

核技术利用建设项目

核医学科同位素增项、设备更新

环境影响报告表

(送审版)

建设单位: 北京大学第一医院 (公章)

2021 年 3 月

核技术利用建设项目

核医学科同位素增项、设备更新

环境影响报告表

(送审版)

建设单位名称：北京大学第一医院

建设单位法人代表（签名或签章）：刘新民

通讯地址：北京市西城区西什库大街 8 号

邮政编码：100034

联系人：任军红

电子邮箱：junhongren@sina.cn

联系电话：010-83575335

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.....	25
表 8	环境质量和辐射现状.....	35
表 9	项目工程分析与源项.....	38
表 10	辐射安全与防护.....	51
表 11	环境影响分析.....	72
表 12	辐射安全管理.....	95
表 13	结论与建议.....	100

附件

附件 1: 《辐射安全许可证》正副本及台帐复印件

附件 2: 医院放射防护管理机构、分工及实施细则

附件 3: 已通过环保培训辐射工作人员名单

附件 4: 2019 年度辐射工作个人剂量检测结果

附件 5: 2019 年核医学科场所检测报告

附件 6: 核医学科增加核素种类及数量、设备更新项目 X- γ 辐射剂量率检测报告

附件 7: 委托书

表 1 项目基本情况

建设项目名称		核医学科同位素增项、设备更新			
建设单位		北京大学第一医院			
法人代表	刘新民	联系人	任军红	联系电话	010-83575335
注册地址		北京市西城区西什库大街 8 号			
项目建设地点		北京市西城区西什库大街 8 号急诊楼一层北侧			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资(万元)	2700	项目环保投资(万元)	25	投资比例(环保投资/总投资)	0.9%
项目性质		☐ 新建 ☐ 改建 ☒ 扩建 ☐ 其它		占地面积(m ²)	700
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I类 ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V类		
		☒ 使用	☐ I类(医疗使用) ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☒ V类		
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☒ 使用	☒ 乙 ☐ 丙		
	射线装置	☐ 生产	☐ II类 ☐ III类		
		☐ 销售	☐ II类 ☐ III类		
		☒ 使用	☐ II类 ☒ III类		
	其他				
	1.1 北京大学第一医院概况 北京大学第一医院是一所融医疗、教学、科研、预防为一体的大型综合性医院，创建于 1915 年，为国内首批建立的临床医学院。1991 年设立妇儿医院，为卫生部、世界卫生组织（WHO）审定的三级甲等医院和爱婴医院。 全院共有 51 个病房 1500 余张病床，设有 29 个临床科室和 12 个医疗技术科室，拥有代表当代医学水平的高、精、尖设备 6678 台（件）。日均门急诊量 7000 人次，年收治病人 45000 余人，手术近 2 万例。医院承担 50 万人的职工基本医疗保险任务，62105				

人的公费医疗合同；承担医疗照顾合同 8620 人，及占北京八分之一的干部保健任务。

医院还有多专业、多层次、高质量的 100 多个特需门诊和 400 多个专家门诊及 103 个专业门诊。医院学科齐全，综合诊疗水平高，尤其对肾脏内科、心血管内科、泌尿外科及男科、外科、神经内科、妇产科、小儿科、皮肤性病科等各类常见病、多发病、疑难重症的救治均具有丰富的经验。

医学科学研究设有 6 个研究所，10 个研究中心，1 个部级重点实验室、14 个研究室、5 个实验室、6 个科研辅助科室，1 个国家药品临床研究基地 12 个专业。医学教育实行本科生、研究生、进修生三条教育轨道。研究生教育设有 4 个国家级重点学科，18 个博士点，24 个硕士点，1 个临床博士后流动站。医院还设有专门的预防保健机构，负责传染病防治、计划免疫、妇幼保健、定期体检、卫生宣教等工作。

1.2 核技术应用情况

1.2.1 核技术应用现状

北京大学第一医院开展放射性工作的院址有 5 处：

1. 北京大学第一医院门诊部，位于北京西城区西什库大街 8 号。
2. 北京大学第一医院妇儿门诊部，简称“一部”，位于西城区西安门大街 1 号。
3. 北京大学第一医院第二住院部，简称“二部”，位于西城区大红罗厂街 1 号（西什库大街 7 号）。
4. 北京大学第一医院肿瘤诊疗中心，简称“三部”，位于东城区安定门内大街车辇店 15 号。
5. 北京大学第一医院男科中心，简称“男科中心”，位于地安门西大街 57 号院。

北京大学第一医院现持有《辐射安全许可证》（京环辐证[B0044]，发证日期为 2018 年 2 月 13 日，有效期至 2022 年 8 月 6 日，见附件 1 所示），许可使用 IV 类、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。

已许可使用的放射源：医院已获许可使用的放射源见表 1-1；

已许可使用的非密封放射性物质：医院已获许可使用的非密封放射性物质汇总情况，见表 1-2；

已许可使用的射线装置：医院已获许可使用的射线装置见表 1-3。

表 1-1 已许可使用的放射源

序号	核素	活度 (Bq) ×数量	类别	用途	活动种类	场所
1	⁹⁰ Sr, ⁹⁰ Y (混)	2.7E+09×1	V	敷贴治疗	使用	12 急诊楼核医学科 (诊疗)
2	Am-241	3.7E+07×1	V	刻度/校准源	使用	12 急诊楼核医学科 (诊疗)
3	Cs-137	9.99E+06×1	V	刻度/校准源	使用	12 急诊楼核医学科 (诊疗)
4	Cs-137	3.7E+05×1	V	刻度/校准源	使用	12 急诊楼核医学科 (诊疗)
5	Cs-137	1.11E+06×1	V	刻度/校准源	使用	12 急诊楼核医学科 (诊疗)
6	Ge-68	1.11E+08×1	V	刻度/校准源	使用	12 急诊楼核医学科 (诊疗)
7	Gd-153	9.25E+09×2	V	刻度/校准源	使用	12 急诊楼核医学科 (诊疗)
8	Cs-137	1.11E+09×2	IV	刻度/校准源	使用	12 急诊楼核医学科 (诊疗)
9	Na-22	3.7E+06×2	V	刻度/校准源	使用	12 急诊楼核医学科 (诊疗)
10	Na-22	3.7E+05×6	V	刻度/校准源	使用	12 急诊楼核医学科 (诊疗)
11	Cs-137	3.7E+08×1	V	刻度/校准源	使用	12 急诊楼核医学科 (诊疗)

表 1-2 已许可使用的非密封放射性物质

使用场所	场所等级	同位素名称	批准的日等效最大 操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	活动种类
10 二部中心手术室	丙	Pd-103 粒子源	1.85E+07	7.40E+10	使用
		I-125 粒子源	1.85E+07	7.40E+10	使用
12 急诊楼核医学科 (诊疗)	乙	Pd-103 粒子源	1.85E+07	7.40E+10	使用 (贮存)
		I-125 粒子源	1.85E+07	7.40E+10	使用 (贮存)
		Tc-99m	1.85E+08	4.44E+12	使用
		I-131	4.44E+08	2.368E+11	使用
		Ga-67	3.70E+07	1.85E+10	使用
		Sr-89	2.96E+07	3.70E+10	使用
		Sm-153	1.85E+08	9.25E+10	使用
		P-32	3.70E+07	3.70E+09	使用
		Re-186	2.22E+08	3.33E+10	使用
		Re-188	2.22E+08	3.33E+10	使用
		Ra-223	1.11E+08	5.55E+08	使用

		I-123	7.40E+06	1.85E+10	使用
		Lu-177	7.40E+07	1.85E+10	使用
		Y-90	3.70E+08	3.70E+10	使用
		In-111	2.22E+07	5.55E+09	使用
		Tl-201	2.22E+06	5.55E+09	使用
		F-18	1.78E+08	4.44E+12	使用
21 急诊楼核医学科 (放免室)	丙	I-125	3.70E+05	9.25E+08	使用
		H-3	3.70E+04	1.85E+08	使用
		S-35	3.70E+05	1.85E+08	使用
		Cr-51	3.70E+04	1.85E+08	使用
		C-14	3.70E+05	1.85E+08	使用
		Tc-99m	3.70E+06	1.85E+10	使用
		I-131	1.85E+07	9.25E+09	使用
		F-18	3.70E+06	1.85E+10	使用
		Cu-64	1.85E+06	5.55E+09	使用
		Ga-68	1.85E+06	5.55E+09	使用
22 急诊楼核医学科 (研究室)	丙	Tc-99m	3.70E+06	1.85E+10	使用
		I-131	1.85E+07	9.25E+09	使用
		F-18	3.70E+06	1.85E+10	使用
		Cu-64	1.85E+06	5.55E+09	使用
		Ga-68	1.85E+06	5.55E+09	使用

表 1-3 已许可使用的射线装置(II 类 7 台、III 类 41 台)

序号	装置名称	类别	装置数量 (台)	活动种类
1	胃肠机	III	4	使用
2	乳腺 X 射线机	III	1	使用
3	普通 X 线机	III	10	使用
4	移动 X 线机	III	6	使用
5	模拟定位机	III	2	使用
6	胆道造影机	III	1	使用
7	医用 X 射线机	III	1	使用

8	碎石机	III	1	使用
9	SPECT/CT	III	1	使用
10	PET/CT	III	1	使用
11	CT 模拟定位机	III	1	使用
12	小动物 SPECT/CT	III	1	使用
13	骨密度仪	III	3	使用
14	膀胱镜机	III	1	使用
15	血管造影机	II	5	使用
16	医用电子直线加速器	II	2	使用
17	CT 机	III	5	使用
18	牙科 X 线机	III	2	使用
19	合计	——	48	——

1.2.2 医院近几年履行环保审批手续情况

北京大学第一医院严格执行辐射安全法律法规要求，及时办理环评审批、验收和辐射安全许可手续。医院自 2009 年以来，共开展了 13 个核技术利用项目，均履行了环保审批手续。其中，满足条件的 10 个项目已完成了竣工环保验收，2 个项目正在建设，具体见表 1-4。

表 1-4 近几年履行环保审批手续情况一览表

编号	项目名称	环保审批	竣工环保验收
1	核医学科技术改造项目	京环审[2009]379 号	京环验[2012]252 号
2	放射性同位素使用场所的退役	京环审[2009]1237 号	京环验[2012]252 号
3	使用数字减影血管造影机项目	京环审[2009]1296 号	京环验[2012]279 号
4	新增医用 X 射线装置项目	京环审[2010]599 号	京环验[2014]190 号
5	新增医用射线装置项目	京环审[2011]96 号	京环验[2014]122 号
6	新建 PET/CT 工作场所和新增医用 X 射线装置项目	京环审[2013]47 号	新建 PET/CT 工作场所未实施，其余建设内容已完成竣工环保验收（京环验[2014]190 号）
7	更新医用电子直线加速器和新增 III 类射线装置	京环审[2015]066 号	京环验[2016]200 号
8	新建核医学科工作场所及使用医用 X 射线机	京环审[2015]0101 号	京环验[2017]66 号
9	二部核医学科工作场所退役	京环审[2015]0292 号	京环验[2015]0289 号

10	新增使用一台 DSA 装置	京环审[2016]0038 号	2018 年 12 月自行完成 竣工环保验
11	保健中心工程放射类设备	京环审[2018]195 号	建设中
12	保健中心使用 DSA 项目	京环审[2020]9 号	建设中
13	城南院区使用放射性同位素和 射线装置项目	京环审[2021]9 号	建设中

1.3 辐射安全管理现状

1.3.1 辐射环境安全管理机构

为了保证放射性同位素和射线装置的安全使用和有效管理，保障辐射工作人员的健康与安全，医院设立了放射防护管理委员会。由医疗行政管理人员及临床科室等部门的专家组成。设主任委员 2 名，由分别党委书记和院长担任，副主任委员 1 名，由医疗副院长担任。委员分为领导小组和日常工作小组。领导小组由党委书记、院长、医疗副院长、后勤副院长、纪委书记、党委副书记、人力资源处处长担任组成；日常工作小组由医务处、保卫处、总务处、工程办公室、教育处、医学装备处、医学影像科、放射治疗科、核医学科、心血管科、介入血管外科、骨科、口腔科、泌尿外科等部门人员组成。

委员会为医院放射防护的最高管理组织，医院院长为第一责任人，常设机构为医务处，日常放射防护管理工作由医务处负责。医院领导小组职责、工作小组职责、委员会人员名单、放射防护管理工作分工及实施细则见附件 2 所示。

具体职责包括：

- ①负责对本单位辐射安全管理制度编制、修订、完善，并组织实施；
- ②负责定期对辐射工作人员进行辐射安全相关法规及内部辐射安全规程的宣传、培训和考核；
- ③负责组织进行辐射应急预案的演练；当出现辐射事故或事件时，组织人员，启动应急响应，进行事故发生后的抢救工作；
- ④负责辐射安全设施和仪器的维护和管理，组织进行辐射工作场所和周边环境监测；
- ⑤负责对辐射工作人员进行个人剂量监测，并进行人员健康、保健管理。

1.3.2 已建立的辐射防护规章制度及执行情况

北京大学第一医院按照国家相关法律、法规及有关主管部门的要求，已成立了放射防护管理委员会，制订了相应的操作规程和辐射安全防护管理规章制度，在管理文件中

明确相关人员的岗位要求和工作职责。

医院相关的规章制度包括：《放射诊疗及辐射安全管理制度总则》、《辐射事故（件）应急预案》、《核医学科（乙级非密封性放射性物质应用场所）安全防护操作规程》、《辐射防护和安全保卫制度》、《放射诊疗设备检修维护制度》、《台账管理制度（含放射源、非密封放射性物质、射线装置）》、《辐射安全培训制度》、《辐射监测方案》、《放射源和放射性废物管理规定》、《放射工作人员职业健康及放射防护知识培训》、《放射防护检测评价》等。

核医学科主要的规章制度包括：《核医学科岗位职责》、《放射性核素(源) 采购、登记、使用、核对、保管及注销制度》、《放射性成药溶液（奶液）订货及接收规程》、《放射性操作和污物处理制度》、《放射性污染紧急处理与报告制度》、《核医学科仪器设备质量保证大纲》、《放射性场所日常监测方案》、《核医学科药物标记操作规程和质量控制》、《核医学科仪器操作规程》、《核医学科患者注意事项、医疗流程与警示》、《核医学科辐射事故应急预案》、《核医学科放射性废物处理方案》等。

为了加强对辐射安全和防护管理工作，医院辐射防护管理委员会负责医院的放射防护监督和管理的工作，使用放射性同位素和射线装置的有关科室负责人承担组织执行辐射安全措施和制度的责任，医务处负责对全院辐射防护管理制度执行情况的监督检查。每年依据相关法律法规对医院辐射工作的安全和防护状况，编写年度评估报告，并向生态环境主管部门上报。

1.3.3 密封源的安全管理

许可使用Ⅳ、Ⅴ类放射源共 19 枚，在用 18 枚。放射源平时储存在东区东北侧的放射源库房内，放射源库房严格按照公安地标建设并通过检测验收，安装红外感应、监控探头和防盗门，具备防入侵、监控和报警功能，医院门诊监控室负责日常监控。为了减少密封源丢失所致的潜在危险，已建立密封源台帐，对放射源的数量和活度等数据，有详细登记，建立专门档案，并定期盘查，严防丢失。

进行仪器质控时，先打监控室电话告诉监控室人员“核医学科取放射源，请撤防”，然后严格按照“双人双锁”操作开启源库门，其中 1 人再打开源库里存放放射源的铁柜，拿出放射源，锁好铁柜，再按照“双人双锁”操作关闭源库门。

1.3.4 非密封性放射性同位素的安全管理

医院核医学科等使用非密封性放射性同位素的科室，均制定有严格的放射性药品管

理制度。放射性药品的订购由放药专业人员负责；放射性药品管理由专人负责；放射性药品的交接在摄像头监控下，施行“点对点”的交接手续；放射性药品使用由专业人员监督，由指定人员进行。对放射性药品的采购、登记、使用、核对、保管和注销，药品的配制、质控和记录，以及放射性废物的处理，都作了明文规定。各项规定已在工作中得到落实。

1.3.5 放射性废物的安全管理

(1) 当密封源进行退役处理时，将 IV 类和 V 类报废密封源送至城市放射性废物库；(2) 放射性废物分类收集于专用铅制放射性固体废物箱内，待收集满后由废物桶内取出，标明日期转移至放射性废物暂存库内暂存。依照《北京市医疗机构核医学放射性废物清洁解控管理办法（试行）》，符合清洁解控水平的废物做为医疗废物处置。目前，北京大学第一医院产生放射性“三废”的场所主要是急诊楼核医学科。

1.3.6 辐射工作人员培训

医院规定所有辐射工作人员，在上岗前将接受北京市卫生健康监督所及生态环境部门认可培训机构组织的辐射安全与防护培训，通过了辐射防护与安全培训考核，并取得合格证书持证方可上岗。每 4 年参加复训，并制定了辐射工作人员培训计划。

北京大学第一医院严格按照国家相关规定执行辐射工作人员持证上岗制度。制定有放射性工作人员培训计划。医院已于 2019 年 11 月委托生态环境部门认可的培训机构，对所有放射工作人员(共计 253 人)进行了辐射安全和防护培训，并通过了考核。通过辐射安全与防护考核的辐射工作人员具体情况见附件 3 所示。

今后如需新增辐射工作人员，将及时安排其参加辐射安全防护培训，持证上岗，已有人员培训证到期的将及时安排其参加辐射安全防护复训。

1.3.7 个人剂量监测和场所监测情况

(1) 个人剂量监测

所有辐射工作人员均佩带 TLD 个人剂量计，按每季度 1 次的频度，按照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）、《放射工作人员职业健康管理辦法》（卫生部令第 55 号）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(原环保部 18 号令)的要求，建立个人剂量档案。

医院指定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与环境保护管理机构。

目前，北京大学第一医院的个人剂量检测委托北京贝特莱博瑞技术检测有限公司进行，个人剂量档案齐全。根据医院提供的 2020 年度辐射工作人员个人剂量监测结果(见附件 4)，共计 336 人（含参与观摩的实习人员 83 人）开展个人剂量检测，受照剂量最高的是 0.55mSv(核医学科)，多数人为 0.144mSv，所有人员的年受照剂量均低于 1mSv。

（2）工作场所辐射水平监测

北京大学第一医院已制定辐射工作场所监测制度和自行监测记录档案，监测方案内容含有工作场所辐射水平监测和环境辐射水平监测，监测方案中包括实施部门、监测项目、点位及频次等，并妥善保存，接受生态环境行政主管部门的监督检查。监测记录记载监测数据、测量条件、测量方法和仪器、测量时间和测量人员等信息，监测记录随本单位辐射安全和防护年度评估报告一并提交北京市生态环境局。

原环保部 18 令的要求，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 次场所辐射水平监测。对于有射线装置工作场所，主要包括机房四周(四周墙体、防护门和观察窗等)和楼上楼下相应场所、以及控制室等；对于非密封放射性物质工作场所，主要包括 SPECT、SPECT/CT 和 PET/CT 等装置机房、注射室和病人候诊室等四周和其楼上楼下相应场所，以及控制室等场所。监测数据记录存档。

工作场所辐射水平监测工作由北京大学第一医院辐射安全管理委员会组织实施，目前委托北京贝特莱博瑞技术检测有限公司进行，每年 1 次，监测报告齐全。

根据北京贝特莱博瑞技术检测有限公司 2020 年核医学科检测报告（编号 2020BJC-K0007，附件 5）可知，非密封放射性物质工作场所外照射水平检测结果：核医学科东区的最大值为 SPECT/CT 治疗室 0.21 μ Sv/h，核医学科西区的最大值为 PET/CT 候诊室通行门处 0.72 μ Sv/h，所检测放射工作人员和公众活动场所位点的辐射剂量水平根据其年工作量和在此场所的驻留时间，其年剂量符合职业照射剂量限值的规定。

（3）表面污染监测

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，该项工作由核医学科工作人员自行完成。核医学科放射性工作场所操作非密封放射性物质，因手套沾污、制剂少量泼洒等，会产生一定的放射性污染。因此，按照辐射防护要求，进行放射性场所日常辐射监测。核医学科配有 2 台美国 International Medcom 公司生产的 Inspector ALERT 型表面污染监测仪，东区（放药室小桌抽屉里）、西区（注射室小桌抽屉里）各放置一台。在东区更衣室器械柜里和西区工作人员通道器械柜里各放置一个污染急救药

箱，内装有酒精、碘伏、卷纸、镊子、记号笔等。

每天放射性操作结束后，接触放射性物质或易污染的台面、地面、把手、诊断床等，用表面污染监测仪（放置 $\mu\text{Sv/h}$ 档位）进行放射性污染的监测。监测严格按照科室制定的“放射性场所日常监测方案”中标识的监测点位认真进行表面污染监测。发现污染按照放射性污染紧急处理与报告制度及时处理。 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 污染用酒精擦拭， ^{131}I 污染依次用碘酒、酒精擦拭，除污完毕监测效果。记录放射性场所日常辐射监测数据，及时分析监测结果，不断改进和优化辐射防护措施以保证场所与人员的辐射安全。在日常工作中应严格遵守辐射安全与防护规章制度，严格执行放射性操作规程，将放射性事故与表面污染控制在最低水平。

根据北京贝特莱博瑞技术检测有限公司 2020 年核医学科检测报告（编号 2019BJC-K0007，附件 5）可知，放射性表面污染检测与放射性废物检测结果：核医学科东区的最大值为放免室地面 0.17Bq/cm^2 ，核医学科西区的最大值为候诊室地面 0.09Bq/cm^2 ，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》GB18871-2002 规定的不超过 40Bq/cm^2 的要求。

（4）流出物检测

2019 年 3 月，核医学科委托中国原子能科学研究院辐射监测与评价实验室对衰变池废水中碘-125 和碘-131 进行了监测，结果（报告编号 2019019-20190201）显示， ^{131}I 活度浓度低于 $9.0\text{E}-4\text{Bq/L}$ ， ^{125}I 活度浓度低于 $1.6\text{E}-4\text{Bq/L}$ 。

1.3.8 辐射监测仪器和防护用品配备情况

医院现有便携式辐射监测仪、便携式表面污染测量仪等辐射监测仪器设备，此外，医院为工作人员和受检者配备了必要的个人防护用品。如表 1-5 所示。

表 1-5 医院现有辐射监测仪器和防护用具

序号	仪器名称	型 号	生产厂家	仪器状态	数量	所属科室
1	活度计	CRC-25R	USA CAPINTEC.INC	正常	2	核医学科
2	活度计	CRC-55tR	USA CAPINTEC.INC	正常	1	核医学科
3	表面污染测量仪	Inspector ALERT	USA International Medcom	正常	2	核医学科
辐射防护用品						
序号	名称	数量		使用场所		
1	大领铅橡胶颈套	11		SPECT 机房 3 套，PET 机房 2 套，		

2	铅橡胶防护衣	11	注射室 3 套, 标记室 3 套
3	铅眼镜	23	
4	注射铅针套	7	注射室 4 个, 机房 3 个
5	运输铅罐	2	标记室 2 个
6	铅屏风	5	SPECT 机房各 1 个, 运动室 1 个 留观室 1 个

1.3.9 辐射应急措施

医院根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十二条, 原国家环境保护总局《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)的规定, 针对放射源丢失、被盗、卡源或操作失误, 各射线装置工作场所安全连锁失效、人员误操作, 以及核医学工作场所放射性药物丢失、洒漏等一系列可能造成人员超剂量照射事故(件)、环境污染事故(件)及其他辐射环境突发事件(件)的意外情况, 制定了有针对性的《辐射事故应急处理预案》。

医院已获得许可使用 IV 类、V 类放射源, 使用 II 类、III 类射线装置, 乙级非密封放射性物质工作场所, 丙级非密封放射性物质工作场所。医院已针对上述许可使用中可能发生的放射源丢失、被盗, 放射性污染以及大剂量照射等事故/事件, 制定了相应的《辐射事故应急预案》, 每年开展不少于一次应急演练。

