

JXHG(35)-2025-011

核技术利用建设项目

宁德核电电离辐射计量标定实验室项目

环境影响报告表

(公开版)

福建宁德核电有限公司

二〇二六年三月



表 1 项目基本情况

建设项目名称	宁德核电电离辐射计量标定实验室项目				
建设单位	福建宁德核电有限公司				
法人代表	田*宇	联系人	钟*	联系电话	188*****5255
注册地址	福建省宁德市福鼎市江滨北路 266 号核电大厦				
项目建设地点	福建省宁德市福鼎市太姥山镇宁德核电厂 AM 实验室一层辐照室				
立项审批部门	/		批准文号	/	
建设项目总投资（万元）	**	项目环保投资（万元）	**	投资比例（环保投资/总投资）	**%
项目性质	<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他			占地面积（m ² ）	**
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类（医疗使用） <input checked="" type="checkbox"/> II类 <input checked="" type="checkbox"/> III类 <input checked="" 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 type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input 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	/				

1.1 建设单位情况

福建宁德核电有限公司（以下简称“宁德核电”）是中广核集团下属的核电公司，于 2006 年 3 月 23 日在福建省宁德市注册成立，公司投资主体有广东核电投资有限公司、大唐国际发电股份有限公司和福建省能源集团有限公司。宁德核电厂由福建宁德核电有限公司投资建设，同时负责核电厂建成后的运营和管理。宁德核电厂位于福建省宁德市辖福鼎市太姥山镇，项目规划总容量六台百万千瓦级核电机组，一次规划，分期建设，一期建设四台。

宁德核电厂是国家颁布核电中长期发展规划后第一座开工建设的核电项目。一期工程于 2004 年 1 月开始厂址查勘，2008 年 2 月 18 日正式开工。首台机组于 2013 年 4 月 15 日开始投入商业运行，2、3、4 号机组相继于 2014~2016 年间投运，一期工程四台机组于 2016 年 7 月 21 日全面建成。1~4 号机组均采用中国广核集团有限公司拥有自主知识产权的 CPR1000 百万千瓦级压水堆核电技术。

2018 年 9 月 18 日，5、6 号机组（二期工程）环境影响评价报告书（选址阶段）已取得生态环境部批复（环审〔2018〕91 号）。2023 年 7 月 31 日 5、6 号机组获国家核准。

宁德核电厂现有 AM 实验室（电离辐射计量标定实验室）位于一期工程核电厂区东部偏北位置，现有 AM 实验室主要用于宁德核电全厂辐射监测仪器仪表计量校准与检定，于 2010 年 7 月履行了环评手续，2019 年 10 月履行了竣工环境保护验收手续。现有 AM 实验室设有三类标准装置：防护水平伽马参考辐射准直照射装置 MCD-2A 单源照射装置、AM-05 多源照射装置各一台；个人剂量计校准装置一台； α β 表面污染仪刻度装置一台。AM 实验室目前主要使用 6 枚 ^{137}Cs 放射源（III、IV、V 类各 2 枚），1 枚 ^{60}Co 放射源（II 类），5 枚 ^{241}Am 放射源（IV 类和 III 类分别为 4 枚和 1 枚）。

根据宁德核电新建应急柴油发电机组可行性分析报告，日本福岛事故后各国政府均对本国核电厂的安全状态进行复核，并提出了多项改进措施，中广核集团在运机组均在开展新增应急柴油发电机组改造工作，因此宁德核电拟新增一台应急柴油发电机组，如后续其他应急柴油发电机组发生故障，新增应急柴油发电机组能够立即顶替，可提高应急电源整体安全裕度，有利于提升宁德核电厂应急电源冗余性，从而提升整个核电机组的可用率，确保核与辐射安全。根据可行性分析研究，现有 AM 实验室区域地基条件满足新增应急柴油发电机组项目建设选址要求，因此需要拆除现有 AM（电离辐射计量标定）实验室。AM 实验室主要功能为对核电厂辐射防护监测仪器和仪表校准与检定，保证宁德核电厂辐射防护监测仪器及仪表测量值的准确性。因此宁德核电拟在一期工程核电厂区中部偏北位置拆除 EL 厂房（主要功能为清洗衣物，拆除后洗衣机等设备搬走），然后在 EL 厂房及西北侧空地新建 1 座二层新 AM 实验室。本次仅评价新 AM 实验室中的辐照室及控制室，新 AM 实验室其余部分的建设及 EL 厂房的拆除不属于本项目评价内容。

宁德核电拟在新 AM 实验室建成并投运后停用现有 AM 实验室，并在依法依规办理完退役相关环保手续后拆除现有 AM 实验室，本项目不对退役工程内容进行评价。拆除前，现有 AM 实验室使用的设备（辐射准直照射装置 MCD-2A 单源照射装置、AM-05 多源照射装置、个人剂量计校准装置）拟报废处置， α β 表面污染仪刻度装置拟搬迁至新 AM 实验室

一层仪表检定室 1 使用。现有 AM 实验室 1 枚 ^{60}Co 放射源（II 类）拟转移至核电厂 EN 源库暂存，4 枚 ^{137}Cs 放射源（III、IV 各 2 枚）、1 枚 ^{241}Am 放射源（III 类）拟转移至新 AM 实验室辐照室内，其余的 2 枚 ^{137}Cs 放射源（V 类）、4 枚 ^{241}Am （IV 类）及豁免源拟转移至新 AM 实验室一层放射源储存间暂存。转移放射源由厂家工作人员负责，本项目辐射工作人员不参与。新 AM 实验室一层仪表检定室 1 和放射源储存间涉及的放射源均为 IV 类、V 类、豁免源，建设单位拟对新 AM 实验室一层仪表检定室 1 和放射源储存间涉及的使用 IV 类、V 类放射源另履行环境影响登记备案手续，本项目不对其进行评价。

1.2 项目建设内容与项目由来

（一）建设内容

在新 AM 实验室（下文简称“AM 实验室”）一层新建 1 间辐照室及控制室，在辐照室内新购并使用 2 套防护水平 γ 参考辐射准直照射装置（1 套单源照射装置、1 套多源照射装置）和 1 套 X 射线空气比释动能计量标准设备（II 类射线装置），用于宁德核电辐射仪器和仪表的校准与检定。单源照射装置内含 1 枚 ^{60}Co 放射源，多源照射装置含有 4 枚 ^{137}Cs 放射源、1 枚 ^{241}Am 放射源。单源照射装置、多源照射装置及 X 射线空气比释动能计量标准设备不会同时使用，且任何情况下只有一枚放射源或 1 台 X 射线空气比释动能计量标准设备工作，不存在多枚放射源以及放射源与 X 射线空气比释动能计量标准设备共同工作的情况。

本项目放射源情况见表 1-1，X 射线空气比释动能计量标准设备情况见表 1-2，新旧 AM 实验室辐照室主要工程内容及设备情况详见表 1-3。

表 1-1 本项目放射源情况一览表

序号	核素名称	数量（枚）	初始活度（Bq）	放射源类别	用途	工作场所	存放位置
1	^{60}Co	1	2.96×10^{13}	II	辐射仪器和仪表校准与检定	辐照室	辐照室单源照射装置内
2	^{137}Cs	1	7.4×10^{11}	III	辐射仪器和仪表校准与检定	辐照室	辐照室多源照射装置内
3	^{137}Cs	1	2.22×10^{11}	III			
4	^{137}Cs	1	1.11×10^{10}	IV			
5	^{137}Cs	1	3.7×10^9	IV			
6	^{241}Am	1	1.85×10^{11}	III			

注：单源照射装置内的 ^{60}Co 放射源新购，多源照射装置内的 4 枚 ^{137}Cs 放射源和 1 枚 ^{241}Am 放射源来自现有 AM 实验室在用的。

表 1-2 本项目 X 射线空气比释动能计量标准设备一览表

序号	装置名称	型号	类别	数量 (台)	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	工作场所	存放位置
1	X 射线空气比释动能计量标准设备	待定	II类	1	320	22.5	辐照室	辐照室内

注：X 射线空气比释动能计量标准设备新购。

表 1-3 新旧 AM 实验室辐照室主要工程内容及设备情况表

旧 AM 实验室辐照室	新 AM 实验室辐照室	主要区别
①使用 1 台单源照射装置（内含 1 枚 II 类 ^{60}Co 放射源，源活度为 $3.7\text{E}+12\text{Bq}$ ）； ②使用 1 台多源照射装置（内含 4 枚 ^{137}Cs 放射源[III、IV 类各 2 枚]、1 枚 ^{241}Am 放射源[III 类]）； ③使用 1 台个人剂量计校准装置（使用 2 枚 V 类 ^{137}Cs 放射源）。	①使用 1 台单源照射装置（内含 1 枚 II 类 ^{60}Co 放射源，源活度为 $2.96\text{E}+13\text{Bq}$ ）； ②使用 1 台多源照射装置（内含 4 枚 ^{137}Cs 放射源[III、IV 类各 2 枚]、1 枚 ^{241}Am 放射源[III 类]）； ③使用 1 台 X 射线空气比释动能计量标准设备（II 类射线装置）。	①单源照射装置内 ^{60}Co 放射源活度增大（均为 II 类源）； ②新增使用 1 台 X 射线空气比释动能计量标准设备（II 类射线装置）； ③减少 1 台个人剂量计校准装置使用。

（二）项目由来

对于在特定、固定能量点辐射类型下进行常规、高频率的校准仪表采用单源照射装置进行校准与检定；对于需要快速、高效地在多个固定能量点辐射类型下的校准仪表采用多源照射装置进行校准与检定；对于需要连续可调能量（如研究仪表能量响应、模拟特定 X 射线谱）的校准仪表，需要精确调控束流特性（剂量率、均匀性、准直性）的校准仪表采用 X 射线空气比释动能计量标准设备进行校准与检定。

根据《关于发布放射源分类办法的公告》（国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号）可知，单源照射装置内含 1 枚 II 类 ^{60}Co 放射源，多源照射装置内含 2 枚 III 类 ^{137}Cs 放射源、2 枚 IV 类 ^{137}Cs 放射源、1 枚 III 类 ^{241}Am 放射源。

根据《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）可知，本项目 X 射线空气比释动能计量标准设备参照非医用射线装置中“工业用 X 射线探伤装置”，属于类射线装置。

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》（生态环境部令第 16 号），本项目属于五十五、核与辐射：172、核技术利用建设项目。本次评价内容的辐照室涉及使用 II 类、III 类、IV 类放射源及 II 类射线装置，因此宁德核电电离辐射计量标定实验室项目应编制环境影响报告表。

为保护环境、保障公众健康，福建宁德核电有限公司委托江西省地质局实验测试大队进行辐射环境影响评价（委托书详见附件 1）。江西省地质局实验测试大队立即组织人员

进行了现场踏勘和资料收集等相关工作，在此基础上编制完成了本项目环境影响报告表。

1.3 项目地理位置及周边环境

本项目位于福建省宁德市福鼎市太姥山镇宁德核电厂拟建的 AM 实验室一层辐照室，项目地理坐标为东经 120°17'10.8"，北纬 27°2'50.3"，项目地理位置图见图 1-1。AM 实验室东北侧为 AG 厂房，东南侧、西南侧和西北侧为内部道路。辐照室东北侧为走道，东南侧为控制室，西南侧为走道和楼梯间，西北侧为内部道路，楼上为屋顶，楼下为土层。

本项目拟建辐照室周围（紧邻）场所一览表见表 1-4。

表 1-4 拟建辐照室周围（紧邻）场所一览表

位置	东北侧	东南侧	西南侧	西北侧	楼上	楼下
AM 实验室	AG 厂房	内部道路	内部道路	内部道路	/	/
辐照室	走道	控制室	走道和楼梯间	内部道路	屋顶	土层

本项目辐照室 50m 评价范围内环境保护目标为：辐照室东北侧 11m 的 AG 厂房，西北侧 46m 的走廊，北侧 50m 的 UA 厂房、内部道路以及 AM 实验室非本项目的辐射工作人员。本项目周围 50m 范围内均为宁德核电厂内区域，无居民点、学校、行政办公区等人群密集区，选址合理。

1.4 与“生态环境分区管控”相符性分析

（1）生态保护红线

根据《宁德市人民政府关于印发“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》（宁政〔2021〕11 号）、《宁德市生态环境分区管控动态更新成果（2023 年）》《福鼎市国土空间总体规划（2021—2035 年）》等，本项目所在区域不属于生态保护红线范围，项目建设符合生态保护红线控制要求。

（2）环境质量底线

根据辐射环境质量现状监测结果，本项目拟建场址周围环境 γ 辐射空气吸收剂量率处于正常本底水平。本项目运行无放射性废气、放射性废水产生，产生的废旧放射源由供源单位回收；少量的废气 O_3 及氮氧化物经通风系统排入大气环境，对周围环境产生影响较小，在落实本环评提出的各项污染防治措施后，能维持周边环境质量现状，不会突破当地环境质量底线。

（3）资源利用上线

本项目营运过程中会消耗一定量的水、电资源，主要来自工作人员的日常生活用水和设施用电，但项目规模小，资源消耗量相对区域资源利用总量较少，符合资源利用上线要

求。

(4) 生态环境准入清单

根据福建省生态环境分区管控数据应用平台综合查询结果（图1-8）可知，本项目位于福鼎市一般管控单元（ZH35098230001），本项目生态环境准入要求符合性分析见表1-5。

表 1-5 本项目生态环境准入要求符合性分析表

环境管控单元名称及代码	单元类型	生态环境准入要求		本项目情况	符合性
福鼎市一般管控单元 (ZH35098230001)	一般管控单元	空间布局约束	(1) 一般建设项目不得占用永久基本农田，重大建设项目选址确实难以避让永久基本农田的，必须依法依规办理。严禁通过擅自调整县乡国土空间规划，规避占用永久基本农田的审批。(2) 禁止随意砍伐防风固沙林和农田保护林。	本项目未占用永久基本农田，无需砍伐防风固沙林和农田保护林。	符合
		污染物排放管控	无	/	/
		环境风险防控	无	/	/
		资源开发效率要求	禁燃区内，禁止销售、燃用高污染燃料，禁止新建、改建、扩建燃用高污染燃料的设施。	本项目属于核技术利用项目，不涉及资源开发效率要求的相关内容。	符合

综上所述，本项目不涉及生态保护红线，符合环境质量底线、资源利用上线和生态环境准入清单的要求。

1.5 与“三区三线”管控方案的相符性

本项目不占用城镇开发边界、永久基本农田保护红线、生态保护红线。本项目辐照室位于福建省宁德市福鼎市太姥山镇宁德核电厂内，在宁德核电厂用地范围内，用地性质属于工业用地，符合当地的土地利用规划。综上分析，本项目与“三区三线”的管控方案相符。

1.6 可行性分析

本项目辐照室用于保证宁德核电厂辐射防护监测仪器及仪表测量值的准确性，满足核电厂辐射防护监测仪器和仪表校准与检定的要求，该项目的开展，能够为核电厂运行提供核安全保障，具有较好的经济效益和社会效益，所获利益远大于其危害，且经评价分析，

公司辐照室工作场所屏蔽措施符合相关标准要求，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践的正当性”的原则。对照《产业结构调整指导目录（2024年本）》的相关规定，本项目属于“核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发”，为鼓励类项目，符合国家产业政策的要求。

