

顺义院区新建核医学科项目

竣工环境保护（分段）验收监测报告表

建设单位：首都医科大学附属北京友谊医院

编制单位：北京辐环科技有限公司

2024年10月

建设单位法人代表：

(签字)

编制单位法人代表：

(签字)

项目负责人：

(签字)

填表人：

(签字)



建设单位：首都医科大学附属北京友谊医院 (盖章)

电话：13522599863

传真：/

邮编：101318

地址：北京市西城区永安路 95 号，北京市通州区潞苑东路 101 号院，通州区运河东大街 57 号院 3 号楼，北京市顺义区后沙峪镇友谊南街 1 号院



编制单位：北京辐环科技有限公司 (盖章)

电话：010-57851588

传真：/

邮编：100142

地址：北京市海淀区西四环北路 160 号玲珑天地 A 座 331 室

目 录

表 1	项目基本情况	1
表 2	项目建设情况	11
表 3	辐射安全与防护设施及措施.....	25
表 4	环境影响报告表主要结论及审批部门审批决定.....	48
表 5	验收监测质量保证及质量控制.....	54
表 6	验收监测内容	55
表 7	验收监测	58
表 8	验收监测结论	71

附图、附件：略

表 1 项目基本情况

建设项目名称	顺义院区新建核医学科项目				
建设单位名称	首都医科大学附属北京友谊医院				
项目性质	√新建 □改建 □扩建				
建设地点	北京市顺义区后沙峪镇友谊南街 1 号院				
源项	放射源		/		
	非密封放射性物质		F-18、Ga-68、Tc-99m、I-123、I-131 等		
	射线装置		1 台 PET/CT、1 台 SPECT/CT		
建设项目环评批复时间	2023.02.22	开工建设时间	2023.03.01		
取得辐射安全许可证时间	2024.04.22	项目投入运行时间	2024.04.23		
辐射安全与防护设施投入运行时间	2024.04.23	验收现场监测时间	2024.05.22~05.23		
环评报告表审批部门	北京市生态环境局	环评报告编制单位	北京辐环科技有限公司		
辐射安全与防护设施设计单位	/	辐射安全与防护设施施工单位	/		
投资总概算 (万元)	15000	辐射安全与防护设施投资总概算 (万元)	2000	比例	13.3%
实际总概算 (万元)	8000 (阶段)	辐射安全与防护设施实际总概算 (万元)	800 (阶段)	比例	10.0% (阶段)
验收依据	<p>1.1 环境保护相关法律、法规和规章制度</p> <p>(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 日起施行)。</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》(2018 年 12 月 29 日修订并施行)。</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》(中华人民共和国主席令第六号, 2003 年 10 月 1 日起施行)。</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》(国务院令 第 682 号, 2017 年 10 月 1 日修订并施行)。</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(国务院令 第 709 号, 2019 年 3 月 2 日修订并施行)。</p>				

- (6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（生态环境部令 第 20 号），2021 年 1 月 4 日起实施）。
- (7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部第 18 号令，2011 年 5 月 1 日起施行）。
- (8) 《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）。
- (9) 《北京市环境保护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）。
- (10) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部 公告 2019 年第 57 号，2019 年 12 月 24 日）。
- (11) 《关于进一步优化辐射安全考核的公告》（生态环境部公告 2021 年第 9 号，2021 年 3 月 11 日）。
- (12) 《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）。
- (13) 《北京市生态环境局办公室关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》，京环办[2018]13 号，2018 年 12 月 6 日。
- (14) 《辐射安全与防护监督检查技术程序》，生态环境部，2020 年 2 月。
- (15) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，原环保部，环办辐射函〔2016〕430 号。
- (16) 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部令第 9 号，2019 年 9 月 20 日公布，2019 年 11 月 1 日起施行。
- (17) 《产业结构调整指导目录（2024 年）》，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。
- (18) 《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。

1.2 验收技术规范及其它标准

- (1) 《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（生态环境部公告2023年第40号，2024年2月1日实施）。
- (2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）。
- (3) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）。
- (4) 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）。
- (5) 《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）。
- (6) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）。
- (7) 《职业性内照射个人监测规范》（GBZ129-2016）。
- (8) 《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）。
- (9) 《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）。
- (10) 《北京市水污染物综合排放标准》（DB11/307-2013）。
- (11) 公安部《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》（GA1002-2012）。
- (12) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）。
- (13) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）。
- (14) 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）。
- (15) 《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）。
- (16) 《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）。
- (17) 《环境空气质量标准》（GB3095-2012）。
- (18) 《建筑给水排水设计标准》（GB50015-2019）。

1.3 环境影响报告表及其审批部门审批决定

- (1) 首都医科大学附属北京友谊医院《顺义院区新建核医学科项目环境影响报告表》（项目编号：辐审A20230001）。

	<p>(2) 北京市生态环境局关于《顺义院区新建核医学科项目环境影响报告表的批复》(京环审[2023]7号)。</p> <p>1.4 其他相关文件</p> <p>(1) AAPM Task Group 108 : PET and PET/CT Shielding Requirements, Med.Phys. 33 (1), January 2006。</p> <p>(2) Radionuclide and Radiation Protection Data handbook 2002, Vol.98 No 1, 2002。</p> <p>(3) Bernard Shleien.1998. Handbook of Health Physics and Radiological Health.3rd。</p> <p>(4) 辐射安全手册, 科学出版社, 2011年。</p> <p>(5) 医院提供的与建设项目相关的其他技术资料, 2024年01月。</p>						
验 收 执 行 标 准	<p>1.5 基本剂量限值</p> <p>根据《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 1-1。</p> <p style="text-align: center;">表 1-1 个人剂量限值 (GB18871-2002)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%; text-align: center;">辐射工作人员</th> <th style="width: 50%; text-align: center;">公众关键人群组成员</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">连续五年平均有效剂量 20mSv, 且任何一年有效剂量 50mSv</td> <td style="text-align: center;">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</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">眼晶体的当量剂量 150mSv/a 四肢或皮肤的当量剂量 500mSv/a</td> <td style="text-align: center;">眼晶体的当量剂量 15mSv/a 皮肤的当量剂量 50mSv/a</td> </tr> </tbody> </table> <p>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。</p> <p>1.6 剂量约束值</p> <p>职业照射, 本项目辐射工作人员取 2mSv/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。</p> <p>1.7 辐射工作场所边界周围剂量当量率控制水平</p> <p>本项目周围公众除满足上述剂量约束要求外, 周围剂量当</p>	辐射工作人员	公众关键人群组成员	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
辐射工作人员	公众关键人群组成员						
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						

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）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），并结合本项目实际情况，核医学科场所及设施的剂量率控制水平从严控制。本次验收内容核医学科门诊周围剂量当量率限值如下：

- (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 μ 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 μ Sv/h，宜不大于 2.5 μ Sv/h。
- (3) PET/CT、SPECT/CT 在进行给药患者 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 μ Sv/h。
- (4) 手套箱和通风橱外表面 30cm 处的周围剂量当量率不大于 2.5 μ Sv/h。
- (5) 固体放射性废物收集桶外表面 30cm 处的周围剂量当量率不大于 2.5 μ Sv/h。

1.8 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 α 排放限值为 1Bq/L，总 β 排放限值为 10Bq/L。

(2) 放射性废水排放管理要求

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。

本项目放射性废水按 B 类的放射性废水管理收集。B 类放射性废水注满后，暂存时间超过 10 倍最长半衰期且不少于 30 天（其中 I-131 核素产生的废水至少暂存 180 天）后，应委托有资质（CMA 或 CNAS）的检测机构对排放废水中 I-131 核素、

最长半衰期核素的放射性活度浓度进行检测，活度浓度与单次排放总活度值均应满足 GB18871-2002 附录 A 表 A1 的规定。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 α 、总 β 放射性活度监测结果还需满足分别小于 1Bq/L、10Bq/L 的控制值，I-131 的放射性活度浓度应不大于 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。

1.9 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) 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。

4) 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。

(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。

1.10 放射性固体废物管理

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

参照《核医学辐射防护与安全要求》（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），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、B 类固体废物暂存时间超过 10 倍最长半衰期且不少于 30 天（其中含碘-131 核素的废物至少暂存 180 天）后，使用经检定或校准合格的检测仪器对废物表面污染和辐射剂量率水平进行监测，辐射剂量率监测结果为所处环境本底水平且 α 、 β 表面污染水平分别小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 和 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 时，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。

1.11 放射性工作场所分级

按照 GB18871-2002 标准要求，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 1-3。

表 1-3 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 $\sim 2 \times 10^7$

1.12 工作场所放射性表面污染控制水平

按照 GB18871-2002 标准要求，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 1-4。

表 1-4 工作场所的放射性表面污染控制水平 (Bq/cm²)

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

上表中值包括固定污染和松散污染的总数。对于皮肤、内衣、工作袜的污染应及时清理，尽可能达到本底水平。对设备、墙、地面的污染，经适当去污后，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 1-4 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

1.13 操作放射性同位素通风橱及排风口设置要求

《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。

本项目门诊区域环评及批复要求：

①地下二层核医学门诊高活室手套箱、肺通气室集气罩 1 套排风，设高效过滤+活性炭过滤净化装置；②地下二层核医学门诊其他控制区 1 套排风，设活性炭过滤净化装置；③地下三层 2 个衰变池间 1 套单独排风，设活性炭过滤净化装置。都位于医疗综合体西南侧，都高于本建筑物屋顶，高度约 45m（为医疗综合体的最高处）。

活性炭过滤器具体要求：高效过滤器（过滤效率 $\geq 99.97\%$ ）和活性炭过滤器（过滤效率 $\geq 90\%$ ），每个常用活性炭重量不大于 5kg，更换周期为一年。

1.14 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 1-5。

表 1-5 核医学相关工作场所的室内表面及装备结构要求

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

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。

经核算，核医学科门诊属于II类场所，需按照表 1-5 要求，采取屏蔽措施，采用易清洗材料敷设地面，设分装柜和通风设施，设洗手盆和去污设备。

1.15 射线装置机房屏蔽防护基本要求

根据《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)的有关规定:

(1) CT 机房屏蔽防护要求

本项目 PET/CT、SPECT/CT 设备机房屏蔽还执行《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)给出的 CT 机房的屏蔽防护要求。

表 1-6 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量 (mm)	非有用线束方向铅当量 (mm)
CT 机房(不含头颅移动 CT)	2.5	

(2) CT 机房的面积要求

《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)第 6.1 条款指出:机房应满足使用设备的空间要求;对新建、改建和扩建的 X 射线机房,其最小有效使用面积、最小单边长度应不小于表 1-7 的要求。

表 1-7 X 射线设备机房使用面积及单边长度

设备类型	机房内最小有效 使用面积 (m ²)	机房内最小单边 长度 (m)
CT 机房(不含头颅移动 CT)	30	4.5

1.16 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 O₃ 和 NO₂ 的浓度限值分别为 0.3mg/m³和 5mg/m³。

(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 GB3095-2012《环境空气质量标准》中的二级浓度限值,臭氧的 1 小时平均浓度 0.2mg/m³, NO₂ 的 1 小时平均浓度 0.2mg/m³。

表 2 项目建设情况

2.1 项目建设内容

2.1.1 建设单位情况

首都医科大学附属北京友谊医院（以下简称“北京友谊医院”或“医院”）始建于 1952 年，原名为北京苏联红十字医院，是新中国成立后，由党和政府建立的第一所大型综合性医院。1970 年，周总理亲自命名为“北京友谊医院”。

经过 70 余年的发展，首都医科大学附属北京友谊医院已发展为集医疗、教学、科研、预防为一体的北京市属三级甲等综合医院，是国家消化系统疾病临床医学研究中心和消化健康全国重点实验室依托单位，国家中西医结合“旗舰”医院试点单位，首都医科大学第二临床医学院。进入新时代，医院顺应首都发展变化，立足北京“四个中心”功能定位，落实北京城市总体规划，服务非首都功能疏解，形成了西城院区、通州院区、顺义院区和城市副中心行政办公区门诊部“三区一部”新发展格局，为医院高质量发展奠定基础。2023 年 12 月，通州院区二期项目开诊运行。2024 年 4 月 26 日，顺义院区开诊，成为顺义区首家三甲综合医院。

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

医院拥有北京临床医学研究所、北京热带医学研究所、北京市中西医结合研究所、北京市临床药学研究所和北京市卫生局泌尿外科研究所等 5 个研究机构，拥有国家临床重点专科 10 个，博士点 27 个，硕士点 32 个，国家住院医师规范化培训专业基地 17 个，国家专科医师规范化培训试点基地 4 个，全国重点实验室 1 个，北京市重点实验室 4 个，北京市临床质控中心 4 个，北京市转化中心 1 个，还拥有支撑临床研究发展的国家消化系统疾病临床医学研究中心、消化健康全国重点实验室、北京市首批示范研究型病房、北京临床研究质促中心、ISO9001 认证生物样本库、多中心互认医学伦理平台等。医院与海外

及国内优秀医学院校长期保持学术交流合作，接待国内外专家学者和留学生短期交流及来院参观见习。

北京友谊医院已取得了北京市生态环境局颁发的《辐射安全许可证》（京环辐证[B0353]），有效期至 2027 年 09 月 14 日，许可的种类和范围是：使用 V 类放射源，使用 II 类、III 类射线装置，使用非密封放射性物质，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所。详见附件 1。

2.1.2 项目建设内容及规模

本项目位于北京市顺义区后沙峪镇友谊南街 1 号院，在医疗综合体地下二层、三层新建核医学科，含 3 个非密封放射性物质工作场所。环评及批复具体内容如下：

(1) 在地下三层西南角新建正电子药物制备区（乙级），使用 1 台 IBA 公司 Cyclone KIUBE 型 18MeV 回旋加速器，制备（合成、分装）F-18、Ga-68、N-13、C-11 正电子药物；在西南角北侧新建动物 PET 室（丙级），配置 1 台小动物 PET/CT，使用 F-18、Ga-68、N-13、C-11 核素开展小动物实验；

(2) 在地下二层西南角北侧新建核医学科门诊（乙级），配置 1 台 PET/CT、2 台 SPECT/CT，使用 1 枚 V 类 Ge-68 刻度源，使用 F-18、Ga-68、N-13、C-11、Tc-99m、I-123、I-131 核素开展显像诊断，使用 I-131 开展甲功检查。

本次针对上述环评及批复的部分内容进行分段验收，本次分段验收项目位于北京市顺义区后沙峪镇友谊南街 1 号院顺义院区医疗综合体地下 2 层，在核医学科门诊区域第一显像室（SPECT 室 1）配备 1 台 SPECT/CT，第五显像室（PET/CT 室）配备 1 台 PET/CT，使用 F-18、Ga-68、Tc-99m、I-123、I-131 核素开展显像诊断，使用 I-131 开展甲功检查。

除以上分段验收内容之外的其它建设内容（如正电子药物制备区、小动物 PET 室、源库等）尚未建设完成，待建设完成后再另行办理竣工环保验收。

2.1.3 项目建设地点、总平面布置和周围环境敏感目标

(1) 项目建设地点、总平面布置

北京友谊医院顺义院区位于北京市顺义区后沙峪镇友谊南街 1 号院。顺义院区东至天北路道路中线，西至裕泰路道路中线，南至规划路道路红线南边界，北至机场北线南侧绿化用地。顺义院区地理位置见附图 1、总平面图见附图 2。

顺义院区核医学科位于医疗综合体地下二层和地下三层，其中，门诊场所位于地下二层，回旋加速器药物制备场所位于地下三层。本项目涉及的场所为核医学门诊场所，位于医疗综合体地下二层西段，其东侧为停车库，南侧为病房场所，西侧为室外下沉庭院和地下土层，北侧为公共走廊，走廊北侧为放疗中心，楼上为变配电室、血透辅助区，楼下为回旋加速器制药场所和停车库。顺义院区核医学科门诊区域平面布局及分区图见附图 3，门诊区域人流物流见附图 4，地下 2 层周围关系图见附图 5，地下 3 层周围关系图见附图 6，地下 1 层周围关系图见附图 7。

根据现场勘察，本项目顺义院区核医学科的场所位置、布局、毗邻关系均与环评方案一致。

(2) 环境敏感目标分布情况

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为该院区从事本项目操作的辐射工作人员、核医学科周围其他公众成员。

核医学科控制区实体屏蔽外周界向外围扩展 50m 的区域作为评价范围。本项目评价范围示意图见图 2-1 所示，本项目相关场所控制区周围 50m 范围内，无学校、居民楼等敏感目标，都是医院内部，主要为医院医疗综合体内相关诊疗场所和院内区域等。顺义院区核医学科周围 50m 范围内敏感目标分布示意情况见图 2-1，50m 范围内敏感人员情况见表 2-1 所示。

