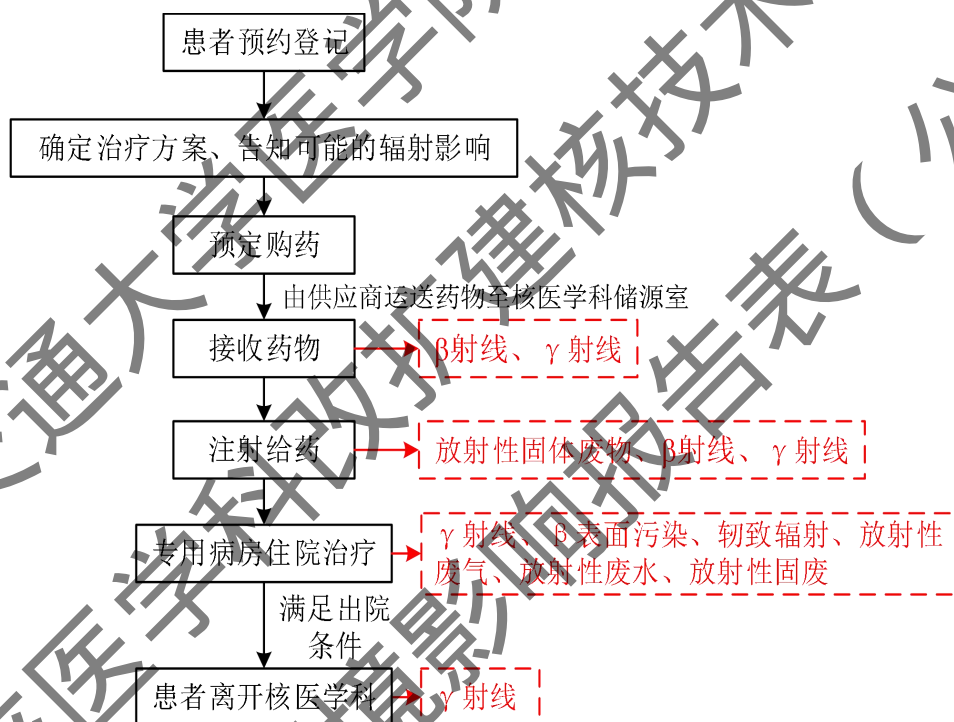


图 9-2 ^{177}Lu 非密封放射性物质治疗流程及产污环节示意图

本项目非密封放射性物质 ^{177}Lu 为β核素，治疗过程会产生β射线、γ射线、放射性固体废物和表面污染。在衰变过程中发射的β射线穿透距离小，辐射范围不超过 100μm，皮肤表层即可将其完全屏蔽。

放射性固体废物主要为注射过程中使用的注射器、消毒用棉签和工作人员进行操作过程中使用的一次性手套等沾染非密封放射性物质的医疗废物。

9.1.3. 医用血管造影 X 射线系统（DSA）

9.1.3.1. 设备组成及工作原理

DSA（Digital Subtraction Angiography，数字减影血管造影设备）因其整体结构像大写的“C”，因此也称作 C 型臂 X 光机。DSA 主要由 X 射线发生系统、影像接收器和显示系统、影像处理和系统控制部分、机架系统和导管床、影像存储和传输系统、防护屏及防护铅帘等构成。

常见数字减影血管造影机外观见图 9-3。

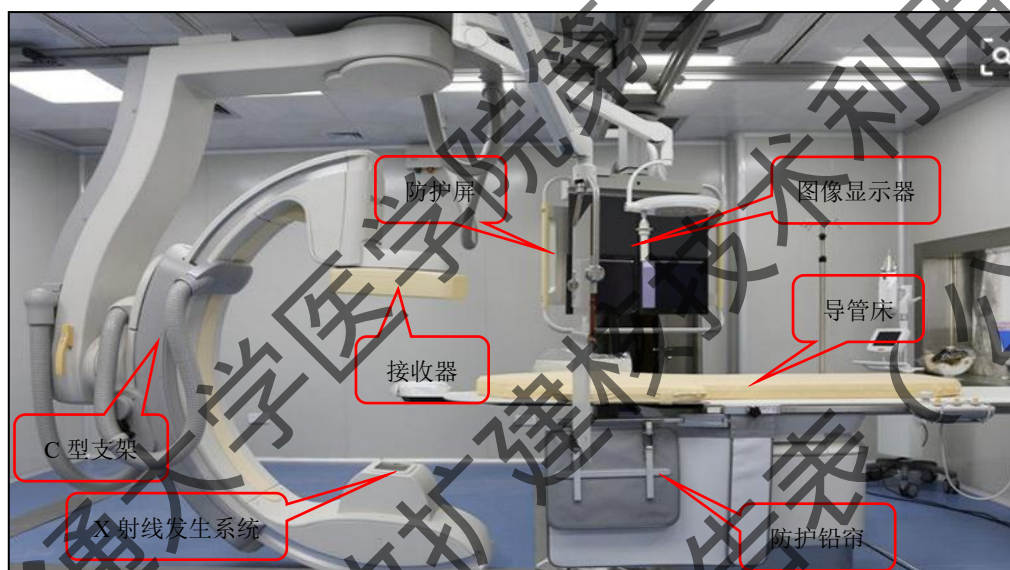


图 9-3 常见数字减影血管造影机外观图（单球管）

DSA 是通过电子计算机进行辅助成像的血管造影方法，它是应用计算机程序进行两次成像完成的。在注入造影剂之前，首先进行第一次成像，并用计算机将图像转换成数字信号储存起来。注入造影剂后，再次成像并转换成数字信号。两次数字相减，消除相同的信号，得到一个只有造影剂的血管图像。这种图像较以往所用的常规脑血管造影所显示的图像更清晰和直观，一些精细的血管结构亦能显示出来，对比度分辨率高，减去了血管以外的背景，尤其使与骨骼重叠的血管能清楚显示。由于造影剂用量少，浓度低，损伤小，较安全。通过 DSA 处理的图像，使血管的影像更为清晰，在进行介入手术时更为安全。在进行 DSA 手术时，医务人员将介入导管经皮下血管注入，通过 DSA 自带的 X 射线成像系统，将导管在血管内的影像显现出来。通过 DSA 处理的图像，使血管的影像更为清晰，在进行介入手术时更为安全。

数字减影血管造影设备（DSA）工作示意图见图 9-4。

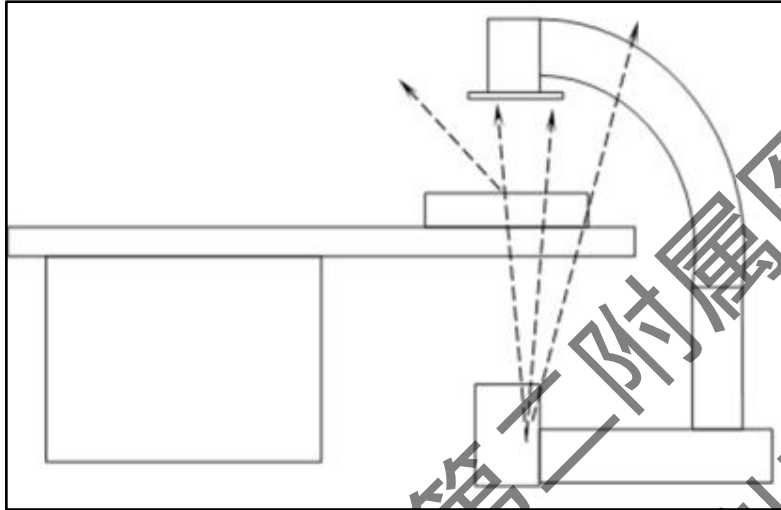


图 9-4 DSA 机工作示意图

9.1.3.2. 工作流程及产污环节

数字减影血管造影设备(DSA)在进行曝光时分为诊断和介入治疗两种情况。

诊断采用隔室操作方式，通过控制 X 线系统曝光，采集造影部位图像。具体方式是受检者位于检查床上，医护人员调整 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。医师、操作人员通过控制室的电子计算机系统控制的 X 系统曝光，采集造影部位图像。医师根据该图像确诊患者病变的范围、程度，选择治疗方案。

介入治疗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隙式透视。具体方法是受检者位于手术床上，介入手术医师位于手术床旁，距设备的 X 线管 0.5m 处，位于非主射束方向，配备个人防护用品（如铅衣、铅围脖、铅眼镜、介入防护手套等），DSA 机的手术床旁设有悬挂铅屏风和床侧防护帘。介入治疗中，医师、护士佩戴防护用品，医师根据操作需求，踩动手术床下的脚踏开关启动 X 线系统进行透视（X 线系统连续发射 X 射线），通过悬挂显示屏上显示的连续画面，完成介入操作。每台手术 X 线系统进行透视的次数及每次透视时间因患者的部位、手术的复杂程度而不同。介入手术结束后关机，病人离开介入室。

DSA 在正常曝光期间主要的污染因子为 X 射线、臭氧、氮氧化物等。由于项目注入的造影剂不含放射性，不会产生放射性废物。射线装置采用数字显影技术，不会产生废显影液、废定影液和废胶片。

介入手术操作流程及产污环节见图 9-5。

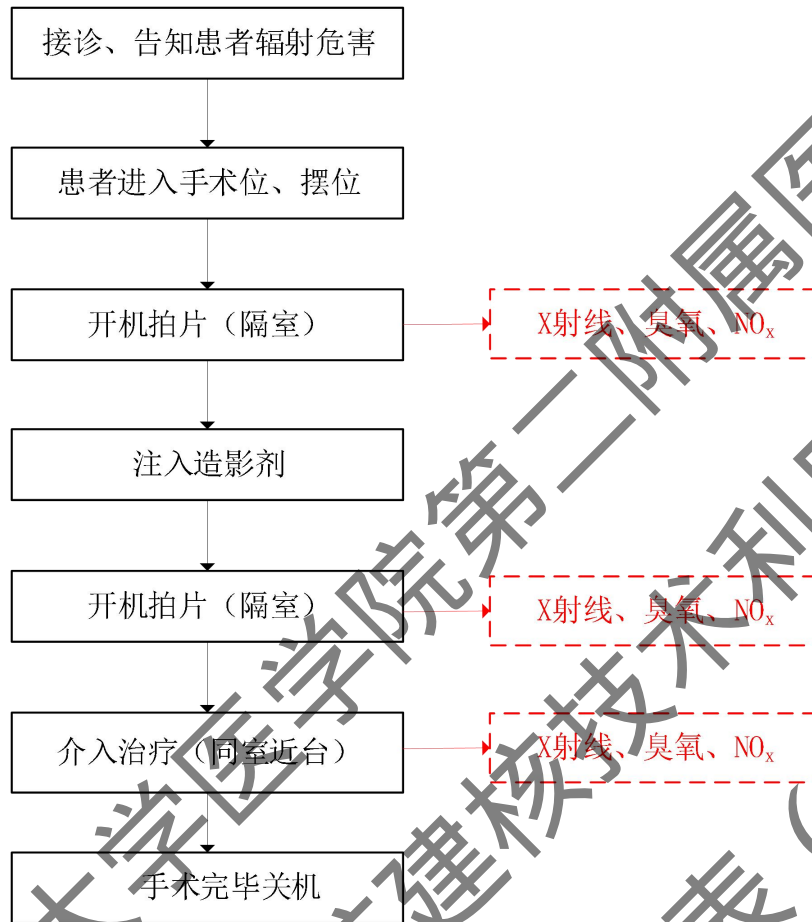


图 9-5 DSA 介入治疗流程及产污环节示意图

9.1.4. ^{90}Y 肿瘤治疗

^{90}Y 微球以 DSA 介入的形式开展治疗，微球通过导管经由肝总动脉、右肝动脉或左肝动脉注射引导到肝脏肿瘤中，在输送到肝动脉后，微球被选择性输送并停留在肿瘤的微血管中，发挥局部放射治疗。 ^{90}Y 手术在本项目评价的 DSA 手术室中进行。

9.1.4.1. 工作原理

^{90}Y 半衰期为 64.2h，是通过化学方法从 ^{90}Sr 中提取，将其离子键结合在树脂微球上制成微小颗粒，药物为悬浮液形式，通过选择性动脉插管的方法将载有非密封放射性物质 ^{90}Y 的颗粒注入肿瘤血管，使 ^{90}Y 滞留于肿瘤组织内达到足够剂量杀死肿瘤细胞，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、非密封放射性物质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。 ^{90}Y 发出的 β 射线能量为 2.284MeV，在人体组织中的最大射程为 11mm，平均射程 2.5mm。

^{90}Y 树脂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 20-60 μm 。该产品被广泛应用于肿瘤的选择性体内放射治疗（SIRT）中，即在肝脏病灶处，通过局部的大剂量高能量 β 辐射起到杀死癌细胞的目的，同时不伤害肝脏组织。被广泛用于手术治疗不可切除的肿瘤。

9.1.4.2.操作流程

①第一阶段

在治疗前 7-14 天需使用锝标记聚合白蛋白（ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ）注入肝动脉，以评估患者是否适合此项治疗。该阶段 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射过程在本项目评价的 DSA 机房完成。其原理为： $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 是一种对人体无害的诊断用蛋白，分子大小近似 ^{90}Y 微球体，可模拟 ^{90}Y 微球在体内的分布状态，确保 ^{90}Y 微球会停驻在肝脏，而非其他器官，不会造成其他器官的放射性伤害。仅重点描述使用的具体步骤（见图 9-6），描述如下：

- 1) 前一天住院并填写血管摄影同意书，通知禁食 6-8h，排空尿液；
- 2) 送 DSA 机房做血管造影，放置导管并栓塞胃肠侧枝血管，用导管注入 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 进入肝脏；
- 3) 然后病人进入核医学科 SPECT-CT 机房进行显像扫描，了解 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 在人体分布情况；
- 4) 在 SPECT-CT 机房显像扫描完成后，患者可通过患者通道离开。

②第二阶段

在第一阶段确定病人适合 ^{90}Y 微球治疗后，7-10d 进行 ^{90}Y 微球输注，具体步骤见图 9-7，描述如下：

- 1) 前一天填写血管摄影同意书，通知禁食 6-8h，排空尿液；
- 2) 送 DSA 机房做血管造影，放置导管并栓塞胃肠侧枝血管，医生用导管注入 ^{90}Y 树脂微球；
- 3) 接受手术后的病人进入 SPECT-CT 机房进行显像扫描 ^{90}Y 与机体组织相互作用产生的韧致辐射信号，再次确定肝脏中微球的留置区域；
- 4) 治疗结束后将病人送至核医学科专用病房进行医学留观。

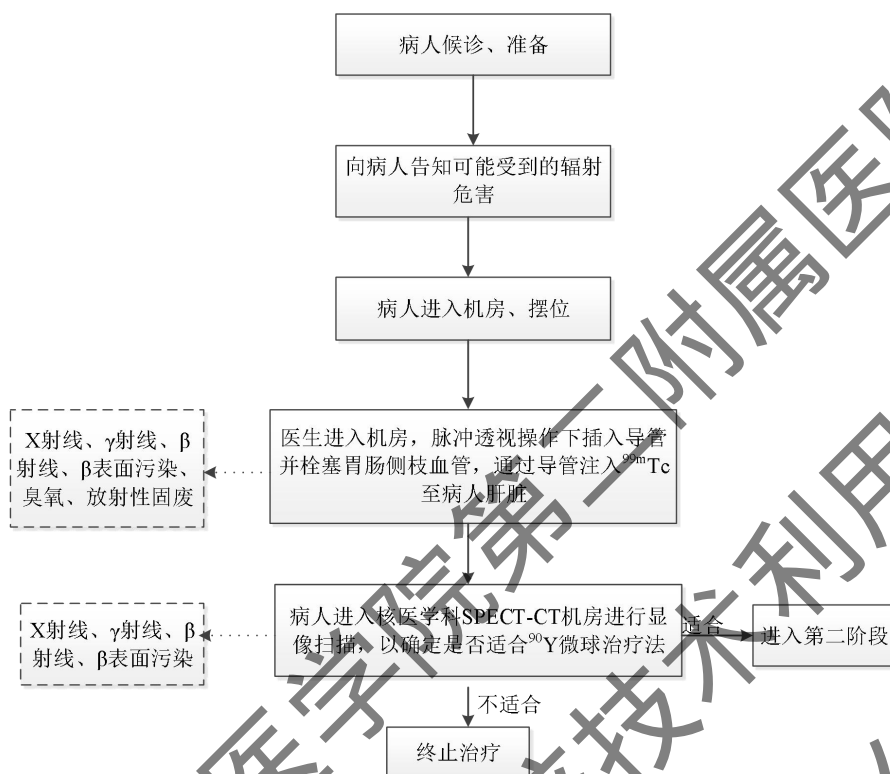


图 9-6 ^{90}Y 微球治疗第一阶段操作流程及产污环节图



图 9-7 ^{90}Y 微球治疗第二阶段操作流程及产污环节图

9.1.4.3.⁹⁰Y 树脂微球总活度测量和抽取

①在分装室先将无菌 V 瓶置于 15mm 有机玻璃 V 架上。工作人员手持内置⁹⁰Y 树脂微球西林瓶的防护罐（未打开）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⁹⁰Y 树脂微球西林瓶放置在活度计测井内，测量⁹⁰Y 树脂微球总活度并进行记录；

②将使用注射器（配有 15mm 有机玻璃注射器防护套）扎入西林瓶底部，快速抽压数次，使西林瓶中的⁹⁰Y 树脂微球混合均匀，抽取一定量⁹⁰Y 树脂微球注入 V 瓶，将剩余放射性药物放置在活度计测井中进行测量，直至抽取完成患者所需的剂量为止；

③注入结束后，拔出注射器并装好针管，将 V 瓶顶部塞盖好。

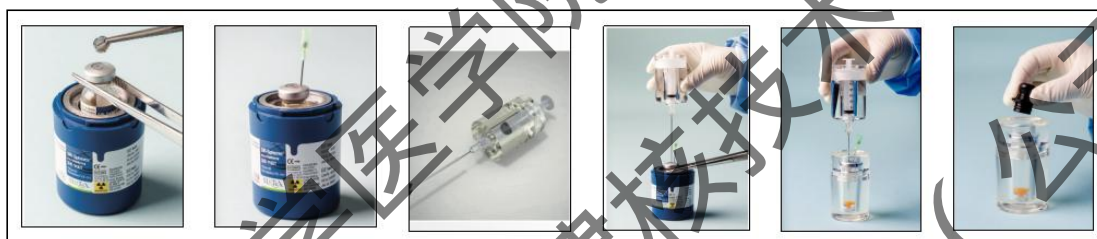


图 9-8 ⁹⁰Y 树脂微球总活度测量和抽取示意图

9.1.4.4.⁹⁰Y 介入注射

⁹⁰Y 树脂微球介入注射具体步骤描述如下：

①将测量完活度的含⁹⁰Y 树脂微球的 V 瓶放置于注射防护盒内，连接将输液管、三通旋阀、无菌水或者 5%右旋糖苷和造影剂等辅助材料；

②装配完毕后，先手动压注射防护盒外 B 口注射器注入造影剂，复查导管位置；其次使用 B 口另一个注射器注入无菌水或者 5%右旋糖苷冲洗导管，避免导管内与⁹⁰Y 树脂微球混合。通过 D 口脉冲注入无菌水使 V 瓶的微球回旋形成悬浮物，通过 V 瓶 C 口将⁹⁰Y 树脂微球经连接病人体内的导管 A 口压入患者体内，直达病灶；

③将微球分小剂量多次注入，过程大概持续 20min；

④通过 B 口无菌水或者 5%右旋糖苷注入导管，完成后将导管从病人体内取出，将注射器导管等放置于放射性废物桶内。

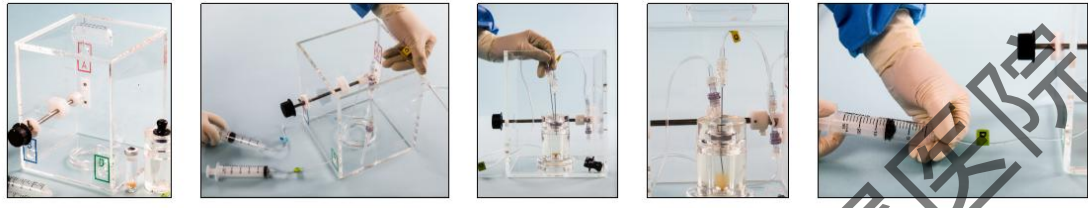


图 9-9 ^{90}Y 树脂微球介入注射示意图

9.1.4.5. $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的分装、介入注射

①医院根据 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的用量向供药单位订购，一般不在医院分装，特殊情况下，需要临时调整药物使用量时才会手套箱内进行简单分装。

② $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 介入注射：对患者的皮肤施行局部麻醉，使用经皮穿刺技术执行 HAG；将一条细小的导管插入腹股沟内的动脉中，并逆行进入肝动脉；在选择性地将血管造影导管置入肝动脉后，将 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 通过导管注入肝脏。然后取出导管。

9.2. 污染源项描述

9.2.1. 正常工况下污染物分析

1、电离辐射

本项目使用 SPECT-CT 进行扫描、DSA 进行介入手术时，会产生 X 射线。DSA 和 SPECT-CT 产生的 X 射线是随机器的开、关而产生和消失。因此，在 DSA 和 SPECT-CT 开机出束期间，会产生 X 射线。

本项目使用 ^{177}Lu 治疗过程中会产生 β 射线和 γ 射线， β 射线能量为 0.497MeV， β 射线被屏蔽体阻挡时会产生轫致辐射； γ 射线能量较低，约为 208.4keV。

使用 ^{131}I 治疗过程中会产生 γ 射线， γ 射线能量约为 0.364MeV。 β 核素放出的 β 射线被屏蔽体阻挡时产生轫致辐射也属于 γ 射线。由于 γ 射线具有较强的穿透性，放射性药物在源库暂存、质控室注射过程中，对其周围环境和工作人员会产生一定辐射影响；经注射或口服进入患者体内后，患者本身短时间内成为“辐射体”，在衰变过程产生的 γ 射线造成患者周围辐射水平升高；患者在住院过程中，短期内对近距离接触的人员造成影响，部分 γ 射线穿透病房的实体屏蔽对屏蔽体外活动人员产生一定辐射影响，污染途径为 γ 射线外照射。

患者在进行锝聚合白蛋白 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 扫描时，会产生 X 射线、 γ 射线以及表面沾污。

非密封放射性物质 ^{90}Y 经静脉注射进入患者体内，分布到特定器官并主要产

生 β 射线。 β 粒子能被有机注射器套、V型架等完全阻挡。本项目辐射工作人员不会直接接触非密封放射性物质，在操作时会佩戴医用手套，因此 β 射线、 γ 射线对本项目辐射工作人员的影响较小。但 β 射线被其他物质阻止时产生轫致辐射，轫致辐射会对周围环境产生辐射污染，本项目考虑轫致辐射影响。

因此，本项目涉及的污染因子有X射线、 γ 射线、 β 表面污染、轫致辐射。

2、废气

核医学科使用的非密封放射性物质在分装、质控、使用、放射性废物暂存等过程中由于放射性药品的挥发，会产生微量的含 ^{99m}Tc 、 ^{131}I 、 ^{177}Lu 的放射性废气。

本项目使用的非密封放射性物质中 ^{131}I 为挥发性核素，部分 ^{131}I 可能会随患者代谢挥发进入空气。

^{90}Y 树脂微球为悬浮液，悬浮溶液为无菌水，无挥发性，且在治疗全过程中， ^{90}Y 微球不暴露在空气，且游离的非密封放射性物质 ^{90}Y 以氯化钇形式存在，氯化钇不具备挥发性，故不产生放射性气体或气溶胶的辐射影响。

DSA在开机并处于出束状态时，X射线与空气作用会产生极少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，由于项目射线装置的管电压、管电流较小，产生的有害气体相对较少。

3、废水

由于介入手术前，病人需排空尿液，DSA手术室不产生放射性废水。患者做完手术后直接去SPECT-CT机房进行显像检查，手术和检查时间较短，所以在SPECT-CT机房不产生废水。

本项目主要考虑患者注射 ^{90}Y 树脂微球、 ^{177}Lu ，口服 ^{131}I 药物后需住院留观，住院期间会产生废水，操作非密封放射性物质的医护人员清洗污染部位会产生废水。

