

核技术利用建设项目

天津市第一中心医院水西院区
扩建使用钷-90树脂微球治疗项目
环境影响报告表

(报批稿)

天津市第一中心医院

2026年2月



核技术利用建设项目

天津市第一中心医院水西院区
扩建使用钷-90树脂微球治疗项目
环境影响报告表
(报批稿)

建设单位名称：天津市第一中心医院

建设单位法人代表（签名或签章）：汪凤梅

通讯地址：天津市南开区复康路 24 号

邮政编码：300192

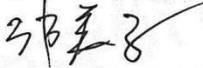
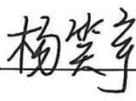
电子邮箱：

联系人：韩美子

联系电话：



编制单位和编制人员情况表

项目编号	gliley		
建设项目名称	天津市第一中心医院水西院区扩建使用钇-90树脂微球治疗项目		
建设项目类别	55—172核技术利用建设项目		
环境影响评价文件类型	报告表		
一、建设单位情况			
单位名称 (盖章)	天津市第一中心医院		
统一社会信用代码	12120000401354205H		
法定代表人 (签章)	王凤梅		
主要负责人 (签字)	王凤梅		
直接负责的主管人员 (签字)	韩美子		
二、编制单位情况			
单位名称 (盖章)	中核第四研究设计工程有限公司		
统一社会信用代码	911301001043361316		
三、编制人员情况			
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
杨笑宇	20201103513000000005	BH018183	
2 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
杨笑宇	表1~表13及附图、附件	BH018183	

为保护编制人员和建设单位的隐私，本公示版本删去了编制主持人环评资格证复印件、社保证明、编制单位营业执照、相关人员联系电话、邮箱以及环评报告表的附件等内容。

目录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	12
表 3 非密封放射性物质	13
表 4 射线装置	14
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	15
表 6 评价依据	16
表 7 保护目标与评价标准	19
表 8 环境质量和辐射现状	38
表 9 项目工程分析与源项	47
表 10 辐射安全与防护	59
表 11 环境影响分析	73
表 12 辐射安全管理	93
表 13 结论与建议	103
表 14 审批	106
附图	107
附件	120

表 1 项目基本情况

建设项目名称	天津市第一中心医院水西院区扩建使用钷-90树脂微球治疗项目				
建设单位	天津市第一中心医院				
法人代表	王凤梅	联系人	韩美子	联系电话	178*****
注册地址	天津市南开区复康路24号				
项目建设地点	天津市西青区西营门街保山西道2号，天津市第一中心医院水西院区核医学楼三层、四层和门急诊住院综合楼南楼负一层				
立项审批部门	/	批准文号		/	
建设项目总投资（万元）	300	项目环保投资（万元）	211.28	投资比例（环保投资/总投资）	70.4%
项目性质	<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它			占地面积（m ² ）	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 checked="" type="checkbox"/> III类		
其他					

项目概述

1 建设单位概况

天津市第一中心医院是一所以器官移植、急救医学、耳鼻喉专业学科为特色，融医疗、教学、科研、预防为一体的综合性三级甲等医院，是天津市医学中心之一。医院始建于1942年，原名天和医院，后与中纺医院、邮电医院、恩光医院合并，于1956年更名为“天津市第一中心医院”。目前，天津市第一中心医院有两个院区，即复康院区和水西院区，卫生技术人员共计3500余人，其中高级职称600余人，博士280余人、硕士850余人，获得各类国家级专家人才称号30余人，天津市级专家人才称号50余人。医院总床位数3200张。

目前，天津市第一中心医院有两个院区，即复康院区和水西院区。水西院区于2023

年4月正式启用，为目前亚洲最大单体医院，总建筑面积41万m²，床位2000张。

与复康院区相比，水西院区优化了血透中心、放疗中心、手术中心、急诊科4个领域医疗资源配置，致力成为集医疗、教学、科研、预防、康复、保健为一体的国家级医学平台。

2 建设单位地理位置及周边环境概况

本次环境影响评价项目位于天津市第一中心医院水西院区。水西院区地址为天津市西青区西营门街保山西道2号，东侧隔春明路、陈台子排水河与瑞丽园居民区相望；西侧临文正路，路西为泰康养老社区；南侧临保山西道，路南为地铁11号线终点站及生活区，西南为水西公园公交站；北侧临保泽西道，路北为水西公园文正路停车场。水西院区中心坐标北纬39°6′23.121″，东经117°7′23.233″。

水西院区的地理位置图见附图一，周边关系图见附图二，平面布置图见附图三。

3 项目建设规模

为满足肿瘤治疗需求，天津市第一中心医院水西院区拟开展钇-90树脂微球治疗项目，涉及新增使用^{99m}Tc和⁹⁰Y两种放射性核素，主要用于肝癌治疗，计划全年接收150例患者做^{99m}Tc核素初步诊断，预期其中120例患者（占比80%）可以接受后续⁹⁰Y数值微球治疗。工作场所位于核医学楼三层（⁹⁰Y核素和^{99m}Tc核素的贮存、分装和SPECT扫描）、核医学楼四层（受注⁹⁰Y核素药物的患者留观）和门急诊住院综合楼南楼负一层放射科DSA手术室1（⁹⁰Y核素和^{99m}Tc核素注射（介入注射））。本项目总占地202.6m²，分配职业工作人员6名，3人（冯学民、郭建华、魏利娟）在核医学科负责⁹⁰Y核素药物的贮存、分装和SPECT扫描，3人（陈光、高海军、王浩）在放射科DSA手术室1负责⁹⁰Y核素和^{99m}Tc核素的DSA注射。核医学楼三层和放射科DSA手术室1平面布局图见附图四和附图七。

使用⁹⁰Y核素进行治疗前1-2周，需先对患者注射^{99m}Tc核素，模拟⁹⁰Y核素在体内的分布，然后利用SPECT/CT一体机（III类射线装置，型号SymbiaT2，已录入医院现行辐射安全许可证）进行扫描，判断患者是否适合⁹⁰Y核素治疗，如果合适，再开展⁹⁰Y核素注射。

本项目使用的^{99m}Tc和⁹⁰Y两种核素均系外购。^{99m}Tc药物在送达之前，已按照需求分装完毕；⁹⁰Y药物分装在储源室负压通风橱中进行。

药物分装完毕后，依托门急诊住院综合楼南楼负一层放射科DSA手术室1的DSA装置（II类射线装置，型号：西门子Pheno，已录入医院现有辐射安全许可证）对患者进行注射。

患者注射 ^{99m}Tc 或 ^{90}Y 核素后，即去往核医学科三层 SPECT/CT 机房 2 进行扫描，注射 ^{90}Y 核素的患者扫描完毕之后，转入核医学科四层病房留观 1~2 天，仅注射 ^{99m}Tc 核素的患者扫描完毕后即可离开医院，不需留观。

本项目放射性核素使用情况见表 1-1，非密封放射性物质工作场所等级见表 1-2。

表 1-1 本项目中放射性核素使用情况一览表

序号	核素名称	物理性质	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
1	^{99m}Tc	液态	使用	1.85×10^8	1.85×10^5	2.22×10^{10}	诊断	很简单的操作	受药患者扫描：核医学楼三层 SPECT/CT 机房 2
2	^{99m}Tc	液态	使用	1.85×10^8	1.85×10^5	2.22×10^{10}	诊断	很简单的操作	药物注射：门急诊住院综合楼南楼负一层放射科 DSA 手术室 1
3	^{90}Y	液态	使用	3×10^9	3×10^6	3.6×10^{11}	放射治疗	贮存	药物暂存：核医学楼三层的放射性药物储源室。
4	^{90}Y	液态	使用	3×10^9	3×10^8	3.6×10^{11}	放射治疗	简单操作	^{90}Y 药物分装：核医学楼三层储源室
5	^{90}Y	液态	使用	2×10^9	2×10^8	2.4×10^{11}	放射治疗	简单操作	受药患者扫描：核医学楼三层 SPECT/CT 机房 2
6	^{90}Y	液态	使用	2×10^9	2×10^8	2.4×10^{11}	放射治疗	简单操作	药物注射：门急诊住院综合楼南楼负一层放射科 DSA 手术室 1
7	^{90}Y	液态	使用	2×10^9	2×10^8	2.4×10^{11}	放射治疗	简单操作	受注 ^{90}Y 药物的患者扫描完毕后在核医学楼四层病房留观 1~2 天。

注：核医学科二层对应现行《辐射安全许可证》批准的 PET 诊断及敷贴治疗工作场所；核医学楼三层对应 SPECT/CT 诊断及甲功测试场所；四层对应核医学病房工作场所。

表 1-2 本项目非密封放射性物质工作场所等级列表

工作场所	本项目运行前核素日等效最大操作量 (Bq)	工作场所等级	本项目运行后核素日等效最大操作量 (Bq)	工作场所等级	备注
核医学楼三层	2.194×10^8	乙级	7.23×10^8	乙级	等级不变
核医学楼四层	3.235×10^9	乙级	3.435×10^9	乙级	等级不变
放射科 DSA 手术室 1	0	不涉及	2.002×10^8	乙级	提升至乙级

核素日等效最大操作量的计算过程详见“9.5 工作场所分级”章节。

根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（2024 年 2 月 1 日起施行，国家发展和改革委员会令 第 7 号），本项目属于第一类鼓励类第三十七项“卫生健康”中第 5 条“医疗卫生服务设施建设”。因此，本项目符合当前的产业政策要求。同时，本项目依托水西院区核医学科和放射科 DSA 手术室 1 进行建设，符合当地区域总体规划和用地规划。

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，本项目属于“五十五、核与辐射-172 核技术利用建设项目”中“乙级非密封放射性物质工作场所”，应编制环境影响报告表。

天津市第一中心医院于 2025 年 7 月委托中核第四研究设计工程有限公司对该项目开展辐射环境影响评价，接受委托后，中核第四研究设计工程有限公司组织技术人员对本项目工作场所和周围环境进行现场调查、踏勘，结合项目的实际情况及天津市第一中心医院提供的相关资料进行分析，在此基础上编写完成《天津市第一中心医院水西院区扩建使用钇-90 树脂微球治疗项目》的环境影响报告表。

4 本项目工作场所周边环境

本项目工作场所位于水西院区核医学楼三层和门急诊住院综合楼南楼负一层放射科 DSA 手术室 1。

核医学楼位于水西院区东北角，地上建筑 6 层，地下 3 层。核医学楼东侧为春明路、陈台子排水河以及瑞丽园居民区，距离瑞丽园居民楼约 275m；西侧为水西院区体检中心楼（6F）；核医学楼南侧为门急诊住院综合楼北裙楼（16F）；北侧为水西院区外保泽西道和水西公园文正路停车场。

门急诊住院综合楼是位于水西院区中央，为地下 3 层、地上 16 层建筑，分为南楼和北楼两部分，空间呈“工”字型格局。门急诊住院综合楼东侧为急诊、急救入口；西侧

为门诊出、入口，南北两侧均有地上 6F 高的裙楼。门急诊住院综合楼北楼北侧为体检中心楼（6F）、核医学楼（6F）；南楼南侧为实训中心楼（6F）、感染科楼（6F）。

目前，核医学楼、门急诊住院综合楼南楼主体建筑均已建成（环评报告书批复及环评调整报告批复见附件四），本项目放射性工作场所现状如图 1-1 所示。



图 1-1 本项目放射性工作场所现状

5 产业政策和选址符合性分析

根据《产业结构调整指导目录（2024年本）》（2023年修改，国家发展和改革委员会令第7号），本项目属于第一类鼓励类第三十七项“卫生健康”中第1条“医疗服务设施建设”。因此，本项目符合当前的产业政策要求。

本项目的运行依托于水西院区东北角核医学楼三层、四层及院区中部的门急诊住院综合楼南楼负一层放射科DSA手术室1。在本项目的环境影响评价范围内，不涉及天津市生态红线区域和天津市国家级生态保护红线，无居民区、学校、生态保护目标等敏感点，而且避开了产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，与非放射性工作场所有明确的分界隔离。

核医学楼三层、四层和放射科DSA手术室1位于不同楼宇，核素药物及受注药物患者的转运时，尽量避开人流高峰；沿途悬挂警戒绳或警示标识；同时，职业工作人员或安保人员通过扩音器广播要求周围公众及时闪避，可将对外环境的辐射影响降至最低。

因此，本项目的选址是合理的。

6 实践正当性分析

钇-90 树脂微球的选择性内放射治疗是一种应用于肝部肿瘤治疗的方法，它利用肝脏肿瘤独特的工学结构进行治疗。正常肝组织和肝部肿瘤由不同的血管进行供血，其中正常肝组织约有 75%的血液供给来自门静脉，而肝部肿瘤几乎 100%由肝动脉供血。基于肝脏恶性肿瘤的特征，通过向肝动脉选择性或超选择性输注带有放射性物质 ^{90}Y 的树脂微球，即可实现对肝部肿瘤病灶的精准内放射治疗，而正常肝组织因主要由门静脉供血，接受的辐射剂量较低，从而可最大程度保护肝脏。同时《医用同位素中长期发展规划（2021-2035）》明确提出鼓励针对外国已应用于临床的放射性诊疗药物，加强放射性药物研发力量，协调推进临床转化与应用，因此，本项目的实践是必要的。

由于在诊断或治疗过程中，放射性核素的使用可能造成如下辐射影响问题：①给周围环境造成一定辐射影响；②给职业工作人员及周边公众造成一定辐射影响，给受药患者造成一定负面影响；③放射性核素管理或使用过程的失误造成辐射事故。

天津市第一中心医院在放射性治疗过程中，对放射性核素的使用将严格按照国家相关辐射防护要求采取相应防护措施，建立对应规章制度和辐射事故应急预案。在正确管理、使用放射性核素的情况下，可将本项目辐射影响及风险降至最低水平。

^{90}Y 树脂微球选择性内放射治疗术能够控制肝部恶性肿瘤进展，显著延长患者生存时间。本项目可显著提升天津市第一中心医院的肿瘤诊断及放射治疗能力，为天津市乃至华北地区的众多患者及家属提供更优质、更可靠的医疗保障服务。

本项目运行会对医务人员、周边公众带来一定辐射影响，但只要配备充足的监测仪器、防护用品，并采取适当的辐射防护措施，可将本项目对外的辐射影响控制在可接受水平。

本项目带来的人民身体健康、社会经济发展等正面效益远大于低水平辐射影响的负面影响，因之，本项目的实践有充分的正当性。

5 原有核技术利用建设项目情况

5.1 已许可项目情况

(1) 已许可项目实际使用情况

天津市第一中心医院现持有证书编号为“津环辐证[00224]”的辐射安全许可证，许可种类和范围为使用 V 类放射源；使用 II 类、III 类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所。有效期至 2029 年 7 月 11 日，辐射安全许可证见附件五。

天津市第一中心医院许可使用的放射源、非密封放射性物质均位于水西院区核医学科，许可情况和实际使用情况对比分别见表 1-3、表 1-4。

表 1-3 天津市第一中心医院放射源许可情况和实际使用情况对比表

序号	许可情况		实际使用情况		
	核素	活度 (Bq) *枚数	核素	活度 (Bq) *枚数	使用场所
1	Ge-68	9.25E+7*3	Ge-68	9.25E+7*3	核医学科二楼 PET 机房
2	Sr-90(Y-90)	1.48+9*1	Sr-90(Y-90)	尚未引进	核医学科二楼敷帖室
3	Ge-68	4.625E+7*2	Ge-68	4.625E+7*2	核医学科三楼储源室
4	Ge-68	9.25E+7*1	Ge-68	9.25E+7*1	核医学科三楼储源室

注：表中放射源均为 V 类。

表 1-4 辐射安全许可证中批准使用的非密封放射性物质情况

1	工作场所名称	场所等级	核素	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	活动种类
1	PET 诊断及敷帖治疗工作场所 (水西院区核医学楼二层)	乙级	C-11	7.4E+7	1.85E+12	使用
2			F-18	2.22E+7	5.55E+12	使用
3			O-15	3.7E+7	9.25E+11	使用
4			Ga-68	3.7E+7	9.25E+11	使用
5			N-13	3.7E+7	9.25E+11	使用
6	SPECT/CT 诊断及甲功测试场所 (水西院区核医学楼三层)	乙级	Tc-99m	3.33E+7	8.33E+12	使用
7			P-32	1.48E+8	1.85E+11	使用
8			I-131	1.11E+6	2.78E+9	使用
9			I-123	3.7E+7	9.25E+11	使用
10	核医学病房工作场所 (水西院区核医学楼四层)	乙级	Lu-177	3.7E+7	9.25E+11	使用
11			Sr-89	2.96E+7	7.40E+10	使用
12			Ra-223	1.85E+7	4.625E+9	使用
13			I-131	3.15E+9	5.09E+12	使用
14	核医学科 (康复院区)	乙级	I-125 (粒子源)	2.96E+6	7.4E+11	使用
15			F-18	1.85E+07	4.63E+12	使用
16			Tc-99m	2.22E+7	5.55E+12	使用

17			I-125	1.332E+4	6.66E+7	使用
18			Sr-89	2.96E+7	7.40E+10	使用
19			P-32	7.4E+6	1.78E+9	使用
20			I-131	1.85E+9	4.625E+12	使用

由表 1-4 可知水西院区共有 4 个非密封放射性物质工作场所，等级均为乙级。

目前，天津市第一中心医院许可使用 63 台射线装置，33 台位于复康院区，30 台位于水西院区。水西院区射线装置列表如下：

表 1-5 水西院区批准使用的射线装置列表

序号	许可情况		实际使用情况			
	装置名称	类别	装置名称	类别	规格型号	使用场所
1	X 射线血液辐照仪	III	X 射线血液辐照设备	III	XHBRI160E	储血室
2	医用诊断 X 射线装置	III	移动 C 型 X 光机	III	ZiehmVisionRFD3D	非固定
3	医用诊断 X 射线装置	III	移动 G 型 X 光机	III	BIPLANAR500e	非固定
4	医用诊断 X 射线装置	III	移动 X 线	III	岛津 MUX-200D	非固定
5	医用诊断 X 射线装置	III	移动 X 线	III	迈瑞 MobiEye700	非固定
6	放射治疗模拟定位装置	III	移动 X 线	III	岛津 MUX-200D	非固定
7	放射治疗模拟定位装置	III	模拟 CT	III	BrillianceCTBigBore	负三层放疗中心模拟 CT 室
8	粒子能量小于 100 兆电子伏的医用加速器	II	直线加速器	II	VitalBeam	负三层放疗中心治疗 1 室
9	粒子能量小于 100 兆电子伏的医用加速器	II	直线加速器	II	TrueBeam	负三层放疗中心治疗 2 室
10	医用 X 射线计算机断层扫描 (CT) 装置	III	CT	III	西门子 drive	负一层放射科 CT1 室
11	医用 X 射线计算机断层扫描 (CT) 装置	III	CT	III	西门子 force	负一层放射科 CT4 室
12	医用 X 射线计算机断层扫描 (CT) 装置	III	CT	III	GERevolutionCT	负一层放射科 CT5 室
13	血管造影用 X 射线装置	II	DSA	II	西门子 Pheno	负一层放射科 DSA 手术室 1
14	血管造影用 X 射线装置	II	DSA	II	ARTISPheno	负一层放射科 DSA 手术室 5
15	血管造影用 X 射线装置	II	DSA	II	岛津 Trinias	负一层放射科 DSA 手术室 2
16	医用诊断 X 射线装置	III	DR	III	岛津 RADspeedPro80	负一层放射科普放区 DR 室
17	医用诊断 X 射线装置	III	DR	III	岛津 RADspeedPro80	负一层放射科

						普放区 DR 室
18	医用诊断 X 射线装置	III	DR	III	岛津 RADspeedPro80	负一层放射科 普放区 DR 室
19	医用诊断 X 射线装置	III	数字胃肠机	III	岛津 Uni-Vision	负一层放射科 普放区数字胃 肠室
20	血管造影用 X 射线装置	II	DSA	II	西门子 Pheno	负一层心内科 杂交手术室 1
21	血管造影用 X 射线装置	II	DSA	II	飞利浦 7M12C	负一层心内科 杂交手术室 2
22	血管造影用 X 射线装置	II	DSA	II	飞利浦 AlluraXperFD10	七层心内科 DSA 手术室
23	口腔（牙科）X 射线装置	III	牙科 X 射线 机	III	西诺德 HeliodentplusD3507	水西医院口腔 科
24	口腔（牙科）X 射线装置	III	牙科 X 射线 机	III	西诺德 HeliodentplusD3507	水西医院口腔 科
25	口腔（牙科）X 射线装置	III	数字化口腔 全景、头颅 及体层摄影 设备	III	森田 X550	水西医院口腔 科
26	医用 X 射线计算机断层扫描（CT）装置	III	CT	III	SOMATOMgo.Top	体检楼一层 CT 室
27	医用诊断 X 射线装置	III	DR	III	西门子 MULTIXImpact 亿照 （配置一）	体检楼一层 DR 室
28	医用诊断 X 射线装置	III	DR	III	岛津 RADspeedPro80	一层急诊 DR 室
29	血管造影用 X 射线装置	II	DSA	II	飞利浦 7M12C	一层急诊 DSA 手术室
30	医用 X 射线计算机断层扫描（CT）装置	III	CT	III	西门子 Go.Top	一楼急诊 CT 室

（2）环保手续履行情况

2022 年 10 月，水西院区新建核医学科项目的环境影响报告表获得天津市生态环境局批复，文号为津环保许可表[2022]038 号，见附件八。

2022 年 1 月，水西院区门急诊住院综合楼南楼负一层放射科多台 DSA 装置的环境影响报告表获得天津市生态环境局批复，文号为津环保许可表[2022]006 号，见附件九，DSA 手术室 1 当时获批的 DSA 型号为“岛津 Trinias”，后来医院根据实际情况，将其变更为现在的型号“西门子 Pheno”，变更前，医院已编制安全分析报告。

目前，天津市第一中心医院水西院区的 9 台射线装置目前均已完成竣工环境保护自

主验收，21 台Ⅲ类射线装置已完成环境影响登记表备案。

水西院区核医学科目前尚未正式运营，未引入放射性核素。

5.2 辐射管理现状

天津市第一中心医院于 2023 年调整了辐射安全与环境保护工作领导小组的人员构成，由法人王凤梅担任组长，成员由相关科室负责人组成，并明确了相应职责。根据核技术利用项目的开展情况，有针对性地制定了《辐射工作人员岗位职责》、《放射工作场所防护管理制度》、《放射源管理制度》《放射性核素安全操作及防护制度》、《放射性药品使用的管理制度》《辐射防护和安全保卫制度》、《受检者放射危害告知与防护制度》、《放射工作人员职业健康、培训及剂量监测管理制度》、《辐射监测仪表使用与校验管理制度》、《医学装备维修、保养管理制度》、《辐射场所自主监测方案》、《DSA 装置操作规程》等，这些制度涵盖了辐射防护安全保卫、医护人员岗位职责、核素或射线装置操作规程、放射工作人员学习培训、设备维护维修等多方面。此外，还制定有专门的《辐射事故应急预案》。

天津市第一中心医院已向天津市生态环境局提交了 2024 年度 Ge-68 放射源、非密封放射性物质和射线装置的安全和防护状况评估报告。水西院区现有辐射监测仪器和防护用品汇总如下表：

表 1-6 水西院区现有监测仪器和防护用品汇总表

名称	数量（台/套/件）	名称	数量（台/套/件）
铅衣	112	铅帽	24
铅围脖	77	铅围裙	58
铅性腺防护用品	10	个人剂量计	52
个人剂量报警仪	20	便携式 X-γ 剂量率仪	2

5.3 人员培训

天津市第一中心医院现有放射工作人员 218 人，多数放射工作人员同时服务于复康院区和水西院区，根据工作需要，随时往返于两个院区。218 位放射工作人员按照自身岗位性质，均已参加对应的核技术利用辐射安全与防护培训，经考试合格，取得合格证书，目前合格证书均在有效期内。

针对本项目，核医学科负责核素药物操作及 SPECT/CT 扫描等工作的 3 人（冯学民、郭建华、魏利娟）已取得“核医学类”培训合格证书；放射科负责 DSA 装置操作的 3 人（陈光、高海军、王浩）已取得“介入放射学”类培训合格证书，目前，拟参加“核医

学类”培训学习，按照计划，本项目正式运行前，负责 DSA 装置操作的 3 人将同时取得“核医学类”培训合格证书。

5.4 个人剂量监测

天津市第一中心医院所有放射工作人员均佩戴热释光个人剂量计，按照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）的要求，个人剂量计每季度送检一次，并建立个人剂量档案。

天津市第一中心医院指定专人负责放射工作人员个人剂量监测的管理工作，目前，天津市第一中心医院的个人剂量检测委托天津市疾病预防控制中心按每季度 1 次的频度开展，个人剂量档案齐全。

全体辐射工作人员 2024 年度的个人剂量检测结果（2025 年度个人剂量检测结果尚未统计完毕）均低于医院放射岗位职业工作人员年有效附加剂量管理目标值 5mSv/a。

5.5 工作场所年度监测

2025 年 11 月，天津市第一中心医院委托中国医学科学院北京协和医学院放射医学研究所对水西院区放射性工作场所进行了工作场所环境辐射水平监测，监测结果均满足相关标准要求。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) /活度 (Bq) ×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	存贮方式与地点	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	物理性质	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
1	^{99m} Tc	液态	使用	1.85×10 ⁸	1.85×10 ⁵	2.22×10 ¹⁰	诊断	很简单的操作	受药患者扫描：核医学楼三层（SPECT/CT 诊断及甲功测试场所）SPECT/CT 机房 2
2	^{99m} Tc	液态	使用	1.85×10 ⁸	1.85×10 ⁵	2.22×10 ¹⁰	诊断	很简单的操作	药物注射：门急诊住院综合楼南楼负一层放射科 DSA 手术室 1
3	⁹⁰ Y	液态	使用	3×10 ⁹	3×10 ⁶	3.6×10 ¹¹	放射治疗	贮存	药物暂存：核医学楼三层（SPECT/CT 诊断及甲功测试场所）的放射性药物储源室。
4	⁹⁰ Y	液态	使用	3×10 ⁹	3×10 ⁸	3.6×10 ¹¹	放射治疗	简单操作	⁹⁰ Y 药物分装：核医学楼三层（SPECT/CT 诊断及甲功测试场所）储源室
5	⁹⁰ Y	液态	使用	2×10 ⁹	2×10 ⁸	2.4×10 ¹¹	放射治疗	简单操作	受药患者扫描：核医学楼三层（SPECT/CT 诊断及甲功测试场所）SPECT/CT 机房 2
6	⁹⁰ Y	液态	使用	2×10 ⁹	2×10 ⁸	2.4×10 ¹¹	放射治疗	简单操作	药物注射：门急诊住院综合楼南楼负一层放射科 DSA 手术室 1
7	⁹⁰ Y	液态	使用	2×10 ⁹	2×10 ⁸	2.4×10 ¹¹	放射治疗	简单操作	受注 ⁹⁰ Y 药物的患者扫描完毕后在核医学楼四层（核医学病房工作场所）病房留观 1~2 天。

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	现在工作场所	备注
1	血管造影用 X 射线装置 (DSA)	II	1	西门子 Pheno	125	1000	放射诊疗	门急诊住院综合楼南楼负一层放射科 DSA 手术室 1	辐射安全许可证已许可
2	SPECT/CT 一体机	III	1	SymbiaT2	130	240	放射诊疗	核医学楼三层 (SPECT/CT 诊断及甲功测试场所) SPECT/CT 机房 2	

(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 (mA)	中子强度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	存储方式	数量	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
放射性固体废物	固态	^{99m} Tc	1.85×10 ⁶	5kg	60kg	β 表面污染 <0.8Bq/cm ²	按照所含核素种类分别收集于废物袋中，暂存于核医学楼三层废物间（或 DSA 手术室 1 西侧放废间）的铅废物桶内。	暂存 30 天，期满后经便携式 α、β 表面污染检测仪检测达到清洁解控水平后（β 表面污染降至 0.8Bq/cm ² 以下），作为医疗废物由专人转移出废物间，最终送交有资质的单位处理。
		⁹⁰ Y	3×10 ⁷	15kg	180kg	β 表面污染 <0.8Bq/cm ²		
放射性废水	液态	^{99m} Tc	/	/	/	总 α ≦ 1Bq/L; 总 β ≦ 10Bq/L; I-131 放射性活度不大于 10Bq/L	产生的放射性废水通过专用管道进入核医学楼外北侧地下放射性废水衰变池，与其他含 ¹³¹ I 放射性废水在衰变池内充分混合。	自然衰变至少 180d, 经检测达标（总 α ≦ 1Bq/L; 总 β ≦ 10Bq/L; I-131 放射性活度 ≦ 10Bq/L）并取得审管部门认可后排入水西院区污水处理站处理，经医院总排口排入市政污水管网，最终经市政管网排入咸阳路污水处理厂处理。
		⁹⁰ Y	少量	2m ³	24m ³			
臭氧	气态	/	/	极少量	极少量	/	/	通过排风系统直接排入外环境
氮氧化物	气态	/	/	极少量	极少量	/	/	通过排风系统直接排入外环境

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 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》(中华人民共和国主席令第九号, 自 2015 年 1 月 1 日起施行);</p> <p>2) 《中华人民共和国放射性污染防治法》(中华人民共和国主席令第六号, 自 2003 年 10 月 1 日起施行);</p> <p>3) 《中华人民共和国环境影响评价法》(中华人民共和国主席令第二十四号, 自 2018 年 12 月 29 日起施行);</p> <p>4) 《建设项目环境保护管理条例》(国务院令 第 253 号发布, 国务院令 第 682 号修订, 自 2017 年 10 月 1 日起施行);</p> <p>5) 《放射性废物安全管理条例》(国务院令 第 612 号, 2012 年 3 月 1 日起施行);</p> <p>6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(国务院令 第 449 号发布, 国务院令 第 709 号修订, 自 2019 年 3 月 2 日起施行);</p> <p>7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(原国家环境保护总局令 第 31 号发布, 生态环境部令 第 20 号修订, 自 2021 年 1 月 4 日起施行);</p> <p>8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(原环境保护部令 第 18 号, 自 2011 年 5 月 1 日起施行);</p> <p>9) 《关于发布〈放射性废物分类〉的公告》(原环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局公告 2017 年第 65 号, 自 2018 年 1 月 1 日起施行);</p> <p>10) 《建设项目环境影响评价分类管理名录(2021 年版)》(生态环境部令 第 16 号, 自 2021 年 1 月 1 日起施行);</p> <p>11) 《建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法》(生态环境部令 第 9 号, 自 2019 年 11 月 1 日起施行);</p> <p>12) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》(生态环境部第 57 号公告, 自 2020 年 1 月 1 日起施行);</p> <p>13) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》(环发[2006]145 号, 自 2006 年 9 月 26 日起施行);</p> <p>14) 《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, 自 2016 年 3 月 7 日起施行);</p> <p>15) 《关于核医学标准相关条款咨询的复函》(辐射函[2023]20 号, 国家核安全</p>
----------------------------	---

	<p>局 2023 年 9 月 13 日发布)；</p> <p>16) 《天津市生态环境保护条例》(天津市第十七届人民代表大会第二次会议通过，2019 年 3 月 1 日起实施)；</p> <p>17) 《产业结构调整指导目录(2024 年本)》(中华人民共和国国家发展和改革委员会令 第 7 号，自 2024 年 2 月 1 日起施行)。</p>
技 术 标 准	<p>1) 《辐射环境保护管理导则核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容与格式》(HJ10.1-2016)；</p> <p>2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)；</p> <p>3) 《放射性废物管理规定》(GB14500-2002)；</p> <p>4) 《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)；</p> <p>5) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)；</p> <p>6) 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)；</p> <p>7) 《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)；</p> <p>8) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)；</p> <p>9) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)；</p> <p>10) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)；</p> <p>11) 《表面污染测定第 1 部分：β 发射体 ($E_{\beta\max}>0.15\text{MeV}$) 和 α 发射体》(GB/T14056.1-2008)；</p> <p>12) 《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)；</p> <p>13) 《污水综合排放标准》(DB12/356-2018)；</p> <p>14) 《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范核技术利用》(HJ1326-2023)。</p>
其他	<p>1) 《环境影响评价委托书》(附件一)；</p> <p>2) 《建设单位承诺书》(附件二)；</p> <p>3) 《乙级非密封放射性物质操作场所监督检查技术程序》(NNSA/HQ-08-JD-IP-006，生态环境部 2020 年发布)；</p> <p>4) 《钷-90 树脂微球使用过程辐射安全风险研究报告》(生态环境部核与辐射安全中心，2021 年 8 月 23 日)；</p> <p>5) 《辐射防护导论》(方杰主编，原子能出版社)；</p> <p>6) 《辐射防护基础》(李星洪等编，原子能出版社)；</p>

