

核技术利用建设项目

达州市中西医结合医院

新增非密封放射性物质工作场所及

医用射线装置使用项目

环境影响报告表

(公示本)

达州市中西医结合医院

2022年04月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

达州市中西医结合医院

新增非密封放射性物质工作场所及
医用射线装置使用项目

环境影响报告表

建设单位名称：达州市中西医结合医院

建设单位法人代表（签名或盖章）：

通讯地址：四川省达州市通川区西外龙泉路 1 号

邮政编码：635000

联系人：*

电子邮箱：*

联系电话：*

《建设项目环境影响报告表》编制说明

《建设项目环境影响报告表》由具有从事环境影响评价资质的单位编制。

1.项目名称——指项目立项批复时的名称，应不超过30个字（两个英文字段作一个汉字）；

2.建设地点——指项目所在地详细地址，公路、铁路应填写起止地点；

3.行业类别——按国标填写；

4.总投资——指项目投资总额；

5.主要环境保护目标——指项目周围一定范围内集中居民住宅区、学校、医院、保护文物、风景名胜区、水源地和生态敏感点等，应尽可能给出保护目标、性质、规模和距厂界距离等；

6.结论与建议——给出本项目清洁生产、达标排放和总量控制的分析结构，确定污染防治措施的有效性，说明本项目对环境造成的影响，给出建设项目环境可行性的明确结论。同时提出减少环境影响的其他建议；

7.预审意见——由行业主管部门填写答复意见，无主管部门项目，可不填；

8.审批意见——由负责审批该项目的生态环境行政主管部门批复。

目 录

表 1 项目基本情况	- 1 -
表 2 放射源	- 11 -
表 3 非密封放射性物质	- 11 -
表 4 射线装置	- 12 -
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	- 13 -
表 6 评价依据	- 14 -
表 7 保护目标与评价标准	- 16 -
表 8 环境质量和辐射现状	- 25 -
表 9 项目工程分析与源项	- 29 -
表 10 辐射安全与防护	- 43 -
表 11 环境影响分析	- 57 -
表 12 辐射安全管理	- 83 -
表 13 结论与建议	- 88 -
表 14 审批	- 93 -

表 1 项目基本情况

建设项目名称	达州市中西医结合医院 新增非密封放射性物质工作场所及医用射线装置使用项目				
建设单位	达州市中西医结合医院				
法人代表	王刚	联系人	张*	联系电话	*
注册地址	四川省达州市通川区西外龙泉路 1 号				
项目建设地点	达州市通川区西外龙泉路 1 号 达州市中西医结合医院西外新院区内第二住院大楼一层				
立项审批部门	/		批准文号	/	
建设项目总投资 (万元)	*	项目环保总投资 (万元)	*	投资比例(环保 投资/总投资)	*
项目性质	<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他			占地面积 (m ²)	/
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类(医疗使用) <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II类 <input checked="" type="checkbox"/> III类		
	其他	/			
	<p>项目概述</p> <p>一、建设单位简介</p> <p>达州市中西医结合医院(统一社会信用代码:12511400452339793X,以下简称“医院”)始建于 1953 年,坐落于达州市通川区西外龙泉路 1 号,分设西外新院区和大西街老院区,总占地面积约 100 亩。现有职工 1400 余名,编制床位 1200 张,是达州市唯一一家集医疗、教学、科研、预防、保健、康复于一体的国家三级甲等中西医结合医院。系全国 500 家大型医院之一和地级市同类医院全国前 10 强,国际微笑列车唇腭裂项目定点医院、国际爱婴医院、首批全国百姓放心医院、四川省职业道德建设先进单位、省级文明单位。</p>				

二、任务由来

达州市中西医结合医院为进一步提高本院的医学影像诊断技术能力和服务水平，满足患者的诊疗需要，更好的惠及全市人民群众，医院拟在西外新院区（达州市通川区西外龙泉路1号）内现有场地新建1栋第二住院大楼，该项目已于2020年10月13日取得达州市生态环境局的批复（达市环审批〔2020〕22号，详见附件2），现暂未开工建设。

医院拟在第二住院大楼一层东南部新建核医学科，于场所内使用放射性同位素¹⁸F、⁶⁸Ga、⁶⁸Ge和1台PET/CT（其中CT部分属于Ⅲ类射线装置）开展核素显像，使用放射性同位素¹⁵³Sm开展核素治疗，工作场所的日等效最大操作量为 4.11×10^7 Bq，为一个乙级非密封放射性物质工作场所。

同时，医院拟在第二住院大楼二层新建1座数字减影血管造影机（Digital Subtraction Angiography，以下简称“DSA”）机房，并配备1台DSA；拟在第二住院大楼五层新建2座DSA机房，并配备2台DSA。医院本次新增的3台DSA均属Ⅱ类射线装置，均用于开展介入诊断项目。

三、编制目的

为加强核技术应用项目的辐射环境管理，防止放射性污染和意外事故的发生，确保射线装置的使用不对周围环境和工作人员及公众产生不良影响，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》、《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置防护条例》等相关法律法规要求，建设方须对该项目进行环境影响评价。

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021版）》（生态环境部令第16号，2021年1月1日起施行）的规定，本项目属于“第172条 核技术利用建设项目”中“乙、丙级非密封放射性物质工作场所（医疗机构使用植入治疗用放射性粒子源的除外）的；生产、使用Ⅱ类射线装置的”应编制环境影响报告表。并根据四川省生态环境厅《关于调整建设项目环境影响评价文件分级审批权限的公告》（2019年第2号文），本项目应报四川省生态环境厅审查批准。并在取得环评批复后及时变更辐射安全许可证。

为此，达州市中西医结合医院委托南京瑞森辐射技术有限公司对该项目开展环境影响评价工作（委托书详见附件1）。南京瑞森辐射技术有限公司接受委托后，通过

现场勘察、收集资料并结合四川瑞迪森检测技术有限公司现场监测等工作的基础上，结合本项目的特点，按照国家有关技术规范要求，编制了该项目环境影响报告表。

达州市中西医结合医院新增非密封放射性物质工作场所及医用射线装置使用项目环境影响评价报告表的评价内容与目的：

1、对新增非密封放射性物质工作场所及医用射线装置使用项目施工期和运行期的环境影响进行评价分析。

2、对项目拟建地址进行辐射环境质量现状监测，以掌握场所及周围的环境质量现状水平，并对项目进行环境影响预测评价。

3、提出污染防治措施，使辐射影响降低到“可合理达到的尽可能低水平”。

4、满足国家和地方生态环境部门对建设项目环境管理规定的要求，为项目的环境管理提供科学依据。

四、项目概况

项目名称：达州市中西医结合医院新增非密封放射性物质工作场所及医用射线装置使用项目

建设单位：达州市中西医结合医院

建设性质：新建

建设地点：达州市通川区西外龙泉路1号达州市中西医结合医院西外新院区

1、建设内容与规模：

本项目位于四川省达州市通川区西外龙泉路1号达州市中西医结合医院西外新院区内，医院本次拟在西外新院区开展以下核技术利用项目：

(1) 核医学科项目

达州市中西医结合医院拟于西外新院区第二住院大楼（待建，地上21层，地下3层建筑）一层东南部核医学科建设1处乙级非密封放射性物质工作场所，总建筑面积约295m²。

核医学科工作场所内主要包括PET/CT机房及配套控制室、注射室、分装标记室、注射后候诊室、留观室及患者通道等，以上功能用房四周墙体均为370mm实心砖墙，顶部为250mm厚混凝土楼板或250mm厚混凝土楼板+局部5mm铅当量铅板，地面均为250mm厚混凝土楼板，屏蔽门均为10mm铅当量，注射窗口为40mm铅当量，手套箱为54mm铅当量。同时，配套建设等候区及留置针室等辅助用房。

医院拟在新增的工作场所内使用 1 台 PET/CT（型号待定，其中 CT 部分属于Ⅲ类射线装置，最大管电压 $\leq 140\text{kV}$ ，最大管电流 $\leq 800\text{mA}$ ）。

本项目 PET/CT 拟配置校准源，但因其设备型号未定，校准源种类、枚数及活度暂时无法确定，因此本环评不对其进行评价。待医院确定设备型号，校准源种类、枚数及活度后，医院在校准源购买前应履行相关环评手续，并应在辐射安全许可证上进行登记。

核医学科拟使用放射性同位素 ^{18}F （年最大使用量 $8.33 \times 10^{12}\text{Bq}$ ，日最大使用量 $3.33 \times 10^{10}\text{Bq}$ ，日等效最大操作量 $9.32 \times 10^6\text{Bq}$ ）和放射性同位素 ^{68}Ga （年最大使用量 $9.25 \times 10^{10}\text{Bq}$ ，日最大使用量 $3.70 \times 10^8\text{Bq}$ ，日等效最大操作量 $3.70 \times 10^5\text{Bq}$ ）进行 PET/CT 显像诊断。用于显像的放射性同位素 ^{68}Ga 由医院使用放射性同位素 ^{68}Ge （年最大使用量 $1.85 \times 10^9\text{Bq}$ ，日最大使用量 $1.85 \times 10^9\text{Bq}$ ，日等效最大操作量 $1.85 \times 10^6\text{Bq}$ ）制备所得。

同时，在该场所内使用放射性同位素 ^{153}Sm （年最大使用量 $7.40 \times 10^{11}\text{Bq}$ ，日最大使用量 $2.96 \times 10^9\text{Bq}$ ，日等效最大操作量 $2.96 \times 10^7\text{Bq}$ ）进行核素治疗。本次新建的非密封放射性物质工作场所总日等效最大操作量为 $4.11 \times 10^7\text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

（2）介入诊断项目

①医院拟在西外新院区第二住院大楼五层新建 2 座 DSA 机房及其配套用房，并分别新增使用 1 台 DSA；拟新增的 DSA 型号待定，其主要参数均为：最大管电压 125kV ，最大管电流 1250mA ，年出束时间均为 95.7h ，属Ⅱ类射线装置，其主射方向朝向上，用于介入诊断治疗。

本项目 DSA-01 机房室内有效使用面积为 53.9m^2 ，机房净空尺寸为长 7.7m ×宽 7.0m ×高 4.8m ；DSA-02 机房室内有效使用面积为 45.73m^2 ，机房净空尺寸为长 7.75m ×宽 5.90m ×高 4.8m 。两座机房四周墙体均为 3mm 铅当量钡板；楼顶及地面均为 250mm 混凝土楼板；观察窗均采用 3.5mm 铅当量的铅玻璃；两座机房防护门均为 4 扇，均为 3mm 铅当量铅防护门。

②医院拟在西外新院区第二住院大楼二层新建 1 座 DSA 机房及其配套用房，并新增使用 1 台 DSA；拟新增的 DSA 型号待定，其主要参数为：最大管电压 125kV ，最大管电流 1250mA ，年出束时间为 95.7h ，属Ⅱ类射线装置，其主射方向朝向上，用于介入诊断治疗。

本项目 DSA-03 机房室内有效使用面积为 52.65m²，机房净空尺寸为长 8.10m×宽 6.50m×高 4.5m。机房四周墙体均为 3mm 铅当量钡板；楼顶及地面均为 250mm 混凝土楼板；观察窗采用 3.5mm 铅当量的铅玻璃；防护门共 4 扇，均为 3mm 铅当量铅防护门。

2、项目组成内容及环境问题

本项目主要组成内容及可能产生的环境问题见表 1-2。

表 1-2 项目组成内容及主要环境问题

名称	建设内容及规模			可能产生的环境问题		
				施工期	运营期	
主体工程	核医学诊断工作场所项目	核素	¹⁸ F	日等效最大操作量 $9.32 \times 10^6 \text{Bq}$ ，年最大用量 $8.33 \times 10^{12} \text{Bq}$	施工废气、施工噪声、施工废水、固体废物、生活污水、生活垃圾	X 射线、 γ 射线、 β 表面污染、含放射性核素气溶胶、放射性废水、放射性固废、噪声、臭氧、医疗废物、生活污水、生活垃圾
			⁶⁸ Ga	日等效最大操作量 $3.70 \times 10^5 \text{Bq}$ ，年最大用量 $9.25 \times 10^{10} \text{Bq}$		
			⁶⁸ Ge	日等效最大操作量 $1.85 \times 10^6 \text{Bq}$ ，年最大用量 $1.85 \times 10^9 \text{Bq}$		
			¹⁵³ Sm	日等效最大操作量 $2.96 \times 10^7 \text{Bq}$ ，年最大用量 $7.40 \times 10^{11} \text{Bq}$		
			合计	日等效最大操作量 $4.11 \times 10^7 \text{Bq}$ （乙级）		
	射线装置	1 台 PET/CT（型号待定，最大管电压不超过 140kV，最大管电流不超过 800mA，其中 CT 属于 III 类射线装置）				
	非密封放射性物质工作场所	场所设有 1 间 PET/CT 机房及配套控制室、分装标记室、注射室、注射后候诊室（抢救室）、留观室、储源室及患者通道等				
	介入诊断项目	拟新增 1 台 DSA（型号待定），主要参数为：最大管电压 125kV，最大管电流 1250mA，属 II 类射线装置。本项目 DSA-01 机房四周墙体均为 3mm 铅当量钨板；楼顶及地面均为 250mm 混凝土楼板；观察窗采用 3.5mm 铅当量的铅玻璃；防护门共 3 扇，均为 3mm 铅当量铅防护门。				
		拟新增 1 台 DSA（型号待定），主要参数为：最大管电压 125kV，最大管电流 1250mA，属 II 类射线装置。本项目 DSA-02 机房四周墙体均为 3mm 铅当量钨板；楼顶及地面均为 250mm 混凝土楼板；观察窗采用 3.5mm 铅当量的铅玻璃；防护门共 3 扇，均为 3mm 铅当量铅防护门。				
		拟新增 1 台 DSA（型号待定），主要参数为：最大管电压 125kV，最大管电流 1250mA，属 II 类射线装置。本项目 DSA-03 机房四周墙体均为 3mm 铅当量钨板；楼顶及地面均为 250mm 混凝土楼板；观察窗采用 3.5mm 铅当量的铅玻璃；防护门共 3 扇，均为 3mm 铅当量铅防护门。				
辅助工程	核医学诊断工作场所项目	等候大厅、注射前等候（含埋针区）、问诊室等辅助工作场所。				\

	介入诊断项目	控制室、设备间等		\
环保设施	核医学诊断工作场所项目	1、拟于第二住院大楼负一层东侧新建一座衰变池，由3个衰变小池并联组成，每个小池为2.0m×1.5m×3.0m，总容积约为27m ³ 。 2、新增收集放射性废物铅桶：容积20L，10mm铅当量，2个； 3、核医学科工作场所手套箱及通排风系统各1套（含屋顶活性炭过滤装置）		\
	介入诊断项目	依托医院拟建污水处理站、生活垃圾暂存间、医疗废物暂存间等。		\
公用工程	依托医院给水、供电、通风等配套设施。		\	\
办公生活设施	医生办公室		\	生活垃圾、生活污水

3、项目依托工程

①依托办公设施：医生办公室依托本次拟建的医生办公室。

②依托环保设施：医院拟新建污水处理站一座，污水处理工艺采用“二级生化+消毒”处理工艺。医院废水经污水处理站处理达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）中的表2预处理标准后外排进入市政污水管网，经市政污水管网排入城市污水处理厂进一步处理后进行排放。

本项目拟新建衰变池系统用于放射性废水的存放，该专用衰变池设计容积满足本项目放射性废水的排放贮存时间要求。放射性废水进入衰变池进行衰变处理，衰变后的废水经监测合格后排入医院拟建污水处理站进一步处理后纳入市政污水管网。

本项目设置有污物暂存间，工作期间产生的放射性固废在此集中暂存，在达到清洁解控水平后，按照医疗废物执行转移联单制度，最终交由有资质单位进行统一收集、清运和处理。

4、主要原辅材料及能耗

本项目所用PET/CT及DSA采用数字成像，不使用显、定影液和胶片，因此本项目不产生废显、定影液和废胶片。

本项目主要原辅材料及能耗情况见表1-3。

表1-3 主要能耗情况表

类别	名称	使用量	来源	用途
主要原辅材料	^{18}F 标记物注射液	$8.33 \times 10^{12} \text{Bq/a}$	有资质单位供货	PET/CT 显像使用
	^{68}Ga 标记物注射液	$9.25 \times 10^{10} \text{Bq/a}$	有资质单位供货	PET/CT 显像使用
	^{68}Ge	$1.85 \times 10^9 \text{Bq/a}$	有资质单位供货	锗镓发生器，用于制备 ^{68}Ga
	^{153}Sm 标记物注射液	$7.40 \times 10^{11} \text{Bq/a}$	有资质单位供货	核素治疗
	造影剂	约 120L/a	约 120L/a	造影使用
能源	电	5000kW·h/a	城市电网	/
水	生活用水	约 1000m ³ /a	城市生活用水管网	/

本项目使用的造影剂为碘佛醇注射液（本品主要成份为碘佛醇，液态），规格为100ml/瓶，平均每台介入手术使用2瓶，年使用量约为120L，由医院统一采购、储存，使用后的废包装物按医疗废物处置。

5、工作制度及人员配置

工作制度：本项目辐射工作人员年工作天数为250天，每天工作8小时。从事辐

射工作的年工作时间与本项目射线装置实际年出束时间一致。

人员配置：本项目拟配置辐射工作人员 23 人，辐射工作人员均定岗定责，配备至本项目后，不再从事其它辐射工作。医院本次配备的辐射工作人员详情见表 1-4。

表 1-4 本项目辐射工作人员配置情况一览表

项目类型		本次建设项目
核医学诊断工作场所项目		5 名辐射工作人员
介入治疗项目	DSA-01 机房	6 名辐射工作人员
	DSA-02 机房	6 名辐射工作人员
	DSA-03 机房	6 名辐射工作人员

上述各辐射工作场所及各组辐射工作人员互不交叉。后期随着工作量的变动，医院也计划持续引进技术熟练的医生、技师及护士，医院应做好辐射工作人员管理工作。

根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部，公告 2019 年 第 57 号）：“自 2020 年 1 月 1 日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过生态环境部‘核技术利用辐射安全与防护培训平台’（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）报名并参加考核。2020 年 1 月 1 日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效”。本项目辐射工作人员须在生态环境部“核技术利用辐射安全与防护培训平台”报名参加辐射安全与防护相关知识的学习，并参加考核，考核合格后方可上岗。辐射安全培训合格证书到期的人员仍需通过生态环境部“核技术利用辐射安全与防护培训平台”进行再学习考核。

五、项目产业政策符合性

本项目系核技术应用项目在医学领域内的运用。根据《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（2021 年修改），属于鼓励类中第三十七项“卫生健康”的第 5 条“医疗卫生服务设施建设”，是目前国家鼓励发展的新技术应用项目。本项目的运营可为达州市及周边病人提供诊疗服务，是提高人民群众生活质量，提高全市医疗卫生水平和建设小康设备的重要内容，本项目具有放射实践的正当性，符合现行的国家产业政策。

六、实践正当性

达州市中西医结合医院新增非密封放射性物质工作场所及医用射线装置使用项目的目的是为了对病人进行医学诊断。在采取了相应的辐射防护措施后，项目所致的辐射危害可得到有效控制，项目实施的利益大于代价，符合《电离辐射防护与辐射源

安全基本标准》（GB18871-2002）规定的辐射防护“实践的正当性”原则。

七、项目周边保护目标以及场址选址情况

达州市中西医结合医院西外新院区位于四川省达州市通川区西外龙泉路1号（项目地理位置见附图1），医院综合考虑项目特点和对周围环境可能存在的影响，拟将本项目核医学诊断工作场所建于院内第二住院大楼一层，将本项目DSA机房分别建于院内第二住院大楼二层及五层，避开了人流量较大的门诊区域，减少了对公众的不必要照射。

达州市中西医结合医院西外新院区用地属于医疗卫生用地，从周边外环境关系可知，医院周边规划为居民住宅和市政道路，周边无自然保护区等生态环境保护目标，无大的环境制约因素。

本项目所在第二住院大楼为达州市中西医结合医院西外新院区的建设内容，医院已委托重庆浩力环境影响评价有限公司编制了《达州市中西医结合医院第二住院大楼项目环境影响报告书》，并取得达州市生态环境局的批复（达市环审批〔2020〕22号，详见附件2），医院整体项目选址合理性已在相关环评报告中进行了论述，本项目仅为其中部分建设内容，不新增用地，且新建辐射工作场所有良好的实体屏蔽设施和防护措施，产生的辐射经屏蔽和防护后对辐射工作人员及公众的照射剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的剂量限值要求并满足报告表确定的剂量管理约束值的要求，从辐射安全防护角度分析，本项目选址是合理的。

