

核技术利用建设项目

新增校准用 II 类射线装置及

密封放射源项目

环境影响报告表

（公示本）

中广核久源（成都）科技有限公司绵阳分公司

二〇二四年六月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

新增校准用 II 类射线装置

及密封放射源项目

环境影响报告表

建设单位名称：中广核久源（成都）科技有限公司绵阳分公司

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：四川省绵阳市游仙区游仙街道石垭村五社

邮政编码：610000

联系人：*****

电子邮箱：*****联系电话：*****

目录

表 1 项目基本情况.....	1
表 2 放射源.....	13
表 3 非密封放射性物质	14
表 4 射线装置.....	14
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	16
表 6 评价依据.....	17
表 7 保护目标及评价标准.....	19
表 8 环境质量和辐射现状.....	22
表 9 项目工程分析和源项.....	25
表 10 辐射安全与防护.....	39
表 11 环境影响分析.....	53
表 12 辐射安全管理.....	89
表 13 结论与建议.....	96
表 14 审批.....	101

附图目录

附件目录

表 1 项目基本情况

建设项目名称		新增校准用 II 类射线装置及密封放射源项目			
建设单位		中广核久源（成都）科技有限公司绵阳分公司			
法人代表	***	联系人	***	联系电话	***
注册地址		四川省绵阳市游仙区游仙街道石垭村五社			
项目建设地点		四川省绵阳市游仙区游仙街道石垭村中国（绵阳）科技城核医疗健康产业园青龙山北片区内			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资（万元）		4984	项目环保投资（万元）	74.4	投资比例（环保投资/总投资） 1.50%
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其他			占地面积（m ² ） 417
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I 类 ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类		
		☒ 使用	☐ I 类（医疗使用） ☒ II 类 ☒ III 类 ☒ IV 类 ☒ V 类		
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☐ 使用	☐ 乙 ☐ 丙		
	射线装置	☐ 生产	☐ II 类 ☐ III 类		
		☐ 销售	☐ II 类 ☐ III 类		
		☒ 使用	☒ II 类 ☐ III 类		
	其他	/			

项目概述

一、建设单位简介

中广核久源（成都）科技有限公司绵阳分公司（以下简称“建设单位”或“公司”，统一社会信用代码 91510704MA6747GD3L）成立于 2020 年 12 月 22 日。公司注册地址位于四川省绵阳市游仙区游仙街道石垭村五社。

公司的主要业务包括辐射探测装备的研发和生产，为各类核设施和核材料提供精确的辐射测控手段。作为中广核久源（成都）科技有限公司的分支机构，公司致力于研发先进的辐射检测技术和装备，以提高核能行业的安全性和高效性。除了研发和生产，公司还提供核技术服务，公司拥有一支专业的技术团队，团队成员具备丰富的经验技能和扎实的知识储备，能够为客户提供相关装备的安装、调试、培训和维护等全方位的技术支持和解决方案。

二、项目由来

随着近年来国内核测仪器仪表市场需求的增加，加之我国政府实施了一系列鼓励仪器

仪表制造业发展的政策，为企业发展提供了良好的发展环境。在此背景下，中广核久源（成都）科技有限公司绵阳分公司根据当前经营及未来业务发展需要，计划在四川省绵阳市游仙区游仙街道石垭村中国（绵阳）科技城核医疗健康产业园青龙山北片区内核测控设备制造基地的生产制造厂房内开展“新增校准用Ⅱ类射线装置及密封放射源项目”。项目主要建设内容为：在生产制造厂房西南侧辐射作业区内新建 2 座校准实验室、源库及相应的辅助用房；在生产制造厂房南侧新建生产作业区（Ⅳ类、Ⅴ类放射源使用区域）。

本项目拟在 1#校准实验室内使用 1 枚Ⅱ类放射源（ ^{60}Co ），在 2#校准实验室内使用 3 枚Ⅲ类放射源（ ^{137}Cs 、 ^{60}Co 、 ^{241}Am ）和 1 台Ⅱ类射线装置（X 光机：额定管电压 320kV，额定管电流 22.5mA）。在生产作业区中使用 2 枚Ⅳ类放射源（ ^{137}Cs 、 ^{239}Pu ）、1 枚Ⅴ类放射源（ ^{241}Am ）、23 枚豁免源（5 枚 ^{137}Cs 、2 枚 ^{60}Co 、6 枚 ^{239}Pu 、7 枚 ^{90}Sr （ ^{90}Y ）、3 枚 ^{241}Am ），按照《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国环境影响评价法》和《中华人民共和国放射性污染防治法》的要求，**本项目应进行环境影响评价**。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 版）》（环境保护部令 2020 年第 16 号）中“五十五、核与辐射”中“172、核技术利用建设项目——**使用Ⅱ类、Ⅲ类放射源的；生产、使用Ⅱ类射线装置的**”应编制报告表，“**使用Ⅳ类、Ⅴ类放射源的**”应编制登记表。由于本项目涉及使用Ⅱ类放射源、Ⅱ类射线装置，因此，综合考虑，**本项目编制环境影响报告表**。

为了考察射线装置和放射源在应用期间对工作人员、公众和环境造成的影响，从辐射防护的角度论证该项目的可行性，同时为公司申领《辐射安全许可证》提供支持性文本，中广核久源（成都）科技有限公司绵阳分公司特委托四川久远环保安全咨询有限公司承担该项目的环评工作。环评单位接受委托后，立即对该项目进行了现场踏勘和资料收集，在工程分析及环境影响分析基础上，结合工程的具体情况以及辐射危害特征，按照《辐射环境保护管理导则核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）的要求，编制完成了本环境影响报告表。

三、项目概况

3.1 项目名称、建设单位、建设地点及性质

项目名称：新增校准用Ⅱ类射线装置及密封放射源项目

建设单位：中广核久源（成都）科技有限公司绵阳分公司

建设地点：四川省绵阳市游仙区游仙街道石垭村中国（绵阳）科技城核医疗健康产业园青龙山北片区核测控装备研发制造基地内

建设性质：新建

3.2 建设内容及规模

项目计划在四川省绵阳市游仙区石垭村青龙山片区中国（绵阳）科技城核医疗健康产业园青龙山北片区核测控装备研发制造基地内内的辐射作业区及生产作业区（Ⅳ类、Ⅴ类放射源使用区域）内进行辐射监测设备的校准和检定。各区域内容及规模如下：

3.2.1 辐射作业区

辐射作业区位于生产制造厂房西南侧，为一层，占地面积约为 417.18m²。该场所主要对辐射监测设备进行校准和检定。

辐射作业区主要由中子实验室（预留场所，另行环评）、1#校准实验室、2#校准实验室、源库、产品检测室（预留场所，另行环评）及配套辅助用房组成。

3.2.1.1 1#校准实验室

1#校准实验室位于辐射作业区中间，建筑面积约 27m²。该场所主要用于 γ 类辐射监测设备的校准和检定。

1#校准实验室内拟使用 1 台 γ 射线空气比释动能治疗水平标准装置，装置为单源辐照装置，该装置内拟配 1 枚 ⁶⁰Co 放射源，初始活度为 2.96×10¹³Bq（800Ci），属Ⅱ类放射源。作业期间，γ 射线空气比释动能治疗水平标准装置每次只检定 1 台仪器，每次每台仪器检定时最大出束时间约 2h，年总计检定 20 台，年累积出束时间为 40h，主射束方向为 1#校准实验室西墙。非作业期间，⁶⁰Co 放射源存储于装置源舱中，并随装置放置于 1#校准实验室内。

1#校准实验室四周墙体及屋顶板采用钢筋混凝土构筑，东面墙体采用 200mm 厚的钢筋混凝土（迷道内墙）+800mm 厚的钢筋混凝土（东墙），南面墙体采用 800mm 厚的钢筋混凝土，西面墙体采用 1200mm 厚的钢筋混凝土，北面墙体采用 900mm 厚的钢筋混凝土，顶板采用 400mm 厚的钢筋混凝土，南侧设置 58mm 厚、1.2m 宽、2.1m 高铅板防护门。

配套的控制场所——1#控制室位于 1#校准实验室南侧，建筑面积约 31m²。

3.2.1.2 2#校准实验室

2#校准实验室位于辐射作业区西北侧，面积约 72m²。该场所主要对 X/γ 辐射监测设备的校准和检定。

房间内拟使用 1 台 X 光机和 1 台 γ 射线空气比释防护水平标准装置，两台装置不同时工作。其中，X 光机额定管电压为 320kV，额定管电流为 22.5mA，属于Ⅱ类射线装置，预

估检定 1 台仪器的出束时间最长约为 2h，年检定设备 20 台，年累积出束时间最长为 40h，主射束方向为 2#校准实验室南墙； γ 射线空气比释防护水平标准装置为多源辐照装置，拟配备 1 枚 ^{137}Cs （初始活度为 $9.25 \times 10^{11}\text{Bq}$ ，属于 III 类放射源）、1 枚 ^{60}Co （初始活度为 $7.4 \times 10^{10}\text{Bq}$ ，属于 III 类放射源）和 1 枚 ^{241}Am （初始活度为 $1.85 \times 10^{11}\text{Bq}$ ，属于 III 类放射源），作业期间，仅 1 枚放射源进行照射， γ 射线空气比释防护水平标准装置每次只检定 1 台仪器，每次每台仪器检定时最大出束时间约 2h，年总计检定 20 台，年累积出束时间为 40h，主射束方向为 2#校准实验室南墙。非作业期间，3 枚放射源均储存于装置源舱中，并随装置放置于 2#校准实验室内。

2#校准实验室四周墙体及屋顶采用钢筋混凝土构筑，东面墙体采用 600mm 厚的钢筋混凝土，南面墙体采用 900mm 厚的钢筋混凝土，西面墙体采用 600mm 厚的钢筋混凝土，北面墙体采用 500mm 厚的钢筋混凝土（迷道内墙）+600mm 厚的钢筋混凝土（迷道外墙），顶部墙体采用 400mm 厚的钢筋混凝土，东侧设置 6mm 厚、1.2m 宽、2.1m 高铅板防护门。

配套的控制场所——2#控制室位于 2#校准实验室东侧，建筑面积为 20.1m^2 。

3.2.1.3 源库

源库位于辐射作业区“2#校准实验室”东侧，该场所主要储存 IV 类、V 类放射源及豁免源。

房间内拟储存 1 枚 ^{137}Cs （IV 类放射源）、1 枚 ^{239}Pu （IV 类放射源）、1 枚 ^{241}Am （V 类放射源）和 23 枚豁免源（详见表 1-4），均储存于源罐中并置于源库中保险柜内。

源库四周墙体及屋顶采用钢筋混凝土构筑，东面墙体采用 300mm 厚的钢筋混凝土，南面墙体采用 900mm 厚的钢筋混凝土，西面墙体采用 600mm 厚的钢筋混凝土，北面墙体采用 300mm 厚的钢筋混凝土，顶部墙体采用 400mm 厚的钢筋混凝土，东侧设置 $1.6\text{m} \times 2.2\text{m}$ （宽 $\times$ 高）的甲级防火门。

3.2.2 生产作业区

生产作业区位于生产制造厂房一层、二层、三层东侧。一层主要使用 IV 类、V 类放射源对核测控仪器进行校准，二层、三层主要使用豁免源对核测控仪器进行校准。

本区域拟使用 26 枚放射源，分别为 1 枚 ^{137}Cs （初始活度为 $1.0 \times 10^9\text{Bq}$ ，属于 IV 类放射源）、1 枚 ^{239}Pu （初始活度为 $6.0 \times 10^8\text{Bq}$ ，属于 IV 类放射源）、1 枚 ^{241}Am （初始活度为 $5.8 \times 10^8\text{Bq}$ ，属于 V 类放射源）、23 枚豁免源（5 枚 ^{137}Cs 、2 枚 ^{60}Co 、6 枚 ^{239}Pu 、7 枚 ^{90}Sr （ ^{90}Y ）、3 枚 ^{241}Am ），其中，IV 类、V 类放射源仅在一层生产作业区中规定区域使用（IV 类、V 类放

射源使用区域如图 1-2 所示)。非作业期间, 26 枚放射源均储存于生产制造厂房一层源库的保险柜内。

图 1-2 本项目IV类、V类放射源使用区

综上, 本项目所涉及的射线装置、放射源情况如下表。

● 射线装置

表 1-3 本项目建成后使用的射线装置情况一览表

名称	型号	主要技术参数	投射类型	射线装置种类	活动种类	工作场所	数量
X 光机	MGi320	最大管电压 320kV 最大管电流 22.5mA	定向	II类	使用	2#校准实验室内	1

● 放射源

表 1-4 本项目建成后使用的放射源情况一览表

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
⁶⁰ Co	2.96×10 ¹³ Bq×1 枚	II	使用	仪器的校准和检定	1#校准实验室	储存于装置源舱中，随装置放置于1#校准实验室内
¹³⁷ Cs	9.25×10 ¹¹ Bq×1 枚	III	使用	仪器的校准和检定	2#校准实验室	储存于装置源舱中，随装置放置于2#校准实验室内
⁶⁰ Co	7.40×10 ¹⁰ Bq×1 枚	III	使用	仪器的校准和检定		
²⁴¹ Am	1.85×10 ¹¹ Bq×1 枚	III	使用	仪器的校准和检定		
¹³⁷ Cs	1.00×10 ⁹ Bq×1 枚	IV	使用	仪器的校准和检定	生产制造厂房一层生产作业区	生产制造厂房一层 源库保险柜内
	9.788×10 ³ Bq×1 枚	豁免	使用	仪器的校准和检定	生产制造厂房二、三层生产作业区	
	9.799×10 ³ Bq×1 枚					
	9.032×10 ³ Bq×1 枚					
	3.013×10 ³ Bq×1 枚					
	3.193×10 ³ Bq×1 枚					
²³⁹ Pu	6.00×10 ⁸ Bq×1 枚	IV	使用	仪器的校准和检定	生产制造厂房一层生产作业区	生产制造厂房一层 源库保险柜内
	8.00×10 ² Bq×1 枚	豁免	使用	仪器的校准和检定	生产制造厂房二、三层生产作业区	
	25.7Bq×1 枚					
	25.9Bq×1 枚					
	25.4Bq×1 枚					
	29.8Bq×1 枚					
	25.9Bq×1 枚					
²⁴¹ Am	5.80×10 ⁸ Bq×1 枚	V	使用	仪器的校准和检定	生产制造厂房一层生产	生产制造厂房一层 源

					作业区	库保险柜内
	$9.29 \times 10^3 \text{Bq} \times 1 \text{枚}$	豁免	使用	仪器的校准和检定	生产制造厂房二、三层生产作业区	
	$9.04 \times 10^3 \text{Bq} \times 1 \text{枚}$					
	$8.17 \times 10^3 \text{Bq} \times 1 \text{枚}$					
^{60}Co	$1.05 \times 10^4 \text{Bq} \times 1 \text{枚}$	豁免	使用	仪器的校准和检定	生产制造厂房二层、三层的生产作业区	生产制造厂房一层 源库保险柜内
	$1.06 \times 10^4 \text{Bq} \times 1 \text{枚}$					
^{90}Sr (^{90}Y)	$7.35 \times 10^2 \text{Bq} \times 1 \text{枚}$	豁免	使用	仪器的校准和检定	生产制造厂房二层、三层的生产作业区	生产制造厂房一层 源库保险柜内
	$7.32 \times 10^3 \text{Bq} \times 1 \text{枚}$					
	$7.99 \times 10^3 \text{Bq} \times 1 \text{枚}$					
	$7.71 \times 10^3 \text{Bq} \times 1 \text{枚}$					
	$4.0 \times 10^2 \text{Bq} \times 1 \text{枚}$					
	$8.0 \times 10^2 \text{Bq} \times 1 \text{枚}$					
	$1.6 \times 10^3 \text{Bq} \times 1 \text{枚}$					

3.3 项目组成及主要环境问题

项目组成及可能产生的环境问题见下表。

表 1-5 项目组成及主要环境问题

名称	建设内容			主要环境问题		备注
				施工期	投产期	
主体工程	生产制造厂房	辐射作业区	主要由 1#校准实验室、2#校准实验室、中子实验室（预留场所，另行环评。）、1#控制室、2#控制室、源库、产品检测室（预留场所，另行环评。）、组成。 本楼层涉及Ⅱ类、Ⅲ类、Ⅳ类、Ⅴ类放射源、豁免源及一台 X 光机（额定管电压为 320kV,额定管电流为 22.5mA，属于Ⅱ类射线装置）的使用，主要用于辐射监测设备的组装、调试与检定。	施工扬尘 施工废水 施工噪声 施工固废 生活污水和生活垃圾	X 射线 γ 射线 β 射线 α 射线 废旧放射源 臭氧 生活污水 生活垃圾	新建
		生产作业区	位于生产制造厂房一层、二层、三层东侧。该场所主要对核测控设备进行校准。 本场所涉及Ⅳ类、Ⅴ类放射源和豁免源的使用。		γ 射线 β 射线 α 射线 臭氧 生活污水 生活垃圾	
辅助工程	1#控制室 1 间，面积 30.6m ² ；2#控制室 1 间，面积 20.1m ² 。			/	生活污水 生活垃圾	新建
公用工程	供水	由市政自来水管网供给。			/	利旧 利旧
	供电	由市政电网引入。				
环保工程	废气治理	臭氧：1#校准实验室、2#校准实验室运行期间产生的臭氧经排风系统引至生产制造厂房一层屋顶 5.0m 高排放口排放。			/	新建
	废水治理	生活污水：通过污水管网汇入园区污水处理厂处理。			/	利旧
	噪声防治	项目通风系统机组采用低噪声节能设备，并在风机进出口设消声静压箱；室内风机均采用减振吊架，建筑墙体隔声等措施；屋顶安装风机与基础之间设橡胶减振垫片。				新建

	固废治理	生活垃圾：生活垃圾集中收集后由环卫部门清运处理。			利旧
	废放射源	退役放射源由放射源生产厂家回收处置。	/	/	新建

3.4 主要设备及主要技术参数

本项目主设备配置及主要技术参数见下表。

表 1-6 项目工艺设备清单

设备名称	数量(台)	主要技术参数	主射束角度	工作场所	用途	备注
单源辐照装置	1	^{60}Co 源, 1 枚、 $2.96 \times 10^{13}\text{Bq}$ (800Ci)	约 6°	1#校准实验室	用于辐射监测仪器的校准和检定	II类放射源
多源辐照装置	1	^{137}Cs 源, 1 枚、 $9.25 \times 10^{11}\text{Bq}$ (25Ci) ; ^{60}Co 源, 1 枚、 $7.40 \times 10^{10}\text{Bq}$ (2Ci) ; ^{241}Am 源, 1 枚、 $1.85 \times 10^{11}\text{Bq}$ (2Ci)	约 11°	2#校准实验室	用于辐射监测仪器的校准和检定	III类放射源
X 光机	1	最大管电压/最大管电流: 320kV/22.5mA	约 40°	2#校准实验室	用于辐射监测仪器的校准和检定	II类射线装置

3.5 主要原辅材料

项目主要原辅材料及耗能情况见下表。

表 1-7 主要原辅材料及能耗情况表

类别		名称	年耗量(单位)	来源	主要化学成分
能源	电	检测系统用电	6000000kW·h	市政电网	—
水量	地表水	用水	13000t/a	市政管网	H ₂ O

3.6 劳动定员及工作制度

(1) 劳动定员

本项目新增辐射工作人员 13 名, 人员岗位分配见下表。

表 1-8 本项目劳动定员情况表

序号	工作场所			劳动定员（人）
1	辐射作业区	1#校准实验室		3
		2#校准实验室	辐射源照射器	3
			X 光机	3
	生产作业区			4
合计				13

根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部，公告 2019 年第 57 号）：“自 2020 年 1 月 1 日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过生态环境部‘核技术利用辐射安全与防护培训平台’（<http://fushe.mee.gov.cn>）报名并参加考核。2020 年 1 月 1 日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效”。

中广核久源（成都）科技有限公司绵阳分公司承诺（承诺文件见附件 4）将组织项目所有辐射工作人员参加辐射安全与防护考核，确保所有辐射工作人员通过考核持证上岗。

（2）工作制度

本项目实行一班制，年工作日 260 天，每天 8 小时工作制。

四、产业政策符合性分级及实践的正当性

1、产业政策符合性分析

项目属于核技术在标准化服务和计量测试领域内的运用，根据国家发展和改革委员会《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目属鼓励类第三十一项“科技服务”中第 1 条“工业设计、气象、生物及医药、新材料、新能源、节能、环保、测绘、海洋等专业技术服务，**标准化服务、计量测试**、质量认证和检验检测服务、科技普及”，项目符合国家当前的产业政策。

2、实践正当性分析

本项目用于辐射测量仪表校准服务，项目建设具有显著的经济效益和社会效益，经下文分析，在保证项目各实验室辐射屏蔽功能有效性和辐射安全设施正常运行基础上，运行期间周围辐射水平可满足国家相关要求，其产生的辐射危害远小于单位和社会从中取得的利益，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的辐射防护“实践正当性”的要求。

五、规划符合性分析

1、项目用地符合性

本项目选址于四川省绵阳市游仙区石垭村青龙山片区的中国（绵阳）科技城核医疗健康产业园生产组团内，该组团用地性质为二类工业用地。本项目用地已取得（绵自然资规设〔2021〕178 号）用地规划许可证，用地性质为工业用地，符合园区用地性质。

2、与中国（绵阳）科技城核医疗健康产业园区符合性

本项目位于四川省绵阳市游仙区石垭村青龙山片区的中国（绵阳）科技城核医疗健康

产业园内，该园区于 2023 年编制完成了《中国（绵阳）科技城医疗健康产业园青龙山北片区控制性详细规划环境影响报告书》，并取得了四川省生态环境厅《关于印发中国（绵阳）科技城核医疗健康产业园青龙山北片区控制性详细规划环境影响报告书审查意见的函》（川环建函〔2023〕11 号）。由该规划环评报告书及其审查意见可知：

（1）园区规划概况及准入要求

①规划范围

总规划面积 50.97 公顷，规划区东至游仙区旅游环线，西南至青龙山，北至棉梓路。

②产业定位

重点发展放射性同位素研发及生产、放射性诊断和治疗药物研发及生产、放射医疗装置研发及制造、核探测成像仪器仪表研发制造及应用、辐照加工等核技术利用相关产业。

③生态环境准入清单

规划区仅引入放射性同位素研发及生产、放射性同位素药物研发及生产、核探测成像仪器仪表研发制造及应用、放射性医疗装置研发及制造、核辐射加工等核技术利用相关产业的项目。

④规划区禁止引入的项目：

- a、不符合国家环保法律法规、产业政策、准入条件、列入国家产能过剩的项目。
- b、不符合国家及省、市辐射污染防治要求及重金属污染防治规划的项目。
- c、清洁生产水平不能达到行业清洁生产标准二级标准要求或低于全国同类企业平均清洁生产水平的项目。
- d、经环保论证与周边企业、规划用地等环节不相容或存在重大环节风险隐患且无法消除的项目。
- e、规划区内禁止引入含酸洗、磷化等工序的项目，禁止引入专业电镀核专业喷漆等污染相对较重的项目。核探测成像仪器仪表及放射医疗装置制造所涉及表面处理（电镀、喷漆）应交由第三方加工，禁止在园区内进行专业电镀和专业喷漆。
- f、禁止引入核动力厂（核电厂、核热电厂、核供汽供热厂等）；反应堆（研究堆、实验堆、临界装置等）；核燃料生产加工、贮存、后处理；铀矿开采、冶炼；铀矿地质勘探、退役治理；伴生放射性矿产资源的采选等项目。

（2）与园区规划符合性分析

本项目的建设符合园区规划符合性分析见下表。

表 1-9 项目与中国（绵阳）科技城核医疗健康产业园青龙山北片区规划符合性分析表

项目	四川省生态环境厅关于印发《中国（绵阳）科技城核医疗健康产业园青龙山北片区控制性详细规划环境影响报告书》审查意见的函（川环建函〔2023〕11号）中相关要求	本项目建设内容	符合性
鼓励入园行业	1、以园区确定的主导产业及其配套产业等符合产业政策和规划的行业。 2、用水、节水、排水设计等清洁生产标准达到或优于国家先进水平的项目。 3、优先引入低污染、低能耗、高效益，遵循清洁生产及循环经济的项目。	1、本项目为核技术在标准化服务和计量测试领域内，属于园区主导产业。 2、本项目建成后经过各项节能工程可达到清洁生产标准。 3、本项目不属于高污染、高能耗项目。	符合
禁止入园行业	1、不符合国家环保法律法规、产业政策、准入条件、列入国家产能过剩的项目。 2、不符合国家及省、市辐射污染防治要求及重金属污染防治规划的项目。 3、清洁生产水平不能达到行业清洁生产标准二级标准要求或低于全国同类企业平均清洁生产水平的项目。 4、经环保论证与周边企业、规划用地等环节不相容或存在重大环节风险隐患且无法消除的项目。 5、规划区内禁止引入含酸洗、磷化等工序的项目，禁止引入专业电镀核专业喷漆等污染相对较重的项目。核探测成像仪器仪表及放射医疗装置制造所涉及表面处理（电镀、喷漆）应交由第三方加工，禁止在园区内进行专业电镀和专业喷漆。 6、禁止引入核动力厂（核电厂、核热电厂、核供汽供热厂等）；反应堆（研究堆、实验堆、临界装置等）；核燃料生产加工、贮存、后处理；铀矿开采、冶炼；铀矿地质勘探、退役治理；伴生放射性矿产资源的采选等项目。	1、本项目为核技术在标准化服务和计量测试领域内的运用，属于《产业结构调整指导目录（2024年本）》中的第三十一项“科技服务”中第1条“工业设计、气象、生物及医药、新材料、新能源、节能、环保、测绘、海洋等专业技术服务， 标准化服务、计量测试 、质量认证和检验检测服务、科技普及”，项目符合国家当前的产业政策。 2、项目属于园区主导产业，不涉及重金属污染。 3、项目建成后经过各项节能工程可达到清洁生产标准。 4、本项目为核技术在标准化服务和计量测试领域内的运用，符合园区主导的核技术利用产业。项目不属于高污染、高耗能项目，经分析与周边环境相容。 5、本项目不涉及酸洗、磷化等，也不涉及电镀核专业喷漆。 6、本项目不属于园区禁入行业。	符合
清洁生产要求	新引进项目清洁生产水平必须达到行业清洁生产标准二级标准要求或国内先进水平的项目。	①生产工艺及装备 项目不涉及机加、电镀、喷漆等加工工艺。项目设备检定均在专设屏蔽室内进行，经分析屏蔽体满足辐射防护要求。 ②资源能源消耗 本项目主要消耗电能，年用电量约600万kwh，属于中型规模用能企业。另外，项目用水主要为生活用水，年用水量约13000t，用水量较小。 ③污染物产生和排放 本项目主要污染物为使用的各类放射源和射线装置产生的γ射线、X射线，以及废旧放射源和少量臭氧。各放射源和射线装置均安置在专设屏蔽室内使用，经分析屏蔽体满足辐射防护要求，所致的职业人员和公众受照剂量低于GB18871规定的剂量限值和本报告提出的剂量约束值。废旧放射源交由其生产厂家回收处置或交相应资质单位处置。	符合

		采取环保治理措施可使非放类“三废”达标排放，可达清洁生产二级水平。	
规划区制约因素对策措施	环境敏感点的制约：规划区东侧隔芙蓉溪约200m为新桥镇玉泉村，西南约2.8km为游仙街道场镇，产业园区西北端的科研组团与阅翠府小区相邻。绵阳市常年最大风频风向为东北风，产业园区位于游仙街道场镇的上风向，产业园区实施产生的放射性气载流出物可能对游仙街道场镇及周边相邻玉泉村、阅翠府小区等环境敏感区造成不利环境影响。	本项目位于规划园区内，距离最近的居民生活点为项目东南面约650m的玉泉村。本项目为核测控装置的标准化服务，在放射源及X光机进行电离时，会产生γ射线和X射线，γ射线和X射线与空气发生电离会产生氮氧化物和臭氧，氮氧化物的产生量极少可忽略，臭氧经过实验室内机械排风引至厂房外一层屋面5.0m高排风口排放，臭氧不稳定，在常温下不断分解，排出室外的臭氧经过大气的稀释和扩散，浓度将迅速降低，不会对周边公众产生不良影响。	符合
	规划区基础设施不够完善，污水处理厂及配套污水管网建设滞后。	本项目供水供电引自园区供水供电设施，产生的生活污水进入园区污水处理厂处理。	

综上所述，项目属于中国（绵阳）科技城核医疗健康产业园青龙山北片区允许类行业，符合工业集中发展区规划。

六、项目外环境及选址合理性分析

本项目拟建于四川省绵阳市游仙区游仙街道石垭村中国（绵阳）科技城核医疗健康产业园青龙山北片区内。

1、厂址周边环境关系

拟建厂址东侧0~12m为园区道路，拟建厂址东侧12~50m为园区备建空地，拟建厂址南侧0~15m为园区道路，拟建厂址南侧15m为中广核同位素科技（绵阳）有限公司中能回旋加速器生产医用放射性同位素在建项目，拟建厂址西南侧0~20m为厂区道路，拟建厂址西南侧20m为中广核同位素科技（绵阳）有限公司质子医疗装备制造基地在建项目，拟建厂址西侧和北侧为园区备建空地。

