

钍基熔盐核能系统项目放射源及 X 射线 探伤机竣工环境保护验收监测报告表

建设单位：中国科学院上海应用物理研究所

编制单位：中国科学院上海应用物理研究所

2025 年 07 月

建设单位法人代表: 戴志敏 (签字)

戴志敏

编制单位法人代表: 戴志敏 (签字)

戴志敏

项目负责人: 夏晓彬 (签字)

夏晓彬

填表人: 郭先伟 (签字)

郭先伟

建设单位 (盖章)



电话: 021-39191007

传真: 021-59913031

邮编: 201800

地址: 上海市嘉定区嘉罗公路 2019 号

编制单位 (盖章)



电话: 021-39191007

传真: 021-59913031

邮编: 201800

地址: 上海市嘉定区嘉罗公路 2019 号

表 1 项目基本情况

建设项目名称	钍基熔盐核能系统项目放射源及 X 射线探伤机				
建设单位名称	中国科学院上海应用物理研究所				
项目性质	☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建				
建设地点	甘肃省武威市民勤红沙岗能源化工工业集中区				
源项	放射源		使用 II 类密封放射源 1 枚 使用 IV 类密封放射源 1 枚 使用 V 类密封放射源 5 枚		
	非密封放射性物质		/		
	射线装置		使用 II 类射线装置 1 台		
建设项目环评批复时间	2022 年 6 月 10 日	开工建设时间	2022 年 6 月 11 日		
取得辐射安全许可证时间	2023 年 6 月	项目投入运行时间	2024 年 12 月		
辐射安全与防护设施投入运行时间	2024 年 12 月	验收现场监测时间	2024 年 12 月		
环评报告表审批部门	甘肃省生态环境厅	环评报告表编制单位	甘肃核创环保科技有限公司		
辐射安全与防护设施设计单位	中国科学院上海应用物理研究所	辐射安全与防护设施施工单位	中国科学院上海应用物理研究所		
投资总概算	300 万元	环保投资总概算	119.23 万元	比例	39.7%
实际总概算	296.11 万元	环保投资	115.22 万元	比例	38.9%
验收依据	1. 《中华人民共和国环境保护法》，2015 年 2. 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 3. 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，2005 年 4. 《中华人民共和国大气污染防治法》，2002 年 5. 《中华人民共和国水污染防治法》，2008 年 6. 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令 449 号 7. 《建设项目环境保护条例》（修订），2017 年 7 月，国务院令 682 号 8. 《关于发布<建设项目竣工环境保护验收技术指南 污染影响类>的公告》，2018 年 5 月生态环境部公告 2018 年第 9 号 9. 《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4 号） 10. 《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》 11. 钍基熔盐核能系统项目放射源及 X 射线探伤机环境影响报告表，2022 年 3 月 12. 甘肃省生态环境厅关于钍基熔盐核能系统项目放射源及 X 射线探伤机环境影响报告表的批复，2022 年 6 月 10 日，甘环核表[2022]7 号				

验收依据	1. GB18871-2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》 2. GBZ128-2019《职业性外照射个人监测规范》 3. GBZ141-2002《γ射线和电子束辐照装置防护检测规范》 4. 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021） 5. 《辐射防护仪器中子周围剂量当量（率）仪》（GB/T14318-2019） 6. 《工业X射线探伤放射防护要求》（GBZ117-2022）
验收执行标准	（1）职业照射和公众照射 ➤ 剂量限值 根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的规定，职业照射连续 5 年的年平均有效剂量不超过 20mSv，公众照射中关键人群组的成员所受的年有效剂量不超过 1mSv。 ➤ 剂量约束值 竣工验收执行环评《钍基熔盐核能系统项目放射源及 X 射线探伤机环境影响报告表》和环保批复意见确定的剂量约束值，即：工作人员的年职业照射年平均有效剂量不超过 5mSv/a，公众年有效剂量不超过 0.25mSv/a。 （2）固体废弃物 中子源由售源单位回收处理，其它放射源由有资质的单位回收处置，X 射线探伤机产生的固体废物不丢弃，定期委托有资质的单位回收。 （3）废液 本项目放射源储存使用过程中不会产生放射性废液，X 射线机探伤机产生的废液不外排，定期委托有资质的单位回收。

表 2 项目建设情况

项目建设内容：

为研究和开发更加先进、安全和经济的第四代先进反应堆核能系统，中国科学院上海应用物理研究所（简称“上海应物所”）武威园区建设有 1 座 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）。为满足 TMSR-LF1 运行需求及相关辐射监测设备的正常运行，在建设期间购入 7 枚密封放射源，包括 1 枚 $^{241}\text{Am-Be}$ 中子源，用于反应堆启动；6 枚 Cs-137 密封放射源，其中 4 枚用于设备探头拓展量程，2 枚用于设备校准。另外，为了对焊接试件进行无损探伤，购入 1 台工业用 X 射线探伤装置，在 03 综合实验大厅内开展现场探伤作业，探伤机不用时存放在 03 综合实验大厅内的探伤机暂存库内。上海应物所于 2022 年 3 月委托甘肃核创环保科技有限公司完成了钍基熔盐核能系统项目放射源及 X 射线探伤机的环评报告表，同年 6 月 10 日获得甘肃省生态环境厅的审批意见（甘环核表[2022]7 号），2023 年 6 月完成辐射安全许可证增项评审，获得辐射安全许可（国环辐证[00187]），2024 年 12 月，本项目放射源及 X 射线探伤机全部投入运行并委托中国科学院上海应用物理研究所辐射检测中心开展了现场验收监测工作。按照建设项目“三同时”的建设要求，目前以上项目所有环境保护措施和安全防护设施均已建设完毕且运行正常，相关环境影响指标经检测和分析满足环保要求，已具备了项目竣工环境保护验收条件。

1.地理位置及平面布置

本项目位于甘肃省武威市民勤红沙岗工业集聚区，隶属于甘肃省武威市民勤县，区域地势开阔，半径 5km 范围内无固定的居民点及生态环境敏感区，地理位置坐标为 $\text{N}38^{\circ} 57' 31''$ ， $\text{E}102^{\circ} 36' 55''$ ，项目地理位置图请见图 1，区域环境见图 2。

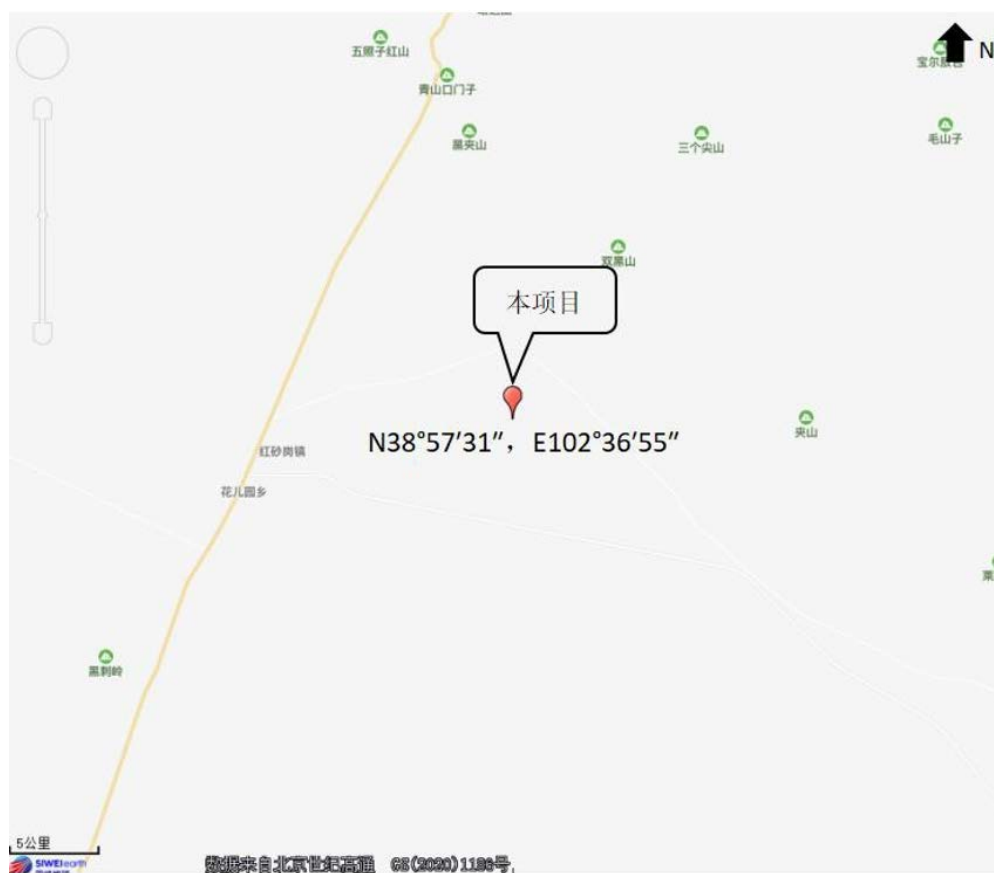


图 1 项目地理位置图

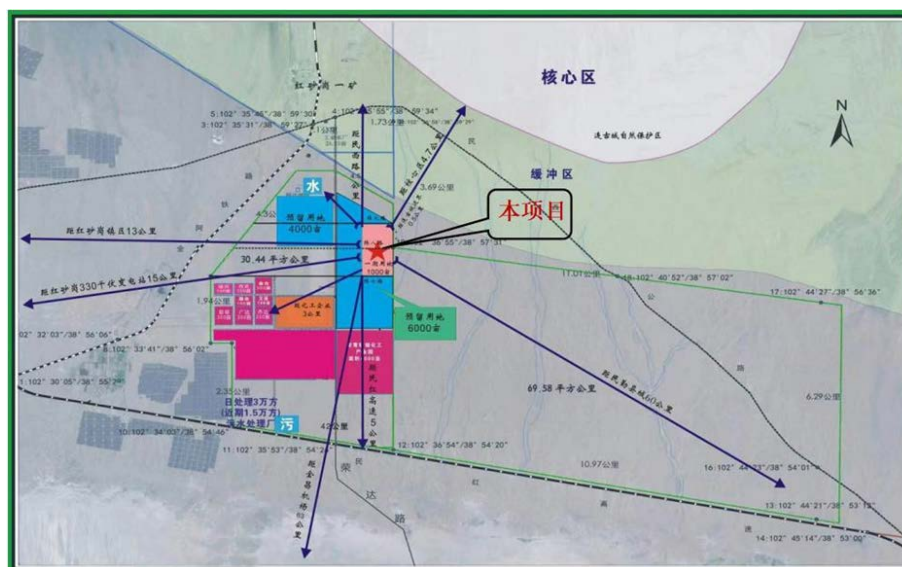


图 2 本项目区域环境图

本项目密封放射源储存、使用场所位于 TMSR-LF1 主体装置厂房内，反应堆所在厂房位于建设单位武威园区北侧。本项目工业用 X 射线探伤装置储存、使用场所位于 03 综合实验大厅内，03 综

合实验大厅位于武威园区东侧。项目用地为武威园区规划用地，反应堆所在厂房及 03 综合实验大厅东、南、西、北侧 50m 内均无人员居住区、自然保护区、水源保护区等环境敏感点和生态敏感点，周围没有项目建设的制约因素，本项目通过采取相应有效治理和屏蔽措施后对周围环境影响较小，因此选址是合理的。

（1）放射源贮存、使用场所

TMSR-LF1 主体装置厂房内设置了 1 间中子源暂存间，用于临时存放 1 枚 $^{241}\text{Am-Be}$ 中子源、2 枚用于设备校准的 Cs-137 密封源，目前中子源存放在上堆舱安全容器内。中子源暂存间位于反应堆大厅东侧，其东侧紧邻中子能谱测量间，西侧、南侧及正上方均为堆大厅内部，北侧紧邻 2#工作联系楼梯间，正下方为地下-8m 层的一段通道。TMSR-LF1 主体装置厂房为带地下室的多层建筑，地下室正下方为土层。堆大厅东侧紧邻检修间、中子能谱测量间、清洗间、通风竖井、排气单元及走廊，由西向东依次为走廊、通信设备间、转运间等相关功能用房。西侧紧邻走廊，由东向西依次为气衣置放间、手脚污染检测仪间、机械手维修调试间、变配电室等功能用房。南侧紧邻热室操作区、由北向南依次为走廊、分析间、更衣室、门厅、值班室、室外。北侧为区内空地。