八、项目单位核技术应用现状

达州市中西医结合医院已于2020年01月25日重新申领了辐射安全许可证，医院现持有四川省生态环境厅颁发的《辐射安全许可证》，其证书编号：川环辐证〔00306〕，许可种类和范围为：使用II、III类射线装置，有效期至2025年01月24日。辐射安全许可证正副本见附件3。医院现有核技术应用项目情况见表1-5。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) × 枚数	类别	活度种类	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	¹⁸ F	液态/低毒 T _{1/2} =109.8min	使用	3.33×10 ¹⁰	9.32×10 ⁶	8.33×10 ¹²	显像诊断	很简单操作 源的贮存	核医学科	按需订购，暂存于储源室及手套箱内
2	⁶⁸ Ga	液态/低毒 T _{1/2} =68.3min	使用	3.70×10 ⁸	3.70×10 ⁵	9.25×10 ¹⁰	显像诊断	很简单操作		由锗镓发生器制备，不贮存
3	⁶⁸ Ge	液态/中毒 T _{1/2} =280d	使用	1.85×10 ⁹	1.85×10 ⁶	1.85×10 ⁹	制备 ⁶⁸ Ga	源的贮存		贮存于储源室
4	¹⁵³ Sm	液态/中毒 T _{1/2} =46.5h	使用	2.96×10 ⁹	2.96×10 ⁷	7.40×10 ¹¹	核素治疗	很简单操作		按需订购，暂存于储源室及手套箱内

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）。

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

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

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	PET/CT	III	1	待定	≤140	≤800	核素诊断	核医学科 PET/CT 机房	本次环评
2	DSA	II	1	待定	≤125	≤1250	介入治疗	DSA-01 机房	本次环评
3	DSA	II	1	待定	≤125	≤1250	介入治疗	DSA-02 机房	本次环评
4	DSA	II	1	待定	≤125	≤1250	介入治疗	DSA-03 机房	本次环评

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
沾有放射性核素的注射器、手套、擦拭废纸等	固体	¹⁸ F、 ¹⁵³ Sm、 ⁶⁸ Ga	/			α 表面污染小于 0.08 Bq/cm ² 、β 表面污染小于 0.8 Bq/cm ²	暂存于分装标记室内铅废物桶内，随后转移至污物暂存间	含 ¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga 固体放射性废物在污物暂存间内暂存衰变超过 30 天，含 ¹⁵³ Sm 固体放射性废物在污物暂存间内暂存衰变超过 20 天；经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α 表面污染小于 0.08 Bq/cm ² 、β 表面污染小于 0.8 Bq/cm ² 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物交由有资质单位进行处置。
含放射性核素的卫生间下水及清洗废水	液体	¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga	/	/	/	/	暂存于衰变池内	在衰变池内暂存 30 天后排放至医院污水处理站进一步处理后纳入市政污水管网
含有液态放射性药物分装时挥发的微量气溶胶	气体	¹⁸ F、 ¹⁵³ Sm、 ⁶⁸ Ga	/	微量	微量	微量	不暂存	在手套箱内操作，经手套箱管道内及排放口活性炭装置过滤后排放
臭氧和氮氧化物	气体	/	/	/	微量	微量	不暂存	通过排风系统排入外环境，臭氧在常温条件下可自动分解为氧气
更换后的废活性炭	固体	/	/	/	/	小于清洁解控水平	更换后暂存在废物间内	更换后的活性炭经贮存衰变超过 30 天后作为医疗废物处置
退役锗镓发生器	固体	⁶⁸ Ge、 ⁶⁸ Ga	/	/	/	/	暂存于储源室内，待厂家回收、处理	由厂家回收处理、处理

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

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

表 6 评价依据

<p>法规 文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》，1989年12月26日发布施行；2014年4月24日修订，2015年1月1日起施行；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018年修正版），2018年12月29日发布施行；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003年10月1日起实施；</p> <p>(4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令第449号，2005年12月1日起施行；2019年修正，国务院令709号，2019年3月2日施行；</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》，（2017年修订版），国务院令第682号，2017年10月1日发布施行；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，2021年修改，生态环境部令第20号，2021年1月4日起施行；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环保部令第18号，2011年5月1日起施行；</p> <p>(8) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021版）》，生态环境部第16号令，自2021年1月1日起施行；</p> <p>(9) 关于发布《射线装置分类》的公告，环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告，2017年 第66号，2017年12月5日起施行；</p> <p>(10) 《放射性废物安全管理条例》，中华人民共和国国务院令第612号，2012年3月1日起施行；</p> <p>(11) 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、国防科工局公告 2017年公告第65号公布，自2018年1月1日起施行；</p> <p>(12) 《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》国家环保总局，环发[2006]145号，2006年9月26日起施行；</p> <p>(13) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430号），2016年3月7日起施行；</p> <p>(14) 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》生态环境部公告2019年第9号，2019年11月1日起施行；</p> <p>(15) 《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</p>
------------------	--

	<p>态环境部，公告2019年第57号，2020年1月1日起施行；</p> <p>（16）《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部，2019年部令第9号，2019年11月1日起施行；</p> <p>（17）《关于发布<建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法>配套文件的公告》，生态环境部，公告2019年第38号，2019年11月1日起施行；</p> <p>（18）《关于启用环境影响评价信用平台的公告》，生态环境部，公告2019年第39号，2019年11月1日起启用。</p> <p>（19）《产业结构调整指导目录（2019年本）》（2021年修改，国家发展和改革委员会2021年令第49号）2021年12月30日起施行；</p> <p>（20）《四川省辐射污染防治条例》，2016年6月1日起实施；。</p>
<p>技术 标准</p>	<p>（1）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；</p> <p>（2）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）；</p> <p>（3）《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）；</p> <p>（4）《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）；</p> <p>（5）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）；</p> <p>（6）《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）；</p> <p>（7）《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）；</p> <p>（8）《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；</p> <p>（9）《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）；</p> <p>（10）《表面污染测定第一部分：β 发射体（$E_{\beta\max} > 0.15\text{MeV}$）和 α 发射体》（GB/T14056.1-2008）</p> <p>（11）《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）。</p>
<p>其他</p>	<p>（1）工程设计图纸及相关技术资料；</p> <p>（2）四川省生态环境厅关于印发《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》的通知，川环函[2016]1400号；</p> <p>（3）2020年全国辐射环境质量报告；</p> <p>（4）医院提供的相关资料。</p>

表 7 保护目标与评价标准

评价范围							
<p>根据本项目的特点并参照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）中“核技术利用建设项目环境影响评价报告书的评价范围和保护目标的选取原则：放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目评价范围，甲级取半径 500m 的范围，乙、丙级取半径 50m 的范围。放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”；确定本项目所在工作场所实体屏蔽墙体外周边 50m 范围内为评价范围，详见附图 3。</p>							
保护目标							
<p>本项目核医学诊断工作场所 50m 评价范围内除东南侧部分位于医院围墙外，其余方向均位于医院院区内；DSA-01 机房及 DSA-02 机房周围 50m 范围均位于医院院区内；DSA-03 机房 50m 评价范围内除北侧部分位于医院围墙外，其余方向均位于医院院区内。</p> <p>根据本项目确定的评价范围，本项目辐射环境保护目标为医院辐射工作人员、医院内的其他医护人员、病患、陪同家属及院内公众，详见表 7-1。</p>							
表 7-1 本项目评价范围内敏感保护目标情况一览表							
保护目标		方位	距离	规模	照射类型	剂量约束值 (mSv/a)	
核医学诊断工作场所	院内	职业人员	核医学科内	/	约 5 人	职业	5
		公众	核医学科东侧行政大楼	27m~50m	医院内除本项目辐射工作人员外的其他医护人员、公众	公众	0.1
	核医学科东南侧后勤楼		26m~50m				
	核医学科西侧放射科等		0m~50m				
	核医学科北侧门诊医技部拟建址（现为空地）		21m~50m				
	二层 EICU、更衣室、仪器库、办公室等（上方）		0m~5m				
	二层以上其他科室		5m~50m				
	负一层地下停车场、工具间（下方）		0m~5m				
	负一层以下其他区域		5m~50m				
	核医学科西北侧门诊医技楼	5m~50m					

DSA-01 机房	院内	职业人员	机房内医生护士	0.5m	约 6 人	职业	5
			东侧控制室	/			
		公众	东侧标本间及一次品库房等	16m~50m	医院内除本项目辐射工作人员外的其他医护人员、公众	公众	0.1
			东北侧行政大楼部分区域	38m~50m			
			西侧中心手术室其他区域	0m~50m			
			西侧高压氧治疗室部分区域	48m~50m			
			北侧中心手术室其他区域（门诊医技部）	2m~50m			
			六层架空层（上方）	0m~4.8m			
			六层以上其他科室	4.8m~50m			
			四层脱包间及配置间（下方）	0m~4.8m			
四层以下其他区域	4.8m~50m						
DSA-02 机房	院内	职业人员	机房内医生护士	0.5m	约 6 人	职业	5
			西侧控制室	/			
		公众	东侧标本间及一次品库房等	0m~50m	医院内除本项目辐射工作人员外的其他医护人员、公众	公众	0.1
			东侧行政大楼部分区域	35m~50m			
			西南侧后勤楼	39m~50m			
			北侧中心手术室其他区域（门诊医技部）	2m~50m			
			六层架空层（上方）	0m~4.8m			
			六层以上其他科室	4.8m~50m			
			四层更衣室及配置间（下方）	0m~4.8m			
			四层以下其他区域	4.8m~50m			
DSA-03 机房	院内	职业人员	机房内医生护士	0.5m	约 6 人	职业	5
			西侧控制室	/			
		公众	东侧值班室及更衣室等	2m~50m	医院内除本项目辐射工作人员外的其他医护人员、公众	公众	0.1
			东北侧行政大楼部分区域	26m~50m			
			南侧治疗准备室、急诊病房	0m~50m			
			西侧急诊手术室等	5m~50m			
			北侧医疗街及门诊医技部	5m~50m			
			三层检查室及等候区（上方）	0m~4.8m			
三层以上其他科室	4.8m~50m						

			m			
		一层抢救室及等候区 (下方)	0m~4.8m			
		一层以下其他区域	4.8m~50 m			

评价标准

一、执行标准

本项目执行标准如下：

1、环境质量标准

- (1) 地表水：执行《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）III类标准；
- (2) 大气环境：执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准；
- (3) 声环境：执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）2类标准。

2、污染物排放标准

- (1) 废水：执行《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准。
- (2) 废气：执行《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）二级标准。
- (3) 噪声：施工期执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011），营运期执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）2类标准。
- (4) 辐射：执行《电离辐射防护与辐射安全基本标准》（GB18871-2002）中的相关规定。

3、其他标准按照国家有关规定执行。

二、辐射环境评价标准

1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）：

工作人员职业照射和公众照射剂量限值

对象	要求
职业照射 剂量限值	工作人员所接受的职业照射水平不应超过下述限值： ①由审管部门决定的连续5年的年平均有效剂量，20mSv ②任何一年中的有效剂量，50mSv ③眼晶体的年当量剂量，150mSv ④四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv
公众照射 剂量限值	实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过下述限值： ①年有效剂量，1mSv； ②特殊情况下，如果5个连续年的年平均剂量不超过1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到5mSv。

剂量约束值通常应在公众照射剂量限值10%~30%（即0.1mSv/a~0.3mSv/a）的范围之内。

辐射工作场所的分区

应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

控制区：

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

监督区：

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

表 B11 表面污染控制水平 单位: Bq/cm²

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

1) 该区内的污染子区除外。

1.2 非密封源工作场所的分级

级别	日等效最大操作量/Bq
甲	>4×10 ⁹
乙	2×10 ⁷ ~4×10 ⁹
丙	豁免活度值以上~2×10 ⁷

2、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—2021）：

引自“第4款 总则”内容，如下：

“4.4 剂量限值与剂量约束值

4.4.1 剂量限值

核医学工作人员职业照射剂量限值应符合 GB 18871 附录 B 中 B1.1 的相关规定，核医学实践使公众成员所受到的剂量照射限值应符合 GB 18871 附录 B 中 B1.2 的相关规定。

4.4.2 剂量约束值

4.4.2.1 一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过 5 mSv/a；

4.4.2.2 公众照射的剂量约束值不超过 0.1 mSv/a。

4.4.3 放射性表面污染控制水平

核医学工作场所的放射性表面污染控制水平按照 GB 18871 执行。”

引自“第5款 选址和布局”内容，如下：

5.1.1 核医学工作场所宜建在医疗机构内单独的建筑物内，或集中于无人长期居留的建筑物的一端或底层，设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道。

5.1.2 核医学工作场所不宜毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并应与非放射性工作场所明确的分界隔离。

5.1.3 核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。

5.2 布局

5.2.1 核医学工作场所应合理布局，住院治疗场所和门诊诊断场所应相对分开布置；同一工作场所内应根据诊疗流程合理设计各功能区域的布局，控制区应相对集中，高活室集中在一端，防止交叉污染。尽量减小放射性药物、放射性废物的存放范围，限制给药后患者的活动空间。

5.2.2 核医学工作场所应设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和患者通道分开，减少给药后患者对其他人员的照射。注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道应尽可能短捷。

5.2.3 核医学工作场所宜采取合适的措施，控制无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动，避免工作人员和公众受到不必要的照射。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。

引自“第6款 剂量限值与约束剂量限值”内容，如下：

“6.1 屏蔽要求

6.1.1 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。

6.1.2 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。

6.1.5 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 30 cm 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 $10\mu\text{Sv/h}$ 。

6.1.6 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 $25\mu\text{Sv/h}$ 。

6.1.7 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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

6.1.8 放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽。”

6.2 场所安全措施要求

6.2.1 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。

6.2.2 操作放射性药物场所级别达到乙级应在手套箱中进行，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。

6.2.3 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。

6.2.4 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。

6.2.5 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。

6.2.7 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。

6.2.9 扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。

6.3 密闭和通风要求

6.3.1 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。

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

6.3.5 通风橱应有足够的通风能力。制备放射性药物的回旋加速器工作区域、碘-131 治疗病房以及设有通风橱、手套箱等场所的通风系统排气口应高于本建筑物屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑。”

引自“第7款 放射性废物的管理”内容，如下：

“7.2.3 固体放射性废物处理

7.2.3.1 固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：

- a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；
- b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍；
- c) 含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

7.3.3 放射性废液排放

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

- a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放；
- b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，按照 GB 18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 α 不大于 $1\text{Bq}/\text{L}$ 、总 β 不大于 $10\text{Bq}/\text{L}$ 、碘-131 的放射性活度浓度不大于 $10\text{Bq}/\text{L}$ 。”

3、《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）：

第 4.1.2 款 县级及县级以上或 20 张床位及以上的综合医疗机构和其他医疗机构污水排放执行表 2 的规定。直接或间接排入地表水体和海域的污水执行排放标准，排入终端已建有正常运行城镇二级污水处理厂的下水道的污水，执行预处理标准。

第 5.4 款 医疗机构的各种特殊排水应单独收集并进行处理后，再排入医院污水处理站。

第 5.4.1 款 低放射性废水应经衰变池处理。

4、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）：

引自“第6款 X射线设备机房防护设施的技术要求”内容，如下：

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

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

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

6.1.5 除床旁摄影设备、便携式 X射线设备和车载式诊断 X射线设备外，对新建、改建和改建项目和技术改造、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 2 的规定。

表 2 X射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度

机房类型	机房内最小有效使用面积, m ²	机房内最小单边长度, m
CT 机（不含头颅移动 CT）	30	4.5
单管头 X射线机（含 C形臂，乳腺 CBCT）	20	3.5

6.2 X射线设备机房屏蔽

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

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

表 3 不同类型 X射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量 mmPb	非有用线束方向铅当量 mmPb
C形臂 X射线设备机房	2.0	2.0
CT 机房（不含头颅移动 CT） CT 模拟定位机房	2.5	

6.5 X射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求

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

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

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

6.5.5 个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。

表 4 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

放射检查类型	工作人员		受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
CT 体层扫描（隔室）	-	-	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	-

介入放射操作	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：“—”表示不要求。

三、辐射环境评价标准限值

1、个人剂量管理限值

①职业照射：根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第4.3.2.1条的规定，对任何工作人员，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量不超过由审管部门决定的连续5年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯平均）20mSv，四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量不超过500mSv。

本项目辐射工作人评价标准按上述标准中规定的职业照射年有效剂量约束限值的1/4执行，即5mSv/a；从事介入操作的辐射工作人员四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量约束值为125mSv。

②公众照射：第B1.2.1条的规定，实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过年有效剂量1mSv。项目要求按上述标准中规定的公众照射年有效剂量约束限值的1/10执行，即0.1mSv/a。

2、放射性表面污染控制水平

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）表B11工作场所的放射性表面污染的控制水平见表7-2。

表7-2 工作场所的放射性表面污染控制水平

表面类型		β放射性物质
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	4×10
	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		4×10 ⁻¹

3、工作场所内外控制剂量率

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）：距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面30cm处的周围剂量当量率应小于2.5μSv/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10μSv/h；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 $25\mu\text{Sv/h}$ 。

DSA 机房工作场所边界周围剂量率控制水平参照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）有关规定，本项目 DSA 机房屏蔽体外 30cm 有人员活动处剂量控制水平为 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、项目地理和场所位置

1、达州市中西医结合医院外环境关系

达州市中西医结合医院西外新院区位于四川省达州市通川区西外龙泉路 1 号（项目地理位置见附图 1）。医院东侧外为体育路，东侧约 20m 处为达州市体育中心；南侧外为龙井路；西侧外为金兰路；北侧外为龙泉路。达州市中西医结合医院周围环境示意图见附图 2。

2、第二住院大楼拟建址外环境关系

第二住院大楼拟建于院内东北部（现为空地），其东侧为院内道路及行政大楼；南侧为道路及绿化；西南侧为后勤楼；西侧为医院高压氧治疗室及门诊大楼；北侧为门诊医技部拟建址（现为空地）。医院总平面图见附图 2。

3、辐射工作场所外环境关系

①核医学科

本项目核医学诊断工作场所位于第二住院大楼一层东部，核医学诊断工作场所东侧 50m 范围内依次为院内道路、绿化及行政大楼部分区域；南侧 50m 范围内依次为院内道路及后勤楼部分区域；西侧 50m 范围内为放射科其他机房；北侧 50m 范围内依次为楼梯间、院内道路及门诊医技部部分区域；上方为 EICU、更衣室、仪器库、办公室等；下方为地下停车场、工具间及衰变池。核医学诊断场所外环境关系图见附图 3~5。

②DSA-01 机房

本项目 DSA-01 机房位于第二住院大楼五层，其东侧 50m 范围内依次为控制室、设备间、DSA-02 机房、标本间等及院内道路绿化；南侧 50m 范围内依次为洁净走廊、室外道路及绿化等；西侧 50m 范围内依次为预麻恢复区、C 臂间等中心手术室其他区域及高压氧治疗室部分区域；北侧 50m 范围内依次为污物通道及中心手术室其他区域（门诊医技部）；上方为架空层，下方为脱包间及配置间。本项目 DSA-01 机房周围环境示意图见附图 3 及附图 6。

③DSA-02 机房

本项目 DSA-02 机房位于第二住院大楼五层，其东侧 50m 范围内依次为标本间

等、室外道路绿化及行政大楼部分区域；南侧 50m 范围内依次为洁净走廊、室外道路、绿化及后勤楼部分区域；西侧 50m 范围内依次为控制室、设备间、预麻恢复区、C 臂间等中心手术室其他区域；北侧 50m 范围内依次为污物通道及中心手术室其他区域（门诊医技部）；上方为架空层，下方为更衣室及配置间。本项目 DSA-02 机房周围环境示意图见附图 3 及附图 6。

④ DSA-03 机房

本项目 DSA-03 机房位于第二住院大楼二层，其东侧 50m 范围内依次为走廊、值班室、更衣室、楼梯间、院内道路及行政大楼部分区域；南侧 50m 范围内依次为治疗准备室、设备间、急诊病房及院内道路；西侧 50m 范围内依次为控制室、污物打包间、限制区走廊、急诊手术室等；北侧 50m 范围内依次为医疗街及门诊医技部部分区域，上方为检查室及等候区，下方为抢救室及等候区。本项目 DSA-03 机房周围环境示意图见附图 3 及附图 4。

本项目拟建址周边环境现状见图 8-1。

二、辐射环境现状评价

（一）监测项目和监测方法

1、本项目所在地辐射环境现状监测

为掌握项目所在地的辐射环境现状，南京瑞森辐射技术有限公司委托四川瑞迪森检测技术有限公司于 2020 年 06 月 03 日按照标准规范对本次拟建新增非密封放射性物质工作场所及医用射线装置使用项目现场及周边环境进行了 γ 空气吸收剂量率和表面污染水平的布点监测，监测报告见附件 4。其监测项目、分析及来源见表 8-1。

表 8-1 监测项目、方法及方法来源表

监测项目	监测方法及来源	探测限	备注
γ 空气吸收剂量率	《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）	10nSv/h	探测限为本次测量使用方法和仪器的综合技术指标
表面污染水平	《表面污染测定第一部分： β 发射体（ $E_{\beta\max} > 0.15\text{MeV}$ ）和 α 发射体》（GB/T14056.1-2008）	0.01 Bq/cm ²	探测限为本次测量使用方法和仪器的综合技术指标

监测使用仪器及环境条件见表 8-2。

表 8-2 监测使用仪器表

监测项目	监测设备			校准因子
	仪器名称	仪器编号	检定情况	

γ 空气吸收剂量率	FH40G+FHZ672E-10X- γ 辐射剂量率仪	SCRDS-004	检定单位：中国测试技术研究院 检定有效期：2020.11.09-2021.11.08	1.2
表面污染水平	COMO170 型表面污染仪	SCRDS-007	检定单位：中国测试技术研究院 检定有效期：2020.11.05-2021.11.04	/

