

昆明医科大学第二附属医院 PET/CT 中
心核技术利用项目
竣工环境保护验收监测报告表

建设单位：昆明医科大学第二附属医院

编制单位：四川省自然资源实验测试研究中心
(四川省核应急技术支持中心)

2024 年 11 月

昆明医科大学第二附属医院 PET/CT 中
心核技术利用项目
竣工环境保护验收监测报告表

建设单位法人代表:

编制单位法人代表:

项目负责人:

填 表 人:

建设单位	昆明医科大学第二 附属医院（盖章）	编制单位	四川省自然资源实验 测试研究中心（四川 省核应急技术支持中 心）（盖章）
电话:	18314482127	电话:	028-84200042
传真:		传真:	028-84200042
邮编:	650033	邮编:	610084
地址:	云南省昆明市五华 区西站麻园1号	地址:	四川省成都市金牛区 人民北路1段25号

目录

表一 项目基本情况	1
表二 项目建设情况	9
表三 辐射安全与防护设施/措施	25
表四 建设项目环境影响报告表主要结论及审批部门审批决定	51
表五 验收监测质量保证及质量控制	63
表六 验收监测内容	65
表七 验收监测	68
表八 验收监测结论	81

建设项目竣工环境保护“三同时”验收登记表

附图

- 附图 1 项目地理位置图
- 附图 2 医院总平面布置图及外环境关系图
- 附图 3 本项目 PET/CT 中心平面布置图
- 附图 4 本项目 PET/CT 中心下方区域（负二层）平面布置图
- 附图 5 本项目 PET-CT 中心上方区域（一层）平面布置图
- 附图 6 本项目 PET/CT 中心控制区与监督区划分示意图
- 附图 7 本项目 PET/CT 中心人流、物流路径示意图
- 附图 8 本项目 PET/CT 中心送风管道平面布置图
- 附图 9 本项目 PET/CT 中心排风管道平面布置图
- 附图 10 本项目 PET/CT 中心通风管道平面布置图
- 附图 11 衰变池平面图、剖面图
- 附图 12 监测点位图

附件

- 附件1委托书
- 附件2 辐射安全许可证正副本

附件3 关于成立辐射安全与防护管理领导小组的通知

附件4 辐射事故应急预案

附件5 辐射安全管理制度

附件6环评批复

附件7个人剂量检测报告

附件8培训合格证

附件9健康体检报告

附件10放射源回收协议

附件11土壤检测报告

附件12 工作场所辐射环境监测报告

附件13情况说明

附件14工程验收材料

表一 项目基本情况

建设项目名称	昆明医科大学第二附属医院 PET/CT 中心核技术利用项目				
建设单位名称	昆明医科大学第二附属医院				
建设项目性质	□新建 ■改扩建 □技改 □迁建				
建设地点	云南省昆明市五华区西站麻园 1 号昆明医科大学第二附属医院 7 号楼 A 区负一楼				
源项	放射源		使用 2 枚锶-68 放射源（活度分别为 $3.5 \times 10^6 \text{Bq}$ 和 $5.5 \times 10^7 \text{Bq}$ ，属于 V 类放射源）		
	非密封放射性物质		使用核素 ^{18}F （日等效最大操作量为 $2.072 \times 10^7 \text{Bq}$ ，年最大用量为 $1.85 \times 10^{13} \text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所）		
	射线装置		使用 1 台 Discovery MI 型 PET/CT，最大管电压为 140kV、最大管电流为 800mA，属于 III 类射线装置		
建设项目环评批复时间	2023 年 3 月 24 日	开工建设时间	2023 年 8 月 9 日		
取得辐射安全许可证时间	2024 年 9 月 6 日	项目投入运行时间	2024 年 7 月 1 日		
辐射安全与防护设施投入运行时间	2024 年 7 月 1 日	验收现场监测时间	2024 年 7 月 26 日		
环评报告表审批部门	云南省生态环境厅	环评报告表编制单位	四川省核工业辐射测试防护院（四川省核应急技术支持中心）		
辐射安全与防护设施设计单位	北京森磊源建筑规划设计有限公司	辐射安全与防护设施施工单位	云南凯文建设工程有限公司		
投资总概算	2100 万元	辐射安全与防护设施投资总概算	240.5 万元	比例	11.45%
实际总概算	2150 万元	辐射安全与防护设施实际总概算	290.5 万元	比例	13.51%

<p style="text-align: center;">验收依据</p>	<p>1、建设项目环境保护相关法律、法规和规章制度</p> <p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》（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) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019年3月2日修改并实施《国务院关于修改部分行政法规的决定》，中华人民共和国国务院令 第709号）；</p> <p>(5) 《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）；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2006年，国家环境保护总局令 第31号，2008年12月6日经环境保护部令 第3号修改，2017年12月20日经环境保护部令 第47号修改，2019年8月22日经生态环境部令 第7号修改，2021年1月4日经生态环境部令 第20号修改）；</p> <p>(7) 《关于发布放射源分类办法的公告》（国家环境保护总局 2005年第62号）；</p> <p>(8) 《国务院关于修改<建设项目环境保护管理条例>的决定》（国务院令 第682号，2017年10月1日）；</p> <p>(9) 《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4号，2017.11.22）；</p> <p>(10) 《关于建设项目环境保护设施竣工验收监测管理有关问题的通知》（环发[2000]38号）；</p> <p>(11) 云南省生态环境厅关于印发《云南省核技术利用辐射安全和防护监督检查大纲（2021年版）》和《云南省核技术利用辐射安全和防护监督检查技术程序（2021年版）》的通知（云环通[2021]227号）；</p> <p>(12) 《云南省环保局关于〈在辐射安全许可证工作中确定电</p>
---	--

离辐射安全管理限值请示》的复函》（云环函[2006] 727号）。

2、建设项目竣工环境保护验收技术规范

（1）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；

（2）《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》（HJ 10.1-2016）；

（3）《建设项目竣工环境保护验收技术指南 污染影响类》（生态环境部公告 2018 年 第 9 号）；

（4）《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ 1326-2023）；

（5）《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）；

（6）《放射性物质安全运输规程》（GB11806-2019）；

（7）《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）；

（8）《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）；

（9）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）；

（10）《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）；

（11）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）；

（12）《核技术利用放射性废物最小化》（HAD401/11-2020）；

（13）《密封放射源及密封 γ 放射源容器的放射卫生防护标准》（GBZ114-2006）；

（14）《公众成员的放射性核素年摄入量限值》（WS T613-2018）；

（15）《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）；

（16）《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）。

3、建设项目环境影响报告书（表）及其审批部门审批决定

	<p>(1) 《昆明医科大学第二附属医院 PET/CT 中心核技术利用项目环境影响报告表》，2023 年 1 月；</p> <p>(2) 《云南省生态环境厅关于昆明医科大学第二附属医院 PET/CT 中心核技术利用项目环境影响报告表的批复》（云环审〔2023〕2-6 号），2023 年 3 月。</p> <p>4、其他相关文件</p> <p>(1) 建设单位提供资料；</p> <p>(2) 《委托书》。</p>
验收执行标准	<p>一、环评报告中评价标准</p> <p>1、年受照剂量约束限值</p> <p>(1) 国家标准限值</p> <p>根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 4.3.2.1 条的规定，任何工作人员的**职业照射**不超过由审管部门决定的连续 5 年平均有效剂量 20mSv；第 B1.2 条的规定，实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过年有效剂量 1mSv。</p> <p>(2) 行政管理剂量约束限值</p> <p>根据《云南省环保局关于<在辐射安全许可工作中确定电离项目辐射安全管理限值请示>的复函》（云环函[2006]727 号）中的规定，单一项目取《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的四分之一。即：</p> <p>◇职业照射个人受照剂量管理限值取 5mSv/a；</p> <p>◇公众照射个人受照剂量管理限值取 0.25mSv/a。</p> <p>(3) 标准剂量约束限值</p> <p>根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a；公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。</p> <p>2、放射性表面污染控制水平</p>

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）表 B11 工作场所的放射性表面污染的控制水平见表 1-1。

表 1-1 工作场所的放射性表面污染控制水平

表面类型		β放射性物质 (Bq/cm ²)
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	40
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4
	监督区	4
手、皮肤、内衣、工作袜		0.4

3、放射性废水排放标准

①排放总活度要求

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）不得将放射性废液直接排入普通下水道，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，并应对每次排放做好记录：

A、每月排放的总活度不超过 $10ALI_{min}$ （ ALI_{min} 是相对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）；

B、每一次排放的活度不超过 $1ALI_{min}$ ，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗。

根据 B1.3.4 和 B1.3.5 条规定，对于职业照射，在一定的假设下可将 $I_{j,L}$ 用作 ALI。由相应的单位摄入量的待积有效剂量的值得到放射性核素 j 的年摄入量限值 $I_{j,L}$ 计算公示：

$$I_{j,L} = DL / e_j \dots\dots\dots \text{式 7-1}$$

式中： DL —相应的有效剂量的年剂量限值，取 $5.0 \times 10^{-3} \text{Sv/a}$ ；

e_j —GB18871-2002 中表 B3 和 B6、B7 中给出的放射性核素 j 的单位摄入量所致待积有效剂量的响应值。

本项目涉及放射性核素排放导出活度限值列于下表：

表 1-2 含放射性核素废水排放导出活度限值

核素	职业照射待积有效剂量 (Sv/Bq)		ALI _{min} 一次排 放限值 (Bq)	10ALI _{min} 月 排 放 限 值 (Bq)
	吸入 e_j	食入 e_j		
F-18	9.3E-11	4.9E-11	5.38E+07	5.38E+08

注： e_j 保守按《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）表 B3 中最大值查得。

②排放总活度浓度要求

1) 根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），对于槽式衰变池贮存方式：A、所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放；B、所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，按照 GB18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。本项目核素半衰期小于 24 小时，放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放。

2) 总β属于一类污染物，根据《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005），总β放射性最高允许排放浓度为 10Bq/L，总α放射性最高允许排放浓度为 1Bq/L，且一类污染物监测位置为衰变池排放口处。

4、放射性废气排放标准

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），产生气态放射性废物的核医学场所应设置独立的通风系统，合理组织工作场所的气流，对排出工作场所的气体进行过滤净化，避免污染工作场所和环境。应定期检查通风系统过滤净化器的有效性，及时更换失效的过滤器，更换周期不能超过厂家推荐的使用时间。更换下来的过滤器按放射性固体废物进行收集、处理。

5、放射性固体废物排放标准

本项目固体放射性废物含核素氟-18（半衰期小于 24 小时），根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），固体放射性废物暂存时间所含核素半衰期小于 24 小

时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

6、控制剂量率水平

①根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中 6.3.1:

b) CT 机、乳腺摄影、乳腺 CBCT、口内牙片摄影、牙科全景摄影、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 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$;

本项目 PET/CT 属于 CT 机，机房外的周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

②根据《核医学科放射防护要求》（GBZ120-2020），在核医学控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，控制区内屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $25\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，宜不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；核医学工作场所的分装柜或生物安全柜，应采取一定的屏蔽防护，以保证柜体外表面 5cm 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $25\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

③《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）：
6.1.5 距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

6.1.6 放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构，以保证设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 $25\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

6.1.7 固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接

近的放射性废液收集罐体和管道应增加相应屏蔽措施，以保证其外表面 30 cm 处的周围剂量当量率小于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 。

6.1.8 放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽。

二、验收执行标准

本项目在环境影响报告书（表）审批之后未发布或修订新标准，本次验收执行标准与环评执行标准一致。

表二 项目建设情况

项目建设内容：

2.1 建设单位情况

昆明医科大学第二附属医院（以下简称“医院”）建院于 1952 年 10 月，原名为“昆明市工人医院”，1962 年，更名为昆明医学院第二附属医院，2000 年挂牌昆明医学院第二临床医学院，2009 年和 2015 年分别加挂云南省泌尿专科医院、云南省肝胆胰外科医院牌子，2012 年更名为昆明医科大学第二附属医院。医院占地面积达 101.05 亩，总建筑面积 25 余万平方米。医院现有开放床位 2009 张，62 个临床和医技科室，年总诊疗人数为 188 万人次，年手术 3.65 万台次。医院现有在岗职工近 3000 人。

医院现有核医学科位于 7 号楼一楼，使用非密封放射性物质：I-131、Sr-89、Tc-99m，属于乙级非密封放射性物质工作场所。随着医院业务不断发展，为提高医院医疗服务水平，更好地满足患者的医疗服务需求，医院将 7 号楼负一楼 A 区西北侧停车场改造为 PET/CT 中心，使用氟-18 非密封放射性物质，日等效最大操作量为 $2.072 \times 10^7 \text{Bq}$ ，年最大用量为 $1.85 \times 10^{13} \text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所，配置使用 1 台正电子断层扫描仪（PET/CT，属于 III 类射线装置），并配置使用 2 枚放射源（锶-68，属于 V 类放射源）。

医院须从具备销售氟-18 资质的单位进行购买氟-18（放射性药物的包装、运输由厂家负责，并由厂家承担相应过程中的辐射安全防护责任，医院只负责放射性药物的使用及使用期间的安全管理）。根据建设单位的市场调查和了解，拟从昆明市有关单位进行购买。经向有关单位咨询和了解，项目所在地处于配送范围内，因此本项目从外购药品可行。

该项目于 2022 年 7 月委托四川省核工业辐射测试防护院（四川省核应急技术支持中心）进行环境影响评价，编制完成了《昆明医科大学第二附属医院 PET/CT 中心核技术利用项目环境影响报告表》，并于 2023 年 3 月 24 日取得了云南省生态环境厅的批复（批复文号为云环审〔2023〕2-6 号），同意该项目建设，建设单位于 2023 年 8 月开工建设，2023 年 12 月竣工，2024 年 9 月在云南省生态环境厅重新办

理了辐射安全许可证，2024年7月投入试运行，根据现场调查，项目从取得辐射安全许可证至调试过程中无环境投诉、违法或处罚记录等情况。

根据《中华人民共和国环境保护法》、《建设项目环境保护管理条例》、《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》等国家有关环保法规，建设项目竣工后，建设单位应当如实查验、监测、记载建设项目环境保护设施的建设和调试情况，编制验收监测（调查）报告，建设单位不具备编制验收监测（调查）报告能力的，可以委托有能力的技术机构编制。为此，昆明医科大学第二附属医院委托四川省自然资源实验测试研究中心（四川省核应急技术支持中心）对昆明医科大学第二附属医院PET/CT中心核技术利用项目进行环境保护验收，编制《昆明医科大学第二附属医院PET/CT中心核技术利用项目竣工环境保护验收监测报告表》。四川省自然资源实验测试研究中心（四川省核应急技术支持中心）在接受委托后，于2024年7月对上述核技术应用项目进行了辐射环境竣工验收监测。在现场勘察、调查、监测和调研相关环评资料的基础上，编制该项目竣工环境保护验收监测报告表。

2.2 项目建设内容和规模

本项目将已建的7号楼（设计为21层，其中地上18层，地下3层）负一楼A区西北侧停车场改建为PET/CT中心，建筑面积约783.94m²，本项目PET/CT中心主要功能房间包括：卫生通过间（医生缓冲区、淋浴间、更衣间）、储源间、固废间、分装间、注射间、等候注射间、病人缓冲区、PET/CT机房、控制室、设备间、抢救室、注射后候诊室、检查后留观室、污洗间、病人专用卫生间（2间）。涉及使用氟-18非密放射性物质（日等效最大操作量为2.072×10⁷Bq，年最大用量为1.85×10¹³Bq），PET/CT机房配置1台额定管电压为140kV，额定管电流为800mA的PET/CT，属于III类射线装置，同时PET/CT配套使用2枚锞-68 V类放射源（校准源：3.5×10⁶Bq×1枚、质控源：5.5×10⁷Bq×1枚），用于设备校准和质控。本项目的实际建设内容及规模见表2-1。

表 2-1 项目建设内容及规模

名称	环评建设内容及规模	实际建设内容及规模	备注
----	-----------	-----------	----

主体工程	<p>本项目拟建PET/CT中心位于7号楼A区负一楼西北侧，拟开展PET/CT显像诊断，拟使用核素为氟-18。氟-18日等效最大操作量为$2.072 \times 10^7 \text{Bq}$，年最大用量为$1.85 \times 10^{13} \text{Bq}$，本项目PET/CT中心属乙级非密封放射性物质工作场所。PET/CT机房配置1台最大管电压为140kV，最大管电流为800mA的PET/CT，属于III类射线装置，同时PET/CT配套使用2枚锞-68 V类放射源（$5.5 \times 10^7 \text{Bq} \times 1 \text{枚} + 3.5 \times 10^6 \text{Bq} \times 1 \text{枚}$），用于设备校准和质控。</p> <p>主要功能房间包括：卫生通过间（医生缓冲区、淋浴间、更衣间）、储源间、固废间、分装间、注射间、等候注射间、病人缓冲区、PET//CT机房、控制室、设备间、抢救室、注射后候诊室、检查后留观室、污洗间、病人专用卫生间（2间）。</p>	<p>本项目PET/CT中心位于7号楼A区负一楼西北侧，开展PET/CT显像诊断，使用核素为氟-18。氟-18日等效最大操作量为$2.072 \times 10^7 \text{Bq}$，年最大用量为$1.85 \times 10^{13} \text{Bq}$，本项目PET/CT中心属乙级非密封放射性物质工作场所。PET/CT机房配置1台最大管电压为140kV，最大管电流为800mA的PET/CT，属于III类射线装置，同时PET/CT配套使用2枚锞-68 V类放射源（$5.5 \times 10^7 \text{Bq} \times 1 \text{枚} + 3.5 \times 10^6 \text{Bq} \times 1 \text{枚}$），用于设备校准和质控。</p> <p>主要功能房间包括：卫生通过间（医生缓冲区、淋浴间、更衣间）、储源间、固废间、分装间、注射间、等候注射间、病人缓冲区、PET//CT机房、控制室、设备间、抢救室、注射后候诊室、检查后留观室、污洗间、病人专用卫生间（2间）。</p>	与环评一致
环保工程	<p>放射性废水：本项目PET/CT中心拟新建1座2组槽式池体衰变池，为埋地式衰变池，上方覆土绿化，单组池体有效容积为30.88m^3，总有效容积61.76m^3，衰变池前端设置容积为13.5m^3化粪池一座，PET/CT中心产生的放射性废水经专用管道排入化粪池经衰变池衰变后排入医院污水管网。衰变池池体、地板、顶板均采用400mm混凝土浇筑，顶板设置8mm铅当量的检修井盖（取样口），池体内部铺设防水涂层，防渗系数$\leq 10^{-10} \text{cm/s}$，且内表面光滑。化粪池设置铰刀泵，设置防污泥硬化淤积搅拌装置、超压导气孔，设置进出水闸阀、液位监测，衰变池整体埋于地下，检查/取样口采用8mm铅板防护，下水管道裸露部分采用3mm铅皮进行包裹防护。</p>	<p>放射性废水：本项目PET/CT中心新建1座2组槽式池体衰变池，为埋地式衰变池，上方覆土绿化，单组池体有效容积为30.88m^3，总有效容积61.76m^3，衰变池前端设置容积为13.5m^3化粪池一座，PET/CT中心产生的放射性废水经专用管道排入化粪池经衰变池衰变后排入医院污水管网。衰变池池体、地板、顶板均采用400mm混凝土浇筑，顶板设置8mm铅当量的检修井盖（取样口），池体内部铺设防水涂层，防渗系数$\leq 10^{-10} \text{cm/s}$，且内表面光滑。化粪池设置铰刀泵，设置防污泥硬化淤积搅拌装置、超压导气孔，设置进出水闸阀、液位监测，衰变池整体埋于地下，检查/取样口采用8mm铅板防护，下水管道裸露部分采用3mm铅皮进行包裹防护。</p>	受场地限制，衰变池整体向北侧移动2.8m，单格尺寸由 $9\text{m} \times 3\text{m}$ （有效面积 30.88m^2 ）调整为 $15\text{m} \times 1.8\text{m}$ （有效面积 30.88m^2 ），其余与环评一致
	<p>放射性废气：PET/CT中心拟设置三套独立的排风系统，包括： ①PET/CT中心手套箱设置一套独立的排风系统（排风量$500 \text{m}^3/\text{h}$，风速大于0.5m/s）； ②PET/CT中心其他辐射工作场所设置一套独立的排风系统（排风量$3100 \text{m}^3/\text{h}$，新风量$2580 \text{m}^3/\text{h}$，负压环境）； ③PET-CT中心办公区域一套独立</p>	<p>放射性废气：PET/CT中心设置三套独立的排风系统，包括： ①PET/CT中心手套箱设置一套独立的排风系统（排风量$500 \text{m}^3/\text{h}$，风速大于0.5m/s）； ②PET/CT中心其他辐射工作场所设置一套独立的排风系统（排风量$3100 \text{m}^3/\text{h}$，新风量$2580 \text{m}^3/\text{h}$，负压环境）； ③PET-CT中心办公区域一套独立</p>	与环评一致