- 7) 《放射防护实用手册》(赵兰才、张丹枫主编, 济南出版社);
- 8) 《中国环境天然放射性水平》(2015年版)(中国原子能出版社)。

表 7 保护目标与评价标准

评价范围					
<p>根据《辐射环境保护管理导则核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016)中对评价范围和保护目标的要求,“放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围,甲级取半径500m的范围,乙、丙级取半径50m的范围。”。针对本项目而言,评价范围为非密封放射性物质工作场所周围50m范围(见附图三)。</p>					
保护目标					
<p>本项目核医学楼三层 SPECT/CT 机房 2、放射性药物储源室、核医学楼四层留观病房、门急诊住院综合楼南楼放射科 DSA 手术室 1 以及放射性废水衰变池屏蔽体边界外 50m 评价范围内无学校、居民点等环境敏感点,涉及主要环境敏感点为评价范围核医学楼的各通道、机房、候诊区和病房;门急诊住院综合楼南楼和北楼的各机房;以及医院内部道路、空地等。</p> <p>涉及人员为辐射工作人员和周边公众,其中辐射工作人员为本项目辐射工作人员和其他放射性科室的辐射工作人员,公众为评价范围内医院的非辐射工作人员、病患及院内外途径公众。具体环保目标如表 7-1 所示。</p>					
表 7-1 本项目涉及的主要环境保护目标情况					
房间名称	方位	保护目标所在场所	与非密封放射性物质的距离 (m)	人员类别	人员数量 (人)
核医学楼 三层 SPECT/CT 机房 2	北	库房	2.6	职业工作人员	2~4
	北	阅片区	8.0	公众人员	3~5
	北	预留通道*	约 30~40	公众人员	约 5
	南	患者走廊	2.6	公众人员	3~5
	南	抢救室、负荷室	4.0	公众人员	3~4
	南	空地*	约 10~20	公众人员	约 10
	西	SPECT/CT 机房 1	6	职业工作人员	2
	西	控制室	4.1	公众人员	2~6
	西	绿化空地*	约 30~40	公众人员	约 5
	东	甲功室	4.1	职业工作人员	1~2
	东	候诊区*	6.0	公众人员	2~3
	东	停车场*	约 40~50	公众人员	10~20
	上方	甲癌病房	5	公众人员	3~5
	下方	PET/CT 机房	5	公众人员	2~3
核医学楼	北	质控分装室	1.5	职业工作人员	2~3

三层放射性药物储藏源室	北	患者走廊	4	公众人员	3~5
	北	甲功测试候诊室	8	公众人员	3~4
	北	预留通道*	约 30~40	公众人员	约 5
	西	负荷室	2	公众人员	2~4
	西	抢救室	4	公众人员	3~5
	西	绿化空地*	约 30~40	公众人员	约 5
	东	卫生间	3	公众人员	约 2
	东	护士准备间	6	公众人员	2~4
	东	停车场*	约 40~50	公众人员	10~20
	南	空地*	约 5~20	公众人员	约 10
	上方	甲癌病房	5	公众人员	3~5
	下方	抢救室	5	公众人员	3~5
门急诊住院综合楼南楼放射科 DSA 手术室 1	北	DSA 观察室	4.5	公众人员	5~10
	西	控制室 1	3.8	职业工作人员	2~3
	西	医用通道*	约 8	公众人员	2~3
	南	CT 室	4.5	公众人员	2~3
	南	DSA 手术室 5*	约 10	公众人员	2~3
	东	患者通道	4.2	公众人员	约 10
	东	DSA 手术室 2*	约 8	公众人员	2~3
	西南	阅片室	6.7	公众人员	3~5
	上方	办理大厅	4	公众人员	约 10
	下方	厨房及餐厅	5	公众人员	约 10
核医学楼四层留观病房	北	患者走廊	1.7	公众人员	约 5
	西	病房 3	1.7	公众人员	2
	东	病房 1	1.8	公众人员	2
	上方	病房	3.8	公众人员	2
	下方	卫生间	3.8	公众人员	1~2
放射性废水衰变池	北	保泽西道	约 20~30	公众人员	约 10
	南	核医学楼	约 40	职业工作人员/ 公众人员	数百
	西	院内空地	约 10~50	公众人员	约 2~10
	东	院内空地	约 10~50	公众人员	约 2~10
	上方	院内空地	6.5	公众人员	约 1~2

注：表中带*号场所未直接紧邻本项目非密封放射性物质工作场所，且受到多重屏蔽体（墙体）的防护，其所受本项目辐射影响远低于其他场所，表 11 中不再对带*号场所进行定量辐射预测。

评价标准

(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射的防护和实践中的安全。

附录 B

B1.1 职业照射的剂量限值

应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

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

B1.2 公众照射的剂量限值

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：

- a) 年有效剂量，1mSv；
- b) 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；
- c) 眼晶体的年当量剂量，15mSv；
- d) 皮肤的年当量剂量，50mSv。

根据本项目实际情况及辐射防护最优化原则，以 5.0mSv/a、0.1mSv/a 分别作为职业工作人员、公众人员的年有效附加剂量管理目标值；以 50.0mSv/a 作为职业工作人员手部的年有效附加剂量管理目标值；以 15.0mSv/a 作为职业工作人员眼晶体的年有效附加剂量管理目标值。

B2 表面污染控制水平

B2.1 工作场所的表面污染控制水平如下表所示。

表 7-2 工作场所的放射性表面污染控制水平单位：Bq/cm²

表面类型		β 放射性物质
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	40
	监督区	4
工作服、手套工作鞋	控制区	4
	监督区	
手、皮肤、内衣、工作袜		0.4

③非密封源工作场所的分级

附录 C

C1 非密封源工作场所的分级

应按下表将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

表 7-3 非密封源工作场所的分级

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

附录 C 提供的非密封源场所放射性核素日等效操作量计算公式如下：

$$\text{日等效操作量} = \frac{\text{实际日操作量} \times \text{核素毒性组别修正因子}}{\text{操作方式与放射源状态修正因子}}$$

放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量（Bq）与该核素毒性组别修正因子的积除以与操作方式的修正因子所得的商。放射性核素的毒性组别修正因子见下表。

表7-4放射性核素毒性组别修正因子

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

表7-5操作因子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	0.01

(2) 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)

4.2 辐射工作场所分级

应按照GB18871的规定，将辐射工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大

小分为甲级、乙级和丙级。核医学常用放射性核素的毒性与操作方式修正因子可参考附录A。

4.3辐射工作场所分区要求：

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

4.3.2核医学工作场所的控制区主要包括回旋加速器机房、放射性药物合成和分装室、放射性药物贮存室、给药室、给药后候诊室、扫描室、核素治疗病房、给药后患者的专用卫生间、放射性废物暂存库、衰变池等区域。

4.3.3核医学工作场所的监督区主要包括回旋加速器和显像设备控制室、卫生通过间以及与控制区相连的其他场所或区域。

4.3.4控制区的入口应设置规范的电离辐射警告标志及标明控制区的标志，监督区入口处应设置标明监督区的标志。

5选址和布局

5.1选址

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有明确的分界隔离。

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，限制给药后受检者的活动空间。

5.2.2核医学工作场所应设立相对独立的工作人员、受检者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和受检者通道分开，减少给药后受检者对其他人员的照射。注射放射性药物后受检者与注射放射性药物前受检者不交叉，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

后受检者的随意流动，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，为工作人员和受检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受检者的专用卫生间。

6.1 节规定了核医学科工作场所屏蔽要求：

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 $10\mu\text{Sv/h}$ 。

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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

6.2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，乙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。

6.2.9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。

7放射性废物的管理

7.1一般要求

7.1.1应根据核医学实践中产生废物的形态及其中的放射性核素的种类、半衰期、活度水平和理化性质等，按放射性废物分类要求将放射性废物进行分类收集和分别处理。

7.1.2应按照废物最小化的原则区分放射性废物与解控废物，不能混同处理，应尽量控制和减少放射性废物产生量。

7.1.3核医学实践中产生的短寿命放射性废物，应尽量利用贮存衰变的方法进行处理，待放射性核素活度浓度满足解控水平后，实施解控。不能解控的放射性废物，应送交有资质的放射性废物收贮或处置机构进行处理。

7.1.4应建立放射性废物收集、贮存、排放管理台账，做好记录并存档备案。

7.2固体放射性废物的管理

7.2.1固体放射性废物收集

7.2.1.1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。废物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物。

7.2.1.2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。

7.2.1.3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。

7.2.2固体放射性废物贮存

7.2.2.1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。

7.2.2.2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。

7.2.2.3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。

7.2.2.5废物暂存间内不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品。

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；

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

7.3节规定了液态放射性废物管理原则

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I-131核素的暂存超过180天），监测结果经审管部门认可后，按照GB18871中8.6.2规定方式进行排放。放射性废液总排口总 α 不大于 $1\text{Bq}/\text{L}$ 、总 β 不大于 $10\text{Bq}/\text{L}$ 、I-131的放射性活度浓度不大于 $10\text{Bq}/\text{L}$ 。

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

附录A给出了给出了核医学常用放射性核素毒性组别修正因子和给出了核医学常见放射性核素状态与操作方式修正因子。

表7-6核医学常用放射性核素毒性组别修正因子

毒性组别	常用核素名称	毒性组别修正因子
高毒	^{90}Sr	1
中毒	^{22}Na 、 ^{32}P 、 ^{63}Ni 、 ^{67}Ga 、 ^{89}Sr 、 ^{90}Y 、 ^{99}Mo 、 ^{111}In 、 ^{125}I 、 ^{131}I 、 ^{153}Sm	0.1
低毒	^{13}H 、 ^{11}C 、 ^{11}CO 、 $^{11}\text{CO}_2$ 、 ^{14}CO 、 $^{14}\text{CO}_2$ 、 ^{18}F 、 ^{51}Cr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{111\text{m}}\text{In}$ 、 ^{123}I 、 ^{127}Xe 、 ^{133}Xe 、 ^{201}Tl	0.01

表7-7核医学常见放射性核素状态与操作方式修正因子

活动类型	核素及状态	操作方式界定	操作方式修正因子
发生器淋洗	母体（液态）	贮存	100
	子体（液态）	简单操作	1
医疗机构使用	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ （液态）	很简单操作	10
	^{125}I 籽源（固态）	很简单操作	100
放射性药品生产	分装、标记（液体）	简单操作	1
	分装、标记（固体）	简单操作	10
核素治疗	^{131}I （液态）	简单操作	1

8辐射监测

8.1一般要求

8.1.1开展核医学诊疗实践的医疗机构应制定辐射监测计划，并按照计划落实监测工作，不具备辐射监测能力的单位，可以委托有能力的单位进行监测。

8.1.2所有辐射监测记录应建档保存，测量记录应包括测量对象、测量条件、测量方法、测量仪器、测量时间和测量人员等信息。

8.1.3应定期对辐射监测结果进行评价，监测中发现异常情况应查找原因并及时报告，提出改进辐射防护工作的意见和建议。

8.2工作场所监测

8.2.1应根据使用放射性核素种类、数量和操作方式，对核医学工作场所的外照射剂量率水平和表面放射性污染水平进行监测。

8.2.2核医学工作场所辐射监测点位、内容和频次应包括但不限于表7-8的内容。

表7-8核医学工作场所辐射监测关注点位

监测内容	监测点位	监测频次
辐射水平	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代	不少于1次/月

	表性的点位和存有放射性物质的装置/设备的表面	
表面放射性污染	放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面，给药后受检者候诊室，核素治疗场所的设施、墙壁和地面等，放射性废物桶和包装袋表面，工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等。	每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测）

8.3环境监测

开展核医学相关活动的机构应自行或委托有能力的监测机构对工作场所周围环境的辐射水平进行监测，监测频次应不少于1次/年。

8.4个人剂量监测

8.4.1核医学工作场所的工作人员应佩戴个人剂量计，对个人外照射剂量进行监测。

8.4.2对于操作大量气态和挥发性放射性物质的工作人员，应根据场所的放射性气溶胶浓度开展内照射评价，当怀疑其体内受到放射性污染时，应进行体内放射性监测。

8.4.3个人剂量档案应按要求妥善保存，监测数据异常时，及时进行调查。

附录 B 要求，体内注射 ^{90}Y 核素药物的患者出院时，体内 ^{90}Y 核素活度不得超过 2500MBq。

(3)《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函[2023]20号）

2023年9月13日，国家核安全局发布《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函[2023]20号）对《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“控制区剂量率”进行了如下解释：

HJ1188-2021 中 6.1.5 节规定，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 $10\mu\text{Sv/h}$ 。本条规定的具体含义为：

1、控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子 $\geq 1/2$ ），周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

2、控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子 $< 1/2$ ），如给药/注射室防护门外、给药患者候诊室防护门外、核素治疗住院病房防护门外以及核医学科患者走廊等位置，周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv/h}$ 。

基于HJ1188-2021相关条文及复函释义，结合本项目实际情况并从严管理，本项目核医学科各控制区内房间屏蔽体外表面30cm处及负压通风橱外表面30cm处的周围剂量当量率目标值取 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

(4)《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)

5.1工作场所平面布局和分区

5.1.1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。

5.1.2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，限制受检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。

5.1.3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受检者或受检者候诊区、放射性药物贮存室、分装给药室（可含质控室）、给药后受检者或受检者候诊室（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、给药后受检者或受检者卫生间和放射性废物储藏室等功能用房；

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。

5.1.4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（使用非密封源治疗受检者）、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。

5.1.5核医学工作场所的布局应有利于开展工作，避免无关人员通过。治疗区域和诊断区域应相对分开布置。根据使用放射性药物的种类、形态、特性和活度，确定核医学治疗区（病房）的位置及其放射防护要求，给药室应靠近病房，尽量减少放射性药物和给药后受检者或受检者通过非放射性区域。

5.1.6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、给药后受检者或受检者）的活动，给药后受检者或受检者与注射放射性药物前受检者或受检者不交叉，给药后受检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。

5.2 放射防护措施要求

5.2.1 核医学的工作场所应按照非密封源工作场所分级规定进行分级，并采取相应防护措施。

5.2.2 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 7-9，核医学工作场所分类的加权活度计算方法见附录 G。

表 7-9 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 ^a	普通管道	普通管道
盥洗与去污	洗手盆 ^b 和去污设备	洗手盆 ^b 和去污设备	洗手盆 ^b
<p>a 下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测。</p> <p>b 洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制。</p>			

表 7-10 核医学工作场所分类一览表

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
注：加权活度=计划的日操作最大活度×核素毒性权重因子÷操作性质修正因子	

5.2.3 核医学工作场所的通风按表 7-9 要求，通风系统独立设置，应保持核医学工作场所良好的通风条件，合理设置工作场所的气流组织，遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计，保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉污染，保证工作场所的空气质量。合成和操作放射性药物所用的通风橱应有专用的排风装置，风速应不小于 0.5m/s。排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。

5.2.5 放射性废液衰变池的设置按环境主管部门规定执行。暴露的污水道应做好防护设计。

5.2.6 控制区的入口应设置电离辐射警告标志。

5.2.7 核医学场所中相应位置应有明确的受检者或受检者导向标识或导向提示。

5.2.8 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。

5.2.9 应为放射性物质内部运输配备有足够屏蔽的储存、转运等容器。容器表面应设置电离辐射标志。

5.2.10 扫描室外防护门上方应设置工作状态指示灯。

5.3 工作场所的防护水平要求

5.3.1 核医学工作场所控制区的用房，应根据使用的核素种类、能量和最大使用量，给予足够的屏蔽防护。在核医学控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5μSv/h，控制区内屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25μSv/h，宜不大于 2.5μSv/h；核医学工作场所的分装柜或生物安全柜，应采取一定的屏蔽防护，以保证柜体外表面 5cm 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25μSv/h；同时在该场所及周围的公众和放射工作人员应满足个人剂量限值要求。

5.3.2 应根据使用核素的特点、操作方式以及潜在照射的可能性和严重程度，做好工作场所监测，包括场所周围剂量当量率水平、表面污染水平或空气中放射性核素浓度等内容。开展核医学工作的医疗机构应定期对放射性药物操作后剂量率水平和表面污染水平进行自主监测，每年应委托有相应资质的技术服务机构进行检测。核医

学工作场所的放射性表面污染控制水平见表 7-11。

表 7-11 核医学科工作场所放射性表面污染控制水平（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 ^a	4	40	40
	监督区	0.4	4	4
工作服、手套、 工作鞋	控制区、监督区	0.4	0.4	4
手、皮肤、内衣、工作袜		0.04	0.04	0.4
^a 该区内的高污染子区除外				

6.1 个人防护用品、辅助用品及去污用品配备

6.1.1 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，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。当使用的⁹⁹Tc^m活度大于800MBq时，防护用品的铅当量应不小于0.5mmPb；对操作⁶⁸Ga、¹⁸F等正电子放射性药物和¹³¹I的场所，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。

6.1.2 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。

6.2 放射性药物操作的放射防护要求

6.2.1 操作放射性药物应有专门场所，如临床诊疗需要在非专门场所给药时则需采取适当的防护措施。放射性药物使用前应适当屏蔽。

6.2.2 装有放射性药物的给药注射器，应有适当屏蔽。

6.2.3 操作放射性药物时，应根据实际情况，熟练操作技能、缩短工作时间并正确使用个人防护用品。

6.2.4 操作放射性碘化物等挥发性或放射性气体应在通风柜内进行。通风柜保持良好通风，并按操作情况必要时进行气体或气溶胶放射性浓度的监测；操作放射性碘化物等挥发性或放射性气体的工作人员宜使用过滤式口罩。

6.2.5控制区内不应进食、饮水、吸烟、化妆，也不应进行无关工作及存放无关物品。

6.2.6操作放射性核素的工作人员，在离开放射性工作场所前应洗手和进行表面污染检测，如其污染水平超过表7-11规定值，应采取相应去污措施。

6.2.7从控制区取出物品应进行表面污染检测，以杜绝超过表7-11规定的表面污染控制水平的物品被带出控制区。

6.2.9放射性物质的贮存容器或保险箱应有适当屏蔽。放射性物质的放置应合理有序、易于取放，每次取放的放射性物质应只限于需用的部分。

6.2.10放射性物质贮存室应定期进行放射防护监测，无关人员不应入内。

6.2.11贮存和运输放射性物质时应使用专门容器，取放容器中内容物时，不应污染容器。容器在运输时应有适当的固定措施。

6.2.12贮存的放射性物质应及时登记建档，登记内容包括生产单位、到货日期、核素种类、理化性质、活度和容器表面放射性污染擦拭试验结果等。

6.2.13所有放射性物质不再使用时，应立即送回原地安全储存。

6.2.14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，参照使用6.1.2和附录K所列用品，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。

6.2.15核医学放射工作人员应按GBZ128的要求进行外照射个人监测，同时对于近距离操作放射性药物的工作人员，宜进行手部剂量和眼晶状体剂量监测，保证眼晶状体连续5年期间，年平均当量剂量不超过20mSv，任何1年中的当量剂量不超过50mSv。

8.1 放射性废物分类，应根据医学实践中产生废物的形态及其中的放射性核素种类、半衰期、活度水平和理化性质等，将放射性废物进行分类收集和分别处理。

8.2 设废物储存登记表，记录废物主要特性和处理过程，并存档备案。

8.3 放射性废液衰变池应合理布局，池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，并有防泄漏措施。

8.4 开展放射性药物治疗的医疗机构，应为住院治疗患者或受检者提供有防护标志的专用厕所，专用厕所应具备使患者或受检者排泄物迅速全部冲入放射性废液衰变池的条件，而且随时保持便池周围清洁。

8.5 供收集废物的污物桶应具有外防护层和电离辐射警示标志。在注射室、注射后病人候诊室、给药室等位置放置污物桶。

8.6 污物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物，装满后的废物袋应密封，不破漏，及时转送存储室，放入专用容器中存储。

8.7 对注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，应先装入利器盒中，然后再装入专用塑料袋内。

8.8 每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，质量不超过 20kg。

8.9 储存场所应具有通风设施，出入口设电离辐射警告标志。

8.10 废物袋、废物桶及其他存放废物的容器应安全可靠，并在显著位置标有废物类型、核素种类、存放日期等说明。

8.11 废物包装体外表面的污染控制水平： $\beta < 0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

(5) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)

6.1X 射线设备机房布局

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

6.1.2X 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。

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

6.1.5 除床旁摄影设备、便携式 X 射线设备和车载式诊断 X 射线设备外，对新建、改建和扩建项目和技术改造、技术引进项目的 X 射线设备机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应符合表 7-12 的规定。

表7-12X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 ²	机房内最小单边长度, m
CT机（不含头颅移动CT）	30	4.5

6.2X射线设备机房屏蔽

6.2.1 不同类型X射线设备（不含床旁摄影设备和便携式X射线设备）机房的屏蔽防护应不低于表7-13的规定。

表7-13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
CT机房（不含头颅移动CT）		2.5

6.3.1机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

b)CT机、乳腺摄影、乳腺CBCT、口内牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅摄影、口腔CBCT和全身骨密度仪机房外的周围剂量当量率应不大于2.5μSv/h；

6.4 X射线设备工作场所防护

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

6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。

6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。

6.4.4 机房门外应有电离辐射警告标志；机房门上方应有醒目的工作状态指示灯，灯箱上应设置如“射线有害、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。

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

6.5 X射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求

6.5.1 每台X射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表7-14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。

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

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

6.5.5 个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。

表 7-14 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；	铅悬挂防护屏/铅防护帘/床侧防护帘/床侧防护屏；	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套；选配：铅橡	—

	选配：铅橡胶帽子	选配：移动铅 防护屏风	胶帽子	
注：“—”表示不做要求。				
<p>7.1 一般要求</p> <p>7.1.1 放射工作人员应熟练掌握业务技术，接受放射防护和有关法律培训，满足放射工作人员岗位要求。</p> <p>7.1.2 根据不同检查类型和需要，选择使用合适的设备、照射条件、照射野以及相应的防护用品。</p> <p>7.1.3 合理选择各种操作参数，在确保达到预期诊断目标条件下，使受检者所受到的照射剂量最低。</p> <p>7.1.4 如设备具有儿童检查模式可选项时，对儿童实施检查时应使用该模式；如无儿童检查模式，应适当调整照射参数（如管电压、管电流、照射时间等），并严格限制照射野。</p> <p>7.1.5 X射线设备曝光时，应关闭与机房相通的门、窗。</p> <p>7.1.6 放射工作人员应按GBZ128的要求接受个人剂量监测。</p> <p>7.1.9 工作人员应在有屏蔽的防护设施内进行曝光操作，并应通过观察窗等密切观察受检者状态。</p> <p>7.8 介入放射学和近台同室操作（非普通荧光屏透视）用X射线设备操作的防护安全要求</p> <p>7.8.1 介入放射学、近台同室操作（非普通荧光屏透视）用X射线设备应满足其相应设备的防护安全操作要求。</p> <p>7.8.2 介入放射学用X射线设备应具有记录受检者剂量的装置，并尽可能将每次诊疗后受检者受照剂量记录在病历中，需要时，应能追溯到受检者的受照剂量。</p> <p>7.8.3 除存在临床不可接受的情况外，图像采集时工作人员应尽量不在机房内停留；对受检者实施照射时，禁止与诊疗无关的其他人员在机房内停留。</p> <p>7.8.4 穿着防护服进行介入放射学操作的工作人员，其个人剂量计佩戴要求应符合GBZ128的规定。</p> <p>7.8.5 移动式C形臂X射线设备垂直方向透视时，球管应位于病人身体下方；水平方向透视时，工作人员可位于影像增强器一侧，同时注意避免有用线束直接照射。</p> <p>8 X射线设备机房防护检测要求</p>				

8.1 X射线设备机房防护设施和机房周围辐射剂量检测应满足下列要求：

a) X射线设备机房防护检测指标和要求应符合6.3的规定；

b) X射线设备机房的防护检测应在巡测的基础上，对关注点的局部屏蔽和缝隙进行重点检测。关注点应包括：四面墙体、地板、顶棚、机房门、操作室门、观察窗、采光窗/窗体、传片箱、管线洞口、工作人员操作位等，点位选取应具有代表性；

8.2 X射线设备机房放射防护安全设施应进行竣工验收，在使用过程中，应进行定期检查和检测，定期检测的周期为一年。

8.3 在正常使用中，医疗机构应每日对门外工作状态指示灯、机房门的闭门装置进行检查，对其余防护设施应进行定期检查。

据此，本项目 CT 装置出束对 SPECT/CT 机房屏蔽体外表面处贡献的周围剂量当量率管理目标值取 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

1 自然环境概况

1) 地理位置

本项目所在的西青区位于天津市西南部,范围为北纬 38°51'-39°51'、东经 116°51'-117°20'。东与红桥区、南开区、河西区及津南区毗邻,东南与滨海新区相连,南靠独流减河与静海区隔河相望,西与武清区和河北省霸州市接壤,北依子牙河与北辰区交界。

2) 地形地貌

西青区地处华北平原东北部,地势低平,大致西北部较高,海拔约 5m;东南部略低,海拔约 2.5m;中部最低处,海拔仅 1.5m。境内有莲花淀、蛤蟆洼、津西大洼等几个碟型洼淀。

3) 气候

西青区属暖温带半湿润大陆性季风气候,干湿季节分明,寒暑交替明显,冬季受西伯利亚气团影响,寒冷、干燥;春季少雨、多风、干燥、气温变化明显;夏季受太平洋副热带高压和西南暖湿气流影响,闷热、降水集中;秋季受高压控制,天气晴爽。全年平均气温 11.6℃,全年无霜期 203d,年际变化不大。全年日照总量 2810.4h。自然降水总量 586.1mm,其中夏季 443.2mm。

4) 水文

西青区河道沟渠纵横,坑塘洼淀密布。境内有一级河道 3 条,即中亭河、子牙河、独流减河;二级河道 10 条,用水河 5 条,排水河 4 条,排污河 1 条。用水河道大多呈东西向,排水河道一般呈南北向。在本区东南部有区级中型水库 1 座,即鸭淀水库,库容 3000 万 m³。

2 社会经济简况

西青区现辖五街七镇,即:西营门街道、李七庄街道、赤龙南街道、赤龙北街道、津门湖街道、中北镇、杨柳青镇、辛口镇、张家窝镇、精武镇、大寺镇、王稳庄镇。根据全国第七次人口普查数据显示,2022 年常住人口 119.53 万人。

2024 年全区实现地区生产总值 1056.86 亿元,按可比价计算(下同)同比增长 5.0%,其中,第一产业实现增加值 13.92 亿元,同比增长 23.1%;第二产业实现增加

值 406.88 亿元，同比增长 4.4%；第三产业实现增加值 636.07 亿元，同比增长 5.1%。三次产业结构为 1.3:38.5:60.2。

3 辐射环境现状调查

为了解本项目辐射环境质量现状水平，委托河北冀辐源环保科技有限公司于 2026 年 1 月 27 日对天津市第一中心医院水西院区核医学楼三层、四层留观病房及放射科 DSA 手术室 1 等相关区域进行了 X- γ 辐射剂量率和 β 表面污染检测。检测报告编号为冀辐源环检（2026）第 031 号。辐射检测报告见附件六。

1) 项目地理和场所位置

天津市第一中心医院水西院区位于西青区西营门街保山西道 2 号。核医学楼位于水西院区东北角，放射科 DSA 手术室 1 位于水西院区门急诊住院综合楼南楼负一层。

2) 环境现状评价对象、检测因子、检测点位

(1) 评价对象

评价对象为本项目评价范围内的辐射剂量率和 β 表面污染现状水平。

(2) 检测因子

检测因子为 X- γ 辐射剂量率（nGy/h）和 β 表面污染（Bq/cm²）。

(3) 检测点位

检测点位布置在相关机房周边区域，具体检测点位见检测报告（附件六）。

3) 检测方案及检测结果

(1) 检测依据

《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）和《表面污染测定第 1 部分： β 发射体（ $E_{\beta\max} > 0.15\text{MeV}$ ）和 α 发射体》（GB/T14056.1-2008）。

(2) 检测仪器

采用的检测仪器性能参数及其检定情况见表 8-1。

表 8-1 检测仪器参数信息表

名称	型号	编号	主要技术指标
$\alpha\beta$ 表面污染测量仪	WF-PRM-203	JFYYQ-02	测量范围或量程：0.006Bq/cm ² -5600.302Bq/cm ² 校准日期 2026 年 1 月 5 日 有效期至 2027 年 1 月 4 日

剂量率仪	FH40G+FH Z672E-10	JFYYQ-03	能量范围：30keV-4.4MeV 测量范围或量程：1nSv/h-100μSv/h 校准日期 2025 年 12 月 16 日 有效期至 2026 年 12 月 15 日
------	----------------------	----------	--

(3) 质量控制

①检测过程质量控制质量保证

按照 CMA 计量认证的规定和《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021) 的要求，实施全过程质量控制。

②检测人员质量保证

本项目检测人员均已通过辐射环境检测技术培训并持证上岗。

(4) 检测结果

检测环境条件：气温 17°C，相对湿度 53%，晴。

检测时间：2026 年 1 月 27 日。

表 8-2 给出了本项目 X-γ 辐射剂量率检测结果。

表 8-2 本项目 X-γ 辐射剂量率检测结果

序号	检测对象	检测点位	X-γ 辐射剂量率 (nGy/h)
1	核医学楼三层储源室	质控分装室	55.9±0.2
2		负荷室	59.2±0.3
3		放射性废物储藏室	61.4±0.8
4		室内	60.8±0.1
5		上方病房	59.0±1.3
6		下方抢救室	60.0±0.2
7	核医学楼三层 SPECT/CT 机房 2	控制室	59.2±0.1
8		患者走廊	55.8±0.1
9		甲功测试室	61.0±0.3
10		库房	60.9±0.2
11		室内	60.0±0.2
12		上方抢救室	57.6±0.6
13	下方 PET/MR 机房	60.0±0.2	
14	核医学楼四层留观病房	北侧走廊	59.4±0.4
15		西侧病房 3	62.9±0.8

16		东侧病房 1	60.9±0.1
17		室内	63.5±0.2
18		上方病房	61.1±0.5
19		下方卫生间	61.5±1.0
20	放射科 DSA 手术室 1	北侧 DSA 观察室	62.7±0.5
21		西侧控制室 1	62.6±0.1
22		南侧 CT 室	61.7±0.1
23		东侧患者通道	59.1±0.1
24		上方办理大厅	61.7±0.3
25		下方厨房及餐厅	60.9±0.2
26		放射性废水衰变池	上方地面

注：本表中所有 X-γ 辐射剂量率检测值均已扣除宇宙射线响应值。

从上表可知，本项目室内区域的 X-γ 辐射剂量率在 55.8nGy/h~63.5nGy/h 之间；放射性废水衰变池上方的 X-γ 辐射剂量率约为 56.6 nGy/h。

表 8-3 给出了本项目 β 表面污染现状水平检测结果。

表 8-3 本项目 β 表面污染检测结果

序号	检测对象	检测点位	β 表面污染 (Bq/cm ²)
1	核医学楼三层放射性药物储源室	内墙壁	0.05
2		地板	0.05
3		分装台	0.04
4	核医学楼三层 SPECT/CT 机房 2	内墙壁	0.05
5		地板	0.04
6	核医学楼四层留观病房	内墙壁	0.05
7		地板	0.05
8	核医学楼四层留观病房卫生间	内墙壁	0.04
9		地板	0.04
10	放射科 DSA 手术室 1	内墙壁	0.03
11		地板	0.05

由上表可知，本项目 β 表面污染现状水平在 0.03Bq/cm²~0.05Bq/cm²之间。

4) 对现状检测结果的评价

根据《中国环境天然放射性水平》(中国原子能出版社, 2015 版)得知:项目所在的天津市西青区室内 γ 辐射剂量率范围为 (91.6~110.1) nGy/h, 按点的平均值为

