

西安市儿童医院经开院区核技术利用项目

# 环境影响报告表

建设单位：西安市儿童医院

评价单位：核工业二〇三研究所

西安市儿童医院经开院区核技术利用项目

# 环境影响报告表

建设单位：西安市儿童医院

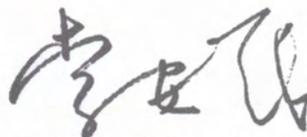
评价单位：核工业二〇三研究所



西安市儿童医院经开院区核技术利用项目  
**环境影响报告表**

建设单位名称：西安市儿童医院

建设单位法人代表：(签字或盖章)



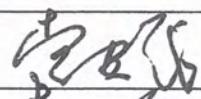
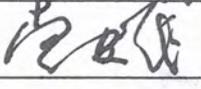
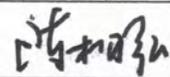
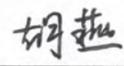
通讯地址：陕西省西安市莲湖区庙后街西举院巷 69 号

邮政编码：710000

联系人：宁致望

电子邮箱：ningzhiwang@126.com 联系电话：18009215636

## 编制单位和编制人员情况表

项目编号	4r539u		
建设项目名称	西安市儿童医院经开院区核技术利用项目		
建设项目类别	55—172核技术利用建设项目		
环境影响评价文件类型	报告表		
<b>一、建设单位情况</b>			
单位名称 (盖章)	西安市儿童医院		
统一社会信用代码	126101004372027054		
法定代表人 (签章)	李安茂		
主要负责人 (签字)	李安茂		
直接负责的主管人员 (签字)	武华		
<b>二、编制单位情况</b>			
单位名称 (盖章)	核工业二〇三研究所		
统一社会信用代码	12100000435630837Y		
<b>三、编制人员情况</b>			
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
陈相弘	2014035610352013613012000174	BH012462	
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
胡燕	全文	BH012460	

本证书由中华人民共和国人力资源和社会保障部、环境保护部批准颁发。它表明持证人通过国家统一组织的考试,取得环境影响评价工程师的职业资格。

This is to certify that the bearer of the Certificate has passed national examination organized by the Chinese government departments and has obtained qualifications for Environmental Impact Assessment Engineer.



Ministry of Human Resources and Social Security  
The People's Republic of China



Ministry of Environmental Protection  
The People's Republic of China

编号: HP 00015359  
No.



持证人签名:  
Signature of the Bearer

管理号: 2014035610352013613012000174  
File No.

姓名: 陈相弘

Full Name: 612301197407252614

性别: 男

Sex: 男  
出生年月: 1974. 07

Date of Birth: 1974. 07  
专业类别: /

Professional Type: /  
批准日期: 2014. 05. 25

Approval Date: 2014. 05. 25

签发单位盖章:  
Issued by

签发日期: 2014 年 11 月 13 日

Issued on



# 西安市儿童医院经开院区核技术利用项目 环境影响报告表技术评估专家组意见

陕西省环境调查评估中心于 2022 年 8 月 31 日主持召开了《西安市儿童医院经开院区核技术利用项目环境影响报告表》（以下简称“报告表”）技术评估会。参加会议的有：陕西省生态环境厅、西安市生态环境局、西安市儿童医院（建设单位）、核工业二〇三研究所（环评单位）、中建八局第二建设有限公司（设计单位）的代表和特邀专家共 14 人，会议邀请 3 名专家组成专家组（名单附后）。

会前，有关专家和与会代表对项目拟建地进行了现场踏勘，会议期间，与会代表和专家听取了建设单位关于该项目工作进展情况的介绍和环评单位关于该项目环境影响报告表内容的汇报，经过讨论和评议，形成报告表技术评估会专家组意见如下：

## 一、项目概况

为响应国际化大都市建设要求，不断提升群众满意度、化解就医矛盾，经西安市人民政府常务会议研究决定，在西安经济技术开发区建设西安市儿童医院经开院区。本次拟在经开院区 3-4#住院楼 1 层建设核医学科，新增 1 台 PET-MR 进行显像检查（使用  $^{18}\text{F}$  核素），使用  $^{32}\text{P}$  核素进行敷贴治疗；3-1#住院楼 4 层 DSA 中心、3-4#住院楼 4 层中心手术部各新增 2 台 DSA，用于介入诊断和辅助治疗。本项目涉及的非密封放射性物质、射线装置的使用情况见表 1~表 2。

**表 1 非密封放射性物质工作场所分级计算结果**

核素	日实际操作量 (Bq)	毒性分组	操作方式	日等效操作量 (Bq)	工作场所等级	来源
$^{18}\text{F}$	$1.02 \times 10^{10}$	低毒	很简单的操作	$1.02 \times 10^7$	乙级	外购
$^{32}\text{P}$	$2.96 \times 10^9$	中毒	简单操作	$2.96 \times 10^8$		外购

**表 2 新增 DSA 设备参数情况**

射线装置名称	厂家型号	管电压 (kV)	管电流 (mA)	数量	使用场所	类别	备注

DSA	待定	150	1250	2台	DSA中心 DSA1、 DSA2 手术室	II类	新增
DSA	待定	150	1250	2台	中心手术部 OR1 DSA、OR4 DSA 手术室	II类	

该项目总投资 7700 万元，环保投资 93 万，环保投资占项目投资比例为 1.21%。

## 二、环境质量现状与环境保护目标

2022 年 4 月 23 日，医院委托核工业二〇三研究所分析测试中心对项目所在地及周边环境进行了  $\gamma$  辐射剂量率监测，监测结果表明，项目所在地及周边环境  $\gamma$  辐射剂量率为 89.0~98.9nGy/h，与西安市  $\gamma$  辐射剂量率和天然  $\gamma$  辐射调查结果（室内：79~130nGy/h，室外：50~121nGy/h）处于同一水平，项目所在区域辐射环境质量现状较好。

本项目环境保护目标为从事医学诊疗的辐射工作人员以及评价范围内公众，具体分布情况见表 3。

表 3 环境保护目标一览表

工作场所	保护对象	类型	规模	相对位置关系	最近距离 (m)	有效剂量约束值
核医学科	分装、转移、质控及注射人员	职业人员	2人	不固定	0.5	$\leq 3\text{mSv/a}$
	PET-MR 工作人员		2人	E	4.35	
				摆位（不固定）	1.0	
	敷贴治疗工作人员	1人	不固定	0.5		
	护士长、主任、资料室、办公室、会议/示教、临床检验室内人员	公众	约 20 人	楼上	4.6	$\leq 0.1\text{mSv/a}$
机房、耗材库、更衣间内人员	约 5 人		楼下	4.4		
DSA 中心	DSA 手术医生、护士	职业人员	6人	位于机房内	0.8	$\leq 3\text{mSv/a}$
	DSA 控制室工作人员		2人	两 DSA 介入手术室之间的控制室	3.625	
	净化机房、护士长、更衣间内人员	公众	约 7 人	楼上	3.78	$\leq 0.1\text{mSv/a}$

	缓冲房间、复苏室 人员		约 5 人	楼下	2.8	
中心 手术 部	DSA 手术医生、护 士	职 业 人 员	6 人	位于机房 内	0.8	≤3mSv/a
	OR1 DSA 控制室 工作人员		1 人	W	6.15	
	OR4 DSA 控制室 工作人员		1 人	E	3.7	
	会议示教室、更衣 间内人员	公 众	约 15 人	楼上	3.78	≤0.1mSv/a
	保洁、污物暂存、 常规技术室、杂交 检测室、FISH、暗 房、资料室内人员		约 20 人	楼下	2.8	
核医学科实体边界、射线装置机房外 30cm 处，50m 范围内（包括 感染科、3-6#医技楼等）短时间滞留的其它工作人员或公众						≤0.1mSv/a

备注：表中距离表示距非密封放射性物质或射线装置距离。

### 三、源项分析及辐射安全措施

#### （一）源项分析

##### 1、核医学科

运行时主要污染物为  $^{18}\text{F}$ 、 $^{32}\text{P}$  使用期间产生的  $\gamma$  射线、 $\beta$  射线、放射性固体废物、放射性废水及放射性废气。

##### 2、DSA 中心和中心手术部

运行时主要污染物为 DSA 运行期间产生的 X 射线，X 射线与空气电离作用产生的少量臭氧、氮氧化物等有害气体。

#### （二）辐射安全措施

##### 1、屏蔽防护措施

###### （1）核医学科

理论估算结果表明，本项目通风柜设计值（铅当量）大于理论估算值，具备较好的屏蔽能力；核医学科各功能用房屏蔽体、防护门设计厚度均符合理论估算值，满足辐射防护屏蔽要求。

###### （2）DSA 中心和中心手术部

DSA 手术室最小有效使用面积  $>20\text{m}^2$ ，机房最小单边长度  $>3.5\text{m}$ ；机房四周墙体、观察窗、防护门、地坪及屋顶的防护铅当量在 2.9~4.0mmPb

之间，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的规定。

## 2、辐射安全设施

### （1）核医学科

根据建设单位提供的资料，核医学科控制区的入口拟设置电离辐射警示标识，在控制区、监督区入口处设立标明控制区、监督区的标志；患者进、出控制区处拟安装单向门禁系统（只进不出或只出不进）；PET-MR 检查室防护门上方安装工作指示灯，防护门表面、通风柜等处张贴电离辐射警示标志；工作场所设置专用通风管道，风速不低于 0.5m/s，排风口高于本建筑屋顶；PET-MR 注射后候诊室、留观/抢救室拟设置患者专用厕所，废水均流向衰变池；核医学科留观/抢救室、PET 注射后候诊区、注射室、源存储室、分装/质控室、放射性废弃物间设置视频监控系统；PET 显像检查室、PET 注射后候诊区、注射室、留观/抢救室等设置语音对讲系统等。

### （2）DSA 中心和中心手术部

手术室防护门外拟粘贴电离辐射警告标志，患者出入门上方拟安装工作状态指示灯，平开门应设置闭门装置，电动推拉门宜设置防夹装置；拟设置观察窗；在手术间内拟设置通风装置；拟配备铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套等防护用品；拟配备便携式辐射剂量监测仪。

## 四、施工期环境影响分析

本项目施工主要对核医学科、DSA 机房进行屏蔽施工、装修、安装设备。没有大规模的土建工程，而且施工工期较短，施工范围小，通过对施工时间段的控制以及施工现场管理等手段。机房在装修过程中所产生的施工垃圾较少，施工噪声和施工废气对环境的影响是短暂和局部的，且该影响随着装修工程的结束而消失，因此，施工期对环境的影响较小。

## 五、运行期环境影响分析

### （一）屏蔽能力分析

根据建设单位提供的资料进行理论估算，结果表明，在满足施工质量前提下，核医学科各工作场所屏蔽墙体、防护门表面 30cm 处剂量率均不超过 2.5 $\mu$ Sv/h，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）标准屏蔽要求。

DSA 射线装置机房工作场所设计时已考虑了拟配备设备的性能和辐

射水平，在满足施工质量前提下，机房各屏蔽墙体、防护门表面 30cm 处剂量率不超过  $2.5\mu\text{Gy/h}$ ，能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）辐射剂量率限值要求。

## （二）“三废”影响分析

核医学科产生的放射性废水经衰变池暂存时间满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）要求后，排入医院污水处理站，最终排入市政污水管网；

核医学通风柜均设计有单独的排风系统，负压操作，放射性废气经活性炭吸附后汇集至核医学科东侧排风井引至楼顶排放，DSA 工作场所设置通风装置，废气经通风管道引至楼顶排放；

核医学科放射性固体废物将其分类收集，按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）进行暂存后，作为一般医疗废物处理。

## （三）剂量估算

经估算，本项目核医学科运行所致辐射工作人员、公众年最大附加有效剂量分别为  $2.51\text{mSv}$ 、 $9.96\times 10^{-2}\text{mSv}$ ；DSA 机房 DSA 运行所致辐射工作人员、公众年最大附加有效剂量分别为  $0.92\text{mSv}$ 、 $9.10\times 10^{-2}\text{mSv}$ ；均满足职业人员  $3\text{mSv/a}$ 、公众  $0.1\text{mSv/a}$  剂量约束值限值要求。

## 六、辐射安全管理

西安市儿童医院已成立辐射安全管理领导小组，明确小组成员，明确各机构成员的职责，做到职责分明。医院已根据陕西省环境保护厅发布的《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》（陕环办发[2018]29 号）文件，制定《辐射工作人员培训管理制度》、《放射工作人员职业健康管理制度》、《辐射人员个人剂量监测管理制度》、《辐射安全防护设施维护与维修制度》、《辐射环境监测计划》、《辐射安全管理制度》、《辐射事故应急预案》、《射线装置使用管理制度》、《辐射环境监测设备管理制度》、《DSA 辐射工作人员岗位职责》、《DSA 操作规程》、《全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度》等规章制度，用于医院辐射安全管理工作。

## 七、专家组意见

### （一）环评报告表需要修改完善的内容

- 1、完善医院现有核技术利用项目回顾评价；
- 2、完善四邻关系图、核医学科平面布局图、核医学科人流、物流路径图、核医学科通风管道图；根据评价范围完善环保目标一览表；
- 3、完善放射性工作场所控制区、监督区的分区；完善核医学科通风评价内容；根据核医学科、介入科的辐射防护措施，校核防护用品配备情况；
- 4、细化 PET 显像药物注射流程有关描述，根据实际操作采取的辐射安全防护措施完善预测相关防护参数，进一步校核预测结果；
- 5、细化日常监测计划一览表，完善竣工环保验收清单。

专家会上的其它一些具体意见。

## （二）项目建设与运行中应注意的事项

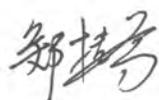
- 1、定期对核医学科、射线装置工作场所辐射安全设施进行检查、维护，保证其安全性和可靠性。
- 2、进一步完善辐射安全防护监测制度并确保实施。按年度编制辐射安全评估报告，并报辐射安全许可证发证部门及所在地生态环境主管部门。
- 3、结合本单位实际情况，完善辐射事故应急预案，并进行适当的演练，确保在发生事故时能及时启动应急预案。

## （三）总结论

该报告表工程内容叙述清楚，编制基本规范，主要污染源及其环境影响分析明确，环境保护与辐射防护措施可行，评价结论可信。

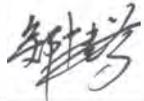
西安市儿童医院经开院区核技术利用项目符合国家产业政策和辐射防护“实践正当性”原则，项目在严格落实设计和报告表提出的各项污染防治措施和辐射安全管理措施后，项目运行所致职业人员、公众年附加有效剂量满足国家相关标准限值要求。从辐射环境保护角度分析，该项目建设可行。

专家组（签名）：



2022年8月31日

《西安市儿童医院经开院区核技术利用项目环境影响报告表》  
技术评估会专家名单

姓名	职称	单位	签名	联系方式
郑桂芳	研究员	陕西省卫生健康监督中心		
马源	高工	中圣环境科技发展有限公司		
任春艳	高工	西安市环境保护科学研究院		

# 西安市儿童医院经开院区核技术利用项目

## 环境影响报告表技术评审修改说明

陕西省环境调查评估中心于 2022 年 8 月 31 日主持召开了“西安市儿童医院经开院区核技术利用项目环境影响报告表”（以下简称“报告表”）技术评审会。

根据专家组修改意见，环境影响报告表修改内容如下：

序号	专家意见	修改说明	页码
1	完善医院现有核技术利用项目回顾评价	在 1.4.1 章节中已完善医院现有核技术利用项目回顾评价	P4
2	完善四邻关系图、核医学科平面布局图、核医学科人流、物流路径图、核医学科通风管道图；根据评价范围完善环保目标一览表	在 1.5.3 章节中已完善四邻关系图	P8
		在 1.5.6 章节中已完善核医学科平面布局图	P16
		在 10.1.1 章节中已完善核医学科人流、物流路径图及通风管道图	P62、P87
		在第 7 章节中已根据评价范围完善环保目标一览表	P28
3	完善放射性工作场所控制区、监督区的分区；完善核医学科通风评价内容；根据核医学科、介入科的辐射防护措施，校核防护用品配备情况	在报告中已完善放射性工作场所控制区、监督区分区	P59~P61、P64~P69
		在 10.3.1 章节中已完善核医学科通风评价内容	P84
		在 10.3.1 和 10.3.2 章节中已核实防护用品配备情况	P76、P78
4	细化 PET 显像药物注射流程有关描述，根据实际操作采取的辐射安全防护措施完善预测相关防护参数，进一步校核预测结果	在 11.2.1 章节中已细化 PET 显像药物注射流程相关描述，已完善预测相关防护参数，已校核预测结果	P91、P92
5	细化日常监测计划一览表，完善竣工环保验收清单	在 12.3.3 已完善表 12-2 辐射监测计划一览表、竣工环保验收清单	P121~P123

报告修改后专家组签字：

核工业二〇三研究所  
2022 年 9 月 5 日



## 专家个人意见修改说明

根据郑桂芳老师对《西安市儿童医院经开院区核技术利用项目环境影响报告表》提出的专家个人意见，环境影响报告表修改内容如下：

序号	专家意见	修改说明	页码
1	完善辐射安全管理现状，明确医院现有辐射工作人员的数量，补充工作人员个人剂量检测及健康检查的分析评价；完善该院本次新增核医学科辐射工作人员配备来源及能力的评价	在 1.4.1 章节中已完善辐射安全管理现状，明确医院现有辐射工作人员数量，补充其个人剂量检测及健康检查的分析评价；完善该院本次新增核医学科辐射工作人员配备来源及能力评价	P4、P6、P19
2	完善辐射源项分析，补充 PET-MR 校准源的物理参数、名称	在 1.5.5.1 章节中已明确医院 PET-MR 校准源未确定，要求确定后医院应及时进行备案	P11
3	图 10-4：核医学科人流、物流示意图，应完善敷贴治疗患者的路径	在 10.1.1 章节中已完善核医学科人流、物流示意图	P62
4	图 10-5、图 10-8：DSA 介入手术室平面布局图，应明确铅衣的存放位置	在 10.1.2 章节中平面布局图中，已明确铅衣存放位置	P64、P67
5	图 10-12：核医学科排风管道布局示意图，应明确工作场所的风速流向	在 10.4.1 章节中已完善排风管道布局示意图，明确核医学科工作场所的风速流向	P87
6	细化表 10-9 介入诊疗放射工作人员防护用品和辅助防护设施配置的评价，明确个人防护用品配备的数量、种类及铅当量要求	在 10.3.2 章节中已细化表 10-9，明确个人防护用品配备的数量、种类及铅当量要求	P78
7	细化 DSA 介入诊疗手术室视频监控、防护门的开关方式、管控措施、防夹装置、通风设施等辐射安全措施的评价	在 10.3.2 章节中已细化辐射安全措施（防护门的开关方式、防夹装置等、通风设施）评价	P77~P80
8	完善表 12-2 辐射监测计划，明确辐射监测的项目内容、频次、监测方法、监测仪器要求等内容	在 12.3.3 已完善表 12-2 辐射监测计划，明确辐射监测的项目内容、频次、监测方法、监测仪器要求等内容	P119
9	针对本项目实际，完善辐射安全管理制度、辐射事故应急处理措施及预案相关内容的评价	在 12.2 章节中已针对本项目实际，完善辐射安全管理制度、辐射事故应急处理措施及预案相关内容的评价	P118、P119

报告修改后专家签字：



核工业二〇三研究所

2022 年 9 月 5 日



## 专家个人意见修改说明

根据马源老师对《西安市儿童医院经开院区核技术利用项目环境影响报告表》提出的专家个人意见，环境影响报告表修改内容如下：

序号	专家意见	修改说明	页码
1	根据本项目的实际情况校核环保目标一览表中的距离	在第7章中已根据项目实际情况核实表7-1中距离	P28
2	补充辐射环境现状评价的对比数据来源	在8.2章节中已补充辐射环境现状评价对比数据来源	P43
3	辐射环境管控分区划分中，校核控制区及监督区的划分，设备间、洁具及缓冲更衣是否应该划为控制区，患者走廊是否应该划为控制区	在10.1.1章节中已核实核医学科控制区、监督区划分情况	P59
4	校核表10-7，注射室通风柜的防护能力是否全为38mmPb，质控室内是否配备有通风橱、PET显像药物注射器是否设置有铅屏蔽套等内容	在11.2.1章节中已核实 <sup>18</sup> F通风柜全为48mm铅当量，质控室配备通风橱，PET显像药物注射器配备铅屏蔽套	P91
5	完善PET药物注射流程有关描述，本项目是否为单支分装还是一次分装后进行注射，如何进行注射针剂的转移传递等，并根据各阶段的流程及防护措施情况校核防护能力及计算结果	在11.2.1章节中已完善PET药物注射流程相关描述，每日进行多次分装，按单次注射针剂进行转移传递，已根据各阶段流程及防护措施情况核实防护能力及计算结果	P91、P92
6	校核注射后候诊等的距离取值；完善各预测阶段的源强取值	在11.2.1章节中已核实核医学科各功能用房距离取值，完善各预测阶段源强取值	P91~P95
7	校核表12-2日常监测点位的布设情况	在12.3.3章节中已核实表12-2日常监测点位的布设情况	P119

报告修改后专家签字：



核工业二〇三研究所

2022年9月5日

## 环评报告技术评估专家意见首页

共 页

项目名称：西安市儿童医院经开院区项目环境影响报告表
<p>总结论：该项目符合国家产业政策和辐射防护实践正当性要求。报告表建设内容介绍基本清楚，污染物以及污染途径分析较全面，环境影响分析明确，辐射安全防护措施和辐射安全管理措施基本可行，报告表评价结论总体可信。</p>
<p>报告是否通过： 是 (✓)                      否 ( )</p>
<p>存在问题及建议：</p>
<p>1. 完善儿童医院现有核技术利用项目环保手续履行情况，并说明本部辐射工作管理制度、人员配置等与经开院区的衔接、依托可行性；细化四邻关系介绍，补充南侧相邻道路名称，西侧为紧邻。</p>
<p>2. 细化项目内容，明确操作期间 <sup>18</sup>F 是否涉及分装，分装方式为人工分装还是自动分装，敷贴器是否自制；完善平面布局图，1-4 明确核医学科相邻功能区域的名称，1-7 区划本次建设内容，南侧 DR、钼靶不属于本项目范围；完善人员配置介绍，明确介入治疗人员是否涉及操作其他射线装置。</p>
<p>3. 复核评价依据；对照 50m 评价范围图核实表 7-1 中环保目标；给出职业照射剂量约束值取 3mSv/a 的理由；精简评价标准，只给出针对本项目内容的标准规定。</p>
<p>4. 建议补测 3-4 四层及 3-1 四层 DSA 机房建设区域的辐射现状监测，或说明因建设原因不具备监测条件。核实图 10-1 核医学科控制区的分区，设备间不应划入，北侧通道应化为监督区；图 10-4 完善敷贴治疗患者路径，应双向箭头（治疗结束原路返回）；图 10-8 核实本项目范围，不包括 OR3（后期预留的控制区建议用其他颜色标识，图例说明）；核实图 10-11 中患者、医护人员路径为双向箭头；</p>
<p>5. 补充 DSA 机房地面、顶棚防护等效铅当量的折算过程，及表 11-3 分装/质控室屏蔽防护墙体的铅当量折算过程；完善通风核医学科排风管道示意图，明确单独通风管道，进排风口等。</p>
<p>6. 复核项目分装操作位周围剂量当量率所取限值得依据，并据此重新计算操作位的计算铅当量。</p>
<p>7. 针对本次扩建核医学科为医院首次该类型设备的运用，完善医院辐射防护管理制度，修编辐射环境风险应急预案。</p>
<p>8. 补充急停开关、对讲等辐射安全设施安装位置、数量示意图。</p>
<p style="font-size: 1.2em; font-weight: bold;">任春把</p>

备注：不够时可续页

2022. 8. 31

## 专家个人意见修改说明

根据任春艳老师对《西安市儿童医院经开院区核技术利用项目环境影响报告表》提出的专家个人意见，环境影响报告表修改内容如下：

序号	专家意见	修改说明	页码
1	完善儿童医院现有核技术利用项目环保手续履行情况，并说明本部辐射工作管理制度、人员配置等与经开院区的衔接、依托可行性；细化四邻关系介绍，补充南侧相邻道路名称，西侧为紧邻	在 1.4.1 章节中已完善儿童医院现有核技术利用项目环保手续履行情况，明确本部辐射工作管理制度、人员配置与经开院区的衔接、依托可行性	P4、P6
		在 1.5.3 章节中已细化四邻关系图及相关介绍	P8
2	细化项目内容，明确操作期间 $^{18}\text{F}$ 是否涉及分装，分装方式为人工分装还是自动分装，敷贴器是否自制；完善平面布局图，1-4 明确核医学科相邻功能区域的名称，1-7 区划本次建设内容，南侧 DR、钼靶不属于本项目范围；完善人员配置介绍，明确介入治疗人员是否涉及操作其他射线装置	在 1.5.5.1 章节中已细化项目内容，明确 $^{18}\text{F}$ 采用人工分装，自制敷贴器	P10、P11
		在 1.5.6 章节中已完善核医学科平面布局图，明确核医学科相邻功能区域名称及本次建设内容	P13、P16
		在 1.5.7 章节中已完善人员配置介绍，明确后期介入人员不涉及操作其他射线装置	P19
3	复核评价依据；对照 50m 评价范围图核实表 7-1 中环保目标；给出职业照射剂量约束值取 3mSv/a 的理由；精简评价标准，只给出针对本项目内容的标准规定	在 6 章节中已核实评价标准	P24、P25
		在第 7 章节中已对照 50m 评价范围图核实表 7-1 中环保目标，已给出职业照射剂量约束值取 3mSv/a 的理由，已精简评价标准	P28~P39
4	建议补测 3-4 四层及 3-1 四层 DSA 机房建设区域的辐射现状监测，或说明因建设原因不具备监测条件。核实图 10-1 核医学科控制区的分区，设备间不应划入，北侧通道应化为监督区；图 10-4 完善敷贴治疗患者路径，应双向箭头（治疗结束原路返回）；图 10-8 核实本项目范围，不包括 OR3（后期预留的控制区建议用其他颜色标识，图例说明）；核实图 10-11 中患者、医护人员路径为双向箭头	在 8.2 章节中已明确 DSA 机房监测时因建设原因不具备监测条件	P43
		在 10.1.1 章节中已核实核医学科控制区、监督区分区；已完善核医学科人流、物流路径图	P59、P62
		在 10.1.2 章节中已完善中心手术部控制区、监督区划分示意图（后期预留机房用其他颜色标识，图例说明）；已完善人员、患者和污物路径图（患者、医护人员路径为双向箭头）	P64、P67、P70、P71
5	补充 DSA 机房地面、顶棚防护等效铅当量的折算过程，及表 11-3 分装/质控室屏蔽防护墙体的铅当量折算过程；完善通风核医学科排风管道示意图，明确单独通风管道，进排风口等	在 10.2.2 章节中已补充 DSA 机房地板、顶棚防护等效铅当量折算过程	P73
		在 11.2.1 章节中已补充核医学科屏蔽防护墙体的铅当量折算过程	P90
		在 10.4.1 章节中已完善核医学科排风管道示意图，明确单独通风管等	P87

序号	专家意见	修改说明	页码
6	复核项目分装操作位周围剂量当量率所取限值得依据, 并据此从新计算操作位的计算铅当量	在 11.2.1 章节中已核实通风柜表面剂量率取值依据, 并从新计算铅当量	P91
7	针对本次扩建核医学科为医院首次该类型设备的运用, 完善医院辐射防护管理制度, 修编辐射环境风险应急预案	在 12.2 章节中已明确核医学科为医院首次建设项目, 要求应针对其完善辐射防护管理制度, 修编辐射环境风险应急预案	P117、 P118
8	补充急停开关、对讲等辐射安全设施安装位置、数量示意图	在 10.3.2 章节中已补充急停开关、对讲等辐射安全设施图	P79、P80

报告修改后专家签字:



核工业二〇三研究所

2022 年 9 月 5 日

## 目录

表 1 项目基本情况 .....	1
表 2 放射源.....	21
表 3 非密封放射性物质 .....	21
表 4 射线装置.....	22
表 5 废弃物.....	23
表 6 评价依据.....	24
表 7 保护目标与评价标准 .....	26
表 8 环境质量和辐射现状 .....	42
表 9 项目工程分析和源项 .....	45
表 10 辐射安全与防护 .....	54
表 11 环境影响分析 .....	88
表 12 辐射安全管理 .....	117
表 13 结论与建议 .....	124
表 14 审批.....	127

- 附件 1 委托书
- 附件 2 西安市儿童医院经开院区项目环境影响报告书批复
- 附件 3 监测报告
- 附件 4 西安市儿童医院新增放射性核素和射线装置核技术应用项目环境影响报告表批复
- 附件 5 西安市儿童医院医用射线装置及放射性核素应用项目竣工环境保护验收批复
- 附件 6 西安市儿童医院乙级非密封放射性物质工作场所退役项目环境影响报告表批复
- 附件 7 西安市儿童医院新增数字减影血管造影机项目环境影响报告表批复
- 附件 8 建设项目环境影响登记表
- 附件 9 西安市儿童医院关于调整辐射安全管理领导小组成员的通知
- 附件 10 职业健康体检
- 附件 11 个人计量计检测结果
- 附件 12 2021 年度监测报告
- 附件 13 建设项目环境影响评价信息公开说明
- 附件 14 市场主体信用承诺书
- 附件 15 公示截图

**表 1 项目基本情况**

建设项目名称	西安市儿童医院经开院区核技术利用项目				
建设单位	西安市儿童医院				
法人代表	李安茂	联系人	宁致望	联系电话	18009215636
注册地址	陕西省西安市西举院巷 69 号				
项目建设地点	陕西省西安市经开区尚稷路北侧、草滩八路以东、尚林路以南、草滩七路以西				
立项审批部门	/		批准文号	/	
建设项目总投资（万元）	7700	环保投资（万元）	93	投资比例（环保投资/总投资）	1.21%
项目性质	<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它			占地面积（m <sup>2</sup> ）	700
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
其他	/				
<p><b>1.核技术利用项目情况</b></p> <p><b>1.1 单位简介</b></p> <p>西安市儿童医院是陕西省西安市唯一一所集医疗、教学、科研、预防、保健、康复、急救及管理于一体的三级甲等综合性儿童专科医院。西安市儿童医院包括医院本部和经开院区，本部位于陕西省西安市西举院巷 69 号，经开院区为新建院区，位于陕西省西安市经开区尚稷路北侧、草滩八路以东、尚林路以南、草滩七路以西。医院本部现有职工 2334 人，其中高级专业技术人员 315 人，具有博士、硕士学位 550 人，硕士生导师 48 名，博士生导师 14 名。目前医院中西医结合儿科是国家中医药管理局重点培育专科；中医儿科、小儿外科、新生儿科、儿童重症医学科获批省级重点专科；儿科、小儿心脏病科、小儿消化科、小儿传染科、新生儿科、儿童保健科、小儿泌尿外科为市级重点学科；小儿重症医学科、小儿呼吸科、小儿肾病科、小儿麻醉科、儿童行为发育专业为市级优势专</p>					

科；小儿神经内科和小儿内分泌科为市级培育专科。医院不断加大投入，引进和更新了一大批大中型设备，如 3.0T、1.5T 核磁共振、双源 CT、数字减影与心血管造影综合介入治疗系统、体外循环机、数字摄像系统（DR）、数字胃肠机、四维高端彩色多普勒超声诊断仪、电子胃肠镜、支气管镜、腹腔镜、尿动力学分析仪、血液透析过滤机、连续性血液净化装置、流式细胞仪、串联质谱仪、基因分析仪、移动 C 型臂、皮肤激光治疗仪、早产儿视网膜诊断仪、高端多功能麻醉工作站等。

## 1.2 项目由来

为响应国际化大都市建设的要求，不断提升群众满意度、化解就医矛盾，经西安市人民政府常务会议研究决定，在西安经济技术开发区建设西安市儿童医院经开院区。2020 年 11 月，西安市儿童医院委托核工业二〇三研究所对该项目进行环境影响评价，编制了《西安市儿童医院经开院区项目环境影响报告书》；2021 年 2 月 5 日，西安经济技术开发区管委会行政审批服务局和大数据资源管理局对该项目环评报告进行了审批（批复文号：经开行审批批复〔2021〕011 号）。目前，医院经开院区主体正在建设中，本次在医院经开院区 3-4#住院楼 1 层建设核医学科，新增 1 台 PET-MR 进行显像诊断（使用  $^{18}\text{F}$  核素），使用  $^{32}\text{P}$  进行敷贴治疗；3-1#住院楼 4 层 DSA 中心、3-4#住院楼 4 层中心手术部各新增 2 台 DSA，用于介入诊断和辅助治疗。本项目内容和规模为：

### （1）非密封放射性同位素

$^{18}\text{F}$ ： $^{18}\text{F}$  发生电子对湮没效应时，产生能量为 511keV 的  $\gamma$  射线，该能量的  $\gamma$  射线可用作 PET-MR 显像。

$^{32}\text{P}$ ：通过  $^{32}\text{P}$  发射出最大能量为 1.71MeV 的  $\beta$  射线，对皮肤癌、毛细血管扩张等疾病进行治疗。

### （2）射线装置

DSA：用于血管病变、血管狭窄的定位测量，为介入诊断及辅助治疗提供真实的立体图像。

本次拟在医院经开院区新增 1 个乙级工作场所、4 台 II 类射线装置用于医学诊断和治疗。根据《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国环境影响评价法》和《中华人民共和国放射性污染防治法》等相关法律法规要求，该项目应进

行环境影响评价，根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（国家生态环境部令第16号）和《关于修改〈放射性同位素与射线装置安全许可管理办法〉的决定》（生态环境部令第7号）相关规定，本项目为五十五、核与辐射-172、核技术利用建设项目—“使用II类射线装置的；乙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）”的核技术利用建设项目，应编制环境影响报告表。

为此，西安市儿童医院于2021年8月5日，委托核工业二〇三研究所编制该项目环境影响报告表。接受委托后，我所组织专业技术人员通过现场踏勘、收集资料等工作，结合本项目特点，按照国家有关技术规范要求，编制完成了《西安市儿童医院经开院区核技术利用项目环境影响报告表》。该报告表内容包括医院经开院区新增的核医学科和II类射线装置，其它III类射线装置另行填报环境影响登记表。

### 1.3 编制目的

（1）对西安市儿童医院经开院区项目拟建地进行 $\gamma$ 辐射剂量率监测，明确项目拟建地辐射环境质量现状。

（2）通过对本项目非密封放射性物质、射线装置使用过程中辐射环境影响进行理论估算，确定其对周边环境的影响范围、影响程度，分析医院拟采取辐射防护措施的有效性，并提出合理的意见与建议。

（3）满足国家和地方生态环境主管部门对建设项目环境管理规定的要求，为辐射环境管理提供科学依据。

### 1.4 医院原有核技术项目环保手续履行情况及管理现状

#### 1.4.1 医院原有核技术项目环保手续履行情况

根据西安市儿童医院提供的资料，2015年，西安市儿童医院委托陕西中圣环境科技发展有限公司对医院本部新增的1台II类、5台III类射线装置和1个乙级工作场所进行环境影响评价，编制了《西安市儿童医院新增放射性核素和射线装置核技术应用项目环境影响报告表》，2015年5月，原陕西省环保厅对该报告表进行了审批（批复文号：陕环批复〔2015〕244号）。2016年5月，原陕西省环保厅对该项目进行竣工验收，出具竣工验收批复（批复文号：陕环批复〔2016〕248号）。2018年11月，西安市儿童医院委托重庆宏伟环保工程有限公司对医院本部

乙级工作场所进行退役，编制了《西安市儿童医院乙级非密封放射性物质场所退役项目环境影响报告表》，2018年11月，陕西省生态环境厅对该报告表进行了审批（批复文号：陕环批复〔2018〕540号）。

2018年10月，医院对本部新增的5台Ⅲ类射线装置进行建设项目环境影响备案登记(备案号：201861010400000674)。

2019年，西安市儿童医院委托核工业北京化工冶金研究院对医院本部新增的1台数字减影血管造影系统（DSA）进行环境影响评价，编制了《西安市儿童医院新增数字减影血管造影机项目环境影响报告表》，2019年9月，陕西省生态环境厅对该报告表进行了审批（批复文号：陕环批复〔2019〕370号）。2021年3月，西安市儿童医院组织专家对该项目进行了环境保护竣工验收（自主验收），并验收通过。

2020年11月，医院对本部新增的3台Ⅲ类射线装置进行建设项目环境影响备案登记(备案号：202061010400000216)。

西安市儿童医院本部环保手续履行情况见表1-1。

表 1-1 西安市儿童医院本部环保手续履行情况

序号	环评审批时间	环评内容	环评批复/备案文号	竣工验收时间	竣工验收内容	竣工验收批复文号
1	2015年5月	新增1台Ⅱ类、5台Ⅲ类射线装置和1个乙级工作场所	陕环批复〔2015〕244号	2016年5月	使用1台Ⅱ类、5台Ⅲ类射线装置和1个乙级工作场所	陕环批复〔2016〕248号
备注：2018年11月，对乙级工作场所进行退役，退役批复文号：陕环批复〔2018〕540号						
2	2018年10月	新增5台Ⅲ类射线装置	登记表备案文号为201861010400000674	/	/	/
3	2019年9月	新增1台数字减影血管造影系统（DSA）	陕环批复〔2019〕370号	2021年3月	使用1台数字减影血管造影系统（DSA）	自主验收
4	2020年11月	新增3台Ⅲ类射线装置	登记表备案文号为202061010400000216	/	/	/

2021年6月，医院重新向西安市生态环境局申请辐射安全许可证，批准后的许可证号为陕环辐证[00147]，许可种类为：使用Ⅱ、Ⅲ类射线装置，许可证有效期至2026年6月10日。

根据建设单位提供的资料，西安市儿童医院现行《辐射安全许可证》许可项目内容如下：许可使用II、III类射线装置（II类射线装置 2 台、III类射线装置 13 台）。具体统计情况见表 1-2。

表 1-2 许可的射线装置统计表

序号	射线装置名称	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	装置数量	所在位置 (医院本部)	类别	活动种类
1	数字减影血管造影	Integris CV-12	150	800	1 台	药学楼一楼介入室	II类	使用
2	PHILIPS CT	Brilliance CT 64 channel	140	500	1 台	门诊一楼 CT 室	III类	使用
3	西门子-DR	Aristone VX	150	800	1 台	门诊一楼拍片二室	III类	使用
4	PHILIPS-DR	Eleva	150	800	1 台	门诊一楼拍片一室	III类	使用
5	数字胃肠机	Plessart	150	500	1 台	门诊一楼胃肠机室	III类	使用
6	小 C 型臂	GE Medical systems	98	3	1 台	住院二部四楼 12 号手术室	III类	使用
7	全景 X 射线系统	Promax	84	16	1 台	门诊三楼口腔拍片室 1	III类	使用
8	口腔内成像 X 射线机	Planmeca ProX	70	8	1 台	门诊三楼口腔拍片室 2	III类	使用
9	联影-CT	uCT530	140	420	1 台	发热门诊 CT	III类	使用
10	西门子-双源 CT	SOMATO M Drive	140	800	1 台	门诊一楼 CT 室 2	III类	使用
11	西门子-DSA	Artis Q floor	125	1000	1 台	住院二部四楼 13 号手术室	II类	使用
12	岛津-移动 X 线拍片机	MUX-10J	100	50	1 台	住院二部病房 1	III类	使用
13	万东-移动 X 线拍片机	PX-2000	125	200	1 台	住院二部病房 2	III类	使用
14	万东-移动 X 线拍片机 2	PX-2000	125	200	1 台	住院二部病房 3	III类	使用
15	七喜-DR	DXR-580	150	630	1 台	门诊一楼拍片三室	III类	使用

