

编号：BG-GAFB25720006

核技术利用建设项目  
浙江省质量科学研究院  
核技术利用建设项目  
环境影响报告表  
(报批稿)

浙江省质量科学研究院

2026年3月

生态环境部监制

# 核技术利用建设项目

浙江省质量科学研究院

核技术利用建设项目

环境影响报告表

建设单位名称：浙江省质量科学研究院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：浙江省杭州市钱塘区海通街 580 号

邮政编码：310000

联系人：张朕朕

电子邮箱：2586935855@qq.com 联系电话：18813124340

# 目 录

表 1 项目基本情况 .....	1
表 2 放射源 .....	12
表 3 非密封放射性物质 .....	12
表 4 射线装置 .....	13
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物） .....	14
表 6 评价依据 .....	15
表 7 保护目标与评价标准 .....	18
表 8 环境质量和辐射现状 .....	25
表 9 项目工程分析与源项 .....	31
表 10 辐射安全与防护 .....	44
表 11 环境影响分析 .....	59
表 12 辐射安全管理 .....	79
表 13 结论与建议 .....	84
表 14 审批 .....	89
附图 1 项目地理位置图 .....	90
附图 2 周边环境关系图 .....	91
附图 3 浙江省科学质量研究院北区总平面布局图 .....	92
附图 4-1 计量科技创新实验楼地下四层局部平面布局图 .....	93
附图 4-2 计量科技创新实验楼地下三层局部平面布局图 .....	94
附图 4-3 计量科技创新实验楼地下二层局部平面布局图 .....	95
附图 4-4 计量科技创新实验楼地下一层局部平面布局图 .....	96
附图 4-5 计量科技创新实验楼一层局部平面布局图 .....	97
附图 4-6 计量科技创新实验楼十五层局部平面布局图 .....	98
附图 4-7 计量科技创新实验楼十六层局部平面布局图 .....	99
附图 4-8 计量科技创新实验楼屋面局部平面布局图 .....	100
附图 4-9 工业 CT 机房和活度计量实验室两区划分及人员、物流路径图 .....	101
附图 4-10 标准氦室实验室两区划分及人员、物流路径图 .....	102
附图 5 杭州市环境管控单元分类图 .....	103

附图 6 杭州市钱塘区“三区三线”图.....	104
附件 1: 事业单位法人证书.....	105
附件 2: 辐射安全许可证.....	106
附件 3: 主体工程环评批复.....	115
附件 4: 原有核技术利用项目环保手续.....	117
附件 5: 辐射防护管理机构成立文件.....	127
附件 6: 辐射事故应急预案.....	129
附件 7: 辐射环境现状监测报告.....	134
附件 8: 个人剂量检测报告（关键页）.....	142
附件 9: 专家函审意见及修改说明.....	154

**表 1 项目基本情况**

建设项目名称		浙江省质量科学研究院核技术利用扩建项目			
建设单位		浙江省质量科学研究院			
法人代表	陆立权	联系人	张朕朕	联系电话	18813124340
注册地址		浙江省杭州市钱塘区下沙路 300 号			
项目建设地点		浙江省杭州市钱塘区下沙路 300 号， 浙江省质量科学研究院计量科技创新实验楼			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资 (万元)	200	项目环保投资 (万元)	10	投资比例(环保 投资/总投资)	5%
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他		占地面积 (m <sup>2</sup> )	/
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 checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
	其他	/			
	<p><b>1.1 项目概述</b></p> <p><b>1.1.1 建设单位情况</b></p> <p>浙江省质量科学研究院（以下简称“建设单位”）是经中编办批复成立的浙江省市场监督管理局所属公益二类事业单位，机构规格为副厅级。由浙江省轻工业品质量检验研究院、浙江省标准化研究院、浙江省计量科学研究院、浙江省产品质量安全科学研究院改革重组而成。</p> <p>建设单位拥有实验室面积 12 万平方米，设备原值超 7 亿元，各类业务资质证书 906 张，各类平台载体 71 个。建设单位现有正式干部职工 800 余人，其中正高级职</p>				

称 34 人，35 岁以下人员占比 40%；硕、博研究生 374 人，占比 47%；另有国家技术组织专家委员 289 人次，国际技术组织注册专家 25 人次。目前建设单位已配备高能工业 CT 机、（40~150）kV 计量标准 X 射线系统、160kV X 光机等射线装置，使用  $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{241}\text{Am}$  等放射源开展各类实验活动。

为响应《计量发展规划（2021-2035）》等政策要求，提升计量对我省经济服务的供给能力，省质检院于现有场地内建设浙江省质量技术基础剂量创新基地。《浙江省质量技术基础计量创新基地工程环境影响报告表》已由原杭州市生态环境局钱塘新区分局于 2019 年 8 月 28 日予以批复（批复文号：杭环钱环评批〔2019〕13 号），其评价内容包含了除核技术利用项目辐射环境影响以外的内容。本项目工业 CT、活度计量实验室和标准氦室实验室均位于计量科技创新实验楼内。

### 1.1.2 建设目的和任务由来

为响应《计量发展规划（2021-2035）》（国发〔2021〕37 号）中“加快医疗健康领域计量服务体系建设和，围绕疾病防控、生物医药、诊断试剂、高端医疗器械、康复理疗设备等开展关键计量测试技术研究和应用”“加快面向智能制造、环境监测、国防等领域专用计量仪器仪表的研制和推广使用”，建设单位拟于计量科技创新实验楼（地下四层，地上十六层，为钢筋混凝土结构）地下二层建设 1 间工业 CT 机房和 1 间活度计量实验室，拟于十六层新建标准氦室实验室。

#### ①工业 CT 机房

本项目建设 1 间工业 CT 机房，购置 1 台工业 CT 装置（最大管电压为 160kV，最大管电流为 0.5mA，自屏蔽设备）用于进行小型物件的无损检测。

#### ②活度计量实验室

本项目新建 1 间活度计量实验室，拟使用  $^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{131}\text{I}$  和  $^{85}\text{Kr}$  放射性核素开展辐射检测设备计量校准和检定等工作。根据计算，本项目活度计量实验室场所非密封放射性物质日等效最大操作量为  $3.22 \times 10^6 \text{Bq}$ ，属于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中豁免活度值以上  $\sim 2 \times 10^7 \text{Bq}$  范围，为丙级非密封放射性工作场所。

#### ③标准氦室实验室

本项目新建 1 间标准氦室实验室，实验室内部配置 1 台氦试验箱，箱体内配置 3 枚活度分别为 0.5MBq、1MBq 和 2MBq 固体镭源（ $^{226}\text{Ra}$ ）作为氦气（ $^{222}\text{Rn}$ ）发生

源，用于氦测量仪器及探测器的校准和检定等工作。根据计算，本项目标准氦室实验室场所非密封放射性物质日等效最大操作量为  $6.14 \times 10^5 \text{Bq}$ ，属于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中豁免活度值以上  $\sim 2 \times 10^7 \text{Bq}$  范围，为丙级非密封放射性工作场所。

根据《关于发布〈射线装置分类〉的公告》（原环境保护部，国家卫生和计划生育委员会公告，公告 2017 年第 66 号），本项目工业 CT 属于“工业用 X 射线计算机断层扫描（CT）装置”，为 II 类射线装置。对照《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），本项目属于“五十五、核与辐射”中“172、核技术利用建设项目—使用 II 类射线装置；丙级非密封放射性工作场所”，环境影响评价类别为编制环境影响报告表。

为此，建设单位委托浙江建安检测研究院有限公司开展“浙江省质量科学研究院核技术利用建设项目（以下简称“本项目”）”的环境影响评价工作。评价单位组织相关技术人员进行了现场踏勘、资料收集和辐射环境现状委托监测等工作，并结合项目特点，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）等规定要求编制了本项目环境影响报告表。

### 1.1.3 项目建设内容和规模

#### (1) 工业 CT

建设单位拟在计量科技创新实验楼地下二层建设 1 间工业 CT 机房，机房内新增 1 台 AX-2000 型工业 CT（最大管电压为 160kV，最大管电流为 0.5mA，为自屏蔽设备，为 II 类射线装置），用于小型物件的无损检测。本项目工业 CT 从结构上可分为防护铅房和配电隔间，设备整体外尺寸为长 2020mm×宽 1070mm×高 1600mm，内尺寸为长 1790mm×宽 690mm×高 850mm。

本项目拟新增的射线装置情况见表 1-1。

表 1-1 本项目拟新增的射线装置情况

装置名称	型号	类别	数量	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	工作场所	有用线束照射方向	出束角度	用途
工业 CT	AX-2000	II 类	1 台	160	0.5	计量科技创新实验楼地下二层工业 CT 机房	由东向西	40°	小型物件无损检测

#### (2) 非密封放射性工作场所

### ①活度计量实验室

建设单位拟在计量科技创新实验楼地下二层新建 1 间活度计量实验室，使用核素  $^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{85}\text{Kr}$  开展辐射检测设备校准和检定等工作，其中  $^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{131}\text{I}$  为液态放射性核素，贮存于铅罐内，单次最大使用量均为  $1.85 \times 10^7 \text{Bq}$ ； $^{85}\text{Kr}$  为气态放射性核素，贮存于专用气瓶内，初始活度为  $1 \times 10^8 \text{Bq}$ ，单次最大使用量为  $1 \times 10^7 \text{Bq}$ ，校准检定完成后核素全部回收至原气瓶内暂存。

本项目核素使用情况见表 1-2。

表 1-2 活度计量实验室使用核素情况

使用场所	使用核素	开展频次	日最大工作量/台	年最大工作量/台	单次最大使用量/Bq	实际日最大操作量/Bq	日等效最大操作量/Bq	年最大使用量/Bq	用途
活度计量实验室	$^{18}\text{F}$	每月开展 5 天	10	600	$1.85\text{E}+07$	$1.85\text{E}+08$	$1.85\text{E}+05$	$1.11\text{E}+10$	仪器检定
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$		10	600	$1.85\text{E}+07$	$1.85\text{E}+08$	$1.85\text{E}+05$	$1.11\text{E}+10$	
	$^{131}\text{I}$		10	600	$1.85\text{E}+07$	$1.85\text{E}+08$	$1.85\text{E}+06$	$1.11\text{E}+10$	
	$^{85}\text{Kr}$		1	250	$1.00\text{E}+07$	$1.00\text{E}+07$	$1.00\text{E}+06$	$1.00\text{E}+08^*$	

\*注：根据建设单位提供的资料， $^{85}\text{Kr}$  循环使用，约 10 年更换一次，因此年最大使用量按购置时初始活度计。

### ②标准氦室实验室

建设单位拟在计量科技创新实验楼十六层标准氦室实验室配置使用 1 台氦试验箱（型号未定），箱体内配置 3 枚活度分别为 0.5MBq、1MBq 和 2MBq 固体镭源（ $^{226}\text{Ra}$ ）作为氦气（ $^{222}\text{Rn}$ ）发生源，用于氦测量仪器及探测器的校准和检定等工作。

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，2016 年 3 月 7 日施行），满足以下特点的放射性药品生产、使用场所，应当作为一个单独场所进行日等效最大操作量核算：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。

本项目活度计量实验室场所和标准氦室实验室场所拟划定明确的监督区和控制区，且从仪器送检、计量分析到检定完成形成连续完整的工作流程，各场所有相对独立的辐射防护措施，故作为两个单独场所进行日等效最大操作量核算。

经后文计算结果（见表 10-4）可知，本项目活度计量实验室场所非密封放射性核素日等效最大操作量为  $3.22 \times 10^6 \text{Bq}$ ，标准氦室实验室场所非密封放射性核素日等效最大操作量为  $6.14 \times 10^5 \text{Bq}$ ，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的划分标准，均属于豁免活度值以上  $\sim 2 \times 10^7 \text{Bq}$  范围，故本项目

两个场所均属于丙级非密封放射性物质工作场所。

#### **1.1.4 人员配置和工作负荷**

本项目拟新增辐射工作人员 5 人，实行专人专岗与单班制管理，其中工业 CT 岗位配备 2 人，活度计量实验室配备 1 人，标准氦室实验室配备 2 人，所有辐射工作人员仅在各自对应辐射工作场所开展本职工作，每日工作 8 小时、年工作 250 天。根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告 2019 年第 57 号）要求，从事使用 II 类射线装置和非密封放射性物质相关工作的新增人员应在生态环境部国家核技术利用辐射安全与防护培训平台参加相应类别培训学习，考核合格后上岗，并按时接受再培训。

根据建设单位提供的资料，本项目工业 CT 单个工件检测周期约 1min，其中最大曝光出束时间为 30s，每日最多检测 100 个样品。因此，本项目工业 CT 日曝光工作时间为 0.83h，周曝光工作时间为 4.17h，年曝光工作时间为 208.33h。

### **1.2 项目选址及周边环境保护目标**

#### **1.2.1 项目地理位置**

建设单位位于杭州市钱塘区下沙路 300 号，分为南北两区，由海通街相隔，本项目位于北区计量科技创新实验楼内。项目地理位置见附图 1。

建设单位北区东邻宜学路，隔路为绿城春风金沙小区；南邻海通街，隔路为建设单位南区，西、北两侧紧邻金沙中心及周边商业区；南区东邻宜学路，南邻下沙路，西邻幸福南路，北邻海通街。周边环境关系见附图 2。

#### **1.2.2 项目周边环境关系**

本项目工业 CT 和活度计量实验室均位于计量科技创新实验楼地下二层；标准氦室实验室位于计量科技创新实验楼十六层。工业 CT 机房东侧距用地红线 64m，南侧距用地红线 31m，西侧距用地红线 78m；活度计量实验室东侧距用地红线 64m，西侧距用地红线 78m，北侧距用地红线 52m；标准氦室实验室东侧距用地红线 50m，南侧距用地红线 46m，北侧距用地红线 59m。因此，本项目 50m 评价范围内主要为建设单位内部建筑和道路以及海通街部分道路。建设单位北区总平面布置图见附图 3。

#### **1.2.3 项目场所四至环境关系**

本项目各场所均位于计量科技创新实验楼（地上十六层，层高 78.25m，地下四

层，地下层总层高 14.65m，其中地下一层至四层层高分别为 3.75m、3.70m、3.60m 和 3.60m）。本项目工业 CT 机房和活度计量实验室下方为立体车库，对应地下三层及四层区域，该区域总层高为 7.20m。

本项目工业 CT 机房和活度计量实验室位于计量科技创新实验楼地下二层，两个场所层高均为 5.90m，空间跨越地下二层整层并向上延伸至地下一层空间。工业 CT 机房东侧为地下一层和地下二层停车场，南侧为配电房，西侧为诊断与乳腺 X 射线剂量实验室辐照室，北侧为过道，上方为室外道路，下方为地下四层停车场（层高 7.20m）；活度计量实验室东侧为地下二层样品间/仪器室和过道以及地下一层空调机房、楼梯间和过道，南侧为过道，西侧为中低能 X 射线剂量实验室辐照室，北侧为岩土层，上方为室外道路、楼梯间和入口门厅大堂，下方为地下四层停车场（层高 7.20m）。

本项目标准氡室实验室位于计量科技创新实验楼十六层，东侧为实验室区域，南侧为过道，西侧为新风机房和设备平台，北侧临空，上方为屋面，下方为研发中心区域。

本项目场所四至环境关系平面布置图见附图 4-1 至附图 4-8。

#### **1.2.4 选址合理性分析**

本项目工业 CT 和活度计量实验室均位于计量科技创新实验楼地下二层，标准氡室实验室位于计量科技创新实验楼十六层，各场所均利用现有场地，不新增用地。本项目 50m 评价范围内主要为建设单位内部建筑和道路以及海通街部分道路，不涉及居民区和学校等环境敏感区，也不涉及杭州市生态保护红线。经辐射环境影响预测，本项目运营过程中产生的电离辐射，经采取一定的辐射防护措施后，对周围环境与公众健康的辐射影响是可接受的。因此，本项目选址合理可行。

### **1.3 其他符合性分析**

#### **1.3.1 杭州市生态环境分区管控动态更新方案符合性分析**

本项目位于杭州市钱塘区下沙路 300 号浙江省质量科学研究院计量科技创新实验楼，根据《杭州市生态环境局关于印发<杭州市生态环境分区管控动态更新方案>的通知》（杭环发〔2024〕49 号），本项目所在地属于“钱塘区下沙城镇生活重点管控单元（生态环境管控单元编码：ZH33011420001）”（见附图 6）。本环评对生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线和生态环境管控单元准入清单进行对

照分析。

### (1) 生态保护红线

本项目位于杭州市钱塘区下沙路 300 号浙江省质量科学研究院计量科技创新实验楼。根据杭州市钱塘区“三区三线”划分图，本项目所在区域在城镇开发边界内（见附图 7），主体工程占地不涉及永久基本农田与生态保护红线，因此，本项目不涉及杭州市生态保护红线，满足生态保护红线要求。

### (2) 环境质量底线

根据环境质量现状监测结果，本项目拟建场址周围环境 $\gamma$ 辐射剂量属于正常本底范围， $\alpha$ 表面污染和 $\beta$ 表面污染未见异常。在落实本环评提出的各项污染防治措施后，不会对周围环境产生不良影响，能维持周边环境质量现状，满足该区域环境质量功能要求，不触及环境质量底线。

### (3) 资源利用上线

本项目主要水源为自来水，由市政自来水管网供给，占比较小；主要能源为电能，项目电能主要依托市政电力管网。本项目在现有用地范围内实施，且整体而言本项目所用资源相对较小，也不占用当地其他自然资源和能源，因此不会突破资源利用上线。

### (4) 生态环境管控单元准入清单

本项目所在地属于“钱塘区下沙城镇生活重点管控单元（生态环境管控单元编码：ZH33011420001）”，本项目的建设符合与杭州市生态环境管控单元准入清单要求符合性分析见表 1-3。

表 1-3 杭州市生态环境管控单元准入清单符合性分析一览表

杭州市生态环境管控单元准入清单要求		本项目概况	是否符合
空间布局约束	禁止新建、扩建三类工业项目，现有三类工业项目改建不得增加污染物排放总量，鼓励现有三类工业项目搬迁关闭。除工业功能区（小微园区、工业集聚点）外，原则上禁止新建其他二类工业项目。现有二类工业项目改建、扩建，不得增加管控单元污染物排放总量。严格执行畜禽养殖禁养区规定。	本项目为专用仪器仪表计量检测配套的核技术利用项目，不属于工业项目和畜禽养殖项目。	符合
污染	深化城镇“污水零直排区”建设。加	本项目为专用仪器仪表计量	符合

物排放管控	强噪声和臭气异味防治，强化餐饮油烟治理，严格施工扬尘监管。	检测配套的核技术利用项目，本项目运营期无废水产生，且不会对声环境和大气环境造成显著不利影响。	
环境风险防控	合理布局工业、商业、居住、科教等功能区块，严格控制噪声、恶臭、油烟等污染排放较大的建设项目布局。	本项目为专用仪器仪表计量检测配套的核技术利用项目，不属于噪声、恶臭、油烟等污染排放较大的建设项目。	符合
资源开发效率要求	/	/	/

本项目为专用仪器仪表计量检测配套的核技术利用项目，非工业项目，对照《杭州市生态环境分区管控动态更新方案》，本项目的实施符合《杭州市生态环境分区管控动态更新方案》的要求。

### 1.3.2 与杭州市钱塘区“三区三线”符合性分析

本项目位于杭州市钱塘区下沙路300号浙江省质量科学研究院计量科技创新实验楼，在现有用地范围内实施，不新增用地。

根据《自然资源部办公厅关于浙江等省（市）启用“三区三线”划定成果作为报批建设项目用地用海依据的函》（自然资办函〔2022〕2080号）要求，“三区三线”划定成果作为建设项目用地用海组卷报批的依据。其中“三区”具体指农业空间、生态空间、城镇空间三种类型的国土空间，“三线”分别对应永久基本农田、生态保护红线、城镇开发边界三条控制线。

根据杭州市钱塘区“三区三线”划分图（见附图7），本项目所在区域在城镇开发边界内，不涉及永久基本农田、生态保护红线，因此，项目的建设符合杭州市钱塘区“三区三线”要求。

### 1.3.3 产业政策符合性分析

根据《杭州市产业发展导向目录（2024年本）》和《钱塘区产业发展导向目录与产业平台布局指引》（钱政办发〔2022〕6号），本项目属于鼓励类；根据《产业结构调整指导目录（2024年本）》，本项目属于第一类“鼓励类”第六项“核能”中第4条“核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”项目和第十四项“机械”中第1条“科学仪器和工业仪表：

用于辐射、有毒、可燃、易爆、重金属、二噁英等检测分析的仪器仪表，水质、烟气、空气检测仪器，药品、食品、生化检验用高端质谱仪、色谱仪、光谱仪、X射线仪、核磁共振波谱仪、自动生化检测系统及自动取样系统和样品处理系统，科学研究、智能制造、测试认证用测量精度达到微米以上的多维几何尺寸测量仪器，自动化、智能化、多功能材料力学性能测试仪器，工业 CT、三维超声波探伤仪等无损检测设备，用于纳米观察测量的分辨率高于 3.0 纳米的电子显微镜，各工业领域用高端在线检验检测仪器设备”项目。因此，本项目建设符合国家和地方产业政策要求。

### 1.3.4 实践正当性分析

X 射线探伤作为五大常规无损检测方法之一，可以探测各类金属或其他材料内部可能产生的缺陷并直观地显示工件内部缺陷的大小和形状，是保障产品质量的重要手段，其检测效果为一般非放射性探伤方法所无法替代；电离辐射计量作为核测量领域基础学科，广泛应用于国防科研、放射医学诊断治疗、辐照加工、核能开发、新能源利用、环境保护等多个领域，且作用日益关键。目前浙江省作为核电大省及放射医疗应用广泛的省份，电离辐射标准装置基本处于空白状态，为满足核安全对辐射计量检测的新需求、保障人民身体健康所需放射医疗仪器辐射剂量测量的准确可靠，建设适应现代电离辐射计量技术发展的传递标准装置、研究测量方法并整合资源形成技术与设备资源平台十分必要。本项目运行过程中采取满足国家标准要求的辐射安全防护措施，加强辐射安全管理，对周围环境和人员的影响满足标准要求，项目建设具备充分的实践正当性，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）“实践的正当性”的原则，且具有良好的经济效益和社会效益，整体目的正当可行。

## 1.4 原有核技术利用项目情况

### 1.4.1 原有核技术利用项目许可情况

浙江省质量科学研究院现持有浙江省生态环境厅颁发的辐射安全许可证（见附件 2），证书编号为：浙环辐证[A4411]；发证日期：2025 年 12 月 26 日，有效期至：2029 年 03 月 17 日；许可的辐射工作种类和范围为：使用 II 类、III 类、IV 类、V 类放射源；使用 II 类、III 类射线装置。

建设单位已许可核技术利用项目环保手续履行见表 1-4 和表 1-5。相关环保手续

文件见附件 4。

**表 1-4 建设单位已许可的放射源环保手续履行情况**

序号	核素	类别	总活度（贝可）/活度（贝可）×枚数	工作场所	环评手续履行情况	验收手续履行情况
1	Cs-137	III类	7.40E+11*1	防护水平γ射线实验室	杭环钱评批[2020]34号	于 2025 年 10 月进行了自主验收
2	Cs-137	V类	3.70E+08*1		备案号：202433011400000199	/
3	Cs-137	IV类	2.22E+10*1		杭环钱评批[2020]34号	于 2025 年 10 月进行了自主验收
4	Co-60	III类	3.70E+10*1			
5	Am-241	III类	1.85E+11*1			
6	Cs-137	V类	3.70E+08*1	活度计量实验室	备案号：202533011400000017	/
7	Cs-137	V类	5.0E+05*1		备案号：202533011400000086	
8	Co-60	V类	5.5E+05*1			
9	Am-241	V类	2.5E+06*1			
10	Am-241	V类	1.0E+07*1			
11	Co-60	II类	2.96E+13*1	治疗水平γ射线实验室	杭环钱评批[2020]34号	于 2025 年 10 月进行了自主验收

**表 1-5 建设单位已许可的射线装置环保手续履行情况**

序号	装置名称	类别	规格型号	工作场所	环评手续履行情况	验收手续履行情况
1	高能工业 CT 机	II类	AX-5000CT	X 射线无损检测实验室	杭环钱评批[2020]34号	于 2025 年 10 月进行了自主验收
2	(40-150) kV 计量标准 X 射线系统	III类	WMHKH VC-02	诊断水平 X 射线实验室	备案号：202433011400000013	/
3	160kV X 光机	III类	MGi-160/4.5	中低能 X 射线实验室	备案号：202433011400000014	/
4	450kV X 光机	III类	MGi-450/4.5			

**1.4.2 原有核技术利用项目管理情况**

建设单位原有核技术利用项目运行过程中较好地执行了相关的辐射安全管理制度，根据上一年辐射工作场所检测报告，原有核技术利用项目运行过程中没有发生事故，运行良好，相关屏蔽防护措施满足防护要求。

建设单位严格遵守《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关辐射防护法律法规，配合各级生态环境部门监督和指导，成立了辐射安全与环境保护领导小组，落实安全责任制度，并明确了相关

成员名单及职责，建立了完善的辐射安全和防护制度，并有严格的档案管理制度，现有规章制度基本满足建设单位从事相关辐射活动辐射安全和防护管理的要求。建设单位已严格落实各项规章制度，各辐射防护设施运行良好。