2020 年 9 月 28 日中午, 医院组织医务处、保卫处和核医学科, 将“放射源丢失、污染等突发辐射安全事件”进行了现场演练, 参加人数共计 28 人, 使工作人员知晓了发生火灾时处理流程与灭火器使用方法, 发现放射源丢失或被盗时报告与处理流程, 发现辐射污染时处置流程, 使工作人员知晓突发事件报告与处理的流程, 熟练掌握应对各类突发事件的处理能力, 有效提高工作人员辐射污染的防范意识, 效果良好。

1.4 核医学科现状

(1) 核医学现状布局

北京大学第一医院核医学科位于西什库大街 8 号急诊楼一层北侧(现为 G 层), 建筑面积约 860m², 分为诊疗、放免、研究三个工作场所。

诊疗场所包括东区 SPECT 诊疗区域、西区 PET/CT 诊疗区域, 日等效最大操作量为 2.17E+09Bq, 为乙级非密封放射性物质工作场所; 放免场所主要是放免室, 日等效最大操作量为 1.18E+06Bq, 为丙级非密封放射性物质工作场所; 研究场所主要是小动物实验室, 日等效最大操作量为 1.30E+07Bq, 为丙级非密封放射性物质工作场所。

（2）核医学现有设备

诊疗场所的东区 SPECT 检查室有 2 台 SPECT、1 台 SPECT/CT 装置，使用放射性药物 ^{99m}Tc 、 ^{131}I 、 ^{177}Lu 等放射性药物进行诊断及科研工作；西区 PET/CT 检查室有 1 台 PET/CT 装置，使用 ^{18}F 、 ^{68}Ga 等正电子放射性药物进行诊断及科研工作。

研究场所及小动物实验室有 1 台小动物 PET 装置。

（3）非密封放射性物质使用现状

现阶段，诊疗场所使用的非密封放射性同位素包括 ^{18}F 、 ^{99m}Tc 、 ^{131}I 、 ^{89}Sr 、 ^{153}Sm 、 ^{32}P 、 ^{67}Ga 、 ^{123}I 、 ^{111}In 、 ^{201}Tl 、 ^{90}Y 、 ^{186}Re 、 ^{188}Re 、 ^{223}Ra 、 ^{177}Lu 、 ^{125}I （粒籽源）、 ^{103}Pd （粒籽源）等；放免场所使用的非密封放射性同位素包括 ^{125}I 、 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{35}S 、 ^{51}Cr 等；研究场所使用的非密封放射性同位素包括 ^{99m}Tc 、 ^{131}I 、 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga 等。

（4）现有密封放射源情况

核医学科使用密封放射源共 18 枚，2 枚 IV 类放射源、16 枚 V 类放射源，用于仪器质控，具体情况见表 1-1。

1.5 本项目概况

1.5.1 本项目主要内容

本项目拟对核医学科的诊疗场所进行改造，主要内容为：

（1）PET 诊疗区域：更新 PET/CT 装置；新增 ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器生成 ^{68}Ga ，并新增 ^{68}Ga 放射性药物。

（2）SPECT 诊疗区域：更新 1 台 SPECT 装置，增加 ^{99m}Tc 、 ^{123}I 等放射性药物日操作量；增加放射性同位素 ^{177}Lu 、 ^{90}Y 的操作量，开展多肽靶向治疗；增加放射性同位素 ^{223}Ra 的操作量，开展骨转移瘤、骨痛治疗。

核医学科的布局不变，各房间保持现有防护。本项目实施后，PET/CT 诊疗区域有 1 台 PET/CT 装置，SPECT 诊疗区域有 1 台 SPECT/CT 装置、2 台 SPECT 装置，非密封放射性同位素日等效最大操作量为 $3.86\text{E}+09\text{Bq}$ ，工作场所的等级保持不变，仍属乙级非密封放射性物质工作场所。

本项目相关的设备及射线装置情况见表 1-6，诊疗场所的放射性同位素使用情况见表 1-7。

表 1-7 本项目诊疗场所使用非密放射性同位素情况一览表

序号	同位素	日实际最大操作量 (Bq/d)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大操作量 (Bq/a)	用途	备注
1	^{18}F	1.78E+10	1.78E+08	4.44E+12	显像	原有同位素, 操作量不变
2	^{67}Ga	3.70E+08	3.70E+07	1.85E+10	显像	原有同位素, 操作量不变
3	^{68}Ga	8.88E+09	8.88E+07	1.78E+12	显像	新增同位素
4	^{68}Ge	7.40E+09	7.40E+06	1.48E+10	发生器母体核素	新增发生器
5	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	3.70E+10	3.70E+07	8.88E+12	显像	原有同位素 操作量增加
6	^{177}Lu	7.40E+09	7.40E+08	9.25E+11	治疗	
7	^{123}I	3.70E+09	3.70E+07	3.70E+11	显像	
8	^{223}Ra	7.92E+07	7.92E+08	3.96E+09	治疗	
9	^{90}Y	7.40E+09	7.40E+08	1.11E+12	治疗	
10	^{131}I	4.44E+09	4.44E+08	2.37E+11	显像、治疗	原有同位素, 操作量不变
11	^{111}In	2.22E+08	2.22E+07	5.55E+09	显像	原有同位素, 操作量不变
12	^{201}Tl	2.22E+08	2.22E+06	5.55E+09	显像	原有同位素, 操作量不变
13	^{89}Sr	2.96E+08	2.96E+07	3.70E+10	治疗	原有同位素, 操作量不变
14	^{153}Sm	1.85E+09	1.85E+08	9.25E+10	治疗	原有同位素, 操作量不变
15	^{186}Re	2.22E+09	2.22E+08	3.33E+10	治疗	原有同位素, 操作量不变
16	^{188}Re	2.22E+09	2.22E+08	3.33E+10	治疗	原有同位素, 操作量不变
17	^{32}P	3.70E+08	3.70E+07	3.70E+09	治疗	原有同位素, 操作量不变
18	^{103}Pd 籽源	1.85E+10	1.85E+07	7.40E+10	治疗	原有同位素, 操作量不变
19	^{125}I 籽源	1.85E+10	1.85E+07	7.40E+10	治疗	原有同位素, 操作量不变
20	合计	——	3.86E+09	——	——	——

注：蓝色表格中为本项目新增/增量放射性核素。

本评价主要对核医学科的诊疗场所进行评价，研究场所及免疫场所无任何变动，因此不再涉及。PET/CT 属于 III 类射线装置，拟单独备案，本评价报告不再涉及。

1.5.2 工作人员与工作制度

核医学科现有工作人员共 25 人，其中医师 15 人、护师 2 人、技师 9 人；化学师 3 人。

本项目实施后，工作人员增加至 29 人，其中医师 15 人、护师 3 人、技师 7 人、药

师 3 人、物理师 1 人。工作人员具体情况见表 1-8。

科室工作制度：核医学科实行 8 小时工作制，年工作日为 240d/a。

表 1-8 核医学科工作人员配置情况一览表

序号	类别	人数	工作内容
1	医师	15	PET 诊疗区域 10 人，SPECT 诊疗区域 5 人
2	技师	7	PET 诊疗区域 2 人，SPECT 诊疗区域 5 人
3	护师	3	PET 诊疗区域 1 人，SPECT 诊疗区域 2 人
4	药师	2	PET 标记室 3 人
5	物理师	1	PET 诊疗区域 1 人

1.5.3 检测仪器

核医学原配备的检测仪器不变，本项目新增 1 台便携式 X- γ 射线检测仪器和表面污染沾污仪，检测仪器见表 1-9。

表 1-9 工作场所拟配备的检测仪器一览表

序号	场所	检测仪器
1	东区 SPECT/CT 诊疗区域	1 台表面污染沾污仪
2	西区 PET/CT 诊疗区域	1 台表面污染沾污仪，新增一台便携式 X- γ 射线检测仪
3	西区标记室	新增 1 台表面污染沾污仪
4	衰变池及废水管网	东北侧一个推流式衰变池，西南侧一个推流式衰变池



图 1-1 核医学科现状布局图

1.5.4 本项目场所实施方案

(1) 为了制备 ^{68}Ga 标记药物，将原标记室场所进行空气净化改造，并购置符合药物制备 GMP 要求铅通风橱，使标记场所房间达到 C 级、通风橱达到 A 级；同时更新原标记室原有的 1 台铅通风橱，使得可以更好地开展放射性新药研发及临床转化研究。目前标记室场所改造已完成，2 台通风橱已经安装到位，分别为 50mmPb 当量 A 级净化铅通风橱、40mmPb 当量普通铅通风橱。

标记室场所空气净化改造动工前，已委托北京贝特莱博瑞技术检测有限公司进行工作场所辐射水平监测和表面污染水平监测，达到清洁解控水平（见附件）。

(2) 更新 PET/CT 和 SPECT 装置前，应按照 GBZ1220-2020 中 6.2.7 条相关要求，先对现有 PET/CT 和 SPECT 装置进行表面污染检测，以杜绝超过规定的表面污染控制水平的装置被带出控制区。再进行室内装修及设备安装，工程大概耗时 1 个月。

(3) 核医学科改造项目竣工后，应向委托有资质的单位开展竣工验收监测，编制验收监测报告，并向社会公示相关信息，接收社会监督。

1.5.5 本项目的必要性和实践正当性

1.5.5.1 本项目的必要性

随着科学技术的发展，医学进入了“精准医疗”时代。分子影像在精准医疗中具有重要作用。分子核医学影像通过放射性同位素标记的分子探针引入体内后靶向定位于特异性分子（如肿瘤特异性抗原、受体、基因），在活体水平上显示生理、病理条件下特异性分子的分布和密度，可为“个性化医疗”提供依据，从而成为“精准医疗”的有力工具，而近年来新的核素（如 ^{68}Ga 、 ^{177}Lu ）及标记物临床转化应用成为热点。为了促进核医学分子影像在精准医学中的应用，推动医院转化医学与科研创新以及多学科交叉发展，核医学科将开展分子影像新技术临床应用，研究具有自主知识产权的新兴放射性药物，这势必增加临床诊疗患者数量和增加临床研究放射性同位素使用量。本项目涉及的核技术应用内容有为：在急诊楼一层西区标记室新增使用 ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器，在 PET 诊疗场所新增使用 ^{68}Ga 核素；在急诊楼一层东区诊疗场所增量 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{123}I 、 ^{177}Lu 、 ^{223}Ra 、 ^{90}Y 核素。

(1) 增量 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素是因为临床 SPECT/CT（SPECT）显像增加，使 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素的日等效最大操作量接近使用上限；

(2) 增量 ^{123}I 核素是因为原子高科股份有限公司已能正常临床供应，由于其半衰

期短（13.2h）将会取代 ^{131}I 核素的全身显像；

（3）增量 ^{68}Ga 、 ^{177}Lu 、 ^{223}Ra 和 ^{90}Y 核素是因为该核素是目前核医学分子影像临床转化最有意义的核素，医院将进行新标记放射性药物的临床转化应用研究。

（4）为自行标记新的临床研究使用的放射性药物，增加 ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器，以获取 ^{68}Ga 核素。

（5）核医学科 PET/CT 装置已使用 10 年，双探头 SPECT 已使用 20 年，仪器故障率高，影响临床诊疗工作，计划更新。

1.5.5.2 本项目的实践正当性

本项目属于医疗常规核技术利用项目，通过更新 SPECT 和 PET/CT 装置，增加 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{123}I 、 ^{177}Lu 、 ^{223}Ra 、 ^{90}Y 等放射性药物日操作量，可以更好的满足医学诊断和治疗的工作需要，对保障人民群众身体健康、拯救生命有十分重要的作用。尽管项目运行过程产生的电离辐射和放射性“三废”对周围人员和环境可能产生一定的影响，但是借助这些医学诊断技术，其获得的利益远大于辐射效应可能造成的损害，因此，本项目符合辐射实践正当性原则要求。

1.5.6 产业政策符合性

本项目利用新型影像设备和放射性药物开展医疗诊断和影像检查，属于核技术在医学领域内的运用。根据国家发展和改革委员会 2019 年第 29 号令《产业结构调整指导目录（2019 年本）》，属于鼓励类中“十三、医药”的第 5 条“新型医用诊断设备和试剂、数字化医学影像设备…，新型基因、蛋白和细胞诊断设备”类别，是目前国家鼓励发展的新技术应用项目。

1.5.7 本项目地理位置及周边环境

本项目位于北京大学第一医院急诊楼一层北侧（现为 G 层）。该楼北侧 23m 为门诊楼，东侧紧邻总务处楼、再东侧 37m 为爱民街社区，南侧相邻急诊楼中楼，西侧 22m 为西什库大街。

本项目地理位置及周边关系见图 1-2。

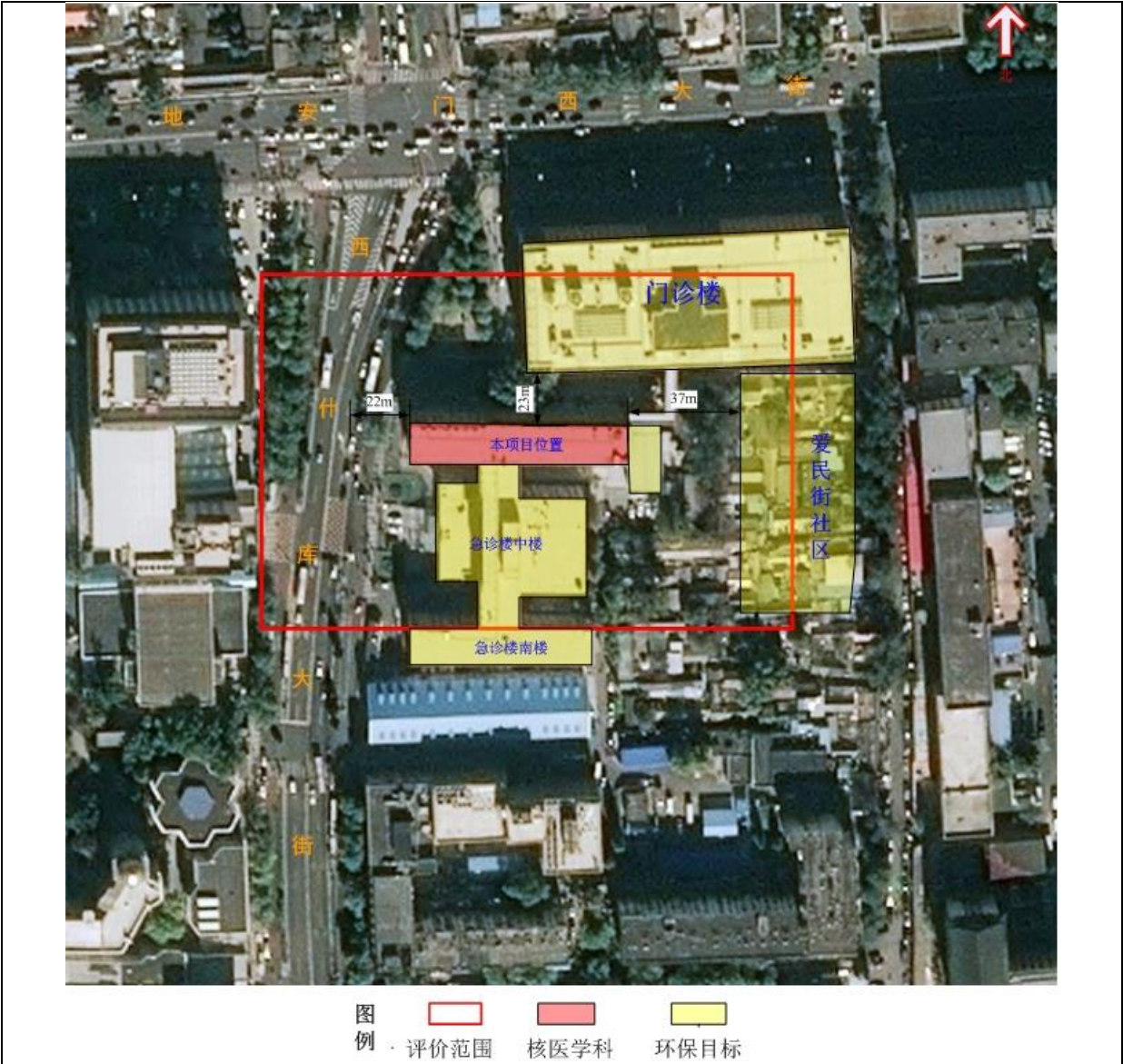


图 1-2 本项目地理位置及周边关系图

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	——	——	——	——	——	——	——	——
2	——	——	——	——	——	——	——	——

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)。

注：根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（生态环境部 部令第 1 号，2018 年）“生产、使用、销售 III 类射线装置的，使用 IV、V 类放射源的”应编制登记表，因 PET/CT、SPECT/CT 等 III 类射线装置尚未确定型号，待明确后，院方将填写环境影响登记表。

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作 量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式 与地点
1	^{68}Ga	液体	淋洗、标记、 分装、使用	8.88E+09	8.88E+07	1.78E+12	显像	简单操作	核医学科 诊疗场所	西区 PET/CT 标记室
2	^{68}Ge	液体	贮存	7.40E+09	7.40E+06	1.48E+10	源的贮存	/		
3	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	液体	使用	3.70E+10	3.70E+07	8.88E+12	显像	很简单操作		东区 SPECT/CT 注射室
4	^{177}Lu	液体	使用	7.40E+09	7.40E+08	9.25E+11	治疗	简单操作		东区 SPECT/CT 放药室
5	^{123}I	液体	使用	3.70E+09	3.70E+07	3.70E+11	显像	简单操作		
6	^{223}Ra	液体	使用	7.92E+07	7.92E+08	3.96E+09	治疗	简单操作		
7	^{90}Y	液体	使用	7.40E+09	7.40E+08	1.11E+12	治疗	简单操作		

注：日等效最大操作量见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)，操作方式依照《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》(环办辐射函〔2016〕430号)确定。

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 (μA) /剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
2	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(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	型号待定	140	665	诊断	核医学科西区PET/CT机房内	

(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	
1	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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
含放射性核素的废水	液体	^{99m}Tc 、 ^{123}I 、 ^{18}F 、 ^{68}Ga 等 (半衰期小于 24 小时)	/	41.25m ³	495m ³	GB18871-2002 附录 A 表 A1	西南角衰变池	衰变池暂存时间超过 30 天后，直接解控，排入医院污水管网
	液体	^{131}I 、 ^{177}Lu 等 (半衰期大于 24 小时，小于 18 天)	/	31.03 m ³	372.3 m ³		东北角衰变池	衰变池暂存至少 180 天后，经有资质的检测机构检测达标后，排入医院污水管网
含放射性核素的固体废物 注射器、针头、手套、棉签等	固体	^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{123}I 、 ^{99m}Tc 等 (半衰期小于 24 小时)	/	80kg	960kg	清洁解控水平	专门容器分类收集后，在放射性废物库暂存	将固体废物存放在废物桶中，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（其中含 ^{131}I 核素的废物至少暂存 180 天）后，使用检定合格仪器对废物表面污染和辐射剂量率水平监测合格后，对废物解控作为医疗废物处置
	固体	^{125}I 、 ^{111}In 、 ^{131}I 、 ^{177}Lu 、 ^{32}P 、 ^{223}Ra 、 ^{90}Y 、 ^{153}Sm 等 (半衰期大于 24 小时)	/	21kg	252kg			
废活性炭	固体	^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{99m}Tc 、 ^{131}I 、 ^{177}Lu 、 ^{90}Y 、 ^{123}I 等	/	/	/	/	过滤器内	高效过滤器每季度检查一次，一年更换 1 次，更换后暂存、衰变、达到解控要求后，作为危险废物委托有资质单位处理
废 ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器	固体	^{68}Ge 、 ^{68}Ga	/	/	约 2 个	/	放射性废物库	供应商定期回收
废气	气体	^{18}F 、 ^{131}I 等	/	少量	少量	少量	/	经活性炭过滤器吸附后楼顶排放

注：1. 常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 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)。

3. 根据《国家危险废物名录》(环境保护部令第 39 号)，本项目废气处理系统的废活性炭属于“HW49 900-041-49 含有或沾染毒性、感染性危险废物的废弃包装物、容器、过滤吸附介质”，属于危险废物。

表 6 评价依据

法规 文件	1) 《中华人民共和国环境保护法》，2015 年 1 月 1 日实施； 2) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月实施； 3) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月 29 日； 4) 《建设项目环境保护管理条例》，2017 年 10 月 1 日实施； 5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令第 709 号，2019 年 3 月修订； 6) 《放射性废物安全管理条例》国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日实施； 7) 关于修改《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的决定，生态环境部令第 7 号； 8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原环保部第 18 号令，2011 年； 9) 《放射性药品管理办法》国务院令第 25 号，1989 年发布，2017 年修订； 10) 《关于发布《放射性废物分类》的公告》（公告 2017 年第 65 号）； 11) 《关于发布射线装置分类的公告》，原环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告，2017 年第 66 号； 12) 《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第 62 号，2005 年； 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） 14) 《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； 15) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，2021 年 1 月 1 日施行； 16) 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部令第 9 号，2019 年 9 月 20 日公布，2019 年 11 月 1 日； 17) 《辐射安全与防护监督检查技术程序》，原环保部，2020 年 2 月； 18) 《北京市禁止违法建设若干规定》，北京市政府第 228 号令，2011 年； 19) 《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
----------	---

	20) 《北京市辐射工作场所辐射环境自行监测办法（试行）》，北京市环境保护局文件，京环发〔2011〕347号； 21) 《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。
技术标准	22) 《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）； 23) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； 24) 《环境地表γ辐射剂量率测定规范》（GB/T14583-93）； 25) 《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001）； 26) 《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）； 27) 《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）； 28) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）； 29) 《医用 X 射线 CT 机房的辐射屏蔽规范》（GBZ/T180-2006）； 30) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）； 31) 《密封放射源及密封γ放射源容器的放射卫生防护标准》（GBZ114—2006）； 32) 《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）； 33) 北京市地方标准《水污染物综合排放标准》（DB11/307-2013）； 34) 公安部《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》（GA 1002-2012） 35) 北京市地方标准《核技术利用放射性废物、废放射源收贮准则》（DB11/639-2009）
其他	36) 北京大学第一医院环境影响评价咨询协议书； 37) 北京大学第一医院提供的与本项目相关的申请和技术资料； 38) 核医学科工作场所建筑及辐射屏蔽工程设计资料； 39) 《放射性核素和辐射防护数据手册》 40) AAPM Task Group 108: PET and PET/CT Shielding Requirements , Med.Phys. 33 (1), January 2006 41) 医院提供的辐射安全规章制度。

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价目的

- 对建设项目环境辐射现状进行调查及辐射环境现状进行监测；
- 评价项目在运行过程中对工作人员及公众成员所造成的辐射影响；
- 评价辐射防护措施效果，为环境保护行政主管部门管理提供依据；
- 对不利影响提出防治措施，把辐射环境影响减少到“可合理达到的尽量低水平”；
- 为医院的辐射环境保护管理提供科学依据。

7.2 本项目地理位置

本项目位于北京大学第一医院急诊楼一层北侧（现为 G 层），四至坐标为：
西北 116°22′48.28″，39°55′55.56″；东北 116°22′51.38″，39°55′55.56″；
东南 116°22′51.38″，39°55′55.15″；西南 116°22′48.28″，39°55′55.15″。
本项目地理位置图见图 7-1。

7.3 评价范围和环境保护目标

7.3.1 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》（HJ10.1-2016）的规定，放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所的评价范围，乙级取半径 50m 的范围；放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围。