	的排风系统（排风量 2880m ³ /h，新风量 2340m ³ /h，负压环境）。放射性废气经 PET/CT 中心独立设置的排风系统排至 7 号楼楼顶排放。手套箱处设置活性炭过滤器、总排口设置活性炭过滤器，活性炭装填量为 200kg，定期更换失效的活性炭过滤器，更换下来的过滤器按放射性固废进行收集、处理。	风量 2340m ³ /h，负压环境）。放射性废气经 PET/CT 中心独立设置的排风系统排至 7 号楼楼顶排放。手套箱处设置活性炭过滤器、总排口设置活性炭过滤器，活性炭装填量为 200kg，定期更换失效的活性炭过滤器，更换下来的过滤器按放射性固废进行收集、处理。	
	放射性固废：PET/CT 中心设置 1 间固废间，面积 5.4m ² ，固废间铺设防水涂层，防渗系数≤10 ⁻¹⁰ cm/s；放射性固体废物暂存超过 30d 后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平（α 表面污染小于 0.08Bq/cm ² 、β 表面污染小于 0.8Bq/cm ² ），可进行清洁解控并作为医疗废物由有资质单位统一回收处理。放射性固废间设置通排风系统。	放射性固废：PET/CT 中心设置 1 间固废间，面积 5.4m ² ，固废间铺设防水涂层，防渗系数≤10 ⁻¹⁰ cm/s；放射性固体废物暂存超过 30d 后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平（α 表面污染小于 0.08Bq/cm ² 、β 表面污染小于 0.8Bq/cm ² ），可进行清洁解控并作为医疗废物由有资质单位统一回收处理。放射性固废间设置通排风系统。	与环评一致
办公、生活设施	依托昆明医科大学第二附属医院 7 号楼主体工程建设的配电、供电、通讯系统及污水处理系统等。	依托昆明医科大学第二附属医院 7 号楼主体工程建设的配电、供电、通讯系统及污水处理系统等。	与环评一致

本项目使用核素、放射源、射线装置参数与环评一致，详见表 2-2~表 2-4。

表 2-2 本项目放射性同位素主要技术参数表

核素名称	半衰期	主要衰变方式	最大粒子能量 (MeV)	γ射线能量 (MeV)	周围剂量当量率常数 (裸源) (μSv·m ² /MBq·h)*
氟-18	109.7min	β+ (97%) EC (3%)	0.63	0.511	0.143

注：数据来源《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）。

表 2-3-1 PET/CT 中心使用放射源主要技术参数 (1)

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	备注
1	锆-68	3.5×10 ⁶ Bq×1	V	使用	PET/CT 校准	PET/CT 中心 PET/CT 机房	/
2	锆-68	5.5×10 ⁷ Bq×1	V	使用	PET/CT 质控	PETCT 中心 PET/CT 机房	/

表 2-3-2 PET/CT 中心使用放射源主要技术参数 (2)

核素名称	半衰期	主要衰变方式 (分支比/%)	粒子能量 (MeV)	γ射线能量 (MeV)	照射量率常数 (R.m ² .h ⁻¹ .Ci)	毒性组别
------	-----	----------------	------------	-------------	--	------

锞-68	280d	EC (100%)	1.89	0.51	0.543	中毒
------	------	-----------	------	------	-------	----

备注：数据来源《γ射线屏蔽参数手册》（中国科学院工程力学研究所）第21页。

表 2-4 PET/CT 机主要技术参数

设备名称	型号	生产厂家	数量	设备主要技术参数		单人最长出束时间	年出束时间 (h)
				最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)		
PET/CT	Discovery MI	GE	1 台	140	800	20s	41.67

2.3 验收监测范围

本项目环境影响报告表评价范围为：以PET/CT中心乙级非密封放射性物质工作场所四周墙体向外延伸50m的区域。根据《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》、《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ 1326-2023）和项目实际情况，本项目验收监测范围与环评一致，即以PET/CT中心乙级非密封放射性物质工作场所四周墙体向外延伸50m的区域。

2.4 劳动定员及工作制度

2.4.1 劳动定员

本项目从肿瘤科、放射科、核医学科现有辐射工作人员中抽调8人，专门从事PET/CT中心辐射工作，专人专岗，包括2名氟-18分装、注射操作技师、2名PET/CT操作技师、2名护士、2名医生。这8名辐射工作人员除从事本项目辐射工作外，不再参与医院其他辐射工作。劳动定员与环评一致。

2.4.2 工作制度

本项目实行8小时单班工作制度，年工作日为250天，与环评一致。

2.5 地理位置及平面布置

昆明医科大学第二附属医院医院北侧为滇缅大道，西侧为西园北路，东侧为居民区，南侧为昆石铁路（现已停运）。地理位置见图2-1。

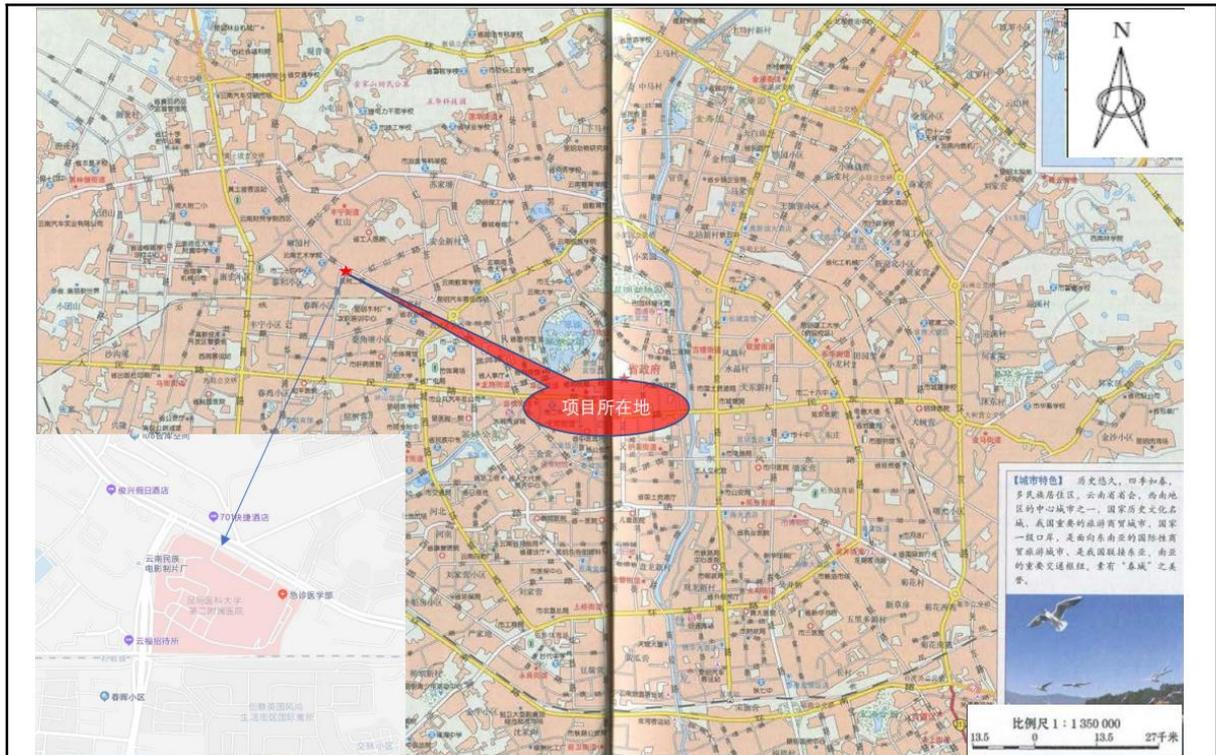


图 2-1 项目地理位置图

本项目PET/CT中心位于7号楼（7号楼共二十一层，其中地下三层，地上十八层），7号楼分为A区、B区、C区、D区、E区，本项目位于7号楼A区负一楼，7号楼北侧为6号楼，东侧医院入口广场，南侧为医院职工宿舍、食堂、污水处理站等，西侧院内道路、2号楼、1号楼、3号楼。外环境关系图见附图2。

本项目PET/CT中心位于7号楼A区负一楼西北侧角落，PET/CT中心东侧为地下停车场，南侧为通道，西侧为通道，北侧为土层，上方为核医学科，下方为地下停车场。平面布置图见附图3。

总体来看，本项目PET/CT中心所在位置相对独立，不邻接产科、儿科（、食堂等场所，且设置有单独的出入口，PET/CT中心避开了人群较集中的门诊大楼、收费处等人群稠密区域，平面布置合理可行的。平面布局与环评阶段一致。

2.6环境保护目标

本次验收环境保护目标、位置、人数和保护级别等详见表2-5，与环评相比，无变化。

表 2-5 主要环境保护目标

保护名单	规模	位置	与核素最近距离	剂量约束值
------	----	----	---------	-------

					水平	垂直	
PET/CT中心	职业人员	PET/CT中心	8人	卫生通过间（医生缓冲区、淋浴间、更衣间）、储源间、固废间、分装间、注射间、PET/CT机房、控制室、设备间、抢救室、污洗间、医生通道及办公用房、护士站、诊室等	0.3m	+0m	5mSv/a
	公众	医院内部公众	流动人群，约2人	PET/CT机房北侧楼梯间	2.2m	+0m	0.1mSv/a
			60人	北侧6号楼等	8m	+4.9m	
			流动人群，约20人	东侧停车场	3.2m	+0m	
			流动人群，约30人	东侧医院入口广场等	18.0m	+12m	
			100人	南侧候诊大厅、2号楼、1号楼等	2.2m	+0m	
			流动人群，约20人	南侧2号楼前院内道路	8.5m	-1m	
			60人	西侧院内道路、3号楼等	30.5m	+0m	
			流动人群，约20人	西侧院内道路	5.5m	-1m	
			30人	楼上1层核医学科	0m	+4.9m	
			流动人群，约30人	楼下负二层停车场	0m	-4.9m	

2.7项目变动情况

根据现场踏勘和建设单位核实，本项目发生如下变动：①受场地限制，衰变池整体向北侧移动2.8m，单格尺寸由9m*3m（有效面积24.7m²，有效容积30.88m³），调整为15m*1.8m（有效面积24.7m²，有效容积30.88m³），有效容积、屏蔽情况、防渗参数、工艺流程等与环评一致，不属于重大变动。本项目工程变动情况见表2-6。

表 2-6 本项目工程变动情况一览表

工程内容	环评文件及批复要求	实际建设情况	变动情况及原因	是否属于重大变动
项目性质	改扩建	改扩建	无	否
规模	本项目拟建PET/CT中心位于7号楼A区负一楼西	本项目PET/CT中心位于7号楼A区负一楼西	无	否

	<p>北侧，拟开展PET/CT显像诊断，拟使用核素为氟-18。氟-18日等效最大操作量为$2.072 \times 10^7 \text{Bq}$，年最大用量为$1.85 \times 10^{13} \text{Bq}$，本项目PET/CT中心属乙级非密封放射性物质工作场所。PET/CT机房配置1台最大管电压为140kV，最大管电流为800mA的PET/CT，属于III类射线装置，同时PET/CT配套使用2枚锞-68 V类放射源（$5.5 \times 10^7 \text{Bq} \times 1$ 枚 + $3.5 \times 10^6 \text{Bq} \times 1$ 枚），用于设备校准和质控。</p> <p>主要功能房间包括：卫生通过间（医生缓冲区、淋浴间、更衣间）、储源间、固废间、分装间、注射间、等候注射间、病人缓冲区、PET//CT机房、控制室、设备间、抢救室、注射后候诊室、检查后留观室、污洗间、病人专用卫生间（2间）。</p>	<p>北侧，开展PET/CT显像诊断，使用核素为氟-18。氟-18日等效最大操作量为$2.072 \times 10^7 \text{Bq}$，年最大用量为$1.85 \times 10^{13} \text{Bq}$，本项目PET/CT中心属乙级非密封放射性物质工作场所。PET/CT机房配置1台最大管电压为140kV，最大管电流为800mA的PET/CT，属于III类射线装置，同时PET/CT配套使用2枚锞-68 V类放射源（$5.5 \times 10^7 \text{Bq} \times 1$ 枚 + $3.5 \times 10^6 \text{Bq} \times 1$ 枚），用于设备校准和质控。</p> <p>主要功能房间包括：卫生通过间（医生缓冲区、淋浴间、更衣间）、储源间、固废间、分装间、注射间、等候注射间、病人缓冲区、PET//CT机房、控制室、设备间、抢救室、注射后候诊室、检查后留观室、污洗间、病人专用卫生间（2间）。</p>			
环保设施或环保措施	场所设计屏蔽措施	详见表 3-1	详见表 3-1	顶板增加 3mm 铅板，其余与环评一致	否
	放射性废水	<p>放射性废水：本项目PET/CT中心拟新建1座2组槽式池体衰变池，为地埋式衰变池，上方覆土绿化，单组池体有效容积为30.88m^3，总有效容积61.76m^3，衰变池前端设置容积为13.5m^3化粪池一座，PET/CT中心产生的放射性废水经专用管</p>	<p>放射性废水：本项目PET/CT中心新建1座2组槽式池体衰变池，为地埋式衰变池，上方覆土绿化，单组池体有效容积为30.88m^3，总有效容积61.76m^3，衰变池前端设置容积为13.5m^3化粪池一座，PET/CT中心产生的放射性废水经专用管道排入化粪池经衰变池衰变后排入医院污水管网。衰变池池体、地板、顶板</p>	<p>受场地限制，衰变池整体向北侧移动2.8m，单格尺寸由$9 \text{m} \times 3 \text{m}$（有效面积$24.7 \text{m}^2$，有效容积$30.88 \text{m}^3$）调整为$15 \text{m} \times 1.8 \text{m}$（有效面积$24.7 \text{m}^2$，有效容积$30.88 \text{m}^3$），其余与环评一致</p>	否

		道排入化粪池经衰变池衰变后排入医院污水管网。衰变池池体、地板、顶板均采用400mm混凝土浇筑，顶板设置8mm铅当量的检修井盖（取样口），池体内部铺设防水涂层，防渗系数 $\leq 10^{-10}$ cm/s，且内表面光滑。化粪池设置铰刀泵，设置防污泥硬化淤积搅拌装置、超压导气孔，设置进出水闸阀、液位监测，衰变池整体埋于地下，检查/取样口采用8mm铅板防护，下水管道裸露部分采用3mm铅皮进行包裹防护。	均采用400mm混凝土浇筑，顶板设置8mm铅当量的检修井盖（取样口），池体内部铺设防水涂层，防渗系数 $\leq 10^{-10}$ cm/s，且内表面光滑。化粪池设置铰刀泵，设置防污泥硬化淤积搅拌装置、超压导气孔，设置进出水闸阀、液位监测，衰变池整体埋于地下，检查/取样口采用8mm铅板防护，下水管道裸露部分采用3mm铅皮进行包裹防护。		
	放射性废气	放射性废气： PET/CT中心拟设置三套独立的排风系统，包括： ①PET/CT中心手套箱设置一套独立的排风系统（排风量500m ³ /h，风速大于0.5m/s）； ②PET/CT中心其他辐射工作场所设置一套独立的排风系统（排风量3100m ³ /h，新风量2580m ³ /h，负压环境）； ③PET-CT中心办公区域一套独立的排风系统（排风量2880m ³ /h，新风量2340m ³ /h，负压	放射性废气：PET/CT中心设置三套独立的排风系统，包括： ①PET/CT中心手套箱设置一套独立的排风系统（排风量500m ³ /h，风速大于0.5m/s）； ②PET/CT中心其他辐射工作场所设置一套独立的排风系统（排风量3100m ³ /h，新风量2580m ³ /h，负压环境）； ③PET-CT中心办公区域一套独立的排风系统（排风量2880m ³ /h，新风量2340m ³ /h，负压环境）。放射性废气经PET/CT中心独立设置的排风系统排至7号楼楼顶排放。手套箱处设置活性炭过滤器、	无	否

