

核技术利用建设项目

中国核工业第五建设有限公司三门核电项目部

工业 X、 γ 射线固定式探伤及移动式探伤项目
环境影响报告表

(公示稿)

中国核工业第五建设有限公司三门核电项目部

2023 年 6 月

生态环境部制

核技术利用建设项目

中国核工业第五建设有限公司三门核电项目部

工业 X、 γ 射线固定式探伤及移动式探伤项目 环境影响报告表

建设单位名称：中国核工业第五建设有限公司三门核电项目

部建设单位法定代表人（签名或盖章）：

通讯地址：浙江省台州市三门县健跳镇琴江路 13 号

邮政编码：317300

联系人：赵*

电子邮箱： /

联系电话：151****5266

目 录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	10
表 3 非密封放射性物质	10
表 4 射线装置	10
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	12
表 6 评价依据	13
表 7 保护目标与评价标准	16
表 8 环境质量和辐射现状	29
表 9 项目工程分析与源项	33
表 10 辐射安全与防护	46
表 11 环境影响分析	58
表 12 辐射安全管理	100
表 13 结论与建议	106
表 14 审批	109

表 1 项目基本情况

建设项目名称	工业 X、 γ 射线固定式探伤及移动式探伤项目				
建设单位	中国核工业第五建设有限公司三门核电项目部				
法定代表人	李**	联系人	赵*	联系电话	151****5266
注册地址	三门县健跳镇琴江路 13 号				
项目建设地点	源库及固定探伤：台州市三门县健跳镇三门核电厂区内 移动探伤作业地点：三门核电厂内				
立项审批部门	/		批准文号	/	
建设项目总投资 (万元)	200	项目环保投资 (万元)	42	投资比例 (环保投资/总投资)	21.0%
项目性质	<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他			占地面积 (m ²)	/
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类 (医疗使用) <input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
其他					

1.1 建设单位基本情况

1.1.1 三门核电厂基本情况

三门核电厂地处浙江省东部沿海，位于台州市三门县健跳镇辖区内，厂址坐落于健跳镇东北部约 6km 的猫头山嘴半岛——娘娘殿岗上，濒临三门湾，北、东、南三面临海，西面靠猫头山。地理位置详见附图 1。

三门核电分三期建设，一期建设 1 号机组和 2 号机组，二期建设 3 号机组和 4 号机组，三期建设 5 号机组和 6 号机组，其中 1 号机组和 2 号机组于 2018 年实现了并网发电；3 号、4 号机组正在建设（批复文件为《关于三门核电厂 3/4 号机组环境影响报告书（建设阶段）的批复》，环审[2022]85 号），5 号、6 号机组处于规划设计中。

三门核电厂业主单位为三门核电有限公司，负责核电厂的建设和运营管理，三门核电有

限公司成立于 2005 年，由中国核能电力股份有限公司，浙江浙能电力股份有限公司、中电投核电有限公司共同出资组建。核电厂建设主要分为核岛厂房、汽轮机发电机厂房（常规岛）和 BOP 子项建设。

1.1.2 建设单位基本情况

中国核工业第五建设有限公司三门核电项目部（以下简称“三门项目部”）成立于 2008 年，为中国核工业第五建设有限公司（简称“中核五公司”）的具有独立法人（负责人）的分公司，主要承接核电工程施工业务。营业执照详见附件 2。

中核五公司组建于 1964 年，隶属于中国核工业集团有限公司，是中国核工业建设股份有限公司的重要成员单位。中核五公司是以国防工程、核工程、核电工程和工业与民用建筑安装工程业务为主的大型综合性建筑安装企业。

在核电工程领域，中核五公司是我国第一家同时具有核电站核岛、常规岛全场安装施工业绩的企业。先后参与完成了秦山核电站一期工程、广东大亚湾核电站、阿尔及利亚同位素反应堆工程；独立完成了巴基斯坦恰希玛核电站一至四期、秦山核电站二期扩建 4 号机组核岛、常规岛安装工程，秦山核电站二期辐射厂房、2 号机组常规岛安装工程，福建福清核电站 1 至 4 号机组常规岛建安施工总承包工程；组织完成了秦山核电站三期、田湾核电站一期大型设备吊装工程；组织完成了 AP1000 依托项目三门/海阳核电一期工程。目前，正组织“华龙一号”福建福清核电站 5、6 号机组常规岛安装工程、巴基斯坦卡拉奇核电站 2、3 号机组安装工程、石岛湾高温气冷堆常规岛安装工程、霞浦示范快堆项目、漳州核电项目、昌江核电项目、三澳核电项目一期工程建设。公司具有专业的核电施工资质以及深厚的安装经验。

三门项目部前期承担三门核电厂一期 1 号核岛、2 号核岛安装工程，现承担三门核电厂二期 3 号核岛、4 号核岛安装工程，后续将承担核电场内其他安装施工工程。

1.1.3 项目由来

三门核电一期工程于 2004 年经国务院批准，1 号机组于 2009 年 4 月开工建设。因参与三门核电一期工程建设，中核五公司在 2008 年 12 月委托编制了三门核电 X/γ 射线探伤项目环境影响报告表，在三门核电厂内建设 1 间探伤室和 1 间源库，使用 6 台 X 射线探伤机、6 枚 ^{192}Ir 和 2 枚 ^{75}Se 放射源（均为 II 类放射源），用于三门核电一期工程建设过程中无损检测，原浙江省环境保护局对该项目进行了批复，批复文号浙环辐[2009]26 号，并于 2012 年通过竣工环境保护验收，验收文号为浙环辐验[2012]30 号。该探伤室和源库于 2018 年停用，

处停用状态，原使用的 γ 射线探伤机和 X 射线探伤机均由中核五公司回收， γ 射线探伤机退役放射源则由源生产厂家回收。根据对源库内及探伤室内辐射环境监测结果（附件 5，监测期间源库处于停用状况，无放射源贮存），源库内及探伤室内及周边环境 γ 辐射空气吸收剂量率均为当地贯穿辐射本底水平。 γ 探伤机使用放射源为密封放射源，正常情况 ^{192}Ir 放射源 β 射线可被源容器屏蔽， ^{192}Ir 放射源半衰期为 74.02d，停用至今已远大于十个半衰期，因此可以判断，源库及探伤室内不存在辐射污染情况。现由于三门项目部施工需要，该探伤室和源库交由三门项目部管理和使用，中核五公司将不再使用，三门项目部承担探伤室及源库使用过程中的一切安全及环保责任。

三门项目部为三门核电站安装工程施工方，施工过程需对核电设施及工件（管道、罐体、平板件等）焊缝进行 X、 γ 射线探伤，拟利用中核五公司现有探伤室和源库进行固定式探伤，以及在三门核电站指定施工区域开展移动式探伤，三门核电站内移动探伤作业区域位于 3、4 号机组核岛及 BOP 子项辅助用房内、CV（反应堆钢制安全壳）拼装场地。详见附图 2。

根据探伤需求，三门项目部拟购置 12 台 ^{192}Ir - γ 射线探伤机（每台探伤装置内含 1 枚放射源 ^{192}Ir ，最大活度均为 $3.70 \times 10^{12}\text{Bq}$ /枚，属于 II 类放射源）和 4 台 ^{75}Se - γ 射线探伤机（每台探伤装置内含 1 枚放射源 ^{75}Se ，最大活度均为 $3.70 \times 10^{12}\text{Bq}$ /枚，属于 II 类放射源）用于探伤室固定式探伤及施工现场移动式探伤，购置 14 台 X 射线探伤机（属 II 射线装置）用于探伤室固定式探伤及施工现场移动式探伤。

为加强 X 射线探伤机和 γ 射线放射源在应用中的辐射环境管理，防止放射性污染和意外事故的发生，确保 X 射线和放射源的使用不对周围环境和工作人员及公众产生不良影响，根据《中华人民共和国环境影响评价法》、《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关法律法规，本项目需进行环境影响评价。

本项目涉及使用 II 类放射源和 II 类射线装置，对照《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），应编制环境影响报告表。为此，中国核工业第五建设有限公司三门核电项目部委托卫康环保科技（浙江）有限公司对本项目开展环境影响评价工作。评价单位接受委托后，通过现场勘察、收集资料等工作，结合本项目的特点，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）等有关技术规范的相关要求，编制完成了本项目的环境影响报告表。

1.2 建设内容及规模

1.2.1 固定式探伤

本项目依托的构筑物由中核五公司于2012年建成建筑物，包括1间探伤室、1间源库（内设8个储源坑）、1间操作室、1间值班室和1间器材室组成。该场所于2012年10月23日通过原浙江省环境保护厅验收，现将源库及探伤室交由三门项目部管理和使用，利用该探伤室和源库开展X、 γ 射线固定探伤工作和核电厂内移动探伤。

该探伤室位于三门核电厂区内核电土建安装施工场地西南侧，探伤室外尺寸为12m（长） \times 6.0m（宽） \times 4.5m（高），四侧墙体为850mm混凝土（密度为 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ），顶棚为450mm混凝土（密度为 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ），工件门采用4mm钢板+75mm铅板+4mm钢板，工作人员出入口采用4mm钢板+50mm铅板+4mm钢板屏蔽，设有迷道，迷道内墙厚400mm。

源库紧邻探伤室，位于探伤室西侧，尺寸为长3.3m \times 宽3.0m \times 高3.3m，源库西、南、北三侧墙体为400mm厚混凝土（密度为 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ），西侧与探伤室共用墙体，厚度为850mm厚混凝土（密度为 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ），源库屋顶为450mm厚混凝土，防护门2mm钢板+10mm铅板+2mm钢板。源库内设有 γ 射线探伤机源坑8个，每个源坑长500mm \times 宽500mm \times 深1000mm，上口超出源坑200mm，源坑采用200mm混凝土嵌装。每个源坑上设有铅钢盖板，屏蔽厚度为3mm钢+6mm铅板+3mm钢。

本次拟对源库源坑进行改造，在每个储源坑设置预制双层钢制成品源坑，源坑分为上下各1个；下源坑盖板为10mm钢活动盖板，上源坑依托储源坑现有6mmPb铅钢盖板，改造后，每个源坑可同时存放2台 γ 探伤机， γ 射线探伤机最大外观尺寸为长330mm \times 宽170mm \times 高230mm，经改造后现有源库满足本项目拟配备的4台 ^{75}Se 源 γ 射线探伤机和12台 ^{192}Ir 源 γ 射线探伤机贮存的需求。同时对探伤室和源库通风设施和辐射安全与防护设施进行改造，以满足现行探伤室放射防护标准的要求。

在探伤室西侧配套建设有器材室、值班室和操作间。

1.2.2 移动式探伤

根据业主提供资料，目前三门核电厂内现有中国能源建设集团浙江火电建设有限公司在三门核电厂内实施X射线移动探伤。

根据三门项目部承接施工工程内容，本项目三门核电厂移动探伤作业区域位于3、4号机组核岛和CV（反应堆钢制安全壳）拼装场地，以及核电厂内其他施工区域，三门核电厂区内射线探伤工作执行审批制度，由三门核电厂公司统一协调、审批，当存在交叉探伤作业风险时，会根据现场施工进度调整，同时各探伤作业单位实施探伤作业的工期有别、施工地点不同，不存在交叉探伤作业的风险。

在核岛内开展移动探伤作业时，应充分依托核岛实体屏障（核岛墙体厚度较大约 100cm 厚混凝土，楼板为约 100cm 厚混凝土，且为双层结构）；在 CV（反应堆钢制安全壳）拼装场地探伤时，应尽可能设定实体屏障，选择合适的作业地点、照射方向和时间，选择最佳的设备布置，并采取适当的防护措施，避免不同探伤小组之间交叉探伤作业。

1.2.3 探伤机配备情况

本项目计划配备 12 台 ^{192}Ir γ 射线探伤机（含 12 枚 ^{192}Ir 放射源，出厂活度 $3.70 \times 10^{12}\text{Bq}$ /枚（100Ci），II类放射源）、4 台 ^{75}Se γ 射线探伤机（含 4 枚 ^{75}Se 放射源，出厂活度 $3.70 \times 10^{12}\text{Bq}$ /枚（100Ci），II类放射源）、14 台 X 射线探伤机（3505 型 6 台、3005 型 2 台、2505 型 2 台、2005 型 2 台、1605 型 2 台，型号待定）。具体详见表 1-1。

表1-1 三门项目部探伤机应用情况一览表

放射源100Ci								
序号	放射源名称	数量（枚）	单枚活度（Bq）	放射源类别	工作场所名称	活动种类	环评情况	
1	^{192}Ir	12	3.70×10^{12}	II	三门核电厂厂区内探伤室和移动探伤施工现场	使用	本次环评	
2	^{75}Se	4	3.70×10^{12}	II				
射线装置								
序号	射线装置名称及型号	数量（台）	管电压（kV）	管电流（mA）	类别	工作场所名称	活动种类	环评情况
1	X射线探伤机（型号未定）	6	350	5	II类	三门核电厂厂区内探伤室和移动探伤施工现场	使用	本次环评
2		2	300	5	II类			
3		2	250	5	II类			
4		2	200	5	II类			
5		2	160	5	II类			

注：探伤室内仅同时1台X射线机或1台 γ 射线机工作，不存在两台及以上同时在探伤室作业。

由于三门核电厂施工过程中核电设施需要现场焊接以及使用大量的焊接工件（管道、罐体、平板件等），为保证核电厂建设工程质量，需要对核电厂核电5mm~100mm不等；工件类型包括管道、罐体及平板件等，因此需要不同电压等级的X射线对不同厚度的工件进行探伤，同时考虑1用1备，因此本项目配备14台不同电压等级的X射线探伤机是合理和必要的。

三门项目部拟配12台 ^{192}Ir γ 射线探伤机和4台 ^{75}Se γ 射线探伤机，与X射线探伤机相比， γ 射线探伤机穿透能力强，探测厚度大，设备体积小，质量轻，因此对于现场条件复杂的核电安装工程具有优势。一般 ^{192}Ir γ 射线探伤机探伤工件厚度12mm~100mm； ^{75}Se γ 射线探伤机探伤工件厚度8mm~30mm。项目部在三门核电厂内移动探伤区域包括3号和4号核岛、CV拼装

场地，同时最多5组探伤小组开展作业，同时考虑到 γ 探伤机备用、放射源在使用贮存过程中活度不断衰变以及放射源转让审批和运输时间等因素，因此本项目配备 γ 探伤机的型号与数量与三门项目在核电施工安装过程对焊接件的无损检测需求是匹配的，也是必要的。

1.2.4 项目依托辅助用房情况

项目洗片室、危废暂存间均依托核电厂内现有设施。其中洗片室位于探伤室东侧的三门项目部厂房内，危废暂存间依托三门核电厂划分给三门项目部位于危化品库区的专用危险废物贮存场所，危废暂存间位于探伤室北侧约 200m。

1.2.5 项目定员及年工作时间

本项目探伤室内每次仅使用1台X射线或1台 γ 射线探伤机，现场移动探伤时每个探伤小组均仅使用1台X射线探伤机或1台 γ 射线探伤机。初期、高峰期拟配备探伤设备及辐射工作人员数量等情况见表1-2，预计探伤时间见表1-3。

表1-2 本项目初期、高峰期拟配备探伤设备及辐射工作人员数量等情况一览表

运行期	探伤设备数量（台）		移动探伤小组（个）	辐射工作人员数量（名）				
	γ 射线探伤机	X射线探伤机		移动探伤操作人员	源库管理人员	厂内运输专车司机	室内探伤	合计
初期	8	4	3	9	2	2	2	15
高峰期	16	14	5	15	2	2	2	21

注：探伤室探伤配备2人；每台 γ 射线探伤机移动探伤均配备2名探伤操作人员和1名安全员；每台X射线探伤机移动探伤均配备2名探伤操作人员。初期移动探伤最多一天为3组，高峰期移动探伤最多一天为5组。

表1-3 本项目预计探伤时间一览表

每组移动探伤设备最大年总探伤时间	室内探伤设备最大年探伤出束时间
250h/a	250h/a

1.3 项目选址及周边环境保护目标

1.3.1 项目选址

三门核电厂地处浙江省东部沿海，位于台州市三门县健跳镇辖区内，厂址坐落于健跳镇东北部约 6km 的猫头山嘴半岛——娘娘殿岗上，濒临三门湾，北、东、南三面临海，西面靠猫头山。本项目源库、探伤室、暗室、评片室、危废暂存间等辅助用房位于三门核电厂厂区内。

探伤室位于三门核电厂区内核电土建安装施工场地西南侧，探伤室为独立的一层建筑，东侧为废料堆场，再东侧距离探伤室约 20m 和 38m 为卫生间和核电土建安装施工场地（三门项目部）厂房，南侧为空地，西侧隔内部道路约 20m 为核电土建安装施工场地（浙江火

电建设有限公司三门项目部），北侧隔内部道路约 5m 为核电土建安装施工场地（三门项目部）厂房。

本项目三门核电厂内现场移动探伤主要位于 3 号、4 号核岛位置及 BOP 子项辅助用房内、三门核电厂东北角 CV（反应堆钢制安全壳）拼装场地，移动探伤区域均属于三门核电厂内。探伤区域位置详见附图 2。

1.3.2 周围环境保护目标

根据现场调查可知，本项目探伤室及源库周围 50m 评价范围内均为三门核电厂区内，无学校、居民区等环境敏感点；探伤室及源库与周围非辐射工作场所分开布设，根据理论估算，项目运行时对周围环境辐射影响较小，项目选址合理。环境保护目标主要是项目辐射工作人员和评价范围内的其他公众。

公司在三门核电厂厂区内实施移动探伤之前，必须开具探伤作业票，应对工作环境进行全面的评估，评估内容应至少包括工作地点的选择、警戒的安全距离、附近的公众、探伤时间等，探伤时间应尽量选择于夜晚 10 点后进行，应保证探伤过程中的辐射安全，确保进行移动探伤的选址合理可行。公司在三门核电厂厂区内实施移动探伤时，可能受到辐射影响的人群有公司现场辐射工作人员、三门核电厂厂区内其他工作人员等，环境保护目标主要是公司现场辐射工作人员、三门核电厂厂区内其他工作人员等。

1.3.3 选址合理性分析

本项目探伤室及源库评价范围 50m 内主要为三门核电厂厂区内，无居民点和学校等环境敏感点，周围无环境制约因素，且附近区域亦不涉及易燃易爆物质和危险化学品的存放。在建筑墙体屏蔽、距离衰减及辐射安全管理措施的基础上，本项目对核电厂区内的非辐射工作人员及周围普通公众的辐射影响符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对公众成员“剂量限值”的要求，也符合本项目剂量约束值的要求。

因此，本项目探伤室和源库的选址基本合理可行。

1.4 “三线一单”符合性分析

根据《关于实施“三线一单”生态环境分区管控的指导意见（试行）》（环环评[2021]108 号），“三线一单”是指生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线、生态环境准入清单。本项目“三线一单”符合性判定情况见表 1-4。

表 1-4 “三线一单”符合性分析

生态保护红线	本项目位于三门县健跳镇浙江三门核电厂区内，根据三门县生态保护红线图（详见附图 9），本项目不涉及生态保护红线。
环境质量底线	经辐射环境影响预测，本项目运营过程中产生的电离辐射，经采取一定的辐射防护措施后对周围环境与公众健康的辐射影响是可接受的。“三废”污染物均采取了合理、有效、可行的处理措施，可以做到达标排放，符合环境质量底线要求。
资源利用上线	本项目营运过程中会消耗一定量的电源、水资源等，主要来自工作人员的日常生活用水和设施用电，但项目资源消耗量相对区域资源利用总量较少，符合资源利用上线要求。
生态环境准入清单	<p>本项目位于三门县健跳镇浙江三门核电厂区内，对照《三门县“三线一单”生态环境分区管控方案》，项目所在地属“台州市三门县健跳沿海产业集聚重点管控单元（ZH33102220106）”，详见附图10，该管控单元生态环境准入清单如下：</p> <p>①空间布局约束</p> <p>优化完善区域产业布局，合理规划布局三类工业项目，鼓励对三类工业项目进行淘汰和提升改造，进一步调整和优化产业结构，逐步提高区域产业准入条件。重点加快园区整合提升，完善园区的基础设施配套。重点发展港口工业、清洁能源等产业。合理规划居住区与工业功能区，在居住区和工业区、工业企业之间设置防护绿地、生活绿地等隔离带。</p> <p>②污染物排放管控</p> <p>严格实施污染物总量控制制度，根据区域环境质量改善目标，削减污染物排放总量。加强污水处理厂建设及提升改造，推进工业园区（工业企业）“污水零直排区”建设，所有企业实现雨污分流。实施工业企业废水深度处理，严格重污染行业重金属和高浓度难降解废水预处理和分质处理，加强对纳管企业总氮、盐分、重金属和其他有毒有害污染物的管控，强化企业污染治理设施运行维护管理。全面推进重点行业VOCs治理和工业废气清洁排放改造，强化工业企业无组织排放管控。二氧化硫、氮氧化物、颗粒物、挥发性有机物全面执行国家排放标准大气污染物特别排放限值，深入推进工业燃煤锅炉烟气清洁排放改造。加强土壤和地下水污染防治与修复。</p> <p>③环境风险防控</p> <p>加强三门核电区域环境监测和预警管理。定期评估沿江河湖库工业企业、工业集聚区环境和健康风险，落实防控措施。相关企业按规定编制环境突发事件应急预案，重点加强事故废水应急池建设，以及应急物资的储备和应急演练。强化工业集聚区企业环境风险防范设施设备建设和正常运行监管，落实产业园区应急预案，加强风险防控体系建设，建立常态化的企业隐患排查整治监管机制。。</p> <p>④资源开发速率要求</p> <p>推进重点行业企业清洁生产改造，大力推进工业水循环利用，减少工业新鲜水用量，提高企业中水回用率。落实最严格水资源管理制度，落实煤炭消费减量替代要求，提高能源使用效率</p> <p>本项目为核技术利用建设项目，主要在三门核电厂厂区范围内从事工业X、γ射线固定式和移动式探伤作业，为三门核电厂建设服务，三门核电厂区相对独立，离居民区较远。项目经营过程中污染物简单，排放量较小，“三废”污染物皆可控制和处理，故项目运营后对周围环境不会产生较大影响。同时，公司拟制定《辐射事故应急预案》，并设置辐射事故应急小组和应急物资，将具备完善的风险防范措施。因此，本项目的实施符合《三门县“三线一单”生态环境分区管控方案》的管控要求，符合生态环境准入清单的要求。</p>

因此，本项目符合“三线一单”的建设要求。

1.5 三区三线符合性分析

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

本项目位于三门核电厂内，室内探伤依托三门核电厂内已建建筑，移动探伤区域也仅限于三门核电厂厂区内，不涉及跨区域探伤。本项目用地及评价范围均不涉及永久基本农田、生态保护红线，因此本项目建设符合浙江省“三区三线”要求。

1.6 产业政策符合性分析

根据国家发展和改革委员会第29号令《产业结构调整指导目录（2019年本）》及国家发展和改革委员会第49号令《关于修改〈产业结构调整指导目录（2019年本）〉的决定》，本项目不属于其限制类和淘汰类项目，符合国家产业政策的要求。

1.7 实践正当性分析

三门项目部因承接三门核电厂核电安装施工需要，拟在三门核电厂厂区内开展X、 γ 射线探伤。项目运行目的是为三门核电建设过程中对钢铁工件焊接缝进行无损检测，可提高核电厂常规岛及BOP子项辅助用房等建筑质量，在确保核电站安全度运行中起到了重要作用，具有良好的社会效益和经济效益。本项目经辐射防护屏蔽和安全管理后，可保证项目周边辐射剂量率水平控制在合理水平，项目所致人员有效剂量满足项目管理目标要求。因此，从代价利益方面分析，本项目获得的利益远大于对环境的影响，具有明显的经济效率、社会效益，该项目的建设符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践的正当性”的原则。

1.8 原有核技术利用项目许可情况

中国核工业第五建设有限公司三门核电项目部在浙江省境内无现有核技术利用项目。

中国核工业第五建设有限公司持有辐射安全许可证，发证机关为上海市生态环境局，证书编号为沪环辐证[23004]，许可种类和范围：使用II类放射源；使用II射线装置。有效期至2026年11月02日。

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	¹⁹² Ir	3.70×10 ¹² Bq×12 枚	II类	使用	无损检测	移动探伤：三门核电厂内 固定探伤：探伤室内	贮存在γ射线探伤机内，随探伤机一起贮存在源库内	P(便携式)
	⁷⁵ Se	3.70×10 ¹² Bq×4 枚	II类	使用	无损检测	移动探伤：三门核电厂内 固定探伤：探伤室内	贮存在γ射线探伤机内，随探伤机一起贮存在源库内	P(便携式)

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
本项目不涉及										

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
本项目不涉及										

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	X 射线探伤机	II	6 台	未定	350	5	无损检测	移动探伤：三门核电厂内 固定探伤：探伤室内	定向
2	X 射线探伤机	II	2 台	未定	300	5	无损检测		定向
3	X 射线探伤机	II	2 台	未定	250	5	无损检测		定向
4	X 射线探伤机	II	2 台	未定	200	5	无损检测		定向
5	X 射线探伤机	II	2 台	未定	160	5	无损检测		定向

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
臭氧、氮氧化物	气态	/	/	少量	少量	/	不暂存	最终排入大气
退役 ^{192}Ir 放射源	固态	^{192}Ir	使用约 180 天后退役，退役时活度约为 $1.85 \times 10^{11} \text{Bq}$	/	/	/	贮存在 γ 射线探伤机内，随探伤机一起贮存在源库源坑内	由源生产厂家回收处理
退役 ^{75}Se 放射源	固态	^{75}Se	使用约 360 天后退役，退役时活度约为 $1.26 \times 10^{11} \text{Bq}$	/	/	/	贮存在 γ 射线探伤机内，随探伤机一起贮存在源库源坑内	由源生产厂家回收处理
废显（定）影液	液态	/	/	/	0.36t/a	/	显（定）影液和洗片废水收集于收集桶内，废胶片收集于防漏胶袋内，后统一暂存于三门核电厂内危废暂存间内	定期委托有资质的单位处理
废胶片	固态	/	/	/	0.0018 t/a	/		
洗片废水	液态	/	/	/	3.6t/a	/		

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说明，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

<p>法规文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法（2014 年修订）》，2015 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法（2018 年修订）》，2018 年 12 月 29 日起施行；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日起施行；</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日起施行；</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例（2019 年修改）》，国务院令第 709 号，2019 年 3 月 2 日起施行；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（原国家环境保护总局令第 31 号，2021 年修改）》，生态环境部令第 20 号，2021 年 1 月 4 日起施行；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环境保护部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日起施行；</p> <p>(8) 《关于发布射线装置分类的公告》，原环境保护部、国家卫生计生委公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日起施行；</p> <p>(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）；</p> <p>(10) 《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》，原国家环境保护总局环发[2006]145 号，2006 年 9 月 26 日起施行；</p> <p>(11) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，原环境保护部办公厅环办辐射函〔2016〕430 号，2016 年 3 月 7 日起施行；</p> <p>(12) 《关于印发〈关于 γ 射线探伤装置的辐射安全要求〉的通知》，环发[2007]8 号，2007 年 1 月 15 日发布执行；</p> <p>(13) 《关于进一步加强 γ 射线移动探伤辐射安全管理的通知》，环办函[2014]1293 号，2014 年 10 月 10 日起实施；</p> <p>(14) 《关于做好放射性废物（源）收贮工作的通知》，环办辐射函〔2017〕609 号，原环境保护部办公厅，2017 年 4 月 21 日起施行；</p> <p>(15) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，中华人民共和国生态环境部令第 16 号公布，自 2021 年 1 月 1 日起施行；</p>
-------------	--

- (16) 《国家危险废物名录（2021年版）》，生态环境部令第15号，2021年1月1日起施行；
- (17) 《危险废物转移管理办法》，生态环境部令第23号，2022年1月1日起施行；
- (18) 《关于发布<建设项目危险废物环境影响评价指南>的公告》，原环境保护部公告2017年第43号，2017年9月1日印发；
- (19) 关于发布《省环境保护主管部门负责审批环境影响评价文件的建设项目清单（2015年本）》及《设区市环境保护主管部门负责审批环境影响评价文件的重污染、高环境风险以及严重影响生态的建设项目清单（2015年本）》的通知，原浙江省环境保护厅浙环发[2015]38号，2015年10月23日起施行；
- (20) 浙江省生态环境厅关于发布《省生态环境主管部门负责审批环境影响评价文件的建设项目清单（2019年本）》的通知，浙环发[2019]22号，2019年11月18日；
- (21) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部公告2019年第57号，2020年1月1日起施行；
- (22) 《浙江省建设项目环境保护管理办法（2021年修正）》，浙江省人民政府令第388号，2021年2月1日起施行；
- (23) 《浙江省辐射环境管理办法（2021年修正）》，浙江省人民政府令第388号，2021年2月1日起施行；
- (24) 《关于印发浙江省辐射事故应急预案的通知》，浙政办发[2018]92号，浙江省人民政府办公厅，2018年9月28日印发；
- (25) 《浙江省生态环境保护条例》，2022年8月1日起施行；
- (26) 《浙江省固体废物污染环境防治条例》，浙江省第十三届人民代表大会常务委员会公告第80号，2023年1月1日起施行；
- (27) 《关于印发<浙江省γ射线移动探伤作业辐射安全管理规定>的通知》，浙环发[2022]30号，浙江省生态环境厅，2023年2月3日起施行；
- (28) 关于《浙江省“三线一单”生态环境分区管控方案》的批复，浙政函[2020]41号，浙江省人民政府，2020年5月14日起施行；
- (29) 关于印发《三门县“三线一单”生态环境分区管控方案》的通知，三政发[2020]11号，2020年8月24日印发。

<p>技术标准</p>	<p>(1) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016)；</p> <p>(2) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)；</p> <p>(3) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)；</p> <p>(4) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)；</p> <p>(5) 《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022)；</p> <p>(6) 《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014)及第1号修改单；</p> <p>(7) 《γ射线探伤机》(GB/T 14058-2008)，2009年4月1日实施；</p> <p>(8) 《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》(GA 1002-2012)，2012年9月1日实施；</p> <p>(9) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ 128-2019)，2020年4月1日实施；</p> <p>(10) 《电离辐射监测质量保证通用要求》(GB 8999-2021)，2021年8月1日实施；</p> <p>(11) 《危险废物贮存污染控制标准》(GB 18597-2023)，2023年7月1日实施。</p>
<p>其他</p>	<p>(1) 《辐射防护导论》，方杰主编；</p> <p>(2) 《辐射防护手册—第三分册》，李德平、潘自强主编；</p> <p>(3) 环评委托书；</p> <p>(4) 企业提供的与工程建设有关其他设计资料等。</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

本项目为使用II类射线装置和II类放射源进行固定式和移动式探伤作业，固定式探伤在三门核电厂厂区内的探伤室内进行，现场移动探伤主要位于核岛位置及 BOP 子项辅助用房内、三门核电厂东北角 CV（反应堆钢制安全壳）拼装场地。详见附图 2。

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）的相关规定：“放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围（无实体边界项目视具体情况而定，应不低于 100m 的范围）”。

本项目固定式 X、 γ 射线探伤的评价范围取探伤室和源库屏蔽体边界外延 50m 的区域，移动 X、 γ 射线探伤的评价范围取监督区边界，如监督区边界距探伤装置小于 100m，则评价范围取 100m。