因此，评价范围为急诊楼一层北侧四周边界外扩 50m。

7.3.2 环境保护目标

本项目环境保护目标为放射性同位素与射线装置应用场所的工作人员以及周围公众。本项目将采取有效的安全防护措施以保障核医学科运行时工作人员和周围公众的安全，确保核医学科运营期间所致工作人员和周围公众的年受照射剂量低于本报告提出的剂量约束值。

急诊楼一层北侧东邻总务处楼，南接急诊楼中楼，相隔爱民街为爱民里小区；西为西什库大街，北为门诊楼。本项目评价范围及环保目标分布情况见图 7-1，环境保护目标分布情况见表 7-1。

急诊楼二层北侧分别为医学影像科和急诊科，主要为 MR 机房、CT 机房、X 光机房、急诊留观（输液）室等，核医学与上层的位置关系见表 7-2 及图 7-2。

表 7-1 本项目评价范围内（急诊楼北侧周围 50m）的保护目标一览表

	方位	保护目标	距离(m)	常驻人员数量（人）
急诊楼一层 北侧 核医学科	东	医院总务处楼	5	85
		爱民街社区	37~50	11 户/50 人
	南	北京大学第一医院急诊楼	/	60
	西	西什库大街	22~45	/
	北	北京大学第一医院门诊楼	20	70

表 7-2 本项目各场所上下位置关系列表

分层 场所	功能单元	上层保护目标			下层保护目标		
		名称	距离（m）	长居留人数（人）	名称	距离（m）	长居留人数（人）
PET/CT 诊疗区域	标记室	MR 管线间	4.0	2	管道间	1.65	0
	PET/CT 注射室	MR 机房	4.0	2	管道间	1.65	0
	PET/CT 机房	CT 机房	4.0	2	管道间	1.65	0
	普通候诊 1	夜班室	4.0	1	管道间	1.65	0
	普通候诊 2	夜班室					
	VIP 候诊	走廊	4.0	/	管道间	1.65	0
SPECT 诊疗区域	注射室	隔离留观	4.0	2	管道间	1.65	0
	通气实验室	急诊留观	4.0	30	管道间	1.65	0
	运动实验室						
	SPECT/CT 机房 3						
	SPECT 机房 2	护士站、医生办公室	4.0	6	管道间	1.65	0
	SPECT 机房 1	输液配药室	4.0	3	管道间	1.65	0
	给药候诊室	急诊留观	4.0	30	管道间	1.65	0
	抢救室						
	留观室 1						
	留观室 2						

注：核医学房间高度 3.6m，通风橱等源项高度按 1.0m；房顶厚度 0.15m，上层人员关注点按距地板 1.2m，距离按 4.0m；下层高度 1.8m，与计算点距离按 1.65m。

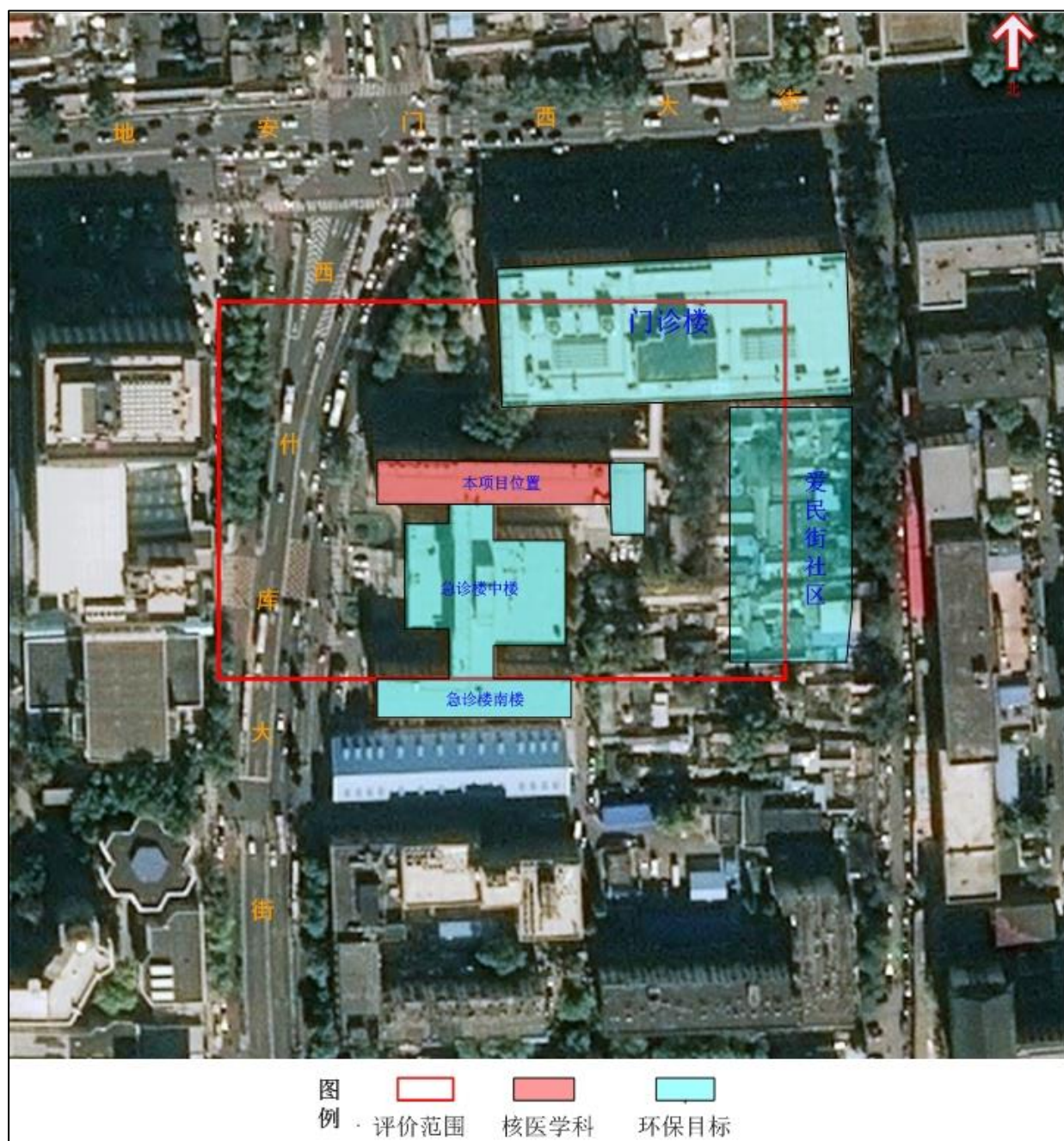


图 7-1 本项目地理位置与周边关系图

二层



G层

核医学科



图 7-2 核医学科与上层对应关系图

7.4 剂量限值

执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及《核医学放射防护要求》（GB120-2020）的相关规定，工作人员的职业照射和公众照射的剂量限值如下：

（1）职业照射

应对任何工作人员职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

由审管部门决定连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv；任何一年的有效剂量，50mSv。

（2）公众照射

实践使公众中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：

年有效剂量，1mSv。

7.5 剂量约束值

综合考虑到核技术利用现状和为将来的辐射工作留有余地，对本项目核医学科辐射工作人员的职业照射取 5mSv/a 作为年剂量约束值；对公众中关键人群组的成员，本项目取 0.1mSv/a 作为公众剂量约束值。

7.5 患者体内放射性残留量出院标准

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）表 L.2，放射治疗患者出院时体内放射性活度要求见下表。

表 7-3 放射治疗患者出院时体内放射性活度要求

序号	核素名称	半衰期（d）	患者出院时体内放射性活度要求（MBq）
1	¹³¹ I	8.03	≤400
2	¹¹¹ In	2.8047	≤470
3	¹⁸⁶ Re	3.8	≤5700
4	¹⁸⁸ Re	0.7	≤5800
5	¹⁵³ Sm	1.93	≤5200
6	²⁰¹ Tl	3.038	≤3100

注：资料基于 IAEA 在 63 号安全报告（2009）

根据上表的要求，本项目放射性药物的给药量都低于表 7-3 的限值，无需住院治疗。

7.6 放射性废水排放控制要求

7.6.1 放射性废水排放管理依据

(1) 京环办〔2018〕13号

根据《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，本市范围内持有有效辐射安全许可证、使用非密封放射性同位素开展临床核医学诊断、治疗、研究的医疗机构，根据核素半衰期的长短，将核医学产生的放射性固体废物、废水按照 A 类（所含核素半衰期均小于 24 小时）、B 类（所含核素半衰期有大于 24 小时的）分别暂存与处置。

对于推流式衰变池暂存方式，产生 B 类放射性废水的单位每年应委托有资质（CMA 或 CNAS）的检测机构对拟排放废水中 I-131 核素、最长半衰期核素的放射性活度浓度进行检测，活度浓度值应满足 GB18871-2002 附录 A 表 A1 的规定，具体见下表。

表 7-4 放射性核素的豁免活度浓度与豁免活度

序号	核素名称	活度浓度(Bq/g)	活度(Bq)
1	^{18}F	1E+01	1E+06
2	^{32}P	1E+03	1E+05
3	^{90}Y	1E+03	1E+05
4	^{89}Sr	1E+03	1E+06
5	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1E+02	1E+07
6	^{111}In	1E+02	1E+06
7	^{123}I	1E+02	1E+07
8	^{125}I	1E+03	1E+06
9	^{131}I	1E+02	1E+06
10	^{153}Sm	1E+02	1E+06
11	^{177}Lu	1E+03	1E+07
12	^{201}Tl	1E+02	1E+06
13	^{223}Ra	1E+02	1E+05

注：本项目含 ^{89}Sr 的废液作为固体放射性废物单独收集暂存 10 个半衰期后，倒入东北角衰变池。

(2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)规定：不得将放射性废液排入普通下水道，除非经审管部门确认是满足下列条件的低放废液，方可直接排入

流量大于 10 倍排放流量的普通下水道，并应对每次排放作好记录。每月排放的总活度不超过 10ALI_{min}，每次排放的活度不超过 1ALI_{min}。

$$ALI_{\min} = DL / e_j$$

其中：

DL—相应的有效剂量的年剂量限值，本评价取职业人员年剂量约束值 5mSv；

e_j—取 GB18871-2002 表 B6、B7 中待积有效剂量（取食入、吸入的最小值）。

本项目废水中放射性核素排放导出限值见下表。

表 7-5 废水中放射性核素排放导出限值

序号	核素名称	一次排放限值(Bq)	月排放限值(Bq)
1	¹⁸ F	2.2E+08	2.20E+09
2	^{99m} Tc	6.90E+08	6.90E+09
3	⁶⁸ Ga	7.14E+07	7.14E+08
4	¹²³ I	9.52E+07	9.52E+08
5	⁸⁹ Zr	6.35E+06	6.35E+07
6	¹²⁵ I	1.33E+06	1.33E+07
7	¹³¹ I	9.06E+05	9.06E+06
8	¹⁵³ Sm	6.75E+06	6.75E+07
9	¹⁷⁷ Lu	4.17E+06	4.17E+07
10	²⁰¹ Tl	2.11E+08	2.11E+09
11	³² P	1.47E+06	1.47E+07
12	²²³ Ra	2.90E+03	2.90E+04
13	¹¹¹ In	6.45E+07	6.45E+08
14	⁹⁰ Y	1.85E+06	1.85E+07

注：本项目含 ⁸⁹Sr 的废液作为固体放射性废物单独收集暂存 10 个半衰期后，倒入东北角衰变池。

7.6.2 本项目放射性废水排放限值

北京大学第一医院在急诊楼的东北角、西南角各建有一座推流式衰变池，东区 SPECT 诊疗区域的放射性废水排入东北角的衰变池，西区 PET/CT 诊疗区域的放射性废水排入西南角的衰变池。

核医学科东区 SPECT 诊疗区域的放射性废水含 ¹³¹I、¹⁷⁷Lu、¹¹¹In、²⁰¹Tl、³²P、⁹⁰Y、²²³Ra、¹⁵³Sm 等长半衰期核素，产生量为 74.75m³/年（合 6.23 m³/月），这些废水排入 65m³（分成 10 个 6.5m³ 的水格槽，串流推流水槽有 9 个）的衰变池，每约 30 天可装满一个水格，经过八级的推流，则废液在排放前至少衰变 8×30=270 天。西区 PET/CT 诊疗区

域的放射性废水含 ^{18}F 、 ^{68}Ga 等短半衰期核素，产生量为 $39.05\text{m}^3/\text{年}$ （合 $3.25\text{m}^3/\text{月}$ ）。这些废水排入 65m^3 （分成 10 个 6.5m^3 的水格槽，串流推流水槽有 9 个）的衰变池，则每 60 天可装满一个水格槽，经过九级的推流，则废液在排放前至少衰变 $8 \times 60 = 480$ 天。

放射性废水暂存时间满足《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）相关要求。

7.6.3 水污染物排放标准

根据《医疗机构水污染排放标准》（GB18466-2016）和《北京市水污染物综合排放标准》（DB11/307-2013）中规定，综合医疗机构衰变池出口总 α 排放标准为 1Bq/L ，总 β 排放标准为 10Bq/L 放射性废水。

7.7 放射性固体废物管理

依据《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，根据核素半衰期的长短，将核医学产生的放射性固体废物、废水按照 A 类（所含核素半衰期均小于 24 小时）、B 类（所含核素半衰期有大于 24 小时的）分别暂存与处置。

核医学放射性固体废物须设置独立的暂存室。放射性药物操作场所、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 类或 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 类或 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（其中碘-131 核素治疗病房产生的废物至少暂存 180 天）后，使用检定合格的监测仪器对废物逐袋进行表面巡测，辐射剂量率低于 200nSv/h 且 α 、 β 表面污染水平分别小于 0.08Bq/cm^2 和 0.8Bq/cm^2 ，可对废物解控作为医疗废物处置。

7.8 操作放射性同位素通风橱、排风口设置要求及放射性废气排放限值

《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）第 5.2 款：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。

本项目放药室、标记室等将安装通风橱，操作口风速 1m/s 。通风橱配套有高效活性炭过滤器，并设置独立的排风系统，排风口设在建筑物顶部。

7.9 放射性工作场所分级

非密封放射性物质工作场所按日等效最大操作量的大小进行分级，见表 7-6。

表 7-6 非密封放射性物质工作场所分级

分 级	日等效最大操作量/Bq
甲级	$>4 \times 10^9$
乙级	$2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9$
丙级	豁免活度值以上 $\sim 2 \times 10^7$

7.10 工作场所及工作人员的表面污染控制要求

执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)及《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)的有关规定，见表 7-7。

表 7-7 表面放射性物质污染控制水平 (Bq/cm²)

表 面 类 型		α 放射性物质 (极毒性)	β 放射性物质
工作台、设备、 墙壁、地面	控制区	4	4×10
	监督区	4×10^{-1}	4
工作服、手套、工作鞋	控制区、监督区	4×10^{-1}	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10^{-2}	4×10^{-1}

该区内的高污染子区除外

7.11 核医学科工作场所室内表面及装备结构要求

《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020) 5.2 款中表 1 给出了核医学科工作场所表面及装备结构要求，具体见表 7-8。本项目 PET 诊断区、SPECT 诊断区等属于 I 类场所，需设置通风橱、专用排风，地板采用 PVC 等易去污材料敷设，地板与墙壁接缝无缝隙。

表 7-8 核医学科工作场所表面及装备结构要求

场所分类	地面	表面	通风橱	室内通风	管道	清洗及去污设备
I	地板与墙壁接缝无缝隙	易清洗	需要	应设抽风机	特殊要求	需要
II	易清洗且不易渗透	易清洗	需要	有较好通风	一般要求	需要
III	易清洗	易清洗	不必	一般自然通风	一般要求	只需清洗设备

7.12 X 射线设备机房的屏蔽防护及空间要求

本项目 X 射线设备机房屏蔽执行《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）第 6 款中表 2 给出的不同类型 X 射线机房的屏蔽防护要求，见表 7-9。

表 7-9 不同类型 X 射线机房的屏蔽防护要求

机房类型	有用线束方向铅当量（mm）	非有用线束方向铅当量（mm）
CT 机房	2（一般工作量）	2.5（较大工作量）

《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）第 6 条款指出：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空间要求；对新建、改建和扩建的 X 射线机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应不小于表 7-10 的要求。

7-10 X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度（参考）

设备类型	机房内最小有效使用面积(m ²)	机房内最小边长度(m)
CT机	30	4.5

说明：上述 CT 机房的要求主要针对 PET/CT、SPECT/CT，在射线屏蔽中同时考虑核素的射线影响。

7.13 剂量率控制水平

《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）5.3 条款，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。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 环境 γ 辐射剂量率

8.1.1 监测布点

急诊楼（核医学科）楼外 0.3m，共 7 个点位。

楼外侧北部 1#点（对应实验标记室）、2#点（对应 PET/CT 显像室）、3#点（对应 SPECT/CT 显像室），西部 4#点（对应废物库），南部 5#点（对应 SPECT 候诊室）、6#点（对应 PET 候诊室）、医院大门空地 7#

具体监测布点见图 8-1。

8.1.2 监测单位

核工业北京地质研究院分析测试研究中心

8.1.3 监测时间、监测条件

监测时间：2020 年 4 月 10 日，10:00~11:00;

环境条件：温度 25℃，天气晴

8.1.4 监测方法

监测设备为 FH40G-L10 型 X- γ 剂量率仪，在距地面 1m 高度进行 γ 辐射剂量率水平测量，其性能参数见表 8-1。

表 8-1 检测仪器性能参数一览表

检测设备	性能指标
FH40G-L10 X- γ 辐射剂量率仪	1. 能量响应：（48KeV~4.4MeV）变化的限值 $\pm 15\%$ （ ^{137}Cs ）； 2. 量程范围：10nGy h^{-1} ~100 $\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ ； 3. 准确度：最大允许误差 $\pm 10\%$ ； 4. 稳定性：相对误差 $\leq 5\%$ （8h）； 5. 使用环境：温度-10℃~+50℃；相对湿度 $\leq 90\%$ （40℃）

8.1.5 监测结果

评价区 γ 辐射水平监测布点见图 8-1，监测结果见表 8-2。

表 8-2 评价区现状环境 γ 辐射剂量率水平监测结果

测点编号	监测地点	γ 剂量率(nGy/h)
1#	急诊楼（实验标记室）楼外北侧	98.4~105
2#	急诊楼（PET/CT 显像室）楼外北侧	92.5~106
3#	急诊楼（SPECT/CT 显像室）楼外北侧	96.4~108
4#	急诊楼（废物库）楼外东侧	103~111
5#	急诊楼（SPECT 候诊室）楼外南侧	95.2~103
6#	急诊楼（PET 候诊室）楼外南侧	101~115
7#	医院大门口空地	94.8~108

监测结果表明，急诊楼楼外四周环境 γ 辐射水平介于92.5~115 nGy/h，处于北京市天然本底水平60.2~119.9 nGy/h（本地数据来自北京市生态环境局网站“辐射环境质量”）范围内，属于正常本底水平。

8.2 工作场所辐射水平监测

北京大学第一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 次场所辐射水平监测。对于有射线装置工作场所，主要包括机房四周(四周墙体、防护门和观察窗等)和楼上楼下相应场所、以及控制室等；对于非密封放射性物质工作场所，主要包括 SPECT、SPECT/CT 和 PET/CT 等装置机房、注射室和病人候诊室等四周和其楼上楼下相应场所，以及控制室等场所。

根据北京贝特莱博瑞技术检测有限公司 2020 年核医学科检测报告（编号 2019BJC-K0007，附件5）可知，放射性表面污染检测与放射性废物检测结果：核医学科东区的最大值为放免室地面 $0.17\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，核医学科西区的最大值为候诊室地面 $0.09\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》GB18871-2002规定的不超过 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的要求；非密封放射性物质工作场所外照射水平检测结果：核医学科东区的最大值为废物库的门外、东墙外等 $0.11\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，核医学科西区的最大值为PET/CT候诊室北墙外 $0.90\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，所检放射工作人员和公众活动场所位点的辐射剂量水平根据其年工作量和在此场所的驻留时间，其年剂量符合职业照射剂量限值的规定。



图 8-1 环境 γ 辐射剂量率现状水平监测布点示意图

表 9 项目工程分析与源项

9.1 核医学工作场所划分

《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）明确：对于放射性药品生产、使用场所，如果有相对独立、明确的监督区和控制区划分，工艺流程连续完整，且有相对独立的辐射防护措施，应当作为一个单独场所进行日等效操作量核算。

核医学科涉及 3 个场所：核医学诊疗场所、放免场所和研究场所（见图 1-1），均满足上述条件，即场所相对独立，有明确的监督区和控制区划分，工艺流程连续完整，且有相对独立的辐射防护措施，故按照 3 个场所分别核定其等级。

本评价主要对核医学科的诊疗场所进行评价，研究场所及免疫场所无任何变动，因此不再涉及。

9.2 射线装置及密封校验源

诊疗场所涉及的内容为临床核医学中的放射性同位素显像检查，项目拟更新 1 台 PET/CT 扫描装置和 1 台 SPECT 扫描装置，如图 9-1 和图 9-2 所示。



图 9-1 PET/CT 扫描装置示意图



图 9-2 SPECT 扫描装置示意图

PET/CT 装置属于 III 类射线装置，使用的放射源为 V 类放射源，用于机器灵敏度校准和能峰校准，储存在储源室内，使用频次分别为每月使用 1 次和只在初装机、大修和移机时使用。

III 类射线装置和 V 类放射源拟单独备案，本评价报告对 III 类射线装置和刻度源操作流程、环境影响进行简要分析。

9.3 本项目非密封放射性同位素增量及工作场所等级

9.3.1 非密封放射性同位素增量情况及来源

SPECT 诊疗区域增加同位素 ^{99m}Tc 、 ^{177}Lu 、 ^{123}I 、 ^{223}Ra 、 ^{90}Y 的操作量， ^{99m}Tc 、 ^{177}Lu 、 ^{123}I 、 ^{223}Ra 、 ^{90}Y 由药品公司提供；PET/CT 诊疗区域新增同位素 ^{68}Ga ， ^{68}Ga 由锗镓发生器淋洗生成。诊疗场所非密封放射性同位素增量情况及患者就诊情况见表 9-1。

9.3.2 放射性药物操作方式说明

《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）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：

1. 利用钼锝发生器淋洗 ^{99m}Tc 放射性药物时， ^{99}Mo 的操作视为“贮存”；
2. 放射性药品生产中分装、标记等活动视为“简单操作”；
3. 医疗机构使用 ^{18}F 、 ^{99m}Tc 相关活动视为“很简单的操作”，使用 ^{131}I 核素相关活动视为“简单操作”。

参照上述通知精神，对本项目涉及核素的操作方式确定如下：

(1) 本次新增的锗镓发生器，其工作原理和淋洗模式与钼锝发生器类似，将 ^{68}Ge 的操作视为“源的贮存”，修正因子取100； ^{68}Ga 药物制备，涉及标记和分装等活动，视为“简单操作”，修正因子取1。

(2) 本次增量的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性药物为“很简单操作”，肺通气室使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 气溶胶亦视为“很简单操作”，修正因子取10。

(3) 本次增量的 ^{123}I 、 ^{177}Lu 、 ^{90}Y 和 ^{223}Ra 放射性药物，参照 ^{131}I 的操作方式，视为“简单操作”，修正因子取1。

(4) 原使用的 ^{18}F 、 ^{89}Sr 、 ^{186}Re 、 ^{188}Re 、 ^{153}Sm 、 ^{32}P 、 ^{201}Tl 、 ^{111}In 等放射性药物，按原环评中的修正因子，视为“简单操作”，修正因子取1。

9.3.3 诊疗场所工作场所等级

根据表 9-1 可知，核医学科诊疗场上述几种放射性核素操作量增加后，所现有其他核素的日等效最大操作量许可情况不变，非密封放射性同位素日等效最大操作量为 $3.86\text{E}+09\text{Bq}$ ，工作场所的等级保持不变，仍属乙级非密封放射性物质工作场所。

