

核技术利用建设项目

西安交通大学全球环境变化研究院 同位素实验室搬迁项目 环境影响报告表

仅供报批公示使用

西安交通大学

2021年9月

环境保护部监制

核技术利用建设项目

西安交通大学全球环境变化研究院 同位素实验室搬迁项目 环境影响报告表

仅供报批公示使用

建设单位名称：西安交通大学

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：陕西省西咸新区沣西新城中国西部科技创新港

邮政编码：712000

联系人：贾雪雪

电子邮箱：Jiaxue@xjtu.edu.cn

联系电话：18629005513

表 1 项目基本情况

建设项目名称		西安交通大学全球环境变化研究院同位素实验室搬迁项目			
建设单位		西安交通大学			
法人代表	王树国	联系人	贾雪雪	联系电话	18629005513
注册地址		陕西省西安市咸宁西路 28 号			
项目建设地点		西咸新区沣西新城中国西部科技创新港弘润楼（19 号巨构）5 层			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资（万元）	400	项目环保投资（万元）	30	投资比例（环保投资/总投资）	7.5%
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它		占地面积（m ² ）	/
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类(医疗使用) <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input checked="" type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
<input type="checkbox"/> 使用		<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类			
其他	/				
<p>项目概述</p> <p>1、建设单位简介</p> <p>西安交通大学是国家教育部直属重点大学，是一所具有理工特色，涵盖理、工、医、经、管、文、法、哲、教、艺等 9 个学科门类的综合性研究型大学。学校设有 27 个学院（部、中心）、9 个本科生书院和 3 所直属附属医院。现有在编教工 6538 人，包括两院院士 44 名、国家级教学名师 7 名、国家杰出青年科学基金获得者 49 名；现有学生 46323 名，设有本科专业 90 个、博士学位授权一级学科 32 个、硕士学位授权一级学科 41 个、博士专业学位授权点 5 个、硕士专业学位授权点 27 个、博士后流动站 30 个，拥有多个国家重点实验室、国家工程实验室、国家国际科技合作基地、省部级重点科研基地。建有国家西部能源研究院、中国西部质量科学与技术研究院。</p> <p>学校现有兴庆、雁塔、曲江和中国西部科技创新港 4 个校区，总占地面积约 4480</p>					

亩，各类建筑总面积约 400 万平方米。其中中国西部科技创新港（以下简称“创新港”）位于西咸新区沣西新城，已在理、工、医、社科 4 个领域建立了 8 大平台、29 个研究院和 300 多个科研基地，整合了科研、教育、转孵化、综合服务四大功能，是“校区、园区、社区”三位一体的创新体、技术与服务的结合体、科技与产业的融合体。

2、项目由来及建设目的

西安交通大学全球环境变化研究院成立于 2010 年 1 月，现址位于西安市雁翔路 99 号交大曲江校区西一楼。2012 年，全球环境变化研究院放射性同位素使用核技术应用项目进行了环境影响评价，同年取得批复（陕环批复〔2012〕731 号）并更换了辐射安全许可证，许可范围为丙级非密封放射性工作场所，放射性同位素种类及使用量等见表 1-1。该项目正在进行验收，待本次搬迁后实施退役，本次评价不包括退役。

表 1-1 项目原许可情况非密封放射性物质

序号	同位素名称	场所等级	活动种类	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)
1	U-234	丙级	使用	6×10^5	6×10^6
2	Pb-202	丙级	使用	6×10^2	6×10^6
3	Sr-85	丙级	使用	6×10^3	6×10^6
4	Th-232	丙级	使用	6×10^2	6×10^6
5	Th-229	丙级	使用	6×10^5	6×10^6
6	Pb-205	丙级	使用	6×10^2	6×10^6
7	U-238	丙级	使用	6×10^2	6×10^6
8	Sr-90	丙级	使用	6×10^4	6×10^7
9	U-235	丙级	使用	6×10^2	6×10^6
10	U-236	丙级	使用	6×10^4	6×10^6
11	Np-237	丙级	使用	6×10^4	6×10^7
12	Th-230	丙级	使用	6×10^5	6×10^6
13	U-233	丙级	使用	6×10^5	6×10^6

根据学校的发展规划，全球环境变化研究院从原曲江校区搬迁至创新港校区，同位素实验室需要随之搬迁至创新港弘润楼（19 号巨构）5 层。同位素实验室包括超净实验室、铀系年代学实验室、稳定同位素实验室、三氧同位素实验室、流体包裹体实验室、有机地球化学实验室及微量元素实验室等，其中超净实验室、铀系年代学实验室为放射性同位素使用场所，主要通过铀系年代学实验进行全球气候变化研究，为本次评价范围；其他稳定同位素实验室、三氧同位素实验室为常规实验室，不涉及放射性同位素的使用，主要进行其他地球化学相关实验，不属于本次评价范围，其余

实验室已搬迁完成。

根据实验室提供的资料，本次搬迁项目涉及²⁰²Pb、²⁰⁵Pb、²²⁹Th、²³⁰Th、²³³U、²³⁴U、²³⁵U、²³⁶U、²³⁸U、²³⁷Np等10种放射性同位素的使用，⁸⁵Sr、⁹⁰Sr、²³²Th等3种放射性同位素原环评后一直未开展相关实验，搬迁后也不准备开展，因此不再评价。搬迁后仍属于丙级非密封放射性物质工作场所。

根据《中华人民共和国环境影响评价法》和《建设项目环境保护管理条例》，本项目需进行环境影响评价。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021年版），“五十五、核与辐射—172、核技术利用建设项目—制备PET用放射性药物的；医疗使用I类放射源的；使用II类、III类放射源的；生产、使用II类射线装置的；乙、丙级非密封放射性物质工作场所（医疗机构使用植入治疗用放射性粒子源的除外）；在野外进行放射性同位素示踪试验的”，需编制环境影响报告表。本项目属于丙级非密封放射性物质工作场所，应编制环境影响报告表。

西安交通大学全球环境变化研究院于2021年6月委托我单位对同位素实验室搬迁项目进行环境影响评价，接受委托后，我单位组织有关技术人员对该项目进行了实地踏勘、资料收集、现场监测等工作，按照《辐射环境保护管理导则—核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）的基本要求，编制完成了《西安交通大学全球环境变化研究院同位素实验室搬迁项目环境影响报告表》。

3、产业政策符合性及实践正当性分析

本项目利用放射性同位素进行科学研究，系核技术在科研领域内的运用，属于《产业结构调整指导目录（2019年本）》“鼓励类”中“六、核能—6、同位素、加速器及辐照应用技术开发”项目，符合国家产业政策。

本项目建成后主要用于年代学实验及全球气候和环境变化研究，通过年代学样品的化学处理和仪器测试，为相关科研工作提供可靠的技术支撑。项目放射性同位素使用量相对较少，通过合理的防护措施，可将人员的受照剂量降到最低，在综合考虑社会、经济和其他因素之后，放射性同位素对受照个人或社会所带来的效益远大于可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”的要求。

4、建设规模

(1) 建设内容

西安交通大学全球环境变化研究院同位素实验室搬迁项目涉及的非密封放射性物质工作场所包括超净实验室、铀系年代学实验室等，使用的放射性同位素包括 ^{202}Pb 、 ^{205}Pb 、 ^{229}Th 、 ^{230}Th 、 ^{233}U 、 ^{234}U 、 ^{235}U 、 ^{236}U 、 ^{238}U 、 ^{237}Np ，共计 10 种。

实验室购买的放射性同位素产品一般密封于安瓿瓶中，为 1ml、2ml 或 5ml 的核素溶液，一般由供应商配送至实验室，存放于超净实验室实验三区的专用保险柜中，使用时在实验三区专用超净安全柜中进行溶解、稀释，制成活度浓度极低的稀释剂后暂存于该安全柜中，随后根据需要每 2 个月分装约 60g 至小试剂瓶中，暂存于实验二区专用超净安全柜，用于实验一区、二区、四区的化学分析，化学分析后的样品在铀系年代学实验室质谱仪上进行测定。

(2) 工作场所分级

根据放射性同位素的使用过程，可将本项目工作场所分为 3 个区域：稀释剂贮存与制备区、化学分析区及测定分析区。其中稀释剂贮存与制备区包括实验三区和天平间，主要用于放射性同位素的贮存、稀释剂制备和分装，核素使用量最大；化学分析区包括实验一区、二区和四区，使用分装好的放射性同位素稀释剂进行实验，核素使用量较少；测定分析区包括铀系年代学实验室及其配套缓冲区，放射性同位素使用量最少。

根据《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），满足“1、有相对独立、明确的监督区和控制区划分；2、工艺流程连续完整；3、有相对独立的辐射防护措施”的场所应作为一个单独场所进行日等效操作量核算。本项目 3 个区域工艺流程连续完整，因此应作为一个场所进行日等效操作量核算，同时为便于分区防护，对每个区域的放射性同位素日最大操作量分别进行统计。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C 中“非密封源工作场所的分级要求”，使用以下公式计算日等效最大操作量。

$$\text{日等效最大操作量} = \frac{\text{日实际操作量} \times \text{毒性组别修正因子}}{\text{操作方式修正因子}}$$

① 稀释剂贮存与制备区

根据原实验室的实际使用情况，由于放射性同位素均需要进口，受各种因素影响，购买较为困难，实际每 3~5 年才能够购买到 1 次，因此为保证科研实验的顺利

进行，每次购买量较多，每年取其中的一部分稀释使用，其余暂存。

根据实验室提供的核素产品说明书，已购买过的核素产品情况见表 1-2，实验室现有核素台账见表 1-3。²⁰²Pb、²⁰⁵Pb、²³⁰Th 等核素后期规划购买。

表 1-2 实验室已购买核素产品情况

序号	产品型号	产品规格	单组/支产品所含核素种类及活度 (Bq)	实验室已购买情况	实验室总购买活度 (Bq)
1	IRMM-074	1 组 10 支，以组为单位出售	²³³ U: 3.39×10 ⁴ ²³⁵ U: 75.7 ²³⁸ U: 12	1 组	3.40×10 ⁴
2	IRMM-3636	单支出售	²³³ U: 1.79×10 ⁵ ²³⁴ U: 42 ²³⁶ U: 1.20×10 ³	1 支	1.81×10 ⁵
3	CRM U500	单支出售	²³⁴ U: 1.19×10 ⁴ ²³⁵ U: 3.95×10 ² ²³⁶ U: 18.1 ²³⁸ U: 62	1 支	1.24×10 ⁴
4	CRM-112A	单支出售	²³⁴ U: 4.78×10 ⁴ ²³⁵ U: 2.28×10 ³ ²³⁸ U: 4.92×10 ⁴	1 支	9.93×10 ⁴
5	NP237	单支出售	3.7×10 ⁴	1 支	3.7×10 ⁴
6	NIST-Th229	单支出售	1.83×10 ³	10 支	1.83×10 ³

表 1-3 现有非密封放射性物质台账

序号	核素	总活度 (Bq)	用途	来源	使用情况
1	²³³ U	2.5×10 ⁴	稀释剂	IRMM (欧洲标准局)	在库
2	²³⁶ U	1.2×10 ³	稀释剂	IRMM (欧洲标准局)	在库
3	²³⁵ U	394.9	稀释剂	New Brunswick Laboratory (美国能源中心)	在库
4	²³⁸ U	4.9×10 ³	稀释剂	New Brunswick Laboratory (美国能源中心)	在库
5	²³⁴ U	5.97×10 ⁴	稀释剂	New Brunswick Laboratory (美国能源中心)	在库
6	²³⁷ Np	3.7×10 ⁴	稀释剂	Ecker & Ziegler	在库
7	²²⁹ Th	1.8×10 ²	稀释剂	NIST (美国国家标准技术研究所)	在库
8	²³³ U	1.1×10 ⁴	稀释剂	IRMM (欧洲标准局)	使用
9	²³⁶ U	73.6	稀释剂	IRMM (欧洲标准局)	使用
10	²²⁹ Th	9.15×10 ²	稀释剂	NIST (美国国家标准技术研究所)	新增入库

注：在库即贮存状态，使用指原场所中已稀释使用。

现有核素的使用情况为：²³³U、²³⁴U、²³⁵U、²³⁶U、²³⁸U 等核素每年最多稀释 1 次，每次从 1 支产品中称量少许；²²⁹Th 每年最多使用 3 支产品，稀释 3 次；²³⁷Np 购买后使用次数及用量较少。

综上所述，稀释剂贮存与制备区涉及源的贮存和稀释、分装等简单操作 2 种使用方式。源的贮存根据现有核素实际使用情况及现有台账量，并考虑为后期发展留有余地，搬迁后实验室 ²³³U、²³⁴U、²³⁵U、²³⁶U、²³⁸U 等核素贮存总活度以 1~4 号产

品各 2 支进行计算；²³⁷Np 贮存总活度以 1 支 5 号产品计算；²²⁹Th 贮存总活度以 15 支 6 号产品进行计算；²³⁰Th 总活度以存有 15 支产品（参考 NIST-4342A，每件产品 210Bq）计算；²⁰²Pb、²⁰⁵Pb 总活度以 2×10^5 Bq 计算，以上活度可满足日常科研需要及实验室的发展需求，以确保在无法购买的情况下也能够继续相关研究。简单操作时称量过程需将单支产品取出称量，因此日最大操作量保守以各核素单支产品的初始最大活度计算。

综上，稀释剂贮存与制备区的日等效最大操作量即本项目的日等效最大操作量，其余区域的放射性同位素都来源于稀释剂贮存与制备区。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C 确定各核素毒性修正因子及操作方式修正因子。稀释剂贮存与制备区的放射性同位素使用情况见表 1-4。

表 1-4 放射性同位素使用情况一览表

核素名称	年用量 (Bq)	毒性分组	毒性修正因子	操作方式	操作方式修正因子	日最大操作量 (Bq)		日等效操作量 (Bq)		豁免活度 (Bq)
						简单操作	源的贮存	简单操作	源的贮存	
²⁰² Pb	2×10^5	低毒	0.01	简单操作	1	1×10^5	2×10^5	1×10^3	1.01×10^3	1×10^6
				源的贮存	100	1×10^5		1×10^1		
²⁰⁵ Pb	2×10^5	低毒	0.01	简单操作	1	1×10^5	2×10^5	1×10^3	1.01×10^3	1×10^7
				源的贮存	100	1×10^5		1×10^1		
²²⁹ Th	2.75×10^3	极毒	10	简单操作	1	1.83×10^2	2.75×10^3	1.83×10^3	2.09×10^3	1×10^3
				源的贮存	100	2.56×10^3		2.56×10^2		
²³⁰ Th	3.15×10^3	极毒	10	简单操作	1	2.10×10^2	3.15×10^3	2.10×10^3	2.39×10^3	1×10^4
				源的贮存	100	2.94×10^3		2.94×10^2		
²³³ U	4.26×10^5	极毒	10	简单操作	1	1.79×10^5	4.26×10^5	1.79×10^6	1.81×10^6	1×10^4
				源的贮存	100	2.47×10^5		2.47×10^4		
²³⁴ U	1.19×10^5	极毒	10	简单操作	1	4.78×10^4	1.19×10^4	4.78×10^5	4.85×10^5	1×10^4
				源的贮存	100	7.17×10^4		7.17×10^3		
²³⁵ U	5.49×10^3	低毒	0.01	简单操作	1	2.28×10^2	5.49×10^3	2.28×10^1	2.31×10^1	1×10^4
				源的贮存	100	3.22×10^3		3.22×10^{-1}		
²³⁶ U	2.44×10^3	高毒	1	简单操作	1	1.20×10^3	2.44×10^3	1.2×10^3	1.21×10^3	1×10^4
				源的贮存	100	1.24×10^3		1.24×10^1		
²³⁸ U	9.85×10^4	低毒	0.01	简单操作	1	4.92×10^4	9.85×10^4	4.92×10^2	4.97×10^2	1×10^4
				源的贮存	100	4.93×10^4		4.93		
²³⁷ Np	3.7×10^4	高毒	1	简单操作	1	3.7×10^4	3.7×10^4	3.7×10^4	3.7×10^4	1×10^3
合计	1.09×10^6	/	/	/	/	1.09×10^6	2.35×10^6	2.35×10^6	/	/

注：²⁰²Pb、²⁰⁵Pb 豁免活度值取自《国际辐射防护和辐射源安全基本安全标准》（IAEA 第 GSR Part3 号）P112 表 I.1；其余放射性同位素豁免活度值取自《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）附录 A 表 A1。

由上表可知，本项目放射性同位素年使用总量为 $1.09 \times 10^6 \text{Bq}$ ，日实际最大操作量为 $1.09 \times 10^6 \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $2.35 \times 10^6 \text{Bq}$ ，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002），日等效最大操作量在豁免活度值以上 $\sim 2 \times 10^7 \text{Bq}$ 之间，判定为丙级工作场所。

② 化学分析区和测定分析区

化学分析区主要包括实验一区、二区、四区，测定分析区包括铀系年代学实验室及其缓冲区。

根据实验室提供的资料，为方便使用，每种稀释剂每 2 个月各分装最多 60g 暂存于实验二区专用超净安全柜中，每种实验 1~2 天各测定 1 组约 12 个样品，每个样品添加 0.1g 稀释剂，随后在一区、二区、四区进行后续的化学分析，再进入铀系年代学实验室进行质谱仪测定。因此保守考虑，化学分析区的日最大操作量为 10 种放射性同位素各分装 60g 稀释剂的总量，测定分析区的日最大操作量为 10 种同位素各分析 1.2g 的总量。估算结果见表 1-3。

表 1-3 放射性同位素使用情况一览表

同位素	溶液浓度 mol/g	化学分析日最大使用量 (g)	测定分析日最大使用量 (g)	半衰期 (a)	衰变常数 λ	化学分析区日最大操作量 (Bq)	测定分析区日最大操作量 (Bq)	化学分析区日最大操作量与豁免活度比值	测定分析区日最大操作量与豁免活度比值
²⁰² Pb	1×10^{-12}	60	1.2	5.52×10^4	3.98×10^{-13}	1.44×10^1	2.88×10^{-1}	1.44×10^{-5}	2.88×10^{-7}
²⁰⁵ Pb	1×10^{-12}	60	1.2	1.72×10^7	1.28×10^{-15}	4.61×10^{-2}	9.23×10^{-4}	4.61×10^{-9}	9.23×10^{-11}
²²⁹ Th	1×10^{-12}	60	1.2	7.88×10^3	2.79×10^{-12}	1.01×10^2	2.01	1.01×10^{-1}	2.01×10^{-3}
²³⁰ Th	1×10^{-12}	60	1.2	7.54×10^4	2.91×10^{-13}	1.05×10^1	2.11×10^{-1}	1.05×10^{-3}	2.11×10^{-5}
²³³ U	1×10^{-12}	60	1.2	1.59×10^5	1.38×10^{-13}	4.99	9.97×10^{-2}	4.99×10^{-4}	9.97×10^{-6}
²³⁴ U	1×10^{-12}	60	1.2	2.46×10^5	8.95×10^{-14}	3.23	6.47×10^{-2}	3.23×10^{-4}	6.47×10^{-6}
²³⁵ U	1×10^{-12}	60	1.2	7.04×10^8	3.12×10^{-17}	1.13×10^{-3}	2.25×10^{-5}	1.13×10^{-7}	2.25×10^{-9}
²³⁶ U	1×10^{-12}	60	1.2	2.34×10^7	9.38×10^{-16}	3.39×10^{-2}	6.78×10^{-4}	3.39×10^{-6}	6.78×10^{-8}
²³⁸ U	1×10^{-12}	60	1.2	4.47×10^9	4.92×10^{-18}	1.78×10^{-4}	3.55×10^{-6}	1.78×10^{-8}	3.55×10^{-10}
²³⁷ Np	1×10^{-12}	60	1.2	2.14×10^6	1.02×10^{-14}	3.70×10^{-1}	7.40×10^{-3}	3.70×10^{-4}	7.40×10^{-6}
合计	/	/	/	/	/	1.34×10^2	2.69	0.103	0.002

注：根据 $A = \lambda N$ 公式估算放射性活度。

由上表可知，化学分析过程及测定分析过程所有放射性同位素的日最大操作量

均低于豁免水平。化学分析区各放射性同位素日最大操作量与参考豁免活度的比值之和为 0.103，测定分析区的比值之和为 0.002，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中“如果存在一种以上的放射性同位素，仅当各种放射性同位素的活度或活度浓度与其相应的豁免活度或豁免活度浓度之比之和小于 1 时，才可能考虑给予豁免”的要求，因此实际化学分析与测定分析过程的放射性同位素操作量处于豁免水平。

(3) 工作制度及劳动定员

根据实验室提供的资料，本项目辐射工作人员共 2 人，均为新增人员。

稀释剂制备的工作制度为：每年最多稀释 2 次，每次稀释时间取 40min，稀释后暂存于专用超净实验柜中，每 2 个月分装 1 次，每次分装时间取 20min，则稀释分装总时间为 200min。

化学分析及测定分析的放射性同位素使用量处于豁免水平，每年工作时间各约 180 次，每次进行 1 组 12 个样品的实验，化学分析时间为每次 8.5h（包括添加稀释剂 0.5h，其余过程 8h）、测定分析为每次 10h。

5、项目选址及周边环境关系

(1) 地理位置

西安交通大学创新港校区位于沣西新城境内的渭河南岸，新西宝高速线以北与新河三角洲交汇区域，周边交通便利，东南侧紧邻地铁 5 号线，南侧有 G30 连霍高速，项目地理位置见图 1-1。

