

核技术利用建设项目

成都中医药大学温江校区新建小动物
PET/CT 实验室核技术利用项目

环境影响报告表

(公示本)



核技术利用建设项目

成都中医药大学温江校区新建小动物 PET/CT 实验室核技术利用项目

环境影响报告表

建设单位名称：成都中医药大学

建设单位法人代表（签名或签章）

通讯地址：成都市温江区柳台大道 1166 号

邮政编码：611130

电子邮箱：110***399@qq.com

联系人：张*

联系电话：13****16202

目 录

表 1：项目基本情况 1

表 2：放射源 12

表 3：非密封放射性物质 12

表 4：射线装置 13

表 5：废弃物（重点是放射性废弃物） 14

表 6：评价依据 16

表 7：保护目标与评价标准 19

表 8：环境质量和辐射现状 22

表 9：项目工程分析与源项 27

表 10：辐射安全与防护 34

表 11：环境影响分析 51

表 12：辐射安全管理 61

表 13：结论与建议 66

表 1：项目基本情况

建设项目名称		成都中医药大学温江校区新建小动物 PET/CT 实验室核技术利用项目				
建设单位		成都中医药大学				
法人代表		余**	联系人	张*	联系电话	136****6202
注册地址		成都市十二桥路 37 号				
项目建设地点		成都市温江区柳台大道 1166 号成都中医药大学温江校区内				
立项审批部门		/		批准文号	/	
建设项目总投资 (万元)		800	项目环保 投资(万元)	80.3	投资比例（环保 投资/总投资）	10.0%
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其它			占地面积(m²)	/
应用 类 型	放射源	☐ 销售	☐ I类 ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V类			
		☐ 使用	☐ I类（医疗使用） ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V类			
	非密封放 射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物			
		☐ 销售	/			
		☒ 使用	☒ 乙 ☐ 丙			
	射线装置	☐ 生产	☐ II类 ☐ III类			
		☐ 销售	☐ II类 ☐ III类			
		☒ 使用	☐ II类 ☒ III类			
	其他	/				
项目概述 一、概况 1、建设单位简介 成都中医药大学（统一社会信用代码 12510000450717519U）建校于 1956 年，是新中国最早建立的四所中医药高等院校之一，原名成都中医学院，1995 年更名为成都中医药大学，现有 2 个校区——温江校区（成都市温江区柳台大道 1166 号）和十二桥校区（成都市金牛区十二桥路 37 号）。历经近 70 年建设发展，成都中医药大学已成为一所以中医药学科为主体、医药健康相关学科专业相互支撑、协调发展的特色鲜明的高水平中医药大学，是教育部、四川省人民政府、国家中医药管理局						

共建高校，国家“双一流”建设高校，国家高等学校学科创新引智基地。

学校有国家“双一流”建设学科1个（中药学），国家重点学科4个（中药学、针灸推拿学、中医五官科学、中医妇科学），四川省高等学校“双一流”建设贡嘎计划建设学科5个（中药学、中医学、中西医结合、护理学、临床医学），省部级重点学科44个，ESI全球排名前1%学科1个（药理学与毒理学）、前1%学科4个（临床医学、化学、生物学与生物化学、农业科学）。

成都中医药大学此前未曾申领过《辐射安全许可证》。

2、项目由来

为了开展基于针灸治疗的分子影像研究，为针灸的临床应用提供理论和实验依据，成都中医药大学拟在成都市温江区柳台大道1166号成都中医药大学温江校区的弘景6号楼一楼新建一个乙级非密封放射性物质工作场所（小动物PET/CT实验室），拟将弘景6号楼一楼102室（图像分析室）、104-1室（激光共聚焦室）、104-2室（双光子室）和104-3室（显微成像室）改造成小动物PET/CT实验室，涉及使用非密封放射性物质氟-18和锆-89，使用1台小动物PET/CT（Ⅲ类射线装置）。

为加强非密封放射性物质和射线装置的辐射安全管理，防止放射性污染和意外事故的发生，确保使用过程不对职业人员、公众和环境产生不良影响，根据《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国环境影响评价法》、《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关法律法规要求，建设方须对该项目进行环境影响评价。

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021年版），本项目为“乙级非密封放射性物质工作场所、使用Ⅲ类射线装置”的核技术利用项目，应编制环境影响报告表。为此，成都中医药大学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）对该项目开展环境影响评价工作。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）接受委托后，通过现场勘察、收集资料等工作，结合本项目的特点，按照国家有关技术规范要求，编制完成《成都中医药大学温江校区新建小动物PET/CT实验室核技术利用项目环境影响报告表》。

3、环境影响评价信息公开

为进一步保障公众对环境保护的参与权、知情权和监督权，加强环境影响评价

工作的公开、透明，方便公民、法人和其他组织获取生态环境主管部门环境影响评价信息，加大环境影响评价公开力度。依据原国家环境保护部颁布的《建设项目环境影响评价政府信息公开指南（试行）》的规定：建设单位在向生态环境主管部门提交建设项目环境影响评价报告表以前，应依法、主动公开建设项目环境影响评价报告表的全本信息。

根据以上要求，建设单位于 2025 年 6 月 19 日在学校官网对该项目进行了全文公示，以征求公众意见。信息公示至今，建设单位和环评单位均未收到相关单位或个人有关项目情况的反馈意见。公示网站截图如下。



图 1-1 成都中医药大学网站公示截图

二、项目概况

1、项目名称、性质、建设地点

项目名称：成都中医药大学温江校区新建小动物 PET/CT 实验室核技术利用项目

建设单位：成都中医药大学

建设性质：新建

建设地点：成都市温江区柳台大道 1166 号成都中医药大学温江校区内

2、建设内容及规模

(1) 建设内容

本项目拟将温江校区弘景 6 号楼（地下一层，地上六层，已建）一楼 102 室（图像分析室）、104-1 室（激光共聚焦室）、104-2 室（双光子室）和 104-3 室（显微成像室）改造成小动物 PET/CT 实验室，用于开展动物实验，主要功能房间包括注射室、小动物 PET/CT 间及控制室、动物饲养间、解剖室、储源室、放射性废物暂存间、动物尸体暂存间、更衣室、卫生通过间、清洁笼具存放室和洁具间。其中，主要辐射功能房间四周墙体为 370mm 实心砖；顶板和底板均为 150mm 混凝土、150mm 混凝土+2mmPb 铅板等屏蔽体；防护门为 3mm~10mm 铅当量；传递窗（1 扇）为 3mm 铅当量，观察窗（1 扇）为 5mm 铅当量；手套箱为 50mm 铅当量。

小动物 PET/CT 实验室属于乙级非密封放射性物质工作场所，涉及使用非密封放射性物质氟-18 和铅-89，使用 1 台Ⅲ类射线装置。具体如下：

①**非密封放射性物质**：拟使用外购的氟-18（日最大操作量为 $3.15 \times 10^9 \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $6.54 \times 10^6 \text{Bq}$ ，年最大操作量为 $4.46 \times 10^{11} \text{Bq}$ ）和铅-89（日最大操作量为 $2.22 \times 10^8 \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $2.22 \times 10^7 \text{Bq}$ ，年最大操作量为 $4.44 \times 10^9 \text{Bq}$ ）用于动物实验，每日实验仅操作一种核素，场所日等效最大操作量为 $2.22 \times 10^7 \text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

②**射线装置**：拟在小动物 PET/CT 间内使用 1 台小动物 PET/CT（型号未定），用于动物显像，额定管电压 100kV、额定管电流 200 μA ，属于Ⅲ类射线装置。

表 1-1 本项目非密封放射性物质用量情况表

序号	核素	日最大操作量 (Bq)				年最大用量 (Bq)				备注
		动物实验	仪器校准	备药	合计	动物实验	仪器校准	备药	合计	
1	¹⁸ F	5.92E+08	3.70E+07	2.52E+09	3.15E+09	8.88E+10	4.44E+08	3.57E+11	4.46E+11	外购
2	⁸⁹ Zr	2.22E+08	/	/	2.22E+08	4.44E+09	/	/	4.44E+09	

表 1-2 本项目射线装置情况表

射线装置	数量	型号	类别	额定管电压/ 管电流	工作场所	用途	活动种类
小动物 PET/CT	1 台	未定	III类	100kV/200μA	小动物 PET/CT 间	动物显像	使用

(2) 工作场所分级

依据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)附录 C 非密封放射性物质工作场所的分级判据如表 1-3。

表 1-3 非密封放射性物质工作场所的分级

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 $\sim 2 \times 10^7$

根据建设单位提供的核素日最大操作量及《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)附录 C 确定的核素毒性因子、操作方式因子等,并结合《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)附录 A,根据下式可以计算日等效最大操作量。

$$\text{日等效用量} = \frac{\text{日操作量} \times \text{毒性修正因子}}{\text{操作方式的修正因子}} \dots\dots\dots \text{式 1-1}$$

表 1-4 放射性核素毒性组别修正因子

毒性组别	毒性组别修正因子
极毒	10
高毒	1
中毒	0.1
低毒	0.01

表 1-5 操作方式与放射源状态修正因子

操作方式	放射源状态			
	表面污染水平较 低的固体	液体，溶液， 悬浮液	表面有污 染的固体	气体，蒸汽，粉末，压 力很高的液体，固体
源的贮存	1000	100	10	1
很简单的操作	100	10	1	0.1
简单操作	10	1	0.1	0.01
特别危险的操作	1	0.1	0.01	0.001

核素日等效操作量修正因子及日等效操作量计算结果见表 1-6。

表 1-6 非密封放射性物质工作场所等级核算表

工作场所	核素	日最大操作量（Bq）	毒性分组	毒性组别修正因子	性状	操作方式	方式与状态修正因子	日等效最大操作量（Bq）	
小动物PET/CT实验室	¹⁸ F	5.92E+08 （显像实验）	低毒	0.01	液态	简单操作	1	5.92E+06	6.54E+06
		3.70E+07 （仪器校准）	低毒	0.01	液态	简单操作	1	3.70E+05	
		2.52E+09 （备药）	低毒	0.01	液态	贮存	100	2.52E+05	
	⁸⁹ Zr	2.22E+08	中毒	0.1	液态	简单操作	1	2.22E+07	
	日等效最大操作量* （Bq）		2.22E+07						
	工作场所级别		乙级						

注：①根据环办辐射函（2016）430 号，医疗机构使用 ^{18}F 相关活动视为“很简单的操作”，本项目建设单位不属于医疗机构，本次保守将 ^{18}F 的使用视为“简单操作”。②由于实验室每日实验仅操作一种核素，因此取日等效最大操作量最大值（按 ^{89}Zr 计）进行场所分级。

根据表 1-6，小动物 PET/CT 实验室日等效最大操作量为 $2.22 \times 10^7 \text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

3、项目组成及主要环境问题

本项目组成及主要的环境问题见表 1-7。

表 1-7 项目组成及主要的环境问题表

表 1-7 项目组成及主要的环境问题表				
名称	建设内容及规模		可能产生的环境问题	
			施工期	运营期
主体工程	本项目拟将温江校区弘景 6 号楼一楼 102 室(图像分析室)、104-1 室(激光共聚焦室)、104-2 室(双光子室)和 104-3 室(显微成像室)改造成小动物 PET/CT 实验室,用于开展动物实验,主要功能房间包括注射室、小动物 PET/CT 间及控制室、动物饲养间、解剖室、储源室、放射性废物暂存间、动物尸体暂存间、更衣室、卫生通过间、清洁笼具存放室和洁具间。其中,主要辐射功能房间四周墙体为 370mm 实心砖;顶板和底板均为 150mm 混凝土、150mm 混凝土+2mmPb 铅板等屏蔽体;防护门为 3mm~10mm 铅当量;传递窗(1 扇)为 3mm 铅当量,观察窗(1 扇)为 5mm 铅当量;手套箱为 50mm 铅当量。		施工废水、固体废物、噪声、扬尘等	X/β/γ射线、 韧致辐射、 放射性废气、放射性废水、放射性固废、β 表面污染、 臭氧等
	小动物 PET/CT 实验室属于乙级非密封放射性物质工作场所,涉及使用非密封放射性物质氟-18 和铅-89,使用 1 台Ⅲ类射线装置。具体如下:			
	① 非密封放射性物质: 拟使用外购的氟-18(日最大操作量为 3.15×10 ⁹ Bq,日等效最大操作量为 6.54×10 ⁶ Bq,年最大操作量为 4.46×10 ¹¹ Bq)和铅-89(日最大操作量为 2.22×10 ⁸ Bq,日等效最大操作量为 2.22×10 ⁷ Bq,年最大操作量为 4.44×10 ⁹ Bq)用于动物实验,每日实验仅操作一种核素,场所日等效最大操作量为 2.22×10 ⁷ Bq,属于乙级非密封放射性物质工作场所。			
	② 射线装置: 拟在小动物 PET/CT 间内使用 1 台小动物 PET/CT(型号未定),用于动物显像,额定管电压 100kV、额定管电流 200μA,属于Ⅲ类射线装置。			
环保工程	放射性废水	一座两格并联式衰变池,单格衰变池有效容积 1.56m ³ ,总有效容积 3.12m ³ 。		放射性废水
	放射性固废	设置 1 间放射性废物暂存间和 1 间动物尸体暂存间,建筑面积分别为: 6.2m ² 、7.4m ² 。		放射性固废
	放射性废气	小动物 PET/CT 实验室拟设置 3 套放射性废气排风系统,手套箱、通风橱为局排,放射性废气经两级过滤后引至楼顶排放,涉放场所经一级过滤后引至楼顶排放。		放射性废气、定期更换的废过滤器滤芯
公用工程	配电、供电和通讯系统等。			/
依托工程	①本项目产生的少量生活污水依托学校已建预处理池处理达标后排入市政污水管网,排入温江科技园污水处理厂处理达标后排放至杨柳河。 ②本项目产生的少量生活垃圾依托既有的生活垃圾处理系统收集,由环卫部门统一清运处置。		/	生活垃圾、 生活污水

3、主要技术参数

本项目涉及的非密封放射性物质主要技术参数见表 1-8。

表 1-8 本项目非密封放射性物质主要技术参数表

核素	半衰期	衰变方式	主要粒子能量 (MeV)	主要 γ 射线能量 (MeV)	周围剂量当量率常数 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$)
^{18}F	109.8min	β^+ , EC	0.63	0.511	0.143
^{89}Zr	3.27d	β^+ , EC	0.902	0.915	0.2662

4、工作人员及工作制度

(1) 劳动定员

本项目小动物 PET/CT 实验室由针灸推拿学院进行管理,拟设置 3 名辐射工作人员,其中 1 人兼职辐射安全管理人员。本项目辐射工作人员定岗定责,不存在交叉工作的情况,不涉及剂量叠加。

表 1-9 辐射工作场所人员配置情况表

辐射场所	岗位工作内容	人数(人)	备注
小动物 PET/CT 实验室	药物分装、动物注射/转移/解剖、给药 后动物饲养	2	其中 1 人兼职辐射 安全管理人员
	动物针灸/摆位/显像、小动物 PET/CT 校准	1	
合计		3	/

本项目辐射工作人员均为新增辐射工作人员。根据《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):自 2020 年 1 月 1 日起,新从事辐射活动的人员,应通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台(网址: <http://fushe.mee.gov.cn>)进行相关知识学习,通过生态环境部培训平台报名并参加考核,取得辐射安全培训合格证书后方可从事辐射活动。建设单位应在申领辐射安全许可证之前,尽快组织新增辐射工作人员参加培训学习,取得证书后方可持证上岗。