1.7 评价目的

(1) 对项目拟建场所及周边的辐射环境现状进行现场调查和监测，以掌握该场址的辐射水平和辐射环境质量现状。

(2) 通过环境影响评价，预测建设项目对其周围环境影响的程度和范围，提出环境污染控制对策，为建设项目工程设计和环境管理提供科学依据。

(3) 对不利影响和存在的问题提出防治措施，把辐射环境影响减少到“可合理达到的尽量低水平”。

(4) 提出环境管理和环境监测计划，使该项目满足国家和地方生态环境部门对建设项目环境管理规定的要求，为辐射环境管理提供科学依据。

1.8 环评内容、评价因子及评价重点

本项目环评内容为单源照射装置、多源照射装置和 X 射线空气比释动能计量标准设备产生的电离辐射。本次评价因子包括周围剂量当量率、有效剂量等，重点评价其产生的电离辐射对环境及敏感点人群的影响。

1.9 原有核技术利用项目许可情况

(一) 原有核技术利用项目许可及环保手续履行情况

宁德核电目前持有的辐射安全许可证（闽环辐证（00149））许可种类和范围为：使用 II 类、III 类、IV 类、V 类放射源；使用 II 类、III 类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所，有效期至 2028 年 2 月 21 日（见附件 2）。

宁德核电原有核技术利用项目均已履行了环保手续。环保手续履行情况见表 1-6。

表 1-6 宁德核电核技术利用项目环保手续履行情况

放射源					
核素	类别	数量	使用场所	是否环评	是否验收
Th-232	V	12	1/2/3/4/9/8 核岛	2010 年 7 月获得 批复	2019 年 10 月 已自主验收
Sr-90	V	40			
Pu-238	III	5			
Np-237	V	32			
Cs-137	V	20			
Cf-252	IV	8			

Sr-90(Y-90)	V	1	AD 楼 TLD 测读实验室	2010 年 7 月获得 批复	2019 年 10 月 已自主验收		
Sr-90	V	4					
多核素	V	7					
Sr-90	V	7	AM (其他)	2010 年 7 月获得 批复	尚未购买		
Cs-137	V	8					
Cs-137	IV	1					
Co-60	V	1					
C-14	V	12					
Am-241	IV	1					
Cs-137	III	2	AM 实验室	2010 年 7 月获得 批复	2019 年 10 月 已自主验收		
Cs-137	IV	2					
Cs-137	V	2					
Co-60	II	1					
Am-241	IV	4					
Am-241	III	1					
Cs-137	V	13	EN 源库	2010 年 7 月获得 批复			
Cs-137	IV	2					
非密封放射性物质							
核素	类别	日等效最大操作 量 (Bq)	使用场所	是否环评	是否验收		
I-131	乙级非 密封放 射性工 作场所	3.7E+08	9AC227	闽环辐评 (2024) 53 号	2025 年 1 月 已自主验收		
Np-237	丙级非 密封放 射性工 作场所	1E+06	AL 实验室	闽环辐评 (2013) 10 号	2019 年 10 月 已自主验收		
Am-241		2.6E+06					
I-131		1.6E+06					
C-14		1.25E+06					
Sr-90(Y-90)		1.0E+05					
Xe-127		6.2E+06					
Cs-137		4E+06					
Pu-239		5E+06					
H-3		6.3E+04					
Kr-85		2.1E+06					
射线装置							
装置名称			类别	数量	工作场所	是否环评	是否验收
ZEISS Metrotom 1500 型工业 CT			II	1	JH 厂房 1 层交 叉作业训练区	闽环辐评 (2020) 53 号	2021 年 12 月 已自主验收
NITON XL5 型 X 射线荧光光谱仪			III	1	9AC223 实验室	备案号: 20233509820000 0030	/
BRUKER SI TITAN 600 型 X 射线荧光光谱仪			III	1	9AC223 实验室		
NITON XL3t 800 型 X 射线荧光光谱仪			III	1	9AC223 实验室		
AT6550 型 X 射线安全检查设备			III	1	UD 门	2010 年 7 月获得 批复	/
CMEX-B6550SA 型 X 射线安全检查设备			III	1	UD 门		

（二）辐射安全管理情况

宁德核电现有辐射工作场所的辐射防护设施运行工作良好，在辐射安全和防护制度的建立、落实以及档案管理等方面运行良好。

（1）公司已建立安全、质量、环境管理委员会，明确了委员会成员及各自职责。公司建立有《放射源与射线探伤管理》《γ射线空气比释动能（防护水平）标准装置操作规程》等规章制度，并要求工作人员严格按规章制度要求执行。公司制定了《宁德核电基地辐射事故应急预案》，并每年进行辐射事故应急演练。

（2）公司制定有辐射监测方案，并将监测数据记录存档。辐射场所监测目前未出现超标情况。

（3）公司于每年1月31日前提交上一年度年度评估报告，2025年年度评估报告已上传至“全国核技术利用辐射安全申报系统”进行备案。

（4）公司辐射工作人员培训、个人剂量监测和职业健康监护档案情况：

宁德核电辐射工作人员均配备了个人剂量计，每两个月送有资质的单位进行检测，建立个人剂量档案。辐射工作人员均通过辐射安全培训并考核合格，合格证均在有效期内。辐射工作人员每年进行一次职业健康体检，并建立了健康监护档案。

1.10 环保投资

本项目总投资为**万元，其中环保投资为**万元，占总投资的**%。项目环保投资情况见表 1-7。

表 1-7 环保投资情况一览表

项目		环保投资金额（万元）	
辐照室	辐照室墙体建设、防护门、固定式辐射剂量率监测系统、通风排风装置、电离辐射警告标志等防护措施。	**	**
	安排工作人员参加辐射安全防护专业知识培训、职业病健康体检、个人剂量监测。	**	
	配备便携式 X-γ辐射剂量率仪、个人剂量报警仪等辐射监测仪器和防护用品。	/	
	环保手续办理和年度辐射监测费用等。	**	

注：辐照室依托现有 AM 实验室辐射工作人员、监测设备及防护用品，不计入本次投资。

1.11 本项目与原有项目依托关系

宁德核电厂现有 AM 实验室停用后拟拆除，本项目将依托现有 AM 实验室配备的 3 台 6150AD5 型便携式 X-γ 辐射剂量率仪、3 台 EPD-G 型个人剂量报警仪、3 个个人剂量计等辐射监测仪器和防护用品，依托多源装置内的 4 枚 ^{137}Cs 放射源（2 枚 III 类，2 枚 IV 类），1 枚 ^{241}Am 放射源（III 类），依托现有 AM 实验室的辐射工作人员。



图1-1 项目地理位置图

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
1	⁶⁰ Co	2.96×10 ¹³ ×1	II	使用	辐射仪器和仪表校准与检定	辐照室	辐照室单源照射装置内	固定安装
2	¹³⁷ Cs	7.4×10 ¹¹ ×1	III	使用	辐射仪器和仪表校准与检定	辐照室	辐照室多源照射装置内	固定安装
3	¹³⁷ Cs	2.22×10 ¹¹ ×1	III	使用	辐射仪器和仪表校准与检定	辐照室		固定安装
4	¹³⁷ Cs	1.11×10 ¹⁰ ×1	IV	使用	辐射仪器和仪表校准与检定	辐照室		固定安装
5	¹³⁷ Cs	3.7×10 ⁹ ×1	IV	使用	辐射仪器和仪表校准与检定	辐照室		固定安装
6	²⁴¹ Am	1.85×10 ¹¹ ×1	III	使用	辐射仪器和仪表校准与检定	辐照室		固定安装

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
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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
1	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(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	X 射线空气比释动能计量标准设备	II类	1	待定	320	22.5	辐射仪器和仪表校准与检定	辐照室	定向照射
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(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
臭氧、氮氧化物	气态	/	/	少量	少量	/	不暂存	通过排风系统排到外环境。
单源照射装置及辐照室多源照射装置更换的废旧放射源	固态	⁶⁰ Co、 ¹³⁷ Cs、 ²⁴¹ Am	/	/	/	/	辐照室单源照射装置内及辐照室多源照射装置内	供源单位回收
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

表 6 评价依据

法规文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》（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，2015年1月1日起施行）；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（中华人民共和国主席令第二十四号，2018年12月29日起施行）；</p> <p>(3) 《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第六号，2003年10月1日起施行）；</p> <p>(4) 《国务院关于修改〈建设项目环境保护管理条例〉的决定》（国务院令682号，2017年10月1日起实施）；</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（中华人民共和国国务院令709号，2019年修订）；</p> <p>(6) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021年版，生态环境部令16号）；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（关于废止、修改部分生态环境规章和规范性文件的决定，生态环境部令20号）；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（国家环境保护部令18号，2011年5月1日起施行）；</p> <p>(9) 《关于印发辐射安全许可座谈会会议纪要的函》（环办函〔2006〕629号，2006年9月28日印发）；</p> <p>(10) 《产业结构调整指导目录（2024年本）》（2023年12月1日第6次委务会议审议通过，自2024年2月1日起施行）；</p> <p>(11) 《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6日起施行）；</p> <p>(12) 《关于发布放射源分类办法的公告》（国家环境保护总局公告2005年第62号，2005年12月23日发布）；</p> <p>(13) 《辐射安全与防护监督检查技术程序》，生态环境部，2020年2月；</p> <p>(14) 《关于做好放射性废物（源）收贮工作的通知》，环办辐射函〔2017〕609号，原环境保护部办公厅，2017年4月21日起施行；</p> <p>(15) 《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26日）；</p> <p>(16) 《放射性废物安全管理条例》（2011年12月20日国务院第612号令发布，2012年3月1日施行）；</p>
------	---

	<p>(17) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函〔2016〕430号）；</p> <p>(18) 原福建省环保厅关于印发《核技术利用单位辐射事故/事件应急预案编制大纲（试行）》的通知（闽环保辐射〔2013〕10号）；</p> <p>(19) 《福建省生态环境保护条例》（福建省第十三届人民代表大会常务委员会第三十二次会议通过，2022年5月1日起施行）；</p> <p>(20) 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》（生态环境部令第9号，2019年11月1日起施行）；</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第57号，2020年1月1日起实施）；</p> <p>(22) 《国家危险废物名录（2025年版）》（生态环境部令第36号，2025年1月1日起施行）；</p> <p>(23) 关于发布《建设项目危险废物环境影响评价指南》的公告（环境保护部第43号，2017年9月1日起实施）。</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》（HJ10.1-2016）；</p> <p>(2) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）；</p> <p>(3) 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）；</p> <p>(4) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；</p> <p>(5) 《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB8999-2021）；</p> <p>(6) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）；</p> <p>(7) 《含密封源仪表的放射卫生防护要求》（GBZ125-2009）；</p> <p>(8) 《密封放射源及密封γ放射源容器的放射卫生防护标准》（GBZ114-2006）；</p> <p>(9) 参照《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）；</p> <p>(10) 参照《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）；</p> <p>(11) 参照《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）；</p> <p>(12) 参照《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）；</p> <p>(13) 《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）。</p>

其他

- (1) 委托书（附件 1）；
- (2) 《辐射防护导论》（方杰主编）；
- (3) 《辐射防护手册》（第一分册）（李德平、潘自强主编）；
- (4) 《辐射安全手册》（潘自强主编）；
- (5) 《中国环境天然放射性水平》（中国原子能出版社，2015 年 7 月第 1 版）；
- (6) 建设单位提供的其他资料。

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“1.5 评价范围和保护目标：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（无实体边界项目视具体情况而定，应不低于 100m 的范围）”。

本项目为使用II类射线装置和使用II类、III类、IV类放射源，评价范围为辐照室实体屏蔽体外 50m。

7.2 保护目标

本项目周围 50m 范围均为宁德核电厂内区域，无居民区、学校等环境敏感目标。环境保护目标主要是本项目辐射工作人员和评价范围内的其他公众成员，详见表 7-1。

表 7-1 本项目环境保护目标

场所名称	环境保护对象	方位	距离	人数	类型	年剂量约束值(mSv)	
辐照室	控制室	职业人员	东南侧	紧邻	3 人	职业照射	5
	AM 实验室内部走道	公众	东北侧	紧邻	流动人员	公众照射	0.1
	AM 实验室内部走道和楼梯间	公众	西南侧	紧邻	流动人员	公众照射	0.1
	核电厂内部道路	公众	西北侧	紧邻	流动人员	公众照射	0.1
	AG 厂房	公众	东北侧	11m	10 人	公众照射	0.1
	走廊	公众	西北侧	46m	流动人员	公众照射	0.1
	UA 厂房	公众	北侧	50m	15 人	公众照射	0.1
	AM 实验室	公众	四周	≥0.3m	20 人	公众照射	0.1
	核电厂内部道路	公众	南侧	15m	流动人员	公众照射	0.1

7.3 评价标准

7.3.1 职业照射、公众照射剂量限值与剂量约束值

1. 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

附录B中对“剂量限值”要求如下：

（1）职业照射剂量限值

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）公众照射剂量限值

1) 年有效剂量，1mSv。

2. 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）

第6.1.1款规定：对职业照射用年有效剂量评价，应符合GB18871-2002的B1.1的规定。

第6.1.3款规定：对职业照射受照剂量大于调查水平时，除记录个人监测的剂量结果外，还应作进一步调查，本标准建议的年调查水平为有效剂量5.0mSv/a。

3.参照《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）

4.9 从事放射治疗的工作人员职业照射和公众照射的剂量约束值应符合以下要求：

- a) 一般情况下，从事放射治疗的工作人员职业照射的剂量约束值为 5 mSv/a。
- b) 公众照射的剂量约束值不超过 0.1 mSv/a。

综上所述,本次评价以不超过**5.0mSv**作为辐射工作人员年剂量约束值;以不超过**0.1mSv**作为公众人员年剂量约束值。

7.3.2 辐射管理分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），应将辐射工作场所分为控制区、监督区。

对于需要专门防护手段或安全措施的区域划分为控制区，对于未被设定为控制区，不需要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，划分为监督区。对控制区和监督区的人员活动进行限制，辐射控制区和辐射监督区以外区域对人员活动不限制。

7.3.3 工作场所周围剂量当量率控制水平

1.《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）（参照标准）

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 μ Sv/周，对公众场所，其值应不大于 5 μ 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 μ 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 μ Sv/h。

2.《含密封源仪表的放射卫生防护要求》（GBZ125-2009）（参照标准）

4.7 检测仪表在不同场所使用时，见附录 A 所标示的位置的周围剂量当量率应满足表 7-2 的要求。

表 7-2 不同使用场所对检测仪表外围辐射的剂量控制要求

检测仪表使用场所	下列不同距离的周围剂量当量率 \dot{H} 控制值, $\mu\text{Sv/h}$	
	5cm	100cm
对人员的活动范围不限制	$\dot{H} < 2.5$	$\dot{H} < 0.25$
在距源容器外表面1m的区域内很少有人停留	$2.5 \leq \dot{H} < 25$	$0.25 \leq \dot{H} < 2.5$
在距源容器外表面3m的区域内不可能有人进入或放射工作场所设置了监督区	$25 \leq \dot{H} < 250$	$2.5 \leq \dot{H} < 25$
只能在特定的放射工作场所使用, 并按控制区、监督区分区管理	$250 \leq \dot{H} < 1000$	$25 \leq \dot{H} < 100$

注: 监督区边界剂量率为 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

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

根据《密封放射源及密封 γ 放射源容器的放射卫生防护标准》（GBZ114-2006），放射源储存设施应做到：如其可能接近公众，其屏蔽应能使设施外表面的空气比释动能小于 $2.5\mu\text{Gy/h}$ 或者审批部门批准水平。

综上所述，本项目辐照室顶无人到达，辐照室顶外表面 30cm 处的周围剂量当量率参考控制水平取 $100\mu\text{Sv/h}$ ；其他关注点（四周墙体和防护门外 30cm 处）屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