拟建厂址厂界周围外环境关系如下表及附图3。

表 1-10 建设单位厂区 50m 内外环境关系一览表

名称	位置	距离 m	性质	规模
园区道路	东侧	0~12	道路	/
园区备建空地	东侧	12~50	空地	/
园区道路	南侧	0~15	道路	/
中广核同位素科技（绵阳）有限公司中能回旋加速器生产医用放射性同位素项目	南侧	15~50	在建	约 50 人

园区道路	西南侧	0~20	道路	/
中广核同位素科技（绵阳）有限公司质子医疗装备制造基地项目	西南侧	20~50	在建	约 50 人
园区备建空地	西面	0~50	空地	/
园区备建空地	北面	0~50	空地	/

2、辐射工作场所周边环境关系

本项目建成后，辐射作业区、生产作业区（使用Ⅳ类、Ⅴ类放射源区域）为辐射工作场所使用。辐射作业区位于生产制造厂房西南侧，辐射作业区东侧为走道，走道东侧为配电室及各类暂存库；南侧和西侧均为厂区绿化地；北侧为高低温实验室、电磁兼容实验室和备用间。一层生产作业区位于生产制造厂房屋东南侧，一层生产作业区东侧为焊接工艺试验室和生产会议室；南侧为厂区绿化地；西侧配电室和成品暂存库；北侧为生产作业区其它区域。

项目辐射工作场所评价范围 50m 内无自然保护区、文物景观、居民集中居住点等环境敏感点。项目与周边环境相容。

3、项目选址合理性分析

由上述外环境关系可见，项目厂址周边 50m 范围内在建中的产业以放射性同位素研发及生产、放射医疗装置研发及制造等核技术利用相关产业为主，本项目为核技术在标准化服务和计量测试领域内的运用，为园区主导产业。项目厂界外 0~50m 评价范围内无重污染企业，无学校、医院及大型居民区，无自然保护区、风景名胜区、水资源保护区及保护文物等环境敏感目标，对本项目的建设无明显环境制约。

综上所述，本项目与用地性质相符。本项目选址时尽可能考虑了周围保护目标最少化，且辐射工作场所集中分布，在有良好的实体屏蔽设施和防护措施及管理制度情况下，产生的辐射经屏蔽和防护后对周围环境影响较小，从辐射安全防护的角度分析，**本项目选址是合理的。**

七、遗留环境问题

本项目为新建项目，拟建厂址目前为备建空地，因此不存在与本项目有关的遗留环境问题。

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	$2.96 \times 10^{13} \text{Bq}$	II类	使用	用于辐射监测仪器的校准和检定	生产制造厂房一层 1#校准实验室	1#校准实验室 γ 射线空气比释动能治疗水平标准装置内	新增
2	^{137}Cs	$9.25 \times 10^{11} \text{Bq} \times 1$ 枚	III类	使用	用于辐射监测仪器的校准和检定	生产制造厂房一层 2#校准实验室	2#校准实验室 γ 射线空气比释防护水平标准装置内	新增
3	^{60}Co	$7.40 \times 10^{10} \text{Bq} \times 1$ 枚	III类	使用	用于辐射监测仪器的校准和检定	生产制造厂房一层 2#校准实验室	2#校准实验室 γ 射线空气比释防护水平标准装置内	新增
4	^{241}Am	$1.85 \times 10^{11} \text{Bq} \times 1$ 枚	III类	使用	用于辐射监测仪器的校准和检定	生产制造厂房一层 2#校准实验室	2#校准实验室 γ 射线空气比释防护水平标准装置内	新增
5	^{137}Cs	$1.00 \times 10^9 \text{Bq} \times 1$ 枚	IV类	使用	用于辐射监测仪器的校准和检定	生产制造厂房一层、二层、三层 生产作业区	源库 保险柜内	新增
6	^{239}Pu	$6.00 \times 10^8 \text{Bq} \times 1$ 枚	IV类	使用	用于辐射监测仪器的校准和检定	生产制造厂房一层、二层、三层 生产作业区	源库 保险柜内	新增
7	^{241}Am	$5.80 \times 10^8 \text{Bq} \times 1$ 枚	V类	使用	用于辐射监测仪器的校准和检定	生产制造厂房一层、二层、三层 生产作业区	源库 保险柜内	新增

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
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(二) 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 (mA)	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	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/			/

(三) 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 光机	II	1	MGi320	320kV	22.5mA	用于辐射监测仪器的校准和检定	2#校准实验室	新增

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	气态	/	/	/	少量	少量	直接排放	排向周边大气
退役废源	固态	^{60}Co 、 ^{137}Cs 、 ^{241}Am 、 ^{239}Pu	/	/	/	/	放射源服务期满退役或更换放射源时产生废放射源	放射源生产厂家回收处置；如因放射源生产厂家不能回收的，应交由废源收贮资质单位回收处置
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

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

表 6 评价依据

法规文件	(1)《中华人民共和国环境保护法》(1989 年 12 月 26 日颁布, 2014 年 4 月 24 日修订, 2015 年 1 月 1 日实施); (2)《中华人民共和国环境影响评价法》(2002 年 10 月 28 日颁布, 2018 年 12 月 29 日修订实施); (3)《中华人民共和国放射性污染防治法》(2003 年 6 月 28 日颁布, 2003 年 10 月 1 日实施); (4)《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(2005 年 8 月 31 日颁布, 2019 年 3 月 2 日修订实施); (5)《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 18 号令公布实施); (6)《建设项目环境影响评价分类管理名录(2021 版)》(2020 年 11 月 30 日生态环境部令第 16 号公布, 2021 年 1 月 1 日实施); (7)《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, 2021 年 1 月 4 日生态环境部第 20 号令修改实施); (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 2017 年第 66 号公告公布实施); (9)《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); (10)《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); (11)《四川省辐射污染防治条例》(2016 年 3 月 29 日四川省十二届人大常委会第 63 号公告公布实施); (12)《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲(2016)》(川环函〔2016〕1400 号, 2016 年 9 月 22 日发布实施)。 (13)生态环境部(国家核安全局)《核技术利用监督检查技术程序》(2020 年发布版);
------	---

技术标准	(1)《辐射环境保护管理导则核技术利用建设项目环境影响文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016); (2)《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002); (3)《无损检测仪器 1MV 以下 X 射线设备的辐射防护规则 第 3 部分: 450kV 以下 X 射线设备防护的计算公式和图表》(GB/Z 41476.3-2022); (4)《密封放射源及密封 γ 反射源容器的放射卫生防护标准》(GBZ 114-2006); (5)《工业 γ 射线探伤放射防护标准》(GBZ132-2008); (6)《工业 X 射线探伤放射防护要求》(GBZ117-2022); (7)《职业性外照射急性放射病诊断》(GBZ104-2017); (8)《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019); (9)《操作非密封源的辐射防护规定》(GB11930-2010); (10)《密封放射源一般要求和分级》(GB4075-2009); (11)《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021); (12)《核技术利用放射性废物最小化》(核安全导则 HAD 401/11-2020)。
其他	(1)《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); (2)《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); (3)《关于加强辐射工作人员剂量管理的通知》(川环办〔2010〕49 号); (4)中广核久源(成都)科技有限公司绵阳分公司核测控装备研发制造基地项目环评委托书及相关设计资料。

表 7 保护目标及评价标准

评价范围

本项目为使用Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ类放射源、使用Ⅱ类射线装置项目，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“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 区域的范围”相关规定，确定本项目评价范围为辐射工作场所实体屏蔽体边界外 50m 范围内区域。

保护目标

本项目环境保护目标为使用Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ类放射源，使用Ⅱ类射线装置的辐射工作人员以及射线装置、放射源所在实体屏蔽体边界外 50m 范围内的公众，主要考虑Ⅱ类射线装置、放射源使用过程中对该范围内辐射工作人员和在使用Ⅱ类射线装置、放射源的过程中周围停留的公众的电离辐射影响。

根据本项目的特点，确定评价范围为 1#校准实验室和 2#校准实验室周围 50m 以内区域，主要保护目标为操作射线装置、使用放射源的职业人员和试验室屏蔽体外 50m 范围内的其他公众人员。

实验室间设计有完善的辐射防护设施与安全管理措施，且电离辐射水平随着距离的增加而衰减。因此，本次评价选取离使用Ⅱ类射线装置、放射源所在的实验室实体屏蔽体较近，并具有代表性的环境保护目标进行分析，项目具体环境保护目标见表 7-1。

表 7-1 主要环境保护目标

治疗 γ 试验室					
保护目标	相对位置	距辐射源最近距离（m）	人数	类型	剂量约束值（mSv/a）
辐射工作人员	南侧紧邻（1#控制室）	3.1	3 人	职业照射	5
辐射工作人员	北侧紧邻（源库）	3.4	约 1 人	职业照射	
辐射工作人员	东侧紧邻（走道）	4.7	约 6 人	职业照射	
流动人员	西侧紧邻（绿化地）	7.2	流动人群	公众	0.1
流动人员	南侧（厂房外）	14.6		公众	
流动人员	北侧（厂房外）	42.4		公众	
其他辐射工作人员	北侧（产品检测室）	18.0	约 3 人	职业照射	5
其他工作人员	北侧（高低温实验室）	26.0	约 4 人	公众	0.1

其他工作人员	北侧（电磁兼容试验室）	26.0	约 4 人	公众	
其他工作人员	东侧（生产作业区）	13	约 4 人	公众	
其他人员	南侧（中广核同位素项目宿舍）	47	约 20 人	公众	
防护 X/γ 试验室					
保护目标	相对位置	距辐射源最近距离（m）	人数	类型	剂量约束值（mSv/a）
辐射工作人员	东侧紧邻（2#控制室）	4.3	3 人	职业照射	5
辐射工作人员	东侧紧邻（源库）	6.0	约 1 人	职业照射	
流动人群	南侧（厂房外）	28.8	流动人群	公众	0.1
流动人群	西侧紧邻（绿化地）	3.5		公众	
流动人群	北侧（厂房外）	36.5		公众	
其他工作人员	北侧（产品检测室）	4.0	约 2 人	公众	0.1
其他工作人员	北侧（高低温实验室）	12.5	约 4 人	公众	
其他工作人员	北侧（电磁兼容试验室）	12.5	约 4 人	公众	
其他工作人员	东侧（生产作业区）	16.4	约 4 人	公众	
生产作业区（使用Ⅳ类、Ⅴ类放射源区域）					
保护目标	相对位置	距辐射源最近距离（m）	人数	类型	剂量约束值（mSv/a）
辐射工作人员	使用Ⅳ类、Ⅴ类放射源区域	0	约 4 人	职业照射	5
其他工作人员	北侧生产作业区其它区域	>1.0	约 4 人	公众	0.1
其他工作人员	东侧焊接工艺试验室	>1.0	约 2 人	公众	0.1

评价标准

根据本项目所在区域环境功能区划，评价执行以下标准：

一、环境质量标准

- 1、大气环境执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准。
- 2、地表水环境执行《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）Ⅲ类水域标准。
- 3、声环境执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）3 类标准。

二、污染物排放标准

- 1、废气排放执行《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中二级标准。

2、废水排放执行《污水综合排放标准》(GB8978-1996)中三级标准。

3、施工期噪声执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011)标准限值；营运期执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)中3类标准。

三、剂量约束

1、职业照射和公众照射

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

职业照射：根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)附录B剂量限值：应对任何工作人员的职业水平进行控制，使之不超过下述限值：由审管部门决定的连续5年的平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv；四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv。

根据辐射防护最优化的原则，结合本项目实际情况，本环评确定项目职业照射年有效剂量约束值按《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)职业照射剂量限值20mSv的四分之一执行，即**5mSv/a**。

公众照射：根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)附录B剂量限值：实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：年有效剂量，1mSv。

根据辐射防护最优化的原则，结合本项目实际情况，本环评确定项目公众照射年有效剂量约束值按《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)公众照射剂量限值的十分之一执行，即**0.1mSv/a**。

四、辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制值

参照《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022)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100μSv/周，对公众场所，其值应不大于5μSv/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2.5μSv/h。

参照《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022)6.1.4，“对不需要人员到达的探伤室顶，探伤室顶表面外30cm处的剂量率参考控制水平通常可取为100μSv/h”。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、项目地理和场所位置

本项目位于四川省绵阳市游仙区游仙街道石垭村中国（绵阳）科技城核医疗健康产业园青龙山北片区内。项目场所现状见图 8-1。

图 8-1 本项目拟建厂址现状照片

二、环境现状评价对象、监测因子和监测点位

1、环境现状评价对象

本项目为使用II类射线装置、II类、III类、IV类、V类放射源项目，主要环境污染因子为电离辐射，对环境空气、地表水及地下水、声环境的影响较小。因此，本次评价重点针对拟建区域的辐射环境质量现状进行监测评价。评价单位委托四川久测环境技术有限公司于2023年9月23日对建设单位辐射工作场所进行了辐射环境质量现状监测和噪声现状监测。

2、监测方法来源、使用仪器及单位

监测方法来源、使用仪器及单位见表 8-1，仪器信息见表 8-2。

表 8-1 监测方法来源、使用仪器及单位

监测类别	监测项目	方法分析来源	监测仪器
辐射	环境 X-γ 辐射剂量率	《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）	多功能辐射测量仪 编号：SCJS-JL-0221
噪声	声环境质量噪声	《声环境质量标准》（GB 3096-2008）	AWA6228+型多功能声级计 编号：SCJC-JL-0073

表 8-2 监测仪器信息表（辐射）

仪器名称及编号	检定校准日期	校准证书号	校准单位	仪器参数
FH40G-X 型多功能辐射测量仪 编号：SCJC-JL-0221 探头型号：FHZ672E-10	2023.07.13 （检定）	检定字第 2023-17 号	四川核工业辐射测试防护设备计量检定站	有效测量范围： 1nSv/h 校准因子：0.97

3、监测点位

本次辐射环境质量现状监测布置了 5 个点位，具体见下表。

表 8-3 辐射监测点位信息

点位编号	监测点位	监测因子	监测频次
1#	拟建厂址中心	环境 X-γ	监测 1

2#	拟建厂址东侧道路	辐射剂量率	天, 1 天一次
3#	拟建厂址南侧道路		
4#	拟建厂址西侧		
5#	拟建厂址北侧		

本次声环境质量现状监测布置了 4 个点位, 具体见下表。

表 8-4 噪声监测点位信息

点位编号	监测点位	监测因子	监测频次
1#	拟建厂址北侧	声环境质量噪声	监测 1 天, 昼间夜间各 1 次
2#	拟建厂址东侧		
3#	拟建厂址南侧		
4#	拟建厂址西侧		

三、质量保证措施、监测结果

1、质量保证措施

本项目环境监测单位通过了计量认证, 具备完整、有效的质量控制体系。

(1) 人员管理

从事监测的单位通过了中国国家认证认可监督管理委员会组织进行的国家级计量认证。

(2) 仪器设备管理

管理与标准化; 计量器具的标准化; 计量器具、仪器设备的检定

(3) 记录与报告

数据记录制度; 报告质量控制。

2、监测结果

表 8-5 厂址周围环境 X-γ 辐射剂量率监测结果 单位: nSv/h

点位	监测点位	监测结果	
		测量值	标准差
1#	拟建厂址中心	70.7	0.8
2#	拟建厂址东侧道路	43.6	1.6
3#	拟建厂址南侧道路	39.1	1.5
4#	拟建厂址西侧	59.7	0.9
5#	拟建厂址北侧	61.2	1.4

注: 1、天气: 晴 (无雨雪、无雷电天气); 环境温度: 27.8° C, 相对湿度: 42.9%

2、以上监测数据均未扣除监测仪器宇宙射线响应值。

表 8-6 厂址周围环境噪声监测结果 单位: dB (A)

点位	监测点位	昼间		夜间	
		监测起止时间	监测结果	监测起止时间	监测结果
1	拟建厂址北侧	16:01-16:11	56	22:40-22:50	45
2	拟建厂址东侧	15:22-15:32	54	22:01-22:11	45
3	拟建厂址南侧	15:35-15:45	59	22:14-22:24	46
4	拟建厂址西侧	15:48-15:58	55	22:27-22:37	46

四、对环境现状调查结果的评价

(1) X- γ 辐射剂量率

根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)，环境 γ 辐射剂量率测量结果按照下式计算：

$$\dot{D}_\gamma = K_1 \times K_2 \times R_\gamma - K_3 \times \dot{D}_c \dots\dots\dots \text{(式 8-1)}$$

式中： $\dot{D}_\gamma$ ——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，取 0.97；

K_2 ——仪器无检验源，该值取 1；

R_γ ——仪器测量读数值均值，使用 ^{137}Cs 作为检定参考辐射源，换算系数取 1.20 Sv/Gy；

k_3 ——建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子，楼房取 0.8，平房取 0.9，原野、道路取 1；

$\dot{D}_c$ ——测点处宇宙射线响应值（评价不考虑），Gy/h。

由表 8-5 可知，项目拟建场址周围环境 X- γ 辐射剂量率监测值为 39.1~70.7nSv/h，经修正后环境 γ 辐射空气吸收剂量率为 31.6~57.1nGy/h，与《2022 年全国辐射环境质量报告》中发布的四川省环境电离辐射水平（61.9~151.8nGy/h）相比，属于正常波动范围，表明拟建厂址区域为正常天然本底辐射水平。

(2) 声环境质量现状评价

由表 8-7 结果可知，厂界监测点位昼夜间噪声监测值均满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）中 3 类区标准（昼间 $\leq 65\text{dB(A)}$ 、夜间 $\leq 55\text{dB(A)}$ ）要求，表明区域声环境质量较好。

表 9 项目工程分析和源项

工程设备和工艺分析

一、施工期工艺分析

1、主体工程施工阶段工艺分析

项目施工工艺主要包括基础工程、主体工程、设备安装工程和工程验收等，施工期工艺流程见下图。

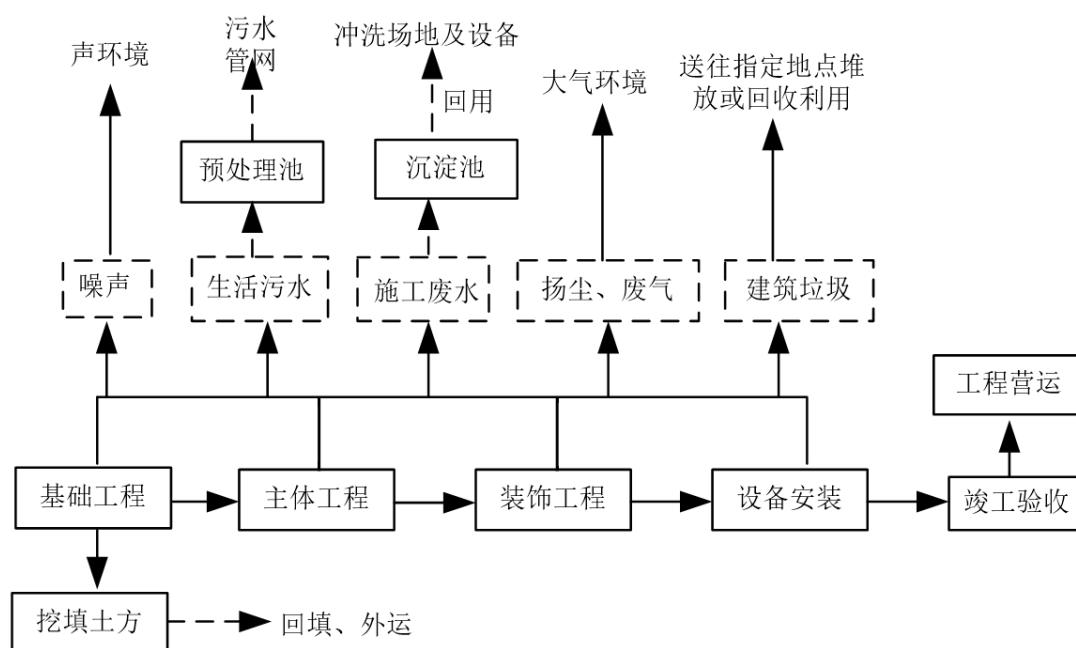


图9-1 项目施工期工艺流程图

(1) 基础工程

在基础开挖、地基处理（岩土工程）与基础施工时，由于挖土机、运土卡车等施工机械的运行，将产生一定的噪声，同时产生扬尘。同条件下，扬尘对环境的影响不同，基础开挖引起原有土地利用类型的改变，会造成生态变化并引起一定程度的水土流失。

(2) 主体及附属工程

挖掘机、打夯机、装载汽车等运行时将主要产生噪声，同时产生施工机械废气。此外，还有一些原材料废弃料以及生产和生活污水产生。

2、设备调试阶段工艺分析

项目拟购 γ 射线空气比释动能治疗水平标准装置（ ^{60}Co ）、 γ 射线空气比释防护水平标准装置（ ^{60}Co 、 ^{137}Cs 、 ^{241}Am ）和射线装置在安装调试阶段会产生 γ 射线、 β 射线、 α 射线、

X 射线，可能造成一定的辐射影响。在设备安装调试完后，现场会有少量的废包装材料产生。

本项目施工期主要进行设备安装和调试，施工期产生污染物主要为施工人员生活污水及生活垃圾、废包装材料等。设备安装工程中产生的废包装材料可回收处理部分由厂家安装工人回收处理，不能回收部分与生活垃圾一起集中收集后，统一运送至园区既有的垃圾房，由市政环卫部门定期清运；产生的生活污水经厂区预处理后接入市政管网。

项目拟购的 γ 射线空气比释动能治疗水平标准装置、 γ 射线空气比释防护水平标准装置、X 光机装置的运输、安装和调试均由设备厂家安排的专业人员进行。在设备安装调试期间，建设单位应配合设备厂家专业人员加强安装调试现场的辐射安全管理，保证在此期间内放射工作场所设置的各类辐射安全防护措施正常运行。在放射源、射线装置进行调试期间，应关闭机房防护门，在门外设置醒目的电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近；射线源开关钥匙应安排专人看管；安装人员离开实验室期间，实验室必须关闭上锁，钥匙交由专人看管或安排专人看守。

为确保 γ 射线空气比释动能治疗水平标准装置、 γ 射线空气比释防护水平标准装置、X 光机所在的实验室工程屏蔽防护设施满足设计要求和辐射防护安全，要求：

①1#校准实验室、2#校准实验室的土建施工必须符合其建设设计要求，实验室混凝土施工过程中，对混凝土剪力墙及屋面屏蔽墙混凝土浇注应连续整体灌注，避免间断性施工作业，不留施工缝，防止屏蔽墙出现缝隙和气泡等现象，以防出现射线外泄；实验室地面也要为混凝土找平；内外墙由水泥砂浆粉刷，面层全为乳胶漆涂面。

②凡涉及 γ 射线空气比释动能治疗水平标准装置、 γ 射线空气比释防护水平标准装置、X 光机的安装调试、维修的技术服务单位，必须是持有辐射安全许可证的单位。

③在设备安装及调试阶段，应加强辐射防护管理，应关闭机房防护门，在门外设置醒目的电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近；射线源开关钥匙应安排专人看管。安装人员离开机房期间，机房必须关闭上锁，钥匙交由专人看管或安排专人看守。

二、营运期设备和工艺分析

本项目主要对测控仪器整机的性能进行校准调试，主要在生产作业区、1#校准实验室、2#校准实验室进行整机校准调试。校准调试中若需要使用 II 类放射源，则将待测仪器拿到 1#校准实验室中进行校准调试，若需要使用 III 类放射源或 X 光机等则将待测仪器拿到 2#校准实验室中进行调试，若需使用到 IV 类、V 类放射源，则在源库中借源，到生产作业区对仪器进行校准调试。具体流程如下：

2.1 涉放场所工艺流程及产污情况

2.1.11#校准实验室

1#校准实验室内配置 1 台 γ 射线空气比释动能治疗水平标准装置（为单源辐照装置）。该装置内将放置 1 枚 ^{60}Co 放射源，用于辐射监测仪器的检定。

（1）设备组成

γ 射线空气比释动能治疗水平标准装置主要由源仓机构、屏蔽主体、快门/衰减器驱动机构、光阑系统、快门等组成，各组件功能如下表：

表9-1 γ 射线空气比释动能治疗水平标准装置主要组件及功能

组件名称	组件功能
源仓机构	储存放射源，源为固定安装设计。
屏蔽主体	当源处于屏蔽位置时，离装置表面 5cm 处的泄露辐射水平小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。装置的最小屏蔽厚度为 325mm 铅。
快门/衰减器驱动机构	采用自动切换方式，通过组合可实现约（4~512）倍的衰减；快门驱动采用气动方式，衰减器通过电磁铁与升降机构连接，断电时可自动回位，可起到应急屏蔽的效果。
光阑系统	光阑材料选用钨合金去散射光阑。
快门	采用主快门和辅快门结合的双快门结构；主快门可使射线束衰减到原来的 1/10000，开关时间小于 500ms；辅助快门配合主快门实现射线束的完全屏蔽。双快门结构可保证设备故障时人员安全。
准直器	圆锥形准直器，1m 处的均匀区直径约为 10cm。

设备入场完成安装后， γ 射线空气比释动能治疗水平标准装置固定于水泥台上不可移动。射线为定向准直束，朝向实验室西墙。

放射源及核素特性见表 9-2 和表 9-3， γ 射线空气比释动能治疗水平标准装置结构图见图 9-3。

表 9-2 放射源信息

序号	核素	活度	照射方向	类别
1	^{60}Co	$2.96 \times 10^{13}\text{Bq}$	实验室西墙	II类

表 9-3 核素特性

核素名称	半衰期	衰变类型及分支比（%）	主要射线类型及能量（MeV）
^{60}Co	5.27a	β -低能射线（100）	γ : 1.7 1.33 β : 0.315

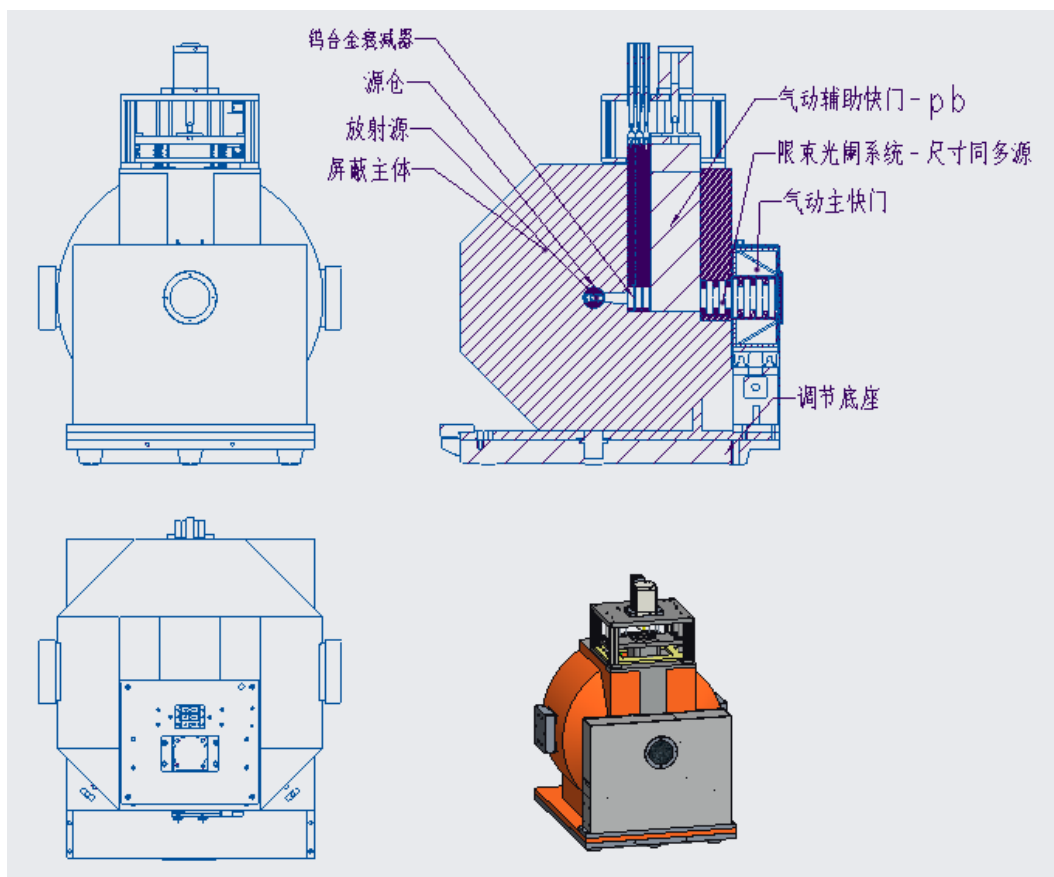


图 9-3 单源辐照装置结构示意图

(2) 工作原理

γ 射线空气比释动能治疗水平标准装置由 γ 射线源、辐射探测器、样品台、数据采集与处理系统等部分组成。在测试过程中， γ 射线源会发出一定能量的 γ 射线，样品台上待测样品会对 γ 射线进行吸收，辐射探测器则用来测定 γ 射线透射后的强度变化。装置中衰减器采用自动切换方式，快门驱动采用气动方式，放射源出束时，衰减器通过电磁铁与升降机构连接以保证放射源出束。关闭系统时，衰减器则回位，放射源则处于屏蔽位。