因此，本项目在西门诊住院楼三层产生的放射性废水含 ^{90}Y 、 ^{131}I 、 ^{177}Lu 三种非密封放射性物质。

4、固体废物

本项目核医学科 ^{177}Lu 采用注射的方式进行给药， ^{131}I 采用口服方式给药，治疗过程中产生的放射性固体废物包括：一次性注射器、消毒棉签、手套、药瓶、空一次性药杯、擦拭纸巾和病人在病房留观时产生的固体废物等。

本项目使用 ^{90}Y 树脂微球治疗过程中产生的放射性固体废物包括：注射 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物产生的一次性手套、输液管、患者体内导管等； $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{90}Y 树脂微球分装过程中产生的转移用的一次性手套、注射器、含剩余药物的西林瓶等；注射 ^{90}Y 药物产生的一次性手套、输液管、患者体内导管、V 瓶及有机玻璃防护罐等；病人在病房留观时产生的固体废物，患者在 SPECT-CT 机房进行显像扫描时不产生放射性固体废物。

9.2.2. 事故工况下污染物分析

- ①在使用 DSA 发射 X 射线进行介入治疗时，人员误入机房引起误照射；
- ②工作人员未按要求穿戴个人防护用品时，造成额外附加照射剂量；
- ③使用 DSA 的医生或者护士在手术室内曝光时未穿戴铅围裙、防护手套、防护帽和防护眼镜等防护用具，而受到超剂量外照射；
- ④DSA 和 SPECT-CT 控制系统出现故障，照射不能停止，患者受到计划外照射；
- ⑤给药时操作不当，将药物滴洒、撒漏在台面、地面或其他表面，将造成放射性表面污染；
- ⑥对放射性废物管理不善，解控时未满足解控要求，对社会和环境会造成一定影响
- ⑦由于管理不善，放射性药物失窃，导致公众受照、环境受到辐射污染；
- ⑧给药后患者擅自离开病房，对医务人员、公众造成意外照射。

表 10. 辐射安全与防护

10.1. 辐射安全防护措施和设施

10.1.1 核医学科工作场所布局及合理性分析

10.1.1.1 工作场所布局

本项目核医学科辐射工作场所位于西门诊住院楼负一层和三层，DSA 手术室位于负一层核医学科东北角，三层西南角自西向东依次为 3 间 ^{131}I 病房，1 间 ^{177}Lu 病房和 1 间 ^{90}Y 病房，并在三层设置配套质控室等辅助用房。根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中相关选址要求，本项目核医学科布局合理性分析见表 10-1。

表 10-1 核医学科布局合理性分析

法规标准	标准要求	设计情况	评价
《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）	5.2.1 核医学工作场所应合理布局，住院治疗场所和门诊诊断场所应相对分开布置；同一工作场所内应根据诊疗流程合理设计各功能区域的布局，控制区应相对集中，高活室集中在一端，防止交叉污染。尽量减小放射性药物、放射性废物的存放范围，限制给药后患者的活动空间。	本项目 DSA 手术室设置于负一层现有核医学科门诊诊断区域东北角，住院治疗场所位于三层西南角，相对分开布置。 ^{90}Y 患者在做完显像检查后通过核医学专用电梯直达三层病房区，该过程可通过时间管控和技术手段使 ^{90}Y 患者不接触其他人员，避免交叉影响。本项目控制区相对集中设置，质控室和病房距离较近，因物理隔离，患者活动空间受到限制。	符合要求
	5.2.2 核医学工作场所应设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和患者通道分开，减少给药后患者对其他人员的照射。注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道应尽可能短捷。	通过采取时间管控，放射性药物、工作人员、患者、放射性废物路线相对独立，减少了患者、医生、放射性药物、放射性废物的交叉影响。本项目设定一天只做一台 ^{90}Y 介入手术，患者人数较少，便于管理。本项目患者通道与工作人员通道已分开，注射后患者与注射前患者通道不交叉，人员与放射性药物通道不交叉。	符合要求
	5.2.3 核医学工作场所宜采取合适的措施，控制无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动，避免工作人员和公众受到	本项目按要求对 DSA 手术室、核素治疗病房进行控制区、监督区分区管理，其中控制区内禁止外来人员进入；患者留观设置有	符合要求

法规标准	标准要求	设计情况	评价
	不必要的照射。控制区的出入口应设立卫生缓冲区,为工作人员和患者提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备。控制区内应设有给药后患者的专用卫生间。	专门病房,病房内有卫生间,要求患者不得随意走动。负一层DSA和三层核素治疗区均在控制区出入口为辐射工作人员设置有缓冲区,需经过表面沾污监测→合格→更衣流程后离开。	
《核医学放射防护要求》 (GBZ120-2020)	5.1.2c)在核医学诊疗工作区域,控制区的入口和出口应设置门锁权限控制和单向门等安全措施,限制患者或受检者的随意流动。	本项目核医学科控制区的入口和出口设计有门锁权限控制和单向门禁系统等安全措施,核医学专用电梯也设置门锁权限控制。	符合要求
	5.1.2d)在分装和给药室的出口处应设计卫生通过间,进行污染检测。	本项目在质控室出口设置卫生通过间,可进行表面污染检测。	符合要求
	5.1.3a)对于单一的诊断工作场所应设置给药前患者或受检者候诊区、放射性药物贮存室、分装给药室(可含质控室)、给药后患者或受检者候诊室(根据放射性核素防护特性分别设置)、质控(样品测量)室、控制室、机房、给药后患者或受检者卫生间和放射性废物储藏室等功能用房。	医院核医学科诊断工作场所设置在西门住院楼负一层,已取得环评批复(陕环批复(2019)190号)并于2022年7月22日竣工环境保护验收合格后投入使用。	符合要求
	5.1.3b)对于单一的治疗工作场所应设置放射性药物贮存室、分装及药物准备室、给药室、病房(使用非密封源治疗患者)或给药后留观区、给药后患者专用卫生间、值班室和放置急救设施的区域等功能用房。	本项目在西门住院楼三层设置源库、质控室、服药室、值班室、抢救室、洁具间等房间,核素病房内设有患者专用卫生间。	符合要求
	5.1.3c)诊断工作场所和治疗工作场所都需要设置清洁用品储存场所、员工休息室、护士站、更衣室、卫生间、去污淋浴间、抢救室或抢救功能区等辅助用房。	本项目核医学科设计有洁具间、值班室、护士站、卫生通过间、更衣室、卫生间、抢救室等辅助用房。	符合要求
	5.1.5核医学工作场所的布局应有助于开展工作,避免无关人员通过。治疗区域和诊断区域应相对分开布置。根据使用放射性药物的种类、形态、特性和活度,	核医学工作场所的设计布局有助于开展工作,避免无关人员通过。质控室、服药间位置靠近核素病房,放射性药物和给药后患者不通过非放射性区域。	符合要求

法规标准	标准要求	设计情况	评价
	确定核医学治疗区（病房）的位置及其放射防护要求，给药室应靠近病房，尽量减少放射性药物和给药后患者或受检者通过非放射性区域。		

因此，本项目核医学科工作场所布局满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中工作场所布局相关要求。

10.1.1.2 工作场所分区

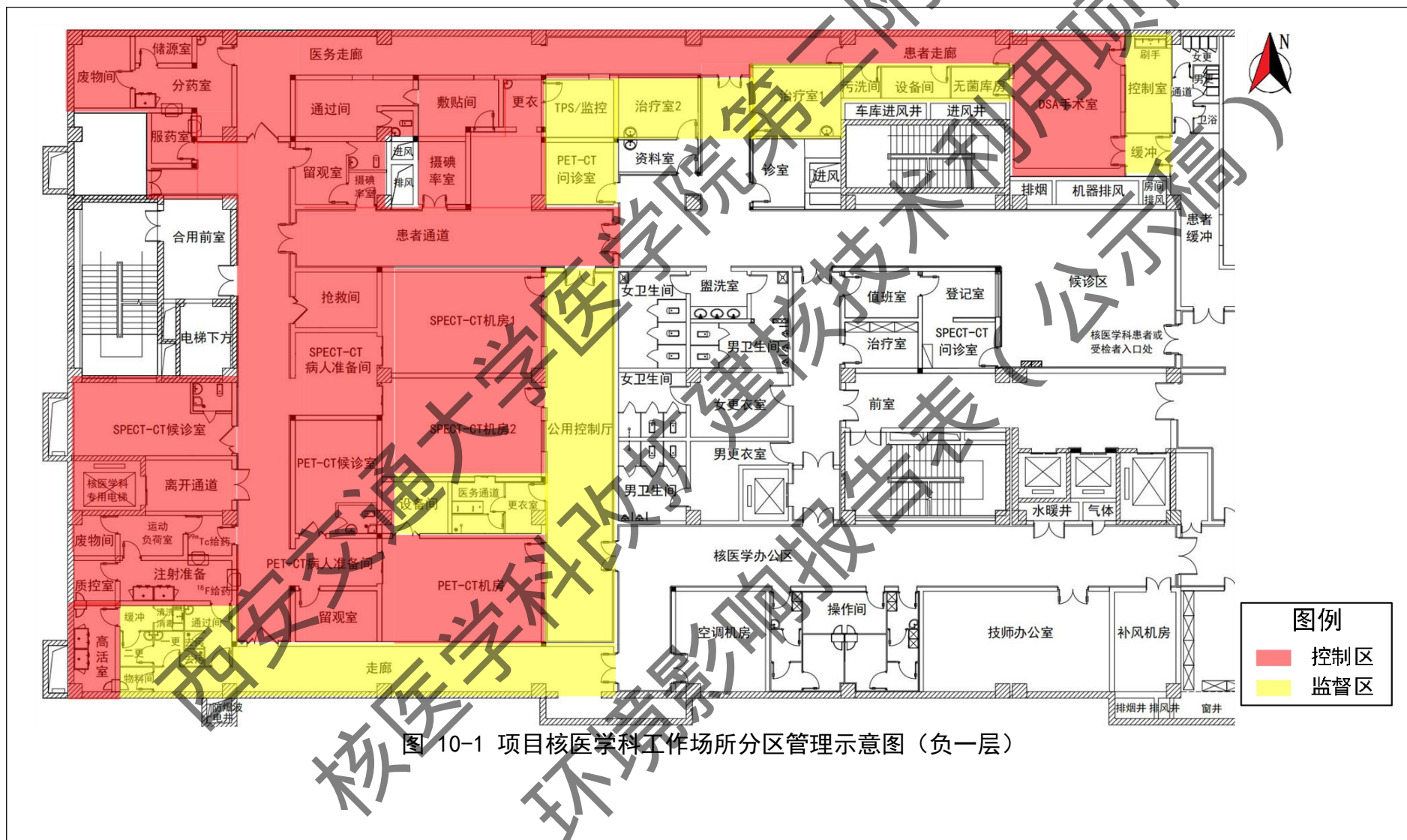
根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），辐射工作场所应分为控制区及监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中4.3.2的要求：“核医学工作场所的控制区主要包括……、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的要求“核医学工作场所的监督区主要包括……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”。

控制区的出入口应设置电离辐射警告标志，并采取管理措施和实体屏蔽结合的措施限制控制区人员流动。

监督区应划定边界，并设置监督区标识，定期监测并评价是否需要采取措施或更改监督区边界。

项目核医学科工作场所分区管理示意图详见图 10-1、图 10-2，衰变池分区管理示意图详见图 10-3。



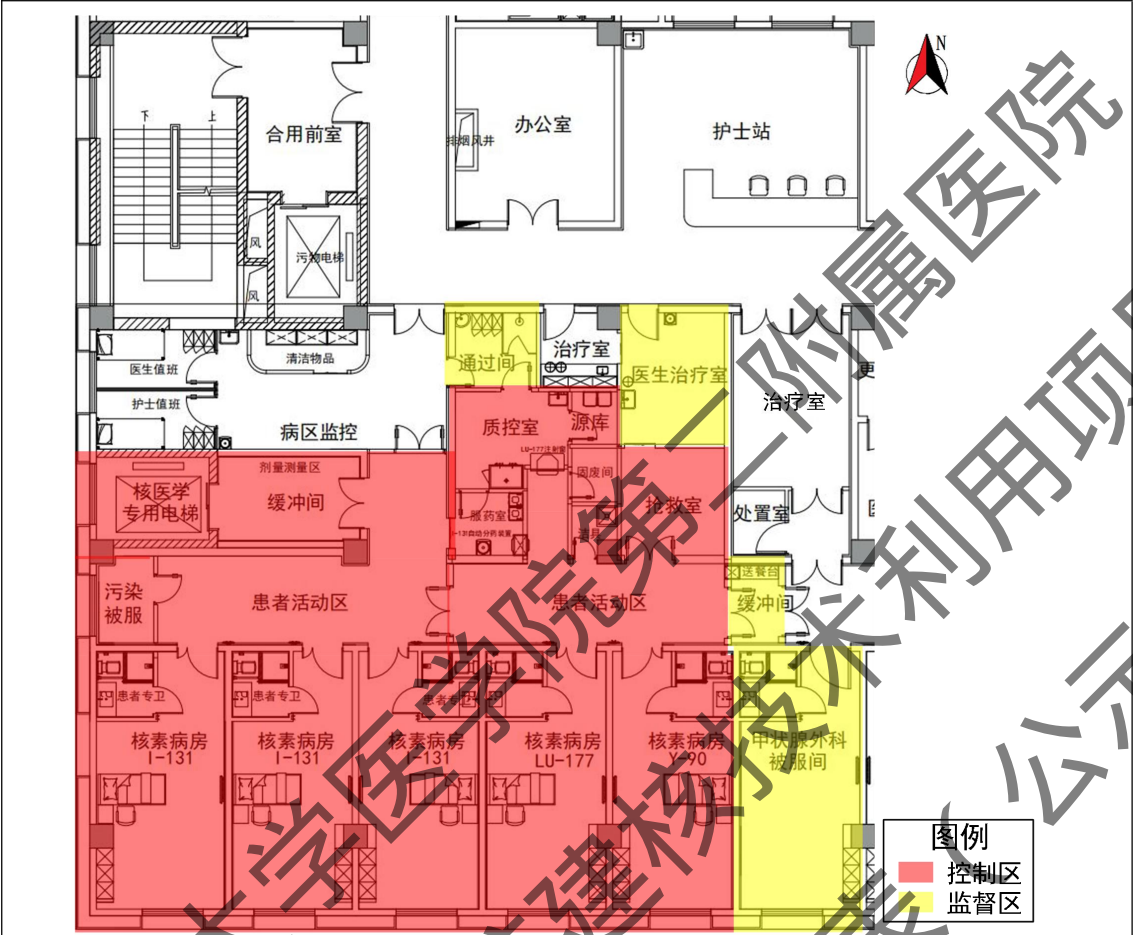


图 10-2 项目核素病房区域分区管理示意图（三层）

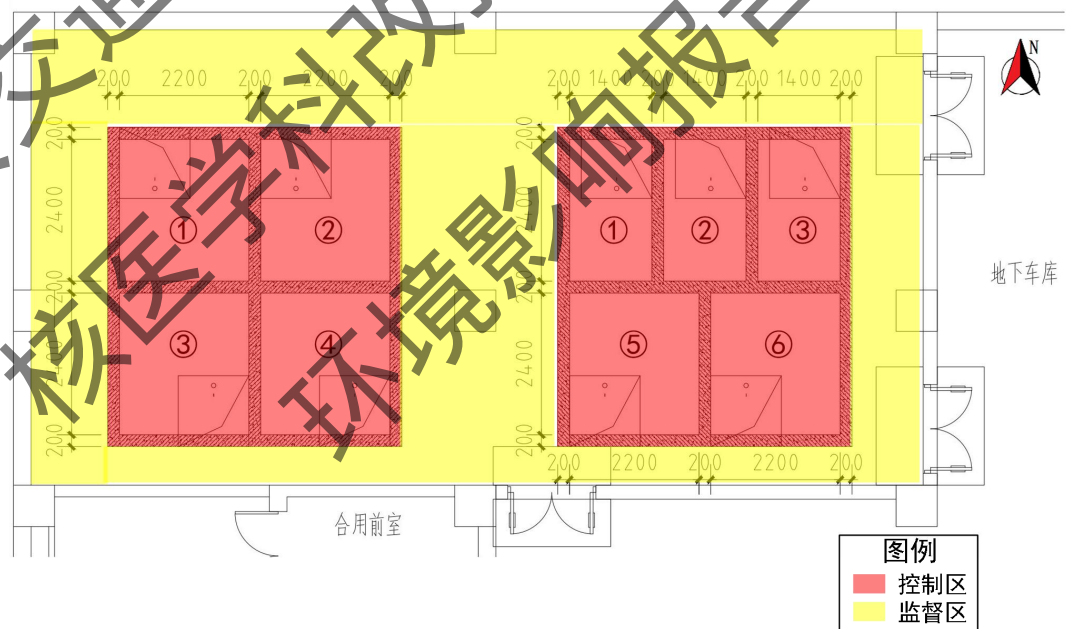


图 10-3 项目衰变池分区管理示意图（负二层）

10.1.1.3 人流、物流、固废路径规划

为了加强辐射安全管理，结合项目工作流程及工作场所布局，在核医学科地面或墙壁设置简明易懂的导向标识或导向提示，或通过对讲、导向标识等形式引导患者，限制其流动方向。

医院现有核医学科的工作人员、患者流动路线见图 10-4，放射性药物运送路线见图 10-5；本项目核医学科区域医护人员、患者、放射性药物及放射性固废流动路线如图 10-6、图 10-7 所示。

项目核医学科工作场所内医护人员、患者、放射性药物和放射性固废的流动路线如下：

(1) 负一层：

①医护人员路线

①高活室辐射工作人员：早7:30和中午12:30为放射性药品计划送达时间，药品送达后由值班人员接药，高活室辐射工作人员上班期间8:00~12:00和13:00~18:00，经缓冲间更衣后进入高活室，药物分装质控完成后工作人员沿原路返回，在更衣室进行表面污染检测，检测不合格时需清洁去污，检测合格后方可更衣离开。

②SPECT-CT设备操作人员：沿核医学办公区走廊进入公用控制厅，完成SPECT-CT图像采集。工作完成后，工作人员沿原路返回。

③诊室和预约室等工作人员由大厅进入相关工作区域，完成相关工作后原路返回。

④工作人员在DSA手术室东侧更衣后，进入DSA控制室工作，手术完成后原路离开。

②患者路线

患者通过 DSA 手术室东侧缓冲通道进入手术室，手术完成后经手术室西侧患者防护门离开手术室，通过患者专用通道被工作人员推至 SPECT-CT 机房 1 或 SPECT-CT 机房 2 显像扫描。第一次注射 ^{99m}Tc 患者在扫描结束后通过西边核医学专用电梯离开医院，第二次注射 ^{90}Y 患者在扫描结束后乘坐西边核医学专用电梯到地上三层核医学科专用病房留观。

③放射性药物路线

项目采用的放射性药物均外购，根据临床诊断需药量，提前一天向供药单位

订购所需放射性药物。供药单位按照订购要求,在约定时间(早 7:30 和中午 12:30)将 ^{90}Y 治疗所需放射性药物通过核医学专用电梯运送至负一层西南角高活室。核医学科安排专人接收,经确认无误完成相关交接手续。

④放射性固废路线

核医学科放射性固废在负一层高活室北侧废物间、DSA 手术室西侧污洗间就近暂存,衰变至符合清洁解控水平。在 18:30 后无病人时,放射性固废通过患者通道运出。

(2) 三层:

①医护人员路线

①质控室辐射工作人员:早 7:30 和中午 12:30 为放射性药品计划送达时间,药品送达后由值班人员接药,质控室辐射工作人员上班期间 8:00~12:00 和 13:00~18:00,更衣后进入质控室,工作完成后,工作人员沿原路返回,在通过间进行表面污染检测,检测不合格时需清洁去污,检测合格后方可更衣离开。

②患者路线

患者在正常接诊时间 8:00~12:00 和 13:00~18:00,本项目核医学科治疗区域位于西门诊住院楼三层西南角。

患者根据叫号顺序和语音指导,甲癌患者在自动服药机处服药后进入甲癌病房, ^{177}Lu 患者在注射窗口注射药物后进入病房, ^{90}Y 患者通过核医学专用电梯进入病房。

③放射性药物路线

项目采用的放射性药物均外购,根据临床诊断需药量,提前一天向供药单位订购所需放射性药物。供药单位按照订购要求,在约定时间(早 7:30 和中午 12:30)将放射性药物 ^{177}Lu 和 ^{131}I 通过核医学专用电梯运送至三层源库。核医学科安排专人接收,经确认无误完成相关交接手续。