原有核技术利用项目管理情况见表 1-6。

**表 1-6 建设单位原有核技术利用项目管理情况一览表**

名称	管理情况
辐射防护管理制度	建设单位现已成立了辐射安全管理机构（见附件 5），成员由各部门负责人组成，能够有效统筹安排建设单位的辐射安全事务，并已建立《辐射事故应急预案》《辐射防护与安全保卫制度》《防护水平 $\gamma$ 射线标准装置检修维修制度》《工业 CT 检测系统检修维护制度》和《中低能 X 射线光机保养维护制度》等辐射防护安全管理制度。
辐射屏蔽防护措施	建设单位现有工业 CT 机房已按照《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）、其他辐射工作场所参照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）相关要求配置了工作场所防护用品及防护设施。
个人剂量监测	现有辐射工作人员均配备了个人剂量计，个人剂量计定期委托浙江省疾病预防控制中心检测，并建立了个人剂量档案。根据建设单位提供的 2024 年第四季度~2025 第三季度个人剂量检测报告可知，现有辐射工作人员的年有效剂量检测结果均不超过 0.363mSv，满足工作人员剂量约束值低于 5mSv/a 的要求。
职业健康体检	现有辐射工作人员于 2024 年 6 月 14 日在杭州市职业病防治院进行了在岗期间的职业健康检查，检查结果表明其中一人需进行复查，经建设单位确认暂离辐射岗位，其他辐射工作人员结论均为“可继续从事放射工作”。
辐射工作人员培训	已严格按照国家相关规定执行辐射工作人员持证上岗制度。目前辐射工作人员于 2024 年 3 月和 2024 年 8 月均参加了国家核技术利用辐射安全与防护培训平台组织的核技术利用辐射安全与防护考核，并考核合格。
辐射工作场所年度监测	每年定期委托浙江省质量科学研究院对辐射工作场所进行年度监测，根据建设单位提供的 2025 年度辐射工作场所监测报告，建设单位射线装置满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）和《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中相关剂量率控制水平的要求。建设单位现已采取的辐射工作场所防护措施能够满足已开展辐射活动的辐射安全防护要求。
辐射应急演练和年度评估	已制定有《辐射事故应急预案》（见附件 6），并于 2024 年开展了辐射事故应急演练。经与建设单位核实，自辐射活动开展以来，未发生过辐射事故。建设单位已自行编制《2025 年度辐射安全与防护状况评估报告》，对现有射线装置辐射工作场所防护状况、人员培训及个人剂量、射线装置台账、辐射安全与防护制度执行情况等进行年度总结和评估，并上传至核技术利用平台。

#### 1.4.3 原有核技术利用项目存在的问题

建设单位现已建立了完善的辐射安全和防护制度，并有严格的档案管理制度，现有规章制度基本满足建设单位从事相关辐射活动辐射安全和防护管理的要求。建设单位应继续强化管理、加强辐射工作人员的培训学习。

**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
	以下空白							

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

**表 3 非密封放射性物质**

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	<sup>18</sup> F	液态/低毒/半衰期 109.8min	使用	1.85E+08	1.85E+05	6.66E+09	仪器校准或检定	很简单的操作	计量科技创新实验楼地下二层活度计量实验室	建设单位根据待检仪器数量向有资质单位购买，购买后核素由供药单位安排专人于指定时间运输至活度计量实验室通风柜内，工作人员接收后直接开展工作，不进行贮存
2	<sup>99m</sup> Tc	液态/低毒/半衰期 6.02h	使用	1.85E+08	1.85E+05	6.66E+09	仪器校准或检定	很简单的操作		
3	<sup>131</sup> I	液态/中毒/半衰期 8.02d	使用	1.85E+08	1.85E+06	6.66E+09	仪器校准或检定	很简单的操作		
4	<sup>85</sup> Kr	气态/低毒/半衰期 10.75a	使用	1.00E+07	1.00E+06	1.00E+08	仪器校准或检定	很简单的操作		
5	<sup>226</sup> Ra	固态/极毒/半衰期 1600a	使用	5.00E+05	5.00E+03	5.00E+05	富集 <sup>222</sup> Rn	源的贮存	计量科技创新实验楼十六层标准氦室实验室	建设单位向有资质单位购买 <sup>226</sup> Ra， <sup>226</sup> Ra 暂存于标准氦室实验室氦试验箱中的专用容器内
6	<sup>226</sup> Ra	固态/极毒/半衰期 1600a	使用	1.00E+06	1.00E+04	1.00E+06	富集 <sup>222</sup> Rn	源的贮存		
7	<sup>226</sup> Ra	固态/极毒/半衰期 1600a	使用	2.00E+06	2.00E+04	2.00E+06	富集 <sup>222</sup> Rn	源的贮存		
8	<sup>222</sup> Rn	气态/中毒/半衰期 3.82d	使用	5.79E+05	5.79E+05	2.11E+08	仪器校准或检定	很简单的操作		标准氦室实验室氦试验箱内

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

## 表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/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
1	工业 CT	II类	1	AX-2000	160	0.5	小型物件无损检测	计量科技创新实验楼 地下二层工业 CT 机房	新购

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
活度计量实验室放射性废气	气态	<sup>18</sup> F、 <sup>99m</sup> Tc、 <sup>131</sup> I	/	/	极少量	/	/	由 2 套排风管道通过排风井引至计量科技创新实验楼楼顶排放，通风橱顶壁和排风口均设活性炭吸附装置
标准氦室实验室放射性废气	气态	<sup>222</sup> Rn	/	/	极少量	/	/	由 1 套排风管道通过排风井引至计量科技创新实验楼楼顶排放，排风口设活性炭吸附装置
活度计量实验室放射性废液	液体	<sup>18</sup> F、 <sup>99m</sup> Tc、 <sup>131</sup> I	/	/	0.09m <sup>3</sup>	/	应急废水使用专用容器单独收集	含核素 <sup>18</sup> F 和 <sup>99m</sup> Tc 的放射性废液暂存时间超过 30 天；含 <sup>131</sup> I 核素的放射性废液暂存超过 180 天后排入市政污水管网
活度计量实验室废弃手套、破碎器皿、擦拭污染地面的物品以及分装剩余核素	固态/液体	<sup>18</sup> F、 <sup>99m</sup> Tc、 <sup>131</sup> I	/	/	5kg	/	收集后集中在废物暂存间中暂存	暂存时间满足标准要求后（含核素 <sup>18</sup> F 和 <sup>99m</sup> Tc 的固体放射性废物暂存时间超过 30 天；含 <sup>131</sup> I 核素的固体放射性废物暂存超过 180 天），经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α表面污染小于 0.08Bq/cm <sup>2</sup> ，β表面污染小于 0.8Bq/cm <sup>2</sup> ，可对废物清洁解控并作为危险废物处置。
活度计量实验室废活性炭	固态	<sup>18</sup> F、 <sup>99m</sup> Tc、 <sup>131</sup> I	/	/	20kg	/		
标准氦室实验室废活性炭	固态	<sup>222</sup> Rn	/	/	10kg	/	/	更换下来的废活性炭作为一般固体废物处置
退役的固体镭源	固态	<sup>226</sup> Ra	/	/	根据镭源使用状态以及氦气析出效果确定更换周期	/	不暂存	由供源单位进行回收处置
<sup>85</sup> Kr 专用气瓶	气态	<sup>85</sup> Kr	/	/	10 年更换一次	/	不暂存	由供源单位进行回收处置
工业 CT 臭氧和氮氧化物	气态	/	/	少量	少量	/		不暂存，最终排入大气环境

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/m<sup>3</sup>；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/m<sup>3</sup>）和活度（Bq）。

## 表 6 评价依据

<p>法规 文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》（1989年12月26日第七届全国人民代表大会常务委员会第十一次会议通过；2014年4月24日第十二届全国人民代表大会常务委员会第八次会议修订），中华人民共和国主席令第9号，2015年1月1日施行修订版；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2002年10月28日第九届全国人民代表大会常务委员会第三十次会议通过，自2003年9月1日起施行；2016年7月2日第一次修订；2018年12月29日第二次修订），中华人民共和国主席令第48号，2018年12月29日施行修订版；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》（2003年6月28日中华人民共和国第十届全国人民代表大会常务委员会第三次会议通过），中华人民共和国主席令第六号，2003年10月1日施行；</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》（1998年11月29日中华人民共和国国务院令 第253号发布施行；2017年7月16日中华人民共和国国务院令 第682号令修订），自2017年10月1日起施行修订版；</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，（2005年9月14日经中华人民共和国国务院令 第449号公布，2014年7月29日经中华人民共和国国务院令 第653号修订，2019年3月2日经中华人民共和国国务院令 第709号修订），自2019年3月2日起施行修订版；</p> <p>(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日国家环境保护总局令 第31号公布，2008年12月6日经环境保护部令 第3号修正，2017年12月20日经环境保护部令 第47号修正，2019年7月11日经生态环境部令 第7号修改，2020年12月25日经生态环境部令 第20号修改），2021年1月4日施行修改版；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（2011年4月18日环境保护部令 第18号），自2011年5月1日起施行；</p> <p>(8) 《关于发布〈射线装置分类〉的公告》（环境保护部 国家卫生和计划生育委员会公告 2017年第66号），自2017年12月5日起施行；</p> <p>(9) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》（中华人</p>
------------------	--

法规 文件	<p>民共和国生态环境部令第 16 号），自 2021 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>（10）《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（2023 年 12 月 27 日中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 7 号公布，自 2024 年 2 月 1 日起施行；</p> <p>（11）《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告 2019 年第 57 号），自 2020 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>（12）《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4 号），自 2017 年 11 月 20 日起施行；</p> <p>（13）《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），自 2006 年 9 月 26 日起施行。</p> <p>（14）《关于实施“三线一单”生态环境分区管控的指导意见（试行）》（环环评[2021]108 号），自 2021 年 11 月 19 日起施行；</p> <p>（15）《浙江省建设项目环境保护管理办法》（2011 年 10 月 25 日浙江省人民政府令第 288 号公布，2014 年 3 月 13 日浙江省人民政府令第 321 号第一次修正，2018 年 1 月 22 日浙江省人民政府令第 364 号公布第二次修正，2021 年 2 月 10 日浙江省人民政府令第 388 号公布第三次修正），自 2021 年 2 月 10 日起施行修正版；</p> <p>（16）《浙江省辐射环境管理办法》（2011 年 12 月 18 日浙江省人民政府令第 289 号公布，2021 年 2 月 10 日浙江省人民政府令第 388 号修正），自 2021 年 2 月 10 日起施行修正版；</p> <p>（17）《浙江省生态环境厅关于发布&lt;省生态环境主管部门负责审批环境影响评价文件的建设项目清单（2024 年本）&gt;的通知》（浙环发[2024]67 号），自 2025 年 2 月 2 日起实施；</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》，中华人民共和国原环境保护部办公厅，环办辐射函〔2016〕430 号，2016 年 3 月 7 日发布；</p> <p>（19）《浙江省生态环境保护条例》（浙江省第十三届人民代表大会公告 2022 年第 71 号），自 2022 年 8 月 1 日起施行。</p>
----------	--

<p>技术标准</p>	<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》(HJ 10.1-2016)；</p> <p>(2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)；</p> <p>(3) 《环境<math>\gamma</math>辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)；</p> <p>(4) 《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)；</p> <p>(5) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ 128-2019)；</p> <p>(6) 《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》(HJ 1326-2023)；</p> <p>(7) 《工业探伤放射防护标准》(GBZ 117-2022)；</p> <p>(8) 《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014) 及第 1 号修改单；</p> <p>(9) 《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)；</p> <p>(10) 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》(辐射函〔2023〕20 号)；</p> <p>(11) 《民用建筑工程室内环境污染控制标准》(GB50325-2020)；</p> <p>(12) 《室内氡及其子体控制要求》(GB/T 16146-2015)。</p>
<p>其他</p>	<p>(1) 辐射安全许可证，证书编号“浙环辐证[A4411]”；</p> <p>(2) 《辐射防护导论》，方杰主编；</p> <p>(3) 《浙江环境天然贯穿辐射水平调查研究》；</p> <p>(4) 建设单位提供的与本项目有关的资料。</p>

## 表 7 保护目标与评价标准

### 7.1 评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）中对于环境影响报告书项目的评价范围规定：“乙级非密封放射性物质工作场所项目的评价范围取半径 50m 的范围，放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”，结合本项目的特点，取拟建工业 CT、活度计量实验室场所和标准氦室实验室场所实体屏蔽物边界外 50m 范围作为本项目评价范围，不同场所划定评价范围重叠时取较大范围。评价范围详见附图 3。

### 7.2 保护目标

根据现场踏勘情况，本项目辐射工作场所实体边界外 50m 范围主要为建设单位内部建筑和道路以及海通街部分道路，不涉及居民区和学校等环境敏感区，也不涉及杭州市生态保护红线。

本项目环境保护目标为评价范围内从事本项目辐射工作的职业人员及评价范围内活动的其他公众。本项目环境保护目标见表 7-1。

表 7-1 本项目评价范围内环境保护目标情况一览表

环境保护目标		方位	与设备边界最近距离 (m)		人员规模	人员类别及年有效剂量约束值
			水平	垂直		
工业 CT 机房	辐射工作人员	内部	/	/	2 人	职业人员, 5.0mSv
	地下一层和地下二层停车场	东侧	紧邻	/	500 人/d	公众, 0.1mSv
	配电房	南侧	紧邻	/	1 人/d	
	诊断与乳腺 X 射线剂量实验室辐照室	西侧	紧邻	/	10 人/d	职业人员, 5.0mSv
	过道	北侧	紧邻	/	20 人/d	公众, 0.1mSv
	室外道路	上方	/	紧邻	500 人/d	
	地下四层停车场	下方	/	紧邻	500 人/d	
活度计量实验室场所	辐射工作人员	内部	/	/	1 人	职业人员, 5.0mSv
	地下二层样品间/仪器室和过道, 地下一层空调机房、楼梯间和过道	东侧	紧邻	/	30 人/d	公众, 0.1mSv
	过道	南侧	紧邻	/	20 人/d	
	中低能 X 射线剂量实验室辐照室	西侧	紧邻	/	10 人/d	职业人员, 5.0mSv
	岩土层	北侧	紧邻	/	/	/
	室外道路、楼梯间和入口门厅大堂	上方	/	紧邻	500 人/d	公众,

	地下四层停车场	下方	/	紧邻	500 人/d	0.1mSv
标准 氦室 实验 室场 所	辐射工作人员	内部	/	/	2 人	职业人员, 5.0mSv
	实验室区域	东侧	紧邻	/	20 人/d	公众, 0.1mSv
	过道	南侧	紧邻	/	40 人/d	
	新风机房和设备平台	西侧	紧邻	/	5 人/d	
	屋面	上方	/	紧邻	10 人/d	公众, 0.1mSv
	研发中心区域	下方	/	紧邻	50 人/d	
50m 范围内其他区域公众		四周	0~50		1000 人/d	

## 7.3 评价标准

### 7.3.1 剂量限值

剂量限值执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）相关规定，工作人员的职业照射和公众照射的剂量限值如下：

#### （1）职业照射

应对任何工作人员职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

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

2) 任何一年中的有效剂量，50mSv；

#### （2）公众照射

实践使公众中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：

1) 年有效剂量，1mSv；

2) 特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv；

### 7.3.2 剂量约束值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和参照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中相关要求，本次评价以 5mSv/a 作为职业人员的年剂量约束值，以 0.1mSv/a 作为公众人员的年剂量约束值。

### 7.3.3 工业 CT 机房评价标准

#### （1）《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）

本标准规定了 X 射线和 $\gamma$ 射线探伤的放射防护要求。

本标准适用于使用 600kV 及以下的 X 射线探伤机和 $\gamma$ 射线探伤机进行的探伤工作（包括固定式探伤和移动式探伤），工业 CT 探伤和非探伤目的同辐射源范围的

无损检测参考使用。

本标准不适用于加速器和中子探伤机进行的工业探伤工作。

## 5 探伤机的放射防护要求

### 5.1 X 射线探伤机

5.1.1 X 射线探伤机在额定工作条件下，距 X 射线管焦点 100cm 处的漏射线所致周围剂量当量率应符合表 7-2 的要求，在随机文件中应有这些指标的说明。其他放射防护性能应符合 GB/T26837 的要求。

表 7-2 X 射线管头组装体漏射线所致周围剂量当量率控制值

管电压 kV	漏射线所致周围剂量当量率 mSv/h
<150	<1
150~200	<2.5
>200	<5

## 6 固定式探伤的放射防护要求

6.1.1 探伤室的设置应充分注意周围的辐射安全，操作室应避开有用线束照射的方向并应与探伤室分开。探伤室的屏蔽墙厚度应充分考虑源项大小、直射、散射、屏蔽物材料和结构等各种因素。无迷路探伤室门的防护性能应不小于同侧墙的防护性能。X 射线探伤室的屏蔽计算方法参见 GBZ/T250。

6.1.2 应对探伤工作场所实行分区管理，分区管理应符合 GB18871 的要求。

6.1.3 探伤室墙体和门的辐射屏蔽应同时满足：

a) 关注点的周围剂量当量参考控制水平，对放射工作场所，其值应不大于 100 $\mu$ Sv/周，对公众场所，其值应不大于 5 $\mu$ Sv/周；

b) 屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 2.5 $\mu$ Sv/h。

6.1.4 探伤室顶的辐射屏蔽应满足：

a) 探伤室上方已建、拟建建筑物或探伤室旁邻近建筑物在自辐射源点到探伤室顶内表面边缘所张立体角区域内时，探伤室顶的辐射屏蔽要求同 6.1.3；

b) 对没有人员到达的探伤室顶，探伤室顶外表面 30cm 处的周围剂量当量率参考控制水平通常可取 100 $\mu$ Sv/h。

6.1.5 探伤室应设置门-机联锁装置，应在门（包括人员进出门和探伤工件进出门）关闭后才能进行探伤作业。门-机联锁装置的设置应方便探伤室内部的人员在紧急情况下离开探伤室。在探伤过程中，防护门被意外打开时，应能立刻停止出束或回源。探伤室内有多台探伤装置时，每台装置均应与防护门联锁。

6.1.6 探伤室门口和内部应同时设有显示“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置，并与探伤机联锁。“预备”信号应持续足够长的时间，以确保探伤室内人员安全离开。“预备”信号和“照射”信号应有明显的区别，并且应与该工作场所内使用的其他报警信号有明显区别。在醒目的位置处应有对“照射”和“预备”信号意义的说明。

6.1.7 探伤室内和探伤室出入口应安装监视装置，在控制室的操作台应有专用的监视器，可监视探伤室内人员的活动和探伤设备的运行情况。

6.1.8 探伤室防护门上应有符合 GB18871 要求的电离辐射警告标志和中文警示说明。

6.1.9 探伤室内应安装紧急停机按钮或拉绳，确保出现紧急事故时，能立即停止照射。按钮或拉绳的安装，应使人员处在探伤室内任何位置时都不需要穿过主射线束就能够使用。按钮或拉绳应带有标签，标明使用方法。

6.1.10 探伤室应设置机械通风装置，排风管道外口避免朝向人员活动密集区。每小时有效通风换气次数应不小于 3 次。

6.1.11 探伤室应配置固定式场所辐射探测报警装置。

## (2) 《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014)

本标准规定了工业 X 射线探伤室屏蔽要求。

本标准适用于 500kV 以下工业 X 射线探伤装置的探伤室。

### 3.2 需要屏蔽的辐射

3.2.1 相应有用线束的整个墙面均考虑有用线束屏蔽，不需要考虑进入有用线束区的散射辐射。

3.2.2 散射辐射考虑以  $0^\circ$  入射探伤工件的  $90^\circ$  散射辐射。

### 3.3 其他要求

3.3.1 探伤室一般应设有人员门和单独的工件门。对于探伤可人工搬运的小型工件探伤室，可以仅设人员门。探伤室人员门宜采用迷路形式。

3.3.2 探伤装置的控制室应置于探伤室外，控制室和人员门应避开有用线束照射的方向。

3.3.3 屏蔽设计中，应考虑缝隙、管孔和薄弱环节的屏蔽。

3.3.4 当探伤室使用多台 X 射线探伤装置时，按最高管电压和相应该管电压下的

常用最大管电流设计屏蔽。

3.3.5 应考虑探伤室结构、建筑费用及所占空间，常用的材料为混凝土、铅和钢板等。

### 7.3.4 活度计量实验室和标准氦室实验室评价标准

#### (1) 辐射工作场所屏蔽体外剂量率水平

参考《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中相关规定，本项目活度计量实验室工作场所屏蔽体外剂量率控制水平详见表 7-3。

表 7-3 辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平

场所	位置	剂量率控制水平 (μSv/h)
活度 计量 实验 室	控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处 (居留因子 $\geq 1/2$ ) *	2.5
	控制区屏蔽墙外 30cm 处 (居留因子 $< 1/2$ ) *	10
	放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备外表面 30cm 处人员操作位	2.5
	放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面 30cm 处	25
	固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道外表面 30cm 处	2.5

注：根据《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函[2023]20号），控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子 $\geq 1/2$ ），周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h；控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子 $< 1/2$ ），周围剂量当量率应小于 10μSv/h。

#### (2) 表面污染控制水平

根据《电离辐射防护与辐射源基本安全标准》（GB18871-2002）相关规定，本项目活度计量实验室和标准氦室实验室的放射性表面污染控制水平详见表 7-4。

表 7-4 辐射工作场所放射性表面污染控制水平

表面类型		α放射性物质 (Bq/cm <sup>2</sup> )		β放射性物质 (Bq/cm <sup>2</sup> )
		极毒性	其他	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 <sup>1)</sup>	4	4×10	4×10 <sup>1</sup>
	监督区	4×10 <sup>-1</sup>	4	4
工作服、手套、工作鞋	控制区、监督区	4×10 <sup>-1</sup>	4×10 <sup>-1</sup>	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10 <sup>-2</sup>	4×10 <sup>-2</sup>	4×10 <sup>-1</sup>

1) 该区内的高污染子区除外

#### (3) 非密封放射性场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源基本安全标准》（GB18871-2002）中相关规定，本项目非密封源工作场所分级标准详见表 7-5。

表 7-5 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 $\sim 2 \times 10^7$

#### (4) 放射性固废排放控制要求

参考《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中相关规定，固体放射性废物暂存和处理应满足以下要求：

固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， $\alpha$ 表面污染小于  $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 $\beta$ 表面污染小于  $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$  的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理；

- a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；
- b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍；
- c) 含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

#### (4) 放射性废液排放控制要求

参考《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中相关规定，放射性废液暂存和处理应满足以下要求：

固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， $\alpha$ 表面污染小于  $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 $\beta$ 表面污染小于  $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$  的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理；

- a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放；
- b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，按照 GB18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 $\alpha$ 不大于  $1\text{Bq}/\text{L}$ 、总 $\beta$ 不大于  $10\text{Bq}/\text{L}$ 、碘-131 的放射性活度浓度不大于  $10\text{Bq}/\text{L}$ 。

参照《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号）中相关规定，含碘-131 放射性废水可按照下列任意一种方式进行排放：

（一）根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》第 8.6.2 条规定，经监管部门确认单次排入普通下水道的废水中碘-131 活度不超过  $1\text{ALImin}$ （ $9\text{E}+5$  贝可），每月排放的废水中碘-131 总活度不超过  $10\text{ALImin}$ （ $9\text{E}+6$  贝可）。

（二）暂存 180 天后，衰变池废水可以直接排放。

(三) 暂存不满 180 天但监测结果表明碘-131 活度浓度已降至不高于 10 贝可/升水平，也可直接排放。

#### (5) 室内氡及其子体的控制要求

根据《室内氡及其子体控制要求》(GB/T 16146-2015) 第 4.1.1 和第 4.1.2 要求：

1) 对于室内氡浓度，优先使用以下的年均氡浓度控制值：

- a) 对新建建筑物室内氡浓度设定的年均氡浓度目标水平为  $100\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ ；
- b) 对已建建筑物室内氡浓度设定的年均氡浓度行动水平为  $300\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ 。

2) 室内氡及其子体的剂量控制值：

当室内氡浓度达到或超过 4.1.1 的氡浓度控制值时，应根据实际情况进行氡及其子体浓度对相关所致年均有效剂量的估算（参见附录 A），并对剂量估算结果应用以下的剂量控制值：

- a) 对新建建筑物室内氡及其子体设定的有效剂量目标水平为  $3\text{mSv}$ ；
- b) 对已建建筑物室内氡及其子体设定的有效剂量行动水平为  $10\text{mSv}$ 。

## 表 8 环境质量和辐射现状

### 8.1 项目地理和场所位置

建设单位位于杭州市钱塘区下沙路 300 号，分为南北两区，由海通街相隔，本项目位于北区计量科技创新实验楼内。项目地理位置见附图 1。

建设单位北区东邻宜学路，隔路为绿城春风金沙小区；南邻海通街，隔路为建设单位南区，西、北两侧紧邻金沙中心及周边商业区；南区东邻宜学路，南邻下沙路，西邻幸福南路，北邻海通街。周边环境关系见附图 2。