(3) 工作流程

a. 进行辐射监测仪器的检定时，辐射工作人员打开实验室防护门，将待检定的仪器放置在校准平台上，仪器的探头正对辐照器的出束口，位于射束的轴线上。

b. 调整好仪器各项参数，人员撤出实验室，关闭防护门。

c. 工作人员在控制室内通过计算机软件控制辐照器进行出源。在出源前，安全系统将自动检测防护门是否关闭，仅在确认防护门关闭，控制软件才能下发照射指令。

d. 出源以后， γ 射线照射被检定仪器，工作人员通过视频读取仪器上的读数，完成检定工作，在出源时，位于实验室内射线报警仪探测器会检测到射线，位于控制室内的主机则

发出声光报警用于警示。工作人员在控制室内还可以通过监控视频观察实验室内的情况。此时产生主要污染物为： γ 射线、 β 射线、少量的臭氧。

e. 检定工作结束后，辐射工作人员通过计算机软件关闭含源设备的发射窗口，关闭快门，此时实验室内的射线报警仪探测器检测不到射线，控制室内的主机则停止发出声光报警，然后打开防护门，携带辐射剂量率报警仪或监测仪进入实验室，通过报警仪或监测仪器进一步确认实验室内的辐射水平降至正常水平后才进入实验室内部。

f. 取出被检仪器，关闭实验室的防护门，在控制室或办公室进行后期的数据处理。

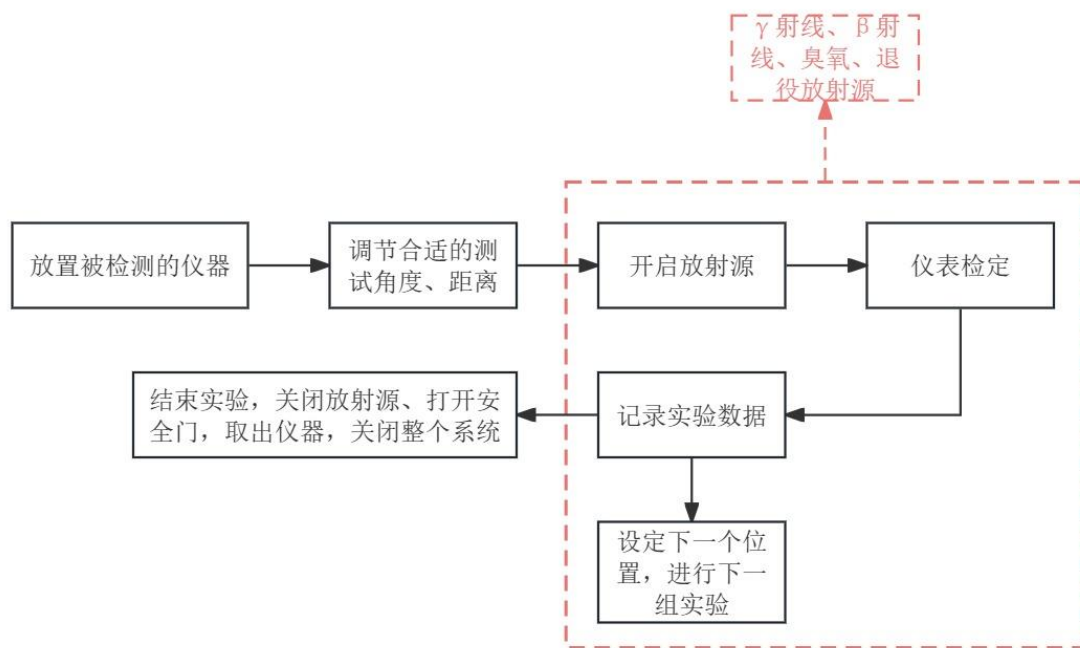


图 9-4 1#校准实验室工作流程及产污环节示意图

（4）工作方案

根据建设单位的建设方案， γ 射线空气比释动能治疗水平标准装置每次只检定 1 台仪器，每次每台仪器检定时最大出束时间约 2h，年总计检定 20 台，年累积出束时间为 40h。

（5）产污环节

γ 射线空气比释动能治疗水平标准装置出源检测期间会产生 γ 射线、 β 射线。 γ 射线与空气中的氧气相互作用会产生少量臭氧。此外，当放射源衰变至其活度不能满足检测要求时，将更换放射源，产生退役的废放射源。

（6）换源：由放射源生产厂家或有相应辐射安全资质单位负责。放射源生产厂家派专车、专业技术员将新的放射源运到现场。

2.2 2#校准实验室

2#校准实验室内配置 1 台 γ 射线空气比释防护水平标准装置（为多源辐照装置）和 1 台 X 光机， γ 射线空气比释防护水平标准装置和 X 光机不同时使用。 γ 射线空气比释防护水平标准装置内将放置 1 枚 ^{137}Cs 放射源、1 枚 ^{60}Co 放射源、1 枚 ^{241}Am 放射源（均为新增，3 枚放射源不同时使用），用于辐射监测仪器的检定。

（1）设备组成

γ 射线空气比释防护水平标准装置

γ 射线空气比释防护水平标准装置（本项目装一枚 ^{60}Co 、一枚 ^{137}Cs 、一枚 ^{241}Am ，其中 ^{241}Am 安装在准直光阑架出射口轴线上并独立屏蔽，采用独立气动推拉结构实现快门的开关，以达到最近的使用距离。）由转子、屏蔽体、准直光阑系统、快门系统等部分组成，各组件功能如下表：

表9-4 γ 射线空气比释防护水平标准装置主要组件及功能

组件名称	组件功能
转子	转子上可安装 4 各 γ 射线源，本项目拟安 ^{60}Co 、 ^{137}Cs 放射源，放射源可根据需要由计算机软件系统选择使用。
屏蔽主体	屏蔽材料采用钢、铅和钨合金组成，当源处于屏蔽位置时，离装置表面 5cm 处的泄露辐射水平小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。
准直光阑系统	为了保证射束均匀性，并减小准直屏蔽散射影响。1m 处的均匀区（与射束中心剂量率偏差小于+5%）直径约为 20cm，光阑材料选用钨合金进行设计和加工。
快门系统	快门采用铅-钨合金气动及电动推拉式结构设计，转子起到辅快门的作用，这种方式可保证装置的安全性，当主快门和转子中的一个发生故障时可方便维修，气动和电动结合的方式大大减小了事故发生的几率。快门开关时间小于 500ms。

设备入场完成安装后， γ 射线空气比释防护水平标准装置固定于水泥台上不可移动。射线为定向准直束，朝向实验室南墙。

放射源及核素特性表 9-5 和表 9-6， γ 射线空气比释防护水平标准装置结构图见图 9-5。

表 9-5 放射源信息

序号	核素	活度	照射方向	类别
1	^{137}Cs	$9.25 \times 10^{11}\text{Bq}$	实验室南墙	III类
2	^{60}Co	$7.40 \times 10^{10}\text{Bq}$		
3	^{241}Am	$1.85 \times 10^{11}\text{Bq}$		

表 9-6 核素特性

核素名称	半衰期	衰变类型及分支比 (%)	主要射线类型及能量 (MeV)
^{137}Cs	30.17a	β -衰变 (100)	β : 0.512 (94.6%), 1.74 (5.4%); γ : 0.6617
^{60}Co	5.27a	β -低能射线 (100)	γ : 1.7, 1.33; β : 0.315
^{241}Am	432.2a	α (>99) SF (3.8×10^{-10})	α : 5.389 (1.3%); 5.468 (85.2%); 5.443 (12.8%); 5.545 (0.25%); γ : 0.059596 (35.7%)

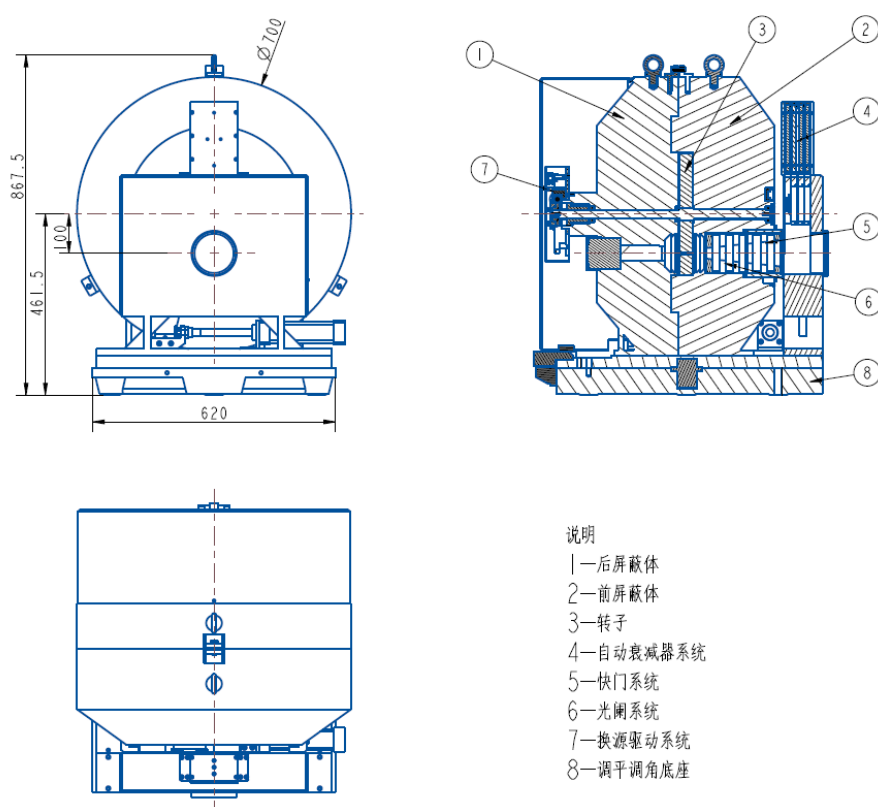


图 9-5 多源辐照装置结构示意图

X 光机

X 光机主要由计算机控制单元、320KV 高稳定性恒电位高压发生器、4.5kW 电源供电单

元、双小焦点定向金属陶瓷 X 射线管、高压电缆管组成。X 光机射束定向朝向实验室南墙。

X 光机的具体参数见表 9-5，X 光机结构图见 9-6。

表 9-7 X 光机机主要参数

设备名称	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	装置分类	束射角	工作场所
X 光机	320	22.5	II类	40°	2#校准实验室

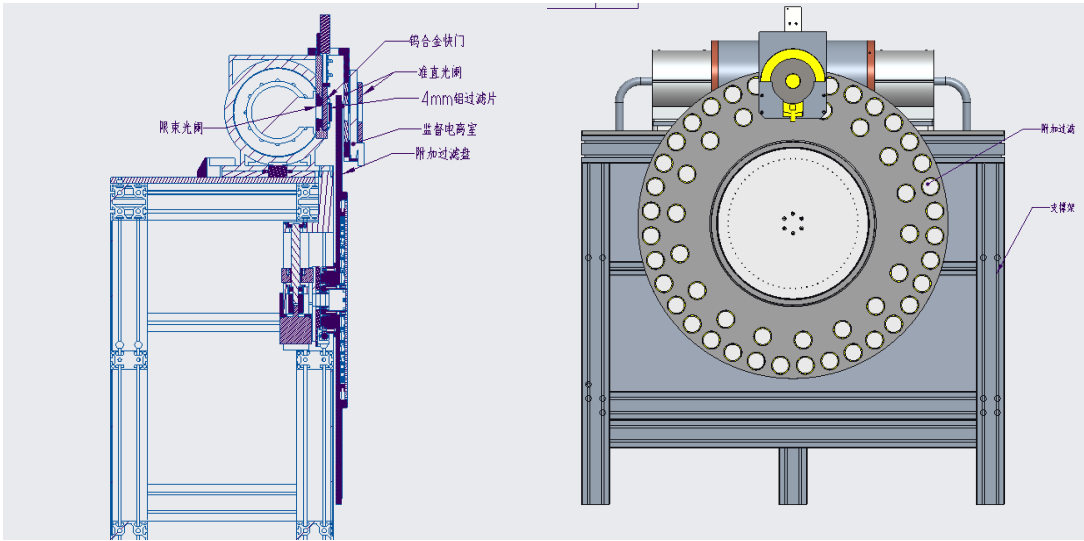


图 9-6 本项目 X 光机结构示意图

(2) 工作原理

多源辐照装置：

多源装置的转子上能装 4 枚不同活度的 γ 源，非工作期间照射准直器口对准空源位（转子上两源中间），同时照射器快门体处于关闭状态。工作时，首先由控制系统选择预定放射源，通过齿轮转动机构由步进电机驱动转子转动，使该放射源转到射线出射口（准直器轴线上）并靠狭缝式光耦开关实现精确定位，在满足安全连锁条件时，在气缸驱动下推动滚轴滑动式光阑快门体实现照射功能，源出射射线通过准直光阑限束后，直射或穿过衰减器衰减后形成满足实验要求的参考辐射场。实验完毕后，关闭快门、空源位转至出射口照射位时，安全指示灯亮，工作过程完毕照射器处于安全状态。

X 光机：

X 射线实时成像检测装置主要由 X 射线管和高压电源组成，X 射线管由安装在真空管中的阴极和阳极组成，阴极是钨制灯丝，被设计安置在聚焦杯中。当灯丝通电加热以后，电子被“蒸发”出来，聚焦杯使这些电子聚集成束状，直接向嵌在铜阳极中的靶体射击。由于在 X 射线管的两极之间加有高压电场，在电场作用之下，使得电子在射到靶体之前被加速到很

高的速度，在 X 射线管内高速运动的电子与靶原子碰撞时，与原子核的库仑场相互作用，由于电子急剧减速而产生电磁辐射。电子与靶相撞之前初速度各不相同，相撞是减速过程又各不相同，少量电子经一次撞击就全部失去动能，而大部分电子经过多次碰撞以后逐渐失去动能，这就使得能量转换过程中所发出的电磁辐射具有各种波长，从而形成连续 X 射线。X 射线管简图如下：

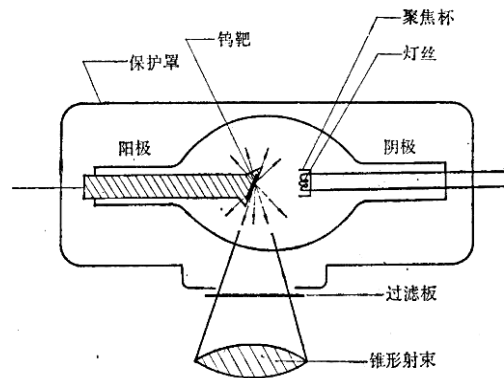


图 9-7 X 射线管示意图

(3) 操作流程

γ 射线空气比释防护水平标准装置

a. 选择合适的放射源。

b. 进行辐射监测仪器的检定时，辐射工作人员打开实验室防护门，将待检定的仪器放置在校准平台上，仪器的探头正对辐照器的出束口，位于射束的轴线上。

c. 调整好仪器各项参数，人员撤出实验室，关闭防护门。

d. 工作人员在控制室内通过计算机软件控制辐照器进行出源。在出源前，安全系统将自动检测实验室内是否有人驻留以及防护门是否关闭。仅有确认实验室无人且防护门关闭，控制软件才能下发照射指令。

e. 出源以后， γ 射线照射被检定仪器，工作人员通过视频读取仪器上的度数，完成检定工作，在出源时，位于实验室内射线报警仪探测器会检测到射线，位于控制室内的主机则发出声光报警用于警示。工作人员在控制室内还可以通过监控视频观察实验室内情况。此时产生主要污染物为： γ 射线、 β 射线、 α 射线和少量的臭氧。

f. 检定工作结束后，辐射工作人员通过计算机软件关闭含源设备的发射窗口，并将放射源将至储源器内，此时实验室内射线报警仪探测器检测不到射线，控制室内的主机则停止发出声光报警，然后打开防护门，携带辐射剂量率报警仪或监测仪进入实验室，通过报警仪或监测仪器进一步确认实验室内辐射水平降至正常水平后才进入实验室内部。

f.取出被检仪器，关闭实验室的防护门，在控制室或办公室进行后期的数据处理。

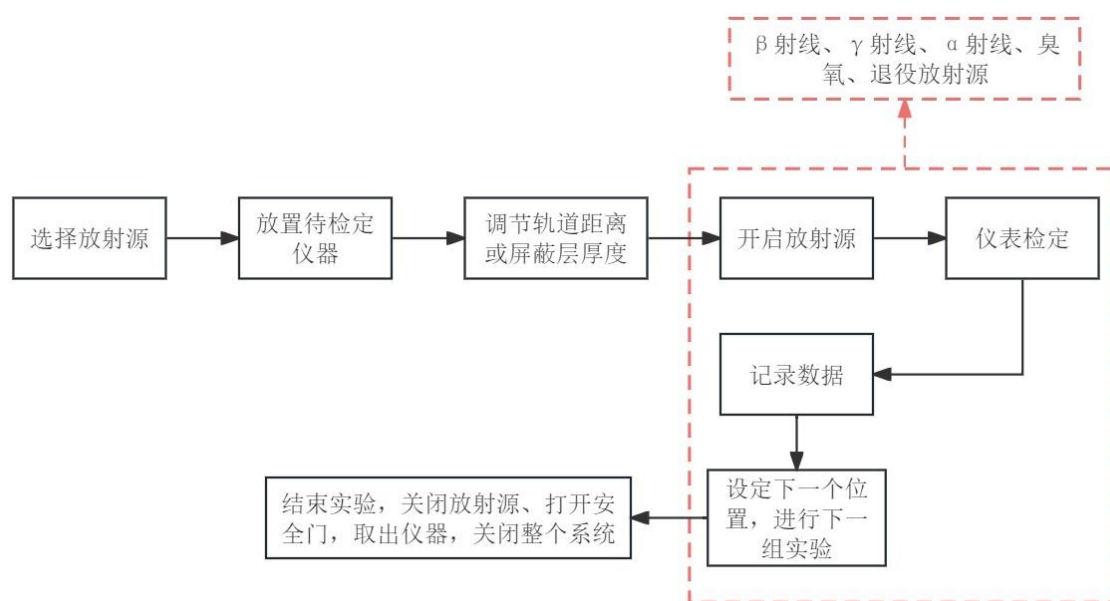


图 9-7 γ 射线空气比释防护水平标准装置工作流程及产污环节示意图

X 光机

进行辐射监测仪器的检定时，辐射工作人员打开实验室的防护门，将待检定的仪器放置在校准平台上，仪器的探头正对出束口，位于射束的轴线上。

调整好仪器各项参数，人员撤出实验室，关闭防护门。工作人员在控制台上通过计算机软件控制射线装置出束。在出束前，安全系统会自动检测实验室内防护门是否关闭，只有确认实验室防护门关闭且，控制软件才能下发照射指令。

出束后，X 射线照射被检定仪器，工作人员通过视频读取仪器上的读数，完成检定工作。在出束时，位于实验室内射线报警仪探测器会检测到射线，位于控制室内的主机则发出声光报警用于警示。工作人员在控制室内，可以通过监控视频观察实验室内情况。

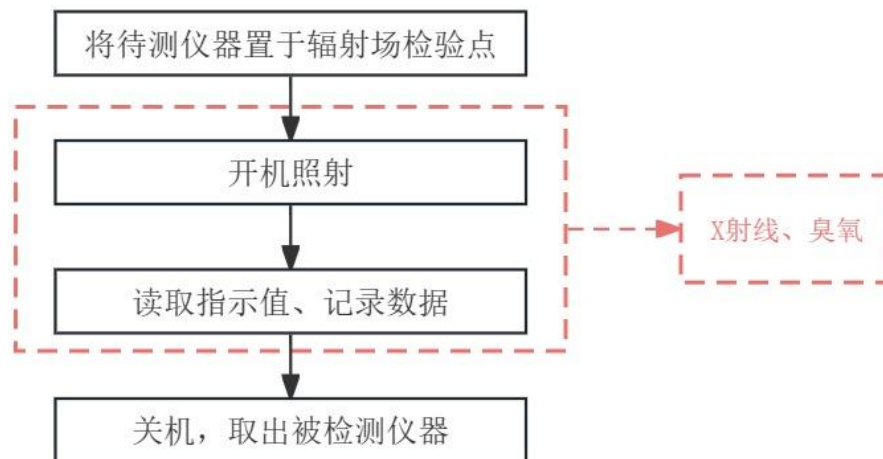


图 9-8 X 光机检定流程及产污环节示意图

(4) 工作方案

γ 射线空气比释防护水平标准装置与 X 光机不同时使用。

根据建设单位的建设方案， γ 射线空气比释防护水平标准装置每次只检定 1 台仪器，每次每台仪器检定时最大出束时间约 2h，年总计检定 20 台，年累积出束时间为 40h。

X 光机每次只检定 1 台仪器，每次每台仪器检定时最大出束时间约 2h，年总计检定 20 台，年累积出束时间为 40h。

(5) 产污环节

γ 射线空气比释防护水平标准装置出源检测期间会产生 γ 射线、 β 射线、 α 射线和 X 射线，与空气中的氧气相互作用会产生少量臭氧。此外，当放射源衰变至其活度不能满足检测要求时，将更换放射源，产生退役的废放射源。

本项目 X 光机辐射影响伴随开关机产生或消失，仅在出束过程中产生 X 射线、臭氧。

2.3 生产作业区

拟在生产作业区南侧区域使用 2 枚 IV 类放射源分别为 ^{137}Cs ($1.0 \times 10^9 \text{Bq}$) 和 ^{239}Pu ($6.0 \times 10^8 \text{Bq}$)、1 枚 V 类放射源 (^{241}Am $5.8 \times 10^8 \text{Bq}$) 对仪器进行调试和标定。

(1) 工作原理

辐射监测仪器的检定方法有标准法和标准仪器法两种，本评价项目使用的是标准仪器法。标准仪器法是指，由稳定放射源提供辐照背景，使用标准仪器测量参考点位的辐射强度，将被检仪器置于参考点位测量辐射强度，比较标准仪器的测值和被检仪器的测值，给出校准/刻度因子，计算相对固有误差，进行检定。

(2) 操作流程

- a、在源库中登记借用合适的放射源并做好记录。
- b、将标准源放置在待检测仪器的探测器指定位置；
- c、按照制造商的指南操作检测仪器，记录读数；
- d、将记录的读数与标准源的预期读数进行比较，如果存在显著的差异，则可能需要进行调整；
- f、调整后重新进行测量，验证读数是否已接近标准源的预期值，同时记录数据；
- b、检定工作结束后，将放射源归还至源库。

（3）产污环节

放射源在检测期间会产生 γ 射线、 β 射线、 α 射线，与空气中的氧气相互作用会产生少量臭氧。

三、人流物流路径规划及合理性分析

本项目工作人员及设备进出主要通过厂区大门及南侧侧门，人物流示意图如附图 8 所示。

（1）人流

工作人员从生产制造厂房南侧进入生产作业区；工作人员从南侧门进入辐射作业区走道，再由走道走入各控制室，再由控制室从迷道内进入各实验室；

（2）物流

1#校准实验室：1#校准实验室主要用于核测控设备的检测和调试。核测控设备由工作人员从生产作业区或成品暂存库取出，从生产制造厂房走道南侧门进入走道，从走道西侧进入 1#控制室，再由 1#校准实验室防护门转入进行核测控设备的检测和调试。检测和调试完成后，核测控设备从防护门运送至成品暂待发货区。

2#校准实验室：2#校准实验室主要用于核测控设备的校准和调试。核测控设备由工作人员从生产作业区或成品暂存库取出，从生产制造厂房走道南侧门进入走道，从走道西侧进入 2#控制室，再由 2#校准实验室防护门转入进行核测控设备的检测和调试。检测和调试完成后，核测控设备从防护门运送至成品暂待发货区。

生产作业区：生产作业区主要用于核测控设备的校准和调试。核测控设备由工作人员从成品暂存库取出取出，在生产作业区进行核测控设备的校准和调试。校准和调试完成后，再将核测控设备运送至成品暂待发货区。

污染源项描述

1、施工期污染源

本项目施工环节主要包括：土建施工、厂区装修、设备设施安装、场地清理等，施工期主要环境污染因子包括废气、废水、噪声、固体废物等。

1.1 废气

施工废气主要为土建施工阶段产生的施工扬尘，以及装修过程油漆和喷涂产生的少量有机废气。

1.2 废水

施工期要废水包括施工废水及施工人员生活废水。

施工废水包括土方阶段排水、结构阶段混凝土养护排水及各种车辆冲洗废水等。类比同类工程，施工废水排放量约 $5\text{m}^3/\text{d}$ 。废水主要含有石油类污染物和大量悬浮物。

施工高峰期工人人数可达50人左右，生活用水量按每人 $0.1\text{m}^3/\text{d}$ 计算，产生量为 $5\text{m}^3/\text{d}$ ，以排放系数为0.8计，生活污水排放量为 $4.0\text{m}^3/\text{d}$ 。

1.3 噪声

施工期噪声主要来源于施工现场的各类机械设备噪声，主要有载重汽车、振荡机、电锯、电钻、点焊机、吊车等，这些机械的噪声一般在 $80\sim 105\text{dB}(\text{A})$ 之间。

1.4 固体废物

施工期固体废物包括基础开挖产生的弃土、施工建筑垃圾，以及施工人员的生活垃圾。

土建阶段土石方产生量约 15773m^3 ，表层土用于绿化用土，多余土石方量转运至城建主管部门指定地点堆放。

建筑垃圾主要来自装修施工作业产生的废砂石、废建材等。根据施工行业经验估算，建筑垃圾产生量约50t。设备安装阶段废材料产生量约500kg。

本项目施工高峰期工人人数为50人，生活垃圾产生量按 $0.5\text{kg}/\text{人}\cdot\text{d}$ 计，产生量为 $25\text{kg}/\text{d}$ 。

2、运营期辐射污染

2.1 放射性污染源

2.1.1 1#校准实验室

β 、 γ 射线：1#校准实验室内配置1台 γ 射线空气比释动能治疗水平标准装置，装置内使用1枚 ^{60}Co 放射源，为密封源，活度为 $2.96\times 10^{13}\text{Bq}$ （800Ci）。 ^{60}Co 密封源会产生 β 、 γ 射线。

2.1.2 2#校准实验室

β 、 γ 、 α 射线：2#校准实验室内配置1台射线空气比释防护水平标准装置，装置内使用1枚 ^{60}Co 放射源，为密封源（活度为 $7.40\times 10^{10}\text{Bq}$ （2Ci））；1枚 ^{137}Cs 放射源，为密封源（活度为

$9.25 \times 10^{11} \text{Bq}$ (25Ci)); 1枚 ^{241}Am 放射源, 为密封源 (活度为 $1.85 \times 10^{11} \text{Bq}$ (5Ci))。 ^{60}Co 、 ^{137}Cs 密封源会产生 β 、 γ 射线, ^{241}Am 密封源会产生 α 、 γ 射线。

X射线: 2#校准实验室内配置1台X光机, X光机出束时, 产生的X射线会对周围产生辐射影响, 辐射途径为外照射。X射线随X光机的开、关而产生和消失。

2.1.3 生产作业区

β 、 γ 、 α 射线: 生产作业区使用到1枚 ^{137}Cs 放射源, 为密封源 (活度为 $1.00 \times 10^9 \text{Bq}$); 1枚 ^{241}Am 放射源, 为密封源 (活度为 $5.80 \times 10^8 \text{Bq}$); 1枚 ^{239}Pu 放射源, 为密封源 (活度为 $6.00 \times 10^8 \text{Bq}$)。 ^{137}Cs 密封源会产生 β 、 γ 射线, ^{241}Am 会产生 α 、 γ 射线, ^{239}Pu 会产生 α 、 γ 射线。

2.1.4 源库

退役放射源: 在放射源使用一定年限后, 放射源衰变至其活度不能满足辐射监测设备检定需要时, 将更换放射源, 从而产生退役的废 ^{137}Cs 、 ^{60}Co 、 ^{241}Am 、 ^{239}Pu 放射源。

2.2 非放射性污染源

2.2.1 废气

本项目在出源期间产生 β 射线、 γ 射线, X光机出束期间产生X射线, 试验室内的空气在这类射线电离辐射作用下产生少量氮氧化物和臭氧等有害气体。氮氧化物产生量很小, 其环境影响可忽略。1#校准实验室和2#校准实验室设置通排风系统, 废气经由排风系统抽取后汇集, 于生产制造厂房走道一层屋面排放, 排气筒距地面约5m高。