4 枚用于设备探头拓展量程的 Cs-137 放射源嵌于探测器内，分别位于堆厂房 LF1106 房间（辅助设备间，放置 2 枚）、LF1110 房间（尾气处理间）及 LF1412 房间（烟囱流出监测间）。根据探测装置结构，其表面辐射剂量水平不会对人体及周围环境造成辐射危害，且 LF1106 房间、LF1110 房间及 LF1412 房间相邻区域为反应堆辅助用房，如通风竖井间、氩气循环与冷却系统设备间等，无人员滞留用房。

（2）X 射线探伤装置使用场所

本项目射线装置的使用场所为 03 综合实验大厅，不设探伤室，所有探伤作业均为现场探伤。03 综合实验大厅为单层建筑，正下方为土层。现场探伤时通过人员清场或错峰开展探伤作业，将无关人员疏散至监督区以外，设专人警戒，防止无关人员进入监督区和控制区引起不必要的意外照射。X 射线探伤装置配套建设有洗片室等辅助用房，建于 03 综合实验大厅东北角 2 楼平台，胶片在建设单位规划的洗片室进行暗室处理。探伤机无工作任务时，贮存在建设单位规划的暂存库内，并由专人保管。

综上分析，本项目各功能分区明确，平面布局满足工作要求，有利于辐射防护和环境保护，平面布局合理。

武威园区总平面布局见图 3，TMSR-LF1 主体装置厂房大厅（0m 层）平面布局见图 4，TMSR-LF1 主体装置厂房（5m 层）平面布局见图 5，TMSR-LF1 主体装置厂房（-8m 层）平面布局见图 6，03 综合实验大厅平面布局见图 7。

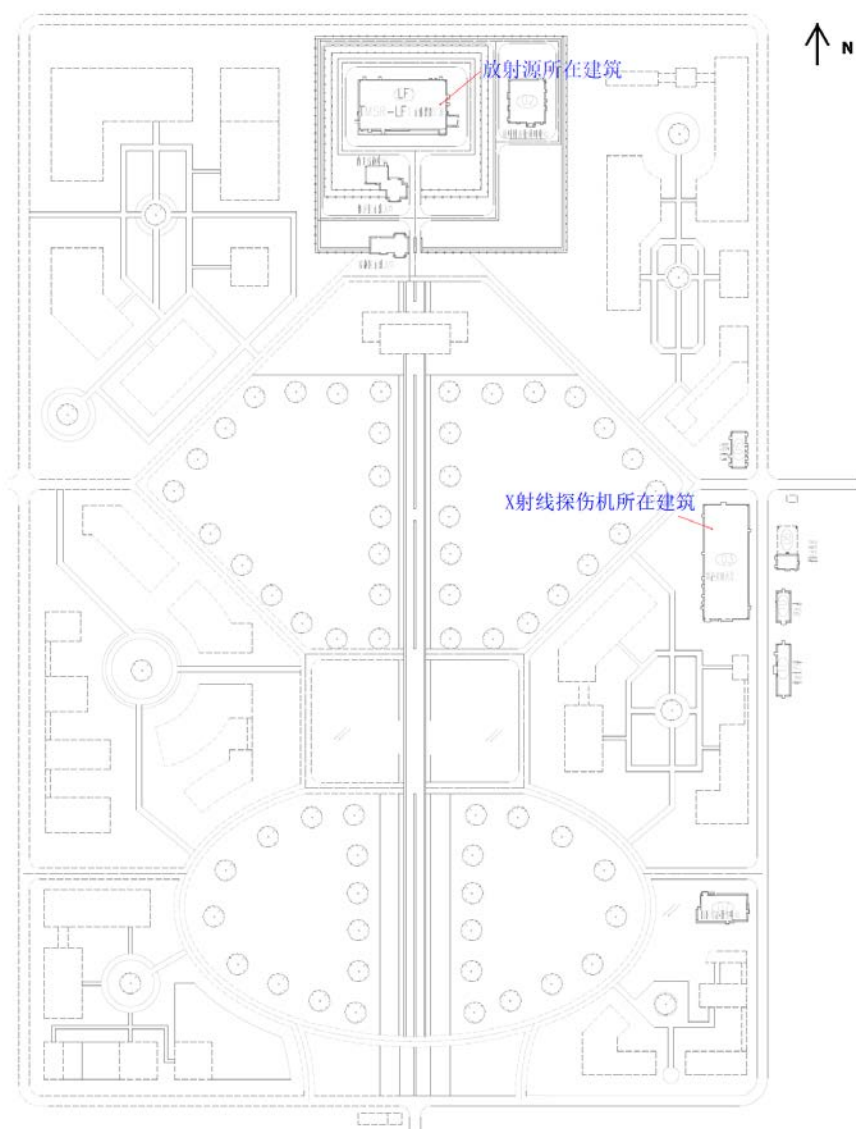


图3 武威园区总平面布局图

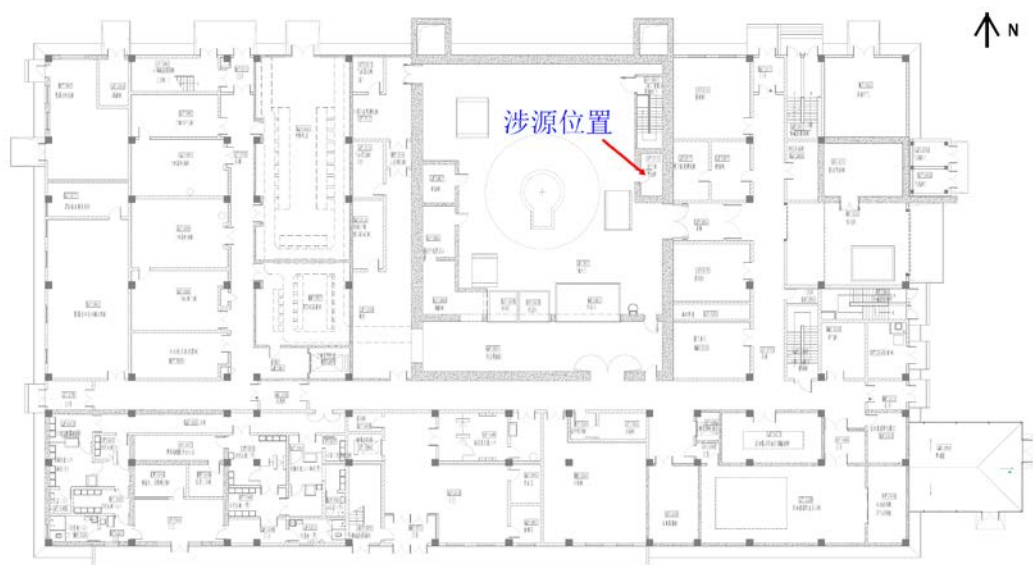


图 4 TMSR-LF1 主体装置厂房大厅（0m 层）平面布局图

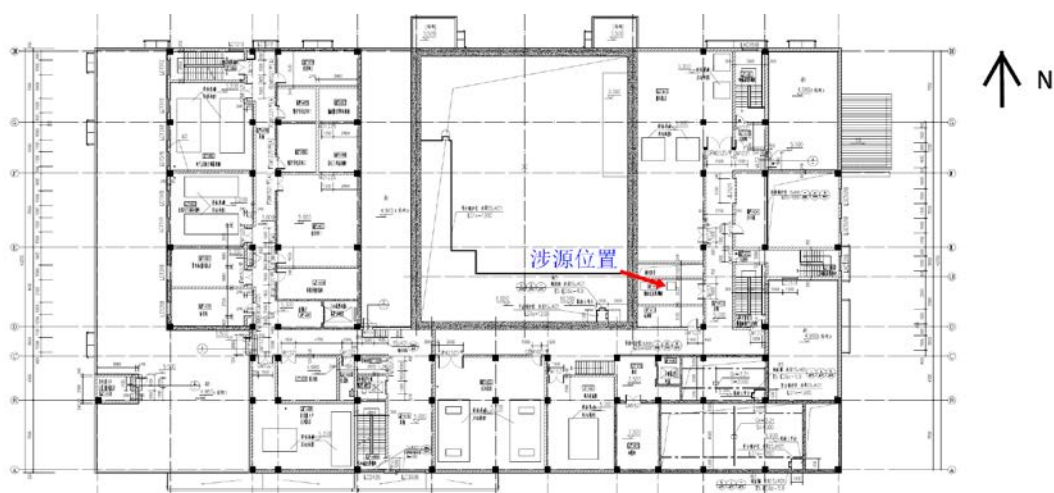


图 5 TMSR-LF1 主体装置厂房大厅（5m 层）平面布局图

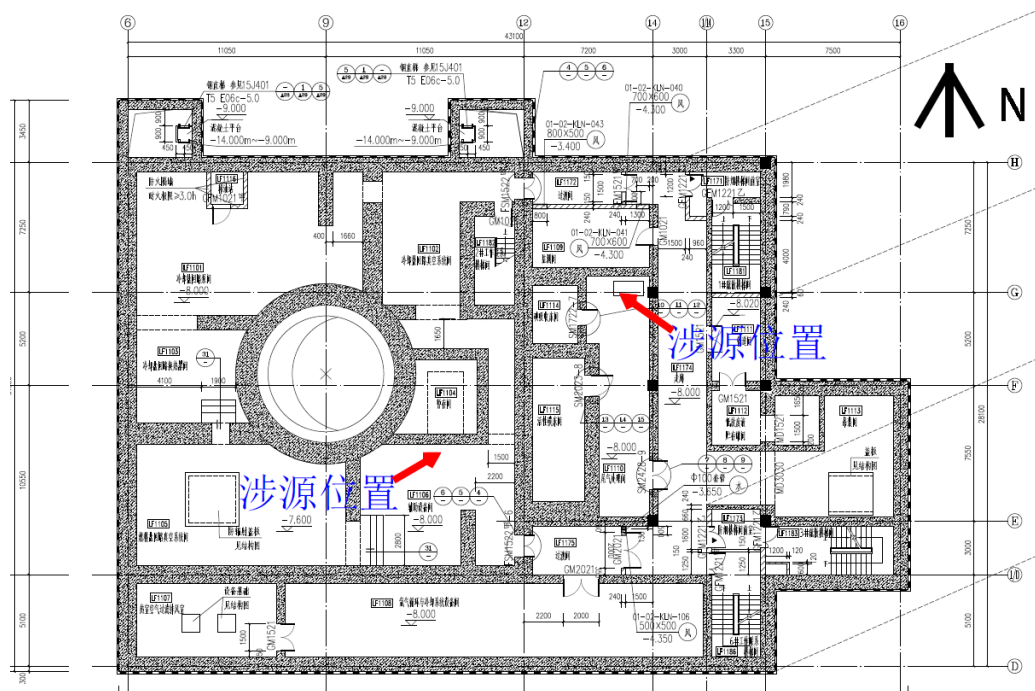


图 6 TMSR-LF1 主体装置厂房大厅（-8m 层）平面布局图

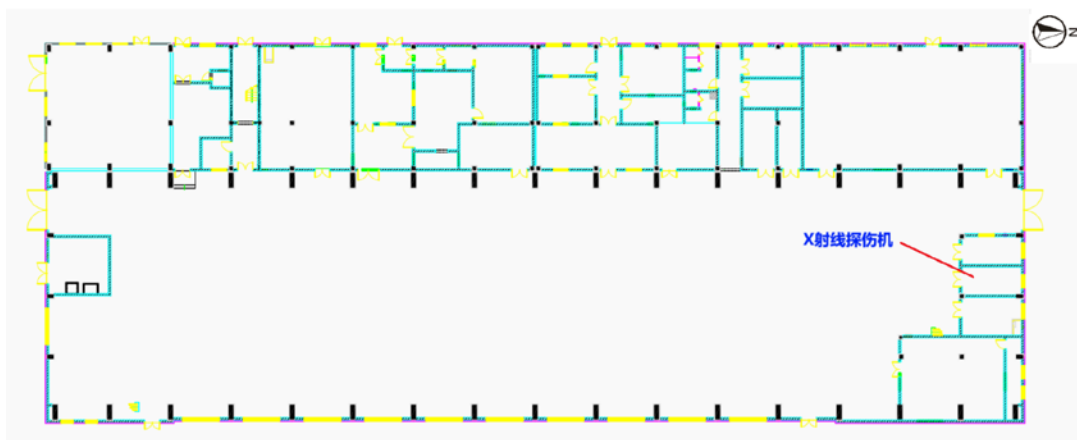


图 7 03 综合实验大厅平面布局图

2.建设内容

本新建项目的密封放射源、射线装置详细情况如下：

（1）密封放射源

共涉及使用 7 枚密封放射源。

1 枚 $^{241}\text{Am-Be}$ 中子源（II 类源）用于堆芯裂变核燃料启堆，最终安装在反应堆内部使用。放射

源安装前，装在中子源出厂自带的存储桶内，存放于中子源暂存间东北角，安装后中子源放置于反应堆上堆舱安全容器。安装前中子源操作主要在堆大厅，安装后主要在反应堆上堆舱安全容器内。