102.3nGy/h；西青区室外原野 γ 辐射剂量率范围为（46.4~79.5）nGy/h，按点的平均值为 57.0nGy/h。

由检测报告可知，本项目室内区域及放射性废水衰变池上方所测得 X- γ 辐射剂量率分别与天津市西青区室内或原野的 γ 辐射剂量率处于同一水平。

本项目检测的 β 表面污染现状水平低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）所规定的限值。

本次 X- γ 辐射剂量率（nGy/h）检测点位如图 8-1 所示：



图 8-1 (a) 核医学楼三层 X- γ 辐射剂量率（nGy/h）检测点位

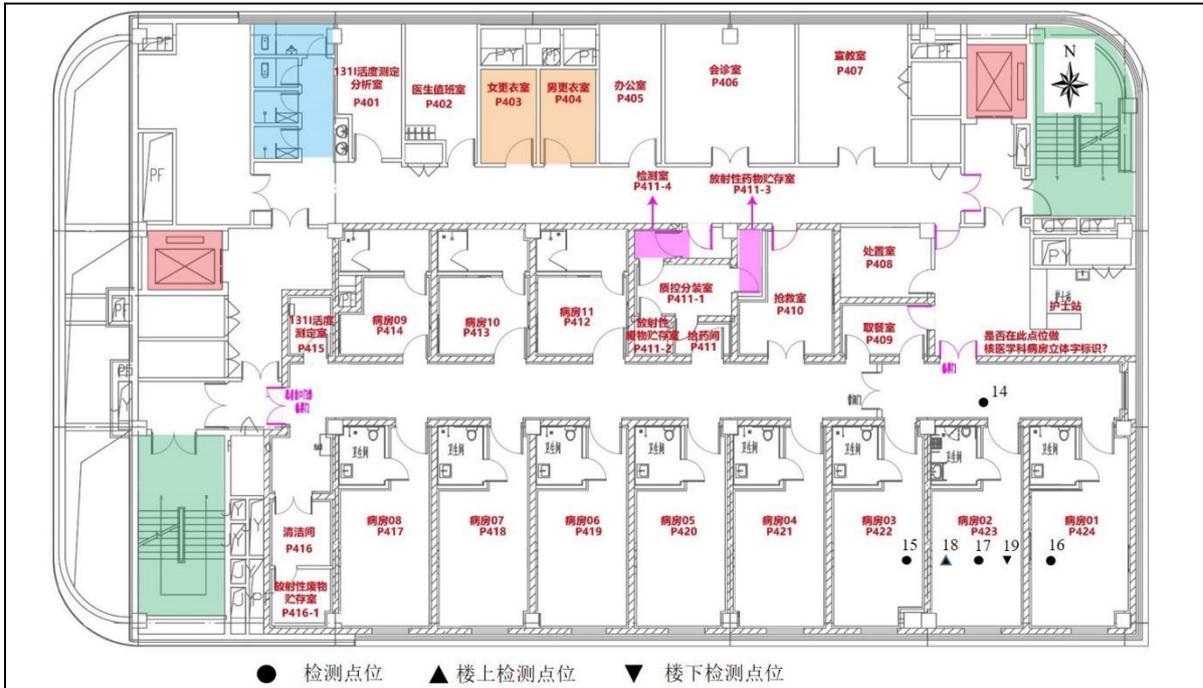


图 8-1 (b) 核医学楼四层留观病房周边 X- γ 辐射剂量率 (nGy/h) 检测点位

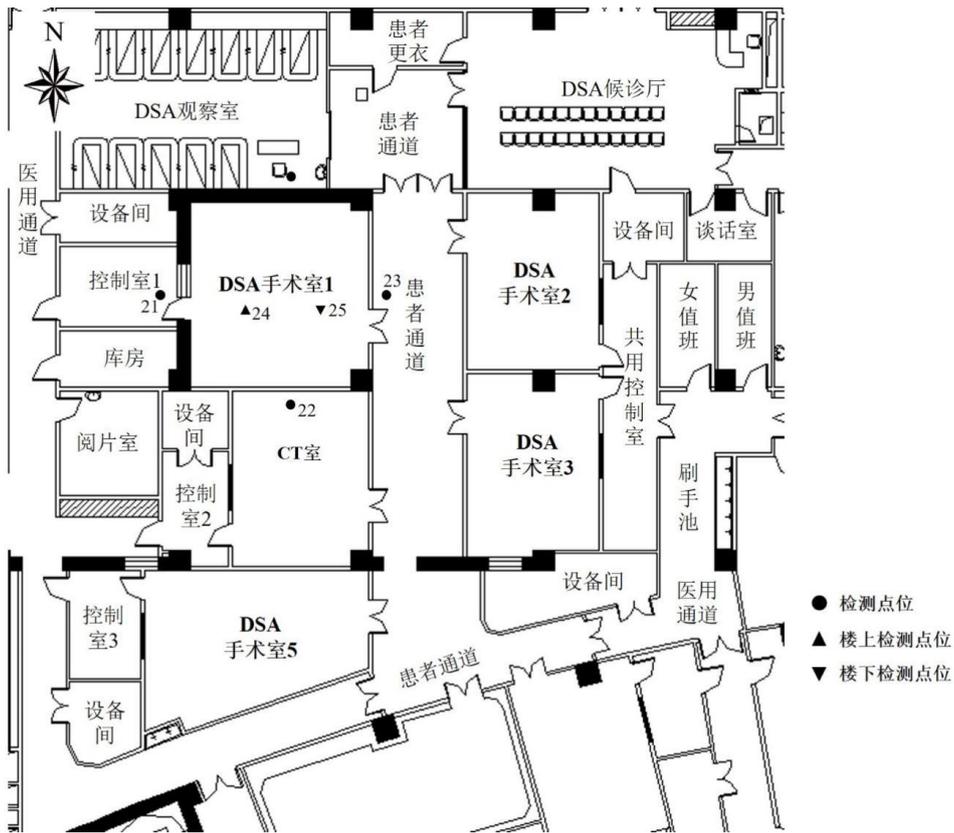


图 8-1 (c) DSA 手术室 1 周边 X- γ 辐射剂量率 (nGy/h) 检测点位



图 8-1 (d) 放射性废水衰变池上方地面处 X-γ 辐射剂量率 (nGy/h) 检测点位
β 表面污染现状水平检测布点见图 8-2。

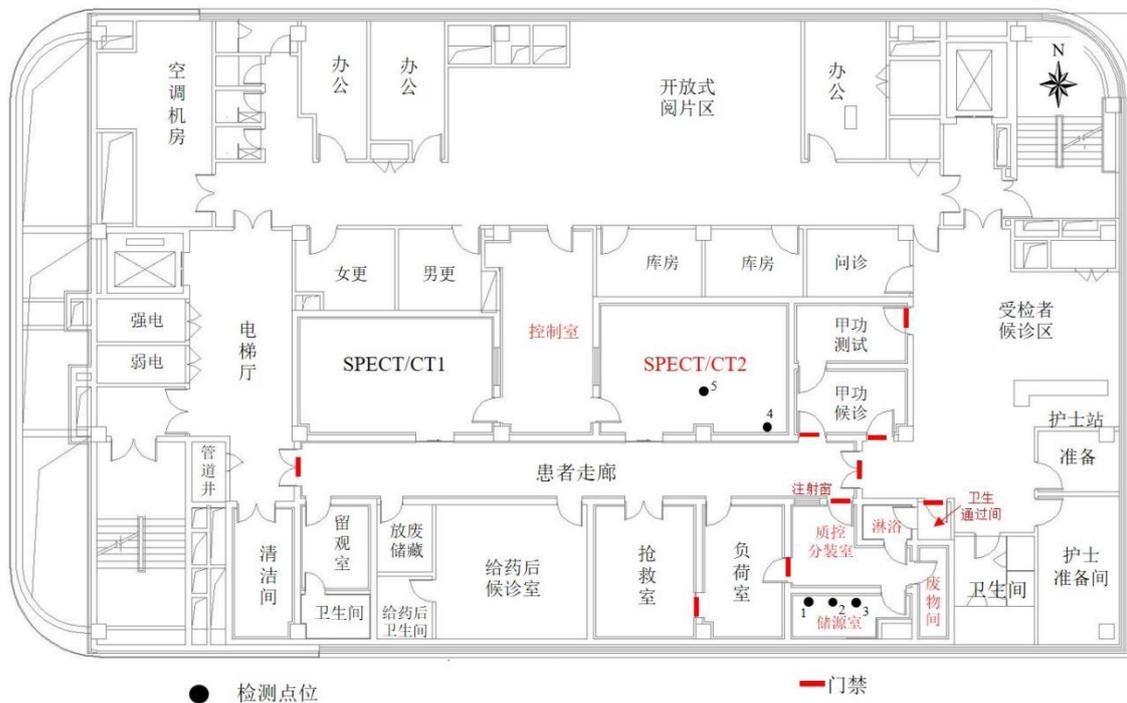


图 8-2 (a) 核医学楼三层 β 表面污染现状水平检测点位

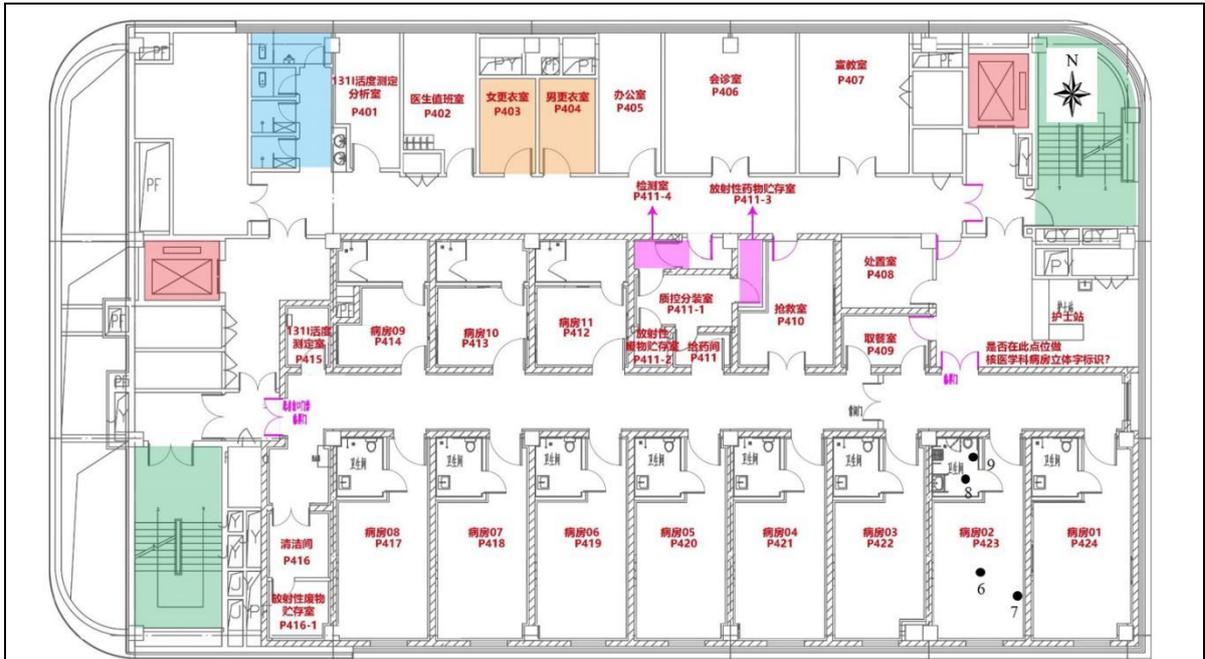


图 8-2 (b) 核医学楼四层留观病房 β 表面污染现状水平检测点位

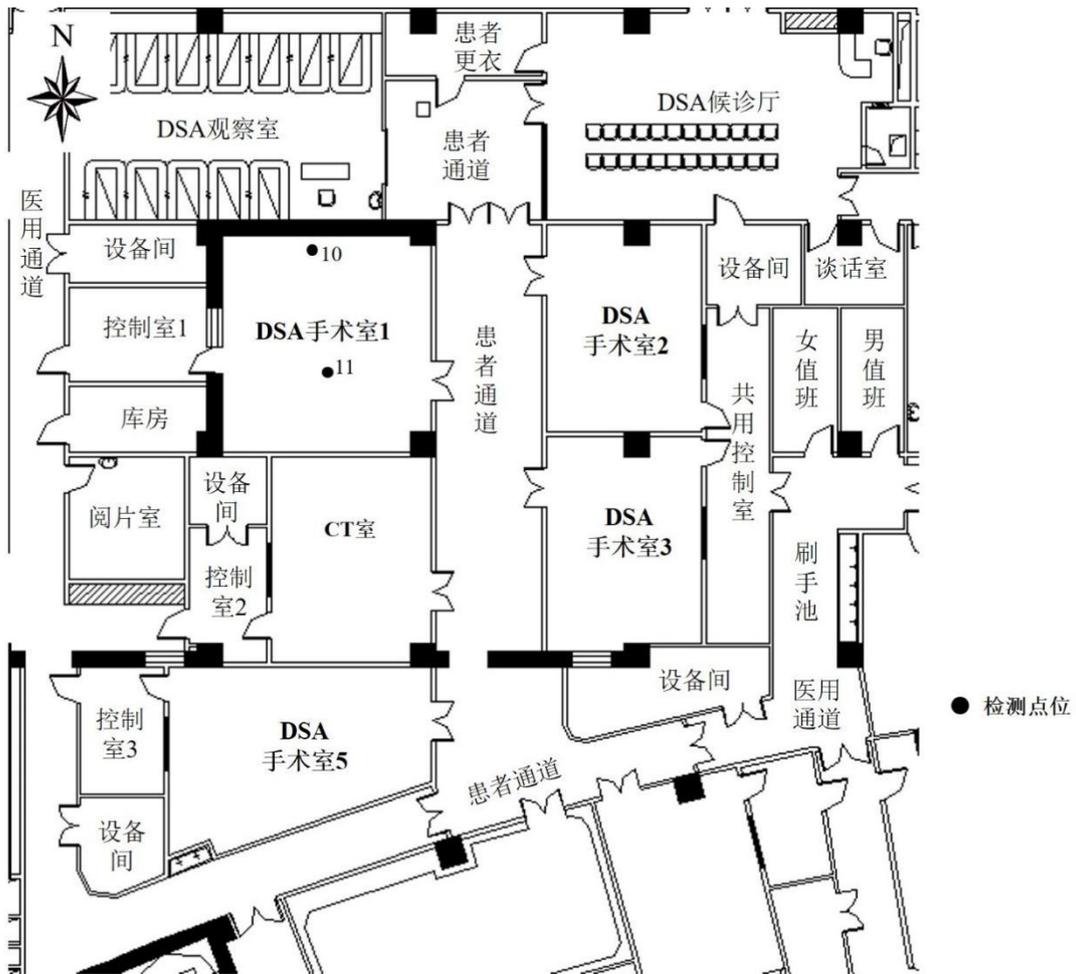


图 8-2 (c) DSA 手术室 1 周边 β 表面污染现状水平检测点位

4 DSA 竣工环保验收调查

2025年2月28日~3月1日，河北冀辐源环保科技有限公司对水西院区放射科DSA手术室1等相关区域进行了X-γ辐射剂量率竣工环保验收检测。检测报告编号为冀辐源环检（2025）第016号。辐射检测报告见附件七。检测结果见表8-4，检测布点见图8-3。

表8-4 放射科DSA手术室1X-γ辐射剂量率竣工环保验收检测结果

序号	检测对象	检测点位	X-γ辐射剂量率(nGy/h)		
			摄影	透视	关机
1	DSA 手术室 1 (型号：西门子 Pheno) 检测工况： 1、摄影模式 (65kV/100mA) 2、透视模式 (55kV/2mA) 3、关机状态	操作台	79.1±1.0	79.4±1.3	71.1±0.2
2		铅玻璃	78.4±1.0	79.1±1.0	75.4±0.2
3		防护门外 0.05m	81.7±1.5	80.7±1.9	73.1±1.4
4		防护门上缝	79.1±0.8	81.1±0.9	
5		防护门下缝	77.2±1.0	78.6±0.8	
6		防护门左缝	78.9±0.9	79.3±0.6	
7		防护门右缝	77.1±0.9	79.2±0.8	
8		防护门外 0.3m	78.3±1.4	78.4±1.4	
9		病患门外 0.05m	80.3±1.7	78.3±1.4	70.2±0.7
10		病患门上缝	81.1±0.9	79.7±1.0	
11		病患门下缝	78.6±0.8	79.5±0.9	
12		病患门左缝	79.5±0.8	78.6±0.8	
13		病患门右缝	82.5±0.8	79.7±1.0	
14		病患门外 0.3m	82.7±1.0	80.1±1.7	
15		东墙外患者通道	78.4±1.4	78.7±1.0	68.8±0.6
16		北墙外观察室	78.3±1.4	78.4±1.4	71.4±0.8
17		西墙外设备间	80.3±1.7	78.3±1.4	70.2±0.7
18		西墙外放废间	81.7±1.4	79.8±1.2	69.5±0.1
19		南墙外 CT 室	79.4±1.3	79.8±0.9	75.4±0.2
20		手术位	1.09×10 ⁴ ±270.5	1.04×10 ⁴ ±701.0	75.4±0.2
21		上方办理大厅	77.6±1.1	79.7±1.5	70.8±0.3
22		下方厨房及餐厅	82.7±1.0	80.1±1.7	72.1±0.2

DSA 对患者进行 ^{99m}Tc 或 ⁹⁰Y 核素注输须在透视模式下（工况：55kV/2mA）进行，其辐射剂量率在 78.3~81.1 nGy/h 之间，与关机状态的 68.8~75.4nGy/h 持平，且与天津市西青区室内 γ 辐射剂量率处于同一水平。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

9.1 项目概述

天津市第一中心医院水西院区拟在核医学楼三、四层和门急诊住院综合楼南楼负一层放射科 DSA 手术室 1 开展钇-90 树脂微球治疗项目，涉及新增使用 ^{99m}Tc 和 ^{90}Y 两种放射性核素。表 9-1 给出了两种核素相关参数，包括物理性质、活动种类、实际日最大操作量、用途、操作方式、使用场所等信息。

表 9-1 本项目操作放射性核素一览表

序号	核素名称	物理性质	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
1	^{99m}Tc	液态	使用	1.85×10^8	1.85×10^5	2.22×10^{10}	诊断	很简单的操作	受药患者扫描：核医学楼三层 (SPECT/CT 诊断及甲功测试场所) SPECT/CT 机房 2
2	^{99m}Tc	液态	使用	1.85×10^8	1.85×10^5	2.22×10^{10}	诊断	很简单的操作	药物注射：门急诊住院综合楼南楼负一层放射科 DSA 手术室 1
3	^{90}Y	液态	使用	3×10^9	3×10^6	3.6×10^{11}	放射治疗	贮存	药物暂存：核医学楼三层 (SPECT/CT 诊断及甲功测试场所) 的放射性药物储源室。
4	^{90}Y	液态	使用	3×10^9	3×10^8	3.6×10^{11}	放射治疗	简单操作	^{90}Y 药物分装：核医学楼三层 (SPECT/CT 诊断及甲功测试场所) 储源室
5	^{90}Y	液态	使用	2×10^9	2×10^8	2.4×10^{11}	放射治疗	简单操作	受药患者扫描：核医学楼三层 (SPECT/CT 诊断及甲功测试场所) SPECT/CT 机房 2
6	^{90}Y	液态	使用	2×10^9	2×10^8	2.4×10^{11}	放射治疗	简单操作	药物注射：门急诊住院综合楼南楼负一层放射科 DSA 手术室 1

7	⁹⁰ Y	液态	使用	2×10 ⁹	2×10 ⁸	2.4×10 ¹¹	放射治疗	简单操作	受注 ⁹⁰ Y药物的患者扫描完毕后在核医学楼四层（核医学病房工作场所）病房留观1~2天。
---	-----------------	----	----	-------------------	-------------------	----------------------	------	------	---

9.2 工程分析

9.2.1 平面布置

本项目在核医学楼三层涉及的房间或区域主要包括：储源室、废物间、质控分装室、淋浴间、卫生通过间、SPECT/CT机房1和2及其控制室、患者走廊、北侧走道等，可见附图四；核医学楼四层以病房为主，受注⁹⁰Y药物的患者留观于四层东南侧的病房2，见附图五；门急诊住院综合楼南楼负一层放射科DSA手术室1周边平面布置情况可见附图七。

9.2.2 项目内容和规模

项目投运之后，计划全年接收150例患者做^{99m}Tc核素初步诊断，预期其中120例患者（占比80%）可以接受后续⁹⁰Y数值微球治疗。每位患者介入注射^{99m}Tc核素最高活度（日最大操作量）为 $1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ （5mCi），则该核素的年最大用量为 $1.85 \times 10^8 \text{Bq/人} \times 150 \text{人/a} = 2.78 \times 10^{10} \text{Bq/a}$ 。

⁹⁰Y核素药物单次送药活度为 $3 \times 10^9 \text{Bq}$ ，向患者体内介入注射活度为 $2 \times 10^9 \text{Bq}$ ，本项目⁹⁰Y微球的年最大用量为 $3 \times 10^9 \text{Bq/人} \times 120 \text{人/a} = 3.6 \times 10^{11} \text{Bq/a}$ 。

接受^{99m}Tc核素介入注射的患者完成SPECT/CT扫描检查之后可当即离开医院；接受⁹⁰Y微球介入注射的患者在完成SPECT/CT扫描检查之后则应在核医学科四层病房2留观1~2天。

9.3 工艺原理和治疗流程

9.3.1 ⁹⁰Y树脂微球治疗原理

⁹⁰Y核素通过化学方法从⁹⁰Sr核素中提取出来后，通过离子键结合在树脂微球上，最终形成悬浮液形态的微小颗粒，简称⁹⁰Y树脂微球。

职业工作人员通过选择性动脉插管的方法（简称介入注射）将⁹⁰Y树脂微球注入患者肿瘤血管，使患者体内⁹⁰Y核素内达到足够剂量从而杀死肿瘤细胞。⁹⁰Y树脂微球具有不能通过毛细血管网，且不被巨噬细胞吞噬、生物相容性好、无毒的特点。

⁹⁰Y树脂微球是一款靶向放射治疗产品，微球直径约20~60μm，常用于肝癌的选

择性体内放射治疗，在肝脏病灶处，利用靶向大剂量高能量 β 辐射杀死癌细胞，同时不伤害健康肝脏组织。除肝癌外，该技术也被广泛用于手术治疗不可切除的其他癌症，如胆管癌、神经内分泌细胞瘤、乳腺癌肝脏转移癌症等。

为保证 ^{90}Y 树脂微球的治疗效果，患者接受 ^{90}Y 树脂微球介入注射前7~14天，应首先接受 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性药物试验，同样利用DSA装置，对患者介入注射 $^{99\text{m}}\text{Tc-MAA}$ （ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 标记的亚锡聚合白蛋白），目的在于模拟 ^{90}Y 树脂微球在患者体内的分布，确保患者病灶处能够将 ^{90}Y 树脂微球有效栓塞，避免患者接受无效的辐射照射。

无论患者受注 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素抑或 ^{90}Y 核素，均应接受SPECT/CT扫描检查，用以评估患者肺部分流情况、正常组织和肿瘤组织接受核素药物剂量的比例。

9.3.2 工艺流程

本项目主要工艺流程及污染因子如下图所示：

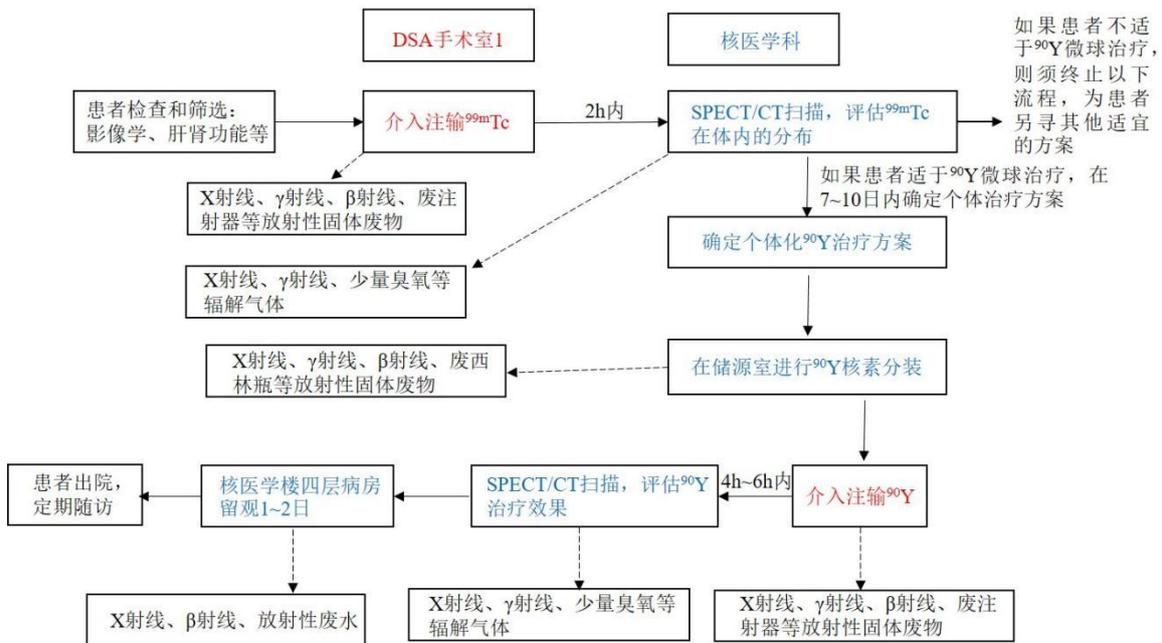


图9-1本项目工艺流程图和污染因子

9.3.2.1 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的诊断过程

1) 患者按照预约到达门急诊住院综合楼负一层的DSA手术室1，同时供药厂商将提前预定的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性药物（盛放于6mm铅防护罐内，俗称铅手榴弹）送至DSA手术室1，医师利用DSA对患者进行诊断性动脉造影，确定肿瘤病灶供血血管，必要时栓塞胃肠侧枝血管，微导管到达靶血管，由医师进行 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性药物缓慢注射，注射期间随时透视观察导管位置。

2) 注射完成后，利用生理盐水冲洗微导管，将微导管从患者体内撤出，完成后

续手术，术毕，患者腹部覆盖0.5mm铅方巾，由推床推送至核医学楼三层SPCET/CT机房2，进行扫描显像，扫描显像完成后，患者如无明显不适症状即可出院。

3) 核医学科医师根据患者的SPCET/CT扫描显像结果，研判患者是否适于⁹⁰Y树脂微球治疗，如可行，应在7~10日内制定个体化治疗方案，与此同时，向供药厂商预定⁹⁰Y药物；如不可行，终止该患者的⁹⁰Y树脂微球治疗流程，另寻其他适宜的治疗方案。

9.3.2.2 ⁹⁰Y的分装过程

1) 供药厂商按约定时间（一般为手术当日清晨）将⁹⁰Y树脂微球（置于6.4mm铅防护罐内）送至核医学楼三层储源室，将其暂存在负压通风橱（50mmPb）内。（注：本项目^{99m}Tc和⁹⁰Y两种核素药物均在厂家完成标记，因此，本环评不涉及两种核素药物的“标记”环节。）

2) ⁹⁰Y实际活度测定：核医学科医师穿戴铅衣、铅手套及铅眼镜等（均为0.5mmPb），在分装操作台面铺好吸水纸。打开产品包装，检查生产日期、有效日期、产品批号等。

双手紧握铅防护罐，倒转铅罐并摇晃至少30s以重新悬浮⁹⁰Y树脂微球，而后快速打开铅罐，用镊子取出注射剂瓶，并使用活度计测量总活度，然后将注射剂瓶放回铅罐，比较实际活度与标定活度，当实际活度处于标定活度值的±10%以内时，认为实际活度与标定活度相符。将注射剂瓶放回铅防护罐，并将其放置在负压通风橱内，盖回铅罐上的盖子。计算需要抽取的⁹⁰Y树脂微球的体积、注射剂瓶内剩余活度范围。

3) 准备V瓶：用镊子取下V瓶的拉环盖，酒精棉签擦拭露出的橡胶塞。将V瓶放入丙烯酸V瓶架中，然后拧上V瓶支架盖，确保稳定性和屏蔽性。将一个具有过滤器的短25G排气针头刺穿V瓶的橡胶塞，形成排气孔。

4) 准备注射剂瓶：摇晃铅罐30s重新悬浮⁹⁰Y树脂微球，开启铅罐，部分撕开注射剂瓶的铝质拉环盖，并用酒精棉签擦拭。将具有过滤器的25G针头刺穿注射剂瓶的橡胶塞，形成排气孔，同时确保针尖不要接触注射剂瓶中的内容物。

5) 剂量抽取：使用带有针筒防护盾的注射器连接的21G针刺穿注射剂瓶的橡胶塞，并快速来回拉伸至少六次，以彻底重新悬浮⁹⁰Y微球注射液。快速抽取出事先计

算出的 ^{90}Y 微球注射液悬浮液体积，待注射器内液面平稳后，小心地从运输瓶中液面中拉出针头。

在针头完全从注射剂瓶中拉出之前，将少量空气吸入针中，以确保 ^{90}Y 微球不会滴落而污染分装操作台。当从注射剂瓶中完全拉出注射器针头之后，使用镊子重新盖上针头套，并将带有防护盾的注射器平稳地放在台面上，可以将注射器连同防护盾一同放置在注射器支架上。

6) 抽取剂量确认：使用夹子夹紧注射剂瓶，摇晃注射剂瓶以重新悬浮微球，并用活度计测量注射剂瓶中剩余的活度；用注射剂瓶中的起始总活度减去注射剂瓶中剩余的活度，测定已抽取到 5ml 注射器中的活度。若瓶内剩余的活度处于前述步骤中计算的剩余活度范围内，则认为取样量准确；反之，则认为取样量不准确。如果已抽取到 5ml 注射器的放射性活度不正确（不论少抽或多抽），则将 ^{90}Y 微球注射液转移回注射剂瓶中，重新抽取必要体积的 ^{90}Y 微球注射液。

7) 将注射器中的 ^{90}Y 树脂微球转移至 V 瓶中：一旦抽取了正确的放射性活度，就将 ^{90}Y 微球注射液从 5ml 注射器转移到丙烯酸 V 瓶架中的 V 瓶中（含排气口）。如果 5ml 注射器中的总体积小于 3ml，则在将 ^{90}Y 微球注射液转移到 V 瓶之前，抽取足够的无菌注射用水使总体积达到 3~5ml，然后进行转移。须确保 V 瓶橡胶塞上任意两个穿刺孔之间的距离至少相差 2mm。

从 V 瓶混悬液中缓慢拉出取样针，在取样针完全拉出 V 瓶之前，抽入少量气体至注射器中，防止注射器内液体滴落而污染分装操作台，完成转移后从 V 瓶的隔垫上取下取样针，盖回取样针上的保护盖。

8) 分装完毕：确保 V 瓶架的盖子上的内部螺纹是完好的，并将插头固定到位。从注射剂瓶中取出排气针并重新盖上铅罐盖。在 V 瓶支架上贴上包含患者信息、处方剂量、输注时间、治疗部位、分装操作信息等必要信息的标签。

9) 废弃物管理：打开注射器屏蔽器盖，将注射器、铅罐、取样针分类置于铅废物桶中，最终储存在核医学科废物间内。

上述分装流程须在储源室的负压通风橱内操作。

9.3.2.3 DSA 介入注射流程

1) 连接输液管：从输液套件包装袋中取出输液管，将三通旋塞固定在输送箱后壁的支架上，输送箱中的每个孔均有颜色编码，与输送套件的管路编号对应为 A、B 和 D。从输送箱内部，分别将与字母对应的管路从孔内穿出。

2) 排除输液管内的空气：取下输送装置 B 和 D 管路末端的盖子，并连接装有非离子溶液（无菌水或 5% 右旋糖酐溶液）的 20ml 注射器。通过推注注射器，用非离子溶液填充所有管路。期间保证输送装置上的两个针头仍套有保证无菌的针头套。三通旋塞默认连通管路为 A、B、D，为使 C 管路充满非离子溶液，需使用三通旋塞控制旋钮（下称“控制旋钮”）进行调节，将旋钮向外拉，使控制旋钮刚刚脱离其限位凹槽但仍可以转动三通旋塞，逆时针旋转控制旋钮（向左）90 度（即四分之一转），此时控制旋钮将带动三通旋塞一起转动，使 C 管路与 B、D 相连。此时通过推注注射器，非离子溶液将通过三通旋塞流入 C 管路。将控制旋钮带动三通旋塞一起顺时针旋转回至初始位置，并将控制旋钮重新推回限位凹槽，此时控制旋钮仅允许顺时针 90 度范围内转动。