④放射性固废路线

核医学科放射性固废在固废间进行暂存,衰变至符合清洁解控水平。在 18:30 后无病人时,放射性固废通过患者通道运出。

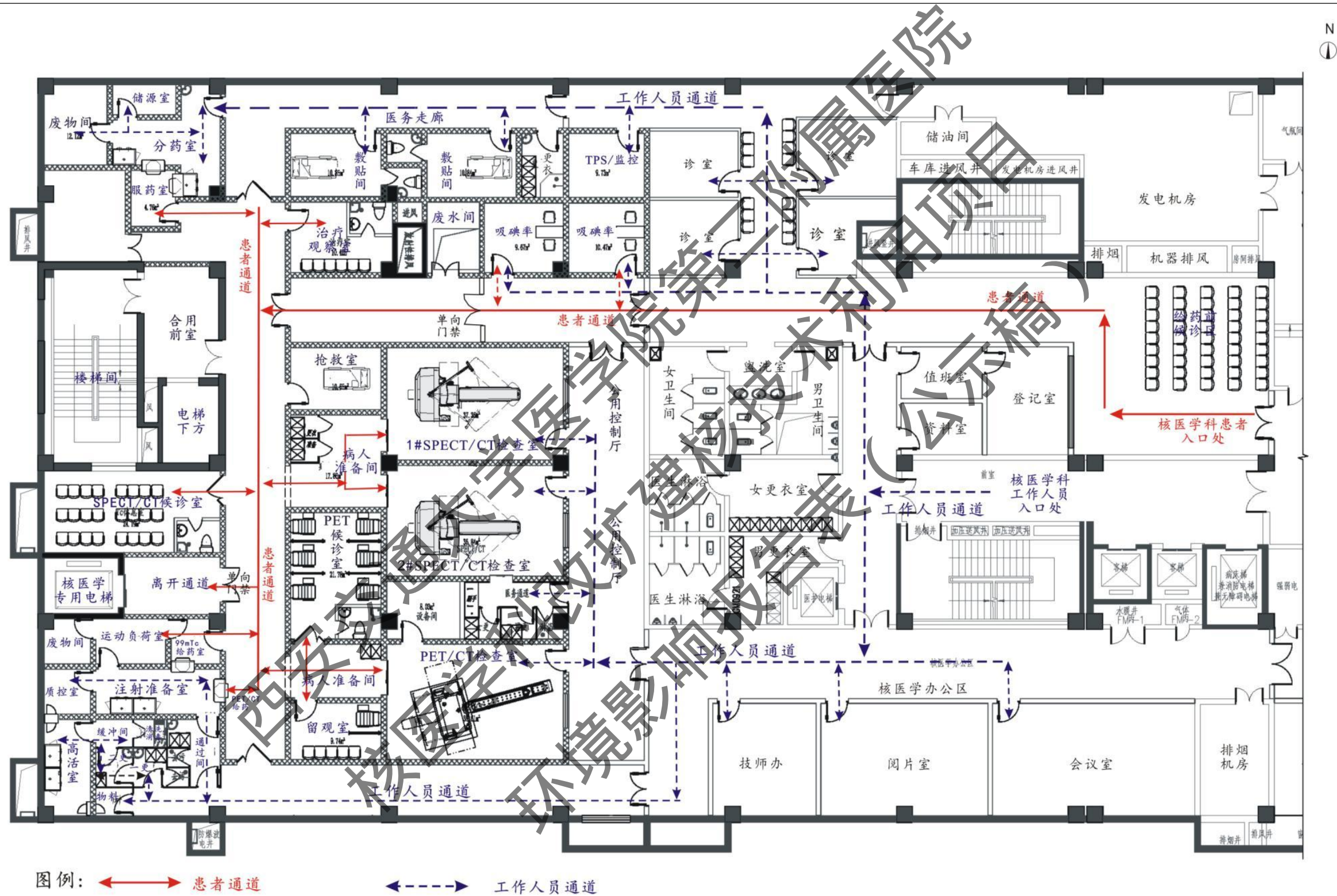


图 10-4 现有核医学科工作人员、患者路径示意图（负一层）

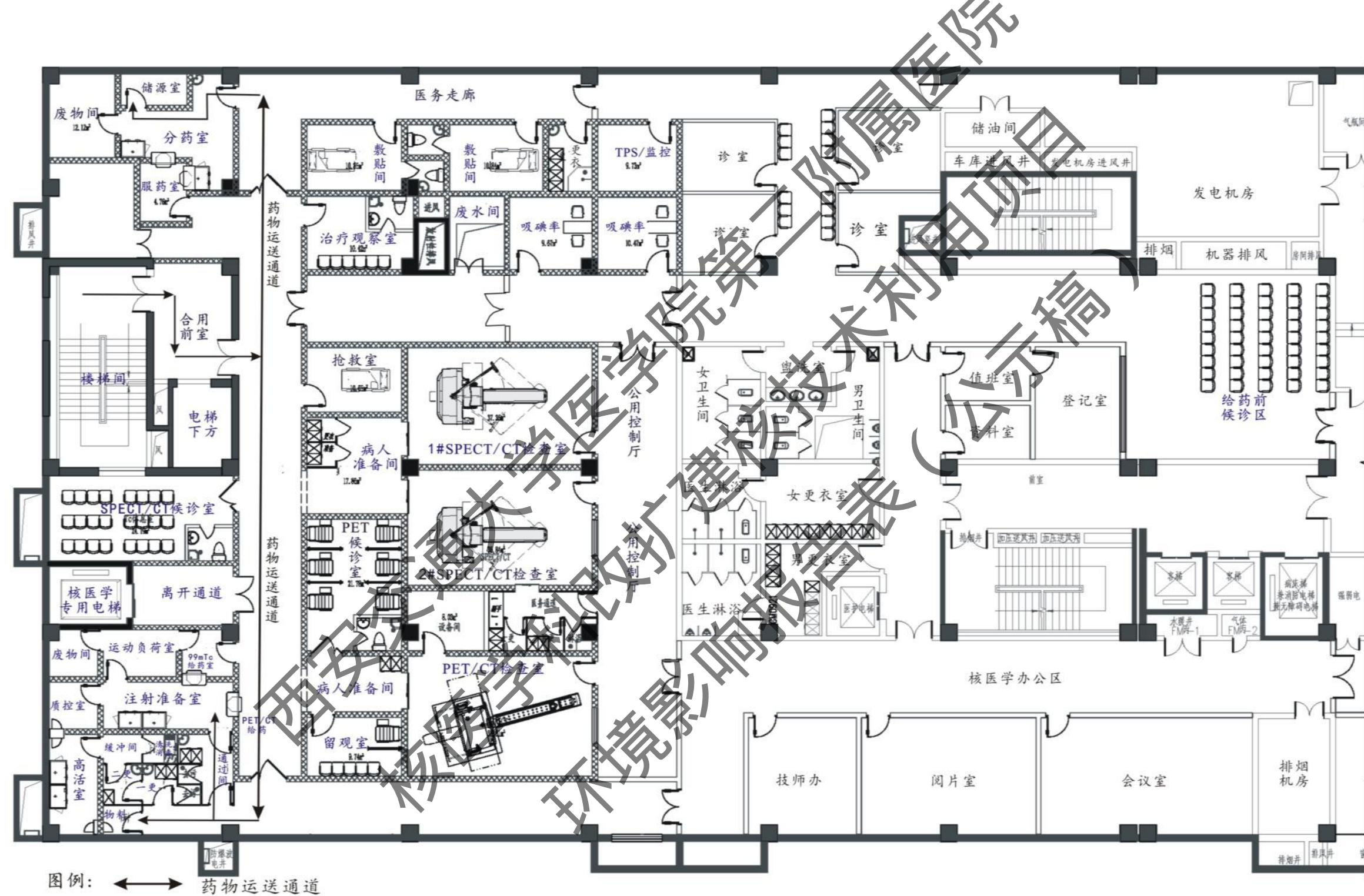


图 10-5 现有核医学科放射性药物路径示意图（负一层）

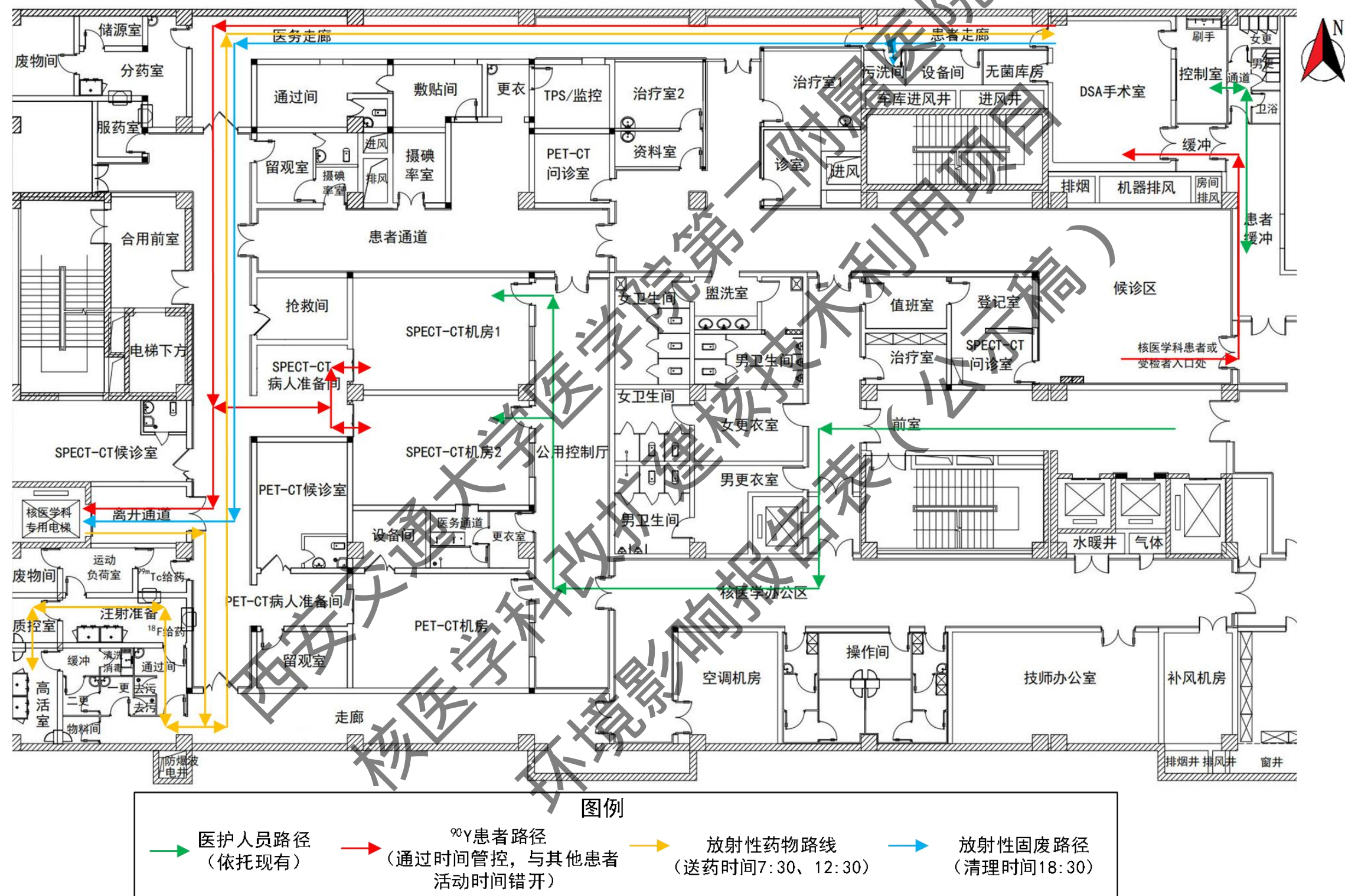


图 10-6 本项目核医学科工作场所工作人员、患者、放射性药物、放射性固废路径示意图 (负一层)

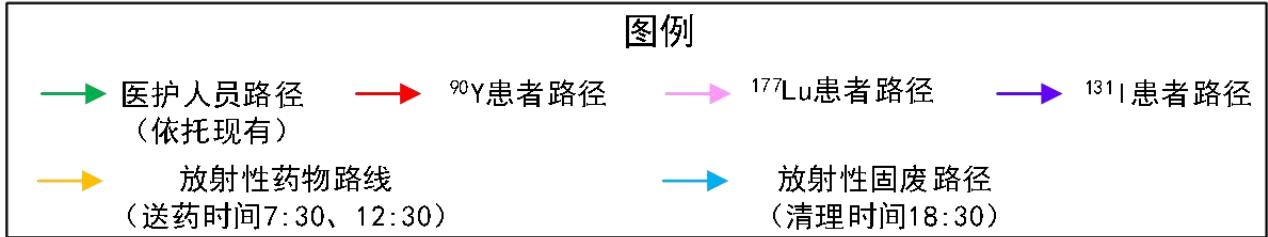
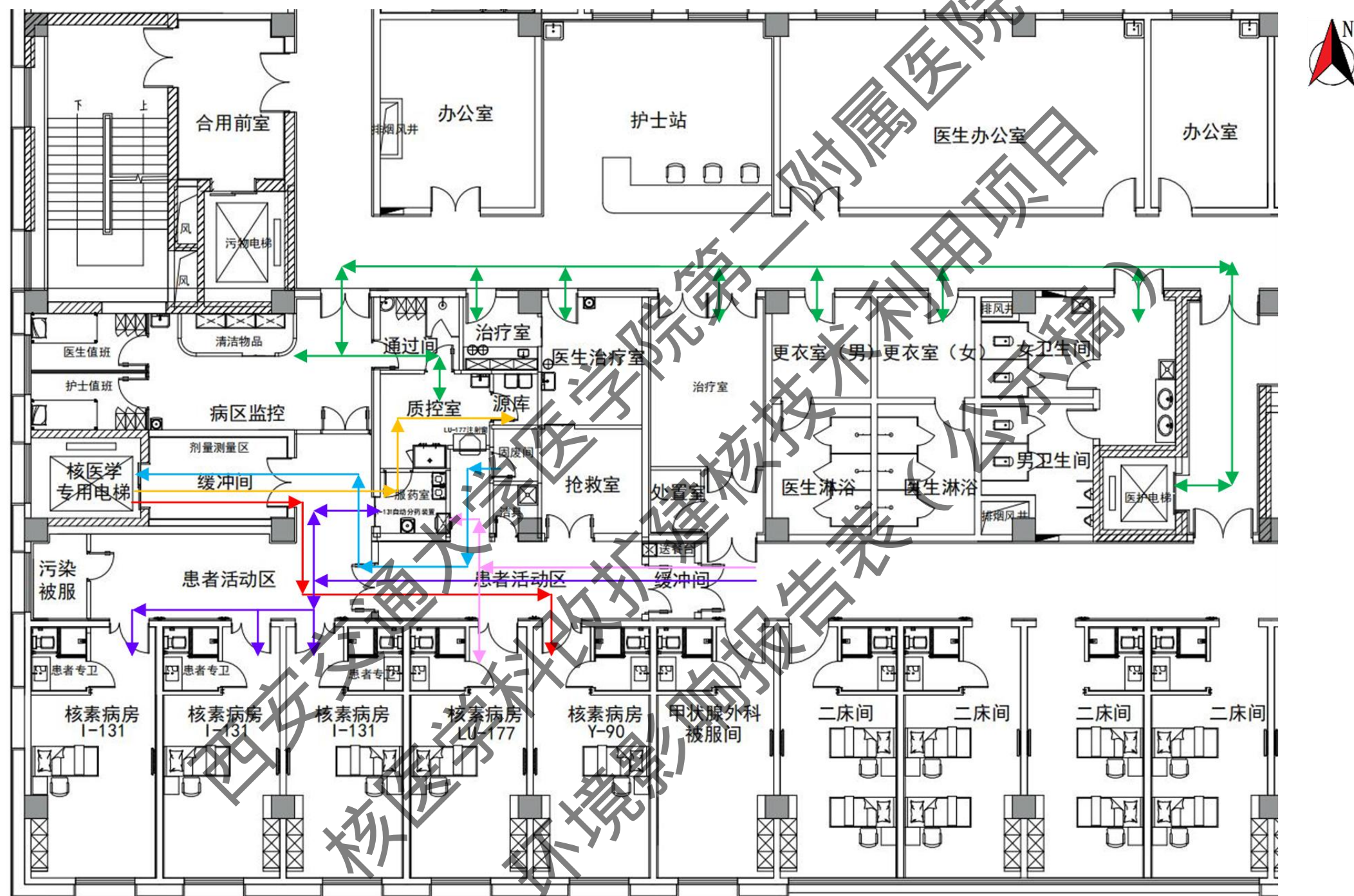


图 10-7 项目核医学科工作场所工作人员、患者、放射性药物、放射性固废路径示意图（三层）

综上所述，核医学科医护人员通道和患者通道分开设置，注射后患者与工作人员活动路径不交叉；患者通道入口、出口分开，并采用单向门禁系统，防止给药后患者进入非放射性工作区，注射后患者与注射前患者活动路径不交叉；放射性药物和废物的流动通过严格限制运输时间的方式，即每天上午上班前和中午上班前由非密封放射性物质供应商将订购的药物沿放射性药物路径运至核医学科高活室（-1F）或源库（3F），上班期间 8:00~12:00 和 13:00~18:00 为患者专用通道，下班后 18:30 沿患者通道运出放射性固废，以此确保人员与放射性药物通道、放射性废物通道不交叉。通过上述措施最终实现相对独立的工作人员、患者、放射性药物、放射性固废路径，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关要求。

10.1.1.4 非密封放射性物质工作场所分级管理

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录C非密封放射性物质工作场所的分级规定以及环办辐射函〔2016〕430号，项目使用的非密封放射性物质日等效最大操作量见表10-7。

表 10-6 非密封放射性物质工作场所的分级

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

医院西门诊住院楼负一层建设有核医学科门诊区，日等效最大操作活度为 $1.47 \times 10^9 \text{Bq}$ 。本项目 DSA 手术室及其辅助用房位于核医学科门诊区东北角， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{90}Y 药物的暂存、抽取、活度测量均依托现有的高活室，介入、注射在 DSA 手术室内进行，显像扫描依托现有的 SPECT-CT 机房。 ^{131}I 、 ^{177}Lu 治疗区域位于三层，与 ^{90}Y 介入场所相对独立，有明确的监督区和控制区划分，且人流及物流具有各自相对独立的通道，互不交叉。因此，可认为负一层和三层的辐射工作场所分别为一个独立的非密封放射性物质工作场所。

本项目辐射工作场所日等效操作量核算见表 10-7。

表 10-7 非密封放射性物质日等效最大操作量

项目	核素种类	毒性分组 /毒性组别修正因子	操作方式/ 操作修正因子	日实际最大 操作量 (Bq)	日等效最大 操作量 (Bq)
西门诊住院楼负一层					
⁹⁰ Y 介入治疗 及其分装	⁹⁰ Y	中毒/0.1	简单操作/1	3.00×10^9	3.00×10^8
	^{99m} Tc	低毒/0.01	简单操作/1	3.70×10^8	3.70×10^6
合计	/	/	/	3.37×10^9	3.03×10^8
西门诊住院楼三层					
甲癌治疗	¹³¹ I	中毒/0.1	简单操作/1	2.22×10^{10}	2.22×10^9
¹⁷⁷ Lu 治疗	¹⁷⁷ Lu	中毒/0.1	简单操作/1	3.70×10^9	3.70×10^8
⁹⁰ Y 治疗	⁹⁰ Y	中毒/0.1	简单操作/1	3.00×10^9	3.00×10^8
合计	/	/	/	2.89×10^{10}	2.89×10^9

注：①日等效最大操作量=日实际最大操作量×毒性组别修正因子÷操作修正因子。
②⁹⁰Y 介入注射前需要使用 ^{99m}Tc 进行模拟，⁹⁰Y 介入注射按照每天进行一个 ^{99m}Tc 模拟及一个 ⁹⁰Y 治疗考虑。

根据表 10-7 可知，西门诊住院楼负一层本项目核医学科工作场所日等效最大操作活度为 3.03×10^8 Bq，与现有工作场所日等效最大操作活度 1.47×10^9 Bq 相加后为 1.77×10^9 Bq；三层核医学科工作场所日等效最大操作活度为 2.89×10^9 Bq，因此本项目辐射工作场所的日等效最大操作活度均在 $2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9$ Bq 之间，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C，本项目核医学科工作场所均为乙级非密封放射性物质工作场所。

10.1.1.5 屏蔽设计情况

本项目核医学科负一层 DSA 手术室，三层质控室、核素治疗病房及辅助用房的屏蔽设计情况，以及负一层西南角现有高活室和 2 间 SPECT-CT 机房的屏蔽设计情况均见表 10-8。

表 10-8 项目辐射工作场所屏蔽设计一览表

工作场所	屏蔽部位	屏蔽材料及规格
西门诊住院楼负一层		
DSA 手术室	四周墙体	4mm 铅板
	屋顶	180mm 混凝土楼板+2mm 防护铅板
	地板	150mm 混凝土楼板+40mm 高纯度硫酸钡板
	观察窗	4mmPb

	东侧患者门	4mmPb
	控制室门、无菌库房门 和西侧患者门	4mmPb
高活室	四周墙体	东墙、北墙：240mm 砖+4mmPb 硫酸钡水泥； 西墙、南墙外为土层
	屋顶	180mm 混凝土+2mmPb
	地板	150mm 混凝土+2mmPb
	防护门	6mm 铅当量
	传递窗	10mm 铅当量
SPECT-CT 机房 1	四周墙体	240mm 实心砖+2mmPb 硫酸钡水泥
	屋顶	180mm 混凝土+2mmPb
	地板	150mm 混凝土+2mmPb
	防护门	4mmPb
	观察窗	4mmPb
SPECT-CT 机房 2	西墙	240mm 实心砖+6mmPb 硫酸钡水泥
	东、北、南墙	240mm 实心砖+2mmPb 硫酸钡水泥
	屋顶	180mm 混凝土+2mmPb
	地板	150mm 混凝土+2mmPb
	防护门	4mmPb
	观察窗	4mmPb
西门诊住院楼三层		
¹³¹ I 病房 1	西墙	22mm 铅板
	南墙	16mm 铅板
	北墙	14mm 铅板
	屋顶	100mm 混凝土+18mm 铅板
	地板	100mm 混凝土+12mm 铅板+40mm 硫酸钡
	防护门	14mmPb
¹³¹ I 病房 2、3	东、西、南墙	16mm 铅板
	北墙	14mm 铅板
	屋顶	100mm 混凝土+18mm 铅板
	地板	100mm 混凝土+12mm 铅板+40mm 硫酸钡
	防护门	14mmPb
¹⁷⁷ Lu 病房	北、南墙	4mm 铅板
	屋顶	100mm 混凝土+4mm 铅板
	地板	100mm 混凝土+40mm 硫酸钡
	防护门	4mmPb
⁹⁰ Y 病房	四周墙体	4mm 铅板
	屋顶	100mm 混凝土+4mm 铅板
	地板	100mm 混凝土+40mm 硫酸钡
	防护门	4mmPb
质控室	东、西、南墙	8mm 铅板
	北墙	12mm 铅板

	屋顶	100mm 混凝土+8mm 铅板
	地板	100mm 混凝土+4mm 铅板+40mm 硫酸钡
	南侧防护门	24mmPb
	北侧防护门	12mmPb
服药室	东、西、南墙	16mm 铅板
	北墙	24mm 铅板
	屋顶	100mm 混凝土+18mm 铅板
	地板	100mm 混凝土+12mm 铅板+40mm 硫酸钡
	西侧防护门	16mmPb
抢救室	东、北墙	20mm 铅板
	南墙	12mm 铅板
	西墙	14mm 铅板
	屋顶	100mm 混凝土+12mm 铅板
	地板	100mm 混凝土+6mm 铅板+40mm 硫酸钡
	防护门	12mmPb

10.1.1.6 辐射安全与防护措施

本项目核医学科拟配备的防护设施、用品和监测仪器见表 10-9、表 10-10。

表 10-9 核医学科拟配备的防护设施和用品表

防护设施及个人防护用品	设置场所	数量	铅当量
手套箱	三层质控室	1 个	10mmPb
注射窗	三层质控室	1 套	10mmPb
自动分药装置	三层服药室	1 个	40mmPb
注射器转移防护盒	三层质控室	1 个	10mmPb
注射器防护套	三层质控室	1 个	10mmPb
储源铅罐	三层源库	2 个	45mmPb
脚踏式铅污物桶	三层质控室	1 个	20mmPb
	3 间甲癌病房	3 个	20mmPb
	1 间 ^{177}Lu 病房、 1 间 ^{90}Y 病房	各 1 个	10mmPb
	三层固废间	2 个	20mmPb
	DSA 手术室、污洗间	各 1 个	10mmPb
铅橡胶围脖、铅橡胶围裙、 铅防护眼镜、介入防护手套	DSA 更衣室	2 套	0.5mmPb
放射性污染防护服	质控室	2 套	0.5mmPb
应急及去污用品	按使用需求配置		

表 10-10 本项目核医学科拟配备的监测仪器一览表

名称	数量
β 表面污染监测仪	1 个
X- γ 剂量率仪	1 个
活度计	1 个

本项目个人防护用品数量、防护厚度均满足《医用X射线诊断放射防护要求》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等相关要求，可以满足医院开展的核技术利用项目运行的要求。

医院应为 ^{90}Y 树脂微球手术配备专用的防护配件，如传输系统防护、15mm有机玻璃V架、西林瓶的防护罐、15mm有机玻璃注射器防护套等。为防止放射性污染，还需要在手术中可能存在放射性污染的地面粘贴一次性铺巾。导管的接头下方需放置双层铺巾，以防止手术中发生放射性污染。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求，甲癌患者出院时应满足体内活度不大于400MBq或周围1m处剂量率不大于25 $\mu\text{Sv/h}$ 的要求。实际工作中 ^{131}I 衰变的同时会随患者代谢排出体外，因此对住院患者进行检测，满足周围1m处剂量率不大于25 $\mu\text{Sv/h}$ 的要求即可出院。

本项目在三层核素治疗区域设有通过间，通过间将包含以下设施：a、工作人员污染检测设备：卫生通过间内设置一套检测设备；b、工作人员洗消设施；c、工作人员去污设施；d、专用贮衣柜，工作人员进入通过间换工作服，离开时换便装离开。

DSA 手术室拟采取的安全防护措施需满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的相关要求：

①手术室患者进出门、污物门、工作人员防护门外均设置电离辐射警告标志，患者进出门上方设置醒目的工作状态指示灯，指示灯灯箱上设有“射线有害，灯亮勿入”的警示语句，指示灯与患者进出防护门有效联动，确保门灯联锁装置正常运行，防止无关人员误入。

②东侧患者进出门设置为感应式电动推拉门，射线装置工作区域内手动防护门均设置自动闭门装置，电动推拉门建议设置光幕式红外防夹装置。

③手术室外候诊区设置放射防护注意事项告知栏。

④机房设置有观察窗，拟在手术室 1 内安装摄像监控装置。操作人员通过观

察窗、摄像监控装置观察手术室内工作人员及患者状态。

⑤在 DSA 的床旁设置 1 个紧急停机按钮，确保出现紧急事故时，能立即停止照射。

DSA 手术室辐射安全防护设施位置示意图 10-8。

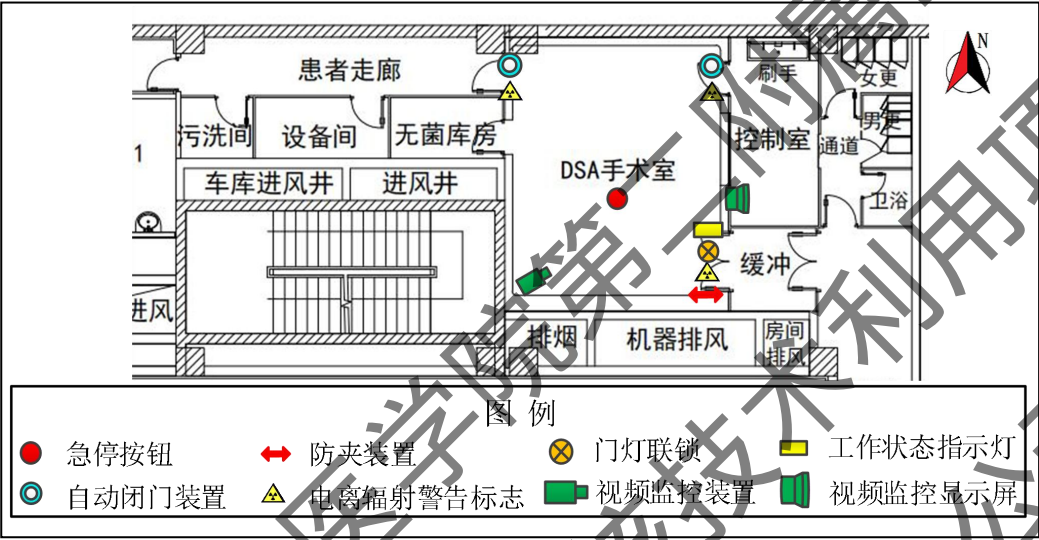


图 10-8 DSA 手术室辐射安全防护措施

本项目 DSA 设备基座下方设置电缆沟，电缆布设在电缆沟内，电缆穿墙以“U”型管穿墙，穿墙位置采用与墙面屏蔽能力相当的屏蔽补偿，能够有效防止射线泄漏，通过地面下沉电缆沟穿出机房，不会影响防护墙体的防护效果，电缆管线穿墙示意图见图 10-9。