7.3.4 防护要求

1. 《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）（参照标准）

4 使用单位放射防护要求

4.1 开展工业探伤工作的使用单位对放射防护安全应负主体责任。

4.2 应建立放射防护管理组织，明确放射防护管理人员及其职责，建立和实施放射防护管理制度和措施。

4.3 应对从事探伤工作的人员按 GBZ 128 的要求进行个人剂量监测，按 GBZ 98 的要求进行职业健康监护。

4.5 应配备辐射剂量率仪和个人剂量报警仪。

4.6 应制定辐射事故应急预案。

6 固定式探伤的放射防护要求

6.1 探伤室放射防护要求

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。

6.1.5 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。

6.2 探伤室探伤操作的放射防护要求

6.2.1 对正常使用的探伤室应检查探伤室防护门-机联锁装置、照射信号指示灯等防护安全措施。

6.2.2 探伤工作人员在进入探伤室时，除佩戴常规个人剂量计外，还应携带个人剂量报警仪和便携式 X- γ 剂量率仪。当剂量率达到设定的报警阈值报警时，探伤工作人员应立即退出探伤室，同时防止其他人进入探伤室，并立即向辐射防护负责人报告。

6.2.3 应定期测量探伤室外周围区域的剂量率水平，包括操作者工作位置和周围毗邻区域人员居留处。测量值应与参考控制水平相比较。当测量值高于参考控制水平时，应终止探伤工作并向辐射防护负责人报告。

6.2.4 交接班或当班使用便携式 X- γ 剂量率仪前，应检查是否能正常工作。如发现便携式 X- γ 剂量率仪不能正常工作，则不应开始探伤工作。

6.2.5 探伤工作人员应正确使用配备的辐射防护装置，如准直器和附加屏蔽，把潜在的辐射降到最低。

6.2.6 在每一次照射前，操作人员都应该确认探伤室内部没有人员驻留并关闭防护门。只

有在防护门关闭、所有防护与安全装置系统都启动并正常运行的情况下，才能开始探伤工作。

7.3.5 臭氧浓度标准

氮氧化物和臭氧执行《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）规定：工作场所空气中臭氧最高容许浓度为 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ ，氮氧化物（一氧化氮、二氧化氮）时间加权平均容许浓度 $<5\text{mg}/\text{m}^3$ ，短时间接触容许浓度 $<10\text{mg}/\text{m}^3$ 。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

8.1.1 项目地理和场所位置

本项目位于福建省宁德市福鼎市太姥山镇宁德核电厂拟建 AM 实验室一层辐照室，项目地理位置图见图 1-1。

8.1.2 监测内容与点位

根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）第 4.2.2 条中有关布点原则和方法，并结合本项目的实际情况及可到达情况进行监测布点。本项目主要针对拟建辐照室及周围四周环境 γ 辐射剂量率进行监测。

8.1.3 监测仪器与规范

监测时间及环境参数见表 8-1，电离辐射监测仪器的参数与规范见表 8-2。

表 8-1 监测时间及环境参数一览表

监测时间	2025 年 6 月 6 日
天气情况	多云
温度	26°C
相对湿度	59%

表 8-2 电离辐射监测仪器的参数与规范表

仪器名称	便携式 X、 γ 辐射周围剂量当量率仪
仪器型号及编号	主机：FH40G 探头：FHZ672 E-10, F119
生产厂家	Thermo SCIENTIFIC
测量范围	1nSv/h~100 μ Sv/h
能量范围	40keV~4.4MeV
监测规范	《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021） 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）
监测单位	江西省地质局实验测试大队
校准证书编号	2024H21-10-5345111002
校准日期	2024 年 7 月 2 日
校准单位	上海市计量测试技术研究院（华东国家计量测试中心）

8.1.4 质量保证措施

- 合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性和可比性，同时满足标准要求。
- 监测方法采用国家有关部门颁布的标准，监测人员经考核并持有合格证书上岗。
- 监测仪器每年定期经计量部门检定/校准，检定/校准合格后方可使用。
- 每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常。
- 由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。
- 监测报告严格实行三级审核制度，经过校对、校核，最后由技术总负责人审定。

8.2 辐射环境质量现状监测结果

福建宁德核电有限公司委托江西省地质局实验测试大队于 2025 年 6 月 6 日在拟建辐照室及周边环境 γ 辐射剂量率进行监测。现场监测时，辐照室未建设，为空地。监测结果见表 8-3。

表 8-3 拟建辐照室周围环境 γ 辐射剂量率监测数据

序号	监测位置	环境 γ 辐射剂量率 (nGy/h)		备注
		测量结果	标准偏差	
1	拟建辐照室	**	**	室外监测点
2	拟建辐照室东北侧	**	**	室外监测点
3	拟建辐照室东南侧	**	**	室外监测点
4	拟建辐照室西南侧	**	**	室外监测点
5	拟建辐照室西北侧	**	**	室外监测点
6	AG 厂房	**	**	室内监测点
7	EL 厂房	**	**	室内监测点
8	AM 实验室东南侧内部道路	**	**	室外监测点
9	AM 实验室西南侧内部道路	**	**	室外监测点
10	UA 厂房旁	**	**	室外监测点
11	走廊	**	**	室内监测点

注：①以上数据均已扣除宇宙射线的贡献；②现场检测所有点位探头均朝下，离地 1m。

本项目表 8-3 所列监测数据已根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）第 5.5 条扣除仪器对宇宙射线的响应值，环境 γ 辐射剂量率测量结果按下式计算：

$$\dot{D}_\gamma = k_1 \times k_2 \times R_\gamma - k_3 \times \dot{D}_c$$

式中： \dot{D}_γ -测点处环境 γ 辐射空气吸收剂量率值，Gy/h；

k_1 -仪器检定/校准因子，此处取 1.15；

k_2 -仪器检验源效率因子，本仪器无检验源，此处取 1；

R_γ -仪器测量读数均值（空气比释动能和周围剂量当量的换算系数为 1.20Sv/Gy），Gy/h；

k_3 -建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子，道路取 1，平房取 0.8；

\dot{D}_c -测点处宇宙射线响应值，依据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）附录 D 节进行修正，修正后为 11.3nGy/h。

8.3 辐射环境质量现状评价

由上表 8-3 可知，公司拟建辐照室工作场所室外环境 γ 辐射剂量率为： $**nGy/h \sim **nGy/h$ ，室内环境 γ 辐射剂量率为： $**nGy/h \sim **nGy/h$ 。

本评价项目建设区域室外的环境 γ 辐射（空气吸收）剂量率（已扣除宇宙射线的贡献）处

于宁德市室外辐射环境本底范围值内（注：宁德市室外辐射环境本底范围值（12.3~221.0）nGy/h，宁德市室内辐射环境本底范围值（99.9~248.0）nGy/h，来源于《中国环境天然放射性水平》（中国原子能出版社，2015年）第390页表5）。

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 防护水平 γ 参考辐射准直照射装置

9.1.1.1 设备组成和工作原理

(1) 系统组成

防护水平 γ 参考辐射准直照射装置主要由放射源装置、智能仪表定位平台(无轨设计)、监控及准直系统、控制台及自动管理软件、量值传递次级标准器具、体模、配套安全和连锁系统等组成。

(2) 工作原理

首先,由经过检定的量值传递次级标准器具对辐照室智能仪表定位平台零位处剂量率进行标定,并把零点校准值输入计算机控制软件,控制软件内置的辐射衰变公式,随着时间的变化,可自动计算出衰变后的零点剂量率。另外通过软件控制智能仪表定位平台移动,得到不同距离下对应的剂量率。

智能仪表定位平台和放射源装置具备独立的控制器,由对应的驱动器控制电机的转动完成智能仪表定位平台移动和放射源装置升、降源等过程,其中放射源装置辅以气动控制系统,当设备意外断电时,电磁阀自动切换气路,推动主快门关闭。

另外,辐照室内由环境参数监测设备对温度、气压、湿度进行监测,监测数据通过通信传输至计算机监控软件,完成辐射剂量率的空气因子修正等;由固定式辐射剂量率监测系统对环境辐射剂量进行监测,监测数据上传计算机监控软件,完成整个系统的辐射报警连锁功能;由视频监控系统对人员和设备进行监视,并通过标尺摄像头和仪表摄像头完成智能仪表定位平台移动距离的标尺读数以及辐射监测仪表的数据显示读数。监控软件界面中显示各种功能参数及工作状态,通过操作监控软件发出各种控制指令,经控制器处理后控制相应的设备工作。

(3) 多源照射装置

①多源照射装置功能及技术参数

多源照射装置的转子能装4枚不同活度的 γ 源,另外设计1个空源位作为安全零位。当源装置关闭时,转子的空源位对准出射孔。用户可根据需要选择所需活度的放射源。对于 ^{241}Am 源,由于其产生的射线能量很低,主要用于辐射仪表的低能响应刻度。为避免其他放射源射线对它的干扰, ^{241}Am 装置安装在多源照射装置的外部,通过安全连锁系统,保证在单源照射装置和多源照射装置的主、辅助快门都关到位时,才能打开 ^{241}Am 装置,其辐射束经准直器射出,散射对辐照场的影响 $<5\%$ 。多源照射装置采用铅作为屏蔽材料,铅容器

采用整体浇铸，并按 γ 辐射屏蔽计算厚度设计 20%的余量，保证在距源容器外表面 30cm 处的剂量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。快门系统采用双快门方式，主快门外置，材质为钨合金，开关采用气动方式，辅助快门内置。双快门方式可以保证源装置的安全性和可靠性。

②多源照射装置的组成

多源照射装置主要包括：铅容器、辅快门系统、主快门系统、准直器以及外置 ^{241}Am 装置。

铅容器：铅容器采用铅材料进行整体浇铸，防止因缝隙造成的 γ 辐射泄漏，上方设置两个吊环螺钉，供多源照射装置在安装时吊装使用，多源照射装置重量约 3.5T。

转子：转子采用不锈钢壳体中间浇铅，可装 4 枚放射源，四个孔分别装 4 枚不同活度的放射源。

装源铅棒：装源棒采用不锈钢外壳，里面浇铅。装源铅棒内部螺丝孔为不锈钢，在装源铅棒的上方孔位为进源孔，把放射源放入后，旋进一个堵头防止源掉落，且源放置处背部具有防背部散射结构。装源棒右侧为制转部分，当装源棒进入装源铅转子后，能通过定位销固定源的方向；装源棒左侧为内丝孔，丝孔为倒源时，便于拉源杆旋转套入装源铅棒而设计。

主快门系统：主快门采用钨合金推拉式气动结构，用电磁阀对气路进行切换保证主快门的开关控制。当出现紧急断电情况时，电磁阀自动切换为关主快门气路，保证主快门可自动关闭。在图片右侧为气动推杆，通过气动推杆来控制气动快门的打开和关闭，黑色圆面为钨合金快门口。

辅助快门系统：包括转子、装源铅棒、步进电机等，辅助快门内置于铅罐中。

准直器：多源照射装置中的钨合金准直器进行了光阑设计。钨合金准直器中的光阑采用钨合金多板去散射结构，辐射角设计满足距离放射源 3 米处，辐射束横截面直径不低于 600mm。

^{241}Am 源装置： ^{241}Am 源装置整体布置于多源照射装置前，紧靠多源照射装置主快门。 ^{241}Am 源体固定在托源载体上（托源载体上设置采用光阑设计的多板去散射结构准直器），由气动推杆与气缸连为一个整体，气缸由安装支架支撑， ^{241}Am 源体和托源载体一并放置在铅盒内，气缸的推动行程为 150mm。 ^{241}Am 源装置采用气动推拉式结构控制，当 ^{241}Am 源需要工作的时候，通过二位五通的转向阀（气动推杆）把托源载体推出铅盒内到多源照射装置的快门前面。

采用迷宫腔设计方式：当 ^{241}Am 源不需要工作的时候，通过二位五通的转向阀（气动推杆）拉动托源载体进入迷宫内（迷宫腔用铅屏蔽材料做成），设计的迷宫腔能够保证满

足技术规格书的要求 ($\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$)。迷宫腔的门固定在可推拉移动的 ^{241}Am 托源体上。气动推杆每次推出的距离相同, 可保证 ^{241}Am 源每次定位的位置都一致。

多源照射装置控制方式: 多源照射装置装载源数 4 枚, 在装源铅转子上除设置 4 个源位外, 还设置有一个源零位; 通过定位到设置的源位进行照射。为了保证源装置定位精度, 转子回零时, 当寻找到零位开关后, 向反方向移动固定的一小段距离, 以消除装置的间隙误差; 采用加减速的控制方式和添加行星减速器保证转子不丢步运行; 另外提高细分数保证转子平稳运行, 且可提高步进角的精度, 从而使转子定位重复性误差小于 0.1%。关闭照射时, 转子回到规定的零位位置, 关闭主快门。外置 ^{241}Am 装置通过气动控制, 开启时气缸推出 ^{241}Am 放射源, 关闭时 ^{241}Am 回到存储位置。整个多源照射装置的控制由工控机监控软件进行操作完成。另外多源照射装置具有 UPS 保护电源, 当外部电源非正常突然断电时, 主快门 (钨合金气动推拉式结构) 自动关闭, 辅助快门通过控制台 (UPS 电源) 操作回到零位。

(4) 单源照射装置

①单源照射装置功能及技术参数

单源照射装置采用铅作为屏蔽材料, 为了保证距源容器外表面 30cm 处的剂量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的指标, 源容器采用整体浇铸。

快门系统采用双快门方式, 主快门外置, 材质为 241mm 钨合金, 开关采用气动方式, 辅助快门内置。双快门方式可以保证源装置的安全性和可靠性。

配置圆锥形准直器, 由于辐照室内散射主要来源于准直器口, 其采用去散射光阑设计, 光阑为钨合金材质的多板去散射结构 (GB/T12162.1-2000 的要求), 准直器的辐射角角度满足: 距离放射源 3 米处的辐射束横截面直径不低于 600mm。

为了满足向低剂量率的扩展, 配置 2 个衰减器, 减弱倍数分别为 $\times 5$ 倍和 $\times 20$ 倍, 设计符合防散射要求, 衰减器可自动切换。

单源照射装置的升降源在控制台上进行远程控制, 且具有安全联锁功能。

②单源照射装置组成

单源照射装置由外铅罐、辅助快门、步进电机、减速器、装源棒、主快门、准直器、衰减器等组成。

外铅罐: 为主屏蔽装置, 屏蔽厚度约为 305mm 的铅层和 20mm 钢板, 采用整体浇铸使其表面 γ 辐射漏泄距源容器外表面 30cm 处的剂量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$; 外形尺寸: $\Phi 580\text{mm} \times 960\text{mm}$; 重量: 2.5T。

辅助快门: 内置于外铅罐中, 其主要屏蔽材料为铅, 可对 γ 射线进行有效屏蔽; 为方便

日后维修，将传动部分延伸到铅容器外部，可手动转动。

装源棒：内置于外铅罐中，采用抽屉式设计，可以满足就地倒源功能，并在铅棒放源处，具有防背散射结构设计。

主快门：主快门采用钨合金材料，推拉式气动结构设计，用电磁阀对气路进行切换保证主快门的开关控制。当出现紧急断电情况时，电磁阀自动切换为关主快门气路，保证主快门可自动关闭。快门系统具有到位诊断功能，当主快门和辅助快门都开（或者关）到位时，控制台上的单源快门指示灯亮。开到位时为红色灯亮；关到位时为绿色灯亮。

准直器：辐射束截面在 3 米的位置其直径不小于 600mm。准直器设计采用可更换时，必要时可对准直器进行更换，以调整辐射束截面大小。

衰减器：配置 2 个衰减器，为了满足低剂量率的扩展，衰减器分别为×5 倍和×20 倍，可自动切换。

控制方式：在单源照射装置中放射源位置固定。进行升源控制时，首先开启辅助快门，辅助快门为旋转式控制，由装源棒、步进电机、行星减速器组成。辅助快门开到位后，立即自动开启主快门。源装置设有快门诊断功能，只有主快门、辅助快门都到位时，控制台快门指示灯亮。降源控制方式与升源控制方式相反。