表 2-1 本项目核医学科场所周围 50m 范围内主要保护目标

项目	保护目标	距离 (m)	常居留数量 (人)	方位	周围 50m 范围内主要场所或建筑物
地下 二层 核医 学科 诊疗 区	核医学科工作人员	0~15	20	东侧	核医学科办公区
	公众	16~50	20		其他办公区和停车库
	患者或其他工作公众人员	0~50	15	南侧	核医学科病房、室外庭院和停车位
	患者或其他工作人员	0~10	2	西侧	患者走廊
	/	11~50	/		地下土层
	患者或其他工作人员	0~5	2	北侧	公共走廊
	患者或其他工作人员	6~50	30		放疗中心
	核医学科工作	5	8	楼下	回旋加速器室和停车库

	人员和公众				
	其他工作人员	5	15	楼上（地下一层）	配电室、血透辅助区
	患者或其他工作人员	10	20	楼上（一层）	儿科诊室*
地下三层 正电子核素药物制备区	公众	0~50	5	东侧	停车库
	公众	0~50	2	南侧	衰变池和停车库
	/	/	/	西侧	地下土层
	其他科工作人员	0~50	5	北侧	实验室
	核医学科工作人员和患者	5	30	楼上（地下二层）	核医学科诊疗区
	其他工作人员	10	15	楼上（地下一层）	配电室、血透辅助区

备注：诊疗后的患者出口位于地下一层西侧室外庭院，一层儿科与地下二层之间为配电室、血透辅助区等。

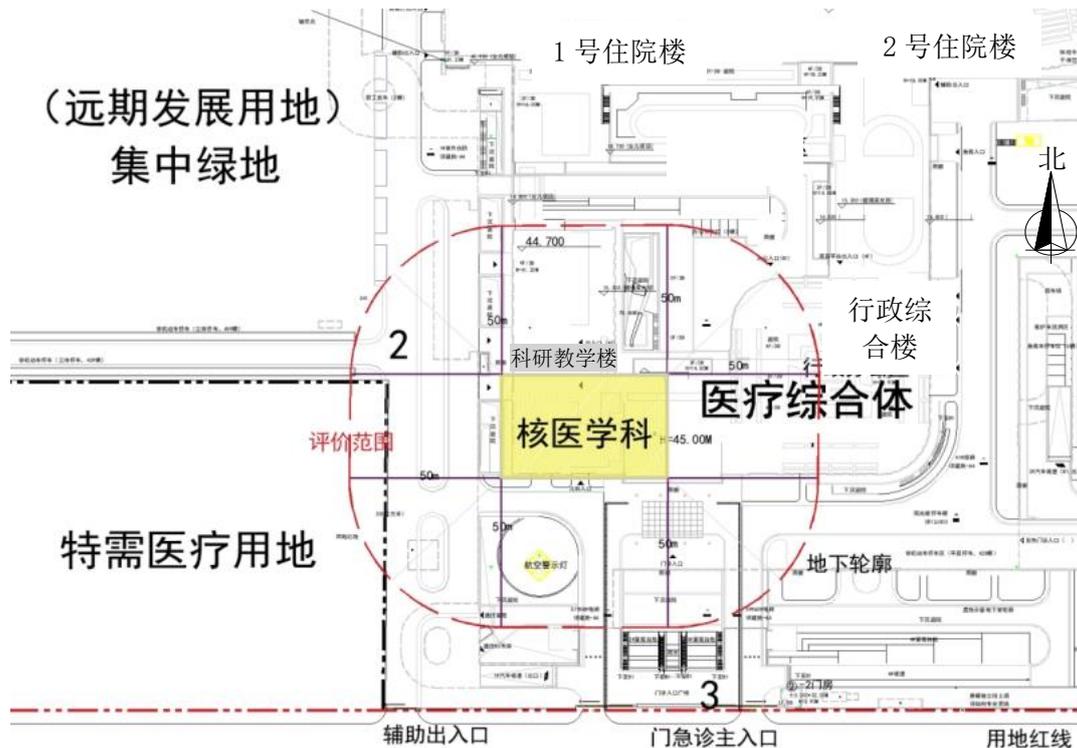


图 2-1 顺义院区核医学科周围 50m 范围内敏感目标示意图

2.1.4 环评及批复建设内容与实际建设内容对照情况

本项目环评及批复的建设内容与实际建设内容对照见表 2-2 所示。

表 2-2 环评及批复的建设内容与实际建设内容对照一览表

序号	环评及审批决定建设内容	实际建设内容
1	<p>拟建项目位于顺义区后沙峪镇顺义新城第 18 街区北部（后沙峪组团）18-01-001 地块，在医疗综合体地下二层、三层新建核医学科，含 3 个非密封放射性物质工作场所。环评及批复具体内容为：</p> <p>（1）在地下三层西南角新建正电子药物制备区（乙级），使用 1 台 IBA 公司 Cyclone KIUBE 型 18MeV 回旋加速器，制备（合成、分装）F-18、Ga-68、N-13、C-11 正电子药物；在西南角北侧新建动物 PET 室（丙级），配置 1 台小动物 PET/CT，使用 F-18、Ga-68、N-13、C-11 核素开展小动物实验；</p> <p>（2）在地下二层西南角北侧新建核医学科门诊（乙级），配置 1 台 PET/CT、2 台 SPECT/CT，使用 1 枚 V 类 Ge-68 刻度源，使用 F-18、Ga-68、N-13、C-11、Tc-99m、I-123、I-131 核素开展显像诊断，使用 I-131 开展甲功检查。</p>	<p>本项目位于北京市顺义区后沙峪镇友谊南街 1 号院（与环评一个地方），已在医院顺义院区医疗综合体地下二、三层新建核医学科，包括正电子药物制备区（乙级）、小动物 PET 室（丙级）和门诊（乙级）三处非密封放射性物质工作场所。</p> <p>本次针对环评及批复的部分内容进行验收，本次分段验收项目位于北京市顺义区后沙峪镇友谊南街 1 号院顺义院区医疗综合体地下 2 层，在核医学科门诊区域第一显像室（SPECT 室 1）配备 1 台 SPECT/CT，第五显像室（PET/CT 室）配备 1 台 PET/CT，使用 F-18、Ga-68、Tc-99m、I-123、I-131 核素开展显像诊断，使用 I-131 开展甲功检查。本次验收内容已建成，且落实了辐射安全和防护内容，并已重新申领了辐射安全许可证。</p> <p>除以上分段验收内容之外的其它建设内容（如正电子药物制备区、小动物 PET 室、源库等）尚未建设完成，待建设完成后另行办理竣工环保验收。</p>

经现场勘察，本项目实际建设地点、建设内容与环评及批复内容一致。

2.2 源项情况

本次分段验收项目位于北京市顺义区后沙峪镇友谊南街 1 号院顺义院区医疗综合体地下 2 层，在核医学科门诊区域第一显像室（SPECT 室 1）配备 1 台 SPECT/CT，第五显像室（PET/CT 室）配备 1 台 PET/CT，使用 F-18、Ga-68、Tc-99m、I-123、I-131 核素开展显像诊断，使用 I-131 开展甲功检查。本项目具体内容及参数见表 2-3。

表 2-3 本次分段验收具体内容情况表

用途	核素	日最大操作量(Bq)	日等效最大操作量(Bq)	年最大用量(Bq)	设备参数/级别	使用地点
PET/CT 显像	F-18	7.4E+9	7.40E+06	1.85E+12	乙级	顺义院区医疗综合体地下二层核医学科门诊
	Ga-68	3.7E+8	3.70E+06	1.85E+10		
肺通气，SPECT/CT 显像	Tc-99m 锝气	1.4E+9	1.48E+08	7.40E+10		

SPECT/CT 显像	Tc-99m	3.7E+10	3.70E+07	9.25E+12		
	I-123	1.48E+9	1.48E+07	7.40E+10		
	I-131	9.25E+8	9.25E+06	9.25E+10		
甲功测定	I-131	3.33E+6	3.33E+04	3.33E+08		
新增使用 1 台由赛诺联合生产的 PoleStar Flight 型 PET/CT					140kV/ 420mA	核医学科门诊第五显 像室(PET/CT 室)
使用 1 台由 GE 生产的 NM/CT 860 型 SPECT/CT					140kV/ 200mA	核医学科门诊第一显 像室(SPECT/CT 室 1)

经现场勘察，上述本次验收内容使用的非密封放射性核素及相关射线装置均已重新申领了辐射安全许可证，实际建设内容（核素类别、操作量、级别、建设地点）均与环评及批复的建设内容一致，符合要求。

2.3 工程设备与工艺分析

2.3.1 工作原理

(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。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 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 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。

(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。

其典型设备如图 2-2、2-3 所示。



图 2-2 同类型 PET/CT 机设备外观图



图 2-3 同类型 SPECT/CT 机设备外观图

2.3.2 操作流程

放射性同位素显像医学检查的工作流程：含示踪核素的放射性药物通常由静脉注射方式进入受检者体内，肺通气试验患者检查前吸入锝气发生器产生的 Tc-99m 气溶胶，甲状腺功能测定患者口服 I-131 胶囊，药物分布到特定器官并释放 γ 射线，利用 PET 或 SPECT 探测成像仪器进行扫描和显像，检查工作流程为：患者预约登记→订购药物（有资质的单位提供）→质检→分装→患者药物施用→用药后候诊→扫描显像→离院。

（1）患者预约登记：提前制定工作计划，和患者预约检查时间。

（2）订购药物：提前一天根据预约的检查人数及诊断项目，向药品公司订购标记的 F-18、Tc-99m 以及其它放射性药物。

（3）质检：药物运输至核医学科的高活室门口，质检人员核对放射性药物名称、规格和数量，检查包装和外观质量，在高活室门口的摄像头监控下，由核医学科负责药物注射工作人员与送药人员办理“点对点”交接手续，然后暂存于高活室内。

（4）分装：工作人员在高活室通风橱内对需要分装的药物进行分装；按要求对药物进行质控；门诊工作场所使用的显像核素中，Tc-99m 无需分装，按人份送药，无需再次分装。除此之外，SPECT 使用的 I-123、I-131 核素需在 SPECT 通风橱内分装质控，PET 使用的 F-18、Ga-68 核素需在 PET 通风橱内进行分装质控。

（5）患者药物施用：在注射窗口给患者注射或口服放射性药物，然后将废注射器或装入铅屏蔽盒内暂存，棉签等放射性废物分类收集。

肺通气试验患者通过吸入锝气摄入放射性药物，工作人员向锝气发生器舟型坩埚中注入 $5.55\text{E}+08\text{Bq}$ （15mCi）Tc-99m 注射液，通电加温，在 2500°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）。施用前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道中的 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垃圾处理。

(6) 用药后候诊：病人在给药后病人候诊区等候（如 F-18 候诊时间约 40min~90min，短半衰期的无需候诊），进行 PET 扫描检查（PET/CT 检查一般不超过 20min）；Tc-99m 心脏扫描候诊时间 1.5h，甲状腺 20min~30min，肾显像不用候诊。

(7) 扫描显像：工作人员通过语音播放和屏幕显示方式，通知患者进入显像机房内进行 PET/CT 或 SPECT/CT 扫描检查。

甲状腺功能测定病人在服药后的 2 小时、4 小时、6 小时和 24 小时（第 2 日）返回核医学科，分别进行甲状腺摄碘功能计数测定（检查时间 60 秒）。

(8) 离院：受检者在扫描检查后，无需留观，随即离开核医学科。

2.3.3 放射性核素使用量

根据医院提供的资料，本项目核医学科工作场所运行后，放射性药物由有销售资质的公司提供。

(1) PET/CT 检查：

1) F-18 约 370MBq/人，每个检查日 PET 检查 20 人次，每周工作 5 天（年工作 250 天），则日最大操作量为 $7.40E+09Bq$ ，年最大用量为 $1.85E+12Bq$ 。

2) Ga-68 约 185MBq/人，每个检查日实施 PET 检查 2 人次，每周工作 1 天（年工作 50 天），则日最大操作量为 $3.70E+08Bq$ ，年最大用量为 $1.85E+10Bq$ 。

(2) SPECT 检查：

1) Tc-99m 不大于 925MBq/人，每个检查日最多检查 40 人次（不含每周 2 例肺通气患者），每周工作 5 天（年工作 250 天），则日最大操作量为 $3.70E+10Bq$ ，年最大用量为 $9.25E+12Bq$ 。

2) 肺通气 Tc-99m 锝气检查每周约 2 例病人，每周工作 1 天（年工作 50 天），每个病人操作量不大于 740MBq，则日最大操作量为 $1.48E+09Bq$ ，年最大用量为 $7.40E+10Bq$ 。

3) I-123 约 370MBq/人，每日最多 SPECT 检查 4 人次，每年最多工作 50 天，则日最大操作量为 $1.48E+09Bq$ ，年最大用量为 $7.40E+10Bq$ 。

4) I-131 显像检查口服用量环评保守申请量按 185MBq/人（但实际常规使用为 111MBq/人），每个检查日最多实施检查 5 人次，每年工作 100 天，则日

最大操作量为 9.25E+08Bq，年最大用量为 9.25E+10Bq。

(3) 甲功测定

I-131 甲状腺摄碘功能测定，每人每粒胶囊约 0.333MBq (9 μ Ci)，每人每次一粒，每日最多实施 10 人次，每年最多工作 100 天，则日最大操作量为 3.33E+06Bq，年最大用量为 3.33E+08Bq。

2.3.4 主要放射性核素分析

(1) F-18、Ga-68 半衰期分别为 109.6min、68min，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；

(2) Tc-99m 半衰期为 6.02h，衰变方式是 IT，发出能量为 140keV 的 γ 射线；

(3) I-123 半衰期为 13.13h，衰变方式是 EC，发出主要能量为 159keV 的 γ 射线；

(4) I-131 半衰期为 8.04d，发生 β 衰变时伴随发射 364.5keV 的 γ 射线。

本项目使用的放射性核素主要物理参数列于表 2-4。

表 2-4 本项目使用的显像放射性核素主要参数

序号	核素名称	毒性	半衰期	衰变类型	主要能量/平均能量 (keV)
1	F-18	低毒	109.8min	β^+ 、EC	β^+ 635、 γ 511
2	Ga-68	低毒	68.3min	β^+ 、EC	β^+ 1899、 γ 511
3	Tc-99m	低毒	6.02h	IT	γ 141
4	I-123	低毒	13h	EC	γ /189
5	I-131	中毒	8.03d	β^- 、 γ	β^- 606、 γ 364/360

2.3.5 使用放射性核素污染途径分析

(1) 正常工况的污染途径

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

2) 使用放射性物质过程中，会产生一定量的放射性废水和放射性固体废物。放射性废水主要来自于卫生间冲厕废水，高活室洗手废水、冲洗拖布废水、应急废水等。放射性固体废物主要来源于患者使用的注射器、棉棒、一次性个

人防护用品和垫布等物品。项目产生含放射性废物收集于高活室铅桶内暂存。

3) F-18 等放射性药物为液体溶液，不易挥发，且分装时间较短，故使用过程中产生的放射性气体十分微量。Tc-99m 锝气使用过程中有少量气体挥发。

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

(2) 异常情况下的污染途径

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

放射性表面污染：在使用放射性同位素的过程中，因容器破碎，药物泼洒等，有可能污染工作台、地面、墙壁、设备等，甚至造成手和皮肤的污染。此外，给药患者呕吐或者排泄，也可能导致局部环境的放射性污染。

放射性药物保管不当，发生遗失或被盜，可能造成环境放射性污染。核医学科场所在分装室暂存的放射性同位素，采用视频监控和门禁管理，储源室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。

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。

2.3.6 设备使用规划

根据本次验收内容，顺义院区核医学门诊区域 PET/CT 检查使用 F-18、Ga-68 显像；SPECT 检查使用 Tc-99m、I-123、I-131 显像诊断，使用 I-131 开展甲功测定。

核医学科一般情况下 I-131 患者单次使用量为 $1.11\text{E}+08\text{Bq}$ (3mCi)，Tc-99m 为 $9.25\text{E}+08\text{Bq}$ (25mCi)，Tc-99m 影响较大。综述，核医学科场所本次分段验收 F-18、Tc-99m 用量最大，对周围的辐射影响最大，本项目诊断分别以 F-18 和 Tc-99m 核素检测结果来评价相关区域剂量估算是合理的。

根据环评资料：在放射诊疗工作过程中，工作人员主要受照环节为源液分装、患者注射、患者摆位以及控制室操作显像设备等。

(1) PET 显像诊断

1) 开展 F-18 显像诊断每天最多 20 人次，年工作 250 天；Ga-68 显像诊断每天最多 2 人次，年工作 50 天，合计每年最多开展 5100 人次 PET/CT 检查（按照环评审批量进行验收）。

2) 手套箱内进行 PET 药物分装时间 $1\text{min}/\text{人次}$ ，全年累计分装时间为 85h（保守按每种正电子核素都要分装）；

3) 每人次从手套箱转运到注射窗口约 10s，则年转运时间为 14.2h；

4) 每人次的药物注射时间为 30s/人，PET 药物注射总时间为 42.5h；

5) PET/CT 摆位（1m 处）时间 30s/人，医院制度规定 PET/CT 患者都是广播指导摆位，扫描和摆位工作由 2 人完成，则每人分配累计摆位时间不大于 21.3h；