表 9-1 诊疗场所使用的非密封放射性同位素及患者情况一览表

序号	核素	主要用途	给药方式及用量	患者人数			实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)
				例/日	日/年	例/年			
1	^{18}F	肿瘤、心肌、 脑代谢显像等	静脉注射 296MBq/例	30	250	7500	1.78E+10	1.78E+08	4.44E+12
2	^{67}Ga	肿瘤阳性显像 炎症显像	静脉注射 185MBq/例	2	50	100	3.70E+08	3.70E+07	1.85E+10
3	$^{68}\text{Ga}^*$	科研	注射 296MBq/例	10	200	2000	8.88E+09	8.88E+07	1.78E+12
4	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	脑、心肌、肺、双下肢、 骨、肾、甲状腺、甲状旁腺、 唾液腺显像等	静脉注射 740MBq/例	50	240	12000	3.70E+10	3.70E+07	8.88E+12
5	^{177}Lu	多肽靶向治疗	静脉注射 3700MBq/例	2	125	250	7.40E+09	7.40E+08	9.25E+11
6	^{123}I	受体显像	静脉注射370 MBq/例	10	100	1000	3.70E+09	3.70E+07	3.70E+11
7	^{223}Ra	骨转移瘤 骨痛治疗	静脉注射 6.6MBq/例	12	50	600	7.92E+07	7.92E+08	3.96E+09
8	^{90}Y	治疗	注射 3700MBq/例	2	150	300	7.40E+09	7.40E+08	1.11E+12
9	^{131}I	全身显像	口服 148MBq/例	10	60	600	4.44E+09	4.44E+08	2.37E+11
		甲亢治疗	口服 296MBq/例	10	50	500			
10	^{111}In	炎症显像	静脉注射 111MBq/例	2	25	50	2.22E+08	2.22E+07	5.55E+09
11	^{201}Tl	心肌显像	静脉注射 111MBq/例	2	25	50	2.22E+08	2.22E+06	5.55E+09
12	^{89}Sr	骨转移瘤	静脉注射 148MBq/例	2	125	250	2.96E+08	2.96E+07	3.70E+10

13	¹⁵³ Sm	骨痛治疗	静脉注射 1850 MBq/例	1	50	50	1.85E+09	1.85E+08	9.25E+10
14	¹⁸⁶ Re		静脉注射 1100MBq/例	2	15	30	2.22E+09	2.22E+08	3.33E+10
15	¹⁸⁸ Re		静脉注射 1100MBq/例	2	15	30	2.22E+09	2.22E+08	3.33E+10
16	³² P	血液病治疗	静脉注射 370MBq/例	1	10	10	3.70E+08	3.70E+07	3.70E+09
17	¹⁰³ Pd 粒子源		贴敷				1.85E+10	1.85E+07	7.40E+10
18	¹²⁵ I 粒子源		贴敷				1.85E+10	1.85E+07	7.40E+10
19	⁶⁸ Ge	发生器母体核素	——	——	——	——	7.40E+09	7.40E+06	1.48E+10
20	合计			——	——	——	——	3.86E+09	——

注：* ⁶⁸Ga 单人次给药量为 8mCi（296MBq），10 人/天，实际用药量为 2.96E+09Bq，考虑标记效率 50%和时间衰变，淋洗的活度为 8.88E+09Bq，即表格中实际日最大操作量。

9.3.4 放射性核素特性

诊疗场所涉及放射性核素的主要参数见表 9-3。

表 9-3 本项目放射性核素主要参数一览表

序号	核素名称	物理状态	半衰期	衰变类型	主要能量 (keV)	核素毒素组别修正因子
1	¹⁸ F	液态	109.8min	β ⁺	β ⁺ 635、γ 511	低毒, 0.01
2	⁶⁷ Ga	液态	3.26d	γ	γ 90/185/300	中毒, 0.1
3	⁶⁸ Ga	液态	68.3min	β ⁺	β ⁺ 1899、γ 511	低毒, 0.01
4	⁶⁸ Ge	液态	271d	β ⁺ 、EC	β ⁺ 1890、γ 1080	中毒, 0.1
5	^{99m} Tc	液态	6.02h	IT	γ 141	低毒, 0.01
6	¹²³ I	液态	13h	EC	γ 159	低毒, 0.01
7	¹⁷⁷ Lu	液态	6.65d	β ⁻ 、γ	β ⁻ 497、γ 208	中毒, 0.1
8	²²³ Ra	液态	11.43d	α	11.7/83.8/269.5	极毒, 10
9	⁹⁰ Y	液态	2.67d	β ⁻	β ⁻ 937	中毒, 0.1
10	²⁰¹ Tl	液态	3.04d	EC	γ 135/167	低毒, 0.01
11	¹²³ I	液态	13h	EC	γ 159	低毒, 0.01
12	¹¹¹ In	液态	2.8d	γ	γ 172/247	中毒, 0.1
13	¹³¹ I	液态	8.03d	β ⁻ 、γ	β ⁻ 606、γ 364	中毒, 0.1
14	¹⁵³ Sm	液态	1.94d	β ⁻ 、γ	β ⁻ 694、γ 103.2	中毒, 0.1
15	⁸⁹ Sr	液态	50.5d	β ⁻	β ⁻ 1495.1	中毒, 0.1
16	³² P	液态	14.28d	β ⁻	β ⁻ 1710	中毒, 0.1
17	¹⁸⁶ Re	液态	3.78d	β ⁻ 、γ	β ⁻ 1077、γ 137	中毒, 0.1
18	¹⁸⁸ Re	液态	17.0h	β ⁻ 、γ	β ⁻ 1077、γ 155	中毒, 0.1
19	¹⁰³ Pd 粒籽源	固体				中毒, 0.1
20	¹²⁵ I 粒籽源	固体				中毒, 0.1

9.3.5 锗镓发生器

(1) ⁶⁸Ga 淋洗、标记、分装流程

⁶⁸Ge-⁶⁸Ga 发生器属于色谱柱型发生器, 基本部件是活化氧化钛柱 (基于硅基吸附剂)、淋洗系统和用于保护工作人员的辐射屏蔽套, 该类发生器简单易用, 具有母

体半衰期长可长期使用,子体核是正电子发射可用于 PET 扫描,以及子体核半衰期短,患者所受的辐射剂量较低等优点。

^{68}Ge 吸附在发生器内装有氧化钛的玻璃(基于硅基吸附剂)柱内,不断衰变产生 ^{68}Ga ,当加入适当的淋洗液(无菌超纯 0.05M 高纯盐酸)时, ^{68}Ga 便以 $^{68}\text{Ga}^{3+} \text{Cl}_3$ 的形式被淋洗出来。按规定量的淋洗剂,连接在发生器的进口,以规定速度匀速淋洗,在出口处用有防护的安剖瓶接收洗脱液,然后转入合成模块,再对合成完毕的放射性药物进行分装。

(2) 操作频次和操作时间

每天淋洗两次,每次淋洗过程约需 2min,洗脱液转入合成模块中,自动合成放射性药物标记。放射性药物分装操作时间约 20min。

淋洗、标记和分装均在通风橱内进行,通风橱采用机械通风,风速大于 1m/s,经高效活性炭过滤装置处理后,从楼顶排气口外排。

(3) 核素发生器技术指标

^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器为成熟商业化产品,拟从具备核素发生器销售资质的专业公司购买。外购的 ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器外包装为内衬泡沫的铁皮罐,外包装贴有“当心电离辐射”的警示标示。核素发生器本身外部为铅屏蔽防护体,屏蔽防护体厚度为 27mm 贫铀+15mm 铅,核素发生器表面辐射水平满足《放射性物品安全运输规程》(GB11806-2019)要求。

拟购 ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器单枚规格为 7.40E+09Bq (200mCi),计划每半年订购一个。



图 9-3 某型号锗镓发生器外观图

9.3.6 放射性药物在核医学科内转运

^{68}Ga 在 PET 标记室的通风橱内淋洗、标记、分装后，采用药物转运罐在核医学科内转运。药物转运罐分为罐体、罐盖两部分（见下图 9-4），适用于 10ml~30ml 产品的转运， ^{68}Ga 转运罐屏蔽厚度为 40mmPb 当量，经屏蔽后，防护罐表面剂量率低于 100 $\mu\text{Sv/h}$ ，1m 处剂量率低于 5 $\mu\text{Sv/h}$ 。



图 9-4 放射性药物转运罐示意图

9.4 工作流程与产污节点分析

9.4.1 SPECT 显像诊断工作流程与产污节点

① 预约登记：根据医生指导意见，需要接受全身或脏器显像检查的人员提前预约登记，确定用药量，医院根据实际情况确定外购核素量；

② 登记接诊：患者按预约时间来院登记就诊，医护人员开展宣教工作，患者在给药前候诊室准备和等候；

③ 注射给药：准备好的受检者经过专用通道进入注射区，注射医务人员穿戴好个人防护用品，核对患者姓名和用药量后，在患者手臂下铺垫一块吸水纸，预先用三通建好静脉通道。注射人员从铅防护盒内取出含有放射性药物的注射器（药物已通过机械手装至注射器内并将注射器至于屏蔽体内），在注射台前为受检者注射药物，注射约 0.5min/人次。

④ 注射后等候：注射药物后，患者进入给药候诊区候诊或进行检查前的准备，注射 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的患者等候时间为 90min（骨显像患者候诊时间约为 3h；肺显像、肾显像为动态显像，床旁注射）；

⑤ 摆位检查：患者进入 SPECT/CT 机房，医务人员协助患者摆位，摆位时间平均为 1min/人；检查时间平均为 20min/人；

⑥ 确认离开：受检者在扫描检查后，图像质量满足诊断要求后，通过东侧带有门禁的通道门离开核医学科。

SPECT 诊断流程及产污节点见图 9-5。

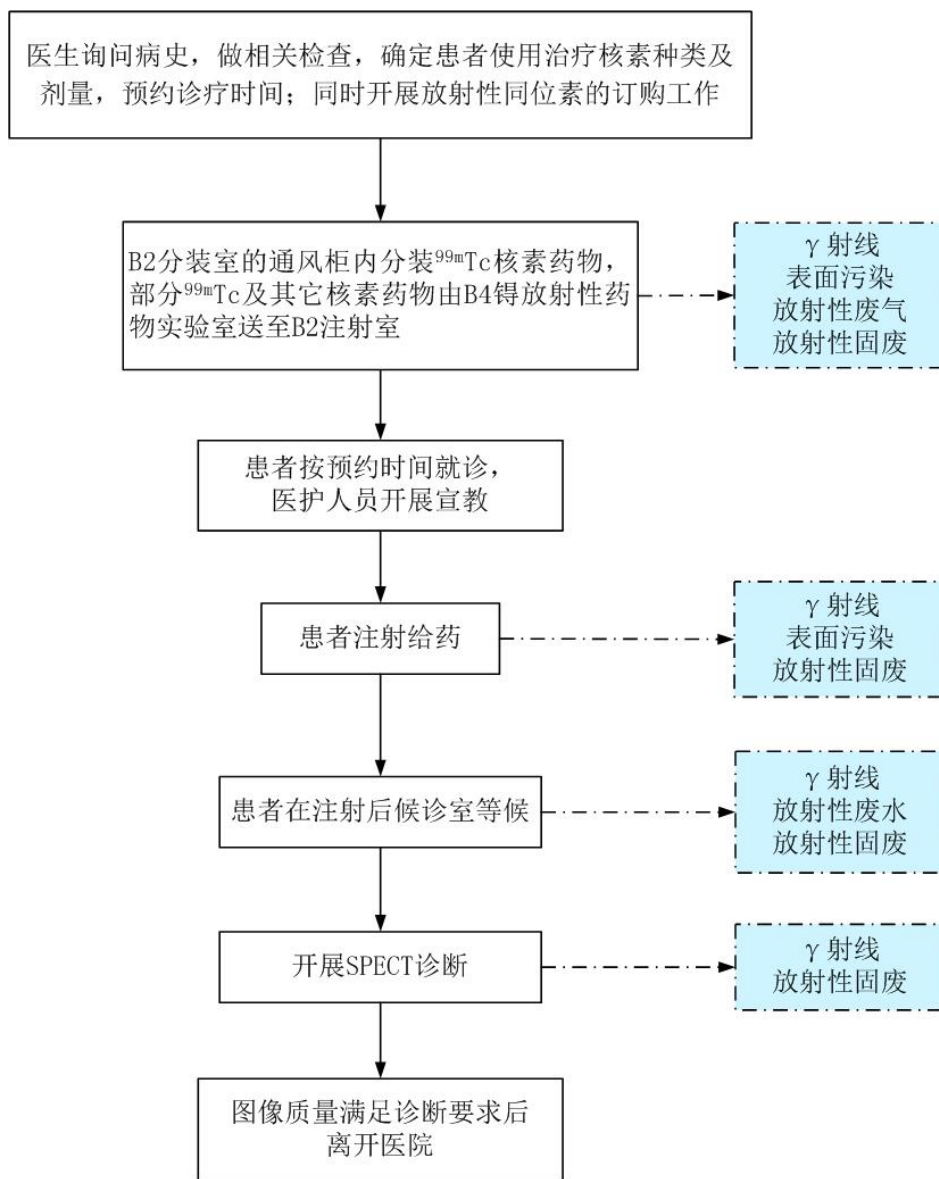


图 9-5 SPECT 显像诊断流程及产污环节图

9.4.2 PET 显像诊断工作流程与产污节点

- ① 预约登记：患者提前进行预约、登记，确定用药量；
- ② 登记接诊：患者按预约时间来院登记就诊，医护人员开展宣教工作，患者在给药前候诊室准备和等候；
- ③ 注射给药：准备好的受检者经过专用通道进入注射区，注射医务人员穿戴好个人防护用品，在50mmPb铅当量的挡板后将专用注射装置放至注射台，穿刺完成后

打开前段铅屏蔽头，安装至注射头上，推注放射性药物，医务人员取药、注射操作时间为0.5min/次；

④ 注射后等候：注射药物后，患者进入给药候诊区候诊或进行检查前的准备， ^{18}F / ^{68}Ga 的患候诊时间约40~90min；

⑤ 摆位检查：患者进入PET/CT机房，医务人员配合患者摆位，摆位时间平均为0.5min/人；检查时间平均为20min/人。

⑥ 确认离开：受检者在扫描检查后，通过西侧带有门禁的通道门离开核医学科。

⑦ 读片、发报告：医生读片后，患者于检查后第二个工作日下午 3 点后持预约登记单在登记台领取报告。

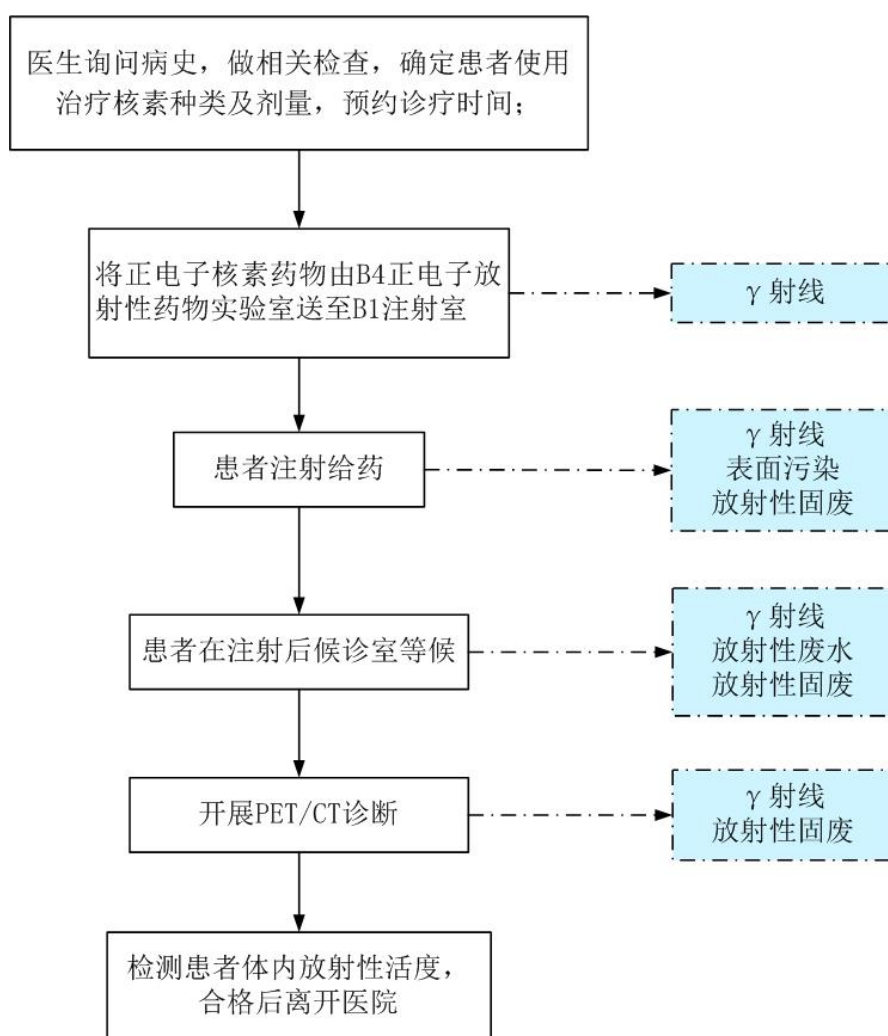


图 9-6 PET/CT 显像诊断流程及产污环节图

9.4.3 其他核素治疗原理及流程

9.4.3.1 ^{177}Lu 治疗原理

^{177}Lu 主要发射 β 射线，平均能量为 0.133 MeV，半衰期 6.7 天。组织内射程 2mm。目前临床常用于生长抑素受体阳性表达肿瘤（主要为神经内分泌肿瘤）和前列腺癌的治疗。除 β 射线之前， ^{177}Lu 还发射伽马射线，113keV（6.6%），208keV（12%），用于治疗后用 γ 照相机进行平面或者 SPECT 显像，定性及定量的评估放射性药物在体内的分布情况。

9.4.3.2 ^{223}Ra 治疗原理

^{223}Ra 主要释放 α 射线，半衰期 11.4 天，当一个 ^{223}Ra 原子衰变时 ^{223}Ra 及其子体核素发射的总能量为 28.2MeV，发射的 α 粒子能量占 95.3%，发生的 β 粒子能量占 3.6%，发射的光子能量占 1.1%。在衰变过程中发射的 α 、 β 射线穿透距离小，辐射范围不超过 100 μm ，可使的对邻近的健康组织的影响降到最小。作为一种发射 α 粒子的骨骼靶向放射性药物，用于治疗晚期去势抵抗性且有骨转移的前列腺癌患者。

$^{223}\text{RaCl}_2$ 注射液为即用型无菌水溶液，用于静脉注射，pH 值为 6.0~8.0，为无色透明溶液，包装在玻璃瓶内，用橡胶塞和铝盖密封。工作人员从药瓶自行抽取适当的药品剂量，每个药瓶约含 6ml 的药品，相当于 6.6MBq（0.178mCi），放射性浓度为 1100kBq/ml（ $\pm 5\%$ ）。

订购的 ^{223}Ra 放射性药物在放药室的通风橱内进行分装，在治疗室对患者进行注射。工作量按 600 人次/年，每间隔 4 周注射一次，共注射 6 次，治疗周期为 24 周；使用剂量：55Bq/kg 体重，平均剂量约 3.75Mbq/75kg。

9.4.3.3 ^{90}Y 治疗原理

^{90}Y 可以发射高能的 β 射线，最大能量 2.27MeV，半衰期 64.1 小时。最大组织穿透距离 11mm。 ^{90}Y 也可连接多肽，临床常用于生长抑素受体阳性表达肿瘤（主要为神经内分泌肿瘤）治疗。

9.4.3.4 操作流程

- ① 预约登记：患者提前进行预约、登记，核医学科提前制定核素治疗工作计划；
- ② 外购药物：外购放射性药物由药品公司负责送至核医学科放药室门口；
- ③ 质检：质检人员核对放射性药物的名称和活度，检查药品包装和外观质量，在摄像头监控下，“点对点”办理交接手续，然后暂存于放药室内。

④ 分装： ^{131}I 、 ^{90}Y 、 ^{89}Sr 、 ^{177}Lu 、 ^{186}Re 、 ^{188}Re 、 ^{153}Sm 等放射性药物由供药公司按照人份分装好后供药， ^{223}Ra 放射性药物在放药室内的通风柜中按患者体重进行分装。

⑤ 注射或口服：在注射窗口防护下，给受检人员注射 ^{89}Sr 、 ^{186}Re 、 ^{188}Re 、 ^{177}Lu 、 ^{153}Sm 、 ^{90}Y 、 ^{223}Ra 等治疗药物，在放药室内，给患者口服 ^{131}I 药物。

治疗流程及产污节点见下图。

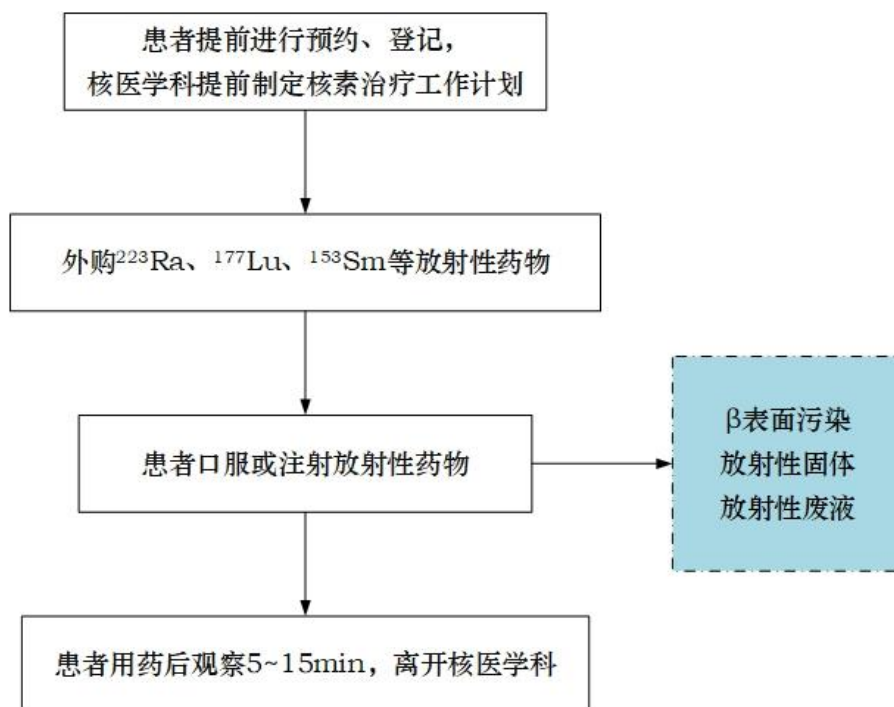


图9-8 核医学科治疗流程及产污环节图

9.5 污染源项

9.5.1 正常工况下的污染途径

(1) 放射性药物经由静脉注射或口服进入患者体内，分布到特定器官并释放 β 射线、 γ 射线。因此，核素诊疗项目的污染因素主要是产生 γ 射线和 β 射线。

(2) 表面污染

工作人员在操作非密封放射性物质 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{177}Lu 等核素时，有可能会引起工作台、地面等放射性沾污，造成 α 和 β 放射性表面污染。

(3) 放射性固体废物

主要为放射性药物操作过程中被核素污染的注射器、药杯、手套、药棉、纱布、吸水纸、放射性药物等。

(4) 放射性废水

放射性废水来自于卫生间冲厕废水、放药室洗手废水等，控制区内所有下水口均设有专用下水管道通往衰变池。

（5）放射性废气

患者在肺通气室内吸入 ^{99m}Tc 气溶胶或口服 ^{131}I 药物时，会产生微量的放射性废气，经集气罩收集后，通过高效活性炭过滤装置进行净化处理。

9.7.2 非正常工况下的污染途径

操作放射性药物时发生放射性污染：如发生容器破碎，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。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，发生遗失或被盜：放射性物质或者放射源失控可能造成环境放射性污染。核医学科在放射源库保管放射性同位素，采用双人双锁进行管理，执行使用登记管理制度，可有效防止同位素被盜和丢失事件的发生。