#### 1.4.2 医院辐射管理现状

西安市儿童医院已成立以李安茂院长为组长的辐射安全管理领导小组，负责医院辐射防护安全管理工作，并以文件（市儿医发〔2021〕1号）明确了机构成员组成以及工作职责。根据建设单位提供的资料，医院现有辐射工作人员、辐射管理人员共计92人，其中使用Ⅱ、Ⅲ类射线装置辐射工作人员分别为57、33人，辐射管理人员2人。医院44名辐射工作人员已取得辐射安全与防护培训证书或成绩合格单，持证上岗，对使用Ⅲ类射线装置的辐射工作人员进行了自主培训，并进行考核，考核通过上岗。西安市儿童医院新建经开院区，由于开业初期患者就诊人数较少，为节约人员成本，经医院研究决定拟调配本部16名辐射工作人员（使用Ⅱ类射线装置）至经开院区开展DSA介入诊断和辅助治疗工作，后期患者就诊人数增加后，上述辐射工作人员不再操作其他射线装置。医院辐射工作管理逐步规范，制定了较为完善的规章制度。医院已制定《辐射工作人员培训管理制度》、《放射工作人员职业健康管理制度》、《辐射人员个人剂量监测管理制度》、《辐射安全防护设施维护与维修制度》、《辐射环境监测计划》、《辐射安全管理制度》、《辐射事故应急预案》、《射线装置使用管理制度》、《辐射环境监测设备管理制度》、《DSA辐射工作人员岗位职责》、《DSA操作规程》、《全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度》等一系列规章制度，用于规范医院辐射安全管理。由于医院本部和经开院区属于同一法人，因此辐射工作人员可以调配，规章制度可以共用。

2021年12月，西安市儿童医院委托西安华辐检测技术有限公司对医院现有辐射工作场所及周围环境进行了监测，同时出具了监测报告（报告编号：西安华辐检（ZT）字2021第0656号）。监测表明：经现场防护监测，医院现有射线装置正常工况下机房四周屏蔽墙体、防护门、观察窗外表面30cm处及工作人员操作位置处的周围剂量当量率监测结果满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）标准中“DR机房外的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ ”、“CT机、口腔CBCT等机房外的周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”；“DSA在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”规定的限值要求。

西安市儿童医院已给医院辐射工作人员配备了个人剂量计，定期送检，并建立个人剂量档案。根据医院2021年3月~2022年3月辐射工作人员个人胸章剂

量计一年个人剂量检测结果（检测单位：西安查德威克辐射技术有限公司；报告编号：0679-2012-15、0679-2103-01、0679-2106-01、0679-2109-01）：辐射工作人员年有效剂量最大值为 1.46mSv/a，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业人员剂量限值要求。医院已安排 89 名辐射工作人员（含使用II、III类射线装置辐射工作人员及管理人员）到核工业 417 医院进行年度职业健康检查，根据医院提供的 2021 年度辐射工作人员体检结果，6 人出现血红蛋白或白细胞减少症状，其余人员未发现放射性职业病或职业禁忌症，医院安排 6 人进行复检，复检结果表明 6 人血红蛋白或白细胞均为正常水平，可继续从事原放射性工作。

医院根据本部现有核技术应用规模，已配备 32 件铅衣、32 副铅帽、22 副铅围脖、11 件铅橡胶手套、3 件铅围裙、10 副铅眼镜、2 件铅背心、17 件铅方巾、8 个铅衣架、7 块铅屏风等相关辐射防护用品，能够满足日常诊疗需要。

环评要求：医院应尽快安排 15 名辐射工作人员参加辐射安全和防护专业知识考核，取得成绩合格单，持证上岗；医院应尽快安排 3 名辐射工作人员进行年度职业健康检查，建立职业健康监护档案；医院应严格控制介入辐射工作人员手术台数。

## 1.5 本项目建设内容与规模

### 1.5.1 项目简况

项目名称：西安市儿童医院经开院区核技术利用项目

建设地点：陕西省西安市经开区尚稷路北侧、草滩八路以东、尚林路以南、草滩七路以西

项目内容：拟在经开院区新建核医学科（使用  $^{18}\text{F}$  核素进行显像检查、 $^{32}\text{P}$  核素进行敷贴治疗），新增 4 台II类射线装置（DSA）。

项目投资：7700 万

### 1.5.2 交通地理位置

西安市儿童医院经开院区位于西安市经开区尚稷路以北，草滩八路以东，尚林路以南，草滩七路以西，项目所在地地理位置优越，交通便利，距西安绕城高速约2km，其交通地理位置图见图1-1。



图1-1 西安市儿童医院经开院区交通地理位置图

### 1.5.3 周边四邻关系情况

根据现场踏勘，医院经开院区西侧紧邻西安经开第四学校；南侧为尚稷路，尚稷路南侧为西安市渭水欣居住宅小区；东侧为规划道路，规划道路东侧为维维集团；北侧为西安风动赛车运动中心。其四邻关系图如图1-2所示，四邻照片见照片1~照片4。

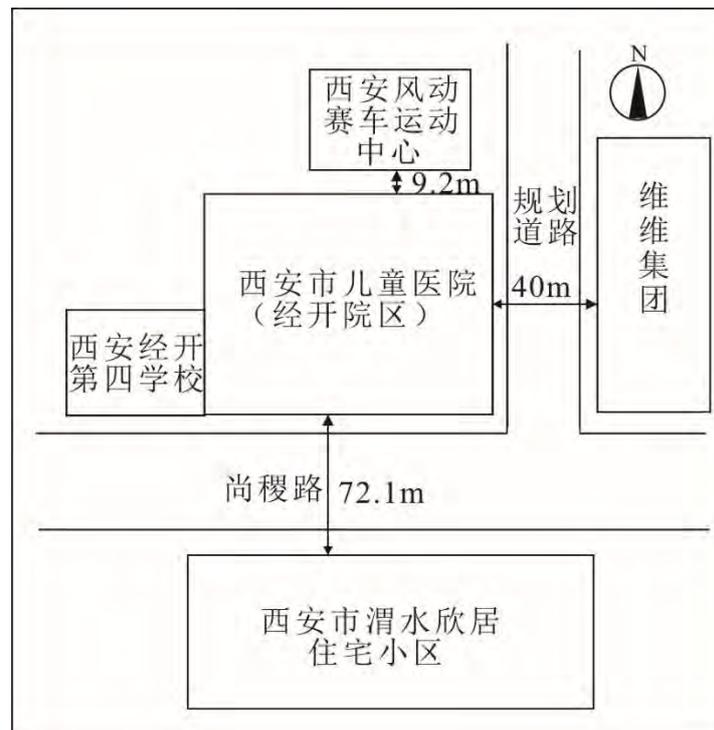


图 1-2 本项目所在地周边四邻关系图



照片 1 医院经开院区北侧



照片 2 医院经开院区南侧



照片 3 医院经开院区西侧



照片 4 医院经开院区东侧

#### 1.5.4 医院项目功能区划分

西安市儿童医院经开院区由 1#保健楼、2#门诊楼、3 号楼（包括 3-1#住院楼、3-2#住院楼、3-3#住院楼、3-4#住院楼、3-5#门诊大厅、3-6#医技楼）、4 号楼（包括 4-1#门诊急诊楼、4-2#门诊急诊楼）、5#感染楼等组成，其总平面布置图见图 1-3。

本项目非密封放射性物质、射线装置工作场所主要位于 3-1#住院楼、3-4#住院楼。

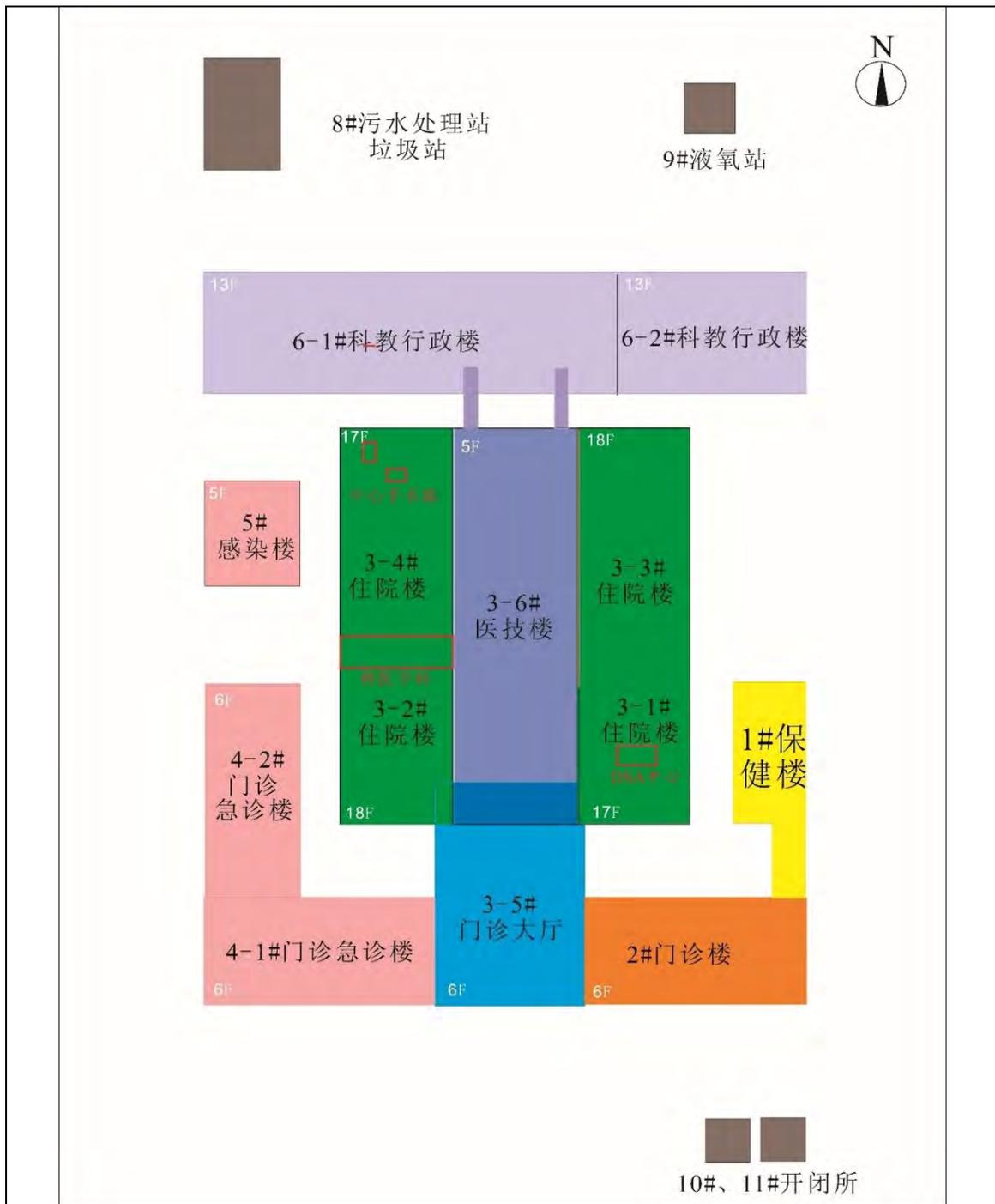


图 1-3 医院总平面布置图

### 1.5.5 本次环评应用规模

#### 1.5.5.1 项目内容

为提高医疗技术能力，西安市儿童医院拟在经开院区建设 1 个乙级工作场所、建设 4 间 DSA 机房及辅助用房，安装 4 台 DSA 用于医学诊疗。本次环评内容为：

- (1) 3-4#住院楼 1 层建设核医学科，采用  $^{18}\text{F}$  核素（注射前由辐射工作人员

进行分装)进行显像诊断,自制<sup>32</sup>P敷贴器进行敷贴治疗;

(2)在3-1#住院楼4层DSA中心新建2间DSA机房及辅助用房(安装2台DSA,型号均待定);在3-4#住院楼4层新建2间DSA机房及辅助用房(安装2台DSA,型号均待定)。

根据医院提供的资料,本次新增的PET-MR设备校准源未确定,环评要求校准源确定后,医院应在生态环境厅网站上对新增的校准源进行登记备案。

本项目新增的非密封放射性物质情况见表1-3。

表1-3 本项目核医学科非密封放射性物质使用量、接诊病人情况

核素	患者每人核素用量(Bq)	每天接诊患者人次	年接诊天数	年接诊患者人次	最大年用量(Bq)	用途	备注
<sup>18</sup> F	3.7×10 <sup>8</sup>	15	250	3750	2.12×10 <sup>12</sup>	显像诊断	外购
<sup>32</sup> P	3.7×10 <sup>7</sup>	80	250	20000	7.4×10 <sup>11</sup>	敷贴治疗	

说明:<sup>18</sup>F核素最大年用量考虑衰变影响。

#### 1.5.5.2 项目规模

西安市儿童医院经开院区核技术利用项目涉及非密封放射性物质、射线装置的使用,具体应用如下:

##### (1) 非密封放射性物质

西安市儿童医院经开院区核医学科主要使用<sup>18</sup>F、<sup>32</sup>P放射性核素,根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)附录C中“非密封源工作场所的分级要求”,使用以下公式计算日等效最大操作量,确定其工作场所等级。

$$\text{日等效最大操作量} = \frac{\text{日实际操作量} \times \text{毒性组别修正因子}}{\text{操作方式修正因子}}$$

本项目核医学科工作场所等级计算结果见表1-4。

表1-4 本项目核医学科工作场所分级计算结果

核素	日实际操作量(Bq)	毒性分组	操作方式	单个核素日等效操作量(Bq)	总日等效操作量(Bq)	工作场所等级	来源
<sup>18</sup> F	8.50×10 <sup>9</sup>	低毒	很简单的操作	8.50×10 <sup>6</sup>	3.04×10 <sup>8</sup>	乙级	外购
<sup>32</sup> P	2.96×10 <sup>9</sup>	中毒	简单操作	2.96×10 <sup>8</sup>			

备注:1、<sup>18</sup>F、<sup>32</sup>P分别为低毒、中毒放射性核素,毒性组别修正因子分别取0.01、0.1。

2、<sup>18</sup>F视为液体,“很简单的操作”,操作方式修正因子取10;<sup>32</sup>P视为“简单操作”,操作方式修正因子取1。

由表1-4计算结果可知,本项目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3.04×10<sup>8</sup>Bq,处于2×10<sup>7</sup>~4×10<sup>9</sup>Bq之间,属乙级工作场所。

(2) 射线装置

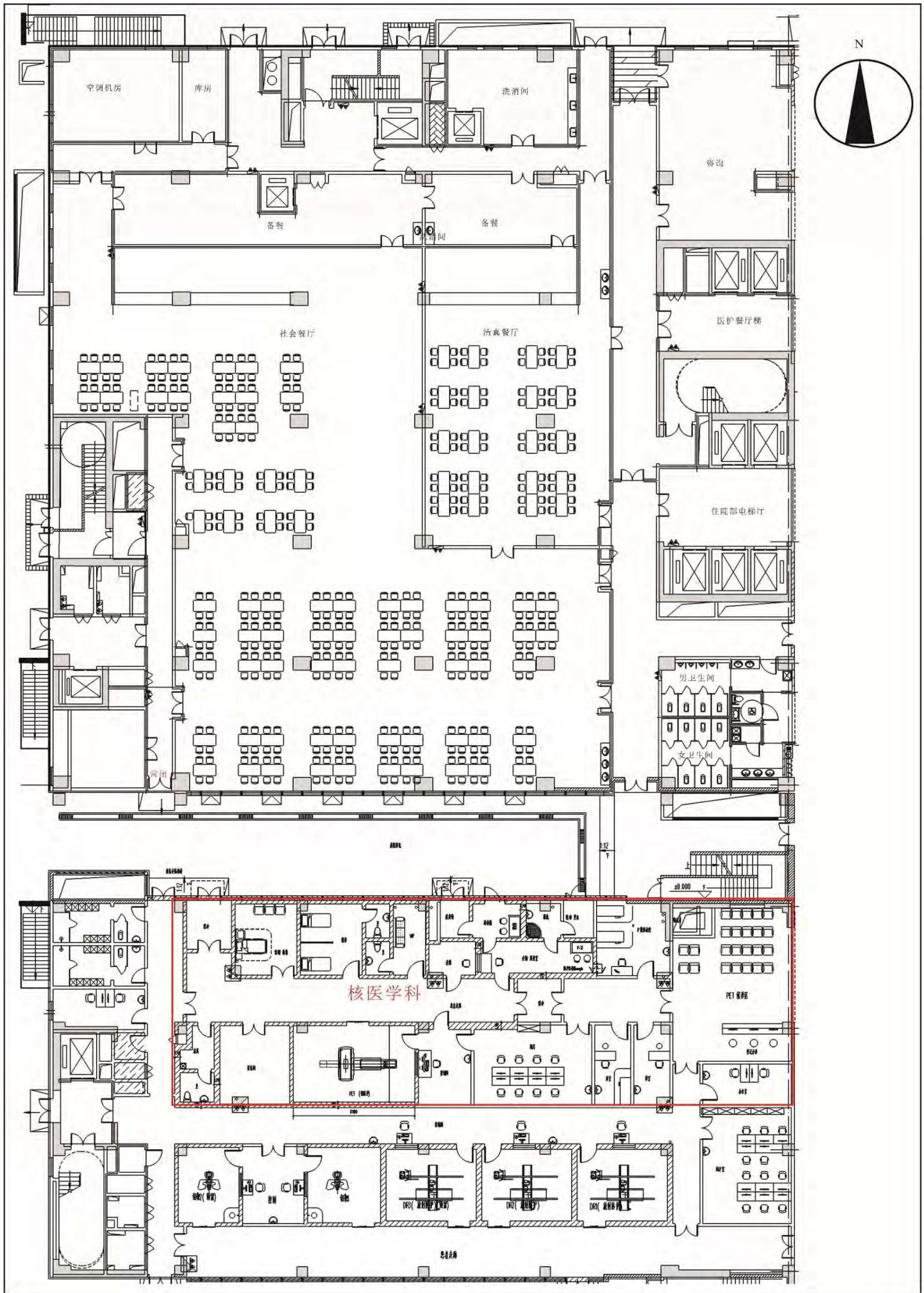
西安市儿童医院经开院区本次环评新增射线装置，其技术参数见表 1-5。

表 1-5 西安市儿童医院经开院区本次环评新增的射线装置

序号	名称	厂家、型号	技术指标		类别	数量(台)	使用场所	备注
			管电压(kV)	管电流(mA)				
1	DSA	待定	150	1250	II	2	DSA 中心 DSA1、DSA2 手术室	
2	DSA	待定	150	1250	II	2	中心手术部 OR1 DSA、OR4 DSA 手术室	

1.5.6 项目平面布局

经开院区 3-4#住院楼 1 层（核医学科所在楼层）平面布局图见图 1-4，3-1#住院楼 4 层（DSA 中心所在楼层）平面布局图见图 1-5，3-4#住院楼 4 层（中心手术部所在楼层）平面布局图见图 1-6。核医学科平面布局图见图 1-7，DSA 中心平面布局图见图 1-8，中心手术部平面布局图见图 1-9。



备注：在图中常闭门南侧设置警戒线。

图14 34#住院楼1层平面布局图

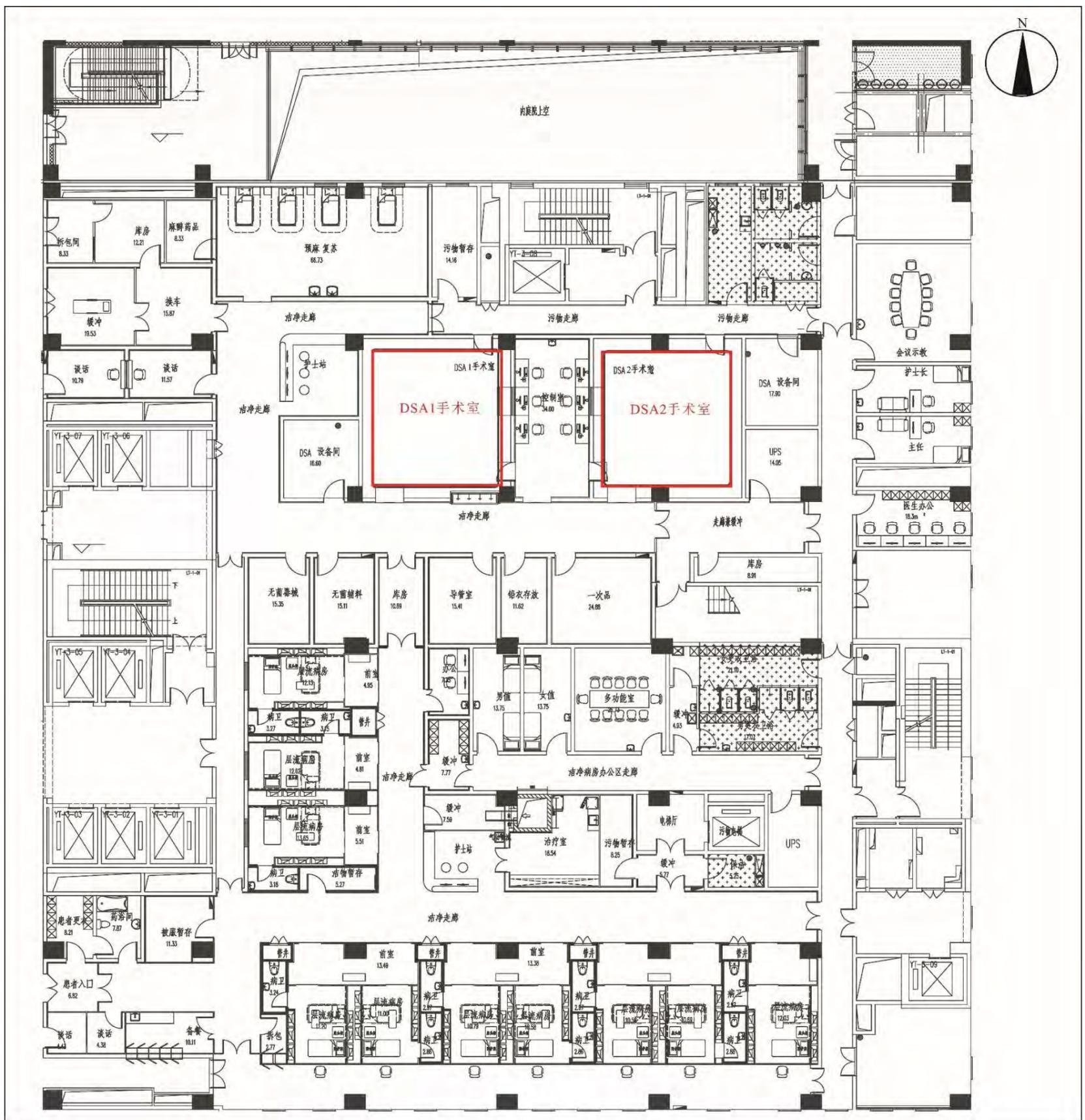


图15-31#住院楼4层平面布局图

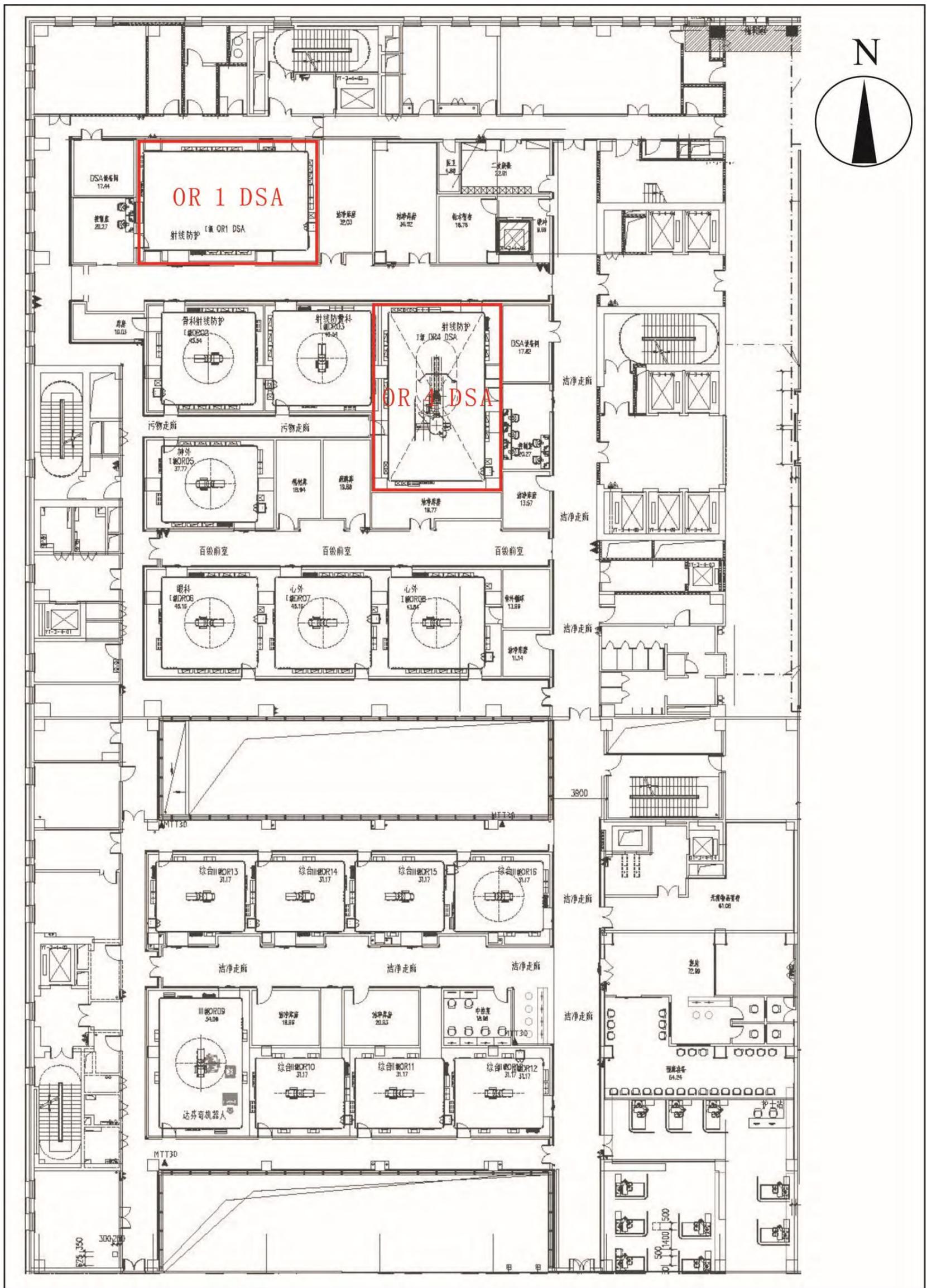


图16 3#住院楼4层平面布局图

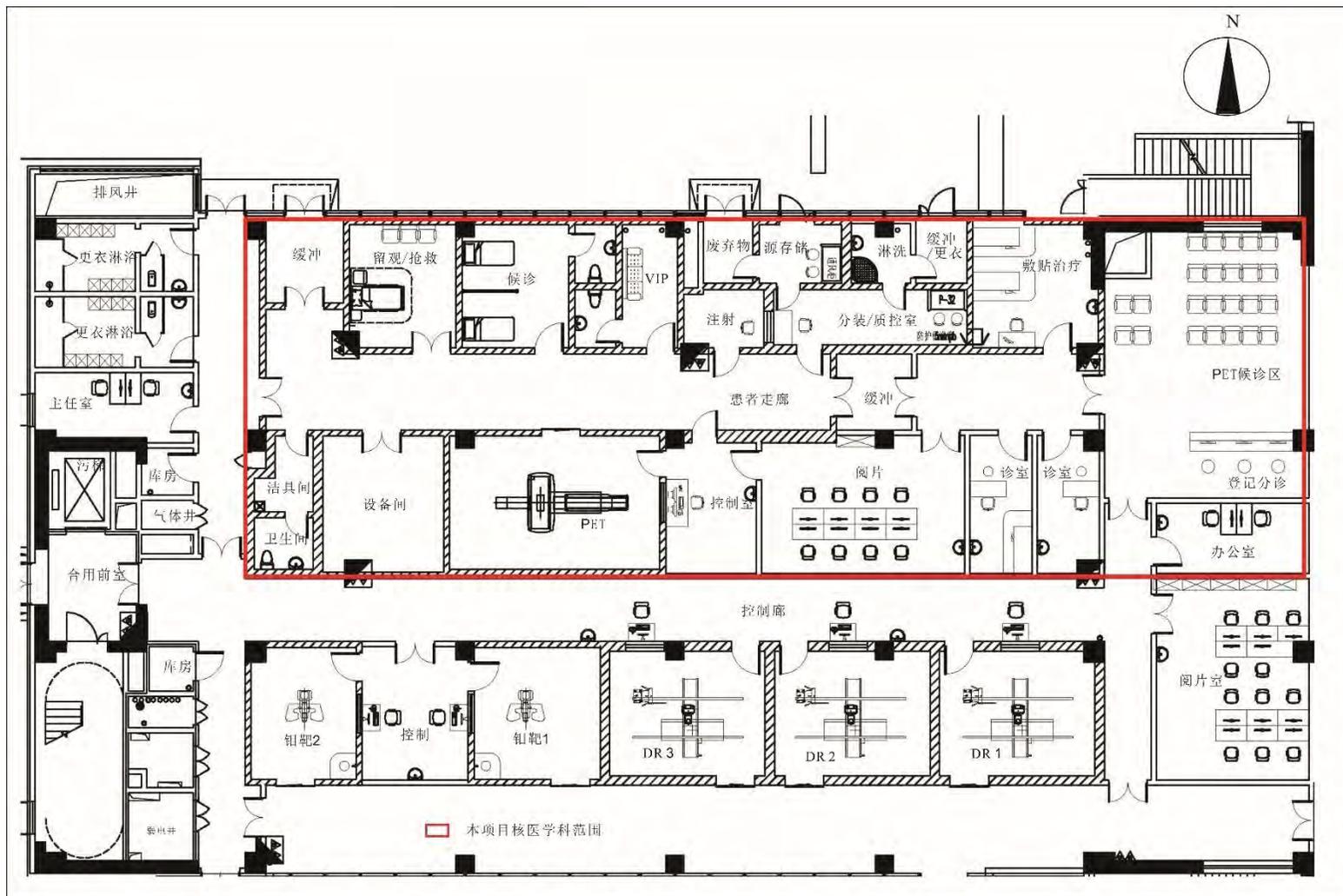


图 1-7 核医学科平面布局图

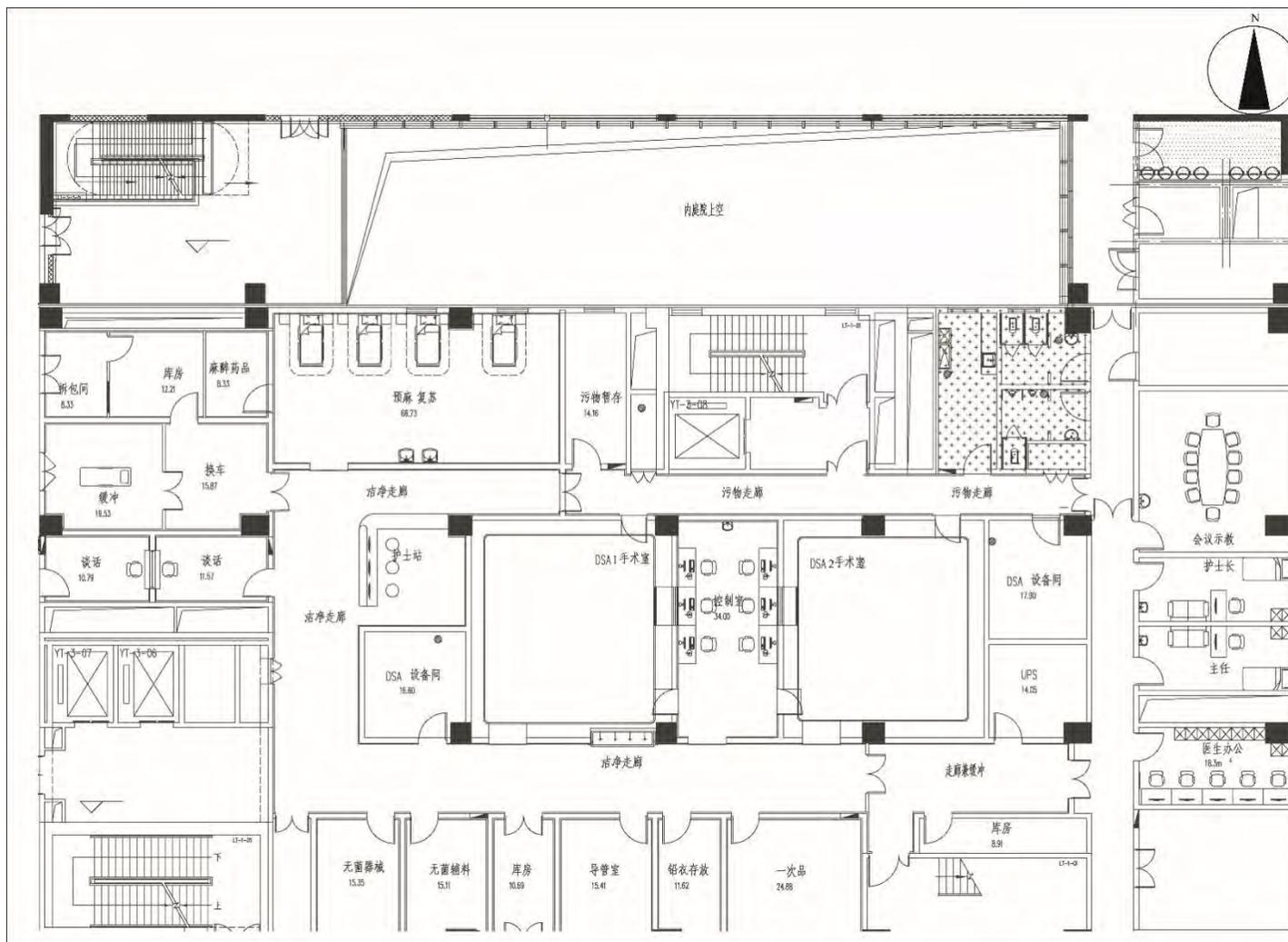


图 1-8 DSA 中心平面布局图

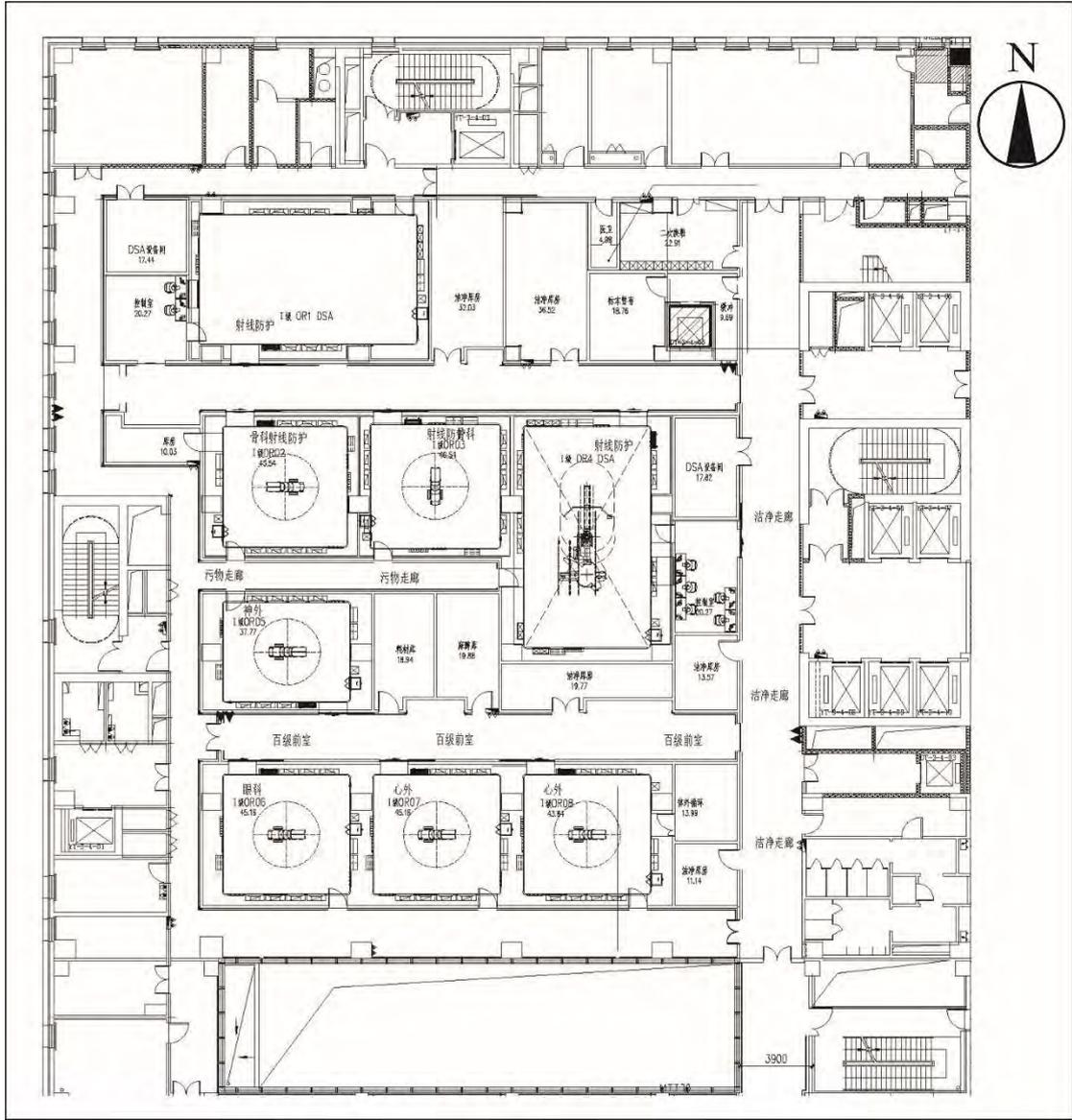


图 1-9 中心手术部平面布局图

### 1.5.7 辐射工作人员配备情况及工作制度

根据医院提供的资料，本项目核医学科为新开展科室，拟配备 5 名辐射工作人员，均为新增人员，环评要求新增人员应具备相应的职业资格证书。介入治疗不新增人员，依托医院本部原有 DSA 机房辐射工作人员，拟调配控制室操作人员 4 名，介入手术人员 12 名（医生 8 名、护士 4 名），由于开业初期接诊患者较少，患者需要进行 DSA 介入治疗时，辐射工作人员至经开院区开展手术，后期患者就诊数量增加后，辐射工作人员仅在经开院区开展介入治疗手术，不再操作其他射线装置。DSA 中心、中心手术部每台 DSA 年分别进行手术约 190 台、170 台。

### 1.6 本项目投入运行后，医院非密封放射性物质、射线装置总应用情况

本次在医院经开院区新增 1 个乙级工作场所、4 台数字减影血管造影机（DSA）。该项目建设完成后，西安市儿童医院非密封放射性物质、射线装置应用总规模为：本部使用 15 台射线装置（II类射线装置 2 台，13 台III类射线装置）；经开院区使用 1 个乙级工作场所、4 台II类射线装置。西安市儿童医院应用的非密封放射性物质、射线装置见表 1-6、表 1-7。

表 1-6 西安市儿童医院非密封放射性物质汇总表

核素	日实际操作量 (Bq)	场所等级	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	活动种类	备注
<sup>18</sup> F	8.50×10 <sup>9</sup>	乙级	8.50×10 <sup>6</sup>	2.12×10 <sup>12</sup>	使用	新增
<sup>32</sup> P	2.96×10 <sup>9</sup>		2.96×10 <sup>8</sup>	7.4×10 <sup>11</sup>		

表 1-7 西安市儿童医院射线装置汇总表

序号	射线装置名称	厂家型号	管电压 (kV)	管电流 (mA)	装置数量	所在位置	类别	活动种类
1	数字减影血管造影	Integris CV-12	150	800	1 台	药学楼一楼介入室	II类	使用
2	PHILIPS CT	Brilliance CT 64 channel	140	500	1 台	门诊一楼 CT 室	III类	使用
3	西门子-DR	Aristone VX	150	800	1 台	门诊一楼拍片二室	III类	使用
4	PHILIPS-DR	Eleva	150	800	1 台	门诊一楼拍片一室	III类	使用
5	数字胃肠机	Plessart	150	500	1 台	门诊一楼胃肠机室	III类	使用
6	小 C 型臂	GE Medical systems	98	3	1 台	住院二部四楼 12 号手术室	III类	使用

