

核技术利用建设项目

东院区新建核医学科项目 环境影响报告表

首都医科大学附属北京朝阳医院

2020年4月

环境保护部监制

核技术利用项目

东院区新建核医学科项目 环境影响报告表

建设单位名称：首都医科大学附属北京朝阳医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：北京朝阳区工人体育场南路 8 号

邮政编码：100020

联系人：邹郁松

电子邮箱：418450457@qq.com

联系电话：85231210-803

目 录

表 1	项目概况	1
表 2	放射源	15
表 3	非密封放射性物质	16
表 4	射线装置	17
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）	18
表 6	评价依据	19
表 7	保护目标与评价标准	21
表 8	环境质量和辐射现状	28
表 9	项目工程分析与源项	30
表 10	辐射安全与防护	37
表 11	环境影响分析	55
表 12	辐射安全管理	88
表 13	结论与建议	95
表 14	审 批	98
附图 1	北京朝阳医院地理位置示意图	99
附图 2	北京朝阳医院东院平面布局图	100
附图 3	东院拟建核医学科平面图	101
附图 4	拟建核医学科楼上一层毗邻关系图	102
附图 5	拟建核医学科楼下毗邻关系图	103
附图 6	拟建核医学科衰变池平剖面图	104
附件 1	辐射安全许可证	105
附件 2	个人剂量监测报告	114
附件 3	放射性废物管理台账	122
附件 4	东院区核医学科布局方案专家咨询会议纪要	123
附件 5	产权证及建设工程规划许可证	124

表 1 项目概况

建设项目名称		东院区新建核医学科			
建设单位		首都医科大学附属北京朝阳医院			
法人代表	张金保	联系人	邹郁松	联系电话	85231210-803
注册地址		北京朝阳区工人体育场南路 8 号			
项目建设地点		北京市朝阳区定福庄			
立项审批部门		无	批准文号	无	
建设项目总投资(万元)	15000	项目环保投资(万元)	1000	投资比例（环保投资/总投资）	6.7%
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input 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 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

首都医科大学附属北京朝阳医院（以下简称北京朝阳医院）建于 1958 年，是北京市医院管理局直属，集医疗、教学、科研、预防为一体的三级甲等医院，首都医科大学第三临床医学院，北京市医疗保险 A 类定点医疗机构。2005 年，医院响应北京市委和市政府“名院办分院”的号召，在原北京市卫生局的支持下，将原中国铁道建筑总公司总医院正式接收，建立了医院的京西院区（以下简称“西院”）。西院是石景山区唯一一所三级甲等综合医院，它的融入，有效整合了医疗资源，实现了优势互补，北京朝阳医院由此形成了一院两址、东西呼应、资源共享的格局；2013 年 11 月，朝阳区政府正式批复同意北京朝阳医院在常营地区定福庄规划医疗用地内新建院区（即“东院”）。东院建成后，北京朝

阳医院将形成本部、西院和东院三大院区。医院目前本部和西院总占地面积 10.28 万平米（本部 5.08 万平米；西院 5.2 万平米），建筑面积 21 万平米（本部 15 万平米；西院 6 万平米）。床位 1880 张（本部 1380 张；西院 500 张）。职工 4300 余人。年门急诊量约 390 万余人次，年收治住院病人 8.6 万余人次，手术约 3.4 万余例次。医院拥有先进的大型医用设备，包括 1.5T 和 3.0T 最新款磁共振成像系统、PET-CT、超高端双源 CT、全数字直线加速器、数字减影血管造影 X 线机、数字化彩色超声波诊断仪、平板数字胃肠造影机等国际一流的医疗设备。拥有全自动生化流水线等国际一流检验检测设备 50 余台。

北京朝阳医院为已取得《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 核技术利用现状情况

北京朝阳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[E0149]，有效期至 2023 年 8 月 16 日，见附件 1），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。具体包括使用 2 台医用电子直线加速器、6 台 DSA、1 台 PET-CT、1 台 SPECT-CT 机、62 台 III 类射线装置、1 个乙级非密封放射性物质工作场所、1 个丙级非密封放射性物质工作场所和 1 枚 V 类放射源。

北京朝阳医院已许可的射线装置情况见表 1-1。

表 1-1 北京朝阳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	移动式 C 型臂 X 线机	III	10	
2	小动物活体成像仪	III	1	
3	X 线泌尿检查床	III	1	
4	医用 X 射线 CT 机	III	10	
5	移动式 X 线机	III	11	
6	DSA	II	6	
7	SPECT-CT	III	1	
8	体外碎石机	III	2	

9	医用电子直线加速器	III	2	
10	CT 模拟定位机	III	1	
11	PET-CT 机	III	1	
12	小动物 CT	III	1	
13	医用 DRX 线机	III	13	
14	数字胃肠机	III	3	
15	乳腺 X 线机	III	2	
16	牙科 X 射线机	III	3	
17	X 线骨密度仪	III	2	
	合计		70	

北京朝阳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 北京朝阳医院已许可非密封放射性同位素使用情况

工作场所名称	等级 (类别)	核素名称	日等效最大 操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	备注
本部核医学科	乙级	Ra-223	7.4E+7	2.25E+8	
		Tc-99m	2.22E+8	5.55E+12	
		I-131	7.4E+7	1.5E+10	
		Tl-201	7.4E+6	1.5E+10	
		P-32	1.85E+7	1.85E+9	
		F-18	2.3E+7	2.2E+12	
本部病房手术 室 2	乙级	I-125 粒子源	1.78E+8	1.33E+11	

北京朝阳医院已许可的放射源使用情况见表 1-3。

表 1-3 北京朝阳医院已许可的放射源使用情况

序号	核素	类别	活度 (Bq)	(枚数)	备注
1	Ge-68	V类	5.55E+7	1	

1.2.2 近几年履行环保审批情况

北京朝阳医院近几年共有 4 个环评报告表和 13 个登记表项目，其中除了 1 个登记表正在建设中外，其它 16 个项目都已办理了辐射安全许可证增项或者竣工验收，具体落实情况见表 1-4。

表 1-4 建设项目竣工验收落实情况

序号	环评环复文号/备案号	项目名称	类别	竣工验收文号	备注
1	京环审 [2014]27 号	本部新增 1 台 DSA，更新 1 台 SPECT/CT	报告表	京环验 [2015]89 号	已验收
2	京环审 [2014]45 号	本部新增 Ra-223	报告表	京环验 [2015]235 号	已验收
3	京环审 [2014]169 号	本部新增 I-125	报告表	京环验 [2015]234 号	已验收
4	京环审 [2014]82 号	西区新增数字胃肠机	登记表	京环验 [2015]156 号	已验收
5	京环审 [2014]260 号	本部新增实验用小动物 CT、小动物活体成像仪各 1 台	登记表	京环验 [2014]218 号	已验收
6	京环审 [2014]435 号	本部新增 1 台 CT	登记表	京环验 [2015]209 号	已验收
7	京环审 [2015]253 号	本部新增 2 台 C 型臂	登记表	京环验 [2016]74 号	已验收
8	京环审 [2015]191 号	西区新增移动 X 线机、X 线机各 1 台	登记表	京环验 [2016]90 号	已验收
9	京环审 [2015]327 号	西区新增 1 台 DSA	报告表	京环验 [2017]30 号	已验收
10	京环审 [2016]79 号	西区移机 1 台碎石机，新增 1 台骨密度机	登记表	京环验 [2017]170 号	已验收
11	京环审 [2016]202 号	西区新增 1 台 X 线机	登记表	京环验 [2017]169 号	已验收
12	2017110 10700000267	西区新增 1 台牙科全景机	登记表	已登记证	/
13	2017110 10700000268	西区新增 1 台移动 G 臂机	登记表	已登记证	/
14	2017110 10700000265	西区移用 1 台牙片机，型号 Prostyle Intra	登记表	已登记证	/
15	2017110 10700000266	西区新增 1 台牙科 CT 机，型号待定	登记表	建设中	/
16	2017110 10500004446	本部骨科新增一台 C 型臂，型号 BV Endura	登记表	已登记证	/
17	京环审 [2017]156 号	本部新增一台 DSA	报告表	已登记证	已办理自行验收

1.2.3 辐射安全管理现状

1.2.3.1 辐射管理机构

为了加强对辐射安全和防护管理工作，促进射线装置与同位素合法的使用，北京朝阳医院专门成立了辐射防护领导小组，由理事长张金保担任组长，童朝晖副院长担任副组长，院办、放射科、核医学科、放疗科、医务处、总务处、基建处、物资科等各部门的相关人员担任组员，并指定医务处邹郁松专职负责辐射安全管理工作，辐射防护领导小组成员名单见表 1-5。

表 1-5 北京朝阳医院辐射防护领导小组成员名单

职位	姓名	职务或职称	专业	工作部门	专/兼职
组长	张金保	理事长	管理	院办	兼职
副组长	童朝晖	副院长	管理	院办	兼职
组员	李晓北	副院长	管理	院办	兼职
	黄爱萍	副院长	管理	西区院办	兼职
	蒋涛	主任	放射科	放射科	兼职
	杨新春	主任	心内科	心脏中心	兼职
	王铁	主任	核医学	核医学科	兼职
	郝建宇	主任	消化内科	消化内科	兼职
	王左敏	主任	口腔科	口腔科	兼职
	张望德	主任	血管外科	血管外科	兼职
	海涌	主任	骨科	骨科	兼职
	张天	主任	放疗科	放疗科	兼职
	张小东	主任	泌尿外科	泌尿外科	兼职
	郑军	处长	管理	基建处	兼职
	吴满童	处长	管理	保卫处	兼职
	孙永权	主任	神经外科	神经介入科	兼职
	徐向天	主任	管理	物资科	兼职
施云建	副处长	管理	总务处	兼职	

	赵奇煌	主任	神经外科	神经外科	兼职
	邹郁松	干事	管理	医务处	专职

1.2.3.2 规章制度建设及落实

北京朝阳医院制定了多项辐射安全管理制度，包括放射（辐射）安全管理小组及其职责、放射性同位素与射线装置操作规程、辐射防护和安全保卫制度、辐射工作人员培训计划、辐射工作场所安全和防护管理制度、设备检修维护制度、辐射工作人员个人剂量监测制度、工作场所和环境辐射水平监测方案、台帐管理制度、放射性废物管理制度、辐射安全事故应急预案等，并严格按照规章制度执行。

1.2.3.3 工作人员培训

单位制定有辐射工作人员培训计划。目前，医院从事辐射相关工作人员（含西院区）约有 292 人，均参加了辐射安全和防护培训，并通过了考核，都取得了培训证书。

1.2.3.4 个人剂量监测

北京朝阳医院现有辐射工作人员的个人剂量监测工作已委托北京蓝道尔辐射监测技术有限公司承担，监测频度为每 3 个月检测一次。医院 2018~2019 年度个人剂量检测结果表明，本院区辐射工作人员该年度个人剂量最大为 0.88 mSv，未超过医院年剂量管理目标值（5mSv），满足辐射安全管理要求。

1.2.3.5 工作场所及辐射环境监测

北京朝阳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。

工作场所辐射水平监测：医院已建立辐射环境医院每年委托有 CMA 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，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，通过查验现有辐射工作场所的检测报告，都满足相关标准要求。

表面污染监测：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台面、通风橱台面、注射车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，监测其工作服、体表的表面污染水平。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。

医院现有的监测方案基本能够满足现有场所使用要求，待东区核医学科场所的辐射水平监测工作，将纳入医院辐射工作场所的监测范围，一并按照现有的频度开展。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	使用科室
1	α、β 表面污染监测仪	PD-92	正常使用	1	本部核医学科 1 台
2	碘表面污染监测仪	ST-8900	正常使用	1	本部核医学科 1 台
3	污染检测仪	TBM-3S	正常使用	2	本部核医学科和手术室各 1 台
4	射线报警仪	SB-1	正常使用	1	本部放疗科 1 台
5	电离室巡测仪	FLUKE 451B	正常使用	3	本部放射科、心导管室、京西院区各 1 台
6	区域辐射剂量报警仪系统	NE600	正常使用	1	本部放疗科 1 台
7	智能化巡测仪	JB4000A	正常使用	1	本部放疗科 1 台
8	个人防护剂量仪	FJ-3200	正常使用	3	本部放疗科 3 台
9	电离室巡测仪	FLUKE 451P	正常使用	1	放疗科 1 台
10	固定报警仪	SB-1	正常使用	1	放疗科 1 台
11	个人剂量报警仪	FJ2000	正常使用	2	放疗科 2 台

1.2.3.6 辐射事故应急管理

北京朝阳医院依据《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《北京朝阳医院辐射事故（件）应急预案》，以保证本单位一旦发生辐射意外

事件时，即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医院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，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预案，采取必要防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。医院将每年至少组织一次应急演练。2019 年 11 月医院辐射安全领导小组组织核医学科、放疗科等相关科室人员参加了每年一度的辐射事件应急预案演练。

1.2.3.7 放射性废物的管理情况

北京朝阳医院按照《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》对放射性废物进行管理。放射性固体废物分类收集于专用的废物库内，暂存时间分别超过 30 天、10 倍最长半衰期，对表面污染和辐射剂量率水平自行监测无异常后作为医疗废物处置。医院最近一次于 2019 年 9 月 6 日按照要求对废物库内暂存时间和检测结果满足要求的固体废物（为 Tc-99m、F-18 两种核素）进行了清洁解控，并进行了详细记录，放射性废物处置管理台账见附件 3。核医学现使用的显像都是 A 类核素，产生的放射性废水都按照《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》管理要求，由推流式衰变池解控排放。

1.2.3.8 其他情况

2019 年度，北京朝阳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放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行了年度评估，编写了年度评估报告。

1.3 本项目情况

1.3.1 本项目背景

(1) 东院区建设背景及功能定位

北京朝阳医院总体发展规划以“疏解资源、优化布局、提升水平”为目标，重新对本部、西院区和东院区三院区的功能进行统筹考虑、科学定位，并制定本部疏解方案、东院建设方案，旨在通过规划的实施，既能加快推进优质医疗资源从中心城区向薄弱地区转移，为疏解中心城区非首都功能起到引领及示范

带头作用；又可优化首都卫生资源配置和空间布局，带动区域整体医疗水平的提升，推进医疗服务公平性和可及性的实现，有效缓解“看病难、住院难”问题；同时采用差异化发展策略，促进北京朝阳医院全面、健康可持续发展。

北京朝阳医院各院区具体功能定位如下所述：

本部：本部地处核心城区，建设用地狭小，未来将主要面向疑难重症诊疗、高端医疗技术以及国际化医疗，主要以解决疑难重症、发展尖端医疗技术、提供国际医疗服务、促进国际学术交流、打造国家级医学中心为目标，在此基础上，结合具体的临床科室设置，承担三级甲等综合医院和首都医科大学第三临床医学院所应有的科研和教学任务，以此不断强化学科建设、传承优良的医疗技术和理念、持续提高医院的整体学科影响力。同时，由于本部地处北京 CBD 核心区域，本部将继续承担面向本地区常住居民和特殊群体的医疗服务需求，继续为其提供了便捷、高效的医疗服务。

西院：西院地处北京市西郊，依据西院所在地区的实际情况，加之与本部距离较远，其功能主要承载本部医疗工作的异地延伸，体现出科室设置齐全、学科综合性强、可提供全方位医疗服务的特点，服务于京城西部百姓。

东院：东院地处北京市东部，为本部院区在医疗、科研、教学、管理等方面功能的直接延伸，其功能既可解决东部地区百姓看病难的问题，并为通州副中心地区提供高质量医疗服务；又能承担疏解北京非首都功能的任务，缓解本部周边交通拥堵和生态环境容量不足等凸显问题。学科设置突出体现与本部互补的特征，立足综合、突出专科，使北京朝阳医院的优质医疗资源得到更合理的分布和配置，同时打造区域性急诊抢救中心，重点提高应对突发公共卫生事件的能力。

（2）东院区新建核医学科的必要性和意义

东院区本次规划设置了核医学科及 3 张核医学治疗床位，对提升北京朝阳医院东院区医技水平有重大意义。

北京朝阳医院是北京市卫健委所属的大型综合性三级甲等医院，也是首都医科大学的附属医院，承担着医、教、研、防等重任。医院拥有国家呼吸疾病重点学科，在呼吸、心血管、肿瘤等多个学科具有很强的实力。临床上，核医学的主要应用体现在：一是恶性肿瘤的诊断、鉴别诊断、分期、治疗评价和预

后评估，尤其在肺癌、淋巴瘤、消化道肿瘤等方面的价值明确；二是神经系统疾病的诊断和评估，包括恶性肿瘤、退行性疾病等；三是心血管系统，包括心肌缺血的诊断、存活心肌评价、动脉斑块显像等。核医学显像已经成为临床工作不可或缺的重要工具。核医学不仅是一门诊断学科，放射性核素对多种疾病还有治疗作用，包括碘-131 治疗甲亢和甲状腺癌、锶-89 治疗骨转移瘤、碘-125 粒子治疗实体肿瘤等。核医学在上述疾病诊疗中都有很好的应用价值和潜力。因此，核医学的发展和壮大契合了医院整体发展的需求，助力于医院医疗水平的快速提升。

北京朝阳医院是国内较早建设核医学科的医院。目前是中华医学会核医学分会的副主委单位、北京核医学分会主委单位和首都医科大学核医学系主任单位。2010 年在北京市卫生系统率先引进安装了 PET/CT，经过多年的实践摸索，积累了丰富的工作经验。近几年，核医学科在医疗、科研、教学等方面取得了长足发展。但是，目前核医学科工作空间有限（不到 400 平方米），严重制约了先进设备的引进、先进技术的应用和治疗病房的开设。另外，目前北京需要进行核素治疗患者的数量呈上升趋势。北京朝阳医院在开展多年甲亢门诊治疗的基础上，拟开展甲状腺癌等疾病的住院治疗。在东院建设核医学治疗病房可从源头上按照国家相关标准、规范进行规划设计和建设，保障治疗病房符合法规和标准要求。

本项目核医学科将按照医院整体发展规划建设。本部核医学侧重于 PET/CT 显像、科学研究和教学；东院则侧重于诊断显像和核医学治疗。上述设置能够更好地服务于医院的临床和科研需要，也有利于核医学的协调发展。

1.3.2 本项目内容

北京朝阳医院拟在朝阳区常营实施北京朝阳医院东院建设工程，东院包括医疗综合楼、锅炉房、污水处理站、液氧站等建筑，本项目是指拟建于医疗综合楼地下一层西北角的核医学科。拟建核医学科包括核医学科门诊和病房两个辐射工作场所以及医护办公、会议室、读片室等非放射性工作区域。辐射工作场所具体如下：

（1）新建一处非密封放射性物质工作场所（核医学科门诊），功能设置包括甲状腺功能扫描室、标记室、高活室、肺通气室、运动负荷室、注射后候诊

室、PET/CT 室、SPECT/CT 室、废物间和源库等工作场所，拟新增使用 1 台 PET/CT 机、1 台 SPECT/CT 机，使用 F-18、Tc-99m、I-131、Tl-201、Ga-67 等核素用于核医学诊断，使用 I-131 和 Sr-89 开展门诊治疗。

本项目配套使用的 PET/CT 和 SPECT 型号待定，涉及的 III 类射线装置及配套的校准源另外单独办理备案，方案设计时已考虑 III 类射线装置的防护和机房面积等要求，源库还将严格落实公安部门关于《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》。

(2) 新建一处非密封放射性物质工作场所（核医学科病房），包括服碘间、废物间和 3 间带独立卫生间的病房，新增使用 I-131 核素用于甲癌住院治疗。

为了更好的满足环保、卫生相关标准要求，北京朝阳医院于 2019 年 12 月 10 日召开了东院区核医学科场所布局方案专家咨询会，参会专家对废液衰变池设计、布局方案、机房屏蔽、病房通风设计等方面提出了建议（见附件 4），北京朝阳医院会后根据专家咨询会意见对核医学科防护设计方案做了修改完善。

1.3.3 核素使用量及场所分级

核医学科启用后，PET 检查使用 F-18 药物的用量约 370MBq/人，预计每个检查日最多实施 PET 检查 20 人次，每周工作 5 天；SPECT 显像检查 Tc-99m 药物的用量约 925MBq/人，每个检查日最多实施 SPECT 检查 30 人次，每周工作 5 天；Tl-201、Ga-67 药物的用量约 185MBq/人，每个检查日每种核素最多实施 SPECT 检查 5 人次，每周工作 2 天；I-131 甲状腺摄碘功能测定约 0.185 MBq/人，每个检查日最多实施 4 人次，每周工作 5 天；用于治疗甲亢的 I-131 使用量最多为 4 名病人/天，每周 2 天，370MBq/人；Sr-89 使用量最多为 5 名病人/天，每周 2 天，148MBq/人。甲癌病房最多收治 3 人，平均 3.7GBq/病人，一周 2 批次，全年甲癌病人数量约 300 例。本项目使用的非密封放射性同位素具体情况见表 1-7。

表 1-7 本项目使用非密封放射性同位素明细

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)	年用量 (Bq)	操作方式
核医学科门诊	F-18	3.7E+8	20	250	7.4E+9	1.85E+12	很简单操作
	Tc-99m	9.25E+8	30	250	2.78E+10	6.95E+12	很简单操作

	Tl-201	1.85E+8	5	100	9.25E+8	9.25E+10	很简单操作
	Ga-67	1.85E+8	5	100	9.25E+8	9.25E+10	很简单操作
	I-131 (甲功)	1.85E+5	4	250	7.4E+5	1.85E+8	简单操作
	I-131 (甲亢)	3.7E+8	4	100	1.48E+9	1.48E+11	简单操作
	Sr-89	1.48E+8	5	100	7.40E+8	7.40E+10	很简单操作
核医学科病房	I-131	3.7E+9	3	300 人/年	1.11E+10	1.11E+12	简单操作