6) PET/CT 每次平均扫描时间为 20min，则 PET/CT 机房显像时间为 1700h；

7) 注射后候诊室停留时间保守取 2000h（每天 8h 估算）；

8) 每人留观 10min，留观室内的年留观时间约为 850h。

(2) SPECT 显像诊断

1) 核医学科门诊使用 SPECT 开展 Tc-99m 显像诊断每天最多 40 人次，年工作 250 天；Tc-99m 锝气显像诊断每天最多 2 人次，年工作 50 天；I-123 显像诊断每天最多 4 人次，年工作 50 天；I-131 显像诊断每天最多 5 人次，年工作 100 天，合计每年 SPECT 检查最大人数为 10800 人次，甲功检查使用 I-131 胶囊对工作人员增加的附加剂量可忽略。

2) 门诊工作场所使用的 SPECT 显像核素中，Tc-99m 按人份送药，无需再次分装。SPECT 使用的 I-123、I-131 分装时间按 $1\text{min}/\text{人次}$ ，全年累计分装

时间为 11.7h;

3) 每人从手套箱转运到注射窗口约 10s, 则年转运时间为 30h;

4) 每人每次的药物注射时间为 30s/人, 注射 PET 药物总时间为 90h;

5) 每个病人的平均摆位时间 60s, 则年总操作时间为 180h;

6) SPECT 每次平均扫描时间为 20min, 则受检者平均在每间 SPECT 机房内的停留时间约为 1800h (I-131 扫描患者总停留时间 333h);

7) SPECT 候诊室内人员的停留时间保守取 2000h;

8) Tc-99m 临床上无需留观, 保守假设扫描后每人留观 10min (按 2 人同时留观), 则留观室内受检人员留观时间约 900h。

9) 按照 10% 的 SPECT 检查患者做运动负荷试验, 每人每次约 15min 左右, 抢救兼运动室患者的停留时间为 250h。

(3) 质控

本次验收质控工作关注点剂量率引用环评报告中数据, 据环评报告可知:

1) SPECT/CT:

工作人员使用 Tc-99m 药物质控, 每台操作时间为 1h/a (本项目 3 台共 3h/a)。工作人员每年应稳定检测共需操作含 Tc-99m 药物活度为 740MBq (包括均匀性、平面灵敏度等各项指标所需), 操作距离为 30cm, 每台操作时间为 1h/a (本项目 3 台共 3h/a), 由 1MBqTc-99m 药液时对距 30cm 处人的深部当量剂量率为 $0.26\mu\text{Sv/h}$, 则 740MBq 对应 30cm 处剂量率为 $192.4\mu\text{Sv/h}$, 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 $21.5\mu\text{Sv/h}$ (50cm 处), 则工作人员附加剂量为 $64.5\mu\text{Sv/a}$ 。

2) PET/CT:

①本次分段验收内容中, 工作人员使用 F-18 代替刻度源每周质控 1 次进行均匀度等质控检测。环评中根据 AAPM Task Group 108 报告, 核素 F-18 的 K_{γ} 常数为 $0.143\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$, 给患者注射 370MBq 的 F-18 后, 注射时裸露源 1m 处剂量率 $52.9\mu\text{Sv/h}$ 。质控时通常使用 37MBq F-18 药物, 则距离质控原液 1m 处的剂量率为 $5.3\mu\text{Sv/h}$, F-18 质控每次操作时间约 2min, 每台总操作时间为 1.67h/a, 则工作人员附加剂量约为 $8.9\mu\text{Sv/a}$ 。

3) 按照环评, 核医学科物理师每年应稳定检测共需操作含 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), 一般都委托厂家和第三方检测机构完成, 其中 SUV 指标是每半年一次, 灵敏度、空间分辨力每年一次。操作时间为 10min/a, 操作距离为 30cm, 每台操作时间为 10min/a, 则 37MBqF-18 药液距 30cm 处人的深部当量剂量率为 58.8 μ Sv/h。

2.3.7 人员配置情况

西城院区核医学科现有辐射工作人员共 14 名 (其中医师 7 名, 技师 5 名, 物理师 1 名, 护士 1 名), 本次顺义核医学 (1 台 SPECT/CT、1 台 PET/CT) 相关内容已新增辐射工作人员 11 名 (其中医师 4 名, 技师 4 名, 护士 2 名, 物理师 1 名), 以上核医学科工作人员均通过均已通过辐射安全与防护考核并取得了合格证书, 且尚在有效期内, 并安排进行个人剂量监测, 实际与环评及批复要求一致, 满足使用要求。

表 3 辐射安全与防护设施及措施

本项目环境保护设施主要为环境影响报告表及环评批复中提出的确保核医学科安全运行的各项辐射安全防护设施，如屏蔽机房、警示标识、工作状态指示灯、通风设施和辐射监测仪器等。

3.1 工作场所布局及辐射分区

本次验收内容为核医学科门诊区域 SPECT 室 1、PET/CT 室及相关场所，使用核素 F-18、Tc-99m 等核素开展核素显像检查，核医学科门诊布局与分区见图 3-1。按照使用功能区划分为三个分区。

(1) 接诊区：包括注射前候诊区，患者及其陪护人员由北侧人员入口处进出该区域。

(2) 核素诊疗工作区（控制区），包括注射室、运动负荷室、高活室、储源库、PET/CT 室、2 间 SPECT 室（本次验收 SPECT 室 1）、3 间高能候诊室、3 间低能候诊室、废物间、功能测定室、注射后患者通道、抢救室、留观室等。该区出入通道安装单向门禁系统。

(3) 监督区，包括控制廊、设备机房等。

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分开，尽可能的避免了人员受辐射影响，平面布局合理。

核素诊疗场所按照尽可能减少对周围辐射影响，以及满足临床工作便捷性的原则进行布局。从功能分区来看，清洁办公区、监督区和控制区划分明确，且相对隔离，满足了核医学门诊诊疗辐射安全管理的要求。

经现场勘察，项目平面布局和管理分区与环评及批复要求一致。综上分析，两区划分明确，平面布局既满足核医学诊疗工作要求，又有利于辐射防护，本项目平面布局合理。

区域划分见图 3-1。

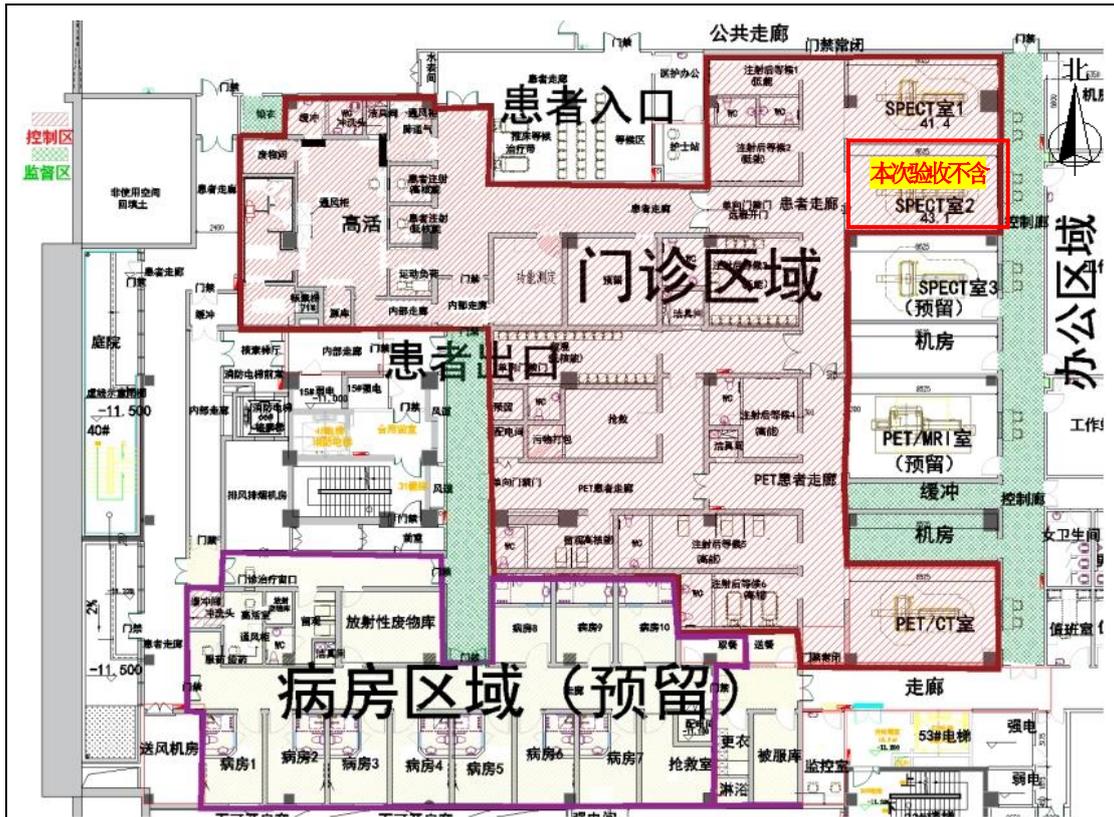


图 3-1 本项目辐射工作场所分区示意图

3.2 屏蔽设施建设情况

核医学科门诊区域控制区外墙都是砼（混凝土）结构。场所按照防护要求设计了含砼、铅防护门、铅玻璃，专用手套箱，放射性废水衰变池和固体废物间。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。本项目屏蔽方案情况见表 3-1。

医院已在原计划场所位置完成设备安装及相应的辐射安全防护设施配套建设。屏蔽措施及厚度满足环评的要求。

表 3-1 核医学科门诊区域屏蔽材料及厚度对比情况表

序号	场所名称	屏蔽墙体方向	环评设计屏蔽材料及厚度	实际建设屏蔽材料及厚度	是否符合要求
1	PET/CT 室 (有效尺寸为 5.5m×7.3m)	东墙	35cm 砼	35cm 砼	是
		南墙	35cm 砼	35cm 砼	是
		西墙	35cm 砼	35cm 砼	是
		北墙	35cm 砼	35cm 砼	是
		楼上	35cm 砼	35cm 砼	是
		楼下	35cm 砼	35cm 砼	是
		防护门	6mmPb	6mmPb	是

		观察窗	8mmPb 当量铅玻璃	8mmPb 当量铅玻璃	是
2	SPECT 室 1 (最小有效尺寸为 5.0m×7.1m)	东墙	25cm 砼	30cm 砼	是
		南墙	25cm 砼	30cm 砼	是
		西墙	25cm 砼	30cm 砼	是
		北墙	25cm 砼	30cm 砼	是
		楼上	25cm 砼	35cm 砼	是
		楼下	25cm 砼	35cm 砼	是
		防护门	3mmPb	3mmPb	是
		观察窗	3mmPb 当量铅玻璃	3mmPb 当量铅玻璃	是
3	注射后候诊室 4-6 (高能)	东墙	35cm 砼	35cm 砼	是
		南墙	35cm 砼	35cm 砼	是
		西墙	35cm 砼	35cm 砼	是
		北墙	35cm 砼	35cm 砼	是
		楼上	35cm 砼	35cm 砼	是
		楼下	35cm 砼	35cm 砼	是
		防护门	8mmPb	8mmPb	是
4	注射后候诊室 1-3 (低能)	东墙	25cm 砼	25cm 砼	是
		南墙	25cm 砼	25cm 砼	是
		西墙	25cm 砼	25cm 砼	是
		北墙	25cm 砼	25cm 砼	是
		楼上	25cm 砼	35cm 砼	是
		楼下	25cm 砼	35cm 砼	是
		防护门	3mmPb	3mmPb	是
5	高活室	东墙	35cm 砼	35cm 砼	是
		南墙	35cm 砼	35cm 砼	是
		西墙	35cm 砼	35cm 砼	是
		北墙	35cm 砼	35cm 砼	是
		楼上	35cm 砼	35cm 砼	是
		楼下	35cm 砼	35cm 砼	是
		注射窗	40mmPb、20mmPb 当量铅玻璃	40mmPb、20mmPb 当量铅玻璃	是
		手套箱	50mmPb/10mmPb 当 量铅玻璃	60mmPb/20mmPb 当量铅玻璃	是
6	废物间	东墙	25cm 砼	25cm 砼	是
		南墙	25cm 砼	25cm 砼	是
		西墙	35cm 砼	35cm 砼	是
		北墙	25cm 砼	30cm 砼	是
		楼上	35cm 砼	35cm 砼	是
		楼下	35cm 砼	35cm 砼	是

		防护门	2mmPb	2mmPb	是
7	负荷试验室	东墙	35cm 砼	35cm 砼	是
		南墙	25cm 砼	25cm 砼	是
		西墙	25cm 砼	25cm 砼	是
		北墙	25cm 砼	25cm 砼	是
		楼上	35cm 砼	35cm 砼	是
		楼下	35cm 砼	35cm 砼	是
		防护门	3mmPb	3mmPb	是
8	肺通气室	东墙	35cm 砼	35cm 砼	是
		南墙	25cm 砼	25cm 砼	是
		西墙	25cm 砼	25cm 砼	是
		北墙	35cm 砼	35cm 砼	是
		楼上	35cm 砼	35cm 砼	是
		楼下	35cm 砼	35cm 砼	是
		防护门	3mmPb	3mmPb	是
9	功能测定室	东墙	35cm 砼	35cm 砼	是
		南墙	35cm 砼	35cm 砼	是
		西墙	35cm 砼	35cm 砼	是
		北墙	35cm 砼	35cm 砼	是
		楼上	35cm 砼	35cm 砼	是
		楼下	35cm 砼	35cm 砼	是
		防护门	1mmPb	1mmPb	是
10	SPECT 留观室	东墙	35cm 砼	35cm 砼	是
		南墙	35cm 砼	35cm 砼	是
		西墙	35cm 砼	35cm 砼	是
		北墙	35cm 砼	35cm 砼	是
		楼上	35cm 砼	35cm 砼	是
		楼下	35cm 砼	35cm 砼	是
		防护门	2mmPb	2mmPb	是
11	PET 留观室	东墙	35cm 砼	35cm 砼	是
		南墙	35cm 砼	35cm 砼	是
		西墙	35cm 砼	35cm 砼	是
		北墙	35cm 砼	35cm 砼	是
		楼上	35cm 砼	35cm 砼	是
		楼下	35cm 砼	35cm 砼	是
		防护门	6mmPb	6mmPb	是

备注：①砼（混凝土）密度不低于 2.35g/cm³，铅密度不低于 11.4g/cm³。②墙面和楼板厚度已加上混凝土垫层或混凝土抹灰，各功能室墙面、地面均为光滑饰面。

3.3 辐射安全与防护措施

本项目环境保护设施主要为环境影响报告表及环评批复中提出的确保射线装置安全使用的各项辐射安全防护设施，如屏蔽机房、警示标识、工作状态指示灯、辐射监测仪器等。具体如下：

表 3-2 辐射安全措施与环评报告表或批复对比情况

序号	环评要求	环评批复要求	落实情况	是否符合
1	<p>实行控制区和监督区分区管理。在控制区出、入口分别安装单向门禁系统，防止无关人员进入控制区。控制区出入口上张贴电离辐射警告标识，警示无关人员不要在出、入口长久停留。受检者检查区入口和出口均设有门禁系统。SPECT 机房、PET/CT 机房防护门上方设置工作状态指示灯，安装门灯连锁装置，控制室防护门关闭，警示灯自动亮起。</p>	<p>各辐射工作场所须分别实行分区管理，设置明显控制区、监督区标识(含患者地面引导)，以及放射性标志、中文警示说明和工作状态指示等。</p>	<p>已按要求进行控制区和监督区分区管理。在控制区出、入口分别安装单向门禁系统，防止无关人员进入控制区。控制区出入口上张贴电离辐射警告标识，警示无关人员不要在出、入口长久停留。受检者检查区入口和出口均设有门禁系统。SPECT 机房、PET/CT 机房防护门上方设置工作状态指示灯，安装门灯连锁装置，控制室防护门关闭，警示灯自动亮起。</p>	是
2	<p>放射性表面污染控制措施：注射区、高活室、扫描室、源库、废物间、候诊室及卫生间和控制区走廊地面拟用无缝隙、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。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。</p>	/	<p>通风橱台面和注射操作台面为光滑易清洗易去污材料，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。地面已采用无缝隙、防渗，且容易清洗和去污的材料覆盖（如地胶等），墙面 1.5m 高度张贴防渗的 PVC 墙纸。</p>	是
3	<p>外照射防护：2 个具有防护功能的铅玻璃窗的注射窗和 1 个可移动铅屏蔽注射台（运动负荷室注射时使用），可有效减少注射过程中工作人员受照剂量，候诊</p>	<p>须调整质控室布局、优化核医学门诊楼顶布局并强化防护，核实报告表中混凝土抹灰、硫酸钡抹灰</p>	<p>按照环评及批复要求门诊区域目前已配备 20 个废物桶（10mmPb 当量 6 个、12mmPb 当量 2 个，20mmPb 当量 12 个），用</p>	是

