

核技术利用建设项目

核医学科改造项目 环境影响报告表

中日友好医院

2019年6月

环境保护部监制

核技术利用项目

核医学科改造项目 环境影响报告表

建设单位名称：中日友好医院

建设单位法人代表：

通讯地址：北京市朝阳区樱花园东街

邮政编码：100029

联系人：孙薇

电子邮箱：1405595328@qq.com

联系电话：84205207

表 1 项目概况

建设项目名称		核医学科改造			
建设单位		中日友好医院			
法人代表	孙阳	联系人	孙薇	联系电话	84205207
注册地址		北京市朝阳区樱花园东街			
项目建设地点		北京市朝阳区樱花园东街			
立项审批部门		无	批准文号	无	
建设项目总投资(万元)	2000	项目环保投资(万元)	100	投资比例(环保投资/总投资)	5%
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input checked="" type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它		占地面积(m ²)	40
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				
<p>中日友好医院是国家卫生健康委员会直属大型综合性医院，于 1984 年 10 月 23 日开院。中日医院现编制床位 1600 张（含北区、西区），集医疗、教学、科研和预防保健等多项功能为一体，并承担中央保健医疗任务、国家卫生应急救援队任务，同时还是国家卫生计生委远程医疗管理与培训中心。</p> <p>中日友好医院现有副高级技术职称以上人员 500 余人，硕士研究生学历以上人员 1000 余人，博士和硕士生导师 200 余人。先后承担了 400 余项国家级、省部级科研课题，曾获多项国家级、省部级科技奖励。医院是北京大学和北京中医药大学的临床医学院，北京协和医学院的教学医院，与北京航空航天大学等国内知名学术机构建立战略合作关系，与日本、美国、英国等多个医疗机构和大学建立了长期友好合作关系。</p>					

当前，医院上下秉承“昌明进取，正道力行”的院训和“以教为政，为职工建设良好的事业发展平台”的核心管理理念，以“照护生命与健康”为使命，以“做中国医疗事业先进的思想源和强劲的动力源”为愿景，全力打造以业务技术管理体系和经济经营管理体系为主要内容的现代医院管理体系，共同创造中日医院更加美好的未来。

医院已取得《辐射安全许可证》，涉及医用电子直线加速器、PET/CT、SPECT/CT、DSA、X射线影像诊断等放射诊疗设备和多种放射性核素的使用。

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

中日友好医院已取得了北京市环境保护局颁发的《辐射安全许可证》（京环辐证[E0117]，有效期至2023年8月1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1台医用加速器、1台Tomo、6台DSA、1台PET-CT、2台SPECT-CT机、61台III类射线装置，1个乙级非密封放射性物质工作场所、2个丙级非密封放射性物质工作场所和2枚V类放射源。

中日友好医院已许可的射线装置情况见表1-1。

表 1-1 中日友好医院已许可的射线装置情况

序号	装置名称	类别	装置数量	备注
1	X射线泌尿系统检查床	III	2	
2	医用X射线摄影机（DR）	III	6	
3	PET-CT	III	1	
4	移动床旁X射线机	III	9	
5	X射线骨密度仪	III	3	
6	数字减影血管造影装置（DSA）	II	6	
7	螺旋断层放射治疗系统（Tomo）	II	1	
8	医用X射线CT机	III	9	
9	牙科CT机	III	3	
10	移动式C型臂X光机	III	7	
11	放射治疗模拟定位机	III	1	

12	普通 X 射线机	III	5	
13	医用 X 射线胃肠机	III	2	
14	牙科 X 射线机	III	9	
15	医用加速器	II	1	
16	数字化多功能 X 线透视摄影系统	III	1	
17	模拟定位 CT	III	1	
18	乳腺 X 射线机	III	1	
19	SPECT-CT 机	III	2	
20	放射外科手术系统	II	1	
21	医用碎石定位机	III	1	
22	合计		72	

中日友好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 中日友好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
核医学科	乙级	I-131	2.60E+8	1.50E+11	
		Tc-99m	3.70E+8	9.25E+12	
		Sr-89	3.00E+7	3.55E+9	
		Sm-153	3.70E+8	8.88E+10	
		Ga-67	1.85E+7	1.85E+10	
		F-18	7.40E+7	1.85E+12	
介入超声医学 室 (粒子源)	丙级	I-125	7.40E+6	3.70E+11	
急诊 CT 室 (粒子源)		I-125	3.70E+6	1.85E+11	

中日友好医院已许可的放射源使用情况见表 1-3

表 1-3 中日友好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	3.80E+6	1	

2	Ge-68	V类	2.70E+7	1	
---	-------	----	---------	---	--

1.2.2 近几年履行环保审批情况

中日友好医院近几年共有 5 个辐射类环评报告表项目，除了 1 个正在办理自主验收外，其他都已办理了竣工验收，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	环评批复文号	项目名称	类别	竣工验收文号	备注
1	京环审 [2012]57 号	新增和搬迁医用射线装置及 I-125 粒子源增量	报告表	京环验[2016] 0293 号	已验收
2	京环审 [2012]397 号	核医学科改扩建	报告表	京环验[2016] 0294 号	已验收
3	京环审 [2017]30 号	使用II类射线装置	报告表	/	已办理自主验收
4	京环审 [2018]14 号	使用II类射线装置	报告表	/	已办理自主验收
5	京环审 [2018]178 号	使用II类射线装置	报告表	/	正在办理自主验收

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，促进射线装置和同位素的安全使用，中日友好医院专门成立了辐射防护领导小组，由主管副院长刘鹏担任组长，医务处、核医学科、放射诊断科、放射肿瘤科主任担任副组长，人事处、医工处、后安处、医务室、放射肿瘤科、放射诊断科、心内科、心外科、安保部、脊柱外科、手麻科、核医学科、创伤骨科、骨关节外科和医务处等各部门的相关人员担任组员，并指定医务处孙薇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 中日友好医院辐射防护领导小组成员名单

职位	姓名	性别	职务或职称	工作部门	专/兼职
组长	刘鹏	男	主管副院长	心脏血管外科	兼职
副组长	颜珏	女	科主任	核医学科	兼职
副组长	谢晟	女	科主任	放射诊断科	兼职
副组长	朱广迎	男	科主任	放射肿瘤科	兼职

副组长	应娇茜	女	副处长	医务处	兼职
组员	高峰	男	处长	后安处	兼职
	张雯	女	副处长	后安处	兼职
	高敏	女	副处长	医工处	兼职
	郑金刚	男	科副主任	心内科	兼职
	赵晶	女	科副主任	手麻科	兼职
	张颖	女	护士长	手麻科	兼职
	黄振国	男	科副主任	放射诊断科	兼职
	刘尊敬	男	科副主任	神经内科	兼职
	移平	男	科主任	脊柱外科	兼职
	王卫国	男	科主任	骨关节科	兼职
	陈瀛	男	科主任	创伤骨科	兼职
	樊碧发	男	科主任	疼痛科	兼职
	毛凯	男	物理师	放射肿瘤科	兼职
	王晔	男	技师长	放射诊断科	兼职
	刘瑞宏	男	技师长	放射诊断科	兼职
	章建伟	男	技师长	放射诊断科	兼职
	李红磊	男	辐射安全员	核医学科	兼职
	陈强	男	高级工程师	医工处	兼职
	梁广燕	女	辐射安全员	口腔科	兼职
	马萍	女	负责人	医务室	兼职
孙薇	女	秘书	医务处	专职	

1.2.3.2 制定规章制度及落实情况

中日友好医院制定了多项辐射安全管理制度，包括辐射防护领导小组及岗

位职责、放射性同位素与射线装置操作规程、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、辐射事故应急制度等，并严格按照规章制度执行。

1.2.3.3 工作人员培训情况

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有 254 人，分别于 2016 年 1 月、2017 年 10 月和 2019 年 1 月参加了辐射安全和防护培训，并通过了考核，取得了培训证书。

1.2.3.4 个人剂量监测情况

中日友好医院所有辐射工作人员的个人剂量监测工作已委托北京贝特莱博瑞技术检测有限公司承担，监测频度为每 3 个月检测一次。2017 年和 2018 年度检测人数约为 402 人，其中约 150 人为医院辐射工作场所周围其他科室的非辐射工作人员，医院也对这些工作人员进行了个人剂量监测。医院个人剂量检测结果表明，2017 年度大部分辐射工作人员年剂量都为 0.144mSv，最大值为 0.498mSv；2018 年度大部分辐射工作人员年剂量都为 0.144mSv，最大值为 0.681mSv，均未超过年剂量管理目标值（5.0mSv），2017 年和 2018 年度的个人剂量报告见附件 2。

1.2.3.5 工作场所及辐射环境监测情况

中日友好医院已制定工作场所监测方案，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、监测部门等。

单位已建立辐射环境自行监测记录或报告档案，并妥善保存，接受环境保护行政主管部门的监督检查。监测记录或报告记载监测数据、测量条件、测量方法和仪器、测量时间和测量人员等信息，辐射工作单位的辐射环境自行监测记录或报告，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。医院现有的监测方案能够满足相关标准要求，内容具体如下。

(1) 每年已委托有资质的第三方机构（具有 CMA 证书）进行一次工作场所监测，自行监测频次为 1 次/年，监测点位包括机房外毗邻东、南、西、北、上、下区域、防护门外、操作人员位和其他人员可达位置，监测范围和方法参照国家标准的相关要求，监测数据将记录存档。

(2) 表面污染监测：使用多功能监测仪对核医学科和 I-125 粒子源工作场所放射性污染情况进行监测，每次实验操作后进行。工作人员离开可能受到放射性污染的工作场所时，监测工作服、体表的表面污染水平，该项工作由核医学科工作人员自行完成。