2.2.2 噪声

本项目噪声主要来源于通排风系统的风机, 项目拟选用低噪声设备, 声压级一般为65dB(A)。

2.2.3 固体废物

本项目所产生的固体废物主要是工作人员产生的生活垃圾。工作人员产生的生活垃圾约为6.5kg/d, 经收集后交由环卫部门清运。

2.2.4 废水

本项目无生产废水产生。本项目废水主要为工作人员产生的少量生活污水, 产生量约为 $1.04 \text{m}^3/\text{d}$ 。

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

一、场所辐射防护管理

1.1 分区依据和原则

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防范工作，项目应按照《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，要求有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警告标志并给出相应的辐射水平和污染水平指示。运用行政管理程序如进入控制区的工作许可证和实体屏蔽限制进出控制区。

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，但要不断检查其职业照射状况的区域。在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；并定期检查工作状况，确认是否需要防护措施和安全条件，或是否需要更改监督区的边界。

1.2 项目控制区和监督区划分

本项目为新建项目，根据控制区和监督区的定义，结合项目辐射防护和环境情况特点进行了辐射分区划分，见表10-1、图10-2。

表10-1 本项目“两区”划分一览表

场所	控制区	监督区
生产制造厂房一层	1#校准实验室（含迷道）、2#校准实验室（含迷道）、源库	1#控制室、2#控制室、走道、Ⅳ类、Ⅴ类放射源使用区域
辐射防护措施	（1）对控制区进行严格控制，在检测过程中严禁任何人员的进入； （2）控制区出入口张贴“电离辐射警告标志”，见图 10-1； （3）控制区出入口处区域设置红色带“控制区”字样的地面标识线。	（1）非相关人员限制进入，避免受到不必要的照射； （2）监督区入口外设置黄色带“监督区”字样的地面标识线。



图 10-1 电离辐射警告标志

图10-2 本项目辐射“两区”分布图

根据项目实际情况，对于本项目辐射分区管理，要求：1）本项目应在实验室铅防护门处张贴醒目的电离辐射警告标志和“无关人员禁止入内”警告牌；2）建设单位应做好工作人员辐射安全培训，并安排辐射管理人员定期巡查辐射工作场所周边区域，防止非许可人员接近辐射区域。

二、场所辐射防护屏蔽设计

本项目辐射工作场所屏蔽设计情况见下表。

表10-2 辐射工作场所工程屏蔽防护设计

房间名称	屏蔽体名称	屏蔽材料及厚度
1#校准实验室	东面墙体	200mm 钢筋混凝土（迷道内墙）+800mm 钢筋混凝土（迷道外墙）
	南面墙体	800mm 钢筋混凝土
	西面墙体	1200mm 钢筋混凝土
	北面墙体	900mm 钢筋混凝土
	顶板	400mm 钢筋混凝土
	防护门	58mmPb 防护铅门
2#校准实验室	东面墙体	600mm 钢筋混凝土
	南面墙体	900mm 钢筋混凝土
	西面墙体	600mm 钢筋混凝土
	北面墙体	500mm 钢筋混凝土（迷道内墙）+600mm 钢筋混凝土（迷道外墙）
	顶板	400mm 钢筋混凝土
	防护门	6mmPb 防护铅门
源库	东面墙体	300mm 钢筋混凝土
	南面墙体	900mm 钢筋混凝土
	西面墙体	600mm 钢筋混凝土
	北面墙体	300mm 钢筋混凝土
	顶板	400mm 钢筋混凝土

注：生产制造厂房辐射工作场所无地下楼层设计，人员无法进入，故不考虑辐射防护设计。

三、辐射安全和防护措施

3.1 治疗 γ 试验室（ ^{60}Co II类放射源）

本项目 1#校准实验室的 γ 射线空气比释动能治疗水平标准装置为单源辐照装置，既可作为检定设备又可作为储源设备，本装置拟安装活度为 $2.96 \times 10^{13} \text{Bq}$ （即 800Ci）的 ^{60}Co 源。

3.1.1 设备固有安全性

装置自屏蔽：在非工作状态（即屏蔽状态）下放射源密闭于储源容器内；装置的最小屏蔽厚度为 325mm 铅。当源处于屏蔽位置时，离装置表面 5cm 处的泄露辐射水平小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，满足《密封 γ 放射源容器卫生防护标准》（GBZ114-2006）中“密封 γ 源容器外表面 100cm 处任一点的空气比释动能率（活度大于 $3.7\times 10^{10}\text{Bq}$ ）不得超过 0.2mGy/h ”的要求。

快门：采用主快门和辅快门结合的双快门结构；主快门可使射线束衰减到原来的 $1/10000$ ，开关时间小于 500ms；辅助快门配合主快门实现射线束的完全屏蔽。双快门结构可保证设备故障时人员安全。

衰减器：采用自动切换方式，通过组合可实现约（4~512）倍的衰减；快门驱动采用气动方式，衰减器通过电磁铁与升降机构连接，断电时可自动回位，可起到应急屏蔽的效果。

3.1.2 设计采取防护措施

（1）安全装置

放射源编码卡：将放射源编码卡与源容器可靠联接，且便于更换。更换放射源时，放射源编码卡也随之更换，确保与容器内的放射源一一对应。

门-机联锁：1#校准实验室防护门与 γ 射线空气比释动能治疗水平标准装置压装置高压控制器联锁。当防护门关紧后， γ 射线空气比释动能治疗水平标准装置才能启动高压，放射源才能处于工作位，否则高压处于断电状态不能启动。 γ 射线空气比释动能治疗水平标准装置压装置的高压未关闭时，一旦防护门被打开， γ 射线空气比释动能治疗水平标准装置高压立即断开，衰减器通过电磁铁与升降机构连接，放射源立即处于屏蔽位。

门-灯联锁：在 1#校准实验室防护门外安装有显示工作状态的警示灯，并于 γ 射线空气比释动能治疗水平标准装置压装置控制系统联锁，工作状态指示灯显示正在进行出束作业。

门-剂量联锁：1#校准实验室内安装 1 套固定式剂量监测系统（可测量 X- γ 辐射剂量率），且剂量与防护门联锁，当剂量超过设定限值时，防护门无法从外部开启。

红外人体探测器与源装置联锁：在 1#校准实验室内设置红外人体探测器，当探测到 1#校准实验室内有人员活动时，无法操作源装置；如果在源照射时，一旦发现 1#校准实验室内有人员活动，立即自动关闭源装置主快门。以上安全联锁装置可有效的保护操作人员和公众，避免因人为误入造成辐射安全事故。

钥匙开关：控制机上设电源钥匙开关，只有当 γ 射线空气比释动能治疗水平标准装置一切都处于安全状态，并且钥匙就位后，设备才能启动工作。一旦钥匙被取走，设备就无法启

动工作。钥匙由专人使用和保管。

防止非工作人员操作的锁定开关：控制台上设防止非工作人员操作的锁定开关。

紧急停止按钮：在 1#校准实验室内南侧、西侧、北侧墙体（拟设 3 个开关）、防护门内迷道墙上（拟设 1 个开关）及控制室内控制台上（拟设 1 个开关）设紧急停止按钮。紧急停止按钮安装在距地面 1.5m 处的墙上。紧急停止按钮应为红色按钮，并带有中文标识，易于辨认。当要终止 ^{60}Co 放射源照射时，按紧急停止按钮即可使放射源返回屏蔽系统内。

电离辐射警示标志：在 γ 射线空气比释动能治疗水平标准装置外表张贴电离辐射标识、1#校准实验室防护门外醒目位置张贴电离辐射警告标志及中文警示说明。电离辐射警告标志须符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 F 要求。电离辐射警告标志如图 10-1 所示。

（2）监测设备

室内固定式剂量报警仪：在 1#校准实验室内设 1 台固定式剂量报警仪（带剂量显示功能），固定式剂量报警仪的探头安装在机房迷道内、靠近迷道与实验室连接处，显示屏安装在控制室墙上，易于操作人员看见的地方。

便携式辐射监测仪器：拟配一台便携式 X- γ 剂量监测仪（1#校准实验室、2#校准实验室共用 1 台），用于 γ 射线空气比释动能治疗水平标准装置使用期间定期巡检。

个人剂量监测仪：按照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2016）要求，从事 γ 射线空气比释动能治疗水平标准装置的辐射工作人员每人配备个人剂量计（1 套/人）和个人剂量报警仪（1 套）。要求在岗期间必须正确佩戴。

（3）其它防护设施

控制台显示放射源位置情况：控制台可显示放射源位置。

视频监控：1#校准实验室内及迷道内设实时摄像监视器，监控系统设在控制室内，视频监控应做到无监控死角，特别应监控室内有源的位置，以便在异常情况下，可控制设备紧急回源，避免造成危害。

应急设备：1#校准实验室内配应急的长柄夹具、1 套铅衣等辅助防护用品；在控制室内配置灭火器材 1 套。

（4）放射源的贮存及处理

放射源的贮存： ^{60}Co 放射源在非使用期间贮存在 γ 射线空气比释动能治疗水平标准装置容器内，储源器位于 1#校准实验室内。同时在 1#校准实验室内配置 1 个备用应急贮源罐，用

于非正常状况下放射源的贮存。

放射源的实体保卫：1#校准实验室的防护门应具有防盗功能，并实施“双人双锁”管理。在1#校准实验室的防护门外的适当位置安装实时摄像装置，由建设单位保安人员24h视频监控以防放射源被盗。

（5）放射源使用工作场所的安防措施

为确保本项目使用Ⅱ类放射源工作场所（1#校准实验室）的安全，本项目采取的安全保卫措施见下表。

表10-3 项目Ⅱ类放射源使用工作场所（1#校准实验室）的安防措施一览表

工作场所	措施类别	对应措施
1#校准实验室	防火	1#校准实验室应安装火警报警装置，场所应配备干粉式灭火器。
	防水	机房地面采取硬化及防水、防渗处理。
	防盗、防抢和防破坏	①1#校准实验室防护门应具有防盗功能，并实施“双人双锁”管理； ②拟在1#校准实验室防护门外的适当位置安装实时摄像装置，由建设单位保安人员24h视频监控； ③建立有放射源台账制度，台账记录放射源的初始活度、数量、贮存情况，以及检修、换源等全过程使用情况，并安排专人进行台账管理。
	防泄漏	①根据建设单位提供的资料，拟使用的 γ 射线空气比释动能治疗水平标准装置表面5cm处的泄露辐射水平小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。装置的最小屏蔽厚度为325mm铅； ②建设单位应按照规定制定自行开展辐射监测，对 γ 射线空气比释动能治疗水平标准装置运行情况与屏蔽设施完整情况进行检测。同时，每年委托有资质单位进行辐射工作场所电离辐射检测； ③防护门内拟配置固定式剂量报警仪； ④规范设置辐射“两区”管理警示线、电离辐射警告标志等，并定期检查工作状况，确认是否需要调整或更改。

3.2 2#校准实验室（Ⅲ类放射源、X光机）

本项目2#校准实验室使用 γ 射线空气比释防护水平标准装置和X光机。其中 γ 射线空气比释防护水平标准装置为多源辐照装置，既可作为检定设备又可作为储源设备，本项目拟放置3枚放射源，分别是活度为 $7.40 \times 10^{10}\text{Bq}$ 的 ^{60}Co 源、活度为 $9.25 \times 10^{11}\text{Bq}$ 的 ^{137}Cs 源、活度为 $1.85 \times 10^{11}\text{Bq}$ 的 ^{241}Am 源，工作状态下仅使用1枚源；X光机最大管电压320kV，最大管电流22.5mA。

3.2.1 设备固有安全性

（1） γ 射线空气比释防护水平标准装置

自屏蔽：在非工作状态（即屏蔽状态）下放射源密闭于储源容器内，处于屏蔽位时，离装置表面5cm处的泄露辐射水平小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，满足《密封 γ 放射源容器卫生防护标准》（GBZ114-2006）中“密封 γ 源容器外表面100cm处任一点的空气比释动能率（活度大于

$3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$) 不得超过 0.2mGy/h ”的要求。

快门：快门采用铅-钨合金气动及电动推拉式结构设计，转子起到辅快门的作用，这种方式可保证装置的安全性，当主快门和转子中的一个发生故障时可方便维修，气动和电动结合的方式大大减小了事故发生的几率。快门开关时间小于 500ms 。

(2) X 光机

设备从专业生产厂家进行采购，满足质检要求；具有安全系统，当设备出现错误或故障时，能中断照射，并有相应故障显示；正常情况下，必须按规定程序并经控制台确认验证设置无误时，才能启动照射。

3.2.2 设计采取防护措施

(1) 安全装置

多源装置和 X 光机之间具有联锁功能，为了保证源和 X 光机互不影响，当 X 光机打开时，多源装置主、辅快门不能打开，每次只能开启一个设备。

放射源编码卡：将放射源编码卡与源容器可靠联接，且便于更换。更换放射源时，放射源编码卡也随之更换，确保与容器内的放射源一一对应。

门-机连锁：2#校准实验室防护门与实验室供电系统连锁。当防护门关紧后，多源装置才能启动供电系统，放射源才能处于工作位，否则供电系统处于断电状态不能启动。多源装置的供电系统未关闭时，一旦防护门被打开，多源装置高压立即断开，衰减器通过电磁铁与升降机构连接，放射源立即处于屏蔽位。

门-灯连锁：在 2#校准实验室防护门外安装有显示工作状态的警示灯，并于多源控制、X 光机系统连锁，工作状态指示灯显示正在进行出束作业。

门-剂量连锁：2#校准实验室内安装 1 套固定式剂量监测系统（可测量 X- γ 辐射剂量率），且剂量与防护门连锁，当剂量超过设定限值时，防护门无法从外部开启。

红外人体探测器与源装置连锁：在 1#校准实验室内部设置红外人体探测器，当探测到 1#校准实验室内部有人员活动时，无法操作源装置；如果在源照射时，一旦发现 1#校准实验室内有人员活动，立即自动关闭源装置主快门。以上安全连锁装置可有效的保护操作人员和公众，避免因人为误入造成辐射安全事故。

钥匙开关：控制机上设电源钥匙开关，只有当 γ 射线空气比释防护水平标准装置和 X 光机一切都处于安全状态，并且钥匙就位后，设备才能启动工作。一旦钥匙被取走，设备就无法启动工作。钥匙由专人使用和保管。

防止非工作人员操作的锁定开关：控制台上设防止非工作人员操作的锁定开关。

紧急停止按钮：在 2#校准实验室内东侧、南侧、西侧墙体（拟设 3 个开关）、防护门内迷道墙上（拟设 1 个开关）及控制室内控制台上（拟设 1 个开关）设紧急停止按钮。开关安装在距地面 1.5m 处的墙上。紧急停止按钮应为红色按钮，并带有中文标识，易于辨认。当要终止放射源或 X 光机照射时，紧急停止按钮即可使 X 光机停止照射、放射源返回屏蔽系统内。

电离辐射警示标志：2#校准实验室防护门外醒目位置张贴电离辐射警告标志及中文警示说明。

（2）监测设备

室内固定式剂量报警仪：在 2#校准实验室内设 1 台固定式剂量报警仪（带剂量显示功能），固定式剂量报警仪的探头安装在机房迷道内、靠近迷道与实验室连接处，显示屏安装在控制室墙上，易于操作人员看见的地方。

便携式辐射监测仪器：拟配一台便携式 X- γ 剂量监测仪（1#校准实验室、2#校准实验室共用 1 台），用于 γ 射线空气比释防护水平标准装置和 X 光机使用期间定期巡检。

个人剂量监测仪：按照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2016）要求，操作 γ 射线空气比释防护水平标准装置和 X 光机的辐射工作人员每人配备个人剂量计（1 套/人）和个人剂量报警仪（1 套）。要求在岗期间必须正确佩戴。

（3）其它防护设施

紧急开门按钮：靠近 γ 射线空气比释防护水平标准装置迷道门出口处的急停开关应兼具开门功能，当人员被关在实验室内，在紧急情况下按下开关，可实现防护门从内部打开，同时 γ 射线空气比释防护水平标准装置或 X 光机立即停止出束。

控制台显示放射源位置情况：控制台可显示放射源位置。

视频监控：2#校准实验室内及迷道内设实时摄像监视器，监控系统设在控制室内，视频监控应做到无监控死角，特别应监控室内有源的位置，以便在异常情况下，可控制设备紧急回源，避免造成危害。

应急设备：2#校准实验室内配应急的长柄夹具、1 套铅衣等辅助防护用品；在控制室内配置灭火器材 1 套。

（4）放射源的贮存及处理

放射源的贮存：放射源在非使用期间贮存在 γ 射线空气比释防护水平标准装置容器内，储源器位于 2#校准实验室内。同时在 2#校准实验室内配置 1 个备用应急贮源罐，用于非正常

状况下放射源的贮存。

放射源的实体保卫：2#校准实验室的防护门应具有防盗功能，并实施“双人双锁”管理。在2#校准实验室的防护门外的适当位置安装实时摄像装置，由建设单位保安人员24h视频监控以防放射源被盗。

换源、倒源：由放射源生产厂家或有相应辐射安全资质单位负责。放射源生产厂家派专车、专业技术员将新的放射源运到现场。在 γ 射线空气比释防护水平标准装置内将储源器内的废旧放射源倒出并装入新的放射源。换源应通过专用换源导管，以免误操作造成卡源。换源、倒源过程中应加强放射源的安全保卫工作。

(5) 放射源使用工作场所的安防措施

为确保本项目使用II类射线装置和III类放射源工作场所（2#校准实验室）的安全，本项目采取的安全保卫措施见下表。

表10-4 项目II类射线装置、III类放射源使用工作场所（2#校准实验室）的安防措施一览表

工作场所	措施类别	对应措施
2#校准实验室	防火	2#校准实验室应安装火警报警装置，场所应配干粉式灭火器。
	防水	实验室地面采取硬化及防水、防渗处理。
	防盗、防抢和防破坏	①放射源编码应与源一一对应，粘贴或悬挂与源对应的放射源编码。 ②2#校准实验室防护门应具有防盗功能，并实施“双人双锁”管理； ③拟在2#校准实验室防护门外的适当位置安装实时摄像装置，由建设单位保安人员24h视频监控； ④建立有放射源与射线装置台账制度，台账记录放射源的初始活度、数量、贮存情况、射线装置的使用情况，以及检修、换源等全过程使用情况，并安排专人进行台账管理。
	防泄漏	①拟使用的 γ 射线空气比释防护水平标准装置和X光机购置于正规厂家； ②2#校准实验室室内拟配置固定式剂量报警仪。

3.3 生产作业区（ ^{137}Cs IV类放射源、 ^{239}Pu IV类放射源、 ^{241}Am V类放射源）

本项目生产作业区南侧将使用活度为 $1\times 10^9\text{Bq}$ 的 ^{137}Cs 源、活度为 $6\times 10^8\text{Bq}$ 的 ^{239}Pu 源、活度为 $5.8\times 10^8\text{Bq}$ 的 ^{241}Am 源。

(1) 安全装置

电离辐射警示标志：在生产作业区南侧围栏外贴电离辐射警告标志。

警戒线：在生产作业区（使用IV类、V类放射源区域）四周拉警戒线。

(2) 监测设备

便携式辐射监测仪器：拟配一台便携式 X- γ 剂量监测仪（1#校准实验室、2#校准实验室、生产作业区共用 1 台），用于放射源使用期间定期巡检。

个人剂量监测仪：按照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2016）要求，从事放射源使用的辐射工作人员每人配备个人剂量计（1套/人）和个人剂量报警仪（1台）。要求在岗期间必须正确佩戴。

视频监控：拟在进行核测控设备检定和调试的区域应安装视频监控，视频监控应做到无监控死角，以防放射源的丢失。

（3）其它设备

灭火器材：在生产作业区内配备灭火器材1套。

3.4 源库（ ^{137}Cs IV类放射源、 ^{239}Pu IV类放射源、 ^{241}Am V类放射源）

本项目源库将储存活度为 $1\times 10^9\text{Bq}$ 的 ^{137}Cs 源、活度为 $6\times 10^8\text{Bq}$ 的 ^{239}Pu 源、活度为 $5.8\times 10^8\text{Bq}$ 的 ^{241}Am 源。

（1）安全装置

电离辐射警示标志：在源库门外醒目位置张贴电离辐射警告标志及中文警示说明。电离辐射警告标志须符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录F要求。

视频监控：源库内应安装视频监控，视频监控应做到无监控死角，特别应监控室内有源的位置，以防放射源的丢失。

双人双锁：源库的门应具有防盗功能，并实施“双人双锁”管理。在源库门外的适当位置安装实时摄像装置，由建设单位保安人员24h视频监控以防放射源被盗。

（2）其它设备

灭火器材：在源库外走道内配备灭火器材1套。

四、辐射安全与防护措施要求对照分析

本项目涉及使用II类射线装置，使用II、III、IV、V类放射源工作场所。根据《II类非医用X线装置监督检查技术程序》（NNSA HQ-08-JD-IP-024）、《工业 γ 射线探伤监督检查技术程序》（NNSA HQ-08-JD-IP-016）、《固定式III、IV和V类源使用场所监督检查技术程序》（NNSA HQ-08-JD-IP-017）、《移动式非探伤放射源使用场所监督检查技术程序》（NNSA HQ-08-JD-IP-018）、《关于印发<四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）>的通知》（川环办发〔2016〕1400号）中的辐射安全防护设施监督要求，本项目拟采取的辐射安全防护措施对照见表。

表 10-5 与工业 γ 射线探伤场所的辐射安全与防护措施要求对照一览

序号	具体要求	项目落实情况	是否
----	------	--------	----

				满足相关要求
1*	A 探伤机	源容器电离辐射标志	拟在源容器表面张贴	满足
2		探伤机表面金属铭牌文字和标记	设备出厂自带铭牌，在设备的放射源容器表面固定 ^{60}Co 放射源的金属铭牌	满足
3*		放射源编码卡	拟固定在源容器的明显位置	满足
4*		安全锁和专用钥匙	控制机上设电源钥匙开关	满足
5		探伤装置外观无明显缺损	/	/
6*		探伤装置在有效期内（10 年）	本项目为新建项目，装置新购	满足
7*		贮存场所保安措施	拟在 1#校准实验室内、2#校准实验室内设置监控系统	满足
8*	B 固定式探伤室	场所分区	已设计“两区分化”	满足
9*		场所外电离辐射警告标志	拟张贴在 1#校准实验室防护门上、2#校准实验室防护门上	满足
10*		出入口工作状态显示	拟在 1#校准实验室防护门上、2#校准实验室防护门上安装工作状态指示灯	满足
11*		探伤室防护门与探伤机联锁（电动）	防护门内拟设置 1 个限位开关，与 γ 射线空气比释动能治疗水平标准装置联锁	满足
12*		场所内固定式辐射剂量仪与门联锁	拟在 1#校准实验室内、2#校准实验室内安装固定式辐射剂量仪，探头安装在机房迷道内、靠近迷道与实验室连接处，显示屏安装在控制室墙上	满足
13*		紧急停止按钮	拟设在 1#校准实验室内、2#校准实验室内墙上，迷道、防护门内、控制台上	满足
19*	D 监测设备	便携式辐射剂量监测仪（高量程满足 10mSv/h 以上）	拟配一台便携式 X- γ 剂量监测仪（与 2#校准实验室共用 1 台）	满足
20*		个人剂量计	每名辐射工作人员配 1 套	满足
21*		个人剂量报警仪	拟配 2 台	满足
22	E 应急物资	个人防护用品	拟在 1#校准实验室、2#校准实验室内配备 1 套防护铅衣	满足
23*		应急处理工具（如长柄夹具等）	拟在 1#校准实验室内、2#校准实验室内各配 1 套应急的长柄夹具	满足
24		放射源应急屏蔽材料	拟在 1#校准实验室、2#校准实验室内配置 1 个备用应急贮源罐	满足
25		灭火器材	拟在走道内配备灭火器材	满足

注 1：加*的项目是重点项；

注 2：第 14 至 18 项为移动式场所辐射安全措施，与本项目无关，不在本表格中列出。

表 10-6 II 类非医用射线装置使用场所的辐射安全与防护措施要求对照一览

序号	检查项目		项目落实情况	是否满足要求
1*	A 场所设施	入口处电离辐射警告标志	拟在防护门入口处张贴电	满足
2*		入口处机器工作状态显示	拟在防护门外配备	满足
3		隔室操作	控制台位于 2#控制室	满足
4		迷道	2#控制室北侧设置迷道	满足
5*		防护门	2#控制室东侧设置铅防护门	满足
6*		控制台有钥匙控制	拟配备	满足
7*		门机联锁系统	拟配备	满足

8*		照射室内监控设施	2#校准实验室内设置监控设施	满足
9		通风设施	已设计	满足
10*		照射室内紧急停机按钮	拟配在 2#校准实验室内墙上, 迷道、防护门内、控制台上	满足
11*		控制台上紧急停机按钮	拟配备	满足
12*		出口处紧急开门开关	拟配在防护 X/γ 试验室防护门内	满足
13*		准备出束声光提示	防护门外设置准备出束声光	满足
14*	B 监测设备	便携式辐射监测仪	拟配一台便携式 X-γ 剂量监测仪 (与 2#校准实验室共用 1 台)	满足
15*		个人剂量报警仪	拟配 1 台	满足
16*		个人剂量计	每名辐射工作人员配 1 套	满足
17	C 应急准备	灭火器材	拟在走道内配备灭火器材	满足

注: 加*的项目是重点项。

表 10-7 移动式非探伤放射源使用场所的辐射安全与防护措施要求对照一览

序号	检查项目		项目落实情况	是否满足要求
1*	A 场所设备	放射源编码与装置对应	拟固定在源容器的明显位置	满足
2*		使用场所电离警告标志和警戒线	拟在 IV 类、V 类放射源使用区域四周拉警戒线, 并在四周物理隔栏外张贴电离警告标志	满足
3*		场所边界文字说明、声音、光电等警示	拟在 IV、V 类放射源使用区域四周拉警戒线, 标监督区域	满足
4*		贮存场所安保设施	IV 类、V 类放射源贮存在源库中, 源库设置安保设施	满足
5*		装置设有安全锁 (III 类源装置)	生产作业区使用 IV 类、V 类放射源	/
6*		安全锁与源联锁 (电控 III 类源装置)		/
7*		放射源回位自锁装置 (电控 III 类源装置)		/
8*		工作容器源位指示器 (III 类源装置)		/
9*		(大于 200GBq 的中子源或大于 20GBq 的 γ 源) 测井源库机械提升与传送设备		/
10*	B 源容器	带源闸的源容器 (源容器有明显的开关状态显示、放射源位置能锁定)	/	/
11*		源容器电离辐射标志	/	/
12*	C 监测设备	便携式辐射监测仪	拟配一台便携式 X-γ 剂量监测仪 (与实验室共用 1 台)	满足
13*		个人剂量报警仪 (III 类源及以上)	生产作业区使用 IV 类、V 类放射源	/
14*		个人剂量计	每名辐射工作人员配 1 套	满足
15	D 应急准备	应急处理工具 (如长柄夹具等)	/	/
16		灭火器材	拟在生产作业区配备灭火器材	/
17		个人防护用品 (III 类源及以上)	生产作业区使用 IV 类、V 类放射源	/

注: 加*的项目是重点项。

三废的治理

一、废气治理措施

本 γ 射线空气比释动能治疗水平标准装置、 γ 射线空气比释防护水平标准装置、X光机使用过程中会产生少量臭氧。

本项目1#控制室、1#校准实验室、2#校准实验室、2#控制室、源库、控制室前走道共同设置一套机械排风系统，排风机设置在一层屋顶，通风系统布置见和表10-7和附图6。

表10-7 项目通风系统设计

工作场所	通风系统设计
中子实验室（预留场所）、1#控制室、1#校准实验室、2#校准实验室、2#控制室、源库、控制室前走道	共用一套机械通风系统，排风机设置在一层屋顶，控制室前走道处设置风机手动启停装置。通风系统设计每小时换气约6次，排风量设计为9941m ³ /h。

治理 γ 实验室、防护X/ γ 试验室产生的臭氧经排风管道汇入排风机房内，统一由设在生产制造厂房一层走道顶部的排风口排入大气，排口朝向避开办公室。项目通风量设计能够满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中“每小时有效通风换气次数应不小于3次”的要求。

二、废水治理措施

本项目运营期废水主要为工作人员产生的生活污水，排水量为1.04m³/d。项目员工日常办公产生的生活污水在生产制造厂房办公楼卫生间收集，经预处理后，通过污水管网送至园区污水处理厂处理。

三、噪声

本项目噪声主要来源于室外通风系统机组运行噪声。项目通风系统机组采用低噪声节能设备（其噪声值一般为65dB（A）），并采取在风机进出口设软接头等措施。

四、固体废物治理措施

本项目所产生的固体废物主要是工作人员产生的生活垃圾。工作人员产生的生活垃圾约为6.5kg/d，集中收集后由环卫部门清运处理。

五、射线装置报废处理

根据《四川省辐射污染防治条例》：射线装置在报废处置时，使用单位应对射线装置内的高压射线管进行拆解和去功能化。

本项目使用的X光机辐射源在进行报废处理时，将射线装置的高压射线管进行拆解和去功能化，同时将射线装置的主机电源线绞断，使射线装置不能正常通电，防止二次通电使用，造成误照射。