本项目投运以后,建设单位可根据实际发展情况适当增减辐射工作人员,并做好辐射工作人员管理工作。

(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。

三、产业政策符合性分析

本项目属于核技术在医学领域应用，根据中华人民共和国国家发展和改革委员会令第7号《产业结构调整指导目录（2024年本）》，本项目属鼓励类第六项“核能”第4条“核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”，符合国家产业发展政策。

四、与主体工程的依托可行性

本项目在温江校区弘景6号楼内建设，项目依托环保设施及其可行性分析如下。

生活污水、生活垃圾：本项目拟设置的工作人员已包含在主体工程劳动定员内，人员产生的生活污水依托学校已建预处理池处理达标后排入市政污水管网，排入温江科技园污水处理厂处理达标后排放至杨柳河；人员产生的生活垃圾依托既有的生活垃圾处理系统收集，由环卫部门统一清运处置。

解控后的动物实验组织样本：根据实验方案，本项目会对部分实验动物进行解剖并取其脑组织或外周组织，待动物实验组织样本解控后，送样至弘景6号楼二楼216室（分子生物学实验室三）和217室（分子生物学实验室四）进行测验。测验结束后，该部分动物组织收集并存放在学校已建的动物尸体存储间（11m²，位于弘景6号楼负一楼西北角）的冰柜内，定期委托成都市科农动物无害化处置有限公司处置。

综上所述，本项目工作人员产生的生活污水、生活垃圾，以及解控后的实验组织样本均依托主体工程已建的环保设施进行处理，所依托的环保设施在设计阶段已考虑本项目的需求，本项目不会突破其处置能力及规模，因此本项目依托主体工程是可行的。

五、项目选址、外环境关系及实践正当性分析

1、外环境关系分析

（1）学校外环境关系

成都中医药大学温江校区位于成都市温江区柳台大道1166号，校区北侧约20m为书香秀筑（住宅）；校区东北侧为学府路，东北侧隔学府路约70m为居民区（博海锦城、育才苑、德全支路29号院）和四川交通职业技术学院；东侧约120m为西南财经大学（柳林校区）；东南侧为柳台大道，东南侧隔柳台大道约70m为中铁丽景书香（住宅）和新尚天地（住宅），约250m为西南财经大学附属实验中学；西南侧为锦绣大道，西南侧隔锦绣大道约90m为华晨科技园（工业园区）；西北侧为金

府路，西北侧隔金府路约 90m 为居民区（中房芳华美地、书香华府、吾家花苑）。

（2）项目外环境关系

本项目位于成都中医药大学温江校区弘景 6 号楼一楼。弘景 6 号楼（地下一层，地上六层，楼高 27m）东北侧约 36m 为药学院大楼；东侧约 24m 为药材种植园；南侧约 27m 为弘景 5 号楼（与弘景 6 号楼通过连廊相连）；西侧为校内杏林西路，隔杏林西路约 35m 为实验楼（在建）。

小动物 PET/CT 实验室位于弘景 6 号楼一楼北侧端头，以场所屏蔽体为边界，其北侧 50m 范围内为绿化带；东北侧 45m 处为药学院大楼；东侧 50m 范围内为弘景 6 号楼实验室（106-1 室~106-5 室、108 室）及楼梯间、卫生间；南侧 50m 范围内由近及远依次为楼内过道、弘景 6 号楼实验室（101 室、103 室、105 室、107-1 室~107-5 室）、绿化带、弘景 5 号楼；西侧 50m 范围内为校内杏林西路和实验楼（在建）；楼上为 202 室（细胞培养室）、204 室（细胞培养室）和 206 室（流式细胞分选室）；楼下为污洗间、补风机房、污水提升间、通道和-116 室（家兔治疗室）。

从外环境关系看，小动物 PET/CT 实验室的 50m 评价范围均位于校区内，周围无明显环境制约因素。

2、选址合理性分析

小动物 PET/CT 实验室位于弘景 6 号楼（地下一层，地上六层）一楼北侧端头，位置相对独立且集中布置，设置有单独的出入口，与周围非辐射工作场所有明确的分界隔离，项目配套的衰变池位于弘景 6 号楼北侧绿化带地下，避开了人群集中活动区域（如宿舍、食堂等）。此外，经后文环境影响分析，评价范围内职业人员和公众关注点处剂量率及年受照剂量均满足本次确定的评价标准要求，因此选址合理。

表 1-10 本项目与《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）选址要求对照分析

标准要求	本项目实际情况	备注
核医学工作场所宜建在医疗机构内单独的建筑物内，或集中于无人长期居留的建筑物的一端或底层，设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道。	本项目小动物 PET/CT 实验室位于弘景 6 号楼（地下一层，地上六层）一楼北侧端头，与非辐射区域设置有明确的物理隔离，且人员、物流通道均单独设置。	满足
核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。	本项目小动物 PET/CT 实验室设置有独立排风系统，排风引至弘景 6 号楼屋顶排放，已尽可能远离周围高层建筑。	满足

3、实践正当性

本项目通过 PET 技术可以标记和追踪特定的生物分子（如代谢物、受体、神经递质等）在动物体内的分布和变化，为针灸的临床应用提供理论和实验依据，从而揭示针灸的作用机制。在做好各项辐射防护措施，严格按照规章制度运营本项目的情况下，对周围环境、职业人员和公众产生的辐射影响降至尽可能小，且能够提升建设单位科研水平，推进医药行业进步。在考虑了社会、经济等因素之后，项目实施的利益大于代价，因此本项目的实践具有正当性。

七、原有核技术利用情况及与本项目有关的原有污染情况

1、成都中医药大学此前未从事过辐射相关工作，本次为首次申请《辐射安全许可证》。

2、本项目位于成都中医药大学温江校区弘景 6 号楼一楼，拟建地现状为 102 室（图像分析室）、104-1 室（激光共聚焦室）、104-2 室（双光子室）和 104-3 室（显微成像室）。弘景 6 号楼所在项目——成都中医药大学实验教学中心建设项目，其主体工程包括 2 栋实验教学楼（A、B 栋楼），其中 A 栋又包含 2 栋楼（即弘景 5 号楼、弘景 6 号楼）并通过连廊相连，该项目于 2016 年 5 月履行了环评手续，取得了原成都市温江区环境保护局批复文件（温环建评[2016]058 号），于 2025 年通过竣工环境保护验收。

表 2：放射源

序号	核素	总活度 (Bq) /活度 (Bq) ×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
—	—	—	—	—	—	—	—	—

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

表 3：非密封放射性物质

序号	核素	理化性质	活动种类	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	备注
1	¹⁸ F	液态	使用	5.92E+08	5.92E+06	8.88E+10	动物实验	简单操作	小动物 PET/CT 实验室	储源室	本项目新增
		液态	使用	3.70E+07	3.70E+05	4.44E+08	校准	简单操作			
		液态	贮存	2.52E+09	2.52E+05	3.57E+11	贮存	贮存			
2	⁸⁹ Zr	液态	使用	2.22E+08	2.22E+07	4.44E+09	动物实验	简单操作			

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）。

表 4：射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) /剂 量率 (Gy/min)	用途	工作场所	备注
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

（二）X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗（含 X 射线 CT 诊断）、分析仪器等

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (μA)	用途	工作场所	备注
1	小动物 PET/CT	III类	1 台	未定	100	200	动物显像	小动物 PET/CT 间	本项目新增

（三）中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电 压 (kV)	最大靶电 流 (μA)	中子强 度(n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表 5：废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
放射性固废： ①动物实验使用过的一次性注射器、药棉、口罩、手套、空药瓶、台面/器皿吸收垫、滤纸、清洁抹布、擦拭废物和去污废物等一次性实验耗材；②给药后的动物排泄物及下垫物；③处死或解剖后的放射性动物尸体及组织；④定期更换的废过滤器滤芯。	固态	^{18}F 、 ^{89}Zr	/	/	/	/	采用专门的放射性固废收集桶收集后，转入放射性废物暂存间/动物尸体暂存间内，采用放射性固废暂存容器进行暂存衰变，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，所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素半衰期的 10 倍。	暂存衰变，经监测达标（辐射剂量率满足所处环境本底水平、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ）后，可对废物清洁解控，其中动物尸体及组织、动物排泄物及下垫物解控后，集中作无害化处理；注射器、手套、空药瓶等一次性实验耗材及废过滤器滤芯，应按医疗废物进行处理。
放射性废水： 工作人员、场所清洗废水	液态	^{18}F 、 ^{89}Zr	/	/	6800L/d	总 $\beta\leq 10\text{Bq/L}$	放射性废水通过专用管道排至衰变池中暂存。	①所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废水暂存时间超过 30 天可直接解控排放至学校污水管网；②所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废水暂存时间超过 10 倍半衰期并经监测达标后（总 $\beta\leq 10\text{Bq/L}$ ）排放至学校污水管网。
放射性废气： 液态放射性药物分装时挥发的微	气态	^{18}F 、 ^{89}Zr	/	/	/	/	/	经独立排风管道引至楼顶，并经过滤器过滤后排放。

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
量气溶胶								
小动物 PET/CT 产生的臭氧、氮氧化物	气态	/	/	/	/	/	/	经独立排风管道引至楼顶，并经过滤器过滤后排放。
动物饲养产生的 NH ₃ 、H ₂ S 等恶臭气体	气态	/	/	/	/	/	/	经独立排风管道引至楼顶，并经过滤器过滤后排放。

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

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

表 6：评价依据

法规文件	(1) 《中华人民共和国环境保护法》（2015 年 1 月 1 日实施）； (2) 《中华人民共和国环境影响评价法（2018 年修订）》（2018 年 12 月 29 日实施）； (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》（2003 年 10 月 1 日实施）； (4) 《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 682 号令）； (5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2005 年 9 月 14 日国务院第 449 号令发布，2019 年 3 月 2 日《国务院关于修改部分行政法规的决定》（国务院令第 709 号）对其进行了修改）； (6) 《放射性废物安全管理条例》（国务院令第 612 号）； (7) 《四川省辐射污染防治条例》（四川省十二届人大常委会第 24 次会议通过，2016 年 6 月 1 日实施）； (8) 《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）； (9) 《关于发布<射线装置分类>的公告》（环境保护部/国家卫生和计划生育委员会，公告 2017 年第 66 号）； (10) 《关于发布<放射性废物分类>的公告》（环境保护部工业和信息化部国家国防科技工业局公告 2017 年第 65 号）； (11) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2006 年 1 月 18 日国家环境保护总局令第 31 号公布，2017 年 12 月 12 日《环境保护部关于修改部分规章的决定》（部令第 47 号）对其进行了修改，2019 年 8 月 22 日《生态环境部关于废止、修改部分规章的决定》（生态环境部令第 7 号）对其进行了修改，2021 年 1 月 4 日经生态环境部令 第 20 号修改）； (12) 《建设项目环境影响评价分类管理目录》（2021 版）（中华人民共和国生态环境部第 16 号令）； (13) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430 号文）； (14) 《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，2020 年 1 月 1 日施行）； （15）《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）； （16）《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 7 号）； （17）《四川省生态环境厅关于进一步做好核技术利用单位辐射安全与防护考核的通知》（2021 年 3 月 29 日）； （18）《关于印发<四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）>的通知》（川环函[2016]1400 号）； （19）《四川省生态环境厅（四川省核安全管理局）辐射事故应急预案（2024 年版）》。
技术标准	（1）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； （2）《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）； （3）《污水综合排放标准》（GB8978-96）； （4）《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）； （5）《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）； （6）《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）； （7）《职业性外照射急性放射病诊断》（GBZ104-2017）； （8）《实验动物 环境及设施》（GB14925-2023）； （9）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）； （10）《核安全导则 核技术利用放射性废物最小化》（HAD401/11-2020）； （11）《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）； （12）《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）； （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）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）。

其他	(1)生态环境部(国家核安全局)《核技术利用监督检查技术程序》(2020年发布版)； (2)《辐射防护手册》(第一分册、第三分册)，李德平、潘自强主编，原子能出版社； (3)《辐射防护导论》，方杰主编，原子能出版社； (4)《放射卫生学》，章仲侯主编，原子能出版社； (5)《实用辐射安全手册》，从慧玲主编，原子能出版社； (6)《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》(环办辐射函[2016]430号)； (7)《RADIONUCLIDE AND RADIATION PROTECTION DATA HANDBOOK 2002》(Published by Nuclear Technology Publishing)； (8)《Health Physics and Radiological Health (FOURTH EDITION)》； (9)项目委托书及建设单位提供的其他资料。
----	---

表 7：保护目标与评价标准

评价范围							
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》（HJ10.1-2016）的规定，对于乙级非密封放射性物质工作场所，评价范围确定为非密封放射性物质工作场所实体屏蔽物边界外 50m 范围。							
保护目标							
本项目小动物 PET/CT 实验室位于弘景 6 号楼一楼，50m 评价范围内主要为本项目辐射工作人员和校内公众。由于电离辐射水平随着距离的增加而衰减，因此本项目重点关注距离辐射工作场所较近、有代表性的环境保护目标进行分析，具体见表 7-1。							
表 7-1 本项目环境保护目标一览表							
场所	保护目标	规模	方位	距辐射场所屏蔽体边界最近距离（m）		保护类别	年剂量约束值
				水平	垂直		
小动物 PET/CT 实验室	小动物 PET/CT 实验室内工作人员	3 人	/	/（内部）	/	职业	5mSv/a
	绿化带公众	1 人	北侧	紧邻~50	/	公众	0.1mSv/a
	药学院大楼公众	约 5 人	东北侧	45~50	/		
	弘景 6 号楼实验室（106-1 室~106-5 室、108 室）及楼梯间、卫生间公众	约 20 人	东侧	紧邻~50	/		
	楼内过道、弘景 6 号楼实验室（101 室、103 室、105 室、107-1 室~107-5 室）公众	约 20 人	南侧	紧邻~13.5	/		
	绿化带公众	1 人		13.5~46	/		
	弘景 5 号楼公众	约 5 人		46~50	/		
	杏林西路公众	流动人群	西侧	紧邻~34	/		
	实验楼（在建）公众	约 30 人		34~50	/		
	202 室、204 室和 206 室公众	约 5 人	楼上	/	4.5		
	污洗间、通道、-116 室（家兔治疗室）公众	约 5 人	楼下	/	4.5		

评价标准							
一、环境质量标准							
(1) 环境空气：执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中二级标准。							

(2) 地表水：执行《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）中Ⅲ类标准。

(3) 声环境：执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）中 2 类标准。

二、污染物排放标准

(1) 废气：执行《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）二级标准。

(2) 废水：执行《污水综合排放标准》（GB8978-96）三级标准。其中放射性废水经衰变池暂存衰变后满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中总 β 不大于 10Bq/L 的要求。

(3) 噪声：施工期执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）相关标准；运行期执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中的 2 类标准。

三、辐射环境评价标准

1、个人剂量约束值

(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

根据第 B1.1.1 条的规定，应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量(但不可作任何追溯平均)20mSv。

根据第 B1.2.1 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。

(2) 《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。

综上，结合实际情况，确定本项目职业人员和公众的剂量约束限值如下：

◇职业照射个人总受照剂量约束限值取 5mSv/a；

◇公众照射个人总受照剂量约束限值取 0.1mSv/a。

2、放射性表面污染控制水平

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 7-2。

表 7-2 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	
手、皮肤、内衣、工作袜		0.4

3、控制剂量率水平

(1) 根据《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020), CT 机机房外的周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

(2) 根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021):

①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 $2.5\mu\text{Sv/h}$, 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 $10\mu\text{Sv/h}$ 。

②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 $2.5\mu\text{Sv/h}$, 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 $25\mu\text{Sv/h}$ 。