本项目工业 CT 和活度计量实验室均位于计量科技创新实验楼地下二层；标准氩室实验室位于计量科技创新实验楼十六层。辐射工作场所具体位置详见附图 4-3 和附图 4-7。

### 8.2 环境电离辐射水平现状

根据《浙江省生态环境状况公报（2024 年）》，全省环境电离辐射水平处于本底涨落范围内。环境 $\gamma$ 辐射剂量率处于当地天然本底涨落范围内。空气中天然放射性核素活度浓度处于本底水平，人工放射性核素活度浓度未见异常。钱塘江、曹娥江、甬江、椒江、瓯江、飞云江、鳌江、苕溪八大水系以及京杭运河、西湖和新安江水库中天然放射性核素活度浓度处于本底水平，人工放射性核素活度浓度未见异常。地下水中总 $\alpha$ 和总 $\beta$ 活度浓度低于《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）的 III 类标准。城市集中式饮用水水源地水中总 $\alpha$ 和总 $\beta$ 活度浓度处于本地水平。土壤中天然放射性核素活度浓度处于本底水平，人工放射性核素活度浓度未见异常。

### 8.3 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

#### 8.3.1 环境现状评价的对象

拟建辐射项目区域及周边环境。

#### 8.3.2 监测因子

$\gamma$ 辐射空气吸收剂量率、 $\alpha$ 表面污染、 $\beta$ 表面污染、氩浓度。

#### 8.3.3 监测点位

本项目主体工程已建设完成，考虑兼顾点位现状可到达性的条件下，在拟建区域位置及本项目评价范围内涉及的建筑物布设监测点，所布点位能反映本项目评价范围内拟建场所的辐射环境现状水平。因此，监测点位布设是合理的。为直观标明

监测点位所在位置，本项目在平面布置图中标注监测点位，具体监测点位示意图 8-1 至图 8-3。

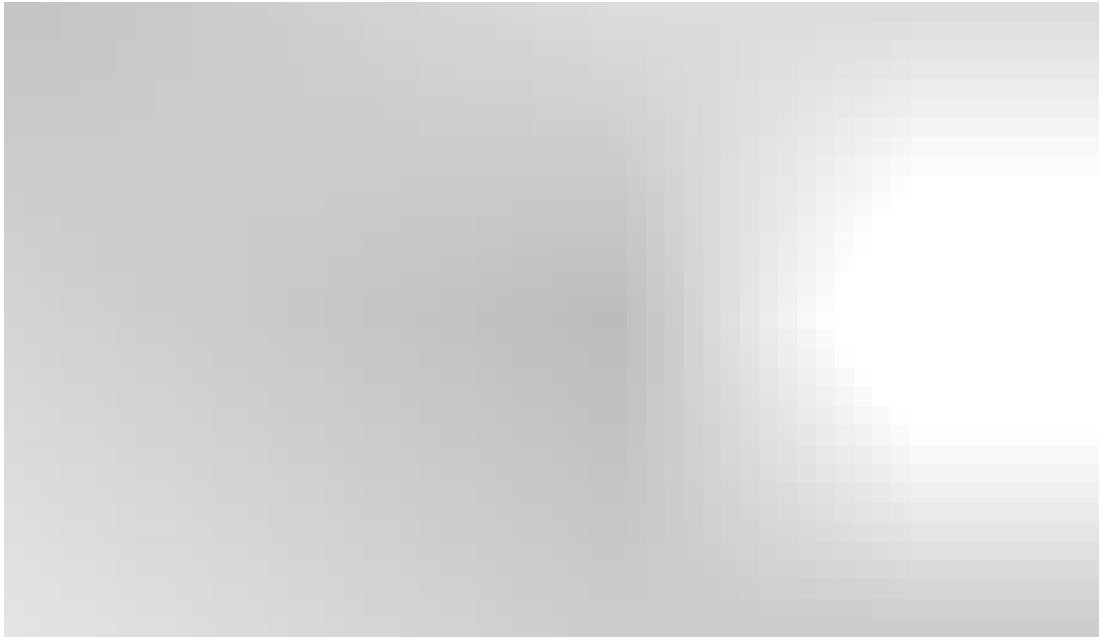


图 8-1 监测点位示意图（计量科技创新实验楼室外）



图 8-2 监测点位示意图（计量科技创新实验楼地下二层）

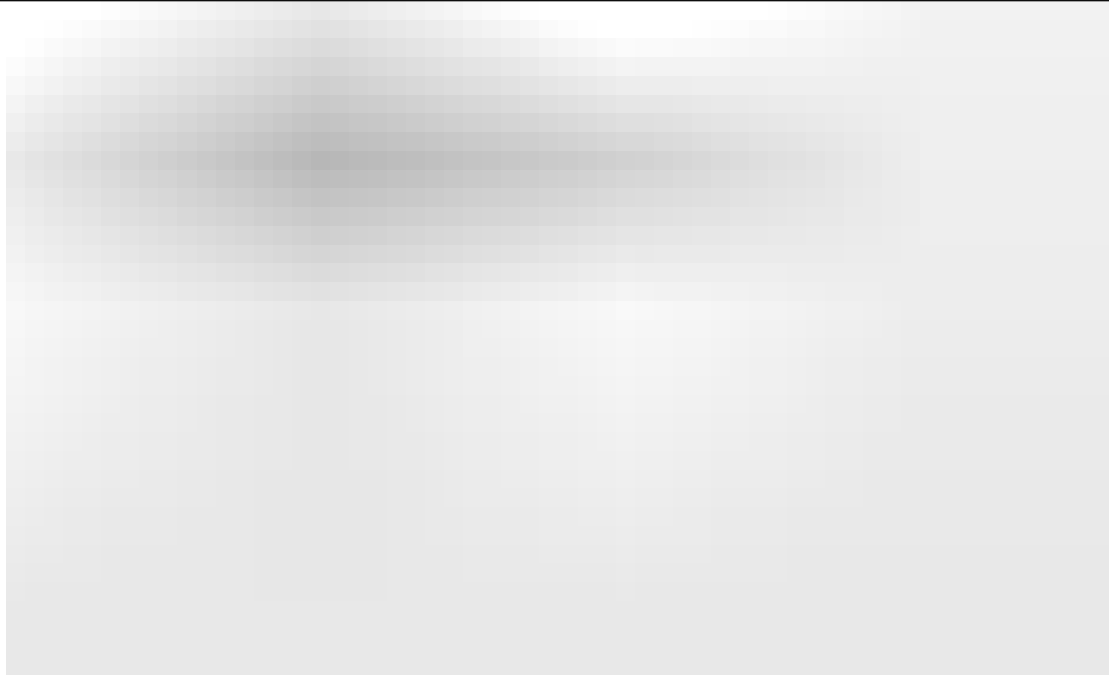


图 8-3 监测点位示意图（计量科技创新实验楼十五、十六层以及屋面）

## 8.4 监测方案、质量保证措施和监测结果

### 8.4.1 监测方案

- (1) 监测单位：浙江建安检测研究院有限公司
- (2) 监测日期：2025 年 7 月 23 日
- (3) 监测条件：温度 24.3°C，相对湿度 54.9%，晴
- (4) 监测依据：《环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）、《表面污染测定 第 1 部分： $\beta$ 发射体（ $E_{\beta\max} > 0.15\text{MeV}$ ）和 $\alpha$ 发射体》（GB/T 14056.1-2008）、《环境空气中氡的测量方法》（HJ1212-2021）
- (5) 监测频次：依据相关标准予以确定
- (6) 监测仪器：见表 8-1 至表 8-3

表 8-1 便携式 X- $\gamma$  辐射周围剂量当量率仪参数表

仪器名称	便携式 X、 $\gamma$ 辐射周围剂量当量率仪
仪器型号	6150AD6/H+6150AD-b/H
生产厂家	automess
仪器编号	05038132
能量范围	38keV-7MeV
量程	模拟量程：10nSv/h-100 $\mu$ Sv/h；数字量程：1nSv/h-99.9 $\mu$ Sv/h
检定单位	上海市计量测试技术研究院华东国家计量测试中心
检定证书	2025H21-20-5684514001、2025H21-20-5684514002
检定有效期	2025 年 01 月 06 日~2026 年 01 月 05 日

表 8-2  $\alpha$ 、 $\beta$ 表面污染仪参数表

仪器名称	$\alpha$ 、 $\beta$ 表面污染仪
仪器型号	CoMo 170
生产厂家	S.E.A.
仪器编号	05038153
探测器灵敏窗面积	170cm <sup>2</sup>
探测器本底	$\alpha$ : 0.1CPS; $\beta$ : 15~25CPS
检定单位	上海市计量测试技术研究院, 华东国家计量测试中心
检定证书	2025H21-20-5753251001
检定有效期	2025年02月24日—2026年02月23日

表 8-3  $\alpha$ 能谱氦气检测仪参数表

仪器名称	$\alpha$ 能谱氦气检测仪
仪器型号	RAD7
生产厂家	美国 DURRIDGE
仪器编号	05032581
灵敏度	嗅探模式下为 0.25CPM/pCi/L; 正常模式下为 0.5CPM/pCi/L
测量范围	0.1~20000pCi/L (3.7~740000Bq/m <sup>3</sup> )
检定单位	上海市计量测试技术研究院华东国家计量测试中心
检定证书	2025H21-20-5929762001
检定有效期	2025年06月11日—2026年06月10日

#### 8.4.2 质量保证措施

(1) 本项目辐射环境监测单位为浙江建安检测研究院有限公司, 具有浙江省市场监督管理局颁发的资质认定证书, 并在允许范围内开展工作和出具有效的监测报告, 保证了监测工作的合法性和有效性;

(2) 采用国家有关部门颁布的监测标准方法, 每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常;

(3) 监测仪器每年定期经计量部门检定, 检定合格后方可使用;

(4) 监测实行全过程的质量控制, 严格按照浙江建安检测研究院有限公司《质量手册》、《程序文件》及仪器作业指导书的有关规定执行, 监测人员经培训、考核合格后上岗;

(5) 报告严格实行三级审核制度, 经校核、审核, 最后由授权签字人审定。

#### 8.4.3 监测结果

本项目辐射环境现状各监测点位的监测结果见表 8-4 至表 8-6。

表 8-4 本项目  $\gamma$  辐射空气吸收剂量率监测结果

监测点编号	监测点位置	监测结果 (nGy/h)	备注
1#	浙江省质量科学研究院北区用地东侧场界	114±2	道路
2#	浙江省质量科学研究院北区用地南侧场界	117±3	道路
3#	电学楼	121±4	楼房
4#	高压机互感计量实验楼	120±2	楼房
5#	流量楼	119±3	楼房
6#	活度计量实验室	104±3	楼房
7#	样品间/仪器室	129±2	楼房
8#	辐射检测处、更衣室	104±3	楼房
9#	中低能 X 射线剂量实验辐照室	119±3	楼房
10#	工业 CT 机房	107±4	楼房
11#	停车场	94±3	楼房
12#	配电房	99±3	楼房
13#	诊断与乳腺 X 射线剂量实验辐照室	120±3	楼房
14#	走廊	107±3	楼房
15#	标准氦室实验室 (标准氦室)	92±3	楼房
16#	标准氦室实验室东侧实验室	93±3	楼房
17#	走廊	110±2	楼房
18#	标准氦室实验室 (小氦室)	93±3	楼房
19#	新风机房	102±2	楼房
20#	标准氦室实验室上方	78±3	楼房
21#	标准氦室实验室下方	105±4	楼房

注：1、测量时探头距离地面约 1m；  
 2、每个监测点测量 10 个数据取平均值，以上监测结果均已扣除仪器对宇宙射线的响应值；  
 3、环境  $\gamma$  辐射空气吸收剂量率=读数平均值×校准因子  $k_1$ ×仪器检验源效率因子  $k_2$ ÷空气比释动能和周围剂量当量的换算系数-屏蔽修正因子  $k_3$ ×测量点宇宙射线响应值  $D_c$ ，校准因子  $k_1$  为 1.08，仪器使用  $^{137}\text{Cs}$  进行校准，效率因子  $k_2$  取 1，换算系数为 1.20Sv/Gy， $k_3$  楼房取 0.8、平房取 0.9、原野和道路取 1，仪器对宇宙射线的响应值为 24nGy/h。

表 8-5 本项目  $\alpha$ 、 $\beta$  表面污染监测结果

监测点编号	监测点位置	检测结果 (Bq/cm <sup>2</sup> )	
		$\alpha$ 表面污染	$\beta$ 表面污染
1#	拟建活度计量实验室	≤0.01	≤0.06
2#	样品间/仪器室	≤0.01	≤0.06
3#	辐射检测处、更衣室	≤0.01	≤0.06
4#	中低能 X 射线剂量实验辐照室	≤0.01	≤0.06
5#	标准氦室实验室 (标准氦室)	<0.01	≤0.06
6#	标准氦室实验室东侧实验室	≤0.01	≤0.06
7#	走廊	≤0.01	≤0.06
8#	拟建标准氦室实验室 (小氦室)	<0.01	≤0.06
9#	新风机房	≤0.01	≤0.06

注：1、每个监测点测量 10 个数据取平均值；  
 2、CoMo170 型  $\alpha$ 、 $\beta$  表面污染仪/05038153 的  $\alpha$  表面污染探测下限为 0.01Bq/cm<sup>2</sup>， $\beta$  表面污染探测下限为 0.06Bq/cm<sup>2</sup>。

表 8-6 本项目氦气浓度监测结果

监测点编号	监测点位置	检测结果 (Bq/m <sup>3</sup> )
1#	标准氦室实验室 (标准氦室)	<3.7
2#	标准氦室实验室 (小氦室)	<3.7

注：1、每个监测点测量 10 个数据取平均值；  
2、RAD7 型 $\alpha$ 能谱氡气检测仪/05032581 的探测下限为 3.7Bq/m<sup>3</sup>。

## 8.5 对环境现状调查结果的评价

由表 8-4 监测结果可知，本项目拟建场所各监测点位室外（道路） $\gamma$ 辐射剂量率范围为 114nGy/h~117nGy/h，即  $11.4\times 10^{-8}$ Gy/h~ $11.7\times 10^{-8}$ Gy/h，室内 $\gamma$ 辐射剂量率为 78nGy/h~129nGy/h，即  $7.8\times 10^{-8}$ Gy/h~ $12.9\times 10^{-8}$ Gy/h。根据《浙江环境天然贯穿辐射水平调查研究》可知，杭州市室外（道路）的 $\gamma$ 辐射剂量率在  $2.8\times 10^{-8}$ Gy/h~ $22.0\times 10^{-8}$ Gy/h 之间；室内的 $\gamma$ 辐射剂量率在  $5.6\times 10^{-8}$ Gy/h~ $44.3\times 10^{-8}$ Gy/h 之间，可见本项目拟建场所各监测点位 $\gamma$ 辐射剂量率处于杭州市天然辐射本底水平。

由表 8-5 的监测结果可知，本项目拟建场所各监测点位 $\alpha$ 表面污染、 $\beta$ 表面污染监测值均小于检测下限，未见异常。

由表 8-6 的监测结果可知，本项目拟建场所氡气浓度监测值均小于检测下限，未见异常，且满足《室内氡及其子体控制要求》（GB/T 16146-2015）中“对新建建筑物室内氡浓度设定的年均氡浓度目标水平为 100Bq·m<sup>-3</sup>”的要求。

## 表 9 项目工程分析与源项

### 9.1 施工期工程分析

本项目辐射工作场所均位于计量科技创新实验楼内，有关主体工程施工期环境影响内容详见《浙江省质量技术基础计量创新基地工程环境影响报告表》有关章节，本次评价不再作相关的环境影响评价。

本项目主体工程建成后各辐射工作场所施工期主要为设备安装、调试，工程量较少，施工期主要的污染因子为：扬尘、施工人员生活污水、噪声及固体废物，屏蔽材料施工过程不会产生辐射影响，各射线装置在安装调试时，会产生 X 射线、臭氧和氮氧化物。

### 9.2 工程设备和工艺分析

#### 9.2.1 工业 CT

##### 9.2.1.1 设备组成

本项目拟使用的 AX-2000 型工业 CT 为自屏蔽设备，主要由 X 射线源、X 射线成像探测器、精密样品台、图像采集系统、三维图像重建和处理系统等组成，工业 CT 外观结构见图 9-1。

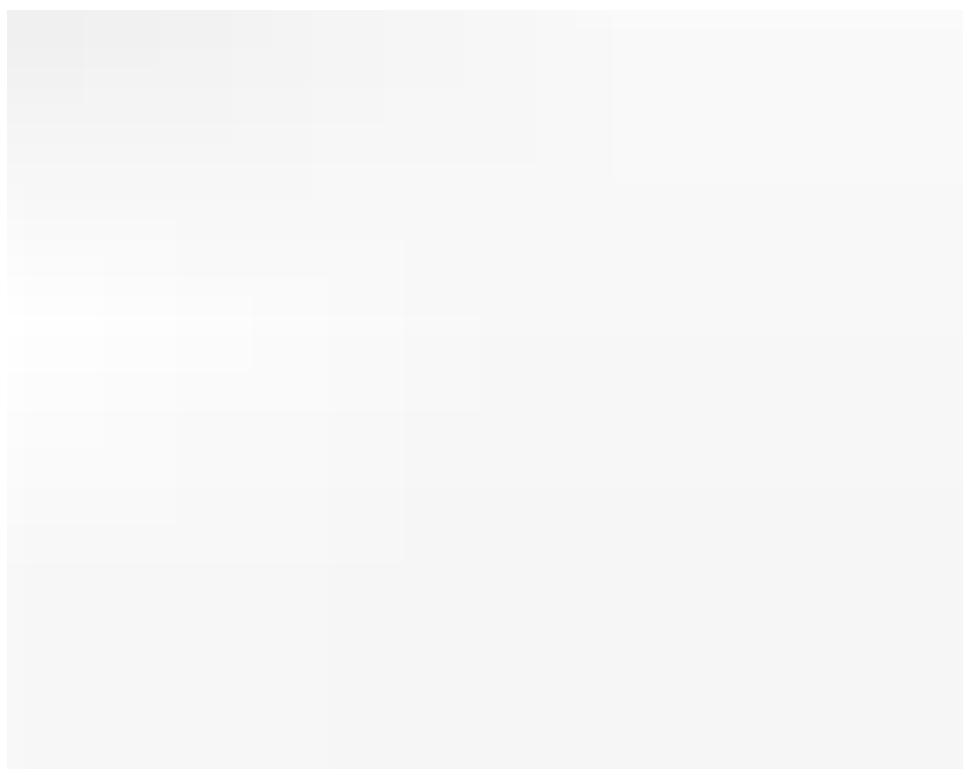


图 9-1 工业 CT 外观结构示意图

### 9.2.1.2 工作原理

电子计算机断层摄影（Computed Tomography，简称 CT）是近十年来发展迅速的电子计算机和 X 射线相结合的一项新颖的诊断新技术。其原理是基于多个投影数据应用计算机重建图像的一种方法，现代断层成像过程中仅仅采集通过特定剖面（被检测对象的薄层，或称为切片）的投影数据，用来重建该剖面的图像，因此也就从根本上消除了传统断层成像的“焦平面”以外其他结构对感兴趣剖面的干扰，“焦平面”内结构的对比度得到了明显的增强；同时断层图像中图像强度（灰度）数值能真正与被检对象材料的辐射密度产生对应的关系，发现被检对象内部辐射密度的微小变化。

工业 CT 主要由 X 射线管和高压电源组成。X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成，阴极是钨制灯丝，它装在聚焦杯中，当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。高电压加在 X 射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度，这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡从而产生 X 射线。典型的 X 射线管基本结构如图 9-2 所示。



图 9-2 典型 X 射线管示意图

### 9.2.1.3 工艺流程与产污环节

**开机：**工作人员打开电源、钥匙开关，启动计算机控制及分析系统；

**装载：**进行工件的 X 射线扫描前，辐射工作人员先打开样品门，将待检工件放在工业 CT 内部的载物台上，随后关闭样品门。

**调节，检测：**工作人员通过操作台的按钮调整好待测工件位置后，开启 X 射线

管，发出警报声，警示灯亮起，X射线管发射X射线。扫描过程中载物台旋转，X射线管可以在垂直方向移动。探测器接收透过待检工件的X射线信息，传送到计算机，由计算机经过软件处理输出图像。扫描完成后，警示灯熄灭。工作人员打开样品门并取出样品。

本项目工作流程及产污环节分析见图9-3。



图 9-3 工作流程及产污环节分析图

由图9-3可知，本项目工业CT运行时主要污染因子为X射线、臭氧和氮氧化物。

## 9.2.2 活度计量实验室

### 9.2.2.1 工作原理

活度计量实验室主要开展辐射检测设备校准和检定等工作。 $^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{131}\text{I}$ 均为辐射计量领域常用标准源，各自具备稳定可溯源的辐射特性： $^{18}\text{F}$ 为短半衰期正电子发射核素，衰变产生511keV特征 $\gamma$ 光子，主要用于活度计、PET设备及正电子相关探测器的校准检定； $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 为发射140keV单一能量 $\gamma$ 射线的短半衰期核素，是核医学活度量值传递的核心标准源，适用于活度计、 $\gamma$ 能谱仪、SPECT设备等校准检定； $^{131}\text{I}$ 为 $\beta$ - $\gamma$ 复合发射核素，释放364keV特征 $\gamma$ 射线，用于活度计、碘放射性监测仪及甲状腺相关检测设备校准检定。三类标准源均通过提供稳定、可溯源的标准辐射场，使待校准仪器或检定仪器探测其特征射线，并转换为计数率、活度值等电信

号，经仪器实测输出值与标准活度值比对，完成灵敏度刻度、示值校准、零点校正及系统误差修正，实现测量结果的量值溯源与准确性验证。

$^{85}\text{Kr}$  为长半衰期惰性气体 $\beta$ 放射性核素，活度长期稳定且可发射能量单一的 $\beta$ 粒子及特征 $\gamma$ 射线，能够提供均匀、稳定、可溯源至国家计量标准的标准辐射场；校准仪器以  $^{85}\text{Kr}$  标准源为核心校准基准，将待检辐射监测仪器（如惰性气体监测仪、 $\beta$ 探测器、 $\gamma$ 能谱仪等）与校准装置连通，待校准仪器通过探测  $^{85}\text{Kr}$  衰变释放的 $\beta/\gamma$ 射线，并将其转换为计数率、剂量率等可测量电信号，通过比对仪器实测输出值与  $^{85}\text{Kr}$  标准源的校准活度，完成仪器的灵敏度刻度、示值校准、零点校正及系统误差修正，实现待校准仪器测量结果的量值溯源与准确性验证，保障辐射监测数据的可靠性与计量一致性。



图 9-4 活度计自动检测装置示意图



图 9-5 放射性气体校装置示意图

### 9.2.2.2 检定规划

本项目建成后拟使用核素  $^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{85}\text{Kr}$  开展辐射检测设备校准和检定等工作，其中  $^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{131}\text{I}$  为液态放射性核素，贮存于铅罐内，单次最大使用量均为  $1.85 \times 10^7 \text{Bq}$ ； $^{85}\text{Kr}$  为气态放射性核素，贮存于专用气瓶内，初始活度为  $1 \times 10^8 \text{Bq}$ ，单次最大使用量为  $1 \times 10^7 \text{Bq}$ ，校准检定完成后核素全部回收至原气瓶内暂存。

表 9-1 活度计量实验室工作规划

使用场所	使用核素	开展频次	日最大工作量/台	年最大工作量/台	单次最大使用量/Bq	年最大使用量/Bq	用途	核素来源
活度计量实验室	$^{18}\text{F}$	每月开展5天	10	600	$1.85\text{E}+07$	$1.11\text{E}+10$	仪器校准或检定	外购
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$		10	600	$1.85\text{E}+07$	$1.11\text{E}+10$		
	$^{131}\text{I}$		10	600	$1.85\text{E}+07$	$1.11\text{E}+10$		
	$^{85}\text{Kr}$		1	250	$1.00\text{E}+07$	$1.00\text{E}+08^*$		

\*注：根据建设单位提供的资料， $^{85}\text{Kr}$  循环使用，约 10 年更换一次，因此年最大使用量按购置时初始活度计。

### 9.2.2.3 工作流程及产污环节

**预订药物：**本项目活度计量实验室规划使用  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{18}\text{F}$ 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{85}\text{Kr}$  开展辐射检测设备校准和检定工作，工作人员根据待检仪器数量向核素供应商预订核素  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{18}\text{F}$ 、 $^{131}\text{I}$ ，购买规格为铅罐罐装； $^{85}\text{Kr}$  为气态核素，贮存于专用气瓶内， $^{85}\text{Kr}$  专用气瓶更换周期约 10 年一次，实际更换时间结合气瓶使用状态、密封性及安全检查结果综合确定。上述核素不同时开展校准检定工作。

**分装测活：**工作人员接收核素  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{18}\text{F}$ 、 $^{131}\text{I}$  后直接将核素连同铅罐放置于通风橱内，工作人员在通风橱内对药物进行分装测活，得到指定活度的标准源；核素  $^{85}\text{Kr}$  专用气瓶贮存于放射源暂存室，使用时由机器自动导入，无需进行分装测活。