2、质量保证措施

人员培训：监测人员经考核并持有合格证书上岗。

仪器刻度：监测仪器定期经计量部门检定，每次监测必须在有效期内。

自检：每次测量前、后均检查仪器的工作状态。

监测记录：现场监测过程，专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。

数据处理与复核：监测报告实行三级审核制度，经校对审核，最后由授权签字人审定签发。

3、比较标准

项目所在地环境天然贯穿辐射水平参考生态环境部《2020 年全国辐射环境质量报告》中四川省空气吸收剂量率自动监测结果。

4、环境现状监测与评价

监测所用仪器已由计量部门年检，且在有效期内；测量方法按国家标准方法实施；测量数据符合统计学要求；布点合理，结果可信，能够反映出辐射工作场所的客观辐射水平，可以作为本次评价的科学依据。

具体监测结果如下：

表 8-4 本项目拟建址 γ 空气吸收剂量率监测结果

测点编号	点位描述	测量结果 (nGy/h)	备注
1	核技术利用项目拟建址东侧	*	/
2	核技术利用项目拟建址南侧	*	/
3	核技术利用项目拟建址西侧	*	/
4	核技术利用项目拟建址北侧	*	
5	核技术利用项目拟建址内	*	/

注：1.检测结果未扣除本底值；

2.检测点位见图 8-2。

表 8-5 本项目拟建址表面 β 放射性污染水平检测结果

测点编号	点位描述	表面 β 放射性污染水平检测结果 (Bq/cm ²)	备注
1	核技术利用项目拟建址东侧	*	/
2	核技术利用项目拟建址南侧	*	/
3	核技术利用项目拟建址西侧	*	/

4	核技术利用项目拟建址北侧	*	/
5	核技术利用项目拟建址内	*	/

注：1 表面 β 放射性污染水平探测下限（LLD）为 $0.01\text{Bq}/\text{cm}^2$ ；

2.检测点位见图 8-3。

由表 8-4~表 8-5 可知，本项目核医学诊断工作场所拟建址现场及周边环境的空气吸收剂量率与生态环境部《2020 年全国辐射环境质量报告》中四川省空气吸收剂量率年均值范围基本一致，属于当地正常天然本底辐射水平。本项目核医学诊断工作场所拟建址 β 表面污染为 $<0.01\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，属于正常水平。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备与工艺分析

一、施工期工艺分析

(一) 土建装修施工阶段

本项目设备使用场所将依托其主体建筑第二住院大楼同时修建，第二住院大楼施工期的环境影响已在《达州市中西医结合医院第二住院大楼项目环境影响报告书》中进行了论述，该项目已取得达州市生态环境局批复（达市环审批〔2020〕22号），本项目仅为其中部分建设内容。

本项目设备使用场所主要位于第二住院大楼一层、二层及五层，施工期主要的环境影响包括：

1、扬尘

施工过程中产生的扬尘，属于无组织排放，主要通过施工管理和采取洒水等措施来进行控制。

2、噪声

施工期噪声包括黏土砖的切割、施工机器碰撞以及装修产生的噪声，由于施工范围小，施工期较短，施工噪声对周围环境的影响较小。

3、废水

施工期产生的废水主要包括施工废水和施工人员的生活污水，施工废水循环使用，生活污水产量较小，可依托医院拟建的污水处理设施处理。

4、固体废物

施工中固体废物主要为隔断产生的废砖头、装修过程中产生的装修垃圾以及施工人员产生的生活垃圾，废砖头可回收利用，施工垃圾和生活垃圾均依托医院环保设施进行处理。

(二) 设备安装调试阶段

本项目涉及的射线装置的安装调试阶段，会产生 X 射线，造成一定的辐射影响。设备安装完成后，会有少量的废包装材料产生。

本项目射线装置运输、安装和调试均由设备厂家专业人员进行操作。在射线装置运输、安装、调试过程中，应加强辐射防护管理，在此过程中应保证屏蔽体屏蔽到位，在运输设备和治疗室门外设立辐射警示标志，禁止无关人员靠近；在设备的调试和维

修过程中，射线源开关钥匙应安排专人看管，或由维修操作人员随身携带，并在机房入口等关键处设置醒目的警示牌，工作结束后，启动安全联锁并经确认系统正常后才能启用射线装置；人员离开时运输设备的车辆和治疗室上锁并派人看守。

由于本项目涉及的射线装置的安装和调试均在机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响是可接受的。

二、营运期工艺分析

（一）核医学科项目

1、工程设备

本项目位于四川省达州市通川区西外龙泉路1号达州市中西医结合医院西外新院区，医院拟在第二住院大楼一层新增1处非密封放射性物质工作场所，使用放射性同位素¹⁸F和⁶⁸Ga开展PET/CT显像诊断，使用放射性同位素⁶⁸Ge制备⁶⁸Ga，使用放射性同位素¹⁵³Sm进行核素治疗。本次拟新增辐射项目见表9-1。

表9-1 本项目新增非密封放射性物质工作场所情况一览表

非密封放射性物质						
序号	核素	用途	单个病人最大用量 (mCi/人·次)/用药方式	日最大病人 量(人)	年最大病人 量(人)	日最大操作 量(Bq)
1	¹⁸ F	核素显像	10(静脉注射)	18	4500	6.66×10 ⁹
		源的贮存	日最大备药量: 4×6.66×10 ⁹ Bq=2.66×10 ¹⁰ Bq 年最大备药量: 2.66×10 ¹⁰ Bq×250天=6.66×10 ¹² Bq			
2	⁶⁸ Ga	核素显像	5(静脉注射)	2	500	3.70×10 ⁸
3	⁶⁸ Ge	锗镓发生器, 用于制备 ⁶⁸ Ga	/	/	/	1.85×10 ⁹
4	¹⁵³ Sm	核素治疗	40(静脉注射)	2	500	2.96×10 ⁹

表9-1 本项目新增非密封放射性物质工作场所情况一览表(续表)

射线装置							
序号	射线装置名称	装置型号	最大管电压	最大管电流	射线装置类别	活动种类	备注
1	PET/CT	未定	≤140kV	≤800mA	III	使用	拟购

参照《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》(环办辐射函[2016]430号)中:

- (1) 有相对独立、明确的监督区和控制区划分;
- (2) 工艺流程连续完整;

(3)有相对独立的辐射防护措施的特点,工作场所人流及物流具有自己的独立通道,不与其他楼层交叉等条件。

达州市中西医结合医院本次新建的非密封放射性物质工作场所具有独立的控制区与监督区,整个诊断过程连续完整,且具有独立的辐射防护措施,工作人员、患者及物品具有独立的通道。

因此,达州市中西医结合医院本次新增非密封放射性物质工作场所应作为一个独立的非密封放射性物质工作场所,场所具有独立的监督区、控制区划分。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)附录C提供的放射性同位素工作场所放射性核素日等效最大操作计算方法和建设单位提供的放射性同位素最大日操作量,可以计算出核素的日等效最大操作量。非密封源工作场所的分级判据如表9-2。

表 9-2 非密封放射性物质工作场所的分级

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

放射性同位素的日等效最大操作量根据其毒性组别、操作方式、放射源状态和实际日最大操作量确定。毒性组别和操作方式与放射源状态修正因子见表9-3、表9-4。

表 9-3 放射性核素毒性组别修正因子

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

表 9-4 操作方式与放射源状态修正因子

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

$$\text{日等效用量} = \frac{\text{日操作量} \times \text{毒性修正因子}}{\text{操作方式的修正因子}} \dots\dots \text{公式9-1}$$

根据本项目非密封放射性物质工作场所使用放射性同位素的毒性组别、操作方式和日等效操作量，确定出本项目非密封放射性物质工作场所级别。

达州市中西医结合医院本次新增非密封放射性物质工作场所项目使用的非密封放射性物质日最大用量及年总用量见表 9-5，其日等效最大操作量核算见 9-6。

表 9-5 本项目使用的放射性核素日使用量及年使用量

¹⁸ F	日最大用量	单次使用最大量 10mCi×日最高峰 18 人=6.66×10 ⁹ Bq	核素 显像
	年总用量	单次使用最大量 10mCi×日最高峰 18 人×250 天=1.67×10 ¹² Bq	
	日最大用量	日最大备药量：4×6.66×10 ⁹ Bq=2.66×10 ¹⁰ Bq	源的 贮存
	年总用量	年最大备药量：2.66×10 ¹⁰ Bq ×250 天=6.66×10 ¹² Bq	
⁶⁸ Ga	日最大用量	单次使用最大量 5mCi×日最高峰 2 人=3.70×10 ⁸ Bq	核素 显像
	年总用量	单次使用最大量 5mCi×日最高峰 2 人×250 天=9.25×10 ¹⁰ Bq	
⁶⁸ Ge	日最大用量	单次锗镓发生器购买的规格为 50mCi (1.85×10 ⁹ Bq)	/
	年总用量	1.85×10 ⁹ Bq	
¹⁵³ Sm	日最大用量	单次使用最大量 40mCi×日最高峰 2 人=2.96×10 ⁹ Bq	核素 治疗
	年总用量	单次使用最大量 40mCi×日最高峰 2 人×250 天=7.40×10 ¹¹ Bq	

表 9-6 本项目使用的放射性核素日等效最大操作量核算

核素	物理状态/ 毒性组别	操作方式	日等效最大操作量
¹⁸ F	液态/低毒	注射	日最大操作量 (6.66×10 ⁹ Bq) ×0.01 (低毒) /10 (液态/很简单操作) =6.66×10 ⁶ Bq
		源的贮存	日最大操作量 (2.66×10 ¹⁰ Bq) ×0.01 (低毒) /100 (液态/源的贮存) =2.66×10 ⁶ Bq
⁶⁸ Ga	液态/低毒	注射	日最大操作量 (3.70×10 ⁸) ×0.01 (低毒) /10 (液态/很简单操作) =3.70×10 ⁵ Bq
⁶⁸ Ge	液态/中毒	/	日最大操作量 (1.85×10 ⁹) ×0.1 (中毒) /100 (液态/源的贮存) =1.85×10 ⁶ Bq
¹⁵³ Sm	液态/中毒	注射	日最大操作量 (2.96×10 ⁹ Bq) ×0.1 (中毒) /10 (液态/很简单操作) =2.96×10 ⁷ Bq
合计			4.11×10 ⁷ Bq

注：根据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430 号）规定：医疗机构使用¹⁸F相关活动视为“很简单的操作”。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）非密封源工作场所的分级原则，结合表 9-5 和表 9-6 计算结果可知本项目核医学诊断工作场所日等效最大操作量为 4.11×10⁷Bq，属于（2×10⁷~4×10⁹）的范围，确定达州市中西医结合医院

本次新增的工作场所为乙级非密封放射性物质工作场所。

2、工作原理及工作流程

(1) 放射性同位素 ^{18}F 、 ^{68}Ga 开展 PET/CT 显像诊断项目

1) PET/CT 工作原理

核医学的体内诊断是将放射性核素及其标记物注射到人体内后，由于机体功能和代谢变化，因而可以通过放射性核素及其标记物在体内分布和代谢来反映人体内的病理或生理变化。放射性核素进入人体后，特定的放射性核素按照自身的规律发生衰变，在此过程中发射一定能量的 γ 射线，采用特殊的探测装置可以在人体外探测到体内放射性核素的分布，就能准确的观察到体内的病理或生理变化过程，为医学研究与临床诊断提供可靠信息。

PET 的成像技术是利用带正电子的放射性核素注入人体内产生的湮没辐射 γ 光子构成影像。正电子只能瞬态存在，很快与组织中的负电子结合湮没辐射产生两个能量相等、方向相反的 γ 光子。正电子放射性核素可构成人体各部位的任何影像，包括平面影像、动态影像、断层影像及全身影像。湮没辐射产生的 γ 光子互成 180° ，提供了很好的空间定位。正电子成像一般不需要机械准直器而采用电子准直，大大提高了探测灵敏度，改善了空间分辨率。正电子断层显像主要用于心血管疾病、脑及神经疾病和肿瘤的诊断，对肿瘤的良好、恶性鉴别诊断、分期、化疗和放疗后疗效观察及判断肿瘤病灶转移与复发均有重要价值。近年来，为获得清晰的成像，又发展了与 X 射线 CT 融合的 PET/CT、PET/MR 等设备。

PET/CT 是将 PET 与 CT 联合在一起，通过 PET 扫描和 CT 扫描重叠联合扫描，使两者的硬件和软件有机地结合在一起。这样就可以采用 CT 图像对 PET 功能图像进行解剖定位，同时又可以采用人体 X 射线衰变图的衰变系数对 γ 射线在人体内的衰减进行校正，它自身带有 1 部 CT 机，属于 III 类射线装置。常见的 PET/CT 外观图见图 9-1。



图 9-1 常见的 PET/CT 外观图

本项目工作场所使用放射性同位素 ^{18}F 和 ^{68}Ga ，配合新增的 PET/CT 进行显像诊断。

当某种放射性核素或其标记物（ ^{18}F 或 ^{68}Ga ）通过注射等方式进入体内后，依其化学及生物学特性不同，随血流等进入某些特定的组织器官，参与或模仿某些生命物质在人体内的病理生理、引流代谢的过程。由于正常组织和病变组织在这个过程中的差异，使其聚集这种放射性核素或其标记物的能力发生了变化。利用 PET 来探测这种放射性核素发射的 γ 射线在体内的分布状态并还原成图像，其影像不仅可以显示脏器和病变的位置、形态、大小等解剖结构，更重要的是可以显示脏器的功能、代谢情况，提供有关脏器的血流、功能、代谢和引流等方面定性的和定量的信息。而血流、功能和代谢的异常，常是疾病的早期变化，出现在形态结构发生改变之前。因此，PET 放射性核素显像有助于疾病的早期诊断。

本项目 PET/CT 拟使用的放射性核素种类及其特性见表 9-7。

2) 锗镓发生器淋洗工作原理

本项目显像诊断使用的 ^{68}Ga 由锗镓发生器淋洗而成，该发生器属于裂变色层发生器，基本部件是钼酸锗柱/活化氧化铝柱、淋洗系统和用于保护工作人员的辐射屏蔽套。 ^{68}Ga 由活化氧化铝柱内 ^{68}Ge 不断裂变产生，并被活化氧化铝柱吸附，当加入适当的淋洗剂时， ^{68}Ga 便以 $^{68}\text{GaO}^{4-}$ 的形式被淋洗出来，整个过程称为“挤奶”。为了使用方

便，一套发生器除基本部件外，常附加子体核素溶液接收瓶（即负压瓶）和一定量的淋洗剂（生理盐水）。由于母体核素的不断衰变就不断地产生子体核素，因而核素发生器可以反复淋洗制得子体核素。

3) ^{68}Ga 制备工作流程

本项目放射性药物 ^{18}F 及 ^{153}Sm 直接向有资质单位进行购买，本项目不涉及 ^{18}F 及 ^{153}Sm 药物制备， ^{68}Ga 放射性药物均由工作人员通过发生器自行进行制备，其制备、注射和显像流程如下：

①将生理盐水瓶插入发生器的双针，一分钟后整体拔下外有防护罐的负压瓶，即制得淋洗液，制得的淋洗液贮存于外有防护罐的负压瓶之中。通常整个淋洗过程约需两分钟。

②测量活度：测量活度在手套箱内进行，由负责注射的工作人员完成，手套箱内配置有用于活度测量的活度计，工作人员用注射器吸取少量淋洗液，测量其放射性活度，得出该瓶淋洗液的比活度，同时可测量淋洗液的纯度。用注射器将已测量好活度的淋洗液迅速转移至冻干药盒，并充分摇匀，稀释到预设体积。

③给药试验、测定：注射护士手持带铅套的注射器，在注射铅玻璃屏的屏蔽下为病人注射，病人注射完药物后进入注射后候诊室内观察等待，等待结束后注射病人进入 PET/CT 机房进行显像诊断，诊断结束后病人进入留观室休息一定时间后可直接离开。

4) PET/CT 显像诊断具体工作流程如下：

①接收患者，开具 PET/CT 诊断单并告知患者诊断过程存在辐射危害；

②医生根据病情确定使用核素的用量；与患者预约，按需订购或制备放射性药物；

③病人通过注射将放射性药物摄入。在药品摄入过程中存在 γ 射线污染，同时会产生放射性废水、固废（注射器、棉球、药品盒）；

④病人注射完药物后进入注射后候诊室内观察等待，等待结束后注射病人进入 PET/CT 机房进行显像诊断，诊断结束后病人进入留观室休息一定时间后离开。此过程病人带有 γ 射线。

因此，用 ^{18}F 、 ^{68}Ga 等核素进行 PET 显像主要环境影响为分装、注射对工作人员产生的外照射；注射过程对工作台面、地面等造成的表面污染；操作过程产生的放射性固体废物，如使用放射性药物的注射器、注射针头、可能沾染放射性药物的试管、

棉签、手套、口罩、污染擦拭或清洗物等放射性固体废物；操作过程产生的放射性废水，如洗涤废水、注射放射性药物患者的排泄物，PET/CT 扫描时产生的 X 射线。

本项目 PET/CT 拟配置校准源，校准源枚数及活度暂未确定，因此本环评不对其进行评价。待医院确定校准源枚数及活度后，在校准源购买前应履行相关环评手续，并应在辐射安全许可证上进行登记。

(2) 放射性同位素 ^{153}Sm 核素治疗项目

1) 工作原理

在常见的恶性肿瘤中，肺癌、乳腺癌和前列腺癌等常发生骨转移。它们发生骨转移时，肿瘤细胞释放破骨激活因子，后者刺激破骨细胞对骨质的吸收，导致骨溶解破坏的发生。同时，肿瘤细胞能分泌一些治病介质，如前列腺素、乳酸等，导致顽固性疼痛。

^{153}Sm 主要用于骨转移癌的治疗，通过高度选择性聚集在病变部位的放射性核素或其标记物所发射出的射程很短的 β 粒子，对病变进行集中照射，在局部产生足够的电离辐射生物学效应，达到抑制或破坏病变组织的目的，其有效射程很短，因而邻近正常组织和全身辐射吸收剂量很低，从而达到止痛和破坏肿瘤的目的。

2) 工作流程、产污环节及污染因子

医生对患者进行检查，根据病情确定注射剂量，与患者预约，根据患者数量提前向药物供货商订购 ^{153}Sm 注射药物，由药物供货商负责将药物运输至储源室或分装标记室手套箱内，工作人员通知患者进入注射室，按配送的药物直接给每个患者注射，不用稀释分装。

注射护士手持带铅套的注射器，在注射铅玻璃屏的屏蔽下为患者注射，注射完毕后，注射器放入专用废物铅桶内。患者注射前，告知其进行入厕，诊疗期间不使用核医学科内厕所；患者注射后，如无异常情况可从专用通道离开。由于门诊量较少，医院根据患者数量进行预约治疗，日最高峰约 2 人， ^{153}Sm 骨疼痛缓解治疗期间，其它核素诊疗项目暂停。 ^{153}Sm 骨疼痛缓解治疗项目工作流程及产污环节分析见图 9-3。

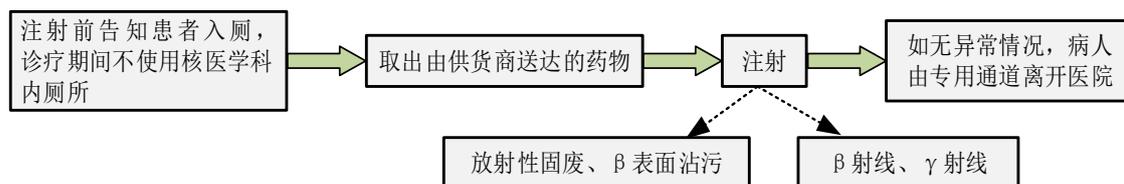


图 9-3 ^{153}Sm 骨疼痛缓解治疗项目工作流程及产污环节分析示意图

因此，使用放射性同位素 ^{153}Sm 进行核素治疗，主要环境影响为注射对工作人员产生的外照射；注射过程对工作台面、地面等造成的表面污染；操作过程产生的放射性固体废物，如使用放射性药物的注射器、注射针头、可能沾染放射性药物的试管、棉签、手套、口罩、污染擦拭或清洗物等放射性固体废物。

3、项目人流及物流的路径规划

本项目非密封放射性物质工作场所位于第二住院大楼一层，结合本项目的工艺流程，本次新增的非密封放射性物质工作场所项目人流、物流路径规划具体如下：

(1) 工作人员路径：

注射工作人员由西北侧的更衣室通过防护门进入注射室及分装标记室，在储源室取出所需注射的放射性药物至分装标记室的手套箱内，在手套箱内完成分装活度测量等操作，分装后的药物经传递窗传递至注射室，最后在注射窗口给患者施药。该路径上更衣室内配置有表面污染监测设备，设置有感应式洗手池和去污淋浴设施，注射室及分装标记室内产生的固体废弃物暂存于废物桶内，随后转移至核医学科的污物暂存间内。