	<p>室、显像室均为实体屏蔽，至少配备 6 个铅废物桶（其中 1 个为 20mmPb，另外为 5mmPb）、2 个钨合金注射防护套和 5 套铅衣（SPECT 使用）。核医学科控制区边界、核素操作、受检人员候诊和扫描场所外围墙体采用实体屏蔽措施，顶棚和底板为混凝土浇筑，患者进、出通道门安装铅制防护门。检查机房安装铅制防护门（具有防夹功能），观察窗安装铅玻璃。保证核医学科控制区边界外的辐射剂量率不大于 2.5μSv/h。</p>	<p>防护效果，确保场所控制区各边界外、控制区内各房间墙体（含手套箱、核素传输管沟等）外表面 30cm 处的辐射剂量率不大于 2.5μSv/h。控制区、监督区 β 放射性物质表面污染控制水平分别不大于 40Bq/cm²、4Bq/cm²。衰变池废水排放总 α、总 β 放射性水平不大于 1Bq/L、10Bq/L，I-131 活度浓度不大于 10Bq/L。</p>	<p>于对放射性废物分类收集暂存。 门诊高活室已配备 2 个防护手套箱（1 个 60mmPb，1 个 20mmPb）、2 个防护铅注射窗（1 个 40mmPb、1 个 20mmPb）、1 个 70mmPb 的翻转式铅罐、2 个注射器防护套（1 个 20mmPb、1 个 10mmPb），运动负荷室配备 1 个 10mmPb 注射车，并设置人流物流门禁等，患者出口为专用电梯；核医学科门诊外购药物采取手动分装。 病房六面墙体和门已采取不低于环境影响报告表中的实体屏蔽防护措施。 控制区、监督区 β 放射性物质表面污染控制水平实测值为探测下限。</p>	
4	<p>内照射的防护：高活室配备 2 个具有防护功能 50mmPb/10mmPb 当量的手套箱，在肺通气室配备 1 套集气罩，并都带有活性炭过滤器，手套箱设备正面配有铅玻璃、观察窗及操作工作孔。在手套箱内分装放射性药物。手套箱设置专用排风管道，排风口引至楼顶。手套箱的风量符合要求（风速大于 0.5m/s）。一旦发生放射性污染，应收集污染物，先采用吸水纸擦除方法处理，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。此外，在高活室、留观区、PET/CT 机房、SPECT/CT、源库、废物间等其它场所均设置排风口，排风同样由专用排风管道引至建筑物顶部，经活性炭过滤后排放。</p>	<p>采取铅罐、防护手套箱、自动合成仪、自动分装仪、铅注射窗、人流物流门禁、患者出口专用电梯、候诊室（PET 不超过 3 人）和留观室设铅屏风隔断等安全防护措施，配备铅衣、铅帽等防护用品，防止误操作、避免工作人员和公众受到意外照射。</p>	<p>门诊高活室已配备 2 个防护手套箱（1 个 60mmPb，1 个 20mmPb）。已在肺通气室配备 1 套集气罩，并都带有活性炭过滤器，手套箱设备正面配有铅玻璃、观察窗及操作工作孔。在手套箱内分装放射性药物。 根据本次验收内容，核医学科门诊目前已建设 3 套排风：①地下三层衰变池间单独排风+活性炭过滤措施；②地下二层核医学科门诊高活室手套箱+肺通气排风+高效过滤+活性炭过滤措施；③地下二层核医学科门诊其他控制区排风+活性炭过滤措施。上述 3 套排风均已测试风速，风速均为 0.6m/s，引至医疗综合体西南侧排放，都高</p>	是

			于本建筑物屋顶，高度约45m（为医疗综合体的最高处），本次申请符合环评及批复要求。过滤装置滤材规定每年更换一次，并按放射性固体废物妥善处置。	
5	妥善收集固体放射性废物。注射窗旁设20mm铅和5mmPb的废物桶各1个（容积10L），暂存废弃的放射性药物注射器、诊断试剂盒、包装物、棉棒、一次性用品等，每周星期一早上转移至核医学科放射性废物间。核医学科废物间设置4个5mm铅的废物桶（容积20L），2个用来轮流贮存A类废物，2个用量轮流贮存B类废物。放射性固废依照HJ1188-2021和《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》固体废物相关要求进行解控处置，并详细记录放射性固体废物暂存、处置管理台账，清晰记录放射性废物的暂存、检测、解控、排放等信息。在患者给药候诊室拟配备普通废物桶。	配备14个防护废物桶，分A类、B类收集放射性固体废物。设置放射性废物暂存库，配备1台120L冷柜，确保A类废物（含动物尸体）暂存超过30日，B类废物分别暂存30日以上且超过10倍最长半衰期（含I-131废物为180日）、并经监测合格后解控。设置放射性废水槽式衰变池（4×20.22m³），含液位指示和报警装置，收集高活室、卫生间和清洗、应急淋浴废水，确保废水暂存超过180天、并经监测合格后排放。	按照环评及批复要求门诊区域目前已配备20个废物桶（10mmPb当量6个、12mmPb当量2个、20mmPb当量12个），用于对放射性废物分类收集暂存。 已修订放射性废气、废水、固废处置、管理方案，并按放射性废水、固废台账登记表进行登记。	是
6	放射性废水收集处置设施：核医学科门诊高活室内洗手池废水，清洁间废水，给药后患者专用卫生间的冲厕废水以及应急产生的废水等，通过专用管道一并进入的放射性废水衰变池。放射性废水排放管道路线在管道层、管道井，无人员活动区，管道外表面无需铅皮进行包裹防护。衰变池采用槽式设计。核医学科解控排放的废水，排入医院污水处理站，并详细记录“放射性废水暂存、处置管理台账”，清晰记录放射性废水的暂存、检测、解控、排放等信息。	槽式衰变池（4×20.22m³），含液位指示和报警装置，收集高活室、卫生间和清洗、应急淋浴废水，确保废水暂存超过180天、并经监测合格后排放。	顺义院区核医学科门诊区域实际建设1个2#衰变池（槽式，总容积为142.56m³，2×36.13m³、2×35.15m³）（启泵容积为82.02m³，2×20.79m³、2×20.22m³），含液位指示和报警装置，收集高活室、卫生间和清洗、应急淋浴废水，确保废水暂存超过180天，并经监测合格后排放。实际建设容积能够满足本项目废水暂存需求以及环评、批复要求。	是
7	在核医学科患者通道入口处、留观室、给药后候诊区、机房内等	/	在核医学科患者通道入口处、留观室、给药后候诊	是

	处均拟设置视频监控系统，便于观察和管理给药患者的活动。在控制室和机房、留观室、待检患者候诊区等处安装对讲装置。		区、机房内等处均已设置视频监控系统，便于观察和管理给药患者的活动。在控制室和机房、留观室、待检患者候诊区等处安装对讲装置。	
8	按需要量订购同位素，外单位送药时间一般安排在上午 7:00，科室病患较少的时间，可以减少与送药人员的交汇。送药通道为从地下一层西侧室外庭院通过药物专梯（66#核素专梯）进入科室的高活室。核医学科专门人员负责点对点接收同位素，清点数量，登记放射性药品台账。在核医学科内登记交接后贮存在高活室手套箱内，注射后的注射器立即放回屏蔽包装内，防止被盗和污染，由放射性药品供货公司取回（PET 使用试剂产生的注射器由医院满足解控后按医疗废物处理）。	/	按要求提前向有资质的药品公司订购所需要的核素，已按环评及批复要求，设置了核素专梯，以减少与送药人员的交汇。	是
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。	顺义院区核医学科新增不少于 24 名辐射工作人员，均须通过辐射安全与防护考核，并进行个人剂量监测。	根据本次验收的 1 台 SPECT/CT 和 PET/CT 内容，顺义院区核医学科已配备 11 名工作人员（其中医师 4 名，技师 4 名，护士 2 名，物理师 1 名），均已通过辐射安全与防护考核并取得了合格证书，且尚在有效期内，并安排进行个人剂量监测。	是
10	核医学科门诊场所拟新配的表面污染监测仪和便携式辐射剂量巡测仪各 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。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、	增配 11 台套辐射监测仪器（见附件 3），定期开展场所和周围环境辐射水平监测，规范编写、按时上报年度评估报告。	根据本次验收内容，顺义院区核医学科门诊已按要求配备 1 台便携式辐射剂量巡测仪、1 台表面污染监测仪，使用功能均正常，满足环评及批复要求。	是

	走廊等工作人员和公众可能居留的有代表性的点位和存有放射性物质的区域进行常规的 γ 剂量率。每天工作结束后,对高活室台面、地面,手套箱台面,注射窗台面以及肺通气设备表面等进行表面污染监测,监测数据记录存档 β 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。			
11	候诊室受检者座椅之间设铅屏风或者铅隔断,减少受检者候诊期间的相互照射。1) SPECT 候诊室患者间拟设 2mm 铅当量铅屏风(长 \times 高尺寸不低于 1.0m \times 1.0m):其中注射后等候 1 设 1 个,注射后等候 2 设 2 个,注射后等候 3 设 1 个;2) PET 候诊室患者间拟配 6mm 铅当量的铅屏风(长 \times 高尺寸不低于 1.2m \times 1.2m):其中注射后等候 5 设 2 个,注射后等候 6 设 1 个。	采取铅罐、防护手套箱、自动合成仪、自动分装仪、铅注射窗、人流物流门禁、患者出口专用电梯、候诊室(PET 不超过 3 人)和留观室设铅屏风隔断等安全防护措施,配备铅衣、铅帽等防护用品,防止误操作、避免工作人员和公众受到意外照射。	候诊室和留观室设铅屏风, PET 候诊室设 3 人候诊椅;已按要求配备 5 套工作人员及患者配备铅衣、铅帽,同时已配备 14 个移动铅屏风(2mmPb 当量 9 个, 10mmPb 当量 5 个)。	是
12	部分患者因身体不便等原因需要家属陪护检查的,将告知其近距离接触可能受到少量辐射照射的实际情况。在患者候诊室内设铅屏风,以减少陪护家属的受照剂量。	/	已在制度中要求对陪护检查家属告知其近距离接触可能受到少量辐射照射的实际情况。在患者候诊区内已设铅屏风,以减少陪护家属的受照剂量。	是
13	在门诊诊疗场所地面设置受检者导流标志,依次为登记,注射,候检,检查,留观,出口等。	各辐射工作场所须分别实行分区管理,设置明显控制区、监督区标识(含患者地面引导),以及放射性标志、中文警示说明和工作状态指示等。	已设置明显控制区、监督区标识(含患者地面引导),以及放射性标志、中文警示说明和工作状态指示等。	是

3.4 场所安全防护设施运行效果

北京友谊医院对顺义院区核医学科的各项辐射安全防护设施进行了如实查验,安全连锁、信号指示、实时监控、辐射监测仪等各项设施性能良好、运行正常。核医学科辐射安全防护设施与运行核查结果见表 3-3 所示,结果表明

核医学科场所分区布局及人、物流向合理，工作人员操作时防护适当，对患者的管理合理可行，能够对放射性废物进行有效处置。

表 3-3 核医学科门诊辐射安全防护设施与运行核查情况

序号	项目	内容	具体说明	现场核查情况	是否符合要求
1*	A 场所 设施	场所分区布局是否合理及有无相应措施/标识	地面标注控制区和监督区,地面设置引导文字和标线。	地面已标注控制区和监督区,地面已设置引导文字和标线。	是
2*		电离辐射警告标志	出入口、显像室防护门、高活室等门上粘贴电离辐射警示标志。	出入口、显像室防护门、高活室等门上已粘贴电离辐射警示标志。	是
3*		独立的通风设施	高活室设带屏蔽设计的手套箱,配有负压手套箱。场所也设有通风系统。	高活室已设置带屏蔽的手套箱,配有负压手套箱。场所也设有通风系统。	是
4*		治疗病房病人之间防护	门诊场所无治疗病房	门诊场所无治疗病房。	是
5*		给药操作人员屏蔽	配备两个给药铅防护窗口	已配备两个给药铅防护窗口。	是
6		易去污的工作台面	采用不锈钢台面	已采用不锈钢台面。	是
7*		病人专用卫生间	专用卫生间及排水管线	设有患者专用卫生间及排水管线。	是
8*		放射性核素暂存场所或设施	同位素在高活室、贮源室暂存,设闭路监控。	在高活室、贮源室暂存,设有闭路监控。	是
9*	B 监测 设备	表面污染监测仪	拟配 1 台表面污染监测仪	已配备 1 台表面污染监测仪。	是
10*		便携式辐射水平监测仪	拟配 1 台辐射剂量巡测仪	已配备 1 台辐射剂量巡测仪。	是
11*		个人剂量计	所有工作人员配备 TLD 个人剂量计。	项目所有工作人员已配备 TLD 个人剂量计。	是
12		个人剂量报警仪	不配备	/	/
13*	C 放射 性废 物和 废液	放射性废液处理排放系统及标识	80.88m ³ 槽式衰变池 (4 格)	门诊区域实际建设了 2# 衰变池, (槽式, 总容积为 142.56m ³ , 2×36.13m ³ 、2×35.15m ³) (启泵容积为 82.02m ³ , 2×20.79m ³ 、2×20.22m ³),	是
14*		放射性固体废物暂存场所或设施	设废物间, 贮存放射性废物	已设置废物间, 贮存放射性废物。	是
15*	D 防护	个人防护用品	铅玻璃, 配备一次性医用口罩和手套等	已设铅玻璃, 配备一次性医用口罩和手套等。	是

16*	器材	放射性表面去污用品和防污染材料	洗涤灵、酒精和棉球	已配有洗涤灵、酒精和棉球等材料。	是
-----	----	-----------------	-----------	------------------	---

顺义院区核医学科配备的相关防护措施见图 3-2。



SPECT室 1（第一显像室）



PET/CT室（第五显像室）



注射后候诊室铅屏风







清洁水池



引导地标



PET患者走廊



工作人员走廊



废物间



废物桶



共 20 个废物桶 (10mmPb当量 6 个、12mmPb当量 2 个, 20mmPb当量 12 个)



14 个移动铅屏风（2mmPb当量 9 个，10mmPb当量 5 个）



个人剂量报警仪、1 台表面污染监测仪、1 台电离辐射巡测仪



铅衣、铅围脖等防护用品



3套排风+活性炭吸附照片



衰变池现场照片

图 3-2 顺义院区核医学科门诊配备的相关防护措施现场照片

3.5 辐射安全管理情况

(1) 辐射安全管理制度

医院已经设置了辐射安全与环境保护管理领导小组作为专门管理机构，并指定了专人负责辐射安全与环境保护管理工作。医院已将新建核医学科纳入辐射安全管理范围，相关负责人将担任辐射安全与环境保护管理领导小组成员，负责核医学的日常管理。

辐射安全与环境保护管理领导小组成员见表 3-4。

表 3-4 辐射安全与环境保护管理领导小组成员

序号	人员类别	姓名	性别	专业	职务或职称	工作部门	专/兼职
1	组长	谢向辉	男	医院管理	党委书记	院办	兼职
2		张澍田	男	内科学	院长	院办	兼职
3	副组长	邓明卓	男	医院管理	主管副院长	院办	兼职
4	组员	王振常	男	医院管理	副院长	院办	兼职
5	组员	李彦昌	男	医院管理	总务处处长	总务处	兼职
6	组员	王兢	女	护理学	中心手术室护士长	中心手术室	兼职
7	组员	杨艳艳	女	医院管理	医师	疾病控制与预防感染管理处	专职
8	组员	郑伟	男	医院管理	行政处室正职	规划建设处	兼职
9	组员	董瑞华	男	临床药理	研究型病房主任	研究型病房	兼职
10	组员	朱晨笛	男	医院管理	医师	疾病控制与预防感染管理处	专职
11	组员	谢聘	女	医院管理	行政处室负责人	人力资源处	兼职
12	组员	孙建军	男	外科学	临床科室负责人	神经外科	兼职
13	组员	金龙	男	介入放射科	介入放射科主任	介入放射科	兼职
14	组员	郭欣	女	医院管理	门诊部副主任	门诊部	兼职
15	组员	任晓蕊	女	医院管理	感控处副处长	感控处	专职
16	组员	骆金铠	女	护理学	行政处室负责人	护理部	兼职
17	组员	周春莲	女	医院管理	行政处室负责人	疾病控制与预防感染管理处	兼职
18	组员	陈建军	男	医院管理	行政处室负责人	医学工程处	兼职
19	组员	任军	男	医学工程	放射组组长	医学工程处	兼职
20	组员	牛亦农	男	外科学	临床科室负责人	泌尿外科	兼职
21	组员	曹邦伟	男	肿瘤学	肿瘤中心主任	肿瘤中心	兼职
22	组员	郭艾	男	外科学	临床科室负责人	骨科	兼职
23	组员	刘壮	男	医院管理	行政处室负责人	医务处	兼职
24	组员	王婷婷	女	医院管理	临床科室负责人	国际医疗部	兼职
25	组员	吴丽青	女	医院管理	采购中心主任	采购中心	兼职
26	组员	尤红	女	内科学	常务副院长	院办	兼职

