

核技术利用建设项目
新建丙级放射性同位素实验室项目
环境影响报告表

建设单位: 康龙化成(北京)新药技术股份有限公司 (公章)



核技术利用建设项目
新建丙级放射性同位素实验室项目
环境影响报告表

建设单位名称：康龙化成（北京）新药技术股份有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：楼柏良

通讯地址：北京经济技术开发区泰河路 6 号 1 幢八层

邮政编码：100176

联系人：万翔

电子邮箱：xiang.wan2@pharmaron.com

联系电话：15879163440

打印编号: 1763380357000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	6icuvv		
建设项目名称	新建丙级放射性同位素实验室		
建设项目类别	55--172核技术利用建设项目		
环境影响评价文件类型	报告表		
一、建设单位情况			
单位名称(盖章)	康龙化成(北京)新药技术股份有限公司		
统一社会信用代码	9111030276350109XG		
法定代表人(签章)	楼柏良		
主要负责人(签字)	王立辉		
直接负责的主管人员(签字)	万翔 万翔		
二、编制单位情况			
单位名称(盖章)	北京科欣科技发展有限公司		
统一社会信用代码	91110106MA00BRRY04		
三、编制人员情况			
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
于水	07351123505111099	BH000101	于水
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
于水	表1项目基本情况、表3非密封放射性物质、表9项目工程分析与源项、表10辐射安全与防护、表11环境影响分析、表13结论与建议、审核。	BH000101	于水
薛燕	表4射线装置、表5废弃物(重点是放射性废弃物)、表6评价依据、表7保护目标与评价标准、表8环境质量和辐射现状、表12辐射安全管理、附图和附件。	BH007677	薛燕

建设项目环境影响报告书（表）

编制情况承诺书

本单位北京科欣科技发展有限公司（统一社会信用代码
91110106MA00BRRY04）郑重承诺：本单位符合《建设项目
环境影响报告书(表)编制监督管理办法》第九条第一款规定，
无该条第三款所列情形，不属于该条第二款所列单位；本次在
环境影响评价信用平台提交的由本单位主持编制的康龙化成
(北京)新药技术股份有限公司新建丙级放射性同位素实验室项
目环境影响报告书(表)基本情况信息真实准确、完整有效，不
涉及国家秘密；该项目环境影响报告书(表)的编制主持人为于
水（环境影响评价工程师职业资格证书管理号
07351123505111099，信用编号 BH000101），主要编制人员包
括于水（信用编号 BH000101）和薛燕（信用编号 BH007677）
等 2 人，上述人员均为本单位全职人员；本单位和上述编制人
员未被列入《建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法》
规定的限期整改名单、环境影响评价失信“黑名单”。

承诺单位(公章)：北京科欣科技发展有限公司

2025 年 5 月 12 日

表 1 项目基本情况

建设项目名称	新建丙级放射性同位素实验室				
建设单位	康龙化成（北京）新药技术股份有限公司				
法定代表人代表	楼柏良	联系人	万翔	联系电话	15879163440
注册地址	北京经济技术开发区泰河路 6 号 1 棚八层				
项目建设地点	北京经济技术开发区泰河路 6 号 3#生物楼 5 层 B 段				
立项审批部门	/		批准文号	/	
建设项目总投资(万元)	300	项目环保投资(万元)	50	投资比例(环保投资/总投资)	16.7%
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)	450
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				
1. 项目概述					
1.1 单位情况					
<p>康龙化成（北京）新药技术股份有限公司（以下简称“康龙化成公司”或“公司”）成立于 2003 年，为全球制药及生物技术公司提供临床前的药物研发服务，主营业务涉及新药研发临床前的全流程，包括化学、生物、药物代谢及药代动力学、药理、毒理等各个领域，为设备先进、研发技术服务体系完善的 CRO 领军企业。</p>					
<p>康龙化成公司主导研发平台为药用小分子化学，并拥有多项发明专利。药理学部主要致力于抗肿瘤、代谢病、中枢神经系统及抗炎症药物的临床前研发。药物工艺开发与生产的全方位一体化服务，包括工艺研发、生产路线选择与开发、中间体和</p>					

原料药的放大与生产、分析方法开发、制剂前和制剂研究等，具备百公斤级的 GMP 及非 GMP 生产能力，专业水平及各方面设施处国际一流水平。

康龙化成公司位于北京经济技术开发区泰河路 6 号，其北侧紧邻泰河路，之外是空地。西北侧为施耐德（北京）中低压电器有限公司；东侧紧邻北京合康亿盛变频科技股份有限公司和北京行有恒医药有限公司，之外为博林路，东北角隔泰河路为耀中国际学校。南侧紧邻泰河一街，之外是空地。西侧紧邻博兴三路，之外是北京奔驰汽车有限公司。

1.2 核技术应用情况

康龙化成公司目前持有北京市生态环境局颁发的辐射安全许可证（京环辐证[S0028]），许可使用 II 类射线装置，使用丙级非密封放射性物质工作场所，有效期至 2026 年 6 月 6 日。

放射性同位素许可情况见表 1-1。

表 1-1 同位素实验室已许可使用核素种类和用量

场所名称	等级	核素	日最大操作量 (Bq)	日等效操作量 (Bq)	年用量 (Bq)
同位素实验室	丙	³ H	9.25E+08	9.25E+06	9.25E+10
同位素实验室	丙	¹⁴ C	9.25E+07	9.25E+06	4.62E+09
同位素实验室	丙	³² P	9.25E+06	9.25E+05	1.85E+08
同位素实验室	丙	³³ P	4.63E+06	4.63E+05	1.39E+08
同位素实验室	丙	³⁵ S	3.70E+07	3.70E+06	5.55E+08
同位素实验室	丙	¹²⁵ I	9.25E+06	9.25E+05	1.85E+08

射线装置许可情况见表 1-2。

表 1-2 公司已许可使用的射线装置

序号	辐射活动场所 名称	装置名称	类别	活动种类	数量 (台)
1	生物学 X 射线 辐照室	生物学 X 射线辐 照仪	II 类	使用	1

1.3 公司近几年履行环保审批手续情况

公司自 2018 年以来，共开展了 2 个核技术利用项目，均履行了环保审批手续和竣工环保验收手续，见表 1-3 所示。

表 1-3 近几年履行环保审批手续情况一览表

编号	项目名称	环保审批	竣工环保验收
1	迁建丙级同位素实验室	京环审[2018]95 号	2019 年 12 月 24 日通过了自行组织的竣工环保验收
2	使用生物学 X 射线辐照仪	京环审[2019]106 号	2020 年 5 月 18 日通过自行组织的竣工环保验收

1.4 放射性废物和放射性废液处理情况

近二年来，实验室内使用的同位素主要是³H 和¹⁴C 两种，还有少量的¹²⁵I、³²P 和³⁵S。

2023 年 6 月至 2025 年 6 月（~2a）产生的放射性废液约 1050L，经北京市生态环境局确认解控后进行处置。

2023 年 4 月至 2025 年 6 月（~26 月）产生约 636kg 含³H 的放射性废物，经北京市生态环境局确认后解控为危险废物处置。2023 年 10 月至 2025 年 4 月（~18 月）产生约 310kg 含¹⁴C 的放射性废物，经北京市生态环境局确认后解控为危险废物处置。

同位素实验室现暂存废物和废液情况如表1-4所示。

表 1-4 同位素实验室现暂存放射性废物和废液情况

类别	含 ³ H (2023.1~2025.9)	含 ¹⁴ C (2023.9~2025.9)	含 ¹²⁵ I、 ³² P、 ³⁵ S
放射性固废	100kg (暂存中)	10kg (暂存中); 另有约50kg已检测，不满足解控要求，后续拟送贮。	约8kg (暂存中)
放射性废液	100L (暂存中)	25L (暂存中); 另有125L已检测，不满足解控要求，后续拟委托专业机构在废物间内固化后送贮。	约18L (暂存中)

1.5 辐射安全管理情况

（一）辐射环境安全管理机构

为了保证放射性同位素和射线装置的安全使用和有效管理，保障工作人员的健康与安全，公司设立了辐射安全防护管理小组，组长由法定代表人担任，辐射防护负责人由生物部负责人担任。管理小组负责辐射安全与防护工作的领导工作，并设专人（EHS部）负责辐射安全与防护工作。辐射防护负责人通过了辐射安全与防护考核（证书编号FS24BJ2301462）。

具体职责包括：

- ①负责对本单位辐射安全管理制度编制、修订、完善，并组织实施；
- ②负责定期对辐射工作人员进行辐射安全相关法规及内部辐射安全规程的宣传、培训和考核；
- ③负责组织进行辐射应急预案的演练；当出现辐射事故或事件时，组织人员，启动应急响应，进行事故发生后的抢救工作；
- ④负责辐射安全防护设施和仪器的维护和管理，组织进行辐射工作场所和周边环境监测；

⑤负责对辐射工作人员进行个人剂量监测管理，并进行人员健康、保健管理。

（二）已建立的辐射防护规章制度及执行情况

公司制定了相关的规章制度和操作规程，如辐射安全与环境保护管理小组组织结构、辐射安全岗位职责、放射性物品使用场所安保制度、安全教育和培训制度、人员安全与防护制度、设备检修维护制度、辐射工作场所监测方案、放射性同位素出入库及使用登记制度、辐射安全操作规程、放射性废物处置制度，以及辐射安全应急预案等规程，能够满足工作需要。

（三）非密封性放射性同位素的安全管理

公司制定有相关规章制度，放射性同位素的订购、接收由专人负责；公司对放射性同位素的订购、收货、入库和备案，都作了明文规定，各项规定在工作中得到落实。

（四）放射性废物的安全管理

同位素实验室配套废物桶/箱，收集、暂存放射性固体废物。定期对放射性废物进行检测，满足解控要求的进行清洁解控处置。

同位素实验室配套放射性废液瓶/箱，收集、暂存放射性废液。定期对满足清洁解控要求放射性废液进行清洁解控处置。

少量含³H或¹⁴C的放射性废液和固体废物，经检测若不满足解控要求，送城市放射性废物库处置。

（五）辐射工作人员培训

公司规定所有辐射工作人员在上岗前通过辐射安全与防护培训，并考试合格上岗。

公司现有37名工作人员通过了辐射安全与防护培训，1名为辐射防护负责人，17名为操作放射性同位素辐射工作人员，19名为操作射线装置的辐射工作人员。

本项目拟新增5名操作放射性同位素的辐射工作人员，在通过辐射安全防护培训考核后持证上岗。

（六）个人剂量监测和场所监测情况

（1）个人剂量监测：所有辐射工作人员均佩戴热释光个人剂量计，按每季度1次的频度，按照《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(原环保部18号令)的要求，建立个人剂量档案。

公司指定专人负责个人剂量监测管理工作。发现个人剂量监测结果异常的，将及时调查原因，并将有关情况及时报告公司辐射安全与环境保护管理机构。

目前，公司按每季度 1 次的频度进行个人剂量监测，个人剂量档案齐全。查阅 2024 年度个人剂量监测报告可见，全部工作人员的年受照剂量低于 0.18mSv，满足 1mSv/a 的剂量约束要求。

公司今后将继续加强个人受照剂量的管理，如果某位辐射工作人员的单季度个人剂量监测结果高于 0.25mSv，将对其受照原因进行调查，调查报告由本人签字后存档；如果单季度个人剂量监测结果高于 0.5mSv，将采取控制从事辐射工作时间等措施，满足年剂量约束要求。

（2）工作场所监测

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环保部令第 18 号）的要求，每年委托有资质单位对同位素实验室进行 1 次场所辐射水平监测，监测数据记录存档。

2024 年 9 月，公司委托有资质单位（北京市化工职业病防治院）对公司同位素实验室进行了年度监测，监测结果显示：

- 1) 实验室内 γ 辐射剂量率水平为 $0.16\text{-}0.18\mu\text{Sv/h}$ ，满足环评 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的剂量率控制水平。
- 2) 场所内所有检测点的放射性表面污染介于 $0.21\text{~}\sim\text{~}0.28\text{Bq/cm}^2$ ，均低于 GB18871-2002 规定的控制区 40Bq/cm^2 及监督区 4Bq/cm^2 的控制水平。

（七）辐射监测仪器和防护用品配备情况

公司现有 2 台多功能射线检测仪，用于自行开展剂量率和表面污染监测。公司也为工作人员配备了必要的个人防护用品，如表 1-5 所示。

表 1-5 公司现有辐射监测仪器和防护用具

仪器	型号	台数	状态
多功能射线检测仪	IA-V2	2	良好
个人防护用品	铅手套 1 副，铅围裙 1 件，铅防护板 1 个，有机玻璃挡板 1 个。		

（八）辐射应急措施

公司根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十二条，国家环境保护总局<2006>145 号通知《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》的规定，针对已许可使用放射性同位素丢失、被盗、可能受到超出剂量限值的照射事故（件）、环境污染事故（件），以及其他原因引发的辐射突发环境事件，制定了相应的《辐射事故应急预案》。公司每年至少组织一次应急演练。

一旦发生辐射事故，公司将立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范

措施，并在 2h 内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境主管部门和公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，还将向当地卫生行政部门报告。

2025 年 9 月 15 日，公司组织了“³H 同位素的瓶子打翻，同位素洒出流到实验台上”事故应急演练，实验员立即做好标记并紧急通知在场其他实验员撤离，电话通知实验室管理员，实验室管理员向公司辐射安全主管责任人汇报，辐射安全主管责任人启动预案。经过同位素实验室专业防护人员紧急处理，彻底消除污染，达到安全限值后，宣布解除紧急情况，演练结束，恢复正常生产。此外，2025 年 5 月 16 日同位素实验室参加了由公司组织的反恐防暴应急演练，取得满意结果。

1.6 本项目概况

1.6.1 原有同位素实验室建设情况

公司于 2018 年呈报了《迁建丙级同位素实验室》项目环评报告表，于 2018 年 6 月获得了原北京市环境保护局的批复（京环审〔2018〕95 号），建设内容为在北京经济技术开发区泰河路 6 号 3# 生物楼二层北侧的 3231 室新建 1 处丙级同位素实验室，使用 6 种放射性同位素(³H、¹⁴C、³²P、³³P、³⁵S 和 ¹²⁵I)，用于药物研发。

该同位素实验室于 2019 年建成并运行至今。

1.6.2 新建同位素实验室的理由

在当前新药研发领域，依赖于同位素标记的检测手段由于其独特的优势，处于无法取代的地位。在研发领域的各阶段，依赖于同位素标记方法得到的相应参数被作为国内外药学界通用的黄金标准。其优势主要体现在：

第一，同位素标记后，药物分子量以及整体构象变化较小，这对于保持化合物的原有性质至关重要，这是整个药物研发领域的首要环节，只有确保化合物的性质维持不变，才能使后续的研究结果富有价值。

第二，基于同位素标记的检测手段，具有非常高的灵敏度，检测下限很低，因而目的物使用量很少。

第三，与荧光标记等其他标记方法相比，同位素检测在环境中干扰因素较少，所得到的实验数据的有效率是其他标记方法无法比拟的。

基于同位素实验的不可替代性和康龙化成公司业务的不断扩展，新药研发单位开展新药同位素标记的业务越来越多，原有的同位素实验室使用空间不足，康龙化成公司计划新建同位素实验室，将实验室使用面积由现在的 110 平方米扩建至 450 平方米，实验室操作位数量由现在的 5 个扩大为 15 个。根据近年来同位素实验的需求情况，

短期内工作负荷预计会增加 1 倍。

新建同位素实验室分设缓冲间、同位素存放间、废物间、废液间和 5 间同位素操作间，并配备有通风橱、带锁冰箱、放射性废液瓶/箱和放射性废物桶/箱，还配置铅衣、铅手套、铅防护板、有机玻璃屏等防护用品。同位素实验室还依照《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》(GA1002-2012)，安装防盗门、视频监控和闯入报警系统等。

新建同位素实验后，拟在原有同位素实验室已许可使用的同位素之外，新增 2 种放射性核素⁴⁵Ca 和⁵¹Cr，今后规划使用的同位素种类由现在的 6 种增加为 8 种，即⁴⁵Ca、⁵¹Cr、¹²⁵I、³⁵S、³³P、³²P、³H 和¹⁴C。

新建同位素实验室将支持生物医学、环境科学、材料化学等交叉学科研究，提升机构在代谢动力学、纳米材料安全性评价等领域的研究能力，该同位素实验室拟在取得环评批复后开始建设，计划于 2026 年初投入使用。新建同位素实验室投入正常使用后，原有的同位素实验室将履行退役手续。

表 1-6 新建同位素实验室和原有同位素实验室技术指标对照表

技术指标	原有同位素实验室	新建同位素实验室
位置	3#生物楼 2 层西侧的 3231 室	3#生物楼 5 层西侧 B 段
规模	110 平方米，操作位 5 个，操作间 1 间，废物间 1 间。	450 平方米，操作位 15 个。操作间 5 个（按照核素分类），废物间和废液间各 1 间。
使用的同位素	³ H、 ¹⁴ C、 ³² P、 ³³ P、 ³⁵ S 和 ¹²⁵ I 共 6 种。	³ H、 ¹⁴ C、 ³² P、 ³³ P、 ³⁵ S、 ¹²⁵ I、 ⁴⁵ Ca 和 ⁵¹ Cr 共 8 种。
工作量	2020 块孔板（2024 年）	4000 块孔板，将来工作量预计增加 1 倍

1.6.3 新增使用⁵¹Cr 和⁴⁵Ca 的必要性

⁵¹Cr 是一种具有重要临床与研究价值的放射性同位素，其半衰期为 27.7 天，发射能量为 320keV 的低能 γ 射线，适用于多种血液相关疾病的诊断与机制研究。其主要优势包括：

1、红细胞寿命与存活率测定：⁵¹Cr 是国际公认的红细胞标记物，可用于精准测定红细胞寿命及评价其生存率，对溶血性贫血、再生障碍性贫血等血液疾病的诊断与疗效评估具有不可替代的作用。

