

核技术利用项目

顺义院区核医学科门诊改扩建项目
环境影响报告表

首都医科大学附属北京友谊医院

2026年5月

环境保护部监制

目录

表 1	项目基本情况	1
表 2	放射源	19
表 3	非密封放射性物质	20
表 4	射线装置	21
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）	22
表 6	评价依据	23
表 7	保护目标与评价标准	26
表 8	环境质量和辐射现状	36
表 9	项目工程分析与源项	40
表 10	辐射安全与防护	45
表 11	环境影响分析	69
表 12	辐射安全管理	84
表 13	结论与建议	89
表 14	审批	92

表 1 项目基本情况

建设项目名称		顺义院区核医学科门诊改扩建项目			
建设单位		首都医科大学附属北京友谊医院			
法人代表	张澍田	联系人	张明远	联系电话	13717615660
注册地址		北京市西城区永安路 95 号			
项目建设地点		北京市顺义区友谊南街 1 号院 1 号楼地下二层核医学科门诊			
立项审批部门		无		批准文号	无
建设项目总投资（万元）		2000	项目环保投资（万元）	200	投资比例（环保投资/总投资） 10%
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 ） 1000
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 checked="" 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 type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
	其他	/			
1.1 单位概况					
<p>首都医科大学附属北京友谊医院（以下简称“北京友谊医院”或“医院”）始建于 1952 年，原名为北京苏联红十字医院，是新中国成立后，由党和政府建立的第一所大型综合性医院。1970 年，周总理亲自命名为“北京友谊医院”。</p> <p>经过 70 余年的发展，首都医科大学附属北京友谊医院已发展为集医疗、教学、科研、预防为一体的北京市属三级甲等综合医院，是国家消化系统疾病临床医学研究中心和消化健康全国重点实验室依托单位，国家中西医结合“旗舰”医院试点单位，首都医科大学第二临床医学院。进入新时代，医院顺应首都发展变化，立足北京“四个中心”功能定位，落实北京城市总体规划，服务非</p>					

首都功能疏解，形成了西城院区、西城院区、顺义院区和城市副中心行政办公区门诊部“三区一部”新发展格局，为医院高质量发展奠定基础。2023年12月，西城院区二期项目开诊运行。2024年4月26日，顺义院区开诊，成为顺义区首家三甲综合医院。

医院现有职工 5100 余人，其中中国工程院院士 1 人，北京学者 3 人，研究生导师 257 人，高级专业技术人员 825 人，国家级和北京市级专业委员会主委、副主委及核心期刊主编、副主编 95 人。目前三院区编制床位 3306 张。2023 年年门诊总量 336 万人次，出院患者 9.4 万人次。医院是北京市首批基本医疗保险 A 类定点医疗机构，已开通门诊、住院异地医保持卡结算服务，也是全国最早承担干部保健及外宾医疗任务的医院之一。

医院拥有北京临床医学研究所、北京热带医学研究所、北京市中西医结合研究所、北京市临床药学研究所和北京市卫生局泌尿外科研究所等 5 个研究机构，拥有国家临床重点专科 10 个，博士点 27 个，硕士点 32 个，国家住院医师规范化培训专业基地 17 个，国家专科医师规范化培训试点基地 4 个，全国重点实验室 1 个，北京市重点实验室 4 个，北京市临床质控中心 4 个，北京市转化中心 1 个，还拥有支撑临床研究发展的国家消化系统疾病临床医学研究中心、消化健康全国重点实验室、北京市首批示范研究型病房、北京临床研究质促中心、ISO9001 认证生物样本库、多中心互认医学伦理平台等。医院与海外及国内优秀医学院校长期保持学术交流合作，接待国内外专家学者和留学生短期交流及来院参观见习。

北京友谊医院为已取得《辐射安全许可证》单位。

1.2 核技术利用及辐射安全管理现状

1.2.1 核技术利用现状

北京友谊医院已取得了北京市生态环境局颁发的《辐射安全许可证》（京环辐证[B0353]），有效期至 2027 年 9 月 14 日），许可的种类和范围是：使用 V 类放射源，使用 II 类、III 类射线装置，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所。

北京友谊医院已许可射线装置使用情况见表 1-1。

表 1-1 医院已许可的射线装置情况

序号	名称	类别（类）	数量（台）	备注
----	----	-------	-------	----

1	CT 机	III	27	使用
2	PET-CT	III	2	使用
3	SPECT-CT	III	5	使用
4	放射治疗 CT 模拟定位机	III	2	使用
5	骨密度仪	III	11	使用
6	普通 X 射线机	III	33	使用
7	乳腺 X 射线机	III	4	使用
8	数字减影血管造影装置	II	15	使用
9	牙科 CT 机	III	6	使用
10	牙科 X 射线机	III	10	使用
11	医用加速器	II	2	使用
12	移动 X 射线机	III	41	使用
13	移动 C 形臂 X 射线机	III	7	使用
14	碎石机	III	1	使用
合计			166	/

医院已许可的非密封放射性同位素使用情况见表 1-2。

表 1-2 医院已许可非密封放射性同位素使用情况

序号	场所名称	场所等级	核素	活动种类	用途	日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	备注
1	顺义院区核医学科门诊	乙级	F-18	使用	诊断	7.4E+9	7.4E+6	1.85E+12	/
2			Ga-68	使用	诊断	3.7E+8	3.7E+6	1.85E+10	
3			I-123	使用	诊断	1.48E+9	1.48E+7	7.40E+10	
4			I-131	使用	诊断	3.33E+6	3.33E+5	3.33E+8	
5			I-131	使用	诊断	9.25E+8	9.25E+7	9.25E+10	
6			Tc-99m	使用	诊断	1.48E+9	1.48E+8	7.4E+10	
7			Tc-99m	使用	诊断	3.7E+10	3.7E+7	9.25E+12	
8	顺义院区核医学治疗区(含病房)	乙级	I-131	使用	治疗	2.66E+10	2.66E+9	1.32E+12	甲癌住院治疗
9			I-131	使用	治疗	1.85E+9	1.85E+7	1.85E+11	门诊甲亢治疗
10			Lu-177	使用	治疗	7.40E+9	7.40E+8	3.70E+11	前列腺癌等留观治疗
11			Ra-223	使用	治疗	1.32E+7	1.32E+8	6.60E+8	门诊治疗
12			Sr-89	使用	治疗	2.96E+8	2.96E+7	1.48E+10	门诊治疗
13	西城院区核医学科	丙级	I-125 (粒子源)	使用	治疗	1.78E+10	1.78E+7	3.33E+11	/
14	西城院区核医学科	乙级	Cu-64	使用	教学科研	3.7E+8	3.7E+6	4.62E+10	/
15			F-18	使用	诊断	2.96E+10	2.96E+7	5.92E+12	
16			Ga-67	使用	诊断	1.85E+8	1.85E+7	1.85E+10	
17			Ga-67	使用	诊断	1.85E+8	1.85E+7	1.85E+10	

18			Ga-68	使用	诊断	3.7E+8	3.7E+6	4.62E+10	
19			I-123	使用	诊断	5.55E+9	5.55E+7	9.25E+10	
20			I-131	使用	诊断	1.85E+7	1.85E+6	3.7E+8	
21			I-131	使用	治疗	7.42E+9	7.42E+8	1.48E+12	
22			Lu-177	使用	治疗	3.70E+9	3.70E+8	1.11E+11	
23			Ra-223	使用	治疗	7.4E+6	7.4E+7	2.25E+8	
24			Sr-89	使用	治疗	7.4E+8	7.4E+7	1.48E+11	
25			Tc-99m	使用	诊断	1.18E+12	1.18E+9	3.55E+13	
26			Tc-99m	使用	诊断	3.0E+11	3.0E+8	3.55E+13	
27			Tl-201	使用	诊断	1.85E+9	1.85E+6	1.85E+10	
28			Tl-201	使用	诊断	1.85E+9	1.85E+6	1.85E+10	
29			Zr-89	使用	诊断	7.40E+7	7.40E+6	4.44E+9	
30	西城院区 内镜中心	丙级	I-125 (粒子源)	使用	治疗	1.78E+9	1.78E+6	3.55E+11	/
31	西城院区 手术室 (医技楼)	丙级	I-125 (粒子源)	使用	治疗	1.78E+9	1.78E+6	3.33E+11	/

医院已许可的放射源使用情况见表 1-3。

表 1-3 医院已许可的放射源使用情况

序号	辐射活动场所	核素	类别	活度 (Bq)	(枚数)	备注
1	西城院区国际 医学部	Se-75	V类	1.48E+6	1	使用
2		Se-75	V类	1.58E+8	1	使用
3		Co-57	V类	1.17E+8	1	使用
4		Ge-68	V类	4.63E+7	2	使用
5		Co-57	V类	1.48E+6	1	使用
6		Ge-68	V类	9.25E+7	1	使用

1.2.2 近几年履行环保审批情况

医院近 5 年以来一共有 7 个辐射环评报告表项目，具体落实情况见表 1-4。

表 1-4 建设项目环保手续落实情况

序号	环评批复文号 /备案号	项目名称	竣工验收情况
1	京环审[2022]103 号	西城院区使用 2 台 II 类 射线装置项目	已于 2023 年 05 月完成自主验收
2	京环审[2023]7 号	顺义院区新建核医学科 项目	已于 2024 年 10 月完成分段自主验收
3	京环审[2023]50 号	顺义院使用 II 类射线装 置项目	其中 3 台 DSA 均已经建成并已重新申 领了辐射安全许可证，1 台 DSA 和 1 台加速器已建成并正在办理辐射安全 许可证重新申领事项，剩余 1 台 DSA 相关内容正在建设中

4	京环审[2023]60号	西城院区使用1台DSA项目	已于2024年11月完成自主验收
5	京环审[2024]83号	顺义院区新建核医学科病房项目	正在进行自主竣工验收
6	京环审[2025]38号	通州院区新增1台DSA项目	已于2025年11月完成自主验收
7	京环审[2025]38号	西城院区更新1台DSA并改造机房项目	已于2025年11月完成自主验收

目前，医院辐射安全许可证上现有的放射性设备、放射源、非密封放射性同位素均满足相关要求，正常运行中。

1.2.3 辐射安全管理现状

1.2.3.1 辐射管理机构

为了加强辐射安全和防护管理工作，促进放射性同位素和射线装置的安全使用，北京友谊医院专门成立了辐射安全与防护委员会，由医院党委书记、执行院长担任主任委员，副院长担任副主任委员，院办、疾病控制与预防感染管理处、医学工程处、人力资源处、规划建设处、核医学科、放射科、口腔科、神经外科、心脏中心等部门的相关人员担任组员，并指定主管副院长邓明卓为医院辐射防护负责人，疾病控制与预防感染管理处任晓蕊、杨艳艳、朱晨笛专职负责辐射安全管理工作。医院辐射防护负责人、专职人员均已参加并通过辐射安全和防护考核，取得了辐射安全与防护考核证。辐射防护领导小组成员名单见表1-5。

表 1-5 医院辐射安全防护领导小组成员名单

序号	人员类别	姓名	性别	专业	职务或职称	工作部门	专/兼职
1	组长	谢向辉	男	医院管理	党委书记	院办	兼职
2		张澍田	男	内科学	执行院长（法人）	院办	兼职
3	副组长	邓明卓	男	医院管理	主管副院长	院办	兼职/负责人
4	组员	王振常	男	医院管理	副院长	院办	兼职
5	组员	李彦昌	男	医院管理	总务处处长	总务处	兼职
6	组员	王兢	女	护理学	中心手术室护士长	中心手术室	兼职
7	组员	杨艳艳	女	医院管理	医师	疾病控制与预防感染管理处	专职
8	组员	郑伟	男	医院管理	行政处室正职	规划建设处	兼职
9	组员	董瑞华	男	临床药理	研究型病房主任	研究型病房	兼职
10	组员	朱晨笛	男	医院管理	医师	疾病控制与预防感染管理处	专职
11	组员	谢聘	女	医院管理	行政处室负责人	人力资源处	兼职
12	组员	孙建军	男	外科学	临床科室负责人	神经外科	兼职

13	组员	金龙	男	介入放射科	介入放射科主任	介入放射科	兼职
14	组员	郭欣	女	医院管理	门诊部副主任	门诊部	兼职
15	组员	任晓蕊	女	医院管理	感控处副处长	感控处	专职
16	组员	骆金铠	女	护理学	行政处室负责人	护理部	兼职
17	组员	周春莲	女	医院管理	行政处室主任	疾病控制与预防感染管理处	兼职
18	组员	陈建军	男	医院管理	行政处室负责人	医学工程处	兼职
19	组员	任军	男	医学工程	放射组组长	医学工程处	兼职
20	组员	牛亦农	男	外科学	临床科室负责人	泌尿外科	兼职
21	组员	曹邦伟	男	肿瘤学	肿瘤中心主任	肿瘤中心	兼职
22	组员	郭艾	男	外科学	临床科室负责人	骨科	兼职
23	组员	刘壮	男	医院管理	行政处室负责人	医务处	兼职
24	组员	王婷婷	女	医院管理	临床科室负责人	国际医疗部	兼职
25	组员	吴丽青	女	医院管理	采购中心主任	采购中心	兼职
26	组员	尤红	女	内科学	常务副院长	院办	兼职
27	组员	崔永	男	外科学	临床科室负责人	胸外科	兼职
28	组员	杨正汉	男	医学影像与放射治疗	临床科室负责人	放射科	兼职
29	组员	王拥军	男	内科学	临床科室负责人	消化科	兼职
30	组员	李虹伟	男	内科学	临床科室负责人	心脏中心	兼职
31	组员	黄晓峰	男	口腔科	临床科室负责人	口腔科	兼职
32	组员	杨吉刚	男	核医学	核医学主任	核医学科	兼职
33	组员	苑国强	男	医院管理	保卫处副处长	保卫处	兼职
34	组员	梅雪岭	男	医院管理	教育处处长	教育处	兼职
35	组员	张拥波	男	神经内科	神经内科主任	神经内科	兼职

1.2.3.2 规章制度建设及落实

医院制定了多项辐射安全管理制度，包括辐射防护与安全管理小组及其职责，辐射防护和安全保卫制度，操作规程，放射设备检修维护制度，台账管理制度，放射工作人员管理制度，放射工作场所监测制度，放射性废物暂存、处置方案，辐射事故（件）应急预案等，医院辐射安全管理严格遵循国家的各项相关规定，结合医院的具体情况，认真贯彻辐射安全和防护的相关制度，能够满足实际工作需要。

1.2.3.3 工作人员培训考核

北京友谊医院制定了辐射工作人员培训考核计划。目前，医院从事辐射相关工作人员约 445 人分批参加了辐射安全和防护培训，并通过了考核。

今后，医院将按照生态环境部 2019 年第 57 号公告、2021 年第 9 号公告要求，定期（五年一次）组织辐射工作人员进行辐射安全防护考核，考核通过后方可上岗。

1.2.3.4 个人剂量监测

医院所有从事辐射工作的医护人员均佩戴 TLD 个人剂量计，每季度监测 1 次，按照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）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 18 号）要求建立个人剂量档案，并于每年 5 月 31 日前将上一年度全体辐射工作人员的个人剂量监测数据上报至全国核技术利用辐射安全申报系统中。

北京友谊医院现有辐射工作人员的个人剂量监测工作已委托北京市疾病预防控制中心承担，频度为每 3 个月检测一次。医院最近一年度（2025 年）个人年度剂量检测报告表明，个人季度最高值为柳杨 0.723mSv（放射科人员），但其年剂量最大值为 0.882mSv，均未超过医院年剂量管理目标值。医院已启动调查程序，因其剂量笔遗落在摄影室内，导致当季度个人剂量偏高。

医院有专人负责个人剂量监测管理工作。发现个人剂量监测结果异常的，将及时调查原因，并将有关情况及时报告医院辐射安全防护领导小组。医院今后将加强个人受照剂量监测工作，如果某位辐射工作人员的单季度个人剂量监测结果高于年剂量约束值的 1/4，将对其受照原因进行调查，结果由本人签字后存档；必要时将采取调离工作岗位或控制从事辐射工作时间等措施，保障辐射工作人员的健康。

1.2.3.5 工作场所及辐射环境监测

（1）工作场所辐射水平监测：根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环保部令第 18 号）的要求，医院每年委托有资质单位对射线装置和非密封放射性物质工作场所进行 1 次工作场所辐射环境水平监测和工作场所表面污染水平监测，监测数据记录存档。根据 2025 年度对加速器机房场所剂量监测结果可知，医用电子直线加速器正常工作时，场所外 30cm 处 X/γ 射线外照射剂量率均小于 2.5μSv/h，符合相关标准的要求。根据 2025 年度对顺义院区核医学科门诊场所剂量监测结果可知，核医学科正常工作时，控制区外表面 30cm 处 X/γ 射线外照射剂量率均为小于 2.5μSv/h，符合 GBZ 120-

2020 等标准的要求；核医学科辐射工作场所 β 表面污染监测结果均为满足 GB 18871 的控制水平。

医院每年委托有资质的单位对医院已有的辐射场所防护和机器性能检测一次（包含现有核医学科工作场所），且北京市卫生健康委员会每年都要对医院的《放射诊疗许可证》校验一次，校验时医院必须提供当年的检测合格报告，检测报告齐全，检测结果均满足相关标准要求。

（2）工作场所自行监测：根据《北京市辐射工作场所辐射环境自行监测办法（试行）》要求，医院定期开展工作场所环境辐射水平自行监测。核医学科工作人员每天工作结束后，对非密封放射性同位素工作场所的工作台面、手套箱台面、注射台以及设备等进行表面污染监测，监测数据记录存档。工作人员离开可能受到放射性污染的工作场所时，须对其工作服、体表开展表面污染水平监测。

医院现有的监测方案基本能够满足现有场所使用要求，医院已配备的辐射监测仪器，详细清单见表 1-6。

表 1-6 医院现配有辐射监测仪器清单

序号	仪器名称	型号	仪器状态	数量	备注
1	便携式辐射监测仪	FJ1200	正常	1	通州院区手术室医保 1 室
2	便携式剂量率仪	NT6101	正常	1	顺义院区放疗中心
3	固定式剂量报警仪	DCP-ZJY	正常	1	顺义院区核医学治疗区（含病房）
4	表面污染监测仪	MR-AB30	正常	1	顺义院区核医学治疗区（含病房）
5	表面沾染仪	INSPFCTOR Alert V2	正常	1	消化内镜中心
6	数字区域 X 线检测仪	375	正常	2	心脏导管安装 1 台，放射科导管室安装 1 台
7	辐射测量仪	FJ1200	正常	2	通州院区手术室导管室 1 台、介入中心 1 台
8	多功能便携式监测仪	Inspector	正常	1	西城院区核医学科
9	多功能便携式监测仪	INSPFCTOR11608	正常	1	西城院区核医学科
10	环境级 X、Y 辐射测量仪	FJ1200	正常	1	西城中心手术室第 20 手术室
11	个人剂量仪	FJ3500	正常	17	-
12	多功能便携式监测仪	Inspector.	正常	1	西城院区核医学科

13	个人剂量仪	FJ3200	正常	2	消化内镜中心
14	个人剂量仪	WF-99	正常	3	放疗科
15	个人剂量仪	SDC-61	正常	1	放疗科
16	辐射剂量巡测仪	FJ1200	正常	1	顺义院区核医学治疗区 (含病房)
17	便携式辐射剂量率仪	HA31006-N10	正常	1	导管中心及手术室
18	表面污染仪	HA3100AB-15	正常	1	顺义院区核医学科门诊
19	环境级 X、 γ 辐射测量仪	FJ1200	正常	1	顺义院区核医学科门诊
20	个人剂量报警仪	FJ3200	正常	2	顺义院区放疗中心
21	固定式辐射监测仪	KBT-1000	正常	1	顺义院区放疗中心

待本项目建设完成后，周围场所的辐射水平监测工作，将继续纳入医院辐射工作场所的监测范围，一并按照现有制度规定的频度开展。

1.2.3.6 辐射事故应急管理

医院依据《中华人民共和国放射性污染防治法》《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的要求，制定了关于本单位辐射项目的辐射事故（件）应急预案，以保证本单位一旦发生辐射意外事件时，能迅速采取必要和有效的应急响应行动，妥善处理放射事故，保护工作人员和公众的健康与安全，同时在预案中进一步明确规定本单位有关意外放射事件处理的组织机构及其职责、事故报告、信息发布和应急处理程序等内容。发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生健康部门报告。医院将每年至少组织一次应急演练。

为规划和加强放射突发事件应急处理能力，同时最大程度地降低放射事件可能造成的后果，保障辐射工作人员及患者的生命安全，医院于 2025 年 12 月 24 日下午，在顺义院区门诊楼地下二层放疗中心加速器机房开展辐射安全事故应急演练。本次演练由疾病控制与预防感染管理处、保卫处、放疗科联合策划，以放疗科加速器机房发生误照射、加速器治疗过程中发生意外断电两种情景开展演练。演练采取“实景设置、实兵展开、实际操作”的方法进行。根据《辐射事故应急预案》，制定演练计划并有序实施，参与演练人员均较好地履行各自的职责，圆满完成既定任务，达到了演练预期的效果。

1.2.3.7 其他情况

医院较圆满地完成了各项辐射安全防护工作，依据相关法律法规对单位射线装置的安全和防护状况进行了年度评估，目前已编写上报了 2025 年度评估报告。

1.3 本项目情况

1.3.1 本项目背景

北京友谊医院核医学科分别设西城院区和顺义院区两个院区，都由医院核医学科统一管理。西城院区核医学科已许可使用1台PET/CT、3台SPECT并使用相关核素开展诊疗工作；顺义院区核医学科已批准建设正电子核素制备区、小动物PET室、核医学科门诊和核医学科病房四个非密封放射性物质场所，其中小动物PET室和正电子核素制备区目前正在建设中，核医学科门诊已建成并取得辐射安全许可，核医学科门诊已建成并许可使用1台PET/CT、2台SPECT/CT，使用相关核素开展诊断。本项目是针对顺义院区核医学科门诊进行改扩建工作。

北京友谊医院顺义院区已于2024年4月开诊，顺义院区核医学科门诊于2024年4月同时启用，根据《顺义院区新建核医学科环境影响评价报告表》，核医学科门诊将分期购置安装设备，前期已预留1间PET/MRI室和1间SPECT/CT室，本次拟在预留的PET/MRI室（第四显像室）内配备1台PET/MRI，配套使用1枚V类密封校准源，并增加F-18和Ga-68两种核素的使用量，将已许可使用的注射后等候4室作为PET/MRI患者专用，不改变核医学科门诊区现有的布局和其他核素用量。

近两年核医学科就诊人数持续增加，且随着核医学科的发展，医院拟在预留的PET/MRI室（第四显像室）新增使用1台上海联影医疗科技股份有限公司生产的uPMR790型PET/MRI，并使用F-18、Ga-68核素开展显像。

PET/MRI作为重要的分子影像设备，以其对软组织更好的分辨率，更少的辐射剂量，不仅在神经系统疾病、骨与软组织病变方面发挥着重要作用，也可以满足更多儿科患者的检查需求。北京友谊医院重点学科都对核医学检查设备提出了更高要求。PET/MRI的引进不仅可以更好满足临床的要求，也为某些疾病提供了更加准确的诊断手段。

1.3.2 顺义院区核医学科门诊目前情况

北京友谊医院顺义院区核医学科于2023年2月23日取得《北京市生态环境局关于顺义院区新建核医学科项目环境影响报告表的批复》（京环审[2023]7号），批准建设的内容包括：1、在地下三层西南角新建正电子药物制备区（乙级），使用1台IBA公司Cyclone KIUBE型18MeV回旋加速器，制备（合成、分装）F-18、Ga-68、N-13、C-11正电子药物；在西南角北侧新建动物PET室（丙级），配置1台小动物PET/CT，使用F-18、Ga-68、N-13、C-11核素开展小动物实验；在地下二层西南角北侧新建核医学科门诊（乙级），配置1台PET/CT、2台SPECT/CT，使用1枚V类Ge-68刻度源，使用F-18、Ga-68、N-13、C-11、Tc-99m、I-123、I-131核素开展像诊断，使用I-131开展甲功检查。目前地下三层的正电子药物制备区（乙级）和动物PET室（丙级）仍在建设中；核医学科门诊（乙级）已建成并部分取得了辐射安全许可完成自主验收，已批准建设内容许可情况见表1-7。