(3) 如果场所辐射水平监测结果异常，应立即停止辐射活动，及时查找原因，采取有效措施，及时消除辐射安全隐患，隐患未消除前不得继续开展辐射工作。

1.2.3.6 辐射事故应急管理情况

中日友好医院依据《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《中日友好医院辐射事故应急制度》，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行政部门报告。2018 年 11 月 22 日医院辐射安全领导小组组织核医学科、医务处、后安处、医工处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

目前，中日友好医院核医学只使用 Tc-99m、F-18 两种诊断核素和 I-131 治疗核素（用于门诊甲亢治疗），核素 I-131 产生的固体废物较少，中日友好医院按照《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。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做为医疗废物处置。医院于 2019 年 4 月 22 日按照要求对废物库内暂存时间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。

衰变池的废水排放前委托有资质单位进行检测，根据最近一次北京市辐射安全技术中心于 2017 年 2 月 14 日出具的监测报告，衰变池放射性废液中

Tc-99m、F-18 的总放射性活度均远低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的每一次排放的总活度限值，未检出其它人工放射性核素。放射性废物处置管理台账和废水监测报告见附件 3。通过现场查看，目前衰变池第一级未满，一年内不会排放放射性废液。

1.2.3.8 其他情况

2018 年度，中日友好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 项目建设规模、目的和任务的由来

1.3.1 项目基本情况

为了满足新 SPECT/CT 安装条件和减少注射室工作人员的受照剂量，中日友好医院拟对 C 楼一层现有核医学科进行局部改造，改建方案为：将 ECT 检查室一东墙往东（控制室方向）移 1.6m 左右；在原有注射室（高活室）内增加一道防护墙，并在墙上设注射窗口，其它相关场所的屏蔽材料及厚度不变。本项目涉及到的相关源项如下：

（1）更换使用 1 台 SPECT/CT 机（原有的 SPECT/CT 已坏，拟报废），不增加 Tc-99m 核素的使用量；

（2）新增使用 2 枚 V 类 Go-57 密封校准放射源；

（3）使用锝气发生器用于核医学科肺通气检查，每日平均 1-2 例病人，每个病人 555MBq，每次制备的 Tc-99m 放射性气体施给一位病人，施给过程均在核医学科高活室通风橱边进行，不改变 Tc-99m 核素许可的量。

（4）增加 F-18 使用量（原来申请的 F-18 使用量已不能满足当前工作的需求），由原来最大 20 人次/天增加到 25 人次/天。

其中 ECT 检查室一配套使用 1 台西门子公司 Symbia Intevo 16 型 SPECT/CT 和 2 枚 V 类 Go-57 密封校准放射源。SPECT/CT 和 2 枚 Go-57 校准源另外单独办理备案。拟改造后核医学科各种核素计划使用情况如表 1-6 所示。

表 1-6 核医学科使用的核素情况

使用场所	核素种类	日最大操作量 (Bq)	年用量 (Bq)	与原许可用量的差异
核医	F-18	9.25E+9	2.31E+12	20 人次增加到 25 人次

学科	Tc-99m	3.70E+10	9.25E+12	不变
	Ga-67	1.85E+8	1.85E+10	不变
	Sr-89	3.00E+8	3.55E+9	不变
	Sm-153	3.70E+9	8.88E+10	不变
	I-131	2.60E+9	1.50E+11	不变

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，核算后的各种核素的日等效最大操作量如表 1-7 所示。整个核医学科的日等效最大操作量为 $3.48 \times 10^8 \text{Bq}$ ，小于乙级工作场所的上限 $4 \times 10^9 \text{Bq}$ ，故核医学科仍属于乙级非密封放射性工作场所。

表 1-7 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	F-18	9.25E+9	0.01	10	9.25E+6	乙级 (整个场所的日等效最大操作量为 $3.48 \times 10^8 \text{Bq}$)
	Tc-99m	3.70E+10	0.01	10	3.70E+7	
	Ga-67	1.85E+8	0.1	10	1.85E+6	
	Sr-89	3.00E+8	0.1	10	3.00E+6	
	Sm-153	3.70E+9	0.1	10	3.70E+7	
	I-131	2.60E+9	0.1	1	2.60E+8	

1.3.2 项目建设必要性

(1) F-18 核素的增量和更换一台 SPECT/CT

中日友好医院核医学科 2013 年引进 PET/CT 设备，因其在恶性肿瘤的早期诊断、分期、预后评估、转移病灶定位等方面的优势，近年来检查人次数每年递增；另外中日友好医院提出了 2019-2021 年学科建设三年规划，把呼吸疾病相关学科和以质子放疗为中心，建立肿瘤综合治疗体系作为重点发展规划，检查人次数也将会有一个明显的增加。另外现有 ECT 检查室一的 SPECT/CT 时常故障，现已坏，机型太老无配件，厂家没法提供维修服务。所以拟增加 F-18FDG 核素的使用量和更换一台 SPECT/CT。

(2) 锝气发生器

使用 Tc-99m 气体进行肺通气试验是核医学科检查肺栓塞等疾病的重要手段。肺栓塞是由内源性或外源性栓子堵塞肺动脉或其分支引起肺循环障碍的临床和病理生理综合征，发生肺出血或坏死者称肺梗死。临床资料表明，凡能及时做出诊断及治疗的肺栓塞患者，死亡率低于 5%~8%，而未被及时诊断和治疗者死亡率达 30%。肺动脉造影是诊断肺栓塞的金标准，但其有创伤和并发症，使之临床应用受限，而肺灌注显像具有简便和无创等优点，可用于肺栓塞诊断、疗效评价和随访。反复吸入密闭系统中的 Tc-99m 气体 (technegas)，待其充盈气道和肺泡并达到平衡浓度后，其在肺内的分布与肺的局部通气量呈正相关。在体外用核医学显像仪器进行显像，可以判断肺的局部通气功能。应用气溶胶显像，还可评价支气管粘膜纤毛廓清机能、肺上皮细胞通透性等。

1.3.3 项目建设内容

核医学科的布局：改造后核医学科格局和毗邻关系维持不变。东侧临院内走廊、南侧为院内通道、西侧为污水处理站、北侧为放射诊断科 CT 室，核医学科楼上为放射诊断科。核医学科从平面布局上可分为两个区，一区为非放射性清洁区，包括办公区、登记室、浴室；二区为放射性同位素药物给予和核医学检测等工作区，其中包括两间 ECT 检查室、PET/CT 机房及其控制室、候诊室、高活室、储源室、功能室（吸碘室）、药物负荷室、患者卫生间以及放射性废液衰变池（1 个 113.4 m³ 的衰变池，位于核医学科楼外西侧）等，改建前后的平面布局详见附图 3 和附图 4。核医学科入口第二道门设置门禁系统，只有本科室工作人员有授权，出口位于核医学科的东侧。

1.3.4 开展新项目的技术能力

人员配备情况：核医学科现有核医学专业技术人员 16 人（含 2019 年新增 3 人），其中主任医师 1 人，副主任医师 2 人，医师 5 人，技师 8 人，均已参加辐射防护与安全知识培训。

检测仪器配备情况：本项目实施后核医学科已配备的 2 台 Inspector 型手持多功能监测仪继续使用。

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	液态试剂	乙级	9.25E+9	9.25E+6	2.31E+12	诊断	静脉注射	高活室 PET/CT机房	核医学科高活室 通风橱内
2	Tc-99m	液态试剂	乙级	3.70E+10	3.70E+7	9.25E+12	诊断	静脉注射	高活室 ECT检查室	核医学科高活室 通风橱内
3	Ga-67	液态试剂	乙级	1.85E+8	1.85E+6	1.85E+10	诊断	静脉注射	高活室 ECT检查室	核医学科高活室 通风橱内
4	Sr-89	液态试剂	乙级	3.00E+8	3.00E+6	3.55E+9	诊断	静脉注射	高活室 候诊室	核医学科高活室 通风橱内
5	Sm-153	液态试剂	乙级	3.70E+9	3.70E+7	8.88E+10	诊断	静脉注射	高活室 ECT检查室	核医学科高活室 通风橱内
6	I-131	液态试剂	乙级	2.60E+9	2.60E+8	1.50E+11	诊断	静脉注射	高活室 ECT检查室	核医学科高活室 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

(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	

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
洗涤废水、病人排泄物	液态	Tc-99m、F-18、Sr-89等 (B类)			63.3m ³	总β<10 Bq/L或者按表7-5值控制	113.4 m ³ 衰变池暂存	放射性废水在衰变池暂存后,委托有资质的检测机构 (CMA 或CNAS) 对拟排放的废水进行检测,排放总量和排放方式按照报告表7.3.2章节的放射性废水排放有关规定执行。
手套、纱布等其他固态物质、一次性注射器	固态	Tc-99m F-18等 (A类)			<75kg	<10 ⁴ Bq/kg	放射性固体废物在放射性废物间内储存。	放射性固体废物暂存时间超过30 天后,使用经检定合格的监测仪器对废物的表面污染和辐射剂量率水平进行监测,监测结果未发现异常且与所处环境监测数值处于同一水平的,对废物清洁解控并作为医疗废物处理,并做好台账记录。
		Sr-89等 (B类)						放射性固体废物暂存时间超过10 倍最长半衰期后,使用经检定合格的监测仪器对废物的表面污染和辐射剂量率水平进行监测,监测结果未发现异常且与所处环境监测数值处于同一水平的,对废物清洁解控并作为医疗废物处理,并做好台账记录。
放射性废气	气态	Tc-99m F-18等			<3.7×10 ⁸ Bq	/	净化过滤后稀释排放	环境大气
气体过滤装置废滤材	固态				20kg (每年更换一次)	<10 ⁴ Bq/kg	放射性废物库内储存。	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》，2017 年 12 月 20 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) 《关于取消建设项目环境影响评价资质行政许可事项后续相关工作要求的公告（暂行）》，生态环境部公告 2019 年第 2 号，2019 年 1 月 21 日。</p> <p>(11) 《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>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> <p>(3) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）</p> <p>(4) 《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ 120-2006）</p> <p>(5) 《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）</p> <p>(6) 《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ133-2009）</p> <p>(7) 《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）</p> <p>(8) 《北京市水污染物综合排放标准》（DB11/307-2013）</p> <p>(9) 《核技术利用放射性废物、废放射源收贮准则》（DB11 /</p>