(5) 倒源功能

单源照射装置和多源照射装置均设计有倒源功能，且项目投入运行时需进行倒源，进行倒源时由厂家专业人员操作，公司进行监督。本项目单源照射装置和多源照射装置倒源过程中的安全责任由生产厂家负责，操作流程由厂家制定，人员为厂家辐射工作人员，监测仪器由建设单位提供，个人剂量计、个人剂量报警仪由厂家辐射工作人员自带。

(6) 智能仪表定位机器人系统

①智能仪表定位机器人采用无轨道设计，总体承重 100kg，由 AGV 底台及精密定位四维自动调节平台组成；

②可实现由控制室到辐射场空间内平移、横移、升降及旋转自动定位；

③AGV 底台可通过磁条导航的方式由控制室自动控制运行到实验室辐射场区域内，在辐射场区域内可自由运动，对于选定校准点进行初步定位，定位误差 $\leq\pm 20\text{mm}$ ；

④精定位四维平台水平 X 方向行程 200mm，定位精度 $\pm 0.2\text{mm}$ ，显示定位分辨率 0.1mm；水平 Y 方向行程 400mm，定位精度 $\pm 0.2\text{mm}$ ，显示定位分辨率 0.1mm；竖直 Z 方向行程 300mm，定位精度 $\pm 0.2\text{mm}$ ，显示定位分辨率 0.1mm；旋转定位精度 $\pm 0.1^\circ$ ，显示定位分辨率 0.01°；

⑤平台台面尺寸为不小于 400mm×600mm 承重 100kg，具备可拆卸电离室夹具；

⑥智能仪表定位机器人可在被检仪表固定好后由控制间自动行走，定位到辐射场中，与辐射束同轴，校准点定位精度 $\leq 0.5\text{mm}$ ，从而实现检定过程中无放射性接触；

⑦定位装置上设有读仪表摄像机，其显示在控制室内；

⑧具备无线遥控功能，实现仪表定位平台各运动方向点动、连续运动的操作。

(7) 辐射束轴激光与视频准直定位系统

①射束轴方向由两个一字激光器和水准仪加摄像头组成，通过两个一字激光器组成十字线实现重复性 2mm 之内的初步定位，再通过摄像头连接光学放大倍数 32 倍的水准仪显示在监控屏幕上，即可实现定位重复性 $\leq 0.2\text{mm}$ 。

②横向（垂直射束轴）由一个一字激光器和 50 倍手动镜头加摄像头组成，通过一个一字激光器的竖线实现重复性 2mm 之内的初步定位，再通过摄像头连接 50 倍镜头显示在监控屏幕上，即可实现定位重复性 $\leq 0.2\text{mm}$ 。

(8) 控制台及自动管理软件

①操作台：台面 $1800*1200$ ，集成监控、控制计算机、温湿度气压仪等；

②温湿度气压仪：温度最大允许误差不超过 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ ；湿度最大允许误差不超过 $\pm 3\%\text{RH}$ ；气压最大允许误差不超过 $\pm 0.2\text{kPa}$ 。

③自动管理软件

1) 软件基于国产系统进行开发，例如麒麟系统；

2) 实现照射装置的全部控制功能，包括单源照射装置的衰减器选择、照射方式选择、计时照射、停止等；

3) 智能仪表定位平台在辐射场内的轴向、横移、升降、旋转的定位、连续、点动操作；

4) 联锁系统的功能实现及状态显示；

5) 集成温度、湿度、气压的采集功能；

6) 通过仪表定位平台的当前定位距离得出相应点的剂量率值；

7) 数据 EXCEL 输出功能；

8) 通过数据库实现实验管理及证书管理功能；

9) 结合智能仪表定位平台的全自动定位功能及被检仪表读数视频自动识别功能实现仪表的全性能自动检定；

10) 系统可自动完成仪表重复性、线性、基本误差、能量响应、角响应等各项校准要求；

11) 校准程序完成后自动进行仪表校准结果的客观评价并自动生成校准文件上传至管理部门进行审批存档工作。

(9) 仪表读数及视频监控系统

①智能仪表定位平台上布置被校准仪表读数全景摄像机，可以实现手动缩放、自动变焦，通过软件系统实现仪表读数视频自动识别；

②辐照室现场视频监控，辐照室内墙上布置 2 台高速球机及 2 台全景摄像机，迷道内设置 1 台全景摄像机；

③控制室内及辐照室各布置 1 台 55 寸及以上大屏监视器；

④控制室布置 8 路硬盘录像机，硬盘不小于 8T。

(10) 安全联锁及辐射报警系统

辐照室及设备具有安全联锁及紧急停机功能，并有辐射剂量值显示。在辐照室门口设置红（报警灯）、黄（联锁灯）、绿（安全灯）三色灯（红灯表示设备正在出束、黄灯表示联锁就绪、绿灯表示设备停止运行，处于安全状态）。进入辐照室开始安全巡视及清场，按下辐照室内门口巡视清场开关，完成辐照室巡视及清场后，再次按下辐照室内门口巡视清场开关，完全关闭屏蔽门完成辐照室安全巡视，联锁灯亮起。照射过程中任何一个联锁输入断开则立即自动停止照射。

主要联锁部件如下：

蜂鸣器、联锁灯、报警灯、安全灯、急停按钮、红外探测、红外门障、门关限位、巡视清场开关、求救开关、辐射报警系统、红外探测。

(11) 量值传递次级标准器具

量值传递次级标准器具用于辐照场剂量率的校正和测量。主机与电离室配合使用，能够校准传递、低端刻度校准和全量值测量。

(12) 体模

体模一套，板状、柱状以及棒状体模共三件。

9.1.1.2 工作流程和产污环节

(1) 工作流程

本评价项目辐照室进行设备校准的工艺流程主要为：

①打开辐照室防护门；

②工作人员将待校准的仪表置于智能仪表定位机器人系统上固定，智能仪表定位机器人系统可实现纵向、横向、上下以及转动，实现辐射场对待校准的仪表的覆盖；

③辐照室清场，确认辐照室内无人员停留后关闭防护门，开启电源；

④在控制台设置照射源、照射时间、智能仪表定位机器人系统位置，出源照射；

⑤达到照射时间源收回，关闭快门停止照射，完成校准；观察控制台指示灯、区域辐

射监测仪报警装置等信息，确认源已回收；

⑥打开防护门，工作人员将被校准的仪表取出。

整个出束过程，人员无需进入辐照室及迷道，只在更换被校准仪表的过程中，工作人员需要进出。

9.1.2 X 射线空气比释动能计量标准设备

(1) 系统组成

X 射线空气比释动能计量标准设备主要由 X 射线机、X 射线管屏蔽体及光阑、监督电离室、标准过滤片系统组成。

①屏蔽体用于屏蔽X射线机在工作时自身泄漏辐射，可将主射束衰减到原剂量强度的1/2000；

②X光机固定架，具有水平、旋转等微调功能。水平调整高度范围（0-5mm），旋转调整角度范围（ $\pm 2^\circ$ ）；

③初级限束光阑锥角角度为 17° ，与前屏蔽板配接，材料为钨合金；

④快门对电压300kV时射线输出减弱到1/2000，快门打开及关闭过渡时间不超过30ms，可实时测量开关时间，计时误差 $\leq 1\text{ms}$ ；

⑤配置两套光阑，可自动切换，角度分别为 6° 和 12° ，保证1米处辐射场直径分别为100mm和200mm；每套光阑由两片钨合金组成，分别置于监督电离室的前后；

⑥X光机总体支架用于支撑X光机及配套设备，采用工业铝型材搭建。

(2) X 射线产生原理

X射线机主要由X射线管和高压电源组成。X射线管由阴极和阳极组成。阴极是钨制灯丝，它装在聚焦杯中，灯丝通电加热产生电子，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。

(3) 工作流程

打开辐照室的防护门，工作人员将待校准的仪表置于智能仪表定位机器人系统上固定，智能仪表定位机器人系统可实现纵向、横向、上下移动及转动，实现辐射场对待校准的仪表全覆盖。智能仪表定位机器人系统可放置多台仪表同时进行校准，X 射线空气比释动能计量标准设备固定。确认辐照室内无人后关闭防护门，在控制台设置管电压、管电流、照射时间、智能仪表定位机器人系统位置，开机曝光，达到照射时间曝光结束，观察控制台指示信息以及区域辐射监测仪报警装置等信息，确认已停止出束，打开屏蔽门，工作人员

将仪表取出。

整个出束过程，人员无需进入辐照室及迷道，只在更换被校准仪表的过程中，工作人员需要进出辐照室。

9.1.3 工作负荷及人员配备

工作负荷：根据建设单位提供的资料，本项目工作人员每年工作**天，辐照室每天约校准**台辐射监测仪表（单源照射装置校准**台，多源照射装置校准**台，X射线空气比释动能计量标准设备校准**台），每台“辐射监测仪表”快门打开（出束曝光）的时间约为**min/台，则每天快门打开（出束曝光）的时间**h/天，年快门打开（出束曝光）的时间**h/年。

另外辐射工作人员在辐照室内固定一台待校准设备以及照射结束后拿走的时间共约**min，则每年辐射工作人员在辐照室内总停留时间为**h。

人员配备：建设单位拟为本项目配备**名辐射工作人员从事辐照室内辐射监测仪表校准工作，均依托现有 AM 实验室辐射工作人员。本项目的工作负荷见表 9-1。

表 9-1 本项目辐照室工作负荷

工作类别	总工作负荷 (h)
控制室内操作设备	**
固定待校准设备	**

9.2 污染源项描述

9.2.1 施工期的污染源项

本项目辐照室及控制室随二层AM实验室主体工程一起施工建设，建设阶段不产生放射性废物、放射性废水和放射性气体，主要是施工时产生的废气、噪声、废水、固体废物等环境影响。

(1) 废气

本项目在建设施工期需进行土建、电气安装、铅门安装等作业，各种施工将产生少量扬尘，另外机械和运输车辆作业时排放废气和扬尘，但这些方面的影响仅局限在施工现场附近区域。

(2) 噪声

辐照室装修电钻作业、防护设施安装等施工时产生间歇性噪声和振动，最大噪声级可达 105dB，对周边人员有一定的影响，但随着施工的结束而结束。

(3) 固体废物

项目施工期间固废主要为建筑垃圾、施工废物料及施工人员生活垃圾。

(4) 废水

施工期废水主要有施工过程中产生的含泥浆建筑废水及施工人员生活污水。

9.2.2 运行期的污染源项

一、辐射污染源项

(一) 正常工况

(1) 防护水平 γ 参考辐射准直照射装置

①核素特性

本项目拟使用的密封放射源参数见表 9-2。

表9-2 本项目拟使用的密封放射源参数

序号	放射源名称	半衰期	衰变方式	主要射线和能量 MeV	空气比释动能率常数 Gy.m ² Bq ⁻¹ s ⁻¹
1	⁶⁰ Co	5.2713a	β^-	$\beta^-0.315(99.74\%)$ $\gamma1.17321(100\%)、1.33247(100\%)$	8.53E-17
2	¹³⁷ Cs	30.1671a	β^-	$\beta^-1.176(6.5\%)、\beta^-0.514(93.5\%)$ ，发射 β^- 射线后转变为 ^{137m} Ba， ^{137m} Ba 作同质异能跃迁衰变，其 γ 射线能量为 0.662MeV。	6.11E-23
3	²⁴¹ Am	432.2a	α	$\alpha5.48574(85.2\%)、5.44298(12.8\%)、$ $5.389(1.3\%)、5.545(0.25\%)$ $\gamma0.059596(35.7\%)$	9.80E-18

注：半衰期、衰变方式、空气比释动能率常数参考《辐射安全手册》（潘自强）第 6.2 节的 γ 射线及屏蔽。

② α 、 β 、 γ 射线、X 射线

本项目辐照室使用的放射源，⁶⁰Co 和 ¹³⁷Cs 发生 β 衰变，衰变过程产生 β 射线和 γ 射线，²⁴¹Am 发生 α 衰变，衰变过程产生 α 射线和 γ 射线，另外， β 射线与被放射源物质以及源周围的其他物质阻止时，产生韧致辐射（即 X 射线）。

根据以上分析，本项目正常工况下产生的辐射影响因子和污染物主要有 β 射线， γ 射线，X 射线。

在放射源储存和运行过程中，辐射影响途径主要包括以下几个方面：① α 射线和 β 射线穿透能力较弱，无法穿透源罐，因此对周围环境的影响较小；② γ 射线则具有较强的穿透能力，会产生外照射影响；③ β 射线由于韧致辐射形成 X 射线，但其能量远小于 γ 射线，在满足 γ 射线屏蔽要求的情况下，X 射线的影响基本可以忽略不计。因此，在辐照过程中，辐照工作人员和公众主要会受到 γ 射线引起的外照射影响。

③退役放射源

本项目辐照室使用 ¹³⁷Cs、²⁴¹Am 和 ⁶⁰Co 放射源。换源操作全程由厂家完成，当放射源不使用时由厂家对放射源回收处理。

(2) X 射线空气比释动能计量标准设备

本项目 X 射线空气比释动能计量标准设备技术参数见表 9-3。

表 9-3 本项目 X 射线空气比释动能计量标准设备技术参数

项目	内容	项目	内容
射线装置	X 射线空气比释动能计量标准设备	辐射角度 (°)	**
固有过滤	**mm Be	射束	锥靶定向
最大管电压 (kV)	**	有用束方向 1m 处剂量率 (Gy/h)	**
最大管电流 (mA)	**	1m 处漏射剂量率 (mSv/h)	**
最大功率	**W	/	/

注：设备参数来源于设备厂家。

由 X 射线空气比释动能计量标准设备工作原理可知，X 射线是随探伤机的开、关而产生和消失。因此正常工况时，在开机曝光期间，放射性污染物为 X 射线及散射线、漏射线。

(二) 事故工况

1. 防护水平 γ 参考辐射准直照射装置可能存在以下事故工况

①工作人员操作不当或设备出现故障，在设备安装和换装放射源时，发生放射源从设备或容器中跌落出来，造成安装或操作人员受到强辐射照射。以及发生卡快门、卡源等，造成额外照射。

②工作状态下，因故障，防护门安全联锁装置失效，导致人员误入处于运行状态的辐照室，受到不必要的照射。

③放射源保管不善，可能发生丢失事故，产生严重的环境污染事故。

④工作人员或其他人员尚未撤离辐照室，控制台处操作人员误操作，设备出源，对工作人员造成照射。

2、X 射线空气比释动能计量标准设备可能存在以下事故工况

①安全联锁发生故障，射线装置工作过程中人员误打开屏蔽门而造成 X 射线误照射。

②由于设备故障，导致射线装置不能停止出束，造成计划外的照射。

③维修期间的事故，射线装置维修工程师误开机出束，造成辐射伤害。

二、非放射性源项

①废气

根据核素特性，核素衰变过程产生的各种射线，尤其是 γ 射线和 α 射线以及 X 射线空气比释动能计量标准设备产生的 X 射线可能使辐照室内空气电离，产生氮氧化物 (NO_x) 和臭氧 (O_3) 等非放射性废气，通过机械排风装置排出辐照室。

②危险废物

X射线空气比释动能计量标准设备无法使用时，会产生废旧阴极射线管，属于危险废物（依据《国家废物危险名录》危废代码为900-044-49），将委托有资质单位处置，拆除阴极射线管的探伤机在任何情况下均不会再产生X射线，可由公司按照一般设备报废的相关规定进行处置。

