

核技术利用建设项目  
常营院区核医学科增加小动物一体机项目  
环境影响报告表

首都医科大学附属北京朝阳医院

2025年03月

生态环境部监制

核技术利用建设项目  
常营院区核医学科增加小动物一体机项目  
环境影响报告表

建设单位：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：北京市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：ywc85231210@163.com

联系电话：85231210-804

## 目 录

表 1	项目基本情况 .....	1
表 2	放射源 .....	12
表 3	非密封放射性物质 .....	13
表 4	射线装置 .....	14
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物） .....	15
表 6	评价依据 .....	16
表 7	保护目标与评价标准 .....	20
表 8	环境质量和辐射现状 .....	29
表 9	项目工程分析与源项 .....	32
表 10	辐射安全与防护 .....	34
表 11	环境影响分析.....	53
表 12	辐射安全管理 .....	69
表 13	结论与建议 .....	74
表 14	审 批 .....	77

**表 1 项目基本情况**

<b>建设项目名称</b>		常营院区核医学科增加小动物一体机项目				
<b>建设单位</b>		首都医科大学附属北京朝阳医院				
<b>法人代表</b>	纪智礼	<b>联系人</b>	邹郁松	<b>联系电话</b>	85231210-804	
<b>注册地址</b>		北京市朝阳区工人体育场南路 8 号				
<b>项目建设地点</b>		北京市朝阳区东十里堡路 3 号院常营院区医疗综合楼住院二部地下一层核医学科				
<b>立项审批部门</b>		无		<b>批准文号</b>	无	
<b>建设项目总投资(万元)</b>		100	<b>项目环保投资(万元)</b>	10	<b>投资比例(环保投资/总投资)</b> 10%	
<b>项目性质</b>		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它			<b>占地面积 (m<sup>2</sup>)</b>	10
<b>应用类型</b>	<b>放射源</b>	<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			
	<b>非密封放射性物质</b>	<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			
	<b>射线装置</b>	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类			
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类			
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> II类 <input checked="" type="checkbox"/> III类			
<b>其他</b>						
<b>1.1 单位概况</b>						
<p>首都医科大学附属北京朝阳医院（以下简称“北京朝阳医院”或者“医院”）建于 1958 年，是北京市政府举办的集医疗、教学、科研、预防于一体的三级甲等综合医院；是首都医科大学第三临床医学院，北京市呼吸疾病研究所所在医院，也是北京市基本医疗保险 A 类定点医疗机构。</p> <p>医院现有北京朝阳医院本部院区、石景山院区和常营院区三个院区。其中，北京朝阳医院本部和石景山院区总占地面积 10.28 万平米、建筑面积 21 万平米；常营院区占地面积 7.22 万平米，建筑面积 19.8 万平米。</p> <p>医院职工近 4700 余人。开放编制床位 2500 张；共设 59 个临床、医技科室，综合救治能力强大。医院年门急诊量约 405 万人次，年收治住院病人近 10 万人</p>						

次，手术 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 磁共振成像系统、PET-CT、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。

该医院为已取得《辐射安全许可证》单位。

## 1.2 核技术利用及辐射安全管理现状

### 1.2.1 核技术利用现状

北京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 2028 年 8 月 6 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。北京朝阳医院已许可的射线装置情况见表 1-1。

表 1-1 医院已许可使用的射线装置情况

序号	装置名称	类别	装置数量（台）	活动种类
1	牙科 X 射线机	III	3	使用；
2	医用 X 射线摄影机	III	4	使用；
3	口腔（牙科）X 射线装置	III	3	使用；
4	医用 X 射线 CT 机	III	9	使用；
5	移动 O 型臂 X 射线机	III	1	使用；
6	乳腺 X 射线机	III	1	使用；
7	医用 X 射线胃肠机	III	3	使用；
8	其他非医用射线装置（实验用小动物）	III	2	使用；
9	移动 C 形臂 X 射线机	III	23	使用；
10	移动床旁 X 射线机	III	4	使用；
11	医用诊断 X 射线装置	III	26	使用；
12	血管造影用 X 射线装置（DSA）	II	8	使用；
13	医用 X 线计算机断层扫描（CT）装置	III	14	使用；
14	放射治疗模拟定位装置	III	1	使用；
15	双能骨密度仪	III	1	使用；
16	SPECT/CT	III	1	使用；
17	PET/CT	III	1	使用；
18	血管造影机	II	5	使用；
19	医用电子直线加速器	II	2	使用；
	合计		112	

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 医院已许可非密封放射性同位素使用情况**

场所名称	场所等级	核素	活动种类	用途	日最大操作量 (贝可)	日等效最大操作量 (贝可)	年最大用量 (贝可)
本部核医学科	乙级	F-18	使用	放射性药物诊断	2.3E+10	2.3E+7	2.2E+12
		I-131	使用	放射性药物诊断	7.4E+8	7.4E+7	1.5E+10
		P-32	使用	放射性药物诊断	1.85E+8	1.85E+7	1.85E+9
		Ra-223	使用	放射性药物治疗	7.4E+6	7.4E+7	2.25E+8
		Tc-99m	使用	放射性药物诊断	2.22E+10	2.22E+7	5.55E+12
		Tl-201	使用	放射性药物诊断	7.4E+7	7.4E+5	1.5E+10
病房手术室 (C座)	丙级	I-125(粒子源)	使用	放射性药物治疗	1.78E+10	1.78E+7	1.33E+11
常营院区核医学科	乙级	F-18	使用	放射性药物诊断	7.4E+9	7.40E+6	1.85E+12
		Ga-67	使用	放射性药物诊断	9.25E+8	9.25E+7	9.25E+10
		I-131	使用	放射性药物治疗	7.4E+5	7.40E+4	1.85E+8
		I-131	使用	放射性药物治疗	1.33E+10	1.33E+9	1.33E+12
		I-131	使用	放射性药物治疗	1.48E+9	1.48E+8	1.48E+11
		Sr-89	使用	放射性药物治疗	7.4E+8	7.40E+7	7.40E+10
		Tc-99m	使用	放射性药物诊断	2.78E+10	2.78E+7	6.95E+12
		Tl-201	使用	放射性药物诊断	9.25E+8	9.25E+6	9.25E+10

北京朝阳医院已许可的放射源使用情况见表 1-3。

**表 1-3 医院已许可放射源使用情况**

场所名称	核素	类别	活度 (Bq)	(枚数)
本部核医学科	Ge-68	V	3.5E+6	1
	Ge-68	V	5.5E+7	1
	Ge-68	V	5.55E+7	1

### 1.2.2 近几年履行环保审批情况

北京朝阳医院近五年共有 4 个环评报告表项目,均已办理了辐射安全许可证增项手续并完成自主环保验收。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	环评批复文号	项目名称	类别	竣工验收情况
1	京环审[2020]131号	东院区新建核医学科项目	报告表	2024年02月已办理自主验收
2	京环审[2020]156号	东院区新增使用 DSA 项目	报告表	已办理分阶段验收
3	京环审[2022]66号	本部和西院新增使用 1 台 DSA 项目	报告表	2022年12月已办理自主验收
4	京环审[2023]48号	使用 1 台 DSA 项目	报告表	2024年02月已办理自主验收

**1.2.3 辐射安全管理情况**

**1.2.3.1 辐射管理机构基本情况**

为了加强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，由党委书记/理事长担任组长，院长担任副组长，院办、放射科、核医学科、放疗科、医务处等各部门的相关人员担任组员，并医务处邹郁松专职负责辐射安全管理工作。医院其中 1 名辐射防护负责人及专职人员均已参加并通过辐射安全和防护考核，取得了考核证。

辐射防护领导小组成员名单见表 1-5。

**表 1-5 医院辐射安全防护领导小组成员名单**

职位	姓名	专业	职务或职称	工作部门	专/兼职
负责人	纪智礼	管理	党委书记、理事长	院办	兼职
负责人	李海潮	管理	院长	院办	兼职
负责人	刘力戈	临床医学	副院长	院办	兼职
组员	杨旗	医学影像	主任	放射科	兼职
组员	王猛	管理	处长	保卫处	兼职
组员	孟洁	管理	主任	物资器械中心	兼职
组员	杨敏福	核医学	主任	核医学科	兼职
组员	梁雷	管理	处长	基建处	兼职
组员	苏丕雄	心内科	主任	心脏中心、心外科	兼职
组员	施云建	管理	处长	总务处	兼职
组员	海涌	骨科	主任	骨科	兼职
组员	黄克武	呼吸科	主任	呼吸科	兼职
组员	刘心娟	消化内科	主任	消化内科	兼职
组员	贾燕瑞	管理	主任	护理部	兼职
组员	连勇	医学影像	干事	心脏中心	兼职
组员	胡小鹏	泌尿外科	主任	泌尿外科	兼职
组员	汪阳	神经外科	主任	神经外科	兼职
组员	王左敏	口腔科	主任	口腔科	兼职

组员	张望德	血管外科	主任	血管外科	兼职
组员	张天	放疗科	代理主任	放疗科	兼职
组员	邹郁松	管理	干事	医务处	专职
组员	王婷	管理	处长	医务处	兼职

### 1.2.3.2 制定规章制度及落实情况

医院结合医院实际情况，已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、辐射工作人员培训考核计划、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 工作人员考核情况

医院制定了辐射工作人员培训考核计划。目前，全院从事辐射相关工作人员共约 410 人分批参加了辐射安全和防护培训，并通过了考核。

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

### 1.2.3.4 个人剂量监测

医院所有从事辐射工作的医护人员均佩戴 TLD 个人剂量计，每季度 1 次监测一次，按照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环境保护部令 18 号）要求建立个人剂量档案，并于每年 5 月 31 日前将上一年度全体辐射工作人员的个人剂量监测数据上报至全国核技术利用辐射安全申报系统中。

目前，个人剂量监测工作已委托长润安测科技有限公司承担，监测频度为每 3 个月检测一次。根据医院最近一年度（2024 年）个人年度剂量检测报告（见附件）表明，医院辐射工作人员该年度个人剂量最大值为 1.32mSv，所有人员年度个人剂量最大值均未超过医院年剂量管理目标值，满足辐射安全管理要求。

开展个人剂量检测的人员，部分进修人员、新增辐射工作人员的工作时间较短，出现了不到四个季度的个人剂量检测结果的情况。

医院有专人负责个人剂量监测管理工作。发现个人剂量监测结果异常的，将



及时调查原因，并将有关情况及时报告医院辐射防护领导小组。今后将继续加强个人受照剂量监测工作，如果某位辐射工作人员的单季度个人剂量监测结果高于年剂量约束值的 1/4，将对其受照原因进行调查，结果由本人和科室负责人签字后存档；必要时将采取调离工作岗位或控制从事辐射工作时间等措施，保障辐射工作人员的健康。

#### 1.2.3.5 工作场所及辐射环境监测

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。

**(1) 委托第三方检测：**根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环保部令第 18 号）的要求，医院每年委托有资质单位对射线装置和非密封放射性物质工作场所进行 1 次工作场所环境辐射水平监测和工作场所表面污染水平监测，监测数据记录存档。

2023 年 03 月，医院委托长润安测科技有限公司对医院全部在用射线装置、机房防护及核医学工作场所进行检测，检测结果全部合格，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。

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

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

**表 1-6 医院现有辐射防护监测仪器清单**

序号	仪器名称	型号	仪器状态	数量	备注
1	个人防护剂量仪	FJ-3200	正常	3	本部放疗科
2	个人剂量报警仪	FJ2000	正常	2	本部放疗科
3	区域辐射剂量报警仪	NE600	正常	1	本部放疗科

	系统				
4	射线报警仪	SB-1	正常	1	本部放疗科
5	固定报警仪	SB-1	正常	1	本部放疗科
6	智能化巡测仪	JB4000A	正常	1	本部放疗科
7	电离室巡测仪	FLUKE 451P	正常	1	本部放疗科
8	电离室巡测仪	FLUKE 451B	正常	3	本部放射科、心导管室、西区各 1 台
9	便携式 X、y 辐射周围剂量当量率仪兼 $\alpha$ 、 $\beta$ 表面污染仪	主机: Rad Pavise 探头: Rad Probe-AB	正常	1	本部核医学科
10	表面污染仪	RADEYE B20	正常	1	本部核医学科
11	辐射检测仪	BDJ8000	正常	1	常营院区
12	辐射监测仪器	AT1121	正常	1	常营院区
13	辐射剂量巡测仪	FSXC-100	正常	2	常营院区核医学科
14	表面污染监测仪	Rad Pavise	正常	2	常营院区核医学科
15	固定式剂量率报警仪	DCP-ZJY	正常	1	常营院区核医学科

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

### 1.2.3.6 辐射事故应急管理

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辐射事故（件）应急预案，以保证本单位一旦发生辐射意外事件时，能迅速采取必要和有效的应急响应行动，妥善处理放射事故，保护工作人员和公众的健康与安全，同时在预案中进一步明确规定本单位有关意外放射事件处理的组织机构及其职责、事故报告、信息发布和应急处理程序等内容。发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生健康部门报告。

医院针对使用中可能发生的放射性污染以及大剂量照射等事故/事件，制定了每年一次的演练计划。2024 年 11 月 6 日，医务处与核医学科共同组织了一次放射性沾染安全应急演练，此次演练模拟了制作 F-18 水模体校准源过程中发生放射性药物遗洒事故的处理全流程和过程。经过此次演练实践，核医学科全体医务人员均能按照我院《辐射应急预案》的规定进行及时正确处置，通过此次演练提高了核医学科放射工作人员面对突发事件的应急处置能力，对进一步规范我院

放射防护与质控工作管理工作起到了促进作用。

### 1.2.3.7 放射性废物的管理情况

目前，北京朝阳医院常营院区核医学门诊区域许可 PET/CT 显像核素中使用 F-18、Ga-68 核素（A 类），许可 SPECT/CT 显像使用 Tc-99m（A 类）、Ga-67 和 Tl-201（B 类），门诊许可使用 I-131、Sr-89、Lu-177（B 类）等核素开展门诊治疗。

医院按照《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》要求，对放射性废物进行管理：将放射性固体废物分类收集于专用的废物桶内，在废物衰变间内暂存。含 F-18、Tc-99m（A 类）放射性废物暂存超过 30 天，剩余 Ga-67、Tl-201、I-131、Sr-89、Lu-177（B 类）放射性固体废物暂存时间超过 10 倍最长半衰期且不少于 30 天后（原环评批复：B 类废物暂存不少于 80 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  $\beta$  表面污染水平小于 0.8Bq/cm<sup>2</sup>，将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。医院最近的放射性固体废物处置管理台账见附件 3。

北京朝阳医院常营院区核医学科门诊区域现有 1 号放射性废水衰变池为槽式衰变池（建设总容积为 84m<sup>3</sup>，28m<sup>3</sup>/池×3 池）。衰变池废水按照 HJ1188-2021 和《北京市生态环境局办公室关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》，结合原环评批复要求（门诊区域废水暂存不少于 80 天）后，衰变池的废水在排放前委托有资质单位进行检测，符合要求后排入医院污水处理站，并详细记录“放射性液体废物暂存、处置管理台账。医院委托第三方有资质单位分别于 2024 年 11 月、2025 年 01 月对核医学科槽式衰变池废水进行了检测，监测结果显示，总  $\alpha$ <0.043Bq/L，总  $\beta$ <0.015Bq/L，I-131 浓度小于探测下限，符合要求。最近的放射性废水委托检测报告见附件 3。

### 1.2.3.8 其他情况

北京朝阳医院较圆满地完成了各项辐射安全防护工作，依据法律法规每年对本单位同位素和射线装置的安全和防护状况进行了年度评估，目前已编写上报了 2024 年度评估报告。

## 1.3 本项目概况

### 1.3.1 项目建设正当性与必要性

小动物一体机主要应用于生命科学基础研究。相较于临床 PET 与 SPECT，得益于小动物一体机的小尺寸孔径，其空间分辨率较临床 PET 与 SPECT 显著提高，并且探测器长度普遍长于小动物体长，可以实现全身动态观测。

小动物一体机是进行动物模型研究的强有力工具，可提供生物分布、药代动力学等多方面的丰富信息，准确反映药物在动物体内摄取、结合、代谢、排泄等动态过程。小动物一体机显像可在同一只动物身上进行连续的纵向研究，监控动物生理、生化过程及各种治疗方法干涉疾病进程时的效果，因此可排除传统研究方法中由于动物个体差异造成的误差。作为生物医学研究的重要技术平台，小动物一体机在动物模型研究和临床研究之间架起了一座桥梁，本项目建成后，为快速在动物和人体进行同一试验提供了机会，促进核医学技术的发展，从而进一步提高医疗水平，可以产生一定的社会效益和经济效益。

综上所述，本项目的建设所带来的利益远高于代价，对受电离辐射照射的个人和社会所带来的利益远大于其对环境的辐射影响及可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践正当性”的原则与要求。

### **1.3.2 本项目产业政策符合性**

本项目动物小动物一体机属于《产业结构调整指导目录（2024 年）》中“鼓励类”第十三项第 4 条“高端医疗器械创新发展”中“高性能医学影像设备”项目。

本项目不属于《北京市新增产业的禁止和限制目录（2022 年版）》中禁止和限制项目。因此，本项目的建设符合国家及地方产业政策要求。

### **1.3.3 目的和任务的由来**

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《建设项目环境影响评价分类管理名录》等相关规定，本项目属于使用乙级非密封放射性物质工作场所项目，应当进行环境影响评价，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《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》（2019 年生态环境部令第 9 号）最新要求，北京辐环科技有限公司符合第九条第一款规定，无该条第三款所列情形，不属于该条第二款所列单位。公司有专职环评工程师，有能力开展环境影响评价工作。受北京朝阳医院的委托，评价机构环评人员在现场踏勘、收集资料的基础上，对该项目建设和运行对环境的辐射影响进行了分析评价，并编制了环境影响报告表。评价重点是核医学场所运行过程中产生的

X、 $\gamma$  射线、中子，放射性“三废”对操作人员、周围公众和环境的影响。

### 1.3.4 项目基本情况

本项目拟在常营院区医疗综合楼外科住院部地下一层西北角的核医学科现有场所进行改造，建设小动物成像室及相关场所，同时增加 1 台小动物一体机，拟使用核素 F-18、Tc-99m 进行动物显像实验，每天最多一共使用 5 只小鼠（每天只使用 1 种核素），年最多工作 50 天，一年实验动物不超过 500 只。

本项目涉及的动物小动物一体机属于 III 类射线装置，无需使用校准源进行校准。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，根据相关环保法律法规要求，III 类射线装置对环境的影响很小，本项目也进行简要的分析。