根据 GB18871-2002 以及《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）规定，对于环办辐射函[2016]430 号文件中没列出的核素，操作方式按类似的核素参考该文件取值，核算后的各种核素的日等效最大操作量如表 1-8 所示，核医学门诊和病房等两处辐射工作场所日等效操作量均小于乙级非密封放射性物质工作场所的上限（乙级上限 $4 \times 10^9 \text{Bq}$ ），属于乙级非密封放射性物质工作场所。

表 1-8 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	操作方式修正因子	日等效最大操作量 (Bq)	场所等级
核医学科门诊	F-18	7.4E+9	0.01	10	7.4E+6	乙级 (日等效最大操作量为 1.9E+8Bq)
	Tc-99m	2.78E+10	0.01	10	2.78E+7	
	Tl-201	9.25E+8	0.01	10	9.25E+5	
	Ga-67	9.25E+8	0.01	10	9.25E+5	
	I-131 (甲功)	7.4E+5	0.1	1	7.4E+4	
	I-131 (甲亢)	1.48E+9	0.1	1	1.48E+8	
	Sr-89	7.40E+8	0.1	10	7.40E+6	
核医学科病房	I-131	1.11E+10	0.1	1	1.11E+9	乙级 (日等效最大操作量为 1.11E+9Bq)

本项目属于新增乙级非密封放射性物质工作场所，根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《建设项目环境影响评价分类管理名录》，应该

编制环境影响报告表，报生态环境主管部门审批。

根据生态环境部《中华人民共和国环境影响评价法》、《建设项目环境影响报告表（表）编制监督管理办法》要求，评价单位评价人员在现场踏勘、监测、收集资料的基础上，对该项目建设和运行过程中的对环境的电离辐射影响进行了分析评价，并编制了环境影响报告表。评价重点是核医学科场所运行过程中产生的 γ 射线，放射性“三废”对操作人员、周围公众和环境的影响。

1.3.4 开展本项目的技术能力

（1）辐射工作人员配备

医院本部核医学科现有的 12 名辐射工作人员，其中医师 7 名，技师 3 名，护士 2 名。根据《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》的要求，北京朝阳医院东院区核医学科的辐射工作人员配置计划见表 1-9 所示。

表 1-9 核医学工作人员要求及配置计划

序号	相关要求	本项目人员配置计划
1	单台 PET/CT 或 PET 设备至少具有医师 2 名、技师 2 名、物理师 1 名、护士 1 名。	拟配置相应资质的医师 5 名，技师 4 名，护士 4 名，物理师 1 名，化学师 1 名。

为使本项目顺利运行，本项目新建核医学科拟新增配置共计 15 名辐射工作人员，工作人员和分工情况如下表 1-10 所示。

表 1-10 新建核医学科辐射工作人员分工情况

类别	数量	拟从事具体工作
中级以上医师（包括医学影像学专业技术人员）	5	PET 检查对象的筛选和确认，PET 和 SPECT 诊断报告编写。
技师	4	PET/CT 和 SPECT/CT 设备操作、受检者摆位。
护士	4	放射性药物交接、分装和注射，放射性废物管理、表面污染监测等。
物理师	1	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	1	负责 PET 和 SPECT 药物的分析、质控与药理分析等

（2）检测仪器配备情况

针对新建核医学科项目，拟新配 1 台辐射剂量巡测仪和 1 台表面污染监测仪，在服碘室、病房内、病房出口和 68 号集水坑拟配备固定剂量报警仪，能够满足核医学科常规的检测要求。

1.3.5 项目选址与周围环境

北京朝阳医院东院区位于朝阳区常营定福庄，院区东侧为辛庄路，南侧为常营南路，西侧为双桥东路，北侧为常营中街，见图1-1所示。新建核医学科位于医疗综合楼的地下一层，整体位于院区中西部位置，距离院区边界及周围环境敏感点较远，评价范围内无学校、居民楼、养老院等敏感目标，无商场和超市等人员密集场所。

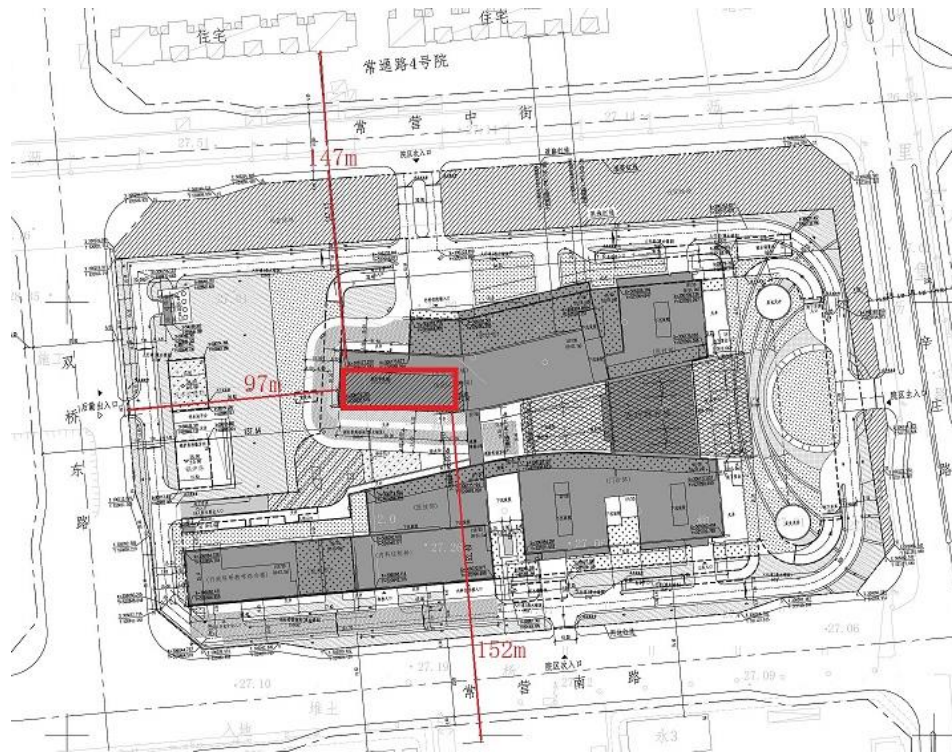


图1-1 本项目位置及周围环境

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

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

表3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	F-18	液态针剂; 半衰期109.8min; 低毒	使用	7.4E+9	7.4E+6	1.85E+12	核医学诊断	很简单操作	核医学科门诊	核医学科高活室通风橱内
2	Tc-99m	液态针剂; 半衰期6.02h; 低毒	使用	2.78E+10	2.78E+7	6.95E+12	核医学诊断	很简单操作	核医学科门诊	核医学科高活室通风橱内
3	Tl-201	液态针剂; 半衰期73.06h; 低毒	使用	9.25E+8	9.25E+5	9.25E+10	核医学诊断	很简单操作	核医学科门诊	核医学科高活室通风橱内
4	Ga-67	液态针剂; 半衰期78.26h; 低毒	使用	9.25E+8	9.25E+5	9.25E+10	核医学诊断	很简单操作	核医学科门诊	核医学科高活室通风橱内
5	I-131	胶囊; 半衰期8.04d; 中毒	使用	7.4E+5	7.4E+4	1.85E+8	核医学诊断	简单操作	核医学科门诊	核医学科高活室通风橱内
6	I-131	液态针剂; 半衰期8.04d; 中毒	使用	1.48E+9	1.48E+8	1.48E+11	核医学治疗	简单操作	核医学科门诊	核医学科高活室通风橱内
7	Sr-89	液态针剂; 半衰期50.5d; 中毒	使用	7.40E+8	7.40E+6	7.40E+10	核医学治疗	很简单操作	核医学科门诊	核医学科高活室通风橱内
8	I-131	液态针剂; 半衰期8.04d; 中毒	使用	1.11E+10	1.11E+9	1.11E+12	核医学治疗	简单操作	核医学科病房	核医学科病房服碘间通风橱内

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
无										

(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

(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	
无													

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
核医学门诊洗漆水、病人排泄物	液态	F-18、Tc-99m、Tl-201、Ga-67、I-131 (B类)			84m ³	总β<10 Bq/L	54m ³ 衰变池暂存	暂存时间超过10倍最长半衰期后,委托有资质的检测机构对拟排放废水中最长半衰期核素的放射性活度浓度进行检测,活度浓度与单次排放总活度值均满足GB18871-2002附录A表A1的规定后,先排入医院污水处理池处理后排入市政污水管网,严格记录废水处理台帐。
核医学科病房废水	液态	I-131 (B类)			120m ³	同上	135m ³ 衰变池暂存	暂存时间超过180天后,委托有资质的检测机构对I-131的放射性活度浓度进行检测,活度浓度与单次排放总活度值均满足GB18871-2002附录A表A1的规定后,先排入医院污水处理池处理后排入市政污水管网,严格记录废水处理台帐。
手套、纱布等其他固态物质、一次性注射器	固态	F-18和 Tc-99m (A类)			705kg	<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,符合清洁解控要求后作为医疗废物处置。
		Tl-201、Ga-67、I-131 (B类)						暂存时间超过10倍最长半衰期且不少于30天(其中I-131核素治疗病房产生废物至少暂存180天)后,经自行检测,符合清洁解控要求后作为医疗废物处置。
高室、碘间通风橱排气	气态	微量 F-18、Tc-99m、I-131等			少量,可忽略		净化过滤后稀释排放	经通风橱自带的活性炭过滤器过滤后,在建筑顶部排入大气环境。
气体过滤装置废滤材	固体	微量 F-18、Tc-99m、I-131等			65kg	<10 ⁴ Bq/kg	暂存于核医学科内配套废物间	暂存至少一个月,经检测,符合清洁解控要求后作为危险废物处置。

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

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

表 6 评价依据

<p>法规文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》，2015 年 1 月 1 日。</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月 29 日。</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日。</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》，2017 年 10 月 1 日。</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，2019 年 3 月 2 日。</p> <p>(6) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》，2018 年 4 月 28 日。</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，2019 年 8 月 22 日。</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，2011 年 4 月 18 日。</p> <p>(9) 《关于发布〈建设项目竣工环境保护验收暂行办法〉的公告》，国环规环评[2017]4 号，2017 年 11 月 20 日。</p> <p>(10) 《北京市环保局办公室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>(11) 《北京市禁止违法建设若干规定》，北京市政府第 228 号令，2011 年 4 月 1 日。</p> <p>(12) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，环保部，环办辐射函〔2016〕430 号。</p> <p>(13) 《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 11 月 1 日。</p> <p>(14) 《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>(15) 《辐射安全与防护监督检查技术程序》，原环保部，2012 年 3 月。</p> <p>(16) 《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>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》（HJ10.1-2016），环境保护部。</p> <p>(2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）</p>

	<ul style="list-style-type: none"> (3) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB11930-2010) (4) 《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ 120-2006) (5) 《医用放射性废物的卫生防护管理》(GBZ133-2009) (6) 《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005) (7) 《北京市水污染物综合排放标准》(DB11/307-2013) (8) 《核技术利用放射性废物、废放射源收贮准则》(DB11/ 639-2009) (9) 公安部《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》(GA 1002-2012) (10) 《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》(GB/T14583-93) (11) 《辐射环境监测技术规范》(HJ/T61-2001) (12) 《表面污染测定 第一部分 β 发射体 ($E_{\beta\max} > 0.15\text{MeV}$) 和 α 发射体》(GB/T14056.1-2008)
其他	<ul style="list-style-type: none"> (1) AAPM Task Group 108: PET and PET/CT Shielding Requirements, Med.Phys. 33 (1), January 2006. (2) Radiation Protection Dosimetry Vol.98 No 1, 2002. (3) 国际放射防护委员会, 第 52 号出版物, 1987 年。 (4) 国际放射防护委员会, 第 94 号出版物, 2004 年。 (5) 医用辐射危害控制评价, 中国原子能出版社, 2017 年 (6) 北京朝阳医院提供的与本项目相关的申请和技术资料, 2020.3。

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

7.1.1 评价内容

本项目为北京朝阳医院东院新建核医学科，位于医疗综合楼内西北部的地下一层，包括核医学科门诊和核医学科病房 2 处乙级非密封放射性物质工作场所，使用 F-18、Tc-99m、I-131、Tl-201、Ga-67 等显像诊断核素，使用 I-131 和 Sr-89 开展门诊治疗，新增 1 台 PET/CT、1 台 SPECT/CT 及 3 个 I-131 核素甲癌治疗病房等。

7.1.2 关注问题

- (1) 非密封放射性物质工作场所安全防护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。

7.1.3 评价因子

本项目的环境影响评价因子为 γ 射线、 β 射线、放射性“三废”等。

7.1.4 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，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新建核医学科边界周围 50m 区域。

7.2 保护目标

新建核医学科位于医疗综合楼的地下一层，整体位于院区中西部位置，距离院区边界及周围环境敏感点较远，评价范围内无学校、居民楼、养老院等敏感目标，无商场和超市等人员密集场所。本项目 50 米评价范围均属医院内部，见图 7-1 所示。核医学科东侧为楼内通道、电梯厅、通风机房、卫生间等；地下一层西侧和南侧为土层，土层上方为院内道路；核医学科楼上为新房机房、高压氧科相关场所；楼下为空气压缩机房、配电间、废物垃圾回收站等辅助房间以及地下车库。核医学科四周毗邻关系见图 7-2 所示，楼上和楼下毗邻关系分别见附图 4 和附图 5。根据项目评价范围以及周围毗邻关系，确定本项目环境保护目标主要为核医学科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。核医学科周围布局 and 人员情况见表 7-1 所示。本项目将采取有效

的辐射防护与安全管理措施，确保核医学科运营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。

表 7-1 本项目评价围内主要保护目标

项目	保护目标	距离(m)	数量(人)	方位	评价范围内主要场所或建筑物
核医学科	公众(候诊患者)	0~10	40	东侧	注射前等候区
	核医学科外其它公众	10~50	20		楼内通道、电梯厅、卫生间
	核医学科外公众	10	100	北侧	电梯厅
	院内其它部门工作人员	0~50	5		高压氧设备间、排风机房、电视信号转换机房
	公众	15~50	30	西侧	地面一层道路行人
	工作人员	10~20	10	南侧	核医学科办公室、医护休息室、会议室、读片室等非辐射工作区域
	公众	15~50	10		地面一层道路行人
	公众	紧邻	50	楼上(一层)	急诊
	公众	紧邻	20	楼下(地下二层)	空气压缩机房、配电间、废物垃圾回收站等辅助房间以及地下车库

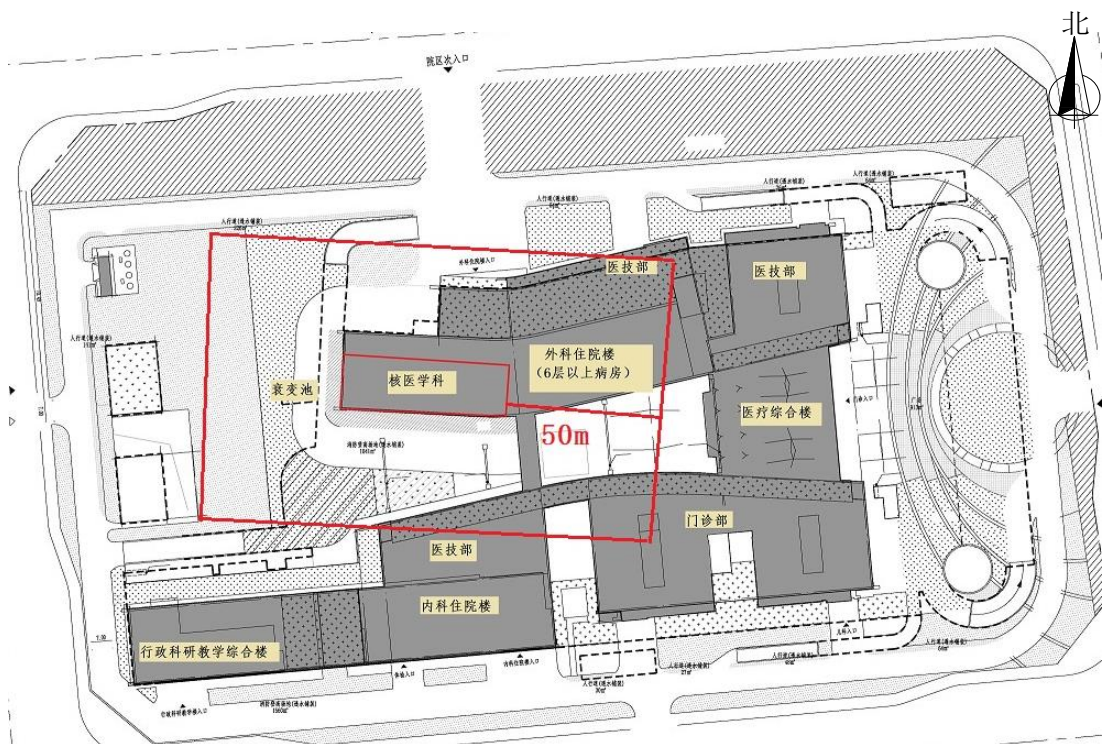


图 7-1 本项目评价范围示意图

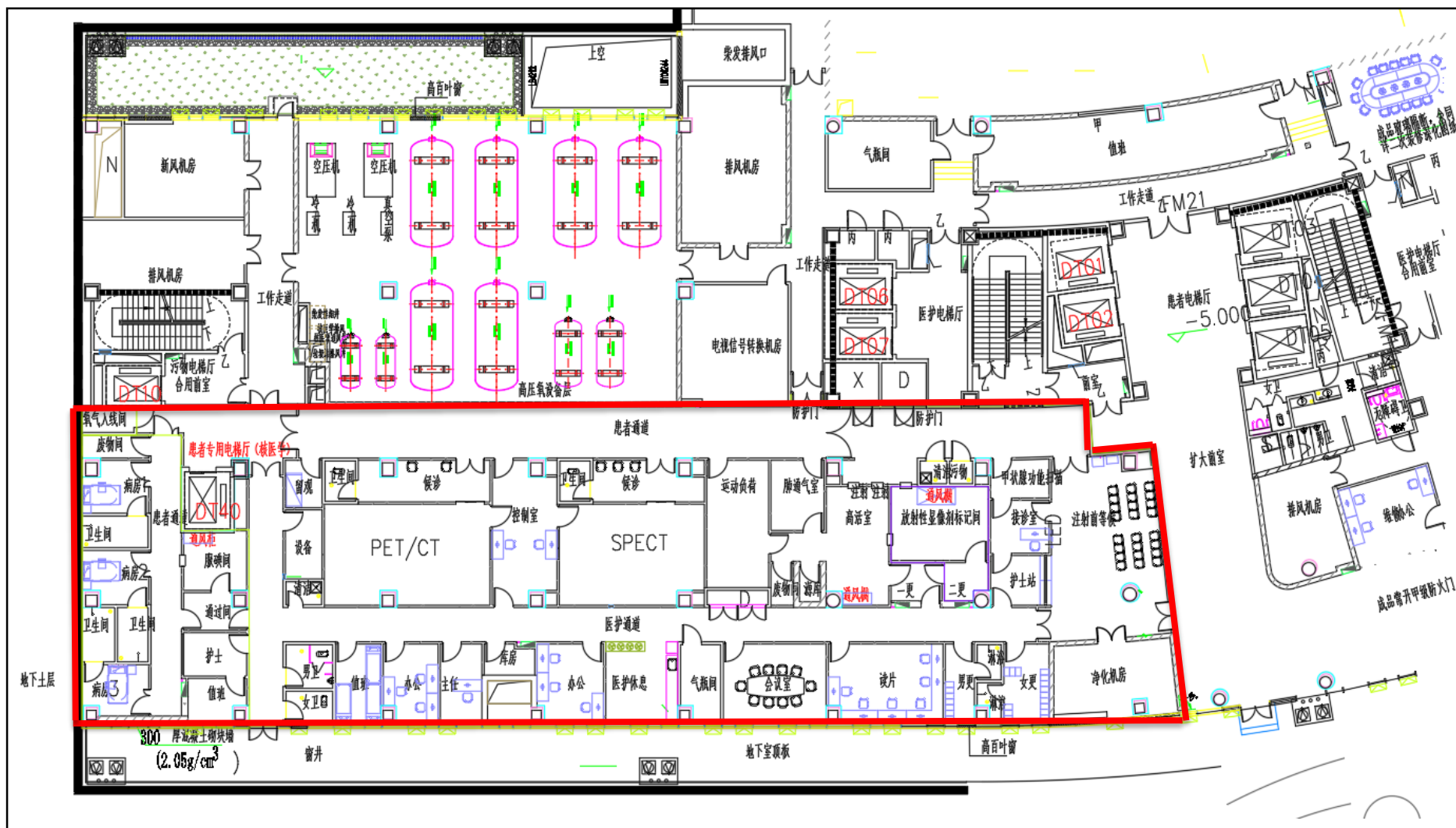


图 7-2 核医学科周围毗邻关系示意图

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（GB18871-2002）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（GB18871-2002）

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

GB18871-2002 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。剂量约束值通常应在公众照射剂量限值 10%~30%（即 0.1~0.3mSv/a）的范围之内。

7.3.2 剂量约束值

职业照射，本项目辐射工作人员取 5mSv/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。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

(1) 核医学科控制区边界外 30cm 处的辐射剂量率应不大于 2.5 μ Sv/h。

(2) 核医学科病房控制区边界外、楼上和楼下的剂量率应不大于 2.5 μ Sv/h。控制区内（病房外）的剂量率水平不大于 10 μ Sv/h（属于人员很少停留的场所）。

(3) 参照《核医学辐射防护与安全要求》（报批稿）要求：

① 固体放射性废物收集桶、放射性废液收集罐体和管道外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 2.5 μ Sv/h；

② 放射性药物分装的通风橱外表面 30cm 处（人员操作位）的周围剂量当量率小于 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》(DB11/307-2013)规定,车间或生产设施废水排放口:总 β 排放限值为10Bq/L。