PET/CT 操作人员经由东侧阅片室进入 PET/CT 控制室，进行扫描操作。

(2) ^{18}F 、 ^{68}Ga 显像诊断患者路径：

患者经西北侧缓冲区进入诊断区域，首先到达留置针室进行注射前埋针，埋针后进入注射室，在注射室注射窗口注射放射性药物后，进入注射后候诊室休息等待，再进入 PET/CT 机房进行显像检查，检查完毕后在留观室内休息片刻，再至出口缓冲区经表面污染水平检测后离开。该路径上，患者入口和患者出口处均设置有缓冲区，仅允许患者单向通行。该诊断区域内设有专用卫生间，患者在专用卫生间内如厕，不随意走动，诊断期间，各自根据叫号系统提示到相应的位置进行诊断检查。

(3) ^{153}Sm 核素治疗患者路径：

患者经西北侧缓冲区进入诊断区域，首先到达留置针室进行注射前埋针，埋针后进入注射室，在注射室注射窗口注射放射性药物后，无异常情况即可离开。

(4) 工作场所拟使用的药物运送路径：

本项目所使用的 ^{18}F 、 ^{153}Sm 放射性药物均提前向有资质的供应商提前预定，供货单位在病人就诊前将放射性药物通过核医学科西南侧的通道送至储源室暂存，随后送至分装标记室后手套箱内暂存。

^{68}Ga 放射性药物由锗镓发生器淋洗而成，制得的淋洗液贮存于外有防护罐的负压瓶之中，分装及测量活度均在手套箱内进行，制备所得药物均在手套箱内暂存。

^{68}Ga 的制备涉及使用锗镓发生器，本项目使用锗镓发生器由有资质单位供应，由货单位经核医学科西南侧的通道送至储源室，并暂存于储源室内的双人双锁保险柜中。

(5) 污物路径：

本项目核医学诊断工作场所产生的废物在污物暂存间内暂存，经监测符合清洁解控水平后，按照医疗废物执行转移联单制度，最终交由有资质单位进行统一收集、清运和处理。患者在就诊过程产生的放射性废水和工作场所清洗废水通过独立的废水管道收集至本项目衰变池内进行衰变处理，在衰变池内暂存 30 天后排放至医院污水处理站进一步处理后纳入市政污水管网。

本次新增的工作场所区域划分及病人、医护人员流动路线见图 9-4。本项目新增非密封放射性物质工作场所相关配套布局能够保证各项工作程序沿着相关房间单向开展，最大限度的减少了人员的流动性，有助于实施工作程序；医护人员与病患各自独立的通道，本项目非密封放射性物质工作场所布局满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—2021）中相关标准要求。

(二) 介入诊断项目

数字减影血管造影（Digital Subtraction Angiography, DSA）是 20 世纪 80 年代继 CT 之后出现的一项医学影像学新技术，是电子计算机图像处理技术与传统 X 线血管造影技术相结合的一种新的检查方法。可以满足心血管、外周血管的介入检查和治疗，以及各部位非血管介入检查与治疗。介入诊断与治疗是指医生在 DSA 图像的引导下，通过皮穿刺途径或通过人体原有孔道将导管或器械插入病变部位或注射造影剂，进行诊断和治疗。

1、工作原理

DSA 是影像增强器技术、电视技术和计算机科学技术相结合的产物，是应用最多的数字化 X 射线透视设备。DSA 主要由带有影像增强器电视系统的 X 射线诊断机、高压注射器、电子计算机图像处理系统、治疗床、操作台和多幅照相机组成。

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。两次数字相减，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。通过数字减影血管造影系统处理的图像，使血管的影像更为清晰，在进行介入手术时更为安全。

2、设备组成

DSA 主要由带有影像增强器电视系统的 X 射线诊断机、高压注射器、电子计算机图像处理系统、治疗床、操作台和多幅照相机组成。

3、操作流程

DSA 在进行曝光时分为检查和介入治疗两种情况，对应的治疗流程及产污图见图 9-5:

① DSA 检查

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

② DSA 治疗

医师采取近台同室操作方式，通过控制 DSA 的 X 线系统曝光，对患者的部位进行间歇式透视。具体方式是受检者位于手术床上，介入手术医师位于手术床一旁，距 DSA 的 X 线管 0.3~1.2m 处。介入治疗中，医师根据操作需求，踩动手术床下的脚踏开关启动 DSA 的 X 线系统进行透视，通过显示屏上显示的连续画面，完成介入操作。DSA 机房内配备个人防护用品（如铅衣、铅围裙、铅围脖、铅眼镜等），同时手术床旁设有床下铅帘和悬吊铅屏风。

4、DSA 机房人流及物流路径规划

(1) DSA-01 机房

①患者路径：本项目患者从 DSA-01 机房南侧洁净走廊进入 DSA-01 机房内接受治疗。

②医生路径：本项目辐射工作人员从 DSA-01 机房南侧洁净走廊进入控制室，介入手术医生经控制室至 DSA-01 机房铅防护门进入机房内进行床旁手术操作，放射技师在控制室内对 DSA 设备进行隔室操作。

③污物路径：本项目产生的医疗废物，经 DSA-01 机房北侧污物门及污物通道至废物暂存间暂存。

(2) DSA-02 机房

①患者路径：本项目患者从 DSA-02 机房南侧洁净走廊进入 DSA-02 机房内接受治疗。

②医生路径：本项目辐射工作人员从 DSA-02 机房南侧洁净走廊进入控制室，介入手术医生经控制室至 DSA-02 机房铅防护门进入机房内进行床旁手术操作，放射技师在控制室内对 DSA 设备进行隔室操作。

③污物路径：本项目产生的医疗废物，经 DSA-02 机房北侧污物门及污物通道至废物暂存间暂存。

(3) DSA-03 机房

①患者路径：本项目患者从 DSA-03 机房西侧走廊进入 DSA-03 机房内接受治疗。

②医生路径：本项目辐射工作人员从 DSA-03 机房西侧走廊进入控制室，介入手术医生经控制室至 DSA-03 机房铅防护门进入机房内进行床旁手术操作，放射技师在控制室内对 DSA 设备进行隔室操作。

③污物路径：本项目产生的医疗废物，经 DSA-03 机房西侧污物门至废物暂存间暂存。

污染源项描述

一、施工期污染源

1、废水

施工期少量废水主要来自以下几个方面：

①施工场地废水；②施工人员生活污水。

2、扬尘

施工期的大气污染物主要是地面扬尘污染，污染因子为 TSP，为无组织排放。施工产生的地面扬尘主要来自三个方面，一是墙体装修扬尘；二是来自建筑材料包括水

泥、沙子等搬运扬尘；三是来自来往运输车辆引起的二次扬尘。

3、固体废物

施工期产生的固体废弃物主要为施工人员的生活垃圾及废弃的各种建筑装饰材料等建筑垃圾。

4、噪声

主要是使用施工机械和装修设备产生的噪声。

二、营运期污染源

1、电离辐射

PET/CT 扫描时产生的 X 射线，放射性药物在取药、分装、注射、注射后候诊、扫描等操作过程中产生的 γ 射线。以上射线会造成医务人员和公众的外照射。

DSA 在开机出束状态下产生 X 射线，主要辐射污染途径为外照射，设备未开机状态不产生 X 射线。

2、 β 放射性表面污染

医生在对含有放射性同位 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{68}Ge 及 ^{153}Sm 的操作中的各种操作中，会引起工作台、工作服和手套等产生放射性沾污，造成小面积的 β 放射性表面污染。

3、含放射性核素气溶胶

本项目核医学科使用的 ^{18}F 及 ^{153}Sm 在专业供应商放置在铅罐中直接送到储源室或分装注射室的手套箱中，基本无开放液面，空气中挥发散逸的放射性同位素较少，因此放射性气溶胶较少，其对医护人员和公众的内照射影响较小。

本项目核医学科使用的 ^{68}Ga ，采取负压瓶进行密封储存，在分装过程中采取注射器进行抽取，并最终通过静脉注射进入病人体内，空气中挥发散逸的放射性同位素较少，因此放射性气溶胶较少，其对医护人员和公众的内照射影响较小。

4、放射性废水

体内含有放射性核素的病人排泄物；工作场所清洗废水等。

5、放射性固体废物

放射性同位素操作过程中产生的如注射器、一次性手套、棉签、滤纸等带微量放射性同位素的医疗固体废弃物，污染途径为操作过程中及收集固废过程中和贮存衰变时对医务人员产生的外照射。

本项目产生的退役锗镓发生器拟委托设备厂家进行回收、处置。

6、非放射性三废

1) 废水

本项目辐射工作人员在工作中会产生生活污水及医疗废水。

2) 废气

在 CT 开机并曝光时，X 射线电离空气，会产生臭氧和氮氧化物。CT 曝光时间很短，臭氧和氮氧化物的产生量极少。

在 DSA 设备开机出束过程中，手术室内的空气在电离辐射作用下产生臭氧及氮氧化物等有害气体。

3) 废物

辐射工作人员工作中会产生的少量的生活垃圾和办公垃圾。

本项目介入手术时会产生的医用器具和药棉、纱布、手套、废造影剂及废造影剂瓶等医疗废物。

4) 噪声

本项目噪声主要来源于各机房通排风系统的室外机以及屋面的通排风系统的风机，本项目所使用的通排为低噪设备，经建筑物墙体隔声及医院场址内的距离衰减后，运行期间厂界噪声可达到相关标准要求。

表 10 辐射安全与防护

项目安全措施

一、工作区域布局管理

(一) 工作场所布局合理性

医院综合考虑项目特点和对周围环境可能存在的影响，拟将本项目新增核医学工作场所、DSA-01 机房、DSA-02 机房及 DSA-03 机房建设于第二住院大楼内。

本项目新增核医学工作场所位于第二住院大楼一层内，整个诊断工作场所相对独立，与其他科室有明显的界限，新增的核医学诊断工作场所避开了医院的产科、儿科、食堂等部门，且新增的工作场所出入口避开了人流量较大的门诊大厅、收费处等人群稠密区域，避免了对公众不必要的照射。

由 DSA-01 机房、DSA-02 机房及 DSA-03 机房平面布局可知，与射线装置相关的辅助用房紧密布置于射线装置机房周围，整体布局紧凑，既便于医疗工作，又利于辐射防护。各用房之间采用墙体分隔，墙体、防护门窗的屏蔽防护厚度充分考虑了电离辐射效应，能够有效降低电离辐射对工作人员和周边公众的辐射影响。

本项目辐射工作场所根据工作要求且有利于辐射防护和环境保护进行布局，功能分区明确，既能有机联系，又不互相干扰，且最大限度避开了人流量较大的门诊区或其它人流活动区；在设计阶段，辐射工作场所进行了合理的优化布局，同时兼顾了病人就诊的方便性。

综上所述，本项目平面布局既满足放射诊断工作要求，又有利于辐射防护。评价认为，本项目平面和空间布局合理。

(二) 两区划分

1、分区原则

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

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

监督区—通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—2021）：核医学工作场所的控制区主要包括回旋加速器机房、放射性药物合成和分装室、放射性药物贮存室、给药室、给药后候诊室、扫描室、核素治疗病房、给药后患者的专用卫生间、放射性废物暂存库、衰变池等区域。核医学工作场所的监督区主要包括回旋加速器和显像设备控制室、卫生通过间以及与控制区相连的其他场所或区域。

2、控制区与监督区的划分

(1) 区域划分

本次环评根据控制区和监督区的定义，结合项目辐射防护和环境情况特点进行辐射防护分区划分。

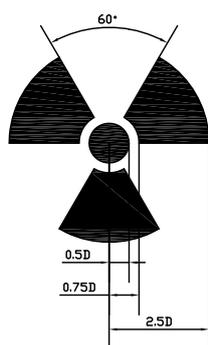
本项目控制区和监督区划分情况见表 10-1 及图 10-1~图 10-3。

表 10-1 项目控制区和监督区划分情况

科室名称	控制区	监督区
核医学诊断工作场所	注射室、分装标记室、储源室、注射后候诊室、PET/CT 机房、留观室、患者通道、衰变池等	PET/CT 控制室、设备间、更衣室、去污淋浴室及医生办公室等
DSA-01 机房	DSA-01 机房	控制室、设备间、污物通道、洁净走廊等
DSA-02 机房	DSA-02 机房	控制室、设备间、污物通道、洁净走廊等
DSA-03 机房	DSA-03 机房	控制室、设备间、污物打包间、治疗准备室等

(2) 控制区的防护手段与安全措施：

①控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志（如图 10-4）。



a. 电离辐射标志



b. 当心电离辐射警告标志

图 10-4 电离辐射标志和电离辐射警告标志

②制定辐射防护与安全管理措施，包括适用于控制区的规则和程序；

③运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可制度）和实体屏障（包括门锁）限制进出控制区；

④在去污淋浴/更衣室备有个人防护用品、工作服、污染监测仪和被污染防护衣具的贮存柜；

⑤定期审查控制区的实际状况，以确保是否有必要改变该区的防护手段、安全措施或该区的边界。

(3) 监督区防护手段与安全措施

①以黄线警示监督区的边界；

②在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；

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

二、辐射安全及防护措施

(一) 机房屏蔽措施

本项目新增非密封放射性物质工作场所及医用射线装置使用项目屏蔽设计见表 10-2 及表 10-3。

(二) 辐射安全措施

1、核医学科项目

(1) 辐射安全措施

①电离辐射警告标志

医院计划在核医学科控制区各房间防护门外设置明显的电离辐射警告标志，警示人员注意安全。在 PET/CT 机房受检者防护门上方设置工作状态指示灯，并与防护门联锁，防护门关闭时指示灯为红色（以警示人员注意安全），防护门打开时，指示灯灭。

②紧急制动装置及紧急开门按钮

在 PET/CT 控制台上、设备机身安装供紧急情况使用的强制终止照射的紧急制动按钮。一旦在检查过程中出现紧急情况，工作人员按动紧急制动按钮即可令 PET/CT 停止运行。

在防护门入口处设置有紧急开门按钮，一旦在检查过程中出现紧急情况，工作人员按动紧急开门按钮即可打开防护门。

③操作警示装置

PET/CT 扫描时，操纵台上的指示灯变亮，警示装置发出警示声音。

④视频监控和对讲装置

在工作场所范围内设置视频监控系统，便于观察受检者的情况、核医学科工作场所进出/口情况；PET/CT 机房和控制室之间拟安装对讲装置，便于工作人员通过对讲装置于机房内受检者联系。

⑤门禁系统

在核医学科受检者各出入口处设置专用单向门禁系统，对受检者的出入进行控制。

⑥注射后候诊室与留观室拟设置患者专用厕所，废水直接流向核医学科下方新建的衰变池系统内。

⑦对控制区内带药病人的监督管理

医院应做好本项目控制区的监督管理工作，防止无关人员入内；加强对控制区内病人的监督管理，避免其给药后随意走动；同时应告知检查完成后病人离开路线，防止其对公众造成不必要照射，核医学科的出入口均设置有“缓冲间”，缓冲间内设有表面污染水平监测仪，患者检查结束后均需进行监测。

⑧“两区”内安全防护措施规定

工作人员离开工作室前洗手和作表面污染监测，如其污染水平超过规定限值，采取去污措施。从控制区取出任何物件都应进行表面污染水平监测，以保证超过规定限值的物件不携出控制区。

⑨储源室红外报警系统

本项目核医学诊断工作场所的储源室拟设置双人双锁的保险柜，工作场所内使用的放射性药物放置于铅罐中由供应单位派专人直接送至储源室内暂存，备用药品及未用完的放射性药物放置在储源室双人双锁的保险柜内，日常期间由值班人员巡视检查，储源室出入口安装摄像头、红外报警系统。

⑩通排风系统

整个核医学科工作场所设置独立的动力通排风装置，并保证整个工作场所为负压工作场所。

(2) ^{18}F 、 ^{153}Sm 放射性药物的存放安全措施

本项目所使用的 ^{18}F 、 ^{153}Sm 核素药物，医院将通过向有相关资质的放射性核素供应单位购买。医院根据临床诊断所需药物的使用量，提前向放射性核素供应单位订购，

供应单位在约定的时间负责将放射性药物运送至核医学科，建设单位安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接手续后暂存至储源室内，随后转移至分装标记室的手套箱内，建设单位将自行对购买的放射性核素进行分装。建设单位严禁无关人员进入工作场所所在区域，严禁辐射操作人员违规操作放射性核素。医院将在放射性核素交接结束后，开展进行放射诊断工作。

分装标记室、储源室防护门拟设计为铅防护门，钥匙由专人负责保管；日常期间由值班人员巡视检查；出入口安装摄像头。建设单位必须配备专（兼）职人员负责放射性药物的管理并建立健全放射性物质的保管、领用、注销登记和定期检查制度。要求设置专门的台账（如交收账、库存帐、消耗账），加强对放射性药物的管理，严防丢失。放置放射性物质的容器，必须容易开启和关闭，容器外必须有明显的标签（注明元素名称、理化状态、射线类型、活度水平、存放起止时间、存放负责人等）。

(3) ^{68}Ga 放射性药物的存放安全措施

本项目显像诊断使用的 ^{68}Ga 由锗镓发生器淋洗而成，医院将根据临床诊断所需药物的使用量进行制备，制得的淋洗液贮存于外有防护罐的负压瓶之中，并在手套箱内暂存。建设单位应严禁无关人员进入核医学科所在区域，严禁辐射操作人员违规操作放射性核素。

(4) 表面污染控制措施

为保证非密封放射性物质工作场所的表面污染水平达到《电离辐射防护源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准，建设单位应做到：

- ①放射性药物应当有良好的外包装，送入后要妥善储存及转移，防止意外撒漏；
- ②操作放射性药物时，须在有负压的手套箱内进行，防止放射性物质撒漏；
- ③放射性药物操作人员应当定期参加相关专业培训，具备相应的技能与防护知识，并配备有适当的防护用品；

④操作台、地面应当选用易于清污的材料或材质，并且每次操作完成后应当使用表面污染监测仪器对操作台、地面、个人防护用品等进行表面污染监测，并购买放射性表面去污用品和试剂进行去污，以满足《电离辐射防护源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准值。

(5) 人员防护措施

人员主要指本项目辐射工作人员、受检者及本次评价范围内其他人员。

①辐射工作人员的防护

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

屏蔽防护：将辐射源安置在专用、固定的工作场所内，通过场所的有效实体屏蔽辐射源产生的辐射危害；为核素操作人员配备铅防护手套、铅衣等个人防护用品，注射器配备注射防护套和注射器防护提盒。

时间防护：在满足工作质量的前提下，尽量减少工作时间，使照射时间最小化。

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

②其他人员防护

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

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

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

（6）操作过程中的防护措施

医生在进行放射性药品的分药操作时首先做好个人防护，包括穿铅衣，戴铅眼镜、铅手套、口罩、工作帽等（个人防护用品均具备 0.5mmPb 当量）。分装时，手动将定量的药物移至注射器或容器内，经测量核定药物活度后转移给病人注射或口服。分药时药品、铅罐均放置在垫有滤纸的瓷盘内进行，以防止放射性药液洒漏造成操作台污染。分装标记室内设有 10mmPb 废物铅桶，用于暂时收集放射性废物。

放射性药物的注射处位于注射室注射窗口，在注射过程中医生均需做好个人防护措施，包括穿戴铅衣、铅帽、铅手套和铅围脖等个人防护用品（均不低于 0.5mmPb 当量），注射器外还配有 5mmPb 当量注射器防护套，注射操作台的观察窗拟采用 54mm 铅当量的铅玻璃防护。注射操作时，医生（采取相应防护措施）与病人及药物分别位于铅玻璃的两侧。

^{18}F 、 ^{68}Ga 患者注射药物后进入注射后候诊室等待，等待结束后，患者进入 PET/CT 扫描间进行显像诊断； ^{153}Sm 患者注射药物后，如无异常情况可从专用通道离开， ^{153}Sm

治疗期间，其它核素诊疗项目暂停。

(7) 工作场所对注射或服药后病人防护措施

首先告知病人及家属辐射可能带来的危害性，病人要与陪护人员实行隔离，陪护人员不允许在等候区域内驻留，同时需要求病人在注射后在注射后候诊室内休息，禁止随意走动，呕吐物和排泄物要排入专用厕所，最终排入废水衰变池。

2、介入诊断项目

(1) 设备固有安全性

本项目 DSA 购置于正规厂家，满足国家质检要求，装置泄露辐射不会超过国家规定的限值。

此外设备自身采取以下安全防护措施：

1、采用栅控技术：在每次脉冲曝光间隔向旋转阳极加一负电压，抵消曝光脉冲的启辉与余辉，起到消除软 X 射线、提高有用线品质并减小脉冲宽度作用。

2、采用光谱过滤技术：在 X 射线管头或影响增强器的窗口处放置铜过滤板，以多消除软 X 射线以及减少二次散射，优化有用 X 射线谱。设备提供适应不同应用场所可以选用的各种形状与规格的准直器隔板和过滤板。

3、采用脉冲透视技术：在透视图像数字化基础上实现脉冲透视，改善图像清晰度，并能明显地减少透视剂量。

4、采用图像冻结技术：每次透视的最后一帧图像被暂时并保留于监视器上显示，即称之为图像冻结。充分利用此方法可以明显缩短总透视时间，达到减少不必要的照射。

5、配备相应的表征剂量的指示装置：配备能在线监测表征输出剂量的指示装置，例如剂量面积乘积（DAP）仪等。

6、配备辅助防护设施：项目拟购 DSA 配有悬吊铅帘和床下铅帘（两者的防护铅当量均不低于 0.5mm 铅当量），在设备运行中可加强对医护人员的辐射防护。

7、正常情况下，必须按规定程序并经控制台确认验证设施无误时，才能由“启动”键启动照射；同时床体上设置有“紧急停机开关”按钮，一旦发现异常情况，工作人员可立即按下此按钮来停止照射。