放射性废物处置不当：放射性废物（废水或固体废物）处置或管理不当，造成环境放射性污染。

表 10 辐射安全与防护

10.1 非密封放射性物质工作场所分区

10.1.1 场所布局和场所分区

本项目位于急诊楼一层北端相对独立的区域，场所内东区（SPECT 诊疗区域）和西区（PET/CT 诊疗区域）之间是核医学科候诊大厅，大厅设置叫号系统，受检者由候诊大厅自东区或西区的患者入口进入核医学工作控制区，检查、治疗结束后由核医学科东、西两侧的患者出口离开。

核医学科场所按放射工作监督区和控制区管理，具体见表 10-2，辐射防护分区见图 10-1。

东区的控制区主要包括甲功室、SPECT 机房、运动实验室、通气实验室、注射室、治疗室、给药后候诊室、留观室、废物室、病人走廊等；东区的监督区包括更衣室、操作室、冰箱仪器室、缓冲区等。

西区的控制区主要包括 PET/CT 机房、分装注射室、标记室、小动物显像室、注射后候诊室、病人走廊等；西区的监督区主要包括控制室、医护走廊、实验室等。

根据分区不同进行相应的管理，同一工作场所的工作流程连续完整，并有相对独立的辐射防护措施。控制区的入口设置规范的电离辐射警告标志及标明控制区的标志，监督区入口处设置标明监督区的标志。在辐射工作区出入口安装有门禁系统、对讲系统、视频监控系统辐射剂量率检测系统等技术手段，有效减少对周围公众和职业人员受到不必要的照射。

表 10-2 核医学科总体规划布置情况一览表

场所名称		控制区	监督区
核医学科	东区	放药室、甲功室、注射室、SPECT/CT 机房、运动实验室、通气实验室、源库、废物室（放射性）、病人走廊	医护走廊、控制室、冰箱仪器室、缓冲区、更衣室
	西区	标记室、质控室、PET/CT 机房、小动物显像室、注射室、注射后候诊室、病人走廊	医护走廊、控制室、更衣室

10.2 人流和物流的路径规划

10.2.1 人流物流路径

(1) 核医学显像检查

患者经登记室核实→→在用药前候诊区候诊→→经候诊区叫号系统到接诊室接诊→→经门禁由患者通道进入放射诊疗控制管理区（东区或西区），在注射室接受注射→→给药后在给药患者候诊室候诊→→PET/CT、SPECT 或 SPECT/CT 扫描检查→→由相应的位于东、西两侧的带有门禁的通道门离开核医学科。

(2) 放射性药物治疗工作流程：

患者经登记室核实→→在患者候诊区候诊→→经候诊区叫号系统到接诊室接诊→→经门禁由患者通道进入东区控制管理区，在注射室接受注射或者在治疗室给药窗口服药→→一般用药后，甲亢、骨转移瘤患者即可离开，有身体不适者在留观室观察→→由位于东侧带有门禁的通道门离开核医学科。

(3) 放射性药物操作人员工作流程：

在工作人员更衣室更换鞋和工作服→→进入工作人员通道穿戴防护用品→→在注射室对放射性药物的活度进行核验和测量→→核对患者姓名，按照医嘱给待检患者注射药物→→指导患者候诊→→安排患者接受扫描检查→→工作结束，在医护走廊更换防护用品→→在更衣室更换工作服、工作鞋，洗手或淋浴。

(4) 扫描检查工作人员工作流程：

在工作人员更衣室更换鞋和工作服→→由西区工作人员通道进入控制室区→→核对待检患者检查申请单信息，交待注意事项，指导受检者摆位→→进行显像扫描→→工作结束后在更衣室更换工作服、工作鞋，洗手或淋浴。

(5) 药物标记人员工作流程：

在工作人员更衣室更换鞋和工作服→→进入西区工作人员通道穿戴防护用品→→在标记室进行药物标记、质控→→通过递药窗口将标记药物传递至 PET 注射室→→工作结束，在医护走廊更换防护用品→→在更衣室更换工作服、工作鞋，洗手或淋浴。

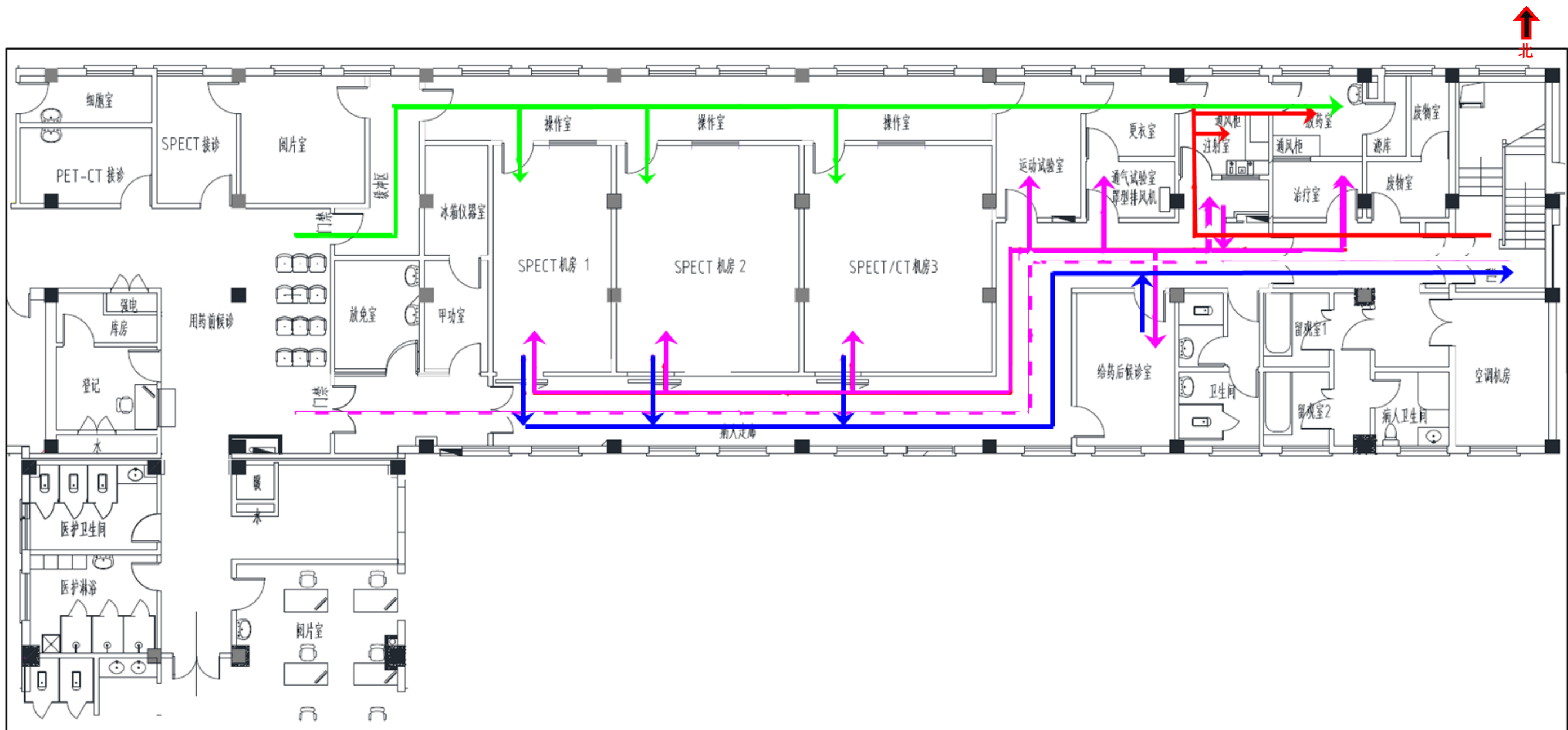


图 10-2 SPECT 诊断区（东区）人流物流图（图例）

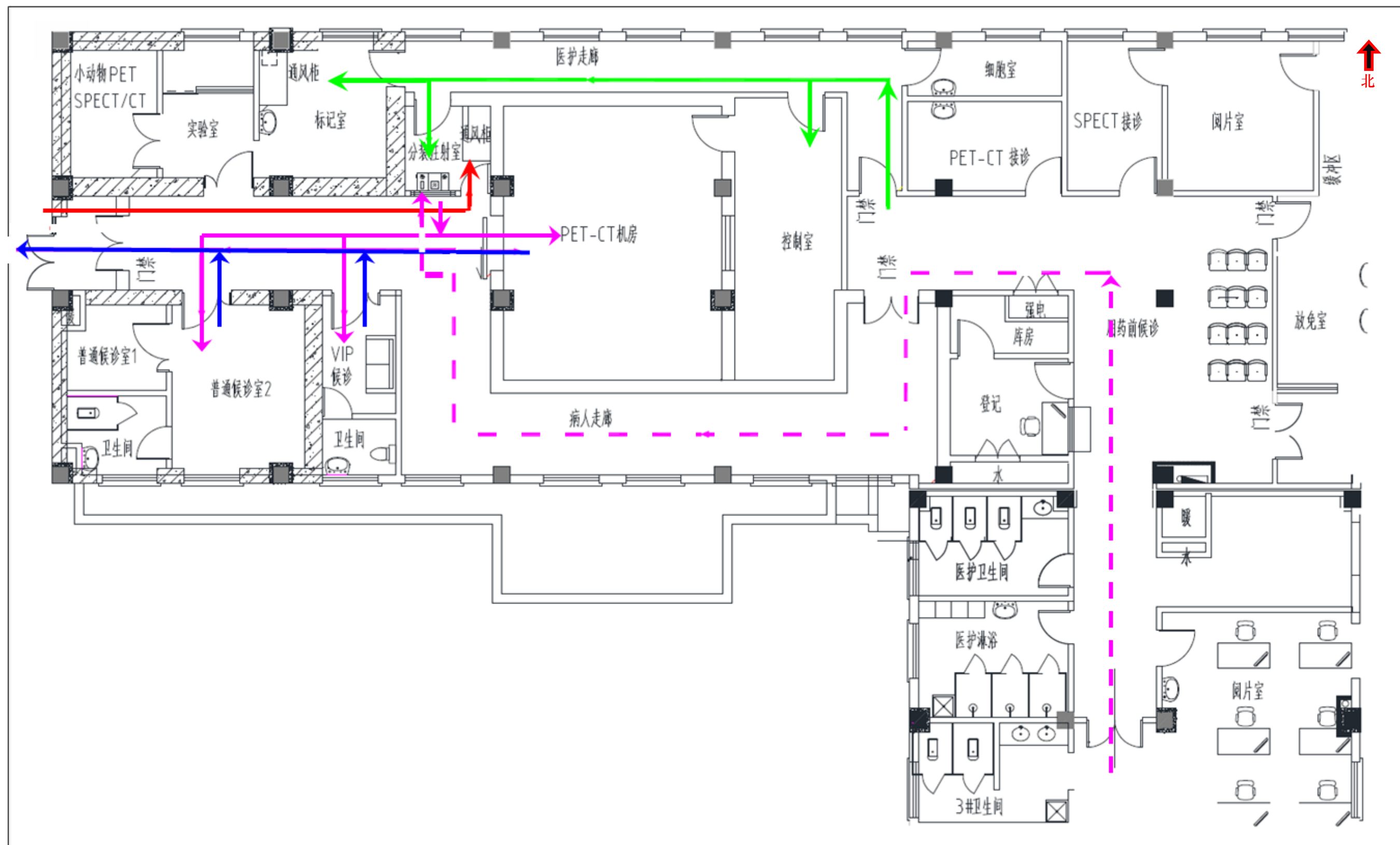


图 10-3 PET 诊断区（西区）人流物流图

(6) 放射性药品流转过程

放射性药物由供货公司使用专用车辆运送至核医学科东面或西面送药入口，由工作人员运送至相应区域的注射室；核医学科药品管理员与送货人员在注射室办理“点对点”验收交接手续，记录药品规格、批次、数量以及收货时间。床旁注射放射性药物由护士从注射室送至各个机房。放射性药物的包装由供货公司次日收回。

核医学科人流物流规划见图 10-2 及图 10-3。

10.2.2 人流物流规划合理性

本项目通过设计交通模式来控制辐射源（放射性药物、放射性废物、给药后患者）的活动，分别设置了工作人员通道、患者通道和物流通道，做到注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，注射放射性药物后患者与工作人员不交叉；患者进、出通道不反复，且由放射性高的地方通向放射性低的地方，避免放射性药物和已给药治疗的患者通过非放射性区域。

合理设置放射性物质运输通道，使放射性物质的传输运送最佳化，便于放射性药物、放射性废物的运送和处理，减少对工作人员的照射。

因此，本项目人流物流规划是基本合理的。

10.3 射线屏蔽

核医学科场所各房间的建筑屏蔽结构主要方案如下：

① 西区患者候诊和实验区域主体屏蔽采用 400mm 混凝土框架建筑结构，其他部分采用 250mm 混凝土框架建筑结构，地板和顶棚均为 150mm 的混凝土($\rho=2.3\text{g/cm}^3$)。

② 西区的小动物显像室、实验室、标记室的四面墙体的屏蔽厚度均不低于 5mm 铅当量，防护门为 5mm 铅，顶棚均附加 3mm 铅；其它涉源房间的屏蔽厚度均不低于 8mm 铅当量，顶棚均附加 5mm 铅。其中 PET/CT 机房的四面墙体均为 36cm 的砖墙($\rho=1.7\text{g/cm}^3$)，观察窗为 8mm 铅当量屏蔽。

③ 东区各个房间的隔断墙体的屏蔽厚度均不低于 3mm 铅当量，防护门均为 3mm 铅，3 间显像机房的观察窗均为 3mm 铅当量屏蔽。放免室和甲功室顶棚附加 1mm 铅，给药后候诊室（候诊室 3）顶棚附加 3mm 铅，东区其它余涉源房间顶棚均附加 2mm

铅。

④ 东区注射室注射台、观察窗为 30mm 铅当量，注射台上方铅玻璃为 3mm 铅当量；西区注射室注射台、观察窗为 50mm 铅当量，注射台上方铅玻璃为 8mm 铅当量。东、西区各配置 1 台移动注射车（10mm 铅当量）。

⑤ 东区共设置 5 个 2mm 铅当量的移动式铅屏风，3 个显像机房的控制室门口内各放置 1 个，显像室 1 的铅屏风尺寸为 180cm×140cm，显像室 2、3 的铅屏风尺寸均为 180cm×190cm；运动试验室运动车旁放置 1 个（尺寸：180cm×135cm）；留观室门口放置 1 个（铅屏风尺寸：180cm×180cm）。

⑥ 东区（SPECT 显像区）房间射线屏蔽具体情况见表 10-2，西区（PET 显像区）房间射线屏蔽具体情况见表 10-3。

⑦ 在东区放药室、东/西区注射室均设有通风橱，西区标记室内新增两台通风橱，各通风橱的设置与功能见表 10-4。

表 10-2 东区（SPECT 诊疗区域）射线屏蔽情况表

序号	房间名称	方位	相邻场所	材料及厚度
1	放免室	东		3mmPb
		西		3mmPb
		南		3mmPb
		北		3mmPb
		顶板		150mm 楼板+1mmPb
		地板		150mm 楼板
		防护门		3mmPb
2	甲功测定室	东		3mmPb
		西		3mmPb
		南		3mmPb
		北		3mmPb
		顶板		150mm 楼板+1mmPb
		地板		150mm 楼板
		防护门	/	3mmPb
3	SPECT 扫描室	东		3mmPb

		西		3mmPb
		南		3mmPb
		北		3mmPb
		顶板		150mm 楼板+1mmPb
		地板		150mm 楼板
		防护门		3mmPb
		观察窗		3mmPb
4	运动实验室	东		3mmPb
		西		3mmPb
		南		3mmPb
		北		400mm 混凝土
		顶板		150mm 楼板+2mmPb
		地板		150mm 楼板
		防护门		3mmPb
5	通气室	东		3mmPb
		西		3mmPb
		南		3mmPb
		北		400mm 混凝土
		顶板		150mm 楼板+2mmPb
		地板		150mm 楼板
		防护门		3mmPb
6	注射室	东		3mmPb
		西		3mmPb
		南		3mmPb
		北		400mm 混凝土
		顶板		150mm 楼板+2mmPb
		地板		150mm 楼板
		注射窗		
		防护门		3mmPb
7	放药室	东		3mmPb
		西		3mmPb

		南		3mmPb
		北		400mm 混凝土
		顶板		150mm 楼板+2mmPb
		地板		150mm 楼板
		防护门	/	3mmPb
8	治疗室	东		3mmPb
		西		3mmPb
		南		3mmPb
		北		400mm 混凝土
		顶板		150mm 楼板+2mmPb
		地板		150mm 楼板
		防护门		3mmPb
8	源库	东		3mmPb
		西		3mmPb
		南		3mmPb
		北		400mm 混凝土
		顶板		150mm 楼板+2mmPb
		地板		150mm 楼板
		防护门		3mmPb
9	废物间	东		400mm 混凝土
		西		3mmPb
		南		3mmPb
		北		3mmPb
		顶板		150mm 楼板+2mmPb
		地板		150mm 楼板
		防护门		3mmPb
10	注射后 候诊室	东		3mmPb
		西		400mm 混凝土
		南		3mmPb
		北		3mmPb
		顶板		150mm 楼板+2mmPb

		地板		150mm 楼板
		防护门		3mmPb
11	留观室 1	东		3mmPb
		西		3mmPb
		南		3mmPb
		北		3mmPb
		顶板		150mm 楼板+2mmPb
		地板		150mm 楼板
		防护门	/	3mmPb
12	留观室 2	东		3mmPb
		西		3mmPb
		南		3mmPb
		北		3mmPb
		顶板		150mm 楼板+2mmPb
		地板		150mm 楼板
		防护门		3mmPb
13	控制室	南		3mmPb
		北		250mm 混凝土
		顶板		150mm 楼板+2mmPb
		地板		150mm 楼板
		防护门		3mmPb
		观察窗		3mmPb
14	控制区 入口走廊	房顶		150mm 楼板+2mmPb
		底板		150mm 楼板
		门禁防护门		3mmPb

注：混凝土、楼板的砼密度为 2.3g/cm^3 ，砖密度为 1.7g/cm^3

表 10-3 西区（PET/CT 诊疗区域）射线屏蔽情况表

序号	场所	方位	相邻场所	屏蔽材料及厚度
1	小动物 PET 机房	东		5mmPb
		西		500mm 混凝土
		南		500mm 混凝土
		北		500mm 混凝土
		顶板		150mm 楼板+3mmPb
		地板		150mm 楼板
		防护门		5mmPb
2	实验室	东		5mmPb
		西		5mmPb
		南		500mm 混凝土
		北		500mm 混凝土
		顶板		150mm 楼板+3mmPb
		地板		150mm 楼板
		防护门		8mmPb
3	标记室	东		500mm 混凝土
		西		5mmPb
		南		500mm 混凝土
		北		500mm 混凝土
		顶板		150mm 楼板+3mmPb
		地板		150mm 楼板
		防护门		5mmPb
4	注射室	东		360mm 粘土砖
		西		500mm 混凝土
		南		250mm 混凝土
		北		250mm 混凝土
		顶板		150mm 楼板+3mmPb
		地板		150mm 楼板
		防护门		8mmPb
5	PET/CT 扫描室	东		360mm 粘土砖
		西		360mm 粘土砖
		南		360mm 粘土砖

		北		360mm 粘土砖
		顶板		150mm 楼板+3mmPb
		地板		150mm 楼板
		防护门		8mmPb
		观察窗		8mmPb
6	注射后 候诊室 1	东		8mmPb
		西		400mm 混凝土
		南		400mm 混凝土
		北		400mm 混凝土
		顶板		150mm 楼板+3mmPb
		地板		150mm 楼板
		防护门		8mmPb
		患者间挡板		
7	注射后 候诊室 2	东		400mm 混凝土
		西		8mmPb
		南		400mm 混凝土
		北		400mm 混凝土
		顶板		150mm 楼板+3mmPb
		地板		150mm 楼板
		防护门		8mmPb
		患者间挡板		
8	VIP 候诊室	东		
		西		400mm 楼板
		南		400mm 楼板
		北		250mm 混凝土
		顶板		150mm 楼板+3mmPb
		地板		150mm 楼板
		防护门		8mmPb
9	控制室	东		8mmPb
		南		360mm 粘土砖
		北		400mm 混凝土
		顶板		150mm 楼板

		地板		150mm 楼板
		防护门		8mmPb
10	控制区 入口走廊	东		8mmPb
		南		250mm 混凝土
		西		400mm 楼板
		北		360mm 粘土砖
		顶板		150mm 楼板+3mmPb
		地板		150mm 楼板
		门禁防护门		8mmPb

注：混凝土、楼板的密度为 2.35g/cm^3 ，砖密度为 1.70g/cm^3

表 10-4 核医学科诊疗场所通风橱一览表

编号	工作区	房间	屏蔽铅当量	功能
1	东区	放药室	30mm	存放 ^{131}I 、 ^{177}Lu 、 ^{223}Ra 、 ^{90}Y 等放射性药物
2		注射室	10mm	存放 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 等放射性药物
3	西区	注射室	50mm	存放 ^{18}F 放射性药物
4		标记室	50mm	淋洗、标记及分装 ^{68}Ga 放射性药物

10.4 辐射安全措施

10.4.1 东区 SPECT 诊疗区域安全防护措施

(1) 门灯连锁

在 SPECT/CT (SPECT) 机房防护门安装门灯连锁装置，射线装置处于出束状态时，红色警示灯亮，警告人员不得入内或机房内人员迅速退出。

(2) 对讲装置

在 SPECT/CT (SPECT) 控制室和机房之间、留观室、待检患者候诊区等处安装对讲装置。

(3) 警示标志

在 SPECT/CT (SPECT) 机房、注射室、患者进出通道等辐射工作场所的入口处均拟设置明显的电离辐射警告标识。

（4）通风设施

通风橱设置独立的排风系统，风管设置有止回阀，防止风倒流至其他区域。排风机的开关设计在通风橱旁，方便通风橱在开启时，排风机也能同时开启工作。屋顶排风口另设有抽风机，出风口设有高效活性炭过滤器，且出风口高于屋顶，确保排出的空气浓度低于有关标准规定的限值。

（5）监测设备

拟配备 1 台表面污染沾污仪、1 台 X- γ 辐射仪、1 个活度计。

个人：个人剂量计、铅衣、床旁注射铅车、注射器防护铅套

（6）视频监控系统

公安部门在东区共安装 16 个摄像头，分别设置在放免室、甲功室、3 间机房、运动试验室、通气试验室、注射室、放药室、放射源库、注药后候诊室、留观室及入口和患者出入口；

医院在东区共安装 4 个摄像头，关注患者入口、出口、注射前和注药后候诊情况，便于观察和管理给药患者的活动。

（7）放射性药物运输

SPECT 区域使用的放射性药物为 ^{99m}Tc ，在使用前计算好每次所需的放射性药物使用量，严格按量向生产厂家购买，为避开医院诊疗工作高峰期，医院的放射性药物运输拟定于上班前时间进行，放射性药物装入专用药瓶后放置于专用铅罐内，运送至注射室通风橱内。