(2) 放射性废水排放管理要求

本项目放射性废水的排放管理依据《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)中对于A类和B类放射性废水的要求执行。根据京环办[2018]13号文,对于槽式衰变池(罐)暂存方式,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;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I-131核素治疗病房产生的废水至少暂存180天)后,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,活度浓度与单次排放总活度值均应满足GB18871-2002附录A表A1的规定。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。

7.4 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》(GB18871-2002),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,医疗机构使用F-18和Tc-99m相关活动视为“很简单操作”,使用I-131相关活动视为“简单操作”。

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》(GB18871-2002),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

类别		表面污染控制水平 (β 放射性物质)
工作台 设备、墙、地面	控制区	$4 \times 10 \text{ Bq/cm}^2$
	监督区	4 Bq/cm^2
工作服、手套、工作鞋	控制区	4 Bq/cm^2
手、皮肤、内衣、工作袜		$4 \times 10^{-1} \text{ Bq/cm}^2$

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 。

GB18871-2001 附录 B.2.2 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 放射性固体废物管理

依据《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），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（其中 I-131 核素治疗病房产生废物至少暂存 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，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。

7.7 操作放射性同位素通风橱及排风口设置要求

《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ120-2006)第4.5款：合成和操作放射性药物所用的通风橱，工作中应有足够风速（一般不小于 1m/s），排气口应高于本建筑屋脊，并设有活性炭过滤或其它专用过滤装置，排出空气浓度不应超过有关法规标准规定限值。

活性炭过滤器具体要求：过滤效率大于 90%，每个常用活性炭重量不大于 5kg，更换周期为一年。

7.8 核医学相关工作场所的放射性物质污染的防护要求

《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ120-2006)第4.4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。根据 GBZ120-2006 标准中表 2 和表 3 的相关参数估算出，本项目病房属于I类场所，门诊属于II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 7-5 核医学相关工作场所的室内表面及装备结构要求 (GBZ120-2006)

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	一般处理	需要
III	易清洗	易清洗	不必	一般自然通风	一般处理	只需清洗设备

7.9 放射性药物操作的一般放射防护要求

根据《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ 120-2006)的有关规定，操作放射性药物应有专门场所；在放射性工作场所不得进食、饮水、吸烟，也不得进行无关工作及存放无关物品；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那部分；购买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、活度和表面放射性污染擦拭实验结果等。

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

北京朝阳医院东院区位于北京市朝阳区定福庄，医院地理位置见附图 1 所示。东院区东邻辛庄路，南邻常营南路，西邻双桥东路，北邻常营中街。

8.1.2 场所位置

本项目核医学科位于医疗综合楼内西北部的地下一层，核医学科东侧为楼内通道、电梯厅、通风机房、卫生间等；西侧和南侧为土层，土层上方为院内道路；核医学科楼上为新房机房、高压氧科相关场所等；楼下为空气压缩机房、配电间、废物垃圾回收站等辅助房间以及地下车库。

东院区平面布局见附图 2，核医学科平面布局见附图 3 所示。

8.2 辐射环境现状监测

(1) 监测目的

掌握该项目辐射工作场所的辐射环境质量现状水平，为评价提供基础数据。

(2) 监测内容

根据污染因子分析，对该项目的辐射工作场所周围进行 X、 γ 辐射剂量率水平监测。

(3) 监测点位

选取拟建东院区核医学科场所及周围进行监测。

(4) 监测仪器与规范

监测仪器的参数与规范见表 8-1。

表 8-1 X- γ 射线剂量率监测仪器参数与监测规范

仪器名称	辐射检测仪
型号/编号	AT1121/44091
生产厂家	白俄罗斯 ATOMTEX
能量响应	15keV~10MeV 不超过对 ^{137}Cs ， γ 辐射响应的 $\pm 30\%$
量程	X- γ : 50nSv/h~10Sv/h

检定证书	中国计量科学研究院 (检定证书编号: DLjl2019-00959) 有效期: 2019年11月26日~2020年11月25日
监测规范	《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》(GB/T14583-93) 《辐射环境监测技术规范》(HJ/T61-2001)

(5) 现状监测结果及评价

2020年1月6日评价单位对项目地及周围环境辐射水平进行了检测, 评价区辐射水平调查结果见表8-2。

表8-2 拟建核医学科场所辐射环境水平监测结果

场所名称	点位序号	测点描述	辐射剂量率 (nSv/h)
核医学科	1	拟建医疗综合楼东侧	92
	2	拟建医疗综合楼西侧	118
	3	拟建医疗综合楼南侧	106
	4	拟建医疗综合楼北侧	110
北京市范围 ^[1]			42.3~151.6nGy/h

注: 检测结果含宇宙射线响应值; ^[1]: 辐射安全手册, 2011.11。

由表8-2中检测结果可知, 拟建核医学科场所及周围的X- γ 辐射剂量率为92~118nSv/h, 为北京市的天然本底范围之内, 未发现异常高值。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 X 射线诊断装置和密封校验源

本项目配套使用 1 台 PET/CT 装置和 1 台 SPECT/CT 装置，涉及的Ⅲ类射线装置及配套的校准源另外单独办理备案，故本评价报告不再涉及。

9.2 放射性同位素显像设备与诊断流程

9.2.1 核医学扫描诊断装置

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。本项目新建核医学科中涉及的内容为临床核医学中的放射性同位素显像检查，典型的 PET/CT 扫描装置和 SPECT/CT 扫描装置如下图 9-1 和图 9-2 所示。



图 9-1 PET/CT 机设备外观



图 9-2 SPECT/CT 机设备外观

9.2.2 工作流程

核医学科 PET 检查将严格根据临床医生的申请进行，严格核实检查的适应症和禁忌症，对符合实践正当性的受检者实施 PET 检查。

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 或 SPECT 探测成像仪器进行扫描和显像，检查工作流程如下：

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：提前一天根据预约的检查人数及诊断项目，向药品公司订购标记的 F-18、Tc-99m 以及其它放射性药物（其中 F-18 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：F-18 半衰期短，其标记的放射性药物需要在核医学科高活室通风橱内分装。其它药物由供药公司根据每人份订药量直接分装在注射器内，无需再次分装。

注射：在注射室内，打开铅屏蔽盒，取出一次性注射器，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，短半衰期的无需候诊），进行 PET 扫描检查（PET/CT 检查一般不超过 20min）；Tc-99m 心脏扫描候诊时间 1.5h，甲状腺 20min~30min，肾显像不用候诊。

甲状腺功能测定病人在受检者服药，在 2 小时后、4 小时后、6 小时后和 24 小时（第 2 日）后返回核医学科，分别进行甲状腺摄碘功能计数测定（检查时间 60 秒）。

受检者在扫描检查后，留观片刻，如显像符合要求即离开核医学科。

9.2.3 放射性核素使用量

核医学科工作场所运行后，放射性药物由有销售资质的公司提供。

其中，PET/CT 检查 F-18 药物的用量按 370MBq/人，按每个检查日最多实施 PET 检查 20 人次，每周工作 5 天计算（每年工作 250 天），则日操作总量不超过 7.40E+9Bq，年最大操作量 1.85E+12Bq。

SPECT 检查 Tc-99m 药物的用量按 925MBq/人，按每个检查日最多实施 30 人次，每周工作 5 天计算（每年工作 250 天），则日操作总量为 2.78E+10Bq，年最大操作量 6.95E+12Bq；Tl-201、Ga-67 药物的用量约 185MBq/人，每个检查日每种核素最多实施 SPECT 检查 5 人次，每周工作 2 天（每年工作 100 天），日操作总量为 9.25E+8Bq，年最大操作量 9.25E+10Bq。

甲状腺摄碘功能测定的 I-131 日总操作量不超过 0.74MBq（20 μ Ci），最大操作量 1.85E+8 Bq。

9.2.4 放射性核素分析

F-18 物理半衰期很短，主要发射 γ 射线、正电子（ β^+ ）， β^+ 粒子在体内经湮灭辐射产生两个方向相反和能量均为 511keV 的 γ 光子；Tc-99m 半衰期为 6.02h，衰变方式是 IT，发出能量为 141keV 的 γ 射线；Tl-201 半衰期为 73.06h，衰变方式是 EC，发出主要能量为 167.4keV 的 γ 射线；Ga-67 半衰期为 78.26h，衰变方式是 EC，发出主要能量为 93.3keV 和 184.6keV 的 γ 射线；I-131 半衰期为 8.04d，发生 β 衰变时伴随发射 364.5keV 的 γ 射线。

9.2.5 使用放射性核素污染途径分析

9.2.5.1 正常工况的污染途径

（1） γ 射线。在进行 F-18、Tc-99m 等放射性药物交接、质检、注射、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停留的公众可能受到 F-18、Tc-99m 等核素释放出的 γ 射线的影响。

（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。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。

（3）本项目使用的 F-18、Tc-99m 等放射性药物全部向专业公司购买。在通风橱内只对 F-18 进行分装。F-18 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。

9.2.5.2 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，发生遗失或被盜，可能造成环境放射性污染。核医学科场所在高活室暂存的放射性同位素，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。放射性废物处置或管理不当，造成环境放射性污染。

9.3 放射性药物治疗

9.3.1 工作原理

本项目核医学科核素治疗包括 I-131、Sr-89 的门诊治疗和 I-131 甲癌病房治疗。核素 Sr-89、I-131 治疗是利用机体内能高度选择地聚集在病变组织的化合物作为载体，将放射性核素运送到病变组织或细胞，使放射性核素与病变细胞紧密结合。

甲状腺具有高度选择性摄取 I-131 的功能，功能亢进的甲状腺组织摄取量将更多。I-131 在甲状腺内停留的时间较长，在甲亢病人甲状腺内的有效半衰期约 3~5 天。I-131 衰变时主要发射 β 粒子，且射程短，仅约 2~3mm，对周围正常组织一般无影响。因此，大剂量 I-131 进入功能亢进的甲状腺组织，这些组织在粒子集中且较长时间的作用下将遭受部分抑制或破坏取得类似部分切除甲状腺的效果。采用 I-131 治疗甲状腺癌患者，绝大多数已经施行甲状腺全切手术，残余甲状腺组织很少，摄 I-131 率很低。口服 I-131 后 3 天，患者体内残余 I-131 量绝大多数低于 400MBq，故住院周期约 3-4 天。预计全年甲癌病人数量约 300 例（每批次最多收治 3 例，一周 2 批次）。

Sr-89 是一种亲骨性放射性核素，进入体内后同钙一样参加骨矿物质的代谢过程，静脉给药后，恶性肿瘤骨转移病灶内的摄取率大于正常骨组织的 2~

25 倍，并滞留在癌灶中，发射平均能量为 1.463MeV 的 β 射线，半衰期为 50.5 天，其辐射效应杀伤癌细胞，缩小病灶，起到良好的镇痛作用。

9.3.2 放射性药物治疗流程

(1) 门诊治疗：

向有相应资质厂家订购 Sr-89 注射液或 I-131 口服液→患者（在注射区）施予药物→之后在留观室观察，确认用药正常后离开放射工作场所。

(2) 甲癌病房治疗：

核素供货厂家运输工作人员将储存 I-131 的专用容器，运至地下二层，沿通道，经缓冲间运至病房高活室贮存。使用前，工作人员将将储源容器安装在自动分装仪内（约 2 分钟）；医生通过隔室操作将 I-131 转移至分装容器中，随后进行稀释和分药，分好的样品进行活度测试（整个测试时间不超过 10 分钟），测试合格的溶液，准备给病人服用。使用具有辐射防护功能的分装容器给病人服药。医生在分装仪一侧，通过铅观察窗，指导对面一侧的病人服药。

9.3.3 放射性核素使用量

本项目门诊治疗使用的核素为 Sr-89 和 I-131，在核医学科接受放射性药物治疗的病人，在用药正常后就离开。Sr-89 使用量最多为 5 名病人/天，每周 2 天，148MBq/病人；用于治疗甲亢的 I-131 使用量最多为 4 名病人/天，每周 2 天，370MBq/病人；甲癌每批次最多收治 3 人，一周 2 批次，平均 4.44GBq/病人，全年甲癌病人数量约 300 例。

9.3.4 主要放射性污染分析

Sr-89 为 β 核素，半衰期为 50.5d，衰变方式是 β^- ，发出主要能量为 1.49MeV 的 β 射线； I-131 半衰期为 8.04d，发生 β 衰变时伴随主要发射 364.5keV 的 γ 射线。

治疗过程的主要污染因素是放射性药物释放 γ 射线和 β 射线对环境的辐射影响，以及产生含放射性的废水、废气和固体废物。患者在接受核素治疗后，放射性核素，特别是 I-131，主要通过尿排出（住院 3-4d 中，I-131 从尿中排出量约为给药量的 85%），唾液、汗液和粪便中的排出量较少，呼出量也较少（引自北京大学医学出版社《ICRP 第 94 号出版物：非密封放射性核素治疗后患者出院考虑》）。

(1) 正常工况的污染途径

① 贯穿辐射。在进行药物接收、活度检查、分装、服用、巡视病人和处理放射性废物等操作时，工作人员及病区周围停留的公众可能受到 I-131 释放出的 γ 射线的影响。口服 4.44GBq 的患者住院隔离治疗 3 天后，80% 以上的 I-131 排出体外，体内滞留的 I-131 活度可降至 400MBq 以下。

② 放射性废水。清洗器皿，局部去污和洗手时，会产生放射性废液。患者体内的放射性碘主要通过尿液和粪便排出。患者使用卫生间而产生的冲厕废水含有大量的放射性物质。据文献资料，大约 55% 施予活度的 I-131 在最初 24h 排出体外，22% 在第 2 个 24h 排出，总量的 85% 在最初 5d 内排出体外（引自北京大学医学出版社《ICRP 第 94 号出版物：非密封放射性核素治疗后患者出院考虑》）。达标后排入医院污水处理站，再次处理后排入市政下水管网。

③ 放射性固体废物。包括：a. 放射性药物剩余残液；b. 盛装药物的药品、药杯、水杯；c. 操作过程使用的防护服、手套、吸水纸、和托盘等；d. 服药患者使用过的各类物品，如纸巾、被褥和病号服等。除治疗剩余药物外，一般属于低放废物。剩余放射性药物由供应商回收处置；病号服、床单、被罩等污染品，暂存一段时间后，清洗和消毒后重复使用。其他放射性废物暂存后，达到解控水平后办理清洁解控，之后按普通医疗废物处置。

④ 放射性废气。I-131 药物为离子型溶液，I-131 易氧化析出。碘在常温下易挥发，在进行药物操作（检验和分装）过程中，将有少量 I-131 进入空气中。患者体内代谢的 I-131 也有极少量（文献报道约 0.008%~0.03% 份额）随呼出气进入空气中，故碘病房、服碘室等房间需安装通风系统，并经活性炭吸附过滤后，高空排放。

（2）异常情况下的污染途径

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 I-131 治疗剂量错误；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。

⑤ 服药患者体内核素活度未降至出院水平以下，即离开隔离病房，对公众造成不必要照射。

表 10 辐射安全与防护

10.1 核医学科辐射安全与防护

10.1.1 核医学科建设方案

(1) 本项目为在医疗综合楼地下一层西北角新建核医学科，拟建核医学科包括核医学科门诊和病房两个辐射工作场所以及医护办公、会议室、读片室等非放射性工作区域，拟建核医学科布局见图 10-1 所示。核医学科门诊位于核医学科的北侧，西侧为核医学科病房，南侧为非放射性工作区域。

(2) 分设患者走廊和医护走廊，门诊检查患者和门诊治疗患者入口设在东侧，沿北侧患者走廊从东往西接受注射、候诊、显像等，患者出口设在患者走廊西侧，出入口均设置单向门禁系统；病房患者出入口设在病房区域北侧，出入口设置门禁系统，患者通过核医学科专用电梯出入。

(3) 核医学科门诊设有甲状腺功能扫描室、放射性显像标记间、高活室、源库、废物间、肺通气室、运动负荷室、SPECT 室、PET/CT 室、注射后候诊室、控制室、留观室、设备间等；核医学科病房设有 3 间病房（含独立卫生间）、废物间、服碘间、缓冲间、护士站和值班室。

(4) 配套建设废液收集暂存排放设施，门诊废水衰变池（1 号衰变池）容积 54m³，住院病房废水衰变池（2 号衰变池）容积 135m³，位于医疗综合楼西侧地下。

(5) 配套建设通风处理设施，核医学科门诊和病房各两套相对独立的通风系统。

核医学科门诊场所新建完毕后，控制区包括 PET/CT 室，SPECT/CT 室，注射后候诊室含卫生间，留观室，患者通道，高活室（注射室），放射性显像标记间，源库，废物间，肺通气室，运动负荷室，甲状腺功能扫描室等。监督区包括控制室，医护人员缓冲间，PET/CT 设备间，护士站、接诊室。核医学科病房新建完毕后，控制区包括 3 间病房及卫生间、废物间和服碘间等。监督区包括缓冲间，护士站、值班室。