	<p>639-2009)</p> <p>(10) 公安部《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》(GA 1002-2012)</p> <p>(11) 《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)</p> <p>(12) 《环境地表γ辐射剂量率测定规范》(GB/T14583-93)</p> <p>(13) 《辐射环境监测技术规范》(HJ/T61-2001)</p> <p>(14) 《表面污染测定 第一部分 β 发射体 ($E_{\beta\max} > 0.15\text{MeV}$)和 α 发射体》(GB/T14056.1-2008)</p>
其他	<p>(1) AAPM Task Group 108 : PET and PET/CT Shielding Requirements, Med.Phys. 33 (1), January 2006。</p> <p>(2) Radiation Protection Dosimetry Vol.98 No 1, 2002。</p> <p>(3) 中日友好医院提供的与本项目相关的申请和技术资料, 2019.5。</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

7.1.1 评价内容

本项目为核医学科改造并增加同位素 F-18 使用量。

7.1.2 关注问题

(1) 改造后的核医学科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的要求。

7.1.3 评价因子

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

7.1.4 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核医学科周围 50m 区域。

7.2 环境保护目标

核医学科为现有场所,位于医院 C 栋一层,C 栋共 3 层,东侧临院内走廊、南侧为院内通道、西侧为污水处理站、北侧为放射诊断科 CT 室;核医学科楼上为放射诊断科,无地下室,50m 内都是医院内部,因此本项目环境保护目标为该单位从事本项目操作的辐射工作人员、辐射工作场所周围其他公众成员(包括其他科室工作人员、社会公众等)。本项目场所周围 50m 范围内主要建筑物见图 7-1。

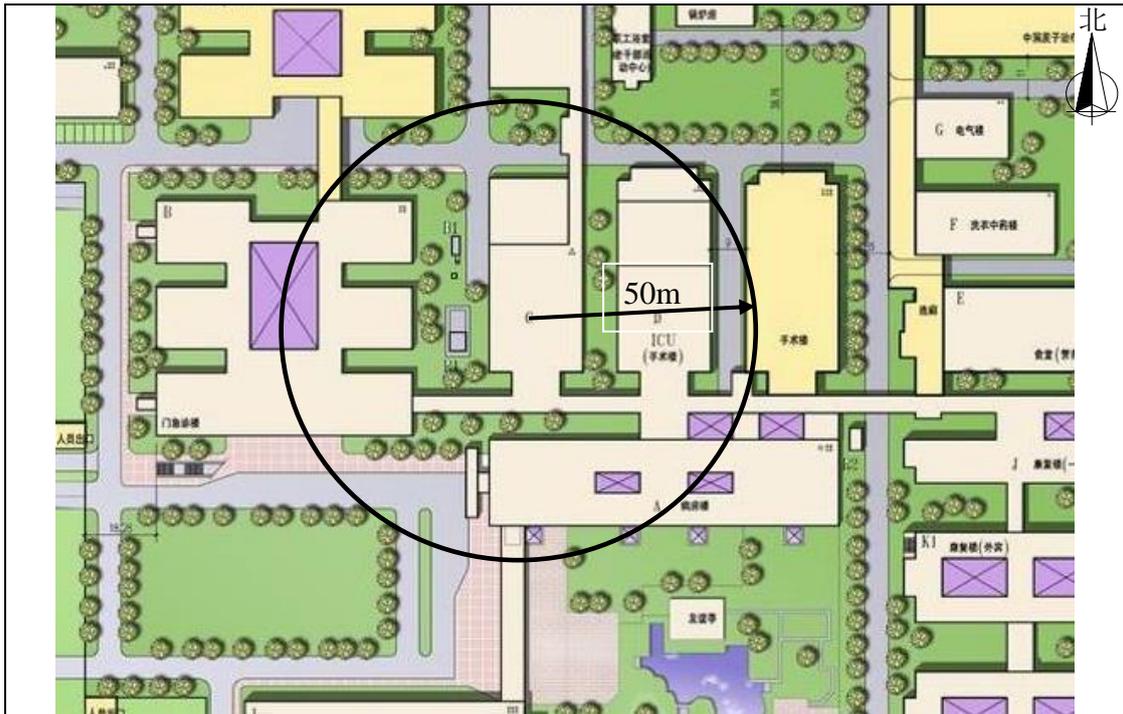


图 7-1 本项目场所周围 50m 范围内主要场所或建筑物图

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 7-1。

表 7-1 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

该项目公众和职业照射剂量约束值分别执行 0.1mSv/a 和 5mSv/a，单位职业照射剂量约束值分别维持 0.1mSv/a 和 5mSv/a。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。

7.3.3 剂量率控制

本项目核医学科控制区边界外（含楼上）30cm 处的辐射剂量率水平采用 2.5 μ Sv/h 进行控制。

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《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2016）和《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 β 排放限值为 10Bq/L。

（2）排放含放射性核素废水要求

根据《电离辐射与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的第 8.6.2 款规定，不得将放射性废液排入普通下水道，除非经审管部门确认是满足下列条件的低放废液，方可直接排入流量大于 10 倍排放流量的普通下水道，并应对每次排放作好记录：

每月排放的总活度不超过 $10ALI_{min}$ （ ALI_{min} 是相应于职业照射的食入和吸入 ALI 值中的较小者，其具体数值可按 B1.3.4 和 B1.3.5 条的规定获得）。

表 7-2 废水中放射性核素排放导出限值

放射性核素	月排放限值 (Bq)	一次排放限值 (Bq)
Tc-99m	6.9×10^9	6.9×10^8
F-18	2.1×10^9	2.1×10^8
Sr-89	2.7×10^7	2.7×10^6
Ga-67	7.1×10^8	7.1×10^7
Sm-153	2.7×10^8	2.7×10^7
I-131	9.1×10^6	9.1×10^5

备注： $ALI_{min}=DL/e_j$ ，其中 DL 取 20mSv， e_j 取食入和吸入值中的较大者。

废水中放射性核素排放导出限值见表 7-2，含放射性物质的废液应采用槽式衰变池排放，且按标准的有关要求使排放的控制最优化。

如遇到多种核素混合排放时，可由公式（7-1）判断是否容许排放。

$$\sum_{j=1}^n \frac{C_j}{C_{j,h}} \leq 1 \quad (7-1)$$

式中：

C_j —放射性核素 j 在该废液中的活度浓度或者活度；

$C_{j,h}$ —放射性核素 j 的清洁解控水平推荐值或者排放限值；

n —该废物中所含放射性核素的种类数。

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》，核医学科许可的含有 B 类核素，废水按 B 类核素管理，放射性废水需要委托有资质的单位检测满足要求后才能排放。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。

7.3.5 放射性废气排放控制要求

根据《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ133-2009），操作具有挥发性的放射性物质时，应在备有活性炭过滤或其他专用过滤装置的通风厨内进行。人员吸入放射性气体或气溶胶的年摄入限值（ ALI_{air} ）可由《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）导出，在一定的人体呼吸率（如 $0.02m^3/min$ ）下，工作人员年空气呼吸量为 $2400m^3$ ，则可导出工作人员的空气浓度控制值 DAC 如表 7-3 所示（锡气发生器产生的废气相对核医学科其他使用核素高，此表只列出 Tc-99m）。

表 7-3 工作人员空气浓度控制值（ Bq/m^3 ）

放射性核素	DAC
Tc-99m	2.9×10^5

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 7-4。

表 7-4 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 $\sim 2 \times 10^7$
---	------------------------------

本项目的日等效最大操作量为 $3.48E+8Bq$ ，故属于乙级非密封放射性物质工作场所。

7.5 工作场所放射性表面污染控制水平

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)，非密封放射性物质工作场所的表面污染控制水平见表 7-5。

表 7-5 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	$4 \times 10 Bq/cm^2$
	监督区	$4 Bq/cm^2$
工作服、手套、工作鞋	控制区	$4 Bq/cm^2$
	监督区	
手、皮肤、内衣、工作袜		$4 \times 10^{-1} Bq/cm^2$

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 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 7-5 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《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》，许可使用核素有 A 和 B 类，放射性固体废物在暂存室内暂存衰变时间超过 30 天或者超过 10 倍最长半衰期后，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，监测结果未见异常且与所处环境监测数值处于同一水平时，对放射性废物清洁解控并作为医疗废物处置，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。

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，并酌情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。

本项目核医学科高活室内安装有通风橱，操作口风速为 1.7m/s。通风橱配套有活性炭过滤器，并设置独立的排风系统，排风口设在医院 C 栋 3 层房顶，高于本建筑物。

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 7-6。根据 GBZ120-2006 标准中表 2 和表 3 的相关参数估算出，本项目属于 I 类场所，需设置通风橱、专用排风，地板采用 PVC 等易去污材料敷设，地板与墙壁接缝无缝隙。

表 7-6 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

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 地理位置和场所位置

8.1.1 地理位置

中日友好医院（本部）位于北京市朝阳区樱花园东街，医院地理位置见附图 1 所示。医院东侧是北京服装学院，南侧隔樱花小街紧邻中国中医药学会，南 500m 之外是北三环东路，西侧隔樱花园东路是和平街派出所，北侧隔健安东路与元大都土城遗址公园相邻。