表1-7 顺义院区新建核医学科项目许可情况表

一 射线装置情况							
序号	设备名称	台数	厂家型号	技术参数	射线装置类别	使用场所	备注
1	8MeV回旋加速器	1	IBA Cyclone KIUBE	18MeV（质子）75μA×2	II	正电子核素制备区	建设中
2	PET/CT	1	赛诺联合 PoleStar Flight	140kV/420mA	III	核医学科门诊PET/CT室（第五显像室）	已完成自主验收
3	SPECT/CT	1	GE NM/CT 860	140kV/200mA	III	核医学科门诊SPECT室1（第一显像室）	已完成自主验收
4	SPECT/CT	1	成都永新医疗 Insight NM/CT	140kV/420mA	III	核医学科门诊SPECT室2（第二显像室）	已取得辐射安全许可，正在办理自主验收中
5	动物PET/CT	1	待定	90kV/2mA	III	动物PET室	建设中
二 放射源情况							
序号	刻度源使用情况			使用设备	备注		

1	1 枚 Ge-68V 类源 (活度不大于 1.11E+8Bq)		PET/CT			未办理许可, 目前许可使用的 PET/CT 可使用 F-18 进行校准刻度			
三 非密封放射性核素情况									
使用场所	核素名称	场所级别	日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	备注		
正电子核素制备区	F-18	乙级	1.11E+11	1.11E+9	2.78E+13 250 日/年	正电子药物制备	核素制备区正在建设中		
	Ga-68		4.5E+9	4.5E+7	2.25E+11 50 日/年				
	C-11		1.4E+10	1.4E+8	7.00E+11 50 日/年				
	N-13		3.7E+10	3.7E+8	1.85E+12 50 日/年				
小动物 PET 室	F-18	丙级	9.25E+7	9.25E+5	4.63E+9 50 日/年	小动物 PET/CT 显像	小动物 PET 室正在建设中		
	Ga-68		9.25E+7	9.25E+5	1.11E+9 12 日/年				
	C-11		3.70E+7	3.70E+5	4.44E+8 12 日/年				
	N-13		3.70E+7	3.70E+5	4.44E+8 12 日/年				
核医学科门诊	F-18	乙级	7.40E+9 (3.70E+8Bq/人, 20 人次/日)	7.40E+6	1.85E+12 250 日/年	PET/CT 显像	已许可使用, 完成环保验收		
	Ga-68		3.70E+8 (1.85E+8Bq/人, 2 人次/日)	3.70E+6	1.85E+10 50 日/年				
	C-11		7.40E+8 (3.70E+8Bq/人, 2 人次/日)	7.40E+6	3.70E+10 50 日/年	PET/CT 显像	尚未许可使用		
	N-13		7.40E+8 (3.70E+8Bq/人, 2 人次/日)	7.40E+6	3.70E+10 50 日/年				
	Tc-99m 锝气		1.48E+9 (7.40E+8Bq/人, 2 人次/日)	1.48E+8	7.40E+10 50 日/年			肺通气 SPECT/CT 显像	已许可使用, 完成环保验收
	Tc-99m		3.70E+10 (9.25E+8Bq/人, 40 人次/日)	3.70E+7	9.25E+12 250 日/年			SPECT/CT 显像	已许可使用, 完成环保验收

	I-123		1.48E+9 (3.70E+8Bq/ 人, 4 人次/日)	1.48E+7	7.40E+10 50 日/年		
	I-131		9.25E+8 (1.85E+8Bq/ 人, 5 人次/日)	9.25E+6	9.25E+10 100 日/年		
	I-131		3.33E+6 (3.33E+5Bq/ 人, 10 人次/ 日)	3.33E+4	3.33E+8 100 日/年	甲功测定	已许可使用, 完成环 保验收

1.3.3 本项目内容

(1) 建设内容

在顺义院区核医学科门诊预留的 PET/MRI 室内新增使用 1 台 PET/MRI 设备, 拟配的 PET/MRI 为上海联影医疗科技股份有限公司生产的 uPMR790 型, 使用 1 枚 Ge-68V 类密封源校准, 使用 F-18、Ga-68 核素开展核医学显像诊断。利用核医学科门诊区现有的高活室、注射区、候诊区、源库和留观室等; 利用现有的衰变池、排风系统。本次改造仅在预留房间内增加 1 台 PET/MRI 并增加 F-18、Ga-68 两种核素进行诊断, 新增使用 1 枚 Ge-68V 类密封源校准, 将已许可使用的注射后等候 4 室作为 PET/MRI 患者专用, 不改变现有核医学科门诊布局以及已许可的其他核素使用情况。

(2) 核素使用量

本次增加 PET/MRI 后增加 F-18 和 Ga-68 使用量。使用情况预计如下: 核医学科门诊使用 PET/MRI 检查不超过 10 人次, 其中使用 F-18 药物不大于 370MBq/人, 每日最多检查 8 人次, 每年最多工作 250 天, 年用量每人按平均用量 296MBq/人进行核算; Ga-68 约 185MBq/人, 每日最多检查 2 人次, 每年最多工作 50 天。用量为 222~370MBq/人 (每人平均注射量取 296MBq), 诊断区每个检查日最多实施 F-18 检查 15 人次, 每年工作 250 天。

本次改扩建情况见表 1-8 所示。顺义院区核医学科门诊改扩建后情况见表 1-9。

表 1-8 本次改扩建内容核技术情况

一 拟使用的放射源情况			
序号	刻度源使用情况	存放位置	备注
1	配 1 枚 Ge-68V 类源 (活度 7.4E+7Bq)	源库	PET/MRI 校准源

二 增加使用的核素情况

使用场所	核素种类	患者最大用量 (Bq)	预计每日最多检查人数	年最大使用天数 (天)	日最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	备注
核医学科门诊	F-18	3.70E+8	8	250	2.96E+9	5.92E+11	静脉注射
	Ga-68	1.85E+8	2	50	4.63E+9	1.85E+10	静脉注射

注: F-18 年用量按照平均每人注射 2.96E+8Bq 计算。

表 1-9 顺义院区核医学科门诊改扩建后核技术情况

一 射线装置情况

序号	设备名称	台数	厂家型号	技术参数	射线装置类别	使用场所
1	PET/CT	1	赛诺联合 PoleStar Flight	140kV/420mA	III	核医学科门诊PET/CT室 (第五显像室)
2	SPECT/CT	1	GE NM/CT 860	140kV/200mA	III	核医学科门诊SPECT室1 (第一显像室)
3	SPECT/CT	1	成都永新医疗 Insight NM/CT	140kV/420mA	III	核医学科门诊SPECT室2 (第二显像室)

二 放射源情况

序号	刻度源使用情况	使用设备	备注
1	1 枚 Ge-68V 类源 (活度 7.4E+7Bq)	PET/MRI	/

三 非密封放射性核素情况

使用场所	核素名称	场所级别	日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途
核医学科门诊	F-18	乙级	7.40E+9 (3.70E+8Bq/人, 20 人次/日)	7.40E+6	1.85E+12 250 日/年	PET/CT 显像
	Ga-68		3.70E+8 (1.85E+8Bq/人, 2 人次/日)	3.70E+6	1.85E+10 50 日/年	
	C-11		7.40E+8 (3.70E+8Bq/人, 2 人次/日)	7.40E+6	3.70E+10 50 日/年	
	N-13		7.40E+8 (3.70E+8Bq/人, 2 人次/日)	7.40E+6	3.70E+10 50 日/年	
	Tc-99m 锝气		1.48E+9 (7.40E+8Bq/人, 2 人次/日)	1.48E+8	7.40E+10 50 日/年	肺通气 SPECT/CT 显像

	Tc-99m	3.70E+10 (9.25E+8Bq/ 人, 40 人次/ 日)	3.70E+7	9.25E+12 250 日/年	SPECT/CT 显像
	I-123	1.48E+9 (3.70E+8Bq/ 人, 4 人次/日)	1.48E+7	7.40E+10 50 日/年	
	I-131	9.25E+8 (1.85E+8Bq/ 人, 5 人次/日)	9.25E+6	9.25E+10 100 日/年	
	I-131	3.33E+6 (3.33E+5Bq/ 人, 10 人次/ 日)	3.33E+4	3.33E+8 100 日/年	甲功测定
	F-18	2.96E+9 (3.70E+8Bq/ 人, 8 人次/日)	2.69E+6	5.92E+11 250 日/年	PET/MRI 显像
	Ga-68	3.70E+8 (1.85E+8Bq/ 人, 2 人次/日)	3.70E+6	1.85E+10 50 日/年	

(3) 场所分级

根据《关于明确核技术辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430 号）明确了常见的放射性药品生产、使用场所日等效操作量核算中操作因子的选取：医疗机构使用 F-18 相关活动视为“很简单的操作”。

目前顺义院区核医学科门诊批复的量：保守假设所有核素全部在一天内，日等效量为 2.39E+8Bq，属于乙级非密封放射性物质工作场所。本次核医学科门诊改扩建涉及 F-18 和 Ga-68 两种核素，日等效量增加 4.99E+7Bq，核医学科门诊改扩建后日等效量为 2.89E+8Bq，仍属于乙级非密封放射性物质工作场所。

表 1-10 核医学科门诊核素日等效最大操作量

使用场所	核素种类	日最大操作量 (Bq)	毒性组别修正因子	状态与操作方式修正因子	日等效最大操作量 (Bq)	备注	场所等级
核医学科门诊	F-18	2.96E+9	0.01	很简单操作 (液体, 10)	2.96E+6	本次新增日等效 4.99E+7Bq	乙级 (日等效最大操作量为 2.89E+8Bq)
	F-18	5.92E+9	0.01	贮存 (液体, 100)	5.96E+5		
	Ga-68	4.63E+9	0.01	简单操作 (液体, 1)	4.63E+7		
	F-18	9.25E+09	0.01	很简单操作 (液体, 10)	9.25E+06	已批复使用乙级场所, 日等效	

		1.85E+10	0.01	贮存（液体，100）	1.85E+06	2.39E+8Bq	
Ga-68		3.70E+08	0.01	简单操作（液体，1）	3.70E+06		
N-13		7.40E+08	0.01	简单操作（液体，1）	7.40E+06		
C-11		7.40E+08	0.01	简单操作（液体，1）	7.40E+06		
Tc-99m		3.70E+10	0.01	很简单操作（液体，10）	3.70E+07		
Tc-99m		1.48E+09	0.01	很简单操作（气体，0.1）	1.48E+08		
I-131		9.25E+08	0.1	简单操作（胶囊，10）	9.25E+06		
I-123		1.48E+09	0.01	简单操作（液体，1）	1.48E+07		
I-131		3.33E+06	0.1	简单操作（胶囊，10）	3.33E+04		

注：F-18 送药量大约为最大使用量的 2 倍（贮存量按两倍考虑）。

1.3.3 本项目正当性和必要性

正电子发射扫描技术（PET）在肿瘤、心脏和脑部疾病的诊断和疗效评估中具有独特的优势，常用于多数肿瘤的诊断、分期和治疗评估并进行精确定位，特别适合确定肿瘤有无转移和复发。PET 是把标记有正电子核素（如 F-18）的试剂注射到人体内，然后利用体外探测仪器（PET）探测这些正电子核素在人体全身脏器的分布情况，再结合 CT 和 MRI 的扫描图像，进行影像融合，可以观察病灶的病理生理变化及形态结构，从而显著提高疾病诊断的准确性以及治疗方案的合理性。

本次核医学科门诊改扩建项目将使医院的核医学科有能力接诊更多人次患者，帮助更多患者及时发现疾病、摆脱疾病困扰。此外，本项目建成后，也为医院核医学技术的深入研究和提高提供了支持，有利于核医学科在临床应用方面积累更丰富的经验，促进核医学技术的发展，从而进一步提高周边地区的医疗水平，可以产生一定的社会效益和经济效益。

该项目使用的 F-18、Ga-68 等标记放射性药物，开展影像诊断，是核医学科较成熟的、常用的医疗手段，其使用过程中获得的利益远大于辐射可能造成的损害，符合实践正当性原则的要求。

综上所述，本项目的建设所带来的利益远高于代价，对受电离辐射照射的个人和社会所带来的利益远大于其对环境的辐射影响及可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)中辐射防护“实践正当性”的原则与要求。

1.3.4 辐射工作人员情况

参照《放射诊疗管理规定》和 2019 年《北京市卫生健康委员会关于印发乙类大型医用设备配置准入标准的通知》，北京友谊医院制定了本项目核医学科的辐射工作人员配置计划，详见表 1-11 所示。

表 1-11 PET/MRI 工作人员要求及配置计划

序号	源项	相关要求	本项目人员配置计划
1	1台PET/MRI	单台 PET/MRI 设备至少技师不少于 3 名，化学师、物理人员不少于 2 名，其中高级职称的物理人员不少于 1 名，医师不少于 5 名（可以与 PET 医师共用）。	医师 3 名、技师 3 名、化学师 1 名、物理师 1 名、护士 1 名

顺义院区核医学科辐射工作人员都由医院核医学科统一管理，短期相对固定、长期采用轮转的方式运行。目前医院核医学科设有 37 名辐射工作人员，能够满足现有许可场所（已许可的使用的场所和设备详见 1.3.1）的辐射工作需要。本项目启用后，针对 PET/MRI 核医学科拟新增 9 名辐射工作人员，包括医师 3 名、技师 3 名、化学师 1 名、物理师 1 名、护士 1 名。核医学科工作人员和分工情况如下表 1-12 所示。

表 1-12 新建核医学科辐射工作人分工情况

类别	拟从事具体工作
医师	PET/MRI 检查对象的筛选和确认，诊断报告编写等。
技师	PET/MRI 设备操作、受检者摆位。
护士	放射性药物交接、药物分装，患者药物施用，放射性废物管理、表面污染监测等。
物理师	设备的质量保证和质量控制、以及辐射安全与防护管理。
化学师	负责 PET 药物的分析、质控与药理分析等。

1.3.5 监测仪器配备情况

顺义院区核医学科门诊现已配备1台环境级X、γ辐射测量仪和1台表面污染仪，新增的PET/MRI场所利用现有核医学科门诊的监测仪器，能够满足核医学科常规的监测要求。

1.3.6 项目选址与周围环境

本项目是在已建成的顺义院区核医学科门诊场所预留的 PET/MRI 室（第

四显像室) 新增使用 1 台 PET/MRI。顺义院区核医学科门诊设有注射前等候室、注射室、运动负荷室、高活室、源库、PET/CT 室、PET/MRI 室(预留)、3 间 SPECT 室(其中 1 间预留)、控制室、3 间高能候诊室、3 间低能候诊室、废物间、功能测定室、患者通道、抢救室、留观室等。核医学科门诊东侧为核医学科办公区域, 南侧为核医学科病房区域, 西侧为地下土层, 北侧隔公共走廊外为放疗中心, 楼上为配电室、血透辅助区, 楼下为正电子核素药物制备区和停车场。本次新增的 PET/MRI 室东侧为控制廊, 南侧为缓冲间, 西侧为患者注射后走廊, 北侧为机房, 楼上为维修办公室、湿库、走廊、变配电室和医生办公室, 楼下为维修器材间。核医学科门诊区选址充分考虑了周围场所的安全, 不邻接产科、儿科、食堂等部门等及人员密集区, 尽可能做到了集中设置, 出口避开了门诊大厅、收费处等人群稠密区域, 总体认为该项目核医学科选址合理。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) ×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	Ge-68	7.4E+7Bq×1	V	使用	校准源	PET/MRI室 (第 四显像室)	核医学科门诊源库	由物理师每 周一次校准

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

表3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	F-18	液态	使用	2.96E+9	2.96E+6	5.92E+11	诊断	很简单操作	顺义院区核医学科门诊	顺义院区核医学科门诊高活室	本次增加使用量
2	Ga-68	液态	使用	4.63E+9	4.63E+7	1.85E+10	诊断	简单操作			
3	F-18	液态	使用	7.40E+9	7.40E+6	1.85E+12	诊断	很简单操作			已许可使用
4	Ga-68	液态	使用	3.70E+8	3.70E+6	1.85E+10	诊断	简单操作			
5	C-11	液态	使用	7.40E+8	7.40E+6	3.70E+10	诊断	简单操作			
6	N-13	液态	使用	7.40E+8	7.40E+6	3.70E+10	诊断	简单操作			环评已批，尚未许可使用
7	Tc-99m 锝气	气态	使用	1.48E+9	1.48E+8	7.40E+10	诊断	简单操作			
8	Tc-99m	液态	使用	3.70E+10	3.70E+7	9.25E+12	诊断	很简单操作			已许可使用
9	I-123	液态	使用	1.48E+9	1.48E+7	7.40E+10	诊断	简单操作			
10	I-131	固体（胶囊）	使用	9.25E+8	9.25E+6	9.25E+10	诊断	简单操作			
11	I-131	固体（胶囊）	使用	3.33E+6	3.33E+4	3.33E+8	诊断	简单操作			

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

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

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

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	PET/CT	III	1	PoleStar Flight	140	420	诊断	核医学科门诊 PET/CT 室 (第五显像室)	已许可使用
2	SPECT/CT	III	1	NM/CT 860	140	200	诊断	核医学科门诊 SPECT 室 1 (第一显像室)	许可使用
3	SPECT/CT	III	1	Insight NM/CT	140	420	诊断	核医学科门诊 SPECT 室 2 (第二显像室)	许可使用

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
洗涤废水、病人排泄物等	液态	F-18、Ga-68等	/	8.86m ³	106.34m ³	/	排入现有2#衰变池暂存，现有衰变池容积为142.56m ²	依照HJ 1188-2021和《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》，设槽式衰变池（罐），放射性废水暂存至少180天，经检测达标后排入医院污水处理站。严格记录废水排放台帐。
核医学科手套箱排气	气态	F-18、Ga-68等	/	/	少量，可忽略	/	净化过滤后稀释排放	经手套箱自带的高效过滤器和排风口活性炭过滤器过滤后，在建筑顶部排放。
手套、纱布等其他固体废物、一次性注射器	固态	F-18、Ga-68等	/	/	<100kg	<10 ⁴ Bq/kg	放射性固体废物在废物间内储存。	暂存至少一个月，经自行检测，符合HJ 1188和《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》要求后，按医疗废物委托交有资质单位处置。
手套箱、集气罩活性炭滤材	固态	F-18、Ga-68等	/	/	10kg	<10 ⁴ Bq/kg	放射性废物库内储存。	暂存至少 180d，符合 HJ 1188-2021 和《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》要求后解控为普通废物。

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

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

表 6 评价依据

法规文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》，中华人民共和国主席令[2014]第9号，2015年1月1日起实施。</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2002年10月28日通过，自2003年1月1日起施行，2016年7月2日第一次修正，2018年12月29日第二修正。</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国主席令[2003]第6号，2003年10月1日起实施。</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》，1998年11月29日国务院第253号发布施行，2017年7月16日国务院令第682号修订，2017年10月1日起施行。</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，2005年9月14日经国务院令第449号公布，2014年7月29日经国务院第653号修订，2019年3月2日经国务院令第709号修订。</p> <p>(6) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》，生态环境部部令第16号，2020年11月30日公布，2021年1月1日起实施。</p> <p>(7) 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部令第9号，2019年9月20日公布，2019年11月1日起施行。</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，生态环境部部令第20号修订，2021年1月4日公布并实施。</p> <p>(9) 《关于发布〈射线装置分类〉的公告》，原环境保护部、国家卫生计生委公告第66号，2017年12月5日。</p> <p>(10) 《关于发布〈放射源分类办法〉的公告》，原国家环境保护总局公告，2005年第62号，2005年12月23日。</p> <p>(11) 《关于发布〈建设项目环境影响评价分类管理名录〉北京市实施细化规定（2022年本）的通告》，通告〔2022〕4号，2022年3月4日。</p> <p>(12) 《关于发布〈建设项目竣工环境保护验收暂行办法〉的公</p>
------	--

	<p>告》，国环规环评[2017]4号，2017年11月20日。</p> <p>(13) 《关于做好辐射类建设项目竣工环境保护验收工作的通知》，京环办[2018]24号，2018年1月25日。</p> <p>(14) 《北京市城乡规划条例》，京人常[2021]61号，2021年9月24日。</p> <p>(15) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，原环保部，环办辐射函(2016)430号。</p> <p>(16) 《北京市辐射工作场所辐射环境自行监测办法(试行)》，原北京市环境保护局文件，京环发(2011)347号。</p> <p>(17) 《辐射安全与防护监督检查技术程序》，生态环境部，2020年2月。</p> <p>(18) 《北京市生态环境局办公室关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》，京环办[2018]13号，2018年12月6日。</p> <p>(19) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》生态环境部公告2019年第57号，2019年12月24日。</p> <p>(20) 《关于进一步优化辐射安全考核的公告》生态环境部公告2021年第9号，2021年3月11日。</p>
<p>技术标准</p>	<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和格式》(HJ 10.1-2016)，环境保护部；</p> <p>(2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)；</p> <p>(3) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB 11930-2010)；</p> <p>(4) 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)；</p> <p>(5) 《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)；</p> <p>(6) 《医疗机构水污染物排放标准》(GB 18466-2005)；</p> <p>(7) 《放射性废物管理规定》(GB 14500-2002)；</p> <p>(8) 《北京市水污染物综合排放标准》(DB 11/307-2013)；</p> <p>(9) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ 128-2019)；</p> <p>(10) 《职业性内照射个人监测规范》(GBZ 129-2016)；</p> <p>(11) 公安部《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》(GA 1002-</p>

	<p>2012);</p> <p>(12) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021);</p> <p>(13) 《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021);</p> <p>(14) 《表面污染测定第一部分 β 发射体 ($E_{\beta\max} > 0.15\text{MeV}$) 和 α 发射体》(GB/T 14056.1-2008);</p> <p>(15) 《正电子发射断层成像 (PET) 设备质量控制检测标准》(WS 817-2023);</p> <p>(16) 《北京市核医学大型设备稳定性检测指南》(试行版)。</p>
其他	<p>(1) AAPM Task Group 108: PET and PET/CT Shielding Requirements, Med.Phys. 33 (1), January 2006。</p> <p>(2) Radiation Protection Dosimetry Vol.98 No 1, 2002。</p> <p>(3) Bernard Shleien.1998. Handbook of Health Physics and Radiological Health.3rd</p> <p>(4) 辐射安全手册, 科学出版社, 2011 年。</p> <p>(5) 《顺义院区新建核医学科项目环境影响报告表》及其批复 (京环审[2023]7 号), 2023 年。</p> <p>(6) 医院提供的与本项目相关的申请和技术资料, 2026.3。</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

7.1.1 评价内容

本项目为顺义院区核医学科门诊改扩建项目，原核医学科门诊内部平面布局基本保持不变，仅在预留的 PET/MRI 机房内新增使用 1 台 PET/MRI 开展诊疗活动，配套使用 1 枚V类密封校准源，并增加 F-18、Ga-68 两种核素的使用量，将已许可使用的注射后等候 4 室作为 PET/MRI 患者专用，该场所仍为乙级非密封放射性物质工作场所。

7.1.2 评价范围

按照《辐射环境保护管理导则—核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016)的规定，并结合该项目辐射为能量流污染的特征，根据能量流的传播与距离相关的特性，确定本项目评价范围为核医学科门诊控制区边界外周围 50m 区域。本项目评价范围示意图见图 7-1 所示，核医学科门诊控制区周围 50m 范围内无学校、居民楼等敏感目标，都是医院内部。