拟建核医学科平面布局见图 10-1，通风和放射性废液流向见图 10-2 和图 10-3 所示。

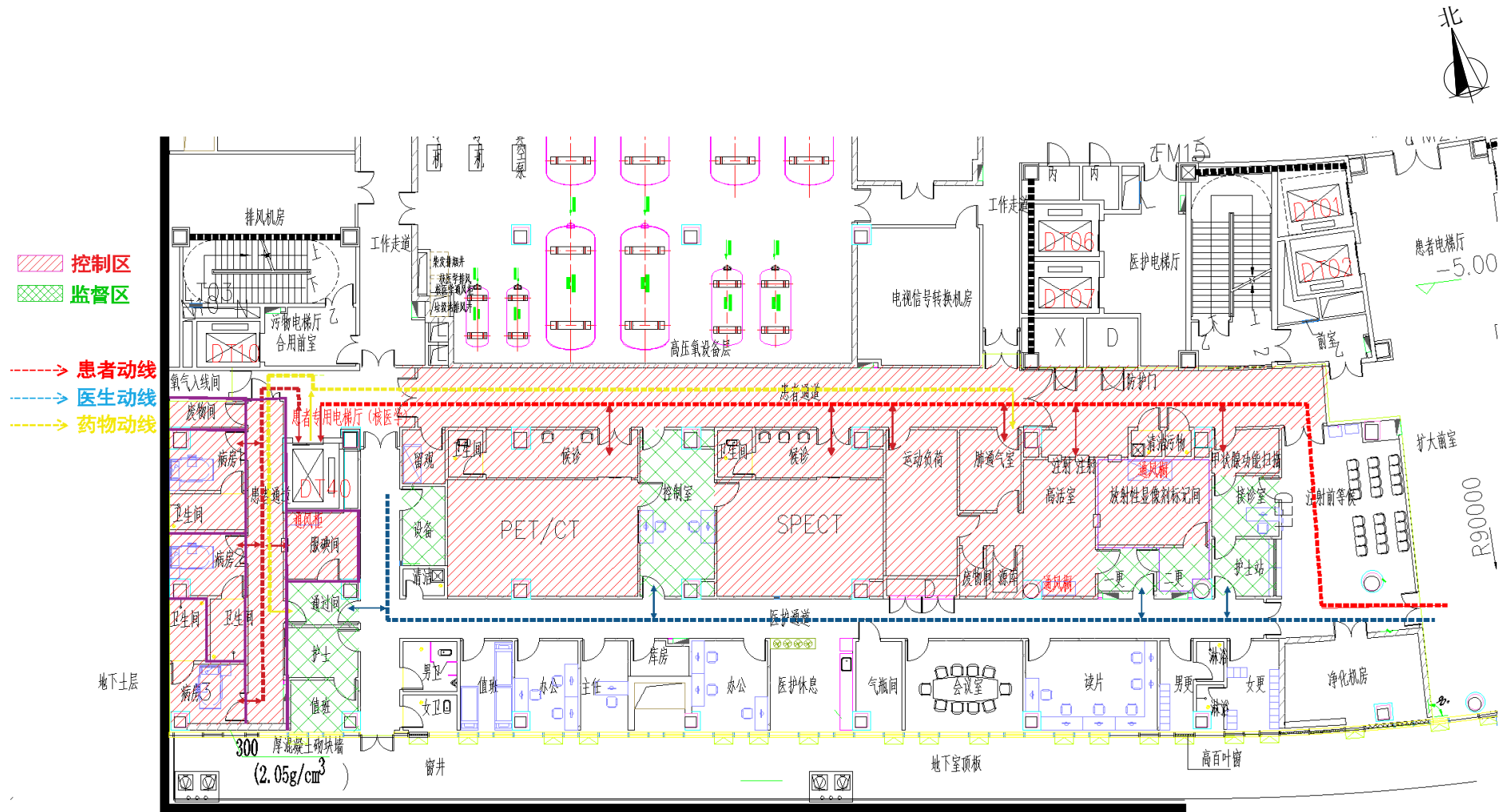


图 10-1 拟建核医学科平面布局图



图 10-2 拟建核医学科放射性废气通风路由示意图

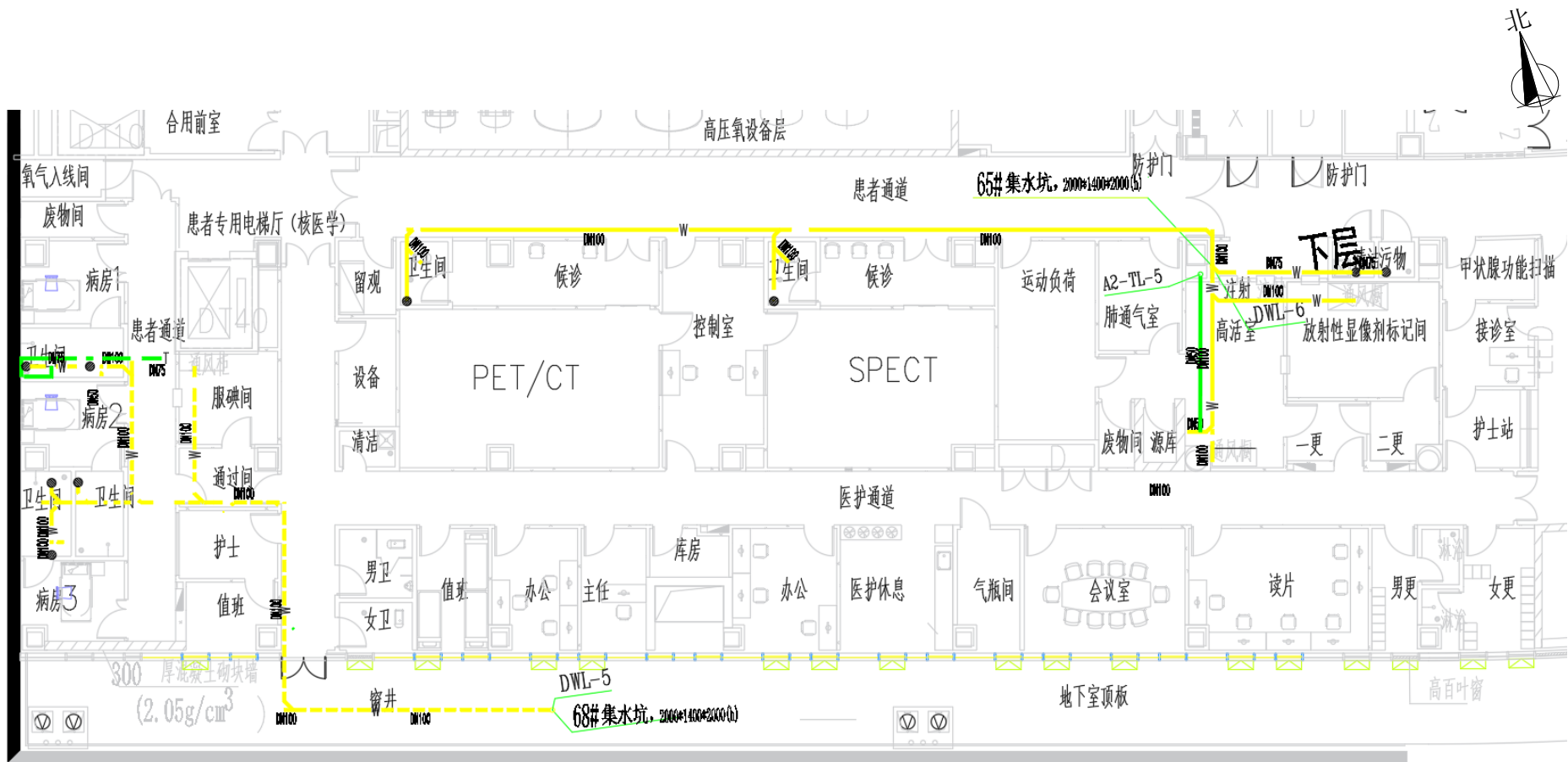


图 10-3 拟建核医学科放射性废水路由示意图

10.1.2 辐射屏蔽设计方案

核医学科顶板和地面采用 200 厚现浇混凝土楼板和不少于 70mm 厚细石混凝土填充层，病房西墙采用 400 厚钢筋混凝土墙体（结构挡土墙），源库四面墙体及病房最南侧的南墙为 300mm 厚混凝土砌块墙（密度 2.05g/cm^3 ），其余房间均采用不同当量的钢龙骨铅复合板墙，屏蔽方案见表 10-1 所示。

表 10-1 核医学科主要场所的屏蔽设计

序号	场所名称	屏蔽墙体方向	屏蔽厚度	毗邻场所
1	PET/CT 室	东墙	钢龙骨+6mmpb	控制室
		西墙	钢龙骨+6mmpb	设备间和清洁间
		南墙	钢龙骨+6mmpb	医护走廊
		北墙	钢龙骨+6mmpb	候诊室
		顶棚	27cm 砷	高流量吸氧室、更衣室、接诊室
		地板	27cm 砷	停车位、空气压缩机房及控制室
		控制室和机房防护门	6mmpb	控制室和候诊室
		观察窗	8mmpb 当量铅玻璃	控制室
2	PET 候诊室	东墙	钢龙骨+6mmpb	控制室
		南、西、北墙	钢龙骨+6mmpb	控制区
		顶棚	27cm 砷	更衣室、接诊室
		地板	27cm 砷	停车位、空气压缩机房及控制室
		防护门	6mmpb	走廊
		卫生间东墙及门	普通墙和普通门	/
3	SPECT 室	东、北墙	钢龙骨+3mmpb	控制区
		西墙	钢龙骨+3mmpb	控制室
		南墙	钢龙骨+3mmpb	医护走廊
		顶棚	27cm 砷	等候区
		地板	27cm 砷	配电室和空气过

				滤机房
		控制室和机房防护门	3mmpb	控制室和候诊室
		观察窗	3mmpb 当量铅玻璃	控制室
4	SPECT 候诊室	西墙	钢龙骨+3mmpb	控制室
		东、南、北墙	钢龙骨+3mmpb	控制区
		顶棚	27cm 砵	等候区
		地板	27cm 砵	配电室和空气过滤机房
		卫生间东墙及门	普通墙和普通门	/
5	留观室	东墙	钢龙骨+6mmpb	候诊室
		西墙	钢龙骨+12mmpb	医护走廊
		南墙	钢龙骨+12mmpb	设备间
		北墙	钢龙骨+12mmpb	患者走廊
		顶棚	27cm 砵	更衣室
		地板	27cm 砵	停车位
		防护门	6mmpb	患者走廊
6	运动负荷室	东、南、西、北墙	钢龙骨+3mmpb	控制区
		顶棚	27cm 砵	护士站、走廊
		地板	27cm 砵	卸货区
		防护门	3mmpb	患者走廊
7	肺通气室	东、南、西、北墙	钢龙骨+3mmpb	控制区
		顶棚	27cm 砵	走廊
		地板	27cm 砵	卸货区
		防护门	3mmpb	患者走廊
8	注射室（高活室）	东、西、北墙	钢龙骨+6mmpb	控制区
		南墙	钢龙骨+6mmpb	医护走廊

		顶棚	27cm 砼	走廊
		地板	27cm 砼	停车位
		防护门	6mmpb	走廊、缓冲间
		高能注射窗	40mmpb 当量铅玻璃	/
		低能注射窗	40mmpb 当量铅玻璃	/
		通风橱	50mmpb 当量铅玻璃	/
9	源库	东、西、北墙	300 厚混凝土砌块墙	控制区
		南墙	300 厚混凝土砌块墙	医护走廊
		顶棚	27cm 砼	走廊
		地板	27cm 砼	卸货区
		门	普通防盗门	走廊
10	废物间	东、西、北墙	钢龙骨+6mmpb	控制区
		南墙	钢龙骨+6mmpb	医护走廊
		顶棚	27cm 砼	走廊
		地板	27cm 砼	卸货区
		门	普通防盗门	走廊
11	放射性显像剂标记间	东墙	钢龙骨+6mmpb	接诊室
		南墙	钢龙骨+6mmpb	缓冲间
		西、北墙	钢龙骨+6mmpb	控制区
		顶棚	27cm 砼	咖啡厅
		地板	27cm 砼	停车位
		防护门	6mmpb	缓冲间
12	甲状腺功能扫描室	东墙	钢龙骨+1mmpb	注射前候诊区
		南墙	钢龙骨+1mmpb	接诊室
		西、北墙	钢龙骨+1mmpb	控制区

		顶棚	27cm 砼	咖啡厅
		地板	27cm 砼	停车位
		防护门	1mmpb	接诊室、走廊
13	患者走廊	北侧	钢龙骨+6mmpb	高压氧设备层和电视信号转化机房等
		顶棚	27cm 砼	公共走廊
		地板	27cm 砼	工作走廊
14	控制区患者出入	患者入口门	6mmpb 防护门	走廊
		患者出口门	6mmpb 防护门	走廊
15	病房 1	东、南、北墙	钢龙骨+11mmpb	控制区
		西墙	40cm 砼	地下土层
		顶棚	27cm 砼	新风机房
		地板	27cm 砼	停车位
		防护门	8mmpb	走廊
		卫生间北墙及门	普通墙和普通门	/
16	病房 2	东、南、北墙	钢龙骨+11mmpb	控制区
		西墙	40cm 砼	地下土层
		顶棚	27cm 砼	卫生间和淋浴室
		地板	27cm 砼	停车位
		防护门	8mmpb	走廊
		卫生间北墙及门	普通墙和普通门	/
16	病房 3	东、南、北墙	钢龙骨+11mmpb	控制区
		西墙	40cm 砼	地下土层
		南墙	300 厚混凝土砌块墙	窗井

		顶棚	27cm 砼	绿化区和道路
		地板	27cm 砼	车道
		防护门	8mmpb	走廊
		卫生间南墙及门	普通墙和普通门	/
18	放射性废物库	东、南墙	钢龙骨+11mmpb	控制区
		北墙	钢龙骨+11mmpb	氧气入线间
		西墙	40cm 砼	地下土层
		顶棚	27cm 砼	核医学科患者走廊
		地板	27cm 砼	卫生间
		防护门	8mmpb	走廊
19	服碘间	东墙	钢龙骨+11mmpb	工作人员走廊
		南墙	钢龙骨+11mmpb	通过间（缓冲间）
		西墙	钢龙骨+11mmpb	患者走廊
		北墙	钢龙骨+11mmpb	核医学科患者电梯
		甲癌服碘窗口	40mmpb 当量	走廊
		顶棚	27cm 砼	卫生间和淋浴间
		地板	27cm 砼	核医学科患者电梯厅
		防护门	8mmpb	通过间
20	病房患者走廊	东、西、北墙	钢龙骨+11mmpb	/
		南墙	300 厚混凝土砌块墙	窗井
		顶棚	27cm 砼	新风机房、医护休息室、绿化区和道路
		地板	27cm 砼	卫生间、停车位、车道
		防护门	8mmpb	核医学科患者电梯厅

说明：砼密度不低于 2.35 t/m³，混凝土砌块墙密度不低于 2.05 t/m³；各功能室墙面、地面均为光滑饰面。

10.1.3 辐射防护措施

10.1.3.1 核医学科门诊

(1) 实行控制区和监督区分区管理。在控制区患者出入口拟安装单向门禁系统、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。控制区入口张贴电离辐射警告标识，警示无关人员不要进入或者不要长久停留。

(2) 通风橱台面和注射操作台面光滑易清洗易去污，操作处设置承接盘、衬垫等，注射后的用品置于专用收集罐，患者检查床面铺薄塑料布。

(3) 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监测个人防护用品外表面、操作用品和操作场所的表面污染。

(4) 外照射防护：注射窗为具有防护功能的铅玻璃窗，可有效减少注射过程中工作人员受照剂量，候诊区、机房均为实体屏蔽，配备 6 个铅废物桶。严格根据需要扫描量和药量制备，在保证诊断效果的条件下，尽可能减少放射性同位素的使用量，以降低 γ 辐射水平，保证人员的受照剂量和周围环境的辐射水平处于可合理达到的尽量低水平。

(5) 内照射的防护：高活室和放射性显像剂标记间配备具有防护功能 50mmPb 当量的通风橱，并带有大活性炭过滤器，设备正面配有铅玻璃、观察窗及操作工作孔。肺通气室拟配有 1 个不低于 10mmPb 当量的通风橱。3 个通风橱可能产生的废气排放前分别经过带有大活性炭过滤器（长：430mm、宽：400mm、高：90mm）净化后，通过排风管道引至核医学科西北侧管井从楼顶排出，进管井前增加活性炭过滤器过滤。通风橱的风量满足要求（半开情况下，风速大于 1m/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，监测表面污染状况，采取措施确保表面污染水平低于控制限值，并将擦拭物做为放射性固废处置。核医学科门诊区域另 1 套独立通风管道为注射室、给药受检人员候诊区域、废物间、机房等控制区独有，通过排风管道引至核医学科西北侧管井从楼顶排出，进管井前增加活性炭过滤器过滤。

通风橱性能：同位素药物分装防护室（通风橱）为负压设备，并带有微负压百级净化的功能，当负压风机进行排风工作时，防护室内为负压状态，负压

风速大于 1m/秒，风机的排风量为 15m³/分钟。

(6) 妥善收集固体放射性废物：拟配 6 个铅废物桶（5mmpb），其中废物间内 4 个铅废物桶和注射室内 2 个铅废物桶，每个注射后候诊室配备普通的废物桶。废弃的放射性药物注射器、诊断试剂盒、包装物、棉棒、一次性用品等物品按类别、日期放入废物间内。放射性固废放置至少一个月和 10 个半衰期后，依照《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》A 类和 B 类固体废物相关要求清洁解控处置，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。

(7) 放射性废水收集处置：核医学科门诊场所高活室内洗手池废水，以及给药后患者专用卫生间的冲厕废水，将通过专用管道一并先汇入地下二层 65 号集水坑，然后泵到外科楼外西侧地下 1 号放射性废水衰变池，其总容积约为 54m³（27m³×2），能够满足《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》规定的清洁解控要求。经检测合格满足清洁解控排放的废水，排入医院医疗污水站进一步处理后，最终进入市政污水收集管网，并详细记录“放射性废水暂存、处置管理台账”。

(8) 核医学科场所设置储源室，用来贮存 V 类校验密封源。拟设置闭路监视和防闯入等技防系统，拟安装有防盗门，以符合公安部门《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》。核医学科场所建立密封校验源管理台帐和使用登记制度，严防放射源和放射性药品丢失。密封源退役时，送交北京市城市放射性废物库。

(9) 核医学科门诊场所拟新增 1 台辐射剂量巡测仪和 1 台表面污染监测仪，用于表面污染和剂量率水平的检测，当工作人员在高活室被污染时，须在缓冲间对污染区进行监测，确保污染物不被带出。

(10) 本项目全部辐射工作人员拟通过辐射安全与防护培训考核后，持证上岗。

(11) 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。在患者候诊区内拟设铅屏风，以减少陪护家属的受照剂量。

10.1.3.2 核医学科病房

(1) 设置 I-131 治疗专用病区。病区设有值班室、缓冲间、放射性废物间、I-131 服碘室、单人隔离病房等。将放射性废物间、I-131 服碘室、单人隔离病房、以及病区走廊作为控制区管理。将缓冲区、护士站、值班室作为监督区进行管理。高活性服碘室和病房地面用无缝隙、防渗，且容易清洗和去污的材料覆盖（如地胶等），墙面 1.5m 高度张贴防渗的 PVC 墙纸。

(2) 外照射防护措施。病房墙壁、防护门采用具有屏蔽 γ 射线的材料建造。含 I-131 治疗药物置于专用屏蔽盒内贮存。采用自动分装仪进行放射性物质质控和分装，局部使用铅玻璃和铅屏蔽以遮挡 γ 射线，采用派药柜给病人服药。服药患者应视为移动放射源，医护人员与患者之间的距离应尽可能远，并尽量缩短接触时间。要求服药患者多饮水、多排便，安静在病房休息，少走动。一般情况下，在患者服药 48h 内，医生和护理人员通过病房对讲系统查房，不进行病房保洁工作。治疗期间禁止非治疗人员同室陪护。

(3) 内照射的防护：服碘室配备具有防护功能 50mmPb 当量的通风橱，并带有大活性炭过滤器（长：430mm、宽：400mm、高：90mm）净化后，通过排风管道引至核医学科西北侧管井从楼顶排出，进管井前增加活性炭过滤器过滤。在服碘室、碘病房和放射性废物间均设排风口，以减少污染物的聚积，这些场所空气经风管集中在一起，经过另外一套独立排风管道引至核医学科西北侧管井从楼顶排出，进管井前增加活性炭过滤器过滤。一旦发生放射性污染，应及时去污，并收集污染物，视情况采取封闭房间的措施，减少污染物的扩散。工作人员穿戴防护服、防护围裙和手套及防护面罩等，限制暴露在污染环境中的时间。

(4) 放射性废水集中收贮衰变。服碘室产生的少量放射性废液和病房卫生间排水通过专用管道（局部外面包裹 6mm 铅皮），将通过专用管道一并先汇入地下二层 68 号集水坑，然后泵到外科楼外西侧地下 2 号放射性废水衰变池，其总容积约为 135m^3 ($27\text{m}^3 \times 5$)。病房设置冲厕提示，建议患者入厕后，马上冲马桶，以减少楼下屋顶回水弯出和水平管道内放射性废液的残留。

(5) 妥善收集固体放射性废物。剩余的 I-131 药物由供货商收回集中处置。设置废物库，废弃的放射性药物服药杯、个人防护用品等按使用日期分别装入专用储存箱衰变。服药患者使用过的物品（特别是床上用品、病号服、遗留物品）需经过存放衰变，待达到清洁解控水平，方可作为非放射性废物处理。依

据《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 B 类，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 I-131 核素治疗病房产生废物至少暂存 180 天）后，使用经检定或校准合格的检测仪器对满足衰变时间要求的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/cm² 和 0.8Bq/cm²，可对废物解控并作为医疗废物处理，并在放射性固体废物暂存、处置管理台账上详细记录解控废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、废物处置人员和处置日期等信息。

(6) 工作场所设置电离辐射警告标志和中文警示说明，在服碘室、病房内、病房出口和 68 号集水坑附近拟配备固定剂量报警仪。

(7) 每间病房内、病房内走廊两头、病房出口、服碘室各安装 1 个摄像头（一共拟安装 7 个），便于工作人员实时监控病房内状况。

(8) 放射性废水衰变池的池壁采取严格防渗措施，具有超位溢流和报警功能，放射性物质通过的管道应有文字标记和流动方向标记。任何维修前需进行辐射监测。

(9) 控制区工作人员入口处，设置缓冲区，可以存放、穿戴防护服，放置一台污染监测仪和去污用品和镊子等。

(10) 全部辐射工作人员通过辐射安全与防护培训后持证上岗，所有人员开展个人剂量监测。

核医学科根据辐射防护要求，设计了含铅防护门、铅玻璃，专用通风橱、放射性衰变池和固体废物间。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。核医学科辐射安全防护设施设计要求见表 10-2。

表 10-2 核医学科辐射安全防护设施设计要求

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、PET/CT 室和 SPECT 室防护门、高活室、服碘间和病房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；废物间、服碘间、每间病房等设独立通风
4		有负压和过滤的工作箱/通风橱（乙级以上）	√	拟配有负压通风橱
5		治疗病房病人之间防护（屏蔽、通风）	√	该场所病房为单人间
6*		注射或口服取药用屏蔽	√	配备注射、给药窗口
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，设有监控。
11*		放射性固体废物收集容器和放射性标识	√	9个暂存用废物桶，门诊和病房分别设有1处废水衰变池。
12		安全保卫设施（贮存场所必须）	√	出入口均设有门禁系统。源库、服碘间出入口设防盗门、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	放射性下水系统及标识	√	废水衰变池

18*	放射性废物和废液	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，2套铅衣，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	√	1个干粉灭火器

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/。

10.2 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，现对北京朝阳医院从事本项目辐射活动能力评价列于表 10-3 和表 10-4。

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 10-3 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 10-3 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，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职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防护和安全管理小组，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，待本项目启用后增加相关部门负责人。	近期符合
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。	医院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考核。北京朝阳医院拟为本项目配置至少 15 名辐射工作人员，在通过辐射安全与防护考核后持证上岗。	近期符合
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	储源室拟安装视频监控和红外报警系统和公共安全管理要求	近期

	卫要求的放射源贮存库或设备。	的防盗门,落实放射性同位素安全保卫措施。	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全措施。	在核医学科场所控制区入口处,机房门口、患者候诊区门口等位置拟设置放射性警告标识和中文警示说明。机房拟安装有门-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设有门禁系统。	近期符合
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。	医院拟为本项目配备 2 台辐射剂量巡测仪 2 台表面污染监测仪、1 套固定式剂量报警仪(多个探头),能够满足现在工作的需要。	近期符合
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、人员培训计划、监测方案等。	近期符合
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。	高活室内配备通风橱,设置专用排风管道,排风引至本建筑物顶部排放。核医学科场所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,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《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
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。	近期符合

10.2.2 《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 10-4 所示。

表 10-4 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	<p>第五条</p> <p>生产、销售、使用、贮存放射性同位素与射线装置的场所，应当按照国家有关规定设置明显的放射性标志，其入口处应当按照国家有关安全和防护标准的要求，设置安全和防护设施以及必要的防护安全连锁、报警装置或者工作信号。</p>	<p>机房拟设置醒目的电离辐射警告标志及配有“当心电离辐射”的中文警示说明。机房安装有门-灯连锁安全装置及工作警示灯。储源室出入口拟设工作人员专用门禁、防盗门、入侵报警、视频监控等安全防范设施、技术防范系统等。受检者检查区入口和出口均设有门禁系统等。</p>	近期符合
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>医院将委托有辐射水平监测资质单位每年对辐射工作场所周围的辐射水平进行一次监测。医院将每半年使用辐射剂量仪，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。</p>	近期符合
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日前向生态环境部门提交年度评估报告。</p>	近期符合
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>医院规定所有辐射工作人员，在上岗前将接受生态环境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考核计划。</p> <p>北京朝阳医院拟为本项目配置15名辐射工作人员，在通过辐射安全与防护培训后持证上岗。</p>	近期符合
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监测（每季度1次）。</p>	近期符合
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</p>	<p>拟委托有资质单位对辐射工作人员进行个人剂量监测。</p>	近期符合

	个人剂量监测。		
--	---------	--	--

以上分析可知，该单位从事本项目辐射活动的技术能力基本符合相应法律法规的要求。

表 11 环境影响分析

11.1 建设或安装过程的环境影响

本项目施工活动对环境的影响主要是场所改造过程中产生的噪声、粉尘以及振动等。本项目工程量小，且施工都在医院场所内进行，对室外环境和周围人群的影响较小，故不再进行详细评价。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 核医学科门诊和病房布局及辐射防护措施分析