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

本项目辐照室东北侧为走道，东南侧为控制室，西南侧为走道和楼梯间，西北侧为内部道路，楼上为屋顶，楼下为土层；本项目防护水平 γ 参考辐射准直照射装置和 X 射线空气比释动能计量标准设备有用线束朝西北墙，避开了控制室。

10.1.2 辐射工作场所分区

(1) 辐照室两区划分情况

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。按照分区管理的原则，将辐照室划分为控制区；将辐照室东北侧、西南侧、西北侧墙外 30cm 和控制室划为监督区。

分区管理措施如下：

①辐照室边界设有实体墙和防护门隔离，防护门采用门机连锁，入口处设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯，运行期间任何人不能进入，停止曝光后，工作人员进入时必须佩戴个人剂量计、个人剂量报警仪和便携式 X- γ 剂量率仪；控制区内设置急停按钮、开门开关、固定式辐射剂量率监测系统探头和视频监控探头。

②加强监督区管理，监督区边界划定黄色警戒线；运行期间只有经授权的辐射工作人员在监督区内活动。

10.1.3 辐射安全场所屏蔽设计方案

根据厂家设计文件，单源照射装置和多源照射装置铅容器采用整体浇铸，并按 γ 辐射屏蔽计算厚度设计 20% 的裕量，保证在距源容器外表面 30cm 处的剂量率不大 2.5 μ Sv/h。对于 ^{241}Am 源，主要是利用其衰变产生的能量约为 60keV 的 γ 射线，用于辐射仪表的低能响应刻度，源装置的设计能充分屏蔽 ^{241}Am 源产生的 α 射线的影响。 ^{241}Am 源装置采用迷宫腔设计方式，设计的迷宫腔能够保证在距源容器外表面 30cm 处的剂量率不大于 2.5 μ Sv/h。本项目辐照室屏蔽设计厚度见表 10-1。

表 10-1 本项目辐照室尺寸及屏蔽防护设计一览表

项目		厚度	备注
辐照室	西北侧墙（有用线束方向）	1100mm 厚的混凝土	新建
	东北侧、西南侧墙	500mm 厚的混凝土	
	东南侧墙	400mm 厚的混凝土	
	迷路内墙	250mm 厚的混凝土	
	顶棚	150mm 厚的混凝土	
	防护门	30mm 厚钢	
	尺寸	91.16m ² （10.6m×8.4m），净高 8.25~8.6m 米。	

10.1.4 辐射安全和防护措施

①急停按钮、求救开关及蜂鸣器

本项目在辐照室内拟设有 4 个急停按钮（东北侧和西南侧墙各 2 个），控制室操作台拟设置 1 个急停按钮，在人员误入辐照室或遭遇紧急情况时，当任一急停按钮被触发时，能够立即关闭源装置快门或 X 射线空气比释动能计量标准设备，急停按钮拟标明使用方法。辐照室西南墙上设置一个求救开关，控制室设置一个蜂鸣器，当辐照室运行时发生人员滞留时按下求救开关，控制室的蜂鸣器发出报警，同时设备停止出束。

②视频监控系统

视频监控系统由摄像机、监视器及视频硬盘录像机以及网络交换机等组成。摄像机可实现辐照室全景监视、监视智能仪表定位平台运行情况和呈现仪表读数。辐照室内墙上布置 2 台高速球机（可局部清晰放大）及 2 台摄像机，迷道内设置 1 台全景摄像机；智能仪表定位平台上布置 2 台被校准仪表读数摄像机。控制室内及辐照室内各布置 1 台 55 寸大屏监视器。

③固定式辐射剂量率监测系统

固定式辐射剂量率监测系统用于实时监测辐照室内的剂量率水平变化，并与防护门实现安全联锁。探头布置在西北墙（主屏蔽墙）上，读数显示器位于控制室墙上，人员能在控制室实时查看探头测得的剂量率水平。当控制室剂量率显示器上显示剂量率大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 时，人员无法从外打开防护门。

④通风装置及电缆穿墙

本项目辐照室设置 1 台不锈钢轴流风机进行排风，人员定期对不锈钢轴流风机检查，发现问题及时维修整改，确保排风系统有效，风机风量为 $4600\text{m}^3/\text{h}$ ，辐照室体积为 767.65m^3 ，换气次数约 $6\text{次}/\text{h}$ 。本项目排风口和进风口均位于辐照室屋顶，无人到达。排风口和进风口设计为“L”型补偿，未削减辐照室屋顶的屏蔽厚度。本项目电缆采用“U”型穿墙方式。

⑤红外探测系统

人体表面温度与周围环境温度存在差别，在人体移动时这种差别产生的变化可以通过红外敏感元件来检测到，当有人员非法闯入时给逻辑控制器一个信号，促使设备无法出束。本项目拟在辐照室入口迷道处及辐照室东北侧墙上设置 1 个红外报警探测系统探头，此外防护门上设置有红外门障，当探测到有人进入辐照室时，设备立即停止出束。

⑥电离辐射警告标志及门限位开关

本项目拟建辐照室防护门外表面张贴明显的电离辐射警告标志并附中文警示说明。门上设置有限位开关，防护门未关闭到位的情况下设备无法出束。

⑦辐射监测设备及防护用品

建设单位依托现有AM实验室配备的3台便携式X- γ 辐射剂量率仪、3个人剂量报警仪、3个人剂量计，1套铅衣、铅眼镜和铅围脖，铅当量为0.5mm Pb。

⑧巡视清场开关、紧急开门按钮

在辐照室内迷道入口墙上设置一个巡视清场开关，在辐照室东北侧和西南侧墙上各设置1个巡视清场开关，照射前操作人员按下所有清场开关后，方能开启放射源及X射线空气比释动能计量标准设备运行的操作。

在辐照室内靠近防护门处设置紧急开门按钮，紧急情况下人员可从辐照室内打开防护门。

⑨应急物品及灭火器

辐照室内拟配备储源容器、长柄镊子等，并在应急设备处张贴应急指示。辐照室内拟配备2台手提式灭火器。

⑩警示灯

在辐照室门口设置红（报警灯）、黄（联锁灯）、绿（安全灯）三色灯（红灯表示设备正在出束，黄灯表示联锁就绪，绿灯表示设备停止运行、处于安全状态）。在辐照室西南侧墙上设置红（报警灯）、绿（安全灯）灯及报警铃，在设备准备出束时报警铃会发出报警声，提示人员撤离辐照室。拟在醒目位置做出对警示灯信号意义的说明。

⑪安全联锁装置

辐照室工艺设备安全联锁系统的设计、配置及布置充分保证了工作人员的安全。照射装置从工艺设计上考虑断电、卡源、源装置快门意外开启等设备失效故障时的安全措施，确保事故影响最小化。本项目3台辐照装置均与安全联锁系统并联。安全联锁系统由蜂鸣器、联锁灯、报警灯、安全灯、急停按钮、红外探测、红外门障、门关限位、巡视清场开关、求救开关、辐射报警系统、红外探测等组成，并与控制系统连接。当其中任意一个联锁状态失效时，控制室控制台禁止进行打开放射源及X射线空气比释动能计量标准设备的操作，如果放射源在照射状态，则自动回到屏蔽状态。

1) 单源照射装置、多源照射装置及 ^{241}Am 外置装置、X射线空气比释动能计量标准设备之间具有联锁功能，为了保证源之间及X射线互不影响，一个源装置打开时，其他源装置主、辅快门及X射线光机不能打开。每次只能有一个源照射或一台X射线空气比释动能计量标准设备照射。实现方式为单源，多源照射装置或X射线空气比释动能计量标准设备运行时，输出信号是断开的，不运行输出信号是关闭的。而系统联锁信号在所有联锁到位时是闭合的，不到位时是断开的。

2) 防护门与源装置联锁：辐射屏蔽门关闭到位后，才能操作放射源或者X射线空气比

释动能计量标准设备；在放射源或者X射线照射时，防护门不能从外面打开；如果防护门意外打开时，能够立即自动关闭源装置快门和X射线空气比释动能计量标准设备断电。

3) 红外探测系统与源装置联锁：在辐照室内部设置红外人体探测器，当探测到辐照室内部有人员活动时，无法操作放射源和X射线空气比释动能计量标准设备；如果在放射源和X射线照射时，一旦发现辐照室内有人员活动，立即自动关闭源装置主快门和X射线空气比释动能计量标准设备断电。

4) 急停按钮：在控制室操作台和辐照室内均设置有急停按钮。工作人员在误照射情况下，可按下急停按钮，自动关闭源装置快门或X射线空气比释动能计量标准设备断电。

5) 清场开关：在辐照室内迷道入口墙上设置一个巡视清场开关，在辐照室东北侧和西南侧墙上各设置1个巡视清场开关，照射前操作人员按下所有清场开关后，方能开启放射源及X射线空气比释动能计量标准设备运行的操作。

6) 快门到位诊断：能够自动检测源装置快门是否到位，同时配备摄像头等远程确认快门位置；快门出现故障时在控制台上提示相关信息并限制不安全操作。

7) 固定式辐射剂量率监测系统联锁：当剂量率超过预设值（ $2.5\mu\text{Sv/h}$ ）时，将联锁防护门，禁止从外部打开防护门。

8) 意外停电时，自动关闭源装置的主快门，由UPS电源驱动必要的安全联锁操作。

10.1.5 辐射防护措施符合性分析

由于本项目与工业室内探伤工艺流程类似，因此本项目辐照室参照《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）对探伤室的要求进行对照评价，本次评价根据宁德核电采取的辐射安全措施进行对照分析，具体情况见表 10-2。此外，本项目对照《辐射安全与防护监督检查技术程序》（生态环境部，2020年2月）刻度用 γ/n 源场所及II类非医用X线装置监督检查表相符性进行分析，见表 10-3。

表 10-2 本项目辐照室参照工业探伤放射防护标准对照情况表

标准要求	本项目方案	符合情况
<p>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。</p>	<p>本项目辐照室设有门机联锁。辐射防护门未关闭到位时，不能开启源装置快门或 X 射线空气比释动能计量标准设备；在照射状态时，防护门不能通过控制台打开；如果辐射防护门意外打开，控制系统立即自动关闭源装置快门和 X 射线空气比释动能计量标准设备。辐照室内单源、多源照射装置及 X 射线空气比释动能计量标准设备均与防护门联锁。</p>	<p>符合</p>
<p>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。</p>	<p>在辐照室门口设置红（报警灯）、黄（联锁灯）、绿（安全灯）三色灯（红灯表示设备正在出束、黄灯表示联锁就绪、绿灯表示设备停止运行，处于安全状态）。在辐照室西南侧墙上设置红（报警灯）、绿（安全灯）灯及报警铃，在设备准备出束时报警铃会发出报警声，提示人员撤离辐照室。拟在醒目位置做出对警示灯信号意义的说明。</p>	<p>符合</p>
<p>6.1.7 探伤室内和探伤室出入口应安装监视装置，在操作间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。</p>	<p>辐照室内墙上布置 2 台高速球机（可局部清晰放大）及 2 台全景摄像机，迷道内设置 1 台全景摄像机，控制室内设有监视器。</p>	<p>符合</p>
<p>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。</p>	<p>辐照室防护门上显著位置拟张贴电离辐射警告标志和中文警示说明。</p>	<p>符合</p>
<p>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。</p>	<p>本项目在辐照室内拟设有 4 个急停按钮（东北侧和西南侧墙各 2 个），控制室操作台拟设置 1 个急停按钮，在辐照室内任何位置时都不需要穿过主射线束就能够使用。在人员误入辐照室或遭遇紧急情况时，当任一紧急停机开关被触发时，能够立即关闭源装置快门或 X 射线装置，同时打开防护门，以便人员迅速撤离辐照室。急停按钮拟标明使用方法。</p>	<p>符合</p>
<p>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。</p>	<p>辐照室设置机械排风系统，换气次数约为 6 次/h，排风管道外为楼顶，无人员活动密集场所。</p>	<p>符合</p>
<p>6.1.11 探伤室应配置固定式场所辐射探测报警装置。</p>	<p>辐照室内配备 1 台固定式辐射剂量率监测系统，并与防护门联锁。</p>	<p>符合</p>

表 10-3 《辐射安全与防护监督检查技术程序》（生态环境部，2020 年 2 月）刻度用 γ/n 源场所及 II 类非医用 X 线装置监督检查表相符性分析

项目	标准要求 (辐射安全防护设施与运行)	本项目落实情况	符合性 分析
1	出入口电离辐射警告标志	防护门出入口设有电离辐射警告标志	符合
2	出入口源工作状态显示、入口处机器工作状态显示、准备出束声光提示	防护门出入口设有工作状态指示灯、状态指示灯提示出束情况	符合
3	防止非工作人员操作的锁定开关、控制台有钥匙控制	控制台设有防止非工作人员操作的锁定开关	符合
4	门与源升降联锁、门机联锁	辐照室内设有防护门与源升降联锁、辐照室设有门机联锁	符合
5	门与辐射剂量联锁（I 类）	防护门与辐射剂量联锁	符合
6	刻度室监视设备	辐照室配有监视设备	符合
7	迷道（I 类）	本项目使用 II、III 类、IV 类放射源，使用 II 类射线装置，辐照室设有迷道。	符合
8	中子屏蔽设施（n 源场所）	本项目无中子刻度	/
9	防护门	辐照室设有防护门	符合
10	控制台紧急停止照射按钮、控制台上紧急停机按钮	控制室控制台设有急停按钮	符合
11	刻度室内紧急回源装置、照射室内紧急停机按钮	辐照室内单源和多源照射装置有紧急回源装置、辐照室内设有紧急停机按钮	符合
12	通风设施	辐照室内设置通风装置	符合
13	灭火器材	辐照室内拟配备 2 个手提式灭火器	符合
14	刻度室内固定式辐射监测仪	辐照室内设有固定式辐射剂量率监测系统	符合
15	便携式辐射监测仪	本项目依托现有 AM 实验室 3 台便携式 X- γ 辐射剂量率仪。	符合
16	个人剂量报警仪	本项目依托现有 AM 实验室 3 台个人剂量报警仪。	符合
17	个人剂量计	本项目依托现有 AM 实验室辐射工作人员，工作人员配备有个人剂量计。	符合

由上表 10-2 可知，本项目辐照室辐射安全与防护措施满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）相关要求；由上表 10-3 可知，本项目辐照室辐射安全与防护措施满足《辐射安全与防护监督检查技术程序》（生态环境部，2020 年 2 月）刻度用 γ/n 源场所及 II 类非医用 X 线装置监督检查表的要求。

10.4 三废的治理

10.4.1 放射性“三废”治理

本项目运行过程中无放射性废气、放射性废水产生。本项目辐照室使用 ^{137}Cs 、 ^{241}Am 和 ^{60}Co 放射源。换源操作全程由厂家完成，并由厂家对退役的放射源回收处理。

10.4.2 非放射性“三废”治理

(1) 臭氧和氮氧化物

核素衰变过程产生的各种射线，尤其是 γ 射线和 α 射线以及 X 射线空气比释动能计量标准设备产生的 X 射线可能使辐照室内空气电离，产生氮氧化物（ NO_x ）和臭氧（ O_3 ）等非放射性废气。经辐照室排风装置排出室外，对周围环境影响较小。

(2) 阴极射线管

X射线空气比释动能计量标准设备无法使用时，会产生废旧阴极射线管，属于危险废物（依据《国家废物危险名录》危废代码为900-044-49），委托有资质单位处置；拆除阴极射线管的X射线空气比释动能计量标准设备在任何情况下均不会再产生X射线，可由公司按照一般设备报废的相关规定进行处置。

表 11 辐射环境影响

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目辐照室及控制室随二层 AM 实验室主体工程一起施工建设，施工期间以施工噪声影响为主，同时伴有废气、废水和固体废物产生。