(2) 周边环境关系

项目位于创新港校区泓润楼，泓润楼东北侧为新港路，东南侧为务本路、闲置用地、道科广场，西南侧为东银杏路、泓生楼，西北侧为勤政路、泓仁楼。详见图 1-2。

同位素实验室位于泓润楼 5 层西南侧，实验室东北侧为通道、楼梯间、功能间、5037 会议室等，东南侧为全球环境变化研究院办公室、会议室，西南侧为通道、环境材料与污染防治技术中心、挥发性有机物污染控制材料与技术国家工程实验室，西北侧为室外、人居学院办公室、实验室等。详见图 1-3。

同位素实验室平面布局图见图 1-4，本项目非密封放射性物质工作场所主要包括其中的超净实验室、铀系年代学实验室，楼下对应位置为陕西省主要污染物减排工

程技术研究中心工程中心实验室（4037）、生态环境监测实验室（4038、4039）、大气污染源解析与控制实验室（4040、4041），四楼平面布局图见图 1-5。同位素实验室所在泓润楼仅 5 层，楼上无建筑。



图 1-1 地理位置示意图



图 1-2 泓润楼周边环境关系图

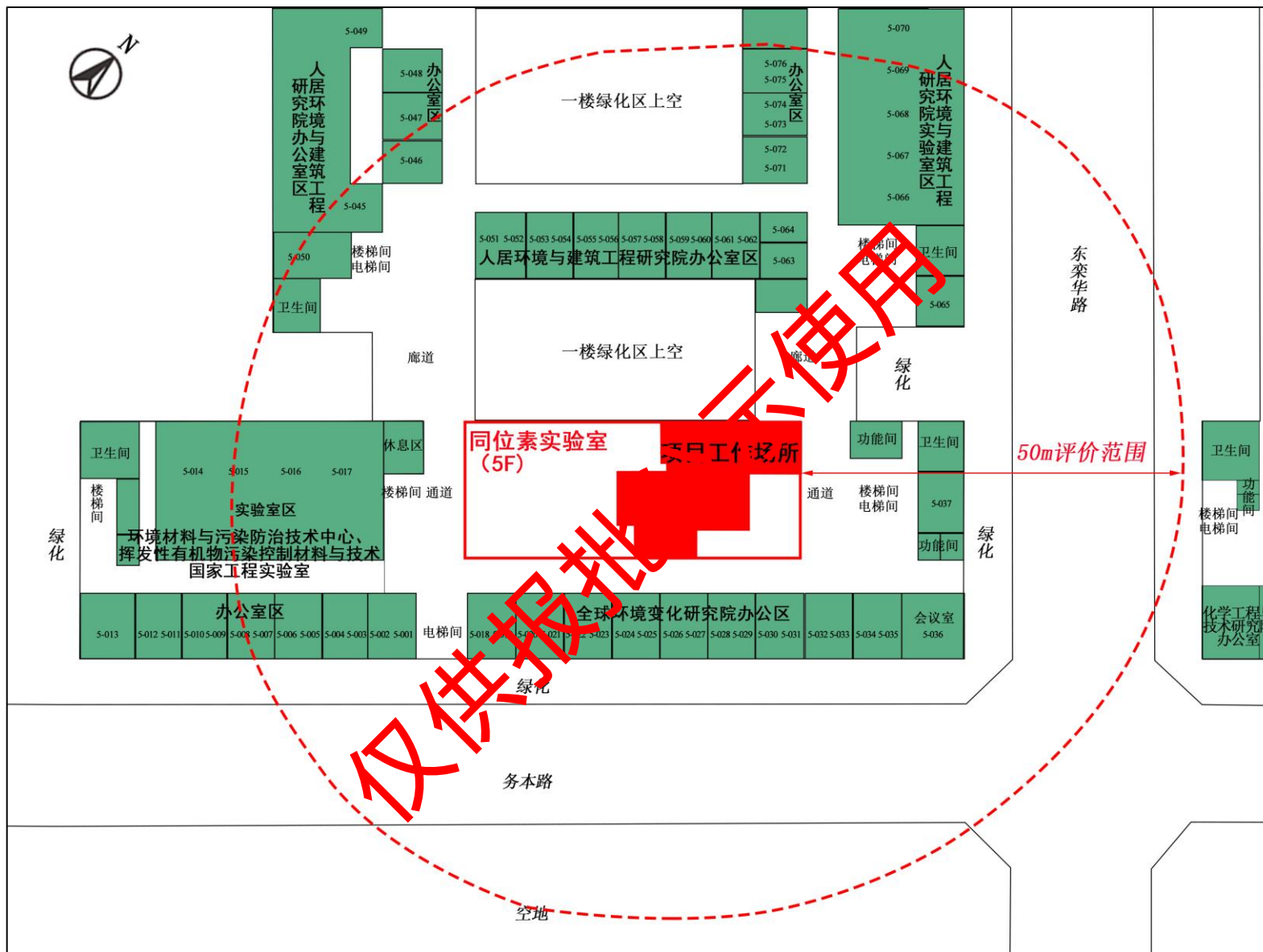


图 1-3 泓润楼 5 层局部平面布置示意图

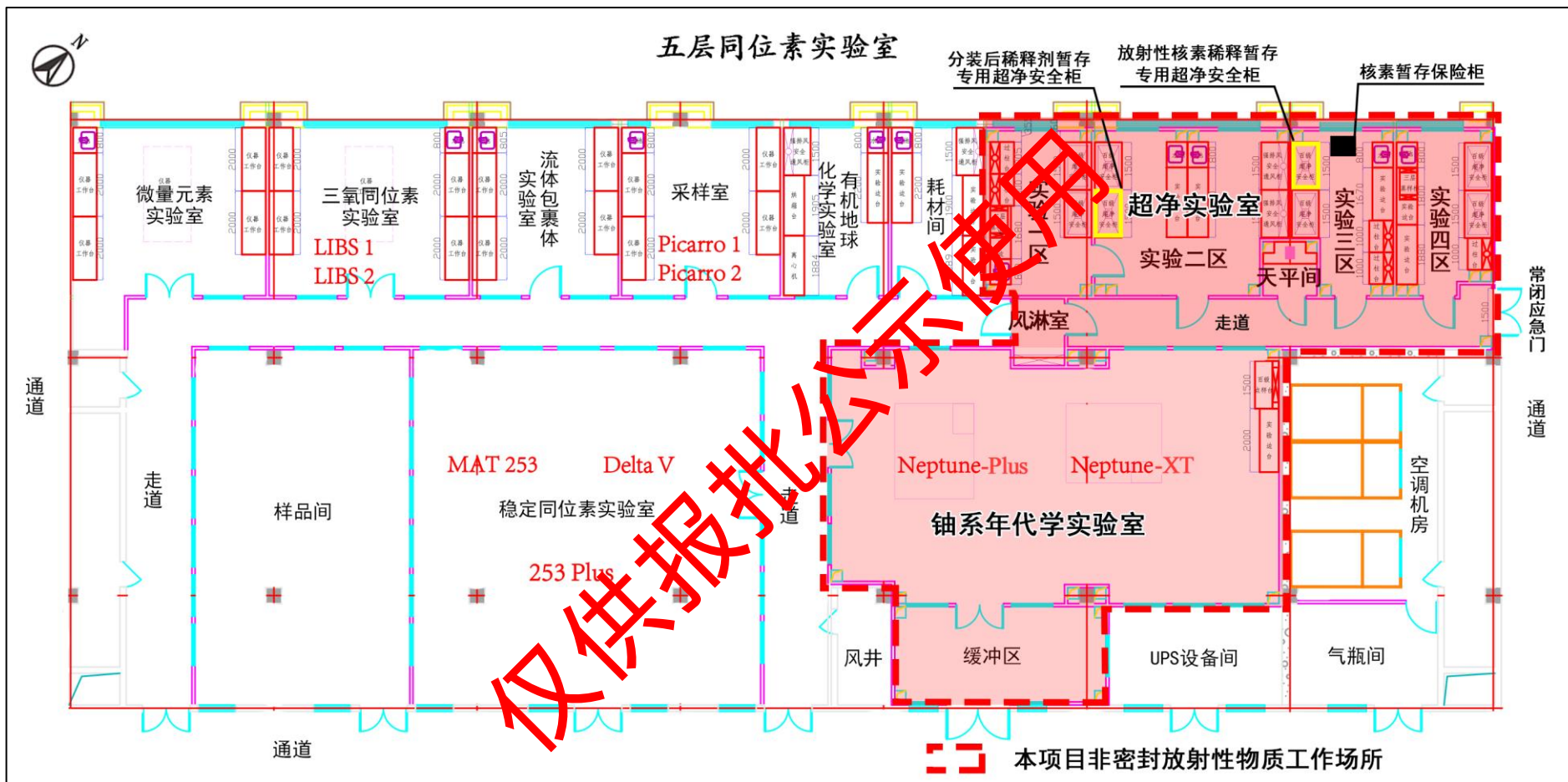


图 1-4 同位素实验室平面布置示意图

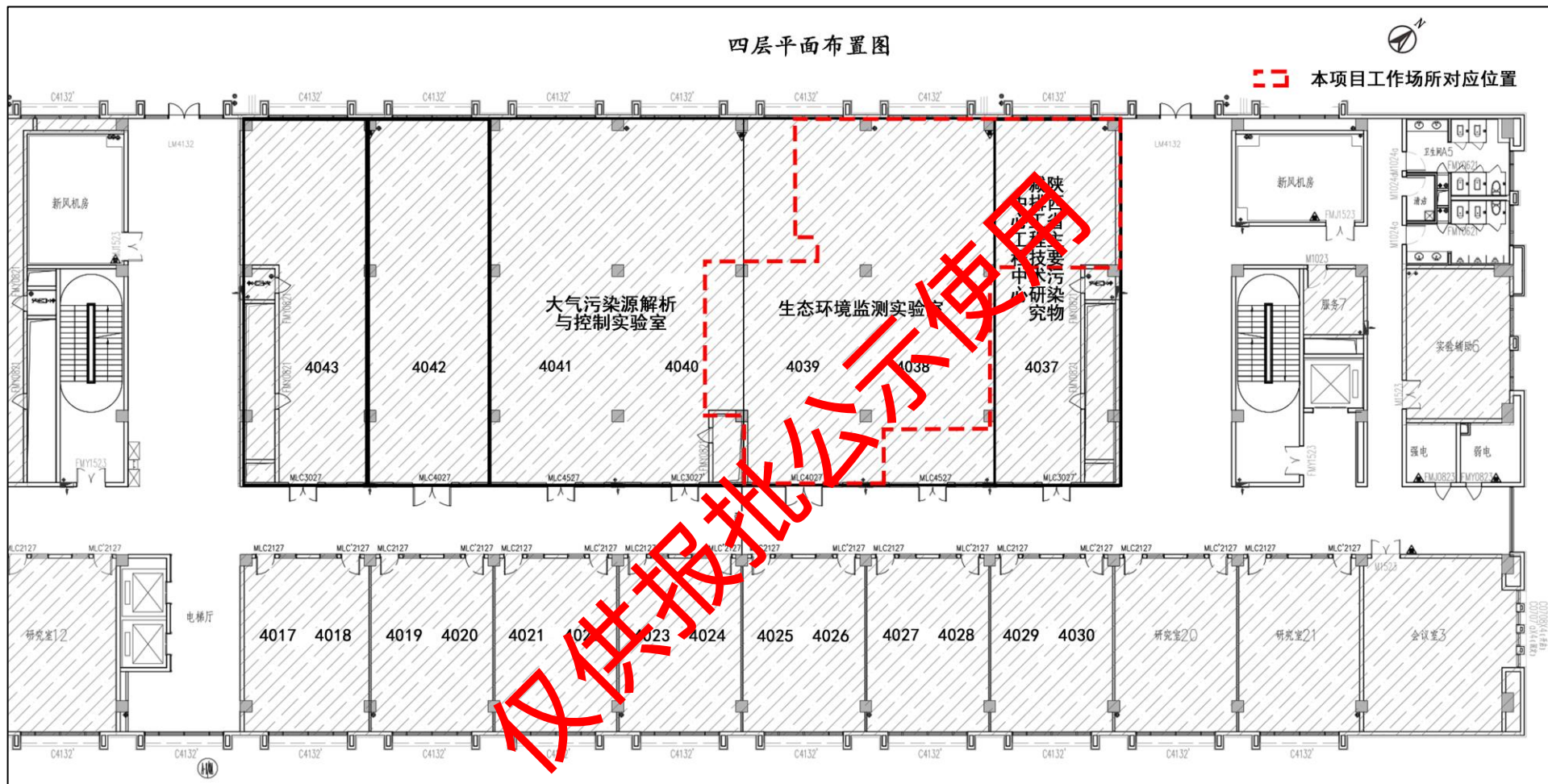


图 1-5 4 楼局部平面布置示意图（局部）

6、现有核技术利用项目情况

(1) 现有核技术利用项目环保手续履行情况

根据建设单位提供的资料，西安交通大学现有核技术利用项目环保手续履行情况见表 1-4。

表 1-4 现有核技术利用项目环保手续履行情况一览表

项目	环评	验收	备注
西安交通大学核技术应用项目环境影响报告表	市环批复（2008）70号	市环批复（2013）128号	/
西安交通大学全球环境变化研究院放射性同位素使用核技术应用项目环境影响报告表	陕环批复（2012）731号，已更换辐射安全许可证	正在验收，待本次搬迁完成后将实施退役	本次搬迁项目
西安交通大学核科学与技术系学科“985工程”三期教学实验室建设环境影响登记表	市环批复（2013）23号		/
多功能脉冲 X 射线系统研发生产使用及销售项目	陕环批复（2018）87号	已于2021年1月29日进行了自主验收，正在办理辐射安全许可证更新	/

综上，西安交通大学现有核技术利用项目均履行了相应的环保手续。

(2) 辐射安全许可证

西安交通大学于 2018 年 1 月 23 日取得了更新后的辐射安全许可证（陕环辐证（00076）），许可证种类和范围为：使用 IV、V 类射线装置，使用 III 类射线装置，使用非密封放射性物质，丙级非密封放射性物质工作场所，有效期至 2023 年 1 月 22 日。其中已许可的丙级非密封放射性物质工作场所即本项目现有曲江校区场所。

辐射安全许可证见附件，台账明细见表 1-5。

表 1-5 台账明细表

一、密封放射源					
序号	同位素名称	类别	活动种类	总活度（贝可）/活度（贝可）	数量（枚）
1	Am-241	IV	使用	1.11×10^9	4
2	Cs-137	V	使用	1.85×10^5	2
3	Pb-210	V	使用	7.4×10^4	1
4	Cs-134	V	使用	3.7×10^4	1
5	未知	V	使用	1.85×10^8	1
6	Am-241	V	使用	3.7×10^4	2
7	Cs-137	IV	使用	1.51×10^9	1
8	Sr/Y	V	使用	2.25×10^7	1
9	Sr/Y	V	使用	2.25×10^6	1
10	Sr/Y	V	使用	1.2×10^6	1

11	Sr/Y	V	使用	4.5×10^5	1
12	Sr/Y	V	使用	4.5×10^4	1
13	Co-60	V	使用	3.44×10^7	1
14	Co-60	V	使用	5.55×10^6	1
15	未知	V	使用	3.7×10^8	1
16	Cs-137	V	使用	3.7×10^4	6
17	Co-60	V	使用	1.85×10^8	1
18	Cs-137	V	使用	7.62×10^8	1
19	Cs-137	V	使用	6.29×10^8	1
20	Ra-226/Be	IV	使用	1.85×10^{10}	1
21	多同位素校准源	V	使用	3.7×10^4	1
22	多同位素校准源	V	使用	3.7×10^4	2
23	Am-241	IV	使用	1.11×10^9	1
24	Cs-134	V	使用	2.7×10^7	1
25	Pu-239	IV	使用	6×10^6	1
26	Am-241	IV	使用	4.44×10^9	1
27	Sr/Y	V	使用	2.25×10^5	1
28	Co-60	V	使用	1.7×10^7	1
29	Pu-239	V	使用	6×10^6	1
30	Pu-239	V	使用	6×10^4	1
31	Sr/Y	V	使用	3.7×10^7	4
32	Cs-137	V	使用	3.7×10^8	2
33	Am-241	V	使用	7.4×10^7	5
34	未知	V	使用	1.11×10^9	1
35	Co-60	V	使用	1.11×10^5	5
36	I-125	V	使用	1.85×10^9	1
37	Sr/Y	V	使用	9×10^6	1
38	Sr/Y	V	使用	6.75×10^5	1
39	Co-60	V	使用	3.71×10^7	1
40	Sr/Y	V	使用	3.7×10^4	2
41	Ra-226/Be	IV	使用	9.25×10^9	1
42	Cs-137	IV	使用	1.11×10^9	1
43	Cs-137	V	使用	4.44×10^8	1
44	Pb-210	V	使用	3.7×10^4	1
45	Am-241	V	使用	3.7×10^8	1
46	Cs-137	V	使用	3.7×10^8	3
47	I-129	V	使用	9.25×10^5	1
48	Ra-226	V	使用	1.17×10^8	1
49	Am-241	IV	使用	1.85×10^9	1
50	Sr/Y	V	使用	4.5×10^6	1
51	Pu-239	V	使用	6×10^7	1
52	Pu-239	V	使用	6×10^5	1
53	Cs-137	V	使用	7.4×10^4	4

54	Co-60	V	使用	1.85×10 ⁵	2
55	Cs-137	V	使用	6.07×10 ⁸	1
56	Cs-137	V	使用	1.628×10 ⁸	1
57	Am-241	V	使用	1.85×10 ⁸	1
合计				/	87

二、非密封放射性物质（项目原许可情况）

序号	同位素名称	场所等级	活动种类	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	工作场所名称
1	U-234	丙级	使用	6×10 ⁵	6×10 ⁶	全球环境变化研究院
2	未知 (Pb-202)	丙级	使用	6×10 ²	6×10 ⁶	全球环境变化研究院
3	Sr-85	丙级	使用	6×10 ³	6×10 ⁶	全球环境变化研究院
4	Th-232	丙级	使用	6×10 ²	6×10 ⁶	全球环境变化研究院
5	Th-229	丙级	使用	6×10 ⁵	6×10 ⁶	全球环境变化研究院
6	未知 (Pb-205)	丙级	使用	6×10 ²	6×10 ⁶	全球环境变化研究院
7	U-238	丙级	使用	6×10 ²	6×10 ⁶	全球环境变化研究院
8	Sr-90	丙级	使用	6×10 ⁴	6×10 ⁶	全球环境变化研究院
9	U-235	丙级	使用	6×10 ⁴	6×10 ⁶	全球环境变化研究院
10	U-236	丙级	使用	6×10 ⁴	6×10 ⁶	全球环境变化研究院
11	Np-237	丙级	使用	6×10 ⁴	6×10 ⁷	全球环境变化研究院
12	Th-230	丙级	使用	6×10 ⁵	6×10 ⁶	全球环境变化研究院
13	U-233	丙级	使用	6×10 ⁵	6×10 ⁶	全球环境变化研究院

三、射线装置

序号	装置名称	类别	活动种类	数量 (台)
1	X 线骨密度仪	III类	使用	1
2	医用 X 光机	III类	使用	2
合计				3

(3) 辐射安全管理现状

① 辐射防护管理机构

西安交通大学已成立以学校主要领导王铁军为组长，以实验室与资产管理处、保卫处、核技术利用项目相关学院负责人为成员的辐射安全管理领导小组（西交实（2017）84号，见附件），负责日常辐射安全监管和协调工作。领导小组办公室设在实验室与资产管理处。

② 规章制度建设及落实情况

西安交通大学目前已制定了相应的辐射环境管理规章制度，包括实验室安全管理办法、放射安全和防护管理细则、实验室安全事故应急预案（含辐射事故应急预案）、射线装置操作规范，以及放射源转移、转让、收贮备案制度等，确保辐射工作中的安全

防护。

③ 工作人员培训及职业健康检查情况

学校严格执行辐射安全与防护培训制度，辐射工作人员通过相应安全与防护培训后方可上岗。学校现有 9 名辐射工作人员，其中 1 人通过了陕西省辐射安全与防护培训班的考核，证书有效期至 2022 年 1 月 7 日；3 人于 2020 年、2021 年参加了国家核技术利用辐射安全与防护培训平台的考核，成绩合格，证书有效期 5 年；其余 5 人为操作 III 类射线装置的工作人员，由学校组织于 2021 年 4 月进行了自主考核，考核合格。

现有辐射工作人员于 2020 年在核工业四一七医院进行了职业健康体检，其中 1 人血常规异常，复查后显示合格，可继续从事放射性工作；其余人员未发现疑似放射性疾病或职业禁忌证，可以继续从事放射性工作，体检结果已建立健康档案。

④ 个人剂量检测

西安交通大学已为现有辐射工作人员配备个人剂量计，并委托有资质单位承担辐射工作人员个人剂量检测工作，每季度检测 1 次。根据陕西新高科辐射技术有限公司出具的 2019 年 11 月~2020 年 12 月 4 个季度职业性外照射个人剂量监测报告，现有辐射工作人员的年个人剂量在 0.12~0.55mSv 之间，未超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的剂量限值，检测报告已存档。