7	全景 X 射线系统	Promax	84	16	1 台	门诊三樓口腔拍片室 1	III 类	使用
8	口腔内成像 X 射线机	Planmeca ProX	70	8	1 台	门诊三樓口腔拍片室 2	III 类	使用
9	联影-CT	uCT530	140	420	1 台	发热门诊 CT	III 类	使用
10	西门子-双源 CT	SOMATOM Drive	140	800	1 台	门诊一樓 CT 室 2	III 类	使用
11	西门子-DSA	Artis Q floor	125	1000	1 台	住院二部四樓 13 号手术室	II 类	使用
12	岛津-移动 X 线拍片机	MUX-10J	100	50	1 台	住院二部病房 1	III 类	使用
13	万东-移动 X 线拍片机	PX-2000	125	200	1 台	住院二部病房 2	III 类	使用
14	万东-移动 X 线拍片机 2	PX-2000	125	200	1 台	住院二部病房 3	III 类	使用
15	七喜-DR	DXR-580	150	630	1 台	门诊一樓拍片三室	III 类	使用
16	DSA	待定	150	1250	2 台	DSA 中心 DSA1、DSA2 手术室	II 类	新增
17	DSA	待定	150	1250	2 台	中心手术部 OR1 DSA、OR4 DSA 手术室	II 类	新增

说明：序号 1#~15#为辐射安全许可证许可的射线装置，16#~17#为本次新增的射线装置。

### 1.7 选址合理性分析

本项目位于3-1#住院楼、3-4#住院楼，项目50m评价范围不涉及居民住宅区，核医学工作场所不毗邻产科、食堂等部门及人员密集区，并与非放射性工作场所有明确的隔离，50m评价范围内主要为医院内部医疗建筑物及院区道路，对周边环境影响小，项目选址符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）等相关标准要求。

### 1.8 产业政策及实践正当性分析

经对照《产业结构调整指导目录（2019年）》（中华人民共和国国家发展和改革委员会令29号，2021年第49号令修改），本项目属于鼓励类“三七、卫生健康 第5款 医疗卫生服务设施建设”项目，符合国家产业政策。

本项目建成后，可提高当地医疗水平，为周边人员提供更多便利，且本项目所致辐射工作人员和公众外照射剂量小于环评提出的剂量约束值要求，项目带来的利益大于辐射危害，满足辐射防护“实践的正当性”原则。

**表 2 放射源**

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

注：放射源包括放射性中子源，对其要说明是何种核素以及产生的中子流强度 (n/s)。

**表 3 非密封放射性物质**

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	<sup>18</sup> F	液体	使用	8.50×10 <sup>9</sup>	8.50×10 <sup>6</sup>	2.12×10 <sup>12</sup>	显像诊断	很简单的操作	PET-MR 检查室	铅罐中贮存，暂存于分装/质控室
2	<sup>32</sup> P	液体	使用	2.96×10 <sup>9</sup>	2.96×10 <sup>8</sup>	7.4×10 <sup>11</sup>	敷贴治疗	简单操作	敷贴治疗室	暂存于敷贴治疗室保险箱内

**表 4 射线装置**

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

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

(二) X 射线机：包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	DSA	II	2	待定	150	1250	介入诊断及辅助治疗	DSA 中心 DSA1、DSA2 手术室	
2	DSA	II	2	待定	150	1250	介入诊断及辅助治疗	中心手术部 OR1 DSA、OR4 DSA 手术室	

(三) 中子发生器：包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大靶电流 (μA)	中子强度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 5 废弃物

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
含放射性核素的废针头、注射器、吸水纸、棉签、一次性卫生防护用品、废 <sup>32</sup> P 敷贴器、废活性炭等	固态	<sup>18</sup> F、 <sup>32</sup> P	/	/	约 1305.5kg	/	核医学科废物间暂存	暂存时间需满足 HJ1188-2021 要求，监测并达到清洁解控水平后，按一般医疗废物处理
注射药物后患者排泄物及冲洗废水、工作人员洗手废水、工作场所清洁废水等	液态	<sup>18</sup> F	/	/	约 54.875m <sup>3</sup>	/	在衰变池衰变贮存，超过 30 天	直接解控排放
放射性废气	气态	<sup>18</sup> F、 <sup>32</sup> P	/	/	/	/	/	经活性炭吸附后，通过专用管道排入大气，排放口高于所在建筑物屋脊
O <sub>3</sub> 、NO <sub>x</sub> 废气	气态	/	/	/	/	/	/	通过排风管道引至楼顶排放

注：1. 常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m<sup>3</sup>；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/m<sup>3</sup>）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

<p>法规 文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》，2015 年 1 月 1 日；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，第十三届全国人民代表大会常务委员会第七次会议（二次修正），2018 年 12 月 29 日；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日；</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院第 682 号令《国务院关于修改〈建设项目环境保护管理条例〉的决定》修订，2017 年 10 月 1 日；</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令第 709 号（修订），2019 年 3 月 2 日；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，国家环保部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日；</p> <p>(7) 《放射性核素与射线装置安全许可管理办法》，生态环境部令第 20 号令，2021 年 1 月 4 日；</p> <p>(8) 关于发布《射线装置分类》的公告，国家环保部、国家卫生和计划生育委员会总局 2017 年第 66 号公告，2017 年 12 月 5 日；</p> <p>(9) 关于发布《放射性废物分类》的公告，环境保护部、工业和信息化部、国防科工局 2017 年第 65 号公告，2018 年 1 月 1 日；</p> <p>(10) 《建设项目环境影响评价分类管理目录（2021 年版）》，生态环境部第 16 号令，2021 年 1 月 1 日；</p> <p>(11) 《陕西省放射性污染防治条例》，陕西省第十三届人民代表大会常务委员会第十二次会议《关于修改〈陕西省产品质量监督管理条例〉等二十七部地方性法规的决定》第二次修正，2019 年 7 月 31 日；</p> <p>(12) 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，陕西省环境保护厅办公室陕环办发[2018]29 号文，2018 年 6 月 6 日；</p> <p>(13) 《产业结构调整指导目录（2019 年）》中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 29 号，2021 年第 49 号令修改，2021 年 12 月 30 日；</p>
------------------	--

续表 6 评价依据

<p>法规文件</p>	<p>(14) 《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 2021 第 9 号公告，2021 年 3 月 15 日；</p> <p>(15) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》环办辐射函〔2016〕430 号；</p> <p>(16) 《放射工作人员职业健康管理办法》，中华人民共和国卫生部令第 55 号，2007 年 11 月 1 日。</p>
<p>技术标准</p>	<p>(1) 《建设项目环境影响评价技术导则总纲》(HJ 2.1-2016)；</p> <p>(2) 《辐射环境保护管理导则核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016)；</p> <p>(3) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)；</p> <p>(4) 《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)；</p> <p>(5) 《环境 <math>\gamma</math> 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)；</p> <p>(6) 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)；</p> <p>(7) 《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)；</p> <p>(8) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)；</p> <p>(9) 《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》(GBZ2.1-2019)；</p> <p>(10) 《职业性外照射个人检测规范》(GBZ128-2019)；</p> <p>(11) 《医用 X 射线诊断设备质量控制检测规范》(WS76-2020)；</p> <p>(12) 《电离辐射监测质量保证通用要求》(GB8999-2021)。</p>
<p>其他</p>	<p>(1) 环境影响评价委托书；</p> <p>(2) 建设单位提供的其他资料。</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

本项目涉及非密封放射性物质、II类射线装置，考虑非密封放射性物质及射线装置的类型、能量，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》（HJ 10.1-2016）要求，结合项目能量流污染特征与距离关系，确定本项目的评价范围为：核医学科实体边界外 50m 范围内区域，DSA 手术室实体屏蔽体外 50m 范围内区域。评价范围图见图 7-1、图 7-2。

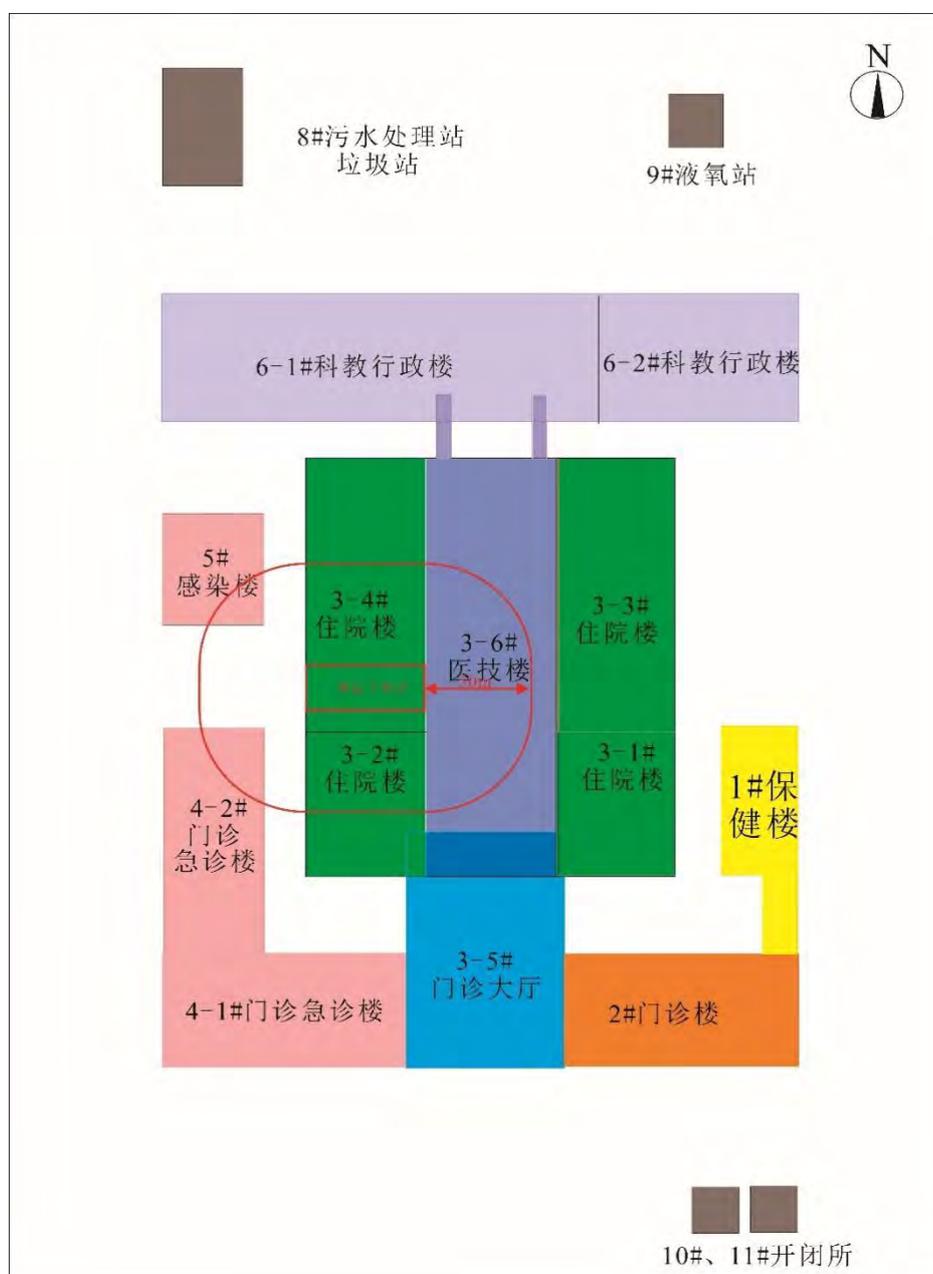


图 7-1 核医学科评价范围图

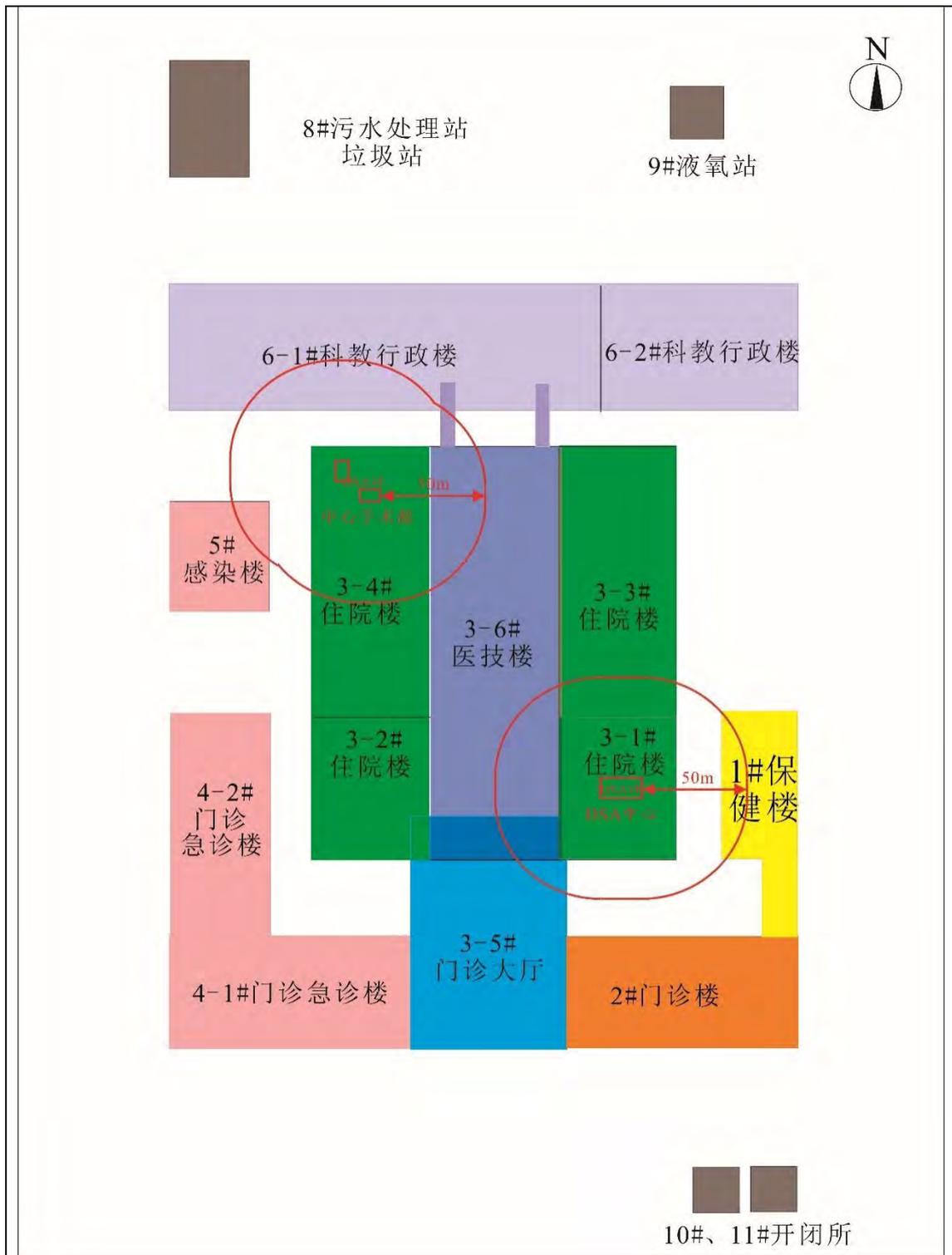


图 7-2 DSA 评价范围图

## 7.2 保护目标

根据西安市儿童医院经开院区总平面布置图以及本项目非密封放射性物质、射线装置分布情况，确定本项目环境保护目标为从事医学诊疗的辐射工作人员以及评价范围内公众。详见表 7-1。

表 7-1 本项目环境保护目标一览表

工作场所	保护对象	类型	规模	相对位置关系	最近距离 (m)	有效剂量约束值
核医学科	分装、转移、质控及注射人员	职业人员	2 人	不固定	0.5	≤3mSv/a
	PET-MR 工作人员		2 人	E	4.35	
				摆位 (不固定)	1.0	
	敷贴治疗工作人员		1 人	不固定	0.5	
	护士长、主任、资料室、办公室、会议/示教、临床检验室内人员	公众	约 20 人	楼上	4.6	≤0.1mSv/a
机房、耗材库、更衣间内人员	约 5 人		楼下	4.4		
DSA 中心	DSA 手术医生、护士	职业人员	6 人	位于机房内	0.8	≤3mSv/a
	DSA 控制室工作人员		2 人	两 DSA 介入手术室之间的控制室	3.625	
	净化机房、护士长、更衣间内人员	公众	约 7 人	楼上	3.78	≤0.1mSv/a
	缓冲房间、复苏室人员		约 5 人	楼下	2.8	
中心手术部	DSA 手术医生、护士	职业人员	6 人	位于机房内	0.8	≤3mSv/a
	OR1 DSA 控制室工作人员		1 人	W	6.15	
	OR4 DSA 控制室工作人员		1 人	E	3.7	
	会议示教室、更衣间内人员	公众	约 15 人	楼上	3.78	≤0.1mSv/a
	保洁、污物暂存、常规技术室、杂交检测室、FISH、暗房、资料室内人员		约 20 人	楼下	2.8	
核医学科实体边界、射线装置机房外 30cm 处, 50m 范围内 (包括感染科、3-6#医技楼等) 短时间滞留的其它工作人员或公众						≤0.1mSv/a

备注: 表中距离表示距非密封放射性物质或射线装置距离。

**评价标准**

一、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)

(1) 剂量限值

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 附录 B 中规定: 应对任何工作人员的职业照射水平进行控制, 由审管部门决定的连续 5 年的年

平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均）不超过 20mSv；实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的年平均剂量估计值不应超过 1mSv。

### (2) 剂量约束值

本项目核医学科、射线装置运行所致辐射工作人员、公众年最大附加有效剂量分别为 2.51mSv、 $9.66 \times 10^{-2}$ mSv，因此本项目核医学科、射线装置职业照射的剂量约束值不超过 3mSv/a，公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

### (3) 表面污染控制水平

医院核医学科表面污染执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 B2.1 款规定，工作场所的表面污染控制水平如表 7-2 所示。

表 7-2 工作场所的放射性表面污染控制水平

表面类型		$\beta$ 放射性物质 (Bq/cm <sup>2</sup> )
工作台、设备、墙壁、地上	控制区 <sup>1)</sup>	$4 \times 10$
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区 监督区	4
手、皮肤、内衣、工作袜		$4 \times 10^{-1}$

备注：1) 该区内的高污染子区除外

### (4) 非密封源工作场所的分级

C1 款：非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小可分为甲、乙、丙级。具体可见表 7-3。

表 7-3 非密封源工作场所分级

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

### (5) 放射性废液排放

第 8.6.2 款规定：不得将放射性废液排入普通下水道，除非经审管部门确认是满足下列条件的低放废液，方可直接排入流量大于 10 倍排放流量的普通下水道，并应对每次排放作好记录：

a) 每月排放的总活度不超过  $10ALI_{\min}$  ( $ALI_{\min}$  是相应于职业照射的食入和吸入 ALI 值中的较小者，其具体数值可按 B1.3.4 和 B1.3.5 条的规定获得)；

b) 每一次排放的活度不超过  $1\text{ALI}_{\text{min}}$ ，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗。

## 二、《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 相关规定

### (1) 辐射工作场所分区

① 应按照GB 18871的要求将核医学工作场所划分出控制区和监督区，并进行相应的管理。

② 核医学工作场所的控制区主要包括分装室、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。

③ 核医学工作场所的监督区主要包括显像设备控制室、卫生通过间以及与控制区相连的其他场所或区域。

④ 控制区的入口应设置规范的电离辐射警告标志及标明控制区的标志，监督区入口处应设置标明监督区的标志。

### (2) 选址

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、物流通道。

① 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界隔离。

② 核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。

### (3) 布局

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。

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。

#### (4) 工作场所屏蔽要求

① 核医学场所屏蔽层设计应适当保守，按照可能使用的最大放射性活度、最长时间和最短距离进行计算。

② 设计核医学工作场所墙壁、地板及顶面的屏蔽层时，除应考虑室内的辐射源外，还要考虑相邻区域存在的辐射源影响以及散射辐射带来的照射。

③ 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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，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 $10\mu\text{Sv/h}$ 。

④ 放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构，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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，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 $25\mu\text{Sv/h}$ 。

⑤ 固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道应增加相应屏蔽措施，以保证其外表面30cm处的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

⑥ 放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽。

#### (5) 场所安全措施要求

① 核医学工作场所的放射性核素操作设备的表面、工作台台面等平整光滑，室内地面与墙壁衔接处应无接缝，易于清洗、去污。

② 操作放射性药物场所级别达到乙级应在通风柜中进行，丙级可在通风橱内进行。应为从事放射性药物操作的工作人员配备必要的防护用品。放射性药物给药器应有适当的屏蔽，给药后患者候诊室内、核素治疗病房的床位旁应设有铅屏风等屏蔽体，以减少对其他患者和医护人员的照射。

③ 操作放射性药物的控制区出口应配有表面污染监测仪器，从控制区离开的人员和物品均应进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，应采取相应的去污措施。

④ 放射性物质应贮存在专门场所的贮存容器或保险箱内，定期进行辐射水平监测，无关人员不应入内。贮存的放射性物质应建立台账，及时登记，确保账物相符。

⑤ 应为核医学工作场所内部放射性物质运送配备有足够屏蔽的贮存、转运等容器，容器表面应张贴电离辐射标志，容器在运送时应有适当的固定措施。

⑥ 敷贴器治疗场所应设置专门的治疗室，治疗时严禁将敷贴源带出治疗室外。敷贴治疗中，医务人员应采取有效的个人防护措施，对病人的正常组织应采用合适的屏蔽措施。敷贴器使用中应避免锐器损坏源窗面，不得将敷贴器浸入水、酒精等溶剂中，使用后应存放于干燥的贮源箱内。

⑦ 扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。

#### (6) 密闭和通风要求

① 核医学工作场所应保持有良好的通风，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。

② 放射性物质的分装以及挥发性放射性核素的操作应在通风柜、通风橱等密闭设备中进行，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。通风柜、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭或其他过滤装置。

③ 通风橱应有足够的通风能力，设有通风橱、通风柜等场所的通风系统排气口应高于本建筑物屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑。

#### (7) 放射性废物的管理

① 固体放射性废物应收集于具有屏蔽结构和电离辐射标志的专用废物桶。废物桶应放置专用塑料袋直接收纳废物。

② 含尖刺及棱角的放射性废物，应预先进行包装处理，再装入废物桶，防止刺破废物袋。

③ 放射性废物每袋重量不超过20kg。装满废物的塑料袋应密封后及时转送至放射性废物暂存间贮存。

④ 产生少量放射性废物和利用贮存衰变方式处理放射性废物的单位，经审管部门批准可以将废物暂存在许可的场所和专用容器中。暂存时间和总活度不

能超过审管部门批准的限制要求。

⑤ 放射性废物贮存场所应安装通风换气装置，放射性废物中含有易挥发放射性核素的，通风换气装置应有单独的排风管道。入口处应设置电离辐射警告标志，采取有效的防火、防丢失、防射线泄漏等措施。

⑥ 废物暂存间内应设置专用容器盛放固体放射性废物袋（桶），不同类别废物应分开存放。容器表面应注明废物所含核素的名称、废物的类别、入库日期等信息，并做好登记记录。

⑦ 废物暂存间内不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品。

⑧ 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， $\alpha$ 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；

⑨ 不能解控的放射性固体废物应该按照放射性废物处理的相关规定予以收集、整备，并送交有资质的单位处理。放射性废物包装体外的表面剂量率应不超过 $0.1\text{mSv}/\text{h}$ ，表面污染水平对 $\beta$ 和 $\gamma$ 发射体以及低毒性 $\alpha$ 发射体应小于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、其他 $\alpha$ 发射体应小于 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

⑩ 固体放射性废物的存储和处理应安排专人负责，并建立废物存储和处理台账，详细记录放射性废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息。

(8) 液态放射性废物的管理

① 核医学工作场所应设置有槽式或推流式放射性废液衰变池或专用容器，收集放射性药物操作间、核素治疗病房、给药后患者卫生间、卫生通过间等场所产生的放射性废液和事故应急时清洗产生的放射性废液。

② 核医学工作场所放射性药物标记、分装、注射后的残留液和含放射性核素的其他废液应收集在专用容器中。含有长半衰期核素的放射性废液应单独收集存放。盛放放射性废液的容器表面应张贴电离辐射标志。

③ 核医学工作场所的上水需配备洗消处理设备（包括洗消液）。控制区和

卫生通过间内的淋浴间、盥洗水盆、清洗池等应选用脚踏式或自动感应式的开关，以减少场所内的设备放射性污染。头、眼和面部宜采用向上冲淋的流动水。

④ 放射性废液收集的管道走向、阀门和管道的连接应设计成尽可能少的死区，下水道宜短，大水流管道应有标记，避免放射性废液集聚，便于检测和维修。

⑤ 经衰变池和专用容器收集的放射性废液，应贮存至满足排放要求。衰变池或专用容器的容积应充分考虑场所内操作的放射性药物的半衰期、日常核医学诊疗及研究中预期产生贮存的废液量以及事故应急时的清洗需要；衰变池池体应坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑和具有可靠的防泄漏措施。

⑥ 对于槽式衰变池贮存方式：

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

b) 所含核素半衰期大于24小时的放射性废液暂存时间超过10倍最长半衰期，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 $\alpha$ 不大于1Bq/L、总 $\beta$ 不大于10Bq/L。

⑦ 放射性废液的暂存和处理应安排专人负责，并建立废物暂存和处理台账，详细记录放射性废液所含的核素名称、体积、废液产生起始日期、责任人员、排放时间、监测结果等信息。

(10) 气态放射性废物的管理

① 产生气态放射性废物的核医学场所应设置独立的通风系统，合理组织工作场所的气流，对排出工作场所的气体进行过滤净化，避免污染工作场所和环境。

② 应定期检查通风系统过滤净化器的有效性，及时更换失效的过滤器，更换周期不能超过厂家推荐的使用时间。更换下来的过滤器按放射性固体废物进行收集、处理。

### 三、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）

(1) 工作场所平面布局 and 分区

① 在医疗机构内部区域选择核医学场址，应充分考虑周围场所的安全，不

应邻接产科、儿科、食堂等部门，这些部门选址时也应避开核医学场所。尽可能做到相对独立布置或集中设置，宜有单独出、入口，出口不宜设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域。

② 核医学工作场所平面布局设计应遵循如下原则：

a) 使工作场所的外照射水平和污染发生的概率达到尽可能小；

b) 保持影像设备工作场所内较低辐射水平以避免对影像质量的干扰；

c) 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，保证工作场所内的工作人员和公众免受不必要的照射；

d) 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。

③ 核医学工作场所从功能设置可分为诊断工作场所和治疗工作场所。其功能设置要求如下：

a) 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；

b) 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；

c) 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；

d) 对于综合性的核医学工作场所，部分功能用房和辅助用房可以共同利用；

④ 核医学放射工作场所应划分为控制区和监督区。控制区一般包括使用非密封源核素的房间（放射性药物贮存室、分装及（或）药物准备室、给药室等）、扫描室、给药后候诊室、样品测量室、放射性废物储藏室、病房（使用非密封源治疗患者）、卫生通过间、保洁用品储存场所等。监督区一般包括控制室、员工休息室、更衣室、医务人员卫生间等。应根据 GB18871-2002 的有关规

定，结合核医学科的具体情况，对控制区和监督区采取相应管理措施。

⑤ 通过设计合适的时间空间交通模式来控制辐射源（放射性药物、放射性废物、给药后患者或受检者）的活动，给药后患者或受检者与注射放射性药物前患者或受检者不交叉，给药后患者或受检者与工作人员不交叉，人员与放射性药物通道不交叉。合理设置放射性物质运输通道，便于放射性药物、放射性废物的运送和处理；便于放射性污染的清理、清洗等工作的开展。

### (2) 放射防护措施要求

① 应依据计划操作最大量放射性核素的加权活度对开放性放射性核素工作场所进行分类管理，把工作场所分为I、II、III三类。不同类别核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求见表 7-4，核医学工作场所分类见表 7-5。

表 7-4 不同核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求

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

a.下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测；

b.洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制

表 7-5 临床核医学工作场所具体分类

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

② 分装药物操作宜采用自动分装方式。

③ 核医学场所中相应位置应有明确的患者或受检者导向标识或导向提示。

④ 给药后患者或受检者候诊室、扫描室应配备监视设施或观察窗和对讲装置。

### (3) 个人防护用品及去污用品

开展核医学工作的医疗机构应根据工作内容，为工作人员配备合适的防护用品和去污用品（见表 7-6），其数量应满足开展工作需要。对陪检者应至少配

备铅橡胶防护衣。操作  $^{18}\text{F}$  等正电子放射性药物，此时应考虑其他的防护措施，如：穿戴放射性污染防护服、熟练操作技能、缩短工作时间、使用注射器防护套和先留置注射器留置针等措施。

表 7-6 个人防护用品

场所类型	工作人员		患者或受检者
	必备	选备	
正电子放射性药物场所	放射性污染防护服	—	—
敷贴治疗	宜使用远距离操作工具	有机玻璃眼镜或面罩	不小于3mm厚的橡皮泥或橡胶板等

注：“—”表示不要求，宜使用非铅防护用品。

#### (4) 放射性药物操作的放射防护要求

① 装有放射性药物的给药注射器，应有适当屏蔽。

② 从控制区取出物品应进行表面污染检测，以杜绝超过表 7-2 规定的表面污染控制水平的物品被带出控制区。

③ 当发生放射性物质溢出、散漏事故时，应根据单位制定的放射事故处置应急预案。使用辅助用品和应急及去污用品，及时控制、消除放射性污染；当人员皮肤、伤口被污染时，应迅速去污并给予医学处理。

辅助用品：根据工作内容及实际需要，合理选择使用移动铅屏风、注射器屏蔽套、带有屏蔽的容器、托盘、长柄镊子、分装柜或生物安全柜、屏蔽运输容器/放射性废物桶等辅助用品。

应急及去污用品：一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污剂和/或喷雾（至少为加入清洗洗涤剂和硫代硫酸钠的水）；小刷子、一次性毛巾或吸水纸、毡头标记笔（水溶性油墨）、不同大小的塑料袋、酒精湿巾、电离辐射警告标志、胶带、标签、不透水的塑料布、一次性镊子。

#### (5) 放射性核素敷贴治疗放射防护要求

① 放射性核素敷贴治疗器的放射防护要求

a 放射性核素应选用半衰期较长、 $\beta$  射线能量较高，不伴生  $\gamma$  辐射或仅伴生低能  $\gamma$  辐射的放射的放射性核素，例如  $^{32}\text{P}$  敷贴器。

b 外购放射性核素敷贴器应具有生产厂家或制作者的说明书及检验合格

证，并应具有生产厂家或制作者的说明书及检验合格证，并应有生产批号和检验证书。说明书应载明敷贴器编号、核素名称及化学符号、辐射类型及能量、放射性活度、源面空气吸收剂量率、表面放射性污染与泄漏检测、检测日期、使用须知和生产单位名称。

c 自制敷贴器的处方剂量应根据病变性质和病变部位确定，根据处方剂量和面积大小确定所用放射性核素活度。

d 眼科用敷贴器可根据病变需要做成不同形状（如圆形、船形、半圆形）或开有上述不同形状的窗的防护套来适应治疗不同角膜、结膜病变的需要。

e 废弃商品敷贴器应按放射性废源管理，自制敷贴器可根据核素的性质按放射性废物管理。

#### ② 自制 $^{32}\text{P}$ 敷贴器的特殊防护要求

a  $^{32}\text{P}$  敷贴器的制作单位应配备活度计及  $\beta$  污染检查仪，并具有制作  $^{32}\text{P}$  敷贴器的专用工具。

b  $^{32}\text{P}$  敷贴器的制作间，其墙壁、地面及工作台面应铺易去除污染的铺料。

c  $^{32}\text{P}$  敷贴器制作时应在通风橱内操作，制作者应戴乳胶手套。

d 自制  $^{32}\text{P}$  敷贴器应保证不直接接触患者皮肤。

e 实施治疗时，应由医护人员操作，在不接触患者或受检者皮肤的一面用不小于 3mm 厚的橡皮覆盖屏蔽。

f 自制的  $^{32}\text{P}$  敷贴器，应对其数量、活度、使用情况等进行登记。

#### ③ 敷贴器贮源箱的放射防护要求

a 贮源箱的外表面应标有放射性核素名称、最大容许装载放射性活度和牢固、醒目的电离辐射标志。

b 贮源箱的屏蔽层结构应分内外两层。内层为铝或有机玻璃等低原子序数材料，其厚度应大于  $\beta$  辐射在相应材料中的最大射程。外层为适当厚度的铅、铸铁等重金属材料，并具有防火、防盗的性能。

c 距离贮源箱表面 5cm 和 100cm 处因泄漏辐射所致的周围剂量当量率分别不应超过  $10\mu\text{Sv/h}$  和  $1\mu\text{Sv/h}$ 。

#### ④ 敷贴治疗设施的放射防护要求

a 敷贴治疗应设置专用治疗室，该治疗室应与诊断室、登记值班室和候诊室

分开设置。治疗室内使用面积应满足治疗要求。

b 治疗室内高 1.5m 以下的墙面应有易去污的保护涂层。地面，尤其在治疗患者位置，应铺有可更换的质地较软又容易去污染的铺料。

c 治疗室内患者座位之间应保持 1.2m 的距离或设置适当材料与厚度的防护屏蔽。

d 治疗室内应制定敷贴治疗操作规程及卫生管理制度，并配有  $\beta$  污染检查仪等检测仪器。

#### ⑤敷贴治疗中的放射防护要求

a 实施敷贴治疗前，应详细登记治疗日期、使用敷贴源的编号、辐射类型、活度、照射部位与面积，并发给具有患者姓名、性别、年龄、住址、诊断和照射次数等项目的治疗卡。

b 每次治疗前，先收回患者的治疗卡，再给予实施敷贴治疗。治疗完毕，先如数收回敷贴器再发给治疗卡。由工作人员收回敷贴器放回贮源箱内保存。

c 实施敷贴治疗时不应将敷贴源带出治疗室外。

d 实施治疗时，应用不小于 3mm 厚的橡皮泥或橡胶板等屏蔽周围的正常组织。对颜面部部位的病变，屏蔽其周围正常皮肤；对其他部位的病变，则在病变周围露出正常皮肤不大于 0.5cm。并在周围已屏蔽的皮肤上覆盖一张玻璃纸或塑料薄膜后，将敷贴器紧密贴在病变部位。

e 敷贴治疗时，照射时间长的可用胶布等固定，请患者或陪同人员协助按压敷贴器，照射时间短的可由治疗人员亲自按压固定敷贴器，有条件者可利用特制装置进行远距离操作。

f 敷贴器应定期进行衰变校正，以调整照射时间。每次治疗时应有专人使用能报警的计时器控制照射时间。治疗过程中应密切观察治疗反应和病变治疗情况，及时调整照射剂量，防止产生并发症。

g 敷贴治疗中，医务人员应采取有效的个人防护措施，如戴有机玻璃眼镜或面罩和尽量使用远距离操作工具。

h 敷贴器使用中应避免锐器损坏源窗面。不应将敷贴器浸入水、酒精等溶剂中，使用后应存放于干燥处。

#### 四、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）

### (1) 适用范围

本标准适用于 X 射线影像诊断和介入放射学。

### (2) X 射线设备机房布局

①应合理设置 X 射线设备、机房的门、窗和管线口位置，应尽量避免有用线束直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。

②X 射线设备机房（照射室）的设置应充分考虑邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全。

③每台固定使用的 X 射线设备应设有单独的机房，机房应满足使用设备的布局要求。

④除床旁摄影设备、便携式 X 射线设备和车载式诊断 X 射线设备外，对新建、改建和扩建项目和技术改造、技术引进项目的 X 射线设备机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应符合表 7-7 的规定。

表 7-7 X 射线设备机房（照射室）使用面积、单边长度的要求

设备类型	机房内最小有效使用面积 (m <sup>2</sup> )	机房内最小单边长度 (m <sup>2</sup> )
单管头 X 射线机 <sup>b</sup>	20	3.5

备注：<sup>b</sup>单管头、双管头或多管头 X 射线设备的每个管球各安装在 1 个房间内。

### (3) X 射线设备机房屏蔽

①不同类型 X 射线设备（不含床旁摄影设备和便携式 X 射线设备）机房的屏蔽防护应不低于表 7-8 的规定。

②医用诊断 X 射线防护中不同铅当量屏蔽物质厚度的典型值参见附录 C 中表 C.4~表 C.7。

表 7-8 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量 (mm)	非有用线束方向铅当量 (mm)
C 形臂 X 射线设备机房	2	2

③机房的门和窗关闭时应满足表 7-8 的要求。

④距 X 射线设备表面 100cm 处的周围剂量当量率不大于 2.5μSv/h 时且 X 射线设备表面与机房墙体距离不小于 100cm 时，机房可不作专门屏蔽防护。

### (4) X 射线设备机房屏蔽

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

(5) X 射线设备工作场所防护

①机房应设有观察窗或摄像监控装置，其设置的位置应便于观察到受检者状态及防护门开闭情况。

②机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。

③机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。

④机房门外应有电离辐射警告标志；机房门上方应有醒目的工作状态指示灯，灯箱上应设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句；候诊区应设置放射防护注意事项告知栏。

⑤平开机房门应有自动闭门装置；推拉式机房门应设有曝光时关闭机房门的管理措施；工作状态指示灯能与机房门有效关联。

⑥电动推拉门宜设置防夹装置。

⑦受检者不应在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中陪检者不应滞留在机房内。

⑧模拟定位设备机房防护设施应满足相应设备类型的防护要求。

⑨机房出入口宜处于散射辐射相对低的位置。

⑩每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 7-9 基本种类要求的工作人员、受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作需要。

表 7-9 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

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

注 1：“—”表示不做要求。

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

**表 8 环境质量和辐射现状**

<p><b>8.1 项目地理位置及场所位置</b></p> <p><b>8.1.1 医院地理位置</b></p> <p>医院经开院区地理位置见图 1-1，医院经开院区总平面布置见图 1-3。</p> <p><b>8.1.2 项目场所位置</b></p> <p>项目拟在经开院区 3-4#住院楼 1 层建设核医学科，在 3-1#住院楼 4 层、3-4#住院楼 4 层建设 DSA 手术室。</p> <p>项目场所位置详见图 1-4~图 1-6。</p> <p><b>8.2 环境质量和辐射现状</b></p> <p>为说明项目拟建地的辐射环境现状，医院委托核工业二〇三研究所分析测试中心于 2022 年 4 月 23 日对项目拟建地进行了 <math>\gamma</math> 辐射剂量率监测，监测内容如下：</p> <p>(1) 监测项目：<math>\gamma</math> 辐射剂量率；</p> <p>(2) 监测仪器型号：便携式 X-<math>\gamma</math> 剂量率仪（FH40G 主机+FHZ672E 探头），仪器设备编号：主机：FHP003-2018，探头：FHP004-2018，检定单位：中国计量科学研究院，检定证书编号为：DLj12021-13873，检定有限期：2021 年 5 月 19 日~2022 年 5 月 18 日；</p> <p>(3) 仪器测量范围：1nSv/h~100<math>\mu</math>Sv/h；</p> <p>(4) 质量保证</p> <p>① 结合现场实际情况，在项目拟建场地周边布设监测点位，充分考虑监测点位的代表性和可重复性，以保证监测结果的科学性和可比性；</p> <p>② 严格按照《环境 <math>\gamma</math> 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）、《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB8999-2021）进行监测；</p> <p>③ 测量仪器每年定期经有资质计量部门检定，检定合格后方可使用；</p> <p>④ 监测人员持证上岗；</p> <p>⑤ 监测结果经三级审核，保证监测数据的准确。</p> <p>西安市儿童医院经开院区项目所在地及周边环境 <math>\gamma</math> 辐射剂量率监测结果见表 8-1，监测点位图见图 8-1。</p>
--