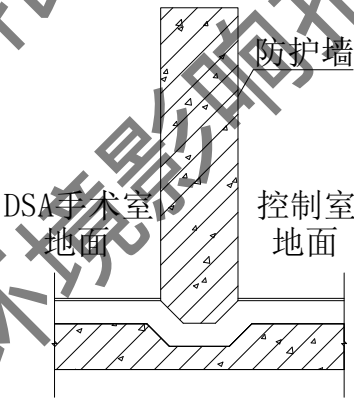


图 10-9 电缆管线穿墙示意图

10.2. “三废”治理

10.2.1. 固体废物

本项目在负一层核医学科产生的放射性固体废物包括：注射 ^{99m}Tc 放射性药物产生的一次性手套、输液管、患者体内导管等，总重量 150g/例； ^{99m}Tc 和 ^{90}Y

树脂微球抽取过程中产生的转移用的一次性手套、注射器、含剩余药物的西林瓶等放射性固体废物约 200g/例；注射 ^{90}Y 放射性药物产生的一次性手套、输液管、患者体内导管、V 瓶及有机玻璃防护罐等放射性固体废物合计约 450g/例。因此，开展一次 ^{90}Y 树脂微球介入治疗产生放射性固体废物约 0.8kg。

本项目在三层核医学科产生的放射性固体废物包括：与非密封放射性物质 ^{131}I 和 ^{177}Lu 接触过的一次性注射器、棉签、注射台上的吸水纸、口罩、乳胶手套、患者服药的杯子、其他一次性卫生用品等医疗废物、核素病房内患者产生的固体废物以及废气处理产生的废活性炭等，住院病人产生的放射性固体废物按每人每天 0.5kg 计。

核医学科清洁用的废抹布及拖布等，参考同类医院的统计数据预计产生量约 10kg/a，废活性炭产生量约 50kg/a，住院病人产生的放射性固体废物约 1250.5kg/a， ^{90}Y 树脂微球介入治疗产生的放射性固体废物约 160kg/a。

综上，本项目放射性固体废物年产生量约 1470.5kg，负一层高活室产生的放射性固体废物依托原有废物间进行暂存，DSA 手术室产生的放射性固体废物暂存于手术室西侧污洗间。暂存满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 中要求后，可对废物清洁解控，作为医疗废物交由有资质单位回收处理。

病房内患者产生的固体废物利用原有专用的收集容器回收，转入固废间暂存，经监测达标，可对废物清洁解控后作为医疗废物交由有资质单位回收处理。

半衰期大于 24 小时（含 ^{177}Lu 、 ^{90}Y 核素）的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍，含 ^{131}I 核素的放射性固废暂存时间超过 180 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 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，可对废物清洁解控作为一般固废医疗废物处理。

10.2.2. 废水

本项目在 DSA 手术室注射 ^{90}Y 微球和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 过程中不产生放射性废水，DSA 设备采用数字显影技术，无废显影液和定影液产生。注入的造影剂不含放射性。

根据医院提供的图纸，西门诊住院楼三层本项目核医学科的放射性废水暂存于负二层新建的两套（A 组和 B 组）衰变池内，衰变池采用 200mm 厚混凝土浇筑，四周墙体及地面、顶板进行防渗漏和耐酸碱处理。衰变池进水方式均为间歇式，每格池体并联运行。本项目放射性废水排放路径见图 10-10，衰变池设计见

图 10-111 至图 10-13。

A 组衰变池用于收集 1 间 ^{177}Lu 病房和 1 间 ^{90}Y 病房内住院患者产生的废水，B 组衰变池用于收集 3 间 ^{131}I 甲癌病房内住院患者产生的废水和辐射工作人员清洗手部时可能带有微量放射性的废水。

A 组衰变池分为 3 格，每格池体有效容积为 8.0m^3 ，总有效容积为 24m^3 ；B 组衰变池分为 6 格，每格池体有效容积为 12.6m^3 ，总有效容积为 75.6m^3 。

本项目产生的放射性废水首先分别排入西门诊住院楼负二层的 2 个放射性废水专用积水槽，积水槽外设有防护围堰，废水经积水槽内的潜污泵提升，分别接入 A 组、B 组衰变池。以 A 组衰变池为例，本项目衰变池的运行方式为：放射性废水将 1 号池注满后开始衰变计时；此后产生的放射性废水排入 2 号池，2 号池注满后开始衰变计时；3 号池同样按照上述过程注入放射性废水，待 3 号池到达高液位时，1 号池内废水已达到衰变排放标准，将其废水全部排入院内污水处理站后，可再次向 1 号池注入放射性废水。B 组衰变池与 A 组衰变池相似，6 格衰变池依次交替循环进水、衰变、排水，达到暂存时间的废水进入医院污水处理站，处理达标后排入市政管网。

根据医院提供的本项目放射性废水排放情况（附件 10）， ^{177}Lu 、 ^{90}Y 和 ^{131}I 住院患者的废水产生量为 $100\text{L}/\text{床}\cdot\text{日}$ ，本项目设置有 5 个床位；辐射工作人员的废水产生量为 $100\text{L}/\text{人}\cdot\text{日}$ ，核医学科治疗区域共 2 名辐射工作人员。因此，本项目衰变池接纳废水情况见表 10-11。

表 10-11 本项目衰变池废水接纳量估算

用水类别		废水产生量	用水规模	废水产生量	
				m^3/d	m^3/a
^{177}Lu 、 ^{90}Y 治疗	治疗患者	$100\text{L}/\text{床}\cdot\text{d}$	2 床	0.2	73
合计				0.2	50
^{131}I 甲癌治疗	治疗患者	$100\text{L}/\text{床}\cdot\text{d}$	3 床	0.3	109.5
辐射工作人员		$15\text{L}/\text{人}\cdot\text{d}$	2 人	0.03	10.95
合计				0.33	82.5

经计算，本项目排入 A 组衰变池的放射性废水产生量为 $0.2\text{m}^3/\text{d}$ ，每格衰变池体储存满需要大约 40 天，排放时放射性废水最短衰变时间约为 80 天，大于所含核素 10 倍最长半衰期 66.5 天（ ^{177}Lu 半衰期 6.65d， ^{90}Y 半衰期 64.2h）；排入 B 组衰变池的放射性废水产生量为 $0.33\text{m}^3/\text{d}$ ，每格衰变池体储存满需要大约 38.2

天，排放时放射性废水最短衰变时间约为 191 天，大于 180 天。

因此，本项目放射废水在衰变池衰变后，其衰变时间满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的相关要求。

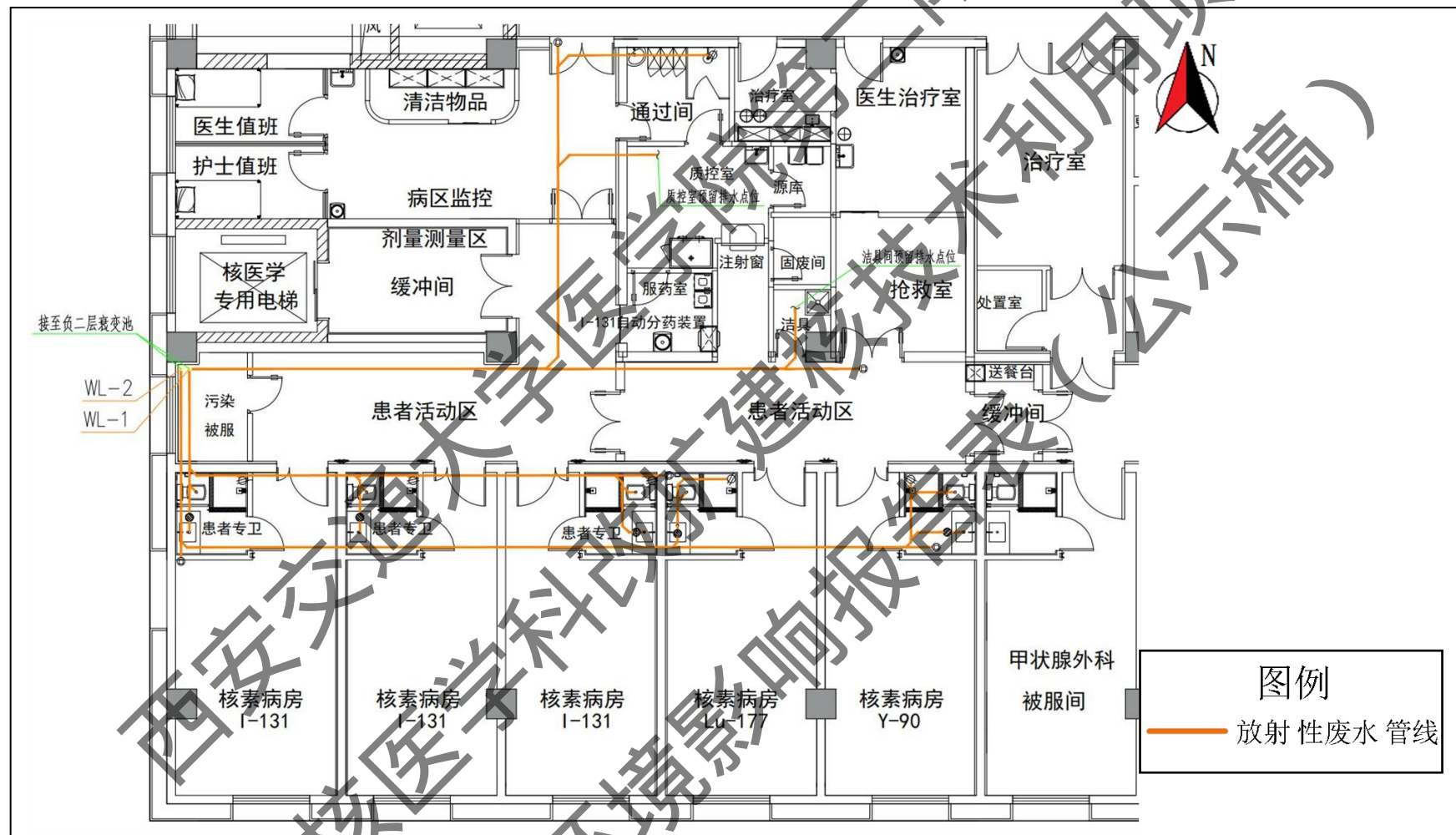


图 10-10 核医学科放射性废水排放去向示意图（三层）

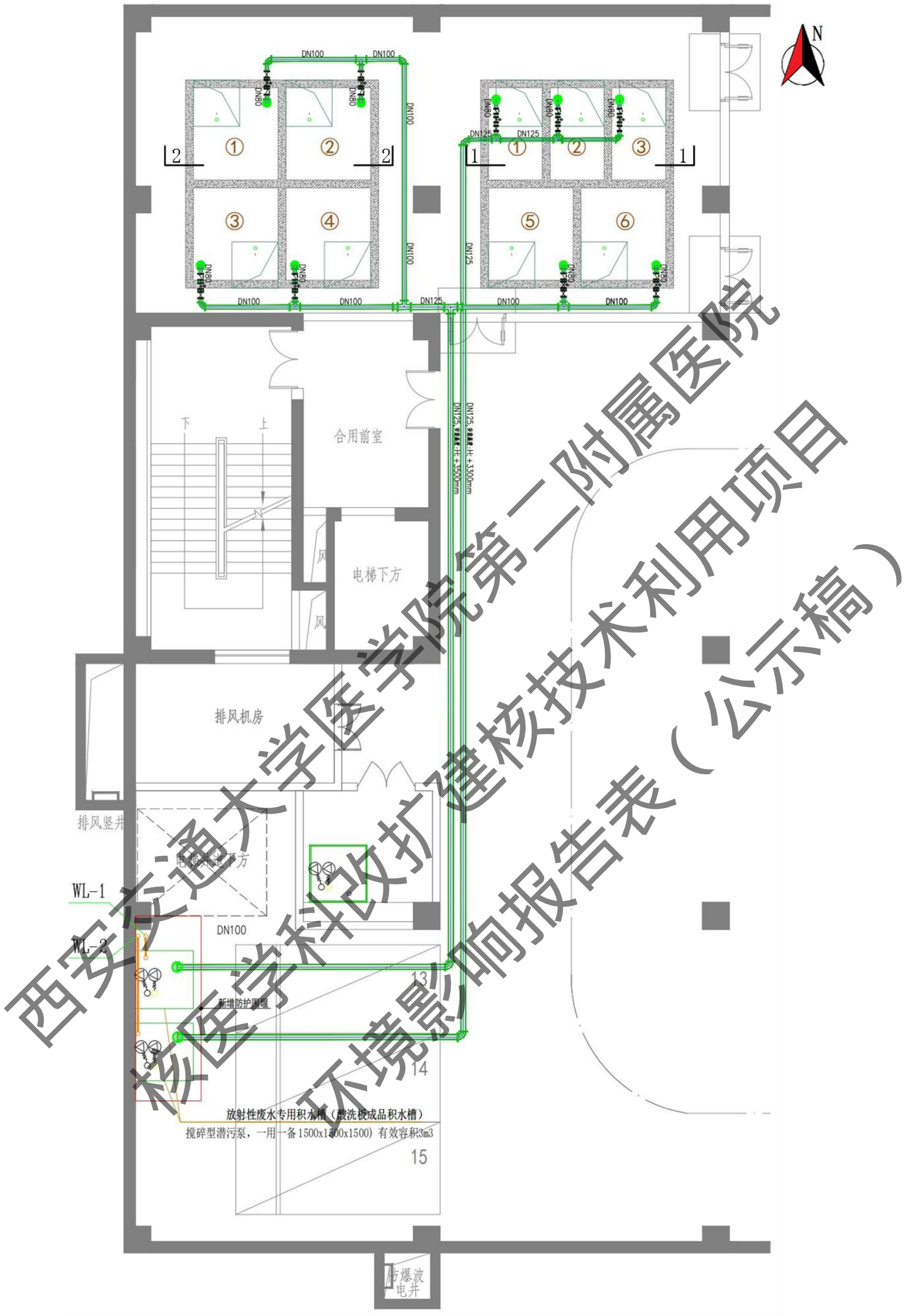


图 10-11 本项目核医学科衰变池设计图（负二层）

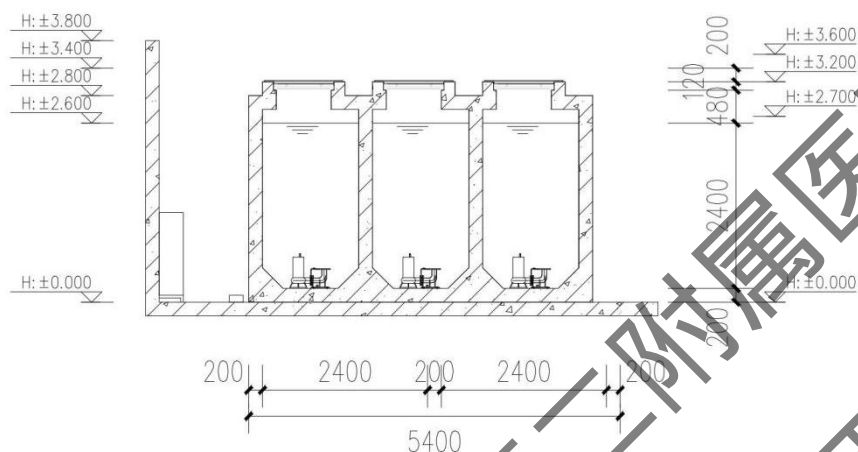


图 10-12 本项目核医学科衰变池 1-1 剖面图

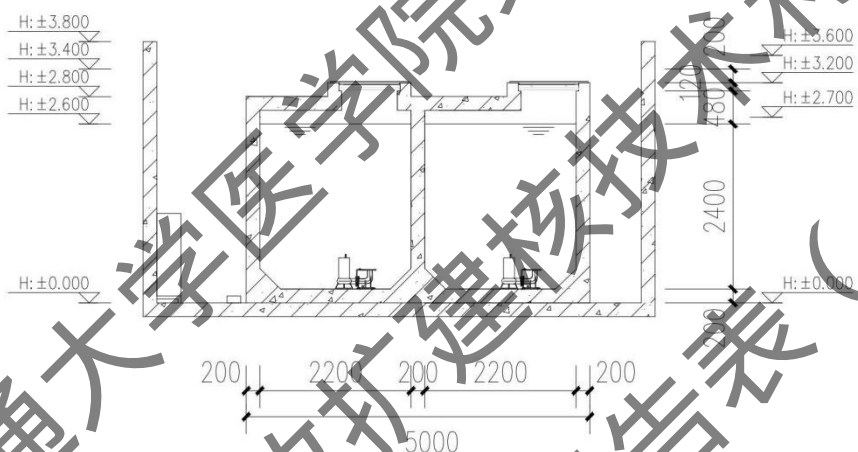


图 10-13 本项目核医学科衰变池 2-2 剖面图

10.2.3. 废气

1、负一层

^{90}Y 树脂微球为悬浮液，悬浮溶液为无菌水，无挥发性，且在治疗全过程中， ^{90}Y 微球不暴露在空气，且游离的非密封放射性物质 ^{90}Y 以氯化钇形式存在，氯化钇不具备挥发性，故不产生放射性气体或气溶胶的辐射影响。

DSA 设备在开机并处于出束状态时，X 射线与空气作用会产生极少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，由于项目射线装置的管电压、管电流较小，产生的有害气体相对较少。根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）要求：机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。

本项目 DSA 手术室设置有排风系统，DSA 手术室容积约 154.56m^3 ，排风口拟设置于 DSA 手术室天花板东南侧，排风口排风量约 $700\text{m}^3/\text{h}$ ，排风次数约 4.5

次/h, 手术室内产生的臭氧、氮氧化物经排风管道穿过手术室东侧墙体与控制室、更衣室、缓冲间排风管相接, 一并接入 DSA 手术室南侧的排风井, 最终接至一层裙房屋顶排放。排风管与 DSA 手术室墙面交接处拟采用 4mm 厚、600mm 长铅皮进行包裹, 确保射线不会通过缝隙漏射到手术室外。

本项目 DSA 手术室排风管道路径示意图见图 10-14, 屏蔽补偿措施见图 10-15。

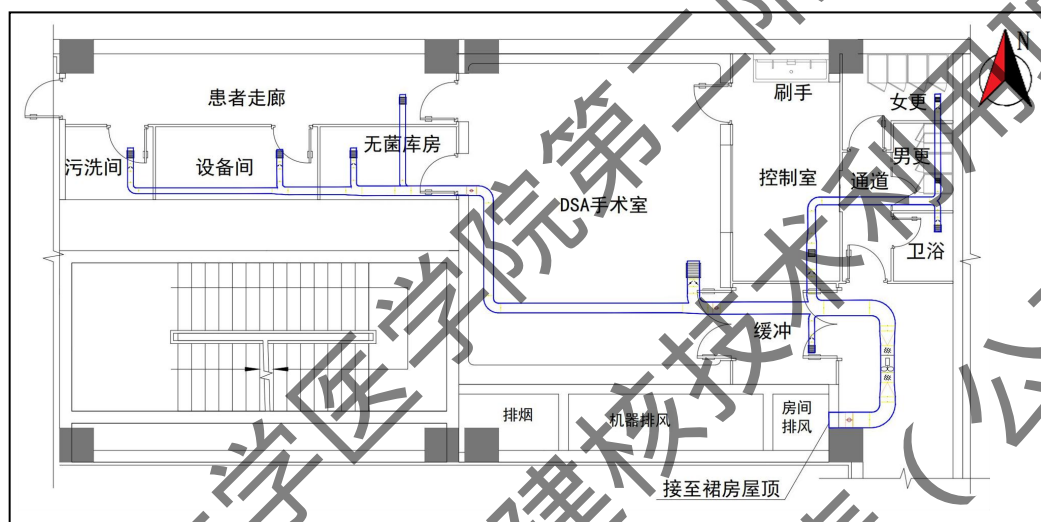


图 10-14 DSA 手术室排风管道示意图

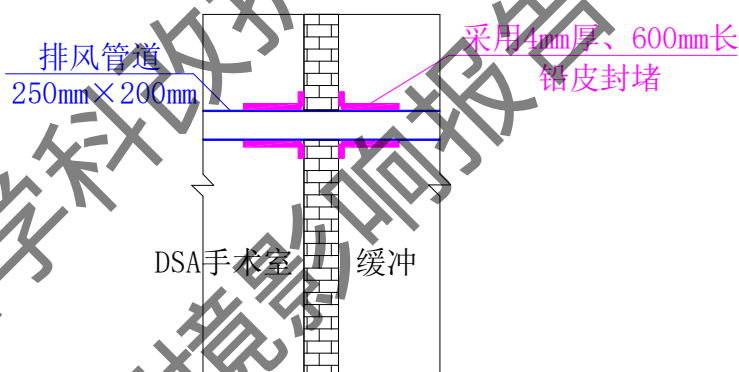


图 10-15 通风管道穿越屏蔽体方式示意

2、三层

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）6.3 密闭和通风的要求, 核医学科区域设计有新风和排风管道系统。

本项目三层核医学科治疗区域拟设置 3 条排风管线, 排风管道布局见图 10-16。

表 10-11 三层核医学科治疗区域排风管线连接工作区域用房一览表

排风管线	连接的核医学科区域用房
1	^{177}Lu 病房、 ^{90}Y 病房，患者缓冲间、患者活动区、抢救室、医生治疗室、通过间、质控室、源库、固废间、洁具间、污染被服间，质控室，服药室
2	^{131}I 病房
3	医生值班室、护士值班室、监控室，治疗室（非辐射工作场所）

本项目 ^{131}I 病房设有单独的通风系统； ^{131}I 自动分药装置、手套箱的排风管道在汇入“主排风管道前”的部分独立设置，经活性炭过滤后汇入主管道中； ^{177}Lu 病房、 ^{90}Y 病房的排风，与患者缓冲间、患者活动区、质控室、源库等场所的排风管分别在汇入主管道之前采用活性炭过滤，手孔处测量的风速应不小于 0.5m/s，管道应采用专用防辐射排风管。本项目核医学科工作场所主管道内保持负压，各支管设止回装置防止高活区放射性废气进入低活区，放射性废气最终经北侧核医学专用排风井，引至西门诊住院楼八层屋面排放。

医生值班室、护士值班室、监控室，及源库北侧的治疗室为清洁区域，因此接入三层既有排风系统。

本项目核医学科放射性废气排风管道路径见图 10-16。核医学科放射性废气排风系统符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的相关要求。