2、肿瘤与炎症显像研究：⁵¹Cr 标记的白细胞可用于炎症定位和肿瘤显像，对评估感染性疾病、免疫相关疾病及某些恶性肿瘤的病理机制具有较高价值。

3、辐射安全性较高：由于其 γ 射线能量较低，对患者和医护人员的辐射暴露风险较小，符合临床安全标准。

^{45}Ca 作为钙代谢研究中的关键示踪剂，半衰期为 163 天，是一种纯 β 发射体，最大 β 能量为 0.257MeV。其在以下领域中具有显著科研与临床应用价值：

1、骨代谢与骨质疏松研究： ^{45}Ca 可用于追踪钙在骨骼中的沉积与吸收过程，对研究骨质疏松发病机制、评价药物疗效以及开发新型抗骨质疏松药物具有重要意义。

2、骨修复生物材料评估：在生物材料与组织工程研究中， ^{45}Ca 能够高效示踪钙离子在人工骨、植入材料中的代谢动态，为骨修复材料的优化提供关键数据。

3、农业与动物科学的研究：在畜牧、兽医及农业科研中， ^{45}Ca 可用于钙在动植物体内的吸收、转运与利用研究，如奶牛钙代谢、作物钙营养等，具有跨学科应用潜力。

1.6.4 本项目建设内容

公司拟在 3#生物楼 5 层西侧 B 段新建 1 处丙级非密封放射性物质工作场所。使用 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{32}P 、 ^{33}P 、 ^{35}S 、 ^{125}I 、 ^{45}Ca 和 ^{51}Cr 等 8 种放射性同位素，用于同位素标记实验。

同位素实验室所有同位素的操作均使用孔板，故本项目按照孔板操作量核算同位素用量。

保守起见，假设一天内使用全部的同位素，核素操作量按包装量分装活度计算，且考虑同位素暂存的贡献，新建同位素实验室的日等效最大操作量为 $1.84\text{E+}07\text{Bq}$ ，属于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 规定的丙级非密封放射性物质工作场所（豁免活度值~不超过 $2\text{E+}07\text{Bq}$ ）。

新建同位素实验室投入使用后， ^{35}S 的日最大操作量和年用量保持不变。 ^3H 和 ^{14}C 的日最大操作量和年用量均降低， ^{32}P 和 ^{125}I 的日最大操作量和年用量均有所增加。但是，新建同位素实验室总的日最大操作量和年用量均有所降低。具体见表 1-7 所示。

表 1-7 原有同位素实验室和新建同位素实验室同位素用量对照表

	原有同位素实验室		新建同位素实验室		对照结果
	日最大操作量 (Bq)	年用量 (Bq)	日最大操作量 (Bq)	年用量 (Bq)	
^3H	$9.25\text{E+}08$	$9.25\text{E+}10$	$1.48\text{E+}08$	$6.66\text{E+}09$	日用量和年用量均降低
^{14}C	$9.25\text{E+}07$	$4.62\text{E+}09$	$2.78\text{E+}07$	$8.34\text{E+}08$	日用量和年用量均降低
^{32}P	$9.25\text{E+}06$	$1.85\text{E+}08$	$2.78\text{E+}07$	$5.55\text{E+}08$	日用量和年用量均增加。
^{33}P	$4.63\text{E+}06$	$1.39\text{E+}08$	$2.78\text{E+}07$	$5.55\text{E+}08$	不变
^{35}S	$3.70\text{E+}07$	$5.55\text{E+}08$	$3.7\text{E+}07$	$5.55\text{E+}08$	新增
^{45}Ca	/	/	$9.25\text{E+}06$	$9.25\text{E+}07$	新增
^{51}Cr	/	/	$9.25\text{E+}06$	$9.25\text{E+}07$	日用量和年用量均增加。
^{125}I	$9.25\text{E+}06$	$1.85\text{E+}08$	$3.7\text{E+}07$	$1.39\text{E+}09$	场所总的日用量和年用
合计	$1.08\text{E+}09$	$9.82\text{E+}10$	$3.24\text{E+}08$	$1.07\text{E+}10$	量

					量均降低。																		
1.6.5 同位素实验室规划																							
同位素实验室共设有 5 间操作间，根据所处位置和相邻关系，将同位素实验室东侧靠近楼道和普通区域一侧的两间操作间用于低能 β 核素 (^3H 和 ^{14}C) 使用场所，西侧靠室外博兴三路一侧的操作间用于中能 β 核素和 γ 核素的使用场所，以尽量减少同位素实验室对周围办公室、配套普通实验室工作人员的辐射影响。																							
表 1-8 同位素操作间分配计划																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">操作间编号</th><th style="text-align: left;">拟使用的同位素</th><th style="text-align: left;">备注</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>操作间 1</td><td>^{14}C</td><td>使用次数较多，单独使用</td></tr> <tr> <td>操作间 2</td><td>^3H、^{125}I</td><td>预计 ^3H、^{125}I 使用次数较多，故该操作间为 2 种核素使用。</td></tr> <tr> <td>操作间 3</td><td>^{32}P、^{33}P、^{35}S、^{45}Ca</td><td>均为中、高能 β 核素，预计每种核素使用次数有限，故合并使用。</td></tr> <tr> <td>操作间 4</td><td>^{125}I、^{51}Cr</td><td>均为 γ 衰变核素，^{125}I 使用次数可能较多，^{51}Cr 使用次数有限，故合并使用。</td></tr> <tr> <td>操作间 5</td><td>^3H</td><td>使用次数较多，单独使用</td></tr> </tbody> </table>						操作间编号	拟使用的同位素	备注	操作间 1	^{14}C	使用次数较多，单独使用	操作间 2	^3H 、 ^{125}I	预计 ^3H 、 ^{125}I 使用次数较多，故该操作间为 2 种核素使用。	操作间 3	^{32}P 、 ^{33}P 、 ^{35}S 、 ^{45}Ca	均为中、高能 β 核素，预计每种核素使用次数有限，故合并使用。	操作间 4	^{125}I 、 ^{51}Cr	均为 γ 衰变核素， ^{125}I 使用次数可能较多， ^{51}Cr 使用次数有限，故合并使用。	操作间 5	^3H	使用次数较多，单独使用
操作间编号	拟使用的同位素	备注																					
操作间 1	^{14}C	使用次数较多，单独使用																					
操作间 2	^3H 、 ^{125}I	预计 ^3H 、 ^{125}I 使用次数较多，故该操作间为 2 种核素使用。																					
操作间 3	^{32}P 、 ^{33}P 、 ^{35}S 、 ^{45}Ca	均为中、高能 β 核素，预计每种核素使用次数有限，故合并使用。																					
操作间 4	^{125}I 、 ^{51}Cr	均为 γ 衰变核素， ^{125}I 使用次数可能较多， ^{51}Cr 使用次数有限，故合并使用。																					
操作间 5	^3H	使用次数较多，单独使用																					
公司承诺按照上述“同位素操作间分配计划”分配操作间，即不同的同位素在固定的操作间内使用，且操作人员相对固定。																							
根据《建设项目环境保护管理条例》《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》相关要求，康龙化成公司委托北京科欣科技发展有限公司开展“新建丙级放射性同位素实验室”项目的环境影响评价工作。评价单位在现场查看、调查、收集资料以及现场监测的基础上，编制了该建设项目的辐射环境影响报告表。																							
1.7 产业政策符合性分析																							
对照《产业结构调整指导目录（2024 年）》，本项目属于指导目录中“鼓励类”“十三 医药 2、新药开发与产业化”项目。根据北京市人民政府办公厅关于印发市发展改革委等部门制定的《北京市新增产业的禁止和限制目录（2022 年版）》的通知（京政办发〔2022〕5 号）和《北京经济技术开发区新增产业的禁止和限制目录（2019 年版）》，本项目不在禁止和限制目录中。																							
1.8 项目选址的适宜性分析																							
本项目位于北京经济技术开发区泰河路 6 号，该院区 18 栋建筑物全部属于康龙化成公司。同位素实验室建设地点位于 3#生物楼 5 层 B 段，与周围其它企业距离均超出 50m。3#生物楼东侧为绿化空地，南侧为电动车停车区和泰河一街，西侧为停车																							

场和博兴三路，北侧为空地和加氢实验室。

新建的同位素实验室位于3#生物楼五层，南侧与配套的配液室和细胞间相邻，避免样品跨楼转运而影响细胞活性，东侧与操作人员办公室距离较近，便于实验安排，提高实验质量和效率。

综合考虑，同位素实验室选址合理。

1.9 原有同位素实验室退役

在新建的同位素实验室正式投入使用后，公司将对3#生物楼二层原有同位素实验室履行退役手续：

- 1) 将原有同位素实验室贮存的放射性同位素封口并转移至泡沫低温箱，用小推车转运至新建同位素实验室；
- 2) 委托第三方检测机构进行辐射水平和表面污染监测，满足 GB18871-2002 附录 B2.2 条款规定时，将拟继续使用的实验设备从原有同位素实验室搬迁至新建同位素实验室；
- 3) 设备搬迁至新建同位素实验室后，原有同位素实验室停止使用，启动退役相关工作；
- 4) 将全部放射性废物或废液进行处置：经检测满足解控要求的进行解控处置，不满足解控要求的送交北京市城市放射性废物库；
- 5) 对废液瓶/箱和废物桶/箱进行擦拭去污；
- 6) 委托第三方检测机构对原有的同位素实验室（丙级非密封放射性物质工作场所）地面、台面、设备、废物桶/箱、废液瓶/箱表面等进行辐射水平和表面污染监测；
- 7) 如果未见放射性污染存在，根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》履行退役备案手续。如果存在放射性污染，进行局部去污，直至全部场所的放射性污染水平满足 GB18871-2002 相关要求，再履行退役备案手续。去污产生的放射性废物妥善收集；
- 8) 重新申领辐射安全许可证，终止原有同位素实验室使用许可，将其无限制开放作为普通化学实验室使用。

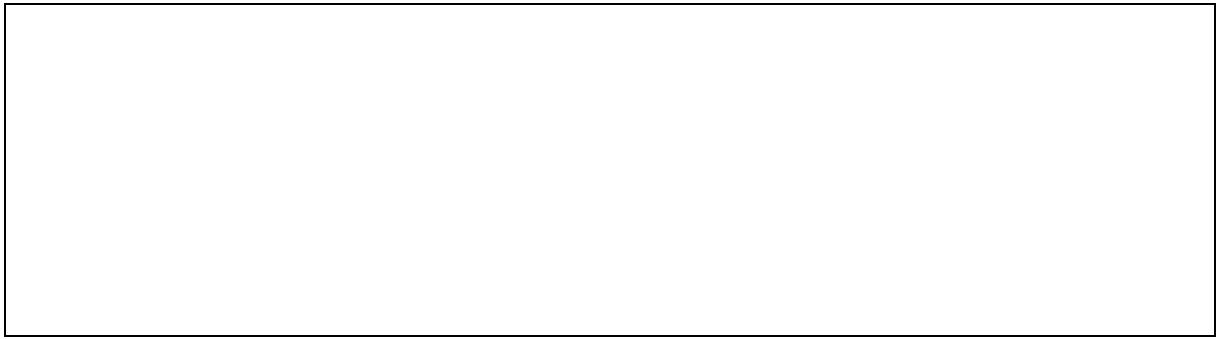


表 2 放射源

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

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

核素 名称	理化性质	活动 种类	实际日最大 操作量 (Bq)	日等效最 大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地 点
³ H	液态，低毒，β， 19keV(100%)，半 衰期12.3a	使用	1.48E+08	1.48E+06	6.66E+09	标记和 示踪实 验	简单操作	操作间2、操作 间5	/
		贮存	1.48E+08	1.48E+04	6.66E+09	标记和 示踪实 验	源的贮存	同位素存放间	同位素存放间 内冰箱中
¹⁴ C	液态，中毒，β， 157keV(100%)，半 衰期5730a	使用	2.78E+07	2.78E+06	8.34E+08	标记和 示踪实 验	简单操作	操作间1	/
		贮存	2.78E+07	2.78E+04	8.34E+08	标记和 示踪实 验	源的贮存	同位素存放间	同位素存放间 内冰箱中
³² P	液态，中毒，β， 1.71MeV(100%)半 衰期14.3d，	使用	2.78E+07	2.78E+06	5.55E+08	标记和 示踪实 验	简单操作	操作间3	/
		贮存	2.78E+07	2.78E+04	5.55E+08	标记和 示踪实 验	源的贮存	同位素存放间	同位素存放间 内冰箱中
³³ P	液态，中毒，β， 249keV(100%)，半 衰期25.4d	使用	2.78E+07	2.78E+06	5.55E+08	标记和 示踪实 验	简单操作	操作间3	/

		贮存	2.78E+07	2.78E+04	5.55E+08	标记和示踪实验	源的贮存	同位素存放间	同位素存放间内冰箱中
³⁵ S	液态，中毒， β ，168keV(100%)，半衰期87.4d	使用	3.7E+07	3.7E+06	5.55E+08	标记和示踪实验	简单操作	操作间3	/
		贮存	3.7E+07	3.7E+04	5.55E+08	标记和示踪实验	源的贮存	同位素存放间	同位素存放间内冰箱中
⁴⁵ Ca	液态，中毒， β ，257keV(100%)，半衰期163d	使用	9.25E+06	9.25E+05	9.25E+07	标记和示踪实验	简单操作	操作间3	/
		贮存	9.25E+06	9.25E+03	9.25E+07	标记和示踪实验	源的贮存	同位素存放间	同位素存放间内冰箱中
⁵¹ Cr	液态，低毒， γ ，320keV(10%)，半衰期27.7d	使用	9.25E+06	9.25E+04	9.25E+07	标记和示踪实验	简单操作	操作间4	/
		贮存	9.25E+06	9.25E+02	9.25E+07	标记和示踪实验	源的贮存	同位素存放间	同位素存放间内冰箱中
¹²⁵ I	液态，中毒， γ ，27keV(114%)等，半衰期 60.1d	使用	3.7E+07	3.7E+06	1.39E+09	标记和示踪实验	简单操作	操作间2、操作间4	/
		贮存	3.7E+07	3.7E+04	1.39E+09	标记和示踪实验	源的贮存	同位素存放间	同位素存放间内冰箱中

注：日等效最大操作量和操作方式见国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)。

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA)	用途	工作场所	备注
无										

(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
无									

(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 (μ A)	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	
无													

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
通风橱/同位素实验室废气				微量			净化过滤后排放	经活性炭过滤器过滤后，由高于建筑屋顶排放口排出。
放射性固体废物（口罩、手套、鞋套、防渗垫、移液管、微量离心管、试剂瓶、孔板等）	固体	³ H 和 ¹⁴ C			450kg		同位素实验室内外分类收集，转移至废物间内暂存	含长半衰期核素 ³ H、 ¹⁴ C的固废，每半年委托有资质单位监测一次，经专业机构检测其中核素含量低于清洁解控水平的，向生态环境管理部门提交清洁解控申请，经确认后按危险废物处理。如超出清洁解控水平，送北京市城市放射性废物库。
放射性固体废物（口罩、手套、鞋套、防渗垫、移液管、微量离心管、试剂瓶、孔板等）	固体	³² P、 ³³ P、 ³⁵ S、 ⁵¹ Cr、 ⁴⁵ Ca 和 ¹²⁵ I			550kg		同位素实验室内外分类收集，转移至废物间内暂存	含 ³² P、 ³³ P、 ³⁵ S、 ⁵¹ Cr、 ⁴⁵ Ca 和 ¹²⁵ I核素的固废，在同位素实验室废物间内暂存1年，经专业机构检测其中核素含量低于清洁解控水平的，向生态环境管理部门提交清洁解控申请，经确认后按危险废物处理。
放射性废液（实验废液）	液体	³² P、 ³³ P、 ³⁵ S、 ⁵¹ Cr、 ⁴⁵ Ca 和 ¹²⁵ I			340L		同位素实验室内外分类收集，转移至废液间暂存。	含 ³² P、 ³³ P、 ³⁵ S、 ⁵¹ Cr、 ⁴⁵ Ca 和 ¹²⁵ I核素的放射性废液，在废液间内暂存一年，经专业机构检测其中核素含量低于清洁解控水平的，向生态环境管理部门提交清洁解控申请，经确认后按危险废物处理。
放射性废液（实验废液）	液体	³ H 和 ¹⁴ C			280L		同位素实验室内外分类收集，转移至废液间暂存。	含 ³ H、 ¹⁴ C的废液，每半年委托有资质单位监测一次，经专业机构检测其中核素含量低于清洁解控水平的，向生态环境管理部门提交清洁解控申请，经确认后按危险废物处理。如超出清洁解控水平，委托专业机构在废物间内固化后送北京市城市放射性废物库。

应急淋浴废水	液体	³ H等8种核素			20L	总β<10Bq/L	单独收集	单独收集, 经监测满足清洁解控要求、经生态环境管理部门确认后排入市政管网。
通风橱高效过滤器和通风系统活性炭过滤器	固体	主要是 ¹²⁵ I 和 ³ H			30kg		废物间内暂存	暂存后, 每年委托有资质单位监测一次, 经专业机构检测其中核素含量低于清洁解控水平的, 向生态环境管理部门提交清洁解控申请并作为普通废物处置。