①中子源存储桶

中子源存储桶为 Hopewell Designs 公司的 Model 991-8 型，直径为 23 英寸，高度为 34 英寸，其中子屏蔽层采用水性聚酯 WEP 材料进行屏蔽。WEP 材料包含 60%的水及 40%的树脂，在水里溶解了含硼材料，并以小珠状高密度聚乙烯的形式分散在 WEP 基体中作为骨料。中子源孔道内塞为直径 10.2cm、高度 50.5cm 的圆柱体，材料为高密度聚乙烯。

②中子源暂存间

中子源暂存间位于堆厂房大厅，南北长 3.7m，东西宽 1.95m，建筑面积 7.22m²。暂存间东侧为 100cm 普通混凝土，北侧为 50cm 普通混凝土，西侧及南侧为 60cm 普通混凝土，房门 5cm 厚，设有 3cm 厚钢板。在中子源暂存间对中子源存储桶采用 50cm 厚聚乙烯进行屏蔽。中子源暂存间主要存放用于反应堆启堆用 ²⁴¹Am-Be 中子源和用于设备校准的 Cs-137 密封源。中子源暂存间照片见图 8。



图 8 中子源暂存间照片

③堆大厅

堆大厅南北长 22.1m，东西宽 21.1m，建筑面积 466m²，堆厂房大厅东侧和西侧均为 100cm 普通混凝土，北侧、南侧均为 80cm 普通混凝土，顶部为 20cm 普通混凝土，进出堆大厅房门 8cm 厚，设

有 3cm 厚钢板。堆大厅照片见图 9。

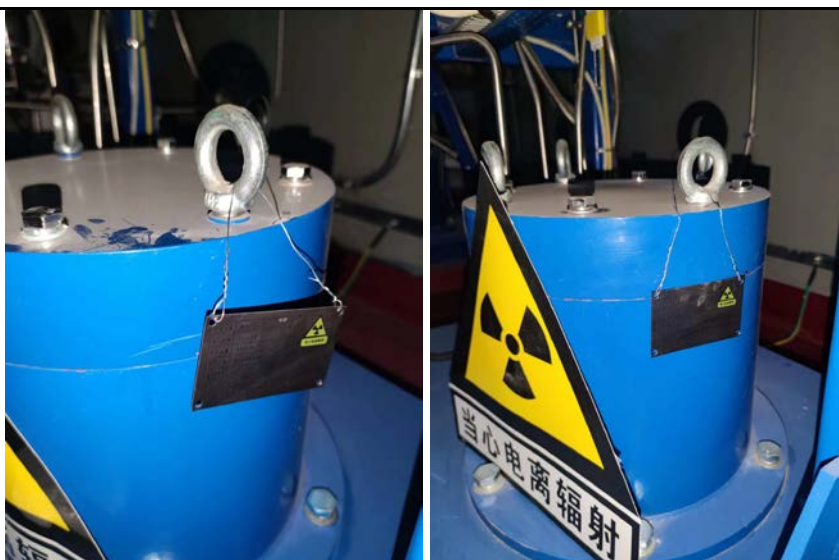


图 9 堆大厅照片

④上堆舱

上堆舱侧面为 120cm 普通混凝土，顶部为 180cm 普通混凝土。

4 枚用于设备探头拓展量程的 Cs-137 放射源（V 类源）嵌于探测器内，其中 3 枚随监测设备分别储存在堆大厅东侧地下 1 层的 LF1106 室（辅助设备间，放置 2 枚）、LF1110 室（尾气处理间），剩余 1 枚随监测设备储存在堆大厅东侧 2 层的 LF1412 室（烟囱流出物监测间），其使用场所与储存场所一致。LF1106、LF1110 和 LF1412 室中放射源使用和储存位置照片见图 10。



a) LF1106 安全容器惰性气体监测仪 1#和 2#照片



b) LF1110 尾气处理系统出口惰性气体监测仪



c) LF1412 高量程惰性气体监测仪

图 10 设备探头拓展量程用 Cs-137 放射源使用和储存位置照片

2 枚用于设备校准的 Cs-137 放射源不用时置于铅罐中存放在中子源暂存间，使用时根据实际情况选择在 LF1106 室（辅助设备间）、LF1110 室（尾气处理间）、LF1412 室（烟囱流出监测间）使用。

（2）射线装置

本项目涉及使用 1 台射线装置，在 03 综合实验大厅内开展现场探伤作业，探伤机不用时存放在 03 综合实验大厅内的探伤机暂存库内。配套建设有暗室、晾片室等辅助工程位于 03 综合实验大厅

东北角的二层平台上。连接探伤机与控制箱的电缆线长度为 25m，探伤装置有延时曝光、训机等固有安全性能。探伤机暂存库照片见图 11。



图 11 探伤机暂存库

本项目服务于 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆，放射源拟建内容与实际建设情况见表 1，X 射线探伤机拟建内容与实际建设内容一致。

表 1 放射源建设情况一览表

序号	核素名称	类别	拟建内容		实际建设内容	
			数量 (枚)	出厂活度 (Bq)	数量 (枚)	出厂活度 (Bq)
1	²⁴¹ Am-Be 中子源	II	1	²⁴¹ Am-Be: 666GBq; 中子: 3.92E+07n/s	1	²⁴¹ Am-Be: 666GBq; 中子: 3.92E+07n/s
2	Cs-137	V	4	3.70E+05	4	3.70E+05
3	Cs-137	IV	1	3.70E+09	1	3.70E+09
4	Co-60	V	1	2.00E+05	0	
5	Am-241	V	1	4.00E+04	0	
6	Sr-90/Y-90	V	1	4.00E+04	0	
7	Cs-137	V	1	1.85E+08	1	1.48E+06

*4、5、6 三枚 V 类源未采购，在设备调试过程中发现可以采用豁免源等进行替代。

源项情况：

本项目密封放射源信息见表 2，射线装置信息见表 3。

表 2 密封放射源信息一览表

序号	核素名称	类别	数量 (枚)	出厂活度 (Bq)	活动 种类	用途
1	²⁴¹ Am-Be 中子源	II	1	²⁴¹ Am-Be: 666GBq; 中子: 3.92E+07n/s	使用	启堆中子源
2	Cs-137	V	4	3.70E+05	使用	设备探头 拓展量程
3	Cs-137	IV	1	3.70E+09	使用	设备校准
4	Cs-137	V	1	1.48E+06	使用	设备校准

表 3 射线装置信息一览表

序号	装置名称	型号	类别	数量	额定管电压 (kV)	额定管电流 (mA)	1m 处的漏射线空气比释动能率 (mGy/h)	射线管材质	生产厂家	使用场所
1	工业用X射线探伤装置	XXG-2505	II类	1	250	5	≤5	玻璃管	丹东通广射线仪器有限公司	03 综合实验大厅

3.工程设备与工艺分析：

3.1 密封放射源

(1) ²⁴¹Am-Be 中子源 (1 枚)

①工作原理

²⁴¹Am 自发衰变产生的 α 粒子与 Be 发生核反应产生中子 n, ²⁴¹Am:⁹Be(α,n)¹²C; 使用中子源时, 通过远程操作机械装置, 将中子源放入反应堆用于反应堆启堆。启堆基本原理为: 中子源产生的中子 n 与核燃料 ²³⁵U 发生核裂变反应 (n+²³⁵U-->裂变), 使反应堆内核燃料发生链式裂变反应, 启动反应堆。

②将中子源装入上堆舱的操作流程如下

- a) 前期将中子源置于中子源储存桶内暂存在中子源暂存库；
- b) 安装时，人工将中子源储存桶从暂存间移至天吊车吊钩处，并将储存桶悬挂在天吊车吊钩上；
- c) 天吊车操作人员将中子源储存桶吊至上堆舱；
- d) 人工将中子源用 40cm 的钳具从储存桶中取出并悬挂在重锤上；
- e) 在主控室内进行中子源安装后的所有操作，安装完成后中子源长期存储在上堆舱安全容器内，正常情况不再取出。
- f) 步骤 a)→d)仅在安装时执行 1 次。放射源维修或回收处置时，反向重覆从 e) →a) 的操作过程。见图 12、13。

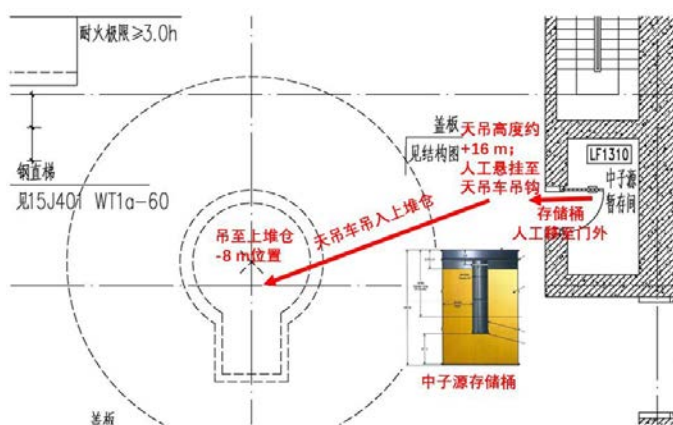


图 12 中子源存储桶在中子源暂存间、堆大厅的移动路径

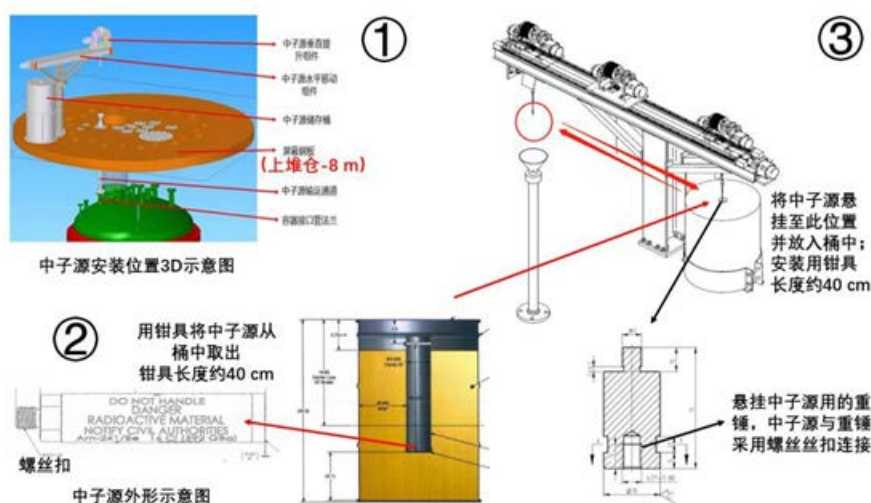


图 13 中子源在上堆舱的安装过程示意

(2) Cs-137 密封源 (4 枚)