六、放射源退役处置

根据《四川省辐射污染防治条例》：对废弃放射源，使用单位应当在终止使用之日起三个月内根据回收承诺书返回原生产单位、原出口方或者送交放射性废物集中贮存单位；无法返回的，应当送交有相应许可证的放射性废物贮存单位收贮，并承担相应费用。**本项目使用的放射源在购买时与销售单位签订合同应包含回收条款。**

七、环保投资估算

本项目总投资4984万元，辐射防护环保投资98.9万元，占总投资的1.98%。本项目环保投资估算见表10-8。

表10-8 辐射防护设施（措施）及投资估算一览表

项目	设施（措施）	数量	金额（万元）	备注
1#校准实验室				
辐射屏蔽措施	1#校准实验室东侧设“L”型迷道，迷道内墙为 0.2m 厚混凝土，迷道外墙为 0.8m 厚混凝土，迷道门为 5.8cm 铅；南墙为 0.8m 厚混凝土，西墙为 1.2m 厚混凝土，北墙为 0.9m 厚混凝土，顶板为 0.5m 厚混凝土。	/	12.0	新建
辐射安全设施	场所分区的管控措施及标识。	1 套	15.0	新建
	粘贴或悬挂与源对应的放射源编码。	1 套		新建
	门-源连锁 1 套，门-灯连锁 1 套，门-剂量连锁 1 套，钥匙开关 1 套。	4 套		新建
	控制台上设防止非工作人员操作的锁定开关。	1 套		新建
	实验室内墙体（拟设 3 个开关）、防护门内迷道墙上（拟设 1 个开关）及控制室内控制台上（拟设 1 个开关）设紧急停止按钮。	4 个		新建
	实验室防护门外电离辐射警告标志及中文警示说明 1 套。	1 套		新建
	控制台显示放射源位置情况装置 1 套。	1 套		新建
	视频监控：实验室内、防护门外及迷道内设至少 3 套实时摄像监视器。	3 套		新建
	实验室防护门实施“双人双锁”管理。	1 套		新建
监测设备	购置便携式 X-γ 剂量率仪 1 台、固定式 X-γ 剂量率仪 1 台、个人剂量计 5 个、个人剂量报警仪 1 台。	/	2.0	新建
废气治理	1#校准实验室、2#校准实验室、源库共同设置 1 套排风管，风量为 9941m ³ /h，调试期间产生废气经收集后引至楼顶排放。	1 套	2.0	新建
噪声防治	采用低噪设备、基础减振	/	0.2	新建
制度	规章制度上墙、放射源台账	/	0.1	新建
人员培训	辐射工作人员上岗培训及再培训	/	0.1	新建

2#校准实验室				
辐射屏蔽措施	2#校准实验室北侧为“L”型迷道，迷道内墙为 0.5m 厚混凝土，迷道外墙为 0.6m 厚混凝土，迷道门为 0.6cm 铅；东墙为 0.6m 厚混凝土，南墙为 0.9m 厚混凝土，西墙为 0.6m 厚混凝土，顶板为 0.5m 厚混凝土。	/	12.0	新建
辐射安全设施	场所分区的管控措施及标识。	1 套	15.0	新建
	门-源/机连锁 1 套，门-灯连锁 1 套，门-剂量联锁，钥匙开关 1 套。	4 套		新建
	粘贴或悬挂与源对应的放射源编码。	1 套		新建
	控制台上设防止非工作人员操作的锁定开关。	1 套		新建
	实验室内墙体（拟设 3 个开关）、防护门内迷道墙上（拟设 1 个开关）、控制室内控制台上（拟设 1 个开关）设紧急停止按钮。	5 套		新建
	实验室防护门外电离辐射警示标志及中文警示说明 1 套。	1 套		新建
	实验室防护门实施“双人双锁”管理。	1 套		新建
	在防护门外安装 1 套实时摄像装置。	1 套		新建
监测设备	购置便携式 X-γ 剂量率仪 1 台（合用）、固定式 X-γ 剂量率仪 1 台、个人剂量计 5 个、个人剂量报警仪 1 台。	/	2.0	新建
废气治理	2#校准实验室、1#校准实验室、源库等共同设置 1 套排风管，风量为 9941m³/h，调试期间产生废气经收集后引至楼顶排放。	/	/	新建
噪声防治	采用低噪设备、基础减振	/	0.2	新建
制度	规章制度上墙、放射源、射线装置台账	/	0.1	新建
人员培训	辐射工作人员上岗培训及再培训	/	0.1	新建
源库				
辐射屏蔽措施	源库四周墙体及屋顶采用钢筋混凝土构筑，东面墙体采用 300mm 厚的钢筋混凝土，南面墙体采用 900mm 厚的钢筋混凝土，西面墙体采用 600mm 厚的钢筋混凝土，北面墙体采用 300mm 厚的钢筋混凝土，顶部墙体采用 400mm 厚的钢筋混凝土，东侧设置 1.6m×2.2m（宽×高）的甲级防火门。	/	12.0	新建
辐射安全设施	监控系统	1 套	1.0	新建
	源库双人双锁	2 套		新建
	入口电离辐射警告标志	1 套		新建
生产作业区				
辐射安全设施	涉及使用放射源的区域使用警戒带隔离并悬挂警示标识。	1 套	0.1	新建
	视频监控系统	2 套	0.5	新建
合计		/	74.4	/

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

1、施工期大气环境影响分析

项目施工期废气主要源于土建施工阶段产生的施工扬尘，以及装修过程油漆和喷涂产生的少量有机废气。

(1) 施工扬尘

施工期大气污染源主要有工程建筑施工及车辆运输产生的施工扬尘，施工扬尘产生主要源于建筑材料（水泥、砂子、石子等）搬运及堆放、土方填挖及现场堆放、混凝土搅拌、施工运输车辆行驶扬尘。

根据有关调查，施工运输行驶产生的扬尘与道路路面及车辆行驶速度有关，约占扬尘总量的 60%。在完全干燥情况下，可按经验公式计算：

$$Q = 0.123 \times \left(\frac{v}{5}\right) \left(\frac{W}{6.8}\right)^{0.85} \left(\frac{P}{0.5}\right)^{0.75} \dots\dots\dots \text{(式 11-1)}$$

式中：Q—汽车行驶的扬尘，kg/（km·辆）；

v—汽车速度，km/h；

W—汽车载重量，t；

P—道路表面粉尘量，kg/m²。

一辆载重 10 吨的卡车，通过一段长度为 500m 的路面时，不同表面清洁程度，不同行驶速度情况下产生的扬尘量见下表。

表11-1 不同车速和地面清洁程度时的汽车扬尘 单位：kg/（km·辆）

P (kg/m ²) 车速 (km/h)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	1.0
5	0.0509	0.0857	0.1160	0.1442	0.1705	0.2867
10	0.1019	0.1715	0.2324	0.2884	0.3409	0.5735
15	0.1530	0.2572	0.3487	0.4325	0.5112	0.8600
20	0.2039	0.3429	0.4649	0.5767	0.6818	1.1468

由上表可见，在同样路面清洁情况下，车速越快，扬尘量越大，而在同样车速情况下，路面清洁度越差，则扬尘量越大。根据类比调查，一般情况下，施工场地、施工道路在自然通风作用下产生的扬尘所影响的范围在 100m 以内。

抑制扬尘的一个简洁有效措施是洒水。如果在施工期内对车辆行驶的路面实施洒水抑尘，每天洒水 4~5 次，可使扬尘减少 70% 左右。施工场地洒水抑尘的试验结果见下表。

表11-2 施工场地洒水抑尘试验结果

单位: mg/m^3

距离		5m	20m	50m	100m
TSP 小时 平均浓度	不洒水	10.14	2.89	1.15	0.86
	洒水	2.01	1.40	0.67	0.60

由表中数据可看出对施工场地实施每天洒水 4~5 次,可有效控制施工扬尘,并可将TSP 污染距离缩小到 20~50m范围。

施工扬尘的另一重要产生方式是建筑材料的露天堆放作业,这类扬尘的主要特点是受作业时风速大小的影响显著。因此,禁止在大风天气时进行此类作业以及减少建筑材料的露天堆放时抑制此类扬尘的一种很有效的手段。

为了有效防止和减少施工期间扬尘等废气对周围环境空气的污染,施工单位必须制定严格、规范管理制度和措施,认真贯彻执行国家关于扬尘防治的要求,以及《四川省实施方案》、《四川省灰霾污染防治实施方案》等关于扬尘防治的要求。为此,施工单位应采取以下措施:

①施工单位应认真落实“十必须”、“十不准”规定:必须规范打围,保持干净整洁、必须设置出场车辆高压冲洗设施、必须硬化主要施工道路、出入口、必须湿法作业、必须及时清运建筑垃圾、必须使用 800 目密目网覆盖裸土、建渣、必须分类有序堆码施工材料、必须规范张贴非道路移动机械环保标识、必须安装扬尘在线监测设备、必须安装高清视频监控设备;不准车辆带泥出门、不准运渣车辆冒顶装载、不准使用名录外运渣车、不准现场搅拌混凝土、砂浆、不准露天切割、不准高处抛洒建筑垃圾、不准场地积水、积泥、积尘、不准焚烧废弃物、不准干扰扬尘监测设备运行、不准干扰视频监控设备。

②施工现场建设 2.5m高施工围墙,封闭施工现场,采用密目安全网,以减少结构和装修过程中的粉尘飞扬现象,降低粉尘向大气中的排放;脚手架在拆除前,先将脚手板上的垃圾清理干净,清理时应避免扬尘。

③要求施工单位文明施工,定期对地面洒水,并对散落在路面的渣土及时清除,清理阶段做到先洒水后清扫,避免产生扬尘对周围环境敏感点正常生活造成影响。

④由于道路和扬尘量与车辆的行驶速度有关,速度越快,扬尘量越大,因此,在施工场地对施工车辆必须实施限速行驶,同时施工现场主要运输道路尽量采用硬化路面并进行洒水抑尘。

⑤在施工场地出口放置防尘垫,对运输车辆现场设置洗车场,用水清洗车体和轮胎。

⑥自卸车、垃圾运输车等运输车辆不允许超载,选择对周围环境影响较小的运输路线,

定时对运输路线进行清扫，运输车辆出场时必须封闭。

⑦施工过程中，楼上施工产生的建筑渣土，不许在楼上向下倾倒，必须运送地面；

⑧禁止在风天进行渣土堆放作业，建材堆放地点要相对集中，临时废渣堆场及时清运，并对堆场（包括回填土临时堆放点）以毡布覆盖，裸露地面进行硬化和绿化，减少建材的露天堆放时间；开挖出的土石方应加强围栏，表面用毡布覆盖，并及时将多余弃渣外运。

⑨加强大于施工人员的环保教育，提高全体施工人员的环保意识，坚持文明施工、科学施工、减少施工扬尘对大气环境的污染。加强对建设施工地的监督检查，督促责任单位落实降尘、抑尘措施。

（2）装修废气

项目装修阶段废气主要来自装修中使用的大量涂料、胶、石材、地砖、木材等材料挥发气体，这些废气含有甲醛、苯等物质，向环境中释放，污染源性质为无组织面源，对周围环境产生一定影响。建议采取以下防治措施：

①装修工程提倡绿色装修，采用符合国家标准的室内装饰和装修材料，从根本上降低装修废气对周围大气的污染；

②涂料和涂料喷涂产生的废气，对近距离接触的人体有一定危害，施工期的污染对象主要是施工人员，应采取必要的安全防护措施，如防护面具或口罩等。

通过采取上述措施，可以降低施工阶段对周围大气环境的影响，同时，这些影响随着施工期的结束而结束，不会对项目所在地环境空气质量造成明显影响。

2、施工期废水环境影响分析

施工期要废水包括施工废水及施工人员生活废水。

（1）施工废水

施工废水包括土方阶段排水、结构阶段混凝土养护排水及各种车辆冲洗废水等。类比同类工程，施工废水排放量约 $5\text{m}^3/\text{d}$ 。废水主要含油石油类污染物和大量悬浮物。

施工工地设临时沉淀池（有效容积 5m^3 ）1座，施工废水经沉淀处理后，回用于场地洒水降尘，不外排。

（2）施工人员生活污水

本项目施工高峰期工人人数可达 50 人左右，生活用水量按每人 $0.1\text{m}^3/\text{d}$ 计算，以排放系数为 0.8 计，生活污水排放量为 $4.0\text{m}^3/\text{d}$ 。废水主要污染物为 COD、氨氮、 BOD_5 、SS。

施工人员生活污水经临时卫生间下水管道接入城市污水管网，对所在地地表水环境影

响轻微。

3、施工期声环境影响评价

施工噪声采用理论模式进行预测分析，预测模式采用《环境影响评价技术导则--声环境》（HJ2.4-2021）工业噪声中室外点声源预测模式。本次仅考虑噪声的几何衰减，不考虑地面效应及围墙隔声量。

在距离点声源 $r\text{ m}$ 处的噪声值按下式计算：

$$L(r) = L(r_0) - \Delta L \dots\dots\dots \text{(式 11-2)}$$

其中： r —计算点至点声源的距离， m ；

r_0 —噪声测量点至操作位置的距离， $r_0=1\text{ m}$ ；

ΔL —点声源随传播距离增加引起的衰减量， dB(A) 。

点声源随传播距离增加引起的衰减量 ΔL 按下式计算： $\Delta L = 20 \lg(r/r_0)$

项目施工噪声源主要有挖掘机、推土机、运输车辆等。基础施工阶段施工机具最大噪声源强为 100dB(A) ，施工准备阶段和设备安装阶段施工机具最大噪声源强为 80dB(A) 。施工噪声随施工机具距离变化的预测值见表 11-3。

表 11-3 施工噪声影响计算值 单位： dB(A)

离噪声源距离（m）		1	5	10	20	30	80	100	178	200
施工阶段										
80dB(A)	施工准备阶段	80.0	66.0	60.0	54.0	50.5	41.9	40.0	35.0	34.0
100dB(A)	基础施工阶段	100.0	86.0	80.0	74.0	70.5	61.9	60.0	55.0	54.0
80dB(A)	设备安装阶段	80.0	66.0	60.0	54.0	50.5	41.9	40.0	35.0	34.0

由表 11-3 可以看出，昼间施工，施工机械在 20m 以外未超过建筑施工场界噪声限值（ 75dB(A) ），而在夜间施工不超标（ 55dB(A) ）的距离在 178m 左右。为了尽可能减少施工噪声影响，施工期应采取下列措施：①合理安排高噪声施工作业的时间，每天 22 点至次日晨 6 点禁止高噪声机械作业，尽可能减少对周围地区的影响。因特种要求必须连续作业的，必须有县级以上人民政府或者有关主管部门的证明，并且必须公告附近公民。②尽可能将高噪声源强施工机具布置在站址中央区域；③定期对施工设备进行维护，减小施工机具的施工噪声；④尽量避免推土机、挖土机等高噪声设备同时施工。

经采取上述有效措施后，可大大降低本项目施工过程中噪声对周围的影响。

4、施工期固废影响评价

施工期固体废物包括基础开挖产生的弃土、施工建筑垃圾，以及施工人员的生活垃圾。

（1）弃土

本项目土建阶段土石方产生量约 15773m³，表层土用于绿化用土，多余土石方量转运至建筑部门指定地点堆放。

(2) 建筑垃圾

建筑垃圾收集堆放于指定地点，其中可回收的由相关单位回收，其余运至当地建设部门指定填埋场处置。

(3) 生活垃圾

本项目施工高峰期工人人数为 50 人，生活垃圾产生量按 0.5kg/人.d 计，产生量为 25kg/d。生活垃圾定点集中收集后，由环卫部门统一清运。

综上所述，项目施工期间对环境存在一定的影响，但是这些影响具有时效性，随着施工期间的结束，对环境的影响也消除。只要工程在施工期严格执行上述基本要求，可以使施工期的环境影响降到最小程度。

运行阶段对环境的影响

一、辐射影响分析

本项目辐射作业区涉及Ⅱ类、Ⅲ类放射源和Ⅱ类射线装置，涉及使用 3 台设备，其中Ⅱ类放射源贮存在单源辐照装置中，Ⅲ类放射源贮存在多源辐照装置中。单源辐照装置位于 1#校准实验室内，多源辐照装置和 X 光机位于 2#校准实验室中。工作人员为 3 组，3 组工作人员分别操作 3 台设备，且 3 台设备不同时使用。

(一) 1#校准实验室（⁶⁰Co Ⅱ类放射源）

1.1 β 射线的辐射环境影响

当屏蔽材料的厚度等于或大于 β 粒子在该材料中的最大射程时，即可将 β 粒子完全挡住。参考《辐射防护导论》（方杰主编、李士骏主审，P127），当 0.01<E_β<2.5MeV 时，β 粒子在某材料的射程计算公式为：

$$R = 0.142 E^{(1.265-0.0954 \ln E)} \dots\dots\dots (式 11-3)$$

$$d=R/\rho \dots\dots\dots (式 11-4)$$

式中：R—最大射程，cm；
ρ—屏蔽材料密度，g/cm³；
E—β 粒子最大能量，MeV；
d—防护厚度，cm。

根据上述公式计算结果见下表：

表 11-4 β 射线最大射程及对应防护厚度计算结果

核素	β 射线最大能量 (MeV)	屏蔽材料	材料密度 (g/cm ³)	在屏蔽材料中的最大射程 (cm)	对应的防护厚度 (cm)
⁶⁰ Co	0.315	混凝土	2.2	0.029	0.0132

由上表可知，⁶⁰Co 衰变产生的 β 射线在铅中所能穿透的最大厚度为 0.29mm。本项目 1#校准实验室最小屏蔽厚度为 200mm（迷道内墙）混凝土，其厚度远超理论计算出的 β 射线穿透射程，能够完全屏蔽 β 射线。因此，本项目工作场所的辐射水平主要取决于 γ 射线。

1.2 γ 射线的辐射环境影响

1.2.1 关注点位

γ 射线空气比释动能治疗水平标准装置为固定式辐照装置，在检定过程中为定向照射，该实验室西墙体为主射辐射区，南、北、东及屋顶均为非主射区。装置摆放位置如下图所示。

图 11-1 1#校准实验室出束点位示意图

具体关注点如下图所示：

图 11-2 1#校准实验室关注点位示意图

表 11-5 1#校准实验室外主要关注点布置

场所	位置编号	位置	居留因子	照射途径	备注
1#校准实验室	A	西面屏蔽墙外0.3m（绿化地）（主射束方向）	1/4	有用射束	公众
	B	南面屏蔽墙外0.3m（1#控制室）	1	漏射、散射	职业
	C	东面屏蔽墙外0.3m（走廊）	1/4	漏射、散射	职业
	D	北面屏蔽墙外0.3m（源库）	1/16	漏射、散射	职业
	E	北面屏蔽墙外0.3m（2#校准实验室）	1/16	漏射、散射	职业
	F	屋顶墙外0.3m	/	漏射、散射	/
	g	防护门外0.3m	1	漏射、散射	职业

1.2.2 1#校准实验室剂量率参考控制水平

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），机房外各关注点的剂量率参考控制水平 H_c 由以下方法确定：

①使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子，求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $H_{c,d}$ ：

$$H_{c,d} = H_c / (t \cdot U \cdot T) \dots\dots\dots(\text{式 } 11-5)$$

式中： $H_{c,d}$ —导出剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

H_c —周剂量参考控制水平；本报告提出剂量管理约束值为职业人员 5mSv/a 、公众 0.1mSv/a ，年工作 50 周，则职业人员 $H_c=100\mu\text{Sv}/\text{周}$ 、公众 $H_c=2\mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

U —关注位置方向照射的使用因子；本项目取 1；

T —人员在相应关注点驻留的居留因子；

t —周照射时间， h ；

②关注点的最高剂量率参考控制水平 $H_{c,max}$ ：

人员居留因子 $T \geq 1/2$ 的场所， $H_{c,max} \leq 2.5\mu\text{Sv}/h$ ；

人员居留因子 $T < 1/2$ 的场所， $H_{c,max} \leq 10\mu\text{Sv}/h$ ；

为确保辐射安全，本次环评各关注点的最高剂量率参考控制水平 $H_{c,max}$ 均取 $2.5\mu\text{Sv}/h$ 。

③对不需要人员到达的实验室顶部，实验室顶表面外 30cm 处的剂量参考控制水平通常可取为 $100\mu\text{Sv}/h$ 。

④取①、②中较小者作为关注的剂量率参考控制水平 (H_c)。

由此确定的各关注点的剂量率参考控制水平和主要考虑的辐射束见下表。

表 11-6 1#校准实验室外各关注点剂量率参考控制水平和主要考虑的辐射束

关注点	居留因子	使用因子	照射类型	剂量率参考控制水平 (H_c) $\mu\text{Sv}/h$		
				$H_{c,d}$	$H_{c,max}$	H_c
A 西面屏蔽墙外 0.3m (绿化地) (主射束方向)	1/4	1	公众	10.0	2.5	2.5
B 南面屏蔽墙外 0.3m (1#控制室)	1	1	职业	125.0	2.5	2.5
C 东面屏蔽墙外 0.3m (走廊)	1/4	1	职业	500.0	2.5	2.5
D 北面屏蔽墙外 0.3m (源库)	1/16	1	职业	2000.0	2.5	2.5
E 北面屏蔽墙外 0.3m (2#校准实验室)	1/16	1	职业	2000.0	2.5	2.5
g 防护门外 0.3m	1	1	职业	125.0	2.5	2.5
F 屋顶墙外 0.3m	/	1	公众	/	100	100

注：1.居留因子取值参照《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)附录 A 表 A.1，控制室居留因子取 1，评价范围内办公场所取 1，其余走廊、绿化地无长时间驻留人员，因此均取 1/4，由于 2#校准实验室中装置与 1#校准实验室中装置不同时使用，在 1#校准实验室工作时，2#校准实验室在正常情况下无人员驻留，则居留因子取 1/16。

2.顶部为不可上人屋面，且实验室旁邻近建筑物的高度不在放射源点到实验室房顶内表面边缘所张立体角区域内，参考控制水平取 $100\mu\text{Sv}/h$ 加以控制。

1.2.3 屏蔽防护设计效能核实

(1) 有用线束主屏蔽区、漏射侧屏蔽墙厚度核算

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) 5.2.2.1, 有用线束和泄漏辐射屏蔽与剂量计算公示如下:

$$X = X_e \cdot \cos \theta \dots\dots\dots(\text{公式 11-6})$$

$$X_e = TVL \cdot \lg B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \dots\dots\dots(\text{公式 11-7})$$

$$B = \frac{\dot{H}_c}{\dot{H}_0} \cdot \frac{R^2}{f} \dots\dots\dots(\text{公式 11-8})$$

$$\dot{H}_0 = A \cdot K_\gamma \dots\dots\dots(\text{公式 11-9})$$

式中: X—屏蔽物质的屏蔽厚度, mm;

X_e —射线束在斜射路径上的有效屏蔽厚度, mm;

θ —斜射角, 即入射线与物质平面的法线夹角;

TVL_1 —辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度, mm;

TVL—辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚度, mm; 当未指明时 TVL_1 时, $TVL_1=TVL$;

B—屏蔽物质的屏蔽透射因子;

H_c —剂量率参考控制水平, $\mu\text{Sv/h}$;

R—辐射源至关注点的距离, m;

f—对有用线束为 1;

H_0 —放射源在距其 1m 处的剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

A—放射源的活度, MBq;

K_γ —放射源的空气比释动能率常数, $\mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$ 。

根据上述公式, 项目1#校准实验室有用线束主屏蔽墙和侧屏蔽墙核算结果见下表。

表 11-7 1#校准实验室有用线束和漏射屏蔽厚度核算结果

屏蔽体	θ	距放射源距离 (m)	剂量率参考控制水平 H_c ($\mu\text{Sv/h}$)	f	TVL_1	TVL	透射因子 B	理论计算厚度 (mm)	设计厚度 (mm)	核算结果
西墙	***	***	2.5	***	***	***	***	***	1200 混凝土	符合
南墙	***	***	2.5	***	***	***	***	***	800 混凝土	符合
东墙	***	***	2.5	***	***	***	***	***	800 混凝土	符合

北墙	***	***	***	***	***	***	***	***	900 混凝土	符合
顶墙	***	***	***	***	***	***	***	***	400 混凝土	符合

(2) 散射屏蔽厚度核算

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）5.2.2.2，关注点到达剂量率参考控制水平 H_c 时，设计的屏蔽所需要的屏蔽透射因子 B 按公式（11-10）计算，然后按照上式（11-7）计算所需的有效屏蔽厚度 X_e （mm），然后再按公式（11-6）转换为屏蔽厚度 X （mm）：

$$B = \frac{\dot{H}_c \cdot R_s^2 \cdot R_0^2}{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)} \dots\dots\dots(公式11-10)$$

式中： H_c —按照公式11-9确定的剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

R_s —位于等中心点至关注点的距离，m；

R_0 —放射源与等中心位置之间的距离，本项目取1m；

H_0 —放射源在距其1m处的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

α_{ph} —患者 400cm^2 面积上垂直入射 γ 射线散射至距其1m(关注点方向)处的剂量相对于等中心处剂量的份额，又称 400cm^2 面积上的散射因子，见表C.3，本项目取 3.7×10^{-3} ；

F —治疗装置有用线束在等中心处的最大治疗野面积，单位为平方厘米(cm^2)，因为本项目待测仪器为1m处，则 $(F/400)$ 取值为1；

屏蔽体厚度计算见式11-10、式11-7。

散射关注点选取见图11-2。

表 11-8 1#校准实验室散射屏蔽墙厚度计算参数及设计参数比对一览表

屏蔽体	R_s (m)	R_0 (m)	剂量率参考 控制水平 H_c ($\mu\text{Sv/h}$)	最小 散射 角度	TVL	α_{ph}	透射因子 B	理论计 算厚度 (mm)	设计厚 度 (mm)	核算 结果
南墙	***	***	2.5	***	***	***	***	***	800	符合
东墙	***	***	2.5	***	***	***	***	***	800	符合
北墙	***	***	2.5	***	***	***	***	***	900	符合

顶墙	***	***	100	***	***	***	***	***	400	符合
----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----

注：***

(3) 防护门屏蔽厚度核算

本项目实验室防护门外由3个路径“o→g”、“o→o₁→g”、“o→o₁→i→g”产生的辐射剂量率组成。路径“o→g”会穿过迷道墙（200mm混凝土，角度按照60°计算），其计算公式按照11-6至11-9，计算结果如下表所示：

表 11-9 防护门内剂量计算（路径 o→g）

路径	距离 R (m)	H _c (μSv/h)	H ₀ (μSv/h)	f	迷道厚度 (mm)	TVL ₁	TVL	门内剂量 (μSv/h)
O→g	***	2.5	***	***	***	***	***	***

路径“o→o₁→g”会穿过部分南墙（根据设计图纸，按照有效屏蔽厚度1169.5mm混凝土计算），计算公式按照式11-10计算，计算结果如下表所示：

表 11-10 防护门内剂量计算（路径 o→o₁→g）

路径	R _s (m)	R ₀ (m)	H _c (μSv/h)	最小散射角度	TVL	α _{ph}	南墙有效屏蔽厚度 (mm)	透射因子 B	门内剂量 (μSv/h)
0→o ₁ →g	***	***	2.5	***	***	***	***	***	***

路径“o→o₁→i→g”产生的二次散射辐射剂量率计算公式见11-11 所示。

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot S}{R_2^2} \cdot \frac{\dot{H}_0}{R_0^2} \dots\dots\dots(公式11-11)$$

式中：α_{ph}—同上；

F—同上；

α₂—混凝土墙对入射的患者散射辐射（能量见表C.2）的散射因子，通常取i处的入射角为45°，散射角为0°，α₂值见表C.4；

S—i处的散射面积，m²；

H₀—放射源在距其1m处的剂量率，μSv/h；

R₁—“O₁→i”之间的距离，m；

R₂—“i→g”之间的距离，m；

R₀—放射源与等中心位置之间的距离，本项目取1m；

计算结果如下表所示：

表 11-11 防护门内剂量计算（路径 $o \rightarrow o_1 \rightarrow i \rightarrow g$ ）

路径	R1 (m)	R2 (m)	R ₀ (m)	H _c (μSv/h)	最小 散射 角度	TVL	α _{ph}	α ₂	S (m ²)	门内剂量 (μSv/h)
$o \rightarrow o_1$ $\rightarrow i \rightarrow$ g	***	***	***	2.5	**	**	**	**	**	**

由表 11-9~表 11-11 可知，实验室防护门内总剂量为“ $o \rightarrow g$ ”+“ $o \rightarrow o_1 \rightarrow g$ ”+“ $o \rightarrow o_1 \rightarrow i \rightarrow g$ ”，满足要求。