10.4.2 西区 PET/CT 检查室安全防护措施

（1）门灯连锁

在 PET/CT 机房防护门安装门灯连锁装置，处于出束状态时，红色警示灯亮，警告人员不得入内或机房内人员迅速退出。

（2）对讲装置

在 PET/CT 控制室和机房之间、留观室、待检患者候诊区等处安装对讲装置。

（3）警示标志

在 PET/CT 机房、注射室、患者进出通道等辐射工作场所的入口处均拟设置明显的电离辐射警告标识。

（4）监测设备

拟配备 1 台表面污染沾污仪、1 台 X- γ 辐射仪、1 个活度计。

(5) 个人防护

个人剂量计、注射器防护套

(6) 视频监控系统

公安机关在西区共安装 10 个摄像头，分别设置在分装注射室、3 间用药后候诊室、机房和病人走廊；用药前候诊区共安装 2 个摄像头，公安部门实施 24 小时摄像监控。医院在西区共安装 9 个摄像头，关注患者入口、出口、注射前候诊、注射窗口、3 间注射后候诊室和病人走廊情况。

医院在患者进出通道入口处、留观室、待检患者候诊区等处均拟设置视频监控系统，便于观察和管理给药患者的活动。

核医学科辐射安全防护设施见表 10-5。

表 10-5 急诊楼核医学科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
2*		场所门外电离辐射警示标识	√	出入口、机房防护门、高活室门上粘贴电离辐射警示标志
3		独立的通风设施（流向）	√	高活室设带屏蔽设计的通风橱
4		有负压和过滤的工作箱/通风橱（乙级以上）	√	拟配有有负压通风橱
6*		注射或口服取药用屏蔽	√	每个场所至少配备一个注射窗口
7		易去污的工作台面和防污染覆盖材料	√	墙面、地面均为光滑饰面
8		移动放射性液体时容器不易破裂或有不易破裂的套	√	放射性药物密封于专用屏蔽容器
9*		病人专用卫生间	√	专用卫生间及排水管线
10*		放射性同位素暂存库或设施	√	同位素在高活室暂存
11*		放射性固体废物收集容器和放射性标识	√	21 个暂存用废物桶，1 间废物间
12		安全保卫设施（贮存场所必须）	√	受检者检查区入口和出口均设有门禁系统。储源室出入口设防盗门、入侵报警、视频监控等。
13	B 监测设备	便携式监测仪器仪表（污染、辐射水平等）	√	拟配 1 台辐射剂量巡测仪和 1 台表面污染监测仪
14*		个人剂量计	√	所有工作人员配备 TLD 个人剂量计

15		个人剂量报警仪	--	--
16		放射性活度计	√	高活室配备活度计
17	C 放射性废 物和废液	放射性下水系统及标识	√	两个 65m ³ 推流式衰变池 (10 格, 八级推流)
18*		放射性固体废物暂存间 (设施)	√	设废物间, 贮存放射性废物
19		废物暂存间屏蔽措施	√	墙体和铅桶屏蔽
20		暂存间通风系统	√	废物间设一个排风口
21*	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
22*		放射性表面去污用品和试剂	√	洗涤灵、酒精和棉球
23		灭火器材	√	干粉灭火器

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/。

10.5 人员的安全与防护

10.5.1 辐射工作人员的防护

本项目暂定的核医学科辐射工作人员数为 29 人, 为减少辐射工作人员的照射剂量, 采取的主要防护方法有屏蔽防护、时间防护、距离防护。

(1) 屏蔽防护:

① 配置工作人员防护用 0.5mmPb 铅衣 11 件、1.0mmPb 铅衣 2 件、0.5mmPb 铅橡胶颈套 11 件。其中东、西区注射室配置 3 套 (包括铅衣和铅橡胶颈套); 东区 SPECT 操作室配置 3 套; 西区 PET/CT 操作室配置 2 套, 标记室配置 3 套; 2 套作为备用防护用品。配置工作人员防护用铅眼镜 25 副 (0.5mmPb), 放射工作人员每人至少 1 副。

② 在东区放药室和西区注射室各放置一台表面污染监测仪器, 供工作人员离开工作场所时进行表面污染监测。东区更衣室器械柜里和西区工作人员通道器械柜里各放置一个污染急救药箱 (包括去污用品和试剂), 一旦发现放射性污染, 将及时去污。

(2) 时间防护

在不影响工作质量的前提下, 减少操作和给药的时间, 使照射时间最小化。辐射工作人员在为患者注射前做好充分准备, 以减少与患者接触时间。

(3) 距离防护

在不影响工作质量的前提下, 工作人员应尽量远离注药患者, 减少接触时间, 尽可能保持与射线装置等辐射工作场所的距离, 使距离最大化。

10.5.2 陪护人员及其他人员的防护

核医学科原则上不让陪护人员进入控制区，如果特殊情况必须需要陪护人员时则需采取防护措施。

(1) 个人防护用品

PET/CT 机房、SPECT/CT 机房，拟为患者配置铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子等个人防护用品。

(2) 屏蔽防护

辐射工作场所外围环境中的陪护人员主要依托辐射场所的屏蔽墙体、顶部、门窗、防护服等屏蔽射线。

(3) 时间防护

优先选用限制进入控制区，尽可能减少在辐射场所附近的停留时间。

(4) 距离防护

尽可能增大与辐射场所之间的距离。

10.6 三废的治理

10.6.1 废水

10.6.1.1 废水暂存及设计要求

(1) 放射性药物操作间的清洗池，放射性核素治疗病房的淋浴间、盥洗水盆和卫生间，给药后患者的专用卫生间，控制区出口卫生缓冲区的清洗池，事故应急时清洗的下水系统，均应通过专设的下水管道接入衰变池。

(2) 控制区和卫生缓冲区内淋浴间、盥洗水盆、清洗池等应选用脚踏式或自动感应式的开关，以减少场所内的设备污染。

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

10.6.1.2 本项目放射性废水排放

(1) 本项目核医学科废水排水原理见下图。

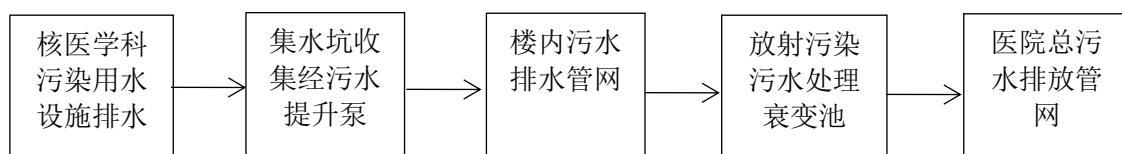


图 10-4 核医学科废水排水原理

(2) 项目设计有放射性废水衰变池，在急诊楼北侧的东北角和西南角各建 1 个衰变池，每个衰变池均分成 10 个有效容积为 6.5m^3 的储水槽，有效容积各为 65m^3 ，前者用于收集东侧 SPECT/CT 诊疗区域用药后患者卫生间下水和留观室卫生间下水，后者用于收集西侧 PET/CT 诊疗区域用药后患者卫生间下水。

(3) 东区 SPECT 检查室废水产生量为 $74.75\text{m}^3/\text{年}$ (合 $6.23\text{m}^3/\text{月}$)，经过八级的推流，则废液在排放前至少衰变 $8 \times 30 = 270$ 天；西区 PET/CT 检查室废水产生量为 $39.05\text{m}^3/\text{年}$ (合 $3.25\text{m}^3/\text{月}$)，经过八级的推流，则废液在排放前至少衰变 $8 \times 60 = 480$ 天。

(4) 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。

10.6.2 废气

本项目产生放射性废气的主要环节为西区标记室通风橱、东区放药室通风橱和通气实验室。

核医学科设有独立的通风、排风系统，通风系统遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向；控制区内的标记室、注射室、等候室等房间保持负压以防止放射性气体的交叉污染，保证工作场所的空气质量。

放射性药物在通风橱等密闭设备中标记、分装，防止放射性液体泄漏和放射性气体及气溶胶逸出，通风橱设计了专用的排风系统，风速不小于 0.5m/s ，并在管道内加装了高效活性炭过滤装置。

通气实验室安装了大功率集气罩和排风系统，实验室无窗，防护门密闭效果较好，确保房间内含 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的放射性废气不逸出，经集气罩收集后，通过高效活性炭过滤装置，经处理后排出。

核医学科的总排气口位于急诊楼北侧屋顶，排气口安装活性炭过滤装置，放射性废气经处理后排放，对大气环境及周边公众基本无影响。

10.6.3 放射性固废

核医学科制定并执行严格的放射性废物管理制度，将放射性废物与非放射性废物分开收集、贮存，确保不扩大污染，避免交叉污染。

在核医学科东区设置了放射性废物室；在标记室、注射室、注射后等候区、留观区、实验区等配备了具有外防护层和店里辐射警示标志的放射性废物桶，内套专用废物袋；注射区配备收集针头铅罐，集中收储到利器盒中；装满后及时转送废物室，每袋废物重

量不超过 20kg，每袋废物的表面剂量率不超过 0.1mSv/h；并标注废物类型、核素种类、活度水平、暂存起始日期、收集人等，放入专用的容器中存储。

放射性废物暂存时间严格按照京环办〔2018〕13 号中“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（其中碘-131 核素治疗病房产生的废物至少暂存 180 天）”的暂存时间管理，使用监测仪器对废物逐袋进行表面巡测，辐射剂量率低于 200nSv/h 且 α 、 β 表面污染水平分别小于 0.08 Bq/cm² 和 0.8Bq/cm²，对废物解控作为医疗废物处置。

10.7 对《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的满足情况

原环保部 2011 年第 18 号令《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》对拟使用放射性同位素和射线装置的单位提出了具体条件，本项目具备的条件与“18 号令”要求的对照评估如表 10-6 所示。

表 10-6 安全和防护能力对照评估情况

安全和防护管理办法要求	单位情况	符合情况
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	在控制区入口处，机房门口、患者候诊室门口等位置设置放射性警告标识和中文警示说明，在机房防护门上方设置工作状态指示灯，并采取门灯连锁系统、紧急停止按钮等	近期符合
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	医院以前每年委托有资质单位进行 1 次辐射工作场所和环境辐射水平监测，监测数据记录存档。目前委托北京贝特莱博瑞技术检测有限公司完成辐射工作场所检测。本项目实施后，仍每年委托有资质单位进行 1 次辐射工作场所和环境辐射水平监测。医院将每年使用辐射剂量仪，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。	近期符合
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	医院在每年 1 月 31 日前向北京市生态环境局提交年度评估报告	符合
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责任人进行辐射安全培训并进行考核；考核不合格的，不得上岗	医院制定了辐射工作人员培训计划。目前，全部从事放射工作的职业人员和管理人员共计 253 人，均参加了生态环境部门认可的单位组织的辐射安全与防护培训和复训，并取得合格证书。本项目拟配备 29 名工作人员，其中新增	近期符合

	人员将如期组织辐射安全与防护培训	
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，应当立即调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关	所有辐射工作人员均要求佩带 TLD 个人剂量计，医院将继续委托北京市疾病预防控制中心进行个人剂量检测，频度为每季度一次	近期符合

10.8 对《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 10-7 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要求的对应评估情况。

表 10-7 项目执行安全许可管理办法要求对照表

要求	项目单位情况	符合情况
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 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	医院成立有放射防护管理委员会，全面负责医院的辐射防护监督和管理工作的，小组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，具体情况见附件 2。	近期符合
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	医院制定了辐射工作人员培训计划，规定所有辐射工作人员，在上岗前将接受生态环境部门认可培训机构组织的辐射安全与防护培训，并经考试合格后上岗。每 4 年参加复训，并制定了辐射工作人员培训计划。目前，全院从事放射工作的职业人员和管理人员共计 253 人，本项目拟配备 29 名工作人员，其中新增人员将如期组织辐射安全与防护培训	近期符合
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	核医学科注射室安装点对点交接摄像头，安装防盗门，落实公安部门安保措施	近期符合
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	本项目配套的机房门口以及核医学科注射室、候诊室等辐射工作场所的显著位置处设置放射性警告标识和中文警示说明，安装机房指示灯，设置门机联锁、门源联锁系统，紧急停止按钮，紧急回源系统等	近期符合
配备必要的防护用品和监测仪器	本项目拟配备 1 台便携式 γ 剂量率仪（新增）、3 台便携式表面污染检测仪（1 台为新增、2 台现有仪器）	近期符合
有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护措施、台帐管理制度、培训计划和监测方案	制定有相应的辐射安全防护制度，从业人员辐射安全培训制度、各项操作规程、设备检修维护制度、辐射防护和安全保卫制度、台帐管理制度、环境监测及个人剂量监测制度，以及放射性事故应急预案。医院已经制定有相应的辐射事故应急预案	符合
有辐射事故应急措施	将根据新增核医学项目的内容，进一步制定和完善辐射事故应急预案	近期符合

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	注射室内配备通风橱，通风橱设置专用排风管道，排风引至建筑物顶部排放。核医学科注射室内产生的废水，以及给药后患者专用卫生间产生的废水，通过专用管道一并进入放射性废水衰变池，暂存一定时间后，最终进入市政污水收集管网。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，按日期定期转移至核医学科放射性废物库暂存。放射性固废经过暂存如满足清洁解控要求后，依照《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	近期符合
---	--	-------------

表 11 环境影响分析

11.1 建设期的环境影响

本项目更新 1 台 PET/CT、1 台 SPECT，不进行防护工程改造，不涉及施工活动，对环境和周围人员基本无影响。

11.2 运行期环境影响分析

11.2.1 辐射环境影响

本项目更新 1 台 PET/CT 和 1 台 SPECT，增加 ^{99m}Tc 、 ^{68}Ga 、 ^{123}I 、 ^{177}Lu 、 ^{223}Ra 、 ^{90}Y 的操作量。

根据表 9-1 可知，西区 PET/CT 显像以 ^{18}F 、 ^{68}Ga 为主（ ^{18}F 为 7500 人次， ^{68}Ga 为 2000 人次）；东区 SPECT/CT 显像以 ^{99m}Tc 、 ^{123}I 、 ^{131}I 为主（ ^{99m}Tc 显像 12000 人次/a， ^{123}I 显像 1000 人次/a， ^{131}I 显像 600 人次/a）；放射性核素治疗以 ^{131}I 、 ^{223}Ra 为主。

因此，本项目的辐射环境影响分析，东区 SPECT 诊疗区域以 ^{99m}Tc 、 ^{131}I 为目标进行估算，西区 PET/CT 诊疗区域以 ^{18}F 为目标进行估算，预测核素显像检查过程工作区周围附加剂量率，以及工作人员和周围公众的受照剂量。

11.2.1.1 贯穿辐射环境影响预测

1. 剂量估算源强

（1）PET 诊断 ^{18}F 每人每次用量按 $2.96\text{E}+08\text{Bq}$ (8mCi)估算。根据《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)中表 H.1， ^{18}F 的周围剂量当量率常数(裸源)为 $0.143\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{MBq} \cdot \text{h})$ ，根据表 L.1， ^{18}F 在患者体内单位放射性活度所致体外 1m 处的周围剂量当量率 $0.092\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{MBq} \cdot \text{h})$ ，患者平均候诊 30min 后进入 PET/CT 机房，衰变系数为 0.83。

（2）SPECT 诊断 ^{99m}Tc 每人每次用量按 $7.4\text{E}+08\text{Bq}$ (20mCi) 估算。根据《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)表 H.1， ^{99m}Tc 的周围剂量当量率常数(裸源)为 $0.0303\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{MBq} \cdot \text{h})$ ，根据表 L.1， ^{99m}Tc 在患者体内单位放射性活度所致体外 1m 处的周围剂量当量率 $0.0207\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{MBq} \cdot \text{h})$ ，患者在注射后平均等候 90min 进入机房，衰变系数为 0.84。

（3）根据《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)表 H.1， ^{131}I 的周围剂量当量率常数(裸源)为 $0.0595\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{MBq} \cdot \text{h})$ ，根据表 L.1， ^{131}I 在患者体内单位放射性

活度所致体外 1m 处的周围剂量当量率 $0.0583\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{MBq} \cdot \text{h})$ 。

2. 估算方法

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，依照剂量率和距离平方成反比衰减的关系，同时考虑通风橱、墙壁、防护门或观察窗的衰减作用，估算标记室、扫描室、等候室等有代表性场所周围的附加辐射剂量率，然后结合可能的照射时间，估算职业人员和公众的受照剂量。

剂量估算公式如下：

$$H=10^{-6}A\cdot\Gamma_k B/r^2\cdots\cdots\cdots (11-1)$$

式中：

H —关注点处剂量率水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

A —放射性核素活度， Bq ；

Γ_k —空气比释动能率常数， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2 / (\text{MBq}\cdot\text{h})$ ；

B —屏蔽透射系数， $B = 10^{-\frac{x}{\text{TVL}}}$ ；

r —关注点距源的距离， m 。

$$H= H_0 B/r^2\cdots\cdots\cdots (11-2)$$

式中：

H —关注点处剂量率水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_0 —1m 处剂量率水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

B —屏蔽透射系数， $B = 10^{-\frac{x}{\text{TVL}}}$ ；

r —关注点距源的距离， m ；

x —屏蔽层厚度， mm ；

TVL—十分之一层厚度， mm 。 ^{68}Ga 的十值层参考 ^{18}F ，铅、混凝土、粘土砖分别为 16.6mm、176mm、263mm； $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的什值层，铅、混凝土、粘土砖分别为 1mm、110mm、160mm； ^{131}I 的什值层，铅、混凝土、粘土砖分别为 11mm、170mm、240mm。

人员年受照剂量计算公式如下：

$$E=D\times t\times T\cdots\cdots\cdots (11-3)$$

式中：

E —年有效剂量， mSv/a ；

D—计算点的附加剂量率, mSv/h;

t—受照时间, h/a;

T—居留因子。

3. 工作时间

(1) 西区 PET/CT 诊疗区域全年开展影像诊断最多为 9500 人次, 每人次的放射性药物注射时间为 0.5min/人, 全年注射 PET 放射性药物总时间为 79.17h; PET/CT 的扫描时间平均为 20min/人次, 则 PET/CT 机房内患者停留时间约为 3167h/a; PET/CT 候诊室内人员的停留时间为 3287h/a(普通候诊室 1 及普通候诊室 2 的候诊人数为 2 人, VIP 候诊室人数为 1 人)。

(2) 东区 SPECT 诊疗区域全年开展影像诊断最多为 13800 人次, 每人次的放射性药物注射时间为 0.5min/人, 全年注射 SPECT 放射性药物总时间为 115h; 扫描时间平均为 20min/人次, 按照 3 台 SPECT (SPECT/CT) 均担工作量的模式, 每间机房内受检者的停留时间约为 1533h/a; 患者注射后的停留时间为 1773h/a(候诊室 1 ^{99m}Tc 患者平均等候人数 9 人; 候诊室 2 ^{131}I 患者平均等候人数 2 人); 留观内 ^{99m}Tc 患者人数约为 4 人。

(3) 东区 SPECT 诊疗区域全年开展影像诊断和治疗最多为 1720 人次, 每人次的放射性药物注射/口服时间为 0.5min/人, SPECT 治疗室全年工作总时间为 14.3h/a。

(4) 高活室通风橱内每天开展淋洗、标记、分装放射性药物的工作时间为 1h , 全年累计分装时间为 240h。

4. 诊疗场所周围不同位置的附加剂量率水平

基于上述源项, 依照公式 11-1 和 11-2, 估算高活室、 PET/CT 机房、SPECT 机房、候诊室、留观室周围不同位置的最大附加剂量率, 估算结果见表 11-1。

由表 11-1 可知, 本项目运行后, 核医学诊疗场所的控制区边界外(四周)的附加剂量率水平低于 $0.368 \mu\text{Sv/h}$ (PET 机房防护门), 对上层计算点的附加剂量率低于 $0.23 \mu\text{Sv/h}$ (PET 候诊室上层), 对下层计算点的附加剂量率低于 $2.19 \mu\text{Sv/h}$ (SPECT 候诊室下层-管线间), 均满足辐射工作场所控制区边界最高剂量率不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的要求。

5. 公众人员受照剂量估算

公众人员受照剂量估算点示意图见图 11-1, 诊疗场所周围停留公众可能的受照剂

量估算结果见表 11-2。

根据表 11-2 可知，控制区边界外公众的外照射受照剂量最多为 SPECT 候诊室上层 0.3m（急诊留观室）处的 $67.4\mu\text{Sv/a}$ ，其次为 PET/CT 普通候诊室上层 0.3m（夜班休息室）处的 $35.9\mu\text{Sv/a}$ ，均低于本项目设定的 0.1mSv/a 的公众剂量约束值。

6. 工作人员受照剂量估算

工作人员受照剂量估算点示意图见图 11-1，诊疗场所工作人员的年受照剂量估算结果见表 11-3。

据表 11-3 估算结果可知，标记室工作人员的最大受照剂量不超过 0.772mSv/a ，PET 给药注射工作人员的最大受照剂量不超过 0.055mSv/a ，PET 摆位和设备操作岗位工作人员最大受照剂量不超过 1.089mSv/a ；SPECT 给药注射工作人员的最大受照剂量不超过 0.106mSv/a ，SPECT 摆位和设备操作岗位工作人员最大受照剂量不超过 0.206mSv/a ，均低于本评价设定的剂量约束值 5mSv/a 。

表 11-1 核医学科工作场所周围辐射剂量率计算结果一览表

场所名称		估算点及相邻关系 (距外表面 0.3m)	源项	屏蔽材料	距离 (m)	透射系数	附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
西 区	PET/CT 标记室	东墙外-注射室	分装 $240\text{mCi } ^{68}\text{Ga}$	50mmPb 通风橱+500mm 混凝土	1.95	1.40E-06	4.39E-04
		北墙外-大楼外		50mmPb 通风橱+500mm 混凝土	1.73	1.40E-06	5.58E-04
		地板下-管线间		50mmPb 通风橱+150mm 楼板	1.65	1.37E-04	5.97E-02
		顶部-MR 管线间		50mmPb 通风橱+150mm 楼板 +3mmPb	4.0	9.01E-05	6.70E-03
	PET/CT 注射室	北墙外-医护走廊	$480\text{mCi } ^{18}\text{F}$	250mm 混凝土+50mmPb 通风橱	2.25	9.49E-03	1.85E-02
		防护门外-医护走廊		8mmPb+50mmPb 通风橱	2.25	1.53E-02	1.61E-01
		地板下-管线间		150mm 楼板+50mmPb 通风橱	1.65	3.51E-02	1.27E-01
		顶部-MR 机房		150mm 楼板+5mmPb +50mmPb 通风橱	4.0	1.75E-02	1.08E-02
	PET/CT 机房	东墙外-控制室	1 名患者 ($8\text{mCi } ^{18}\text{F}$)	360mm 粘土砖	3.35	3.16E-02	6.37E-02
		北墙外-医护走廊		360mm 粘土砖	4.5	3.16E-02	3.53E-02
		医生防护门外-控制室		8mmPb	4.5	3.30E-01	3.68E-01
		观察窗外-控制室		8mmPb	4.5	3.30E-01	3.68E-01
		地板下-管线间		150mm 楼板	1.65	5.20E-01	1.17E+00
		顶部-CT 机房		150mm 楼板+5mmPb	4.0	7.02E-02	9.92E-02