参考《放射性物品安全运输规程》（GB 11806-2019）第 8.4.2.3 条款规定：“在常规运输条件下，运输工具外表面上任一点的辐射水平应不超过 2mSv/h，在距运输工具外表面 2m 处的辐射水平应不超过 0.1mSv/h”，因此放射源运输时，运输车辆外 2m 范围内作为评价范围。

7.2 保护目标

本项目探伤室和源库周围 50m 评价范围内无学校、居民区等其他环境敏感点，环境保护目标主要是本项目辐射工作人员和评价范围内的其他公众成员；移动 X、 γ 射线探伤项目环境保护目标主要是现场辐射工作人员及三门核电厂厂区内的其他工作人员等。详见表 7-1 和表 7-2。

表 7-1 固定式 X、 γ 射线探伤项目环境保护目标情况

环境保护目标名称	方位	与探伤室边界最近距离 (m)	规模
源库管理人员	源库南侧值班室	紧邻	2 人
操作人员	西侧操作室	紧邻	2 人
内部道路公众	北侧、东侧	紧邻	50 人次/天
南侧空地公众	南侧	紧邻	5 人
中核五公司三门项目部 (核电土建安装施工场地)	东侧、北侧	5	约 100 人
浙江火电建设有限公司 (常规岛土建施工场地)	西侧	20	约 50 人

表 7-2 移动 X、γ 射线探伤项目环境保护目标情况

环境保护目标名称	方位	相对距离 (m)	规模
探伤机操作人员和现场安全员	控制区外	/	2 人或 3 人/每组
X、γ 射线探伤机厂内运输司机、押运员	运输专车驾驶位	距离 X、γ 射线探伤机最近约 1.8m	2 人
运输车周围人员	车辆四周	距运输车辆 0~2m	人口规模不确定
其他公众	监督区外	距监督区边界 $\geq 0.3m$	人口规模不确定



图 7-1 探伤室周围环境及评价范围示意图



图7-2 移动探伤区域范围图

7.3 评价标准

7.3.1 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

一、防护与安全的最优化

4.3.3.1 对于来自一项实践中的任一特定源的照射，应使防护与安全最优化，使得在考虑了经济和社会因素之后，个人受照剂量的大小、受照射的人数以及受照射的可能性均保持在可合理达到的尽量低水平；这种最优化应以该源所致个人剂量和潜在照射危险分别低于剂量约束和潜在照射危险约束为前提条件（治疗性医疗照射除外）。

二、剂量限值

1) 职业照射

4.3.2.1 应对个人受到的正常照射加以限制，以保证除本标准 6.2.2 规定的特殊情况外，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量和有关器官或组织的总当量剂量不超过附录 B（标准的附录）中规定的相应剂量限值。不应将剂量限值应用于获准实践中的医疗照射。

B1.1.1 剂量限值

B1.1.1.1 应对任何工作人员的照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

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

2) 公众照射

B1.2.1 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：

a) 年有效剂量，1mSv；

三、辐射工作场所的分区

6.4 辐射工作场所的分区

应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

6.4.1 控制区

6.4.1.1 注册者和许可证持有者应把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，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的范围。

6.4.2 监督区

6.4.2.1 注册者和许可证持有者应将下述区域定为监督区：这种区域未被定为控制区，在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。

7.3.2 《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）

本标准规定了 X 射线和 γ 射线探伤的放射防护要求。

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

4 使用单位放射防护要求

4.1 开展工业探伤工作的使用单位对放射防护安全应负主体责任。

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

4.3 应对从事探伤工作的人员按 GBZ128 的要求进行个人剂量监测，按 GBZ98 的要求进行职业健康监护。

4.4 探伤工作人员正式工作前应取得符合 GB/T9445 要求的无损探伤人员资格。

4.5 应配备辐射剂量率仪和个人剂量报警仪。

4.6 应制定辐射事故应急预案。

6 固定式探伤的放射防护要求

6.1 探伤室放射防护要求

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

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

6.1.3 探伤室墙体和门的辐射屏蔽应同时满足：

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

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

6.1.4 探伤室顶的辐射屏蔽应满足：

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

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

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

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

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

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

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

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

6.1.11 探伤室应配置固定式场所辐射探测报警装置。

6.2 探伤室探伤操作的放射防护要求

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

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

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

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

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

6.2.6 在每一次照射前，操作人员都应该确认探伤室内部没有人员驻留并关闭防护门。只有在防护门关闭、所有防护与安全装置系统都启动并正常运行的情况下，才能开始探伤工作。

6.2.7 开展探伤室设计时未预计到的工作，如工件过大等特殊原因必须开门探伤的，应遵循本标准第 7.1 条～第 7.4 条的要求。

7 工业 X 射线移动探伤的放射防护要求

7.1 射线移动探伤作业的准备

7.1.1 在实施移动式探伤工作之前，使用单位应对工作环境进行全面评估，以保证实现安全操作。评估内容至少应包括工作地点的选择、接触的工人与附近的公众、天气条件、探伤时间、是否高空作业、作业空间等。应考虑移动式探伤对工作场所内其他的辐射探测系统带来的影响（如烟雾报警器等）。

7.1.2 使用单位应确保开展移动式探伤工作的每台探伤机至少应配备两名专职工作人员。

7.1.3 移动式探伤工作如在委托单位的工作场地实施准备和规划，使用单位应与委托单位协商适当的探伤地点和探伤时间、现场的通告、警告标识和报警信号等，避免造成混淆。委托

单位应给予探伤作业人员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。

7.2 分区设置要求

7.2.1 探伤作业时，应对工作场所实行分区管理，将工作场所划分为控制区和监督区。并在相应的边界设置警示标识。现场射线探伤工作应在指定为控制区的区域内进行。

7.2.2 一般应将作业场所中周围剂量当量率大于 $15\mu\text{Sv/h}$ 的范围内划为控制区。

a) 对于 X 射线探伤，如果每周实际开机时间明显高于 7h，控制区边界周围剂量当量率应按式 (7-1) 计算：

$$K = \frac{100}{\tau} \dots\dots\dots(7-1)$$

式 K——控制区边界周围剂量当量率，单位为微希沃特每小时 ($\mu\text{Sv/h}$)；

τ ——每周实际开机时间，单位为小时 (h)；

100——5mSv 平均分配到每年 50 工作周的数值，即 $100\mu\text{Sv/周}$ 。

b) 对于 γ 射线探伤，控制区距离的估算方法参见本标准附录 A。

7.2.3 控制区边界上合适的位置应设置电离辐射警告标志并悬挂清晰可见的“禁止进入射线工作区”警告牌，探伤作业人员应在控制区边界外操作，否则应采取专门的防护措施。

7.2.4 控制区的边界尽可能设定实体屏障，包括利用现有结构（如墙体）、临时屏障或临时拉起警戒线（绳）等。

7.2.5 移动式探伤作业工作过程中，控制区内不应同时进行其他工作。为了使控制区的范围尽量小，应使用合适的准直器并充分考虑探伤机和被检物体的距离、照射方向、时间和现场屏蔽等条件。视情况采用局部屏蔽措施。

7.2.6 每一个探伤作业班组应至少配备一台便携式 X- γ 剂量率仪，并定期对其开展检定/校准工作。应配备能在现场环境条件下可听见、看见或产生震动信号的个人剂量报警仪。

7.2.7 探伤作业期间还应对控制区边界上代表点的剂量率进行检测，尤其是探伤的位置在此方向或射线束的方向发生改变时，适时调整控制区的边界。

7.2.8 应将控制区边界外、作业时周围剂量当量率大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的范围划为监督区，并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。

7.2.9 移动式探伤工作在多楼层的工厂或工地实施时，应防止移动式探伤工作区上层或下层的人员通过楼梯进入控制区。

7.2.10 探伤机控制台（X 射线发生器控制面板或 γ 射线绕出盘）应设置在合适位置或设有延时开机装置，以便尽可能降低操作人员的受照剂量。

7.3 安全警示

7.3.1 委托单位（业主单位）应配合做好探伤作业的辐射防护工作，通过合适的途径提前发布探伤作业信息，应通知到所有相关人员，防止误照射发生。

7.3.2 应有提示“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”信号应有明显的区别，并且应与该工作场所内使用的其他报警信号有明显区别。夜晚作业时控制区边界应设置警示灯。

7.3.3 X 和 γ 射线探伤的警示信号指示装置应与探伤机连锁。

7.3.4 在控制区的所有边界都应能清楚地听见或看见“预备”信号和“照射”信号。

7.3.5 应在监督区边界和建筑物进出口的醒目位置张贴电离辐射警告标志和警示语等提示信息。

7.4 边界巡查与检测

7.4.1 开始移动式探伤之前，探伤工作人员应确保在控制区内没有任何其他人员，并防止有人进入控制区。

7.4.2 控制区的范围应清晰可见，工作期间应有良好的照明，确保没有人员进入控制区。如果控制区太大或某些地方不能看到，应安排足够的人员进行巡查。

7.4.3 在试运行（或第一次曝光）期间，应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。

7.4.4 开始移动式探伤工作之前，应对便携式 X- γ 剂量率仪进行检查，确认能正常工作。在移动式探伤工作期间，便携式 X- γ 剂量率仪应一直处于开机状态，防止射线曝光异常或不能正常终止。

7.4.5 移动式探伤期间，工作人员除进行常规个人监测外，还应佩戴个人剂量报警仪。个人剂量报警仪不能替代便携式 X- γ 剂量率仪，两者均应使用。

7.5 移动探伤操作要求

7.5.1 X 射线移动式探伤

7.5.1.1 周向式探伤机用于移动式探伤时，应将 X 射线管头组装体置于被探伤物件内部进行透照检查。做定向照射时应使用准直器（仅开定向照射口）。

7.5.1.2 应考虑控制器与 X 射线管和被检物体的距离、照射方向、时间和屏蔽条件等因素，选择最佳的设备布置，并采取适当的防护措施。

7.5.2 γ 射线移动式探伤

7.5.2.1 应根据要进行射线探伤的物体的类型和尺寸，确定所使用的放射性核素。对于有多个 γ 射线源的使用单位，应使用与获得所需射线照片相一致的最低活度源。

7.5.2.2 探伤作业开始前应备齐下列防护相关物品，并使其处于正常状态：

- a) 便携式 X- γ 剂量率仪和个人剂量计、个人剂量报警仪；
- b) 导向管，控制缆和遥控；
- c) 准直器和局部屏蔽；
- d) 现场屏蔽物；
- e) 警告提示和信号；
- f) 应急箱，包括放射源的远距离处理工具；
- g) 其他辅助设备，例如：夹钳和定位辅助设施。

7.5.2.3 探伤工作完成后，操作人员应使用便携式 X- γ 剂量率仪进行监测，以确保所有 γ 放射源均已完全退回源容器中，并且没有任何放射源留在曝光位置或脱落。操作人员在离开现场之前，应进行目视检查，以确保设备没有损坏。应通过锁定曝光设备并将防护屏蔽放在适当位置来准备好运输设备。曝光装置和辅助设备应物理固定在车辆中，以免在运输过程中脱落（或掉落）、损坏。

7.3.3 《密封放射源及密封 γ 放射源容器的放射卫生防护标准》（GBZ 114-2006）

本标准规定了使用密封放射源及密封 γ 放射源容器的放射卫生防护要求。本标准适用于 $3.7\times 10^4\text{Bq}\sim 3.7\times 10^{16}\text{Bq}$ （ $1\mu\text{Ci}\sim 1\text{MCi}$ ）量级密封源。

5 密封 γ 放射源容器的放射防护要求

5.8 距离装有活度为 $3.7\times 10^{10}\text{Bq}$ 以上的密封 γ 放射源容器外表面100cm处任一点的空气比释动能率不得超过0.2mGy/h。

7 密封源贮存的放射防护要求

7.1 使用单位应有密封源的账目，设立领存登记，状态核查，定期清点，钥匙管理等防护措施。

7.2 使用密封源类型、数量及总活度，应分别设计安全可靠的贮源室、贮源柜、贮源箱等相应的专用贮源设备。

7.3 贮源室应符合防护屏蔽设计要求，确保周围环境安全，贮源室应有专人管理。

7.4 有些贮源室应建造贮源坑，根据存放密封源的最大设计容量确定贮源坑的防护设施，贮源坑应保持干燥。

- 7.5 贮源室应设置醒目的电离辐射警示标志，严禁无关人员进入。
- 7.6 贮源室应有足够的使用面积，便于密封源存取；并应保持有良好的通风和照明。
- 7.7 贮源室及贮源柜、箱等均应有防火、防水、防爆、防腐蚀与防盗等安全设施。
- 7.8 无使用价值或不继续使用的退役密封源应退回生产厂家。

7.3.4 《放射性物品安全运输规程》（GB 11806-2019）

本标准规定了常规运输条件、正常运输条件和运输事故条件下放射性物品运输安全要求。本标准适用于放射性物品（包括伴随使用的放射性物质）的陆地、水上和空中任何方式的运输。

8.4.2.3 应按下述要求控制货物集装箱的装载及货包、集合包装和货物集装箱的存放：

b) 在常规运输条件下，运输工具外表面上任一点的辐射水平应不超过 2mSv/h，在距运输工具外表面 2m 处的辐射水平应不超过 0.1mSv/h。

7.3.5 《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》（GA 1002-2012）

本标准规定了剧毒化学品、放射源存放场地（部位）风险等级划分与治安防范级别、治安防范要求和管理要求。本标准适用于剧毒化学品、放射源存放场所（部位）治安防范系统设计、建设、验收和管理。

5.2 实体防护要求

5.2.1 存放场所的建筑结构、配电设施、通风设施应符合 GB 15603 的要求。

5.2.2 存入场所（部位）的防盗安全门应符合 GB 17565 的要求，其防盗安全级别为乙级（含）以上；防盗锁应符合 GA/T 73 的要求；防盗保险柜应符合 GB 10409 的要求。

5.2.3 存放场所（部位）应设置明显的剧毒、电离辐射警告标志。

5.2.4 一、二级风险的库房墙壁应采取混凝土或实心砖墙建造，墙壁厚度应不小于 250mm，顶部应采用现浇钢筋混凝土或钢筋混凝土楼板建造，厚度不小于 160mm。

5.2.5 库房出入口、保卫值班室出入口和监控中心出入口应设置防盗安全门。

7.3.6 《危险废物贮存污染控制标准》（GB 18597-2023）

本标准规定了危险废物贮存污染控制的总体要求、贮存设施选址和污染控制要求、容器和包装物污染控制要求、贮存过程污染控制要求，以及污染物排放、环境监测、环境应急、实施与监督等环境管理要求。

6 贮存设施污染控制要求

6.1 一般规定

6.1.1 贮存设施应根据危险废物的形态、物理化学性质、包装形式和污染物迁移途径，采取必要的防风、防晒、防雨、防漏、防渗、防腐以及其他环境污染防治措施，不应露天堆放危险废物。

6.1.2 贮存设施应根据危险废物的类别、数量、形态、物理化学性质和污染防治等要求设置必要的贮存分区，避免不相容的危险废物接触、混合。

6.1.3 贮存设施或贮存分区内地面、墙面裙脚、堵截泄漏的围堰、接触危险废物的隔板和墙体等应采用坚固的材料建造，表面无裂缝。

6.1.4 贮存设施地面与裙脚应采取表面防渗措施；表面防渗材料应与所接触的物料或污染物相容，可采用抗渗混凝土、高密度聚乙烯膜、钠基膨润土防水毯或其他防渗性能等效的材料。贮存危险废物直接接触地面的，还应进行基础防渗，防渗层为至少 1m 厚黏土层（渗透系数不大于 10^{-7}cm/s ），或至少 2mm 厚高密度聚乙烯膜等人工防渗材料（渗透系数不大于 10^{-10}cm/s ），或其他防渗性能等效的材料。

6.1.5 同一贮存设施宜采用相同的防渗、防腐工艺（包括防渗、防腐结构或材料），防渗、防腐材料应覆盖所有可能与废物及其渗滤液、渗滤液等接触的构筑物表面；采用不同防渗、防腐工艺应分别建设贮存分区。

6.1.6 贮存设施应采取技术和管理措施防止无关人员进入。

7 容器和包装物污染控制要求

7.1 容器和包装物材质、内衬应与盛装的危险废物相容。

7.2 针对不同类别、形态、物理化学性质的危险废物，其容器和包装物应满足相应的防渗、防漏、防腐和强度等要求。

7.3 硬质容器和包装物及其支护结构堆叠码放时不应有明显变形，无破损泄漏。

7.4 柔性容器和包装物堆叠码放时应封口严密，无破损泄漏。

7.5 使用容器盛装液态、半固态危险废物时，容器内部应留有适当的空间，以适应因温度变化等可能引发的收缩和膨胀，防止其导致容器渗漏或永久变形。

7.6 容器和包装物外表面应保持清洁。

7.3.7 《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）及第 1 号修改单

本标准适用于 500kV 以下工业 X 射线探伤装置的探伤室。

3.2 需要屏蔽的辐射

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

射。

3.2.2 散射辐射考虑以 0° 入射探伤工件的 90° 散射辐射。

3.2.3 当可能存在泄漏辐射和散射辐射的复合作用时，通常分别估算泄漏辐射和各项散射辐射，当它们的屏蔽厚度相差一个半值层厚度（TVL）或更大时，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厚度（HVL）。

3.3 其他要求

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

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

3.3.3 屏蔽设计中，应考虑缝隙、管孔和薄弱环节的屏蔽。

3.3.4 当探伤室使用多台 X 射线探伤装置时，按最高管电压与相应该管电压下的常用最大管电流设计屏蔽。

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

7.3.8 本项目管理目标

（1）剂量约束值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中11.4.3.2条款：“剂量约束值通常应在公众照射剂量限值10%~30%（即0.1mSv/a~0.3mSv/a）的范围之内”，遵循辐射防护最优化的原则，结合项目实际情况，本次评价取相应剂量限值的四分之一作为本项目剂量约束值管理目标，具体见表7-3。

表7-3 剂量约束值

适用范围	剂量约束值
职业照射有效剂量	5mSv/a
公众照射有效剂量	0.25mSv/a

（2）关注点的周围剂量当量率参考水平

本项目辐射工作场所的关注点的周围剂量当量率控制水平如表 7-4 所示。

表 7-4 本项目各辐射工作场所的关注点的周围剂量当量率控制水平

工作场所	关注点	剂量率控制值 ($\mu\text{Sv/h}$)
探伤室工作场所	探伤室四周墙体及防护门外 30cm 处、电缆洞口处、	2.5
	探伤室顶棚 30cm 处、通风管穿墙处	100
源库	源库四周墙外及防护门外 30cm 处、顶棚 30cm 处	2.5
移动探伤工作场所	控制区边界	15
	监督区边界	2.5

注：本项目探伤室上方无已建、拟建建筑物，探伤室旁邻近建筑物不在自辐射源点到探伤室顶内表面边缘所张立体角区域内，探伤室顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平通常可取为 $100\mu\text{Sv/h}$ 。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理位置和场所位置

三门核电厂地处浙江省东部沿海，位于台州市三门县健跳镇辖区内，厂址坐落于健跳镇东北部约 6km 的猫头山嘴半岛——娘娘殿岗上，濒临三门湾，北、东、南三面临海，西面靠猫头山。探伤室和源库位于三门核电厂区内核电土建安装施工场地西南侧，探伤室和源库为独立的一层建筑，东侧为废料堆场和核电土建安装施工场地（中核五公司三门项目部）厂房，南侧为空地，西侧为核电土建安装施工场地（浙江火电建设有限公司三门项目部），北侧为核电土建安装施工场地（中核五公司三门项目部）厂房；现场移动探伤主要位于核岛位置及 BOP 子项辅助用房内、三门核电厂东北角 CV（反应堆钢制安全壳）拼装场地。详见附图 2。

8.2 环境现状评价对象

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》（HJ 10.1-2016）的规定：“对其他射线装置、放射源应用项目及非密封放射性物质工作场所，应提供评价范围内贯穿辐射水平”，故本项目环境现状评价主要针对评价范围内的区域辐射环境质量进行评价。本项目为使用 II 类射线装置和 II 类放射源进行固定探伤和移动探伤作业，源库、固定探伤室和移动式探伤作业区域均在三门核电厂厂区内，移动式探伤作业区域不固定，主要位于三门核电厂厂区内的核岛、拼装场地及 BOP 子项辅助用房内。

8.3 辐射环境现状监测

8.3.1 监测因子

γ 辐射空气吸收剂量率。

8.3.2 监测点位

根据项目的平面布置、项目情况和周围环境情况布点监测，在探伤室、源库及移动探伤区域共计布设 28 个点，能够反应出拟建地及周边环境本底情况。

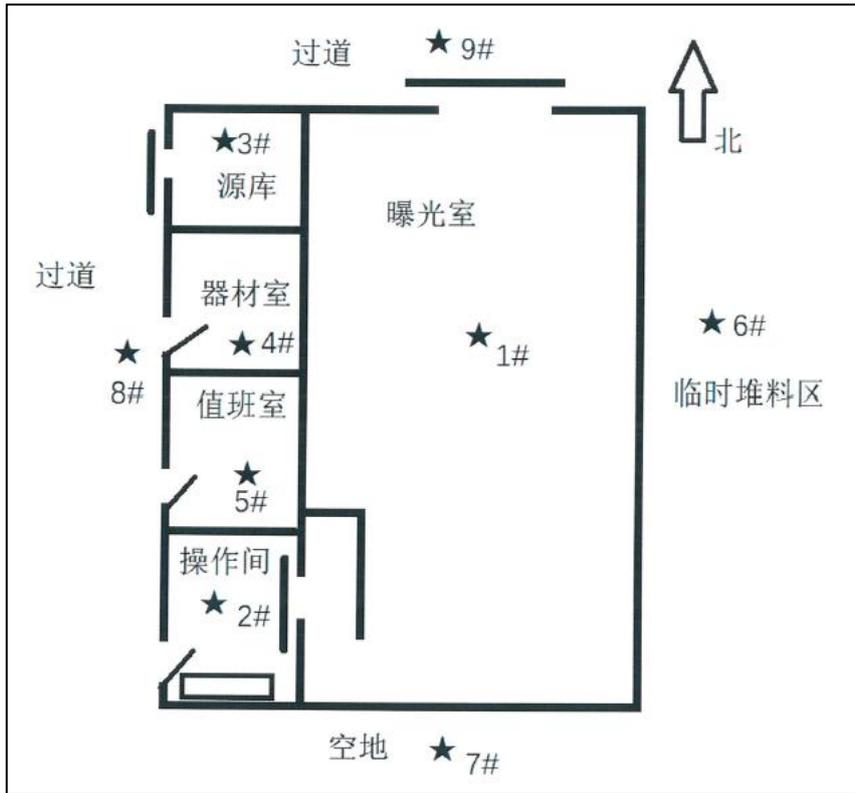


图 8-1 探伤室及源库拟建址及周围环境监测点位图



图 8-2 移动探伤区域监测点位图

8.3.3 监测方案

- (1) 监测单位：浙江亿达检测技术有限公司；
- (2) 监测时间：2023年3月28日；
- (3) 监测方式：现场检测；
- (4) 监测依据：《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）等；
- (5) 监测频次：依据 HJ 1157-2021 标准予以确定；
- (6) 天气环境条件：天气：多云；温度：14℃；相对湿度：81%；
- (7) 监测仪器：该仪器在检定有效期内，相关设备参数见表 8-1。

表 8-1 监测仪器的基本情况表

仪器名称	X、 γ 辐射周围剂量当量率仪
仪器型号	6150 AD 6/H（内置探头：6150AD-b/H；外置探头：6150AD 6/H）
仪器编号	167510+165455
生产厂家	Automess
量 程	内置探头：0.05 μ Sv/h~99.99 μ Sv/h；外置探头：0.01 μ Sv/h~10mSv/h
能量范围	内置探头：20keV-7MeV $\leq\pm 30\%$ ；外置探头：60keV-1.3MeV $\leq\pm 30\%$
检定证书编号	2023H21-20-4419850003
检定有效期	2023年02月15日至2024年02月14日
检定单位	上海市计量测试技术研究院华东国家计量测试中心

8.4 质量保证措施

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

8.5 监测结果

监测结果见表 8-2。

表 8-2 辐射剂量率本底检测结果

点位编号	监测点位置	γ 辐射空气吸收剂量率 (nGy/h)		备注
		平均值	标准偏差	
1#	探伤室	114	2	室内
2#	操作间	104	2	室内
3#	源库内	130	2	室内

4#	器材室	122	3	室内
5#	值班室	111	1	室内
6#	探伤室东侧过道	79	3	室外
7#	探伤室南侧过道	74	2	室外
8#	源库西侧过道	73	3	室外
9#	探伤室北侧过道	71	2	室外
10#	3号核岛 1	69	3	室外
11#	3号核岛 2	59	1	室外
12#	3号核岛 3	63	2	室外
13#	3号核岛 4	64	2	室外
14#	4号核岛 1	55	2	室外
15#	4号核岛 2	55	1	室外
16#	4号核岛 3	55	2	室外
17#	4号核岛 4	61	1	室外
18#	3号核岛北侧	60	1	室外
19#	4号核岛北侧	60	2	室外
20#	3号核岛西侧	58	2	室外
21#	拼装场地 1	54	2	室内
22#	拼装场地 2	44	2	室外
23#	拼装场地 3	51	2	室外
24#	拼装场地 4	56	1	室外
25#	拼装场地 5	62	2	室外
26#	拼装场地 6	57	2	室外
27#	拼装场地 7	55	2	室外
28#	拼装场地 8	64	3	室外

注:1、本次测量时,测量时仪器探头垂直向下,距地面的参考高度为 1m,仪器读数稳定后,以 10s 为间隔读取 10 个数据;
2 本次检测设备测量读数的空气比释动能和周围剂量当量的换算系数参照 JJG393,使用 ^{137}Cs 作为检定/校准参考辐射源时,换算系数取 1.20Sv/Gy;
3、 γ 辐射空气吸收剂量率均已扣除宇宙射线响应值 28.5nGy/h,本样品中建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子 6#~28# 点位取 1, 1#~5# 点位取 0.8。

8.6 环境现状调查结果的评价

由检测结果可知,本项目拟建地室内 γ 辐射空气吸收剂量率范围为 104nGy/h~130nGy/h,拟建地室外道路辐射空气吸收剂量率范围为 44nGy/h~79nGy/h,根据《浙江省环境天然贯穿辐射水平调查研究》可知,台州市室内 γ 辐射空气吸收剂量率在 59nGy/h~200nGy/h,台州市室外道路 γ 辐射空气吸收剂量率在 50nGy/h~142nGy/h,可见本项目拟建场所及周围 γ 辐射空气吸收剂量率处于当地本底水平。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 施工期工程设备和工艺分析

本项目利用已有的探伤室及源库,仅现有源库的源坑内进行分割和对现有探伤室排风口等进行局部改造,不涉及任何土建施工,故本次评价不针对施工期进行工程分析,仅重点关注辐射部分的工艺设备和工艺分析。

本项目设备需要调试(该调试由生产厂家负责),调试阶段射线机会产生 X 射线或 γ 射线、臭氧和氮氧化物,同时设备安装完成后,会有少量的废包装材料产生。调试阶段在已经做好辐射防护的探伤室内进行,张贴电离辐射警告标志,避免无关人员靠近,经墙体的屏蔽及距离衰减后对环境的影响可以接受。

9.2 运行期工程设备和工艺分析

9.2.1 设备组成

三门项目部拟在三门核电厂内配套开展 X、 γ 射线探伤室内固定式探伤和三门核电厂厂区内移动式探伤,计划配备 12 台 ^{192}Ir γ 射线探伤机(含 12 枚 ^{192}Ir 放射源,出厂活度 $3.70 \times 10^{12}\text{Bq}$)、4 台 ^{75}Se γ 射线探伤机(含 4 枚 ^{75}Se 放射源,出厂活度 $3.70 \times 10^{12}\text{Bq}$)、以及 14 台 X 射线探伤机(其中 350kV/5mA X 射线探伤机 6 台,300kV/5mA X 射线探伤机 2 台,250kV/5mA X 射线探伤机 2 台,200kV/5mA X 射线探伤机 2 台,160kV/5mA X 射线探伤机 2 台)。

(1) γ 探伤设备

本项目采用便携式 γ 射线探伤机,结构比较简单,主要由加长输源导管、源屏蔽容器(贮源容器)、遥控控制线及摇把组成。源屏蔽容器是探伤机的主体,用作放射源贮存和运输的屏蔽容器,其最外层为钢包壳,内部是贫铀屏蔽层,容器钢壳与贫铀之间充以泡沫塑料,用来减弱和吸收贫铀材料的韧致辐射。源屏蔽容器的一端有联锁装置,用来连接控制线缆;另一端通过管接头和输源导管连接。放射源存储于源屏蔽容器内,并设计有多项安全锁定位置,只有将输源导管及控制线缆与源屏蔽容器正确、可靠连接,并打开安全锁后,才可以将放射源送出容器,缺少任何一个环节,放射源均无法送出,保证放射源的安全使用。未工作时放射源位于源屏蔽容器的“S”形管道中央,以防射线的直通照射,容器外表面的辐射水平远小于允许值。工作时,转动快门环操作偏心轮,使偏心轮中的曝光通道和源通道对直,用快速接头把输源导管和源容器连起来,输源导管的另一端部构成照射头,操作遥控装置将放射源移出源容器至照射头,进行曝光探伤检测。

典型的 γ 探伤设备外观见图 9-1，内部构造示意图详见图 9-2。



图 9-1 常见的 γ 探伤设备外观示意图

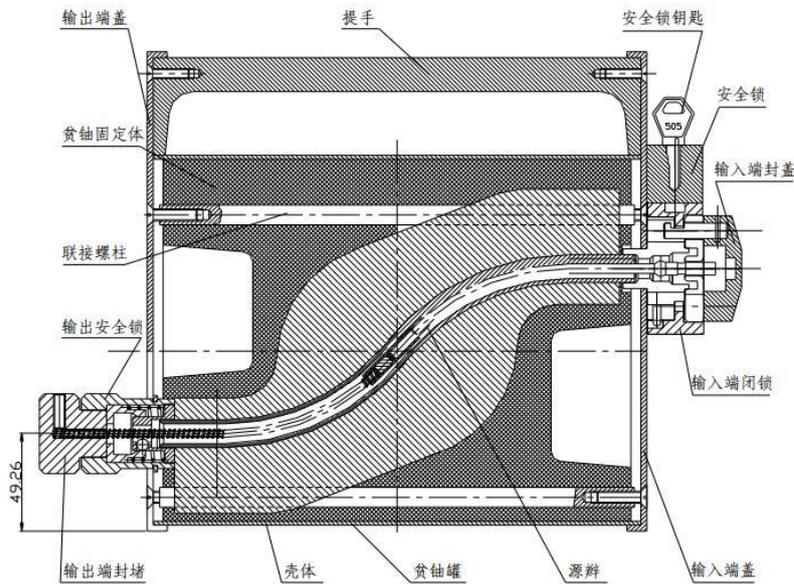


图 9-2 典型的 γ 射线探伤设备内部结构示意图

(2) X 射线探伤设备

X 射线探伤机由 X 射线管头组装体、控制箱和连接电缆三部分组成。探伤机分定向、周向两种。定向机是射线方向固定的，射线出束圆锥角一般在 $40^\circ \sim 45^\circ$ 范围。周向机的射线束是在与 X 射线管轴线成垂直方向的 360° 圆周上发射 X 射线，这对于检测大口径管件和球形容器的环形焊缝，通过一次曝光可以完成整个焊缝的探伤工作。X 射线探伤机具有体积小、重量轻、携带方便、自动化程度高等特点，曝光时间最长为 5min。为延长 X 射线探伤机使用寿命，探伤机按工作时间和休息时间以 1:1 方式工作和休息，确保 X 线管充分冷却，防止过热。