Cs-137 密封源 (出厂活度 $3.70\text{E}+05\text{Bq}$) 内嵌于 4 台高量程惰性气体监测仪的探测器中, 作为设备量程拓展功能使用, 该放射源自设备安装完成后将一直保存在设备内部。

①工作原理

利用 Cs-137 密封源发出的 γ 射线 (最大能量 0.662MeV), 对惰性气体监测仪电离室探测器进行计数响应。放射源在设备出厂时安装于高量程惰性气体监测仪的探测器中, 作为内嵌源使用, 开机后在电离室探测器内部产生固定计数响应, 从而使设备判定探测器工作正常, 并维持设备在探测下限附近有效, 达到量程拓展的目的。

②工作流程

a) 设备开机, 放射源在电离室探测器内产生计数响应;

b) 设备内部扣除源产生的测量计数, 开始正常测量。

(3) Cs-137 密封源 (1 枚)

Cs-137 密封源 (出厂活度 $3.70\text{E}+09\text{Bq}$) 作为高量程惰性气体监测仪的校准源使用。

①工作原理

利用 Cs-137 密封源发出的 β 射线 (最大能量 0.512MeV), 对惰性气体监测仪进行校准。放射源平时贮存在源库内, 进行校准时, 将放射源从源库转运至监测仪所在的位置处, 开机进行校准操作, 从而达到校准的目的。

②工作流程

a) 进行定位: 将放射源放入校准托架上, 并将托架推入监测仪探测器的校准位置处, 进行准确定位;

b) 开机进行校准, 校准结束后将放射源转运至源库内储存。

c) 数据处理: 将数据与源真值进行比较, 得出校准因子。

(4) Cs-137 密封源 (出厂活度 $1.48\text{E}+06\text{Bq}$) 主要用于辐射监测设备的校准。

①工作原理

利用置于源容器中的 Cs-137 密封源发出的 γ 射线（最大能量 0.662MeV），对辐射监测设备进行校准。放射源平时贮存在源容器内，进行校准时，将源容器盖板打开，引出经过准直的 γ 射线对校准对象进行照射，从而达到校准的目的。

② 工作流程

a) 进行定位：根据被校准对象和源的活度确定照射剂量和照射距离，对校准对象进行准确定位和固定；

b) 开机并打开源容器盖板进行校准，校准结束后将源容器盖板关上，将放射源转运至源库内储存。

c) 数据处理：将数据与源真值进行比较，得出校准因子。见图 14。

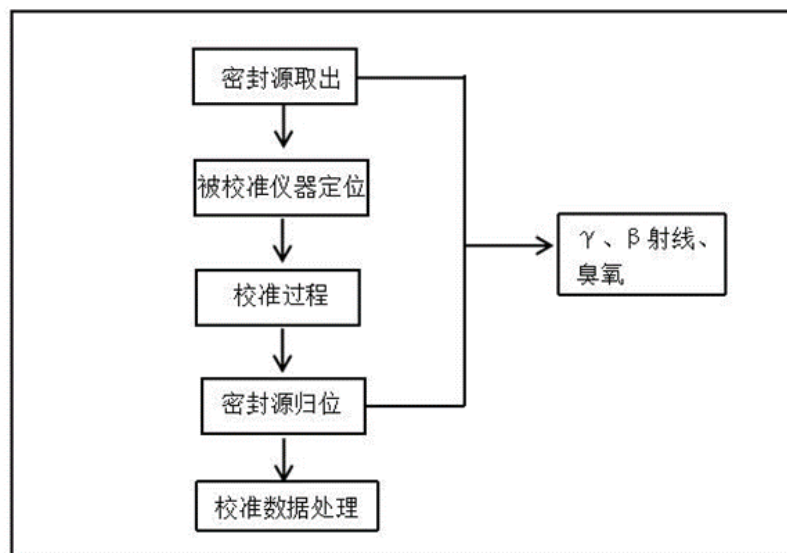


图 14 校准源操作流程及产污环节

3.2 工业用 X 射线探伤装置

(1) 工作原理

射线在穿透物体过程中会与物质发生相互作用，因吸收和散射而使其强度减弱。强度衰减程度取决于物质的衰减系数和射线在物质中穿过的厚度。如被透照试件的局部存在缺陷，且构成缺陷的物质的衰减系数又不同于试件本身，该局部区域的透过射线强度就会与周围产生差异。把胶片放在适当位置使其在透过射线的作用下感光，经暗室处理后得到底片。由于缺陷部位和完好部位的透射线强度不同，底片上相应部位就会出现黑度差异，底片上相邻区域的黑度差定义为“对比度”，把底片放在观片灯上借助透过光线观察，可以看到由对比度构成的不同形状的影子，评片人员据此判断缺陷情况并评价试件质量。

X 射线机主要由 X 射线管和高压电源组成，其中 X 射线管由阴极和阳极组成。阴极通常是装在聚焦杯中的钨灯丝；阳极靶则根据应用的需要，由不同的材料制成各种形状，一般用高原子序数的难熔金属（如钨、铂、金等）制成。当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。高电压加在 X 射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度，这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡从而产生 X 射线。典型的 X 射线管结构图见图 15。

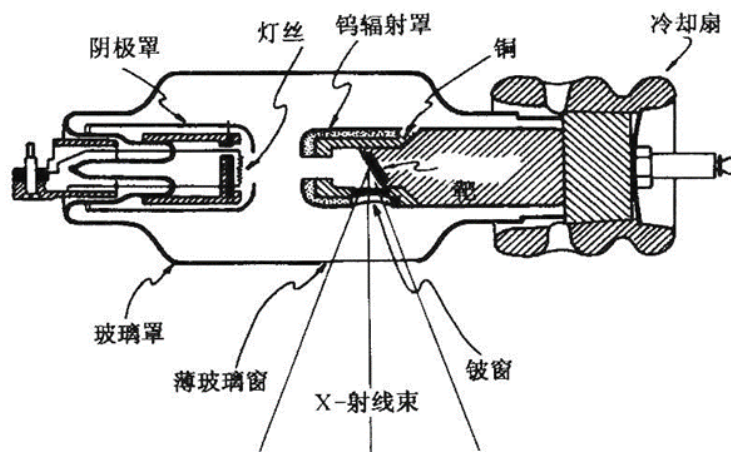


图 15 典型的 X 射线管结构图

（2）X 射线探伤机结构组成

X 射线探伤机主要由控制器、X 射线发生器、电源电缆及附件等组成。控制器采用了先进的微机控制系统，可快速调压，可逆变控制及稳压、稳流，工作稳定性好，运行可靠。控制器为手提箱式结构，控制面板设置操作按钮和显示窗口，并配备电缆插座、源开关及接地端子的插座盒。

X 射线发生器由 X 射线管、高压变压器与绝缘体一起封装在桶装套内组合组成。X 射线发生器一端装有风扇和散热器，并配备表征探伤机系统处于工作状态的警示灯。X 射线管、屏蔽套及附件总称管头组装体。

（3）工作流程

本项目工业用 X 射线探伤装置探伤作业时间实行错峰制，一般选择在晚上或 03 综合实验大厅西侧的放化实验场所内无人时进行。

①训机 训机场所与现场探伤场所一致，周期为每次探伤作业前，探伤机长期不用时，每月至少 1 次。训机期间应落实探伤作业时的相关辐射安全与防护措施。

a) 接通电源；

b) 指示灯提示训机程序;

c) 调节训机目标管电压;

d) 自动训机 (30min/次);

e) 训机结束。

②两区划分

a) 现场探伤作业前, 查阅项目环评报告表中给出的两区距离;

b) 利用自备的便携式 X/γ 辐射监测仪由远及近监测环评报告表中两区距离处的剂量率, 并根据实际适当调整。根据两区划分结果设置警戒设施, 开机后工作人员退至安全区域, 对被测工件进行无损检测, 现场探伤工作流程图如图 16 所示, X 射线现场探伤工作流程如下:

(1) 发布 X 射线探伤通知, 工作人员将被探伤试件放到指定的拍片位置。

(2) 根据探伤计划, 做好探伤前的准备工作, 主要有:

①划定控制区和监督区范围和边界, 进行人员清场并在场界拉上警戒绳, 在控制区边界上悬挂清晰可见的“禁止进入 X 射线区”警告牌, 在监督区边界上悬挂清晰可见的“无关人员禁止入内”警告牌, 必要时派专人警戒。

②在清理完现场, 确信场内无其他人员后, 准备开机探伤。

(3) 确认场内无其他人员且警戒、警示标志等辐射安全措施到位后, 开机进行试曝光。

(4) 试曝光期间借助剂量率测量仪对控制区和监督区边界进行检测, 根据检测结果修正监督区和控制区边界。

(5) 开机进行曝光, 达到预定曝光时间后, 探伤结束, 清理完现场后解除警戒, 辐射工作人员离场。

(6) 将曝光后的胶片带回单位洗片室进行洗片、评片、出具检测报告。

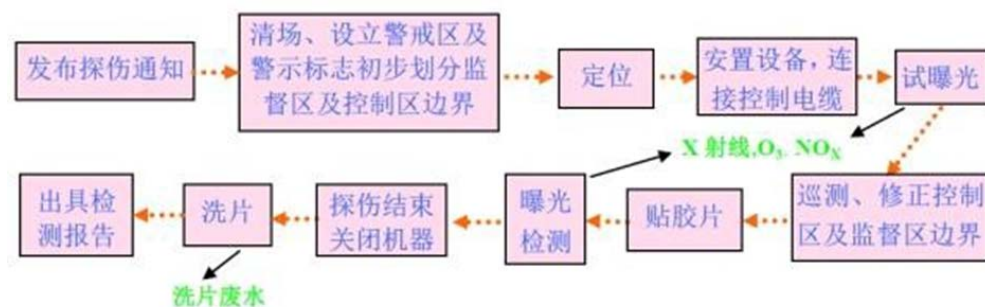


图 16 现场探伤工作流程及产污环节

3.3 人员配备

建设单位已按要求新增辐射工作人员 11 名，其中无损检测 3 名，放射防护 8 名，均已通过辐射安全与防护考核并取得了合格证书，且在有效期内。本项目工作人员信息表请见表 4。

表 4 辐射工作人员相关信息表

序号	姓 名	工作岗位	辐射安全与防护培训时间	培训证号
1	玉昆	无损检测	2025.05	FS25SH1100240
2	岳民杰	无损检测	2020.11	FS20LN1100042
3	王金龙	无损检测	2025.05	FS25SH1100241
4	董元鹏	辐射防护	2020.11	FS20SH1000584
5	刘涛	辐射防护	2020.11	FS20SH1000575
6	耿福韞	辐射防护	2021.10	FS21SH2200361
7	李海强	辐射防护	2021.04	FS21SH2200038
8	杨林兄	辐射防护	2021.04	FS21SH2200037
9	李新年	辐射防护	2020.11	FS20SH1000582
10	田文社	辐射防护	2020.11	FS20SH1000573
11	陈磊	辐射防护	2020.11	FS20SH1000580