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

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

表 6 评价依据

法规文件	<ol style="list-style-type: none">1. 《中华人民共和国环境保护法》，中华人民共和国主席令[2014]第 9 号，2015 年 1 月 1 日起实施；2. 《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国主席令[2003]第 6 号，2003 年 10 月 1 日起实施；3. 《中华人民共和国环境影响评价法》，2002 年 10 月 28 日通过，自 2003 年 1 月 1 日起施行； 2016 年 7 月 2 日第一次修正； 2018 年 12 月 29 日第二修正；4. 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，2005 年 9 月 14 日经国务院令第 449 号公布；2014 年 7 月 29 日经国务院令第 653 号修订；2019 年 3 月 2 日经国务院令第 709 号修订；5. 《建设项目环境保护管理条例》，1998 年 11 月 29 日国务院令第 253 号发布施行； 2017 年 7 月 16 日国务院令第 682 号修订，2017 年 10 月 1 日起施行；6. 《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，原国家环境保护总局令第 31 号公布；2008 年 12 月 6 日经原环境保护部令第 3 号修改；2017 年 12 月 20 日经原环境保护部令第 47 号修改；2019 年 8 月 22 日经生态环境部令第 7 号修改；2021 年 1 月 4 号生态环境部令第 20 号修订并实施；7. 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原环境保护部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日起施行；8. 《建设项目环境影响评价分类管理名录》，生态环境部令第 16 号，2020 年 11 月 5 日，自 2021 年 1 月 1 日起施行；9. 北京市生态环境局关于发布《〈建设项目环境影响评价分类管理名录〉北京市实施细则（2022 年本）》的通告，通告〔2022〕4 号，自 2022 年 4 月 1 日起实施；10. 北京市生态环境局关于发布《北京市生态环境局环境影响评价文件管理权限的建设项目目录（2024 年本）》的通告（京环发〔2024〕24 号），自 2025 年 1 月 1 日起实施。11. 《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，2017 年 12 月；12. 《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），2006 年 9 月；
------	---

	<p>13. 《北京市城乡规划条例》，北京市人民代表大会常务委员会公告（十五届）第 61 号，2021 年 9 月 24 日修正并实施；</p> <p>14. 《北京市新增产业的禁止和限制目录（2022 年版）》，北京市人民政府办公厅，京政发办〔2022〕5 号，2022 年 2 月 14 日起施行；</p> <p>15. 《北京市辐射工作场所辐射环境自行监测办法（试行）》，原北京市环境保护局文件，京环发〔2011〕347 号；</p> <p>16. 《辐射安全与防护监督检查技术程序》，生态环境部，2020 年版；</p> <p>17. 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部令〔2019〕第 9 号，2019 年 11 月 1 日起施行；</p> <p>18. 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，环保部，环办辐射函〔2016〕430 号，2016 年 3 月 7 日；</p> <p>19. 关于发布《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》的公告，国环规环评〔2017〕4 号，2017 年 11 月；</p> <p>20. 原北京市环境保护局办公室《关于做好辐射类建设项目竣工环境保护验收工作的通知》，京环办〔2018〕24 号，2018 年 12 月 6 日；</p> <p>21. 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部公告 2019 年第 57 号，2019 年 12 月 24 日；</p> <p>22. 《关于进一步优化辐射安全考核的公告》，生态环境部公告 2021 年第 9 号，2021 年 3 月 11 日。</p> <p>23. 《产业结构调整指导目录(2024 年本)》，国家发展和改革委员会 2023 年第 7 号令，2024 年 2 月 1 日起施行；</p> <p>24. 《国家危险废物管理名录（2025 年版）》，生态环境部、国家发展和改革委员会、公安部、交通运输部、国家卫生健康委员会令第 36 号公布，自 2025 年 1 月 1 日起施行。</p>
技术标准	<p>1. 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）；</p> <p>2. 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；</p> <p>3. 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）；</p> <p>4. 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；</p> <p>5. 《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）；</p>

	<p>6. 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）；</p> <p>7. 《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）；</p> <p>8. 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188—2021）（参照）；</p> <p>9. 《医疗、工业、农业、研究和教学中产生的放射性废物管理》（HAD401/16-2023）；</p> <p>10. 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）；</p> <p>11. 《表面污染测定 第一部分 β 发射体 ($E_{\beta}^{\max} > 0.15\text{MeV}$) 和 α 发射体》（GB/T14056.1-2008）；</p> <p>12. 《表面污染测定 第2部分：氚表面污染》（GB/T 14056.2-2011）；</p> <p>13. 《北京市水污染物排放标准》（DB11/307-2013）；</p> <p>14. 《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》（GA1002-2012）；</p> <p>15. 《核技术利用放射性废物、废放射源收贮准则》（DB11/639-2009）；</p> <p>16. 《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ1326-2023）。</p>
其他	<p>1. 潘自强主编，《辐射安全手册》，科学出版社，2011 年；</p> <p>2. 原国家环境保护局监督管理司，《中国环境天然放射性水平》，1995 年 8 月；</p> <p>3. 《Radionuclide Information Booklet》Canadian NuclearSafety Commission, 2024 年 9 月；</p> <p>4. 《放射性核素和辐射防护数据手册》[Radiation Protection Dosimetry. 98(1), 2002];</p> <p>5. 康龙化成（北京）新药技术股份有限公司环境影响评价咨询协议书；</p> <p>6. 公司辐射安全与环境保护管理制度、个人剂量监测报告等相关资料。</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价内容

放射性同位素实验室运行中，对周围环境、工作人员和公众的辐射影响，以及放射性“三废”排放。

7.2 评价范围

根据本项目评价内容，按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）要求，确定该项目辐射环境影响评价的范围：以放射性同位素实验室控制区实体屏蔽外周界向外围扩展 50m 的区域作为评价范围。

7.3 评价因子

本项目主要评价因子为 β 核素使用过程中产生的轫致辐射、 γ 射线、放射性“三废”、表面污染。

7.4 评价目的

- 1、对建设项目环境辐射现状进行调查及辐射环境现状监测；
- 2、评价项目在运行过程中对工作人员及公众成员所造成的辐射影响；
- 3、评价辐射防护措施效果，提出减少辐射危害的措施；
- 4、通过项目辐射环境影响评价，为使用单位保护环境和公众利益给予技术支持；
- 5、对不利辐射环境影响和存在的问题提出防治措施，把其减少到“可合理达到的尽量低水平”；
- 6、为公司的辐射环境保护管理提供科学依据。

7.5 评价原则

- 1、以建设项目为基础，环保法律法规为依据，国家有关方针政策为指导的原则；
- 2、突出该项目的特点，抓住关键问题，坚持实事求是、客观公正的原则；
- 3、评价来源于项目、服务于项目、指导于项目的原则。

7.6 环境保护目标

本项目拟新建的同位素实验室位于泰河路 6 号 3#生物楼 5 层 B 段，该建筑物东侧为绿化空地，南侧为泰河一街，西侧为博兴三路，北侧为加氢实验室。同位素实验室在 3# 生物楼的位置以及周围环境示意图见图 7-1 和图 7-2 所示。

同位素实验室四周 50m 范围内，北侧为五层 A 段的化学实验室（与同位素实验室之间有库房相隔）；东侧隔楼道为同位素实验室人员办公室、卫生间、楼梯间；南侧相邻配液间和细胞间，之外为五层 C 段的化学实验室（与同位素实验室之间有门禁隔离）；西

侧为楼外停车场，之外是博兴三路；楼下为分离室，楼上为楼顶。周围其它企业距离同位素实验室控制区边界的距离均超出 50m。本项目所涉及的同位素实验室周围保护目标见表 7-1。

表 7-1 本项目同位素实验室周围 50m 范围内的保护目标

保护目标	方位	距离(m)	常居留人数
库房	北侧	相邻	/
化学实验室办公室	北侧	3	10
化学实验室	北侧	5-20	20
室外空地	北侧	20-37	/
加氢实验室	北侧	37-50	5
楼道	东侧	相邻	/
同位素实验室人员办公室、卫生间、楼梯间	东侧	2-9	10
绿化空地	东侧	9-50	/
同位素实验室配套的配液室	南侧	紧邻	5
细胞间、办公室、化学实验室	南侧	8-36	15
电动车停车区	南侧	36-50	/
楼外停车场	西侧	0-10	/
博兴三路	西侧	10-50	/
分离室 401、402、403	楼下	相邻	6
屋顶	楼上	相邻	/



图 7-1 项目评价范围和周围保护目标分布示意图

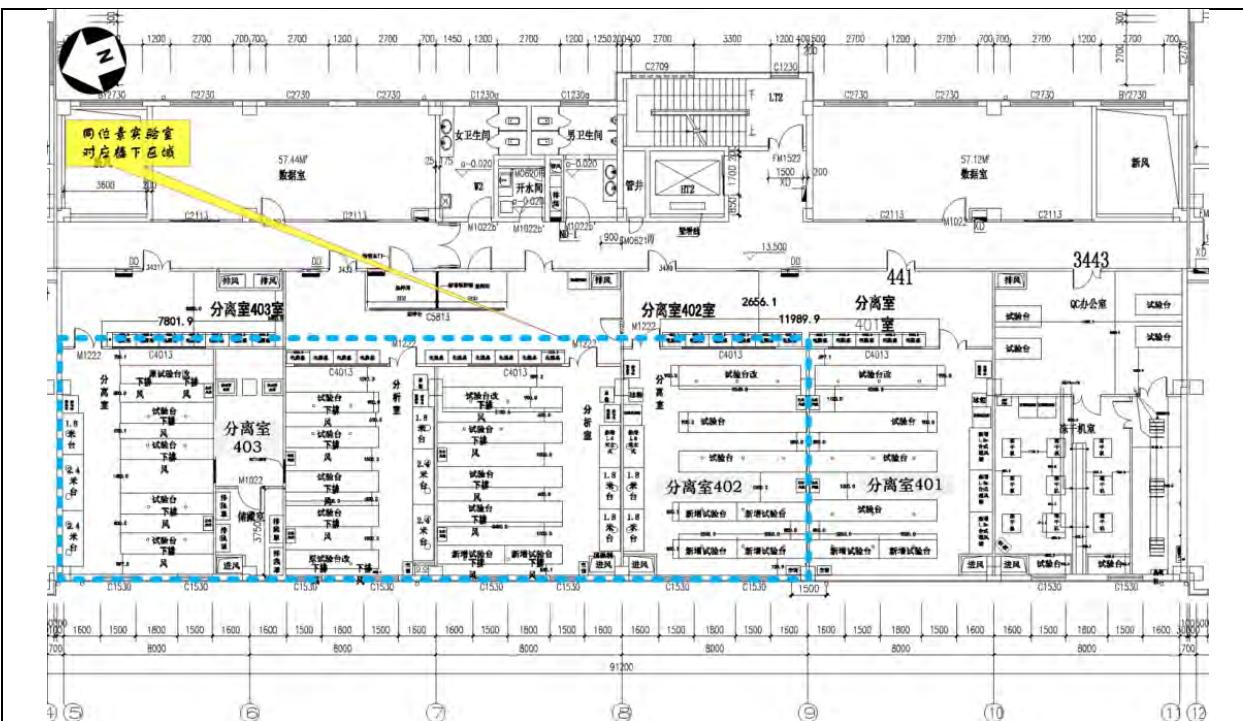


图 7-2 改建后同位素实验室楼下对应区域平面图

7.7 评价标准

7.7.1 剂量限值和剂量约束值

执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)的规定:

(1) 剂量限值

表 7-2 个人剂量限值

辐射工作人员	公众关键人群组成员
连续 5 年的年平均有效剂量不超出 20mSv, 且任何一年中的有效剂量不超出 50mSv。	年有效剂量不超出 1mSv, 特殊情况下, 如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv, 则某一单一月份的有效剂量可提高到 5mSv。
眼晶体的当量剂量 150mSv/a; 四肢或皮肤的当量剂量 500mSv/a。	眼晶体的当量剂量 15mSv/a; 皮肤的当量剂量 50mSv/a。

(2) 剂量约束值

本评价采用原北京市环境保护局对原有同位素实验室批复中的剂量约束值:

- 1) 本项目对辐射工作人员年受照剂量约束值取 1mSv;
- 2) 本项目对周围公众的年剂量约束值取 0.1mSv。

7.7.2 剂量率控制水平

本项目除满足上述剂量约束要求外, 周围剂量率还要满足以下要求, 依照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)并结合本项目实际情况, 本项目辐射工作场所剂量率控制水平为:

- (1) 在控制区外, 距同位素实验室屏蔽体外表面 30cm 处人员可达处的周围剂量当量率控制目标值不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。
- (2) 在控制区内, 距操作间墙体外表面 30cm 处人员可达处的周围剂量当量率控制目标值不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。
- (3) 通风橱外表面 30cm 处的周围剂量当量率不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。
- (4) 放射性废物箱和废液箱外表面 30cm 处的周围剂量当量率不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

7.7.3 放射性工作场所分级

非密封放射性物质工作场所按日等效最大操作量的大小进行分级, 见表 7-3。

表 7-3 非密封放射性物质工作场所分级

分 级	日等效最大操作量/Bq
甲级	$>4\times10^9$
乙级	$2\times10^7 \sim 4\times10^9$
丙级	豁免活度值以上~ 2×10^7

本项目日等效最大操作量为 $1.84E+07\text{Bq}$, 属于丙级非密封放射性物质工作场所。

7.7.4 工作场所及工作人员的表面污染控制要求

本项目放射性表面污染控制执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》的有关规定, 见表 7-4。

表 7-4 表面放射性物质污染控制水平 (Bq/cm^2)

表 面 类 型	β 放射性物质	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	4×10
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4
	监督区	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10^{-1}

上表中所列数值指表面上固定污染和松散污染的总数。对于手、皮肤、工作服等表面污染应及时清理, 尽可能达到本底水平。对设备、墙壁、地面经采取适当的去污措施后, 残存的污染可适当放宽, 但需有审管部门同意, 并不超过表中值的 5 倍; 氚的表面污染控制水平可为表中所列数值的 10 倍; 表面污染水平可按一定的面积上的平均值计算: 皮肤和工作服取 100cm^2 , 地面取 1000cm^2 。

GB18871-2002 附录 B2.2 条款规定: 工作场所中的某些设备与用品, 经去污使其污染水平降低到上述表中所列设备类的控制水平五十分之一以下时, 经审管部门或监管部

门授权的部门确认后，可当作普通物品使用。

7.7.5 放射性废液排放控制要求

(1) 排放含放射性核素废液要求

本项目产生的放射性废液依照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)和《医疗、工业、农业、研究和教学中产生的放射性废物管理》(核安全导则 HAD401/16-2023)中关于放射性废液的要求执行：

1. 实验产生的放射性废液

HAD401/16-2023 3.6.1 款 流出物中放射性核素的浓度和总量需符合国家的相关标准，并且应该尽可能对排放方案进行优化；

HAD401/16-2023 3.6.2 款 废物产生单位应进行排放控制，建立排放操作的技术程序，指定负责人员，应做好流出物监测、环境监测并保持监测记录；

HAD401/16-2023 3.7.1 款 对于适合清洁解控的废物，当废物中的放射性核素含量低于清洁解控水平时，可参考附录III，按相关流程进行解控。

HAD401/16-2023 3.7.5 款 放射性废物清洁解控前需完成的工作主要包括：确定废物的活度；分拣出计划进行储存衰变的废物；清洁解控前对每批废物取样。

HAD401/16-2023 3.7.6 款 实施清洁解控前，应确认核素浓度，记录废物信息。只含极短半衰期核素的废物，清洁解控流程可参考附录III实施。

本项目废液管理要求：

对于本项目实验过程中产生的放射性废液暂存在通风橱专用放射性废液瓶内，实验结束后，将其转移至废液间对应核素放射性废液箱内暂存；废物间配备放射性废液暂存容器，并在容器外显著位置处标注核素名称、容量、日期等信息；

对于含³²P、³³P 和³⁵S、⁵¹Cr、⁴⁵Ca 和¹²⁵I 核素的放射性废液，在废液间暂存一年后，经有资质的单位检测其中的核素活度浓度，低于清洁解控水平（核素活度浓度和总活度豁免值见表 7-5）的，向生态环境管理部门提交清洁解控申请，经确认后按危险废物处理；根据《国家危险废物名录（2025 年版）》，上述废液属于 HW49-900-047-49。

对于含³H、¹⁴C 的放射性废液，每半年委托有资质的单位进行监测，经专业机构检测其中核素含量低于清洁解控水平（核素活度浓度和总活度豁免值见表 7-5）的，向生态环境管理部门提交清洁解控申请，经确认后按危险废物（HW49-900-047-49）处理。如超出清洁解控水平，委托专业机构在废物间内固化，封存于北京市城市放射性废物库提供的黄色包装桶中，最终送北京市城市放射性废物库。送贮的放射性废物应满足《核

技术利用放射性废物、废放射源收贮准则》(DB11/639-2009)中送贮放射性废物的相关要求。

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》给出的放射性核素的豁免活度浓度与豁免活度见表 7-5 所示。

表 7-5 放射性核素的豁免活度浓度与豁免活度

核素	活度浓度 (Bq/g)	总活度 (Bq)
³ H	1E+06	1E+09
¹⁴ C	1E+04	1E+07
³² P	1E+03	1E+05
³³ P	1E+05	1E+08
³⁵ S	1E+05	1E+08
⁵¹ Cr	1E+03	1E+07
¹²⁵ I	1E+03	1E+06
⁴⁵ Ca	1E+04	1E+07

2. 应急淋浴废水

应急淋浴废水排放管理：在缓冲间内配置可收集废水的应急淋浴装置（淋浴盆容积 50L），将应急淋浴废水单独收集。然后委托有资质的单位进行检测，经检测达到清洁解控要求的（总 α 、总 β 不大于 1Bq/L、10Bq/L，核素活度浓度和总活度豁免值见表 7-5），生态环境管理部门确认后排入市政管网；若高于清洁解控水平，则依照放射性废液流程处理。

3. 清洁废水

本项目同位素实验室每周清洁一次，采用擦拭法，抹布一次性使用，不进行清洗，故不产生放射性清洁废水。

7.7.6 放射性固体废物管理

本项目放射性固体废物管理依照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)、《关于发布<放射性废物分类>的公告》(2017 年)、《医疗、工业、农业、研究和教学中产生的放射性废物管理》(核安全导则 HAD401/16-2023) 中相关要求执行：