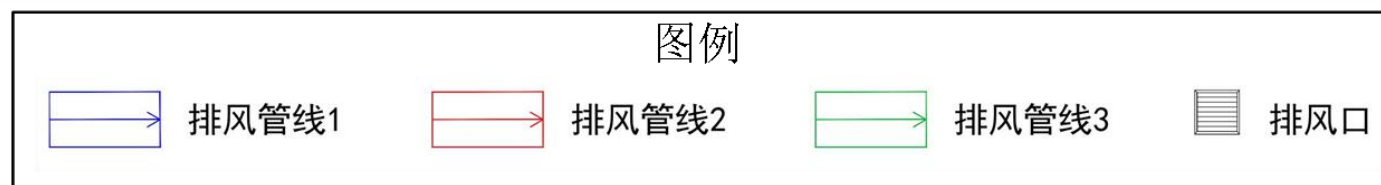
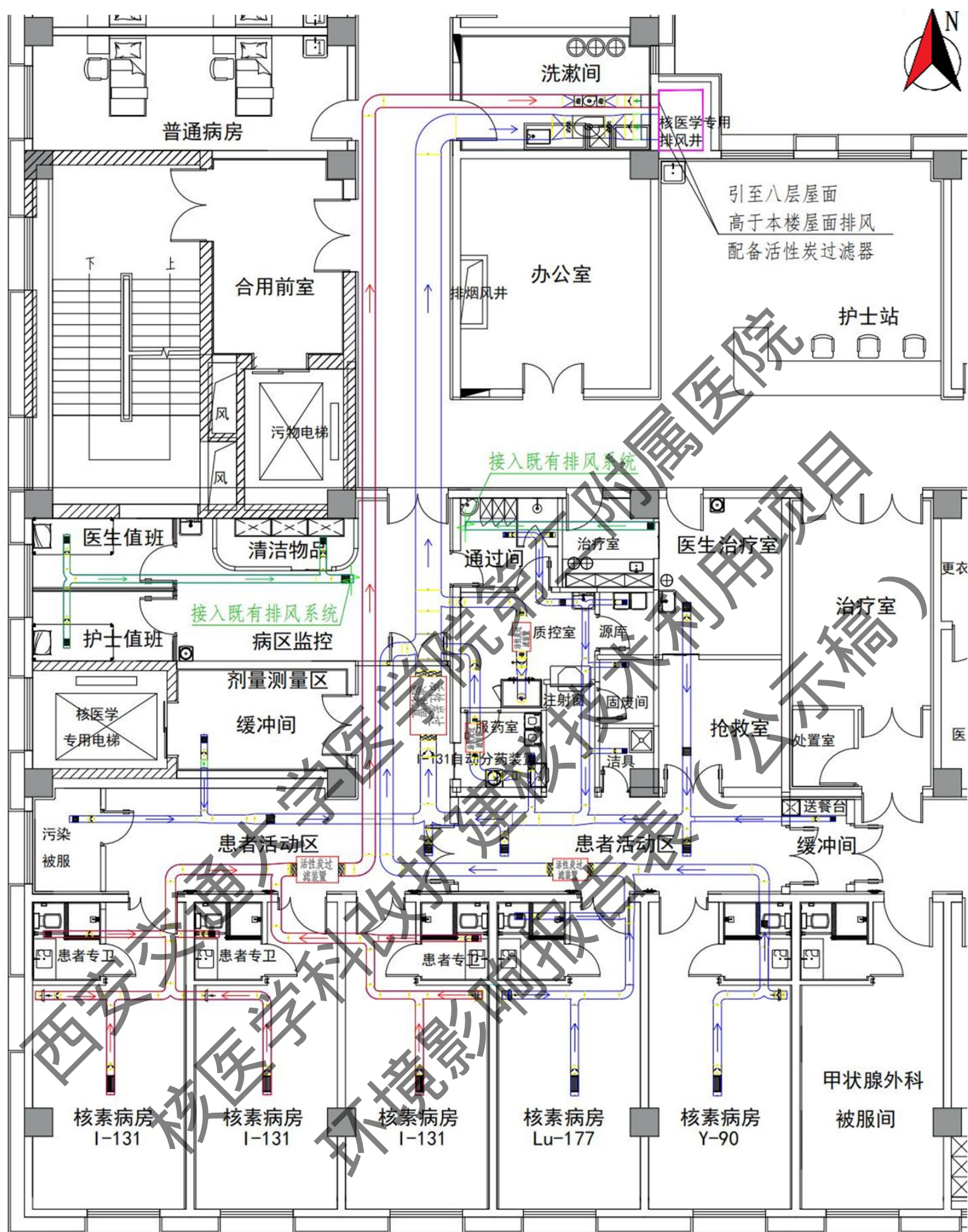


图 10-16 三层核医学科治疗区域排风管道示意图

表 11. 环境影响分析

11.1. 建设阶段对环境的影响

11.1.1. 土建施工阶段

本项目施工期主要为对西门诊住院楼负一层资料室，三层抢救室、库房、病房等区域的改造和装修，设备的安装等工作，主要污染因子有：扬尘、噪声、废水、固体废物等。

(1) 大气：改造过程中会产生扬尘，影响仅局限在改造的负一层和三层区域。针对上述大气污染采取以下措施：及时清扫施工场地，并保持施工场地一定的湿度；

(2) 噪声：施工噪声主要来自于改造、装修及现场处理等，采取合理安排施工时间，禁止在夜间作业，选择低噪声、低振动施工设备和工艺等措施减少施工噪声影响；

(3) 废水：施工期废水主要为施工人员产生的少量生活污水。生活污水依托医院现有的废水处理系统处理；

(4) 固体废物：主要为改造、装修过程产生的建筑垃圾，以及施工人员产生的生活垃圾，建筑垃圾委托有资质的单位清运，并做好清运工作中的装载工作，防止建筑垃圾在运输途中散落；生活垃圾交环卫部门统一收运处置。

本项目均在建筑物内施工，只要工程施工期严格做到以上要求，就可以使其对环境的影响降至最小程度。施工结束后，项目施工期环境影响将随之消除。

11.1.2. 设备安装调试阶段

项目设备安装、调试、检测和维修等均由设备供应商的工作人员负责。在安装前设备供应商对机房进行初步的安装验收，在满足相关条件后再进行设备的安装、调试。在设备安装、调试阶段，医院及设备供应商应加强辐射防护管理，在此过程中应保证机房各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在辐射工作场所外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。人员离开时机房应上锁并派人看守。在设备安装、调试过程中，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。

11.2. 运行阶段对环境的影响

11.2.1. DSA 运行阶段的辐射环境影响分析

11.2.1.1 关注点选取

关注点的选取以 DSA 手术室中心位置作为辐射源点；有用线束向上照射，设备机头距地面 0.5m，治疗床高 1m；防护门窗考虑安装位置角度；关注点位距墙体、门、窗表面 0.3m。屋顶上方（楼上）距屋顶地面 1.0m，机房地面下方（楼下）距楼下地面 1.7m。

本项目 DSA 手术室位于西门诊住院楼负一层，负一层层高 4.8m，一层层高 4.0m，负二层层高 3.9m。本项目所选关注点见图 11-1 至图 11-2。

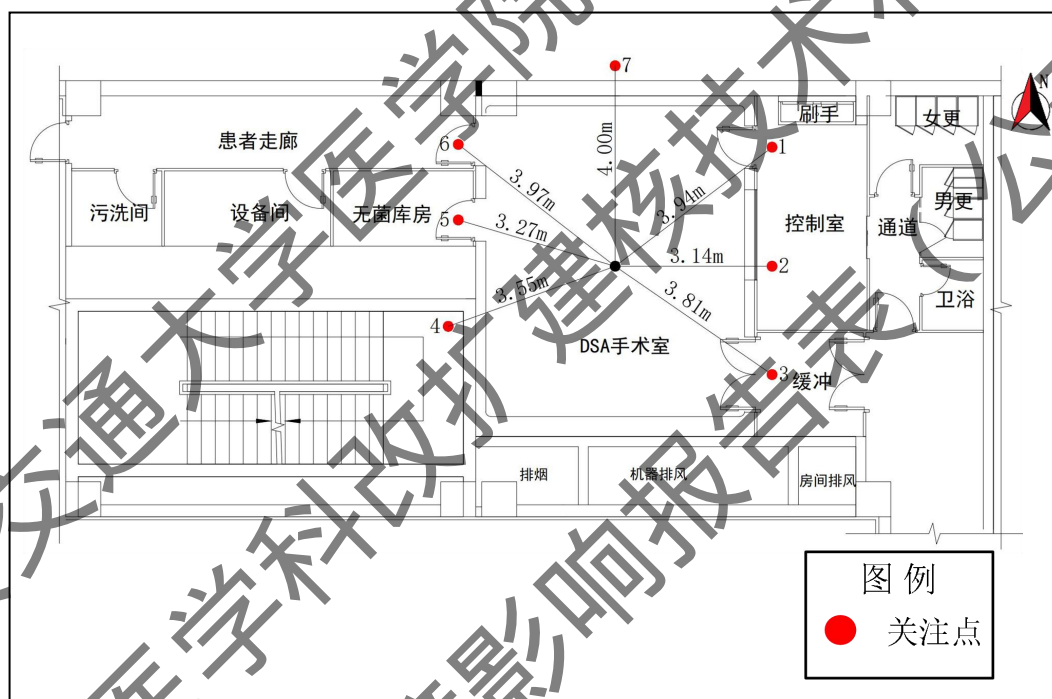


图 11-1 DSA 手术室平面各关注点分布简图

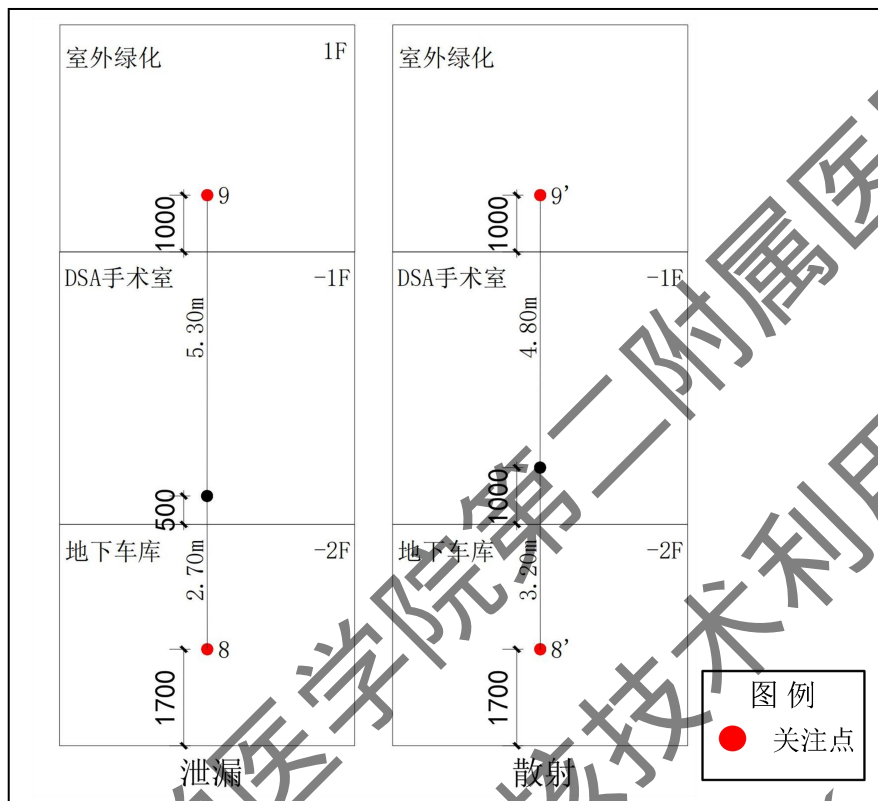


图 11-2 本项目 DSA 手术室剖面各关注点分布简图

11.2.1.2 各关注点剂量率估算

本项目 DSA 手术室拟配备1台 DSA（型号待定，拟定最大管电压为125kV，拟定最大管电流为1250mA）。

DSA 装置包括透视和摄影两种工作模式。根据 ICRP 33《医用外照射源的辐射防护》P55 图 2，管电压 125kV 时，2mmAl 滤过下，离靶 1m 处的剂量率约为 11mGy/mA•min。

表 11-1 不同电压下离靶 1 米处的剂量率

电压	离靶 1m 处的剂量率读值 (mGy/mA•min)
125kV	11

结合市场流通的设备机型及医院提供的资料，选取最大管电压下的最大工作电流进行估算，最大连续功率为 4kW，透视时管电压取 125kV，管电流取 32mA；摄影时最大功率不超过 100kW，管电压取 125kV，管电流取 800mA。本项目 DSA 设备不同运行条件下 1m 处剂量率见表 11-2。

表 11-2 DSA 机不同运行条件下的参数取值

设备	运行条件		距靶点 1m 处的剂量率 H_0 ($\mu\text{Gy/h}$)
DSA	透视	125kV, 32mA	2.11×10^7
	摄影	125kV, 800mA	5.28×10^8

DSA 机主束照向患者，各关注点处仅考虑泄漏线和散射线影响，一般射线泄漏率按 0.1%估算。

1、估算方法

(1) 泄漏周围剂量当量率估算

泄漏周围剂量当量率计算公式参考《辐射防护手册第一分册 辐射源与屏蔽》（李德平、潘自强主编，原子能出版社，1987）。对于给定的屏蔽物质，屏蔽透射因子依据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C 计算。

$$H = \frac{f \cdot H_0 \cdot B}{R^2} \dots\dots\dots (11-1)$$

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \dots\dots\dots (11-2)$$

式中：H—关注点处的泄漏周围剂量当量率，μSv/h；周围剂量当量率与空气吸收剂量率换算系数在辐射屏蔽计算时通常取 1Sv/Gy。

- f—泄漏射线比率，取 0.1%；
- H₀—距靶点 1m 处的最大剂量率，μGy/h；
- R—靶点至关注点的距离，m；
- B—屏蔽透射因子；
- X—铅厚度，mm。

α、β、γ为铅对 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，见表 11-3。

表 11-3 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

电压	材料	α	β	γ
125kV（主束）	铅	2.219	7.923	0.5386
125kV（散射）	铅	2.233	7.888	0.7295
	混凝土	0.0351	0.066	0.7832

注：α、β、γ取值参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C。

评价以 DSA 手术室中央位置作为辐射源点；有用线束向上照射，设备机头距地面 0.5m，治疗床高 1m；取辐射源点与关注点线性正交距离进行预测分析（参考图 11-1 机房各关注点分布简图）。根据 GBZ130-2020（P15）B.2.1 关注点检测的位置要求，关注点位距墙体、门、窗表面 30cm；顶棚上方（楼上）距顶棚地面 100cm，机房地面下方（楼下）距楼下地面 170cm。。

(2) 散射周围剂量当量率

关注点处的散射周围剂量当量率参考《辐射防护手册第一分册》（李德平、潘自强主编，原子能出版社，1987）中给出的公式计算。

$$H = \frac{H_0 \cdot \alpha \cdot B \cdot (S/400)}{(d_0 \cdot d_s)^2} \dots\dots\dots (11-3)$$

式中：

- H —— 关注点处的患者散射周围剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；周围剂量当量率与空气吸收剂量率换算系数在辐射屏蔽计算时通常取 1Sv/Gy ；
- H_0 —— 距靶点 1m 处的最大剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；
- α —— 患者对 X 射线的散射比，取自《辐射防护手册 第一分册》P437 表 10.1，120kV 下参考 125kV 射线散射与入射 X- γ 射线照射量之比值 α 为 0.0015（ 90° 散射，相对于 400cm^2 散射面积）；
- S —— 散射面积，取典型值 400cm^2 ；
- d_0 —— 源与患者的距离，一般取 0.5m；
- d_s —— 患者与关注点的距离，m；
- B —— 屏蔽透射因子。

2、估算结果

DSA 手术室周围剂量当量率计算如下：

本项目 DSA 在透视和摄影状态下各关注点的泄漏辐射剂量率估算结果见表 11-4。

表 11-4 DSA 手术室各关注点泄漏周围剂量当量率计算结果

工作模式	关注点位置描述		序号	屏蔽厚度 (mmPb)	R (m)	H ₀ (μSv/h)	B	H (μSv/h)
透视	东侧	控制室门	1	4.00	3.94	2.11×10 ⁷	8.42×10 ⁻⁶	1.15×10 ⁻²
		观察窗	2	4.00	3.14	2.11×10 ⁷	8.42×10 ⁻⁶	1.80×10 ⁻²
		患者门	3	4.00	3.81	2.11×10 ⁷	8.42×10 ⁻⁶	1.22×10 ⁻²
	西侧	楼梯间	4	4.00	3.55	2.11×10 ⁷	8.42×10 ⁻⁶	1.41×10 ⁻²
		无菌库房门	5	4.00	3.27	2.11×10 ⁷	8.42×10 ⁻⁶	1.66×10 ⁻²
		患者门	6	4.00	3.92	2.11×10 ⁷	8.42×10 ⁻⁶	1.16×10 ⁻²
	北侧	土层	7	4.00	4.00	2.11×10 ⁷	8.42×10 ⁻⁶	1.11×10 ⁻²
	下方	地下车库	8	3.94	2.70	2.11×10 ⁷	9.62×10 ⁻⁶	2.79×10 ⁻²
	上方	室外绿化	9	4.32	5.30	2.11×10 ⁷	4.12×10 ⁻⁶	3.10×10 ⁻³
摄影	东侧	控制室门	1	4.00	3.94	5.28×10 ⁸	8.42×10 ⁻⁶	0.29
		观察窗	2	4.00	3.14	5.28×10 ⁸	8.42×10 ⁻⁶	0.45
		患者门	3	4.00	3.81	5.28×10 ⁸	8.42×10 ⁻⁶	0.31

工作模式	关注点位置描述	序号	屏蔽厚度 (mmPb)	R (m)	H ₀ (μSv/h)	B	H (μSv/h)
	西侧	楼梯间	4	4.00	5.28×10 ⁸	8.42×10 ⁻⁶	0.35
		无菌库房门	5	4.00	5.28×10 ⁸	8.42×10 ⁻⁶	0.42
		患者门	6	4.00	5.28×10 ⁸	8.42×10 ⁻⁶	0.29
	北侧	土层	7	4.00	5.28×10 ⁸	8.42×10 ⁻⁶	0.28
	下方	地下车库	8'	3.94	5.28×10 ⁸	9.62×10 ⁻⁶	0.70
	上方	室外绿化	9'	4.32	5.28×10 ⁸	4.12×10 ⁻⁶	7.75×10 ⁻²

本项目 DSA 在透视和摄影状态下各关注点的散射辐射剂量率估算结果见表 11-5。

表 11-5 DSA 手术室各关注点散射周围剂量当量率计算结果

工作模式	关注点位置描述		序号	屏蔽厚度 (mmPb)	d_s (m)	H_0 (μSv/h)	B	H (μSv/h)
透视	东侧	控制室门	1	4.00	3.94	2.11×10^7	1.67×10^{-5}	0.14
		观察窗	2	4.00	3.14	2.11×10^7	1.67×10^{-5}	0.21
		患者门	3	4.00	3.81	2.11×10^7	1.67×10^{-5}	0.15
	西侧	楼梯间	4	4.00	3.55	2.11×10^7	1.67×10^{-5}	0.17
		无菌库房门	5	4.00	3.27	2.11×10^7	1.67×10^{-5}	0.20
		患者门	6	4.00	3.92	2.11×10^7	1.67×10^{-5}	0.14
	北侧	土层	7	4.00	4.00	2.11×10^7	1.67×10^{-5}	0.13
	下方	地下车库	8	3.94	3.20	2.11×10^7	1.91×10^{-5}	0.24
	上方	室外绿化	9	4.32	4.80	2.11×10^7	8.15×10^{-6}	4.48×10^{-2}
摄影	东侧	控制室门	1	4.00	3.94	5.28×10^8	1.67×10^{-5}	3.40
		观察窗	2	4.00	3.14	5.28×10^8	1.67×10^{-5}	5.36
		患者门	3	4.00	3.81	5.28×10^8	1.67×10^{-5}	3.64
	西侧	楼梯间	4	4.00	3.55	5.28×10^8	1.67×10^{-5}	4.19
		无菌库房门	5	4.00	3.27	5.28×10^8	1.67×10^{-5}	4.94
		患者门	6	4.00	3.92	5.28×10^8	1.67×10^{-5}	3.35
	北侧	土层	7	4.00	4.00	5.28×10^8	1.67×10^{-5}	3.30
	下方	地下车库	8	3.94	3.20	5.28×10^8	1.91×10^{-5}	5.90
	上方	室外绿化	9	4.32	4.80	5.28×10^8	8.15×10^{-6}	1.12

本项目 DSA 在透视和摄影状态下各关注点的总辐射剂量率估算结果见表 11-6。

表 11-6 DSA 手术室不同工作模式下各关注点总周围剂量当量率计算结果

工作模式	关注点位置描述	序号	泄漏剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	散射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	总剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
透视	东侧	控制室门	1	1.15×10^{-2}	0.14
		观察窗	2	1.80×10^{-2}	0.21
		患者门	3	1.22×10^{-2}	0.15
	西侧	楼梯间	4	1.41×10^{-2}	0.17
		无菌库房门	5	1.66×10^{-2}	0.20
		患者门	6	1.16×10^{-2}	0.14
	北侧	土层	7	1.11×10^{-2}	0.13
	下方	地下车库	8	2.79×10^{-2}	0.24
	上方	室外绿化	9	3.10×10^{-2}	4.48×10^{-2}
摄影	东侧	控制室门	1	0.29	3.40
		观察窗	2	0.45	5.36
		患者门	3	0.31	3.64
	西侧	楼梯间	4	0.35	4.19
		无菌库房门	5	0.42	4.94
		患者门	6	0.29	3.35
	北侧	土层	7	0.28	3.30
	下方	地下车库	8'	0.70	5.90
	上方	室外绿化	9'	7.75×10^{-2}	1.12

在透视状态下, DSA 手术室各屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率最大为 $0.26\mu\text{Sv/h}$, 满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 中“具有透视功能的 X 射线机在透视条件下检测时, 周围剂量当量率控制目标值应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。在摄影状态下, DSA 手术室各屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率最大为 $6.59\mu\text{Sv/h}$, 设备摄影状态下的最大管电压为 125kV, 最大管电流为 800mA, 按照 GBZ130-2020 归一至 100mA 时为 $0.82\mu\text{Sv/h}$, 满足“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 $25\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

11.2.1.3 个人剂量估算

1、工作量

根据医院提供资料, 对于 200 个病人, DSA 预计年平均手术 400 台(每个患者在注射 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、注射 ^{90}Y 时各 1 次), 每台手术一般透视 15min, 摄影 1min。则设备透视出束时间为 100h/a, 摄影出束时间为 6.7h/a, 年曝光总时间 106.7h。

2、估算方法

相关人员受到的年有效剂量计算公式如下：

$$H_w = H_R \cdot K \cdot t \cdot T \cdot 10^{-3} \dots\dots\dots (11-4)$$

式中： H_w — 年有效剂量，mSv/a；

H_R — 手术室外周围剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

K — 有效剂量与吸收剂量换算系数，取 1Sv/Gy ；

t — 出束时间，h/a；

T — 人员居留因子，参照 GBZT201.1-2007 附录 A 取值。

(1) 职业人员年附加剂量

摄影模式是为了给减影状态提供蒙片，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130 -2020）中 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”。一般情况下介入手术医生、护士是在控制室进行采集，摄影模式下医护人员受照剂量按照控制室处的剂量率计算。

在摄影模式下，项目 DSA 手术室的控制室配备影像技师，采取隔室操作的方式，通过观察窗或操作台上监控装置观察手术室内病人情况；在透视模式下，项目 DSA 手术室内配备介入医生、护士，对患者进行手术。

介入手术时医生和护士穿戴铅衣、铅帽、铅眼镜（医生佩戴介入防护手套）等防护用品，位于铅悬吊屏和床侧铅帘后。

①手术室外职业人员年附加有效剂量估算

本项目控制室配备 1 名操作人员，操作人员仍参与其他辐射工作。根据表 11-6、11-9 计算结果，结合公式 11-4，控制室内职业人员可能受到的附加年有效剂量见表 11-7。

表 11-7 DSA 所致控制室职业人员附加年有效剂量估算结果一览表

关注点位	透视状态		摄影状态		居留因子	附加年有效剂量估算（mSv）
	总剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）	出束时间（h/a）	总剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）	出束时间（h/a）		
DSA 手术室操作位	0.23	100	5.81	6.7	1	6.19×10^{-2}

由表 11-7 可知，DSA 运行时，控制室内辐射工作人员受到的附加年有效剂量最大值为 $6.19 \times 10^{-2}\text{mSv}$ ，叠加辐射工作人员最近一年（最近四个季度）年有效剂量最大值 1.06mSv 后，年有效剂量约为 1.12mSv ，低于《电离辐射防护与辐射