（4）复合分析

表 11-12 1#校准实验室厚度计算参数及设计参数比对一览表

屏蔽体	贯穿辐射屏蔽理论 计算混凝土厚度 (mm)	散射线束辐射屏蔽 理论计算混凝土厚 度(mm)	理论计算混凝土 厚度((mm)	设计厚度 ((mm)	复核 结果
西墙	***	***	***	1200	符合
南墙	***	***	***	800	符合
东墙	***	***	***	800	符合
北墙	***	***	***	900	符合
顶墙	***	***	***	400	符合
防护门	***	***	***	12铅	符合

注：***

（5）小结

由本节分析计算可知，1#校准实验室屏蔽体和防护门的理论计算厚度均小于设计厚度，表明本项目实验室设计厚度满足辐射防护要求。

1.2.41#校准实验室屏蔽体外剂量估算

1.2.4.1 出源状态下

（1）关注点位选取

从保守角度出发，假定 γ 射线空气比释动能治疗水平标准装置以最大工况（年出束时间为20h）运行，关注点如上图11-2、表11-5所示。本项目1#校准实验室内工作状态时主射线方向固定朝向西墙照射，准直器能够确保射线束为窄束。

（2）预测模式

A、有用线束、漏射贯穿估算

首先按公式（11-12）计算有效厚度 $X_e(\text{cm})$ ，计算公式如下：

$$X_e = X \sec \theta \dots\dots\dots \text{（式 11-12）}$$

式中： X_e —射线束在斜射路径上的有效屏蔽厚度，(cm)；

X —屏蔽墙体厚度，(cm)；

θ —入射角夹角。

然后，按公式（11-13）估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B ，再按公式（11-14）计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 $\dot{H}$ ($\mu\text{Sv/h}$)。

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1) / TVL} \dots\dots\dots \text{（式 11-13）}$$

式中， TVL_1 (cm)和 TVL (cm)为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度。当未指明 TVL_1 时， $TVL_1 = TVL$ 。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \dots\dots\dots \text{（式 11-14）}$$

式中： $\dot{H}_0$ —放射源在距其 1m 处的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

f —对有用束为 1；

R —辐射源点(靶点)至关注点的距离，m；

B —屏蔽物质的屏蔽透射因子。

B、散射估算

首先按公式（11-7）计算有效厚度 X_e (cm)，接着，按公式（11-9）计算屏蔽透射因子，再按公式（11-11）计算辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 $\dot{H}$ ($\mu\text{Sv/h}$)。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2 \cdot R_0^2} \cdot B \dots\dots\dots \text{（公式 11-15）}$$

式中： $\dot{H}_0$ —放射源在距其 1m 处的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

α_{ph} —患者 400cm^2 面积上垂直入射 γ 射线散射至距其 1 m(关注点方向)处的剂量相对于等中心处剂量的份额,又称 400cm^2 面积上的散射因子，见表 C.3，本项目 α_{ph} 取 45° 散射因子未 3.7×10^{-3} ；

F —治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 ；

R_s —位于等中心点至关注点的距离，m；

B —屏蔽物质的屏蔽透射因子。

（3）预测参数选取及结果

本项目1#校准实验室外辐射剂量预测结果见表11-13。

表11-13 ^{60}Co 出束状态1#校准实验室周围剂量率预测表

关注点	辐射类型	屏蔽厚度	距放射源距离（m）	屏蔽透射因子B	周围剂量当量率（μSv/h）		备注
A西面屏蔽墙外0.3m（绿化地）	有用射束	西墙1200mm混凝土	***	4.16×10 ⁻⁶	7.32×10 ⁻¹		公众
B南面屏蔽墙外0.3m（1#控制室）	漏射	南墙800mm混凝土	***	2.85×10 ⁻⁴	5.40×10 ⁻⁶	5.61×10 ⁻³	职业
	散射		***	1.81×10 ⁻⁶	5.60×10 ⁻³		
C东面屏蔽墙外（迷道）0.3m（走道）	漏射	东墙800mm混凝土	***	2.85×10 ⁻⁴	2.35×10 ⁻⁶	2.54×10 ⁻³	职业
	散射		***	1.81×10 ⁻⁶	2.54×10 ⁻³		
D北面屏蔽墙外0.3m（源库）	漏射	北墙900mm混凝土	***	8.55×10 ⁻⁵	1.35×10 ⁻⁶	1.01×10 ⁻³	职业
	散射		***	3.46×10 ⁻⁷	1.01×10 ⁻³		
E北面屏蔽墙外0.3m（2#校准实验室）	漏射	北墙900mm混凝土	***	8.55×10 ⁻⁵	1.35×10 ⁻⁶	1.01×10 ⁻³	职业
	散射		***	3.46×10 ⁻⁷	1.01×10 ⁻³		
F屋顶墙外0.3m（半空）	漏射	顶墙400mm混凝土	***	1.95×10 ⁻²	4.43×10 ⁻⁴	5.66	/
	散射		***	1.34×10 ⁻³	5.66		
g防护门外0.3m处（1#控制室）	漏射	防护门58mmPb	***	3.85×10 ⁻²	3.85×10 ⁻²		职业
	散射		***				
	散射		***				

由上述计算可知, ^{60}Co 出束状态下1#校准实验室周围剂量率最大为 $5.66\mu\text{Sv/h}$ (屋顶处, 不上人屋面), 低于 $100\mu\text{Sv/h}$ 剂量率参考控制水平; ^{60}Co 出束状态下1#校准实验室周围剂量率除屋顶外最大为 $7.32 \times 10^{-1}\mu\text{Sv/h}$ (出现在西面屏蔽墙外0.3m (绿化地) 外), 低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 剂量率参考控制水平, 说明本项目 ^{60}Co 出束状态下, 1#校准实验室四周墙体、防护门、室顶的防护均可以满足辐射防护要求。

(4) 职业人员、公众年有效剂量估算

由式 11-16 估算各关注点的年附加有效剂量:

$$E = H \times 10^{-3} \times q \times h \times W_T \dots\dots\dots \text{(公式 11-16)}$$

式中:

H—关注点的剂量当量， $\mu\text{Sv/h}$ ；

E—关注点的附加有效剂量， $\mu\text{Sv/a}$ ；

h—工作负荷，本项目取 40h/a；

q—居留因子，经常有人员停留的地方取 1，有部分时间有人员停留的地方取 1/4，偶然有人员经过的地方取 1/16；

W_T —组织权重因数，全身为 1。

以此计算出各关注年有效剂量，计算结果见表 11-14。

表 11-14 本项目 1#校准实验室照射期间周围各关注点的年有效剂量估算表

关注点	点位描述	剂量当量预测结果 ($\mu\text{Sv/h}$)	年出束时间 (h/a)	居留因子	有效年剂量 (mSv/a)	受照者类型
A	西面屏蔽墙外 0.3m (绿化地)	7.32×10^{-1}	***	***	7.32×10^{-3}	公众
B	南面屏蔽墙外 0.3m (1#控制室)	5.61×10^{-3}	***	***	2.24×10^{-4}	职业
C	东面屏蔽墙外 (迷道) 0.3m (走廊)	2.54×10^{-3}	***	***	2.54×10^{-5}	职业
D	北面屏蔽墙外 0.3m (源库)	1.01×10^{-3}	***	***	2.53×10^{-6}	职业
E	北面屏蔽墙外 0.3m (2#校准实验室)	1.01×10^{-3}	***	***	2.53×10^{-6}	职业
g	防护门外 0.3m 处 (1#控制室)	3.85×10^{-2}	***	***	1.54×10^{-3}	职业

1.2.4.2 未出源状态下

(1) 关注点位选取

各预测点如上节表 11-2 和图 11-1。

(2) 预测模式

按公式 (11-14) 进行估算。

(3) 预测参数选取及结果

在非工作状态时，放射源处于装置的屏蔽位。根据建设单位提供的设计资料，本项目拟使用的 γ 射线空气比释动能治疗水平标准装置外壳屏蔽设计指标为“当源处于屏蔽位置时，离装置表面5cm处的泄露辐射水平小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”。本项目装置1m处剂量率保守取 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，计算结果如下。

表11-15 未出源状态下墙外剂量计算参数及结果表

关注点	R 到关注点距离 (m)	装置1m处剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	辐射剂量预测值 ($\mu\text{Sv/h}$)	年居留时间 (h/a)	居留因子	年有效剂量 (mSv/a)	备注
A西面屏蔽墙外0.3m (绿化地) (主射束方向)	***	2.5	2.71×10^{-7}	***	***	1.38×10^{-7}	公众
B南面屏蔽墙外0.3m (1#控制室)	***	2.5	1.64×10^{-4}	***	***	1.29×10^{-5}	职业
C东面屏蔽墙外0.3m (走廊)	***	2.5	5.20×10^{-5}	***	***	1.04×10^{-6}	职业
D北面屏蔽墙外0.3m (源库)	***	2.5	4.29×10^{-5}	***	***	2.15×10^{-7}	职业
E北面屏蔽墙外0.3m (2#校准实验室)	***	2.5	4.29×10^{-5}	***	***	2.15×10^{-7}	职业
g防护门外0.3m	***	2.5	1.32×10^{-2}	***	***	1.06×10^{-3}	职业

注1: ****

注2: ****

1.2.5 1#校准实验室屏蔽体外辐射剂量叠加分析

本项目1#校准实验室屏蔽体外辐射剂量叠加值为出源工作状态下和非出源状态下的叠加，叠加结果如下表所示。

表 11-161#校准实验室屏蔽体外辐射剂量叠加结果

点位描述	受照剂量 (mSv/a)			备注
	未出源状态	出源状态	合计	
A 西面屏蔽墙外 0.3m (绿化地) (主射束方向)	1.38×10^{-7}	7.32×10^{-3}	7.32×10^{-3}	公众
B 南面屏蔽墙外 0.3m (1#控制室)	1.29×10^{-5}	2.24×10^{-4}	2.37×10^{-4}	职业
C 东面屏蔽墙外 (迷道) 0.3m (走廊)	1.04×10^{-6}	2.54×10^{-5}	2.64×10^{-5}	职业
D 北面屏蔽墙外 0.3m (源库)	2.15×10^{-7}	2.53×10^{-6}	2.74×10^{-6}	职业
E 北面屏蔽墙外 0.3m (2#校准实验室)	2.15×10^{-7}	2.53×10^{-6}	2.74×10^{-6}	职业
g 防护门外 0.3m 处 (1#控制室)	1.06×10^{-3}	1.54×10^{-3}	2.60×10^{-3}	职业

注 1: 职业人员为 B+g 点的叠加，为 $2.83 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ 。

由上表可知，正常工况下，本项目 1#校准实验室屏蔽体周边职业人员最大受照射剂量为 $2.83 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ ，公众最大受照射剂量为 $7.32 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ 。满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)规定的剂量限值（职业照射 20mSv/a、公众照射 1mSv/a），满足本报告提出的照射剂量约束值（职业照射 5mSv/a、公众照射 0.1mSv/a）。

1.2.6 1#校准实验室屏蔽体外主要环境保护目标影响分析

对表7-1中主要环境保护目标结合表11-17中的数据分析见下表。

表11-17 1#校准实验室屏蔽体外环境保护目标年有效剂量预测结果

辐射场所	保护目标	人数	相对方位描述	年附加有效剂量叠加估算	地点	备注
1#校准实验室	辐射工作人员	3 人	1#校准实验室南侧	$1.37 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$	1#控制室	职业人员
			1#校准实验室南侧防护门外			
	其他辐射工作人员	3 人	1#校准实验室北侧	$1.71 \times 10^{-4} \text{mSv/a}$	防护 X、 γ 实验室	职业人员
	其他辐射工作人员	约 2 人	1#校准实验室北侧	$3.61 \times 10^{-7} \text{mSv/a}$	产品检测室	职业人员
	其他岗位人员	约 2 人	1#校准实验室北侧	$6.92 \times 10^{-7} \text{mSv/a}$	高低温实验室	公众
	其他岗位人员	约 4 人	1#校准实验室东侧	$1.44 \times 10^{-5} \text{mSv/a}$	生产作业区	公众
	流动人员	约 10 人	1#校准实验室西侧	$7.32 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$	绿化地	公众
	中广核同位素项目宿舍人员	约 20 人	1#校准实验室南侧	$1.04 \times 10^{-6} \text{mSv/a}$	中广核同位素项目宿舍	公众

由表 11-14 可知，本项目营运期主要环境保护目标受照射剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)规定的剂量限值(职业照射 20mSv/a、公众照射 1mSv/a)，同时满足本报告提出的照射剂量约束值(职业照射 5mSv/a、公众照射 0.1mSv/a)。

(二) 2#校准实验室 (^{137}Cs 、 ^{60}Co 、 ^{241}Am III类放射源和 II 类射线装置)

1 实验室屏蔽体屏蔽效能分析

由于本项目 2#校准实验室中拟使用 γ 射线空气比释防护水平标准装置和 X 光机，两台设备不同时开。X 光机最大管电压为 320kV，最大管电流为 22.5mA， γ 射线空气比释防护水平标准装置工作状态时仅有 1 枚放射源进行照射，根据 ^{60}Co 、 ^{137}Cs 、 ^{241}Am 核素特性和放射源活度等，对 1m 处剂量率进行比较，发现 X 光机 1m 处剂量率最大，因此本次评价以 X 光机产生的 X 射线来校核屏蔽体厚度，实验室在满足对 X 射线的屏蔽要求下，也可满足对其他放射源的屏蔽要求。

表11-18 2#校准实验室中放射源和X光机1m处剂量率比较

名称	^{60}Co	^{137}Cs	X 光机
1m 处剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	2.28×10^4	7.12×10^4	4.12×10^7

注：由于 ^{241}Am 的活度较小，此处不考虑 ^{241}Am 在 1m 处剂量率。

1.1 关注点位

X光机在检定过程中为定向照射，该实验室南墙体为主射辐射区，东、西、北及屋顶均为非主射区。装置摆放位置如下图所示。

图 11-4 2#校准实验室关注点位示意图

其中O点为放射源出束点位置，出束点距地面高1.97m、距东侧墙面3.4m、距南侧墙面10.9m、距西侧墙面2.6m，距北侧迷道1.1m、距北侧墙面2.8m；O₂点为X光机靶点位置，出束点距地面高1.60m、距东侧墙面2.5m、距南侧墙面10.9m、距西侧墙面3.5m，距北侧迷道1.1m、距北侧墙面2.8m。理论计算时，选取2#校准实验室四面墙壁、顶部及防护门外表面30cm处作为关注点位，具体关注点如下图所示：

表 11-18 2#校准实验室外主要关注点布置

位置编号	位置	居留因子	照射途径	备注
A	南面屏蔽墙外0.3m（1#校准实验室）（主射束方向）	1/16	主射束	职业
B	东面屏蔽墙外0.3m（源库）	1/16	漏射、散射	职业
C	东面屏蔽墙外0.3m（2#控制室）	1	漏射、散射	职业
D	北面屏蔽墙外0.3m（产品检测室）	1/16	漏射、散射	职业
E	西面屏蔽墙外0.3m（厂区内绿化地）	1/4	漏射、散射	公众
F	屋顶墙外0.3m	1/16	漏射、散射	/
g	防护门外0.3m	1	漏射、散射	职业

1.2 2#校准实验室剂量率参考控制水平

2#校准实验室外各关注点的剂量率参考控制水平 $H_{c,d}$ 由公式11-5得出。

由上述公式确定的各关注点的剂量率参考控制水平和主要考虑的辐射束见下表。

表 11-19 2#校准实验室外各关注点剂量率参考控制水平和主要考虑的辐射束

关注点	居留因子	使用因子	照射类型	剂量率参考控制水平（ H_c ） $\mu\text{Sv/h}$		
				$H_{c,d}$	$H_{c,max}$	H_c
A 南面屏蔽墙外 0.3m（1#校准实验室）（主射束方向）	1/16	1	职业	2000.0	2.5	2.5
B 东面屏蔽墙外 0.3m（源库）	1/16	1	职业	2000.0	2.5	2.5
C 东面屏蔽墙外 0.3m（2#控制室）	1	1	职业	125.0	2.5	2.5
D 北面屏蔽墙外 0.3m（产品检测室）	1/16	1	职业	2000.0	2.5	2.5
E 西面屏蔽墙外 0.3m（厂区内绿化地）	1/4	1	公众	10.0	2.5	2.5
F 屋顶墙外 0.3m	1/16	1	/	/	100	100

g 防护门外 0.3m（控制室）	1	1	职业	125.0	2.5	2.5
------------------	---	---	----	-------	-----	-----

注：1.本报告提出剂量管理约束值为职业人员 5mSv/a、公众 0.1mSv/a，年工作 50 周，则职业人员 Hc=100μSv/周、公众 Hc=2μSv/周；
2.居留因子取值参照《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）附录 A 表 A.1，控制室居留因子取 1，评价范围内办公场所取 1，其余走廊、绿化地无长时间驻留人员，因此均取 1/4，由于 1#校准实验室中装置与 2#校准实验室、产品检测室中装置不同时使用，在 2#校准实验室的装置工作时，1#校准实验室和产品检测室在正常情况下无人员驻留，则居留因子取则居留因子取 1/16。
3.顶部为不可上人屋面，且实验室旁邻近建筑物的高度不在放射源点到实验室房顶内表面边缘所张立体角区域内，参考控制水平取 100μSv/h 加以控制。

1.3 屏蔽防护设计效能核实

（1）有用线束照射墙体屏蔽厚度核算

本项目中新建X光机主射方向为南侧，参考《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）要求，关注点达到剂量参考控制水平Hc时，屏蔽设计所需的屏蔽透射因子B按公式11-17计算，然后由附录B.1的曲线查出相应的屏蔽物质厚度X。

$$B = \frac{\dot{H}_c \cdot R^2}{I \cdot H_0} \dots\dots\dots \text{(公式 11-17)}$$

式中：B—屏蔽透射因子；

Hc—剂量率参考控制水平，μSv/h；

H0—距辐射源点（靶点）1m处输出量，μSv/h；以R/（mA·min）为单位时，R/Sv转换系数为0.00873，该参数×电流mA×R/Sv换算系数×1000得出1m处的辐射空气吸收剂量率（mGy/min），再乘以60000；（本项目为3.5R/（mA·min），换算为4.12×10⁷μSv/h。0.5mmCu过滤板，查《辐射防护手册（第一分册）辐射源与屏蔽辐射屏蔽》P237中图4.4d，恒定电压为200-500kV的X射线机的输出量得知。）

R—辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

I—X射线装置在额定管电压下的常用额定管电流，mA；22.5mA

对于估算出的屏蔽透射因子 B，所需的屏蔽物质厚度 X 按下式计算：

$$X = -TVL \cdot \lg B \dots\dots\dots \text{(公式 11-18)}$$

式中：B—达到剂量参考控制水平 Hc 时所需的屏蔽透射因子；

TVL—见GBZ/T250-2014附录B表B.2。（本项目额定管电压为320kV，什值层和半值层查GBZ250-2014附录表B.2，什值层厚度约100mm混凝土，半值层厚度为30mm混凝土）

表 11-20 2#校准实验室南侧墙体有用线束辐射屏蔽厚度计算参数表

屏蔽设施	R (m)	Hc (μSv/h)	B	理论计算厚度 (mm)	实际设计厚度 (mm)	是否满足要求
------	----------	---------------	---	----------------	----------------	--------

南侧墙体	***	***	***	***	900 混凝土	满足
------	-----	-----	-----	-----	---------	----

(2) 漏射辐射屏蔽厚度核算

参考《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022), 当 X 射线管电压高于 200kV 时, 距其焦点 1m 处的漏射辐射剂量率应不大于 $5 \times 10^3 \mu\text{Sv/h}$ 。屏蔽射线因子根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014) 要求由公式 11-19 计算。

$$B = \frac{H_c \times R^2}{H_L} \dots\dots\dots(\text{公式 11-19})$$

式中:

- H_c—剂量率参考控制水平, $\mu\text{Sv/h}$;
- H_L—距离靶点 1m 处 X 射线管组装的漏射辐射剂量率, $5 \times 10^3 \mu\text{Sv/h}$;
- R—参考点离靶点的距离, m;
- B—屏蔽透射因子;

对于估算出的屏蔽透射因子 B, 所需的屏蔽物质厚度 X 按下式计算:

$$X = -TVL \cdot \lg B \dots\dots\dots(\text{公式 11-20})$$

式中: B—达到剂量参考控制水平 H_c 时所需的屏蔽透射因子;

TVL—见GBZ/T250-2014附录B表B.2。

2#校准实验室东侧、北侧、西侧、顶部墙体及防护门屏蔽参数选取及计算结果见下表。

表 11-21 2#校准实验室东侧、北侧、西侧、顶部墙体及防护门漏射辐射屏蔽厚度计算参数

参数	参考控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	参考点离靶点距 离 R (m)	屏蔽透射因子 B	理论计算屏蔽厚 度 (mm)
墙体				
东侧墙体	2.5	***	***	***
北侧墙体	2.5	***	***	***
西侧墙体	2.5	***	***	***
顶板	100	***	***	***
防护铅门	2.5	***	***	***

注 1: ***。

(3) 散射辐射屏蔽厚度核算

散射辐射屏蔽射线因子由公式 11-6 计算。

$$B = \frac{H_c \times R_s}{I \times H_0} \times \frac{R_0^2}{F \times \alpha} \dots\dots\dots(\text{公式 11-21})$$

式中:

- H_c—关注点剂量率参考水平, $\mu\text{Sv/h}$;

R_s —散射体至关注点的距离，m；

R_0 —靶点至待标定设备的距离，取 1m；

I —额定管电流，取 22.5mA；

H_0 —距离靶点 1m 处输出量；

α —散射因子， $R_0^2/(F \cdot \alpha)$ 因子的值为 50 (200kV~400kV)。

对于估算出的屏蔽透射因子 B ，所需的屏蔽物质厚度 X 按下式计算：

$$X = -TVL \cdot \lg B \dots\dots\dots (公式 11-22)$$

式中： B —达到剂量参考控制水平 H_c 时所需的屏蔽透射因子；

TVL —见 GBZ/T250-2014 中表 2 查出：原始 X 射线 $300 < kV \leq 400$ 时，X 射线 90° 散射辐射为 250kV，查附录 B 表 B.2 X 光机 320kV。

2#校准实验室东侧、北侧、西侧、顶部墙体及防护门屏蔽参数选取及计算结果见下表。

表 11-22 2#校准实验室东侧、北侧、西侧、顶部墙体及防护门散射辐射屏蔽厚度计算参数

墙体 \ 参数	参考控制水平 ($\mu Sv/h$)	散射体至关注点的距 离 (m)	透射因子 B	理论计算屏蔽厚度
东侧墙体	2.5	***	***	***
北侧墙体	2.5	***	***	***
西侧墙体	2.5	***	***	***
顶板	100	***	***	***
防护铅门	2.5	***	***	***

注 1: ***。

(4) 漏射与散射线束辐射屏蔽复合分析

根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014)，当漏射辐射的屏蔽厚度与散射辐射的屏蔽厚度相差一个什值层(TVL)厚度或更大时(本项目额定管电压为 320kV，什值层和半值层查 GBZ250-2014 附录表 B.2，混凝土什值层厚为 100mm，混凝土半值层厚为 30mm；铅插值计算什值层厚为 6.2mm，铅半值层为 1.86mm)，采用其中较厚的屏蔽，当相差不足一个 TVL 时，则在较厚的屏蔽上增加一个半值层(HVL)厚度(30mm 混凝土)。因此 2#校准实验室四周墙体及防护门需要的屏蔽厚度情况见下表。

表 11-23 2#校准实验室四周墙体、顶板及防护门屏蔽厚度计算汇总表

墙体 \ 参数	漏射辐射理论 计算屏蔽厚度 (mm)	散射辐射理论 计算屏蔽厚度 (mm)	复合分析屏蔽 厚度 (mm)	实际设计厚度 (mm)	是否满足屏蔽 要求
东侧墙体	***	***	***	600 混凝土	满足
北侧墙体	***	***	***	600 混凝土	满足

西侧墙体	***	***	***	600 混凝土	满足
顶板	***	***	***	400 混凝土	满足
防护铅门	***	***	***	6 铅	满足

(5) 小结

根据以上计算，本项目 2#校准实验室各屏蔽体理论计算厚度与实际设计厚度见下表。

表 11-24 2#校准实验室各屏蔽体理论计算厚度与实际设计厚度对照表

墙体	理论计算厚度	实际设计厚度	是否满足要求
南侧墙体	***	900 混凝土	满足
东侧墙体	***	600 混凝土	满足
北侧墙体	***	600 混凝土	满足
西侧墙体	***	600 混凝土	满足
顶板	***	400 混凝土	满足
防护铅门	***	6 铅	满足

由上表可知，2#校准实验室屏蔽体和防护门的理论计算厚度均小于设计厚度，表明本项目实验室设计厚度满足辐射防护要求。

2 辐射环境影响分析

2.1 X射线环境影响分析

2.1.1 防护X/γ屏蔽体外剂量估算

根据照射条件，职业人员及公众受照射剂量根据式11-23~式11-27计算。各参数取值见表11-22。

主射线束辐射剂量估算：

$$H = \frac{H_0 \times I \times B}{R^2} \dots\dots\dots(\text{公式 11-23})$$

漏射和散射线束辐射剂量估算：

$$H = H_{\text{漏}} + H_{\text{散}} \dots\dots\dots(\text{公式 11-24})$$

$$H_{\text{漏}} = \frac{H_L \times B_1}{R^2} \dots\dots\dots(\text{公式 11-25})$$

$$H_{\text{散}} = \frac{I \times H_0 \times B_2}{R_s^2} \times \frac{F \times \alpha}{R_0^2} \dots\dots\dots(\text{公式 11-26})$$

$$B = 10^{-X/TVL} \dots\dots\dots(\text{公式 11-27})$$

式中：

H—关注点的剂量当量，(μSv/h)；

H₀—距辐射源点 1m 处输出量，(取 4.12×10⁷μSv·m²/ (mA·h)；

H_L —距辐射源点 1m 处泄露辐射剂量率, (取 $5 \times 10^3 \mu\text{Sv/h}$);

I —额定管电流, (取 22.5mA);

R —参考点到辐射源的距离, m;

B —屏蔽透射因子;

F — R_0 处的辐射野面积, 单位为平方米 (m^2);

α —散射因子, 新建系统 $R_0^2 / (F \cdot \alpha)$ 因子的值为 50 (200kV~400kV);

R_0 —辐射源点 (靶点) 至待标定设备的距离, 单位为米 (m), (取 1m);

R_s —散射体至关注点的距离, (m);

X —屏蔽物质厚度, 与 TVL 取相同单位;

TVL—见《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014) 中附录 B 表 B.2。(根据规范中表 2, 本项目 X 光机额定管电压为 320kV, 在 300kV~400kV 之间, 散射最高电压为 250kV, TVL 取 90mm 混凝土。320kV 对应的什值层和半值层查 GBZ250-2014 附录 B 表 B.2, 混凝土什值层厚为 100mm, 混凝土半值层厚为 30mm);

(1) 2#校准实验室南侧墙体方向为主射方向, 其受照射剂量主要考虑有用线束辐射; 东侧、北侧、西侧墙体及顶板为漏射线和散射线的照射方向, 其受照射剂量主要考虑漏射辐射和散射辐射影响。X 光机开机时, 屏蔽体外各关注点处的剂量率见下表。

表 11-25 2#校准实验室中 X 光机运行期间各关注点的剂量率估算表

关注点	点位描述	X (mm)	B	R (m)	H ($\mu\text{Sv/h}$)	H ($\mu\text{Sv/h}$)	线束类型	受照类型
A	南面屏蔽墙外 0.3m (1#校准实验室)(主射束方向)	900 混凝土	1.00×10^{-9}	***	2.86×10^{-4}	2.86×10^{-4}	有用线束	职业
B	东面屏蔽墙外 0.3m (源库)	600 混凝土	1.00×10^{-6}	***	4.33×10^{-4}	3.46×10^{-1}	漏射	职业
			2.15×10^{-7}	***	3.46×10^{-1}		散射	
C	东面屏蔽墙外 0.3m (2#控制室)	600 混凝土	1.00×10^{-6}	***	4.33×10^{-4}	3.46×10^{-1}	漏射	职业
			2.15×10^{-7}	***	3.46×10^{-1}		散射	
D	北面屏蔽墙外 0.3m (产品检测室)	1100 混凝土	1.00×10^{-11}	***	3.65×10^{-9}	5.07×10^{-7}	漏射	职业
			5.99×10^{-13}	***	5.03×10^{-7}		散射	
E	西面屏蔽墙外 0.3m (厂区内绿化地)	600 混凝土	1.00×10^{-6}	***	2.58×10^{-4}	2.01×10^{-1}	漏射	公众
			2.15×10^{-7}	***	2.01×10^{-1}		散射	
F	屋顶墙外 0.3m	400 混凝土	1.00×10^{-4}	***	4.88×10^{-2}	65.1	漏射	/
			3.59×10^{-5}	***	65.1		散射	
g	防护门外 0.3m (控	500 混凝土	1.00×10^{-5}	***	3.46×10^{-3}	4.64×10^{-3}	漏射	职业