（一）选址设计合理性分析

本项目核医学科辐射工作场所位于医疗综合楼地下一层西北角，为相对独立的区域，距离院区边界及周围环境敏感点较远，评价范围内无学校、居民楼、养老院等敏感目标，无商场和超市等人员密集场所，使用放射性同位素过程中对周围环境和公众的影响较小，该项目核医学科选址基本合理。

（二）建筑布局合理性分析

核医学科东侧为楼内通道、电梯厅、通风机房、卫生间等；地下一层西侧和南侧为土层，土层上方为院内道路；核医学科楼上为新房机房、高压氧科相关场所等；楼下为空气压缩机房、配电间、废物垃圾回收站等辅助房间以及地下车库，核医学科场所布局见图 11-1 和附图 4。

（1）功能分区

核医学科辐射工作场所分为门诊和病房两个区域，都实行分区管理。具体分区情况如图 11-1 所示。

核医学科门诊：其中 PET/CT 室，SPECT/CT 室，注射后候诊室含卫生间，留观室，患者通道，高活室（注射室），放射性显像标记间，源库，废物间，肺通气室，运动负荷室，甲状腺功能扫描室等作为控制区进行管理，严格限制非工作人员进入。控制室，医护人员缓冲间，PET/CT 设备间，护士站、接诊室作为监督区进行管理，限制无关人员进入。

核医学科病房：其中 3 间病房及卫生间、废物间和服碘间作为控制区进行管理，严格限制非工作人员进入。缓冲间，护士站、值班室作为监督区进行管理，限制无关人员进入。

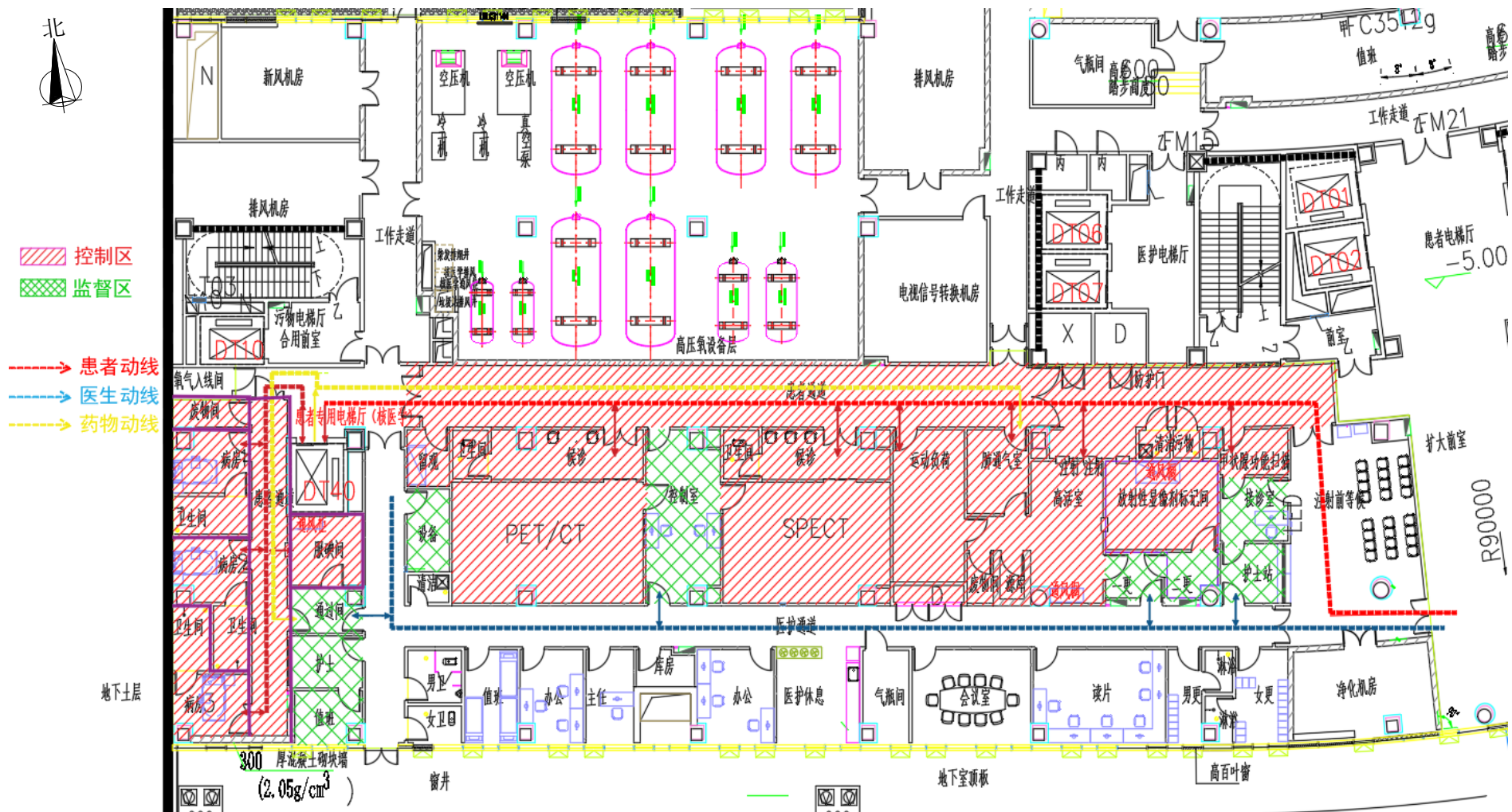


图 11-1 拟建核医学科分区、路由平面示意图

场所布局考虑了非辐射与辐射工作场所分开，不同放射性操作或污染水平的工作场所分开，工作人员区域与病人区域分开，尽可能的避免了人员受辐射影响，平面布局合理。

(2) 患者就诊流程

门诊患者：患者按照预约时间，到达核医学科接诊室→到注射前候诊区候诊→轮到患者核医学检查时，从核医学科场所东侧专用患者入口通过门禁进入检查区，在注射区窗口施予药物→在休息区休息（SPECT 和 PET/CT 分开候诊，门诊治疗患者确认用药正常后从核医学科西侧专用电梯离开辐射工作场所）→按检查要求排尽小便→进行扫描检查→受检者在扫描检查后，留观片刻，如显像符合要求即从位于西侧的带有门禁的防护门离开核医学科工作场所。

病房患者：患者办理住院手续后到护士站 → 接诊护士安排患者到指定病房，并进行入院辐射防护知识教育→分批服用 NaI-131 药物，在病房休养（尽可能在床上休息）→治疗周期（3d-4d），且体内 I-131 残留活度低于 400MBq 时 → 通过病房北侧门禁离开病房，坐电梯到一层，直通一层西侧室外庭院，或者坐电梯到地下二层停车场坐车离开。核医学科病房设置受检者检查区入口和出口，设有门禁系统。

可见，受检患者、治疗患者设有专用通道，和医护人员通道不交叉，且受检人员单向流动。受检人员从东侧入口进入核医学科场所控制区，核医学检查完毕后从西侧出口门离开，单向流动，并和医护人员通道不交叉。

(3) 工作人员工作流程

➤ 门诊高活室工作人员：

药物注射人员：护士从南侧工作人员专用入口进入高活室缓冲间（更衣室），在此更换工作服和拖鞋→在高活室分装药物、给受检人员注射药物→离开时，在缓冲间更换工作服和拖鞋，然后离开缓冲间。

➤ 门诊设备扫描操作人员：

SPECT/CT、PET/CT 操作技师：技师从地下一层东侧到达核医学科非辐射工作场所→在操作室操作设备、在机房内对受检人员进行摆位→工作完毕，离开核医学科场所。

只有本科室工作人员有授权，人流、物流示意图见图11-1。

➤ 病房医护人员：

一般情况下，医护人员通过对讲和视频系统进行查房和询问，医护人员不进入控制区。医生和技师或护士在给病人服药时，进入控制区。护理人员在楼层保洁和废物收集时，进入控制区。① 医生和技师或护士在缓冲间更换衣服和工作服，进入服碘室→技师在服碘室操作自动分装仪，完成药物活度检验和自动分装→医生和技师或护士在服碘室，通过观察窗，指导对面服碘室的病人服药→工作结束后在缓冲区更换工作服、工作鞋→检测后，离开核素治疗操作区。② 护理人员在东侧缓冲区更换工作服、工作鞋进入碘病房 →开展楼层保洁和废物收集等工作（患者从护士站取餐）→工作结束后返回缓冲区更换工作服、工作鞋→检测后，离开控制区。

可见，医护人员从缓冲间进入高活室，进行药物分装、注射等操作，可有效防止场所交叉污染，并和给药后受检人员流动不交叉，避免了不必要照射。

（4）放射性物品流转过程

有资质的供货公司将放射性药物由运输车辆运至医疗综合楼核医学科患者出入口西侧，从受检者专用电梯进入核医学科场所，送至高活室或者病房服碘室门口，进行“点对点”交接，核对放射性药物规格和数量，办理签收手续，然后将放射性药品暂存高活室备用，核医学科场所高活室内将安装监控装置，以满足生态环境和公安部门关于放射性物品存放的要求。

可见，放射性药物从外科楼西侧进入控制区，然后送入高活室或者病房服碘室，可避免送药环节对普通场所潜在放射性污染，避免对其它受检人员的不必要照射。

（5）放射性废物转移路线

核医学科门诊注射窗旁设置2个含5mm铅的废物桶（1L），存放废弃的放射性药物、注射器、包装物、棉棒、一次性用品等，病人注射后休息区和留观室各配备1个普通废物桶，内衬不易破损的塑料袋，收集病人候诊期间产生的放射性废物，次日早晨标注日期等转移至废物间。废物间设置4个含5mm铅的废物桶（20L），废物桶交替使用，一个废物桶储存满后更换另一个，待放射性固废放置一个月和10个半衰期后，依照《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》中A类和B类固体废物管理要求，解控作为医疗废物处置，从

控制区西北侧出口运出，并记录“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。

病房服碘窗旁设置一个含5mm铅的废物桶，存放废弃的放射性药物、口服杯、包装物等，按下一批患者入住前转移至放射性废物间。放射性废物间设置2个含5mm铅的废物桶，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180天后，依照《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》B类（I-131治疗病房）固体废物管理要求，解控作为医疗废物处置，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。

（6）放射性废水暂存和排放

核医学科门诊和病房两个区域放射性废水单独收集，并分别排到相应的衰变池衰变。

核医学门诊产生的放射性废水为注射后患者专用卫生间产生的冲厕废水、高活室产生的洗涤废水。这些放射性废水经专用管道一并先排入地下二层 65 号集水坑，然后泵到医疗综合楼外西侧地下 1 号放射性废水衰变池（槽式，总容积为 54m³，27m³/池×2 池，衰变池废水排放系统示意图见图 11-2）。病房服碘室产生的少量放射性废液和病房卫生间排水通过专用管道（局部外面包裹 6mm 铅皮）排入地下二层 68 号集水坑，然后泵到医疗综合楼外西侧地下 2 号放射性废水衰变池（槽式，总容积为 135m³，27m³/池×5 池，衰变池废水排放系统示意图见图 11-3）。两个衰变池的平面图见图 11-4。

按照《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》规定的清洁解控要求，经检测合格满足清洁解控排放的废水，排入医院医疗污水站进一步处理后，最终进入市政污水收集管网。

（7）放射性废气组织路径

本项目病房服碘室内的通风橱设有 1 套单独的排风系统，产生的废气排放前分别经过带有大活性炭过滤器（长：430mm、宽：400mm、高：90mm）净化后，通过排风管道引至核医学科西北侧管井从楼顶排出，进管井前增加活性炭过滤器

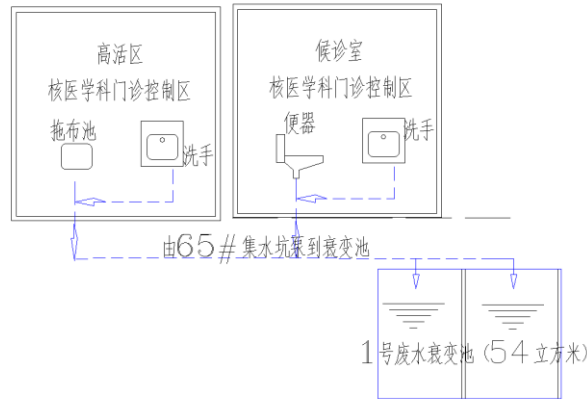


图 11-2 新建核医学科门诊 1 号衰变池废水排放系统示意图

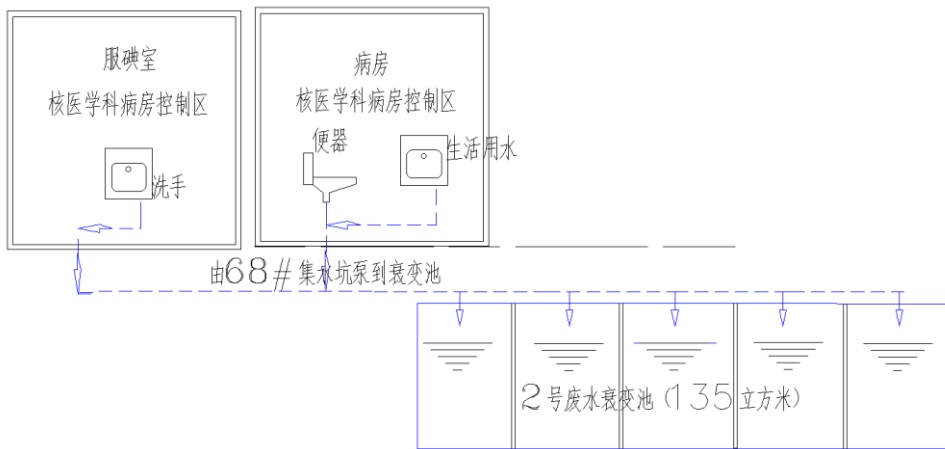


图 11-3 新建核医学科病房 2 号衰变池废水排放系统示意图

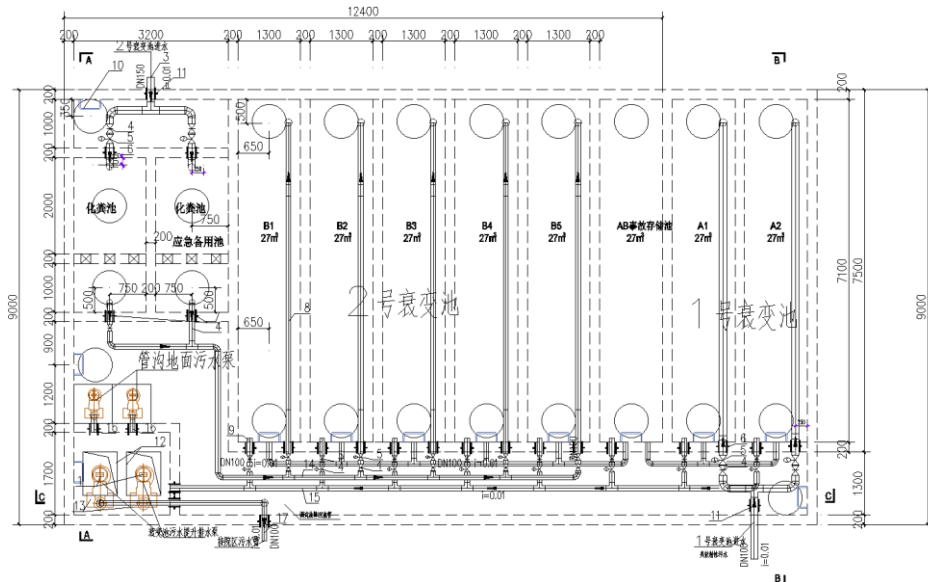


图 11-4 衰变池平面图

过滤。在服碘室、碘病房和放射性废物间均设排风口，以减少污染物的聚积，这些场所空气经风管集中在一起，经过另外一套独立排风管道引至核医学科西

北侧管井从楼顶排出，进管井前增加活性炭过滤器过滤。门诊高活室与肺通气室 3 个通风橱设有 1 套单独的排风系统，产生的废气排放前分别经过带有大活性炭过滤器（长：430mm、宽：400mm、高：90mm）净化后，通过排风管道引至核医学科西北侧管井从楼顶排出，进管井前增加活性炭过滤器过滤。通风橱的风量满足要求（半开情况下，风速大于 1m/s）。核医学科门诊区域另 1 套独立通风管道为注射室、给药受检人员候诊区域、废物间、机房等控制区独有，通过排风管道引至核医学科西北侧管井从楼顶排出，进管井前增加活性炭过滤器过滤。核医学科排风路由见图 10-3 所示。

排放口高度约 30m。在通风橱内操作放射性药物时，要求操作口的风速大于 1.0m/s，通风橱设活性炭过滤装置，更换周期一年，其过滤效率在一年的更换周期内预计大于 75%。

新建核医学科按照规划开展诊疗项目的类别以及工作管理便捷性的原则进行布局设计。从功能分区来看，接诊等候、工作人员办公、核素操作、扫描前等候、扫描检查和 I-131 病房治疗区域划分明确，相对隔离，满足了核医学诊疗管理要求，可以尽量避免公众和医护人员受到不必要的照射。同时考虑了放射性“三废”的收集、暂存、排放等措施。建议加强对核医学科诊疗工作秩序的管理，告诫注射药物后的待检者在规定的区域候诊，提醒陪护者和无关人员避免进入核素诊断工作区内。

（三）出入口控制

1) 受检人员出入口控制：在核医学科门诊场所东北侧的患者入口处、西侧受检人员出口处各安装 1 道设有单向门禁系统的防护门，并在防护门上张贴辐射标识和中文警示说明，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：在医务人员工作走廊出入口设置门禁系统，防止患者和其他无关人员误入该区域。

从功能分区来看，工作人员进行设备操作、药物注射的区域，与受检者给药、候诊区域划分明确，相对隔离，可以尽量避免公众和医护人员不必要的交叉照射。同时考虑了放射性“三废”的收集、暂存、排放等措施。

11.2.2 贯穿辐射分析

11.2.2.1 估算方法

核医学科使用 F-18 正电子放射性药物进行 PET/CT 检查，使用 Tc-99m、Tl-201 等核素进行 SPECT 显像检查，根据表 9 污染源与污染途径分析，在进行药物交接、注射、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停留的公众可能受到核素药物释放出的 γ 射线的影响。在此主要分析上述药物对人员的贯穿辐射影响。

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、扫描室、候诊区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剂量。

11.2.2.2 PET 检查辐射影响分析

(1) 放射性同位素的工作负荷

PET/CT 检查所用核素 F-18 的最大用量为 370MBq/人，每个工作日最多开展 PET/CT 检查 20 例，全年开机 250 天，共检查 5000 人次，扫描时间 20min/人次，则全年累计总扫描时间 1667h/a；注射药物后单例候诊平均时间 60min/人次，在核医学科内设置了注射后 PET 候诊室，PET 候诊室每年的候诊时间保守按 2000h 估算（每天 8h 估算）。

(2) 辐射源项

1) 根据 AAPM Task Group 108 报告，核素 F-18 的 K_{γ} 常数为 $0.143\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h MBq})$ ，给患者注射 370MBq 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），铅屏蔽的十值层 $TVL=16.6\text{mm}$ ，混凝土屏蔽的 $TVL=176\text{mm}$ ($\rho=2.35\text{t/m}^3$)，砖混屏蔽的 $TVL=258\text{mm}$ ($\rho=1.6\text{t/m}^3$)。

2) F-18 显像药物，需要在 PET 场所再次分装，故高活室需要考虑显像药物分装环节对环境的影响。每次最大分装量为 200mCi（半天 10 人次用药量，并考虑 2 倍的衰减裕量），操作上述活度的溶液，不考虑屏蔽情况下 1m 处的剂量率为 $1058\mu\text{Sv/h}$ 。

3) PET/CT 注射后候诊室最多停留 2 名受检者，留观室一般留观 1 名 PET 受检者。

4) 参照《核医学辐射防护与安全要求》（报批稿）要求：放射性药物分装

的通风柜外表面 30cm 处（人员操作位）的周围剂量当量率小于 2.5 μ Sv/h。

(3) 机房周围不同位置的附加剂量水平

根据 AAPM Task Group 108 报告，注射 F-18 核素后经过（60min、80min）后的活度衰减因子为 0.68、0.60，每人候诊或检查期间（60min、20min）平均活度相对检查初始的活度因子分别为 0.83、0.94。

注射核素后患者周围不同场所的最大附加剂量率见表 11-1，同时存在两名注射后患者情况下周围叠加剂量情况见表 11-2，核医学科相关场所估算点位置见图 11-5 和 11-6。