**表 8-1 项目所在地及周边环境  $\gamma$  辐射剂量率监测结果 单位: nGy/h**

序号	监测点位描述	$\gamma$ 辐射剂量率	
		均值	标准差
1	医院拟建院区北侧空地	98.9	3.9
2	医院拟建院区东侧空地	92.9	2.6
3	医院拟建院区南侧空地	93.9	2.4
4	医院拟建院区西侧空地	89.6	3.2
5	医院拟建院区场内空地	89.0	3.4
6	核医学科拟建位置	95.2	3.1

备注: 1、表中监测结果已扣除仪器对宇宙射线响应值;

2、监测时 DSA 手术室因建设原因不具备监测条件。

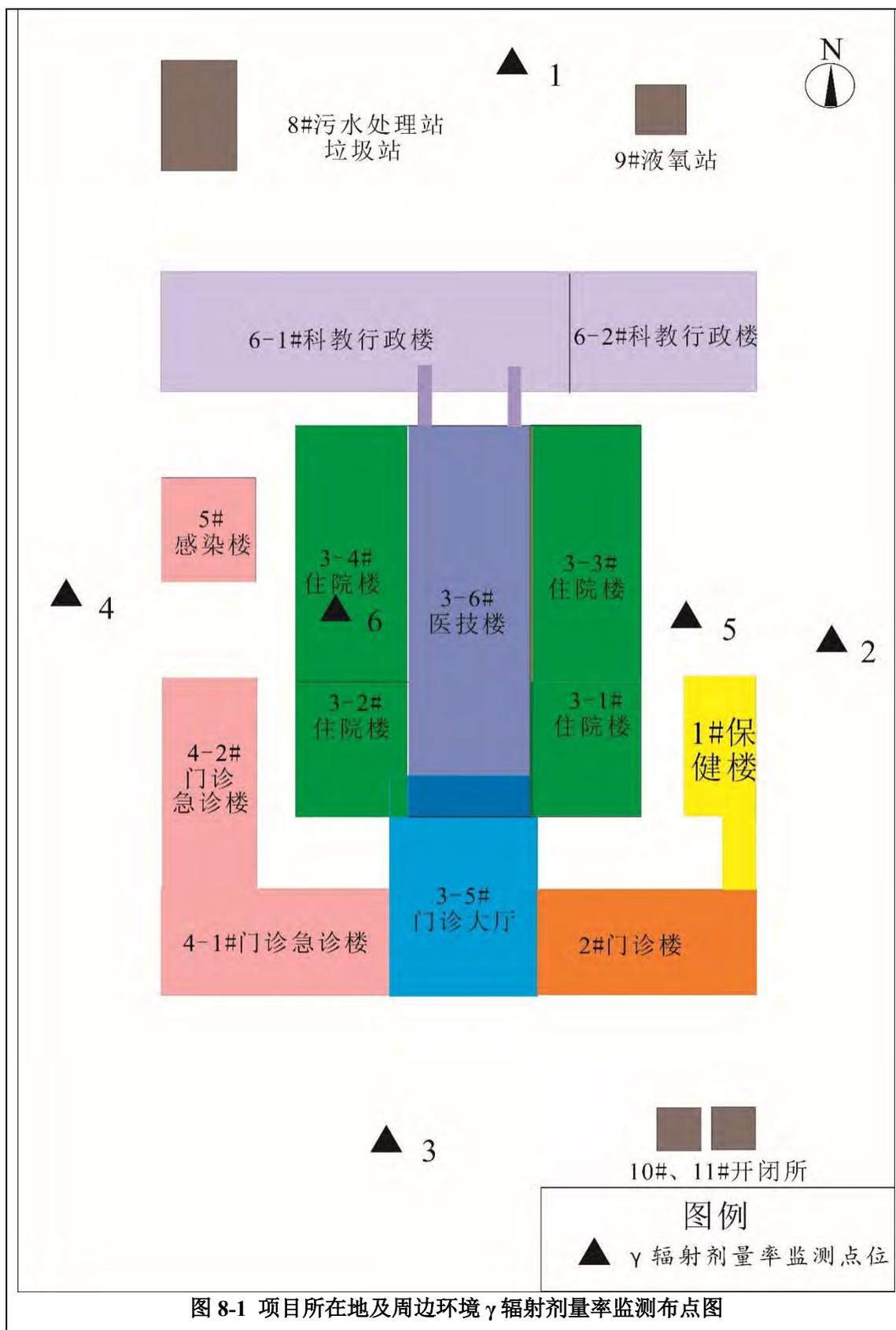
监测结果可知,项目所在地及周边环境  $\gamma$  辐射剂量率为 89.0~98.9nGy/h,与西安市  $\gamma$  辐射剂量率和天然  $\gamma$  辐射调查结果(室内: 79~130nGy/h,室外: 50~121nGy/h)处于同一水平。可见项目所在区域辐射环境现状质量良好。

陕西省西安市  $\gamma$  辐射剂量率和天然  $\gamma$  辐射调查结果见表 8-2。

**表 8-2 西安市  $\gamma$  辐射剂量率和天然  $\gamma$  辐射调查结果 (nGy/h)**

项目	原野	道路	室内
范围	50~117	52~121	79~130
均值	71	76	111
标准差	17	20	19

数据来源:《中国环境天然放射性水平》(2015 版,中国原子能出版社)。



**表 9 项目工程分析和源项**

本项目可分为两部分：（1）核医学科：采用 PET-MR（使用  $^{18}\text{F}$ ）进行显像检查、 $^{32}\text{P}$  进行敷贴治疗；（2）DSA 机房：配备 4 台数字减影血管造影机（DSA）进行介入诊断及辅助治疗。

## **9.1 核医学科**

### **9.1.1 PET-MR 显像检查**

#### **1、工作原理**

PET 是以代谢显像和定量分析为基础，通过组成人体主要元素的短寿命核素如  $^{18}\text{F}$  作为示踪剂，示踪人体内特定生物物质的生物活动，采用多层、环形排列于发射体周围的探头，由体外探测示踪剂引发正电子湮灭产生的一对 0.511MeV 光子，然后将获得的信息，通过计算机处理，以解剖影像的形式及其相应的生理参数，显示靶器官或病变组织的状况，用于诊断疾病。PET-MR 是将 PET(正电子发射计算机断层显像)的分子成像功能与 MRI(核磁共振成像)卓越的软组织对比功能结合起来的一种新技术。它可以对在组织中扩散的疾病细胞进行成像。该系统可以分别收集 PET 和 MR 影像，融合了 PET 对病灶的敏感检测优势和 MRI 的多序列成像优势。PET-MR 检查与其他手段相比，它的灵敏度高、准确性好，对许多疾病（尤其是肿瘤和最为常见的心脑疾病）具有早期发现、早期诊断的价值。

本项目使用的  $^{18}\text{F}$  半衰期为 109.8min，其发射  $\beta^+$ 衰变时产生的正电子（ $E=511\text{keV}$ ），与负电子相结合后，能产生一对  $\gamma$  光子辐射（ $E=511\text{keV}$ ），经探测技术、图像重建，从而显示脏器或组织的代谢活动，主要应用于 PET-MR 进行诊断。

#### **2、 $^{18}\text{F}$ 用药量情况**

项目 PET-MR 使用放射性核素  $^{18}\text{F}$  进行显像诊断，放射性核素  $^{18}\text{F}$  外购。 $^{18}\text{F}$  半衰期 109.8min，半衰期很短，医院根据临床诊断所需药物的使用量，向厂家订购药物。厂家在约定时间内，根据提前预定告知的放射性药品种类、活度、剂量和数量生产放射性药物。放射性药物采用 35mm 厚铅罐贮存，经  $\beta$  表面污染和外表面辐射剂量率检测合格后，将铅罐置于专用运输包装内，由专用运输车辆进行配送，运送至核医学科源存储室。

根据医院计划，PET-MR 使用放射性核素  $^{18}\text{F}$  进行显像诊断，每天最多检查 15 人次，每天工作 8 小时，每周工作 5 天，每年工作 50 周。每人最大药物注射量 10mCi，因  $^{18}\text{F}$  半衰期较短，计划上午 7:30 送药。医院计划每个时段分 3 批注射，每批注射 5 人，每批注射间隔时间约 60 分钟。由于  $^{18}\text{F}$  半衰期较短，考虑到放射性核素的衰变，以及存在的其他不可控因素，日最大操作量仍需留有部分冗余，因此项目放射性核素实际订购量需大于实际注射量。

根据医院注射计划，估算出医院  $^{18}\text{F}$  的实际订购量为：

$$10 \times (1 + 2^{(60/109.8)} + 2^{(120/109.8)}) \times 5 = 229.7 \text{mCi}, \text{ 即 } 8.50 \times 10^9 \text{Bq}.$$

项目 PET-MR 拟使用放射性核素相关情况见表 9-1。

表 9-1 项目 PET 核素诊断拟使用放射性核素相关情况一览表

核素名称	形态	半衰期	衰变方式	单人核素最大用量 (Bq)	日最大操作活度 (Bq)	用途
$^{18}\text{F}$	液体	109.8min	EC、 $\beta^+$	$3.7 \times 10^8$ (10mCi)	$8.50 \times 10^9$	PET-MR 显像诊断

### 3、操作流程及产污环节图

本项目采用  $^{18}\text{F}$  放射性药物作为 PET-MR 显像剂进行显像检查，其操作流程如下：

(1) 根据临床诊断需药量，提前一天向厂家订购所需放射性药物。

(2) 厂家按照订购要求在约定时间内将放射性药物运送至医院核医学科指定地点，核医学科安排专人接收，经确认无误完成相关交接手续，并将放射性药物暂放源存储室。

(3) 核医学科工作人员在源存储室通风柜内对外购的放射性药物进行分装。

(4) 登记分诊台的工作人员根据工作安排，呼叫轮到诊断的患者名字。在确认患者身份后，让该患者经核医学科门禁系统进入辐射工作场所，放射工作人员根据视频监控图像，通过语音提示，指导患者到达注射窗前。

放射工作人员将钨合金注射器防护套套在注射器上，隔着注射窗口对患者进行药物注射（静推给药），注射后的注射器以及棉签等固体废物丢入旁边专用废物桶。

(5) 放射工作人员根据视频监控图像，通过语音提示，指导药物注射后的患者进入注射后候诊室、VIP候诊室候诊。

(6) 通过语音提示，患者进入PET-MR检查室接受显像扫描。患者进入检查室后，控制室的放射工作人员通过观察窗和语音系统，指导患者正确躺在检查床上，然后隔室操作PET-MR对患者实施显像扫描。如遇到个别特殊的患者需要摆位时，放射工作人员从控制室进入检查室指导患者摆位，随后离开检查室进入控制室，隔室操作PET-MR对患者实施显像扫描。

(7) 扫描完成后，无不良反应患者由控制区出口离开核医学科辐射场所，有不良反应患者在留观/抢救室留观。

项目 PET-MR 放射诊断工作流程及产污环节见图 9-1。

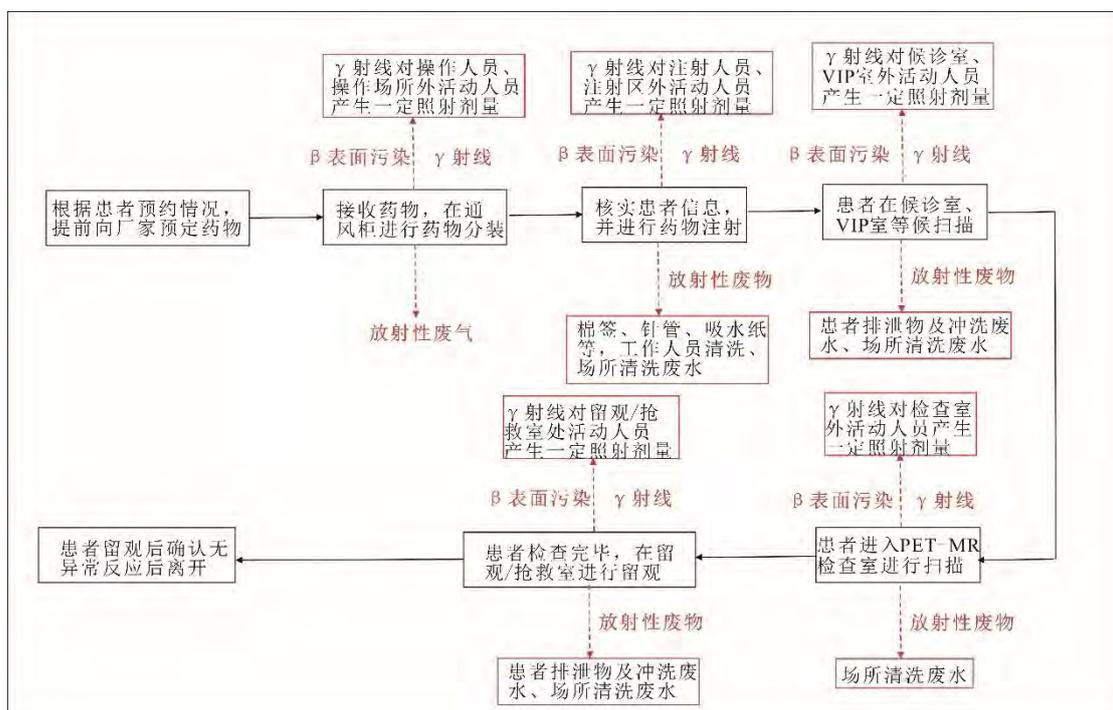


图 9-1  $^{18}\text{F}$  显像检查操作流程以及产污环节图

#### 4、污染物以及源项分析

##### (1) 放射性核素污染物源项分析

###### 一、正常工况

辐射： $^{18}\text{F}$  半衰期为 109.8min，衰变方式为  $\beta^+$  衰变，衰变产生的正电子湮没时产生 511keV 的  $\gamma$  射线。 $^{18}\text{F}$  核素产生的  $\gamma$  射线会对核医学科工作人员以及周边环境产生辐射影响。放射性固体废物： $^{18}\text{F}$  注射过程中产生废注射器、棉签以及沾染放射性核素的其他固体废物。医院每天显像检查约 15 人，按照患者每人平均产生 0.05kg 放射性废物进行初步估算，年检查 250 天，其年产生放射性固体废物约为 187.5kg。

放射性废水：本项目  $^{18}\text{F}$  显像检查过程中产生放射性废水主要来源以下几个部分：患者排泄物及冲洗废水，工作人员操作过程中（手部或皮肤）受到放射性沾染清洗产生废水。参考《节水型卫生洁具》（GB/T31436-2015），节水型蹲便器平均用水量不大于 6L，从保守角度考虑每名受检者注射后均如厕 1 次，每次排泄物排出量约 300mL，患者洗手废水产生量按 1L/次计，则显像检查患者用水量为 7.3L/人·d，核医学科显像检查 15 人/d；参与放射性药物的操作人员 2 人，本次核素操作人员废水产生量主要为放射性工作人员离开工作清洗手部产生的放射性废水，考虑项目实际用水，按照 5L/人·d；核医学科场所清洁预计每天产生废水量 0.1m<sup>3</sup>/d。则显像检查每天放射性废水产生量为 0.2195m<sup>3</sup>，显像检查年废水产生量为 54.875m<sup>3</sup>。

放射性废气：本项目  $^{18}\text{F}$  药物在带有排风装置的通风柜内进行分装，负压操作，在此过程中会伴有少量的放射性核素，而通风柜外接专门的排风管道进入核医学科东侧风井，通过活性炭吸附后，引至楼顶屋脊排放；源存储室、分装/质控室、注射室、PET 检查室、候诊室等区域放射性废气进入核医学科东侧风井，通过活性炭吸附后，引至楼顶屋脊排放。

## 二、事故工况

因工作人员操作不当造成药物洒漏或其它因素造成容器破损，导致放射性药品洒漏在地上或工作台面，进而可能污染工作台、地上等，甚至造成工作人员手和皮肤的污染。洒漏的放射性药品，在自然状态下会挥发极少量的放射性废气。采用脱脂棉球擦拭或其他材料进行擦拭，污染清除后，擦拭后的物品按照放射性固体废物处理。因保管不善，放射性药品可能发生被盗和丢失，导致潜在照射的发生；放射性废物处置或管理不当，造成环境放射性污染。

### 9.1.2 $^{32}\text{P}$ 敷贴器皮肤治疗

#### 1、工作原理

与一般的核医学放射性药物内照射治疗不同，敷贴治疗是一种近距离治疗方式，即选择适当的放射性核素面状源作为敷贴器覆盖在患者病变部位的表面，照射一定时间，达到治疗目的的接触放射治疗的方法。放射性核素敷贴器 (radionuclide applicator) 是将一定活度与能量的放射性核素，通过一定的方式密封起来，制成具有不同形状和面积的面状源作为敷贴治疗用的放射源，简称敷

贴器或敷贴源。放射性核素敷贴治疗器应选用半衰期较长、 $\beta$ 射线能量较高，不伴生 $\gamma$ 辐射或仅伴生低能 $\gamma$ 辐射的放射性核素，例如 $^{32}\text{P}$ 的半衰期为 $14.26\pm 0.1\text{d}$ ，衰变方式为纯 $\beta$ 衰变，衰变可放出能量为 $1.710\text{MeV}$ 的 $\beta$ 射线。

## 2、 $^{32}\text{P}$ 使用情况

本项目使用的 $^{32}\text{P}$ 敷贴器需要在使用前进行制作，由供应商按预约用量，在约定时间将放射性 $^{32}\text{P}$ 溶液送至源存储室暂存，药物密封于专用屏蔽容器中，使用前在通风柜中进行简单制作，制作过程全程在专用通风柜中进行。制作方法如下：①采用优质滤纸按病变形状要求剪成规格大小及形状不同的纸片，作为 $^{32}\text{P}$ 溶液的支持物，滤纸上画有格子；②用生理盐水分别将不同大小与形状的滤纸做一次吸水试验以确定滴加 $^{32}\text{P}$ 溶液的毫升数；③用手控移液管吸取预先计算好的混有色剂的 $^{32}\text{P}$ 溶液，按每张滤纸的吸水量分格滴加 $^{32}\text{P}$ 溶液，通过颜色的深浅来调整 $^{32}\text{P}$ 活度的分布均匀性；④调整色剂均匀分布后，用优质塑料薄膜与胶布套封，经检测表面无放射性污染后即可使用。

## 3、操作流程以及产污环节图

敷贴治疗的主要工作流程包括病人就诊，治疗方法介绍并告知可能受到的辐射危害、取出敷贴器放置在病变部位、回收敷贴器等。 $^{32}\text{P}$ 敷贴器日常存放在敷贴治疗室的保险箱中。

a) 治疗前根据病变的部位、形状、面积、病变程度合理计算治疗方案，精确计算疗程的分次照射剂量和累积照射剂量。

b) 专业医生制作 $^{32}\text{P}$ 敷贴器时，须戴上乳胶手套在通风柜内进行操作，敷贴器经检测表面无放射性污染后方可使用。

c) 实施治疗时，采用 $3\text{mm}$ 厚的橡胶板屏蔽周围的正常组织。对颜面部部位的病变，屏蔽其周围正常皮肤；对其他部位的病变，则在病变周围露出正常皮肤 $0.5\text{cm}$ 。在已屏蔽的皮肤上覆盖一张玻璃纸或塑料薄膜后，将敷贴器紧密贴在病变部位。每次治疗时应由专人使用能报警的计时器控制照射时间，治疗过程中应密切观察治疗反应和病变治疗情况，及时调整照射剂量，防止产生并发症。

d) 每次治疗结束后，由工作人员收回敷贴器，检查治疗效果。

本项目敷贴治疗的工作流程及产污环节见图 9-2。

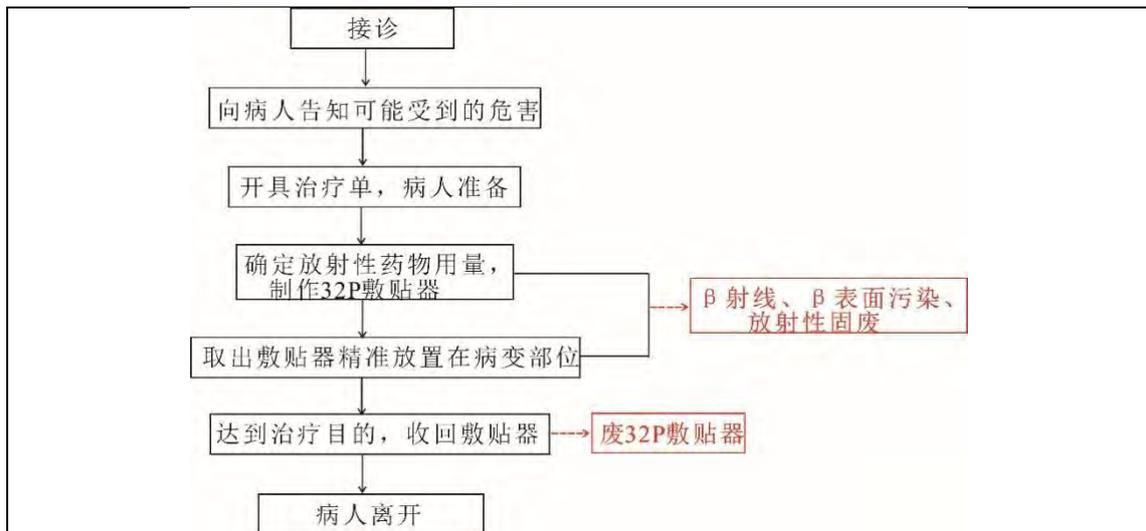


图 9-2 敷贴治疗工作流程及产污环节示意图

#### 4、污染物以及源项分析

辐射： $^{32}\text{P}$  的半衰期为  $14.26\pm 0.1\text{d}$ ，衰变方式为纯  $\beta$  衰变，衰变可放出能量为  $1.710\text{MeV}$  的  $\beta$  射线。 $^{32}\text{P}$  产生的  $\beta$  射线会对核医学科工作人员以及周边环境产生辐射影响。

放射性固体废物：本项目使用  $^{32}\text{P}$  开展敷贴治疗自制敷贴器，放射工作人员带乳胶手套，台面清洁采用吸水纸擦拭、酒精棉反复清洁直至检测合格，擦拭用的吸水纸酒精棉球等作为放射性固废处理。每天敷贴治疗 80 人，每人平均产生  $0.05\text{kg}$  放射性废物进行初步估算，年检查 250 天，年产生放射性固废  $1000\text{kg}$ 。 $^{32}\text{P}$  半衰期为  $14.26\pm 0.1\text{d}$ ，产生的废弃敷贴器作为放射性废物管理，每次敷贴器制作产生  $0.5\text{kg}$ ，每月制作 2-3 次，年产生废弃敷贴器  $18\text{kg}$ 。

核医学科排风系统的活性炭预计每年更换一次，每次填装量为  $100\text{kg}$ ，则废活性炭产生量为  $100\text{kg/a}$ 。

放射性废水： $^{32}\text{P}$  敷贴治疗时直接将敷贴器紧密贴在病变部位，不存在药物通过患者代谢而排放，故不考虑患者产生放射性废水。工作人员制作  $^{32}\text{P}$  敷贴器过程中，佩戴乳胶手套并采用一次性注射器吸取放射性液体，因此不考虑工作人员清洗废水。

放射性废气：本项目使用  $^{32}\text{P}$  开展敷贴治疗，在通风柜内制作敷贴器，通风柜设独立的通风管道（管道内设过滤吸附装置，保证通风柜的负压状态），引至楼顶屋脊排放。

## 9.2 DSA 机房

### 1、工作原理

DSA 设备主要由 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。

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。两次数值相减，消除相同的信号，得知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。且对比度分辨率高，减去了血管以外的背景，尤其使与骨骼重叠的血管能清楚显示；由于造影剂用量少，浓度低，损伤小、较安全；节省胶片使造影价格低于常规造影。通过医用血管造影 X 射线机处理的图像，使血管的影像更为清晰，在进行介入手术时更为安全。

典型 DSA 设备外观见图 9-3。

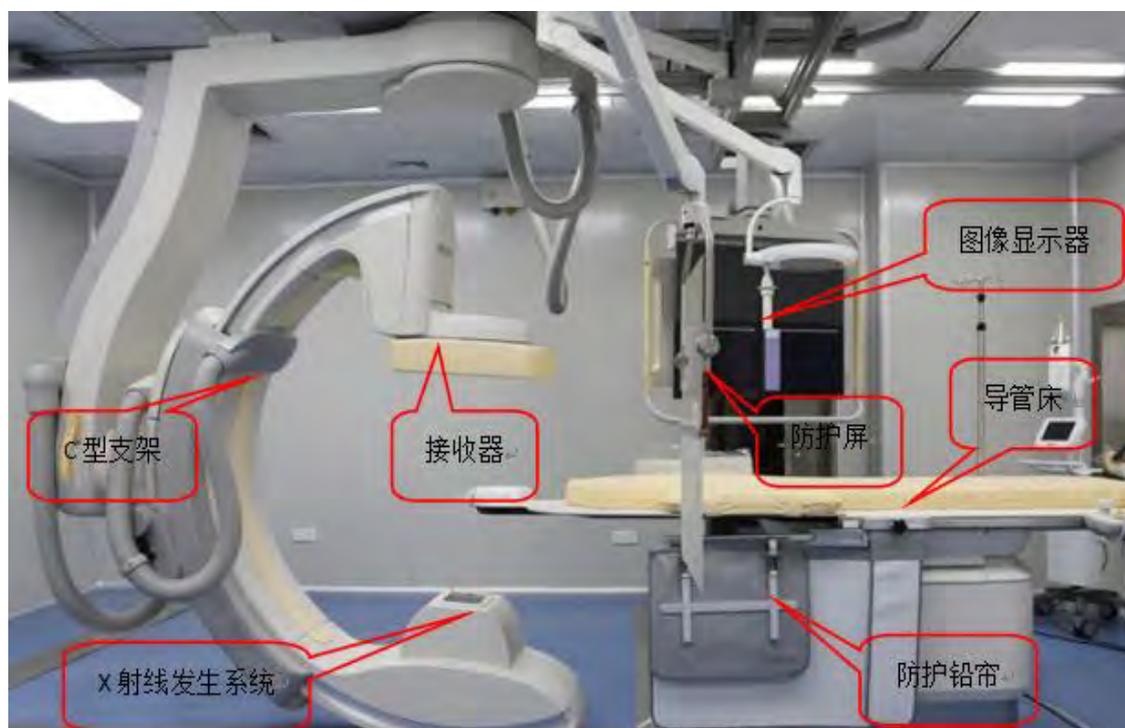


图 9-3 典型 DSA 设备外观图

### 2、操作流程及产污环节图

本项目 DSA 在进行曝光时分为检查和介入治疗两种情况：

(1) 检查

采用隔室操作方式，通过控制射线装置的 X 射线系统曝光，采集造影部位图像。具体方式是受检者位于检查床上，医护人员调整 X 射线球管、人体、影像增强器三者之间的距离，然后进入控制室，关好防护门。医生、操作人员通过控制室的电子计算机系统控制射线装置的 X 系统曝光，采集造影部位图像。医生根据该图像确诊患者病变的范围、程度，选择治疗方案。

(2) 介入治疗

采用近台同室操作方式。通过控制射线装置的 X 射线系统曝光，对患者的部位进行透视。具体方式是受检者位于手术床上，介入手术医生、护士位于手术床一旁，距射线装置的 X 线管 0.8~1.0m 处，在非主射束方向，穿戴个人防护用品（如铅衣、铅帽、铅围脖、铅围裙等），同时在手术床旁设有屏蔽挂帘和移动式防护帘的防护下，根据操作需求，踩动手术床下的脚踏开关启动 X 射线系统进行透视（射线装置的 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。每台手术射线装置的 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。介入手术完成后关机，病人离开手术室。DSA 的操作流程及产污环节图见图 9-4。

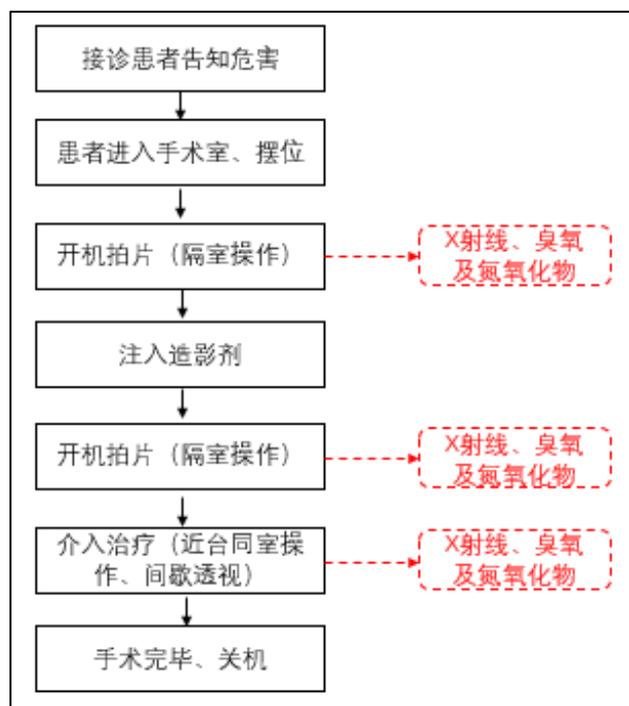


图 9-4 操作流程及产污环节图

### 3、污染因子

#### (1) 正常工况

X 射线装置开机时发出 X 射线，X 射线贯穿机房的屏蔽墙进入外环境，对控制室辐射工作人员及机房周围公众人员产生外照射影响；在介入手术过程中，对机房内操作的医护人员造成较高剂量的外照射。

除此之外，射线装置运行时产生的 X 射线还可能与空气发生电离作用，从而产生少量臭氧、氮氧化物等有害气体，进而影响周边环境空气质量。

#### (2) 事故工况

① 医护人员或其他无关人员在防护门关闭后未撤离手术室，射线装置开始运行，对其造成额外误照射；

② 闭门装置发生故障，公众误入正在运行的手术室造成额外误照射；

③ 医护人员为患者摆位或进行其它术前准备工作时，控制室操作人员误开机出束，对机房内医护人员造成额外误照射；

④ 手术室医生、护士未穿戴防护用品进入手术室，或未配置合格的防护用品，使医生、护士受到较高剂量的附加照射。

**表 10 辐射安全与防护**

<b>10.1 辐射工作场所布局与分区</b>		
10.1.1 核医学科		
(1) 平面布局		
<p>本项目核医学设置在3-4#住院楼1层，平面布局图见图1-7。项目核医学平面布局与《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）的符合性分析见表10-1。</p>		
<b>表 10-1 核医学科平面布局合理性分析</b>		
标准名称	具体要求	本项目情况
《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）	核医学工作场所不宜毗邻产科、儿科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界隔离	本项目核医学科远离产科、儿科，核医学科放射性工作区域与周围非放射性工作场所设置单向门隔离
	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	本项目核医学科分装/质控室、源存储室、注射室、废物暂存间等高活区集中于一侧，布局紧凑，减少了放射性药物、废物的存放范围；给药后患者主要在 PET 注射后候诊区、留观/抢救室活动，核医学科设置有单向门限制人员出入；给药后患者与工作人员路径不交叉
	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	本项目核医学科设置有单向门禁系统，限制无关人员不得进入给药区及高活工作区，通过导向标识、单向门等措施限制给药后患者在给药后候诊室、留观/抢救室活动，通过专用通道离开，PET 注射后候诊区、留观/抢救室设有患者专用卫生间；工作人员进入高活区的出入口设有卫生缓冲间，配备可更换衣物、防护用品、冲洗设施等
《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）要求	不应邻接产科、儿科等部门，相对独立布置或集中设置，宜有单独出、入口，出口不宜设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域	本项目核医学科不邻接产科、儿科部门，布置于一层，设有单独出入口，出口外为专用通道，非人群稠密区
	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	进入核医学控制区设置门禁及单向门，注射、检查、留观后再从出口离开，限制患者随意流动
	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	本项目在分装和给药室的出口处设置淋洗、缓冲/更衣间，进行污染检测

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；	本项目设置候诊大厅、源存储室、分装/质控室、 <sup>18</sup> F注射室、设有PET注射后候诊区及专用卫生间、留观/抢救室及专用卫生间，PET检查室、废物暂存间等功能用房
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对于综合性的核医学工作场所，部分功能用房和辅助用房可以共同利用；	本项目设有候诊大厅、洁具间、阅片室（兼休息室）、诊室、留观/抢救室等
敷贴治疗应设置专用机房，该机房应与诊断室、登记值班室和候诊室分开设置。机房内使用面积应满足治疗要求。	本项目设有专用敷贴治疗室、敷贴治疗室与诊室、候诊区等分开设置，室内面积满足治疗要求

综上所述，本项目核医学科平面布局符合《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）要求，布局较为合理。

## （2）非密封放射性物质工作场所分类

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中非密封工作场所的分类原则，本项目核医学科工作场所分类见表 10-2。

表 10-2 核医学工作场所具体分类

场所	核素种类	日最大操作活度（MBq）	核素的毒性权重因子	操作性质修正因子	加权活度（MBq）	类别	
分装/质控室	<sup>18</sup> F	8.50×10 <sup>3</sup>	1	1	8500	II类	I类
	<sup>32</sup> P	2.96×10 <sup>3</sup>	100	1	296000	I类	
注射室	<sup>18</sup> F	8.50×10 <sup>3</sup>	1	1	8500	II类	
留观/抢救室	<sup>18</sup> F	8.50×10 <sup>3</sup>	1	1	8500	II类	
源存储室	<sup>18</sup> F	8.50×10 <sup>3</sup>	1	100	85	II类	II类
	<sup>32</sup> P	2.96×10 <sup>3</sup>	100	100	2960	II类	
废物暂存间	<sup>18</sup> F	8.50×10 <sup>3</sup>	1	10	850	II类	II类
	<sup>32</sup> P	2.96×10 <sup>3</sup>	100	10	29600	II类	
PET 检查室	<sup>18</sup> F	8.50×10 <sup>3</sup>	1	10	850	II类	
PET 注射后候诊区	<sup>18</sup> F	8.50×10 <sup>3</sup>	1	10	850	II类	
敷贴治疗室	<sup>32</sup> P	2.96×10 <sup>3</sup>	100	1	296000	I类	

注：加权活度=计划的日操作最大量×核素毒性权重因子÷操作性质修正因子

对照《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)，本项目各放射性场所为 I类、II类、III类工作场所，各类场所室内表面和装备结构要求见表 10-3。

表 10-3 各类工作场所室内表面和装备的要求

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

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

根据医院提供的资料，核医学科地面拟采用塑料地坪或涂刷塑料油漆，保证地面的平整、光滑，易于清洗；墙面与地面连接处采用弧形设计，避免缝隙产生，1m 以下部位拟采用浅色无光耐酸油漆或其他易于清洗的涂料、瓷质面砖等；药物分装在通风柜内进行，通风柜操作台面光滑、平整，易于清洗去污；工作台面拟采用磨光花岗岩板材或不锈钢面板，以保证平整光滑易于清洗；核医学科控制区洗手盆拟采用感应式或脚踏式开关，避免污染水龙头；核医学科控制区设置通风管道，采用机械通风方式。通过上述措施，可满足《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020) 规定的要求。

环评要求：① 放射性废水收集的管道走向、阀门和管道的连接设计应尽可能减少死区，下水道宜短，避免放射性废水集聚，便于检测和维修。

② 当核医学工作场所的给水管道与放射性废水管道平行铺设时，它们之间应保证足够的距离，给水管道标高应高于放射性废水管道。当交叉铺设时，给水管道应设在放射性废水管道的上方，且交叉处应避开放射性废水管道焊缝并给废水管道加套管隔离。

### (3) 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)、《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 将核医学科划分控制区和监督区，其控制区、监督区划分情况见图 10-1，核医学科楼上、楼下监督区分别见图 10-2、图 10-3。

控制区：将敷贴治疗室、分装/质控室、废弃物室、源存储室、注射室、

候诊室、PET 检查室、留观/抢救室、设备间、洁具间、淋洗间、缓冲/更衣间、衰变池等划为控制区，控制区入口处应设置规范的电离辐射警告标志及标明控制区的标志。

监督区：将 PET 候诊大厅、控制室、设备间、西侧走廊、南侧走廊、核医学科楼上以及楼下部分区域等划为监督区，监督区入口处应设置标明监督区的标志，定期进行监测。

#### (4) 人流、物流路径规划

##### ① 工作人员路径

PET控制室工作人员由PET候诊区通过东侧进出门进入核医学科走廊，向南进入阅片室后，向西分别进入PET控制室、PET检查室；分装给药人员由北侧进出门进入核医学科，经缓冲/更衣、淋洗后，向南进入分装/质控室、源存储室和放射性废弃物间等，工作结束后沿原路返回。工作人员进入前需在进行更衣，离开前需经检测确认无污染、更衣后离开。

##### ② 患者路径

患者通过核医学科外北侧电梯或楼梯至PET候诊区等候，听到叫号后依次通过东侧进出门（单向门禁系统，只进不出）进入，在注射室通过注射窗口注射放射性药物<sup>18</sup>F后进入注射后候诊室、VIP室，候诊室、VIP室设有独立的卫生间，患者可在专用卫生间入厕，不随意走动。待工作人员叫号后进入PET显像检查室检查，检查完毕后进入留观/抢救室，无异常后通过北侧进出门（单向门禁系统，只出不进）离开。医院拟在给药前明确告知相关事项，并设置醒目的路线标识，配合语音系统，引导病人按照拟定路线行进。

本项目PET检查室工作人员与患者路径无交叉。

##### ③ 敷贴治疗患者路径

敷贴治疗患者通过核医学科北侧电梯或楼梯至PET候诊区等待，听到叫号后通过东侧进出门进入核医学科走廊，向北进入敷贴室进行治疗，治疗完成后原路返回离开。

##### ④ 放射性药物路径

药物配送人员每天上午上班前经核医学科北侧出入门将药物送至源存储室，存放于铅罐或铅盒内，药物路径短捷，与患者路径不交叉。

##### ⑤ 放射性废物路径

放射性固废经一定时间衰变后（含<sup>18</sup>F核素超过30天；含<sup>32</sup>P核素超过10个半衰期），待活度衰变至豁免活度以下后由北侧门送出，放射性废物路

径短捷，放射废物通道与患者路径不交叉。

核医学科人流、物流路径图见图 10-4。

综上所述，本项目工作人员、患者、放射性药物、放射性废物均有各自相对独立的路径和走向，避免了交叉污染，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关要求。

### 10.1.2 DSA 机房

#### (1) 平面布局

DSA 中心位于 3-1#住院楼 4 层，2 间 DSA 机房相邻布置，共用 1 间控制室；中心手术部位于 3-4#住院楼 4 层，OR1 DSA 控制室位于 DSA 手术室西侧，OR4 DSA 控制室位于 DSA 手术室东侧。4 间 DSA 机房各安装 1 台 DSA。

对照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020），该项目机房符合性分析见表 10-4。

表 10-4 机房平面布局合理性分析

《放射诊断放射防护要求》 (GBZ130-2020)	本项目情况
应合理设置 X 射线设备、机房的门、窗和管线口位置，应尽量避免有用线束直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位	一般情况下，DSA 设备向上进行照射，控制室工作人员操作位于机房控制室，介入人员透视状态下在 DSA 设备旁操作，操作位避开了有用线束照射方向
X 射线设备机房（照射室）的设置应充分考虑邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全	机房各面墙及观察窗、防护门的设计满足标准规定的辐射防护屏蔽要求，对周围环境以及工作人员影响满足相关标准要求
每台固定使用的 X 射线设备应设有单独的机房，机房应满足使用设备的布局要求，机房应设有观察窗或摄像监控装置，其设置的位置应便于观察到受检者状态及防护门开闭情况	每台 DSA 设有单独机房，机房布局满足使用要求，机房拟设置观察窗，其设置位置便于观察受检者状态
单管头 X 射线机机房最小有效使用面积不小于 20m <sup>2</sup> ，最小单边长度不小于 3.5m	DSA 中心：DSA1、DSA2 手术室的有效使用面积为 48.87m <sup>2</sup> ，最小单边长度为 6.65m； 中心手术部：OR1 DSA 手术室的有效使用面积为 81.9m <sup>2</sup> ，最小单边长度为 7.0m；OR4 DSA 手术室的有效使用面积为 81.6m <sup>2</sup> ，最小单边长度为 6.8m