制室)	土 迷 道 +6 铅	2.37×10^{-8}	***	1.18×10^{-3}		散射	
-----	---------------	-----------------------	-----	-----------------------	--	----	--

2.1.2 职业照射和公众照射剂量估算

由式 11-28 估算各关注点的年附加有效剂量:

$$E = H \times 10^{-3} \times q \times h \times W_T \dots\dots\dots(\text{公式 11-28})$$

式中:

H—关注点的剂量当量, $\mu\text{Sv/h}$;

E—关注点的附加有效剂量, $\mu\text{Sv/a}$;

h—工作负荷, h/a;

q—居留因子, 经常有人员停留的地方取 1, 有部分时间有人员停留的地方取 1/4, 偶然有人员经过的地方取 1/16;

W_T —组织权重因数, 全身为 1。

2#校准实验室周围关注点环境影响各参数取值见表 11-23。

由此估算的 X 光机运行期间试验室周围各关注点的年附加有效剂量见下表。

表 11-26 本项目 X 光机运行期间周围各关注点的年有效剂量估算表

关 注 点	点位描述	剂量当量预测 结果 ($\mu\text{Sv/h}$)	工作负 荷(h/a)	居 留 因子	年有效剂量预测结 果 (mSv/a)	受照者 类型
A	南面屏蔽墙外 0.3m (1#校准实验室) (主射束方向)	2.86×10^{-4}	***	***	7.15×10^{-7}	职业
B	东面屏蔽墙外 0.3m (源库)	3.46×10^{-1}	***	***	8.66×10^{-4}	职业
C	东面屏蔽墙外 0.3m (2#控制室)	3.46×10^{-1}	***	***	1.39×10^{-2}	职业
D	北面屏蔽墙外 0.3m (产品检测室)	5.07×10^{-7}	***	***	1.27×10^{-9}	职业
E	西面屏蔽墙外 0.3m (厂区内绿化地)	2.01×10^{-1}	***	***	2.01×10^{-3}	公众
F	屋顶墙外 0.3m	65.1	***	***	1.63×10^{-1}	/
g	防护门外 0.3m (控制室)	4.64×10^{-3}	***	***	1.86×10^{-4}	职业

根据上表可知, 正常工况下, 经屏蔽体屏蔽后, 职业人员最大受照射剂量为 $1.39 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$, 公众人员最大受照射剂量为 $2.01 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$, 满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)规定的剂量限值 (职业照射 20mSv/a 、公众照射 1mSv/a), 满足本报告提出的照射剂量约束值 (职业照射 5mSv/a 、公众照射 0.1mSv/a)。

2.1.3 环境保护目标影响分析

表11-27 2#校准实验室屏蔽体外环境保护目标年有效剂量预测结果

辐射场 所	保护目标	人数	相对方位描述	年附加有效剂量 叠加估算	地点	备注
----------	------	----	--------	-----------------	----	----

1#校准实验室	辐射工作人员	3 人	2#校准实验室东侧控制室	$1.41 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$	1#控制室	职业人员
			2#校准实验室东侧防护门外			
	其他辐射工作人员	约 1 人	2#校准实验室东侧	$8.66 \times 10^{-4} \text{mSv/a}$	源库	职业人员
	其他辐射工作人员	约 2 人	2#校准实验室北侧	$1.27 \times 10^{-9} \text{mSv/a}$	产品检测室	职业人员
	流动人员	/	2#校准实验室西侧	$2.01 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$	绿化地	公众
	其它工作人员	约 4 人	2#校准实验室北侧	$2.08 \times 10^{-9} \text{mSv/a}$	高低温实验室	公众
	其它工作人员	约 4 人	2#校准实验室东侧	$9.51 \times 10^{-4} \text{mSv/a}$	生产作业区	公众

由表 11-27 可知, 本项目营运期主要环境保护目标受照射剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)规定的剂量限值(职业照射 20mSv/a、公众照射 1mSv/a), 同时满足本报告提出的照射剂量约束值(职业照射 5mSv/a、公众照射 0.1mSv/a)。

2.2 β 射线的辐射环境影响

由于本项目 2#校准实验室中 γ 射线空气比释防护水平标准装置工作状态时仅有 1 枚放射源进行照射, 根据 ^{60}Co 、 ^{137}Cs 、 ^{241}Am 核素特性和放射源活度, 三枚源均为 III 类放射源, 由于 ^{60}Co 能量最高, 因此本次评价以 ^{60}Co 放射源进行辐射水平估算。

根据公式 11-3~11-4 计算结果见下表:

表 11-27 β 射线最大射程及对应防护厚度计算结果

核素	β 射线最大能量 (MeV)	屏蔽材料	材料密度 (g/cm^3)	在屏蔽材料中的最大射程 (cm)	对应的防护厚度 (cm)
^{60}Co	0.315	混凝土	2.2	0.029	0.0132

由上表可知, ^{60}Co 衰变产生的 β 射线在铅中所能穿透的最大射程分别为 0.29mm。本项目 2#校准实验室最小屏蔽墙体厚度为 500mm (迷道内墙) 混凝土, 其厚度远超理论计算出的 β 射线穿透射程, 能够完全屏蔽 β 射线。因此, 本项目工作场所的辐射水平主要取决于 γ 射线。

2.3 γ 射线的辐射环境影响

2.3.1 关注点选择及剂量率参考水平

2.3.1.1 关注点位选取

理论计算时, 选取 2#校准实验室四面墙壁、顶部及防护门外表面 30cm 处作为关注点位, 具体关注点见表 11-14。

2.3.1.2 剂量参考控制水平

2#校准实验室外各关注点的剂量率参考控制水平 $H_{c,d}$ 由公式11-9得出。

由上述公式确定的各关注点的剂量率参考控制水平和主要考虑的辐射束见表 11-15。

2.3.2 2#校准实验室屏蔽体外剂量估算

由于本项目 2#校准实验室中 γ 射线空气比释防护水平标准装置工作状态时仅有 1 枚放射源进行照射，根据 ^{60}Co 、 ^{137}Cs 、 ^{241}Am 核素特性和放射源活度，三种放射源活度虽然相差不大，但是 ^{60}Co 的空气比释动能率常数高于其余两种放射源，因此本次评价以 ^{60}Co 放射源进行辐射水平估算。

2.3.2.1 出源状态下

(1) 关注点位选取

本项目工作状态时仅使用1枚放射源， γ 辐照装置工作状态时主射线方向固定朝南墙照射，且具有准直器确保射线束为窄束。这里南墙按主屏蔽核算；其余方向按非主屏蔽核算。关注点位见表11-15所示。

(2) 预测模式

预测公式见式11-12~11-15。

(3) 预测参数选取及结果

本项目1#校准实验室外辐射剂量预测结果见表11-28。

表 11-28 ^{60}Co 出束状态 2#校准实验室周围剂量率预测表

关注点	点位描述	X (mm)	B	R (m)	H' ($\mu\text{Sv/h}$)	H ($\mu\text{Sv/h}$)	线束类型	受照类型
A	南面屏蔽墙外 0.3m (1#校准实验室)(主射束方向)	900 混凝土	9.89×10^{-5}	***	1.57×10^{-2}	1.57×10^{-2}	有用线束	职业
B	东面屏蔽墙外 0.3m (源库)	600 混凝土	2.35×10^{-3}	***	1.21×10^{-4}	3.31×10^{-3}	漏射	职业
			9.00×10^{-4}	***	2.11×10^{-3}		散射	
C	东面屏蔽墙外 0.3m (2#控制室)	600 混凝土	2.35×10^{-3}	***	2.90×10^{-3}	7.01×10^{-3}	漏射	职业
			9.00×10^{-4}	***	4.11×10^{-3}		散射	
D	北面屏蔽墙外 0.3m (产品检测室)	500 混凝土 (迷道)+600 混凝土 (北墙)	2.35×10^{-3}	***	1.99×10^{-5}	2.99×10^{-5}	漏射	职业
			2.61×10^{-6}	***	9.98×10^{-6}		散射	
E	西面屏蔽墙外 0.3m (厂区内绿化地)	600 混凝土	2.35×10^{-3}	***	4.38×10^{-3}	1.06×10^{-2}	漏射	公众
			9.00×10^{-4}	***	6.20×10^{-3}		散射	
F	屋顶墙外 0.3m	400 混凝土	1.95×10^{-2}	***	5.13×10^{-2}	1.42×10^{-1}	漏射	/

		土	9.32×10^{-3}	***	9.10×10^{-2}		散射	
g	防护门外 0.3m (控制室)	6mm 铅	7.14×10^{-1}	***	9.80×10^{-5}	9.80×10^{-5}	漏射	职业
				***			一次 散射	
				***			二次 散射	

由上述计算可知， ^{60}Co 出束状态下2#校准实验室周围剂量率最大为 $1.42 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h}$ （屋顶处），低于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 剂量率参考控制水平，说明本项目 ^{60}Co 出束状态下，1#校准实验室四周墙体、防护门、室顶的防护均可以满足辐射防护要求。

（4）职业人员、公众年有效剂量估算

由式11-16估算各关注点的年附加有效剂量。

表11-29 本项目2#校准实验室III类放射源照射期间年有效剂量率估算

关注点	点位描述	剂量当量预测结果 ($\mu\text{Sv/h}$)	年出束时间 (h/a)	居留因子	有效年剂量 (mSv/a)	受照者类型
A	南墙外 0.3m (1#校准实验室)	1.57×10^{-2}	***	***	3.93×10^{-5}	职业
B	东墙外 0.3m (源库)	3.31×10^{-3}	***	***	8.28×10^{-6}	职业
C	东墙外 0.3m (2#控制室)	7.01×10^{-3}	***	***	2.80×10^{-4}	职业
D	北墙外 0.3m (产品检测室)	2.99×10^{-5}	***	***	7.48×10^{-8}	职业
E	西墙外 0.3m (绿化地)	1.06×10^{-2}	***	***	1.06×10^{-4}	公众
F	屋顶墙外 0.3m	1.42×10^{-1}	***	***	/	/
g	防护门外 0.3m 处 (2#控制室)	9.80×10^{-5}	***	***	3.92×10^{-6}	职业

2.3.2.2 未出源状态下

（1）关注点位选取

各预测点如上节表 11-18 和图 11-4。

（2）预测模式

按公式（11-14）进行估算。

（3）预测参数选取及结果

在非工作状态时，放射源处于装置的屏蔽位。根据建设单位提供的设计资料，本项目拟使用的 γ 射线空气比释动能治疗水平标准装置外壳屏蔽设计指标为“当源处于屏蔽位置时，离装置表面5cm处的泄露辐射水平小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ”。本项目装置1m处剂量率保守取 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，计算结果如下。

表11-30 未出源状态下墙外剂量计算参数及结果表

关注点	R 到关注点距离 (m)	装置1m处剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	辐射剂量预测值 ($\mu\text{Sv/h}$)	年居留时间 (h/a)	居留因子	年有效剂量 (mSv/a)	备注
A南墙外0.3m (1#校准实验室)	12.0	2.5	8.82×10^{-7}	***	***	4.41×10^{-9}	职业
B东墙外0.3m (源库)	6.67	2.5	9.50×10^{-5}	***	***	4.75×10^{-7}	职业
C东墙外0.3m (2#控制室)	4.3	2.5	2.80×10^{-4}	***	***	2.24×10^{-5}	职业
D北墙外0.3m (产品检测室)	3.7	2.5	1.56×10^{-6}	***	***	7.82×10^{-9}	职业
E西墙外0.3m (绿化地)	3.5	2.5	4.89×10^{-4}	***	***	2.49×10^{-4}	公众
F屋顶墙外0.3m	2.94	2.5	8.11×10^{-4}	***	***	/	/
g防护门外0.3m处 (2#控制室)	5	2.5	4.10×10^{-4}	***	***	3.28×10^{-5}	职业

注1: ***

注2: ***

2.3.5 2#校准实验室屏蔽体外钴源辐射剂量叠加分析

本项目1#校准实验室屏蔽体外辐射剂量叠加值为出源工作状态下和非出源状态下的叠加，叠加结果如下表所示。

表 11-31 2#校准实验室工作人员辐射剂量叠加结果

点位描述	受照剂量 (mSv/a)		
	未出源状态	出源状态	合计
A 南墙外 0.3m (1#校准实验室)	4.41×10^{-9}	3.93×10^{-5}	3.93×10^{-5}
B 东墙外 0.3m (源库)	4.75×10^{-7}	8.28×10^{-6}	8.75×10^{-5}
C 东墙外 0.3m (2#控制室)	2.24×10^{-5}	2.80×10^{-4}	3.03×10^{-4}
D 北墙外 0.3m (产品检测室)	7.82×10^{-9}	7.48×10^{-8}	8.26×10^{-8}
E 西墙外 0.3m (绿化地)	2.49×10^{-4}	1.06×10^{-4}	3.55×10^{-4}
g 防护门外 0.3m 处 (2#控制室)	3.28×10^{-5}	3.92×10^{-6}	3.68×10^{-5}

由上表可知，在防护 X/ γ 试验室中 γ 射线空气比释防护水平标准装置正常工况下，本项目实验室屏蔽体周边职业人员最大受照射剂量为 $3.03 \times 10^{-4} \text{mSv/a}$ ，公众最大受照射剂量为 $3.55 \times 10^{-4} \text{mSv/a}$ 。满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)规定的剂量限值（职业照射 20mSv/a、公众照射 1mSv/a），满足本报告提出的照射剂量约束值（职业照射 5mSv/a、公众照射 0.1mSv/a）。

2.3.6 2#校准实验室屏蔽体外主要环境保护目标影响分析

对表7-1中主要环境保护目标结合表11-32中的数据分析见下表。

表11-32 1#校准实验室屏蔽体外环境保护目标年有效剂量预测结果

辐射场所	保护目标	人数	相对方位描述	年附加有效剂量叠加估算	位置	备注
防护 X/ γ 试验室	辐射工作人员	3 人	2#校准实验室东侧	$3.40 \times 10^{-4} \text{mSv/a}$	2#控制室	职业人员
			2#校准实验室东侧 防护门外			
	其他辐射工作人员	约 1 人	2#校准实验室东侧	$8.75 \times 10^{-5} \text{mSv/a}$	源库	职业人员
	其他辐射工作人员	约 2 人	2#校准实验室北侧	$8.26 \times 10^{-8} \text{mSv/a}$	产品检测室	职业人员
	流动人员	/	2#校准实验室西侧	$3.55 \times 10^{-4} \text{mSv/a}$	绿化地	公众
	其它工作人员	约 4 人	2#校准实验室北侧	$1.22 \times 10^{-7} \text{mSv/a}$	高低温实验室	公众

注 1：考虑到 2#校准实验室南侧的 1#校准实验室的阻隔，南侧厂房外门口的照射剂量可忽略；同理，东侧的生产作业区、焊接工艺试验室和生产作业区的受照剂量可忽略。

由上表可知，本项目营运期主要环境保护目标受照射剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)规定的剂量限值（职业照射 20mSv/a、公众照射 1mSv/a），同时满足本报告提出的照射剂量约束值（职业照射 5mSv/a、公众照射 0.1mSv/a）。

2.4 小结

由1.2和2.3章节可知，本项目实验室屏蔽体周边职业人员最大受照射剂量为 $1.37 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，公众最大受照射剂量为 $7.32 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ 。满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)规定的剂量限值（职业照射20mSv/a、公众照射1mSv/a），满足本报告提出的照射剂量约束值（职业照射5mSv/a、公众照射0.1mSv/a）。

二、非放射性环境影响分析

1、大气环境影响分析

(1) 大气环境影响分析

①产生情况分析

本项目使用γ射线空气比释动能治疗水平标准装置、γ射线空气比释防护水平标准装置、X光机、氡监测仪表检测设备和氡监测仪表检测设备期间，产生的X射线与空气中的氧气相互作用会产生臭氧（O₃）。由于X光机曝光时产生的臭氧量很少，经机房内通风系统换气后机房内的臭氧浓度很低，对机房周边大气环境影响可忽略。故本评价主要分析使用γ射线空气比释动能治疗水平标准装置、γ射线空气比释防护水平标准装置期间产生的臭氧。

②臭氧浓度预测

运行期间产生的臭氧浓度由下式计算：

$$Q_t = \frac{Q_0 \bar{T}}{V} \dots\dots\dots (式11-29)$$

$$Q_0 = 1.58 \times 10^{-4} A G V^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots (式11-30)$$

$$\bar{T} = \frac{t_v \cdot t_d}{t_v + t_d} \dots\dots\dots (式11-31)$$

式中：Q_t——实验室内臭氧的浓度，mg/m³；

Q₀——臭氧的辐射化学产额，mg/h；

A——放射源活度，Ci；

G——空气每吸收100eV辐射能力所产生的臭氧分子数，一般取6；

T——有效清除时间；

T_v——换气一次所需的时间，h；

T_d——臭氧的有效化学分解时间，0.83h；

V——1#校准实验室的容积，m³。

根据公式，γ射线空气比释动能治疗水平标准装置运行期间室内臭氧产生计算结果见下表。

表 11-33 1#校准实验室内臭氧浓度

场所	A (Ci)	V (m ³)	T _v (h)	臭氧浓度 (mg/m ³)
1#校准实验室	800	33.2	0.125	0.0102

由上表可知，运行期间1#校准实验室内臭氧浓度低于《工作场所有害因素职业接触限值化学有害因素》(GBZ2.1-2007)规定的工作场所空气中臭氧浓度0.3mg/m³限值。

项目1#校准实验室设有1套机械通风系统，设计每小时换气约6次，排风量设计为897m³/h。由于项目臭氧产生量较低，加之臭氧不稳定，在常温下不断分解，排出室外的臭氧经过大气的稀释和扩散，浓度将迅速降低，对周围环境影响可满足《环境空气质量标准》(GB3095-2012)二级标准（浓度限值0.2mg/m³），对周围大气环境影响轻微。

2、声环境影响分析

本项目放射源、射线装置工作场所使用的设备均为低噪设备，运行时基本无噪声产生；工作场所的通排风系统设备为低噪声节能排风机，厂界噪声排放值小于60dB(A)。本项目仅在白天运行，噪声厂界排放值满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)中3类标准要求（昼间不高于65dB(A)），对项目所在区域声环境影响轻微。

3、水环境影响分析

项目营运期，工作人员所产生的生活污水通过污水管网汇入园区污水处理厂处理达标后排放，对项目周边的地表水影响轻微。

4、固体废弃物影响分析

本项目工作人员产生的生活垃圾经收集后，由环卫部门统一清运。

事故影响分析

1、事故等级

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第 449 号），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，见表 11-34 所示。

表 11-34 国务院令第 449 号辐射事故等级分级一览表

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，或者放射性同位素和射线装置失控导致 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，或者放射性同位素和射线装置失控导致 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，或者放射性同位素和射线装置失控导致 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，或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。

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

表 11-35 急性放射病的发生率、死亡率与辐射剂量的关系

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

		死亡	100Gy
2、辐射事故识别 本项目涉及Ⅱ类、Ⅲ类、Ⅳ类、Ⅴ类放射源、Ⅱ类射线装置的使用，营运期间存在的环境风险和潜在危害及事故隐患如下表。			
表 11-36 项目环境风险和潜在危害及事故隐患			
场所	类型	风险因子	可能发生辐射事故
1#校准实验室、	Ⅱ类放射源	γ 射线	①由于管理不到位，发生放射源丢失、 被盗事件。 ②由于安全联锁系统失效，在防护门未关闭的情况即进行照射操作，对误入人员或防护门周围活动人员造成不必要的照射。 ③工作人员还未全部撤离实验室，操作间人员启动设备，造成实验室滞留人员的误照射。
2#校准实验室	Ⅲ类放射源 (¹³⁷ Cs、 ⁶⁰ Co、 ²⁴¹ Am)	γ 射线	①放由于管理不到位，发生放射源丢失、 被盗事件。 ②由于安全联锁系统失效，在防护门未关闭的情况即进行照射操作，对误入人员或防护门周围活动人员造成不必要的照射。 ③工作人员还未全部撤离实验室，操作间人员启动设备，造成实验室滞留人员的误照射。
2#控制室	Ⅱ类射线装置	X 射线	①由于安全联锁系统失效，在防护门未关闭的情况即进行照射操作，对误入人员或防护门周围活动人员造成不必要的照射。 ②工作人员未全部撤离实验室，操作间人员启动设备，造成实验室滞留人员的误照射。 ③在实验室内对设备进行检修及维护等工作时，检修、维护人员误操作，造成人员误照射。
生产作业区	Ⅳ类、Ⅴ类放射源	α、β、γ 射线	①由于管理不到位，发生放射源丢失、 被盗事件。
源库	Ⅳ类、Ⅴ类放射源、豁免源	α、β、γ 射线	①暂存放射源因管理不善发生丢失、被盗等事故。
3、事故工况下的辐射影响 3.1 放射源 本项目涉及Ⅱ类、Ⅲ类、Ⅳ类和Ⅴ类放射源的使用，事故工况下按照Ⅱ类放射源的辐射影响进行分析。			
3.1.1 放射源被盗抢、丢失等事件，造成放射源失控事故（“人源见面”） 根据《放射源同位素与射线装置安全和防护条例》第四十条，Ⅱ类放射源丢失、被盗、失控事件属于 重大辐射事故 。			
3.1.2 人员误入或检修人员误操作受到误照射			

(1) 事故假设

设备在运行时，人员误入或滞留在实验室内而造成误照射；设备在检修、维护、换源等过程中，检修、维护人员误操作，造成有关人员误照射。

(2) 剂量估算

本项目 1#校准实验室内含 ^{60}Co 放射源一枚，出厂活度为 $2.96 \times 10^{13} \text{Bq}$ 。本项目实验室内设置有“紧急回源”按钮，只要按下此按钮就可以紧急回源，则事故情况下人员在实验室内 15s~15min 中距放射源不同距离处受到的辐射剂量见下表。

表11-37 人员误入情况下不同持续时间不同距离处个人有效剂量率计算结果

距源距离 (m)	各事故持续时间段的 γ 射线所致有效剂量率 (Sv)					
	10s	15s	20s	30s	1min	2min
0.5	1.15×10^{-1}	1.73×10^{-1}	2.30×10^{-1}	3.45×10^{-1}	6.91×10^{-1}	1.38
1	2.88×10^{-2}	4.32×10^{-2}	5.76×10^{-2}	8.63×10^{-2}	1.73×10^{-1}	3.45×10^{-1}
2	7.19×10^{-3}	1.08×10^{-2}	1.44×10^{-2}	2.16×10^{-2}	4.32×10^{-2}	8.63×10^{-2}
3	3.20×10^{-3}	4.80×10^{-3}	6.40×10^{-3}	9.59×10^{-3}	1.92×10^{-2}	3.84×10^{-2}
5	1.15×10^{-3}	1.73×10^{-3}	2.30×10^{-3}	3.45×10^{-3}	6.91×10^{-3}	1.38×10^{-2}

注 1：本次计算偏保守，未考虑放射源的自然衰变。

注 2：根据本项目实验室设计，等中心点 0 至机房内迷道口距离不超过 5m。

注 3：误入人员未采取任何屏蔽防护措施。

(3) 事故后果

由上表可见，假设失控放射源为初始活度，在事故持续时间为 10s、15s、20s、30s、1min、2min 的情况下，距离放射源 0.5m 处的 γ 射线外照射辐射剂量率分别为 0.115Gy、0.173Gy、0.230Gy、0.691Gy、1.381Gy，均不同程度超过了 GB18871-2002 中 B1.2.1 对于特殊情况下职业人员的有效剂量限值（50mSv）和公众的剂量限值（1mSv）。根据《放射源同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第 449 号）辐射事故分级，可能发生的辐射事故为**较大辐射事故**。且随着事故处理时间的延长，事故人员受照剂量随之增大，会发生较大辐射事故，甚至更严重的后果。

3.1.3 “快门”事件

(1) 事故假设

本装置配备有 UPS 电源，在停电时，依靠 UPS 完成关闭放射源操作。当控制系统出现故障导致自动关源系统失效时，出现卡“快门”事件，可通过手动机械复位，手动机械复位时间约 3min。

(2) 剂量估算

在假设事故情况下，手动机械复位时所受的照射剂量约为 0.456Sv。

(3) 事故后果

在上述事故情景假设条件下，受放射源误照人员年剂量已超过约束值，属于一般辐射事故，但是随着时间的推移，若人员滞留时间较长，也会发生较大辐射事故。

3.2 X 光机事故工况下辐射影响分析

(1) 事故假设

- X 光机在运行时，由于门机联锁、门灯联锁等安全联锁装置失效，致使防护门未完全关闭，X 射线泄漏到屏蔽体外，给周围活动的人员造成不必要的照射。
- X 光机在检修、维护等过程中，检修维护人员在设备未断电的情况下进行检修，或者因为检修维护人员误操作打开了 X 射线发生器，使其出束照射，同时由于维修时防护门开启，导致维修的人员及周围活动人员造成不必要的照射。
- X 光机在运行时，由于门机联锁、门灯联锁等安全联锁装置失效，外部人员在 X 光机运行状态误入实验室，受到不必要的照射。

(2) 剂量估算

本项目事故后果计算主要考虑有用线束对维修人员或周围公众的照射，本项目中 X 光机的出束方向为定向，事故后果计算以 X 光机的最大管电压 320kV，最大管电流 22.5mA 进行计算。假定在事故工况下，人员误入实验室，X 射线直接照射到人员，人员受到的有效剂量与 X 光机产生的初级射线束造成的空气吸收剂量有关，在空气中 X 光机产生的初级射线束造成的空气吸收剂量可用下式计算：

$$D = I \delta_x / r^2 \dots\dots\dots(\text{公式 11-32})$$

式中：

D——空气吸收剂量率，mGy · min⁻¹；

I——管电流，mA；取 22.5mA；

δ_x ——发射率常数，本项目 X 光机取 21.4mGy · m² · (mA · min)⁻¹；

r——参考点距 X 光机的距离，m。

人员受到有效剂量可用下式进行计算：

$$E = D \cdot \sum W_T \cdot \sum W_R \cdot \dots\dots\dots(\text{公式 11-33})$$

式中：

E ——人员受到的有效剂量率， $\text{mSv} \cdot \text{min}^{-1}$ ；

W_T ——组织权重因素，求和为 1；

W_R ——辐射权重因素，求和为 1。

事故发生时，由 X 射线机最大运行参数结合事故情景计算本项目辐射事故后果如下表所示。

表 11-38 不同事故工况情境下辐射事故后果计算表（mSv）

事故照射时间 人员与源项距离	1min	2min	5min	10min	15min	25min
0.5m	963.0	1926.0	4815.0	9630.0	14445.0	24075.0
1m	481.5	963.0	2407.5	4815.0	7222.5	12037.5
2m	120.4	240.8	601.9	1203.8	1805.6	3009.4

由上表可知，在 X 光机事故情况下，X 射线直接照射到人员身上，误入人员在靠近射线头 0.5m 处停留 25min 时，其所受到的有效剂量为 24075.0mSv，远超 GB18871-2002 中职业年有效剂量限值（20mSv），根据表 11-35，辐射剂量为 20Gy~50 Gy 的情况下，会发生重度肠型急性放射病，根据表 11-34，事故状态下导致有效剂量最大为 24075.0mSv，可导致 9 人以下（含 9 人）急性重度放射病、局部器官残疾，所受危害构成较大辐射事故。随着事故照射时间的延长，人员可能受到更大事故剂量照射，甚至发生更大辐射安全事故。

4、事故工况辐射影响分析

上述事故其危害结果及其所引发的放射性事故等级见下表。

表 11-39 本项目环境风险因子、危险因素、危害结果及事故分级表

放射源	主要环境 风险因子	危险 因素	危害结果	事故等级
^{60}Co （II 类放射源）	γ 射线	超剂量照射	I 类、II 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 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	重大辐射事故
			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	一般辐射事故
X 光机	X 射线		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。	较大辐射事故

根据分析，本项目 II 类放射源可能发生的事故为一般或重大辐射事故；X 光机可能发生的事故为较大辐射事故。

5、事故防范措施

上述辐射事故可以通过完善辐射防护安全设施、制定相关管理规章制度和辐射事故应

急措施加以防范，将辐射环境风险控制在可以接受的水平。针对在运行过程中可能发生的安全事故，本次评价提出以下防范措施，尽可能的减小或控制事故的危害和影响，主要体现在以下几个方面：

（1）定期对放射源要进行核实，确保其处于指定位置，对放射源实行 24 小时监控。一旦发现放射源被盗或者丢失，及时向公安部门、环境保护主管部门和卫生部门报告。

（2）制定放射源、X 光机操作规程和安全规章制度，并严格落实操作规程等制度的“制度上墙”要求（即将操作规程张贴在操作人员可看到的显眼位置）。在进行辐射作业时，至少有 2 名操作人员同时在场，操作人员须按照操作规程进行操作。