8.1.2 场所位置

本项目处于医院的 C 栋一层核医学科内，东侧临院内走廊、南侧为院内通道、西侧为污水处理站、北侧为放射诊断科 CT 室；核医学科楼上为放射诊断科，无地下室，中日友好医院的平面布局图见附图 2 所示，核医学科改建前后平面图见附图 3 和附图 4 所示。

8.2 辐射环境现状

中日友好医院核医学科的辐射现状水平调查采用北京贝特莱博瑞技术检测有限公司对核医学科场所防护现状检测报告（检测项目编号：2018BJC-K0034），该检测机构通过了计量认证，持有计量认证资质证书(CMA, 160121340226)。检测使用了 6150A/D S/H 型剂量率仪、TSI9515 型风速仪和 COMO170 型 α 、 β 表面污染测量仪，监测内容包括核医学科改造前的辐射工作场所周围 X、 γ 辐射剂量率水平和表面污染水平。检测结果表明：核医学科工作场所内外环境各检测点辐射剂量率均满足相关标准要求；工作场所内各检测点的表面放射性污染水平均符合相关标准要求的相关要求；注射室内通风橱的通风口风速均满足相关标准要求。检测报告见附件 4。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 X 射线诊断装置

本项目使用 1 台 SPECT/CT 装置，属于 III 类射线装置，拟单独备案，故本评价报告不再涉及。

9.2 密封校验源

本项目使用 2 枚 Co-57（均为 V 类放射源），活度分别为 $1.17 \times 10^8 \text{Bq}$ 、 $1.48 \times 10^6 \text{Bq}$ ，用于机器灵敏度校准和能峰校准，储存在储源室内，使用频次分别为每月使用 1 次和只在初装机、大修和移机时使用。拟单独备案，故本评价报告不再涉及。

9.3 放射性同位素显像设备与诊断流程

9.3.1 核医学扫描诊断装置

(1) PET/CT

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

CT 是计算机断层 X 射线摄影术（Computed Tomography）的简称，它使用了精确准直的 X 射线从各种不同的离散角度扫描所关注的断层平面，利用探测器记录透射光束的衰减量，并经过数学运算，电子计算机处理相应数据，从而产生一个以检查层的相对衰减系数为依据的躯体横断面的影像。PET/CT 是 PET 和 CT 技术的结合，CT 是一种临床广泛应用而又仍在迅速发展的 X 线成像技术，在显示解剖结构、形态和密度等方面具有优势。将两种检查设备整合到一起，即形成现在的 PET/CT 技术。二者的结合起到优势互补、相互配合、互为对照的作用。PET 通过与 CT 结合，提高病灶定位的准确性。还有另一方面的价值，即可以大大缩短 PET 的检查时间，从而提高仪器和正电子药物的使用效率，图 9-1 为 GE Discovery 型 PET/CT 机设备外观。



图 9-1 GE Discovery 型 PET/CT 机设备外观

(2) SPECT/CT

SPECT/CT 是 SPECT 和 CT 技术的融合,它作为一种先进的核医学影像手段,对于功能、代谢和受体分布等的显示具有优势,被称为“生化显像”或“分子成像”。而 CT 是一种临床广泛应用而又仍在迅速发展的 X 射线成像技术,在显示解剖结构、形态和密度等方面具有优势。将两种检查设备整合到一起,即形成现在的 SPECT/CT 技术。二者的结合起到优势互补、相互配合、互为对照的作用。SPECT 通过与 CT 结合,提高病灶定位的准确性。图 9-2 为 Symbia Intevo 16 型 SPECT/CT 机设备外观。



图 9-2 Symbia Intevo 16 型 SPECT/CT 机设备外观

(3) 锔气发生器

锔气发生器由主机、推车、石墨舟型坩锅和手动加压通气附件组成,手动

加压通气附件包括球囊、单向阀门、PAS 控制阀和管路，其它附件包括患者鼻夹、钳子、整套氦气调节器组件等，锡气发生器组成见图 9-3。

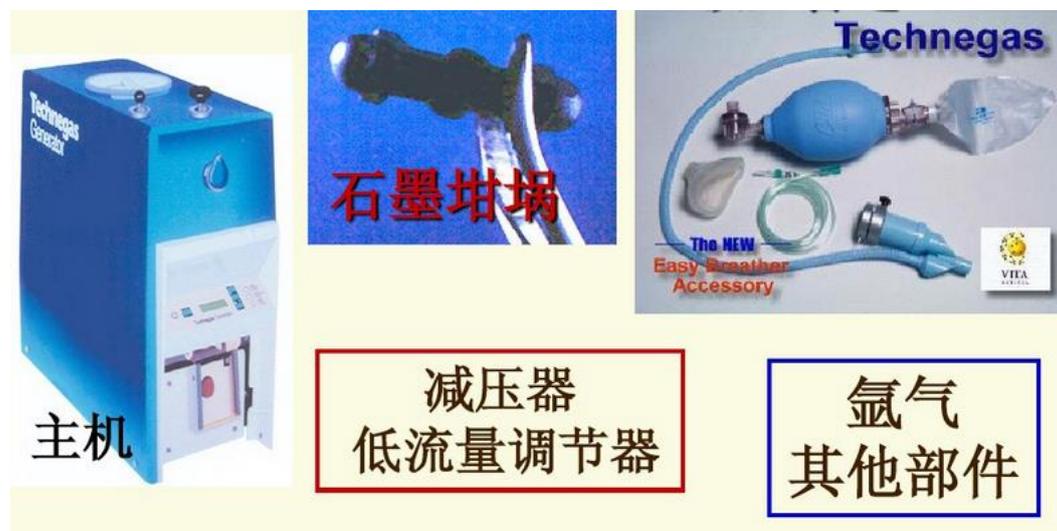


图 9-3 锡气发生器组成图

9.3.2 工作流程

(1) 核医学科常用核素

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 (SPECT) 探测成像仪器进行扫描和显像，检查工作流程如下：

工作流程按下列流程：患者预约登记→计划订药（有资质的单位提供）→高活室接药→放射性药物准备（核对、测量）→患者给药→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，由核医学科场所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 标记的放射性药物在通风橱内进行分装（试剂 Tc-99m、Ga-67 厂家送来时已根据当天使用情况分装好）。

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，放回高活室，当放射性固体废物

处理（Tc-99m 废注射器装入铅屏蔽盒，放回核医学科分装室，第二天由放射性药品供货单位收回）。

检查：病人在给药后病人候诊区等候（F-18 候诊时间约 40min~90 min），待药物有一定程度的代谢后，进行 PET 扫描检查（检查一般不超过 30min）。

受检者在扫描检查后，经观察无不良反应即可离开，如有不适则在医院短暂观察。

（2）锡气制备操作步骤和工艺流程

核医学科锡气发生器操作步骤和工艺流程为：订货→质检→设备充电→连接氙气→气体制备→施给气体→清除残余气体。

订货：提前一天根据预约的肺通气病人数，向药品公司订购 Tc-99m 放射性药品。

质检：在医院高活室通风橱使用活度计取 10~20mCi/0.1ml 的 Tc-99m 淋洗液。

设备充电：锡气发生器插入电源输入端，打开电源主开关为设备电池充电。

连接氙气：在锡气体制备前插上与锡气发生器相连的气体输出管，并确保自锁机构锁定，转动主调节器阀直到低压表指示在绿区。

气体制备：首先打开抽屉，将坩埚固定在接触器上，再将 15mCi Tc-99m 液体注入，关闭抽屉后按下开始按钮，在充满氙气的密闭装置内通电加温，在 2550°C 条件下加热 15s 蒸发得到 Tc-99m 气体，产生碳包裹的 Tc-99m 纳米颗粒（technegas），气体制备完成后断开主电源。气体制备过程中约有 30% Tc-99m 液体转化为 Tc-99m 气体，其余沉积在石墨坩埚。

锡气的施用：向患者说明检查的整个过程，以取得患者的配合。将 PAS 的管道开端接到发生器上，让患者用嘴咬住口管，用鼻夹夹住鼻子，通过雾化器回路进行正常呼吸，按下给气按钮施给病人 Tc-99m 气体，在所要求的放射性计数达到要求（一般 3-5 个呼吸周期）后松开给气按钮，嘱咐病人进行 5-6 个呼吸周期的呼吸，以清除管道和病人气到中的 Tc-99m 气体，病人呼出的少许气体由 PAS 过滤装置收集后按放射性废物处理。

残余 Tc-99m 气体清除：病人 Tc-99m 气体施给完成后，再次接上氙气和电源，发生器内过滤器装置清除残余锡气体。

受检者在扫描检查后，经观察无不良反应即可离开，如有不适则在医院短暂观察。

9.3.3 放射性核素使用量

PET/CT 工作场所运行后，放射性药物由药品公司提供。

PET 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 25 人次，每周工作 5 天计算，则日操作总量不超过 9.25GBq，年最大操作量 2.31TBq。

其他核素的最大使用量维持已许可量不变，其中核医学科肺通气检查每日平均 1-1.5 例病人，每个病人 555MBq (15mci)，每次制备的 Tc-99m 放射性气体施给一位病人，施给过程均在核医学科高活室通风橱边进行。

9.3.4 放射性核素分析

F-18 半衰期分别为 109.6min，衰变方式是 EC 和 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 140keV 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。

9.4 使用放射性核素污染途径分析

9.4.1 正常工况的污染途径

(1) γ 射线。在进行 F-18、Tc-99m、Ga-67 等药物交接、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、Ga-67 等释放出的 γ 射线的影响。