（一）施工期噪声环境影响分析

AM 实验室装修电钻作业、设备安装等施工时产生间歇性噪声和振动，最大噪声级可达 105dB，对周边人员有一定的影响。

为了降低施工噪声对周围环境的影响，合理安排施工时间，午间和夜间休息时间禁止施工，对施工机械采取消声降噪措施，施工场所拟采取消声减振措施。

（二）施工期废气影响分析

本项目涉及土建、电气安装、铅门安装等作业，各种施工将产生少量扬尘，另外机械和运输车辆作业时排放废气和扬尘，但这些方面的影响仅局限在施工现场附近区域。

针对上述扬尘污染采取以下措施：a、及时清扫施工场地，并保持施工场地一定的湿度；b、对施工场地进行围挡，设置洒水装置，车辆在运输材料时尽量采取遮盖、密闭措施，以减少沿途抛洒；c、施工路面保持清洁、湿润，减少地面扬尘。

（三）施工期固体废物环境影响分析

项目施工期间固废主要为建筑垃圾、施工废物料及施工人员生活垃圾。

对项目施工期间产生的建筑垃圾、施工废料运输至合法堆场堆放。生活垃圾采取袋装分类收集，投放至指定地点，而后由环卫部门每日及时统一清运、处置。

（四）施工期废水环境影响分析

施工期废水主要有施工过程中产生的含泥浆废水及施工人员生活污水。施工期建设场地设置临时沉淀池，建筑废水经临时沉淀池处理后用于施工场地洒水降尘，不外排。施工期生活污水依托福建宁德核电有限公司污水处理厂处理。

本项目为新建项目，项目建设期间不涉及放射源及 X 射线空气比释动能计量标准设备的使用，不会对周边环境产生电离辐射影响。但在安装调试的过程中，一定要严格按照设备使用说明、相关管理制度执行。

11.2 运行阶段对环境的影响

本次评价采用理论计算的方法来预测本项目辐射工作场所运行过程中对周围环境的辐射影响。辐照室单源照射装置内含 1 枚 ^{60}Co 放射源（II类放射源），多源照射装置含有 4 枚 ^{137}Cs 放射源（2 枚 III类放射源和 2 枚 IV类放射源）、1 枚 ^{241}Am 放射源（III类放射源），X

射线空气比释动能计量标准设备最大管电压为 320kV，最大管电流 22.5mA。每次对辐射监测仪表进行计量校准时仅使用 1 枚放射源（其余放射源位于源槽内）或 1 台 X 射线空气比释动能计量标准设备。

本项目单源、多源辐照装置及 X 射线空气比释动能计量标准设备源项见表 11-1。

表 11-1 本项目单源、多源辐照装置及 X 射线空气比释动能计量标准设备源项

序号	核素名称	数量 (枚)	初始活度 (Bq)	安装位置	空气比释动能率常数 (Gy·m ² / (Bq·s))	有用线束 1m 处剂量率 (Gy/h)	泄漏射线剂量 (μGy/h)	利用射线及评价能量 (keV)
1	⁶⁰ Co	**	**	单源照射装置	**	**	**	**
2	¹³⁷ Cs	**	**	多源照射装置	**	**	**	**
3	¹³⁷ Cs	**	**			**		**
4	¹³⁷ Cs	**	**			**		**
5	¹³⁷ Cs	**	**			**		**
6	²⁴¹ Am	**	**			**		**
7	X 射线空气比释动能计量标准设备	**	**	辐照室内	**	**	**	**

注：单源、多源辐照装置有用线束 1m 处剂量率来源于初始活度与空气比释动能率常数的乘积。X 射线空气比释动能计量标准设备有用线束 1m 处剂量率、泄漏射线剂量数据均由厂家提供。

由表 11-1 可知，对于单源和多源照射装置，单源照射装置使用 ⁶⁰Co 源活度最大，有用线束 1m 处剂量率最大，能量最大，能量越大穿透能力越强，保守采用单源照射装置 ⁶⁰Co 放射源计算辐照室屏蔽体外辐射剂量率水平。

由于 X 射线空气比释动能计量标准设备有用射线、泄漏射线剂量高于单源照射装置和多源照射装置，本项目同时计算了 X 射线空气比释动能计量标准设备运行时辐照室屏蔽体外辐射剂量率水平。

11.2.1 单源、多源辐照装置

(1) 关注点的设置

本项目采用单源和多源照射装置进行仪表校准和检定，当不进行校准与检定实验时，源装置快门处于关闭状态，且放射源在屏蔽容器中处于安全闭锁位置，对辐照室外的剂量率影响很小，因此辐照室的屏蔽计算主要考虑源装置快门开启进行照射时，单源或多源照射装置对主屏蔽墙外的辐射影响，以及对侧墙和背侧墙、顶棚的辐射影响。

在进行仪器检定实验时，单源或多源照射装置经准直器（辐射角约为 12 度）出射的射

线束对待检仪表进行照射，智能仪表定位平台与辐射源距离可变，但是被校准仪器体积有限，按照智能仪表定位平台离放射源**m 计算时，辐照半径约为 $r = \text{**m} \times \tan(\text{**}/\text{**})^\circ = \text{**m}$ ，基本上能满足最大被检仪表的体积大小。

辐照用单源照射装置和多源照射装置源点离背墙（东南侧墙）内侧最近距离为**m，距东北侧墙内侧最近距离分别为**m 和**m，距西南侧墙内侧距离分别为**m 和**m，源点离主屏蔽墙内侧距离均为**m，源装置安装在高度为**m 的辐照台上，辐照室内净高为**~**m（本项目保守按**m 计算），辐照源距离屋顶距离为**m。根据出束口出束角为**度（±**度），则出束口在主屏蔽墙上的照射半径为： $\text{**m} \times \tan(\text{**}/\text{**})^\circ \approx \text{**m}$ ，半径 r 小于源离墙的最近距离**m，也小于源离屋顶的高度**m。

综上，辐照室可只考虑主束射线全部照射在主屏蔽墙上。本项目辐照室主射线朝向西北侧墙体，其余墙体、顶棚考虑散射射线和泄漏射线影响。

(2) 有用线束屏蔽计算

γ点源的比释动能率计算公式如下：

$$D = \frac{A \cdot \Gamma}{K \cdot r^2} \dots\dots\dots \text{(式 11-1)}$$

式中：D—参考点上的空气比释动能率，μGy/h；

A—γ点源的活度，Bq；

Γ—放射源空气比释动能率常数，Gy·m²/（Bq·s）；

r—考查点离点源的距离（屏蔽体外 30cm），m；

K—减弱倍数；K=2ⁿ；

n—半值层（HVL）厚度数；n=d/HVL，d 为物质的厚度，HVL 为物质的半值层；参考《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）表 C.1，混凝土对 Co-60 放射源的 HVL=**mm。

表 11-2 单源装置有用线束屏蔽体外 30cm 处的剂量率

位置	源活度 (Bq)	空气比释动能率常数 (Gy·m ² /Bq ⁻¹ ·s ⁻¹)	屏蔽材料及厚度	透射因子 (1/K)	距离 (m)	参考点处的剂量率 (μGy/h)
A 点 (西北墙外 30cm)	**	**	110cm 混凝土	**	**	**

(3) 泄漏射线屏蔽计算

对于给定的屏蔽物质厚度时，屏蔽体外关注点的剂量率计算公式如下：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_L \cdot B}{R^2} \dots\dots\dots \text{式 (11-2)}$$

\dot{H} ——屏蔽体外关注点的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

\dot{H}_L ——本报告保守取两个装置表面剂量率水平最大值** $\mu\text{Sv/h}$ 的叠加值** $\mu\text{Sv/h}$ ；

R——辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

B——辐射屏蔽透射因子。

$$B=1/K\text{.....式 (11-3)}$$

表 11-3 单源装置泄漏辐射屏蔽体外 30cm 处的剂量率

位置	1m 处的剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	屏蔽材料及厚度	透射因子 (B)	距离 (m)	参考点处的剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)
B 点(东南墙外 30cm)	**	40cm 混凝土	**	**	**
C 点(东北墙外 30cm)	**	50cm 混凝土	**	**	**
D 点(西南墙外 30cm)	**	50cm 混凝土	**	**	**
E 点(防护门外 30cm)	**	25cm 混凝土+3cm 钢	**	**	**
F 点 (顶棚外 30cm)	**	150cm 混凝土	**	**	**

注：偏保守考虑，1m处剂量率偏保守按30cm处取值，并考虑单源和多源装置叠加，E点未考虑钢的衰减。

(4) 散射辐射屏蔽计算

参考《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分： γ 射线源放射治疗机房》(GBZ/T201.3-2014) 第 5.2.2.2 条中的公式 (10) 和公式 (7)，屏蔽体外关注点的剂量率计算公式如下：

$$\dot{H} = \frac{A \cdot k_{\gamma} \cdot \alpha_{\text{ph}} \cdot (F/400)}{R_s^2 \cdot R_o^2} \cdot B \text{.....式 (11-3)}$$

式中： \dot{H} ——屏蔽体外关注点的剂量率，单位为微希每时 ($\mu\text{Sv/h}$)；

A— γ 点源的活度，Bq；

K_{γ} ——空气比释动能率常数， $\text{Gy} \cdot \text{m}^2 / (\text{Bq} \cdot \text{s})$ ；

α_{ph} —— 400cm^2 面积上的散射因子；

F——辐射野面积，单位为平方厘米 (cm^2)；

R_s ——等中心点至关注点的距离，单位为米 (m)；

R_o ——放射源与等中心位置之间的距离，单位为米 (m)，本次为4m；

B——屏蔽透射因子。

表 11-4 单源装置散射辐射方向关注点处剂量率计算结果

位置	A(Bq)	屏蔽厚度 X (mm)	α_{ph}	F(m ²)	R _s (m)	R ₀ (m)	B	\dot{H} (μSv/h)
B 点 (东南墙外 30cm)	**	**	**	**	**	**	**	**
C 点 (东北墙外 30cm)		**	**	**	**	**	**	**
D 点 (西南墙外 30cm)		**	**	**	**	**	**	**
F 点 (顶棚外 30cm)		**	**	**	**	**	**	**

(5) 防护门外30cm辐射剂量率

由于本项目源容器表面泄漏辐射影响较小，只考虑放射源有用线束经待校准辐射监测仪表散射后并再次受墙的二次散射至E点处的辐射。

参考《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ射线源放射治疗机房》(GBZ/T201.3-2014) 中的公式 (13) 和公式 (7)，入口处 (防护门处) 辐射剂量率 \dot{H}_E 计算公式如下：

$$\dot{H}_E = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F / 400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot S}{R_2^2} \cdot \frac{A \cdot K_\gamma}{R_0^2} \dots\dots\dots \text{式 (11-4)}$$

式中： \dot{H}_E ——入口处 (防护门处) 辐射剂量率，单位为微希每时 (μSv/h)；

A—γ点源的活度，Bq；

K_γ ——放射源的空气比释动能率常数；

α_{ph} ——400cm² 面积上的散射因子；

F—辐射野面积，单位为平方厘米 (cm²)；

α_2 ——混凝土墙对入射的散射辐射的散射因子；

S—第二次散射面积，单位为平方米 (m²)；

R₁——第一散射体至关注点之间的距离，m；

R₂——第二散射体至门之间的距离，m；

R₀——放射源与等中心位置之间的距离，m。

入口处 (防护门处) 辐射剂量率 \dot{H}_E 经屏蔽门屏蔽后的剂量率为 $\dot{H}_E \times B$ 。

表 11-5 单源装置散射致防护门外 30cm 处辐射剂量率计算结果

位置	α_{ph}	F(m ²)	a_2	S(m ²)	R ₁ (m)	R ₂ (m)	R ₀ (m)	(μ Sv/h)	屏蔽材料	B	H (μ Sv/h)
防护门外 30cm (E 点)	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**

由表 11-3、11-4 和表 11-5 可知，散射线和漏射射线照射产生的关注点剂量率叠加值见表 11-6。

表 11-6 单源装置散射和泄漏辐射引起的屏蔽体关注点外 30cm 处的剂量率

位置	散射剂量率 (μ Sv/h)	泄漏剂量率 (μ Sv/h)	总剂量率 (μ Sv/h)
B 点 (东南墙)	**	**	**
C 点 (东北墙)	**	**	**
D 点 (西南墙)	**	**	**
E 点 (防护门)	**	**	**
F 点 (顶棚)	**	**	**

由表 11-2 和表 11-6 可知，单源、多源辐照装置运行时，辐照室周围关注点剂量率最大值为** μ 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 μ Sv/h”的要求；辐照室屋顶剂量率为** μ Sv/h，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中“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 μ Sv/h”的要求。单源、多源辐照装置关闭时，装置表面 30cm 的剂量率不大于 2.5 μ Sv/h，经距离及辐照室屏蔽体衰减后影响较小。

(6) 放射源运输与换源

本项目防护水平 γ 参考辐射准直照射装置内使用的放射源由供应商负责运输，换源事宜由供源厂家承担。放射源是由专人、专车运输，保证运输安全。换源地点在辐照室，由供源单位专业人员进行换源操作，本公司工作人员只负责外围协助工作，不参与换源操作，换源期间不进入辐照室。在换装源过程中，严格按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的有关规定，做好安全与防护工作；因此，换装源过程的影响是可控的，对周围环境影响较小。

11.2.2 X 射线空气比释动能计量标准设备

(1) 关注点的设置

X 射线空气比释动能计量标准设备不进行校准与检定实验时，X 射线空气比释动能计量标准设备关机，对辐照室外的剂量率无影响，因此辐照室的屏蔽计算主要考虑 X 射线空气比释动能计量标准设备运行时对主屏蔽墙外的辐射影响，以及对侧墙和背侧墙、顶棚的辐射影响。

X 射线空气比释动能计量标准设备经初级限束光阑准直（辐射角为 17 度）出射的射线

束对待检仪表进行照射。在进行仪器校准与检定实验时，X射线空气比释动能计量标准设备源点离背墙内侧（东南墙）最近距离为**m，距东北侧墙内侧最近距离为**m，距离西南侧墙内侧距离为**m，源点离主屏蔽墙内侧距离为**m，辐照源距离屋顶距离为**m，则出束口在主屏蔽墙上的照射半径为： $**m \times \tan (**/**) \approx **m$ ，半径r小于源离墙的最近距离**m，也小于源离屋顶的高度**m。

综上，辐照室可只考虑主束射线全部照射在主屏蔽墙上。本项目辐照室主射线朝向西北侧墙体，其余墙体、顶棚和迷路考虑散射线和泄漏射线影响。

(2) 有用线束屏蔽计算

根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014），对于给定的屏蔽物质厚度时，屏蔽体外关注点的剂量率计算公式如下：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot I \cdot B}{R^2} \dots\dots\dots \text{式 (11-5)}$$

- \dot{H} ——屏蔽体外关注点的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；
- I——X 射线探伤装置在最高管电压下的常用最大管电流，mA；
- \dot{H}_0 ——距辐射源点 1m 处的输出量；
- R——辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；
- B——辐射屏蔽透射因子；

$$B = 10^{-X/\text{TVL}} \dots\dots\dots \text{式 (11-6)}$$

X 为屏蔽物质厚度 mm；

TVL 为 X 射线在屏蔽物质中的什值层厚度 mm；查 GBZ/T250-2014 附表 B.2, 对于 400kV X 射线探伤机，混凝土的什值层厚度取**cm。参考《辐射安全手册》（图 6.4），本项目保守取 400kV 条件下钢的什值层为**mm。

(3) 泄漏辐射屏蔽计算

按式（11-2）计算泄漏辐射在关注点的剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)。根据厂家提供资料，1m 处泄漏剂量率为** $\mu\text{Sv/h}$ 。