综上，DSA 机房平面布局符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）要求，布局较为合理。

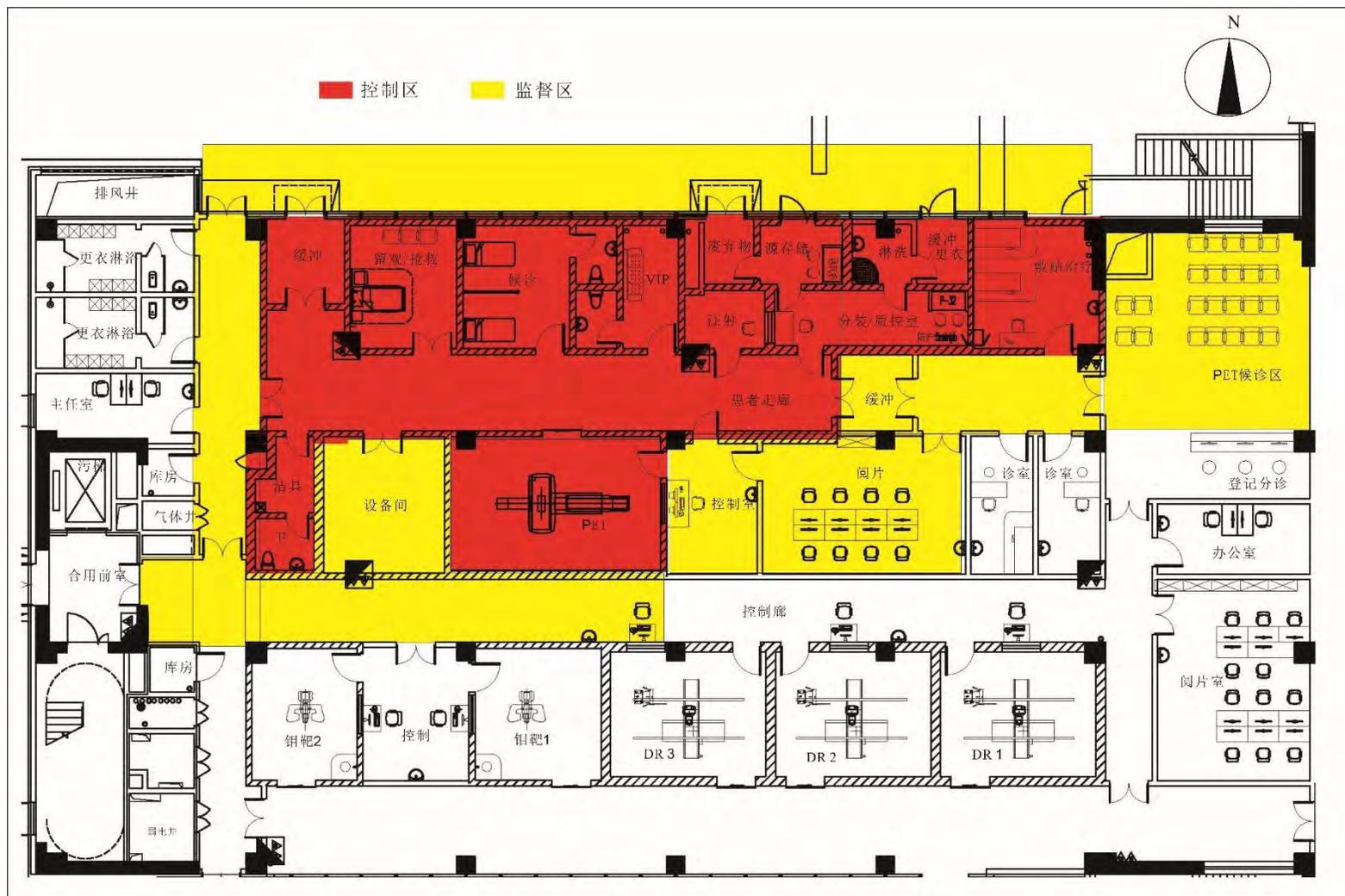


图 10-1 核医学科控制区、监督区分区示意图

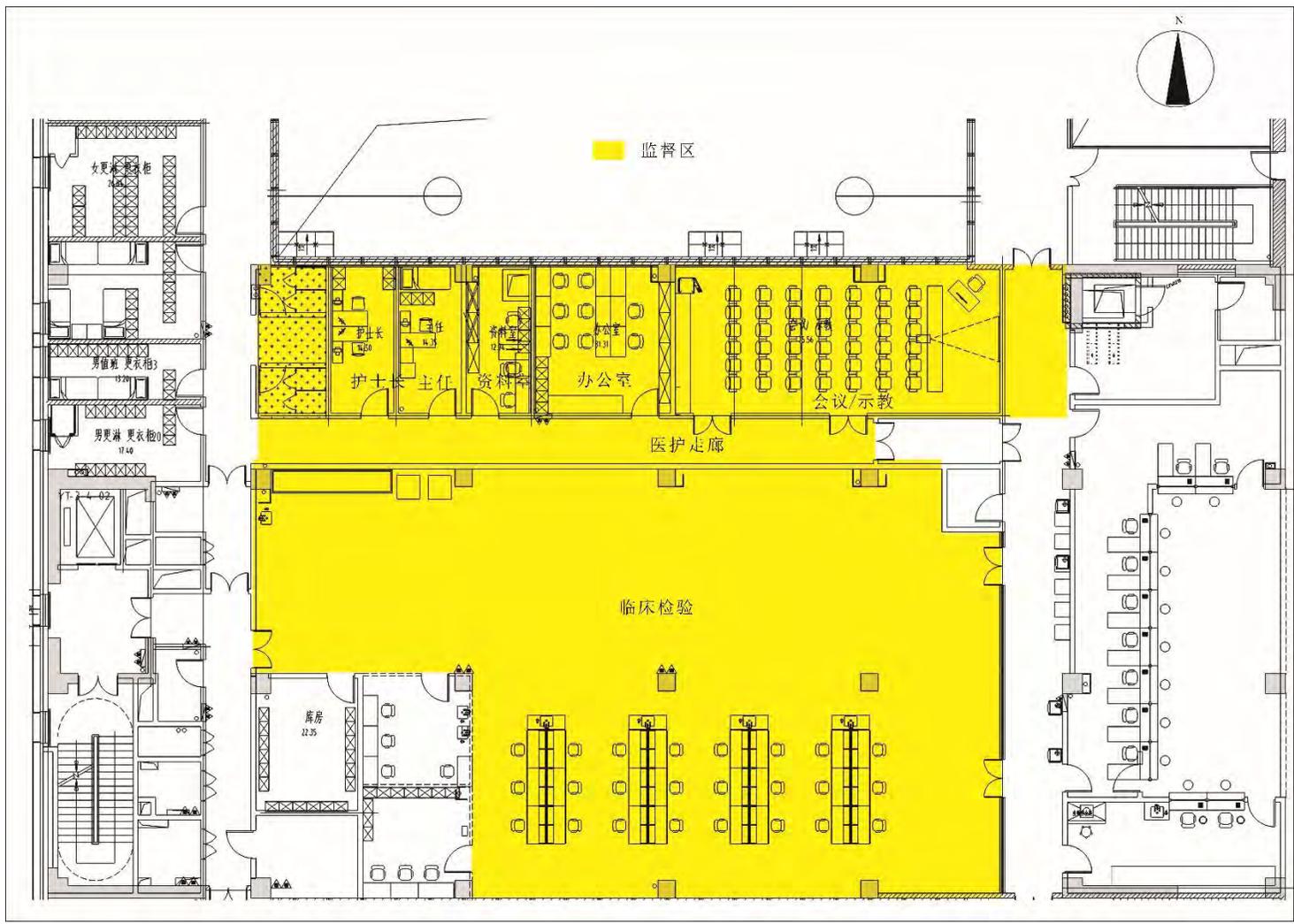


图 10-2 核医学科楼上监督区示意图





## (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), 将机房防护门以及屏蔽墙体以内的区域划分为控制区, 在各机房防护门显著位置粘贴符合规定的电离辐射警告标志。

### ① DSA 中心

DSA 中心位于 3-1#住院楼 4 层北侧, 拟设置 2 间 DSA 机房。本次将控制室、设备间、护士站、UPS、洁净走廊、污物走廊、楼上净化机房、护士长、更衣间, 楼下缓冲房间、复苏室划为监督区。DSA 中心控制区、监督区划分示意图见图 10-5, DSA 中心楼上、楼下监督区示意图分别见图 10-6、图 10-7。

### ② 中心手术部

中心手术部位于 3-4#住院楼 4 层北侧, 拟设置 2 间 DSA 机房。本次将控制室、设备间、洁净走廊、污物走廊、洁净库房、麻醉库、楼上会议示教及更衣间, 楼下保洁、污物暂存、常规技术室、杂交检测室、FISH、暗房、资料室划分为监督区。中心手术部控制区、监督区划分示意图见图 10-8, 中心手术部楼上、楼下监督区示意图分别见图 10-9、图 10-10。

## (3) 人员路径图

(1) 医护人员: 医护人员由走廊进入控制室, 由工作人员防护门进出 DSA 手术室。

(2) 患者: 患者进入走廊后, 由患者防护门进出 DSA 手术室, 接受检查。

(3) 污物: DSA 手术室产生的医疗废物统一收集后运至污物暂存间。

DSA 中心、中心手术部医护人员、患者和污物路径分别见图 10-11、图 10-12。

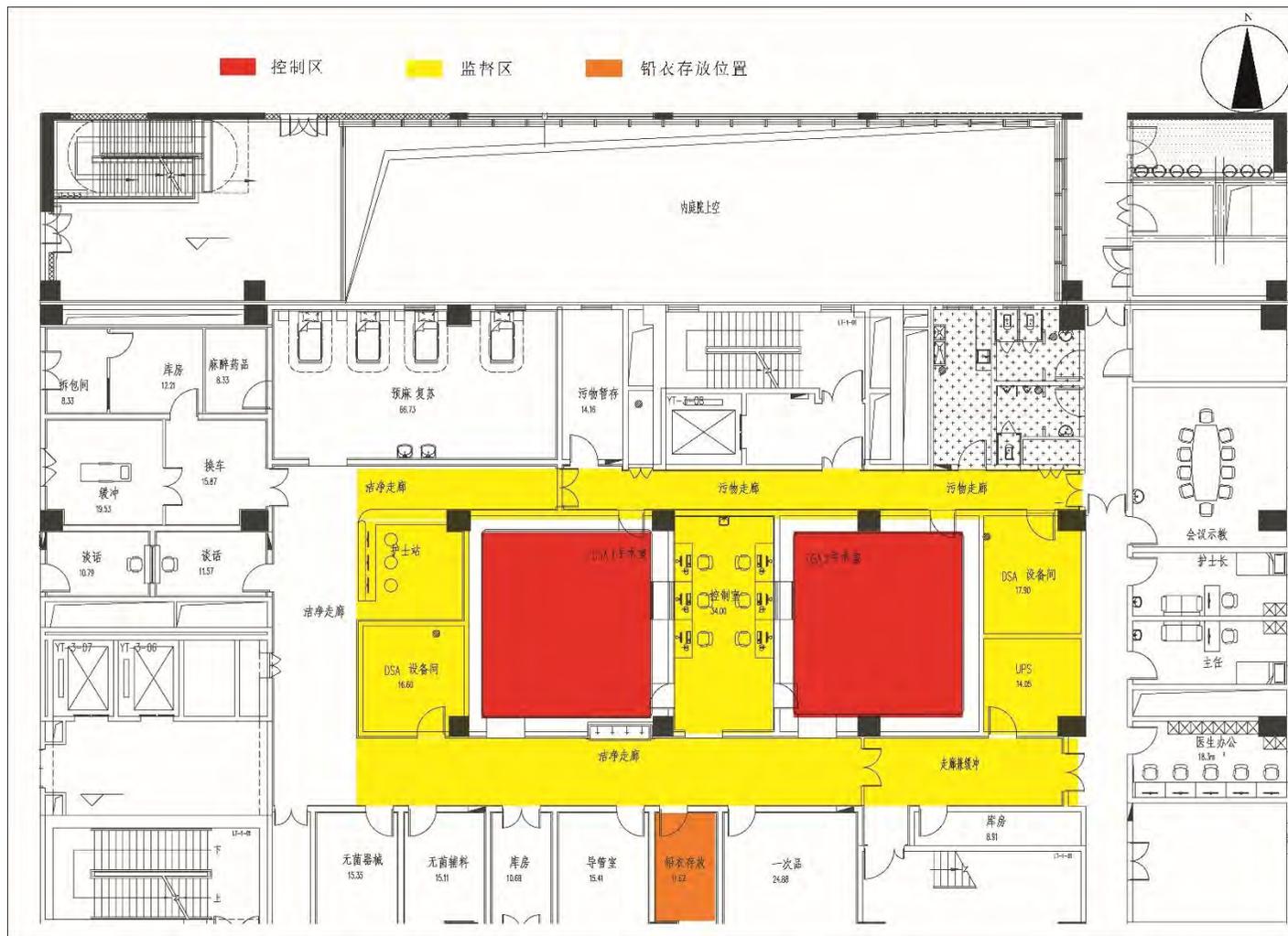


图 10-5 DSA 中心控制区、监督区划分示意图

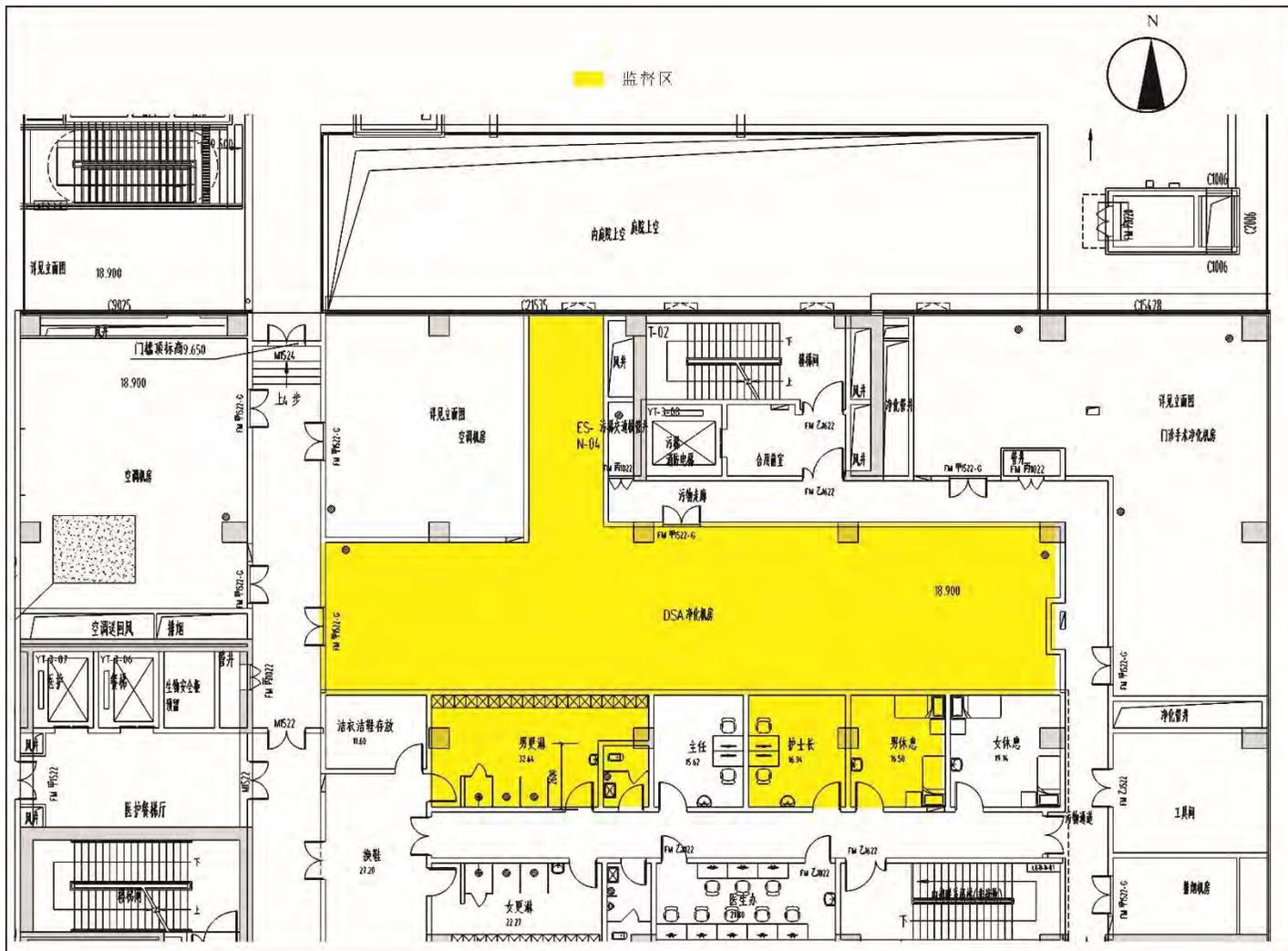


图 10-6 DSA 中心楼上监督区划分示意图





图 10-8 中心手术部控制区、监督区划分示意图



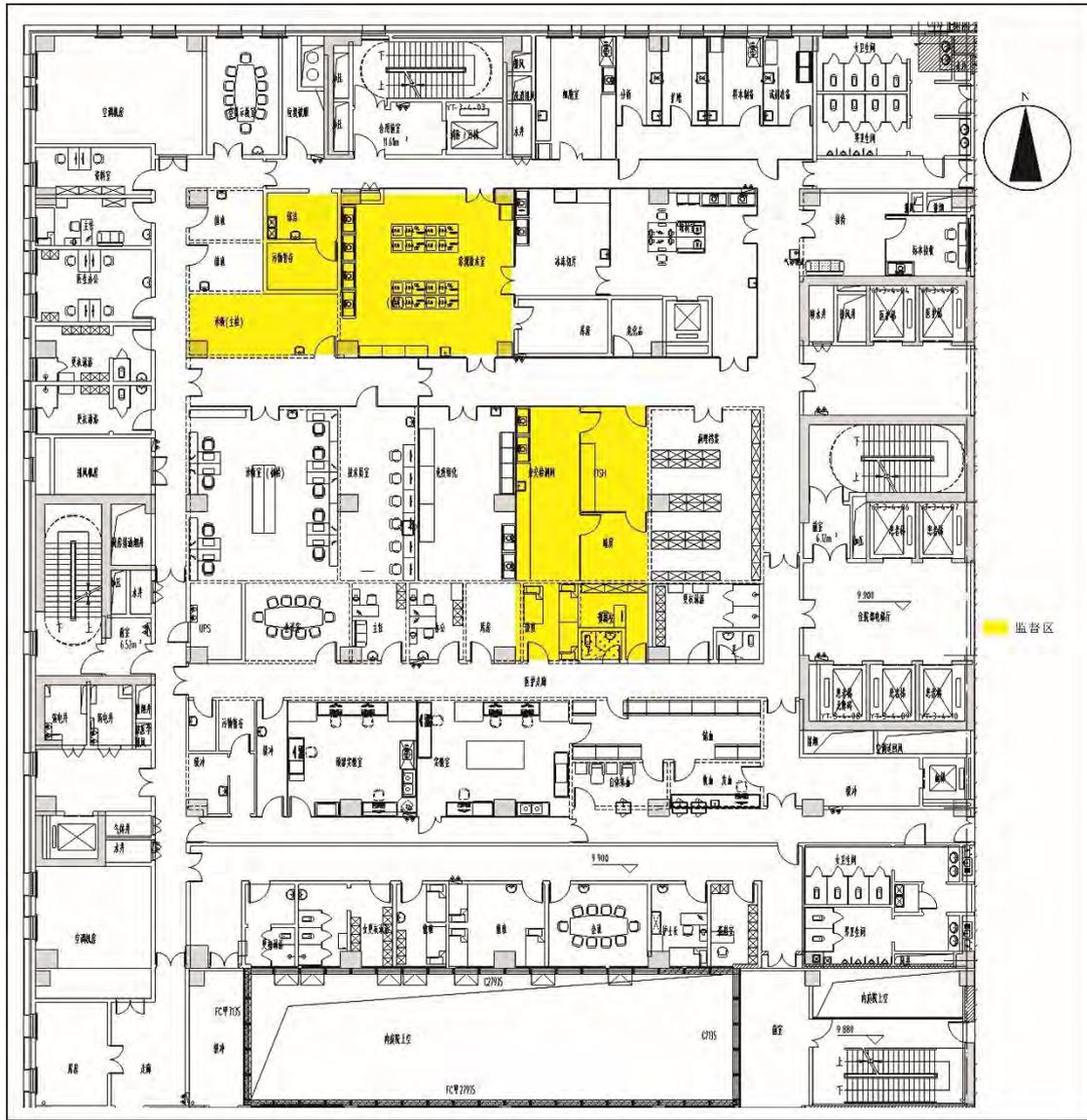


图 10-10 中心手术部楼下监督区划分示意图

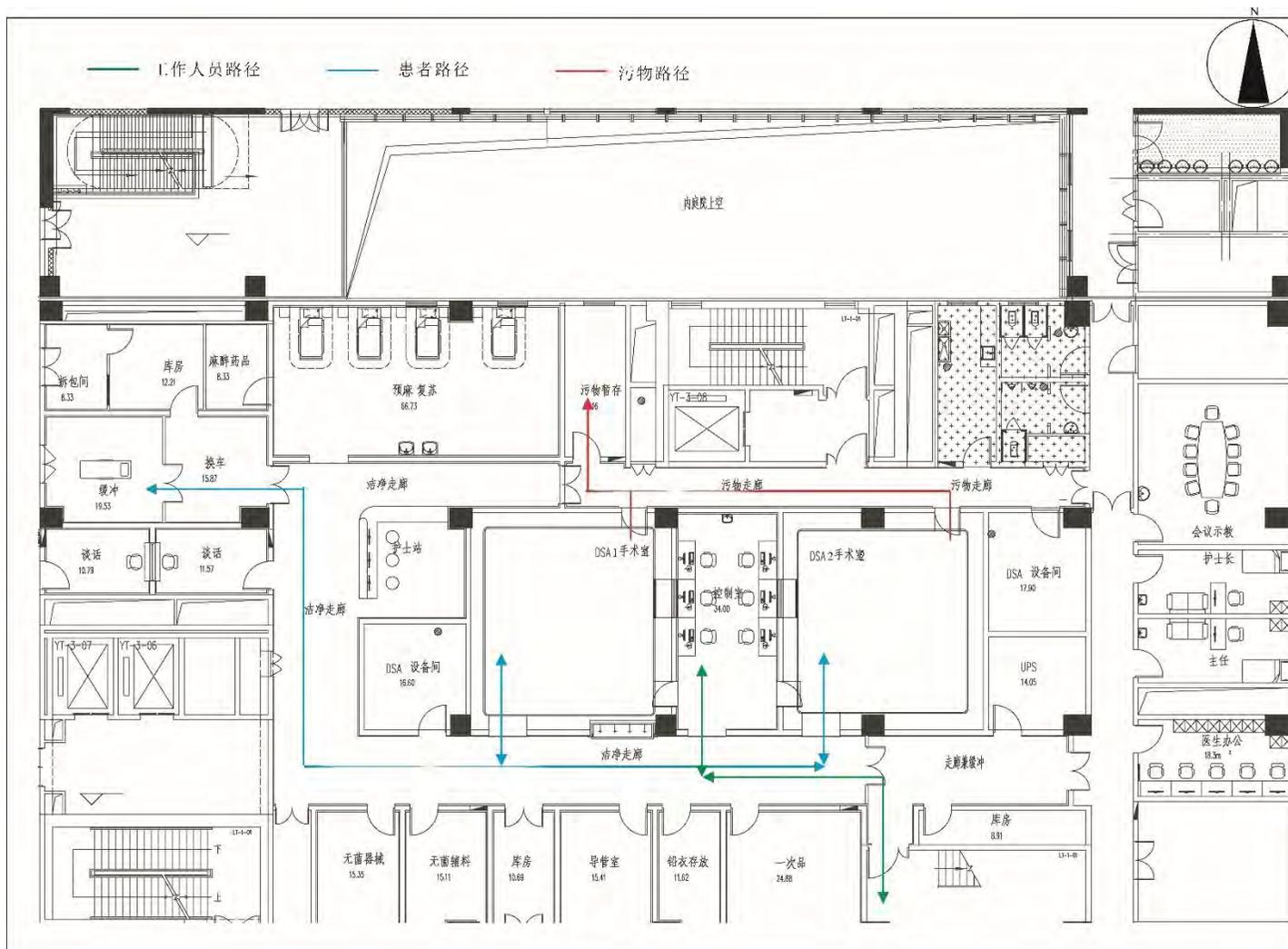


图 10-11 DSA 中心医护人员、患者和污物路径图

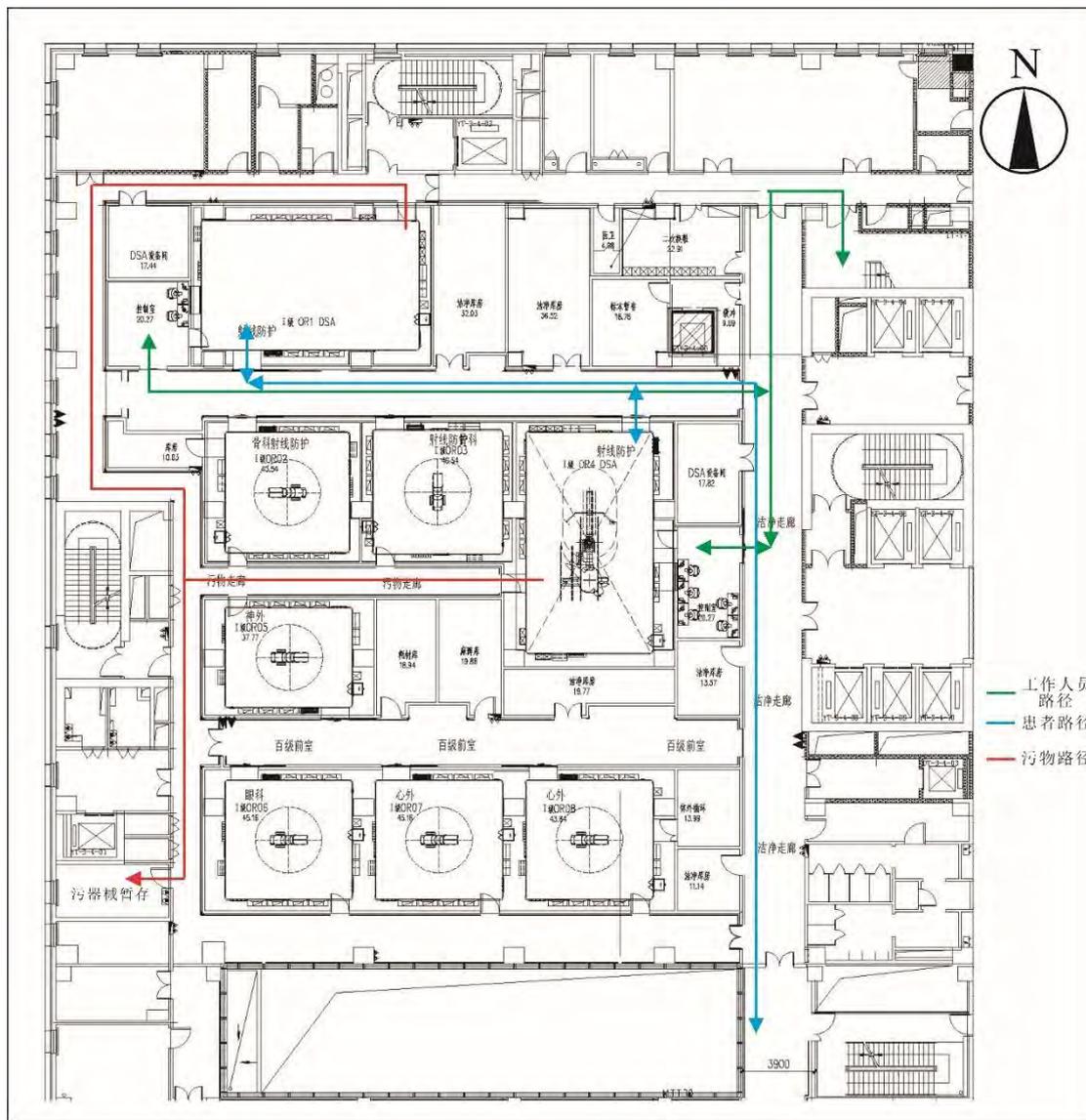


图 10-12 中心手术部医护人员、患者和污物路径图

## 10.2 辐射屏蔽设计

### 10.2.1 核医学科

根据建设单位提供的资料，本项目核医学科各功能房间辐射屏蔽设计参数见表 10-5。

表 10-5 本项目核医学科辐射工作场所屏蔽设计参数

场所	项目	具体设计参数
检查室	尺寸参数	长 8.10m×宽 5.10m，面积 41.31m <sup>2</sup>
	四侧墙体	北/东/西墙：240mm 实心砖；南墙：370mm 实心砖
	防护门窗	患者防护门：4mm 铅当量；工作人员防护门：12mm 铅当量；观察窗：13mm 铅当量
	顶棚/地面	顶棚：300mm 混凝土；地面：250mm 混凝土
普通候诊室	尺寸参数	长 4.72m×宽 4.11m，面积 19.40m <sup>2</sup>
	四侧墙体	北/南墙：370mm 实心砖；东/西墙：240mm 实心砖
	防护门	5mm 铅当量
	顶棚/地面	顶棚：300mm 混凝土；地面：180mm 混凝土+7mm 铅板
VIP 候诊室	尺寸参数	长 4.72m×宽 2.14m，面积 10.10m <sup>2</sup>
	四侧墙体	240mm 实心砖
	防护门	4mm 铅当量
	顶棚/地面	顶棚：300mm 混凝土；地面：180mm 混凝土+2mm 铅板
注射室	尺寸参数	长 3.10m×宽 2.23m，面积 6.91m <sup>2</sup>
	四侧墙体	北/南/西墙：240mm 实心砖；东墙：370mm 实心砖
	防护门	13mm 铅当量
	顶棚/地面	顶棚：300mm 混凝土；地面：180mm 混凝土+2mm 铅板
	注射窗	<sup>18</sup> F：35mm 铅当量
分装/质控室	尺寸参数	长 7.46m×宽 2.1m，面积 15.67m <sup>2</sup>
	四侧墙体	北/东墙：240mm 实心砖；南/西墙：370mm 实心砖
	防护门窗	东墙传递窗：5mm 铅当量；淋洗间门：9mm 铅当量；南侧防护门：17mm 铅当量；源存储门：4mm 铅当量
	顶棚/地面	顶棚：300mm 混凝土；地面：180mm 混凝土+2mm 铅板
留观/抢救室	尺寸参数	长 4.72m×宽 4.11m，面积 19.40m <sup>2</sup>
	四侧墙体	北墙：370mm 实心砖；南/东/西墙：240mm 实心砖
	防护门	3mm 铅当量
	顶棚/地面	顶棚：300mm 混凝土；地面：180mm 混凝土+2mm 铅板
<sup>18</sup> F 通风柜	/	48mm 铅当量

### 10.2.2 DSA 机房

根据建设单位提供的资料，项目医用射线装置屏蔽设计参数见表 10-6。

表 10-6 DSA 工作场所辐射屏蔽设计参数

场所	项目	具体设计参数
DSA 机房	尺寸参数	DSA1、DSA2：长 7.35m×宽 6.65m，有效使用面积 48.87m <sup>2</sup> ； OR1 DSA：长 11.7m×宽 7.0m，有效使用面积 81.9m <sup>2</sup> ； OR4 DSA：长 12.0m×宽 6.8m，有效使用面积 81.6m <sup>2</sup> ；

	四侧墙体	加气混凝土砌块+3mm 铅板
	防护门窗	防护门：4mm 铅当量 观察窗：4mm 铅当量
	顶棚/地面	250mm 混凝土层

备注：根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）附录C中C.7，在管电压150kV条件下，255mm混凝土防护能力相当于3mm铅当量，则250mm混凝土防护能力相当于2.9mm铅当量。

由上表可知，该项目4个DSA机房四周墙体的等效铅当量为3mmPb；防护门窗的等效铅当量为4mmPb；地面、顶棚防护的等效铅当量至少为2.9mmPb，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“C形臂X射线设备机房有用线束方向铅当量2mm，非有用线束方向铅当量2mm”的要求。

### 10.3 辐射安全设施与防护

#### 10.3.1 核医学科

##### （1）辐射安全设施

①核医学科工作场所控制区入口处、出口处需要张贴醒目、规范的电离辐射警示标志及中文警示说明；

②患者进、出核医学科控制区处应安装单向门禁系统，只允许患者单向通行（只进不出、只出不进），放射性废物送出门为单向通道（只出不进）。放射性药物通道门除放射性药物送入核医学科时间段（每天早上 7:30）外，其余时间段该门均处于关闭状态。通过以上门禁系统和时间管理控制，控制无关人员进入辐射工作场所和给药后病人或患者的流动，避免工作人员和公众受到不必要的照射。

③核医学科分装/质控、注射室工作人员进出口设缓冲区（即更衣/淋洗、缓冲等），为工作人员提供必要的可更换衣物、放射性污染防护服等用品，冲洗设施和表面污染监测设备；敷贴室为敷贴治疗工作人员配备远距离操作工具，为受检者配备不小于 3mm 厚的橡皮泥或橡胶板；注射室应配备注射窗、铅废物桶等。

④本项目放射性药物分装操作在通风柜内进行，通风柜排风风速不低于 0.5m/s。通风柜设置单独的排风管道，排风口安装活性炭过滤装置，排风口高于建筑屋顶，管道内设置止回阀，以防有害气体逆向回流。

⑤在分装/质控室、PET 注射后候诊区、留观/抢救室内设置工作人员专用洗手台盆，其中洗手台水龙头应采取脚踩式或感应式，患者专用卫生间的便池设为感应式节水马桶。上述所有放射性废水均排入衰变池。

⑥本项目在留观/抢救室、PET 注射后候诊区、注射室、源存储室、分装/质控室、放射性废弃物间均设置视频监控系统；在 PET 显像检查室、PET 注射后候诊区、注射室、留观/抢救室等均设置语音对讲系统，便于患者与相关医务人员进行通话。

⑦PET 显像检查室：显像检查室与控制室之间设置观察窗与对讲装置，PET 控制室工作人员出入门、患者出入门外均张贴电离辐射警告标志；PET 显像检查室患者出入门上方安装工作状态指示灯，灯箱上设置“射线有害、灯亮勿入”等警示标语，指示灯与受检者出入门有效联锁，受检者出入门设置防夹装置；PET 控制室工作人员进出门为平开门，设置自动闭门装置。

⑧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。

⑨核医学科应配备应急及去污用品，包括一次性防水手套、气溶胶防护罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污剂或喷雾、小刷子、一次性毛巾或吸水纸、毡头标记笔、塑料袋、酒精湿巾、胶带、标签、不透水的塑料布、一次性镊子等。

⑩核医学科工作场所控制区设置专门洁具间，该清洁间拖把仅用于核医学科工作场所控制区，不可与其他区域清洁拖把混用。

## **(2) 工作场所表面污染防治**

①涉及放射性药物操作的工作场所采用易清洗且不易渗透材料（如 PVC 板等），拐角使用弧线处理。地面平整光滑，易于清洗，铺设塑料地坪或涂刷塑料油漆。

②墙面平整光滑，1 米以下部位采用易于清洗的涂料，瓷质面砖等。

③工作台面要求平整、光滑、易于清洗。

④墙面与地面、墙面与顶棚、墙面连接转角处以及工作台边沿宜采取弧形设计以尽可能减少表面污染。

⑤放射性药物注射时，放射性药物应放在搪瓷盘内，搪瓷盘下部放置吸水纸或布，防止放射性药物撒漏。

⑥除注射外其余涉及放射性药物的所有操作均在通风柜内进行，通风柜操作台面要求光滑、平整、易于清洗去污。所有涉及放射性物质操作都必须

在铺衬有吸水纸的瓷盘内进行。

### **(3) 操作过程中的防护要求**

①操作放射性药物时，工作人员应穿戴铅衣、铅眼镜等防护用品；敷贴治疗医务人员应戴有机玻璃眼镜或面罩和尽量使用远距离操作工具，不得将敷贴器浸入水、酒精等溶剂中，使用后应存放于干燥的贮源箱内。

②放射性工作场所不得进食、饮水、吸烟、化妆，不得进行无关工作及存放无关物品。放射性药物操作在衬有吸水纸的托盘内进行；

③从控制区取出任何物品，应进行表面污染检测，杜绝超过 GB18871 规定的表面污染控制水平的物品被带出控制区；

④放射性药物操作完成后，工作人员离开放射性工作场所前应进行洗手，并对表面污染进行监测，确认无放射性污染后，方可进入非放射性工作区域。

⑤敷贴治疗器产品应具有说明书及检验合格证书，外部张贴醒目的电离辐射标志，载明其编号、核素名称、辐射类型能量、活度、源面照射剂量率、表面污染、使用须知等。敷贴治疗器使用前应检定；使用前应登记清点，严禁将敷贴源带出机房外，机房内患者座位之间应保持 1m 的距离或设置适当材料与厚度的防护屏蔽；制定相应的操作规范，严格按照规范进行治疗。

### **⑥注射药物后病人防护管理措施**

首先告知病人及家属辐射可能带来的危害性， $^{18}\text{F}$  注射病人要与陪护人员实行隔离，陪护人员不允许在 PET 注射后候诊区内驻留，医院需要划定专门的陪护人员等候区并尽量远离核医学工作场所，同时需要求  $^{18}\text{F}$  注射病人在注射后在 PET 注射后候诊区内禁止随意走动，期间产生的呕吐物和排泄物要排入 PET 注射后候诊区专用厕所，最终排入衰变池。

### **(4) 放射性药物管理**

医院核医学科应设置专职（或兼职）放射性药品管理人员，具体负责放射性药品交接手续的办理。当送药单位将放射性药品运至医院核医学科内，核医学科放射性药品管理人员核对预定的放射性药品数量、活度，进行入库登记。将  $^{18}\text{F}$  显像药物、 $^{32}\text{P}$  治疗药物贮存于核医学源存储室内。源存储室安

装视频监控系统，并设置门锁，实行双人双锁管理，防止被盗事件发生。医院应建立放射性药品台账管理制度，明确放射性药品购置、到货、暂存、使用等环节放射性药物量。定期进行盘点，做到账物相符。

#### (5) 防护用品、去污用品、辅助用品配备情况

根据国家标准要求，放射诊疗过程中相关放射工作人员应佩戴防护用品，以减少不必要的照射。本项目核医学科拟配备的个人防护用品和工作场所防护用品见表 10-7。

表 10-7 核医学科拟配备的个人防护用品和工作场所防护用品

工作场所	防护用品名称	配置计划
PET 显像诊断区域	通风柜	1 套，48mm 铅当量
	PET 注射窗	35mm 铅当量，两侧设有手套孔
	钨合金注射屏蔽套	15mmPb 当量
	铅污物桶	4 个，20mmPb，置于注射窗口、注射后候诊室、留观/抢救室、敷贴治疗室。
	铅罐	2 个，35mm 铅当量
	放射性污染防护服、铅橡胶衣、铅橡胶围脖、铅橡胶围裙	2 套，0.5mmPb
	应急及去污用品	按使用需求提供
敷贴室	通风柜	1 套，设置于敷贴治疗室
	专用污物桶	2 个，设置于敷贴治疗室
	贮源箱	1 个，设置于敷贴治疗室
	活度计、β 污染检查仪	1 个，设置于敷贴治疗室
	长柄镊子、有机玻璃眼镜或面罩、橡皮泥或橡胶板、乳胶手套	1 套，设置于敷贴治疗室