3) 放入 V 瓶支架：将存放 V 瓶的 V 瓶架放入输送箱内的扣环中，其中 V 瓶装⁹⁰Y 微球注射液。从 V 瓶架上取下插头。用酒精擦拭 V 瓶橡胶塞。插入针头时必须小心，以免污染针头。如果发生污染，则丢弃并换一套新输送套件。将 C 管路末端的针头刺穿 V 瓶橡胶塞中心，并停留在溶液表面以下约 10mm 处。注意针尖不要刮伤 V 瓶的侧壁。将 D 管路针插入 V 瓶橡胶塞的一侧，直到针停留在瓶内的 V 底部。确保 V 瓶橡胶塞上任何穿孔之间间距至少为 2mm。注射非离子溶液时，D 管路的针必须到达 V 瓶形底部，以确保⁹⁰Y 微球注射液可以形成混悬液。钇[Y-90]微球注射液从 C 管路（即溶液的上方）输送给患者，目的是防止直接从底部取用引起微导管的堵塞。

4) 冲洗/输液：取下 A 管路末端的盖子，将 A 管路末端连接到患者的经股动脉导管上，连接成功后，可将控制旋钮转到“冲洗/造影（输送箱限位凹槽英文标示为 Flush/Contrast）”位置，并通过 B 管路末端的注射器来推注造影剂。注意不要将离子造影剂与⁹⁰Y 微球注射液混合使用。

输送装置完全组装好且输送箱盖子盖好后，从 D 管路末端的 20ml 注射器注入非离子溶液可使⁹⁰Y 微球注射液重新混悬。将控制旋钮转到“SIR-Spheres”位置（见输送箱限位凹槽标示），以大约每分钟 5ml 的速度缓慢地输送⁹⁰Y 微球注射液。为了实

现缓慢且可控的输送速度，并保持 ^{90}Y 微球注射液混悬，操作者可以通过注射器以 0.25ml-0.5ml 脉冲式推注。使用完注射器内所有 20ml 非离子溶液。

连接到 D 管路的 20ml 注射器中所有非离子溶液推注完后，仍然会有一些溶液和 ^{90}Y 微球注射液滞留在 V 瓶中。为了输送剩余的活性微球，在不移除 D 管路末端针的情况下，将其抬高 15-20mm 并小心地将 C 管路末端针推到 V 瓶的底部。通过向 D 管路注入空气（约 8-10ml），剩余的溶液将从 V 瓶中排空。必须注意防止空气通过管路进入患者体内。推注完毕，即完成 ^{90}Y 树脂微球的输注。

5) 输液完毕：整个推注过程约 15-20min。完成输注，分别取下与 B、D 管相连的注射器，盖上导管帽，并将导管头从 B、D 孔推入输送箱。不必断开 A 管与患者体内导管之间的连接，缓慢从患者体内取出导管，卷曲好后用无菌布包好，将注射器、导管等放置于放射性废物桶内。

6) 在手术过程中，将所有设备放在护理垫上，尽可能防止一切污染。在手术推车和手术台之间搭上毛巾或吸收性纸，下方的地板也应铺有护理垫，以更好的控制污染。手术结束，患者送离 DSA 手术室 1 后，去接受 SPECT/CT 扫描显像。

9.4 放射性核素特性

9.4.1 ^{90}Y 树脂微球概况

钇是一种化学元素，简写符号为 Y，原子序数 39。 ^{90}Y 为钇的一种放射性同位素，发射纯 β 射线，最高能量 2.284MeV（分支比 99.984%），平均 0.9348MeV。 ^{90}Y 半衰期 64.2 小时（合 2.68 天），辐射范围小，在人体组织中最大穿透距离为 11mm，平均 2.5mm。

根据《钇-90 树脂微球使用过程辐射安全风险研究报告》（生态环境部核与辐射安全中心，2021 年 8 月 23 日）， ^{90}Y 核素发射的 β 粒子在不同物质中的射程如表 9-2 所示：

表 9-2 ^{90}Y 核素发射的 β 粒子在不同物质中的射程

序号	材料	有效原子序数	密度 (g/cm^3)	射程 (cm)
1	空气	7.36	1.293×10^{-3}	835
2	普通玻璃	10.6	2.4~2.6	0.42
3	有机玻璃	5.85	1.18	0.93
4	铅	82	11.34	0.097
5	水	6.66	1	1.1
6	塑料	/	1.4	0.79

由表 9-2 可知，1cm 有机玻璃几乎可以完全吸收 ^{90}Y 核素产生的 β 射线。此外，人体

软组织的有效原子序数、原子量与水很相似，且人体软组织厚度一般约2cm，因此，人体组织也可以有效阻隔⁹⁰Y核素产生的β射线。

⁹⁰Y树脂微球治疗将⁹⁰Y核素结合在树脂微球上，通过介入手术直抵肿瘤小微动脉进行释放，进而杀死肿瘤细胞。⁹⁰Y树脂微球直径约为20~60μm，密度约为1.6g/cm³，比重1.6（血液1.097），可随血液滞留于肿瘤末梢血管，持续照射以到达治疗目的。少量游离的⁹⁰Y树脂微球通过血液参与人体代谢，最终通过尿液排出体外。游离的⁹⁰Y树脂微球以氯化钇（⁹⁰YCl₃）形式存在，氯化钇不具备挥发性，正常操作情况下难以在空气中形成气溶胶。

综上所述，⁹⁰Y树脂微球具有以下特点：

- ①释放纯度较高的β射线，射线能量高、半衰期短，射程短，污染小。
- ②选择性聚集，微球粒子可在肿瘤病灶处高度聚集。
- ③⁹⁰Y核素衰变后产物无危害性。

9.4.2 ^{99m}Tc核素概况

^{99m}Tc核素为⁹⁹Tc的同质异能素，半衰期为6.02小时，主要通过⁹⁹Mo衰变子体获得。^{99m}Tc核素发生IT跃迁时释放γ射线，能量为145.5keV。^{99m}Tc核素的照射量率常数为：0.062R m²/ (h Ci)，^{99m}Tc衰变纲图如下：

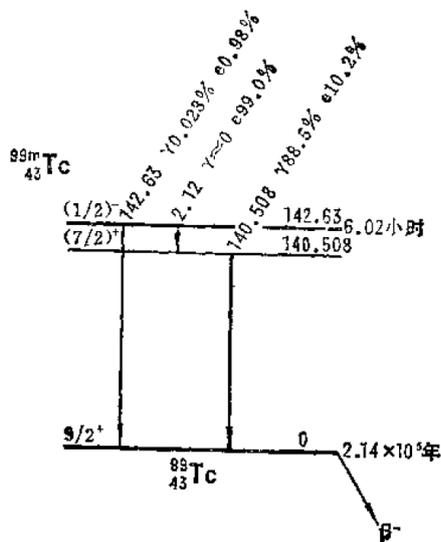


图9-2^{99m}Tc的衰变纲图

9.5 工作场所分级

1) 日等效最大操作量计算公式

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C 规定的非

密封放射源工作场所分级标准进行分级。附录 C 提供的非密封源工作场所放射性核素日等效最大操作量计算方法如下：

$$\text{日等效操作量} = \frac{\text{实际日操作量} \times \text{核素毒性组别修正因子}}{\text{操作方式与放射源状态修正因子}}$$

2) 分级依据及计算参数

表 9-3 给出了非密封源工作场所的分级依据，表 9-4 给出了放射性核素毒性组别修正因子，操作方式与放射源状态修正因子如表 9-5 所示。

表 9-3 非密封源工作场所的分级

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

表 9-4 放射性核素毒性组别修正因子

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

表 9-5 操作方式与放射源状态修正因子

操作方式	放射源状态			
	表面污染水平 较低的固体	液体，溶 液，悬浮液	表面有污染 的固体	气体，蒸汽，粉末，压 力很高的液体，固体
源的存贮	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

3) 分级计算结果

水西院区核医学科目前尚未正式运营，内部不存在放射源及放射性核素药物，现行辐射安全许可证批准核医学楼二层（PET 诊断及敷贴治疗工作场所）使用 ^{11}C 等五种放射性核素，日等效最大操作量合计 $2.072 \times 10^8 \text{Bq}$ ，定为乙级非密封源工作场所；

核医学楼三层（SPECT/CT 诊断及甲功测试场所）使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 等四种放射性核素，日等效最大操作量合计 $2.194 \times 10^8 \text{Bq}$ ，定为乙级非密封源工作场所；批准核医学楼四层（核医学病房工作场所）使用 ^{177}Lu 等四种放射性核素，日等效最大操作量合计

3.235×10⁹Bq，定为乙级非密封源工作场所。

本项目在各场所使用的 ^{99m}Tc 和 ⁹⁰Y 日等效最大操作量须与辐射安全许可证上的已批准日等效最大操作量叠加，以确定本项目运行之后相关场所的非密封源工作场所等级。

根据本项目使用的 ^{99m}Tc 和 ⁹⁰Y 核素特性、操作方式、日最大操作量等，计算得出日等效最大操作量及工作场所分级判定如表 9-6 所示。

表 9-6 本项目核素日等效操作量统计

位置	核素	操作环节	日最大操作量	毒性组别修正因子	操作方式与放射源状态修正因子	日等效最大操作量 (Bq)
本项目不涉及核医学楼二层，项目运行前后，该层均为乙级非密封源工作场所。						
核医学楼三层	^{99m} Tc	扫描	1.85×10 ⁸	0.01 (低毒组)	10 (很简单的操作, 液体)	1.85×10 ⁵
	⁹⁰ Y	贮存	3×10 ⁹	0.1 (中毒组)	100 (贮存, 液体)	3×10 ⁶
	⁹⁰ Y	分装	3×10 ⁹	0.1 (中毒组)	1 (简单操作, 液体)	3×10 ⁸
	⁹⁰ Y	扫描	2×10 ⁹	0.1 (中毒组)	1 (简单操作, 液体)	2×10 ⁸
现行《辐射安全许可证》批准三层核素的日等效操作量为 2.194×10 ⁸ Bq；本项目日等效最大操作量贡献值合计 5.032×10 ⁸ Bq，投运以后，核医学科三层核素日等效最大操作量叠加约 7.23×10 ⁸ Bq。 本项目运行前后，均属于乙级非密封源工作场所。						
核医学楼四层	⁹⁰ Y	留观	2×10 ⁹	0.1 (中毒组)	1 (简单操作, 液体)	2×10 ⁸
	现行《辐射安全许可证》批准四层核素的日等效操作量为 3.235×10 ⁹ Bq；本项目日等效最大操作量贡献值合计 2×10 ⁸ Bq，投运以后，核医学科三层核素日等效最大操作量叠加约 3.435×10 ⁹ Bq。 本项目运行前后，均属于乙级非密封源工作场所。					
放射科 DSA 手术室 1	^{99m} Tc	介入注射	1.85×10 ⁸	0.01 (低毒组)	10 (很简单的操作, 液体)	1.85×10 ⁵
	⁹⁰ Y	介入注射	2×10 ⁹	0.1 (中毒组)	1 (简单操作, 液体)	2×10 ⁸
本项目投运以前，放射科不属于非密封源工作场所；投运以后，DSA 手术室 1 核素日等效最大操作量贡献值合计约 2.002×10 ⁸ Bq，属于乙级非密封源工作场所。						

由表 9-6 可知，本项目投运以后，核医学楼二层、三层、四层和放射科 DSA 手术室 1 的核素日等效最大操作量叠加值均介于 2.0×10⁷Bq~4.0×10⁹Bq 之间，因此，均可定级为乙级非密封源工作场所。

9.6 劳动定员和工作制度

天津市第一中心医院水西院区为本项目配置 6 名职业工作人员，3 人（冯学民、郭建华、魏利娟）负责核医学科核素药物分装及 SPECT/CT 扫描，并负责将分装好的 ^{90}Y 核素药物送抵放射科 DSA 手术室；另 3 人（陈光、高海军、王浩）负责放射科 DSA 装置操作和介入手术，并负责用将受注 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 或 ^{90}Y 核素药物的患者送往核医学楼三层接受 SPECT/CT 扫描。

职业工作人员每天工作 8 小时，年工作 250 天。

核医学科负责核素药物操作及 SPECT/CT 扫描等工作的 3 人（冯学民、郭建华、魏利娟）已取得“核医学类”培训合格证书；放射科负责 DSA 装置操作的 3 人（陈光、高海军、王浩）已取得“介入放射学”类培训合格证书，目前，拟参加“核医学类”培训学习，按照计划，本项目正式运行前，负责 DSA 装置操作的 3 人将同时取得“核医学类”培训合格证书。

污染源项描述

1) 正常工况

(1) 接收 ^{90}Y 微球治疗前，患者需先借助 DSA 装置注射 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素药物，会产生 X 射线、 γ 射线以及 β 表面污染。

(2) 患者注射 ^{90}Y 微球后，体内会衰变发生 β 射线，最大能量为 2.284MeV，平均能量为 0.9348MeV，在组织中最大穿透距离为 11mm，平均 2.5mm。人体组织可以完全隔离 β 射线。但 ^{90}Y 核素发射的 β 粒子被屏蔽阻隔会产生 γ 韧致辐射。

(3) 患者注射 ^{90}Y 微球后，在病房留观期间排泄行为会产生含一定活度 ^{90}Y 核素的放射性废水，每位患者留观期间放射性废水产生量按 0.2m³ 计，本项目的年总排量为 24m³。

(4) ^{90}Y 核素单次分装过程中产生的放射性固体废物按 0.5kg 计，年产量为 60kg。

(5) $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 及 ^{90}Y 核素介入注射过程中产生废一次性手套、废口罩、废注射器针头、废输液管、废患者体内管、废包装盒等。在每个工作日，沾染 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 或 ^{90}Y 核素的放射性固体废物的产生量各按 0.5kg 计，年产生量各为 60kg。

留观期间，每位患者平均产生 0.5kg 固体废物，全年产生 60kg。

(5) $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{90}Y 两种核素均不具备挥发性，因此不会产生放射性废气，但 DSA 出束时，会产生微量臭氧、氮氧化物等辐解气体。

2) 非正常（事故）工况

(1) 职业工作人员在核医学科进行 ^{90}Y 树脂微球药物分装时，违反操作规程或者操作失误，导致手部或身体受到放射性污染，职业工作人员在质控分装室的浴室淋洗，产生少量放射性废水。

(2) 如果核素药物在 ^{90}Y 树脂微球药物分装时发生遗洒，职业工作人员须立即进行擦拭清污工作，将产生废吸水纸、废毛巾、废抹布、废衬垫等放射性固体废物。

(3) 如果 DSA 手术室 1 的介入注输活动造成放射性污染迹象，用吸水纸巾从可疑污染区的边沿向中心擦拭，并用表面污染监测仪测量污染区，直到该污染区 β 表面污染水平满足要求为止，也将产生废吸水纸等放射性固体废物。

(4) ^{90}Y 树脂微球药物在分装时发生遗洒的同时，会造成 β 表面污染。

(5) ^{90}Y 树脂微球分装完毕后，在向DSA手术室1转送的过程中，意外泄露，造成环境污染和额外照射。

(6) $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 或 ^{90}Y 核素药物被盗、丢失，发生辐射事故。

(7) DSA或SPECT/CT装置操作不当，职业工作人员或公众人员可能受到X射线超剂量照射。

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

1 工作场所布局

核医学楼三层主要房间或区域包括：储源室、废物间、质控分装室、淋浴间、卫生通过间、负荷室（病患康复锻炼）、抢救室、给药后候诊室、放废储藏间、给药后卫生间、留观室、两间 SPECT/CT 机房及其控制室、甲功候诊室、甲功测试室、患者走廊、电梯厅、清洁间、护士站及其准备间、男女更衣室、库房、问诊室和受检者候诊区等。

核医学楼四层以病房为主，本项目患者的留观病房位于四层的东南侧；核医学楼二层为 PET 诊断及敷贴治疗工作场所。

核医学楼各层的设置避开了产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，与非放射性工作场所有明确的分界隔离，满足 HJ1188-2021 和 GBZ120-2020 对核医学科选址、布局的相关要求。

三层的 SPECT/CT 机房 2 东西净长 7.6m，南北净宽 4.56m，净使用面积约 34.66m²，CT 出束方向避开防护门和观察窗，满足 GBZ130-2020 要求。

门急诊住院综合楼负一层放射科主要房间为 4 间 DSA 手术室和 1 间 CT 机房，DSA 手术室的设置同样避开了人员密集区，并于与非放射性工作场所有明确的分界隔离，各 DSA 手术室有效使用面积均大于 20m²，各机房最小单边长度均大于 3.5m，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中 6.1.5 款的相关要求。

核医学科三层平面布局请见附图四，核医学楼四层和二层的平面布局见附图五和附图六，门急诊住院综合楼负一层放射科平面布局见附图七，其上下平面布局见附图八和附图九。

2 辐射工作场所分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）6.4 条规定，将需要和可能需要专门的防护手段或安全措施的区域定为控制区；将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定为监督区；《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）4.3 条给出了核医学科工作场所分区原则。

核医学楼三层控制区和监督区划分如表 10-1、图 10-1 和附图四所示，核医学楼四层控制区和监督区划分如表 10-2、图 10-2 和附图五所示。

表 10-1 核医学楼三层控制区和监督区的划分

分区类型	核医学科主要房间或区域
控制区	储源室、废物间、质控分装室、淋浴间、卫生通过间、负荷室、抢救室、给药后候诊室、放废储藏间、给药后卫生间、留观室、两间 SPECT/CT 机房及其控制室、甲功候诊室、甲功测试室、患者走廊等。
监督区	控制区周边房间或区域，诸如：电梯厅、清洁间、护士站及其准备间、男女更衣室、库房、问诊室、受检者候诊区、走道和开放式阅片区等。

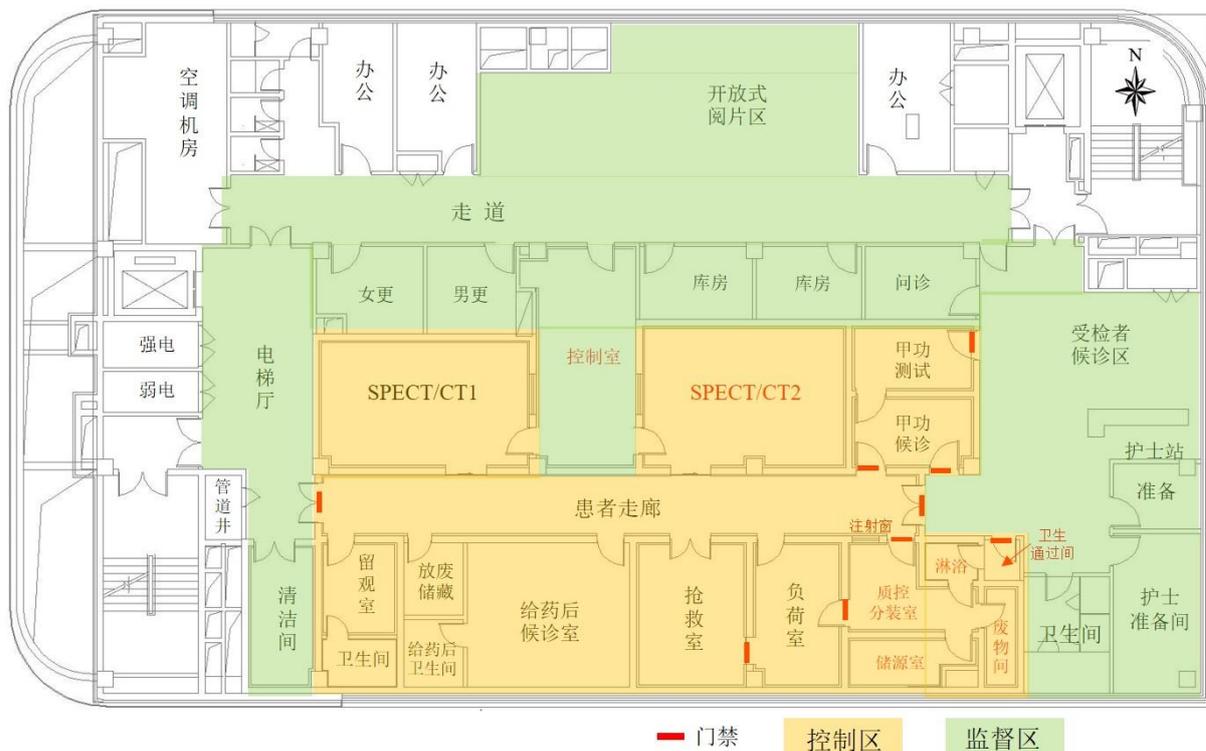


图 10-1 核医学楼三层控制区和监督区划分

表 10-2 核医学楼四层控制区和监督区的划分

分区类型	核医学科主要房间或区域
控制区	各病房、患者走廊、处置室、抢救室等
监督区	北侧走廊、病房缓冲区、护士站等。

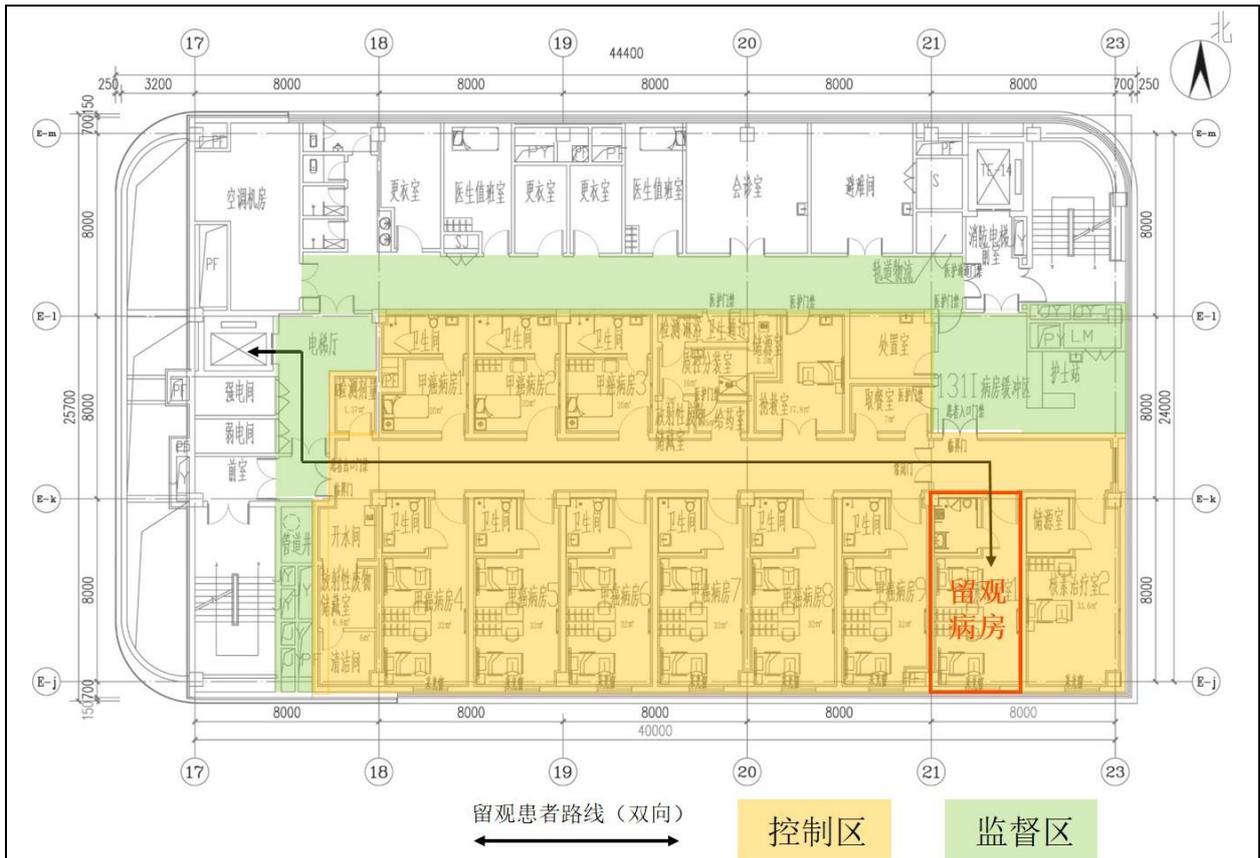


图 10-2 核医学楼四层控制区和监督区划分

门诊急诊住院综合楼负一层放射科控制区和监督区划分如表 10-3、图 10-3(a)和附图七所示。

表 10-3 本项目运行之后，放射科控制区和监督区的划分

分区类型	放射科主要房间或区域
控制区	各 DSA 手术室、CT 机房和放废间
监督区	控制区周边房间或区域，诸如：各 DSA 控制室、DSA 观察室、候诊厅、更衣室、设备间、阅片室、通道等。

本项目运行之前，DSA 手术室 1 西侧的库房属于监督区，本项目运行之后，该库房改造为放废间，由监督区升格为控制区，其他机房、区域的划分不变，见图 10-3(a)和图 10-3(b)的对比。

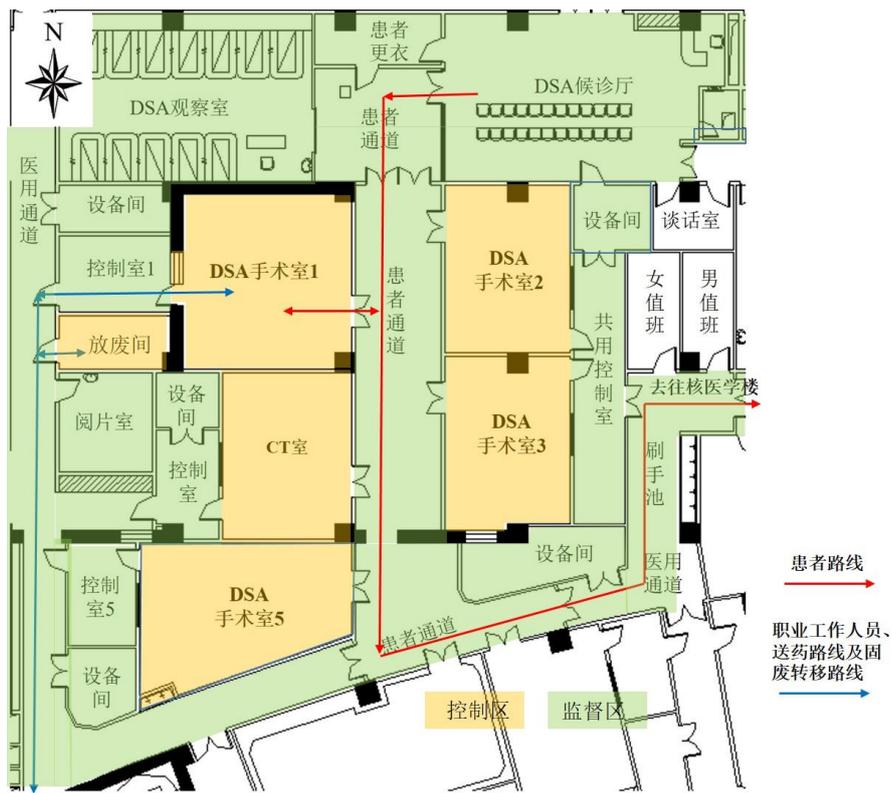


图 10-3(a) 本项目运行之后，放射科控制区和监督区划分

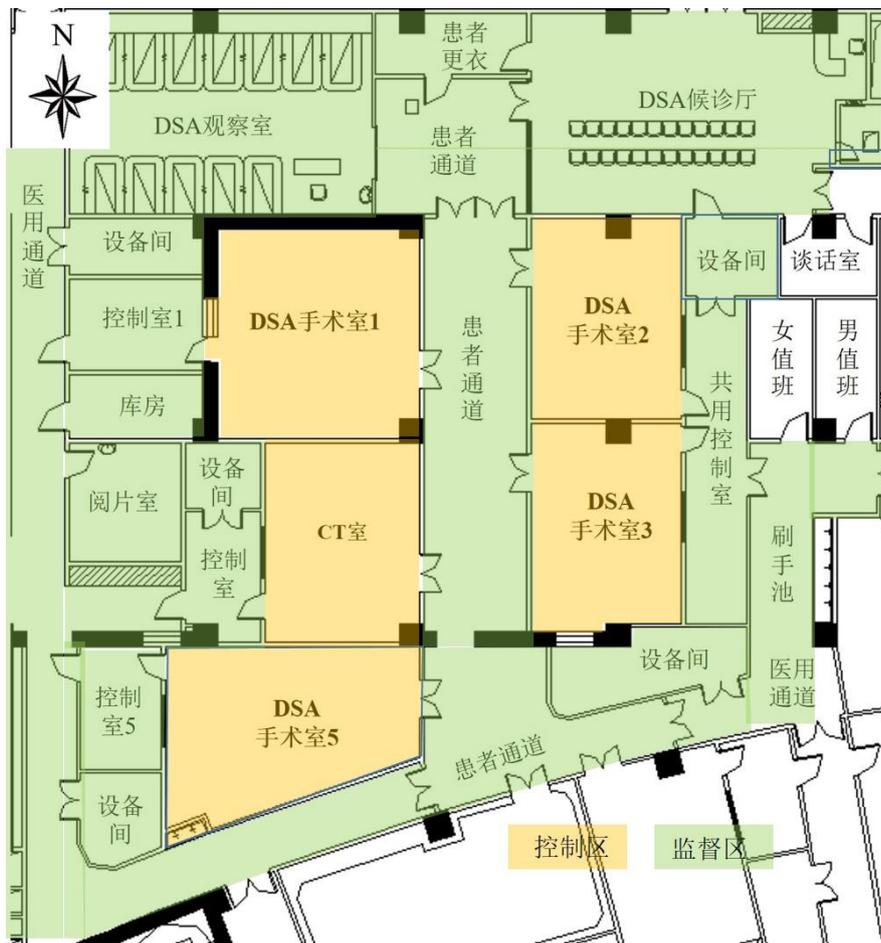


图 10-3(b) 本项目运行之前，放射科控制区和监督区划分

3 本项目人流、物流路线

3.1 核医学楼三层

① 供药路线

供药厂商携带 ^{90}Y 核素药物从东北侧电梯进入核医学科三层，经受检者候诊区、卫生通过间和质控分装室将核素药物送至储源室的负压通风橱内暂存，供药人员原路返回离开核医学科。根据患者预约情况，次日清晨送药，避开白天正常工作时段。

② 职业工作人员路线

本项目职业工作人员有两条走动线路：

1) 从东北侧电梯进入核医学楼三层，经受检者候诊区、卫生通过间、质控分装室进入储源室，对负压通风橱内的 ^{90}Y 核素药物进行分装， ^{90}Y 核素药物分装完毕之后，由职业工作人员携带原路离开核医学科，送至门急诊住院综合楼南楼负一层放射科 DSA 手术室 1。

2) 从东北侧电梯进入核医学楼三层，经北侧走道进入 SPECT/CT 控制室，工作完毕原路返回。

③ 患者路线

已接受 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 或 ^{90}Y 核素注射的患者进入核医学楼后，由一层西侧专用电梯上升至三层，经患者通道进入 SPECT/CT 2 机房接受扫描检查，扫描检查完毕后，受注 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素药物的患者借助西侧电梯回到一层，离开医院；受注 ^{90}Y 核素药物的患者则上升到四层，经患者通道向东到达留观病房，留观完毕后，患者由东北角电梯离开医院。患者在核医学楼三层的路径见附图十，在四层的路径见附图五。

④ 放射性废物流动路线

本项目核医学楼三层产生的含 ^{90}Y 核素放射性固体废物（单次产生 0.5kg，全年产生 60kg）分门别类暂存在废物间铅桶内，暂存期满并经检测达到清洁解控水平后，作为医疗垃圾在无患者就诊时利用晚上或周末经东侧楼梯转移出核医学楼。

本项目在核医学科三层人流、物流路线图见附图十。

3.2 核医学楼四层

受注 ^{90}Y 核素药物的患者从西侧电梯进入核医学楼四层，经电梯厅和患者走廊进入留观病房；留观结束后，按原路离开核医学楼。患者留观期间产生的放射性固体废物同样借助西侧电梯转移至三层废物间铅桶暂存，见附图五。

3.3 放射科

1) 患者由东北侧的 DSA 候诊厅经患者通道进如 DSA 手术室 1, 接受 ^{99m}Tc 或 ^{90}Y 药物介入注输, 完毕后, 由职业工作人员使用推床将患者转移至核医学楼, 接受 SPECT/CT 扫描检查。