### 1.3.5 本项目核素使用量

本项目启用后将开展一系列核医学小动物实验，标记、分装拟在现有的放射性显像标记间进行，使用的核素均为外购，核素使用情况预计如下：

(1) F-18 核素每只小鼠最大使用量不大于  $7.4E+06Bq$  (0.2mCi)，每天最多实验小鼠 5 只，每年最多实验 50 天。

(2) c-99m 核素每只小鼠最大使用量不大于  $1.11E+07Bq$  (0.3mCi)，每天最多实验小鼠 5 只，每年最多实验 50 天。

常营院区拟建小动物成像室各种核素计划使用情况如表 1-7 所示。

表 1-7 本项目拟使用的核素情况

使用场所	核素种类	每只最大操作量 (Bq)	预计每日最多实验老鼠数量	年最大使用天数 (天)	日最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途
放射性显像标记间	F-18	$7.4E+06$	5	50	$3.70E+07$	$1.85E+09$	FDG/PSMA/F API 肿瘤显像
	Tc-99m	$1.11E+07$	5	50	$5.55E+07$	$2.78E+09$	PD-L1 肿瘤异质性

备注：①本次实验只使用小鼠，每天最多使用一种核素。

②本项目预计 F-18、Tc-99m 各约 1/2 的小鼠（按 250 只/年）会进行多次显像实验，预计最多显像 3 次，则 F-18、Tc-99m 年总显像扫描次数分别约为 500 次。

表 1-8 小动物成像室拟使用的射线装置情况

序号	设备名称	台数	设备型号	生产厂家	技术参数	类别	使用场所
1	动物小动物一体机	1	InliView-3000B	成都永新医疗设备有限公司	80kV/0.7mA	III	小动物成像室

### 1.3.6 核素使用量及场所分级

《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) 相关规定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: 放射性药品生产中分装、标记等活动视为“简单操作”; 医疗机构使用 F-18、Tc-99m 相关活动视为“很简单的操作”, 使用 I-131 核素相关活动视为“简单操作”。

依照上述通知精神, 对本项目涉及核素的操作方式确定如下:

- (1) 本项目使用 F-18 为“很简单操作”。
- (2) 本项目使用液体 Tc-99m 为“很简单操作”, 操作修正因子为 10。

核算后的各种核素的日等效最大操作量如表 1-9 所示, 都小于非密封放射性物质工作场所的上限 (乙级上限  $4 \times 10^9 \text{Bq}$ 、丙级上限  $2 \times 10^7 \text{Bq}$ )。

**表 1-9 本项目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)	总日等效最大操作量 (Bq)
放射性显像标记间	F-18	3.70E+07	0.01	很简单操作 (液体, 10)	3.70E+04	日等效最大操作量为 <b>5.92E+05Bq</b> , 保守假设全部在一天内使用
	Tc-99m	5.55E+07	0.01	很简单操作 (液体, 1)	5.55E+05	

常营院区核医学科门诊区域目前使用已批复的核素日等效最大操作量为  $3.59 \text{E}+08$ , 保守假设全部在一天内使用, 叠加常营院区核医学科门诊区域的使用量后, 日等效最大操作量  $3.60 \text{E}+08 \text{Bq}$ , 故本项目新增完成后场所等级仍为乙级。

### 1.3.7 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。本项目常营院区核医学科现有共计 16 名辐射工作人员, 其中医师 5 名, 技师 5 名, 护士 4 名, 物理师 1 名, 化学师 1 名。全院核医学科全部辐射工作人员均已通过辐射安全与防护考核, 并已安排个人剂量计监测。

本项目拟新增 2 名辐射工作人员, 能满足小动物显像实验的使用需求。

### 1.3.8 辐射监测仪器配备情况

目前, 常营院区核医学科门诊显像区域已配备辐射剂量巡测仪和表面污染监测仪各 1 台。本项目实施后拟利用现有的辐射监测仪器, 能够满足核医学科门诊显像区域常规的监测需求。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) × 枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	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	液体	使用	3.70E+07	3.70E+04	1.85E+09	FDG/PSMA/FAPI 肿瘤显像	很简单操作	放射性显像 标记间、小动 物成像室	放射性显像标记 间
2	Tc-99m	液体	使用	5.55E+07	5.55E+05	2.78E+09	PD-L1 肿瘤异质 性	简单操作		

注：日等效最大操作量和操作方式见国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和生态环境行业标准《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）。



表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

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

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	动物 PET/SPECT/CT	III	1	InliView-3000B	80	0.7	小动物成像	小动物成像室	新增

(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
核医学科门诊区域（标记间、小动物成像室）放射性废水	液态	F-18、Tc-99m	/	/	6m <sup>3</sup>	总β<10 Bq/L	依托现有84m <sup>3</sup> 衰变池暂存	依照HJ1188-2021和《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》，设槽式衰变池（罐），放射性废水暂存至少30d后，排入医院污水处理站。严格记录废水排放台帐。
小动物放射性固体废物（废弃的药瓶、注射器、包装物、棉棒、被污染的一次性用品等）	固态	F-18、Tc-99m	/	/	约25kg	<10 <sup>4</sup> Bq/kg	在放射性废物库内储存	本项目产生的放射性固废均为A类，暂存30d后，经自行检测，符合《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》要求后，对废物办理解控并作为医疗废物处理，并做好台账记录。
小动物吸水垫	固态	F-18、Tc-99m	/	/	约30kg		在放射性废物库内储存	
标记间通风橱排气	气态	微量F-18、Tc-99m等	/	/	少量，可忽略	/	净化过滤后排放	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（依托现有）	固体	微量F-18、Tc-99m、I-131等	/	/	65kg	<10 <sup>4</sup> 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。

表6 评价依据

<p>法规文件</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 《中华人民共和国环境保护法》，中华人民共和国主席令第九号，2015年1月1日起实施。</li> <li>2 《中华人民共和国环境影响评价法》，全国人民代表大会常务委员会，2002年10月28日通过，自2003年1月1日起实施；2016年7月2日第一次修正；2018年12月29日第二次修正。</li> <li>3 《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国主席令第六号，2003年10月1日起实施。</li> <li>4 《建设项目环境保护管理条例》，1998年11月29日国务院令第253号发布施行；2017年7月16日国务院令第682号修订，2017年10月1日起实施。</li> <li>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号第二次修订，2019年3月2日第二次修订版公布并实施。</li> <li>6 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》，中华人民共和国生态环境部部令第16号，2020年11月30日公布，2021年1月1日起实施。</li> <li>7 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，中华人民共和国生态环境部部令第9号，2019年9月20日公布，2019年11月1日起施行。</li> <li>8 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，中华人民共和国生态环境部部令第20号修订，2021年1月4日公布并实施。</li> <li>9 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原中华人民共和国环境保护部部令第18号，2011年4月18日公布，2011年5月1日起实施。</li> <li>10 《关于发布〈射线装置分类〉的公告》，原中华人民共和国环境保护部、原国家卫生和计划生育委员会公告第66号，2017年12月5日。</li> <li>11 《关于发布放射源分类办法》的公告，原中华人民共和国国家环保总局公告，2005年第62号，2005年12月23日。</li> </ol>
-------------	---

- 12 《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。
- 13 《关于做好辐射类建设项目竣工环境保护验收工作的通知》，原北京市环境保护局办公室，京环办[2018]24号，2018年1月25日。
- 14 《北京市城乡规划条例》，北京市人民代表大会常务委员会公告（十五届）第61号，2021年9月24日修订版公布并实施。
- 15 《产业结构调整指导目录（2024年）》，中华人民共和国国家发展和改革委员会2023年第7号令，2024年2月1日起施行。
- 16 《北京市新增产业的禁止和限制目录（2022年版）》，北京市人民政府办公厅，京政发办〔2022〕5号，2022年2月14日起施行。
- 17 《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。
- 18 《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。
- 19 《辐射安全与防护监督检查技术程序》，中华人民共和国生态环境部，2020年2月。
- 20 《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》，北京市生态环境局办公室，京环办[2018]13号，2018年12月6日。
- 21 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》中华人民共和国生态环境部公告2019年第57号，2019年12月24日。
- 22 《关于进一步优化辐射安全考核的公告》中华人民共和国生态环境部公告2021年第9号，2021年3月11日。
- 23 《国家卫生健康委关于发布“十四五”大型医用设备配置规划的通知》国卫财务发〔2023〕18号，2023年6月21日。
- 24 《关于印发乙类大型医用设备配置准入标准的通知》，北京市卫生健康委员会，2019年8月。
- 25 《关于核医学标准相关条款咨询的复函》，中华人民共和国生态环境部辐射源安全监管司，辐射函〔2023〕20号。
- 26 北京市生态环境局关于发布《〈建设项目环境影响评价分类管理名录〉

	北京市实施细化规定（2022年本）》的通告。
技术标准	<ol style="list-style-type: none"> <li>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）。</li> <li>2 《环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）。</li> <li>3 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）。</li> <li>4 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）。</li> <li>5 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）。</li> <li>6 《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）。</li> <li>7 《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）。</li> <li>8 《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）。</li> <li>9 《北京市水污染物综合排放标准》（DB11/307-2013）。</li> <li>10 《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》（GA1002-2012）。</li> <li>11 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）。</li> <li>12 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）。</li> <li>13 《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）。</li> <li>14 《环境 <math>\gamma</math> 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）。</li> <li>15 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）。</li> <li>16 《表面污染测定第一部分 <math>\beta</math> 发射体 (<math>E_{\beta\max} &gt; 0.15\text{MeV}</math>) 和 <math>\alpha</math> 发射体》（GB/T14056.1-2008）。</li> <li>17 《环境空气质量标准》（GB3095-2012）。</li> <li>18 《伽玛照相机、单光子发射断层成像设备（SPECT）质量控制检测规范》（WS523-2019）。</li> <li>19 《正电子发射断层成像（PET）设备质量控制检测标准》（WS817-2023）。</li> <li>20 《北京市核医学大型设备稳定性检测指南》（试行版）。</li> <li>21 《建筑给水排水设计标准》（GB50015-2019）。</li> </ol>
其他	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 AAPM Task Group 108: PET and PET/CT Shielding Requirements, Med.Phys.33 (1), January 2006。</li> </ol>

- 2 Radionuclide and Radiation Protection Data handbook 2002, Vol.98 No 1, 2002。
- 3 Bernard Shleien.1998. Handbook of Health Physics and Radiological Health.3rd
- 4 《中国环境天然放射性水平》，原国家环境保护局监督管理司， 1995年 8 月。
- 5 国际放射防护委员会第 94 号出版物：非密封放射性核素治疗后的患者出院考虑，北京大学医学出版社，2007 年 7 月。
- 6 《辐射安全手册》，科学出版社，2011 年。
- 7 《I-131 治疗场所放射性废气排放源项调查与评价》，同位素杂志 2018 年 12 月第 32 卷第 6 期。
- 8 北京朝阳医院提供的与本项目相关的申请和技术资料。

表 7 保护目标与评价标准

## 7.1 评价范围

### 7.1.1 评价内容

本项目拟将核医学科现有场所改造成小动物实验成像室及其辅助场所，同时新增 1 台动物一体机，增加 F-18、Tc-99 核素使用量。

### 7.1.2 评价范围

按照《辐射环境保护管理导则—核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的规定，本项目辐射环境影响评价范围为：小动物成像室及相关场所实体屏蔽边界向外围扩展 50m 的区域。

### 7.1.3 关注问题

- (1) 小动物成像室及相关场所辐射屏蔽设计是否满足国家相关标准的要求。
- (2) 辐射安全管理情况及污染防治措施是否满足法规及相关标准的要求。

### 7.1.4 评价因子

本项目的环境影响评价因子为 X 射线、 $\gamma$  射线、 $\beta$  射线、表面污染、放射性“三废”等。

## 7.2 保护目标

本项目拟在医疗综合楼住院二部地下一层常营院区核医学科内部进行改造，小动物成像室及相关场所距离院区边界及周围环境敏感点较远，核医学科边界 50m 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，50m 评价范围均属医院内部，满足 HJ1188-2021 的选址要求。本项目 50m 评价范围见图 7-1 所示。

现有核医学科东侧为楼内通道、电梯厅、通风机房、卫生间、急诊影像科等；西侧和南侧为土层，土层上方为院内道路；核医学科楼上为新风机房、高压氧诊区等相关场所；楼下为空气压缩机房、配电间、废物垃圾回收站等辅助房间及地下车库。本次建成后的小动物成像室及相关场所东侧紧邻为高活室；南侧紧邻为过道；西侧紧邻为运动负荷兼抢救室；北侧紧邻为患者走道；楼下为走廊；楼上为停车位。核医学科及本项目场所毗邻关系见图 7-2，楼上和楼下毗邻关系见附图。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

局和人员情况见表 7-1 所示。

表 7-1 常营院区核医学科 50m 范围内主要保护目标

项目	保护目标	距离范围 (m)	数量 (人)	方位	评价范围内主要场所或建筑物
小动物成像室及相关场所	公众 (候诊患者)	0~18	40	东侧 (地下 1 层)	核医学科注射前等候区
	公众	18~50	>50		楼内通道、电梯厅、排风机房、急诊影像科
	公众	0~50	>50	东侧 (地上)	通道、一层影像科等场所
	公众	0~50	0	东侧 (地下)	走道、停车位、库房等场所
	核医学科工作人员	0~10	10	南侧 (地下 1 层)	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、窗井
	公众	10~50	>50		医疗主街道路行人、血透大厅等场所
	公众	0~50	>50	南侧 (地上)	走道、血透心超室、候诊室等场所
	公众	0~50	0	南侧 (地下)	空调机房、停车位等
	公众	0~35	5	北侧 (地下 1 层)	电梯厅、新/排风机房、高压氧设备间、变配电室、电视信号转换机房等
	/	35~50	0		土层
	公众	0~50	>50	北侧 (地上)	高压氧诊区、排风机房、扩大前室、行车道、绿化带等
	公众	0~50	25	北侧 (地下)	白衣交换站、物资器械中心、电视机房、生活冷热水泵房、土层
	公众	紧邻	50	楼上 (一层)	急诊医护休息间、卫生间、更衣间、接诊台、高压氧诊区、患者等候区等
	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及地下车库



图 7-1 本项目评价范围示意图



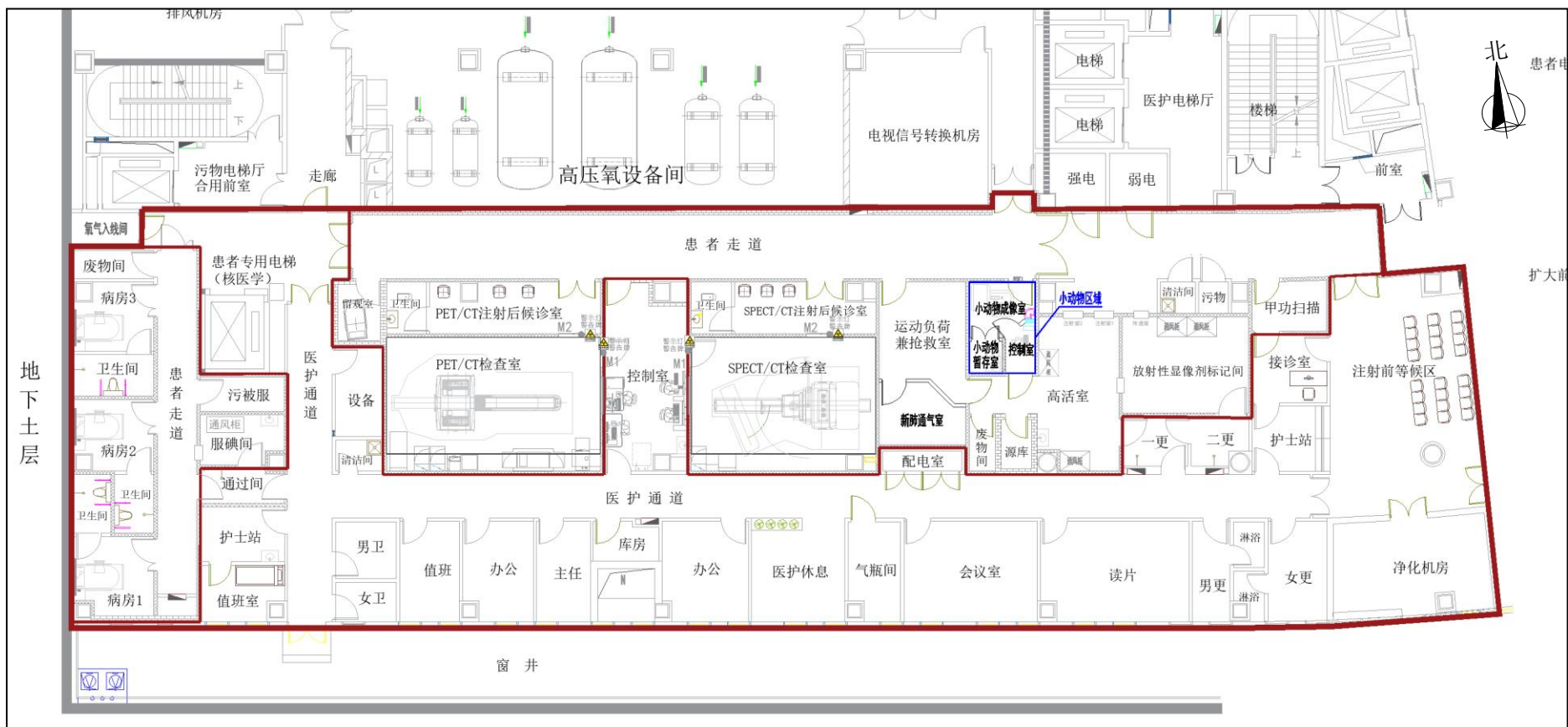


图 7-2 医疗综合楼住院二部 B1 层核医学科及本项目场所毗邻关系示意图

## 7.3 评价标准

### 7.3.1 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

### 7.3.2 剂量约束值

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。

职业照射，本项目核医学辐射工作人员取 5mSv/a 作为剂量约束值；对公众，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

本项目周围公众除满足上述剂量约束要求外，周围剂量率还要满足以下要求，参照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）和《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号），并结合本项目实际情况，核医学治疗区场所及设施的剂量率控制水平拟从严控制：

(1) 在控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 30cm 处的周围剂量当量率控制目标值不大于 2.5 $\mu$ Sv/h。

(2) 在控制区内人员可达处，屏蔽体外表面 30cm 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 10 $\mu$ Sv/h，宜不大于 2.5 $\mu$ Sv/h。

(3) 动物 PET/SPECT/CT 机在进行 CT 扫描时，机房外表面 30cm 处的周围剂量当量率控制目标值不大于 2.5 $\mu$ Sv/h。

(4) 标记间手套箱外表面 30cm 处的周围剂量当量率不大于 2.5 $\mu$ Sv/h。

(5) 固体放射性废物收集桶外表面 30cm 处的周围剂量当量率不大于 2.5 $\mu$ 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,排入公共污水处理系统的水污染物排放要求:总 $\alpha$ 排放限值为 1Bq/L,总 $\beta$ 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《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)和《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(半衰期小于 24h)和 B 类(半衰期大于 24h)放射性废水的要求执行。

根据 HJ1188-2021 和京环办[2018]13 号文要求,对于槽式衰变池(罐)暂存方式, A 类(半衰期小于 24h)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(半衰期大于 24h)放射性废水注满后,暂存时间超过 10 倍最长半衰期且不少于 30 天(其中含 I-131 的放射性废水至少暂存 180 天, Sr-89 暂存 505 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。科室将在“放射性废水暂存、处置管理台帐”上详细记录解控排放废水所含核素、体积、废水暂存起始日期,处置人员和处置日期等信息。