#### (6) 放射性废物管理

① 医院应在分装/质控室、注射室等场所根据核素种类设置放射性专用废物桶，废物桶表面应有电离辐射警示标志。应尽量使用有脚踏式开关的废物收集桶。

② 对注射器和碎玻璃器皿等放射性废物，应先装入硬纸盒或其他包装材料中，然后再装入专用塑料袋内。废物包装体表面辐射剂量率 $\leq 0.1\text{mSv/h}$ 、表面污染水平 $\beta$ 和 $\gamma$ 发射体 $< 4\text{Bq/cm}^2$ ，重量 $\leq 20\text{kg}$ 。贮存放射性废物的塑料袋须安全可靠，并应在显著位置标有该废物类型、核素种类、半衰期、入库日期等。

③ 装满废物的专用塑料袋应密封，及时转送至放射性废物暂存间，放射

性废物暂存间入口处设置电离辐射警示标志，安装排风装置，内部设置用于贮存固体放射性废物桶，不同核素的废物应分开存放，合理有序，易于取放。核素的放射性固体废物暂存时间满足 HJ1188-2021 要求后，经检测其放射性核素活度浓度达到清洁解控水平后，按照医疗废物进行处理。

④ 放射性废物间不得堆放易燃、易爆、腐蚀性物品以及其它无关物品。固体放射性废物的存储和处理安排专人负责，并建立废物存储和处理台账，详细记录放射性废物的产生量、污染核素名称、重量、入库日期、解控或送贮日期、处置去向、责任人员、监测结果等内容。

⑤ 该项目核医学科产生的放射性废水（包括患者或受检者的排泄和呕吐物、地面清洗废水、工作服清洗废水、去污废水等）经专用管道进入衰变池（由三个衰变池槽体并联组成，每个槽体有效容积为  $8\text{m}^3$ ），暂存时间满足 HJ1188-2021 要求后，排入医院自建的污水处理站。

⑥ 该项目在核医学科各功能用房（包括源存储室、分装/质控室、注射室、PET 检查室、注射后候诊室及敷贴治疗室等）设置负压排风系统，汇集到核医学科东侧风井，经活性炭吸附后引至所在建筑物楼顶屋脊排放。 $^{18}\text{F}$  放射性药物分装以及  $^{32}\text{P}$  敷贴器制备均在通风柜内进行，通风柜设置单独的通风管道且风速不小于  $0.5\text{m/s}$ ，通风柜出口设止回阀，排风引至核医学风井，经活性炭过滤吸附后引至所在建筑物楼顶屋脊排放。

### 10.3.2 DSA 机房

本项目设置 4 个 DSA 机房，采取的辐射安全设施如下：

① 门-灯联动装置：患者出入门上方安装“射线有害、灯亮勿入”工作状态指示灯，指示灯与 DSA 机房防护门有效联动，当防护门关闭时，工作指示灯亮，提示人员不得进出机房；当防护门打开时，工作指示灯熄灯，此时人员可以进出。

② 患者防护门、污物门、医护人员防护门外的醒目位置处张贴电离辐射警告标志；候诊区应设置放射防护告知栏，提醒患者及其他公众放射防护注意事项；

③ 防护门：平开门应设置自动闭门装置、推拉门应设有曝光时关闭房门的措施，电动推拉门宜设置光幕式红外防夹装置（防挤压装置）；

④ 通风：机房内设置通风装置，排风管道连接至楼顶排出；

⑤ 设置观察窗及监控对讲装置，便于观察到受检者状态及防护门开闭情况。

⑥ 辐射防护用品：每间 DSA 机房应配备满足工作人员数量的铅围裙、铅颈套、介入手套、铅眼镜；DSA 设备自带铅悬挂防护屏、铅防护吊帘、床侧防护帘、床侧防护屏等辅助防护设施。此外，应为受检者配备至少 1 套铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套，具体配备要求见表 10-8。

表 10-8 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

个人防护用品及辅助防护设施	数量	铅当量
铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套	≥15 套	≥0.25mm 铅当量
铅悬挂防护屏/铅防护吊帘、床侧防护帘/床侧防护屏	≥4 套	≥0.5mm 铅当量
铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套	≥5 套	≥0.5mm 铅当量

⑦ 手术室内不堆放与诊断工作无关的杂物。

DSA 机房辐射安全设施安装位置示意图分别见图 10-10、图 10-11；DSA 机房通风示意图分别见图 10-12、图 10-13。

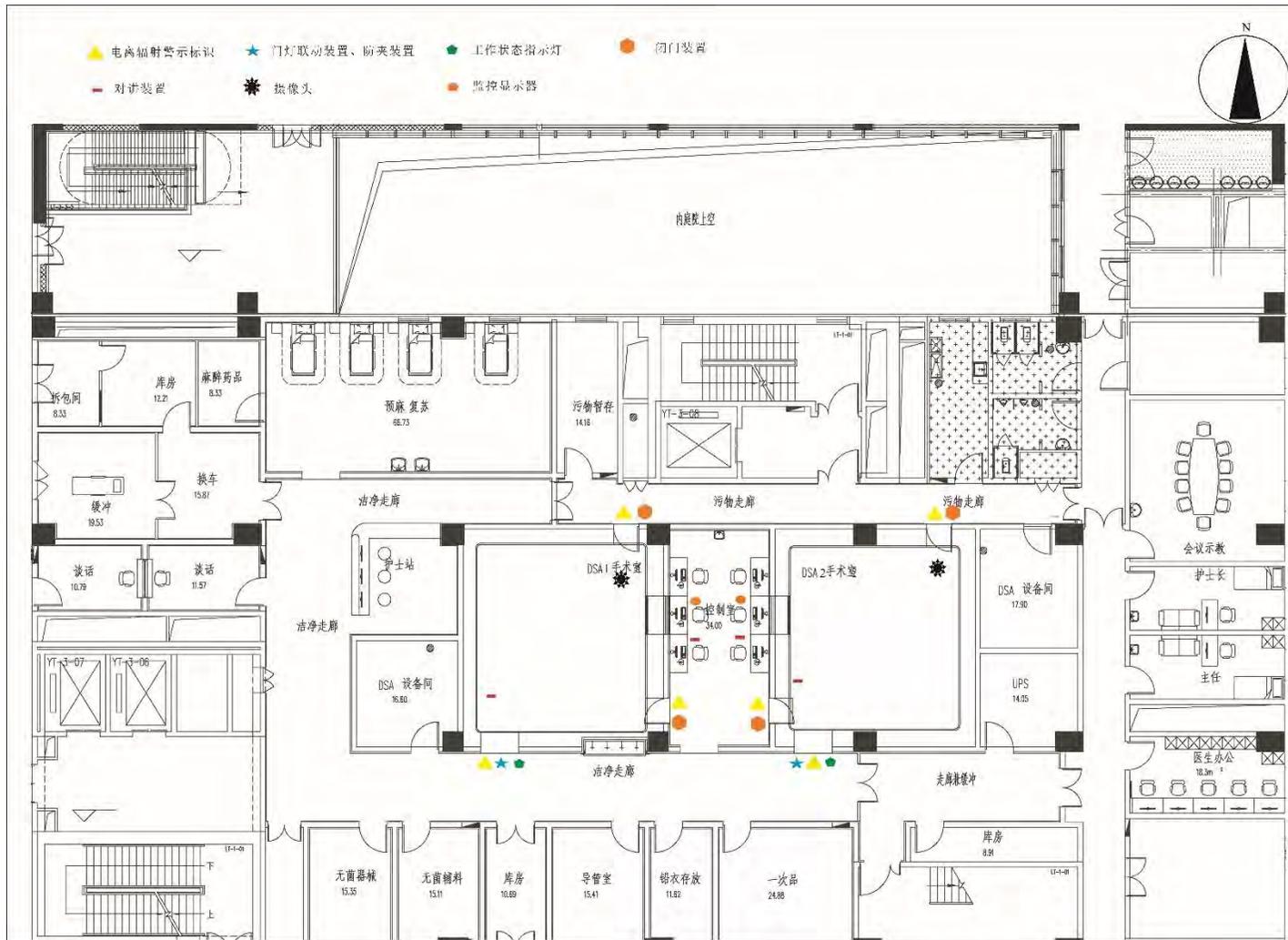


图 10-10 DSA 中心辐射安全设施图

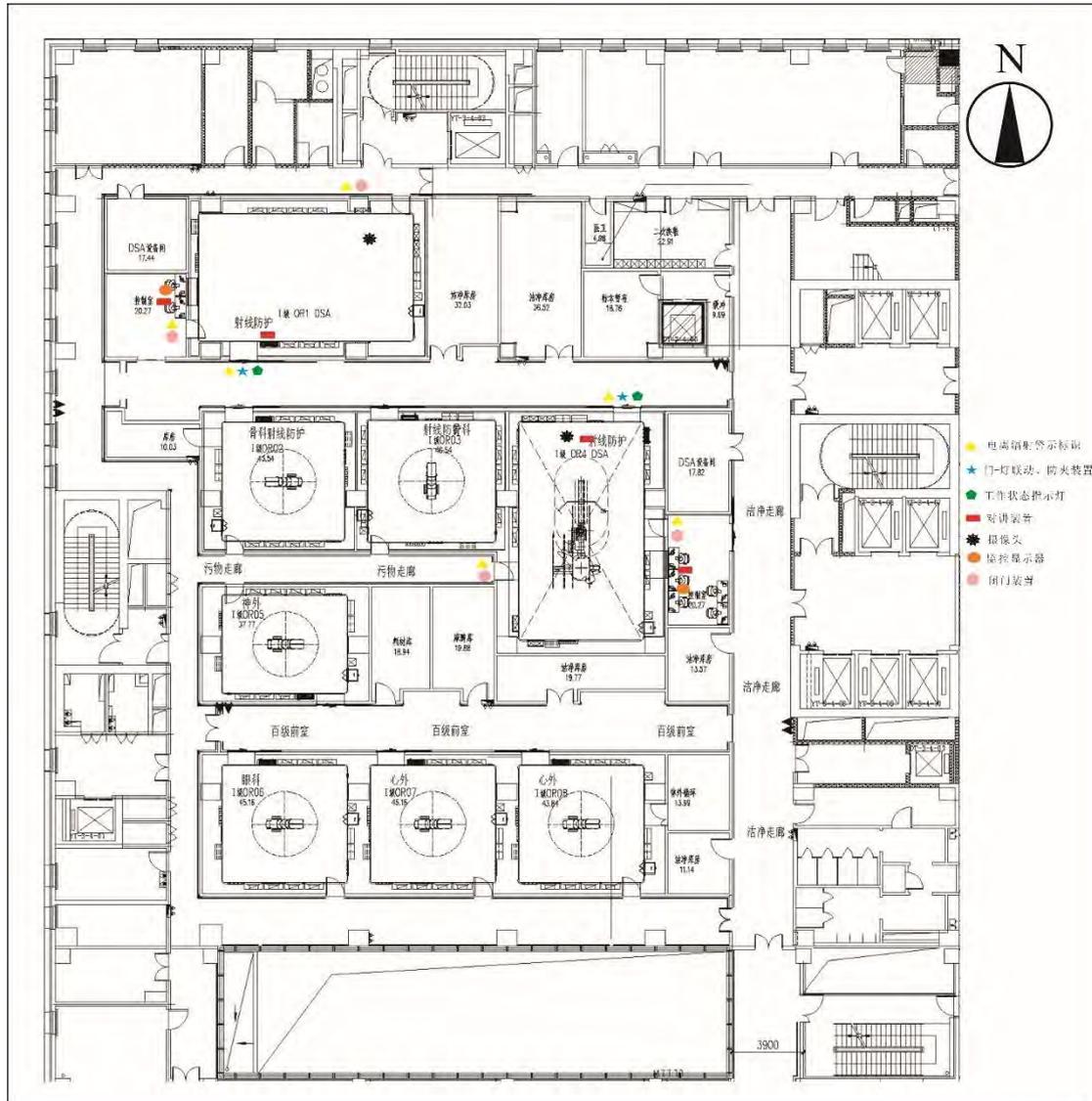


图 10-11 中心手术部辐射安全设施图

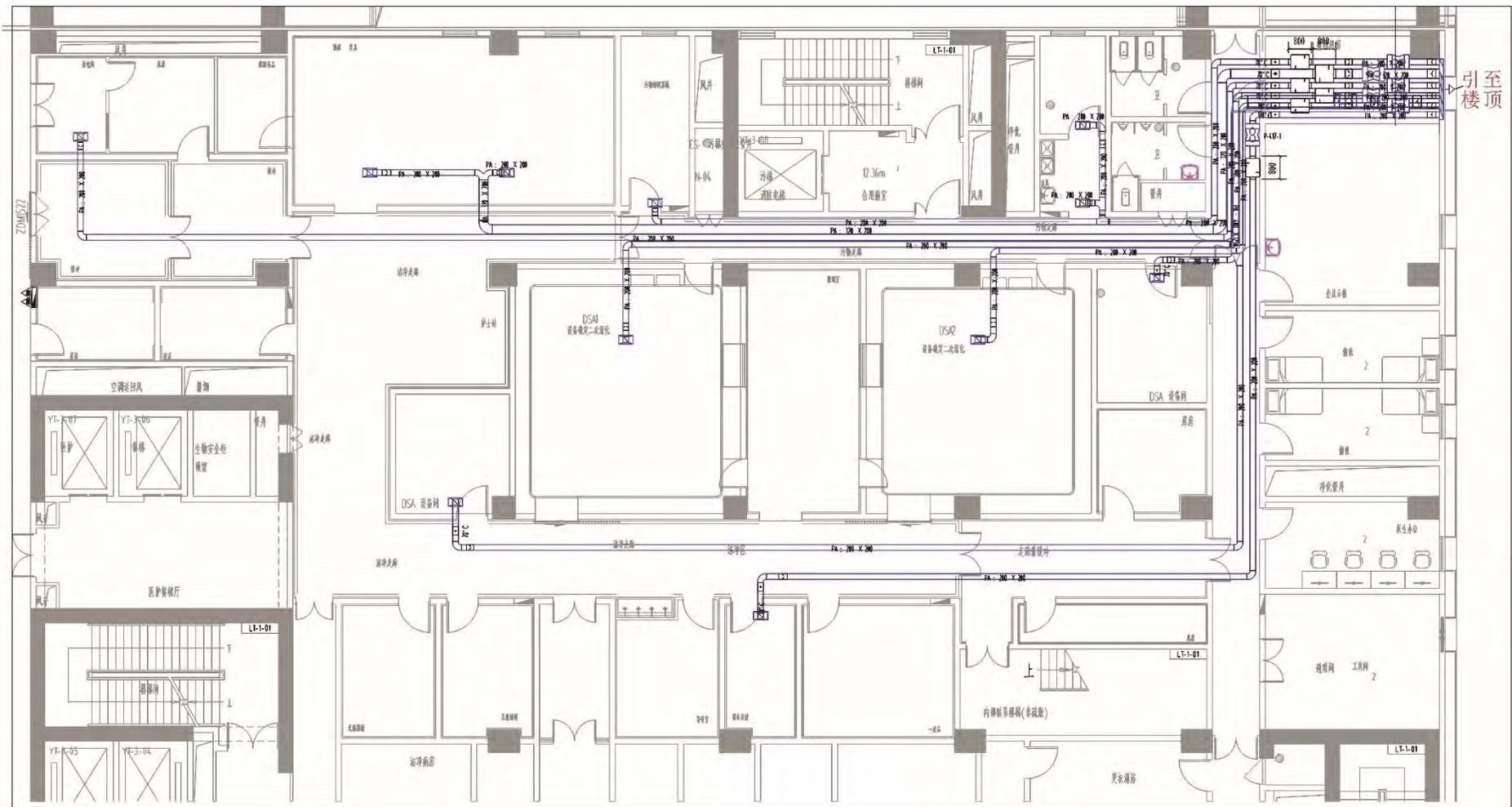


图 10-12 DSA 中心通风示意图

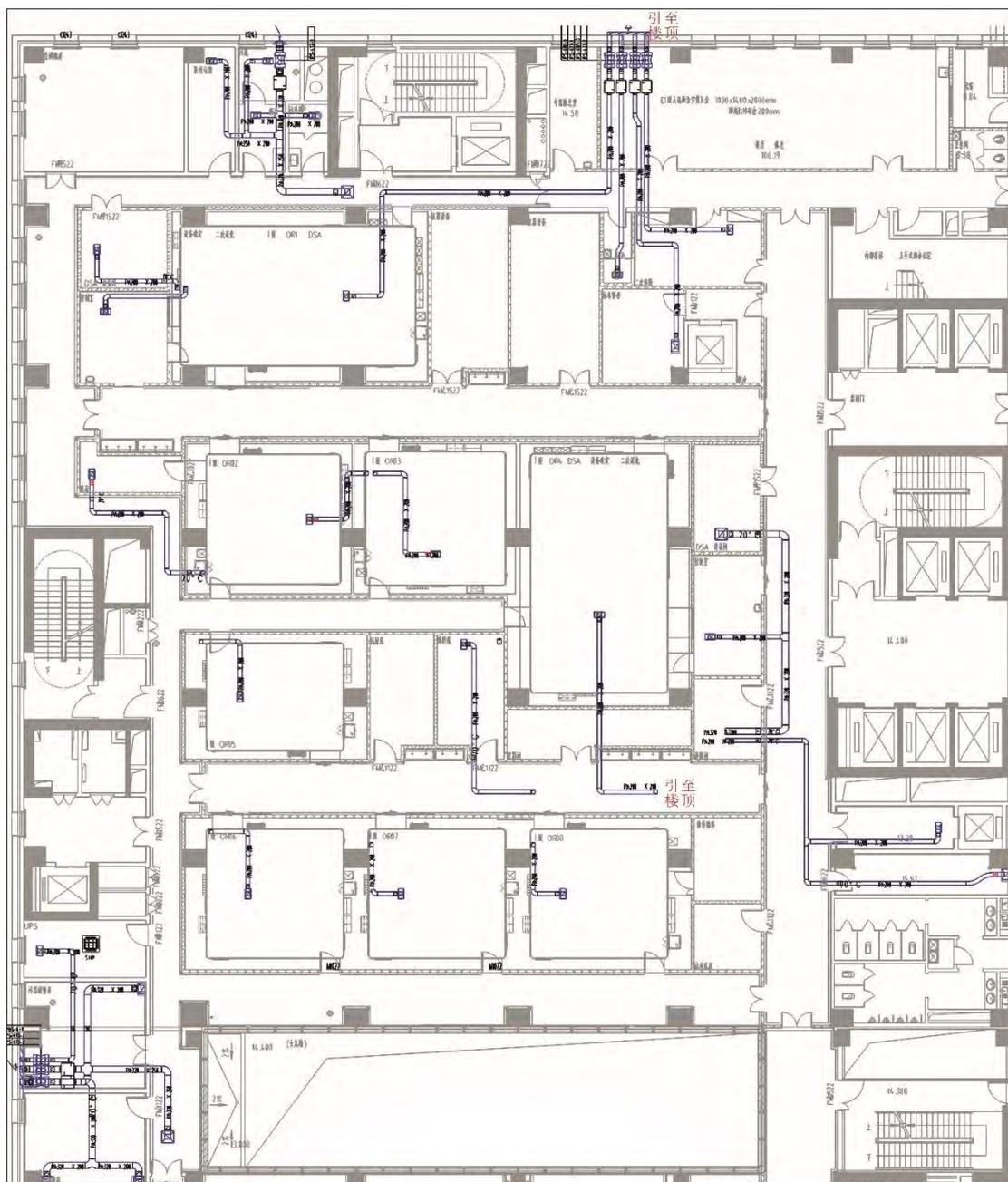


图 10-13 中心手术部通风示意图

## 10.4 三废治理措施

### 10.4.1 放射性废物

#### (1) 放射性废水

本项目 DSA 机房不产生放射性废水，仅核医学科产生放射性废水。放射性废水主要包括给药后患者的排泄物及冲洗废水、洗手废水、工作场所清洗废水等。放射性废水通过独立下水管道统一收集到 3 号楼负二层中部衰变池中，衰变一定时间满足排放标准后进入医院污水处理系统，最终排入市政污水管网。

项目拟设置 1 座槽式衰变池，根据建设单位提供的图纸，本项目衰变池使用成品，衰变池包括 1 个  $8\text{m}^3$  沉淀池和 3 个各  $8\text{m}^3$ （总容积共  $24\text{m}^3$ ）的衰变池池体。衰变池运行方式：污水从沉淀池首先进入第一个衰减池，经过一定时间，第一个池注满，关闭进水阀门，打开第二个池子的进水阀门，污水进入第二个池子。第一个池子的污水即在池内储存衰减，当第三个衰减池将要注满时，第一个衰减池的污水（含  $^{18}\text{F}$ ）约计储存的时间至少 72 天，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“槽式衰变池核素半衰期小于 24 小时的废水暂存超过 30 天后可直接解控排放”的要求。排空后，即可开始重新进水，开始第二个周期，如此周而复始，不断循环。整个系统工程为全自动运行，每个污水池的进、排阀门均为电动阀，由计算机控制其开启。衰变池附近设储放电脑和显示屏的工位，以便于相关人员随时通过显示器观察系统的运行情况，衰变池设计示意图见图 10-14，项目放射性废水排放示意图见图 10-15。

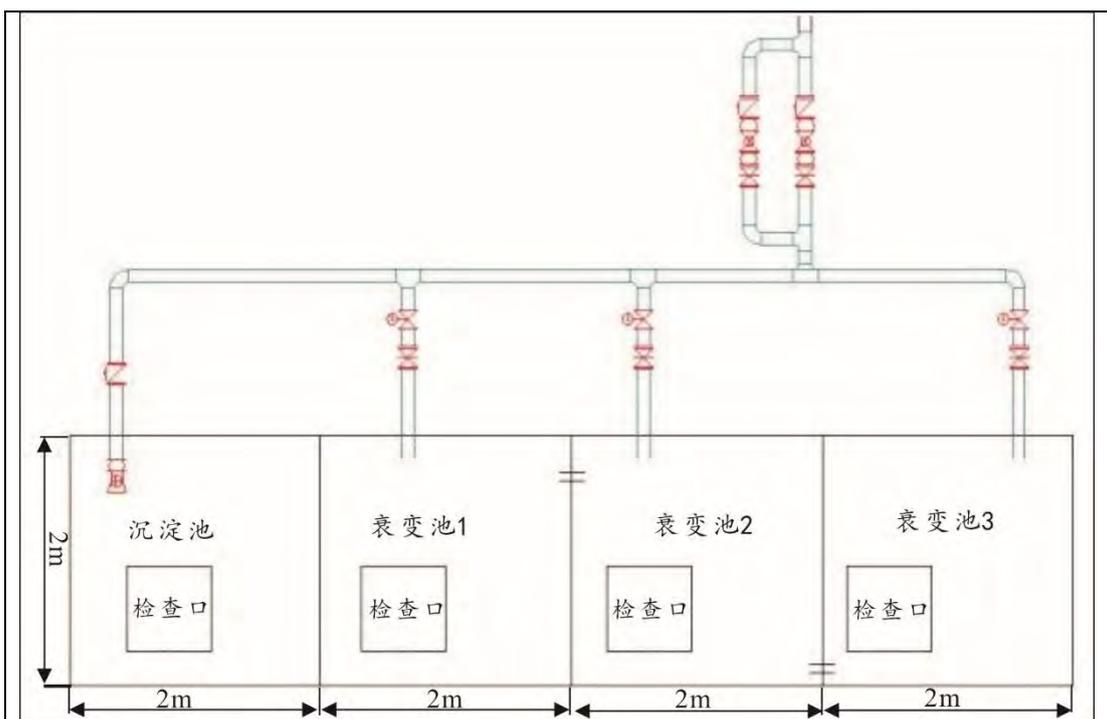


图 10-14 衰变池设计示意图

根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)的相关规定,环评要求:①沉淀池内安装铰刀泵,避免池内污泥沉积。②排水管采用大功率无堵塞排污泵,一备一用。③安排专人负责放射性废液的暂存和处理,详细记录放射性废液所含的核素名称、体积、废液产生起始日期、责任人员、排放时间等信息。

### (2) 放射性废气

本项目 DSA 机房不产生放射性废气,仅核医学科放射性核素操作过程中会产生一定量的放射性气体。

根据医院提供的资料,项目拟为核医学科配备2个通风柜分别进行 $^{18}\text{F}$ 的分装、 $^{32}\text{P}$ 敷贴器的制备(放射性核素质控),通风柜设置单独通风管道,且保持负压操作、出口设止回阀,排风引至核医学科东侧风井,经活性炭过滤装置吸附处理后引至楼顶排放,排风口高出楼顶屋脊。在核医学科敷贴治疗室、源存储室、分装/质控室、注射室、注射后候诊室、留观/抢救室及PET检查室等功能房间设置负压排风系统(与清洁区分开),统一汇集至核医学科东侧风井,经活性炭吸附过滤后排放,排放口高出所在建筑楼顶屋脊。核医学科放射性废气流向示意图见图10-16。

### (3) 放射性固体废物

本项目 DSA 机房不产生放射性固体废物。核医学科运行过程中产生的放射性固体废物主要有：废一次性手套、注射用的棉签、废注射器针头、沾染放射性核素的敷料、滤纸，废试剂瓶、纱布、口罩、废  $^{32}\text{P}$  敷贴器以及吸附放射性废气的活性炭等。

该项目核医学科在注射窗口、PET 注射后候诊室、敷贴治疗室、留观/抢救室位置放置放射性废物桶，放射性废物桶内放置专用塑料袋，按照核素类型分类收集，专用塑料袋装满后应密封，不破损漏出，及时转送放射性废弃物间，放入专用放射性废物桶中存储，容器显著位置设置废物类型、核素种类、存放日期等说明。 $^{18}\text{F}$  核素的放射性固废暂存时间超过 30 天， $^{32}\text{P}$  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，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， $\beta$  表面污染小于  $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，且放射性固废活度低于 GB18871 清洁解控水平（ $^{18}\text{F}$  活度浓度 $\leq 1\times 10^1\text{Bq}/\text{g}$ ， $^{32}\text{P}$  活度浓度 $\leq 1000\text{Bq}/\text{g}$ ）时，可对废物清洁解控作为一般固废医疗废物处理。

应安排专人负责管理废物的存储和处理，建立废物存储和处理台账，详细记录放射性废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息。废物管理人员应熟悉国家有关放射性废物管理法律法规，具备掌握放射防护和剂量监测专业技术的安全文化素养，接触放射性废物的工作人员必须穿放射性污染防护服，并佩戴个人剂量计。

#### 10.4.2 非放射性废气

本项目 DSA 机房运行期间产生少量的臭氧和氮氧化物等有害气体。DSA 机房拟设置通风装置，机房内产生的少量臭氧、氮氧化物经排风管道连接至楼顶排出，对周围环境影响较小。

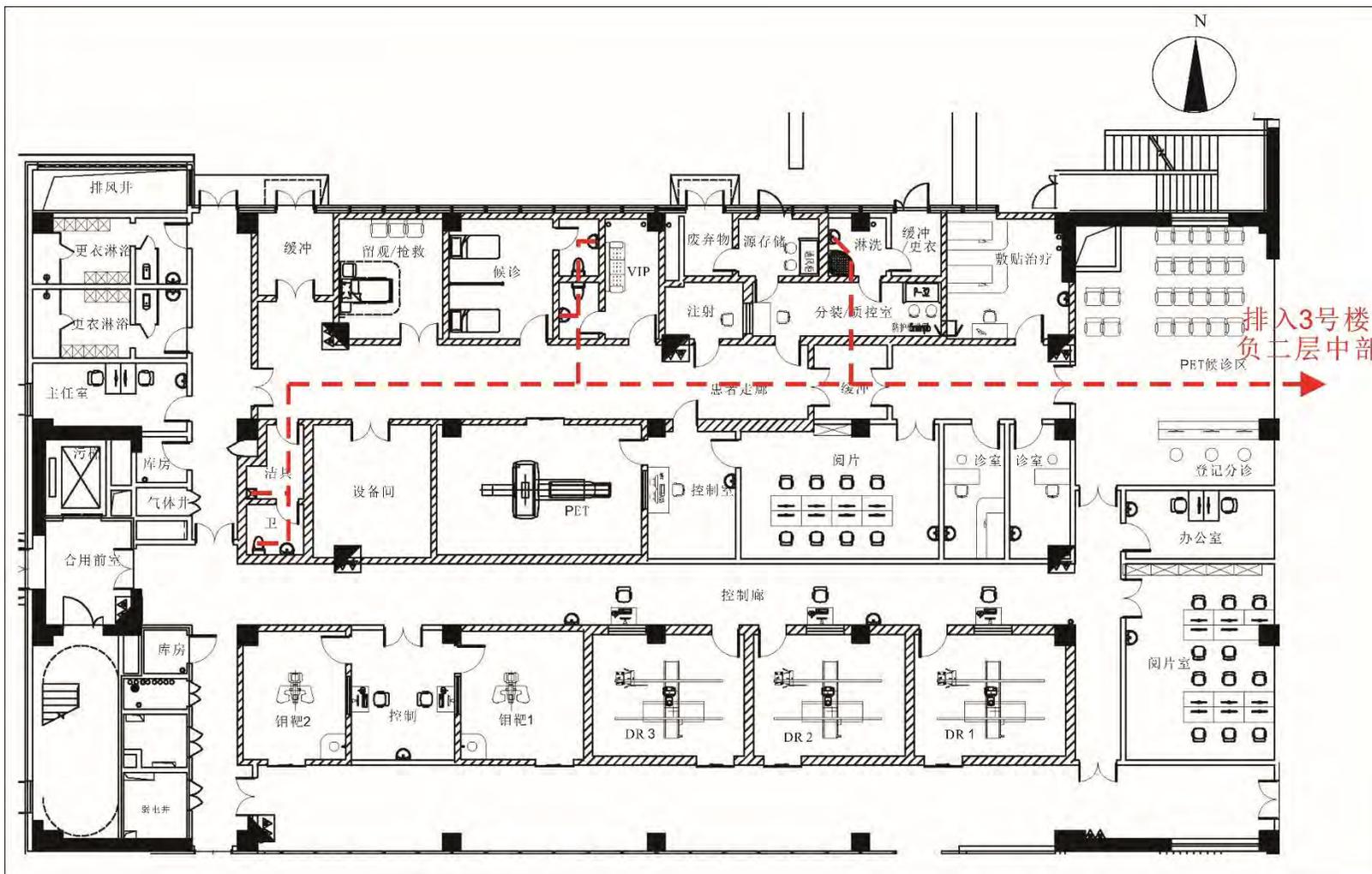


图 10-15 核医学科放射性废水走向示意图

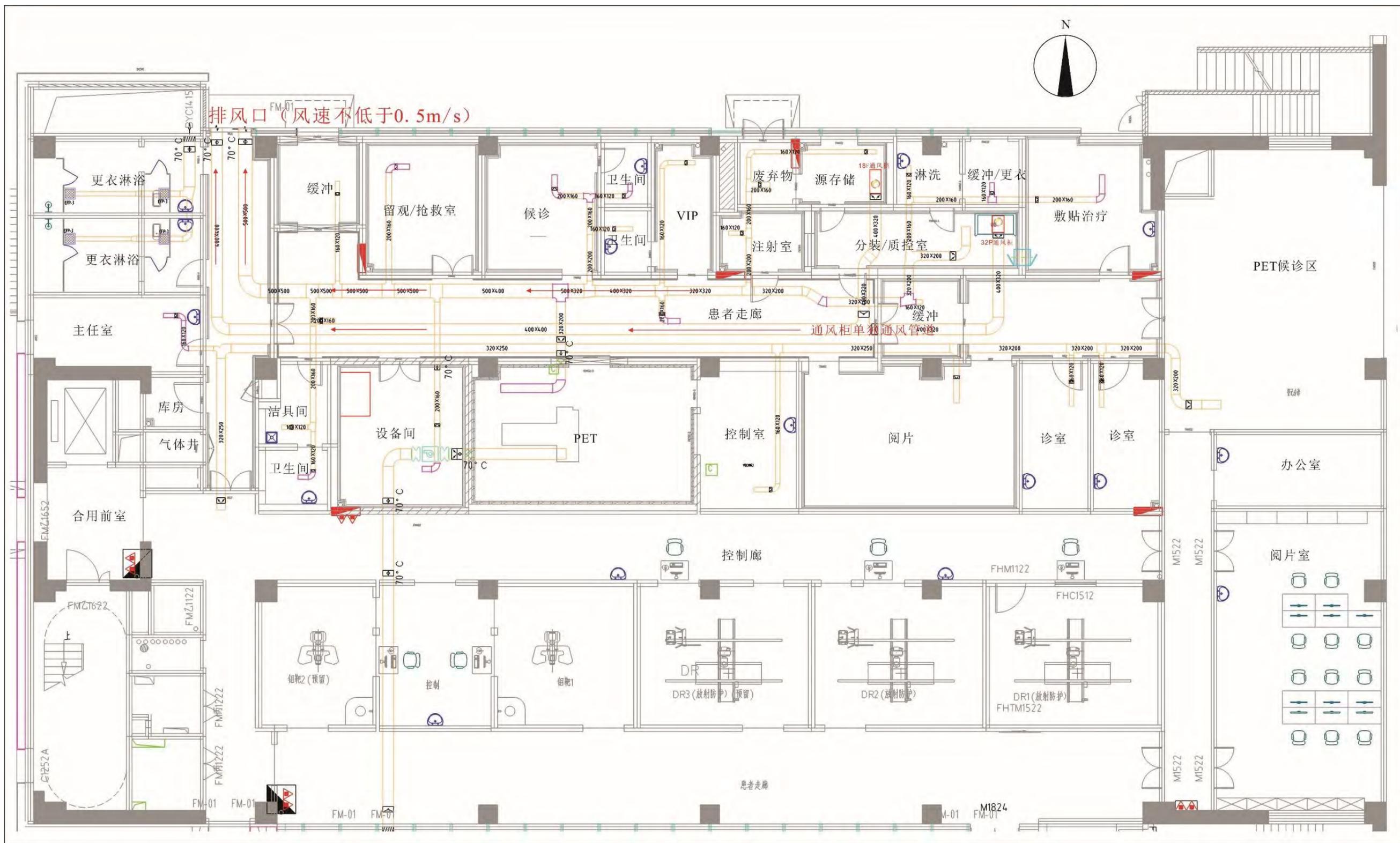


图10-16 核医学科排风管示意图

**表 11 环境影响分析**

**11.1 建设阶段环境影响简要分析**

**(1) 土建施工阶段**

项目拟在西安市儿童医院经开院区3-4#住院楼1层建设核医学科，3-1#住院楼4层建设DSA中心、3-4#住院楼4层建设中心手术部。核医学科、DSA中心及中心手术部所在住院楼属于医院主体建设，该部分内容已编制环境影响报告书，且已取得经开行审批批复〔2021〕011号，本次评价不再分析项目土建施工阶段的环境影响，仅简要分析项目各工作场所后期装修阶段可能引起的环境影响。项目装修阶段的污染因子主要为装修涂料产生的有机废气、物料扬尘、废水、施工噪声、建筑垃圾等。

①施工期装修使用环保型涂料，料堆采取防尘措施，清扫过程做到先洒水再清扫，固体废物及时清运，运输物料车采取覆盖等防止散落的措施。

②施工现场的固定噪声和移动噪声诸如电钻、切割机、混凝土搅拌机等应相对集中，尽量缩小噪声干扰范围，合理安排作业时间，限制夜间进行有强噪声污染的施工作业。如需要夜间施工，须向当地生态环境主管部门申请夜间施工许可方可进行。

③施工期间的生活污水、机械洗刷污水，应严格规定排放去向，严禁将施工泥浆排入下水道，以免引起排水不畅而导致周围积水内涝。生活污水依托医院污水处理站，处理达标后排入市政污水管网。

④施工期间的建筑垃圾应在指定的地点堆放，并及时清运；废包装材料和生活垃圾产生量少，分类收集于垃圾桶，由环卫部门统一清运。

项目施工期短，施工范围小，通过控制作业时间、加强施工现场管理等手段，施工期对周围环境影响较小，且施工期影响是暂时的，随着建设期的结束而消除。

**(2) 设备安装调试阶段**

项目设备的安装、调试、检测和维修等均由设备厂家安排专业人员进行。在安装前设备厂家需对机房进行初步的安装验收，在满足相关条件后再进行安装、调试。在设备安装调试阶段，医院及设备厂家应加强辐射防护管理，保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在门上粘贴电离辐射警告标志，禁止无关人

员靠近。人员离开时机房需关闭并采取措施防止无关人员进入，防止辐射事故的发生。

## 11.2 运行阶段对环境的影响

### 11.2.1 核医学科

根据工程分析可知，项目核医学科运行阶段环境影响主要为 PET-MR 显像核素  $^{18}\text{F}$  以及治疗核素  $^{32}\text{P}$  在使用过程中产生的  $\gamma$  射线、 $\beta$  射线、 $\beta$  表面污染、放射性“三废”等。

#### 1、PET 显像工作场所屏蔽防护效能核算

##### (1) 计算公式

$^{18}\text{F}$  诊断工作场所的屏蔽计算可采用瞬时剂量率计算方法。 $\gamma$  射线来自放射性核素，相对于所在场所的尺寸，放射源可看作是点源，符合瞬时剂量率目标要求的屏蔽厚度计算可由式（11-1）得出：

$$d = TVL \cdot \lg\left(\frac{A \cdot \Gamma}{H_p \cdot R^2}\right) \quad (\text{式 11-1})$$

式中：d—符合剂量率目标要求的墙体屏蔽厚度，单位 mm；

TVL— $\gamma$  射线在防护材料的十分之一值层厚度，单位 mm；

A—放射性物质活度，单位 MBq；

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

R—为参考点与放射源间距离，单位 m；

$H_p$ —对参考点处要求的瞬时剂量率控制水平，单位  $\mu\text{Sv/h}$ ；

经屏蔽后关注点处的剂量率：

$$H_R = A \times \Gamma \times R^{-2} \times 10^{-\frac{X}{TVL}} \quad (\text{式 11-2})$$

式中： $H_R$ —经屏蔽后关注点的剂量率，单位  $\mu\text{Sv/h}$ ；

R—为参考点与放射源间距离，单位 m；

A—放射源活度，单位 MBq；

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

TVL— $\gamma$  射线在防护材料的十分之一值层厚度，单位 mm；

X—屏蔽体的屏蔽厚度，mm。

##### (2) 周围剂量当量率控制目标值

根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)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 $\mu$ 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 $\mu$ Sv/h;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 2.5 $\mu$ Sv/h;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 25 $\mu$ Sv/h。

### (3) 相关参数选取

本项目核医学科 PET-MR 扫描使用  $^{18}\text{F}$ ,故本次评价 PET-MR 工作场所以  $^{18}\text{F}$  的相关参数进行核算。

表 11-1 计算参数

核素	周围剂量当量率常数(裸源) $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}\cdot\text{MBq}$	患者或受检者体内单位放射性活度所致体外 1m 处的周围剂量当量率 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}\cdot\text{MBq}$	TVL mm		
			铅	砖	混凝土
$^{18}\text{F}$	0.143	0.092	16.6	263	176

注:数据来源《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)附录 H、I、L。

### (4) 计算结果

对于  $\gamma$  射线,铅密度 11.3g/cm<sup>3</sup>,混凝土密度 2.35g/cm<sup>3</sup>,砖密度 1.65g/cm<sup>3</sup>。

根据  $10^{-X_1/TVL_1} = 10^{-X_2/TVL_2}$  进行等效厚度计算,部分防护墙体等效铅当量折算过程如下:

