

## 目录

表 1	项目基本情况 .....	1
表 2	放射源 .....	11
表 3	非密封放射性物质 .....	11
表 4	射线装置 .....	12
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物） .....	13
表 6	评价依据 .....	14
表 7	保护目标与评价标准 .....	16
表 8	环境质量和辐射现状 .....	26
表 9	项目工程分析与源项 .....	27
表 10	辐射安全与防护 .....	42
表 11	环境影响分析 .....	53
表 12	辐射安全管理 .....	65
表 13	结论与建议 .....	75

### 附图 附件

附图 1 地理位置示意图

附件 1 委托书

附件 2 道路运输经营许可证

附件 3 辐射安全许可证

附件 4 放射性同位素测井项目已履行环评手续

附件 5 现场处置应急预案汇编

附件 6 放射工作人员培训体检个人剂量报告

附件 7 油田压裂示踪应急预案

附件 8 已开展的放射性核素示踪测井现场辐射剂量率监测报告

附件 9 放射源运输监测报告单

附件 10 全资公司证明

附件 11 示踪砂鉴定书

**表 1 项目基本情况**

建设项目名称		北京国原新技术有限公司克拉玛依放射性同位素示踪测井项目			
建设单位		北京国原新技术有限公司			
法人代表		联系人		电话	
注册地址		北京市房山区新镇北区20号324室			
项目建设地点		新疆维吾尔自治区克拉玛依市白碱滩区			
立项审批部门		/	批准文号	/	
建设项目总投资 (万元)		200	环保投资 (万元)	1.2	投资比例 0.6%
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它		占地面积 (m <sup>2</sup> )	/
应用 类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类(医疗使用) <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
	非密封 放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input checked="" type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
	其他	<input checked="" type="checkbox"/> 在野外进行放射性同位素示踪试验			
<p><b>一、项目概述</b></p> <p><b>1、建设单位简介</b></p> <p>北京国原新技术有限公司是中国原子能科学研究院全资子公司（全资公司证明见附件3），成立于1993年，为充分发挥公司在市场经营方面的活力及原子能院对产业发展的“十三五”规划，重新赋予了公司新的发展使命，即积极做好优势产业的产品化和市场化。</p> <p>中国原子能科学研究院创建于1950年，是我国核科学技术的发祥地和基础性、综合性核科研基地，获得我国核工业“摇篮”的美誉。经过六十多年来的发展，成为我国先导性、基础性、前瞻性的综合性核科研基地。北京国原新技术有限公司依托原子能院形成了具有自主知识产权的专利技术，在国内放射性废物整备，核设施整体退役、辐射安全培训，环保验收、核医学整体解决方案等方面具有领先优势。产业化后公司将继续强</p>					

化管理，完善各项制度，重视辐射安全，不断提高技术能力，为核技术应用的发展做出贡献。公司队伍由博士、硕士、学士、大国工匠等高级知识分子梯度组合，且大部分技术人员有工程师及高级工程师职称。

公司多年来以良好的商业信誉，并本着“科技先行、诚信为本、服务至上”的原则，与全国各地的用户建立了多方位的业务关系，赢得了广泛赞誉。客户群体包括：国企、科研院所、公司、民营企业等。

## 2、项目由来

油田水力压裂技术是提高低渗油田产量的重要手段，其原理是利用地面高压泵组，将一定粘稠度的液体以大大超过地层吸收能力的排量注入油井井底，在井底憋起超高压，当此压力大于井底附近的示踪砂和地层岩石抗张强度时，地层破裂并产生裂缝。然后改为向井底以高压注入带有支撑剂的携砂液，使之前产生的裂缝向前延伸并在裂缝中充填携砂液携带的支撑剂，裂缝达到要求后，地面高压泵组停泵，停泵后裂缝在地层闭合应力作用下将支撑剂压紧，从而在井底附近地层内形成具有一定几何尺寸和导流能力的填砂裂缝，使油井达到增产的目的。

油田水力压裂技术可以提高注采速度，压裂的效果直接决定后期油田的采收率。通常，一次水力压裂所需施工费用从几十万到几百万不等，成本十分昂贵，如果施工效果没有达到设计要求，将会对油井后续开发带来巨大影响，产生巨大经济损失。因此，中国石油公司要求对所开展水力压裂的油井开展压裂效果评价工作。目前对于压裂效果评价测试技术主要包括井壁崩落法、地面电位法、井下微地震波法、测斜仪系统、压裂示踪技术等，其中以压裂示踪技术的结果最为准确、直观，目前国内仅有中国原子能科学研究院具有压裂示踪技术。

为准确评价油田水力压裂效果，克拉玛依油田公司决定委托北京国原新技术有限公司开展克拉玛依油田压裂示踪测井工作。接受委托后，北京国原新技术有限公司拟使用 $^{46}\text{Sc}$ （钐-46）、 $^{85}\text{Sr}$ （锶-85）、 $^{124}\text{Sb}$ （锑-124）、 $^{160}\text{Tb}$ （铽-160）和 $^{192}\text{Ir}$ （铱-192）五种放射性同位素在克拉玛依市白碱滩区进行压裂示踪测井，开展北京国原新技术有限公司克拉玛依放射性同位素示踪测井项目。

根据《中华人民共和国环境影响评价法》（2018年修订）、《建设项目环境保护管理条例》（国务院令 第682号）以及《中华人民共和国放射性污染防治法》，北京国原新技术有限公司克拉玛依放射性同位素示踪测井项目应进行环境影响评价；根据《建设

项目环境影响评价分类管理名录》（2021年版）中“五十五、核与辐射”、“172、核技术利用建设项目”中“……乙、丙级非密封放射性物质工作场所（医疗机构使用植入治疗用放射性粒子源的除外）；在野外进行放射性同位素示踪试验的……”，应编制环境影响报告表。

本项目使用放射性同位素  $^{46}\text{Sc}$ 、 $^{85}\text{Sr}$ 、 $^{124}\text{Sb}$ 、 $^{160}\text{Tb}$  和  $^{192}\text{Ir}$  进行示踪测井作业（可能会用到一种或多种放射性同位素），日等效最大操作量为  $5.55 \times 10^6 \text{Bq}$ ，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于非密封源工作场所分级标准，本项目测井现场属丙级非密封放射性物质工作场所，应编制环境影响报告表。

根据生态环境部《关于放射性同位素示踪测井有关问题的复函》（环办法规函〔2018〕1253号）：《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）第三十四条规定：“在野外进行放射性同位素示踪试验的单位，应当在每次试验前编制环境影响报告表，并经试验所在地省级环境保护主管部门商同级有关部门审查批准后方可进行。”放射性同位素示踪测井属于“在野外进行放射性同位素示踪试验”的一种形式。开展放射性同位素示踪测井活动前，应依法履行环境影响评价审批手续。需开展多次有计划的野外示踪试验的，其环境影响评价报告表可在试验前，对同一地质条件环境作一次总体评价，并报送审批。

本项目放射性同位素压裂示踪测井位于克拉玛依市白碱滩区，区域构造位于准噶尔盆地西北缘克-乌断裂上盘九五区，是一个四面受断层切割的独立断块。本项目压裂示踪测井现场均为远离公众的空旷野外地区，且压裂测试均处于该区域1500m地层以下，总体是对同一油藏地质层位进行测试，因此本次作一次总体评价。

北京国原新技术有限公司于2023年7月4日委托乌鲁木齐星辰汇峰环保科技有限公司对其放射性同位素压裂示踪测井项目进行环境影响评价（委托书见附件1）。接受委托后，乌鲁木齐星辰汇峰环保科技有限公司立即组织有关技术人员开展了收集、查阅资料等工作，按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）的基本要求，编制了《北京国原新技术有限公司克拉玛依放射性同位素示踪测井项目环境影响报告表》。

## 二、建设项目概况

### 1、项目名称及位置

(1) 项目名称：北京国原新技术有限公司克拉玛依放射性同位素示踪测井项目

(2) 项目场所位置：本次放射性同位素示踪测井位于新疆维吾尔自治区克拉玛依市白碱滩区，油井井场一般都比较分散，分布范围较广，多处于偏远地区。本项目放射性测井工作在油田压裂井口所在井场已征用土地范围内开展，不新增占地。