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

医院规定含放射性废水必须经衰变池暂存,废水的总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 监测结果还需满足分别小于 1Bq/L、10Bq/L、I-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L,监测结果经审管部门认可并办理相关手续后方可排入下水管道。

#### 7.3.6 放射性废气排放管理

##### (1) 《核医学科辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)通风要求:

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

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

3) 通风橱应有足够的通风能力。排气口应高于本建筑物屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑。

#### (2) 《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020) 关于通风的要求

核医学工作场所通风系统独立设置，应保持核医学工作场所良好的通风条件，合理设置工作场所的气流组织，遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计，保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉污染，保证工作场所的空气质量。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。

### 7.3.7 放射性固体废物管理

本项目涉及的放射性核素为 A 类（半衰期小于 24h）核素。核医学科现有核素涉及 I-131 等 B 类核素。

参照 (HJ1188-2021) 和京环办[2018]13 号，核医学科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 天后，使用经检定或校准合格的检测仪器对废物表面污染和辐射剂量率水平进行监测，辐射剂量率监测为所处环境本底水平且  $\alpha$ 、 $\beta$  表面污染水平分别小于  $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$  和  $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，可对废物解控作为医疗废物处置，并详细记录“放射性固体废物暂存、处置管理台账”，内容包括放射

性固体废物分类、废物所含核素名称、重量（kg）、废物暂存起始日期、废物暂存截止日期、表面污染自测结果、辐射剂量率自测结果、是/否符合解控要求、废物处置日期、废物处置操作人员、部门负责人审核、废物去向，每一袋放射性固体废物填写一行记录。

对于那些没法解控的放射性固体废物，如回旋加速器废旧靶膜、真空膜、碳膜、离子源等高活性固废统一收集到铅放射性废物桶，委托有放射性固废处理资质的单位处理。

#### 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 $\sim 2 \times 10^7$

#### 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），非密封放射性物质工作场所的放射性表面污染控制水平见表 7-4。

表 7-4 工作场所的放射性表面污染控制水平（Bq/cm<sup>2</sup>）

类别		$\alpha$ 放射性物质		$\beta$ 放射性物质
		极毒组	其他	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	1	$4 \times 10$	$4 \times 10$
	监督区	$1 \times 10^{-1}$	4	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	$4 \times 10^{-1}$	$1 \times 10^{-1}$	4
	监督区			
手、皮肤、内衣、工作袜		$1 \times 10^{-2}$	$4 \times 10^{-2}$	$4 \times 10^{-1}$

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

GB18871-2002 附录 B2.2 条款规定：工作场所中的某些设备与用品，经去污使其污染水平降低到上述表 7-4 中所列设备类的控制水平的五分之一以下时，

经审管部门或监管部门授权的部门确认同意后，可当作普通物品使用。

## 7.6 操作放射性同位素通风橱（手套箱）及排风口设置要求

《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）第 5.2.3 条要求：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。

《核医学科辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）通风要求：放射性物质的合成、分装以及挥发性放射性核素的操作应在手套箱、通风橱等密闭设备中进行，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭或其他过滤装置。通风橱应有足够的通风能力。制备放射性药物的回旋加速器工作区域以及设有通风橱、手套箱等场所的通风系统排气口应高于本建筑物屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑。

常营院区核医学科目前设置了 5 套独立排风系统：①病房服碘室内的通风橱排风系统；②病房区域的服碘室、3 个病房和放射性废物间排风系统，各房间均设排风口；③门诊高活室通风橱与肺通气室的排风系统；④放射性显像剂标记间通风橱排风系统；⑤注射室、注射后候诊、废物间、机房等门诊控制区均设排风口，设 1 套排风系统。其中放射性显像剂标记间通风橱产生的的废气通过排风管道引至核医学科北侧管井从楼顶排出、其它通风橱以及门诊和病房区域所产生的废气通过各自排风管道引至核医学科西北侧管井从楼顶排出，进管井前设有活性炭过滤（处理效率不低于 99%）。通风橱和排风系统的活性炭滤材每年至少更换一次。

高活室安装的通风橱操作口风速大于 0.5m/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（楼层高度为 47m），排风速率满足辐射安全需要。

## 7.7 核医学相关工作场所的放射性物质污染的防护要求

《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）第 5.2.2 款给出了核医学科工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求，具体见表 7-5。

表 7-5 核医学相关工作场所的室内表面及装备结构要求

种类	分类		
	I	II	III
结构屏蔽	需要	需要	不需要
地面	与墙壁接缝无缝隙	与墙壁接缝无缝隙	易清洗
表面	易清洗	易清洗	易清洗
分装柜	需要	需要	不必须
通风	特殊的强制通风	良好通风	一般自然通风
管道	特殊的管道 <sup>a</sup>	普通管道	普通管道
盥洗与去污	洗手盆 <sup>b</sup> 和去污设备	洗手盆 <sup>b</sup> 和去污设备	洗手盆 <sup>b</sup>

a 下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测。  
b 洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制。

综上，本项目动物实验室属于 II 类场所，均需按照上表要求，采取屏蔽措施，采用易清洗材料敷设地面，设分装柜和通风设施，设洗手盆和去污设备。

### 7.9 非放射性控制值

#### (1) 室内空气质量

根据 GBZ2.1-2019，工作场所空气中 O<sub>3</sub> 和 NO<sub>2</sub> 的浓度限值分别为 0.3mg/m<sup>3</sup> 和 5mg/m<sup>3</sup>。

#### (2) 环境空气质量

臭氧和氮氧化物的环境空气质量浓度限值执行《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 中的二级浓度限值，臭氧的 1 小时平均浓度 0.2mg/m<sup>3</sup>，NO<sub>2</sub> 的 1 小时平均浓度 0.2mg/m<sup>3</sup>。

**表 8 环境质量和辐射现状**

本项目是在医院常营院区核医学科现有场所内部进行改造,拟将现有运动负荷兼抢救室南侧改造为新肺通气室,将现有的肺通气室改造为小动物成像室及其辅助场所。本次现状情况引用 2024 年度辐射工作场所常规检测数据进行评价。医院委托长润安测科技有限公司于 2024 年 03 月 06 日~08 对核医学科现有场所进行了现状监测。

**8.1 监测项目**

周围当量剂量率; 表面污染。

**8.2 监测对象及点位布设**

本次评价选取本项目拟改造场所及周边点位。

**8.3 监测仪器及方法**

(1) 监测设备

本次监测采用的监测设备见表 8-1。

**表 8-1 监测设备及性能指标**

仪器名称	型号/编号	检定/校准证书有效日期	主要技术性能指标
辐射剂量测量仪	AT1121 (CR-YO-042)	DLi12023-05519 2024年04月22日	测量范围: 50nSv/h~10Sv/h, 10nSv~10Sv; 能量范围: 0.015~10MeV;
α、β 表面污染测量仪	CoMo170 (CR-YQ-019)	DD23J-DB100043 2024年04月02日	测量范围: α: 0.1cps; β/γ: 15cps~25cps; 探测器尺寸: 170cm <sup>2</sup> ; 探测效率: 37% (β)、18% (F-18)、3% (Tc-99m)、42% (Y-90)

(2) 监测方法

本次监测测量频次、点位布设原则和要求、使用的仪器和方法、测量程序、数据处理方法依据《表面污染测定 第一部分 β 发射体 (Eβmax>0.15MeV)和 α 发射体》(GB/T14056.1-2008)、《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)等规范文件要求,仪器指标满足标准要求。采用即时测量方法,用仪器直接测量出点位上的辐射水平即时值。

**8.4 监测依据**

(1) 《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020);

(2) 《表面污染测定第 1 部分:β 发射体(Epmx>0.15MeV)和 a 发射体》(GB/T 14056.1-2008)。



## 8.5 监测结果

拟改造的现有场所及周围的监测数据见表 8-2、表 8-3。

**表 8-2 拟改造的现有场所及周边当量剂量率检测结果**

序号	检测场所	具体检测点位	检测结果 ( $\mu\text{Sy/h}$ )	备注
1	放射性显像剂标记间	东墙外 30cm 处	0.41	约 370MBq 的 F-18、控制区
		西墙外 30cm 处	0.40	
		南墙外 30cm 处	0.35	
		北墙外 30cm 处	0.34	
		防护门外 30cm 处	0.95	
		楼上	0.12	
		楼下	0.12	
2	高活室	东墙外 30cm 处	0.41	约 370MBq 的 F-18、控制区
		西墙外 30cm 处	0.36	
		南墙外 30cm 处	0.35	
		北墙外 30cm 处	0.41	
		东门外 30cm 处	0.38	
		西门外 30cm 处	0.55	
		楼上	0.12	
		楼下	0.12	
3	门诊废物间	东墙外 30cm 处	0.15	约 370MBq 的 F-18、控制区
		西墙外 30cm 处	0.15	
		南墙外 30cm 处	0.15	
		北墙外 30cm 处	0.16	
		废物间门外 30cm 处	0.14	
		楼上	0.11	
		楼下	0.11	
4	肺通气室(原)	东墙外 30cm 处	0.12	约 925MBq 的 Tc-99m、控制区
		西墙外 30cm 处	0.12	
		南墙外 30cm 处	0.12	
		北墙外 30cm 处	0.12	
		北墙门外 30cm 处	0.17	
		南墙门外 30cm 处	0.17	
		楼上	0.15	
		楼下	0.14	
5	运动负荷兼抢救室	东墙外 30cm 处	0.12	约 925MBq 的 Tc-99m、控制区
		西墙外 30cm 处	0.13	
		南墙外 30cm 处	0.12	
		北墙外 30cm 处	0.12	

		北墙门外 30cm 处	0.13	
		东墙门外 30cm 处	0.13	
		楼上	0.11	
		楼下	0.11	

注：1、以上相应检测位置不少于三个点。2、以上周围剂量当量率检测结果数据均未扣除本底值 0.088~0.108 $\mu$ Sy/h。

**表 8-3 拟改造的现有场所及周围表面污染检测结果**

序号	检测场所	具体检测点位	检测结果 ( $\mu$ Sy/h)	备注
1	放射性显像剂标记间	地面	<MDL	F-18、控制区
		墙面	<MDL	F-18、控制区
		门把手	<MDL	F-18、控制区
		通风橱	<MDL	F-18、控制区
2	高活室	地面	<MDL	F-18、控制区
		墙面	<MDL	F-18、控制区
		东门门把手	<MDL	F-18、控制区
		西门门把手	<MDL	F-18、控制区
		桌面	<MDL	F-18、控制区
		通风橱表面	<MDL	F-18、控制区
3	门诊废物间	地面	<MDL	F-18、控制区
		墙面	<MDL	F-18、控制区
		门把手	<MDL	F-18、控制区
		废物桶表面	<MDL	F-18、控制区
4	肺通气室(原)	地面	<MDL	Tc-99m、控制区
		墙面	<MDL	Tc-99m、控制区
		门把手	<MDL	Tc-99m、控制区
5	运动负荷兼抢救室	地面	<MDL	Tc-99m、控制区
		墙面	<MDL	Tc-99m、控制区
		门把手	<MDL	Tc-99m、控制区

注：①本底值 0.18Bq/cm<sup>2</sup>；②MDL：0.0102Bq/cm<sup>2</sup> (F-18)、0.0076Bq/cm<sup>2</sup> (Tc-99m)。

## 8.2 监测结果评价

根据表 8-2 和表 8-3 检测结果显示：本项目常营院区核医学科控制区、监督区的  $\beta$  放射性物质表面污染检测值不大于 40Bq/cm<sup>2</sup>、4Bq/cm<sup>2</sup>；核医学科门诊场所控制区边界外、楼上和楼下的辐射剂量率不大于 2.5 $\mu$ Sv/h，均满足环评及批复中的剂量约束值要求。

表 9 项目工程分析与源项

## 9.1 小动物成像室项目建设规划

本次拟在常营院区现有核医学科场所内部现有场所进行改造，建设一处小动物实验场所，配置 1 台动物小动物一体机，使用 F-18、Tc-99m 核素，利用小鼠进行放射性药物临床前实验研究，全年运行时间不大于 50d。

### 9.1.1 分子影像技术应用于药物评价

分子影像技术应用于新药的制发，应用内容包括：利用 PET/SPECT 显像技术进行模式动物活体实时成像，分析药物在体内主要器官的代谢规律。实验动物在麻醉状态下注射药物，利用 PET/SPECT 动态采集方法，实时观察心、肝、脾、肺、肾等主要器官的放射性计数变化，获得各器官的时间-放射性曲线，从而分析药物在模式动物体内主要器官的分布和代谢规律。

### 9.1.2 操作流程

在小动物成像室内，打开铅屏蔽盒，取出一次性注射器，给试验动物（小鼠）注射标记好的放射性药物，注射 F-18 药物的使用活度为 7.4MBq，Tc-99m 药物的使用活度为 11.1MBq，试验动物注射后，待药物有一定程度的代谢后，进行动物 PET/SPECT/CT 扫描检查。对动物进行 PET/SPECT/CT 扫描分析，主要在于鉴定所生产和研制的放射性药物。本项目使用的动物为老鼠，每年使用量较少，不进行动物的饲养，统一由医院动物房购买。实验动物的数量和每只实验动物的药物用量均小于人的 PET/SPECT/CT 检测，对动物进行放射性药物注射也在小动物成像室内进行。具体流程如下：

- (1) 制定实验计划：根据实验内容确定使用的放射性同位素种类和数量；
- (2) 核素供应：根据实验情况提前向有资质的公司订购放射性药物，外购核素由药品公司负责送至实验室区域，点对点交接后由科室工作人员传送至放射性显像剂标记间。
- (3) 分装：根据小鼠显像需求分装药品活度，将药品针剂放至转运铅盒，通过传递窗口由实验工作人员运到小动物成像室内。
- (4) 动物麻醉：将实验动物（小鼠）进行麻醉。
- (5) 注射：在操作台上给已经麻醉的实验动物小鼠注射，小鼠给药活度一般为 7.4MBq，然后将废注射器置入铅废物桶内暂存。每天实验动物最多 5 支。

(6) 扫描：将实验动物置入仪器配套的铅自屏蔽测量桶内，将测量桶送入小型多模态动物成像装置内进行扫描，记录实验数据。PET/SPECT 扫描 5-15min，MicroCT 扫描时间 30s~1min。

(7) 废物处置：扫描过程中，动物偶尔会产生少量的排泄物，将保留在测量桶内。扫描结束后将吸附排泄物垫料收集至放废桶内暂存。扫描后 1/2 的动物放置小动物暂存室进行再次显像（最多 3 次），其余的动物直接处死，处死后置入门诊废物间的冰柜（50L）中暂存。操作完成后清理实验台面，分类收集放射性废物，对台面、地面进行表面污染监测，记录监测数据。开展实验人员体表污染监测，重点是手部和脚部，确认没有污染后离开控制区。

## 9.2 使用放射性核素污染途径分析

### (1) 正常工况的污染途径

① $\gamma$  射线辐射：在实验过程中，F-18 等放射性药物会对局部环境产生  $\gamma$  射线外照射，因此， $\gamma$  射线是实验过程中的主要污染因子。

② $\beta$  表面污染：本项目所合成的 PET/SPECT 诊断示踪药物 F-18、Tc-99m 等为  $\beta$  辐射体，本项目的辐射工作人员在实验过程中对工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套等产生放射性沾污，造成  $\beta$  局部放射性表面污染。

③固体废物：试验过程中产生注射器和动物接受注射、扫描等实验操作过程中存在脱毛、排便和垫小鼠的吸水纸、实验动物测量桶垫料，以及手套、棉签等，分类收集于放射性废物桶中，暂存衰变。

④实验动物尸体：实验结束后，动物均被处死，尸体装入密封袋，暂存于实验室内的配置的 1 个 -18℃ 冰柜中，暂存 30d 后，解控为医疗废物处置。

⑤放射性废气：药物实验室直接使用标记好放射性药物，注射时间很短，放射性核素挥发不予考虑。

### (2) 非正常情况的污染途径

①放射性表面污染：因容器破碎，放射性同位素泼洒等，有可能污染工作台、地面、墙壁、设备等，甚至控制区外的环境污染。

②放射性核素管理失控：因管理不善或发生被盗和丢失事件，导致潜在照射的发生。

③放射性废物处置不当，造成放射性废物流失至环境中。

表 10 辐射安全与防护

### 10.1 项目选址与合理性分析

本项目小动物显像实验场所利用现有核医学科区域内部场所进行改造，辐射工作场所位于医疗综合楼住院二部地下一层西北角，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。

### 10.2 场所平面布局与分区

#### 10.2.1 场所平面布局

现有核医学科位于医疗综合楼住院二部地下一层，核医学科东侧为楼内通道、电梯厅、通风机房、卫生间等；楼上为新风机房、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；核医学科西侧和南侧为土层，土层上方为院内道路。

本项目小动物显像实验场所利用现有核医学科区域内场所进行改造，位于现有核医学科内部，改造后肺通气室位于运动负荷室南侧，小动物成像室东侧为高活室，南侧为小动物暂存室，东南侧为小动物控制室，北侧为患者走道。楼上为走廊；楼下为停车位。

综上所述，建成后核医学科工作场所布局考虑了相对独立、避免交叉，便于使用和分区管理等因素，布局设计基本合理。改造前、后常营院区核医学科平面布置分别见图 10-2、图 10-3。

#### 10.2.2 功能分区

小动物显像实验场所建成后，相关区域均划为控制区管理。平面布局及辐射分区（控制区、监督区）见图10-2所示。

### 10.3 工作流程及路径合理性分析

#### (1) 核医学科及小动物成像室操作人员路径

门诊显像药物注射人员及设备扫描操作人员工作路径不变。

本项目小动物实验工作人员从南侧工作人员专用入口进入更衣室，在此更换工作服和拖鞋→从高活室东墙传递窗接收来自标记间分装好的药物→再经过小动物控制室进到小动物成像室。工作人员直接在小动物成像室操作台进行

打针注射（本项目使用活度较小，注射过程不使用注射器防护套等屏蔽措施）→注射后 30~60min 进行在小动物成像室进行扫描→离开时在更衣室更换工作服和拖鞋，然后原路离开。

#### （2）放射性药品转移路径

核医学科现有药物委托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住院二部地下二层停车场，送药人员乘受检者专用电梯到达核医学科的门诊西侧患者出口或病房入口，通过门禁可视对讲与负责交接药物的工作人员联系，开门后进入核医学科高活室，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。交接完成后，工作人员将小动物使用药物从高活室东墙传递窗传递至标记间进行分装，分装完成后再从传递窗进行传递，由小动物相关使用工作人员转移小动物成像室使用。核医学科场所高活室或标记间已安装监控装置，满足生态环境和公安部门关于放射性物品存放的要求。

本次申请使用的放射性药物转移路径与现有情况一致。

可见，放射性药物从医疗综合楼住院二部进入控制区，然后送入高活室或标记间，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。