表 11-2 防护墙等效铅当量折算

设计防护	折算过程(mm)	等效铅当量
240mm 砖	$(240\div 263)\times 16.6=15.1$	15.1mmPb
370mm 砖	$(370\div 263)\times 16.6=23.3$	23.3mmPb
490mm 砖	$(490\div 263)\times 16.6=30.9$	30.9mmPb
300mm 混凝土	$300\div 176\times 16.6=28.2$	28.2mmPb
250mm 混凝土	$250\div 176\times 16.6=23.5$	23.5mmPb
180mm 混凝土	$180\div 176\times 16.6=16.9$	16.9mmPb

#### ①分装过程

PET 使用放射性核素  $^{18}\text{F}$  药物作为显像剂,  $^{18}\text{F}$  发生  $\beta^+$  衰变时产生 0.511MeV 的  $\gamma$  射线,可能对工作人员以及周边环境产生辐射影响。本项目 PET 检查前,对患者进行预约登记,向厂家定量预订  $^{18}\text{F}$  药物,由厂家将放射性药物送至源存

储室内。<sup>18</sup>F 分装在源存储室通风柜内（具备 48mm 铅当量防护能力）进行。根据核医学科提供的资料，工作人员分装时，距离放射性药物 0.5m，医院 <sup>18</sup>F 检查每天 15 人/次，药物分装 3 次/天，本项目 <sup>18</sup>F 显像检查单人使用量为 370MBq（10mCi），即 <sup>18</sup>F 每次分装最大操作量为 1850MBq。

表 11-3 通风柜屏蔽防护效能核算结果

关注点	距离 (m)	计算铅当量 (mmPb)	屏蔽厚度 (mmPb)	是否符合	屏蔽厚度下瞬时剂量 (μSv/h)
分装柜人员操作位	0.5	44	48	符合	1.4
分装柜其余三面	0.5	27	48	符合	1.4

备注：通风柜人员操作位的周围剂量当量率取 2.5μSv/h，通风柜非正对人员操作位表面的周围剂量当量率取 25μSv/h。

### ③ 药物转移过程

放射性药物注射前，放射工作人员将分装好的药物从通风柜转移至注射台，转移过程中药物采用铅罐。转移时的辐射影响按单次注射针剂计，即 <sup>18</sup>F 每次转移传递最大操作量为 370MBq。针剂转移过程的周围剂量当量率估算结果如表 11-4。

表 11-4 药物转移过程剂量率估算结果

关注点	距离 (m)	计算铅当量 (mm 铅当量)	设计值 (mm 铅当量)	是否符合	屏蔽厚度下瞬时剂量 (μSv/h)
工作人员操作位	0.5	32	35	符合	1.6

### ④ 分装/质控室

本项目核医学科 <sup>18</sup>F 分装完成后送至分装/质控室，分装/质控室的辐射影响按单人使用放射性药物最大计，即 <sup>18</sup>F 单人注射量为 370MBq。在分装/质控室通风柜（具备 27mm 铅当量防护能力）进行质控操作，质控时抽取 5mCi（185MBq）的 <sup>18</sup>F 作为辐射源进行计算，估算结果见表 11-5。

表 11-5 分装/质控室屏蔽防护效能核算结果

关注点	距离 (m)	计算铅当量 (mmPb)	设计值	是否符合	屏蔽厚度下瞬时剂量 (μSv/h)
北墙	1.7	14	240mm 实心砖 (等效 15.1mm 铅当量)	符合	2.3
东墙	6.2	-		符合	0.2
南墙	1.0	22	370mm 实心砖 (等效 23.3mm 铅当量)	符合	2.1
西墙	1.8	14		符合	0.6
顶棚	4.6	-	300mm 混凝土	符合	5.0E-02

			(等效 28.2mm 铅当量)		
地面	4.4	1	180mm 混凝土+2mm 铅板 (等效 18.9mm 铅当量)	符合	0.2
淋洗间门	5	-	9mmPb	符合	0.6
南侧防护门	1.5	16	17mmPb	符合	2.2
东侧传递窗	6.2	-	5mmPb	符合	0.7
源存储室门	3.5	4	4mmPb	符合	2.5
工作人员质控操作位	0.5	27	27	符合	2.5

备注：“-”表示到计算点处剂量率已降至 2.5 $\mu$ Sv/h 以下。

### ⑤ 注射室

$^{18}\text{F}$  注射窗口采用一体化防护注射装置，药物注射窗口具备 35mm 铅当量防护能力。注射时，工作人员穿戴放射性污染防护服，使用 15mmPb 当量钨合金防护套注射器进行注射，每名患者注射最大药物量为 370MBq，注射室估算结果见表 11-6。

表 11-6 注射室表面屏蔽防护效能核算结果

关注点	距离 (m)	计算铅当量 (mmPb)	设计值	是否符合	屏蔽厚度下瞬时剂量 ( $\mu$ Sv/h)
工作人员注射操作位	0.5	/	15mmPb 当量注射器防护套蔽	/	26.4
注射窗外表面 30cm 处	0.5	32	35	符合	1.6
北墙	1.5	13	240mm 实心砖 (等效 15.1mmPb)	符合	1.9
东墙	1.2	16	370mm 实心砖 (等效 23.3mm 铅当量)	符合	0.9
南墙	1.3	15	240mm 实心砖 (等效 15.1mm 铅当量)	符合	2.5
西墙	2.5	6		符合	0.7
顶棚	4.6	-	300mm 混凝土 (等效 28.2mm 铅当量)	符合	3.2E-02
地面	4.4	-	180mm 混凝土+2mm 铅板 (等效 18.9mm 铅当量)	符合	0.1
南侧防护门	1.5	13	13mm 铅当量	符合	2.5

备注：“-”表示到计算点处剂量率已降至 2.5 $\mu$ Sv/h 以下。

### ⑥ 注射后候诊室

本项目 PET 注射后候诊室共设置 VIP 候诊室和普通候诊室，VIP 候诊室考虑 1 名患者，普通候诊室考虑 2 名患者，每名患者注射  $^{18}\text{F}$  药物量为 370MBq，注射后候诊室估算结果见表 11-7。

表 11-7 注射后候诊室屏蔽防护效能核算结果

工作场所	关注点	距离 (m)	计算铅当量 (mm 铅当量)	设计值	是否符合	设计厚度下墙体外瞬时剂量 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
VIP 候诊室 (考虑 1 人)	北墙	2.4	6	240mm 实心砖 (等效 15.1mm 铅当量)	符合	0.7
	东墙	1.4	14		符合	2.1
	南墙	2.4	6		符合	0.7
	西墙	1.3	15		符合	2.5
	顶棚	4.6	-	300mm 混凝土 (等效 28.2mm 铅当量)	符合	3.2E-02
	地面	4.4	-	180mm 混凝土+2mm 铅板 (等效 18.9mm 铅当量)	符合	0.1
	南侧防护门	2.8	4	4mm 铅当量	符合	2.5
普通候诊室 (考虑 2 人)	北墙	1.6	17	370mm 实心砖 (等效 23.3mm 铅当量)	符合	1.0
	东墙	1.9	15	240mm 实心砖 (等效 15.1mm 铅当量)	符合	2.3
	南墙	1.6	17	370mm 实心砖 (等效 23.3mm 铅当量)	符合	1.0
	西墙	3.1	8	240mm 实心砖 (等效 15.1mm 铅当量)	符合	0.9
	顶棚	4.6	2	300mm 混凝土 (等效 28.2mm 铅当量)	符合	6.4E-02
	地面	4.4	2	180mm 混凝土+7mm 铅板 (等效 23.9mm 铅当量)	符合	0.1
	南侧防护门	3.8	5	5mm 铅当量	符合	2.4

备注：“-”表示到计算点处剂量率已降至  $2.5\mu\text{Sv/h}$  以下。

⑥PET-MR 检查室

PET 检查时，工作人员对患者进行指导摆位，此过程中，工作人员距离注射  $^{18}\text{F}$  患者距离约为 1m，从保守角度考虑，不考虑核素  $^{18}\text{F}$  在候诊过程中随时间衰减影响，摆位时工作人员操作位剂量率为  $34.0\mu\text{Sv/h}$ 。

PET 显像检查过程中，患者体内已注射的  $^{18}\text{F}$  药物衰变产生的  $\gamma$  射线对工作人员以及周边环境产生辐射影响。

表 11-8 PET 检查室屏蔽防护效能核算结果

工作场所	关注点	距离 (m)	计算铅当量 (mm 铅当量)	设计值	是否符合	设计厚度下墙体外瞬时剂量 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
PET 检查	北墙	2.84	4	240mm 实心砖 (等效 15.1mm 铅当量)	符合	0.5
	东墙	4.35	-		符合	0.2

室	南墙	2.84	4	370mm 实心砖（等效 23.3mm 铅当量）	符合	0.2
	西墙	4.35	-	240mm 实心砖（等效 15.1mm 铅当量）	符合	0.2
	顶棚	4.6	-	300mm 混凝土（等效 28.2mm 铅当量）	符合	3.2E-02
	地面	4.4	-	250mm 混凝土（等效 23.5mm 铅当量）	符合	0.1
	工作人员出入口	4.35	-	12 mm 铅当量	符合	0.3
	患者出入口	2.84	4	4mm 铅当量	符合	2.4
	观察窗	4.35	-	13 mm 铅当量	符合	0.3

备注：“-”表示到计算点处剂量率已降至 2.5 $\mu$ Sv/h 以下。

### ⑦ 留观/抢救室

注射  $^{18}\text{F}$  药物的患者检查完成后，需要进行留观/抢救室进行观察。由于经过注射、等候及检查等流程，留观/抢救室考虑 3 名患者，每名患者注射  $^{18}\text{F}$  药物量为 370MBq，考虑核素衰减，按照注射药物量的一半进行估算。留观/抢救室屏蔽防护效能核算结果见表 11-9。

表 11-9 留观/抢救室屏蔽防护效能核算结果

工作场所	关注点	距离 (m)	计算铅当量 (mm 铅当量)	设计值	是否符合	设计厚度下墙体外瞬时剂量 ( $\mu$ Sv/h)
留观/抢救室	北墙	1.6	15	370mm 实心砖（等效 23.3mm 铅当量）	符合	0.8
	东墙	2.2	10	240mm 实心砖（等效 15.1mm 铅当量）	符合	1.3
	南墙	3.7	3		符合	0.5
	西墙	2.5	9		符合	1.0
	顶棚	4.6	-	300mm 混凝土（等效 28.2mm 铅当量）	符合	4.8E-02
	地面	4.4	-	180mm 混凝土+2mm 铅板（等效 18.9mm 铅当量）	符合	0.2
	南侧防护门	4.3	1	3mm 铅当量	符合	1.8

备注：1、计算时机房选取四面屏蔽体外表面 30cm 作为计算点；

2、“-”表示到计算点处剂量率已降至 2.5 $\mu$ Sv/h 以下；

### ⑧ 走廊

患者、工作人员走廊考虑人员停留位置，其屏蔽防护效能核算结果见 11-10。

表 11-10 核医学科控制区患者和工作人员走廊屏蔽防护效能核算结果

工作场所	关注点	距离 (m)	计算铅当量 (mm 铅当量)	设计值	是否符合	设计厚度下墙体外瞬时剂量 (μSv/h)
患者走廊	顶棚	4.6	-	300mm 混凝土 (等效 28.2mm 铅当量)	符合	3.2E-02
	地面	4.4	-	180mm 混凝土 +2mm 铅板 (等效 18.9mm 铅当量)	符合	0.1
	北侧防护门	1.7	2	15mm 铅当量	符合	1.5
	东侧防护门	2.6	5	15mm 铅当量	符合	0.6
	西侧防护门	2.1	8	15mm 铅当量	符合	1.0
	阅片室墙	1.7	11	490mm 实心砖 (等效 30.9mm 铅当量)	符合	0.2

备注：“-”表示到计算点处剂量率已降至 2.5μSv/h 以下。

由表 11-3~表 11-10 估算结果可知，核医学科各工作场所的墙体、防护门、观察窗、地板及顶棚设计厚度均满足理论估算出的厚度，屏蔽体外剂量当量率满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 标准限值，满足辐射防护要求。

## 2、敷贴治疗场所

本项目敷贴治疗使用 <sup>32</sup>P 是 β 源，核素衰变后发射 β 射线，相对于 X、γ 射线穿透力较弱，核医学普通应用只要戴上手套和眼罩（或面罩），用镊子或其他夹具操作，手部接触 β 源，就能达到防护要求。

β 粒子穿过周围物质时产生韧致辐射（本质为 X 射线），其穿透能力比 β 粒子强得多，因此应用 β 源时不能忽视对韧致辐射的防护。屏蔽 β 粒子应选用低原子序数的材料以减少韧致辐射，外面用高原子序数的材料屏蔽韧致辐射。

### (1) 距敷贴器裸源不同距离处辐射剂量率

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》中的公式进行计算：

$$H_r = 4.58 * 10^{-14} A \cdot Z \left(\frac{E_b}{r}\right)^2 \cdot \left(\frac{\mu_{em}}{\rho}\right) \cdot q \cdot \eta \quad (11-3)$$

式中：H<sub>r</sub>—β 射线在屏蔽材料中产生的韧致辐射在 r 处剂量当量率，Sv/h；

A—放射源活度，Bq；

Z—屏蔽材料有效原子序数，混凝土 14，空气 7.36，铅 82，砖 14，普通玻璃 10.6；

$E_b$ —韧致辐射的平均能量，MeV，根据《辐射防护导论》P132“韧致辐射具有连续能谱。在实际屏蔽计算时，可以假定韧致辐射的平均能量  $E_b$  是入射  $\beta$  粒子的最大能量的 1/3，即  $E_b \approx E_{\max}/3$ ”；

r—参考点与辐射源的距离，m；

$\mu_{em}$ —韧致辐射的平均能量在屏蔽材料中的质量能量吸收系数，由《辐射防护导论》附表 1 查得， $m^2 \cdot kg^{-1}$ ；

q—参考点所在区域相应的居留因子；

$\eta$ —透射比。

根据《辐射防护导论》(P134) 经屏蔽体衰减后，屏蔽体外剂量当量率由下式计算：

$$E = D * 0.1^{(d/TVL)} \quad (11-4)$$

式中：D—屏蔽层中  $\beta$  粒子产生的韧致辐射在 r(0.5m)处空气中的吸收剂量率，Gy/h；

d—屏蔽层厚度；

TVL—屏蔽层在  $\beta$  粒子平均能量下的什值层厚度，cm，由《辐射防护导论》表 3.5 查得；

根据公式估算，得到距  $^{32}P$  裸源不同距离的韧致辐射产生的  $\gamma$  辐射剂量率结果见表 11-11。

表 11-11 距  $^{32}P$  裸源不同距离的韧致辐射产生的辐射剂量率

源活度 A (Bq)	屏蔽材料原子序数	$E_b$ (MeV)	距离 r (m)	$\mu_{em}/\rho$ ( $m^2 \cdot kg^{-1}$ )	q	$\eta$	辐射剂量率 ( $\mu Gy/h$ )
$3.7 \times 10^7$	10.6	0.57	0.3	$2.34 \times 10^{-3}$	1	1	$1.52 \times 10^{-1}$
			0.5				$5.47 \times 10^{-2}$
			1				$1.37 \times 10^{-2}$

注：密封源的包壳材料一般采用有机玻璃，本项目 Z 取普通玻璃的有效原子序数 10.6； $\mu_{em}/\rho$  取值查《辐射防护导论》附表 1

由上表可知，按敷贴器最大活度计算，在裸源状态下，距离敷贴器  $^{32}P$  0.3m 处辐射剂量率为  $0.15 \mu Gy/h$ ，产生的韧致辐射对周围环境影响较小，无需额外防护。

## 11.2.2 DSA 机房

### 1、机房屏蔽体铅当量厚度分析

根据建设单位提供的资料，本项目 DSA1、DSA2 手术室尺寸均为长 7.35m×宽 6.65m，有效使用面积 48.87m<sup>2</sup>；OR1 DSA 手术室尺寸为长 11.7m×宽 7.0m，有效使用面积 81.9m<sup>2</sup>；OR4 DSA 手术室尺寸为长 12.0m×宽 6.8m，有效使用面积 81.6m<sup>2</sup>。满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的规定：机房内最小有效使用面积>20m<sup>2</sup>，机房内最小单边长度>3.5m。

手术室屏蔽设计参数见表 10-6。由表可知，由表 10-6 可知，该项目 4 个 DSA 机房四周屏蔽墙体的等效铅当量为 3.0mm 铅当量；防护门窗的等效铅当量为 4.0mm 铅当量；地面、顶棚防护的等效铅当量至少为 2.9mm 铅当量，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“C 形臂 X 射线设备机房有用线束方向铅当量 2mm，非有用线束方向铅当量 2mm”的要求。

由于 X 射线装置辐射源强度与距离平方成反比、与屏蔽材料厚度成指数衰减关系，结合本项目手术室最小使用面积、最小单边长度和屏蔽墙体设计厚度、防护门设计厚度均已满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）标准相关要求，可以推断本项目 DSA 射线装置透视状态下，其手术室屏蔽墙体以及防护门外表面 30cm 处辐射剂量率可以满足 2.5μSv/h 限值要求。

### 2、辐射环境影响分析

该项目拟在 DSA1、DSA2、OR1 DSA、OR4 DSA 手术室内分别新增一台 DSA 设备（最大管电压为 150kV，最大管电流为 1250mA），DSA 包括透视和采集（采集）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 150kV 时，2mmAl 滤过下，离靶 1m 处的剂量率约为 15mGy/mA•min。管电压 125kV 时，2mmAl 滤过下，离靶 1m 处的剂量率约为 11mGy/mA•min；

根据拟采购设备厂家说明书，采集时最大管电压为 150kV，最大管电流取 1000mA，距靶点 1m 处的最大剂量率为 9.00×10<sup>8</sup>μGy/h；透视时最大管电压为 125kV，最大管电流取 60mA，距靶点 1m 处的最大剂量率为 3.96×10<sup>7</sup>μGy/h。

射线装置主束照向患者，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。





图 11-2 中心手术部手术室各关注点分布简图

由于本项目 DSA 中心 DSA1、DSA2 手术室尺寸、设备型号以及屏蔽设计参数均一致，因此本次 DSA1、DSA2 手术室辐射环境影响分析仅对 DSA1 手术室进行评价。

(1) 泄漏辐射剂量率估算

①估算方法

泄漏辐射剂量率计算公式参考《辐射防护手册第一分册-辐射源与屏蔽》([M]北京：原子能出版社，1987)中给出的公式计算；对于给定的屏蔽物质，屏蔽透射因子参考《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)附录 C 计算。

$$H_L = \frac{H_0 \times B \times f}{d^2} \quad (11-5)$$

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

式中： $H_L$ —关注点漏射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$f$ —设备射线泄漏率，取 0.1%；

$H_0$ —离靶 1m 处的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$d$ —计算点距源点的距离，m；

$B$ —透射因子；

$X$ —铅厚度，mm；

$\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  为铅对 X 射线辐射衰减有关的拟合参数，见表 11-12。

表 11-12 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压	材料	参数		
		$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
150kV	铅	1.757	5.177	0.3156
125kV	铅	2.219	7.923	0.5386

注： $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  取值参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C

⑧ 估算结果

本项目 DSA1、OR1 DSA、OR4 DSA 手术室防护门、观察窗、四周墙壁、楼上、楼下等各关注点的泄漏辐射剂量率估算结果分别见表 11-13、表 11-14、表 11-15。

表 11-13 DSA1 手术室各关注点泄漏辐射剂量率估算结果

工作模式	关注点位置描述	编号	R	X	$H_0$	H
采集	单位	/	m	mm	$\mu\text{Gy/h}$	$\mu\text{Gy/h}$
	患者防护门	A	3.975	4	9.00E+08	8.53E-01
	南墙外	B	3.975	3	9.00E+08	6.13E+00
	医生防护门	C	3.625	4	9.00E+08	1.03E+00
	东墙外	D	3.625	3	9.00E+08	7.37E+00
	观察窗	E	3.625	4	9.00E+08	1.03E+00
	污物门	F	3.975	4	9.00E+08	8.53E-01
	北墙外	G	3.975	3	9.00E+08	6.13E+00
	西墙外	H	3.625	3	9.00E+08	7.37E+00
	楼上	I	3.78	2.9	9.00E+08	8.32E+00
楼下	J	2.8	2.9	9.00E+08	1.52E+01	
透视	患者防护门	A	3.975	4	3.96E+07	2.11E-02
	南墙外	B	3.975	3	3.96E+07	2.00E-01
	医生防护门	C	3.625	4	3.96E+07	2.54E-02
	东墙外	D	3.625	3	3.96E+07	2.40E-01
	观察窗	E	3.625	4	3.96E+07	2.54E-02
	污物门	F	3.975	4	3.96E+07	2.11E-02
	北墙外	G	3.975	3	3.96E+07	2.00E-01

	西墙外	H	3.625	3	3.96E+07	2.40E-01
	楼上	I	3.78	3.4	3.96E+07	8.95E-02
	楼下	J	2.8	3.4	3.96E+07	1.63E-01

表 11-14 OR1 DSA 手术室各关注点泄漏辐射剂量率估算结果

工作模式	关注点位置描述	编号	R	X	H <sub>0</sub>	H
	单位	/	m	mm	μGy/h	μGy/h
采集	患者防护门	1	3.8	4	9.00E+08	9.33E-01
	南墙外	2	3.8	3	9.00E+08	6.70E+00
	东墙外	3	6.15	3	9.00E+08	2.56E+00
	污物门	4	6.15	4	9.00E+08	3.56E-01
	北墙外	5	3.8	3	9.00E+08	6.70E+00
	西墙外	6	6.15	3	9.00E+08	2.56E+00
	观察窗	7	6.15	4	9.00E+08	3.56E-01
	医生防护门	8	6.15	4	9.00E+08	3.56E-01
	楼上	9	3.78	2.9	9.00E+08	8.32E+00
	楼下	10	2.8	2.9	9.00E+08	1.52E+01
透视	患者防护门	1	3.8	4	3.96E+07	2.31E-02
	南墙外	2	3.8	3	3.96E+07	2.18E-01
	东墙外	3	6.15	3	3.96E+07	8.34E-02
	污物门	4	6.15	4	3.96E+07	8.81E-03
	北墙外	5	3.8	3	3.96E+07	2.18E-01
	西墙外	6	6.15	3	3.96E+07	8.34E-02
	观察窗	7	6.15	4	3.96E+07	8.81E-03
	医生防护门	8	6.15	4	3.96E+07	8.81E-03
	楼上	9	3.78	3.4	3.96E+07	8.95E-02
	楼下	10	2.8	3.4	3.96E+07	1.63E-01

表 11-15 OR4 DSA 手术室各关注点泄漏辐射剂量率估算结果

工作模式	关注点位置描述	编号	R	X	H <sub>0</sub>	H
	单位	/	m	mm	μGy/h	μGy/h
采集	患者防护门	11	6.3	4	9.00E+08	3.39E-01
	北墙外	12	6.3	3	9.00E+08	2.44E+00
	污物门	13	3.7	3	9.00E+08	9.84E-01
	西墙外	14	3.7	4	9.00E+08	7.07E+00
	南墙外	15	6.3	3	9.00E+08	2.44E+00
	东墙外	16	3.7	3	9.00E+08	7.07E+00
	观察窗	17	3.7	4	9.00E+08	9.84E-01
	医生防护门	18	3.7	4	9.00E+08	9.84E-01
	楼上	19	3.78	2.9	9.00E+08	8.32E+00
	楼下	20	2.8	2.9	9.00E+08	1.52E+01
透视	患者防护门	11	6.3	4	3.96E+07	8.40E-03
	北墙外	12	6.3	3	3.96E+07	7.95E-02
	污物门	13	3.7	3	3.96E+07	2.43E-02
	西墙外	14	3.7	4	3.96E+07	2.30E-01
	南墙外	15	6.3	3	3.96E+07	7.95E-02
	东墙外	16	3.7	3	3.96E+07	2.30E-01
	观察窗	17	3.7	4	3.96E+07	2.43E-02

	医生防护门	18	3.7	4	3.96E+07	2.43E-02
	楼上	19	3.78	3.4	3.96E+07	8.95E-02
	楼下	20	2.8	3.4	3.96E+07	1.63E-01

(2) 散射辐射剂量率估算

①估算方法

对于病人体表的散射 X 射线可以用反照率法估计。散射剂量率计算公式参考《辐射防护手册第一分册—辐射源与屏蔽》([M]北京：原子能出版社，1987)。

$$H_s = \frac{H_0 \times \alpha \times B \times (S/400)}{(d_0 \times d_s)^2} \quad (11-7)$$

式中： $H_s$ —关注点处的患者散射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$H_0$ —距靶点 1m 处的最大剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$\alpha$ —患者对 X 射线的散射比，取 0.0015（90°散射，相对于 400cm<sup>2</sup> 散射面积），取自《辐射防护手册第一分册》P437 表 10.1；

$S$ —散射面积，取典型值 400cm<sup>2</sup>；

$d_0$ —源与患者的距离，0.8m；

$d_s$ —患者与关注点的距离，m；

$B$ —屏蔽透射因子，按式 11-6 计算。

② 估算结果

本项目 DSA1、OR1 DSA、OR4 DSA 手术室防护门、观察窗、四周墙体等各关注点的散射辐射剂量率估算结果分别见表 11-16、表 11-17、表 11-18。

表 11-16 DSA1 手术室各关注点散射辐射剂量率估算结果

工作模式	关注点位置描述	编号	R	X	H <sub>0</sub>	H
	单位	/	m	mm	$\mu\text{Gy/h}$	$\mu\text{Gy/h}$
采集	患者防护门	A	3.975	4	9.00E+08	2.00E+00
	南墙外	B	3.975	3	9.00E+08	1.44E+01
	医生防护门	C	3.625	4	9.00E+08	2.40E+00
	东墙外	D	3.625	3	9.00E+08	1.73E+01
	观察窗	E	3.625	4	9.00E+08	2.40E+00
	污物门	F	3.975	4	9.00E+08	2.00E+00
	北墙外	G	3.975	3	9.00E+08	1.44E+01
	西墙外	H	3.625	3	9.00E+08	1.73E+01
	楼上	I	3.78	2.9	9.00E+08	1.95E+01
	楼下	J	2.8	2.9	9.00E+08	3.55E+01
透视	患者防护门	A	3.975	4	3.96E+07	4.94E-02
	南墙外	B	3.975	3	3.96E+07	4.68E-01
	医生防护门	C	3.625	4	3.96E+07	5.95E-02

	东墙外	D	3.625	3	3.96E+07	5.63E-01
	观察窗	E	3.625	4	3.96E+07	5.95E-02
	污物门	F	3.975	4	3.96E+07	4.94E-02
	北墙外	G	3.975	3	3.96E+07	4.68E-01
	西墙外	H	3.625	3	3.96E+07	5.63E-01
	楼上	I	3.78	3.4	3.96E+07	2.10E-01
	楼下	J	2.8	3.4	3.96E+07	3.82E-01

表 11-17 OR1 DSA 手术室各关注点散射辐射剂量率估算结果

工作模式	关注点位置描述	编号	R	X	H <sub>0</sub>	H
	单位	/	m	mm	μGy/h	μGy/h
采集	患者防护门	1	3.8	4	9.00E+08	2.19E+00
	南墙外	2	3.8	3	9.00E+08	1.57E+01
	东墙外	3	6.15	3	9.00E+08	6.00E+00
	污物门	4	6.15	4	9.00E+08	8.35E-01
	北墙外	5	3.8	3	9.00E+08	1.57E+01
	西墙外	6	6.15	3	9.00E+08	6.00E+00
	观察窗	7	6.15	4	9.00E+08	8.35E-01
	医生防护门	8	6.15	4	9.00E+08	8.35E-01
	楼上	9	3.78	2.9	9.00E+08	1.95E+01
	楼下	10	2.8	2.9	9.00E+08	3.55E+01
透视	患者防护门	1	3.8	4	3.96E+07	5.41E-02
	南墙外	2	3.8	3	3.96E+07	5.12E-01
	东墙外	3	6.15	3	3.96E+07	1.95E-01
	污物门	4	6.15	4	3.96E+07	2.07E-02
	北墙外	5	3.8	3	3.96E+07	5.12E-01
	西墙外	6	6.15	3	3.96E+07	1.95E-01
	观察窗	7	6.15	4	3.96E+07	2.07E-02
	医生防护门	8	6.15	4	3.96E+07	2.07E-02
	楼上	9	3.78	3.4	3.96E+07	2.10E-01
	楼下	10	2.8	3.4	3.96E+07	3.82E-01

表 11-18 OR4 DSA 手术室各关注点散射辐射剂量率估算结果

工作模式	关注点位置描述	编号	R	X	H <sub>0</sub>	H
	单位	/	m	mm	μGy/h	μGy/h
采集	患者防护门	11	6.3	4	9.00E+08	7.96E-01
	北墙外	12	6.3	3	9.00E+08	5.72E+00
	污物门	13	3.7	3	9.00E+08	2.31E+00
	西墙外	14	3.7	4	9.00E+08	1.66E+01
	南墙外	15	6.3	3	9.00E+08	5.72E+00
	东墙外	16	3.7	3	9.00E+08	1.66E+01
	观察窗	17	3.7	4	9.00E+08	2.31E+00
	医生防护门	18	3.7	4	9.00E+08	2.31E+00
	楼上	19	3.78	2.9	9.00E+08	1.95E+01
	楼下	20	2.8	2.9	9.00E+08	3.55E+01
透视	患者防护门	11	6.3	4	3.96E+07	1.97E-02
	北墙外	12	6.3	3	3.96E+07	1.86E-01

	污物门	13	3.7	3	3.96E+07	5.71E-02
	西墙外	14	3.7	4	3.96E+07	5.40E-01
	南墙外	15	6.3	3	3.96E+07	1.86E-01
	东墙外	16	3.7	3	3.96E+07	5.40E-01
	观察窗	17	3.7	4	3.96E+07	5.71E-02
	医生防护门	18	3.7	4	3.96E+07	5.71E-02
	楼上	19	3.78	3.4	3.96E+07	2.10E-01
	楼下	20	2.8	3.4	3.96E+07	3.82E-01

(3) 辐射剂量率

考虑泄漏辐射、散射辐射综合影响，DSA1、OR1 DSA、OR4 DSA 室不同模式下各关注点处总的辐射有效剂量率见表 11-19、表 11-20、表 11-21。

表 11-19 DSA1 手术室不同模式下各关注点总辐射剂量率估算结果

工作模式	关注点位置描述	X	泄漏辐射剂量率	散射辐射剂量率	总辐射剂量率
采集	单位	mm	μSv/h	μSv/h	μSv/h
	患者防护门	4	8.53E-01	2.00E+00	2.85E+00
	南墙外	3	6.13E+00	1.44E+01	2.05E+01
	医生防护门	4	1.03E+00	2.40E+00	3.43E+00
	东墙外	3	7.37E+00	1.73E+01	2.46E+01
	观察窗	4	1.03E+00	2.40E+00	3.43E+00
	污物门	4	8.53E-01	2.00E+00	2.85E+00
	北墙外	3	6.13E+00	1.44E+01	2.05E+01
	西墙外	3	7.37E+00	1.73E+01	2.46E+01
	楼上	2.9	8.32E+00	1.95E+01	2.78E+01
楼下	2.9	1.52E+01	3.55E+01	<b>5.07E+01</b>	
透视	患者防护门	4	2.11E-02	4.94E-02	7.05E-02
	南墙外	3	2.00E-01	4.68E-01	6.68E-01
	医生防护门	4	2.54E-02	5.95E-02	8.48E-02
	东墙外	3	2.40E-01	5.63E-01	<b>8.03E-01</b>
	观察窗	4	2.54E-02	5.95E-02	8.48E-02
	污物门	4	2.11E-02	4.94E-02	7.05E-02
	北墙外	3	2.00E-01	4.68E-01	6.68E-01
	西墙外	3	2.40E-01	5.63E-01	8.03E-01
	楼上	3.4	8.95E-02	2.10E-01	2.99E-01
	楼下	3.4	1.63E-01	3.82E-01	5.45E-01

表 11-20 OR1 DSA 手术室不同模式下各关注点总辐射剂量率估算结果

工作模式	关注点位置描述	X	泄漏辐射剂量率	散射辐射剂量率	总辐射剂量率
采集	单位	mm	μSv/h	μSv/h	μSv/h
	患者防护门	4	9.33E-01	2.19E+00	3.12E+00
	南墙外	3	6.70E+00	1.57E+01	2.24E+01
	东墙外	3	2.56E+00	6.00E+00	8.56E+00
	污物门	4	3.56E-01	8.35E-01	1.19E+00
	北墙外	3	6.70E+00	1.57E+01	2.24E+01
	西墙外	3	2.56E+00	6.00E+00	8.56E+00
	观察窗	4	3.56E-01	8.35E-01	1.19E+00

	医生防护门	4	3.56E-01	8.35E-01	1.19E+00
	楼上	2.9	8.32E+00	1.95E+01	2.78E+01
	楼下	2.9	1.52E+01	3.55E+01	<b>5.07E+01</b>
透视	患者防护门	4	2.31E-02	5.41E-02	7.72E-02
	南墙外	3	2.18E-01	5.12E-01	7.30E-01
	东墙外	3	8.34E-02	1.95E-01	2.79E-01
	污物门	4	8.81E-03	2.07E-02	2.95E-02
	北墙外	3	2.18E-01	5.12E-01	<b>7.30E-01</b>
	西墙外	3	8.34E-02	1.95E-01	2.79E-01
	观察窗	4	8.81E-03	2.07E-02	2.95E-02
	医生防护门	4	8.81E-03	2.07E-02	2.95E-02
	楼上	3.4	8.95E-02	2.10E-01	2.99E-01
	楼下	3.4	1.63E-01	3.82E-01	5.45E-01

表 11-21 OR4 DSA 手术室不同模式下各关注点总辐射剂量率估算结果

工作模式	关注点位置描述	X	泄漏辐射剂量率	散射辐射剂量率	总辐射剂量率
	单位	mm	$\mu\text{Sv/h}$	$\mu\text{Sv/h}$	$\mu\text{Sv/h}$
采集	患者防护门	4	3.39E-01	7.96E-01	1.14E+00
	北墙外	3	2.44E+00	5.72E+00	8.15E+00
	污物门	4	9.84E-01	2.31E+00	3.29E+00
	西墙外	3	7.07E+00	1.66E+01	2.36E+01
	南墙外	3	2.44E+00	5.72E+00	8.15E+00
	东墙外	3	7.07E+00	1.66E+01	2.36E+01
	观察窗	4	9.84E-01	2.31E+00	3.29E+00
	医生防护门	4	9.84E-01	2.31E+00	3.29E+00
	楼上	2.9	8.32E+00	1.95E+01	2.78E+01
	楼下	2.9	1.52E+01	3.55E+01	<b>5.07E+01</b>
透视	患者防护门	4	8.40E-03	1.97E-02	2.81E-02
	北墙外	3	7.95E-02	1.86E-01	2.66E-01
	污物门	4	2.43E-02	5.71E-02	8.14E-02
	西墙外	3	2.30E-01	5.40E-01	<b>7.70E-01</b>
	南墙外	3	7.95E-02	1.86E-01	2.66E-01
	东墙外	3	2.30E-01	5.40E-01	7.70E-01
	观察窗	4	2.43E-02	5.71E-02	8.14E-02
	医生防护门	4	2.43E-02	5.71E-02	8.14E-02
	楼上	3.4	8.95E-02	2.10E-01	2.99E-01
	楼下	3.4	1.63E-01	3.82E-01	5.45E-01

由上表可知，在采集状态下，DSA1、OR1 DSA、OR4 DSA 机房各屏蔽体外表面周围剂量当量率最大均为  $50.7\mu\text{Sv/h}$ ，根据 GBZ130-2020 附录 B 中“采集机房屏蔽外的周围剂量当量率不大于  $25\mu\text{Sv/h}$  为曝光管电流 100 mA 时的限值，若管电流不是 100mA，则应将测量值归一至 100 mA”，本项目采集时管电流取 1000mA，采集状态下将电流值归一至 100mA 时，DSA1、OR1 DSA、OR4 DSA 机房各屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率最大值为  $5.07\mu\text{Sv/h}$ ，满足相关

标准限值要求。

在透视状态下，DSA1、OR1 DSA、OR4 DSA 机房四周屏蔽体外表面 0.3m 处的最大周围剂量当量率分别为 0.803 $\mu$ Sv/h、0.73 $\mu$ Sv/h、0.77 $\mu$ Sv/h（在辐射屏蔽计算时有效剂量率与空气吸收剂量换算系数通常取 1Sv/Gy）、机房楼上、楼下人员停留处最大周围剂量当量率分别为 0.373 $\mu$ Sv/h、0.545 $\mu$ Sv/h，DSA1、OR1 DSA、OR4 DSA 机房屏蔽防护均能满足《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 $\mu$ Sv/h”的要求。

本项目 DSA1、DSA2 机房之间设置有共有控制室，保守以表 11-18 中观察窗 0.3m 处剂量率估算结果进行叠加，则采集、透视状态控制室内人员受到的最大剂量率为 0.68 $\mu$ Sv/h、0.17 $\mu$ Sv/h。由于控制室有一定空间，操作人员工作位实际受到的剂量率比上述计算值更小。

### 11.3 职业人员和公众年有效剂量估算

人员受到的附加年有效剂量可由式 11-8 计算得到。

$$H_w = H_R \times K \times T \times t \quad (11-8)$$

式中： $H_w$ —年受照剂量；

$H_R$ —计算点附加剂量率， $\mu$ Sv/h；

$K$ —有效剂量与吸收剂量换算系数，取 1；

$T$ —人员居留因子，参考《放射治疗机房的辐射屏蔽规范》<第 1 部分：一般原则>（GBZ/T 201.1-2007）附录 A 中的表 A.1，如表 11-22 所示；

$t$ —年曝光时间，h/a。

表 11-22 不同场所的居留因子

场所	居留因子 (T)		示例
	典型值	范围	
全居留	1	1	管理人员或职业办公室、治疗计划区、治疗控制室、护士站、咨询台、有人护理的候诊室以及周围建筑物中的驻留区
部分居留	1/4	1/2~1/5	1/2: 相邻的治疗室、与屏蔽室相邻的病人检查室 1/5: 走廊、雇员休息室、职员休息室
偶然居留	1/16	1/8~1/40	1/8: 各治疗室房门 1/20: 公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室、病人滞留区域、屋顶、门岗室 1/40: 仅有来往行人车辆的户外区域、无人看管的停

车场，车辆自动卸货/卸客区域、楼梯、无人看管的电梯

### 11.3.1 核医学科剂量估算

#### 11.3.1.1 显像检查

##### 1) 工作人员剂量估算

PET 显像检查过程中放射性工作人员主要涉及 PET-MR 设备控制室操作人员、药物分装与注射（含质控）人员。

##### ① 药物分装、质控、转移、注射环节

根据医院提供的资料，医院核医学科投入运行后  $^{18}\text{F}$  每年检查 3750 人次，每天检查 15 人次，年工作 250 天。每日分装 3 次，每次分装时间以 1min 计，则每日分装时间为 3min；每人转移、注射过程分别以 1min 计，则每日转移、注射时间均为 15min，因此，分装、转移及注射环节年受照时间分别为 12.5h、62.5h、62.5h。

考虑每天需要对  $^{18}\text{F}$  药物进行 1 次质控操作，每次质控操作时间取 3min 计算，质控环节年受照时间为 12.5h。

根据上述放射性工作人员操作位处剂量率计算结果以及人员年受照射时间，从保守角度，估算出药物分装、质控、注射环节所致职业人员年附加有效剂量见表 11-23。

表 11-23 显像检查药物分装、质控、转移及注射所致  
辐射工作人员年附加有效剂量估算结果表

受影响人员类型	关注点位置描述	关注点剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	居留因子	照射时间 h	总附加年剂量 $\text{mSv/a}$	
放射性工作人员	分装环节	$^{18}\text{F}$ 通风柜外表面 5cm 处	1.4	1	12.5	0.02
	质控环节	$^{18}\text{F}$ 质控操作位	2.5	1	12.5	0.03
	转移过程	$^{18}\text{F}$ 药物转移过程人员操作位	1.6	1	62.5	0.10
	注射过程	$^{18}\text{F}$ 药物注射过程人员操作位	26.4	1	62.5	1.65
合计					1.80	