4、放射性废水

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: ①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; ②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, 按照 GB18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 β 不大于 10Bq/L 。

5、放射性废物

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满足下列要求的, 经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平, β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 的, 可对废物清洁解控并作为医疗废物处理:

①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;

②所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍。

不能解控的放射性固体废物应该按照放射性废物处理的相关规定予以收集、整备, 并送交有资质的单位处理。放射性废物包装体外的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h , 表面污染水平对 β 和 γ 发射体应小于 4Bq/cm^2 。

表 8：环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、场所现状

本项目位于成都市温江区柳台大道1166号成都中医药大学温江校区内，拟将弘景6号楼一楼102室（图像分析室）、104-1室（激光共聚焦室）、104-2室（双光子室）和104-3室（显微成像室）改造成小动物PET/CT实验室。根据现场踏勘，本项目拟建地及周围环境现状见图8-1。



弘景 6 号楼



拟建地现状——弘景 6 号楼一楼 102 室（图像分析室）



拟建地现状——弘景 6 号楼一楼 104-1 室（激光共聚焦室）



拟建地现状——弘景 6 号楼一楼 104-2 室（双光子室）



图 8-1 项目拟建地及周围现状照片

二、监测对象、监测因子和监测点位

本项目为乙级非密封放射性物质工作场所和使用Ⅲ类射线装置。项目主要的污染因子为电离辐射，对环境空气、地表水及地下水影响较小，因此本次评价没有对区域环境空气质量、地表水和地下水环境质量进行监测评价，重点对评价区域开展了辐射环境现状监测评价。

本项目小动物PET/CT实验室位于温江校区弘景6号楼一楼，拟建地现状为102室（图像分析室）、104-1室（激光共聚焦室）、104-2室（双光子室）和104-3室（显微成像室），评价范围内没有其他电离辐射源，周围辐射环境趋于一致，本次在项目拟建地布设了2个监测点位（1#、2#监测点），在衰变池拟建地布设了2个监测点位（7#监测点），在评价范围内环境保护目标处布设了7个监测点位（3#~6#、8#~10#监测点），共10个监测点位，监测因子为X-γ辐射剂量率和β表面污染活度，可较好地反映拟建地及周围的辐射环境本底水平，监测点位布设合理。

表 8-1 监测布点方案一览表

序号	监测点位	监测因子	监测频次
1	项目拟建地（现状为 102 室）	X-γ辐射剂量率 β表面污染活度	监测一次
2	项目拟建地（现状为 104-2 室）		
3	项目拟建地东侧 106-1 室		
4	项目拟建地南侧弘景 6 号楼楼内过道		
5	项目拟建地楼上 2F 细胞培养室（204）地面		
6	项目拟建地楼下-1F 家兔治疗室外过道（-116）地面		

7	项目衰变池拟建处地面		
8	项目拟建地东北侧药学院大楼		
9	项目拟建地南侧弘景 5 号楼		
10	项目拟建地西侧校内杏林西路		

三、监测时间及现场环境状况

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）于 2025 年 4 月 28 日对项目拟建地进行了现场监测。环境温度：26.4℃~26.9℃；环境湿度：58.7%~58.9%；天气状况：晴。

四、监测方法及监测仪器

本项目监测方法及仪器见表 8-2、表 8-3。

表 8-2 辐射监测方法及监测仪器

监测项目	监测方法	监测仪器	检出限
β表面污染活度	《表面污染测定 第 1 部分β发射体（ $E_{\beta\max} > 0.15\text{MeV}$ ）和α发射体》（GB/T 14056.1-2008）	仪器名称：α、β表面沾污仪 仪器型号：LB124 仪器编号：10-9145 能量响应范围：50keV~1.3MeV 检定单位：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） 证书编号：检定字第 J20241001008 号 检定日期：2024-11-04 有效日期：2025-11-03	β道： 0~50000cps
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：便携式 X-γ剂量率仪 仪器型号：BH3103B 仪器编号：018 能量响应范围：25keV~3MeV 校准单位：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） 证书编号：校准字第 J20250206002 号 校准日期：2025-02-19 有效日期：2026-02-18	1~10000 ($\times 10^{-8}\text{Gy/h}$)

表 8-3 辅助仪器		
序号	监测对象	监测仪器
1	环境温度、环境湿度	仪器名称：手持气象站 仪器型号：NK5500 仪器编号：2204879 环境温度分辨率：0.1℃ 环境湿度分辨率：0.1% 校准单位：四川省中衡计量检测技术有限公司 证书编号：20250224620061 号 校准日期：2025-02-24 有效日期：2026-02-23

五、质量保证

本次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），并在许可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。具体质量保证措施如下：

- ①根据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）、《表面污染测定 第一部分：β发射体（E_{βmax}>0.15MeV）和α发射体》（GB/T 14056.1-2008）、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）和项目实际情况制定监测方案及实施细则。
- ②严格按照监测单位《质保手册》、《作业指导书》开展现场工作。
- ③监测仪器每年经过计量部门检定后使用；每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常。
- ④监测人员经考核并持有合格证书上岗。
- ⑤根据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021），布设监测点位置和高度，兼顾监测技术规定和实际情况，监测结果具有代表性和针对性。
- ⑥监测时获取足够的数量，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。
- ⑦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。
- ⑧检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。

六、监测结果

监测结果见表 8-4~表 8-5。

表 8-4 项目拟建地及周围β表面污染活度监测结果

序号	点位名称	β表面污染活度 (Bq/cm ²)	标准差 (Bq/cm ²)
1	项目拟建地（现状为 102 室）	<0.01	/
2	项目拟建地（现状为 104-3 室）	<0.01	/
3	项目拟建地东侧 106-1 室	0.01	0.008
4	项目拟建地南侧弘景 6 号楼楼内过道	<0.01	/
5	项目拟建地楼上 2F 细胞培养室（204）地面	0.01	0.006
6	项目拟建地楼下-1F 家兔治疗室外过道（-116）地面	<0.01	/
7	项目衰变池拟建处地面	<0.01	/
8	项目拟建地东北侧药学院大楼	<0.01	/
9	项目拟建地南侧弘景 5 号楼	0.02	0.005
10	项目拟建地西侧校内杏林西路	<0.01	/

注：“<0.01”为低于设备检出限。

表 8-5 项目拟建地及周围 X-γ辐射剂量率监测结果

序号	点位名称	X-γ辐射剂量率 (×10 ⁻⁸ Gy/h)	标准差 (×10 ⁻⁸ Gy/h)
1	项目拟建地（现状为 102 室）	8.9	0.23
2	项目拟建地（现状为 104-3 室）	8.5	0.15
3	项目拟建地东侧 106-1 室	8.5	0.10
4	项目拟建地南侧弘景 6 号楼楼内过道	8.7	0.15
5	项目拟建地楼上 2F 细胞培养室（204）地面	8.7	0.10
6	项目拟建地楼下-1F 家兔治疗室外过道（-116）地面	10.5	0.20
7	项目衰变池拟建处地面	9.6	0.17
8	项目拟建地东北侧药学院大楼	9.8	0.22
9	项目拟建地南侧弘景 5 号楼	9.6	0.18
10	项目拟建地西侧校内杏林西路	9.6	0.13

注：X-γ辐射剂量率监测结果均未扣除宇宙射线响应值。

根据表 8-4，本项目拟建地及周围各监测点β表面污染活度范围为低于仪器测量下限（<0.01Bq/cm²）~0.02Bq/cm²。

根据表 8-5，本项目拟建地及周围各监测点 X-γ 辐射剂量率范围为 8.5×10⁻⁸Gy/h~10.5×10⁻⁸Gy/h（即 85nGy/h~105nGy/h），与《2023 年成都市环境质量公报》中环境γ辐射剂量率连续自动监测年均值范围（67nGy/h~119nGy/h）相当，处于当地天然本底涨落范围。

表 9：项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

一、施工期工艺分析

本项目拟将温江校区弘景 6 号楼一楼 102 室、104-1 室、104-2 室和 104-3 室改造成小动物 PET/CT 实验室，施工期主要包括主体工程施工和射线装置安装调试阶段。

1、主体工程施工阶段

主体工程施工阶段主要工序为：场地清理、墙体拆除/新建和装饰装修，其产污主要为施工扬尘、装修废气、施工噪声、建筑垃圾，以及施工人员产生的生活污水、生活垃圾等。

本项目主体工程施工期会对周围声环境产生一定影响，但本项目工程量小、施工期短，通过控制作业时间、合理安排各种噪声施工机具的使用时间、加强施工现场管理等手段，对周围声环境产生的影响较小；施工人员产生的少量生活污水依托学校污水处理站排入城市污水处理管网；在建设施工中采取湿法作业，尽量降低扬尘对周围环境的影响；产生的少量施工废渣送当地指定的建筑垃圾处置场。

本项目主体工程施工期较短、施工量较小，在建设单位的严格监督下，施工方遵守文明施工、合理施工的原则，落实各项环保措施，可将其对环境的影响降至最小程度。施工结束后，项目施工期环境影响将随之消除。

2、射线装置安装调试阶段

本项目小动物 PET/CT（Ⅲ类射线装置）的运输、安装和调试，应由设备厂家专业人员进行，建设单位不得自行安装及调试设备。在射线装置安装调试期间，主要污染因素为 X 射线、臭氧和少量包装废弃物。建设单位应配合设备厂家专业人员加强安装调试现场的辐射安全管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在醒目位置设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近，人员离开小动物 PET/CT 间时，必须上锁并派人看守，防止辐射事故发生。

施工期工艺流程及污染产物环节如下图所示。

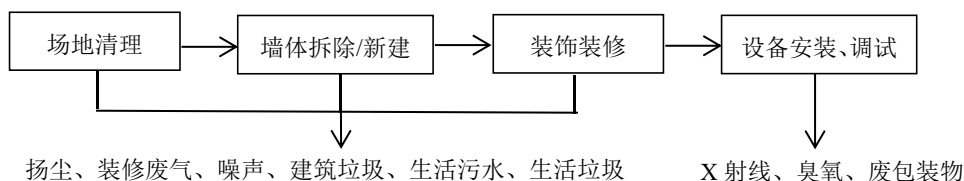


图 9-1 项目施工期工艺流程及产污环节图

二、运行期工艺分析

1、小动物PET/CT显像工艺原理

PET（Positron Emission Tomography，正电子发射型计算机断层显像）是目前最先进的放射性核素显像技术。PET 工作原理是利用正电子核素标记或合成相应的显像剂，引入机体后定位于靶器官，正电子核素在衰变过程中发射正电子并发生湮没效应，产生两个能量相等、运动方向相反的 γ 光子，根据动物不同部位吸收标记化合物能力的不同，同位素在动物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，然后通过 PET 的 γ 射线检测器环列（例如闪烁计数器）探测 γ 光子辐射的轨迹线，经代谢后在脏器内外或病变部位和正常组织之间形成放射性浓度差异，通过计算机处理再成像。

CT 是利用 X 射线对动物解剖结构的密度差异进行成像的断层显像技术。CT 提供的信息可显示机体组织脏器解剖结构的改变，发现病变并可以确定其范围及周围组织脏器的毗邻关系。

PET/CT 的工作原理是把 PET 和 CT 两个影像技术相融合，实现了 PET 和 CT 图像的同机融合，一次成像即可获得 PET 图像、CT 图像、PET 和 CT 的融合图像，同时 CT 扫描数据还可用于 PET 图像的衰减校正，大大缩短了 PET 检查时间。动物 PET/CT 是当今全球医药领域及生物工程方面的领先技术，通过对动物进行活体状况下的功能及解剖成像，获得动物身体代谢情况及药物在体内分布情况的各种数据，能对肿瘤、神经等疾病以及遗传基因研究、药物临床前筛选等提供先进的技术支持。

2、动物实验工艺流程

本项目使用大、小鼠进行放射性药物显像实验研究，涉及使用的核素氟-18 和铅-89 均为已标记好的外购成品。实验室日最大实验动物数 20 只，每日实验仅操作一种核素，年最大实验天数为 170 天（其中氟-18 最多 150 天，铅-89 最多 20 天），年最大实验动物数 3400 只。

本项目动物实验主要流程为：动物接收→药物分装→动物注射→动物饲养→动物显像→动物处死或解剖→动物尸体处理。

(1) 动物接收：根据实验需求，向有资质的实验动物生产单位订购实验专用小动物（大鼠或小鼠），购买的小动物为 SPF 级（无特定病原体动物）。实验动物于实验当天送货，经检疫合格后，转入动物饲养间以备实验。

(2) 药物分装：工作人员将装有放射性药物的铅罐放入注射室手套箱内，在手套箱内对药物进行分装并测量活度。

(3) 动物注射：工作人员将动物从饲养间转移至注射室的手套箱内进行注射给药。

(4) 动物饲养：给药后的动物通过手提式动物转运屏蔽箱转移至动物饲养间的屏蔽笼具内进行短暂饲养、等待显像。

(5) 动物针灸、显像：根据实验方案，于给药后不同时间（根据研究目的不同时间差异较大，通常为 1~120 分钟）将动物通过手提式动物转运屏蔽箱转移至小动物 PET/CT 间，采用异氟烷将其麻醉后，将动物固定在 PET/CT 动物舱内，对其进行针灸并摆位合适后，进行 PET/CT 显像。

(6) 动物解剖或处死：图像采集结束后，当日将小动物送至解剖室的通风橱内进行解剖，解剖时取其脑组织或外周组织，将组织放入冻存盒内，再转入铅屏蔽样本盒后，置于冰柜中存放。待实验组织样本解控后，送样至弘景 6 号楼二楼 216 室（分子生物学实验室三）和 217 室（分子生物学实验室四）进行测验（测验及后续动物组织处置依托主体工程已建设施进行，本次不再评价）。