典型的（便携式）X 射线探伤机外观和主要部件见图 9-3。



图 9-3 典型的 X 射线探伤机外观图

9.2.2 工作原理

γ 射线探伤机在工作过程中，通过 ^{192}Ir 、 ^{75}Se 放射源产生的 γ 射线对受检工件进行照射，当射线在穿过裂缝时其衰减明显减少，胶片接受的辐射增大，在显影后的胶片上产生一个较黑的图像，显示裂缝所在位置， γ 射线探伤机据此实现探伤目的。

X 射线探伤机是利用 X 射线对物件进行透射拍片的检测装置。通过 X 射线管产生的 X 射线对受检工件焊缝处所贴的 X 线感光片进行照射，当射线在穿过裂缝时其衰减明显减少，胶片接受的辐射增大，在显影后的胶片上产生一个较黑的图像显示裂缝所在的位置，X 射线探伤机就据此实现探伤目的。

9.2.3 工作方式

移动探伤：本项目移动探伤区域位于三门核电厂内指定的施工区域，根据项目现场情况和业主提供资料，移动式探伤同时在不同探伤区域不超过 5 个探伤小组，开展移动探伤作业时，每台 γ 射线探伤机配备 2 名探伤操作人员和 1 名安全员；每台 X 射线探伤机配备 2 名探伤操作人员。

移动探伤由于本项目核岛工程各种工艺管线数量庞杂，无法进行具体的焊接管件数量的统计，但根据建设单位提供资料，每组探伤工作组每年拍片数量约 3000 张，每张胶片曝光时间为最长不超过 1~5min，经估算单台射线探伤机年曝光时间约为 250h。高峰期共分 5 组，则移动探伤每年拍片数量为 15000 张。

固定探伤：探伤室配备 2 名辐射工作人员，固定式 X、 γ 射线探伤检测工件为管道件和平板件，工件最大长度 5000mm，最大直径 700mm，最大厚度 100mm，根据建设单位提供资料每年预计共检测拍片数量约 3000 张，每次拍片最长时间约 5min，年最大曝光时间共约 250h。

9.3 γ 射线探伤工作流程

9.3.1 放射源购入及运输

公司领取《辐射安全许可证》后，按《辐射安全许可证》许可的种类和范围，向放射源生产厂家购置放射源，并由生产厂家负责将放射源运至公司源库内储存，放射源运输途中的辐射安全责任由运输单位承担。放射源运到源库后，源库管理人员按购货清单逐项核实后，记载放射性同位素的核素名称、出厂时间和活度、标号、编码、来源等，然后放射源入库。放射源使用一定时间后，将实施报废，废旧放射源由放射源生产单位回收处置。

9.3.2 放射源存取

源库实行双人双锁，设有2名专职源库管理员，领用或归还放射源，2名管理员须均在场，领用或归还放射源时，源库管理人员分别用钥匙开锁后进入，其中一名管理人员负责取存放放射源并做好检测，另外一人同时填写《放射源出入库登记表》，记录检测值、探伤机编号、领用或归还人、领用或归还时间等。

探伤室固定探伤时，由操作员到源库在监控下向管理员领取探伤机主机（含源），并在《放射源出入库登记表》签字确认。移动探伤时，则由探伤安全员到源库在监控下向管理员领取探伤机主机（含源），并在《放射源出入库登记表》签字确认，把铅箱搬运至放射源专用运输车（设置放射性标志、固定源罐装置或保险箱）运输，由专人按指定路线押运。押运人员（安全员）携带防护用品、应急方案、监测仪器等，全程监护 γ 射线探伤装置。起运前、运输途中及到达目的地后，安全员均用监测仪器分别测量有无泄漏超标情况，确定无泄漏超标才准启程、装卸；探伤作业完成后，由辐射工作人员操作使放射源回到探伤机安全位置，安全员用监测仪器并对作业场所及探伤机进行巡测，确保放射源正确回源，防止源遗落或丢失，由安全员负责当日将探伤机归还至源库，交接给源库管理员，源库管理员对探伤机再次进行检测，并与出库时的检测值对比，确保放射源的存在并处于最佳的屏蔽位置，做好检测的记录，填写《放射源出入库登记表》，详细记录归还人、归还日期及时间，并建立计算机管理档案。源库工作及产污流程见图9-4。

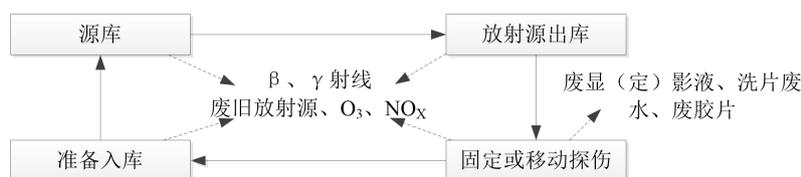


图 9-4 源库工作及产污流程示意图

9.3.3 γ 射线固定探伤工作流程

①将被探伤工件通过工件门运至探伤室内固定，并在检测部位贴上感光胶片；

- ②关闭探伤室工件门,从源库领用 γ 射线探伤机,然后将探伤机放置在探伤室合适的位置;
- ③把控制部件和输源管连接好,开启探伤机闭锁装置;
- ④工作人员退出探伤室,关闭探伤室迷道人员防护门;
- ⑤工作人员在操作间工作台预置启动延迟时间、输源管距离、曝光时间,然后按下“启动”按钮,自控仪将自动完成“送源→曝光→收源”的检测照相过程;
- ⑥确认放射源回到贮源位后,工作人员携带个人剂量报警仪和便携式 X- γ 剂量率仪进入探伤室,将 γ 探伤机归还源库,关门并由源库管理员接收并保管钥匙;
- ⑦工作人员对探伤胶片在暗室进行洗片、阅片,判断工件焊缝的焊接质量、缺陷等。以上工作流程可用图 9-5 简示:

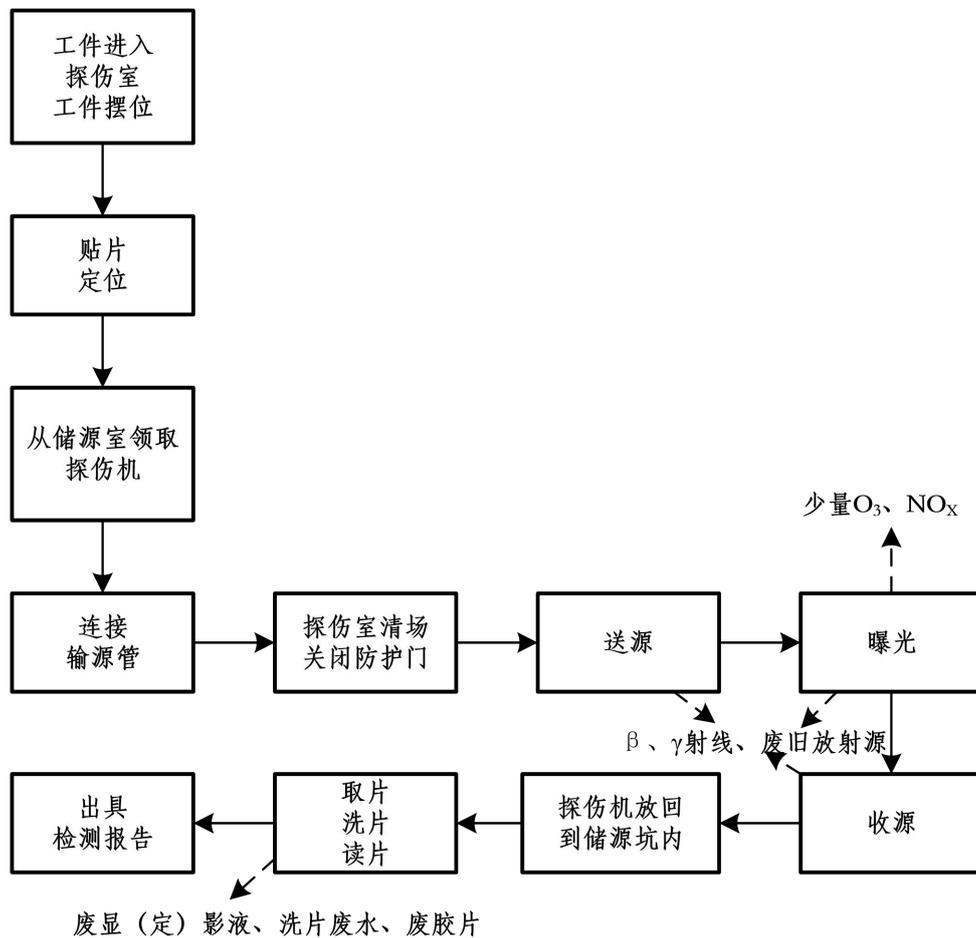


图 9-5 固定式 γ 射线探伤工作流程及产污环节示意图

9.3.4 γ 射线移动式探伤工作流程

- ①接到工程探伤检测任务后,首先向业主单位开具探伤作业票。在探伤之前,根据几何不清晰度要求,算出照射距离,确定放射源的位置;根据底片黑度要求,算出照射时间。根据放

射源活度估算出控制区及监督区的边界距离，把探伤作业的性质、时间、地点、控制区和监督区范围、探伤单位名称、项目负责人、联系电话、辐射事故报警电话等内容以张贴公告的方式告知探伤场所附近公众。

②现场安全员应根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）对工作场所进行分区管理，对划出的控制区及监督区的范围和边界进行确认，确认后，对监督区边界范围内区域进行清场，将无关人员全部撤出监督区边界线以外，在并在边界拉上警戒绳，在控制区边界上合适的位置设置电离辐射警告标志并悬挂清晰可见的“禁止进入射线工作区”警告牌和警示灯，监督区边界上设置电离辐射警告标志并悬挂清晰可见的“无关人员禁止入内”警告牌，必要时设专人警戒。同时，设有提示“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置。在清理完现场，确认场内无其他人员后，工作人员离开控制区，在监督区边界附近进行警戒，在试运行（第一次曝光）期间，用便携式X- γ 剂量率仪巡测控制区和监督区边界的周围剂量当量率以证实边界设置正确，必要时应调整区域的范围和边界。

③确定源屏蔽容器、输源导管及遥控器曲柄放置的距离及操作人员的临时屏蔽装置，在检测对象需要检测部位贴好胶片，将 γ 射线探伤机的照射头的射线口对准检测对象需要检测部位。

④用便携式X- γ 剂量率仪检查确定源在装置内后，连接输源导管。将输源导管端部三角架固定安放到确定的照射处，确认控制部件、行程记录仪、输源导管及各个连接口无异常，通过摇动手柄送出放射源，并监视行程记录仪，同时记录照射时间，到预定照射时间后，摇动手柄将放射源收回到源屏蔽容器安全位置。

⑤从检测工件上取下已曝光的底片，待暗室冲洗处理后阅片，判断工件焊缝的焊接质量、缺陷等，完成一次探伤任务。

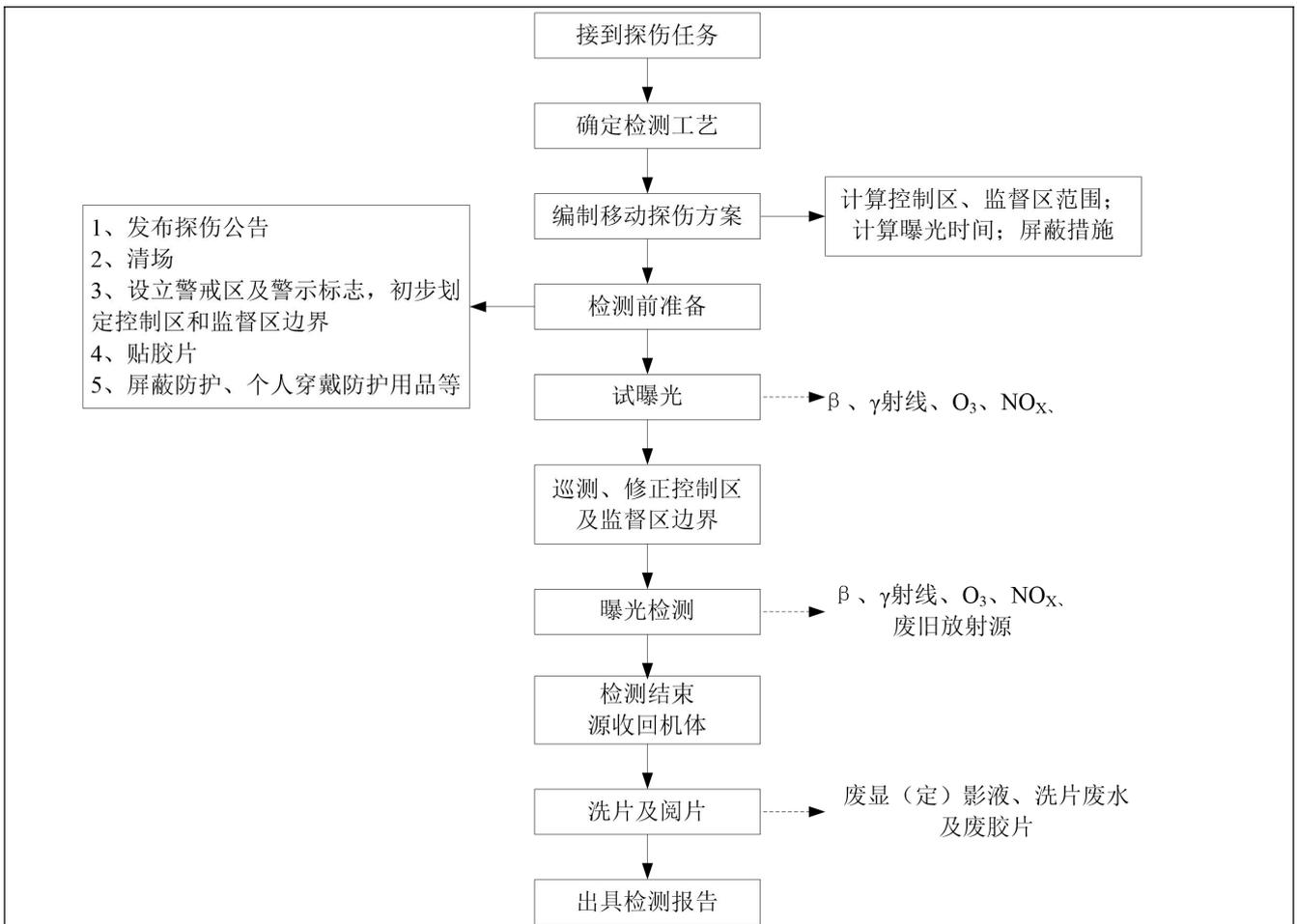


图 9-6 移动式 γ 射线探伤工作流程及产污环节示意图

9.3.5 换源操作

经与建设单位核实，三门项目部在三门核电厂区内不涉及任何换源工作。当使用的放射源活度下降至不能满足无损检测需求时，需要更换放射源，换源流程如下：

①放射源使用单位（三门项目部）按照《辐射安全许可证》许可的种类和范围，向浙江省生态环境厅申请购买新源，并按要求填报《放射性同位素转让审批表》，经其批准同意后方可开展购源工作。

②获取浙江省生态环境厅的批准后，放射源使用单位委托有资质的运输单位将源容器运输至放射源生产单位，在生产单位厂区内由生产单位完成装源工作。

③放射源生产单位委托有资质的运输单位将装有新源的 γ 射线探伤机运输至放射源使用单位，同时将装有废源的 γ 射线探伤机运回放射源生产单位，在生产单位厂区内由生产单位完成倒源工作。放射源使用单位在废源收贮的活动完成之日起20日内向浙江省生态环境厅备案。

根据《关于印发〈关于 γ 射线探伤装置的辐射安全要求〉的通知》（环发[2007]8号文）规定，探伤装置装源（包括更换放射源）应由放射源生产单位进行操作，并承担安全责任，放射

源生产单位也可委托有能力的单位进行装源操作。生产、销售、使用探伤装置单位不得自行进行装源操作。放射源活度不得超过该探伤装置设计的最大额定装源活度。

三门项目部不得自行进行倒源操作，本项目所有放射源退役和换源的工作必须由放射源生产单位负责，其中倒源的安全责任由放射源生产单位负责，运输过程中的安全责任由委托的第三方有资质运输单位负责。

9.4 X 射线探伤工作流程

9.4.1 X 射线机贮存和领取

本项目 X 射线机贮存在探伤室西侧器材库，X 射线探伤机贮存场所实行双人双锁制度，并指定专人管理，制定《射线装置使用登记制度》，对存取 X 射线探伤机进行登记管理，以确保射线装置的安全监管，防止射线装置意外丢失，对公众人员造成不必要的危害。

9.4.2 探伤室固定探伤工作流程

①操作人员将被探伤工件通过工件门运至探伤室内固定，并在检测部位贴上感光胶片；

②操作人员在 X 射线机贮存场所领取 X 射线机，然后将 X 射线探伤机放置在探伤室合适的位置；

③检查探伤室内人员滞留情况，确定无人后辐射工作人员关闭工件门，通过迷道门离开探伤室，并关闭迷道人员防护门；

④根据工件规格选择一次透照长度及张数，根据曝光曲线选择合适的管电压以及曝光时间，检查无误即进行曝光。

⑤达到预定照射时间和曝光量后关闭 X 射线探伤机，工作人员取下胶片，曝光结束；

⑥工作人员对探伤胶片进行洗片、读片，判断工件焊缝的焊接质量、缺陷等。

以上工作流程可用图 9-7 简示：

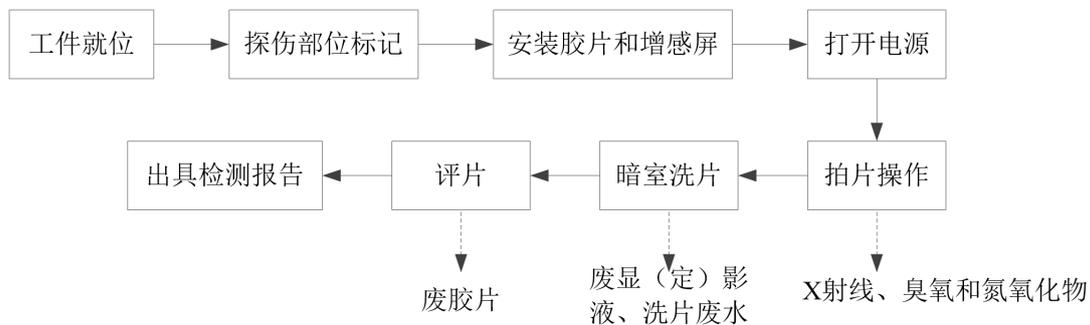


图 9-7 固定式 X 射线探伤工作流程及产污环节示意图

9.4.3 移动式 X 射线探伤工作流程

①操作人员在 X 射线机暂存场所领取 X 射线探伤机，并领用台账进行登记。

②设备运输。探伤装置使用专用的机动车辆运输，由专人押运，按指定的路线运输至探伤场所。

③探伤作业前需要进行公告，公告内容包括：探伤作业的性质、时间、地点、控制区和监督区范围、探伤单位名称、项目负责人、联系电话、辐射事故报警电话等内容。同时应根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）对工作场所进行分区管理，结合射线装置的最大管电压和最大管电流等参数理论估算出控制区及监督区的边界距离，进行初步的控制区和监督区边界划分。对划出的控制区及监督区的范围和边界进行确认，确认后，在控制区边界拉起临时警戒线并设“禁止进入射线工作区”的警告牌和警示灯，在监督区边界上设“无关人员禁止入内”的警告牌，并设提示“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置。由辐射工作人员负责现场巡视及监督检查，采用喇叭告知无关人员请勿靠近移动探伤工作区域，清除控制区和监督区范围内的非辐射工作人员，确保探伤作业时公众成员撤离监督区范围。

④试曝光。现场作业人员均佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪，操作人员确认场内无其他人员且各种辐射安全措施到位后，开始铺设电缆，在工件待检部位布设 X 射线胶片并加以编号，检查无误，设备操作人员开机进行试曝光，现场工作人员使用便携式 X- γ 剂量率仪由远及近进行巡测，一旦发现辐射水平异常、分区不合理，应立即停止射线出束，调整分区。对划定的控制区和监督区进行修正，保障工作人员操作现场的周围剂量当量率小于 $15\mu\text{Sv/h}$ ，公众位于周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的区域之外。

⑤曝光检测。开机进行曝光，同时记录照射时间。到预定曝光时间后，探伤检测结束。

⑥探伤结束，关闭机器。清理完现场后解除警戒，工作人员离场。

⑦设备运回并入库。专用车辆运输设备至 X 射线贮存场所，根据设备出入库管理制度，在出入库台账上登记，设备入库。

⑧从检测工件上取下已曝光的底片，待暗室冲洗处理后阅片，完成一次探伤任务。

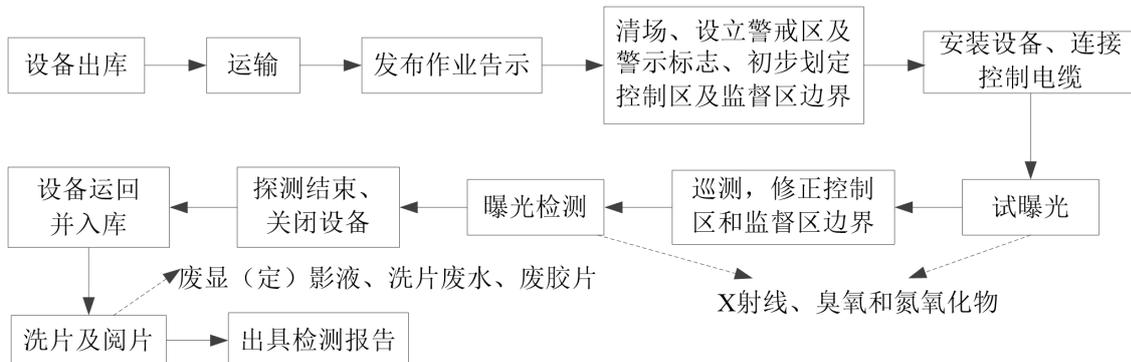


图9-8 移动式X射线探伤工作流程及产污环节示意图

9.4.4 原有项目工程工艺及改进情况

本项目源库和探伤室为已有建筑物，因参与三门核电一期工程建设，由中核五公司建设和使用，用于三门核电一期工程建设过程中无损检测。中核五公司在 2008 年 12 月委托编制了该源库和探伤室建设项目环境影响报告表，使用 6 台 X 射线探伤机、6 枚 ^{192}Ir 和 2 枚 ^{75}Se 放射源（均为 II 类放射源），原浙江省环境保护局对该项目进行了批复，批复文号浙环辐[2009]26 号，并于 2012 年通过竣工环境保护验收，验收文号为浙环辐验[2012]30 号。

中核五公司使用 X 射线探伤机和放射源用于三门核电厂工程建设施工过程对核电设施及工件等焊缝进行 X、 γ 射线探伤，探伤机使用范围仅限于三门核电厂内，不涉及跨区域作业。其探伤工艺过程与本次项目过程一致。

根据《中国核工业第五建设有限公司三门核电 X/ γ 射线探伤项目竣工环境保护验收监测表》，中国核工业第五建设有限公司三门核电 X/ γ 射线探伤项目均已落实了环评批复要求。2011 年 2 月 28 日验收监测期间，源库存有 5 枚 ^{192}Ir 放射源和 1 枚 ^{75}Se 放射源，探伤室使用 1 枚活度为 55.1Ci ^{192}Ir 放射源和 1 台 300kV X 射线探伤机（实际运行电压 290kV）。在此工况下，监测结果如下：

（1）未进行探伤作业时，探伤室和源库(贮源室) 周围墙体和防护门外 30cm 处的辐射空气吸收剂量率为 88~992nGy/h；

（2）利用 ^{192}Ir 放射源进行室内探伤作业时，探伤室和源库(贮源室)周围墙体和防护门外 30cm 处的辐射空气吸收剂量率为 127~811nGy/h；

（3）利用 X 射线探伤机进行室内探伤作业时，探伤室和源库(贮源室)周围墙体和防护门外 30cm 处的辐射空气吸收剂量率为 122~498nGy/h；

（4）贮源坑表面辐射空气吸收剂量率为 503~1220nGy/h。

监测结果表明，验收监测工况条件下，探伤室、源库(贮源室)源坑辐射防护性能符合《工业 γ 射线探伤放射防护标准》（GBZ132-2008）、《工业 X 射线探伤放射卫生防护标准》(GBZ117-2006) 要求。

由于源库和探伤室建设时间较早，源库和探伤室现有辐射防护措施和设施已不能完全满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的要求，需要对源库和探伤室进行局部改造，如增加探伤室防护门上方“预备”和“照射”工作状态指示灯、排风设施、急停开关及室内固定式剂量率监测报警装置等。

9.5 正常工况污染源项分析

9.5.1 γ 射线探伤放射性源项

(1) 核素特性

本项目放射源应用的放射性核素主要为 ^{192}Ir 和 ^{75}Se ，根据《辐射防护手册》（第一分册）（李德平、潘自强主编，P58 页与 P85 页）、《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）附录 A 表 A.1，放射源的主要辐射特性见表 9-1。

表 9-1 放射源主要辐射特性

核素	半衰期	衰变方式 (分支比, %)	射线 类型	辐射能量 (MeV)	辐射 能量强度*	周围剂量当量率常数 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$)
^{192}Ir	74.02d	β^- (95.22) ϵ (4.78) β^+ (~0)	β^-	0.672	46%	0.17
				0.536	41%	
				0.240	8%	
			γ	0.296	34.6	
				0.308	35.8	
				0.316	82.9%, 100	
^{75}Se	120d	ϵ (100)	γ	0.468	58.0	0.072
				0.265	58%, 100	
				0.121	27.4	
				0.136	93.1	
				0.280	42.9	

注：*该数值为辐射的相对强度，带%号的表示绝对强度。

(2) γ 射线和 β 射线

本项目 ^{192}Ir - γ 射线探伤机内含的放射源 ^{192}Ir 衰变时会发射出不同能量的 β 射线和 γ 射线，其中 β 射线穿透能力相对较小，已基本被源容器屏蔽。根据《 γ 射线探伤机》（GB/T 14058-2008）中第 5.3.3.1 条款规定，当 γ 射线探伤机采用贫化铀作为源容器屏蔽材料时，其外表面应包覆足够厚度的低原子序数的非放射性材料，以减弱和吸收贫化铀发射的 β 辐射；其源通道也应包覆足够厚度的非放射性材料。因此， β 射线对周围环境的辐射影响甚微，可忽略不计，而 γ 射线具有较强的贯穿能力，则 ^{192}Ir - γ 射线探伤机的污染因子主要是 γ 射线。 ^{75}Se - γ 射线探伤机内含的放射源 ^{75}Se 衰变时会发射出不同能量的 γ 射线，污染因子主要是 γ 射线。

在 γ 射线移动探伤时，会对探伤现场控制区及监督区外周围的工作人员和公众产生 γ 射线外照射；在 γ 射线探伤机运输过程中对运输人员产生 γ 射线外照射；放射源在放射源库中有小部分穿过源库屏蔽体（包括储源坑、铅盖、屏蔽墙、顶棚、防护门）泄漏到工作场所及周围环境中，对周围的工作人员和公众产生 γ 射线外照射。

根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022），对于本项目使用的便携式 γ 探伤机，设备外表面一定距离处最大周围剂量当量率控制值见表 9-2。

表 9-2 源容器外表面一定距离处周围剂量当量率控制值

探伤机类型	探伤机代号	最大周围剂量当量率（mSv/h）	
		离源容器表面 5cm 处	离源容器表面 100cm 处
便携式探伤机	P	0.5	0.02

（3）退役放射源源项

公司使用的放射源到一定时间后，不能满足无损检测要求，将退役成为废旧放射源。经与建设单位核实，本项目放射源 ^{192}Ir 约 180 天更换一次，放射源 ^{75}Se 约 360 天更换一次。公司应按照国家有关废旧放射源处置的相关规定要求，及时与供源单位签订废旧放射源回收协议。

本项目 γ 探伤机使用满 10 年后退役，退役的废旧 γ 探伤机由生产厂家回收处置。

9.5.2 X 射线探伤放射源项

由 X 射线探伤机的工作原理可知，X 射线是随探伤机的开、关而产生和消失。因此，正常工况时，在开机曝光期间，放射性污染物为 X 射线及其散射线、漏射线。本项目探伤期间 X 射线是主要污染物。本项目拟使用 X 射线探伤机主要技术参数见表 9-3。

表 9-3 本项目 X 射线探伤机技术参数情况一览表

序号	装置名称	类别	数量	最大管电压（kV）	最大管电流（mA）	发射率常数 *mGy·m ² / (mA·min)	漏射线所致周围剂量当量率 (mSv/h)*	备注
1	X 射线探伤机	II	6	350	5	21.4	<5	定向机
2	X 射线探伤机	II	2	300	5	20.9	<5	
3	X 射线探伤机	II	2	250	5	16.5	<5	
4	X 射线探伤机	II	2	200	5	28.7	<2.5	
5	X 射线探伤机	II	2	160	5	20.4	<2.5	

*：发射率常数取《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）表 B.1 中值或内插值；未获得厂家给出输出量，发射率常数取 GBZ/T 250-2014 表 B.1 中各 kV 下输出量较大值保守估计。漏射线所致周围剂量当量率取参考《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中表 1。

9.5.3 非放射性源项

①废气

X、 γ 射线探伤机在工作状态时，探伤室和探伤现场产生的 X、 γ 射线会使空气电离产生少量臭氧和氮氧化物。

②危险废物

本项目在进行洗片及阅片时会产生废显（定）影液、洗片废水及废胶片，产生的废显（定）影液、洗片废水及废胶片属于《国家危险废物名录（2021 年版）》中感光材料废物，危废代码为 HW16：900-019-16，并无放射性。项目年拍片量为 18000 张，按洗 1000 张片用 20L 显

(定)影液,经估算项目工作过程中每年产生的废显(定)影液约360L(密度保守按1g/cm³,折合重量约0.36t);洗片废水主要为胶片显(定)影冲洗废水,根据建设单位提供的经验值,每冲洗100张片产生废水量约20L,则洗片废水产生量约3.6t/a;每年产生废胶片约180张(废片率按1%计算,单张胶片平均重量保守按10g,折合重量约1.8kg),该部分危险废物定期委托有资质的单位处理。完好的胶片永久存档在三门核电厂档案室内不报废。危险废物存放于三门项目部专用的危废暂存间,位于三门核电厂危化品仓库。