## 2、项目简介

北京国原新技术有限公司拟在新疆维吾尔自治区克拉玛依市白碱滩区开展放射性同位素  $^{46}\text{Sc}$ 、 $^{85}\text{Sr}$ 、 $^{124}\text{Sb}$ 、 $^{160}\text{Tb}$ 、 $^{192}\text{Ir}$  示踪测井活动，日最大测井工作量为 1 口，年最大工作量不超过 10 口。本项目每口井可能会用到一种或多种放射性同位素，使用的  $^{46}\text{Sc}$ 、 $^{85}\text{Sr}$ 、 $^{124}\text{Sb}$ 、 $^{160}\text{Tb}$ 、 $^{192}\text{Ir}$  放射性同位素示踪剂是一种高强度的固体陶粒（以下简称“示踪砂”），该示踪砂均存储于铝筒中，单个铝筒内仅存放一种放射性同位素，活度最大为 30mCi（即  $1.11 \times 10^9 \text{Bq}$ ）。经计算，本项目放射性同位素  $^{46}\text{Sc}$ 、 $^{85}\text{Sr}$ 、 $^{124}\text{Sb}$ 、 $^{160}\text{Tb}$ 、 $^{192}\text{Ir}$  日等效最大操作量为  $5.55 \times 10^6 \text{Bq}$ ，年最大用量为  $5.55 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），本项目测井现场属于丙级非密封放射性物质工作场所。

本项目使用的放射性同位素示踪砂由中国原子能科学研究院现有 49-2 堆进行生产，并在中国原子能科学研究院进行分装，放射性同位素的生产、分装工作不在本次评价范围内；本项目使用的放射性同位素示踪砂的运输由中国原子能科学研究院运输部门负责，该部门具有北京市交通委员会颁发的道路运输经营许可证（许可经营范围中含有放射性物品的运输，详见附件 2），运输过程辐射影响由该部门负责，本次不再进行评价，本次评价仅针对运输过程的辐射安全防护措施提出要求。

综上所述，本次评价主要仅针对测井现场进行的放射性同位素示踪试验，对放射性同位素的运输过程仅提出辐射安全防护措施要求，放射性同位素的生产、分装工作不在本次评价范围内。

## 3、建设内容及规模

### (1) 非密封放射性物质使用情况

本项目计划将定量示踪砂由释放器逐步加入油田压裂使用的携砂液中，并随压裂携砂液一并注入压裂井中（注入深度位于距地面 1500~3000m 的地层层段）。本项目日最大测井数量为 1 口，年最大工作量不超过 10 口。每口井可使用一种或多种放射性同位素，每种放射性同位素每口井最小操作量为  $1.11 \times 10^8 \text{Bq}$ （3mCi）、最大操作量为  $1.11 \times 10^9 \text{Bq}$ （30mCi）。因此，本项目每口井放射性同位素最小操作量为使用 1 种放射性

同位素时，即  $1.11 \times 10^8 \text{Bq}$ ；每口井使用放射性同位素最大操作量为使用 5 种放射性同位素时，即  $5.55 \times 10^9 \text{Bq}$  ( $^{46}\text{Sc}$ :  $1.11 \times 10^9 \text{Bq}$ 、 $^{85}\text{Sr}$ :  $1.11 \times 10^9 \text{Bq}$ 、 $^{124}\text{Sb}$ :  $1.11 \times 10^9 \text{Bq}$ 、 $^{160}\text{Tb}$ :  $1.11 \times 10^9 \text{Bq}$ 、 $^{192}\text{Ir}$ :  $1.11 \times 10^9 \text{Bq}$ )。

本项目所使用的非密封放射性物质的使用情况见表 1-1。

表 1-1 拟使用的非密封放射性物质

工作场所名称	核素	毒性组别	操作方式	单口井最大使用量 (mCi)	日最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)
非固定场所	$^{46}\text{Sc}$	中毒	很简单的操作	30	$5.55 \times 10^9$	$5.55 \times 10^{10}$
	$^{85}\text{Sr}$	中毒	很简单的操作	30		
	$^{124}\text{Sb}$	中毒	很简单的操作	30		
	$^{160}\text{Tb}$	中毒	很简单的操作	30		
	$^{192}\text{Ir}$	中毒	很简单的操作	30		
备注：本次使用核素的半衰期较长，本次评价实际操作量与计划量一致						

(2) 非密封源工作场所的分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)，非密封源工作场所按操作的放射性核素日等效最大操作量可分为甲、乙、丙级。具体见表 1-2。

表 1-2 非密封源工作场所的分级

级 别	日等效最大操作量/Bq
甲	$>4 \times 10^9$
乙	$2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9$
丙	豁免活度值以上 $\sim 2 \times 10^7$

放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量 (Bq) 与该核素毒性因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。放射性核素的毒性组别修正因子及操作方式有关的修正因子见表 1-3 和表 1-4。

表 1-3 放射性核素毒性组别修正因子

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

表 1-4 操作方式与放射源状态修正因子

操作方式	放射源状态			
	表面污染水平较低的固体	液体，溶液，悬浮液	表面有污染的固体	气体，蒸汽，粉末，压力很高的液体、固体
源的贮存	1000	100	10	1

很简单的操作	100	10	1	0.1
简单操作	10	1	0.1	0.01
特别危险的操作	1	0.1	0.01	0.001

该非密封源的工作场所等级计算结果见表 1-5。日等效操作量计算公式如下：

$$\text{日等效操作量} = \frac{\text{实际日操作量} \times \text{核素毒性因子}}{\text{操作方式的修正因子}}$$

**表 1-5 放射性同位素日等效操作量及工作场所分级**

核素毒性组别	中毒	中毒	中毒	中毒	中毒
核素名称	<sup>46</sup> Sc	<sup>85</sup> Sr	<sup>124</sup> Sb	<sup>160</sup> Tb	<sup>192</sup> Ir
毒性修正因子	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
操作方式修正因子	表面污染水平较低的固体，很简单的操作（100）	表面污染水平较低的固体，很简单的操作（100）	表面污染水平较低的固体，很简单的操作（100）	表面污染水平较低的固体，很简单的操作（100）	表面污染水平较低的固体，很简单的操作（100）
日等效操作量计算过程	5.55×10 <sup>9</sup> ×0.1/100				
日等效操作量（Bq）	5.55×10 <sup>6</sup>				
工作场所等级	丙级				

本项目单口井使用的最小核素量为 1.11×10<sup>8</sup>Bq，高于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）表 A1 豁免活度值（<sup>192</sup>Ir 为 1×10<sup>4</sup>Bq，<sup>46</sup>Sc、<sup>85</sup>Sr、<sup>124</sup>Sb、<sup>160</sup>Tb 均为 1×10<sup>6</sup>Bq），根据表 1-5 计算结果，本项目放射性同位素合计日等效最大操作量为 5.55×10<sup>6</sup>Bq，按非密封源工作场所分级标准判别为：丙级非密封放射性物质工作场所。

#### 4、人员配备情况

为降低测井工作过程中对工作人员辐射影响，北京国原新技术有限公司拟针对克拉玛依放射性同位素测井工作组建 1 支新的测井队，测井队有队员 6 名（包括 1 名队长、1 名安全员、4 名操作人员），测井队队员均为新增人员，职责分工如下：

队长：全面负责项目的实施工作。

安全员：负责现场安全方案制定、监督现场施工人员的安全防护、施工过程中剂量的监测、施工前后对人员环境和物品的沾污监测。

操作人员：负责示踪砂注入及测井仪的操作工作。

技术员（由操作人员兼任）：负责实施方案的制定、实施过程中与甲方的对接工作、施工指挥、报告编写及验收。

值守人员（由操作人员兼任）：在示踪砂运抵施工现场后，负责对示踪砂的值守工作。

### 三、产业政策符合性分析

本项目利用放射性同位素进行压裂放射性示踪测试，系核技术在工业领域内的运用，属《产业结构调整指导目录（2024年本）》中规定的鼓励类第六项“核能”中第4条“核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发”。因此，本项目符合国家有关的产业政策。