		环境)。放射性废气经PET/CT中心独立设置的排风系统排至7号楼楼顶排放。手套箱处设置活性炭过滤器、总排口设置活性炭过滤器，活性炭装填量为200kg，定期更换失效的活性炭过滤器，更换下来的过滤器按放射性固废进行收集、处理。	总排口设置活性炭过滤器，活性炭装填量为200kg，定期更换失效的活性炭过滤器，更换下来的过滤器按放射性固废进行收集、处理。		
	放射性固废	放射性固废：PET/CT中心设置1间固废间，面积5.4m ² ，固废间铺设防水涂层，防渗透系数≤10 ⁻¹⁰ cm/s；放射性固体废物暂存超过30d后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平（α表面污染小于0.08Bq/cm ² 、β表面污染小于0.8Bq/cm ² ），可进行清洁解控并作为医疗废物由有资质单位统一回收处理。放射性固废间设置通风系统。	放射性固废：PET/CT中心设置1间固废间，面积5.4m ² ，固废间铺设防水涂层，防渗透系数≤10 ⁻¹⁰ cm/s；放射性固体废物暂存超过30d后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平（α表面污染小于0.08Bq/cm ² 、β表面污染小于0.8Bq/cm ² ），可进行清洁解控并作为医疗废物由有资质单位统一回收处理。放射性固废间设置通风系统。	无	否
其他	防护用品	防护用品：PET/CT控制室、卫生通过间各配备铅衣、铅帽、铅手套、铅围裙、铅眼镜4套（0.5mm铅当量）；乳胶手套、工作服、一次性鞋套、帽子、防护过滤式口罩（按需配置）；分装间配备10mmPb注射	防护用品：PET/CT控制室、卫生通过间各配备铅衣、铅帽、铅手套、铅围裙、铅眼镜4套（0.5mm铅当量）；乳胶手套、工作服、一次性鞋套、帽子、防护过滤式口罩（按需配置）；分装间配备10mmPb注射防护套6个；10mmPb铅盒2个；40mmPb的注射窗口；PET/CT机房配备	无	否

		<p>防护套 6 个； 10mmPb 铅盒 2 个；40mmPb 的注射窗口； PET/CT 机房配备 10mmPb 铅屏风 1 个，注射后候诊室配备 10mmPb 铅屏风 3 个。储源间双人双锁，储源间保险柜 1 个，储源间红外监控系统 1 套，PET/CT 中心视频监控和对讲系统（若干，区域全覆盖，无死角监控），控制区入口、出口单向门禁系统 1 套，监督区、控制区划定地标线（若干），PET/CT 机房工作状态指示灯（门-灯连锁）、紧急制动开关 1 套</p>	<p>10mmPb 铅屏风 1 个，注射后候诊室配备 10mmPb 铅屏风 3 个。储源间双人双锁，储源间保险柜 1 个，储源间红外监控系统 1 套，PET/CT 中心视频监控和对讲系统（若干，区域全覆盖，无死角监控），控制区入口、出口单向门禁系统 1 套，监督区、控制区划定地标线（若干），PET/CT 机房工作状态指示灯（门-灯连锁）、紧急制动开关 1 套</p>		
	监测仪器	<p>便携式 X-γ 辐射监测仪 1 台、表面污染仪 1 台，固定式剂量报警仪 1 套（多探头），个人剂量计 8 个（每人 1 个），个人剂量报警仪 8 个</p>	<p>便携式 X-γ 辐射监测仪 1 台、表面污染仪 1 台，固定式剂量报警仪 1 套（多探头），个人剂量计 8 个（每人 1 个），个人剂量报警仪 8 个</p>	无	否
	安全装置	<p>储源间双人双锁，储源间保险柜 1 个，储源间红外监控系统 1 套，PET/CT 中心视频监控和对讲系统（若干，区域全覆盖，无死角监控），控制区入口、出口单向门禁系统 1 套，监督区、控制区划定地标线（若干），</p>	<p>储源间双人双锁，储源间保险柜 1 个，储源间红外监控系统 1 套，PET/CT 中心视频监控和对讲系统（若干，区域全覆盖，无死角监控），控制区入口、出口单向门禁系统 1 套，监督区、控制区划定地标线（若干），PET/CT 机房工作状态指示灯（门-灯连锁）、紧急制动开关 1 套</p>	无	否

		PET/CT 机房工作状态指示灯（门灯联锁）、紧急制动开关 1 套			
	其他	工作场所实行监督区和控制区管理；成立“辐射安全与防护管理领导小组”，对现有规章制度进行补充和修订，并建立健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案和辐射事故应急预案等，辐射相关规章制度管理制度上墙；	工作场所实行监督区和控制区管理；成立“辐射安全与防护管理领导小组”，对现有规章制度进行补充和修订，并建立健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案和辐射事故应急预案等，辐射相关规章制度管理制度上墙；	无	否
		应急和救助的物资准备（应急通信设备、警戒线、警示标牌、应急演练、50mmPb 备用铅罐等）、应急及去污用品：一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污剂和/或喷雾（至少为加入清洗洗涤剂 and 硫代硫酸钠的水）；小刷子、一次性毛巾或吸水纸、毡头标记笔（水溶性油墨）、不同大小的塑料袋、酒精湿巾、电离辐射警告标志、胶带、标签、不透水的塑料布、一次性镊子	应急和救助的物资准备（应急通信设备、警戒线、警示标牌、应急演练、50mmPb 备用铅罐等）、应急及去污用品：一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污剂和/或喷雾（至少为加入清洗洗涤剂 and 硫代硫酸钠的水）；小刷子、一次性毛巾或吸水纸、毡头标记笔（水溶性油墨）、不同大小的塑料袋、酒精湿巾、电离辐射警告标志、胶带、标签、不透水的塑料布、一次性镊子	无	否

根据表2-6所列，本项目建设规模和建设内容未发生变化，建设地点无变化，无

新增环境保护目标，工作场所辐射剂量率、工作人员或公众受照剂量未发生变化，废物产生种类不变，工艺流程、辐射屏蔽措施、辐射安全防护措施等均未发生变化，故本项目变动不属于重大变动。

源项情况

本项目源项情况详见表2-7~表2-9。

表 2-7 本项目非密封放射性物质一览表

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	氟-18	液态	使用	1.48E+10	1.48E+07	3.7E+12	显像诊断	很简单操作	7号楼A区负一楼PET/CT中心	铅罐/储源间
2	氟-18	液态	使用	5.92E+10	5.92E+06	1.48E+13	显像诊断	贮存	7号楼A区负一楼PET/CT中心	铅罐/储源间

表 2-8 本项目放射源一览表

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) × 枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	锶-68	3.5×10 ⁶ ×1	V	使用	PET/CT 校准	7号楼负1楼PET/CT中心PET/CT机房	PET/CT中心储源间	/
2	锶-68	5.5×10 ⁷ ×1	V	使用	PET/CT 质控	7号楼负1楼PET/CT中心PET/CT机房	PET/CT中心储源间	/

表 2-9 本项目射线装置一览表

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	PET/CT	III	1	Discovery MI	140	800	显像诊断	7号楼A区负一楼PET/CT	--

								中心 PET/CT 机房	
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

工程设备与工艺分析

1、工作原理

氟-18 是作为正电子显像（PET/CT）的主要诊断核素。氟-18 作为应用最广泛的正电子核素，其标记的 ^{18}F -FDG（ ^{18}F 标记的脱氧葡萄糖）作为临床应用最广谱的肿瘤显像标记药物，其占有份额达 90% 以上，对大部分肿瘤都有较好的灵敏度和特异性。

PET 即正电子扫描仪（Positron Emission Tomography）分子影像设备。由于在核成像中要求能发射 γ 射线，原理是通过标记参与人体代谢的某些化合物的元素，把氟-18 等同位素注入人体后成为稳定的化合物，在活体内参与细胞代谢。用这种正电子发射体取代正常和稳定元素，即形成了此类元素的化合物，此类化合物也是半衰期适合的天然化合物，当此类化合物的正电子与人体内的电子结合时，发生湮灭效应，产生两个能量彼此运动相反的 γ 射线。根据人体不同部位吸收标记化合物能力的不同，同位素在人体内各部位的浓聚程度不同，湮灭反应产生光子的强度也不同。用环绕人体的 γ 射线检测器环列，用符合探测的方法能探测到随位置变化的符合计数，再经过符合计数技术，即可判定这一对 γ 光子辐射的轨迹线，该线经过湮灭源或称确定了这种多次蜕变作用的路径，按照一定规律被计算机采集下来。

PET/CT 的工作原理是把 PET 和 CT 放在一起，利用体外的 X 射线穿透人体而获得三位解剖图像的断层成像技术，通过 PET 扫描和 CT 扫描重边，联合扫描，使两者的硬件和软件有机地结合在一起。工作时，其 CT 球管发射 X 线穿透人体组织，其探测器获得的数据不仅用于重建 CT 图像，同时提供给 PET 作为衰减校正的参数，在此基础上再进行 PET 图像的重建。所显示的图像为两者图像的融合的结果，即细胞的代谢显像和所处的解剖位置。

2、操作流程

(1) **订药：**根据预约的病人量向供药公司订购非密封放射性物质氟-18，单日最大病人量为 40 人（上午 20 人，下午 20 人），单次订购量最大为 2Ci（到达医院

的量，一次全部送达，整包配送，由医院人员在手套箱内进行自动分装），由供药公司工作人员使用专用铅罐（50mm 铅当量）进行运送，由医院专人接收和登记，并经病人出口送至 PET/CT 中心储源间暂存。

（2）**分装：**工作人员（作好防护措施，穿铅衣、铅手套等）将装有放射性核素的铅罐放在手套箱内自动分装仪进行分装，并测量其分装活度，单次分装活度为 10mCi，分装、活度测量时间约 1min，2 名工作人员进行轮换操作。

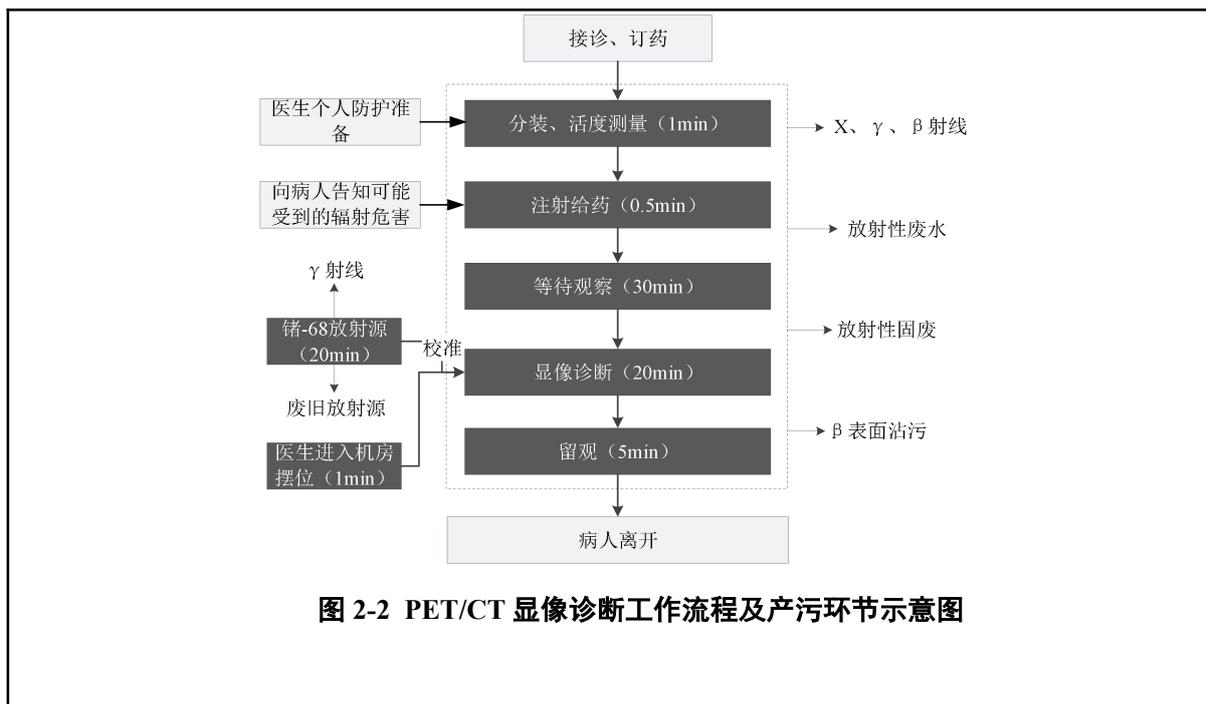
（3）**注射：**分装后将 10mCi 药物转入注射间注射窗对病人进行药物注射，2 名工作人员进行轮换操作，注射时，工作人员和病人采用隔离屏蔽操作，并在注射前告知病人辐射危害，单个病人单次注射时间约 0.5min，每一位病人注射完药物后进入注射后候诊室进行静息观察 30min，期间禁止人员陪护，病人不得离开等候间。

（4）**显像诊断：**观察时间结束后，病人进入 PET/CT 机房进行显像诊断，该过程医生需进入机房进行摆位，摆位时间约 1min，整个过程持续约 20min，2 名工作人员进行轮换操作，诊断结束病人留观 5min 后可直接出院。

（5）**质控：**为确保 PET/CT 机架图像配准，保证图像融合精度，每个月需从储源间取出质控源到 PET/CT 机房对 PET/CT 进行质控，放射源转移、存取在 20mm 铅当量铅罐中进行，单次质控时间 20min（包括转移、存取时间），由 2 名工作人员进行轮换操作。

（6）**校准：**PET/CT 装机时需进行一次校准，由设备厂家工程师负责完成，校准完成后，放射源放回储源间储存，医院人员不自行使用校准源，只有 PET/CT 新装或者移机需要校准，每次校准时间 30min。

显像诊断操作流程见图 2-2。



表三 辐射安全与防护设施/措施

3.1 工作场所的布局和分区管理

3.1.1 工作场所布局

1、平面布局

本项目 PET/CT 中心采取集中布置的方式，整个场所较独立，且相对较为集中布置于 7 号楼 A 区负一层西北侧，便于建设单位统一运行管理，整个功能分区明确，便于不同诊疗病人分区管理（见附图 6），PET/CT 中心东侧为地下停车场，南侧为通道，西侧为通道，北侧为土层，上方为核医学科，下方为地下停车场，未毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并应与非放射性工作场所有明确的分界隔离，平面布局合理。

PET/CT 中心主要功能房间包括：卫生通过间（医生缓冲区、淋浴间、更衣间）、储源间、固废间、分装间、注射间、等候注射间、病人缓冲区、PET/CT 机房、控制室、设备间、抢救室、注射后候诊室、检查后留观室、污洗间、病人专用卫生间（2 间）等。

2、人流物流通道描述

患者通道：PET/CT 中心患者由 7 号楼 A 区负一层南侧进入候诊大厅，在护士站咨询登记、诊室接受问诊、宣教，通过病人缓冲间，进入注射等待间等待叫号，叫号后进入注射间注射后沿地面箭头指向至注射后候诊室休息、候诊（30min），然后进入 PET/CT 机房显像检查（20min），显像后进入留观室留观（5min），留观后确认无需进行二次扫描的患者直接由留观室经患者离院专用通道至东南侧出口离开。

辐射工作人员通道：辐射工作人员由医生通道进入，PET 显像区辐射工作人员由西侧卫生通过间（缓冲区、更衣淋浴间）进入分装、注射等功能区，特殊情况下（如病人需要抢救）可通过缓冲区门禁进入抢救室；PET/CT 操作人员由缓冲区进入 PET/CT 控制室。

PET/CT 中心所有工作人员完成工作后均原路返回。

放射性药物运输通道：本项目所使用的氟-18 由医院从有销售资质的单位进行购买，按照医院与销售单位的协定，在医院上班前（错峰）从 7 号楼东南侧停车场入口进入负一楼 PET/CT 中心，由东侧病人出口送至储源间储存，整个

过程均在早晨无病人治疗时进行，药品以最短距离进入储源间，从而限制的非密封放射性物质工作场所表面污染的范围。

放射性固废运输通道：PET/CT 中心各放射性固废产生场所均设置有放射性废物收集桶临时存放，定期（每日下班后，错峰运输）清运至固废间，在固废间暂存衰变超 30 天经检测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，转运至医院医疗废物暂存间作为医疗废物处理。PET/CT 中心固废间的放射固废由东侧病人离院通道转运至医院东南侧医疗废物暂存间。

本区域放射性废物均在早晨或夜间非接诊时进行转移，放射性废物能以最短距离被送至 PET/CT 中心固废间，避免了对其他人员的二次照射，同时该区域除医生外，其他人员流动少，降低了公众照射的可能性，设置合理。

3、储源场所设置

本项目储源间紧邻分装注射室，放射性核素在操作过程中流通途径较短，从而有效控制污染范围。从布局上来说，储源间设置合理。

4、衰变池设置

本项目衰变池位于 PET/CT 中心东南侧，建成后，衰变池上方进行覆土绿化，避开了人群集中活动区域，且衰变池距 PET/CT 中心距离较短，衰变池设置合理。

5、布局分析

A、本项目 PET/CT 中心病人通道门和医生通道门均设置有门禁系统，非辐射工作人员和非诊疗病人不能直接进入该区域范围内，且医生通道和病人通道分开独立设置，其中病人通道还设置单向门禁，实行病人在 PET/CT 中心内进行单向流通，并控制诊疗病人流通范围，有效减小辐射环境范围，病人与医生在流通过程中互不交叉，减少用药病人对医生的二次照射影响。

B、PET/CT 中心内病人注射药物后候诊区和留观区均布置有独立卫生间，设置放射性废水专用管道，排入衰变池，其他非辐射工作场所设置独立下水排入医院污水管网，实现 PET/CT 中心放射性废水和非放射性废水分流。

C、本项目衰变池设置在 7 号楼东南侧，为地埋式衰变池，上方进行覆土绿化，衰变池布置已避开人流较大的门诊入口和住院入口，较为独立，整个核

医学科放射性废水通过独立管道引入衰变池内，且衰变池池体和下水管道均采用实体措施进行防护，对周围辐射环境影响较小，其布置是合理的。

D、PET/CT 中心邻近分装间集中布置储源间和固废间，放射性废物和放射性药物在场所内部的流程路径较短，减少辐射环境影响范围，放射性药物和放射性固废采用时间隔离的方式进行分流，避免放射性药物、放射性固废与病人、医生交叉，同时避开了医院人流量较大的时段和区域。

3.1.2 分区管理

为加强核技术应用医疗设备所在区域的管理，限制无关人员受到不必要的照射，应对项目划定控制区和监督区进行分区管理。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）控制区和监督区的定义划定控制区和监督区。其定义为“控制区：在辐射工作场所划分的一种区域，在这种区域内要求或可能要求采取专门的防护手段和安全措施；监督区：未被确定为控制区、通常不需要采取专门防护手段和安全措施但要不断检查其职业照射条件的任何区域。”根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）并结合本项目平面布置实际情况，本项目 PET/CT 中心控制区、监督区划分情况见表 3-1。

表 3-1 本项目控制区与和监督区划分情况

工作场所	控制区	监督区	备注
PET/CT 中心	储源间、固废间、分装间、注射间、等候注射间、PET/CT 机房、抢救室、注射后候诊室、检查后留观室、污洗间、衰变池	①卫生通过间（医生缓冲区、淋浴间、更衣间）、病人缓冲区、PET/CT 控制室、设备间、 ②与控制区相连的其他场所或区域	/