27	组员	崔永	男	外科学	临床科室负责人	胸外科	兼职
28	组员	杨正汉	男	医学影像与放射治疗	临床科室负责人	放射科	兼职
29	组员	王拥军	男	内科学	临床科室负责人	消化科	兼职
30	组员	李虹伟	男	内科学	临床科室负责人	心脏中心	兼职
31	组员	黄晓峰	男	口腔科	临床科室负责人	口腔科	兼职
32	组员	杨吉刚	男	核医学	核医学主任	核医学科	兼职
33	组员	苑国强	男	医院管理	保卫处副处长	保卫处	兼职
34	组员	梅雪岭	男	医院管理	教育处处长	教育处	兼职
35	组员	张拥波	男	神经内科	神经内科主任	神经内科	兼职

医院已更新并修订了《辐射安全管理制度》，其中包含辐射安全与防护管理工作制度及岗位职责，辐射防护和安全保卫制度，操作规程，放射设备检修维护制度，台账管理制度，放射工作人员管理制度，辐射工作场所监测制度，放射性废物暂存、处置方案，放射性突发事件（件）应急预案等，该制度明确了辐射安全管理小组相应的职责。

（2）辐射工作人员

医院顺义院区核医学科门诊为本次验收内容已配备 11 名工作人员（其中医师 4 名，技师 4 名，护士 2 名，物理师 1 名），均已通过辐射安全与防护考核并取得了合格证书，且尚在有效期内，并已接受个人剂量监测。医院辐射防护负责人员及专职人员均已通过辐射安全与防护考核并取得了合格证书，且尚在有效期内。

（3）个人剂量监测

医院已制订了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市疾病预防控制中心承担，监测频度为每 1 个季度检测 1 次。

（4）辐射场所监测

医院已更新辐射安全管理制度，包含了本项目相关操作规程及辐射场所监测方案。核医学科门诊工作人员使用配备的辐射剂量巡测仪和表面污染测量仪，对核医学科门诊辐射工作场所进行监测。

- 1) 监测项目：X- γ 剂量率水平，表面污染水平

- 2) 检测设备：X- γ 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 X- γ 剂量率水平监测：点位包括 PET/CT 室、SPECT 室四周和楼上、楼下，控制区边界外 30cm 处和衰变池四周的剂量率水平，以及核医学科四周。
- 5) 表面污染水平监测点位设置：每天工作结束后，对高活室台面、地面，手套箱台面，注射窗台面以及相关设备表面等进行表面污染监测，监测数据记录存档。
- 6) 顺义院区核医学科自行监测计划已提前制定了包含正电子药物制备区相关场所、小动物 PET 室相关场所的监测布点，待建成后可依照此监测布点进行自行监测。

核医学科 γ 辐射剂量率监测计划见表 3-5，表面污染水平监测计划见表 3-6，检测点位见图 3-3~3-5。

表 3-5 顺义院区核医学科门诊区域 γ 辐射剂量率监测计划

编号	场所名称	监测点位置	检测频次	备注
1	等候区	给药前等候区	1 次/年	本次验收内容
2~5	核医学科门诊	控制区出入口处	1 次/年	本次验收内容
6~7	高活室（注射室）	北侧、南侧缓冲间内	1 次/年	本次验收内容
8	公共走廊	常闭门北侧公共走廊	1 次/年	本次验收内容
9	公共走廊	常闭门南侧公共走廊	1 次/年	本次验收内容
10~16	SPECT1 室	四周及楼上楼下	1 次/年（其中控制室 1 次/月）	本次验收内容
17~22	SPECT2 室	四周及楼上楼下	1 次/年（其中控制室 1 次/月）	建成后另行验收
23~29	PET/CT 室	四周及楼上楼下	1 次/年（其中控制室 1 次/月）	本次验收内容
30~34	注射后等候室 1	周围及楼上楼下	1 次/年	本次验收内容
35~39	注射后等候室 2	周围及楼上楼下	1 次/年	本次验收内容
40~44	注射后等候室 3	周围及楼上楼下	1 次/年	本次验收内容
45~50	注射后等候室 4	周围及楼上楼下	1 次/年	本次验收内容
51~54	注射后等候室 5	周围及楼上楼下	1 次/年	本次验收内容
55~58	注射后等候室 6	周围及楼上楼下	1 次/年	本次验收内容
59	回旋加速器室 (测 γ 、n)	控制室	1 次/月	单位已提前制定
60		南侧加速器大厅（防护门外）	1 次/年	单位已提前制定

61	71号专用电梯	南侧走廊	1次/年	单位已提前制定
62	GMP区域	北侧走廊	1次/年	单位已提前制定
63~64	固体靶热室	操作位和楼上	1次/年	单位已提前制定
65~66	合成分装热室	操作位和楼上	1次/年	单位已提前制定
67~68	放化质控室	东侧、西侧	1次/年	单位已提前制定
69~71	小动物PET室	北侧预留吊装口、东侧走廊、南侧控制室	1次/年（其中控制室1次/月）	单位已提前制定
72~73	2号衰变池	东侧、南侧停车区域	1次/年	本次验收内容
74		北侧空调机房	1次/年	本次验收内容

表 3-6 表面污染水平监测计划

编号	场所名称	监测点位置	β 表面污染 (Bq/cm ²)
1~5	核医学科门诊高活室（注射室）	手套箱台面、高活室地面、注射窗、运动负荷室、通气室	本次验收内容
6	功能测定室	地面	本次验收内容
7~9	注射后等候室 1	候诊室地面、候诊椅、卫生间	本次验收内容
10~12	注射后等候室 2	候诊室地面、候诊椅、卫生间	本次验收内容
13~15	注射后等候室 3	候诊室地面、候诊椅、卫生间	本次验收内容
16~18	注射后等候室 4	候诊室地面、候诊椅、卫生间	本次验收内容
19~21	注射后等候室 5	候诊室地面、候诊椅、卫生间	本次验收内容
22~24	注射后等候室 6	候诊室地面、候诊椅、卫生间	本次验收内容
25~26	SPECT1室	病人床、地面	本次验收内容
27~28	SPECT2室	病人床、地面	单位已提前制定
29~30	PET/CT室	病人床、地面	本次验收内容
31~33	低能留观室	候诊室地面、候诊椅、卫生间	本次验收内容
34~36	高能留观室	候诊室地面、候诊椅、卫生间	本次验收内容
37~38	小动物PET室	MicroPET/CT床、地面	单位已提前制定
39	固体靶热室	地面	单位已提前制定
40	合成分装热室	地面	单位已提前制定
41	71号专用电梯	前室地面	单位已提前制定
/	其他必要点位	废物桶、包装袋表面，工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等	本次验收内容

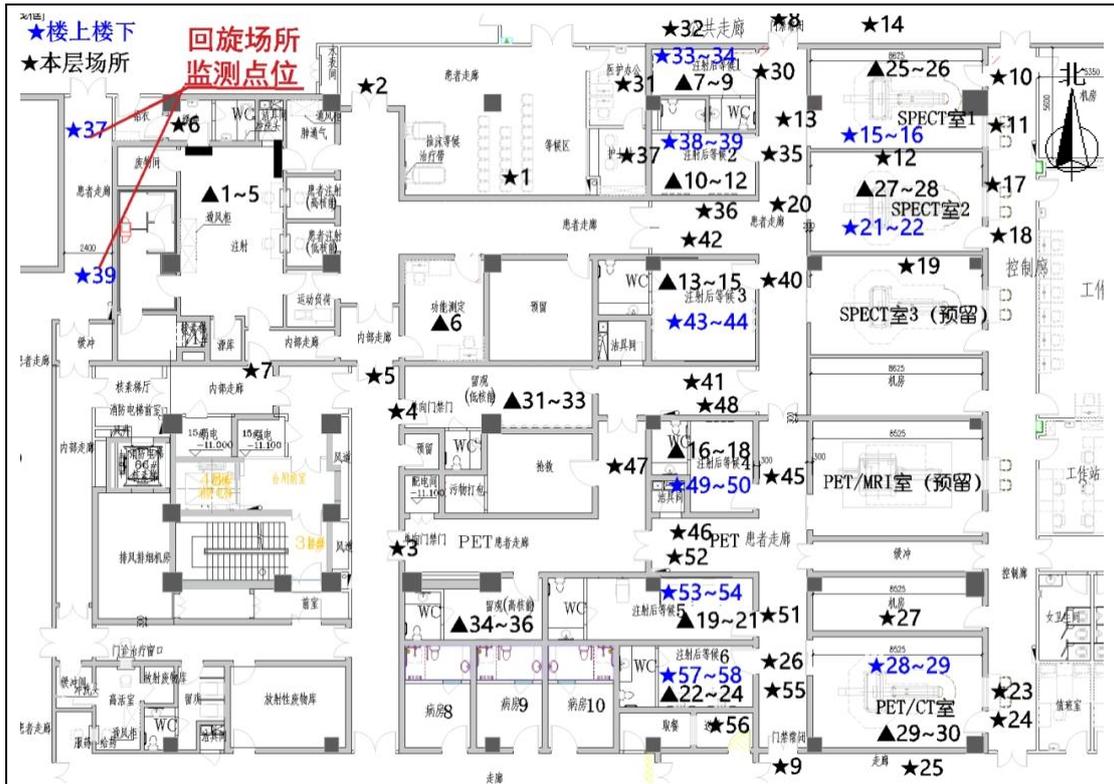


图 3-3 核医学科场所自行检测点位图（标注★为剂量率检测位置，▲为表面污染水平检测位置）

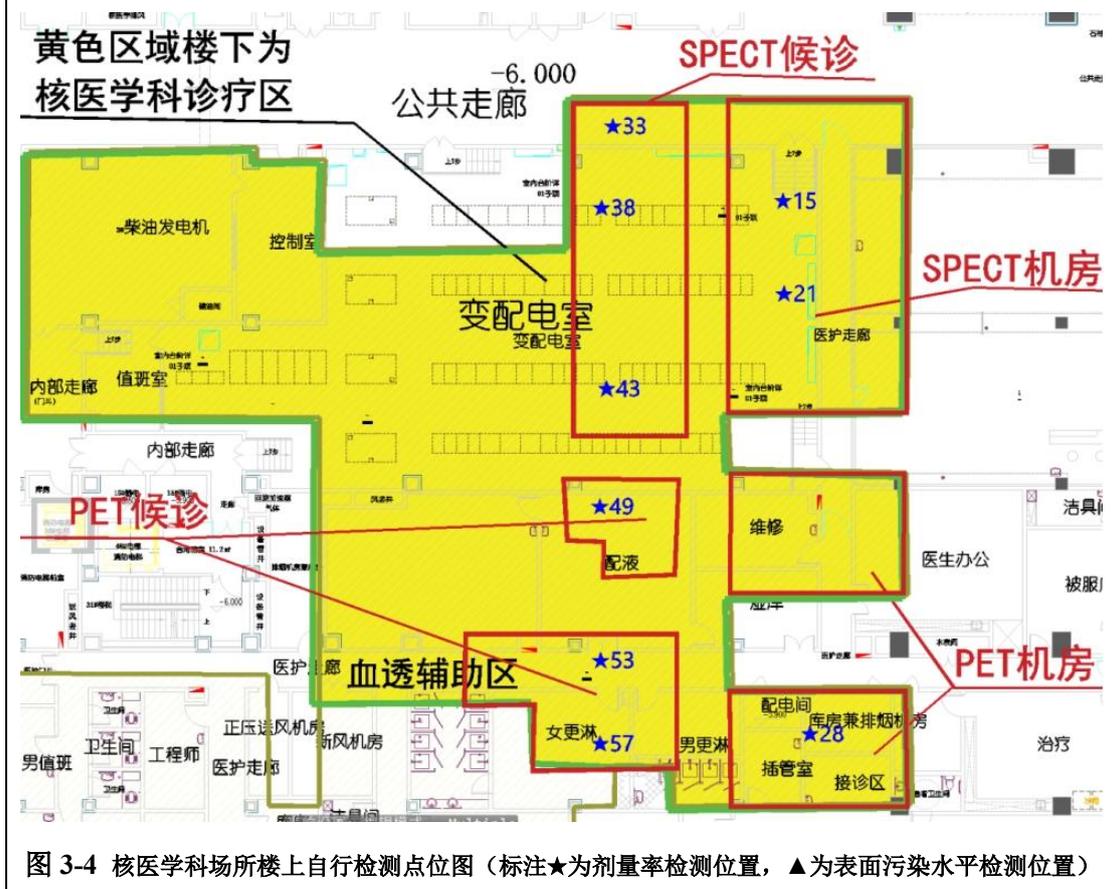


图 3-4 核医学科场所楼上自行检测点位图（标注★为剂量率检测位置，▲为表面污染水平检测位置）

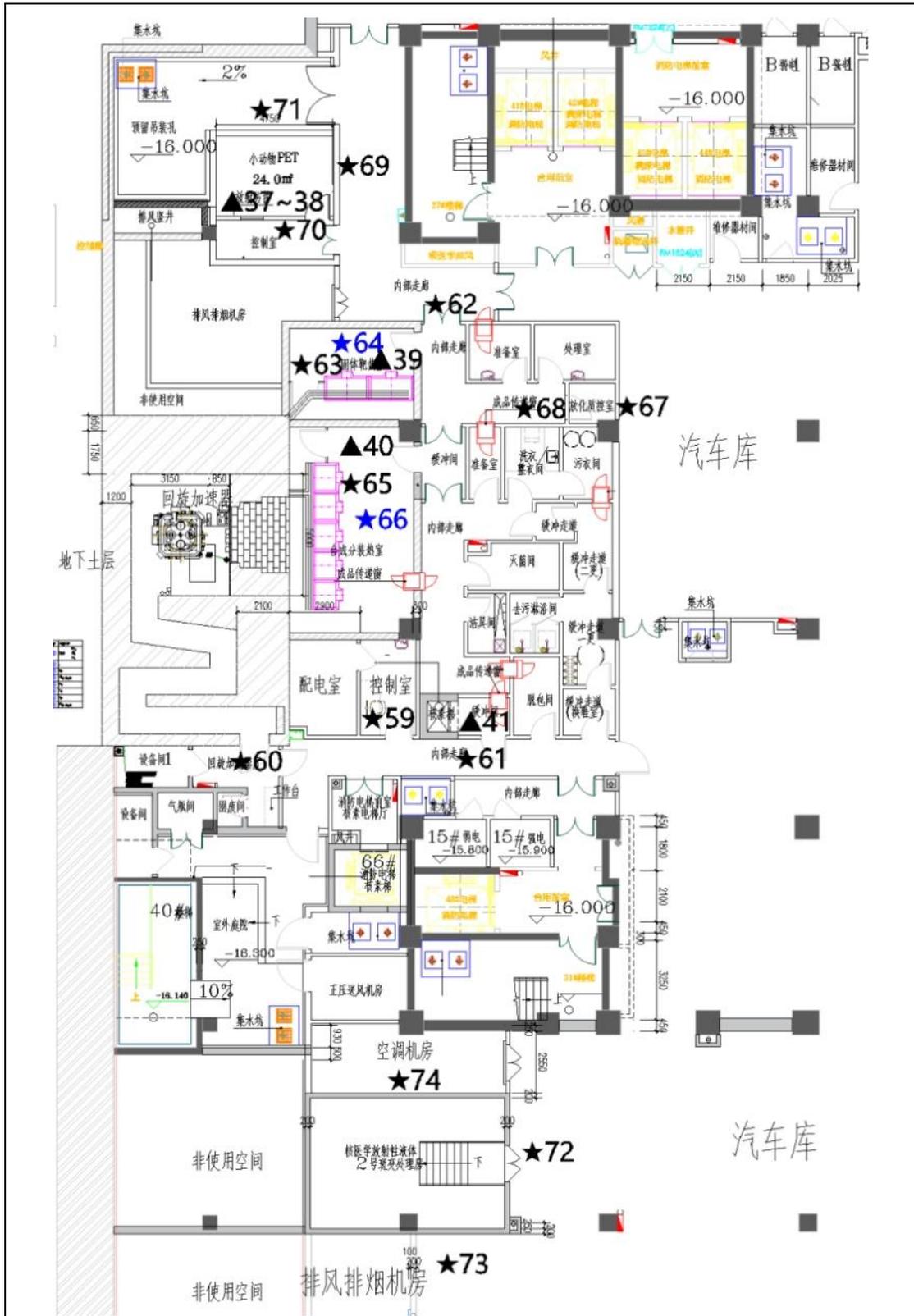


图 3-5 核医学科场所自行检测点位图（标注★为剂量率检测位置，▲为表面污染水平检测位置）

3.4 放射性三废处理设施情况

(1) 放射性废气

顺义院区核医学科门诊本次验收内容建设了 3 套排风：①地下三层衰变池间单独排风+活性炭过滤措施；②地下二层核医学门诊高活室手套箱+肺通气排风+高效过滤+活性炭过滤措施；③地下二层核医学门诊其他控制区排风+活性炭过滤措施。上述 3 套排风均已测试风速，风速均为 0.6m/s，引至医疗综合体西南侧排放，都高于本建筑物屋顶，高度约 45m(为医疗综合体的最高处)，符合环评及批复要求。