(2) 安全装置

①门灯连锁：

各机房病人出入防护门顶部应设工作状态指示灯，并与防护门联锁。防护门关闭时，工作状态指示灯亮，以警示人员注意安全；当防护门打开时，指示灯熄灭。

②急停按钮：

在手术床旁及控制室内设急停按钮（按钮与 X 射线系统连接）。在射线装置出束过程中，一旦发现紧急情况，按下急停开关可停止 X 射线系统出束。

③警告标识：在病人至 DSA 机房防护门外、控制室至 DSA 机房防护门外、DSA 机房至设备间防护门外及 DSA 机房至污物间（或污物通道）防护门外醒目的位置设置“当心电离辐射警告”标志。

④辐射监测设备：医院拟配备 1 台便携式 X - γ 剂量监测仪，用于场所的剂量水平监测。

⑤医院应每月对射线装置、安全联锁装置、机电设备等辐射防护设施设备进行检查，发现问题应及时维护、更换。

(3) 人员的安全防护

人员主要指本项目辐射工作人员、患者和本次评价范围内的公众。

1) 辐射工作人员的安全防护

为减少辐射工作人员的照射剂量，采取的主要方法有源项控制、屏蔽防护、时间防护和距离防护，多种防护联合运用、合理调节：

①源项控制

在满足治疗要求的前提下，针对不同病人制定最优化的治疗方案，选择能达到治疗要求最低的射线照射参数，使射线强度最小化，并通过设备的可调限束装置进行参数设置，使装置发射的线束宽度尽量减小，以减少泄漏辐射，避免不必要的照射。

②屏蔽防护

从事介入治疗的医生、护士拟配备铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套等个人防护用品，除介入防护手套外，防护用品和辅助防护设施的铅当量应至少为 0.5mm 防护铅当量，介入防护手套铅当量应不小于 0.025 mmPb。

③时间防护

在满足治疗要求的前提下，在每次使用射线装置进行治疗之前，根据治疗要求和患者实际情况制定最优化的治疗方案，选择合理可行尽量低的射线照射参数，以及尽量短的曝光时间，减少工作人员的受照时间，也避免患者受到额外剂量的照射。另外，

对从事介入治疗手术的医生和护士应采取分组制，以避免某一工作人员因长时间操作所致剂量超标。

④个人剂量监测

根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）“5.3 佩戴 5.3.2”中要求“对于如介入放射学、核医学放射药物分装与注射等全身受照不均匀的工作情况，应在铅围裙外锁骨对应的领口位置佩戴剂量计”和“5.3 佩戴 5.3.3”中要求“对于 5.3.2 所述工作的情况，建议采用双剂量计监测方法（在铅围裙内躯干上再佩戴另一个剂量计），且宜在身体可能受到较大照射的部位佩戴局部”剂量计（如头箍剂量计、腕部剂量计、指环剂量计等）”。

本项目辐射工作人员均应配备有个人剂量计（每名介入治疗医生需配备 2 套个人剂量计），并要求在上班期间必须佩戴。医院定期（每季度一次）将个人剂量计送有资质单位进行检测，检测结果存入个人剂量档案。

2) 患者和陪检者的安全防护

医院应为患者配有防护围裙或方巾等防护用品（其防护铅当量应不低于 0.5mm），用于患者非照射部位的防护。为陪检者至少配备铅衣，以避免受检者受到不必要的照射。此外，在不影响治疗效果的前提下，保持患者与射线装置靶源尽可能远的距离。

3) DSA 机房周边公众的安全防护

周边公众主要依托放射工作场所的屏蔽墙体、防护门窗和楼板等实体屏蔽设施屏蔽射线。同时，放射工作场所严格实行辐射防护“两区”管理，在 DSA-01 机房、DSA-02 机房及 DSA-03 机房门外设置工作状态指示灯，张贴醒目的电离辐射警告标志，禁止无关人员进入控制区，以增加公众与射线源之间的距离，避免受到不必要的照射。

4) 与《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）要求符合性分析

对照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中人员安全防护的要求，本项目针对介入操作采取的人员安全防护措施的符合性分析见表 10-5。

表 10-5 项目采取的介入操作人员安全防护措施符合性

场所名称	分项		《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）要求	本项目拟采取措施
DSA-01 机房、 DSA-02 机房及	辐射工作人员	个人防护用品	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	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套、铅橡胶帽子
		辅助防	铅悬挂防护屏/铅防护帘/床侧	铅悬挂防护屏、铅防护帘、

DSA-03 机房		护设施	防护帘/床侧防护屏 选配：移动铅防护屏风	床侧防护帘、床侧防护屏
	患者 和陪 检者	个人防 护用品	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或 方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	铅三角巾、铅橡胶颈套、铅橡 胶帽子

由表 10-5 可知，医院拟配置个人防护用品和辅助防护设施情况满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）相关要求。

三、辐射工作场所安防措施

为确保本项目乙级非密封放射性物质工作场所和射线装置的辐射安全，本项目采取的安全保卫措施见表 10-6。

四、辐射安全防护设施对照分析

根据《生态环境部辐射安全与防护监督检查技术程序》和《四川省核技术利用辐射安全与防护监督检查大纲》（川环函[2016]1400 号），将本项目的设施、措施进行对照分析，见表 10-7。

五、环保投资

为了保证本项目安全持续开展，根据相关要求，医院将投入一定资金建设必要的环保设施，配备相应的监测仪器和防护用品，本项目环保投资估算见表 10-8。

本项目总投资*万元，环保投资*万元，占总投资的*。今后医院在核技术利用项目实践中，应根据国家发布的法规内容，结合医院实际情况对环保设施做补充，使之更能满足实际需要。同时医院应定期对环保设施、监测仪器等进行检查、维护。

三废的治理

一、核医学科项目

本项目核医学诊断工作场所运行期产生的主要放射性三废为工作场所使用非密封性同位素过程中产生的含放射性固废、放射性废水和含放射性核素气溶胶，核医学诊断工作场所拟采取以下“三废”防治措施。

（一）含放射性核素气溶胶

本项目工作场所排风管道分为 2 支，其中 1 支单独连接分装标记室内设置的手套箱，放射性药物的各项操作均在手套箱内进行，手套箱由专业厂商提供；第 2 支管连接分装标记室、注射室、注射后候诊室、PET/CT 机房及留观室等，且场所内的送风系统送风量小于排风系统的排风量，保证了非密封放射性物质工作为负压工作场所，通

风管道布设如图 10-6 所示。

(二) 放射性废水

本项目工作场所产生的含放射性废水包括：工作人员操作过程手部受到微量污染的清洗废水，清扫工作台面、地坪的清洁工具清洗时可能会有带有微量放射性的废水，以及患者冲洗排便用水。

本项目核医学科设置有独立的病人专用卫生间，且设置有独立的排水系统，并与本项目新建衰变池相连，工作场所产生的放射性废水通过预埋好的管道排至本次新建的衰变池系统内。

本项目核医学科内大部分下水管道位于建筑体内，对于少部分外露管道将采用铅皮进行包裹，尽量减小对公众的辐射影响，本项目衰变池平面布局详见图 10-7，本项目核医学科污水管道布置示意图详见附图 4-4。

1、处理措施

本项目拟于第二住院大楼负一层东侧新建一处衰变池，该衰变池系统共设 3 个相同体积的放射性废水衰变槽体，每个有效容积为 9m^3 ，放射性废水衰变系统采用并联排放运行。

2、衰变池的运行原理

本项目新建的衰变池为成品衰变池，该衰变池由一个污泥池加三个容积均为 9m^3 的小池组成，核医学科产生的放射性废水先进入沉淀池进行初级沉淀后排入第一个衰变池中，待第一个衰变池的废水装满后关闭第一个衰变池的进水阀门，打开第二个衰变池的进水阀门，核医学的废水通过沉淀池会排入第二衰变池内，此时第一个衰变池不外排放射性废水，待第二个衰变池的废水装满后，关闭第二个衰变池的进水阀门，打开第三个衰变池的进水阀门，此时核医学科产生的放射性废水均进入第三个衰变池内，待第三个衰变池即将装满放射性废水时，此时打开第一个衰变池的排水阀门，将放射性废水排至医院污水处理站。三个衰变池以此往复运行。

3、衰变池容量可行性分析

工作场所放射性废水主要来源是工作台面、地面去污时产生的放射性废水，工作人员操作过程中手部受到微量污染的清洁废水，患者冲洗排便废水。本项目 ^{153}Sm 核素治疗患者治疗时间较短，注射后无特殊情况即可离开，在接受注射前工作人员将提前告知其进行入厕，诊疗期间不使用核医学科内厕所，故本项目放射性废水涉及的核

素为 ^{18}F （半衰期为 109.8min）， ^{68}Ga （半衰期为 68.3min）。

患者产生的废水量：参考《建筑给水排水设计标准》（GB50015-2019），同时根据该建设项目预期日检查人数，则本项目废水产生情况见表 10-8：

本次新建的衰变池系统的每个衰变池有效容积约 9m^3 ，3 个衰变池并联，该场所每天产生废水 0.37m^3 ，偏保守的角度，放射性废水待放满第一个衰变池起才计算衰变时间，直到放满其余衰变池，则含放射性同位素 ^{18}F （半衰期为 109.8min）及 ^{68}Ga （半衰期为 68.3min）的废水衰变的总时间约为 $2 \times 9\text{m}^3 / 0.37\text{m}^3 = 48.6$ 天，该衰变池容量满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—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 天后可直接解控排放”要求。

放射性废水衰变池组拟设废水取样口和检修口，首次排放前应对放射性废水进行取样监测，监测结果符合排放标准后方可排放。建设单位应根据监测数据，结合废水在衰变池组中的储存周期，制定每 30d 一次的排水计划，按照计划定期将废水排放至院内污水处理站进一步处理达标后纳入市政管网。每次排放应做好排放时间、监测数据、排放量等应详细记录，设置专门的废水排放台账，台账应有专人管理，存档保存。

（三）放射性固废

本项目产生的放射性废物主要为：工作人员操作过程产生的一次性卫生用品、垫料、更换下的过滤器滤芯及活性炭等。工作场所拟将上述放射性固体废物采用专用塑料包装袋专门收集，包装袋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，按序分类封闭暂存于放射性衰变桶（10mm 铅当量）内，最后转移至污物暂存间内，做好登记记录。

本项目产生的退役锆镓发生器暂存于储源室，由设备厂家进行回收、处置。

（四）非放射性污染防治措施

本项目运行期间产生的非放射性污染物主要是噪声、生活污水、生活垃圾。具体治理措施如下：

（1）生活污水和生活垃圾处理措施

本项目工作人员工作中会产生少量的生活污水、生活垃圾和办公垃圾，候诊病人候诊过程中产生少量的生活污水和生活垃圾，均依托医院拟建的污水处理系统和现有的生活垃圾收集系统进行处理。

（2）废气处理措施

本项目使用的 PET/CT 在工作状态时，会使空气电离产生少量的臭氧 (O₃) 和氮氧化物 (NO_x)，少量臭氧和氮氧化物可通过通排风装置排出室外。

(3) 噪声治理措施

本项目噪声主要来源于通排风系统的风机，各机房所使用的通排风系统均为低噪设备，其噪声值一般低于 60dB(A)，噪声较小，经建筑物墙体隔声及医院场址内的距离衰减后，对周围环境影响较小。

(4) 射线装置报废处理

根据《四川省辐射污染防治条例》，“射线装置在报废处置时，使用单位应当对射线装置内的高压射线管进行拆解和去功能化”。本项目使用的 PET/CT 在进行报废处理时，将射线装置高压射线管进行拆卸并去功能化，同时将射线装置主机的电源线绞断，使射线装置不能正常通电，防止二次通电使用，造成误照射。

二、介入诊断项目

1、废气治理

DSA 在开机出束期间，产生的 X 射线与空气中的氧气相互作用产生少量的臭氧 (O₃)。

本项目 DSA-01 机房、DSA-02 机房及 DSA-03 机房内拟设置通排风系统，室内气体由通排风系统统一抽排至室外排放。产生的臭氧通过通排风系统排入环境大气后，经自然分解扩散，对环境产生影响较小。从保护患者、医护人员的健康安全角度考虑，本项目辐射场所能保持较好的通风。

2、医疗废物

介入手术时产生的医用器具、药棉、纱布、废造影剂及废造影剂瓶等医用废物，产生量约为 30kg/月 (DSA-01 机房、DSA-02 机房及 DSA-03 机房共计)。介入手术产生的医疗废物采用专门的收集容器暂存，由专人每天到科室收集到院内医疗废物暂存点，按照医疗废物执行转移联单制度，定期由有资质的医疗废物处置单位统一收集处置。

本项目工作人员产生的生活垃圾不属于医疗废物，集中暂存于院区内生活垃圾暂存间，由环卫部门定期统一收集、清运至垃圾处理厂处置。

3、废水

本项目产生的生活污水经医院拟建污水处理站处理达到《医疗机构水污染物排放

标准》GB18466—2005）中的表 2 预处理标准后排入市政污水管网进入城市污水处理厂处理。医院拟建污水处理站设计处理能力能够满足本项目生活污水及医疗废水产生量和排放量的排放需求。

4、噪声

项目噪声源为各机房通排风系统，该系统采用低噪声设备，经建筑物墙体隔声及医院场址内的距离衰减后，运行期间厂界噪声可达到《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）2 类标准要求。

5、射线装置报废处理

根据《四川省辐射污染防治条例》，“射线装置在报废处置时，使用单位应当对射线装置内的高压射线管进行拆解和去功能化”。本项目使用的 DSA 在进行报废处理时，应将该射线装置的高压射线管进行拆卸并破碎处理等去功能化措施并按相应要求执行报废程序。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

一、施工阶段

项目施工过程中有施工机械噪声、施工扬尘、建筑废渣及施工废水产生。

本项目主要的施工依托第二住院大楼同时建设，主要为增加各墙体的屏蔽能力，因此，该项目施工工艺简单、施工周期短，且施工期产生的少量废水和固体废物均可依托医院现有的处理措施进行处理，只要建设单位和施工单位在施工过程中严格落实对施工扬尘的管理和控制措施，施工期的环境影响能降到最低程度。同时由于施工期对环境产生的影响均为暂时的、可逆的，随着施工期的结束，影响即自行消除。

1、大气污染防治措施

①施工场地扬尘可用洒水和清扫措施予以抑止；

②在装修工程施工中，施工人员应配备必要的防护装备和口罩，避免人体吸入粉尘；

③加强对施工人员的环保教育，提高全体施工人员的环保意识，坚持文明施工、科学施工、减少施工期的大气污染。

2、噪声防治措施

①门窗、预制构件、大部分钢筋的成品、半成品在工厂完成，减少施工场地内加工机械产生的噪声；

②不得随意扔、丢，减少金属件的碰击声。电钻等噪声设备使用时间尽量避开中午 12:00~14:00 和晚上 10:00 以后；

③加强现场运输车辆出入的管理，车辆进入现场禁止鸣笛；

④施工单位通过文明施工、加强有效管理，材料堆放必须轻拿轻放；

⑤施工单位在现场张贴通告和投诉电话，建设单位在接到投诉电话后及时与当地生态环境部门联系，以便及时处理各种环境纠纷。

3、固废防治措施

①装饰工程施工产生的废弃物料和生活垃圾等由市政环卫统一清运；

②在工程竣工以后，施工单位应同时拆除各种临时施工设施，做到“工完、料尽、场地清”。建设单位应负责督促施工单位的固体废物处置清理工作。

4、水污染防治措施

施工期水环境影响主要为施工人员的生活污水，其产量较小，可依医院拟建的污水处理设施处理。

二、设备安装调试期间的环境影响分析

本项目涉及的射线装置的安装调试阶段，会产生 X 射线，造成一定的辐射影响。设备安装完成后，会有少量的废包装材料产生。

本项目射线装置运输、安装和调试均由设备厂家专业人员进行操作。在射线装置运输、安装、调试过程中，应加强辐射防护管理，在此过程中应保证屏蔽体屏蔽到位，在运输设备和机房门外设立辐射警示标志，禁止无关人员靠近；在设备的调试和维修过程中，射线源开关钥匙应安排专人看管，或由维修操作人员随身携带，并在机房入口等关键处设置醒目的警示牌，工作结束后，启动安全联锁并经确认系统正常后才能启用射线装置；人员离开时运输设备的车辆和机房上锁并派人看守。

由于本项目涉及的射线装置的安装和调试均在机机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响是可接受的。

运行阶段对环境的影响

一、核医学科项目辐射环境影响分析

（一） ^{153}Sm 核素治疗项目

达州市中西医结合医院拟于本次新建的核医学科内使用放射性同位素 ^{153}Sm 开展核素治疗。放射性同位素 ^{153}Sm 特性一览表见表 11-1。

表 11-1 放射性核素特性一览表

核素种类	主要衰变方式	α/β 最大能量 (MeV)	主要 γ 射线能量 (MeV)
^{153}Sm	β^-	0.2652	/

β 射线的穿透性能较差，根据《辐射防护手册 第三分册》（原子能出版社），其在 Z 较高的物质中的射程可用公式 1，公式 2 进行估算：

由计算结果可知，在核素操作过程中，在穿戴好防护用品后，基本可以消除 β 射线对辐射工作人员及周围公众的辐射影响。

但是， β 射线可与物质相互作用从而产生韧致辐射，物质的原子序数越高，所产生的韧致辐射越强。

根据《辐射防护导论》（方杰主编）中的公式计算 β 射线产生的韧致辐射在考察

点处空气中的吸收剂量率：

$$\dot{D} = 4.58 \times 10^{-14} AZ_e \left(\frac{E_b}{r}\right)^2 \cdot (\mu_{en}/\rho) \cdots \cdots \text{公式 11-3}$$

其中：

\dot{D} —是屏蔽层中由 β 粒子产生的韧致辐射在考察点处空气中的吸收剂量率，Gy/h；

A —放射源的活度，Bq；

Z_e —吸收 β 粒子的屏蔽材料（或靶核）的有效原子序数；

E_b — β 粒子的平均能量，MeV；

r —放射源到考察点的距离，m；

μ_{en}/ρ —平均能量为 E_b 的韧致辐射在空气中的质量能量吸收系数， m^2/kg 。

由估算结果可知，距屏蔽层 1m 处韧致辐射剂量率低于 $0.0092\mu\text{Gy/h}$ ，且注射时一般在铅注射窗下给患者施药，经铅玻璃的进一步屏蔽后所致工作人员处辐射剂量率将远低于 $0.0092\mu\text{Gy/h}$ ，因此 ^{153}Sm 核素治疗项目对周围辐射环境影响很少。

（二）PET/CT 核素诊断项目

参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 I 中第 1.2 款 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 诊断、 ^{131}I 治疗、PET 等工作场所的屏蔽计算，保守起见，所有核素（如 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 、 ^{18}F 等）工作场所的屏蔽，可采用瞬时剂量率计算方法。

$$x = TVL \times \lg\left(\frac{A \times \Gamma}{\dot{H}_p \times r^2}\right) \cdots \cdots \text{(I.1)}$$

由公式 I.1 推导可得：

$$\dot{H}_p = \frac{A \times \Gamma}{r^2} 10\left(-\frac{x}{TVL}\right) \cdots \cdots \text{公式 11-4}$$

上式中： \dot{H}_p —屏蔽体外关注点剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）；

A —单个患者或者受检者所用放射源的最大活度（MBq）；

Γ —距源 1m 处的周围剂量当量率常数（ $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$ ），对于 ^{18}F 周围剂量当量率常数，注射前取 $0.143\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$ ，注射后取 $0.092\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$ ；

r —放射源到考察点的距离（m）；

x —屏蔽厚度（mm）；

TVL — γ 射线的十分之一值层厚度（mm），由《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）查出铅、混凝土和实心砖对 ^{18}F 什值层。

再采用方杰主编的《辐射防护导论》中公式计算参考点人员的有效剂量。

$$D_{Eff} = \dot{H}_P \cdot t \cdot T \cdot U \cdots \cdots \text{公式 11-5}$$

上式中： D_{Eff} —考察点人员有效剂量（Sv）；

\dot{H}_P —考察点的空气比释动能率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）；

t —考察点处受放射性核素影响的时间（h）；

T —居留因子，全部居留 $T=1$ ，部分居留 $T=1/4$ ，偶尔居留 $T=1/16$ ；

U —使用因子，因放射性核素以点源模式估算，而放射性衰变是持续发生的， U 取1；

根据本项目的工程分析可知，PECT/CT 核素诊断项目辐射影响主要包括护士分装、取药和活度测量（保守按照 2min 估算）、药物注射（保守按照 1min 估算）、病人候诊（等候约 20min）和病人扫描（扫描过程约 20min）4 个过程，主要对核医学科工作人员及室外公众产生外照射辐射影响。