图 3-1 工作场所分区管理

3.2 屏蔽设施建设情况和屏蔽效能

本项目由北京森磊源建筑规划设计有限公司设计，云南凯文建设工程有限公司施工，康立时代建设集团有限公司监理，屏蔽设施建设情况和屏蔽效能见表 3-2。

表 3-2 本项目工作场所屏蔽措施

名称	屏蔽体	环评拟采取的屏蔽措施	实际屏蔽措施	变动情况

储源间	墙体	均为 24cm 实心砖+3mm 铅板	均为 24cm 实心砖+3mm 铅板	一致
	顶板	25cm 混凝土	25cm 混凝土+3mm 铅板	增加 3mm 铅板
	地板	25cm 混凝土	25cm 混凝土	一致
	防护门	入口门为内衬 8mm 铅板的防护门	入口门为内衬 8mm 铅板的防护门	一致
固废间	墙体	均为 24cm 实心砖+3mm 铅板	均为 24cm 实心砖+3mm 铅板	增加 3mm 铅板
	顶板	25cm 混凝土	25cm 混凝土+3mm 铅板	一致
	地板	25cm 混凝土	25cm 混凝土	一致
	防护门	入口门为内衬 12mm 铅板的防护门	入口门为内衬 12mm 铅板的防护门	一致
分装间	墙体	均为 24cm 实心砖+3mm 铅板	均为 24cm 实心砖+3mm 铅板	一致
	顶板	25cm 混凝土	25cm 混凝土+3mm 铅板	增加 3mm 铅板
	地板	25cm 混凝土	25cm 混凝土	一致
	手套箱	70mm 铅当量	70mm 铅当量	一致
	防护门	两道内衬 10mm 铅板的防护门	两道内衬 10mm 铅板的防护门	一致
注射间 (医生)	墙体	均为 24cm 实心砖+3mm 铅板	均为 24cm 实心砖+3mm 铅板	一致
	顶板	25cm 混凝土	25cm 混凝土+3mm 铅板	增加 3mm 铅板
	地板	25cm 混凝土	25cm 混凝土	一致
	注射窗	40mmPb 铅玻璃	40mmPb 铅玻璃	一致
	防护门	入口门为内衬 10mm 铅板的防护门	入口门为内衬 10mm 铅板的防护门	一致
注射间 (病人)	墙体	均为 24cm 实心砖+3mm 铅板	均为 24cm 实心砖+3mm 铅板	一致
	顶板	25cm 混凝土	25cm 混凝土+3mm 铅板	增加 3mm 铅板
	地板	25cm 混凝土	25cm 混凝土	一致
	防护门	入口门为内衬 10mm 铅板的防护门	入口门为内衬 10mm 铅板的防护门	一致
注射后 候诊室	墙体	西侧墙为 55cm 混凝土, 北侧墙为 45cm 混凝土, 东侧和南侧为 37cm 实心砖+4mm 铅板, 卫生间和污洗间隔墙为 12cm 砖墙+2mm 铅板	西侧墙为 55cm 混凝土, 北侧墙为 45cm 混凝土, 东侧和南侧为 37cm 实心砖+4mm 铅板, 卫生间和污洗间隔墙为 12cm 砖墙+2mm 铅板	
	顶板	25cm 混凝土	25cm 混凝土+3mm 铅板	增加 3mm 铅板

			板	
	地板	25cm 混凝土	25cm 混凝土	一致
	防护门	入口门为内衬 10mm 铅板的防护门，卫生间和污洗间门为内衬 3mm 铅板的防护门	入口门为内衬 10mm 铅板的防护门，卫生间和污洗间门为内衬 3mm 铅板的防护门	一致
PET/CT 机房	四面墙体	东侧墙为 55cm 混凝土，北侧墙为 45cm 混凝土，西侧和南侧为 24cm 实心砖 +4mm 铅板	东侧墙为 55cm 混凝土，北侧墙为 45cm 混凝土，西侧和南侧为 24cm 实心砖+4mm 铅板	一致
	顶板	25cm 混凝土	25cm 混凝土+3mm 铅板	增加 3mm 铅板
	地板	25cm 混凝土	25cm 混凝土	一致
	观察窗	10mmPb 铅玻璃	10mmPb 铅玻璃	一致
	防护门	两道内衬 10mm 铅板的防护门	两道内衬 10mm 铅板的防护门	一致
检查后留观室	墙体	均为 24cm 实心砖 +4mm 铅板，卫生间隔墙为 12cm 砖墙 +2mm 铅板	均为 24cm 实心砖 +4mm 铅板，卫生间隔墙为 12cm 砖墙 +2mm 铅板	一致
	顶板	25cm 混凝土	25cm 混凝土+3mm 铅板	增加 3mm 铅板
	地板	25cm 混凝土	25cm 混凝土	一致
	防护门	入口门为内衬 10mm 铅板的防护门，卫生间门为内衬 3mm 铅板的防护门	入口门为内衬 10mm 铅板的防护门，卫生间门为内衬 3mm 铅板的防护门	一致
抢救室	墙体	北侧为 24cm 实心砖 +4mm 铅板，其余三面均为 24cm 砖墙 +3mm 铅板	北侧为 24cm 实心砖 +4mm 铅板，其余三面均为 24cm 砖墙 +3mm 铅板	一致
	顶板	25cm 混凝土	25cm 混凝土+3mm 铅板	增加 3mm 铅板
	地板	25cm 混凝土	25cm 混凝土	一致
	防护门	两道内衬 10mm 铅板的防护门	两道内衬 10mm 铅板的防护门	一致
放射性废水管道	管道	管道裸露部分用 3mm 铅皮包裹	管道裸露部分用 3mm 铅皮包裹	一致

3.3 辐射安全与防护措施的设置和功能实现情况

3.3.1 储存过程的防护措施

本项目单日购买氟-18 药物量最大为 2Ci (7.4×10^{10} Bq，为到达医院的药物量)，罐装溶液外购时，自身带有 50mm 铅当量钨合金屏蔽层，转入医院前表

面辐射剂量率水平和表面污染水平满足《放射性物品安全运输规程》

(GB11806-2019) 要求, 订购的氟-18 由生产厂家先转运至 PET/CT 中心储源间内。为保证放射性药品安全储存, 该储源间内设置双人双锁, 分装、注射结束后剩余放射性药物放置在厂家配送药物铅罐 (50mm 铅当量) 中由工作人员转运至固废间暂存 10 个半衰期后, 再通过下水口排入衰变池。医院建立了放射性药物出入库和使用台账。



图 3-2 储存过程的防护措施

3.3.2 操作过程的防护措施

本项目氟-18 的分装操作在分装间手套箱内完成, 该手套箱设置 70mm 铅当量屏蔽体。分装后的氟-18 药物装于外套 10mm 铅当量铅套的注射器内, 注射器装于 10mm 铅盒中转运至注射台, 注射时医生和病人间设置有 40mm 铅当量的注射窗。诊断过程中产生的放射性废物采用 30mm 铅当量铅桶收集屏蔽 (设置场所包括: 分装间、注射间、注射后候诊室、PET/CT 机房、检查留观室), 然后每天转入放射性废物间内暂存。操作过程医生穿着有铅衣、铅帽、铅围领、铅手套、铅眼镜等, 其防护铅当量为 0.5mm, 同时医生在机房内对病人进行摆位时设置有 10mm 铅当量铅屏风。注射后候诊室设置 3 块 10mmpb 铅屏风, 用于两个患者注射后等候期间防护。



手套箱



手套箱内自动分装仪



注射窗



铅废物桶



铅盒



注射后候诊室铅屏风



图 3-3 操作过程的防护措施

3.3.3 辐射安全措施

1、整个 PET/CT 中心控制区进行封闭管理，并设有门禁系统，非相关人员不能直接进入 PET/CT 中心内；

2、本项目非密封放射性物质储存场所设置有双人双锁，非密封放射性物质的转入、转出均由专人进行台账管理；

3、整个 PET/CT 中心控制区设置严密的视频监控和对讲系统，对整个 PET/CT 中心无死角 24h 监控，并将 PET/CT 中心作为保安人员重点巡查范围。

4、PET/CT 中心储源间、分装间、控制区出入口设置固定式剂量报警仪探头，显示器安装于控制室，若出现放射性物质泄漏，将进行报警提示，工作人员能够及时察觉；建设单位制定监测计划，并自行配备便携式 γ 辐射监测仪及 β 表面污染仪，定期或不定期进行场所巡测，发现异常及时查明原因并进行处置。

5、PET/CT 中心配备 4 套铅衣、铅帽、铅眼镜、铅围脖、铅围裙等防护用品，为每位工作人员配备一个个人剂量计和一台个人剂量报警仪，PET/CT 中心配备一台便携式辐射监测仪和一台 β 表面污染仪。

6、PET/CT 中心控制区外张贴电离辐射警示标识，PET/CT 机房与控制室单独建设，防护门显著位置处张贴电离警示标识，设置门灯联锁和工作状态指示灯，推拉防护门设置防夹人装置，平开防护门设置闭门装置，机房内建有铅玻璃观察窗，机房设置语音对讲装置、视频监控系统等安全装置。



控制区电离辐射警示标识



控制区电离辐射警示标识



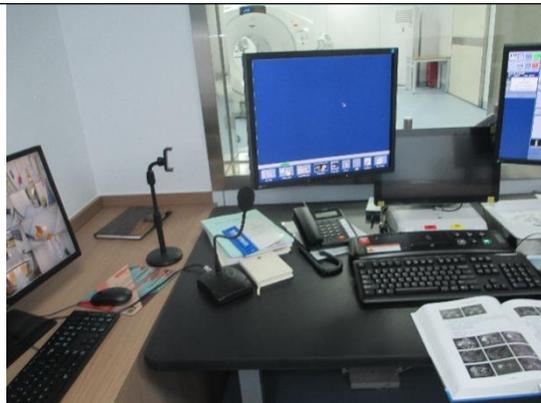
控制区电离辐射警示标识



PET/CT 机房工作状态指示灯



PET/CT 机房观察窗



PET/CT 机房对讲装置



PET/CT 中心对讲装置



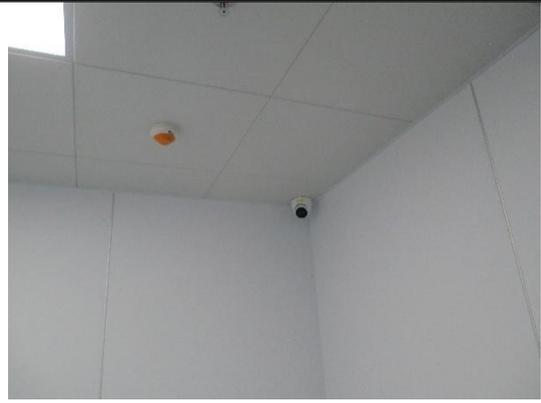
储源间门口监控



注射间（医生）监控



固废间监控



储源间监控



PET/CT 中心监控画面



个人剂量报警仪及个人剂量计



个人剂量报警仪及个人剂量计



个人剂量报警仪及个人剂量计



个人剂量报警仪及个人剂量计



个人剂量报警仪



个人剂量计



便携式辐射监测仪



表面污染仪



固定式剂量报警仪显示器



图 3-4 辐射安全措施照片

3.3.4 隐蔽性工程照片





图 3-5 隐蔽性工程照片

3.4 辐射安全管理情况

3.4.1 辐射环境管理机构

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规要求，使用II、III类射线装置、III类放射源、V类放射源及乙级非密封放射性物质工作场所的单位应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负责辐射安全与环境保护管理工作。

目前建设单位已于2022年7月15日发布了《关于调整辐射安全与环境保护管理委员会成员的通知》（院发[2022]118号），对昆明医科大学第二附属医院辐射安全与环境保护管理委员会成员进行调整，管理委员会下设办公室，办公室设在资产管理处，负责日常工作，有领导分管、管理机构健全。辐射防护管理委员会的职责包括：职责:根据国家放射性同位素与射线装置安全、防护管理办法及放射工作人员职业健康管理办法的相关规定;制定医院辐射安全与环境保护的有关工作制度;对医院辐射安全与环境保护工作进行监督，指导有关科室做好放射源日常质量控制，督促其对工作中存在的问题进行整改。办公室职责:负责监管日常辐射安全与环境保护管理工作。开展医院放射源监测工作;储存个人剂量和体检结果文件，提供辐射相关人员查询;办理射线装置环评和验收手续，职业病防护预评价及控制效果评价手续,射线装置所需辐射安全许可证手续，射线装置放射治疗证手续;完成上级行业主管部门和医院交办的其他事项。

辐射安全管理委员会名单设置如下：

表 3-3 辐射防护管理委员会人员设置表

职务	人员
主任	舒钧
成员	医务处、资产管理处、基建处、后勤服务中心主要负责人，放射科、核医学科及肿瘤科科主任和技师长

3.4.2 辐射环境管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》的相关管理要求，使用射线装置和乙级非密封放射性物质工作场所的单位应当具备有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等。并根据《云南省环境保护厅关于印发<放射性同位素与射线装置辐射安全和防护监督检查大纲>和<放射性同位素与射线装置辐射安全和防护监督检查技术程序>的通知》（云环发[2014]1号）和《生态环境部（国家核安全局）核素利用项目监督检查技术程序》（2020年版）的相关要求，建设单位承诺在本项目运营之前应制定如下的管理制度，见表 3-4。

表 3-4 PET/CT 中心管理制度汇总对照表

序号	检查项目	落实情况	
1	综合	辐射安全和防护管理规定（综合性文件）	已制定
2		放射性药物管理规定（购买、领用、保管和盘存）	已制定
3		辐射工作场所安全保卫制度	已制定
4		射线装置管理制度	已制定
5	场所设施	场所分区管理规定（含人流、物流路线图）	已制定
6		非密封放射性物质操作规程（分操作核素或诊治类别进行制定）	已制定
7		去污操作规程	已制定
8		射线装置操作规程	已制定
9		辐射安全和防护设施维护维修制度（包括机构人员、维护维修内容与频度）	已制定
10		患者管理规定	已制定
11		场所设施退役(报废)管理制度	已制定
12	监测	监测方案	已制定
13		监测仪表使用与校验管理制度	已制定
14	人员	辐射工作人员培训/再培训管理制度	已制定
15		辐射工作人员个人剂量管理制度	已制定
16		辐射工作人员健康管理制度	已制定
17		辐射工作人员岗位职责管理	已制定

18		辐射工作人员资质管理	已制定
19	应急	辐射事故/事件应急预案	已制定
20	三废	放射性“三废”管理规定	已制定



图 3-6 规章制度上墙

3.4.3 辐射事故应急

目前建设单位已成立由辐射安全与防护管理领导小组负责的应急组织机构，全面承担辐射事故应急预案修订、演练和应急响应等具体工作，并明确了成员职责。同时，建设单位目前已制定《辐射事故应急预案》（见附件4），其主要内容已涵盖：①应急机构及职责；②辐射事故等级划分；③应急响应；④应急保障；⑤应急响应流程等。经分析并对照相关要求，其相关应急预案具有可操作性。

建设单位成立了辐射事故应急救援领导小组，明确了成员及职责，应急预案规定了应急处理流程，包括报告程序、处置措施、应急培训、应急演练等，内容较全，措施得当，便于操作，在应对辐射事故和突发性事件时基本可行。

现有辐射事故应急预案内容较全，措施得当，便于操作，在发生辐射事故情况下，启动应急预案并采取防护措施，可以有效控制辐射事故对环境的影响。

响。

3.5 放射性三废处理设施的建设和处理能力

3.5.1 固体废弃物治理措施

1、固体放射性废物处置措施

本项目 PET/CT 中心产生的放射性固体废物主要是一次性注射器、针头、棉签、手套、口罩、空药瓶等以及定期更换下的活性炭过滤器、退役校准源和质控源。本项目分装间、注射间、注射后候诊室设置有放射性固废收集桶，用于收集产生的放射性固废，每天收集后转入固废间进行暂存衰变，固废间铺设防水涂层，防渗系数 $\leq 10^{-10}$ cm/s。更换的放射源返回生产厂家或原出口方，确定无法交回生产厂家或者返回原出口方的，送交有相应资质的单位收贮。

表 3-5 放射性固废处理措施一览表

场所	种类	核素种类	收集措施	暂存措施	处置措施
PET/CT 中心	一次性注射器、针头、棉签、手套、口罩、空药瓶等	氟-18	分装间、注射间、注射后候诊间、检查后留观室各设置 1 个 30mm 铅当量的废物桶收集	每天转入放射性废物暂存间暂存衰变，暂存衰变超过 30 天	经监测满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中规定的辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染 $< 0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ ， β 表面污染 $< 0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，可进行清洁解控并作为医疗废物由有资质单位统一回收处理
	过滤器	氟-18	/	转入放射性废物暂存间暂存衰变，暂存衰变超过 30 天	
	退役校准源、质控源	锆-68	/	暂存于储源间	

(1) 固体放射性废物收集

①固体放射性废物收集于具有屏蔽结构和电离辐射标志的专用废物桶。废物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物；

②含尖刺及棱角的放射性废物，预先处理包装处理，再装入废物桶，防止刺破塑料袋；

③放射性废物每袋重量不超过 20kg。装满废物的塑料袋密封后及时转运至放射性废物暂存间贮存。

(2) 固体放射性废物贮存

①放射性废物贮存场所安装通风换气装置，放射性废物中含有易挥发放射性核素的，通风换气装置有单独的排风管道。入口处应设置电离辐射警告标志，采取有效的防火、防丢失、防射线泄漏等措施。

②废物暂存间内设置专用容器盛放固体放射性废物袋（桶），不同类别废物应分开存放。容器表面注明废物所含核素的名称、废物的类别、入库日期等信息，并做好登记记录。

③废物暂存间内未存放易燃、易爆、腐蚀性物品。

(3) 固体放射性废物处理

①放射性固废暂存时间超过 30 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ ， β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，可进行清洁解控并作为医疗废物处理。

② 固体放射性废物的存储和处理安排专人负责，并建立废物存储和处理台账，详细记录放射性废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息；

③放射性废物包装体外的表面剂量率不超过 $0.1\text{mSv}/\text{h}$ ，表面污染水平小于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

④建立放射性废物收集、贮存、排放管理台账，做好记录并存档备案。



图 3-7 放射性固体废物收集

2、非放射性固体废物

本项目 PET/CT 中心非放射性固体废弃物主要为工作人员产生的少量生活垃圾，经医院垃圾桶收集后定期由环卫部门清运。

3.5.2 废水治理措施

1、放射性废水处置措施

(1) PET/CT 中心放射性废水收集措施

本项目 PET/CT 中心设置有独立的用药病人卫生间，设置有独立的下水系统，并与衰变池相连，该衰变池本体设计为两组槽式池体，单组有效容积为

30.88m³，总有效容积 61.76m³，位于 PET/CT 中心东南侧，避开了人群集中活动区域。衰变池池体采用 400mm 混凝土浇筑，顶板为 400mm 混凝土浇筑，池体内部铺设防水涂层，防渗系数 $\leq 10^{-10}$ cm/s，且内表面光滑，满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）规定的坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性要求，同时衰变池内设置搅拌装置，可防止污泥硬化淤积堵塞排水口。放射性废液收集的管道走向、阀门和管道的连接死区较少，下水管道较短，暴露的污水管道做好防护处理。衰变池整体埋于地下，检查/取样口采用 8mm 铅板防护，下水管道裸露部分和穿孔洞处将采取 3mm 铅皮进行包裹防护，下水管道走线避开人群密集区域，尽量减小对公众的辐射影响。