**活度检测：**工作人员将分装好的标准源以及标准仪器和待检仪器放置于活度计自动检测装置内或将  $^{85}\text{Kr}$  专用气瓶连接到放射性气体校准装置，并设置装置参数，启动装置后工作人员无需停留于实验室内。检测完成后由工作人员记录检测数据，取出标准仪器和待检仪器，若有残余核素，则将残余核素放置于铅罐转移至废物暂存间暂存；本项目  $^{85}\text{Kr}$  采用密闭专用气瓶贮存，检定过程在全密闭系统内完成，检定结束后，通过负压回收系统将仪器及管路内残留的  $^{85}\text{Kr}$  气体全部回收至原专用气瓶内，全过程由机器自动完成。

活度计量实验室工艺流程与产污环节详见图 9-6。



图 9-6 工作流程及产污环节分析图

由图 9-6 可知，本项目活度计量实验室使用过程中主要污染因子为 $\gamma$ 射线、 $\beta$ 射线、 $\beta$ 表面污染、韧致辐射、放射性固体废物、放射性废液、放射性废气。

#### 9.2.2.4 人员、物流路径规划（见附图 4-9）

##### ①工作人员路线

工作人员从东侧地下停车场经过道、缓冲区后进入活度计量实验室，活度计量检定结束后原路返回。

##### ②待检仪器路线

工作人员于每日上班前从实验室东侧样品间/仪器室移取当天待检仪器，将待检物件妥善摆放至活度计自动检测装置载物台上或放置在放射性气体校准装置上，检测完成后由工作人员将待检物件原路放回样品间/仪器室。

##### ③药物路线

放射性核素配送人员（供药单位）从东侧地下停车场经过道、缓冲区后进入活度计量实验室，将预定的放射性核素送至活度计量实验室通风橱内 $^{85}\text{Kr}$ 专用气瓶放置放射源暂存室内，由专人进行交接，交接过程均在监控下进行，建设单位拟制定放射性核素管理制度，做好放射性核素的台账管理，交接完成后工作人员即刻开展分装、测活，若有残余核素，则将残余核素放置于铅罐暂存于废物暂存间。

##### ③放射性固体废物路线

检定结束后工作人员将放射性废物转移至活度计量实验室南侧废物暂存间，放射性废物衰变至符合清洁解控水平后作为危险废物进行处置。

### 9.2.3 标准氦室实验室

#### 9.2.3.1 工作原理

标准氦室实验室主要开展对氦气及氦子体浓度测量仪等检测装置的检定检测。开展对氦气及氦子体浓度检测装置的检测工作时，将一个密封性良好的箱体与一个高稳定性高射气系数的固体镭源（ $^{226}\text{Ra}$ ）串联起来，固体镭源（ $^{226}\text{Ra}$ ）通过放射性衰变链发生 $\alpha$ 衰变，其衰变过程中会持续产生氦气，作为惰性气体的氦气可依托镭源自身高射气系数高效释放至连通管路，再利用一套氦监测系统连续监测氦试验箱内浓度的变化，并通过负反馈机制控制固体镭源（ $^{226}\text{Ra}$ ）制备氦气，向箱体补充气流量，从而实现对箱体中氦浓度的精确控制；通过向箱内补充一定粒径的气溶胶实现对氦子体水平的调控；在内部设置内循环风扇以确保箱体内氦浓度均匀和稳定，同时对环境参数（如：温度、湿度、气压）进行监测，为氦测量仪器提供稳定且均匀的已知氦浓度环境，利用标准源的标准值、标准仪器与被检对象的测量值进行比较，得到相应检测结果。氦试验箱示意图见图 9-7，工作原理示意图见图 9-8。

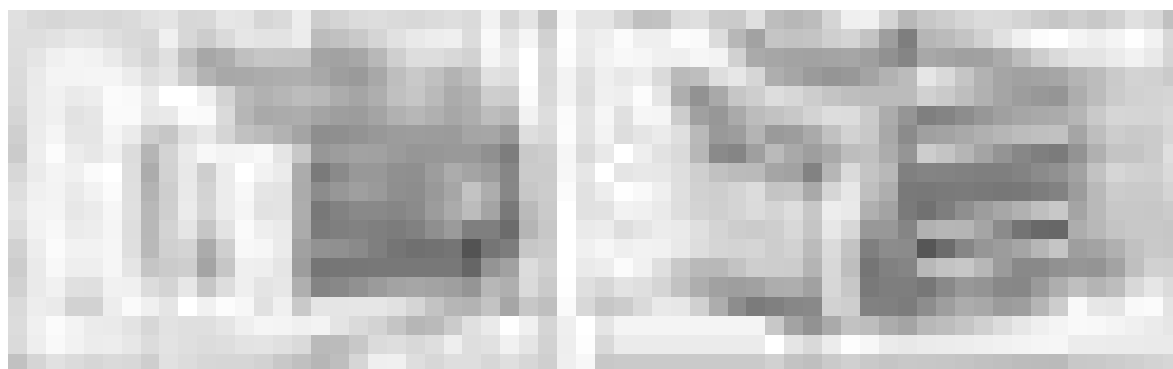


图 9-7 氦试验箱示意图

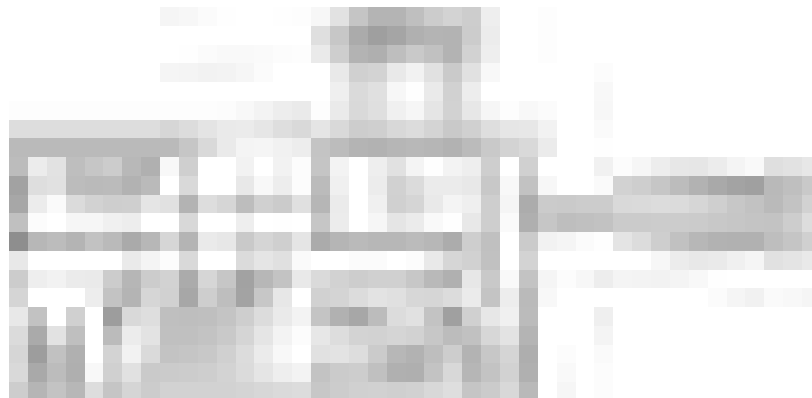


图 9-7 氦试验箱工作原理示意图

### 9.2.3.2 检定规划

本项目建成后拟配置 3 枚活度分别为 0.5MBq、1MBq 和 2MBq 固体镭源 ( $^{226}\text{Ra}$ ) 作为氡气 ( $^{222}\text{Rn}$ ) 发生源, 主要用于氡测量仪器及探测器的校准检定等工作。3 枚固体镭源 ( $^{226}\text{Ra}$ ) 并排布置于氡试验箱内部角落, 均采用不锈钢密封封装通过专用管道将衰变产生的氡气释放至氡试验箱内。根据建设单位提供的资料, 固体镭源 ( $^{226}\text{Ra}$ ) 实际操作中仅需约 3 小时即可富集至校准检定所需的目标氡气浓度。

$^{222}\text{Rn}$  来源于  $^{226}\text{Ra}$  的衰变, 将 0.5MBq、1MBq 和 2MBq 的镭源封存 1 天, 分别产生  $8.28\times 10^4\text{Bq}$ 、 $1.66\times 10^5\text{Bq}$  和  $3.31\times 10^5\text{Bq}$  的氡气 ( $^{222}\text{Rn}$ ) (详见 10.1.2), 则  $^{222}\text{Rn}$  最大日操作量为  $5.79\times 10^5\text{Bq}$ 。

### 9.2.3.3 工作流程及产污环节

**准备工作:** 工作人员检查氡试验箱循环系统、风机、温湿度传感器均正常后, 实际将根据待检仪器数量及目标氡气浓度需求, 通过在不同氡源箱中选择性取氡的方式精准调配, 减少氡气损耗, 再按检定需求设置氡源释放速率。

**仪器安装:** 将待检仪器通过管路连接至氡试验箱;

**氡浓度控制:** 启动氡试验箱, 等待氡气注入 3 小时左右, 达到目标氡气浓度, 期间可通过反馈系统调节氡源释放量和净化速率;

**检定记录:** 氡试验箱中氡及氡子体浓度达到设定要求后, 待检仪器进行检定, 检定过程中工作人员无需停留于标准氡室实验室内。检定结束后工作人员打开氡气回收系统, 将待检仪器内的氡气通过管路回收至氡试验箱内, 仅有少量残余氡气通过排风系统经活性炭吸附处置后排放。

**固体镭源 ( $^{226}\text{Ra}$ ) 贮存:** 将订购的镭源装至氡试验箱中, 仅在退役时取出更换。根据建设单位提供资料, 固体镭源更换时间结合固体镭源使用状态以及氡气析出效果综合确定。

**氡试验箱定期检查:** 氡试验箱定期检查, 每月 1 次, 每次约 1 小时, 重点检查设备运行、传感器、管路密封、氡源系统及安全设施等, 核对运行状态与数据准确性, 及时处理隐患, 保障试验箱稳定运行。



图 9-7 工作流程及产污环节分析图

由图 9-7 可知，本项目标准氦室实验室使用过程中主要污染因子为 $\alpha$ 射线、 $\gamma$ 射线、 $\alpha$ 表面污染、放射性固体废物、放射性废气。

#### 9.2.3.4 人员、物流路径规划（见附图 4-10）

本项目标准氦室实验室放射性固体废物主要为废气处理更换下来的废活性炭以及退役的固体镭源（ $^{226}\text{Ra}$ ），无其他类型放射性固体废物产生。因此，本项目标准氦室实验室主要为工作人员、待检仪器路径，且待检仪器与工作人员路线一致。

工作人员于每日上班前从样品间/仪器室移取当天待检仪器后乘坐电梯进入计量科技创新实验楼十六层，经过道进入标准氦室实验室，检定结束后原路返回。

#### 9.2.4 本项目核素使用情况及工作负荷

##### （1）非密封放射性核素相关放射性属性

本项目使用非密封放射性核素的有关参数见表 9-2。

表 9-2 本项目使用非密封放射性核素的相关放射性属性

核素名称	状态	半衰期	毒性级别	衰变方式	主要射线和能量（MeV）	活动种类
活度计量实验室						
$^{18}\text{F}$	液态	109.8min	低毒	$\beta^+$ 、EC	$\gamma$ 0.511	使用
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	液态	6.02h	低毒	I.T.	$\gamma$ 0.140	使用
$^{131}\text{I}$	液态	8.02d	中毒	$\beta^-$	$\gamma$ 0.365	使用
$^{85}\text{Kr}$	气态	10.75a	低毒	$\beta^-$	$\beta^-$ 0.687、 $\beta^-$ 0.173、 $\gamma$ 0.514	使用
标准氦室实验室						
$^{226}\text{Ra}$	固态	1600a	极毒	$\alpha$	$\alpha$ 4.8, $\gamma$ 0.351	使用
$^{222}\text{Rn}$	气态	3.82d	中毒	$\alpha$	$\alpha$ 5.49	使用

注：本项目  $^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{226}\text{Ra}$  各参数以及毒性组别参考《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）以及《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）； $^{222}\text{Rn}$  参数毒性级别根据《密封放射源 一般要求和分级》（GB4075-2009）中表 A.3。

## (2) 工作人员配备和工作负荷

根据建设单位提供的资料，项目正式开展后，每年工作 250 天，每周工作 5 天，每天工作 8h，本项目场所各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷见表 9-3。

表 9-3 各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷一览表

工作场所	工艺	操作内容	操作时间	人员数量
工业 CT 机房				
工业 CT 机房	无损检测	操作工业 CT	30s/次 (0.83h/d, 4.17h/week, 208.33h/a)	2 名
活度计量实验室				
活度计量实验室	分装	核素分装、测活	1min/次 (0.5h/d, 30h/a)	1 名
	摆件	摆放标准仪器与待检仪器	5min/次 (2.5h/d, 150h/a)	
	检定	仪器检定	1~8h/天 (日最多检定 31 台设备)	设备自动完成
标准氩室实验室				
标准氩室实验室	检定过程	检查氩试验箱状况	12h/a	2 名
		仪器检定	1~8h/天 (根据受检仪器数量)	设备自动完成

## 9.3 污染源项描述

### 9.3.1 正常工况下污染源项描述

#### 9.3.1.1 工业 CT

本项目工业 CT 在运行过程中不会产生放射性废液、废气及固体废物。本项目工业 CT 采用数字成像技术、计算机信息处理和图像重建技术，检测结果通过实时图像显示，通过计算机系统保存，不会产生废显（定）影液及胶片，其主要污染因子为 X 射线、臭氧及氮氧化物等。

##### ①X 射线

本项目工业 CT 为 II 类射线装置，由 X 射线装置的工作原理可知，X 射线是随机器的开、关而产生和消失。本项目工业 CT 只有在开机并处于出线状态时（曝光状态）才会发出 X 射线。因此，在开机曝光期间，X 射线成为污染环境的主要因子。

##### ②臭氧和氮氧化物

本项目工业 CT 运行时，由于 X 射线与空气电离作用，会产生少量臭氧和氮氧化物。

### 9.3.1.2 活度计量实验室

#### ① $\gamma$ 射线、 $\beta$ 射线、韧致辐射

在药物分装、测活以及仪器检定过程中产生的 $\gamma$ 射线、 $\beta$ 射线、韧致辐射。

#### ② $\beta$ 表面污染

工作人员在对放射性药物的操作中，会引起工作台、工作服和手套等产生放射性沾污，造成小面积的 $\beta$ 放射性表面污染。

#### ③放射性废液

本项目活度计量实验室检定过程中若出现核素洒漏，工作人员使用吸水纸进行去污。如发生特殊情况，工作人员可在场所淋洗区洗手池进行紧急冲洗，洗手池设置阀门可将放射性废水使用专用容器单独收集暂存于废物暂存间，每次冲洗产生的废水量为  $0.03\text{m}^3$ ，一年不超过 3 次，则年产废水量为  $0.09\text{m}^3/\text{a}$ 。

#### ④放射性固体废物

本项目活度计量实验室放射性固体废物主要为核素分装、测活过程中产生的废弃手套、破碎器皿、擦拭污染地面的物品、分装剩余核素以及废气处理更换下来的废活性炭等。其中废弃手套、破碎器皿、擦拭污染地面的物品和分装剩余核素等按照  $0.02\text{kg}/\text{d}$  计，则放射性固体废物年产生量约为  $5\text{kg}$ ；废气处理设施更换下来的废活性炭含有放射性核素，也属于固体放射性废物，本项目活度计量实验室共设有 2 套排风管道，排风口和通风橱的顶壁安装活性炭过滤装置，活性炭过滤装置装填量共  $10\text{kg}$ ，平均每半年换一次，则废活性炭年产生量为  $20\text{kg}$ ；根据建设单位提供资料， $^{85}\text{Kr}$  专用气瓶约 10 年更换一次，由  $^{85}\text{Kr}$  供源单位进行回收处置。

#### ⑤放射性废气

本项目放射性核素在分装、活度测量和鉴定过程中不需要加热、振荡等步骤，放射性核素所挥发的废气极少，因此，不进行定量分析。

### 9.3.1.2 标准氡室实验室

#### ① $\alpha$ 射线、 $\gamma$ 射线

本项目所使用  $^{226}\text{Ra}$  固体放射源及产生  $^{222}\text{Rn}$  其主要衰变形式为 $\alpha$ 衰变， $^{226}\text{Ra}$  固体放射源衰变过程会伴随少量 $\gamma$ 射线，因此本项目氡试验箱启动后主要污染源为 $\alpha$ 射线、 $\gamma$ 射线。

#### ②放射性固体废物

本项目标准氦室实验室放射性固体废物主要为废气处理更换下来的废活性炭以及退役的固体镭源（ $^{226}\text{Ra}$ ）。本项目标准氦室实验室设有 1 套排风管道，排风口安装活性炭过滤装置，活性炭过滤装置装填量共 5kg，平均每半年换一次，则废活性炭年产生量为 10kg；根据建设单位提供资料，固体镭源更换时间结合固体镭源使用状态以及氦气析出效果综合确定，更换时由固体镭源（ $^{226}\text{Ra}$ ）供源单位进行回收处置。

### ③放射性废气

本项目标准氦室实验室使用氦气进行检定，检定结束后标准氦室实验室开启排风系统，将箱体和场所内的氦气通过排风管经活性炭吸附后于楼顶排放至大气环境中，经空气扩散后，对周围环境影响较小。

## 9.3.2 非正常工况污染源项描述

### 9.3.2.1 工业 CT

根据建设单位工业 CT 的使用特点，在以下几种异常情况下工作人员或其他人员可能接触到高剂量 X 射线照射：

（1）安全联锁装置发生故障时，样品门或维修门未关闭时，外面人员启动工业 CT 进行检测，造成有关人员被误照，引发辐射事故。

（2）安全联锁装置发生故障，曝光工况下无关人员打开样品门或维修门，造成人员被照射，引发辐射事故。

### 9.3.2.2 活度计量实验室

根据建设单位活度计量实验的操作特点，在以下几种异常情况下工作人员或其他人员可能接触到高剂量照射：

（1）由于工作人员操作不熟练或违反操作规程或误操作等其他原因致使核素撒漏，造成意外照射和辐射污染。

（2）检定过程公众人员误入长期停留于活度计量实验室内部。

### 9.3.2.3 标准氦室实验室

根据建设单位标准氦室实验的操作特点，本项目存在由于工作人员操作不熟练或违反操作规程或设备故障等其他原因致使氦气直接泄漏，造成意外照射、辐射污染及中毒危险的意外情况。

#### **9.4 现有核技术利用项目工艺不足及改进情况**

本项目为扩建项目，新增射线装置和放射性核素的使用，不涉及原有辐射工作场所的内容，建设单位原有核技术利用项目运行过程正常，不存在环保问题和工艺的改进。

## 表 10 辐射安全与防护

### 10.1 项目安全设施

#### 10.1.1 工作场所布局

本项目工业 CT 及活度计量实验室均位于计量科技创新实验楼地下二层；标准氦室实验室位于计量科技创新实验楼十六层。具体布局情况见表 10-1。

表 10-1 本项目辐射工作场所布局情况

辐射场所	方位	周边房间及场所
工业 CT 机房	东侧	地下停车场
	南侧	配电房
	西侧	诊断与乳腺 X 射线剂量实验室辐照室
	北侧	过道
	上方	室外道路
	下方	地下停车场
活度计量实验室	东侧	样品间/仪器室和过道
	南侧	过道
	西侧	中低能 X 射线剂量实验室辐照室
	北侧	岩土层
	上方	室外道路、楼梯间和入口门厅大堂
	下方	地下停车场
标准氦室实验室	东侧	实验室区域
	南侧	过道
	西侧	新风机房和设备平台
	北侧	临空
	上方	屋面
	下方	研发中心区域

本项目工业 CT 机房位于计量科技创新实验楼地下二层电离辐射实验室区域，该区域入口处设置门禁，非相关人员无法进入，不属于人员密集的场所。本项目工业 CT 有用线束由东向西，操作位置位于工业 CT 北侧，避开了有用线束照射的方向。工业 CT 的布局设计既促进各个工艺的衔接，满足安全生产的需要，又便于进行分区管理和辐射防护。工业 CT 工作过程中产生的 X 射线经自屏蔽防护和距离衰减后对周围环境辐射影响是可接受的。

本项目活度计量实验室位于计量科技创新实验楼地下二层电离辐射实验室区域，该区域入口处设置门禁，非相关人员无法进入，不属于人员密集的场所。本项目活度计量实验室入口处设置缓冲区，缓冲区包含更衣、淋浴、去污工具，并配备放射性β表面污染监测仪，场所内设置废物暂存间，且与活度计量实验室相邻设置，降低了药物转移过程中可能出现的洒落情况，本项目实验室内场所清洗废水及工作人员手部清洗废水均采用专用容器收集暂存于废物暂存间，因此无须设置衰变池。

本项目标准氦室实验室位于计量科技创新实验楼十六层，位于建筑物的顶端（上方为屋面），实验室拟设置门禁系统，相关人员无法进入，不属于人员密集的场所。本项目标准氦室实验室拟购置 1 个氦试验箱，使用固体镭源（<sup>226</sup>Ra）富集氦气。开展检定过程工作人员为隔室操作，准备区内设置紧急去污工具以及排风措施，该场所涉及的核素主要衰变方式为α衰变，α射线无法穿透氦试验箱，衰变伴随的少量γ射线在经氦试验箱自带的屏蔽体屏蔽和距离衰减后对周围环境辐射影响是可接受的。

综上，本项目各辐射工作场所选址和布局合理，从辐射安全防护的角度而言，本项目的平面布局合理。

### 10.1.2 非密封放射性物质工作场所分级、分类

#### (1) 工作场所分级

本项目活度计量实验室使用的放射性同位素有 <sup>18</sup>F、<sup>99m</sup>Tc、<sup>131</sup>I、<sup>85</sup>Kr；标准氦室实验室使用的放射性同位素有 <sup>226</sup>Ra 和 <sup>222</sup>Rn。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）非密封源工作场所的分级原则及《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），放射性核素的日等效操作量计算公式见 10-1。修正因子见表 10-2、表 10-3，计算结果见表 10-4。

$$\text{放射性核素的日等效操作量} = \frac{\text{放射性核素的实际操作量} \times \text{毒性组别修正因子}}{\text{操作方式修正因子}} \dots\dots\dots \text{（式 10-1）}$$

**表 10-2 放射性核素毒性组别修正因子**

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

注：根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 D，查得 <sup>85</sup>Kr、<sup>18</sup>F 和 <sup>99m</sup>Tc 毒性分组为低毒组，<sup>131</sup>I 毒性分组为中毒组，<sup>226</sup>Ra 为极毒组；根据《密封放射源 一般要求和分级》（GB4075-2009）中表 A.3，<sup>222</sup>Rn 毒性分组为中毒组。

表 10-3 操作方式与放射源状态修正因子

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

根据建设单位提供的资料，本项目标准氦室实验室所用 3 枚固体  $^{226}\text{Ra}$  源（活度分别为 0.5MBq、1MBq、2MBq）为氦气（ $^{222}\text{Rn}$ ）发生源，放置于氦试验箱内部固定使用，无放射源编码，不纳入密封放射源统一管理，依据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），按非密封放射性物质进行评价。

氦试验箱作为一个使用氦气开展检定的非密封放射性物质工作场所， $^{222}\text{Rn}$  来源于  $^{226}\text{Ra}$  的衰变。 $^{226}\text{Ra}$  的半衰期为 1602a，而  $^{222}\text{Rn}$  的半衰期为 3.83d，母体核素与子体核素之间将建立长期平衡，其活度衰变遵循  $A=A_0 \times (1-e^{-\lambda t})$ （ $A_0$ ：初始活度； $\lambda$ ：为衰常数； $t$ ：累积时间）公式。将 0.5MBq、1MBq 和 2MBq 的镭源封存 1 天， $^{222}\text{Rn}$  的半衰期为 3.82d，代入上式计算得，0.5MBq、1MBq 和 2MBq 的镭源封存 1 天分别产生  $8.28 \times 10^4 \text{Bq}$ 、 $1.66 \times 10^5 \text{Bq}$  和  $3.31 \times 10^5 \text{Bq}$  的氦气（ $^{222}\text{Rn}$ ），则  $^{222}\text{Rn}$  最大日操作量为  $5.79 \times 10^5 \text{Bq}$ 。

表 10-4 本项目各场所分级计算表

工作场所	核素名称	实际最大日操作量 (Bq)	毒性组别修正因子	操作方式修正因子	日等效最大操作量 (Bq)	分级
计量科技创新实验楼地下二层活度计量实验室	$^{18}\text{F}$	1.85E+08	0.01	10	1.85E+05	/
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1.85E+08	0.01	10	1.85E+05	
	$^{131}\text{I}$	1.85E+08	0.1	10	1.85E+06	
	$^{85}\text{Kr}$	1.00E+07	0.01	0.1	1.00E+06	
合计					3.22E+06	丙级
计量科技创新实验楼十六层标准氦室实验室	$^{222}\text{Rn}$	5.79E+05	0.1	0.1	5.79E+05	/
	$^{226}\text{Ra}$	5.00E+05	10	1000	5.00E+03	
		1.00E+06	10	1000	1.00E+04	
		2.00E+06	10	1000	2.00E+04	
合计					6.14E+05	丙级

注：本项目  $^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{85}\text{Kr}$ 、 $^{222}\text{Rn}$  校准检定过程中均由机器全自动操作，无需人工操作， $^{226}\text{Ra}$  镭源贮存于专用容器内富集氦气（ $^{222}\text{Rn}$ ），根据《辐射防护手册》（第三分册）P143 中对操作类型的具体方式举例，本项目  $^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{85}\text{Kr}$ 、 $^{222}\text{Rn}$  的使用过程的操作方式视为“很简单的操作”， $^{226}\text{Ra}$  的使用过程的操作方式视为“源的贮存”。

经计算结果可知，本项目活度计量实验室场所非密封放射性核素日等效最大操作

量为  $3.22 \times 10^6 \text{Bq}$ ，标准氦室实验室场所非密封放射性核素日等效最大操作量为  $6.14 \times 10^5 \text{Bq}$ ，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的划分标准，均属于豁免活度值以上  $\sim 2 \times 10^7 \text{Bq}$  范围，故本项目两个场所均属于丙级非密封放射性物质工作场所。

### 10.1.3 分区原则和区域划分情况

#### (1) 分区原则

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防范工作，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求在放射性工作场所内划出控制区和监督区。