进管井前设有高效过滤器（过滤效率 $\geq 99.97\%$ ）和活性炭过滤器（过滤效率 $\geq 90\%$ ），每个常用活性炭重量为 0.9kg，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均为 0.6m/s；通风柜配套建设独立排风系统，排放口设在所在建筑顶部高处，排风速率满足辐射安全需要。

(2) 放射性废水

医院顺义院区核医学科门诊区域建设 1 个 2#衰变池（槽式，总容积为 142.56m^3 ， $2 \times 36.13\text{m}^3$ 、 $2 \times 35.15\text{m}^3$ ）（启泵容积为 82.02m^3 ， $2 \times 20.79\text{m}^3$ 、 $2 \times 20.22\text{m}^3$ ），含液位指示和报警装置，收集高活室、卫生间和清洗、应急淋浴废水，确保废水暂存超过 180 天，并经目前委托的单位中国原子能科学研究院辐射监测与评价实验室监测合格后排放。实际建设的衰变池满足环评及批复要求，本建设可行。

放射性废水槽式衰变池及专用集水坑，已做好机房排水存水弯和水平管道、衰变池和集水坑四周及盖板混凝土（铅）屏蔽防护措施，并已在附近设置围挡，防止无关人员进入。

(3) 放射性固体废物

顺义院区核医学科门诊区域设置 1 个废物间，并配备防辐射废物桶，实际已配备 20 个废物桶（10mmPb 当量 6 个、12mmPb 当量 2 个，20mmPb 当量 12 个），用于对放射性废物分类收集暂存。顺义院区核医学科废物桶实际配置情况满足环评及批复要求。

3.5 工程变动情况说明

经现场核实，顺义院区核医学科门诊区域本次验收内容的源项建设内容均与环评方案及批复内容一致。综上所述，该建设项目的性质、规模、地点、工作方式或者辐射防护措施均未发生重大变动。

表 4 环境影响报告表主要结论及审批部门审批决定

4.1 环境影响报告表主要结论与建议

(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 2mSv/a 和 100 μ 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。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) PET 的刻度源属于 V 类放射源, 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。

(4) 放射性“三废”排放。预计核医学科相关工作场所运行后, 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 540kg (包含手套箱过滤器等)。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; 对于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, 最后委托有放射性固废处理资质的单位处理。将产生极少量的放射性废气从核医学科楼顶排出, 排放大气环境中会进一步稀释, 远低于到处空气浓度限值。

(5) 辐射安全防护管理: 医院设有辐射安全与环境保护管理机构, 负责全院的辐射安全管理和监督工作。医院将根据本次所申请项目种类制定健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、人员培训考核计划、职业健康检查制度、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。

综上所述, 北京友谊医院顺义院区新建核医学科诊疗项目, 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。

4.2 主要审批决定

(1) 拟建项目位于顺义区后沙峪镇顺义新城第 18 街区北部（后沙峪组团）18-01-001 地块，内容为在你单位医疗综合体地下二层、三层新建核医学科，含 3 个非密封放射性物质工作场所。具体为：1) 在地下三层西南角新建正电子药物制备区（乙级）使用 1 台 IBA 公司 Cyclone KIUBE 型 18MeV 回旋加速器，制备（合成、分装）F-18、Ga-68、N-13、C-11 正电子药物；在西南角北侧新建动物 PET 室（丙级），配置 1 台小动物 PET/CT，使用 F-18、Ga-68、N-13、C-11 核素开展小动物实验；2) 在地下二层西南角北侧新建核医学科门诊（乙级）配置 1 台 PET/CT、2 台 SPECT/CT，使用 1 枚 V 类 Ge-68 刻度源，使用 F-18、Ga-68、N-13、C-11、Tc-99m、I-123、I-131 核素开展显像诊断，使用 I-131 开展甲功检查。项目主要环境问题是辐射安全和防护，在全面落实环境影响报告表和本批复提出的各项污染防治措施后，对环境的影响是可以接受的。同意该环境影响报告表的总体结论。

(2) 根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和环境影响报告表预测，拟建项目公众和职业照射剂量约束值分别执行 0.1mSv/a 和 2mSv/a。须调整质控室布局、优化核医学门诊楼顶布局并强化防护，核实报告中混凝土抹灰、硫酸钡抹灰防护效果，确保场所控制区各边界外、控制区内各房间墙体（含手套箱、核素传输管沟等）外表面 30cm 处的辐射剂量率不大于 2.5 μ Sv/h。控制区、监督区 β 放射性物质表面污染控制水平分别不大于 40Bq/cm²、4Bq/cm²。衰变池废水排放总 α 、总 β 放射性水平不大于 1Bq/L、10Bq/L，I-131 活度浓度不大于 10Bq/L。

(3) 各辐射工作场所须分别实行分区管理，设置明显控制区、监督区标识（含患者地面引导），以及放射性标志、中文警示说明和工作状态指示等。采取铅罐、防护手套箱、自动合成仪、自动分装仪、铅注射窗、人流物流门禁、患者出口专用电梯、候诊室（PET 不超过 3 人）和留观室设铅屏风隔断等安全防护措施，配备铅衣、铅帽等防护用品，防止误操作、避免工作人员和公众受到意外照射。

(4) 须健全辐射安全管理规章制度、操作规程和应急预案。包括制备、外购药物送递流程，各种药物分装、注射（口服）、检查（PET/CT、SPECT/CT，含肺通气、甲功）辐射防护规程，按场所监测方案（含上下楼布点对应场所），

放射性废物、废水、废气分类收集设施管理及暂存、检测、解控规程，诊疗异常事件防范措施及应对规程、应急淋浴控制、质控检测规程等。顺义院区核医学科新增不少于 24 名辐射工作人员，均须通过辐射安全与防护考核，并进行个人剂量监测。增配 11 台套辐射监测仪器（见附件 3），定期开展场所和周围环境辐射水平监测，规范编写、按时上报年度评估报告。

（5） 建立正电子药物制备辐射防护管理规程，包括回旋加速器使用（含维护、维修）防护规程，打靶时间、次数、核素种类、数量（含应急外购）控制规定，各种核素药物制备（合成、分装、质控）防护规程，废液（水）、废物收集处置规程，破靶等放射性污染处置措施等。

（6） 放射性同位素操作须在专用防护手套箱内进行。放射性废气经 6 套独立排风系统、两级过滤装置（需明确每个设计规格）、高于医疗综合体楼顶（约 45 米朝南排放，过滤装置滤材每年至少更换一次，并按放射性固体废物妥善处置）。配备 14 个防护废物桶，分 A 类、B 类收集放射性固体废物。设置放射性废物暂存库，配备 1 台 120L 冷柜，确保 A 类废物（含动物尸体）暂存超过 30 日，B 类废物分别暂存 30 日以上且超过 10 倍最长半衰期（含 I-131 废物为 180 日）、并经监测合格后解控。设置放射性废水槽式衰变池（4×20.22m³），含液位指示和报警装置，收集高活室、卫生间和清洗、应急淋浴废水，确保废水暂存超过 180 天、并经监测合格后排放。

（7） 项目建设须严格执行配套的放射防护设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用的环境保护“三同时”制度。

（8） 自环境影响报告表批复之日起五年内项目未能开工建设的，本批复自动失效。项目性质、规模、地点或环保措施发生重大变化，应重新报批建设项目环评文件。

（9） 根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》的有关规定，你单位须据此批复文件、满足相关条件并办理辐射安全许可证后，相关场所、设施与装置方可投入使用。项目竣工后须按照有关规定及时开展环保验收。

- 附件：1.射线装置、放射源和放射性药物使用明细表
2.核医学科辐射防护用品配置表
3.新增监测仪器配置表

4.放射性废气收集排放筒表:

附件 1

射线装置使用明细表

射线装置名称	类别	数量	型号	主要参数	工作场所
18MeV回旋加速器	II	1	IBA公司 Cyclone KIUBE	18MeV (质子) 75 μ A \times 2	正电子核素制备区
SPECT/CT	III	1	待定	140kV/500mA	核医学科门诊 SPECT室1
SPECT/CT	I	1	待定	140kV/500mA	核医学科门诊 SPECT室2
PET/CT	III	1	待定	140kV/800mA	核医学科门诊 PET/CT室
动物PET/CT	III	1	待定	90kV/2mA	核医学小动物PET室

放射源使用明细表

核素名称	活度(Bq)	数量(枚)	类别	用途	贮存地点
Ge-68	1.11E+08	1	V	PET/CT质控校准	核医学科源库

非密封放射性物质使用明细表

场所名称	核素名称	场所级别	日最大操作量(Bq)	日等效最大操作量(Bq)	年最大用量(Bq)	用途
正电子核素制备区	F-18	乙级	1.11E+11	1.11E+9	2.78E+13, 250日/年	正电子 药物制 备
	Ga-68		4.5E+9	4.5E+7	2.25E+11, 50日/年	
	C-11		1.4E+10	1.40E+8	7.00E+11 50日/年	
	N-13		3.7E+10	3.70E+8	1.85E+12 50日/年	
动物PET室	F-18	丙级	9.25E+7	9.25E+5	4.63E+09, 50日/年	小动物 PET/CT 显像
	Ga-68		9.25E+7	9.25E+5	1.11E+09, 12日/年	
	C-11		3.70E+7	3.70E+5	4.44E+08, 12日/年	
	N-13		3.70E+7	3.70E+5	4.44E+08, 12日/年	

核医学科门诊	F-18	乙级	7.40E+09 (3.70E+08Bq/人 20人次/日)	7.40E+06	1.85E+12, 250日/年	PET/CT显 像
	Ga-68		3.70E+08 (1.85E+08Bq/人 2人次/日)	3.70E+06	1.85E+10, 50日/年	
	C-11		7.40E+8 (3.70E+08Bq/人 2人次/日)	7.40E+06	3.70E+10, 50日/年	
	N-13		7.40E+8 (3.70E+08Bq/人 2人次/日)	7.40E+06	3.70E+10, 50日/年	
	Tc-99m		1.48E+9Bq (7.40E+08Bq/人 2人次/日)	1.48E+08	7.40E+10, 50日/年	肺通气 SPECT/CT 显像
	Tc-99m		3.70E+10Bq (9.25E+08Bq/人 40人次/日)	3.70E+07	9.25E+12, 250日/年	SPECT/CT 显像
	I-123		1.48E+09Bq (3.70E+08Bq/人 4人次/日)	1.48E+07	7.40E+10, 50日/年	
	I-131		9.25E+08Bg (1.85E+08Bq/人 5人次/日)	9.25E+06	9.25E+10, 100日/年	
	I-131		3.33E+06Bq (3.33E+05Bq/人 10人次/日)	3.33E+04	3.33E+08, 100日/年	

附件 2

核医学科辐射防护用品配置表

名 称	数量(个)	规格	使用场所
手套箱	1	50mmPb	门诊高活室
	1	10mmPh	
注射器防护套	2	1个20mmPb钨合金 1个10mmPb钨合金	门诊高活室
翻转式铅罐	1	42mmPb	门诊高活室
注射车	1	5mmPb	运动负荷室
转运防护盒	1	1个25mmPb	门诊高活室
防护注射窗	2	1个40mmPb 1个20mmPb	门诊注射窗口
储源保险柜	1	型号待定	源库

药物转运防护罐	2	42mmPb	放化合成室
转运防护盒	2	25mmPb	放化合成室
合成热室	4	70mmPb铅当量	放化合成室
分装热室	1	正面60mmPb, 其它各面50mmPb	放化合成室
铅废物桶	1	50mmPb	回旋加速器室固废间
	1	5mmPb	放化合成室
	4	5mmPb	门诊废物间
		20mmPb	门诊注射室
	1	5mmPb	门诊注射室
	4	5mmPb	动物PET室
	2	10mmPb	患者出口处2个
铅衣、铅围脖	5	0.5mmPb/0.25mmpb	SPECT机房和高活室
移动铅屏风	7	2mmPb	SPECT候诊室 留观室
	4	6mmPb	PET候诊室、留观室
铅玻璃	1	10mmPb	放化质控室

附件 3

新增监测仪器配置表

序号	场所	监测设备
1	核医学门诊	1台便携式辐射剂量巡测仪 1台表面污染监测仪
2	正电子核素制备区	2台便携式辐射剂量巡测仪 1台表面污染监测仪 4台个人剂量报警仪 1套多探头固定式剂量报警仪
3	动物PET室	1台便携式表面污染巡测仪
合计		11台套

表 5 验收监测质量保证及质量控制

北京贝特莱博瑞技术检测有限公司接受委托对本项目顺义院区核医学科门诊场所进行了验收监测。本次监测使用方法、仪器及人员均符合该公司的质量管理体系要求：

(1) 监测仪器由法定剂量检定单位定期检定/校准，检定周期为 1 年，对仪器设备进行期间核查和经常性的检验；

(2) 对委托单位的资质情况进行查验；

(3) 监测工作严格按有关标准进行。

表 6 验收监测内容

6.1 监测项目

本项目已委托北京贝特莱博瑞技术检测有限公司于 2024 年 5 月 22 日~23 日对本项目顺义院区核医学科门诊相关场所进行了验收监测，并出具了检测报告（检测报告编号分别为 2024BJC-H0012、2024BJC-H0013、2024BJC-K0008），详见附件 3。

本项目验收监测项目为核医学科门诊区域工作场所外周围剂量当量率及表面污染水平。

6.2 监测点位

监测点位包括本项目顺义院区核医学科门诊外毗邻场所、操作位及相其他关辐射场所位置。监测点位示意图见图 6-1~6-3。

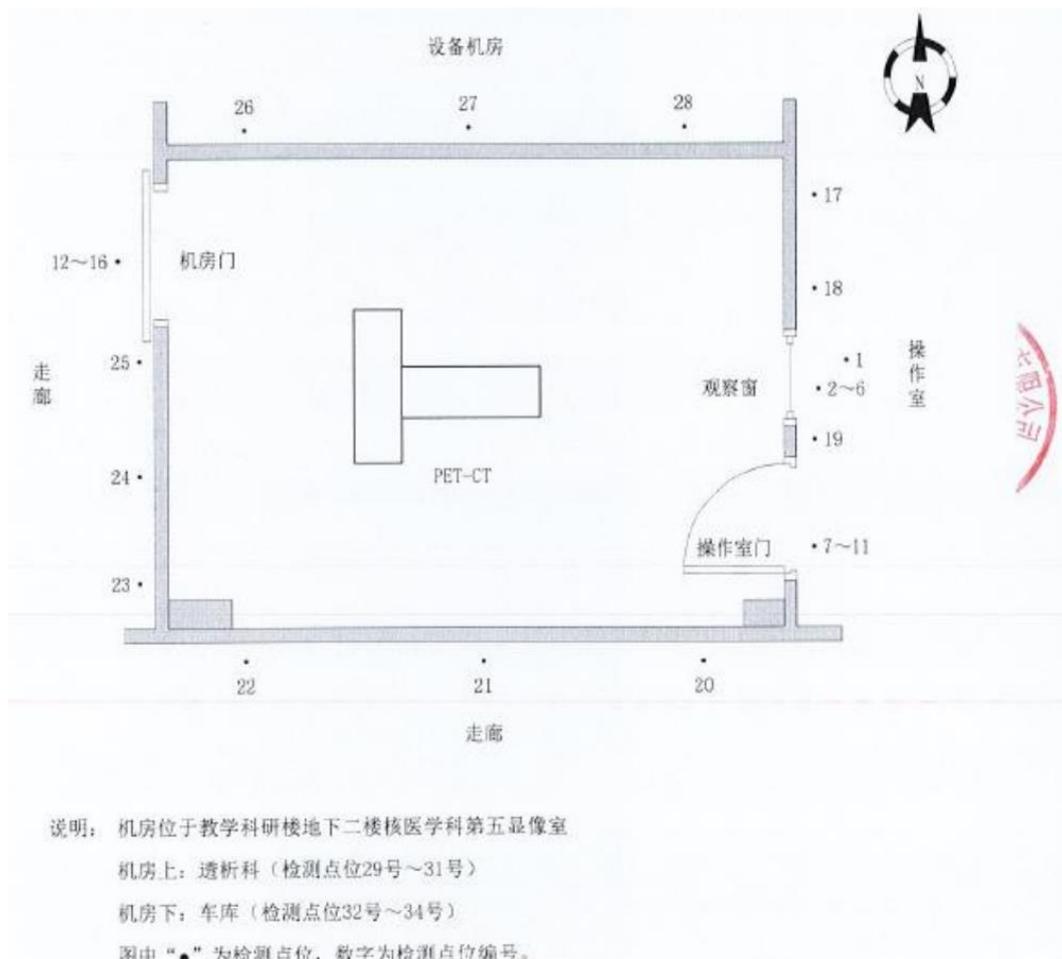


图 6-1 顺义院区核医学科 PET/CT 场所验收检测点位示意图

6.3 监测仪器

本项目采用的监测仪器及性能指标相关信息见表 6-1 所示。

表 6-1 监测仪器及性能指标

仪器名称	仪器型号	仪器编号	检定有效期	技术参数
X、 γ 剂量率仪	AT1121	BT-078	2024.10.22	测量范围：50nSv/h~10Sv/h (10nSv~10Sv)； 能量范围：0.015-10MeV；
X、 γ 剂量仪	AT1121	BT-048	2024.06.21	测量范围：50nSv/h~10Sv/h (10nSv~10Sv)； 能量范围：0.015-10MeV；
风速仪	TSI9515	BT-026	2024.10.09	探测范围：0.1-32m/s
α 、 β 表面污染测量仪	CoMo170	BT-025	2025.06.24	探测器尺寸：170cm ² ； 探测效率：37% (β)、18% (F-18)、 3% (Tc-99m)、42% (Y-90)。