⑤ 工作场所及辐射环境监测情况

西安交通大学已配备 2 台多功能数字核辐射测量仪、4 台手持多功能辐射测量仪、1 台中子剂量当量仪、1 台多用辐射仪、1 台辐射仪、2 台辐射剂量报警仪用于各辐射工作场所的日常监测。

学校每年委托有资质单位对所有辐射工作场所进行 1 次年度监测。根据西安志诚辐射环境检测有限公司出具的 2020 年《西安交通大学核技术应用项目辐射环境监测报告》（报告编号 XAZC-JC-2020-198，见附件），核工程与核技术放射性实验室源库贮源箱、贮源坑、源库屏蔽体外各监测点的空气比释动能率均小于 2.5 μ Gy/h。物理基础楼 B535 实验室密封源外表面及存源保险柜外表面各监测点的 γ 辐射剂量率满足《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）的有关规定。校医院医用射线装置机房的观察窗、防护门及墙体外表面各监测点处的 γ 辐射剂量率为 0.10~0.18 μ Sv/h。骨密度仪机房观察窗、防护门、墙体外及周边工作人员操作位等各监测点位的 γ 辐射剂量率为 0.08~0.16 μ Sv/h。本次搬迁项目原工作场所 U-系年代学实验室各监

测点的 γ 辐射剂量率监测值为 0.05~0.1 μ Sv/h, β 表面污染测量值最大为 0.08Bq/cm², α 表面污染未检出, 监测结果符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中表面污染控制水平要求。各辐射工作场所均正常运行, 防护能力符合相应要求。

仅供报批公示使用

表 2 放射源

序号	同位素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) ×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式及地点	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

注:放射源包括放射性中子源, 对其要说明是何种同位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	同位素名称	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	贮存方式及地点
1	²⁰² Pb	液态	使用	2×10 ⁵	1.01×10 ³	2×10 ⁵	铀系年代学试验	简单操作、贮存	同位素实验室中的超净实验室、铀系年代学实验室	超净实验室实验三区专用保险柜中
2	²⁰⁵ Pb	液态	使用	2×10 ⁵	1.01×10 ³	2×10 ⁵		简单操作、贮存		
3	²²⁹ Th	液态	使用	2.75×10 ³	2.09×10 ²	2.75×10 ³		简单操作、贮存		
4	²³⁰ Th	液态	使用	3.15×10 ³	2.39×10 ³	3.15×10 ³		简单操作、贮存		
5	²³³ U	液态	使用	4.26×10 ⁵	1.91×10 ⁵	4.26×10 ⁵		简单操作、贮存		
6	²³⁴ U	液态	使用	1.19×10 ⁵	4.85×10 ⁵	1.19×10 ⁵		简单操作、贮存		
7	²³⁵ U	液态	使用	5.49×10 ³	2.31×10 ¹	5.49×10 ³		简单操作、贮存		
8	²³⁶ U	液态	使用	2.44×10 ³	1.21×10 ³	2.44×10 ³		简单操作、贮存		
9	²³⁸ U	液态	使用	9.85×10 ⁴	4.97×10 ²	9.85×10 ⁴		简单操作、贮存		
10	²³⁷ Np	液态	使用	3.70×10 ⁴	3.70×10 ⁴	3.70×10 ⁴		简单操作、贮存		
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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》(GB 18871-2002)。

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

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

(二) X 射线机：包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(三) 中子发生器：包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	同位素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
酸性废气	气态	/	/	/	/	/	/	各超净安全柜及质谱仪设置排风管道，引至屋顶，经无机废气净化器处理后排放
测定雾化废气	气溶胶	²⁰² Pb、 ²⁰⁵ Pb、 ²²⁹ Th、 ²³⁰ Th、 ²³³ U、 ²³⁴ U、 ²³⁵ U、 ²³⁶ U、 ²³⁸ U、 ²³⁷ Np	低于豁免水平	/	54	1.875×10 ⁻⁴ Bq/m ³	/	各超净安全柜及质谱仪设置排风管道，引至屋顶，经无机废气净化器处理后排放
废液（实验废液、清洗废水等）	液态	²⁰² Pb、 ²⁰⁵ Pb、 ²²⁹ Th、 ²³⁰ Th、 ²³³ U、 ²³⁴ U、 ²³⁵ U、 ²³⁶ U、 ²³⁸ U、 ²³⁷ Np	低于豁免水平	200~215L	2415 L		设废液桶收集，暂存于实验二区、耗材间固定位置	由学校委托有资质单位定期收集处理
废防护服、乳胶手套、口罩、护目镜、擦拭纸、移液枪、树脂、熔喷布及无纺布等	固态	²⁰² Pb、 ²⁰⁵ Pb、 ²²⁹ Th、 ²³⁰ Th、 ²³³ U、 ²³⁴ U、 ²³⁵ U、 ²³⁶ U、 ²³⁸ U、 ²³⁷ Np	低于豁免水平	5~15kg	61.5 kg	/	稀释剂制备、化学分析及测定分析过程的固废设实验垃圾桶收集暂存	由学校委托有资质单位定期收集处理
废 SDG 吸附剂			每次更换时检测确认	/	1t/次	/	无机废气净化器的废 SDG 吸附剂每 3~4 年更换 1 次，更换后密封暂存于固定废物桶中	更换时检测，高于豁免水平时送城市放射性废物库处理，低于豁免水平时经审管部门同意后由厂家回收处理
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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，气态单位为 mg/m³；年排放总量用 kg。

2、含有放射性的废弃物要注明，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	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》（修订），2015 年 1 月 1 日；</p> <p>(2) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日；</p> <p>(3) 《中华人民共和国环境影响评价法》（修正），2018 年 10 月 29 日；</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》（修订），国务院令 第 682 号，2017 年 10 月 1 日；</p> <p>(5) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，生态环境部令 第 16 号，2021 年 1 月 1 日；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（修订），国务院令 第 709 号，2019 年 3 月 2 日；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（修改），生态环境部令 第 7 号，2019 年 8 月 22 日；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环境保护部令 第 18 号，2011 年 5 月 1 日；</p> <p>(9) 《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、国防科工局 2017 年第 65 号公告，2018 年 1 月 1 日；</p> <p>(10) 《放射性废物安全管理条例》，国务院令 第 612 号，2012 年 3 月 1 日；</p> <p>(11) 《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；</p> <p>(12) 《陕西省放射性污染防治条例》（2019 年修正），2019 年 11 月 6 日；</p> <p>(13) 《关于印发新修订的<陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表>的通知》，陕环办发〔2018〕29 号。</p>
------	---

<p>技术标准</p>	<p>(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；</p> <p>(2) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）；</p> <p>(3) 《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）；</p> <p>(4) 《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）；</p> <p>(5) 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；</p> <p>(6) 《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2001）及其修改单。</p>
<p>其他</p>	<p>(1) 西安交通大学全球环境变化研究院同位素实验室搬迁项目环境影响评价委托书；</p> <p>(2) 西安交通大学辐射安全许可证；</p> <p>(3) 《陕西省环境保护厅关于西安交通大学全球环境变化研究院放射性同位素使用核技术应用项目环境影响报告表的批复》（陕环批复〔2012〕731号）；</p> <p>(4) 《关于调整西安交通大学辐射安全管理领导小组成员的通知》（西交实〔2017〕84号）；</p> <p>(5) 西安交通大学现有辐射工作人员辐射安全与防护考核合格证明；</p> <p>(6) 《西安交通大学核技术引用项目辐射环境监测报告》（XAZC-JC-2020-198号）。</p>

表 7 保护目标与评价标准

<p>评价范围</p> <p>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》（HJ 10.1-2016）：“放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，甲级取半径 500m 的范围，乙、丙级取半径 50m 的范围”，本项目属于丙级非密封放射性物质工作场所，评价范围为以工作场所实体屏蔽墙为边界，周边 50m 范围区域。评价范围示意图见 1-2、1-3。</p>						
<p>保护目标</p> <p>本项目环境保护目标主要为超净实验室、铀系年代学实验室从事放射性同位素操作的辐射工作人员及以上实验室周边 50m 范围内的公众。环境保护目标见表 7-1。</p>						
<p>表 7-1 主要环境保护目标一览表</p>						
序号	保护对象	常居留人数	相对方位		与实验室距离 (m)	剂量约束值 (mSv/a)
1	辐射工作人员	2 人	超净实验室、铀系年代学实验室		/	2
2	公众	/	东北侧	通道、楼梯间、功能间、5017 会议室等	相邻~20m	0.1
		约 20 人	东南侧	GIS 设备间、空调机房、全球环境变化研究院办公室、会议室等	相邻~12m	
		约 30 人	西南侧	同位素实验室其他区域、通道、环境材料与污染防治技术中心办公室、挥发性有机物污染控制材料与技术国家工程实验室	相邻~50m	
		约 40 人	西北侧	人居学院办公室、实验室等	12~50m	
		/	楼下距地面 1.7m 处	4037、4038、4039、4040 公共实验室	2.8m	
<p>注：表中“距离”以超净实验室、铀系年代学实验室各墙体、地面作为起点进行计算。根据建设单位提供的资料，楼层高度为 4.5m。</p>						

评价标准

一、职业人员和公众的辐射剂量约束值

1、职业照射

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）附录 B 剂量限值：应对任何工作人员的职业水平进行控制，使之不超过下述限值：

a) 由审管部门决定的连续 5 年的平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv；

b) 任何一年中的有效剂量，50mSv；

c) 眼晶体的年当量剂量，150mSv；

d) 四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv。

综合考虑学校核技术利用项目的现状，并着眼于长期发展，为其它辐射设施和实践活动留有余地，本次评估对职业工作人员约束值设定如下：按标准剂量限值的 10% 执行，年受照剂量约束值为 2mSv/a。

2、公众照射

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）：

11.4.3.2 剂量约束值通常应在公众照射剂量限值 10%~30%（即 0.1mSv/a~0.3mSv/a）的范围之内，但剂量约束的使用不应取代最优化要求，剂量约束值只能作为最优化值的上限。

附录 B 剂量限值：实践中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下述限值：年有效剂量，1mSv。

根据项目的实际使用情况，本次公众照射年有效剂量管理约束值按标准限值的 10% 执行，即 0.1mSv/a。

二、非密封放射性物质工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002），应按表 7-2 将非密封源工作场所按放射性同位素日等效最大操作量的大小分级。

表 7-2 非密封源工作场所的分级

级别	日等效最大操作量/Bq
甲	$>4 \times 10^9$
乙	$2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9$
丙	豁免活度值以上 $\sim 2 \times 10^7$

三、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》（GB 18871-2002），工作场所的表面污染控制水平如表 7-3 所列。

表 7-3 工作场所的放射性表面污染控制水平 单位：Bq/cm²

表面类型		α 放射性物质		β 放射性物质
		极毒性	其他	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 ¹⁾	4	4×10	4×10
	监督区	4×10 ⁻¹	4	4
工作服、手套、工作鞋	控制区、监督区	4×10 ⁻¹	4×10 ⁻¹	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10 ⁻²	4×10 ⁻²	4×10 ⁻¹

1) 该区内的低污染子区除外。

四、《操作非密封源的辐射防护规定》（GB1930-2010）相关规定

5、安全操作

5.1 一般要求

5.1.1 为开展辐射防护管理工作并对职业照射进行控制，非密封源工作场所应实行严格的分区、分级、管理，分区、分级管理的措施应遵循 GB18871-2002 的要求。

5.1.2 宜在辐射工作场所的醒目位置悬挂(张贴)辐射警告标志，人员通行和放射性物质传递的路线应严格执行相关规定，防止发生交叉污染。应制定严格的辐射防护规程和操作规程。

5.1.3 操作非密封源的单位应制定辐射防护大纲并对其实施和评价负全面责任。单位应设立相应的安全与防护机构（或专、兼职安全与防护人员），并用文件的形式明确规定其职责。

5.1.4 应建立安全与防护培训制度，培植和保持工作人员良好的安全文化素养，自觉遵守规章制度，掌握辐射防护基本原则、防护基本知识及辐射防护技能。

5.1.5 辐射工作人员对某些操作程序必要时应先进行模拟试验、冷试验、热试验，当熟练掌握操作技能后方可正式开展工作。

5.1.6 如果操作过程中发现异常情况，应及时报告，并分析原因，采取措施，防止重复发生类似事件。

5.1.7 应定期检查工作场所各项防护与安全措施的有效性，针对不安全因素制定相应的补救措施，并认真落实，确保工作场所处在良好的运行状态。

5.1.8 在原有设施条件下开展新工作（包括工艺流程的重大改变和提高放射性同

位素日等效最大操作量)，如果计划操作的放射性同位素种类、操作量、操作方式以及防护设施和设备的要求超出原设计规范，应事先向主管部门提交防护与安全分析报告，经主管部门审查批准后方可进行。

5.1.9 如进行存在临界安全问题的操作，应同时遵守国家有关临界安全的规定。

5.2 操作条件

5.2.1 非密封源的操作应根据所操作的放射性物质的量和特性，选择符合安全与防护要求的条件，尽可能在通风柜、工作箱或手套箱内进行。

5.2.2 操作过程中所用的设备、仪器、仪表、器械和传输管道等应符合安全与防护要求。吸取液体的操作应使用合适的负压吸液器械，防止放射性液体溅出、溢出，造成污染。储放射射性溶液的容器应由不易破裂的材料制成。

5.2.3 有可能造成污染的操作步骤，应在铺有塑料或不锈钢等易去除污染的工作台面上或搪瓷盘内。

5.3 个人防护

5.3.1 辐射工作人员应熟练掌握安全与防护技能，取得相应资质。

5.3.2 辐射工作人员应根据实际需要配备适用、足够和符合标准的个人防护用具（器械、衣具），并掌握其性能和使用方法。个人防护用具应有备份，均应妥善保管，并应对其性能进行定期检验。

5.3.3 辐射工作场所应具备适当的防护手段与安全措施，做好个人防护工作。

5.3.4 在伴有外照射的工作场所，应做好个人外照射防护，包括 β 外照射防护。

5.3.5 在任何情况下均不允许用裸露的手直接接触放射性物质或进行污染物件的操作。

5.3.6 辐射工作场所应根据所操作非密封源的特点配备适当的医学防护用品和急救药品箱，供处理事故时使用。严重污染事件的医学处理应在医学防护人员的指导下进行。

6 辐射防护监测

6.1 一般要求

6.1.1 操作非密封源的单位应具备相应的辐射防护监测能力，配备合格的辐射防护人员及相关的设备，制定相应的辐射监测计划。

6.1.2 应记录和保存辐射监测数据，建立档案。记录监测结果时应同时记录测量条

件、测量方法和测量仪器、测量时间和测量人姓名等。

6.1.3 应定期对辐射监测结果进行评价,提出改进辐射防护工作的建议,并将监测与评价的结果向审管部门报告;如发现有异常情况应及时报告。

6.2 个人监测

6.2.1 操作非密封源的辐射工作人员的个人监测应遵循 GB 18871-2002 的要求,除了必要的个人外照射监测外,应特别注意采用合适的方法做好个人内照射监测。

6.2.2 在个人监测中要按照监测计划开展皮肤污染监测、手部剂量监测。

6.2.3 对于参加大修或特殊操作而有可能造成体内污染的工作人员,操作前后均应接受内照射监测。必要时依据分析结果进行待积有效剂量的估算。

6.2.4 个人剂量档案应妥善保存,保存时间应不少于个人停止放射工作后 30 年。

6.3 工作场所监测

6.3.1 应依据非密封源的特点和操作方式,做好工作场所监测,包括剂量率水平、空气中放射性同位素浓度和表面污染水平等内容。

6.3.2 工作场所监测的内容和频度根据工作场所内辐射水平及其变化和潜在照射的可能性与大小进行确定。附录 A 给出了一种可供参考的工作场所常规监测的内容与周期。

7 放射性废物管理

7.1 一般要求

7.1.1 放射性废物的管理应遵循 GB 18871-2002、GB 14500 的相关规定,进行优化管理。

7.1.2 应从源头控制、减少放射性废物的产生,防止污染扩散。

7.1.3 应分类收储废物,采取有效方法尽可能进行减容或再利用,努力实现废物最小化。

7.1.4 应做好废物产生、处理、处置(包括排放)的记录,建档保存。

7.3 放射性固体废物

7.3.1 产生放射性固体废物较多的单位应当建立固体废物暂存库,确保储存的废物可回取。

7.3.2 操作非密封源的单位产生的废物(包括废弃的放射源),应按要求送指定的废物库暂存。送贮的废物应符合送贮条件。

7.3.3 对于半衰期短的废物可用放置衰变的办法，待放射性物质衰变到清洁解控水平后作普通废物处理，以尽可能减少放射性废物的数量。

7.4 放射性废气排放

7.4.1 对工作场所放射性废气或气溶胶的排放系统，应经常检查其净化过滤装置的有效性。

7.4.2 凡预计会产生大量放射性废气或气溶胶而可能污染环境的一次性操作，亦应采取有效的防护与安全措施和监测手段。

9 非密封放射源的管理

9.1 操作非密封源的单位应配备专（兼）职人员负责放射性物质的管理，应建立非密封放射源的账目（如交收账、库存账、消耗账），并建立登记保管、领用、注销和定期检查制度。

9.2 非密封放射源应存放在具备防火、防盗等安全防护措施的专用贮存场所妥善保管，不得将其与易燃、易爆及其他危险物品放在一起。

9.3 辐射工作场所贮存的非密封放射源数量应符合防护与安全的要求，对于不使用的非密封放射源应及时贮存在专用贮存场所。

9.4 贮存非密封放射源的保险柜和容器在使用前应经过检漏。容器外应贴有明显的标签(注明元素名称、理化状态、射线类型、活度水平、存放起始时间和存放负责人等)。

9.5 存放非密封放射源的库房应采取安保措施，严防被盗、丢失。

9.6 应定期清点非密封放射源的种类、数量，做到账物相符。工作人员如发现异常情况应按相关规定及时报告。

五、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）豁免相关规定

A1 豁免准则

A1.1 如果审管部门确认某项实践是正当的，并确认该实践中的源满足本附录所规定的豁免准则或豁免水平，或满足审管部门根据这些豁免准则所规定的其他豁免水平，则该实践和该实践中的源可以被本标准的要求所豁免。

A1.2 豁免的一般准则是：

a) 被豁免实践或源对个人造成的辐射危险足够低，以至于再对它们加以管理是不必要的；

b) 被豁免实践或源所引起的群体辐射危险足够低,在通常情况下再对它们进行管理控制是不值得的;

c) 被豁免实践和源具有固有安全性,能确保上述准则 a)和 b)始终得到满足。

A1.3 如果经审管部门确认在任何实际可能的情况下下列准则均能满足,则可不作更进一步的考虑而将实践或实践中的源予以豁免;

a) 被豁免实践或源使任何公众成员一年内所受的有效剂量预计为 $10\mu\text{Sv}$ 量级或更小; 和

b) 实施该实践一年内所引起的集体有效剂量不大于约 $1\text{人}\cdot\text{Sv}$,或防护的最优化评价表明豁免是最优选择。

A2 可豁免的源与豁免水平

A2.1 根据 A1.1~A1.3 规定的准则,下列各种实践中源经审管部门认可后可被本标准的要求豁免:

b) 符合以下要求的放射性物质,即任何时间段内在进行实践的场所存在的给定同位素的总活度或在实践中使用的给定同位素的活度浓度不超过表 A1 所给出的或审管部门所规定的豁免水平;

A2.2 表 A1 给出的放射性同位素的豁免活度浓度和豁免活度,是根据某些可能还不足以可无限制使用的照射情景和模式、参数推导得出的,仅可作为申报豁免的基础。考虑豁免时,审管部门应根据实际情况逐例审查,某些情况下,也可以要求采用更为严格的豁免水平。应用表 A1 所给出的豁免水平时,还应注意以下各点:

a) 这些豁免水平原则上只适用于在组织良好、人员训练有素的工作场所对小量放射性物质和源的工业应用及实验室或医学应用,例如,利用小的密封点源校准仪器,将小量非密封放射性溶液装进容器,工业示踪,一瓶低活度气体的医用等;

b) 对于未被排除的天然放射性同位素豁免的应用,仅限于引入到消费品中的天然放射性同位素,或是将它们作为一种放射源使用(如 ^{226}Ra 、 ^{210}Po)、或是利用它们的元素特性(如钍、铀)等情况;

c) 如果存在一种以上的放射性同位素,仅当各种放射性同位素的活度或活度浓度与其相应的豁免活度或豁免活度浓度之比之和小于 1 时,才可能考虑给予豁免。

六、《放射性废物分类》相关规定

第五条豁免废物或解控废物不属于放射性废物。

第七条豁免或者解控的剂量准则：在合理预见的一切情况下，被豁免的实践或源（或者被解控的物质）使任何个人一年内所受到的有效剂量在 $10\mu\text{Sv}$ 量级或更小，而且即使在发生低概率的意外不利情况下，所受到的年有效剂量不超过 1mSv 。

第八条含多种人工放射性同位素的废物，每种放射性同位素的活度浓度与其对应活度浓度上限值的比值之和，应满足下列公式：

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_{i0}} \leq 1$$

式中， C_i 为废物中第 i 种放射性同位素的活度浓度， C_{i0} 为第 i 种放射性同位素的活度浓度上限值， n 是废物中放射性同位素种类的数目。

第九条豁免废物或解控废物：废物中放射性同位素的活度浓度极低，满足豁免水平或解控水平，不需要采取或者不需要进一步采取辐射防护控制措施。豁免或解控废物的处理、处置应当满足国家固体废物管理规定。