### 四、实践正当性

北京国原新技术有限公司拟在新疆维吾尔自治区克拉玛依市白碱滩区开展放射性同位素<sup>46</sup>Sc、<sup>85</sup>Sr、<sup>124</sup>Sb、<sup>160</sup>Tb、<sup>192</sup>Ir测井，主要用于压裂作业后的压裂效果的评价工作，诊断压裂裂缝宽度、确定水泥环窜槽、识别裂缝，为压裂测试提供更加先进、准确的检测技术，具有明显的社会效益；同时利于后期提高油气田采收率，增加油气产量，可以创造更大的经济效益。项目运行中，在落实相应辐射防护制度与措施前提下，项目对社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害。项目拟采取的辐射安全与防护措施符合要求，对环境的辐射影响在可接受范围内，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践的正当性”原则。

### 五、现有核与辐射项目情况

#### 1、现有辐射安全许可证

2023年11月28日，北京国原新技术有限公司取得了生态环境部重新颁发的辐射安全许可证（国环辐证〔00511〕），见附件3，有效期至2026年11月30日；许可范围为：使用Ⅰ类、Ⅱ类放射源；使用非密封放射性物质，丙级非密封放射性物质工作场所（具体范围详见副本），辐射安全许可证有效期至2026年03月31日。

辐射安全许可证中与本项目相关的内容明细见表1-6。

表 1-6 北京国原新技术有限公司辐射安全许可证中与本项目相关的内容明细

(二) 非密封放射性物质						
序号	工作场所名称	场所等级	核素	日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	活动种类
1	野外非固定工作场所（国内各油田放射性同位素压裂示踪测井项	丙级	<sup>46</sup> Sc	1.11×10 <sup>9</sup>	1.11×10 <sup>6</sup>	使用
2			<sup>85</sup> Sr	1.11×10 <sup>9</sup>	1.11×10 <sup>6</sup>	
3			<sup>124</sup> Sb	1.11×10 <sup>9</sup>	1.11×10 <sup>6</sup>	
4			<sup>160</sup> Tb	1.11×10 <sup>9</sup>	1.11×10 <sup>6</sup>	



5	目场所)		$^{192}\text{Ir}$	$1.11 \times 10^9$	$1.11 \times 10^6$	
---	------	--	-------------------	--------------------	--------------------	--

由表 1-6 可知，许可的非密封放射性物质包含本项目使用的全部核素： $^{46}\text{Sc}$ 、 $^{85}\text{Sr}$ 、 $^{124}\text{Sb}$ 、 $^{160}\text{Tb}$ 、 $^{192}\text{Ir}$ 。

## 2、放射性同位素示踪测井环保手续办理情况

中国原子能科学研究所的压裂示踪技术较为成熟，目前已陆续准备在黑龙江省、吉林省、四川省、重庆市等省份开展非密封放射性同位素测井工作，其使用的放射性同位素、测井实施方式与本项目均一致，其环保手续履行情况见表 1-7，环保手续见附件 4。

表 1-7 放射性同位素测井项目环保手续情况一览表

序号	日期	批准文号	项目名称	建设地点及内容
1	2019.5.22	黑环审 (2019)33 号	中国原子能科学研究所 非密封放射性同位素示 踪测井核技术利用项目	建设地点：黑龙江省大庆市 建设内容：使用 $^{124}\text{Sb}$ 、 $^{46}\text{Sc}$ 、 $^{192}\text{Ir}$ 放 射性同位素示踪剂进行测井作业
2	2021.8.9	松环审辐字 (2021)004 号	中国原子能科学研究所 油田压裂放射性同位素 示踪项目	建设地点：吉林省松原市 建设内容：使用 $^{46}\text{Sc}$ 、 $^{85}\text{Sr}$ 、 $^{124}\text{Sb}$ 、 $^{160}\text{Tb}$ 、 $^{192}\text{Ir}$ 放射性同位素示踪剂进 行测井作业
3	2022.12.9	川环审批 (2022)151 号	中国原子能科学研究所 四川放射性同位素压裂 示踪测井项目	建设地点：四川省成都市、广安市 建设内容：使用 $^{46}\text{Sc}$ 、 $^{85}\text{Sr}$ 、 $^{124}\text{Sb}$ 、 $^{160}\text{Tb}$ 、 $^{192}\text{Ir}$ 放射性同位素示踪剂进 行测井作业
4	2023.4.23	渝(辐)环准 (2023)25 号	中国原子能科学研究所 重庆放射性同位素示踪 测井项目	建设地点：重庆市合川区、潼南区 建设内容：使用 $^{46}\text{Sc}$ 、 $^{85}\text{Sr}$ 、 $^{124}\text{Sb}$ 、 $^{160}\text{Tb}$ 、 $^{192}\text{Ir}$ 放射性同位素示踪剂进 行测井作业

注：以上测井示踪项目目前未正式开展，示踪测井工作未完成，未进行竣工环保验收。

## 3、辐射安全管理依托可行性分析

### (1) 辐射防护管理组织

北京国原新技术有限公司已成立辐射安全与环境保护管理机构，辐射安全与环境保护管理机构职责为：组织制定辐射安全相关管理规章制度并监督检查各单位辐射安全规章制度建设和执行情况；监督检查北京国原新技术有限公司的辐射工作场所与放射性同位素贮存场所等安全管理情况。本项目依托北京国原新技术有限公司的辐射安全与环境保护管理机构开展辐射防护管理工作。

### (2) 辐射安全管理制度

北京国原新技术有限公司已制定了《辐射防护大纲》、《重大危险源安全管理程

序》、《辐射环境监测大纲》、《个人剂量监测管理程序》、《辐射监测质量控制程序》、《放射性废物管理大纲》、《放射性物品运输安全管理程序》、《应急预案、执行程序管理与控制》、《现场处置应急预案汇编》等规章制度，对放射源、射线装置、非密封放射性物质工作场所进行全面的监督管理。本项目可依托北京国原新技术有限公司的辐射安全管理制度。辐射安全管理相关制度见附件 5。

### (3) 放射工作人员管理制度

北京国原新技术有限公司的辐射工作人员均参加了辐射安全与防护培训考核并取得了合格证书；北京国原新技术有限公司为辐射工作人员均配备了铅衣、手套、个人剂量报警仪等个人防护用品；辐射工作人员均进行了个人剂量监测和职业健康检查，并已建立相应的个人剂量档案和职业健康监护档案。本项目可依托北京国原新技术有限公司院的放射工作人员管理制度。放射工作人员培训体检个人剂量报告见附件 6。

综上，本项目依托北京国原新技术有限公司的辐射安全管理依托可行。

## 六、生产、分装及运输依托可行性分析

本项目所需的非密封放射性物质的生产、分装在中国原子能科学研究所内进行。2023 年 2 月 7 日，中国原子能科学研究所取得了生态环境部重新颁发的辐射安全许可证（国环辐证〔00001〕），有效期至 2026 年 11 月 30 日，许可活动种类范围中含有“生产、销售、使用非密封放射性物质，甲级、乙级、丙级非密封放射性物质工作场所”，中国原子能科学研究所具备  $^{46}\text{Sc}$ 、 $^{85}\text{Sr}$ 、 $^{124}\text{Sb}$ 、 $^{160}\text{Tb}$  和  $^{192}\text{Ir}$  的生产、分装条件和暂存能力。

本项目非密封放射性物质的运输由院内运输部门负责，中国原子能科学研究所已于 2022 年 4 月 28 日取得北京市交通委员会颁发的道路运输经营许可证，京交运管许可货字 110111011124，有效期至 2026 年 4 月 27 日，许可经营范围中含有放射性物品的运输，中国原子能科学研究所具备运输放射性物品的能力。根据附件 9 放射性物品运输货包辐射水平及表面污染监测报告单，放射性物品运输过程中的防护达标，放射性物品的辐射水平和表面污染符合《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）要求。