核技术利用辐射安全与防护考核

成绩报告单



玉昆，男，1986年11月19日生，身份证：[REDACTED]，于2025年05月参加 伽马射线探伤 辐射安全与防护考核，成绩合格。

编号：FS25SH1100240

有效期：2025年05月29日至 2030年05月29日

报告单查询网址：fushe.mee.gov.cn



核技术利用辐射安全与防护考核

成绩报告单



岳民杰，男，1986年06月12日生，身份证：[REDACTED]，于2020年10月参加 伽马射线探伤 辐射安全与防护考核，成绩合格。

编号：FS20LN1100042

有效期：2020年11月02日至 2025年11月02日

报告单查询网址：fushe.mee.gov.cn



核技术利用辐射安全与防护考核

成绩报告单



王金龙，男，1982年06月06日生，身份证：[REDACTED]，于2025年05月参加 伽马射线探伤 辐射安全与防护考核，成绩合格。

编号：FS25SH1100241

有效期：2025年05月29日至 2030年05月29日

报告单查询网址：fushe.mee.gov.cn



核技术利用辐射安全与防护考核

成绩报告单



陈磊，男，1992年12月24日生，身份证：[REDACTED]，于2020年11月参加 非医学其他 辐射安全与防护考核，成绩合格。

编号：FS20SH1000580

有效期：2020年11月13日至 2025年11月13日

报告单查询网址：fushe.mee.gov.cn



核技术利用辐射安全与防护考核

成绩报告单



董元鹏，男，1993年05月17日生，身份证：[REDACTED]，于2025年05月参加 科研、生产及其他 辐射安全与防护考核，成绩合格。

编号：FS25SH2300276

有效期：2025年05月29日 至 2030年05月29日



报告单查询网址：fushe.mee.gov.cn

核技术利用辐射安全与防护考核

成绩报告单



耿福韞，男，1999年06月21日生，身份证：[REDACTED]，于2021年10月参加 辐射安全管理 辐射安全与防护考核，成绩合格。

编号：FS21SH2200361

有效期：2021年10月13日 至 2026年10月13日



报告单查询网址：fushe.mee.gov.cn

核技术利用辐射安全与防护考核

成绩报告单



李海强，男，1998年12月24日生，身份证：[REDACTED]，于2021年04月参加 辐射安全管理 辐射安全与防护考核，成绩合格。

编号：FS21SH2200038

有效期：2021年04月16日 至 2026年04月16日

报告单查询网址：fushe.mee.gov.cn



核技术利用辐射安全与防护考核

成绩报告单



李新年，男，1996年09月30日生，身份证：[REDACTED]，于2020年11月参加 非医学其他 辐射安全与防护考核，成绩合格。

编号：FS20SH1000582

有效期：2020年11月13日 至 2025年11月13日

报告单查询网址：fushe.mee.gov.cn



核技术利用辐射安全与防护考核

成绩报告单



刘涛，男，1997年06月14日生，身份证：[REDACTED]，于2020年11月参加 非医学其他 辐射安全与防护考核，成绩合格。

编号：FS20SH1000575

有效期：2020年11月13日 至 2025年11月13日

报告单查询网址：fushe.mee.gov.cn



核技术利用辐射安全与防护考核

成绩报告单



田文社，男，1995年09月13日生，身份证：[REDACTED]，于2020年11月参加 非医学其他 辐射安全与防护考核，成绩合格。

编号：FS20SH1000573

有效期：2020年11月13日 至 2025年11月13日

报告单查询网址：fushe.mee.gov.cn



核技术利用辐射安全与防护考核

成绩报告单



杨林兄，女，1997年04月05日生，身份证：[REDACTED]，于2021年04月参加 辐射安全管理 辐射安全与防护考核，成绩合格。

编号：FS21SH2200037

有效期：2021年04月16日至 2026年04月16日

报告单查询网址：fushe.mee.gov.cn



表 3 辐射安全与防护设施/措施

简述项目工作场所的布局和分区管理、屏蔽设施建设情况和屏蔽效能、辐射安全与防护措施的设置和功能实现情况、放射性三废处理设施的建设和处理能力和辐射安全管理情况。

1.工作场所布局及分区管理

(1) 密封放射源

本项目密封放射源的使用、贮存场所均在 TMSR-LF1 主体装置厂房大厅内，TMSR-LF1 主体装置厂房为带有地下室的多层建筑，地下室正下方为土层。堆大厅东侧紧邻检修间、中子能谱测量间、清洗间、通风竖井、排气单元及走廊，由西向东依次为走廊、通信设备间、转运间等相关功能用房。西侧紧邻走廊，由东向西依次为气衣置放间、手脚污染检测仪间、机械手维修调试间、变配电室等功能用房。南侧紧邻热室操作区、由北向南依次为走廊、分析间、更衣室、门厅、值班室、室外。北侧为区内空地。

(2) 工业 X 射线探伤装置

本项目射线装置的使用场所为 03 综合实验大厅，不设探伤室，所有探伤作业均为现场探伤。03 综合实验大厅为单层建筑，正下方为土层。现场探伤时通过人员清场或错峰开展探伤作业，将无关人员疏散至监督区以外，设立警戒线，防止无关人员进入监督区和控制区引起不必要的意外照射。X 射线探伤装置配套建设有洗片室等辅助用房，建于 03 综合实验大厅东北角 2 楼平台，胶片在建设单位规划的洗片室进行暗室处理。探伤机无工作任务时，贮存在建设单位规划的暂存库内，并由专人保管。

2.分区原则和区域划分情况

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求：建设单位应把辐射工作场所分为控制区和监督区，并实行两区管理制度。控制区在工作期间禁止无关人员入内，并设置明显的电离辐射警示标志，以便于辐射安全管理和职业照射控制。

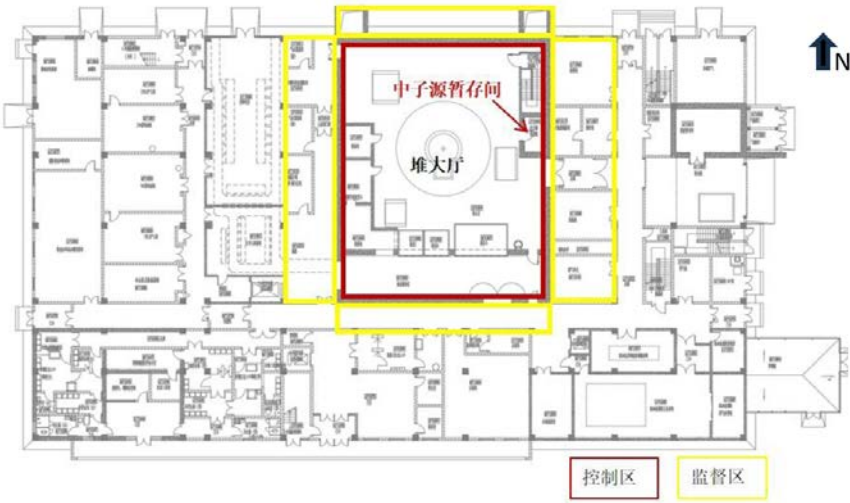
控制区：该区域内需要或可能需要专门防护手段或安全措施，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射范围。控制区的进出口及其他适当位置应设置醒目的电离辐射警告标志。

监督区：该区域通常不需要专门防护手段或安全措施，但需经常对职业照射条件进行监督和评价。

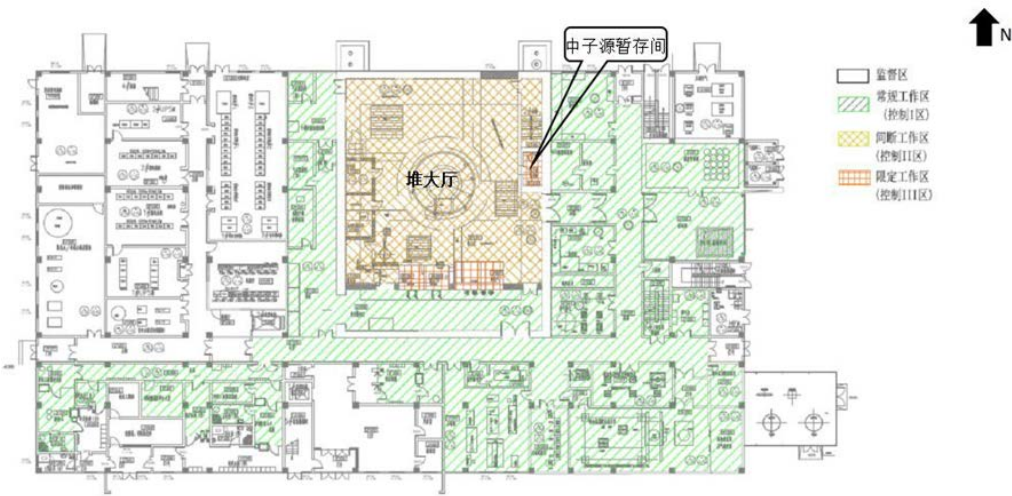
(1) 密封放射源使用场所

表 5 密封放射源使用场所分区一览表

场所	控制区	监督区	备注
密封放射源储存、使用场所	堆大厅内	场所东侧：2#工作联系楼梯间、检修间、中子能谱测量间、堆大厅防护门处、清洗间、排气单元间； 场所西侧：气衣置放间（脏）、手脚污染检测仪间、气衣置放间（净）、机械手维修调试间、通道； 场所南侧：走廊； 场所北侧：相邻位置处。	TMSR-LF1 运行前
	堆大厅内（含放射源储存间）、堆大厅相邻位置处	/	TMSR-LF1 运行期间



a) TMSR-LF1 运行前放射源场所两区划分示意图



b) TMSR-LF1 运行期间放射源场所两区划分示意图

图 17 放射源场所两区划分示意图

由 TMSR-LF1 运行阶段环境影响报告书可知,反应堆运行期间工作场所划分为常规工作区(控制 I 区)、间断工作区(控制 II 区)、限定工作区(控制 III 区)及监督区。

由表 5、图 17 可知,本项目密封源控制区为反应堆运行期间的间断工作区(控制 II 区)、限定工作区(控制 III 区),监督区为反应堆运行期间的常规工作区(控制 I 区)。本项目密封源服务于反应堆,且反应堆运行期间的辐射危害远远大于本项目密封源,故在反应堆运行前,密封放射源场所的两区管理执行表 5、图 17a) 划分情况,反应堆运行后执行图 17b) 划分情况。

(2) 工业 X 射线探伤装置

根据《工业 X 射线探伤放射防护要求》(GBZ117-2022) 的要求,射线探伤机工作场所控制区、监督区划分如下:

控制区:将作业时被检测物体周围的空气比释动能率大于 $15\mu\text{Gy/h}$ 的范围内划为控制区,在其边界上悬挂清晰可见的“禁止进入 X 射线区”警告牌,探伤工作人员在控制区边界外操作,可根据情况采取铅屏风等专门的防护措施。

监督区:在控制区边界外,将作业时空气比释动能率大于 $2.5\mu\text{Gy/h}$ 的范围内划为监督区,并应在其边界上悬挂清晰可见的“无关人员禁止入内”警告牌,必要时设专人警戒。在监督区边界附近不应有经常停留的公众成员。