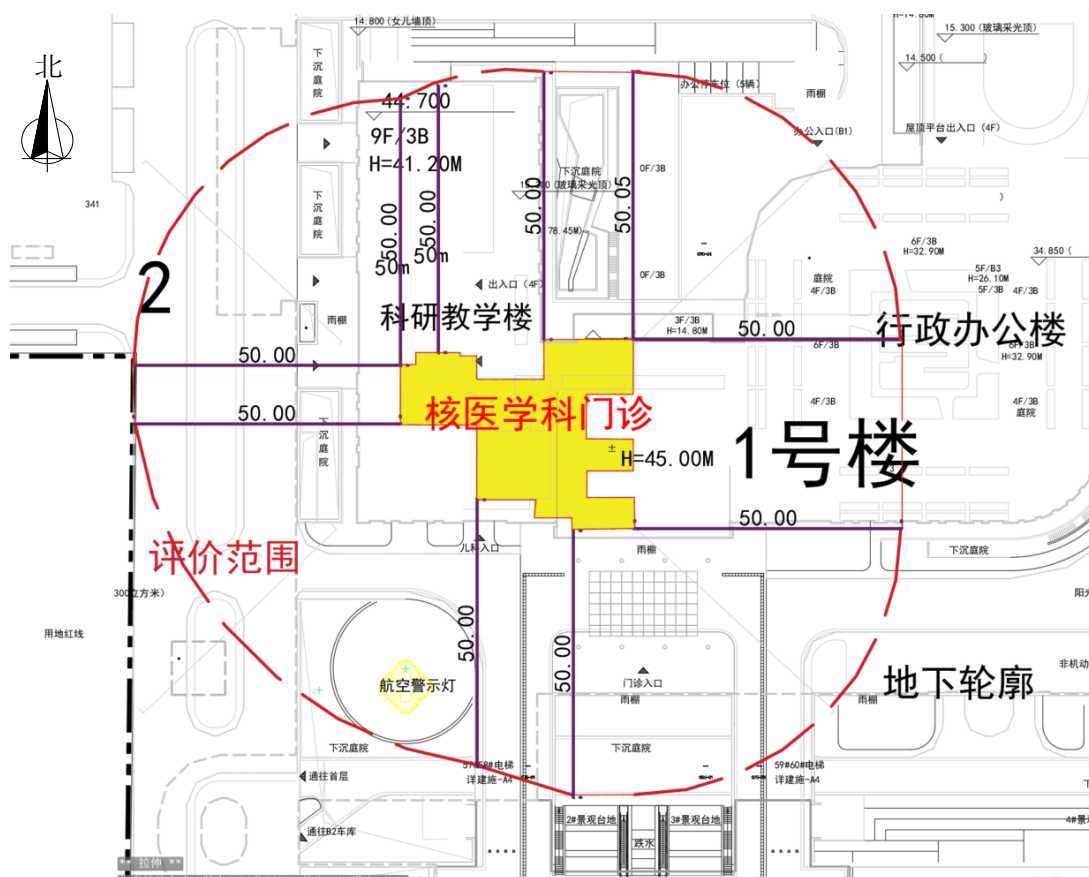


图 7-1 本项目评价范围示意图

7.1.3 关注问题

(1) 核医学科门诊辐射工作场所辐射屏蔽设计是否满足国家相关标准的要求。

(2) 辐射安全管理情况及污染防治措施是否满足新增辐射工作场所要求。

7.1.4 评价因子

本项目的环境影响评价因子为 X 射线、 γ 射线、 β 射线、放射性“三废”等。

7.2 保护目标

核医学科门诊位于 1 号楼地下二层西南侧，核医学科门诊东侧为核医学科办公区域，南侧为核医学科病房区域，西侧为地下土层，北侧隔公共走廊外为放疗中心，楼上为配电室、血透辅助区，楼下为正电子核素药物制备区和停车场。本次新增的 PET/MRI 室（第四显像室）东侧为控制廊，南侧为缓冲间，西侧为患者注射后走廊，北侧为机房，楼上为维修办公室、湿库、走廊、变配电室和医生办公室，楼下为维修器材间。环境保护目标为该院区从事本项目操作的辐射工作人员、核医学科周围其他公众成员。核医学科门诊周围及楼上、楼下平面布局关系图见图 7-2~图 7-4，都充分考虑周围场所的安全，核医学科不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，满足 HJ 1188-2021 的选址要求。场所周围 50m 范围内保护目标的相关情况见表 7-1 所示。

表 7-1 核医学科门诊周围 50m 范围内主要保护目标

项目	保护目标	距离 (m)	常居留数量 (人)	方位	周围 50m 范围内主要场所或建筑物
地下二层核医学科门诊	核医学科工作人员	0~15	33	东侧	核医学科办公区
	公众	16~50	20		其他办公区和停车场
	公众	0~8	5	南侧	核医学科病房区
	公众	8~44	/		停车位、室外庭院、机房
	/	44~50	/		地下土层
	公众	0~9	/	西侧	患者走廊、庭院、楼梯间等
	/	9~50	/		地下土层
	公众	0~5	/	北侧	公共走廊
	公众	5~50	30		放疗中心
	核医学科工作人员和公众	紧邻	8	楼下	回旋加速器室和停车场

	公众	紧邻	15	楼上（地下一层）	配电室、血透辅助区
--	----	----	----	----------	-----------

备注：诊疗后的患者出口位于地下一层西侧室外庭院。



图 7-2 本项目地下三层周围关系图

7.3 评价标准

7.3.1 基本剂量限值

电离辐射防护与辐射源安全基本标准（GB 18871-2002）规定的剂量限值列于表 7-2。

表 7-2 工作人员职业照射和公众照射剂量限值（GB 18871-2002）

职业工作人员	公众
连续五年平均有效剂量 20mSv, 且任何一年有效剂量 50mSv	年有效剂量 1mSv; 但连续五年平均值不超过 1mSv 时, 某一单一年可为 5mSv
眼晶体的当量剂量 150mSv/a 四肢或皮肤的当量剂量 500mSv/a	眼晶体的当量剂量 15mSv/a 皮肤的当量剂量 50mSv/a

GB 18871-2002 规定了剂量约束值：对于职业照射，剂量约束是一种与源相关的个人剂量值，用于限制最优化过程所考虑的选择范围。对于公众照射，剂量约束是公众成员从一个受控源的计划运行中接受的年剂量的上界。

7.3.2 剂量约束值

职业照射，本项目辐射取 2mSv/a 作为剂量约束值；公众照射，本项目取 0.1mSv/a 作为剂量约束值。

本次评价所取年剂量约束值数值与顺义院区核医学科门诊的管理目标值一致。对于辐射工作人员年受照剂量异常情况，医院应该进行调查并报生态环境部门备案。

7.3.3 辐射工作场所边界周围剂量率控制水平

本项目周围公众除满足上述剂量约束要求外，剂量率水平还要满足以下要求，依照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）并结合本项目实际情况，本项目辐射工作场所及设施的剂量率控制水平拟从严控制：

（1）在核医学控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5 μ Sv/h。

（2）控制区内屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25 μ Sv/h，宜不大于 2.5 μ Sv/h。

（3）PET/MRI 在进行给药患者扫描时，机房外表面 30cm 处的周围剂量当量率控制目标值不大于 2.5 μ Sv/h。

(4) 核医学工作场所的手套箱外表面 30cm 处的周围剂量当量率不大于 2.5 μ Sv/h。

(5) 固体放射性废物收集桶外表面 30cm 处的周围剂量当量率不大于 2.5 μ Sv/h。

7.3.4 放射性废水排放控制要求

(1) 水污染物排放标准

根据《北京市水污染物综合排放标准》(DB 11/307-2013) 等规定, 排入公共污水处理系统的水污染物排放要求: 总 α 排放限值为 1Bq/L, 总 β 排放限值为 10Bq/L。

(2) 放射性废水排放管理要求

核医学科门诊已许可使用的放射性核素包含有 A 类(半衰期小于 24h) 和 B 类(半衰期大于 24h), 故本项目放射性废水按 B 类的放射性废水管理收集。本项目放射性废水根据 HJ 1188-2021、京环办[2018]13 号和辐射函〔2023〕20 号文要求, 对于槽式衰变池(罐) 暂存方式, B 类(半衰期大于 24h) 放射性废水注满后, 暂存时间超过 10 倍最长半衰期且不少于 30 天(其中含 I-131 的放射性废水至少暂存 180 天) 后, 衰变池废水直接排放; 暂存时间不到 180 天, 应委托有资质的检测机构对拟排放废水中 I-131 核素的放射性活度浓度进行检测, 活度浓度不大于 10Bq/L 的规定。科室将在“放射性废水暂存、处置管理台帐”上详细记录解控排放废水所含核素、体积、废水暂存起始日期, 处置人员和处置日期等信息。

衰变池(罐) 显著位置应设置电离辐射警示标志, 池(罐) 底、壁应坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性和具有防泄漏措施。不同存储池(罐) 应进行编号标记, 且具有液位显示、超限溢流、入口切换等装置。

7.3.5 放射性固体废物管理

由于核医学科已许可使用的放射性核素包含有 A 类(半衰期小于 24h) 和 B 类(半衰期大于 24h) 核素, 因此可以将放射性废物分类收集暂存, 待衰变至符合清洁解控水平时, 再按医疗废物要求进行处理。

参照《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 和《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》, 核医学放射性固体废物须设置独立的暂存

室。药物操作场所、废物暂存室应分别设置有屏蔽能力并有电离辐射警示标志的废物桶、废物箱，并按照 A 类、B 类废物进行标识。药物操作场所废物桶内应使用不易破损的塑料袋对固体废物进行收集，密封袋口后转移至暂存室废物箱中，并在塑料袋外表面注明废物类别（A 类、B 类）、重量（或体积）、所含核素名称、暂存起始日期等信息。

A 类固体废物暂存时间超过 30 天、B 类固体废物暂存时间超过 10 倍最长半衰期且不少于 30 天后（含 I-131、Ra-223 和 Sr-89 核素的放射性固体废物暂存超过 505 天），使用经检定或校准合格的检测仪器对废物表面污染和辐射剂量率水平进行监测，辐射剂量率监测为所处环境本底水平且 α 、 β 表面污染水平分别小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 和 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，可对废物解控作为医疗废物处置，并详细记录“放射性固体废物暂存、处置管理台账”，内容包括放射性固体废物分类、废物所含核素名称、重量（kg）、废物暂存起始日期、废物暂存截止日期、表面污染自测结果、辐射剂量率自测结果、是/否符合解控要求、废物处置日期、废物处置操作人员、部门负责人审核、废物去向，每一袋放射性固体废物填写一行记录。

7.3.6 放射性废气排放管理

（1）《核医学科辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）通风要求：

1) 核医学工作场所应保持有良好的通风，工作场所的气流流向应遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，保持工作场所的负压和各区之间的压差，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。

2) 放射性物质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。

3) 通风橱应有足够的通风能力。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。

（2）《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）关于通风的要求

核医学工作场所通风系统独立设置，应保持核医学工作场所良好的通风条件，合理设置工作场所的气流组织，遵循自非放射区向监督区再向控

制区的流向设计,保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉污染,保证工作场所的空气质量。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。

本项目核医学科门诊相关辐射工作场所设置的排风系统的排风口都位于 1 号楼楼顶的西南侧,高度约 45m,高于周围 50m 范围内建筑物。

本项目核医学科门诊高活室设有手套箱 2 个,操作口风速均 $\geq 0.5\text{m/s}$ 。核医学科门诊共设有 2 套排风系统,其中核医学科门诊的手套箱和肺通气已设置独立的排风系统,配备高效过滤器(过滤效率 $\geq 99.97\%$)和活性炭过滤器(过滤效率 $\geq 90\%$),过滤器每年更换一次;核医学科门诊控制区设置一套排风系统,各排风机出口处设置活性炭过滤装置。

7.4 放射性工作场所分级

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002),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见表 7-3。

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 $\sim 2 \times 10^7$

依据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》(环办辐射函(2016)430号)中操作因子选取原则,顺义院区核医学科门诊的日等效最大操作量为 $2.89\text{E}+8\text{Bq}$,仍属于乙级非密封放射性物质工作场所。

7.5 工作场所放射性表面污染控制水平

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002),非密封源工作场所的放射性表面污染控制水平见表 7-4。

表 7-4 工作场所的放射性表面污染控制水平 (Bq/cm²)

类别	α 放射性物质		β 放射性物质	
	极毒组	其他		
工作台、设备、墙壁、	控制区	4	4×10	4×10

地面	监督区	4×10^{-1}	4	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4×10^{-1}	1×10^{-1}	4
	监督区			
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10^{-2}	4×10^{-2}	4×10^{-1}

上表中值包括固定污染和松散污染的总数。对于皮肤、内衣、工作袜的污染应及时清理，尽可能达到本底水平。对设备、墙、地面的污染，应适当去污后，残存的污染可适当放宽，但需有审管部门的同意，并不超过表中值的 5 倍。表面污染可按一定的面积计算平均值：工作服、皮肤取 100cm^2 ，地板取 1000cm^2 。

GB 18871-2002 附录 B2.2 条款规定：工作场所中的某些设备与用品，经去污使其污染水平降低到上述表 7-4 中所列设备类的控制水平的五分之一以下时，经审管部门或监管部门授权的部门确认同意后，可当作普通物品使用。

7.6 操作放射性同位素通风橱（手套箱）及排风口设置要求

《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）第 5.2.3 款：合成和操作放射性药物所用的通风橱（手套箱）应有专用的排风装置，风速应不小于 0.5m/s ，排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。

本项目核医学科门诊高活室设有手套箱 2 个，操作口风速均 $\geq 0.5\text{m/s}$ 。核医学科门诊共设有 2 套排风系统，其中核医学科门诊的手套箱和肺通气已设置独立的排风系统，配备高效过滤器（过滤效率 $\geq 99.97\%$ ）和活性炭过滤器（过滤效率 $\geq 90\%$ ），过滤器每年更换一次；核医学科门诊控制区设置一套排风系统，各排风机出口处设置活性炭过滤装置。排风口设在 1 号楼西南侧，排风口高度约 45m ，高于周围 50m 范围内建筑。

7.7 核医学相关工作场所的放射性物质污染的防护要求

《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）第 5.2 款给出了核医学科工作场所表面及装备结构要求，具体见表 7-5。

表 7-5 核医学相关工作场所的室内表面及装备结构要求

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 和去污装备	洗手盆 ^b 和去污装备	洗手盆

^a 下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测。

^b 洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制。

根据 GBZ 120-2020 标准中附录 G 的相关参数估算出，核医学科高活室，按照最大使用量核算 F-18 药物时，放射性的加权活度大于 50MBq、小于 50000MBq，属于 II 类场所，需按照表 7-5 要求，采取屏蔽措施，采用易清洗材料敷设地面，设分装柜和通风设施，设洗手盆和去污设备。

7.8 放射性药物操作的一般放射防护要求

根据《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020) 的有关规定，操作放射性药物应有专门场所；装有放射性药物的给药注射器，应有适当屏蔽；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；在控制区内不应进食、饮水、吸烟、化妆，也不应进行无关工作及存放无关物品；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达到相应规定值；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；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；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。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

8.1.1 地理位置

北京友谊医院顺义院区位于北京市顺义区友谊南街 1 号院，医院东至天北路，西至裕泰路，南至友谊南街，北至机场北线南路。

8.1.2 场所位置

本项目核医学科门诊位于 1 号楼地下二层西南侧，核医学科门诊东侧为核医学科办公区域，南侧为核医学科病房区域，西侧为地下土层，北侧隔公共走廊外为放疗中心，楼上为配电室、血透辅助区，楼下为正电子核素药物制备区和停车场。本次新增的 PET/MRI 室（第四显像室）东侧为控制廊，南侧为缓冲间，西侧为患者注射后走廊，北侧为机房，楼上为维修办公室、湿库、走廊、变配电室和医生办公室，楼下为维修器材间。

8.2 辐射环境监测

顺义院区核医学科门诊场所已许可工作区域辐射环境现状监测引用最近一年度的常规监测数据，新增 PET/MRI 室辐射环境现状监测本次委托有资质的检测公司进行现场检测。

8.2.1 核医学科门诊已许可工作区域

2025 年 5 月 28 日，长润安测科技有限公司对顺义院区核医学科门诊已许可工作区域进行了年度常规监测（监测报告编号：CR-FW-1120241733-035），目前核医学科门诊处于正常运行状态。根据检测报告结果可知，顺义院区核医学科门诊诊断及核素诊疗正常运行条件下，机房操作室操作位、墙体外 30cm 处、防护门外 30cm 处等各点辐射剂量率监测结果小于 2.5 μ Sv/h，符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）的相关要求，放射性表面污染控制水平符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中的相关要求。

8.2.2 新增 PET/MRI 室环境现状监测

8.2.2.1 监测项目

γ 剂量率。

8.2.2.2 监测对象及点位布设

监测对象：新增 PET/MRI 室及周边。

监测点位：对新增 PET/MRI 室及周边进行环境地表 γ 辐射监测。

8.2.2.3 监测仪器及方法

(1) 监测设备

监测采用的监测设备见表 8-1。

表 8-1 监测设备及性能指标

仪器名称	型号/编号	检定/校准证书 (有效日期)	主要技术性能指标
辐射检测仪	AT1123/20250702	DLjl2025-09735 2025年7月28日	50nSv/h-10Sv/h, 10nSv-10Sv

(2) 监测方法

γ 辐射剂量率：采用便携式监测仪表，以定点的测量方式进行。监测时每点测量 10 次，每次间隔 10 秒钟，取平均值。

8.2.2.4 监测依据

(1) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)。

8.1.5 监测结果

γ 剂量率的监测数据见表 8-2，检测点位图见图 8-1。

表 8-2 PET/MRI 室及周围环境 γ 辐射剂量率水平监测结果

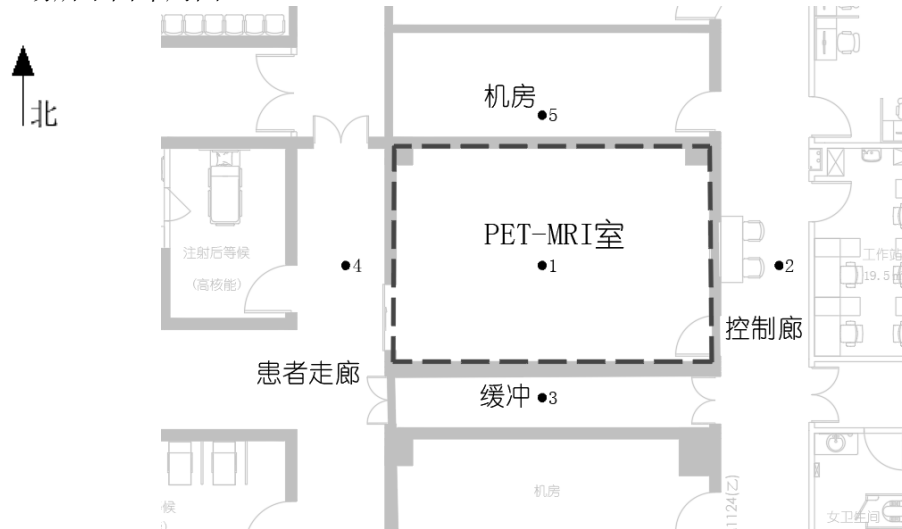
场所名称	点位序号	监测点位	辐射剂量率 (nGy/h)
PET/MRI 室及周围	1	PET/MRI 室中央	83±8
	2	PET/MRI 室东侧控制廊	83±1
	3	PET/MRI 室南侧缓冲	89±3
	4	PET/MRI 室西侧患者走廊	87±2
	5	PET/MRI 室北侧机房	89±2
	6	PET/MRI 室楼上维修办公室	104±5
	7	PET/MRI 室楼上湿库	103±4
	8	PET/MRI 室楼上医护走廊	108±5
	9	PET/MRI 室楼上医生办公室	95±6
	10	PET/MRI 室楼上变配电室	97±7
	11	PET/MRI 室楼下维修器材间	94±5
	12	PET/MRI 室楼下维修器材间	96±4

注：①检测结果包含仪器在检测点处的宇宙射线响应值 (30nGy/h)。②检测时仪器探头中心距离地面为 1m。③检测时核医学科已完成当天工作，检测场所周围无人员活动。

根据《中国环境天然放射性水平》(1995)，北京市天然辐射水平范围为

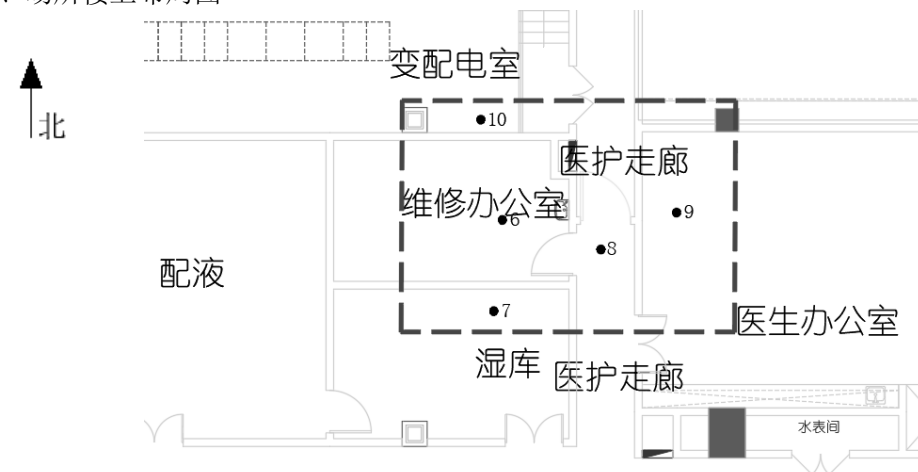
69.8~182nGy/h（室内，含宇宙射线）。由表 8-5 中检测结果可知，拟建辐射工作场所及周围的 X- γ 辐射剂量率为 83~108nGy/h，为北京市的天然本底范围之内，未发现异常高值。

1、场所平面布局图



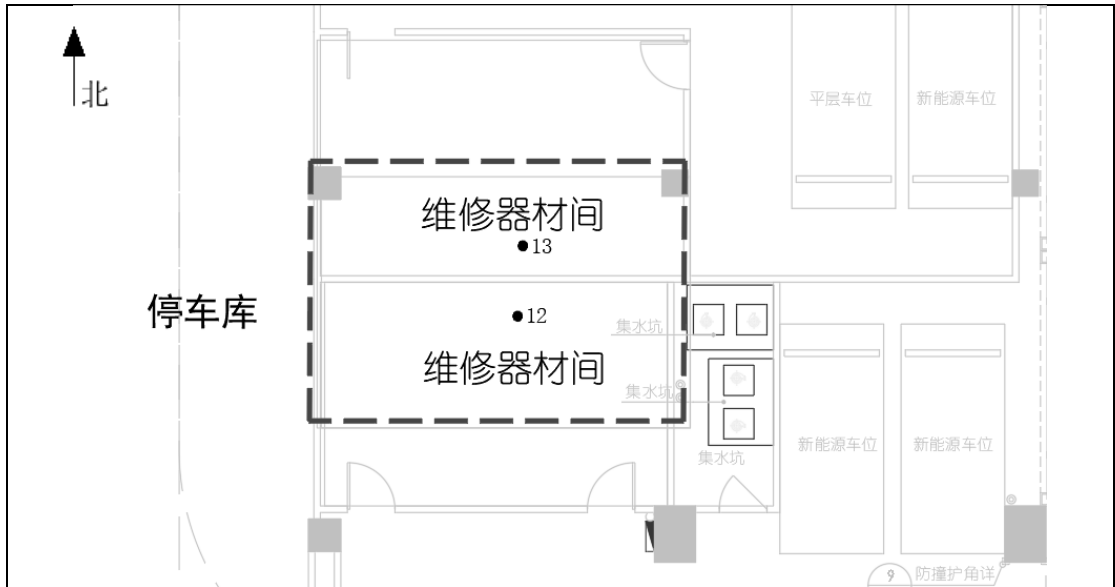
注：虚线框为本次场所位置。

2、场所楼上布局图



注：虚线框为本次检测场所楼上投影位置。

3、场所楼下布局图



注：虚线框为本次检测场所楼下投影位置。

图 8-1 PET/MRI 室及周围环境 γ 辐射剂量率监测点位图

表 9 项目工程分析与源项

9.1 核医学科诊疗场所

核医学是采用核技术来诊断、治疗和研究疾病的一门新兴学科。它是核技术、电子技术、计算机技术、化学、物理和生物学等现代科学技术与医学相结合的产物。核医学可分为两类，即临床核医学和基础核医学。本次改扩建内容为增加 F-18、Ga-68 等正电子核素药物使用量来开展 PET/MRI 诊断。

PET 作为一种先进的核医学影像手段，对于功能、代谢和受体分布等的显示具有优势，被称为“生化显像”或“分子成像”，利用核素示踪原理，在分子水平上，通过动态、定量的监测人体内部的生化变化来观察其功能状态，显示人体器官组织正常或病变。所以 PET 又称之为“生化显像”或“分子显像”。

PET 正电子药物显像技术的应用实现了医学影像领域的功能显像和定量分析，而且具有灵敏度高，核素半衰期短，成像速度快等特点，为生物、基础研究、疾病的诊断、治疗预后的判断和保健提供了超前或提前的信息，对推动生命科学、现代医学和其他学科的发展具有重要的意义。

正电子药物 PET 显像剂按功能大致分为脑功能显像剂、心功能显像剂、肿瘤阳性显像剂等，其中 ^{18}F -脱氧葡萄糖（FDG）是目前应用最为广泛的正电子药物。FDG 可测定肿瘤、心脏及脑中的葡萄糖代谢，用于肿瘤、冠心病及神经/精神疾病的早期诊断、鉴别诊断及指导治疗。