- 1) 本项目实验过程中产生的放射性固废暂存在通风橱专用放射性固废桶内，实验结束后，将标有核素名称、重量、日期等信息的放射性固废转移至废物间暂存；
- 2) 废物间配备放射性固废暂存容器，并在容器外显著位置处标注核素名称、日期等信息；
- 3) 对于含 ³²P、³³P、³⁵S、⁵¹Cr、⁴⁵Ca 和 ¹²⁵I 核素的放射性固废，在同位素实验室废物间暂存一年后，经专业机构检测其中核素含量低于清洁解控水平（表面辐射剂量率满

足所处环境本底水平， β 表面污染水平低于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，核素活度浓度和总活度豁免值见表 7-5) 的，向生态环境管理部门提交清洁解控申请，经确认后按危险废物处理。根据《国家危险废物名录（2025 年版）》，上述废物属于 HW49-900-047-49。

4) 对于含长半衰期核素 ${}^3\text{H}$ 和 ${}^{14}\text{C}$ 的放射性固废，计划定期（每半年）委托有资质的单位进行监测，经专业机构检测其中核素含量低于清洁解控水平（表面辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染水平低于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，核素活度浓度和总活度豁免值见表 7-5) 的，向生态环境管理部门提交清洁解控申请，经确认后按危险废物（HW49-900-047-49）处理。如超出清洁解控水平，同位素实验室管理人员进行减容处理，最终送北京市城市放射性废物库。贮存的放射性废物应满足《核技术利用放射性废物、废放射源收贮准则》（DB11/639-2009）中贮存放射性废物的相关要求。

5) 根据放射性固废处理情况，同位素实验室管理人员及时同步更新废物存储和处理台账。

7.7.7 操作放射性同位素通风橱及排风口设置要求

《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）第 5.2.1 款规定：非密封源的操作应根据所操作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。

依照《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）10.2.1.3 款：对从事开放性操作的工作箱、设备室或区域应考虑分别设置独立的排放处理系统。

本项目中，同位素实验室设置 3 套独立的排风系统，屋顶风机前设置活性炭过滤器，单组活性炭重 5kg，过滤效率不低于 75%，至少每年更换一次，废气经活性炭过滤后由高于所在建筑物屋顶排风口排出，排放高度约 25m。

参照《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），合成和操作放射性同位素所用的通风橱应有专用的排风装置，风速应不小于 0.5 m/s。

7.7.8 辐射工作场所室内表面及装备结构要求

《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）第 5.2.3 款规定：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上或陶瓷盘内进行。

本项目同位素实验室地面采用 PVC 易去污材料敷设，地板与墙壁接缝无缝隙。工作台面铺设易去污塑料薄膜，通风橱为耐腐蚀理化板。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 环境质量和辐射现状

公司委托有资质单位（长润安测科技有限公司）于 2025 年 4 月 18 日对康龙化成公司 3#生物楼内部及周围进行了辐射水平检测（报告编号：CR-HJ-1120250294-006），监测内容为 γ 空气吸收剂量率。监测设备为便携式 X、 γ 辐射周围剂量当量率仪，其性能参数见表 8-1。

监测方法：使用便携式 X、 γ 辐射周围剂量当量率仪在距地面 1m 高度进行直接测量。 γ 辐射水平监测点位置见图 8-1 至图 8-3，监测结果见表 8-2。

表 8-1 检测仪器性能参数一览表

设备名称	型号（编号）	技术参数	校准证书编号	校准证书有效期
便携式 X、 γ 辐射周围剂量当量率仪	MR-3512 (CR-YQ-160)	10nGy/h~ 100mGy/h	2024H21-20-54383000 010	至 2025 年 08 月 20 日

表 8-2 评价区现状环境 γ 辐射剂量率水平监测结果

检测点位 编号	检测点位置描述	γ 辐射剂量率 [*] (nGy/h)	备注
①	3#生物楼北侧空地	67±0.4	
②	3#生物楼东侧空地	67±0.2	
③	3#生物楼南侧空地	68±0.1	
④	3#生物楼西侧空地	68±0.1	
⑤	办公楼西南侧空地	68±0.1	
⑥	3#生物楼五层拟建同位素实验室场地北侧	67±0.1	
⑦	3#生物楼五层拟建同位素实验室场地南侧	68±0.1	
⑧	3#生物楼四层分离室 403 (拟建同位素实验室下面)	68±0.1	
⑨	3#生物楼四层分离室 402 (拟建同位素实验室下面)	69±0.1	
⑩	3#生物楼屋顶 (拟建同位素实验室上面)	68±0.1	

注：*以上检测结果数据均未扣除宇宙射线响应值。



图8-1 康龙化成（北京）新药技术股份有限公司园区检测点位示意图

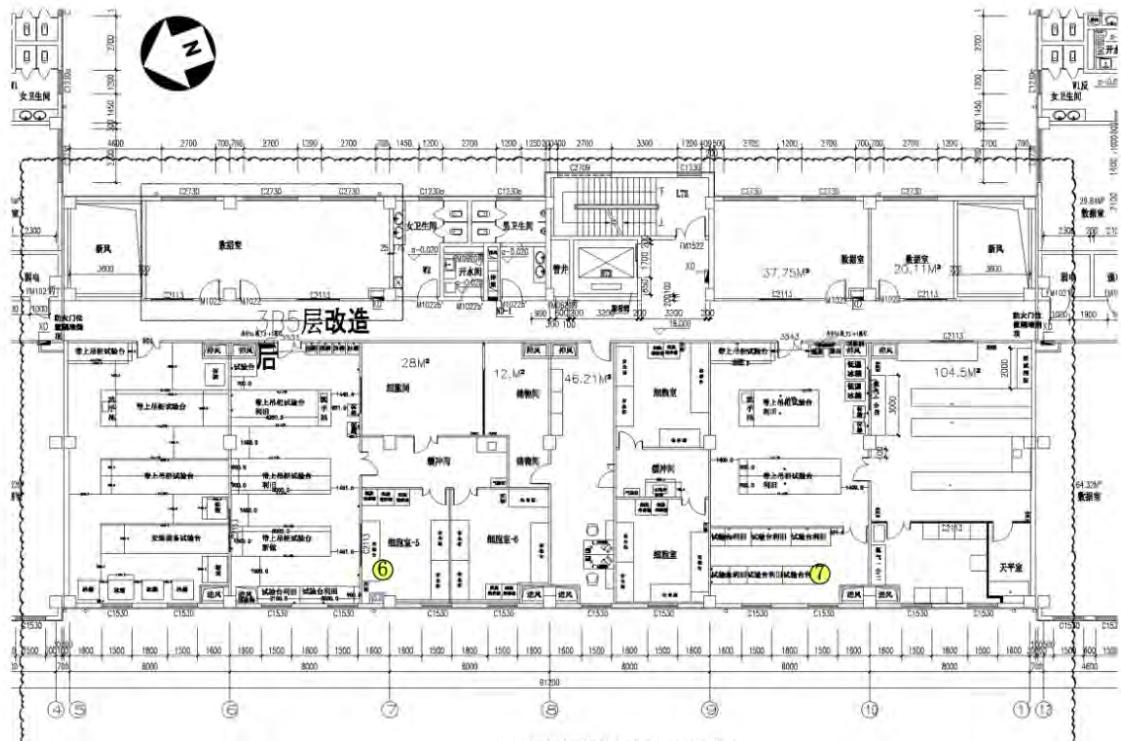


图8-2 3#生物楼内5层检测点位示意图



图8-3 3#生物楼内4层检测点位示意图

根据《中国环境天然放射性水平》(1995年),北京市天然辐射水平范围为 $60\text{-}123\text{nGy/h}$ (室外,含宇宙射线)和 $69.8\text{-}182\text{nGy/h}$ (室内,含宇宙射线)。康龙化成(北京)新药技术股份有限公司的本底辐射水平监测结果表明,各测点 γ 空气吸收剂量率属于正常本底水平。

表9 项目工程分析与源项

9.1 工程设备和工艺分析

9.1.1 拟使用的放射性同位素

本项目拟使用的放射性同位素共计8种，分别是³H、¹⁴C、³²P、³³P、³⁵S、¹²⁵I、⁴⁵Ca和⁵¹Cr，核素的物理参数如表9-1。

表9-1 拟使用放射性同位素主要物理参数

序号	核素	半衰期	主要衰变方式	主要能量(分支比)	周围剂量当量率($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$)	单板实验最大操作量(Bq)
1	³ H	12.3a	β	18.59keV(100%)	可忽略	4.44E+06
2	¹⁴ C	5730a	β	156.47keV(100%)	可忽略	2.78E+06
3	³² P	14.3d	β	1.71MeV(100%)	可忽略	2.78E+06
4	³³ P	25.4d	β	249keV(100%)	可忽略	2.78E+06
5	³⁵ S	87.4d	β	167.14keV(100%)	可忽略	2.78E+06
6	⁵¹ Cr	27.7d	γ	320keV(9.9%)	4.554E-03	1.85E+06
7	⁴⁵ Ca	163d	β	256.90keV(100%)	可忽略	1.85E+06
8	¹²⁵ I	60.1d	γ	27.47keV(74.4%) 27.20 keV(39.9%) 31.00 keV(25.8%)	1.449E-02	9.25E+05

注：数据来源：GB18871-2002 和《Radionuclide Information Booklet》Canadian NuclearSafety Commission, 2024 年。

9.1.2 同位素操作的实验流程

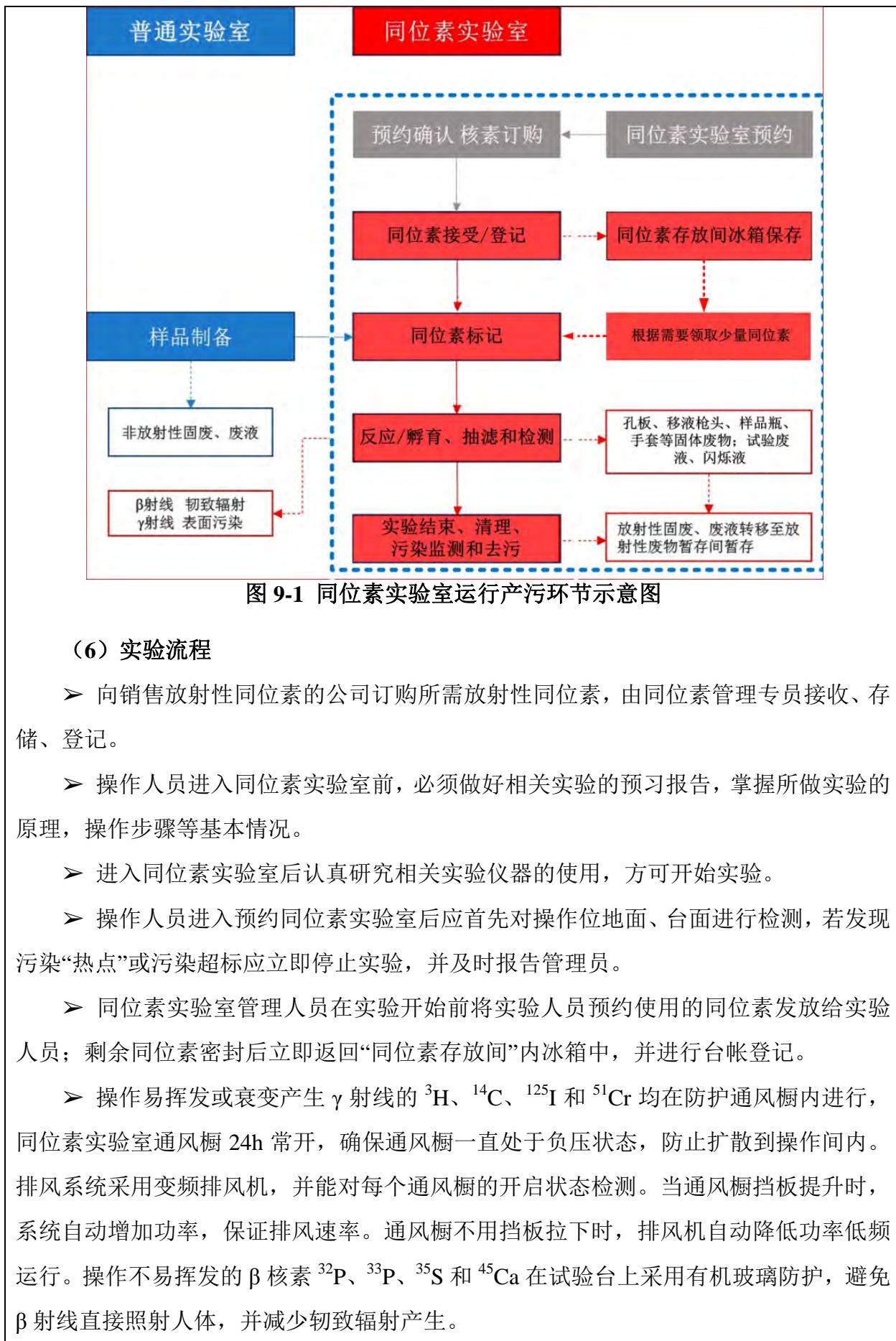
本同位素实验室不进行放射性同位素合成实验，也不进行动物放射性同位素试验，只开展细胞水平的同位素标记实验，借助多功能激光成像仪、伽马计数仪、液体闪烁计数仪等仪器，用于荧光、化学发光等样品的检测，以接受委托开展生命科学、基础医学和临床医学、药学的科学的研究。

操作间按照使用核素进行划分：操作间1只使用¹⁴C，操作间2使用³H和¹²⁵I（不同时使用），操作间3使用³²P、³³P、³⁵S和⁴⁵Ca，操作间4使用¹²⁵I和⁵¹Cr，操作间5只使用³H，具体见表1-14。

同位素来源：同位素来源有二个方面，一是定制类核素（按分子结构进行定制合成），由委托方将同位素进行标记后，转让给康龙化成开展同位素实验，主要是³H、¹²⁵I和¹⁴C。二是商品类核素（商品化、通用性较高的核素产品），由康龙化成直接购买同位素后进行标记，然后开展后续同位素实验。

（5）产污环节

操作流程和产污环节，见图9-1所示：



- 实验台上铺有便于清洁的淋膜纸或保鲜膜，防止污染台面。
- 操作时须将污染的移液枪吸头、手套、废弃物等及时放入放射性固体废物桶内，放射性废液倒入放射性废液瓶内。
- 实验结束后，产生的放射性废液收集至配备的废液桶内暂存，产生的放射性固体废物用塑料袋收集并标注核素及日期后，转移至废物间废物箱内分类存放。
- 实验结束及时清理操作现场，填写实验记录数据，并对实验台面进行表面污染检测，并进行记录。
- 定期对同位素存放间内暂存的同位素进行盘点，做到账物相符，防止同位素意外丢失。
- 同位素实验室内的工具、设备不得随意带出与其他实验室工具/设备交叉使用，确需带出的须经检测确保没有污染、并报请管理人员同意后方可带出。

9.2 主要的放射性污染物

本项目使用放射性同位素包括³H、¹⁴C、³²P、³³P、³⁵S 和⁴⁵Ca 衰变方式为β衰变，¹²⁵I 和⁵¹Cr 衰变方式为γ射线，主要的放射性污染包括外照射辐射（β、γ射线及轫致辐射）、β表面污染和实验过程中产生的放射性“三废”。

9.2.1 正常工况的污染途径

(1) 产生少量的放射性废液

评价期间对公司近一年使用孔板类型、孔板数量和废液产生量进行统计分析 2。

近一年使用孔板约 2020 块，产生的废液总量约 570L，平均每个孔板产生的废液量约 0.28L。

根据公司规划，未来将减少¹⁴C 检测量，增加¹²⁵I 业务量，并对检测方法进行优化，将来主要使用 SPA Binding assay 开展同位素实验，预计该类型孔板使用数量占比达 50%，Uptake assay 维持 20%，Filter plate Binding assay 孔板占比降低到 30% 左右。

新建同位素实验室后，工作负荷预计增加 1 倍，年实验孔板使用数量由现在的 2000 块增加为 4000 块。

今后年使用孔板数约 4000 个，产生废液总体积约 620L/a。平均每个孔板产生的废液量由之前的 0.28L/孔板减少为 0.16L/孔板。

新建同位素实验室规模扩大后，废液产生量预计为 620L/a，较目前的废液产生量增加约 25%。

同位素实验室所有器皿均为一次性用品，不进行洗涤工作，故不存在洗涤所产生的

极低放废液。

综合考虑，预计放射性废液的年产生量约 620L，其中含短半衰期核素 (^{32}P 、 ^{33}P 、 ^{33}P 、 ^{35}S 、 ^{45}Ca 和 ^{125}I) 废液约 340L，含 ^{14}C 废液约 48L，含 ^3H 废液约 232L。

本项目拟配备 14 个放射性废液箱(5mm 厚聚乙烯材质，每个有效容积不低于 120L)，分 5 类暂存放射性废液：① ^3H 废液；② ^{14}C 废液；③ ^{125}I 和 ^{51}Cr 废液一并收集；④ ^{45}Ca 废液；⑤ ^{35}S 、 ^{32}P 、 ^{33}P 废液一并收集。

对于含 ^3H 、 ^{14}C 的放射性废液，同位素实验室每半年委托有资质的单位进行检测，经专业机构检测其中核素含量低于清洁解控水平（核素活度浓度和总活度豁免值见表 7-5）的，向生态环境管理部门提交清洁解控申请，经确认后按危险废物处理，如超出清洁解控水平，委托专业机构在废物间内固化，封存于北京市城市放射性废物库提供的黄色包装桶中，最终送北京市城市放射性废物库。

对于含 ^{32}P 、 ^{33}P 和 ^{35}S 、 ^{51}Cr 、 ^{45}Ca 和 ^{125}I 核素的放射性废液，在废液间暂存时间超过一年后，经有资质的单位检测，低于清洁解控水平（核素活度浓度和总活度豁免值见表 7-5）的，向生态环境管理部门提交清洁解控申请，经确认后按危险废物处理。