2) 本项目职业工作人员在放射科的移动路线以及供药、固体废物转移路线均位于放射科西侧的医用通道, 供药及固体废物的转移宜在放射科人员较少的时段 (如清晨或晚上) 进行。

放射科人流、物流路线可见附图七。

4 核医学楼辐射安全环保措施

1) 实体屏蔽

核医学楼三层、四层相关房间的实体屏蔽措施如表 10-4 所示:

表 10-4 核医学科主要房间实体屏蔽措施 (仅描述与本项目有关的房间)

房间名称	尺寸 (m)	墙体材质	顶板、底板材质	防护门	防护窗
SPECT/CT 机房 2	东西 7.6×南 北 4.6×高 5	东墙: 240mm 红砖+60mm 硫酸钡砂浆; 西墙: 240mm 红砖+60mm 硫酸钡砂浆; 南墙: 240mm 红砖+60mm 硫酸钡砂浆; 北墙: 240mm 红砖+60mm 硫酸钡砂浆。	屋顶: 120mm 混凝土 +50mm 硫酸钡砂浆; 地面: 250mm 混凝土	4mmPb	4mmPb 当量铅 玻璃
放射性药物储源室	东西 4.6×南 北 1.7×高 5	东墙: 240mm 红砖+60mm 硫酸钡砂浆+20mm 硫酸钡板; 西墙: 240mm 红砖+60mm 硫酸钡砂浆+20mm 硫酸钡板; 南墙: 40mm 红砖+60mm 硫酸钡砂浆+20mm 硫酸钡板; 北墙: 240mm 红砖+60mm 硫酸钡砂浆+20mm 硫酸钡板。	屋顶: 120mm 混凝土 +50mm 硫酸钡砂浆; 地面: 120mm 混凝土 +50mm 硫酸钡砂浆	4mmPb	/
核医学楼 四层留观 病房		东墙: 240mm 红砖+60mm 硫酸钡砂浆+20mm 硫酸钡板; 西墙: 240mm 红砖+60mm 硫酸钡砂浆+20mm 硫酸钡板; 南墙: 240mm 红砖+60mm 硫酸钡砂浆+20mm 硫酸钡板; 北墙: 240mm 红砖+60mm 硫酸钡砂浆+20mm 硫酸钡板。	屋顶: 120mm 混凝土 +50mm 硫酸钡砂浆; 地面: 120mm 混凝土 +50mm 硫酸钡砂浆	10mmPb	10mmPb 当量铅 玻璃

除了房间实体屏蔽以外， ^{99m}Tc 和 ^{90}Y 两种核素药物在贮存、分装、转运、介入注射等不同阶段的其他屏蔽措施，见表10-3。

表10-3本项目其他屏蔽措施列表

核素	操作阶段	参考点	屏蔽防护措施
^{99m}Tc	介入注射	手部	6mm有机玻璃传输系统+0.5mm铅手套
		身体/眼晶体	6mm有机玻璃传输系统+0.5mm铅衣/铅眼镜
^{90}Y	贮存	铅防护外侧0.5m	6.4mm铅防护罐+负压通风橱（50mmPb）
	分装	手部	15mm有机玻璃
		身体/眼晶体	6.4mm铅防护罐+负压通风橱（50mmPb）
	转运	身体	15mm有机玻璃
	介入注射	手部	6mm有机玻璃传输系统+0.5mm铅手套
		身体/眼晶体	6mm有机玻璃传输系统+0.5mm铅衣/铅眼镜

2) 个人防护用品、去污用品、防护设备

本项目有 3 名职业工作人员在核医学楼 3 层负责核医学科核素药物分装及 SPECT/CT 扫描。根据 GBZ120-2020 附录 K 要求，为 3 名职业工作人员配置铅橡胶衣（0.5mmPb）、铅橡胶围裙（0.5mmPb）、铅橡胶围脖（0.5mmPb）、铅橡胶帽子（0.5mmPb）、铅玻璃眼镜（0.5mmPb）、铅橡胶手套（0.5mmPb）和放射性污染防护服各 1 套（件）。

配置的去污和防护用品主要包括：一次性防水手套、一次性衬垫、气溶胶防护口罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污剂、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、胶带、标签、不透水的塑料布、一次性镊子。上述去污和防护用品的数量根据项目投运之后的实际需要及时增添补充。

3) 墙面、地面的材质及洗手池

核医学楼三层的主要房间及走道的地面与墙面以及四层留观病房卫生间的地面、墙面均采用易清洗、难渗透的材质（墙面涂防水材料，地面铺设地胶），地面与墙面的接缝无缝隙。放射性工作场所内所有卫生间洗手池均采用非手触式（感应式或脚踏式）出水开关。

4) 通风系统

核医学楼三层设置三套动力排风装置，专门收集排放放射性废气：1) SPECT/CT 机房 1 和 SPECT/CT 机房 2 设置一套排风系统，总排风量为 3700m³/h；2) 留观室卫生间、给药后候诊室、给药后卫生间、抢救室和负荷室设置一套排风系统，总排风量为 3420m³/h；3) 放射性药物储源室负压通风橱和质控分装室设置一套排风系统，总排风量为 1350m³/h。

上述三套排风装置管道由东向西布置，放射性废气经管道汇集到核医学楼三层西南角，而后经管道向上方输送，排放口位于核医学楼顶层上方，放射性废气经活性炭吸附过滤后，在核医学楼顶层高于屋面处排放，见附图十一。

核医学楼四层设置有三个总排风管道，各病房（含本项目留观病房）的气体向西汇总至排风竖井。各病房室内保持相对于走廊的负压，病房排风管道见附图十二。

5) 放射性废水衰变池

在核医学楼外北侧地下设置一套放射性废水衰变池，负责核医学楼二、三、四层工作场所的放射性废水暂存衰变排放，衰变池由3个槽体组成，槽体为混凝土结构，每个槽体设计容积为114m³，该衰变池的剖面、平面示意图如下：

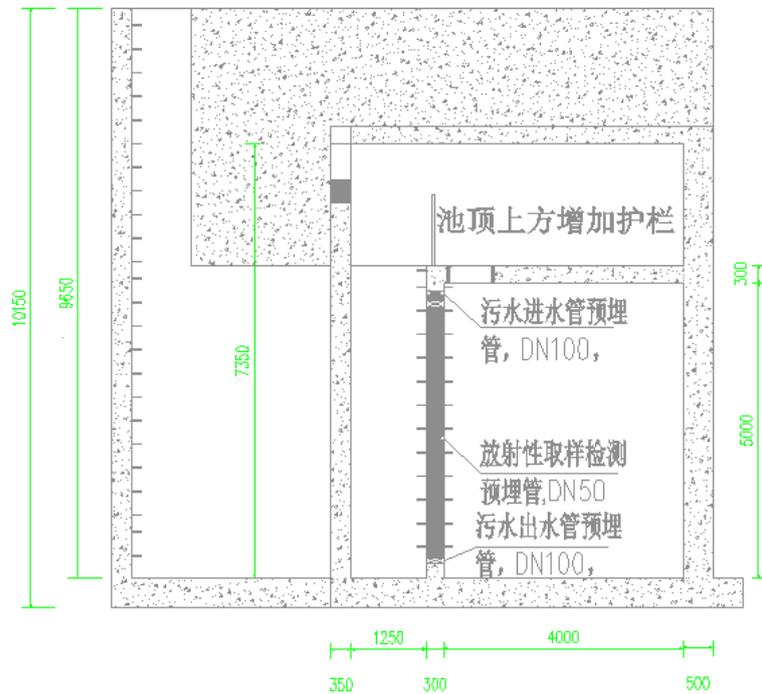


图10-3 放射性废水衰变池剖面示意图

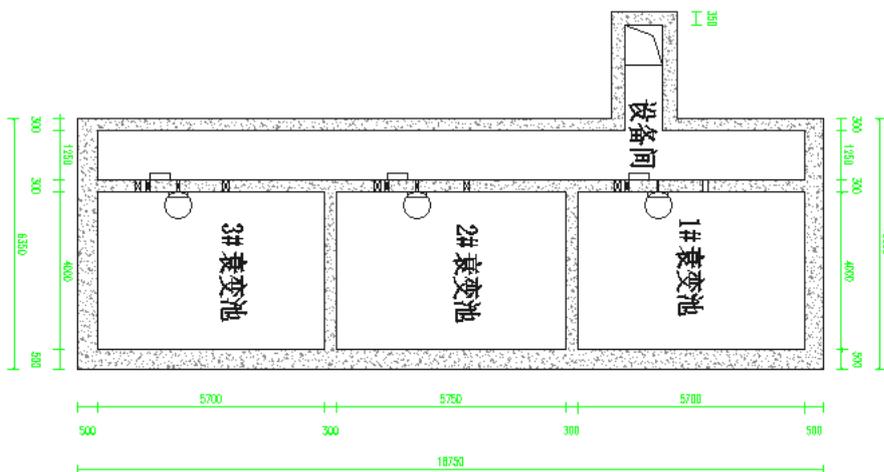


图10-4 放射性废水衰变池平面布置图

衰变池三个槽体为并联结构，其运行流程如下：

先用槽体 1，出水口闸阀先关闭，待放射性废液放满槽体 1 后关闭进水闸阀；使用槽体 2，同样待槽体 2 快放满废水时关闭进水闸阀；使用槽体 3，待槽体 3 贮满后关闭进水闸阀，对槽体 1 中废水进行监测，监测合格后方可打开出水口闸阀，排空槽体 1 中的废水。如此，三个衰变池交替使用。

衰变池各个闸阀均为远程控制，衰变池为地埋式结构，衰变池池底和池壁采用防渗透和耐酸碱腐蚀的材料，废水专用管道通过埋入地下方式流向衰变池。

根据已获批复的《天津市第一中心医院新址新建核医学科项目环境影响报告表》（批复文号：津环辐许可表[2022]038 号），水西院区核医学楼产生放射性废水情况为：PET/CT 和 SPECT/CT 场所每天废水产生量为 $0.6\text{m}^3/\text{d}$ ；核医学病房工作场所每天废水产生量为 $0.43\text{m}^3/\text{d}$ ，合计 $1.03\text{m}^3/\text{d}$ ，可能含有 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{123}I 、 ^{131}I 等放射性核素，须在衰变池暂存至少 180 天后，监测结果经审管部门认可后，按照（GB18871-2002）规定排放方式进行排放。

本项目每月产生含 ^{90}Y 核素的放射性废水 2m^3 （折合每天产生 $0.07\text{m}^3/\text{d}$ ），须暂存至少 180 天，当总 $\alpha \leq 1\text{Bq/L}$ ；总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ ；I-131 放射性活度不大于 10Bq/L 以后，经审管部门认可后排放。

本项目运行之后，产生的 ^{90}Y 核素的放射性废水将与其他含 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{123}I 、 ^{131}I 等放射性核素的废水在衰变池内充分混合为一体，合计产生量约为 $1.03\text{m}^3/\text{d}+0.07\text{m}^3/\text{d}=1.1\text{m}^3/\text{d}$ 。

根据《天津市第一中心医院新址新建核医学科项目环境影响报告表》及其批复，该混合废水须在放射性废水衰变池内衰变至少 180 天。

由放射性衰变池三个并联槽体的运行流程可知，核医学楼每日产生的废水将在槽体内停留衰变 $114\text{m}^3 \times 2 \div 1.1\text{m}^3/\text{d} = 207.3\text{d}$ ，大于 180 天，符合 HJ1188-2021 的要求。

该衰变池为地埋式结构，池顶盖为不锈钢结构，上覆 230cm 混凝土，衰变池上面地面划为控制区，周边设立木质栅栏，并附有醒目电离辐射警示标识，禁止无关人员靠近衰变池。

5) 放射性废物间

核医学楼三层储源室设置两个 20mm 铅废物桶（单桶容积 50L），专门存放本项目在本层及四层留观病房产生的放射性固体废物，铅废物桶内放置专用塑料袋，在其外标明放

射性废物的类型、核素种类和存放日期的说明，并应做好相应的记录，铅废物桶设电离辐射警告标志。

6) 门禁系统

核医学楼3层控制区主要房间或区域的进、出口设置门禁系统，诸如：患者走廊出入口以及甲功测试室、甲功候诊室、卫生通过间、质控分装室、负荷室和抢救室入口等处，该处门禁可防止无关人员随意出入本项目放射性工作场所。

除此之外，暂存核素药物的储源室双人双锁，并且对^{99m}Tc和⁹⁰Y核素药物分别建立台账，确保账物相符，防止放射性核素丢失、被盗。

7) 监测仪器

为本项目配备1台便携式X-γ剂量率仪、1台便携式α、β表面污染监测仪，为核医学楼3层3名职业工作人员各配备1套个人剂量计。

8) 警告标识

核医学楼三层放射性工作场所出、入口及控制区主要房间（质控分装室、废物间、储源室、卫生通过间以及SPECT/CT机房2等）醒目位置处张贴电离辐射警示标志及中文警示说明，设置标明控制区的标志牌，禁止患者随意出入；监督区张贴监督区标牌，禁止无关公众人员进入。废物间铅废物桶外表也需张贴电离辐射警示标志及中文警示说明。

9) 视频监控、对讲装置及工作状态指示灯

SPECT/CT机房2、质控分装室、储源室内部以及患者走廊设置无死角摄像头，实行24h全天候监控；SPECT/CT机房2与其控制室之间设置对讲装置，SPECT/CT机房2门口上方设置工作状态指示灯。

5 DSA手术室1辐射安全环保措施

本项目的DSA装置位于门急诊住院综合楼南楼负一层放射科DSA手术室1，DSA手术室1周边平面布局见附图七。原有辐射安全防护措施如下：

表10-4放射科DSA手术室1原有实体屏蔽或防护措施

尺寸	东西净宽7.85m，南北净长8.2m，高4m
面积m ²	有效使用面积64.4m ²
四周墙体	东墙、南墙：150mm 加气块+3mm 铅；西墙、北墙：550mm 混凝土
顶板	180mm混凝土+1mm铅
底板	180mm混凝土+1mm铅
观察窗	15mm厚铅玻璃：铅当量3mm

防护门	3mm铅；均张贴电离辐射标识及中文警示说明。防护门上方安装工作状态指示灯，门灯连锁。
紧急停机开关	DSA手术室1内、手术床旁及控制室操作台设有多个紧急停机开关
通风	设置动力通风设施，通风量和换气次数足以保证排出X射线与空气作用产生的极微量臭氧和氮氧化物。
射束朝向	向上
防护用品	配备铅衣5套、铅橡胶围裙5件，铅橡胶帽子5件，铅橡胶颈套5件，铅防护眼镜5件、铅手套5副，铅当量厚度均为0.5mm，供手术位职业工作人员使用。另为，配备1件铅乳腺防护和1件铅橡胶颈套，铅当量厚度也均为0.5mm，供患者使用。 除此之外，配备铅悬挂防护屏、铅防护吊帘、床侧防护帘和防护屏(铅当量为0.5mm)、移动屏风各1件(铅当量2.5mm)，DSA出束时，起到保护手术位职业工作人员的作用。在DSA介入手术过程中，职业工作人员与患者全程穿戴相应的防护用品，并悬挂或摆放防护屏、防护帘和移动屏风，尽可能地降低X射线辐射影响。
其他	已为DSA手术室配备1台个人剂量报警仪和两个20mm铅废物桶，并已为3名职业工作人员各配置一套个人剂量计。 DSA手术室1和控制室之间设置对讲系统，设置有固定式辐射监测报警仪。 与核医学科共用便携式X-γ剂量率仪、便携式α、β表面污染监测仪。 DSA手术室1内部及其周边区域地面与墙面以及四层留观病房卫生间的地面、墙面均采用易清洗、难渗透的材质（墙面涂防水材料，地面铺设地胶），地面与墙面的接缝无缝隙。放射科内所有卫生间洗手池均采用非手触式（感应式或脚踏式）出水开关。

为更好地服务于本项目，DSA 手术室 1 增加如下防护措施：

1) 本项目的职业工作人员及所携带物品进、出放射科前，需接受 β 表面污染监测，如有超标，应采取擦拭、洗涤等方式使表面污染将至允许水平。

2) DSA 手术室 1 西侧库房腾空，改造为放射性废物间，其内新增两个 20mm 铅废物桶（单桶容积 50L），专门暂存本项目在放射科产生的放射性固体废物。放射性固体废物应当分门别类暂存，外包装注明废物种类、产生时间、核素种类等信息，并制作书面台账。

3) DSA 手术室 1 的介入注射活动结束以后，须及时分类收集放射性固体废物，整理医疗器械，利用便携式 X-γ 剂量率仪和便携式 α、β 表面污染监测仪对手术室 1 的墙壁、地板、手术位等处进行巡测，一旦发现放射性污染迹象，用吸水纸巾从可疑污染区的边沿向中心擦拭，并用表面污染监测仪测量污染区，直到该污染区 β 表面污染水平满足要求为止。

综上所述，DSA 手术室 1 的辐射安全防护措施满足《核医学辐射防护与安全要求》

(HJ1188-2021) 及《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020) 相关要求。

6 放射科人流、物流路线

1) 患者由东北侧的 DSA 候诊厅经患者通道进如 DSA 手术室 1, 接受 ^{99m}Tc 或 ^{90}Y 药物介入注输, 完毕后, 由职业工作人员使用推床将患者转移至核医学楼, 接受 SPECT/CT 扫描检查。

2) 本项目职业工作人员在放射科的移动路线以及供药、固体废物转移路线均位于放射科西侧的医用通道, 供药及固体废物的转移宜在放射科人员较少的时段 (如清晨或晚上) 进行。

放射科人流、物流路线可见附图七。

3 环保投资明细

本项目的环保投资 211.28 万, 其明细详见表 10-5。

表 10-5 环保投资明细一览表

投资项目	数量 (件/套)	金额 (万元)
SPECT/CT 机房 2 和放射性药物储源室等处实体屏蔽	/	120.5
放射性废水衰变系统	1	38
通风系统	1	37
DSA 手术室 1 西侧放废间改造费用	1	3
铅橡胶衣	3	$0.1 \times 3 = 0.3$
铅橡胶围裙	3	$0.1 \times 3 = 0.3$
铅橡胶围脖	3	$0.1 \times 3 = 0.3$
铅橡胶帽子	3	$0.1 \times 3 = 0.3$
铅玻璃眼镜	3	$0.1 \times 3 = 0.3$
放射性污染防护服	3	$0.02 \times 3 = 0.06$
去污和防护用品 (一次性防水手套等)	/	1
铅废物桶	4	$0.25 \times 4 = 1$
电离辐射警示标志、中文警示说明、控制区标志牌、警戒绳等	/	0.16
门禁系统	/	1
视频监控系统、对讲装置、工作状态指示灯	/	2
便携式 X- γ 剂量率仪	1	2
便携式 α 、 β 表面污染监测仪	1	2
个人剂量计	3	$0.02 \times 3 = 0.06$
推床 (带三面铅围挡)	1	2

总投资金额	211.28	
<p>三废的治理</p> <p>1、放射性废物</p> <p>如前文所述，本项目的^{99m}Tc和⁹⁰Y两种核素不产生放射性气体。</p> <p>^{99m}Tc核素的半衰期为6.02h，⁹⁰Y核素半衰期为2.68d，依据HJ1188-2021，含^{99m}Tc核素的放射性固体废物（或废水）应当暂存衰变30d以上；含⁹⁰Y核素的放射性固体废物（或废水）应当暂存衰变十个半衰期（26.8d）以上。基于此，本项目产生的放射性固体废物应当暂存衰变至少30d，期满后经便携式α、β表面污染监测仪检测达到清洁解控水平后（β表面污染降至0.8Bq/cm²以下），作为医疗废物由专人转移出废物间，最终送交有资质的单位处理。</p> <p>本项目正常工况下，每位留观患者产生含⁹⁰Y核素的放射性废水0.2m³，本项目的年总排量为24m³，⁹⁰Y核素半衰期2.68天，按照HJ1188-2021，含⁹⁰Y核素的放射性废水应在衰变池停留衰变至少10个半衰期（按30天），但鉴于本项目产生的放射性废水将与水西院区其他来源的含¹³¹I放射性废水在衰变池内充分混合，因此，该混合废水须衰变至少180d，经检测达标（总α≤1Bq/L；总β≤10Bq/L；I-131放射性活度≤10Bq/L）并取得审管部门认可后排入水西院区污水处理站处理，经医院总排口排入市政污水管网，最终经市政管网排入咸阳路污水处理厂处理。</p> <p>如果核素药物分装操作不慎，导致职业工作人员手部或身体受到放射性污染。职业工作人员在质控分装室浴室淋洗，将产生少量放射性废水，少量的放射性废水通过专用管道进入核医学楼外北侧地下放射性废水衰变池，与其他来源废水混合后，自然衰变至少180d，经检测达标（总α≤1Bq/L；总β≤10Bq/L；I-131放射性活度≤10Bq/L）并取得审管部门认可后排入水西院区污水处理站处理，经医院总排口排入市政污水管网，最终经市政管网排入咸阳路污水处理厂处理。</p> <p>⁹⁰Y核素单次分装过程中产生的放射性固体废物按0.5kg计，年产量为60kg；^{99m}Tc及⁹⁰Y核素介入注射过程中产生废一次性手套、废口罩、废注射器针头、废输液管、废患者体内管、废包装盒等。在每个工作日，沾染^{99m}Tc或⁹⁰Y核素的放射性固体废物的产生量各按0.5kg计，年产生量各为60kg。</p> <p>在核医学楼三层废物间及DSA手术室1西侧放废间各设置两个20mm铅废物桶，单通容积均为50L，轮流暂存放射性固体废物。</p>		

留观期间，每位患者平均产生0.5kg固体废物，全年产生60kg。这些固体废物单独收集以后，由病房转移至三层废物间的铅废物桶内。

放射性固体废物暂存期满并经便携式 α 、 β 表面污染监测仪检测达到清洁解控水平后（ β 表面污染降至 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 以下），作为医疗废物由专人转移出放废间，最终送交有资质的单位处理。

产生的放射性固体废物应预先包装处理，避免废针头等尖锐物造成伤害，然后按照所含核素种类分别收集于废物袋中，废物袋标明核素种类，产生日期，废物袋最终置于铅废物桶中。

2、非放射性废物

本项目DSA和SPECT/CT装置在出束过程中，X射线与空气作用会产生极微量的臭氧和氮氧化物，经机房通风系统收集后，最终在核医学楼顶层高于屋脊排放。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

天津市第一中心医院水西院区核医学楼、门急诊住院综合楼南楼均已建成，本项目未增加新的建筑物，因此不存在施工扬尘污染，也不产生生产废水、生活污水、固体废物和噪声。

运行阶段对环境的影响

^{99m}Tc 核素辐射影响

对于 ^{99m}Tc 核素的辐射影响，考虑暂存、分装、药物转移以及介入注射、SPECT/CT 扫描过程。根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），周围剂量当量率计算公式如下：

$$H_p = \frac{A \times \Gamma}{r^2 \times 10^{\frac{X}{TVL}}} \text{式 (11.1)}$$

式中：

H_p ：周围剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

Γ ：距源 1m 处的周围剂量当量率常数， ^{99m}Tc 核素为 $0.0303\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$ ；

A ：核素活度，MBq；

X ：屏蔽体厚度；

r ：参考点与放射源的距离，m；

TVL： γ 射线的十分之一值厚度，铅对 $^{99m}\text{Tc}\gamma$ 射线的 TVL 值为 1mm，混凝土为 11cm，实心红砖为 16cm，硫酸钡砂浆（硫酸钡板）为 3.8cm。（出自《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）和《放射防护实用手册》（赵兰才、张丹枫主编，济南出版社，2009 年出版））。

(1) 周围剂量当量率的估算

医院每日购进 ^{99m}Tc 核素药物（5mCi，合 185MBq）后，直接送至放射科 DSA 手术室 1， ^{99m}Tc 核素药物受到 6mm 铅防护罐防护。根据式（11.1），铅防护外侧 0.5m 处周围剂量当量率仅约为 $185 \times 0.0303 / (0.5^2 \times 10^{6/1}) = 2.24 \times 10^{-6} \mu\text{Sv/h}$ ，可见， ^{99m}Tc 核素药物的暂存对职业人员和储源室外环境造成的影响很小。

^{99m}Tc 核素药物通过 DSA 装置向患者体内介入注射，医护人员在注输过程中，受到 6mm 有机玻璃传输系统和 0.5mm 铅衣（铅手套）的保护，则工作人员手部剂量率为 $185 \times 0.0303 / (0.2^2 \times 10^{0.5/1}) = 44.32 \mu\text{Sv/h}$ （手部距药物 0.2m），则工作人员身体剂量率为

$185 \times 0.0303 / (0.5^2 \times 10^{0.5/1}) = 7.09 \mu\text{Sv/h}$ (身体距药物0.5m)。

详见表11-1所示:

表11-1本项目^{99m}Tc核素药物对周围剂量当量率的贡献

核素活度	操作过程	参考点	防护	周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
5mCi	暂存	铅防护外侧0.5m	6mmPb	2.24×10^{-6}
5mCi	介入注射	手部	0.5mmPb	44.32
		身体(眼晶体)	0.5mmPb	7.09

^{99m}Tc核素对核医学科三层SPECT/CT机房2及放射科DSA手术室1周边的周围剂量当量率贡献值如表11-2所示。

表11-2^{99m}Tc核素对相关房间周围剂量当量率贡献值

工作场所及核素活度	序号	参考点	屏蔽材质	衰减系数	参考点与放射源的最近距离r (m)	周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
SPECT/CT机房2 (185MBq)	1	库房	240mm红砖 +60mm硫酸钡 砂浆	$10^{-24/16-6/3.8}$	2.6	6.91×10^{-4}
	2	阅片区			8.0	7.30×10^{-5}
	3	患者走廊			2.6	6.91×10^{-4}
	4	抢救室、 负荷室			4.0	2.92×10^{-4}
	5	甲功室			4.1	2.78×10^{-4}
	6	控制室	4mmPb	$10^{-4/1}$	4.1	3.33×10^{-5}
	7	SPECT/CT 机房1			6.0	1.56×10^{-5}
	8	甲癌病房	120mm 混凝土 +50mm 硫酸钡 砂浆	$10^{-12/11-5/3.8}$	5	8.79×10^{-5}
	9	PET/CT机 房	250mm混凝土	$10^{-25/11}$	5	1.20×10^{-3}
放射科DSA 手术室1 (185MBq)	10	DSA观察 室	550mm混凝土	$10^{-55/11}$	4.5	2.77×10^{-6}
	11	控制室1	3mmPb	$10^{-3/1}$	3.8	3.88×10^{-4}
	12	控制室2	150mm加气块 +3mm铅	$10^{-3/1}$	4.5	2.77×10^{-4}
	13	患者通道	3mmPb	$10^{-3/1}$	4.2	3.18×10^{-4}
	14	阅片室	150mm加气块 +3mm铅	$10^{-3/1}$	6.7	1.25×10^{-4}
	15	办理大厅	180mm混凝土 +1mm铅	$10^{-18/11-1/1}$	4	8.09×10^{-4}
	16	厨房及餐 厅			5	5.18×10^{-4}

	17	手部（介入注射）	6mm有机玻璃传输系统+0.5mm铅手套	10 ^{-0.5/1}	0.2	44.32
	18	身体（介入注射）	6mm有机玻璃传输系统+0.5mm铅衣		0.5	7.09

表11-2表明，由于采取了良好屏蔽措施，^{99m}Tc核素对SPECT/CT机房2和放射科DSA手术室1周围剂量当量率贡献值均低于2.5μSv/h的限值。

此外，DSA装置和SPECT/CT装置工作时会发出X射线会对周围剂量当量率造成影响，根据中核第四研究设计工程有限公司前期编制的《天津市第一中心医院新址新建使用II类医用射线装置（DSA）项目环境影响报告表》，放射科DSA手术室1周围剂量当量率最高值为7.75×10⁻¹μSv/h。此值叠加表11-2中放射科DSA手术室1周围剂量当量率仍低于2.5μSv/h限值。

2⁹⁰Y核素辐射影响

根据《辐射防护导论》，β粒子产生的韧致辐射剂量率为：

$$\dot{H} = 4.58 \times 10^{-8} A \cdot Z_e \cdot \left(\frac{E_b}{r}\right)^2 \cdot \left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right) \text{式 (11.2)}$$

式中：

\dot{H} ：韧致辐射剂量率，μSv/h；

A：核素活度，Bq；

Z_e ：有效原子序数；

E_b ：韧致辐射平均能量，0.9348MeV；

$\frac{\mu_{en}}{\rho}$ ：根据《辐射防护导论》附表1，平均能量 E_b 为0.9348MeV的韧致辐射光子相应的空气质量能量吸收系数为2.8×10⁻³m²/kg；

r：参考点与放射源的距离，m。

当有辐射屏蔽时，随距离变化的周围剂量当量率计算式见式11.3：

$$H = \dot{H} \cdot 2^{-dp/HVL} \text{式 (11.3)}$$

式中：

\dot{H} ：韧致辐射剂量率，μSv/h，含义同式（11.2）；

HVL：半值层厚度，mm，经查《辐射防护导论》附表9、附表11得知，混凝土为124mm，铅为11.8mm。《辐射防护导论》并未直接给出实心红砖、硫酸钡砂浆（硫酸钡板）、有

机玻璃的半值层厚度，通过它们与混凝土的密度折算可得到，实心红砖的半值层厚度为183mm，硫酸钡砂浆（硫酸钡板）的半值层厚度为81mm，有机玻璃的半值层厚度为243mm（注：混凝土密度取 2.35g/cm^3 ；实心红砖密度取 1.6g/cm^3 ；硫酸钡砂浆（硫酸钡板）密度取 3.6g/cm^3 ；有机玻璃密度取 1.2g/cm^3 ）；

dp: 屏蔽层厚度，mm。

^{90}Y 核素在衰变的过程中主要释放 β 射线，分支比为99.984%，其 β 射线的能量最大为2.284MeV，平均能量为0.9348MeV。 β 粒子在几种常见物质中的最大射程见表11-3。由表可知， β 粒子能被体外、空气、衣物消减、阻挡或一张几毫米厚的铝箔完全阻挡。项目职业工作人员不会直接接触放射性核素，在操作时会佩戴医用手套与使用专用防护用具，因此 β 射线对本项目放射工作人员的影响可以忽略。但 β 射线被放射源本身以及源周围的其他物质阻止时会产生韧致辐射，故本项目主要考虑 ^{90}Y 核素的韧致辐射影响，见表11-4和表11-5。

表11-3 ^{90}Y 核素的 β 射线在物质中最大射程

材料	有效原子序数	密度 (g/cm^3)	最大射程 (cm)
组织、水	6.66	1	1.1
空气	7.36	0.001293	835
铝	13	2.7	0.406
普通玻璃	10.6	2.4~2.6	0.42
有机玻璃	5.85	1.18	0.93
铅	82	11.34	0.097
塑料	/	1.4	0.79

表11-4无屏蔽时韧致辐射计算参数及结果

工作场所、工作阶段及核素活度	序号	参考点	有效原子序数	E_b (MeV)	$\frac{\mu_{en}}{\rho}$ (m^2/kg)	距离 (m)	韧致辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
放射性药物储源室（暂存阶段， $3 \times 10^9\text{Bq}$ ）	1	质控分装室	7.36	0.9348	2.8×10^{-3}	1.5	1.10
	2	患者走廊	7.36	0.9348	2.8×10^{-3}	4	1.55×10^{-1}
	3	甲功测试候诊室	7.36	0.9348	2.8×10^{-3}	8	3.87×10^{-2}
	4	负荷室	7.36	0.9348	2.8×10^{-3}	2	6.19×10^{-1}
	5	抢救室	7.36	0.9348	2.8×10^{-3}	4	1.55×10^{-1}
	6	卫生间	7.36	0.9348	2.8×10^{-3}	3	2.75×10^{-1}
	7	护士准备间	7.36	0.9348	2.8×10^{-3}	6	6.87×10^{-2}
	8	甲癌病房	7.36	0.9348	2.8×10^{-3}	5	9.90×10^{-2}
	9	抢救室	7.36	0.9348	2.8×10^{-3}	5	9.90×10^{-2}