源安全基本标准》（GB18871-2002）中要求的工作人员连续 5 年年平均有效剂量（20mSv），也满足本次环评提出的剂量约束限值（5mSv/a）。

②手术室医生年附加有效剂量估算

根据《医用 X 射线诊断设备质量控制检测规范》（WS76-2020）附录 B 中表 B.1 X 射线透视设备的检测项目及技术要求“7、非直接荧光屏透视设备透视防护区检测平面上周围剂量当量率不大于 400 μ Sv/h”，因此本次评价保守按照 X 射线设备在确保铅悬挂防护屏和床侧铅挂帘等防护设施正常使用的前提下，手术医生和护士铅衣外按照在透视防护区检测平面上的周围剂量当量率为 400 μ Sv/h 进行计算。

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中 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”。因此，摄影模式下，介入手术医生和护士退出 DSA 机房在控制室内，以控制室处的剂量率计算。

本项目 DSA 手术室配备 4 名医护人员，分 2 组开展工作，医护人员还将参与其他辐射工作。

根据公式 11-2 计算可知，DSA 手术透视状态下管电压 125kV 时，手术医生、护士穿 0.5mmPb 厚铅衣的辐射透射因子 B 为 5.57×10^{-2} 。手术室医生护士附加年有效剂量估算结果见表 11-8。

表 11-8 DSA 手术室医生护士附加年有效剂量估算结果一览表

场所	工作模式	剂量率 (μ Sv/h)	防护铅当量 (mmPb)	透射因子	时间 (h/a)	年有效剂量 (mSv)	
DSA 手术室	透视 (同室)	400	0.5	5.57×10^{-2}	100	2.23	2.27 (2 组轮班 后年有效剂量 约 1.14mSv)
	摄影 (隔室)	5.81		/	6.7	3.90×10^{-2}	

根据计算，本项目介入手术医生何护士年附加有效剂量均为 1.14mSv，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中年剂量限值（职业人员 20mSv）及本次评价所取的年剂量约束限值（职业人员 5.0mSv）。

上述估算并未考虑 DSA 自身材料的屏蔽作用，且 DSA 装置的床边操作系统、床边剂量控制系统等防护设施可实时显示剂量率、调节运行档位，有效控制照射剂量。因此，项目 DSA 在正常运行情况下，医护人员实际受到的年附加剂量率将小于理论计算值。

2) 公众年附加剂量估算

根据前文计算结果,结合公式 11-4,项目正常运行时,公众受到的年有效剂量见表 11-9。

表 11-9 手术室周边公众受到的年有效剂量估算结果一览表

关注点位置描述		透视状态		摄影状态		居留因子	年有效剂量 (mSv)
		周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	出束时间 (h/a)	周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	出束时间 (h/a)		
东侧	患者门	0.16	100	3.94	6.7	1/8	5.26×10^{-3}
西侧	楼梯间	0.18	100	4.54	6.7	1/40	1.21×10^{-3}
	无菌库房门	0.21	100	5.35	6.7	1/8	7.14×10^{-3}
	患者门	0.15	100	3.64	6.7	1/8	4.90×10^{-3}
北侧	土层	1.14	100	3.58	6.7	1/40	9.54×10^{-4}
下方	地下车库	0.26	100	6.59	6.7	1/40	1.76×10^{-3}
上方	室外绿化	4.79×10^{-2}	100	1.20	6.7	1/40	3.20×10^{-4}

由表11-12可知,DSA正常运行时,DSA手术室周围公众受到的年有效剂量最大值为 $7.14 \times 10^{-3} \text{mSv}$ 。满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中公众年有效剂量约束值(公众人员 1mSv)及本次评价所取的年剂量约束限值(公众人员 0.1mSv)。

11.2.2. ^{90}Y 微球注入过程辐射环境影响分析

非密封放射性物质 ^{90}Y 在衰变的过程中主要释放 β 射线,分支比为99.984%,其 β 射线的能量最大为 2.284MeV ,平均能量为 0.9348MeV 。

11.2.2.1. β 射线辐射影响分析

根据《辐射防护导论》(P127),能量为 E 的单能电子束在低 Z 物质中的射程,公式如下:

$0.01 < E < 2.5 \text{MeV}$, β 粒子在物质中的射程 R (g/cm^2) 为:

$$R = 0.412E^{1.265-0.0954 \ln E} \quad (11-5)$$

式中: R -电子在低 Z 物质中的射程, g/cm^2 ;

E - β 粒子的最大射线能量, MeV 。

由式 11-5 计算出质量射程后,除以相应材料的密度 ρ (g/cm^3),就可得到屏蔽 β 射线的厚度 d (cm):

$$D = R / \rho \quad (11-6)$$

表 11-10 不同介质中 β 粒子射程计算表

介质	有效原子	介质密度 (g/cm ³)	屏蔽 β 射线的厚度 d (cm)
水或组织	6.66	1	1.1
空气	7.36	1.293×10^{-3}	835
普通玻璃	10.6	2.4-2.6	0.42
有机玻璃	5.85	1.18	0.93
铝	13	2.7	0.406
砖	/	1.7-1.9	0.60
混凝土	/	2.2-2.35	0.49
铅	82	11.34	0.097

β 粒子在几种常见物质中的最大射程见表 11-9。由表可知, β 粒子能被有机注射器套、V 型架等完全阻挡。辐射工作人员不会直接接触非密封放射性物质, 在操作时会佩戴医用手套, 因此 β 射线对本项目放射工作人员的影响可以忽略。但 β 射线被放射源本身以及源周围的其他物质阻止时会产生韧致辐射, 故本项目主要考虑 ^{90}Y 的韧致辐射影响。

11.2.2.2 韧致辐射 (X 射线) 影响分析

1、非屏蔽状态下韧致辐射剂量率预测

由于 β 粒子在遇到屏蔽材料时会产生韧致辐射, 在 ^{90}Y 微球注入前有机玻璃吸收 β 粒子, 注入过程中有空气吸收 β 粒子, 注入人体后有人体组织吸收 β 粒子。

①根据《辐射防护导论》(P133), 韧致辐射剂量当量率可由下式计算:

$$D = 4.58 \times 10^{-14} A \cdot Z_e \cdot (E_b/r)^2 \cdot (\mu_{en}/\rho) \quad (11-7)$$

式中: D —屏蔽层中 β 粒子产生的韧致辐射在 $r(1\text{m})$ 处空气中的吸收剂量率, Gy/h;

A —放射源活度 $3 \times 10^9 \text{Bq}$;

Z_e —吸收 β 粒子介质 (或靶核) 的有效原子序数, 根据《辐射防护导论》表 4.4 查得 (有机玻璃 5.85、组织 6.66);

μ_{en}/ρ —是平均能量为 E_b (考虑韧致辐射平均能量= β 粒子平均能量) 的韧致辐射在介质中质量能量吸收系数, $\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$, 由《辐射防护导论》附表 1 查得 (空气 2.787×10^{-3});

E_b — β 粒子的平均能量, 根据《辐射防护导论》表 4.1 取 0.9348MeV 。

②有辐射屏蔽时, 随距离变化的空气吸收剂量率计算公式:

$$H=H_0 \times K^{-1} \quad (11-8)$$

式中： H_0 —无辐射屏蔽时，在距源 R_m 处的空气吸收剂量率，Gy/h；

H —屏蔽减弱系数为 K^{-1} 时，在距源 R_m 处的空气吸收剂量率，Gy/h。

K^{-1} —屏蔽减弱系数，无量纲。

③屏蔽减弱系数计算公式：

$$K^{-1}=2^{-dp/HVT} \quad (11-9)$$

式中： HVT —半值层厚度，mm；

dp —屏蔽层厚度，mm；

K^{-1} —屏蔽减弱系数，无量纲。

表 11-11 屏蔽后 ^{90}Y 剂量率计算参数及结果

关注点 (^{90}Y)		屏蔽体 dp (mm)	^{90}Y 防护能力 HVT (cm)	距离 (m)	H_0 ($\mu\text{Gy/h}$)	H ($\mu\text{Gy/h}$)
高活室 (抽取、 活度测 量)	东墙	240mm砖+4mmPb	5.87 (实心 砖), 0.7 (Pb)	1.5	0.870	0.034
	北墙	240mm砖+4mmPb	5.87 (实心 砖), 0.7 (Pb)	2.6	0.290	0.011
	屋顶	180mm混凝土 +2mmPb	3.99(混凝土) , 0.7 (Pb)	4.8	0.085	3.06×10^{-3}
	地板	150mm混凝土 +2mmPb	3.99(混凝土) , 0.7 (Pb)	3.9	0.129	7.80×10^{-3}
	防护门	6mmPb	0.7 (Pb)	2.2	0.404	0.223
	传递窗	10mmPb	0.7 (Pb)	2.7	0.269	0.100
	手套箱外 表面	50mmPb	0.7 (Pb)	0.5	7.830	0.055
DSA手术 室(注入 过程)	北墙	4mm 铅板	0.7 (Pb)	4.0	0.122	0.082
	屋顶	180mm 混凝土楼 板+2mm 防护铅板	3.99(混凝土) , 0.7 (Pb)	4.8	0.085	3.06×10^{-3}
	地板	150mm 混凝土楼 板+40mm 高纯度 硫酸钡板	3.99(混凝土)	3.9	0.129	4.74×10^{-3}
	控制室门	4mmPb	0.7 (Pb)	3.9	0.129	0.087
	东侧 患者门	4mmPb	0.7 (Pb)	3.8	0.136	0.091
	西侧 患者门	4mmPb	0.7 (Pb)	4.0	0.122	0.082
	无菌 库房门	4mmPb	0.7 (Pb)	3.3	0.180	0.121
	观察窗	4mmPb	0.7 (Pb)	3.1	0.204	0.137
	医生	0.5mmPb	0.7 (Pb)	0.5	7.830	7.452
SPECT-C	摆位	0.5mmPb	0.7 (Pb)	0.5	7.830	7.452

关注点 (^{90}Y)		屏蔽体dp (mm)	^{90}Y 防护能力 HVT (cm)	距离 (m)	H_0 ($\mu\text{Gy/h}$)	H ($\mu\text{Gy/h}$)
T 机房 1	东、西墙	240mm实心砖 +2mmPb	5.87 (实心 砖), 0.7 (Pb)	4.1	0.116	5.62×10^{-3}
	南、北墙	240mm实心砖 +2mmPb	5.87 (实心 砖), 0.7 (Pb)	2.7	0.269	1.29×10^{-2}
	屋顶	180mm 混凝土 +2mmPb	3.99(混凝土), 0.7 (Pb)	3.5	0.160	5.75×10^{-3}
	地板	150mm 混凝土 +2mmPb	3.99(混凝土), 0.7 (Pb)	4.5	0.0970	5.86×10^{-3}
	防护门、 观察窗	4mmPb	0.7 (Pb)	4.1	0.116	0.078
SPECT-C T 机房 2	摆位	0.5mmPb	0.7 (Pb)	0.5	7.830	7.452
	西墙	240mm 实心砖 +6mmPb	5.87 (实心 砖), 0.7 (Pb)	4.1	0.116	3.78×10^{-3}
	东墙	240mm 实心砖 +2mmPb	5.87 (实心 砖), 0.7 (Pb)	4.1	0.116	5.62×10^{-3}
	南、北墙	240mm 实心砖 +2mmPb	5.87 (实心 砖), 0.7 (Pb)	2.7	0.269	0.013
	屋顶	180mm 混凝土 +2mmPb	3.99(混凝土), 0.7 (Pb)	3.5	0.160	5.75×10^{-3}
	地板	150mm 混凝土 +2mmPb	3.99(混凝土), 0.7 (Pb)	4.5	0.097	5.86×10^{-3}
	防护门、 观察窗	4mmPb	0.7 (Pb)	4.1	0.116	0.078
^{90}Y 病房 (留观)	东、西墙	4mm 铅板	0.7 (Pb)	2.3	0.370	0.249
	南墙	4mm 铅板	0.7 (Pb)	4.7	0.089	0.060
	北墙	4mm 铅板	0.7 (Pb)	4.4	0.101	0.068
	屋顶	100mm 混凝土 +4mm 铅板	3.99(混凝土), 0.7 (Pb)	3.4	0.250	0.030
	地板	100mm 混凝土 +40mm 硫酸钡	3.99(混凝土)	3.4	0.169	0.015
	防护门	4mmPb	0.7 (Pb)	4.5	0.097	0.065

表 11-12 注射 ^{90}Y 后在SPECT-CT机房检查时辐射剂量当量率

关注点 (^{90}Y)		H ($\mu\text{Gy/h}$)	X 射线辐射剂量 率 ($\mu\text{Gy/h}$)	总的辐射剂量当量率 ($\mu\text{Gy/h}$)
SPECT-CT 机 房 1	东、西墙	5.62×10^{-3}	0.015	0.021
	南、北墙	1.29×10^{-2}	0.013	0.026
	屋顶	5.75×10^{-3}	0.012	0.018
	地板	5.86×10^{-3}	0.013	0.019
	防护门	0.078	0.013	0.091

关注点 (^{90}Y)		H ($\mu\text{Gy/h}$)	X 射线辐射剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)	总的辐射剂量当量率 ($\mu\text{Gy/h}$)
	观察窗	0.078	0.015	0.093
SPECT-CT 机房 2	西墙	3.78×10^{-3}	0.018	0.022
	东墙	5.62×10^{-3}	0.014	0.020
	南、北墙	0.013	0.018	0.031
	屋顶	5.75×10^{-3}	0.014	0.020
	地板	5.86×10^{-3}	0.013	0.019
	防护门	0.078	0.018	0.096
	观察窗	0.078	0.014	0.092
注：X射线辐射剂量率取自检测报告（FHJC-SXGK-002024220），已扣除最低本底：SPECT-CT机房1为0.122 $\mu\text{Sv/h}$ ，SPECT-CT机房2为0.139 $\mu\text{Sv/h}$ 。				
根据表 11-11、表 11-12，^{90}Y 在高活室进行分装时，高活室外表面 0.3m 处的周围韧致辐射剂量当量为 $3.06 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h} \sim 0.223 \mu\text{Sv/h}$，$^{90}\text{Y}$ 在 DSA 手术室进行注射时，机房外表面 0.3m 处周围韧致辐射剂量当量为 $3.06 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h} \sim 0.137 \mu\text{Sv/h}$；患者在 SPECT-CT1 机房进行扫描时，机房周围剂量当量率为 $0.019 \mu\text{Sv/h} \sim 0.093 \mu\text{Sv/h}$；患者在 SPECT-CT2 机房进行扫描时，机房周围剂量当量率为 $0.019 \mu\text{Sv/h} \sim 0.096 \mu\text{Sv/h}$；病房周围韧致辐射剂量当量为 $0.015 \mu\text{Sv/h} \sim 0.249 \mu\text{Sv/h}$，满足《核医学科放射防护要求》（GBZ120-2020）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）控制区内屏蔽体外 0.3m 处周围剂量当量率不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的要求。 ^{90}Y 在 DSA 机房进行注射时，医生在距离 0.5m 处，周围韧致辐射剂量当量为 $7.452 \mu\text{Sv/h}$，病人在 SPECT-CT 机房进行扫描时，医生伺机摆位 0.5m 处，周围剂量当量率为 $7.452 \mu\text{Sv/h}$，满足《核医学科放射防护要求》（GBZ120-2020）工作场所防护水平要求。				
11.2.3. $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 辐射防护评价				
11.2.3.1 γ 射线辐射影响分析				
γ 射线剂量率评价公式采用《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 I 中公式变形得来，具体如下：				
$H_R = A \times \Gamma \times r^{-2} \times 10^{-\frac{x}{\text{TVL}}}$				(11-10)
式中： H_R —经屏蔽后，关注点处的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；				

A—放射源的预期最大放射源活度，MBq；

Γ —剂量率常数， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{MBq}^{-1}$ ，

注射前 $f(^{99\text{m}}\text{Tc})=0.0303\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{MBq}^{-1}$ ，

患者体内 $0.0207\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{MBq}^{-1}$ ；

r—关注点距辐射源的距离，m；

x—屏蔽层厚度，mm；

TVL— γ 射线在相应屏蔽材料中的什值层厚度，mm。TVL(铅)=1mm，

TVL(混凝土)=110mm，TVL(砖)=160mm。

表 11-13 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 工作场所各房间屏蔽体外关注点辐射剂量率计算结果

关注点 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$)		A (MBq)	Γ ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{MBq}^{-1}$)	r (m)	屏蔽体 x (mm)	屏蔽体外 0.3m 处剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
高活室 (抽取、活度测量)	东墙	370	0.0303	1.5	240mm砖 +4mmPb	1.58×10^{-5}
	北墙	370	0.0303	4	240mm砖 +4mmPb	5.24×10^{-6}
	屋顶	370	0.0303	2.8	180mm混凝土 +2mmPb	1.12×10^{-4}
	地板	370	0.0303	2.8	150mm混凝土 +2mmPb	3.19×10^{-4}
	防护门	370	0.0303	4.3	6mmPb	2.32×10^{-6}
	传递窗	370	0.0303	5.4	10mmPb	1.54×10^{-10}
	手套箱外表面	370	0.0303	2.8	50mmPb	4.48×10^{-49}
DSA手术室 (注入过程)	北墙	370	0.0303	0.5	4mm 铅板	7.01×10^{-5}
	屋顶	370	0.0303	3.7	180mm 混凝土 楼板+2mm 防护铅板	1.12×10^{-4}
	地板	370	0.0303	3.7	150mm 混凝土 楼板+40mm 高纯度硫酸钡板	0.014
	控制室门	370	0.0303	3.7	4mmPb	7.37×10^{-5}
	东侧患者门	370	0.0303	4.5	4mmPb	7.76×10^{-5}
	西侧患者门	370	0.0303	4.5	4mmPb	7.01×10^{-5}
	无菌库房门	370	0.0303	4.3	4mmPb	1.03×10^{-4}
	观察窗	370	0.0303	5.4	4mmPb	1.17×10^{-4}
	医生	370	0.0303	3.7	0.5mmPb	14.181
SPECT-CT 机	摆位	370	0.0207	0.5	0.5mmPb	9.688
	东、西墙	370	0.0207	4.1	240mm实心砖	1.44×10^{-4}

关注点 (^{99m}Tc)		A (MBq)	Γ ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{MBq}^{-1}$)	r (m)	屏蔽体 x (mm)	屏蔽体外 0.3m 处剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
房 1					+2mmPb	
	南、北墙		0.0207	2.7	240mm实心砖 +2mmPb	3.32×10^{-4}
	屋顶	370	0.0207	3.5	180mm 混凝土 +2mmPb	1.44×10^{-4}
	地板	370	0.0207	4.5	150mm 混凝土 +2mmPb	1.64×10^{-4}
	防护门、 观察窗	370	0.0207	4.1	4mmPb	4.56×10^{-5}
SPECT- CT 机 房 2	摆位	370	0.0207	0.5	0.5mmPb	9.688
	西墙	370	0.0207	4.1	240mm 实心砖 +6mmPb	1.44×10^{-8}
	东墙	370	0.0207	4.1	240mm 实心砖 +2mmPb	1.44×10^{-4}
	南、北墙	370	0.0207	2.7	240mm 实心砖 +2mmPb	3.32×10^{-4}
	屋顶	370	0.0207	3.5	180mm 混凝土 +2mmPb	1.44×10^{-4}
	地板	370	0.0207	4.5	150mm 混凝土 +2mmPb	1.64×10^{-4}
	防护门、 观察窗	370	0.0207	4.1	4mmPb	4.56×10^{-5}

表 11-14 注射 ^{99m}Tc 后在 SPECT-CT 机房检查时辐射剂量当量率

关注点 (^{99m}Tc)		H ($\mu\text{Gy/h}$)	X 射线辐射剂量 率 ($\mu\text{Gy/h}$)	总的辐射剂量当量率 ($\mu\text{Gy/h}$)
SPECT-CT 机 房 1	东、西墙	1.44×10^{-4}	0.015	0.015
	南、北墙	3.32×10^{-4}	0.013	0.013
	屋顶	1.44×10^{-4}	0.012	0.012
	地板	1.64×10^{-4}	0.013	0.013
	防护门	4.56×10^{-5}	0.013	0.013
	观察窗	4.56×10^{-5}	0.015	0.015
SPECT-CT 机 房 2	西墙	1.44×10^{-8}	0.018	0.018
	东墙	1.44×10^{-4}	0.014	0.014
	南、北墙	3.32×10^{-4}	0.018	0.018
	屋顶	1.44×10^{-4}	0.014	0.014
	地板	1.64×10^{-4}	0.013	0.013
	防护门	4.56×10^{-5}	0.018	0.018
	观察窗	4.56×10^{-5}	0.014	0.014

注：X射线辐射剂量率取自检测报告（FHJC-SXGK-002024220），已扣除最低本底：
SPECT-CT机房1为 $0.122\mu\text{Sv/h}$ ，SPECT-CT机房2为 $0.139\mu\text{Sv/h}$ 。

根据表 11-13 和表 11-14，高活室周围 ^{99m}Tc 辐射剂量为 $1.54 \times 10^{-10} \mu\text{Sv/h} \sim 3.19 \times 10^{-4} \mu\text{Sv/h}$ ，DSA 手术室周围 ^{99m}Tc 辐射剂量为 $1.12 \times 10^{-4} \mu\text{Sv/h} \sim 0.014 \mu\text{Sv/h}$ ，SPECT-CT1 机房周围剂量当量率为 $0.012 \mu\text{Sv/h} \sim 0.015 \mu\text{Sv/h}$ ；SPECT-CT2 机房周围剂量当量率为 $0.013 \mu\text{Sv/h} \sim 0.018 \mu\text{Sv/h}$ ，满足《核医学辐射防护与安全要求》

（HJ1188-2021）距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

11.2.4. ^{90}Y 治疗项目敏感目标辐射环境影响分析

根据前述源项分析，本项目开展 ^{90}Y 微球注入过程最长时间为 20min，年操作时间为 66.7h； ^{99m}Tc 注入过程最长时间为 15min，年操作时间为 50h。根据本项目 DSA 手术室平面布置情况，本项目敏感目标辐射环境影响预测结果见表 11-15~18。

表 11-15 DSA 手术室辐射工作人员及公众年附加有效剂量估算结果

预测位	受照过程	辐射剂量率附加值 ($\mu\text{Sv/h}$)	年受照时间 (h)	居留因子	年受照剂量 mSv/a)
1 医生 (DSA 手术室内)	透视、摄影	1.14mSv/a		1	2.35
	^{90}Y 注入	7.452	66.7		
	^{99m}Tc 注入	14.181	50		
2 DSA 手术室控制室工作人员	透视、摄影	$6.19 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$		1	0.07
	^{90}Y 注入	0.137	66.7		
	^{99m}Tc 注入	1.17×10^{-4}	50		
3 DSA 手术室东侧患者门	透视、摄影	$5.26 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$		1/8	6.02×10^{-3}
	^{90}Y 注入	0.091	66.7		
	^{99m}Tc 注入	7.76×10^{-5}	50		
4 DSA 手术室西侧无菌库房门	透视、摄影	$7.14 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$		1/8	8.15×10^{-3}
	^{90}Y 注入	0.121	66.7		
	^{99m}Tc 注入	1.03×10^{-4}	50		
5 DSA 手术室北侧土层	透视、摄影	$9.54 \times 10^{-4} \text{mSv/a}$		1/40	1.09×10^{-3}
	^{90}Y 注入	0.082	66.7		
	^{99m}Tc 注入	7.01×10^{-5}	50		
6 DSA 手术室下方地下车库	透视、摄影	$1.76 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$		1/40	1.78×10^{-3}
	^{90}Y 注入	4.74×10^{-3}	66.7		
	^{99m}Tc 注入	0.014	50		
7 DSA 手术室上方室外绿化	透视、摄影	$3.20 \times 10^{-4} \text{mSv/a}$		1/40	3.25×10^{-4}
	^{90}Y 注入	3.06×10^{-3}	66.7		
	^{99m}Tc 注入	1.12×10^{-4}	50		