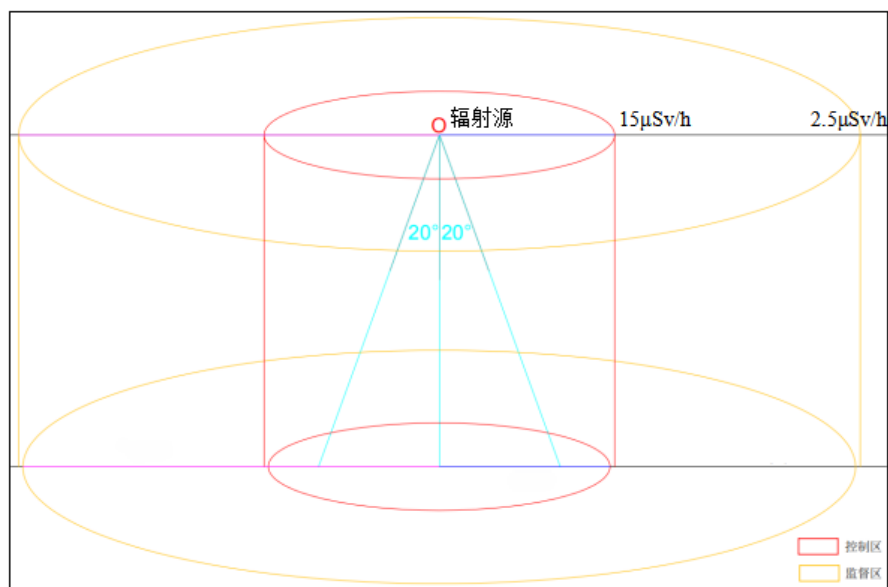


图 18 工业 X 射线探伤装置工作场所两区划分示意图

3. 屏蔽建设情况及屏蔽效果

本项目辐射屏蔽防护建设情况见表 5。

表 6 本项目辐射屏蔽防护设计一览表

放射源储存、使用场所		工业用 X 射线探伤装置
中子源暂存间	中子源暂存间位于堆厂房大厅，南北长 3.7m，东西宽 1.95m。暂存间东侧为 100cm 普通混凝土，北侧为 50cm 普通混凝土，西侧及南侧为 60cm 普通混凝土，顶棚为 30cm 厚普通混凝土，房门设有 3cm 厚钢板。中子源到货暂存期间，在对中子源储存桶周围采用 50cm 厚聚乙烯进行屏蔽。中子源安装到堆内后，中子源暂存间用于其它标准源的存放，目前共存放有两枚 Cs-137 源（ $3.7\text{E}+09\text{Bq}$ 、 $1.48\text{E}+06\text{Bq}$ ）及两枚豁免 Co-60 源，可以满足评价标准中源库墙体、门窗、室顶等屏蔽体外 30 cm 处周围剂量当量率不应超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求。	本项目工业用 X 射线探伤装置为现场探伤，通过两区划分等措施进行人员防护，不需要实体屏蔽设计。
上堆舱及堆大厅	堆大厅南北长 22.1m，东西宽 21.1m，室内面积 466m^2 ，堆大厅东侧和西侧为 100cm 普通混凝土，北侧、南侧均为 80cm 普通混凝土，顶部为 30cm 普通混凝土。上堆舱侧面为 120cm 普通混凝土，顶部（接堆大厅）为 180cm 普通混凝土，可以满足评价标准中贮源坑（池）防护盖表面（或贮源箱表面）30 cm 处周围剂量当量率不应超过 $100\mu\text{Sv/h}$ 的要求。	
LF1106 LF1110 LF1412	LF1106、LF1110、LF1412 三个房间的四台高量程惰性气体监测仪设有铅室，内部各存放有一枚 Cs-137 源（ $3.7\text{E}+05\text{Bq}$ ），铅室厚度 5cm，可以满足《放射源及密封 γ 放射源容器的放射卫生防护标准》（GBZ114）中源容器外表面 100cm 处任意一点辐射的空气比释动能率不得超过 0.05mGy/h 的限值要求。	

4. 密封放射源、X 射线探伤装置辐射安全与防护措施情况

本项目使用的密封放射源、X 射线探伤装置分别购置于京树诚科技有限公司、丹东通广射线仪器有限公司，其辐射安全与防护措施情况见表 7。

表 7 本项目密封放射源、X 射线探伤装置安全性能一览表

对象		技术要求
密封源	放射源容器	密封源出厂前根据相应核素特性，使用相关材质对放射源产生的辐射进行了屏蔽，源容器外表面周围剂量当量率满足相关标准限值要求。
	警示标志	源容器外表面悬挂清晰醒目的电离辐射警示标志。
	放射源编码卡	源容器外表面悬挂放射源编码卡，并与相应核素的放射源一一对应
X 射线探伤装置	远程控制	控制器与 X 射线管头或高压发生器的连接电缆为 25m。
	控制台	设有钥匙开关，只有在打开控制台钥匙开关后，X 射线管才能出束；钥匙只有在停机或待机状态时才能拔出。
		设置辐射警告、出束指示和禁止非授权使用的警告标识。
		设置有 X 射线管电压及高压接通或断开状态的显示，以及管电压、管电流和照射时间选取及设定值显示装置。
		设置有高压接通时的外部报警或指示装置。
		控制箱自带有紧急停机开关，如果误开机，能够及时的按下停机开关。

（1）密封放射源储存、使用场所

①电离辐射警示标志：在中子源储存桶外表面、中子源暂存间、堆厂房出入口、LF1106 室、LF1110 室、LF1412 室显眼处悬挂清晰可见的符合 GB18871-2002 附录 F 要求的电离辐射警示标志；



图 19 电离辐射警示标志照片

- ②在暂存间里备用 1 台应急贮源罐，用于非正常状态下放射源的贮存；
- ③配合适的储源容器、长柄镊子等应急设备；
- ④检测设备、防护用品：
 - a）在堆大厅东侧墙体和西侧墙体上各安装了一台区域 γ 监测仪和区域中子监测仪的探头，探头距离地面 1.3 米。这四台监测设备的就地处理单元（显示屏）安装在大厅西侧的通道

LF1325 墙上;

b) 配备了便携式 X/γ 辐射检测仪、中子周围剂量当量率检测仪各 1 台;

c) 配备了 γ 辐射个人剂量报警仪、中子辐射个人剂量报警仪各 5 台, 可以满足工作人员的操作需求;

d) 配备了 5 套铅衣、护目镜等防护服, 可以满足工作人员的操作需求;



a) 铅罐照片



b) 长柄镊子照片



c) 中子周围剂量当量率检测仪照片



d) 便携式 X/γ 辐射检测仪照片



e) 个人剂量报警仪照片



f) 防护服照片

图 20 监测设备和防护用品照片

⑤管理措施

a) 放射源操作过程中, 对堆大厅进行了清场, 并在堆大厅出入口设置警戒线严格控制人员出入;

b) 放射源操作过程中相关人员全身穿戴了防护服, 佩戴护目镜和面罩, 穿戴手套和鞋套;

c) 对放射源操作人员进行了辐射安全与防护培训, 使其熟悉了放射源相关操作, 操作人员严格按照放射源操作规程, 在满足工作要求的前提下尽量缩短了放射源操作时间, 并熟练地依据《中国科学院上海应用物理研究所辐射事故应急预案》应对突发情况;

d) 放射源操作过程中相关人员佩戴了个人剂量计及个人剂量报警仪。

⑥放射源管理要求:

a) 中子源暂存间门具有防盗功能, 实施双人双锁管理;

b) 在暂存间门外的适当位置安装了摄像装置, 本项目保安人员可以 24h 视频监控以防放射源被盗;

c) 做好了防水、防火、防射线泄露的防护工作;

d) 出入库有了详细记录;

e) 4 枚用于设备探头拓展量程的 Cs-137 放射源嵌于探测器内, 分别固定在堆厂房 LF1106 房间 (放置 2 枚)、LF1110 房间及 LF1412 房间, 该场所入口处有 a)、b) 所述措施。

⑦通风设施放射源储存、使用场所安装了通风设施, 防止了有害气体累积;

⑧若放射源储存、使用场所停止使用, 应根据生态环境主管部门相关规定和要求进行退役, 办理相关行政审批手续。



图 21 视频监控照片

(2) 工业用 X 射线探伤装置

①安全警示标志、警示系统

a) 安全警示标志

控制区边界悬挂了清晰可见的“禁止进入 X 射线区”警告牌, 探伤作业人员在控制区边界外操作。监督区边界上悬挂了清晰可见的“无关人员禁止入内”警告牌, 必要时设专人警戒。

在监督区边界和建筑物的进出口的醒目位置张贴了电离辐射警示标识和警告标语等提示信息。

b) 警示系统

(1) 现场配备了提示“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置。“预备”信号和“照射”信号有明显的区别，并且与该工作场所内使用的其他报警信号有明显区别。

(2) 在两区边界能清楚地听见或看见“预备”信号和“照射”信号。预备和照射状态的指示灯及声音提示装置与探伤机实现联锁。



图 22 安全警示标志、警示系统照片

②安全操作要求

a) 探伤作业前，在相应边界设置警示标识。工作区域划分以在即将探伤的工作条件下，先根据理论计算初步划定控制区、监督区，然后利用便携式 X- γ 射线剂量率测量仪由远及近，由大到小确定控制区、监督区。

b) 本项目现场探伤工作场所为单层建筑，场所北侧有门卫值班室，为防止场所北侧门卫值班人员进入划定区域，选择在晚上其他人员下班后进行。

c) 无法避免时，把无关人员疏散至监督区以外，设专人警戒，防止无关人员进入监督区和控制区，引起不必要的意外照射。

d) 给予探伤工人充足的时间以确保探伤工作的安全开展和所需安全措施的实施。

e) 为开展现场探伤工作的 X 射线装置至少配备两名工作人员。

f) 现场探伤作业工作过程中，控制区内不应同时进行其他工作，本项目 X 射线探伤机为定向探伤机，为了使控制区的范围尽量小，X 射线探伤机使用准直器，采用局部屏蔽措施（如铅板），以保证探伤工件大于照射野的范围。

g) 操作位避开有用线束照射的方向，连接探伤机和控制台的电缆线长度为 25m，辐射工作人员在操作位进行远程操作。

h) 在第一次曝光期间，测量控制区边界的剂量率以证实边界设置正确；必要时调整控制区的范围和边界。

i) 探伤机配备了一台便携式剂量仪。开始探伤工作之前，对剂量仪进行了检查，确认了剂量仪能正常工作。在现场探伤工作期间，便携式测量仪一直处于开机状态，防止 X 射线曝光异

常或不能正常终止。

j) 现场探伤期间, 工作人员佩戴了个人剂量计和个人剂量报警仪。

(3) 人员辐射安全措施

a) 辐射工作人员

时间防护: 针对密封放射源, 在满足工作要求的前提下, 制定了最优化的操作方案, 尽可能缩短放射源的搬运等时间; 针对工业用 X 射线探伤装置, 选择了最优的射线检测参数, 以尽量缩短曝光时间, 减少了辐射工作人员的受照射时间。

距离防护: 在满足工作要求的前提下, 人员保持了与射线源尽可能大的距离, 使距离最大化。

屏蔽防护: 本项目工作人员在放射源搬运或探伤作业期间, 穿戴了满足屏蔽要求的防护服等。

剂量防护: 为了确保工作人员的安全, 操作人员在操作期间, 佩戴了个人剂量计、个人剂量报警仪。安排了专人负责个人剂量监测管理, 建立了辐射职业人员个人剂量档案。个人剂量仪委托了中国科学院上海应用物理研究所辐射检测中心定期进行监测, 并对监测报告进行存档。2024 年度本项目园区辐射工作人员 11 人, 该年度受到的职业外照射光子累积剂量均小于 $358.1 \mu\text{Sv}$, 满足本项目环评报告表及批复的要求 (5mSv/a)。

b) 公众

密封放射源周边公众主要依托辐射场所的屏蔽墙体、防护门屏蔽射线, 同时通过对辐射工作场所的两区划分管理, 增加公众与辐射源的防护距离, 减少其受到辐射。探伤装置场所周边的公众主要通过对辐射工作场所的两区划分管理、安全警示标志、警示系统等增加公众与辐射源的防护距离, 减少其受到的 X 射线辐射。根据放射源和 X 射线探伤机工作场所辐射剂量率检测数据估算, 公众受到的照射满足本项目环评报告表及批复的要求 (0.25mSv/a)。

综上, 本项目密封放射源暂存、使用场所通过实体屏蔽、两区划分管理等, X 射线探伤装置通过工作场所布分区、探伤装置固有安全性、安全联锁装置、安全警示标志、警示系统、紧急止动开关、安全操作要求等辐射防护措施进行辐射安全防护, 能够满足辐射防护需求。