七、《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2001）及其修改单相关内容

所有危险废物产生者和危险废物经营者应建造专用的危险废物贮存设施，也可利用原有构筑物改建成危险废物贮存设施。在常温常压下不水解的、不挥发的固体危险废物可在贮存设施内分别堆放，必须将危险废物装入容器内。禁止将不相容（相互反应）的危险废物在同一容器内混装。装载液体、半固体危险废物的容器内须留足够空间，容器顶部与液体表面之间保留 100mm 以上的空间。盛装危险废物的容器上必须粘贴符合本标准所示的标签，应当使用符合标准的容器盛装危险废物。装载危险废物的容器及材质要满足相应的强度要求。装载危险废物的容器必须完好无损。盛装危险废物的容器材质和衬里要与危险废物相容（不相互反应）。危险废物堆放场所基础必须防渗，防渗层为至少 1m 厚粘土层（渗透系数 $\leq 10^{-7}\text{cm/s}$ ），或 2mm 厚高密度聚乙烯，或至少 2mm 厚的其他人工材料，渗透系数 $\leq 10^{-10}\text{cm/s}$ 。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

1、项目地理位置和场所位置

本项目位于陕西省西咸新区沣西新城中国西部科技创新港弘润楼（19 号巨构）5 层，项目地理位置图见图 1-1，周边环境关系见图 1-2。

2、环境质量现状

本次委托西安志诚辐射环境检测有限公司对本次评价场所的辐射环境现状进行了监测。

(1) 监测因子、点位

监测因子： γ 辐射剂量率；

监测点位：对工作场所及周边区域进行检测，见图 8-1。

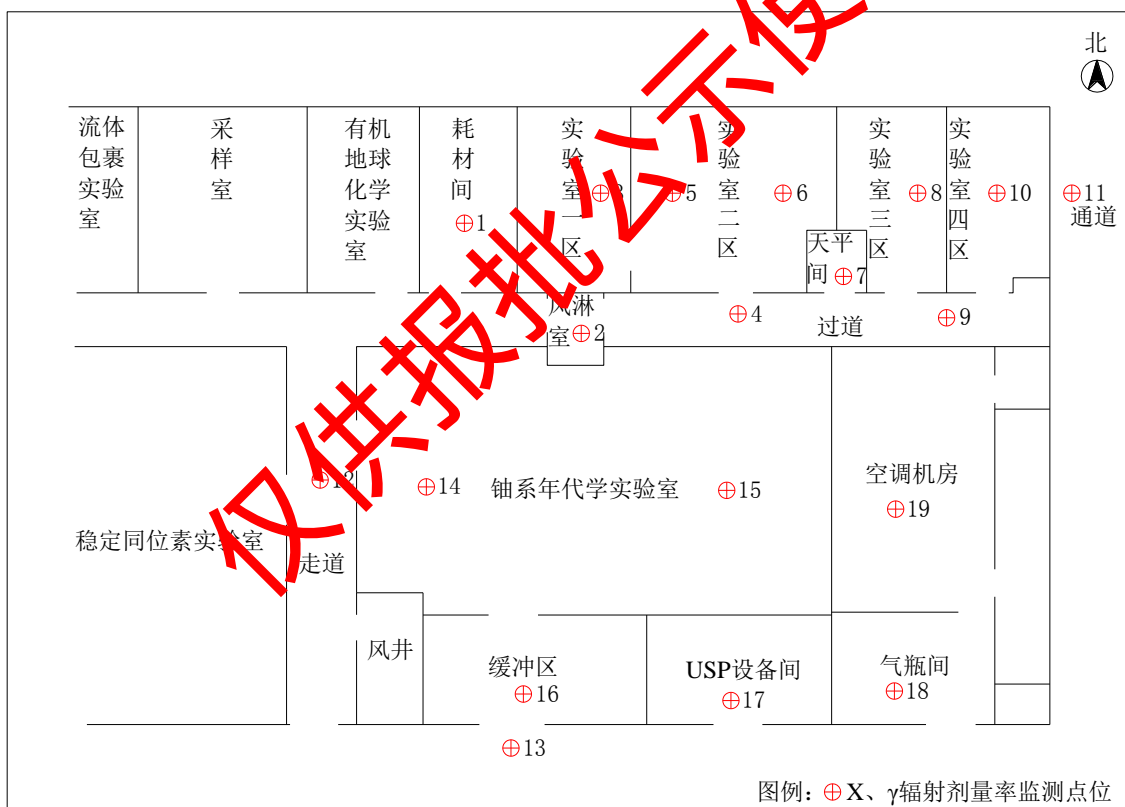


图 8-1 监测点位示意图

(2) 监测时间

2021 年 7 月 12 日。

(3) 监测仪器

监测仪器具体情况见表 8-1。

表 8-1 监测仪器一览表

监测仪器	环境监测用 X、 γ 辐射空气吸收剂量率仪		
型号规格	FD-3013H	仪器编号	XAZC-YQ-016
检出限	0.01 μ Gy/h~200 μ Gy/h	检定单位	上海市计量测试技术研究院
检定证书编号	2021H21-20-3331352001-01	检定有效期	2021.6.1~2022.5.31

(4) 质量保证措施

① 监测人员持证上岗；

② 严格按照《辐射环境监测技术规范》（HJ/T 61-2021）、《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）、《环境监测用 X、 γ 辐射测量仪 第一部分 剂量率仪型》（EJ/T 984-95）进行监测；

③ 监测结果经三级审核，保证监测数据的准确。

(5) 监测结果

监测结果见表 8-2。

表 8-2 项目 γ 辐射剂量率监测结果

监测点位	监测点位描述	X、 γ 辐射剂量率 (μ Gy/h)	
		测量范围	均值
1	耗材间	0.06~0.09	0.08
2	风淋室	0.06~0.09	0.07
3	实验一区	0.07~0.11	0.09
4	实验二区外过道	0.09~0.12	0.11
5	实验二区 1	0.08~0.10	0.09
6	实验二区 2	0.07~0.10	0.09
7	天平间	0.07~0.11	0.09
8	实验三区	0.07~0.12	0.10
9	实验三区外过道	0.08~0.12	0.10
10	实验四区	0.06~0.11	0.09
11	常闭安全门外通道	0.08~0.11	0.09
12	走道	0.08~0.11	0.09
13	实验室外通道	0.07~0.10	0.08
14	铀系年代学实验室 1	0.07~0.11	0.09
15	铀系年代学实验室 2	0.07~0.10	0.08
16	仪器间缓冲区	0.07~0.10	0.08
17	UPS 设备间	0.07~0.10	0.08
18	气瓶间	0.06~0.09	0.08
19	空调机房	0.06~0.09	0.07
—	屋顶 1	0.05~0.07	0.06
—	屋顶 2	0.05~0.07	0.06
—	屋顶 3	0.05~0.07	0.06
—	屋顶 4	0.05~0.07	0.06

—	楼下陕西省主要污染物减排工程技术研究中心工程中心 (4037)	0.07~0.10	0.09
—	楼下生态环境监测实验室 (4038)	0.07~0.10	0.09
—	楼下生态环境监测实验室 (4039)	0.06~0.09	0.08
—	大气污染源解析与控制实验室 (4040、4041)	0.06~0.09	0.08

根据表 8-2, 拟建场所各监测点位 γ 辐射剂量率测量值范围为 0.05~0.12 μ Gy/h。参照《陕西省环境天然贯穿辐射水平调查研究》(辐射防护, 第 14 卷第 4 期, 1994 年 7 月), 西安市天然贯穿辐射室内剂量率按网格点平均的均值为 143.0nGy/h。经比较, 本工程拟建场所辐射环境现状监测结果属于天然辐射环境本底波动水平。

仅供报批公示使用

表 9 项目工程分析及源项

工程设备和工艺分析

1、放射性同位素特性

本项目使用 10 种放射性同位素，参考国际原子能机构及《常用放射性同位素衰变纲图》等资料，各同位素的衰变参数见表 9-1。

表 9-1 本项目放射性同位素衰变常数

核素名称	半衰期 (a)	衰变方式	衰变辐射能量及强度
^{202}Pb	5.25×10^4	EC (100%)、 α	α 射线: 2539keV (<1%) ; X 射线: 8.952~15.344keV (22%)
^{205}Pb	1.73×10^7	EC (100%)	X 射线: 8.952~15.344keV (22%)
^{229}Th	7.88×10^3	α (100%)	α 射线: 4845.3keV (56.2%)、4901keV (10.2%) ; γ 射线: 11.1keV (0.27%) ; X 射线: 13.661~18.483keV (80%)
^{230}Th	7.54×10^4	α (100%)	α 射线: 4687keV (76.3%)、420.5keV (23.4%) ; γ 射线: 61.672keV (0.38%) ; X 射线: 10.622~19.218keV (7.8%)
^{233}U	1.592×10^5	α (100%)	α 射线: 4824.2keV (84.3%)、4783.5keV (13.2%) ; γ 射线: 42.4349keV (0.072%) ; X 射线: 11.118~20.450keV (5.2%)
^{234}U	2.455×10^5	α (100%)	α 射线: 4774.6keV (71.38%)、4722.4keV (28.42%) ; γ 射线: 53.2keV (0.123%) ; X 射线: 11.118~20.450keV (10%)
^{235}U	7.04×10^8	α (100%)	α 射线: 4395.4keV (57.73%)、4364.3keV (18.92%) ; γ 射线: 185.715keV (57%)、143.76keV (10.96%) ; X 射线: 11.118~20.450keV (28.1%)
^{236}U	2.342×10^7	α (100%)	α 射线: 4494keV (73.8%)、4445keV (25.9%) ; γ 射线: 49.46keV (0.078%) ; X 射线: 11.118~20.450keV (9%)
^{238}U	4.468×10^9	α (100%)	α 射线: 4198keV (79%)、4151keV (20.9%) ; γ 射线: 49.55keV (0.064%) ; X 射线: 11.118~20.450keV (7.3%)
^{237}Np	2.144×10^6	α (100%)	α 射线: 4788keV (47.64%)、4771.4keV (23.2%) ; γ 射线: 29.374keV (14.12%)、86.477keV (12.44%) ; X 射线: 11.367~21.088keV (49%)

2、同位素年代测定工作原理

天然性放射性同位素是指自然界中天然存在的放射性同位素，其中 ^{238}U 、 ^{235}U 和 ^{232}Th 三个长寿命放射性同位素在自然界的岩石、矿物、生物及水体中普遍存在，它们各自经过一系列的衰变，最后分别变成稳定的 ^{206}Pb 、 ^{207}Pb 、 ^{208}Pb 。连续衰变过程中，衰变前的放射性同位素为母体，衰变过程中产生的新同位素叫子体，每一次衰变所形

成的中间子体如果不稳定，将继续衰变，一直到产生稳定的最终子体为止。以上 3 个放射性衰变序列见图 9-1。

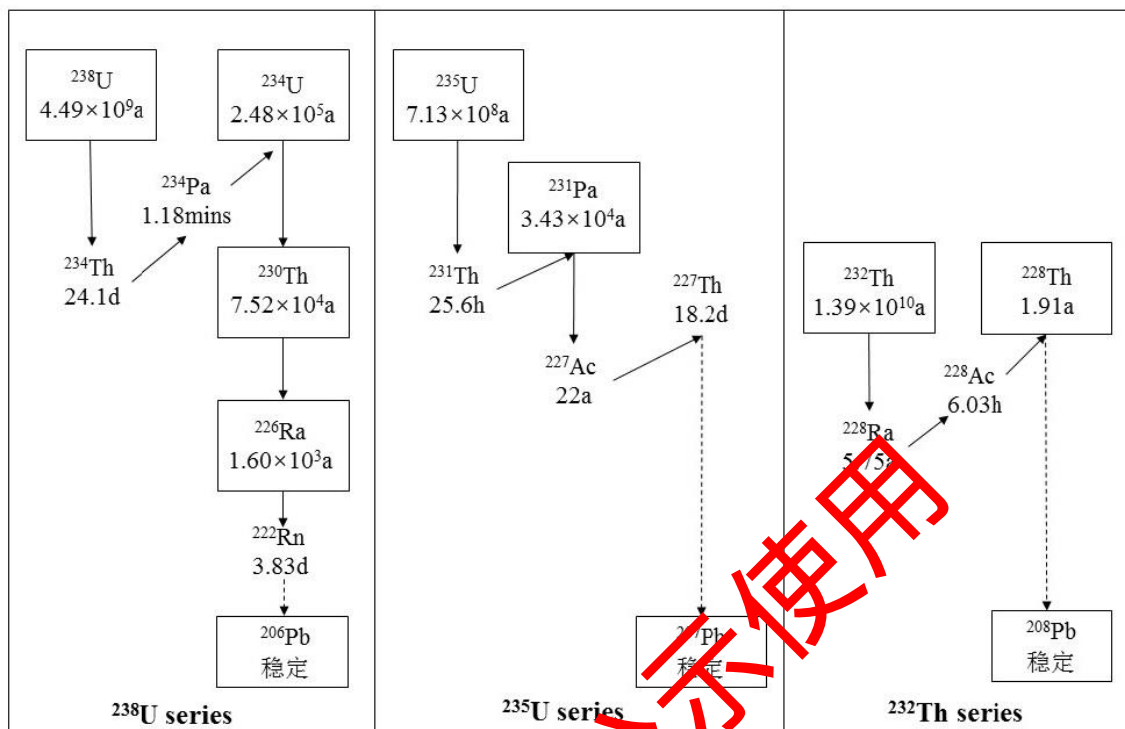


图 9-1 衰变序列图

如果一个长寿命的放射性同位素母体，在封闭体系内经过一段足够长的时间，最后各个子体的放射性强度都会达到同母体一样的水平，称为母体和子体间达到放射性平衡。如果经过物理的或化学的运动（如地球深部岩浆的形成活动、熔岩的地表结晶过程、岩石矿物的风化、生物过程、水溶液中的溶解和沉淀、粘土矿物的吸附等过程），由于物理化学性质的差异，母子体发生迁移分离，在新的体系中又要趋向于达到新的平衡，只要该体系自形成或被改造后一直保持着封闭状态，在未达到平衡之前，通过测定子母体建立平衡的程度，就可以定出沉积的年代，这是铀系测年法的基本原理。

铀系测年法广泛应用于古气候、地质、古海洋和考古等方面的研究，常用研究样品包括洞穴石笋、火山岩、骨骼、牙齿样品及珊瑚等。根据年代样品中不同的衰变子母体组合和地质过程中的分离特征，铀系测年方法中有很多不同的测年方法，包括：钍法 ($^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$)、铀法 ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$)、钍-铀法 ($^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$)、钍-铅法 ($^{231}\text{Th}/^{210}\text{Pb}$) 等。

3、多接收电感耦合等离子体质谱仪

同位素测年实验一般是将样品用酸溶解，然后用离子交换萃取等方法将铀、钍、铅等分离，再通过 α 能谱仪、热电离质谱仪 (TIMS)、多接收电感耦合等离子体质谱

(MC-ICP-MS) 等方法进行探测和分析, 最后计算出年代。其中 MC-ICP-MS 法具有电离效率高、灵敏度高、需要样品量少、可同时检测多个同位素、测量精度较高等优点, 是近年来最为常用的方法。

MC-ICP-MS 的工作原理为: 样品通过雾化器进样系统雾化后进入等离子体, 在等离子体 6000~8000K 的高温下电离成单一的正离子, 离子通过样品锥接口和离子传输系统进入高真空的磁电质谱部分, 通过电场和磁场双聚焦后被多个接收器同时接收测量。

本项目采用 Neptune Plus 及 Neptune XT 型多接收电感耦合等离子体质谱仪, 仪器主要由雾化器 ARIDUS II 进样系统、离子源、静电场分析器和多接收检测系统组成。仪器外观示意图见图 9-2。



图 9.2 多接收电感耦合等离子体质谱仪示意图

在 MC-ICP-MS 测量及分析过程中, 存在质量歧视效应, 即从等离子体到探测器区域间的离子电离效率、萃取效率、传输效率和检测效率存在差异, 同时轻重同位素在双聚焦系统的偏转程度不一致, 导致重同位素较轻同位素具有更好的传输效率, 最终测量得到的重同位素/轻同位素的比值比真实值偏大。为获得高精度和高准确度的年代测定结果, 必须对质量歧视进行校正, 一般是引入外部标准样或添加已知同位素比值的稀释剂, 通过测量标准样、稀释剂及样品中原有同位素的比值, 再选择合适的函数建立数学模型, 对测量值进行迭代运算, 剔除标准样、稀释剂组成从而得到自然样品的真实同位素组成。

本项目使用的 U、Th、Pb 等放射性同位素主要作为标准样及稀释剂, 对试验结

果进行质量歧视效应校正及相关研究中测量方法准确度和精度的验证。放射性同位素 Np 主要用于质谱仪的校准。

4、同位素测年实验主要流程

根据实验室提供的资料，同位素测年实验主要流程如下。

(1) 标准样、稀释剂制备

① 准备：根据具体需求，制定实验方法及流程，实验操作人员穿戴防护服、佩戴口罩、手套和防护镜及个人剂量计等进入实验三区。

② 称重：从保险柜中取出相应放射性同位素产品，在天平间称量出所需分量并记录。

③ 稀释：在实验三区专用超净安全柜中分次加入不同浓度的硝酸进行稀释，先稀释至较高浓度，再加入硝酸降低浓度，最终达到所需浓度，一般稀释 2 次，最多稀释 3 次，每次最多稀释至 1L，直至稀释至所需浓度。

④ 制备：将稀释好的溶液按照一定比例进行混合，制成含有 2 种或 2 种以上同位素的标准样或稀释剂。制成的稀释剂、标准样溶液盛装于 1L 的试剂瓶中，暂存于该超净安全柜中。

⑤ 分装：每 2 个月将制好的稀释剂或标准样在天平间进行分装，每次分装约 60g 至小试剂瓶中。分装好的稀释剂或标准样暂存于实验二区专用超净安全柜中，以供实验一区、二区、四区使用。

以上过程由于同位素的放射性将产生表面污染及 γ 射线、X 射线外照射。稀释剂制备等过程在超净安全柜中操作，产生的酸性废气由排风系统通至楼顶无机废气净化器处理后排放。稀释过程中产生废口罩、手套、废擦拭纸，以及清洗废液等。

(2) 化学分析（以 U-Th 测年法为例）

① 准备：使用酸以及纯水清洗实验器材。

② 称重：称取定量石笋等年代样品至干净烧杯中。

③ 消解：加入 HNO_3 至样品全部溶解，在天平间加入计算好的稀释剂（一般每个样品约 0.1g）并记录，加入 HClO_4 去除有机质，使溶液全部在底部，再放在电热板上蒸干。

④ Fe 共沉淀：用 HCl 溶解样品，加 FeCl_3 溶液至离心管，再将样品转移至离心管中混合摇匀，在样品中加入氨水并震荡至出现沉淀（U 和 Th 共沉淀于氢氧化铁中），

离心 3 次以去除镁钙等大量杂质，离心完成后加入 HNO₃ 溶解样品，转回烧杯中，加入 HClO₄ 蒸干，再加入 HNO₃ 溶解蒸干。

⑤ 分离样品：准备并检查分离柱，下方接收废液的玻璃杯，用 HNO₃ 溶解样品，转移至分离柱，先加入 HNO₃ 去除 Fe，再加入 HCl 分离 Th，再加入超纯水分离 U。Th 和 U 同位素分别收集于小烧杯中。

⑥ 制备上机样品：收集好的样品分次加入 HNO₃、HF 并蒸干处理，最终转移至进样瓶中。

化学分析使用的稀释剂量较少，处于豁免水平，表面污染及 γ 射线外照射水平极低。溶解、蒸干及过柱分离等全部在超净安全柜中操作，安全柜设有排风系统。化学分析过程中所有废上清液、废清洗液、废酸等全部收集至废液桶中，暂存于实验二区指定区域。实验废擦拭纸、废手套、口罩、移液枪枪头等收集至实验废物垃圾桶中。

(3) 同位素测定及分析

化学分析后的样品进入铀系年代学实验室，在多接收电感耦合等离子体质谱仪上进行测定，测定过程中样品全部雾化。同时为消除仪器的记忆效应，实验过程中需用稀 HNO₃ 或 HF 清洗进样系统。质谱仪安装有排风系统，废酸雾及样品雾化形成的气溶胶收集后通至楼顶无机废气净化器处理后排放。测定完成后进行结果分析。