本项目 PET/CT 中心放射性废水所含核素为氟-18，半衰期为 109.7min，小于 24h。根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），对于所含核素半衰期小于 24h 的放射性废液暂存时间需超过 30 天，根据源项分析，本项目 PET/CT 中心放射性废水单日排放量为 0.9m³/d，30 天内 PET/CT 中心排入下水管道含氟-18 核素放射性废水量为 27m³。

本项目 PET/CT 中心衰变池设计为两组并联槽式衰变池，单个池体有效容积为 30.88m³，总的有效容积为 61.76m³。运行时当 1#池体内废水装满时关闭进水阀门进行封闭衰变，然后将废水接着排入 2#池体内，当 2#池废水装满时进行封闭衰变，然后 1#池体通过抽水泵将废水排入医院污水管网进入医院污水处理站进一步处理，经处理后应达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表 2 要求，排入市政污水管网，最终排入昆明市第三水质净化厂。本项目衰变池设计为两组槽式池体，其中单组池体有效容积为 30.88m³，满足 PET/CT 中心 30 天总的放的放射性废水产生量（27m³）。

（2）放射性废水贮存排放管控措施

为保障该衰变池的长效可靠运行，建设单位还需采取如下管理措施：

①本项目 PET/CT 中心废水中放射性核素只包括氟-18（半衰期小于 24h），放射性废水暂存衰变超过 30 天可直接解控排放，经医院污水管网排入医院污水处理站，经处理后应达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表 2 要求，最终排入市政污水管网；②医院需建立放射性废水暂存和处

理台账排放台账，详细记录放射性废液所含的核素名称、体积、废液产生起始日期、责任人、排放时间、监测结果等信息，并由专人负责管理记录；③衰变池需设立明显的电离辐射警告标志，衰变池上方覆土绿化，并作为控制区管理；④衰变池水泵要求建立巡查制度及台账制度，以保证其正常运行；⑤为防止衰变池过满溢出，要求在每个衰变池设置液位计，随时监控衰变池内水位，到达预定位置时即可报警并提示手动关闭进水阀门或自动关闭进水阀门，使废水进入另外的池体；⑥在诊疗过程中若出现剩余放射性药物，考虑其活度较大，禁止将其直接排入下水管网或衰变池，应放置在厂家配送药物铅罐（50mm铅当量）中由工作人员转运至固废间暂存 10 个半衰期后，再通过放射性废水下水口排入对应的衰变池；⑦同时衰变池应作为重点防渗区进行管理，其防渗系数需 $\leq 10^{-10}$ cm/s。



图 3-7 衰变池

2、非放射性废水处置措施

医护人员产生的生活污水依托医院污水管网排入医院现有污水处理系统处理达标后排入市政污水管网最终排入昆明市第三水质净化厂。

3.5.3 废气治理措施

本项目 PET/CT 中心排风井位于 PET/CT 中心 PET/CT 机房西北侧，采用竖向风管将 PET/CT 中心废气排放至 7 号楼楼顶，排风口朝向北侧。PET/CT 中心辐射工作场所排风管道分为二支，一支排风管道连接分装间内的手套箱，排风量为 500m³/h，风速不低于 0.5m/s，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中要求的“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”的要求。第二支排风管道

连接卫生通过间、储源间、分装间、注射间、注射后候诊室、抢救室、检查后留观室、放射性废物暂存间、PET/CT 机房及其控制室等区域，排风系统不涉及非放射区，PET/CT 机房控制室（监督区）排气管最后汇入主排气管道，因此，整个控制区内气流组织遵循监督区→控制区的原则；且送风量为 2580m³/h，排风量为 3100m³/h，排风量大于送风量，可以保证房间内负压环境，同时安装防回流装置，能有效防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。

本项目排风管道由 PET/CT 机房西北侧排风井经专用排风管道排至 7 号楼楼顶，并高出屋脊排放，排风管风机端分别设置二级活性炭吸附装置。各排风管道内保持负压，安装防回流装置，套箱处设置活性炭过滤器、总排口设置活性炭过滤器。所使用的活性炭需定期更换，更换下来的活性炭应按放射性固体废物进行处理。

表 3-6 PET/CT 中心放射性废气处理措施一览表

场所	新风量 (m ³ /h)	排风量 (m ³ /h)	废气处理设施	排放去向
PET/CT 中心手套箱	/	500	排风管风机端设置二级活性炭吸附装置	引至 7 号楼楼顶排放，排风口朝向北侧
卫生通过间（医生缓冲区、淋浴间、更衣间）、储源间、固废间、分装间、注射间、等候注射间、病人缓冲区、PET/CT 机房、控制室、设备间、抢救室、注射后候诊室、检查后留观室。	2580	3100	排风管风机端设置二级活性炭吸附装置	
PET-CT 中心办公区域	2340	2880	/	

为保证 PET/CT 中心放射性废气处理设置正常安全运行，建设单位还采取了如下措施：

①建设单位定期对通排风系统管道及过滤系统设施设备进行检修和维护，并建立设施设备维护台账，其中活性炭过滤器需根据设备要求进行过滤效率检定和更换，每半年至少进行一次维护和校正，并根据校正结果对过滤器进行更换；

②更换下的活性炭过滤器应按放射性固体废物进行管理和处置；

③为防止公众进入楼顶避免不必要的误照射，要求建设单位将废气排风口楼顶划为管控区域，并进行封闭管理。

3.6 环保设施投资及“三同时”落实情况

根据项目环境影响及批复文件，本项目环评阶段总投资约 2100 万元，环保投资约 240.5 万元，占总投资的 11.45%。本项目实际总投资约 2150 万元，环保投资约 290.5 万元，占总投资的 13.51%。本项目环保设施（措施）及其投资估算见表 3-7。

表 3-7 本项目环保设施（措施）及投资一览表

场所	类别	环评阶段要求环保设施（措施）	环评环保投资金额（万元）	实际环保设施（措施）	实际环保投资金额（万元）	备注
PET/CT 中心	辐射屏蔽措施	场所辐射屏蔽装修（墙体、地板、楼板、门、窗屏蔽）具体屏蔽情况见表 3-1	200.0	场所辐射屏蔽装修（墙体、地板、楼板、门、窗屏蔽）具体屏蔽情况见表 3-1	250	/
	废气处理	PET/CT 中心拟设置三套独立的排风系统，包括： ①PET/CT 中心手套箱设置一套独立的排风系统（排风量 500m ³ /h，风速大于 0.5m/s）； ②PET/CT 中心其他辐射工作场所设置一套独立的排风系统（排风量 3100m ³ /h）； ③PET-CT 中心办公区域一套独立的排风系统（排风量 2880 m ³ /h）。放射性废气经 PET/CT 中心独立设置的排风系统排至 7 号楼楼顶排放。手套箱和排风口处设置二级活性炭吸附装置。	5.0	PET/CT 中心拟设置三套独立的排风系统，包括： ①PET/CT 中心手套箱设置一套独立的排风系统（排风量 500m ³ /h，风速大于 0.5m/s）； ②PET/CT 中心其他辐射工作场所设置一套独立的排风系统（排风量 3100m ³ /h）； ③PET-CT 中心办公区域一套独立的排风系统（排风量 2880 m ³ /h）。放射性废气经 PET/CT 中心独立设置的排风系统排至 7 号楼楼顶排放。手套箱和排风口处设置二级活性炭吸附装置。	5.0	/
	废水处理	2 组槽式衰变池 1 座，单组池子有效容积为 30.88m ³ ，总的有效容积为 61.76m ³ 。	5.0	2 组槽式衰变池 1 座，单组池子有效容积为 30.88m ³ ，总的有效容积为 61.76m ³ 。	5.0	/

	固废处理	放射性固废收集桶（30mmPb 当量）共 7 个，其中分装间内 1 个，注射间（医生）1 个，注射间（病人）1 个，注射后候诊室 1 个，检查后留观室、PET/CT 机房、抢救室 1 个	1.0	放射性固废收集桶（30mmPb 当量）共 7 个，其中分装间内 1 个，注射间（医生）1 个，注射间（病人）1 个，注射后候诊室 1 个，检查后留观室、PET/CT 机房、抢救室 1 个	1.0	/
	监测仪器	便携式 X-γ 辐射监测仪 1 台、表面污染仪 1 台，固定式剂量报警仪 1 套（多探头），个人剂量计 8 个（每人 1 个），个人剂量报警仪 8 个	8.0	便携式 X-γ 辐射监测仪 1 台、表面污染仪 1 台，固定式剂量报警仪 1 套（多探头），个人剂量计 8 个（每人 1 个），个人剂量报警仪 8 个	8.0	/
	其他防护用品	PET/CT 控制室、卫生通过间各配备铅衣、铅帽、铅手套、铅围裙、铅眼镜 4 套（0.5mm 铅当量）；乳胶手套、工作服、一次性鞋套、帽子、防护过滤式口罩（按需配置）；分装间配备 10mmPb 注射防护套 6 个；10mmPb 铅盒 2 个；40mmPb 的注射窗口；PET/CT 机房配备 10mmPb 铅屏风 1 个，注射后候诊室配备 10mmPb 铅屏风 3 个	6.0	PET/CT 控制室、卫生通过间各配备铅衣、铅帽、铅手套、铅围裙、铅眼镜 4 套（0.5mm 铅当量）；乳胶手套、工作服、一次性鞋套、帽子、防护过滤式口罩（按需配置）；分装间配备 10mmPb 注射防护套 6 个；10mmPb 铅盒 2 个；40mmPb 的注射窗口；PET/CT 机房配备 10mmPb 铅屏风 1 个，注射后候诊室配备 10mmPb 铅屏风 3 个	6.0	/
	安全装置	储源间双人双锁，储源间保险柜 1 个，储源间红外监控系统 1 套，PET/CT 中心视频监控和对讲系统（若干，区域全覆盖，无死角监控），控	8.0	储源间双人双锁，储源间保险柜 1 个，储源间红外监控系统 1 套，PET/CT 中心视频监控和对讲系统（若干，区域全覆盖，无死	8.0	/

		制区入口、出口单向门禁系统 1 套，监督区、控制区划定地标线（若干），PET/CT 机房工作状态指示灯（门-灯连锁）、紧急制动开关 1 套		角监控），控制区入口、出口单向门禁系统 1 套，监督区、控制区划定地标线（若干），PET/CT 机房工作状态指示灯（门-灯连锁）、紧急制动开关 1 套		
		辐射相关规章制度上墙	0.5	辐射相关规章制度上墙	0.5	/
	其它	应急和救助的物资准备（应急通信设备、警戒线、警示标牌、应急演练、50mmPb 备用铅罐等）、应急及去污用品：一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污剂和/或喷雾（至少为加入清洗洗涤剂 and 硫代硫酸钠的水）；小刷子、一次性毛巾或吸水纸、毡头标记笔（水溶性油墨）、不同大小的塑料袋、酒精湿巾、电离辐射警告标志、胶带、标签、不透水的塑料布、一次性镊子	7.0	应急和救助的物资准备（应急通信设备、警戒线、警示标牌、应急演练、50mmPb 备用铅罐等）、应急及去污用品：一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污剂和/或喷雾（至少为加入清洗洗涤剂 and 硫代硫酸钠的水）；小刷子、一次性毛巾或吸水纸、毡头标记笔（水溶性油墨）、不同大小的塑料袋、酒精湿巾、电离辐射警告标志、胶带、标签、不透水的塑料布、一次性镊子	7.0	/
		合计	240.5	/	290.5	/

表四 建设项目环境影响报告表主要结论及审批部门审批决定

建设项目环境影响报告表主要结论及审批部门审批决定：

4.1 环境影响评价文件主要结论

1、项目概况

本项目拟将7号楼（设计为21层，其中地上18层，地下3层）A区负一楼西北侧停车场改造为PET/CT中心，拟使用核素 ^{18}F 用于显像（从有销售资质的单位进行购买），日等效最大操作量为 $2.072 \times 10^7 \text{Bq}$ ，年最大用量为 $1.85 \times 10^{13} \text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所，配置使用1台正电子断层扫描仪（PET/CT，属于III类射线装置），并配置使用2枚放射源（锞-68，属于V类放射源）。项目总投资2100万元，其中环保投资240.5万元，占项目总投资的11.45%。

2、产业政策符合性及规划符合性结论

根据国家发展和改革委员会2019年第29号令《产业结构调整指导目录（2019年本）》及2021年第49号令《国家发展改革委关于修改〈产业结构调整指导目录（2019年本）〉的决定》相关规定，本项目不属于淘汰类和限制类产业，符合国家产业政策。

项目位于昆明医科大学第二附属医院7号楼A区负一层西北侧，项目用地属于昆明市规划的医院用地，根据昆明市五华区自然资源局《关于〈昆明医科大学第二附属医院关于查询PET/CT项目生态保护红线的申请〉的回复》，本项目用地未占用昆明市五华区生态保护红线（见附件9），因此项目建设符合昆明市五华区城市总体规划。

3、本项目选址及平面布置合理性分析

（1）选址合理性分析

本项目PET/CT中心所在位置相对独立，位于7号楼负一层西北侧角落，不毗邻产科（距本项目直线距离约20m，产科位于7号楼A区4楼）、儿科（距本项目直线距离约16m，儿科病区位于7号楼A区3楼，新生儿科位于C区4楼）、食堂（距本项目直线距离约96m）等部门，且设置有单独的出入口，PET/CT中心避开了人群较集中的门诊大楼、收费处等人群稠密区域，符

合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中选址的要求，经后续章节计算，评价范围内职业人员和公众人员关注点处剂量率满足评价标准要求，同时 50m 评价范围内无自然保护、风景名胜区和生态红线等生态敏感目标，因此本项目选址合理。

（2）平面布置合理性分析

本项目 PET/CT 中心布局相对封闭且独立，满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），各组成部分功能分区明确，满足诊治工作要求，既能有机联系，又不相互干扰，从辐射安全的角度考虑，本项目平面布置及人流、物流路径是合理的。

4、项目代价利益分析

本项目的建设可以更好地满足患者多层次、多方位、高质量和文明便利的就诊需求，提高对疾病的诊治能力。核技术应用项目的开展，可达到一般非放射性诊治方法所不能及的诊断及治疗效果，对保障人民群众身体健康、拯救生命起了十分重要的作用，本项目开展所带来的利益是大于所付出的代价的，所以符合辐射防护“实践的正当性”原则。

5、辐射环境质量现状

经过对与本项目相关的医院辐射环境现状监测，昆明医科大学第二附属医院 PET/CT 中心拟建地及周围 X- γ 辐射空气吸收剂量率范围为 $1.9 \times 10^{-8} \text{Gy/h} \sim 4.4 \times 10^{-8} \text{Gy/h}$ ，与医院周围环境本底 X- γ 辐射空气吸收剂量率（ $2.9 \times 10^{-8} \text{Gy/h} \sim 3.6 \times 10^{-8} \text{Gy/h}$ ）相当，属于项目所在地正常水平。

昆明医科大学第二附属医院 PET/CT 中心拟建地及周围监测点位 β 表面污染水平为 $0.16 \text{Bq/cm}^2 \sim 0.19 \text{Bq/cm}^2$ ，对照医院四周监测结果 $0.16 \text{Bq/cm}^2 \sim 0.17 \text{Bq/cm}^2$ ，属于项目所在地正常水平。

昆明医科大学第二附属医院 PET/CT 中心拟建地及周围土壤中总 β 为 $1.04 \times 10^2 \text{Bq/kg} \sim 7.93 \times 10^2 \text{Bq/kg}$ ，土壤中总 α 为 $3.25 \times 10^2 \text{Bq/kg} \sim 7.71 \times 10^2 \text{Bq/kg}$ ，与本底监测点（拟建地上风向）监测结果进行对照，属于项目所在地正常水平。

6、环境影响评价结论

（1）辐射环境影响分析

经模式预测，本项目 PET/CT 中心建成正常工况运行下，叠加一层核医学科辐射影响后，工作人员受照年有效剂量为 1.65mSv，满足管理限值 5mSv/a 的要求；公众最大受照射剂量为 6.97×10^{-2} mSv，满足 0.1mSv/a 限值要求。

(2) 大气的环境影响分析

本项目 PET/CT 中心设置独立通排风系统，手套箱、排风机端和屋顶排风口处设置活性炭过滤器，本项目 PET/CT 中心产生的废气通过排风系统引至屋顶及活性炭过滤器过滤后排放，经扩散稀释后对周围环境影响较小。

(3) 废水的环境影响分析

本项目 PET/CT 中心放射性废水所含核素为氟-18，半衰期为 109.7min，小于 24h。根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），对于所含核素半衰期小于 24h 的放射性废液暂存时间需超过 30 天。本项目 PET/CT 中心衰变池设计为两组并联槽式衰变池，单个池体有效容积为 30.88m³，总的有效容积为 61.76m³，能满足 30 天内 PET/CT 中心排入下水管道含氟-18 核素放射性废水量（27m³）。根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），对于槽式衰变池，所含核素半衰期小于 24h 的放射性废液暂存时间超过 30 天可直接解控排放，本项目 PET/CT 中心废水中放射性核素只包括氟-18（半衰期小于 24h），放射性废水在并联槽式衰变池内暂存衰变超过 30 天可直接解控排放。此外根据《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005），衰变池出口总 α 放射性最高允许排放浓度为 1Bq/L、总 β 放射性最高允许排放浓度为 10Bq/L，每季度监测不少于 1 次，在检修取样间的废水取样口进行取样监测达标后，经医院污水管网排入医院污水处理站，经处理后应达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表 2 要求，排入市政污水管网，最终进入昆明市第三水质净化厂，对地表水环境影响较小。

医护人员产生的生活污水依托医院污水处理站进行处理达标后排入市政污水管网，最终排入昆明市第三水质净化厂，对地表水环境影响较小。

(4) 固体废物的环境影响分析

本本项目 PET/CT 中心产生的放射性固体废物主要是一次性注射器、针头、棉签、手套、口罩、空药瓶等以及定期更换下的活性炭过滤器、退役校准源和质控源，所含核素为含氟-18、锞-68（放射源）。本项目分装间、注射后