综上，本项目使用的放射性同位素的生产、分装及运输依托可行。

## 七、评价目的

对该项目整个放射性同位素测井过程中的辐射环境影响进行分析，对周围环境可能

产生的不利影响和存在的问题提出对应的辐射防护措施，确保测井过程中的辐射活动满足国家标准规定，并且达到“合理可行尽量低”的水平。

#### **八、项目周边保护目标以及场址选址等情况**

本项目放射性同位素压裂示踪测井位于克拉玛依油田井区内，油井井场一般都比较分散，分布范围较广，项目周边无学校、居住区等人员集聚区域。环境保护目标主要为北京国原新技术有限公司从事放射性测井作业的辐射工作人员、测井现场周围活动的其他公众人员本项目为流动式作业，不在某一场所长期作业，不存在选址分析。项目所涉及的地理位置见附图 1。

表 2 放射源

序号	核素名称	活度 (Bq) ×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式及地点	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

注: 密封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	贮存方式及地点
1	<sup>46</sup> Sc	固态	使用	5.55×10 <sup>9</sup>	5.55×10 <sup>6</sup>	1.11×10 <sup>10</sup>	示踪测井	很简单的操作	油井井场	贮存于转移铅罐中的铝筒内, 位于测井现场的运输车辆中
2	<sup>85</sup> Sr	固态	使用			1.11×10 <sup>10</sup>	示踪测井	很简单的操作	油井井场	
3	<sup>124</sup> Sb	固态	使用			1.11×10 <sup>10</sup>	示踪测井	很简单的操作	油井井场	
4	<sup>160</sup> Tb	固态	使用			1.11×10 <sup>10</sup>	示踪测井	很简单的操作	油井井场	
5	<sup>192</sup> Ir	固态	使用			1.11×10 <sup>10</sup>	示踪测井	很简单的操作	油井井场	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析仪等用途

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
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(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 (mA)	中子强度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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
操作过程中产生的手套、口罩、棉纱	固态	<sup>46</sup> Sc、 <sup>85</sup> Sr、 <sup>124</sup> Sb、 <sup>160</sup> Tb、 <sup>192</sup> Ir	/	/	1kg	/	/	每次测井作业完成后进行检测，检测结果不超过放射性固体废物免管水平（β表面污染小于等于0.08Bq/cm <sup>2</sup> ）的作为一般工业固体废物，依托井场现有的一般固体废物处理设施统一处置；高于免管水平的固体废物为放射性固体废物，分类收集后暂存于运输车辆上的污物回收箱中，待测井完成后运回北京国原新技术有限公司处理
反排砂	固态	<sup>46</sup> Sc、 <sup>85</sup> Sr、 <sup>124</sup> Sb、 <sup>160</sup> Tb、 <sup>192</sup> Ir	/	/	100kg	/	/	
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

2.含有放射性的废弃物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m<sup>3</sup>）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

法规文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》（修订），2015 年 1 月 1 日；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（修订），2018 年 12 月 29 日；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日；</p> <p>(4) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版）；</p> <p>(5) 《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；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（修订），2019 年 3 月 2 日；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（修订），2021 年 1 月 4 日；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环保部第 18 号令，2011 年 5 月 1 日；</p> <p>(9) 《放射性物品分类和名录》（试行），国家环境保护总局公告 2010 年第 31 号，2010 年 3 月 4 日；</p> <p>(10) 《关于发布&lt;放射性废物分类&gt;的公告》（公告 2017 年 第 65 号）；</p> <p>(11) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（公告 2019 年 第 57 号）；</p> <p>(12) 《放射性物品运输安全管理条例》，国务院第 562 号令；</p> <p>(13) 《放射性物品运输安全许可管理办法》，环保部 11 号令；</p> <p>(14) 《交通运输部关于修改&lt;放射性物品道路运输管理规定&gt;的决定》（中华人民共和国交通运输部令 2016 年第 71 号）；</p> <p>(15) 《放射物品道路运输管理规定》，交通运输部令 2010 年第 6 号；</p> <p>(16) 《新疆维吾尔自治区辐射污染防治办法》，新疆维吾尔自治区人民政府令第 192 号，2015 年；</p> <p>(17) 《关于放射性同位素示踪测井有关问题的复函》（环办法规函〔2018〕1253 号）。</p>
------	--

<p>技术标准</p>	<p>(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；</p> <p>(2) 《油气田测井放射防护要求》（GBZ 118-2020）；</p> <p>(3) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）</p> <p>(4) 《放射性废物管理规定》（GB 14500-2002）；</p> <p>(5) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）；</p> <p>(6) 《石油放射性测井辐射防护安全规程》（SY 5131-2008）；</p> <p>(7) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）；</p> <p>(8) 《核技术利用设施退役》（核安全导则 HAD401/14-2021）。</p>
<p>其他</p>	<p>(1) 环境影响评价委托书；</p> <p>(2) 辐射安全许可证；</p> <p>(3) 道路运输经营许可证；</p> <p>(4) 建设单位提供的其他资料；</p> <p>(5) 《新疆维吾尔自治区环境天然放射性水平调查报告》（1989年）。</p>



**表 7 保护目标与评价标准**

**评价范围**

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）的中规定：“放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，甲级取半径 500m 的范围，乙、丙级取半径 50m 的范围”，本项目测井现场属于丙级非密封放射性物质工作场所，故确定评价范围为非密封放射性物质测井区域周围 50m 区域。

**保护目标**

本项目放射性同位素压裂示踪测井位于克拉玛依市白碱滩区的油井井场内，油井井场一般都比较分散，分布范围较广，多处于偏远地区，测井区域周围 50m 范围内无住户。

北京国原新技术有限公司计划新组建 1 个测井队，测井队有队员 6 名。环境保护目标主要为从事放射性测井作业的辐射工作人员、测井现场周围活动的其他公众人员。

本项目环境保护目标见表 7-1。

**表 7-1 主要环境保护目标一览表**

序号	保护对象	人数（人）	相对方位	距放射性同位素距离（m）	影响因子	剂量约束值（mSv/a）	影响人群
1	测井队放射性同位素操作人员	4	四周	0.5~11	电离辐射	5	辐射工作人员
2	测井队其他工作人员	2	四周	11~50		5	
3	井场工作人员	1~2	四周	11~50		0.1	公众
4	其他公众	临时路过，没有固定人群	四周	>50		0.1	

备注：井场工作人员为测井现场固定值守人员

## 评价标准

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

#### 1、标准相关内容

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）。

标准附录 B 剂量限值和表面污染控制水平：B1.1.1.1 条规定：应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv。

B1.2.1 规定：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算值不应超过下述限值：年有效剂量，1mSv。

#### B2 表面污染控制水平

B2.1 工作场所的表面污染控制水平如 B11（表 7-2）所列。

表 7-2 工作场所的放射性表面污染控制水平

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

B2.2 工作场所中的某些设备与用品，经去污使其污染水平降低到 B11（表 7-2）中所列设备的控制水平的五分之一以下时，经审管部门或审管部门授权的部门确认后，可当作普通物品使用。

#### 2、环评要求年剂量约束值及控制水平

##### (1) 年剂量约束值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 4.3.3.1 款中“可合理达到的尽量低水平”的规定，并结合本项目辐射工作人员剂量估算结果，本次分别对职业照射和公众照射的年受照剂量约束值分别进行了设定：

① 取职业照射年有效剂量限值的 1/4，作为辐射工作人员的年受照剂量约束值，即 5mSv/a；

② 取公众年有效剂量限值的 1/10，作为公众的年受照剂量约束值，即 0.1mSv/a。

## (2) 污染控制水平

本次测井现场相关设备、设施、物品（料）和相关场地地面的放射性表面污染按表 7-2 执行。

## 二、《油气田测井放射防护要求》（GBZ 118-2020）相关内容

### 4 通用要求

4.2 测井用非密封放射性物质的操作应符合 GB11930 中有关的额辐射防护原则与要求，尤其注意以下几点：

a) 在满足测井技术要求的条件下，选用毒性低、 $\gamma$ 辐射能量较低、半衰期较短的放射性核素，并尽量减少使用及贮存的活度；

b) 采用远距离操作，尽量选用机械、自动和密闭的方式操作；

c) 熟练操作技术，努力缩短操作时间；

d) 及时处理放射性污染，防止污染的扩散；

e) 尽量减少液体、固体等放射性废物的产生；

f) 加强安全防护管理，防止放射性污染事故的发生；

g) 按照 GB18871 的要求，根据油气田测井中使用放射性核素的日等效最大操作量，对非密封放射性物质测井工作场所进行分级管理。

4.3 采用新技术新方法时，应通过“模拟试验”确认切实可行，并经使用单位组织的相关专家确认操作规程后，方能正式操作。

4.4 开展油气田放射性测井的单位应根据使用的放射源、非密封放射性物质及测井中子发生器的类别配备外照射放射防护检测仪器、放射性污染检测仪器等自检设备，同时为放射工作人员佩戴相应种类的个人剂量报警仪等个人防护用品。