(2) 放射性的固体废物。包括剩余的 F-18 药物、注射器、手套、口罩、棉签、一次性用品等。项目产生含放射性废物收集于高活室铅桶内暂存。

(3) 含放射性废水。主要是给药后的病人使用卫生间而产生的冲厕废水。另外，清洗器皿和洗手时，会产生少量的短寿命弱放废液。

(4) 放射性废气。Tc-99m 气体制备及患者施用过程中，会产生少量的 Tc-99m 气溶胶，工作人员吸入会造成内照射。

9.4.2 非正常工况的污染途径

操作不当或患者不配合引起的 Tc-99m 气溶胶弥散：患者在吸气时与工作

人员配合较差，导致 Tc-99m 气体泄漏或逸出，或者吸药结束后工作人员未要求患者继续呼吸以清除管道和患者气道中的 Tc-99m 气体，造成 Tc-99m 气体弥散，锝气发生器装置或阀门泄露造成 Tc-99m 气体泄露或逸出。工作人员应嘱咐患者正确的吸气方式，严格遵守操作规程，吸入管道或面罩连接好患者之前，不能开启病人通气开关，停止锝气吸入后，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。

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。

改建后核医学科功能布局维持不变，控制区包括两间 ECT 检查室、高活室、储源室、废物间、低能候诊室、功能室、PET/CT 室、注射后候诊室、VIP 候诊室、患者卫生间等，监督区包括 PET/CT 控制室、两间 ECT 控制室、注射前候诊区。

10.1.2 辐射屏蔽设计

除了改造的两处外其它相关场所的屏蔽材料及厚度不变，核医学科相关场所的屏蔽材料及厚度见表 10-1，辐射安全防护设施与运行核查结果见表 10-2。

表 10-1 核医学科主要场所的屏蔽材料及厚度

序号	场所名称	屏蔽墙体方向	屏蔽厚度	备注
1	高活室注射窗 隔断	墙面	24cm 砖混+6mmpb	本次改造 内容
		注射窗	40mmpb 当量铅	
		防护门	8mmpb	
2	ECT 检查室一	东墙	4mmpb	无变化
		南、西、北墙	20cm 砼	
		顶棚	25cm 砼	
		防护门	4mmpb	
		观察窗	4mmpb 当量铅玻璃	
3	ECT 检查室二	东、南、西、北墙	20cm 砼	
		顶棚	25cm 砼	
		防护门	3mmpb	
		观察窗	3mmpb 当量铅玻璃	
4	PET/CT 室	东墙	20cm 砼	
		南、西、北墙	150mm 重晶石砼	
		顶棚	25cm 砼	
		防护门	5mmpb	
		观察窗	6mmpb 当量铅玻璃	
5	VIP 注射后候诊 室	东墙	20cm 砼	
		南、西、北墙	150mm 重晶石砼	
		顶棚	25cm 砼	
		防护门	5mmpb	
6	注射后候诊室	东、南、西、北墙	150mm 重晶石砼	
		顶棚	25cm 砼	

		防护门	5mmpb
7	卫生间	东墙	150mm 重晶石砼
		南、北墙	24cm 砼
		西墙	20cm 砼
		顶棚	25cm 砼
		防护门	3mmpb
8	高活室	东、西、北墙	24cm 砼
		南墙	20cm 砼

表 10-2 核医学科场所辐射安全防护设施与运行核查结果表

序号	项目	内容	是否拟设置	备注
1*	A 场所 设施	场所分区布局是否合理及有无相应措施/标识	√	地面标注控制区和监督区
2*		场所门外电离辐射警示标识	√	出入口、检查室、PET/CT 机房防护门、高活室门上粘贴电离辐射警示标志
3		独立的通风设施（流向）	√	高活室设带屏蔽设计的通风橱
4		有负压和过滤的工作箱/通风橱（乙级以上）	√	配有有负压通风橱
5		治疗病房病人之间防护（屏蔽、通风）	/	无治疗病房
6*		注射或口服取药用屏蔽	√	拟配备注射窗口
7		易去污的工作台面和防污染覆盖材料	√	墙面、地面均为光滑饰面
8		移动放射性液体时容器不易破裂或有不易破裂的套	√	放射性药物密封于专用屏蔽容器
9*		病人专用卫生间	√	专用卫生间及排水管线
10*		放射性同位素暂存库或设施	√	同位素在高活室暂存
11*		放射性固体废物收集容器和放射性标识	√	3 个暂存用废物桶，1 处废水衰变池。
12		安全保卫设施（贮存场所必须）	√	储源室出入口设防盗门、入侵报警、视频监

				控等。
13	B 监测 设备	便携式监测仪器仪表（污染、辐射水平等）	√	2台多功能监测仪
14*		个人剂量计	√	所有工作人员配备TLD个人剂量计
15		个人剂量报警仪	--	--
16		放射性活度计	√	高活室配备活度计
17	C 放射 性废 物和 废液	放射性下水系统及标识	√	113.4m ³ 废水衰变池
18*		放射性固体废物暂存间（设施）	√	设废物间，贮存放射性废物
19		废物暂存间屏蔽措施	√	墙体和铅桶屏蔽
20		暂存间通风系统	√	废物间设一个排风口
21*	D 防护 器材	个人防护用品	√	铅玻璃，配备一次性医用口罩和手套
22*		放射性表面去污用品和试剂	√	洗涤灵、酒精和棉球
23		灭火器材	√	干粉灭火器

注：加*的项目是重点项，有“设计建造”的划√，没有的划×，不适用的划/。

10.2 辐射防护措施

(1) 实行控制区和监督区分区管理。在控制区出入口有安装单向门禁系统，防止无关人员进入控制区。控制区入口上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。继续使用核医学科现有的2台多功能检测仪，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，候诊室、显像室均为实体屏蔽，配备3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：高活室配备具有防护功能 40mmPb 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。在通风橱内分装放射性药物。通风橱设置专用排风管道，排风口引至楼顶。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。显像室和注射后候诊室等场所产生的放射性废气统一后与通风橱过滤后的通风管道单独管道，最后由高于楼顶的排风口排出。

通风橱性能：同位素药物分装防护室（通风橱）为负压设备，当负压风机进行排风工作时，防护室内为负压状态，负压风速约为 1.7m/秒。

(6) 妥善收集固体放射性废物。已配 3 个铅废物桶（5mmpb）。试剂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。放射性固废根据要求暂存一定时间后自行监测表面污染和辐射剂量水平，如满足清洁解控要求后作为医疗废物处理。

(7) 放射性废水收集处置：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，通过专用管道一并进入放射性废水衰变池。1 个的衰变池，核医学科楼外西侧设有推流式衰变池，其总容积约为 113.4m³，能够满足《北京市生态环境局办公室关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》规定的清洁解控要求。

(8) 核医学科设置储源室，用来贮存 V 类校验密封源。设置闭路监视和放闯入等技防系统，安装有防盗门，符合公安标准要求。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) 核医学科已配 2 台多功能检测仪，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。辐射工作人员通过辐射安全与防护培训后上岗工作。

10.3 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，现对中日友好医院从事本项目辐射活动

能力评价列于表 10-3 和表 10-4。

10.3.1 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。	已成立辐射防护领导小组，全面负责医院的辐射防护监督和管理工 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。	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认可培训机 构组织的辐射安全与防护培训，并 经考试合格后上岗。每4年参加复 训，并制定了辐射工作人员培训计 划。 核医学科现有专业技术人员 16 人（含 2019 年新增 3 人），均已 参加辐射防护与安全知识培训。	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。	储源室已安装视频监控和红外 报警系统和公共安全管理部 门要求的防盗门，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。	在核医学场所控制区入口 处，机房门口、患者候诊室 门口等位置设置放射性警 告标识和中文警示说明。 机房安装有门-灯联锁安 全装置及工作警示灯。	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。	核医学科已配置 2 台多功 能监测仪，能够满足现在 工作的需要。	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。	有健全的定规章制度、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。	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	高活室内配备手套箱， 设置专用排风管道，排 风引至本建筑物顶部排	符合

	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。	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,衰变至少1年后排入院内污水管网。妥善收集固体放射性废物。废弃的放射性药物、注射器、包装物、棉棒、一次性用品等物品放入专用铅制储存箱,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。	
8	有完善的辐射事故应急措施。	已制定有完善的辐射事故应急措施。	符合

10.3.2 《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-灯联锁安全装置及工作警示灯。储源室出入口已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。</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放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</p>	<p>承诺每年1月31日前向生态环境部门提交年度</p>	符合

	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。	评估报告。	
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培训计划。</p> <p>核医学科现有专业技术人员16人（含2019年新增3人），均已参加辐射防护与安全知识培训。</p>	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>	符合
6	<p>第二十四条</p> <p>生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，不具备个人剂量监测能力的，应当委托具备条件的机构进行个人剂量监测。</p>	<p>已委托有资质单位对辐射工作人员进行个人剂量监测。</p>	符合

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 建设期环境影响

该项目施工活动对环境的影响主要是机房改造过程中产生的噪声、粉尘以及振动等，为了不影响周围环境，在机房改造过程中，将采取一些降噪、防尘措施。如在施工现场设置隔离带、设立声障，这样既可有效的减少扬尘的污染，又可降低噪声；合理安排施工时间，对振动较大的施工，尽量安排在下班或节假日进行。本项目工程量小，且施工都在医院内进行，并且项目所在地区的地面已经过硬化，无裸露地面，因此产生的扬尘相对较小，因此基本不影响单位和周围其他单位的正常工作。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 核医学科布局及辐射防护措施分析

11.2.1.1 选址设计合理性分析

核医学科为原来许可场所，位于医院 C 楼一层，东侧、南侧为院内通道、西侧为污水处理站、北侧为放射诊断科 CT 室；核医学科楼上为放射诊断科，无地下室，核医学科为相对比较独立区域，在核医学科入口第二道门设置门禁系统，只有本科室工作人员有授权，出口位于核医学科的东侧。场所 50m 内都是医院内部，核医学科运行期间未发生过辐射事故，且为相对独立的一处非密封放射性工作场所，使用放射性同位素过程中对周围环境和公众的影响很小，该项目选址合理。