#### （3）放射性固体废物转移路径

本项目核医学科标记间设置了1个铅废物桶（20mm铅），存放废弃的放射性药物、包装物、棉棒、一次性用品等，小动物成像室设置1个铅废物桶（5mm铅），内衬不易破损的塑料袋，收集工作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。门诊废物间拟放置1个50L的冰柜，用于暂存处死后的动物，冰柜内设置了1个铅废物桶（5mm铅，20L）。同时门诊废物间目前已经设置了2个铅废物桶（20mmPb，每个容积约274L），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。

#### （4）放射性废气收集与排放流程

常营院区核医学科目前实际建设5套排风：①病房服碘室内的通风橱排风系统；②病房区域的服碘室、3个病房和放射性废物间排风系统，各房间均设

排风口；③门诊高活室通风橱与肺通气室的排风系统；④放射性显像剂标记间通风橱排风系统；⑤注射室、注射后候诊、废物间、机房等门诊控制区均设排风口，设1套排风系统。

本项目改造完成后，拟将新肺通气室、小动物成像室排风与注射室、注射后候诊、运动负荷室、废物间、机房等门诊控制区共用一套排风系统排放。门诊高活室通风橱单独一套排风系统排放。其余几条排风管道不变。改造后的核医学科排风路径见图10-5。

#### (5) 放射性废水暂存和排放流程

本项目小动物成像室洗手池产生的少量放射性废水，以及核医学科现有的废水→经专用管道一并先排入地下二层 65 号集水坑→通过污水提升设备→泵到医疗综合楼住院二部外西侧地下 1 号放射性废水衰变池暂存→满足要求后排至医院污水处理站处理→市政污水管网。核医学科废水排放路径不变。核医学科排水路径见图 10-6。

为便于管理、减少交叉污染，本项目在布局时利用现有场所，已尽可能合理安排人流、物流的流向。本项目涉及同位素操作的房间布局相对集中，便于统一管理。小动物场所与患者不存在交叉污染，设置有固体废物间，涉及同位素操作的相关房间周围也无长期停留的公众点，物料的进出途径也比较合理。整体上来看，本项目场所的布局改造是合理可行的。

## 10.4 小动物成像室辐射安全防护设施

### 10.4.1 辐射屏蔽设计

本次拟在现有的常营院区核医学科门诊区进行改造，将原有的运动负荷室南半部分改造成新肺通气室，同时将原有的肺通气室改造成小动物成像室、控制室和小动物暂存室。场所根据辐射防护要求，设计了含混凝土砖、砬、铅防护门、铅玻璃和固体废物间等场所。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。实体屏蔽方案见表 10-1 所示，核医学科辐射安全防护设施见表 10-2。

表 10-1 小动物成像室主要场所的屏蔽防护

序号	场所名称	屏蔽墙体方向	屏蔽厚度	周围环境
1	小动物成像室	东墙	3mmpb	高活室外患者注射区
		南墙	3mmpb	小动物暂存室、控制室
		西墙	3mmpb	运动负荷兼抢救室
		北墙	3mmpb	患者走道
		防护门（北侧）	3mmpb	患者走道
		防护门（南侧）	3mmpb	小动物暂存室
		防护门（东南侧）	3mmpb	小动物控制室
		顶棚	27cm 混凝土	走廊
		地板	27cm 混凝土	停车位
2	小动物暂存室	东墙	4mmpb	小动物控制室
		南墙	6mmpb	通过间
		西墙	4mmpb	运动负荷兼抢救室
		北墙	4mmpb	小动物成像室
		防护门（北侧）	4mmpb	小动物成像室
		顶棚	27cm 混凝土	走廊
		地板	27cm 混凝土	停车位
3	小动物控制室	东墙	6mmpb	高活室
		南墙	6mmpb	通过间
		西墙	3mmpb	小动物暂存室
		北墙	3mmpb	小动物成像室
		防护门（南侧）	6mmpb	通过间
		防护门（北侧）	3mmpb	小动物成像室
		观察窗（北侧）	3mmpb 当量铅玻璃	小动物成像室
		顶棚	27cm 混凝土	走廊
		地板	27cm 混凝土	停车位
4	运动负荷兼抢救室	东墙	3mmpb	小动物成像室、暂存室
		西墙	3mmpb	SPECT/CT 检查室、注射后候诊室
		北墙	3mmpb	患者走道
		南墙	3mmpb	肺通气室
		防护门（北侧）	3mmpb	患者走道
		防护门（东南侧）	6mmpb	通过间
		防护门（南侧）	3mmpb	肺通气室
		顶棚	27cm 混凝土	资料室、护士站



		地板	27cm 混凝土	通道
5	肺通气室 (新)	东墙	6mmpb	门诊废物间
		南墙	3mmpb	配电室
		西墙	3mmpb	SPECT/CT 检查室
		北墙	3mmpb	运动负荷兼抢救室
		防护门(北侧)	3mmpb	运动负荷兼抢救室
		顶棚	27cm 混凝土	通道、特需更衣室
		地板	27cm 混凝土	通道
6	放射性显像 标记间	东墙	6mmpb	接诊室、甲功扫描室
		南墙	6mmpb	一更、二更
		西墙	6mmpb	高活室
		北墙	6mmpb	清洁间、污物间
		防护门(南侧)	6mmpb	二更
		传递窗(北侧)	40mmpb	患者走道
		传递窗(西侧)	40mmpb	高活室
		顶棚	27cm 混凝土	走廊、闲置房间
		地板	27cm 混凝土	停车位
		通风橱(北侧 2 个)	50mmpb	清洁间、污物间
7	高活室	东墙	6mmpb	放射性显像标记间
		南墙	6mmpb	医护通道
		西墙	6mmpb	小动物控制室
		北墙	6mmpb	患者注射区
		防护门	6mmpb	运动负荷兼抢救室
		高能注射窗	40mmpb 当量铅玻璃	患者注射区
		低能注射窗	20mmpb 当量铅玻璃	患者注射区
		通风橱(西侧)	50mmpb	小动物控制室
		通风橱(南侧)	10mmpb	医护通道
		顶棚	27cm 混凝土	走廊、闲置房间
		地板	27cm 混凝土	停车位、泵房

备注：混凝土密度不低于 2.35t/m<sup>3</sup>。

表 10-2 小动物成像室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	√	核医学科场所标注控制区和监督区，地面设置引导文字和标线
2*		电离辐射警告标志	√	小动物成像室等门上粘贴电离辐射警示标志

3*		独立的通风设施	√	放射性显像标记间设有带屏蔽设计的手套箱，配有负压手套箱。场所也设有通风系统。
4*		治疗病房病人之间防护	√	本项目不涉及
5*		给药操作人员屏蔽	√	在小动物成像室进行注射，本项目使用活度较小，注射过程不使用注射器防护套。工作人员穿戴防护用品
6		易去污的工作台面	√	小动物注射台面采用不锈钢台面
7*		病人专用卫生间	√	本项目不涉及
8*		放射性核素暂存场所或设施	√	同位素在放射性显像标记间暂存，设闭路监控。
9*	B 监测 设备	表面污染监测仪	√	利用现有 1 台表面污染监测仪
10*		便携式辐射水平监测仪	√	利用现有 1 台辐射剂量巡测仪
11*		个人剂量计	√	所有工作人员配备 TLD 个人剂量计
12		个人剂量报警仪	/	/
13*	C 放射性 废物和 废液	放射性废液处理排放系统及标识	√	本项目小动物成像室、标记间产生的废水与核医学科现有废水利用现有 1 号放射性废水衰变池（槽式，建设总容积为 84m <sup>3</sup> ，28m <sup>3</sup> /池×3 池）
14*		放射性固体废物暂存场所或设施	√	利用现有门诊废物间贮存放射性废物及废物间内的铅废物箱，同时在废物间内新增 1 个冰柜（50L）贮存处死后的动物，冰柜内新增 1 个铅废物桶，小动物成像室新增 1 个铅废物桶
15*	D 防护 器材	个人防护用品	√	工作人员穿戴防护用品，同时配备一次性医用口罩和手套等
16*		放射性表面去污用品和防污染材料	√	洗涤灵、酒精和棉球

注：加\*的项目是重点项，有“设计建造”的划√，没有的划×，不适用的划/。

#### 10.4.2 小动物成像室辐射防护措施

(1) 实行控制区和监督区分区管理。为便于辐射防护管理和职业照射控制，依据 GB18871-2002 将辐射工作场所分为控制区和监督区，本项目涉及的小动物成像室、控制室、暂存室、放射性显像标记室等均为控制区，医护通道为监督区。在小动物成像室北墙防护门设为带门禁的常闭门，小动物控制室南侧出入口防护门拟安装门禁系统，防止无关人员进入控制区，门上张贴电离辐射警告标识，警示无关人员不要进入。在各机房防护门上方设置工作状态指示灯，安装门灯联锁装置，控制室防护门关闭，警示灯自动亮起。

(2) 放射性表面污染控制措施：小动物成像室、控制室、暂存室等场所地面用无缝隙、防渗，且容易清洗和去污的材料覆盖（如地胶等），墙面 1.5m 高度张贴防渗的墙面（如铝塑面板或釉面砖）等，便于去污。放射性显像标记

间手套箱和工作台面选用表面光洁、耐腐蚀、防渗漏、易去污的材料。工作人员进入辐射工作区，穿工作服，涉及放射性药物的操作佩戴乳胶手套。工作人员相关操作后应使用仪器及时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。

(3) 外照射防护: 本次涉及的放射性显像标记间目前已配备 2 个具有防护功能的铅防护传递窗(均为 40mmPb 当量), 为本项目药物转移防护, 拟利用现有 1 个 25mmPb 的转运防护盒。可有效减少注射过程中工作人员受照剂量。另外新增 2 套 0.5mmPb 铅防护用品(每套包括铅衣、铅围裙、铅围脖), 可有效减少注射过程中工作人员受照剂量。核医学科控制区边界、核素操作和扫描场所外围墙体采用实体屏蔽措施, 顶棚和底板为混凝土浇筑, 动物成像室等场所安装铅制防护门(具有防夹功能), 观察窗安装铅玻璃。保证核医学科控制区边界外的辐射剂量率不大于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

(4) 内照射的防护: 本项目运进来的核素在标记间进行分装, 分装好后通过西墙的传递窗转运到小动物成像室。放射性显像剂标记间拟配备具有防护功能 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。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净化后, 通过排风管道分别引至核医学科西北侧管井和北侧管井从楼顶排出, 进管井前设有活性炭过滤器过滤。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, 并将擦拭物作为放射性固废处置。小动物成像室、改造后的新肺通气室产生的废气经专用排风管道由与核医学科显像区域的注射室、注射后候诊、废物间、机房等门诊控制区排风管道一起延伸至楼顶, 排风口位于楼顶部。排放前还经过活性炭吸附过滤装置, 每套排风系统都配 1 台风机, 风机位于楼顶。

(5) 妥善收集固体放射性废物: 标记间通风橱旁利用现有的 1 个铅废物桶(20mmPb, 容积为 30L), 暂存废弃的放射性药物包装物、棉棒、一次性用品等, 每周星期一早上转移至核医学科门诊废物间。小动物成像室新增 1 个铅废物桶(5mmPb, 10L); 小动物暂存室新增 1 个 3mmPb 当量的动物暂存铅箱, 需要进行多次显像的动物, 2 小时内在一个 3mmPb 的饲养箱暂存饲养, 之后转至普通暂存柜中暂存饲养。本次拟利用现有门诊废物间贮存放射性废物

及废物间内的 2 个铅废物桶（每个 20mmPb），同时在废物间内新增 1 个冰柜（50L）贮存处死后的动物，冰柜内新增 1 个铅废物桶（5mmPb，20L）。

废弃的放射性药物注射器、包装物、一次性用品等物品按类别、日期放入废物间内。放射性固废放置满足清洁解控后，动物尸体委托交有资质单位焚烧处置（普通废物按医疗废物处置）。放射性固废依照 HJ1188-2021 和《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》固体废物相关要求了解控处置，并详细记录放射性固体废物暂存、处置管理台账，清晰记录放射性废物的暂存、检测、解控、排放等信息。

（6）放射性废水收集处置设施：核医学科门诊区域标记间内、小动物成像室内洗手池废水，通过专用管道一并先汇入地下二层 65 号集水坑（四周为混凝土+土层，盖板为 20cm 混凝土，盖板上的检修口盖为 10mmPb），然后泵到医疗综合楼住院二部外西侧地下 1 号放射性废水衰变池（槽式，总容积为 84m<sup>3</sup>，28m<sup>3</sup>/池×3 池）。核医学科排放的废水能够满足《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”。

（7）在核医学科小动物成像室、小动物控制室处安装对讲装置。

（8）按需要量制备或订购同位素，到货同位素，核医学科专门人员负责点对点接收同位素，清点数量，登记放射性药品台账。在核医学科高活室内登记交接后，贮存在门诊区域放射性显像标记间手套箱内。注射后的注射器立即放回屏蔽包装内，防止被盗和污染，由放射性药品供货公司取回。

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

（10）核医学科诊疗区拟利用现有的 1 台便携式辐射剂量巡测仪和表面污染仪各 1 台，用于表面污染和剂量率水平的检测。工作人员进入辐射控制区，穿工作服，涉及放射性的操作佩戴乳胶手套，工作结束后，离开控制区前进行体表和相关场所的表面污染监测。

（11）定期开展工作场所和环境辐射监测。每月自行对辐射工作场所卫生通过间、工作人员操作位、走廊等工作人员和公众可能居留的有代表性的点位和存有放射性物质的区域进行常规的 X/γ 剂量率。每天工作结束后，对小动物

成像室台面、地面，手套箱台面等进行表面污染监测，监测数据记录存档 $\beta$ 表面污染监测。每年委托有能力的检测单位对辐射场所的剂量率水平和表面污染水平监测。

(12) 外单位送药时间一般安排在上午 7:00，科室病患较少的时间，可以减少与送药人员的交汇。核医学科设专门人员负责在门诊高活室内摄像头下“点对点”接收同位素，清点数量，登记放射性药品台账。

## 10.4 核医学科排风系统

常营院区核医学科目前实际建设5套排风：①病房服碘室内的通风橱排风系统；②病房区域的服碘室、3个病房和放射性废物间排风系统，各房间均设排风口；③门诊高活室通风橱与肺通气室的排风系统；④放射性显像剂标记间通风橱排风系统；⑤注射室、注射后候诊、废物间、机房等门诊控制区均设排风口，设1套排风系统。

其中放射性显像剂标记间通风橱产生的的废气通过排风管道引至核医学科北侧管井从楼顶排出、其它通风橱以及门诊和病房区域所产生的废气通过各自排风管道引至核医学科西北侧管井从楼顶排出，进管井前均安装了活性炭过滤（处理效率不低于99%），且管道内均安装止回阀，防止气体回流。排放口距地面高度约为50m，楼顶排风口位置高于评价范围内其它建筑。活性炭过滤装置1年更换1次。该通风柜操作口风速不小于0.5m/s

本项目改造完成后，拟将新肺通气室、小动物成像室排风与注射室、注射后候诊、运动负荷室、废物间、机房等门诊控制区共用一套排风系统排放。门诊高活室通风橱单独一套排风系统排放。其余几条排风管道不变。

本项目改造完成后核医学科控制区的排风图见图 10-5。

## 10.5 放射性废水暂存和排放

本项目位于核医学科门诊区域，产生的放射性废水单独收集，本项目新增后产生的放射性废水排放利用现有情况，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住院二部外西侧地下 1号放射性废水衰变池（槽式，建设总容积为 84m<sup>3</sup>，28m<sup>3</sup>/池×3池）。核医学科 1号衰变池的平剖面图见图 10-7。

衰变池结构及控制管理如下：

### (1) 1号衰变池结构

- 采用 C30 抗渗混凝土建造，四周池壁厚不小于 300mm 砼，池内壁采用 20mm 厚的硫酸钡水泥砂浆，四周都是地下土层，槽与槽之间隔板厚 300mm，底板厚 300mm，顶板厚 300mm。采取防渗措施。
- 总容积约为  $84\text{m}^3$  ( $28\text{m}^3 + 28\text{m}^3 + 28\text{m}^3$ )。

### (2) 衰变池控制和管理

- 设计液位指示装置，自动进、排水阀门。智能控制系统、人性化操作管理、通过 PLC 和触摸屏设定工作参数和状态提醒机制。
- 衰变池独立工作，为防止“液位控制装置失灵导致衰变池盛满后不能自动切换”情况发生，在衰变池之间设溢流孔。溢流孔设置在“液位上限”上方 20cm 处。如果衰变池液位控制系统故障，电动阀不能自动切换，废液可以自行溢流到另外一个衰变池内（后续轮流使用的衰变池），避免放射性废液倒灌至核医学科场所，发生放射性污染。
- 所有运行状态自行监控，可在无人值守状态下实现全自动稳定运行。
- 废水衰变系统整体采用“储存式衰变”方式，各衰变池循环运作。
- 内置设备泵体采用切割式潜水泵，可将固体杂质粉碎成颗粒排除，阀门采用电/手动双控制球阀，为后续设备维护检修提供保障。
- 放射性区域废水流入衰变区域，衰变池进水管设电动阀，出水采用潜水泵压力排出。运行时先开启 1 池进水管电动阀，关闭 2~3 池进水管电动阀，待 1 池水位达到设计液位后，关闭 1 池进水管电动阀，打开 2 池进水管电动阀，使排水进入 2 池。按照相同的操作方式。使排水依次进入 3 池。待第 3 池开始进水时，第 1 池已过 10 个半衰变期（原环评批复要求 1 号的废水至少暂存 80 天），检测达标后开动潜水泵排放。待第 3 池水位达到设计液位后，重复向 1 池进水（此时为排空状态）完成进水一个循环。

池壁和池底采取了防渗措施，确保放射性废水在暂存期间不发生渗漏，防止污染地下水。

本项目核医学科产生的放射性废水排放情况如下：

本项目产生的废水有放射性标记间内（洗手池和拖布池）、小动物成像室内（洗手池和拖布池）废水，综合核医学科门诊显像区域原有控制区产生的废

水包括给药受检人员专用卫生间产生的冲厕废水、高活室产生的洗涤废水场所产生的废水以及应急淋浴水等。将这些放射性废水统一经独立的排水管道排入1号衰变池，衰变池的废水排出前，至少经80天衰变并检测合格后将经医院污水管网，排至市政污水处理厂。