根据《建设项目危险废物环境影响评价指南》要求,本次评价明确危险废物的名称、数量、类别、形态、危险特性和污染防治措施等内容,具体见表9-4。

表9-4 本项目危险废物基本情况汇总表

序号	危废名称	危废类别	危废代码	产生量	产生工序及装置	形态	主要成分	有害成分	产废周期	危险特性	污染防治措施
1	废显(定)影液	HW16	900-01 9-16	0.36t/a	洗片	液态	显(定)影液	显(定)影液	每次探伤	T	收集于临时危化品库,定期委托有资质单位处理处置。
2	洗片废水	HW16	900-01 9-16	3.6t/a	洗片	液态	显(定)影液	显(定)影液	每次探伤	T	
3	废胶片	HW16	900-01 9-16	0.0018 t/a	阅片	固态	废胶片	废胶片	每次探伤	T	

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 固定探伤项目工作场所布局

①探伤房及源库布局与分区合理性分析

本项目依托原中核五公司已建建筑，包括 1 间探伤室、1 间源库、1 间操作室、1 间值班室、1 间器材室，为一层独立建筑，暗室和评片室与探伤室分开，探伤室和暗室位置详见附图 4。

本项目探伤室与操作间分开设置，探伤室北侧设有电动工件门，便于工件进出。探伤室与操作间之间设有 L 型迷道和人员防护门，便于辐射工作人员进出探伤室，并通过迷道多次散射和防护门屏蔽降低工作人员受照剂量，X 射线定向机主射朝向探伤室的东墙和南墙，避开朝向西侧操作间， γ 射线探伤机内置的放射源主射束朝向探伤室的任一方向，经辐射影响理论预测，在西墙 850mm 厚混凝土的屏蔽防护的基础上操作间操作位处的辐射剂量率低于标准限值，且操作间内辐射工作人员的年有效剂量满足本次评价的剂量约束值要求。本项目探伤室探伤工件最大尺寸为长度 5000mm，最大直径 700mm，探伤室净尺寸为 10.3m（长） \times 4.3m（宽） \times 4.5m（高），工件门的门洞尺寸为 3.0m（宽） \times 3.2m（高），工件采用人工或平板车送入探伤室，探伤室内设有行吊吊装工件，探伤室的设计满足探伤工作需要，综上所述，本项目探伤室布局满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）相关要求，探伤室布局合理。

项目源库紧邻探伤室西侧设置，用于单独贮存 γ 射线探伤机，源库为单独房间，源库外南侧拟设置一间器材室，用于存放 X 射线探伤机及警戒线（绳）、警告牌等项目相关辐射安全防护设施，源库和器材室入口均设置为防盗门，源库不设置窗户，器材室西侧设有窗户，拟设置为防盗窗。源库和器材室门均实行双人双锁管理。源库和器材室内均不与爆炸物品、腐蚀性物品一起存放，且距离三门核电厂内危险化学品库房超过 100m。综上所述，本项目源库和 X 射线贮存间均满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）相关要求。

10.1.2 辐射工作场所分区原则及区域划分情况

（1）划分原则

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，辐射工作场所依据管理的需要，可分为控制区、监督区。其划分原则如下：

①把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，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的范围。

②把未被定为控制区，在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划分为监督区。

(2) 探伤室固定探伤两区划分情况

根据两区划分原则，结合《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）等相关规定，将固定探伤辐射工作场所进行分区管理，以探伤室和源库建筑边界作为控制区边界，操作室、值班室、器材室、探伤室边界外 1m 和源库边界外 1m 范围内划为监督区边界，辐射工作场所分区见图 10-1，分区管理措施如下：

①探伤室防护门采用门机联锁，入口处设置电离辐射警告标志和工作指示灯，探伤期间任何人不能进入，停止曝光后，工作人员进入时必须佩戴个人剂量剂、个人剂量报警仪和便携式 X- γ 剂量率仪；控制区内设置急停开关、开门开关、固定式剂量率报警装置探头和视频监控探头。

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

公司对于辐射工作场所的分区管理措施是合理可行的，可有效加强辐射安全管理，降低探伤期间误入探伤室造成的意外照射事故。

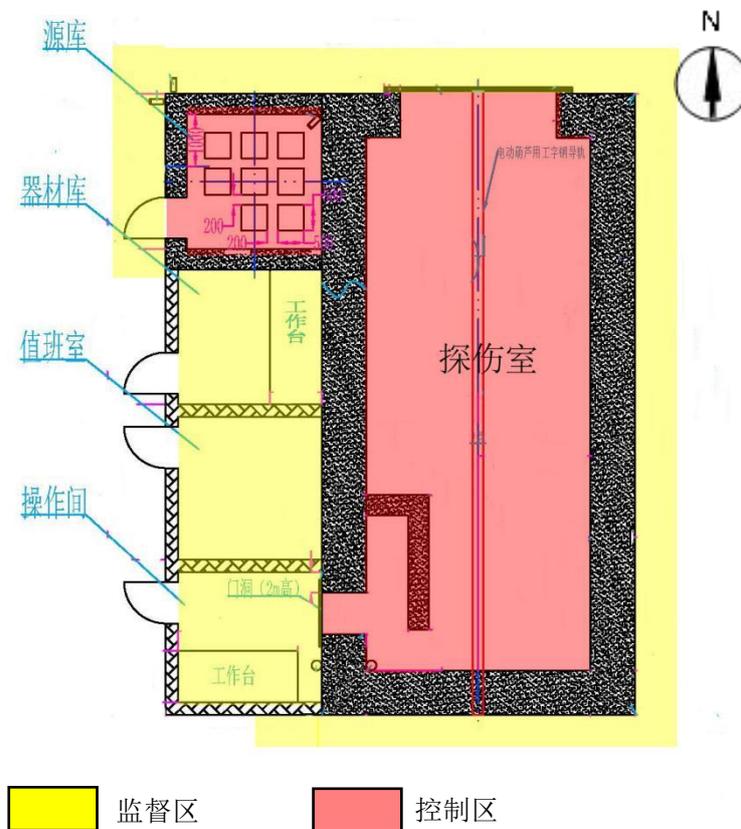


图 10-1 探伤室及源库“两区”分区示意图

(3) 移动探伤工作场所两区划分

公司开展移动 X、 γ 射线探伤作业时，现场安全员或操作人员拟根据理论估算值和经验初步划定并标志出控制区和监督区边界，同时，利用便携式 X- γ 剂量率仪巡测对控制区和监督区边界进行巡测并修正，将周围剂量当量率大于 $15\mu\text{Sv/h}$ 的区域划为控制区，探伤期间禁止任何人员进入，将控制区边界外、作业时周围剂量当量率大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的范围划为监督区，禁止非辐射工作人员进入。采取的分區措施基本满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中的要求。移动探伤辐射安全防护措施如下：

(1) 在控制区边界上采用警戒绳围住控制区；在控制区边界上合适的位置设置电离辐射警告标志并悬挂清晰可见的“禁止进入射线工作区”标牌，夜晚作业时设警示灯；控制区的边界尽可能设定实体屏障，包括利用现有结构（如墙体）、临时屏障或临时拉起警戒线等。探伤作业期间应安排人员对控制区边界进行巡逻，除操作人员外，其余人员不得进入该区域。

(2) 在监督区边界上采用警戒绳围住监督区；并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。

10.2 辐射安全场所屏蔽设计方案

10.2.1 固定式探伤室

本项目 γ （X）探伤室、源库及源坑的屏蔽防护设计见表 10-1，探伤室平面及剖面设计图见附图 5 和附图 6。

表 10-1 本项目 γ (X)探伤室及源库屏蔽情况一览表

探伤室	外尺寸	面积为 72.0m^2 ， 12.0m （长） \times 6.0m （宽） \times 5.2m （高）
	净尺寸	面积为 44.3m^2 （含迷道）， 10.3m （长） \times 4.3m （宽） \times 4.5m （高）
	四侧墙体	850mm 混凝土
	迷道内墙	设有“L 型”迷道，迷道内墙采用 400mm 混凝土
	顶棚	450mm 混凝土
	地坪	探伤室正下方为土层，无地下室，不做特殊防护
	工件门	电动门，门洞的尺寸为 3.0m （宽） \times 3.2m （高）；门体的尺寸为 3.6m （宽） \times 3.5m （高），防护门厚度为 4mm 钢板+75mm 铅板+4mm 钢板（门与墙体左、右搭接各为 300mm，上、下搭接各为 150mm，按照搭接长度须大于等于 10 倍间隙的原则，间隙应尽量小。）
	工作人员出入口	电动门，门洞的尺寸为 0.8m （宽） \times 2.0m （高）；门体的尺寸为 1.3m （宽） \times 2.3m （高），防护门厚度为 4mm 钢板+50mm 铅板+4mm 钢板（门与墙体左、右搭接各为 250mm，上、下搭接各为 150mm，按照搭接长度须大于等于 10 倍间隙的原则，间隙应尽量小）。
	电缆沟	各类预埋管道分别敷设 1 根，合计 3 根，均以“U”型地埋管道穿越探伤室的西墙，连接至控制室的控制台，管径均为 100mm，埋深均为 150mm。
排风	拟在探伤室顶设置风机，风量为 $5000\text{m}^3/\text{h}$ ，通过风管由顶棚原排风扇口直穿，	

		延伸至距地 300mm；风管外做 30mm 铅防护补偿。另一个排风扇洞口以重晶石混凝土封堵。
源库	西侧、南侧、北侧墙体	400mm 混凝土
	顶棚	450mm 混凝土
	东侧	与探伤室共用墙体 850mm
	防护门	手动门，门洞的尺寸为 0.6m（宽）×1.6m（高）；门体的尺寸为 0.9m（宽）×1.9m（高），门体防护门厚度为 2mm 钢板+10mm 铅板+2mm 钢板（门与墙体左、右搭接各为 150mm，上、下搭接各为 150mm，按照搭接长度须大于等于 10 倍间隙的原则，间隙应尽量小。）
	源坑	设计原则为“1 坑 2 源”，用于存放 12 台 ^{192}Ir - γ 射线探伤机和 6 台 ^{75}Se - γ 射线探伤机，采用下沉式设计。源库原设有 8 个源坑，坑四壁与底部均采用混凝土结构，厚度约 200mm，单坑的净尺寸为 500mm（长）×500mm（宽）×1000mm（深），上口超出地面 200mm，顶盖尺寸为 440mm（长）×340mm（宽），采用 3mm 钢板+6mm 铅板+3mm 钢板。每个源坑内拟设双层预制钢成品源坑，中间设活动盖板。
排风	拟在探伤室顶设置风机（与探伤室共用 1 台风机），通风管由顶棚原排风扇口直穿，延伸至距地 300mm；风管外做 30mm 铅防护补偿。	
注：表中混凝土的密度不小于 2.35g/cm ³ ，铅的密度不小于 11.3g/cm ³ 。		

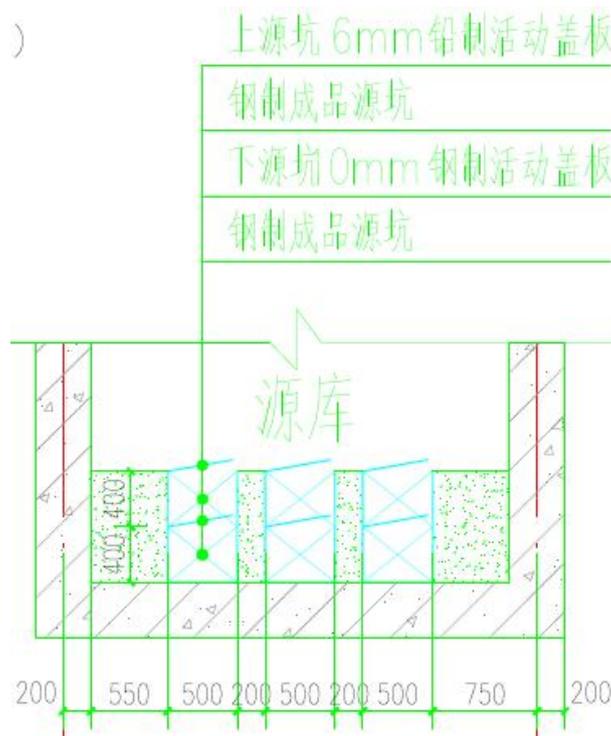


图 10-2 源库改造示意图

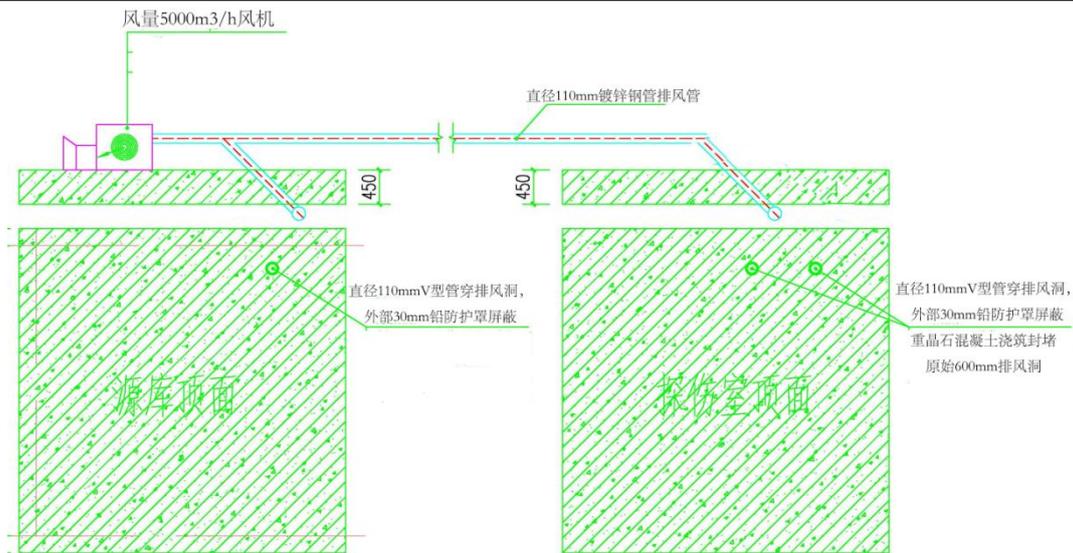


图 10-3 源库及探伤室排风管改造示意图

10.2.2 移动探伤

移动式 X、 γ 射线探伤时拟充分利用常规岛及 BOP 子项辅助用房建筑对射线进行屏蔽，或临时拉起警戒线或临时屏障，确保控制区和监督区范围在三门核电厂厂界范围内并尽可能小。

10.3 辐射安全与防护措施

10.3.1 探伤装置固有安全属性

本项目探伤装置均拟购于有资质的单位，设备在出厂前应具备以下多项安全措施：

表 10-2 探伤装置固有安全属性基本要求

装置名称		设备技术要求
X 射线探伤机	X 射线管头组装体	X 射线探伤机在额定工作条件下，距 X 射线管焦点 100 cm 处的漏射线所致周围剂量当量率应符合《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）5.1.1 款表 1 的要求，在随机文件中应有这些指标的说明。其他放射防护性能应符合 GB/T 26837 的要求。
	控制台	a) 控制台应设有延时开机装置。b) 应设置有高压接通时的外部报警或指示装置。c) 应设置紧急停机开关。
γ 射线探伤机	放射源容器及传输导管	本项目 γ 射线探伤机为便携式（P），当源容器装载最大活度值的密封源并处于锁定状态且装配好保护盖（若有）时，源容器外表面一定距离处的周围剂量当量率应不超过《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）5.2.1 款表 2 规定的控制值，随机文件中应有该指标的说明。放射源容器表面剂量率、安全锁、联锁装置、源托、输源管、控制缆等配件、源辨位置指示系统、遥控装置、标志和标识与放射源编码卡等其他放射防护性能应符合 GB/T 14058 的要求。

10.3.2 探伤室辐射安全措施

本项目利用已有放射源库和探伤室，由于探伤室和源库建设时间较早，部分设施已不能满足现行标准要求。根据现场调查，探伤室和源库现有辐射防护设置如下：

(1) 探伤室工件防护门和人员防护门设置有门-机联锁装置，防护门关闭后才能进行探伤作业。门-机联锁装置的设置应方便探伤室内人员在紧急情况下离开探伤室。在探伤过程中，防护门被意外打开时，应能够停止出束或回源。每台探伤装置（包括 X 射线探伤机和 γ 射线探伤机）均与防护门联锁。

(2) 探伤室防护门醒目位置张贴符合 GB18871 要求的电离辐射警告标志和中文警示说明。探伤室工件门和工作人员防护门内侧分别设有 1 个室内紧急开门装置，紧急状态下，室内人员可开启该装置离开探伤室。

(3) 探伤室内西侧墙体和控制室内各设有 1 个急停按钮，出现紧急事故时，按下急停按钮，可立即停止照射或回源。按钮下方均表明使用方法。

(4) 探伤室防护门设有探伤机工作状态报警灯。

(5) 探伤室内设有 1 个监控探头，可以监控探伤室内探伤机工作状态。

为保障探伤室内放射源及 X 射线探伤机的安全运行，综合考虑《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的相关要求，避免在探伤期间维修人员误留或误入机房而发生误照射事故，本项目探伤室应新增相应的辐射安全装置和保护措施主要有：

(1) 探伤室门口和内部将现有报警灯改造为显示“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置，并与每台探伤机联锁。“预备”信号应持续足够长的时间，以确保探伤室内人员安全离开。“预备”信号和“照射”信号应有明显的区别，并且应与该工作场所内使用的其他报警信号有明显区别。在醒目的位置处应有对“照射”和“预备”信号意义的说明。

(2) 探伤室室内增设 1 个视频监控探头，工件防护门外均设有 1 个视频监控探头，监视器在操作间控制台，操作间工作人员可监视探伤室内人员的活动和探伤设备的运行情况。

(3) 探伤室内迷道内墙体内侧增设 1 个急停按钮，东侧墙体增设 2 个急停按钮，迷道入口处增设 1 个急停按钮，出现紧急事故时，按下急停按钮，可立即停止照射或回源。每个按钮下方均表明使用方法。

(4) 探伤室顶棚现设有两个排风扇进行排风。拟对排风装置进行改造，探伤室顶新增 1 台排风机，风量为 5000m³/h，满足通风次数不低于 3 次/h 的要求。风管拟从现有排风扇洞口穿入探伤室并延伸至距离 300mm 位置设置排风口，洞口外设 30mm 铅板进行屏蔽补充。另一个排风扇洞口以重晶石混凝土封堵。

(5) 拟在探伤室内设置 1 个固定式辐射探测报警装置。

(6) 探伤室工件防护门及墙体外 1m 处拟划定黄色警戒线，告诫无关人员不得靠近。

(7) 操作室墙体张贴各项规章制度。

(8) 探伤工作人员进入探伤室时除佩戴常规个人剂量计外，还应携带个人剂量报警仪和便携式 X- γ 剂量率仪。当剂量率达到设定的报警阈值报警时，探伤工作人员应立即退出探伤室，同时阻止其他人进入探伤室，并立即向辐射防护负责人报告。定期测量探伤室外周围区域的剂量率水平，包括操作者工作位置和周围毗邻区域人员居留处。测量值应当与参考控制水平相比较。当测量值高于参考控制水平时，应终止探伤工作并向辐射防护负责人报告；交接班或当班使用便携式 X- γ 剂量率仪前，应检查是否正常工作。如发现便携式 X- γ 剂量率仪不能正常工作，则不应开始探伤工作；探伤工作人员应正确使用配备的辐射防护装置，如准直器和附加屏蔽，把潜在的辐射降到最低；在每一次照射前，操作人员都应该确认探伤室内没有人员驻留并关闭防护门，只有在防护门关闭、所有防护与安全装置系统都启动并正常运行的情况下，才能开始探伤工作。对于探伤室的各项安全措施定期检查，并做好记录。每次探伤工作前，探伤作业人员按照工作程序的要求，检查安全装置、联锁装置及警告信号、标志的状态；只有确认探伤房内无人且防护门均已关闭、所有安装装置起作用并给出启动信号后才能开始探伤作业。

探伤房采用上述辐射安全设计并建设，能够满足符合《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中有关安全联锁、工作指示灯、警示标志、急停开关等安全设施的设置要求。

10.3.3 源库和器材库辐射安全措施

(1) 源库

本项目放射源的暂存依托现有的源库，内设8个源坑，每个源坑设成品双层预制钢制源坑，每个源坑放置2台探伤机。该源库为单独的建筑，其设计已考虑“防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄漏”的基本要求，不存放易燃、易爆、腐蚀性等物品。

①源库墙体结构上防火，库内严禁烟火，已配备灭火器，满足源库的“防火”要求。

②源库的地面已采用水泥硬化处理，并设置防潮层以防渗。源坑比室内地面高出20cm，满足“防水”要求。

③源库出入口的防护门及储源坑的铅盖均设有防盗锁，不设窗户，并指定2名工作人员专职负责放射源库的保管工作，实行双人双锁制度。库内及门口设置24小时持续有效的视频监控录像系统，且录像保存时间在30天以上，并与值班室联网；设置红外线报警装置，并与当地公安“110”联网，满足源库的“防盗、防破坏”要求。

④源库内及附近严禁存放易燃易爆和腐蚀性物品，源库四周主要为厂房和堆场等场所，距

北侧三门核电厂内危险化学品仓库距离超过100m，满足源库的“防爆”要求。

⑤源库采用混凝土实体墙屏蔽，源库内储源坑为混凝土结构，壁厚200mm，源库盖板为铅板，在最大储源工况下，源库外公众可达的位置周围剂量当量率均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，满足源库的“防射线泄漏”要求。

⑥源库内设有固定式剂量率监测装置，实时监控源库内辐射剂量率；源库出入口的防护门设显著的电离辐射警示标志，告诫无关人员请勿靠近。

⑦源库现有顶棚设有排风扇，拟对其改造。拟与探伤室共用1台排风机，并在排风管进口位置采用铅板进行屏蔽补偿。

⑧本项目为II类放射源，放射源在源库内储存期间的防范要求应符合GA1002二级风险等级。

⑨公司拟制定 γ 射线探伤机的领取、归还和登记制度，放射源台账和定期清点检查制度，明确放射源的流向。定期核实探伤装置中的放射源，明确每枚放射源与探伤装置的对应关系，做到账物相符，一一对应。核实时应有2人在场，核实记录应妥善保存，并建立计算机管理档案。同时，源库墙体外张贴源库发生应急事故的处理措施和报告流程。

(2) X射线机贮存场所（器材室）

①X射线探伤机贮存间的出入口拟设视频监控系统，实行双人双锁，由专职工作人员负责采用防盗门窗，门上拟设电离辐射警告标志。

②射线装置贮存场所仅为X射线探伤机的临时贮存，不涉及使用、调试和维修工作。

③设备贮存间应满足“防盗、防火、防潮、防爆”要求。

④公司拟制定X射线探伤机的领取、归还和登记制度，并建立设备管理台账。

本项目X、 γ 移动探伤均在三门核电厂厂区内进行，不进行跨区市探伤，每次移动探伤结束后，探伤设备均返回源库和器材室贮存，在落实以上措施后，能够满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中的关于放射源贮存的要求。

10.3.4 γ 射线移动探伤辐射安全措施

1、工作前检查项目

- a) 检查源容器和源传输导管的照射末端是否损伤或者有异常；
- b) 检查螺母和螺丝的紧密程度、螺纹和弹簧是否有损伤；
- c) 确认放射源锁紧装置工作正常；
- d) 检查控制软轴末端是否有磨损、损坏（磨损标准由厂家提供），与控制导管是否有效

连接：

- e) 安全联锁是否工作正常；
- f) 报警设备和警示灯运行是否正常；
- g) 检查源容器和源传输导管是否连接牢固；
- h) 检查源传输导管和控制导管是否有毛刺、破损、扭结；
- i) 检查警告标签和源的标志内容是否清晰；
- j) 测量源容器表面一定距离处的周围剂量当量率是否《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中对于手提式探伤机控制限值要求（距源容器表面 5cm 处小于 5mSv/h，距源容器表面 1m 处小于 0.02mSv/h），并确认放射源处于屏蔽状态。

2、作业前准备

(1) 在实施移动式探伤工作之前，使用单位应对工作环境进行全面评估，以保证实现安全操作。评估内容至少应包括工作地点的选择、接触的工人与附近的公众、天气条件、探伤时间、是否高空作业、作业空间等。应考虑移动式探伤对工作场所内其他的辐射探测系统带来的影响（如烟雾报警器等）。

(2) 使用单位应确保开展移动式探伤工作的每台探伤机至少应配备两名专职工作人员。本项目开展移动式探伤工作的每台 γ 射线探伤机拟配备 2 名专职的辐射操作人员和 1 名现场安全员。

(3) 移动式探伤工作如在委托单位的工作场地实施准备和规划，使用单位应与委托单位协商适当的探伤地点和探伤时间、现场的通告、警告标识和报警信号等，避免造成混淆。委托单位应给予探伤作业人员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。

3、分区设置

(1) 探伤作业时，应对工作场所实行分区管理，将工作场所划分为控制区和监督区。并在相应的边界设置警示标识。现场射线探伤工作应在指定为控制区的区域内进行。

(2) 控制区边界上合适的位置拟设置电离辐射警告标志并悬挂清晰可见的“禁止进入射线工作区”警告牌，探伤作业人员应在控制区边界外操作，否则应采取专门的防护措施。

(3) 控制区的边界尽可能设定实体屏障，包括利用现有结构（如墙体）、临时屏障或临时拉起警戒线（绳）等。

(4) 移动式探伤作业工作过程中，控制区内不应同时进行其他工作。为了使控制区的范围尽量小，应使用合适的准直器并充分考虑探伤机和被检物体的距离、照射方向、时间和现场

屏蔽等条件。视情况采用局部屏蔽措施。

(5) 每一个探伤作业班组拟配备一台便携式 X- γ 剂量率仪，并定期对其开展检定/校准工作。应配备能在现场环境条件下可听见、看见或产生震动信号的个人剂量报警仪。

(6) 探伤作业期间还应对控制区边界上代表点的剂量率进行检测，尤其是探伤的位置在此方向或射线束的方向发生改变时，适时调整控制区的边界。

(7) 监督区边界上悬挂清晰可见的“无关人员禁止入内”警告牌，必要时设专人警戒。

(8) 移动式探伤工作在多楼层的工厂或工地实施时，应防止移动式探伤工作区上层或下层的人员通过楼梯进入控制区。

(9) 探伤机控制台 (γ 射线绕出盘) 应设置在合适位置，以便尽可能降低操作人员的受照剂量。

4、安全警示

(1) 三门核电厂业主单位应配合做好探伤作业的辐射防护工作，通过合适的途径提前发布探伤作业信息，应通知到所有相关人员，防止误照射发生。

(2) 应有提示“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”信号应有明显的区别，并且应与该工作场所内使用的其他报警信号有明显区别。夜晚作业时控制区边界应设置警示灯。

(3) γ 射线探伤的警示信号指示装置应与探伤机联锁。

(4) 在控制区的所有边界都应能清楚地听见或看见“预备”信号和“照射”信号。

(5) 应在监督区边界和建筑物进出口的醒目位置张贴电离辐射警告标志和警示语等提示信息。

5、边界巡查与检测

(1) 开始移动式探伤之前，探伤工作人员应确保在控制区内没有任何其他人员，并防止有人进入控制区。

(2) 控制区的范围应清晰可见，工作期间应有良好的照明，确保没有人员进入控制区。如果控制区太大或某些地方不能看到，应安排足够的人员进行巡查。

(3) 在试运行（或第一次曝光）期间，应测量控制区边界的剂量率以证实边界设置正确。必要时应调整控制区的范围和边界。

(4) 开始移动式探伤工作之前，应对便携式 X- γ 剂量率仪进行检查，确认能正常工作。在移动式探伤工作期间，便携式 X- γ 剂量率仪应一直处于开机状态，防止射线曝光异常或不能

正常终止。

(5) 移动式探伤期间，工作人员除进行常规个人监测外，还应佩戴个人剂量报警仪。个人剂量报警仪不能替代便携式 X- γ 剂量率仪，两者均应使用。

6、 γ 射线移动式探伤操作要求

(1) 应根据要进行射线探伤的物体的类型和尺寸，确定所使用的放射性核素。对于有多个 γ 射线源的使用单位，应使用与获得所需射线照片相一致的最低活度源。

(2) 探伤作业开始前应备齐下列防护相关物品，并使其处于正常状态：

- a) 便携式 X- γ 剂量率仪和个人剂量计、个人剂量报警仪；
- b) 导向管，控制缆和遥控；
- c) 准直器和局部屏蔽；
- d) 现场屏蔽物；
- e) 警告提示和信号；
- f) 应急箱，包括放射源的远距离处理工具；
- g) 其他辅助设备，例如：夹钳和定位辅助设施。

(3) 移动探伤作业时（应急探伤除外），作业单位必须在作业现场边界外公众可达地点放置面积不小于 2 平方米的安全信息公示牌，公告作业单位名称、作业时间、区域、负责人和联系电话等信息；作业单位应将作业计划和影响范围书面告知委托单位，作业委托单位应当通知本单位相关人员，并协助作业单位做好周围公众的告知和警戒工作。

7、 γ 射线移动式探伤放射防护检测要求

(1) 进行移动式探伤时，应通过巡测确定控制区和监督区。

(2) 当探伤装置、场所、被检物体（材料、规格、形状）、照射方向、屏蔽等条件发生变化时，均应重新进行巡测，确定新的划区界线。

(3) 在工作状态下应检测操作位置，确保操作位置的辐射水平是可接受的。

(4) 探伤机停止工作时，应检测操作者所在位置的辐射水平，以确认探伤机确已停止工作。

8、 γ 射线探伤机的维护保养

(1) 应定期对 γ 射线探伤机中涉及放射防护的部件进行检查维护，发现问题及时维修。维修 γ 射线探伤机时，应由厂家专业人员将放射源倒入换源器后进行。使用单位人员不应单独对探伤机进行维修。

(2) 应经常对 γ 射线探伤机的控制组件包括摇柄、源传输导管进行润滑擦洗，齿轮应经常添加润滑剂，并对源传输导管接头进行擦洗，避免灰尘和砂粒。

(3) 探伤装置的安全使用期限为 10 年，禁止使用超过 10 年的探伤装置。

(4) 每个月对探伤装置的配件进行检查、维护，每 3 个月对探伤装置的性能进行全面检查、维护，发现问题应及时维修，并做好记录。严禁使用铭牌模糊不清或安全锁、联锁装置、输源管、控制缆、源辨位置指示器等存在故障的探伤装置。

(5) 更换输源管、控制缆和源辨等配件时，必须使用该探伤装置原生产厂家的合格配件。

9、废旧放射源的处置及换源

(1) 当放射源需报废时，应按照协议规定将废旧放射源返回生产单位或原出口方。放射源的购买及报废手续应遵照相应审管部门的具体规定，相关文件记录应归档保存。

(2) 在废旧放射源转让活动完成之日起 20 日内，公司拟将 1 份《放射性同位素转让审批表》报送浙江省生态环境厅备案。

(3) 废旧放射源临时贮存在放射源库的储源坑内，公司应及时通知源的销售单位专车取走。

(4) 严禁将废旧放射源非法转让，随意丢弃。

(5) 探伤装置装源（包括更换放射源）由放射源生产单位在生产厂家内进行操作，并承担其安全责任，放射源活度不得超过该探伤装置设计的最大额定装源活度。

10.3.5 国家及省关于 γ 射线移动探伤的管理要求

本项目对照《关于印发〈关于 γ 射线探伤装置的辐射安全要求〉的通知》（环发[2007]8 号）、《关于进一步加强 γ 射线移动探伤辐射安全管理的通知》（环办函〔2014〕1293 号）、《关于印发〈浙江省 γ 射线移动探伤作业辐射安全管理规定（试行）〉的通知》（浙环函[2016]117 号）等文件中的要求，相关符合性分析评价分别见表 10-3~表 10-5。