(4) 散射辐射屏蔽计算

对于给定的屏蔽物质厚度时，屏蔽体外关注点的剂量率计算公式如下：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot I \cdot B}{R_s^2} \cdot \frac{F \cdot \alpha}{R_0^2} \dots\dots\dots \text{式 (11-7)}$$

\dot{H} ——屏蔽体外关注点的剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

\dot{H}_0 ——距辐射源点 1m 处的输出量, $\text{mGy}\times\text{m}^2/(\text{mA}\times\text{min})$;

R_0 ——辐射源点(靶点)至探伤工件的距离, m;

R_s ——散射体至关注点的距离, m;

B——辐射屏蔽透射因子;

F—— R_0 处的辐射野面积, m^2 ;

α ——散射因子。

(5) 防护门外 30cm 辐射剂量率计算

参考式(11-3)进行计算, 其中 1m 处的剂量率为**Gy/h, 相当于式(11-3)中 $A\cdot K_\gamma$ 的乘积。 α^{ph} 参照《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014)附录 B 表 B.3, 为**, F 为 $\pi\times(**\times**)^2=**\text{m}^2$, α 偏保守考虑, 与入射到第一反射层材料的 X 射线反散射系数取同一值, 为**。 S 为 $**\text{m}\times**\text{m}=**\text{m}^2$; R_1 为**m, R_2 为**m, R_0 为**m。

根据以上公式和计算参数, 计算本项目 X 射线空气比释动能计量标准设备运行时关注点剂量率, 计算结果见下表 11-7~表 11-11。

表 11-7 X 射线空气比释动能计量标准设备有用线束屏蔽体外 30cm 处的剂量率

位置	1m 处的剂量率 (Gy/h)	屏蔽材料及厚度	透射因子 (B)	距离 (m)	参考点处的剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)
A 点 (西北墙外 30cm)	**	110cm 混凝土	**	**	**

表 11-8 X 射线空气比释动能计量标准设备泄漏辐射屏蔽体外 30cm 处的剂量率

位置	1m 处的剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	屏蔽材料及厚度	透射因子 (B)	距离 (m)	参考点处的剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)
B 点 (东南墙外 30cm)	**	40cm 混凝土	**	**	**
C 点 (东北墙外 30cm)	**	50cm 混凝土	**	**	**
D 点 (西南墙外 30cm)	**	50cm 混凝土	**	**	**
E 点 (防护门外 30cm)	**	25cm 混凝土 +3cm 钢	**	**	**
F 点 (顶棚外 30cm)	**	150cm 混凝土	**	**	**

表 11-9 X 射线空气比释动能计量标准设备散射辐射方向关注点处剂量率计算结果

位置	1m 处的剂量率 (Gy/h)	屏蔽厚度 X (mm)	$(F\times\alpha)/R_0^2$	$R_s(\text{m})$	B	$\dot{H} (\mu\text{Sv/h})$
B 点 (东南墙外 30cm)	**	**	**	**	**	**
C 点 (东北墙外 30cm)		**	**	**	**	**

D 点 (西南墙外 30cm)		**	**	**	**	**
F 点 (顶棚外 30cm)		**	**	**	**	**

表 11-10 X 射线空气比释动能计量标准设备散射致防护门外 30cm 处辐射剂量率计算结果

位置	α_{ph}	F(m ²)	a_2	S(m ²)	R ₁ (m)	R ₂ (m)	R ₀ (m)	\dot{H}_E (μ Sv/h)	屏蔽材料	B	\dot{H} (μ Sv/h)
防护门外 30cm (E 点)	**	**	**	**	**	**	**	**	3cm 钢	**	**

由表 11-8、11-9 和表 11-10 可知，散射线和泄漏射线照射产生的关注点剂量率叠加值见表 11-11。

表 11-11 X 射线空气比释动能计量标准设备散射和泄漏辐射引起的屏蔽体关注点外 30cm 处的剂量率

位置	散射剂量率 (μ Sv/h)	泄漏剂量率 (μ Sv/h)	总剂量率 (μ Sv/h)
B 点 (东南墙)	**	**	**
C 点 (东北墙)	**	**	**
D 点 (西南墙)	**	**	**
E 点 (防护门)	**	**	**
F 点 (顶棚)	**	**	**

11.2.3 天空反散射影响分析

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)，天空反散射计算公式如下：计算公式为：

$$H = \frac{2.5 \times 10^{-2} \left(B_{xs} D_{10} \Omega^{1.3} \right)}{(d_i d_s)^2} \dots\dots\dots \text{式 (11-8)}$$

式中：

H —— 在距离 X 射线辐射源 d_s 处地面，天空反散射的 X 射线周围剂量当量率 ($Sv \cdot h^{-1}$)；

B_{xs} —— X 射线的屋顶屏蔽的透射比；

D_{10} —— 在距离 X 射线辐射源 1m 处的吸收剂量率 ($Gy \cdot h^{-1}$)，本项目取 90°方向的泄漏和散射吸收剂量率之和；对于 ⁶⁰Co 放射源为： $**\mu Gy/h$ (散射) + $**\mu Gy/h$ (泄漏) = $**\mu Gy/h$ ；对于 X 射线空气比释动能计量标准设备： $**\mu Gy/h$ + $**\mu Gy/h$ = $**\mu Gy/h$ 。

Ω —— 由 X 射线辐射源与屏蔽墙对向的立体角 (Sr)；

d_i —— 在屋顶上方 2m 处离靶的垂直距离 (m)；

d_s —— X 射线辐射源至 P 点的距离 (m)。

代入相关公式计算结果见表 11-12。

表 11-12 本项目屋顶天空反散射辐射屏蔽厚度及参考点剂量率计算结果

设备	D10(Gy/h)	Ω	di	ds	Bxs	H(μSv/h)
⁶⁰ Co	**	**	**	**	**	**
X 射线空气比释动能计量标准设备	**	**	**	**	**	**

由表 11-7 和表 11-12 可知，X 射线空气比释动能计量标准设备运行时，辐照室周围关注点剂量率最大值为**μSv/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 2.5μSv/h”的要求；辐照室屋顶剂量率为**μSv/h，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中“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 100μSv/h”的要求。

11.3 辐射工作人员和公众人员受照剂量估算

个人年有效剂量计算公式如下：

$$H_{\gamma} = D_{\gamma} \times T \times t \times 10^{-3} (\text{mSv}) \dots \dots \dots \text{式 (11-9)}$$

式中：H_γ—γ辐射外照射人均年有效剂量，mSv；

D_γ—γ辐射剂量率，μSv/h；

T—居留因子，居留因子根据 GBZ/T 250-2014 表 A.1 取值；

t—年工作时间，h。

由公司提供资料可知，本项目工作人员每年工作**天，辐照室每天约校准**台辐射监测仪表（单源照射装置校准**台，多源照射装置校准**台，X 射线空气比释动能计量标准设备校准**台），每台“辐射监测仪表”快门打开（出束曝光）的时间约为**min/台，则每天快门打开（出束曝光）的时间**h/天，年快门打开（出束曝光）的时间**h/年。另外辐射工作人员在辐照室固定一台待校准设备以及照射结束后拿走的时间共约**min，则每年辐射工作人员在辐照室内总停留时间为**h。

单源照射装置校准和多源照射装置校准时，辐射工作人员放置仪器的剂量率取单源照射装置校准和多源照射装置源容器表面 30cm 处的剂量率叠加值即**μSv/h 估算。公众人员在机房周边受照时间为出束时间乘以居留因子。代入参数进行计算，工作人员及公众人员受照剂量结果表见表 11-13。控制室为辐射工作人员长期停留，居留因子取**。东北侧走道为通往 KZC 备件储存间的走道，西南侧走道为通往仪表检定室**、女卫和男卫的通道，楼梯间为通往 2 楼的楼梯间，居留因子取**；西北侧内部道路，厂区内人员偶尔经过，居留因子取**。

表 11-13 辐射照射装置工作人员及公众成员的年有效剂量估算结果表

位置	成员	操作类型	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	时间 (h)	居留 因子	年有效剂量 (mSv)	
控制室	辐射 工作 人员	控制室操作单 源、多源装置	**	**	**	**	**
		控制室操作 X 射线空气比释 动能计量标准 设备	**	**	**	**	
		辐照室	放置仪器	**	**	**	
东北侧 走道	公众 人员	单源、多源装 置正常运行	**	**	**	**	**
		X 射线空气比 释动能计量标 准设备运行	**	**	**	**	
西南侧 走道和 楼梯间	公众 人员	单源、多源装 置正常运行	**	**	**	**	**
		X 射线空气比 释动能计量标 准设备运行	**	**	**	**	
西北侧 内部道 路	公众 人员	单源、多源装 置正常运行	**	**	**	**	**
		X 射线空气比 释动能计量标 准设备运行	**	**	**	**	

本项目辐射工作人员最大年有效剂量为**mSv/a，低于本次评价确定的剂量约束值 5mSv/a 的要求；公众年有效剂量为**mSv/a，低于本次评价确定的剂量约束值 0.1mSv/a 的要求。

11.4 三废环境影响分析

(1) 废旧放射源

辐照室内更换的废旧放射源拟交由供源单位回收。

(2) 非放射性废气

核素衰变过程产生的各种射线，尤其是 γ 射线和 α 射线以及 X 射线空气比释动能计量标准设备产生的 X 射线可能使辐照室内空气电离，产生氮氧化物 (NO_x) 和臭氧 (O_3) 等非放射性废气。经机房排风装置排出室外，对周围环境影响较小。

① 臭氧产量

由《辐射所致臭氧的估算与分析》（中华放射医学与防护杂志 Vol14, 2, P101, 1994）可知，辐照室的臭氧产生率由下式计算：

$$Q_0 = 1.73 \times 10^{-2} \times A_0 \times G \times V^{1/3} \dots\dots\dots \text{（式 11-10）}$$

式中： Q_0 ——为臭氧 (O_3) 产额，mg/h；

A_0 ——源活度, TBq;

G ——为空气吸收 100eV 辐射能量产生的臭氧 (O_3) 分子数;

V ——辐照室体积, m^3 ;

代入相关参数计算得: $Q_0=**mg/min$ 。

②臭氧 (O_3) 浓度

假设臭氧在机房内均匀分布, 当照射时间足够长, 臭氧浓度达到饱和, 其平衡浓度计算公式如下:

$$c_s = \frac{Q_0 \times \bar{T}}{V} \dots\dots\dots \text{(式 11-11)}$$

$$\bar{T} = \frac{t_v \times t_d}{t_v + t_d} \dots\dots\dots \text{(式 11-12)}$$

\bar{T} ——有效清除时间, min;

V ——机房内体积, m^3 ; 本项目机房体积为** m^3 ;

式中: t_v ——换气一次需要的时间, min; 辐照室排气系统排风能力为**次/h, 则换气一次需要的时间最长为**min/次;

t_d ——臭氧的有效分解时间, 为**min;

代入参数算得: $\bar{T}=**min$; $C_s=**mg/m^3$, 小于《工作场所有害因素职业接触限值 第1部分: 化学有害因素》(GBZ2.1-2019)中有害气体(臭氧)职业接触限值 $0.3mg/m^3$ 的要求; NO_x 的浓度为臭氧产额的**, 约为** mg/m^3 , 小于《工作场所有害因素职业接触限值第1部分: 化学有害因素》(GBZ2.1-2019)中氮氧化物(一氧化氮、二氧化氮)时间加权平均容许浓度 $<5mg/m^3$, 短时间接触容许浓度 $<10mg/m^3$ 的要求。

(3) 阴极射线管

X射线空气比释动能计量标准设备无法使用时, 会产生废旧阴极射线管, 产生的废旧阴极射线管属于危险废物(依据《国家废物危险名录》危废代码为900-044-49), 委托有资质单位处置, 拆除阴极射线管的X射线空气比释动能计量标准设备在任何情况下均不会再产生X射线, 可由公司按照一般设备报废的相关规定进行处置。

11.5 事故影响分析

(一) 可能的辐射事故

1.防护水平 γ 参考辐射准直照射装置可能存在以下事故工况

①工作人员操作不当或设备出现故障, 在设备安装和换装放射源时, 发生放射源从设备或容器中跌落出来, 造成安装或操作人员受到强辐射照射。以及发生卡快门、卡源等, 造成

额外照射。

②工作状态下，因故障，防护门安全联锁装置失效，导致人员误入处于运行状态的辐照室，受到不必要的照射。

③放射源保管不善，可能发生丢失事故，产生严重的环境污染事故。

④工作人员或其他人员尚未撤离辐照室，控制台处操作人员误操作，设备出源，对工作人员造成照射。

2.X 射线空气比释动能计量标准设备可能存在以下事故工况

①安全联锁发生故障，射线装置工作过程中人员误打开屏蔽门而造成 X 射线误照射。

②由于设备故障，导致射线装置不能停止出束，造成计划外的照射。

③维修期间的事故，射线装置维修工程师误开机出束，造成辐射伤害。

(二) 事故等级

参考《实用辐射安全手册第二版》关于急性放射病的发生率以及急性放射病的死亡率与辐射剂量的关系，见表 11-14。

表 11-14 急性放射病的发生率以及急性放射病的死亡率与辐射剂量的关系

辐射剂量 (Gy)	急性放射病发生率 (%)	辐射剂量 (Gy)	死亡率 (%)
0.70	1	2.00	1
0.90	10	2.50	10
1.00	20	2.80	20
1.05	30	3.00	30
1.10	40	3.20	40
1.20	50	3.50	50
1.25	60	3.60	60
1.35	70	3.75	70
1.40	80	4.00	80
1.60	90	4.50	90
2.00	99	5.50	99

依据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（中华人民共和国国务院令 第 709 号）第 40 条关于辐射事故分级要求，根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级，见表 11-15。

表 11-15 辐射事故分级

事故等级	事故情形
特别重大辐射事故	I 类、II 类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果，或者射线装置失控导致 3 人以上（含 3 人）急性死亡
重大辐射事故	I 类、II 类放射源丢失、被盗、失控，或者射线装置失控导致 2 人以下（含 2 人）急性死亡或者 10 人以上（含 10 人）急性重度放射病、局部器官残疾

较大辐射事故	III类放射源丢失、被盗、失控，射线装置失控导致9人以下（含9人）急性重度放射病、局部器官残疾
一般辐射事故	IV类、V类放射源丢失、被盗、失控，射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射

（三）辐射事故后果计算

事故情景 1：防护水平 γ 参考辐射准直照射装置工作状态下，如发生停电、意外中断照射事故，电磁阀自动切换气路，推动主快门关闭。若快门因故障不能自动关闭，或者源脱落，工作人员穿戴防护用品进入辐照室，从有用束侧面迅速手动关闭快门，或者使用长柄钳手动回源或盛入储源容器内，然后关闭屏蔽门。手动关源整个过程约需**min，保守计以此估算工作人员事故状态下受到的照射剂量：**Gy，已超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业人员的剂量限值（20mSv/a），可能发生的辐射事故为一般辐射事故。

事故情景 2：放射源保管不善，可能发生丢失事故，产生严重的环境污染事故。根据计算，不同距离、不同受照时间，放射源丢失造成的公众有效剂量详见表 11-16。

表 11-16 不同距离不同照射时间放射源丢失（单源装置中 ^{60}Co 放射源丢失）造成公众受照剂量
单位：mSv

时间 距离	1min	5min	10min	30min	1h	2h	24h	72h
0.5m	**	**	**	**	**	**	**	**
1m	**	**	**	**	**	**	**	**
2m	**	**	**	**	**	**	**	**
3m	**	**	**	**	**	**	**	**
4m	**	**	**	**	**	**	**	**
5m	**	**	**	**	**	**	**	**
10m	**	**	**	**	**	**	**	**