	/	铅罐外侧0.5m	7.36	0.9348	2.8×10^{-3}	0.5	9.90
放射性药物 储源室（分 装阶段， $3 \times 10^9 \text{Bq}$ ）	1	质控分装室	7.36	0.9348	2.8×10^{-3}	1.5	1.10
	2	患者走廊	7.36	0.9348	2.8×10^{-3}	4	1.55×10^{-1}
	3	甲功测试候诊室	7.36	0.9348	2.8×10^{-3}	8	3.87×10^{-2}
	4	负荷室	7.36	0.9348	2.8×10^{-3}	2	6.19×10^{-1}
	5	抢救室	7.36	0.9348	2.8×10^{-3}	4	1.55×10^{-1}
	6	卫生间	7.36	0.9348	2.8×10^{-3}	3	2.75×10^{-1}
	7	护士准备间	7.36	0.9348	2.8×10^{-3}	6	6.87×10^{-2}
	8	甲癌病房	7.36	0.9348	2.8×10^{-3}	5	9.90×10^{-2}
	9	抢救室	7.36	0.9348	2.8×10^{-3}	5	9.90×10^{-2}
	/	负压通风橱	7.36	0.9348	2.8×10^{-3}	0.5	9.90
	/	手部	7.36	0.9348	2.8×10^{-3}	0.2	61.86
	/	身体	7.36	0.9348	2.8×10^{-3}	0.5	9.90
转运阶段， $2 \times 10^9 \text{Bq}$			7.36	0.9348	2.8×10^{-3}	0.5	6.60
SPECT/CT机 房2（扫描阶 段， $2 \times 10^9 \text{Bq}$ ）	10	库房	7.36	0.9348	2.8×10^{-3}	2.6	2.44×10^{-1}
	11	阅片区	7.36	0.9348	2.8×10^{-3}	8.0	2.58×10^{-2}
	12	患者走廊	7.36	0.9348	2.8×10^{-3}	2.6	2.44×10^{-1}
	13	抢救室、负荷室	7.36	0.9348	2.8×10^{-3}	4.0	1.03×10^{-1}
	14	甲功室	7.36	0.9348	2.8×10^{-3}	4.1	9.81×10^{-2}
	15	控制室	7.36	0.9348	2.8×10^{-3}	4.1	9.81×10^{-2}
	16	SPECT/CT机房1	7.36	0.9348	2.8×10^{-3}	6.0	4.58×10^{-2}
	17	甲癌病房	7.36	0.9348	2.8×10^{-3}	5	6.60×10^{-2}
	18	PET/CT机房	7.36	0.9348	2.8×10^{-3}	5	6.60×10^{-2}
放射科DSA 手术室1（介 入注射阶 段， $2 \times 10^9 \text{Bq}$ ）	19	DSA观察室	7.36	0.9348	2.8×10^{-3}	4.5	8.14×10^{-2}
	20	控制室1	7.36	0.9348	2.8×10^{-3}	3.8	1.14×10^{-1}
	21	控制室2	7.36	0.9348	2.8×10^{-3}	4.5	8.15×10^{-2}
	22	患者通道	7.36	0.9348	2.8×10^{-3}	4.2	9.35×10^{-2}
	23	阅片室	7.36	0.9348	2.8×10^{-3}	6.7	3.67×10^{-2}
	24	办理大厅	7.36	0.9348	2.8×10^{-3}	4	1.03×10^{-1}
	25	厨房及餐厅	7.36	0.9348	2.8×10^{-3}	5	6.60×10^{-2}
	26	手部（注输）	7.36	0.9348	2.8×10^{-3}	0.2	41.24
	27	身体（注输）	7.36	0.9348	2.8×10^{-3}	0.5	6.60
核医学楼四 层留观病房 （患者体	28	北侧患者走廊	7.36	0.9348	2.8×10^{-3}	1.7	5.71×10^{-1}
	29	西侧病房3	7.36	0.9348	2.8×10^{-3}	1.7	5.71×10^{-1}
	30	东侧病房1	7.36	0.9348	2.8×10^{-3}	1.8	5.09×10^{-1}

内, $2 \times 10^9 \text{Bq}$)	31	上方病房	7.36	0.9348	2.8×10^{-3}	3.8	1.14×10^{-1}
	32	下方卫生间	7.36	0.9348	2.8×10^{-3}	3.8	1.14×10^{-1}

表11-5考虑屏蔽时，辐射计算参数及结果

工作场所、 工作阶段及 核素活度	序号	参考点	韧致辐射 剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	屏蔽条件dp	屏蔽后周围剂量 当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
放射性药物 储源室(贮存 阶段， $3 \times 10^9 \text{Bq}$)	1	质控分装室	1.10	240mm 红砖 +60mm 硫酸钡砂浆+20mm 硫酸钡板+56.4mmPb	8.13×10^{-3}
	2	患者走廊	1.55×10^{-1}		1.14×10^{-3}
	3	甲功测试候诊室	3.87×10^{-2}		2.86×10^{-4}
	4	负荷室	6.19×10^{-1}		4.58×10^{-3}
	5	抢救室	1.55×10^{-1}		1.14×10^{-3}
	6	卫生间	2.75×10^{-1}		2.03×10^{-3}
	7	护士准备间	6.87×10^{-2}		5.08×10^{-4}
	8	甲癌病房	9.90×10^{-2}	120mm 混 凝 土 +50mm 硫酸钡砂浆 +56.4mmPb	1.20×10^{-3}
	9	抢救室	9.90×10^{-2}		1.20×10^{-3}
	/	负压通风橱外侧 0.5m	9.90	56.4mmPb	3.60×10^{-1}
放射性药物 储源室(分装 阶段， $3 \times 10^9 \text{Bq}$)	1	质控分装室	1.10	240mm 红砖 +60mm 硫酸钡砂浆+20mm 硫酸钡板+56.4mmPb	8.13×10^{-3}
	2	患者走廊	1.55×10^{-1}		1.14×10^{-3}
	3	甲功测试候诊室	3.87×10^{-2}		2.86×10^{-4}
	4	负荷室	6.19×10^{-1}		4.58×10^{-3}
	5	抢救室	1.55×10^{-1}		1.14×10^{-3}
	6	卫生间	2.75×10^{-1}		2.03×10^{-3}
	7	护士准备间	6.87×10^{-2}		5.08×10^{-4}
	8	甲癌病房	9.90×10^{-2}	120mm 混 凝 土 +50mm 硫酸钡砂浆 +56.4mmPb	1.20×10^{-3}
	9	抢救室	9.90×10^{-2}		1.20×10^{-3}
	/	负压通风橱外侧 0.5m	9.90	56.4mmPb	3.60×10^{-1}
	/	手部	61.86	15mm有机玻璃	59.27
	/	身体	9.90	56.4mmPb	3.60×10^{-1}
	转运阶段， $2 \times 10^9 \text{Bq}$			6.60	15mm有机玻璃
SPECT/CT 机 房2(扫描阶 段， $2 \times 10^9 \text{Bq}$)	10	库房	2.44×10^{-1}	240mm 红砖 +60mm 硫酸钡砂浆	4.96×10^{-2}
	11	阅片区	2.58×10^{-2}		5.24×10^{-3}
	12	患者走廊	2.44×10^{-1}		4.96×10^{-2}
	13	抢救室、负荷室	1.03×10^{-1}		2.09×10^{-2}
	14	甲功室	9.81×10^{-2}		1.99×10^{-2}

	15	控制室	9.81×10^{-2}	4mmPb	7.76×10^{-2}
	16	SPECT/CT机房1	4.58×10^{-2}		3.62×10^{-2}
	17	甲癌病房	6.60×10^{-2}	120mm 混凝土 +50mm硫酸钡砂浆	2.20×10^{-2}
	18	PET/CT机房	6.60×10^{-2}	250mm混凝土	1.63×10^{-2}
放射科 DSA 手术室1（介 入注射阶段， $2 \times 10^9 \text{Bq}$ ）	19	DSA观察室	8.14×10^{-2}	550mm混凝土	3.76×10^{-2}
	20	控制室1	1.14×10^{-1}	3mmPb	9.58×10^{-2}
	21	控制室2	8.15×10^{-2}	150mm加气块+3mm 铅	6.83×10^{-2}
	22	患者通道	9.35×10^{-2}	3mmPb	7.84×10^{-2}
	23	阅片室	3.67×10^{-2}	150mm加气块+3mm 铅	3.08×10^{-2}
	24	办理大厅	1.03×10^{-1}	180mm 混凝土+1mm 铅	3.55×10^{-2}
	25	厨房及餐厅	6.60×10^{-2}		2.27×10^{-2}
	26	手部（注输）	41.24	6mm有机玻璃传输系 统+0.5mm铅手套	39.37
	27	身体（注输）	6.60	6mm有机玻璃传输系 统+0.5mm铅衣	6.30
核医学楼四 层留观病房 （患者体 内， $2 \times 10^9 \text{Bq}$ ）	28	北侧患者走廊	5.71×10^{-1}	240mm 红 砖 +60mm 硫酸钡砂浆+20mm 硫酸钡板	1.16×10^{-1}
	29	西侧病房3	5.71×10^{-1}	240mm 红 砖 +60mm 硫酸钡砂浆+20mm 硫酸钡板	1.16×10^{-1}
	30	东侧病房1	5.09×10^{-1}	240mm 红 砖 +60mm 硫酸钡砂浆+20mm 硫酸钡板	1.03×10^{-1}
	31	上方病房	1.14×10^{-1}	120mm 混 凝 土 +50mm硫酸钡砂浆	3.81×10^{-2}
	32	下方卫生间	1.14×10^{-1}	120mm 混 凝 土 +50mm硫酸钡砂浆	3.81×10^{-2}

表11-5表明，核医学楼放射性药物储源室、SPECT/CT机房2、留观病房和放射科DSA手术室1周围剂量当量率均低于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的限值。

如前文所述，DSA装置出束时，放射科DSA手术室1周围剂量当量率最高为 $7.75 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h}$ ；SPECT/CT对机房外周围剂量当量率贡献值可以忽略不计。

考虑 ^{90}Y 核素和DSA装置出束的叠加辐射影响，放射科DSA手术室1屏蔽体外周围剂量当量率最高值仍低于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的限值。

3人员受照剂量

职业工作人员或公众人员所受年有效附加剂量计算公式如下：

$$H = 10^{-3} \times D \times t \times q \quad (\text{式 11.4})$$

式中：

H—年有效附加剂量，mSv/a；

D—计算点位剂量率水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

t—工作时间，h/a；

q—居留因子；

10^{-3} — $\mu\text{Sv/h}$ 和 mSv/h 之间的转换系数。

计划全年接收150例患者做 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素初步诊断，预期其中120例患者（占比80%）可以接受后续 ^{90}Y 数值微球治疗。

就单例患者而言， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 分装用时10min，转运10min，DSA介入注射、摆位操作10min（人工手动完成），SPECT摆位5min，扫描10min。同样地， ^{90}Y 核素分装用时10min，转运10min，DSA介入注射、摆位操作10min（人工手动完成），SPECT扫描10min。职业工作人员所受年有效附加剂量如表11-6所示。

表11-6本项目职业工作人员所受年有效附加剂量（mSv/a）

$^{99\text{m}}\text{Tc}$				
操作环节或位置	周围剂量当量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）	全年受照时长（min）	居留因子	所受年有效附加剂量（mSv/a）
暂存	2.24×10^{-6}	10×150	1	5.6×10^{-8}
DSA介入注射、摆位（手部）	44.32	10×150	1	1.11
DSA介入注射、摆位（身体）	7.09	10×150	1	1.78×10^{-1}
核医学楼三层库房	6.91×10^{-4}	10×150	1/16	1.08×10^{-6}
核医学楼三层甲功室	2.78×10^{-4}	10×150	1	6.95×10^{-6}
核医学楼三层控制室	3.33×10^{-5}	10×150	1	8.33×10^{-7}
SPECT/CT机房1	1.56×10^{-5}	10×150	1	3.90×10^{-7}
放射科负一层控制室1	3.88×10^{-4}	10×150	1	9.70×10^{-6}
放射科负一层控制室2	2.77×10^{-4}	10×150	1	6.93×10^{-6}
^{90}Y				
位置	周围剂量当量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）	全年受照时长（min）	居留因子	所受年有效附加剂量（mSv/a）
分装（手部）	59.27	10×120	1	1.19
分装（身体）	3.60×10^{-1}	10×120	1	7.20×10^{-3}

转运	6.32	10×120	1	1.26×10 ⁻¹
DSA介入注射、摆位（手部）	39.37	10×120	1	7.87×10 ⁻¹
DSA介入注射、摆位（身体）	6.30	10×120	1	1.26×10 ⁻¹
核医学楼三层库房	4.96×10 ⁻²	10×120	1/16	6.20×10 ⁻⁵
核医学楼三层甲功室	1.99×10 ⁻²	10×120	1	3.98×10 ⁻⁴
核医学楼三层控制室	7.76×10 ⁻²	10×120	1	1.55×10 ⁻³
SPECT/CT机房1	3.62×10 ⁻²	10×120	1	7.24×10 ⁻⁴
核医学楼三层质控分装室	8.13×10 ⁻³	10×120	1	1.63×10 ⁻⁴
放射科负一层控制室1	9.58×10 ⁻²	10×120	1	1.92×10 ⁻³
放射科负一层控制室2	6.83×10 ⁻²	10×120	1	1.37×10 ⁻³

注：居留因子数值来源于《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021），下同。

本项目职业工作人员所受有效剂量由^{99m}Tc和⁹⁰Y两种核素共同贡献，见表11-7。

表11-7本项目职业工作人员所受年有效附加剂量之和（mSv/a）

位置	^{99m} Tc贡献的年有效附加剂量（mSv/a）	⁹⁰ Y贡献的年有效附加剂量（mSv/a）	合计（mSv/a）
分装（手部）	/	1.19	1.19
分装（身体）	/	7.20×10 ⁻³	7.20×10 ⁻³
转运	/	1.26×10 ⁻¹	1.26×10 ⁻¹
DSA介入注射、摆位（手部）	1.11	7.87×10 ⁻¹	1.90
DSA介入注射、摆位（身体）	1.78×10 ⁻¹	1.26×10 ⁻¹	3.04×10 ⁻¹
核医学楼三层库房	1.08×10 ⁻⁶	6.20×10 ⁻⁵	6.31×10 ⁻⁵
核医学楼三层控制室	8.33×10 ⁻⁷	1.55×10 ⁻³	1.55×10 ⁻³
核医学楼三层质控分装室	/	1.63×10 ⁻⁴	1.63×10 ⁻⁴
SPECT/CT机房1	3.90×10 ⁻⁷	7.24×10 ⁻⁴	7.24×10 ⁻⁴
放射科负一层控制室1	9.70×10 ⁻⁶	1.92×10 ⁻³	1.92×10 ⁻³
放射科负一层控制室2	6.93×10 ⁻⁶	1.37×10 ⁻³	1.37×10 ⁻³

注：在本报告中，对职业工作人员“身体”有效受照剂量预测估算包括了对其“眼晶体”有效受照剂量预测估算。

由表11-7可知，本项目职业工作人员身体（眼晶体）年受照剂量最大值为3.04×10⁻¹mSv，手部年受照剂量最大值为1.90mSv，分别低于2mSv（眼晶体15mSv）和50mSv约束值，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求。

公众人员所受年有效附加剂量如表11-8所示：

表11-8本项目公众人员所受年有效附加剂量（mSv/a）

^{99m} Tc					
房间名称	保护目标	周围剂量当量率（μSv/h）	全年受照时长（min）	居留因子	所受年有效附加剂量（mSv/a）

核医学楼三层 SPECT/CT 机房2	阅片区	7.30×10^{-5}	10×150	1/4	4.56×10^{-7}
	患者走廊	6.91×10^{-4}	10×150	1/16	1.08×10^{-6}
	抢救室、负荷室	2.92×10^{-4}	10×150	1/4	1.83×10^{-6}
	甲癌病房	8.79×10^{-5}	10×150	1	2.20×10^{-6}
	PET/CT机房	1.20×10^{-3}	10×150	1/4	7.50×10^{-6}
门急诊住院 综合楼南楼 放射科DSA 手术室1	DSA观察室	2.77×10^{-6}	10×150	1/4	1.74×10^{-8}
	患者通道	3.18×10^{-4}	10×150	1/16	4.98×10^{-7}
	阅片室	1.25×10^{-4}	10×150	1	3.13×10^{-6}
	办理大厅	8.09×10^{-4}	10×150	1/4	5.06×10^{-6}
	厨房及餐厅	5.18×10^{-4}	10×150	1/4	3.24×10^{-6}
⁹⁰Y					
房间名称	保护目标	周围剂量当量率(μSv/h)	全年受照时长(min)	居留因子	所受年有效附加剂量(mSv/a)
核医学楼三层 SPECT/CT 机房2	阅片区	5.24×10^{-3}	10×120	1/4	2.62×10^{-5}
	患者走廊	4.96×10^{-2}	10×120	1/16	6.20×10^{-5}
	抢救室、负荷室	2.09×10^{-2}	10×120	1/4	1.05×10^{-4}
	甲癌病房	2.20×10^{-2}	10×120	1	4.40×10^{-4}
	PET/CT机房	1.63×10^{-2}	10×120	1/4	8.15×10^{-5}
核医学楼三层 放射性药物 储源室	患者走廊	1.03×10^{-1}	10×120	1/16	1.29×10^{-4}
	甲功测试候诊室	2.58×10^{-2}	10×120	1/4	1.29×10^{-4}
	负荷室	4.12×10^{-1}	10×120	1	8.24×10^{-3}
	抢救室	1.03×10^{-1}	10×120	1	2.06×10^{-3}
	卫生间	1.83×10^{-1}	10×120	1/4	9.15×10^{-4}
	护士准备间	4.58×10^{-2}	10×120	1/4	2.29×10^{-3}
	甲癌病房	6.60×10^{-2}	10×120	1	1.32×10^{-3}
	抢救室	1.03×10^{-1}	10×120	1	2.06×10^{-3}
门急诊住院 综合楼南楼 放射科DSA 手术室1	DSA观察室	8.14×10^{-2}	10×120	1/4	4.07×10^{-4}
	患者通道	9.35×10^{-2}	10×120	1/16	1.17×10^{-4}
	阅片室	3.67×10^{-2}	10×120	1	7.34×10^{-4}
	办理大厅	1.03×10^{-1}	10×120	1/4	5.15×10^{-4}
	厨房及餐厅	6.60×10^{-2}	10×120	1/4	3.30×10^{-4}

^{99m}Tc和⁹⁰Y两种核素贡献之和，见表11-9。

表11-9本项目公众人员所受年有效附加剂量之和 (mSv/a)

房间名称	位置	^{99m} Tc贡献的年有效附加剂量	⁹⁰ Y贡献的年有效附加剂量	合计 (mSv/a)
------	----	-----------------------------	---------------------------	------------

		(mSv/a)	(mSv/a)	
核医学楼三层SPECT/CT机房2	阅片区	4.56×10^{-7}	2.62×10^{-5}	2.67×10^{-5}
	患者走廊	1.08×10^{-6}	6.20×10^{-5}	6.31×10^{-5}
	抢救室、负荷室	1.83×10^{-6}	1.05×10^{-4}	1.07×10^{-4}
	甲癌病房	2.20×10^{-6}	4.40×10^{-4}	4.42×10^{-4}
	PET/CT机房	7.50×10^{-6}	8.15×10^{-5}	8.90×10^{-5}
核医学楼三层放射性药物储源室	患者走廊	/	1.29×10^{-4}	1.29×10^{-4}
	甲功测试候诊室	/	1.29×10^{-4}	1.29×10^{-4}
	负荷室	/	8.24×10^{-3}	8.24×10^{-3}
	抢救室	/	2.06×10^{-3}	2.06×10^{-3}
	卫生间	/	9.15×10^{-4}	9.15×10^{-4}
	护士准备间	/	2.29×10^{-3}	2.29×10^{-3}
	甲癌病房	/	1.32×10^{-3}	1.32×10^{-3}
	抢救室	/	2.06×10^{-3}	2.06×10^{-3}
门急诊住院综合楼南楼放射科DSA手术室1	DSA观察室	1.74×10^{-8}	4.07×10^{-4}	4.07×10^{-4}
	患者通道	4.98×10^{-7}	1.17×10^{-4}	1.17×10^{-4}
	阅片室	3.13×10^{-6}	7.34×10^{-4}	7.37×10^{-4}
	办理大厅	5.06×10^{-6}	5.15×10^{-4}	5.20×10^{-4}
	厨房及餐厅	3.24×10^{-6}	3.30×10^{-4}	3.33×10^{-4}

由表11-9可知，本项目公众人员年受照剂量最大值为 $8.24 \times 10^{-3} \text{mSv}$ ，低于 0.1mSv 约束值，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求。

4 留观病房的辐射影响

有表11-5可知，核医学楼四层留观病房屏蔽体外侧的周围剂量当量率贡献值最高为 $1.16 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h}$ ，低于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的限值。

留观病房周边为核医学科其他病房，居留者均为公众人员，居留因子取1/16，则留观病房周边公众人员年受照剂量最大值为 $1.16 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h} \times 8760 \text{h/a} \times 1/16 \times 10^{-3} = 6.35 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，低于 0.1mSv 约束值，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求。

5 放射性固体废物的辐射影响

如表10所述，本项目分装 ^{90}Y 核素以及患者留观时产生的放射性固体废物暂存于放废间的铅废物桶（ 20mmPb ）内，该放废间位于核医学楼三层东南侧（见附图四），东西净宽 1.1m ，南北净长 3.6m ，净高 5m 。

废物间暂存的放射性固体废物核素活度按其实际日最大操作量的1%考虑，⁹⁰Y核素源强为 $3 \times 10^7 \text{Bq}$ 。

放废间西侧的储源室与废物间铅废物桶距离最近（按1m计），以储源室为例，考虑放废间的放射性固体废物对外环境的辐射影响。

⁹⁰Y核素在无屏蔽条件下的韧致辐射剂量率贡献值约为：

$$4.58 \times 10^{-8} \times 3 \times 10^7 \times 7.36 \times 2.8 \times 10^{-3} \times 0.9348^2 \div 1^2 = 2.48 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$$

⁹⁰Y核素在铅废物桶（20mmPb）防护下对储源室内的周围剂量当量率贡献值约为：
 $2.48 \times 10^{-2} \times 2^{-20/11.8} = 7.65 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ ，低于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 限值。

储源室内人员（不区分职业工作人员或公众人员）的居留因子取1，受照时间取8760h/a，则废物间对该处人员造成的年有效附加剂量约为：

$7.65 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h} \times 8760 \text{h/a} \times 1 \times 10^{-3} \text{mSv}/\mu\text{Sv} = 6.71 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ ，满足职业工作人员（身体、眼晶体、手部）及公众人员年受照附加剂量不超过 2mSv （眼晶体为 15mSv ，手部为 50mSv ，公众人员为 0.1mSv ）的管理目标值。

在上述辐射影响预测中，除铅废物桶外未考虑废物间四周墙体（顶板、底板）的屏蔽作用，人员受照时长和居留因子均按最保守情况取值，计算距离取最小值，因此，废物间对外环境的辐射影响远远低于上述预测值。

同理，也可知DSA手术室1西侧放废间铅废物桶内的放射性固体废物对外环境的影响也在允许范围内。

6 与其他放射性岗位的叠加影响

为本项目安排的6名职业工作人员可能同时服务于医院其他放射性岗位，表11-10统计了这6名职业工作人员在过去四个季度的辐射剂量监测报告数值，该值可作为他们在其他放射性岗位所受的辐射剂量。

表11-10 职业工作人员辐射剂量报告数值（单位：mSv）

姓名	2024年第三季度	2024年第四季度	2025年第一季度	2025年第二季度	全年合计	备注
冯学民	<MDL	0.01	0.01	<MDL	0.02	服务于核医学科三层
郭建华	<MDL	0.01	0.01	<MDL	0.02	
魏利娟	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	
陈光	<MDL	0.01	0.01	<MDL	0.02	服务于DSA手术室1
高海军	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	
王浩	<MDL	0.01	0.01	<MDL	0.02	

注：该表格数据取自医院提供的辐射剂量监测报告，“<MDL”表示低于监测下限。

表11-10数据表明，其他放射性工作岗位受到的年均辐射剂量很低，不超过0.02mSv/a，该值与本项目贡献的年均受照剂量叠加，仍满足职业工作人员年均受照剂量不超过5mSv/a（不区分身体、手部、和眼晶体）的要求。

前期的《天津市第一中心医院新址新建核医学科项目环境影响报告表》和《天津市第一中心医院新址新建使用II类医用射线装置（DSA）项目环境影响报告表》显示核医学楼三层、四层以及放射科DSA手术室的实体屏蔽效果良好，其剂量当量率贡献值与本项目的剂量当量率叠加仍低于2.5μSv/h的限值。

7 ⁹⁰Y药物转运及受药患者转移过程对环境的影响

患者在DSA手术室1受注^{99m}Tc或⁹⁰Y核素药物以后，覆盖铅方巾（0.5mmPb），借由推床，由DSA手术室的职业工作人员护送至门急诊住院综合楼北楼的电梯口处，经电梯由负一层上升至一层，离开北楼，进入核医学楼，再借助电梯，来到核医学科三层，进行SPECT/CT扫描。⁹⁰Y药物转运与之反向，药物分装完毕后，盛放于15mm有机玻璃V瓶中，由职业工作人员将其护送至放射科DSA手术室1。

⁹⁰Y药物及受药患者的转运、转移路线图如下：

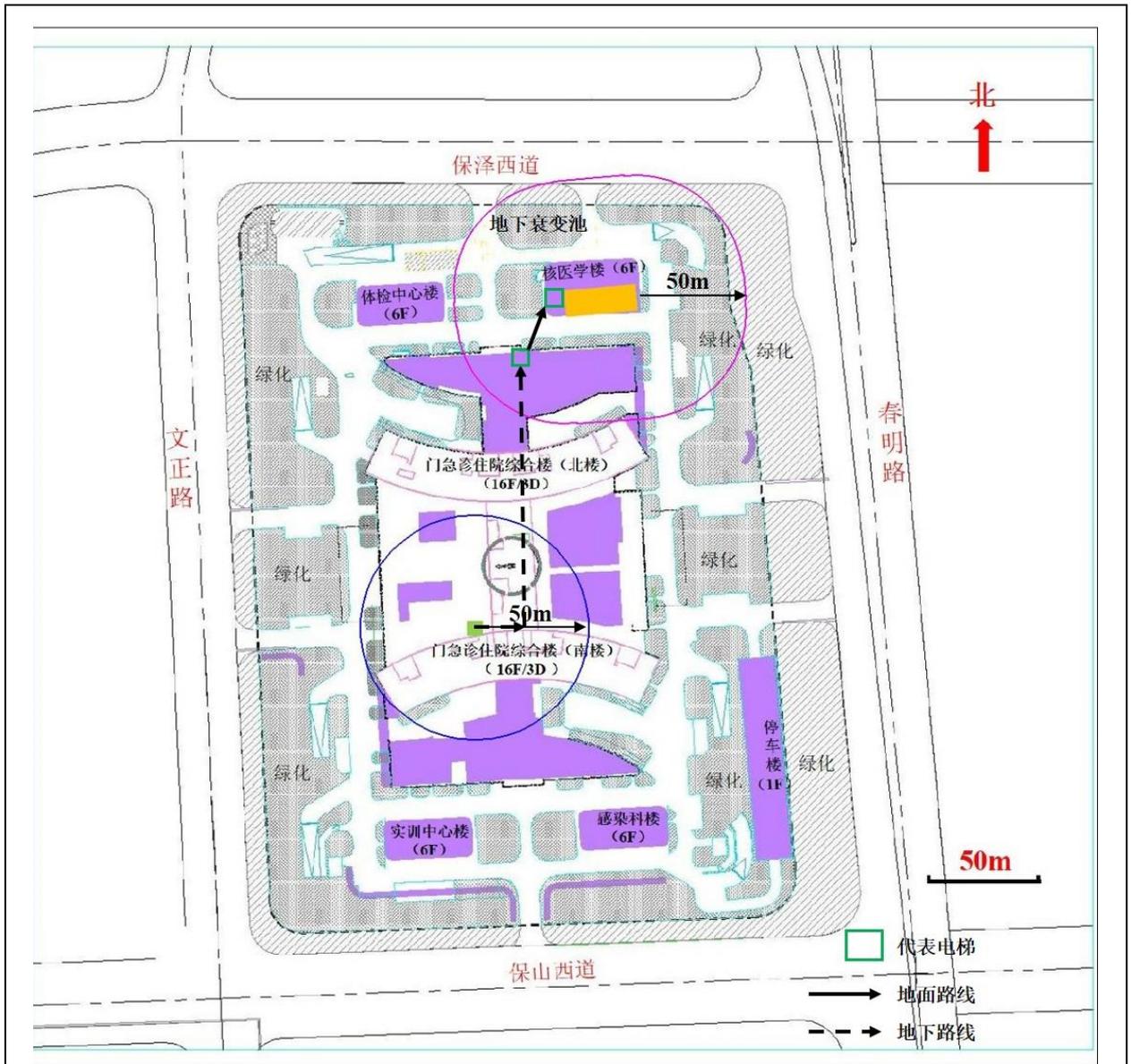
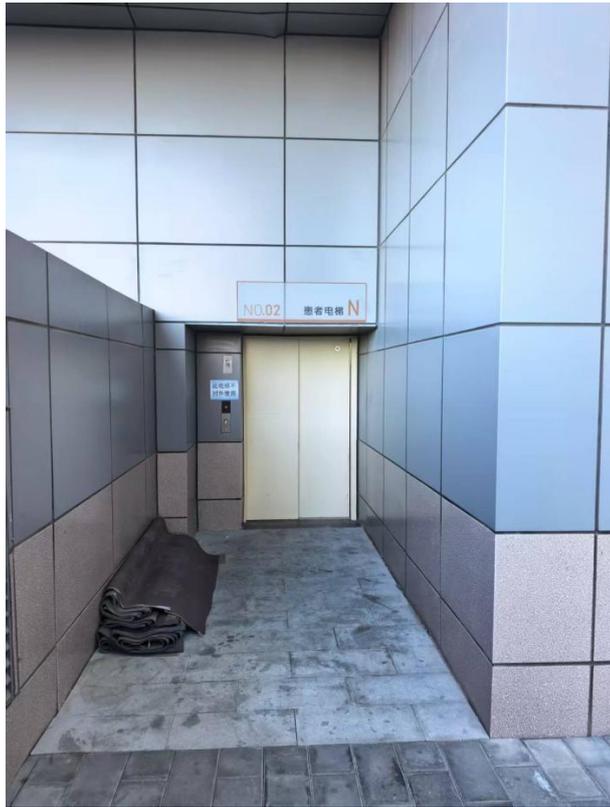


图11-1 ^{90}Y 药物及受药患者院区转移路线

实景图片如下:



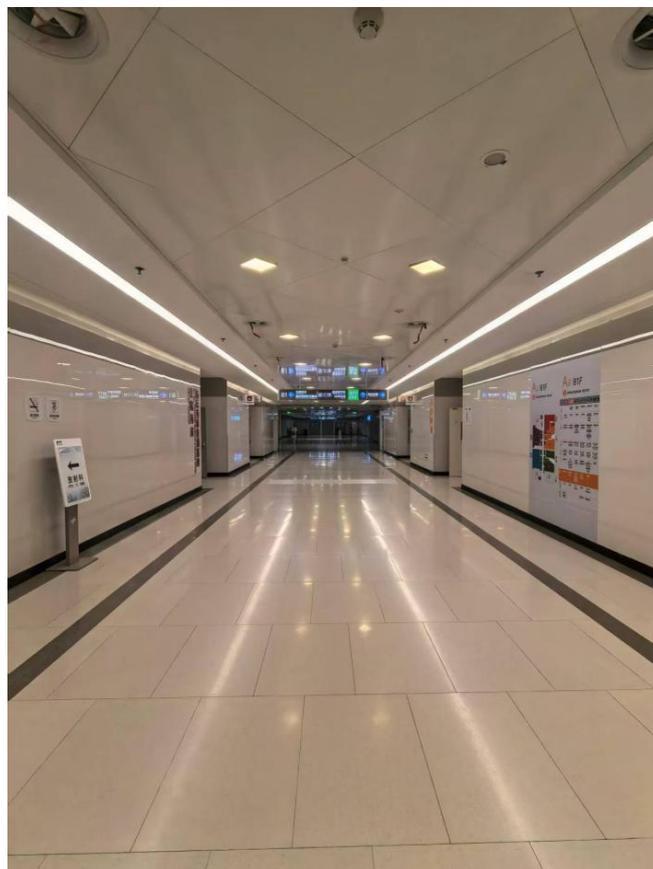
核医学楼电梯口



地面路段



门急诊住院综合楼北楼电梯口



地下负一层路段



放射科入口

患者推床自带三面铅围挡，围挡总面积 2m^2 ，厚度为 3mm ，同时考虑受药患者覆盖 0.5mm 铅方巾，则转移途中，职业工作人员和周边公众受 3.5mm 铅防护。