1号衰变池收集排放系统示意图见图10-1。核医学科控制区的废水路由图见图10-6。

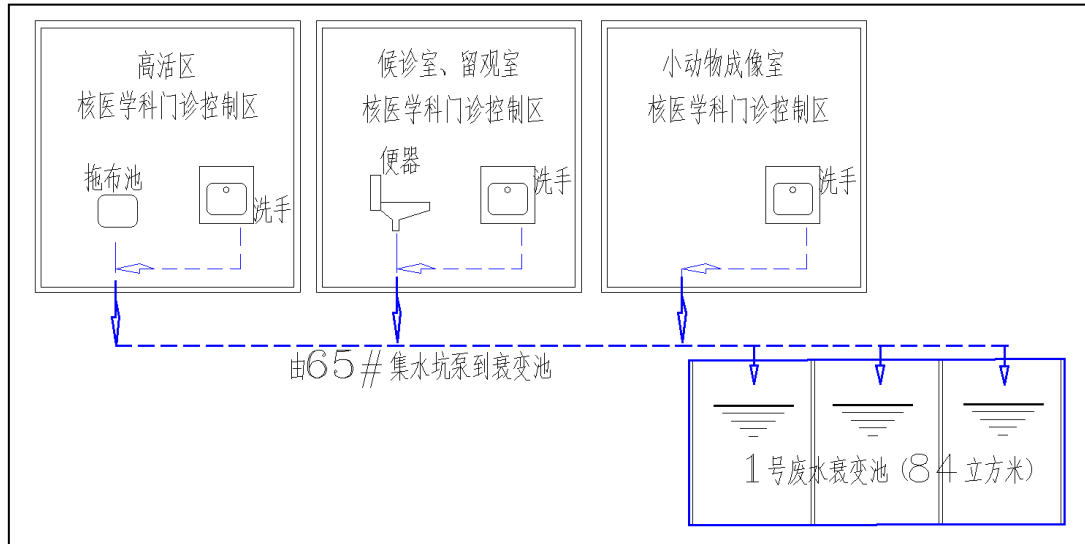


图 10-1 核医学科 1 号衰变池收集排放系统示意图

## 10.7 “三废”的治理

小动物 PET 实验室放射性废气经通风系统的活性炭过滤后，在医疗综合楼住院二部顶部排放。放射性废水汇入放射性废水衰变池，暂存后解控处置。放射性固体废物分类贮存于废物间内，定期进行解控处置。

## 10.9 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。

### 10.9.1 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。	医院已成立了辐射防护和安全管理委员会，全面负责医院的辐射防护监督管理工作，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，本项目都是已有科室改造项目，相关部门负责人不变。	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。	医院拟为本项目配置至少新增 2 人辐射工作人员，在上岗前需通过辐射安全与防护考核合格，并取得考核证。	落实后符合
3	使用放射性同位素的单位应当有满足辐射防护和实体保卫要求的放射源贮存库或设备。	本项目不涉及放射源。	
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。	在小动物成像室入口处等位置拟设置放射性警告标识和中文警示说明，同时入口和出口均设有门禁系统。机房拟安装有门-灯联锁安全装置及工作警示灯。	落实后符合
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。	医院本项目拟利用现有的 1 台辐射剂量巡测仪、1 台表面污染监测仪，能够满足工作的需要。	落实后符合
6	有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、射线装置使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。	拟完善和制定规章制度、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。	落实后符合
7	产生放射性废气、废液、固体废物的，还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案。	标记间内配备手套箱，设置专用排风管道，排风引至医疗综合楼住院二部顶部排放。标记间、小动物成像室内产生的废水，通过专用管道一并进入 1 号放射性废水衰变池，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 HJ1188-2021 和《北京市生态环境局办公室关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》作为医疗废物处理。	落实后符合
8	有完善的辐射事故应急措施。	在现有事故应急措施上，根据新建项目的需要，拟制定更为完善辐射事故应急处理预案。	落实后符合

**10.9.2 《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	第五条 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。	机房外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。小动物控制室南侧出入口防护门拟设门禁系统等。	落实后符合
2	第九条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托经省级人民政府环境保护主管部门认定的环境监测机构进行监测。	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。每天对标记间、小动物成像室、暂存室等机房的表面污染进行自行监测，并做好记录。	落实后符合
3	第十二条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位的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日前向生态环境部门提交年度评估报告。	近期符合
4	第十七条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照环境保护部审定的辐射安全培训和考试大纲，对直接从事生产、销售、使用活动的操作人员以及辐射防护负责人进行辐射安全培训，并进行考核；考核不合格的，不得上岗。	医院拟为本项目配置至少新增2人辐射工作人员，在上岗前需通过辐射安全与防护考核合格，并取得考核证。	落实后符合
5	第二十三条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照法律、行政法规以及国家环境保护和职业卫生标准，对本单位的辐射工作人员进行个人剂量监测；发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。	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)。	落实后符合
6	第二十四条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，不具备个人剂量监测能力的，应当委托具备条件的机构进行个人剂量监测。	拟委托有资质单位对辐射工作人员进行个人剂量监测。	落实后符合