(7) 动物尸体处理：实验结束后，工作人员将动物尸体/组织收集装袋，贴上标签，注明实验者姓名、所用核素、总活度和时间等信息，转移至动物尸体暂存间冰柜内暂存。

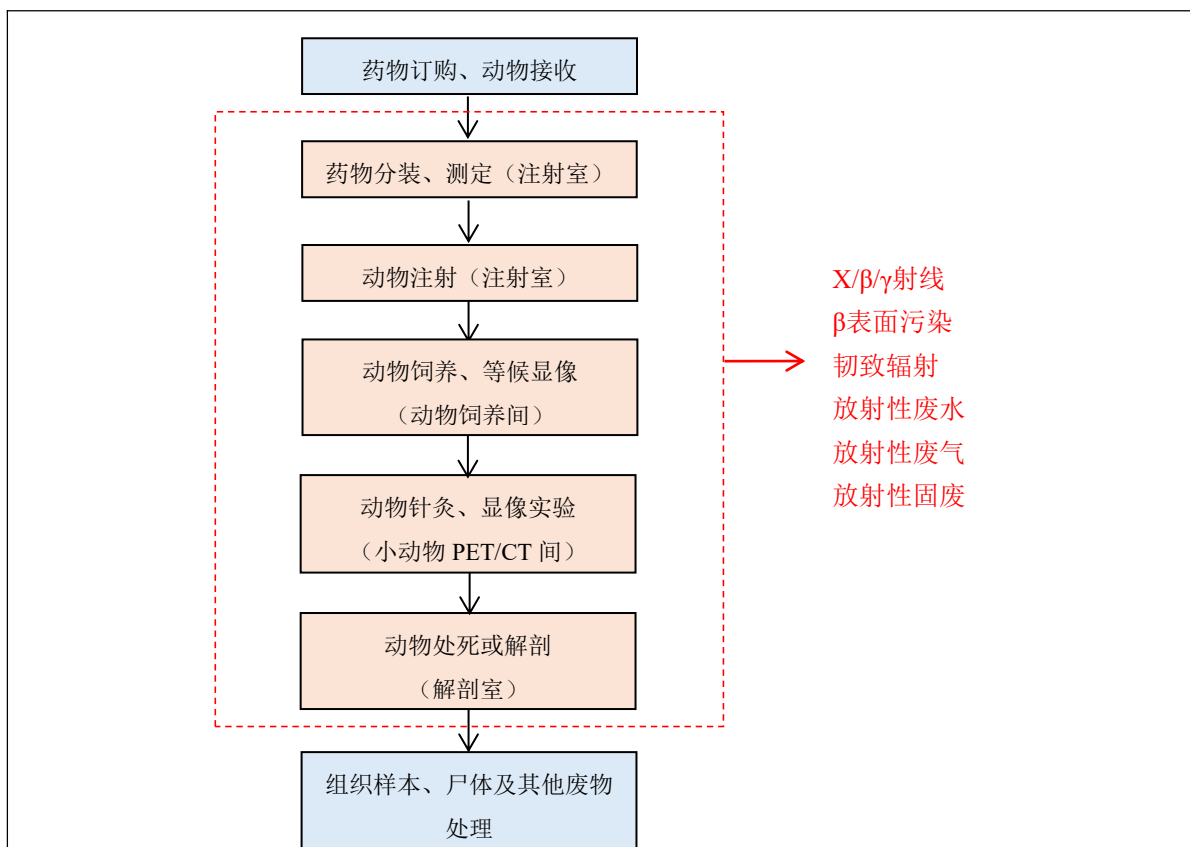


图 9-2 实验流程及产污环节图

3、人流、物流路径

（1）工作人员路径

工作人员通过北侧小动物 PET/CT 实验室入口进入，通过更衣、卫生通过间可分别到达注射室、储源室、放射性废物暂存间、小动物 PET/CT 间及控制室、解剖室、动物饲养间、动物尸体暂存间和清洁笼具存放室。实验结束后，工作人员需经过表面污染监测并经过去污更衣后按原路退出。

（2）动物路径

①实验前动物活体：由实验动物供应商通过北侧入口送入小动物 PET/CT 实验室。

②给药后动物活体：实验动物在注射室进行给药后，转入动物饲养间进行等待显像；转入小动物 PET/CT 间进行显像；显像结束后，当日转入解剖室进行处死或解剖。

③动物实验组织样本：动物解剖后，动物实验组织样本置于解剖室内的标本柜（冰柜）进行暂存，待解控后，经东南侧小动物 PET/CT 实验室出口送至弘景 6 号楼

二楼 216 室（分子生物学实验室三）和 217 室（分子生物学实验室四）进行测验。

（3）放射性药物路径

本项目使用的核素由厂家通过小动物 PET/CT 实验室储源室传递窗直接转入储源室，放射性药物运输过程在早晨实验开始前进行，且能以最短距离进入非密封放射性物质工作场所内，从而有效限制了放射性药物运送影响的范围。

（4）放射性废物路径

小动物 PET/CT 实验室设置 1 间放射性废物暂存间和 1 间动物尸体暂存间，放射性废物暂存间主要暂存使用过的一次性注射器、药棉、手套、空药瓶、台面/器皿吸收垫、滤纸及擦拭废物等，动物尸体暂存间主要暂存给药后的动物排泄物及下垫物、放射性动物尸体及组织。

注射室、解剖室、动物饲养间均拟设置铅桶，放射性废物先收集在铅桶中，当日工作结束后打包转移至放射性废物暂存间或动物尸体暂存间，解控后，由工作人员在下班后，经东南侧小动物 PET/CT 实验室废物出口（该处出口仅在下班后转运废物时才打开，日常保持关闭管理）运出。

综上，小动物 PET/CT 实验室拟设置门禁系统以实现封闭管理，内部分区明确，功能房间布局紧凑、有效衔接，利于实验的实施，且最大限度缩短了放射性药物和废物的流通路径，因此，人员和物料流通路径设置合理。

污染源项描述

一、施工期污染源分析

本项目施工期主要包括主体工程施工阶段和射线装置安装调试阶段。

1、主体工程施工阶段

本项目主体工程施工阶段主要环境影响因素为施工扬尘、装修废气、施工噪声、建筑垃圾，以及施工人员产生的生活污水、生活垃圾等。

2、射线装置安装调试阶段

本项目射线装置安装调试阶段主要环境影响因素为 X 射线、臭氧和少量包装废弃物。

二、运行期污染源分析

（一）放射性污染源分析

1、电离辐射

本项目涉及使用放射性核素氟-18 和铅-89, 运行过程可产生 β 射线、 γ 射线和放射性表面污染。小动物 PET/CT 开机运行时产生 X 射线。

2、放射性废水

本项目放射性废水主要考虑职业人员不慎受到轻微污染情况下的清洗废水, 且每日实验结束后会对场所进行清洁, 用水量约 40L/d, 年废水量 6800L/a (6.8m³)。

3、放射性固废

小动物 PET/CT 实验室放射性固废产生情况见表 9-1。

表 9-1 小动物 PET/CT 实验室放射性固废汇总表

核素	产生来源及种类	日产生量 (kg/d)	年实验天数 (天)	年产生量 (kg/a)
¹⁸ F、 ⁸⁹ Zr	动物实验使用过的一次性注射器、药棉、 口罩、手套、空药瓶、台面/器皿吸收垫、 滤纸、清洁抹布、擦拭废物和去污废物等	0.5	170	85
	给药后的动物排泄物及下垫物	0.2		34
	放射性动物尸体及组织	2.3		391
/	废过滤器滤芯	50kg/a	/	50
合计				560

4、放射性废气

小动物 PET/CT 实验室涉及使用的核素氟-18 和铅-89 属于液态放射性药物, 且属于非挥发性化合物, 采用负压瓶进行密封储存, 在分装过程中采取注射器进行抽取, 并最终通过静脉或腹腔注射注入动物体内, 在整个操作过程中不存在裸露液面, 注射类药物放射性核素气溶胶挥发量很小, 几乎不产生放射性废气。

(二) 非放射性污染源分析

1、非放射性废水

工作人员产生少量生活污水。

2、非放射性固废

工作人员产生少量的办公垃圾、生活垃圾。

3、非放射性废气

①射线装置开机产生的 X 射线因与空气发生电离作用产生少量臭氧。

②动物饲养过程会产生 NH_3 、 H_2S 等恶臭气体。

4、噪声

小动物 PET/CT 实验室通排风风机工作时将产生一定的噪声，噪声源强不超过 65dB(A)，经墙体隔声和距离衰减后，对周围声环境影响较小。

表 10：辐射安全与防护

项目安全设施

通过污染源分析可知，本项目产生的主要污染物为 X 射线、β射线、γ射线和β表面污染。同时小动物 PET/CT 实验室运行过程还会产生放射性废水、放射性固废和放射性废气。针对这些污染物，建设单位在设计阶段均制定了相应的污染防治措施。

一、平面布置合理性分析

小动物 PET/CT 实验室位于弘景 6 号楼（地上 6 层，地下 1 层）一楼北侧端头，位置相对封闭，场所进出口拟设置独立门禁，非经允许不能进入该场所，人员进出口位于小动物 PET/CT 实验室北侧，废物出口位于小动物 PET/CT 实验室东南侧。该场所自西北向东南依次布置：更衣室、卫生通过间、清洁笼具存放室、储源室、放射性废物暂存间、注射室、洁具间、小动物 PET/CT 间及控制室、动物尸体暂存间、解剖室和动物饲养间。场所楼上为 202 室（细胞培养室）、204 室（细胞培养室）和 206 室（流式细胞分选室），楼下为污洗间、补风机房、污水提升间、通道和-116 室（家兔治疗室）。本项目衰变池位于弘景 6 号楼北侧绿化带地下，其选址已避开人员集中活动区域。

小动物 PET/CT 实验室位置相对封闭且独立，功能用房相对集中且齐全，满足实验工作需求，既能有机联系，又不相互干扰，已设立相对独立的工作人员、放射性药物和放射性废物路径，且最大限度地减短了放射性药物和放射性废物的运输路径。场所进出口设置更衣室和卫生通过间，为工作人员提供必要的防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备。从辐射安全的角度考虑，本项目小动物 PET/CT 实验室产生的电离辐射经屏蔽后对周围辐射环境影响是可接受的，平面布置合理。

二、工作区域管理

1、“两区”划分

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），将本项目辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

控制区：把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。

监督区：通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域。

本项目控制区和监督区划分情况见表 10-2、图 10-1。

表 10-2 本项目工作区域划分一览表

工作场所	控制区	监督区
小动物 PET/CT 实验室	注射室、小动物 PET/CT 间及控制室、储源室、放射性废物暂存间、解剖室、动物饲养间、动物尸体暂存间、清洁笼具存放室、衰变池	更衣室、淋浴间、卫生通过间

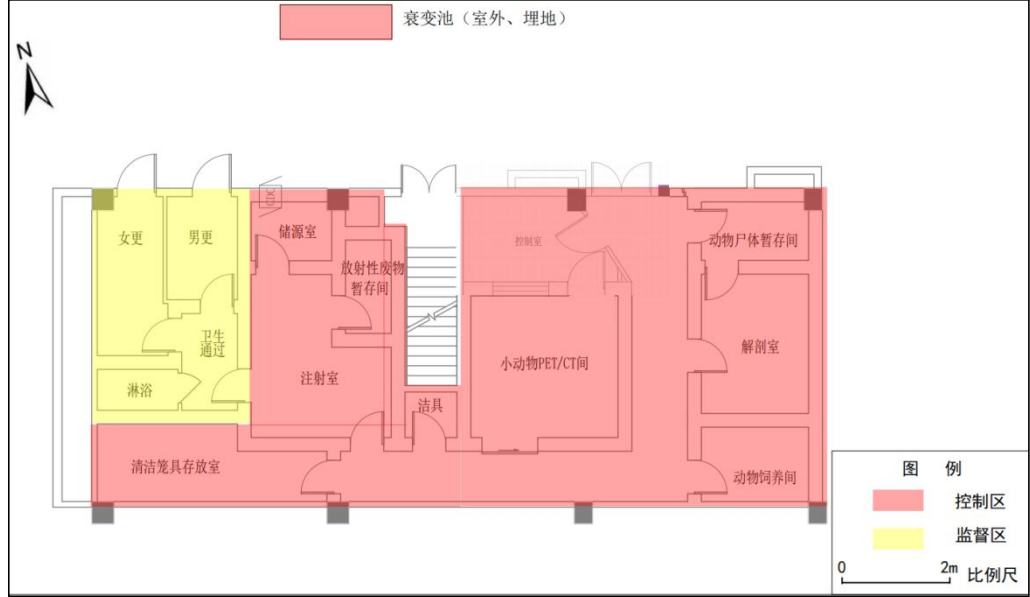


图 10-1 小动物 PET/CT 实验室两区划分示意图

2、“两区”管控措施

（1）控制区管控措施

①运行过程中控制区内禁止任何人员进入，职业人员在该区域工作时尽量缩短居留时间，以减少不必要的照射。

②在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的、符合GB18871-2002附录F（见图10-2）规定的警告标识，并以红色地标线警示“控制区”的边界。

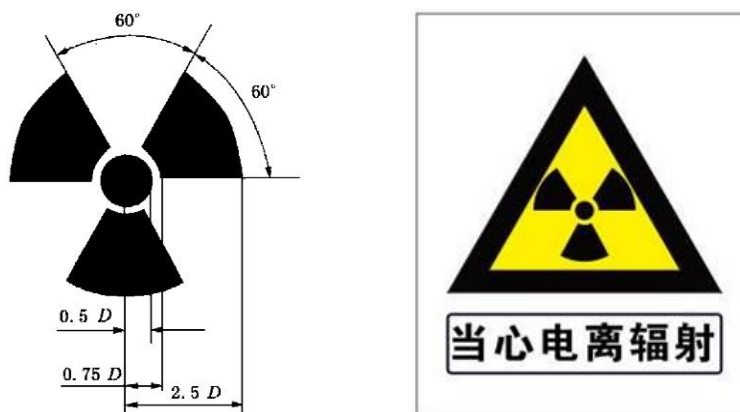


图 10-2 电离辐射标志和电离辐射警告标志

③制定辐射防护与安全措施，包括适用于控制区的规则和程序。

④运用行政管理程序（如进入控制区的人员授权制度）和实体措施（包括门锁、门禁和联锁装置）限制进出控制区。

⑤在更衣室、卫生通过间配备个人防护用品、工作服、污染监测仪和被污染防护用品的贮存柜等。

⑥定期审查控制区的实际状况，以确保是否有必要改变该区的防护手段、安全措施。

（2）监督区管控措施

①监督区范围内限制非职业人员进入。

②以黄色地标线警示“监督区”的边界，在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌。

③定期检查该区的条件，以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界。

三、辐射安全及防护措施

本项目非密封放射性物质工作场所采取的辐射防护与放射性污染防治措施主要包括以下方面。

1、防护要求

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），依据操作最大量放射性核素的加权活度对核医学场所进行分类管理，把场所分为 I、II、III 三类，不同类别核医学场所室内表面和装备结构的基本放射防护要求见表 10-3。

表 10-3 不同类别工作场所室内表面和装备的要求

工作场所	分类		
	I类	II类	III类
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
手套箱	需要	需要	不必须
室内通风	特殊的强制通风	良好通风	一般自然通风
管道	特殊的管道 ^①	普通管道	普通管道
清洗及去污设备	洗手盆 ^② 和去污设备	洗手盆 ^② 和去污设备	洗手盆 ^②

注：①下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测。②洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制。

本项目小动物 PET/CT 实验室具体设计情况见表 10-4。

表 10-4 本项目非密封放射性物质工作场所防护设计情况

屏蔽结构	辐射工作场所的墙体、楼板、门、观察窗、手套箱、通风橱均按防护要求设计屏蔽结构，根据环境影响分析屏蔽结构外辐射剂量率满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）有关限值要求。
地面	辐射工作场所墙面与地面交接做圆角处理，地面全部敷设易去污且可拆除更换的材料，其边缘应高出地面 15~25cm，地面光滑，易去污，受辐照后不易老化，且防水。
工作台面	涉及非密封放射性物质操作的工作台面均设计为易清洗的不锈钢台面。
手套箱	手套箱和通风橱风速均大于 0.5m/s。
室内通风	辐射工作场所内已设计独立的排风系统（不与非辐射工作区域碰管），引至弘景 6 号楼楼顶排放。
管道	辐射工作场所内已设计放射性下水口，并通过独立的特排管道连接至并联衰变池。
清洗剂去污设备	辐射工作场所职业人员卫生通过间拟配备清洗剂用于皮肤污染去污，同时拟配备表面沾污检测设备用于人体表面沾污监测。

对比表 10-3、表 10-4，小动物 PET/CT 实验室工作场所放射防护设计能满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中最高类别（I 类）场所的防护要求。

2、建筑物屏蔽设计

（1）非密封放射性物质工作场所建筑屏蔽设计方案

本项目辐射工作场所的设计和修建均由相应资质的单位进行设计和装饰，屏蔽防护设计情况见下表。

表 10-5 本项目非密封放射性物质工作场所建筑辐射防护设计情况一览表

工作场所	四面墙体	顶板/底板	门	窗
注射室	370mm 实心砖	150mm 混凝土	5mmPb	/
储源室	370mm 实心砖	150mm 混凝土	3mmPb	传递窗 3mmPb
放射性废物暂存间	370mm 实心砖	150mm 混凝土	3mmPb	/
小动物 PET/CT 间	370mm 实心砖	150mm 混凝土 +2mmPb 铅板	5mmPb	观察窗 5mmPb
解剖室	370mm 实心砖	150mm 混凝土	3mmPb	/
动物饲养间	370mm 实心砖	150mm 混凝土	12mmPb	/
动物尸体暂存间	370mm 实心砖	150mm 混凝土	3mmPb	/