MRI 是一种生物磁自旋成像技术，它是利用原子核自旋运动的特点，在外加磁场内，经射频脉冲激励后产生信号，用探测器检测并输入计算机，经过计算机处理转换后在屏幕上显示图像。PET/MRI 是 PET 和 MR 技术的结合，MR 具有软组织对比度好，多参数成像，无额外电离辐射等优点，将两种检查设备整合到一起，即形成现在的 PET/MRI 技术。二者的结合起到优势互补、相互配合、互为对照的作用。PET 通过与 MR 结合，提高病灶定位的准确性。拟新增使用 uPMR790 型 PET/MRI 装置示意图如图 9-1 所示。



图 9-1 本项目新增使用 PET/MRI 装置示意图

9.2 工作流程

9.2.1 放射性同位素显像工作流程

放射性同位素显像医学检查的工作流程：含示踪核素的放射性药物经由静脉注射方式进入受检者体内，药物分布到特定器官并释放 γ 射线，利用 PET 探测成像仪器进行扫描和显像，检查工作流程如下：

检查工作流程：患者预约登记→计划订药（有资质的单位提供）→质检→分装→患者注射→用药后候诊区候诊→摆位→图像采集→图像处理→读片、发报告。

订货：目前核医学科门诊区域由药品公司提供，待正电子核素制备区投入使用后，核医学科门诊使用的正电子药物将由回旋加速器提供。

提前一天根据预约的检查人数及诊断项目，用核素向药品公司订购标记的放射性药物（目前 F-18、Ga-68 试剂送来时是整装，使用时需要根据实际情况进行分装）。

质检：药物运输至核医学科门诊的高活室门口，质检人员核对放射性药物名称、规格和数量，检查包装和外观质量，在核医学科门诊高活室门口的摄像

头监控下，由核医学科负责药物注射工作人员与送药人员办理“点对点”交接手续，然后暂存于高活室内。

分装：本场所显像核素 F-18 和 Ga-68 需要分装，在手套箱内进行分装。

注射：在注射室内，打开铅屏蔽盒，取出一次性注射器或口服液，给患者注射标记放射性药物，然后将废注射器装入铅屏蔽盒内暂存。

检查：病人在给药后病人候诊区等候，如 F-18 候诊时间约 40min~90 min，待药物有一定程度的代谢后，进行 PET/MRI 扫描检查（检查时间 20min~60min，平均不超过 40min）。检查前通常如厕排空膀胱内尿液，以减少尿液中放射性的干扰。

受检者在扫描检查后，在机房等片刻（PET 患者只有延时显像时才需要留观），如显像符合要求即离开核医学科门诊。

9.2.2 PET 刻度源质控流程

PET/MRI 配备 1 枚 Ge-68 放射源，活度为 $7.4E+7Bq$ ，由物理师每周一次质控使用，质控时物理师把密封源从源室按要求取出放到 PET/MRI 检查床指定位置后回到控制室按规定程序进行扫描，扫描结果都通过后结束质控，把密封源取下运回源室。平常不使用时都储存在源库内，刻度源外配有 20mmPb 屏蔽桶（刻度源不使用时一直存放于铅桶内）。带铅屏蔽的桶源长度约 54.4cm，直径 52cm。



图 9-2 同类型的刻度源外观图

9.3 放射性显像核素使用量

本次改扩建核医学科门诊仅增加 PET/MRI 检查人次，其中 PET/MRI 检查使用 F-18 药物的用量不大于 370MBq/人（一般约为 222MBq/人），每个检查日最多实施 PET 检查 8 人次，每年工作 250 天；Ga-68 药物的用量不大于 185MBq/人，每个检查日最多实施 PET/MRI 检查 2 人次，每年工作 50 天。

9.4 使用放射性核素污染途径分析

9.4.1 正常工况的污染途径

（1）贯穿辐射。在进行药物交接、质检、分装、注射（服用）、观察病人和摆位等操作时，操作人员及注射区、候诊区和扫描机房周围等停留的公众可能受到核素释放出的 β 射线、 γ 射线的影响。因此，核诊断项目的污染因素主要是产生 γ 射线和 β 射线。核医学科门诊已许可使用的Tc-99m气体制备过程施用中，工作人员吸入Tc-99m气溶胶造成内照射。

（2）使用放射性物质过程中，会产生一定量的放射性废水和放射性固体废物。放射性废水主要来自于卫生间冲厕废水，高活室洗手废水、冲洗拖布废水、应急废水等。放射性固体废物主要来源于患者使用的注射器、棉棒、一次性个人防护用品和垫布等物品。项目产生含放射性废物收集于高活室铅桶内暂存。

（3）本场所目前使用的 F-18、Ga-68 放射性药物都是向专业公司购买。在手套箱内主要对 F-18、Ga-68 正电子核素进行分装。F-18、Ga-68 等放射性药物为液体溶液，不易挥发，且分装时间较短，故使用过程中产生的放射性气体十分微量。

本场所目前许可使用的 I-131 属于挥发性核素，但都是胶囊，挥发性相对较低。其它核素的挥发性更小，如 ^{18}F FDG（脱氧葡萄糖的氟代衍生物）为液体溶液，不易挥发，且分装时间较短，故使用过程中产生的放射性气体十分微量。

9.4.2 非正常工况的污染途径

操作放射性药物时发生容器破碎，药物泼洒等意外事件，有可能污染工作台、地面、墙壁、设备等，甚至造成手和皮肤的污染。泼洒的药物挥发将产生少量放射性废气，污染清除将产生少量的放射性固体废物。

放射性表面污染：在使用放射性同位素的过程中，因容器破碎，药物泼洒等，有可能污染工作台、地面、墙壁、设备等，甚至造成手和皮肤的污染。此

外，给药患者呕吐或者排泄，也可能导致局部环境的放射性污染。

放射性药物保管不当，发生遗失或被盗，可能造成环境放射性污染。核医学学科场所在高活室暂存的放射性同位素，采用视频监控和门禁管理，执行使用登记管理制度，可有效防止同位素被盗和丢失事件的发生。放射性废物处置或管理不当，造成环境放射性污染。

操作不当或患者不配合引起的Tc-99m气溶胶弥散：患者在吸气时与工作人员配合较差，导致Tc-99m气体泄漏或逸出，或者吸药结束后工作人员未要求患者继续呼吸以清除管道和患者气道中的Tc-99m气体，造成Tc-99m气体弥散，锡气发生器装置或阀门泄露造成Tc-99m气体泄露或逸出。工作人员应嘱咐患者正确的吸气方式，严格遵守操作规程，吸入管道或面罩连接好患者之前，不能开启病人通气开关，停止锡气吸入后，继续连接吸入器并在传送开关开启状态至少呼吸5次，以清除管道和病人气道中的放射性气体，石墨坩埚易碎，要谨慎安装并确保接触良好。

9.5 放射性核素分析

本项目增加使用量的放射性核素主要物理参数列于表 9-1。

表 9-1 本项目使用的放射性核素主要参数

序号	核素名称	毒性	半衰期	衰变类型	主要能量/平均能量 (keV)
1	F-18	低毒	109.8min	β^+ 、EC	β^+635 、 $\gamma511$
2	Ga-68	低毒	68.3min	β^+ 、EC	β^+1899 、 $\gamma511$

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 项目竣工环保验收

项目竣工后，应对辐射防护设施进行竣工环保验收，其中包括辐射屏蔽、安全防护设施和辐射防护用品，这些项目依照设计标准验收合格后，PET/MRI 室方可正式投入运行。如场所布局发生较大变化，需重新履行环保审批手续。

10.1.2 顺义院区核医学科门诊改扩建方案

10.1.2.1 顺义院区核医学科门诊布局：

(1) 核医学科门诊区域位于 1 号楼地下二层西南侧，其楼下设有正电子核素制备区（在建中），正电子药物可通过专门药梯送入核医学科门诊高活室；其南侧设有核医学科病房区域，两个区域毗邻也相互独立。

(2) 核医学科门诊根据诊疗流程，合理设计各功能房间的布局，5 个扫描间（已许可使用 3 个，本项目为增加使用其中 1 个扫描间）的控制室集中布置在西侧，高活室设在西北侧的入口处，可防止交叉污染。

(3) 核医学科门诊设有相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。患者路径单向设计，从北侧独立入口分别进入核医学 SPECT 区域和 PET 区域，依次完成注射、候诊、检查和留观活动后，从西侧出口离开核医学科。给药后患者与给药前患者不交叉。医护人员设有专用的通往高活室、控制室和办公区的通道，和给药后患者路径不交叉。医护人员进入高活室控制区的出入口设立了缓冲区，用来更换工作服和工作鞋，防止放射性污染扩散至控制区外。

(4) 核医学科工作人员办公场所设在地下二层核医学科东侧，与核医学科门诊、核医学科病房、正电子核素制备区和动物 PET 室这四个场所之间设有通道，医护人员可以方便到达 4 个场所。

从功能分区来看，患者候诊、工作人员办公、放射性操作等区域划分明确，且相对隔离，满足了核医学科分区管理的要求，尽可能避免公众和医护人员受到不必要的辐射照射。

核医学科门诊在控制区与普通场所之间采用实体屏蔽或者缓冲区隔离，医护人员通道和患者通道相对独立且没有交叉，有效避免了医护人员受到不必要

照射。

在放射性操作场所内部设计了辐射防护门、铅玻璃观察窗，排风设施和放射性废水收集及暂存设施。此外，还配备有热室、铅玻璃观察窗、防辐射实体屏蔽、铅罐、铅屏蔽注射窗、废物桶等安全防护设施、器材，以及配备铅衣、铅帽、铅围脖、铅手套、铅眼镜等工作人员防护用品。

综上所述，核医学科门诊现有布局考虑了相对独立、避免交叉，便于使用和分区管理等因素，布局设计基本合理。

本次改扩建仅在预留的 PET/MRI 室（第四显像室）内增加使用 1 台 PET/MRI，并增加 F-18 和 Ga-68 两种核素使用量，利用核医学科门诊现有的高活室、注射后候诊室、留观室、卫生间等，核医学科门诊现有布局、流线、防护及配套设施均保持现状不变。

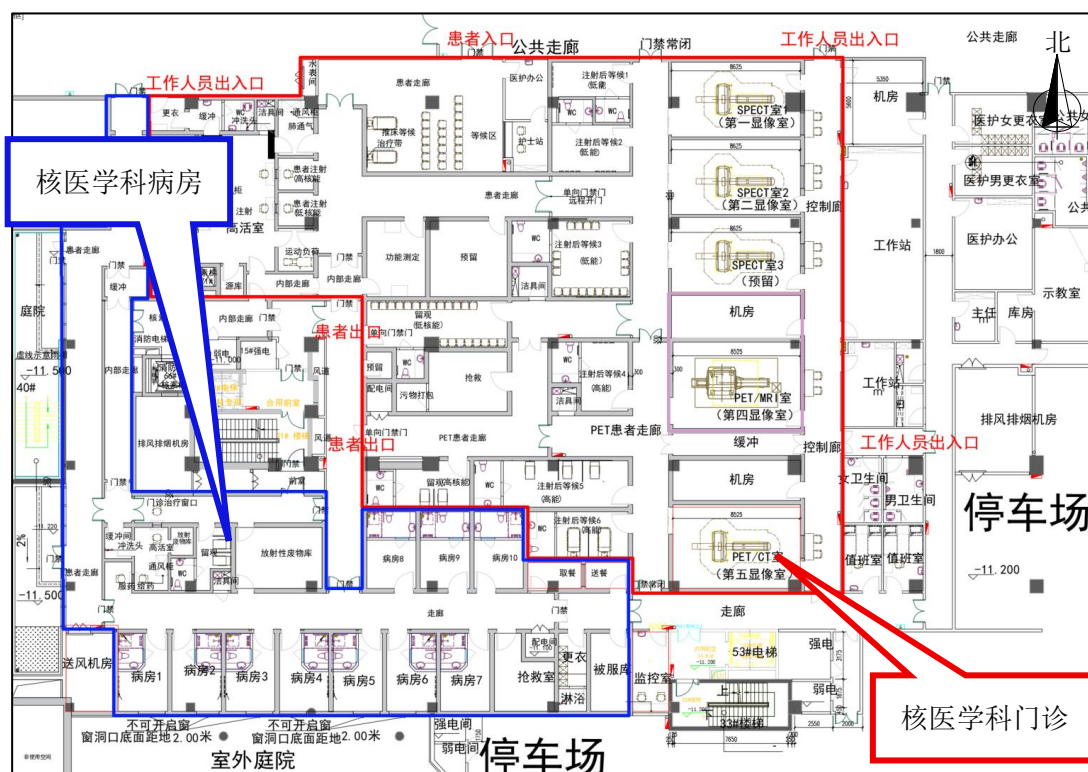


图 10-1 顺义院区核医学科门诊改造后平面布局图

10.1.2.2 顺义院区核医学科门诊分区：

现有核医学科门诊使用核素 F-18、Tc-99m 等核素开展核素显像检查。按照使用功能划分为两个分区：

- (1) 核素诊疗工作区（控制区），包括注射室、运动负荷室、高活室、源库、PET/CT 室、2 间 SPECT 室、3 间高能候诊室、3 间低能候诊室、废物间、

功能测定室、注射后患者通道、抢救室、留观室等。该区出入通道安装单向门禁系统。

(3) 监督区，包括控制廊、设备机房、缓冲区、更衣室等。

本次改扩建后将增加控制区和监督区的范围，将 PET/MRI 室（第四显像室）设为控制区，其北侧机房设为监督区。

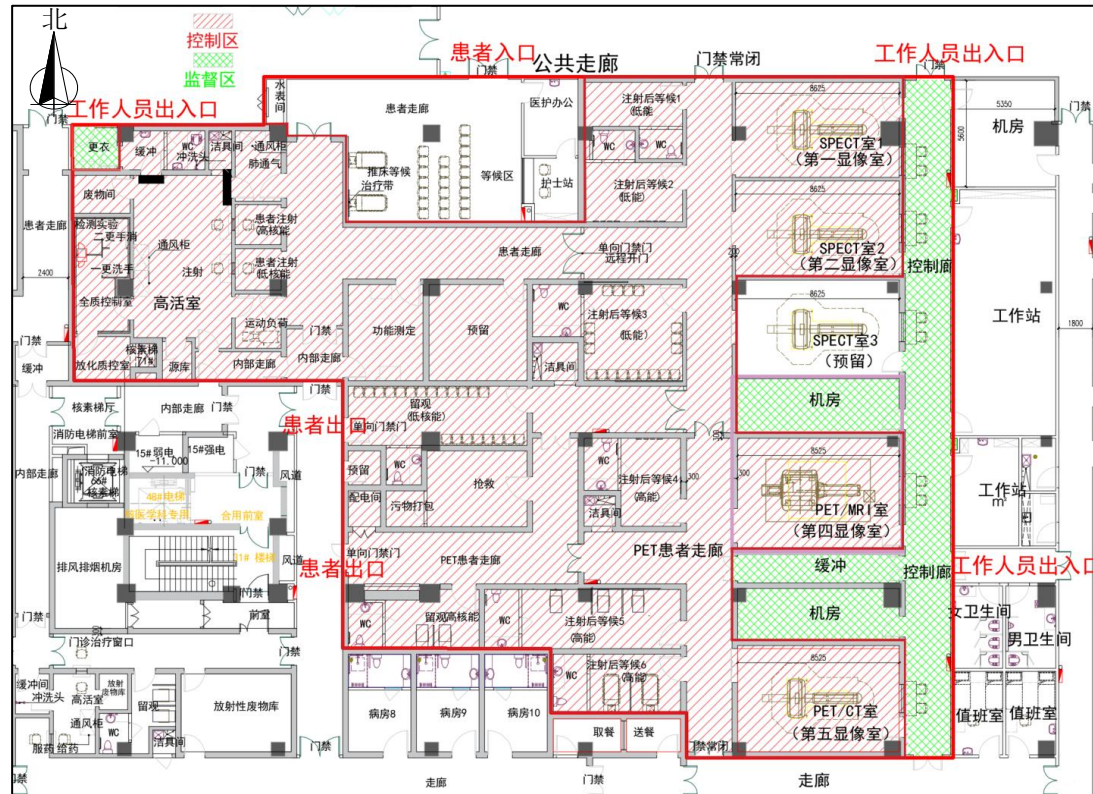


图 10-2 顺义院区核医学科门诊改造后分区图

10.1.2.3 顺义院区核医学科门诊人流、物流等设计合理性分析

(1) 患者路线

患者显像检查路线：患者在候诊区进行登记→在注射前候诊区候诊→由患者走廊从北侧入口进入检查区→在注射室接受药物注射→在注射后候诊区休息→按检查要求排尽小便→进行扫描检查→检查完毕，由核医学科门诊西侧坐电梯或楼梯出口地下一层的西南部，直通地下一层西侧室外庭院。

甲状腺摄碘功能测定路线：患者在候诊区进行登记→在注射前候诊区候诊→由患者走廊从北侧入口进入检查区→在注射窗口接受给药→功能测定室测量→由功能测定室西侧离开，坐电梯或楼梯出口地下一层的西南部，直通地下一层西侧室外庭院。

(2) 工作人员工作流程

➤ 高活室工作人员：

工作人员从北侧缓冲间进入更衣间→更换鞋和工作服→引导受检者接受药物注射，在指定区域候诊，交待注意事项，或进行药物接收、质检、分装和注射操作→工作结束后在缓冲间更换工作服、工作鞋，由缓冲间离开。

➤ 控制廊操作人员：

工作人员由北侧的门进入，完成工作后从北侧离开。

(3) 放射性物品流转过程

外购放射性药物：由供货公司通过地下一层西侧室外庭院进入 66 号电梯（该电梯只从地下三层到地下一层）→由高活室南侧走廊进入并送至地下二层高活室→在核医学科高活室内药品管理员与送货人员办理验收交接手续→记录药品规格、批次、数量以及收货时间→药品暂存于高活室→在高活室注射操作（外购显像核素厂家都是按人份已分装好）→废弃的放射性污染材料暂存在废物间专用废物桶内→待满足清洁解控环境管理要求后，转移至医院医疗废物间集中进行处理。剩余的放射性药物连同包装容器由供货方在下次送药时收回。

回旋生产放射性药物目前尚未启用，待启用后的路线：由地下三层专用核素梯（71 号电梯）送至高活室→在核医学科高活室内记录药品规格、批次、数量以及收货时间→药品暂存于高活室手套箱内→在高活室手套箱内进行药物分装和注射操作→废弃的放射性污染材料暂存在废物间专用废物桶内→待满足清洁解控环境管理要求后，转移至医院医疗废物间集中进行处理。

(4) 放射性废物转移路线

注射窗旁设置 2 个铅废物桶（1 个 5mmpb，1 个 20mmPb），存放废弃的放射性药物、注射器、包装物、棉棒、一次性用品等，按日期于每周星期一早晨转移至废物间。废物间设置 4 个铅废物桶（4 个 5mmpb），废物桶交替使用，一个废物桶储存满后更换另一个，待放射性固废放置至少一个月和 10 个半衰期后，满足清洁解控后处置，作为医疗废物处理，从控制区出口运出，并详细记录“放射性固体废物暂存、处置管理台账”，内容包括废物分类、所含核素名

称,重量,暂存起止时间,表面污染和辐射剂量自测结果,废物处置日期,处置操作人员,废物去向,部门审核人员等内容。

本次改扩建不改变核医学科门诊现有的工作人员、患者、药物和废物流线,仅增加患者至 PET/MRI 室的部分流线。

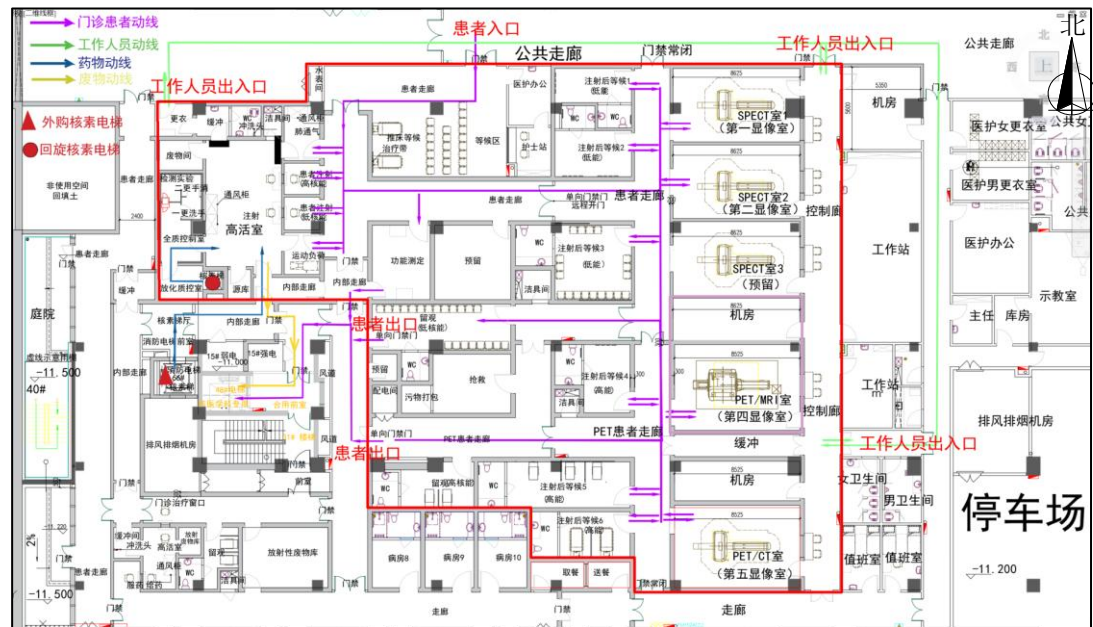


图 10-3 顺义院区核医学科门诊改造后流线图

(5) 出入口控制

1) 受检人员出入口控制: 在核医学科门诊北侧的患者入口、西北侧患者出口处各安装 1 道设有单向门禁系统的防护门,并在防护门上张贴电离辐射警告标志和中文警示说明,提醒无关人员不要进入,受到不必要的照射。

2) 医护人员出入口控制: 在医务人员进入更衣室、高活室、进入控制廊等都设置门禁系统,防止患者和其他无关人员误入高活室等工作人员操作区域。

10.1.3 辐射屏蔽设计方案

核医学科门诊现有相关场所已根据辐射防护要求,设计了含混凝土、铅防护门、铅玻璃,专用手套箱,放射性废水衰变池和固体废物间等。此外,还配备有防辐射注射窗、铅制废物桶,药品盛装铅盒等防护器具等,以及工作服、拖鞋等工作人员防护用品,地下二层层高为 5.3m,地下三层层高为 4.8m。

本次项目核医学科门诊原场所布局及屏蔽均未发生变动,核医学科门诊的实体屏蔽方案见表 10-1 所示,核医学科辐射安全防护设施见表 10-2。

表 10-1 核医学科门诊场所主要场所的屏蔽情况

序号	场所名称	屏蔽墙体方向	屏蔽厚度	周围环境
1	PET/CT 室 (第五显像室)(有效尺寸为5.5m×7.3m)	东墙	35cm 混凝土	控制廊
		南墙	35cm 混凝土	走廊
		西墙	35cm 混凝土	患者走廊
		北墙	35cm 混凝土	设备机房
		楼上	35cm 混凝土	配电间、库房、插管室、接诊区
		楼下	35cm 混凝土	停车场
		防护门	6mmpb	控制廊、患者走廊
		观察窗	8mmpb 当量铅玻璃	控制廊
2	PET/MRI 室 (第四显像室)	东墙	35cm 混凝土	控制廊
		南墙	35cm 混凝土	缓冲间
		西墙	35cm 混凝土	患者走廊
		北墙	35cm 混凝土	设备机房
		楼上	35cm 混凝土	维修办公室、湿库、走廊、变配电室和医生办公室
		楼下	35cm 混凝土	维修器材间
		防护门	6mmpb	控制廊、患者走廊
		观察窗	8mmpb 当量铅玻璃	控制廊
3	SPECT 室 1 (第一显像室)(最小有效尺寸为4.9m×7.0m)	东墙	25cm 混凝土	控制廊
		南墙	25cm 混凝土	SPECT 室 2 (第二显像室)
		西墙	25cm 混凝土	患者走廊
		北墙	25cm 混凝土	走廊
		楼上	25cm 混凝土	变配电室、走廊
		楼下	25cm 混凝土	停车场
		防护门	3mmpb	控制廊、患者走廊
		观察窗	3mmpb 当量铅玻璃	控制廊
4	SPECT 室 2	东墙	25cm 混凝土	控制廊