东区	普通候诊室 1	南墙外-大楼外	2 名患者 ($2 \times 8\text{mCi } ^{18}\text{F}$)	400mm 混凝土	4.84	5.34E-03	1.24E-02
		西墙外-大楼外		400mm 混凝土	2.5	5.34E-03	4.65E-02
		地板下-管线间		150mm 楼板	1.65	1.41E-01	2.13E+00
		顶部-夜班室		150mm 楼板+5mmPb	4.0	7.02E-02	2.39E-01
	普通候诊室 2	南墙外-大楼外	2 名患者 ($2 \times 8\text{mCi } ^{18}\text{F}$)	400mm 混凝土	3.32	5.34E-03	2.64E-02
		地板下-管线间		150mm 楼板	1.65	1.41E-01	2.13E+00
		顶部-夜班室		150mm 楼板+5mmPb	3.7	7.02E-02	2.79E-01
	VIP 候诊室	南墙外-大楼外	1 名患者 ($8\text{mCi } ^{18}\text{F}$)	250mm 混凝土	3.32	4.33E-02	1.07E-01
		地板下-管线间		150mm 楼板	1.65	1.41E-01	1.41E+00
		顶部-走廊		150mm 楼板+5mmPb	4.0	7.02E-02	1.20E-01
	SPECT 机房 1	西墙外-甲功室、仪器室	1 名患者 ($4\text{mCi } ^{131}\text{I}$)	3mmPb	2.16	5.34E-01	8.29E-01
		北墙外-操作室		3mmPb	4.92	5.34E-01	1.60E-01
		医生防护门外-操作室		3mmPb	4.92	5.34E-01	1.60E-01
		观察窗外-操作室		3mmPb	4.92	5.34E-01	1.60E-01
		地板下-管线间		150mm 楼板	1.65	1.31E-01	3.49E-01
		顶部-输液配药室		150mm 楼板+2mmPb	4.0	8.63E-02	3.91E-02
	SPECT 机房 2	北墙外-操作室	1 名患者 ($4\text{mCi } ^{131}\text{I}$)	3mmPb	4.92	5.34E-01	1.60E-01
		医生防护门外-操作室		3mmPb	4.92	5.34E-01	1.60E-01

		观察窗外-操作室		3mmPb	4.92	5.34E-01	1.60E-01
		地板下-管线间		150mm 楼板	1.65	1.31E-01	3.49E-01
		顶部-护士站、医生办公室		150mm 楼板+2mmPb	4.0	8.63E-02	3.91E-02
	SPECT/CT 机房 3	北墙外-操作室	1 名患者 (4mCi ¹³¹ I)	3mmPb	4.92	5.34E-01	1.60E-01
		医生防护门外-操作室		3mmPb	4.92	5.34E-01	1.60E-01
		观察窗外-操作室		3mmPb	4.92	5.34E-01	1.60E-01
		地板下-管线间		150mm 楼板	1.65	1.31E-01	3.49E-01
		顶部-急诊留观		150mm 楼板+2mmPb	4.0	8.63E-02	3.91E-02
	运动实验室	北墙外-大楼外	1 名患者 (20mCi ^{99m} Tc)	250mm 混凝土	1.93	5.34E-03	2.19E-02
		地板下-管线间		150mm 楼板	1.65	4.33E-02	2.44E-01
		顶部-急诊留观		150mm 楼板+2mmPb	4.0	4.33E-04	4.14E-04
	通气实验室	北墙外-更衣室	1 名患者 (20mCi ^{99m} Tc)	250mm 混凝土	1.93	5.34E-03	2.19E-02
		地板下-管线间		150mm 楼板	1.65	4.33E-02	2.44E-01
		顶部-急诊留观		150mm 楼板+2mmPb	4.0	4.33E-04	4.14E-04
		北墙外-更衣室	1 名患者 (8mCi ¹³¹ I)	250mm 混凝土	1.93	3.38E-02	5.57E-02
		地板下-管线间		150mm 楼板	1.65	1.00E+00	2.95E-01
		顶部-急诊留观		150mm 楼板+2mmPb	4.0	8.63E-02	3.30E-02
	放药室	北墙外-大楼外	120mCi ¹³¹ I	250mm 混凝土 +30mmPb 通风橱	2.78	6.34E-05	2.12E-03

		地板下-管线间		150mm 楼板+30mmPb 通风橱	1.65	2.46E-04	2.34E-02
		顶部-污洗		150mm 楼板+2mmPb +30mmPb 通风橱	4.0	2.46E-04	3.97E-03
	废物室	东墙外-大楼外	3 桶放射性废物	400mm 混凝土	0.73	5.34E-03	4.69E-02
						2.31E-04	
						4.44E-03	
		北墙外-大楼外		250mm 楼板+3mmPb	1.05	1.06E-01	4.38E-01
						4.33E-04	
						8.63E-02	
		防护门外-洗涤室		5mmPb	1.0	5.00E-01	2.13E+00
						1.00E-05	
						3.51E-01	
		地板下-管线间		150mm 楼板	1.65	1.41E-01	2.89E-01
						4.33E-02	
						1.31E-01	
		顶部-卫生间		150mm 楼板+2mmPb		1.06E-01	3.02E-02
						4.33E-04	
					4.0	8.63E-02	
	SPECT 候诊室	南墙外-大楼外	10 名患者	250mm 混凝土	3.18	5.34E-03	7.28E-02

		地板下-管线间	(10×20mCi ^{99m} Tc)	150mm 楼板	1.65	4.33E-02	2.19
		顶部-急诊留观		150mm 楼板+3mmPb	4.0	4.33E-05	3.73E-04
	留观室 1	地板下-管线间	2 名患者 (2×4mCi ¹³¹ I)	150mm 楼板	1.65	1.31E-01	8.31E-01
		顶部-急诊留观		150mm 楼板+3mmPb	4.0	7.00E-02	7.55E-02
	留观室 2	东墙外- 大楼外	4 名患者 4×20mCi ^{99m} Tc)	250mm 混凝土	0.75	5.34E-03	5.81E-01
		南墙外-大楼外		250mm 混凝土	0.75	5.34E-03	5.81E-01
		地板下-管线间		150mm 楼板	1.65	4.33E-02	9.74E-01
		顶部-急诊留观		150mm 楼板+3mmPb	4.0	4.33E-05	1.66E-04

注：1. ¹⁸F 扫描时平均活度相对初始的活度因子为 0.83；^{99m}Tc 考虑扫描时平均活度相对初始的活度因子为 0.84

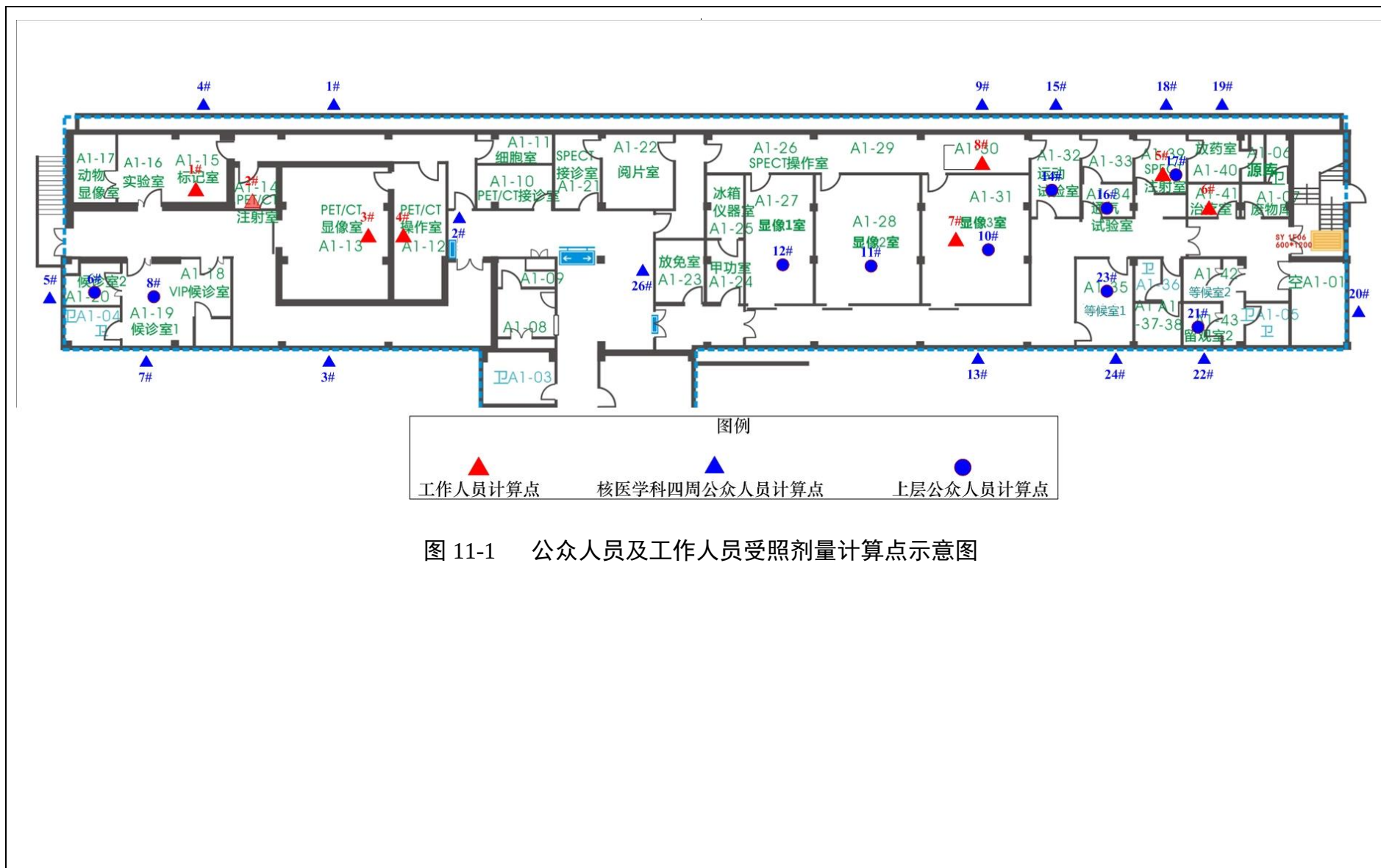


表 11-2 公众人员受照剂量估算一览表

序号	计算点与位置关系		源项 ($\mu\text{Sv/h}$)	防护	距离 (m)	时间 (h/a)	居留 因子	受照剂量 ($\mu\text{Sv/a}$)
1#	PET/CT 显像室	大楼外北侧 0.3m- 医院内部道路	2.83E+01	400mm 混凝土+360mm 粘土砖	6.42	2603.3	1	5.09E-03
2#		大楼外南侧 0.3m-空地		400mm 混凝土+360mm 粘土砖	6.53	2603.3	1/16	4.92E-03
3#	PET 标记室	大楼外北侧 0.3m- 医院内部道路	4.96E+02	500mm 混凝土+50mmPb 通风橱	2.72	240	1/16	4.19E-02
4#		上层 1.2m-MR 管线间		150mm 混凝土+3mmPb	4.0	240	1/16	1.41E-03
5#	PET 候诊室 1	上层 1.2m-夜班休息室	6.81E+01	150mm 混凝土+5mmPb	4.0	2843.3	1/16	3.59E+01
6#		大楼外西侧 0.3m-空地		400mm 混凝土	1.96	2843.3	1/16	1.68E+01
7#	PET 候诊室 2	上层 1.2m-夜班休息室	6.81E+01	150mm 混凝土+5mmPb	4.0	2843.3	1/16	3.59E+01
8#		大楼外南侧 0.3m-空地		400mm 混凝土	2.92	2843.3	1/16	7.57E+00
9#	SPECT 显像 1 室	上层 1.2m-输液配药室、走 廊	7.25E+00	150mm 混凝土+2mmPb	4.0	1661.1	1	1.62E+01
10#	SPECT 显像 2 室	上层 1.2m-护士站、医生办 公室	7.25E+00	150mm 混凝土+2mmPb	4.0	1661.1	1	1.62E+01
11#	SPECT/CT 显像 3 室	上层 1.2m-急诊留观室	7.25E+00	150mm 混凝土+2mmPb	4.0	1661.1	1/4	1.62E+01
12#		大楼外北侧 0.3m- 医院内部道路		3mmPb+400mm 混凝土	6.21	1661.1	1/16	4.62E-02
13#		大楼外南侧 0.3m- 医院内部道路		3mmPb+400mm 混凝土	6.57	1661.1	1/16	4.13E-02

14#	运动实验室	上层 1.2m- 急诊留观室	1.53E+01	150mm 混凝土+2mmPb	4.0	830	1/4	8.59E-02
15#		大楼外北侧 0.3m- 医院内部道路		400mm 混凝土	2.85	830	1/16	2.26E-02
16#	通气实验室	上层 1.2m-急诊留观室	1.53E+01	150mm 混凝土+2mmPb	4.0	830	1/4	8.59E-02
17#	SPECT 注射室	上层 1.2m-急诊留观室		150mm 混凝土+2mmPb	4.0	124.5	1/4	9.43E-06
18#		大楼外北侧 0.3m- 医院内部道路		400mm 混凝土	2.96	124.5	1/16	2.30E-01
19#	废物库	大楼外东侧 0.3m- 医务处楼	1.0E+01	400mm 混凝土	4.39	7200	1	3.85E+00
20#	SPECT 留观室	上层 1.2m-急诊留观室	8.63E+00	150mm 混凝土+2mmPb	4.0	1920	1/4	2.25E+01
			1.53E+01					
21#		大楼外南侧 0.3m-停车场	8.63E+00	3mmPb+400mm 混凝土	2.08	1920	1/16	5.67E-01
			1.53E+01					
22#	SPECT 候诊室	上层 1.2m-急诊留观室	2.59E+01	150mm 混凝土+2mmPb	4.0	1901	1/4	6.74E+01
			1.23E+02					
23#		大楼外南侧 0.3m-停车场	2.59E+01	3mmPb+400mm 混凝土	3.06	1901	1/16	7.78E-01
			1.23E+02					

表 11-3 工作人员人均受照剂量估算一览表

序号	工作人员 岗位	源项		防护	累计工作时间 (h/a)	轮流人数 (人)	人均受照剂量 (mSv/a)
		核素	活度 (MBq)				
1#	PET 标记室 药物淋洗分装	^{68}Ga	8880	50mmPb 通风橱	120	2	0.772
2#	PET/CT 注射室 给药注射	^{18}F	296	40mmPb 挡板+ 7mmPb 钨合金针筒	79.2	1	0.055
3#	PET/CT 机房 摆位	^{18}F	296	/	15.83	2	1.089
4#	PET/CT 机房 扫描	^{18}F	296	8mmPb 观察窗	3167		
5#	SPECT 注射室 给药注射	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	740	20mmPb 挡板+ 2mmPb 钨合金针筒	100	3	0.106
		^{131}I	148	20mmPb 挡板+ 2mmPb 钨合金针筒	15		
		^{131}I	148	20mmPb 挡板+ 2mmPb 钨合金针筒	14.3		
7#	SPECT/CT SPECT 机房 摆位	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	740	/	20	5	0.206
		^{131}I	148	/	3		
8#	SPECT/CT SPECT 机房 扫描	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	740	3mmPb 观察窗	4000		
		^{131}I	148	3mmPb 观察窗	600		

11.2.2 放射性三废环境影响分析

11.2.2.1 放射性废水环境影响分析

放射性废水主要来自注射后病人在候诊期间或留观期间排泄粪便所产生的放射性废液和放免室产生的放射性废液。

(1) 衰变池设置情况

核医学科工作场所在东北角和西南角各建 1 个衰变池，有效容积各为 65m^3 ，前者用于收集东侧 SPECT/CT 诊疗区域用药后患者卫生间下水和留观室卫生间下水，后者用于收集西侧 PET/CT 诊疗区域用药后患者卫生间下水。

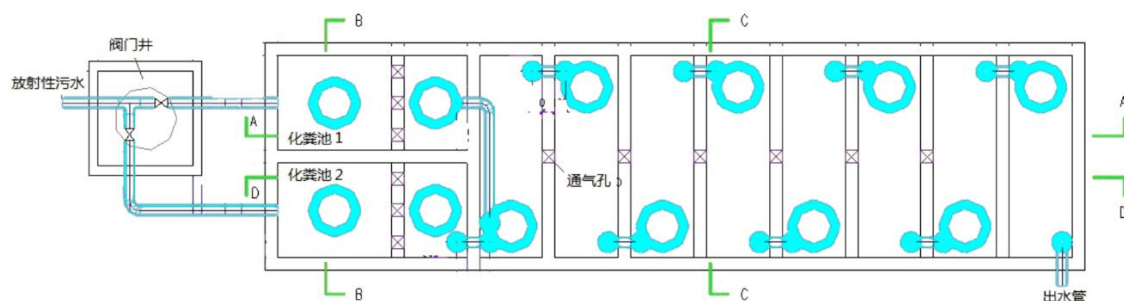


图 11-2 衰变池结构示意图

① 衰变池结构

每个衰变池均分成 10 个有效容积为 6.5m^3 的储水槽，运行时，放射性废水首先排入并联的前两格水槽（化粪池），将大部分粪便等固体污物沉积，而后通过连通管排入后面串联的八格水槽，后面八格水槽的联通管设置高度保证放射性污水在衰变池每格水槽中推移流动。

衰变池采用 C30 含铅混凝土建造，四周池壁厚 250mm，槽与槽之间隔板厚 200mm，底板厚 300mm，顶板厚 150mm。基础底板、地下室外墙外侧保护层厚度 40mm，基础底板内侧保护层厚度 30mm，地下室外墙内侧及内墙保护层厚度 30mm，地下室顶板保护层厚度 30mm。

② 衰变池控制模式

每座衰变池分十格，前面两格化粪池采用并联形式，可交替使用，在检修时可清空任意一格，后八格水槽每格之间设置连通管，当需要检修其中一格时，可采用移动式潜

污泵将前一格污水提升跨越排至后一格水槽内。后面八格水槽的联通管设置高度保证放射性污水在衰变池每格水槽中是推移流动的。如果需要对水质进行检测，可在最后一格水槽人孔处取样，待第十格贮满水后，请有资质的单位对第十格废水进行监测，符合排放标准后，向环保部门申请排放，废水排入医院污水处理站进一步处理后排入市政污水管网，第十格废水排空后，前面几格水槽内的废水依次向后推移。

(2) 放射性废水产生情况

①东区 SPECT 检查室：三个 SPECT (SPECT/CT) 诊疗区域每年检查的患者人数共 14950 人，假设这些患者注射放射性药物后在候诊期间平均每人用一次卫生间，每次冲水 5.0L (含洗手水)，则废水产生量为 $74.75\text{m}^3/\text{年}$ (合 $6.23\text{m}^3/\text{月}$)。这些废水排入 65m^3 (分成 10 个 6.5m^3 的水格槽，串流推流水槽有 9 个) 的衰变池，每约 30 天可装满一个水格，经过八级的推流，则废液在排放前至少衰变 $8 \times 30 = 270$ 天。

根据《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 (其中碘-131 核素治疗病房产生的废水至少暂存 180 天)，因此，270 天的废水暂存时间满足要求。

②西区 PET/CT 检查室：PET/CT 诊疗区域每年检查的患者人数是 7810 人，假设这些患者注射放射性药物后在候诊期间平均每人用一次卫生间，每次冲水 5.0L (含洗手水)，则废水产生量为 $39.05\text{m}^3/\text{年}$ (合 $3.25\text{m}^3/\text{月}$)。这些废水排入 65m^3 (分成 10 个 6.5m^3 的水格槽，串流推流水槽有 9 个) 的衰变池，则每 60 天可装满一个水格槽，经过八级的推流，则废液在排放前至少衰变 $8 \times 60 = 480$ 天。

根据《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)，A 类放射性废水注满后，暂存时间超过 30 天后可直接解控排放。因此，废水在衰变池中暂存时间满足要求。

③放免室使用放射性核素 ^{125}I 、 ^{35}S 、 ^{51}Cr 、 ^3H 和 ^{14}C 进行体外放免或体外示踪实验， ^{125}I 废液产生量为 1L/周，每年产生的废液量为 50L， ^{35}S 、 ^{51}Cr 、 ^3H 和 ^{14}C 的废液产生量较少，均少于 2.5L/年，因此，放免室每年产生的放射性废液量为 0.06m^3 。放免室设置三个废液桶分别收集这五种放射性废液，其中 ^{125}I 、 ^{35}S 和 ^{51}Cr 收入同一个废液桶， ^3H 和 ^{14}C 分别收入另外两个废液桶，废液桶装满后表明日期和类别转移到放射性废物间储

存。¹²⁵I、³⁵S、⁵¹Cr 的废液存放 10 个半衰期以上，经检测后低于排放限值则按规定排放。³H 和 ¹⁴C 的废液累积一定量后进行固化处理，由北京市城市放射性废物管理中心按固体废物收贮。

(3) 放射性废水排放活度与 GB18871-2002 的符合性分析

本次仅计算东区 SPECT 检查室放射性废水中的核素排放活度。

根据上述分析，东区 SPECT 产生含有 ¹³¹I、¹⁷⁷Lu、¹¹¹In、²⁰¹Tl、³²P、⁹⁰Y、²²³Ra、¹⁵³Sm 长半衰期核素的废水，排放活度按操作量的 10% 计；B 类放射性废水日均产生量为 0.208m³/d，排入 9 个串联的推流槽（每个容积为 6.5m³），注满一格水需 30 天，暂存时间为 270 天。

则衰变池中放射性核素的活度浓度可用下式表示：

$$D = \sum_{i=1}^{n_1} A_{0,i} \cdot e^{-\frac{\lambda_i}{T}} / (1.04 \cdot n_i) \dots\dots\dots \text{(式 11-4)}$$

式中：

D—衰变池中第 i 天（i≤n₁）放射性核素的活度浓度，Bq/L；

V—衰变池容积，8×6.5m³；

n—衰变池可容纳废水的天数，（n_i=V_{j,总}/V_{j,1}）；

A₀—排放进入废水中的放射性核素 i 活度，Bq；

λ—放射性核素 i 的衰变常数 ln2。

废水各放射性核素活度浓度与排放导出限值之比的和，计算公式如下

$$\sum_{i=1}^n \frac{D_i}{ALI_{\min,i}} \leq 1 \dots\dots\dots \text{(式 11-5)}$$

本项目 SPECT 诊疗区域推流式衰变池排放的废水中，B 类放射性核素活度计算结果见表 11-4，根据计算结果，放射性核素排放的活度浓度 D 均小于其排放导出限值 ALI_{min}；将表 11-39 中各放射性核素的 D_i/ALI_{min} 数值代入公式 11-5，计算结果为 9.99E-03，废水各放射性核素活度浓度与排放导出限值之比的和小于 1。

综上，本项目 SPECT 诊疗区域推流式衰变池排放的废水中，B 类放射性核素活度符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 相关规定，可以做到达标排放。

表 11-4 B 类放射性废水排放活度与 GB18871-2002 排放导出限值对比情况一览表

放射性核素	每日操作活度 (Bq/d)	每日排放活度 (Bq/d)	30 天排放总活度 (Bq)	270 天后活度 (Bq)	一次排放限值 ALIm _{in} (Bq)	Di/ALIm _{in}	达标情况
¹³¹ I	4.63E+09	4.63E+08	2.32E+09	1.75E-01	9.06E+05	1.93E-07	达标
⁹⁰ Y	3.70E+10	3.70E+09	3.08E+09	1.12E-21	1.85E+06	6.03E-28	达标
¹¹¹ In	2.22E+09	2.22E+08	4.63E+08	4.34E-21	6.45E+07	6.72E-29	达标
²⁰¹ Tl	2.22E+09	2.22E+08	4.63E+08	8.49E-19	2.11E+08	4.02E-27	达标
³² P	3.70E+09	3.70E+08	3.85E+09	7.84E+03	1.47E+06	5.33E-03	达标
¹⁵³ Sm	1.85E+10	1.85E+09	7.71E+09	1.61E-32	6.75E+06	2.38E-39	达标
²²³ Ra	2.22E+08	2.22E+07	9.25E+07	7.16E+00	2.90E+03	2.47E-03	达标
¹⁷⁷ Lu	7.40E+09	7.40E+08	3.08E+09	1.85E-03	4.17E+06	4.43E-10	达标
⁸⁹ Sr	2.96E+09	2.96E+08	6.17E+08	1.48E+04	6.76E+06	2.19E-03	达标
合计						9.99E-03	达标