1、使用核素 ^{18}F 开展显像诊断项目

根据公式 11-4 可估算出项目周围各参考点处的辐射水平，各参考点位置见图 11-1，预测结果见表 11-4。

从表 11-4 中的理论估算结果可以看出，由于有手套箱屏蔽， ^{18}F 药物取药过程中对取药操作人员的躯干辐射影响较小，但由于需要用手操作，手部剂量较高。 ^{18}F 药物针剂外设有铅套、同时操作中工作人员穿戴铅防护服，药物操作过程中对注射室内环境辐射影响较小。 ^{18}F 药物在操作过程中及病人在显像过程中对注射室、候诊区及 PET/CT 机房外的环境影响较小，注射室、候诊区及机房的防护设计均能够满足 ^{18}F 核素的辐射防护要求，项目对核医学科周围环境辐射影响较小，均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；候诊期间由于病人相对集中，医院必须采取分批预约、分批注射、分批候诊的方式，严格按照要求控制候诊室内病人的数量，降低对病人及外环境的辐射影响。

保护目标的有效剂量估算

PET/CT 使用 ^{18}F 核素诊断过程中，工作人员主要受照射环节为取药、注射过程及病人扫描诊断过程。一般情况下，药物取药过程约 2 分钟，送至注射窗口、注射过程约 1 分钟，扫描过程约 20 分钟。

根据表 11-4 的各关注点处辐射剂量率，结合工作时间，辐射工作人员和公众停留概率，即可得到各关注点处公众及辐射工作人员的年受照剂量，见表 11-5。

2、使用核素 ^{68}Ga 开展显像诊断项目

(1) 锗镓发生器操作及影响分析

本项目使用的 ^{68}Ga 通过锗镓发生器，淋洗、分装于分装注射室手套箱内，在使用时，操作人员仅需完成插瓶、取瓶、标记等步骤，近距离接触时间较短约 5min，年受照时间约 2500min（5min×2 次×250d）。根据医院提供的资料，锗镓发生器在使用过程中，发生器表面剂量率约 $12\mu\text{Sv}/(\text{h}\cdot\text{GBq})$ ，本项目锗镓发生器为 $50\text{mCi}(1.85\times 10^9\text{Bq})$ ，则辐射工作人员淋洗药物时所受年有效剂量约为 0.925mSv/a 。

(2) 显像诊断

根据公式 11-4 可估算出项目周围各参考点处的辐射水平，各参考点位置见图 11-1，预测结果见表 11-6。

3、核素 ^{18}F 与 ^{68}Ga 显像诊断剂量叠加分析

本项目核素诊断过程中，工作人员主要受照射环节为注射过程及病人扫描诊断过程。一般情况下，注射过程约 1 分钟，扫描过程约 20 分钟。根据医院预测，项目运行后 ^{18}F 显像诊断约 4500 人次/年， ^{68}Ga 显像诊断约 500 人次。结合表 11-5 和表 11-7 计算结果，考虑使用两种核素的叠加影响，工作场所周边工作人员及公众所受的年有效剂量汇总见表 11-8。

由上表可知，辐射工作人员在注射时所受的年有效剂量较大，因项目在理论估算时是按照一名辐射工作人员进行注射工作的工况进行的，因此建设单位在实际工作中应尽量安排两名以上辐射工作人员进行注射操作。

综上，则注射过程中人员受到的年有效剂量为 1.26mSv （分装： 0.320 +注射： 0.015 +药物淋洗： 0.925 ），摆位过程中及扫描过程中受到的年有效剂量约为 0.793mSv ，本项目注射工作人员与扫描工作人员互不交叉，各组工作人员均能够满足职业人员年有效剂量不超过 5mSv 的限值要求。根据估算结果核素诊断过程中，周围公众（控制区外）年有效剂量最大为 0.080mSv （位于注射室顶部、PET/CT 机房顶部及留观室顶部），能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）对公众受照剂量限值要求以及本项目的目标管理值要求：公众年有效剂量不超过 0.1mSv 。

(三) 射线装置环境影响分析

达州市中西医结合医院核医学科 PET/CT 机房辐射防护设计见表 11-9。

表 11-9 达州市中西医结合医院核医学科 PET/CT 机房辐射防护设计一览表

类别	参数	设计厚度	铅当量	屏蔽及面积要求	评价
PET/CT 机房	四周墙体	370mm 实心砖墙	约 3.0mm 铅当量	CT 机房(不含头颅移动 CT)、CT 模拟定位机房: 有用线束方向铅当量 2.5mmPb, 非有用线束方向铅当量 2.5mmPb。	满足
	患者防护门	10mm 铅当量	10mm 铅当量		
	控制室防护门	10mm 铅当量	10mm 铅当量		
	观察窗	10mm 铅当量	10mm 铅当量		
	屋顶	250mm 混凝土	约 3.0mm 铅当量		
	地面	250mm 混凝土	约 3.0mm 铅当量		
	机房面积	机房有效使用面积 42.8m ² , 机房内最小单边长 5.0m		机房最小有效使用面积 30m ² , 机房内最小单边长 4.5m	满足

由上表可知 PET/CT 系统 CT 部分为 III 类医用射线装置, 机房墙体、门、窗、顶棚的防护厚度均能满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 中要求, 以上标准中机房屏蔽厚度参数是以机房外人员受照剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中剂量要求而设定的, 而本项目机房设计方案各项防护参数均大于标准要求, 由此偏保守推测, 设备正常运行时对机房外环境的影响可满足本项目评价标准要求。

(四) 工作人员及公众所受年有效剂量汇总

根据表 11-4 至表 11-8 的计算结果可知, 达州市中西医结合医院本次核医学科辐射工作人员及公众所受年有效剂量如下:

综上所述, 达州市中西医结合医院核医学科辐射工作场所工作人员和公众所受辐射年附加有效剂量均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中关于剂量限值的要求, 也低于本评价提出的 5.0mSv/a 和 0.1mSv/a 的年管理剂量约束值。

(五) 核医学科“三废”影响分析

1、放射性废气影响分析

本项目工作场所排风管道分为 2 支, 其中 1 支单独连接分装标记室内设置的手套箱, 放射性药物的各项操作均在手套箱内进行, 根据《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020) 中“合成和操作放射性药物所用的通风橱, 工作中应有足够风速(一般风速不小于 0.5m/s) HJ 1188”要求, 医院购买的手套箱排风口处风速不得低于 0.5m/s; 第 2 支管连接分装标记室、注射室、注射后候诊室、PET/CT 机房及留观室等。场所内的送风系统送风量为小于排风系统排风量, 保证非密封放射性物质工作为负压工作场所。

工作场所产生的废气经由排风系统排至第二住院大楼楼顶排放，并在排风风管末端配置高效排风过滤器+活性炭吸附装置二级处理设施。

工作场所各排风管道必须密封良好，不与第二住院大楼其他排风管道相通，过滤器及活性炭需定期更换（1~2次/年），更换后的活性炭经贮存衰变超过30天后作为医疗废物处置。

因此，本项目产生的放射性废气经活性炭吸附处理后排放对周围环境影响是可接受的，不会对周围公众造成不利影响。

2、放射性固废影响分析

本项目产生的放射性废物主要为：工作人员操作过程产生的一次性卫生用品、垫料、更换下的高效过滤器滤芯及活性炭等。工作场所拟将上述放射性固体废物采用专用塑料包装袋专门收集，按序分类封闭暂存于污物暂存间内（每袋重量不超过20kg）。

含 ^{18}F 、 ^{68}Ga 固体放射性废物在污物暂存间内暂存衰变超过30天，含 ^{153}Sm 固体放射性废物在污物暂存间内暂存衰变超过20天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 0.08 Bq/cm^2 、 β 表面污染小于 0.8 Bq/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物交由有资质单位进行处置。

本项目产生的退役锆镓发生器暂存于储源室，由设备厂家进行回收、处置。

3、放射性废水影响分析

本项目工作场所产生的含放射性废水包括：工作人员操作过程手部受到微量污染的清洗废水，清扫工作台面、地坪的清洁工具清洗时可能会有带有微量放射性的废水，以及患者冲洗排便用水。

本项目工作场所产生的放射性废水通过预埋好的管道排至本次新建的衰变池系统内，放射性废水先排至沉淀池再通过污水提升泵排至放射性废水衰变系统，待放射性废水达到清洁解控水平后通过管道排至医院污水处理站处理达标后排入市政管网。

（六）非辐射环境影响分析

1、废水处理措施依托可行性分析

医院拟新建一处污水处理站，医院废水污水处理站处理达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）中的表2预处理标准后经市政污水管网排入城市污水处理厂处理。医院污水产生、治理及排放情况已在《达州市中西医结合医院第二住院大楼项目环境影响报告书》（已取得达州市生态环境局的批复，达市环审批〔2020〕22

号) 中进行评估, 其涉及处理能力能够满足现有排放需求, 本报告表不再赘述。

2、固体废物和医疗废物

本项目在运营期工作人员及患者陪同家属会产生少量的生活垃圾。

达州市中西医结合医院建设有垃圾处理站, 本项目产生的生活垃圾集中暂存, 将由市政环卫部门定期统一收集、清运至垃圾处理厂处置。医院产生的医疗废物委托有资质单位进行统一收集、清运和处理。

3、废气

工作场所内其他区域设有机械排风装置, 排风口直接排放到室外, 因室内产生的臭氧氮氧化物较少, 所以废气对环境几乎没有影响。

4、噪声

本项目噪声主要来源于通排风系统机组, 该设备为低噪设备, 经建筑物墙体隔声及医院场址内的距离衰减后, 噪声较小, 运行期间厂界噪声可满足相关标准要求。

5、射线装置报废

射线装置在报废前, 应采取去功能化的措施(如拆除电源和拆解加高压射线管), 确保装置无法再次组装通电使用, 并按照生态环境保护主管部门要求, 履行相关报废手续。

二、DSA 项目辐射环境影响分析

(一) 机房屏蔽体厚度合理性分析

1、DSA 机房的屏蔽防护铅当量厚度与标准要求的相符性分析评价

(1) 评价标准

根据《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020) 表 3 规定, 主束方向、非有用线束方向屏蔽体的铅当量均应不小于 2.0mmPb。

(2) 本项目 DSA 机房各屏蔽部位的铅当量厚度核算

本项目依据《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 附录 C 中 C.1.2 按以下方法计算不同屏蔽物质的铅当量, 计算公示如下:

a)对给定的铅厚度, 依据 NCRP 147 号报告中给出的不同管电压 X 射线辐射在其他屏蔽物质中衰减的 α 、 β 、 γ 拟合值按(公式 11-6) 计算辐射透射因子 B:

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

式中： B —给定铅厚度的屏蔽投射因子；

X —铅厚度；

α —铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

β —铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

γ —铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数。

b) 依据 NCRP 147 号报告中给出的不同管电压 X 射线辐射在其他屏蔽物质中衰减的 α 、 β 、 γ 拟合值和 a) 中的 B 值，使用（公式 11-7）计算出各屏蔽物质的铅当量厚度 X ：

$$X = \frac{1}{\alpha\gamma} \ln \left(\frac{B^{-\gamma} + \frac{\beta}{\alpha}}{1 + \frac{\beta}{\alpha}} \right) \dots\dots\dots \text{（公式 11-7）}$$

式中： X —不同屏蔽物质的铅当量厚度；

B —给定铅厚度的屏蔽投射因子；

α —不同屏蔽物质对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

β —不同屏蔽物质对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

γ —不同屏蔽物质对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数。

根据 GBZ 130-2020 表 C.2 中相关数据，铅、混凝土针对 125 kV 管电压 X 射线辐射衰减的有关的三个拟合参数取值详见表 11-11。

表 11-11 铅、混凝土针对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的三个拟合参数

管电压	铅			混凝土			砖		
	α	β	γ	α	β	γ	α	β	γ
70	5.369	23.49	0.5881	0.05087	0.1696	0.3847	0.0506	0.1370	0.7150
90	3.067	18.83	0.7726	0.04228	0.1137	0.4690	0.0375	0.0820	0.8920
100（主束）	2.500	15.28	0.7557	0.03925	0.08567	0.4273	0.0352	0.0880	1.149
100（散射）	2.507	15.33	0.9124	0.03950	0.08440	0.5191	/	/	/
125（主束）	2.219	7.923	0.5386	0.03502	0.07113	0.6974	0.0287	0.0670	1.346
125（散射）	2.233	7.888	0.7295	0.03510	0.06600	0.7832	/	/	/

换算铅当量时， DSA 管电压保守取最大电压 125kV，根据公式 11-6、公式 11-7 及《辐射防护手册》（第三分册）表 3.3 内容计算本项目不同屏蔽物质的铅当量，计算结果如下：

2、DSA 机房屏蔽防护设计合理性分析

本项目 DSA-01 机房、DSA-02 机房及 DSA-03 机房设计屏蔽情况与《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中 C 形臂 X 射线设备机房屏蔽防护要求对比见表 11-13。

表 11-13 X 射线设备机房使用面积、单边长度及屏蔽防护铅当量的要求

防护要求	GBZ130-2020 要求	本项目设计		备注
X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度				
设备类型	单管头 X 射线机	DSA		/
机房内最小有效使用面积（m ² ）	不小于 20m ²	DSA-01 机房	有效使用面积：53.9m ²	满足
		DSA-02 机房	有效使用面积：45.73m ²	
		DSA-03 机房	有效使用面积：52.65m ²	
机房内最小单边长度（m）	不小于 3.5m	DSA-01 机房	最小单边长：7.0m	满足
		DSA-02 机房	最小单边长：5.9m	
		DSA-03 机房	最小单边长：6.5m	
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	C 形臂 X 射线设备机房	DSA		/
有用线束方向铅当量（mm）	不小于 2mm	DSA-01 机房	常用主射线向上，楼顶为 250mm 混凝土（约 3.4mmPb）	满足
		DSA-02 机房		
		DSA-03 机房		
非有用线束方向铅当量（mm）	不小于 2mm	DSA-01 机房	机房四周墙体均为 3.0mmPb 钡板（约 3mmPb）；楼底为 250mm 混凝土（约 3.6mmPb）；观察窗为 3.5mmPb 铅玻璃；防护门均为 3mmPb 铅防护门。	满足
		DSA-02 机房		满足
		DSA-03 机房		满足

备注：混凝土对应铅当量厚度根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的附录 C 及《辐射防护手册》（第三分册）表 3.3。

由上表对比可知，本项目 DSA-01 机房、DSA-02 机房及 DSA-03 机房屏蔽设计满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求，机房屏蔽设计合理。

（二）DSA 机房的辐射影响预测

本项目拟购 DSA 尚未采购到位，故对 DSA-01 机房、DSA-02 机房及 DSA-03 机房周围辐射环境影响采用理论预测的方法进行影响分析。

1、运行工况

DSA 的 X 线系统在自动透视模式下间隙性运行，运行管电压低于额定电压的

20%~30%。本项目 DSA 最大管电压为 125kV，最大管电流为 1000mA，但实际使用时，为防止球管烧毁并延长其使用寿命，管电压和功率通常预留 20%~30%的余量，即管电压控制在 100kV 以下。

有用射线出束方向：

DSA 的 X 线系统在运行中，向 DSA-01 机房顶上（架空层）、DSA-02 机房顶上（架空层）及 DSA-03 机房顶上（检查室及等候区）。

2、运行时间

本项目共使用 3 台 DSA，根据医院提供资料，本项目 DSA 年工作负荷见下表。

3、操作方式

DSA 的 X 射线系统在进行曝光时分为两种情况：

①造影拍片过程：受检者位于检查床上，医护人员调整 X 线球管、人体、影像增强器三者之间的距离。医师、操作人员通过电子计算机系统控制 DSA 的 X 系统曝光，采集造影部位图像。在拍片过程中，由于曝光时间较短且经机房各墙体屏蔽后，对机房外（包括机房楼上）的公众和工作人员基本没有影响。

②脉冲透视过程：为更清楚的了解病人情况，医生需进入手术室内进行治疗时会有连续曝光，并采用连续脉冲透视，此时操作医师身着铅衣、铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅眼镜及介入防护手套等在机房内对病人进行直接的手术操作。对本项目 DSA 的辐射影响进行预测时，主要考虑脉冲透视过程进行保守防护预测。

4、各机房外环境影响分析

本项目 DSA-01 机房、DSA-02 机房及 DSA-03 机房，其四周墙体均为 3mm 铅当量钡板；楼顶及地面均为 250mm 混凝土楼板；观察窗采用 3.5mm 铅当量的铅玻璃；防护门均为 3mm 铅当量铅防护门。第一、二术者位医生身着铅衣（0.5mmPb）并立于铅帘后（0.5mmPb）。

（1）计算模式

①关注点处有用线束辐射空气比释动能率计算

由《辐射防护手册（第一分册）》（李德平 潘自强著）给出的 X 射线机散射线在关注点的周比释动能计算公式（公式 10.8）进行推导，得到有用线束在关注点处的比释动能率 H 的计算公式（推导中，将原公式中的使用因子、居留因子均取为 1）：

$$H = \frac{H_0 \cdot I \cdot B}{d^2} \dots \dots \dots \text{公式 11-8}$$

式中： H_0 —X 射线机发射率常数（当管电流为 1mA 时，距离阳极靶 1 m 处由主束产生的比释动能率）， $\text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ；

I —管电流，mA；

d —关注点至 X 射线源的距离；

B —屏蔽材料对散射线的透射因子，无量纲；计算方法详见公式 11-6。

②关注点处散射辐射空气比释动能率计算

由《辐射防护手册（第一分册）》（李德平 潘自强著）给出的 X 射线机散射线在关注点的周比释动能计算公式（公式 10.10）进行推导，得到散射线在关注点处的比释动能率 H_s 的计算公式（推导中，将原公式中的使用因子、居留因子均取为 1）：

$$H_s = \frac{H_0 \cdot I \cdot a \cdot (S/400) \cdot B_s}{d_0^2 \cdot d_s^2} \dots \dots \dots \text{公式 11-9}$$

式中：

H_0 —X 射线机发射率常数（当管电流为 1mA 时，距离阳极靶 1 m 处由主束产生的比释动能率）， $\text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ；本项目取 $48000 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ；

I —管电流，mA；本项目透视、拍片模式下正常使用的最大管电流分取 20mA、500mA；

a —人体对 X 射线的散射照射量与入射照射量之比值；

S —主束在受照人体上的散射面积；

d_0 —源至受照点的距离；

d_s —受照体至关注点的距离；

B_s ——屏蔽材料对散射线的透射因子，无量纲。

③关注点处泄漏辐射空气比释动能率计算

DSA 泄漏辐射剂量率 \dot{H}_L 采用下式计算：

$$\dot{H}_L = \frac{H_i \cdot B}{r^2} \dots \dots \dots \text{公式 11-10}$$

式中： H_i —距靶 1m 处泄漏射线的空气比释动能率， mGy/h ；本项目 1m 处泄漏射线的空气比释动能率取 1.0mGy/h 。

B ——DSA 机房各屏蔽体的泄漏射线屏蔽透射因子；

r ——受照体至关注点的距离。

(2) 预测参数选取

①DSA-01 机房预测点选取如下：

- 1#-东侧屏蔽墙外 30cm 处，设备间；
- 2#-东侧铅玻璃外 30cm 处，控制室；
- 3#-东侧屏蔽墙外 30cm 处，控制室；
- 4#-南侧屏蔽墙外 30cm 处，洁净走廊；
- 5#-西侧屏蔽墙外 30cm 处，预麻复苏区；
- 6#-西侧屏蔽墙外 30cm 处，C 臂间；
- 7#-北侧屏蔽墙外 30cm 处，污物通道；
- 8#-楼下，脱包间及配置间；
- 9#-楼上，架空层；
- 10#-第一术者位；
- 11#-第二术者位。

共布设 11 个预测点，预测点布设见图 11-2 所示。

②DSA-02 机房预测点选取如下：

- 1#-东侧屏蔽墙外 30cm 处，标本间；
- 2#-南侧屏蔽墙外 30cm 处，洁净走廊；
- 3#-西侧铅玻璃外 30cm 处，控制室；
- 4#-西侧屏蔽墙外 30cm 处，控制室；
- 5#-西侧屏蔽墙外 30cm 处，设备间；
- 6#-北侧屏蔽墙外 30cm 处，污物通道；
- 7#-楼下，更衣室及配置间；
- 8#-楼上，架空层；
- 9#-第一术者位；
- 10#-第二术者位。

共布设 10 个预测点，预测点布设见图 11-3 所示。

③DSA-03 机房预测点选取如下：

- 1#-东侧屏蔽墙外 30cm 处，走廊；
- 2#-南侧屏蔽墙外 30cm 处，设备间；

3#-南侧屏蔽墙外 30cm 处，治疗准备室；

4#-西侧铅玻璃外 30cm 处，控制室；

5#-西侧屏蔽墙外 30cm 处，控制室；

6#-西侧屏蔽墙外 30cm 处，污物打包间；

7#-北侧屏蔽墙外 30cm 处，医疗街；

8#-楼下，抢救室及等候区；

9#-楼上，检查室及等候区；

10#-第一术者位；

11#-第二术者位。

共布设 11 个预测点，预测点布设见图 11-4 所示。

本项目 DSA 最大管电压为 125kV，最大管电流为 1000mA，但实际使用时，为防止球管烧毁并延长其使用寿命，管电压和功率通常预留 20%~30%的余量，即管电压控制在 100kV 以下。