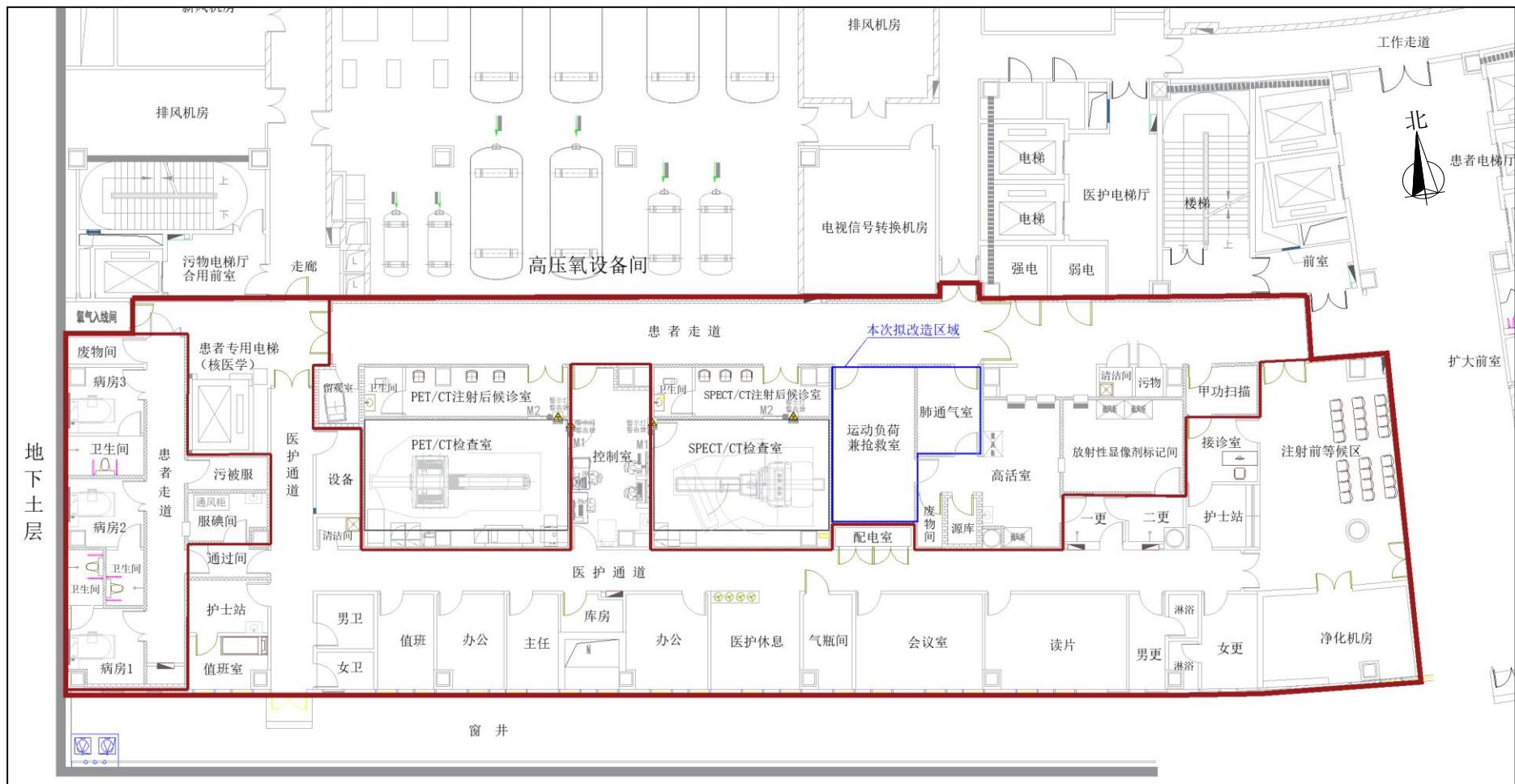


图 10-2 核医学科改造前平面布局图

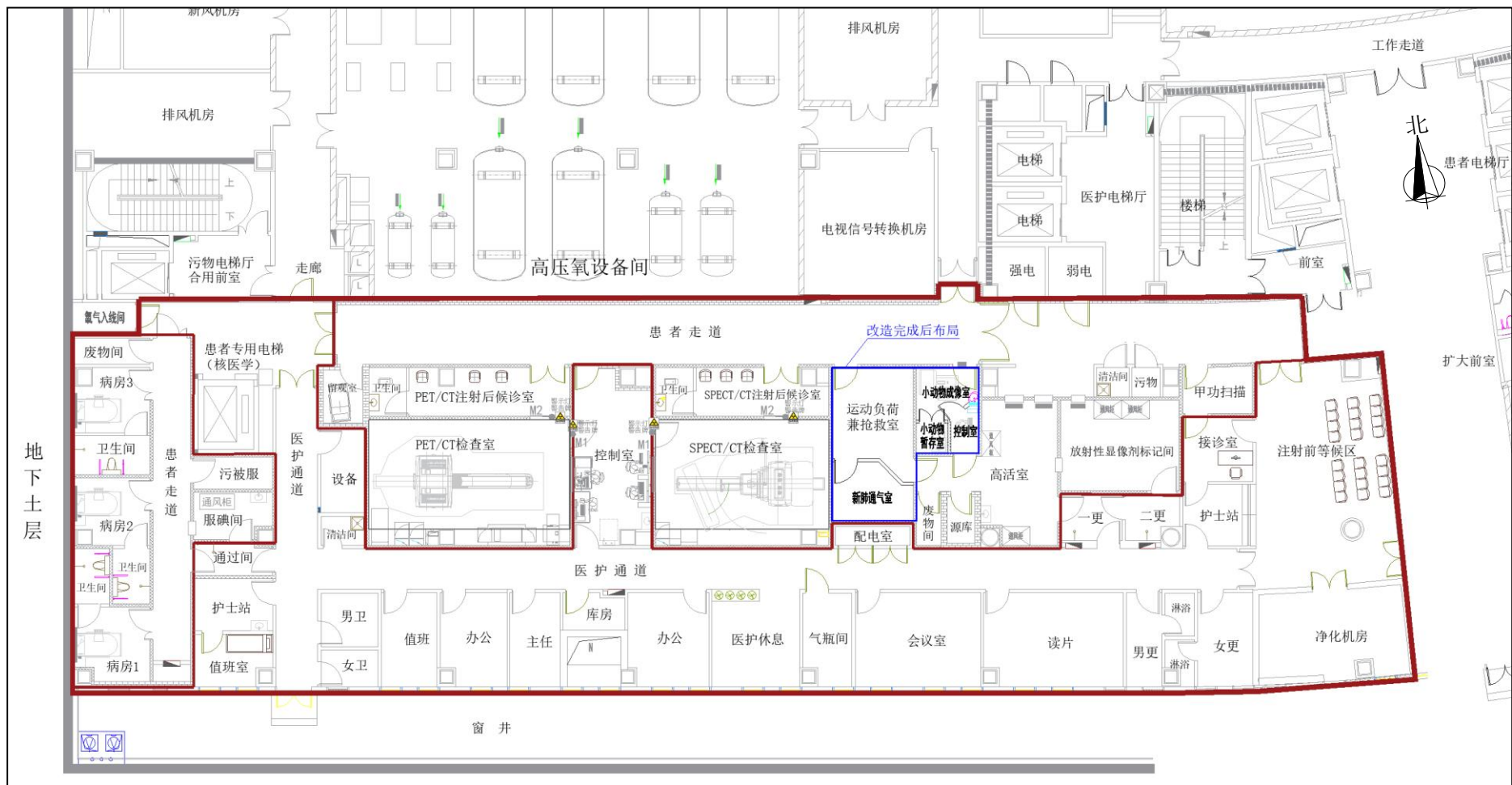


图 10-3 核医学科改造后平面布局图

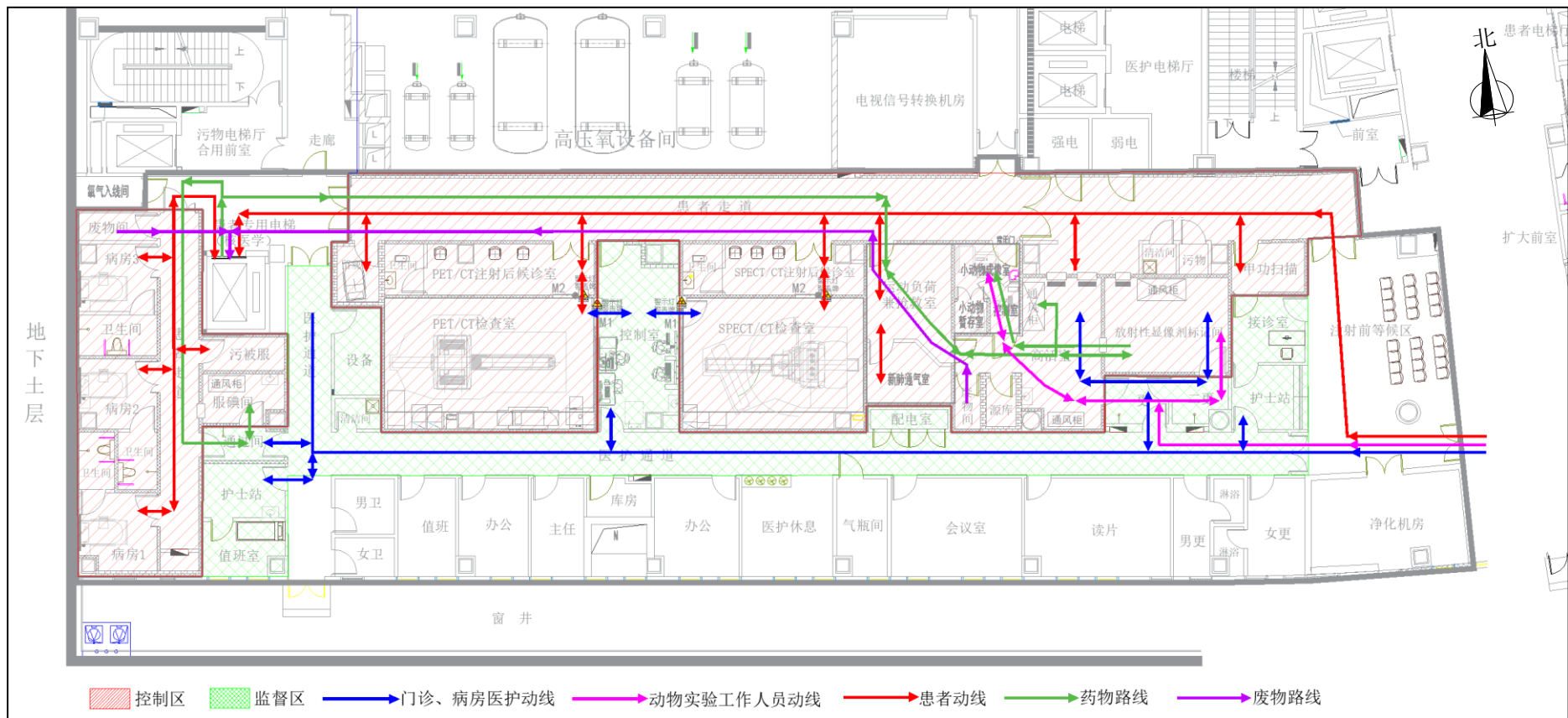


图 10-4 核医学科门诊区域人流、物流示意图



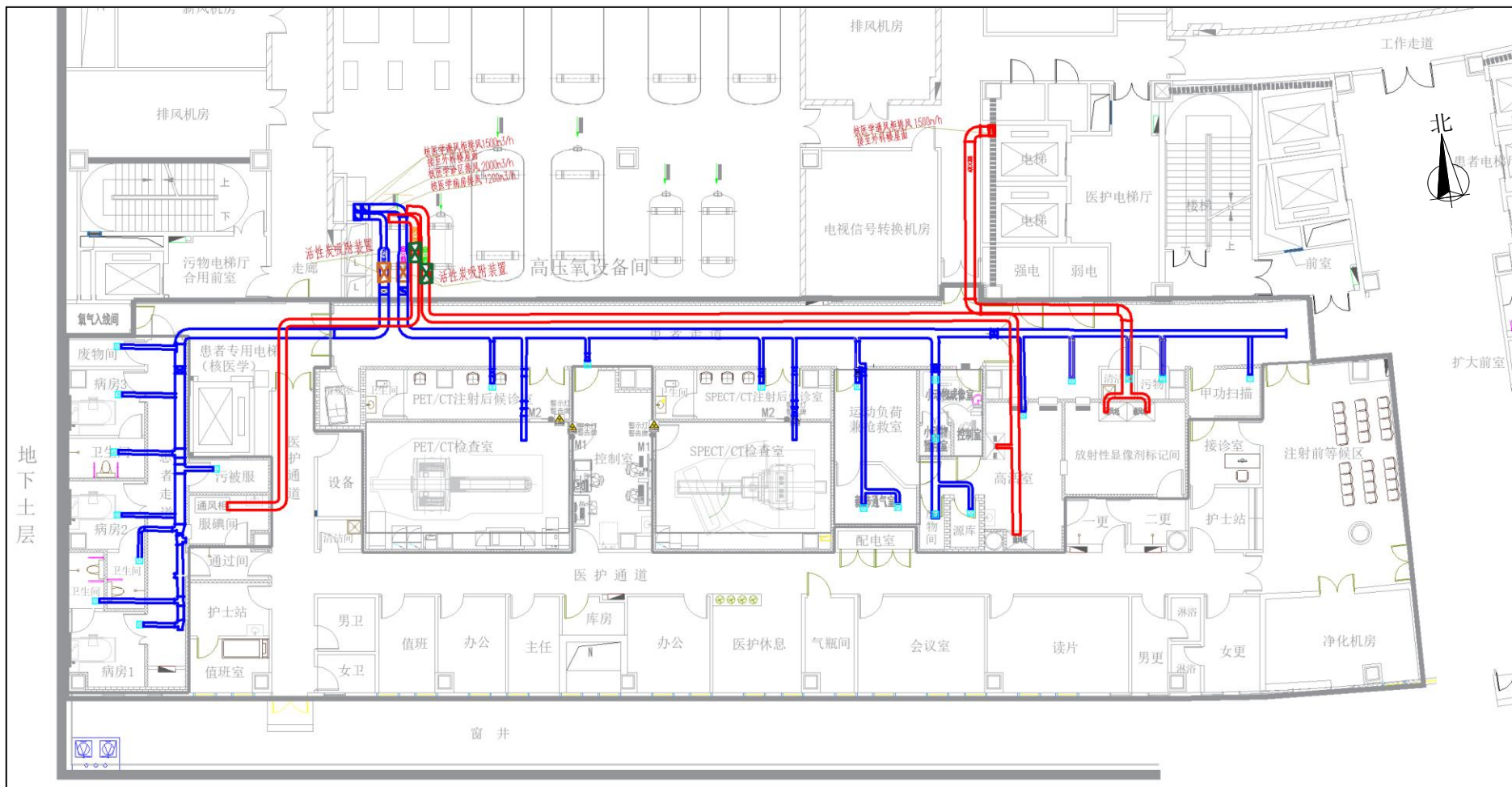


图 10-5 本项目改造完成后核医学科控制区的排风图



图 10-6 本项目改造完成后核医学科控制区的排水图

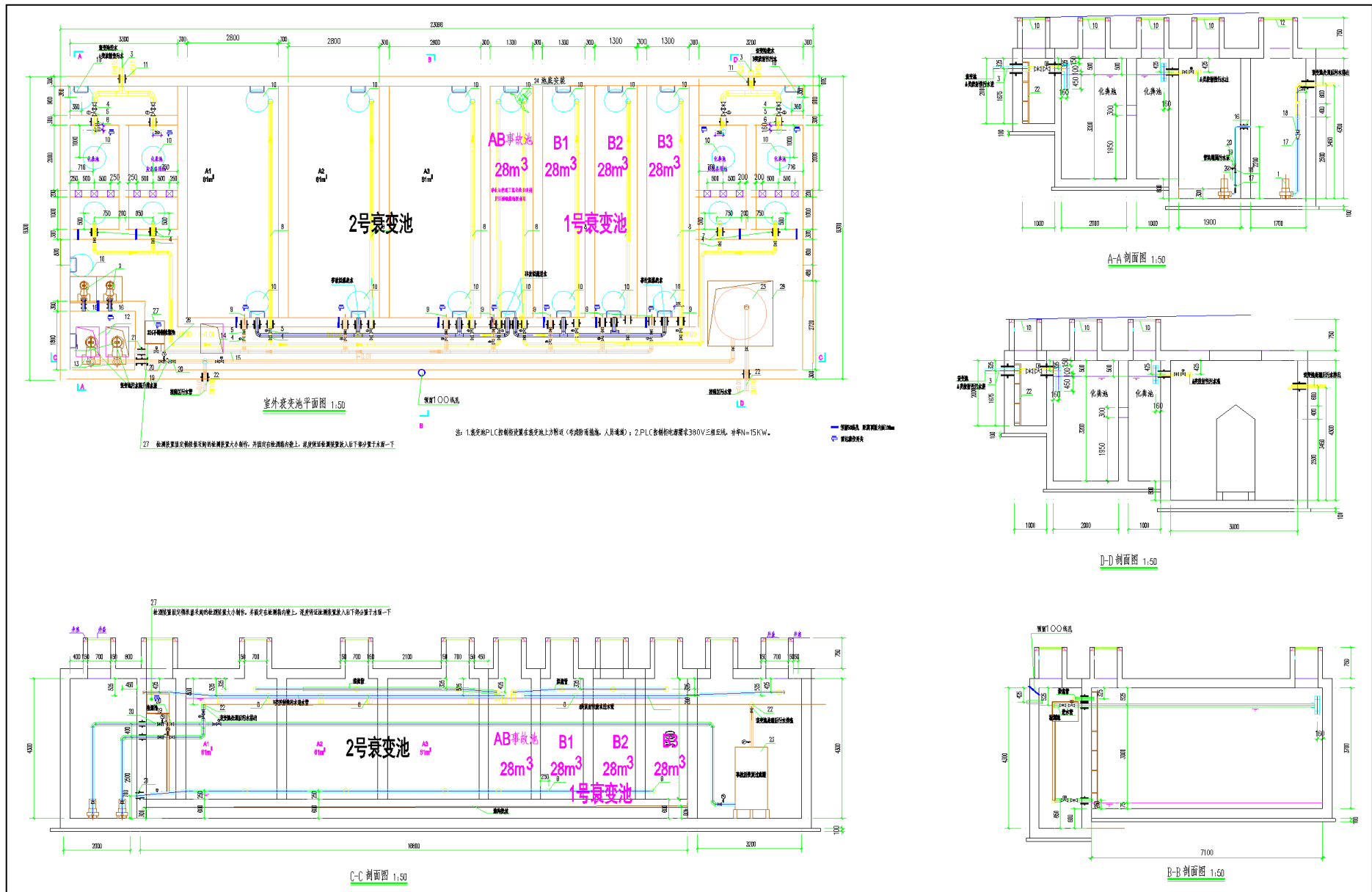


图 10-7 核医学科 1 号衰变池的平剖面图

## 表 11 环境影响分析

### 11.1 建设或安装过程的环境影响

对于本项目而言，将会在楼内进行改造施工活动，对室外环境和周围人群的影响较小，故不再进行详细评价。

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

### 11.2 动物实验室运行后对环境的影响

#### 11.2.1 辐射环境影响预测

##### 1. 小动物实验区域的使用规划

本项目启用后将开展一系列核医学小动物实验，标记、分装拟在现有的放射性显像标记间进行，使用的核素均为外购，核素使用情况预计如下。

**表 11-1 核医学科的使用规划**

序号	核素种类	类别	最大工作量			年显像扫描次数
			只/天	天数/年	用量/年	
1	F-18	A	5	50	1.85E+09	需要多次显像动物共 375 次， 单次显像 125 次
2	Tc-99m	A	5	50	2.78E+09	需要多次显像动物共 375 次， 单次显像 125 次

备注：①本次实验只使用小鼠，每天最多使用一种核素。  
②本项目预计 F-18、Tc-99m 各约 1/2 的小鼠（按 250 只/年）会进行多次显像实验，预计最多显像 3 次，则 F-18、Tc-99m 年总显像扫描次数分别约为 500 次。

综上，本项目每天只使用 1 种核素，每天保守按 3 只动物需要进行多次显像，每只最多显像 3 次，则每天开展多次显像最多 6 次，还剩余的 2 只动物每只显像 1 次，则本项目每天使用动物 PET/SPECT/CT 开展显像最多 10 次，年显像共约 500 次。

##### 2. 剂量估算源强

(1) 本项目 Tc-99m 单只小鼠用量一般不超过  $1.11\text{E}+07\text{Bq}$  ( $11.1\text{MBq}$ )。保守按照最大注射  $11.1\text{MBq}$  的  $99\text{mTc}$  药物估算其辐射影响。核素 Tc-99m 源的  $K_T$  常数为  $0.0303\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ ，距  $11.1\text{MBq}$  ( $0.3\text{mCi}$ ) Tc-99m 1m 处的裸源剂量率为  $0.34\mu\text{Sv/h}$ 。

(2) 本项目 F-18 单只小鼠用量一般不超过  $7.4\text{E}+06\text{Bq}$  ( $7.4\text{MBq}$ )。参考 AAPM Task Group 108 报告，核素 F-18 的  $K_T$  常数为  $0.143\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ ，给



小鼠注射 7.4MBq 的 F-18，注射时裸源 1m 处剂量率 1.1 $\mu$ Sv/h。

(4) 本次小动物成像室涉及的核素与门诊显像患者使用的核素分开单独订购，动物使用 F-18 核素需要在标记间再次分装，每次转运防护罐盛装最大量一般不超过 37MBq（保守按每天 5 只小鼠最大用量估算），操作上述活度的溶液，1m 处的剂量率为 5.29 $\mu$ Sv/h，储存在手套箱内有 40mmPb 的铅罐和 50mmPb 手套箱屏蔽（90mmPb 的衰减因子为 3.79E-06），屏蔽后剂量率为 3.13E-05 $\mu$ Sv/h（手套箱外 0.3m，取 0.8m 估算）。假设分装时铅罐盖打开（即朝斜上方没有铅罐屏蔽），源距手套箱上表面至少 1m 以上，则距手套箱上表面外 30cm 处的剂量率不大于 3.05E-03 $\mu$ Sv/h，但铅罐储存时基本都是有盖屏蔽，因此在储存状态对环境的影响可忽略。考虑到抽取药液时，短时存在屏蔽盖打开的情况，分装操作在正面 50mmPb 当量的手套箱进行，手套箱外表面 30cm 处（人员操作位，约 0.8m）的周围剂量当量率约为 8.04E-03 $\mu$ Sv/h。分装过程中每次最多只有 0.2mCi 在铅罐外（其他都储存在铅罐里），操作位也经过 50mmPb 手套箱屏蔽（衰减因子为 9.73E-04），屏蔽后剂量率为 1.61E-3 $\mu$ Sv/h（距离取 0.8m，距手套箱正面外 0.3m 处），则放射性药物分装的通风柜外表面 30cm 处的周围剂量当量率能保证小于 2.5 $\mu$ Sv/h 的要求，因此在储存分装状态对环境的影响可忽略。

(5) 小动物暂存室最多同时暂存 3 只小鼠，单次显像的动物在显像完成后立即处死，需要进行多次显像的动物，2 小时内在一个 3mmPb 的饲养箱暂存饲养，之后转至普通暂存柜中暂存饲养，在最多进行 3 次显像后立即处死。给动物注射时按裸源剂量考虑。

(6) 本次使用的动物 PET/SPECT/CT 机为自屏蔽设备，无需校准源校准。根据建设单位提供的资料显示，设备整体的 X 线屏蔽效果为 10cm 处设备漏剂量小于 1  $\mu$ sv/h。（见附件）。

(7) 小动物成像室废物桶铅当量不低于 5mm 铅当量（相对 F-18 的衰减因子为 5.00E-01），保守每次注射器中残留量按注射量的 1/10（0.74MBq），则距废物桶 30cm 处（约 0.5m）的附加剂量率为 0.21 $\mu$ Sv/h。假设上午 5 只小鼠全部注射完成，考虑到时间的衰减，剂量率约 0.60 $\mu$ Sv/h；目前门诊废物间废物桶铅当量为 20mm 铅当量，小动物暂存室的放射性废物周一上班时转移至废物间，废物的放射性活度大大降低，废物桶 30cm 处的剂量率一般低于 0.5  $\mu$  Sv/h，能够满足距废物桶 30cm 处 2.5  $\mu$  Sv/h 的要求。

冰柜中废物桶铅当量不低于 5mm 铅当量，每天一半的小鼠需要转移到暂存室进行多次显像，这部分动物经过大约一天时间的衰减后剂量率已经大大降低，；另一半小鼠注射完成后直接处死，再转移至冰柜里暂存（保守按 3 只，剂量率 3.3 $\mu$ Sv/h），经过衰变后也能够满足距废物桶 30cm 处 2.5  $\mu$  Sv/h 的要求。

（8）根据 AAPM Task Group 108 报告，注射 F-18 核素后经过（60min、90min）后的活度衰减因子为 0.68、0.57，显像期间（60min、40min、20min）平均活度相对检查初始的活度因子分别为 0.83、0.88、0.94。

### 3. 关注点的选取

参考 AAPM108 号报告，给出了计算关注点的位置，即四周屏蔽墙关注点位置在墙外 0.3m 处，屋顶关注点位置在楼板地面上方 0.5m 处，楼下关注点在楼板上方 1.7m 处，同时也增加楼上和楼下 30cm 处剂量水平。

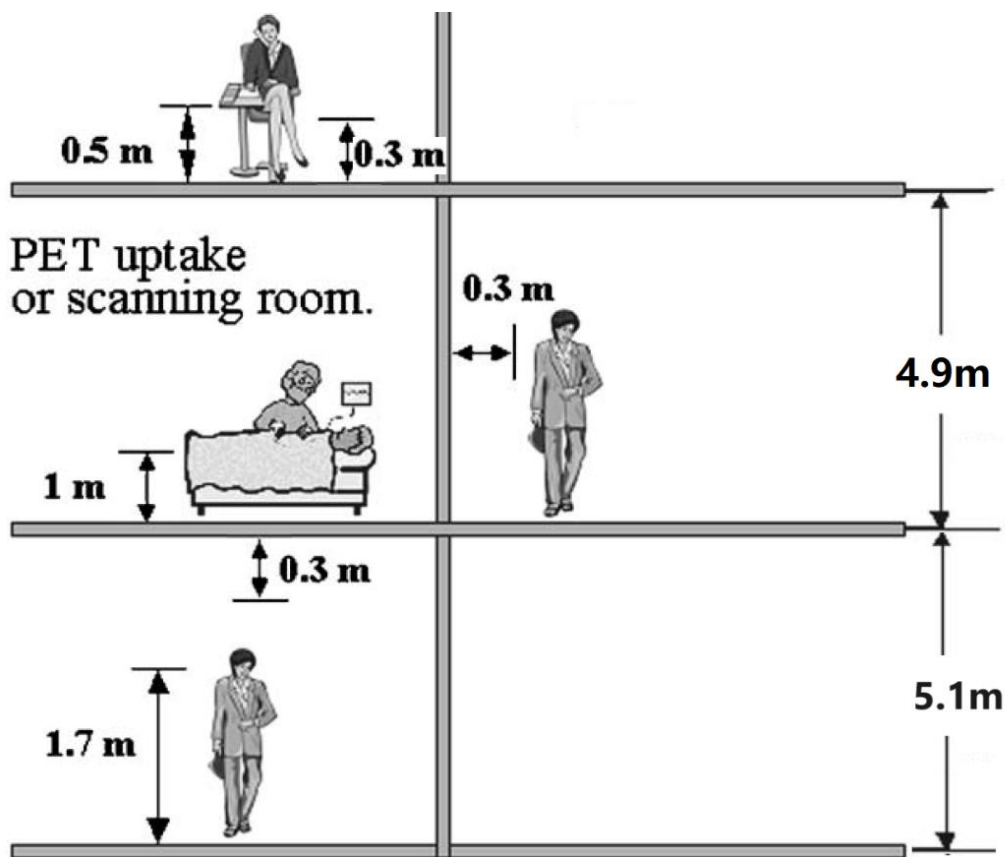


图11-1 核医学科周围关注点位置示意图

### 4. 估算方法

剂量估算中，将接受药物注射后的小鼠、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，估算标记间、成像室、暂存室等有代表性场所周围的辐射剂量率和对

职业人员、公众的附加照射剂量，以及职业人员在小鼠摆位和药物注射等环节所受到的辐射照射剂量。

### (1) 辐射剂量率估算公式

$$D_{\gamma} = D_0 \times r^{-2} \times 10^{-d/TVL} \quad (\text{公式 11-1})$$

式中：

$D_{\gamma}$ —关注点的  $\gamma$  剂量率  $\mu\text{Sv/h}$ ；

$D_0$ —距源 1m 处的  $\gamma$  剂量率  $\mu\text{Sv/h}$ ；

$r$ —关注点距源中心的距离，m；

$d$ —屏蔽厚度，cm；

$TVL$ — $\gamma$  射线 1/10 值层厚度，cm。对 F-18 来讲，铅中  $TVL$  为 16.6mm，混凝土中  $TVL$  为 176mm。对于 Tc-99m 来讲，铅中  $TVL$  为 1mm，混凝土中  $TVL$  保守取 110mm。对于 I-131 来说，铅中  $TVL$  为 11mm，混凝土中  $TVL$  为 170mm。其中 F-18 的估算考虑衰减因子的影响。

### (2) 年有效剂量

附加年有效剂量计算公式：

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

式中： $E$ —年有效剂量， $\mu\text{Sv}$ ；

$H$ —计算点附加剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$T$ —人员的居留因子；

$t$ —年曝光时间，h/a

## 11.2.2 诊疗区周围不同位置的附加剂量率水平

### 1. 场所周围不同位置的附加剂量水平

基于上述源项，依照公式（11-1）和公式（11-2），估算标记间、成像室、暂存室等场所周围（含楼上、楼下）不同位置的最大附加剂量率。估算结果见表 11-2 所示，估算点位示意图见图 11-2 所示。

表 11-2 小动物实验相关场所周围不同位置的剂量率

场所名称	编号	估算点位（见图 11-2、11-2）	屏蔽材料与厚度	距离/m	衰减因子 B	屏蔽后附加剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	备注
1、小动物暂存室 （每天最多暂存 3 只，注射	b1	东墙外	4mmpb 墙+3mmPb 饲养箱	1.2	3.79E-01	8.68E-01	控制区
	b2	南墙外	6mmpb 墙+3mmPb 饲养箱	1.2	2.87E-01	6.58E-01	控制区

F-18, 1.1*53=3.3μSv/h@1m)	b3	西墙外	4mmpb 墙+3mmPb 饲养箱	1.2	3.79E-01	8.68E-01	控制区
	b4	北墙外	4mmpb 墙+3mmPb 饲养箱	1.3	3.79E-01	7.40E-01	控制区
	b5	北侧防护门外	4mmpb 墙+3mmPb 饲养箱	1.2	3.79E-01	8.68E-01	控制区
	b6	楼上	27cm 混凝土+3mmPb 饲养箱	5	1.93E-02	2.55E-03	公众
	b7	楼下	27cm 混凝土+3mmPb 饲养箱	5	1.93E-02	2.55E-03	公众
	/	楼上 30cm 处	27cm 混凝土+3mmPb 饲养箱	5	1.93E-02	2.55E-03	公众
	/	楼下 30cm 处	27cm 混凝土+3mmPb 饲养箱	5	1.93E-02	2.55E-03	公众
2、运动负荷室 (1 名 925MBq Tc-99m 患者, 11.3μSv/h @1m)	c1	东墙外	3mmpb	1.3	1.00E-03	6.69E-03	控制区
	c2	南墙外	3mmpb	2.8	1.00E-03	1.44E-03	控制区
	c3	西墙外	3mmpb	3.1	1.00E-03	1.18E-03	控制区
	c4	北墙外	3mmpb	2	1.00E-03	2.83E-03	控制区
	c5	北侧防护门外	3mmpb	3	1.00E-03	1.26E-03	控制区
	c6	南侧防护门外	3mmpb	3.5	1.00E-03	9.22E-04	控制区
	c7	东南侧防护门外	6mmpb	3.3	1.00E-03	1.04E-03	控制区
	c8	楼上	27cm 混凝土	5	3.51E-03	1.59E-03	公众
	c9	楼下	27cm 混凝土	5	3.51E-03	1.59E-03	公众
	/	楼上 30cm 处	27cm 混凝土	5	3.51E-03	1.59E-03	公众
	/	楼下 30cm 处	27cm 混凝土	5	3.51E-03	1.59E-03	公众
3、新肺通气室 (1 名 925MBq Tc-99m 患者, 11.3μSv/h@1m)	c1	东墙外	6mmpb	1.5	1.00E-06	5.02E-06	控制区
	c2	南墙外	3mmpb	1.3	1.00E-03	6.69E-03	控制区
	c3	西墙外	3mmpb	2.9	1.00E-03	1.34E-03	控制区
	c4	北墙外	3mmpb	1.2	1.00E-03	7.85E-03	控制区
	c5	北侧防护门外	3mmpb	2.8	1.00E-03	1.44E-03	控制区
	c6	楼上	27cm 混凝土	5	3.51E-03	1.59E-03	公众
	c7	楼下	27cm 混凝土	5	3.51E-03	1.59E-03	公众
	/	楼上 30cm 处	27cm 混凝土	5	3.51E-03	1.59E-03	公众
	/	楼下 30cm 处	27cm 混凝土	5	3.51E-03	1.59E-03	公众
4、放射性显像 标记间西侧传递窗 (5 只小鼠同时 注射 F-18 时裸 源 5.5μSv/h@1m, 放置在 25mmpb 转运盒里剂量 不大于 2.5μSv/h@1m)	e1	高活室西侧通风柜人员操作处	25mmpb 转运防护盒	2.9	3.12E-02	9.27E-03	控制区
	e2	标记间南墙外	25mmpb 转运防护盒+6mmpb 墙	1.7	1.36E-02	1.17E-02	监督区
	e3	标记间南侧防护门外	25mmpb 转运防护盒+6mmpb 门	5	1.36E-02	1.36E-03	监督区
	e4	标记间东墙外接诊室	25mmpb 转运防护盒+6mmpb 墙	5.6	1.36E-02	1.08E-03	监督区
	e5	楼上	27cm 混凝土	5	2.92E-02	2.92E-03	公众
	e6	楼下	27cm 混凝土	5	2.92E-02	2.92E-03	公众
	/	楼上 30cm 处	27cm 混凝土	5	2.92E-02	2.92E-03	公众
	/	楼下 30cm 处	27cm 混凝土	5	2.92E-02	2.92E-03	公众