	(第二显像室)(最小有效尺寸为4.9m×8.6m)	南墙	25cm 混凝土	预留 SPECT 室 3
		西墙	25cm 混凝土	患者走廊
		北墙	25cm 混凝土	SPECT 室 1 (第一显像室)
		楼上	25cm 混凝土	变配电室、走廊
		楼下	25cm 混凝土	停车场
		防护门	3mmpb	控制廊、患者走廊
		观察窗	3mmpb 当量铅玻璃	控制廊
5	注射后候诊室 4 (高能)	东墙	35cm 混凝土	患者走廊
		南墙	35cm 混凝土	患者走廊
		西墙	35cm 混凝土	患者走廊、洁具间
		北墙	35cm 混凝土	患者走廊
		楼上	35cm 混凝土	配液室
		楼下	35cm 混凝土	停车场
		防护门	8mmpb	患者走廊
6	注射后候诊室 5 (高能)	东墙	35cm 混凝土	患者走廊
		南墙	35cm 混凝土	注射后候诊室 6
		西墙	35cm 混凝土	高能留观室
		北墙	35cm 混凝土	患者走廊
		楼上	35cm 混凝土	走廊
		楼下	35cm 混凝土	停车场
		防护门	8mmpb	患者走廊
7	注射后候诊室 6 (高能)	东墙	35cm 混凝土	患者走廊
		南墙	35cm 混凝土	核医学科病房取餐、送餐间
		西墙	35cm 混凝土	核医学科病房 10
		北墙	35cm 混凝土	注射后候诊室 5
		楼上	35cm 混凝土	更淋间
		楼下	35cm 混凝土	停车场

		防护门	8mmpb	患者走廊
8	注射后候诊室 1~2 (低能)	东墙	25cm 混凝土	2 间候诊室为南北紧邻设置, 候诊室东侧为患者走廊, 西侧为护士站和医护办, 候诊室 1 北侧为走廊, 候诊室 2 南侧为患者走廊
		南墙	25cm 混凝土	
		西墙	25cm 混凝土	
		北墙	25cm 混凝土	
		楼上	25cm 混凝土	变配电室
		楼下	25cm 混凝土	停车场
		防护门	3mmpb	患者走廊
9	注射后候诊室 3 (低能)	东墙	25cm 混凝土	患者走廊
		南墙	25cm 混凝土	患者走廊
		西墙	25cm 混凝土	预留 (库房)
		北墙	25cm 混凝土	患者走廊
		楼上	25cm 混凝土	变配电室
		楼下	25cm 混凝土	停车场
		防护门	3mmpb	患者走廊
10	高活室	东墙	35cm 混凝土	肺通气室、高活室、运动负荷室
		南墙	35cm 混凝土	内部走廊、源库、核素梯 (71 号电梯)
		西墙	35cm 混凝土	回旋质控区、废物间
		北墙	35cm 混凝土	更衣间、缓冲间、洁具间
		楼上	35cm 混凝土	柴油发电机间
		楼下	35cm 混凝土	回旋热室和 GMP 区
		注射窗	40mmpb、20mmpb 当量铅玻璃	/
		手套箱	50mmpb/10mmpb 当量铅玻璃	两个手套箱, 铅当量分别为 50mmpb、10mmpb
11	源库	东、北墙	25cm 混凝土	高活区和内部走廊
		西、南墙	35cm 混凝土	核素梯 (71 号电梯) 和内部走廊
		楼上	35cm 混凝土	值班室

		楼下	35cm 混凝土	核素梯（71号电梯） 缓冲间
11	废物间	东墙	25cm 混凝土	高活区
		南墙	25cm 混凝土	回旋质控区（检测实 验室）
		西墙	35cm 混凝土	核医学科病房区患者 通道
		北墙	25cm 混凝土	更衣间
		楼上	35cm 混凝土	回旋热室
		楼下	35cm 混凝土	柴油发电机间
		防护门	2mmpb	高活区
12	运动负荷室	东墙	35cm 混凝土	患者通道
		南墙	25cm 混凝土	内部走廊
		西墙	25cm 混凝土	高活室
		北墙	25cm 混凝土	注射室
		楼上	35cm 混凝土	柴油发电机间
		楼下	35cm 混凝土	污物间
		防护门	3mmpb	患者走廊
13	肺通气室	东墙	35cm 混凝土	患者通道
		南墙	25cm 混凝土	注射室
		西墙	25cm 混凝土	高活室
		北墙	35cm 混凝土	走廊
		楼上	35cm 混凝土	柴油发电机间
		楼下	35cm 混凝土	污物间
		防护门	3mmpb	患者走廊
14	功能测定室	东墙	35cm 混凝土	预留（库房）
		南墙	35cm 混凝土	留观室（低能）
		西墙	35cm 混凝土	走廊
		北墙	35cm 混凝土	患者走廊
		楼上	35cm 混凝土	变配电室

		楼下	35cm 混凝土	停车场
		防护门	1mmpb	患者走廊
15	留观室（低能）	东墙	35cm 混凝土	患者走廊
		南墙	35cm 混凝土	抢救室、污物打包室、预留间
		西墙	35cm 混凝土	患者离开走廊
		北墙	35cm 混凝土	功能测定室和预留（库房）
		楼上	35cm 混凝土	变配电室
		楼下	35cm 混凝土	停车场
		防护门	2mmpb	患者离开走廊和患者走廊
16	留观室（高能）	东墙	35cm 混凝土	注射后候诊室 5
		南墙	35cm 混凝土	核医学科病房 8、9、10
		西墙	35cm 混凝土	患者离开走廊
		北墙	35cm 混凝土	患者走廊
		楼上	35cm 混凝土	走廊
		楼下	35cm 混凝土	停车场
		防护门	6mmpb	患者离开通道和患者走廊

注：混凝土密度 2.35g/cm³，铅密度 11.34g/cm³，墙面和楼板厚度已加混凝土垫层或混凝土抹灰，各功能室墙面、地面均为光滑饰面。

表 10-2 核医学科门诊辐射安全防护设施表

序号	项目	内容	是否拟设置	备注
1*	A 场所设施	场所分区布局是否合理及有无相应措施/标识	√	地面标注控制区和监督区，地面设置引导文字和标线。
2*		电离辐射警告标志	√	出入口、显像室防护门、高活室等门上粘贴电离辐射警示标志
3*		独立的通风设施	√	高活室设带屏蔽设计的手套箱，配有负压手套箱。场所也设有通风系统。
4*		治疗病房病人之间防护	/	核医学科门诊场所无治疗病房
5*		给药操作人员屏蔽	√	配备两个给药铅防护窗口
6		易去污的工作台面	√	采用不锈钢台面

7*		病人专用卫生间	√	专用卫生间及排水管线
8*		放射性核素暂存场所或设施	√	同位素在高活室、源库暂存，设闭路监控。
9*	B 监测 设备	表面污染监测仪	√	已配 1 台表面污染仪
10*		便携式辐射水平监测仪	√	已配 1 台环境级 X、γ 辐射测量仪
11*		个人剂量计	√	所有工作人员配备 TLD 个人剂量计
12		个人剂量报警仪	/	不配备
13*	C 放射 性废 物和 废液	放射性废液处理排放系统及标识	√	总容积 142.56m ³ 槽式衰变池（4 槽）
14*		放射性固体废物暂存场所或设施	√	设废物间，贮存放射性废物
15*	D 防护 器材	个人防护用品	√	铅玻璃，配备一次性医用口罩和手套等
16*		放射性表面去污用品和防污染材料	√	洗涤灵、酒精和棉球

注：加*的项目是重点项，有“设计建造”的划√，没有的划×，不适用的划/。

10.1.4 辐射防护措施

(1) 实行控制区和监督区分区管理。在控制区患者出、入口分别安装单向门禁系统、工作人员出入口拟安装门禁系统，防止无关人员进入控制区。控制区出入口外、SPECT 机房、PET 机房上张贴电离辐射警告标志，警示无关人员不要在出、入口长久停留。SPECT 机房、PET 机房防护门上方设置工作状态指示灯，安装门灯连锁装置，控制室防护门关闭，警示灯自动亮起。

(2) 放射性表面污染控制措施：注射区、高活室、扫描机房、源库、废物间、候诊室及卫生间和控制区走廊地面采用无缝隙、防渗，且容易清洗和去污的材料覆盖，墙面 1.5m 高度张贴防渗的墙面，便于去污。手套箱和工作台面选用表面光洁、耐腐蚀、防渗漏、易去污的材料。工作人员进入辐射工作区，穿工作服，涉及放射性药物的操作佩戴乳胶手套。工作人员相关操作后应使用仪器及时检测个人防护用品外表面、操作用品和操作场所的表面污染。

(3) 外照射防护：2 个具有防护功能的铅玻璃窗的注射窗和 1 个可移动铅屏蔽注射台（运动负荷室注射时使用），可有效减少注射过程中工作人员受照剂量，候诊室、显像室均为实体屏蔽，配备 6 个铅废物桶（其中 1 个为 20mmPb，另外为 5mmPb）、2 个钨合金注射防护套和 5 套铅衣（SPECT 使用）。核医学

科控制区边界、核素操作、受检人员候诊和扫描场所外围墙体采用实体屏蔽措施，顶棚和底板为混凝土浇筑，患者进、出通道门安装铅制防护门。检查机房安装铅制防护门（具有防夹功能），观察窗安装铅玻璃。保证核医学科控制区边界外的辐射剂量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

（4）内照射的防护：高活室配备 2 个具有防护功能 $50\text{mmPb}/10\text{mmPb}$ 当量的手套箱，在肺通气室配备 1 套集气罩，并都带有高效过滤器，手套箱设备正面配有铅玻璃、观察窗及操作工作孔。在手套箱内分装放射性药物。手套箱设置专用排风管道，排风口引至楼顶。手套箱的风量满足要求（风速大于 0.5m/s ）。一旦发生放射性污染，应收集污染物，先采用吸水纸擦除方法处理，检测表面污染状况，采取措施确保表面污染水平低于控制限值，并将擦拭物作为放射性固废处置。此外，在高活室、留观区、PET 机房、SPECT、源库、废物间等其它场所均设置排风口，排风同样由专用排风管道引至建筑物顶部，经活性炭过滤后排放。

（5）妥善收集固体放射性废物。注射窗旁设 20mm 铅和 5mmPb 的废物桶各 1 个（容积 10L ），暂存废弃的放射性药物注射器、诊断试剂盒、包装物、棉棒、一次性用品等，每周星期一早上转移至核医学科放射性废物间。核医学科废物间设置 4 个 5mm 铅的废物桶（容积 20L ），2 个用来轮流贮存 A 类废物，2 个用量轮流贮存 B 类废物。放射性固废依照 HJ 1188-2021 和《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》固体废物相关要求了解控处置，并详细记录放射性固体废物暂存、处置管理台账，清晰记录放射性废物的暂存、检测、解控、排放等信息。在患者给药候诊室拟配备普通废物桶。

（6）放射性废水收集处置设施：核医学科门诊高活室内洗手池废水，清洁间废水，给药后患者专用卫生间的冲厕废水以及应急产生的废水等，通过专用管道一并进入的放射性废水衰变池。放射性废水排放管道路线在管道层、管道井，没人员活动区，管道外表面无需铅皮进行包裹防护。衰变池为槽式，核医学科解控排放的废水，排入医院污水处理站，并详细记录“放射性废水暂存、处置管理台账”，清晰记录放射性废水的暂存、检测、解控、排放等信息。

（7）源库采取安保措施，安装防盗门、闭路监视系统、红外防闯入报警系统等，落实放射源和放射性药品的三级安全防范措施，安装火灾报警器，配备

灭火器材，以及必要的警示标志，放射源平常储存在铅桶内。

(8) 在核医学科患者通道入口处、留观室、给药后候诊区、机房内等处均设置视频监控系统，便于观察和管理给药患者的活动。在控制室和机房、留观室、待检患者候诊区等处安装对讲装置。

(9) 按需要量制备或订购同位素，到货同位素，核医学科专门人员负责点对点接收同位素，清点数量，登记放射性药品台账。在核医学科内登记交接后贮存在高活室手套箱内，注射后的注射器立即放回屏蔽包装内，防止被盗和污染，由放射性药品供货公司取回（PET 使用试剂产生的注射器由医院满足解控后按医疗废物处理）。

(10) 全部辐射工作人员须通过辐射安全与防护考核合格后持证上岗，所有人员开展个人剂量检测。

(11) 核医学科门诊场所已配备表面污染仪和环境级 X、 γ 辐射测量仪各 1 台，用于表面污染和剂量率水平的检测。工作人员进入辐射控制区，穿工作服，涉及放射性的操作佩戴乳胶手套，工作结束后，离开控制区前进行体表和相关场所的表面污染检测。

定期开展工作场所和环境辐射检测。每月自行对辐射工作场所卫生通过间、工作人员操作位、病区走廊等工作人员和公众可能居留的有代表性的点位和存有放射性物质的区域进行常规的 γ 剂量率。每天工作结束后，对高活室台面、地面，手套箱台面，注射窗台面以及肺通气设备表面等进行表面污染检测，检测数据记录存档 β 表面污染检测。每年委托有能力的检测单位对辐射场所的剂量率水平和表面污染水平检测。

(12) 候诊室受检者座椅之间设铅屏风或者铅隔断，减少受检者候诊期间的相互照射。1) SPECT 候诊室患者间设 2mm 铅当量铅屏风（长×高 1.0m×1.0m）：其中注射后等候 1 设 1 个，注射后等候 2 设 2 个，注射后等候 3 设 1 个；2) PET 候诊室患者间配 6mm 铅当量的铅屏风（长×高 1.2m×1.2m）：其中注射后等候 5 设 2 个，注射后等候 6 设 1 个。

(13) 部分患者因身体不便等原因需要家属陪护检查的，将告知其近距离接触可能受到少量辐射照射的实际。在患者候诊室内设铅屏风，以减少陪护家属的受照剂量。

(14) 在门诊诊疗场所地面设置受检者导流标志，依次为登记，注射，候检，检查，留观，出口等。

(15) 外单位送药时间一般安排在上午 7:00，科室病患较少的时间，可以减少与送药人员的交汇。送药通道为从地下一层西侧室外庭院通过药物专梯（66#核素专梯）进入科室的高活室。自产的回旋核素可能涉及两次送药，时间一般在上午 7:00 和中午 13:00，由回旋药物专梯（71#核素专梯）把药送到高活室，都为内部通道，可达到减少无关人员与送药人员的交汇。核医学科设专门人员负责在高活室内摄像头下“点对点”接收同位素，清点数量，登记放射性药品台账。

针对本次改扩建新增加的防护措施为：

(1) PET/MRI 室防护门上方设置工作状态指示灯，安装门灯联锁装置，控制室防护门关闭，警示灯自动亮起。

(2) 增设 PET/MRI 室的排风支路，就近并入核医学科门诊现有排风主管及路由，不新增独立排风系统、不新设排风机房及排风井，仅对局部通风管路进行优化调整。

表 10-3 核医学科门诊已配备的防护设施表

名称	数量(个)	规格	使用场所
手套箱	1	50mmPb	高活室
	1	10mmPb	
注射器防护套	2	1 个 20mmPb 钨合金、1 个 10mmPb 钨合金	高活室
翻转式铅罐	1	42mmpb	高活室
注射车	1	5mmpb	运动负荷室
转运防护盒	1	1 个 25mmPb	高活室
防护注射窗	2	1 个 40mmPb、1 个 20 mmPb	注射窗口
储源保险柜	1	/	源库
铅废物桶	4	5mmPb	废物间
	1	20mmPb	注射室
	1	5mmPb	注射室
	2	10mmPb	患者出口处
铅衣、铅围脖	5	0.5mmPb/0.25mmPb	SPECT 机房和高活室

移动铅屏风	7	2mmPb	SPECT 候诊室、留观室
	4	6mmPb	PET 候诊室、留观室

10.1.5 放射性废水暂存和排放

核医学科门诊已建成 1 套放射性废水排放系统，配备 1 个放射性衰变池，衰变池命名为 2#衰变池，为槽式，有效容积为 142.56m³，设有 4 个槽，其中 2 槽有效容积为 36.13m³，另外 2 槽有效容积为 35.15m³。2#衰变池位于 1 号楼地下三层西南侧，本次改扩建项目不需改变核医学科门诊现有的排水系统，仅因就诊人数的增加而增加放射性废水排放量。

衰变池结构及控制管理如下：

(1) 衰变池结构

- 采用 C30 抗渗混凝土建造，四周池壁厚为 200mm（四周和地板相邻为地下土层），槽与槽之间隔板厚 200mm，底板厚 200mm，顶板厚 200mm。采取防渗措施。

(2) 衰变池控制和管理

- 设计液位指示装置，自动进、排水阀门。智能控制系统、人性化操作管理、通过 PLC 和触摸屏设定工作参数和状态提醒机制。
- 衰变池独立工作，为防止“液位控制装置失灵导致衰变池盛满后不能自动切换”情况发生，在衰变池之间设溢流孔。溢流孔设置在“液位上限”上方 20cm 处。如果衰变池液位控制系统故障，电动阀不能自动切换，废液可以自行溢流到另外一个衰变池内（后续轮流使用的衰变池），避免放射性废液倒灌至核医学科场所，发生放射性污染。
- 所有运行状态自行监控，可在无人值守状态下实现全自动稳定运行。
- 废水衰变系统整体采用“储存式衰变”各衰变池循环运作。
- 内置设备泵体采用切割式潜水泵，可将固体杂质粉碎成颗粒排除，阀门采用电/手动双控制球阀，为后续设备维护检修提供保障。
- 放射性区域废水流入衰变区域，衰变池进水管设电动阀，出水采用潜水泵压力排出。运行时先开启 1 池进水管电动阀，关闭 2~4 池进水管电动阀，待 1 池水位达到设计液位后，关闭 1 池进水管电动阀，打开 2 池进水管电动阀，使排水进入 2 池。按照相同的操作方式。使排水依

次进入 3、4 池。待第 4 池开始进水时，第 1 池已过 10 个半衰变期（其中 I-131 核素产生的废水至少暂存 180 天的要求），检测达标后开动潜水泵排放。待第 4 池水位达到设计液位后，重复向 1 池进水（此时为排空状态）完成进水一个循环。

池壁和池底采取防渗措施。施工单位要进行严格的渗漏检测，确保放射性废水在暂存期间不发生渗漏，防止污染地下水。

核医学科门诊放射性废水排放情况如下：

地下二层核医学科门诊控制区产生的废水包括给药受检人员专用卫生间产生的冲厕废水、高活室产生的洗涤废水、洁具间清洗废水以及应急淋浴水等。这些放射性废水经独立的排水管道排入位于地下三层 2#衰变处理，衰变池的废水排出前，经检测合格满足排放要求后将经医院污水管网，排至市政污水处理厂，2#衰变池收集排放系统示意图见图 10-4。