根据以往工作经验，预计只有含 ^{14}C 的放射性废液可能超出清洁解控水平，而含有其它核素的放射性废液暂存后可以清洁解控处置。公司今后拟一方面减少 ^{14}C 的同位素实验次数，降低废液产生量，同时尽可能减少每次实验所用 ^{14}C 的活度，从而降低废液中 ^{14}C 的活度浓度和总活度，争取全部放射性废液能够满足清洁解控要求。

(2) 产生少量的放射性的固体废物

放射性活度较高的固体废物主要为实验用一次性吸头、孔板、塑料试管、放射性同位素同位素包装瓶等。活度较低的放射性固体废物主要为手套、口罩、吸水纸、液体闪烁瓶等。

根据表 1-5 和表 1-6 废物量统计，目前，含 ^3H 废物年产生量约 300kg，含 ^{14}C 废物的年产生量约 200kg，年废物量总计约 500kg。新建同位素实验室运行后，工作量预计增加 1 倍，放射性固体废物的年产生量可达 1000kg，其中含 ^{32}P 、 ^{33}P 、 ^{35}S 、 ^{51}Cr 、 ^{45}Ca 和 ^{125}I 等短寿命核素的放射性固体废物量较多，约 550kg，含 ^3H 废物约 375kg，含 ^{14}C 废物约 75kg。

采用分类收集的方法收集：8 种核素的固体废物均单独收集。拟配置固体废物贮存箱 30 个，每个有效容积不低于 100L，采用 5mm 厚聚乙烯。此外新增配置 2 个暂存 ^{51}Cr 的废物箱，采用 6mm 铅材质。

对于含³²P、³³P、³⁵S、⁵¹Cr、⁴⁵Ca 和¹²⁵I 核素的放射性固废，在同位素实验室废物间暂存至少一年后，经检测低于清洁解控水平（表面辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染水平低于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，核素活度浓度和总活度豁免值见表 7-5）的，向生态环境管理部门提交清洁解控申请，经确认后按危险废物处理。

对于含长半衰期核素³H、¹⁴C 的放射性固废，定期（每半年）委托有资质的单位进行监测，经专业机构检测其中核素含量低于清洁解控水平（表面辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染水平低于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，核素活度浓度和总活度豁免值见表 7-5）的，向生态环境管理部门提交清洁解控申请，经确认后按危险废物处理。如超出清洁解控水平，本着放射性废物最小化原则，对废物进行减容处理，最终送北京市城市放射性废物库。

根据以往工作经验，预计只有含¹⁴C 的放射性废液可能超出清洁解控水平，而含有其它核素的放射性废液暂存后可以清洁解控处置。公司今后拟一方面减少¹⁴C 的同位素实验次数，降低废物产生量，同时尽可能减少每次实验所用¹⁴C 的活度，从而降低废物中¹⁴C 的活度浓度和总活度，争取全部放射性废液能够满足清洁解控要求。

(3) 产生少量放射性废气

本同位素实验室开展的全部同位素实验均为简单湿法操作，使用量较少，产生的气态气溶胶很少，不存在放射性气体污染的问题，故本评价不对其进行专门评价。

同位素实验室设置 3 套独立的排风系统，操作放射性同位素的通风橱风速不小于 0.5m/s ，屋顶风机前位置设置活性炭过滤器，单组活性炭重 5kg ，过滤效率不低于 75% ，至少每年更换一次，废气经活性炭过滤后由高于所在建筑物屋顶排风口排出。

表 9-2 新建同位素实验室后实验流程和放射性废物产生量对照表

	原有同位素实验室	新建同位素实验室
实验流程	孔板操作，主要使用 96 孔 Filter plate Binding assay 型实验板，该板需要清洗，废液产生量较大，约 $320\sim450\text{mL}/\text{板}$ 。	依然为孔板操作。主要使用 SPA Binding assay 型实验板操作，该孔板废液产生量较少，约 $20\text{mL}/\text{板}$ 。
工作量	2020 块孔板（2024 年）	4000 块孔板，工作量预计增加 1 倍
放射性废液量	如表 9-2 所示，目前废液产生量约 570L/a 。根据以往废液产生量统计，其中含 ³ H 废液约 500L ，含 ¹⁴ C 废液约 70L 。	如表 9-3 所示，将来废液产生量约 620L ，较目前的废液产生量增加约 25% 。其中含短半衰期核素（ ³² P、 ³³ P、 ⁵¹ Cr、 ³⁵ S、 ⁴⁵ Ca 和 ¹²⁵ I）废液约 340L ，含 ¹⁴ C 废液约 48L ，含 ³ H 废液约 232L 。尽管废液量有所增加，但是含 ¹⁴ C 的废液量大幅减少（由 70L 减少为 48L ）。
放射性固体废物量	年废物量总计约 500kg ：含 ³ H 废物年产生量约 300kg ，含 ¹⁴ C 废物的年产生量约 200kg 。	放射性固体废物的年产生量可达 1000kg ：含 ³² P、 ³³ P、 ³⁵ S、 ⁵¹ Cr、 ⁴⁵ Ca 和 ¹²⁵ I 等短寿命核素的放射性固体废物量较多，约

	550kg, 含 ³ H 废物约 375kg, 含 ¹⁴ C 废物约 75kg。 尽管固废量有所增加, 但是含 ¹⁴ C 的固废量大幅减少 (由 200kg 减少为 75kg)。
--	---

9.2.2 非正常情况的污染途径

(1) 放射性表面污染: 因同位素容器破碎, 标记药物泼洒等, 有可能污染工作台、地面、墙壁、设备等, 甚至造成手和皮肤的污染。如果污染不被及时发现, 有可能造成周围普通场所的放射性污染。为了进行表面污染的监测, 同位素实验室已购置了多功能辐射监测仪, 该仪器既能监测表面污染, 又能够监测辐射水平。

(2) 同位素丢失: 因保管不善, 放射性同位素发生被盗和丢失事件, 导致潜在照射的发生。同位素实验室将按照《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》设置防盗门、防盗报警器、视频监控系统等, 并实行双人双锁管理制度, 以防止同位素被盗和丢失。

(3) 未按照法规要求处置放射性废物或放射性废液: 如果不按规定处置放射性废物或者放射性废液, 可能造成环境污染, 并导致潜在照射的发生。本项目设置了专门废物间, 配置放射性废液箱和废物箱, 放射性废物(废液)暂存后处置。对于不能清洁解控的放射性废物, 送交城市放射性废物库。对于不能清洁解控的放射性废液, 委托专业机构在废物间内固化后送交城市放射性废物库。

表 10 辐射安全与防护

10.1 同位素实验室建设方案

拟新建的同位素实验室位于泰河路 6 号内 3#生物楼 5 层 B 段北侧外墙和西侧外墙为现有外墙，厚度为 240mm 混凝土（密度 $2.35\text{t}/\text{m}^3$ ），东侧外墙、南侧外墙为新建外墙，为含 30mm 硫酸钡板（密度 $2.3 \text{ t}/\text{m}^3$ ）双层方钢龙骨框架墙体。同位素实验室设置缓冲间、废物间、废液间、同位素存放间和 5 间操作间。缓冲间用来更换工作服和鞋套，废物间和废液间分别用来暂存放射性废物和放射性废液，5 间操作间用来开展同位素实验。

同位素实验室实验人员路径：实验人员从同位素人员出入口进入。实验人员在缓冲间更换工作服和鞋套进入同位素实验室开展放射性实验。实验结束后，在缓冲间进行表面污染检测，然后更换衣服离开同位素实验室。

放射性同位素路径：放射性同位素在上班前运抵 B 区。在同位素实验室内与实验室管理人员交接后，在同位素存放间冰箱内贮存。

放射性废物路径：5 个操作间产生的放射性废物（含废物和废液），经内部通道门转移到废物间或废液间。解控的放射性废物（液）由东侧废物间门运出，然后由东侧走廊远离同位素实验室。

10.2 辐射安全与防护措施

10.2.1 同位素实验室辐射安全管理措施

1. 设立辐射安全管理小组，制定相关规章制度，并要求工作人员严格执行。
2. 向销售放射性同位素的公司订购所需放射性同位素。订购的放射性同位素到货后，在同位素实验室内监控下进行“点对点”交接马上置于冰箱内保存（双人双锁管理）。
3. 同位素实验室设 2 名管理人员，负责接收、存储、登记放射性同位素，负责放射性同位素的取出和回收存放以及使用台帐记录，负责采用闭路监视或现场检查方式对同位素实验人员进行监督管理，负责放射性废物的管理，负责放射性同位素的定期盘点。
4. 实行分区管理。同位素实验室分为控制区和监督区，其中各操作间、放射性废物间、废液间、同位素存放间及同位素实验室内公共区域等为控制区，缓冲间、北侧库房为监督区。同位素实验室所在的 B 区实行严格的人员进出管理，同位素实验室出入口处设置门禁系统。同位素实验室的工作人员进入同位素实验室，先通过门禁进入 B 区走廊，然后再次经同位素实验室出入口（仅授权人员）门禁系统方可进入。
5. 同位素存放间安装防盗门、视频监控和闯入报警系统等，通过公安部门安保验收后投入使用。视频监控及报警系统接入公司的中控室，有专人 24 小时值班。废物间

设有门禁系统，仅有授权的同位素实验室管理人员方可刷卡进入。

6. 同位素实验室实验人员必须通过辐射安全与防护考核方可进入。全部同位素实验人员开展个人剂量检测。

7. 公司已配备 2 台便携式多功能射线检测仪，本项目新增 1 台多功能射线检测仪，能够满足将来工作需要。

8. 安装火灾报警器，配备灭火器材。

10.2.2 同位素实验室辐射安全防护措施

1. 同位素实验室采取实体屏蔽措施：同位素实验室顶板和地面采用混凝土实体屏蔽，外墙采用混凝土或含硫酸钡板墙屏蔽，保证同位素实验室外 30cm 处辐射剂量率不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

2. 同位素实验室出入口门外侧、各操作间门外、废物间、废液间门外均设置电离辐射警示标识及中文说明，警示无关人员勿入。在废物箱、废液箱、存放放射性同位素的冰箱上粘贴电离辐射警告标志。

3. 依据实验计划定购同位素，尽可能减少同位素的贮存量。

4. 外照射防护：配备 2 块 1mm 铅防护板（新增 1 块）和 5 块 8mm 厚有机玻璃板（新增 4 个）。操作 ^{125}I 和 ^{51}Cr 时采用铅防护板防护，操作 ^{32}P 等其余 β 核素标记物时采用有机玻璃板防护。为操作 ^{125}I 和 ^{51}Cr 工作人员配备 0.25mm 铅衣 5 件（原有 1 件，新增 4 件）。配备铅手套 5 付（原有 1 付，新增 4 付）。

5. β 核素轫致辐射防护：通风橱内衬 6mm 抗倍特（木质纤维、牛皮纸及热固性树脂为核心的复合材质）耐腐蚀板，可有效减少轫致辐射水平。

6. 内照射防护：制定各项操作规章制度和操作规程，要求工作人员严格按操作规程进行操作，通风橱常开确保房间空间处于负压。为工作人员配备口罩、手套、鞋套、工作服等个人防护用品。一旦发现放射性污染，应收集污染物，采用擦洗方法处理，监测表面污染状况，采取措施确保表面污染水平低于控制限值，并将擦拭物作为放射性固体废物处置。

7. 放射性表面污染防护：放射性工作区域地面铺装 PVC 材质地胶，放射性同位素操作台面采用易去污材料。

8. 同位素实验室内的工具、设备不得随意带出与其他实验室工具/设备交叉使用，确需带出的须经检测确保没有污染、并报请管理人员同意后方可带出。

10.2.3 放射性“三废”管理措施

1. 放射性废液管理

同位素操作间各配备一个废液瓶(2L)，用于收集实验中产生的放射性废液。

拟配备 14 个放射性废液箱（5mm 厚 PE 材质，直径 500mm，高 700mm，每个有效容积 120L），暂存放射性废液。贮存 ^{125}I 和 ^{51}Cr 废液箱外设 1mm 不锈钢罩。

分类收集放射性废液：① ^3H 废液；② ^{14}C 废液；③ ^{125}I 和 ^{51}Cr 废液；④ ^{45}Ca 废液；⑤ ^{32}P 、 ^{33}P 和 ^{35}S 废液一起收集。

对于含 ^{32}P 、 ^{33}P 、 ^{35}S 、 ^{51}Cr 、 ^{45}Ca 和 ^{125}I 核素的放射性废液，在废液间暂存一年后，经有资质的单位检测，低于清洁解控水平（核素活度浓度和总活度豁免值见表7-5）的，向生态环境管理部门提交清洁解控申请，经确认后按危险废物处理。

对于含 ^3H 和 ^{14}C 的放射性废液，同位素实验室每半年委托有资质的单位进行检测，经专业机构检测其中核素含量低于清洁解控水平（核素活度浓度和总活度豁免值见表7-5）的，向生态环境管理部门提交清洁解控申请，经确认后按危险废物处理，如超出清洁解控水平，委托专业机构在废物间内固化，封存于北京市城市放射性废物库提供的黄色包装桶中，最终送北京市城市放射性废物库。

2. 放射性废物管理

每个操作间内各配备一个废物桶(10L)，用于收集实验中产生的放射性固体废物。这些废物日产日清，当天按类别转移至废物间内的废物箱暂存。

分类收集固体放射性废物：每种核素的废物均单独收集暂存。

拟配置固体废物贮存箱 30 个（5mm 厚 PE 材质，350mm×450mm×700mm），每个有效容积不低于 100L。此外配置 2 个容积 100L 的 6mm 铅屏蔽废物箱，专门用于贮存 ^{51}Cr 放射性废物。

对于含 ^{32}P 、 ^{33}P 、 ^{35}S 、 ^{51}Cr 、 ^{45}Ca 和 ^{125}I 核素的放射性固废，在同位素实验室废物间暂存一年后，经检测低于清洁解控水平（表面辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染水平低于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，核素活度浓度和总活度豁免值见表 7-5）的，向生态环境管理部门提交清洁解控申请，经确认后按危险废物处理。

对于含长半衰期核素 ^3H 、 ^{14}C 的放射性固废，定期（每半年）委托有资质的单位进行检测，经专业机构检测其中核素含量低于清洁解控水平（表面辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染水平低于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，核素活度浓度和总活度豁免值见表 7-5）的，向生态环境管理部门提交清洁解控申请，经确认后按危险废物处理。如超出清洁解控水平，本着放射性废物最小化原则，同位素实验室管理人员进行减容处理，最终送北京市

城市放射性废物库。

3.放射性废气管理

同位素实验室共设计使用3套排风系统：

①全部通风橱（操作间1、2、4和5内）的排风经高效过滤器过滤后合并使用一套排风系统。

通风橱安装VAV控制系统，排风系统24h常开，确保通风橱一直处于负压状态，防止其中气溶胶扩散到操作间内。通风橱排风机采用变频控制，排风量可以根据使用通风橱的数量进行调整。在所有通风橱挡板提升使用时，自动增加排风机功率，确保排风量达标。当通风橱在夜间不使用状态下（通风橱挡板下拉到底），排风机频率将最低降低到约22Hz，依然维持一定通风量，保持通风橱内负压，避免通风橱内废气扩散到操作间内。

操作间1、2、4和5内房间未设独立排风，操作间换气由其中通风橱系统排风完成，这样可确保通风橱气溶胶不扩散到操作间内。

②缓冲间、同位素存放间、操作间3共用一套排风系统；

③废物间和废液间共同使用一套排风系统。

所有排风管在楼顶安装活性炭过滤装置后合并为一个主排风管道，由B区管道井至屋顶排放，排风口高度约25m。

本次同位素实验室改建时，将拆除改造区域内现有的全部排风管道，新建3套排风设施。新建同位素实验室的总排风管与原有同位素实验室排风管共用一个管道井，最终的排风口相邻设置，位置基本上没有变化。

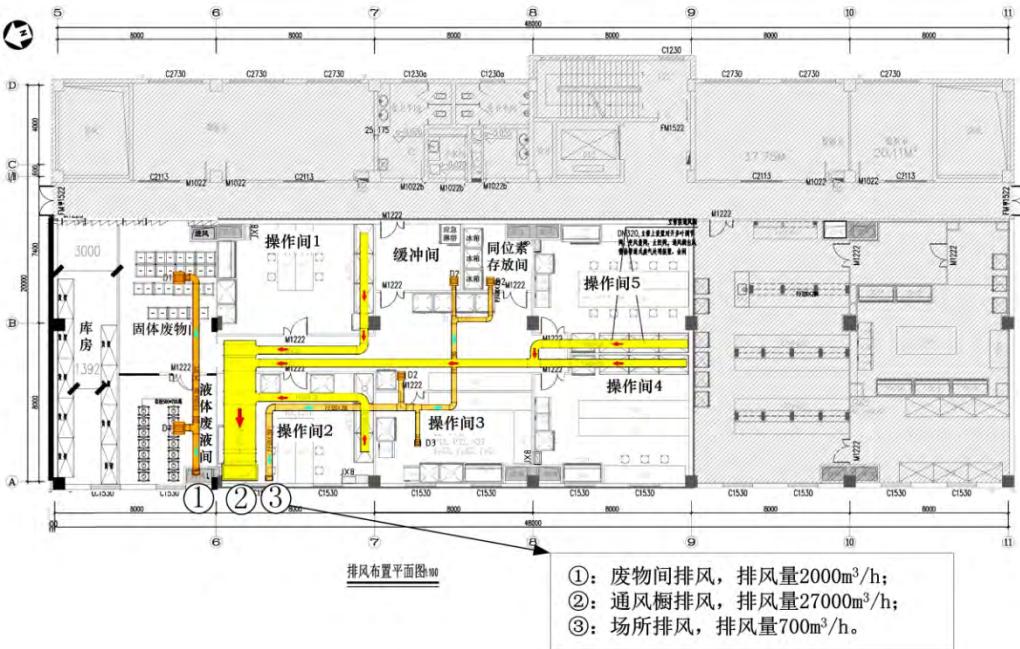


图 10-1 同位素实验室的 3 套排风系统路径示意图

操作放射性同位素的通风橱风速不小于0.5m/s，排风系统单组活性炭重5kg，过滤效率不低于75%，至少每年更换一次。

4. 解控废物转移管理

对于达到清洁解控水平且经生态环境管理部门确认的放射性废物，作为危险废物处理。同位素实验室管理人员将袋装的放射性废物以及桶装的放射性废液，置入危险废物转运车内，从废物间门运出。转运车下楼时，安排人员清理楼道无关人员，电梯口设警示公告，由B区电梯采用手动控制模式直达一层（不能有无关人员同梯），然后运抵公司垃圾房（公司专门贮存危险废物的场所）。后续由垃圾房负责人统一交第三方危险废物处理公司。放射性废物运送完成后，同位素实验室工作人员使用多功能监测仪沿运送路径进行检测，确定无污染后，撤离警示公告。