**控制区：**在正常工作情况下控制正常照射或防止污染扩散，以及在一定程度上预防或限制潜在照射，要求或可能要求专门防护手段和安全措施的限定区域。在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的电离辐射警告标志，并给出相应的辐射水平和污染水平指示。

**监督区：**未被确定为控制区，正常情况下不需要采取专门防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域。在监督区入口处的合适位置设立表明监督区的标牌。

#### (2) 区域划分

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）对控制区和监督区的定义，结合本项目辐射工作场所辐射防护和环境情况特点，本项目工业 CT 机房、活度计量实验室和标准氦室实验室辐射防护分区管理情况见表 10-5、附图 4-9 和附图 4-10。

**表 10-5 本项目辐射工作场所两区划分**

工作场所	控制区	监督区
工业 CT 机房	工业 CT 内部	工业 CT 机房内部（除工业 CT 内部）
活度计量实验室	活度计量实验室、废物暂存间	缓冲区、淋洗区、样品间/仪器室以及与控制区相连的其他场所或区域
标准氦室实验室	氦试验箱内部	标准氦室实验室内部（除氦试验箱内部）

**关于控制区与监督区的防护手段与安全措施，建设单位应做到：**

#### 1) 控制区防护手段与安全措施

①控制区进出口及其它适当位置处设立醒目的警告标志；

②制定职业防护与安全管理措施，包括适用于控制区的规则和程序；

③运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可制度）和实体屏障限制进出控制区；

④定期审查控制区的实际状况，以确保是否有必要改变该区的防护手段、安全措施或该区的边界。

## 2) 监督区防护手段与安全措施

①以黄线警示监督区的边界；

②在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；

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

④在缓冲区备有个人防护用品、工作服、污染监测仪和被污染防护衣具的贮存柜。

### 10.1.3 工作场所辐射屏蔽防护设计

#### (1) 工业 CT 机房

根据建设单位提供的资料可知，本项目 X 射线实时成像检测设备采用设备自带防护铅房进行实体屏蔽，本项目设备自带防护铅房的屏蔽防护情况详见表 10-6，防护设计见图 10-1。

表 10-6 自带防护铅房设计屏蔽情况一览表

设备名称	X 射线主射方向	防护铅房尺寸 长×宽×高	屏蔽体	尺寸及材料
工业 CT (AX-2000)	由东向西	2020mm×1070mm×1600mm	东侧	12mm 铅+6mm 铁
			南侧 (含维护门)	12mm 铅+4.5mm 铁
			西侧	16mm 铅+4mm 铁
			北侧 (含工件门)	12mm 铅+6mm 铁
			观察窗	15mmPb 铅玻璃
			顶部	12mm 铅+4mm 铁
			底部	12mm 铅+10mm 铁
			通风口和穿线孔屏蔽防护	12mm 铅板

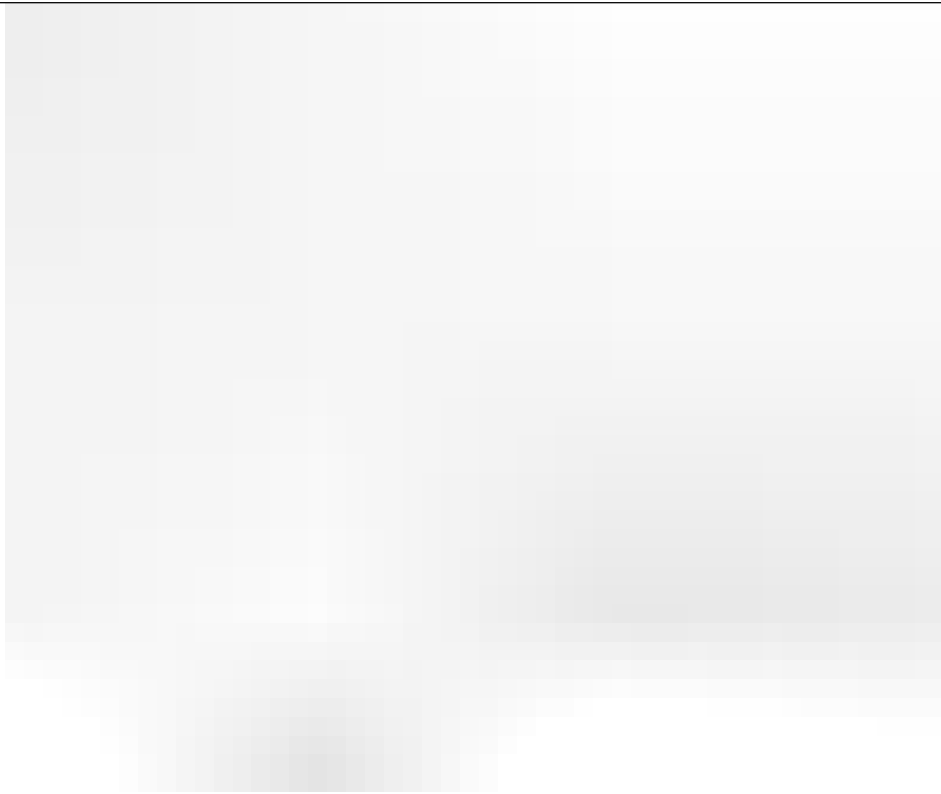


图 10-1 本项目设备防护铅房设计图

### (2) 活度计量实验室

本项目活度计量实验室工作场所屏蔽设计情况如表 10-7 所示。

表 10-7 本项目活度计量实验室工作场所辐射防护屏蔽设计方案

工作场所	屏蔽体	设计厚度
活度计量 实验室	东、南侧墙体	300mm 混凝土
	西、北侧墙体	1000mm 混凝土
	防护门	不锈钢门
	顶棚	300mm 混凝土+1600mm 岩土层
	地面	300mm 混凝土
废物暂存间	东、南、西侧墙体	200mm 实心砖
	北侧墙体	300mm 混凝土
	顶棚	300mm 混凝土+1600mm 岩土层
	地坪	300mm 混凝土
	防护门	不锈钢门

注：混凝土密度不低于 2.35g/cm<sup>3</sup>，本项目不考虑不锈钢门和岩土层的防护效果。

### (3) 标准氡室实验室

本项目氡试验箱具体型号未定，根据建设单位提供的资料氡试验箱主要采用不锈钢和冷轧钢板制作，可在一定程度上屏蔽固体镭源和 <sup>222</sup>Rn 使用过程中产生的 $\alpha$ 射线和少量 $\gamma$ 射线，因此不对其屏蔽防护提出要求。

## 10.1.4 辐射安全和防护、环保相关设施

### 10.1.4.1 工业 CT 机房

#### (1) 辐射安全和防护设施

本项目工业 CT 机房辐射安全防护措施与《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）符合性分析见表 10-8，防护措施示意图见图 10-2。

表 10-8 《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）符合性分析

《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）	项目情况	是否符合
6.1.1 探伤室的设置应充分注意周围的辐射安全，操作室应避开有用线束照射的方向并与探伤室分开。探伤室的屏蔽墙厚度应充分考虑源项大小、直射、散射、屏蔽物材料和结构等各种因素。无迷路探伤室门的防护性能应不小于同侧墙的防护性能。	本项目操作台已避开有用线束照射的方向，并与工业 CT 分开。工业 CT 有用射线固定由东向西照射，自屏蔽厚度已考虑源项直射、散射、屏蔽物材料和结构等各种因素，经计算四周屏蔽措施均符合要求。	符合
6.1.2 应对探伤工作场所实行分区管理，分区管理应符合 GB18871 的要求。	本项目拟将工业 CT 内部区域划为控制区，与外部相邻区划为监督区。	符合
6.1.3 探伤室墙体和门的辐射屏蔽应同时满足： a) 关注点的周围剂量当量参考控制水平，对放射工作场所，其值应不大于 100 $\mu$ Sv/周，对公众场所，其值应不大于 5 $\mu$ Sv/周；b) 屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 2.5 $\mu$ Sv/h。	经计算，本项目工业 CT 设备外表面 30cm 处的辐射剂量率满足屏蔽防护要求。	符合
6.1.4 探伤室顶的辐射屏蔽应满足： a) 探伤室上方已建、拟建建筑物或探伤室旁邻近建筑物在自辐射源点到探伤室顶内表面边缘所张立体角区域内时，探伤室顶的辐射屏蔽要求同 6.1.3； b) 对没有人员到达的探伤室顶，探伤室顶外表面 30cm 处的周围剂量当量率参考控制水平通常可取 100 $\mu$ Sv/h。	经计算，本项目工业 CT 顶部可达到要求。	符合
6.1.5 探伤室应设置门-机联锁装置，应在门（包括人员进出门和探伤工件进出门）关闭后才能进行探伤作业。门-机联锁装置的设置应方便探伤室内部的人员在紧急情况下离开探伤室。在探伤过程中，防护门被意外打开时，应能立刻停止出束或回源。探伤室内有多台探伤装置时，每台装置均应与防护门联锁。	本项目工业 CT 拟设置门-机联锁装置，在门关闭后射线装置才能启动正常出束。在探伤过程中，防护门被意外打开时，将立刻停止出束。	符合
6.1.6 探伤室门口和内部应同时设有显示“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置，并与探伤机联锁。“预备”信号应持续足够长的时间，以确保探伤室内人员安全离开。“预备”信号和“照射”信号应有明显的区别，并且应与该工作场所内使用的其他报警信号有明显区别。在醒目的位置处应有对“照射”和“预备”信号意义的说明。	本项目的射线装置自带有工作状态指示灯和声音提示装置，指示灯具有三种工作状态指示，能够反映不同的工作状态：绿灯（仪器处于开机状态），黄灯（箱体或防护门处于未关闭状态，不能开启射线源），红灯（射线源处于出束状态），建设单位将在工业 CT 机房内醒目位置张贴不同工作状态指示意义的说明。	符合
6.1.7 探伤室内和探伤室出入口应安装监视装置，在控制室的操作台应有专用的监视器，可监视探伤室内人员的活动和探伤设备的运行情况。	工业 CT 机房内安装有监控设施，可以通过监控观察到辐射工作人员的活动和设备运行状态。	符合
6.1.8 探伤室防护门上应有符合 GB 18871 要求的电离辐射警告标志和中文警示说明。	工业 CT 外表面和机房门外醒目处均张贴电离辐射警告标志和中文警示说明。	符合
6.1.9 探伤室内应安装紧急停机按钮或拉绳，确保出现紧急事故时，能立即停止照射。按钮或拉绳的安装，应使人员处在探伤室内任何位置时都不需要穿过主射线束就能够使用。按钮或拉绳应带有标签，标明使用方法。	射线装置正面机身醒目位置设有 1 个急停按钮，急停按钮将标明功能和使用方法，发生紧急事故时可以迅速切断设备的多项部件的电源，立即停止出束。	符合
6.1.10 探伤室应设置机械通风装置，排风管道外口避免朝向人员活动密集区。每小时有效通风换气次数应不小于 3 次。	本项目设备顶部自带动力排风装置，排风量 162m <sup>3</sup> /h，每小时通风换气次数约 46 次。	符合

根据上述对照分析结果可知，本项目工业 CT 采取的辐射安全与防护措施基本符合《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的相关要求。



图 10-2 本项目工业 CT 工业防护措施位置示意图

## （2）工业 CT 的检查和维护

### ①工作前检查项目：

- 1) 工业 CT 外观是否完好；
- 2) 电缆是否有断裂、扭曲以及配件破损；
- 3) 安全连锁是否正常工作；
- 4) 报警设备和警示灯是否正常运行；
- 5) 螺栓等连接件是否连接良好；

### ②定期检查项目：

- 1) 电气安全，包括接地和电缆绝缘检查；
- 2) 所有的联锁和急停按钮的检查；
- 3) 制造商推荐的其他常规检测项目。

③设备维护要求：

- 1) 建设单位应对工业 CT 的设备维护负责，每年至少维护一次。设备维护应由受过专业培训的工作人员或设备制造商进行；
- 2) 设备维护包括工业 CT 的彻底检查和所有零部件的详细检测；
- 3) 当设备有故障或损坏需更换零部件时，应保证所更换的零部件为合格产品；
- 4) 应做好设备维护记录。

### 10.1.4.2 活度计量实验室、标准氡室实验室

#### (1) 辐射安全防护措施

本项目活度计量实验室及标准氡室实验室辐射安全防护措施参照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）进行符合性分析，详见表 10-9。

**表 10-9 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）符合性分析**

《核医学辐射防护与安全要求》 (HJ1188-2021)	本项目情况	是否符合要求
放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽。放射性物质应贮存在专门场所的贮存容器或保险箱内，定期进行辐射水平监测，无关人员不应入内。贮存的放射性物质应建立台账，及时登记，确保账物相符。	活度计量实验室放射性核素接收后连同铅罐放置于通风橱内，工作人员接收核素后即刻开展工作不暂存；定期对活度计量实验室进行辐射水平监测并记录，入口处设置门锁及警告标志、警示语句，无关人员不得进入；安排专人管理，建立放射性物质台账，及时登记，确保账物相符。 标准氡室实验室固体镭源及其产生的氡气均位于氡试验箱内部，氡试验箱整体采用不锈钢和冷轧钢板进行屏蔽，能有效阻止固体镭源使用过程中产生α射线和少量γ射线；定期对标准氡室实验室进行辐射水平监测并记录，入口处设置门锁及警告标志、警示语句，无关人员不得进入；安排专人管理，建立放射性物质台账，及时登记，确保账物相符。	符合
核医学工作场所的放射性核素操作设备的表面、工作台台面等平整光滑，室内地面与墙壁衔接处应无接缝，易于清洗、去污。	本项目涉及放射性核素操作设备的表面、工作台台面等拟采用不锈钢、专用防渗塑胶板等饰面，确保表面平整光滑，室内地面铺设防渗塑胶地板、在墙面施工至少离地50cm，能够保证地面与墙壁衔接处无接缝，易于清洗、去污。	符合
操作放射性药物场所级别达到乙级应在手套箱中进行，丙级可在通风橱内进行。应为从事放射性药物操作的工作人员配备必要的防护用品。	活度计量实验室场所级别为丙级非密封放射性物质场所，其放射性药物操作均在通风橱中进行。 固体镭源均位于氡试验箱内部，不涉及相关操作过程	符合
操作放射性药物的控制区出口应配有表面污染监测仪器，从控制区离开的人员和物品均应进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，应采取相应的去污措施。	活度计量实验室出口设有缓冲区，设有洗涤去污设施和表面污染检测仪器，工作人员及其物品离开控制区前进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，将进行清洗去污直至表面污染水平满足控制标准要求。 标准氡室实验室内部设有表面污染检测仪器，检定仪器退出氡试验箱时应进行表面污染检测，如表面污染	符合

	水平超出控制标准，将进行清洗去污直至表面污染水平满足控制标准要求。	
核医学工作场所应保持有良好的通风，工作场所的气流流向应遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，保持工作场所的负压和各区之间的压差，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。	活度计量实验室通风进行了专门的设计，能保持良好的通风。实验室内部通过管线设计及压差控制，能够保证工作场所的气流自清洁区向监督区再向控制区的方向流动，并保持工作场所的负压和各区之间的压差，以防止放射性气体对工作场所造成交叉污染。	符合
	氦试验箱独立的通排风系统，并配有专用活性炭进行处理。箱体为密闭容器，可有效防止放射性气体对工作场所造成交叉污染。	
放射性物质的合成、分装以及挥发性放射性核素的操作应在手套箱、通风橱等密闭设备中进行，防止放射性液态泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭或其他过滤装置。通风橱应有足够的通风能力。碘-131 治疗病房以及设有通风橱、手套箱等场所的通风系统排气口应高于本建筑物屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑。	活度计量实验室药物操作均在通风橱中进行，通风橱设置单独的排风系统，废气经通风橱顶部活性炭吸附后通至计量科技创新实验楼楼顶排放。	符合
	固体镭源均位于氦试验箱内部，箱体设置了独立的通排风系统，并配有专用活性炭进行处理，废气经专用活性炭吸附后通至计量科技创新实验楼楼顶排放。	
应为核医学工作场所内部放射性物质运送配备有足够屏蔽的贮存、转运等容器，容器表面应张贴电离辐射标志，容器在运送时应有适当的固定措施。	本项目药物运送时放置于铅罐中，进入活度计量实验室后不涉及其他放射性物质运送活动。	符合
	固体镭源均位于氦试验箱内部，不涉及转运活动。	

根据上述对照分析结果可知，本项目活度计量实验室及标准氦室实验室采取的辐射安全与防护措施基本符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的相关要求。

## （2）工作场所拟配置的防护用品和设备表

参照《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中个人防护用品的配置要求，结合本项目的情况，本项目拟配置的防护用品和设备表见表 10-10。

**表 10-10 本项目拟配置的防护用品和设备表**

序号	种类名称	设置场所	数量	备注
活度计量实验室				
1	储源铅罐	通风橱内部	供药方提供	核素自带铅罐 <sup>18</sup> F: 50mmPb; <sup>99m</sup> Tc: 20mmPb; <sup>131</sup> I: 40mmPb
2	废物衰变箱	废物暂存间	4	2mmPb
3	通风橱	活度计量实验室	1 个	/
4	活度计	活度计量实验室	1 台	/
5	NIMDOS-A 活度计自动检测装置	活度计量实验室	1 台	/
6	废物衰变箱	活度计量实验室	1 个	2mmPb
7	工作服、工作帽、工作鞋、手套、口罩等	缓冲区	若干	/
8	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	缓冲区	2 套	0.5mmPb
9	个人剂量计	人员随身携带	1 个/人	增配
10	表面污染监测仪	缓冲区	1 台	增配

11	便携式 X-γ辐射剂量率巡测仪	缓冲区	1台	依托现有
标准氦室实验室				
1	氦气浓度计	氦试验箱	1台	/
2	氦试验箱	标准氦室实验室	1台	增配
3	表面污染监测仪	标准氦室实验室	1台	增配
4	便携式 X-γ辐射剂量率巡测仪	标准氦室实验室	1台	依托现有
5	个人剂量计	人员随身携带	1个/人	增配
工业 CT 机房				
1	便携式 X-γ辐射剂量率巡测仪	工业 CT 机房	1台	依托现有
2	个人剂量计	人员随身携带	1个/人	增配
3	个人剂量报警仪	操作位	1台	增配

### (3) 放射性药物的存放控制措施

本项目活度计量实验室采取外购方式获取放射性核素；标准氦室实验室采取外购固体镭源（ $^{226}\text{Ra}$ ）作为氦气（ $^{222}\text{Rn}$ ）发生源，固体镭源安装于氦试验箱内，仅在退役时取出更换，氦试验箱内目标氦气浓度通过控制系统进行控制

活度计量实验室提前一天向供药单位订购所需放射性核素，供药单位根据工作规划在指定时间段，将预约用量的核素送至活度计量实验室，工作人员接收放射性核素，经确认无误完成相关交接手续后将药物连同铅罐放置于通风橱中，并即刻开展分装、测活，若有残余核素，则将残余核素放置于铅罐暂存于废物暂存间，其中  $^{85}\text{Kr}$  专用气瓶购置后贮存于放射源暂存室，使用时将气瓶移动至放射性气体校准装置旁进行连接，无需进行分装、测活，校准完成后核素全部回收至原气瓶内暂存。

活度计量实验室相关工作人员需承担放射性核素的管理，并建立健全放射性核素的交接、保管、注销登记和定期检查制度，需设置专门的台账（如交收账、库存账、消耗账），加强对放射性核素的管理，严防丢失。放置放射性核素的容器必须容易开启和关闭，容器外必须有明显的标签（注明元素名称、理化状态、射线类型、活度水平、存放起止时间、存放负责人等）。不得将放射性核素与易燃易爆及其他危险物品放在一起。

### (4) 表面污染控制措施

为保证非密封放射性物质工作场所的表面污染水平达到《电离辐射防护源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准，环评提出以下管理措施和要求：

- ①放射性核素应当有良好的外包装，送入后要妥善储存及转移，防止意外撒漏；
- ②操作放射性核素时，须在通风橱内进行，防止放射性物质撒漏；所有涉及放射

性核素操作都必须在铺衬有吸水纸的瓷盘内进行；

③放射性核素操作人员应当定期参加相关专业培训，具备相应的技能与防护知识，并配备适当的防护用品。

④操作台、地面应当选用易于清污的材料或材质，并且每次操作完成后应当使用表面污染监测仪器对操作台、地面、个人防护用品等进行表面污染监测，并购买放射性表面去污用品和试剂进行去污，以满足《电离辐射防护源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准值。

### **（5）氦气污染防治措施**

建设单位应定期开展氦试验箱气密性检查，及时排查并封堵泄漏隐患；同时定期对氦室内壁、排气管道及实验室地面、墙面开展表面污染监测，严控氦子体沉积水平，防止氦气泄漏及氦子体长期积累形成固定性放射性污染，切实降低辐射环境风险。

### **（6）人员防护措施**

#### **①辐射工作人员的防护**

在实际工作中，为了减少辐射工作人员所受到的照射剂量，普遍采用屏蔽防护、时间防护和距离防护。

将辐射源安置在专用、固定的工作场所内，通过场所的有效实体屏蔽辐射源产生的有害辐射；为辐射工作人员配备铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜等个人防护用品；本项目校准检定过程可通过活度计自动检测装置或氦试验箱自动开展，在此期间辐射工作人员可离开活度计量实验室，最大限度减少放射源对其的影响。

#### **②其他公众的防护**

为防止无关人员意外进入，活度计量实验及标准氦室实验室门均设有门禁系统，避免无关人员进入控制区。

## **10.2 三废的治理**

### **10.2.1 工业 CT 机房**

本项目工业 CT 使用过程中无废水、固废产生，其主要污染因子为 X 射线、臭氧和氮氧化物。

#### **10.2.1.1 臭氧及氮氧化物**

根据 X 射线的工作原理，本项目工业 CT 在工作时产生 X 射线，造成设备内空气电离，产生一定量的臭氧和氮氧化物。本项目工业 CT 体积约为 3.46m<sup>3</sup>，设备顶部自带动力排风装置，排风量 162m<sup>3</sup>/h，每小时通风换气次数约 46 次，臭氧及氮氧化物通过设备顶部自带排风装置排放至工业 CT 机房内，再通过工业 CT 机房通风系统排至室外，降低室内臭氧和氮氧化物的浓度，臭氧在一段时间内自动分解为氧气，对周围环境空气质量影响较小。工业 CT 排风口位于设备顶部，不朝向人员活动密集区，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中“探伤室应设置机械通风装置，排风管道外口避免朝向人员活动密集区。每小时有效通风换气次数应不小于 3 次”的要求。

#### **10.2.1.2 工业 CT 退役及报废管理要求**

按照《浙江省辐射环境管理办法》和《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）要求，建设单位工业 CT 不再使用或报废时，应实施退役程序。包括以下内容：

- （1）X 射线发生器应处置至无法使用，或经监管机构批准后，转移给其他已获许可机构。
- （2）清除所有电离辐射警告标志和安全告知。
- （3）需要报废 X 射线装置的，建设单位应当对射线装置内的高压射线管进行拆解，并报颁发辐射安全许可证的生态环境主管部门核销。

#### **10.2.2 活度计量实验室、标准氦室实验室**

本项目辐射工作场所三废治理遵循以下原则：

- （1）根据放射性固体废物产生废物的形态及放射性核素的种类、半衰期、活度水平和理化性质等，按放射性固废分类要求进行分类收集和分别处理。
- （2）按照废物最小化的原则区分放射性固体废物与解控废物，不能混合处理，尽量控制和减少放射性固体废物产生量。
- （3）辐射工作场所产生的短半衰期的放射性固体废物尽量利用贮存衰变的方法进行处理，待放射性核素活度浓度满足解控水平后，实施解控，作为危险废物委托有资质单位处置。不能解控的放射性废物，送交有相应资质单位进行处理。

- （4）建立放射性废物收集、贮存、排放管理台账，做好记录并存档备案。

本项目活度计量实验室、标准氦室实验室使用过程中涉及的三废为放射性固体废

物和放射性废气以及活度计量实验室应急时产生的放射性废液。

### 10.2.2.1 放射性固体废物

#### (1) 活度计量实验室

本项目活度计量实验室放射性固体废物主要为核素分装、测活过程中产生的废弃手套、破碎器皿、擦拭污染地面的物品、分装剩余核素以及废气处理更换的废活性炭等。放射性固体废物按照暂存时间相近原则实施分类存放，将含核素  $^{18}\text{F}$  和  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  放射性固体废物分为一类；含核素  $^{131}\text{I}$  放射性固体废物分为一类，暂存时间满足标准要求后（含核素  $^{18}\text{F}$  和  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  的固体放射性废物暂存时间超过 30 天；含  $^{131}\text{I}$  核素的固体放射性废物暂存超过 180 天），经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， $\alpha$ 表面污染小于  $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ ， $\beta$ 表面污染小于  $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，可对废物清洁解控并作为危险废物处置。