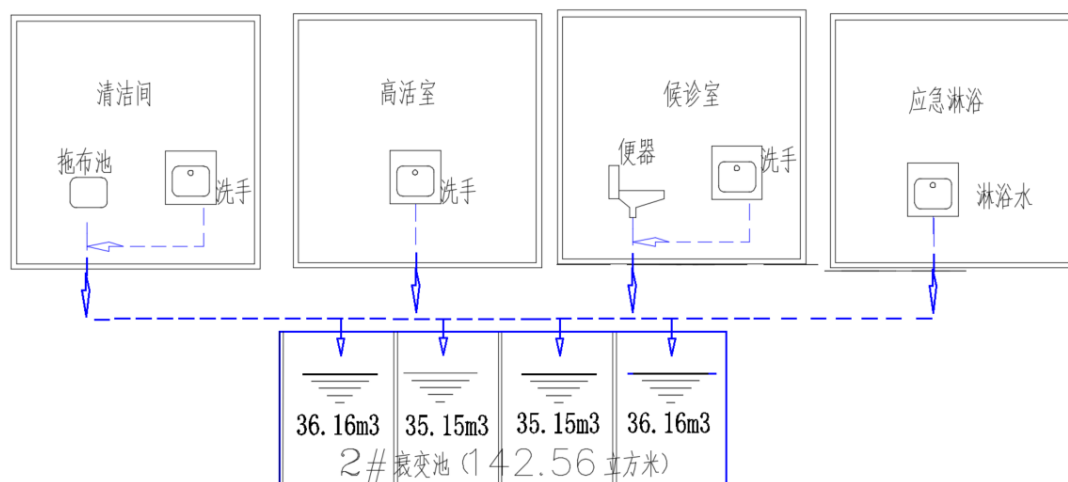


图 10-4 衰变池收集排放系统示意图

核医学科门诊控制区的废水排放图见图 10-5。

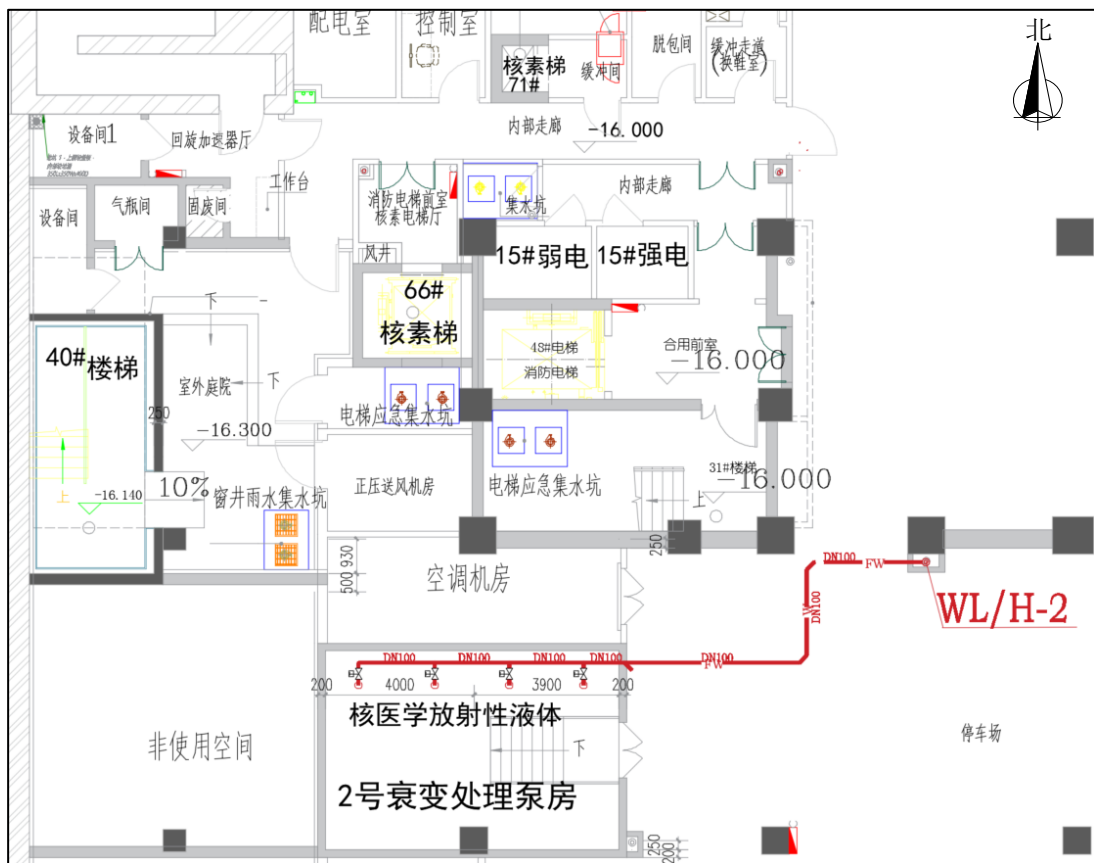
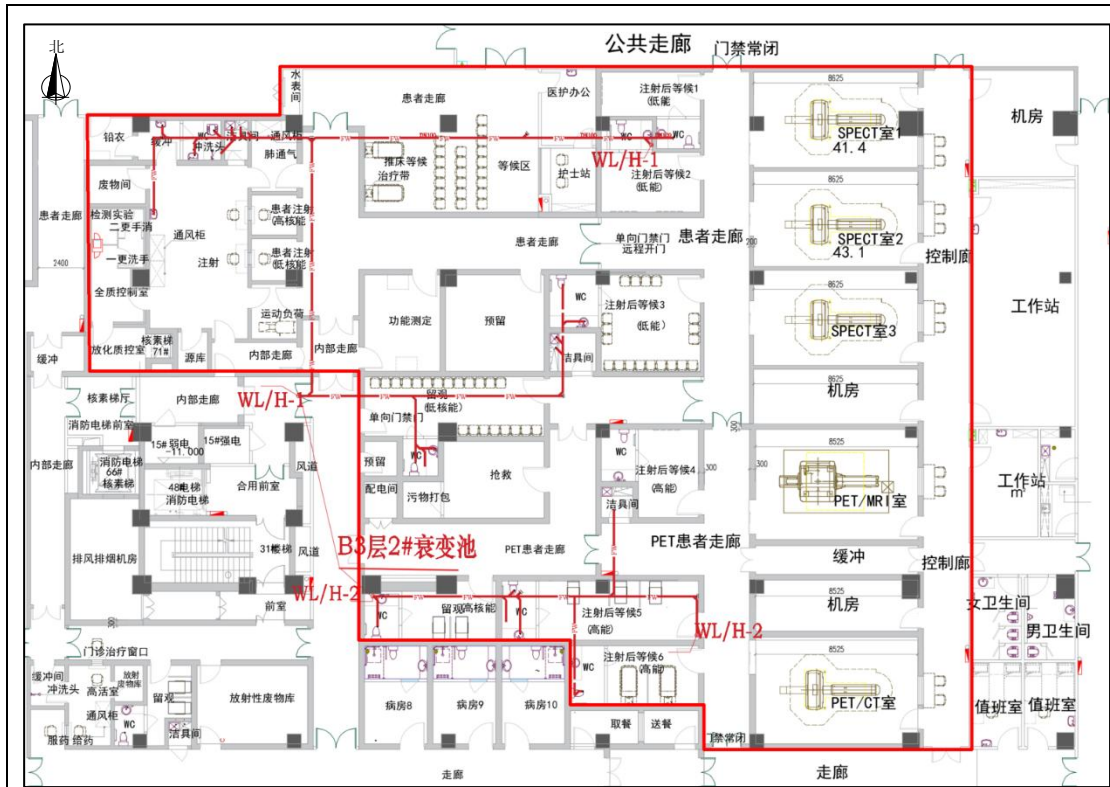
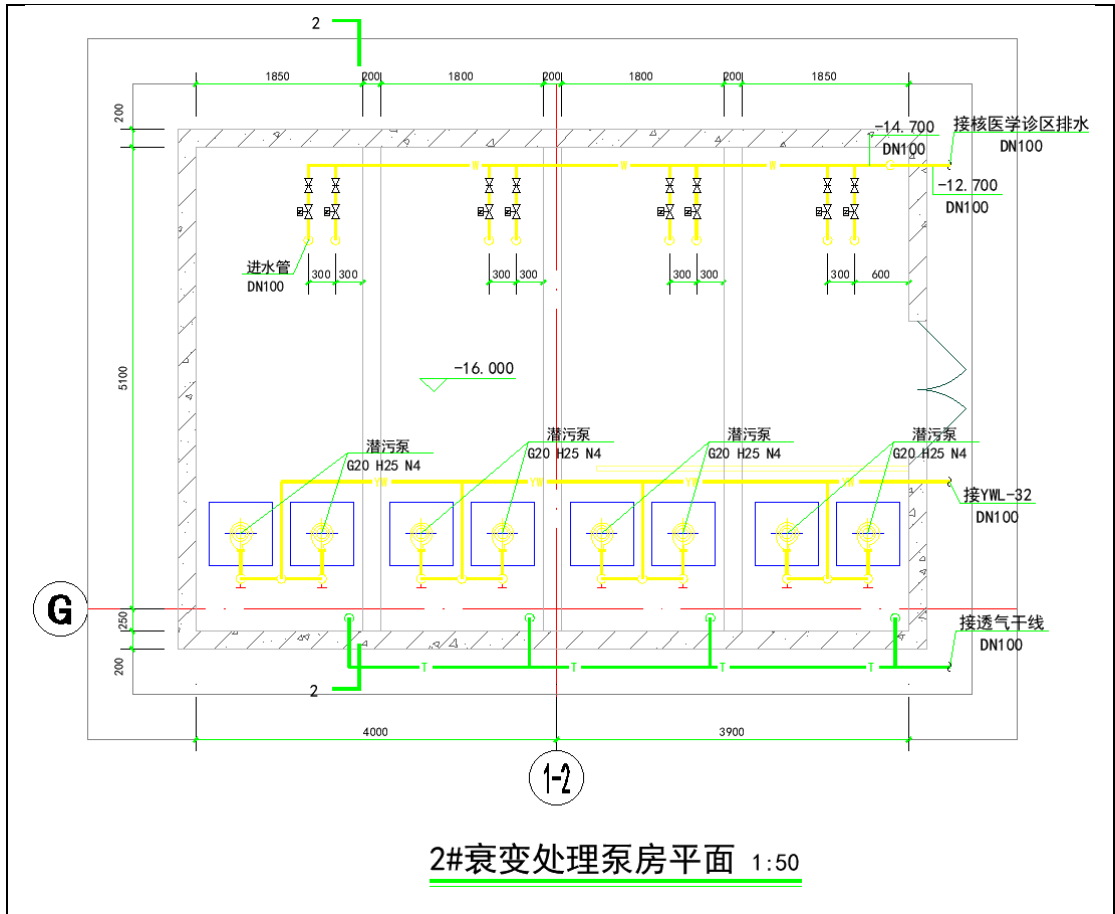
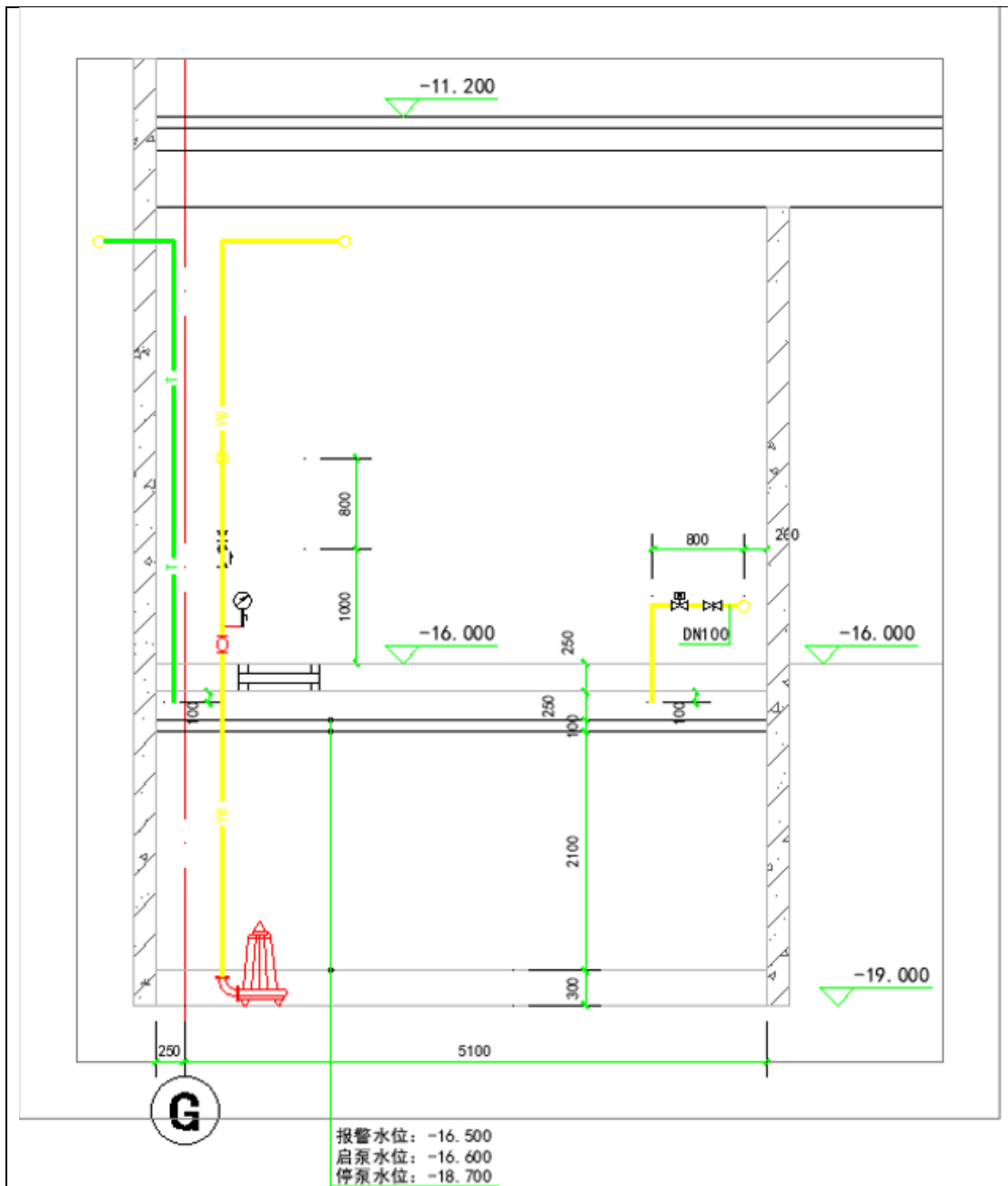


图 10-5 放射性废水管线图

衰变池平剖面图件图 10-6。





2-2剖面 1:50

图 10-6 衰变池平剖面图

10.1.6 核医学科排风系统

核医学科门诊共涉及 2 套排风系统，门诊高活室内的 2 个手套箱和肺通气室的集气罩共设置一套独立的排风系统，配备高效过滤器（过滤效率 $\geq 99.97\%$ ）和活性炭过滤器（过滤效率 $\geq 90\%$ ），过滤器每年更换一次；核医学科门诊控制区剩余部分设置一套独立的排风系统，排风机前设置活性炭过滤装置，每个区域排风并入主管前都拟增加止回阀，两套排风通过建筑物排风管道引至建筑物

楼顶排放，排气口高度约 45m，高于周围 50m 范围内建筑物，排气口朝上并设置防雨帽。本项目排风图见图 10-7。

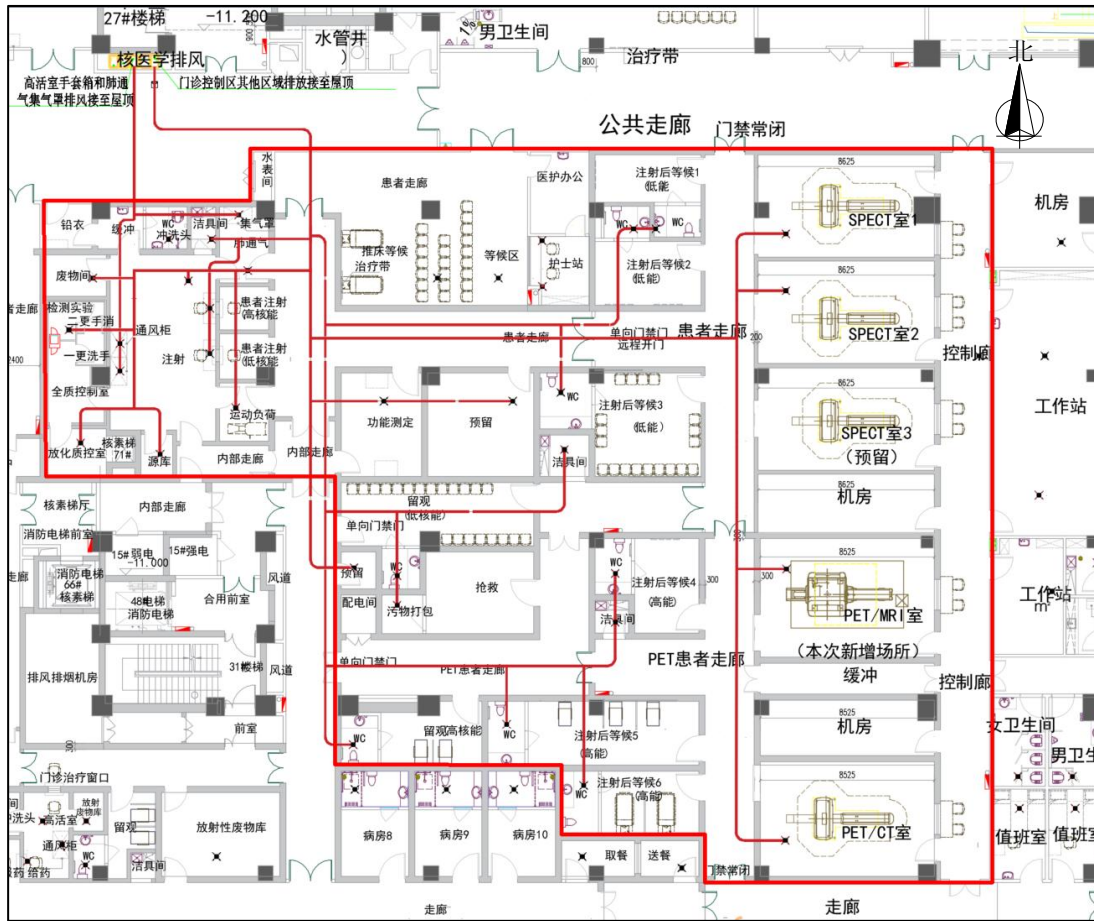


图 10-7 核医学科排风管线图

10.2 选址与布局合理性

10.2.1 核医学科选址与合理性分析

核医学科位于7号楼一层西侧，本项目控制区周围50m范围内除北侧涉及院外绿化公园，其余均在医院内部，本项目东侧为针灸科，南侧为院内停车位，西侧和北侧为院内道路，楼上为库房（闲置固定资产库房，财务凭证库房、人力资料库房），楼下为库房（后勤部工程配件儿库房、保洁耗材库房）。核医学科场所相对独立，有专门的人流规划，互不交叉。核医学科出口设置在核医学科的北侧，直接离开所在建筑，以减少其和其它人员的交叉，满足《核医学放射防护要求》中“出口不宜设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域”的具体要求。

项目选址充分考虑了周围场所的安全，不邻接产科、儿科、食堂等部门及

人员密集区，尽可能做到了集中设置，出口避开了门诊大厅、收费处等人群稠密区域。本项目给药患者长时间停留或者药物贮存的房间（如 PET/CT 机房、SPECT 机房、给药后候诊室和高活室等）PET 用药物 γ 射线能量高，对周围环境影响较大，故特别关注患者注射后候诊室和检查场所楼上和楼下房间的用途。PET/CT 室和给药后等候区楼上和楼下均为库房，楼上为闲置固定资产库房，财务凭证库房、人力资料库房，楼下为后勤部工程配件儿库房、保洁耗材库房。选址兼顾了辐射屏蔽、周围科室、场所布局、安全管理等因素。总体认为该项目选址合理。

10.2 法规符合情况

依据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》规定，现对北京友谊医院从事本项目辐射活动能力评价列于表 10-4 和表 10-5。

10.2.1 对照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求的满足情况

表 10-4 汇总列出了本项目对照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》对使用放射性同位素和射线装置单位承诺的对应检查情况。

表 10-4 执行《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求对照表

序号	应具备条件	落实情况	符合情况
1	使用放射性同位素、射线装置的单位，应当配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或者兼职负责辐射安全与环境保护管理工作。	成立了由院长为组长的辐射安全委员会，全面负责医院的辐射防护监督和管理工作的，下设专职人员具体处理各项事务，各相关部门内部职责明确。	符合
2	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。	针对本次增加 PET/MRI 场所，核医学科门诊新增 9 名辐射工作人员上岗前将在生态环境部培训平台报名参加并通过辐射安全和防护考核。	落实后符合
3	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贮存库或设备。	源库拟安装视频监控和红外报警系统和公共安全管理要求的防盗门，落实放射性同位素安全保卫措施。	落实后符合
4	放射性同位素与射线装置，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	现有核医学科门诊场所控制区入口处，机房门口、患者候诊区门口等位置已设置电离辐射警告标志和中文警示说明。本次新增 PET/MRI	落实后符合

	全措施。	室拟在防护门外设置电离辐射警告标志和中文警示说明，并安装有门-灯联锁安全装置及工作警示灯。受检者检查区入口和出口均已设有门禁系统。	
5	配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。	核医学科门诊已配备 1 台环境级 X、 γ 辐射测量仪和 1 台表面污染仪。	落实后符合
6	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、射线装置使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。	进一步完善规章制度、操作规程、岗位职责及辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训考核计划、监测方案等。	落实后符合
7	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。	核医学科门诊高活室内手套箱和肺通气室的集气罩，已设置专用排风管道，核医学科门诊其他控制区设置单独的排风管道，排风引至本建筑物顶部排放。核医学科门诊高活室内产生的废水，以及给药后患者专用卫生间产生的废水、应急废水和清洁废水，通过专用管道一并进入放射性废水衰变池，排放前委托有资质的检测机构。妥善收集固体放射性废物。废弃的放射性药物、注射器、包装物、棉棒、一次性用品等物品放入专用铅制储存箱，依照 HJ 1188-2021 和《北京市生态环境局办公室关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》作为医疗废物处理。	落实后符合
8	有完善的辐射事故应急措施。	在现有事故应急措施上，根据新建项目的需要，拟制定更为完善辐射事故应急处理预案。	落实后符合

10.4.2 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》要求的满足情况

《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》对拟使用射线装置和放射性同位素的单位提出了具体条件，本项目具备的条件与《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》要求的对照检查如表 10-5 所示。

表 10-5 执行《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》要求对照表

序号	安全和防护管理办法要求	落实情况	是否符合要求
1	第五条 生产、销售、使用、贮存放射性同	现有核医学科门诊场所控制区入口处，机房门口、患者候诊	落实后符合

	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。	区门口等位置已设置电离辐射警告标志和中文警示说明。本次新增 PET/MRI 室拟在防护门外设置电离辐射警告标志和中文警示说明,并安装有门-灯联锁安全装置及工作警示灯。受检者检查区入口和出口均已设有门禁系统。	
2	<p>第九条</p> <p>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>医院已委托有辐射水平监测资质单位每年对放射工作场所周围的辐射水平进行一次监测。医院将每年(有代表性点位每月)使用辐射剂量仪,对工作场所内和控制区周边环境进行自行监测,做好监测记录并妥善保存监测报告。每天对高活室、注射区、候诊区的表面污染进行自行监测,并做好记录。</p>	落实后符合
3	<p>第十二条</p> <p>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。</p>	<p>医院在每年1月31日前向生态环境主管部门提交年度评估报告。</p>	落实后符合
4	<p>第十七条</p> <p>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。</p>	<p>新增9名辐射工作人员上岗前将在生态环境部培训平台报名参加并通过辐射安全和防护考核。</p>	落实后符合
5	<p>第二十三条</p> <p>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。</p>	<p>将为所有从事放射性工作的人员配备个人剂量计,并委托有资质单位进行个人剂量检测(每季度1次)。</p>	落实后符合
6	<p>第二十四条</p> <p>生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位,不具备个人剂量监测能力的,应当委托具备条件的机构进行个人剂量监测。</p>	<p>拟委托有资质单位对辐射工作人员进行个人剂量检测。</p>	落实后符合
10.5“三废”的治理			

核医学科门诊产生的放射性废气经建筑排风管道引至建筑楼顶排放，排放扣前设置活性炭过滤装置。放射性废水汇入槽式衰变池，暂存后解控处置。放射性固体废物分类贮存于废物间内衰变，定期进行解控处置。

表 11 环境影响分析

11.1 建设或安装过程的环境影响

对于本项目而言，将会在楼内预留房间内进行简单的室内施工活动，对室外环境和周围人群的影响较小，故不再进行详细评价。

本项目工程建设施工和设备安装过程不产生放射性污染，本次评价主要关注设备投入运行后的环境影响。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 辐射环境影响预测

1 本项目核医学科门诊改扩建后规模及使用规划

本项目为顺义院区核医学科改扩建项目，不增加放射性核素种类，仅增加已许可使用 F-18、Ga-68 两种核素的使用量，其余核素使用量及每名患者核素最大使用量均保持不变。因此本次评价主要针对核医学科门诊使用 F-18 和 Ga-68 两种进行评价，核素使用量增加的区域主要涉及高活室、注射后等候 4 室和 PET/MRI 室（第四显像室）。

核医学科门诊改扩建后 F-18 和 Ga-68 两种核素增使用量见表 11-1。

表 11-1 核医学科门诊改扩建后 F-18 和 Ga-68 两种核素使用情况

序号	核素种类	类别	最大工作量			用途（年总人次）	备注
			人次/天	天数/年	用量 Bq/年		
1	F-18	A	20	250	1.85E+12	PET/CT 诊断（5000）	已许可
2	F-18	A	8	250	5.92E+11	PET/MRI 诊断（2000）	本次增加
3	Ga-68	A	2	50	1.85E+10	PET/CT 诊断（100）	已许可
4	Ga-68	A	2	50	1.85E+10	PET/MRI 诊断（100）	本次增加

根据使用规划，核医学科门诊每天使用 F-18 开展 PET/MRI 影像诊断最多 8 人次，使用 Ga-68 开展 PET/MRI 影像诊断最多 2 人次。诊断使用的放射性核素半衰期都小于 24h（A 类）。

2. 剂量估算源强

(1) F-18 一般用量为 296MBq (8mCi)/人次左右，Ga-68 用量为 185MBq/人，本项目保守以 F-18 使用量 370MBq (10mCi)/人次估算其辐射影响。根据

AAPM Task Group 108 报告，核素 F-18 的有效剂量当量剂量率常数为 $0.143\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ ，给患者注射 10mCi 的 F-18 后，距离患者 1m 处的剂量率为 $34\mu\text{Sv/h}$ (考虑患者自吸收因子 0.36); 注射时裸源 1m 处剂量率 $52.9\mu\text{Sv/h}$ 。

(2) F-18 需要在高活室再次分装，每次转运防护罐盛装最大量一般不超过 $1.04\text{E}+10\text{Bq}$ (考虑到已许可的 F-18 日最大使用量 $7.40\text{E}+9\text{Bq}$ ，和本次增加日最大使用量 $2.96\text{E}+9\text{Bq}$ 一起送药时)，工作量饱和时一天最多 2 次供药，本项目保守假设每次最大分装量为 $1.04\text{E}+10\text{Bq}$ ，操作上述活度的溶液，1m 处的剂量率为 $1487\mu\text{Sv/h}$ ，储存在手套箱内有 42mmPb 的铅罐和 50mmPb 手套箱屏蔽 (92mmPb 的衰减因子为 $2.87\text{E}-6$)，屏蔽后剂量率为 $6.67\text{E}-3\mu\text{Sv/h}$ (0.8m)。假设分装时铅罐盖打开 (即朝斜上方没有铅罐屏蔽)，源距手套箱顶部外表面至少 1m 以上，则距手套箱上表面 30cm 处的剂量率不大于 $8.56\text{E}-1\mu\text{Sv/h}$ ，但铅罐储存时基本都是盖屏蔽，因此在储存状态对环境的影响可忽略。考虑到抽取药液时，每次最多只有 370MBq (10mCi) 在铅罐外 (其他都储存在铅罐里)，操作位也经过 50mmPb 手套箱屏蔽 (衰减因子为 $9.73\text{E}-4$)，屏蔽后剂量率为 $8.04\text{E}-2\mu\text{Sv/h}$ (0.8m)，则放射性药物分装的通风柜外表面 30cm 处的周围剂量当量率能保证小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

(3) 将已许可使用的场所注射后等候 4 室作为 PET/MRI 患者专用，射后等候 4 室最多 1 名患者候诊，本次新增 PET/MRI 设备后，不改变注射后等候室患者候诊人数。在已批复的核医学科门诊环评报告中，已经估算注射后等候 4 室的周围剂量，根据计算结果，注射后等候 4 室场所外最大剂量为 $4.64\text{E}-1\mu\text{Sv/h}$ ，位于注射后等候 4 室防护门外 30cm 处，满足 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的控制要求。根据核医学科门诊的验收检测报告可知，射后等候 4 室场所外最大剂量为 $1.8\mu\text{Sv/h}$ ，满足 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的控制要求。

(4) 根据 AAPM Task Group 108 报告，注射 F-18 核素后经过 (60min、75min) 后的活度衰减因子为 0.68、0.62，每人候诊或检查期间 (60min、40min 和 15min) 平均活度相对检查初始的活度因子分别为 0.83、0.88 和 0.95。