5. 放射性同位素接收管理

放射性同位素由销售公司或者提供方委托专业运输公司运输至本公司。

本项目使用的放射性同位素为 β 核素或低能 γ 核素，放射性同位素包装容器外表面的辐射水平接近本底水平。为了保证同位素安全接受，公司制定了同位素接收流程，拟采取如下临时管控措施为：

- 1) 安全监护员提前 1h 在3#生物楼B区电梯口张贴警示提示，“此电梯将转运同位素，请您使用A段\C段电梯”。
- 2) 运输车辆抵达公司门口办理进入园区手续时，开始手动管控3#生物楼B区电梯，

并将电梯停在一层等候。

3) 车辆停在3#生物楼东侧预留的停车位，然后由小推车推至3#生物楼B段一层电梯厅，进入电梯后采用手动控制模式直达五层。

4) 同位素在公司园区内转运时，安全监护员全程跟随，提醒无关人员不要接近，且不能同梯上行。

5) 到达5层同位素实验室门口后，安全监护员确认包装完整后，转入同位素存放间内暂存。

10.3 与生态环境部对丙级同位素实验室核查表对照检查

本项目与生态环境部《丙级非密封放射性物质操作场所监督检查技术程序》中辐射安全防护设施与运行的要求的对照情况，见表 10-1。可见，本项目能够满足相应要求。

表 10-1 丙级同位素实验室辐射安全防护设施设计核查表

序号	检查项目	本项目情况	
1*	A 场所设施	工作场所功能、设置及分区布局	同位素实验室分为控制区和监督区，其中各操作间、放射性废物间、废液间、同位素存放间及同位素实验室内公共区域等为控制区，缓冲间、北侧库房为监督区。
2*		场所分区的管控措施及标识	控制区和监督区粘贴标识。同位素实验室所在的 B 区实行严格的人员进出管理，同位素实验室出入口处设置门禁系统。同位素实验室的工作人员进入同位素实验室，先通过门禁进入 B 区走廊，然后再次经同位素实验室出入口（仅授权人员）门禁系统方可进入。
3*		电离辐射警告标志	同位素实验室出入口、废物间门上、各操作间门外、废物箱、废液箱、存放放射性同位素的冰箱上粘贴电离辐射警告标志。
4		通风柜	同位素操作间 1、2、4、5 设通风柜。
5*		防止放射性液体操作造成污染的措施	放射性废液和废物采用 PE 材质容器盛装。
6*		放射性废水处理系统及标识	配备 14 个放射性废液箱，轮流收集长、短寿命核素废液。
7*		放射性物料与成品暂存场所或设施	设同位素存放间贮存放射性同位素。用来暂存放射性物质的冰箱，双人双锁管理。
8*		放射性固体废物暂存场所或设施	配备 32 个放射性废物箱，轮流收集长、短寿命核素废物。
9		安保设施	同位素实验室采取安防措施，满足公安部门的安保要求并通过验收后投入使用。
10*	B 监测设备	便携式辐射监测仪	配备 3 台多功能辐射监测仪（含新增 1 台）
11		个人剂量计	工作人员均配备个人剂量计
12*	C 防护用品	个人辐射防护用品	配备个人防护用品

13	D 应急物资	去污用品和应急物资	配备去污用品，如洗涤灵，棉球，吸水纸等。
----	--------	-----------	----------------------

10.4 拟搬迁的放射性同位素

原有同位素实验室的冰箱内存放有一些放射性同位素，多数为使用后准备再次使用的，少数为新购拟用。新建同位素实验室投入使用后，暂存的放射性同位素将全部转移至新建同位素实验室内。

搬迁前拟采取的措施：1) 检查同位素样品瓶包装的密封情况，全部用封口膜密封。2) 将冰箱内暂存的放射性同位素取出，转移至冷藏保存箱内。3) 用塑料袋包裹冷藏保存箱，采用推车运至新的同位素实验室。4) 上下电梯时，请无关人员避让。

10.5 拟搬迁的实验设备

原有同位素实验室内的一些实验设备，拟搬入新建的实验室内继续使用，具体见表 10-2 所示。原有同位素实验室内的废液瓶、废液箱、废物桶、废物箱等，不计划搬迁，后续一并解控处置。

表 10-2 拟搬迁的实验设备和防护用品

1	设备名称	数量
2	漩涡振荡器	3
3	微孔板恒温振荡器	2
4	自动分液器	1
5	细胞收集器	3
6	冷藏保存箱	3
7	离心机	5
8	超低温冰箱	1
9	微孔板洗板机	1
10	CO ₂ 培养箱	1
11	微板振动筛	1
12	射线测定仪	2
13	MicroBeta2 计数仪	3
14	真空干燥箱	1
15	平板摇床	1

拟采取的污染控制措施和搬迁计划：

- 1) 新建同位素实验室取得使用许可后开始实施设备搬迁。
- 2) 冰箱内暂存的放射性同位素均取出转移至冷藏保存箱后实施搬迁。同位素搬迁方法见 10.4 节。
- 3) 委托第三方检测机构监测，对拟搬迁设备的外表面进行表面污染水平监测。如果存在局部放射性污染，进行擦拭，直至全部监测结果低于标准限值。

- 4) 用塑料布对设备进行包裹后搬迁，防止在搬迁过程中对途经的走廊或者电梯等造成潜在的放射性污染。
- 5) 上述搬迁工作计划在一天内完成，即第三方检测机构实施监测后的当天进行。
- 6) 设备搬迁次日，启用新建的同位素实验室。设备搬迁后，原有的同位素实验室停用，后续启动退役工作。

10.6 放射性“三废”的治理

10.6.1 同位素实验室原有放射性废物的处置措施

原有同位素实验室放射性废物和废液不转移至新建同位素实验室内，拟在原有的同位素实验室退役前处置，具体方案为：

- 1) 对含³H 和¹⁴C 固体放射性废物进行监测，如果表面辐射剂量率满足所处环境本底水平，β 表面污染水平低于 0.8Bq/cm²，且核素活度浓度和总活度豁免值见表 7-5，向生态环境管理部门提交清洁解控申请，经确认后按危险废物处理。如果不符解控要求，将含¹⁴C 固体放射性废物交由北京市城市放射性废物库收贮。
- 2) 对于含³H 和¹⁴C 放射性废液，委托有资质单位监测，低于清洁解控水平（核素活度浓度和总活度豁免值见表 7-5）的，向生态环境管理部门提交清洁解控申请，经确认后按危险废物处理。不能满足解控要求的，请专业机构在废物间内固化后，交由北京市城市放射性废物库收贮。

10.6.2 新建同位素实验室后放射性废物的处置措施

按照“10.2.3 放射性‘三废’管理措施”处置。

10.7 对比《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的满足情况

表 10-3 汇总列出了本项目对照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》对使用放射性同位素单位要求的对应评估情况。

表 10-3 项目执行《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求对照表

许可管理办法	项目单位情况	符合情况
第十六条（一）应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。	公司成立有辐射安全防护管理小组，全面负责公司的辐射防护监督和管理工作，下设专人负责具体辐射安全与防护工作。	符合
第十六条（二）从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。	公司制定了辐射工作人员培训考核计划。目前，全部从事放射工作的辐射工作人员均通过了辐射安全与防护考核，并取得合格证书。	符合

第十六条（三）使用放射性同位素的单位应当有满足辐射防护和实体保卫要求的放射源暂存库或设备。	本项目使用放射性同位素场所将落实公安部门安保要求。同位素实验室内将设置废物间和废液间，暂存放射性废液和放射性固废。	符合
第十六条（四）放射性同位素与射线装置使用场所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	同位素出入口、废物间和废液间门上、各操作间门外、废物箱、废液箱、存放放射性同位素的冰箱上粘贴电离辐射警告标志和中文警示说明。	符合
第十六条（五）配备必要的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。	已配备了 2 台多功能辐射监测仪，本次新增 1 台多功能射线检测仪。	符合
第十六条（六）有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护措施、台帐管理制度、培训计划和监测方案。	制定有较为齐全、比较严格的辐射防护规章制度，有人员辐射安全培训制度、各项操作规程、设备检修维护制度、辐射防护和安全保卫制度、台帐管理制度、环境监测及个人剂量监测制度、放射性废物管理制度、放射性事故应急预案。	符合
第十六条（七）有完善的辐射事故应急措施。	已制定有辐射事故应急处理预案。	符合
第十六条（八）产生放射性废气、废液、固体废物的，还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案。	本项目实施后，放射性废液和放射性固体废物分别在废液间和废物间暂存。放射性固体废物和废液优先清洁解控处置，不符合解控要求的放射性废物送交城市放射性废物库。	符合

10.8 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》满足情况

原环保部《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》对拟使用放射性同位素的单位提出了具体条件，本项目具备的条件与“18号令”要求的对照评估如表 10-4 所示。

表 10-4 安全和防护能力对照评估情况

18 号令要求	项目单位情况	符合情况
第二章 第五条：射线装置的生产调试和使用场所，应当具有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	同位素出入口、废物间和废液间门上、各操作间门外、废物箱、废液箱、存放放射性同位素的冰箱上粘贴电离辐射警告标志和中文警示说明。	符合
第二章 第九条：生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托经省级人民政府环境保护主管部门认定的环境监测机构进行监测。	公司每年均委托有资质的第三方检测公司对辐射工作场所进行检测。定期自行开展辐射水平监测及表面污染监测。	符合
第二章 第十二条：生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。	公司将在每年 1 月 31 日前向北京市生态环境局提交年度评估报告。	符合
第三章 第十七条：生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位应当按照环境保护部审定的辐射安全培训和考试大纲，对直接从事生产、销售、使用活动的操作人员以及辐射防护负责人进行辐射安全培训并进行考核；考核不合格的，不得上岗。	公司制定了辐射工作人员培训考核计划。目前，全部从事辐射工作的人员均通过了辐射安全与防护考核，并取得合格证书。本项目建设后，辐射工作如果有人员变化，将通过辐射安全与防护培训后持证上岗。	符合

第三章 第二十三条：生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照法律、行政法规以及国家环境保护和职业卫生标准，对本单位的辐射工作人员进行个人剂量监测；发现个人剂量监测结果异常的，应当立即调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。	所有辐射工作人员均要求佩戴个人剂量计，公司已委托有资质公司进行个人剂量监测，频度为每季度一次。	符合

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

对于本项目而言，将会在大楼内进行室内施工活动，对室外环境和周围人群的影响较小，故不再进行详细评价。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 同位素实验室工作场所位置和周围环境

本项目拟新建的同位素实验室位于泰河路 6 号 3#生物楼 5 层 B 段。控制区边界四周 50m 范围内，北侧为五层 A 段的化学实验室（与同位素实验室之间有库房隔离）；东侧隔楼道为同位素实验室人员办公室、卫生间、楼梯间；南侧隔过道为相邻配套的配液室，之外为五层 C 段的化学实验室（与同位素实验室之间有门禁隔离）；西侧为楼外停车场，之外是博兴三路；楼下为分离室，楼上为楼顶。

11.2.2 同位素使用种类和使用量

新建同位素实验室使用 8 种放射性同位素，即 ^{45}Ca 、 ^{51}Cr 、 ^{125}I 、 ^{35}S 、 ^{33}P 、 ^{32}P 、 ^3H 和 ^{14}C 。

放射性同位素情况见表 1-12。保守起见，假设一天内使用全部的同位素，核素操作量按包装量分装活度计算，且考虑同位素暂存的贡献，新建同位素实验室的日等效最大操作量为 $1.84\text{E+}07\text{Bq}$ ，属于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的丙级非密封放射性物质工作场所。

11.2.3 放射性“三废”

同位素实验室运行产生的“三废”主要是少量放射性废液以及少量的放射性固体废物。在正常工况情况下，不会造成工作环境的空气污染。一旦出现放射性物质泼洒的情况，也只可能有极其微量的挥发性放射性气载物排入大气，对环境的影响可以忽略。

（一）放射性废液

如 9.2.1 节分析，新建同位素实验室放射性废液的年产生量约 620L，其中含短半衰期核素（ ^{32}P 、 ^{33}P 、 ^{33}S 、 ^{35}S 、 ^{45}Ca 和 ^{125}I ）废液约 340L，含 ^{14}C 废液约 48L，含 ^3H 废液约 232L。

放射性废液按照“10.2.3 放射性“三废”管理措施”处置。

意外污染时的污水收集：通风橱台面污染时，使用吸水纸吸附液体，然后用清洁剂进行擦拭，吸水纸和擦拭物作为固体废物收集处置，无污水排放问题。

(二) 固体放射性废物

如 9.2.1 节分析, 新建同位素实验室运行后, 工作量预计增加 1 倍, 放射性固体废物的年产生量可达 1000kg, 其中含 ^{32}P 、 ^{33}P 、 ^{35}S 、 ^{51}Cr 、 ^{45}Ca 和 ^{125}I 等短寿命核素的放射性固体废物量较多, 约 550kg, 含 ^3H 废物约 375kg, 含 ^{14}C 废物约 75kg。

固体废物的主要成分是实验用孔板, 实验用一次性吸头、孔板、塑料试管、放射性同位素包装瓶、手套、口罩等。

放射性固体废物按照“10.2.3 放射性‘三废’管理措施”处置。

(三) 放射性废气

由于操作失误可能会有少量的放射性挥发气体进入大气, 通过排风管道排到室外。同位素实验室的通风橱安装有高效过滤器, 排风系统安装有活性炭过滤器, 废气经吸附、过滤处理后, 通过单独排风管道引至楼顶排放, 可防止废气扩散污染周围环境。排放口高度约 25m。同位素实验为湿法常压操作, 产生的挥发性气体的量可忽略不计, 排放后经大气稀释, 浓度会更低, 对环境的影响可以忽略, 故不作详细评价。

(四) 放射性废物暂存设施容量分析

本项目废液间拟配置 14 个废液箱, 每个箱体有效容积 120L, 可暂存共计 1680L 的放射性废液。本项目年产生放射性废液约 620L, 可以暂存约 2.5 年的放射性废液, 可见废液箱总容量满足暂存需要。

本项目放射性废液按照 5 类收集, ^3H 设 3 个废液箱、 ^{14}C 设 1 个废液箱均满足 1 年废液暂存需要, 其余 10 个废液箱能够满足其余 3 类 (① ^{125}I 和 ^{51}Cr 废液② ^{45}Ca 废液; ③ ^{35}S 、 ^{32}P 、 ^{33}P 废液) 轮流收集暂存需要, 可见, 废液箱个数也满足轮流暂存废液的需要。

本项目废物间拟配置 30 个 5mm 厚聚乙烯材质废物箱和 2 个 6mm 铅废物箱, 每个箱体有效容积 100L, 可暂存共计 3200L 的放射性废物。本项目废物产生量为 1000kg/a, 废物主要成分是孔板, 保守按照 1L=1kg 折算, 废物箱可以暂存 3 年的放射性废物, 可见废物箱总容量满足暂存需要。

本项目放射性固体废物均单独收集, ^3H 废物产生量 375kg/a, 配置 4 个废物箱。 ^{14}C 废物产生量 75kg/a, 配置 2 个废物箱。 ^{51}Cr 配置 2 个废物箱 (6mmpb)。其余 5 种核素各配置 2 个废物箱 (轮流使用), 共计 18 个废物箱, 还剩余 14 个废物箱可调配使用。可见, 废物箱个数也满足轮流暂存废物的需要。

综上所述, 废物暂存设施满足工作需要。

(五) 放射性废物解控达标分析

保守假设所使用的放射性同位素，最终全部转移到放射性废液或放射性废物中。对于³H、¹⁴C、³²P、³³P、³⁵S 和 ¹²⁵I 等 6 种非金属核素，标记效率通常 40% 左右，即有 60% 同位素转移到废液中，40% 同位素转移到固废中。对于⁵¹Cr 和 45Ca 金属核素，标记效率相对较高，可达 80% 以上，即有 20% 同位素转移到废液中，80% 同位素转移到固废中。

根据上述转移份额，以及废物和废液产生量，估算了放射性废液和废物中核素的活度浓度和总活度，具体见表 11-1 和表 11-2。可见：1) 保守估算，¹⁴C 放射性废液中其活度浓度存在略高于标准限值的可能性，故该种同位素废液需要单独收集。2) 保守估算，⁴⁵Ca 的放射性废物中其活度浓度存在略高于标准限值的可能性，故该种同位素废物需要单独收集。3) 其它放射性核素的废液和废物，暂存后活度浓度和总活度均低于标准限值，预计都能够满足解控要求。