注：\*距离为患者到屏蔽体外 30cm 处估算点。砼（混凝土）密度不低于 2.35g/cm<sup>3</sup>，铅板的密度为 11.4g/cm<sup>3</sup>。上表估算的剂量率为初始的活度的剂量。

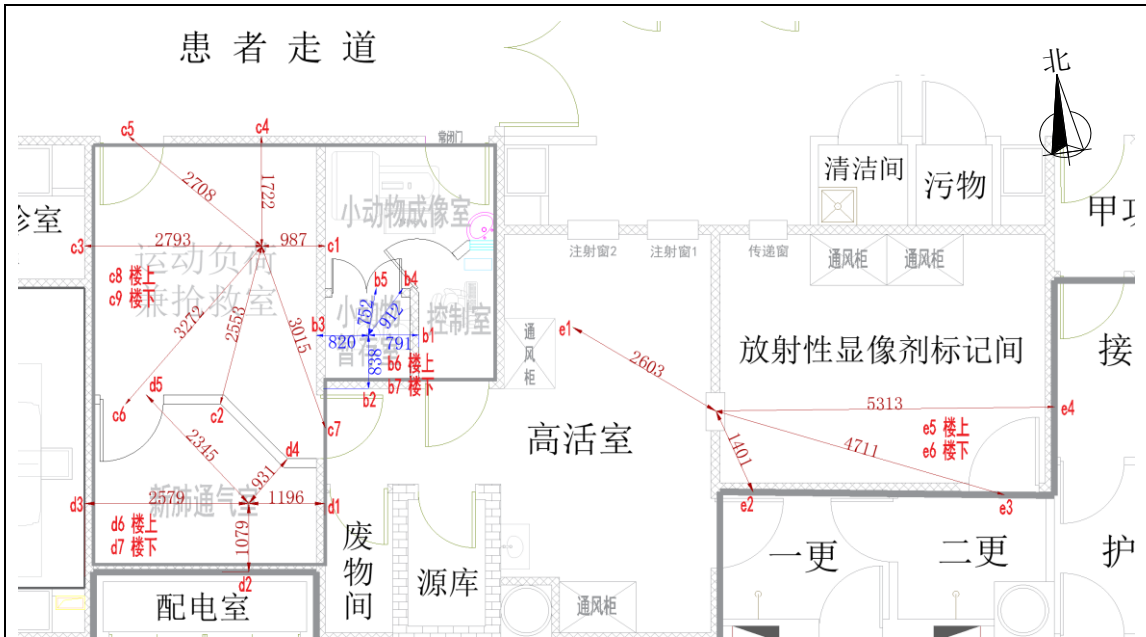


图 11-2 小动物实验相关场所周围估算点位图

## 2. 控制室操作位的附加剂量叠加情况

上表中小动物暂存室已保守按最多 3 只小鼠同时暂存时进行估算，由于本项目可能发生小鼠在暂存室暂存时，小动物成像室也在注射显像的情况，本次主要考虑同时进行对小动物控制室内工作人员的叠加影响，其叠加的最大附加剂量率见表 11-3，控制室操作人员位叠加估算点位置见图 11-3。

表 11-3 控制室操作位叠加剂量率

场所名称	编号	估算点位	屏蔽材料与厚度	距离 /m	衰减因子 B	屏蔽后附加剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	累加剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
① 成像室 1 只小鼠注射 F-18, $1.1\mu\text{Sv/h@1m}$ ;	f	工作人员操作位	3mmpb	2.5	6.60E-01	1.16E-01	<b>6.04E-01</b>
② 暂存室暂存 3 只注射 F-18 小鼠, $1.1*3=3.3\mu\text{Sv/h@1m}$ ;			4mmpb 门+3mmPb 饲养箱	1.6	3.79E-01	4.88E-01	

备注：\*距离为患者到屏蔽体外 30cm 处估算点。铅板的密度为  $11.4\text{g/cm}^3$ 。按不考虑斜射有效厚度的影响保守估算。

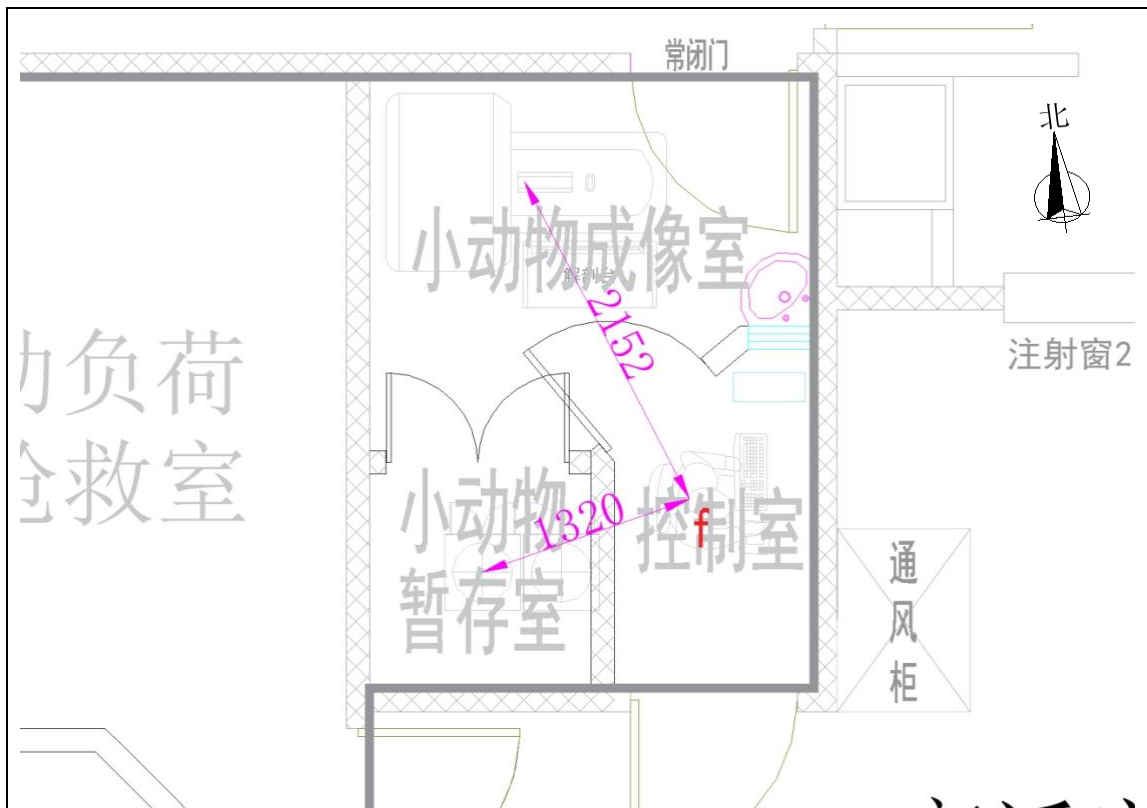


图 11-3 控制室操作位累加剂量率估算点位置图

由表 11-2 和表 11-3 可见：

(1) 本项目运行后，小动物实验相关场所的控制区边界外（四周）的附加剂量率水平不大于为  $8.68E-01\mu\text{Sv/h}$ （小动物暂存室东墙外），对楼上、楼下的附加剂量最大为  $2.92E-03\mu\text{Sv/h}$ （走廊、停车位等），满足不大于  $2.5\mu\text{Sv/h}$  的剂量率控制要求。

(2) 控制区内对小动物控制室操作人员位置的叠加附加剂量率最大为  $6.07E-01\mu\text{Sv/h}$ ，也满足不大于  $2.5\mu\text{Sv/h}$  的剂量率控制要求。

### 3. 小动物一体机中 CT 的剂量叠加分析

小动物成像室四周墙体、顶棚、地板、观察窗和防护门采取的辐射屏蔽措施均不低于 3mm 铅当量。

本项目配置的小动物一体机拟将带有自屏蔽系统，根据厂家提供的数据，CT 使用时设备 10cm 处设备泄露剂量率小于  $1\mu\text{Sv/h}$ 。

类比同类型设备剂量情况（见附件）：80kVp 工况下普通 CT 周围的剂量率分布曲线，1m 处的杂散辐射为  $0.004\mu\text{Gy/mAs}$ （垂直）和  $0.219\mu\text{Gy/mAs}$ （水平），本项目小动物一体机中 CT 扫描最大管电流为 0.7mA，故 1m 处的杂散辐射剂量率最高约  $551.88\mu\text{Gy/h}$ ，故以此为例评价 CT 运行时叠加辐射影响。

根据本项目小动物成像室的屏蔽设计，相对于 CT 的铅当量不小于 3.0mmPb（不含本项目自屏蔽铅屏蔽厚度），透射系数小于 8.18E-06，本项目关注点距散射点的最近距离为 1.1m（小动物成像室北墙），CT 运行所致周围的附加剂量率约为 0.005 $\mu$ Gy/h。

本项目保守假设全部的实验小鼠均做 CT 扫描，则年显像时间合计为 266.7h，对机房周围全居留人员的最大附加剂量贡献不大于 1.2 $\mu$ Sv。

小动物一体机中 CT 运行时工作条件低于放射科诊断 CT，可以预计，小动物一体机的 CT 装置运行时，机房周围剂量率水平将保持在正常本底水平，对给药患者发射的  $\gamma$  射线和刻度源的叠加效果可以忽略，主要是要关注施工过程中防护材料的搭接问题（如门体与门框、铅玻璃与墙面的搭接等），如果能保证施工工艺的情况下，可以忽略小动物一体机中 CT 的影响。

### 11.2.3 周围公众受照剂量估算

本次小动物实验共使用两种核素（每天只使用一种），实行每日一班制，每种全年工作 50d。根据表 11-10 所列最大工作量进行剂量估算。假设：

(3) F-18 核素一般暂存时间不超过 2 小时，保守按暂存 4h 估算，则注射 F-18 的小鼠年暂存时间约 200h；Tc-99m 核素偶尔第二天可能需要进行显像一次后再处死，保守按暂存 10h 估算，年暂存时间分别约为 500h。

(4) 本项目每天只使用 1 种核素，每天保守按 3 只动物需要进行多次显像，每只最多显像 3 次，则每天开展多次显像最多 6 次，还剩余的 2 只动物每只显像 1 次，则本项目每天使用动物 PET/SPECT/CT 开展显像最多 10 次，年显像共约 500 次。两种核素显像每年 PET、SPECT 最多扫描共计 1000 次，PET、SPECT 分别扫描 5-15min，MicroCT 扫描时间 30s~1min 内，则年显像时间合计为 266.7h。

(5) PET、SPECT 扫描均采用直接注射的方式，注射时间约 30s/只。注射室全年注射 PET、SPECT 药物总时间分别为 4.2h。

(4) 标记间手套箱内每天进行 PET 药物分装时间 1min/只，全年累计分装时间为 4.2h。

表 11-4 给出了公众可能受照剂量估算结果。可见，检查对公众的辐射照射剂量最大不超过 1.28 $\mu$ Sv/a（小动物暂存室楼上走廊），满足本项目设定的 0.1mSv/a 的剂量约束值要求。

表 11-4 小动物使用主要位置的公众年附加剂量估算

场所名称	编号	估算点位	附加剂量率 μSv/h	居留 因子	全居留时 间 (h/a)	年附加剂 量 (μSv/a)
2、小动物暂存室 (每天最多暂存 3 只, 注 射 F-18, 1.1*3=3.3μSv/h@1m)	b6	楼上走廊	2.55E-03	1	500	1.28E+00
	b7	楼下停车位	2.55E-03	1/16	500	7.97E-02
6、放射性显像标记间西 侧传递窗 (5 只小鼠同时 注射 F-18 时裸源 5.5μSv/h@1m, 放置在 25mmpb 转运盒里剂量不 大于 2.5μSv/h@1m)	e7	楼上走廊、闲 置房间	2.92E-03	1	4.2	1.23E-02
	e8	楼下停车位	2.92E-03	1/16	4.2	7.67E-04

备注：均未考虑 F-18 用药后暂存期间药物活度的衰减的影响。

### 11.2.4 工作人员显像环节年受照剂量

#### 1. 工作人员进行分装同位素环节时受照剂量

该场所 F-18、Tc-99m 核素均需要在标记间进行分装，放射性药物分装的通风柜外表面 30cm 处的周围剂量当量率保守按照 2.5μSv/h 估算。药物分装时间 1min/只，分装操作时间全年保守按 8.3h 估算（500 只/年），则工作人员所受的年附加剂量约为 20.83μSv。

#### 2. 工作人员为药物转运环节工作人员的受照剂量

本项目中 F-18、Tc-99m 核素厂家采用药物转运防护罐（40mmPb）转运，医院内部采用 25mmPb 转运防护盒转移，1m 处剂量率低于 2.5μSv/h，本项目 5 只小鼠的 F-18 用量约 37MBq，运输过程中距工作人员的距离按 50cm 估算（剂量率不大于 2.5μSv/h 估算）。每次从手套箱到传递窗按 10s 估算，则运转到注射位时工作人员的受照剂量为 2.5μSv/h×10s/只×500 只×1/3600s/h≈3.47μSv。

#### 3. 工作人员给小鼠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 1.81×10<sup>-3</sup>mSv/h，注射 7.4MBq 的 F-18 距 30cm 处人的深部当量剂量率为 13.4μSv/h。本项目注射量很小，且注射操作时间短，注射时不考虑另外的防护，每只小鼠的注射时间约 30s，年总操作时间约 2.1h，则工作人员所受的年附加剂量为 27.9μSv。

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 2.6×10<sup>-4</sup>mSv/h。所以，注射 11.1MBq（0.3mCi）的 Tc-99m，



距 30cm 处人的深部当量剂量率为  $2.9\mu\text{Sv/h}$ 。本项目注射量很小，且注射操作时间短，注射时不考虑另外的防护，每只小鼠的注射时间约 30s，年总操作时间约 2.1h，则工作人员所受的年附加剂量为  $6.04\mu\text{Sv}$ 。

#### 4. 工作人员给动物摆位环节的年受照剂量

(1) 工作人员给注射了  $7.4\text{MBq}$  ( $0.2\text{mCi}$ ) F-18 药物的小鼠俯卧摆位，剂量按注射时裸源剂量率  $1.1\mu\text{Sv/h}$  估算，摆位时间 30s/只，则累计摆位时间不大于 1.04h，则摆位工作人员所受到的年附加剂量  $1.04\mu\text{Sv/h}\times 1.1\text{h}\approx 1.15\mu\text{Sv}$ 。

(2) 工作人员给注射了  $11.1\text{MBq}$  ( $0.3\text{mCi}$ ) Tc-99m 药物的小鼠俯卧摆位，剂量按注射时裸源 1m 处剂量率  $0.34\mu\text{Sv/h}$  估算，摆位时间 30s/只，则年总操作时间为 1.04h，摆位时工作人员总剂量为： $0.34\mu\text{Sv/h}\times 1.04\text{h}\approx 0.35\text{Sv}$ 。

#### 5. 小动物一体机辐射影响

给实验动物注射标记好的放射性药物，在放射性显像标记间分装好后，使用铅屏蔽盒转运到动物成像室，工作人员直接在小动物成像室操作台进行打针注射（本项目使用活度较小，注射过程不使用注射器防护套等屏蔽措施），注射的 F-18 最大活度为  $7.4\text{MBq}$  ( $0.2\text{mCi}$ )，距离 0.5m，注射时间 30s，注射过程所受剂量为  $0.04\mu\text{Sv}$ ，每天最多一共使用 5 只老鼠（每天只使用 1 种核素），一年实验动物不超过 500 只，辐射工作人员的年附加剂量约为  $20\mu\text{Sv}$ 。本项目配置的小动物一体机将带有自屏蔽系统，类比同类型自屏蔽的小动物一体机，CT 使用时自屏蔽系统表面剂量率与本底相当，且六面墙体、防护门不低于  $3\text{mmPb}$  屏蔽，因此扫描过程对隔室操作人员和周围公众的辐射剂量可忽略。

#### 6. 控制室操作工作人员的年受照剂量

本项目配备 2 名工作人员，保守按最不利 1 名工作人员受到全部照射评价。本项目控制室内工作人员的附加剂量主要有三部分叠加：①小动物暂存时与显像时叠加对控制室内工作人员在操作位操作时的附加剂量；②给小鼠注射时放射性核素对人员的附加剂量；③小动物 CT 显像时对控制室内工作人员在操作位操作时的附加剂量（本项目设备为自屏蔽设备，可忽略不考虑）。考虑到周围场所对控制室内工作人员剂量叠加后的年附加剂量见表 11-5。

表 11-5 控制室工作人员受照剂量统计

场所	编号	附加剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	人均操作时间 (h)	年附加剂量 ( $\mu\text{Sv/a}$ )	合计 ( $\mu\text{Sv/a}$ )
① 控制室操作位叠加剂量率	f	6.04E-01	266.7	161.09	181.09
② 给小鼠注射时放射性核素对人员的附加剂量	/	/	/	20	

备注：未考虑 F-18 用药后暂存期间药物活度的衰减的影响。

小动物一体机中 CT 机为 III 类射线装置，拟带自屏蔽防护，机房六面墙体、防护门采取的辐射屏蔽措施均不低于 3mm 铅当量，且 CT 出束时工作人员都是隔室操作，医院工作人员操作 CT 的年附加剂量很低，因此小动物一体机隔室操作的工作人员附加剂量可忽略。

### 7. 质控时厂家工作人员的年受照剂量

根据《北京市核医学大型设备稳定性检测指南》（试行版）和《伽玛照相机、单光子发射断层成像设备（SPECT）质量控制检测规范》WS523-2019 中的相关规定，医院需自行或委托有能力机构进行定期质控检测，故需对进行质控检测的工作人员进行附加剂量估算：

本次小动物一体机委托厂家工作人员一年校准一次，分别使用 F-18、Tc-99m 核素进行校准，无需使用校准源。

本项目工作人员每次校准使用 F-18 药物活度为 37MBq（包括 SUV、灵敏度、空间分辨力等各项指标所需），操作距离按 50cm，每台操作时间为 10min/a（0.17h/a），由 1MBq F-18 药液时对距 30cm 处人的深部当量剂量率为 1.81 $\mu\text{Sv/h}$ ，37MBq 对应 30cm 处剂量率为 66.97 $\mu\text{Sv/h}$ ，即操作位附加剂量率约为 24.11 $\mu\text{Sv/h}$ （50cm 处），则工作人员附加剂量约为 4.02 $\mu\text{Sv/a}$ 。