根据医院提供信息，隔室拍片时 DSA 设备的最大运行工况约为 80kV/500mA；在透视时 DSA 设备的最大运行工况为 80kV/20mA。在进行介入手术时，X 线系统通常以透视照射模式运行，因此对 X 线系统的辐射影响进行预测时，主要考虑脉冲透视过程进行保守防护预测。

根据 GBZ130-2020 表 C.2 及表 C.3 所列 70kV~100kV 区间的 X 射线在铅中衰减的拟合参数 α 、 β 、 γ 值，分别绘制 α -管电压拟合曲线、 β -管电压拟合曲线、 γ -管电压拟合曲线，由拟合曲线查取管电压为 80kV（本项目正常运行最大管电压）时相应的 α 、 β 、 γ 数值，具体见表 11-15。

根据公式 11-6 可计算铅、混凝土对 X 射线的减弱因子。各预测点的空间位置距离和屏蔽体厚度等相关预测参数见表 11-16~表 11-18。

（3）预测结果

根据上述给出的计算公式、预测参数和 DSA 的 X 射线系统累计出束照射时间，在不考虑床板、人体等吸收射线的情况下，保守计算 DSA 机房、DSA-02 机房及 DSA-03 机房周围预测点剂量率估算结果，计算结果见表 11-19~表 11-21。

从上表中的预测结果可知，本项目各机房内 DSA 全年正常运行，经机房墙体、门屏蔽防护后，各辐射工作场所边界周围剂量率控制水平满足相关标准。

5、辐射工作人员及公众年有效剂量分析

(1) 计算模式

DSA 机房周围公众、控制室辐射工作人员年有效剂量计算采用联合国原子辐射效应科学委员会 (UNSCEAR) 2000 年报告附录 A 中的计算公式进行估算:

$$H_{Er} = D_r \times T \times t \times K \dots\dots\dots\text{公式11-11}$$

式中: H_{Er} —X射线外照射年有效剂量, mSv/a;

D_r —关注点处空气比释动能率, $\mu\text{Gy/h}$;

T —居留因子;

t —年照射时间, h;

K —有效剂量与空气比释动能转换系数, Sv /Gy, 从《用于光子外照射防护的剂量转换系数》(GBZ/T 144-2002)附录表 B2 查取; 本项目取 K 值为 1.67。

DSA 机房内介入操作人员的外照射辐射年有效剂量计算借鉴《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)给出的公式进行估算:

$$E = \alpha H_u + \beta H_o \dots\dots\dots\text{公式 11-12}$$

式中: α —系数, 有甲状腺屏蔽时, 取 0.79, 无屏蔽时, 取 0.84;

H_u —铅围裙内佩戴的个人剂量计测得的 $H_p(10)$, 单位为毫希沃特 (mSv);

β —系数, 有甲状腺屏蔽时, 取 0.051, 无屏蔽时, 取 0.100;

H_o —铅围裙外锁骨对应的衣领位置佩戴的个人剂量计测得的 $H_p(10)$, 单位为毫希沃特 (mSv)。

(2) 预测结果

根据表 11-19~表 11-21 计算结果, 并结合公式 11-11 及公式 11-12, 本项目辐射工作人员及公众年有效剂量计算结果见表 11-22~表 11-24。

由上表结果可知, 本项目 DSA-01、DSA-02 及 DSA-03 机房隔室操作辐射工作人员所受到的最大年有效剂量分别为 $7.15 \times 10^{-6} \text{mSv/a}$ 、 $1.31 \times 10^{-6} \text{mSv/a}$ 及 $6.05 \times 10^{-6} \text{mSv/a}$; 本项目 DSA 机房手术室内床旁操作辐射工作人员所受到的最大年有效剂量为 1.78mSv/a , DSA-01、DSA-02 及 DSA-03 机房周围公众所受到的最大年有效剂量分别为 $1.33 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ 、 $1.33 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ 及 $5.33 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$; 均符合《电离辐射防护与放射源安全基本标准》(GB18871-2002)要求的剂量限值, 均低于本报告执行的照射剂

量约束值。

由于 DSA 正常工作时，电压、电流较小，在确保防护设施正常使用的情况下，DSA 工作时对各机房外其他医护人员和公众影响较小。

6、介入操作人员手部的皮肤吸收剂量估算

根据《电离辐射所致皮肤剂量估算方法》（GBZ/T 244-2017），估算 X 射线所致手部皮肤吸收剂量公式如下：

$$D_s = C_{ks}(k \cdot t) \cdot 10^{-3} \dots\dots\text{公式 11-13}$$

$$\dot{k} = \frac{\dot{H}^*_{(10)}}{C_{KH}} \dots\dots\text{公式 11-14}$$

式中： D_s ——皮肤吸收剂量，mGy；

k ——X 辐射场的空气比释动能率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

t ——人员累积受照时间，h；

C_{ks} ——空气比释动能到皮肤吸收剂量的转换系数，Gy/Gy，根据 GBZ/T 244-2017 表 A.4 可查得 $C_{ks}=1.134\text{mGy/mGy}$ ；

$\dot{H}^*_{(10)}$ ——X 辐射场的周围剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

C_{KH} ——空气比释动能到周围剂量当量的转换系数，Sv/Gy，查《电离辐射所致皮肤剂量估算方法》（GBZ/T 244-2017）中的附录 A 表 A.9 可得。

本项目 DSA 床旁透视常用工况为 80kV/20mA，床旁透视时入射方式可近似地视为垂直入射，是 AP 入射方式。医生操作时腕部距非主射束的距离取 0.5m。

由上述数据估算可得，本项目 DSA 机房内心脏介入第一术者位手术医生腕部皮肤受到最大当量剂量为 89.6mSv/a；神经介入第一术者位手术医生腕部皮肤受到最大当量剂量为 42.73mSv/a；综合介入第一术者位手术医生腕部皮肤受到最大当量剂量为 93.9mSv/a，均符合《电离辐射防护与放射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定四肢（手和足）或皮肤剂量限值（500mSv/a）和本报告执行的四肢（手和足）或皮肤剂量约束值限值（125mSv/a）。

7、DSA-01 机房与 DSA-02 机房剂量叠加分析

由于本项目 DSA-01 机房与 DSA-02 机房相邻，故保守考虑 2 座机房之间的辐射叠加对周围环境的影响。将 DSA-01 机房与 DSA-02 机房预测结果进行叠加，计算结果列入表 11-25。

由表 11-25 可知，本项目 DSA-01 机房与 DSA-02 机房同时出束，周围辐射工作人员及公众所受的年有效剂量均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求。

8、保护目标的环境影响分析

DSA-01 机房及 DSA-02 机房周围 50m 范围均位于医院院区内；DSA-03 机房 50m 评价范围除北侧部分位于医院围墙外，其余方向均位于医院院区内。根据本项目确定的评价范围，本项目环境保护目标为医院辐射工作人员、医院内的其他医护人员、病患、陪同家属及院内外其他公众。

由上述理论估算结果可知，3 座机房内 DSA 投入运行后，DSA-01、DSA-02 及 DSA-03 机房隔室操作辐射工作人员所受到的最大年有效剂量分别为 $7.15 \times 10^{-6} \text{mSv/a}$ 、 $1.31 \times 10^{-6} \text{mSv/a}$ 及 $6.05 \times 10^{-6} \text{mSv/a}$ ；3 座 DSA 机房内床旁操作辐射工作人员所受到的最大年有效剂量为 1.78mSv/a ，DSA-01、DSA-02 及 DSA-03 机房周围公众所受到的最大年有效剂量分别为 $1.33 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ 、 $1.33 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ 及 $5.33 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ ；均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求（职业人员年有效剂量不超过 5mSv ，公众年有效剂量不超过 0.1mSv ）。

由于本项目 50m 范围内环境保护目标距 DSA 机房墙体相对较远（远大于表面 0.3m ），故本项目敏感点处公众所受的辐射剂量将小于上述理论计算值。

（三）三废影响分析

1、大气环境影响分析

本项目 DSA-01 机房、DSA-02 机房及 DSA-03 机房内均设有通排风系统，其室内气体由通排风系统统一抽排至室外排放。产生的臭氧、氮氧化物通过通排风系统排入环境大气后，经自然分解扩散，对环境产生影响较小。

2、水环境影响分析

本项目运行后，废水主要为辐射工作人员和患者产生的生活污水。处理措施：少量生活污水进入医院污水处理站进行处理，处理后的废水经市政污水管网排入城市污水处理厂。

3、声环境影响分析

本项目噪声源为机房通排风系统，该系统采用低噪声设备，经建筑物墙体隔声及

医院场址内的距离衰减后，运行期间厂界噪声可达到相关标准要求。

4、固体废物影响分析

本项目采用先进的数字成像技术，不使用显影液、定影液和胶片，因此不产生废显影液、废定影液和废胶片。本项目固体废物主要为介入手术时产生的医用器具和药棉、纱布、手套、废造影剂及废造影剂瓶等医用辅料。采用专门的容器收集后转移至医院已建的医疗废物暂存间暂存，医院拟委托有资质单位定期进行统一收集、清运和处置。

5、射线装置报废

本项目 DSA 设备报废时，必须进行去功能化（如拆解或者拆卸球管，把球管电线插头或接头剪断），确保装置无法再次通电使用，并按相应要求执行报废程序，将设备处理去向记录备案。

（四）介入治疗对医生和患者的辐射防护要求

介入治疗是一种解决临床疑难病的新方法，但介入治疗时 X 射线曝光量大，曝光时间长，距球管和散射体近，使介入治疗操作者受到大剂量的 X 射线照射。为了减少介入治疗时 X 射线对操作者和其他人员的影响，医院应做到以下要求：

1、介入治疗医生护士自身的辐射防护要求

①加强教育和培训工作，提高辐射安全文化素养，全面掌握辐射防护法规与技术知识。

②结合诊疗项目实际情况，综合运用时间、距离与屏蔽防护措施。

③在介入手术期间，必须穿戴个人防护用品，并佩带个人剂量计。

④定期维护 DSA，制订和执行介入治疗的质量保证计划。

2、患者的辐射防护要求

①采用带有剂量测量系统的设备或购置测量仪器，在操作中对辐射剂量进行实时监测；严格执行国家标准 GB18871-2002 中规定的介入诊疗指导水平，保证患者的入射体表剂量率不超过 100mGy/min。

②选择最优化的检查参数，为保证影像质量可采用高电压、低电流、限制透视检查时间等措施。

③采用剂量控制与分散措施，通过调整扫描架角度，移动扫描床等办法，分散患者的皮肤剂量，避免单一皮肤区域接受全部剂量。

- ④将 X 射线球管尽量远离患者。
- ⑤作好患者非投照部位的保护工作。

事故影响分析

一、事故分级

根据《放射源同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第 449 号）第四十条：根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级，详见表 11-26。

表 11-26 辐射事故等级划分表

事故等级	事故类型
特别重大辐射事故	I类、II类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果，或者放射性同位素和射线装置失控导致 3 人以上（含 3 人）急性死亡。
重大辐射事故	I类、II类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 2 人以下（含 2 人）急性死亡或者 10 人以上（含 10 人）急性重度放射病、局部器官残疾。
较大辐射事故	III类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 9 人以下（含 9 人）急性重度放射病、局部器官残疾。
一般辐射事故	IV类、V类放射源丢失、被盗、失控，或放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射

根据《实用辐射安全手册》（第二版）（丛慧玲，北京：原子能出版社）急性放射病的发生率以及急性放射病的死亡率与辐射剂量的关系，见下表。

表 11-27 急性放射病的发生率、死亡率与辐射剂量的关系

辐射剂量/Gy	急性放射病发生率/%	辐射剂量/Gy	死亡率/%
0.70	1	2.00	1
0.90	10	2.50	10
1.00	20	2.80	20
1.05	30	3.00	30
1.10	40	3.20	40
1.20	50	3.50	50
1.25	60	3.60	60
1.35	70	3.75	70
1.40	80	4.00	80
1.60	90	4.50	90
2.00	99	5.50	99

二、辐射事故识别

（一）核医学诊断工作场所项目

本项目主要考虑电离辐射损伤、放射源和药物失控对环境的影响，具体为以下情形：

1、射线装置误照射

本项目共涉及Ⅲ类医用射线装置 1 台，为低危险射线装置，发生事故时一般不会对受照者造成永久性辐射损伤，事故等级属一般辐射事故。Ⅲ类医用射线装置主要事故是由于设备控制失灵或操作失误或质保不佳，使被检者受到不必要的照射。

2、放射性药物撒漏

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

3、放射性药物遗失

由于未锁好核医学科进出口的大门或取用药物后未及时锁好防护门或保险柜等药物保管工作不到位致使放射药剂丢失，可能对公众和周围环境造成辐射污染。

4、患者呕吐造成控制区内的污染

患者服药初期将放射性药物呕吐到环境中，可能对环境在一定范围内造成暂时性的辐射污染。

5、其他管理不善

患者用药后未经允许离开核医学科，尤其是在用药初期离开候诊区，可能对接近患者的人员造成附加的照射剂量。

放射性废水未经足够的时间衰变即进行排放，使排放超出规定的限值，可能对环境或人体造成一定的危害。

放射性固体废物：放射性固体废物未经足够的时间衰变，存放时间过短，即进行擅自处理，可能对环境造成污染和对公众造成危害。

（二）介入治疗项目

本项目 DSA 属Ⅱ类射线装置，在运行时会产生 X 射线，项目环境风险因子为 X 射线，根据其工作原理分析，可能发生的事事故工况主要有以下几种情况：

①装置在运行时，人员误入或滞留在治疗机房内而造成误照射。

②医务人员或病人家属还未全部撤离治疗机房，操作间人员启动设备，造成滞留人员的误照射。

③装置在检修、维护等过程中，检修、维护人员误操作，造成有关人员误照射。

④医务人员由于缺乏操作经验和防护知识，安全观念淡薄等，违反操作规程和有关规定，在从事介入手术期间未采取穿戴个人防护用品等必要的防护措施，可能导致人员受到超过年剂量限值的照射。

三、事故工况辐射影响分析

(一) 核医学诊断工作场所项目

1、PET/CT 射线装置误照射

PET/CT 属于 III 类射线装置，其 X 射线能量不大，曝光时间都比较短，根据《医用 X 射线治疗放射防护要求》（GBZ131-2017），在治疗状态下，当 X 射线管额定电压 $\leq 150\text{kV}$ 时，距 X 射线管焦点 1m 处的 X 射线源组件泄露辐射不超过 1mGy/h。

保守考虑，事故情况下，X 射线直接照射到人员身上，误入人员或病人在距离射线头 1m 处被误照射，本项目 PET/CT 及控制室内设置有“紧急停止”按钮，只要按下此按钮就可以停机，故受照时间保守取 30s，则在上述事故情景假设条件下，受误照人员受辐射剂量最大为 0.01mSv，其受到的影响较小。

2、放射性药物意外丢失事故

(1) 事故情景假设

①项目核医学科使用核素为 ^{18}F ，事故情况假设放射性药物试剂瓶发生丢失事故情况；假设丢失时，内装的放射性药物活度为该核素单日最大操作量；

②假设丢失后在整个事故持续时间内放射性药物未发生洒漏，事故持续过程中按点源考虑；

③保守假设事故持续时间内，丢失的药物被同一人随身携带，距离按 10cm 考虑；

④受照人员不考虑任何屏蔽措施；

⑤事故持续最长时间为 2h。

(2) 计算结果

根据事故情景假设条件计算得出不同事故持续时段的个人所受有效剂量，计算结果见表 11-28。

(3) 事故后果

在上述事故情景假设条件下，携带放射性药物人员或近距离公众在事故持续时间内已受到超过年剂量限值。考虑的整个事故持续周期 2h 内，急性放射病发病率均在 30%之下，事故持续周期内可造成人员超剂量照射而导致一般辐射事故。由于计算过

程未考虑核素衰变，计算结果偏保守。

3、放射性药物意外泄漏事故

(1) 事故情景假设

①项目核医学科使用核素为 ^{18}F ，假设放射性核素使用过程中导致放射性药物试剂瓶或铅罐打翻或破碎；假设泄漏时，内装的放射性药物活度为该核素单日最大操作量；

②事故持续过程中按点源考虑；

③受照人员不考虑任何屏蔽措施；

④事故持续最长时间为 2h。

(2) 计算结果

根据事故情景假设条件计算得出不同事故持续时段的个人所受有效剂量，计算结果见表 11-29。

(3) 事故后果

在上述事故情景假设条件下，泄漏的放射性药物人员或近距离公众在事故持续时间内已受到超过年剂量限值。考虑的整个事故持续周期 2h 内，急性放射病发病率均在 1%之下，事故持续周期内可造成人员超剂量照射而导致一般辐射事故。由于计算过程未考虑核素衰变，计算结果偏保守。

4、事故工况辐射影响分析

综合上述事故其危害结果及其所引发的放射性事故等级见表 11-30。

表 11-30 项目环境风险因子、危险因素、危害结果及事故分级表

项目名称	主要环境风险因子	危险因素	危害结果	事故等级
核医学科	X 射线 γ 射线	超剂量照射	放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射	一般辐射事故

(二) 介入治疗项目

1、介入手术过程中，发生介入手术人员超剂量照射

(1) 事故情景假设

①在介入手术操作中，DSA 控制系统失灵；

②DSA 的 X 射线源处于“曝光”状态，介入手术人员在距 X 射线管非主射束方向进行介入手术操作；

③假定该名手术人员未穿戴铅衣、配套铅手套和铅防护眼镜等个人防护用品。

(2) 剂量估算

假设考虑该名手术人员在无其它屏蔽的情况下处于 X 射线管非主射束方向 0.5m 或 1m 处，介入手术操作时，DSA 以透视模式运行，则事故工况下介入手术操作人员所受辐射剂量估算详见表 11-31。

(3) 事故后果

在上述事故情景假设条件下，受误照人员在 X 射线管非主射束方向 0.5m 或 1m 处受照 20min（透视模式，未穿戴个人防护用品），其所受剂量分别为 5.28mSv 和 0.89mSv，超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的剂量限值和本报告表确定的剂量管理约束限值（职业照射：5mSv）。

本项目手术床旁及控制室内设置有“紧急停止”按钮，只要按下此按钮就可以停机，故受照时间保守取 30s，则在上述事故情景假设条件下，受误照人员受辐射剂量最大为 0.13mSv，其受到的影响较小。

2、维修射线装置时，人员受意外照射

(1) 事故情景假设

- ①设备维护人员在维护 DSA 射线管或测量探测器时，射线管正处于出束状态；
- ②DSA 上的指示灯和声音装置均失效；

(2) 剂量估算

假设考虑该名维护人员在无其它屏蔽的情况下处于 X 射线管主射束方向，假设维修时，DSA 以透视或拍片模式运行（常用工况），则事故情况下人员在机房内距 DSA 不同受照时间及距离处受到的辐射剂量估算详见表 11-32。

(3) 事故后果

本项目手术床旁及控制室内设置有“紧急停止”按钮，只要按下此按钮就可以停机，故受照时间保守取 30s，则在上述事故情景假设条件下，受 X 射线源误照人员所受剂量可能超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的剂量限值要求和本报告表确定的剂量管理约束限值的要求（职业照射：5mSv），属于一般辐射事故。

4、事故工况辐射影响分析

根据 X 射线机的工作原理可知，当设备关机时不会产生 X 射线，不存在影响辐

射环境质量事故，只有当设备开机时才会产生 X 射线等危害因素。本项目数字减影血管造影机属于 II 类射线装置，其 X 射线能量不大，曝光时间都比较短，事故情况下，人员误入或误照射情况下，可能导致人员受到超过年剂量限值的照射。

上述事故其危害结果及其所引发的放射性事故等级见表 11-33。

表 11-33 项目环境风险因子、危险因素、危害结果及事故分级表

项目装置名称	主要环境风险因子	危险因素	危害结果	事故等级
DSA	X 射线	超剂量照射	射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射	一般辐射事故

根据分析，本项目 DSA 可能发生的事故为一般辐射事故。

(三) 汇总

经分析，本项目发生的辐射事故的事故等级为一般辐射事故。针对本项目可能发生的辐射事故，医院应按相关规定对已制定的辐射事故应急预案和安全规章制度进行补充完善并认真贯彻实施，以减少和避免发生辐射事故与突发事件。

四、事故防范措施

上述辐射事故可以通过完善辐射防护安全设施、制定相关管理规章制度和辐射事故应急措施加以防范，将辐射环境风险控制在可以接受的水平。针对在运行过程中可能发生的事故，本次评价提出以下防范措施，尽可能的减小或控制事故的危害和影响，主要体现在以下几个方面：

1、制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，减少药物撒漏事故的发生。发生撒漏等事故后，应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。然后用备用的塑料袋装清洗过程中产生污染物品和湿的药棉、纸巾，从溅洒处移去垫子，用药棉或纸巾擦拭，应注意从污染区的边沿向中心擦拭，直到擦干污染区。

患者在初期用药后，遇到不良反应引起呕吐造成工作场所的污染，医院工作人员应立即打扫，主要的呕吐物将打扫至控制区专门设置的废物桶内，并作为固体废物处理，暂存于储源室内，地面再用专门的清洁工具清扫，此时会产生少量的放射性废水，清扫废水量较小，且该事件发生率较低，不会造成放射性废水量的显著增加。