### 5 贮存、运输及测井现场的放射防护要求

#### 5.1 贮存、放射性实验室的放射防护要求

5.1.4 所有示踪剂都应盛放于严密盖封的容器（指直接盛放非密封放射性物质的容器，下称内容器）内，然后根据其辐射特性再放入具有一定屏蔽能力的贮存运输容器中。内容器及由厂家直接提供的含非密封放射源井下释放器应附有生产批号和放射性核素名称、化学形式、物理状态、活度与标定日期的标签及醒目的电离辐射标志的标签，并附有含上述内容的说明书。盛装放射性示踪剂的容器应选用质地坚韧不易损

坏、破裂，并具有良好密封性能的容器。释放器表面应设置醒目的电离辐射标志。

5.1.10 操作非密封放射性物质前，应做好充分准备工作，熟悉操作程序，核对放射性物质名称、出厂日期、总活度、分装活度，检查仪器设备是否正常，通风是否良好，检查实际活度是否与标示活度一致。吸取放射性溶液时，应使用吸球或虹吸装置，严禁用口吸取。工作场所要经常湿式清扫，清洁工具不应与非放射性区清洁用具混用。

5.1.15 距非密封放射性物质防护容器外表面 5cm 处的周围剂量当量率不应超过  $25\mu\text{Sv/h}$ ，100cm 处的周围剂量当量率不应超过  $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。非密封放射性物质贮存运输容器外表面及非密封放射性物质源库内地面及台面的放射性污染， $\alpha$ 放射性物质不应超过  $0.4\text{Bq/cm}^2$ ， $\beta$ 放射性物质不应超过  $4\text{Bq/cm}^2$ 。

## 5.2 运输及测井现场的放射防护要求

5.2.1 放射性核素外部运输时，其放射性包装和运输工具应符合 GB11806 的规定。运源车应配备随车放射监测仪器及随车记录，随车记录应有所运放射源编码、核素种类、出厂活度、出厂时间、装车及卸车时间、装车及卸车检测记录、运输及驻留记录等信息。

5.2.2 运源车内外由中子、 $\gamma$ 射线及韧致辐射导致的周围剂量当量率之和应不大于下表的控制值。

表 7-3 运源车内外的周围剂量当量率控制值

位置	运源车内外的周围剂量当量率控制值	
	专用运源车	兼用运源车
驾驶员座椅	$\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$	$\leq 20\mu\text{Sv/h}$
车厢外表面 30cm 处	$\leq 100\mu\text{Sv/h}$	$\leq 200\mu\text{Sv/h}$
车厢外表面 200cm 处	$\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$	$\leq 20\mu\text{Sv/h}$

兼用运源车年运送放射源时间不应超过 50h。  
当兼用运源车驾驶员的年个人剂量得到严格控制时，周围剂量当量率可以适当放宽，但不应超过其 2 倍。

5.2.5 室外操作放射源时应设置控制区，在控制区边界上设置警戒线和警告标志（或采取警告措施），防止无关人员进入边界以内的操作区域。使用刻度源对测井仪器进行刻度时，宜在源库所在地的围墙内进行，如需在场外进行刻度应设置控制区，控制区边界的周围剂量当量率不应超过  $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

5.2.7 放射性示踪测井中释放放射性示踪剂应采用井下释放方式，将装有示踪剂的

井下释放器随同测井仪一起送入井下一定深度处，由井上控制、在井下释放放射性示踪剂。采用井口释放方式时，应先将示踪剂封装于易在井内破碎或裂解的容器或包装内，施行一次性投入井口的方法：禁止使用直接向井口内倾倒示踪剂的方法。

5.2.8 释放放射性示踪剂前，应经过认真检查井口各闸门、井管压力与水流量正常，井管与套管通畅，井口丝堵与防喷盒结构严密后，按照操作规程释放示踪剂，防止含放射性示踪剂的井水由井口回喷，污染井场与环境。

5.2.9 释放器出井后应置于密封袋中，由供货厂家回收或返回实验室在专用清洗池中清洗，清洗液应作为放射性废液处理。

5.2.10 放射源及非密封放射性物质放射性测井现场应设置控制区，控制区边界应设置电离辐射警告标志及警戒线。

## **6 放射性废物的处置要求**

6.1 退役放射源、放射性液体和固体废物应按 GB 14500 的规定执行。

6.3 非密封放射性物质实验室及中子管贮存库内应设放射性污物桶，所有固体放射性废物应丢入污物桶内收集或放入贮存设施内暂存。

6.5 未用或剩余放射性示踪剂（或连同释放器）以及放射性废物应带回实验室处理。

6.6 放射性污染事故的处理原则与应急措施参照附录 A 进行。

## **7 油气田测井的放射防护检测要求**

7.2 测井用非密封放射性物质的放射防护检测要求

7.2.1 新建非密封放射性物质工作场所投入使用前应进行下列项目检测：

a) 所有放射性核素的容器及其外包装，贮存和运输设备，外照射周围剂量当量率和表面放射性污染；

b) 实验室操作前、后，工作场所外照射周围剂量当量率水平和表面污染；

c) 实验与测井操作人员工作结束离开实验室或现场时，其裸露皮肤、工作服和个人防护用品的放射性污染；

d) 源库内贮源坑（池）与贮源箱屏蔽效果，源库屏蔽墙外周围剂量当量率；

e) 运源车内、外周围剂量当量率。

7.2.2 投入使用后的检测：

对 7.2.1 中 a)、d)、e) 项应每年进行一次检测；7.2.1 中 b) 项每月进行一次检

测；7.2.1 中 c) 项每次工作完成后均应进行，发现污染应及时去污。

#### 7.4 个人剂量监测

7.4.1 个人剂量监测应按照 GBZ128 的要求进行，单纯使用 $\gamma$ 放射源的油气田测井放射工作人员可仅进行光子个人剂量计监测，对于可能使用中子源或中子发生器的油气田测井放射工作人员个人剂量计应能同时满足对 $\gamma$ 射线和中子剂量监测。

7.4.2 新型放射源、新型测井设备或测井新工艺投入测井使用前，应对测井全过程操作人员的累积剂量进行评估。

### 三、放射性固体废物免管水平及测井现场清洁解控水平

#### (1) $\beta$ 表面污染

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）B2.2，工作场所中的某些设备与用品，经去污使其污染水平降低到 B11（报告中表 7-2）中所列设备的控制水平的五分之一以下时，经审管部门或审管部门授权的部门确认同意后，可当作普通物品使用。

本项目可能存在沾污的物品主要为手套、口罩、棉纱、反排砂及测井用释放器等，本次评价按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中工作服、手套、工作鞋清洁解控标准作为本次放射性固体废物的免管标准，即 $\beta$ 表面污染小于等于  $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ ；按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中墙壁、地面监督区清洁解控标准作为本次测井现场的清洁解控标准，即 $\beta$ 表面污染小于等于  $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

#### (2)辐射剂量率

由于工业用途产生的放射性废物及场所的清洁解控水平尚无明确标准规定，本次按照《核技术利用设施退役》（核安全导则 HAD401/14-2021）的 3.3~3.5 要求：

3.3 应视情况对拟建核技术利用设施的场址及其周边区域进行本底调查识别关键放射性核素和介质，确定天然和人工放射性核素的水平。

3.4 在核技术利用设施建造期间或最晚在核技术利用设施运行前，应视情况收集并保存未活化和未污染的建造材料样本（如混凝土、钢材），以获取相关本底水平等信息。

3.5 新建核技术利用设施或在现有场址内扩建的建（构）筑物，应视情况在运行前更新本底数据，用于后续判断核技术利用设施运行是否对建（构）筑物和环境产生

不利的放射性影响。

根据以上要求，在示踪测井前做好相关监测，示踪测井后的工作场所辐射剂量率满足所处环境本底水平。

#### 四、放射性测井辐射安全与防护（HJ 1325—2023）摘录

1 适用范围本标准规定了油气田放射性测井的放射源、非密封放射性物质和中子发生器的使用、贮存和运输等活动应遵循的辐射安全与防护要求。本标准适用于油气田放射性测井活动中辐射工作人员和公众的辐射安全与防护管理。