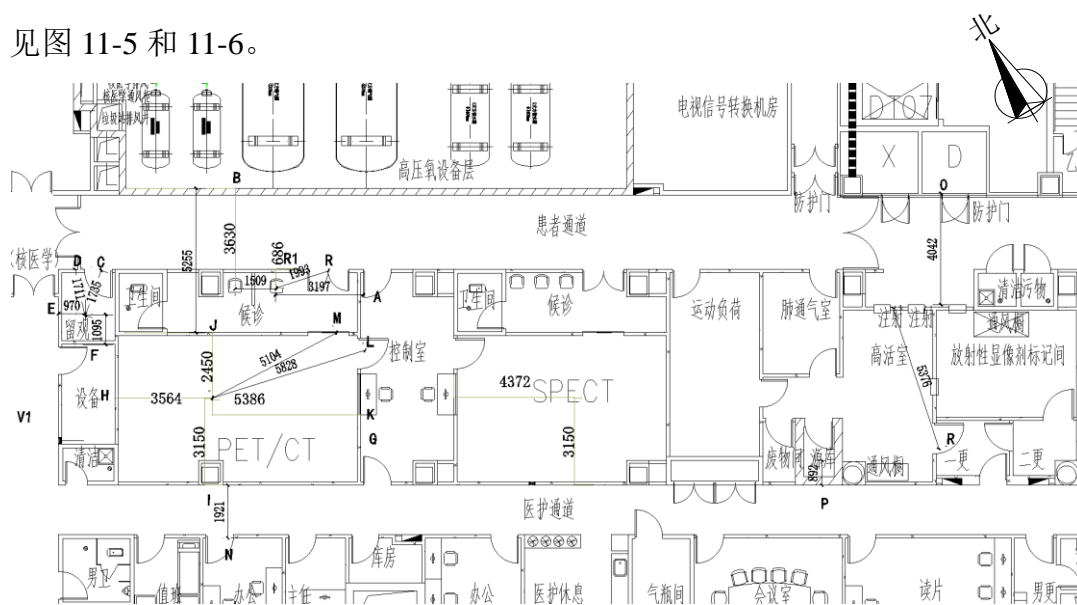


图 11-5 核医学科相关场所估算点位置图

表 11-1 注射核素后患者周围不同位置的剂量率

位置	距扫描患者距离 (m)	屏蔽材料与厚度	衰减因子	屏蔽后附加剂量率 (μ Sv/h)	备注	
PET 注射后候诊室	东墙外控制室 A	3.5	6mmpb	4.35E-1	1.21	控制室
	走廊外高压氧设备层 B	3.9	12mmpb	1.89E-1	4.23E-1	公众
	防护门外 R	2.3	6mmpb	4.35E-1	2.80	控制区
	楼上更衣室、接诊室	5.0	27cm 砼	2.92E-2	3.98E-2	公众
	楼下停车位、空气压缩机房及控制室	5.0	27cm 砼	2.92E-2	3.98E-2	公众

留观室	防护门外 C	2.0	6mmpb	4.35E-1	2.20	控制区
	北墙外电梯厅 D	2.0	12mmpb	1.89E-1	9.65E-1	公众
	西墙外医护通道 E	1.3	12mmpb	1.89E-1	2.28	公众
	南墙外设备间 F	1.4	12mmpb	1.89E-1	1.97	监督区
	楼上更衣室	5.5	27cm 砼	2.92E-2	2.53E-2	公众
	楼下停车位	4.5	27cm 砼	2.92E-2	2.36E-2	公众
PET/CT室	东墙外控制室 G	5.7	6mmpb	4.35E-1	3.10E-1	控制室
	控制室门外 L	6.1	6mmpb	4.35E-1	2.70E-1	控制室
	观察窗外 K	5.7	6mmpb	4.35E-1	3.10E-1	控制室
	南墙外医护走廊 I	3.5	6mmpb	4.35E-1	8.21E-1	工作人员
	南墙外办公室 N	5.4	6mmpb	4.35E-1	3.45E-1	工作人员
	西墙外设备间 H	3.9	6mmpb	4.35E-1	6.61E-1	监督区
	北墙外候诊室 J	2.8	6mmpb	4.35E-1	1.28	控制区
	北墙机房门外 M	5.4	6mm 铅	4.35E-1	3.45E-1	控制区
	楼上高流量吸氧室、更衣室、接诊室	5.0	27cm 砼	2.92E-2	2.70E-2	公众
	楼下停车位、空气压缩机房及控制室	5.0	27cm 砼	2.92E-2	2.70E-2	公众
注射室	南侧缓冲间 R	5.7	6mmpb	4.35E-1	4.55E-1	监督区
	北侧走廊外 O	4.2	6mmpb	4.35E-1	8.39E-1	公众
	楼上走廊	5.5	27cm 砼	2.92E-2	3.29E-2	公众
	楼下停车位	4.5	27cm 砼	2.92E-2	4.91E-2	公众
放射性	楼上咖啡厅	5.5	27cm 砼+50mmpb	2.84E-5	3.20E-5	公众

显像剂 标记间	楼下停车位	4.5	27cm 砼+50mmpb	2.84E-5	4.77E-5	公众
门诊楼 内	上面三层药房 (PET 机房上方)	10.0	54cm 砼	8.55E-4	1.98E-4	公众
	上面三层诊室(候 诊室上方)	10.0	54cm 砼	8.55E-4	2.91E-4	公众

注：屏蔽后剂量率由公式 $DI = 0.64 \times K_{\gamma} \times A_0 \times B \times R_U / d^2$ ， $B = 10^{-\frac{\chi}{R}} \times \chi$ 算出，其中 A_0 为给患者注射活度， χ 为墙体厚度， R_U 为注射后患者候诊期间和检查期间的衰减因子。上表估算的剂量率为初始的活度的剂量，PET/CT 室、留观室的剂量率考虑候诊期间和检查期间的衰减因子。

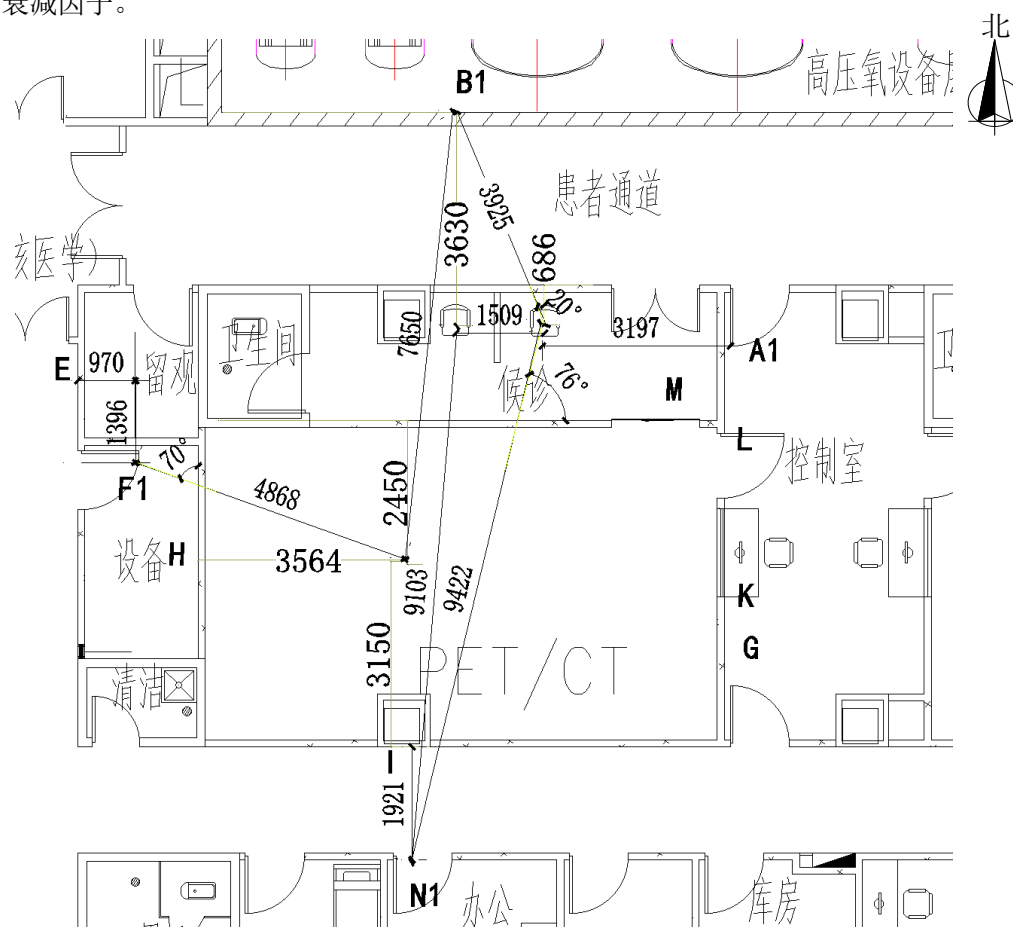


图 11-6 PET 剂量叠加估算点位置图 (2 名患者同时候诊)

表 11-2 主要位置存在剂量叠加情况表

位置	距离 (m)	有效屏蔽材 料与厚度	衰减因子	屏蔽后附 加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	累加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	备注
东墙外控制	3.5	6mmpb	4.35E-1	1.21	1.47	

室 A1	5.0	12mmpb	1.89E-1	2.57E-1	(1.21)	候诊室有 2 名患者
走廊外高压氧设备层 B1	3.9	12mmpb	1.89E-1	4.23E-1	7.81E-1 (4.23E-1)	候诊室有 2 名患者
	4.2	12.76mmpb	1.70E-1	3.28E-1		PET/CT 室 1 名患者
	8	18mmpb	8.23E-2	2.97E-2		
南墙外办公室 N	9.4	12mmpb	1.89E-1	7.28E-2	4.83E-1 (3.45E-1)	候诊室有 2 名患者
	9.7	12.36mmpb	1.80E-1	6.51E-2		PET/CT 室 1 名患者
	5.4	6mmpb	4.35E-1	3.45E-1		
留观室南墙外设备间 F1	1.4	12mmpb	1.89E-1	1.97	2.39 (1.97)	留观室 1 名患者
	4.9	6mmpb	4.35E-1	4.19E-1		PET/CT 室 1 名患者

备注：表中累加剂量率括号内值为 1 名注射患者时的剂量率。

由表 11-1 和表 11-2 可见：控制区边界外的普通区域和监督区，如控制室、医护通道、患者出口、楼上楼下等位置，最大附加剂量率为 $2.39\mu\text{Sv/h}$ （设备间），满足本项目辐射场所控制区边界辐射剂量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

（4）周围公众受照剂量估算

以每年开展 5000 人次 PET/CT 检查，每次 PET/CT 总扫描时间为 20min 计，全年 PET/CT 机房内受检者停留总时间 1667h。给药后休息区内受检者停留时间按 2000h/a，留观室受检人员停留时间 417h（100%受检人员留观 5min）。药物注射时间为 30s/人，注射区全年累计总注射时间 41.7h。药物分装时间 2min/人次，全年累计分装时间为 166.7h。2 个患者注射后候诊区外剂量率大部分区域都略大于一个患者估算值，详见表 11-2，其中括号内的剂量值是一个患者时估算值，注射后候诊区主要位置的年附加剂量估算保守以一位患者的 2 倍估算，结果见表 11-3。

表 11-3 给出了公众可能受照剂量估算结果。可见，PET 检查对公众的辐射照射剂量最大不超过 $87.8\mu\text{Sv/a}$ （北侧走廊外高压氧设备层），对楼内二层以上公众的辐射影响最大为 $0.58\mu\text{Sv/a}$ ，均满足本项目设定的 $100\mu\text{Sv/a}$ 的剂量约束值要求。

核医学科门诊场所分区管理，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，仅在本院机房

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 PET 相关场所主要位置的年附加剂量估算

位置		屏蔽后附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	居留因子	全居留时间 (h/a)	年附加剂量 ($\mu\text{Sv/a}$)
PET 注射后候诊室	走廊外高压氧设备层 B	8.46E-01*	1/16	2000	8.78E+01
	楼上更衣室、接诊室	7.96E-02*	1/4	2000	3.30E+01
	楼下空气压缩机房及控制室	7.96E-02*	1/16	2000	8.26E+00
留观室	北墙外电梯厅 D	9.65E-01	1/16	417	2.52E+01
	西墙外医护通道 E	2.28	1/16	417	5.94E+01
	楼上更衣室	2.53E-02	1/16	417	6.59E-01
	楼下停车位	2.36E-02	1/16	417	6.15E-01
PET/CT 室	楼上接诊室	2.70E-02	1	1667	4.23E+01
	楼下空气压缩机房及控制室	2.70E-02	1	1667	4.23E+01
注射室	楼上走廊	3.29E-02	1/16	41.7	8.57E-02
	楼下停车位	4.91E-02	1/16	41.7	1.28E-01
放射性显像剂标记间	楼上咖啡厅	3.20E-05	1	166.7	5.33E-03
	楼下停车位	4.77E-05	1/16	166.7	4.97E-04
上面三层药房 (PET 机房上方)		1.98E-04	1	1667	3.30E-01
上面三层诊室 (候诊室上方)		2.91E-04	1	2000	5.82E-01

备注：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

(60min 和 20min 平均活度相对检查初始的活度因子分别为 0.83 和 0.94), 其中注射室、高活室、留观室、核医学科周围未考虑 R_T 的影响。

(5) 工作人员年受照剂量

1) 工作人员进行分装同位素环节时受照剂量

核医学科显像场所只分装 F-18 核素 (其它核素送来时已分装好), 直接送到核医学科高活室, 放置通风橱内, 进行分装后提供给病人注射, 工作量饱和时一天两次供药, F-18 核素在储存状态情况下对工作人员的附加剂量影响很小, 参照《核医学辐射防护与安全要求》(报批稿) 要求: 放射性药物分装的通风柜外表面 30cm 处 (人员操作位) 的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。分装操作时间短, 全年累计分装时间为 166.7h, 则工作人员所受的年附加剂量为 $417\mu\text{Sv}$ 。

2) 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 50mm 铅防护功能的铅玻璃进行防护, 剂量率可以至少降低一个量级, 衰减后为 $67\mu\text{Sv/h}$ 。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 41.7h, 则工作人员所受的年附加剂量为 $2793\mu\text{Sv}$; 距注射器手指处的剂量率为 18mSv min^{-1} (370MBq), 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。

3) 工作人员在 PET/CT 室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 1m 处摆位环节时人的深部当量剂量率为 $23.2\mu\text{Sv/h}$ ($34\mu\text{Sv/h}\times 0.68$), 全年进行检查人数 5000 人次, 每个病人摆位 30s (1m 处), 年总摆位时间约 41.7h, 则工作人员共所受到的年附加剂量 $967\mu\text{Sv}$, 核医学科制度规定患者都是广播指导摆位, 因此实际摆位环节的年附加剂量远低于 $967\mu\text{Sv}$ 。

4) PET/CT 操作室内工作人员的年受照剂量

由表 11-1 可得, PET/CT 操作室内的工作人员的年附加剂量约为 $486\mu\text{Sv}$

($0.31\mu\text{Sv/h}\times 1667\text{h}\times 0.94$)。

11.2.2.3 SPECT/CT 检查环境影响分析

(1) 显像核素的使用

核医学科 SPECT 显像只使用 Tc-99m、Tl-201 和 Ga-67, 其中 Tl-201 和 Ga-67 使用量都小于 Tc-99m, 平均能相当, 本环节以 Tc-99m 为例对 SPECT 场所的使用进行评价。I-131 甲状腺摄碘功能测定用药较小, 每天不大于 1MBq, 对环境的影响很小, 故不评价对环境的影响, 只考虑对工作人员的剂量贡献。

(2) 放射性核素 Tc-99m 的贯穿辐射

Tc-99m 源的 K_{γ} 常数为 $0.023\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h MBq})$, 给患者注射 925MBq (25mCi) Tc-99m 后, 距离患者 1m 处的剂量率为 $21.3\mu\text{Sv/h}$ (未考虑患者自吸收), Tc-99m γ 辐射能量为 0.14MeV, 铅屏蔽的 TVL=1mm, 砼屏蔽的 TVL=69.9mm ($\rho=2.35\text{t/m}^3$), 注射 925MBq (25mCi) 的 Tc-99m 药物的病人, 1m 处的剂量率约为 $3.7\mu\text{Sv/h}$ (国际放射防护委员会, 第 52 号出版物, p14, 1987)。

与 Tc-99m 试剂相关机房可采用具有屏蔽效果的一般建筑材料, 150mm 砼或 2mm 铅外辐射水平已接近天然本底辐射水平, 本项目核医学科内 SPECT 相关场所屏蔽材料为 3mm 铅或 27cm 砼 (顶棚、地板), 满足辐射源的屏蔽要求。

(3) 公众受照剂量

Tc-99m 等试剂相关机房外的辐射水平已接近天然本底辐射水平, 对公众外照射的年附加剂量贡献很低。

(4) 工作人员年受照剂量

1) 工作人员为患者进行 Tc-99m 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: 手持注射器注射活度为 1MBq、容量为 5mlTc-99m 药液时, 对距 30cm 处人的深部当量剂量率为 $2.6\times 10^{-4}\text{mSv/h}$ 。所以, 注射 925MBq (25mCi) 的 Tc-99m, 距 30cm 处人的深部当量剂量率为 $240\mu\text{Sv/h}$ 。注射时采用具有防护功能的铅玻璃窗屏蔽 (50mm 铅当量的铅玻璃), 剂量率可以至少降低两个量级, 衰减后为 $2.4\mu\text{Sv/h}$ 。注射操作时间短, 每支的注射时间为 30s, 年总操作时间约 70.8h (8500 例/年, 包括 Tl-201 和 Ga-67 显像量),

则工作人员所受的年附加剂量为 $170\mu\text{Sv}$ 。

2) 工作人员在 Tc-99m 扫描室内指导病人摆位环节的受照剂量

注射 $925\text{MBq}(25\text{mCi})$ 的 Tc-99m 药物的病人, 1m 处的剂量率约为 $3.7\mu\text{Sv/h}$ (国际放射防护委员会, 第 52 号出版物, p14, 1987)。假设摆位人员距离病人距离 100cm , 保守按全年进行 SPECT 检查的最大人数 (8500 人次) 进行剂量估算。假设每个病人的平均摆位时间 $30\text{s}(1\text{m}$ 处), 则年总操作时间为 70.8h , 则总剂量为: $3.7\mu\text{Sv/h}\times 70.8\text{h}=261.96\mu\text{Sv}$, 核医学科制度规定患者都是广播指导摆位, 且摆位时工作人员穿 0.5mmPb 当量的铅衣 (对 Tc-99m 衰减因子为 3.16×10^{-1}), 因此实际摆位环节的年附加剂量远低于 $261.96\mu\text{Sv}$ 。

11.2.2.4 锝气发生器致工作人员年受照剂量

(1) 加样

制备 Tc-99m 气体前, 工作人员需向锝气发生器舟型坩埚中注入 15mCi 高锝酸钠注射液, 操作时间约 1 分钟, 据《放射性核素和辐射防护数据手册》[Radionuclide And Radiation Protection Data Handbook 2002]给出: 手持注射器注射活度为 1MBq 、容量为 5ml Tc-99m 药液时, 对距 30cm 处人的深部当量剂量率为 $2.6\times 10^{-4}\text{mSv/h}$ 。所以, 注射 $550\text{MBq}(15\text{mCi})$ 的 Tc-99m, 距 50cm 处人的深部当量剂量率为 $51.5\mu\text{Sv/h}$ 。按照一天 2 例病人, 一年 200 例病人 (每周 2 次), 年操作时间为 3.3h , 则工作人员加样环节所受年附加剂量为 $170\mu\text{Sv}$ 。

(2) 患者施用过程

Tc-99m 气体制备好后, 由工作人员指导患者吸入 Tc-99m 气体。病人吸气后约 20MBq 的 Tc-99m 气体被吸收 (主要在肺部), 另有约 20MBq 的 Tc-99m 气体吸附在 PAS 过滤装置。病人和过滤装置会对工作人员产生外照射。施用过程中工作人员距患者和过滤装置约 50cm , 吸入气体及观察过程用时约 5 分钟, 则患者施用过程对工作人员的外照射剂量约为 $156\mu\text{Sv/h}$, 计算中未考虑患者身体的衰减作用。

本次理论估算出一次 Technegas 制备和给药过程操作者受到的外照射累积剂量是 $1.63\mu\text{Sv}$ 。根据李蓓蕾等“Technegas 肺通气显像中医务人员的辐射剂量水平监测与评价”, 在整个 Technegas 制备和给药过程中, 操作者受到的外照射累积剂量是 $0.38\sim 1.0\mu\text{Sv}$, 实测值要低于理论估算值。操作者在实际工作中应

规范操作，熟练操作，尽量缩短照射时间。

(3) 内照射剂量

Technegas 制备和给药过程中会有少量的 Tc-99m 气体逸散到空气中，JJ.LLOYD 等对场所的 Tc-99m 气溶胶浓度做了检测评价分析，根据“Contamination levels and doses to staff arising from the use of Technegas”检测数据，不考虑通风情况下制备和给药场所中 Tc-99m 气溶胶的浓度为 $17\sim 195\text{kBq/m}^3$ ，低于本次评价的工作人员空气浓度控制值 (290kBq/m^3)。一次 Technegas 制备和给药过程按 10min 考虑，一年 200 位受检患者，工作人员在高活室内照射的时间为 2000min，根据《辐射安全手册》单位活度 Tc-99m 致人有效剂量约 $10\mu\text{Sv/MBq}$ ，则工作人员内照射剂量为 $195\times 10^3\text{MBq/m}^3\times 0.02\text{m}^3/\text{min}\times 2000\text{min}\times 10\mu\text{Sv/MBq}=78\mu\text{Sv}$ 。制备施给过程均在核医学科高活室通风橱边进行，通风橱工作中有足够风速（一般不小于 1m/s ），工作人员实际内照射剂量要远小于理论估算值。

综上所述，使用锝气发生器制备和施用药物对工作人员的年附加剂量为 $170+156+78=404\mu\text{Sv}$ 。

11.2.2.5 核医学科治疗用核素环境影响分析

核医学科治疗用核素有 Sr-89、I-131，在核医学科接受放射性药物治疗的病人，在用药后观察片刻就离开。除观察期间病人辐射对周围环境有短暂影响外，通常不会产生排泄物等废液和固体废物，病人呼出气可能含有的少量放射性物质，其中 Sr-89 为 β 核素，且每天治疗病人较少，故对环境的影响十分轻微；使用 I-131 治疗甲亢的病人最多 8 名/周，不大于 370MBq/病人 ，I-131 的操作方式为口服，假设从病人口服到离开，工作人员接触病人的时间为 5min/病人 ，一年的接触时间为 $33.3\text{h}[5\text{min}\times 8(\text{人/周})\times 50(\text{周/年})/60(\text{min/h})]$ ，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 I-131 药液时，对距 30cm 处人的深部当量剂量率为 $7.29\times 10^{-4}\text{mSv/h}$ 。所以，距注射 370MBq (10mCi) I-131 的病人 100cm 处人的深部当量剂量率约为 $24.2\mu\text{Sv/h}$ ，则 I-131 核素对工作人员增加的附加剂量约为 $806\mu\text{Sv}$ 。