5. 三废的治理

(1) 固体废弃物

本项目铯钨中子源的安全使用年限为 15 年, 故中子源更换周期为 15 年。更换的 II 类放射源由售源单位回收处理。

其他源无法给出定量数据, 不能满足使用要求或其他原因不再使用后进行更换。更换的放射源交由有资质的单位回收处置。

X 射线探伤过程中会产生废胶片等感光材料废物, 这些废物被列入国家危险废物名录编号为 HW16 感光材料废物。建设单位将产生的废胶片集中收集暂存在 03 综合实验大厅北侧的危

危化品仓库内，定期委托有危险废物处理资质的单位回收，不乱丢弃。目前，暂无废胶片产生。

针对 X 射线探伤装置，本单位采取的固废处理措施符合管理要求，具体如下：①收集废胶片的塑料袋外表面标有危险废物警告标志；②建立危废台账；③固体废物不得随意丢弃。

（2）废液

本项目放射源储存使用过程中不会产生放射性废液。本项目 X 射线机探伤作业可能产生废显影液、废定影液。根据国家危险废物名录中的危险废物划分类别，废显影液、废定影液属于感光材料废物，其危废编号为 HW16。清洗胶片时产生的清洗废水中含有 AgBr 和显影剂及氧化物，其浓度极低。本单位将清洗胶片时产生的清洗废水依托园区污水处理设施处理达标后排入污水管网，对周围水环境影响较小；废显（定）影液现场收集暂存于 03 综合实验大厅北侧的危化品仓库内，由专人保管，建立台帐，可以做到“防风、防雨、防晒、防渗”，定期委托有危险废物处理资质的单位回收，不外排。目前，暂无废液产生。

因此，本项目采取的废水处理措施符合管理要求，具体如下：①废显（定）影液分别收集，塑料桶密封，塑料桶具有防渗、防水和防腐的效果，与危险废物不产生化学反应；②塑料桶设固定地点存放，便于管理。存放塑料桶的位置地面进行了防渗处理，地面耐腐蚀、表面无裂痕，地面和裙角要用坚固、防渗的材料建造；③存放容器的位置远离洗片室的冲洗池，避免胶片冲洗水流入；④在塑料桶表面张贴危险废物标志，并建立危废台账。

（3）废气

密封放射源、X 射线探伤装置工作过程中，会产生少量臭氧、氮氧化物等有害气体。在堆厂房辐射分区中，中子源暂存间、堆大厅属于间断工作区（控制 II 区），换气次数为 1.5~2.5 次/h，其通风系统为直流式通风系统，连续运行。中子源暂存间送风量为 100m³/h，排风量 105m³/h，堆大厅送风量为 9900m³/h，排风量为 10395m³/h。新风系统包括防沙处理机组，两台冗余设置容量为 100%的新风机组及相应送风管网。排风系统设置两台过滤箱体(包括预过滤器、高效空气粒子过滤器)，设置两台排风机及相应的排风管网。排风系统的烟囱设在堆厂房屋顶上，烟囱高出反应堆厂房屋顶至 26m 标高处。

本项目现场探伤作业在 03 综合实验大厅内进行，计算排风量夏季为 54000m³/h，冬季为 27000m³/h，送风量为排风量的 90%，夏季为 48600m³/h，冬季为 24300m³/h，由大厅送风机房内全新风组合式空调机组送入。待探伤作业结束后及时进行通风换气，探伤作业过程中产生的少量臭氧及氮氧化物排出后经大气稀释扩散后不会对环境造成危害。



图 23 现场排风系统照片

表 4 建设项目环境影响报告表主要结论及审批部门审批决定

4.1 建设项目环境影响报告表主要结论及审批部门审批决定：

本项目根据《钍基熔盐核能系统项目放射源及 X 射线探伤机环境影响报告表》及环评批复意见，进行了现场检查核实和监测，具体环评结论和批复意见以及落实情况如下：

表 8 本项目环评意见及落实情况一览表

序号	主要内容	环评表及批复意见	落实情况
1	管理	严格按照报告表中的内容、地点进行建设，未经批准不得擅自更改项目建设内容及规模。该项目若存在建设内容、地点、产污情况与报告表不符，应按要求重新报批环境影响评价文件。	已按照报告表的内容、地点进行了建设，未更改项目建设内容及规模。
2	管理	项目建设过程中，必须认真落实报告表中提出的各项辐射环境安全防护及污染防治措施和要求，确保满足相关法规和标准要求。	已落实报告表中提出的各项辐射环境安全防护及污染防治措施核要求，满足相关法规核标准要求。
3	管理	项目建设必须依法严格执行环境保护“三同时”制度。项目竣工后，应严格按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》开展竣工环境保护验收。	项目建设已严格执行环境保护“三同时”制度。

4.2 监督检查提出的问题及整改情况

监督管理部门组织专家对本项目涉及的辐射活动场所进行了现场踏勘，针对现场存在的问题，专家组提出了宝贵意见和建议，建设单位在收到现场检查意见后逐项对现场存在的问题和隐患进行了及时整改，整改情况见表 9。

表 9 监督检查提出的问题及整改情况

专家意见	整改情况
X 射线探伤装置在出束使用前应配备“预备”和“照射”状态指示灯。	已配备“预备”和“照射”状态指示灯。
应优化中子源暂存间、X 射线探伤装置暂存库的门锁。	已对中子源暂存间、X 射线探伤装置暂存库完成门锁更换。

应在放射源储存、使用场所张贴电离辐射警告标志；固定式剂量监测仪显示屏房间号应与探头位置一致。	1) 在 4 台高量程惰性气体监测仪含源探头位置及相关房间门口已经张贴电离辐射警告标志；2) 在监测仪显示屏上已根据堆大厅 γ 、中子剂量率监测仪探头所在位置重新设置了房间号信息，与探头位置保持了一致
X 射线探伤装置未登入单位的国家核技术利用辐射安全监管系统中。	X 射线探伤装置已登入单位的国家核技术利用辐射安全监管系统中。
放射源编码卡未放置再放射源使用设备上。	已完成放置。
应完善《中国科学院上海应用物理研究所辐射事故应急预案》中武威园区可能发生的所有辐射事故情景等内容。	已完成《TMSR-LF1-SINAP-61-INTG-MD-1013-C 中国科学院上海应用物理研究所武威园区辐射事故应急响应规程》编写。
3 枚放射源实际存放场所与放射源台账不一致。如：编号为“0110CS014435”的放射源登记在 1412 号房间，实际存放在 1106 房间；“0110CS014465”的放射源登记在 1110 号房间，实际存放在 1412 房间；“0110CS014455”的放射源登记在 1106 号房间，实际存放在 1110 房间。	对 TMSR-LF1 主体装置厂房内中子源暂存间的台账及现场高量程惰性其他监测仪现场核对，基于放射源实际位置更正中子源暂存间放射源台账。后续在放射源盘存过程中，确保双人盘存，加强放射源信息确认、确保账物一致。
辐射事故应急预案中缺少地方环保部门的联络方式，总指挥与副总指挥为同一人。	经与武威市生态环境局确认，增加：武威市生态环境局应急电话 0935-2215825。举一反三，经与上海市生态环境局确认，嘉定园区增加上海市政务服务热线 12345 为辐射事故应急联系电话；进一步补充地方卫生部门应急联系电话。其中“总指挥与副总指挥为同一人”的问题，待后续根据领导分工调整情况适时调整。
未按公司制度《中子源暂存间台账管理规定》的要求，放射源出入必须经申请部门负责人和所重大任务与科技发展处批准。	将《中子源暂存间台账管理规定》中“放射源出入必须经申请部门负责人和所重大任务与科技发展处批准，台账管理人员做好记录。”修改为：“新购放射源入库、其他部门借用放射源须经申请部门负责人和所重大任务与科技发展处批准，台账管理人员需做好记录、借出记录。反应堆运行技术部开展设备监督校准使用放射源，源库管理人员需做好使用登记”。已完成《中子源暂存间台账管理规定》升版，进行了《中子源暂存间辐射安全规章制度》更新培训。

表 5 验收监测质量保证及质量控制

验收监测质量保证及质量控制： 本项目按照竣工验收检测要求制定了相应的验收检测方案，并委托有资质的检测机构进行项目竣工验收检测，确保竣工验收监测数据质量： 钍基熔盐核能系统项目放射源及 X 射线探伤机竣工验收检测任务由中国科学院上海应用物理研究所辐射安全检测中心具体承担。中国科学院上海应用物理研究所辐射安全检测中心拥有上海市市场监督管理局颁发的 CMA 资质认定证书（证书编号：210912340755）、上海市卫生健康委员会颁发的放射卫生技术服务机构资质证书（证书编号：（沪）放卫技字（2024）第 0002 号）、上海市卫生健康委员会颁发的职业卫生技术服务机构资质证书（证书编号：（沪）放卫技字（2024）第 0003 号），并获得中国计量测试学会颁发的第六届计量诚信建设先进单位称号，是上海市市场监督管理局和上海市卫生健康委员会认可的从事放射卫生防护检测与评价的专业机构，可独立地开展检验检测与评价业务，可出具具有法律效力的检验检测报告和评价报告。机构目前拥有 X/γ 外照射剂量率、中子外照射剂量率、α/β 放射性测量、个人剂量测量、α/β 放射性表面污染测定、液体闪烁谱仪测量、氡浓度测定、医用放射诊疗装置质控共十大类检测能力，并拥有一整套较完善的质量控制管理体系，并持续有效运行。 现场检测、采样与实验室分析均使用相应的国家或行业标准。检测和实验室人员持有上岗合格证，每年参加国内比对和盲样考核。检测分析仪器均经过计量部门检定，使用前经过校准或检验，确保检测分析结果的可靠性和可溯源性。测量过程中的记录表格统一规范，记录清楚、详细、准确，需更正的按规范要求。检测报告进行三级审核，即测量人进行自审、审核人校核和批准人审核，确保结果的准确可靠。 1) 检测工作按质量管理文件规范化、程序化进行。 2) 质量负责人组织制定质量控制工作计划、监督检查质量控制计划等，并监督其实施，保证整个监测工作处于受控状态。 3) 所有参加检测的工作人员均经过专业技术培训，取得合格证后方可持证上岗。 4) 根据制定《比对和验证工作计划》，确定内部的检测比对的项目和人员，内部比对结果经技术负责人审核确认，确保各项检测工作的质量。 5) 积极组织参加实验室之间和外部全国性比对验证活动，确保检测技术的水平，全部比对验证的记录和资料按要求归档管理。 6) 检测仪器设备按要求定期检定、校准；两次检定或校准之间进行期间核查。 7) 内审员按照质量控制计划负责定期督促检查监测人员的检测工作，保证检测数据的准确性和可靠性。
--

- 8) 检测报告或总结报告经检测人员、质量负责人、技术负责人三级审核，确保报告质量。
- 9) 检测所用的检测、分析、测量方法按国标、行业标准选用；非标标准经技术确认后方能使用。
- 10) 档案管理员负责投标文件、合同、检测报告等相关文件的归档管理。

表 6 验收监测内容

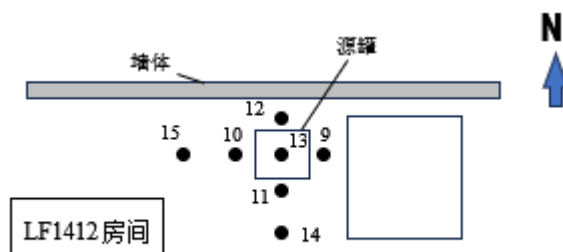
验收监测内容:

1.放射源使用和存放场所辐射剂量率

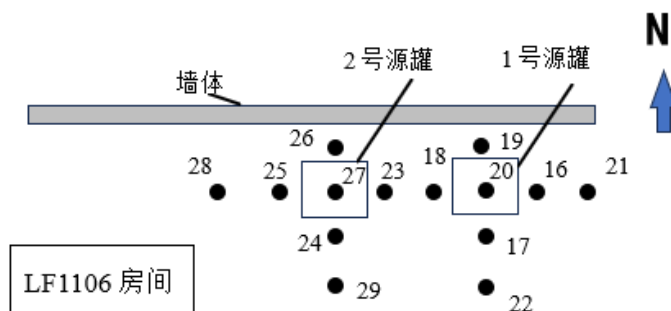
对放射源使用和存放场所及相邻区域进行 x/γ 和中子辐射剂量率检测，结合场所区域环境特征、场所功能布局，在各关注点处进行布点，监测点位见图 24。