实验流程图见图 9-3。

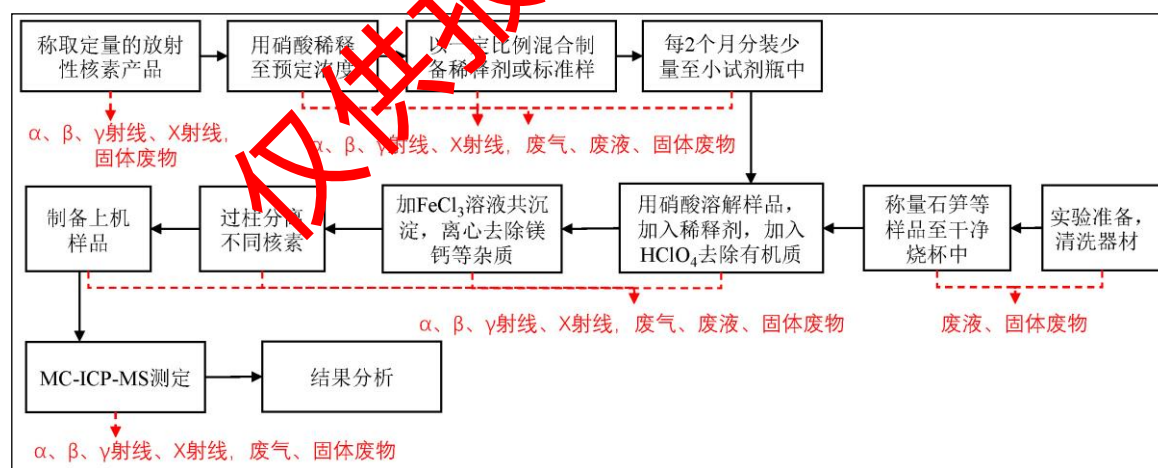


图 9-3 同位素测年实验流程图

5、人流、物流图

实验过程中放射性同位素进入实验室路径、稀释剂制备路径、化学分析路径与 MC-ICP-MS 测定路径较独立。稀释剂贮存与制备主要涉及实验三区与天平间，且该过程由专人负责，无关人员一般不进入实验三区；分装好的稀释剂在实验二区专用超

净安全柜暂存，便于化学分析人员使用，化学过程及 MC-ICP-MS 测定前后衔接，化学分析过程主要在实验一区、二区、四区，分析完成后通过缓冲区进入铀系年代学实验室进行测定。各区功能独立，使用人员固定，且风淋室、仪器间缓冲区等设有门禁，无关人员一般不会进入，加之化学分析过程及测定分析过程中放射性同位素使用量已处于豁免水平，因此实验路径基本合理。

实验过程人流、物流图见图 9-4。

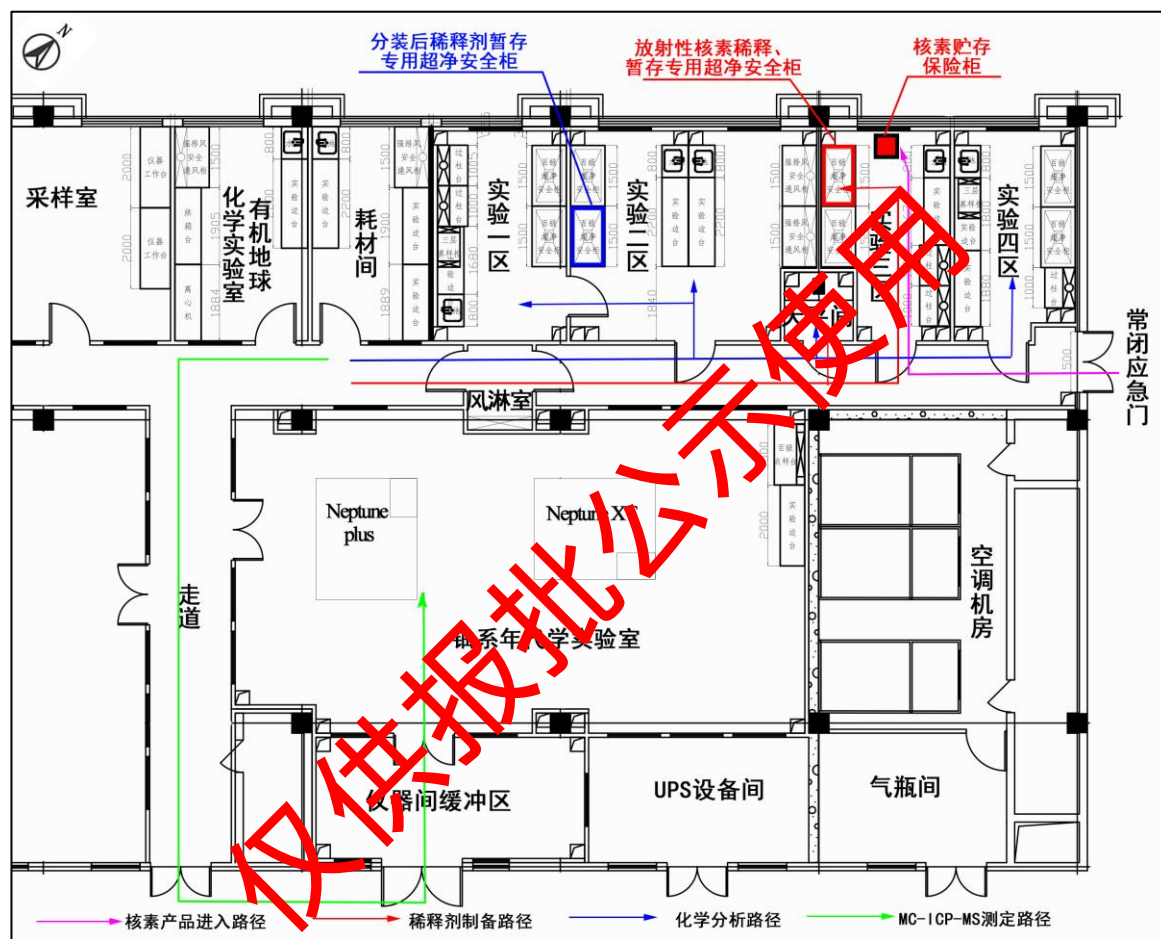


图 9-4 人流、物流图

污染源项描述

1、正常工况

(1) 表面污染及外照射

由表 9-1 可知，项目使用的放射性同位素主要衰变形式为 α 衰变和 EC 衰变，根据衰变方式的不同，放射出不同强度的 α 射线、 γ 射线和 X 射线。其中 α 射线的电离能力强，但穿透力较差，在空气中的射程仅几厘米，在生物肌肉组织中的射程仅为 30~40 μm ，人体角质层即可阻挡，因此基本不存在外照射危害，但当 α 离子进入体内时，

由于其电离能力强将造成内部损伤； γ 射线和X射线的穿透力较强，将对人体造成外照射。

因此实验过程中的放射性污染因子主要为 α 衰变产生的表面污染、 γ 射线及X射线造成的外照射。

(2) 放射性废物分类判定

根据实验流程可知，化学分析及测定分析过程中放射性同位素使用量处于豁免水平，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录A及《放射性废物分类》，豁免废物或解控废物不属于放射性废物，因此该过程产生的废液、固废经审管部门确认后，可作为豁免废物处理。

稀释剂制备过程中放射性同位素使用量较高，需进一步分析废液及固废中放射性活度浓度是否处于豁免水平；此外，测定分析时样品中放射性同位素全部雾化经排风系统引至楼顶无机废气净化器处理，净化器中SDG吸附剂每3~4年更换一次，需进一步分析废吸附剂中放射性同位素的活度。

① 稀释剂制备过程

稀释剂制备过程中主要进行称量、溶解稀释等操作，每次最多使用 $5.17 \times 10^5 \text{Bq}$ 的放射性同位素。产生的废液主要为稀释前实验器材清洗及稀释后人员洗手等少量废液，年产生量共计15L/a；固废主要为废防护服、护目镜、乳胶手套、口罩、擦拭纸等，年产生量共计1500g/a。根据实验室提供的资料，为确保结果的可靠性，稀释过程需保证快速、准确，基本不会造成放射性同位素的损失，因此本次保守以放射性同位素各损失5%进入废液以及固废中进行估算，废液估算结果见表9-2，固废估算结果见表9-3。

表 9-2 放射性废液活度浓度

同位素	日最大操作量 (Bq)	废液总活度 (Bq)	废液总量 (g)	废液活度浓度 (Bq/g)	豁免活度浓度 (Bq/g)	比值
^{202}Pb	1.00×10^5	5.00×10^2	15000	3.33×10^{-2}	1×10^3	3.33×10^{-5}
^{205}Pb	1.00×10^5	5.00×10^2	15000	3.33×10^{-2}	1×10^4	3.33×10^{-6}
^{229}Th	1.83×10^2	9.15×10^{-1}	15000	6.10×10^{-5}	1	6.10×10^{-5}
^{230}Th	2.10×10^2	1.05	15000	7.00×10^{-5}	1	7.00×10^{-5}
^{233}U	1.79×10^5	8.95×10^2	15000	5.97×10^{-2}	1×10^1	5.97×10^{-3}
^{234}U	4.78×10^4	2.39×10^2	15000	1.59×10^{-2}	1×10^1	1.59×10^{-3}
^{235}U	2.28×10^3	1.14×10^1	15000	7.59×10^{-4}	1×10^1	7.59×10^{-5}
^{236}U	1.20×10^3	6.00	15000	4.00×10^{-4}	1×10^1	4.00×10^{-5}

^{238}U	4.92×10^4	2.46×10^2	15000	1.64×10^{-2}	1×10^1	1.64×10^{-3}
^{237}Np	3.70×10^5	1.85×10^2	15000	1.23×10^{-2}	1	1.23×10^{-2}
合计	5.17×10^5	2.58×10^3	/	1.72×10^{-1}	/	0.02

注： ^{202}Pb 、 ^{205}Pb 豁免活度浓度值取自《国际辐射防护和辐射源安全基本安全标准》P112 表 I.1；其余同位素豁免活度浓度值取自《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）附录 A 表 A1。

表 9-3 放射性固废活度浓度

同位素	日最大操作量 (Bq)	固废总活度 (Bq)	固废总量 (g)	固废活度浓度 (Bq/g)	豁免活度浓度 (Bq/g)	比值
^{202}Pb	1.00×10^5	5.00×10^2	1500	3.33×10^{-1}	1×10^3	3.33×10^{-4}
^{205}Pb	1.00×10^5	5.00×10^2	1500	3.33×10^{-1}	1×10^4	3.33×10^{-5}
^{229}Th	1.83×10^2	9.15×10^{-1}	1500	6.10×10^{-4}	1	6.10×10^{-4}
^{230}Th	2.10×10^2	1.05	1500	7.00×10^{-4}	1	7.00×10^{-4}
^{233}U	1.79×10^5	8.95×10^2	1500	5.97×10^{-1}	1×10^1	5.97×10^{-2}
^{234}U	4.78×10^4	2.39×10^2	1500	1.59×10^{-1}	1×10^1	1.59×10^{-2}
^{235}U	2.28×10^3	1.14×10^1	1500	7.59×10^{-3}	1×10^1	7.59×10^{-4}
^{236}U	1.20×10^3	6.00	1500	4.00×10^{-3}	1×10^1	4.00×10^{-4}
^{238}U	4.92×10^4	2.46×10^2	1500	1.64×10^{-1}	1×10^1	1.64×10^{-2}
^{237}Np	3.70×10^5	1.85×10^2	1500	1.23×10^{-1}	1	1.23×10^{-1}
合计	5.17×10^5	2.58×10^3	/	1.72	/	0.22

综上，由表格可知，稀释剂制备过程中产生的废液及固废的活度浓度均低于豁免值，所有放射性同位素的活度浓度与豁免值的比值之和低于 1，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）附录 A 及《放射性废物分类》中豁免废物的要求，经审管部门确认后，可不作为放射性废物处理。

② 废 SDG 吸附剂

质谱仪测定时将样品全部雾化，此时样品中加入的放射性同位素转变为气溶胶，经排风管道收集后通往楼顶，由无机废气净化器处理后排放。无机废气净化器采用 SDG 吸附剂进行干法吸附，初始吸附效率 > 95%，吸附剂约 3~4 年更换 1 次，每次更换产生约 1t 废吸附剂。根据实验室提供的资料，化学分析经树脂交换后样品中稀释剂剩余约 90%，因此进入吸附剂中的放射性核素量为测定使用量的 90% × 95% 的吸附效率。

根据测定分析时放射性同位素的使用量，估算更换时废吸附剂的放射性活度，估算结果见表 9-4。

表 9-4 废吸附剂中各核素放射性活度

核素	测定使用活度 (Bq)	进入吸附剂活度 (Bq)	废吸附剂中活度		豁免活度
			3 年后	4 年后	

^{202}Pb	2.88×10^{-1}	2.46×10^{-1}	1.33×10^2	1.77×10^2	1×10^6
^{205}Pb	9.23×10^{-4}	7.89×10^{-4}	4.26×10^{-1}	5.68×10^{-1}	1×10^7
^{229}Th	2.01	1.72	9.28×10^2	1.24×10^3	1×10^3
^{230}Th	2.11×10^{-1}	1.80×10^{-1}	9.74×10^1	1.30×10^2	1×10^4
^{233}U	9.97×10^{-2}	8.52×10^{-2}	4.60×10^1	6.14×10^1	1×10^4
^{234}U	6.47×10^{-2}	5.5×10^{-2}	2.99×10^1	3.98×10^1	1×10^4
^{235}U	2.25×10^{-5}	1.92×10^{-5}	1.04×10^{-2}	1.39×10^{-2}	1×10^4
^{236}U	6.78×10^{-4}	5.80×10^{-4}	3.13×10^{-1}	4.17×10^{-1}	1×10^4
^{238}U	3.55×10^{-6}	3.04×10^{-6}	1.64×10^{-3}	2.19×10^{-3}	1×10^4
^{237}Np	7.40×10^{-3}	6.33×10^{-3}	3.42	4.56	1×10^3
合计	2.68	2.29	1.24×10^3	1.65×10^3	/

由估算结果可知，在 4 年每年进行 180 组测定实验的情况下，废吸附剂中 ^{229}Th 的放射性活度将超过豁免标准，以上是基于最大工况的估算结果，实际并非每种核素每天都使用，因此建议根据使用情况，对每次更换后的废吸附剂进行检测，超过豁免活度的送至城市放射性废物库，未超过豁免活度的经审管部门确认后由厂家回收处理。

(3) 废气

实验时稀释剂制备、化学分析蒸干等样品中的 HNO_3 、 HClO_4 、 HCl 及 HF 等将产生酸性废气，本项目使用的 U 、 Th 、 Pb 等不属于易挥发的物质，因此酸性废气中基本不含放射性同位素，以上实验过程均在超净安全柜中进行，各超净安全柜设有单独管道排风，通至楼顶无机废气净化器处理后排放，酸性废气经吸附处理后对周边环境影响较小。

质谱仪测定过程中将样品全部雾化再收集分析，雾化的气溶胶最终由专用管道通至楼顶无机废气净化器处理后排放。以样品中加入 ^{233}U - ^{229}Th 稀释剂进行分析，每组样品测定时间约 10h，实际上机时间以 8h 计，风量以 $800\text{m}^3/\text{h}$ 计算，根据表 9-4，每组样品排放的废气活度为 0.3Bq ，则废气排放浓度为 $1.875 \times 10^{-4}\text{Bq}/\text{m}^3$ ，浓度极低。其余稀释剂的活度均较小，测定时废气排放浓度均低于 $1.875 \times 10^{-4}\text{Bq}/\text{m}^3$ ，影响更小。以每年进行 180 次 ^{233}U - ^{229}Th 测定实验计算，废气年排放量为 54Bq ，低于豁免活度。除此以外，超净实验室、铀系年代学实验室无其他排风管道，无其他废气排放口。

(4) 废液

本项目稀释剂制备过程废液产生量约 $15\text{L}/\text{a}$ ，化学分析及测定分析过程废液产生量约 $200\text{L}/\text{月}$ ，经审管部门确认后作为豁免废物处理。废液中含有硝酸、盐酸及氢氟酸等，属于《国家危险废物名录》（2021 年版）中的危险废物，废物类别为 HW49 ，

废物代码为 900-047-49，本项目全过程废液均收集于废液桶中，集中暂存于实验二区及耗材间指定位置，由学校委托有资质单位定期收集处置。

(5) 固废

稀释剂制备过程中产生废防护服、实验帽、护目镜、擦拭纸、废乳胶手套、废口罩等约 1500g/a，化学分析及测定分析过程中产生废擦拭纸、废树脂、废手套、废口罩、废移液枪枪头等约 5kg/月，经审管部门确认后作为豁免废物处理。

本项目实验室为超净实验室，设置有送排风系统及无机废气净化器。送风系统设有前级、初级、中级、高效 4 级过滤器，采用熔喷无纺布及纤维滤纸进行过滤；以上进风口滤纸不会沾染放射性核素及废酸，熔喷无纺布约 3 个月更换 1 次，纤维滤纸约 2~3 年更换 1 次，由实验室自行更换，由学校委托有资质单位处理。

排风系统为各超净安全柜及质谱仪单独排风，引至楼顶无机废气净化器后由 SDG 吸附剂处理。根据实验室运行情况，更换下来的废 SDG 吸附剂密封暂存于专用废物桶中，经检测超过豁免活度的送至城市放射性废物库，未超过豁免活度的经审管部门确认后由厂家回收处理。

豁免处理的固废沾染有酸液等，属于《国家危险废物名录》（2021 年版）中的危险废物，废物类别为 HW49，废物代码为 900-047-49。实验室拟在各分区设置垃圾桶，将所有固废集中收集，由学校委托有资质单位定期收集处置。

2、事故工况

① 实验时样品打碎、泄漏等有可能污染工作台、地面等及人员内照射。

② 放射性同位素产品保管不当，发生遗失或被盗，可能造成环境放射性污染及人员内照射。

③ 通风系统失效，超净安全柜、质谱仪等废气无法及时排出，有可能造成实验室工作台、地面等表面污染及人员内照射。

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

1、辐射工作场所分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），辐射工作场所应分为控制区及监督区，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，需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域定为监督区。

根据实际使用情况及实验室的平面布置情况，超净实验室设有风淋室进行隔离，且实验三区为放射性同位素贮存及稀释区，活度较高，因此划为控制区；出风淋室后，测定过程中放射性同位素使用量处于豁免水平，因此将风淋室左侧耗材间、走道、铀系年代学实验室、缓冲区、空调机房、常闭应急门外通道及楼下 4027~4039 实验室划分为监督区，辐射工作场所分区示意图见图 10-1、10-2。

学校应在控制区外及其他适当位置处设立醒目的、符合规定的电离辐射警示标志，严禁无关人员入内。监督区适当地点设立表明监督区的标识，定期对监督区的表面污染水平等进行监测，除相应的实验人员外，其他人员应尽量远离监督区。