11.2.3 放射性废物产生及排放情况

(1) 放射性废气

核医学科高活室内设计有通风橱，安装有单独的通风系统。高活室与肺通气室 3 个通风橱可能产生的废气排放前分别经过带有大活性炭过滤器（长：430mm、宽：400mm、高：90mm）净化后，通过排风管道引至核医学科西北侧管井从楼顶排出，进管井前增加过滤。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。主要所涉及的同位素除 I-131 以外的标记药物，如 F-18、Tc-99m、Ga-67、Tl-201 显像用药物物理性质稳定。静脉注射给药属很简单操作。正常工作情况下，活度测定和注射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。核医学科门诊区域另 1 套独立通风管道为注射室、给药受检人员候诊区域、废物间、机房等控制区独有，通过排风管道引至核医学科西北侧管井从楼顶排出，进管井前增加过滤。

医院委托设备厂家定期检查维护药物通风橱的吸附过滤装置，确保过滤效率满足设计要求。更换滤材操作时执行辐射监测制度，并采取个人防护措施和场所去污措施。拆下的废弃滤材及更换的部件应妥善收集，密封包装暂存于废物间，按照放射性固体废物进行暂存，存放超过至少 81 天后经检测满足解控水平后按照普通医疗废物进行处置。

核医学科患者施用放射性药物的工作中，有挥发性的核素是 I-131。本核医学科门诊没有 I-131 甲癌治疗，甲亢门诊治疗也较少，I-131 液体年用量 2.4×10^{11} Bq。保守假设，转移到空气中的份额为 10^{-3} ；由于通风橱的抽气，扩散到橱外的室内空气中的份额为 10^{-2} ；操作者吸入污染空气份额为 10^{-2} 。估算出，操作者年吸入不大于 24000Bq。使用 I-131 单位吸入量的有效剂量转换因子 1.1×10^{-2} $\mu\text{Sv/Bq}$ ，操作者年吸入 I-131 的总内照射有效剂量为 264Sv，再考虑通风橱的排风过滤和室外大气扩散，从空气污染致工作人员和工作场所周围公众的吸入内照射剂量远低于国家标准要求。

若操作放射性物质发生意外泼洒情况时，经过吸附收集处理后，可能有微量的放射性物质随挥发性废气，通过排风系统排放至周围环境空气中。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剂量贡献很小。

(2) 放射性液体废物

核医学科位于院内外科楼地下一层西侧，核医学科门诊区域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，将通过专用管道一并先汇入地下二层 65 号集水坑，然后泵到楼外西侧地下放射性废水衰变池，废水通过衰

变后排放至医院污水处理站进一步处理后，最终进入市政污水管网。

1) 衰变池结构

- 采用 C30 抗渗混凝土建造，四周池壁厚 200mm，槽与槽之间隔板厚 200mm，底板厚 ≥ 250 mm，顶板厚 200mm。采取防渗措施。
- 总容积约为 54m^3 ($27\text{m}^3/\text{槽} \times 2$ 槽)。衰变池排放路由见图 11-2 所示，衰变池结构平剖面设计见附图 6。

2) 衰变池控制和管理

- 智能控制系统、人性化操作管理、设定工作参数和状态提醒机制。
- 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，此时 A1 电动阀打开，废水流入 1#衰变池，其内置液位计检测经检测达到预设定高液位时经 PLC 处理信号关闭 A1 电动阀，同时开启 A2 电动阀，放射性废水流入 2#衰变池，当 2#衰变池达到高液位时关闭 A2 电动阀，再次开启 A1 电动阀，再次排入 1#衰变池（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。

3) 废水产生排放情况预测

核医学科场所设置给药受检人员专用卫生间。保守地按照所有受检者每人每次入厕产生放射性废水的总量为 5L；另外高活室（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 60L/d。每年显像 13500 人，每月最多 1125 人，每月工作 23 天计，则放射性废水的月最大产生量约为 $60\text{L/d} \times 23\text{d/月} + 5\text{L/人} \times 1125\text{人} = 7.0\text{m}^3$ ，衰变池的总容积约为 54m^3 ($27\text{m}^3/\text{槽} \times 2$ 槽)，废水实际可暂存 8 个月，满足《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》中 B 类放射性废水暂存衰变至少 30 天后（满 10 个半衰期），委托有资质的检测机构对废水进行检测，废水中 I-131 核素、最长半衰期核素的放射性活度浓度、总活度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。

(3) 放射性固体废物

核医学科场所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高活室自行衰变。注射室内配置 1 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，标注日期于次日早晨转移至废物间内的废物桶内。本场所按全年开展核素诊疗 13500 人次，平均每人次产生含放射性固体废物 0.05kg，则项目满负荷运行年产生量约 675kg。

核医学科门诊场所每年更换通风橱和管道中活性炭过滤器，预计额外产生 25kg 固体废物，拆下的废弃滤材将妥善收集，密封包装暂存于污物间，按照放射性固体废物进行暂存。

依据《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，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。

11.2.4 异常事件分析与防范建议

11.2.4.1 事件（故）分析

本项目主要使用 F-18、Tc-99m 作为显像药物，I-131 用于甲亢患者治疗和显像，患者在医院的驻留时间短，在正常营运情况下对于公众和周围环境是安全的。但是，如果操作管理不善或发生异常情况时，可能对公众和环境造成辐射危害，可能出现的情况有：

(1) 放射性药物意外泼洒、泄漏、丢失

由于工作人员操作不熟练或其他原因造成工作时放射性药物撒漏以及药物保管不善致使放射性药剂在给患者用药之前丢失,可能对公众和周围环境造成辐射污染。

对于患者不配合引起的 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,锝气发生器装置或阀门泄露造成 Tc-99m 气体泄漏或逸出。

(2) 放射性废物管理不善。

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。

(3) 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。

11.2.4.2 风险防范与事故应急处理措施

针对在核医学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) 建立放射性药物使用管理制度,制定放射性药物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;

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,停止锝气吸入后,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。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,应立即收集污染物,采用吸水纸擦拭方法进行处理,吸水纸当放射性固体废物处理。

(2) 安保措施:核医学科场所注射室拟安装防盗门,室内设置闭路监视系

统，以满足生态环境和公安部门关于放射源和放射性物品存放的要求。

(3) 屏蔽防护：药物使用场所（高活室）、受检人员停留场所（扫描机房和候诊区等），墙体采用实心砖屏蔽，防护门采用铅屏蔽，注射窗口采取 40mm 铅防护。观察窗采用铅玻璃防护，减少电离辐射对周围环境的辐射影响。

(4) 表面污染控制措施：在通风橱内分装放射性药物，注射窗口处注射药物。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，并用表面污染监测仪检测，直至表面污染水平满足 GB18871-2002 要求。工作人员离开高活室，在缓冲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。

(5) 放射性废物管理：设立专用的放射性废物间，配置 5 个铅制废物桶。收集高活室（注射室）等场所产生的放射性废物，标注日期，定期进行清洁解控处置。设置放射性废水衰变池，将放射性废水暂存处置，符合清洁解控要求排放。活性炭过滤器一年更换一次，暂存后清洁解控处置。

(6) 发现意外事件与事故的当场人员应当立即向科负责人、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，保卫科负责保护现场，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行政部门报告。

11.2.5 核医学科核素治疗环境影响分析

核医学科核素治疗场所分为住院治疗，使用 I-131 核素开展甲癌患者的住院治疗。根据协和医院近年来开展 I-131 甲癌治疗的给药量：服药量为 3.7GBq 的甲癌患者约占 50%，低于 3.7GBq 的甲癌患者约占 10%，介于 3.7GBq~5.55GBq 之间的患者约占 20%，5.55GBq~9.25GBq 的约占 20%。病人的平均用药量约为 4.44GBq（120mCi）。本项目人均按 5.55GBq（150mCi）估算。

(1) 病房周围辐射剂量率水平

I-131 治疗药物的剂型通常为 Na^{131}I 水溶液，采用口服给药方式。 Na^{131}I 口服液事先由供药公司根据病人用量储存药瓶内，之后存放在铅罐（40mm 厚 Pb）中，送抵医院。

I-131 放射性药物包装为 A 型，运输类别为 II 级（黄）。《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）要求：对于 II 级（黄）运输类别，外表面任何一点处的剂量率不得高于 0.5mSv/h。罐体直径按照 10cm 估算，预计 1m 处的剂量率低于 1.25 μ Sv/h。可见，放射性药物在包装容器内储存时，对周围环境的影响是很轻微的。放射性药品使用前，拟采用自动分装仪分装，之后由病人自取服用。服用时间很短，对周围环境影响也较小。

病人服用药物后，相当于一个移动放射源，在病房停留观察 3-4d，对周围的环境有一定的影响。将 I-131 药物容器或服药病人视作点状源。考虑屏蔽层的衰减和距离衰减，可以估算出治疗室和病房周围（含楼上）的附加剂量率水平。根据《Bernard Shleien.1998. Handbook of Health Physics and Radiological Health.3rd》文件，施用 3.7GBqI-131 药物后不同时间所致不同距离的剂量水平见表 11-4，24 小时后距患者 1m 处辐射剂量率为 163.5 μ Sv/h（按 5.55GBq 修正），则距患者 2m 处（工作人员查房停留距离）剂量率为 40.9 μ Sv/h。

表 11-4 施用 3.7GBqI-131 药物后不同时间所致不同距离的剂量水平（ μ Sv/h）

与患者距离 (m)	用药经过时间 (h)							
	0	6	12	18	24	36	48	72
1.0	216	173	120	117	109	81.4	67.4	17.7

屏蔽设计：病房和放射性废物间四周墙体均为 11mm 铅（西墙为 40cm 砼），地板、顶板均为 27cm 砼，拟安装不低于 8mm 铅当量防护门。保守按每个患者施药活度 5.55GBq（150mCi，即 1m 处初始剂量率为 324 μ Sv/h），估算其周围的附加剂量率和对环境的辐射影响，核素治疗项目运行对周围环境影响见表 11-5，点位见图 11-7。

表 11-5 注射核素后患者在病房周围不同位置的附加剂量率

位置		距扫描患者 距离 (m)	有效屏蔽材 料与厚度	衰减因子	附加剂量率 (μ Sv/h)	备注
病房 1	东墙外电梯厅 U	5.1	2.2cm 铅	4.83E-3	6.02E-2	核医学 患者专 梯
	东墙外电梯厅 U1	5.2	1.9cm 铅	1.00E-2	1.20E-1	核医学 患者出 口

	东墙外走廊 T	3.1	1.1cm 铅	6.95E-2	2.34	控制区
	患者入口 Y (38°)	5.2	30.8cm 铅	5.73E-4	6.86E-3	患者出口
	楼上新风机房	5.0	27cm 砼	3.51E-3	4.55E-2	公众
	楼下车位	4.5	27cm 砼	3.51E-3	5.62E-2	公众
	防护门外患者走廊 S1	3.2	0.8cm 铅	1.44E-1	4.55	控制区
病房 2	东墙外服碘间 V	4.8	1.9cm 铅	1.00E-2	1.41E-1	控制区
	楼上卫生间和淋浴室	5.0	27cm 砼	3.51E-3	4.55E-2	公众
	楼下车位	4.5	27cm 砼	3.51E-3	5.62E-2	公众
	防护门外患者走廊 S2	3.1	0.8cm 铅	1.44E-1	4.85	控制区
病房 3	东墙外患者走廊 W	2.1	1.1cm 铅	6.95E-2	5.11	控制区
	护士站/值班室 X	5.2	2.2cm 铅	4.83E-3	5.79E-2	科里工作人员
	防护门外患者走廊 S3	2.5	0.8cm 铅	1.44E-1	7.46	控制区
	南墙外楼外过道 Z	6.2	26.1cm 砼	4.24E-3	3.57E-2	公众
	楼上室外顶板	5.0	27cm 砼	3.51E-3	4.55E-2	公众
	楼下汽车通道	4.5	27cm 砼	3.51E-3	5.62E-2	公众
服碘间	东墙外工作人员走廊走廊 V1	3.9	2.2cm 铅	4.83E-3	1.03E-1	工作人员走廊
	患者入口处 Y	7.1	0.8cm 铅	1.44E-1	9.25E-1	患者出入口
二层	医疗综合楼上二层	10	54cm 砼	1.23E-5	3.99E-5	/

备注：铅屏蔽的 TVT=9.5mm，砼的 TVT=110mm ($\rho=2.35\text{t/m}^3$)，300mm 混凝土砌块墙 ($\rho=2.05\text{t/m}^3$) 相当于 261mm 砼

由表 11-5 可见：在患者服用 5.55GBq I-131 药物后，控制区边界外的普通区域和监督区，如护士站、值班室、楼上楼下等位置，最大附加剂量率为 0.925 $\mu\text{Sv/h}$ （患者出入口），病房上方二层的附加剂量率为 3.99E-5 $\mu\text{Sv/h}$ ，满足本项目辐射场所控制区及边界辐射剂量率小于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 要求；控制区内门口位置最大值为 7.46 $\mu\text{Sv/h}$ ，满足本项目辐射场所控制区病房防护门外辐射剂量

率小于 $10\mu\text{Sv/h}$ 的要求。根据剂量率与距离平方成反比以及评价范围内固有建筑物的屏蔽，则在病房周围 50m 评价范围内的相关场所的剂量率远小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，基本为本底水平。

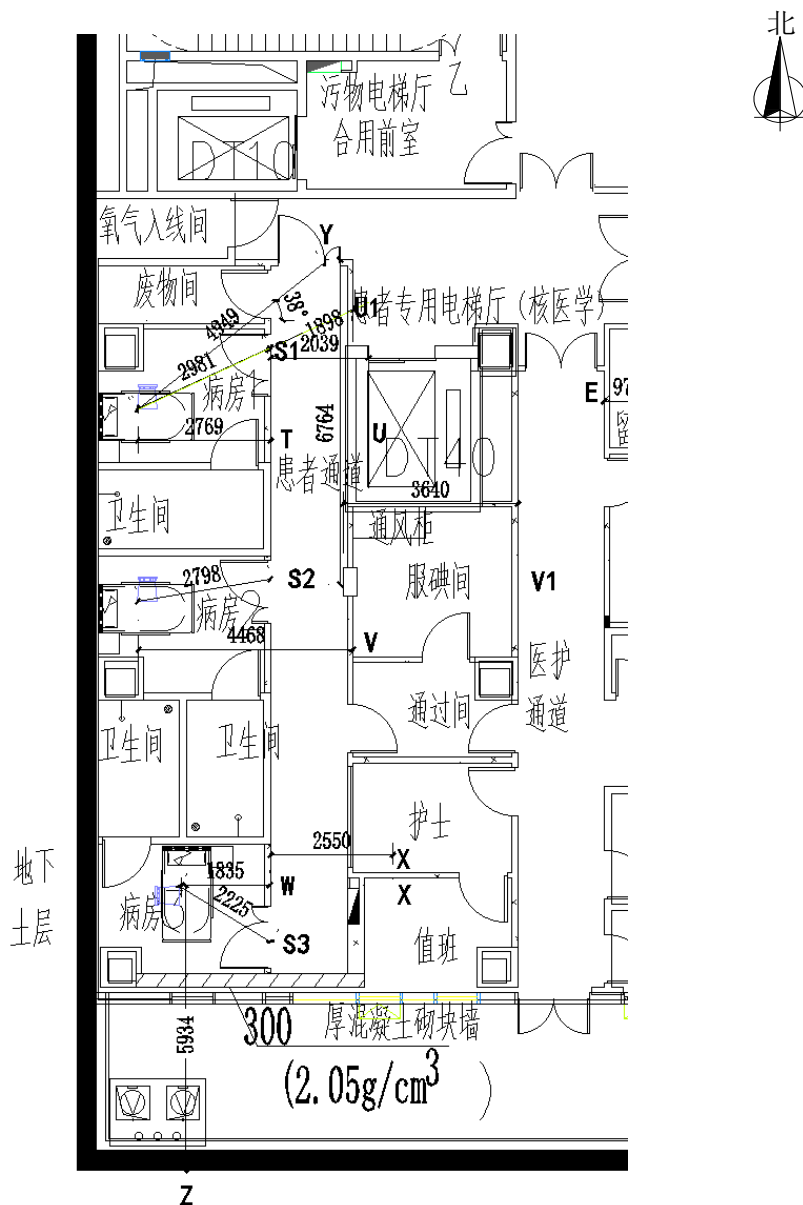


图 11-7 核医学科病房周围剂量率估算点位示意图

(2) 工作人员受照剂量分析

工作人员包括医生、技师、护士和辅助护理工作的护工。工作人员的辐射受照剂量将主要来自 γ 射线外照射和吸入内照射。

根据《Bernard Shleien.1998. Handbook of Health Physics and Radiological Health.3rd》文件，施用 5.55GBqI-131 药物 24h 后，距患者 1m 处辐射剂量率

为 $163.5\mu\text{Sv/h}$ ，则距患者 2m 处（工作人员查房停留距离）剂量率为 $40.9\mu\text{Sv/h}$ 。假设使用 I-131 药物的平均服药量为 5.55GBq/人 ，保守按每年治疗 300 人计，每周查房时间 1h ，工作人员外照射剂量为 2.045mSv/a ($40.9\mu\text{Sv/h}\times 1\text{h/周}\times 50\text{周/a}$)。

根据《4 家核医学工作场所空气中 ^{131}I 活度浓度的监测》（张震等，《工业卫生与职业病》2013 年第 39 卷第 3 期）中对 4 家三甲医院的 ^{131}I 分装室空气气溶胶监测结果，所测工作地点空气样品中 ^{131}I 的活度浓度范围为 $5.8\sim 320\text{Bq/m}^3$ ，假设病房空气中 I-131 平均浓度 200Bq/m^3 ，每周查房时间 1h ，工作人员吸入 I-131 量最大值 $1.2\times 10^4\text{Bq/a}$ ($200\text{Bq/m}^3\times 0.02\text{m}^3/\text{min}\times 60\text{min/h}\times 1\text{h/周}\times 50\text{周/a}$)，吸入放射性碘剂量转换系数取 $7.4\times 10^{-9}\text{Sv/Bq}$ ，预计内照射有效剂量为 0.09mSv/a 。

病房东侧护士站和值班室工作人员的年附加有效剂量为 0.116mSv/a ($5.79\text{E}-2\mu\text{Sv/h}\times 2000\text{h/a}$)。

可见，正常情况下工作人员年受照剂量在 2.2mSv 左右，低于设定的剂量约束值 5mSv/a 。

开展核素治疗工作期间，可采取预约治疗，患者集中入院和出院，减少工作人员查房及护理工作时间；对于必要的近距离护理，工作人员应穿戴防护服，熟练操作以减少与患者接触时间；另外询问患者或进行指导性护理时可距离患者距离稍远，或可采用视频查房系统进行查房，尽量减少工作人员接触患者时间，减少工作人员的受照剂量。

（3）公众受照剂量分析

据 ICRP 第 94 号出版物给出的数据，患者体内大约 55% 施予活度的 I-131 在服药后 24h 内排出体外，22% 的 I-131 在第 2 个 24h 排出，即最初 2d 内随尿排出总计 77%；总量的 80% 在最初 3d 内排出体外。故患者服药后每天的剂量变化较大，以瞬时剂量率估算公众受照剂量不符合实际情况。表 11-4 列出了服用 I-131 的甲状腺癌患者周围辐射剂量率变化情况，从表 11-4 中可得 72h 内对周围公众 1m 平均剂量率的影响约为 $90.2\mu\text{Sv/h}$ ，为刚施药患者 1m 处 $216\mu\text{Sv/h}$ 的 0.42 倍（公众估算保守取 0.5 倍）。

①场所周围停留公众

病房周围公众受照主要来自 γ 射线外照射。按照全年治疗300人，全年病房周围相关场所总工作时间取2000h，服碘时间为60s/人，每年5h。表11-6给出了对病房周围的环境可能产生影响。可见，病区周围公众受到的年有效剂量最大值约为7.5 μ Sv，低于设定的剂量约束目标值100 μ Sv/a。

表 11-6 相关场所主要位置公众的年附加剂量估算

位置	附加剂量率 (μ Sv/h)	受照时间 (h)	居留因子	年附加剂量 (μ Sv)
病房 1 东墙外电梯厅	1.20E-1	2000	1/16	7.5
患者出入口	6.86E-3	2000	1/16	0.57
	9.25E-1	5		
病房楼上新风机房	4.55E-2	2000	1/16	5.52
病房楼下车道	5.62E-2	2000	1/16	7.03
病房 2 楼上卫生间和浴室	4.55E-2	2000	1/16	5.7
病房楼上三层诊室	3.99E-5	2000	1	7.84E-02

备注：年有效剂量估算示例： $H_0 = D \times t \times U \times T = 0.12 \times 2000 \times 1/16 \times 0.5 = 7.5$ (μ Sv)。

患者隔离治疗期结束出院后，体内残留I-131的放射性也可能对周围公众产生外照射辐射。本项目要求I-131治疗的患者住院3-4d以上，且体内放射性活度降至低于400MBq之下才能出院。出院前，进行患者剂量检测，确认患者体内放射性活度低于400MBq才允许出院。

② 出院患者路途周围公众

符合出院条件的患者体表1m处的剂量率低于20 μ Sv/h。若患者出院回家需乘坐公共交通工具（如：火车、飞机、长途汽车），且旅途时间超过4h，则对同行旅客的照射剂量将超过100 μ Sv。核素治疗规程规定主治医师发放I-131治疗患者告知书，要求服药患者离院后，限制与儿童或孕妇密切接触，避免与他人长时间接触。采取上述辐射防护措施，接受I-131治疗的患者出院后路途对周围人员的辐射影响可以控制。

陪护人员及探视者根据病区管理规定，一般情况治疗期间禁止陪护。有些甲状腺癌及转移灶疾病患者身体虚弱，在接受I-131治疗过程中可能需要有人陪护，但不允许在病室长期停留。