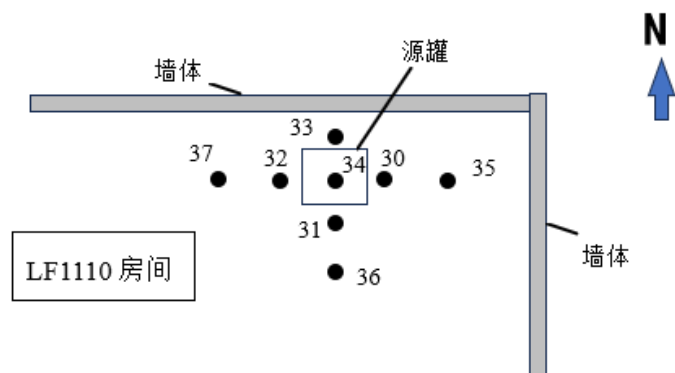
a) 堆大厅检测布点图



b) LF1412 房间检测布点图



c) LF1106 房间检测布点图



d) LF1110 房间检测布点图

图 24 放射源使用和存放场所辐射剂量率检测布点示意图

2.X 射线探伤机工作场所辐射剂量率

根据 X 射线探伤机工作场所实际情况，在该场所周边布置监督区和控制区。在 X 射线探伤机正常工作条件下，对监督区和控制区边界 x/γ 辐射剂量率进行检测。监测点位见图 25。

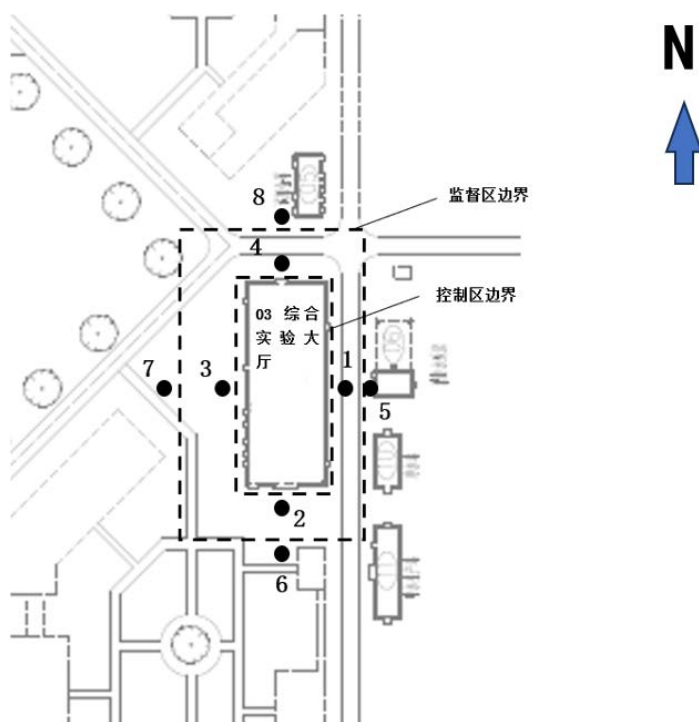


图 25 X 射线探伤机工作场所检测布点示意图

3.监测内容及方法

表 10 本项目监测内容一览表

序号	验收项目	验收检测内容	检测条件	检测布点位置
1	密封放射源	γ 辐射剂量率	放射源位于既定位置	堆大厅内、中子源暂存库处、LF1412 房间、LF1106 房间、LF1110 房间
		中子周围剂量当量率		
2	工业用 X 射线探伤装置	γ 辐射剂量率	装置正常开机： 射线方向向下； 240 kV；5 mA	03 综合实验大厅内、03 综合实验大厅外

表 11 本项目检测仪器及方法一览表

序号	验收项目	验收检测内容	检测仪器	检测依据
1	密封放射源	γ 辐射剂量率	6150AD-B 高灵敏度 γ 巡测仪 (检定有效期： 2024.7.19 ~ 2025.07.18)	HJ 61-2021 《辐射环境监测技术规范》 HJ 1157-2021 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》
		中子周围剂量当量率	LB123+LB6411 中子剂量率仪 (检定有效期： 2024.3.27 ~ 2025.03.26)	
2	工业用 X 射线探伤装置	γ 辐射剂量率	451P 加压电离室巡测仪 (检定有效期： 2024.7.10 ~ 2025.07.9)	HJ 1157-2021 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》

表 7 验收监测

验收监测期间生产工况记录：					
2024 年 10 月 23 日中国科学院上海应用物理研究所对上海应物所武威园区存放和使用放射源的工作场所辐射剂量率进行了检测，检测报告详见中科应物检字 202410-23-D075。放射源工况见下表。					
表 12 放射源工况一览表					
序号	放射源名称	放射源编码	出厂日期	出厂活度 (Bq)	存放位置
1	²⁴¹ Am-Be 中子源	US13AB000892	2013.12.05	6.66×10 ¹¹	实验堆上堆舱
2-1	Cs-137	0110CS014445	2010.12.08	3.70×10 ⁵	实验堆 LF1106 房间
2-2	Cs-137	0110CS014455	2010.12.08	3.70×10 ⁵	实验堆 LF1106 房间
2-3	Cs-137	0110CS014465	2010.12.08	3.70×10 ⁵	实验堆 LF1110 房间
2-4	Cs-137	0110CS014435	2010.12.08	3.70×10 ⁵	实验堆 LF1412 房间
3	Cs-137	CZ23CS001914	2023.05.05	3.70×10 ⁹	中子源暂存间
4	Cs-137	US22CS006955	2022.11.22	1.48×10 ⁶	中子源暂存间
2024 年 12 月 15 日对武威园区 03 综合实验大厅内的 X 射线探伤机正常工作的条件下的周围工作场所辐射剂量率进行检测，X 射线探伤机工况为射线方向向下、电压 240 kV、电流 5 mA，检测报告详见中科应物检字 202412-15-D096。					

验收监测结果：			
1.放射源使用和存放场所辐射剂量率检测结果			
序 号	测量点位置	X-γ 辐射剂量率 (μGy/h)	中子辐射剂量率 (μSv/h)
1	堆大厅北墙外表面	0.12	<MDL
2	堆大厅西墙外表面	0.12	<MDL
3	堆大厅南墙外表面	0.12	<MDL
4	堆大厅东墙外表面/中子源暂存间东墙外表面	0.10	<MDL
5	堆大厅中央（上堆舱上方）	0.11	<MDL
6	中子源暂存间西墙外表面	0.12	/
7	中子源暂存间门外	0.16	/
8	中子源暂存间南墙外表面	0.12	/
9	LF1412 房间源罐东侧表面	0.10	/

10	LF1412 房间源罐西侧表面	0.09	/
11	LF1412 房间源罐南侧表面	0.10	/
12	LF1412 房间源罐北侧表面	0.09	/
13	LF1412 房间源罐上表面	0.09	/
14	LF1412 房间源罐南侧 1 米处	0.11	/
15	LF1412 房间源罐西侧 1 米处	0.12	/
16	LF1106 房间 1 号源罐东侧表面	0.09	/
17	LF1106 房间 1 号源罐南侧表面	0.09	/
18	LF1106 房间 1 号源罐西侧表面	0.09	/
19	LF1106 房间 1 号源罐北侧表面	0.09	/
20	LF1106 房间 1 号源罐上表面	0.09	/
21	LF1106 房间 1 号源罐东侧 1 米处	0.10	/
22	LF1106 房间 1 号源罐南侧 1 米处	0.12	/
23	LF1106 房间 2 号源罐东侧表面	0.09	/
24	LF1106 房间 2 号源罐南侧表面	0.09	/
25	LF1106 房间 2 号源罐西侧表面	0.09	/
26	LF1106 房间 2 号源罐北侧表面	0.09	/
27	LF1106 房间 2 号源罐上表面	0.09	/
28	LF1106 房间 2 号源罐西侧 1 米处	0.10	/
29	LF1106 房间 2 号源罐南侧 1 米处	0.10	/
30	LF1110 房间源罐东侧表面	0.08	/
31	LF1110 房间源罐南侧表面	0.09	/
32	LF1110 房间源罐西侧表面	0.08	/
33	LF1110 房间源罐北侧表面	0.10	/
34	LF1110 房间源罐上表面	0.10	/
35	LF1110 房间源罐东侧 1 米处	0.09	/
36	LF1110 房间源罐南侧 1 米处	0.10	/
37	LF1110 房间源罐西侧 1 米处	0.09	/

备注：1.中子辐射剂量率探测下限 MDL 为 0.03 μ Sv/h

2. $N=D\times k$, N: 周围剂量当量率(μ Sv/h);D:空气吸收剂量率(μ Gy/h) ; k:换算系数(k=1.2)。

检测结果表明,放射源使用和存放场所周围辐射剂量率最高为0.19 μ Sv/h, 满足环评报告表中竣工验收指标“中子源暂存库屏蔽体外 30 cm 处周围剂量当量率不应超过2.5 μ Sv/h, 上堆舱顶部 30cm 处周围剂量当量率不应超过100 μ Sv/h”的要求。根据检测结果和人员操作时间推算,放射源使用和存放场所对工作人员造成的职业照射最大为1.52E-05

mSv/a，公众受到的附加年有效剂量最高为 1.25×10^{-7} mSv/a，远低于环评报告表及批复的要求（工作人员：5mSv/a，公众0.25 mSv/a），满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)规定的对工作人员职业照射水平的限值要求。

2.X 射线探伤机工作场所辐射剂量率检测结果

序 号	测量点位置	X-γ 辐射剂量率 (μGy/h)
1	控制区边界东（图示 1）	10.62
2	控制区边界南（图示 2）	0.21
3	控制区边界西（图示 3）	0.14
4	控制区边界北（图示 4）	0.73
5	监督区边界东（图示 5）	0.50
6	监督区边界南（图示 6）	0.14
7	监督区边界西（图示 7）	0.19
8	监督区边界北（图示 8）	0.17

备注：1.中子辐射剂量率探测下限 MDL 为 $0.03 \mu\text{Sv/h}$

2. $N=D \times k$, N: 周围剂量当量率($\mu\text{Sv/h}$);D:空气吸收剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$) ; k:换算系数 ($k=1.39$) 。

检测结果表明，X 射线探伤机在正常工作状态下，工作场所控制区边界辐射剂量率最高为 $14.76 \mu\text{Sv/h}$ ，监督区边界辐射剂量率最高为 $0.70 \mu\text{Sv/h}$ ，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117—2022）中“控制区边界不应超过 $15 \mu\text{Sv/h}$ ，监督区边界不应超过 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ”的要求。根据检测结果和人员操作时间推算，其对工作人员造成的职业照射最大为 4.06mSv/a ，公众受到的附加年有效剂量最高为 0.004mSv/a ，满足环评报告表及批复的要求（工作人员：5mSv/a，公众 0.25mSv/a），满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)规定的对工作人员职业照射水平的限值要求。

表 8 验收监测结论

验收监测结论：

1. 钍基熔盐核能系统项目放射源及X射线探伤机均已按照建设项目“三同时”要求完成建设，本项目环评报告表及批复提出的各项环保设施和安全措施均已落实到位，放射源、射线装置均正常运行；
2. 钍基熔盐核能系统项目放射源及X射线探伤机竣工验收检测结果表明，工作场所辐射剂量检测指标均已达标，满足安全运行条件和要求；
3. 钍基熔盐核能系统项目放射源及X射线探伤机辐射工作人员职业照射和公众照射均满足本项目环评报告表及批复的要求。