注：⁸⁹Sr 先作为固体废物收集，在废物库暂存十个半衰期 505 天，再倒入衰变池；总的暂存时间为 775 天。

11.2.2.2 放射性固废环境影响分析

(1) 诊疗废物

核医学科在东区设有放射性固体废物库，配置专用废物桶。患者使用的服药杯子、废弃的注射器、包装物、棉棒、垫布等被污染的一次性用品等固体放射性废物，按产生日期用不易破损的塑料袋分类收集，暂存于废物桶内。废物袋满后转移至废物间内贮存，并在塑料袋外表面注明废物类别（A 类或 B 类）、重量（或体积）、所含核素名称、暂存起始日期等信息。

根据表 9-3，核医学科全年开展放射性核素显像检查和治疗共计 24130 人次，平均每人产生含放射性固体废物 0.05kg，则项目满负荷运行时放射性废物年产生量约 1206.5kg。此外，核医学科每年更换通风橱和热室高效过滤器/活性炭过滤器，预计额外产生 100kg 左右固体废物，总计约 1216.5kg。西区标记室内配置 2 个铅质废物桶（容积 1L），废物间配置 4 个轮流贮存 A 类和 B 类放射性废物的废物桶。

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，使用监测仪器对废物逐袋进行表面巡测，辐射剂量率低于 200nSv/h 且 α 、 β 表面污染水平分别小于 0.08 Bq/cm² 和 0.8Bq/cm²，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、废物去向等，每一袋放射性固体废物填写一行记录。

(2) 废活性炭

本项目废气处理系统采用高效吸附活性炭，定期检测放射性废气排放情况，至少每年更换一次。更换下来的非活性炭，放入放射性废物库暂存；根据其中所含放射性核素不同，暂存相应的时间：含 ¹⁸F、⁶⁸Ga、^{99m}Tc 放射性核素暂存 30 天，含 ¹¹¹In、¹³¹I、⁹⁰Y、¹⁵³Sm、¹⁷⁷Lu、³²P 等放射性核素暂存 10 个半衰期，含 ¹³¹I 放射性核素暂存 180 天。衰变至解控水平后，作为危险废物（废物类别 HW49 其他废物，废物代码 900-051-49），委托具有资质的单位处置。

(3) 剩余放射性核素

核医学科采用预约就诊制度，根据预约患者量和药量情况，淋洗或者外购相应放射性核素，一般无剩余放射性核素产生。如个别患者未如约来院就诊，剩余放射性药物盛放在铅罐中，放置在通风橱自行衰变处置。

(4) 放射性废物间

核医学科放射性废物间面积约 10m^2 ，分为里外两个隔间，里间面积 3.7m^2 ，外间面积 6.3m^2 ，总容积 35m^3 。放射性较强的固废置于里间，放射性较弱接近清洁解控水平的固废置于外间，以便于对固废的安全管理和解控处置。

(5) 放射性固废收集装置

核医学科共配备 10mm 铅当量的放射性废物铅桶 21 个，其中 40L 的 10 个（大），30L 的 1 个（中），10L 的 10 个（小），分别放置在放药室（1 大 1 小）、治疗室（1 大）、东、西区注射室（各 1 大）、运动试验室（1 大）、通气试验室（1 大）、4 间注药后候诊室（3 小）、4 间显像机房（4 小）、放免室（1 小）、甲功室（1 小）、标记室（1 大）、实验室（1 大）、废物库（2 大 1 中）。使用过的放射性药物注射器、包装物、棉棒、胶带、一次性用品等物品放入放射性废物储存铅桶，定期转移至医院放射性废物室暂存，转移时封闭废物袋，标记日期。

11.2.2.3 放射性废气环境影响分析

东区放药室和注射室、西区标记室和注射室内均设有通风操作柜，放射性药物活度测定、分装和质检操作均在通风操作柜内进行；东区通气试验室设置罩型抽风机，通风操作柜和抽风机的通风系统均为各自带有通风过滤装置的独立排风，依据北京贝特莱博瑞技术检测有限公司出具的编号为 2016BJC-K0003 的验收检测报告，通风操作柜各操作口的风速均不低于 1.2m/s ，保证了通风柜内的负压工作条件。5 个排风口设置于所在建筑物屋顶。

本项目中使用量较大、较频的含 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F 放射性药物，物理性质稳定，均为液体，口服或注射环节，挥发到空气中的份额可以忽略不计； ^{131}I 、 ^{124}I 、 ^{123}I 具有一定的挥发性，在正常操作过程中，可能会有少量挥发进入大气形成气溶胶，但这 3 种放射性核素的使用频次较低（年操作量仅占 3.5%），通过高效活性炭过滤净化后，对周围环境的影响十分轻微，故本项目不予详细评价。

若操作放射性物质发生意外泼洒情况时，短时间进入空气的份额较多，经过滤器吸

附处理后，仍有可能有微量的放射性物质从排风系统排放至周围环境空气中。放药室排风中的极少量放射性物质经大气扩散后浓度会更低，且偶发排放对周围公众的辐射剂量贡献很小。

11.3 事故影响分析

11.3.1 事故工况分析

项目运营期可能出现概率较大的事故包括：

① 射线装置：PEC-CT、SPECT/CT 射线装置，在防护门未关闭的情况下进行曝光操作，可能给周围人员造成辐照影响；

② 放射性药物撒漏，导致职业人员误照射。

11.3.2 事故工况下辐射影响分析

11.3.2.1 人员误入 III 类射线装置机房

PET/CT、SPECT/CT 在关机时不会产生 X 射线，不存在辐射环境影响的事故。开机时因未及时关系防护门导致公众人员误入机房，受到 X 射线辐射影响。保守考虑，误入人员在距离射线头 1m 处被误照射，被工作人员发现后，立即请其离开，进入机房时间不会超过 1min。

根据《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013），在治疗状态下，当 X 射线管额定电压 $\leq 150\text{kV}$ 时，距 X 射线管焦点 1m 处的 X 射线源组件泄露辐射不超过 1mGy/h 。则机房内误入人员所受的 X 射线辐射剂量率最大为 0.02mSv/次 ，未超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中特殊情况下职业人员 5 个连续年的年平均剂量限值（ 20mSv ），公众 5 个连续年的年平均剂量限值（ 1mSv ），不属于辐射事故。

11.3.2.2 放射性药物洒漏事故时工作人员的受照剂量

（1）事故情景假设

工作人员在操作 ^{131}I 溶液时不慎将试剂瓶打翻或破碎，导致部分 ^{131}I 溶液沾污在手部皮肤上（工作人员未按操作规程戴手套操作）；事故发生后，工作人员迅速用试纸、纱布等擦拭去污，然后用自来水仔细清洗手部，清洗后用表面沾污仪检测确保手

部不再有放射性沾污。

(2) 剂量估算与参数选取

根据《辐射防护》(第 23 卷第 5 期, 2003 年 9 月) 中“肢端剂量计和核设施弱贯穿辐射(主要是 β 辐射) 的辐射防护监测(作者: 李景云)” 文章所述, 皮肤污染时, 皮肤剂量 H_{SK} 可由下式计算:

$$H_{sk} = A_{F,O} \cdot I_C \cdot \lambda^{-1}(1 - e^{-\lambda t}) \cdots \cdots \cdots \text{(式 11-18)}$$

式中:

H_{sk} —皮肤剂量, μSv ;

$A_{F,O}$ —污染开始时单位面积活度, Bq/cm^2 ;

I_C —局部皮肤剂量率因子, $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{cm}^2$;

λ —衰变常数, h^{-1} ;

t —污染持续时间, h ; 如果 $T_{1/2} \gg t$, 则上式可简化为

$$H_{sk} = A_{F,O} \cdot I_C \cdot t \cdots \cdots \cdots \text{(式 11-19)}$$

事故后果估算假设操作时不慎洒出的 ^{131}I 溶液有 1ml 沾污在操作者手部表面, $A_{F,O}$ 手部污染面积取 10cm^2 。假设 ^{131}I 溶液在手部皮肤表面均与分布。 ^{131}I 的 I_C 值为 $1.4\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{cm}^2$ 。

从发生事故到去污清洗完毕, 皮肤的受照时间取 1min。由于 ^{131}I 的 $T_{1/2} \gg 2\text{min}$, 故采用式 11-19 进行计算。

(3) 计算结果与后果分析

通过计算得出, 在假设事故情景下, 工作人员手部在放射性药物洒漏事故过程中受到的剂量为 $431.7\text{mSv}/\text{次}$, 低于 GB18871-2002 中对四肢(手和足) 或皮肤的年当量剂量 500mSv 的限值。根据中华人民共和国国务院令第 449 号《放射性同位素与射线装置安全与防护条例》, 不属于辐射事故。

11.3.3 事故预防措施

11.3.3.1 安全措施

针对放射性药物操作过程的洒漏事故，建议采取以下安全措施：

故工作人员在操作中应严格遵守操作规程，分装药品在操作箱内的托盘内进行，下衬滤纸。操作过程中尽量避免该类事故的发生。

若操作不慎将放射性核素泼洒到热室地面或台面，根据医院《科室工作手册》中意外事故应急处理指导流程，工作人员应穿带工作衣帽，带胶手套，迅速使用镊子夹干的吸水纸或棉花收集洒落液（注意防止污染扩散），使用药棉擦洗污染工作台面，然后放入放射性废物桶内进行安全存贮（包括被污染的容器碎片）。若手和脸等暴露部位被污染时，先用吸水纸进行擦除，再涂抹甘油进行擦拭，最后在放射性清洗池，用自来水冲洗。事故处理过程中产生的擦拭废纸、废纱布应作为放射性固体废物集中收集处理，不能直接作为医疗废物排放。

11.3.3.2 辐射安全管理

（1）加强辐射安全管理

医院成立了“放射防护管理委员会”，统一管理医院内的辐射安全防护工作，负责有关正常工作条件的保障及解决放射实践中出现的各种防护问题。

（2）制定了各辐射工作场所严格的工作制度

医院制定了各科室的工作制度，包括安全管理制度、工作人员培训制度和放射防护等规章制度。各辐射工作场所日常工作中应严格按照工作制度执行，防止辐射事故的发生。

（3）制定辐射工作场所安全操作规程

本项目各射线装置工作场所和非密封放射性物质工作场所需制定详细的安全操作规程，医护人员在日常工作中严格按照操作规程进行操作，避免因误操作发生的辐射事故。

（4）加强人员的培训，考试（核）合格、持证上岗。

（5）放射性药品实行专人专管，并建立药品的台账记录，每次出入药品均需做详细记录（包括：人员、数量、时间等），能有效避免辐射事故发生。

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

为了保证放射性同位素和射线装置的安全使用和有效管理，医院设立了放射防护管理委员会，主任委员由院长担任，副主任委员由医疗院长、纪委书记和党委副书记担任，全面负责医院的放射防护监督和管理的工作，成员为各职能部门人员组成。该机构内部职责明确，且设有专职管理人员，医院辐射安全与环境保护管理委员会成员见附件 2。

12.2 辐射安全管理规章制度

北京大学第一医院为了保障放射诊疗工作安全、有效的开展，按照国家相关法律、法规及有关主管部门的要求，制订了相应的操作规程和辐射安全防护管理规章制度，在管理文件中明确相关人员的岗位要求和工作职责。根据本项目的 PET/CT、SPECT/CT 设备等情况，核医学科相应地制定了操作规程和质量控制流程。

相关的医院管理文件包括：《放射诊疗及辐射安全管理制度总则》、《辐射事故（件）应急预案》、《核医学科（乙级非密封性放射性物质应用场所）安全防护操作规程》、《辐射防护和安全保卫制度》、《放射诊疗设备检修维护制度》、《台账管理制度（含放射源、非密封放射性物质、射线装置）》、《辐射安全培训制度》、《辐射监测方案》、《放射源和放射性废物管理规定》、《放射工作人员职业健康及放射防护知识培训》、《放射防护检测评价》等。

核医学科的主要管理文件包括：《核医学科岗位职责》、《放射性核素(源) 采购、登记、使用、核对、保管及注销制度》、《放射性成药溶液（奶液）订货及接收规程》、《放射性操作和污物处理制度》、《放射性污染紧急处理与报告制度》、《核医学科仪器设备质量保证大纲》、《放射性场所日常监测方案》、《核医学科药物标记操作规程和质量控制》、《核医学科仪器操作规程》、《核医学科患者注意事项、医疗流程与警示》、《核医学科辐射事故应急预案》、《核医学科放射性废物处理方案》等。

12.3 辐射工作人员配置

目前，医院的 5 处医疗院址内全部辐射工作人员（共计 253 人）于 2019 年 11 月通过了辐射安全和防护考核，持有合格证书。医院也利用集会、内网、宣传展板等形式对全员进行辐射安全知识教育，提高人员的辐射安全文化素养，定期组织放射工作人员和辐射安全管理人员参加辐射安全法规知识和防护新知识培训。医院现有的辐射工作人

员能够满足使用放射性同位素和射线装置工作的需要。

核医学科人员配置由现有的 22 人增加至 28 人(具体表 1-8)。医院将根据工作需要,逐步招聘和培养辐射工作人员,在通过辐射安全与防护考核后持证上岗。

12.4 辐射监测

12.4.1 个人剂量监测

(1) 个人剂量监测

从事放射工作的人员佩戴使用 TLD 个人剂量计。按每个季度一次的频度委托有资质的机构进行个人剂量检测。根据《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2016)和《放射工作人员职业健康管理辦法》(卫生部令第 55 号)要求建立放射工作人员个人剂量档案。

放射工作人员进行个人剂量监测发现监测结果异常的(每季度超出 1.25mSv/a,或者显著高于同科室其它人员),应当立即核实和调查,并将有关情况进行文字记录。

医院专职人员负责在每年 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北京市辐射安全监管系统中。

12.4.2 工作场所监测

根据《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》中的相关要求,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、环境辐射水平监测,监测数据记录存档。根据《北京市辐射工作场所辐射环境自行检测办法(试行)》要求,对射线装置和非密封放射性物质工作场所周围的辐射水平,以及非密封场所内的表面污染水平开展自行监测,检测记录归档。具体监测方案如下:

(1) 表面污染水平监测

① 监测频次:每天在放射性药物或放射源操作后做表面污染监测,应急状况随时监测。

② 监测部位:标记室台面、地面,通风橱台面,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,监测点位见表 12-1。

(2) 工作场所、环境辐射水平年度监测

① 对医院射辐射工作场所四周 X- γ 辐射剂量率进行常规监测,监测数据每年年底向审批部门上报。

② 监测频度：每年委托有资质单位进行一次年度监测。

③ 监测范围：衰变池、核医学科的四周和楼上、楼下，控制区边界外 30cm 处的剂量率水平，具体见表 12-2。

表 12-1 放射性表面污染检测点位一览表

场所名称	工作单元	监测点位置
西区 PET/CT 诊疗区域	标记室、质控室	通风橱外表面、工作台台面、活度计键盘、 废物桶外、水池、地面、排风口
	注射室	注射台台面、注射台铅玻璃前、注射台铅玻璃后、 注射台工作人员操作位、水池、地面、药品暂存台、废物桶外
	PET/CT 检查室	检查床、脚踏板、废物桶外、地面
	控制室	观察窗、工作人员操作位
	注射后等候室	门外（关门）、候诊椅、水池、地面、卫生间、垃圾桶
东区 SPECT 诊疗区域	放药室	通风橱外表面、工作台台面、活度计键盘、 废物桶外表面、水池、地面、排风口
	注射室	注射台台面、注射台铅玻璃前、注射台铅玻璃后、 注射台工作人员操作位、药品暂存台、水池、地面、 废物桶外表面
	肺通气室	肺通气仪器外表面、集气罩内外表面、座椅、废物桶、地面
	运动室	运动车踏板、运动车扶手、废物桶、地面
	SPECT/CT （SPECT）检查室	检查床、脚踏板、废物桶外、地面
	控制室	观察窗、工作人员操作位
	等候室	门外（关门）、候诊椅、垃圾桶、水池、地面、卫生间

表 12-2 工作场所外照射水平检测点位一览表

场所	工作单元	监测点位置
西区 PET/CT 诊疗区域	场所	控制区各出入口
	标记室	北墙外、通风橱外、楼上地板、楼下楼顶
	注射室	室中央、注射台铅玻璃前、注射台铅玻璃后 注射台工作人员操作位、放射性废物铅桶外
	检查室	病人通行门（门体、门外、左缝、右缝、下缝） 西墙外、医生通行门外（关门）、楼上地面（F1）、楼下楼顶 （B2）
	控制室	观察窗、工作人员操作位
	注射后候诊室、VIP 等候 室	门（关门、左缝、右缝）、东墙外、南墙外

东区 SPECT 诊疗区域	场所	控制区各出入口
	放药室	室中央、水池、通风橱外、楼上地板、楼下楼顶、北墙外
	注射室 肺通气室 运动实验室	室中央、注射台铅玻璃前、注射台铅玻璃后、 注射台工作人员操作位、放射性废物铅桶外、 楼上地板、楼下楼顶、北墙外
	注射后等候室 留观室	门（关门、左缝、右缝）、楼上地板、楼下楼顶、南墙外
	检查室	医生通行门外（关门）、病人通行门（门体、门外、左缝、右缝、下缝）、楼上地面（B1）、楼下楼顶（B3）
	放射性废物库	东墙外、北墙外、楼上地板、楼下楼顶

12.4.3 环境监测

根据原环保部 18 令的要求，每年委托有资质单位对辐射工作场所的周围环境，进行 1 次辐射水平监测，监测数据记录存档。监测点位如图 8-1。

12.5 辐射监测仪器

本项目配备 1 台便携式剂量率仪和 1 台表面污染监测仪。另外，配备铅罐、注射铅盒等防护用具，以及铅衣、铅手套等工作人员防护用品，详见表 12-3。

表 12-3 本项目拟配备的防护用品

序号	设备名称	生产厂家及型号	台数/件数	设备状况
1	便携式 X- γ 剂量率仪	待定	1	新增
2	表面污染监测仪	USA International Medcom Inspector ALERT	3	2 台在用，1 台新增
3	大领铅橡胶颈套	11	SPECT 机房 3 套，PET 机房 2 套， 注射室各 3 套，标记室 3 套	
4	铅橡胶防护衣	11		
5	铅眼镜	23		
6	注射铅针套	7	注射室 4 个，机房 3 个	
7	运输铅罐	2	标记室 2 个	
8	铅屏风	2	SPECT 机房各 1 个，留观室 1 个	

12.6 项目竣工环境保护验收内容建议

本项目完成后的竣工环境保护验收内容具体见表 12-4。

表 12-4 本项目竣工环境保护验收内容

验收内容	验收要求
剂量限值 和剂量约束值	根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定和环评预测结果，本项目对公众和核医学科工作人员的剂量约束值分别执行 0.1mSv/a 和 5mSv/a
剂量率控制水平	本项目核医学科控制区边界（屏蔽体外表面 0.3m、楼上 30cm、楼下 150cm）处的附加剂量率应不大于 2.5μSv/h
电力辐射标志 和中文警示	核医学科控制区出入口、机房防护门门口设置放射性警告标志和中文警示说明，设置工作状态指示灯
场所布局和屏蔽设计	核医学科场所墙体、顶棚、地板和防护门屏蔽能力满足辐射防护的要求
辐射安全与防护措施	核医学科满足环评表 10 中提出的各项防护措施
规章制度	建立健全包括放射性同位素与射线装置在内的辐射安全管理制度，并有效贯彻落实
辐射监测仪器和 个人防护用品	核医学科配备 1 台便携式 X-γ 剂量率仪和 3 台表面污染监测仪，辐射工作人员配备个人剂量计
人员培训	北京大学第一医院现有的 253 名辐射工作人员均经过了生态环境部门认可的培训单位组织的辐射安全与防护培训，并取得合格证书。本项目辐射工作人员配备计划见表 1-8，辐射工作人员将在通过辐射安全与防护考核后持证上岗
应急预案	本项目核医学科已在许可使用的非密封工作场所范围内，不涉及增加核技术应用类别，医院现有的《辐射事故应急预案》能够满足要求

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

(1) 核技术应用现状：北京大学第一医院现持有《辐射安全许可证》（京环辐证[B0044]），有效期至 2022 年 8 月 6 日，许可使用 IV 类、V 类放射源，使用 II 类、III 类射线装置，乙级非密封放射性物质工作场所，丙级非密封放射性物质工作场所。

(2) 本项目地理位置：北京大学第一医院核医学科位于急诊楼一层北侧（现为 G 层）急诊楼北侧东挨医院总务处楼，南为急诊楼中楼，西邻西什库大街，北为门诊楼。

(3) 本项目周围辐射环境现状：评价区环境 γ 辐射剂量水平与北京市的环境 γ 辐射剂量率水平基本一致，属于正常本底水平；

(4) 主要建设内容：更新一台 PET/CT、一台 SPECT 设备，新增 ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器，新增使用放射性同位素 ^{68}Ga ，增加放射性同位素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{123}I 、 ^{177}Lu 、 ^{223}Ra 、 ^{90}Y 的操作量。

(5) 辐射屏蔽能力分析：医院在设置辐射工作场所时已充分考虑了设备性能和运行特点、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符合辐射工作场所使用和辐射防护安全的要求。

(6) 本项目运行后，核医学诊疗场所的控制区边界外（四周）的附加剂量率水平低于 $0.368 \mu\text{Sv/h}$ （PET 机房防护门），对上层计算点的附加剂量率低于 $0.23 \mu\text{Sv/h}$ （PET 候诊室上层），对下层计算点的附加剂量率低于 $2.19 \mu\text{Sv/h}$ （SPECT 候诊室下层-管线间），满足辐射工作场所控制区边界最高剂量率不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的要求。

所致工作人员和公众的辐射剂量分别满足工作人员剂量约束值 5mSv/a 和公众受照剂量约束值 0.1mSv/a 的要求。

(7) 放射性“三废”排放：本项目运行后，预计放射性废液年总排放量为 113.8m^3 ，配置的衰变池系统可满足需要；年产生放射性固体废物约 1216.5kg ，产生的放射性固体废物暂存于废物间专用铅制废物桶内，待满足暂存时间、经检测未发现异常且与监测数据达标后，对其进行清洁解控并按普通医疗垃圾处理；正常情况下，本项目放射性核素操作不会对场所造成空气污染，其对周围环境和公众的影响十分轻微。

(8) 辐射安全防护管理：医院设有辐射防护管理委员会，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、人员培训计划、健康体检制度、设备检修维护制度和辐射事故应急预案等。医院现有的辐射工作人员通过了辐射安全与防护培训，将来新增的辐射工作人员通过辐射安全与防护培训后持证上岗。

(9) 与原环保部《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》提出的具体要求进行对照评估，环评报告中描述的辐射安全和防护措施如果得到落实，能够满足运行的要求

综上所述，北京大学第一医院急诊楼核医学增加放射性核素种类及数量、设备更新项目在满足本报告表提出的各项辐射防护措施的前提下，从辐射环境保护角度考虑，该建设项目是可行的。

13.2 承诺

为了保护环境，保障人员健康，北京大学第一医院承诺：

(1) 在项目运行过程中，严格依照操作规程操作设备，不弄虚作假、违规操作。

(2) 不断加强全院的辐射安全(包括射线装置和同位素)管理工作，进一步完善辐射安全管理规章制度，落实辐射安全管理责任。

(3) 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。

(4) 加强辐射工作人员管理，对新增和需再培训的辐射工作人员进行辐射防护培训，培训合格后，持证上岗。

(5) 定期对核医学科各排气筒的放射性废气进行监测，根据监测结果维护、更换过滤系统（活性炭过滤系统使用周期最长不超过一年）。

(6) 更新 PET/CT 和 SPECT 装置前，应按照 GBZ1220-2020 中 6.2.7 条相关要求，先对现有 PET/CT 和 SPECT 装置进行表面污染检测，以杜绝超过规定的表面污染控制水平的装置被带出控制区。

(7) 及时办理辐射安全许可证变更手续。项目竣工后按照生态环境主管部门规定的标准和程序，对配套建设的环境保护设施进行自行验收，并接受生态环境主管部门的监督检查。