候诊室等设置有放射性固废收集桶，用于分核素种类收集产生的核素放射性固废，每天收集后转入固废间进行暂存衰变，本次要求建设单位将定期更换下的活性炭过滤器作为放射性固废进行收集处理。更换的放射源首先由生产厂家回收，确定无法交回生产单位，送交有相应资质的单位收贮。其中含 F-18 的放射性固废暂存衰变超过 30 天后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 可进行清洁解控并作为医疗废物由有资质单位统一回收处理；对环境影响较小。

本项目产生的办公、生活垃圾依托 7 号楼收集系统进行回收后由当地环卫部门清运，对环境影响较小。

（5）噪声

本项目 PET/CT 中心噪声源强主要为风机，位于 PET/CT 中心风机房内，风机噪声通过墙体阻隔和距离衰减后对周围敏感目标噪声贡献值较小，因此对声环境影响也较小，不会改变周围声功能区划。

（6）事故风险与防范

根据事故情况估算结果，本项目事故情况下可能产生的后果按《云南省生态环境厅辐射事故应急响应预案》（2022 年修订版）中规定判断，属于一般辐射事故。

医院制定了放射性同位素与射线装置辐射事故应急预案，各种辐射防护措施设计较齐全，基本满足辐射防护要求。医院制定的各种辐射安全制度较全面，在发生辐射事故情况下，启动应急预案并采取相应的防护措施可有效控制辐射事故对环境的影响。

7、辐射安全管理的综合能力

通过对照国家有关要求对本项目从事辐射活动能力的逐项分析，医院依据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院第 449 号令）及《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环保部第 18 号令）及《生态环境部（国家核安全局）核素利用项目监督检查技术程序》（2020 年版）中关于使用医用射线装置、放射源和非密封放射性物质使用条件的相关规定，拟采取的辐射防护设施（措施）较齐全，防护效果可满足辐射防护要求；在落实本报告提出的要求后，基本具备了使用乙级非密封放射性物质工作场所、III 类射线装

置、V类放射源的综合管理能力。

8、项目环保可行性结论

本项目的建设方案已按照环境保护法规和有关辐射防护要求进行了设计，在全面落实本报告提出的辐射安全防护措施及环保措施的基础上，切实做到“三同时”，并在项目运行时严格执行辐射防护安全管理制度和监测计划，则本项目正常运行时，对周围环境的影响能够符合辐射环境保护的要求，从环境保护和辐射防护角度分析，该项目的建设是可行的。

4.2审批部门审批

云南省生态环境厅于2023年3月24日对《昆明医科大学第二附属医院PET/CT中心核技术利用项目环境影响报告表》进行了批复，批复如下：

一、医院拟将7号楼负一层A区西北侧停车场改建为PET/CT中心，外购F-18放射性药物，使用1台PET/CT对标记F-18放射性药物的病患进行显像诊断，配套建设储源室、分装室、PET/CT机房、注射室、留观室、放射性固废间和放射性废液衰变池等辅助用房和设施。PET/CT属于III类射线装置（额定管电压140kV、额定管电流800mA），使用2枚V放射源Ge-68，出厂活度分别为 $3.5 \times 10^6 \text{Bq}$ 和 $5.5 \times 10^7 \text{Bq}$ 。PET/CT中心日等效最大操作量为 $2.072 \times 10^7 \text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所。本项目总投资2100万元，环保投资240.5万元。

二、根据《报告表》评价结论，该项目符合国家产业政策，在全面落实《报告表》提出的各项辐射安全防护和污染防治措施后，项目实施对周围环境和相关人员的影响能够满足国家电离辐射和放射防护相关要求和标准，从环境保护和辐射安全的角度，项目建设可行。云南省生态环境厅同意该项目按照《报告表》中所述的地点、性质、规模、内容、环境保护对策措施及辐射环境管理要求进行建设。

三、项目建设及运营中应重点做好的工作

（一）进一步做好辐射工作场所屏蔽防护工程的设计，规范建设辐射安全联锁和辐射防护设施，加强施工全过程的管理和监控，建立工程施工档案，对隐蔽工程须将设计图、影像、施工图片等资料存档备查。

（二）严格执行《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188—2021）规定的

电离辐射剂量约束值，确保职业照射年剂量约束值不超过 5mSv，公众照射年剂量约束值不超过 0.1mSv。

（三）加强非密封放射性物质、放射源及相应场所管理，建立管理台账，存放场所应采取相应的安保措施，严防丢失、被盗。非密封放射性物质使用过程中应规范操作，避免非密封放射性物质泼洒、泄漏。加强非密封放射性物质工作场所工作人员、患者、放射性药物、放射性废物的路径管理。

（四）按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188—2021）规范固体、液态、气态放射性废物的管理，严格落实暂存时间、监测要求和台账记录。PET/CT 中心独立排风，定期对过滤器进行维护和校正，确保过滤效率。按照废旧放射源返回协议规定，将废旧放射源交回生产单位或者返回原出口方，无法交回生产厂家或返回原出口方的，送交有资质单位收贮。

（五）全面落实辐射安全和应急响应主体责任，制定辐射防护和安全管理制 度，完善辐射事故应急预案，定期开展辐射事故风险评估和应急演练，做好辐射事故应急准备工作，提高辐射事故应急处置能力。

（六）非密封放射性物质工作场所毗邻区域不宜布设产科、儿科、食堂等特殊人群及人员密集的场所。

（七）按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法规要求，项目建成后依法申领《辐射安全许可证》方可正式投入使用。开展辐射安全和防护年度评估工作，于每年 1 月 31 日前向辐射安全许可证发证机关提交上一年度的评估报告，并上传至“全国核技术利用辐射安全申报系统”。

（八）在项目建设和运行过程中，认真贯彻落实《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等相关要求。

四、项目地点、性质、规模和污染防治措施发生变动的，应向有审批权限的生态环境部门报告并按要求办理相关手续。本项目环境影响报告表自批准之日起超过 5 年，方决定项目开工建设的，其环境影响评价文件应当报云南省生态环境厅重新审核。

五、严格执行环保设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用的环保“三同时”制度。项目竣工后依法开展竣工环保自主验收工作。

六、你单位收到批复 20 个工作日内，将批准后的环境影响报告表分送昆明市生态环境局、昆明市生态环境局五华分局，并接受各级生态环境主管部门的监督检查。

请昆明市生态环境局负责该项目辐射安全的监督检查工作。

4.3 环评及批复环保措施落实情况

施工期不存在电离辐射，故没有相关的辐射环境保护措施，环境影响评价文件提出的辐射环境保护措施及环评批复要求落实情况见表 4-1~表 4-2。

由表 4-1~表 4-2 可见，工程设计、环评及环评批复要求的环保措施基本落实。

表 4-1 工程环评环保措施及落实情况

序号	环保部 3 号令要求	建设单位落实情况	备注
1	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负责辐射安全与环境保护管理工作。	已落实。①建设单位已以“院发[2022]118 号”成立了辐射安全与环境保护管理委员会；②建设单位已配置 1 名本科以上学历的技术人员负责辐射安全管理工作。	/
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。	已落实。本项目目前配备 5 名辐射工作人员，均通过了辐射安全与防护培训考核。	/
2	放射性同位素与射线装置使用场所所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	已落实。建设单位已制定非密封放射性物质使用操作规程和射线装置操作规程，将操作规程张贴上墙，同时各辐射工作场所设置固定式 γ 剂量率报警仪并配备个人剂量报警仪防止人员误照射。	/
3	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。使用非密封放射性物质的单位还应有表面污染监测仪。	已落实。建设单位配备了 4 套铅衣、铅帽、铅眼镜、铅围脖、铅围裙等防护用品，为每位工作人员配备一个个人剂量计和一台个人剂量报警仪，PET/CT 中心配备一台便携式辐射辐射监测仪和一台 β 表面污染仪，并制定了监测计划，定期对场所内和场所外开展监测工作。	/
4	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	已落实。建设单位已按要求制定了操作规程、岗位职责、辐	/

	维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。	射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等制度，并将相关制度张贴上墙。	
5	有完善的辐射事故应急措施。	已落实。建设单位于2024年4月26日组织相关部门开展了辐射事故应急演练，建设单位于2024年7月15日对辐射事故应急预案进行修订，并发布《昆明医科大学第二附属院关于印发辐射安全事故应急预案（修订）的通知》（院发〔2024〕131号），目前已制定《辐射事故应急处置预案》，其主要内容已涵盖：①应急组织体系及职责；②辐射事故分级；③医院辐射应急处理程序；④辐射事故的报告；⑤应急事件的终止程序与后续整改；⑥应急保障；⑦应急培训及演习等。	/
6	产生放射性废气、废液、固体废物的，还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案。	已落实。①针对废气建设有独立通排风系统及过滤器，放射性废水经过滤排放后对周围环境影响能达标，其处理能力和处理方式可行； ②针对废液已建有独立下水系统，并设置衰变池，放射性废水进行收集暂存时间超过30天直接解控排入医院污水处理站处理，其处理能力和处理方式可行； ③针对固体废物已建有放射性废物间并配置放射性固废收集容器，放射性固体废物经收集暂存30天经监测达标后作为医疗固体废物交由有资质单位处理，其处理能力和处理方式可行。	/
7	应当配备质量控制检测设备，制定相应的质量保证大纲和质量控制检测计划，至少有一名医用物理人员负责质量保证与质量控制检测工作。	已落实。建设单位已制定《质量保证大纲和质量控制检测计划》，并按要求配备相应医用物理人员。	/
8	辐射工作单位应当建立放射性同位素与射线装置台帐，记载放射性同位素的核素名称、出厂时间和活度、标号、编码、来源和去向，及	已落实。建设单位建立了放射性同位素与射线装置台帐，记载放射性同位素的核素名称、出厂时间和活度、标号、编	/

	射线装置的名称、型号、射线种类、类别、用途、来源和去向等事项。	码、来源和去向，及射线装置的名称、型号、射线种类、类别、用途、来源和去向等事项。	
9	辐射工作单位应当建立放射性同位素与射线装置台帐，记载放射性同位素的核素名称、出厂时间和活度、标号、编码、来源和去向，放射性同位素与射线装置台帐、个人剂量档案和职业健康监护档案应当长期保存。	已落实。辐射工作单位建立了放射性同位素与射线装置台帐，记载放射性同位素的核素名称、出厂时间和活度、标号、编码、来源和去向，放射性同位素与射线装置台帐、个人剂量档案和职业健康监护档案当长期保存。	/
10	辐射工作单位应当编写放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告，于每年1月31日前报原发证机关。年度评估报告应当包括放射性同位素与射线装置台帐、辐射安全和防护设施的运行与维护、辐射安全和防护制度及措施的建立和落实、事故和应急以及档案管理等方面的内容。	已落实。建设单位2023年度辐射安全与防护年度评估报告已报发证机关。	/
序号	安全和防护管理办法要求	实际情况	备注
1	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联锁、报警装置或者工作信号。	已落实。建设单位在各非密封放射性物质工作场所监督区、控制区入口处设置了电离辐射警示标志，并设置“两区”划分标识，同时场所内设置操作屏蔽设施，并设置双人双锁、固定式γ剂量率报警仪等安全设施。	/
2	生产、使用放射性同位素与射线装置的场所，应当按照国家有关规定采取有效措施，防止运行故障，并避免故障导致次生危害。	已落实。建设单位已制定了操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫管理制度、监测管理制度、设备检修制度、人员培训制度、辐射工作场所分区管理制度预防运行故障发生，同时制定了辐射事故应急处理预案并制定相应应急措施防治次生危害。	/
3	放射性同位素和被放射性污染的物品应当单独存放，不得与易燃、易爆、腐蚀性物品等一起存放，并指定专人负责保管。	已落实。对于放射性同位素和放射性固体废物，建设单位安排科室负责人进行管理，严禁与易燃、易爆、腐蚀性物品等一起存放。	/
4	贮存、领取、使用、归还放射性同位素时，应当进行登记、检查，做到账物相符。对放射性同位素贮存场所应当采取防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄漏的安	已落实。建设单位建立了放射性同位素管理台账，并严格落实放射性同位素台账管理制度，对放射性同位素贮存场所采取了防火、防水、防盗、防	/

	全措施。	丢失、防破坏、防射线泄漏的安全措施。	
5	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。	已落实。建设单位已建立监测管理制度，并建立相应的监测档案，同时建设单位每年还将委托有资质单位对场所和周围环境开展年度监测。	/
6	生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当加强对本单位放射性同位素与射线装置安全和防护状况的日常检查。发现安全隐患的，应当立即整改；安全隐患有可能威胁到人员安全或者有可能造成环境污染的，应当立即停止辐射作业并报告发放辐射安全许可证的环境保护主管部门，经发证机关检查核实安全隐患消除后，方可恢复正常作业。	已落实。建设单位已制定设备检修制度，将严格落实放射性同位素与射线装置安全和防护状况的日常检查规定。	/
7	生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年1月31日前向发证机关提交上一年度的评估报告	已落实。建设单位2023年度辐射安全与防护年度评估报告已报发证机关。	/
8	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。取得辐射安全培训合格证书的人员，应当每五年接受一次再培训。	已落实。建设单位已制定人员培训制度，本项目目前有5名辐射工作人员，均取得辐射安全与防护培训合格成绩单。	/
9	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，并安排专人负责个人剂量监测管理，建立辐射工作人员个人剂量档案。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。	已落实。建设单位已制定个人剂量监测管理制度，同时所有辐射工作人员将配备个人剂量计，每个季度送有资质单位进行检测，并建立个人剂量档案，若出现个人剂量异常情况，将进行核实和调查，并上报发证机关。	/

表 4-2 环评批复落实情况

序号	环评批复要求	落实情况
1	进一步做好辐射工作场所屏蔽防护工程的设计，规范建设辐射安全联锁和辐射防护设施，加强施工全过程的管理和监控，建立工程施工档案，对隐蔽工程须将设计图、影像、施工图片等资料存档备查	已落实。做好辐射工作场所屏蔽防护工程的设计，PET/CT 机房设置了工作状态指示灯，并实现门灯联锁，当机房门开启时，警示灯熄灭，机房门关闭时，警示灯开启；加强施工全过程的管理和监控，建立了工程施工档案，隐蔽工程设计图、影像、施工图片等资料存档，机房四面墙体及屋顶施工、电缆线布设、通排风管道布设等隐蔽性工程满足环评要求。
2	严格执行《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188—2021）规定的电离辐射剂量约束值，确保职业照射年剂量约束值不超过 5mSv，公众照射年剂量约束值不超过 0.1mSv。	已落实。严格执行《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188—2021）规定的电离辐射剂量约束值，根据监测结果估算，职业人员照射年剂量管理限值未超过 5mSv，公众照射年剂量管理限值未超过 0.1mSv。
3	加强非密封放射性物质、放射源及相应场所管理，建立管理台账，存放场所应采取相应的安保措施，严防丢失、被盗。非密封放射性物质使用过程中应规范操作，避免非密封放射性物质泼洒、泄漏。加强非密封放射性物质工作场所工作人员、患者、放射性药物、放射性废物的路径管理。	已落实。加强非密封放射性物质、放射源及相应场所管理，建立了管理台账，存放场所设置了相应的安保措施，严防丢失、被盗。非密封放射性物质使用过程中规范操作，无非密封放射性物质泼洒、泄漏情况。加强非密封放射性物质工作场所工作人员、患者、放射性药物、放射性废物的路径管理。
4	按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188—2021）规范固体、液态、气态放射性废物的管理，严格落实暂存时间、监测要求和台账记录。PET/CT 中心独立排风，定期对过滤器进行维护和校正，确保过滤效率。按照废旧放射源返回协议规定，将废旧放射源交回生产单位或者返回原出口方，无法交回生产厂家或返回原出口方的，送交有资质单位收贮。	已落实。按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188—2021）规范了固体、液态、气态放射性废物的管理，严格落实暂存时间、监测要求和台账记录。PET/CT 中心独立排风，定期对过滤器进行维护和校正，确保过滤效率。按照废旧放射源返回协议规定，将废旧放射源交回生产单位或者返回原出口方，无法交回生产厂家或返回原出口方的，送交有资质单位收贮。
5	全面落实辐射安全和应急响应主体责任，制定辐射防护和安全管理度，完善辐射事故应急预案，定期开展辐射事故风险评估和应急演练，做好辐射事故应急准备工作，提高辐射事故应急处置能力。	已落实。建设单位制定了安全操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫管理制度、监测管理制度、设备检修制度、人员培训制度、辐射工作场所分区管理制度，对辐射事故应急预案进行了修订，并开展了辐射事故风险评估和应急演练，做好辐射事故应急准备工作，提高辐射事故应急处置能力。
6	非密封放射性物质工作场所毗邻区域不宜布设产科、儿科、食堂等特殊人群及人员密集的场所。	已落实。非密封放射性物质工作场所毗邻区域无产科、儿科、食堂等特殊人群及人员密集的场所。

7	按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法规要求，项目建成后依法申领《辐射安全许可证》方可正式投入使用。开展辐射安全和防护年度评估工作，于每年1月31日前向辐射安全许可证发证机关提交上一年度的评估报告，并上传至“全国核技术利用辐射安全申报系统”。	已落实。医院于2024年9月6日在云南省生态环境厅重新办理了《辐射安全许可证》(云环辐证[01347])，本项目放射源和射线装置已登记在辐射安全许可证上。按照监测计划委托有资质单位开展年度监测，并填写辐射安全和防护年度评估报告，向云南省生态环境厅提交一年度的评估报告，并上传至“全国核技术利用辐射安全申报系统”。
8	在项目建设和运行过程中，认真贯彻落实《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等相关要求。	已落实。在项目建设和运行过程中，认真贯彻落实《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等相关要求。
9	项目地点、性质、规模和污染防治措施发生变动的，应向有审批权限的生态环境部门报告并按要求办理相关手续。本项目环境影响报告表自批准之日起超过5年，方决定项目开工建设的，其环境影响评价文件应当报云南省生态环境厅重新审核。	已落实。本项目地点、性质、规模、地点和污染防治措施等未发生变动，开工建设未超过环境影响报告表批准的5年。
10	严格执行环保设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用的环保“三同时”制度。项目竣工后依法开展竣工环保自主验收工作。	已落实。本项目环保设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用，严格实行环保“三同时”制度。正在依法开展竣工环保自主验收工作。