根据后续章节计算，非密封放射性物质工作场所屏蔽设计满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，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 $10\mu\text{Sv/h}$ ”的控制剂量率要求。

（2）射线装置机房建筑屏蔽设计方案

小动物PET/CT属于III类射线装置，其机房辐射防护设计情况见表10-6。

表 10-6 射线装置机房辐射防护设计情况表

机房	屏蔽体	材质及厚度	对应铅当量厚度	GBZ130-2020 要求	备注
小动物PET/CT间	四面墙体	370mm 实心砖	4.6mmPb	2.5mmPb	满足
	顶板	150mm 混凝土+2mmPb 铅板	4.3mmPb		满足
	底板	150mm 混凝土+2mmPb 铅板	4.3mmPb		
	防护门	5mmPb	5mmPb		满足
	观察窗	5mmPb	5mmPb		满足

根据上表可知，小动物PET/CT间屏蔽设计满足《放射诊断放射防护要求》（GB Z130-2020）规定的2.5mm铅当量防护厚度要求。

III 类射线装置机房控制电缆和通排风管道采用 U 型穿墙，并在穿墙处采用 4mm 铅当量的铅皮进行补偿防护，不影响机房屏蔽效果。为减少接缝处射线的泄漏，要求防护门两侧铅板搭接宽度大于门缝宽度 10 倍以上。

3、非密封放射性物质辐射防护安全设施

（1）储存过程辐射防护安全设施

本项目外购的放射性药物由有资质单位供应，厂家将按《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）规定货包的要求进行包装，货包表面任意一点的最高辐射水平为 $0.005\text{mSv/h} < H \leq 0.5\text{mSv/h}$ 。厂家按建设单位要求将放射性药物通过小动物 PET/CT 实验室的储源室传递窗运至其内的保险柜中暂存，储源室设双人双锁，且拟设置监控摄像头和固定式剂量报警仪，防止放射性物品被盗或破坏。对放射性药物的管理，建设单位还应采取以下措施：

①放射性药物的存储容器要有合适的屏蔽，放置应合理有序分区存放，放射性药物存放场所不得存放其他易燃、易爆、易腐蚀物料。

②储源室应由专人进行管理，按上述要求设置严密的实体保卫措施，定期进行辐射剂量的监测，无关人员禁止进入。

③放射性药物要有进出登记，包括生产单位、生产日期、到货时间、核素种类、理化性质、活度和使用情况的详细记录等，建立放射性同位素台账制度。

④应建立完善的放射性核素贮存、领取、使用、归还登记和检查制度，做到交接账目清楚、账物相符，记录资料完整。

（2）动物实验过程辐射防护安全设施

表 10-7 非密封放射性物质工作场所辐射安全与防护设施（设备）

场所	辐射屏蔽设施	铅当量	数量	备注
储源室	双人双锁保险柜	/	1 个	/
	入侵防盗报警装置	/	1 个	/
	固定式 γ 探头	/	1 个	/
	监控摄像头	/	1 个	/
注射室	手套箱	50mmPb	1 套	/
	放射性固废铅桶	10mmPb	1 个	/
	监控摄像头	/	1 个	/
	固定式 γ 探头	/	1 个	/
解剖室	通风橱（含 L 型防护屏）	25mmPb	1 套	/
	放射性固废铅桶	10mmPb	1 个	/
	固定式 γ 探头	/	1 个	/
	监控摄像头	/	1 个	/
小动物 PET/CT 间	监控摄像头	/	1 个	/
	L 型铅防护屏	8mmPb	1 个	
动物饲养间	笼具	10mmPb	1 个	/

	固定式 γ 探头	/	1 个	/
	监控摄像头	/	1 个	/
	放射性固废铅桶	10mmPb	1 个	/
放射性废物暂存间	放射性固废暂存容器	10mmPb	2 个	一收一储
	监控摄像头	/	1 个	/
动物尸体暂存间	冰柜（周围设 10mmPb 铅屏蔽）	10mmPb	1 个	/
	放射性固废暂存容器	10mmPb	2 个	一收一储
	监控摄像头	/	1 个	/
其他	手提式动物转运屏蔽箱	25mmPb	1 个	/
	铅屏蔽样本盒（存储用）	45mmPb	1 个	/
	铅屏蔽样本盒（转移用）	25mmPb	1 个	/

4、III类射线装置机房辐射防护安全设施

(1) III类射线装置固有安全性

①具有安全性，当设备出现错误或故障时，能中断照射，并有相应故障显示。

②正常情况下，必须按规定程序并经控制台确认验证设置无误时，才能由"启动"键启动照射。

③射线装置床旁自带“紧急止动”按钮，一旦发现异常情况，工作人员可立即按下此按钮来停止照射。

(2) III类射线装置机房安全设施

小动物 PET/CT 间安全设施见表 10-8。

表 10-8 小动物 PET/CT 间安全设施布置表

安全设施	功能描述	配置数量
紧急止动按钮	射线装置床旁和控制室操作台均设置紧急止动按钮，任意按钮触发，射线装置将停机，按钮位置应有中文标识，同时在触动后需人工复位才能重新启动。	2 个
工作状态指示灯（门-灯连锁）	机房防护门外醒目处拟安装工作状态指示灯（例如：显示“射线有害、灯亮勿入”），并与防护门连锁，当防护门关闭时，工作状态指示灯亮起，当防护门开启时，工作状态指示灯熄灭。	1 套
视频监控	机房内拟安装视频监控装置，实现对机房全覆盖，便于监控曝光前人员误入。	1 套
语音对讲装置	准备出束时，控制室操作台工作人员可通过语音对讲装置与机房内人员进行沟通交流，告知其及时撤离机房。	1 套

5、表面污染控制及个人防护措施

为保证非密封放射性物质工作场所的表面污染水平达到《电离辐射防护与辐射

源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准，并减少职业人员内照射和外照射，建设单位应采取以下管控措施：

①针对放射性核素的分装操作，采用负压隔离的方法进行防护，即本项目设置手套箱、通风橱等把放射性核素局限在某一空间内操作，操作过程局部空间风速不小于 0.5m/s，防止放射性核素逸散到房间内。

②非密封放射性物质工作场所墙面与地面交接做圆角处理，地面全部敷设易去污并可以拆除更换的材料，且地面光滑，并具有易去污和防渗能力（渗透系数 $\leq 10^{-10}$ cm/s）。

③对于放射性核素的操作，应在易去除污染的工作台上放置的搪瓷盘内进行，并铺以吸水性好的材料，防止放射性药液洒漏造成操作台污染。保持工作台面清洁，定期对工作台面采用湿法擦拭清洁，防止放射性核素沉降经伤口或皮肤渗透转移至体内，严禁辐射工作人员在开放性工作场所内进食、饮水和吸烟。

④放射性药物用后应及时存放在专用柜内，需防盗、防水、防火，柜外应有电离辐射标志。

⑤每天操作结束后，对场所内易接触的部位进行表面沾污监测，若出现超标情况，应及时按制定的去污操作规程开展去污操作，不得使用大水量冲洗污染面，去污废物需按放射性废物管理。

⑥辐射工作人员在进行工作前应做好个人防护用品的佩戴，包括防护工作服、帽子、鞋子、手套、口罩、防护眼镜、个人剂量计、个人剂量报警仪等，在完成工作后按指定人员通道离开，同时更衣室和卫生通过间内设置喷淋清洗区和表面沾污仪，并经过“洁衣剂量检查（监测不合格需经过“去污”过程）→脱洁衣→穿家常服→穿家常鞋→出口”的流程。

⑦所有辐射工作人员上岗前应经过专业培训，熟悉自己岗位的操作流程，具备相应的技能与防护知识，管理人员需定期进行检查，严禁人员违规操作。

⑧对于动物饲养应采取干法饲养，饲养笼具应提前铺设垫料，放射性污染笼具应采用干式去污并妥善暂存衰变，不得进行冲洗，经监测达标后才能进行重复使用（辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染 $< 0.8\text{Bq/cm}^2$ ）。

四、辐射工作场所安防措施

为确保本项目乙级非密封放射性物质工作场所和Ⅲ类射线装置的辐射安全，对照《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》，建设单位拟采取的安防措施见表 10-9。

表 10-9 辐射工作场所安防措施一览表

工作场所	措施类别	对应措施
非密封放射性物质工作场所	防火	小动物 PET/CT 实验室拟安装烟气报警装置和消防栓，且各个房间功能单位需满足《建筑设计防火规范》（GB50016-2014，2018 版），本项目辐射工作场所禁止储存易燃、易爆、腐蚀性等其他一切与本项目无关的物品。同时人员易接触的地方配备干粉式灭火器。
	防水	整个场所做了较好的防水和防渗设计，且场所地面将敷设防水材料，墙面与地面交接作圆角处理，避免放射性污染物下渗影响。
	防盗和防破坏	①小动物 PET/CT 实验室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控制区内。 ②非密封放射性物质设有专门的储源室，储源室已设计有实体保卫措施（如监控摄像头、双人双锁保险柜等），放射性物质的转入、转出均由专人进行台账管理。 ③小动物 PET/CT 实验室控制区设置严密的监控系统，实行 24h 实时监控，并将控制区作为保安人员重点巡查范围。
射线装置工作场所	防泄漏	①本项目使用的放射性药物来自正规生产厂家，出厂时包装用铅罐密闭，铅罐表面剂量满足标准要求，且用完后的空铅罐经表面去污处理后放置于储源室内待厂家进行回收。 ②非密封放射性物质工作场所拟采取有效的实体屏蔽措施，能够达到《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中工作场所的要求。 ③小动物 PET/CT 实验室高放射性区域拟安装固定式剂量报警仪，若出现放射性物质泄漏，将进行报警提示；建设单位还将制定监测计划，自行配备便携式γ辐射监测仪及表面沾污仪，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。
	防盗、防抢和防破坏	①本项目Ⅲ类射线装置机房纳入建设单位日常安保巡逻的重点工作范围，加强巡视管理以防遭到破坏。 ②射线装置机房拟设置监控系统，实行 24h 实时监控。 ③射线装置安排专人进行管理和维护，并进行台账记录，一旦发生盗抢事件，立即关闭设备和防护门，并立即上报地方生态环境部门和公安机关。 ④射线装置机房和邻近房间不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品等物品。
	防泄漏	①本项目Ⅲ类射线装置拟购置于正规厂家，具有固有安全性，防护性能满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）； ②本项目射线装置工作场所已按照有关规范要求进行了辐射防护设计，只要按照设计和环评要求进行落实，机房是不存在辐射泄漏的情况，根据辐射影响分析，机房屏蔽体外 30cm 处剂量率能满足标准限值要求。

五、辐射安全防护设施对照分析

根据生态环境部（国家核安全局）《非密封放射性物质医学应用场所监督检查技术程序》（NNSA HQ-08-JD-IP-030）和《关于印发<四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）>的通知》（川环函[2016]1400 号）中对非密封放射性物质工作场所和Ⅲ类射线装置的相关要求，本次评价根据建设单位拟采取的辐射安全防护设施进行了对照分析，具体情况见下表。

表 10-10 辐射安全防护设施汇总对照分析表

非密封放射性物质医学应用场所			
序号	项目	规定的措施和制度	落实情况
1	场所设施	场所分区布局是否合理及有无相应措施/标识	已设计
2		电离辐射警告标志	拟落实
3		独立的通风设施	已设计
4		给药操作人员屏蔽	已设计
5		易去污的工作台面	已设计
6		放射性核素暂存场所或设施	已设计
7	监测设备	表面污染监测仪	拟落实
8		便携式辐射水平监测仪	拟落实
9		个人剂量计	拟落实
10		个人剂量报警仪	拟落实
11	放射性废物	放射性废液处理排放系统及标识	已设计
12	和废液	放射性固体废物暂存场所或设施	已设计
13	防护器材	个人防护用品	拟落实
14		放射性表面去污用品和防污染材料	拟落实
Ⅲ类医用射线装置			
序号	项目	规定的措施和制度	落实情况
1	场所设施	单独机房	已设计
2		机房门窗防护	已设计
3		候诊位设置	已设计
4		闭门装置	已设计
5		防护用品和辅助防护设施	拟落实
6		入口处电离辐射警告标志	拟落实
7		入口处机器工作状态显示	拟落实
8	其它	监测仪表	拟落实
9		个人剂量计	拟落实

三废的治理

一、废气处理措施

1、放射性废气

小动物 PET/CT 实验室涉及使用的核素氟-18 和铅-89 属于液态放射性药物，且属于非挥发性化合物，采用负压瓶进行密封储存，在分装过程中采取注射器进行抽取，并最终通过静脉或腹腔注射注入动物体内，在整个操作过程中不存在裸露液面，注射类药物放射性核素气溶胶挥发量很小，几乎不产生放射性废气。小动物 PET/CT 实验室通排风系统采用独立设计，不与其他非辐射工作区域通排风系统交叉。

为保证放射性废气处理设施正常安全运行，建设单位还需采取如下措施：

①需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，建立设施设备维护台账，其中各过滤器需根据设备要求定期进行维护和校正。

②更换下的废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，将废气排风口楼顶划为管控区域，并进行封闭管理。

放射性废气治理措施见表 10-11。

表 10-11 放射性废气治理措施一览表

场所			排风量 (m ³ /h)	废气处理设施	排放方式及去向
小动物 PET/CT 实验室	1#排风 系统	动物尸体暂存间、解剖室、 动物饲养间、小动物PET/CT 间、洁具间、放射性固废暂 存间、储源室、注射室、卫 生通过间、清洁笼具存放室	2500	独立排风管道+高效 过滤器，总过滤效率 大于 99%	汇总至 1 个放射 性废气排口进 行排放，排气口 高于屋面 3m， 距地高度 30m。
	2#排风 系统	注射室的手套箱	500	手套箱自带高效过滤 器+独立排风管道+高 效过滤器，总过滤效 率大于 99%	
	3#排风 系统	解剖室的通风橱	1500	通风橱自带高效过 滤器+独立排风管道 +高效过滤器，总过 滤效率大于 99%	

2、非放射性废气

小动物 PET/CT 运行时，X 射线与空气发生电离作用会产生少量臭氧；小动物饲

养过程中会产生少量 NH_3 、 H_2S 等恶臭气体。小动物 PET/CT 间、动物饲养间已设计有排风系统，废气经排风管道引至楼顶，经过滤器过滤后排放。

二、废水处理措施

1、放射性废水

（1）放射性废水的收集

本项目放射性废水（核素组成：氟-18 和铅-89）主要考虑职业人员不慎受到轻微污染情况下的清洗废水，且每日实验结束后会对场所进行清洁，用水量约 40L/d，年废水量 6800L/a（ 6.8m^3 ）。