根据建设单位提供资料， $^{85}\text{Kr}$  暂存于专用气瓶内，使用时由机器自动导入回收，无需进行分装测活，全程均在密闭状态下进行。因此正常工况下场所内不产生含核素  $^{85}\text{Kr}$  放射性固体废物。 $^{85}\text{Kr}$  专用气瓶约 10 年更换一次，由  $^{85}\text{Kr}$  供源单位进行回收处置。在非正常工况下产生的泄漏均由场所内的排风系统引至屋顶经活性炭吸附后排放，按照单次最大使用量  $1.00\text{E}+07\text{Bq}$  泄漏进行计算，年非正常工况 1 次计，即使活性炭吸附效率达到 100%，理论上半年后更换下来的活性炭吸附的  $^{85}\text{Kr}$  活度浓度不超过  $1000\text{Bq}/\text{g}$  ( $1.00\text{E}+07\text{Bq}\div 10000\text{g}=1000\text{Bq}/\text{g}$ )，小于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）表 A1 中  $^{85}\text{Kr}$  的豁免活度浓度 ( $1.00\times 10^5\text{Bq}/\text{g}$ )。因此，非正常工况下含核素  $^{85}\text{Kr}$  的废活性炭按照正常工况下的含核素  $^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$  和  $^{131}\text{I}$  的放射性固体废物进行处置。

#### (2) 标准氦室实验室

本目标标准氦室实验室放射性固体废物主要为处理更换的废活性炭以及退役的固体镭源 ( $^{226}\text{Ra}$ )。根据建设单位提供资料，氦试验箱使用固体镭源 ( $^{226}\text{Ra}$ ) 富集的  $^{222}\text{Rn}$  进行校准检定，结束后将氦气回收至氦试验箱内，仅有少量残余氦气通过排风系统经活性炭吸附处置后排放。根据前文计算  $0.5\text{MBq}$ 、 $1\text{MBq}$  和  $2\text{MBq}$  的镭源封存 1 天产生的氦气日最大活度为  $5.79\times 10^5\text{Bq}$ ，残余氦气活度按 1% 计，即  $5.79\times 10^3\text{Bq}$ ，即使活性炭吸附效率达到 100%，理论上半年（125 个工作日）后更换下来的活性炭吸附的  $^{222}\text{Rn}$  活度不超过  $2.91\times 10^4\text{Bq}$ 、活度浓度不超过  $5.82\text{Bq}/\text{g}$ ，小于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）表 A1 中  $^{222}\text{Rn}$  的豁免活度 ( $1.00\times 10^8\text{Bq}$ ) 和活度

浓度（10Bq/g）限值。因此，更换下来的废活性炭作为一般固体废物处置；根据建设单位提供资料，固体镭源更换时间结合固体镭源使用状态以及氦气析出效果综合确定，更换时由固体镭源（<sup>226</sup>Ra）供源单位进行回收处置。

#### **10.2.2.2 放射性废气**

本项目活度计量实验室共设有 2 套排风管道，活度计量实验室通风橱单独设置一套排风系统，废物暂存间、卫生通过间共用一套排风系统，校准检定过程产生的放射性废气经排风系统收集，排风管道最终经排风井引至计量科技创新实验楼楼顶排放；标准氦室实验室氦试验箱单独设置了排风系统，箱体内气体经排风系统收集通过排风管道最终引至计量科技创新实验楼楼顶排放。

本项目排放口已尽量远离邻近的高层建筑，排风管设置止回阀，防止气流倒灌，通风橱顶壁和排风口均设活性炭吸附装置，共设有 3 套活性炭吸附装置，每套吸附装置活性炭 1 次装填量约为 5kg，平均每半年更换一次。

#### **10.2.2.3 放射性废液**

本项目活度计量实验室检定过程中若出现核素洒漏，工作人员使用吸水纸进行去污。如发生特殊情况，工作人员可在场所淋洗区洗手池进行紧急冲洗，洗手池设置阀门，产生的放射性废水采用 30L 专用容器单独收集暂存于废物暂存间，其中含核素 <sup>18</sup>F 和 <sup>99m</sup>Tc 的放射性废液暂存时间超过 30 天；含 <sup>131</sup>I 核素的放射性废液暂存超过 180 天后排入市政污水管网。

## 表 11 环境影响分析

### 11.1 建设阶段对环境的影响

#### 11.1.1 施工期环境影响分析

本项目依托现有计量科技创新实验楼实施建设，拟在该楼地下二层设置 1 间工业 CT 机房和 1 间活度计量实验室，十六层新建标准氦室实验室，全部建设内容均在现有建筑内开展。本项目施工期主要为屏蔽防护门安装及设备安装、调试。

#### 11.1.2 设备安装调试期环境影响分析

本项目射线装置在安装调试过程中会产生 X 射线、臭氧和氮氧化物，因安装调试时间短，各污染物产生量很少，且调试结束关机后，X 射线将即时消除，因此，本项目设备安装调试造成的环境影响很小。

本项目设备的安装、调试应请设备厂家专业人员进行，建设单位不得自行安装及调试设备。在设备安装调试阶段，应加强辐射防护管理，在此过程中应保证屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。设备安装调试阶段，不允许其他无关人员进入机房所在区域，防止辐射事故发生。由于设备的安装和调试均在机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响是可接受的。设备安装完成后，建设单位需及时回收包装材料及其它固体废物并作为一般固体废物进行处置，不得随意丢弃。

### 11.2 运行阶段对环境的影响

#### 11.2.1 工业 CT

##### 11.2.1.1 辐射环境影响分析

本项目通过理论计算评价方法来预测运行期工业 CT 投入使用后的辐射环境影响。本项目工业 CT 型号为 AX-2000，最大管电压为 160kV，最大管电流为 0.5mA，有用射线固定由东向西照射，通过工业 CT 自屏蔽体对 X 射线进行防护。本次计算以装置最大管电压、最大管电流运行时对设备周边辐射环境影响进行预测，预测计算模式采用《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）及其修改单中相关公式。

##### （1）关注点位的选取

本项目工业 CT 的 X 射线管的线束角度为锥形 40°，工业 CT 关注点情况见图

11-1、图 11-2。



图 11-1 本项目关注点分布示意图 1

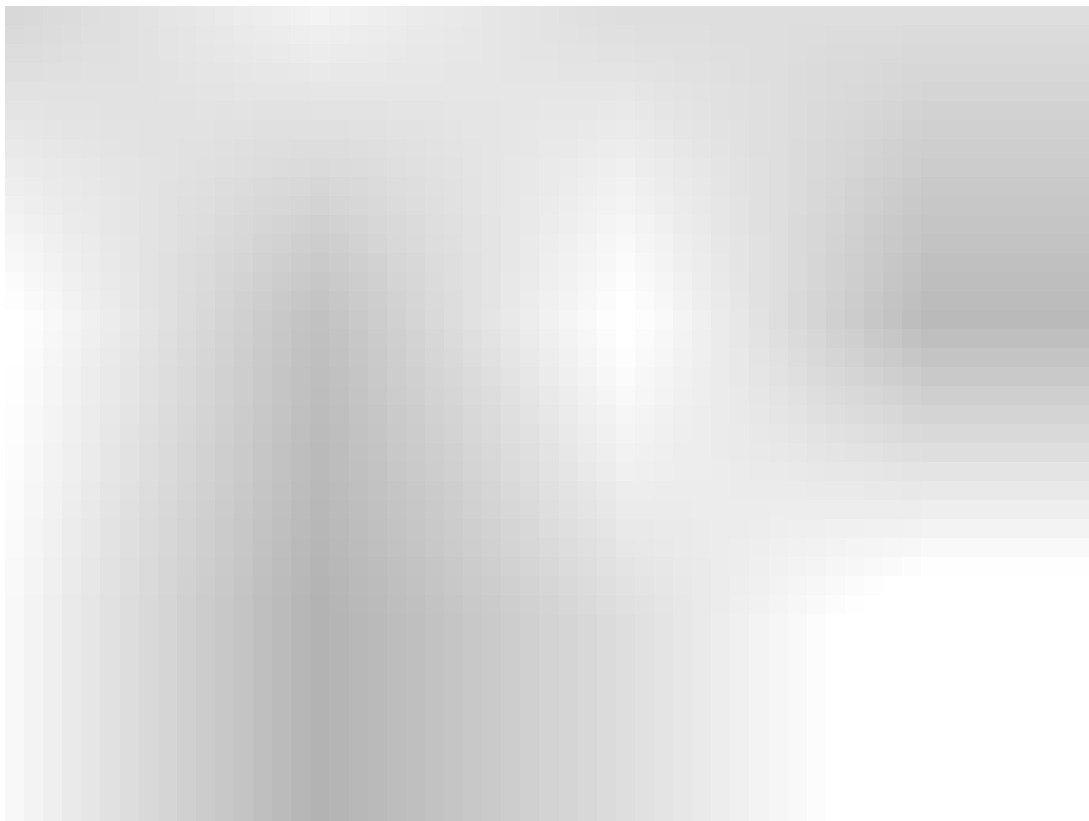


图 11-2 本项目关注点分布示意图 2

由上图 11-1 和图 11-2 可知，当本项目工业 CT 有用线束照射范围覆盖西侧和部分顶部区域，因此，该部分区域按有用线束照射进行估算，其余五侧以及剩余顶部

区域则按泄漏辐射和散射辐射（非有用线束）照射进行估算。

## （2）辐射剂量参考控制水平

根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022），本项目工业 CT 周围屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 2.5 $\mu$ Sv/h。

## （3）公式及参数选取

①有用线束的屏蔽估算方法如下：

在给定屏蔽物质厚度 X 时，由《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）附录 B.1 曲线查出相应的屏蔽透射因子 B。关注点的剂量率 H（ $\mu$ Sv/h）按式 11-1 计算：

$$H = \frac{I \cdot H_0 \cdot B}{R^2} \quad \text{式 11-1}$$

式中：

I——X 射线探伤装置在最高管电压下的常用最大管电流，单位为毫安（mA）；

H<sub>0</sub>——距辐射源点（靶点）1m 处输出量，单位为  $\mu$ Sv·m<sup>2</sup>/（mA·h），以 mSv·m<sup>2</sup>/（mA·min）为单位的值乘以 6.0×10<sup>4</sup>；本项目工业 CT 最大管电压为 160kV，根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）表 B.1 内插法取得，当管电压为 160kV、过滤条件：2mm 铝，输出量 H<sub>0</sub>=20.38mGy·m<sup>2</sup>/（mA·min），即 1.22×10<sup>6</sup> $\mu$ Sv·m<sup>2</sup>/（mA·h）进行计算；

B——屏蔽透射因子，本项目设备最大管电压 160kV 状态下屏蔽透射因子由《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）图 B.1 取得，因图中无 160kV 下 X 射线穿过 12mmPb、15mmPb 和 16mmPb 铅的透射曲线，本项目保守考虑 200kV 下 X 射线穿过铅的透射曲线；当管电压为 200kV，铅厚度约 6.6mm 时，X 射线穿过铅的透射因子为 1.0×10<sup>-6</sup>；铅厚度约 1.8mm 时，X 射线穿过铅的透射因子为 9.0×10<sup>-3</sup>；铅厚度约 2.8mm 时，X 射线穿过铅的透射因子为 9.6×10<sup>-4</sup>；铅厚度约 5.4mm 时，X 射线穿过铅的透射因子为 9.2×10<sup>-6</sup>；

R——辐射源点（靶点）至关注点的距离，单位为米（m）。

②泄漏辐射屏蔽的估算方法如下：

按式（11-2）计算泄漏辐射在关注点的剂量率 H，单位为微希每小时（ $\mu$ Sv/

h) :

$$H = \frac{H_L \cdot B}{R^2} \quad \text{式 11-2}$$

式中:

$B$ ——屏蔽透射因子, 由于《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014) 附录 B 表 B.2 中无 160kV 状态下对应的铅值层数据, 根据表 B.2 内插法取得 160kV 下, X 射线束在铅中的值层厚度 TVL 为 1.048mm, 相应的辐射屏蔽透射因子  $B$  按照式 (11-3) 计算;

$R$ ——辐射源点 (靶点) 至关注点的距离, 单位为米 (m);

$H_L$ ——距靶点 1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率, 单位为  $\mu\text{Sv/h}$ 。根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014) 表 1, 本项目工业 CT 的泄漏辐射剂量率取  $2.5 \times 10^3 \mu\text{Sv/h}$ 。

对于给定屏蔽物质厚度  $X$ , 相应的辐射屏蔽透射因子  $B$  按下面公式计算,

$$B = 10^{-X/TVL} \quad \text{式 11-3}$$

式中:

$X$ ——屏蔽物质厚度, 与 TVL 取相同的单位;

$TVL$ ——值层厚度。

③ 散射辐射屏蔽的估算方法如下:

关注点的散射辐射剂量率  $H$  ( $\mu\text{Sv/h}$ ) 按公式 11-4 计算:

$$H = \frac{I \cdot H_0 \cdot B}{R_s^2} \cdot \frac{F \cdot \alpha}{R_0^2} \quad \text{式 11-4}$$

式中:

$I$ ——X 射线探伤装置在最高管电压下的常用最大管电流, 单位为毫安 (mA);

$H_0$ ——距辐射源点 (靶点) 1m 处输出量, 单位为  $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{h})$ , 以  $\text{mSv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{min})$  为单位的值乘以  $6.0 \times 10^4$ ; 本项目工业 CT 最大管电压为 160kV, 根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014) 表 B.1 内插法取得, 当管电压为 160kV、过滤条件: 2mm 铝, 输出量  $H_0 = 20.38 \text{mGy} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{min})$ , 即  $1.22 \times 10^6 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{h})$  进行计算;

$B$ ——屏蔽透射因子，对于给定屏蔽物质厚度  $X$  时，相应的辐射屏蔽透射因子  $B$  按照式 (11-3) 计算；

$F$ —— $R_0$  处的辐射野面积，为平方米 ( $m^2$ )；

$\alpha$ ——散射因子，入射辐射被单位面积 ( $1m^2$ ) 散射体散射到距其  $1m$  处的辐射剂量率与该面积上的入射辐射剂量率的比。

$R_0$ ——辐射源点 (靶点) 至探伤工件的距离，单位为米 ( $m$ )；

$R_S$ ——散射体至关注点的距离，单位为米 ( $m$ )。

#### (4) 屏蔽计算

根据公式 11-1 计算工业 CT 外表面 30cm 处主射线辐射剂量率，相关计算参数及计算结果见表 11-1。

表 11-1 有用线束剂量率预测参数及结果

关注点	编号	$H_0$ $\mu Sv \cdot m^2 / (mA \cdot h)$	$I$ mA	$R$ m	$X$ mm	$B$	$H$ $\mu Sv/h$
工业 CT 西侧外表面 30cm 处	3#	$1.22 \times 10^6$	0.5	1.455	16	$9.60E-16$	$2.77E-10$
工业 CT 顶部外表面 30cm 处	8#	$1.22 \times 10^6$	0.5	1.514	12	$9.20E-12$	$2.45E-06$

根据公式 11-2、11-3 计算 X 射线实时成像检测设备周边泄漏辐射剂量率水平，相关计算参数及计算结果见表 11-2。

表 11-2 泄漏辐射剂量率预测参数及结果

关注点	编号	$H_L$ $\mu Sv/h$	$R$ m	$X$ mm	$TVL$ mm	$B$	$H$ $\mu Sv/h$
工业 CT 东侧外表面 30cm 处	1#	$2.5 \times 10^3$	1.165	12	1.048	$3.55E-12$	$6.54E-09$
工业 CT 南侧外表面 30cm 处	2#	$2.5 \times 10^3$	0.815	12	1.048	$3.55E-12$	$1.34E-08$
工业 CT 北侧外表面 30cm 处	4#	$2.5 \times 10^3$	0.800	12	1.048	$3.55E-12$	$1.39E-08$
工业 CT 北侧观察窗外表面 30cm 处	5#	$2.5 \times 10^3$	0.800	15	1.048	$4.86E-15$	$1.90E-11$
工业 CT 顶部外表面 30cm 处	6#	$2.5 \times 10^3$	0.675	12	1.048	$3.55E-12$	$1.95E-08$
工业 CT 底部外表面 30cm 处	7#	$2.5 \times 10^3$	1.480	12	1.048	$3.55E-12$	$4.05E-09$

根据公式 11-3、11-4 计算 X 射线实时成像检测设备周边散射辐射剂量率水平，相关计算参数及计算结果见表 11-3。

表 11-3 散射辐射剂量率水平预测参数及结果

关注点	编号	$H_0$ $\mu Sv \cdot m^2 / (mA \cdot h)$	$I$ mA	$R_S$ m	$TVL$ mm	$B$	$F \cdot a / R_0^2$	$H$ $\mu Sv/h$
工业 CT 东侧外表面 30cm 处	1#	$1.22 \times 10^6$	0.5	1.165	0.96	$3.16E-13$	1/50	$2.84E-09$
工业 CT 南侧外表面 30cm 处	2#	$1.22 \times 10^6$	0.5	0.815	0.96	$3.16E-13$	1/50	$5.80E-09$

工业 CT 北侧外表面 30cm 处	4#	1.22×10 <sup>6</sup>	0.5	0.800	0.96	3.16E-13	1/50	6.02E-09
工业 CT 北侧观察窗外表面 30cm 处	5#	1.22×10 <sup>6</sup>	0.5	0.800	0.96	2.37E-16	1/50	4.52E-12
工业 CT 顶部外表面 30cm 处	6#	1.22×10 <sup>6</sup>	0.5	0.675	0.96	3.16E-13	1/50	8.46E-09
工业 CT 底部外表面 30cm 处	7#	1.22×10 <sup>6</sup>	0.5	1.480	0.96	3.16E-13	1/50	1.76E-09

注：本项目设备最大管电压 160kV，根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）表 2，160kV X 射线 90° 散射辐射为 150kV，铅什值层根据表 B.2 取 0.96mm， $F \cdot \alpha / R_0^2$  保守取 1/50。

各关注点辐射剂量率水平计算结果汇总情况见表 11-4。

表 11-4 铅房周围辐射剂量率水平预测结果

编号	关注点	主射辐射 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	泄漏辐射 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	散射辐射 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	合计 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
1#	工业 CT 东侧外表面 30cm 处	/	6.54E-09	2.84E-09	9.38E-09
2#	工业 CT 南侧外表面 30cm 处	/	1.34E-08	5.80E-09	1.92E-08
3#	工业 CT 西侧外表面 30cm 处	2.77E-10	/	/	2.77E-10
4#	工业 CT 北侧外表面 30cm 处	/	1.39E-08	6.02E-09	1.99E-08
5#	工业 CT 北侧观察窗外表面 30cm 处	/	1.90E-11	4.52E-12	2.35E-11
6#	工业 CT 顶部外表面 30cm 处	/	1.95E-08	8.46E-09	2.80E-08
7#	工业 CT 底部外表面 30cm 处		4.05E-09	1.76E-09	5.81E-09
8#	工业 CT 顶部外表面 30cm 处	2.45E-06	/	/	2.45E-06

由表 11-4 可知，本项目工业 CT 顶部主射线剂量率水平为  $2.45 \times 10^{-6} \mu\text{Sv/h}$ ，小于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，因此不进行天空反散射计算。

由表 11-4 可知，本项目工业 CT 正常工作下，设备外表面 30cm 处的辐射剂量率最大为  $2.45 \times 10^{-6} \mu\text{Sv/h}$ ，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中“屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

#### (5) 人员受照年有效剂量估算

项目所致人员辐射剂量，按照联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）-- 2000 年报告附录 A 公式计算。

$$H_1 = H_0 \cdot T \cdot t \cdot 10^{-3} \quad \text{式 (11-5)}$$

式中：

$H_1$ —辐射外照射人均年有效剂量当量，mSv；

$H_0$ —预测关注点剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$T$ —居留因子；

$t$ —年照射时间，h。

居留因子的选取见表 11-5。

表 11-5 不同场所与环境条件下的居留因子

场所	居留因子 T	示例
全居留	1	控制台、暗室、办公室、邻近建筑物中的驻留区
部分居留	1/2~1/5	走廊、休息室、杂物间
偶然居留	1/8~1/40	厕所、楼梯、人行道

注：取自《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）表 A.1。

根据建设单位提供的资料，本项目工业 CT 年曝光工作时间为 208.33h。本项目工业 CT 拟配备辐射工作人员 2 人，轮岗操作，本项目保守以单名辐射工作人员的年受照时间为 104.17h 进行计算。

根据各关注点辐射剂量率、工作时间及居留因子，计算辐射工作人员和公众的年剂量，具体见表 11-6。

表 11-6 辐射工作人员和周围公众受照的年有效剂量估算

保护目标	方位	关注点	辐射剂量率*	居留因子	年受照时间	距离	年有效剂量	年剂量约束值
			μSv/h	/	h	m	mSv	mSv
辐射工作人员	内部	4#	1.99E-08	1	104.17	紧邻	2.07E-09	5
地下停车场	东侧	1#	9.38E-09	1/8	104.17	紧邻	1.22E-10	0.1
配电房	南侧	2#	1.92E-08	1/8	104.17	紧邻	2.50E-10	
诊断与乳腺 X 射线剂量实验室辐照室	西侧	3#	2.77E-10	1	104.17	紧邻	2.89E-11	5
过道	北侧	4#	1.99E-08	1/2	104.17	紧邻	1.04E-09	0.1
室外道路	上方	8#	2.45E-06	1/8	104.17	紧邻	3.19E-08	
地下停车场	下方	7#	5.81E-09	1/8	104.17	紧邻	7.57E-11	

\*注：关注点辐射剂量率取值依据为工业 CT 对应侧 30cm 处的最大剂量率估算值。

由上表可知，辐射工作人员受照的年有效剂量最大为 2.07E-9mSv，公众受照的年有效剂量最大为 3.19E-08mSv，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中剂量限值的要求，也满足本项目提出的职业人员和公众年有效剂量约束值不超过 5mSv 和 0.1mSv 的要求。

本项目西侧诊断与乳腺 X 射线剂量实验室辐照室为现有辐射工作人员操作，本次评价考虑对其辐射工作人员的叠加影响，根据最新四季度个人剂量报告可知，现有辐射工作人员个人年受照剂量监测结果最大值为 0.363mSv。因此，叠加本项目受照的年有效剂量 2.89E-11mSv 后，辐射工作人员年有效剂量最大估算值为 0.364mSv，仍满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值的要求和本项目提出职业人员的年有效剂量约束值不超过 5mSv 的要求。

### 11.2.1.2 管线穿墙处辐射影响分析

本项目工业 CT 设备设置有 1 个通风口和 1 个穿线孔，采用直穿铅屏蔽补偿方

式，通风口和穿线孔设置 12mm 铅板防护罩作为屏蔽补偿。该设计方式不减弱设备防护铅房的厚度和屏蔽效果。射线在到达管道口前，在管道内，均至少经过三次散射才能到达管道出口处，根据《辐射防护导论》第 189 页“实例证明，如果一个能使辐射至少散射三次的迷道，是能保证迷道口工作人员的安全”。因此，可推断通风口和穿线孔处辐射剂量将在控制范围内。通风口和穿线孔屏蔽补偿见图 11-3。



图 11-3 工业 CT 通风口和穿线孔屏蔽补偿示意图

#### 11.2.1.3 运营期间臭氧影响分析

本项目 X 射线能量低，电离产生的臭氧和氮氧化物非常低，且臭氧可在 50 分钟后自然分解，氮氧化物只有臭氧产生额的 1/3。本项目工业 CT 体积约为 3.46m<sup>3</sup>，设备顶部自带动力排风装置，排风量 162m<sup>3</sup>/h，每小时通风换气次数约 46 次，臭氧及氮氧化物通过设备顶部自带排风装置排放至工业 CT 机房内，再通过工业 CT 机房通风系统排至室外，降低室内臭氧和氮氧化物的浓度，臭氧在一段时间内自动分解为氧气，对周围环境空气质量影响较小。

#### 11.2.2 活度计量实验室、标准氦室实验室

##### 11.2.2.1 固体镭源（<sup>226</sup>Ra）和氦气（<sup>222</sup>Rn）辐射环境影响分析

本项目标准氦室实验室使用的固体镭源（<sup>226</sup>Ra）虽为 $\alpha$ 衰变核素，但其衰变链中伴随显著的 $\gamma$ 射线发射，是工作人员外照射的主要来源；镭源衰变产生的氦气（<sup>222</sup>Rn）及其子体则可通过吸入途径产生内照射。 $\alpha$ 粒子穿透能力较弱，易被人体皮肤或纸张阻隔，对环境及人员外照射影响有限，因此本次评价重点分析为固体镭源（<sup>226</sup>Ra） $\gamma$ 射线对辐射工作人员的外照射影响以及氦气（<sup>222</sup>Rn）及其子体对辐射工作人员的外照射和内照射影响。

根据《Radionuclide Information Booklet》（2025，Version 9.1），距离 1MBq 固

体镭源 ( $^{226}\text{Ra}$ ) 1m 处的外照射剂量率水平为  $2.196\text{E-}04\text{mSv/h}$ ；根据《MIRDsoft Radionuclide Dosimetric Data Sheets》， $^{222}\text{Rn}$  空气比释动能率常数  $\Gamma_{10}=1.501\times 10^{-20}\text{Gy}\cdot\text{m}^2/(\text{Bq}\cdot\text{s})$ 。根据点源外照射剂量率公式保守按照 30cm 处计，则活度为 0.5MBq、1MBq 和 2MBq 的固体镭源 ( $^{226}\text{Ra}$ ) 在 30cm 处的剂量率分别为  $1.22\text{E-}03\text{mSv/h}$ 、 $2.44\text{E-}03\text{mSv/h}$  和  $4.88\text{E-}03\text{mSv/h}$ ，活度为  $5.79\times 10^5\text{Bq}$  (即 0.5MBq、1MBq 和 2MBq 的镭源封存 1 天富集活度) 的氡气 ( $^{222}\text{Rn}$ ) 在 30cm 处的剂量率为  $3.48\text{E-}07\text{mSv/h}$ 。不考虑氡试验箱的屏蔽材料，年受照时间按辐射工作人员近距离接触时间 12h 计，则每名辐射工作人员受外照剂量为  $0.051\text{mSv/a}$ 。