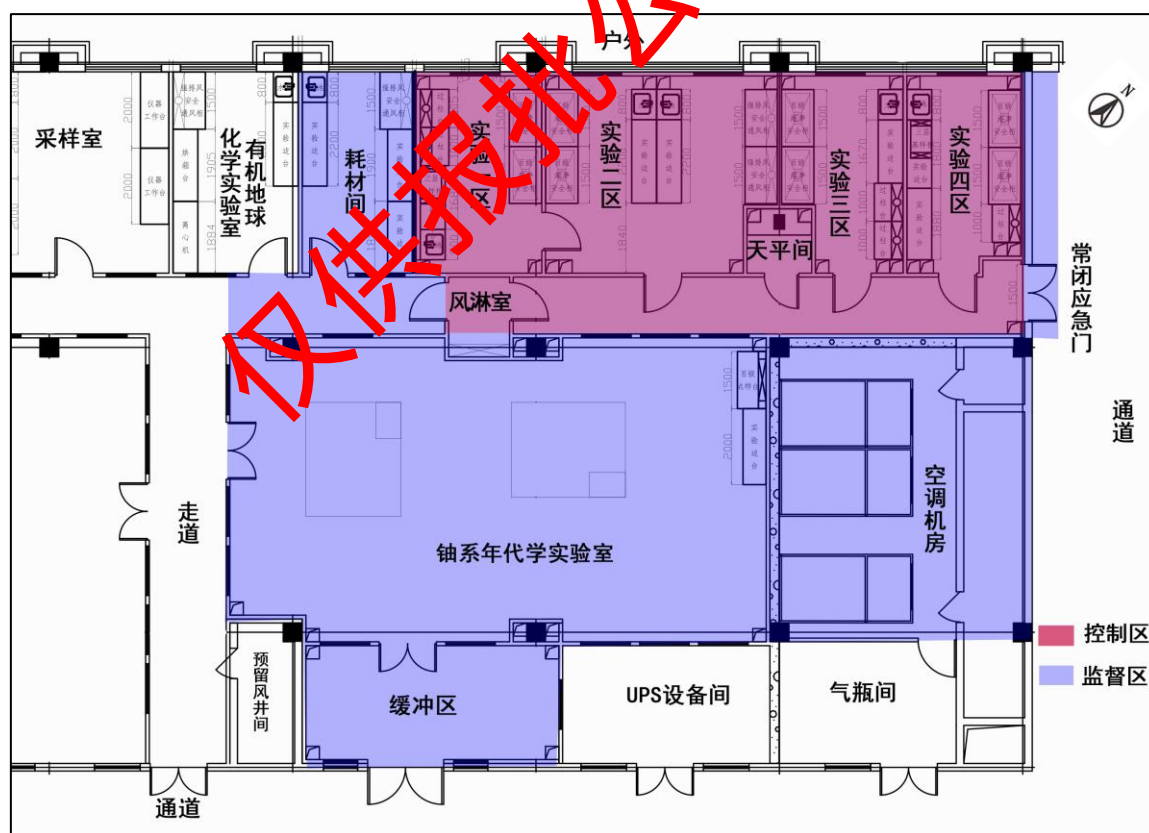


图 10-1 五层工作场所分区示意图

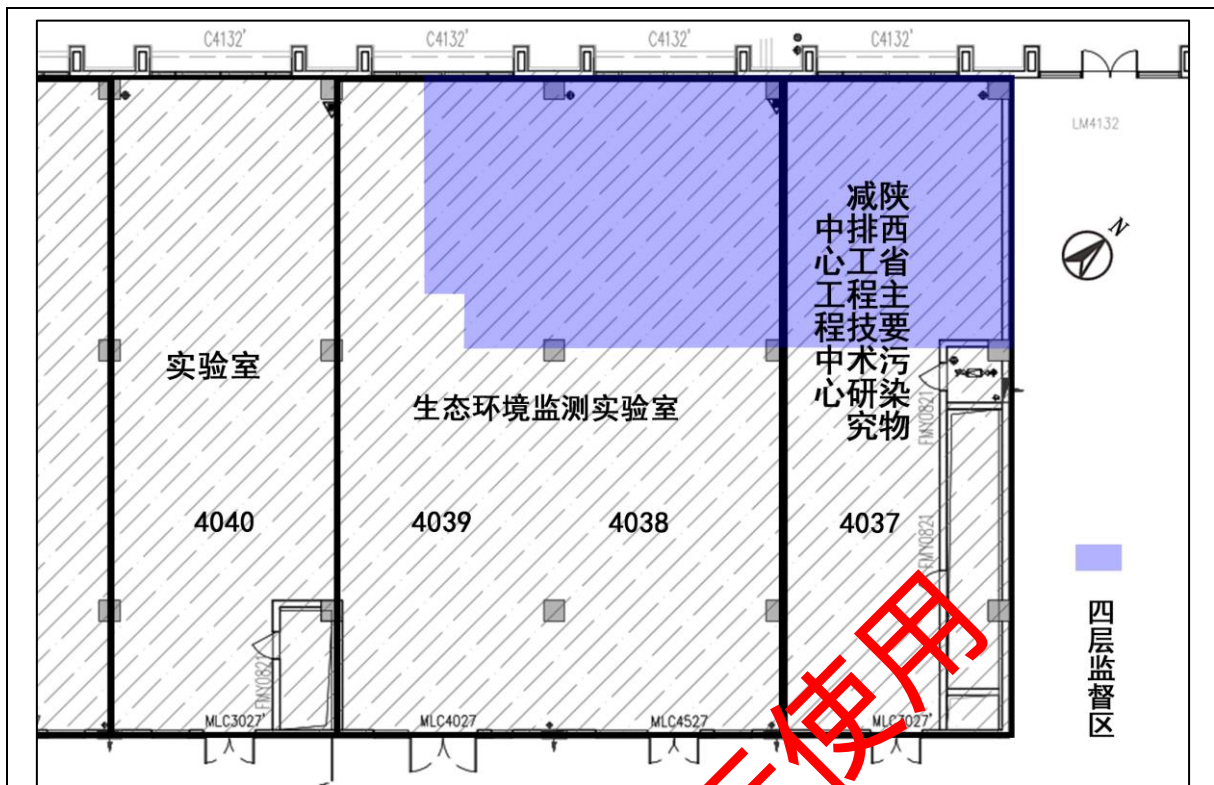


图 10-2 四层工作场所分区示意图

2、辐射安全防护设施及措施

本项目拟设置以下辐射安全设施及措施：

(1) 在超净实验室入口处设置电离辐射警告标志和中文警示说明，提醒无关人员不要靠近和逗留。

(2) 超净实验室、钟罩年代学实验室等设置门禁和视频监控，防止无关人员进入。放射性同位素暂存于实验三区专用超净安全柜下方，保险柜使用前应进行检漏，容器外贴有明显的标签，标签上注明元素名称、理化状态、射线类型、活度水平、存放起始时间和存放负责人等，保险柜加锁，防止放射性同位素被盗。存放药品的专用安全柜下方橱柜内除放射性同位素外，不得放置其他浓硝酸等易燃、易爆和其他危险物品。实验三区除进行稀释剂制备外，一般不进行其他操作，不堆放与实验无关的办公用品。实验室内设置火灾报警器、喷淋装置进行防火。

(3) 实验室地面及墙面采用 PVC 防腐贴板，表面光滑易清洗，墙面与地面相连处无缝隙。超净安全柜与实验操作台面采用吸附性和渗透性小、抗酸碱、表面光滑的材质，便于清洗。操作时在安全柜台面上铺设一层吸水纸，每天实验前后使用酒精、水、一次性擦拭纸等打扫实验区域，每月进行 1 次全面清扫，清扫工具专用，不带出超净实验室等区域，以防对其余区域造成污染。

(4) 同位素进入实验室的路径、稀释剂制备路径、化学分析路径及测定分析路径相互独立。各区域人员固定，稀释剂制备过程在实验三区、天平间内进行，制备过程中严禁无关人员进入，防止交叉污染。

(5) 制定辐射防护规程和涉及放射性同位素的实验操作流程，实验操作人员培训后上岗。日常运行期加强控制区的监督管理，防止无关人员入内，加强对化学分析人员及测定分析人员的培训，提高其辐射安全防护意识。

(6) 涉及新实验方法时，应事先进行模拟实验，熟练掌握操作技能后方可正式开展工作。当工艺流程发生重大改变或者提高放射性同位素日等效最大操作量时，如果超出原设计规范，应事先向主管部门提交防护与安全分析报告，经主管部门审查批准后方可进行。

(7) 实验人员进入超净实验室前需在风淋室进行吹淋，随后更换实验服、鞋、实验帽、佩戴口罩和乳胶手套，稀释剂制备的操作人员需穿一次性全身防护服、戴护目镜、乳胶手套和口罩。严格按照实验规程进行操作，以降低外照射影响。

(8) 实验人员进入控制区前首先检查手部是否存在伤口，如有伤口停止实验。禁止在控制区内进食、饮水、抽烟或嚼口香糖，避免内照射影响。

(9) 定期对实验室内器材、防护设施进行检查，保险柜、移动放射性液体的烧杯、试剂瓶及其他容器若破损应及时更换，确保监控设施、门禁等正常运行。

(10) 实验室应配备辐射监测仪（辐射剂量率仪、表面污染仪）、个人防护用品。实验室应配备多功能辐射测量仪，实验人员操作放射性同位素后应及时检测个人及操作场所的表面污染。

(11) 实验室应配备应急及去污用品。

(12) 设专人负责放射性同位素的管理和操作，建立放射性同位素台账，每次购买、使用实行严格的登记制度，定期检查放射性同位素的种类、数量，做到账物相符，如有异常应及时报告。

(13) 通风设置：为确保超净环境，实验室设有送回风及排风系统。

送回风系统运行方式为各实验室顶部送风，下侧双面回风。新风及回风经初效、中效、前级中效、高效4级过滤器处理后进入各实验室，初效过滤器效率 $>60\%$ ；中效过滤器效率 $>85\%$ ；前级中效过滤器效率 $>95\%$ ；高效过滤器效率 $>99.999\%$ ，经处理后，可保证各实验室内送入的空气为洁净空气。各实验室送风量约为 $8000\text{m}^3/\text{h}$ ，回

风量约 6000m³/h，换气次数为 70 次/h。

排风系统仅在各超净安全柜和质谱仪设置排风管道，每 4~5 台的排风管道通入楼顶 1 台无机废气净化器（通风量为 5000m³/h，净化效率>95%），净化处理后排放。实验室其他区域不再设置排风口。各超净安全柜的排风量约为 800m³/h，质谱仪排风量约为 1500m³/h，满足排风要求。

通风系统运行方式见图 10-3，送回风流程示意图见图 10-4。

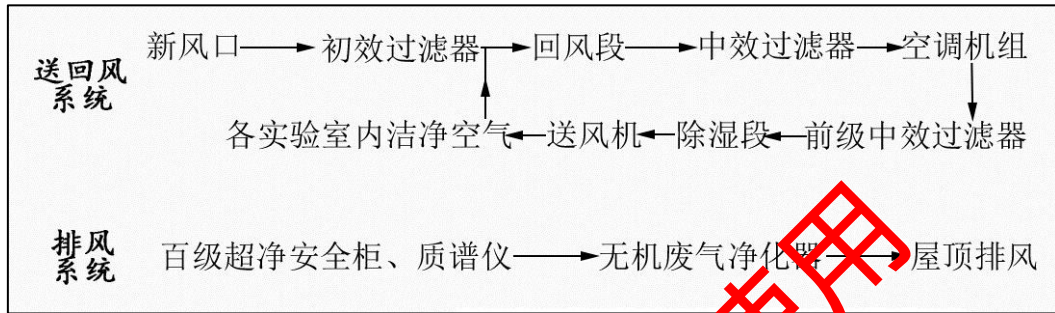


图 10-3 通风系统运行方式图

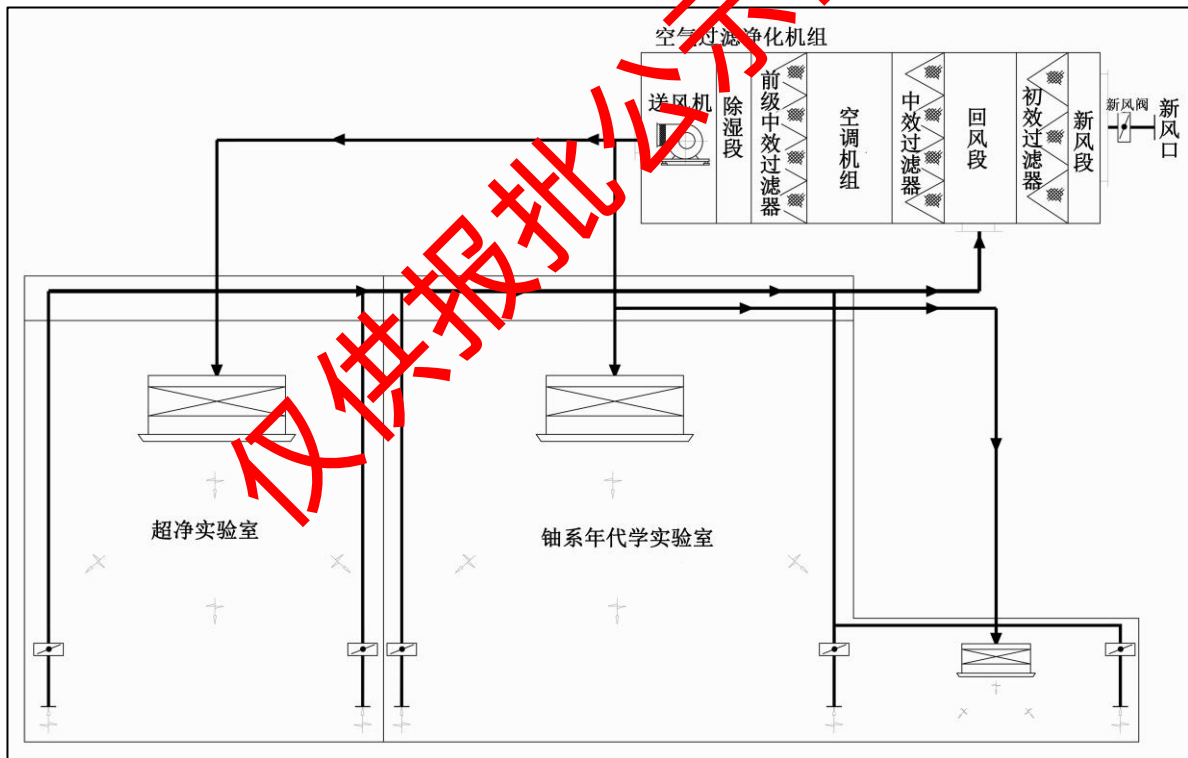


图 10-4 送回风流程示意图

实验室通风管道布置图见图 10-5~10-7。

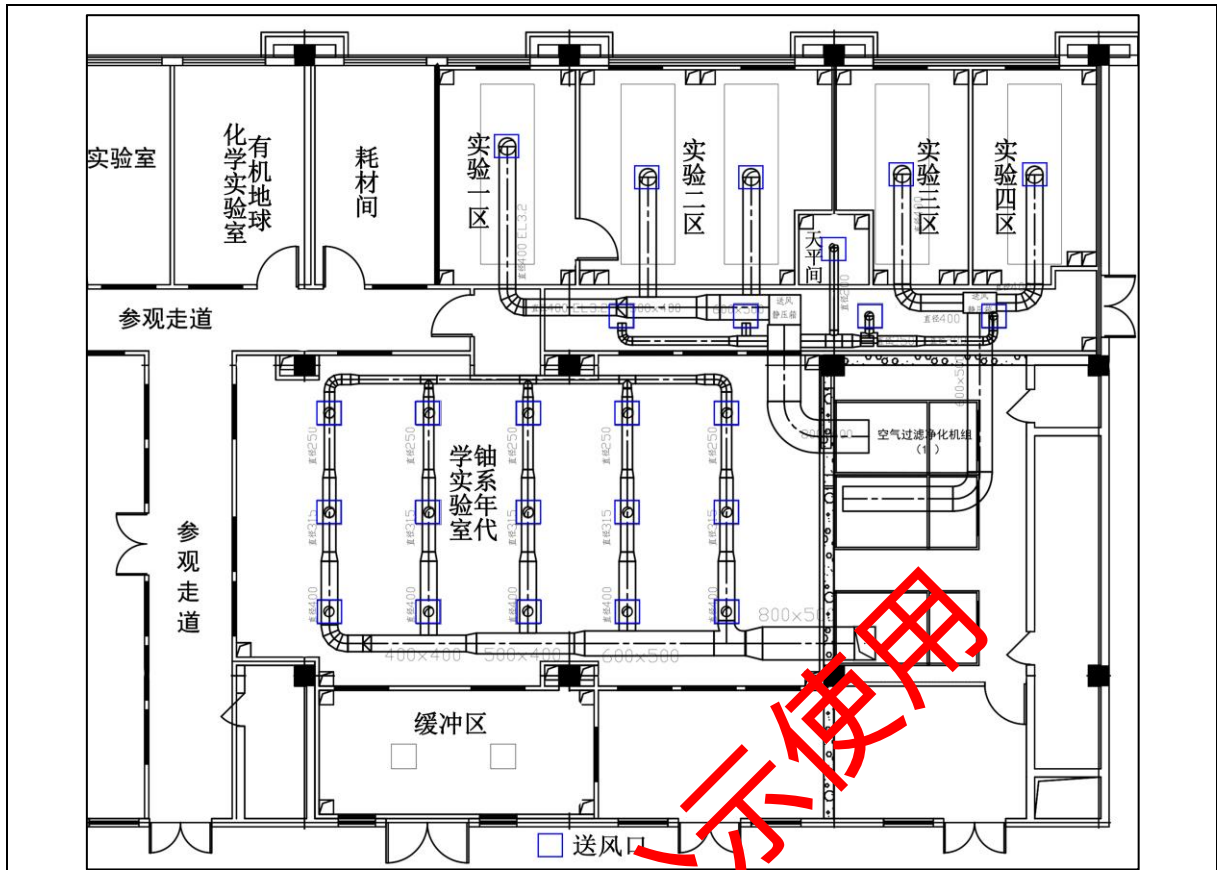


图 10-5 送风管道布置图

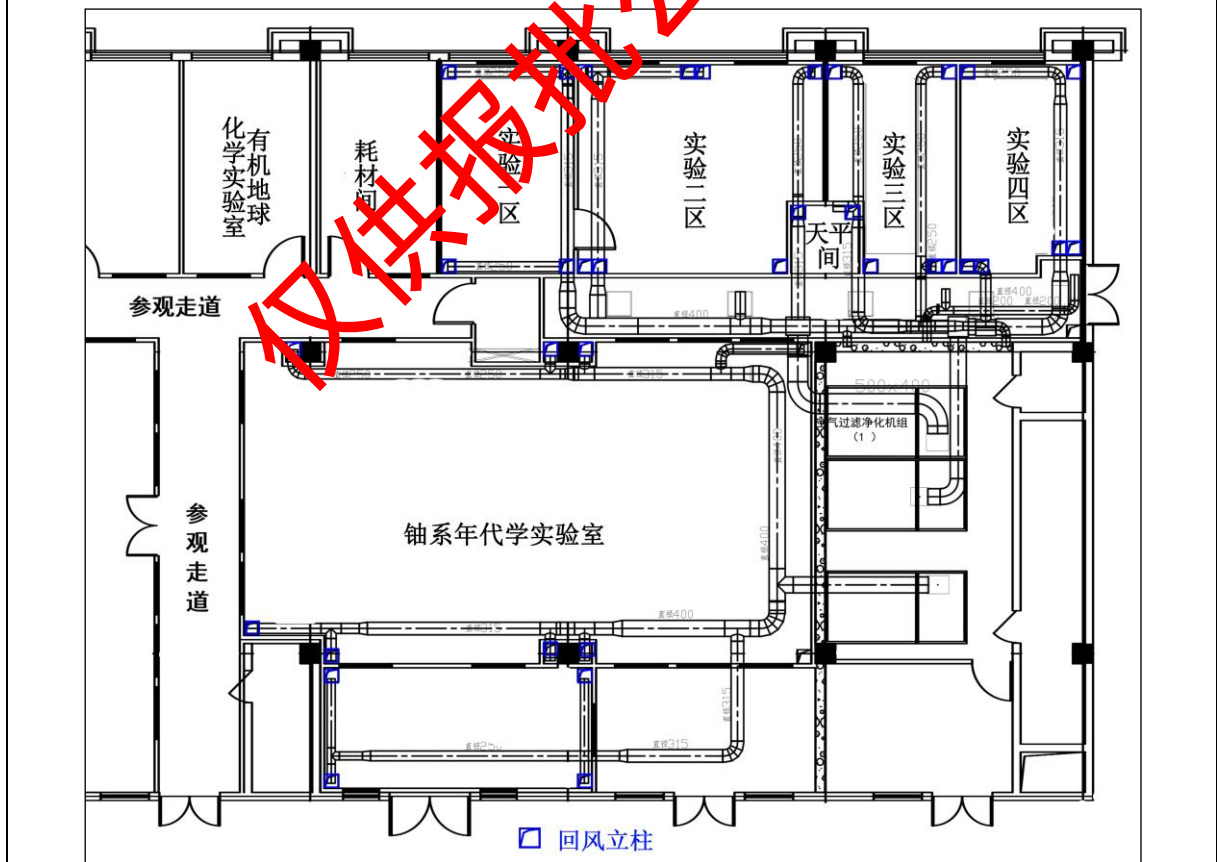


图 10-6 回风管道布置图

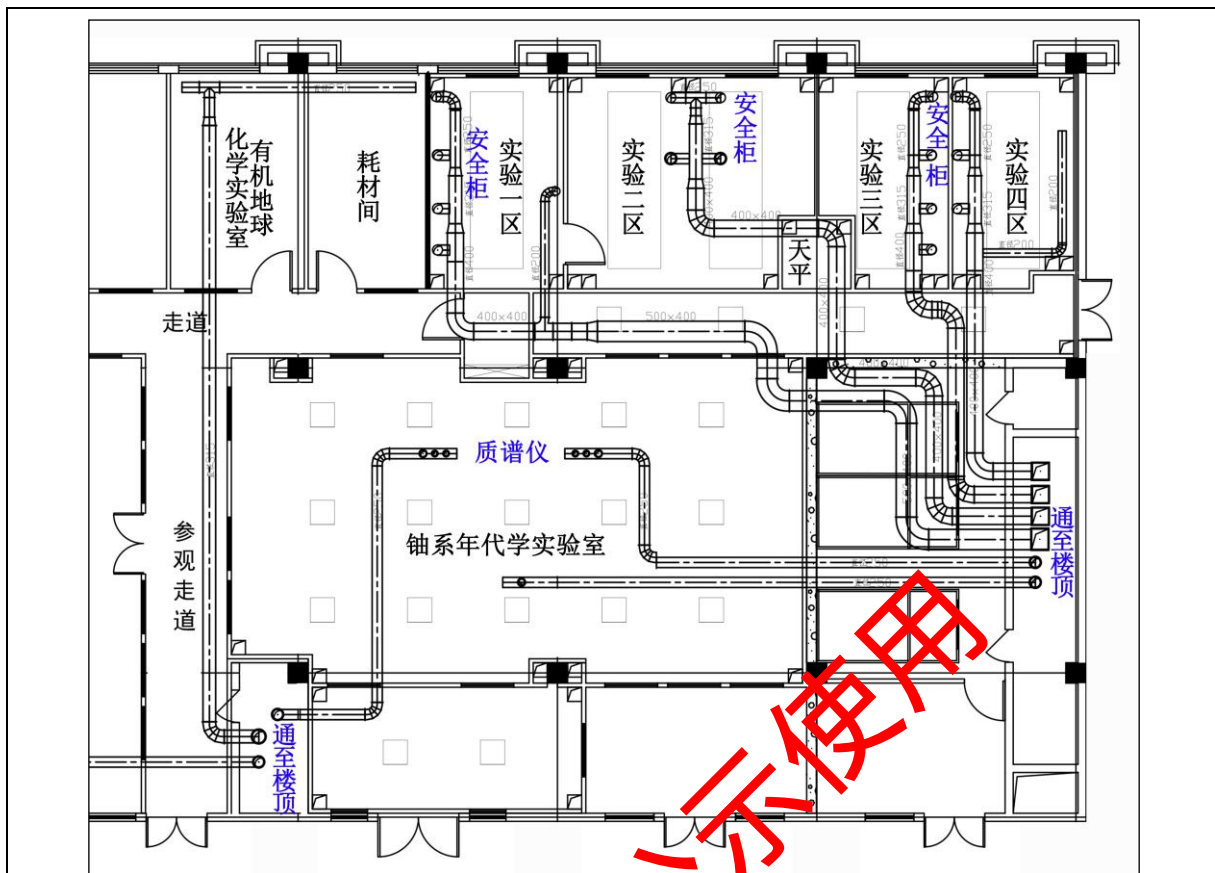


图 10-7 排风管道布置图

本项目实验室位于顶楼，送风、排风管道为吊顶式，回风采用回风井，无机废气净化器及管道设置于楼顶，楼顶一般无人到达，通风管道及排风口可避开公众，对周围环境影响较小。

通风系统设有自控系统，可实时和远程监控，当通风系统运行故障或过滤效率不达标时可发出警报，通知工作人员及时维修及更换。

三废的治理

1、废气治理措施

本项目稀释剂制备及化学分析等过程中使用的同位素量较少，且 U、Th、Pb 等不属于易挥发的物质，基本不产生放射性废气；质谱仪测定过程中将样品雾化，此时样品中含有的极低含量放射性同位素转变为气溶胶。