（3）每月检查门灯连锁装置，确保安全连锁装置正常运行；每月对单源装置、多源装置和 X 光机的安全装置进行维护、保养，对可能引起操作失灵的关键零配件需及时更换。

（4）定期对单源装置、多源装置和 X 光机的安全防护措施、设施的安全防护效果进行检测或检查，核实各项管理制度的执行情况，对发现的安全隐患立即进行整改，避免事故的发生。

（5）加强控制区和监督区管理，在放射源、X 光机运行期间，加强对监督区公众的管理，限制公众在监督区长期滞留。

（6）制定事故应急预案、完善组织、落实经费、准备物资、加强演练、时刻准备应对可能发生的各种事故和突发事件。

（7）严格按照辐射监测计划进行辐射水平监测。

6、应急措施

假若本项目发生了辐射事故，建设单位应迅速、有效的采取以下应急措施：

（1）一旦发现有其他无关人员误入实验室内，操作人员应立即利用最近的紧急停机开关切断设备电源。误入人员应在最短的时间内撤离实验室，尽量缩短受照时间。同时，事故第一发现者应及时向建设单位的应急处理领导小组及上级领导报告。应急处理领导小组在接到事故报告后，应以最快的速度组织应急救援工作，迅速封闭事故现场，禁止无关人员进入该区域，严禁任何人擅自移动和取走现场物件（紧急救援需要除外）。

（2）对可能受到超剂量照射的人员，尽快安排其接受检查和救治，并在第一时间将事故情况通报当地生态环境主管部门、卫生健康等主管部门。

（3）一旦发生放射源丢失或被盗，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》中的有关要求，封闭场所应按规定启动

本单位辐射事故应急方案，并及时报告当地生态环境主管部门、公安部门以及卫生健康部门。

（4）工作人员佩戴有个人剂量计，每 3 个月检测一次，可及时监控工作人员所受剂量，如发现超标现象应查明原因，改善防护条件或减少工作时间。

（5）人员受到不必要的照射或超计划外照射时，应评估其受照剂量，并进行必要的医学处理。

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十二条和原国家环境保护总局环发〔2006〕145 号文件之规定，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，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告，涉及人为故意破坏的还应向公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生健康部门报告。

中广核久源（成都）有限公司绵阳分公司需制定事故应急预案，确保事故情况下的影响处于可控范围内。

7、辐射事故影响评价小结

评价认为，项目单位按相关规定和本环评要求，做好事故防范及预防措施，制定并定期演练具有可操作性和可行性的《辐射事故应急预案》之后，本项目发生的辐射事故风险将受到控制，其事故影响是可接受的。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置 一、辐射防护与安全管理机构 中广核久源（成都）科技有限公司绵阳分公司承诺在项目建成后按相关法律法规要求成立辐射安全与环境保护管理机构，全权负责公司的辐射安全管理（详见附件4）。成立的辐射安全与环境保护管理机构主要职责应包含以下内容： ①负责对全公司辐射安全与环境保护进行全面管理工作； ②负责组织辐射安全许可证的申请、变更、延期、注销等相关事宜；负责组织制定辐射安全与防护相关管理制度及辐射事故应急预案，并监督落实实施； ③接受上级及属地主管部门的管理和检查；负责及时向上级和属地有关部门报告单位运营期内发生的辐射事故和事件。 辐射安全与环境保护管理机构应定期开会，总结运营期间的辐射防护管理经验，并根据国家相关法律法规的更新及时修订规章制度，使其具有针对性、可操作性。														
辐射安全管理 一、档案管理分类 辐射工作单位的相关资料应按照档案管理的基本规律和要求进行分类归档放置。档案资料可分以下九大类：“制度文件”、“环评资料”、“许可证资料”、“放射源和射线装置台账”、“监测和检查记录”、“个人剂量档案”、“培训档案”、“辐射应急资料”和“废物处置记录”。建设单位应根据单位辐射项目开展的实际情况将档案资料进行分类管理。 二、主要规章制度 根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（环保部令第3号）“第十六条”、《环境保护部辐射安全与防护监督检查技术程序》（第三版 2020 修订版）及《关于印发<四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）>的通知》（川环函[2016]1400 号）的相关要求中的相关规定，建设单位需制定的规章制度如下。 表12-1 主要规章制度建立对照分析表 <table> <tr> <th>序号</th><th>要求的主要规章制度</th><th>规范具体要求</th><th>建设单位规章制度建设情况</th><th>环评要求</th></tr> <tr> <td>1</td><td>辐射安全与环境保护管理机构文件</td><td>明确相关人员的管理职责，全面负责单位辐射安全与环境保护管理工作。</td><td>建设单位已承诺将按规范制定辐射安全与环境保护管理机构文</td><td>/</td></tr> </table>					序号	要求的主要规章制度	规范具体要求	建设单位规章制度建设情况	环评要求	1	辐射安全与环境保护管理机构文件	明确相关人员的管理职责，全面负责单位辐射安全与环境保护管理工作。	建设单位已承诺将按规范制定辐射安全与环境保护管理机构文	/
序号	要求的主要规章制度	规范具体要求	建设单位规章制度建设情况	环评要求										
1	辐射安全与环境保护管理机构文件	明确相关人员的管理职责，全面负责单位辐射安全与环境保护管理工作。	建设单位已承诺将按规范制定辐射安全与环境保护管理机构文	/										

			件，并有效下发执行。	
2	辐射工作场所安全管理规定（综合性文件）	根据单位具体情况制定辐射防护和安全保卫制度，重点是射线装置运行和维修时辐射安全管理。	拟制定	需悬挂于辐射工作场所墙上。
3	辐射工作设备操作规程	明确辐射工作人员的资质条件要求、装置操作流程及操作过程中应采取的具体防护措施。重点是明确操作步骤、出束过程中必须采取的辐射安全措施。	拟制定	
4	辐射安全和防护设施维护维修制度	明确射线装置维修计划、维修记录和在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，确保射线装置保持良好的工作状态。	拟制定	记录应包括机构人员、维护维修内容与频度、重大问题管理措施、重新运行审批级别等信息。
5	辐射工作人员岗位职责	明确管理人员、辐射工作人员、维修人员的岗位职责。	拟制定	需悬挂于辐射工作场所墙上。
6	放射源与射线装置台账管理制度	应记载放射性同位素和射线装置的名称、型号、射线种类、类别、用途、来源和去向等事项，同时对射线装置的说明书建档保存，确定台账的管理人员和职责，建立台账的交接制度。	拟制定	需制定。
7	辐射工作场所和环境辐射水平监测方案	/	拟制定	做好监测记录和档案保存工作。
8	监测仪器使用与校验管理制度	/	拟制定	/
9	辐射工作人员培训制度（或培训计划）	明确培训对象、内容、周期、方式及考核的办法等内容。及时组织辐射工作人员参加辐射安全和防护培训，辐射工作人员须通过考核后方可上岗。	拟制定	新增辐射工作人员应培训取证，持证上岗。
10	辐射工作人员个人剂量管理制度	在操作射线装置时，操作人员必须佩戴个人剂量计。单位定期将个人剂量计送交有资质的检测部门进行测量，并建立个人剂量档案，终身保存。对于单季度个人剂量检测数据超过1.25mSv的，要进一步开展调查，查明原因，撰写调查报告并由当事人在情况调查报告上签字确认；对于年度内	拟制定	/

		检测数值累计超过 5mSv 的，要采取暂停开展放射性工作等进一步干预手段，并上报辐射安全许可证发证机关。		
11	辐射事故应急预案	针对射线装置应用可能产生的辐射事故应制定较为完善的事故应急预案或应急措施，预案或措施中要明确(1)应急机构和职责分工；(2)应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；(3)辐射事故分级与应急响应措施；(4)辐射事故调查、报告和处理程序；(5)辐射事故信息公开、公众宣传方案。	拟制定	需将辐射事故应急响应程序悬挂于辐射工作场所墙上。

在制定规章制度时，需注意以下问题：

(1)《辐射监测方案》中应包含：公司应委托有资质的单位对辐射工作场所的剂量进行监测，监测周期为 1 次/年；公司定期（监测周期为 1 次/月）对辐射工作场所进行监测，随时掌握辐射工作场所剂量变化情况，发现问题及时维护、整改。

(2)《辐射工作人员个人剂量管理制度》中应包含：对于每季度检测数值超过 1.25mSv 的，要进一步开展调查，查明原因，撰写调查报告并由当事人在调查报告上签字确认。

(3)《辐射工作人员培训制度》中应包括：自觉参加生态环境部网上免费学习考核平台（<http://fushe.mee.gov.cn>）中辐射安全与防护专业知识的学习，考核通过后方能上岗。

需要上墙的规章制度：《辐射工作场所安全管理要求》、《辐射工作人员岗位职责》、《辐射工作设备操作规程》和《辐射事故应急响应程序》应悬挂于辐射工作场所。上墙制度的内容应体现现场操作性和实用性，字体醒目，尺寸大小应不小于 400mm×600mm。公司应根据规章制度内容认真组织实施，并且应根据国家发布新的相关法规内容，结合公司实际及时对各项规章制度补充修改，使之更能符合实际需要。

三、辐射工作人员

(1) 辐射安全培训

建设单位拟配备辐射工作人员 13 名，均为建设单位新增辐射工作人员，本项目辐射工作人员均定岗定责，配备至本项目后，不从事其它辐射工作。

根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告 2019 年第 57 号）：自 2020 年 1 月 1 日起，新从事辐射活动的人员，应通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）进行相关知识学习，通过生态环境部培训平台报名并参加考核，取得辐射安全培训合格证书后方可从事辐射活动。

建设单位承诺在办理辐射安全许可证前，将尽快组织新增辐射工作人员参加辐射安全与防护的学习和考核，取得合格证书后上岗。建设单位应当建立并保存辐射工作人员的培训档案。取得辐射安全与防护培训合格证书的人员，应每五年复训一次。

（2）职业人员的个人剂量管理

按照法律、行政法规以及国家环境保护和职业卫生标准，建设单位拟制定个人剂量管理制度，应定期组织辐射工作人员进行个人剂量监测；放射工作人员上岗期间，必须佩戴个人剂量计，并对个人剂量计严格管理，不允许将个人剂量计相互传借，不允许将个人剂量计带出项目建设单位，个人剂量档案应终生保存；发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。

①当单个季度个人剂量超过 1.25mSv 时，建设单位要对该辐射工作人员进行干预，建设单位要对该辐射工作人员进行干预，要进一步调查明确原因并由当事人在情况报告上签字确认；

②当全年个人剂量超过 5mSv 时，建设单位需进行原因调查并最终形成正式文件时，经本人签字确认后上报发证机关。

项目建成后单位应当安排专人负责个人剂量监测管理，建立辐射工作人员个人剂量档案。内容应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。个人剂量档案应当终生保存。

（3）职业健康检查

辐射工作人员上岗前，应进行岗前职业健康检查，符合辐射工作人员健康标准的，方可参加相应的辐射工作。

从事辐射工作期间，辐射工作人员应定期进行职业健康检查，必要时可增加临时性检查。对不适宜继续从事辐射工作的，应脱离辐射工作岗位，并进行离岗前的职业健康检查。项目单位应建立和保存辐射工作人员的健康档案。

综上所述，环评认为，在项目单位按要求对本项目辐射工作人员进行培训考核、职业健康检查和个人剂量监测等管理后，其配置的辐射工作人员是满足要求的。

辐射监测

根据《四川省辐射污染防治条例》“使用放射性同位素和射线装置的单位应当建立辐射监测制度，组织对从业人员个人辐射剂量、工作场所及周围环境进行监测，并建立相应档案”。因此，本项目建设单位应建立辐射监测制度，制定辐射监测计划。辐射监测应包括个人剂量监测和工作场所的监测。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）和《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）等相关规定，结合本项目辐射工作特点，确定本项目辐射监测计划如下：

（1）个人剂量监测

为测量本项目辐射工作人员在一段时间的受照剂量，借以限制辐射工作人员的剂量当量和评价工作场所的安全情况，项目单位应为本项目辐射工作人员配个人剂量计并进行个人剂量监测（外照射个人剂量监测）。项目建设单位拟安排专人负责个人剂量监测管理（每季度由有资质单位检测一次），并应建立辐射工作人员个人剂量档案。个人剂量档案内容应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。个人剂量档案应当终身保存。

根据 GB18871-2002 要求，辐射工作人员在开展放射性工作期间，必须佩戴由项目建设单位配发的个人剂量计。**环评要求：对于每季度检测数值超过 1.25mSv 的，要进一步开展调查，查明原因，撰写调查报告并由当事人在调查报告上签字确认。对于每季度检测数值超过 5mSv 的，要采取暂停开展放射性工作等进一步干预手段，并上报辐射安全许可证主管部门。**

（2）辐射工作场所监测

建设单位应定期对放射工作场所进行监测，环境监测主要针对50m范围内的环境保护目标，具体监测方案如表12-3。

表12-3 环境监测计划表

工作场所	监测项目	监测点位	监测频次	备注
1#校准实验室	γ 辐射剂量率	- 控制室内操作人员操作工位处。 - 实验室防护门外30cm离地面高度1m处，以及防护门的左、中、右3个点和门缝四周。 - 实验室墙体四周及其他人员经常活动的位置，如实验室东侧走道以及实验室西侧（绿化地）等。	1次/季	自行监测
			1次/年	委托有相关检测资质单位
2#校准实验室	X- γ 射线空气吸收剂量率	- 控制室内操作人员操作工位处。 - 实验室防护门外30cm离地面高度1m处，以及防护门的左、中、右3个点和门缝四周。	1次/季	自行监测

		♦ 实验室墙体四周及其他人员经常活动的位置，如实验室东侧走道以及实验室西侧（绿化地）等。	1次/年	委托有相关检测资质单位
源库	γ 辐射剂量率	♦ 源库门的左、中、右3个点和门缝四周。 ♦ 源库墙体四周及其他人员经常活动的位置，如源库东侧走道。	1次/季	自行监测
		♦ 源库门的左、中、右3个点和门缝四周。 源库墙体四周及其他人员经常活动的位置，如源库东侧走道。	1次/年	委托有相关检测资质单位
生产作业区	γ 辐射剂量率	♦ 使用IV类、V类放射源区域及四周。	1次/季	自行监测
		♦ 使用IV类、V类放射源区域及四周。	1次/年	委托有相关检测资质单位

（3）监测设备

建设单位自行监测应配备

监测设备：建设单位自行监测应配备便携式 X- γ 辐射监测仪、气溶胶取样仪，并保证仪器的准确性和可靠性。

监测质量保证：①制定辐射环境监测管理制度；②单位应安排专人负责自行监测任务；③制定监测仪表使用、校验管理制度。并利用有资质监测单位的监测数据与建设单位自有监测仪器的监测数据进行比对，建立监测仪器比对档案。为确保建设单位自行监测数据的准确有效，建设单位可选择以下两种措施之一：一是在接受有资质单位监测时，建设单位在同一地点比对自配备的辐射剂量监测仪监测结果；二是委托有资质单位对辐射剂量监测仪进行检定校准。

要求：①应按照《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》（川环函〔2016〕1400号）要求，做好监测记录和档案保存工作。②若发现异常情况，立即采取应急措施，停止辐射工作，查找原因。③从事自我监测的人员应具有辐射安全及环境监测的相关知识。自查监测结果和工作场所监测结果应作为年度自查评估报告的附件。

辐射事故应急

辐射单位应针对可能发生的辐射事故风险，制定相应辐射事故应急预案报所在地人民政府生态环境主管部门备案，并及时予以修订。

辐射事故应急预案的主要内容应包括：应急组织结构，应急职责分工，辐射事故应急处置（最大可信事故场景，应急报告，应急措施和步骤，应急联络电话），应急保障措施，应急演练计划。

（1）事故报告程序

一旦发生辐射事故，辐射工作人员立即停机，根据《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》在事故发生后 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门和公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

（2）辐射事故应急措施

事故发生后，除了上述工作外，还应进行以下几项工作：

- ①确定现场辐射强度及影响范围，划出禁入控制范围，防止外照射的危害。
- ②根据现场辐射强度，确定工作人员在现场处置的工作时间。
- ③现场处置任务的工作人员应佩带防护用具及个人剂量计。
- ④应尽可能记录现场有关情况，对工作人员可能受到的事故照射剂量，可针对事故实际情况进行评估，并对工作人员进行健康检查和跟踪，按照国家有关放射卫生防护标准和规范以及相关程序，评估事故对工作人员健康的影响。
- ⑤事故处理后必须组织有关人员进行讨论，分析事故发生的原因，从中吸取经验和教训，必须采取措施防止类似事故再次发生。

以上各种事故的防范与对策措施，可减少或避免放射性事故的发生率，从而保证项目的正常运营，也保障了工作人员、公众的健康与安全。

公司应当根据以上要求，同时结合本项目实际情况来制定应急预案相关内容，在今后预案的实施过程中，应根据国家发布新的相关法规内容，结合公司实际及时对预案进行补充修改，使之更能符合实际需要。

表 13 结论与建议

结论

1、项目概况

项目计划在四川省绵阳市游仙区石垭村青龙山片区中国（绵阳）科技城核医疗健康产业园青龙山北片区核测控装备研发制造基地内的辐射作业区及生产作业区（IV类、V类放射源使用区域）内进行辐射监测设备的校准和检定。

本项目拟在 1#校准实验室中使用 1 枚II类放射源（ ^{60}Co ）；拟在 2#校准实验室内使用 3 枚III类放射源（ ^{37}Cs 、 ^{60}Co 、 ^{241}Am ）和 1 台 MG320 型 X 光机（最大管电压 320kV，最大管电流 22.5mA）；拟在源库中储存 2 枚IV类放射源、1 枚V类放射源（ ^{241}Am ）、23 枚豁免源。拟在生产作业区使用 2 枚IV类放射源（ ^{137}Cs 、 ^{239}Pu ）、1 枚V类放射源（ ^{241}Am ）、23 枚豁免源。

项目总投资 4984 万元，其中环保投资 74.4 万元，占总投资 1.50%。

2、产业政策符合性

项目属于核技术在标准化服务和计量测试领域内的运用，根据国家发展和改革委员会《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目属鼓励类第三十一项“科技服务”中第 1 条“工业设计、气象、生物及医药、新材料、新能源、节能、环保、测绘、海洋等专业技术服务，**标准化服务、计量测试**、质量认证和检验检测服务、科技普及”，项目符合国家当前的产业政策。

3、选址及总平面布置合理性

本项目位于四川绵阳市游仙区游仙街道石垭村五社中国（绵阳）核医疗健康产业园内核测控装备研发制造基地。

在完成建设后，本项目 1#校准实验室、2#校准实验室、生产作业区作为专门的辐射工作场所，有良好的实体屏蔽设施和防护措施，产生的辐射经屏蔽和防护后对周围环境影响较小，从辐射安全防护的角度分析，本项目选址是合理的。

项目建设的辐射工作场所布置相对独立，检测过程中产生的 γ 射线、X 射线经实体屏蔽防护后对周围环境的辐射影响是可以接受的。辐射工作场所的平面布置既便于各个工艺的衔接，满足安全生产的需要，又便于进行分区管理和辐射防护，从辐射安全防护的角度分析，其总平面布置是合理的。

4、区域环境质量现状评价结论

根据辐射环境监测结果，项目厂址环境 γ 辐射剂量率处于四川省天然本底涨落范围内；根据噪声监测结果，拟建厂址厂界监测点位昼夜间噪声监测值均满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）3 类区标准要求，区域声环境质量较好。

5、正常运行工况下的辐射影响分析

通过对工作人员和公众辐射剂量的估算， γ 射线、X射线经过屏蔽减弱后，其对工作人员和公众所致的最大辐射剂量均小于本报告表确定剂量约束值（工作人员5mSv/a，公众0.1mSv/a），对工作人员和公众不会造成辐射危害，对环境的辐射影响是可以接受的。

6、辐射事故影响评价分析

经预测，假若本项目发生辐射事故，事故等级可能达到较大辐射事故。评价认为，项目单位按相关规定和本环评要求，做好事故防范及预防措施，制定并定期演练具有可操作性和可行性的《辐射事故应急预案》之后，本项目发生的辐射事故风险将受到控制，其事故影响是可接受的。

7、放射源及射线装置使用与安全管理的能力分析

中广核久源（成都）科技有限公司绵阳分公司拟配备专业的放射性工作人员人员和安全管理机构，在严格按照本环评报告要求制定辐射安全管理制度、辐射事故应急措施前提下，具有对II类射线装置和II类、III类、IV类、V类密封放射源的使用和管理能力。

8、项目环境可行性结论

综上所述，项目属于核技术在标准化服务和计量测试领域内的运用，符合国家产业政策，选址及平面布置合理。项目拟采取的辐射防护措施技术可行，措施有效。项目制定的管理制度、事故防范措施及应急方法等能够有效的避免或减少工作人员和公众的辐射危害。在认真落实项目工艺设计及本报告表提出各项辐射防护和环保对策和措施，严格执行“三同时”制度，严格执行辐射防护的有关规定的的前提下，所致工作人员和公众照射剂量可满足《电离辐射防护与放射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的剂量限值和本环评提出的剂量管理约束值。评价认为，本项目从辐射防护以及环境保护角度分析是可行的。

9、放射源和射线装置申请活动的种类和范围

表 13-1 放射源申请活动的种类和范围

场所	主要技术参数	类别	数量	活动种类	用途	储存场所
1#校准实验室	^{60}Co , $2.96 \times 10^{13}\text{Bq}$ (800Ci)	II类密封放射	1枚	使用	用于辐射监测仪器的校准和检定	辐射作业区 1#校准实验室

		源				
2#校准实验室	^{137}Cs , $9.25 \times 10^{11}\text{Bq}$ (25Ci)	III类密封放射源	1枚	使用	用于辐射监测仪器的校准和检定	辐射作业区 X/γ 实验室
	^{60}Co , $7.4 \times 10^{10}\text{Bq}$ (2Ci)	III类密封放射源	1枚	使用	用于辐射监测仪器的校准和检定	辐射作业区 X/γ 实验室
	^{241}Am , $1.85 \times 10^{11}\text{Bq}$ (5Ci)	III类密封放射源	1枚	使用	用于辐射监测仪器的校准和检定	辐射作业区 X/γ 实验室
生产作业区	^{137}Cs , $1.0 \times 10^9\text{Bq}$	IV类密封放射源	1枚	使用	用于辐射监测仪器的校准和检定	源库
	^{241}Am , $5.8 \times 10^8\text{Bq}$	V类密封放射源	1枚	使用	用于辐射监测仪器的校准和检定	源库
	^{239}Pu , $6.0 \times 10^8\text{Bq}$	IV类密封放射源	1枚	使用	用于辐射监测仪器的校准和检定	源库

表 13-2 放射源申请活动的种类和范围

名称	型号	主要技术参数	投射类型	射线装置种类	数量	申请种类	使用场所
X 光机	MGi320	320kV/22.5mA	定向	II类	1 台	使用	辐射作业区 X/γ 实验室

10、项目竣工环境保护验收要求

本项目建成后，应严格按照环境保护部“关于发布《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》的公告”（国环规环评〔2017〕4号）文件要求，开展竣工环境保护验收工作。

中广核久源（成都）科技有限公司绵阳分公司是本项目竣工环境保护验收的责任主体，应当按照相关文件规定的程序和标准，组织对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告，公开相关信息，接受社会监督，确保建设项目需要配套建设的环境保护设施与主体工程同时投产或者使用，并对验收内容、结论和所公开信息的真实性、准确性和完整性负责，不得在验收过程中弄虚作假。

“全国建设项目竣工环境保护验收信息平台”已于 2017 年 12 月 1 日上线试运行，网址为 <http://47.94.79.251>。建设单位可以登录生态环境部网站查询建设项目竣工环境保护验收相关技术规范（<http://kjs.mee.gov.cn/hjbhzbz/bzwb/other/hbysjsgf/>），并在项目建成后，及时开展竣工环境保护验收工作。

表 13-2 项目竣工环境保护验收要求一览表

序号	环保设施内容		
1	环保文件	环评批复、验收监测报告等齐全。	
2	年有效剂量	放射工作人员年有效剂量管理约束值 $\leq 5\text{mSv/a}$ ；辐射工作场所外公众年有效剂量管理约束值 $\leq 0.1\text{mSv/a}$ 。	
3	1#校准实验室	工程屏蔽	采用钢筋混凝土屏蔽防护，具体设计见表 10-2。 58mm Pb 防护门。
		安全装置	场所分区的管控措施及标识。
			粘贴或悬挂与源对应的放射源编码。
			门-源连锁 1 套，门-灯连锁 1 套，门-剂量连锁，钥匙开关 1 套。
			控制台上设防止非工作人员操作的锁定开关。
			工作状态指示灯 1 套。
		警告标识	实验室内四周墙体（拟设 3 个开关）、防护门内迷道墙上（拟设 1 个开关）及控制室内控制台上（拟设 1 个开关）设紧急停止按钮。
			γ 射线空气比释动能治疗水平标准装置外表电离辐射警示标志 1 套；实验室防护门外电离辐射警告标志及中文警示说明 1 套。
		机械通排风系统 1 套（与中子实验室、1#控制室、2#校准实验室、2#控制室、源库、控制室前走道共同设置一套机械通排风系统）。	
		控制台显示放射源位置情况装置 1 套。	
		视频监控：实验室内、防护门外及迷道内设至少 3 套实时摄像监视器。	
		1 个应急储源容器、1 套铅衣、铅手套等应急设备。	
		灭火器材和火警报警装置	
4	2#校准实验室	工程屏蔽	采用钢筋混凝土屏蔽防护，具体设计见表 10-2。6mm Pb 防护门。
		安全装置	场所分区的管控措施及标识。
			门-源/机连锁 1 套，门-灯连锁 1 套，门-剂量连锁，钥匙开关 1 套。
			粘贴或悬挂与源对应的放射源编码。
			控制台上设防止非工作人员操作的锁定开关。
			工作状态指示灯 1 套。
		警告标识	实验室内四周墙体（拟设 3 个开关）、防护门内迷道墙上（拟设 1 个开关）、控制室内控制台上（拟设 1 个开关）设紧急停止按钮。
			γ 射线空气比释防护水平标准装置外表电离辐射警示标志及中文警示说明 1 套；X 光机外表电离辐射警示标志及中文警示说明 1 套；实验室防护门外电离辐射警示标志及中文警示说明 1 套。
		灭火器材和火警报警装置。	
		源在非使用期间贮存在 γ 射线空气比释防护水平标准装置储源容器内。	
7	生产作业区	安全装置	场所分区的管控措施及标识。
		警告标识	在生产作业区门外醒目位置张贴电离辐射警告标志及中文警示说明。
		其它	视频监控：生产作业区内进行核测控设备检定和调试的区域应安装视频监

			控，视频监控应做到无监控死角，特别应监控室内有源的位置，以防放射源的丢失。
8	源库	工程屏蔽	采用钢筋混凝土屏蔽防护，具体设计见表 10-2。
		安全装置	固定式 γ 辐射监测报警装置
			监控系统
			源库双人双锁
9	环境监测		便携式 X- γ 剂量监测仪 1 台：1#校准实验室、2#校准实验室共用 1 台。 1#校准实验室内设 1 套固定式剂量报警仪、2#校准实验室内设 1 套固定式剂量报警仪、源库内设 1 套固定式剂量报警仪内设 1 套固定式剂量报警仪。
10	管理制度、应急措施		建立辐射安全与环境保护管理机构，制定《辐射安全与环境保护管理机构文件》《辐射安全管理规定（综合性文件）》《辐射工作设备操作规程》《辐射安全和防护设施维护维修制度》《辐射工作人员岗位职责》《放射源与射线装置台账管理制度》《辐射工作场所和环境辐射水平监测方案》《监测仪表使用与校验管理制度》《辐射工作人员培训制度（或培训计划）》《辐射工作人员个人剂量管理制度》《辐射事故应急预案》。 《辐射工作场所安全管理要求》、《辐射工作人员岗位职责》、《辐射工作设备操作规程》和《辐射事故应急响应程序》应悬挂于辐射工作场所。

建议与承诺

1、承诺

（1）根据《中华人民共和国生态环境部》（公告 2019 年第 57 号）要求，组织本单位辐射工作人员通过生态环境部“核技术利用辐射安全与防护培训平台”（<http://fushe.mee.gov.cn>）免费学习知识，并参加考核。

（2）项目建成投运后定期开展场所和环境的辐射监测。制定年度自查评估制度，对所用的放射源、射线装置和非密封放射性物质工作场所的安全和防护状况进行年度评估，并编写辐射安全和防护状况年度自查评估报告，于每年 1 月 31 日前上报省环保厅。

2、建议

（1）定期进行事故应急演练，检验应急预案的可行性、可靠性、可操作性，不断的完善事故应急预案。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：	
经办人	公 章 年 月 日
审批意见：	
经办人	公 章 年 月 日