表五 验收监测质量保证及质量控制

验收监测质量保证及质量控制：

5.1 监测分析方法

本次监测项目的监测方法、方法来源、使用仪器名称、型号、编号及量值溯源记录等见表 5-1。

表 5-1 监测方法及监测仪器一览表

监测因子	监测方法	监测仪器
X-γ辐射剂量率	《环境γ辐射剂量率测量技术规范》 (HJ 1157-2021)	仪器名称：环境监测用 X、γ辐射空气比释动能率仪 仪器型号：RJ32-2102 仪器编号：RJ3200143 能量响应：20keV~7.0MeV 测量范围：10nGy/h~100μGy/h 校准因子：0.98 校准证书编号：JL2400649932 校准单位：深圳市计量质量检测研究院 校准日期：2024年07月03日 有效日期：2025年07月02日
β表面污染活度	《表面污染测定 第一部分：β发射体（Eβmax>0.15MeV）和α发射体》（GB/T 14056.1-2008）	仪器名称：α、β表面污染仪 仪器型号：COMo-170 仪器编号：9489 测量范围：α：0.1cps；β/γ15-25cps 校准证书编号：JL2400825862 校准单位：深圳市计量质量检测研究院 校准日期：2024年01月13日 有效日期：2025年01月12日
总α	水中总α放射性浓度的测定（EJ/T 1075-1998）	低本底α、β测量仪（BH1216III 0603）
总β	水中总β放射性测定（EJ/T 900-1994）	低本底α、β测量仪（BH1216III 0603）

5.2 监测质量保证及质量控制

本次验收 X-γ辐射剂量率和β表面污染监测单位为四川省核工业辐射测试防护院宜宾检测中心有限公司，取得了四川省市场监督管理局颁发的资质认定证书（CMA 认证），证书编号：222312051293，土壤总α、总β监测单位为四川省核工业辐射测试防护院（四川省核应急技术支持中心），具有中国国家认证认可监督管理委员会颁发的资质认定证书（编号：220020341133），监测单位均具备完整、有效的质量

控制体系，并在允许范围内开展监测工作和出具有效的监测报告，保证了监测工作的合法性和有效性。具体质量保证和控制措施如下：

(1) 合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性和可比性。

(2) 监测方法采用国家有关部门颁布的标准，监测人员经考核并持有合格证书上岗。

(3) 本次测量所用的仪器性能参数均符合国家标准方法的要求，均有有效的国家计量部门检定的合格证书，并有良好的日常质量控制程序。

(4) 监测仪器经常参加国内各实验室间的比对，确保监测数据的准确性和可比性。

(5) 每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否良好。

(6) 数据分析及处理采用国家标准中相关的数据处理方法，按国家标准和监测技术规范有关要求进行处理和填报；

(7) 监测时获取足够的的数据量，以保证监测结果的统计学精度。监测中异常数据以及监测结果的数据处理按照统计学原则处理；

(8) 建立完整的文件资料。仪器校准（测试）证书、监测方案、监测布点图、测量原始数据、统计处理程序等全部保留，以备复查；

(9) 监测报告严格实行三级审核制度，经过校对、校核，最后由技术负责人审定。

表六 验收监测内容

验收监测内容：

本次验收在进行现场调查期间，技术人员首先根据建设单位人员介绍及环评文件，了解项目 PET/CT 中心实际建成情况及周边环境状况，确立了项目监测方案。

监测基本情况：根据本项目 PET/CT 中心平面布置及周围外环境关系，在 PET/CT 机开机和未开机两种状态下及 PET/CT 中心非密封放射性物质工作场所，有针对性地对工作场所、机房相邻区域及评价范围内典型环境保护目标布设 X- γ 辐射剂量率和 β 表面污染监测点位，监测点位能够覆盖整个环境保护目标，监测点位布设合理，监测点位布置图见图 6-1~图 6-2，监测结果见表 7-4~表 7-7；并在项目建设地上风向下风向和四周采集土壤样品，送实验室检测土壤总 α 、总 β ，采样点位布置图见图 6-3，检测结果见表 7-8。

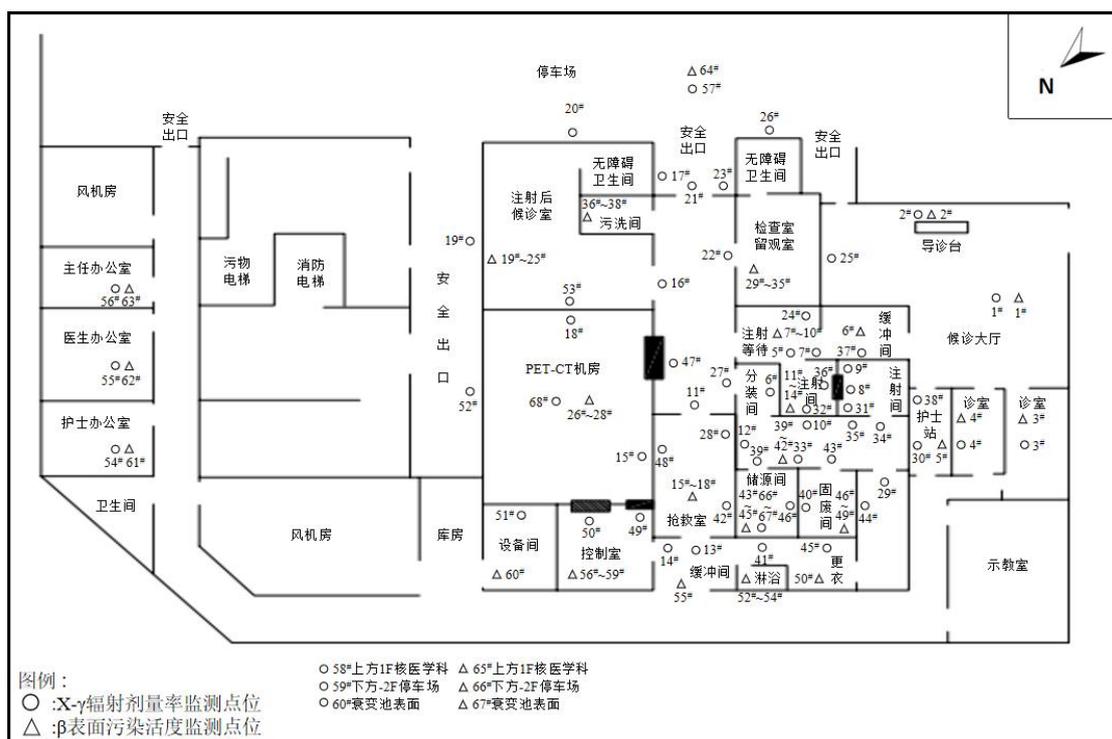


图 6-1 PET/CT 中心辐射环境（X- γ 辐射剂量率、表面沾污）监测点位图

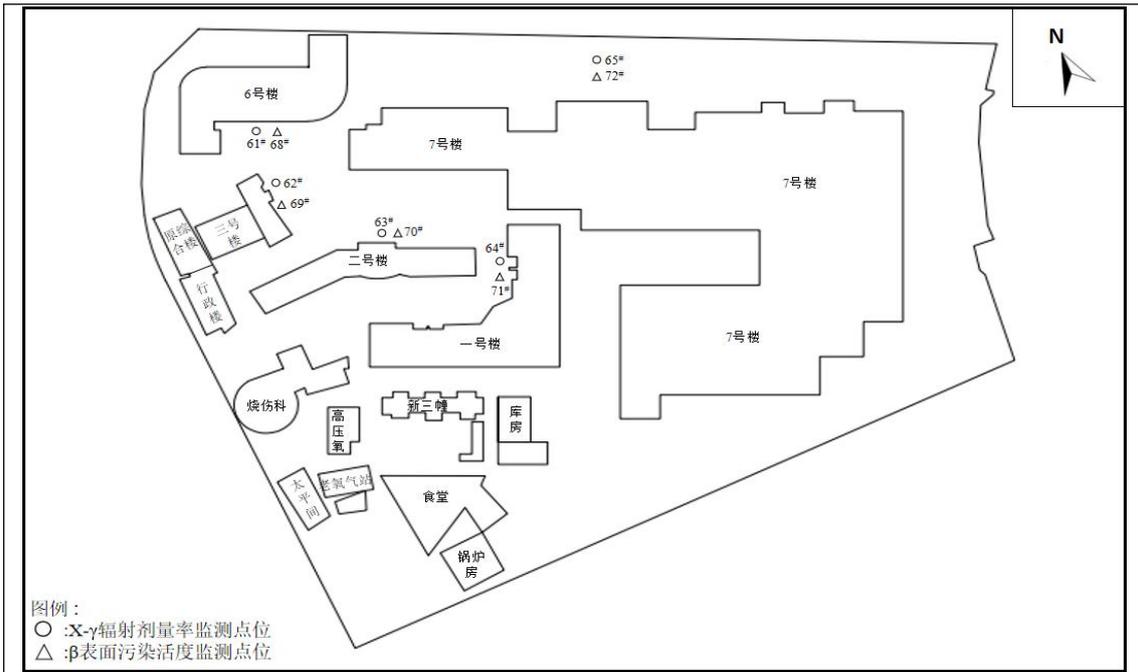


图 6-2PET/CT 中心周围敏感点辐射环境监测布点示意图

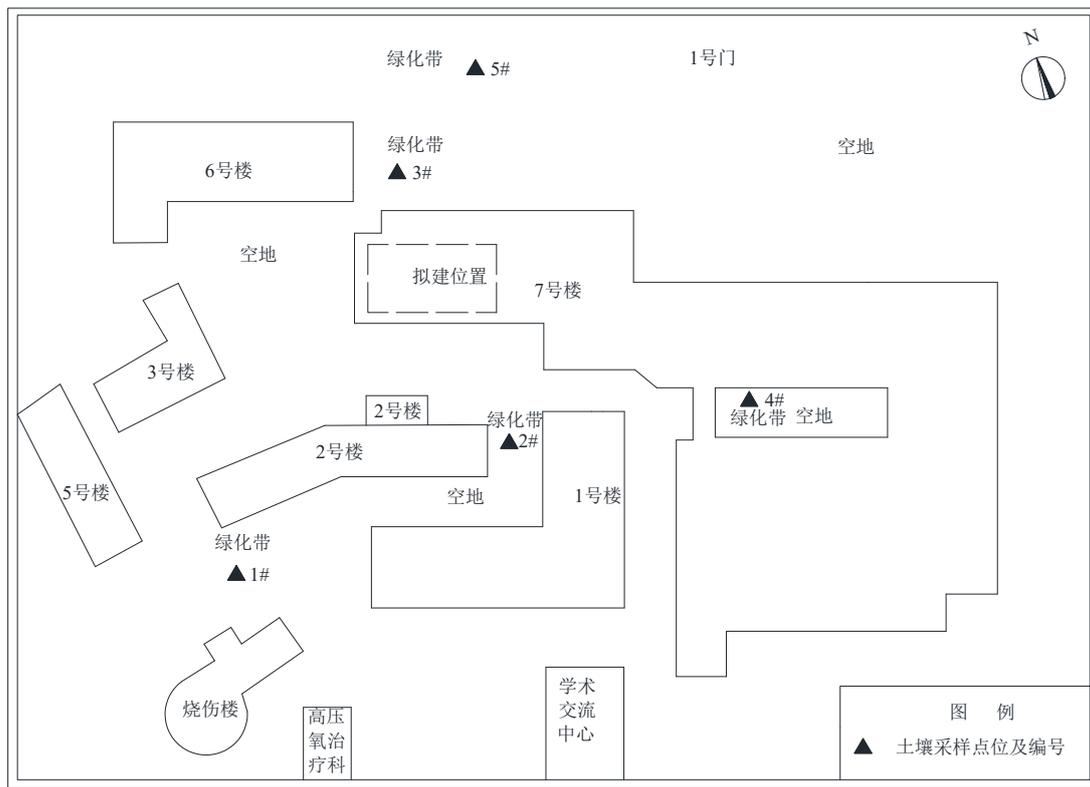


图 6-3 本项目土壤总 α 、总 β 采样点位图

3、监测因子

X- γ 辐射空气吸收剂量率、 β 表面污染和土壤总 α 、总 β 。

4、监测条件

(1) X- γ 辐射剂量率、 β 表面污染

监测日期：2024年7月26日；环境温度：23.5℃-25.2℃；环境湿度：
46.2%~49.5%；天气状况：晴。

(2) 土壤总 α 、总 β

采样日期：2024年7月26日。

表七 验收监测

验收监测期间生产工况记录：

验收监测单位接受委托后，于2024年7月26日派出监测人员，并在建设单位相关负责人的陪同下，对本项目辐射工作场所辐射环境状况进行了监测。PET/CT中心使用F-18由具有资质单位购买，监测期间，购买F-18量为200mCi（为到达医院的量），监测期间在相应房间放置10mCi¹⁸F核素。

表 7-1 射线装置监测工况

编号	名称及型号	类别	额定工况	监测时工况	所在位置
1#	Discovery MI DR 型 PET/CT	III	管电压：140kV 管电流：800mA	管电压：140kV 管电流：440mA 曝光时间：20s	PET/CT 机房

表 7-2 放射源参数表

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) × 枚数	类别	活动种类	出厂活度(Bq)	放射源编码	用途	使用场所	备注
1	锶-68	3.5E+6×1	V	使用	3.5E+6	US24GE001115	PET/CT 校准	PET/CT 中心 PET/CT 机房	/
2	锶-68	5.5E+7×1	V	使用	5.5E+7	US24GE001105	PET/CT 质控	PETCT 中心 PET/CT 机房	/

表 7-3 PET/CT 中心就诊病人量及非密封放射性物质用量统计表

核素	用途	单个病人最大用量 (mCi/人·次)	日最大病人量 (人)	日最大操作量 (Bq)	年最大病人量 (人)	年最大操作量 (Bq)
氟-18	显像诊断	10	40	7.4×10 ¹⁰ Bq	10000	1.85×10 ¹³

验收监测结果：

7.1 辐射环境影响分析

7.1.1 监测结果

本项目X-γ辐射剂量率监测结果见表7-3~表7-6，β表面污染监测结果见表7-7，土壤监测结果见表7-8。

表 7-4 PET/CT 中心周围 X- γ 辐射剂量率监测结果

点位	监测位置	X- γ 辐射剂量率 (nGy/h)	标准差 (nGy/h)	备注
1#	候诊大厅	23	3.11	/
2#	导诊台	24	2.27	
3#	诊室 1	25	1.96	
4#	诊室 2	23	3.04	
5#	注射间（病人）防护门外 30cm	22	2.36	
6#	注射间（病人）北侧墙外 30cm	38	2.32	
7#	注射间（病人）东侧墙外 30cm	22	2.92	
8#	注射间（病人）注射窗	102	3.03	
9#	注射间（病人）南侧墙外 30cm	24	2.12	
10#	注射间（病人）西侧墙外 30cm	52	2.70	
11#	抢救室东侧防护门外 30cm	22	2.84	
12#	抢救室南侧墙外 30cm	34	2.57	
13#	抢救室西侧防护门外 30cm	20	1.45	
14#	抢救室西侧墙外 30cm	24	3.35	
15#	抢救室北侧墙外 30cm	24	3.07	
16#	注射后候诊室南侧防护门外 30cm	24	1.68	
17#	注射后候诊室南侧墙外 30cm	22	3.90	
18#	注射后候诊室西侧墙外 30cm	23	2.50	/
19#	注射后候诊室北侧屏蔽墙外 30cm	26	2.74	
20#	注射后候诊室东侧屏蔽墙外 30cm	21	2.71	
21#	东侧出口防护门外 30cm	24	3.04	
22#	检查后留观室北侧防护门外 30cm	23	2.59	
23#	检查后留观室北侧墙外 30cm	24	3.46	
24#	检查后留观室西侧墙外 30cm	23	2.46	
25#	检查后留观室南侧墙外 30cm	22	2.65	
26#	检查后留观室东侧墙外 30cm	23	2.81	
27#	分装间北侧防护门外 30cm	24	2.89	
28#	分装间北侧墙外 30cm	24	2.90	

29#	分装间西侧防护门外 30cm	26	2.63	
30#	分装间南侧墙外 30cm	25	1.98	
31#	分装间东侧墙外 30cm1	23	2.13	
32#	分装间东侧墙外 30cm2	24	2.21	
33#	手套箱表面 30cm	910	7.01	
34#	注射间（医生）西侧防护门外 30cm	41	2.66	
35#	注射间（医生）西侧墙外 30cm	74	3.80	
36#	注射间（医生）注射窗口	117	2.94	
37#	注射间（医生）东侧墙外 30cm	24	3.31	
38#	注射间（医生）南侧墙外 30cm	25	2.89	
39#	储源室东侧防护门外 30cm	44	2.46	
40#	储源室南侧墙外 30cm	24	3.00	
41#	储源室西侧墙外 30cm	24	2.92	
42#	储源室北侧墙外 30cm	24	2.07	
43#	固废间东侧防护门外 30cm	55	2.36	
44#	固废间南侧墙外 30cm	24	2.30	
45#	固废间西侧墙外 30cm	22	2.46	
46#	固废间北侧墙外 30cm	24	2.03	
54#	护士办公室	24	2.70	
55#	医生办公室	23	3.91	
56#	主任办公室	25	1.80	
57#	东侧-1F 停车场	24	3.39	
58#	上方 1F 核医学科	24	3.05	
59#	下方-2F 停车场	24	2.35	
60#	衰变池表面	11	2.74	
61#	6号楼门口处	11	1.73	
62#	3号楼门口处	11	2.57	
63#	2号楼门口处	12	2.55	
64#	1号楼门口处	12	3.41	
65#	东侧医院入口广场	11	2.97	
68#	PET/CT 机房摆位处（铅屏风	627	7.22	

注：X- γ 辐射剂量率监测结果均已扣除宇宙射线响应值。

表 7-5 PET/CT 机房周围 X-γ 辐射剂量率监测结果

点位	监测位置		X-γ辐射剂量率 (nGy/h)	标准差 (nGy/h)	备注
47#	PET-CT 机房南侧防护门外 30cm	未曝光	24	2.86	
		曝光	26	2.85	
48#	PET-CT 机房南侧屏蔽墙外 30cm	未曝光	23	2.07	
		曝光	27	2.89	
49#	PET-CT 机房西侧防护门外 30cm	未曝光	23	3.46	
		曝光	28	2.36	
50#	PET-CT 机房西侧观察窗外 30cm	未曝光	22	2.07	
		曝光	28	2.82	
51#	PET-CT 机房西侧墙外设备间	未曝光	24	3.48	
		曝光	24	3.02	
52#	PET-CT 机房北侧墙外 30cm	未曝光	22	2.86	
		曝光	27	2.84	
53#	PET-CT 机房东侧墙外 30cm	未曝光	24	2.79	
		曝光	26	3.67	

注：X-γ辐射剂量率监测结果均已扣除宇宙射线响应值。

表 7-6 PET/CT 中心放射源源容器表面及周围 X-γ 辐射剂量率监测结果

点位	监测位置	X-γ辐射剂量率(nGy/h)	标准差 (nGy/h)	备注
66#	储源间储源铅罐表面 1m	210	3.81	
67#	储源间储源铅罐表面 5cm	248	4.58	