表 10-3 本项目与环发（2007）8 号文的对照性分析评价

《关于印发〈关于γ射线探伤装置的辐射安全要求〉的通知》 (环发〔2007〕8号)		本项目情况	符合情况
1	至少有1名以上专职人员负责辐射安全管理工作。	公司拟成立新的辐射安全领导小组，并配备3名专职人员负责辐射安全管理工作。	符合
2	从事移动探伤作业的，应拥有5台以上探伤装置。	本次拟新增16台γ射线探伤机，用于探伤室固定探伤和移动探伤。	符合
3	每台探伤装置须配备2名以上操作人员，操作人员应参加辐射安全与防护培训，并考核合格。	该公司每台γ射线探伤机均拟配备2名探伤操作人员，操作人员上岗前均拟参加辐射安全与防护培训，考核合格后上岗。	符合
4	必须取得省级环境保护主管部门颁发的辐射安全许可证。	本项目在履行环评手续后，该公司将申领辐射安全许可证，在取得辐射安全许可证后，方可开展探伤工作。	符合
5	探伤装置的安全使用期限为10年，禁止使用超过10年的探伤装置。	该公司拟在日常操作中落实该要求，当γ射线探伤装置到10年年限后，及时报废，并将该要求写入探伤设备管理要求。	符合
6	明确2名以上工作人员专职负责放射源库的保管工作。放射源库设置红外和监视器等保安设施，源库门应为双人双锁。探伤装置用毕不能及时返回本单位放射源库保管的，应利用保险柜现场保存，但须派专人24小时现场值班。保险柜表面明显位置应粘贴电离辐射警告标志。	该公司设1间源库，拟安排2名工作人员专职负责放射源库的保管工作，源库拟设置红外报警装置和安装视频监控装置，对源库实行24小时监控，源库入口拟设置电离辐射警告标志，源库门设计为双人双锁。本项目所有探伤机均当天完成探伤作业，所有γ射线探伤机均当天返回源库，不在探伤现场临时保存。	符合
7	制定探伤装置的领取、归还和登记制度，放射源台账和定期清点检查制度。定期核实探伤装置中的放射源，明确每枚放射源与探伤装置的对应关系，做到账物相符，一一对应。核实时应有2人在场，核实记录应妥善保存，并建立计算机管理档案。	该公司拟制定探伤装置的领取、归还和登记制度，放射源台账和定期清点检查制度，并由专门的放射源保管员做好放射源相关的领取、归还和登记工作，在今后的探伤工作过程中严格按照制度执行，由2名源库工作人员在场定期核实探伤装置中的放射源，明确每枚放射源与探伤装置的对应关系，做到账物相符，一一对应，核实记录妥善保存，并建立计算机管理档案。	符合
8	每个月对探伤装置的配件进行检查、维护，每3个月对探伤装置的性能进行全面检查、维护，发现问题应及时维修。并做好记录。严禁使用铭牌模糊不清或安全锁、联锁装置、输源管、控制缆、源辫位置指示器等存在故障的探伤装置。	该公司拟制定相应的设备维修制度，制度中明确：每个月对探伤装置的配件进行检查、维护，每3个月对探伤装置的性能进行全面检查、维护，发现问题及时维修，并做好记录；在今后的实际探伤过程中拟严格按照制度执行，严禁使用铭牌模糊不清或安全锁、联锁装置、输源管、控制缆、源辫位置指示器等存在故障的探伤装置。	符合

续表 10-3 本项目与环发〔2007〕8号文的对照性分析评价

《关于印发〈关于γ射线探伤装置的辐射安全要求〉的通知》 (环发〔2007〕8号)		本项目情况	符合情况
9	探伤作业时,至少有2名操作人员同时在场,每名操作人员应配备一台个人剂量报警仪和个人剂量计。个人剂量计应定期送交有资质的检测部门进行测量,并建立个人剂量档案。	该公司每次开展移动探伤工作,单个探伤小组拟配备2名探伤操作人员和1名现场安全员同时在场。本项目探伤操作人员和现场安全员上岗前均拟配备1台个人剂量计,开展探伤工作时,每名辐射工作人员均佩戴1台个人剂量计和1台个人剂量报警仪,个人剂量计拟定期送交有资质的检测单位进行测量,并建立个人剂量档案。	符合
10	每次探伤工作前,操作人员应检查探伤装置的安全锁、联锁装置、位置指示器、输源管、驱动装置等的性能。	该公司拟制定γ射线移动探伤操作规程,明确规定:每次探伤工作前,操作人员应检查探伤装置的安全锁、联锁装置、位置指示器、输源管、驱动装置等的性能。实际工作过程中,探伤操作人员严格按照探伤操作规程执行。	符合
11	探伤装置必须专车运输,专人押运。押运人员须全程监护探伤装置。	该公司探伤机在三门核电厂内运输拟设置专车运输,专人押运,押运人员全程监护探伤装置。	符合
12	室外作业时,应设定控制区,并设置明显的警戒线和辐射警示标识,专人看守,监测控制区的辐射剂量水平。	开展移动探伤时,现场安全员严格按照《工业探伤放射防护标准》(GBZ 117-2022)中的要求设定控制区和监督区,并设置明显的警戒线和辐射警示标识,必要时设专人警戒,现场安全员监测控制区和监督区的辐射剂量水平,并记录档案。	符合
13	作业结束后,必须用辐射剂量监测仪进行监测,确定放射源收回源容器后,由检测人员在检查记录上签字,方能携带探伤装置离开现场。	移动探伤作业结束后,现场安全员用便携式X-γ剂量率仪进行监测,确定放射源收回源容器后,由现场安全员在检查记录上签字,方携带探伤装置离开现场。	符合
14	探伤装置转移到外省、自治区、直辖市使用的,使用单位应当于活动实施前填写“放射性同位素异地使用备案表”,先向使用地省级环境保护主管部门备案,经备案后,到移出地省级环境保护主管部门备案。异地使用活动结束后,使用单位应在放射源转移出使用地后20日内,先后向使用地、移出地省级环境保护主管部门注销备案。	本项目移动探伤仅限于三门核电厂内。	不涉及
15	更换放射源时,探伤装置使用单位应向所在地省级环境保护主管部门提交《放射性同位素转让审批表》,申请转入	更换放射源时,该公司拟向浙江省生态环境厅提交《放射性同位素转让审批表》,申请转入放射源;在转让活动完成之日起20日内,三门项目部与放射源生产单位	符合

	放射源；探伤装置使用单位、放射源生产单位应当在转让活动完成之日起 20 日内，分别将 1 份《放射性同位素转让审批表》报送各自所在地省级环境保护主管部门备案。	拟分别将 1 份《放射性同位素转让审批表》报送各自所在地省级生态环境主管部门备案。	
16	发生或发现辐射事故后，当事人应立即向单位的辐射安全负责人和法定代表人报告。事故单位应根据法规要求，立即向使用地环境保护主管部门、公安部门、卫生主管部门报告。	该公司拟制定辐射事故应急预案，在预案中明确规定：发生或发现辐射事故后，当事人应立即向单位的辐射安全负责人和法定代表人报告，公司应根据法规要求，立即向使用地生态环境主管部门、公安部门、卫生主管部门报告。	符合
表 10-4 本项目与环办函（2014）1293 号文的对照性分析评价			
《关于进一步加强γ射线移动探伤辐射安全管理的通知》 （环办函（2014）1293 号）		本项目情况	符合情况
1	加强从业人员管理，按照法规要求做好人员培训工作，严禁无证人员操作探伤装置。	该公司从事γ射线移动探伤辐射工作人员上岗前，均拟按照法规要求参加辐射安全与防护培训，并考核合格后上岗，严禁无证人员操作探伤装置。	符合
2	γ射线移动探伤作业时应配备现场安全员，主要负责场所区域的划分与控制、场所限制区域的人员管理、场所辐射剂量水平监测等安全相关工作，并承担探伤装置的领取、归还以及确认探伤源是否返回装置等工作。现场安全员应接受与操作人员等同的辐射安全培训。	该公司单个工作组开展移动探伤时，探伤现场均拟配备 1 名现场安全员，主要负责场所区域的划分与控制、场所限制区域的人员管理、场所辐射剂量水平监测等安全相关工作，并承担探伤装置的领取、归还以及确认探伤源是否返回装置等工作。现场安全员上岗前，均拟按照法规要求参加与操作人员等同的辐射安全与防护培训，考核合格后上岗。	符合
3	γ射线移动探伤室外作业时（应急探伤作业除外），应在作业现场边界外公众可达地点放置安全信息公示牌，将辐射安全许可证、公司法人、辐射安全负责人、操作人员和现场安全员的姓名、照片、资质证书和环保部门监督举报电话等信息进行公示，接受公众监督。安全信息公示牌面积应不小于 2 平方米，公示信息应采取喷绘（印刷）的方式进行制作。安全信息公示牌应适应野外作业需要（具备防水、防风等抵御外界影响	该公司在实际探伤工作中，在作业现场边界外公众可达地点拟放置安全信息公示牌，将辐射安全许可证、公司法人、辐射安全负责人、操作人员和现场安全员的姓名、照片、资质证书和生态环境部门监督举报电话等信息进行公示，接受公众监督。 该公司承诺将严格要求制定安全信息公示牌。	符合

	的能力), 确保信息的清晰辨识。公示信息如发生变化应重新制作安全信息公示牌, 禁止对安全信息公示牌进行涂改、污损。		
4	各 γ 射线移动探伤装置使用单位应明确并牢记辐射安全主体责任, 及时履行环保手续, 加强企业自身的辐射安全管理, 强化辐射工作人员的法律法规学习, 培植单位的核安全文化, 防止事故发生。	该公司拟成立辐射安全领导小组, 明确相关岗位责任, 并定期组织辐射工作人员辐射安全与防护培训, 并建立企业核安全文化, 杜绝事故的发生。	符合
5	各 γ 射线移动探伤装置生产单位应对探伤装置的设计进行持续改进, 提升装置的固有安全性, 避免人为违规操作导致安全事故发生。	该公司为 γ 射线移动探伤装置使用单位, 不属于生产单位。相关生产单位应主动配合该项要求。	符合
6	各地应强化对 γ 射线移动探伤装置生产、销售、使用单位的监督管理, 加大监督检查力度, 及时处理公众举报, 对违规操作零容忍, 对弄虚作假零容忍, 对违法行为从严查处。	该公司应主动配合主管部门的监督管理。	符合
7	各地应强化对 γ 射线移动探伤异地使用备案的管理, 在 γ 射线移动探伤异地首次作业时, 作业现场所在地承担监管职责的环保部门应进行现场检查, 核实相关信息, 督促企业做好辐射安全工作, 消除安全隐患。	本项目移动探伤仅限于三门核电厂内。	/

表 10-5 本项目与浙环发〔2022〕30 号文的对照性分析评价

《关于印发〈浙江省 γ 射线移动探伤作业辐射安全管理规定〉的通知》 (浙环函〔2022〕30 号)		本项目情况	符合情况
1	浙江省生态环境主管部门颁发辐射安全许可证的作业单位(以下简称“本省单位”)应设立由单位法定代表人、辐射安全负责人、项目负责人、现场安全员、操作人员以及放射源贮存库管理员分级负责的辐射安全管理体系, 制定单位辐射安全管理制度, 培植单位核安全文化。	该公司拟建立由单位法定代表人、辐射安全负责人、项目负责人、现场安全员、操作人员以及放射源贮存库管理员分级负责的辐射安全管理体系, 制定单位辐射安全管理制度, 培植单位核安全文化。	符合
2	单位法定代表人是辐射安全管理的第一责任人, 全面负责本单位的辐射安全管理工作。	该公司拟以红头文件形式明确单位法定代表人是辐射安全管理的第一责任人, 全面负责本单位的辐射安全管理工作。	符合
3	辐射安全负责人具体负责本单位辐射安全管理工作, 检查指导各项目辐射安全管理, 定期核查各项目有关资料。	该公司拟明确 1 名辐射安全负责人具体负责本单位辐射安全管理工作, 检查指导各项目辐射安全管理, 定期核查各项目有关资料。	符合
4	项目负责人负责该项目的辐射安全管理工作, 检查操作人员和现场安全	该公司每个 γ 射线移动探伤作业项目点拟配备项目负责人, 负责该项	符合

	员的操作与记录情况。	目点的辐射安全管理工作,每天检查操作人员和现场安全员的操作和记录情况。	
续表 10-5 本项目与浙环发〔2022〕30号文的对照性分析评价			
	《关于印发〈浙江省γ射线移动探伤作业辐射安全管理规定〉的通知》 (浙环函〔2022〕30号)	本项目情况	符合情况
5	现场安全员负责作业场所的划分与控制、作业场所限制区域的人员管理、作业场所辐射剂量水平监测、含放射源γ射线探伤机(以下简称“探伤机”)的领取、归还以及确认放射源是否返回探伤机等安全相关工作,并做好相关记录。	该公司每个γ射线移动探伤作业场所拟配备1名现场安全员,主要负责作业场所的划分与控制、作业场所限制区域的人员管理、作业场所辐射剂量水平监测等安全相关工作,并承担探伤装置的领取、归还以及确认放射源是否返回探伤装置等工作,同时做好相关记录。	符合
6	操作人员负责探伤机的安全使用及状态监护等工作。	该公司每个γ射线移动探伤作业场所拟配备2名操作人员,负责探伤机的安全使用及状态监护等工作。	符合
7	放射源贮存库管理员负责放射源贮存库的值守、巡查、监护、钥匙保管,做好探伤机的出入库登记,定期清点记录放射源情况等工作。	本项目源库拟安排2名工作人员专职负责放射源库的值守、巡查、监护、钥匙保管,做好探伤机的出入库登记,定期清点记录放射源情况等工作。	符合
8	辐射安全负责人、项目负责人、现场安全员、操作人员和放射源贮存库管理员必须通过相应的核技术利用辐射安全与防护考核。	公司的辐射安全负责人、项目负责人、现场安全员和操作人员等上岗前,均拟按照法规要求参加与操作人员等同的辐射安全与防护培训,考核合格后上岗。	符合
9	作业单位应建立辐射安全管理制度,主要包括:操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射源使用登记制度、工作场所监测制度、人员剂量管理和健康管理制度、人员培训制度等。	公司拟建立辐射安全管理制度,主要包括:操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射源使用登记制度、工作场所监测制度、人员剂量管理和健康管理制度、人员培训制度等。	符合
10	作业单位应制定并不断完善辐射事故应急预案,细化应急报告程序及应急处置措施,明确应急物资、设备型号(名称)、存放地点等,并定期组织开展应急演练。	公司拟建立并不断完善辐射事故应急预案,明确应急物资、设备型号(名称)、存放地点等,并定期组织开展应急演练,不断完善和细化应急报告程序及应急处置措施。	符合
11	作业单位应每月对探伤机及配件进行检查、维护,每3个月对探伤机的性能进行全面检查、维护,发现问题及时维修,并做好记录。	该公司拟制定相应的设备维修制度,制度中明确:每个月对探伤装置的配件进行检查、维护,每3个月对探伤装置的性能进行全面检查、维护,发现问题及时维修,并做好记录。	符合
12	作业单位之间不得借用许可资质、探伤机和辐射工作人员,未通过相应核技术辐射安全与防护考核的人员不得作业。	该公司承诺不借用许可资质、探伤机和辐射工作人员,未通过相应核技术辐射安全与防护考核的人员不得作业。	符合

续表 10-5 本项目与浙环发〔2022〕30 号文的对照性分析评价

《关于印发〈浙江省γ射线移动探伤作业辐射安全管理规定〉的通知》 (浙环函〔2022〕30号)		本项目情况	符合情况
13	作业单位不得使用超过 10 年的探伤机，不得使用铭牌模糊不清或安全锁、联锁装置、输源管、控制缆、源辨位置指示器等存在故障的探伤机。	该公司拟在日常操作中落实该要求，当γ射线探伤装置到 10 年年限后，及时报废，并将该要求写入探伤设备管理要求。 在今后的实际探伤过程中拟严格按照制度执行，严禁使用铭牌模糊不清或安全锁、联锁装置、输源管、控制缆、源辨位置指示器等存在故障的探伤装置。	符合
14	作业单位应在现场项目部存放项目相关的操作规程、应急预案、出入库记录等辐射安全管理资料。作业结束后，应当将项目的相关资料及时归档，保留期限至少两年。	该公司承诺作业项目地存放项目相关的辐射环境管理资料，并将所有项目点的相关资料及时归档，保留期限不少于两年。	符合
15	作业委托单位应选择辐射安全管理水平良好的作业单位，与作业单位签订职责明确的责任书，明确专人负责，提供能满足作业要求的工作场所，配合落实放射源贮存库等。作业场所和放射源贮存库不符合辐射安全管理要求的，作业单位不得接受委托开展作业。	公司承诺与委托单位签订职责明确的责任书，作业场所和放射源贮存库不符合辐射安全管理要求的，不接受委托开展作业。	符合
16	作业单位应确保每台探伤机至少有 2 名操作人员和 1 名现场安全员同时在场。同一作业点，同一单位有多台探伤机使用的，现场安全员配备须满足辐射安全管控要求。操作人员以及现场安全员应配备个人剂量报警仪和个人剂量计，并持有标注照片、姓名、培训类别和所属单位等的人员信息牌。每个作业点配备至少 1 台辐射监测仪以及必要的个人防护和应急用品。	公司每台γ射线探伤机拟配备 2 名辐射操作人员和 1 名现场安全员同时在场，探伤作业时，操作人员以及现场安全员应配备个人剂量报警仪和个人剂量计，并佩戴标注照片、姓名、培训类别和所属单位等人员信息牌。每个作业点拟配备至少 1 台 X-γ剂量率仪以及必要的个人防护和应急用品。	符合
17	探伤作业时（应急探伤除外），作业单位必须在作业现场边界外公众可达地点放置面积不小于 2 平方米的安全信息公示牌，公告作业单位名称、作业时间、区域、负责人和联系电话等信息。作业单位应将作业计划和影响范围书面告知作业委托单位，作业委托单位应通知本单位相关人员，并协助作业单位做好周围公众的告知和警戒工作。	该公司承诺室外探伤时（应急探伤作业除外），在作业现场边界外公众可达地点放置面积不小于 2 平方米的安全信息公示牌，公告作业单位名称、作业时间、区域、负责人和联系电话等信息；并将作业计划和影响范围书面告知委托单位；委托单位应当通知本单位相关人员，并协助作业单位做好周围公众的告知和警戒工作。	符合

续表 10-5 与浙环发〔2022〕30 号文的对照性分析评价

《关于印发〈浙江省γ射线移动探伤作业辐射安全管理规定〉的通知》 (浙环函〔2022〕30号)		本项目情况	符合情况
18	探伤作业时，作业单位应按标准设定控制区和监督区，设置明显的警戒线、警示灯和辐射警示标识，监测、记录辐射剂量水平。在监督区边界外进行全程警戒和巡检，防止无关人员进入监督区。	本项目作业现场按标准设定控制区和监督区，设置明显的警戒线和辐射警示标识，监测、记录辐射剂量水平。在监督区边界外进行全程警戒和巡检，防止无关人员进入监督区。	符合
19	在探伤机出入放射源贮存库以及离开作业场所时，作业单位必须对探伤机进行辐射剂量监测，并记录剂量监测值和转移时间等信息。	该公司拟配备便携式 X-γ剂量率仪，在探伤机出入放射源暂存库、临时存放场所，以及离开作业场所时，对探伤机进行辐射剂量监测，并记录剂量监测值和转移时间等信息。	符合
20	放射源贮存库应满足防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄漏的要求，不得存放易燃、易爆、腐蚀性等物品。指定专职人员负责放射源贮存库的安保工作，24 小时人员值守，实施双人双锁管理。安装入侵报警装置和视频监控等安保设施，实施 24 小时持续有效视频监控，监控录像保存 30 天以上。	该公司源库满足防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄漏的要求，未存放易燃、易爆、腐蚀性物品等，并由管理人员定期清点记录放射源情况；源库拟安装 24 小时持续有效视频监控，监控录像保存 30 天以上，并实施双人双锁管理，由专职工作人员负责。	符合
22	作业单位应加强作业活动的数字化管理工作，规范使用移动探伤放射源在线监管系统（以下简称“在线监管系统”），实现作业活动的全流程闭环管理。	该公司承诺加强作业活动的数字化管理工作，规范使用移动探伤放射源在线监管系统，实现作业活动的全流程闭环管理。	符合
23	每台探伤机均应安装在线监管系统终端，未安装终端的不得使用。作业单位应加强终端的日常管理和维护，确保数据上传有效。	公司每台探伤机均拟安装在线监管系统终端，未安装终端的不得使用。公司承诺加强终端的日常管理和维护，确保数据上传有效。	符合
24	作业单位应做好在线监管系统人员、放射源、探伤机、异地使用等信息录入及更新，按在线监管系统要求落实出入库扫码工作。	公司承诺将做好在线监管系统人员、放射源、探伤机、异地使用等信息录入及更新，按在线监管系统要求落实出入库扫码工作。	符合

续表 10-5 与浙环发〔2022〕30 号文的对照性分析评价

《关于印发〈浙江省γ射线移动探伤作业辐射安全管理规定〉的通知》 (浙环函〔2022〕30号)		本项目情况	符合情况
26	本省单位进行跨设区市作业的，应在作业实施前 10 日内向移入地设区市生态环境主管部门报告。作业活动结束后 20 日内向移入地设区市生态环境主管部门报告注销。需变更作业点的，应在完成原异地使用报告注销手续后，重新办理报告手续，放射源可不返回本单位注册地。需延长作业时间的，可直接办理报告延期手续。	本项目移动探伤仅限于三门核电厂内，不涉及夸区市、跨省使用	不涉及
27	本省单位送贮废旧放射源的，应当在废旧放射源送贮活动完成之日起 20 日内，向注册地生态环境主管部门办理备案手续。	公司承诺在废旧放射源送贮活动完成之日起 20 日内，向注册地生态环境主管部门办理备案手续。	符合
28	各级生态环境主管部门应当将作业单位列为特殊监管对象，加强监督管理，强化作业点的现场检查及在线监管系统使用情况的监督检查。	该公司应主动配合主管部门的监督管理。	/
29	作业单位和作业委托单位违反本规定的行为，各级生态环境主管部门按有关法律、法规、规章进行查处，按规定公开环境违法信息，相关情况纳入企业环境信用评价结果。	该公司应主动配合主管部门的监督管理。	/
30	作业单位在移入地首次作业时，当地生态环境主管部门应对其现场检查，核实相关信息，督促作业单位做好辐射安全工作，消除安全隐患。	该公司应主动配合主管部门的监督管理。	/

10.3.6 X 射线移动探伤辐射安全措施

根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）要求制定如下安全与防护措施。

表10-6 本项目X射线移动式探伤的安全操作放射防护措施

措施类别	措施内容	备注
建设单位 放射防护措施	<p>a、建设单位对移动式探伤放射防护安全应负主体责任；</p> <p>b、建设单位拟建立放射防护管理组织，明确放射防护管理人员及其职责，拟建立和实施放射防护管理制度和措施，并制定辐射事故应急预案。</p> <p>c、为辐射工作人员配备辐射剂量率仪和个人剂量报警仪，按 GBZ 128 的要求进行个人剂量监测，按 GBZ 98 的要求进行职业健康监护；组织辐射工作人员参加放射防护培训获得取得符合 GB/T 9445 要求的无损探伤人员资格方可上岗。</p>	满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）的第 4 款：使用单位放射防护要求。
移动式探伤前 检查项目	<p>a、探伤机：探伤机外观是否完好；电缆是否有断裂、扭曲以及破损；螺栓等连接件是否连接良好。</p> <p>b、安全措施：安全连锁是否正常工作；报警设备和警示灯是否正常运行。</p>	满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）的第 5.1.2 款要求。
移动式探伤 作业前	<p>a、对工作环境进行全面评估，以保证实现安全操作。评估内容至少应包括工作地点的选择、接触的工人与附近的公众、天气条件、探伤时间、是否高空作业、作业空间等。应考虑移动式探伤对工作场所内其他的辐射探测系统带来的影响（如烟雾报警器等）；</p> <p>b、开展移动式探伤工作的每台探伤机配备 2 名专职工作人员；</p> <p>c、移动式探伤工作在委托单位的工作场地实施的准备和规划，应与委托单位协商适当的探伤地点和探伤时间、现场的通告、警告标识和报警信号等，避免造成混淆。委托方应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，确保在控制区没有任何其他人员，并防止有人进入控制区。</p>	满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）的第 7.1、7.4 款要求。
移动式探伤 作业期间	<p>①分区设置：</p> <p>a、对工作场所实行分区管理，并在相应的边界设置警示标识。现场射线探伤工作在指定为控制区的区域进行。</p> <p>b、将作业场所中周围剂量当量率大于 $15\mu\text{Sv/h}$ 的区域划为控制区。控制区边界应悬挂清晰可见的“禁止进入射线工作区”警告牌，探伤作业人员在控制区边界外操作，否则应采取专门的防护措施。</p> <p>c、控制区的边界尽可能设定实体屏障，包括利用现有结构（如墙体）、临时屏障或临时拉起警戒线（绳）等。移动式探伤作业工作过程中，控制区内不应同时进行其他工作。为了使控制区的范围尽量小，应使用合适的准直器并充分考虑探伤机和被检物体的距离、照射方向、时间和现场屏蔽等条件。视情况采用局部屏蔽措施。</p> <p>每一个探伤作业班组应至少配备一台便携式 X-γ剂量率仪，</p>	满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）的第 7.2、7.3、7.4、7.5 款要求。

	<p>并定期对其开展检定/校准工作。应配备能在现场环境条件下可听见、看见或产生震动信号的个人剂量报警仪。</p> <p>d、探伤作业期间还应对控制区边界上代表点的剂量率进行检测，尤其是探伤的位置在此方向或射线束的方向发生改变时，适时调整控制区的边界。</p> <p>e、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，必要时设专人警戒；</p> <p>f、移动式探伤工作在多楼层的工厂或工地实施时，应防止移动式探伤工作区上层或下层的人员通过楼梯进入控制区；</p> <p>g、探伤机控制器应设置在合适位置或设有延时开机装置，以便尽可能降低操作人员的受照剂量。</p> <p>②安全警示：</p> <p>a、委托单位（业主单位）应配合做好探伤作业的辐射防护工作，通过合适的途径提前发布探伤作业信息，应通知到所有相关人员，防止误照射发生。</p> <p>b、应有提示“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”信号应有明显的区别，并且应与该工作场所内使用的其他报警信号有明显区别。夜晚作业时控制区边界应设置警示灯。</p> <p>c、警示信号指示装置应与探伤机联锁。</p> <p>d、在控制区的所有边界都应能清楚地听见或看见“预备”信号和“照射”信号。</p> <p>e、应在监督区边界和建筑物的进出口的醒目位置张贴电离辐射警告标志和警示语等提示信息。</p> <p>③边界巡查与检测：</p> <p>a、控制区的范围应清晰可见，工作期间要有良好的照明，确保没有人员进入控制区。如果控制区太大或某些地方不能看到，应安排足够的人员进行巡查。</p> <p>b、在试运行（或第一次曝光）期间，应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。</p> <p>c、移动式探伤的每台探伤机应至少配备一台便携式 X-γ剂量率仪。在移动式探伤工作期间，便携式 X-γ剂量率仪应一直处于开机状态，防止 X 射线曝光异常或不能正常终止。</p> <p>d、工作人员除进行常规个人监测外，还应佩戴个人剂量报警仪。个人剂量报警仪不能替代便携式 X-γ剂量率仪，两者均应使用。</p> <p>e、操作探伤机时，应考虑控制器与 X 射线管和被检物体的距离、照射方向、时间和屏蔽条件等因素，选择最佳的设备布置，并采取适当的防护措施。</p>		
探伤机维护	<p>a、公司拟对探伤机的设备维护负责，每年至少维护一次。设备维护应由受过专业培训的工作人员或设备制造商进行。</p> <p>b、设备维护包括探伤机的彻底检查和所有零部件的详细检</p>	满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）的第 5.1.3	

	<p>测。</p> <p>c、当设备有故障或损坏需更换零部件时，应保证所更换的零部件为合格产品；</p> <p>d、公司拟做好设备维护记录。</p>	款要求。
其他措施	<p>a、当探伤装置、场所、被检测体（材料、规格、形状）、照射方向、屏蔽等条件发生变化时，均应重新进行巡测，确定新的划区界线。</p> <p>b、在工作状态时应检测操作位置，确保操作位置的辐射水平是可以接受的。</p> <p>c、在工作状态时应检测控制区和监督区边界线周围剂量当量率，确保其低于国家法规和运营单位制定的指导水平。</p> <p>d、探伤机停止工作时，还应检测操作者所在位置的辐射水平，将其与本底数据对比，以确认探伤机确已停止工作。</p> <p>e、进行移动式探伤时，即使监督区边界满足周围剂量率的标准要求，公司仍应避免在场界有人口密集区（作业时人员无法清场）或环境敏感区（如居民小区、学校或幼儿园）周围开展移动式探伤作业。</p> <p>f、公司应避免使用高电压等级的探伤机对较薄工件进行探伤作业，否则应根据实际情况扩大监督区和控制区的管控范围。</p> <p>g、合理规划 X 射线移动式探伤时间，避开人流高峰期。探伤作业尽可能优选在晚上等现场其他非辐射工作人员下班后进行，或者提前一天通知周围的非辐射工作人员在探伤作业时间回避现场。</p> <p>h、鉴于工作场所情况多样性，公司应根据实际情况必要时可临时增加巡护人员，确保移动式探伤辐射防护安全。</p> <p>i、若进行移动式探伤作业时邻近存在建筑物，除了向可能受影响的公众进行必要的辐射告知外，还需进行清场工作。无法清场时，不得开展移动式探伤作业。</p> <p>j、移动式探伤时应考虑同一地点不同高度辐射剂量率的影响，建设单位应在人员可达区域按不同楼层高度布点实测，做好两区划分及相应的辐射安全防护工作。</p>	/

在落实以上辐射安全措施后，本项目辐射安全措施能够满足相关辐射安全要求。

10.3.7 防护用品与监测仪器配置

本项目三门核电厂内移动探伤区域同一作业地点不同时开机使用 2 台或 2 台以上的探伤设备，移动探伤作业时，辐射工作人员均分组开展工作， γ 射线探伤作业时，每组 3 名辐射工作人员，其中 2 名为辐射操作人员，1 名为现场安全员。X 射线探伤作业时，每组 2 名辐射工作人员，其中 2 名均为操作人员。