11.2.1.2 建筑布局合理性分析

核医学科从平面图上可分为两个区，一区为非放射性清洁区，包括办公区、登记室、浴室；二区为放射性同位素药物给予和核医学检测等工作区，其中包括两间 ECT 检查室、PET/CT 机房及其控制室、候诊室、高活室、储源室、功能室（吸碘室）、药物负荷室、患者卫生间以及放射性废液衰变池（1 个 113.4 m^3 的衰变池，核医学科楼外西侧）等，改建后的平面布局详见图 11-1 和附图 3。

场所布局考虑了放射性工作场所与非放射性工作场所分开，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相对分开，尽可能的避免了人员受辐射影响，平面布局合理。



图 11-1 改建后核医学科平面布局图

11.2.1.3 核医学科人流、物流等设计合理性分析

核医学科场所设南侧入口和东侧患者出口，检查操作区入口和患者出口均设有门禁系统，只有本科室工作人员有授权，人流、物流示意图见附图 5。

(1) 功能分区

本项目核医学科设置控制区（两间 ECT 检查室、PET/CT 机房及其控制室、候诊室、高活室、储源室、功能室、药物负荷室、患者卫生间等）、监督区（控制室和控制区毗邻区域等），详见图 11-1。在核医学科出入口都设有门禁系统，检查室门外、储源库门口、废物间门口均设置明显的电离辐射警告标志。

本项目非密封放射性物质工作场所控制区、监督区划分明确、独立，设置合理，满足辐射防护管理和职业照射控制要求。

(2) 患者显像检查流程

患者在候诊区进行登记——患者在注射前候诊区候诊——由登记核实后由门禁进入检查区——在注射室窗口接受注射——在候诊区休息——按检查要求排尽小便——扫描检查（通过广播、视频监控）——检查完毕，由核医学科东侧带有门禁的通道门离开工作场所。

(3) 工作人员工作流程

工作人员从南侧通道进入缓冲间（浴室）——更换鞋和工作服——引导受检者接受药物注射，在指定区域候诊，交待注意事项，或进行药物接收、质检、分装和注射操作——工作结束后在缓冲间更换工作服、工作鞋后离开。

(4) 放射性物品流转过程

放射性药物由供货公司通过核医学科南侧——→由患者出口进入并送至高活室——→在核医学科高活室（分装室）内药品管理员与送货人员办理验收交接手续——→记录药品规格、批次、数量以及收货时间——→药品暂存于放射性药物和放射源暂存库——→在高活室通风橱内进行药物分装和注射操作——→废弃的放射性污染材料暂存在废物间专用废物桶内——→待满足清洁解控环境管理要求后，转移至医院医疗废物贮存间集中进行处理。剩余的放射性药物连同包装容器由供货方在下次送药时收回。

(5) 放射性废物转移路线

注射窗旁设置一个含5mm铅的废物桶，存放废弃的放射性药物、注射器、包装物、棉棒、一次性用品等，按日期于次日早晨转移至废物间。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，待放射性固废放置一个月后，清洁解控处置，作为医疗废物处理，从废物间西侧出口运出，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

核医学产生的放射性废水为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。这些放射性废水经独立的排水管道从地面下排入位于核医学科楼外西侧地下的放射性废水衰变池(槽式，总体积为 113.4m³，设有 5 级池，第一级池的体积为 37.8m³，后四级池的体积均为 25.2m³，衰变池结构见图 11-2)，能够满足低放废液的排放要求。衰变池排出的废水，将经医院污水管网，排至市政污水处理厂。非放射性清洁区产生的废水直接排入院内医疗污水收集系统，与放射性废水收集排放系统相互独立。

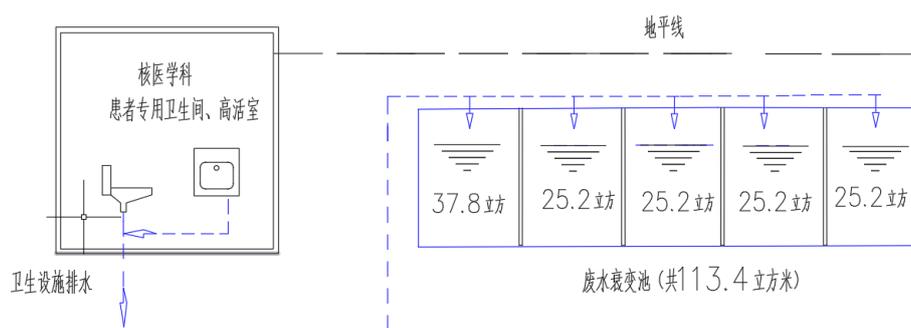


图 12-2 核医学科放射性废水收集排放系统设计示意图

(7) 放射性废气组织路径

高活室内配置 1 个有独立排风的手套箱。放射性药品的分装等操作在手套箱内进行。手套箱排风管道沿墙壁引至房顶排放。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。

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、扫描前等候和扫描检查区域划分明确，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。建议医院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。

11.2.2 贯穿辐射分析

(1) 估算方法

将接受药物注射后的患者身体、装有放射性药物的注射器近似作为点源，依照剂量率和距离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，估算高活室、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照射剂量。本项目是在已许可的使用场所进行局部防护改造，改造后降低了对工作人员附加剂量影响，部分环节可以采用类比方法进行评价，本项目除了增加 F-18 使用量外，其它核素许可用量维持不变，但钨气发生器是新增检查，本项目以 F-18、Tc-99m（钨气发生器）进行评价。

(2) 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，每个工作日开展 PET-CT 检查 25 例，全年开机 250 天，共检查 6250 人次，扫描时间 20min/人次，则全年累计总扫描时间 2083h/a；注射药物后单例候诊平均时间 60min/人次，医院在核医学科内设置了普通注射后候诊区及 VIP 候诊区，根据医院预估的病患情况，普通注射后候诊区每年约候诊 4000 人次，VIP 候诊区约 2250 人次，故普通注射后候诊区有给药病人停留的累计时间约 4000h/a，VIP 候诊区有给药病人停留的累计时间约为 2250h/a。

(3) 辐射源项

根据 AAPM Task Group 108 报告, 核素 F-18 的 K_{γ} 常数为 $0.143\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$, 给患者注射 370MBq F-18 后, 距离患者 1m 处的剂量率为 $34\mu\text{Gy}/\text{h}$ (患者自吸收因子为 0.36), 铅屏蔽的十值层 $\text{TVL}=16.6\text{mm}$, 混凝土屏蔽的 $\text{TVL}=176\text{mm}$ ($\rho=2.35\text{t}/\text{m}^3$), 重晶石混凝土屏蔽的 $\text{TVT}=129\text{mm}$ ($\rho=3.2\text{t}/\text{m}^3$), 砖混屏蔽的 $\text{TVL}=258\text{mm}$ ($\rho=1.6\text{t}/\text{m}^3$)。

(4) 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 后的活度衰减因子为 0.68, 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, 相关场所主要位置的年附加剂量估算见表 11-2, 核医学科相关场所估算点位置见图 11-3。



图 11-3 核医学科相关场所估算点位置图

表 11-1 注射 F-18 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	屏蔽后剂量率 ($\mu\text{Gy}/\text{h}$)
注射后 VIP 候诊室外	东墙外走廊*	4.1	200mm 砼	7.31E-02	0.15
	南墙外通道	2.1	150mm 重晶石砼	6.87E-02	0.53
	西墙外注射后患	1.5	150mm 重晶石砼	6.87E-02	1.04

	者候诊室外				
	北墙外出口通道	2.1	150mm 重晶石砼	6.87E-02	0.53
	防护门外通道	2.1	5mmPb	5.00E-01	3.85
	楼上放射科*	3.6	250mm 砼	3.80E-02	0.10
注射后 候诊室 外	东墙外 VIP 候诊室	1.4	150mm 重晶石砼	6.87E-02	1.04
	南墙外通道	2.1	150mm 重晶石砼	6.87E-02	0.53
	西墙外通道	1.4	150mm 重晶石砼	6.87E-02	1.04
	北墙外出口通道	2.1	150mm 重晶石砼	6.87E-02	0.53
	防护门外通道	2.1	5mmPb	5.00E-01	3.85
	楼上放射科*	3.6	250mm 砼	3.80E-02	0.10
PET/CT 室	东墙外走廊*	3.9	200mm 砼	7.31E-02	0.11
	南墙外控制室*	3.3	150mm 重晶石砼	6.87E-02	0.15
	南墙观察窗外控制室*	4.3	6mmPb	4.35E-01	0.80
	控制室门外*	4.4	5mmPb	5.00E-01	0.88
	西墙外走廊	3.9	150mm 重晶石砼	6.87E-02	0.10
	北墙外通道	3.5	150mm 重晶石砼	6.87E-02	0.13
	机房门外通道	3.5	5mmPb	5.00E-01	0.94
	楼上放射科*	3.6	250mm 砼	3.80E-02	0.07
卫生间	东墙外走廊	3.2	150mm 重晶石砼	6.87E-02	0.23
	东墙外走廊	3.2	3mmPb	6.60E-01	2.19
	西墙外核医学科办公区走廊*	1.6	200mm 砼	7.31E-02	0.97
	南墙外浴室*	1.3	240mm 砼	4.33E-02	0.87
	北墙外功能室	1.3	240mm 砼	4.33E-02	0.87
	楼上放射科*	3.6	250mm 砼	3.80E-02	0.10

注：屏蔽后剂量率由公式 $DI = 0.64 \times K_{\gamma} \times A_0 \times B \times R_{TU} / d^2$, $B = 10^{-\frac{x}{\text{Pb}}}$ 算出，其中 A_0 为给