工作人员每次校准使用 Tc-99m 药物活度约为 37MBq（包括均匀性、平面灵敏度等各项指标所需），操作距离为 30cm，操作时间为 1h/a，由 1MBq Tc-99m 药液时对距 30cm 处人的深部当量剂量率为 0.26 $\mu\text{Sv/h}$ ，37MBq 对应 30cm 处剂量率为 9.62 $\mu\text{Sv/h}$ ，工作人员一般穿 0.50mmPb 当量铅围裙操作，对应透射系数 0.31，即操作位附加剂量率约为 1.07 $\mu\text{Sv/h}$ （50cm 处），则工作人员附加剂量为 1.07 $\mu\text{Sv/a}$ 。

### 8. 核医学科诊疗区环节工作人员受照剂量总结

根据以上估算，小动物实验环节工作人员的附加有效剂量如表 11-6。

表 11-6 小动物实验各环节工作人员附加有效剂量 ( $\mu\text{Sv/a}$ )

环节	分装	运转	注射	摆位	控制室	质控
小动物一体机	20.83	3.47	33.94	1.15	181.09	215
合计	240.48					215
备注	由医院 2 名工作人员完成					厂家工作人员完成

本项目小动物一体机由 2 名工作人员操作，由此小动物实验环节每名工作人员年受照附加剂量不大于 0.24mSv，由于本项目估算按工作人员全职工作量进行估算，可不考虑辐射工作的累加情况。

### 11.2.5 放射性废物产生及排放情况

#### 1. 放射性废气

常营院区核医学科目前实际建设 5 套排风：①病房服碘室内的通风橱排风系统；②病房区域的服碘室、3 个病房和放射性废物间排风系统，各房间均设排风口；③门诊高活室通风橱与肺通气室的排风系统；④放射性显像剂标记间通风橱排风系统；⑤注射室、注射后候诊、废物间、机房等门诊控制区均设排风口，设 1 套排风系统。其中放射性显像剂标记间通风橱产生的废气通过排风管道引至核医学科北侧管井从楼顶排出、其它通风橱以及门诊和病房区域所产生的废气通过各自排风管道引至核医学科西北侧管井从楼顶排出。

其中放射性显像剂标记间通风橱产生的废气通过排风管道引至核医学科北侧管井从楼顶排出、其它通风橱以及门诊和病房区域所产生的废气通过各自排风管道引至核医学科西北侧管井从楼顶排出，进管井前均安装了活性炭过滤（处理效率不低于 99%），且管道内均安装止回阀，防止气体回流。排放口距地面高度约为 50m，楼顶排风口位置高于评价范围内其它建筑。活性炭过滤装置 1 年更换 1 次。该通风橱操作口风速不小于 0.5m/s。

本项目改造完成后，拟将新肺通气室、小动物成像室排风与注射室、注射后候诊、运动负荷室、废物间、机房等门诊控制区共用一套排风系统排放。门诊高活室通风橱单独一套排风系统排放。其余排风管道不变。

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，工作期间每个月至少检查一次通风系统过滤净化器的有效性，及时更换失效的过滤器，更换周期不得超过厂家推荐的使用时间（每年更换一次），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80天后经检测满足解控水平后按照普通医疗废物进行处置。

放射性药物分装、活度测定均在标记间通风橱内进行，使用的含F-18、Tc-99m显像药物，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。

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

本项目放射性标记间内洗手池、小动物成像室内洗手池产生的少量废水，预计产生量保守按 60L/d，则年产生废水约  $60\text{L}\times 50\times 2=6\text{m}^3$ ，新增产生的废水量较少，叠加现有项目的废水量，影响不大。

拟将放射性标记间内废水、小动物成像室内废水与门诊区域现有废水管道一起通过经专用管道一并先排入地下 2 层设置的 65 号集水坑，然后泵到医疗综合楼住院二部外西侧地下 1 号放射性废水衰变池（槽式，实际建设总容积为  $84\text{m}^3$ ， $28\text{m}^3/\text{池}\times 3$  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。

综上，本项目改造完成后核医学科废水排放情况能够满足《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》中 B 类放射性废水暂存衰变满 10 个半衰期（原环评批复中要求门诊显像区域废水暂存不少于 80 天）的要求。排放前委托有资质的检测机构对废水进行检测，经监测符合相关活度浓度和总活度后，方可解控作为医疗废水处理。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

### ①一般放射性固体废物

本项目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标记间自行衰变。

本项目全年开展动物显像 500 只，平均按每只新增产生含放射性固体废物（废

弃的药瓶、注射器、包装物、棉棒、被污染的一次性用品等) 0.05kg, 则项目满负荷运行年产生量约 25kg; 加上动物注射等操作会在吸水垫上操作, 暂存室的小鼠排放尿液产生的吸附在吸水垫上, 少量的小动物血液量完全被吸水垫吸收后按照固体废物处理, 满负荷运行年产生量不大于 30kg, 则项目满负荷运行年产生量约 55kg。

拟将废弃的药瓶、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, 暂存于废物桶内, 标注日期于每周一早晨转移至废物间内的废物桶内。放射性废物暂存至少一个月, 经监测确认达到清洁解控水平要求后, 作为医疗废物处置。在废物间放置 1 个冰柜, 里放 1 个铅废物桶, 储存实验后的大小鼠。

### ②实验动物尸体废物

依照上述动物实验方案可知, 每年最多共需 500 只小鼠, 每只实验小鼠体重常规是 18-25g, 保守按照 30g 计算, 年产生的动物尸体及组织约为 15kg。实验结束后, 动物均被处死, 尸体装入密封袋, 暂存于废物间内配置的冰柜中, 暂存 30d 后, 使用经检定或校准合格的检测仪器对废物表面污染和辐射剂量率水平进行监测, 辐射剂量率监测为所处环境本底水平且  $\alpha$ 、 $\beta$  表面污染水平分别小于  $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$  和  $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ , 将尸体送医院动物室按照普通动物尸体处理。

③动物尸体储存说明: 本项目使用的动物为老鼠, 每年使用量较少 (不大于 500 只), 不进行动物的饲养, 统一由医院动物房购买。每只小老鼠注射量不大于  $11.1\text{MBq}$ , 实验动物的数量和每只实验动物的药物用量均小于人的检测, 对动物进行放射性药物注射也在动物实验室内进行。每天每次实验老鼠不超过 5 只, 实验完处死后的小鼠标明核素种类、时间, 冷冻存放 1 天后, 每只残留的放射性活度约为  $2\text{kBq}$ 。每半年实验小鼠不大于 250 只, 冷冻 250 只小鼠, 体积不超过 25 立方分米, 一般冰柜均可满足要求。250 只小鼠废物总的放射性活度约等于最后一天小鼠的放射性活度, 能满足解控要求。

本项目除了以上产生的固体废物外, 其它的固体废物量 (更换活性炭) 依托现有, 能够满足使用要求。

本项目使用核素为 A 类核素, 参照 HJ1188 和《北京市生态环境局办公室关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》, A 类固体废物暂存时间超过 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, 辐射剂量率监测为所处环境本底水平且  $\alpha$ 、 $\beta$  表面污染水平分别小于

0.08Bq/cm<sup>2</sup>和0.8Bq/cm<sup>2</sup>，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。

### **11.3本项目异常事件分析与防范措施**

#### **11.3.1本项目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，导致不必要的照射。

（4）放射性废物处置或管理不当，造成环境放射性污染。

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

（5）屏蔽措施不当

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

#### **11.3.2风险防范与事故应急处理措施**

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

（1）放射性药品由专业公司送达医院后，核医学科技师与送药人员在标记间内摄像头下“点对点”交接。采取上述措施后，可有效防范放射性药物丢失恶化被盗。

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

局部放射性污染的事件发生。

(3) 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。

(4) 核医学科标记间和动物实验室，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。放射性场所场设置有排风系统，废气有组织在楼顶排放，可有效减少放射性废气排放对环境的影响。

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管理委员会作为专门管理机构，并指定了专人负责辐射安全与环境保护管理工作。人员构成具体情况见表 1-5 所示。本项目为新建，相关负责人将继续担任辐射安全管理委员会成员，负责相关科室的日常管理。辐射安全管理小组的职责：

(1) 在医院辐射安全防护领导小组组长、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，配备相应的事事故处理物资仪器室、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

本项目拟增加辐射工作人员 2 人。医院辐射防护负责人员、专职人员及所有辐射工作人员将在生态环境部培训平台报名参加并通过辐射安全和防护考核，经过考核合格后持证上岗，并参加每五年一次的重新考核，并制定辐射工作人员考核计划。同时按照国家相关规定进行个人剂量监测和职业健康检查，



建立个人剂量档案和职业健康监护档案，并为工作人员保存职业照射记录。

## **12.2 辐射安全管理规章制度**

医院已制定多项辐射安全管理制度，包括放射性同位素与射线装置质量控制与安全防护管理办法，辐射安全防护措施管理规定，射线装置检修维护管理规定，设备台账管理制度，从业人员辐射安全培训制度，辐射工作场所监测制度，个人剂量和健康管理制度，辐射事故（件）应急制度，《放射性废物（废气、废水、固废）暂存、处置方案及衰变池管理制度，操作规程，常营院区核医学科病房管理制度，常营院区核医学科病人异常事件及应急措施，临床实验项目相关制度等。医院辐射安全管理严格遵循国家的各项相关规定，针对本项目，将补充小动物实验操作规程，修订辐射监测方案等，确保全部辐射工作有章可循，辐射工作安全受控，严格执行后能确保本项目的顺利实施。

## **12.3 辐射监测**

### **12.3.1 个人剂量监测**

医院已制订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医院辐射监测计划体系的管理目标之一，要求医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。医院每年对全院所有辐射工作场所至少监测一次，监测频度为每 3 个月检测一次。医院将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。

如发现监测数据异常，将立即暂停其辐射工作，查明原因并妥善解决后方可继续开展辐射工作。

### **12.3.2 工作场所和辐射环境监测**

#### **（1）委托监测**

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

#### **（2）本项目自行监测方案**

医院本项目拟利用现有的 1 台辐射剂量巡测仪、1 台表面污染监测仪，能够满足医院辐射防护和环境保护的要求。对于已配备的和今后拟配置的防护监测设备，将定期送计量检定部门进行检定，保证仪器可靠的功能状态。拟建立

辐射环境自行监测记录或报告档案，并妥善保存，接受生态环境行政主管部门的监督检查。新增项目实施后，工作人员使用拟配备的辐射剂量巡测仪、表面污染监测仪和中子剂量当量率仪，对拟建辐射工作场所进行监测，本项目自行监测方案如下。

(1) 监测项目： $\gamma$  剂量率水平，表面污染水平

(2) 检测设备：X- $\gamma$  辐射剂量巡测仪，表面污染监测仪

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

(4) 工作场所  $\gamma$  剂量率水平监测：点位包括小动物成像室、暂存室、等机房和其楼上、楼下，控制区边界外 30cm 处的剂量率水平（如控制室等有代表性点位不少于 1 次/月），监测数据记录存档。本项目相关场所监测点位计划见表 12-1 和表 12-2，监测点位布置见图 12-1 所示。

**表 12-1 核医学科辐射剂量率监测情况表**

编号	场所名称	监测点位置	检测频次
a1-a7	小动物成像室	四周及楼上、楼下	1 次/年(其中控制室 1 次/月)
b1-b6	小动物暂存室	四周及楼上楼下	1 次/年
c1-c9	运动负荷兼抢救室	四周及楼上楼下	1 次/年
d1-d7	肺通气室（新）	四周及楼上楼下	1 次/年
e1-e10	放射性显像标记间	四周及楼上楼下	1 次/年

(5) 表面污染水平监测点位设置：每天工作结束后，对标记间台面、地面，手套箱台面，小动物成像室注射台面、地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 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	$\beta$ 表面污染 (Bq/cm <sup>2</sup> )
A1-A3	小动物成像室	注射台面、地面、设备表面	
B1-B2	小动物暂存室	暂存柜表面、暂存室地面	
C1-C2	运动负荷兼抢救室	地面、墙面	
D1-D3	肺通气室	地面、墙面、设备表面	
E1~E3	放射性显像标记间	手套箱台面、地面、传递窗	



图 12-1 本项目建成后相关场所自行检测点位示意图  
(标注★为剂量率检测点位, ▲为表面污染水平检测点位)

### 12.3.3 本项目配备的监测仪器和防护用品

本项目建成后, 医院拟利用现有辐射监测设备, 本项目检测仪器如表 12-3 所示。此外, 将配备一些防护用品, 具体见表 12-4 所示。

表 12-3 本项目常营院区核医学科检测仪器清单

序号	仪器名称	型号	数量 (台)	使用场所	备注
1	辐射剂量巡测仪	FSXC-100	1	核医学科门诊区域	本项目利旧
2	表面污染监测仪	RadPavise	1	核医学科门诊区域	本项目利旧

表 12-4 本项目配备的防护设施表

序号	名称	数量 (个)	规格	使用场所	备注
1	手套箱	2	50mmPb	核医学科标记间	利旧
2	传递窗	1	40mmPb	核医学科标记间西侧	利旧
3	转运防护盒	1	1 个 25mmPb	核医学科标记间	利旧
4	铅玻璃	1	3mmPb	小动物控制室北墙	本项目新增
5	动物暂存铅箱	1	3mmPb	小动物暂存室	本项目新增
6	冰柜	1	50L	门诊废物间	拟新增
7	铅废物箱	2	20mmPb	门诊废物间	利旧
8	铅废物桶	1	5mmPb, 10L	小动物成像室	拟新增
9	铅废物桶	1	5mmPb, 20L	冰柜里	拟新增
10	铅衣	2	0.5mmPb	小动物成像室	拟新增
11	铅围裙	2	0.5mmPb	小动物成像室	拟新增
	铅围脖	2	0.5mmPb	小动物成像室	拟新增

### 12.4 辐射事故应急管理

医院制定了《辐射事故应急制度》，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健康行政部门报告。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

根据项目建设和运行情况，建议本项目竣工环境保护验收的内容见表12-5。

表12-5 项目环保验收内容建议表

验收内容	验收要求
剂量限值	根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和环评报告预测，公众、职业照射剂量约束值执行 0.1mSv/a 和 5mSv/a；放射性表面污染控制水平满足 GB18871-2002 要求。
剂量当量率	控制区外 30cm 处周围剂量当量率应不大于 2.5 $\mu$ Sv/h。
电离辐射标志和中文警示	在小动物成像室、暂存室等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	辐射工作场所建设和布局与环评报告表描述内容一致。屏蔽墙和防护门的屏蔽能力满足辐射防护的要求。标记间和小动物成像室等控制区通风换气设施运转正常，通风能力满足设计要求。
辐射安全设施	核医学科工作场所实行分区管理。小动物控制室南侧出入口防护门拟安装门禁；成像室、标记间等场所采取放射性污染控制措施。标记间采用实体屏蔽措施，安装视频监控系统，满足生态环境部门有关安全保卫的要求。
监测仪器	医院本项目拟利用现有的 1 台辐射剂量巡测仪、1 台表面污染监测仪，能够满足工作的需要。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	小动物实验区域配置满足需要的放射性废物存贮设施，配备 4 个铅贮存设施（利用门诊废物间现有的 2 个铅箱，新增 2 个铅废物桶）；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；标记间安装手套箱，操作口风速大于 0.5m/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	已经制定有各项安全管理制度、操作规程、工作人员培训考核计划等。辐射安全管理制度和操作规程得到宣贯和落实。
人员培训	辐射工作人员均通过辐射安全和防护考核。
应急预案	辐射事故应急预案符合工作实际，应急预案明确了的应急处理组织机构及职责、处理原则、信息传递、处理程序和处理技术方案等。配备必要的应急器材、设备。针对使用放射性同位素过程可能存在的风险，建立应急预案，落实必要的应急装备。进行过辐射事故（件）应急演练。

表 13 结论与建议

### 13.1 结论

#### 13.1.1 项目概况

北京朝阳医院持有北京市生态环境局颁发的辐射安全许可证。医院为了进一步提升科室科研基础能力，本项目新增小动物一体机并新建相关机房，使用 F-18、Tc-99m 核素进行显像。

#### 13.1.2 实践正当性分析

本项目小动物一体机是开展小体型动物显像的必要设备，在新型核素与新型示踪剂研发中有重要作用，是进行动物模型研究的强有力工具，可提供生物分布、药代动力学等多方面的丰富信息，准确反映药物在动物体内摄取、结合、代谢、排泄等动态过程。小动物一体机显像可在同一只动物身上进行连续的纵向研究，监控动物生理、生化过程及各种治疗方法干涉疾病进程时的效果，可排除传统研究方法中由于动物个体差异造成的误差。

本项目建成后，为快速在动物和人体进行同一试验提供了机会，并便于直接比较或统一基础与临床研究，促进核医学技术的发展，从而进一步提高医疗水平，可以产生一定的社会效益和经济效益。故上述辐射工作场所的使用符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“实践正当性”的要求。

#### 13.1.3 选址与布局合理性分析

本项目辐射工作场所位于医疗综合楼住院二部地下一层西北角，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，该项目选址基本合理。

#### 13.1.4 辐射安全与防护能力分析

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。

#### 13.1.5 辐射环境影响评价

(1) 根据场所周围关注点辐射剂量估算结果可知，本项目正常运行后，

预计工作人员和公众的年受照剂量低于本项目设定的年剂量约束值5mSv/a和100 $\mu$ Sv/a要求，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。通过对辐射屏蔽措施分析可知，控制区外周围剂量当量率不超过2.5 $\mu$ Sv/h。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）本项目涉及的III类射线装置，可以预计其运行后对医护人员以及周围公众的影响是十分轻微的。

（3）放射性“三废”排放。预计小动物实验相关运行后，放射性废水经暂存衰变后能够符合排放限值要求；本项目工作场所运行每年产生放射性固体废物收集暂存衰变，符合清洁解控水平的废物按照医疗废物处置（过滤装置废滤材符合清洁解控要求后作为危险废物处置）将产生极少量的放射性废气从医疗综合楼住院二部顶部排出，排放大气环境中会进一步稀释，远低于到处空气浓度限值。

（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。医院将根据本项目申请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、人员培训考核计划、健康体检制度、辐射事故应急预案和设备检修维护制度等，以满足辐射安全管理的要求。

### **13.1.6 结论**

综上所述，北京朝阳医院《常营院区核医学科增加小动物一体机项目》相应的辐射安全防护措施基本可行，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）妥善处理群众信访和投诉，做好公众宣传、解释和沟通工作。
- （2）严格按照工程设计施工，保证工程建设质量。
- （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）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验收，编制验收报告，并接受生态环境主管部门的监督检查。

(5) 在辐射项目运行中决不容许违规操作和弄虚作假等现象发生，如若发现相关现象接受相关处理。对于辐射工作人员年受照剂量异常情况，医院进行调查并报生态环境主管部门备案。

表 14 审 批

下一级环保部门预审意见：

经办人

公 章

年 月 日

审批意见：

经办人

公 章

年 月 日