实验过程在超净安全柜、质谱仪中进行，排风由单独管道排出后再汇总，通至楼顶无机废气净化器处理后排放；无机废气净化器采用 SDG 吸附剂进行干法吸附，初始吸附效率>95%，可有效处理废气，对周边大气环境影响较小。

2、废液治理措施

本项目稀释剂制备过程废液产生量约 15L/a，化学分析及测定分析过程废液产生量约 200L/月，经审管部门确认后作为豁免废物处理。废液中含有硝酸、盐酸及氢氟酸等，属于《国家危险废物名录》（2021 年版）中的危险废物，废物类别为 HW49，废物代码为 900-047-49，废液均收集于废液桶中，集中暂存于实验二区及耗材间指定位置，由学校委托有资质单位定期收集处置。

3、固废治理措施

稀释剂制备过程中产生废防护服、实验帽、护目镜、擦拭纸、废乳胶手套、废口罩等约 1500g/a，化学分析及测定分析过程中产生废擦拭纸、废手套、废口罩、废移液枪枪头等约 5kg/月，经审管部门确认后作为豁免废物处理。送回风系统的滤纸等由实验室自行更换，由学校委托有资质单位处理。无机废气净化器的废 SDG 密封暂存于专用废物桶中，经检测超过豁免活度的送至城市放射性废物库，未超过豁免活度的经审管部门确认后由有资质厂家回收处理。

本项目豁免处理的固废沾染有酸液等，属于《国家危险废物名录》（2021 年版）中的危险废物，废物类别为 HW49，废物代码为 900-047-49。实验室拟在各分区设置垃圾桶，将所有固废集中收集，由学校委托有资质单位定期处置。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目同位素实验室已建成，但未进行放射性同位素样品的稀释剂制备等工作。不存在建设或安装过程中的环境影响问题。

运行阶段对环境的影响

根据上文分析，项目使用的放射性同位素主要发生 α 衰变和 EC 衰变，放射出不同强度的 α 射线、 γ 射线和 X 射线。 α 射线射程较短，穿透能力较弱，5MeV 的 α 离子在空气中的射程为 3.5cm，在生物组织中的射程为 43 μ m，因此佩戴手套即可完全屏蔽，对实验操作人员和外环境的影响可以忽略。对产生 γ 射线和 X 射线的同位素，由于其穿透能力强，将产生外照射影响。

1、使用过程中的屏蔽防护分析

(1) γ 、X 射线的外照射

项目所使用的大部分放射性同位素衰变产生 γ 、X 射线， γ 、X 射线的穿透力较强，常用的安瓿瓶、保险柜及超净安全柜等材料屏蔽作用较小，因此保守考虑，将贮存状态及使用状态的放射性同位素视为裸源，估算其对周围环境的影响。

① 贮存状态

根据《辐射防护导论》（万本善），如果辐射场中某点与辐射源的距离比辐射源本身的几何尺寸大 5 倍以上，即可将辐射源视为点源，放射性同位素点源的空气比释动能率由公式 11-1 计算。

$$\dot{K} = \frac{A \times \Gamma_k}{K} / r^2 \quad \text{公式 11-1}$$

式中， \dot{K} —距离放射性同位素点源 r 处，由能量大于 δ (10keV) 的光子（包括 γ 光子、内韧致辐射和特征 X 辐射的光子）所造成的空气比释动能率，Gy /s；

A—使用的放射性同位素活度，Bq；

Γ_k —放射性同位素的空气比释动能率常数，Gy·m²/(Bq·s)；

r—点源到人体的距离，m；

K—减弱倍数，无屏蔽情况下取 1，有屏蔽情况下，按照放射源的平均射线能量及屏蔽材料的厚度查参考资料取值。

由《发射光子的放射性同位素各向同性点源的剂量学常数》及其续 I、续 II 等文

献（李士骏，辐射防护，1999~2000年），可查出各同位素的空气比释动能率常数，见表 11-1。

表 11-1 各同位素的空气比释动能率常数一览表

同位素	空气比释动能率常数 Γ_k (aGy·m ² /(Bq·s))	空气比释动能率常数 Γ_k (Gy·m ² /(Bq·s))
²⁰² Pb	1.05×10 ¹	1.05×10 ⁻¹⁷
²⁰⁵ Pb	1.10×10 ¹	1.10×10 ⁻¹⁷
²²⁹ Th	2.54×10 ¹	2.54×10 ⁻¹⁷
²³⁰ Th	2.37	2.37×10 ⁻¹⁸
²³³ U	1.73	1.73×10 ⁻¹⁸
²³⁴ U	2.76	2.76×10 ⁻¹⁸
²³⁵ U	1.18×10 ¹	1.18×10 ⁻¹⁷
²³⁶ U	2.59	2.59×10 ⁻¹⁸
²³⁸ U	2.31	2.31×10 ⁻¹⁸
²³⁷ Np	1.61×10 ¹	1.61×10 ⁻¹⁷

注：表中 a 为国际单位制中小数单位，意为 1×10⁻¹⁸

不考虑同位素本身的安瓿瓶、保险柜及超净安全柜等材料的屏蔽，由公式 11-1 计算各同位素贮存时周围不同距离位置的空气比释动能率。

在空气中空气比释动能 K 和吸收剂量 D 在数值上相等。剂量当量 H=DQN，D 为吸收剂量，Q 为品质因数，对 X 和 γ 射线，Q 值通常取作 1，N 取值为 1，因此剂量当量 H (Sv) 和吸收剂量 D (Gy) 在数值上相等，因此估算结果可等量换算为剂量当量率，下同。

根据公式 11-1 放射性同位素贮存状态周围不同距离位置的剂量当量率估算结果见表 11-2。

表 11-2 放射性同位素贮存状态周围不同距离位置的剂量当量率

同位素	贮存活度 (Bq)	不同距离位置的剂量当量率 (μSv/h)				
		0.3m	0.5m	1.0m	1.5m	2.0m
²⁰² Pb	2×10 ⁵	0.08	0.03	0.01	3.36×10 ⁻³	1.89×10 ⁻³
²⁰⁵ Pb	2×10 ⁵	0.09	0.03	0.01	3.52×10 ⁻³	1.98×10 ⁻³
²²⁹ Th	2.75×10 ³	0.00	0.00	2.51×10 ⁻⁴	1.12×10 ⁻⁴	6.29×10 ⁻⁵
²³⁰ Th	3.15×10 ³	2.99×10 ⁻⁴	1.08×10 ⁻⁴	2.69×10 ⁻⁵	1.19×10 ⁻⁵	6.72×10 ⁻⁶
²³³ U	4.26×10 ⁵	0.03	0.01	2.65×10 ⁻³	1.18×10 ⁻³	6.63×10 ⁻⁴
²³⁴ U	1.19×10 ⁵	0.01	4.75×10 ⁻³	1.18×10 ⁻³	5.26×10 ⁻⁴	2.96×10 ⁻⁴
²³⁵ U	5.49×10 ³	2.59×10 ⁻³	9.33×10 ⁻⁴	2.33×10 ⁻⁴	1.04×10 ⁻⁴	5.83×10 ⁻⁵
²³⁶ U	2.44×10 ³	2.53×10 ⁻⁴	9.10×10 ⁻⁵	2.28×10 ⁻⁵	1.01×10 ⁻⁵	5.69×10 ⁻⁶
²³⁸ U	9.85×10 ⁴	9.10E-03	3.28×10 ⁻³	8.19×10 ⁻⁴	3.64×10 ⁻⁴	2.05×10 ⁻⁴
²³⁷ Np	3.70×10 ⁴	0.02	0.01	2.14×10 ⁻³	9.53×10 ⁻⁴	5.36×10 ⁻⁴
合计	1.09×10 ⁶	0.25	0.09	0.02	0.01	0.01

由估算结果可知，放射性同位素产品裸源外 0.3m 处的空气比释动能率为 0.25 μ Sv/h，低于 2.5 μ Sv/h，对周围环境的影响较小。项目放射性同位素平时贮存于实验三区专用超净安全柜，非操作情况下距离实验三区工作人员的距离一般大于 0.5m，与周围实验二区、实验四区公众的距离超过 1.5m，对周围环境的影响较小。

② 操作状态

进行稀释剂制备、化学分析及测定时单次使用的同位素量较少，采用公式 11-1，以操作时单次使用的同位素量，估算距源不同距离处的空气比释动能率，再转换为剂量当量率。估算结果见表 11-3。

表 11-3 放射性同位素操作状态周围不同距离位置的剂量当量率

同位素	同位素使用量 (Bq)	不同距离位置的剂量当量率 (μ Sv/h)		
		0.3m	0.5m	1m
稀释剂制备				
^{202}Pb	1.00×10^5	4.20×10^{-2}	1.51×10^{-2}	3.78×10^{-3}
^{205}Pb	1.00×10^5	4.40×10^{-2}	1.53×10^{-2}	3.96×10^{-3}
^{229}Th	1.83×10^2	1.86×10^{-4}	6.69×10^{-5}	1.67×10^{-5}
^{230}Th	2.10×10^2	1.99×10^{-5}	7.17×10^{-6}	1.79×10^{-6}
^{233}U	1.79×10^5	1.24×10^{-2}	4.46×10^{-3}	1.11×10^{-3}
^{234}U	4.78×10^4	5.28×10^{-3}	1.90×10^{-3}	4.75×10^{-4}
^{235}U	2.28×10^3	1.07×10^{-4}	3.87×10^{-4}	9.76×10^{-5}
^{236}U	1.20×10^3	1.24×10^{-4}	4.48×10^{-5}	1.12×10^{-5}
^{238}U	4.92×10^4	4.55×10^{-3}	1.64×10^{-3}	4.09×10^{-4}
^{237}Np	3.70×10^4	2.31×10^{-2}	8.58×10^{-3}	2.14×10^{-3}
合计	5.17×10^5	0.13	0.05	0.012
化学分析（从分装瓶中加取稀释剂）				
^{202}Pb	1.41×10^1	6.04×10^{-6}	2.17×10^{-6}	5.44×10^{-7}
^{205}Pb	4.61×10^0	2.03×10^{-8}	7.31×10^{-9}	1.83×10^{-9}
^{229}Th	1.01×10^1	1.02×10^{-4}	3.68×10^{-5}	9.21×10^{-6}
^{230}Th	1.05×10^1	9.98×10^{-7}	3.59×10^{-7}	8.98×10^{-8}
^{233}U	4.99	3.45×10^{-7}	1.24×10^{-7}	3.11×10^{-8}
^{234}U	3.23	3.57×10^{-7}	1.28×10^{-7}	3.21×10^{-8}
^{235}U	1.13×10^{-3}	5.32×10^{-10}	1.92×10^{-10}	4.79×10^{-11}
^{236}U	3.39×10^{-2}	3.51×10^{-9}	1.26×10^{-9}	3.16×10^{-10}
^{238}U	1.78×10^{-4}	1.64×10^{-11}	5.91×10^{-12}	1.48×10^{-12}
^{237}Np	3.70×10^{-1}	2.38×10^{-7}	8.58×10^{-8}	2.15×10^{-8}
合计	1.34×10^2	1.10×10^{-4}	3.97×10^{-5}	9.93×10^{-6}
化学分析（加入稀释剂后）及测定分析				
^{202}Pb	2.88×10^{-1}	1.21×10^{-7}	4.35×10^{-8}	1.09×10^{-7}
^{205}Pb	9.23×10^{-4}	4.06×10^{-10}	1.46×10^{-10}	3.65×10^{-11}
^{229}Th	2.01	2.05×10^{-6}	7.37×10^{-7}	1.84×10^{-7}

^{230}Th	2.11×10^{-1}	2.00×10^{-8}	7.19×10^{-9}	1.80×10^{-9}
^{233}U	9.97×10^{-2}	6.90×10^{-9}	2.48×10^{-9}	6.21×10^{-10}
^{234}U	6.47×10^{-2}	7.14×10^{-9}	2.57×10^{-9}	6.42×10^{-10}
^{235}U	2.25×10^{-5}	1.06×10^{-11}	3.83×10^{-12}	9.58×10^{-13}
^{236}U	6.78×10^{-4}	7.02×10^{-11}	2.53×10^{-11}	6.32×10^{-12}
^{238}U	3.55×10^{-6}	3.28×10^{-13}	1.18×10^{-13}	2.95×10^{-14}
^{237}Np	7.40×10^{-3}	4.77×10^{-9}	1.72×10^{-9}	4.29×10^{-10}
合计	2.69	2.21×10^{-6}	7.94×10^{-7}	1.99×10^{-7}

由估算结果可知,当考虑所有同位素同时操作时,在进行稀释剂制备时,距源0.3m处的剂量当量率为 $0.13\mu\text{Sv/h}$; 在进行化学分析(从分装瓶中加入稀释剂)时,距源0.3m处的剂量当量率为 $1.10 \times 10^{-4}\mu\text{Sv/h}$; 化学分析(加入稀释剂后)及测定分析时,距源0.3m处的剂量当量率为 $2.21 \times 10^{-6}\mu\text{Sv/h}$, 均低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$, 对周围环境的影响较小。

2、辐射工作人员及公众剂量估算

根据项目实际操作流程,对稀释剂制备操作人员的年附加有效剂量、化学分析测定时操作人员的年附加有效剂量及周边公众的年附加有效剂量进行估算。

(1) 年有效剂量可按下式计算:

$$P_{\text{年}} = H \cdot U \cdot T \quad \text{公式 11-2}$$

式中: $P_{\text{年}}$ —一年有效剂量, mSv/a ;

H —关注点的剂量当量率, mSv/h ;

T —居留因子;

t 为年工作时间, h 。

(2) 辐射工作人员年附加有效剂量

根据项目的工作制度,辐射工作人员约2人,稀释剂制备年工作时间以每年2次,每次40min计算,分装时间以每次20min,每年6次计算,则年工作时间总计200min,3.4h。稀释剂制备时在实验三区专用超净安全柜进行操作,受下方保险柜中贮存源和安全柜中操作的源的照射。

化学分析及测定时间每年工作时间各约180次,化学分析每次8.5h(包括添加稀释剂0.5h,其余过程8h)、测定分析每次10h。

年总附加有效剂量估算结果见表11-4。

表 11-4 辐射工作人员年附加有效剂量估算

人群		与源距离(m)	居留因子	时间 t (h)	剂量当量率 (μSv/h)	年有效剂量 (mSv/a)		剂量限值 (mSv/a)
辐射工作人员	稀释剂制备	0.3	1	3.4	0.38	1.29×10 ⁻³	1.29×10 ⁻³	2
	化学分析及测定	0.3	1	90	1.10×10 ⁻⁴	9.93×10 ⁻⁶		
		0.3	1	3240	2.21×10 ⁻⁶	7.15×10 ⁻⁶		

由估算结果可知，辐射工作人员的年总附加有效剂量为 1.29×10⁻³mSv/a，稀释剂制备为固定的 1 名工作人员进行操作，化学分析及测定时 2 人可能同时操作，因此辐射工作人员的年附加有效剂量最大为 1.29×10⁻³mSv/a，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)中剂量限值要求及本次设定的剂量约束值(2mSv/a)。

(3) 公众年附加有效剂量

根据总平面布置，周边受影响的公众主要为同位素实验室其他区域的实验人员、楼下实验室工作人员及东侧、南侧通道内流动人员，其中距离最近的是耗材室、东侧通道及楼下实验室，同时考虑从超净实验室进入铀系年代学实验室沿路公众受到的有效剂量，估算结果如下：

表 11-10 公众年附加有效剂量

人群及相对位置		与源距离 (m)	居留因子	时间 t (h)	剂量当量率(μSv/h)	减弱倍数 k	年有效剂量(mSv/a)	剂量限值 (mSv/a)
公众	耗材室	1	1/4	1440	1.99×10 ⁻⁷	/	7.15×10 ⁻⁸	0.1
	实验四区东侧通道	1	1/4	1440	1.99×10 ⁻⁷	5	1.43×10 ⁻⁸	
	实验三区楼下实验室	2.5	1	8760	5.82×10 ⁻⁴	5	5.10×10 ⁻³	
	铀系年代实验室室外走道	0.3	1/4	1800	2.21×10 ⁻⁶	/	9.93×10 ⁻⁷	

注：1、本项目 ²³⁴U 产生的 γ 射线最大能量为 0.508MeV，其余同位素产生的 γ 射线能量均较小，同位素实验室地面采用 150mm 钢筋混凝土+40mm 厚不发火细石混凝土，实验四区东墙为 200mm 混凝土墙，查《辐射防护导论》P323 附表 9，0.5MeV 的 γ 射线对应 193mm 混凝土的衰减倍数为 5；耗材室、铀系年代实验室墙面为轻钢龙骨硅钙板岩棉墙面，不考虑减弱效果。

由估算结果可知，公众的最大年附加有效剂量为 5.10×10⁻³mSv/a，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中剂量限值要求及本次设定的剂量约束值（0.1mSv/a）。本项目建成运行后对工作人员及公众的影响较小。

3、三废影响分析

① 废气

项目产生的酸性废气中基本不含放射性同位素，实验在超净安全柜中进行，酸性废气经单独管道排出后再汇总，通至楼顶无机废气净化器处理后排放；无机废气净化器采用 SDG 吸附剂进行干法吸附，初始吸附效率 >95%，可有效处理酸性废气，对周边大气环境影响较小。

测定过程中产生的放射性气溶胶由质谱仪的排风管道通至楼顶无机废气净化器，经处理后排放，根据上文估算，排放口的废气活度浓度极低，对周边环境影响较小。

② 废液

本项目稀释剂制备过程废液产生量约 10L/a，化学分析及测定分析过程废液产生量约 200L/月，经审管部门确认后作为豁免废物处理。本项目废液属于《国家危险废物名录》（2021 年版）中的危险废物，收集于废液桶中，集中暂存于实验二区及耗材间指定位置，由学校委托有资质单位定期收集处置。

③ 固体废物

项目产生废防护服、实验帽、护目镜、擦拭纸、废乳胶手套、废口罩等约 60.5kg/a，经审管部门确认后作为豁免废物处理。进风系统的废棉喷无纺布、纤维滤纸等由实验室自行更换，由学校委托有资质单位处理。无机废气净化器的 SDG 吸附剂经检测后根据活度水平作为豁免废物处理或送至城市放射性废物库处理。

豁免处理的固废均属于《国家危险废物名录》（2021 年版）中的危险废物，实验室拟在各分区设置垃圾桶，将所有固废集中收集暂存，由学校委托有资质单位定期收集处置。

事故影响分析

1、事故工况

本项目实验室使用 U、Th 等同位素进行同位素测年实验，在正常情况下对公众和周围环境是安全的。但如果操作失误或管理不善，可能对周围环境造成影响，可能发生的事故主要有：

① 实验时样品打破、泄漏等有可能污染工作台、地面等及人员内照射。

② 放射性同位素产品保管不当，发生遗失或被盗，可能造成环境放射性污染及人员内照射。

③ 通风系统失效，超净安全柜、质谱仪等废气无法及时排出，有可能造成实验室工作台、地面等表面污染及人员内照射。

2、事故风险评价

① 放射性同位素打破、泄漏

本项目最大的概率风险事故为实验过程中不小心意外打破放射性同位素包装，造成放射性同位素泄露。

假设稀释剂制备过程中放射性同位素产品被打破泄露，其中 1%被操作者误吸入，所产生的待积有效剂量按照《职业性内照射个人监测规范》（GBZ129-2016）中公式计算：

$$E(\tau) = Ae(\tau) \quad \text{公式 11-9}$$

式中： $E(\tau)$ —待积有效剂量，Sv；

A—放射性同位素摄入量，Bq；

$e(\tau)$ —每单位摄入量引起的待积有效剂量，Sv/Bq。

估算结果见表 11-1。

表 11-11 事故状态下人员吸入所致的待积有效剂量

同位素	摄入量	$e(\tau)$ (Sv/Bq)	$E(\tau)$ (mSv)
^{202}Pb	1.00×10^3	1.1×10^{-10}	1.10×10^{-2}
^{205}Pb	1.00×10^3	3.4×10^{-10}	3.40×10^{-4}
^{229}Th	1.83	9×10^{-5}	0.18
^{230}Th	2.10	4.0×10^{-5}	8.40×10^{-2}
^{233}U	1.79×10^3	8.7×10^{-6}	15.6
^{234}U	4.78×10^4	8.5×10^{-6}	4.06
^{235}U	2.28×10^3	7.7×10^{-6}	0.17
^{236}U	1.10×10^3	7.9×10^{-6}	9.48×10^{-2}
^{238}U	4.92×10^4	7.3×10^{-6}	3.59
^{237}Np	7.9×10^4	2.1×10^{-5}	7.77
合计	/	/	31.54