单次患者受注 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素药物或 ^{90}Y 核素药物的活度分别为 185MBq 、 2000MBq ，转移途中，患者和职业工作人员或公众人员的最近距离定为 0.5m ，根据本报告表的式（11.1）~式（11.3），计算得出： $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素药物对外环境贡献的周围剂量当量率最高值为 $7.1 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ ； ^{90}Y 核素药物对外环境贡献的周围剂量当量率最高值为 $5.37 \mu\text{Sv/h}$ 。

患者的转移应当尽量避开人流高峰期，单次患者转移最长时间不超过 20min ，在地下负一层的转移过程路途较长，但沿途公众人员较少，沿途安保人员及护送职业工作人员可以要求途中公众人员闪避受药患者；门诊急诊住院综合楼北楼至核医学科的地面转移路途较近，职业工作人员可以临时悬挂警戒绳，避免公众接近，因此，受药患者转移过程对公众人员有效受照剂量贡献值微乎其微。

计划全年接收 150 例患者做 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素初步诊断，预期其中 120 例患者（占比 80% ）可以接受后续 ^{90}Y 数值微球治疗。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素药物或 ^{90}Y 核素药物在转移过程中对陪送职业工作人员的照射各不超过 50h/a 、 40h/a 。

对于陪送职业工作人员， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素药物附加受照剂量贡献值为： $7.1 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h} \times 50\text{h/a} \times 1$ （居留因子） $\times 10^{-3}$ （ μSv 和 mSv 转换系数） $= 3.55 \times 10^{-4} \text{mSv/a}$ 。（不区分身体、手部、和眼晶体）

^{90}Y 核素药物附加受照剂量贡献值为： $5.37 \mu\text{Sv/h} \times 40\text{h/a} \times 1$ （居留因子） $\times 10^{-3}$ （ μSv 和 mSv 转换系数） $= 2.15 \times 10^{-1} \text{mSv/a}$ 。（不区分身体、手部、和眼晶体）

前文已经给出本项目本项目职业工作人员身体（眼晶体）年受照剂量最大值为

$3.04 \times 10^{-1} \text{mSv}$ ，手部年受照剂量最大值为 1.90mSv ，与受药患者转移造成的贡献值叠加仍满足职业工作人员身体（手部、眼晶体）年均受照剂量不超过 5mSv/a （ 50mSv/a 、 15mSv/a ）的要求。

类似地， ^{90}Y 药物转运也应尽量避开人流高峰期，地面路段临时悬挂警戒绳，同时要求地下负一层公众人员闪避。根据表11-5，可知 ^{90}Y 药物转运过程中，对外环境的周围剂量当量率贡献值为 $6.32 \mu\text{Sv/h}$ ，对职业工作人员的附加受照剂量贡献值为 $1.26 \times 10^{-1} \text{mSv/a}$ （不区分身体、手部、和眼晶体），满足身体（手部、眼晶体）年均受照剂量不超过 5mSv/a （ 50mSv/a 、 15mSv/a ）的要求，对于公众人员造成的影响极其轻微。

总而言之，本项目 ^{90}Y 药物转运以及受药患者转移对外环境造成的辐射影响均处于可控、可接受状态。

8 “放射性三废”环境影响分析

本项目不产生放射性废气，DSA和SPECT/CT装置在出束过程中，X射线与空气作用会产生极微量的臭氧和氮氧化物，经机房通风系统收集后，最终在核医学楼顶层高于屋脊排放。

本项目正常工况下，每位留观患者产生含 ^{90}Y 核素的放射性废水 0.2m^3 ，本项目的年总排量为 24m^3 ，本项目产生的放射性废水将与水西院区其他来源的含 ^{131}I 放射性废水在衰变池内充分混合衰变至少180d后，经检测达标（总 $\alpha \leq 1 \text{Bq/L}$ ；总 $\beta \leq 10 \text{Bq/L}$ ；I-131放射性活度 $\leq 10 \text{Bq/L}$ ）并取得审管部门认可后排入水西院区污水处理站处理，经医院总排口排入市政污水管网，最终经市政管网排入咸阳路污水处理厂处理。

事故工况（非正常工况）下，职业工作人员淋洗产生少量含 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{90}Y 核素的放射性废水与其他来源废水混合后，自然衰变至少180d，经检测达标（总 $\alpha \leq 1 \text{Bq/L}$ ；总 $\beta \leq 10 \text{Bq/L}$ ；I-131放射性活度 $\leq 10 \text{Bq/L}$ ）并取得审管部门认可后排入水西院区污水处理站处理，经医院总排口排入市政污水管网，最终经市政管网排入咸阳路污水处理厂处理。

根据已获批复的《天津市第一中心医院新址新建核医学科项目环境影响报告表》，衰变池内废水含有的核素以 ^{131}I 为主，如将衰变池视为点源，其内废水对衰变池上方地面的周围剂量当量率贡献值仅为 $7.62 \times 10^{-11} \mu\text{Sv/h}$ ；该处公众年受照的最大时间设为2000h，居留因子取1/16，则公众人员所受年附加有效剂量最大为 $9.525 \times 10^{-12} \text{mSv/a}$ ，远低于 0.1mSv/a 年管理剂量约束值。

核医学科（包括留观病房）产生的放射性固体废物暂存于核医学楼三层废物间铅废

物桶内；DSA手术室1西侧库房腾空，开辟为放射性废物间，其内新增两只50L的铅废物桶，专门暂存本项目在放射科产生的放射性固体废物。

暂存期满（按30天）并经便携式 α 、 β 表面污染监测仪检测达到清洁解控水平后（ β 表面污染降至 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 以下），作为医疗废物由专人转移出废物间，最终送交有资质的单位处理。

综上所述，本项目产生的放射性固体废物或废水均能得到良好的处理，其对环境的辐射影响很低。

事故影响分析

2.1 事故风险识别

- 1) 核素药物被盗、丢失，产生严重的环境污染事故。
- 2) 核素药物分装过程中，于操作人员违反操作规程或误操作引起的意外泄露，造成台面、地面辐射污染及额外附加照射。
- 3) ^{90}Y 核素药物分装完毕之后，在转运途中发生意外泄露，造成职业工作人员或公众受到额外附加照射。
- 4) 工作人员未按要求穿戴个人防护用品等，造成额外附加照射剂量。

2.2 事故风险预防措施

为防止意外事故的发生，要采取如下措施，把事故风险降至最低。

- 1) 医院安保人员应严格按照相关制度要求，做好核素药物的安全保卫工作；辐射工作人员须落实岗位职责，按照规程进行操作。
- 2) 如因分装操作不慎，有少量的液态放射性药品遗洒。发生这种事故应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。然后用备用的塑料袋装擦试过程中产生的污染物品，用吸水纸巾从污染区的边沿向中心擦拭，并用表面污染监测仪测量污染区，直到该污染区 β 表面污染水平满足要求为止。
- 3) ^{90}Y 核素药物转运前，须仔细检查V型瓶严密性，转运活动应不徐不疾，力求平稳。
- 4) DSA手术室1的介入注射活动结束以后，利用便携式X- γ 剂量率仪和便携式 α 、 β 表面污染监测仪对手术室1的墙壁、地板、手术位等处进行巡测，一旦发现放射性污染迹象，用吸水纸巾从可疑污染区的边沿向中心擦拭，并用表面污染监测仪测量污染区，直到该污染区 β 表面污染水平满足要求为止。

5) 药物分装或转运过程中, 一旦发生泄露事故, 须立即封锁事故现场, 启动《辐射事故应急预案》, 依照该应急预案规定的流程处理辐射事故, 并及时上报天津市卫生健康委员会等部门。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

天津市第一中心医院于2023调整了辐射安全与环境保护工作领导小组的人员构成，由院长担任组长，分管辐射安全与环境保护工作的副院长担任副组长，成员由预防保健处、医务处、保卫处等相关科室主要负责人和射线装置及放射性同位素使用临床科室负责人组成。辐射安全与环境保护工作领导小组职责如下：

- 1) 依法贯彻国家有关放射性同位素与射线装置安全和防护的法律法规，研究制定我院辐射安全与环境保护工作方案。
- 2) 全面领导落实我院的放射诊疗工作的质量保证、防护安全及监督管理工作，定期分析，针对薄弱环节，不断完善管理。
- 3) 充分保障辐射安全与环境保护所需经费、物资和设施的配备。
- 4) 负责突发放射性事件的应急处置的领导和组织，包括应急救治、环境监测、人员防护、信息上报等。

天津市第一中心医院目前设置的辐射安全与环境保护管理机构配置合理，职责明确，具有一定的管理能力。本项目开展后，依托现有辐射安全与环境保护管理机构，能够满足辐射安全管理要求。

辐射安全管理规章制度

天津市第一中心医院已制定了《辐射工作人员岗位职责》、《放射工作场所防护管理制度》、《放射源管理制度》《放射性核素安全操作及防护制度》、《放射性药品使用的管理制度》《辐射防护和安全保卫制度》、《受检者放射危害告知与防护制度》、《放射工作人员职业健康、培训及剂量监测管理制度》、《辐射监测仪表使用与校验管理制度》、《医学装备维修、保养管理制度》、《辐射场所自主监测方案》、《DSA 装置操作规程》等，这些制度涵盖了辐射防护安全保卫、医护人员岗位职责、核素或射线装置操作规程、放射工作人员学习培训、设备维护维修等多方面。此外，还制定有专门的《辐射事故应急预案》。

辐射检测

1) 个人剂量检测

本项目 8 名职业工作人员均佩戴个人剂量计，定期将个人剂量计送交有资质的单位进行检测，并建立个人剂量监测档案，个人剂量监测周期为 3 个月。当发现个人剂量监

测结果异常时，及时向辐射安全负责人报告，立即核实和调查，并将有关情况及时报告天津市生态环境局。

2) 工作场所检测

配备 1 台便携式 X- γ 辐射检测仪和 1 台便携式表面污染监测仪，对核医学楼三层有关房间和放射科 DSA 手术室 1 进行周围剂量当量率和 β 表面污染检测，检测频次为 1 次/1 例患者，检测记录上应有 2 人签字，1 人记录，1 人确认，检测记录存档备查。除此之外，每年定期委托有资质的单位进行工作场所环境检测，并出具年度检测报告。工作场所检测点位如表 12-1 所示。

表 12-1 本项目工作场所常规检测点位分布

序号	检测项目	检测点位	检测频次
1	周围剂量当量率	核医学楼三层放射性药物储源室、废物间、SPECT/CT 机房 2、四层留观病房、放射科 DSA 手术室 1 墙体、防护门、观察窗外侧 30cm 处；防护门门缝和管线洞口处；室内地板上方 30cm 处，距离顶板 30cm 处；DSA 控制室和 SPECT 控制室职业工作人员工位处；衰变池地面上方 30cm 处；	1 次/1 例患者
2	β 表面污染	核医学楼三层放射性药物储源室、废物间、SPECT/CT 机房 2、四层留观病房、放射科 DSA 手术室 1 室内墙体、地面、防护门和观察窗处；核素药物操作台、废物桶表面，负压通风橱表面。	1 次/1 例患者

3) 仪器检定

定期对 1 台便携式 X- γ 辐射检测仪和 1 台便携式表面污染监测仪进行检定，每年至少检定 1 次。

辐射事故应急

天津市第一中心医院制定了《辐射事故应急预案》，明确规定了如下内容：

1) 辐射事故应急处理组织机构与职责

天津市第一中心医院设置辐射事故应急处置工作小组，在辐射安全与环境保护工作领导小组和医务处应急办统一指挥下开展工作，主要人员包括医院院长、主管副院长、预防保健科、医务处、保卫处、设备物资处、核医学科、放射科、总务处等科室的主要负责人。

应急处置工作小组主要职责为：

- (1) 事故发生后立即组织有关部门和人员进行放射性事故应急处理；
- (2) 负责向卫生行政部门、公安部门、环保部门及时报告事故情况；
- (3) 负责放射性事故应急处理具体方案的研究确定和组织实施工作；

(4) 负责迅速安置受照人员就医，组织控制区内人员的撤离工作，并及时控制事故影响，防止事故的扩大蔓延。

(5) 协助上级行政部门进行事故调查。

2) 辐射事故应急救援原则

及时上报，封锁现场，组织疏散，科学施救、控制危险源、防止事故扩大。

3) 辐射事故应急处理流程

(1) 立即停止工作，切断电源，封锁现场，禁止无关人员进入；

(2) 当事人立即向科主任、预防保健处、保卫处、医政处、设备物资处报告；

(3) 医院应急处理领导小组立即向天津市卫生健康委、西青疾病预防控制中心、天津市疾病预防控制中心、天津市生态环境局报告，最迟不得超过二小时；

(4) 现场救援

制定调查处理计划：确定调查范围与对象，明确参与处理人员的职责、判断事故性质、放射性核素种类或射线种类及其辐射水平。

伤员分类：根据伤情、放射性污染和辐射照射情况对伤员进行初步分类，判定是否受到体外辐射照射（局部或全身），放射性体外污染和（或）体内污染。

伤员救护：对危重伤病员进行紧急救护，放射损伤人员送市卫生健康委指定的医疗机构进行救治。为避免继续受到辐射照射，应将伤员迅速撤离事故现场。

受污染伤员处理：对可能和已经受到放射性核素污染的伤员进行放射性污染检测，对受污染伤员进行去污处理，防止污染扩散。怀疑内污染的人员到专科医院进行促排和阻吸收治疗。

受照剂量估算：收集可供估算人员受照剂量的生物样品和物品，对可能受到照射的人员进行辐射剂量估算。

卫生应急人员防护：卫生应急人员要做好个体防护，尽量减少受照射剂量。

(5) 配合行政部门查明原因，对设备故障进行检修；

(6) 当发生辐射事件的射线装置修复后，必须经有资质的职业卫生技术服务机构进行检测，确认合格后方可进入事故场所，继续工作。相关部门认真分析事故原因，总结经验，并采取妥善措施，防止类似事故发生。

与原国家环境保护总局令第 31 号第 18 号的对比情况

《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（原国家环境保护总局令第 31 号发布，生态环境部令第 20 号修订，自 2021 年 1 月 4 日起施行）第十六条提出了使用放射性同位素（包括放射源）、射线装置的单位申请领取许可证，应当具备的八个条件；

2011 年发布的《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环境保护部令第 18 号，自 2011 年 5 月 1 日起施行）中对使用放射性同位素（包括放射源）和射线装置的单位也提出了相应的管理要求。

下面分别就原国家环境保护总局令第 31 号和原环境保护部令第 18 号的要求与天津市第一中心医院达到的条件进行对比，并给出是否符合要求的结论，如表 12-2 和 12-3 所示。

表 12-2 原国家环境保护总局令第 31 号及天津市第一中心医院达到条件对照表

法规要求	天津市第一中心医院达到的条件	结论	
《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（原国家环境保护总局令第 31 号发布，生态环境部令第 20 号修订）	（一）使用 I 类、II 类、III 类放射源，使用 I 类、II 类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。	调整成立了辐射安全与环境保护工作领导小组的人员构成，由院长担任组长，全面领导医院的放射诊疗安全防护和质量保证工作。	符合要求
	（二）从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。	职业工作人员均进行了辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训，经考核合格后上岗。	符合要求
	（三）使用放射性同位素的单位应当有满足辐射防护和实体保卫要求的放射源暂存库或设备。	本项目的放射性核素药物暂存于核医学科储源室，已采取行之有效的辐射屏蔽措施，详见“表 10 辐射安全与防护”一章。	符合要求
	（四）放射性同位素与射线装置使用场所所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	核医学科工作场所实施分区管理。控制区入口处设置电离辐射警告标志；监督区入口处张贴监督区标牌。SPECT/CT 机房设置工作状态指示灯、监控、对讲设备。 DSA 手术室 1 同样张贴电离辐射标识及中文警示说明。并与防护门上方安装工作状态指示灯，门灯联锁。 DSA 手术床旁及控制室操作台均设置设有紧急停机开关和固定式辐射监测报警仪。DSA 手术室和控制室之间设置对讲装置。	符合要求
	（五）配备与辐射类型和辐射水平相适	每名职业工作人员都配有个人剂	符合

	应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。	量计；配备1台便携式X-γ剂量率仪、1台便携式α、β表面污染监测仪；以及充足数量的铅橡胶衣、铅玻璃眼镜等防护用品。	要求
	(六)有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。	医院制定了《辐射工作人员岗位职责》、《放射工作场所防护管理制度》、《放射源管理制度》《放射性核素安全操作及防护制度》、《放射性药品使用的管理制度》《辐射防护和安全保卫制度》、《受检者放射危害告知与防护制度》、《放射工作人员职业健康、培训及剂量监测管理制度》、《辐射监测仪表使用与校验管理制度》、《医学装备维修、保养管理制度》、《辐射场所自主监测方案》、《DSA装置操作规程》等。	符合要求
	(七)有完善的辐射事故应急措施。	制定了专门的《辐射事故应急预案》。	符合要求
	(八)产生放射性废气、废液、固体废物的，还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案。	<p>本项目核医学科产生的放射性固体废物暂存于暂存于核医学楼三层废物间（或 DSA 手术室 1 西侧放废间）的铅废物桶内，暂存 30 天，期满后经便携式 α、β 表面污染监测仪检测达到清洁解控水平后（β 表面污染降至 0.8Bq/cm² 以下），作为医疗废物由专人转移出废物间，最终送交有资质的单位处理。</p> <p>本项目正常工况下，每位留观患者产生含⁹⁰Y核素的放射性废水 0.2m³，本项目的年总排量为24m³，含⁹⁰Y核素的放射性废水在衰变池内与其他来源废水充分混合，自然衰变至少180d，经检测达标（总α ≤ 1Bq/L；总β ≤ 10Bq/L；I-131放射性活度 ≤ 10Bq/L）并取得审管部门认可后排入水西院区污水处理站处理，经医院总排口排入市政污水管网，最终经市政管网排入咸阳路污水处理厂处理。</p> <p>核素药物分装操作不慎，导致职业工作人员手部或身体受到放射性污染。职业工作人员在质控分</p>	符合要求

		<p>装室浴室淋洗,将产生少量放射性废水,少量的放射性废水通过专用管道进入核医学楼外北侧地下放射性废水衰变池,与其他来源废水充分混合,自然衰变至少180d,经检测达标(总$\alpha \leq 1\text{Bq/L}$;总$\beta \leq 10\text{Bq/L}$;I-131放射性活度$\leq 10\text{Bq/L}$)并取得审管部门认可后排入水西院区污水处理站处理,经医院总排口排入市政污水管网,最终经市政管网排入咸阳路污水处理厂处理。</p> <p>DSA和SPECT/CT装置在出束过程中,X射线与空气作用会产生极微量的臭氧和氮氧化物,经机房通风系统收集后,排到大气环境中。</p>	
--	--	--	--

表 12-3 原环境保护部令第 18 号要求及天津市第一中心医院达到条件对照表

法规要求		天津市第一中心医院达到的条件	结论
《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》 (原环境保护部令第 18 号)	<p>第五条生产、销售、使用、存贮放射性同位素与射线装置的场所,应当按照国家有关规定设置明显的放射性标志,其入口处应当按照国家有关安全和防护标准的要求,设置安全和防护设施以及必要的防护安全联锁、报警装置或者工作信号。</p> <p>射线装置的生产调试和使用场所,应当具有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。</p>	<p>核医学科工作场所实施分区管理。控制区入口处设置电离辐射警告标志;监督区入口处张贴监督区标牌。SPECT/CT 机房设置工作状态指示灯、监控、对讲设备。</p> <p>DSA 手术室 1 同样张贴电离辐射标识及中文警示说明。并与防护门上方安装工作状态指示灯,门灯联锁。</p> <p>DSA 手术床旁及控制室操作台均设置设有紧急停机开关和固定式辐射监测报警仪。DSA 手术室和控制室之间设置对讲装置。</p>	符合要求
	<p>第九条生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位,应当按照国家环境监测规范,对相关场所进行辐射监测,并对监测数据的真实性、可靠性负责;不具备自行监测能力的,可以委托经省级人民政府环境保护主管部门认定的环境监测机构进行监测。</p>	<p>本项目的辐射检测包括个人剂量检测、工作场所环境检测和仪器检定。其中,对于工作场所环境,每月自行检测1次,检测记录存档备查。并且每年定期委托有资质的单位进行工作场所环境检测,出具年度检测报告。</p>	符合要求
	<p>第十二条生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位,应当对本单位的</p>	<p>依规定对核医学科及 DSA 手术室 1 等放射性工作场所的安全和防</p>	符合要求

	放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。	护状况进行年度评估，编写年度评估报告，于每年 1 月 31 日前报天津市生态环境局。	
	第十七条生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照环境保护部审定的辐射安全培训和考试大纲，对直接从事生产、销售、使用活动的操作人员以及辐射防护负责人进行辐射安全培训，并进行考核；考核不合格的，不得上岗。	职业工作人员均进行了辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训，经考核合格后上岗。	符合要求
	第二十三条生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照法律、行政法规以及国家环境保护和职业卫生标准，对本单位的辐射工作人员进行个人剂量监测；发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。	对本项目职业工作人员进行个人剂量监测，并建立个人剂量监测档案，终生保存。	符合要求

从以上对比可知：天津市第一中心医院符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（原国家环境保护总局令第 31 号发布，生态环境部令第 20 号修订，自 2021 年 1 月 4 日起施行）第十六条要求应当具备的八个条件，和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环境保护部令第 18 号，自 2011 年 5 月 1 日起施行）第五条、第九条、第十二条、第十七条、第二十三条要求应当具备的条件，具备使用钷-90 树脂微球治疗的技术能力。

与《乙级非密封放射性物质操作场所监督检查技术程序》对照情况

本项目与《环境保护部辐射安全与防护监督检查技术程序》中对乙级非密封源工作场所的相关要求对照结果见表 12-4。

表 12-4 与《辐射安全与防护监督检查技术程序》的对照检查情况

辐射安全防护设施与运行

序号	检查项目	检查结果	备注
1*	A 场所分区布局是否合理及有无相应措施或标识	分区合理，且有相应措施	
2*	入口处有电离辐射警示标识	有	
3*	卫生通过间	有	

4*		人员出口污染监测仪	有	为本项目提供了便携式X-γ 辐射检测仪和便携式表面污染监测仪，可以监测人员出口处的污染水平。
5*		独立的放射性通风设施	有	
6*		工作箱（箱内保持负压、过滤）	核素药物分装所用通风橱为负压	
7*		屏蔽防护设施	有	
8*		防过热或超压保护（有易燃易爆和高温高压操作时）	—	本项目不涉及
9		易去污的工作台面和防污染覆盖材料	有	
10		负压吸液器械（吸收液体时）	有	
11*		移动放射性液体时容器不易破裂或不易破裂的套	有	
12*		机械手（强外照射操作时）	—	本项目不涉及
13		火灾报警仪	—	本项目不涉及
14*		放射性下水系统或暂存设施	有	
15		放射性下水系统标识	有	
16*		放射性同位素暂存库或设施	有	
17*		放射性固体废物暂存设施	有	
18*		安保设施	有	
19		防火设备、应急出口	有	
20		固定式辐射监测报警仪	有	
21*	B 监测设备	固定式或移动式气溶胶取样监测设备	—	本项目不涉及
22*		便携式辐射监测仪表（污染、辐射水平等）	有	且数量足够
23*		个人剂量计	有	
24		个人剂量报警仪	有	
25*		工作服、防护手套、口罩等个人防护用品	有	
26*	C 应急物资	去污用品和试剂	有	
27		应急处理工具（如剑式机械手等）	—	本项目不涉及
28		必备的警示标志和标识线	有	
29		灭火器材	有	
30*		放射性同位素应急包装容器	有	
注：加*的项目是重点项。				

管理制度			
序号	检查项目	检查结果	备注
1	辐射安全管理规定	有	除物料平衡管理规定与本项 目无关外，其他管理 制度均已制 定。
2	非密封放射性物质的管理规定（购买、领用、保管盘存和运输）	有	
3	物料平衡管理规定	不涉及	
4	场所分区管理制度（含人流、物流路线图）	有	
5	操作规程（操作、贮存及包装等）	有	
6	去污操作规程	有	
7	保安管理规定	有	
8	辐射安全和防护设施的维护与维修制度（包括机构人员、维护维修内容与频度、重大问题管理措施、重新运行审批及别等）	有	
9	监测方案	有	
10	监测仪表使用与校验管理制度	有	
11	辐射工作人员培训/再培训管理制度	有	
12	辐射工作人员个人剂量管理制度	有	
13	辐射事故/事件应急预案	有	
14	放射性“三废”管理规定	有	

核技术利用建设项目环保手续办理流程

根据相关法律法规及行政主管部门要求，核技术利用建设项目环保手续包括环境影响评价、辐射安全许可证办理及竣工环保验收三个部分，具体流程如图 12-1 所示。天津市第一中心医院在履行本项目环评手续，取得《辐射安全许可证》后方可开展辐射工作。本项目竣工后，天津市第一中心医院还应按照《建设项目环境保护管理条例》要求，对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收检测报告。

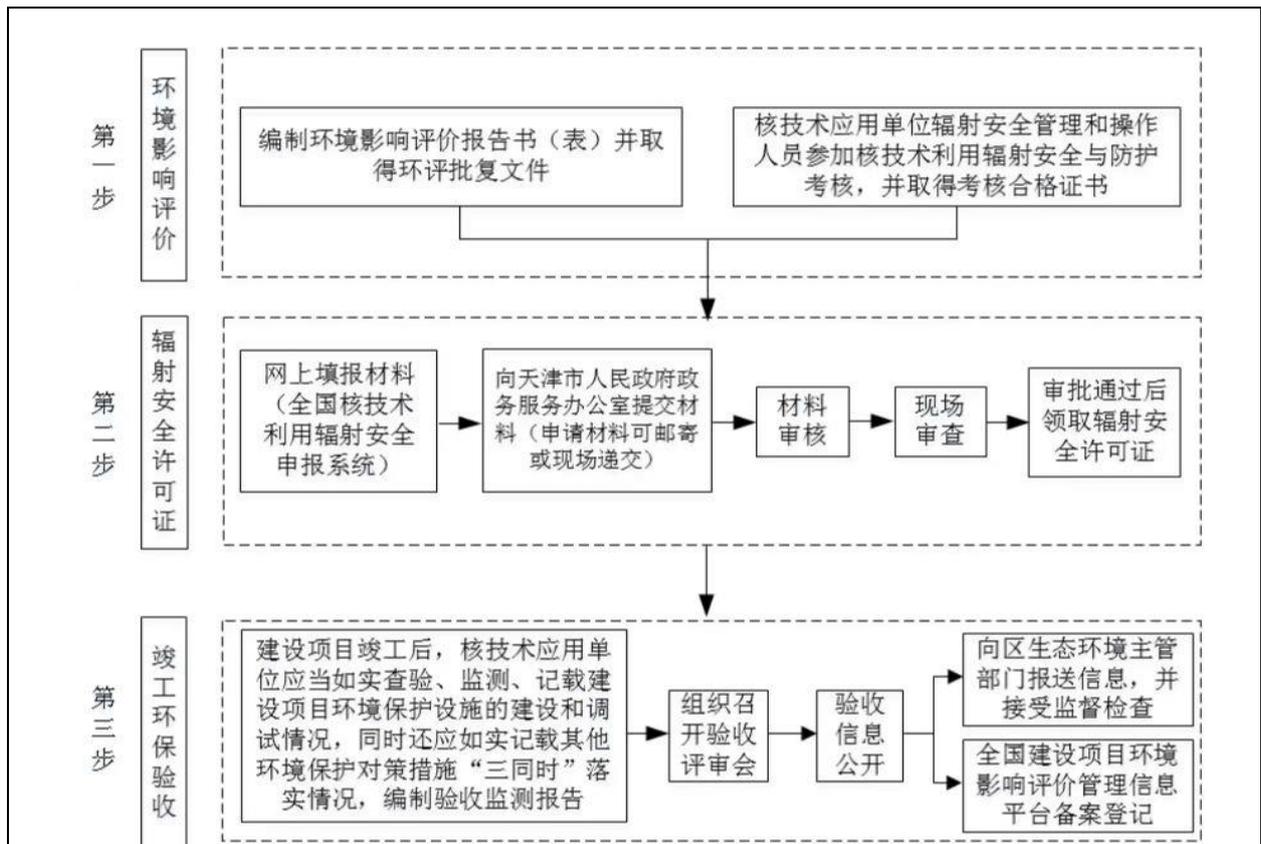


图 12-1 核技术利用建设项目环保手续办理流程

表 13 结论与建议

结论

1 实践的正当性

天津市第一中心医院在放射性治疗过程中，对放射性核素的使用将严格按照国家相关辐射防护要求采取相应防护措施，建立对应规章制度和辐射事故应急预案。在正确管理、使用放射性核素的情况下，可将本项目辐射影响及风险降至最低水平。

^{90}Y 树脂微球选择性内放射治疗术能够控制肝部恶性肿瘤进展，显著延长患者生存时间。本项目可显著提升天津市第一中心医院的肿瘤诊断及放射治疗能力，为天津市乃至华北地区的众多患者及家属提供更优质、更可靠的医疗保障服务。

本项目运行会对医务人员、周边公众带来一定辐射影响，但只要配备充足的监测仪器、防护用品，并采取适当的辐射防护措施，可将本项目对外的辐射影响控制在可接受水平。

本项目带来的人民身体健康、社会经济发展等正面效益远大于低水平辐射影响的负面影响，本项目符合《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令 449 号发布，国务院令 709 号修订，自 2019 年 3 月 2 日起施行）的规定和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“实践的正当性”原则。

2 项目概况

本项目设置在天津市第一中心医院水西院区核医学楼三层、四层和门急诊住院综合楼南楼负一层放射科 DSA 手术室 1，二者均属于乙级非密封源工作场所。

每个工作场所均涉及 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{90}Y 两种放射性核素，操作方式为很简单的操作。单一工作场所两种放射性核素日等效最大操作量分别为 $1.85 \times 10^5 \text{Bq}$ 和 $3 \times 10^7 \text{Bq}$ 。详见“表 3 非密封放射性物质”一节。

3 选址合理性和产业政策符合性

天津市第一中心医院水西院区位于天津市西青区西营门街保山西道 2 号，中心坐标北纬 $39^\circ 6' 23''$ ，东经 $117^\circ 7' 23''$ 。

本项目所在的核医学楼三层和放射科 DSA 手术室 1 总占地 202.6m^2 。评价范围内环境保护目标受本项目辐射环境影响处于可接受水平。本项目选址是合理的，符合 GB18871-2002、HJ1188-2021、GBZ120-2020 等标准规范的要求。

根据国家发改委发布的《产业结构调整指导目录（2019 年本）》，本项目属于第一类

鼓励类第三十七项“卫生健康”中第5条“医疗卫生服务设施建设”。因此，本项目符合当前的产业政策要求。

4 主要污染因子及防治措施

本项目的污染因子包括： ^{99m}Tc 衰变产生的 γ 射线、 ^{90}Y 衰变产生的 β 射线和韧致辐射、核素操作不慎（如分装遗洒）产生的 β 表面污染、固体放射性废物、放射性废水、SPECT/CT和DSA等射线装置产生的X射线，X射线与空气作用会产生极微量的臭氧和氮氧化物。

本项目核医学楼三层放射性药物储源室、废物间、SPECT/CT机房2、四层留观病房以及放射科DSA手术室1等相关房间均采取了良好的实体屏蔽措施。设置了放射性废水衰变系统和独立的废气排风系统。并配备了辐射警告标识。DSA手术室1同时安装工作状态指示灯（门灯连锁）以及DSA装置紧急停机按钮。

同时，本项目配置了充足的个人剂量计以及便携式X- γ 剂量率仪和便携式 α 、 β 表面污染监测仪等辐射监测仪器，为职业工作人员和患者准备了充足的个人防护用品。

5 环境影响分析与评价

从表11的计算结果可知，各工作场所周围剂量当量率均低于限值 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