##### 4 一般要求

4.1 在规划、设计、开展放射性测井活动的过程中，应遵循辐射实践正当性、剂量限制和潜在照射危险限制、防护与安全最优化等辐射防护要求。

4.2 对放射性测井活动中不同阶段的安全与防护措施进行最优化评价与持续改进。在满足测井技术要求的条件下，选用毒性低、辐射能量适中、半衰期短的放射性核素，并尽量减少使用及贮存的活度。

4.3 辐射工作人员和公众的辐射照射应符合 GB 18871 关于剂量限值的规定。一般情况下，职业照射的剂量约束值为 5 mSv/a；公众照射的剂量约束值为 0.1 mSv/a。

4.4 放射性测井的工作场所应划分控制区和监督区。通常，安装或拆卸测井放射源、中子发生器作业区域、校验测井仪区域、非密封放射性物质贮存、分装与作业区域（含实验室）、测井放射源及放射性废物贮存场所等划为控制区；未被划入控制区的辅助设施区和其他需要对职业照射条件进行监督和评价的区域划为监督区。

4.5 放射性测井单位应规范收集、妥善暂存和处理测井活动中产生的放射性废物，并定期送贮、做好记录。

4.6 放射性测井活动中产生的废旧放射源应送交有资质的放射性废物集中贮存单位贮存，其中 I 类、II 类、III 类废旧放射源，按有关规定优先交回生产单位或原出口方。

4.7 放射性测井单位应建立放射源、非密封放射性物质及中子发生器的台账管理制度。

4.8 放射性测井单位应根据所使用的放射源、非密封放射性物质及中子发生器的类别配备并使用必要的辐射监测仪器及防护用品。

##### 8 辐射监测

## 8.1 一般要求

8.1.1 放射性测井单位应制定辐射监测方案，并按照方案落实各项监测。

8.1.2 辐射监测记录应建档保存，测量记录包括测量对象、测量条件、测量方法、测量仪器及其编号、测量时间和测量人员等信息。

8.1.3 应及时对辐射监测结果进行评价，监测中发现异常情况应及时调查原因并报告发证机关，同时采取去污等辐射防护整改措施

## 8.2 辐射工作场所及环境监测

8.2.1 放射性测井单位应对源库、实验室工作场所及周围辐射水平进行辐射监测，监测频次每年至少一次。贮存或载运放射源的容器一般每年进行一次辐射水平监测。

8.2.2 放射性测井单位辐射工作场所及周围环境的辐射监测点位、项目和频次应包括但不限于表 2 的内容。

**表2 辐射工作场所及周围环境辐射监测主要内容**

监测点位	监测项目	监测频次
源库、实验室、临时存放库四周屏蔽体外30cm处及周围环境。源库贮源坑防护盖、贮源柜和贮源箱表面30cm处	γ周围剂量当量率、中子周围剂量当量率（如有中子源）、放射性表面污染水平（如有非密封放射性物质）	不少于1次/年
放射性测井现场辐射源贮存设施屏蔽体外、控制区边界外	γ周围剂量当量率、中子周围剂量当量率或中子计数率（如有中子源）	含源测井仪操作及存放时
放射性测井现场井口及周围环境	γ周围剂量当量率、中子周围剂量当量率或中子计数率	每次中子发生器停止运行后
非密封放射性物质测井现场井口附近的地面、井口相关设备表面、对操作人员手、皮肤及体表暴露部分及工作服、手套、鞋帽等个人防护用品	放射性表面污染水平	每次非密封放射性物质测井后
运输货包外表面5cm、车辆驾驶员座位、车辆外表面30cm处、2m处等	γ周围剂量当量率、中子周围剂量当量率（如有中子源）	启运前
中子发生器测试、刻度控制区边界外；放射性测井仪校准区域控制区边界外	中子周围剂量当量率或中子计数率（如有中子源）、γ周围剂量当量率	中子发生器测试、刻度时

## 9 应急准备和响应

9.1 放射性测井单位应制定辐射事故应急预案，定期进行人员应急培训和应急演练，保持应急响应能力。

9.2 放射性测井单位应配备以下应急物资：



- a) 应急处理工具（如长柄钳等）；
- b) 个人防护用品（如铅衣、辐射报警仪等）；
- c) 电离辐射警告标志和标识线；
- d) 应急放射源屏蔽材料或容器；
- e) 消防和通讯设施、设备。

9.3 发生含放射性同位素示踪剂的井水由井口回喷污染井场环境时，或发现放射源破损时，应对井口周围进行辐射环境监测，核实污染范围、污染状况。将受污染的物质收集储存，并按规定分类进行处理。

9.4 发生放射源落井时，应根据现场情况确定科学、合理的打捞方案，采取可行的安全打捞措施，避免放射源破裂。打捞失败时，应进行封井处理，安装永久性的识别牌（海上平台落井情况除外），识别牌包括以下内容：

- a) 电离辐射警告标志及适当的警告语；
- b) 井名、井号或其他名称；
- c) 测井放射源的核素、活度、编码等信息；
- d) 井斜、深度、弃源深度和地表定位坐标；
- e) 弃源立牌日期；
- f) 其他安全声明。

## 五、剂量限值要求

本项目主要评价标准及限值要求见表 7-4。

表 7-4 项目主要评价标准及限值要求汇总表

序号	项目		控制限值		执行标准
1	年剂量管理目标值		辐射工作人员：5mSv/a 井场工作人员及公众：0.1mSv/a		GB 18871-2002
2	距非密封放射性物质防护容器外表面	5cm 处	$\leq 25\mu\text{Sv/h}$		GBZ 118-2020
		100cm 处	$\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$		
3	非密封放射性物质贮存运输容器外表面 $\beta$ 放射性物质		$\leq 4\text{Bq/cm}^2$		GBZ 118-2020
4	控制区边界		$\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$		GBZ 118-2020
5	工作场所的放射性表面污染控制水平	工作台、设备、墙壁、地面	控制区	$\beta \leq 4 \times 10\text{Bq/cm}^2$	GB 18871-2002
			监督区	$\beta \leq 4\text{Bq/cm}^2$	

		工作服、手套、 工作鞋	控制区 监督区	$\beta \leq 4\text{Bq/cm}^2$	
		手、皮肤、内 衣、工作袜	$\beta \leq 4 \times 10^{-1}\text{Bq/cm}^2$		
6	放射性固体废物 免管水平、 测井现场清洁解 控水平	$\beta$ 表面污染控制 水平	$\beta \leq 0.08\text{Bq/cm}^2$		GB 18871-2002
		辐射剂量率	经监测辐射剂量率满足所处环境本 底水平		参照 HJ1188- 2021、《核技 术利用设施退 役》（核安全 导则 HAD401/14- 2021）要求

表 8 环境质量和辐射现状

## 环境质量和辐射现状

### 一、项目地理和场所位置

北京国原新技术有限公司拟在克拉玛依市白碱滩区开展非密封放射源测井业务，项目场所位置为克拉玛依市白碱滩区需要做示踪测井的井场。非密封放射源测井为流动式作业，不在某一场所长期作业。项目地理位置见附图 1。

### 二、环境质量和辐射现状

本项目为非密封放射源测井项目，主要的污染因子为电离辐射，对环境空气、水环境、声环境的影响很小。本项目不涉及非密封放射源库的建设，其同位素示踪测井作业现场均为丙级非密封源工作场所，且北京国原新技术有限公司开展的非密封放射源测井为流动式作业，不在某一场所长期作业，故本次评价对项目场址及评价范围内的贯穿辐射水平采用《新疆维吾尔自治区生态环境状况公报（2022 年）》中克拉玛依市的辐射环境质量监测数据。