小动物 PET/CT 实验室设置有独立的放射性废水排放管道，由洁具间、淋浴间房间地漏和卫生通过间、解剖室洗手盆下水通道排放至衰变池进行暂存衰变。

（2）衰变池设计方案

本项目衰变池位于弘景 6 号楼北侧绿化带地下，为两格并联式衰变池。衰变池单格有效容积 1.56m^3 ，总有效容积 3.12m^3 。衰变池为混凝土结构，抗渗等级为 P8，顶板厚 300mm，盖板厚 350mm，底板和池体厚 250mm，衰变池各侧混凝土外侧铺设 4mm 厚 SBS 改性沥青防水卷材，衰变池本身已具备防渗漏能力。为进一步加强衰变池的防渗漏能力，拟在衰变池各侧内墙面再加设 3mm 厚聚氨酯防水层。衰变池整体采用自动化设计，拟设置在线液位计监督废液水位，异常变化时报警，防止池内废水外溢，同时衰变池管道阀门采用自动控制，可实现废水导流自动切换，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）规定的坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性和具有可靠的防泄漏措施等要求。对于排水管道裸露部分拟采用 3mmPb 的铅皮包裹，排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。

（3）衰变池的运行工艺

本项目衰变池采用两格并联方式间歇交替运行。初使用时，1#衰变池电动阀开启，其余衰变池电动阀关闭，废水排入 1#衰变池池体内。1#衰变池水位达到最高水位时，1#衰变池电动阀关闭，进行封闭衰变，2#衰变池电动阀开启，废水排入 2#衰变池池体内。2#衰变池水位达到最高水位时，2#衰变池电动阀关闭，进行封闭衰变，1#衰变池电动阀开启，如此循环反复。

放射性废水在衰变池内停留一个排水周期（含氟-18 核素的放射性废水需暂存超

过 30 天、含铅-89 核素的放射性废水需暂存超过 32.7 天），解控或经监测达标后，按照 GB18871 中 8.6.2 规定方式排入学校污水管网。

（4）衰变池运行管理措施

为保障衰变池的长效可靠运行，还需采取如下管理措施：

①根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），含氟-18 核素的放射性废水暂存时间应超过 30 天后可直接解控排放，含铅-89 核素的放射性废水暂存时间应超过 32.7 天并经监测达标后（总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ ）排放。

②建设单位应建立放射性废水管理台账，安排专职部门或专人进行管理，记录每次封闭暂存时间、排放时间、排放量及监测结果情况，并妥善保管。

③衰变池区应作为重点防渗区（渗透系数需 $\leq 10^{-7}\text{cm/s}$ ）和控制区进行独立管理，建设单位专职部门应定期对放射性废水管道、阀门、池体及附属安全设施（如液位报警、电控系统）及防渗设施进行维护和检修，防止“跑、冒、滴、漏”情况出现，同时防止污泥硬化淤积、堵塞进出水口、池体超压等情况发生，不得随意对下水管道进行改线或接入非放下水管道，不得设置 U 型下水管路，保持管道内径光滑并具有一定的下水坡度，防止出现放射性物质沉积。

④衰变池需设立明显的电离辐射警告标志，防止无关人员靠近。

2、非放射性废水

非放射性废水主要来自于运行期间工作人员产生的生活污水，该部分废水依托学校已建预处理池处理达标后排入市政污水管网。

三、固体废物处理措施

1、放射性固废

根据污染源分析，本项目产生的放射性固废主要包括：①动物实验使用过的一次性注射器、药棉、口罩、手套、空药瓶、台面/器皿吸收垫、滤纸、清洁抹布、擦拭废物和去污废物等一次性实验耗材；②给药后的动物排泄物及下垫物；③处死或解剖后的放射性动物尸体及组织；④定期更换的废过滤器滤芯。

注射室、解剖室、动物饲养间拟设置铅桶用于分类收集放射性固废，其中动物尸体及组织放置于动物尸体暂存间的冰柜（周围设 10mm 铅当量铅屏蔽）内暂存衰变，清洁解控后交有资质的单位进行无害化处理；其余放射性废物转入放射性废物

暂存间或动物尸体暂存内采用放射性固废暂存容器进行暂存衰变。

(1) 放射性废物暂存场所容量分析

本项目设置 1 间放射性废物暂存间和 1 间动物尸体暂存间，设置情况见表 10-12，暂存能力分析见表 10-13。

表 10-12 放射性废物暂存场所设置情况一览表

暂存场所	建筑面积 (m ²)	净空尺寸	净空面积 (m ²)	有效容积* (m ³)
放射性废物暂存间	6.2	长 2.5m×宽 1.2m×高 4.5m	3.0	4.5
动物尸体暂存间	7.4	长 2.8m×宽 1.5m×高 4.5m	4.2	6.3

*注：有效容积按废物暂存高度 1.5m 计算。

表 10-13 放射性废物暂存场所暂存能力分析表

暂存场所	核素	产生来源	暂存时间	暂存时间内实验天数	日产生量 (kg/d)	暂存周期内产生量 (kg)	暂存密度 (kg/m³)	暂存所需容积 (m³)	
放射性废物暂存间	¹⁸ F、 ⁸⁹ Zr	一次性实验耗材	32.7d	16d	0.5	8.0	488.85	0.016	0.127
		废过滤器滤芯			50 (kg/a)	50	450	0.111	
动物尸体暂存间		给药后的动物排泄物及下垫物			0.2	3.2	488.85	0.007	0.103
		放射性动物尸体及组织			2.3	36.8	/	0.096	

根据上表，动物尸体暂存间内拟设置 1 个冰柜（容积不小于 100L），可满足暂存周期内动物尸体及组织所需容积（96L）。此外，在保守按废物暂存高度 1.5m 的前提下，放射性废物暂存间和动物尸体暂存间的容积（分别为 4.5m³ 和 6.3m³）均远大于放射性固废暂存所需容积（分别为 0.127m³ 和 0.103m³），因此建设单位可根据实际运行负荷，配备相应数量、相应容量的放射性固废暂存容器。

综上，本项目放射性废物暂存场所容积均大于暂存周期内放射性废物所需容积，满足暂存要求。

(2) 放射性固废收集、贮存和处理措施

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），针对放射性固废的收集、贮存和处理，提出如下管理措施要求：

1) 放射性固体废物收集

①按放射性废物分类要求将放射性废物进行分类收集和分别处理。

②废物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物，含尖刺及棱角的放射性废物，应预先进行包装处理，再装入废物桶，防止刺破废物袋。

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

2) 放射性固废临时贮存和最终处理

①放射性废物暂存场所内应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。容器表面应注明废物所含核素的名称、废物的类别、入库日期等信息，并做好记录。放射性废物暂存场所内不得贮存易燃、易爆、易腐蚀物品。

②含放射性的实验动物尸体或组织应装入废物袋存放至专用冰柜（周围设 10mm 铅当量铅屏蔽）内，并做好屏蔽防护。

③含氟-18 核素的固体放射性废物暂存时间超过 30 天、含锆-89 核素的固体放射性废物暂存时间超过 32.7 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的，可对废物清洁解控。根据《实验动物 环境及设施》（GB14925-2023），非病原微生物感染实验的动物尸体及组织、动物排泄物及下垫物解控后，集中作无害化处理；注射器、手套、空药瓶等一次性实验耗材及废过滤器滤芯，应按医疗废物进行处理。

④固体放射性废物的存储和处理应安排专人负责，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。

2、非放射性固废

本项目产生的办公、生活垃圾依托校区已建的收集系统进行收集后，及时交由市政环卫清运。

四、噪声治理措施

本项目噪声主要来源于通排风系统的风机。风机工作时噪声源强最大为 65dB (A)，本项目通排风系统拟采用低噪声风机并设置减振降噪装置，加上建筑物墙体的隔声作用及学校场址内的距离衰减，噪声较小，无需采用专门的降噪措施。

五、射线装置报废处理

根据《四川省辐射污染防治条例》，“射线装置在报废处置时，使用单位应当对射线装置内的高压射线管进行拆解和去功能化”。报废后需确保射线装置不能正常通电，防止二次使用造成人员误照射。

六、环保措施及其投资估算

本项目总投资 800 万元，环保投资 80.3 万元，占总投资的 10.0%。项目辐射防护措施及其投资估算见表 10-14。

表 10-14 辐射防护设施（措施）及投资估算一览表

项目	设施（设备）	数量	金额（万元）
辐射屏蔽措施	辐射工作场所主体结构（墙体、顶板、底板、门、窗等）屏蔽防护	/	计入主体工程
	注射室手套箱（50mmPb）	1 套	25.0
	解剖室通风橱（含 25mmPb 的 L 型防护屏）	1 套	15.0
	手提式动物转运屏蔽箱（25mmPb）	1 个	0.5
	小动物 PET/CT 间 L 型铅防护屏（8mmPb）	1 个	1.0
	屏蔽笼具（10mmPb）	1 个	3.0
	注射器铅套（3mm 铅当量）	2 个	0.5
	铅屏蔽样本盒（存储用，45mmPb）	1 个	1.0
	铅屏蔽样本盒（转移用，25mmPb）	1 个	0.5
安全装置	储源室、注射室、解剖室、动物饲养间固定式 γ 探头	4 个	0.8
	储源室、注射室、解剖室、动物饲养间、小动物 PET/CT 间、动物尸体暂存间、放射性废物暂存间监控摄像头	7 个	0.7
	储源室双人双锁保险柜	1 个	0.2
	储源室入侵防盗报警装置	1 个	0.1
	门禁系统	1 套	1.0
	控制区、监督区划定地标线及电离辐射警示标识	/	0.1
放射性废水	控制区独立下水系统及排水管道屏蔽设施	1 套	计入主体工程
	两格并联衰变池（总有效容积 3.12m ³ ）	1 座	
放射性固废	放射性废物暂存间、动物尸体暂存间	2 间	计入主体工程
	放射性固废收集铅桶（10mmPb）	3 个	1.5
	放射性固废暂存容器（10mmPb）	4 个	4.0
	冰柜（周围设 10mmPb 铅屏蔽）	1 个	2.0
放射性废气	控制区独立排风及过滤系统	3 套	计入主体工程
个人防护用品	个人剂量报警仪	3 个	3.0
	个人剂量计	3 套	0.3

	铅衣、铅帽、铅眼镜、铅围脖、铅围巾等（0.5mmPb）	3 套	3.0
其它	控制区地面防渗层	/	计入主体工程
监测设备	X-γ辐射剂量率监测仪	1 台	2.0
	人员表面沾污仪	1 台	1.0
	便携式表面沾污仪	1 台	1.0
辐射工作人员上岗学习考核		/	3.0
规章制度上墙		/	0.1
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、备用铅罐等）		/	10.0
合计			80.3

表 11：环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目拟将温江校区弘景 6 号楼一楼 102 室、104-1 室、104-2 室和 104-3 室改造成小动物 PET/CT 实验室，施工期主要包括主体工程施工（包括场地清理、墙体拆除/新建和装饰装修等）和射线装置安装调试阶段。

一、主体工程施工环境影响分析

本项目主体工程施工阶段产污主要为废气、废水、噪声和废渣。

1、大气环境影响分析

主体工程施工阶段废气主要为土建施工产生的少量扬尘和装修废气等。通过采取湿法作业、加强施工设备维护、采用“环保型”油漆及涂料、加强通风或室内空气净化等措施，可尽量降低扬尘和废气对周围环境的影响。

2、水环境影响分析

主体工程施工阶段废水主要为生活污水及少量施工废水。本项目施工产生的生活污水依托校区污水处理设施处理后排入市政污水管网，施工废水采用简易沉淀池沉淀后循环使用，不外排，对地表水环境无影响。

3、声环境影响分析

主体工程施工阶段噪声主要来源于施工现场的各类机械设备噪声，通过采取合理布置施工机具、使用低噪声施工机具、加强施工设备维护、合理安排施工时间、避免高噪声源强设备同时施工、加强对施工场地的噪声管理等措施，能最大限度地减少施工噪声的影响。

4、固体废物影响分析

主体工程施工阶段固体废物主要为建筑垃圾、包装废材和施工人员产生的生活垃圾。产生的废弃物如废材料、废纸张、废包装材料、废塑料薄膜等应妥善保管，及时回收处理；对于不可回收的建筑垃圾，应定点堆放，及时送当地指定的建筑垃圾堆放场；产生的生活垃圾依托校区已有生活垃圾收集设施收集后，交由环卫部门统一处理。

此外，在符合建筑设计和辐射防护要求的前提下，保证各屏蔽体有效衔接，各屏蔽体应有足够的超边量，避免各屏蔽体之间有漏缝产生。

本项目施工期较短，施工量较小，在建设单位的严格监督下，施工方遵守文明施工、合理施工的原则，做到各项环保措施，可使其对环境的影响降至最小程度。施工结束后，项目施工期环境影响将随之消除。

二、射线装置安装、调试期间的环境影响分析

本项目小动物 PET/CT（III类射线装置）的运输、安装、调试均由设备厂家专业人员进行，建设单位不得自行安装及调试设备。射线装置安装调试主要污染因素为 X 射线、臭氧和少量包装废弃物。建设单位应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近，防止辐射事故发生。人员离开时机房必须上锁并派人看守。

由于射线装置的安装和调试均在机房内进行，经过机房墙体、防护门、防护窗的屏蔽和距离衰减后对环境的影响较小。射线装置安装完成后，建设单位需及时回收或处理包装材料等固体废物，不得随意丢弃。

运行阶段对环境的影响

一、辐射环境影响分析

本项目涉及使用非密封放射性物质氟-18 和铅-89，使用 1 台小动物 PET/CT（III 类射线装置），产生的电离辐射包括 X 射线、 β 射线、韧致辐射（X 射线）、 γ 射线。

1、 β 射线辐射影响分析

本项目辐射工作场所设置有足够的空间，放射性核素在整个过程中均采取了有效的屏蔽措施屏蔽 β 射线，同时在整个使用过程中职业人员还穿戴有 0.5mmPb 的防护铅服，且公众与放射性核素之前还采取了距离隔离措施，因此 β 射线对职业人员和公众辐射影响是很小的。

2、韧致辐射（X射线）影响分析

经计算，在操作位距离辐射源 0.5m 处韧致辐射剂量当量率最大为 $4.49 \times 10^{-10} \mu\text{Sv/h}$ ，可知韧致辐射对周围辐射剂量率贡献值很小，因此本次评价可以忽略。

3、 γ 辐射环境影响分析

本次评价主要选择控制区内屏蔽体外表面30cm处，同时选择控制区内手套箱、通风橱等设备外表面30cm处人员操作位进行评价，对于楼上、楼下区域，本次主要

选择使用核素活度较大且人员居留时间较长的区域进行评价。

根据计算：①控制区内房间四周墙体、防护门和观察窗外表面 30cm 处周围剂量当量率最大值为 $2.24\mu\text{Sv/h}$ ，满足 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 控制剂量率要求；②控制区内手套箱、通风橱等设备外表面 30cm 处人员操作位周围剂量当量率最大值为 $1.72\mu\text{Sv/h}$ ，满足 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 控制剂量率要求；通风橱表面 30cm 处非正对人员操作位周围剂量当量率为 $11.8\mu\text{Sv/h}$ ，满足 $25\mu\text{Sv/h}$ 控制剂量率要求。上述屏蔽体外关注点周围剂量当量率均满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的相关要求，因此小动物 PET/CT 实验室的辐射防护屏蔽设计是合理的。

实际运行中，实验动物在用药后等待过程中，由于衰变和体内排出导致动物体内核素的活度不断减少，因而对屏蔽体外的辐射影响也不断降低。

4、III类射线装置辐射环境影响分析

本项目小动物 PET/CT 间内拟新增 1 台小动物 PET/CT（100kV/200 μA ），根据《医用电气设备 第 1-3 部分：基本安全和基本性能的通用要求 并列标准：诊断 X 射线设备的辐射防护》（GB9706.103-2020）中“X 射线管组件和 X 射线源组件在加载状态下的泄漏辐射，当其在相当于基准加载条件下以标称 X 射线管电压运行时，距焦点 1m 处，1h 内在任一 100cm² 区域（主要线性尺寸不大于 20cm）的空气比释动能不应超过 1.0mGy”，经过至少 4.3mm 铅当量（查《辐射防护导论》表 3.5，保守考虑取 150kV 宽束 X 射线铅当量层 0.96mm）墙体、防护门和铅玻璃窗的屏蔽作用，对周围辐射环境的影响较小。