11.2.6 核素治疗场所放射性废物产生及排放情况

(1) 放射性废水

①放射性废水来源和产生量

本病房不设置患者洗澡，住院治疗患者在住院期间，保洁和冲厕废水是碘病房放射性废水的主要来源。此外，服碘室和住院病区卫生保洁也产生少量含放射性废水。

住院病区全年规划接收住院病人不超出300人次（住院时间为3-4d，每间最多100批次）。假设每位患者住院期间人均用水量按110L/d计，包括洗漱（10L）、冲厕（80L）、保洁等（20L）等，日排水量约 0.33m^3 （ $110\text{L}/\text{d}\times 3$ 人）。

②放射性废水收集、处置与排放

病房服碘室内产生的废水以及患者住院期间产生的废水，将通过专用管道先排入位于地下二层南侧 68#集水坑后，达到一定高度后自动蹦到楼外西侧地下的放射性病房废水衰变池，废水通过衰变后排放至医院污水处理站进一步处理后，最终进入市政污水管网。

③废水产生排放情况预测

衰变池采用现浇混凝土建造，共计5个衰变池，每个池子的有效容积27立方米，总有效容积为 135m^3 ，顶部距地面约3m，衰变池设计见附图6。碘病房的I-131的每周最大排放量为（6人 \times 80%） \times 5.55GBq。由于年排水量约 120m^3 ，则放射性废水的贮存衰变时间可达365d。I-131的半衰期为8.04d，废水中放射性核素I-131贮存衰变时间可达45个半衰期，满足《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》要求，考虑I-131自身的衰变，废水中核素I-131活度衰减变化分析可得，第一个27立方米池子满时，I-131的活度约为35GBq，该池排放前至少经过270天的衰变，经过270天衰变后该池的I-131放射性核素总量为2.74Bq，满足由《电离辐射与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）导出的放射性核素月排放（9.1MBq）控制要求。

综合分析，本项目放射性废水排放总量和排放方式满足报告表 7.3.4 章节的放射性废水排放有关规定要求。放射性废水在排放前，应委托有资质的检测机构（CMA）对拟排放的废水进行检测。

④衰变池辐射防护与安全管理

特别关注池壁和池底的防渗处理。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。

放射性废水排入衰变池之前的水平管道可能存有放射性液体，将采用不少低于6mmPb进行包裹。含放射性核素废水在污水收集、暂存设施存留时释放的 γ 射线可能对周围环境产生影响。在放射性废水衰变池附近拟放置辐射警告标识或设置围挡，提醒公众避免长时间停留受到辐射照射。进行排污管道维修施工和衰变池清淤施工时应采取辐射防护措施，以减少操作人员可能受到辐射照射。医院后勤管理处负责衰变池日常运行管理，每周派人巡视一次。医院将委托有资质单位对放射性废水进行检测，按照环境管理要求进行排放。根据国家放射性废物排放管理要求，排放衰变池废水须经生态环境部门许可，确保废水的放射性水平符合排放标准后，依照GB18871-2002中低放废水的排放要求排放。

（2）放射性废气

①服碘室

病房治疗甲癌服用的I-131同样是溶液剂型，口服，故正常工况下，对工作环境造成空气污染较小。本项目采用I-131药液全自动药物分装仪进行活度测定、质检、分装等操作，上述操作均在控制区内完成，该房间安装有通风系统，排风引至楼顶高空排放。排气系统装有活性炭过滤装置，预计对医院周围环境影响较小。

假设药物操作时有 $3.7 \times 10^5 \text{Bq}$ 的I-131（保守取操作量的0.01%）挥发进入排风系统，操作过程（约3min）中I-131均匀释放，通风速率 $1200 \text{m}^3/\text{h}$ ，排放系统碘过滤器过滤效率为99%，预计排风口处的浓度为 $5.6 \text{Bq}/\text{m}^3$ ，经过空气稀释后，最大落地浓度一般降低几个数量级，远低于公众导出空气浓度 $5.6 \text{Bq}/\text{m}^3$ 限值要求。此外，废气排放过程短暂（1min/人次），频次少（全年300人次），总排放时间约为5h，而公众DAC限值是基于全年暴露2000h得出的，比较可知，废气对周围环境和公众的影响是十分轻微的。

②碘病房

病房放射性废气还来自患者体内代谢的I-131随呼出气进入空气，以及放射性表面污染物的挥发。ICRP第94号出版物给出，呼出气中放射性碘含量为服用活度的0.008~0.03%，治疗后第1d内每小时平均呼出活度为 $1.5 \times 10^{-6} \text{Bq}/\text{h}$ Bq

(服用活度)；服药后2d内I-131的呼出气浓度为20~190Bq/L。房间空气的平均浓度为80~440Bq/m³，为了防止I-131在病房内蓄积，影响周围的医护人员和其它公众。将在I-131治疗病房设置独立的机械送、排风系统，最小换气次数5次/时。每间病房的卫生间和房间内各设1个排风口，含碘废气有组织排放，排气系统装有活性炭过滤装置，排气口设在楼顶。过滤效率按99%计，排放浓度低于4Bq/m³，经环境空气稀释和扩散后，临近工作场所和人员可能停留区域空气中I-131的平均浓度至少再降低100倍，远低于本评价建议的公众DAC限值5.6Bq/m³要求，故对环境的影响轻微。

根据同位素杂志2018年12月第32卷第6期的文章《I-131治疗场所放射性废气排放源项调查与评价》结论，I-131治疗场所周围50m范围内空气中活度浓度约为10⁻¹Bq/m³，衰变池盖板上方空气中I-131活度浓度可达几个Bq/m³，评价I-131治疗场所周围近距离区域的环境影响时应重点关注衰变池盖板缝隙泄漏、治疗病房窗户泄漏等无组织排放源的贡献。

本项目病房在与公众相隔区域都不设窗户，可以杜绝放射性废气从窗户泄漏对公众的影响，在68号集水坑上方为封闭的盖板，设有专门的排风系统一起并到病房排风系统，并在集水坑上方拟配备固定剂量报警仪。医护人员通过视频监控和对讲系统询问病情，定期在走廊巡视病区，避免进入到病房。当患者出现病情变化，医护人员需进入病房检查处置时，要戴防护口罩，并尽可能减少停留时间。

(3) 放射性固废

核医学科按需购入放射性药物，通常不会有剩余的放射性药物。服碘室配置专用废物桶。患者使用的服药杯子、废弃的包装物、被污染的一次性用品等固体放射性废物，按产生日期分类暂存于废物桶衰变，达到清洁解控要求的废物按照医疗废物处置。按全年开展核素治疗300人次，平均每人次产生放射性固体废物(药瓶、药杯、水杯、吸水纸等)0.1kg，则项目满负荷运行年产生量约30kg。此外，核医学科每年更换排风过滤器一次，预计额外产生40kg固体废物，总计约70kg。

服药患者使用过的各类物品，如纸巾、被褥和病号服等，会有不同程度的放射性污染，属于低放废物。按产生日期分类收集于放射性废物库衰变。被褥

和病号服达到清洁解控要求后返回洗衣公司清洗后再次使用。该类废物按照2kg/人次估计，则年产生量约600kg。

放射性固体废物在放射性废物库内暂存衰变时间至少暂存180天后，使用经检定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，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。

11.2.7核医学科病房治疗异常事件分析与防范建议

核医学科病房治疗在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I-131治疗剂量错误；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。

（5）服药患者体内核素活度未降至出院水平以下，即离开隔离病房，对公众造成不必要照射。

为避免上述异常事件发生，应采取以下风险防范措施：

（1）服碘室设置闭路监视和防侵入系统，安装防盗门，依照《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》（GA 1002-2012）落实相关要求，贮源场所通过公安部门验收后投入使用。此外，放射性药品由专业公司送达医院后，核医学科技师与送药人员在摄像头下“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）制定相关的操作规程，并对操作放射性药物的人员进行严格培训，

通过内部考核后，上岗工作。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理措施，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) 病人服碘前，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。

(4) 核医学科病房的服碘室，均配置放射性废物桶，收集放射性废物，并在放射性废物贮存室暂存，暂存超过10倍最长半衰期且不少于30天（碘-131核素治疗病房产生废物至少暂存180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。诊断场所和碘病房配备有专用厕所，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，废气有组织在楼顶排放。碘病房废气排口设置有碘过滤器，可有效减少I-131的排放和对环境的影响。

(5) 甲癌患者服碘后，在碘病房留观3-4天，经检测，待体内活度低于400MBq 方可出院。上述措施可以避免患者体内I-131 活度未降至出院标准而对公众造成不必要照射。

11.2.8 核医学科受照剂量总结

根据以上估算，核医学科门诊和治疗场所的附加有效剂量如表11-7，医院计划分装和注射环节由四名护士轮流工作，摆位和控制室环节由四名技师轮流工作，本项目每名护士和技师年受照总剂量分别为1.42mSv、0.70mSv，低于本项目设定的年剂量约束值5mSv/a要求。因此本项目工作人员和公众年受照总剂量分别不大于1.42mSv和87.8 μ Sv，低于本项目设定的年剂量约束值5mSv/a和100 μ Sv/a要求。

这几个场所公众附加剂量理论上不存在累加情况，即使累加也满足100 μ Sv/a要求。

表 11-7 核医学科工作人员各环节附加有效剂量（ μ Sv）

环节	工作人员				公众
	分装	注射	摆位	控制室	
F-18 显像	417	2793	967	486	87.8
Tc-99m、Tl-201 等核素显像	/	170	262	/	
肺通气室		404			
核素门诊治疗	/	806	/	/	
I-131 病房治疗	2200				12.9
合计	5690		2815		/
备注	由四名护士轮流完成		由四名技师轮流完成		

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与环境保护管理领导小组作为专门管理机构，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。本项目实施后，医院将新建核医学科纳入辐射安全管理范围，相关负责人将担任辐射安全与环境保护管理领导小组成员，负责核医学的日常管理。辐射安全管理小组的职责：

1. 在医院辐射安全防护组组长、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. 建立射线装置档案，组织医院有关部门和人员对使用的射线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检测工作，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。

12.1.2 辐射工作人员

核医学科新增的 15 名辐射工作人员将参加辐射安全防护考核，经过考核合格后持证上岗。

12.2 辐射安全管理规章制度

北京朝阳医院制定了多项辐射安全管理制度，包括辐射防护和安全保卫制度、操作规程、设备检修维护制度、辐射工作人员培训制度、辐射工作人员个人剂量监测制度、工作场所和环境辐射水平监测方案、辐射工作岗位职责、台帐管理制度、放射性废物管理制度、辐射事故应急制度等，医院已制订的辐射防护管理制度进行补充修改完善后（如增加核医学病房操作规程、出院管理、应急预案等）能够满足实际工作需要。

12.3 辐射监测

12.3.1 个人剂量监测

北京朝阳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北京蓝道尔辐射监测技术有限公司承担，监测频度为每3个月检测一次。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，与现有其他科室辐射工作人员一起委托浙江建安检测研究院有限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 辐射监测仪器配备

针对新建核医学科项目，拟新配1台辐射剂量巡测仪和1台表面污染监测仪，在服碘室、病房内、病房出口和68号集水坑拟配备固定剂量报警仪，能够满足核医学科常规的检测要求。

12.3.3 本项目工作场所自行监测方案

北京朝阳医院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。新增项目实施后，核医学科工作人员使用拟配备的1台辐射剂量巡测仪和1台表面污染测量仪，对核医学科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： γ 剂量率水平，表面污染水平

(2) 检测设备：X- γ 辐射剂量率仪，表面污染监测仪

(3) 检测频次：剂量率水平每年不少于 1 次，表面污染每天工作后检测 1 次。

(4) 工作场所 γ 剂量率水平监测：点位包括 PET/CT 室、SPECT 室四周，控制区边界外 30cm 处、衰变池上方以及核医学科四周的剂量率水平，监测数据记录存档，监测点位布置见图 12-1 所示，检测点位见图 12-1。

表 12-1 核医学科场所 γ 辐射剂量率监测点位设置

编号	场所名称	监测点位置	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
1	门诊控制区入口处	东侧控制区入口	
2	肺通气室	北侧走廊	
3	高活室	南侧走廊	
4	源库	南侧走廊	
5	废物间	南侧走廊	
6	运动负荷室	北侧走廊	
7~8	SPECT 候诊区	北侧走廊	
9	SPECT 室	东侧运动负荷室	
10		南侧走廊	
11		西侧墙外（控制室）	
12		西侧观察窗外操作位	
13		西侧防护门外（控制室）	
14		楼上患者等候区	
15		楼下空气过滤机房	
16~17	PET 候诊区	北侧走廊	
18	PET/CT 室	东侧防护门外（控制室）	
19		东侧观察窗外操作位	
20		东侧墙外（控制室）	
21		南侧走廊	
22		西侧设备间	
23		楼上更衣间	

24		楼下空气压缩机房	
25	留观室	北侧走廊	
26		西侧走廊	
27	门诊控制区出口处	西侧控制区出口	
28	病房控制区出入口处	北侧控制区出入口	
29~34	病房 1~3	东侧走廊	
35		护士间	
36		值班室	
37~38		楼上医护休息室、卫生间	
39		楼下车位	
40	服碘间	楼上值班室	
41		楼下患者电梯厅	

(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，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，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	放射性显像标记间	通风橱台面	
2		标记间地面	
3		传递窗	
4	高活室	通风橱台面	
5		标记间地面	
6		注射窗	
7	肺通气室	地面	
8		设备表面	
9		墙面	
10	运动负荷室	地面	
11		设备表面	
12		墙面	
13	SPECT 候诊区	候诊室地面	

14		候诊椅	
15		卫生间	
16	SPECT 室	SPECT 病人床	
17		SPECT 室地面	
18		设备表面	
19	PET/CT 候诊区	候诊室地面	
20		候诊椅	
21		卫生间	
22	PET/CT 室	PET/CT 病人床	
23		PET/CT 室地面	
24		设备表面	
25	服碘间	通风柜台面	
26		地面	
27		墙面	
28~36	病房	病房地面、病床、卫生间	

12.4 辐射事故应急管理

北京朝阳医院已经制定了辐射事故应急预案。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，一旦发生辐射事故时，能迅速采取必要和有效的应急响应行动，妥善处理，保护工作人员和公众的健康与安全，同时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。

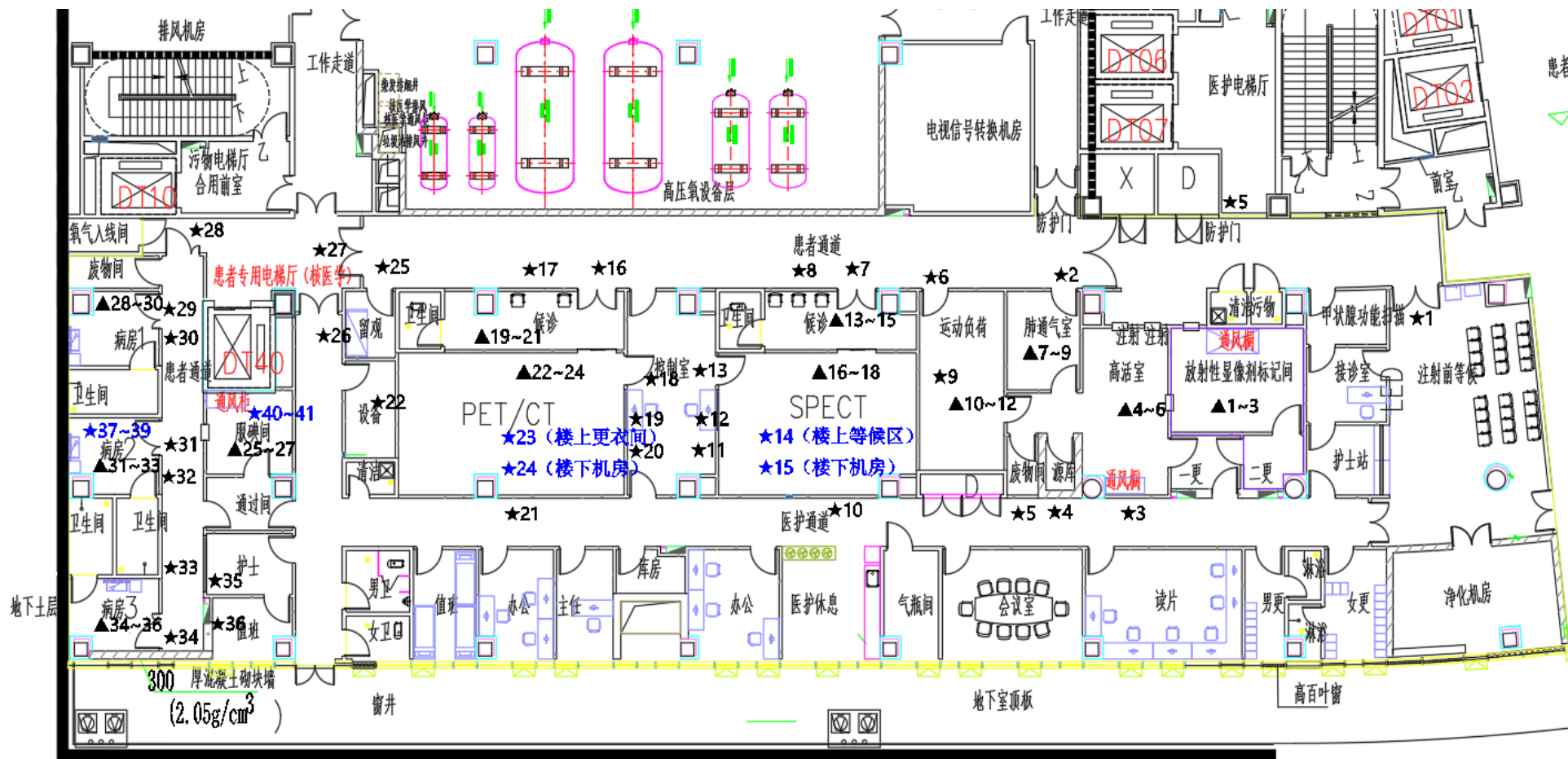
发生辐射事故时，应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。医院将每年至少组织一次应急演练。

12.5 项目环保验收内容建议

建议本项目的环保验收内容列于表 12-3 中。

表 12-3 项目环境保护竣工验收内容

验收内容	验收要求
剂量约束值和剂量率控制	根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)和环评报告建议,公众、职业照射剂量约束值执行 0.1mSv/a 和 2mSv/a。辐射工作场所周围(控制区边界外)辐射剂量率不大于 2.5μSv/h;放射性表面污染控制水平满足 GB18871-2002 要求。
电离辐射标志和中文警示	在核医学科出入口、高活室、扫描机房、病人候诊区门外设置放射性警告标识和中文警示说明。
布局和屏蔽设计	核医学科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	核医学科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、扫描室、源库、废物间、候诊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。病房采用实体屏蔽措施,安装视频监控系统和固定剂量探头等装置;高活室采用实体屏蔽措施,安装防盗门、视频监控系统和防盗窃报警装置,满足生态环境部门和公安部门有关安全保卫的要求。在 PET 候诊区内设铅屏风。
辐射监测	有满足管理要求的辐射监测制度,每年委托有资质单位对核医学科进行一次辐射监测和开展自行监测,监测记录存档;配备 1 台辐射剂量巡测仪和 1 台表面污染测量仪。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	核医学科配置满足需要的放射性废物存贮设施,配备防辐射废物桶 9 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;高活室安装通风橱,操作口风速大于 1m/s;通风柜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,并有效贯彻落实。
人员培训	本项目新增的 15 名辐射工作人员均参加生态环境部门认可的安全防护培训。
应急预案	针对放射源丢失被盗、人员受照大剂量照射,以及导致环境污染后果等情景,建立有应急预案,并落实必要的应急装备,制定有辐射事故(件)应急演练计划。



★楼上楼下 ★本场所

图 12-1 拟建核医学科场所自行检测点位图

(标注★为剂量率检测位置，▲为表面污染水平检测位置)

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 正当性分析

北京朝阳医院持有辐射安全许可证（京环辐证[E0149]），因临床工作的需要，在朝阳区常营实施北京朝阳医院东院新建核医学科，包括核医学科门诊和病房两个辐射工作场所。根据《产业结构调整指导目录》（2011年），本项目属于“第十三类 医药类第6条：新型医用诊断医疗仪器设备”，本项目为核医学科诊疗设备的使用，符合国家产业政策。本项目具有良好的社会效益和经济效益，其获得的利益远大于辐射效应可能造成的损害，符合辐射实践正当性原则。

13.1.2 选址合理性分析

本项目核医学科辐射工作场所位于医疗综合楼地下一层西北角，为相对独立的区域，距离院区边界及周围环境敏感点较远，评价范围内无学校、居民楼、养老院等敏感目标，无商场和超市等人员密集场所，使用放射性同位素过程中对周围环境和公众的影响较小，该项目核医学科选址基本合理。

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，本项目核医学科场所运行后，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（ 5mSv/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。预计核医学科场所运行后，放射性废水经暂存衰变后能够符合排放限值要求；工作场所运行每年产生放射性固体废物约 770kg （包含通风橱过滤器）。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：

核医学科场所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。射线装置机房门外设置工作指示灯，张贴电离辐射警告标志。

注射区、高活室、扫描室、废物间、病房、服碘间以及工作区走廊地面铺装硬质无缝 PVC 地板革，墙面装铝塑面板或釉面砖，便于去污。通风橱台面采用表面光洁、耐腐蚀、防渗漏、易去污的材料，便于放射性污染去污和去除。

核医学科场所高活室和服碘间设置通风橱，配套独立通风系统，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。医院将根据本次所申请项目种类制定健全的操作规程、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、辐射事故应急预案和设备检修维护制度等，以满足辐射安全管理的要求。

(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，北京朝阳医院东院区新建核医学科，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，北京朝阳医院承诺：

(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。

表 14 审 批

下一级环保部门预审意见：

公 章

经办人

年 月 日

审批意见：

公 章

经办人

年 月 日