受本项目核素影响，职业工作人员身体、眼晶体和手部年有效附加剂量叠加值分别满足低于 2mSv 、 15mSv 和 50mSv 管理目标值要求。

公众人员所受的年有效附加剂量满足低于 0.1mSv 管理目标值要求。

6 辐射环境管理

天津市第一中心医院调整成立了以院长为组长的辐射安全与环境保护工作领导小组，全面领导医院的辐射安全防护、环境保护、应急处置等工作。

天津市第一中心医院制定了一系列辐射安全管理规章制度和应急预案，主要包括《辐射工作人员岗位职责》、《放射工作场所防护管理制度》、《放射源管理制度》、《放射性核素安全操作及防护制度》、《放射性药品使用的管理制度》、《辐射防护和安全保卫制度》、《受检者放射危害告知与防护制度》、《放射工作人员职业健康、培训及剂量监测管理制度》、《辐射监测仪表使用与校验管理制度》、《医学装备维修、保养管理制度》、《辐射场所自主监测方案》、《DSA装置操作规程》等制度和专门的《辐射事故应急预案》。这些制度和应急预案有较强的可操作性，使辐射环境管理和安全防护工作有据可循。

7 环保可行性结论

天津市第一中心医院水西院区扩建使用钷-90 树脂微球治疗项目符合《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第 449 号发布，国务院令第 709 号修订，自 2019 年 3 月 2 日起施行）的规定和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“实践的正当性”原则。本项目在采取相应的辐射防护措施并加强管理后，对环境的影响均满足国家相关法律、法规和标准的要求，不会给所在区域带来环境压力。

综上所述，天津市第一中心医院具备从事辐射活动的技术能力，在严格落实各项防护措施后，该项目运行时对周围环境产生的影响符合辐射环境保护的要求，故从辐射环境保护角度论证，本项目是可行的。

建议和承诺

天津市第一中心医院承诺把本环评报告中的屏蔽及安全措施落到实处，确保本项目对环境及人员的影响，在法规标准允许的范围之内。

1) 项目运行时，严格按照已制定的各项环境保护和辐射防护措施执行，尽可能降低项目运行过程中对环境造成的影响。

2) 严格执行项目规定的各项安全和管理制度，确保项目的安全稳定运行。

3) 对现有《辐射安全许可证》进行更新后，再开展本项目的辐射工作。

4) 本项目竣工并试运行后，天津市第一中心医院按照《建设项目环境保护管理条例》要求，对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：

公章

经办人年月日

审批意见：

公章

经办人年月日

附图

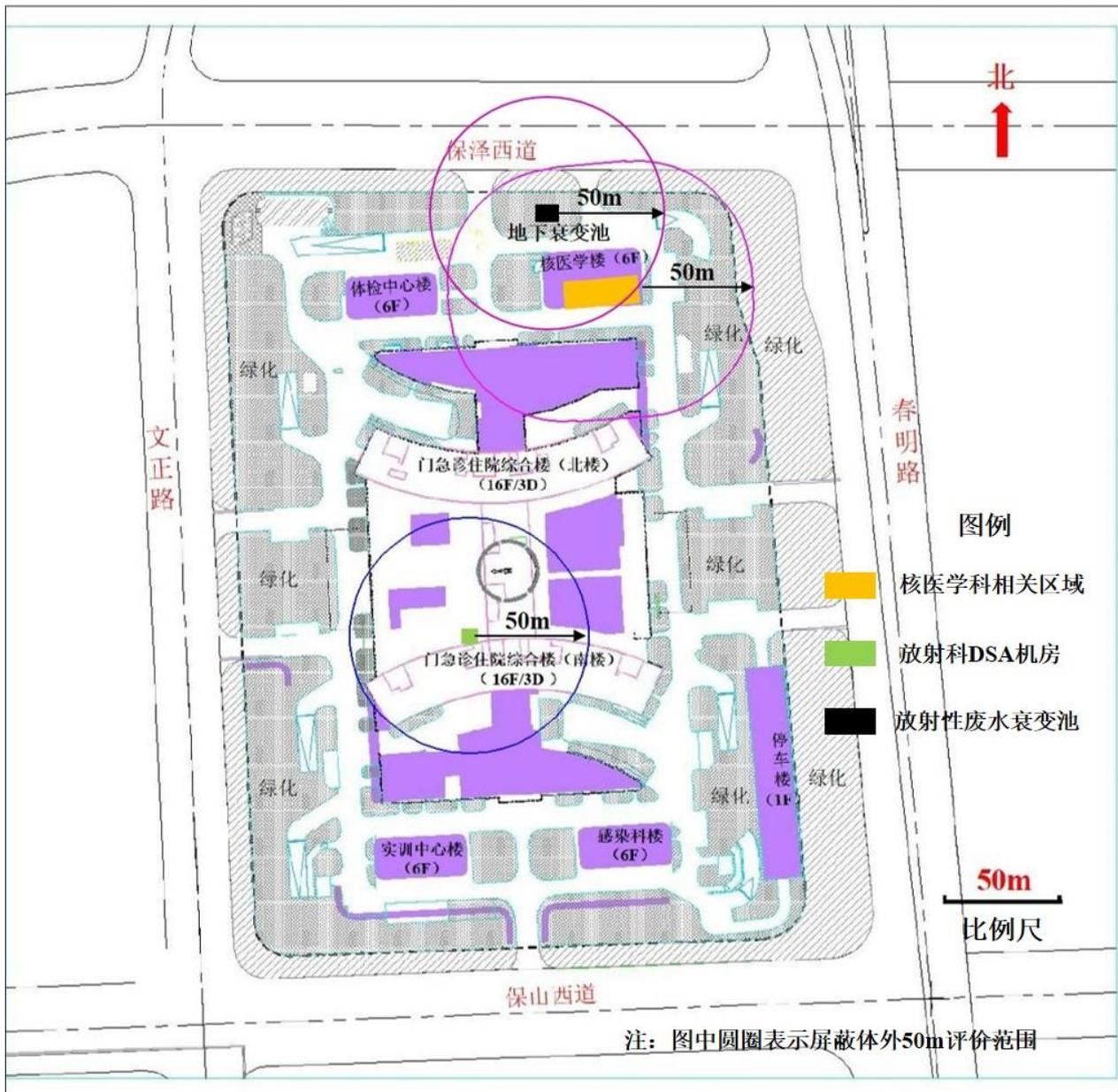
- 附图一 天津市第一中心医院地理位置图
- 附图二 天津市第一中心医院水西院区周边关系图
- 附图三 天津市第一中心医院水西院区总平面图
- 附图四 核医学楼三层平面布局图
- 附图五 核医学楼四层平面布局图
- 附图六 核医学楼二层平面布局图
- 附图七 放射科 DSA 手术室 1 平面布局图
- 附图八 放射科 DSA 手术室 1 上层平面图
- 附图九 放射科 DSA 手术室 1 下层平面图
- 附图十 本项目核医学楼三层人流、物流路线图
- 附图十一 本项目核医学楼三层通风示意图
- 附图十二 本项目核医学楼四层通风示意图



附图一天津市第一中心医院水西院区地理位置图



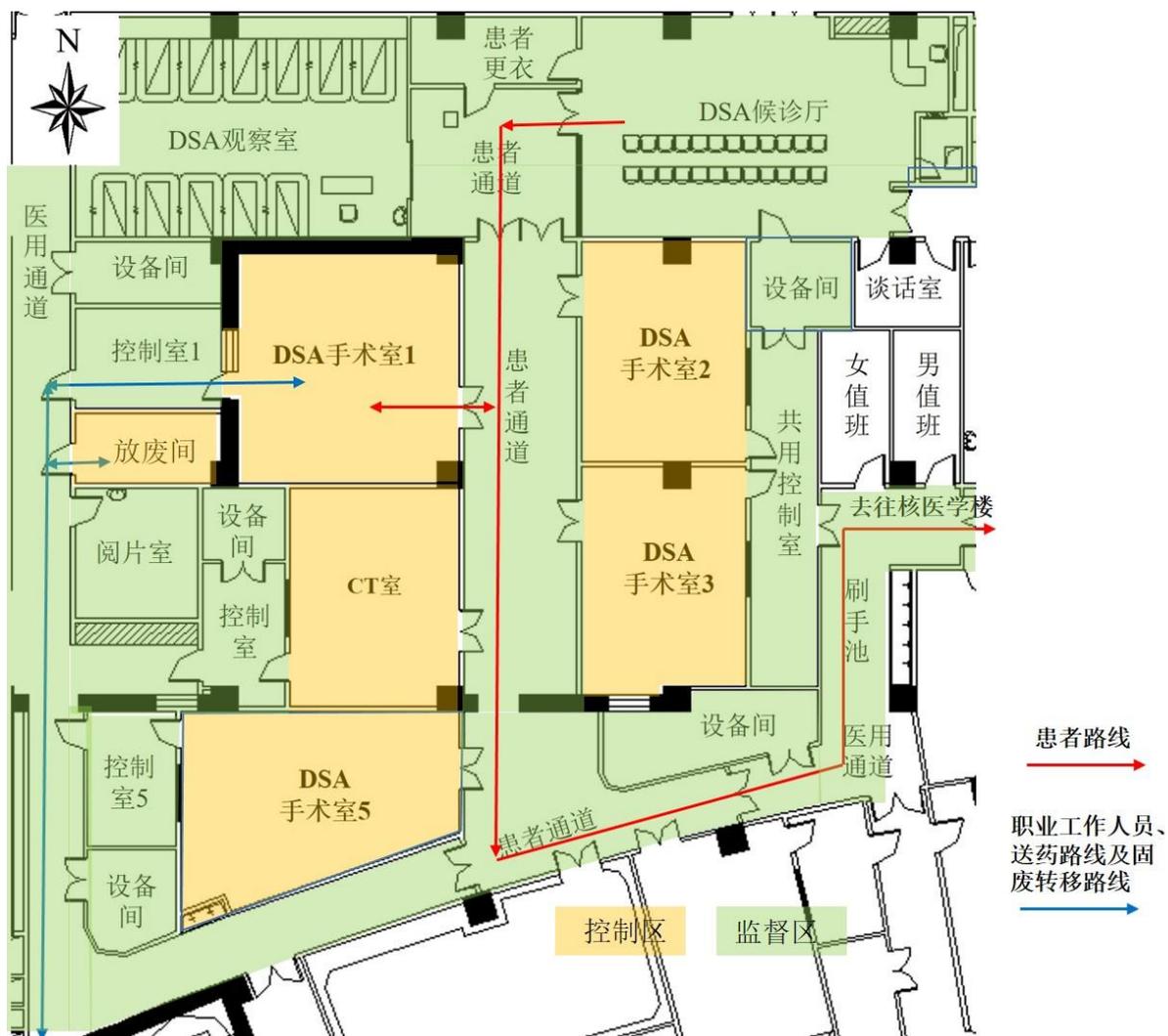
附图二天津市第一中心医院水西院区周边关系图



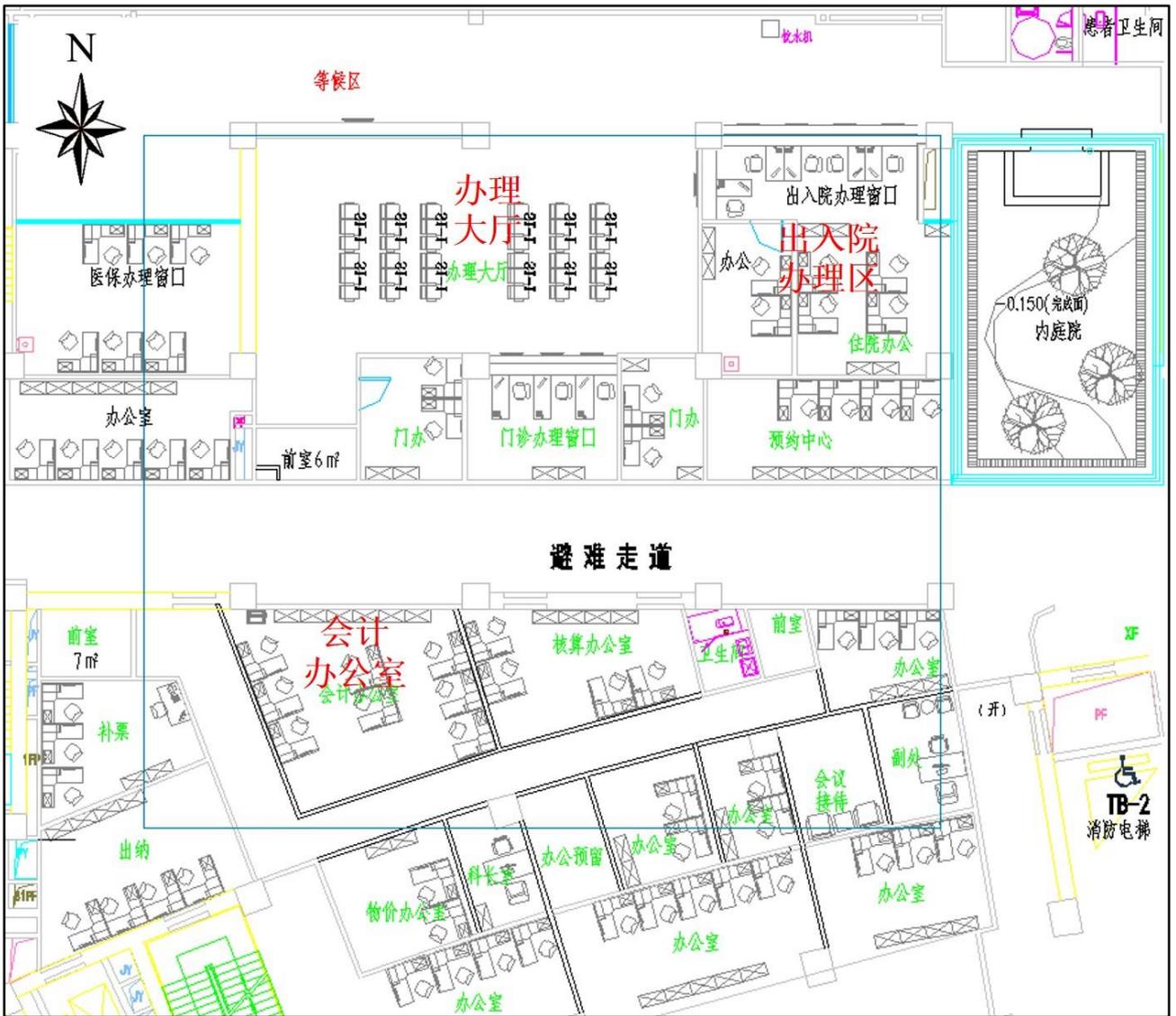
附图三天津市第一中心医院水西院区总平面图



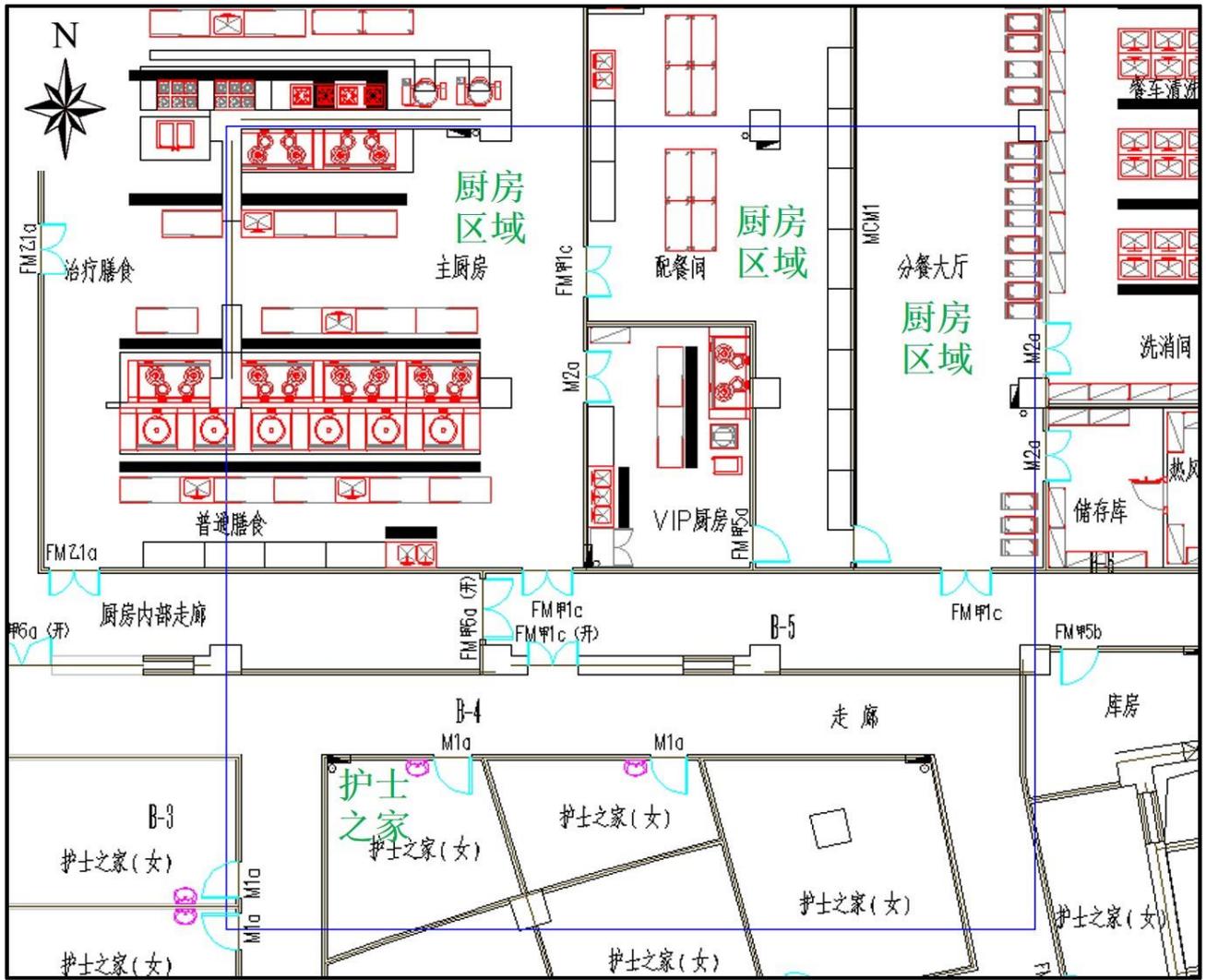
附图四 核医学楼三层平面布局图



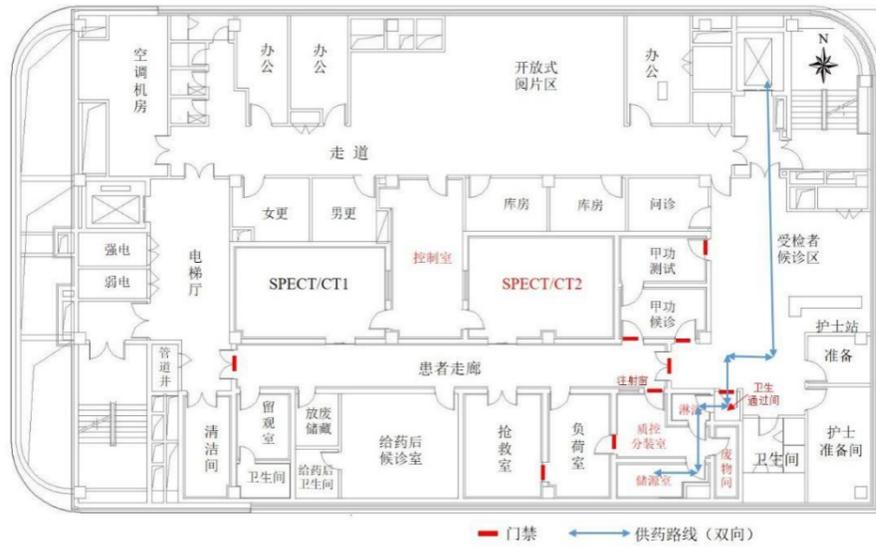
附图七 放射科 DSA 手术室 1 平面布局图



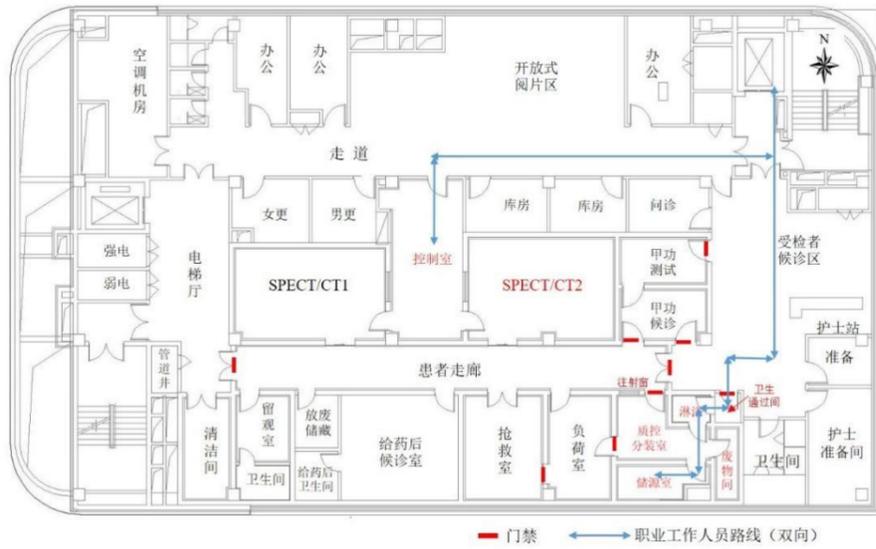
附图八 放射科 DSA 手术室 1 上层平面图



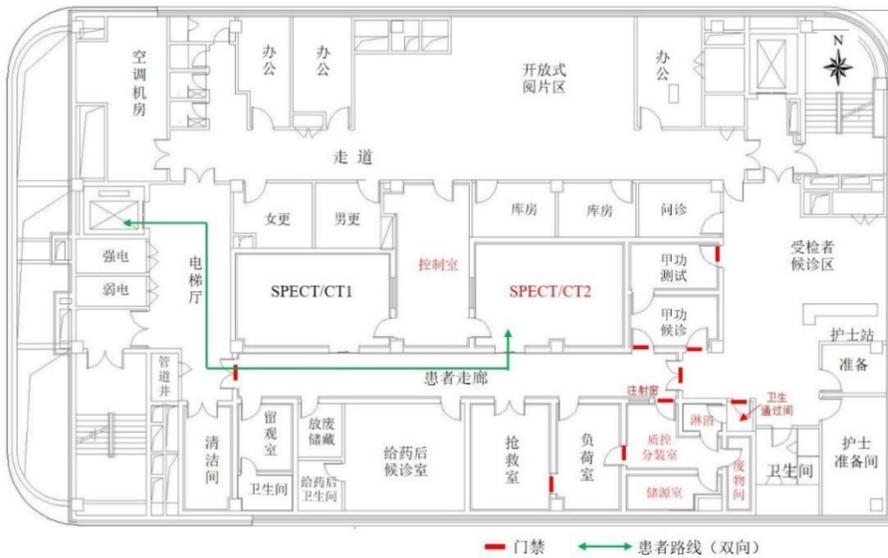
附图九 放射科 DSA 手术室 1 下层平面图



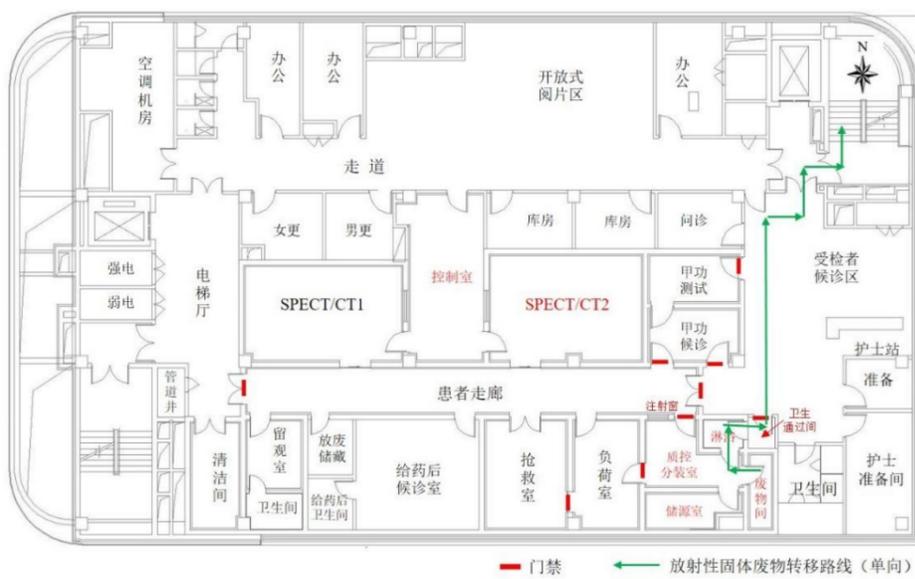
(a) 供药路径



(b) 职业工作人员路径

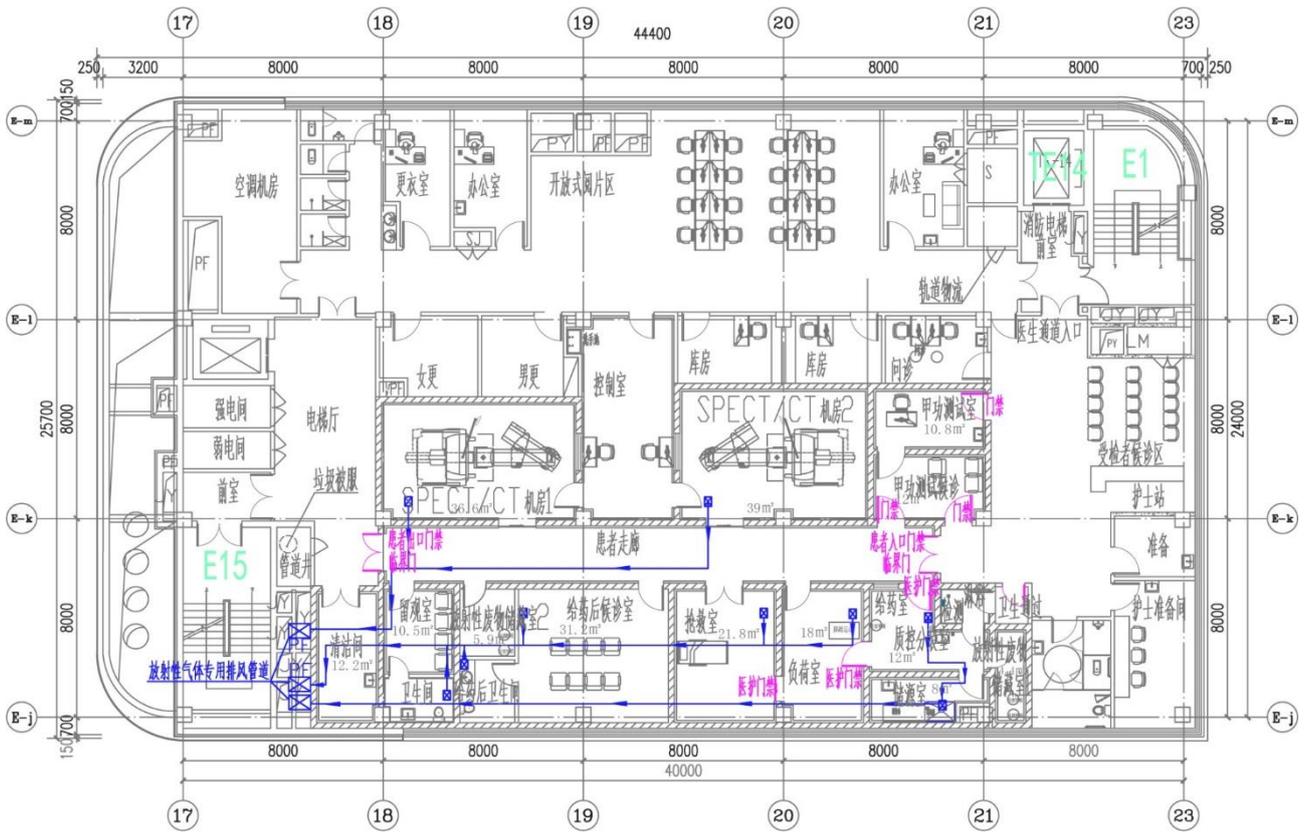


(c) 患者路径

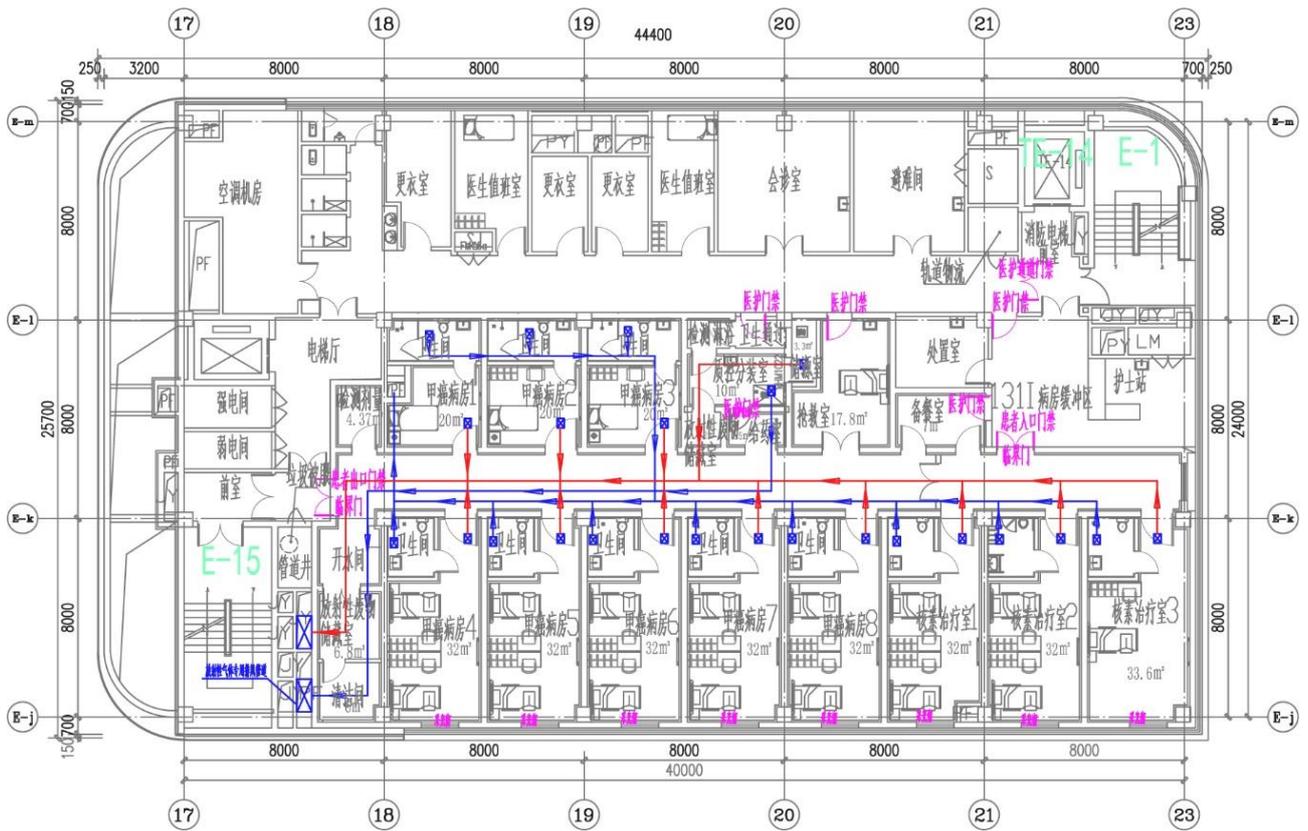


(d) 放射性固体废物转移路径

附图十 本项目核医学楼三层人流、物流路线图



附图十一 本项目核医学楼三层通风示意图



注：红色线条代表各房间的通风走向；蓝色线条代表各卫生间的通风走向

附图十二 本项目核医学楼四层通风示意图

附件

附件一 环境影响评价委托书

附件二 建设单位承诺书

附件三 环评单位承诺书

附件四 水西院区新址扩建项目环评文件的批复

附件五 辐射安全许可证

附件六 辐射环境检测报告

附件七 水西院区放射科 DSA 项目竣工环保验收报告

附件八 水西院区新建核医学科项目环评批复

附件九 水西院区放射科 DSA 的环评批复

附件十 本项目环境影响报告表技术评估会会议纪要

以下略去