患者注射活度， χ 为墙体厚度， R_{IU} 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 机房的剂量率考虑候诊期间的衰减因子。标注*的位置为监督区。

由表 11-1 可见：控制区边界外的普通区域和监督区，如控制室、东侧走廊等位置,最大附加剂量率为 $0.88\mu\text{Sv/h}$ ，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。

表 11-2 相关场所主要位置的年附加剂量估算

位置	附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	居留因子	年附加剂量 (μSv)
注射后患者候诊室楼上为放射科（公众）	0.10	1/4	83
注射后 VIP 候诊室东墙外走廊（公众）	0.15	1/16	17.5
PET-CT 机房操作位（工作人员）	0.80	1	1666

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）。全年累计总扫描时间 2083h/a；注射后候诊区有给药病人停留的累计时间约 4000h/a，VIP 候诊区有给药病人停留的累计时间约为 2250h/a。

（5）公众年附加有效剂量

核医学科场所分区管理，病人给药、候诊和检查区域属于控制区，通常只有受检病人停留，不按公众区域考虑，因此公众年附加剂量位只考虑控制区毗邻的相关场所，则该场所公众年附加有效剂量不大于 $83\mu\text{Sv}$ ，低于设定的剂量约束值（ $100\mu\text{Sv}$ ）。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， $T < 1/40$ ）。

（6）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

该场所注射 F-18 核素，由供药方直接送到 PET/CT 场所高活室（分装室），放置通风厨内，进行分装后提供给病人注射。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 $670\mu\text{Sv/h}$ 。分装时采

用了具有 40mm 铅防护功能的铅玻璃进行防护，衰减因子为 3.89×10^{-3} ，衰减后为 $2.61 \mu\text{Sv/h}$ 。分装操作时间短，假设每支的分装时间为 60s，年总操作时间约 104h，则工作人员所受的年附加剂量为 $271 \mu\text{Sv}$ ，分装时活度是逐渐增加，分装过程不是始终暴露屏蔽之外，因此工作人员共所受到的实际年附加有效剂量小于 $261 \mu\text{Sv}$ 。

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 $670 \mu\text{Sv/h}$ 。分装时采用了具有 40mm 铅防护功能的铅玻璃进行防护，衰减因子为 3.89×10^{-3} ，衰减后为 $2.61 \mu\text{Sv/h}$ 。注射操作时间短，假设每人每次的注射时间为 60s，年总操作时间约 104h，则工作人员所受的年附加剂量为 $271 \mu\text{Sv}$ ；距注射器手指处的剂量率为 $18 \text{mSv} \cdot \text{min}^{-1} / (370 \text{MBq})$ ，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 机房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（至少经过了 60min 衰变），距患者 100cm 处摆位环节时人的深部当量剂量率为 $23.1 \mu\text{Sv/h}$ ($34 \mu\text{Gy/h} \times 0.68$)，全年进行检查人数 6000 人次，假设每个病人摆位 60s，年总摆位时间约 104h，则工作人员共所受到的年附加剂量 $2402 \mu\text{Sv}$ ，医院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 $2402 \mu\text{Sv}$ 。

4) PET-CT 机房操作室内工作人员的年受照剂量

由表 11-2 可知，PET-CT 机房操作室内的工作人员的年附加剂量为 $1666 \mu\text{Sv}$ 。

5) F-18 核素各环节附加有效剂量

根据以上结果工作人员各环节附加有效剂量见表 11-3。

表 11-3 核医学科工作人员各环节附加有效剂量 (μSv)

环节	分装	注射	摆位	操作室	合计
F-18 核素	271	271	2402	1666	4610

(7) 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 550MBq (15mCi) 的 Tc-99m，距 30cm 处人的深部当量剂量率为 $143 \mu\text{Sv/h}$ 。按照一天 2 例病人，一年 500 例病人，年操作时间为 8.3h，则工作人员加样环节所受年附加剂量为 $1187 \mu\text{Sv}$ 。

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 30cm，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为 $0.26 \times 20 \times 2 \times 5 / 60 \times 500 = 433 \mu\text{Sv/h}$ ，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 $3.24 \mu\text{Sv}$ 。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 500 位受检患者，工作人员在高活室内照射的时间为 5000min，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 195×10^{-3}

$\text{MBq/m}^3 \times 0.02\text{m}^3/\text{min} \times 5000\text{min} \times 10\mu\text{Sv/MBq} = 195\mu\text{Sv}$ 。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，实测值为 1.7m/s），工作人员实际内照射剂量要远小于理论估算值。

5) 锝气发生器致工作人员附加有效剂量

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 $1187+433+195=1815\mu\text{Sv}$ 。

(8) 工作人员受照剂量

现医院注射和操作设备等均由技师完成，核医学科内目前有 8 名技师，每半月轮换一次，保守假设 1 名工作人员从事所有环节（分装、注射、摆位、操作室等环节）工作的四份之一，年受照总剂量约 1.6mSv ($1.815+4.6=6.415/4$)，即使累加年度个人剂量检测值，也低于本项目设定的年剂量约束值 5mSv/a 要求。

11.2.3 类比分析

本项目除了增加 F-18 使用量外（检查 20 人/天增加到 25 人/天），其它核素许可用量维持不变，可以用核医学科辐射工作人员的年受照剂量类比估算。

根据医院 2017 年度和 2018 年度个人剂量检测结果表明，本项目核医学科相关人员的 2017 年度个人剂量最大值为 $381\mu\text{Sv/a}$ ；2018 年度个人剂量最大值为 $478\mu\text{Sv/a}$ 。

保守按工作量增加 2 倍估算后，辐射工作人员的年受照剂量不大于 0.72 mSv，也能满足年剂量约束值 5mSv/a 要求。

11.2.4 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操作柜，安装独立的通风系统。高活室通风柜排风引至本建筑物三层顶部排出。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。含 F-18 显像用药物物理性质稳定。静脉注射给药属很简单操作。本项目药物活度测定和抽取操作也属于很简单操作。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。医院委托设备厂家定期检查维护药物通风柜的吸附过滤装置，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 30 天后并经检测，合格后按照普通医疗废物进行处置。

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，停止吸气吸入后，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，来减少Tc-99m气溶胶弥散情况

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，仍有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。高活室排风中的极少量放射性物质经大气扩散后浓度会更低，且偶发排放对周围公众的剂量贡献很小。安装的通风橱应达到相关法规要求（通风橱在半开条件下，风速为1.7m/s）。

（2）放射性液体废物

核医学科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汇入位于核医学科西侧的地下放射性废水衰变池（见图11-2），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。

衰变池采用推流式工作模式，放射性废水从核医学科流向衰变池，总体积为113.4m³，设有5级池，第一级池的体积为37.8 m³，后四级池的体积均为25.2m³。核医学科所有项目满负荷运行时，假设每天有60名患者排便，4L/每人（包括冲洗水），保守估计产生的放射性废水共约5.28m³/月，年产生量约为63.3m³，衰变池贮存废水的时间周期至少18个月以上，预计其排泄物活度浓度和总活度衰变后远低于豁免水平。

目前，中日友好医院核医学只使用Tc-99m、F-18两种诊断核素和I-131治疗核素（用于门诊甲亢治疗），中日友好医院按照《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。放射性废水在排放前，应委托有资质的检测机构（CMA或CNAS）对拟排放的废水进行检测。通过现场查看，目前衰变池第一级未满，一年内不会排放放射性废液。

（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。高活室内配置 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。放射性废物暂存至少一个月，经监测确认达到清洁解控水平要求后，作为医疗废物处置。

本场所放射性固体废物现产生量约 50kg/a，本项目运行后保守估计年产生放射性固体废物为 75kg。此外，高活室每年更换通风橱活性炭过滤器，预计额外产生 20kg 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，存放超过至少一个月后，经监测确认达到清洁解控水平要求后作为危险废物处置。

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》，本项目使用核素含有 B 类（主要是 A 类），放射性固体废物在废物间内暂存衰变时间超过 30 天后（B 类：放射性固体废物暂存时间超过 10 倍最长半衰期后），使用经检定或校准合格的监测仪器对废物逐袋进行表面巡测，辐射剂量率低于 200nSv/h 且 α 、 β 表面污染水平分别小于 0.08 Bq/cm² 和 0.8Bq/cm²，可对废物解控作为医疗废物处置，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。

11.3 异常事件分析与防范建议

(1) 事件（故）分析

本项目主要使用 F-18 和 Tc-99m 作为显像药物，I-131 用于甲亢患者治疗，患者在医院的驻留时间短，在正常运营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。

2) 操作不当或患者不配合引起的 Tc-99m 气溶胶弥散

患者在吸气时与工作人员配合较差，导致 Tc-99m 气体泄漏或逸出，或者

吸药结束后工作人员未要求患者继续呼吸以清除管道和患者气道中的 Tc-99m 气体,造成 Tc-99m 气体弥散,锡气发生器装置或阀门泄露造成 Tc-99m 气体泄漏或逸出。

3) 放射性废物管理不善

关于放射性药物意外洒漏,核医学科已制定应急处理程序,应包括以下内容:使用表面污染仪检测确定污染范围与程度;使用应急器具按程序擦拭与处置污染;对难于清除剩余污染的场地标识与保护,经时间衰变达到允许水平;以及洒漏事件报告等。

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。

4) 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。

(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;

2) 工作人员应嘱咐患者正确的吸气方式,严格遵守操作规程,吸入管道或面罩连接好患者之前,不能开启病人通气开关,停止锡气吸入后,继续连接吸入器并在传送开关开启状态至少呼吸 5 次,以清除管道和病人气道中的放射性气体,石墨坩埚易碎,要谨慎安装并确保接触良好。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。