6.4 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《X 射线计算机体层摄影装置质量控制检测规范》WS519-2019、《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)、《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。

表 7 验收监测

7.1 验收监测工况

本次验收检测 PET/CT 设备场所的现场射线装置检测条件为 120kV/300mA/17s；准直宽度为 20mm。SPECT/CT 设备场所的现场射线装置检测条件为 120kV/200mA/10.45s；准直宽度为 10mm。

第一显像室（SPECT/CT 室 1）、注射候诊室 1~3、留观室、抢救室、肺通气室、运动负荷室、Tc-99m 注射台内分别有 925Bq 的 Tc-99m 核素用量；第五显像室（PET/CT 室）、注射候诊室 4~6、观察室、F-18 注射台内、患者入口内走廊分别有 333Bq 的 F-18 核素用量；F-18、Tc-99m 通风柜内分别有放射性药物 F-18、Tc-99m。在注射核素后用 SPECT/CT、PET/CT 显像扫描时检测条件均为 120kV/200mA，准直宽度为 10mm。

本项目在进行验收监测时主体工程工况稳定，辐射安全与防护设施已建成，设备运行正常。

核医学科一般情况下 I-131 患者单次使用量为 1.11E+08Bq（3mCi），Tc-99m 为 9.25E+08Bq（25mCi），Tc-99m 影响较大。综述，核医学科场所本次分段验收 F-18、Tc-99m 用量最大，对周围的辐射影响最大，本项目诊断分别以 F-18 和 Tc-99m 核素检测结果来评价相关区域剂量估算是合理的。

7.2 验收监测结果

7.2.1 验收监测结果

（1）核医学科 PET/CT 室周围剂量当量率监测结果见表 7-1 所示

表 7-1 顺义院区核医学科 PET/CT 场所周围剂量当量率监测结果

序号	监测位置（距机房屏蔽体外表面 30cm 处）	检测结果（ $\mu\text{Sv/h}$ ）	备注
1	放射工作人员操作位	0.12	
2	操作室观察窗窗体	0.17	
3	操作室观察窗上部缝隙	0.18	
4	操作室观察窗下部缝隙	0.19	
5	操作室观察窗左侧缝隙	0.23	
6	操作室观察窗右侧缝隙	0.20	
7	操作室门门体	0.17	
8	操作室门上部缝隙	0.18	
9	操作室门下部缝隙	0.19	
10	操作室门左侧缝隙	0.23	

11	操作室门右侧缝隙	0.17	
12	机房门门体	0.12	
13	机房门上部缝隙	0.12	
14	机房门下部缝隙	0.12	
15	机房门左侧缝隙	0.12	
16	机房门右侧缝隙	0.12	
17	机房东墙外北侧毗邻场所	0.12	
18	机房东墙外中部毗邻场所	0.12	
19	机房东墙外南侧毗邻场所	0.12	
20	机房南墙外东侧毗邻场所	0.12	
21	机房南墙外中部毗邻场所	0.12	
22	机房南墙外西侧毗邻场所	0.12	
23	机房西墙外南侧毗邻场所	0.12	
24	机房西墙外中部毗邻场所	0.12	
25	机房西墙外北侧毗邻场所	0.12	
26	机房北墙外西侧毗邻场所	0.12	
27	机房北墙外中部毗邻场所	0.12	
28	机房北墙外东侧毗邻场所	0.12	
29	机房上东侧距顶棚地面 100cm 处	0.12	
30	机房上中央距顶棚地面 100cm 处	0.12	
31	机房上西侧距顶棚地面 100cm 处	0.12	
32	机房下东侧距楼下地面 170cm 处	0.12	
33	机房下中央距楼下地面 170cm 处	0.12	
34	机房下西侧距楼下地面 170cm 处	0.12	
--	机房采光窗外	--	无采光窗
--	机房管线洞口外	--	无管线洞口
--	现场本底平均值	0.119±0.003	
注：①现场本底值范围（0.112~0.125） $\mu\text{Sv/h}$ ，以上检测结果均为扣除本底值。 ②当仪器读数 ≤ 2 倍本底范围最大值时，其检测结果不扣除本底读数平均值，如果仪器的读数是本底范围最大值的2倍以上时，才能确认还有其他辐射存在，其检测结果扣除本底读数平均值。以上检测结果（本底平均值除外）均为该点位最大值。 ③3X射线设备机房屏蔽体外剂量水平要求：CT机、乳腺摄影、乳腺CBCT、口内牙片摄影、牙科全摄影、牙科全景头颅摄影、口腔CBCT和全身骨密度仪机房外的周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。			

表 7-2 顺义院区核医学科 SPECT/CT 场所周围剂量当量率监测结果

序号	监测位置（距机房屏蔽体外表面 30cm 处）	检测结果（ $\mu\text{Sv/h}$ ）	备注
1	放射工作人员操作位	0.12	
2	操作室观察窗窗体	0.13	
3	操作室观察窗上部缝隙	0.12	
4	操作室观察窗下部缝隙	0.12	
5	操作室观察窗左侧缝隙	0.12	

6	操作室观察窗右侧缝隙	0.12	
7	操作室门门体	0.12	
8	操作室门上部缝隙	0.13	
9	操作室门下部缝隙	0.13	
10	操作室门左侧缝隙	0.12	
11	操作室门右侧缝隙	0.12	
12	机房门门体	0.12	
13	机房门上部缝隙	0.12	
14	机房门下部缝隙	0.16	
15	机房门左侧缝隙	0.15	
16	机房门右侧缝隙	0.16	
17	机房东墙外北侧毗邻场所	0.12	
18	机房东墙外中部毗邻场所	0.12	
19	机房东墙外南侧毗邻场所	0.12	
20	机房南墙外东侧毗邻场所	0.12	
21	机房南墙外中部毗邻场所	0.12	
22	机房南墙外西侧毗邻场所	0.12	
23	机房西墙外南侧毗邻场所	0.12	
24	机房西墙外中部毗邻场所	0.12	
25	机房西墙外北侧毗邻场所	0.12	
26	机房北墙外西侧毗邻场所	0.12	
27	机房北墙外中部毗邻场所	0.12	
28	机房北墙外东侧毗邻场所	0.12	
29	机房上东侧距顶棚地面 100cm 处	0.12	
30	机房上中央距顶棚地面 100cm 处	0.12	
31	机房上西侧距顶棚地面 100cm 处	0.12	
32	机房下东侧距楼下地面 170cm 处	0.12	
33	机房下中央距楼下地面 170cm 处	0.12	
34	机房下西侧距楼下地面 170cm 处	0.12	
--	机房采光窗外	--	无采光窗
--	机房管线洞口外	--	无管线洞口
--	现场本底平均值	0.119~0.003	
注：①现场本底值范围（0.112~0.125） μ Sv/h，以上检测结果均为扣除本底值。 ②当仪器读数 \leq 2 倍本底范围最大值时，其检测结果不扣除本底读数平均值，如果仪器的读数是本底范围最大值的 2 倍以上时，才能确认还有其他辐射存在，其检测结果扣除本底读数平均值。以上检测结果（本底平均值除外）均为该点位最大值 ③ 3X 射线设备机房屏蔽体外剂量水平要求：CT 机、乳腺摄影、乳腺 CBCT、口内牙片摄影、牙科全摄影、牙科全景头颅摄影、口腔 CBCT 和全身骨密度仪机房外的周围剂量率应不大于 2.5 μ Sv/h。			

表 7-3 顺义院区核医学科非密封源工作场所周围剂量当量率监测结果

序号	监测位置（距机房屏蔽体外表面 30cm 处）	检测结果（ $\mu\text{Sv/h}$ ）	备注
1	第一显像室工作人员操作位	0.12	控制区边界
2	第一显像室观察窗窗体	0.12	
3	第一显像室观察窗上部缝隙	0.11	
4	第一显像室观察窗下部缝隙	0.11	
5	第一显像室观察窗左侧缝隙	0.11	
6	第一显像室观察窗右侧缝隙	0.11	
7	第一显像室操作室门门体	0.11	
8	第一显像室操作室门上部缝隙	0.12	
9	第一显像室操作室门下部缝隙	0.12	
10	第一显像室操作室门左侧缝隙	0.11	
11	第一显像室操作室门右侧缝隙	0.11	
12	第一显像室机房门门体	0.11	控制区内
13	第一显像室机房门上部缝隙	0.11	
14	第一显像室机房门下部缝隙	0.15	
15	第一显像室机房门左部缝隙	0.14	
16	第一显像室机房门右部缝隙	0.14	
17	第一显像室东墙外	0.11	控制区边界
18	第一显像室南墙外	0.11	控制区内
19	第一显像室西墙外	0.11	
20	第一显像室北墙外	0.11	控制区边界
21	第一显像室上	0.11	
22	第一显像室下	0.11	
23	第五显像室工作人员操作位	0.37*	
24	第五显像室观察窗窗体	0.65*	
25	第五显像室观察窗上部缝隙	0.69*	
26	第五显像室观察窗下部缝隙	0.44*	
27	第五显像室观察窗左部缝隙	0.45*	
28	第五显像室观察窗右部缝隙	0.61*	
29	第五显像室操作室门门体	0.49*	
30	第五显像室操作室门上部缝隙	0.97*	
31	第五显像室操作室门下部缝隙	0.46*	
32	第五显像室操作室门左部缝隙	0.46*	
33	第五显像室操作室门右部缝隙	0.43*	
34	第五显像室机房门门体	0.16	控制区内
35	第五显像室机房门上部缝隙	0.18	
36	第五显像室机房门下部缝隙	0.19	
37	第五显像室机房门左部缝隙	0.19	
38	第五显像室机房门右部缝隙	0.68*	
39	第五显像室东墙外	0.26*	控制区边界

40	第五显像室南墙外	0.20	
41	第五显像室西墙外	0.12	控制区内
42	第五显像室北墙外	0.12	控制区边界
43	第五显像室上	0.12	
44	第五显像室下	0.12	
45	第一候诊室门外	0.11	控制区内
46	第一候诊室东墙外	0.11	
47	第一候诊室南墙外	0.11	
48	第一候诊室西墙外	0.11	控制区边界
49	第一候诊室北墙外	0.11	
50	第一候诊室上	0.12	
51	第一候诊室下	0.12	
52	第二候诊室门外	0.11	控制区内
53	第二候诊室东墙外	0.11	
54	第二候诊室南墙外	0.11	
55	第二候诊室西墙外	0.11	控制区边界
56	第二候诊室北墙外	0.11	控制区内
57	第二候诊室上	0.12	控制区边界
58	第二候诊室下	0.12	
59	第三候诊室门外	0.12	控制区内
60	第三候诊室东墙外	0.11	
61	第三候诊室南墙外	0.11	
62	第三候诊室西墙外	0.11	
63	第三候诊室北墙外	0.12	
64	第三候诊室上	0.12	控制区边界
65	第三候诊室下	0.12	
66	第四候诊室门外	1.8*	控制区内
67	第四候诊室东墙外	0.13	
68	第四候诊室南墙外	0.13	
69	第四候诊室西墙外	0.12	
70	第四候诊室北墙外	0.12	
71	第四候诊室上	0.12	控制区边界
72	第四候诊室下	0.12	
73	第五候诊室门外	1.4*	控制区内
74	第五候诊室东墙外	0.13	
75	第五候诊室南墙外	0.12	
76	第五候诊室西墙外	0.12	
77	第五候诊室北墙外	0.12	
78	第五候诊室上	0.12	控制区边界
79	第五候诊室下	0.12	
80	第六候诊室门外	1.1*	控制区内
81	第六候诊室东墙外	0.13	

82	第六候诊室南墙外	0.13	控制区边界
83	第六候诊室西墙外	0.13	
84	第六候诊室北墙外	0.12	控制区内
85	第六候诊室上	0.12	控制区边界
86	第六候诊室下	0.12	
87	留观室东门外 (SPECT 留观室)	0.11	控制区内
88	留观室西门外 (SPECT 留观室)	0.11	
89	留观室东墙外 (SPECT 留观室)	0.11	
90	留观室南墙外 (SPECT 留观室)	0.11	
91	留观室西墙外 (SPECT 留观室)	0.11	
92	留观室北墙外 (SPECT 留观室)	0.12	
93	留观室上 (SPECT 留观室)	0.12	控制区边界
94	留观室下 (SPECT 留观室)	0.12	
95	观察室门外 (PET 留观室)	1.4*	控制区内
96	观察室东墙外 (PET 留观室)	0.12	
97	观察室南墙外 (PET 留观室)	0.13	
98	观察室西墙外 (PET 留观室)	0.12	
99	观察室北墙外 (PET 留观室)	0.12	
100	观察室上 (PET 留观室)	0.12	控制区边界
101	观察室下 (PET 留观室)	0.12	
102	抢救室门外	0.41*	控制区内
103	抢救室东墙外	0.12	
104	抢救室南墙外	0.11	
105	抢救室西墙外	0.11	
106	抢救室北墙外	0.11	
107	抢救室上	0.12	控制区边界
108	抢救室下	0.12	
109	运动负荷室东门外	0.12	控制区内
--	运动负荷室西门外	--	为高活室
110	运动负荷室东墙外	0.12	控制区内
111	运动负荷室南墙外	0.12	
--	运动负荷室西墙外	--	为高活室
112	运动负荷室北墙外	0.12	控制区内
113	运动负荷室上	0.12	控制区边界
114	运动负荷室下	0.12	
115	肺通气室东门外	0.12	控制区内
--	肺通气室西门外	--	为高活室
116	肺通气室东墙外	0.12	控制区内
117	肺通气室南墙外	0.12	
--	肺通气室西墙外	--	为高活室
118	肺通气室北墙外	0.12	控制区边界
119	肺通气室上	0.12	

120	肺通气室下	0.12	
121	高活室东 1 门外	0.12	控制区内
122	高活室东 2 门外	0.12	
123	高活室南门外	0.16*	
124	高活室北门外	0.15*	控制区边界
--	高活室东墙外	--	为肺通气室、运动负荷室、第一注射室、第二注射室
125	高活室南墙外	0.23*	控制区内
126	高活室西墙外	0.13	控制区边界
127	高活室北墙外	0.12	
128	高活室上	0.12	
129	高活室下	0.12	
130	Tc-99m 通风柜观察窗表面 5cm 处	0.13	控制区内
131	Tc-99m 通风柜中部表面 5cm 处	0.12	
132	F-18 通风柜观察窗表面 5cm 处	0.82*	
133	F-18 通风柜中部表面 5cm 处	0.92*	
134	Tc-99m 注射台观察窗表面 0.3m 处	0.13	
135	Tc-99m 注射台中部表面 0.3m 处	0.12	
136	F-18 注射台观察窗表面 0.3m 处	1.8*	
137	F-18 注射台中部表面 0.3m 处	0.63*	控制区边界
138	患者入口（北）	0.23*	
139	注射前等候区南墙	0.11	
140	注射前等候区西墙	0.11	
--	现场本底平均值	0.115~0.004	

注：①现场本底范围（0.105~0.110） $\mu\text{Sv/h}$ ；
 ②当仪器读数平均值 ≤ 2 倍本底读数平均值时，其检测结果不扣除本底读数平均值，如果仪器的读数平均值是本底读数平均值的 2 倍以上时，其检测结果扣除本底读数平均值。
 ③以上带有“*”的检测结果已扣除本底值。