根据《室内氡及其子体控制要求》(GB/T 16146-2015) 附录 A 的式 A.4 (即吸附氡及其子体对人员产生的年有效剂量=氡浓度 $\times$ (氡的剂量转换因子+平衡因子 $\times$ 氡子体的剂量转换因子) $\times$ 年停留时间)，由于本项目氡试验箱使用氡气 ( $^{222}\text{Rn}$ ) 进行校准检定时为密闭状态，结束后将氡气进行回收，少量残余氡气通过排风系统经活性炭吸附处置后排放，因此室内氡气泄漏率按 1% 计，氡试验箱房间体积约为  $212\text{m}^3$ ，则氡浓度为  $5.79\times 10^5\text{Bq}\times 1\%\div 212\text{m}^3=27.31\text{Bq/m}^3$ ，氡的剂量转换因子和氡子体的剂量转换因子按 UNSCEAR2000 年报告给出的数值取，分别为  $0.17\times 10^{-6}\text{mSv}/(\text{Bq}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3})$  和  $9\times 10^{-6}\text{mSv}/(\text{Bq}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3})$ ，平衡因子取 0.5，年停留时间按 12h 计，则每名辐射工作人员受内照剂量为  $0.0008\text{mSv/a}$ 。

综上所述，根据理论保守估算，氡试验箱运行时对辐射工作人员受照剂量为  $0.0518\text{mSv/a}$ ，可满足本项目职业人员年剂量约束值不超过  $5\text{mSv}$  的要求，也满足《室内氡及其子体控制要求》(GB/T 16146-2015) 中“对新建建筑物室内氡及其子体设定的有效剂量目标水平为  $3\text{mSv}$ ”的要求；氡气 ( $^{222}\text{Rn}$ ) 泄漏后房间内氡气浓度预测值为  $27.31\text{Bq/m}^3$ ，满足《室内氡及其子体控制要求》(GB/T 16146-2015) 中“对新建建筑物室内氡浓度设定的年均氡浓度目标水平  $100\text{Bq/m}^3$ ”的要求。

#### 11.2.2.2 $\alpha$ 、 $\beta$ 表面污染环境影响分析

$\alpha$ 、 $\beta$ 表面污染的影响主要来源于辐射工作人员操作时，放射性物质逸出或飞散在操作台、地板、墙壁、个人防护用品等表面产生放射性沾污，造成小面积的 $\alpha$ 和 $\beta$ 表面污染。因此，建设单位执行 10.1.4.2 中的表面污染措施后，可将 $\alpha$ 和 $\beta$ 表面污染水平降至《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中相关规定要求，对周围环境影响较小。

### 11.2.2.3 β射线辐射环境影响分析

本项目活度计量实验室核素  $^{85}\text{Kr}$  为纯β衰变，在衰变过程中仅产生β射线。根据《辐射防护导论》（方杰，北京，1991）P127-P128，β粒子射程公式和屏蔽厚度公式如下：

$$R=0.412E^{(1.265-0.09541 \ln E)} \quad 0.01 < E < 2.5\text{MeV} \quad (\text{式 11-6})$$

$$R=0.53E-1.06 \quad 2.5 \leq E < 20\text{MeV} \quad (\text{式 11-7})$$

式中：

R——电子在低原子序数物质中的射程，g/cm<sup>2</sup>；

E——β粒子最大能量，MeV，本项目  $^{85}\text{Kr}$  为 0.685MeV。

$$d=R/\rho \quad (\text{式 11-8})$$

式中：

d——屏蔽厚度，cm；

ρ——物质密度，g/cm<sup>3</sup>。

根据式 11-6，计算得  $^{85}\text{Kr}$  放出的β粒子在物质中的射程 R 为 0.25g/cm<sup>2</sup>。根据式 11-8，计算得不同材料下屏蔽β粒子所需的厚度，计算结果见表 11-7。

表 11-7 屏蔽所需的厚度

屏蔽材料及密度 (g/cm <sup>3</sup> )	水 (1)	混凝土 (2.35)	铅 (11.3)	天然乳胶 (0.93)	有机玻璃 (1.18)	空气 (1.29×10 <sup>-3</sup> )
屏蔽β粒子所需的厚度 (mm)	$^{89}\text{Kr}$ 2.50	1.07	0.22	2.71	2.14	1953

根据表 11-7 计算可知， $^{85}\text{Kr}$  产生的β射线在空气中屏蔽距离为 1953mm，而本项目活度计量实验室场所设置了足够的空间，且有墙体进行屏蔽，同时β射线在铅中的射程最大为 0.22mm，辐射工作人员在操作过程中穿戴 0.5mm 铅当量的防护服，故放射性核素  $^{85}\text{Kr}$  产生的β射线对周围环境以及辐射工作人员的影响很小。

$^{85}\text{Kr}$  放出的β粒子被周围物质（如盛放  $^{89}\text{Kr}$  的不锈钢容器）阻挡时产生的韧致辐射不可忽视。参考《辐射防护导论》P133，韧致辐射所致辐射剂量率估算如下：

$$H_r = \frac{A}{r^2} \times 10^{-11} \times \left( \frac{Z}{100} \right)^2 \times \left( \frac{E}{100} \right)^2 \quad (\text{式 11-9})$$

式中：

$H_r$ ——距离屏蔽层源 r 米处的辐射剂量率，Gy/h；

A——放射源活度，Bq；

$Z_e$ ——屏蔽材料的有效原子序数，取自《辐射防护导论》表 4.4，本项目保守均按空气取 7.36；

$E_b$ ——韧致辐射的平均能量  $E_b$  是入射  $\beta$  粒子的最大能量的 1/3，即  $E_b=E_{\max}/3$ ，MeV，本项目  $^{85}\text{Kr}$  取 0.228MeV；

$r$ ——参考点与屏蔽层的距离，m；

$\mu_{\text{en}}/\rho$ ——平均能量为  $E_b$  的韧致辐射在空气中的质量能量吸收系数， $\text{m}^2/\text{kg}$ ，取自《辐射防护导论》附表 1，本项目  $^{85}\text{Kr}$  取  $2.871\times 10^{-3}\text{m}^2/\text{kg}$ ；

$q$ ——参考点所在区域相应的居留因子，本项目保守取 1；

$\eta$ ——透射比，本项目保守取 1。

本项目  $^{85}\text{Kr}$  单次最大使用量为  $1.00\times 10^7\text{Bq}$ 。核素产生的韧致辐射在不同距离处辐射剂量率情况见 11-8。

表 11-8 核素产生的韧致辐射在不同距离处辐射剂量率计算结果

核素	放射源活度 A (Bq)	屏蔽物质有效原子序数 $Z_e$	$E_b$ (MeV)	距离 $r$ (m)	$\mu_{\text{en}}/\rho$ ( $\text{m}^2/\text{kg}$ )	$q$	$\eta$	辐射剂量率 ( $\mu\text{Gy/h}$ )
$^{85}\text{Kr}$	1.00E+08	7.36	0.228	0.05	$2.871\times 10^{-3}$	1	1	2.01
$^{85}\text{Kr}$	1.00E+08	7.36	0.228	0.5	$2.871\times 10^{-3}$	1	1	2.01E-02
$^{85}\text{Kr}$	1.00E+08	7.36	0.228	1.0	$2.871\times 10^{-3}$	1	1	5.03E-03
$^{85}\text{Kr}$	1.00E+07	7.36	0.228	0.05	$2.871\times 10^{-3}$	1	1	2.01E-01
$^{85}\text{Kr}$	1.00E+07	7.36	0.228	0.5	$2.871\times 10^{-3}$	1	1	2.01E-03
$^{85}\text{Kr}$	1.00E+07	7.36	0.228	1.0	$2.871\times 10^{-3}$	1	1	5.03E-04

根据表 11-8 可知， $^{85}\text{Kr}$  储存罐 1m 处的辐射剂量率为  $5.03\times 10^{-3}\mu\text{Gy/h}$ ， $^{85}\text{Kr}$  使用时 1m 处的辐射剂量率为  $5.03\times 10^{-4}\mu\text{Gy/h}$ ，考虑到活度计量实验室场所墙体屏蔽和距离衰减，本项目运行所致辐射工作场所外辐射剂量率远低于  $5.03\times 10^{-3}\mu\text{Gy/h}$ ，因此， $^{85}\text{Kr}$  放出的  $\beta$  粒子所致韧致辐射对周围环境基本没有影响。

#### 11.2.2.4 $\gamma$ 射线辐射环境影响分析

本项目活度计量实验室主要开展药物分装、活度计量监测仪器校准检定工作，该过程主要涉及裸源，因此本项目均以裸源进行分析。

##### (1) 工作场所屏蔽体外剂量率计算公式

活度计量实验室场所屏蔽计算公式参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），辐射剂量率估算见下式。

$$H=10^{-X/TVL} \cdot A \cdot \Gamma / R^2 \dots \dots \dots \text{ (式 11-10)}$$

式中:

H——屏蔽体外关注点剂量率, 单位为 $\mu\text{Sv/h}$ ;

X——屏蔽厚度, 单位为 mm;

TVL—— $\gamma$ 射线的十分之一值层厚度, 单位为 mm;

A——单个患者或受检者所用放射源的最大活度, 单位为 MBq;

$\Gamma$ ——距源 1m 处的周围剂量当量率常数, 单位为 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ ;

R——参考点与放射源间的距离, m。

**表 11-9 本项目涉及核素辐射剂量率估算相关参数取值表**

核素名称	$^{18}\text{F}$	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$^{131}\text{I}$
铅什值层厚度 mm ( $\rho=11.3\text{g}/\text{cm}^3$ )	16.6	1	11
混凝土什值层厚度 mm ( $\rho=2.35\text{g}/\text{cm}^3$ )	176	110	170
砖什值层厚度 mm ( $\rho=1.65\text{g}/\text{cm}^3$ )	263	160	240
周围剂量当量率常数 (裸源) $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$	0.143	0.0303	0.0595
患者体外 1m 处的周围剂量当量率 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$	0.092	0.0207	0.0583

注: ① $^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$  和  $^{131}\text{I}$  TVL 来源于《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)表 I.1;  
 ② $^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$  和  $^{131}\text{I}$  周围剂量当量率常数来源于《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)表 H.1;  
 ③ $^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$  和  $^{131}\text{I}$  患者体外 1m 处的周围剂量当量率来源于《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)表 L.1。

**(2) 工作场所 $\gamma$ 射线辐射水平分析及预测**

1) 活度计量实验室通风橱

本项目活度计量实验室使用的核素均为外购药物, 工作人员根据仪器校准检定需求确定所需药物的使用量, 提前预订药物, 供药单位由专人将预定用量的药物送至活度计量实验室, 工作人员接收后放射性药物连同储源铅罐放置于通风橱内进行分装。源强总活度按  $^{18}\text{F}$ : 185MBq/ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ : 185MBq/ $^{131}\text{I}$ : 185MBq 计 (上述药物不同时开展分装)。

2) 活度计自动检测装置

本项目药物分装完成后放置于活度计自动检测装置内部, 营造标准辐射环境用于活度计量监测装置的校准检定, 本项目从保守忽略活度计自动检测装置的屏蔽, 源强总活度按源强总活度按  $^{18}\text{F}$ : 185MBq、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ : 185MBq、 $^{131}\text{I}$ : 185MBq 计 (上述药物不同时开展校准检定)。

### 3) 放射性废物暂存间

本次评价产生的放射性固体废物表面核素活度按不超过使用量的 1%计，放射性固体废物暂存于放射性废物暂存间 2mmPb 废物衰变箱中，源强总活度按  $^{18}\text{F}$ ：1.85MBq+ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ：1.85MBq+ $^{131}\text{I}$ ：1.85MBq 计。

根据式 11-10 辐射剂量率计算结果见表 11-10，拟建活度计量实验室关注点位置见图 11-4。



图 11-4 活度计量实验室关注点分布示意图

表 11-10 活度计量实验室场所关注点 $\gamma$ 辐射剂量率预测结果

序号	关注点		预测条件			屏蔽措施	距离 (m)	预测结果 ( $\mu\text{Sv/h}$ )		备注
			核素	源强 (MBq)	$\Gamma$					
1-1	活度剂量实验室	通风橱 30cm 处*	$^{18}\text{F}$	185	0.143	50mmPb 铅罐	0.5	1.03E-01	1.13 E-01	源强取日实际最
			$^{99\text{m}}\text{Tc}$	185	0.0303	20mmPb 铅罐		2.24E-19		
			$^{131}\text{I}$	185	0.0595	40mmPb 铅罐		1.02E-02		
1-2	活度剂量实验室	自动检测装置 30cm 处	$^{18}\text{F}$	185	0.143	0.5mmPb 铅衣	1.0	2.47E+01		
			$^{99\text{m}}\text{Tc}$	185	0.0303			1.77		
			$^{131}\text{I}$	185	0.0595			9.92		
1-3	活度剂量实验室	东侧墙外	$^{18}\text{F}$	185	0.143	$^{18}\text{F}$ 50mmPb/ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 20mmPb/ $^{131}\text{I}$ 40m	2.9	6.04E-05	6.56 E-05	
			$^{99\text{m}}\text{Tc}$	185	0.0303			1.25E-23		

		30cm	<sup>131</sup> I	185	0.0595	mPb 铅罐 +300mm 混凝土		5.20E-06		大 操 作 量
1-4	东侧门外 30cm		<sup>18</sup> F	185	0.143	<sup>18</sup> F50mmPb/ <sup>99m</sup> Tc 20mmPb/ <sup>131</sup> I40mm Pb 铅罐	2.8	3.28E-03	3.60 E-03	
			<sup>99m</sup> Tc	185	0.0303			7.15E-21		
			<sup>131</sup> I	185	0.0595			3.24E-04		
1-5	南侧门外 30cm		<sup>18</sup> F	185	0.143	<sup>18</sup> F50mmPb/ <sup>99m</sup> Tc 20mmPb/ <sup>131</sup> I40m mPb 铅罐	4.7	1.17E-03	1.29 E-03	
			<sup>99m</sup> Tc	185	0.0303			2.54E-21		
			<sup>131</sup> I	185	0.0595			1.15E-04		
1-6	南侧墙外 30cm		<sup>18</sup> F	185	0.143	<sup>18</sup> F50mmPb/ <sup>99m</sup> Tc 20mmPb/ <sup>131</sup> I40m mPb 铅罐 +300mm 混凝土	4.8	2.20E-05	2.39 E-05	
			<sup>99m</sup> Tc	185	0.0303			4.55E-24		
			<sup>131</sup> I	185	0.0595			1.90E-06		
1-7	西侧墙外 30cm		<sup>18</sup> F	185	0.143	<sup>18</sup> F50mmPb/ <sup>99m</sup> Tc2 0mmPb/ <sup>131</sup> I40mm Pb 铅罐 +1000mm 混 凝土	3.6	2.32E-09	2.47 E-09	
			<sup>99m</sup> Tc	185	0.0303			1.97E-30		
			<sup>131</sup> I	185	0.0595			1.45E-10		
1-8	顶棚正上 方 30cm		<sup>18</sup> F	185	0.143	<sup>18</sup> F50mmPb/ <sup>99m</sup> Tc 20mmPb/ <sup>131</sup> I40m mPb 铅罐 +300mm 混凝土	6.9	1.07E-05	1.16 E-05	
			<sup>99m</sup> Tc	185	0.0303			2.20E-24		
			<sup>131</sup> I	185	0.0595			9.18E-07		
1-9	楼下距地 面 1.7m		<sup>18</sup> F	185	0.143	<sup>18</sup> F50mmPb/ <sup>99m</sup> Tc 20mmPb/ <sup>131</sup> I40mm Pb 铅罐+300mm 混凝土	6.5	1.20E-05	1.30 E-05	
			<sup>99m</sup> Tc	185	0.0303			2.48E-24		
			<sup>131</sup> I	185	0.0595			1.03E-06		
2-1	废物衰变 箱表面 30cm 处		<sup>18</sup> F	1.85	0.143	2mmPb 废物 衰变箱	0.5	8.02E-01	1.09	
			<sup>99m</sup> Tc	1.85	0.0303			2.24E-03		
			<sup>131</sup> I	1.85	0.0595			2.90E-01		
2-2	东侧墙外 30cm		<sup>18</sup> F	1.85	0.143	2mmPb 废物衰 变箱+200mm 实 心砖	1.6	1.36E-02	1.78 E-02	
			<sup>99m</sup> Tc	1.85	0.0303			1.23E-05		
			<sup>131</sup> I	1.85	0.0595			4.15E-03		
2-3	南侧墙外 30cm		<sup>18</sup> F	1.85	0.143	2mmPb 废物衰 变箱+200mm 实 心砖	1.9	9.67E-03	1.26 E-02	
			<sup>99m</sup> Tc	1.85	0.0303			8.73E-06		
			<sup>131</sup> I	1.85	0.0595			2.95E-03		
2-4	西侧墙外 30cm		<sup>18</sup> F	1.85	0.143	2mmPb 废物衰 变箱+200mm 实 心砖	1.6	1.36E-02	1.78 E-02	
			<sup>99m</sup> Tc	1.85	0.0303			1.23E-05		
			<sup>131</sup> I	1.85	0.0595			4.15E-03		
2-5	西侧门外 30cm		<sup>18</sup> F	1.85	0.143	2mmPb 废物衰 变箱	1.5	8.91E-02	1.22 E-01	
			<sup>99m</sup> Tc	1.85	0.0303			2.49E-04		
			<sup>131</sup> I	1.85	0.0595			3.22E-02		
2-6	北侧墙外 30cm		<sup>18</sup> F	1.85	0.143	2mmPb 废物衰 变箱+300mm 混 凝土	2.0	9.92E-04	1.30 E-03	
			<sup>99m</sup> Tc	1.85	0.0303			2.62E-07		
			<sup>131</sup> I	1.85	0.0595			3.11E-04		
2-7	顶棚正上 方 30cm		<sup>18</sup> F	1.85	0.143	2mmPb 废物衰 变箱+300mm 混 凝土	6.9	8.33E-05	1.09 E-04	
			<sup>99m</sup> Tc	1.85	0.0303			2.20E-08		
			<sup>131</sup> I	1.85	0.0595			2.61E-05		
2-8	楼下距地 面 1.7m		<sup>18</sup> F	1.85	0.143	2mmPb 废物衰 变箱+300mm 混 凝土	6.5	9.39E-05	1.23 E-04	
			<sup>99m</sup> Tc	1.85	0.0303			2.48E-08		
			<sup>131</sup> I	1.85	0.0595			2.94E-05		
*注：通风橱 30cm 处保守按三种核素叠加进行预测。										

由表 11-10 估算结果可知，本项目活度计量实验室实体屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率均小于 2.5 $\mu$ Sv/h；通风橱外表面 30cm 处人员操作位周围剂量当量率小于 2.5 $\mu$ Sv/h；废物衰变箱表面 30cm 处周围剂量当量率小于 2.5 $\mu$ Sv/h。因此，本项目活度计量实验室场所屏蔽体外剂量率控制水平均符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）标准要求，对周围辐射环境影响较小。

实际上，在核素使用过程中由于衰变作用导致核素的活度不断减少，因而对墙外或门外的辐射影响也不断降低。因此，正常情况下活度计量实验室实体屏蔽体外周围剂量当量率将小于上述保守预测结果。

#### 11.2.2.5 工作人员年有效剂量估算

根据建设单位提供的资料，本项目正式开展后，每年工作 250 天，每周工作 5 天，每天工作 8h。活度计量实验室场所各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷见表 9-2。

根据表 11-10 预测的各关注点处辐射剂量率，结合建设单位预估工作量，关注点处人员居留因子等参数，由式 11-11 计算即可得到辐射工作人员的年有效剂量，计算结果见表 11-11。关注点人员的有效剂量由方杰主编的《辐射防护导论》中的公式计算，计算公式如下：

$$D_{\text{Eff}}=D_r \times t \times T \times U \dots \dots \dots \text{（式 11-11）}$$

式中：

$D_{\text{Eff}}$ ——辐射外照射人均年有效剂量，Sv；

$D_r$ ——辐射剂量率，Sv/h；

$t$ ——年工作时间，h；

$T$ ——居留因子；

$U$ ——使用因子， $U$  取 1。

居留因子参照《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）附录 A 选取，具体数值见表 11-10。

**表 11-10 不同场所的居留因子一览表**

场所	居留因子 (T)		停留位置
	典型值	范围	
全停留	1	1	管理人员或职员办公室、治疗计划区、治疗控制室、护士站、咨询台、有人护理的候诊室及周边建筑物中的驻留区
部分停留	1/4	1/2-1/5	1/2：相邻的治疗室、与屏蔽室相邻的病人检查室

			1/5: 走廊、雇员休息室、职员休息室
偶然停留	1/16	1/8-1/40	1/8: 各治疗门 1/20: 公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室、病人滞留区域、屋顶、门岗室 1/40: 仅有来往行人车辆的户外区域、无人看管的停车场, 车辆自动卸货/卸客区域、楼梯、无人看管的电梯

**表 11-11 本项目辐射工作人员个人年有效剂量估算**

工作场所	人员数量	操作	关注点位	辐射剂量率 (μSv/h)	年工作时间	年有效剂量 (mSv)		
活度计量实验室	1 名辐射工作人员	各核素分装、测活	1-1	1.13E-01	30.00h (1min/次×1800 台)	3.39E-03	1.83	
		摆件	<sup>18</sup> F	1-2	2.47E+01	50h (5min/次×600 台)		1.24
			<sup>99m</sup> Tc	1-2	1.77	50h (5min/次×600 台)		8.85E-02
			<sup>131</sup> I	1-2	9.92	50h (5min/次×600 台)		4.96E-01

根据表 11-11 可知，本项目辐射工作人员年有效剂量最大为 1.83mSv，可满足本项目职业人员年剂量约束值不超过 5mSv 的要求。

#### 11.2.2.5 公众受照剂量估算

根据表 11-10 预测的各关注点处辐射剂量率，结合活度计量实验室场所周围公众情况、关注点处人员居留因子、关注点与预测点的距离等参数，由式 11-11 计算即可得到活度计量实验室场所周围公众的年有效剂量，计算结果见表 11-12。

**表 11-12 活度计量实验室公众人员年有效剂量估算**

关注场所		方位	距离 (m)	关注点	辐射剂量率 (μSv/h)	居留因子	受照时间 (h) *	年有效剂量 (mSv)
活度计量实验室	样品间/仪器室和过道	东侧	紧邻	1-4	3.60E-03	1	2000	7.20E-03
	过道	南侧	紧邻	1-5	1.29E-03	1/5	2000	5.16E-04
	中低能 X 射线剂量实验室辐照室	西侧	紧邻	1-7	2.47E-09	1	2000	4.94E-09
	室外道路、楼梯间和入口门厅大堂	上方	紧邻	1-8	1.16E-05	1/5	2000	4.64E-06
	地下停车场	下方	紧邻	1-9	1.30E-05	1/16	2000	1.63E-06

\*注：公众受照时间保守按照 2000h 计。

根据表 11-12 可知：本项目活度计量实验室周边公众人员年有效剂量最大为 7.20E-03mSv，可满足本项目公众人员年剂量约束值不超过 0.1mSv 的要求，由于剂量率与距离平方成反比以及评价范围内固有建筑物的屏蔽，随着距离的增加，周围 50m 范围内公众所受年有效剂量更小。因此，活度计量实验室周围 50m 范围内公众人员可满足本项目公众人员年剂量约束值不超过 0.1mSv 的要求。

其中中低能 X 射线剂量实验室辐照室内为建设单位其他区域操作的辐射工作人员，本次评价考虑对其辐射工作人员的叠加影响，根据最新四季度个人剂量报告可

知，现有辐射工作人员个人年受照剂量监测结果最大值为 0.363mSv。因此，叠加本项目对公众年有效剂量后为 0.364mSv，仍可满足职业人员年剂量约束值不超过 5mSv 的要求。

#### 11.2.2.6 “三废”影响分析

本项目活度计量实验室、标准氦室实验室使用过程中涉及的三废为放射性固体废物和放射性废气以及活度计量实验室应急时产生的放射性废液。

##### (1) 放射性固体废物影响分析

本项目活度计量实验室放射性固体废物暂存于废物暂存间的衰变箱中，暂存时间满足标准要求后（含核素  $^{18}\text{F}$  和  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  的固体放射性废物暂存时间超过 30 天；含  $^{131}\text{I}$  核素的固体放射性废物暂存超过 180 天），经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， $\alpha$ 表面污染小于  $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ ， $\beta$ 表面污染小于  $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，可对废物清洁解控并作为危险废物处置。 $^{85}\text{Kr}$  专用气瓶由供源单位进行回收处置。