3) 安保措施:核医学科场所高活室拟安装防盗门,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。

4) 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。

5) 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。

6) 放射性废物管理: 设立专用的放射性废物间, 配置 3 个铅制废物桶。收集高活室和注射间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。

7) 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。

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

目前医院的管理小组能够满足要求，管理小组保持不变。

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

核医学科现有核医学专业技术人员 16 人（含 2019 年新增 3 人），均已参加辐射防护与安全知识培训，本项目相关辐射工作人员情况见表 12-1。

表 12-1 本项目相关辐射工作人员基本情况一览表。

序号	姓名	性别	工作岗位	学历	辐射安全与防护培训时间	培训证号	2017 年度个人剂量	2018 年度个人剂量
1	王猛	男	核医学	本科	2017-10	B1737004	144	144

2	刘杰	男	核医学	硕士	2016-1	B1605080	144	144
3	刘鸿娥	女	核医学	大专	2016-1	B1605079	144	478
4	颜珏	女	核医学	硕士	2016-1	B1605083	144	144
5	李玲	女	核医学	硕士	2017-10	B1737002	/	144
6	刘晓建	男	核医学	本科	2016-1	B1605081	381	587
7	李环	女	核医学	硕士	2016-1	B1605078	144	144
8	金超岭	男	核医学	本科	2017-10	B1737003	344	446
9	甄力蔚	女	核医学	本科	2016-1	B1605085	144	144
10	尹立杰	男	核医学	硕士	2016-1	B1605084	144	144
11	郑玉民	男	核医学	博士	2016-1	B1605086	144	144
12	李红磊	男	核医学	本科	2016-1	B1605077	181	427
13	韩萍萍	女	核医学	博士	2017-10	B1737001	144	144
14	刘鹏	男	核医学	本科	2019-1	京 201901174		
15	王玲	女	核医学	博士	2019-1	京 201901176		
16	富丽萍	女	核医学	博士	2019-1	京 201901178		

12.2 辐射安全管理规章制度

中日友好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

中日友好医院制订了辐射工作人员个人剂量监测的管理要求，并已将辐射工作人员个人剂量监测工作纳入全院辐射监测计划体系，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目前已委托北京贝特莱博瑞技术检测有限公司承担，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，由专人负责收集人员佩戴的剂量计送检更换，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。

12.3.2 工作场所和辐射环境监测

中日友好医院已配置 6 台便携式防护检测仪，已配 9 台个人剂量报警仪等，可以满足实际工作的需求，已配备仪器仪表情况见表 12-2。本项目继续使用 2 台手持式多功能辐射沾污仪，由核医学科技师负责装置运行中的日常监测。

表 12-2 已有的辐射监测仪器和个人剂量报警仪

序号	名称	型号	仪器状态	购买时间	已有数量	使用科室	备注
1	防护剂量仪	PDRI	使用	1984 年	1	放疗科	
2	手持式多功能辐射沾污仪	INSPECTOR	使用	2008 年、2019 年	4	核医学科、医工科、粒子场所	
3	辐射监测系统	Alako	使用	1984 年	1	放疗科	
4	固定式 X/γ 射线报警仪	SB-1 型	使用	2017 年	2	放疗科	
5	巡检仪	FLUKE-451P	使用	2017 年	1	放疗科	
6	个人剂量报警仪	FJ-2000	使用	2017 年	9	放疗科	

12.3.3 本项目工作场所自行监测方案

中日友好医院已建立辐射环境自行监测记录或报告档案，并妥善保存，接受环境保护行政主管部门的监督检查。本项目自行监测方案如下。对现有辐射工作场所进行监测，辐射工作场所的检测点位及频次见表 12-3 和表 12-4，检测点位见图 12-1。

表 12-3 核医学科场所 γ 辐射剂量率监测情况表

场 所	测点位置	检测频次
PET/CT 机房、两间 ECT 检查室	机房门外（关门）	1 次/年
	东、西、南、北墙外	1 次/年
高活室	室中央	1 次/星期
	通风橱内	1 次/星期

	通风橱铅玻璃外	1次/星期
用药后候诊区、药物负荷室	门外（关门）	1次/年
源室	门外	1次/年
废物间	门外	1次/年

表 12-4 核医学科场所表面污染检测结果

场 所	测 点 位 置	监 测 频 度
高活室	注射台上手垫	1次/星期
	注射台上垫布	1次/星期
	注射台	1次/星期
	废物桶	1次/星期
	地面	1次/星期
	活度计台面	1次/星期
PET/CT 机房、两间 ECT 检查室	地面	1次/月
	检查床	1次/月
用药后候诊区、用药后候诊区、卫生间	候诊椅	1次/月
	桌面	1次/月
	垃圾桶	1次/月
	水池	1次/月
	地面	1次/月

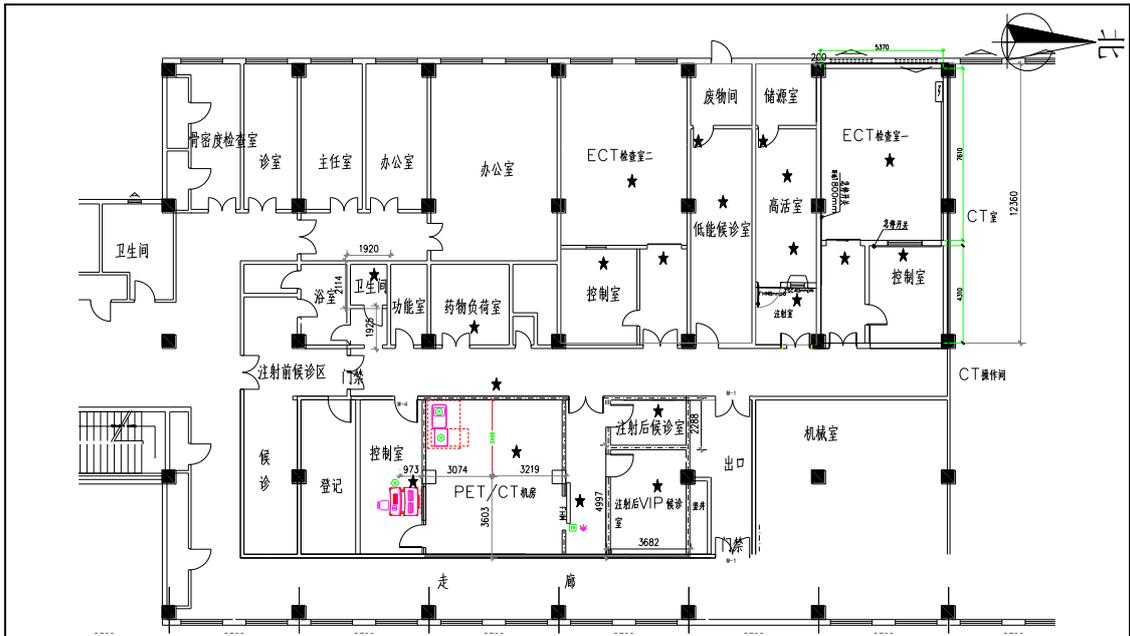


图 12-1 中日友好医院血管造影室自行检测点位图（标注★为检测位置）

12.4 辐射事故应急管理

中日友好医院制定了《辐射事故（件）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 12-5 中。

表 12-5 项目环境保护竣工验收内容

验收内容	验收要求
剂量管理约束值	根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和环评报告建议，公众、职业照射剂量约束值执行 0.1mSv/a 和 5mSv/a。辐射工作场所控制区周围辐射剂量率不大于 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 and 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	高活室采用实体屏蔽措施，安装防盗门、电视监控系统和防盗报警装置，满足生态环境部门和公安部门有关安全保卫的要求。
辐射监测	有满足管理要求的辐射监测制度；监测记录存档；配备 2 台多功能检测仪。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，配备具有屏蔽功能的放射性固体废物桶；建造放射性废水衰变池；药物标记间安装通风橱。高活室建设独立通风系统，排风速率满足辐射安全需要。
规章制度	建立健全包括放射性同位素与射线装置在内的辐射安全管理制度，并有效贯彻落实。
人员培训	本项目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	针对使用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 实践正当性分析

中日友好医院持有辐射安全许可证《辐射安全许可证》(京环辐证[E0117])。根据医院发展要求,为更好满足患者诊疗需要,中日友好医院拟对 C 楼一层现已许可的核医学科进行局部改造,不改变核医学科功能,属于核医学科专业,符合执业范围要求。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

本项目核医学科场所为许可的使用场所,对其进行内部局部改造,充分考虑了周围场所的防护与安全,以及患者就诊和临床应用的便利性,为相对独立的区域,对公众影响较小,场所设有 ECT 检查室、PET/CT 机房及其控制室、候诊室、高活室、储源室、功能室(吸碘室)、药物负荷室、患者卫生间等,其选址和布局设计基本合理,控制区和监督区划分明确,满足辐射工作场所安全使用的要求。因而从辐射环境保护方面论证,该项目选址是可行的。

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 95kg（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本建筑物楼顶排出，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：

核医学科场所检查工作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、废物间和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。有较健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、人员培训计划、健康体检制度、辐射事故应急预案和设备检修维护制度等，日后将不断完善。

（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，中日友好医院核医学科改造项目，相应的辐射安全制度和辐射防护措施基本可行，在落实项目实施方案和本报告表提出的污染防治措施及建议前提下，其运行对周围环境产生的辐射影响可控，符合环境保护的要求。故从辐射环境保护角度论证，本项目的运行是可行的。

13.2 承诺

- （1）项目竣工后尽快自行办理环保验收，并接受生态环境部门的监督检查。
- （2）遵守有关法律、法规的规定，执行管理制度，落实管理责任。
- （3）在项目运行过程中不违规操作和不弄虚作假。

(4) 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。

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