从上表 11-16 可以看出，近距离接触**Ci ^{60}Co 裸源可构成较大辐射事故、重大辐射事故或特别重大辐射事故。

（四）辐射事故处置方法及预防措施

（1）防护水平 γ 参考辐射准直照射装置

①换源事宜由供源厂家专业人员负责，严禁私自拆卸。做好设备日常维护，经常对设备的性能进行检查，防止卡快门和源脱落事故发生。辐照室内配备必要的应急物品，包括储源容器、长柄镊子、铅衣、铅眼镜等，并在应急设备处张贴应急指示。

②定期进行防护水平 γ 参考辐射准直照射装置保养维护，定期验证安全装置与设施的有效性，保证各项安全连锁、红外人体报警装置、源装置快门、急停按钮等安全设施有效。

③放射源在防护水平 γ 参考辐射准直照射装置的源容器内，固定在辐照室，并限制人员进

入，做好防盗措施，设置防盗门（防护门）等。制定并落实放射源安全管理与台账制度，设专人负责。

④制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，实施照射前控制台工作人员应先观察监控，确保辐照室内人员已撤出。

（2）X 射线空气比释动能计量标准设备

①定期巡检，确保安全联锁、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；

②定期对设备进行检修维护，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调试和检修工作由专业人员承担，检修时应采取必要的防护措施，避免误照射。

（五）应急处置预案

对以上可能发生的事故风险，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和防护管理办法》等有关规定，公司应制定辐射事故应急方案，并定期进行演练，及时进行整改，同时还应配置必要的应急装备、器材以及应急资金。当发生或发现辐射事故，当事人应立即向单位的辐射安全负责人和法定代表人报告。当事故发生时，公司应立即启动本单位的辐射事故应急预案，采取必要防范措施，并填写《辐射事故初始报告表》，向生态环境主管部门报告；造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向卫生主管部门报告；如发生放射源被盗的事故，则还须向公安部门报告。

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

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规要求，使用II类放射源、II类射线装置的单位应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。福建宁德核电有限公司设置以总经理为主任，以总经理部成员为副主任，以安全质量总监为办公室主任，以公司（副）总工程师、工程管理部、运行一部、运行二部、计划部、核安全与执照部、安全防护部、机械部、电气部、仪控部、技术部、设备管理部、工程改造部、化学环保部、生产服务部、质保部、财务部、人力资源部、综合管理部、合同采购部、信息文档部、培训部、生产准备部、项目开发部、审计与法律事务部、党群工作部、电力市场营销部、纪检工作部各部门的经理或（主持工作）副经理，工会代表、员工代表为委员的公司安全、质量、环境管理委员会。此外，公司制定了《辐射安全责任书》。

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许可管理办法》，使用射线装置的单位应有健全的操作规程、岗位职责、放射防护和安全保卫制度、设备维修制度、人员培训计划、监测方案等，有完善的辐射事故应急措施。

公司已根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的有关要求制订规章制度，制定了系统的管理制度，包括《放射源与射线探伤管理》《计量检定员岗位责任制度》《计量标准使用与维护制度》《 γ 射线空气比释动能（防护水平）标准装置操作规程》和《宁德核电基地辐射事故应急预案》等。

12.3 辐射工作人员的培训

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十五条的规定：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。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第二十二条规定：取得辐射安全培训合格证书的人员，应当每五年接受一次再培训。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》（公告2019年第57号），辐射安全与防护培训需求的人员可通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（<http://fushe.mee.gov.cn/>）参加辐射安全与防护培训，参加相关考试并通过考核，做到持证上岗。

本项目拟配备3名辐射工作人员，均为公司现有辐射工作人员，均在生态环境部“核技术利用辐射安全与防护培训平台”报名参加了“辐射安全管理”辐射安全与防护相关知识的

学习，并考核合格；本项目运行后，辐射工作人员需参加“X射线探伤”和“ γ 辐照”辐射安全与防护考核，合格后方可从事本项目工作。

12.4 辐射监测

本项目使用II类、III、IV放射源及II类射线装置，根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，本项目应“配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警仪、固定式和便携式辐射监测等设备”。

公司拟依托公司现有 AM 实验室配备的 3 台便携式 X- γ 辐射剂量率仪，3 台个人剂量报警仪。

12.4.1 个人剂量监测

公司将所有辐射工作人员配备个人剂量计，开展个人剂量监测。监测工作委托有资质的放射防护技术服务机构承担。个人剂量常规监测周期一般为 1 个月，最长不应超过 3 个月。辐射防护管理人员收齐辐射工作人员的个人剂量计后交至公司更换佩戴个人剂量计，公司统一将个人剂量计送至有资质机构检测并领取新的个人剂量计，发现个人剂量监测结果异常的，立即核实和调查，并将有关情况及时报告发放辐射安全许可证的机关。剂量监测结果每季度由公司向各有关部门通报一次；当剂量监测结果有异常，由公司通知具体辐射工作人员及部门分管领导。公司拟建立完善的辐射工作人员个人剂量档案，个人剂量监测档案包括辐射工作人员个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等内容，个人剂量监测档案终生保存。

本项目依托的辐射工作人员已佩戴个人剂量计并定期送检。

12.4.2 职业健康体检

根据《放射工作人员健康要求及监护规范》（GBZ98-2020）要求，本项目辐射工作人员上岗前将进行职业健康检查，在岗期间职业健康检查周期不得超过 2 年，必要时，适当增加检查次数，离岗时进行职业健康检查，建立职业健康监护档案并终生保存。本项目依托的辐射工作人员均进行了职业健康体检，且可从事放射工作。

12.4.3 辐射环境及工作场所监测

（1）年度常规监测

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部令第 18 号）的相关规定，使用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，可以委托有资质的环境监测机构进行监测。公司将执行辐射监测计划，定期委托有相关资质的第三方辐射监测机构对公司的辐射工作场所进行年度监测。年度监测数据将作为本单位辐射安全和防护状况年度评估报告

的一部分，每年 1 月 31 日前上报生态环境主管部门。

(2) 竣工环境保护验收

公司将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验收技术指南 污染影响类》（生态环境部公告 2018 年第 9 号）、《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）的相关要求，对配套建设的环境保护设施进行验收，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。本项目环保设施验收期限一般不超过 3 个月，需要对该类环保设施进行调试或者整改的，验收期限可适当延期，但最长不超过 12 个月。

(3) 工作场所和周围环境监测

监测频率：每年委托有资质的单位监测一次，每个月自主监测一次。

监测位置：监测布点与验收监测布点一致。

公司制定的辐射监测计划见表 12-1。

表 12-1 辐射监测计划

监测对象	监测方案	监测项目	监测频率	监测方式
辐照室	四周墙体外 30cm、控制室操作位、防护门外及缝隙 30cm 处、电缆及排风管穿墙孔洞处、楼顶外 30cm。	周围剂量当量率	每月 1 次	自行监测
			每年 1 次	委托有资质单位监测
	源容器表面	周围剂量当量率	换源前后	自行监测
辐射工作人员	佩戴个人剂量计	年有效剂量	操作时，每季度送检 1 次	送有资质单位检测
外环境（50m 周围环境保护目标）	实测	周围剂量当量率	每年 1 次	委托有资质单位监测
竣工环境保护验收监测	辐照室四周墙体外 30cm、控制室操作位、防护门外及缝隙 30cm 处、电缆及排风管穿墙孔洞处、楼顶外 30cm。	周围剂量当量率	本项目运行后监测 1 次	委托有资质单位监测

由上表可知，福建宁德核电有限公司制定的辐射监测计划符合公司核技术利用项目的实际情况，包含了竣工环境保护验收监测与定期检查、辐射工作人员个人剂量监测以及日常自行监测，内容全面，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）等要求，监测频率较为合理，福建宁德核电有限公司辐

射监测计划切实可行。

12.5 辐射事故应急

12.5.1 目的

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》要求，为使在发生放射源事故时，应急响应人员能及时到岗并熟练使用相关的应急程序和应急设施设备处理事故，减小放射源事故后果，特制定《宁德核电基地辐射事故应急预案》。

12.5.2 适用范围

预案适用于福建宁德核电有限公司放射源事故应急响应。根据核电厂的实际情况，预案主要针对在放射源使用过程中丢失或因设备故障、误操作引起放射源屏蔽丧失而造成的放射源事故或异常事件。

12.5.3 应急指挥机构及职责

核电厂应急指挥机构由应急领导小组和应急管理办公室组成。应急领导小组由董事长或其授权人担任组长，副组长为主管应急的副总经理，组员包括运行一部/二部、机电部、仪控部、技术部、安全防护部、生产服务部、综合管理部等相关部门经理。

应急领导小组负责平时的应急管理工作，如组织编制预案及报备、组建应急队伍、储备应急物资、应急保障、培训、演练、监督、考核等。辐射事故应急响应启动后在公司应急领导小组的领导下设置前方应急指挥部，应急指挥部作为放射源事故应急响应的指挥中心，全面负责应急决策和指挥应急响应行动，以及与国家、地方及上级主管部门应急组织的联系和协调，负责统一协调指挥基地放射源事故应急响应，适时启动宁德核电基地应急响应组织，统一调配基地内相关应急力量与资源；负责基地内放射源事故情况、响应行动的政府通报；确定事故等级和可能的事故后果，根据需要，请求国家相关机构和集团应急指挥部支援；负责审查终止应急状态的条件是否得到满足，并负责决定是否终止应急状态。

应急领导小组下设应急管理办公室，办公室设在安全防护部，组长为安全防护部经理，副组长为放射源事故责任单位（接口部门）（副）经理、安全防护组组长，组员包括辐射防护助理、公众信息助理、技术助理、职业医疗助理、金属监督助理、综合支持助理、生产服务助理、核电厂保卫助理、放射源事故责任单位负责人。应急管理办公室在应急领导小组领导下，具体负责平时的应急管理工作；负责事故应急状态下为应急指挥部提供参谋和支持工作；应急响应结束后，组织事件调查等。

12.5.4 应急处置

辐射事故应急处置遵循“以人为本、预防为主，统一领导、分类管理、分级响应，专兼

结合、充分利用现有资源”的原则。应急处置行动执行前应充分分析风险并采取必要的个人防护措施，当危及个人生命安全等紧急情况下现场处置人员有权撤离现场。处置行动详见附件五。

本项目运行后，应做好以下工作：

(1) 应加强应急人员的培训，建立事故报告制度，定期组织开展应急演练，并做好记录；

(2) 应定期修改完善应急预案等相关规章制度，加强部门之间以及与管理部的联动。

综上，在落实上述应急方案相关内容后，本项目辐射事故应急方案是可行的。

12.6 竣工环境保护验收内容

根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》相关规定，建设项目竣工后，建设单位应当如实查验、监测、记载建设项目环境保护设施的建设和调试情况，编制验收监测（调查）报告。本项目竣工环境保护验收要求见下表 12-2。

表 12-2 本项目三同时验收内容

污染源或保护源	主要环保措施		验收标准
辐射防护措施	辐照室	①辐照室屏蔽满足表 10-1 的辐射防护屏蔽方案；②辐照室和操作室控制台设有急停按钮；③辐照室内安装视频监控系统；④辐照室设有固定式辐射剂量率监测系统；⑤辐照室防护门上方设置警示灯；⑥辐照室设置排风装置；⑦辐照室设有红外报警探测系统；⑧辐照室设有固定式辐射剂量率监测系统、屏蔽门、安全连锁系统等组成的安全连锁系统；⑨3 台个人剂量报警仪和 3 台便携式 X-γ辐射剂量率仪。	1.《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002） 2.《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2002）（参照标准） 3.《含密封源仪表的放射卫生防护要求》（GBZ125-2009）（参照标准） 4.《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》
管理措施	所有辐射工作人员佩戴个人剂量计并建立个人剂量档案。		
	制定相应的规章制度和辐射事故（事件）应急预案。		
	辐射工作人员取得“X 射线探伤”和“γ 辐照”辐射安全与防护考核合格证书，持证上岗。		
	辐射工作人员进行职业病健康体检（包括上岗前、在岗期间和离岗时的职业健康检查）。		
	放射源达到使用年限退役后，退役放射源将由供源单位回收处置。		
	委托有资质的单位对辐射工作场所进行辐射环境监测，并按时报送辐射安全年度评估报告。		
项目环评批复后，建设单位应向生态环境主管部门办理辐射安全许可证重新申领手续。			

表 13 结论与建议

13.1 结论

本项目拟在宁德核电厂 AM 实验室一层新建 1 间辐照室及控制室等配套用房，并在辐照室内新增使用 1 套单源照射装置、1 套多源照射装置和 1 套 X 射线空气比释动能计量标准设备，主要用于宁德核电辐射仪器和仪表的校准与检定。单源照射装置内含 1 枚 ^{60}Co 放射源（II 类放射源）；多源照射装置含有 4 枚 ^{137}Cs 放射源（2 枚 III 类放射源和 2 枚 IV 类放射源）、1 枚 ^{241}Am 放射源（III 类放射源）；X 射线空气比释动能计量标准设备最大管电压为 320kV，最大管电流 22.5mA，为 II 类射线装置。

（1）辐射安全与防护分析结论

本项目辐射工作场所设置了门机联锁装置、视频监控装置、红外探测及联锁装置等辐射安全措施，对工作场所进行了分区，配备个人剂量计、便携式 X- γ 辐射剂量率仪等，满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）等相关要求。

（2）环境影响分析结论

由理论估算可知，本项目对工作人员职业照射的最大年有效剂量值为**mSv/a，对公众照射的最大年有效剂量值为**mSv/a，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求（职业人员 20mSv/a，公众人员 1mSv/a），同时也低于本项目剂量约束值要求（职业人员 5mSv/a，公众人员 0.1mSv/a）。

（3）可行性分析结论

①实践正当性分析

本项目辐照室用于保证宁德核电厂辐射防护监测仪器及仪表测量值的准确性，满足核电厂辐射防护监测仪器和仪表校准与检定的要求，该项目的开展，能够为核电厂运行提供核安全保障，具有较好的经济效益和社会效益，所获利益远大于其危害，且经评价分析，公司辐照室工作场所屏蔽措施符合相关标准要求，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践的正当性”的原则。

②产业政策符合性分析

对照《产业结构调整指导目录（2024 年本）》的相关规定，本项目属于“核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发”，为鼓励类项目，符合国家产业政策要求。

（4）总结论

综上所述，宁德核电电离辐射计量标定实验室项目符合国家产业政策和实践正当性原则。在落实本环境影响报告表提出的各项污染防治措施和辐射环境管理要求后，建设单位将

具备相应从事辐射活动的技术能力，本项目投入运行后对周围环境的影响符合辐射环境保护的要求。从辐射环境保护角度论证，本项目建设是可行的。

13.2 建议与承诺

(1) 对本评价提出的辐射管理和辐射防护措施，建设单位应尽快落实，在项目建设同时，切实做到环保设施和主体工程“同时设计、同时施工、同时投产”。

(2) 建设单位如需增加本报告表所涉及之外的放射源、射线装置或对其使用功能进行调整，则应按有关要求向生态环境主管部门进行申报，并采取相应的辐射防护措施。

(3) 建设单位应安排本项目所有辐射工作人员参加国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习、考试，取得考核合格证书后方能上岗。同时按照国家法律法规要求给辐射工作人员配备个人剂量计，定期送检，并建立个人剂量监测档案。

(4) 建设单位应安排本项目所有辐射工作人员参加职业健康体检，并为辐射工作人员建立职业健康档案。

(5) 本项目环评批复后，建设单位应及时向生态环境主管部门办理辐射安全许可证重新申领手续并按要求开展竣工环境保护验收工作。