根据《新疆维吾尔自治区生态环境状况公报（2022 年）》的结论：2022 年全区环境电离辐射水平保持稳定， $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率和累积剂量处于当地天然本底涨落范围内，空气中天然放射性核素活度浓度处于本底水平，人工放射性核素活度浓度未见异常。全区重点河流水中总 $\alpha$ 和总 $\beta$ 活度浓度处于正常环境水平。根据 2022 年全区辐射环境自动监测站实时连续空气吸收剂量率分布图可知，克拉玛依市的辐射环境质量现状水平为 70~100nGy/h 之间，对比《新疆维吾尔自治区环境天然放射性水平调查报告》（1989 年），克拉玛依市天然贯穿辐射室外剂量率为  $7.26 \times 10^{-8} \sim 11.3 \times 10^{-8}$  Gy/h（72.6~113nGy/h），测井区域辐射现状处于正常水平。

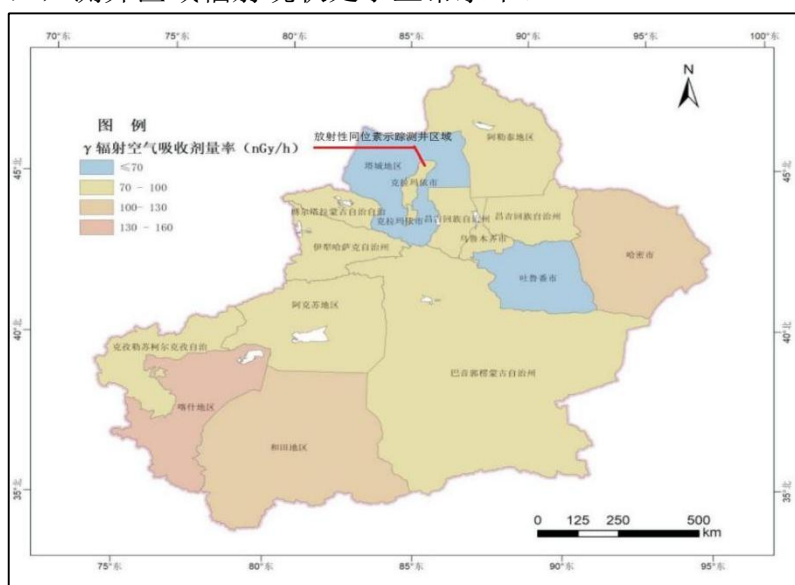


图 8-1 2022 年全区辐射环境自动监测站实时连续空气吸收剂量率分布图

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

一、施工期污染物产生情况

本项目是在野外进行放射性同位素测井工作，测井工作在油田压裂井口所在井场已征用土地范围内开展，流动式作业，不在某一场所长期作业，在各示踪测井作业现场均无土建施工过程。

二、油田水力压裂技术介绍

(1)油田水力压裂技术原理

油田水力压裂技术是利用地面高压泵组，将一定粘稠度的液体以大大超过地层吸收能力的排量经油井注入油井井底目标油层，在井底憋起超高压，当此压力大于井底附近的地应力和地层岩石抗张强度时，地层破裂并产生裂缝。然后改为向井底以高压注入带有支撑剂的携砂液，使之前产生的裂缝向前延伸并在裂缝中充填携砂液携带的支撑剂，裂缝达到要求后，地面高压泵组停泵，停泵后裂缝在地层闭合应力作用下将支撑剂压紧，从而在井底附近地层内形成具有一定几何尺寸和导流能力的填砂裂缝，使油井达到增产的目的。

油田压裂现场地面工程主要使用到压裂液储罐、混砂车、高压泵车等，项目施工泵入装置简图见图 9-1。压裂过程除地面设备外，井下还有压裂封隔器、喷砂器、水力锚等设备地下结构见图 9-2。

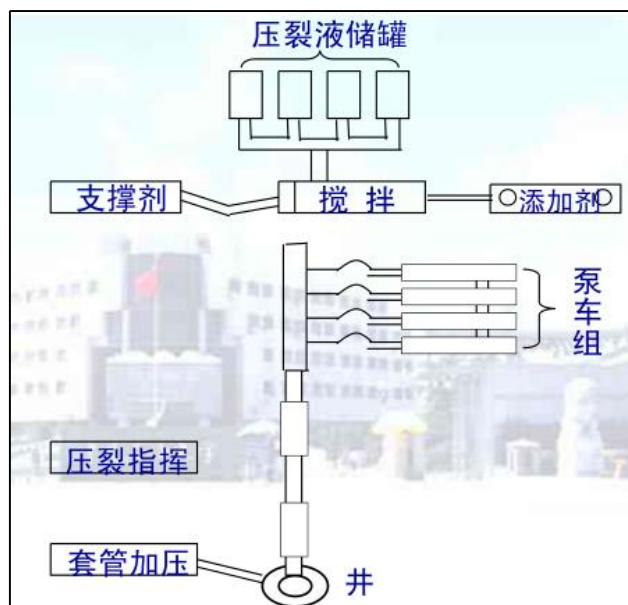


图 9-1 常规施工泵入装置简图

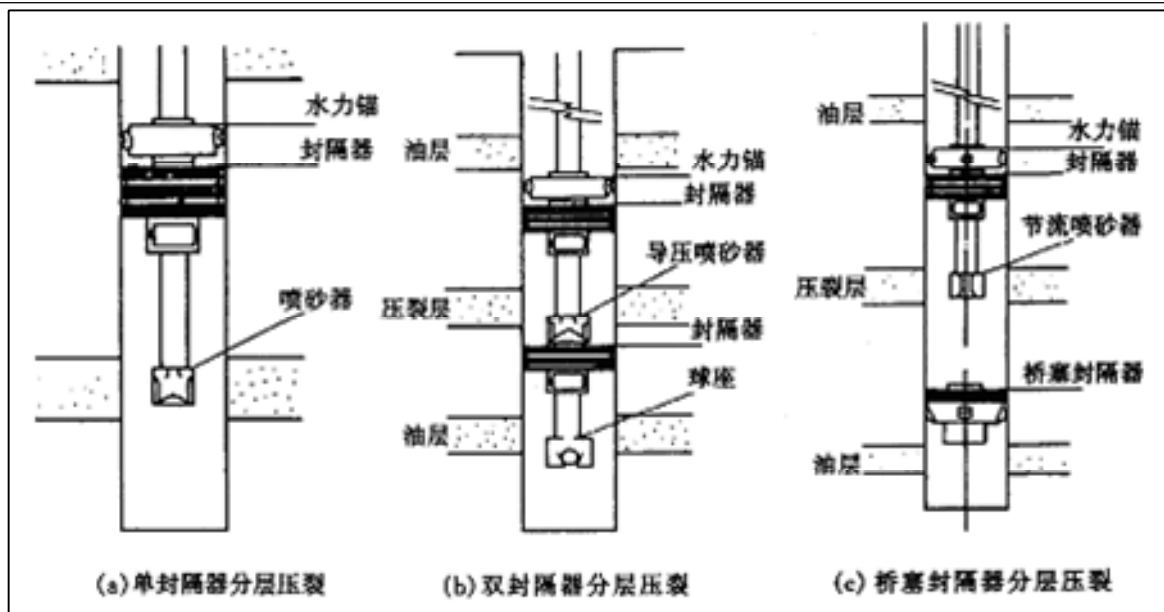


图 9-2 油田压裂过程地下结构图

(2)油田水力压裂增产机理

油田水力压裂增产的机理为：

①形成的填砂裂缝的导流能力比原地层系数大得多，可大几倍到几十倍，大大增加了地层到井筒的连通能力；

②由原来渗流阻力大的径向流渗流方式转变为单向流渗流方式，增大了渗流截面，减小了渗流阻力；

③可能沟通独立的透镜体或天然裂缝系统，增加新的油源；

④裂缝穿透井底附近地层的污染堵塞带，解除堵塞，因而可以显著增加产量。

油田水力压裂增产原理图详见图 9-3。

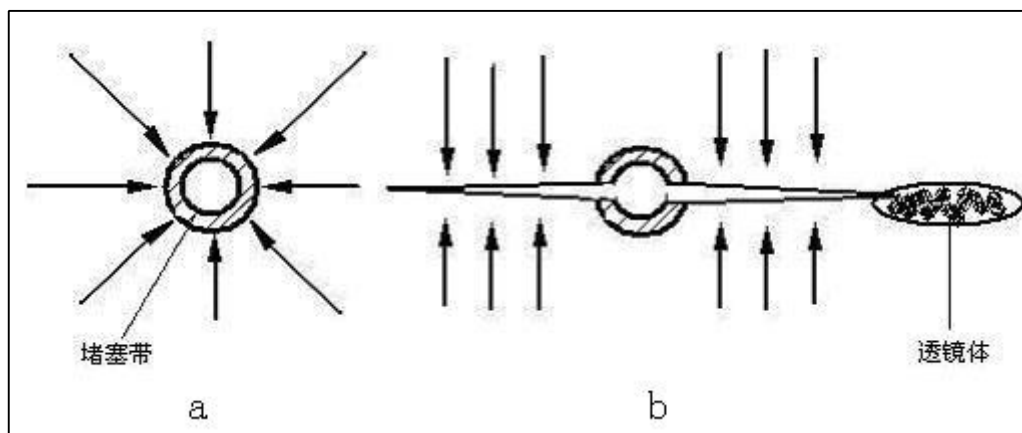


图 9-3 压裂增产原理示意图 (a—压裂前；b—压裂后)