表 11-16 高活室辐射工作人员及公众年附加有效剂量估算结果

预测位	受照过程	辐射剂量率 附加值 ($\mu\text{Sv/h}$)	年受照 射时间 (h)	居留 因子	年受照剂量 (mSv/a)
高活室东墙 (缓冲间)	^{90}Y 抽取、活度测量	0.034	100	1/5	6.80×10^{-4}
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 分装	1.58×10^{-5}	100	1/5	3.16×10^{-7}
高活室北墙 (质控室)	^{90}Y 抽取、活度测量	0.11	100	1	1.10×10^{-2}
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 分装	5.24×10^{-6}	100	1	5.24×10^{-7}
高活室屋顶 (示教室)	^{90}Y 抽取、活度测量	3.06×10^{-3}	100	1/20	1.53×10^{-5}
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 分装	1.12×10^{-4}	100	1/20	5.60×10^{-7}
高活室地板 (地下车库)	^{90}Y 抽取、活度测量	7.80×10^{-3}	100	1/40	1.95×10^{-5}
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 分装	3.19×10^{-4}	100	1/40	7.98×10^{-7}
高活室防护门	^{90}Y 抽取、活度测量	0.223	100	1/8	2.79×10^{-3}
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 分装	2.32×10^{-6}	100	1/8	2.90×10^{-8}
高活室传递窗	^{90}Y 抽取、活度测量	0.100	100	1	1.00×10^{-2}
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 分装	1.54×10^{-10}	100	1	1.54×10^{-11}
手套箱外表面	^{90}Y 抽取、活度测量	0.055	100	1	5.50×10^{-3}
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 分装	4.48×10^{-49}	100	1	4.48×10^{-50}
备注：由于不同时操作，因此两种非密封放射性物质的操作量不叠加。					

表 11-17 SPECT-CT 机房辐射工作人员及公众年附加有效剂量估算结果

预测位	受照过程	辐射剂量率附加 值（μSv/h）	年受照射时 间（h）	居留 因子	年受照剂量 （mSv/a）
SPECT-CT 机房 1					
医生摆位	⁹⁰ Y 摆位	7.452	1.67	1	0.029
	^{99m} Tc 摆位	9.688	1.67		
东墙（控制室）	⁹⁰ Y 显像检查	5.62×10 ⁻³	50	1	2.88×10 ⁻⁴
	^{99m} Tc 显像检查	1.44×10 ⁻⁴	50		
南墙 （SPECT-CT机 房2）	⁹⁰ Y 显像检查	1.29×10 ⁻²	50	1/2	3.31×10 ⁻⁴
	^{99m} Tc 显像检查	3.32×10 ⁻⁴	50		
防护门	⁹⁰ Y 显像检查	0.078	50	1/8	4.88×10 ⁻⁴
	^{99m} Tc 显像检查	4.56×10 ⁻⁵	50		
观察窗	⁹⁰ Y 显像检查	0.078	50	1	3.90×10 ⁻³
	^{99m} Tc 显像检查	4.56×10 ⁻⁵	50		
屋顶（诊室）	⁹⁰ Y 显像检查	5.75×10 ⁻³	50	1/2	1.47×10 ⁻⁴
	^{99m} Tc 显像检查	1.44×10 ⁻⁴	50		
地板 （地下车库）	⁹⁰ Y 显像检查	5.86×10 ⁻³	50	1/40	7.53×10 ⁻⁶
	^{99m} Tc 显像检查	1.64×10 ⁻⁴	50		
SPECT-CT 机房 2					
医生摆位	⁹⁰ Y 摆位	7.452	1.67	1	0.029
	^{99m} Tc 摆位	9.688	1.67		
东墙（控制室）	⁹⁰ Y 摆位	5.62×10 ⁻³	50	1	2.88×10 ⁻⁴
	^{99m} Tc 摆位	1.44×10 ⁻⁴	50		
北墙 （SPECT-CT机 房2）	⁹⁰ Y 摆位	0.013	50	1/2	3.33×10 ⁻⁴
	^{99m} Tc 摆位	3.32×10 ⁻⁴	50		

预测位	受照过程	辐射剂量率附加 值 ($\mu\text{Sv/h}$)	年受照射时 间 (h)	居留 因子	年受照剂量 (mSv/a)
南墙 (医务通道)	^{90}Y 摆位	0.013	50	1/5	1.33×10^{-4}
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 摆位	3.32×10^{-4}	50		
防护门	^{90}Y 摆位	0.078	50	1/8	4.88×10^{-4}
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 摆位	4.56×10^{-5}	50		
观察窗	^{90}Y 摆位	0.078	50	1	3.90×10^{-3}
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 摆位	4.56×10^{-5}	50		
屋顶 (诊室)	^{90}Y 摆位	5.75×10^{-3}	50	1/2	1.47×10^{-4}
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 摆位	1.44×10^{-4}	50		
地板 (地下车库)	^{90}Y 摆位	5.86×10^{-3}	50	1/40	7.53×10^{-6}
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 摆位	1.64×10^{-4}	50		

备注：每次摆位时间按照 0.5min 考虑，SPECT-CT 平均扫描时间为 15min，保守按全部 ^{90}Y 核素治疗患者在 1 间 SPECT-CT 机房显像进行核算。

表 11-18 ^{90}Y 病房外公众年附加有效剂量估算结果

预测位	受照过程	辐射剂量率附加 值 ($\mu\text{Sv/h}$)	年受照射时 间 (h)	居留 因子	年受照剂 量 (mSv/a)
东墙 (普通医废 暂存间)	留观	0.249	2000	1/20	2.50×10^{-2}
南墙 (室外道路 上空)	留观	0.060	8760	1/40	1.31×10^{-2}
屋顶 (仪器库房)	留观	0.030	2000	1/20	3.00×10^{-3}
地板 (候诊大厅)	留观	0.015	2000	1/20	1.50×10^{-3}

注：年受照时间根据流动人员工作时间取值。

本项目 DSA 手术室内 2 名医生、2 名护士的年受照剂量约为 2.35mSv/a ，控制室工作人员年受照剂量为 0.07mSv/a ，均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 规定的职业人员不超过剂量约束的限值 5mSv/a ；DSA 手术室周围公众的年有效剂量最大为 $8.15 \times 10^{-3}\text{mSv}$ ，不超过公众人员辐射剂量 0.1mSv/a 的约束值。

本项目涉及 SPECT-CT 机房辐射工作人员和高活室的操作人员均利用现有核医学科辐射工作人员。本项目 SPECT-CT 机房辐射工作人员的年受照射剂量最大为 0.029mSv ，叠加辐射工作人员最近一年（最近四个季度）年有效剂量最大值 1.06mSv 后为 1.089mSv/a ；本项目高活室辐射工作人员的年受照射剂量最大为 $5.50 \times 10^{-3}\text{mSv/a}$ ，叠加辐射工作人员最近一年（最近四个季度）年有效剂量最大值 1.06mSv 后为 1.066mSv/a ，均满足职业人员 5mSv/a 剂量约束限值。

SPECT-CT 机房周围公众的年有效剂量最大为 $1.47 \times 10^{-4}\text{mSv}$ ，高活室周围公众的年有效剂量最大为 $1.95 \times 10^{-5}\text{mSv}$ ，远低于环境本底，对医院已运行核医学科对周围公众造成的年剂量而言，可忽略不计。 ^{90}Y 病房周围公众的年有效剂量最

大为 $2.50 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，均不超过公众人员辐射剂量 0.1mSv/a 的约束值。

环评要求，本项目 DSA 运行过程中，医院应严格执行相关制度，采用轮班制，严格控制放射性工作人员的工作时间，使得年受照剂量满足标准要求。

11.2.5. ^{177}Lu 治疗项目辐射环境影响分析

11.2.5.1 β 射线辐射影响分析

本项目使用的 ^{177}Lu 为 β 核素，在衰变过程中会放出 β 射线。参考《辐射防护导论》公式 4.13，能量在 0.01MeV 至 2.5MeV 之间的 β 射线在低原子序数屏蔽物质中的射程可按公式 11-5 计算。

^{177}Lu 的 β 射线最大能量为 0.81MeV ，使用内衬塑料的铅容器屏蔽，在屏蔽材料中的最大射程见表 11-19。

表 11-19 β 射线射程估算结果

核素名称	β 射线最大能量 (MeV)	屏蔽材料密度 (g/cm^3)	最大射程 (cm)
^{177}Lu	0.50	1.4	0.12

根据计算结果可知，本项目使用的 β 核素产生的 β 射线在塑料中的射程较短，已有的防护完全能够屏蔽 β 射线。

11.2.5.1 韧致辐射辐射影响分析

本项目使用的 ^{177}Lu 放出的 β 射线被屏蔽体阻挡时会产生韧致辐射。

对于能量为 E 的 β 射线在屏蔽材料中产生的韧致辐射可采用方杰主编的《辐射防护导论》中的公式 (11-7) 进行计算：

根据前文的数据及《辐射防护导论》附表 1 中数据， ^{177}Lu 核素考虑当日最大用量，本项目 ^{177}Lu 屏蔽体表面 1m 处韧致辐射剂量率见表 11-20。

表 11-20 β 核素所致韧致辐射剂量率估算结果

核素	源活度 A	屏蔽材料原子序数	E_b (MeV)	r (m)	μ_{em}/ρ (m^2/kg)	韧致辐射剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)
^{177}Lu	3.70×10^9	5.85	0.17	1	2.672×10^{-3}	0.331

由表 11-20 可知，本项目 β 核素产生的韧致辐射在距屏蔽体 1m 处的剂量率最大为 $0.33 \mu\text{Gy/h}$ ，满足小于 $2.5 \mu\text{Gy/h}$ 的标准要求。

11.2.6. 甲癌治疗项目辐射环境影响分析

11.2.6.1 γ 射线辐射影响分析

甲癌治疗项目患者采用 ^{131}I 碘自动分装仪进行分装，自动分装仪自带

40mmPb 屏蔽柜，置于服药室内，工作人员通过远程操作控制，定量自动分装出需要的药量，通过视频监控和语音对讲系统，指引病人服药。

甲癌治疗辐射工作场所的屏蔽计算可采用瞬时剂量率计算方法。 γ 射线来自非密封放射性物质，相对于所在场所的尺寸，放射源可看作是点源，经屏蔽后关注点处的剂量率可由公式（11-10）计算得出，核算结果详见表 11-21。

^{131}I 发出的的 γ 射线在相应屏蔽材料中的什值层厚度，mm。TVL(铅)=11mm，TVL(混凝土)=170mm，TVL(砖)=240mm。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）及生态环境部关于《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关条款咨询的复函（辐射函〔2023〕20 号）中工作场所屏蔽要求，本评价报告中工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv/h}$ ；手套箱、注射窗外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；手套箱非正对人员操作位表面的周围剂量当量率应小于 $25\mu\text{Sv/h}$ 。

表 11-21 甲癌治疗辐射工作场所屏蔽防护效能核算结果

场所名称	A (MBq)	Γ $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$	核算位置	R (m)	H_p ($\mu\text{Sv/h}$)	屏蔽设计/等效铅当量	是否 符合	设计厚度下屏蔽 体外剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
核医学治疗场所								
自动分装仪 (^{131}I , 考虑所有 用量)	22200	0.0595 (裸源)	工作面	0.5	25	40mmPb	符合	1.221
			其他面	0.5	25	40mmPb	符合	1.221
^{131}I 病房 1 (考虑 1 人)	7400	0.0583 (人体源)	西墙	7.4 ^①	2.5	22mm 铅板	符合	0.079
			南墙	8.7 ^①	2.5	16mm 铅板	符合	0.200
			北墙	4.4	10	14mm 铅板	符合	1.189
			屋顶	3.4	2.5	100mm 混凝土+18mm 铅板	符合	0.223
			地板	3.4	2.5	100mm 混凝土+12mm 铅板+40mm 硫酸 钡	符合	0.454
			防护门	4.5	10	14mmPb	符合	1.137
^{131}I 病房 2、3 (分 别考虑 1 人)	7400	0.0583 (人体源)	东、西墙	2.3	10	16mm 铅板	符合	2.864
			南墙	8.7 ^①	2.5	16mm 铅板	符合	0.200
			北墙	4.4	10	14mm 铅板	符合	1.189
			屋顶	3.4	2.5	100mm 混凝土+18mm 铅板	符合	0.223
			地板	3.4	2.5	100mm 混凝土+12mm 铅板+40mm 硫酸 钡	符合	0.454
			防护门	4.5	10	14mmPb	符合	1.137
抢救室 (考虑 1 人)	7400	0.0583 (人体源)	东墙	1.8	2.5	20mm 铅板	符合	2.024
		0.0583 (人体源)	西墙	1.8	10	14mm 铅板	符合	7.106

场所名称	A（MBq）	Γ $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$	核算位置	R（m）	H_p $(\mu\text{Sv/h})$	屏蔽设计/等效铅当量	是否 符合	设计厚度下屏蔽 体外剂量率 $(\mu\text{Sv/h})$
		0.0583 （人体源）	北墙	2.0	2.5	20mm 铅板	符合	1.639
		0.0583 （人体源）	南墙	2.0	10	12mm 铅板	符合	8.748
		0.0583 （人体源）	屋顶	2.8	2.5	100mm 混凝土+12mm 铅板	符合	1.152
		0.0583 （人体源）	地板	3.4	2.5	100mm 混凝土+6mm 铅板+ 40mm 硫酸钡	符合	1.596
		0.0583 （人体源）	防护门	2.4	10	12mmPb	符合	6.075
注：①由于 3 间 ^{131}I 病房南墙外、 ^{131}I 病房 1 西墙外均为室外道路上空，上述关注点与辐射源点的距离考虑楼层高度（7.4m）。								

根据表 11-21，甲癌治疗辐射工作场所的墙体、防护门、防护窗、地板及屋顶设计厚度均满足辐射屏蔽的要求，屏蔽体外剂量当量率满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的标准限值，满足辐射防护要求。

11.2.6.2 甲癌治疗项目敏感目标辐射环境影响分析

本项目 ^{131}I 甲癌药物分装采取 ^{131}I 全自动分装仪自动分装，辐射工作人员不参与药品的发放，因此不考虑该过程对辐射工作人员的影响。

工作人员抢救甲癌患者时距患者 0.5m 处所受到的剂量率为 $1761.2\mu\text{Sv/h}$ ，每位患者抢救时间平均为 30min，预计每年抢救患者 0~3 人，则抢救工作人员受照最大时间 1.5h，年附加有效剂量为 2.64mSv ，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）职业照射剂量约束值不超过 5.0mSv 的要求。

本项目甲癌治疗辐射工作场所周围公众人员的年附加剂量估算见表 11-22。

公众年受照射时间根据工作场所功能及工作时间、受检者或患者在场地的停留时间进行计算。

表 11-22 甲癌治疗辐射工作场所周围公众年有效剂量估算结果

工作场所	关注点		患者辐射影响		居留因子	年有效剂量 (mSv)
			周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	公众年受照射时间 (h)		
^{131}I 病房 1	西墙	楼外道路	0.079	患者每天 24h, 全年影响时间 8760h	1/40	0.017
	南墙	楼外道路	0.200		1/40	0.044
	屋顶	库房	0.223	工作场所每日开放时间 8h, 全年受影响时间 2920h	1/20	0.032
	地板	候诊大厅	0.454		1/20	0.066
^{131}I 病房 2、3	南墙	楼外道路	0.200	患者每天 24h, 全年影响时间 8760h	1/40	0.044
	屋顶	库房	0.223	工作场所每日开放时间 8h, 全年受影响时间 2920h	1/20	0.032
	地板	候诊大厅	0.454		1/20	0.066
抢救室	东墙	处置室	2.024	考虑 1 名患者抢救时间 30min, 每年最多 5 个患者抢救, 全年累积时间 2.5h	1/2	0.003
	楼上	护士站	1.152		1	0.003
	楼下	诊室	1.596		1/2	0.002

根据表 11-22 的估算, 甲癌治疗辐射工作场所对公众产生的外照射年有效剂量最大为 0.066mSv, 低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 标准限值、《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 剂量约束值 0.1mSv。核医学科为相对封闭区域, 公众通常情况下无法到达控制区, 且在控制区边界外停留时间较短, 故公众成员受到的附加剂量实际会小于环评预测值。

50m 范围内其他环境保护目标距辐射源的距离更远, 间隔的墙体更多, 因此上表中关注点处年有效剂量满足标准要求的条件下, 50m 范围内其他环境保护目标的年有效剂量也满足标准要求。

11.2.7. 大气环境影响分析

^{90}Y 树脂微球为悬浮液, 悬浮溶液为无菌水, 无挥发性, 且在治疗全过程中, ^{90}Y 微球不暴露在空气, 且游离的非密封放射性物质 ^{90}Y 以氯化钇形式存在, 氯化钇不具备挥发性, 故不产生放射性气体或气溶胶的辐射影响。

DSA 设备在开机并处于出束状态时, X 射线与空气作用会产生极少量的臭氧、氮氧化物等有害气体, 由于项目射线装置的管电压、管电流较小, 产生的有害气体相对较少。本项目 DSA 手术室的排风口设置于手术室天花板东南侧, 排风口排风量约 700m³/h, 排风次数约 4.5 次/h, 手术室内产生的臭氧、氮氧化物

经排风管道穿过手术室东侧墙体与控制室、更衣室、缓冲间排风管相接，一并接入 DSA 手术室南侧的排风井，最终接至一层裙房屋顶排放。

高活室、SPECT-CT 机房 1 和 SPECT-CT 机房 2 的通风均维持核医学科目前投运的通风管道不变。DSA 手术室内产生的臭氧、氮氧化物经排风管道接入手术室东南侧排风井，经活性炭吸附装置过滤后最终排至一层裙房屋顶，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的标准要求。

本项目 ^{131}I 病房设有单独的通风系统； ^{131}I 自动分药装置、手套箱的排风管道在汇入“主排风管道前”的部分独立设置，经活性炭过滤后汇入主管道中； ^{177}Lu 病房、 ^{90}Y 病房的排风，与患者缓冲间、患者活动区、质控室、源库等场所的排风管分别在汇入主管道之前采用活性炭过滤，手孔处测量的风速应不小于 0.5m/s ，管道应采用专用防辐射排风管。本项目核医学科工作场所主管道内保持负压，各支管设止回装置防止高活区放射性废气进入低活区，放射性废气最终经北侧核医学专用排风井，引至西门诊住院楼八层屋面排放。

医生值班室、护士值班室、监控室，及源库北侧的治疗室为洁净区域，因此接入三层既有排风系统。

通风系统的活性炭过滤装置应加强维护，建议采用蜂窝状活性炭，更换周期不能超过厂家推荐的使用时间，以保证过滤效果。更换废活性炭的工作人员应正确穿戴个人防护用品（放射性污染防护服）和佩戴个人剂量计，将更换下来的废活性炭（含非密封放射性物质）采用专用废物袋密封，并在显著位置标注废物种类、非密封放射性物质种类、活度水平和存放日期等说明。

11.2.8. 水环境影响分析

(1) 放射性废水暂存

本项目在 DSA 手术室注射 ^{90}Y 微球和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 过程中不产生放射性废水，DSA 设备采用数字显影技术，无废显影液和定影液产生。注入的造影剂不含放射性。

根据医院提供的图纸，西门诊住院楼三层本项目核医学科的放射性废水暂存于负二层新建的两套（A组和B组）衰变池内。

A组衰变池分为3格，每格池体有效容积为 8.0m^3 ，总有效容积为 24m^3 ，用于收集1间 ^{177}Lu 病房和1间 ^{90}Y 病房内住院患者产生的废水，大约 $0.2\text{m}^3/\text{d}$ ，每格衰变池体储存满需要大约40天，排放时放射性废水最短衰变时间约为80天，大于所含

核素10倍最长半衰期。

B组衰变池分为6格，每格池体有效容积为12.6m³，总有效容积为75.6m³，用于收集3间¹³¹I甲癌病房内住院患者产生的废水和辐射工作人员清洗手部时可能带有微量放射性的废水，大约0.33m³/d，每格衰变池体储存满需要大约38.2天，排放时放射性废水最短衰变时间约为191天，大于180天。

因此，本项目放射废水在衰变池衰变后，其衰变时间满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的相关要求。

（2）衰变池屏蔽防护能力

本项目衰变池池体为 200mm 混凝土结构，衰变池拟建于西门诊住院楼负二层西北角的空房间内，西侧和北侧均为土层，东侧、南侧和下方均为地下车库，上方为核医学科现有的储源室、分药室、废物间、服药室、敷贴间、治疗观察室等。将衰变池中废水按位于其几何中心的点源计算，考虑患者用药量的三分之一进入衰变池。

考虑废水衰变，第 n 天的废水进入衰变池后，衰变池中一种核素的放射性活度用以下公式计算：

$$S_N = \sum_{t=1}^N A \times \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{n}{T}} \quad (11-11)$$

式中：A_n-第 n 天的放射性废水进入衰变池中后，衰变池中某核素的总活度，Bq；

A-每日进入衰变池的废水活度，Bq；

N-衰变池最大可容纳废水的产生天数；

n-衰变池贮存放射性废水的天数，天；

T-对应核素的半衰期，天。

A 组衰变池可容纳 80 天的放射性废水，等效点距负二层地下车库最近距离约 10m，距上方 2.8m，距下方 1.9m，楼板混凝土厚度为 200mm。考虑 ¹⁷⁷Lu 和 ⁹⁰Y 衰变，当 A 组衰变池注满时，单个池体内 ¹⁷⁷Lu 活度约为 3.89×10⁹Bq，⁹⁰Y 活度约为 1.85×10⁹Bq。A 组衰变池周围剂量当量率见表 11-23。

表 11-23 A 组衰变池周围剂量当量率估算结果

关注点	核素种类	总活度 (MBq)	距关注点距离 (m)	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	总剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
负二层车库	^{177}Lu	3.89×10^3	10.0	6.42×10^{-6}	9.38×10^{-6}
	^{90}Y	1.85×10^3	10.0	2.97×10^{-6}	
上方	^{177}Lu	3.89×10^3	2.8	8.19×10^{-10}	1.19×10^{-9}
	^{90}Y	1.85×10^3	2.8	3.68×10^{-10}	
下方	^{177}Lu	3.89×10^3	2.1	1.46×10^{-9}	2.11×10^{-9}
	^{90}Y	1.85×10^3	2.1	6.53×10^{-10}	

B 组衰变池可容纳 191 天的放射性废水，等效点距负二层地下车库最近距离约 9m，距上方 2.8m，距下方 1.9m，楼板混凝土厚度为 200mm。考虑 ^{131}I 衰变，当 B 组衰变池注满时，单个池体内 ^{131}I 活度约为 $3.02 \times 10^{10}\text{Bq}$ 。B 组衰变池周围剂量当量率见表 11-24。

表 11-24 B 组衰变池周围剂量当量率估算结果

关注点	核素种类	总活度 (MBq)	距关注点距离 (m)	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
负二层车库	^{131}I	3.02×10^4	9.0	1.48
上方	^{131}I	3.02×10^4	2.8	1.02
下方	^{131}I	3.02×10^4	2.1	1.81

以上计算仅考虑衰变池的屏蔽防护措施，并未考虑衰变池中水及衰变池外侧墙体的屏蔽作用，人员受到的实际剂量应小于以上计算结果。

因此本项目衰变池对上方地面和北侧停车场的剂量当量率均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的限值要求。

11.2.9. 固体废物环境影响分析

本项目放射性固体废物年产生量约 1470.5kg，负一层高活室产生的放射性固体废物依托原有废物间进行暂存，DSA 手术室产生的放射性固体废物暂存于手术室西侧污洗间。暂存满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中要求后，可对废物清洁解控，作为医疗废物交由有资质单位回收处理。

病房内患者产生的固体废物利用原有专用的收集容器回收，转入固废间暂存，经监测达标，可对废物清洁解控后作为医疗废物交由有资质单位回收处理。

半衰期大于 24 小时（含 ^{177}Lu 、 ^{90}Y 核素）的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍，含 ^{131}I 核素的放射性固废暂存时间超过 180 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 ，可对废物清洁解控作为一般固废医疗废物处理。

11.3. 事故影响分析

11.3.1. 风险识别及评价

依据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令 第449号）第四十条规定：根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级

本项目开展前，医院可能发生的辐射事故等级最高为重大辐射事故。

依据《关于发布放射源分类办法的公告》三、非密封源分类：乙级和丙级非密封源工作场所的安全管理参照II、III类放射源。

经计算，核医学科改扩建后，医院辐射工作场所等级保持乙级不变，事故时可能导致受照人员产生较严重的放射损伤，大剂量照射甚至导致人员死亡。因此，核医学科可能发生的辐射事故等级最高为重大辐射事故。