各防护用品及监测仪器拟配备一览表见表 10-7。

表 10-7 X、 γ 探伤拟配备的防护用品和监测仪器一览表

用品/仪器名称	配备数量
移动探伤	
便携式 X- γ 剂量率仪	每个移动探伤现场配备 1 台
个人剂量报警仪	每名移动探伤辐射工作人员 1 台
个人剂量计	每名辐射工作人员 1 个
警戒绳	每个移动探伤现场配备 1000m
警示灯	每个移动探伤现场配备 4 个
“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置	每个移动探伤现场配备 4 个
电离辐射警告标志	每个移动探伤现场配备 8 个
“禁止进入射线工作区”警告牌	每个移动探伤现场配备 4 个
“无关人员禁止入内”警告牌	每个移动探伤现场配备 4 个
准直器	每台 γ 探伤机或每台 X 射线探伤机配备 1 套
对讲机	每个移动探伤现场配备 3 个
应急箱	每个移动探伤现场配备 1 个
其他辅助设备（夹钳和定位辅助设施）	每个移动探伤现场配备 1 套
铅衣、铅手套、铅防护眼镜	各 1 套
固定探伤	
便携式 X- γ 剂量率仪	1 台
个人剂量报警仪	2 台
个人剂量计	每名辐射工作人员 1 个

本项目用于探伤装置放射防护检测的仪器，应按规定进行定期检定/标准，并取得相应证书。使用前，应对辐射检测仪器进行检查，包括是否有物理损坏、凋零、电池、仪器对射线的响应。

10.3.8 危险废物环境管理措施

本项目危险废物主要为探伤洗片和评片过程中产生的废显（定）影液、洗片废水及废胶片，根据《危险废物贮存污染控制标准》（GB 18597-2023）等规定，为降低危险废物对环境的影响程度，建设单位针对危险废物的贮存、转移和处置等环节拟采取如下环境管理措施：

（1）危废的贮存

本项目废胶片收集于防漏胶袋内，洗片作业产生的显（定）影废液和洗片废水首先收集于塑料桶内，在暗室内临时暂存，收集满后转移至三门项目部的危废暂存间，显（定）影废液和洗片废水在暗室内临时放置应做好防渗，塑料收集桶下应放置托盘进行防渗。暗室设置于中核五公司生产预制车间东部。

危废暂存间依托三门项目部现有场所，位于三门核电厂临时危化品库区，为三门项目部专用的危废暂存间，面积约 10m²，贮存能力约 5t。为现有危废暂存间贮存危废主要为废机油、油漆桶和酸洗废液等，危废暂存间干湿分离，本项目产生的洗片废水、显（定）影废液收集于

塑料收集桶内，并在桶下放置防渗托盘。具体位置见附图 3。

现有危废暂存间的建设满足《危险废物贮存污染控制标准》（GB 18597-2023）中“防风、防雨、防晒、防渗、防腐”的要求。危险废物在危废暂存间内暂存应符合以下规定：

①洗片废水、显（定）影废液与废胶片设置干、湿分区，避免混合堆放；洗片废水、显（定）影废液收集桶下设置托盘防渗。

②危废暂存间内湿区应设置围堰，地面与裙脚为混凝土防渗，防渗应满足《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）中的防渗要求。

③危废暂存间分区内地面、墙面裙脚、围堰、接触危废的隔板和墙体应采用坚固材料，表面无裂缝。

④暂存间内要有安全照明设施和观察窗口。

⑤危废暂存间门（墙）上设置危废暂存间标签，明确危废废物主要成分、化学名称、危险情况、安全措施、危险废物产生单位、地址、电话、联系人等信息。

表 10-8 危险废物贮存场所（设施）基本情况表

序号	贮存场所（设施）名称	危险废物名称	危险废物类别	危险废物代码	位置	占地面积	贮存方式	贮存能力	贮存周期
1	危废暂存间	废显（定）影液	HW16	900-019-16	三门核电厂临时危化品库区	10m ²	专用防渗容器	5 吨	一年
2		废胶片	HW16	900-019-16			袋装堆放		
3		洗片废水	HW16	900-019-16			专用防渗容器		

（2）危废暂存间的环境管理

①专人管理，其他人员未经允许不得入内。

②危险废物贮存前应做好统一包装（液体桶装、固体袋装），防止渗漏，同时配备计量称重设备进行称重，危废包装容器应粘贴符合规定的标签，注明危险废物名称、来源、数量、主要成分和性质。

③危险废物必须分类分区贮存，不同类危险废物间应有明显间隔，严禁不相容、具有反应性的危险废物混合贮存。

④建立危险废物管理台账，管理人员应作好危险废物情况的记录，记录上须注明危险废物的名称、来源、数量、特性和包装容器的类别、入库日期、废物出库日期及接收单位名称。危险废物的记录和货单在危险废物回取后应继续保留三年。

（3）危废的转移

对于厂内运输，本项目危废从厂区内产生环节运输到危废暂存间，应由专人负责，专用容器或废物袋收集转移，避免可能引起的散落、滴漏。对于厂外运输，危废由有资质单位定期到厂内收集并运输转移，采用专用车辆。危废转移过程中应严格执行转移联单管理制度，危险废物电子转移联单数据应当在信息系统中至少保存十年。

(4) 危废的委托处置

三门项目部已与台州市德长环保有限公司签订危废委托处置合同，该单位具备有效的《危险废物经营许可证》（经营许可证号码：3300000020），核准经营的危废类别包括 HW16：900-019-16，与本项目产生的危废类别相符，因此具备处理本项目危废的能力，本项目危险废物处置方案基本可行。

10.4 环保投资估算

本项目总投资 200 万元，环保投资 42 万元，占总投资的 21%，见表 10-9。

表 10-9 辐射防护设施（措施）及投资估算一览表

类别	环保设施（措施）	数量	金额（万元）
屏蔽设施	探伤室及源库防护改造	1 座	5
	危废暂存间（依托现有）	1 间	/
探伤室安全设施	门—机联锁装置（依托现有）	1 套	/
	监控系统（部分新增）	1 套	/
	工作状态指示灯（新增）及门—灯联锁	1 套	1.6
	准备出束声光装置	1 套	0.8
	紧急开门装置（依托现有）	1 套	/
	固定式 γ 辐射监测报警装置（新增）	1 套	1.5
	急停开关（现有 2 个，新增 4 个）	5 个	0.5
	入口电离辐射警告标志（依托现有）	若干	/
源库	固定式 γ 辐射监测报警装置（依托现有）	1 套	/
	监控系统（依托现有）	1 套	/
	源库双人双锁（新增）	1 套	0.1
	红外入侵报警系统（依托现有）	1 套	/
	入口电离辐射警告标志（依托现有）	1 套	/
废气处理	通排风系统（通风系统改造）	1 套	3.0
辐射监测设备	个人剂量报警仪	21 台	2.0
	便携式 X \sim γ 辐射监测仪	6 台	5.0
	个人剂量计	21 个	1.0
移动探伤辐射防护设施	警戒线、电离辐射警告标志、警告牌、警戒带（工作指示灯）、对讲机等	5 套	5.0
危废处置	废显、定影液收集桶、废胶片的收集箱	各 2 个	1.0
综合管理	工作人员上岗培训	21 人	1.0
	规章制度上墙	/	0.5

	应急铅衣、铅手套、铅防护眼镜	各 1 套	1.0
	应急和救助的物资准备（长柄夹具等应急处理工具、放射源应急屏蔽材料或容器、应急通信设备、警戒线、警示标牌、应急演练等）	/	2.0
环评与验收			10.0
合计			42.0

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目依托原有已建探伤室和源库，仅对探伤室和源库做局部辐射防护改造，不涉及土建施工，因此不对施工期进行影响分析。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 固定式 X、γ 射线探伤辐射环境影响分析

1、γ 射线探伤机内放射源屏蔽状态下辐射环境影响分析

本项目拟配备的γ射线探伤机均为 P 类（便携式）探伤机，当放射源处于探伤机源容器内时，根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022），P 类探伤机（便携式探伤机）源容器外表面一定距离处周围剂量当量率控制值见表 11-1。

表 11-1 源容器外表面一定距离周围剂量当量率控制值

探伤机类别与代号		最大周围剂量当量率（mSv/h）	
		离源容器表面 5cm 处	离源容器表面 100cm 处
便携式	P	0.5	0.02

周围剂量当量率与距离平方成反比，根据公式（11-1）可计算得出距离探伤机不同位置处的辐射水平，具体计算结果见表 11-2。

$$K_I = K_0 \cdot R_0^2 / R_I^2 \quad (\text{式 11-1})$$

式中

K_I : 距探伤机外表面 R_m 处的周围剂量当量率，mSv/h；

K_0 : 距离探伤机外表面 1m 处的周围剂量当量率，mSv/h；

R_0 : 探伤机表面外 1m 处与放射源之间的距离，m；

R_I : 参考点与放射源之间的距离，m。

表 11-2 距探伤机外表面不同距离处的辐射水平估算结果（mSv/h）

探伤机外表面（m）	0.5	1.0	2.0	3.0
周围剂量当量率	0.08	0.02	0.005	0.0022

通过表中计算结果可以看出，辐射工作人员领取探伤机、在探伤室内移动探伤机或进行其他活动的过程中近距离接触γ射线探伤机将受到一定的外照射。因此，实际工作过程中工作人员应注意控制与探伤机接触时间，在探伤室内进行工件调运以及胶片贴、取等其他工作时还应注意与探伤机保持一定的距离。

2、探伤室各屏蔽体厚度合理性分析

(1) 探伤室屏蔽设计及参数

本项目探伤室具体屏蔽设计参数见表 11-3。

表 11-3 本项目探伤室辐射防护设计参数一览表

屏蔽项目	辐射防护设计参数
四周墙体	850mm 混凝土
顶部	450mm 混凝土
人员防护门	50mmPb
迷道内墙	400mm 混凝土
工件进出门	75mmPb

(2) 各侧墙体、顶棚及防护门辐射防护性能分析

本项目固定式 X、 γ 射线探伤作业时被检测工件通过工件门运至曝光间内，工作人员在操作室内通过控制电缆进行远距离操作，该项目主要通过探伤室的混凝土屏蔽墙、屋顶、迷道和铅防护门对 X、 γ 射线进行辐射防护。

本项目固定式探伤拟使用的 ^{192}Ir 探伤机和 ^{75}Se 探伤机最大额定装源活度 100Ci，X 射线探伤机均为定向机，最大管电压均为 350kV、最大管电流均为 5mA。探伤房内每次只使用其中的 1 台 γ 射线探伤机或 X 射线探伤机。根据建设单位提供资料， γ 射线探伤机和 X 射线探伤机均在探伤作业时使用准直器，准直器口不朝向顶棚照射。 γ 射线探伤机（准直器）一般为不低于 10HVL 的钨合金（25mm 厚）。

对于同一屏蔽材料， ^{192}Ir 的半值层大于 ^{75}Se 和 3505 型 X 射线机的半值层，本项目固定式探伤拟使用的 ^{192}Ir 探伤机与 ^{75}Se 探伤机和 3505 型 X 射线探伤机相比辐射影响大的多，可以推断若探伤室能满足拟使用的 ^{192}Ir 探伤机的辐射防护要求，则其也可以满足拟使用的 ^{75}Se 探伤机和 3505 型 X 射线探伤机的辐射防护要求，因此本项目选用 ^{192}Ir 探伤机进行探伤室的辐射防护理论预测。

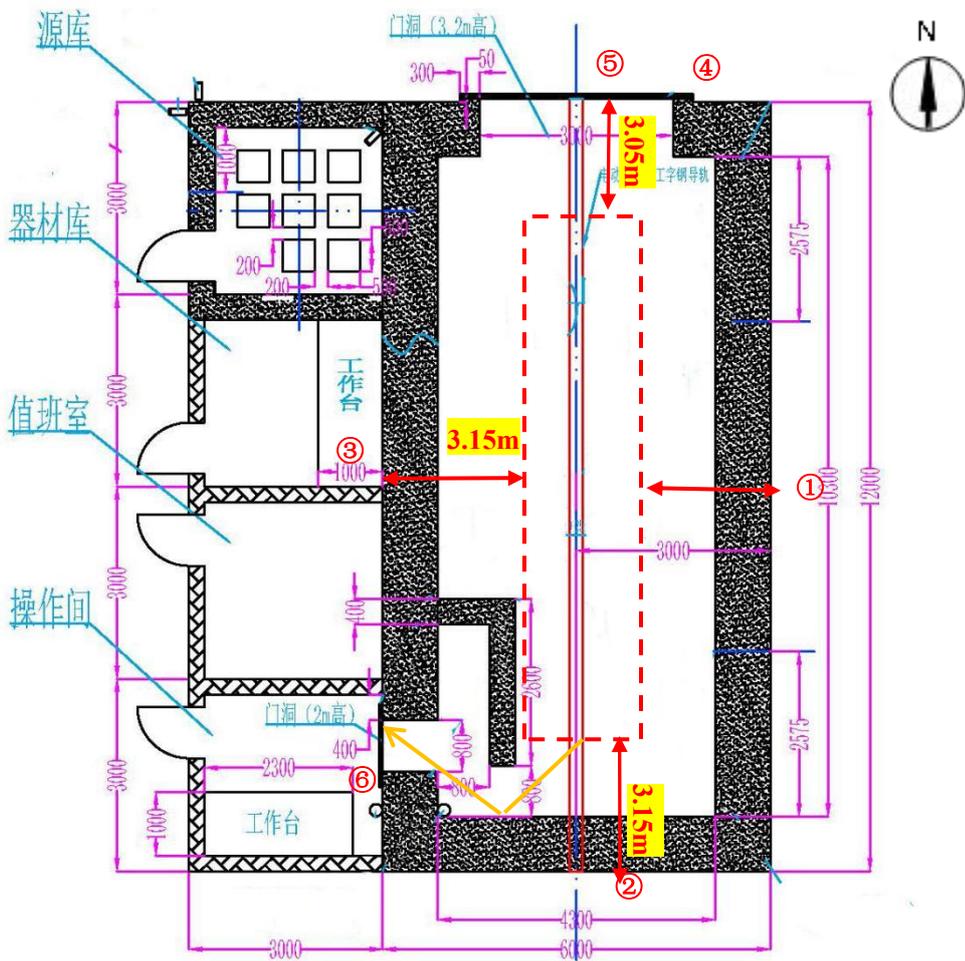
γ 放射源发射的射线是各向同性的，探伤房四周屏蔽墙、顶部和防护门均作为主射线防护。探伤室人员出入采用迷道设计， γ 射线在工作人员防护门口除了迷道墙的透射以外，还需要考虑迷道散射在防护门外造成的剂量。本项目探伤室辐射环境影响各关注点位置及屏蔽参数见表 11-4 和图 11-1、图 11-2。

表 11-4 本项目探伤室各侧屏蔽体辐射影响途径及屏蔽情况一览表

关注点	主要射线类型		距离 (m)	屏蔽材料	屏蔽厚度 (mm)
东侧屏蔽墙外 30cm (关注点 1)	透射	主射线	3.15	混凝土	850
南侧屏蔽墙外 30cm (关注点 2)	透射	主射线	3.15	混凝土	850
西侧屏蔽墙外 30cm	透射	主射线	3.15	混凝土	850

(关注点 3)					
北侧屏蔽墙外 30cm (关注点 4)	透射	主射线	3.15	混凝土	850
北侧工件门外 30cm (关注点 5)	透射	主射线	3.15	铅	75
工作人员出入门外 30cm (关注点 6)	透射	主射线	3.15	混凝土+铅	400+50
探伤室顶部外 30cm 处 (关注点 7)	透射	主射线	4.30	混凝土+准直器	450+25
探伤室顶部外通风管口处	透射	主射线	4.30	铅+准直器	30+25

注：①放射源距墙内表面取 2.0m，墙厚 0.85m，取墙外 0.3m 为参考点；
放射源距顶外表面取 4.0m，取顶外 0.3m 为参考点。



图例

- ① 关注点
- ⊞ 曝光区域
- 散射路径

图 11-1 探伤室屏蔽结构平面图及各关注点位置 (单位: mm)

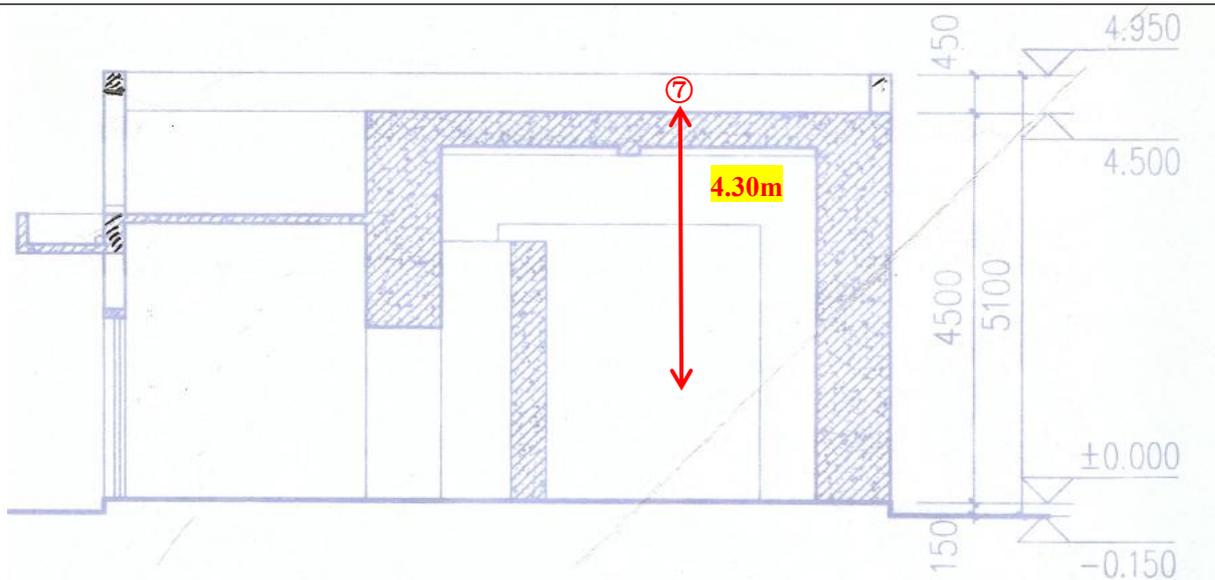


图 11-2 探伤室屏蔽结构剖面示意图及各关注点位置（单位：mm）

γ 射线辐射影响预测采用《辐射防护导论》（方杰编）P77 γ 点源周围剂量当量率计算公式，计算出无屏蔽体情况下参考点的周围剂量当量率：

$$\dot{K} = \frac{A \cdot \Gamma}{r^2} \dots \dots \dots (11-2)$$

- 式中：
- \dot{K} —无屏蔽体情况下参考点的周围剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；
 - A ：放射源活度，MBq， $3.70 \times 10^6 \text{MBq}$ ；
 - Γ ：周围剂量当量率常数， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{MBq} \cdot \text{h})$ ， ^{192}Ir 取 $0.17 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{MBq} \cdot \text{h})$ ；
 - r ：参考点到放射源的距离，m。

利用下列公式计算有屏蔽体情况下参考点的周围剂量当量率 K ：

$$K = \dot{K} \cdot B \dots \dots \dots (11-3)$$

- 式中
- \dot{K} —无屏蔽体情况下参考点的周围剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；
 - K —有屏蔽体情况下参考点的周围剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；
 - B —屏蔽透射因子。

对于给定的屏蔽物质厚度 X ，相应的辐射屏蔽透射因子 B 按式（11-4）计算：

$$B = 2^{-X/\text{HVL}} \dots \dots \dots (11-4)$$

式中： X —屏蔽层厚度，mm；HVL—半值层厚度，mm。

HVL—半值层厚度，mm，根据 GBZ117-2022 附录 C， ^{192}Ir 对于混凝土的半值层厚度为 50mm、对于铅的半值层厚度为 3mm、对钨的半值层厚度为 2.5mm。

理论估算时，保守假设 γ 射线探伤机照射头距离各侧屏蔽墙的最小距离为 2m，距离地面

的最大高度为 0.5m，参考点距离各屏蔽墙、屋顶及工件门表面的距离均为 30cm。以 ^{192}Ir 探伤机额定装源活度进行估算，将相关参数代入公式 11-2、11-3、11-4 可计算得出探伤室屏蔽墙、屋顶和工件门外关注点处的辐射剂量率，具体计算参数和计算结果见表 11-5。

表 11-5 探伤室辐射屏蔽厚度计算表

关注点	A (MBq)	R(m)	$\Gamma\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$	B	\dot{K} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	K ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	控制标准 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
四周屏蔽墙	3.70×10^6	3.15	0.17	7.63E-06	$6.34\text{E}+04$	0.48	2.5
工件进出门	3.70×10^6	3.15	0.17	2.98E-08	$6.34\text{E}+04$	1.89E-03	2.5
探伤室顶棚	3.70×10^6	4.30	0.17	1.95E-03 (450mm 混凝土)	$3.40\text{E}+04$	0.06	100
				(9.77E-03) 25mm 钨			
探伤室顶排 风管口	3.70×10^6	4.30	0.17	9.77E-04 (30mm 铅)	$3.40\text{E}+04$	0.03	100
				(9.77E-03) 25mm 钨			
辐射工作人 员进出门	3.70×10^6	3.15	0.17	9.61E-06 (50mm 铅)	$6.34\text{E}+04$	2.38E-03	2.5
				3.91E-03 (400mm 混凝土)			

由上表可知，当探伤室内使用 1 台活度为 $3.70\times 10^{12}\text{Bq}$ (100Ci) 的 ^{192}Ir γ 射线探伤机探伤作业时，探伤室各侧墙体和防护门满足屏蔽墙外 30cm 处周围当量剂量率均不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；对于不需要人员到达的屋顶，顶棚外表面 30cm 处剂量率不超过 $100\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。因此，本项目探伤室四周屏蔽墙、屋顶和防护门的屏蔽防护满足要求。

同理，当探伤室内使用 1 台活度为 $3.70\times 10^{12}\text{Bq}$ (100Ci) 的 ^{75}Se γ 射线探伤机或任意 1 台 X 射线机时，探伤室各侧墙体和防护门也能满足屏蔽墙外 30cm 处周围当量剂量率不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；对于不需要人员到达的屋顶，顶棚外表面 30cm 处剂量率不超过 $100\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，满足《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022) 的相关要求。

(3) 迷道辐射防护性能预测

本项目探伤室采用“L”型外迷道设计，利用散射降低迷道处的辐射水平，避免 X、 γ 射线直接照射迷道入口，探伤室迷道入口处设置铅防护门，铅厚度为 50mm。探伤室迷道及射线进入迷道后散射示意图 11-1。

根据 NCRP Report NO.51: Radiation protection design guidelines for 0.1-100MeV particle accelerator facilities (0.1-100MeV)P63(13)，无屏蔽防护时，经 i 次散射后迷道外入口的剂量率

计算公式如下：

$$H = \frac{H_0 \alpha_1 A_1 (\alpha_2 A_2)^{j-1}}{(d_1 \cdot d_{r1} \cdot d_{r2} \cdots d_{rj})^2} \dots\dots\dots (11-5)$$

H_0 —对于 γ 辐射源，数值上由 A 和 Γ 确定，其中 A 是放射源活度， Γ 是周围剂量当量率常数。 $A=3.70 \times 10^6 \text{MBq}$ ， $\Gamma_k=0.17 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{MBq} \cdot \text{h})$ ；则 $H_0=6.29 \times 10^5 \mu\text{Sv/h}$ ；

α_1 —入射到第一个散射体的 γ 射线的散射系数；

α_2 —从以后的物质散射出来的 γ 射线的散射系数；本次评价偏安全考虑， γ 射线散射后能量同原始射线能量，由 NCRP Report NO.51:Radiation protection design guidelines for 0.1-100MeV particle accelerator facilities (0.1-100MeV 粒子加速设施辐射防护设计准则)P110 页附录 E.15，本项目 α 均保守取 0.01。

A_1 — γ 射线入射到第一散射物质的散射面积， m^2 ；

A_2 —迷道的截面积， m^2 ；

d_1 — γ 射线源与第一散射物质的距离；

d_{r1} ， d_{r2} ，…… d_r —沿着迷道长轴的中心线距离， m ；

j —指第 j 个散射过程；

本项目探伤室散射次数为 1 次， $d_1=2.65$ ； $d_{r1}=2.49$ ； $A_1=(0.8+1.0) \times 0.8=1.44 \text{m}^2$ 。则 γ 射线经 1 次散射后（无铅防护门屏蔽时）周围剂量当量率为 $208.0 \mu\text{Sv/h}$ 。另该探伤室迷道口处设计安装 50mm 铅防护门，透射因子约为 9.61×10^{-6} （放射源 ^{192}Ir 在铅中的半值层厚度为 3mm），则散射线经铅防护门的屏蔽作用后，在工作人员出入门外 30cm 处（关注点⑥）的周围剂量当量率 $2.0 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ ，叠加主射方向辐射剂量率 $2.38 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ ，防护门外的辐射剂量率为 $4.38 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ ，远小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的标准限值。

（4）天空反散射产生的辐射剂量率 H_F

根据 NCRP No.144 报告中公式 5.1，可以得到天空反散射产生的辐射剂量率计算公式如下：

$$H_F = \frac{0.025 H_1 \cdot (B_1 \cdots B_i \cdot \Omega^{1.3})}{d_0^2 \cdot d_F^2} \dots\dots\dots (11-6)$$

其中： H_1 —距源点 1m 处的辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ； $6.29 \times 10^5 \mu\text{Sv/h}$ ；

B_i —第 i 屏蔽层的屏蔽透射因子，无量纲； 1.95×10^{-3} ；

Ω —立体角，弧度；根据公式 11-7 计算；

d_0 —源点至房顶外 2m 处的垂直距离，m；取 6m；

d_F —源点至关注点的水平距离，m 取 15m；

立体角 Ω 可由下式计算：

$$\Omega = 4 \arctan \frac{a \cdot b}{h \cdot \sqrt{a^2 + b^2 + h^2}} \dots\dots\dots (11-7)$$

式中 a 为探伤室长度的 1/2，b 为探伤室宽度的 1/2，h 为源点距屋顶表面的距离，单位均为 m。

本项目机房长度为 12m，机房宽度为 6m，则 a=6m，b=3m，源点距屋顶表面的距离 h 为 4m。

根据公式（11-7）计算可得，天空反散射对探伤室外地面的附加辐射剂量率小于 $1.13 \times 10^{-5} \mu\text{Sv/h}$ ，天空反散射对周围辐射环境贡献值较小。

11.2.2 移动式 X、 γ 射线探伤辐射环境影响分析

本项目移动式 X、 γ 射线探伤现场位于三门核电厂厂区内，主要位于三门核电厂内核岛、BOP 子项辅助用房内及 CV 壳安装区。现场移动探伤时每个探伤小组均仅使用 1 台 γ 射线探伤机或 1 台 X 射线探伤机。每次进行室外探伤时，划定的探伤工作区（控制区范围）内不存在 2 台及以上 X 射线机、 γ 放射源同时使用的情况。

根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）周围剂量当量率控制水平要求，移动探伤作业控制区边界外周围剂量当量率应不大于 $15 \mu\text{Sv/h}$ ，监督区边界外周围剂量当量率应不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

1、移动 γ 射线探伤辐射影响预测

该公司 ^{192}Ir 探伤机和 ^{75}Se 探伤机未购置，参考市面较常见的海门伽玛星探伤设备有限公司生产的 γ 射线探伤机，其为移动探伤现场提供使用的曝光头（准直器）一般为不低于 10HVL 的钨合金。

对于探伤用放射源，在检测时，由于射线能量不变，所以不仅规定了透照厚度的上限（考虑到穿透力），同时规定了透照厚度的下限（考虑到灵敏度）。在进行探伤工作前，将依据项目需要选择合适的 γ 射线探伤机，保守以常用探伤工件最小厚度进行计算， ^{192}Ir 射线探伤机常用探伤钢件厚度 12~100mm， ^{75}Se 射线探伤机常用探伤钢件厚度 8~30mm。按源初始活度 $3.70 \times 10^{12}\text{Bq}$ ，估算其正常工况下控制区及监督区范围。

根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）的要求， γ 射线移动探伤作业时，应将周围剂量当量率 $>15\mu\text{Sv/h}$ 的区域划为控制区，其外围周围剂量当量率 $>2.5\mu\text{Sv/h}$ 的区域划为监督区。同时，根据 GBZ 117-2022 附录 A 关于“控制区距离概念”，根据放射源的 γ 射线向各个方向辐射的不同情况，确定三种不同的控制区距离，如图 11-3 所示。

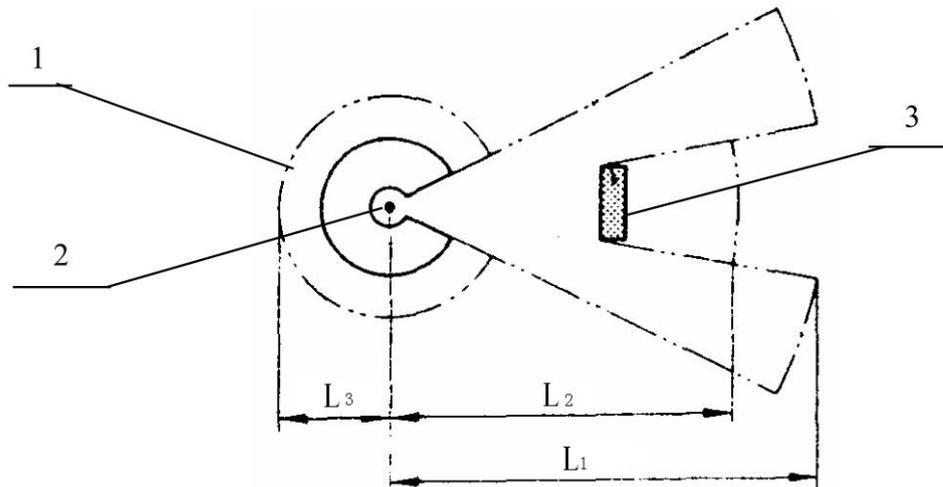


图 11-3 移动式 γ 射线探伤三种不同控制区示意图

图中：1——源容器屏蔽；

2——放射源；

3——探伤对象；

L_1 ——辐射未经工件衰减时要求的控制区距离；

L_2 ——有用线束方向，经检测对象屏蔽后要求的控制区距离；

L_3 ——有用线束方向以外，经源容器或其他屏蔽物屏蔽后要求的控制区距离。

（1）控制区距离的确定

对于移动式探伤，控制区边界的周围剂量当量率为 $15\mu\text{Sv/h}$ ，可由公式（11-8）计算确定控制区的距离：

$$L_1 = \sqrt{\frac{A \times \Gamma}{15}} \dots\dots\dots(11-8)$$

式中： L_1 ——无工件衰减时需要的控制区距离值，单位为 m；

A ——放射源的活度，单位为 MBq，本项目 γ 射线探伤机内含放射源 ^{192}Ir 和 ^{75}Se 的活度均为 $3.70 \times 10^{12}\text{Bq}$ ，即 $3.70 \times 10^6\text{MBq}$ ；

Γ ——周围剂量当量率常数，单位为 $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{MBq} \cdot \text{h})$ ，对照 GBZ 117-2022 表 A.1，本项目 ^{192}Ir 放射源的周围剂量当量率常数为 $0.17\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{MBq} \cdot \text{h})$ ， ^{75}Se 放射源的周围剂量当

量率常数为 $0.072\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$ ；

15——控制区边界周围剂量当量率， $15\mu\text{Sv/h}$ 。

根据公式（11-8）计算可知： ^{192}Ir 放射源相应的 $L_1=205\text{m}$ ， ^{75}Se 放射源相应的 $L_1=134\text{m}$ 。