注：X-γ辐射剂量率监测结果均已扣除宇宙射线响应值。

表 7-7 PET/CT 中心周围 β 表面污染监测结果

编号	测量点位置	监测因子	表面污染活度水平(Bq/cm ²)	备注
1#	候诊大厅	β表面污染活度	0.00	/
2#	导诊台	β表面污染活度	0.00	/
3#	诊室 1	β表面污染活度	0.00	/
4#	诊室 2	β表面污染活度	0.00	/
5#	护士站	β表面污染活度	0.00	/
6#	缓冲区	β表面污染活度	0.00	监督区
7#	注射等待间地面	β表面污染活度	0.05	控制区

8#	注射等待间凳子	β表面污染活度	0.06
9#	注射等待间墙面	β表面污染活度	0.03
10#	注射等待间门把手	β表面污染活度	0.08
11#	注射间（病人）地面	β表面污染活度	0.12
12#	注射间（病人）凳子	β表面污染活度	0.16
13#	注射间（病人）墙面	β表面污染活度	0.08
14#	注射间（病人）门把手	β表面污染活度	0.12
15#	抢救室地面	β表面污染活度	0.06
16#	抢救室床	β表面污染活度	0.01
17#	抢救室墙面	β表面污染活度	0.00
18#	抢救室门把手	β表面污染活度	0.02
19#	注射后候诊室地面	β表面污染活度	0.08
20#	注射后候诊室凳子	β表面污染活度	0.11
21#	注射后候诊室墙面	β表面污染活度	0.03
22#	注射后候诊室门把手	β表面污染活度	0.04
23#	注射后候诊室卫生间地面	β表面污染活度	0.05
24#	注射后候诊室卫生间墙面	β表面污染活度	0.02
25#	注射后候诊室卫生间门把手	β表面污染活度	0.04
26#	PET-CT 机房地面	β表面污染活度	0.02
27#	PET-CT 机房诊疗床表面	β表面污染活度	0.03
28#	PET-CT 机房墙面	β表面污染活度	0.00

29#	检查后留观室地面	β表面污染活度	0.01
30#	检查后留观室墙面	β表面污染活度	0.00
31#	检查后留观室凳子	β表面污染活度	0.01
32#	检查后留观室门把手	β表面污染活度	0.01
33#	检查后留观室卫生间地面	β表面污染活度	0.02
34#	检查后留观室卫生间墙面	β表面污染活度	0.00
35#	检查后留观室卫生间门把手	β表面污染活度	0.01
36#	污洗间地面	β表面污染活度	0.16
37#	污洗间墙面	β表面污染活度	0.03
38#	污洗间门把手	β表面污染活度	0.07
39#	分装间地面	β表面污染活度	0.04
40#	分装间墙面	β表面污染活度	0.00
41#	分装间门把手	β表面污染活度	0.01
42#	手套箱表面	β表面污染活度	5.21
43#	储源室地面	β表面污染活度	0.07
44#	储源室墙面	β表面污染活度	0.00
45#	储源室门把手	β表面污染活度	0.00
46#	固废间地面	β表面污染活度	0.08
47#	固废间墙面	β表面污染活度	0.01
48#	固废间门把手	β表面污染活度	0.00
49#	固废间废物桶表面	β表面污染活度	0.26

50 [#]	更衣间地面	β表面污染活度	0.02	监督区
51 [#]	工作人员衣物表面	β表面污染活度	0.00	
52 [#]	淋浴间地面	β表面污染活度	0.03	
53 [#]	淋浴间墙面	β表面污染活度	0.01	
54 [#]	淋浴间门把手	β表面污染活度	0.00	
55 [#]	医生缓冲区地面	β表面污染活度	0.00	
56 [#]	控制室地面	β表面污染活度	0.00	
57 [#]	控制室桌面	β表面污染活度	0.00	
58 [#]	控制室墙面	β表面污染活度	0.00	
59 [#]	控制室防护门表面	β表面污染活度	0.00	
60 [#]	设备间地面	β表面污染活度	0.00	
61 [#]	护士办公室	β表面污染活度	0.00	/
62 [#]	医生办公室	β表面污染活度	0.00	/
63 [#]	主任办公室	β表面污染活度	0.00	/
64 [#]	东侧-1F 停车场	β表面污染活度	0.00	/
65 [#]	上方 1F 核医学科	β表面污染活度	0.02	/
66 [#]	下方-2F 停车场	β表面污染活度	0.00	/
67 [#]	衰变池表面	β表面污染活度	0.02	控制区
68 [#]	6号楼门口处	β表面污染活度	0.03	/
69 [#]	3号楼门口处	β表面污染活度	0.05	/
70 [#]	2号楼门口处	β表面污染活度	0.03	/

71#	1号楼门口处	β表面污染活度	0.02	/
72#	东侧医院入口广场	β表面污染活度	0.02	/

表 7-8 PET/CT 中心周围土壤总 β、总 α 检测结果

序号	布点位置	总β (Bq/kg)	总α (Bq/kg)	备注
1	2号楼南侧绿化带中(项目上风向)1#	1.08×10 ³	2.11×10 ³	本底对照点
2	1号楼西侧绿化带中2#	1.03×10 ³	1.91×10 ³	/
3	7号楼西北侧绿化带中3#	6.42×10 ²	1.25×10 ³	/
4	7号楼东南侧绿化带处4#	8.01×10 ²	1.74×10 ³	/
5	1号门绿化带中(项目下风向)5#	7.07×10 ²	1.72×10 ³	/

根据表7-4，本项目PET/CT中心周围X-γ辐射剂量率在9nGy/h~910nGy/h之间，即0.009μSv/h~0.91μSv/h之间，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面30cm处的周围剂量当量率应小于2.5μSv/h，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于10μSv/h。放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构，以保证设备外表面30cm处人员操作位的周围剂量当量率小于2.5μSv/h，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于25μSv/h；固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道应增加相应屏蔽措施，以保证其外表面30cm处的周围剂量当量率小于2.5μSv/h”的标准要求。

根据表7-5，PET/CT机未出束时周围X-γ辐射剂量率在22nGy/h~24nGy/h之间，即0.022μSv/h~0.024μSv/h之间；出束时周围X-γ辐射剂量率在24nGy/h~28nGy/h之间，即0.024μSv/h~0.028μSv/h之间，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）规定的2.5μSv/h控制剂量率要求。

根据表7-6，PET/CT中心放射源储源器表面5cmX-γ辐射剂量率为248nGy/h，源储源器表面1mX-γ辐射剂量率为210nGy/h，满足参考标准《密封放射源及密封γ放射源容器的放射卫生防护标准》（GBZ114-2006），距离装有活度为3.7×10¹⁰Bq以下的密封γ放射源容器外表面100cm处任意一点辐射的空气比释动能率不超过0.05mGy/h的限值要求。

根据表7-7，PET/CT中心监督区β表面污染水平为0.00~0.03Bq/cm²，控制区β表面污染水平为0.00Bq/cm²~5.21Bq/cm²，均低于《电离辐射防护与辐射源安

全基本标准》（GB 18871-2002）表面放射性污染的控制水平（监督区4 Bq/cm²、控制区40 Bq/cm²）。

根据表 7-8，PET/CT 中心周围土壤中总β为 6.42×10²Bq/kg~1.03×10³Bq/kg，土壤中总α为 1.25×10³Bq/kg~1.91×10³Bq/kg，与本底监测点（项目上风向）监测结果（土壤总β：1.08×10³Bq/kg、土壤中总α：2.11×10³Bq/kg）进行对照，属于项目所在地正常水平。

7.1.2 工作人员剂量调查及公众剂量估算

根据建设单位提供的资料，各操作流程受照时间核算情况见表 7-9。

表 7-9 年受照射时间核算表

核素	单个病人用药量 (mCi)	日最大用药量 (mCi)	γ射线能量 (MeV)	人员	操作方式	受照射时间 (min)	年接诊人次 (人)	年操作时间 (h)
¹⁸ F	10	400	0.511	职业	分药	1	7500	125
					注射	0.5		62.5
					摆位	1		125
					显像	20		2500
					质控（转移、存取）	20	12（次）	4
				公众	分药	1	7500	125
					注射	0.5		62.5
					候检	30		2000（公众保守按2000h计算）
					显像	20		2000（公众保守按2000h计算）
					留观	5		625

① 工作人员剂量

按照联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）-2000 年报告附录 A，X-γ射线产生的外照射人均年有效剂量当量计算公式如下：

$$H_{E\gamma} = D_r \times \mu \times 10^{-3} \times q \times t \times W_T \quad (\text{mSv}) \quad \text{-----} \quad (1)$$

式中：

D_r —X-γ射线空气吸收剂量率附加值（×10⁻⁸Gy/h）；

μ —转换因子，保守取 1；
 H_{Er} —附加有效剂量（mSv/a）；
 t —年工作负荷（h/a）；
 q —居留因子，经常有人员停的地方取 1，有部分时间人员停留的地方取 1/4，偶然有人员经过的地方取 1/16；
 W_T —组织权重因数，全身为 1。

根据调查，PET/CT 中心启用前环境辐射水平为 $1.0 \times 10^{-8} \text{Gy/h} \sim 1.9 \times 10^{-8} \text{Gy/h}$ ，本项目核素操作包括分药、注射、等候、摆位、显像和留观等几个阶段；由于 PET/CT 中心医生采用视频监控方法对病人进行观察，实际操作过程中不进入等候间和留观室，因此，病人等候和留观阶段不考虑职业照射；仅分药、注射、摆位和显像阶段考虑职业人员照射。

表 7-10 职业人员年有效剂量计算

人员	操作方式	监测点位	X-γ辐射剂量率 附加值 (nGy/h)	年操作 时间(h)	居留 因子	年有效剂量 (mSv/a)	年有效剂量 (mSv/a) (合计)
职业	分药	手套箱 表面	900	125	1	1.13E-01	1.19E-01
	注射	注射间 (医生)注射 窗口	107	62.5	1	6.69E-03	
	摆位	PET/CT 机房摆 位处 (铅屏 风后)	617	125	1	7.71E-02	7.83E-02
	显像 ^① (PET//CT)	PET-CT 机房西 侧观察 窗外 30cm	6	41.67	1	2.50E-04	
	质控 ^② (转移、存 取)	储源器 表面 5cm	238	4	1	9.52E-04	

通过估算，本项目职业人员受照射剂量最大为 $1.19 \times 10^{-1} \text{mSv/a}$ ，满足职业人员年有效剂量 5 mSv/a 的限值标准。

②公众剂量

PET/CT 中心各个出入口均设有门禁，公众无法进入，公众只能在外围活

动。根据公式（1）及公众可达位置受照剂量估算取公众居留因子为 1、1/4、1/16，公众受照剂量估算见表 7-11。

表 7-11 周围公众受照剂量估算表

人员	监测点位	X-γ辐射剂量率 附加值(nGy/h)	受照 射时间 (h/a)	居留 因子	附加有 效剂量 (mSv)
公众	候诊大厅	13	2000	1	2.60E-02
	导诊台	14	2000	1	2.80E-02
	诊室 1	15	2000	1	3.00E-02
	诊室 2	13	2000	1	2.60E-02
	护士办公室	14	2000	1	2.80E-02
	医生办公室	13	2000	1	2.60E-02
	主任办公室	15	2000	1	3.00E-02
	东侧-1F 停车场	14	2000	1/16	1.75E-03
	上方 1F 核医学 科	14	2000	1/8	3.50E-03
	6 号楼门口处	14	2000	1	1.75E-03
	3 号楼门口处	1	2000	1	2.00E-03
	2 号楼门口处	1	2000	1	2.00E-03
	1 号楼门口处	1	2000	1	4.00E-03
	东侧医院入口广 场	2	2000	1/16	4.00E-03

通过估算，本项目 PET/CT 中心周围公众及外围敏感目标年受照剂量最大为 $3.00 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，满足公众年有效剂量 0.1mSv/a 的限值标准。

本次验收在 PET/CT 中心相邻区域及典型敏感点均设置了监测点位，由于随着距离的增加剂量随即衰减，本项目 50m 评价范围的环境保护目标小于机房相邻区域的辐射剂量，满足相关限值标准要求。

7.2 大气环境影响分析

经现场调查，本项目 PET/CT 中心辐射工作场所设置三套独立的排风系

统，包括①PET/CT中心手套箱设置一套独立的排风系统（排风量500m³/h，风速大于0.5m/s）；②PET/CT中心其他辐射工作场所设置一套独立的排风系统（排风量3100m³/h）；③PET/CT中心办公区域一套独立的排风系统（排风量2880m³/h）。排风管道在穿墙位置拟采用3mmPb铅板包裹。以上3套独立的排风系统由各自独立的管道引至PET/CT中心西北侧的风井内，最终引至屋顶排风口排放；手套箱、排风机端和屋顶排风口处设置过滤器过滤。排风口位于7号楼楼顶（高于屋顶），已尽可能远离周边高层建筑。此外，PET/CT属于III类射线装置，其X射线能量较小，臭氧产生量较小，PET/CT机房设置排风管道，含在第二套独立排风系统内，通过楼顶排风口排放后对环境影响较小。

因此，本项目PET/CT中心排风系统满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中的规定，能够有效防止放射性气体对周围环境产生辐射影响。综上所述，本项目产生的废气通过活性炭过滤器过滤及独立排风系统排放，经扩散稀释后对周围环境影响较小。

7.3水环境影响分析

经现场调查，本项目产生的废水包括放射性废水和医护人员产生的生活污水。

1、放射性废水环境影响分析

本项目PET/CT中心放射性废水所含核素为氟-18，半衰期为109.7min，小于24h。根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），对于所含核素半衰期小于24h的放射性废液暂存时间需超过30天。本项目PET/CT中心衰变池设计为两组槽式池体，单个池体有效容积为30.88m³，总的有效容积为61.76m³，能满足30天内PET/CT中心排入下水管道含氟-18核素放射性废水量（27m³）。根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），对于槽式衰变池，所含核素半衰期小于24h的放射性废液暂存时间超过30天可直接解控排放，本项目核医学科废水中放射性核素只包括氟-18（半衰期小于24h），放射性废水在并联槽式衰变池内暂存衰变超过30天可直接解控排放，经医院污水管网排入医院污水处理站，经处理后应达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表2要求，最终排入市政污水管网。

医院现有污水处理站剩余处理规模（800m³/d）能满足本次核医学科最大新增废水排放量（一次排放 27m³），最终排放的废水对地表水环境影响较小。

2、非放射性废水环境影响分析

医护人员产生的生活污水依托医院污水处理站进行处理达标后排入市政污水管网，最终排入昆明市第三水质净化厂，对地表水环境影响较小。

7.4声环境影响分析

经现场调查，本项目 PET/CT 中心噪声源强主要为风机，风机位于 PET/CT 中心风机房内，排风管道均安装保温棉，风机噪声通过墙体阻隔和距离衰减后对周围敏感目标噪声贡献值较小，因此对声环境影响也较小，不会改变周围声功能区划。

7.5固体废弃物环境影响分析

经现场调查，本项目 PET/CT 中心产生的固体废物包括放射性固体废物和工作人员产生的少量办公、生活垃圾。

1、固体放射性废物环境影响分析

本项目 PET/CT 中心产生的放射性固体废物主要是一次性注射器、针头、棉签、手套、口罩、空药瓶等以及定期更换下的活性炭过滤器、退役校准源和质控源，所含核素为含氟-18、锝-68（放射源）。本项目分装间、注射间、注射后候诊室等设置有放射性固废收集桶，用于分核素种类收集产生的核素放射性固废，每天收集后转入 PET/CT 中心固废间进行暂存衰变，本次要求建设单位将定期更换下的活性炭过滤器作为放射性固废进行收集处理。更换的放射源首先返回生产厂家或原出口方，确定无法交回生产厂家或者返回原出口方的，送交有相应资质的单位收贮。其中含 F-18 的放射性固废暂存衰变超过 30 天后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 0.08Bq/cm²、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm²可进行清洁解控并作为医疗废物由有资质单位统一回收处理；对环境影响较小。

2、非放射性固体废物

本项目产生的办公、生活垃圾依托 7 号楼收集系统进行回收后由当地环卫部门清运，对环境影响较小。

表八 验收监测结论

验收监测结论：

8.1结论

通过对昆明医科大学第二附属医院 PET/CT 中心核技术利用项目现场调查和辐射环境保护验收监测，可以得出以下主要结论：

1、本项目 PET/CT 中心乙级非密封放射性物质工作场所屏蔽体厚度满足环评及标准要求，对 X- γ 射线起到了有效的屏蔽作用；工作场所醒目位置设电离辐射警示标志，安装固定式剂量报警仪、紧急开门按钮、视频监控、语音播报及对讲装置，划定了控制区、监督区，限制了无关人员的进入，保证了工作人员及公众的安全。

2、经验收监测，本项目在投入使用后能达到的最大运行工况下，对工作场所周围公众造成的最大附加剂量为 $3.00 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，低于公众年剂量 0.1mSv/a 的管理限值；对职业人员造成年有效剂量最大为 $1.19 \times 10^{-1} \text{mSv/a}$ ，低于职业人员年有效剂量 5mSv/a 的标准限值。经机房实体屏蔽防护后，对评价范围（50m）内环境保护目标环境影响较小。

3、经验收监测，本项目 PET/CT 中心监督区 β 表面污染水平为 $0.00 \sim 0.03 \text{Bq/cm}^2$ ，控制区 β 表面污染水平为 $0.00 \text{Bq/cm}^2 \sim 5.21 \text{Bq/cm}^2$ ，均低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）表面放射性污染的控制水平（监督区 4Bq/cm^2 、控制区 40Bq/cm^2 ）。

4、本项目 PET/CT 中心周围土壤中总 β 为 $6.42 \times 10^2 \text{Bq/kg} \sim 1.03 \times 10^3 \text{Bq/kg}$ ，土壤中总 α 为 $1.25 \times 10^3 \text{Bq/kg} \sim 1.91 \times 10^3 \text{Bq/kg}$ ，与本底监测点（项目上风向）监测结果（土壤总 β ： $1.08 \times 10^3 \text{Bq/kg}$ 、土壤中总 α ： $2.11 \times 10^3 \text{Bq/kg}$ ）进行对照，属于项目所在地正常水平。

5、本项目 PET/CT 中心区域设计了独立的通排风系统，PET/CT 中心区域产生的废气经通排风系统引至楼顶排放后对周围环境影响较小。

6、公司建立了完善的规章制度，能够有效防止辐射事故的发生，公司成立

了辐射安全与防护管理领导小组，负责公司的辐射安全管理工作，并制定辐射事故应急方案，具备了处理辐射事故的能力。工作人员在上岗前接受了有关辐射防护培训，掌握了安全防护知识和技能，具备了安全操作相应设备的能力。

昆明医科大学第二附属医院 PET/CT 中心核技术利用项目辐射防护措施得当，管理规章制度、操作规程完备，工作人员及公众年照射有效剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）相关限值，建议通过环境保护验收。

8.2 建议

- 1、定期对核技术应用设备及安全措施进行检查。
- 2、根据自身发展，在运营过程中不断完善辐射事故应急处理预案。