表 7-4 顺义院区核医学科非密封源工作场所表面污染监测结果

序号	检测点位	β 表面污染检测结果 (Bq/cm^2)	备注
1	第一显像室诊断床表面	$< \text{MDL}_\beta$	控制区
2	第一显像室地面	$< \text{MDL}_\beta$	控制区
3	第五显像室诊断床表面	$< \text{MDL}_\beta$	控制区
4	第五显像室地面	$< \text{MDL}_\beta$	控制区
5	第一候诊室候诊椅表面	$< \text{MDL}_\beta$	控制区
6	第一候诊室地面	$< \text{MDL}_\beta$	控制区
7	第二候诊室候诊椅表面	$< \text{MDL}_\beta$	控制区
8	第二候诊室地面	$< \text{MDL}_\beta$	控制区
9	第三候诊室候诊椅表面	$< \text{MDL}_\beta$	控制区
10	第三候诊室地面	$< \text{MDL}_\beta$	控制区

11	第四候诊室候诊椅表面	<MDL _β	控制区
12	第四候诊室地面	<MDL _β	控制区
13	第五候诊室候诊椅表面	<MDL _β	控制区
14	第五候诊室地面	<MDL _β	控制区
15	第六候诊室候诊椅表面	<MDL _β	控制区
16	第六候诊室地面	<MDL _β	控制区
17	留观室地面	<MDL _β	控制区
18	观察室地面	<MDL _β	控制区
19	抢救室地面	<MDL _β	控制区
20	运动负荷室地面	<MDL _β	控制区
21	肺通气室地面	<MDL _β	控制区
22	高活室地面	<MDL _β	控制区

注：①当仪器测量结果修正值小于仪器探测下限时，检测结果报告值为“<MDL”，当检测结果修正值大于或等于仪器的探测下限时，检测结果报告值为该点位表面污染水平最大值。

② α、β 表面污染测量仪/COMO170 (cps 档)，探测下限：MDL_α=0.01Bq/cm²；MDL_β=0.06Bq/cm²。

③ β 放射性表面污染控制水平，控制区：≤4Bq/cm²；监督区：≤04Bq/cm²；工作服、鞋：≤0.4Bq/cm²。

由上述检测结果可知，本项目顺义院区核医学科门诊区域控制区、监督区 β 放射性物质不大于 40Bq/cm²、4Bq/cm²；核医学科门诊区域场所控制区边界外、楼上和楼下的辐射剂量率不大于 2.5μSv/h，均满足环评及批复中的剂量约束值要求。

7.2.2 运行期辐射环境影响分析

(1) 工作人员年附加有效剂量

根据本次验收内容，顺义院区核医学门诊区域 PET/CT 检查使用 F-18、Ga-68 显像；SPECT 检查使用 Tc-99m、I-123、I-131 显像诊断，使用 I-131 开展甲功测定。

核医学科一般情况下 I-131 患者单次使用量为 1.11E+08Bq (3mCi)，Tc-99m 为 9.25E+08Bq (25mCi)，Tc-99m 影响较大。综述，核医学科场所本次分段验收 F-18、Tc-99m 用量最大，对周围的辐射影响最大，本项目诊断分别以 F-18 和 Tc-99m 核素检测结果来评价相关区域剂量估算是合理的。

根据环评资料：在放射诊疗工作过程中，工作人员主要受照环节为源液分装、患者注射、患者摆位以及控制室操作显像设备等。

(1) PET 显像诊断

1) 开展 F-18 显像诊断每天最多 20 人次，年工作 250 天；Ga-68 显像诊断每天最多 2 人次，年工作 50 天，合计每年最多开展 5100 人次 PET/CT 检查（按照环评审批量进行验收）。

2) 手套箱内进行 PET 药物分装时间 1min/人次，全年累计分装时间为 85h（保守按每种正电子核素都要分装）；

3) 每人从手套箱转运到注射窗口约 10s，则年转运时间为 14.2h；

4) 每人每次的药物注射时间为 30s/人，PET 药物注射总时间为 42.5h；

5) PET/CT 摆位（1m 处）时间 30s/人，医院制度规定 PET/CT 患者都是广播指导摆位，扫描和摆位工作由 2 人完成，则每人分配累计摆位时间不大于 21.3h；

6) PET/CT 每次平均扫描时间为 20min，则 PET/CT 机房显像时间为 1700h；

7) 注射后候诊室停留时间保守取 2000h（每天 8h 估算）；

8) 每人留观 10min，留观室内的年留观时间约为 850h。

(2) SPECT 显像诊断

1) 核医学科门诊使用 SPECT 开展 Tc-99m 显像诊断每天最多 40 人次，年工作 250 天；Tc-99m 锝气显像诊断每天最多 2 人次，年工作 50 天；I-123 显像诊断每天最多 4 人次，年工作 50 天；I-131 显像诊断每天最多 5 人次，年工作 100 天，合计每年 SPECT 检查最大人数为 10800 人次，甲功检查使用 I-131 胶囊对工作人员增加的附加剂量可忽略。

2) 门诊工作场所使用的 SPECT 显像核素中，Tc-99m 按人份送药，无需再次分装。SPECT 使用的 I-123、I-131 分装时间按 1min/人次，全年累计分装时间为 11.7h；

3) 每人从手套箱转运到注射窗口约 10s，则年转运时间为 30h；

4) 每人每次的药物注射时间为 30s/人，注射 PET 药物总时间为 90h；

5) 每个病人的平均摆位时间 60s，则年总操作时间为 180h；

6) SPECT 每次平均扫描时间为 20min，则受检者平均在每间 SPECT 机房内的停留时间约为 1800h（I-131 扫描患者总停留时间 333h）；

7) SPECT 候诊室内人员的停留时间保守取 2000h；

8) Tc-99m 临床上无需留观, 保守假设扫描后每人留观 10min (按 2 人同时留观), 则留观室内受检人员留观时间约 900h。

9) 按照 10% 的 SPECT 检查患者做运动负荷试验, 每人约 15min 左右, 抢救兼运动室患者的停留时间为 250h。

(3) 质控

本次验收质控工作人剂量率引用环评报告中数据, 据环评报告可知:

1) SPECT/CT:

工作人员使用 Tc-99m 药物质控, 每台操作时间为 1h/a (本项目 3 台共 3h/a)。工作人员每年应稳定检测共需操作含 Tc-99m 药物活度为 740MBq (包括均匀性、平面灵敏度等各项指标所需), 操作距离为 30cm, 每台操作时间为 1h/a (本项目 3 台共 3h/a), 由 1MBqTc-99m 药液时对距 30cm 处人的深部当量剂量率为 $0.26\mu\text{Sv/h}$, 则 740MBq 对应 30cm 处剂量率为 $192.4\mu\text{Sv/h}$, 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 $21.5\mu\text{Sv/h}$ (50cm 处), 则工作人员附加剂量为 $64.5\mu\text{Sv/a}$ 。

2) PET/CT:

①本次分段验收内容中, 工作人员使用 F-18 代替刻度源每周质控 1 次进行均匀度等质控检测。环评中根据 AAPM Task Group 108 报告, 核素 F-18 的 K_{γ} 常数为 $0.143\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$, 给患者注射 370MBq 的 F-18 后, 注射时裸源 1m 处剂量率 $52.9\mu\text{Sv/h}$ 。质控时通常使用 37MBq F-18 药物, 则距离质控原液 1m 处的剂量率为 $5.3\mu\text{Sv/h}$, F-18 质控每次操作时间约 2min, 每台总操作时间为 1.67h/a, 则工作人员附加剂量约为 $8.9\mu\text{Sv/a}$ 。

3) 按照环评, 核医学科物理师每年应稳定检测共需操作含 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), 一般都委托厂家和第三方检测机构完成, 其中 SUV 指标是每半年一次, 灵敏度、空间分辨力每年一次。操作时间为 10min/a, 操作距离为 30cm, 每台操作时间为 10min/a, 则 37MBqF-18 药液距 30cm 处人的深部当量剂量率为 $58.8\mu\text{Sv/h}$ 。

表 7-5 核医学科门诊核素使用情况汇总表

显像类型	使用核素	诊疗量	操作环节								
			分装	转运	注射	摆位	扫描	候诊	留观	均匀度质控	稳定性质控
PET/CT 显像	F-18	20 人次/d, 250d/a	1min/人次	10s/人次	30s/人次	30s/人次	20min/人次	8h/d, 2000h/a	10min/人次	2min/次, 1次/周, 1.67h/a	第三方, 10min/a
	Ga-68	2 人次/d, 50d/a	85h/a	14.2h/a	42.5h/a	21.3h/a	1700h/a		850h/a		
SPECT/CT 显像	Tc-99m	40 人次/d, 250d/a	1min/人次	10s/人次	60s/人次	60s/人次	20min/人次	8h/d, 2000h/a	10min/人次 (按 2 人同时留观), 900h/a	1h/a	
	Tc-99m 锝气	2 人次/d, 50d/a									
	I-123	4 人次/d, 50d/a									
	I-131	5 人次/d, 100d/a									

备注：①PET/CT 检查每天最多使用两组核素，合计每年最多开展 5100 人次；
 ②SPECT/CT 检查合计每年最多开展 10800 人次；
 ③Tc-99m 按人份送药，无需再次分装。

基于以上分析，以及根据工作人员年操作时间、工作场所辐射剂量率以及工作人员操作位剂量率估算出工作人员年受照剂量，见表 7-6。

表 7-6 工作人员的年附加有效剂量

序号	估算位置		剂量率 (μSv/h)	操作时间 (h)	年有效剂量 (μSv)	备注
1	F-18 分装位	F-18 通风柜中部表面 5cm 处	0.93	85	79.1	由 2 名护士完成
2	F-18 转运	F-18 通风柜中部表面 5cm 处	1.03	14.2	14.6	
3	F-18 注射位	F-18 注射台观察窗表面 0.3m 处	1.91	42.5	81.2	
4	F-18 摆位	第五显像室工作人员操作位	0.48	21.3	10.2	由 2 名技师完成
5	F-18 扫描显像操作位	第五显像室工作人员操作位	0.48	1700	816.0	
6	Tc-99m 分装位	Tc-99m 通风柜观察窗表面 5cm 处	0.13	11.7	1.5	由 2 名护士完成
7	Tc-99m 转运	Tc-99m 通风柜中部表面 5cm 处	0.12	30	3.6	

8	Tc-99m 注射位	Tc-99m 注射台中部表面 0.3m 处	0.12	180	21.6	
9	Tc-99m 摆位	第一显像室工作人员操作位	0.12	180	21.6	由 2 名技师完成
10	Tc-99m 扫描显像操作位	第一显像室工作人员操作位	0.12	1800	216.0	
11	质控	SPECT/CT 用 Tc-99m 质控	21.5*	3	64.5	由 1 名物理师完成
12		PET/CT 用 F-18 进行均匀度周质控	5.3*	1.67	8.9	
13		PET/CT 厂家和第三方使用 F-18 稳定性质控	58.8*	0.17	9.8	
注：①现场本底值范围（0.105~0.110） $\mu\text{Sv/h}$ ，以上计算结果均未扣除本底值。 ②*引用环评报告数据或计算方法。						

根据以上估算结果，顺义院区核医学科门诊区域本次验收内容正常运行状态下，估算出各操作环节工作人员的最大受照剂量为 0.82mSv/a，满足环评及批复中年剂量约束值（2mSv/a）的要求。

（2）公众年附加有效剂量

根据环评报告可知：

- ① PET 注射后候诊室停留时间保守取 2000h（每天 8h 估算）；
- ② 每人留观 10min，留观室内的年留观时间约为 883h。
- ③ SPECT 候诊室内人员的停留时间保守取 2000h；
- ④ Tc-99m 临床上无需留观，保守按扫描后每人留观 10min（按 2 人同时留观），则留观室内受检人员留观时间约 900h。
- ⑤ 按照 10% 的 SPECT 检查患者做运动负荷试验，每人次约 15min 左右，抢救兼运动室患者的停留时间为 250h。

核医学科场所分区管理，病人给药、候诊和检查区域属于控制区，通常只有受检病人停留，不按公众区域考虑，患者及其陪同人员，仅在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， $T < 1/40$ ）。相关场所主要位置公众的年附加剂量估算见表 7-7。

表 7-7 核医学科门诊区域相关场所主要位置公众的年附加剂量

序号	位置		附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	居留 因子	全居留时间 (h/a)	年附加剂量 ($\mu\text{Sv/a}$)
1	PET/CT 室 (第五显像 室)	南墙走廊	0.095	1/16	1700	9.49
2		楼上配电间、库房等	0.015	1/16	1700	1.50
3		楼下车库	0.015	1/16	1700	1.50
4	SPECT 室 1(第一显 像室)	北墙公共走廊	0.005	1/16	1800	0.56
5		楼上走廊	0.005	1/16	1800	0.56
6		楼下车库	0.005	1/16	1800	0.56
7	注射后候 诊室 4	楼上配液室	0.015	1	2000	24.9
8		楼下车库	0.015	1/16	2000	1.56
9	注射后候 诊室 5	楼上走廊	0.015	1/16	2000	1.56
10		楼下车库	0.015	1/16	2000	1.56
11	注射后候 诊室 6	南墙病房取餐送餐间	0.025	1/16	2000	2.59
12		楼上更淋间	0.015	1/16	2000	1.56
13		楼下车库	0.015	1/16	2000	1.56
14	注射后候 诊室 1	西墙医护办	0.005	1	2000	10.0
15		北墙走廊	0.005	1/16	2000	0.63
16		楼上变配电室	0.015	1/16	2000	1.88
17		楼下车库	0.015	1/16	2000	1.88
18	注射后候 诊室 2	西墙护士站	0.005	1	2000	10.0
19		楼上变配电室	0.015	1/16	2000	1.88
20		楼下车库	0.015	1/16	2000	1.88
21	注射后候 诊室 3	楼上变配电室	0.015	1/16	2000	1.88
22		楼下车库	0.015	1/16	2000	1.88
23	SPECT 留 观室	楼上变配电室	0.015	1/16	900	0.84
24		楼下车库	0.015	1/16	900	0.84
25	PET 留观 室	楼上走廊	0.015	1/16	850	0.80
26		楼下车库	0.015	1/16	850	0.80
27	高活室	患者入口门外	0.235	1/16	222.5	3.27
28		肺通气室北墙外走廊	0.015	1/16	250	0.23
29		楼上柴油发电机间	0.015	1/16	222.5	0.21

注：①其中 F-18 年附加剂量考虑用药后检查和候诊期间药物活度的衰减，由公式 $D(t)=DI \times T \times t \times R_{II}$ 算出，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、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），其中 SPECT 室 1、高活室、注射后候诊室 1~3、留观室周围未考虑 R_{II} 的影响。②现场本底值范围为 $0.115 \pm 0.004 \mu\text{Sv/h}$ ，以上计算结果均已扣除最小本底值 $0.105 \mu\text{Sv/h}$ 。③各场所全居留时间与环评一致。

由上表周围公众附加剂量估算结果可知，核医学科对周围公众的最大附加剂量为 $24.9 \mu\text{Sv/a}$ ，其余区域辐射剂量率均接近本底水平，且公众受照时间较短，因此，公众的年受照有效剂量小于本项目的剂量评价目标值（ 0.1mSv/a ）。

表 8 验收监测结论

根据北京贝特莱博瑞技术检测有限公司对本项目辐射工作场所验收监测结果，以及对本项目各项安全防护设施的如实查验，认为：

(1) 该建设项目的性质、规模、地点、工作方式或者辐射防护措施未发生重大变动；

(2) 本项目已按环境影响报告表及其批复要求落实各项辐射安全与防护设施及措施，并有效运行；

(3) 根据检测结果可知，由上述检测结果可知，本项目顺义院区核医学科门诊区域控制区、监督区 β 放射性物质不大于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ；核医学科门诊区域场所控制区边界外、楼上和楼下的辐射剂量率不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，均满足环评及批复中的剂量约束值要求。

(4) 根据验收检测结果，按照该项目预计手术量及工作时间，顺义院区核医学科正常运行状态下，估算出本次验收内容各操作环节工作人员的最大受照剂量为 $0.82\text{mSv}/\text{a}$ ，各场所外周围公众最大受照有效剂量为 $24.9\mu\text{Sv}/\text{a}$ ，均低于本项目环评及批复中规定的剂量约束值 $2\text{mSv}/\text{a}$ （职业人员）和 $0.1\text{mSv}/\text{a}$ （公众），满足要求。

(5) 本项目按照环境影响报告表及其批复要求，医院已更新并修订了《辐射安全管理制度》，其中包含辐射安全与防护管理制度及岗位职责，辐射防护和安全保卫制度，操作规程，放射设备检修维护制度，台账管理制度，放射工作人员管理制度，辐射工作场所监测制度，放射性废物暂存、处置方案，放射性突发事故（件）应急预案等，该制度明确了辐射安全管理小组相应的职责，并且医院已重新申领了辐射安全许可证。

附图、附件：略