表 11-1 放射性废液中核素的活度浓度和总活度估算结果

核素	年用量 (Bq)	废液中转移 量 (Bq)	废液量 (L)	暂存后废 液中活度 浓度 (Bq/g)	豁免活度 浓度 (Bq/g)	暂存后废 液中总活 度 (Bq)	豁免活度 (Bq)
³ H	6.66E+09	4.00E+09	232	1.63E+04	1.00E+06	3.78E+06	1.00E+09
¹⁴ C	8.34E+08	5.00E+08	48	1.04E+04	1.00E+04	5.00E+05	1.00E+07
³² P	5.55E+08	3.33E+08	31	2.23E-04	1.00E+03	6.90E-03	1.00E+05
³³ P	5.55E+08	3.33E+08	31	5.07E-01	1.00E+05	1.57E+01	1.00E+08
³⁵ S	5.55E+08	3.33E+08	31	5.94E+02	1.00E+05	1.84E+04	1.00E+08
⁴⁵ Ca	9.25E+07	1.85E+07	7.5	5.22E+02	1.00E+03	3.92E+03	1.00E+07
⁵¹ Cr	9.25E+07	1.85E+07	7.5	2.66E-01	1.00E+03	2.00E+00	1.00E+06
¹²⁵ I	1.39E+09	8.34E+08	232	5.34E+01	1.00E+04	1.24E+04	1.00E+07

表 11-2 放射性废物中核素的活度浓度和总活度估算结果

核素	年用量 (Bq)	废物中转移 量 (Bq)	废物量 (kg)	暂存后废 物中活度 浓度 (Bq/g)	豁免活度 浓度 (Bq/g)	暂存后废 物中总活 度 (Bq)	豁免活度 (Bq)
³ H	6.66E+09	2.66E+09	375	6.71E+03	1.00E+06	2.52E+06	1.00E+09
¹⁴ C	8.34E+08	3.34E+08	75	4.45E+03	1.00E+04	3.34E+05	1.00E+07
³² P	5.55E+08	2.22E+08	50	9.20E-05	1.00E+03	4.60E-03	1.00E+05
³³ P	5.55E+08	2.22E+08	50	2.10E-01	1.00E+05	1.05E+01	1.00E+08
³⁵ S	5.55E+08	2.22E+08	50	2.46E+02	1.00E+05	1.23E+04	1.00E+08
⁴⁵ Ca	9.25E+07	7.40E+07	12.5	1.25E+03	1.00E+03	1.57E+04	1.00E+07
⁵¹ Cr	9.25E+07	7.40E+07	12.5	6.39E-01	1.00E+03	7.99E+00	1.00E+06
¹²⁵ I	1.39E+09	5.56E+08	375	2.20E+01	1.00E+04	8.26E+03	1.00E+07

11.2.4 辐射影响分析

本项目新建同位素实验室内拟使用³H、¹⁴C、³²P、³⁵S、³³P、⁴⁵Ca、¹²⁵I 和 ⁵¹Cr 共 8 种

同位素，其中 ${}^3\text{H}$ 、 ${}^{14}\text{C}$ 、 ${}^{32}\text{P}$ 、 ${}^{35}\text{S}$ 、 ${}^{33}\text{P}$ 和 ${}^{45}\text{Ca}$ 是纯 β 核素， β 射线穿透能力弱，贯穿辐射影响可以忽略。 β 射线与周围物质相互作用可以产生轫致辐射，对周围环境有一定影响。

(1) β 衰变辐射影响

参考《辐射安全手册》(潘自强主编)，当 $0.01\text{MeV} < E_{\max} < 2.5\text{MeV}$ 时， β 粒子在某材料的射程计算公式为：

$$R = 0.412E_{\max}^{1.265 - 0.0954 \ln E_{\max}} \quad (0.01\text{MeV} \leq E_{\max} \leq 2.5\text{MeV})$$

$$d = R/\rho$$

式中：R— β 粒子在物质中的射程， $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ ； ρ —屏蔽材料密度， g/cm^3 ； E_{\max} — β 粒子最大能量， MeV ；d—穿透深度， cm 。

本项目同位素实验主要在聚碳酸酯等材质孔板内进行，故主要考虑 β 粒子在有机玻璃内的射程。

表 11-3 β 射线最大射程及对应防护厚度计算结果

核素	β 射线最大能量(MeV)	屏蔽材料	材料密度(g/cm^3)	最大射程($\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$)	穿透深度(mm)	有机玻璃屏蔽厚度(mm)
${}^3\text{H}$	0.019	有机玻璃	1.18	0.00061	0.005	8
${}^{14}\text{C}$	0.157	有机玻璃	1.18	0.02855	0.242	8
${}^{32}\text{P}$	1.71	有机玻璃	1.18	0.79015	6.696	8
${}^{33}\text{P}$	0.249	有机玻璃	1.18	0.05902	0.500	8
${}^{35}\text{S}$	0.168	有机玻璃	1.18	0.03185	0.270	8
${}^{45}\text{Ca}$	0.257	有机玻璃	1.18	0.06194	0.525	8

本项目操作 ${}^3\text{H}$ 、 ${}^{14}\text{C}$ 、 ${}^{32}\text{P}$ 、 ${}^{35}\text{S}$ 、 ${}^{33}\text{P}$ 和 ${}^{45}\text{Ca}$ 等 β 核素时均采取8mm屏蔽厚度的有机玻璃防护，由表10-1可知拟配置有机玻璃的厚度已超过 β 粒子最大射程， β 粒子被完全吸收，可见 β 粒子的外照射影响可以忽略不计，故 β 粒子的辐射影响不做详细评价。

(2) 韧致辐射的辐射影响

β 射线与物质相互作用会产生韧致辐射，物质的原子序数越高，所产生的韧致辐射越强。

参考《辐射防护导论》(方杰主编、李士骏主审，P134)计算在距源 r 米处 β 粒子所致韧致辐射剂量率为：

$$H = \frac{4.58 \times 10^{-8} \cdot A \cdot Z \cdot \left(\frac{E_b}{\gamma}\right)^2 \cdot (\mu_{en} / \rho)}{k}$$

其中：H—屏蔽层中由 β 粒子产生的韧致辐射在 r 米处空气中的吸收剂量率， $\mu\text{Gy}/\text{h}$ ；A— β 辐射源的活度， Bq ；Z—吸收 β 射线的屏蔽材料的有效原子序数； E_b —韧致辐射的

平均能量，取值为入射 β 粒子的最大能量的 $1/3$, MeV; γ --预测点与辐射源的距离, m; $(\mu_{en/p})$ --平均能量 E_b 的轫致辐射在空气中的质量能量吸收系数, m^2/kg 。

表 11-4 湿法操作 β 核素所致最大轫致辐射水平估算结果

核素	A (Bq)	Z (有机玻璃)	E_b (MeV)	$\mu_{en/p}$ (m^{-2}/kg)	轫致辐射水平 ($\mu Gy/h$)	
					@30cm	@1m
^{3}H	4.44E+06	5.85	0.0063	1.46E+00	7.66E-03	6.90E-04
^{14}C	2.78E+06	5.85	0.0523	3.03E-03	6.84E-05	6.17E-06
^{32}P	2.78E+06	5.85	0.57	3.19E-03	8.57E-03	7.71E-04
^{33}P	2.78E+06	5.85	0.083	2.29E-03	1.30E-04	1.17E-05
^{35}S	2.78E+06	5.85	0.056	2.50E-03	6.48E-05	5.84E-06
^{45}Ca	1.85E+06	5.85	0.0857	2.35E-03	9.51E-05	8.56E-06

由表 11-4 结果可见, 按照单次实验最大用量估计, 6 种纯 β 核素所致轫致辐射水平最大为 ^{32}P 核素, $8.57E-03\mu Gy/h@30cm$ 和 $7.71E-04\mu Gy/h@100cm$ 。

操作 ^{32}P 时, 韧致辐射水平最高, 1m 处的辐射水平为 $7.71E-04\mu Gy/h$, 也属于可忽略的水平, 其它 β 核素的轫致辐射水平更低, 对周围环境的辐射影响基本可以忽略, 故本项目不再详细评价轫致辐射对周围公众的辐射影响。

(3) 同位素实验室周围 γ 射线辐射水平

γ 衰变类型的核素有 ^{125}I 和 ^{51}Cr 共 2 种, 分别对其贯穿辐射影响进行分析。

辐射剂量率可由下式计算得到:

$$H = A \times \Gamma \times R^{-2} \times 10^{-d/TVL}$$

式中, H : 估算点的附加剂量率, $\mu Sv/h$; A : 放射性同位素的活度, MBq ; Γ : 剂量率常数, $\mu Sv \cdot m^2 \cdot h^{-1} \cdot MBq$; R : 辐射源到关注点的距离, m ; d : 屏蔽层厚度, mm ; TVL : 十分之一层厚度, mm 。

表 11-5 两种 γ 核素 γ 辐射水平估算结果

核素名称	活度 A		Γ^* $mSv \cdot h^{-1} / MBq$	TVL_{Pb} (mm)	TVL_{Fe} (mm)	$TVL_{铅}$	剂量率 ($\mu Sv/h$)	
	μCi	MBq				(mm)	@30cm	@1m
^{125}I	25	0.925	1.449E-05	0.062	0.34	9.7	1.49E-01	1.34E-02
^{51}Cr	50	1.85	4.554E-06	7	56.9	120	9.35E-02	8.42E-03

注: 数据取自《Radionuclide Information Booklet》, Canadian NuclearSafety Commission, 2024 年 9 月

从表 11-5 估算结果可见:

1) 单次实验所操作的 ^{125}I 的最大活度为 $0.925MBq$, $0.3m$ 处的最大剂量率为 $1.49E-01\mu Sv/h$ 。

2) 单次实验所操作的 ^{51}Cr 的最大活度为 $1.85MBq$, $0.3m$ 处的最大剂量率为 $9.35E-02\mu Sv/h$ 。

^{125}I 操作次数较多, 且剂量率相对较高, 但是 ^{51}Cr 衰变产生的 γ 射线能量相对较高,

故分别考虑 ^{125}I 和 ^{51}Cr 这 2 种核素的辐射影响。



图 11-1 同位素操作间周围辐射水平估算点位示意图

表 11-6 ^{125}I 核素使用场所周围辐射水平估算结果

点位编号	具体位置	源项	屏蔽材料	TVL (mm)	衰减系数	距离 (m)	附加剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
1	通风橱前 30cm 处	0.925MBq 的 ^{125}I , 1.34E-02 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ @ 1m	5mm 厚铅玻璃 (0.4mmPb)	0.062	3.53E-07	0.5	1.90E-08
2	南侧配液室		含 30mm 硫酸钡板 (密度 2.3 t/m ³), 相当于 29mm 混凝土	9.7	1.02E-03	1.0	1.38E-05
3	东侧操作间 5 内		轻钢轮毂 1.0mm 钢板 + 通风橱侧面 1.2mm 钢板	0.34	3.38E-07	1.0	4.54E-09
4	北侧操作间 3 内		轻钢轮毂 1.0mm 钢板 + 通风橱侧面 1.2mm 钢板	0.34	3.38E-07	3.9	2.98E-10
5	西侧窗户外		5mm 厚铅玻璃 (0.4mmPb)	0.062	3.53E-07	5.6	1.51E-10
6	楼下分离室		120mm 混凝土	9.7	4.25E-13	4.2	3.24E-16
7	楼上屋顶		120mm 混凝土	9.7	4.25E-13	3.8	3.95E-16
8	操作间 2 通风橱前 30cm 处		5mm 厚铅玻璃 (0.4mmPb)	0.062	3.53E-07	0.5	1.90E-08
9	操作间 3 内部		轻钢轮毂 1.0mm 钢板 + 通风橱侧面 1.2mm 钢板	0.34	3.38E-07	1.0	4.54E-09
10	操作间 2 西侧窗户外		5mm 厚铅玻璃 (0.4mmPb)	0.062	3.53E-07	1.5	2.11E-09
11	操作间 2 北侧废液间内		0.4mmPb 铅玻璃 + 轻钢轮毂 1.0mm 钢板	0.062 / 0.34	4.05E-10	7.0	1.11E-13
12	操作间 2 东侧通道内		轻钢轮毂 1.0mm 钢板 + 通风橱侧面 1.2mm 钢板	0.34	3.38E-07	1.2	3.15E-09
13	操作间 2 楼下分离室		120mm 混凝土	9.7	4.25E-13	4.2	3.24E-16
14	操作间 2 楼上屋顶		120mm 混凝土	9.7	4.25E-13	3.8	3.95E-16

从表 11-6 估算结果可见：1) 操作 ^{125}I 时，通风橱前附加剂量率为 $1.90E-08\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，说明 5mm 厚铅玻璃 (折合 0.4mmPb) 能够满足 ^{125}I 的屏蔽需要。2) ^{125}I 核素使用场所 (操作间 2 和操作间 4) 周围附加剂量率最大为 $1.38E-05\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，远低于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 的剂量率控制水平，属于可忽略的水平，说明墙体也能满足屏蔽需要。

表 11-7 ^{51}Cr 核素使用场所周围辐射水平估算结果

点位 编号	具体位置	源项	屏蔽材料	TVL	衰减系 数	距离 (m)	附加剂量 率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
1	通风橱前 30cm 处	1.85MBq 的 ^{51}Cr , 8.42E-03 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ @ 1m	0.4mmPb 铅玻璃	7	8.77E-01	0.3	8.20E-02
2	南侧配液室		含 30mm 硫酸钡板 (密度 2.3 t/m ³) 相当于 29mm 砼	120	5.73E-01	1.0	4.83E-03
3	东侧操作间 5 内		轻钢轮毂 1.0mm 钢板 + 通风橱侧面 1.2mm 钢板	56.9	9.15E-01	1.0	7.70E-03
4	北侧操作间 3 内		轻钢轮毂 1.0mm 钢板 + 通风橱侧面 1.2mm 钢板	56.9	9.15E-01	3.9	5.06E-04
5	西侧窗户外		0.4mmPb 铅玻璃	7	8.77E-01	5.6	2.35E-04
6	楼下分离室		120mm 混凝土	120	1.00E-01	4.2	4.77E-05
7	楼上屋顶		120mm 混凝土	120	1.00E-01	3.8	5.83E-05

从表 11-7 估算结果可见：1) 操作 ^{51}Cr 时通风橱前附加剂量率为 $8.20\text{E}-02\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，说明 5mm 厚铅玻璃（折合 0.4mmPb）能够满足 ^{51}Cr 的屏蔽需要。2) ^{51}Cr 核素使用场所（操作间 4）周围附加剂量率最大为 $7.70\text{E}-03\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，远低于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 的剂量率控制水平，属于可忽略的水平，说明墙体也能满足屏蔽需要。

(4) 同位素存放间周围辐射水平

β 核素在冰箱中存放，同位素药瓶在铅罐或不锈钢盒中存放，完全屏蔽 β 粒子以及轫致辐射，故无需考虑 β 核素存放对周围环境的辐射影响。

表 11-8 γ 衰变核素包装容器 1m 处辐射水平估算结果

核素 名称	最大活度 A [*]		Γ mSv·h ⁻¹ /MBq	药品自带 铅罐 (mm)	TVL _{Pb} (mm)	剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	
	mCi	MBq				@ 1m	
^{125}I	1	37	1.449E-05	2	0.062	2.95E-33	
^{51}Cr	0.25	9.25	4.55E-06	8	7	3.27E-03	

注：业主提供的单次转让量活度。

表 11-8 结果可见， γ 衰变核素包装容器周围 1m 处的最大剂量率为 $3.27\text{E}-03\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。距离最近关注点是东侧楼道，墙体为含 30mm 硫酸钡板，对 ^{51}Cr 衰减系数为 0.57，预计同位素存放间周围的附加剂量率低于 $1.86\text{E}-03\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，属于可忽略的水平。

(5) 废物间和废液间周围辐射水平

根据以往同位素操作经验，不考虑衰变损失，所使用的放射性同位素，最终约 40%（非金属核素）或 80%（金属核素）转移至固体废物中，约 60%（非金属核素）或 20%（金属核素）转移至放射性废液中。

如前所述， β 核素（ ^3H 、 ^{14}C 、 ^{32}P 、 ^{33}P 、 ^{35}S 和 ^{45}Ca ）穿透能力弱，废物箱采用 5mm 聚乙烯，可以屏蔽 β 粒子。用 5mm 聚乙烯贮存放射性废物，轫致辐射水平很低，故贮

存 β 核素的废物箱周围辐射水平应该处于本底水平。

全年使用 ^{125}I 的总活度为 $1.39\text{E+}09\text{Bq}$, 转移至废物内的总活度约为 $5.56\text{E+}08\text{Bq}$ 。假设每季度的废物贮存于一个废物箱内, 其中 ^{125}I 总活度约为 $1.39\text{E+}08\text{Bq}$, 点源 1m 处的剂量率约为 $2\mu\text{Sv/h}$ 。 ^{125}I 衰变产生的 γ 射线能量低, 5mm 聚乙烯也可以屏蔽其弱 γ 射线, 故上述核素放射性废物箱外 30cm 处的辐射水平能够低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

全年使用 ^{51}Cr 的总活度为 $9.25\text{E+}07\text{Bq}$, 转移至废物内的总活度约为 $7.40\text{E+}07\text{Bq}$ 。假设每季度的废物贮存于一个废物箱内, 其中 ^{51}Cr 总活度约为 $1.85\text{E+}07\text{Bq}$, 点源 1m 处的剂量率约为 $0.084\mu\text{Sv/h}$ 。 ^{51}Cr 放射性废物采用 6mm 铅箱暂存, 可将剂量率衰减约1个量级, 预计 ^{51}Cr 废物箱周围的辐射水平也处于本底水平。

综上所述, 废物间内废物箱外表面 30cm 处剂量率按照 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 控制是可行的。废液箱因有液体自屏蔽, 且操作活度很低, 故废液箱周围的辐射水平同样可以满足 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 控制水平。