3. 关注点的选取

AAPM108 号报告，给出了计算关注点的原则，即四周屏蔽墙关注点位置在墙外 0.3m 处，屋顶关注点位置在楼板地面上方 0.5m 处 (同时也估算楼上

30cm 处剂量水平), 楼下关注点在楼板上方 1.7m 处。

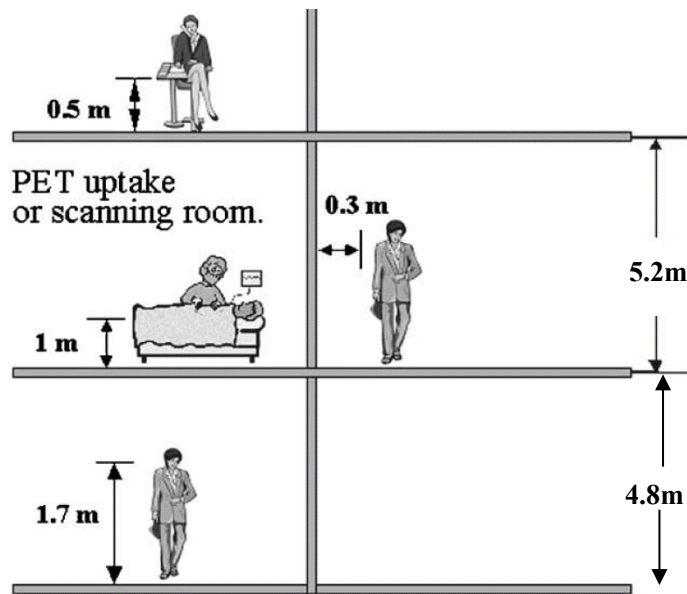


图11-1 核医学科周围关注点位置示意图

4. 估算方法

PET/MRI 扫描只使用 F-18、Ga-68。给患者注射 370MBq 的 F-18 后, 距离患者 1m 处的剂量率为 $34\mu\text{Sv/h}$ (考虑患者自吸收因子 0.36); 注射时裸源 1m 处剂量率 $52.9\mu\text{Sv/h}$ 。Ga-68 的有效剂量当量剂量率常数为 $0.134\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$, 给患者注射 185MBq 的 Ga-68 后, 距离患者 1m 处的剂量率为 $16\mu\text{Sv/h}$ (考虑患者自吸收因子 0.36); 注射时裸源 1m 处剂量率 $24.8\mu\text{Sv/h}$ 。Ga-68 比 F-18 剂量率低, 故以 F-18 核素为例, 分析预测核素显像检查过程工作区周围贯穿辐射水平, 以及工作人员和周围公众的受照剂量。

剂量估算中, 将接受药物注射后的患者身体、装有放射性药物的注射器近似作为点源, 依照剂量率和距离成平方反比衰减的关系, 同时考虑墙壁和防护门、窗的衰减作用, 估算注射室、检查室、等候室等有代表性场所周围的辐射剂量率和对职业人员、公众的附加照射剂量, 以及职业人员在患者摆位和药物注射等环节所受到的辐射照射剂量。

(1) 辐射剂量率估算公式

$$\dot{H}_\gamma = \dot{H}_0 \times r^{-2} \times 10^{-d/\text{TVL}} \quad (\text{公式 11-1})$$

式中:

\dot{H}_γ —关注点的 γ 剂量率 $\mu\text{Sv/h}$;

\dot{H}_0 —距靶 1m 处的 γ 剂量率 $\mu\text{Sv/h}$;

r —关注点距源中心的距离, m;

d —机房的屏蔽厚度, cm;

TVL — γ 射线 1/10 值层厚度, cm, 对 F-18 来讲, 铅中 TVL 为 16.6mm, 混凝土中 TVL 为 176mm。F-18 的估算考虑衰减因子的影响。

(2) 年有效剂量

$$E = \dot{H} \times t \times T \quad (11-2)$$

式中: E --年有效剂量, μSv ;

\dot{H} --计算点附加剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

T 为人员的居留因子;

t 为年接触时间, h/a

11.2.2 诊疗场所周围不同位置的附加剂量率水平

(1) 核医学科门诊现有辐射工作场所周围不同位置的附加剂量率水平

根据核医学科门诊原环评报告,核医学科门诊现有工作场所控制区边界外(四周)的附加剂量率水平最大为 $1.37\text{E-}01\mu\text{Sv/h}$ (注射后等候室 6 南墙外送餐间), 均满足 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的剂量率控制要求。

(2) 新增场所周围不同位置的附加剂量水平

基于本项目改扩建项目新增源项,依照公式(11-1)估算 PET/MRI 室、注射后等候 4 室、源库场所周围(含楼上、楼下)不同位置的最大附加剂量率。估算结果见表 11-2 所示,估算点位示意图见图 11-2 所示。

表 11-2 本项目新增场所周围不同位置的剂量率

位置		距患者/ 放射源 距离 (m)	屏蔽材料与厚度	衰减因 子	屏蔽后附 加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	备注
PET/MRI 室 (1 名 370MBq 的 F- 18 注射者)	东墙外控制室 A1	5.9	8mmPb	3.30E-01	2.18E-01	工作人 员
	南墙外缓冲间 A2	3.7	35cm 混凝土	1.03E-02	1.73E-02	监督区
	西墙外患者走 廊 A3	3.9	35cm 混凝土	1.03E-02	1.55E-02	控制区

	北墙外机房 A4	3.3	35cm 混凝土	1.03E-02	2.17E-04	监督区
	控制室门外 A5	6.3	8mmpb	3.30E-01	1.91E-01	工作人员
	机房门外 A6	4.5	8mmpb	3.30E-01	3.75E-01	控制区
	楼上医生办公室（距地面 0.5m 处）A7	4.7	35cm 混凝土	1.03E-02	1.07E-02	公众
	楼上医生办公室（距地面 0.3m 处）A71	4.5	35cm 混凝土	1.03E-02	1.17E-02	公众
	楼下停车场 A8	4.1	35cm 混凝土	1.03E-02	1.41E-02	公众
注射后等候 4 室 (1 名 370MBq 的 F-18 注射 者)	东墙外患者走廊 B1	2.3	35cm 混凝土	1.03E-02	6.57E-02	控制区
	南墙外患者走廊 B2	4.1	35cm 混凝土	1.03E-02	2.07E-02	控制区
	西墙外患者走廊 B3	3.9	35cm 混凝土	1.03E-02	2.29E-02	控制区
	北墙外患者走廊 B4	1.7	35cm 混凝土	1.03E-02	1.20E-01	控制区
	东墙防护门外患者走廊 B5	3.9	8mmPb	3.30E-01	7.34E-01	控制区
	楼上配液室（距地面 0.5m 处）B6	4.7	35cm 混凝土	1.03E-02	1.57E-02	公众
	楼上配液室（距地面 0.3m 处）B61	4.5	35cm 混凝土	1.03E-02	1.72E-02	公众
	楼下停车场 B7	4.1	35cm 混凝土	1.03E-02	2.07E-02	公众
源库（1 枚 74MBq Ge-68 放 射源，装在 20mmPb 屏蔽筒 中）	东墙外走廊 C1	1.0	25cm 混凝土	2.37E-03	2.35E-02	控制区
	南墙外走廊 C2	0.7	35cm 混凝土	6.41E-04	1.30E-02	公众
	西墙外放化质控室 C3	2.4	35cm 混凝土	6.41E-04	1.10E-03	控制区
	北墙门外楼外	1.9	/	6.24E-02	1.71E-01	控制区

高活室 C4						
楼上值班室 (距地面 0.5m 处) C5	4.7	35cm 混凝土	6.41E-04	2.88E-04	公众	
楼上值班室 (距地面 0.3m 处) C51	4.5	35cm 混凝土	6.41E-04	3.14E-04	公众	
楼下核素梯 (71 号电梯) 缓冲间 C6	4.1	35cm 混凝土	6.41E-04	3.78E-04	公众	

注：①混凝土密度不低于 2.35g/cm³，铅的密度为 11.4g/cm³。②上表估算的剂量率为初始的活度的剂量，距离为外表面外 30cm 处。③考虑用药后候诊期间药物活度的衰减和患者的自吸收，注射 370MBq 的 F-18 患者候诊时 100cm 处剂量率为 23μSv/h，到 PET/MRI 检查和留观时（经过了 60min 衰变），距患者 100cm 处剂量率为 23μSv/h。

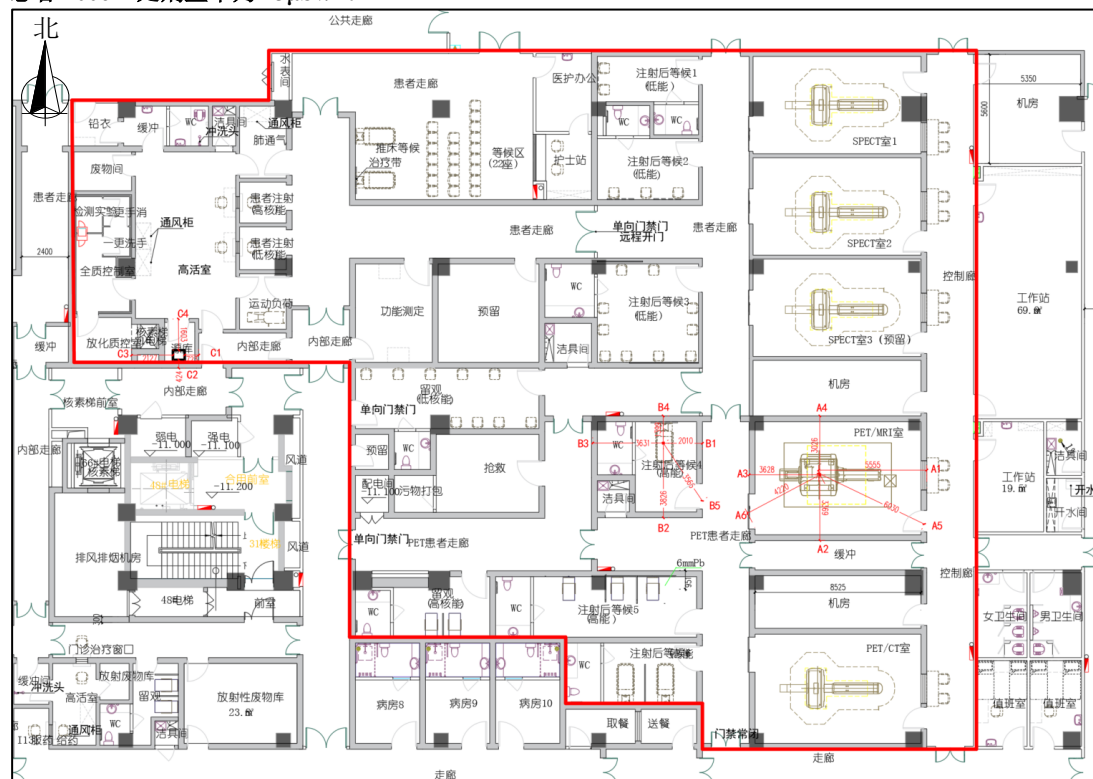


图 11-2 PET/MRI 相关场所估算点位置图

由表 11-2 可见，核医学科门诊新增 PET/MRI 室后，PET/MRI 相关辐射工作场所的控制区边界外（四周）的附加剂量率水平最大为 2.18E-01μSv/h（PET/MRI 室东墙外控制室），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最大值为 7.34E-01μSv/h（第四候诊室东侧防护门外患者走廊 B5 点位），均满足 2.5μSv/h 的剂量率控制要求。

11.2.2.3 周围公众受照剂量估算

(1) 核医学科门诊现有辐射工作场所对周围公众受照剂量影响

根据核医学科门诊原环评报告，核医学科门诊现有工作场所对公众的辐射照射剂量最大不超过 $17.8\mu\text{Sv/a}$ ，满足核医学科门诊区域设定的 0.1mSv/a 的剂量约束值要求。

(2) 新增场所对周围公众受照剂量影响

核医学科门诊区域本次改扩建后增加 PET/MRI 场所，同时增加 PET 药物分装、注射、PET 注射后候诊和留观、PET/MRI 检查等环节的剂量对外界的影响，而现有 SPECT 相关区域功能和 PET/CT 检查等环节不变，因此本次对周围公众的受照剂量影响只考虑本次改扩建涉及的变化区域。

核医学科门诊实行每日一班制，全年工作 250d。根据表 11-1 所列最大工作量进行剂量估算。假设：

(1) 每年 PET/MRI 检查最大人数为 2100 人次。PET/MRI 的扫描时间平均按 40min/人次，则 PET/MRI 室（第四显像室）内患者停留时间约为 1400h，PET/MRI 专用注射后候诊室（注射后候诊室 4）停留时间保守按 2000h 进行估算。

(2) PET 全年检查人总数为 7400 人次（包含场所已许可年检查人数 5100、已批准在建中的检查人数 200 人和本次改扩建增加检查人数 2100），每人留观 10min，留观室内的年留观时间为 1233.3h。

(3) PET 扫描患者采用预置针方式注射，每人每次的药物注射时间为 30s/人，全年注射 PET 药物总时间为 61.7h。

(4) 高活室手套箱内每天进行 PET 药物分装时间 2min/人次，全年累计分装时间为 246.7h。

表 11-3 给出了公众可能受照剂量估算结果。可见，对公众的辐射照射剂量最大不超过 $2.76\text{E}+01\mu\text{Sv/a}$ （楼上配液室），均满足本项目设定的 0.1mSv/a 的剂量约束值要求。

核医学科场所分区管理，病人给药、候诊和检查区域属于控制区，通常只有受检病人停留，不按公众区域考虑，患者及其陪同人员，仅在机房外围有一定的驻留，他们不是机房的主要防护对象（年居留因子 T 很小， $T < 1/40$ ）。

表 11-3 核医学诊疗相关场所主要位置的年附加剂量估算

位置	屏蔽后附加剂量	居留	全居留时间	年附加剂量
----	---------	----	-------	-------

		率 ($\mu\text{Sv/h}$)	因子	(h/a)	($\mu\text{Sv/a}$)
PET/MRI 室 (1 名 370MBq F-18 注射者)	楼上医生办公室 (距地面 0.5m 处) A7	1.07E-02	1	1400	1.32E+01
	楼下停车场 A8	1.41E-02	1	1400	1.74E+01
注射后候诊室 4 (1 名 370MBq F-18 注射者)	楼上配液室 (距地面 0.5m 处) B6	1.57E-02	1	2000	2.76E+01
	楼下停车场 B7	2.07E-02	1/16	2000	2.28E+00
高活室 (患者注射)	患者入口门外	1.10E-02	1/16	246.7	1.70E-01
	楼上柴油发电机间	9.41E-03	1/16	246.7	1.45E-01
留观室 (1 名 370MBq 的 F-18 注射者)	楼上走廊	9.41E-03	1/16	1233.3	7.25E-01
	楼下车库	1.18E-02	1/16	1233.3	9.10E-01

备注：①年附加剂量由公式 $D(t) = DI \times T \times t \times R_{II}$ 算出，考虑用药后检查和候诊期间药物活度的衰减，其中 t 为时间， R_{II} 为每人检查期间平均活度相对检查初始的活度因子（40min 平均活度相对检查初始的活度因子分别为 0.88），其中高活室、留观室周围未考虑 R_{II} 的影响。②高活室和留观室对周围场所的剂量值引用源环评报告中的计算值。

11.2.2.4 工作人员显像环节年受照剂量

本次评价仅对增加 PET/MRI 诊断环节（年诊断 2100 人）中对工作人员剂量的增加量进行核算。

(1) 工作人员进行分装同位素环节时受照剂量

该场所一般只有 F-18 和 Ga-68 正电子核素需要分装，放射性药物分装的通风柜外表面 30cm 处的周围剂量当量率保守按照 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 估算。高活室手套箱内每天进行 PET 药物分装时间 2min/人次，则增加分装时间约分装操作时间全年保守按 70h 估算，则工作人员所受的年附加剂量为 $175\mu\text{Sv}$ 。

(2) 工作人员为药物转运环节工作人员的受照剂量

本项目中正电子核素采用注射器转运防护箱（25mmPb）运输（从手套箱运到注射位），1m 处剂量率低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，运输过程中距工作人员的距离按 50cm 估算（剂量率不大于 $10\mu\text{Sv/h}$ 估算）。每次药物转运平均时间为 10s，保守按 30s 估算，则运转到注射位时工作人员的受照剂量为 $10\mu\text{Sv/h} \times 30\text{s/人} \times 2100\text{人} \times 1/3600\text{s/h} = 175\mu\text{Sv}$ 。

(3) 工作人员为患者进行药物注射环节的受照剂量

据《放射性核素和辐射防护数据手册》[Radionuclide And Radiation Protection Data Handbook 2002]给出：距活度为 1MBq 的 F-18 药液时，对距 30cm 处人的深部当量剂量率为 $1.81 \times 10^{-3} \text{mSv/h}$ ，注射 370MBq 的 F-18 距 30cm 处人的深部当量剂量率为 $670 \mu\text{Sv/h}$ 。注射时采用了具有 40mm 铅防护功能的铅玻璃进行防护，剂量率可以降低两个量级（在约 340MBq 的注射量情况下，北京肿瘤医院工作人员腹部位的实测值为 $6.6 \mu\text{Sv/h}$ ），本项目衰减后值取 $10 \mu\text{Sv/h}$ 。注射操作时间短，每人每次的注射时间为 30s，年总操作时间约 17.5h，则工作人员所受的年附加剂量为 $175 \mu\text{Sv}$ 。

尽量减少手部直接接触，注射可采用“三通”装置或使用带有屏蔽套的注射器等措施。

(4) 工作人员指导病人摆位环节的年受照剂量

考虑用药后候诊期间药物活度的衰减和患者的自吸收，注射 370MBq 的 F-18 患者到 PET/CT 检查时（经过了 60min 衰变），距患者 100cm 处摆位环节时人的深部当量剂量率为 $23.1 \mu\text{Sv/h}$ （ $34 \mu\text{Sv/h} \times 0.68$ ，在北京肿瘤医院工作人员摆位的实测值为 $13.5 \mu\text{Sv/h}$ ，患者的注射量大约 300MBq），距患者 0.5m 处剂量率为 $92.4 \mu\text{Sv/h}$ 。

PET/MRI 全年进行检查人数 2100 人次，PET/MR 摆位时间相对较长（头部专用线圈、颈胸腰联合阵列线圈码放需要近距离接触）：0.5m 处核磁摆位 30s/人，1m 处摆位 1.5min，本项目 PET/MRI 配备 3 名技师，则每人分配累计摆位时间：0.5m 处摆位时间 5.83h，1m 处摆位时间 17.5h，则每位摆位工作人员所受到的年附加剂量 $92.4 \mu\text{Sv/h} \times 5.83\text{h} + 23.1 \mu\text{Sv/h} \times 17.5\text{h} \approx 942.9 \mu\text{Sv}$ 。

(5) PET/MRI 控制室内工作人员的年受照剂量

PET/MRI 设 3 名技师，则控制室内的工作人员的年附加剂量约为 $101.7 \mu\text{Sv}$ （ $2.18 \text{E-}1 \mu\text{Sv/h} \times 1400\text{h}/3$ ）。

(6) 质控时工作人员的年受照剂量

根据《正电子发射断层成像（PET）设备质量控制检测标准》（WS817-2023）中的相关规定，医院需自行或委托有能力机构进行定期质控检测，故需对进行质控检测的工作人员进行附加剂量估算：

① 探测器工作状态检测

工作人员至少每周使用 1 次密封源进行探测器工作状态检测,该环节需将源从储源室取出放于 PET/MRI 扫描床上,并在控制室进行操作,完成后需将密封源送回储源室。Ge-68 质控源产生光子平均能量仅约 9.2keV,但其子体 Ga-68 将发生正电子衰变产生湮灭辐射并发射 511keV 光子,故该环节主要考虑 Ga-68 的影响,GBZ 120-2020 表 H.1 中给出其周围剂量当量率常数为 $0.134\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{MBq}^{-1}$,保守按初始活度 74MBq 考虑,操作距离取 50cm,操作位剂量率为 $39.7\mu\text{Sv/h}$,每次操作时间约 2min,总操作时间为 1.67h/a,则工作人员附加剂量约为 $66.3\mu\text{Sv/a}$ 。

②其他检测

其他检测包括定标因子、空间分辨力、灵敏度、噪声等计数率、散射分数、准确度和飞行时间分辨力等检测。每年进行 2 次检测,最大使用 37MBqF-18 注入水膜中进行,操作距离取 50cm,操作位剂量率为 $21.1\mu\text{Sv/h}$,每次操作时间约 10min,总操作时间为 2.33h/a,则工作人员附加剂量约为 $49.2\mu\text{Sv/a}$ 。

(7) 核医学科显像环节工作人员受照剂量总结

根据以上估算,核医学科显像环节工作人员的附加有效剂量如表11-4。

表 11-4 核医学科显像环节工作人员各环节附加有效剂量 ($\mu\text{Sv/a}$)

环节	分装	运转	注射	小计	摆位	控制室	小计	质控
PET/MRI	175	175	175	525	942.9	101.7	1044.6	115.5
备注	PET/MRI 护士			PET/MRI 技师			1 名物理师完成	

本项目显像环节每名护士、技师和物理师年受照附加剂量分别不大于 0.53mSv 、 1.05mSv 、 $115.5\mu\text{Sv}$,由于本次改扩建项目为 PET/MRI 新增了 9 名辐射工作人员,本项目都是保守每人最大工作量估算的,工作人员全部为专职人员,不存在辐射工作的累加情况。根据医院 2025 年度个人剂量检测报告可知,2025 年度核医学科工作人员年受照剂量均为背景值,年附加剂量不超过 0.136mSv ,满足 2.0mSv/a 的年剂量约束要求。

11.2.2.5 核医学科诊疗受照剂量总结

(1) 工作人员受照剂量

根据以上估算,本项目PET/MRI新增辐射工作人员受照总剂量不大于

1.05mSv，低于本项目设定的年剂量约束值2mSv/a要求。

(2) 公众

根据以上估算，公众年受照总剂量不大于27.6 μ Sv，低于本项目设定的年剂量约束值0.1mSv要求。

11.3 放射性废物产生及排放情况

11.3.1 放射性废气

目前核医学科门诊高活室设有手套箱，2个手套箱和肺通气室集气罩安装一套独立的排风系统。手套箱配高效过滤器约2kg，手套箱可能产生的废气经过带有高效过滤器和活性炭过滤器净化后，通过楼外排风管道引至建筑楼顶过滤排出。正常工作情况下，核素分装、活度测定和注射等操作不会产生气溶胶和蒸汽等，不会造成工作环境的空气污染。即使出现放射性物质泼洒情况时，废气经过排风系统排放至楼顶处，经大气扩散后浓度会更低，且偶发排放对周围公众的剂量贡献很小。

11.3.2 放射性液体废物

核医学科门诊区域目前设有1套放射性废水处理系统，配备1个放射性衰变池，衰变池命名为2#衰变池，2#衰变池位于1号楼地下三层西南侧，衰变池收集的放射性核素来源于核医学科门诊受检患者的排泄物、洗手池和拖布池产生的废水和应急淋浴水和回旋加速器场所正常情况下产生的废水等。涉及的核素包括F-18、Ga-68、N-13、C-11、Tc-99m、I-131、I-123等。核医学科门诊产生的放射性废水仍按照《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)和《北京市生态环境局办公室关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》(京环办[2018]13号)B类核素管理。

(1) 产生放射性废水达标性的分析

根据原环评报告计算得知，现有核医学科门诊和回旋加速器场所正常情况下产生的废水总量为95.84m³。

本次改扩建增加PET/MRI诊断活动后，仅增加F-18和Ga-68两种核素的使用量和诊断人数，核素种类不发生变化。本次改扩建将增加2100人就诊人数，核医学门诊卫生间按坐便器大档水位4L、小档水位2.8L，5s洗手、水嘴流量0.1L/s设计患者用水量，患者一次入厕用水量不超过4.5L(保守按5L估