撒漏或病人呕吐后造成的地面污染，在清洁后须用表面污染监测仪测量污染区，如果 β 表面污染大于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，该污染区未达到控制标准，应用酒精浸湿药棉或纸巾

擦拭，直到该污染区 β 表面污染小于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ 为止。擦拭物收集放到放射性固体废物衰变桶中，作为放射性固体废物进行管理。

2、在诊断过程中应注意对被检者的防护，合理使用 X 射线，实施医疗照射防护最优化的原则，实际操作中可采用“高电压、低电流、重过滤、小视野”的办法，使被检者所受的剂量，达到合理的尽可能的低水平。

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

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

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

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

7、严格按照辐射监测计划进行辐射水平监测，如果监测表明防护墙外辐射水平偏高，应适当增加防护墙厚度。

五、应急措施

(1) 一旦发现有其他无关人员误入扫描机房内，操作人员应立即利用最近的紧急停止开关切断设备电源。误入人员应在最短的时间内撤离机房，尽量缩短受照时间。同时，事故第一发现者应及时向医院的辐射安全管理领导小组及上级领导报告。辐射安全管理领导小组在接到事故报告后，应以最快的速度组织应急救援工作，迅速封闭事故现场，禁止无关人员进入该区域，严禁任何人擅自移动和取走现场物件（紧急救援需要除外）。

(2) 对可能受到超剂量照射的人员，尽快安排其接受检查和救治，并在第一时间将事故情况通报当地生态环境、卫生健康等行政主管部门。

(3) 迅速查明和分析发生事故的原因，制订事故处理方案，尽快排除故障。若不能自行排除故障，则应上报当地环境保护主管部门并通知进行现场警戒和守卫，及时组织专业技术人员排除事故。

(4) 事故的善后处理，总结事故原因，吸取教训，采取补救措施。

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十二条和原国家环境保护总局环发[2006]145号文件之规定，发生辐射事故时事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急预案，采取必要防范措施，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告，涉及人为故意破坏的还应向公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生健康部门报告。

达州市中西医结合医院需重新制定事故应急预案，将本次新建的核医学工作场所项目纳入其中，能确保事故情况下的影响处于可控范围内。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

一、关于辐射安全与环境保护管理机构

医院已根据现有核技术应用现状，按《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等要求，成立了辐射安全管理委员会（即放射安全与防护领导小组），该文件明确了领导小组工作职责：

- 1、负责辐射突发事件应急处理具体方案的研究确定和组织试试工作。
- 2、人员受超剂量照射事故时，应启动应急事故预案。
- 3、负责组织应急准备工作，调动人员、设备、物资等，指挥其他各应急小组赶赴现场，开展工作。
- 4、对辐射事故的现场进行组织协调、安排救助，指挥辐射事故应急救援行动。
- 5、负责向上级行政主管部门报告辐射污染事件应急救援情况。
- 6、负责恢复本单位正常秩序。

二、辐射工作人员配置和能力分析

达州市中西医结合医院现有辐射工作人员 131 人，其中 130 名人员已参加辐射安全和防护知识培训，在岗的 127 名辐射工作人员均配备个人剂量计。

本项目拟配置辐射工作人员 23 人，根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》等要求，医院拟于近期安排辐射安全培训合格证书已到期人员及新上岗未参加学习考核人员，在生态环境部“核技术利用辐射安全与防护培训平台”报名参加辐射安全与防护相关知识的学习，并参加考核，考核合格后上岗，同时建立并保存辐射工作人员的培训档案。

在辐射工作人员上岗前，医院应组织其进行岗前职业健康检查，并建立个人健康档案，符合辐射工作人员健康标准的，方可参加相应的放射工作。在此基础上，环评认为，本项目辐射工作人员的配置可满足要求的。

辐射安全管理规章制度

一、规章制度

根据《四川省核技术利用辐射安全与防护监督检查大纲》（川环函〔2016〕1400 号）的相关要求中的相关规定，将建设单位现有的规章制度落实情况进行对比说明，

具体见表 12-1。

医院应按照《四川省核技术利用辐射安全与防护监督检查大纲》（川环函〔2016〕1400号）的要求，将《辐射工作场所安全管理要求》、《辐射工作人员岗位职责》、《辐射工作设备操作规程》和《辐射事故应急响应程序》悬挂于辐射工作场所并且上墙制度的内容应字体醒目，尺寸大小应不小于400mm×600mm。

建设单位应根据规章制度内容认真组织实施，并且根据国家发布的新的相关法律法规内容，结合医院实际情况及时对各项规章制度补充修改，使之更能符合实际需要。

二、档案管理

达州市中西医结合医院应建立完整的辐射安全档案。需要归档的材料应包括以下内容：

- （1）生态环境部门现场检查记录及整改要求落实情况。
- （2）设备使用期间射线装置异常情况说明以及其它需要记录的有关情况。

根据《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》要求，档案资料应按以下八大类分类：“制度文件”、“环评资料”、“许可证资料”、“射线装置台账”、“监测和检查纪录”、“个人剂量档案”、“培训档案”和“辐射应急资料”。

三、年度辐射安全评估制度

达州市中西医结合医院建立有年度辐射安全评估制度，医院应根据《四川省核技术利用单位放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告格式》的要求，每年根据实际工作情况编制《安全和防护状况年度评估报告》并上传至全国核技术利用辐射安全申报系统。

四、核技术利用辐射安全申报系统要求

根据生态环境部信息化管理要求，辐射工作单位办理辐射安全许可证审批环保手续时需在全国核技术利用辐射安全申报系统进行网上申报。

辐射监测

辐射监测是安全防护的一项必要措施，通过辐射剂量监测得到的数据，可以分析判断和估计电离辐射水平，防止人员受到过量的照射。根据实际情况，需建立辐射剂量监测制度，包括工作场所监测和个人剂量监测。

一、工作场所监测

1、年度监测

医院应委托有资质的单位对辐射工作场所的剂量进行监测，监测周期为1次/年；年度监测报告应作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成部分一并上传至全国核技术利用辐射安全申报系统。

2、日常自我监测

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

3、监测内容和要求

- (1) 监测内容：X- γ 空气吸收剂量率、 β 表面沾污水平。
- (2) 监测范围：控制和监督区域及周围环境。
- (3) 监测布点方案：

表 12-2 工作场所及环境监测计划建议

场所名称	监测项目	监测周期	监测点位
核医学科 工作场所	γ 射线	委托有资质的单位监测，频率为1次/年；自行开展辐射监测，频率为1次/月； β 表面污染可在每天工作完成后进行一次	分装标记室、注射室、储源室、污物暂存间、注射后候诊室、留观室、PET/CT 机房、控制室等
	放射性废水		放射性废水衰变池排放口
	X 射线		PET/CT 机房相邻的房间、过道操作位和防护门
	β 表面污染		分装标记室、注射室、储源室、污物暂存间、PET/CT 机房、控制室、注射后候诊室、留观室、卫生间、患者通道等的墙壁、地面，辐射工作人员工作服、手套、工作鞋、手、皮肤等
DSA 机房	X- γ 空气吸收剂量率		3 座 DSA 机房四周、楼上及楼下

(4) 监测布点及数据管理：本项目监测布点应参考环评提出的监测计划（表 12-2）或验收监测布点方案。监测数据应记录完善，并将数据实时汇总，建立好监测数据台账以便核查。

(5) 监测范围：控制和监督区域及周围环境

(6) 监测质量保证：

①制定监测仪表使用、校验管理制度，并利用监测单位的监测数据与医院监测仪器的监测数据进行比对，建立监测仪器比对档案；也可到有资质的单位对监测仪器进行校核；

②医院应安排专人负责自行监测任务；

③采用国家颁布的标准方法或推荐方法，其中自我监测可参照有资质的监测机构出具的监测报告中的方法；

④制定辐射环境监测管理制度。

辐射工作场所环境监测结果应记录，并存档备案，若发现异常情况，立即采取应急措施，停止辐射工作，查找原因。自查监测结果和工作场所监测结果应作为年度自查评估报告的附件。从事自我监测的人员应具有辐射安全及环境监测的相关知识。

二、个人监测

1、个人剂量监测管理要求

个人监测主要是利用个人剂量计进行外照射个人累积剂量监测，每名辐射工作人员需佩戴个人剂量片，监测周期为1次/季。

(1) 当单个季度个人剂量超过 1.25mSv 时，建设单位要对该辐射工作人员进行干预，要进一步调查明确原因，并由当事人在情况调查报告上签字确认；当全年个人剂量超过 5mSv 时，建设单位需进行原因调查，并最终形成正式调查报告，经本人签字确认后，上报发证机关。检测报告及有关调查报告应存档备查。

(2) 个人剂量检测报告（连续四个季度）应当连同年度监测报告一起作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成部分一并提交给发证机关。

(3) 根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019），就本项目而言，辐射主要来自前方，剂量计应佩戴在人体躯干前方中部位置，一般左胸前。

(4) 辐射工作人员个人剂量档案内容应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。医院应当将个人剂量档案保存终身。

2、医院个人剂量监测现状

达州市中西医结合医院已委托成都同州科技有限责任公司对医院辐射工作人员进行了个人剂量监测，根据医院提供资料，其 2021 年度个人剂量监测结果均符合相关规定。医院在每年的 1 月 31 日前上报的辐射安全和防护状况自查评估报告中，应包含辐射工作人员剂量监测数据及安全评估的内容。

辐射事故应急

一、事故应急预案内容

为了应对放射诊疗中的事故和突发事件，医院制订了放射性污染突发事件应急处

置预案（2020年版）（详见附件8），包含了以下内容：

“适用范围”、“组织机构”、“应急预案启动”、“放射性污染突发事件分类与应急响应”、“突发放射性污染突发事件报告方式与内容”、“医疗救治”、“应急状态的终止及恢复措施”、“应急和救助的装备、物资准备”和“应急响应能力的保持”等内容。

该应急预案内容全面，措施有效可行。

二、应急措施

若本项目发生了辐射事故，医院应迅速、有效采取以下应急措施：

（1）一旦发现放射性药物被盗或者丢失，及时向公安部门、生态环境主管部门和卫生健康部门报告。

（2）发现误照射事故时，工作人员应立即切断电源，将病人撤出机房，关闭机房门，同时向医院主管领导报告。

（5）医院根据估算的超剂量值，尽快安排误照人员进行检查或在指定的医疗机构救治；对可能受放射损伤的人员，应立即采取暂时隔离和应急救援措施。

（6）事故发生后的2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境和公安部门报告。造成或可能造成超剂量照射的，还应同时向当地卫生健康行政部门报告。

（7）最后查清事故原因，分清责任，消除事故隐患。

三、其他要求

（1）辐射事故风险评估和辐射事故应急预案，应报送所在地县级地方人民政府生态环境主管部门备案。

（2）在预案的实施中，应根据国家发布新的相关法规内容，结合医院实际及时对预案作补充修改，使之更能符合实际需要。

表 13 结论与建议

结论

一、项目概况

项目名称：达州市中西医结合医院新增非密封放射性物质工作场所及医用射线装置使用项目

建设单位：达州市中西医结合医院

建设性质：新建

建设地点：达州市通川区西外龙泉路 1 号达州市中西医结合医院西外新院区

建设内容与规模：医院拟于西外新院区第二住院大楼（待建，地上 21 层，地下 3 层建筑）一层东南部新建核医学科，于场所内新增使用 1 台 PET/CT（型号待定，最大管电压 150kV，最大管电流 1000mA，其中 CT 部分属于Ⅲ类射线装置）；该核医学诊断工作场所内拟使用放射性同位素 ^{18}F （年最大使用量 $8.33 \times 10^{12}\text{Bq}$ ，日最大使用量 $3.33 \times 10^{10}\text{Bq}$ ，日等效最大操作量 $9.32 \times 10^6\text{Bq}$ ）和放射性同位素 ^{68}Ga （年最大使用量 $9.25 \times 10^{10}\text{Bq}$ ，日最大使用量 $3.70 \times 10^8\text{Bq}$ ，日等效最大操作量 $3.70 \times 10^5\text{Bq}$ ）进行 PET/CT 显像诊断，用于显像用的放射性同位素 ^{68}Ga 由医院使用放射性同位素 ^{68}Ge （年最大使用量 $1.85 \times 10^9\text{Bq}$ ，日最大使用量 $1.85 \times 10^9\text{Bq}$ ，日等效最大操作量 $1.85 \times 10^6\text{Bq}$ ）制备所得；同时，在该场所内使用放射性同位素 ^{153}Sm （年最大使用量 $7.40 \times 10^{11}\text{Bq}$ ，日最大使用量 $2.96 \times 10^9\text{Bq}$ ，日等效最大操作量 $2.96 \times 10^7\text{Bq}$ ）进行核素治疗，本次新建的核医学诊断工作场所总日等效最大操作量为 $4.11 \times 10^7\text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

同时，医院拟在第二住院大楼二层新建 1 座 DSA 机房，并配备 1 台 DSA，属Ⅱ类射线装置；拟在第二住院大楼五层新建 2 座 DSA 机房，并配备 2 台 DSA，属Ⅱ类射线装置，开展介入诊断项目。

二、项目产业政策符合性

本项目系核技术应用项目在医学领域内的运用。根据《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（2021 年修改），属于鼓励类中第三十七项“卫生健康”的第 5 条“医疗卫生服务设施建设”，是目前国家鼓励发展的新技术应用项目。本项目的运营可为达州市及周边病人提供诊疗服务，是提高人民群众生活质量，提高全市医疗卫生

水平和建设小康设备的重要内容，本项目具有放射实践的正当性，符合现行的国家产业政策。

三、实践正当性

达州市中西医结合医院新增非密封放射性物质工作场所及医用射线装置使用项目的目的是为了对病人进行医学诊断。在采取了相应的辐射防护措施后，项目所致的辐射危害可得到有效控制，项目实施的利益大于代价，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的辐射防护“实践的正当性”原则。

四、项目周边保护目标以及场址选址情况

达州市中西医结合医院西外新院区位于四川省达州市通川区西外龙泉路1号，医院综合考虑项目特点和对周围环境可能存在的影响，拟将本项目核医学诊断工作场所建于院内第二住院大楼一层，将本项目 DSA 机房分别建于院内第二住院大楼二层及五层，避开了人流量较大的门诊区域，减少了对公众的不必要照射。

达州市中西医结合医院西外新院区用地属于医疗卫生用地，从周边外环境关系可知，医院周边规划为居民住宅和市政道路，周边无自然保护区等生态环境保护目标，无大的环境制约因素。

本项目所在第二住院大楼为达州市中西医结合医院西外新院区的建设内容，《达州市中西医结合医院第二住院大楼项目环境影响报告书》已取得达州市生态环境局批复（达市环审批〔2020〕22号），医院整体项目选址合理性已在相关环评报告中进行了论述，本项目仅为其中部分建设内容，不新增用地，且新建辐射工作场所有良好的实体屏蔽设施和防护措施，产生的辐射经屏蔽和防护后对辐射工作人员及公众的照射剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的剂量限值要求并满足报告表确定的剂量管理约束值的要求，从辐射安全防护角度分析，本项目选址是合理的。

五、区域环境质量现状

根据监测结果可知，本项目拟建址周边环境的空气吸收剂量率与生态环境部《2020年全国辐射环境质量报告》中四川省空气吸收剂量率年均值范围基本一致，属于当地正常天然本底辐射水平。

六、环境影响分析结论

1、施工期环境影响分析

本项目施工工程量比较小，施工时间较短，故施工期的环境影响是短暂的，施工结束后影响即可消除，对周围环境影响较小。

2、营运期正常工况下辐射环境影响

(1) 辐射环境影响分析结论

在严格落实环评提出的要求后，本项目所致职业人员年剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的辐射剂量限值要求，同时也符合本报告提出的照射剂量约束值要求（职业照射 5mSv/a、公众照射 0.1mSv/a）。评价结果表明本项目辐射工作场所的防护性能符合要求。

(2) 水环境影响分析

本项目产生的放射性废水主要为：本项目核医学科工作人员操作过程手部受到微量污染或清扫工作台面、地坪的清洁工具清洗时可能会有带有微量放射性的废水以及患者冲洗排便用水。通过独立的废水管道收集来自核医学科工作场所的放射性废水，进入医院新建的废水衰变池，3个并联衰变池进行衰变处理，衰变后的废水经监测合格后排入医疗废水处理站进一步处理后纳入市政污水管网。

本项目产生的非放射性废水主要为：工作人员在工作中产生的生活污水及医疗废水，均经医院拟建污水处理站处理达到相关标准后排入市政污水管网进入城市污水处理厂处理。

(3) 固体废物影响分析

本项目产生的放射性废物主要为：工作人员操作过程产生的注射器、棉棒、一次性卫生用品、垫料和更换下的废活性炭。医院拟将上述放射性固体废物采用专用塑料包装袋专门分类收集，暂存在污物暂存间内（每袋重量不超过 20kg）。

含 ^{18}F 、 ^{68}Ga 固体放射性废物在污物暂存间内暂存衰变超过 30 天，含 ^{153}Sm 固体放射性废物在污物暂存间内暂存衰变超过 20 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物交由有资质单位进行处置。在整个收集、储存、处理过程中，应做好台账记录，台账内容应包括：废物所含核素的名称、废物的类别、入库日期、储存时间、废物最终处置去向等。本项目产生的退役锗镓发生器暂存于储源室，由设备厂

家进行回收、处置。

本项目产生的非放射性废物主要为：本项目介入手术时产生的医用器具和药棉、纱布、手套、废造影剂及废造影剂瓶等医疗废物，均由专人每天到科室收集到院内医疗废物暂存点，按照医疗废物执行转移联单制度，定期由有资质的医疗废物处置单位统一收集处置。本项目工作人员工作中会产生的少量的生活垃圾和办公垃圾，均由环卫部门定期统一收集、清运至垃圾处理厂处置。

(4) 噪声

运营期噪声主要来源于通排风系统，工作场所使用的通排风系统为低噪声设备，经建筑物墙体隔声及医院场址内的距离衰减后，噪声较小，运行期间厂界噪声可满足相关标准要求，对周围环境影响较小。

(5) 大气环境影响分析

设备开机出束期间产生的 X 射线与空气中的氧气相互作用产生少量的臭氧(O₃)。臭氧经通排风系统抽取后排放，由于治疗过程中每次曝光时间短，产生的臭氧量较少，再经大气稀释自然扩散后，对周围大气环境影响较小。

3、事故工况下环境影响

经分析，本项目可能发生的辐射事故等级为一般辐射事故。环评认为，针对本项目可能发生的辐射事故，达州市中西医结合医院按相关规定和本环评要求对已制定的《放射事件应急预案》进行补充完善后，能够有效控制并消除事故影响。

八、非密封放射性物质工作场所及射线装置使用与安全管理的能力

达州市中西医结合医院拥有专业的放射性医护人员和安全管理机构，有符合国家环境保护标准、职业卫生标准和安全防护要求的场所、设施和设备；建立了较完善的辐射安全管理制度、辐射事故应急措施；在补充《辐射安全管理规定》、《辐射工作设备操作规程》等相关管理制度并及时更新，认真落实并定期对辐射防护设施进行检查维护的前提下，具有对医用辐射设施的使用和安全管理能力。

九、项目环境可行性结论

综上所述，本项目符合国家产业政策，项目选址及平面布局合理。项目拟采取的辐射防护措施技术可行，措施有效；项目制定的管理制度、事故防范措施及应急方法等能够有效的避免或减少工作人员和公众的辐射危害。在认真落实项目工艺设计及本

报告表提出的相应防护对策和措施，严格执行“三同时”制度，严格执行辐射防护的有关规定，辐射工作人员和公众所受照射剂量可满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的剂量限值和本环评提出的剂量管理约束值。放射性“三废”及非辐射环境影响均可满足国家标准的要求。评价认为，从辐射安全与防护以及环境影响角度分析，本项目建设是可行的。

建议和承诺

- 1、落实本报告中的各项辐射防护措施和安全管理制度的。
- 2、医院应加强管理，安排辐射工作人员在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）学习辐射安全和防护知识并进行考核，已取得辐射安全培训合格证，今后培训时间超过5年的辐射工作人员，需进行再培训，详见国家核技术利用辐射安全与防护培训平台。
- 3、医院应于每年1月31日前在全国核技术利用辐射安全申报系统上提交上年度的《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》，近一年（四个季度）个人剂量检测报告和辐射工作场所年度监测报告应作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成部分一并上传。
- 4、经常检查辐射工作场所的电离辐射标志和电离辐射警告标志，工作状态指示灯，若出现松动、脱落或损坏，应及时修复或更换。
- 5、医院须重视控制区和监督区的管理。
- 6、现有射线装置在报废处置时，应当对射线装置内的高压射线管进行拆解和去功能化。
- 7、医院今后在更换辐射安全许可证之前，需登录全国核技术利用辐射安全申报系统，对相关信息进行修改。
- 8、本次环评放射性同位素及射线装置工作场所，日后如有变化，应另作环境影响评价。
- 9、本项目建成后，医院应严格按照原国家环境保护部（现国家生态环境部）“关于发布《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》的公告”（国环规环评〔2017〕4号）文件要求，开展竣工环境保护验收工作。