L_2 和 L_3 分别由 L_1 乘以检测工件和放射源屏蔽物屏蔽衰减因子获得。有用线束方向，经检测对象屏蔽后要求的控制区距离的计算见公式（11-9）：

$$L_2 = L_1 \times \sqrt{2^{-\frac{t_1}{\text{HVL}_1}}} \dots\dots\dots(11-9)$$

式中： L_2 ——有工件衰减时需要的控制区距离值，单位为 m；

L_1 ——无工件衰减时需要的控制区距离值，单位为 m；

t_1 ——被检测工件的厚度，单位为 mm；

HVL_1 ——检测工件的半值层厚度，单位为 mm，近似值见表 A.2。

有用线束方向以外，经源容器或其他屏蔽物屏蔽后要求的控制区距离的计算见公式（11-10）：

$$L_3 = L_1 \times \sqrt{2^{-\frac{t_2}{\text{HVL}_2}}} \dots\dots\dots(11-10)$$

式中： L_3 ——有用线束方向以外，经源容器或其他屏蔽物屏蔽后要求的控制区距离值，单位为 m；

L_1 ——无工件衰减时需要的控制区距离值，单位为 m；

t_2 ——源容器或其他屏蔽物厚度，单位为 mm；

HVL_2 ——源容器或其他屏蔽物的半值层厚度，单位为 mm，近似值见表 A.2。

在工件和准直器等屏蔽作用情况下，本次评价保守取 ^{192}Ir 放射源探伤工件最小厚度 12mm 钢板、 ^{75}Se 放射源探伤工件最小厚度 8mm 钢板及准直器为 10HVL 钨合金作为计算依据，结合附录 A 中表 A.1，具体见表 11-6。

表 11-6 不同材料在不同放射源能量下半值层厚度的近似值

屏蔽材料	半值层厚度 (HVL) /mm	
	^{192}Ir	^{75}Se
钢	14	9

根据公式（11-3）和公式（11-4）计算可知：

^{192}Ir 放射源相应的 $L_2=153\text{m}$ ， $L_3=7\text{m}$ ； ^{75}Se 放射源相应的 $L_2=98\text{m}$ ， $L_3=5\text{m}$ 。

（2）监督区距离的确定

对于移动探伤，监督区边界的周围剂量当量率为 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。同理可得：

^{192}Ir 放射源: $L_1'=502\text{m}$; $L_2'=373\text{m}$; $L_3'=16\text{m}$;

^{75}Se 放射源: $L_1'=327\text{m}$; $L_2'=240\text{m}$; $L_3'=11\text{m}$;

据此计算出本项目 γ 射线移动探伤时,主射线方向和非主射线方向两种情况下控制区和监督区的距离,具体见表11-7。

表11-7 γ 射线移动探伤控制区和监督区估算结果

放射源种类及活度	透射钢板厚度 (mm)	控制区边界距离 (m)			监督区边界距离 (m)		
		L_1	L_2	L_3	L_1	L_2	L_3
^{192}Ir ($3.70\times 10^{12}\text{Bq}$)	12mm	205	153	7	502	373	16
^{75}Se ($3.70\times 10^{12}\text{Bq}$)	8mm	134	98	5	327	240	11

因此,本项目 ^{192}Ir - γ 射线探伤机移动探伤时,有用线束方向经检测工件屏蔽后划定的控制区距离为153m,监督区距离为373m;有用线束方向以外经准直器屏蔽后划定的控制区距离为7m,监督区距离为16m。 ^{75}Se - γ 射线探伤机移动探伤时,有用线束方向经检测工件屏蔽后划定的控制区距离为98m,监督区距离为240m;有用线束方向以外经准直器屏蔽后划定的控制区距离为5m,监督区距离为11m。实际移动探伤时,建设单位应采取本报告关于 γ 射线移动探伤的控制区和监督区理论计算结果进行初步的控制区和监督区划分,然后采用便携式X- γ 剂量率仪巡测的方式进行实测验证和调整。

2、移动 X 射线探伤辐射影响预测

本项目移动式 X 射线探伤拟使用 14 台 X 射线探伤机(其中 350kV/5mA X 射线探伤机 6 台,300kV/5mA X 射线探伤机 2 台,250kV/5mA X 射线探伤机 2 台,200kV/5mA X 射线探伤机 2 台,160kV/5mA X 射线探伤机 2 台,均属于 II 类射线装置)。现场移动探伤时每个探伤小组均仅使用 1 台 X 射线探伤机。

根据《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022),控制区边界外 X 射线空气吸收剂量率应不大于 $15\mu\text{Sv/h}$,该区域需设置明显的警戒线,应有清晰可见的电离辐射警告标志和“禁止进入射线探伤区”的标牌,专人看守;监督区位于控制区外,其边界剂量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$,边界处应有电离辐射警告标志牌和“无关人员禁止入内”的标牌,公众不得进入该区域。

(1) 控制区和监督区的划定估算模式

1) 有用线束

根据《辐射防护导论》(方杰主编)中P69页的式(3.1)和P96页的式(3.45),在距离靶 r (m)处由X射线探伤机产生的初级X射线束造成的空气比释动能率计算公式如下:

$$K = \frac{I\delta_x (r_0/r)^2}{10^{(d_1/d_2)}} \dots\dots\dots (11 - 11)$$

式中：K——经工件屏蔽后的空气比释动能率，mGy·min⁻¹；对于控制区边界取15μSv/h，即2.5×10⁻⁴mSv·min⁻¹，对于监督区边界取2.5μSv/h，即4.2×10⁻⁵mSv·min⁻¹；

I——X射线机管电流，mA；本项目X射线探伤机的管电流均为5mA；

δ_x——X射线探伤机的发射率常数，mGy·m²·mA⁻¹·min⁻¹；

δ_x（160kV）=20.4mGy·m²·mA⁻¹·min⁻¹； δ_x（200kV）=28.7mGy·m²·mA⁻¹·min⁻¹；

δ_x（250kV）=16.5mGy·m²·mA⁻¹·min⁻¹； δ_x（300kV）=20.9mGy·m²·mA⁻¹·min⁻¹；

δ_x（350kV）=21.4mGy·m²·mA⁻¹·min⁻¹；

r₀——X射线管钨靶离焦点的距离，本项目均取1m；

r——参考点到X射线机靶的距离，m；

d₁——被检工件厚度，mm；实际探伤过程中，射线能量是根据被检工件的厚度进行调节。

根据建设单位提供的资料，本项目1605、2005、2505、3005、3505型处于最大开机工况时，探伤常用工件透照厚度分别为10-20mm、20-30mm、30-40mm、40-50mm、50-60mm，材质主要为钢。

d₂——钢的什值层厚度，mm；根据NCRP REPORT No.151 P158页Fig.A.1a，X射线在钢中的什值层厚度见表11-8。

表11-8 X射线束在钢中的什值层厚度

X射线管电压（kV）	160	200	250	300	350
钢的什值层厚度TVL（mm）	6	10	12	16	18

2) 非有用线束

①漏射线

根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）标准中规定：X射线探伤装置在额定工作条件下，当X射线管电压>200kV时，X射线管焦点1m处的漏射线所致周围剂量当量率<5mSv/h；当X射线机管电压处于150kV~200kV时，X射线管焦点1m处的漏射线所致周围剂量当量率<2.5mSv/h。

一般情况下出厂合格的X射线探伤机都将满足该要求。根据下列公式可以估算出探伤过程中泄漏射线的辐射影响范围。

$$K_1 = k_0 R_0^2 / R_1^2 \quad \text{公式 (11-12)}$$

式中： K_1 ——距探伤机表面 R 处的周围剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ，对于控制区边界取 $15\mu\text{Sv/h}$ ，对于监督区边界取 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；

K_0 ——距离探伤机表面 1m 处的周围剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

R_0 ——探伤机表面外， 1m ；

R_1 ——参考点距探伤机表面的距离， m 。

②散射线

散射线可根据《辐射防护导论》（方杰主编，P185，式 6.6）及推导公式计算：

$$\eta_{rR} \leq k \frac{\dot{H}_{L,h} \gamma_i^2 \cdot r_R^2}{F_{j0} \cdot a_r \cdot a \cdot q}$$

由上式可以导出：

$$\dot{H}_{L,h} = \frac{F_{j0} \cdot a_r \cdot a}{\gamma_i^2 \cdot r_R^2} \cdot \frac{1}{k} \quad \text{公式 (11-13)}$$

式中： $\dot{H}_{L,h}$ ——参考点处 X 辐射计量率（ Sv/h ）；

$\dot{H}_{L,h}$ （控制区）= $1.5 \times 10^{-5} \text{Sv/h}$ ， $\dot{H}_{L,h}$ （监督区）= $2.5 \times 10^{-6} \text{Sv/h}$ ；

F_{j0} ——辐射源处辐射水平（ $\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{min}^{-1}$ ），由 $I \cdot \delta_x$ 确定， δ_x 取值情况同上，则

F_{j0} 取值如下：

F_{j0} （160kV）= $I \cdot \delta_0 = 20.4 \text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \times 5 \text{mA} = 0.102 \text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{min}^{-1}$ ；

F_{j0} （200kV）= $I \cdot \delta_0 = 28.7 \text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \times 5 \text{mA} = 0.144 \text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{min}^{-1}$ ；

F_{j0} （250kV）= $I \cdot \delta_0 = 16.5 \text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \times 5 \text{mA} = 0.083 \text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{min}^{-1}$ ；

F_{j0} （300kV）= $I \cdot \delta_0 = 20.9 \text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \times 5 \text{mA} = 0.105 \text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{min}^{-1}$ ；

F_{j0} （350kV）= $I \cdot \delta_0 = 21.4 \text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \times 5 \text{mA} = 0.107 \text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{min}^{-1}$ ；

a_r ——反射物的反射系数，依据《辐射防护导论》图 6.4，单能光子在铁上的反射系数保守取 0.007；

a ——X 射线束在反射物上的投照面积（ m^2 ）， $a = \pi r_i^2 \times \tan^2(\theta/2)$ ， θ 为辐射角，本项目取 40° ，可保守估算出 X 射线束在反射物上的投照面积为 0.1m^2 ；

r_i ——辐射源同反射点之间的距离（ m ），取 0.5m ；

r_R ——反射点到参考点的距离（ m ）；

k ——单位换算系数，对于 X 射线源为 1.67×10^{-2} 。

(2) 估算结果

将相关参数分别代入公式 (11-11) (11-12) (11-13)，可以分别估算出本项目 X 射线移动探伤控制区和监督区的边界范围，估算结果分别见表 11-9、表 11-10 和表 11-11。

表 11-9 有用线束照射方向控制区与监督区边界范围估算结果表

探伤机型号	探伤钢板厚度 (mm)	控制区范围 (m)	监督区范围 (m)
160kV (5mA)	10	94	229
200kV (5mA)	20	76	185
250kV (5mA)	30	33	79
300kV (5mA)	40	37	89
350kV (5mA)	50	27	66

表 11-10 泄漏辐射控制区与监督区边界范围估算结果表

探伤机型号	控制区范围 (m)	监督区范围 (m)
160kV (5mA)	13	32
200kV (5mA)	13	32
250kV (5mA)	19	45
300kV (5mA)	19	45
350kV (5mA)	19	45

表 11-11 散射辐射控制区与监督区边界范围估算结果表

探伤机型号	控制区范围 (m)	监督区范围 (m)
160kV (5mA)	34	83
200kV (5mA)	41	99
250kV (5mA)	30	75
300kV (5mA)	35	84
350kV (5mA)	35	85

综上所述，从理论计算结果可知：

1) 160kV 的 X 射线探伤机满功率及 10mm 钢工件负荷条件下移动探伤时，主射束方向控制区范围最大约为 94m，监督区最大约为 229m；非有用射束方向控制区范围最大约为 34m，监督区最大约为 83m；

2) 200kV 的 X 射线探伤机满功率及 20mm 钢工件负荷条件下移动探伤时，主射束方向控制区范围最大约为 76m，监督区最大约为 185m；非有用射束方向控制区范围最大约为 41m，监督区最大约为 99m；

3) 250kV 的 X 射线探伤机满功率及 30mm 钢工件负荷条件下移动探伤时，主射束方向控

制区范围最大约为 33m，监督区最大约为 79m；非有用射束方向控制区范围最大约为 30m，监督区最大约为 75m；

3) 300kV 的 X 射线探伤机满功率及 40mm 钢工件负荷条件下移动探伤时，主射束方向控制区范围最大约为 37m，监督区最大约为 89m；非有用射束方向控制区范围最大约为 35m，监督区最大约为 86m；

4) 350kV 的 X 射线探伤机满功率及 50mm 钢工件负荷条件下移动探伤时，主射束方向控制区范围最大约为 27m，监督区最大约为 66m；非有用射束方向控制区范围最大约为 35m，监督区最大约为 85m。

本项目移动探伤主要服务于三门核电厂内三门项目部承接的核电设施安装，三门项目部将根据施工计划合理安排移动探伤的开展。根据建设单位提供资料，高峰期最多有 5 个移动探伤小组同时开展三门核电厂内移动探伤作业。根据三门核电厂管理要求，开展移动探伤前均要向三门核电业主单位开具探伤作业票，合理安排并评估工作地点、警戒的安全距离等是否满足要求。目前三门项目移动探伤作业场地主要为 3 号、4 号核岛位置及 BOP 子项辅助用房内、三门核电厂东北角 CV(反应堆钢制安全壳)拼装场地，3 号、4 号核岛探伤区域范围约 400m×100m；拼装场地移动探伤区域分别为 180m×100m 和 200m×100m。

根据上述理论计算移动探伤作业两区划分，使用 1 台 γ 射线探伤机开展移动探伤作业时，有用线束方向监督区控制距离为 373m，控制区控制距离为 153m；非有用线束方向监督区控制距离为 16m，控制区控制距离为 7m。使用 1 台 X 射线机开展移动探伤作业时，有用线束方向监督区控制距离为 229m，控制区控制距离为 94m；非有用线束方向监督区控制距离为 99m，控制区控制距离为 41m；因此移动探伤作业时，合理安排探伤作业地点，作业地点的选择避开其他探伤机有用线束的方向，并依托核岛结构墙体等实体屏蔽，可以满足同时最多 5 个探伤小组开展移动探伤的要求。

三门项目开展移动探伤作业时，应根据施工计划，合理安排探伤作业地点和合理调配 X 射线机和 γ 射线机开展移动探伤作业，探伤作业时使用便携式 X- γ 剂量率巡测划分监督区和控制区边界，每个移动探伤作业监督区和控制区范围不应有交叉，如根据巡测结果监督区和控制区范围有交叉，则不应同时开展探伤作业。

3、小结

上述理论计算结果仅为本项目开展移动式 X、 γ 射线探伤时，控制区和监督区的划分提供参考。实际探伤过程中，由于 γ 射线探伤机内放射源活度的不断衰减或 X 射线探伤机管电压

的降低、探伤机的摆放位置变化、被检测物体的厚度变化以及探伤现场的屏蔽物对射线的遮挡等，都会使探伤现场的辐射剂量水平发生变化，从而改变控制区和监督区的范围，因此上述估算结果不能完全作为划分控制区与监督区边界的依据，仅供现场初次布置时参考。

项目部在实施移动探伤之前，应对工作环境进行全面的评估，应保证探伤过程中的辐射安全。辐射工作人员在开展移动式 X、 γ 射线探伤作业时，现场安全员或操作人员应根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的要求，根据理论估算值和经验初步划定并标志出控制区和监督区边界，同时，利用环境辐射巡测仪巡测对控制区和监督区边界进行巡测并修正，将周围剂量当量率在 $15\mu\text{Sv/h}$ 以上的范围内划为控制区，探伤期间禁止任何人员进入，控制区边界外周围剂量当量率在 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 以上的范围内划为监督区，禁止非辐射工作人员进入。

移动探伤时，项目部拟充分利用常规岛及 BOP 子项辅助用房建筑对射线进行屏蔽，必要时拟采取多组不同尺寸、不同铅当量的柔性软铅屏组合构成屏蔽铅墙对射线进一步屏蔽，探伤工作人员均在控制区边界外进行作业。落实后，能够满足移动式 X、 γ 射线探伤的辐射防护要求。

12.2.3 源库辐射环境影响分析

（1）源坑容量设计合理性分析

本项目设计有源库，源库内设置 8 个储源坑，呈下沉式，用于贮存 γ 射线探伤机。每个储源坑净尺寸均为 500mm （长） $\times 500\text{mm}$ （宽） $\times 1000\text{mm}$ （深），四侧坑壁和底部均采用 200mm 厚的混凝土，顶盖为 3mm 钢板+ 6mm 铅板+ 3mm 钢板。每个储源坑拟放置成品预制钢制源坑，分为上下两层，中间隔断设移动不锈钢盖板。

根据建设单位提供资料，本项目拟暂存的 ^{192}Ir 探伤机源容器外尺寸最大为 $330\text{mm} \times 170\text{mm} \times 230\text{mm}$ ， ^{75}Se 探伤机外尺寸最大为 $240\text{mm} \times 105\text{mm} \times 180\text{mm}$ 。因此每个储源坑经隔断后能存放 2 台含源探伤机，本项目源库容量能够满足公司拟配备的 12 台 ^{192}Ir 探伤机和 4 台 ^{75}Se 探伤机的贮存要求。

（2）储源坑表面辐射影响预测

本项目源坑位于地平面下，四周及底部均为地下土层，因此仅需考虑顶部铅盖外辐射影响。利用下列公式可计算得出有屏蔽体情况下参考点的空气比释动能率 K ：

$$K = \dot{K} \cdot B \quad \text{公式 (11-14)}$$

式中： K ---有屏蔽体情况下参考点的周围当量剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

\dot{K} ---无屏蔽体情况下参考点的周围当量剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

B ---屏蔽透射因子。

对于给定的屏蔽物质厚度X，相应的辐射屏蔽透射因子B按式（11-15）计算：

$$B = 2^{-X/HVL} \quad \text{公式（11-15）}$$

式中：X---屏蔽物质厚度，与 HVL 取相同的单位；

HVL---半值层厚度，mm，根据 GBZ117-2022 附录 A，¹⁹²Ir 对于钢和铅的半值层厚度分别为 14mm、3mm，⁷⁵Se 对于钢和铅的半值层厚度分别为 9mm、1mm。

根据公式（11-2）、（11-14）、（11-15）计算得到储源坑的坑盖表面外 30cm 处辐射剂量率如下：

表 11-12 源库外屏蔽计算结果一览表

参数		坑盖
2台 ¹⁹² Ir探 伤机	源到坑盖表面外30cm处距离r (m) ①	1.07
	无屏蔽体时每台γ射线探伤机表面外1.0m处周围剂量当量率 \dot{K} (μSv/h) ②	20
	坑盖防护材料及厚度	6mm钢+6mm铅+10mm钢
	半值层HVL (mm)	铅3；钢14
	屏蔽透射因子B	0.1132
	有屏蔽体时每台γ射线探伤机表面外1.0m处周围剂量当量率K (μSv/h) ②	2.26
	坑盖表面外30cm处周围剂量当量率 (μSv/h) (一坑两源)	3.95
2台 ⁷⁵ Se探 伤机	源到坑盖表面外30cm处距离r (m) ①	1.07
	无屏蔽体时每台γ射线探伤机表面外1m处周围剂量当量率 \dot{K} (μSv/h) ②	20
	坑盖防护材料及厚度	6mm钢+6mm铅+10mm钢
	半值层HVL (cm)	铅1；钢9
	屏蔽透射因子	0.0046
	有屏蔽体时每台γ射线探伤机表面外1m处周围剂量当量率K (μSv/h) ②	0.092
	坑盖表面外30cm处辐射剂量率 (μSv/h) (一坑两源)	0.16

①源容器到顶部的距离 1.07m；

②“无屏蔽”指的是源容器表面无屏蔽措施时1.0m处的周围剂量当量率。

(3) 源库表面辐射影响预测

在计算放射源库室外剂量率时，假设源库内 8 个源坑均存满放射源，即存满 12 枚 ¹⁹²Ir 放射源和 4 枚 ⁷⁵Se 放射源，叠加后放射源等效点源处的总剂量率为 23.7μSv/h，4 枚 ⁷⁵Se 放射源等效点源处的总剂量率为 0.32μSv/h。

根据公式（11-2）、（11-14）、（11-15）计算得到存满 12 枚 ^{192}Ir 放射源和 4 枚 ^{75}Se 放射源时，本项目源库屏蔽体外 30cm 参考点处的辐射剂量率，计算结果详见表 11-13。

表 11-13 源库各屏蔽墙外剂量率估算

参数	东墙	南墙	西墙	北墙	顶棚	防护门
屏蔽材料及厚度	850mm 混凝土	400mm 混凝土			450mm 混凝土	10mm 铅
^{192}Ir 储源坑表面等效点源处空气比释动能率 k_0 ($\mu\text{Sv/h}$)	23.7					
等效源距墙外 30cm 处参考点距离 (m)	2.2	1.8			4.3	1.8
半值层 HVL (mm)	50	50			50	铅 3
屏蔽透射因子 B	7.63×10^{-6}	3.91×10^{-3}			1.95×10^{-3}	9.92×10^{-2}
参考点处周围剂量当量率 k_0 ($\mu\text{Sv/h}$)	3.74×10^{-5}	2.86×10^{-2}			2.50×10^{-3}	7.26×10^{-1}
^{75}Se 储源坑表面等效点源处空气比释动能率 k_0 ($\mu\text{Sv/h}$)	0.32					
等效源距墙外 30cm 处参考点距离 (m)	2.2	1.8			4.3	1.8
半值层 HVL (mm)	30	30			30	铅 1
屏蔽透射因子 B	2.96×10^{-9}	9.96×10^{-5}			3.05×10^{-5}	9.77×10^{-4}
参考点处周围剂量当量率 k_0 ($\mu\text{Sv/h}$)	1.96×10^{-10}	9.84×10^{-6}			5.29×10^{-7}	9.65×10^{-5}
参考点处叠加周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	3.74×10^{-5}	2.86×10^{-2}			2.50×10^{-3}	7.26×10^{-1}

由表可知，当源库内存满 12 枚 ^{192}Ir 放射源和 4 枚 ^{75}Se 放射源时，源库屏蔽体外 30cm 处辐射剂量率最大为 $0.73\mu\text{Sv/h}$ ，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中“放射源贮存设施在公众能接近的距外表面最近处，其屏蔽应能使该处周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 或者审管部门批准的控制水平”的要求，源库对周围辐射环境影响很小。

12.2.4 含源探伤机的运输

本项目放射源均由有资质供货商提供，放射源新源的安装及运输、退役废源的回收及运输均由供货商按照法律法规要求进行，对本项目辐射工作人员基本无辐射影响。

三门项目部拟配备 1 辆专车负责含源 γ 射线探伤机的运输，运输专车内拟配备 1 个含铅储源箱，储源箱内含 10mm 厚铅板，并与车辆固定，箱体外表面拟设置明显的电离辐射警告标志，箱体存放含源探伤机时拟实行双人双锁管理。

储源箱内最多可同时放置 5 台 γ 射线探伤机，本项目最多有 5 个小组同时进行移动探伤作业，单次最多运输 4 台 ^{192}Ir 探伤机和 1 台 ^{75}Se 探伤机，运输时，司机和押运人员距离探伤机

最近分别约 2.8m、1.8m，根据表 11-1 估算结果和公式（11-12）、（11-13）可进一步估算得出，经 10mmPb 储源箱屏蔽后， γ 射线探伤机厂内运输过程对司机和押运人员造成的辐射影响，具体估算参数及估算结果见表 11-14。

表 11-14 γ 射线探伤机运输过程对司机和押运人员造成的辐射影响估算表

参数	1台 ¹⁹² Ir探伤机		4台 ¹⁹² Ir探伤机		1台 ⁷⁵ Se探伤机	
	司机	押运	司机	押运	司机	押运
单台探伤机离源容器表面100cm处最大周围剂量当量率(μ Sv/h)	20					
无屏蔽体情况下参考点的周围剂量当量率K(μ Sv/h)	2.55	6.17	10.20	24.68	2.55	6.17
屏蔽材料及厚度	10mmPb					
半值层HVL (mm)	3				1	
屏蔽透射因子B	0.099				9.77×10^{-4}	
有屏蔽体情况下参考点的周围剂量当量率K(μ Sv/h)	0.25	0.61	1.01	2.44	2.49×10^{-3}	6.03×10^{-3}

根据表 11-14 可知，单台 ¹⁹²Ir 探伤机对司机和押运人员座位处造成的辐射剂量率分别为约 0.25 μ Sv/h、0.61 μ Sv/h，4 台 ¹⁹²Ir 探伤机造成的辐射剂量率分别为约 1.01 μ Sv/h、2.44 μ Sv/h；单台 ⁷⁵Se 探伤机对司机和押运人员座位处造成的辐射剂量率分别为约 2.49×10^{-3} μ Sv/h、 6.03×10^{-3} μ Sv/h，含源探伤机在三门核电厂厂区内运输过程对司机和押运人员有一定的辐射影响。

结果可知，运输过程中车辆外表面辐射剂量率最大为 2.45 μ Sv/h，能满足《放射性物品安全运输规程》(GB 11806-2019) 的要求，即在常规运输条件下，运输工具外表面上任一点的辐射水平应不超过 2mSv/h。

11.2.5 探伤室及源库各类管道线路屏蔽效果分析

本项目探伤室的线缆管道以“U”型管道从地下穿越探伤室的墙体，不影响墙体的屏蔽防护。根据《辐射防护导论》（方杰主编）P189 页的实例证明，本项目所有射线均需经过三次以上散射才能经管道散射至探伤室墙外，经过管道的多重反射、吸收和削减后辐射能量急剧下降，射线通过管道外漏可忽略不计。因此，本项目探伤室 X、 γ 射线探伤机的控制缆线的布置方式不会破坏墙体的屏蔽效果，能够满足辐射防护要求。

12.2.6 辐射工作人员和公众剂量估算

根据《辐射防护导论》（方杰主编），X- γ 射线产生的外照射人均年有效剂量按下列式 11-16 计算。

$$H_{E-r} = D_r \times t \times T \times 10^{-3} \quad \text{式 (11-16)}$$

式中：

H_{E-r} ：年受照剂量，mSv/a；

D_r ：关注点辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

T ：居留因子；本项目的居留因子选取根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）表 A.1。

t ：年受照时间，h/a。

（1）固定探伤辐射工作人员和公众剂量估算

本项目探伤室室内探伤操作人员受到辐射照射的途径主要包括两个方面：a）探伤期间，工作人员在操作间内拍片受到的外照射；b）探伤作业前，工作人员在厂内运输 γ 射线探伤机、探伤室内近距离移动探伤机、安装输源导管等准备工作时受到贮存状态放射源的外照射。

①开机状态

本项目探伤室开机状态下，对辐射工作人员影响的区域主要在操作间内控制台处，该处辐射剂量率取值 $0.48\mu\text{Sv/h}$ （数值来源前文理论预测表11-5），探伤室年曝光时间为250h。根据公式（11-16），居留因子取1，可估算出本项目探伤室开机时操作位处的单名辐射工作人员的年附加有效剂量为 0.12mSv/a 。

②不开机状态

a、取源与还源：辐射工作人员在源库外接收和归还放射源（取源与还源共约2min/天，年受照时间为10h，周围剂量当量率保守按源容器表面外1m处周围剂量当量率控制值取 0.02mSv/h ）。该环节单名辐射工作人员年附加有效剂量为 0.20mSv/a 。

b、运输：源库与探伤室相邻，运送到探伤室内由公司辐射工作人员进行运送（每日往返运送1次，用时共约2min，年受照时间为10h，周围剂量当量率保守按源容器表面外1m处周围剂量当量率控制值取 0.02mSv/h ）。该环节单名辐射工作人员年附加有效剂量为 0.20mSv/a 。

c、移动与安装：近距离移动探伤机和安装胶片、收回输源导管一般不超过5min，2名辐射工作人员轮流操作，每天最多操作1次，则单名辐射工作人员年受照时间为12.5h，取辐射工作人员处于离探伤机100cm处，周围剂量当量率保守按源容器表面外100cm处周围剂量当量率控制值取 0.02mSv/h 。该环节单名辐射工作人员年附加有效剂量为 0.25mSv/a 。

d、布置底片和摆放工件：其他操作包括布置底片和摆放工件等年操作时间单次拍片操作时间不超过10min，年拍片3000次，则单名辐射工作人员年受照时间为500h。该工作时段 γ

射线探伤机始终处于未出源状态，辐射工作人员距离探伤机一般超过2m，其操作期间的周围剂量当量率保守取值5 μ Sv/h（数值来源前文理论预测表11-2）。该环节单名辐射工作人员年附加有效剂量为2.50mSv/a。

③有效剂量统计

综上所述，本项目探伤操作人员的剂量叠加结果为：

$$H_{\text{开机}}+H_{\text{不开机}}=0.12\text{mSv/a}+0.20\text{mSv/a}+0.20\text{mSv/a}+0.25\text{mSv/a}+2.50\text{mSv/a}=3.27\text{mSv/a}$$

因此，本项目从事室内探伤操作的单名辐射工作人员的最大年附加有效剂量为3.27mSv/a，小于本次评价项目剂量约束值（职业人员 \leq 5.0mSv/a），满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求的工作人员所接受的职业照射水平不应超过20mSv/a的剂量限值要求。

2) 其他公众成员

辐射剂量率保守取探伤室周围最大辐射剂量率 0.48 μ Sv/h，探伤室为独立一幢建筑，周边活动人员较少，居留因子取 1/8。根据剂量率与距离成反比的原则可计算中核五公司三门项目部（距探伤室 10m）和浙江火电建设有限公司三门项目部（距探伤室 20m）公众年有效剂量，年探伤时间取 250h。计算结果详见表 11-15。

表 11-15 探伤室周围公众成员年附加剂量估算

环境保护目标	关注点取值	与关注点距离(m)	保护目标处辐射剂量率(μ Sv/h)	居留因子	探伤时间(h/a)	年附加剂量 (mSv)	年剂量约束值 (mSv)
中核五公司三门项目部	0.48	19	0.013	1	250	0.003	0.25
浙江火电建设有限公司	0.48	20	0.012	1	250	0.003	0.25
其他公众	0.48	/	0.48	1/8	250	0.015	0.25

根据以上估算结果可知，在做好安全防护措施的情况下，固定式 X、 γ 射线探伤室周围公众年有效剂量均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对公众受照剂量限值和本项目管理目标值的要求（公众年有效剂量不超过 0.25mSv）。

（2）移动探伤辐射工作人员和公众剂量估算

本项目移动式 X、 γ 射线探伤主要在核岛位置、不锈钢管道及支架预制车间和碳钢车间内，项目部拟充分利用核岛建筑对射线进行屏蔽，必要时拟采取多组不同尺寸、不同铅当量的柔性软铅屏组合构成屏蔽铅墙对射线进一步屏蔽。开启 X 或 γ 射线探伤机进行探伤作业时，辐射工作人员均在控制区边界外，公众均位于监督区边界外，控制区边界外周围当量剂量率不大于 15 μ Sv/h，监督区边界外周围当量剂量率不大于 2.5 μ Sv/h，根据公式（11-16）可估算得出移动