算)；洗手池和拖布池产生的废水也将排入衰变池，预计产生量为 10.5m³。累加核医学科门诊现有区域和回旋加速器场所产生的废水总量为 106.34m³。

2#衰变池的目前总有效容积约为 142.56m³，设有 4 个槽，其中 2 槽有效容积为 36.13m³，另外 2 槽有效容积为 35.15m³，每个槽充满时间均接近 4 个月，则废水开始存满到排放大约经历 365 天衰变，满足 HJ 1188-2021 和《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》中 B 类放射性废水暂存时间超过 10 倍最长半衰期且不少于 30 天（含 I-131 核素的暂存超过 180 天）的要求。排放前委托有资质的检测机构对废水进行检测，废水中 I-131 核素的放射性活度浓度、总活度和总 α、总 β 符合排放限值要求的，排放时将在“放射性废水暂存、处置管理台帐”上详细记录解控排放废水所含核素、体积、废水暂存起始日期，处置人员和处置日期等信息。

11.3.3 放射性固体废物

核医学科门诊按需申请放射性药物，如有剩余的放射性药物，连同包装容器暂存于废物间自行衰变。废物间内已配置 4 个铅质废物桶，将废弃的药瓶、注射器、包装物、棉棒、被污染的一次性用品等固体放射性废物，暂存于该废物桶内，于每周一早晨转移至废物间内的废物桶内。放射性废物暂存至少一个月，经监测确认达到清洁解控水平要求后，作为医疗废物处置。

本次改扩建后不改变铅废物桶的数量，目前在高活室、注射后候诊室 4 和 PET 留观室均设有铅废物桶，本次改扩建仅因就诊人数的增加而增加固体废物。本次改扩建仅增加就诊人数 2100 人，平均每人产生含放射性固体废物 0.02kg（含患者注射器每只 4g），则放射性废物年增加量月 42kg。根据原环评的估算量，核医学科门诊满负荷运行时废物产生总量约 336kg，本次改扩建后，核医学科门诊放射性固体废物量达到 378kg。现有的铅废物桶和废物间能满足存放的需求。

核医学科门诊共涉及 2 套排风系统，门诊高活室内的 2 个手套箱和肺通气室的集气罩共设置一套独立的排风系统，配备高效过滤器（每个 2kg）和活性炭过滤器（2kg），核医学科门诊控制区剩余部分设置一套独立的排风系统，排风机前设置活性炭过滤装置（2kg），过滤器每年更换一次，每年预计产生 10kg 废滤材；医院最近一次于 2026 年 4 月更换了高效过滤器和活性炭装置，废滤

材暂存于废物间内。

参照 HJ 1188 和《北京市生态环境局办公室关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》，本项目使用核素为 A 类和 B 类废物分开储存，A 类固体废物暂存时间超过 30 天、B 类固体废物暂存时间超过 10 倍最长半衰期且不少于 30 天（含 I-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天）后，使用经检定或校准合格的检测仪器对废物表面污染和辐射剂量率水平进行监测，辐射剂量率监测为所处环境本底水平且 α 、 β 表面污染水平分别小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 和 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，可对废物解控作为医疗废物处置，并详细记录“放射性固体废物暂存、处置管理台账”，内容包括放射性固体废物分类、废物所含核素名称、重量（kg）、废物暂存起始日期、废物暂存截止日期、表面污染自测结果、辐射剂量率自测结果、是/否符合解控要求、废物处置日期、废物处置操作人员、部门负责人审核、废物去向，每一袋放射性固体废物填写一行记录。

11.4 异常事件分析与防范建议

11.4.1 运行过程中可能发生以下异常事件

（1）放射性药物保管不善，发生遗失或被盗。放射性物品失控可能造成环境放射性污染。

（2）由于操作不慎，溢漏、撒泼放射性物质，污染工作台面和地面；放射性物质从患者吐出导致放射性污染。放射性物质污染工作场所、衣物、手和皮肤，增加外照射危险程度，还有可能被食入或吸入体内形成内照射。

（3）错误给药。包括放射性活度不正确，导致给药剂量错误；弄错患者，导致不必要的照射；授乳期妇女受到不必要的照射。

（4）放射性废物处置或管理不当，造成环境放射性污染。

放射性废水未经足够时间的暂存而超标排放，可能对环境或人体造成一定危害；放射性固体废物未经足够时间的暂存衰变，擅自处置，可能对环境造成污染和对公众造成危害。

（5）屏蔽措施不当

如果对操作放射性核素的场所屏蔽措施不利，可能对环境造成污染和对人员造成不必要的照射。

11.4.2 风险防范与事故应急处理措施

针对在工作场所运行过程可能出现的事故，应采取一系列预防措施，尽可能减小或控制事故的危害和影响：

(1) 放射性药品由专业公司送达医院后，工作人员与送药人员在高活室内摄像头下“点对点”交接。采取上述措施后，可有效防范放射性药物丢失恶化被盗。

(2) 建立放射性药物使用管理制度，制定放射性同位素操作技术规程和事故应急处理预案。辐射安全管理小组定期检查安全规章和制度落实情况，发现问题及时纠正，工作人员须熟练掌握放射性药物操作技能和辐射防护基本知识的培训，正确处置意外情况，上述措施可以有效避免因操作失误，导致工作场所发生局部放射性污染的事件发生。

在控制区入口处设置有缓冲间，工作人员进出控制区需更换工作服和工作鞋，该措施可有效避免放射性污染的扩散。此外，将制定放射性局部污染的处置措施，一旦发生放射性药品遗撒、患者呕吐等意外情况，依照程序处置，规范操作，防止放射性污染扩散导致周围环境污染。

(3) 病人注射前，要认真核对患者的姓名、性别、给药量，防止因错误给药导致他人受到不必要的照射，或者因给药活度不准确影响诊疗效果。在手套箱内分装、标记放射性药物，实验台操作同位素。一旦发生撒漏导致台面和地面污染的情况，及时采取擦拭方法去污，并用表面污染仪检测，直至表面污染水平满足 GB18871-2002 要求，工作人员离开控制区，在更衣间更换工作鞋和工作服，防止放射性污染扩散至控制区之外。

(4) 高活室配置放射性废物桶，收集放射性废物，并在放射性废物贮存室暂存，暂存超过30天后，达到解控水平后办理清洁解控，该措施可有效避免放射性废物对环境造成污染和影响。候诊场所配备有专用厕所，病人的排泄物进入衰变池暂存，达标后排放，该措施可有效防止放射性废水对环境造成污染和影响。

放射性场所场设置有排风系统，废气有组织在排风管道内设置有过滤器，可有效减少放射性废气的排放和对环境的影响。

(5) 发现意外事件与事故的当场人员应当立即向部门负责人、上级各管理部门以及辐射安全管理小组负责人和专职人员报告，启动事故应急预案。辐

射安全管理小组等相关人员立刻到达现场，负责保护现场，控制范围。发生该类事故后，应在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门和公安部门报告。如果可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生健康行政部门报告。

11.5 项目环保验收内容建议

根据项目建设和运行情况，评价单位建议本项目竣工环境保护验收的内容见表11-5。

表11-5 项目环保验收内容建议表

验收内容	验收要求
剂量限值	根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)、环评批复要求和本次环评报告预测，公众、职业照射剂量约束值继续执行 0.1mSv/a 和 2mSv/a；放射性表面污染控制水平满足 GB 18871-2002 要求。
剂量当量率	控制区外 30cm 处周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h。
电离辐射标志和中文警示	在 PET/MRI 室（第四显像室）场所门外设置电离辐射警告标志和中文警示说明。
布局和屏蔽设计	辐射工作场所建设和布局与环评报告表描述内容一致。屏蔽墙和防护门的屏蔽能力满足辐射防护的要求。高活室和控制区通风换气设施运转正常，通风能力满足设计要求。
辐射安全设施	工作场所实行分区管理，在控制区出、入口分别安装单向门禁系统，限制无关人员出入；注射区、高活室、检查室、废物间、等候室及卫生间和控制区走廊等场所采取放射性污染控制措施。采用实体屏蔽措施，安装视频监控系统等装置。在候诊室内设铅屏风。
监测仪器	配备监测仪器：已配备 1 台环境级 X、γ 辐射测量仪和 1 台表面污染仪。辐射工作人员进行个人剂量监测，建立健康档案。
“三废”处置设施	配置满足需要的放射性废物存贮设施，已配备防辐射废物桶 20 个；建设有满足环境管理要求的放射性废水衰变池，且有运行管理记录；高活室安装手套箱，手套箱操作口风速大于 0.5m/s；手套箱配套建设独立排风系统，排放口设置在所在建筑顶部高处，排风速率满足辐射安全需要。
规章制度	制定有各项安全管理制度、操作规程、工作人员培训考核计划等。辐射安全管理制度和操作规程得到宣贯和落实。
人员培训	辐射工作人员通过辐射安全与防护考核。
应急预案	辐射事故应急预案符合工作实际，应急预案明确了的应急处理组织机构及职责、处理原则、信息传递、处理程序和处理技术方案等。配备必要的应急器材、设备。针对使用放射性同位素过程可能存在的风险，建立应急预案，落实必要的应急装备。进行过辐射事故（件）应急演练。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

12.1.1 辐射安全管理小组

医院已经设置了辐射安全委员会作为专门管理机构，并指定了专人负责辐射安全与环境保护管理工作。人员构成具体情况见表 1-5 所示。辐射安全委员会的职责：

1. 在医院安全委员会组长、副组长的领导下，负责本医院辐射安全防护的管理工作。

2. 贯彻执行国家、北京市政府部门有关法律、法规、规章、相关标准及有关规定。负责对本医院相关部门和人员进行法律、法规及相关标准的培训、教育、指导和监督检查等工作。

3. 制定、修订本医院辐射安全防护管理制度及仪器设备操作规程。

4. 制定、修订辐射事故应急预案，配备相应的事故处理物资仪器、工具，一旦发生辐射意外事故或情况，在辐射安全防护组组长的指挥下负责事故现场的应急处理工作。

5. 负责办理辐射安全许可证的申请、登记、换证及年审等工作。

6. 建立装置档案，组织医院有关部门和人员对使用的装置及剂量监测仪器进行检查和维护保养，保证正常使用。

7. 对医院从事辐射工作的人员进行条件和岗位能力的考核，组织参加专业体检、培训并取得相应资格证。

8. 组织实施对从事辐射工作人员的剂量监测，做好个人剂量计定期监测工作，对数据进行汇总、登记、分析等工作。做好医院年度评估报告工作，认真总结、持续改进并上报有关部门。

本项目建成后，医院将成立核医学科，核医学科主任将进入辐射安全委员会。

12.1.2 辐射工作人员

核医学科门诊新增的 9 名辐射工作人员将在生态环境部培训平台报名参加并通过辐射安全和防护考核，经过考核合格后持证上岗，并及时参加每五年一次的重新考核，并制定了辐射工作人员考核计划。本项目启用后核医学科门诊新增 9 名辐射工作人员（医师 3 名，技师 3 名，化学师 1 名，护士 1 名，物理

师 1 名)。

12.2 辐射安全管理规章制度

医院制定了多项辐射安全管理制度，包括《辐射安全防护保卫制度》《设备操作规程》《辐射安全岗位职责》《设备检修维护制度》《辐射应急预案》《人员培训考核计划》《监测方案》等。医院将制定核医学科有关的辐射安全管理制度，加强放射性同位素的管理，确保辐射工作安全受控。

本项目实施后，医院在重新申领辐射安全许可证前，组织相关人员完善相关制度，如操作规程、监测方案、辐射突发环境事件应急预案等，确保全部辐射工作有章可循。同时，组织科室人员进行学习，确保依照规定安全使用放射性同位素和射线装置。

12.3 辐射监测

12.3.1 个人剂量监测

医院已制订了医院有关辐射工作人员个人剂量监测的管理要求，并将辐射工作人员个人剂量监测工作作为全院辐射监测计划体系的管理目标之一，要求全院辐射工作人员按要求接受个人剂量监测，并建立相应的个人剂量监测档案。全院辐射工作人员的个人剂量监测工作已委托天津瑞丹辐射检测评估有限责任公司承担，监测频度为每季度检测一次。医院严格要求辐射工作人员按照规范佩戴个人剂量计，规定在个人剂量计佩戴时间届满一个监测周期时，由专人负责收集剂量计送检更换，医院严格按照国家法规和相关标准进行个人剂量监测和相关的防护管理工作。

本项目实施后，医院将为核医学科新增辐射工作人员全部配备个人剂量计，与现有其他辐射工作人员一起委托天津瑞丹辐射检测评估有限责任公司进行每季度一次的监测，按照法规要求妥善保存个人剂量监测数据。如发现监测数据异常，将立即暂停其辐射工作，查明原因并妥善解决后方可继续开展辐射工作。

12.3.2 工作场所和辐射环境监测

核医学科门诊已配备 1 台环境级 X、 γ 辐射测量仪和 1 台表面污染仪，能够满足医院辐射防护和环境保护的要求。对于已配备的和今后拟配置的防护监测设备，将定期送计量检定部门进行检定，保证仪器可靠的功能状态。拟建立辐射环境自行监测记录或报告档案，并妥善保存，接受生态环境行政主管部门

的监督检查。

(1) 委托监测

医院每年委托有资质的单位对医院已有的放射性同位素工作场所和所有射线装置机房防护和机器性能监测 1 次。

(2) 本项目自行监测方案

本项目实施后，工作人员使用拟配备的辐射剂量仪、表面污染仪，对拟建辐射工作场所进行监测，本项目自行监测方案如下。

1) 监测项目：X/γ 剂量率水平，表面污染水平

2) 监测设备：X-γ 辐射剂量仪，表面污染仪

3) 监测频次：剂量率水平每年不少于 1 次(有代表性点位不少于 1 次/月)，表面污染每天工作后监测 1 次。

4) 工作场所剂量率水平监测点位：检查室四周和楼上，注射后等候室周围、及控制区边界外 30cm 处等位置的剂量率水平，衰变池四周和楼上的剂量率水平。监测数据记录存档，核医学科改扩建后监测点位布置见图 12-1 所示。

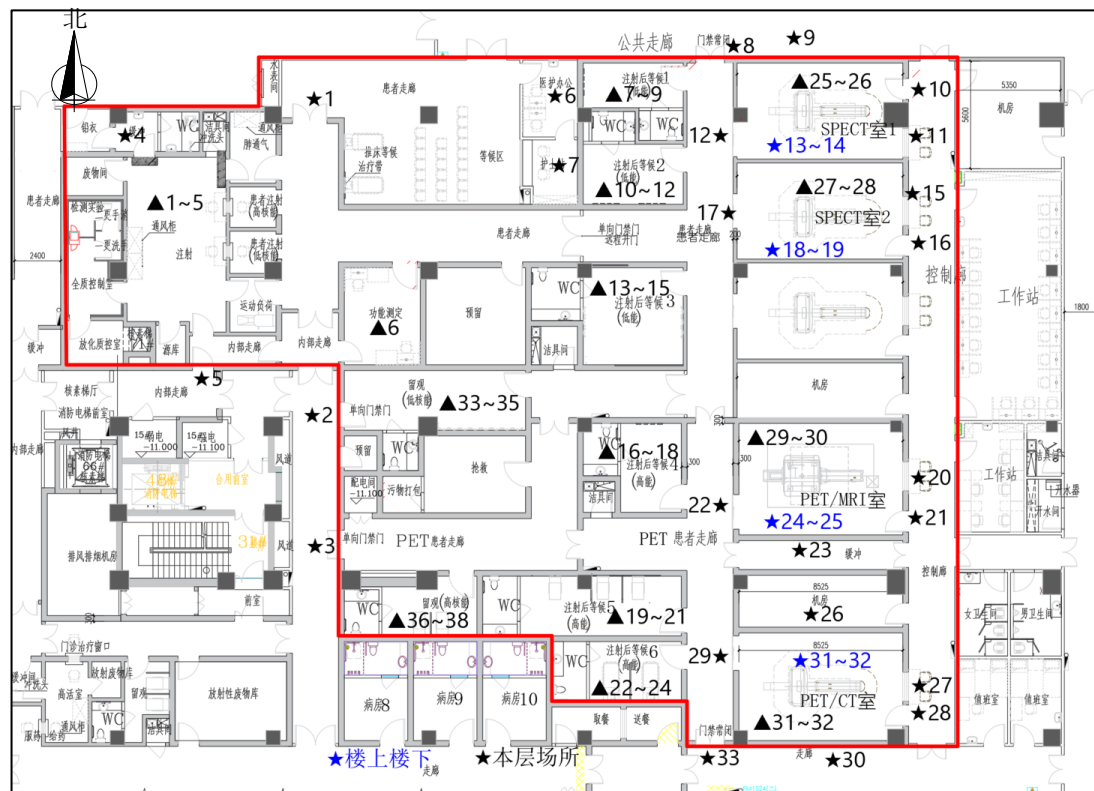


图 12-1 核医学科门诊场所自行监测点位图

(标注★为剂量率监测位置，▲为表面污染水平监测位置)

表 12-1 核医学科场所 X/γ 辐射剂量率监测点位设置

编号	场所名称	监测点位置	检测频次
1~3	核医学科门诊和治疗	控制区出入口处	1次/年
4~5	高活室（注射室）	北侧缓冲间、南侧走廊	1次/年
6	注射后等候室 1	西侧医护办公	1次/年
7	注射后等候室 2	西侧护士站	1次/年
8	公共走廊	常闭门北侧公共走廊	1次/年
9~14	SPECT1 室（第一显像室）	四周及楼上楼下	1次/年（其中控制室 1次/月）
15~19	SPECT2 室（第二显像室）	四周及楼上楼下	1次/年（其中控制室 1次/月）
20~25	PET/MRI 室（第四显像室）	四周及楼上楼下	1次/年（其中控制室 1次/月）
27~32	PET/CT 室（第五显像室）	四周及楼上楼下	1次/年（其中控制室 1次/月）
33	公共走廊	常闭门南侧公共走廊	1次/年
34~35	2 号衰变池	东侧、南侧停车区域	1次/年
36		北侧空调机房	1次/年

5) 表面污染水平监测点位设置：每天工作结束后，对高活室台面、地面，手套箱台面，注射窗台面以及相关设备表面等进行表面污染监测，监测数据记录存档，表面污染水平监测点位布置见图 12-1 所示。

表 12-2 表面污染水平监测点位设置

编号	场所名称	监测点位置	β 表面污染 (Bq/cm ²)
1~5	核医学科门诊高活室（注射室）	手套箱台面、高活室地面、注射窗、运动负荷室、通气室	
6	功能测定室	地面	
7~9	注射后等候室 1	候诊室地面、候诊椅、卫生间	
10~12	注射后等候室 2	候诊室地面、候诊椅、卫生间	
13~15	注射后等候室 3	候诊室地面、候诊椅、卫生间	
16~18	注射后等候室 4	候诊室地面、候诊椅、卫生间	
19~21	注射后等候室 5	候诊室地面、候诊椅、卫生间	
22~24	注射后等候室 6	候诊室地面、候诊椅、卫生间	
25~26	SPECT1 室（第一显像室）	病人床、地面	
27~28	SPECT2 室（第二显像室）	病人床、地面	
29~30	PET/MRI 室（第四	病人床、地面	

	显像室)		
31~32	PET/CT室(第五显像室)	病人床、地面	
33~35	低能留观室	候诊室地面、候诊椅、卫生间	
36~38	高能留观室	候诊室地面、候诊椅、卫生间	
/	其他必要点位	废物桶、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	

12.4 辐射事故应急管理

医院已经制定了《首都医科大学附属北京友谊医院辐射事故应急制度》。本项目实施后, 医院将严格依据《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的要求, 在原有辐射安全管理制度基础上, 增加核医学科有关的各项管理制度, 确保运行过程中的辐射安全。在应急预案中进一步明确规定处理的组织机构及其职责分工、事故分级、应急措施、报告程序、联系方式等内容, 能够满足医院实际辐射工作的需要。

发生辐射事故时, 应当立即启动本单位的辐射事故应急方案, 采取必要防范措施, 并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》, 向当地生态环境部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的, 还应同时向当地卫生健康行政部门报告。医院将每年至少组织一次应急演练。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 正当性分析

北京友谊医院顺义院区已于2024年4月开诊，顺义院区核医学科门诊于2024年4月同时启用，根据《顺义院区新建核医学科环境影响评价报告表》，核医学科门诊将分期购置安装设备，前期已预留1间PET/MRI室和1间SPECT/CT室，本次拟在预留的PET/MRI室（第四显像室）内配备1台PET/MRI，配套使用1枚V类密封校准源，并增加F-18和Ga-68两种核素的使用量，将已许可使用的注射后等候4室作为PET/MRI患者专用，不改变核医学科门诊区现有的布局和其他核素用量。

13.1.2 选址合理性分析

北京友谊医院顺义院区位于顺义区后沙峪镇，核医学科门诊相关场所位于1号楼西南侧的地下二层，周围50m区域都是医院内部，项目场址环境辐射本底未见异常，选址充分考虑了周围场所的防护与安全，以及患者就诊和临床应用的便利性，为相对独立的区域，对公众影响较小。因而从辐射环境保护方面论证，该项目选址是可行的。本次改扩建是在现有的核医学科门诊预留房间内增加设备，不改变核医学科位置。

13.1.3 辐射防护屏蔽能力分析

在设置辐射工作场所时已充分考虑了其性能和特点、周围工作场所的防护与安全，对辐射工作场所选址和布局设计进行了综合考虑，辐射工作场所屏蔽设计原则符合辐射工作场所使用和辐射防护安全的要求。

13.1.4 辐射环境评价

(1) 根据场所周围关注点辐射剂量估算结果可知，核医学科门诊场所改扩建后，场所控制区周围附加辐射剂量率满足 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的控制要求，预计工作人员和公众的年受照剂量均低于相应剂量约束限值(2mSv/a 、 0.1mSv/a)，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中关于“剂量限值”的要求。对于辐射工作人员年受照剂量异常情况，单位应该进行调查并报生态环境部门备案。

(2) 放射性“三废”排放。核医学科改扩建后，废水实际可暂存12个月，

暂存衰变超过 10 倍最长半衰期且不少于 30 天（其中含 I-131 的放射性废水至少暂存 180 天），排放前委托有资质的检测机构对废水进行检测，废水中 I-131 核素的放射性活度浓度、总活度和总 α 、总 β 符合排放限值要求。核医学科门诊改扩建后每年产生放射性固体废物约 378kg（包含废过滤器）。放射性沾染物品收集暂存衰变，符合清洁解控水平的废物按照医疗废物处置。将产生极少量的放射性废气从院内西楼楼顶排出，排放大气环境中会进一步稀释，远低于到处空气浓度限值。

（3）污染防治措施。拟采取的污染防治措施主要有：

核医学科门诊控制区出入口安装门禁系统，张贴电离辐射警告标志和文字警示说明，限制非工作人员和非受检人员进入。设备机房门外设置工作指示灯，张贴电离辐射警告标志。

检查室地面铺装硬质无缝橡胶卷材，注射区、高活室、废物间、候诊室及卫生间和控制区走廊地面铺装地板砖，墙面装石英纤维板，便于去污。手套箱台面采用表面光洁、耐腐蚀、防渗漏、易去污的材料，便于放射性污染去污和去除。

核医学科门诊高活室已设置 2 个手套箱配套通风系统，设置放射性废水专用收集系统，设置废水贮存衰变池；设有放射性废物间。

（4）辐射安全防护管理：医院设有辐射安全与环境保护管理机构，负责全院的辐射安全管理和监督工作。有较健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、人员培训考核计划、健康体检制度、辐射事故应急预案和设备检修维护制度等。本项目实施后将补充核医学科有关管理制度，进一步完善全院辐射安全管理制度并有效执行。

（5）与《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的规定对照检查，满足要求。

13.1.5 结论

综上所述，首都医科大学附属北京友谊医院顺义院区核医学科门诊改扩建项目，相应的辐射安全制度和辐射防护措施基本可行，在落实项目实施方案和本报告表提出的污染防治措施及建议前提下，其运行对周围环境产生的辐射影响可控，符合环境保护的要求。故从辐射环境保护角度论证，本项目的运行是

可行的。

13.2 承诺

为了保护环境，保障人员健康，医院承诺：

(1) 遵守有关法律、法规的规定，执行管理制度，落实管理责任。不违规操作和不弄虚作假。

(2) 妥善处理群众信访和投诉，做好公众宣传、解释和沟通工作；

(3) 配备满足工作需要且具备相应放射诊断资质的医技工作人员；

(4) 辐射工作人员全部参加辐射安全与防护培训考核，考核合格后方可上岗，定期组织，在岗人员参加辐射安全知识继续教育。

(5) 严格按照辐射监测方案定期对辐射工作场所和参与辐射工作的工作人员进行监测，并将监测记录保存留档；

(6) 项目竣工后，及时自行组织开展竣工环境保护验收。运行期间接受生态环境管理部门的监督检查。