注： $e(\tau)$ 查《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）附录 B 表 B3，选择 F、M、S 所有类别中最大值

由估算结果可知，在事故状态下，放射性同位素导致的最大待积有效剂量为 7.77mSv，超过本次评价设定的辐射工作人员年有效剂量约束值 2mSv。实际操作过程中，针对 ^{237}Np 及 U 系核素的操作应谨慎，避免打破造成人员内照射。

② 放射性同位素被盗

放射性同位素被盗时容易造成外照射影响，根据表 11-2 中所有同位素贮存状态 0.3m 处剂量当量率估算，400h 后对公众造成有效剂量将达到本次评价设定的公众年有效剂量约束值 0.1mSv。

③ 通风系统失效

当通风系统发生事故的情况下，超净安全柜及质谱仪中的废气无法及时排出，此时假设质谱仪中气溶胶进入实验室，全部被操作人员吸入，产生的待积有效剂量见表 11-12。

表 11-12 事故状态下人员吸入导致的待积有效剂量

同位素	吸入量	$e(\tau)$ (Sv/Bq)	$E(\tau)$ (mSv)
^{202}Pb	2.88×10^{-1}	1.1×10^{-8}	3.16×10^{-6}
^{205}Pb	9.23×10^{-4}	3.4×10^{-10}	3.14×10^{-10}
^{229}Th	2.01	9.9×10^{-5}	0.20
^{230}Th	2.11×10^{-1}	4.0×10^{-5}	8.42×10^{-3}
^{233}U	9.97×10^{-2}	8.7×10^{-6}	8.68×10^{-4}
^{234}U	6.47×10^{-2}	8.5×10^{-6}	5.50×10^{-4}
^{235}U	2.25×10^{-5}	7.7×10^{-6}	1.74×10^{-7}
^{236}U	6.78×10^{-4}	7.9×10^{-6}	5.35×10^{-6}
^{238}U	3.55×10^{-6}	7.3×10^{-6}	2.59×10^{-8}
^{237}Np	7.40×10^{-3}	2.1×10^{-5}	1.55×10^{-4}
合计	/		0.21

注： $e(\tau)$ 查《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）附录 B 表 B3，选择 F、M、S 所有类别中最大值

由估算结果可知，在通风系统失效的情况下，放射性同位素气溶胶被吸入导致的待积有效剂量最大为 0.21mSv，实际操作过程中，所有样品不可能同时用质谱仪测定，因此导致的人员吸入剂量将更小。项目通风系统设置有报警装置，当发生事故时可报警及时通知维修，因此通风系统失效导致的影响在可控范围内。

3、事故防范措施建议

当发生事故时，应根据国家环保总局《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发〔2006〕145 号）和国务院令第 376 号突发公共卫生事件应急预案、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》有关安全事故防范工作要求开展事故预防与应急处置。

对实验室可能发生的事故，可采取以下措施：

(1) 操作过程中不小心导致放射性同位素泼洒、泄漏发生污染

① 及时封闭被污染现场并迅速切断污染的来源，使用监测仪器检查污染区域，利用一次性手套、口罩和吸水纸进行清理。小心用吸水纸吸取废液，用完后集中收集废手套、口罩、废纸至专用废物桶中。

② 对受污染人员采取必要的去污染措施，使用监测仪器检查污染区域，包括手、

衣物和鞋等物品。若鞋、衣物等发生污染，应集中收集至密封袋中。操作者皮肤、毛发轻度污染时须及时淋浴去污。

③ 去污原则：应视同位素的种类、放射性同位素的理化性质、被污染对象的特点，采取相应的去污措施。去污顺序应由外围向中心依次进行，避免污染范围扩大。去污过程中生成的放射性废物须随时放入合适的容器中，容器上应贴标签，写明同位素名称和日期，交由有资质单位处理。

(2) 放射性同位素丢失被盗

项目已设置视频监控，保险柜额外加锁，实验室设置门禁，无关人员无法进入，因此基本不会发生放射性同位素的丢失被盗。

一旦发生以上事故时，相关人员应当立即向上级各主管部门报告启动事故应急预案。辐射安全管理小组等相关人员立刻到达现场，负责保护现场，控制范围。发生该类事故后，应在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门和公安部门报告。如果可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。辐射安全管理小组人员负责现场检测，相关人员迅速报告放射性同位素基本情况。

(3) 通风系统失效

定期检查通风系统运行情况，确保报警装置正常运行，通风系统发生事故时应密闭盛装放射性同位素的容器，停止放射性同位素操作，人员撤离，通知专业人员维修通风系统。

(4) 建立放射性同位素使用管理制度，制定放射性同位素操作技术规程和事故应急处理预案。辐射安全管理小组定期检查安全规章和制度落实情况，发现问题及时纠正。

表 12 辐射安全管理

<p>辐射安全与环境保护管理机构的设置</p> <p>西安交通大学已成立以学校主要领导王铁军为组长，以实验室与资产管理处、保卫处、核技术利用项目相关学院负责人为成员的辐射安全管理领导小组(西交实(2017)84号，见附件)，负责日常辐射安全监管和协调工作。辐射安全与环境保护领导小组办公室设在实验室与资产管理处。</p>
<p>辐射安全管理规章制度</p> <p>一、辐射安全管理现状</p> <p>1、辐射安全管理制度</p> <p>西安交通大学已制定《放射安全和防护管理细则》、《实验室安全管理办法》、《实验室安全事故应急预案》(含辐射事故应急预案)、《多功能脉冲 X 射线源操作规范》、《脉冲 X 射线实验室事故应急预案》、《脉冲 X 射线实验室防辐射安全措施》、《脉冲 X 射线实验室安全管理条例》，以及放射源转移、转让、收贮备案制度等，用于指导规范科研及教学过程中的辐射安全。</p> <p>现有制度中《放射安全和防护管理细则》较为详细的规定了许可登记与购置、放射场所安全和防护、放射性同位素使用过程、放射性工作人员管理、放射性废物管理以及事故处理的要求，适用于同位素实验室的日常辐射安全管理。针对本项目，应补充制定同位素实验室操作规范、岗位职责，并将搬迁后的同位素实验室纳入现有辐射安全管理制度及射线装置事故应急预案中进行管理。</p> <p>2、人员培训及工作人员个人防护</p> <p>西安交通大学现有 9 名辐射工作人员，均通过了相应的辐射安全与防护培训，考核合格。现有辐射工作人员于 2020 年在核工业四一七医院进行了职业健康体检，其中 1 人血常规异常，复查后显示合格，可继续从事放射性工作；其余人员未发现疑似放射性疾病或职业禁忌证，可以继续从事放射性工作，体检结果已建立健康档案。</p> <p>西安交通大学已为现有辐射工作人员配备个人剂量计，并委托有资质单位承担辐射工作人员个人剂量检测工作，每季度检测 1 次，检测报告已存档。</p> <p>本项目新增 2 名辐射工作人员，应在国家核技术利用辐射安全与培训平台进行学习并考核合格后方能进行同位素操作，应配备个人剂量计并建立个人剂量档案。</p>

二、核技术利用单位辐射安全管理标准化建设

西安交通大学已取得辐射安全许可证（陕环辐证〔00076〕），根据《陕西省环境保护厅办公室关于印发新修订的〈陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设工作项目表〉的通知》（陕环办发〔2018〕29号）的相关要求，应进行辐射安全管理标准化建设。学校与标准化建设的具体要求的对照情况见表 12-1。

表 12-1 陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表（二）—辐射安全管理部分

管理内容		管理要求	有/无
人员管理	决策层	就确保辐射安全目标做出明确的文字承诺，并指派有决策层级的负责人分管辐射安全工作	有
		年初工作安排的年终工作总结时，应包含辐射环境安全管理工作内容	有
		明确涉辐部门和岗位的辐射安全职责	有
		提供确保辐射安全所需的人力资源及物质保障	有
	辐射防护负责人	参加辐射安全与防护培训并通过考核取得合格证，持证上岗；熟知辐射安全法律法规及相关标准的具体要求并向员工和公众宣传辐射安全相关知识	有
		负责编制辐射安全年度评估报告，并于每年 12 月 31 日前向发证机关提交上一年度评估报告	有
		建立辐射安全管理制度，跟踪落实各岗位辐射安全职责	有
		建立辐射环境安全管理档案	有
		对辐射工作场所定期巡查，发现安全隐患及时整改，并有巡查及整改记录	有
	直接从事放射工作的作业人员	岗前进行职业健康体检，结果无异常	有
		参加辐射安全与防护培训并通过考核取得合格证，持证上岗	有
		了解本岗位工作性质，熟悉本岗位辐射安全职责，并对确保岗位辐射安全做出承诺	有
熟悉辐射事故应急预案的内容，发生异常情况时，能有效处理		有	
机构建设	设立辐射环境安全管理机构和专（兼）职人员，以正式文件明确辐射环境安全管理机构和负责人	有	
制度建立与执行	建立全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度，指定专人负责系统使用和维护，确保业务申报、信息更新真实、准确、及时、完整	有	
	建立放射性同位素与射线装置管理制度，严格执行进出口、转让、转移、收贮等相关规定，并建立放射性同位素、射线装置台账	有	
	建立本单位放射性同位素与射线装置岗位职责、操作规程，严格按照规程进行操作，并对规程执行情况进行检查考核，建立检查记录档案	有	
	建立辐射工作人员培训管理制度及培训计划，并对制度的执行情况及培训的有效性进行检查考核，建立相关检查考核资料档案	有	
	建立辐射工作人员剂量管理制度，每季度对辐射工作人员进行个人剂量监测，对剂量超标人员及时复查，保证职业人员健康档案的连续有效性	有	
制度建立与执行	建立辐射安全防护设施的维护与维修制度（包括维护维修内容与频次、重大问题管理措施、重新运行审批级别等内容），并建立维护、维修工作记录档案（包括检查项目、检查方法、检查结果、处理情况、检查人员、检查时间）	有	
	建立辐射环境监测制度，定期对辐射工作场所及周围环境进行监测，并建立有效的监测记录或监测报告档案	有	

	建立环境监测设备使用与检定管理制度，定期对监测仪器设备进行检定，并建立检定档案	有
应急管理	结合本单位实际制定可操作性的辐射事故应急预案，定期进行辐射事故应急演练	有
	辐射事故应急预案应报所在地县级环境保护行政主管部门备案。应急预案应当包括下列内容：①可能发生的辐射事故及危害程度分析；②应急组织指挥体系和职责分工；③应急人员培训和应急物资准备；④辐射事故应急响应措施；⑤辐射事故报告和处理程序	有

辐射监测

1、监测仪器配置

西安交通大学已配备以下监测仪器：2 台多功能数字核辐射测量仪、4 台手持多功能辐射测量仪、1 台中子剂量当量仪、1 台多用辐射仪、1 台辐射仪、2 台辐射剂量报警仪用于各辐射工作场所的日常监测。

本项目建成后，拟配备 1 台表面沾污仪用于日常工作中的监测。

2、现状监测情况

(1) 工作场所监测

学校每年委托有资质单位对所有辐射工作场所进行 1 次年度监测。根据西安志诚辐射环境检测有限公司出具的 2020 年《西安交通大学核技术应用项目辐射环境监测报告》（报告编号 XAZC-JC-2020-198），各辐射工作场所的运行正常，防护能力符合相应要求。

(2) 个人剂量监测

西安交通大学现有员工的个人剂量目前委托陕西高科辐射防护技术服务有限公司进行定期监测，每季度 1 次。根据 2020 年 2 月~2021 年 2 月 4 个季度的监测报告，辐射工作人员个人剂量均未超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的剂量约束值。

3、本项目监测计划

本项目运行后，应定期对本项目辐射工作场所进行监测，监测要求如下：

辐射工作场所环境监测：(1) 委托有资质单位每年进行 1 次，监测结果应记录并存档。(2) 利用已有的辐射测量仪及新增的表面沾污仪定期对工作场所及周围环境进行监测，若发现异常情况，立即采取应急措施，新增监测仪器应定期检定确保正常工作。(3) 将工作场所的检测结果纳入本单位辐射安全和防护状况评估报告，在每年的 1 月 31 日前上报当地环保主管部门。

个人剂量监测：(1) 本项目辐射工作人员应配备个人剂量计，委托有资质单位定期

对辐射工作人员进行个人剂量检测，建立个人剂量检测档案。(2) 在每年的辐射安全和防护状况评估报告中，应包含辐射工作人员剂量监测数据及安全评估的内容。运行期监测计划见表 12-2。

表 12-2 监测计划

监测项目	监测地点	监测周期
空气吸收剂量率	保险柜、专用超净安全柜、超净实验室及铀系年代学实验室、废液桶及实验垃圾桶表面、实验室楼上楼下及附近环境等	每月自行监测 1 次，每年由有资质单位监测 1 次
表面污染	超净实验室及铀系年代学实验室操作台面、超净安全柜、地面、废液桶及实验垃圾桶表面、墙壁等	至少每两个月自行监测 1 次，每年由有资质单位监测 1 次
	工作人员手、皮肤暴露部分以及工作服、手套、鞋表面等可能受污染位置	每次稀释剂制备操作后

此外，运行期实验室产生的废液、固废应监测确定其小于豁免水平后，经审管部门确认后排放。气态流出物应每年监测 1 次，确定其活度水平及影响。

4、环保投资

项目总投资为 400 万元，环保投资为 30 万元，占总投资的 7.5%，主要用于环保设施、辐射安全防护设施建设，个人防护用品购置等。环保投资见表 12-3。

表 12-3 项目环保投资估算表

实施时段	类别	污染源	污染防治措施或设施	费用
运营期	辐射防护措施	U、Th 等非密封放射性同位素	门禁、视频监控、保险柜加锁、安全警示标志	4.0
	个人防护用品	U、Th 等非密封放射性同位素	防护服、口罩、手套	2.0
	废气	酸性废气、气溶胶	无机废气净化系统	20.0
	废液	U、Th 等非密封放射性同位素	废液桶	0.2
	固废	U、Th 等非密封放射性同位素	垃圾桶，通风系统滤纸、SDG 吸附剂等定期更换处理、专用废物桶	0.5
	应急	U、Th 等非密封放射性同位素	配备应急去污用品等	0.3
	监测仪器	U、Th 等非密封放射性同位素	表面沾污仪	1.5
环境管理	完善环境管理制度，人员职业健康体检等			0.5
环境监测	工作场所定期监测			0.5
	个人剂量计、个人剂量定期监测			0.5
总投资（万元）				30

5、竣工环境保护验收内容及要求

根据《建设项目环境保护管理条例》（国务院第 682 号令，2017 年 10 月 1 日起实

施)，本项目竣工后，建设单位应及时对项目配套建设的环境保护设施进行自主验收，编制验收监测报告。验收合格后，方可投入生产或使用。

本项目竣工环境保护验收清单（建议）见表 12-4。

表 12-4 项目竣工环境保护验收清单（建议）

序号	验收内容	防护措施
1	辐射安全管理	根据标准化建设要求完善学校的辐射安全管理制度，补充同位素实验室安全管理、操作规范及岗位职责等制度，并将其纳入辐射安全应急预案
2	剂量限值	根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），本项目公众成员个人年剂量约束值取 0.1mSv/a，职业照射年有效剂量管理约束值取 2mSv/a。验收按照以上标准执行。
3	辐射安全防护措施	布局合理，划定控制区及监督区，设置明显的分区标识
		在实验室门、专用安全柜、保险柜外表面张贴电离辐射警示标识和中文警告说明
		设置门禁、视频监控、保险柜加锁，稀释剂制备时无关人员不得进入实验三区，其他公众人员不得随意进入超净实验室及轴系年代学实验室
		定期检查通风系统的运行情况，确保其正常运行
4	人员培训、监测与健康检查	实验室废液、固废等经审管部门确认后应予以豁免废物处理，废吸附剂经检测后根据活度水平豁免处理或送至城市放射性废物库
		辐射工作人员参加辐射安全和防护专业知识培训，考核合格后上岗
		辐射工作人员配备个人剂量计，每季度进行监测并建立个人剂量档案
5	工作场所监测	辐射工作人员至少每两年进行一次职业健康体检，并建立健康监护档案
		新增 1 台表面沾污仪并定期检定
按照监测计划对工作场所进行监测，记录监测数据并归档		

辐射事故应急

西安交通大学已制定《实验室安全事故应急预案》（含辐射事故应急预案），规定了应急组织机构与职责，确定了应急联络、报警及现场指挥程序，提出了事故处理及应急措施，符合《陕西省环境保护厅办公室关于印发新修订的<陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设工作项目表>的通知》（陕环办发〔2018〕29 号）的应急管理要求。

根据现场调查，西安交通大学运行至今尚未发生放射性相关事故，未启动过该应急预案。

本项目运行后，西安交通大学应将其纳入现有辐射事故应急预案管理体系，或针对同位素实验室制定相应的辐射事故应急处理制度，配备必要的辐射事故应急用品，定期进行辐射事故应急演练。演练结束总结演练过程中出现的问题，不断完善辐射事故应急预案。

针对本项目的辐射事故应急处理制度，应主要设置下列内容：

- (1) 目的;
- (2) 适用范围;
- (3) 应急组织机构和职责: 辐射安全管理小组、现场负责人;
- (4) 事故应急上报流程及处置措施;
- (5) 应急预案的培训;
- (6) 应急预案演练和评审;
- (7) 附表: 应急响应电话、事故现场调查表、相关单位联系方式。

发生辐射事故时, 事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案, 采取必要的防范措施, 并在 2h 内填写《辐射事故初始报告表》。对于发生的误照射事故, 应向当地环境保护部门报告; 造成或可能造成人员超剂量照射的, 还应向当地卫生行政部门报告; 如是人为故意破坏引起的事故应向当地公安部门报告。

仅供报批公示使用

表 13 结论与建议

结论

西安交通大学全球环境变化研究院搬迁至创新港校区，原同位素实验室随之搬迁至创新港弘润楼（19 号巨构）5 层。同位素实验室中超净实验室、铀系年代学实验室使用 ^{202}Pb 、 ^{205}Pb 、 ^{229}Th 、 ^{230}Th 、 ^{233}U 、 ^{234}U 、 ^{235}U 、 ^{236}U 、 ^{238}U 、 ^{237}Np 等 10 种放射性同位素开展年代学实验，进行全球气候变化研究，属于丙级非密封放射性物质工作场所。项目总投资为 400 万元，环保投资为 30 万元，占总投资的 7.5%。

项目利用同位素进行科学研究，对西安交通大学和社会所带来的利益远大于其可能产生的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”的要求。

1、辐射安全与防护分析结论

本项目工作场所拟实行分区管理并设置相应的标识，拟在实验室门、专用超净安全柜、保险柜外表面张贴电离辐射警示标志和中文警示说明，告诫无关人员远离该区域；实验室拟安装门禁、视频监控等相关辐射安全措施；配备表面污染仪及个人防护用品。工作场所设置有通风系统，可有效排处废气；废液及固废经审管部门确认后作为豁免废物处理，废吸附剂经检测后根据活度水平豁免处理或送至城市放射性废物库。运行期严格按照操作非密封放射性物质的相关要求进行操作。

2、辐射环境影响结论

(1) 根据理论预测，贮存及操作时放射性同位素引起的周围剂量当量处于较低水平，对周围环境影响较小。

(2) 在正常运行状态下，辐射工作人员年附加有效剂量最大为 $1.29 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ ，低于辐射工作人员剂量控制目标值 2mSv/a 。公众人员因该项目可能导致年累积受照射剂量为 $5.10 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ ，低于公众人员剂量控制目标值 0.1mSv/a 。本项目建成运行后对工作人员及公众的影响较小。

3、辐射安全管理

西安交通大学已成立了辐射安全管理领导小组，制定了一系列辐射安全管理制度、人员培训制度、辐射监测制度及辐射事故应急预案，用于指导、规范生产作业过程中的辐射安全。学校严格按照规章制度执行，可有效降低人为事故的发生，保证辐射安全。

4、可行性分析结论

西安交通大学全球环境变化研究院同位素实验室搬迁项目符合国家产业政策及辐射防护实践正当性原则。建设单位拟采取有效的辐射防护措施，使辐射影响达到合理尽可能低的水平，满足辐射防护最优化原则。项目运行所致工作人员和公众年附加有效剂量满足国家相关标准规定限值要求，符合剂量限值约束原则。从辐射环境保护角度，本项目可行。

建议与承诺

- (1) 完善辐射安全管理制度，加强人员培训，严格按照操作规范进行实验；
- (2) 加强放射性同位素的台账管理，定期检查维护通风系统，确保各种安全防护设施的正常使用；
- (3) 按照监测计划定期对辐射工作人员的个人剂量、工作场所辐射水平和表面沾污水平进行监测；
- (4) 放射性废液、固废经审管部门确认后方可作为豁免废物处理；
- (5) 进一步完善辐射事故应急预案，定期进行辐射事故应急演练；
- (6) 项目竣工后办理验收手续，验收合格后方可投入使用；
- (7) 每年 1 月 31 日前向发证机关提交本单位上一年度的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况环境评估报告。

仅供报批使用

表 14 审批

预审意见:

经办人:

单位公章

年 月 日

下一级环境保护行政主管部门审查意见:

经办人:

单位公章

年 月 日

仅供报批公示使用