保守按照废物箱外 30cm 处剂量率为 $2.5\mu\text{Sv/h}$, 废物间和废液间周围辐射水平估算结果见表 11-9 所示。

表 11-9 废物间周围附加剂量率估算结果

点位 编号	具体位置	源项	屏蔽材料	TVL (mm)	衰减系数	距离 (m)	附加剂量 率 ($\mu\text{Sv/h}$)
15	北侧库房	2.5 $\mu\text{Sv/h}$ @ 桶外 30cm	含 30mm 硫酸钡板 (密度 2.3 t/m^3) 相当于 29mm 砼	120	5.73E-01	1.0	1.29E-01
16	北侧库房		含 30mm 硫酸钡板 (密度 2.3 t/m^3) 相当于 29mm 砼	120	5.73E-01	1.0	1.29E-01
17	东侧通道		含 30mm 硫酸钡板 (密度 2.3 t/m^3) 相当于 29mm 砼	120	5.73E-01	1.0	1.29E-01
18	楼下分离室		120mm 混凝土	120	1E-01	4.2	1.28E-03
19	楼上屋顶		120mm 混凝土	120	1E-01	3.8	1.56E-03
20	废物间出入口		3mmPb	7	3.7E-01	1.5	3.70E-02
21	北侧普通实验 室		24cm 混凝土(密度 2.35t/m^3) + 含 30mm 硫 酸钡板 (密度 2.3 t/m^3)	120	5.73E-03	2.8	1.64E-04
22	北侧普通实验 室		24cm 混凝土(密度 2.35t/m^3) + 含 30mm 硫 酸钡板 (密度 2.3 t/m^3)	120	5.73E-03	2.8	1.64E-04

由表 11-9 估算结果可知, 同位素实验室控制区边界外附加剂量率最大为 $1.29\text{E-}01\mu\text{Sv/h}$, 远低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的控制水平, 说明墙体屏蔽满足要求。

(6) 人员受照剂量估算

本项目辐射工作人员、同位素实验室管理人员以及周围公众会受到同位素实验贯穿辐射的轻微影响。

β 核素的 β 粒子穿透能力弱，对同位素室外环境基本无辐射影响。 β 韧致辐射源强很低 ($\leq 7.71E-04\mu\text{Sv}/\text{h}$ @ 1m)，对周围公众辐射影响可以忽略，也不予考虑。重点考虑使用 ^{125}I 和 ^{51}Cr 时对周围公众和职业人员的辐射影响。

表 11-10 职业人员和公众受照剂量估算结果

关注点	具体位置	附加剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	年停留 时间 (h)	居留因 子	受照剂量 ($\mu\text{Sv}/\text{a}$)	人员类别
1	通风橱前操作	1.90E-08 (^{125}I)	2000	1	3.28E+01	职业人员
	通风橱前操作	8.20E-02 (^{51}Cr)	400	1		
2	南侧配液室	1.38E-05 (^{125}I)	2000	1	1.96E+00	公众
		4.83E-03 (^{51}Cr)	400			
3	东侧操作间 5 内	4.54E-09 (^{125}I)	2000	1	3.08E+00	职业人员
		7.70E-03 (^{51}Cr)	400			
4	北侧操作间 3 内	2.98E-10 (^{125}I)	2000	1	2.02E-01	职业人员
		5.06E-04 (^{51}Cr)	400			
6	楼下分离室	3.24E-16 (^{125}I)	2000	1	1.91E-02	公众
		4.77E-05 (^{51}Cr)	400	1		
7	楼上屋顶	3.95E-16 (^{125}I)	2000	1/40	5.83E-04	公众
		5.83E-05 (^{51}Cr)	400	1/40		
17	东侧通道	1.29E-01	2000	1/16	1.61E+01	公众
21, 22	北侧办公室	1.64E-04	2000	1	3.28E-01	公众

由表 11-10 估算结果可知，叠加 ^{51}Cr 和 ^{125}I 的剂量贡献，南侧配液室人员（点位 2）年最大受照剂量为 $1.96\mu\text{Sv}$ 。北侧办公室人员（点位 21、22）年受照剂量为 $0.33\mu\text{Sv}$ ，东侧通道（点位 17）停留人员年受照剂量最大为 $16.1\mu\text{Sv}$ ，均满足 $0.1\text{mSv}/\text{a}$ 的剂量约束要求。

职业人员叠加 ^{51}Cr 和 ^{125}I 的剂量贡献，年受照剂量最大为 $32.8\mu\text{Sv}$ ，也满足 $1\text{mSv}/\text{a}$ 的剂量约束要求。

一旦同位素实验室内发生表面污染扩散至实验室外的意外情况，周围普通实验室内的工作人员可能会受到少量的照射。以操作 γ 射线能量相对较高的 ^{125}I (^{125}I 污染因子较 ^{51}Cr 略高) 为例，采用《放射性核素和辐射防护数据手册》[Radiation Protection Dosimetry. 98(1), 2002] 给出的数据： ^{125}I 表面污染为 $1\text{MBq}/\text{m}^2$ 的无限面源，其 1m 处的剂量率为 $0.81\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。假设同位素实验室出现污染并不慎扩散至楼道，周围公众停留半天 (4h)，其受照剂量也仅为 $3.2\mu\text{Sv}$ ，对公众的健康基本没有影响。

11.3 异常事件分析与防范建议

(一) 事件（故）分析

本项目使用放射性同位素³H、¹⁴C、³²P、³³P、³⁵S、¹²⁵I、⁴⁵Ca和⁵¹Cr等进行化学物质标记实验，日等效最大操作量为1.84E+07Bq，在正常运行情况下对于公众和周围环境是安全的。但是，如果操作管理不善或发生异常情况时，可能对公众和环境造成辐射危害，可能出现的情况有：

- 1) 放射性物质意外泼洒、泄漏；
- 2) 放射性废液和固体废物未经足够时间的衰变而排放或处置；
- 3) 放射性同位素保管不善，发生丢失、失控。

针对在同位素标记实验工作场所使用过程可能出现的事故，应采取一系列预防措施，尽可能减小或控制事故的危害和影响。

（二）异常事件防范建议

- 1) 建立相关规章制度。辐射防护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，以保证预案能够有效实施；
- 2) 应急预案须明确应急处理组织机构及职责、处理原则、信息传递、处理程序和处理技术方案等；
- 3) 配备必要的个人防护用品、表面污染监测仪器和应急器材、设备。同位素操作人员穿同位素实验室内专用拖鞋或佩戴鞋套，穿工作服。
- 4) 工作人员须熟练掌握放射性试剂操作技能和辐射防护基本知识的培训，正确处置意外情况；
- 5) 加强放射性同位素安全管理，落实放射性物质安保措施。同位素实验室设置专门存放同位素的冰箱，安装防盗门，红外侵入系统和闭路监视系统，防盗门和冰箱双人双锁管理，可有效防止放射性同位素丢失和失控。
- 6) 严格执行《放射性“三废”处置管理规定》，设立专用的放射性废物间，明确放射性废液和放射性固废的分类收集方法、暂存时间以及处置措施，定期清洁解控处置或送城市放射性废物库。辐射安全管理小组定期检查该制度的执行情况。

（三）应急处置方案

1) 放射性同位素泄漏或撒漏

由于工作人员操作不熟练或其他原因造成放射性核素撒漏，立即用吸水纸控制污染面积，然后用酒精棉球擦拭，并用去污剂去污。用表面污染监测仪检测直至符合标准限值要求。

2) 放射性同位素丢失

一旦丢失，立即启动事故应急预案。公司辐射安全管理小组等相关人员立刻到达现场，保护现场，控制范围。发生该类事故后，在2h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。

3) 放射性废物管理不善违规处置

及时向生态环境主管部门汇报，分析评价对环境的潜在影响。

对当事人进行批评教育和必要的处罚。组织全部辐射工作人员进行放射性废物处置规定的学习，避免类似事件再次发生。

11.4 原有同位素实验室的退役计划

康龙化成公司新建丙级放射性同位素实验室环评批复后，开始新建实验室的建设工作。

新建同位素实验室满足运行条件时，重新申领辐射安全许可证，将该非密封放射性物质工作场所纳入使用许可范围。

新建同位素实验室投入正式运行后，对原有的同位素实验室履行退役手续，满足“无限制开放使用”的要求后，作为普通实验室使用。

上述工作预计在新同位素场所获得使用许可后6个月内完成。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

为了保证放射性同位素的安全使用和有效管理，保障工作人员的健康与安全，公司设立了辐射安全防护管理小组，组长由法定代表人担任，副组长由生物部负责人担任，管理小组负责辐射安全与防护工作的领导工作，并设专人（EHS部）负责辐射安全与防护工作，其小组成员情况见表1-8。

辐射防护负责人通过了辐射安全与防护考核（证书编号 FS24BJ2301462）。

12.2 辐射安全管理规章制度

公司制定了相关的规章制度和操作规程，如辐射安全与环境保护管理小组组织结构、辐射安全岗位职责、放射性物品使用场所安保制度、安全教育和培训制度、人员安全与防护制度、设备检修维护制度、辐射工作场所监测方案、放射性同位素出入库及使用登记制度、辐射安全操作规程、放射性废物处置制度，以及辐射安全应急预案等规程，能够满足工作需要。

本项目完成后，将制定新增核素的操作规程，修订辐射工作场所监测方案，其它辐射安全与防护管理制度全部适用新场所。

12.3 放射性“三废”的安全管理

根据放射性同位素的半衰期长短差别，对放射性废物和废液制定了不同的处置措施。具体按照“10.2.3 放射性‘三废’管理措施”处置。

12.4 人员配置和辐射安全与防护培训

公司规定所有辐射工作人员，在上岗前通过辐射安全与防护培训，并考试合格上岗。

公司现有 37 名工作人员通过了辐射安全与防护培训，其中 17 名为操作放射性同位素辐射工作人员。本项目新增 5 名操作放射性同位素的辐射工作人员，在通过辐射安全防护培训考核后持证上岗，并在有效期满之前再次进行考核。

12.5 辐射监测

（1）个人剂量监测

所有辐射工作人员均佩戴个人剂量计，按每季度 1 次的频度，按照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）、《放射工作人员职业健康管理方法》（卫生部令第 55 号）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环保部 18 号令）的要求，建立个人剂量档案。

公司目前委托有资质公司进行个人剂量监测工作。对于个人剂量监测结果异常的

(每季度超出 0.25mSv/a, 或者显著高于同类实验人员), 公司将立即核实和调查, 并将有关情况进行文字记录。

(2) 工作场所监测周围剂量当量率

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(生态环境部令第 18 号) 的要求, 每年委托有资质单位对同位素实验室周围剂量当量率进行 1 次场所辐射水平监测, 监测数据记录存档。此外, 每季度开展一次自行监测。

监测项目: 周围剂量当量率;

监测频次: 1 次/年 (委托监测)、一次/季度 (自行监测);

周围剂量当量率监测布点: 同位素实验室北侧、南侧和东侧墙外 30cm 处, 楼上和楼下 1m 处。



图 12-1 场所辐射水平监测点位示意图

测量报告妥善保存, 并根据生态环境部门要求, 年底随年度报告一并提交。

(3) 环境监测

根据原环保部 18 令的要求, 每年委托有资质单位对辐射工作场所的周围环境, 进行 1 次辐射水平监测, 监测数据记录存档。

(4) 表面污染监测

表面污染监测: 根据《北京市辐射工作场所辐射环境自行监测办法(试行)》要求, 该项工作由同位素操作人员自行完成。每天工作结束后, 采用便携式多功能射线检测仪对操作放射性同位素的工作台面、通风橱台面等进行表面污染监测, 并进行记录。

${}^3\text{H}$ 的 β 射线能量很低, 仅为 19keV, 使用便携式多功能射线检测仪难以直接测量表面污染水平, 故同位素实验室建立了 ${}^3\text{H}$ 擦拭法: 采用蘸有无水乙醇的棉签, 擦拭要监测的物体表面, 擦拭后的棉签放入闪烁管进行液闪计数, 监测数据记录。具体方法如

下：

监测用具：棉签、无水乙醇、闪烁液、MicroBeta 液闪仪。

擦拭方法：蘸有无水乙醇的棉签，擦拭要监测的物体表面，把擦拭后的棉签放入闪烁管中，加入闪烁液，用液闪仪读数。

擦拭部位：操作³H 的台面，以及疑似污染的地面。

擦拭频次：每次实验后进行操作台面表面擦拭法监测。

数据记录：将监测数据记录于 Wipe Test Record 表格内。如果计数异常（按照普通场所对照值的 2 倍进行控制，普通场所擦拭计数约 100CPM 左右）清洗擦拭后监测，直到监测数据达到可接受范围以内为止。

12.6 辐射监测设备和个人防护用品

公司现有 2 台多功能射线检测仪，公司现有的监测设备见表 1-9 所示。本项目拟新增 1 台多功能射线检测仪。

公司为工作人员配备了必要的个人防护用品，现有铅围裙 1 件，铅手套 1 副，本项目拟新增 4 套铅衣和 4 付铅手套，以及一次性手套、鞋套等，可以满足工作需要。

12.7 辐射事故应急

公司针对放射性同位素丢失、被盗、失控事故、环境污染事故（件），以及放射性三废管理不善等事故/事件制定了相应的《辐射事故应急预案》，本项目实施前将进行修订，并公司每年组织一次演练。

12.8 项目竣工环境保护验收内容建议

本建设项目竣工环境保护验收主要内容列于表 12-1 中。

表 12-1 项目环境保护验收主要内容

验收内容	验收要求
剂量限值和剂量约束值	公众和职业照射的剂量约束值分别执行 0.1mSv/a 和 1mSv/a。
剂量率控制水平	1) 在控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 30cm 处的周围剂量当量率控制目标值不大于 2.5 μ Sv/h。2) 在控制区内人员可达处，距屏蔽体外表面 30cm 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5 μ Sv/h。3) 通风橱外表面 30cm 处的周围剂量当量率不大于 2.5 μ Sv/h。4) 放射性废物箱和废液箱外表面 30cm 处的周围剂量当量率不大于 2.5 μ Sv/h。
电离辐射标志和中文警示	同位素实验室出入口、废物间门上、各操作间门外、废物箱、废液箱、存放放射性同位素的冰箱上粘贴电离辐射警告标志和中文警示说明。
场所布局和屏蔽设计	同位素实验室设置缓冲间、同位素存放间、废物间和 5 间操作间。实行分区管理。
辐射安全与防护措施	依照“10.2 辐射安全与防护措施”落实。
规章制度	根据最新的法律、法规和标准要求，修订和完善已有的规

	章制度。	
辐射检测仪器和个人防护用品	配置 3 台多功能辐射监测仪。配备的其它设施见“表 10-1 同位素实验室建设方案”。	
人员培训	全部从事同位素实验的人员均通过辐射安全与防护培训。 每 5 年再次考核。	
应急预案	公司制定有《辐射事故应急预案》，并定期演练。	

表 13 结论与建议

13.1 结论

- 1) 公司持有北京市生态环境局颁发的《辐射安全许可证》(京环辐证[S0028]), 许可使用丙级非密封放射性物质工作场所, 原有的同位素实验室位于 3#生物楼二层东端北侧的 3231 室。随着公司业务扩展, 同位素实验业务越来越多, 原有的同位素实验室空间不足, 需要新建。新建同位素实验室位于 3#生物楼 5 层 B 段, 拟在原有同位素实验室许可使用的同位素之外, 新增 2 种 γ 放射性核素 ^{45}Ca 和 ^{51}Cr , 今后规划使用的同位素种类由现在的 6 种增加为 8 种, 即 ^{45}Ca 、 ^{51}Cr 、 ^{125}I 、 ^{35}S 、 ^{33}P 、 ^{32}P 、 ^{3}H 和 ^{14}C 。本建设项目建设目的明确, 理由正当。
 - 2) 拟建项目周围辐射环境现状调查结果表明: 评价区室外环境的 γ 辐射现状水平与北京市的环境 γ 辐射剂量率结果基本一致, 属于正常本底水平。
 - 3) 新建同位素实验室不进行放射性同位素合成实验, 也不进行动物放射性同位素试验。所有的同位素标记实验在孔板内进行, 日等效最大操作量不超出 $1.84\text{E+}07\text{Bq}$ 。该项目属于丙级非密封放射性物质工作场所。
 - 4) 所有实验为湿法、常压操作, 几乎不产生放射性废气, 对周围环境影响可忽略不计。
 - 5) 同位素实验室的防护设施能够保证工作人员和公众的放射防护安全; 项目建成后, 公众受照的剂量低于 0.1mSv/a , 工作人员所受剂量不超过 1mSv/a , 均低于本项目设定的剂量约束值。
 - 6) 该项目年产生的放射性废液约 620L, 依照半衰期长短分类收集暂存。放射性废物优先清洁解控, 经生态环境部门确认后解控为危险废物处置。不满足解控要求的放射性废液, 委托专业公司在废物间内固化处理后送交城市放射性废物库贮存。
 - 7) 该项目年产生的放射性固体废物量约 1000kg, 主要成分为吸头、96 孔板、塑料试管、药品瓶、手套、口罩、吸水纸等, 将半衰期长短分类收集暂存。满足清洁解控要求的放射性废物转为危险废物处置, 不符合清洁解控要求的放射性废物定期送交城市放射性废物库处置。
- 综上所述, 康龙化成(北京)新药技术股份有限公司新建丙级放射性同位素实验室项目, 是为了从事新药开发和生命科学研发配套而建设。项目的辐射安全管理和环境保护措施基本可行。项目运行对环境和公众的影响是安全可以接受的, 故该建设项目是可

行的。

13.2 承诺

为了保护环境，保障人员健康，康龙化成公司承诺：

- 1) 在项目运行过程中，绝不容许弄虚作假、绝不容许违规操作等违反相关环保法律法规要求的行为。
- 2) 不断提高同位素实验室运行管理水平，尽可能减少放射性废物产生量，实现废物最小化。
- 3) 按照环评报告及审批要求，只使用许可的同位素，并严格控制同位素的使用量。
- 4) 加强辐射工作人员管理，新增和考核期满的辐射工作人员再次参加辐射安全与防护考核，考核合格后，持证上岗。
- 5) 及时办理辐射安全许可证重新申领手续。项目运行三个月内，自行组织竣工环保验收，并接受生态环境部门的监督检查。
- 6) 新建丙级放射性同位素实验室获得使用许可并正式投入使用后，启动对原有同位素实验室的退役工作。

表 14 审批

下一级生态环境部门预审意见:

公 章

经办人

年 月 日

审批意见:

公 章

经办人

年 月 日