式 X、 γ 射线探伤过程对单名探伤操作人员（包括现场安全员）和周围公众造成的年有效剂量，具体估算参数及估算结果见表 11-16。

表 11-16 移动探伤过程对辐射工作人员和周围公众造成的年有效剂量估算表

参数	单名探伤操作人员 (包括现场安全员)	周围公众
居留因子 T	1	1/16
参考点处剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	15	2.5
年照射时间 t (h/a)	250	250
年剂量 H 估算值 (mSv/a)	3.75	0.039
移动和安装探伤机 (mSv/a)	0.25	/
合计	4.00	/

注：①探伤作业时，核电厂内基本无公众停留，公众居留因子保守取 1/16；移动和安装探伤机受照剂量参考室内探伤。

根据表 11-16 可知，移动探伤作业辐射工作人员的最大年附加有效剂量为 4.00mSv/a，小于本次评价项目剂量约束值（职业人员 $\leq 5.0\text{mSv/a}$ ），满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求的工作人员所接受的职业照射水平不应超过 20mSv/a 的剂量限值要求开展移动式 X、 γ 射线探伤现场周围公众年有效剂量最大为 0.039mSv，能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对公众受照剂量限值和本项目管理目标值的要求（公众年有效剂量不超过 0.25mSv）。

（3） γ 射线探伤机运输过程人员年有效剂量

本项目最多有 5 个小组同时进行 γ 射线探伤作业，拟配备 1 辆专车，单次最多运输 4 台 ^{192}Ir 探伤机和 1 台 ^{75}Se 探伤机，则每车每天运输 2 次 4 趟（包括探伤前从源库运至探伤现场、探伤结束运回源库），单趟运输时间取 10min，年工作 300 天，则每年运输时间为 200h。

保守估计其中有 1 辆专车每天最不利情况下最多运输 2 趟 4 台 ^{192}Ir 探伤机，专车司机和押运人员的年有效剂量最大，根据理论估算结果，同时放置 4 台 ^{192}Ir 探伤机和 1 台 ^{75}Se 探伤机造成的辐射剂量率分别约为 1.01 $\mu\text{Sv/h}$ 、2.45 $\mu\text{Sv/h}$ ，从而可进一步估算得出，探伤机厂内运输过程中对专车司机和押运人员的年有效剂量，详见表 11-15。

表 11-15 运输过程人员年有效剂量估算表

参数	4 台 ^{192}Ir 探伤机和 1 台 ^{75}Se 探伤	
	司机	押运员
使用因子 μ	1	1
居留因子 T	1	1
参考点处剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	1.01	2.45
年照射时间 t (h/a)	200h	200h
年剂量估算值 (mSv/a)	0.202	0.49

保守估计，专车司机和押运工作分别由不同探伤操作人员均摊，因此司机和押运人员运输

过程受到的最大年有效剂量不超过 0.49mSv。

(4) 源库管理员年有效剂量

本项目设有 2 名专职源库管理员，源库管理员受照剂量主要来源存/取探伤机时近距离接触探伤室以及在源库内期间其他放射源对存取过程的照射剂量。根据存/取一次放射源所需的工序，保守取辐射工作人员存/取一次放射源时处于离探伤机 1m 处（根据 GBZ 117-2022 保守取剂量率为 0.02mSv/h）的时间为 2min，源库储源坑表面总剂量率为 24.02 μ Sv/h，则可估算出完成一次存/取放射源的操作所受的附加剂量约为 1.5 μ Sv。经与建设单位核实，保守估计每天存/取最多 6 次，每年探伤工作天数约 300 天，则放射源暂存库管理人员由于存/取放射源一年所受附加剂量约为 2.70mSv，实际工作中源库管理工作将由 2 人承担，因此，单个辐射工作人员由于存/取放射源所致的剂量为 1.35mSv/a，小于本次评价项目剂量约束值（5.0mSv/a），符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于职业人员“剂量限值”的要求。

上述理论估算取值均为保守取值，实际探伤过程中，由于放射源活度的衰减、探伤时间的降低及移动式 X、 γ 射线探伤过程中核岛及相应辅助用房的屏蔽等，均会使探伤操作人员的年有效剂量下降，本项目探伤操作人员年有效剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对辐射工作人员受照剂量限值和项目管理目标值的要求（职业人员年有效剂量不超过 5mSv）。

12.2.7 废旧放射源处置影响分析

γ 射线探伤机内放射源使用到一定期限后，将退役产生废旧放射源，公司应及时与供源单位签订废源回收协议。由源生产单位回收处置，则废旧放射源对周围环境影响较小。

11.2.8 “三废”环境影响分析

本项目运行过程中无放射性废气、放射性废水产生。

放射源库及探伤室内 γ 射线或 X 射线与空气电离产生一定量的臭氧和氮氧化物，由机械排风装置经探伤室楼顶的排风口及时排至室外。 γ 射线或 X 射线移动探伤过程中产生的臭氧和氮氧化物，由于产生量小且作业场地为开放式场所，对周围环境影响较小。

探伤洗片和阅片过程中产生的废显（定）影液和废胶片均属于危险废物，须定期委托有资质的单位处理。X、 γ 射线探伤机运行时无其它固体废弃物产生。

11.3 事故影响分析

11.3.1 事故等级分析

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十条：根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级，详见表 11-16。

表 11-16 辐射事故等级分级表

事故等级	事故情景
特别重大辐射事故 (I级)	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，或者放射性同位素失控导致 3 人以上（含 3 人）急性死亡。
重大辐射事故 (II 级)	I 类、II 类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素失控导致 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 级)	III 类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素失控导致 9 人以下（9 人）急性重度放射病、局部器官残疾。
一般辐射事故 (IV 级)	IV 类、V 类放射源丢失、被盗、失控，或放射性同位素失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。

根据《实用辐射安全手册》（第二版）（丛慧玲，北京：原子能出版社）急性放射病的发生率以及急性放射病的死亡率与辐射剂量的关系，见表11-17。

表 11-17 急性放射病的发生率、死亡率与辐射剂量的关系

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

11.3.2 潜在事故分析

本项目为使用II类射线装置和II类放射源进行固定式和移动式 X、 γ 射线探伤，根据污染源分析，本项目环境风险因子为 X 射线、 γ 射线，危害因素为 X 射线、 γ 射线超剂量照射。X 射线探伤机只有在开机状态下才会产生 X 射线，一旦切断电源便不会再有射线产生。¹⁹²Ir 放射源产生的 γ 射线具有很强的贯穿能力，在进行工业探伤过程中，当放射源被摇出源容器后，将对周围环境产生很强的外照射影响。此外，放射源在贮存过程中仍会射出 γ 射线，对探伤现场或放射源存贮库附近的工作人员和公众产生一定辐射危害，可能发生的事故主要有：

1、X 射线探伤可能存在以下事故工况

(1) 固定 X 探伤机

①设备检修人员还未完成检修工作，操作人员误操作启动开关，造成检修人员被误照，引发辐射事故。

②X 射线探伤机运行时，门机联锁失效，人员误打开铅门，被误照，引发辐射事故。

③人员还未完全撤离机房，操作人员疏忽大意启动开关，造成室内停留人员被误照，引发辐射事故。

(2) 移动 X 探伤机

①移动探伤时，人员误入或滞留于控制区内受超剂量照射（有铅屏风防护的情况下）；

②探伤机检修时，工作人员意外开机，造成检修人员被误照射。

③探伤机摆置不当，机头未投射于工件位置，而直接射向人员居留位置，而导致误照射（无铅屏风防护的情况下）。

2、 γ 射线探伤可能存在以下事故工况

(1) 固定 γ 探伤机

①由于探伤室及源库工作人员疏忽、失职及管理人员管理不当等原因造成 γ 射线探伤机主机从探伤室或源库内丢失、被盗；

②探伤机操作人员违规操作，拆卸 γ 射线探伤机机体，造成放射源裸露；

③ γ 射线探伤机上安全联锁装置失灵，使输源装置被误打开，造成放射源裸露；

④探伤室内发生严重火灾或局部异常高温或受到重创，使 γ 射线探伤机主机机体破损，造成放射源裸露；

⑤机械零件损坏（如驱动机构失灵、源座与套脱开、阴阳接头及其铆合点断裂与拉开等），造成 γ 射线探伤机主机屏蔽功能失效，使放射源裸露。

⑥探伤机运行时发生卡源事故，造成事故处理人员等有关人员被误照。

(2) 移动 γ 探伤机

①因工作人员操作不当或出现设备故障，在设备安装和装换放射源时放射源从设备或容器中跌落出来出现裸源，造成有关人员被误照；

②移动探伤时，人员误入或滞留于控制区受超剂量照射；

③探伤机运行时发生卡源事故，造成事故处理人员等有关人员被误照；

④放射源因管理不善发生 γ 射线探伤机或放射源在使用、运输和储存过程中丢失或被盗，

密封源屏蔽功能失效放射源裸露，从而导致人员被误照射。

11.3.3 事故影响分析

本项目为使用II类射线装置和II类放射源，由于 γ 探伤机内含II类放射源，事故影响分析以放射源为例进行分析。

事故情景 1： ^{192}Ir 探伤机运行时发生卡源事故，辐射工作人员持长柄工具处理，距离 ^{192}Ir 放射源约 1m，则 1 枚 100mCi 活度的 ^{192}Ir 裸源 1m 处的周围剂量当量率为 $0.17\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h}) \times 3.70 \times 10^6 \text{MBq} = 6.29 \times 10^5 \mu\text{Sv/h}$ 。辐射工作人员穿戴 0.5mmPb 的防护用品，事故处理时间按 5min 计，则根据式 11-2、11-3、11-4 及式 11-16 进行估算，辐射工作人员处理事故受照剂量为 46.7mSv，已超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业人员不超过 20mSv 的剂量限值，构成一般辐射事故。

事故情景 2： ^{192}Ir 探伤机现场探伤过程，导致放射源丢失，导致公众人员受照。根据计算，不同距离、不同受照时间，放射源丢失造成的公众有效剂量详见表 11-18。

表 11-18 不同距离不同照射时间放射源丢失造成公众受照剂量 单位：mSv

时间 距离	1min	5min	10min	30min	1h	2h	24h	72
0.5m	41.9	209.7	419.3	1258.0	2516.0	5032.0	60384.0	181152.0
1m	10.5	52.4	104.8	314.5	629.0	1258.0	15096.0	45288.0
2m	2.6	13.1	26.2	78.6	157.3	314.5	3774.0	11322.0
3m	1.2	5.8	11.6	34.9	69.9	139.8	1677.3	5032.0
4m	0.7	3.3	6.6	19.7	39.3	78.6	943.5	2830.5
5m	0.4	2.1	4.2	12.6	25.2	50.3	603.8	1811.5
10m	0.1	0.5	1.0	3.1	6.3	12.6	151.0	452.9

从上表可以看出，近距离接触 100mCi ^{192}Ir 裸源 1h 可以 100% 发生急性放射病，近距离接触 2h，可致人死亡，构成较大辐射事故或重大辐射事故。

11.3.4 辐射事故处置方法及预防措施

为了杜绝上述辐射事故的发生，要求建设方严格执行以下风险预防措施：

①定期认真地对本单位 X 射线、 γ 射线探伤机的安全和防护措施、设施的安全防护效果进行检测或者检查，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；

②所有探伤机使用、保管建立严格的保管、使用及出入库管理台账，安排专人做好放射源的台账管理工作，加强日常监控和管理，落实安全责任到具体负责人；所有放射源必须在核对正确信息后才能被取出或存入；定期对探伤机的安全装置进行维护、保养，对可能引起操作失

灵的关键零配件定期更换，建立射线装置维护、维修台账。

③ γ 射线探伤机在进行探伤作业，尤其是移动探伤作业，结束探伤作业需对探伤场所及回源后探伤机表面进行剂量率监测，确保放射源已安全回到探伤机安全位置；领用 γ 射线探伤机时也应进行放射性水平测量，确认放射源在探伤机的源容器内；

④在移动探伤作业前，按项目应制定工作方案，该工作方案主要包括探伤工况、时间、地点、控制区范围、监测方案、清场方式等，明确探伤人员、防护人员、运输人员、保卫人员的职责和分工。工作期间做好相关记录，与方案一同存档备查；

⑤移动探伤作业前需要进行公告，应在作业现场边界外公众可达地点放置安全信息公示牌，将辐射安全许可证、公司法人、辐射安全负责人、操作人员和现场安全员的姓名、照片、资质证书和生态环境部门监督举报电话等信息进行公示，接受公众监督。要求在探伤现场提前两天公告，且安全信息公示牌面积不小于 2m^2 ；

⑥凡涉及对 X 探伤机、 γ 探伤机进行操作，必须按操作规程执行，探伤作业时，至少有 2 名操作人员同时在场，操作人员严格按照操作规程进行操作，并做好个人的防护，佩戴个人剂量计，携带个人剂量报警仪，并应将操作规程张贴在操作人员可看到的显眼位置； γ 探伤机移动探伤需同时 1 名安全员在场，负责放射源的安全。建设单位不得自行进行倒源操作，所有换源工作必须由放射源生产单位负责，其中倒源的安全责任由放射源生产单位负责；

⑦必须制定探伤机操作安全防护措施，探伤机曝光前待人员全部撤离后才进行，防止误操作，防止工作人员和公众受到意外辐射；

⑧定期对使用 X 射线、 γ 探伤机进行维护、保养，对可能引起操作失灵的关键零配件定期进行更换；

⑨所有辐射工作人员和管理人员均需参加辐射安全与防护培训学习和考核并取得合格证书，建设单位需定期对工作人员进行再培训，并安排专门管理人员做好监督工作。

⑩ γ 射线探伤机工作状态下，“卡源”或“源掉出”发生，回源装置失效，工作人员手动回源。一旦发生此类故障，应立即封锁并保护好现场，严禁无关人员进入辐射区。同时，现场工作人员第一时间联系放射源生产单位，在专业人员的指导下严格按照生产单位提供的操作规程处理卡源故障。处理卡源故障的工作人员应穿戴好个人防护用品（铅衣、铅手套、铅眼镜等），佩戴个人剂量计和剂量报警仪，利用长柄夹等辅助工具进行操作。如公司不具备能力处理卡源故障，应在放射源生产单位工作人员到场前务必封锁并保护好现场，严禁无关人员靠近。待处理完卡源故障后，确保放射源已经安全收回至探伤机内后方可消除警戒状态。在处理完故障后，

尽快对处理卡源故障的工作人员个人剂量计进行监测，一旦发现个人剂量超标现象，及时采取相应的措施。建设单位应定期检查，维修设备，杜绝此类故障发生。

⑪每月检查探伤室的门机联锁装置和门灯联锁装置，确保在铅门关闭后，探伤机才能工作；定期对探伤机使用场所的安全装置进行维护、保养；探伤机严禁与易燃、易爆和易腐蚀等危险物品一起存放。

11.3.4 应急处置预案

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

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规要求，使用Ⅱ类射线装置和Ⅱ类放射源的单位应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。

中国核工业第五建设有限公司三门核电项目部拟成立以单位负责人为辐射安全第一责任人的辐射安全与防护管理领导小组，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确各成员管理职责；本项目专职辐射管理人员和辐射工作人员（包括探伤操作人员、现场安全员等所有参与辐射工作的人员），上岗前均拟参加辐射安全与防护培训，考核合格后上岗，落实后，能够满足法律法规相关要求。

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》的要求，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，应当在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：<http://fjshc.mee.gov.cn>）报名并参加考核，考核合格者可取得核技术利用辐射安全与防护考核成绩报告单，报告单全国有效，有效期 5 年。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。

根据建设单位提供的资料，本项目辐射工作人员须在生态环境部“核技术利用辐射安全与防护培训平台”报名参加辐射安全与防护相关知识的学习，并参加“X 射线探伤和 γ 射线探伤”考核，考核合格后方可上岗。

12.2 辐射安全管理规章制度

本项目使用Ⅱ类射线装置和Ⅱ类放射源，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，要有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等，并有完善的辐射事故应急措施。

操作规程：明确操作人员的资质条件要求、操作过程中采取的具体防护措施及步骤，明确探伤机的操作步骤，工作人员佩戴个人剂量计，携带个人剂量报警仪或检测仪器，避免事故发生。

岗位职责：明确管理人员、探伤操作人员、维修人员的岗位责任，使每一个相关的工作

人员明确自己所在岗位具体责任，并层层落实。

辐射防护和安全保卫制度：制定辐射防护和安全保卫制度，重点是对 γ 探伤机的管理、维修等均要落实到个人。

设备检修维护制度：明确探伤室各项安全联锁装置、照射信号指示器在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，确保辐射安全装置有效地运转。明确每个月对 γ 探伤机及配件和辐射监测设备进行检查、维护，每3个月对 γ 探伤装置的性能进行全面检查、维护，发现问题应及时维修，确保探伤机、剂量报警仪等仪器设备保持良好工作状态。重点是辐射安全联锁装置、剂量报警仪或检测仪器必须保持良好工作状态。

人员培训计划：明确培训对象、内容、周期、方式以及考核的办法等内容，内外结合，加强对培训档案的管理，做到有据可查。

放射源领用、归还登记制度：配备专（兼）职人员负责 γ 放射源的管理，建立 γ 放射源台账登记，并建立登记保管、领用、注销和定期检查制度。在领用 γ 探伤机时，进行放射性水平测量，确认放射源在探伤机中；探伤作业完成后，再进行放射性水平测量，确认放射源在其中，并将 γ 探伤机放回源坑，每次领用及交还均应进行详细的登记；放射源台账应定期清点检查，定期核实探伤装置中的放射源，明确每枚放射源与探伤装置的对应关系，做到账物相符，一一对应。

监测方案：明确监测频次和监测项目，主要包括个人剂量监测和工作场所监测，监测方式由企业自主监测与有资质单位开展的年度监测。监测结果妥善保存，定期上报生态环境主管部门。此外，使用射线装置的单位，应当对本单位的射线装置的安全和防护状态进行年度评估，并于每年1月31日前提交上一年度的评估报告。

危险废物环境管理制度：明确专人管理危险废物，建立危险废物台账，如实记载产生危险废物的种类、数量、利用、贮存、处置、流向等信息，并定期委托有资质的单位处理处置。

12.3 辐射监测

12.3.1 辐射监测仪器

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

公司为每组探伤工作人员配备1台便携式X- γ 剂量率仪，3台个人剂量报警仪，方能满足辐射监测的要求。为探伤室固定探伤工作人员配1台便携式X- γ 剂量率仪，2台个人剂量

报警仪。探伤室及源库各设有 1 个固定式剂量率监测报警探头。

12.3.2 个人剂量监测

建设单位应保证每名辐射工作人员均配备个人剂量计。加强监测管理，保证每名辐射工作人员的个人剂量计每个季度送有资质部门检测一次，做到专人专戴，做到定期送检。并建立个人剂量档案终生保存。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，要进一步调查明确原因，并由当事人在情况调查报告上签字确认；当全年个人剂量超过 5mSv 时，建设单位需进行原因调查，并最终形成正式调查报告，经本人签字确认后，上报发证机关；当个人剂量出现异常时，应立即采取措施，上报发证机关，并开展调查处理。其检测报告及有关调查报告存档备查。

12.3.3 职业健康体检

根据《放射工作人员健康要求及监护规范》（GBZ98-2020），要求，本项目辐射工作人员上岗前应进行职业健康检查，在岗期间职业健康检查周期不得超过 2 年，必要时，可适当增加检查次数，离岗时 also 需进行职业健康检查，需建立职业健康监护档案并终生保存。

12.3.4 辐射环境及工作场所监测

（1）监测要求

①从事探伤作业活动的单位应配备辐射剂量率监测仪器，且仪器型号和数量要与辐射作业活动规模相符，并定期对辐射监测仪表进行校验或刻度比对。

②从事移动探伤作业活动的单位应制定与作业活动相适应的自我监测方案并认真实施，确定警戒边界，并做好监测记录。自我监测记录应包括以下内容：

- A 出、入库前含源容器表面剂量监测记录；
- B 作业活动前后含源容器表面剂量监测记录；
- C 作业活动控制区、监督区边界巡测监测记录；
- D 作业活动期间工作位监测记录。

③从事探伤作业活动的单位应每年（不足 1 年的按 1 年算）委托有资质的单位根据作业活动特点对作业场所及周围环境至少进行 1 次辐射监测。该辐射环境监测报告将作为单位年度辐射安全评估报告的重要组成部分。

（2）监测计划

- ①监测因子：周围剂量当量率；
- ②监测布点及数据管理：监测布点应与验收监测布点一致，监测数据应记录完善，并将

数据实时汇总，建立好监测数据台账以便核查；

(3) 监测范围和监测频度：

表 12-1 本项目监测范围及频次统计表

场所	监测项目	监测范围	监测频次
探伤室	周围剂量当量率	探伤室四周墙体外 30cm、操作间操作位、防护门外及缝隙 30cm 处、电缆及排风管穿墙孔洞处、顶棚 30cm 处	日常监测建议 1 次/月，年度监测 1 年一次，委托有资质单位开展
源库	周围剂量当量率	源库四周墙体及顶棚外 30cm、防护门外及缝隙 30cm 处、排风管穿墙孔洞处、探伤机出入库探伤机表面	日常监测建议 1 次/月，年度监测 1 年一次，委托有资质单位开展
探伤现场	周围剂量当量率	γ 射线探伤机表面 1m 处	出源前和回源后
		探伤现场控制区和监督区边界	出源过程及探伤过程中
		操作工位	停止作业时报和探伤作业过程中

(4) 监测设备：便携式辐射监测仪；

(5) 监测质量保证：

①制定监测仪表使用、校验管理制度，并利用有资质的监测部门的监测数据与建设单位监测仪器的监测数据进行比对，建立监测仪器比对档案；

②制定辐射环境监测管理制度；

③监测采用国家颁布的标准方法或推荐方法。

12.4 年度安全状况评估

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中第十二条规定，公司应对本单位的放射源和射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年1月31日前向原发证机关提交上一年度的评估报告。安全和防护状况年度评估报告应当包括下列内容：

- (一) 辐射安全和防护设施的运行与维护情况；
- (二) 辐射安全和防护制度及措施的制定与落实情况；
- (三) 辐射工作人员变动及接受辐射安全和防护知识教育培训情况；
- (四) 放射性同位素进出口、转让或者送贮情况以及放射性同位素和射线装置台账；
- (五) 场所辐射环境监测和个人剂量监测情况及监测数据；
- (六) 辐射事故及应急响应情况；
- (七) 核技术利用项目新建、改建、扩建和退役情况；
- (八) 存在的安全隐患及其整改情况；
- (九) 其他有关法律、法规规定的落实情况。

年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

12.5 竣工环境保护验收

本次评价项目竣工后，建设单位应根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4号）对配套建设的环境保护设施进行验收，建设单位应如实查验、监测、记载建设项目环境保护设施的建设和调试情况，自行或委托有能力的技术机构编制验收报告，报告编制完成5个工作日内，建设单位应公开验收报告，公示的期限不得少于20个工作日。建设单位在提出验收意见的过程中，可组织由设计单位、施工单位、环境影响报告表编制机构、验收监测（调查）报告编制机构等单位代表以及专业技术专家等成立的验收工作组，采取现场检查、资料查阅、召开验收会议等方式开展验收工作。建设项目配套建设的环境保护设施经验收合格后，其主体工程方可投入生产或者使用；未经验收或者验收不合格的，不得投入生产或者使用。

12.6 辐射事故应急预案

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十一条的规定，辐射事故应急预案主要内容应包括：

- （1）应急机构和职责分工（具体人员和联系电话）。
- （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）生态环境、卫生和公安部门的联系部门和电话。
- （6）编写事故总结报告，上报生态环境部门归档。

为了加强对辐射装置安全管理，确保仪器设备的安全应用，保障公众健康，保护环境，建设单位拟按要求制定完善的辐射事故应急预案，该预案应包括：应急组织机构、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、应急演练计划等内容。

一旦发生辐射事故，应立即启动应急预案，采取必要的防范措施，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，由辐射事故领导小组按程序上报当地生态环境主管部门，反应放射源丢失、被盗的情况同时上报公安部门，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，并及时组织专业技术人员排除事故，配合各相关部门做好辐射事故调查工作。辐射事故应急应纳入本单位安全生产事故应急管理体系，定期组织演练。建设单位做

好与从事活动相匹配的辐射事故应急物资（装备）的准备，如放射源屏蔽材料或容器，放射源应急处理工具（如长柄夹具等）。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

中国核工业第五建设有限公司三门核电项目部承担浙江三门核电厂核岛的安装工程，因三门核电厂建设需要，拟在三门核电厂内配套开展 X、 γ 射线室内固定探伤和现场移动探伤，计划配备 16 台 γ 射线探伤机（其中 ^{192}Ir 源 γ 射线探伤机 12 台，含 12 枚 ^{192}Ir 放射源，出厂活度 $3.70 \times 10^{12}\text{Bq}$ ，II 类源； ^{75}Se 源 γ 射线探伤机 4 台，含 4 枚 ^{75}Se 放射源，出厂活度 $3.70 \times 10^{12}\text{Bq}$ ，II 类源）及 14 台 X 射线探伤机（其中 350kV/5mA X 射线探伤机 4 台，300kV/5mA X 射线探伤机 2 台，250kV/5mA X 射线探伤机 2 台，200kV/5mA X 射线探伤机 2 台，160kV/5mA X 射线探伤机 2 台）。探伤室依托中核五公司原有探伤室，探伤室位于三门核电厂区内周转场地一东侧，探伤室内尺寸长 10.3m \times 宽 4.3m \times 净高 4.05m，四侧墙体为 850mm 混凝土，顶棚为 450mm 混凝土，工件门采用 75mm 铅板屏蔽，工作人员出入门采用 50mm 厚铅板屏蔽，设有迷道。室内探伤每次仅使用 1 台 X 射线探伤机或 1 台 γ 射线探伤机。现场移动探伤主要位于三门核电厂核岛建设区域、BOP 子项辅助用房内和 CV（反应堆钢制安全壳）拼装场地。本项目不新建放射源库，放射源非工作状态贮存于已有源库。

13.1.2 辐射安全与防护分析结论

本项目探伤室四周墙体为 850mm 混凝土，顶棚为 450mm 混凝土；工件门铅板厚度为 75mm，工作人员出入门铅板厚度为 50mm；电缆管道采用地下 U 型管道，不破坏探伤室的整体屏蔽效果，通风管直穿探伤室顶棚，并做屏蔽补偿。探伤室内设有门机联锁、工作状态指示灯、急停按钮、电离辐射警告标志、视频监控、固定式剂量率报警装置等；源库为混凝土结构，墙体为 400mm 混凝土（东侧与探伤室共用），源库内设有红外报警、固定式剂量率报警装置和视频监控装置，并设双人双锁管理。根据理论预测可知，本项目探伤室和源库的辐射防护设计能满足辐射防护要求；电缆管道、通风管道的设置合理可行，辐射防护措施满足当前的管理要求。

本项目移动探伤均按要求划分控制区和监督区，针对探伤装置的固有安全属性、储存、运输、移动探伤等环节均采取相应的辐射安全和防护措施，并配套足够数量的防护用品和检测仪器。X 射线移动探伤与 γ 射线移动探伤的辐射安全防护措施见本报告表 10，符合《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的相关要求。

13.1.3 环境影响分析结论

(1) X、 γ 射线室内固定探伤：通过理论计算可知，探伤室四侧墙体、防护门、顶棚屏蔽厚度均能够满足辐射防护要求，从事辐射操作的工作人员和公众成员接受额外的辐射照射满足相应的管理限值，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求和项目剂量约束值要求。

(2) X、 γ 射线移动探伤：本项目 ^{192}Ir - γ 射线探伤机移动探伤时的控制区距离为176m、监督区距离为409m； ^{75}Se - γ 射线探伤机移动探伤时的控制区距离为99m、监督区距离为243m。本项目X射线机移动探伤时的有用线束方向控制区最大距离为94m，监督区最大距离为229m，非有用线束方向控制区最大距离为41m，监督区最大距离为99m。

在进行X、 γ 射线移动探伤作业时，应采用巡测的方式进行控制区及监督区的严格划分。

(3) 非放射性废气影响分析：开展室内探伤时产生的少量的臭氧和氮氧化物通过机械排风排入室外，氧在短时间内会自动分解为氧气，对大气环境基本没有影响；开展室外探伤时现场良好通风条件下，臭氧和氮氧化物可很快弥散在大气环境中。

(4) 非放射性固废影响分析：洗片过程产生的废显（定）影液和废胶片（危废代码：HW16：900-019-16），收集后暂存在三门核电厂区内临时危化品库内，定期委托有资质单位进行处理，对周围环境影响较小。

13.1.4 可行性分析结论

(1) 产业政策符合性

结合国家发展和改革委员会第29号令《产业结构调整指导目录（2019年本）》及国家发展和改革委员会第49号令《关于修改〈产业结构调整指导目录（2019年本）〉的决定》，本项目不属于其限制类和淘汰类项目，符合国家产业政策的要求。

(2) 实践正当性分析结论

本项目在运行期间将会产生电离辐射，有可能会增加项目周围的辐射水平，但采取各种辐射防护屏蔽措施、安全措施和管理措施后可得到有效地控制。本项目的建设将满足浙江三门核电厂核岛安装工程的需要，创造更大的经济效益和社会效益，经落实辐射防护屏蔽措施、安全措施和管理措施后，带来的效益远大于可能对环境造成的影响，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践的正当性”的原则。

(3) 选址合理性分析结论

本项目探伤室及储源库评价范围50m内主要为三门核电厂厂区内，无居民点和学校等环境敏感点，周围无环境制约因素，且附近区域亦不涉及易燃易爆物质和危险化学品的存放。在

建筑墙体屏蔽、距离衰减及辐射安全管理措施的基础上，本项目对核电厂区内的非辐射工作人员及周围普通公众的辐射影响符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对公众成员“剂量限值”的要求，也符合本项目剂量约束值的要求。

因此，本项目探伤室和源库的选址基本合理可行。

（4）“三线一单”符合性分析结论

本项目位于探伤室、储源库及移动探伤作业场所均位于三门核电厂厂区内，对照《三门县“三线一单”生态环境分区管控方案》，项目所在地属“台州市三门县健跳沿海产业集聚重点管控单元（ZH33102220106）”。项目不涉及生态保护红线，符合环境质量底线、资源利用上线要求，同时符合《三门县“三线一单”生态环境分区管控方案》的要求。

综上所述，中国核工业第五建设有限公司三门核电项目部工业 X、 γ 射线固定式探伤及移动式探伤项目符合“三线一单”的要求，项目选址基本合理，符合国家产业政策和实践正当性的原则。在落实本报告提出的各项污染防治措施和辐射环境管理要求后，企业将具备相应从事的辐射活动的技术能力，本项目投入运行时对周围环境的影响均能符合辐射环境保护的要求。故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设和运行是可行的。

13.2 建议和承诺

（1）三门项目部承诺将根据本评价报告和生态环境主管部门的要求落实相应的污染防治措施和管理要求。

（2）环评报批并建成后，公司应及时向生态环境主管部门申领辐射安全许可证。

（3）建设项目竣工后，按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》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。

（4）探伤工作人员正式工作前应取得符合 GB/T 9445 要求的无损探伤人员资格。

表 14 审批

下一级生态环境部门预审意见：

公章

经办人年月日

审批意见：

公章

经办人年月日