5、职业人员及公众受照剂量预测

根据计算，小动物 PET/CT 实验室职业人员年受照有效剂量最大值为 1.59mSv/a ，满足职业人员 5mSv/a 剂量约束值要求。小动物 PET/CT 实验室周围公众受照年有效剂量最大值为 $4.78 \times 10^{-2}\text{mSv/a}$ ，满足公众 0.1mSv/a 剂量约束值要求。

由于随距离增加，公众受照射剂量将不断减小，因此小动物 PET/CT 实验室 50m 评价范围内的其他公众也满足 0.1mSv/a 的剂量约束值要求。实际上，在动物给药后的过程中，由于衰变导致动物体内核素的活度不断减少，对周围的辐射影响也将不断降低，因此对周围公众影响较小。

二、大气环境影响分析

1、放射性废气

本项目涉及使用的核素氟-18、铅-89 属于液态放射性药物，且属于非挥发性化合物，采用负压瓶进行密封储存，在分装过程中采取注射器进行抽取，并最终通过静脉或腹腔注射注入动物体内，在整个操作过程中不存在裸露液面，注射类药物放射性核素气溶胶挥发量很小，几乎不产生放射性废气。

小动物 PET/CT 实验室通排风系统采用独立设计，共设置 3 套放射性废气排风系统，其中手套箱和通风橱排风经两级过滤系统（柜体顶壁自带放射性废气高效过滤装置+废气排口前端过滤装置）过滤、涉放房间排风经一级过滤系统（废气排口前端过滤装置）过滤引至弘景 6 号楼楼顶，通过 1 个放射性废气排放口进行排放，排气口高于屋面 3m，距地高度 30m。

因此，本项目放射性废气经专用通风设施进行处理后，对周围辐射环境影响较小。

2、非放射性废气

本项目非放射性废气主要包括小动物 PET/CT 的 X 射线与空气发生电离作用产生的少量臭氧，以及小动物饲养过程中产生的少量 NH_3 、 H_2S 等恶臭气体。本项目小动物 PET/CT 属于 III 类射线装置，X 射线能量较小，其臭氧产生量较小；本项目实验动物仅为小鼠或大鼠，且动物数量少、饲养时间短，产生的恶臭气体较少。小动物 PET/CT 间、动物饲养间已设计有排风系统（含在放射性废气排风系统），少量臭氧和恶臭气体经排风管道引至楼顶，经过滤器过滤后排放，对周围大气环境影响较小。

五、水环境影响分析

1、放射性废水

本项目放射性废水主要考虑职业人员不慎受到轻微污染情况下的清洗废水，且每日实验结束后会对场所进行清洁，用水量约 40L/d，年废水量 6800L/a（6.8m³）。本项目衰变池位于弘景 6 号楼北侧绿化带地下，为两格并联式衰变池。衰变池单格有效容积 1.56m³，总有效容积 3.12m³。放射性废水由单独的排水系统排放至衰变池，根据前文衰变池容量可行性分析，衰变池容积能够满足本项目放射性废水的衰变需求。含氟-18 核素的放射性废水暂存时间应超过 30 天后可直接解控排放，含铅-89 核素的放射性废水暂存时间应超过 32.7 天并经监测达标后（总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ ）排放，对地

表水环境影响较小。 2、非放射性废水 非放射性废水主要来自于运行期间工作人员产生的生活污水，该部分废水依托学校已建预处理池处理达标后排入市政污水管网。 六、固体废物环境影响分析 1、放射性固废 本项目产生的放射性固废主要包括：①动物实验使用过的一次性注射器、药棉、口罩、手套、空药瓶、台面/器皿吸收垫、滤纸、清洁抹布、擦拭废物和去污废物等一次性实验耗材；②给药后的动物排泄物及下垫物；③处死或解剖后的放射性动物尸体及组织；④定期更换的废过滤器滤芯。 本项目放射性固废采用专门的铅桶分类收集后，转入放射性废物暂存间或动物尸体暂存间内采用放射性固废暂存容器进行暂存衰变，含氟-18 核素的固体放射性废物暂存时间超过 30 天、含锆-89 核素的固体放射性废物暂存时间超过 32.7 天，经监测达标（辐射剂量率满足所处环境本底水平、β表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$），解控后的动物尸体及组织、动物排泄物及下垫物解控后，集中作无害化处理；注射器、手套、空药瓶等一次性实验耗材及废过滤器滤芯，应按医疗废物进行处理交有资质单位处理。 本项目产生的放射性固废均能得到妥善处置，对周围环境影响较小。 2、非放射性固废 本项目产生的办公、生活垃圾依托校区已建的收集系统进行收集后，及时交由市政环卫清运，对周围环境影响较小。 七、声环境影响分析 本项目噪声主要来源于通排风系统的风机。风机工作时噪声源强最大为 $65\text{dB}(\text{A})$，本项目通排风系统拟采用低噪声风机并设置减振降噪装置，加上建筑物墙体的隔声作用及学校场址内的距离衰减，噪声较小，对周围声环境影响较小。	辐射事故影响分析 一、事故等级判断依据 依据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第 449 号）和《四
---	---

川省生态环境厅（四川省核安全管理局）辐射事故应急预案（2024 年版）》，根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故（Ⅰ级）、重大辐射事故（Ⅱ级）、较大辐射事故（Ⅲ级）和一般辐射事故（Ⅳ级）等四级，详见下表。

表 11-1 辐射事故等级划分表

事故等级	危害结果
特别重大辐射事故（Ⅰ级）	①Ⅰ、Ⅱ类放射源丢失、被盗、失控并造成大范围严重辐射污染后果； ②放射性同位素和射线装置失控导致 3 人及以上急性死亡； ③放射性物质泄漏，造成大范围环境辐射污染后果。
重大辐射事故（Ⅱ级）	①Ⅰ、Ⅱ类放射源丢失、被盗、失控； ②放射性同位素和射线装置失控导致 3 人以下急性死亡或者 10 人及以上急性重度放射病、局部器官残疾； ③放射性物质泄漏，造成较大范围环境辐射污染后果。
较大辐射事故（Ⅲ级）	①Ⅲ类放射源丢失、被盗；放射性同位素和射线装置失控导致 9 人及以下急性重度放射病、局部器官残疾的； ②放射性物质泄漏，造成小范围环境辐射污染后果。
一般辐射事故（Ⅳ级）	①Ⅳ、Ⅴ类放射源丢失、被盗、失控； ②放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射； ③放射性物质泄漏或超标排放，造成局部环境辐射污染后果。

同时根据《职业性外照射急性放射病诊断》（GBZ104-2017），急性放射病发生参考剂量见下表。

表 11-2 急性放射病初期临床反应及受照剂量范围参考值

急性放射病	分度	受照剂量范围参考值
骨髓型急性放射病	轻度	1.0Gy~2.0Gy
	中度	2.0Gy~4.0Gy
	重度	4.0Gy~6.0Gy
	极重度	6.0Gy~10.0Gy
肠型急性放射病	轻度	10.0Gy~20.0Gy
	中度	/
	重度	20.0Gy~50.0Gy
	极重度	/
脑型急性放射病	轻度	50Gy~100Gy
	中度	
	重度	
	极重度	

	死亡	100Gy
二、辐射事故影响分析 (一) 非密封放射性物质辐射事故影响分析 1、事故类型 根据污染源分析本项目可能存在的最大潜在辐射事故包括： (1) 放射性药物发生丢失或被盜； (2) 放射性药物操作不当或因其他原因（如发生火灾等）打翻，完全洒漏。 2、判定因子：环境剂量率 (1) 事故情景假设 ①放射性核素分装过程中导致放射性药物试剂瓶或铅罐打翻或破碎，或其他任何原因造成放射性药物完全洒漏，综合考虑核素用量、照射量常数等因素，本次选取可能造成影响较大的氟-18 进行事故后果分析，以单日最大操作量（包括备药量）即 $3.15 \times 10^9 \text{Bq}$ 计算。 ②泄漏事故持续过程中按点源考虑，丢失的药物被同一人随身携带。 ③保守考虑，受照人员不考虑任何屏蔽措施，不考虑放射性核素随时间的衰变。 (2) 剂量估算 在事故持续时间为 1h、2h、3h 和 4h 的情况下，距辐射源 0.1m 处的γ射线外照射辐射剂量分别为 $4.50 \times 10^1 \text{mSv}$、$9.01 \times 10^1 \text{mSv}$、$1.35 \times 10^2 \text{mSv}$、$1.80 \times 10^2 \text{mSv}$，该值远超《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中公众剂量限值 1mSv/a，构成一般辐射事故。 3、判定因子：手部剂量 (1) 事故情景假设 对于放射性溶液撒漏，考虑可能发生的最大辐射影响的情景，即注射室中放射性药品日最大操作量撒漏时，对工作人员手部造成的辐射影响。 ①假设在分装过程中，工作人员因操作失误，导致盛装放射性核素溶液的容器被打翻或破碎，放射性核素溶液均匀溅射在操作人员手部表面，且操作人员未穿戴防护手套。 ②假设发生事故时洒漏量为某一放射性药品日最大操作量。		

③假设溅洒溶液在手部均匀分布，沾染面积取成人平均手部表面积 280cm²。

④假设发生事故后，工作人员立即进行去污处理，事故持续时间约 2min。

(2) 事故后果影响分析

综合考虑核素用量、照射量常数等因素，本次选取可能造成影响较大的氟-18 进行事故后果分析，以单日最大操作量（包括备药量）即 $3.15 \times 10^9 \text{Bq}$ 计算，并假设日最大操作量的 50% 沾染在手部且均匀分布。

经计算，单次放射性溶液洒漏事故状态下职业人员手部最大受照剂量为 366mSv，未超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量 500mSv 的限值要求，不构成辐射事故，属于辐射事件。

(二) 射线装置和辐射事故影响分析

小动物 PET/CT 属于 III 类射线装置，X 射线能量不大，剂量率较小。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第 449 号），III 类射线装置失控可能构成的辐射事故为一般辐射事故。

综上，本项目可能发生的辐射事故等级最大为一般辐射事故。

三、事故防范措施

上述辐射事故可以通过完善辐射防护安全设施、制定相关管理规章制度和辐射事故应急措施加以防范，将辐射环境风险控制在可接受水平。针对在运行过程中可能发生的事故，尽可能地减小或控制事故的危害和影响，本次评价提出以下防范措施。

1、定期认真地对本单位非密封放射性物质和射线装置的安全防护措施/设施的安全防护效果进行检测或者检查，制定并落实完善的辐射安全规章制度并有专人监督核实各项管理制度的执行情况，对发现的安全隐患立即进行整改，避免事故发生。

2、射线装置操作必须有明确的操作规程，操作人员应定期培训，使之熟练操作，并严格按照操作规程进行操作，做好个人的防护。

3、严格执行放射性核素安全管理制度，设专人负责，做好核素的领取、使用登记工作，确保放射性药物的安全。储源室设置防盗门及报警装置等设施，做好防火防盗工作。

4、加强放射性废物的管理，对贮存的放射性废物在废物桶外标明放射性废物的类

型、核素种类和存放日期的说明，并做好相应的记录。放射性废水和放射性固废经足够长的时间衰变后，方可排放或按照普通医疗垃圾处理，并做好监测记录。

5、正确穿戴个人防护用品，主要包括工作服、工作鞋、帽等基本防护用品，以及铅防护衣、防护镜等附加防护用品。工作人员进入监督区必须穿戴辐射防护用品，个人剂量计佩戴于铅衣内部左胸前。在进行分装及注射放射性药物时穿铅衣、戴口罩、手套，必要时戴防护眼镜。尽量利用长柄钳、镊子等工具操作，增加与放射性药物的距离。为实验动物注射放射性药物时，工作人员手部有一定受照量，操作者应使用注射器屏蔽设施。

6、严格按照辐射监测计划进行辐射水平监测，如果监测结果表明屏蔽体外辐射水平偏高，应适当加强屏蔽。

7、射线装置每次开机前，应检查机房安全装置（如监控系统、门机联锁装置、门灯联锁装置、紧急制动按钮等）的有效性，确保一切正常并安全的情况下，射线装置才能进行开机运行。

8、所有辐射工作人员均需参加辐射安全与防护考核，取得合格证书方可从事辐射活动。

9、射线装置安装调试时，必须由厂家专业人员负责完成，安装调试时关闭防护门，并在机房门外设立辐射警示标志。

10、辐射防护管理人员要经常对辐射工作场所进行巡视检查，及时纠正不利于辐射安全防护的行为。

四、事故应急措施

发生辐射事故时，采取的应急处理措施如下：

1、非密封放射性物质

（1）由于操作不慎，有少量的液态药物溅洒。发生这种事故应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。然后用备用的塑料袋装清洗过程中产生的污染物品和湿的药棉、纸巾，从溅洒处移去垫子，用药棉或纸巾擦抹，应注意从污染区的边沿向中心擦抹，直到擦干污染区。最后用表面沾污仪测量污染区，如 β 表面污染大于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，表明该污染区未达到标准，这时应用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，直到该污染区 β 表面污染小于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 为止。

(2) 因不慎造成放射性核素大面积污染了地面或台面时，应先用吸收滤纸将其吸干，以防扩散，并立即标记污染范围，注明放射性核素名称、日期。根据污染程度及时报告上级领导和有关部门。人体溅污放射性核素时，应先用吸水纸吸干体表，避免污染面积扩大，之后根据不同核素分别去污，最终去污标准需达到 β 表面污染小于 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

(3) 若发生放射性同位素丢失、被盗，应第一时间将事故情况通报有关（环保、公安、卫生等）主管部门；分析确定丢失、被盗事故的具体时间及原因，向相关部门提供信息，根据有关线索，组织人员协同相关部门查找丢失、被盗放射性同位素，在查找过程中携带辐射监测仪器，防止事故处理人员受到照射；对放射性同位素丢失前存放场所进行监测，根据现场辐射剂量率的大小确定是否受污染。如现场受到污染出现辐射剂量率异常情况，根据辐射剂量率大小划定警戒线，撤离警戒区域内的所有人员，事故处理人员应穿戴防护用品，佩戴个人剂量计进入事故现场。

(5) 放射性废物处置或管理不当造成污染时，立即划定警戒区，并设置放射性污染标识，限制无关人员靠近，由专业人员处理，经监测满足解控要求后再解除警戒。

2、射线装置

如出现人员误入射线装置机房或射线装置失控，应立即消除事故源，防止事故继续蔓延和扩大，即第一时间断开电源（如立即启动“紧急制动开关”），停止 X 射线的产生，并对受误照射人员进行医学诊断和观察。

表 12：辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

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，使用非密封放射性物质工作场所和Ⅲ类射线装置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。

成都中医药大学针灸推拿学院于 2025 年 4 月成立了辐射安全与防护管理领导小组（成中医针推发[2025]11 号）。

辐射安全与防护管理领导小组的主要职责：①负责学院辐射安全与防护管理工作；②组织对各项有关辐射安全与防护管理规章制度的制定和修订工作，并负责对学院相关辐射管理规章制度、防护措施落实情况进行监督和检查；③组织实施辐射安全与防护相关法律法规的培训学习，并落实辐射工作人员上岗培训计划；④负责辐射工作人员个人剂量和健康管理，并组织开展辐射工作场所进行年度监测和年度评估报告的编制工作；⑤负责对学院所有辐射安全与防护设施、设备进行定期保养，做好保养记录，如有损坏及时协同相关部门进行处理。