11.3.2. 事故分析

1、可能发生的故事

（1）放射性药品丢失、被盗事故

医院核医学科管理不严、保管不当，导致放射性药品丢失、被盗，进而对公众造成辐射影响。

（2）放射性药品洒漏事故

放射性药品分装、注射操作过程中因操作不当，放射性药品出现洒漏对工作场所台面、地上等形成放射性污染。

（3）核素治疗患者用药后未经允许离开核医学科，尤其是在用药初期离开病房，可能对接近患者的人员造成额外照射。

（4）射线装置误照射事故

射线装置发生控制系统或电器系统故障，使受检者或职业人员受到超剂量照射。医生未穿戴防护用品进入手术室，或未配置合格的防护用品；人员在防护门关闭后未撤离手术室；操作人员误开机出束，造成人员误照射。

2、采取的预防措施

（1）制定并落实非密封放射性物质安全管理制度，设专人负责，做好放射

性药品的领取、使用登记工作，确保放射性药物的安全。应设置防盗门、防盗窗及报警装置等设施，做好防盗工作。

(2) 制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，减少药物洒漏事故的发生。

(3) 加强辐射工作人员自身防护安全意识，定期组织培训，使辐射工作人员明确配备的防护用品（铅衣、铅手套、铅围裙、铅围脖、铅眼镜等）及存放位置。工作人员进入监督区必须穿戴放射防护用品，个人剂量计佩戴于铅衣内部左胸前。在进行分装及注射放射性药物时穿铅衣、戴口罩、手套，必要时防护眼镜。尽量利用长柄钳、镊子等工具操作，增加与放射性药物的距离。为病人注射放射性药物时，工作人员手部有一定受照量，操作者应使用注射器屏蔽装置。专人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。

(4) 加强对服药患者的管理，为离开医院的服药患者提供与他人接触时的辐射防护措施的书面对指导，使患者明白并自觉做到短期内不到公众场所活动，并避免与家人近距离密切接触。

(5) 放射性固体废物衰变箱外应标注内含非密封放射性物质种类、封存时间。医院应加强放射性废水和固体废物排放处理管理，按照本环评要求的衰变时间停留衰变处理前进行监测，达到解控水平后方可进行进一步处理。

(6) 制定自检制度且严格进行经常性自检，如 DSA 手术室发现门-灯联锁、监视器、工作状态指示灯、电离辐射警告标志不够完善或失灵，或者防护门出现故障，应立即补充、修复。

3、事故应急措施

(1) 发生射线装置事故时，第一时间按下紧急停止开关或切断电源，停止射线装置的运行。

(2) 由于操作不慎，有少量的液态药物洒漏后，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 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，表明该污染区未达到标准，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 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 为止；

(3) 因不慎造成非密封放射性物质大面积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，注明非密封放射性物质名称、日期。根据污染程度及时报告上级领导和有关部门。人体溅污非密封放射性物质时，应先用吸水纸吸干体表，避免污染面积扩大；

（4）若发生放射性试剂丢失、被盗，应立即启动辐射事故应急预案；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；

（5）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。

11.4. 辐射环境影响评价结论

本项目正常运行时，其工作场所采取相应辐射屏蔽措施后，项目对周边的辐射环境影响满足相关标准限值要求；项目正常运行所致工作人员、公众年附加有效剂量分别满足本次评价 5mSv、0.1mSv 剂量约束值要求。评价认为：西安交通大学医学院第二附属医院核医学科改扩建核技术利用项目在严格落实本环评提出的设施和措施后，对周围环境的辐射影响在可接受范围之内。

表 12. 辐射安全管理

12.1. 辐射安全与环境保护管理机构的设置

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 I 类、II 类、III 类放射源，使用 I 类、II 类射线装置的工作单位，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；其他辐射工作单位应当具有 1 名具有大专以上学历的技术人员专职或者兼职负责辐射安全和环境保护管理工作。

医院已在国有资产与医学装备管理办公室（以下简称国装办）设立放射防护管理委员会办公室，由院长担任主任委员，主管副院长担任副主任委员，国装办、医学影像科、核医学科、肿瘤放疗科、心血管内科、神经内科、健康管理部、呼吸与危重症医学科、消化内科、泌尿外科、耳鼻咽喉头颈外科、骨科中心、麻醉科（含手术室）、人力资源部、医务部、基本建设办公室、后勤保障部、保卫部、大明宫院区管理办公室主任为放射防护管理委员会委员，负责医院放射防护管理工作。国装办主任兼任办公室主任，国装办副主任兼任办公室副主任。

12.2. 辐射安全管理规章制度

12.2.1. 辐射安全管理标准化建设

根据《陕西省环境保护厅办公室关于印发新修订的<陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表>的通知》（陕环办发〔2018〕29 号）的相关规定要求，核技术利用单位应对制定的管理规章制度的执行情况及应急管理按表 12-1 的要求，逐项落实完善。

表 12-1 辐射安全管理标准化建设项目表（辐射安全管理部分）

管理内容	管理要求	落实情况
机构建设	设立辐射环境安全管理机构和专（兼）职人员，以正式文件明确辐射环境安全管理机构和负责人。	已落实
制度执行	建立全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度，指定专人负责系统使用和维护，确保业务申报、信息更新真实、准确、及时、完整。	已落实
	建立射线装置管理制度，严格执行进出口、转让、转移、收贮等相关规定，并建立射线装置台账。	已落实
	建立射线装置的岗位职责、操作规程，严格按照规程进行操作，并对规程执行情况进行检查考核，建立检查记录档案。	已落实

	建立辐射工作人员培训管理制度及培训计划，并对制度的执行情况及培训的有效性进行检查考核，建立相关检查考核资料档案。	已落实
	建立辐射工作人员个人剂量管理制度，每季度对辐射工作人员进行个人剂量监测，对剂量超标人员分析原因并及时报告相关部门，保证个人剂量检测档案的连续有效性。	已落实
	建立辐射工作人员职业健康体检管理制度，定期进行辐射工作人员的职业健康体检，对体检异常人员及时复查，保证职业人员健康监护档案的连续有效性。	已落实
	建立辐射安全防护设施的维护与维修制度，包括维护维修内容与频次、重大问题管理措施、重新运行审批级别等内容，并建立维护、维修记录档案。	已落实
	建立辐射环境监测制度，定期对场所及周围环境进行监测，并建立有效的监测记录或监测报告档案。	已落实
	建立辐射环境监测设备使用与检定管理制度，定期对监测仪器设备进行检定，并建立检定档案。	已落实
应急管理	结合本单位实际，制定可操作性的辐射事故应急预案，定期进行应急演练。	已落实
	辐射事故应急预案应报所在地县级环境保护行政主管部门备案。应急预案应当包括以下内容：①可能发生的辐射事故及危害程度分析；②应急组织指挥体系和职责分工；③应急人员培训和应急物资准备；④辐射事故应急响应措施；⑤辐射事故报告和处理程序。	已落实

医院已制定了一系列辐射防护管理规章制度，包括：《西安交通大学医学院第二附属医院辐射事故应急预案》《辐射工作人员岗位职责》《辐射工作人员职业健康管理制度》《辐射工作人员个人剂量管理制度》《辐射工作场所监测制度》《辐射环境监测设备使用与检定管理制度》《血管造影机（DSA）仪器操作规程》《非密封放射源安全管理制度》《血管造影机（DSA）仪器操作规程》《放射性“三废”处理方法》《ECT 操作规程》《核医学科放射防护规范》《核医学科质控检测计划》《全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度》等辐射安全管理制度。

医院现有辐射安全管理制度基本完善，能够满足本项目开展的需求。项目验收投产前，应向辐射安全许可证发证机关重新申领辐射安全许可证。

医院已制定《辐射事故应急预案》并发布了正式文件，对标准化建设项目表中要求的应急演练等内容做出了相关规定，详见下文“12.4 辐射应急事故”。

12.2.2. 人员管理

本项目拟配备 7 名辐射工作人员，包括 1 名影像技师，4 名护士和 2 名医师。

(1) 本项目 7 名辐射工作人员均从医院核医学科现有辐射岗位调配，均已参加国家核技术利用辐射安全与防护培训平台的考核，并取得成绩报告单，持证上岗。

(2) 本项目 7 名辐射工作人员已开展个人剂量监测并建立了个人剂量档案。

(3) 本项目 7 名辐射工作人员已于 2023 年 12 月进行了职业健康体检，结果均为“可以继续从事放射性作业”。

12.3. 辐射监测

医院已配备表面污染监测仪、X-γ剂量监测仪，并按照需要配备个人剂量计、个人剂量报警仪，并将本项目内容纳入辐射环境监测方案计划，每年委托有资质单位对辐射工作场所进行一次定期监测，并按时向生态环境主管部门提交本院的放射同位素与射线装置的安全和防护状况评估报告。按要求为辐射工作人员配备个人剂量计，委托有资质单位定期对辐射工作人员进行个人剂量检测并存档。

项目建成投运后，应定期对新增辐射工作场所进行监测，监测要求如下：

(1) 辐射工作场所环境监测：a、项目建成后，委托有资质的单位对其进行竣工环境保护验收监测，并及时组织竣工环境保护验收工作；委托有资质单位对本次新建的机房进行监测，监测频次不小于 1 次/年，监测结果应详细记录并存档；b、利用 X-γ剂量检测仪定期对新建机房周边环境进行巡检，若发现异常情况，应立即采取应急措施，停止放射工作，并查找原因；c、将本次新建机房的检测结果纳入辐射安全和防护状况评估报告中，并在每年 1 月 31 日之前上报发证机关。

(2) 个人剂量监测：a、项目涉及的辐射工作人员应配备个人剂量计，每季度委托具有资质的个人剂量监测技术服务机构进行监测，建立个人剂量检测档案；b、在每年的辐射安全和防护状况评估报告中，应包含辐射工作人员个人剂量检测数据及安全评估的内容。

项目辐射监测计划见表 12-2。

表 12-2 项目辐射监测计划

位置	监测内容	监测点位	监测因子	监测频次
西门诊住院楼 负一层、三层核医学科	防护性能检测	负一层高活室和三层质控室的手套箱表面、 ¹³¹ I自动分药装置表面、注射窗表面、工作人员操作位等；	X-γ辐射剂量率	每月自测一次，委托有资质单位每年监测一次
		负一层 DSA 手术室四周屏蔽墙外 30cm 处、手术室顶棚距顶棚地面 1.0m、手术室地面下方距楼下地面 1.7m 控制室、防护门外 30cm 处、电缆沟、术者位。		
		放射性废物桶表面、核医学科附近环境。		
	表面污染检测	工作台面、地面、洗手池表面、座椅表面、患者卫生间地上、床面、卫生间、废物桶表面等。	β表面污染	每月自主监测一次，每年委托有资质单位监测一次
		核医学科工作人员手、皮肤暴露部分以及工作服、手套、鞋表面等。	β表面污染	每次人员离开前
个人剂量计				
监测内容		监测范围	监测类别	监测频次
个人剂量当量		所有辐射工作人员	个人剂量监测	委托有资质单位每季度监测一次

(3) 年度评估

每年应委托有 X-γ 剂量监测仪及 β 表面污染检测资质的单位对辐射工作场所进行辐射环境的年度管理监测，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

12.4. 辐射事故应急

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与射线装置安全与防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等相关法律法规及《陕西省环境保护厅办公室关于印发新修订的<陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表>的通知》（陕环办发〔2018〕29号）的要求，医院制定了《西安交通大学医学院第二附属医院辐射事故应急预案》，主要内容包括：

①总则；②可能发生的的辐射事故等级分析；③应急组织机构及职责；④预防；⑤应急响应与事故处置；⑥应急状态终止和恢复措施；⑦应急能力维持；⑧应急物资清单；⑨辐射事故应急联系方式等内容。满足《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》的通知（陕环办发〔2018〕29号）的要求。

目前医院未曾发生过辐射事故，为预防辐射事故的发生，本项目环评要求项目正式运行后，还应做好以下工作：结合本项目⁹⁰Y、¹⁷⁷Lu、¹³¹I放射性药物使用情况，依据国家相关法律法规、标准，不断对应急预案进行补充修改、完善，使应急预案更具有操作性、可行性，同时加强应急预案演练，提高事故应急处置能力。

12.5. 环境保护投资与“三同时”环保验收一览表

12.5.1. 环保投资

项目总投资 1850 万元，其中环保投资 961 万元，占总投资的 51.9%。环保投资主要用于辐射安全设施购置、辐射工作人员职业健康体检、个人防护用品采购以及个剂监测、工作场所监测等。项目环保投资明细一览表见表 12-3。

表 12-3 项目环保投资明细一览表

序号	项目	投资金额（万元）
1	辐射安全防护设施	门灯联锁装置、红外防夹装置、自动闭门装置、电离辐射警告标志、工作状态指示灯、门禁系统、视频监控、紧急停机按钮等
		32
		DSA、病房、质控室等场所四周墙体、顶棚、地板、防护门、注射窗等防护屏蔽措施，衰变池工程建设
2	个人防护用品	动力通风装置等
		14
2	个人防护用品	铅围裙、铅颈套、铅眼镜、介入防护手套等个人防护用品； 铅悬挂防护屏、床侧防护帘等辅助防护设施； 手套箱、铅罐、铅污物桶、注射屏蔽套等防护用品
		2.2 (部分依托现有)
3	辐射监测仪器	X-γ剂量监测仪、β表面污染监测仪
4	职业健康体检	职业健康体检
5	工作人员培训	辐射安全和防护知识培训
6	个人剂量监测	个人剂量计
7	环境监测	工作场所监测
8	环保咨询	环保咨询费用
合计		961

12.5.2. 竣工环境保护验收

为规范项目竣工环境保护验收的程序和标准，强化环境保护主体责任，根据《建设项目环境保护管理条例》（国务院第 682 号令，2017 年 10 月 1 日起实施）以及《建设项目竣工环境保护验收管理办法》的规定，项目竣工后应及时进行自主验收，编制验收监测报告。验收合格后，并取得新的辐射安全许可证后，方可投入生产或使用。项目竣工环境保护验收清单见表 12-5。

表 12-4 项目竣工环境保护验收清单

序号	验收内容	
1	辐射安全管理机构	依托现有辐射安全与环境保护放射管理领导小组。
2	辐射安全管理制度	依托现有辐射安全管理制度，针对本项目制定相应的操作规程及岗位职责，并确保辐射环境管理制度贯彻落实，保障人员安全。
3	辐射安全防护措施	门灯联锁装置、红外防夹装置、自动闭门装置，急停按钮、工作状态指示灯、电离辐射警告标志、摄像监控装置、门禁系统、衰变池、动力通风装置等。
4	防护用品	个人剂量计、铅衣、铅颈套、铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅眼镜、介入防护手套、手套箱、铅罐、铅污物桶、注射屏蔽套等个人防护用品。
5	机房面积	DSA 手术室最小有效使用面积 $\geq 20\text{m}^2$ ，机房内最小单边长度 $\geq 3.5\text{m}$ 。
6	环境监测仪器	使用现有的 X- γ 剂量监测仪、 β 表面污染监测仪，定期对辐射工作场所及周围辐射环境进行监测，详细记录监测数据并归档；每年委托有资质单位对辐射工作场所进行辐射防护检测，并建立辐射监测档案，每年委托有资质单位进行检定或校准。 配备与工作人员数量匹配的个人剂量计（介入手术医护人员铅衣内外各配 1 个）。
7	职业教育培训	辐射工作人员应定期参加辐射安全和防护知识培训考核，取得成绩报告单后方能上岗。
8	个人剂量档案	为每名辐射工作人员配备个人剂量计，辐射工作时要求佩戴，定期送检并保存放射工作人员个人剂量监测档案。
9	健康档案	定期对辐射工作人员进行职业健康体检，并建立职业健康检查档案。
10	剂量限值	项目公众剂量约束值不超过 0.1mSv/a ，职业工作人员剂量约束值不超过 5mSv/a 。
	墙体外剂量率控制	DSA 透视条件下，DSA 手术室屏蔽体外表面 30cm 处剂量率剂量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

序号	验收内容	
		核医学科辐射工作场所屏蔽墙体外表面 30cm 处、防护门表面及缝隙 30cm、管线穿墙孔洞处空气吸收剂量率应小于 2.5 μ Sv/h。核医学科各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5 μ Sv/h。放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应有屏蔽结构,以保证设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5 μ Sv/h,放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 25 μ Sv/h。
	表面污染	①工作台、设备、墙壁、地面:控制区: $\beta < 4 \times 10 \text{ Bq/cm}^2$; 监督区: $\beta < 4 \text{ Bq/cm}^2$; ②工作服、手套、工作鞋:控制区/监督区: $\beta < 4 \text{ Bq/cm}^2$; ③手、皮肤、内衣、工作袜: $\beta < 4 \times 10^{-1} \text{ Bq/cm}^2$ 。
	术者位	DSA 手术室内术者位满足《医用 X 射线诊断设备质量控制检测》(WS76-2020)透视防护区检测平面上不大于 400 μ Sv/h 的要求。
11	放射性废水	医学科衰变池排口设置标准采样口,医院污水处理站总排口:总 β 放射性 $< 10 \text{ Bq/L}$ 。
12	放射性废气	放射性废气经活性炭过滤装置处理后,接入核医学科专用风井,最终引至八层楼顶排放。手套箱应有专用的排风装置,手孔处测量的风速应不小于 0.5m/s。
13		设置固废间,有放射性废物处理台账。待放射性废物活度浓度低于 HJ1188-2021 清洁解控水平的要求后,作为医疗废物处理。
14	放射性固体废物	每袋废物(重量 $\leq 20 \text{ kg}$)的表面辐射剂量率 $\leq 0.1 \text{ mSv/h}$;废物包装盒外表面: $\beta < 0.8 \text{ Bq/cm}^2$
15		所含核素半衰期大于 24 小时(含 ^{90}Y 、 ^{177}Lu 核素)的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍。含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

表 13. 结论与建议

13.1. 结论

13.1.1. 项目概况

医院为拓展业务范围,提高医疗服务水平,更好地满足患者的医疗服务需求,拟将西门诊住院楼(地下三层,地上八层)负一层核医学科东北角的资料室改造为 DSA 手术室及其控制室、更衣室、设备间等辅助用房,手术室内拟配备 1 台 DSA (Ⅱ类医用射线装置,型号待定,参数拟定最大管电压 125kV、最大管电流 1250mA),用于 ^{99m}Tc 、 ^{90}Y 药物注射;依托负一层西南角原高活室进行 ^{99m}Tc 、 ^{90}Y 药物暂存、抽取、活度测量;依托原 SPECT-CT 机房 1 或 SPECT-CT 机房 2 进行显像扫描,之后由离开通道进入核医学专用电梯,电梯上至三楼方可开门,患者根据指示进入 ^{90}Y 专用病房留观。

医院拟将西门诊住院楼三层抢救室、库房等区域改造为病区监控室、质控室、源库、服药室、固废间等房间,将南侧 5 间病房自西向东依次改造为 3 间 ^{131}I 病房、1 间 ^{177}Lu 病房和 1 间 ^{90}Y 病房。

本项目涉及新增Ⅱ类射线装置和乙级非密封放射性物质工作场所,使用的非密封放射性物质 ^{131}I 、 ^{177}Lu 、 ^{90}Y 和 ^{99m}Tc 均按照每天的使用量提前从有资质单位外购。

13.1.2. 实践正当性

本项目建成后能够实现使用 ^{131}I 开展甲癌治疗,使用 ^{177}Lu 开展实体性肿瘤治疗,使用 ^{90}Y 微球开展肝癌治疗,对满足患者多层次、多方位、高质量和文明便利的就诊需求具有重要意义,对保障人民群众身体健康、拯救生命起了十分重要的作用,所带来的个人和社会利益远大于可能引起的辐射危害,符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)“实践的正当性”要求。

13.1.3. 辐射环境质量现状

项目所在地空气吸收剂量率处于正常环境本底水平,辐射环境现状无异常,项目所在区域辐射环境现状质量良好。

13.1.4. 辐射安全与防护分析结论

核医学科 DSA 设计有单独的机房，工作人员隔室进行操作，各辐射工作场所采取的屏蔽体均满足辐射防护屏蔽要求。本项目核医学科辐射工作场所控制区出入口、质控室、病房等涉及非密封放射性物质场所均设置电离辐射警告标识和中文警告说明；DSA 手术室安装门灯联锁装置和工作状态指示灯；核医学科辐射工作场所控制区出入口安装门禁，其内部场所设置分区标识，地面设置行走路径标识；核医学科配备满足需要的放射性废物贮存设施（固废间）、放射性废水衰变池、专用排风管道及活性炭过滤设施，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关要求。

本项目 DSA 在操作台处设置观察窗，工作人员通过观察窗观察手术室内患者状态及防护门开闭状态；在手术室治疗床旁设置 1 个紧急停机按钮，确保出现紧急事故时，能立即停止照射；手术室防护门外应设电离辐射警告标志、辐射安全注意事项和工作状态指示灯，灯箱处应设警示语句。患者防护门设置为感应式电动推拉门，设置门机联锁和红外防夹装置，医护人员防护门和污物门为手动平开门，均宜设置自动闭门装置，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）相关要求。

13.1.5. 环境影响分析

（1）辐射环境影响分析

根据预测计算，核医学科各工作场所屏蔽墙体表面 30cm 处、防护门表面 30cm 处、手套箱、注射窗外表面剂量率均满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关要求，具备较好的辐射屏蔽能力。

DSA 手术室屏蔽防护能满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中机房周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

（2）“三废”影响分析

本项目运行以后，核医学科产生的放射性废水经过排水管道收集，暂存于西门诊住院楼负二层西北侧新建的放射性废水衰变池内，经暂存规定期限后排放，废水排放满足《核医学辐射防护和安全要求》（HJ1188-2021）、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）排放要求。三层核医学科非密封放射性物质的分装操作在手套箱内进行，手套箱均设计有独立的排风系统，负压

操作，放射性废气经活性炭吸附后，汇集至核医学科专用排风井引至八层楼顶排放；负一层 DSA 手术室设置通风装置，其产生的 NO_x 、 O_3 等废气经通风管道接入排风井，最终引至一层裙房楼顶排放。放射性沾染物品以及放射性固体废物将其分类收集后，送至核医学科固废间，暂存规定期限后，达到清洁解控水平后，按照医疗废物处置。

(3) 项目所致职业人员、公众年附加有效剂量

项目正常运行期间，DSA 手术室内 2 名医生、2 名护士的年受照剂量约为 2.35mSv/a ，控制室工作人员年受照剂量为 0.07mSv/a ；DSA 手术室周围公众的年有效剂量最大为 $8.15 \times 10^{-3}\text{mSv}$ ，甲癌治疗辐射工作场所对公众产生的外照射年有效剂量最大为 0.066mSv ，满足《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）中对辐射工作人员及公众受照剂量限值要求以及本项目的目标管理限值要求（职业人员 5.0mSv/a ，公众人员 0.1mSv/a ）。

13.1.6. 结论

项目在落实本报告提出的各项污染防治措施、辐射安全防护措施和辐射安全管理制度后，运行期对周围环境的辐射影响可达到合理且尽可能低的水平，满足辐射防护最优化原则。项目运行所致放射工作人员和公众年附加有效剂量满足国家相关标准限值要求，符合剂量限值约束原则。因此，从辐射安全和环境保护角度分析，项目建设可行。

13.2. 建议与承诺

(1) 项目建设期间，医院应严格按照《陕西省环境保护厅办公室关于印发新修订的〈陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表〉的通知》（陕环办发〔2018〕29 号）相关要求，建立健全各项辐射防护管理规章制度，规范管理与操作，认真开展自查自评工作，发现问题及时整改，竣工验收前须达到辐射安全管理标准化要求。

(2) 项目竣工后，医院应按照国家环境保护行政主管部门规定的标准和程序，对项目配套建设的环境保护设施进行自主验收，取得辐射安全许可证后方可投入运行。

(3) 项目建成运行后，应严格执行辐射环境监测制度，每年应对射线装置

应用的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向辐射安全许可证发证机关报送上一年度辐射安全年度评估报告。

西安交通大学医学院第二附属医院
核医学科改扩建核技术利用项目
环境影响报告表（公示稿）

表 14. 审批

下一级环保部门预审意见	
经办人	公 章 年 月 日
审批意见	
经办人	公 章 年 月 日