本项目标准氦室实验室放射性固体废物主要为处理更换的废活性炭以及退役的固体镭源（ $^{226}\text{Ra}$ ），其中更换下来的废活性炭中  $^{222}\text{Rn}$  活度和活度浓度小于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）表 A1 中  $^{222}\text{Rn}$  的豁免限值，可作为一般固体废物处置；退役的固体镭源（ $^{226}\text{Ra}$ ）由供源单位进行回收处置。

综上所述，本项目放射性固体废物经上述方式处置后不会对周围环境产生明显影响。

##### (2) 放射性废气影响分析

本项目活度计量实验室共设有 2 套排风管道，活度计量实验室通风橱单独设置一套排风系统，废物暂存间、卫生通过间共用一套排风系统，校准检定过程产生的放射性废气经排风系统收集，排风管道最终经排风井引至计量科技创新实验楼楼顶排放；氦试验箱单独设置了排风系统，箱体内气体经排风系统收集通过排风管道最终引至计量科技创新实验楼楼顶排放，排放口已尽量远离邻近的高层建筑，排风管设置止回阀，防止气流倒灌，通风橱顶壁和排风口均设活性炭吸附装置。因此，放射性废气对周围环境影响较小。

##### (3) 放射性废液影响分析

本项目活度计量实验室检定过程中若出现核素洒漏，工作人员使用吸水纸进行去污。如发生特殊情况，工作人员可在场所淋洗区洗手池进行紧急冲洗，洗手池设

置阀门可将放射性废水使用专用容器单独收集暂存于废物暂存间。因此，放射性废液对周围环境影响较小。

## 11.3 事故影响分析

### 11.3.1 环境风险评价的目的

环境风险评价的目的是分析和预测建设项目存在的潜在危害和有害因素，以及项目在运营期间可能发生的事故（一般不包括自然灾害与人为破坏），引起有毒、有害（本项目为电离辐射）物质泄漏，所造成的环境影响程度和人身安全损害程度，并提出合理可行的防范、应急与减缓措施，以使项目事故发生率、损失和环境影响达到可以接受的水平。

### 11.3.2 事故等级分析

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，辐射事故从重到轻分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级，其中一般辐射事故是指IV类、V类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。管理不当本项目可能会发生以上两类事故，事故等级分别为一般辐射事故。

### 11.3.3 可能发生的事故

#### (1) 工业 CT

根据建设单位工业 CT 的使用特点，在以下几种异常情况下工作人员或其他人员可能接触到高剂量 X 射线照射：

①安全联锁装置发生故障时，样品门或维修门未关闭时，外面人员启动工业 CT 进行检测，造成有关人员被误照，引发辐射事故。

②安全联锁装置发生故障，无关人员打开样品门或维修门，造成人员被照射，引发辐射事故。

#### (2) 活度计量实验室

根据建设单位活度计量实验的操作特点，在以下几种异常情况下工作人员或其他人员可能接触到高剂量照射：

①由于工作人员操作不熟练或违反操作规程或误操作等其他原因致使核素撒漏或核素  $^{85}\text{Kr}$  泄漏，造成意外照射和辐射污染。

②校准检定过程公众人员误入或工作人员长期停留于活度计量实验室内部。

### (3) 标准氦室实验室

由于工作人员操作不熟练或违反操作规程或设备故障等其他原因致使氦气直接泄漏，造成意外照射、辐射污染及中毒危险的意外情况。

#### 11.3.4 辐射事故防范措施

##### (1) 工业 CT

为了杜绝上述工业 CT 辐射事故的发生，建设单位应严格执行以下风险预防措施：

①从事工业 CT 的辐射工作人员必须经过有关部门的专业培训，具备上岗资格证，业务熟练；严格遵守射线装置的使用管理规定和操作规程，禁止违章操作、野蛮作业；做好装置的日常维护保养，定期检查，保证设备始终处于完好状态。操作过程中，设备发生任何故障都要立即停机，及时通知有关人员进行维修，并做好故障记录，不允许设备带故障运行。

②定期检查维护，确保门机连锁装置、紧急停机按钮、电离辐射警告标志、工作状态指示灯等安全措施正常运转，保持完好；定期对射线装置进行检修维护，定期对周围辐射水平进行检测，发现异常，及时切断电源，请厂家对设备进行维护维修；

③射线装置在调试和使用时，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，调试和维修工作由厂家专业人员承担。

##### (2) 活度计量实验室和标准氦室实验室

发生事故时，采取的应急处理措施如下：

①由于操作不慎，有少量的液体核素溅洒。发生这种事故应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。然后用备用的塑料袋装清洗过程中产生的污染物品和湿的药棉、纸巾，从溅洒处移去垫子，用药棉或纸巾擦抹，应注意从污染区的边沿向中心擦抹，直到擦干污染区。最后用表面沾污仪测量污染区，如果 $\beta$ 表面污染大于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，表明该污染区未达到解控标准，这时应用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，直到该污染区表面污染小于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 为止。若大量放射性物质撒漏，建设单位应立即封锁相关场所，并向上级有关部门报告，等待专业人员前来处理。事故处理结束后，使用表面污染检测仪器对撒漏放射性液体的区域进行表面污染监测，符合国家相关标准后，结束应急状态。事后及时总结经验，形成纸质报告并存档。处理药物

撒漏的擦拭物收集放到废物衰变箱中，作为放射性固体废物进行管理。

②若发生放射性核素丢失、被盗，事故发生者应立即报告建设单位辐射事故应急指挥领导小组，保护现场。领导小组立即启动本单位辐射事故应急预案，疏散现场无关人员，设置警戒区及警示标志，第一时间将事故情况通报生态环境主管部门、公安部门等，在2小时内填写《辐射事故初始报告单》；分析确定丢失、被盗事故的具体时间及原因，向相关部门提供信息，根据有关线索，组织人员协同相关部门查找丢失、被盗放射性同位素，在查找过程中携带辐射监测仪器，防止事故处理人员受到照射；对放射性同位素丢失前存放场所进行监测，根据现场辐射剂量率的大小确定是否受污染。如现场受到污染出现辐射剂量率异常情况，根据辐射剂量率大小划定警戒线，撤离警戒区域内的所有人员，事故处理人员应穿戴防护用品，佩戴个人剂量计进入事故现场。

## 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

#### 12.1.1 机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》相关要求，使用 II 类射线装置的，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。

建设单位已成立辐射安全管理机构（见附件 8），全面负责医院的辐射安全管理工作及相关工作。组成人员如下：

组长：陈灿

成员：罗丰、刘毛毛、张小改、姚馨博、颜迪新、张朕朕

该文件中明确了管理小组成员组成及相关职责，故建设单位现有辐射安全管理机构能够满足现有辐射安全管理工作的要求。本项目实施后，建设单位应将本项目的负责人纳入现有辐射安全管理机构中。若辐射安全管理小组成员发生变动，建设单位应及时更新、调整管理机构的人员组成。

#### 12.1.2 辐射工作人员管理

##### （1）辐射安全与防护考核

建设单位严格执行辐射工作人员培训制度，根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告 2019 年第 57 号）和《关于进一步优化辐射安全考核公告》（生态环境部公告第 2021 年第 9 号），本项目新增的辐射工作人员，应在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名参加对应类别的考核，考核合格后方可上岗，并按时接受再培训。

##### （2）职业健康检查

辐射工作人员上岗前，应当进行上岗前的职业健康检查，符合辐射工作人员健康标准的，方可参加相应的辐射工作。上岗后辐射工作人员应定期进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不超过 2 年，必要时可增加临时性检查。辐射工作人员脱离放射工作岗位时，放射工作单位应当对其进行离岗前的职业健康检查。

本项目新增的辐射工作人员，应到有资质的单位进行上岗前职业健康检查，在

岗期间至少每两年进行一次在岗期间职业健康检查，并建立职业健康监护档案。

### **(3) 个人剂量检测**

本项目新增辐射工作人员均应配备个人剂量计，并按期（至少每3个月1次）委托有资质单位进行个人剂量监测，并建立个人剂量档案。

本项目辐射工作人员的职业健康档案记录、人员培训合格证书、个人剂量检测档案三个文件上的人员信息应统一；医院应当为辐射工作人员建立职业健康监护档案和职业照射个人剂量档案并终生保存。建设单位应设专人进行环保档案的整理、存档，项目环保档案应包括：项目环境影响评价资料、相关环保会议纪要、辐射安全许可证申请资料、项目竣工环境保护验收资料、日常监测资料（或台账）、辐射工作人员培训资料、体检报告、个人剂量检测报告及相关调查资料。以上资料按年度进行整理、规范化保存，发现问题及时上报、解决，以满足生态环境主管部门档案检查的要求。

#### **12.1.3 年度评估报告**

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，辐射工作单位应当对本单位放射性同位素和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。建设单位年度评估报告应包括：放射性同位素与射线装置台账、辐射安全和防护设施的运行与维护、辐射安全和防护制度及措施的建立和落实、事故和应急以及档案管理等方面的内容。

本项目建成运行后，应纳入辐射安全与防护状况年度评估报告，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。

## **12.2 辐射安全管理规章制度**

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规要求，使用放射性同位素、射线装置的单位，应有“健全的操作规程、岗位职责、辐射防护与安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等，还应有完善的辐射应急措施”。

建设单位已建立《辐射事故应急预案》、《辐射防护与安全保卫制度》、《防护水平 $\gamma$ 射线标准装置检修维护制度》、《工业CT检测系统检修维护制度》和《中低能X射线光机保养维护制度》等辐射防护安全管理制度。

本项目建成后，补充非密封放射性物质使用场所相关管理制度，同时完善其余

制度后张贴于相关辐射工作场所。在日后的工作实践中，建设单位应根据核技术利用具体情况以及在工作中遇到的实际问题，并根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求及时进行更新、完善，提高制度的可操作性，严格按照制度进行。

### 12.3 辐射监测

辐射监测是安全防护的一项必要措施，通过辐射剂量监测得到的数据，可以分析判断和估计电离辐射水平，防止人员受到过量的照射。根据实际情况，项目单位需建立辐射剂量监测制度，包括工作场所监测和个人剂量监测。

#### 12.3.1 监测仪器和防护设备

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，使用放射性同位素、射线装置的单位应该配置与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。根据以上要求，本项目辐射工作场所监测仪器配备情况见表 12-1。

表 12-1 监测仪器配备情况

工作场所	监测仪器	配备情况说明	备注
工业 CT 机房	便携式 X-γ辐射剂量率巡测仪	配置 1 台	依托现有
	个人剂量计	每名辐射工作人员配备 1 枚	增配
	个人剂量报警仪	配置 1 台	增配
活度计量实验室	便携式 X-γ辐射剂量率巡测仪	配置 1 台	依托现有
	表面污染监测仪	配置 1 台	增配
	个人剂量计	每名辐射工作人员配备 1 枚	增配
标准氦室实验室	便携式 X-γ辐射剂量率巡测仪	配置 1 台	依托现有
	表面污染监测仪	配置 1 台	增配
	个人剂量计	每名辐射工作人员配备 1 枚	增配

本项目运行期间主要污染物为 X-γ射线和β表面污染，根据项目特点，建设单位拟增配 2 台表面污染监测仪，需要定期对监测仪器进行检定，项目配备的监测仪器符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》对监测仪器的配置要求。

#### 12.3.2 监测计划

##### (1) 年度监测

建设单位应委托有资质的单位对辐射工作场所进行监测，监测周期为1次/年；年度监测报告应附于《辐射安全和防护状况年度评估报告》一并提交给发证机关。

### (2) 日常自行监测

本项目辐射工作场所应采用 X-γ辐射剂量率巡测仪和表面污染监测仪进行定期监测，频次不少于表 12-2 要求，以确保屏蔽防护性能的良好。

### (3) 监测内容和要求

监测内容：周围剂量当量率、α、β表面污染和氡及其子体。

监测布点及数据管理：监测布点应参考环评提出的监测计划或验收监测布点方案。监测数据应记录完善，并将数据实时汇总，建立好监测数据台账以便核查。

表 12-2 辐射工作场所监测计划一览表

工作场所	监测内容	监测点位	监测频次		
			自行监测	委托监测	验收监测
工业CT机房	周围剂量当量率	工业CT防护铅房外表面30cm处、工业CT机房周围环境、工作人员操作位	1次/季度	1次/年	项目建设完成3个月内
活度计量实验室	周围剂量当量率	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性点位和存有放射性物质的装置/设备的表面	1次/月	1次/年	
	β表面污染	放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面，废物暂存间衰变箱表面，工作人员手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等	每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测）	1次/年	
	固体放射性废物	废物暂存间（建议每袋废物表面剂量率处于本底水平，β表面污染小于0.8Bq/cm <sup>2</sup> ）	每次排放前	1次/年	
标准氡室实验室	周围剂量当量率	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性点位和存有放射性物质的装置/设备的表面	1次/月	1次/年	
	α、β表面污染	放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面，废物暂存间衰变箱表面，工作人员手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等	每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测）	1次/年	
	氡及其子体	标准氡室实验室内	/	1次/年	
	固体放射性废物	废物暂存间（建议每袋废物表面剂量率处于本底水平，α表面污染小于0.08Bq/cm <sup>2</sup> 、β表面污染小于0.8Bq/cm <sup>2</sup> ）	每次排放前	1次/年	

#### 12.3.3 竣工环保验收

建设单位应根据核技术利用项目的开展情况，按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评〔2017〕4号）、《建设项目竣工环境保护设施验收技术

规范核技术利用》（HJ 1326-2023）的相关要求，对配套建设的环境保护设施进行验收，自行或委托有能力的技术机构编制验收报告，并组织由设计单位、施工单位、环境影响报告表编制机构、验收监测（调查）报告编制机构等单位代表以及专业技术专家等成立的验收工作组，采取现场检查、资料查阅、召开验收会议等方式开展验收工作。建设项目配套建设的环境保护设施经验收合格后，其主体工程方可投入生产或者使用；未经验收或者验收不合格的，不得投入生产或者使用。项目建成具备运行条件后三个月内办理竣工环保验收手续，验收合格后方投入使用。

## **12.4 辐射事故应急**

### **12.4.1 应急预案的要求**

建设单位已制定《辐射事故应急预案》。该预案明确了事故处理措施，公布了事故情况下各部门（包括生态环境和公安等管理部门）的联络电话。经与建设单位核实，自辐射活动开展以来，无辐射事故发生，事故应急小组处于正常运行状态。建设单位每年均定期开展辐射事故应急预案演练，并对演练结果进行总结，及时对辐射事故应急预案进行完善和修订。因此，现有辐射事故应急预案合理可行。

本项目投入运行前，建设单位应依据本项目情况修订《辐射事故应急预案》。同时建设单位应定期、具有针对性的对可能发生的辐射事故进行演习和辐射安全的法律、法规知识的培训，演习内容包括辐射事故应急处理预案的可操作性、针对性、完整性，相关演习和培训记录存档。在预案的实施中，应根据国家发布新的相关法规内容，结合实际及时对预案作补充修改，使之更能符合实际需要。

### **12.4.2 辐射事故上报的要求**

对于在建设单位自行监测或委托监测时发现异常情况的，应根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》等相关要求，向生态环境主管部门报告。在发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急预案，采取必要防范措施，并根据要求在 2h 内填写《辐射事故初始报告表》，向生态环境主管部门和公安部门报告，造成或者可能人员超剂量照射的，还应当同时向卫生部门报告。

## 表 13 结论与建议

### 13.1 结论

#### 13.1.1 项目概况

建设单位拟在计量科技创新实验楼地下二层建设 1 间工业 CT 机房，机房内新增 1 台 AX-2000 型工业 CT（最大管电压为 160kV，最大管电流为 0.5mA，自带防护铅房，为 II 类射线装置），用于进行小型物件的无损检测；建设单位拟在计量科技创新实验楼地下二层新建 1 间活度计量实验室，使用核素  $^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{85}\text{Kr}$  开展辐射检测设备校准和检定等工作；建设单位拟在计量科技创新实验楼十六层标准氦室实验室配置使用 1 台氦试验箱（型号未定），箱体内配置 3 枚活度分别为 0.5MBq、1MBq 和 2MBq 固体镭源（ $^{226}\text{Ra}$ ）作为氦气（ $^{222}\text{Rn}$ ）发生源，用于氦测量仪器及探测器的校准和检定等工作。

#### 13.1.2 产业政策分析结论

根据《杭州市产业发展导向目录（2024 年本）》和《钱塘区产业发展导向目录与产业平台布局指引》（钱政办发〔2022〕6 号），本项目属于鼓励类；根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目属于第一类“鼓励类”第六项“核能”中第 4 条“核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”项目和第十四项“机械”中第 1 条“科学仪器和工业仪表：用于辐射、有毒、可燃、易爆、重金属、二噁英等检测分析的仪器仪表，水质、烟气、空气检测仪器，药品、食品、生化检验用高端质谱仪、色谱仪、光谱仪、X 射线仪、核磁共振波谱仪、自动生化检测系统及自动取样系统和样品处理系统，科学研究、智能制造、测试认证用测量精度达到微米以上的多维几何尺寸测量仪器，自动化、智能化、多功能材料力学性能测试仪器，工业 CT、三维超声波探伤仪等无损检测设备，用于纳米观察测量的分辨率高于 3.0 纳米的电子显微镜，各工业领域用高端在线检验检测仪器设备”项目。因此，本项目建设符合国家和地方产业政策要求。

#### 13.1.3 实践正当性分析结论

X 射线探伤作为五大常规无损检测方法之一，可以探测各类金属或其他材料内部可能产生的缺陷并直观地显示工件内部缺陷的大小和形状，是保障产品质量的重

要手段，其检测效果为一般非放射性探伤方法所无法替代；电离辐射计量作为核测量领域基础学科，广泛应用于国防科研、放射医学诊断治疗、辐照加工、核能开发、新能源利用、环境保护等多个领域，且作用日益关键。目前浙江省作为核电大省及放射医疗应用广泛的省份，电离辐射标准装置基本处于空白状态，为满足核安全对辐射计量检测的新需求、保障人民身体健康所需放射医疗仪器辐射剂量测量的准确可靠，建设适应现代电离辐射计量技术发展的传递标准装置、研究测量方法并整合资源形成技术与设备资源平台十分必要。本项目运行过程中采取满足国家标准要求的辐射安全防护措施，加强辐射安全管理，对周围环境和人员的影响满足标准要求，项目建设具备充分的实践正当性，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）“实践的正当性”的原则，且具有良好的经济效益和社会效益，整体目的正当可行。

#### **13.1.4 杭州市生态环境分区管控动态更新方案符合性分析**

本项目位于杭州市钱塘区下沙路 300 号浙江省质量科学研究院计量科技创新实验楼，根据《杭州市生态环境局关于印发<杭州市生态环境分区管控动态更新方案>的通知》（杭环发〔2024〕49 号），本项目所在地属于“钱塘区下沙城镇生活重点管控单元（生态环境管控单元编码：ZH33011420001）”。本项目为专用仪器仪表计量检测配套的核技术利用项目，非工业项目，对照《杭州市生态环境分区管控动态更新方案》，经分析，本项目的实施符合《杭州市生态环境分区管控动态更新方案》的要求。

#### **13.1.5 辐射安全与防护分析结论**

本项目拟新增的工业 CT 为自屏蔽设备，设有安全联锁系统、工作状态指示灯、急停按钮、警告标识等安全设施，建设单位已配置 1 台 X- $\gamma$ 辐射剂量率巡测仪，拟为辐射工作人员配备个人剂量计，辐射安全与防护措施满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）防护最优化的要求。

本项目活度计量实验室场所设计了满足防护要求的实体屏蔽，能够有效屏蔽 $\gamma$ 射线和 $\beta$ 射线的辐射影响，场所拟配备专用通风橱和废物暂存间，放射性核素操作人员拟配备铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜等个人防护用品；工作场所拟设置电离辐射警示标识及监控设施，配备表面污染仪和 X- $\gamma$ 辐射剂量率巡测仪监测设备；设置有满足要求的固体放射性废物收集铅桶、放射性废气专用排风管线

及活性炭吸附装置。

本项目固体镭源和  $^{222}\text{Rn}$  使用过程产生 $\alpha$ 射线和少量 $\gamma$ 射线，氡试验箱主要采用不锈钢和冷轧钢板制作，可在一定程度上屏蔽辐射，因此，无需额外增加防护。

综上所述，在满足实际工作需要的基础上对工作人员及公众进行了必要的防护，减少不必要的照射，根据理论估算分析结果，本项目拟采取的辐射防护措施能够符合辐射防护要求。

### 13.1.6 辐射安全管理分析结论

建设单位已成立辐射安全管理机构，并制定了一系列辐射安全管理规章制度。建设单位应根据本项目的特点，对现有规章制度进行补充和完善，以保证辐射相关工作安全有序开展。建设单位已对现有辐射工作人员进行了上岗前职业健康检查，并委托有资质单位对其进行个人剂量检测。本项目新增辐射工作人员拟配备个人剂量计，并按期（最长不超过3个月）委托有资质单位进行个人剂量检测，并建立个人剂量检测档案。

### 13.1.7 环境影响分析结论

#### （1）辐射影响分析结论

根据本报告表 11 章节对本次核技术利用项目运行过程中对周边环境及人员的辐射影响分析可知，在正常工况下，本项目工业 CT 设备外表面 30cm 处的辐射剂量率满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中“屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。本项目活度计量实验室工作场所屏蔽体外剂量率控制水平均符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）标准要求；本项目辐射工作人员和周围的公众所受外照射年有效剂量均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）关于职业照射剂量限值的要求，同时满足本环评提出的年剂量约束值即工作人员  $5\text{mSv}$  和公众  $0.1\text{mSv}$  的要求。

#### （2）工业 CT “三废”影响分析

本项目 X 射线能量低，电离产生的臭氧和氮氧化物额度非常低，且臭氧可在 50 分钟后自然分解，氮氧化物只有臭氧产生额的 1/3。本项目工业 CT 体积约为  $3.46\text{m}^3$ ，设备顶部自带动力排风装置，排风量  $162\text{m}^3/\text{h}$ ，每小时通风换气次数约 46 次，臭氧及氮氧化物通过设备顶部自带排风装置排放至工业 CT 机房内，再通过工业 CT 机房通风系统排至室外，降低室内臭氧和氮氧化物的浓度，臭氧在一段时间

内自动分解为氧气，对周围环境空气质量影响较小。

## **(2) 活度计量实验室和标准氩室实验室“三废”影响分析**

本项目活度计量实验室、标准氩室实验室使用过程中涉及的三废均为放射性固体废物和放射性废气。

本项目活度计量实验室放射性固体废物暂存于废物暂存间的衰变箱中，暂存时间满足标准要求后（含核素  $^{18}\text{F}$  和  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  的固体放射性废物暂存时间超过 30 天；含  $^{131}\text{I}$  核素的固体放射性废物暂存超过 180 天），经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， $\alpha$ 表面污染小于  $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ ， $\beta$ 表面污染小于  $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，可对废物清洁解控并作为危险废物处置。 $^{85}\text{Kr}$  专用气瓶由供源单位进行回收处置。

本项目标准氩室实验室放射性固体废物主要为处理更换的废活性炭以及退役的固体镭源（ $^{226}\text{Ra}$ ），其中更换下来的废活性炭可作为一般固体废物处置；退役的固体镭源（ $^{226}\text{Ra}$ ）由供源单位进行回收更换。

本项目活度计量实验室共设有 2 套排风管道，活度计量实验室通风橱单独设置一套排风系统，废物暂存间、卫生通过间共用一套排风系统，校准检定过程产生的放射性废气经排风系统收集，排风管道最终经排风井引至计量科技创新实验楼楼顶排放；氩试验箱单独设置了排风系统，箱体内气体经排风系统收集通过排风管道最终引至计量科技创新实验楼楼顶排放，排放口已尽量远离邻近的高层建筑，排风管设置止回阀，防止气流倒灌，通风橱顶壁和排风口均设活性炭吸附装置。因此，放射性废气对周围环境影响较小。

### **13.1.8 可行性分析结论**

综上所述，浙江省质量科学研究院核技术利用建设项目符合实践的正当性，符合国家产业政策和《杭州市生态环境分区管控动态更新方案》的管控要求，在落实本评价报告所提出的各项污染防治和辐射环境管理措施后，建设单位具备从事相应的辐射工作技术能力。本项目运行对周围环境产生的辐射影响符合环境保护的要求，从辐射安全和环境保护的角度论证，本项目建设是可行的。

## **13.2 建议与承诺**

### **13.2.1 建议**

建设单位应加强辐射安全教育培训，提高职业工作人员对辐射防护的理解和执行辐射防护措施的自觉性，杜绝放射性事故的发生。

### 13.2.2 承诺

(1) 在本项目取得批复后，建设单位应及时向生态环境主管部门重新申领辐射安全许可证。

(2) 项目严格按照本次报批的建设规模建设，项目竣工后正式运行前，根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》，在规定的验收期限内（一般为项目建成后3个月内），对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告。

(3) 承诺在项目启用前，将张贴悬挂相应规章制度于工作场所墙面上，并在场所设立符合规范要求的电离辐射警告标志。

(4) 加强对辐射工作人员剂量计佩戴和个人剂量监测工作的管理和监督。

(5) 按要求每年1月31日前向发证机关提交本单位辐射安全和防护年度评估报告。

(6) 承诺严格执行辐射监测计划，发现隐患及时整改。

## 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