二、辐射工作岗位人员配置和能力分析

本项目小动物 PET/CT 实验室由针灸推拿学院进行管理，拟设置 3 名辐射工作人员，均为新增辐射工作人员，根据《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），新从事辐射活动的人员，应通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）进行相关知识学习，通过生态环境部培训平台报名并参加考核，取得辐射安全培训合格证书后方可从事辐射活动。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，考核合格的人员，每 5 年接受一次再学习考核。本项目投运以后，建设单位可根据实际发展情况适当增减辐射工作人员。

辐射安全管理规章制度

一、档案分类管理

建设单位应对本项目相关资料分类归档，档案资料应包括以下九大类：“制度文件”、“环评资料”、“许可证资料”、“射线装置台账”、“监测和检查记录”、“个人剂量档案”、“培

训档案”、“辐射应急资料”、“废物处置记录”，并由专人进行管理。

二、规章制度

根据《生态环境部核技术利用监督检查技术程序》（2020 发布版）和《关于印发<四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）>的通知》（川环函[2016]1400 号）的相关要求中的相关规定，建设单位需补充的内容见表 12-1。

表 12-1 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）	拟制定
2		放射性药物管理规定	
3		辐射工作场所安全保卫制度	
4		射线装置台账管理制度	
5	场所	场所分区管理规定（含人流、物流路线图）	
6		非密封放射性物质操作规程	
7		去污操作规程	
8		射线装置操作规程	
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）	
10	监测	监测方案	
11		监测仪表使用与校验管理制度	
12	人员	辐射工作人员培训/再培训管理制度	
13		辐射工作人员个人剂量管理制度	
14		辐射工作人员岗位职责	
15	应急	辐射事故/事件应急预案	
16	三废	放射性“三废”管理规定	
17	大纲	质量保证大纲和质量控制检测计划	

建设单位需在辐射安全与防护管理领导小组的组织下及时补充上述规章制度，明确各部门人员责任，并严格落实。建设单位需定期对辐射安全规章制度执行情况进行评议，且应根据国家发布的新的相关法规内容，结合实际及时对各项规章制度补充修改，使之更能符合实际需要。

同时根据《关于印发<四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）>的通知》（川环函[2016]1400 号），辐射工作场所职业人员操作室或办公室内需将“辐射工作场所安全管理制度”、“操作规程”、“辐射工作人员岗位职责”和“应急响应程序”的内容张贴上墙，且上墙制度的长宽尺寸不得小于 600mm×400mm。

辐射监测

根据《四川省辐射污染防治条例》“使用放射性同位素和射线装置的单位应当建立辐射监测制度，组织对从业人员个人辐射剂量、工作场所及周围环境进行监测，并建立相应档案”，又根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）、《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）、《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）中的相关规定，本项目个人辐射剂量、工作场所及周围环境监测要求如下。

1、个人剂量监测

项目建成投运后，建设单位应保证每名辐射工作人员均配备个人剂量计，并根据原四川省环境保护厅“关于进一步加强辐射工作人员个人剂量管理的通知”（川环办发[2010]49号）做好个人剂量管理的工作。根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）个人剂量常规监测周期一般为1个月，最长不应超过3个月，建设单位应建立个人剂量档案（包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等信息），并将个人剂量档案保存终身。

辐射工作人员在日常接触辐射工作过程中应正确佩戴个人剂量计，于比较均匀的辐射场，当辐射主要来自前方时，剂量计应佩戴在人体躯干前方中部位置，一般在左胸前或锁骨对应的领口位置；当辐射主要来自人体背面时，剂量计应佩戴在背部中间。对放射性药物分装与注射等全身受照不均匀的工作情况，应在铅围裙外锁骨对应的领口位置佩戴剂量计，并建议采用双剂量计监测方法（在铅围裙内躯干上再佩戴另一个剂量计），且宜在身体可能受到较大照射的部位佩戴局部剂量计（如头箍剂量计、腕部剂量计、指环剂量计等）。

当单个季度个人剂量超过1.25mSv时，建设单位要对该辐射工作人员进行干预，要进一步调查明确原因，并由当事人在情况调查报告上签字确认；当全年个人剂量超过5mSv时，建设单位需进行原因调查，并最终形成正式调查报告，经本人签字确认后，上报发证机关，检测报告及有关调查报告应存档备查；当单年个人剂量超过50mSv时，立即暂停该辐射工作人员继续从事放射性作业，同时进行原因调查，若构成辐射事故，建设单位应当立即启动辐射事故应急预案，有关检测报告及调查报告应存档备查。

2、辐射工作场所监测

(1) 监测内容:

- ①非密封放射性物质工作场所： γ 辐射空气吸收剂量率、 β 表面污染。
- ②Ⅲ类射线装置机房： γ 辐射空气吸收剂量率。
- ③其他：衰变池废水：总 β ；放射性固废： γ 辐射空气吸收剂量率、 β 表面污染。

(2) 监测布点及数据管理：监测布点应与验收监测布点一致（详见表 12-3），监测数据应记录完善，并将数据实时汇总，建立好监测数据台账以便核查。

(3) 监测频度：对于 γ 辐射空气吸收剂量率和 β 表面污染，建设单位应自行配备监测仪器进行定期监测；对于废水总 β ，含锆-89 核素的放射性废水暂存时间超过 10 倍半衰期排放时，经有资质单位监测达标（总 β 不大于 10Bq/L）排放。另外，需委托有资质单位在项目投运后开展验收监测，并在投运后每年定期开展年度监测，监测报告附到年度评估报告中，于每年 1 月 31 日前将评估报告上传至全国核技术利用辐射安全申报系统（网址：<http://rr.mee.gov.cn>）。

(4) 监测范围:

①非密封放射性物质工作场所：控制区内所有区域、控制区外临近房间的 γ 辐射空气吸收剂量率；控制区内人员易接触的工作台、地面、墙面、桌椅等的 β 表面污染。

②Ⅲ类射线装置机房：机房屏蔽体（墙体、防护门、观察窗）外及穿线孔洞处、控制室操作台和机房楼上、楼下区域 γ 辐射空气吸收剂量率。

(5) 监测设备：X- γ 辐射剂量率仪、 β 表面沾污仪、手脚沾污仪。

(6) 质量保证：建设单位开展自行监测应制定监测仪表使用、校验管理制度，并利用上级监测部门或有资质监测单位的监测数据与自行监测数据进行比对，建立监测仪器比对档案。

3、年度监测报告情况

建设单位应于每年 1 月 31 日前将上年度的《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》上传至全国核技术利用辐射安全申报系统（网址：<http://rr.mee.gov.cn>），近一年（四个季度）个人剂量检测报告和辐射工作场所年度监测报告应作为《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》的重要组成部分一并提交给发证机关。建设单位应按照《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》（川环函[2016]1400 号）规定的格式编写《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》。

建设单位必须在“全国核技术利用辐射安全申报系统”（网址：<http://rr.mee.gov.cn>）中实施申报登记。重新申领、延续、变更许可证，新增、注销以及单位信息变更、个人剂量、年度评估报告等信息均应及时在系统中申报。

辐射事故应急

一、建设单位成立了辐射安全与防护管理领导小组，全面负责学校的辐射事故应急工作。

二、为了加强对非密封放射性物质和射线装置的安全和防护的监督管理，促进非密封放射性物质和射线装置的安全使用，保障人体健康，保护环境，建设单位需根据最新要求制定并完善《辐射事故应急预案》，其内容应包括：①应急机构和职责分工；②应急人员的组织；③培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；④辐射事故分级及应急响应措施；辐射事故调查、报告和处理程序。建设单位应做好应急人员的组织培训和应急及救助的装备、资金、物资准备，并将本项目纳入应急适用范围。辐射事故应急应纳入本单位安全生产事故应急管理体系，定期组织演练。

三、一旦发生辐射事故，立即启动应急预案，采取必要的防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，由辐射安全与防护管理领导小组逐级上报当地生态环境主管部门，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告，并及时组织专业技术人员排除事故，配合各相关部门做好辐射事故调查工作。

表 13：结论与建议

结论

一、项目概况

项目名称：成都中医药大学温江校区新建小动物 PET/CT 实验室核技术利用项目

建设单位：成都中医药大学

建设性质：新建

建设地点：成都市温江区柳台大道 1166 号成都中医药大学温江校区内

建设内容：拟在成都市温江区柳台大道 1166 号成都中医药大学温江校区的弘景 6 号楼一楼新建一个乙级非密封放射性物质工作场所（小动物 PET/CT 实验室），拟将弘景 6 号楼一楼 102 室（图像分析室）、104-1 室（激光共聚焦室）、104-2 室（双光子室）和 104-3 室（显微成像室）改造成小动物 PET/CT 实验室，涉及使用非密封放射性物质氟-18 和铅-89，使用 1 台小动物 PET/CT（III 类射线装置）。

二、本项目产业政策符合性分析

本项目属于核技术在医学领域应用，根据中华人民共和国国家发展和改革委员会令 第 7 号《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目属鼓励类第六项“核能”第 4 条“核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”，符合国家产业发展政策。

三、本项目选址及平面布局合理性分析

学校所在区域道路、给排水、电力等城市基础配套设施完善，为项目建设提供了良好条件；学校周围没有项目建设的制约因素，且本项目辐射工作场所相对独立，为专门的辐射工作场所，本项目产生的辐射通过采取相应的治理措施后对周围环境影响较小，其选址是合理的。本项目辐射工作场所根据工作要求、有利于辐射防护和环境保护来进行布置，功能分区明确，既能有机联系，又不互相干扰；在设计阶段，辐射工作场所进行了合理的优化布局，并兼顾了实验工作需求，其平面布置是合理的。

四、工程所在地区环境质量现状

根据现状监测，本项目拟建地及周围各监测点 β 表面污染活度范围为低于仪器测量下限（ $<0.01\text{Bq}/\text{cm}^2$ ） $\sim 0.02\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。本项目拟建地及周围各监测点 X- γ 辐射剂量率范围为 $8.5 \times 10^{-8}\text{Gy}/\text{h} \sim 10.5 \times 10^{-8}\text{Gy}/\text{h}$ （即 $85\text{nGy}/\text{h} \sim 105\text{nGy}/\text{h}$ ），与《2023 年成都市环境质量公报》

中环境 γ 辐射剂量率连续自动监测年均值范围（67nGy/h~119nGy/h）相当，处于当地天然本底涨落范围。

五、环境影响评价结论

1、辐射环境影响分析

经模式预测，在正常工况下，对职业人员造成的年附加有效剂量低于本次评价 5mSv 的职业人员年剂量约束值，对公众造成的年附加有效剂量低于本次评价 0.1mSv 的公众人员年剂量约束值。

2、大气的环境影响分析

本项目非密封放射性物质工作场所产生的少量放射性废气、臭氧、氮氧化物和恶臭气体（NH₃、H₂S）经独立排风管道引至楼顶经过滤器过滤后排放，对周围环境影响较小。

3、废水的环境影响分析

本项目放射性废水通过专用管道排至衰变池暂存，含氟-18 核素的放射性废水暂存时间应超过 30 天后可直接解控排放，含铅-89 核素的放射性废水暂存时间应超过 32.7 天并经监测达标后（总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ ）排放，对地表水环境影响较小。

本项目非放射性废水依托学校已建预处理池处理达标后排入市政污水管网，对地表水环境影响较小。

4、固体废物的环境影响分析

本项目放射性固废采用专门的铅桶分类收集后，转入放射性废物暂存间或动物尸体暂存间内采用放射性固废暂存容器进行暂存衰变，含氟-18 核素的固体放射性废物暂存时间超过 30 天、含铅-89 核素的固体放射性废物暂存时间超过 32.7 天，经监测达标（辐射剂量率满足所处环境本底水平、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 ），解控后的动物尸体及组织、动物排泄物及下垫物解控后，集中作无害化处理；注射器、手套、空药瓶等一次性实验耗材及废过滤器滤芯，应按医疗废物进行处理交有资质单位处理。本项目产生的放射性固废均能得到妥善处置，对周围环境影响较小。

本项目产生的办公、生活垃圾依托校区已建的收集系统进行收集后，及时交由市政环卫清运，对周围环境影响较小。

5、声环境影响分析

本项目噪声主要来源于通排风系统的风机。风机工作时噪声源强最大为 65dB(A)，

本项目通排风系统拟采用低噪声风机并设置减振降噪装置，加上建筑物墙体的隔声作用及学校场址内的距离衰减，噪声较小，对周围声环境影响较小。

六、事故风险与防范

建设单位需按本报告提出的要求补充制定相关安全管理规章制度和辐射事故应急预案，项目建成投运后，应认真贯彻实施，以减少和避免发生辐射事故与突发事件。

七、环保设施与保护目标

建设单位需按环评要求配备较全、效能良好的环保设施，使本次环评中确定的绝大多数保护目标，所受的辐射剂量，保持在合理的、可达到的尽可能低的水平。

八、辐射安全管理的综合能力

建设单位辐射安全管理机构健全，有领导分管，人员落实，责任明确，辐射工作人员配置合理，拟制定辐射事故应急预案与安全规章制度；环保设施总体效能良好，可满足防护实际需要。在一一落实设计的环保设施和相关法律法规的要求后，具备本项目辐射安全管理的综合能力。

九、项目环保可行性结论

建设单位在采取切实可行的环保措施，落实本报告提出的各项污染防治措施后，本评价认为，本项目在成都市温江区柳台大道 1166 号成都中医药大学温江校区内建设，从环境保护和辐射安全角度看是可行的。

建议

1、认真学习贯彻国家相关的环保法律、法规，不断提高遵守法律的自觉性和安全文化素养，切实做好辐射安全管理工作。

2、不断提高工作人员素质，增强职业人员辐射安全意识，做好辐射防护设施、设备的维护保养，避免发生辐射事故。

3、实际运行中，建设单位应严格落实辐射安全防护的各项规章制度，应结合实际工作负荷和职业人员个人剂量检测结果等因素，合理分摊职业人员的工作量，确保职业人员个人剂量满足 1.25mSv/季度和 5mSv/a 的剂量约束值要求。

承诺

1、项目投运前，建设单位登录“全国核技术利用辐射安全申报系统”（<http://rr.mee.gov.cn>），对使用的射线装置和非密封放射性物质相关信息进行填写，并按相关要求申领《辐射安全许可证》。

2、所有新增辐射工作人员需通过国家生态环境部的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（<http://fushe.mee.gov.vn>）学习并考核合格后上岗。

3、项目建成投运后定期开展场所和环境的辐射监测，据此对所用的射线装置和非密封放射性物质的安全防护状况进行年度评估，并根据《关于四川省环境保护厅关于印发<放射性同位素与射线装置安全防护状况年度评估报告格式（试行）>的通知》（川环发[2016]152号）编写辐射安全和防护状况年度自查评估报告，于每年1月31日前上传至全国核技术利用辐射安全申报系统（<http://rr.mee.gov.cn>）。

4、项目应按照国家相关法律法规尽快进行验收。

5、接受生态环境主管部门的监督检查。

项目竣工验收检查内容

根据《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 682 号令），工程建设执行污染治理设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用的“三同时”制度。项目投入运行后，建设单位应当按照国务院环境保护行政主管部门规定的标准和程序，自行对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告，并依法向社会公开验收报告。