##### ② 摆位、显像检查过程

PET-MR 操作人员主要进行摆位、显像检查，根据建设单位提供的资料，每天检查 15 人次，PET-MR 每年总计检查患者 3750 人次，每次检查时间约

20min，全年累计检查时间共计 1250h，从保守角度考虑，考虑 PET-MR 受检者注射  $^{18}\text{F}$  药物影响，取控制室观察窗 30cm 剂量率作为放射性工作人员显像检查过程中操作位置剂量率；每次工作人员指导受检者摆位时间按每人 1min 计（年照射时间 62.5h），距离注射  $^{18}\text{F}$  药物的受检者取 1.0m，估算结果见表 11-24。

表 11-24 PET-MR 指导病人摆位、显像检查环节所致放射性工作人员年附加有效剂量估算结果表

受影响人员类型		关注点位置描述	关注点剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	居留因子	照射时间 h	附加年有效剂量 mSv/a
放射性工作人员	摆位环节	工作人员指导摆位位置	34.0	1	62.5	2.13
	显像检查	PET-MR 控制室工作人员操作位	0.3	1	1250	0.38
	合计					2.51

由上述表11-23、表11-24计算结果可知，核医学科 $^{18}\text{F}$ 显像检查过程中所致分装、质控、转移及注射人员最大年附加有效剂量为1.80mSv，所致PET-MR操作人员最大年附加有效剂量为2.51mSv。本项目核医学科显像检查拟配备分装、质控、转移及注射人员2人、PET-MR显像检查工作人员2人，上述人员通过轮换作业方式，可有效分摊上述剂量，且本次估算过程中，未考虑药物从注射到检查期间衰变影响，项目运行所致实际工作人员年有效剂量显著低于上述估算结果。

综上，核医学科  $^{18}\text{F}$  显像检查过程中所致放射性工作人员最大年附加剂量为 2.51mSv，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准限值（20mSv/a）及本次评价提出剂量约束值要求（辐射工作人员 3mSv/a）。

## 2) 公众年附加有效剂量估算

本项目核医学科显像检查控制区入口、出口设置门禁系统，除患者外，其它公众难以进入控制区区域内。根据平面布局图，本项目对公众的影响主要考虑注射后候诊室北侧室外庭院、PET-MR 机房南侧走廊、核医学科患者入口防护门外、楼上护士长、主任、资料室、办公室、会议/示教室人、临床检验室，楼下机房、耗材库、更衣间的公众人员。对以上公众的年受照剂量进行估算，估算结果见表 11-25。

表 11-25 核医学科所致公众年有效剂量估算结果

关注点	关注点剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	照射时间 h	居留因子	年附加有效剂量 $\text{mSv/a}$
北侧室外庭院	1.0	2000	1/40	0.05
南侧走廊	0.1	250	1/5	5.00E-03
西侧走廊	1	250	1/5	0.05
东侧走廊	0.6	250	1/5	0.03
楼上护士长、主任、资料室、办公室、会议/示教室人、临床检验室	6.44E-02	1500	1	9.66E-02
楼下机房、耗材库、更衣间	0.4	250	1/20	4.79E-03

由表 11-25 可知核医学科运行过程中所致公众最大年附加剂量为  $9.66 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，由于本项目评价范围内其它环境保护目标离核医学科距离更远，因此本项目评价范围内其它环境保护目标最大年附加剂量远小于  $9.66 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准限值（ $1 \text{mSv/a}$ ）及本次评价提出剂量约束值要求（公众  $0.1 \text{mSv/a}$ ）。本小于上述公众剂量计算结果

#### 11.3.1.2 敷贴治疗过程人员剂量估算

##### 1) 职业人员年附加剂量

工作人员身体距药物  $0.5 \text{m}$  时辐射剂量率为  $0.152 \mu\text{Gy/h}$ ， $^{32}\text{P}$  敷贴治疗时制备  $^{32}\text{P}$  敷贴器用时约  $2 \text{min/次}$ ， $^{32}\text{P}$  敷贴治疗患者日最大受检人数 80 人，全年治疗患者 20000 人，则年运行时间为  $667 \text{h}$ ，则敷贴治疗过程中所致放射性工作人员最大年附加剂量为  $0.036 \text{mSv}$ ，该数据小于本项目工作人员剂量约束值  $3 \text{mSv/a}$ 。

##### 2) 公众年附加有效剂量

在无防护状态下， $1 \text{mCi } ^{32}\text{P}$  裸源周围  $1 \text{m}$  处的辐射剂量率为  $0.01 \mu\text{Gy/h}$ ，敷贴室实体屏蔽外表面及防护门外表面距离放射源均大于  $1 \text{m}$ ，因此敷贴室外  $30 \text{cm}$  处辐射剂量率均低于  $0.01 \mu\text{Gy/h}$ 。保守考虑，年工作时间取  $2000 \text{h}$ ，则敷贴治疗过程中所致公众最大年附加剂量为  $0.027 \text{mSv}$ ，该数据小于本项目公众剂量约束值  $0.1 \text{mSv/a}$ 。

#### 11.3.2 DSA 机房

根据建设单位提供的资料，DSA 中心每台 DSA 每年最多进行 190 台手术，

中心手术部 DSA 每台 DSA 每年最多进行 170 台手术。运行包括透视和采集两种模式，每台手术平均曝光时间取 13.5min（采集时间 0.5min、透视时间 13min）。项目在不同工作模式下年曝光时间见表 11-26。

表 11-26 不同工作模式下的曝光时间一览表

工作场所	工作模式	单台手术平均出束时间	年预计手术次数(台)	年累积出束时间 (h)
DSA 中心	透视	13min	190	41.2
	采集	0.5min	190	1.6
中心手术部	透视	13min	170	36.8
	采集	0.5min	170	1.4

1) 职业人员年附加剂量

在采集模式下，项目拟配备 1 名放射工作人员，采取隔室操作的方式，通过观察窗和操作台上监控系统观察手术室内病人情况，并通过对讲系统与病人交流；在透视模式下，项目拟配备 2 名医护人员在 DSA 手术室内对患者进行手术。介入手术时第一术者位医生、第二术者位护士穿戴铅衣、头戴铅帽、铅眼镜等防护用品，位于铅吊屏和床侧铅帘后。

① 控制室职业人员年附加有效剂量估算

根据表 11-19~表 11-21 的计算结果，根据个人剂量估算公式，操作间内职业人员可能受到的年有效剂量见表 11-27。

表 11-27 DSA 手术室控制室的职业人员附加年有效剂量估算结果一览表

关注点位置描述	采集状态		透视状态		居留因子	年有效剂量估算 (mSv/a)
	总剂量率 (μSv/h)	出束时间 (h/a)	总剂量率 (μSv/h)	出束时间 (h/a)		
DSA1 手术室观察窗外 0.3m 处	3.43E+00*	1.6	8.48E-02*	41.2	1	8.98E-03
OR1 DSA 手术室观察窗外 0.3m 处	1.19E+00*	1.4	2.95E-02*	36.8	1	2.75E-03
OR4 DSA 手术室观察窗外 0.3m 处	3.29E+00*	1.4	8.14E-02*	36.8	1	7.60E-03

备注：\*表示从保守角度考虑，观察窗外表面 0.3m 剂量率之和作为控制室工作人员操作位剂量率。

② 介入手术医护人员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 400μGy/h”，因此本次评价保守按照 X 射线设备在确保铅屏风 and 床侧铅挂帘等防护设施正常使用的情况下，手术医生和

护士铅衣外按照在透视防护区测试平面上的空气比释动能率为 400 $\mu$ Sv/h 进行计算。

在 DSA 管电压 125kV 时，医护人员穿 0.5mm 铅当量厚铅衣的辐射透射因子 B 为  $5.57 \times 10^{-2}$ ，DSA 中心单个 DSA 机房透视情况下年累积曝光时间 41.2h，中心手术部单个 DSA 机房透视情况下年累积曝光时间 36.8h。介入手术所致 DSA 中心、中心手术部单个手术室内医护人员年总剂量分别为 0.92mSv、0.82mSv。医院项目拟设置 4 组医护人员（1 名介入手术医生、护士）进行，则每名介入人员的年最大有效剂量为 0.92mSv。

由于本项目 DSA 介入治疗不新增辐射工作人员，在医院内进行调配。根据医院 2021 年 3 月~2022 年 3 月个人剂量检测报告，医院辐射工作人员年有效剂量最大值为 1.46mSv，叠加本项目新增 DSA 运行贡献值，则医院辐射工作人员年有效剂量最大值为 2.38mSv，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于剂量限值的要求，也低于本报告提出的约束限值 3mSv/a。

事实上，上述估算偏保守，忽略了 DSA 设备材料的衰减作用和人体的吸收作用，此外项目 DSA 设备床边操作系统、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。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小于理论计算值。

## 2) 公众年附加有效剂量

DSA 正常运行时，公众受到的年附加有效剂量见表 11-28、表 11-29、表 11-30。

表 11-28 DSA1 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	采集状态		透视状态		居留因子	年有效剂量估算 mSv/a
	剂量率 $\mu$ Sv/h	出束时间 h/a	剂量率 $\mu$ Sv/h	出束时间 h/a		
患者防护门	2.85E+00	1.6	7.05E-02	41.2	1/8	9.34E-04
南墙外	2.05E+01	1.6	6.68E-01	41.2	1/5	1.21E-02
污物门	2.85E+00	1.6	7.05E-02	41.2	1/8	9.34E-04
北墙外	2.05E+01	1.6	6.68E-01	41.2	1/5	1.21E-02
西墙外	2.46E+01	1.6	8.03E-01	41.2	1/20	3.62E-03
楼上	2.78E+01	1.6	2.99E-01	41.2	1/20	2.84E-03
楼下	5.07E+01	1.6	5.45E-01	41.2	1/2	5.18E-02

表 11-29 OR1 DSA 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	采集状态		透视状态		居留因子	年有效剂量估算 mSv/a
	剂量率 μSv/h	出束时间 h/a	剂量率 μSv/h	出束时间 h/a		
患者防护门	3.12E+00	1.4	7.72E-02	36.8	1/8	9.01E-04
南墙外	2.24E+01	1.4	7.30E-01	36.8	1/5	1.17E-02
东墙外	8.56E+00	1.4	2.79E-01	36.8	1/20	1.11E-03
污物门	1.19E+00	1.4	2.95E-02	36.8	1/8	3.44E-04
北墙外	2.24E+01	1.4	7.30E-01	36.8	1/5	1.17E-02
西墙外	8.56E+00	1.4	2.79E-01	36.8	1	2.22E-02
楼上	2.78E+01	1.4	2.99E-01	36.8	1	5.00E-02
楼下	5.07E+01	1.4	5.45E-01	36.8	1	9.10E-02

表 11-30 OR4 DSA 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	采集状态		透视状态		居留因子	年有效剂量估算 mSv/a
	剂量率 μSv/h	出束时间 h/a	剂量率 μSv/h	出束时间 h/a		
患者防护门	1.14E+00	1.4	2.81E-02	36.8	1/8	3.28E-04
北墙外	8.15E+00	1.4	2.66E-01	36.8	1/2	1.06E-02
污物门	3.29E+00	1.4	8.14E-02	36.8	1/5	1.52E-03
西墙外	2.36E+01	1.4	7.70E-01	36.8	1/8	7.68E-03
南墙外	8.15E+00	1.4	2.66E-01	36.8	1/5	4.24E-03
东墙外	2.36E+01	1.4	7.70E-01	36.8	1	6.14E-02
楼上	2.78E+01	1.4	2.99E-01	36.8	1/20	2.50E-03
楼下	5.07E+01	1.4	5.45E-01	36.8	1	9.10E-02

由估算结果可知，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  $9.10 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中年剂量基本限值（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）。

## 11.4 三废环境影响分析

### 11.4.1 放射性废水环境影响分析

本项目 DSA 机房不产生放射性废水，仅核医学科产生放射性废水。本次在 3 号楼负二层中部设置衰变池，槽式设计，包括 1 个  $8\text{m}^3$  沉淀池和 3 个各  $8\text{m}^3$  的衰变池，总容积共  $24\text{m}^3$ ，衰变池交替收储、存放和排放，当第三个衰变池存满时可将第一个衰变池内的废水排放，衰变池设高水位报警装置，利用阀闸控制进水流向。

根据估算，项目每天产生的放射性废水总量为  $0.2195\text{m}^3/\text{d}$ ，在 3#衰变池注满时，1#衰变池的污水已暂存 72 天，满足《核医学辐射防护与安全要求》

(HJ1188-2021)中“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”的要求。

进行  $^{18}\text{F}$  显像的患者需要进行等候、留观，停留时间较长且需要上厕所，保守按核素使用量的 33%进入患者排泄废水。可估算出衰变池外排废水中核素浓度，估算结果见表 11-31。

表 11-31 衰变池外排废水活度浓度估算结果

核素	患者核素日最大用量 (Bq)	废水日排放活度 (Bq)	半衰期	活度浓度 (Bq/L)	单一核素 ALImin
$^{18}\text{F}$ 显像检查	$8.50 \times 10^9$	$2.80 \times 10^9$	110min	<0.001	$2.15 \times 10^8$

注：单一核素 ALImin 根据 GB18871-2002 中 B1.3.3 估算

由估算结果可知，单次外排废水中  $^{18}\text{F}$  的活度浓度小于 10Bq/L，满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)中排放要求。

#### 11.4.2 废气环境影响分析

##### (1) 放射性废气

本项目 DSA 机房不产生放射性废气，仅核医学科放射性核素操作过程中会产生一定量的放射性气体。

根据建设单位提供的资料，项目拟为核医学科源存储室配备2个通风柜分别进行 $^{18}\text{F}$ 、 $^{32}\text{P}$ 的操作，通风柜内保持负压操作，通风柜顶壁设置活性炭过滤装置，放射性废气由专用通道引至核医学科东侧风井，经活性炭过滤装置吸附处理后排放，排放口高于所在建筑物屋脊。

此外，核医学科控制区设置独立的负压排风系统（与清洁区分开），在控制区各功能房间内设分支风管，最终汇集到总排风管内，引至核医学科东侧风井，经活性炭吸附过滤后排放，排放口高出所在建筑楼顶。

##### (2) 非放射性废气

空气在射线电离作用下会产生臭氧和氮氧化物等有毒有害气体，其中以臭氧的危害最大。DSA 设备工作场所设置通风装置，其产生的  $\text{NO}_x$ 、 $\text{O}_3$  等废气经通风管道引至楼顶屋脊排放。

#### 11.4.3 固废环境影响分析

核医学科产生的放射性固体废物主要为放射性核素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、其他一次性卫生用品、废  $^{32}\text{P}$

敷贴器、活性炭等医疗废物。放射性废物将按核素种类进行分类收集，并标明核素种类和收集日期， $^{18}\text{F}$ 核素的放射性固废暂存时间超过30天， $^{32}\text{P}$ 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，可作为一般固废医疗废物处理。

放射性固体废物应安排专人负责管理废物的存储和处理，建立废物存储和处理台账，详细记录放射性废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息。废物管理人员应熟悉国家有关放射性废物管理法律法规，具备掌握放射防护和剂量监测专业技术的安全文化素养，接触放射性废物的工作人员必须穿放射性污染防护服，并佩戴个人剂量计。

## 11.5 事故环境影响分析

### 11.5.1 核医学科

#### (1) 可能发生的辐射事故

本项目核医学科可能发生辐射事故为：

##### 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。

#### (2) 辐射事故防范措施

##### 1) 放射性药品丢失、被盗事故

为了防止放射性药品贮存期间发生丢失、被盗事故，医院拟采取如下防范措施：

①放射性药品贮存场所（源存储室）均位于核医学科控制区内，在核医学科控制区入口、出口处设计单向门禁系统，限制无关人员进入此区域；

②在源存储室、注射以及主要通道处设计安装视频监控系统，由医院进行全天监控；

③对放射性药品贮存场所设置门锁，采用双人双锁进行管理；

④建立放射性药品台账制度，实现专人管理，明确放射性药物的签收、储

存和发放等环节有详细的程序和记录；

应急措施：当发生放射性药品被盗事故，事故发生者应立即上报医院辐射安全管理领导小组。接到报告后，医院应立即启动辐射事故应急预案。同时，保护事故现场，防止无关人员进入现场，在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，并向当地生态环境主管部门和公安部门报告，协助公安、生态环境主管部门对被盗的放射性药物进行侦察和追缴。禁止缓报、瞒报、谎报或者漏报辐射事故。

## 2) 放射性药品洒漏事故

工作人员在分装、注射或给药过程中，由于工作人员未按操作规程要求或操作失误，可能导致盛装放射性药物的试剂瓶被打翻或者破碎，进而导致放射性药物洒漏在工作台面以及地上。假如发生洒漏事故，人员在其附近逗留时间越长，接受的剂量也就越大，同时距离事故点距离越近，所受到的剂量越大。对事故洒漏场地进行清污的人员，应加强个人防护措施，减少接触时间和尽量增加操作距离，以减少辐射影响。

防范措施：核医学科分装、注射或给药工作人员应严格按照操作规程操作，增加操作熟练程度，减少操作时间，以减少辐射影响。

应急措施：若发生非密封放射性物质洒漏事故，应迅速用吸附衬垫或其他物质吸干溅洒的液体，用酒精药棉或纸巾进行擦拭，以防止污染扩散。吸附、擦拭物质作为放射性固体废物，放入带有屏蔽功能的废物桶内。并对污染区域进行表面污染监测， $\beta$ 表面污染大于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，用酒精药棉或纸巾进行擦拭，直到污染区表面污染小于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

## 11.5.2 DSA机房

### (1) 可能发生的辐射事故

屏蔽厚度不能满足辐射安全需求，造成工作人员和公众受照；DSA装置不能正常关机；工作状态指示灯、电离辐射警示标识等防护设施不完善或失灵，导致人员误入DSA机房内而受照；工作人员不按要求佩戴个人防护用品，造成超剂量照射。

### (2) 采取的预防措施

①屏蔽厚度不能满足辐射安全需要，在此情况下，可使得控制室及周边环

境辐射水平较高，因而造成辐射工作人员和公众受到照射。因此，在竣工验收前应进行验收监测，监测不达标对机房进行整改，增加屏蔽厚度。

② DSA 装置不能正常关机，可导致工作人员和误入的公众受到照射。定期检查，对出现故障的 DSA 装置及时进行维修。

③ 工作状态指示灯、电离辐射警示标志等防护设施不完善或失灵，导致工作人员和公众误入而受到照射。定期巡查，及时更换出现损坏的工作状态指示灯、电离辐射警示标志等防护设施。

④ 工作人员不按要求佩戴个人防护用品，可使工作人员受到超剂量照射。加强工作人员教育培训，增加其安全意识，监督其严格按照相关要求佩戴个人防护用品。

### (3) 管理措施

① 配备必要的辐射监测仪器，对工作场所实施必要辐射环境监测，及时发现使用过程中可能存在的射线的泄露；

② 射线装置设计有紧急停机按钮，医院应定期进行射线装置维修和维护，及时发现问题；

③ 制定规范的操作规程，定期进行门灯联动装置、工作指示灯检查，防止人员误入；定期对工作状态指示灯等进行检修。

④ 完善 DSA 的安全操作规程，加强人员辐射安全防护知识培训；配备必要的铅衣、铅屏风及铅帘等防护用品。

⑤ 配备必要的辐射监测仪器，对工作场所实施必要辐射环境监测，及时发现使用过程中可能存在的射线泄漏。

## 11.6 辐射环境影响评价

西安市儿童医院经开院区核技术利用项目正常运行时，工作场所及周边环境辐射环境影响满足相关标准限值要求；项目正常运行所致辐射工作人员、公众年附加有效剂量满足本次评价的剂量约束值要求；项目选址可行、平面布置基本合理。评价认为：西安市儿童医院经开院区核技术利用项目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和防护条例》、《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。

西安市儿童医院已成立以李安茂院长为组长的辐射安全管理领导小组，明确了机构成员组成以及相关工作职责，分工明确、职责分明。

环评要求：医院还应根据原陕西省环保厅关于印发新修订的《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》（陕环发[2018]29 号）相关规定，不断完善医院辐射安全的管理，具体为：决策层应关于辐射安全目标做出明确文字承诺，提供辐射安全所需的人力资源及物质保障；辐射防护负责人负责编制辐射安全年度评估报告，定期对辐射工作场所辐射防护设施和安全设施进行检查、维护，发现安全隐患及时整改，保证其安全性和可靠性；直接从事放射工作的作业人员应确保岗位辐射安全做出承诺等。

**12.2 辐射安全管理规章制度**

西安市儿童医院已制定了较为完善的辐射安全管理制度和操作规程，通过不断完善相关的辐射安全管理制度和人员培训，确保放射性物质和射线装置的安全使用。目前医院已制定的制度有：《辐射工作人员培训管理制度》、《放射工作人员职业健康管理制度》、《辐射人员个人剂量监测管理制度》、《辐射安全防护设施维护与维修制度》、《辐射环境监测计划》、《辐射安全管理制度》、《辐射事故应急预案》、《射线装置使用管理制度》、《辐射环境监测设备管理制度》、《DSA 辐射工作人员岗位职责》、《DSA 操作规程》、《全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度》等。

环评要求：本次扩建的核医学科属于医院首次建设项目，因此本项目建成后，医院应针对本次新增的核医学科工作场所制定相应的辐射安全管理制度、辐射事故应急处理措施、质量保证大纲、操作规程及岗位职责、放射性同位素使用登记台帐管理制度等规章管理制度，同时，针对该项目新增的射线装置修

改并完善医院已有的规章管理制度，将本次评价内容纳入现有的管理培训等规章制度安全制度之中。根据本项目核医学科运行中可能出现的辐射事故，结合项目实际情况，修订并完善现有的《辐射事故应急预案》。

环评要求：医院应对涉及放射性操作的辐射工作人员定期进行职业病检查，建立个人职业病健康监护档案；所有涉及放射性的人员均应配备个人剂量计，定期检测，建立个人剂量档案；本项目工作场所应为辐射工作人员、受检者配备个人辐射防护用品，数量应满足开展工作需要。

### 12.3 辐射监测

#### 12.3.1 监测仪器

医院已配备 1 台 X- $\gamma$  辐射剂量率检测仪，仪器能够正常使用。针对本项目，医院应补充配置以下监测仪器，见表 12-1。

表 12-1 监测仪器配置情况

类型	名称	数量	使用场所
监测仪器	活度计	$\geq 1$ 套	核医学科
	$\alpha$ 、 $\beta$ 表面污染仪	$\geq 1$ 台	核医学科
	X- $\gamma$ 辐射剂量率监测仪	$\geq 2$ 台	核医学科、介入中心
	个人剂量计	若干	根据辐射工作人员进行配备（其中介入人员配备双个人剂量计）

#### 12.3.2 验收监测

项目正式投运前，医院应委托有资质的监测单位对核医学以及 DSA 机房以及周边环境进行竣工环境保护验收监测，并检查各项辐射安全设施的有效性，确保其处于正常的工作状态。验收通过后，方可投入正常使用。

#### 12.3.3 日常监测

运行期医院应安排人员，利用监测仪器定期对项目所在地以及周边环境日常监测，制定日常监测方案，监测数据存档备查。

(1) 监测因子：X- $\gamma$  辐射剂量率、 $\beta$  表面污染

(2) 监测点位：本项目日常监测可参考环评提出的监测计划建议（表 12-2）或竣工验收监测布点方案进行日常监测

医院应对配备的便携式监测仪器每年进行检定或校准，确保仪器处于有效的范围之内。按照监测计划定期对项目所在地及周边环境进行日常监测，将监测结果与标准规定值进行比较，做好日常监测记录，存档备查。当测量值高于

标准规定值时，应立即查明原因并采取相应的整改措施，确保其剂量率控制水平满足标准限值要求。

表 12-2 放射性工作场所以及外环境监测计划建议

工作场所	监测因子	监测点位	监测方法	监测频次	监测仪器
核医学科	γ 辐射剂量率	源存储室：通风柜操作位、通风柜表面5cm处； <sup>18</sup> F、 <sup>32</sup> P屏蔽容器：表面5cm及1m处	《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）	每月自测一次，委托有资质单位每年监测一次	X-γ辐射剂量率监测仪
		PET-MR检查室：机房屏蔽墙体外表表面30cm处、防护门及缝隙外表表面30cm处、观察窗及缝隙外表表面30cm处、顶棚以及地坪人员可达区域等，工作人员操作位（含摆位位置），管线洞口			
		<sup>18</sup> F注射室：地面、人员操作位、屏蔽墙体外表表面30cm处、防护门及缝隙30cm处、顶棚以及地坪人员可达区域等			
		留观/抢救室、PET注射后候诊室：屏蔽墙体外表表面30cm处、防护门及缝隙30cm处、顶棚以及地坪人员可达区域等、地面、洗手池表面、座椅表面、患者卫生间地面以及可能受到污染位置			
		敷贴治疗：贮源箱表面5cm以及1m处、操作位			
		放射性废物桶表面5cm及1m处、核医学科附近环境			
	β 表面污染	放射性药物分装、注射后候诊等场所：工作台面、地面、洗手池表面、座椅表面、患者卫生间地面以及可能受到污染位置	《表面污染测定 第1部分：β发射体（E <sub>βmax</sub> >0.15MeV）和α发射体》（GB/T14056.1-2008）	每月自测一次，委托有资质单位每年监测一次	α、β表面污染仪
		核医学科工作人员手、皮肤暴露部分以及工作服、手套、鞋、帽等		每次工作结束后	
DSA手术室	X-γ辐射剂量率	透视条件下，手术室屏蔽墙体外表表面30cm处、防护门窗及缝隙外表表面30cm处、顶棚以及地坪人员可达区域等，工作人员操作位，管线洞口及通风口处	《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）	每月自测一次，委托有资质单位每年监测一次	X-γ辐射剂量率监测仪

#### 12.3.4 年度监测

医院每年应委托有资质的监测单位对放射性工作场所以及周边环境进行年度监测，每年至少监测一次。

#### 12.3.5 个人剂量监测

西安市儿童医院已为现有辐射工作人员配备个人剂量计，辐射工作人员按照相关要求佩戴，每季度送有资质单位检测 1 次，并建立了个人剂量档案，个人剂量档案终生保存。

针对本项目新增人员，医院应配备满足工作人员数量的个人剂量计，其中 DSA 机房介入工作人员每人应配备 2 个（铅衣内外各配备 1 个），其余工作场所工作人员每人 1 个。新增人员应纳入个人剂量监测制度中，每季度进行个人剂量监测并建立档案。

### 12.3.6 职业健康检查

西安市儿童医院已为现有辐射工作人员安排了岗前、在岗、离岗放射性职业健康检查，在岗检查至少每 2 年进行一次，并建立了职业健康监护档案。

针对本项目新增人员，医院应安排岗前及在岗体检，并建立健康监护档案。

根据国家以及陕西省地方法律法规要求，医院每年应对放射性工作场所以及周边环境进行安全和防护状况评估，需要将日常监测、年度监测、个人剂量监测、职业健康检查等内容纳入该年度评估报告，对医院存在的安全隐患及时提出整改方案，安全评估报告应于每年 1 月 31 日前报辐射安全许可证发证机关。

## 12.4 辐射事故应急

西安市儿童医院已根据《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》等相关法律法规规定，制定了《西安市儿童医院辐射事故应急预案》。

在应急预案文件中，医院已明确了应急机构组成及职责，分别成立了辐射事故应急领导小组、现场处置组、现场救护组、后勤保障组和辐射事故应急技术联络组，以主管领导为组长，医务科、护理部、设备科及各临床医技科室主任为组员。针对现有核技术利用项目可能发生的辐射事故类型，明确了报告和处理程序、应采取的应急处置措施、信息报告与联系方式。此外，为应急部门配备了固定电话、电离辐射警示标志、监测仪、铅衣等应急物质。日常工作中，医院安排每年组织一次院内辐射事故应急演练。医院制定的辐射事故应急预案已经具备了一定的辐射事故应急处置能力，能够基本满足现有辐射安全管

理要求。

针对本项目新增的核医学科工作场所及 DSA 机房等，西安市儿童医院应进一步修订、完善辐射事故应急预案，对放射性药物泄漏洒落、丢失被盗以及 DSA 设备误照射等提出针对性的应急措施。依据国家相关法律法规、标准，不断对进行补充修改、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 环保投资和环保验收

### 12.5.1 环保投资

本项目总投资 7700 万元，环保投资 93 万元，为项目投资额的 1.21%，环保投资比例适宜。环保投资主要为辐射安全设施购置费用、个人防护用品的购置费用、辐射环境监测费用、监测仪器的购置及检测费用、职业病健康检查费用等。本项目环保投资一览表见表 12-3。

表 12-3 环保投资估算表

实施时段	类别	污染源或污染物	污染防治措施或设施	费用
项目准备阶段	环境咨询	—	—	20.0
施工期	废气	施工扬尘等	定期洒水	0.5
	固体废物	生活垃圾	统一纳入医院生活垃圾清运系统	0.5
项目验收阶段	竣工验收监测	—	—	15.0
运营期	固体废物	含 $^{18}\text{F}$ 废针头、注射器、棉签、口罩、废试剂瓶等、废活性炭、废 $^{32}\text{P}$ 敷贴器	$^{18}\text{F}$ 、 $^{32}\text{P}$ 废物存储 30 天后，按照医疗废物处理	8.0
	废气	DSA 机房产生的 $\text{NO}_x$ 、臭氧	通过排风装置排出	6.0
		核医学科放射性气溶胶，含少量 $^{18}\text{F}$ 、 $^{32}\text{P}$	经活性炭吸附后，经专用管道排入大气	13.0
	辐射环境	X 射线、 $\gamma$ 射线	门-灯联锁、视频监控等辐射安全设施	20.0
	机房防护墙、防护门及观察窗进行屏蔽		计入工程投资	
环境管理	制定环境管理制度			—
	配备个人防护用品			3.0
环境监测	配备辐射环境检测仪器，定期自检			3.0
人员管理	辐射工作人员配备个人剂量计，定期送检			2.0
	辐射工作人员至少每 2 年进行放射性职业健康体检			2.0
总投资（万元）				93

### 12.5.2 环保验收

西安市儿童医院本项目建设完成后，医院应及时委托有资质的监测机构进行环保竣工验收监测，按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评〔2017〕4号）规定的程序进行环境保护自主验收工作。本项目环保验收清单建议见表12-4。

表 12-4 竣工环境保护验收清单（建议）

项目		验收要求
辐射安全与环境保护管理机构		成立辐射安全与环境保护管理机构，安排专职辐射管理人员负责辐射安全与环境保护管理工作，以文件形式明确辐射防护管理机构职责。
辐射安全管理制度		根据环评要求以及陕环办发〔2018〕29号文件要求，结合项目的实际情况，制定并完善操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、监测方案、辐射事故应急预案等规章制度，辐射安全制度具有针对性、可操作性。
辐射屏蔽措施		核医学科工作场所及 DSA 机房平面布局与报告中描述一致，各工作场所机房屏蔽能力分别不低于报告中屏蔽要求
辐射安全设施	核医学科	控制区患者出口、入口处分别设置单向门禁系统；控制区出入口处张贴醒目的电离辐射警示标志；PET-MR 显像检查室患者出入口上方设置工作状态指示灯，患者出入口设置门-灯连锁装置和防夹装置，平开防护门设置闭门装置；核医学科设置分区标识及患者或受检者导引标识；核医学科留观/抢救室、PET 注射后候诊区、注射室、源存储室、分装/质控室、放射性废弃物间设置视频监控系统；PET 显像检查室、PET 注射后候诊区、注射室、留观/抢救室等设置语音对讲系统等
	DSA 机房	机房防护门外张贴有电离辐射警告标志、患者出入防护门上方有醒目的工作状态指示灯、灯箱上设置“射线有害、灯亮勿入”的可视警示标志、设有门-灯连锁装置、候诊区设有放射防护注意事项告知栏、机房内有动力通风装置、机房设有观察窗或摄像监控装置等、平开门设有自动闭门装置等
三废处理设施	放射性废气	核医学科通风柜设置有单独的排风系统，核医学科控制区其它区域设置有机房排风系统，统一汇集经活性炭吸附后，通过楼顶屋脊排放
	放射性废水	核医学科衰变池容积满足项目产生的放射水废水贮存要求，核医学科产生的放射性废水统一汇集至衰变池内，放射性废水按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）暂存规定期限后，衰变池出水排入医院污水处理站，最终排入市政污水管网
	放射性固废	在核医学科内设置放射性废物废物间，项目产生的含 $^{18}\text{F}$ 、 $^{32}\text{P}$ 放射性固废按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）进行暂存，作为一般固废医疗废物处理
	非放射性废气	DSA 机房设置通风装置
年有效剂量	项目所致公众、辐射工作人员最大年附加有效剂量分别 $\leq 0.1\text{mSv/a}$ 、 $\leq 3\text{mSv/a}$	
剂量率限值	核医学科各工作场所剂量率同时满足《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）规定限值；DSA 设备透视状态下，DSA 机房屏蔽体外表面 30cm 处剂量率满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）规定限值	
表面污染限值	核医学科控制区、监督区工作台面、地面、墙体表面、洗手池等 $\beta$ 表面污染水平满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定限值	
防护用品	为敷贴治疗人员配备有机玻璃眼镜或面罩、远距离操作工具；为核医	

	学科工作人员配备放射性污染防护服等防护用品以及去污用品；为 DSA 工作人员、受检者配备铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套等防护用品
监测仪器	X- $\gamma$ 辐射剂量率仪 $\geq 2$ 台、 $\alpha$ 、 $\beta$ 表面污染仪 $\geq 1$ 台，活度计 $\geq 1$ 台，仪器经检定合格或校准，按照监测计划对辐射工作场所及周围环境进行监测，监测数据存档保存
人员培训	辐射管理人员和辐射工作人员上岗前均应参加相应类别的辐射安全和防护专业知识考核，取得成绩合格单后，持证上岗
个人剂量检测	辐射工作人员应佩戴个人剂量计，每季度送有资质单位检测，建立个人剂量档案
职业健康检查	辐射工作人员定期进行放射性职业病健康检查，并建立职业健康监护档案

**表 13 结论与建议**

**1、项目概况**

为改善医院医疗服务条件，增强医院的技术力量，西安市儿童医院新建经开院区。在经开院区 3-4#住院楼 1 层建设核医学科，新增 1 台 PET-MR 进行显像诊断（使用  $^{18}\text{F}$  核素），使用  $^{32}\text{P}$  进行敷贴治疗；3-1#住院楼 4 层 DSA 中心、3-4#住院楼 4 层中心手术部各新增 2 台 DSA 用于医学诊疗，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）辐射防护要求的“实践的正当性”要求。

**2、选址及平面布置合理性分析**

本项目位于西安市儿童医院经开院区 3-1#住院楼、3-4#住院楼，项目评价范围不涉及居民居住区，核医学工作场所不毗邻产科、食堂等部门及人员密集区，并与非放射性工作场所有明确的分界隔离，50m 范围内主要为医院内部医疗建筑物及院区道路，且本项目辐射工作场所集中布置，避开人群较为集中的区域，因此，项目运行后对周边环境影响较小。

**3、环境质量现状**

本项目位于陕西省西安市经开区尚稷路北侧、草滩八路以东、尚林路以南、草滩七路以西，受建设单位委托，核工业二〇三研究所分析测试中心对项目所在地及周边环境进行了  $\gamma$  辐射剂量率监测，监测结果为项目所在地及周边环境  $\gamma$  辐射剂量率为 89.0~98.9nGy/h，与西安市  $\gamma$  辐射剂量率和天然  $\gamma$  辐射调查结果（室内：79~130nGy/h，室外：50~121nGy/h）处于同一水平。可见，项目所在区域辐射环境现状质量良好。

**4、辐射安全设施**

（1）医院核医学科 PET 显像检查室设计有单独的机房，工作人员隔室进行操作，PET 显像检查室受检者防护门设置光幕式防夹装置，受检者防护门上方安装工作状态指示灯，工作状态指示灯与防护门有效联动；在核医学科控制区入口、出口处均张贴电离辐射警示标志和中文警示说明，告诫无关人员远离该区域；在核医学科内部划定工作人员通道、患者通道、药物运输通道，避免了工作人员、患者之间交叉影响；在控制区主要出入口处设置了单向门禁系统，在留观/抢救室、PET 注射后候诊区、注射室、源存储室、分装/

质控室、放射性废弃物间设置视频监控系统，PET 显像检查室、PET 注射后候诊区、注射室、留观/抢救室等设置语音对讲系统等，核医学科各项辐射安全设施满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关要求。

（2）DSA 机房拟设置门灯联锁装置、观察窗或摄像监控装置、工作状态指示灯、通风装置、辐射工作场所明显位置张贴电离辐射警示标识等。

（3）本次对各放射性工作场所拟划分控制区、监督区，并按照国家相关规定进行分区管理，最大程度减少对工作人员、公众辐射影响。根据诊疗工作需要，为辐射工作人员、患者配备相应数量的个人防护用品。

## 5、辐射影响评价结论

### （1）辐射环境影响分析

经估算，核医学科各场所屏蔽墙体、防护门表面 30cm 处剂量率满足《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）剂量率限值要求；DSA 透视状态下，DSA 机房屏蔽墙体、防护门表面 30cm 处剂量率满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）剂量率限值要求。

### （2）“三废”影响分析

本项目运行后，DSA 机房不产生放射性废水，仅核医学科产生，放射性废水经衰变池暂存规定期限后，废水排放满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）排放限值要求。

核医学科非密封放射性物质的分装在分装柜内进行，分装柜设计有单独的排风系统，负压操作，放射性废气经活性炭吸附后，汇集至放射性排风井引至楼顶屋脊排放。

含  $^{18}\text{F}$ 、 $^{32}\text{P}$  放射性固体废物分类收集后存放于放射性废弃物间，暂存时间需满足 HJ1188-2021 要求，监测并达到清洁解控水平后，按一般医疗废物处理。

DSA 机房工作场所设置排风装置，其产生的  $\text{NO}_x$ 、臭氧等废气经通风管道引至楼顶排放。

### （3）项目所致职业人员、公众年附加有效剂量

经估算，本项目核医学科所致辐射工作人员、公众年最大附加有效剂量分别为 2.51mSv、 $9.66 \times 10^{-2}$ mSv；DSA 机房 DSA 运行所致辐射工作人员、公众年最大附加有效剂量分别为 0.92mSv、 $9.10 \times 10^{-2}$ mSv；满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》的年剂量基本限值（职业人员 20mSv、公众人员 1mSv）及环评提出的年剂量约束值要求（职业人员 3mSv、公众人员 0.1mSv）。

## 6、辐射安全管理

医院已成立了辐射安全管理领导小组，明确了相关人员职责；辐射工作人员、辐射管理人员已通过辐射安全和防护知识培训，各辐射工作场所的防护设施符合辐射防护相关要求，并配备有相应的辐射监测仪器，各项辐射安全规章制度基本健全，事故应急预案基本可行。

## 7、项目环保可行性结论

综上所述，西安市儿童医院在严格执行国家相关法律、法规及相关标准的要求，切实落实本报告表中提出的污染防治措施和建议后，该项目对辐射工作人员和公众产生的辐射影响可以控制在国家标准允许的范围之内。从辐射环境保护角度分析，该项目是可行的。

## 建议和承诺

1、项目竣工后建设单位应按照国务院生态环境主管部门规定的标准和程序，对本项目配套建设的污染防治措施、辐射安全设施、辐射安全管理措施进行验收，编制验收报告，经验收合格后方可投入运行。

2、项目建成运行后，应严格执行辐射环境监测制度，每年应对医院辐射工作场所安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证部门报送上一年度辐射安全年度评估报告。

3、不断完善辐射事故应急预案，加强日常演练，做到有备无患。

**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