(3)油田水力压裂范围

油田水力压裂范围主要为油藏所在地层，位于地下 1500~3000m 的地层层段，压裂水平影响范围在井下压裂处周边 200m 范围内。

#### (4)压裂液的作用

压裂液是水力压裂改造油气层过程中的工作液，起着传递压力、形成和延伸裂缝、携带支撑剂的作用。压裂液是一个总称，根据压裂过程中注入井内的压裂液在不同施工阶段的任务可分为前置液、携砂液和顶替液，其作用分述如下：

前置液：它的作用是破裂地层并造成一定几何尺寸的裂缝以备后面的携砂液进入。在温度较高的地层里，它还可起一定的降温作用。前置液在压裂过程中首先使用。

携砂液：它起到将支撑剂带入裂缝中并将支撑剂填在裂缝内预定位置上的作用，并且和其他压裂液一样有造缝及冷却地层的作用。携砂液由于需要携带密度很高的支撑剂，所以必须使用交联压裂液（如冻胶等）。

顶替液：它是注完携砂液后将井筒中全部携砂液顶替到裂缝中，以提高携砂液效率和防止井筒沉砂，顶替液在压裂过程中最后使用。

#### (5)支撑剂的作用及类型

支撑剂的作用在于支撑、分隔开裂缝的两个壁面，使压裂施工结束后裂缝能够得到有效支撑，从而消除地层中大部分径向流，使井液以线性流方式进入裂缝。

支撑剂的性能好坏直接影响着压裂效果，目前常用的支撑剂有天然石英砂、人造支撑剂（陶粒）及树脂包层支撑剂（树脂砂）等。

#### (6)压裂液返排

由于压裂过程向压裂井中泵入了远高于地层的压力，因而压裂泵停泵后会有多余压裂物质在井底压力的作用下自动返回地面，直到井底和地面压力重新平衡，这个过程被称为压裂液返排。压裂返排一般在压裂泵停泵后 20~30min 开始，返排前压裂单位会在压裂井口安装油嘴，控制返排液的流出速度，防止井喷或井底大量泥沙的涌出。

#### (7)压裂井井身结构

油田压裂工程施工在油井钻探、完井结束后进行，此时油井井身已经施工完成，其主要结构由导管、表层套管、技术套管、油层套管和各层套管外的水泥环组成，详见图 9-4。

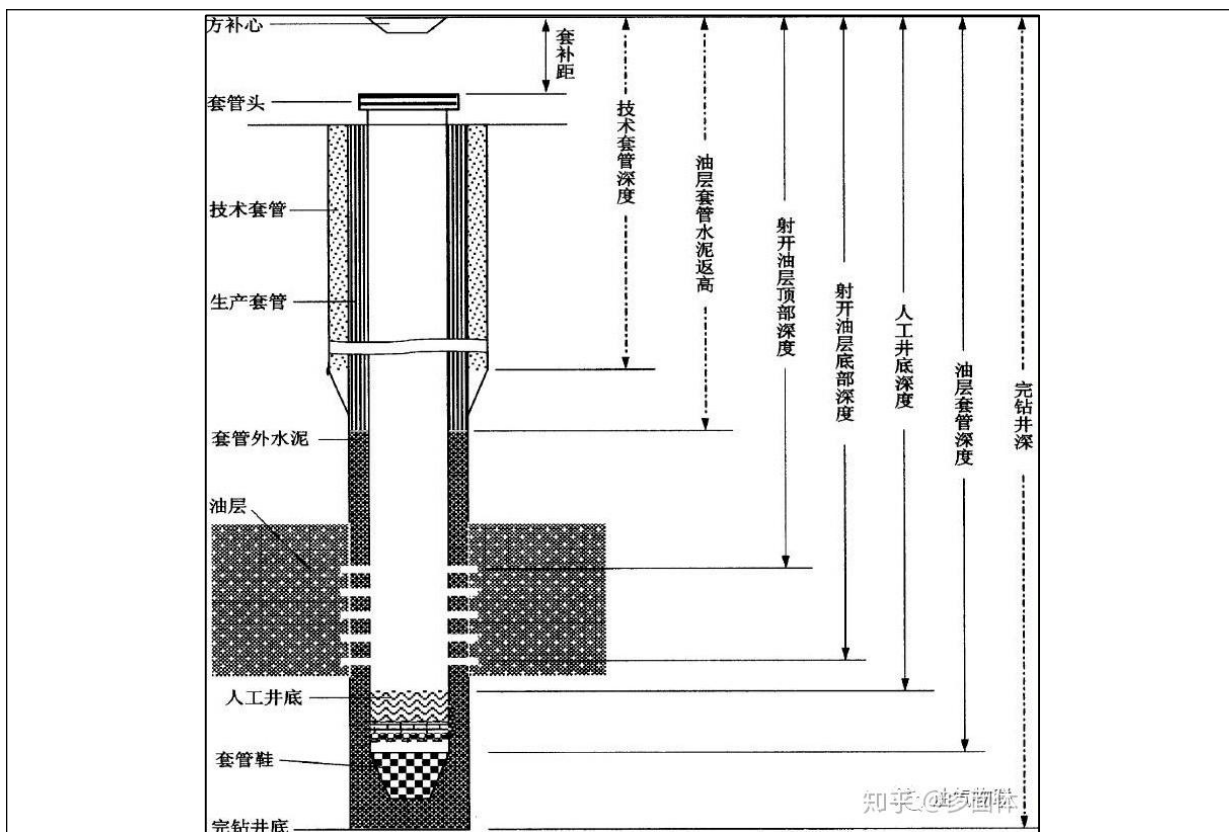


图 9-4 压裂井井深结构图

### ①导管

井身结构中靠近裸眼井壁的第一层套管称为导管。导管的作用是钻井开始时保护井口附近的地表层不被冲垮，建立起泥浆循环，引导钻具的钻进，保证井眼钻凿的垂直等。导管通常下入深度为 2~40m，与井壁中间填满石子，然后用水泥浆封固牢。

### ②表层套管

井身结构中的第二层套管称为表层套管，又叫地面套管或封隔水层套管。表层套管的作用是用来封隔地下水层，加固上部疏松岩层的井壁，保护井眼和安装封井器。下入深度一般为 30~150m。其管外用水泥浆封牢固，水泥上返至地面。

### ③技术套管

在表层套管里面下入的一层套管（即表层套管和油层套管之间）称为技术套管，又叫中间套管。技术套管的作用是用来保护和封隔油层上部难以控制的复杂地层，如隔绝上部高压油（气、水）层、漏失层或坍塌层，以保证钻进的顺利进行。下入技术套管的层次、深度以及水泥上返高度，以能够封住复杂地层为基本原则。

### ④油层套管

油井内最后下入的一层套管称为油层套管，又叫完井套管，简称套管。油层套管

的作用是加固油层井壁，封隔住油、气、水层，建立一条封固严密的永久性通道，保证油井能够进行长时期的生产。油层套管的下入深度是根据目的层的位置和完井方法来决定的，下入深度一般应超过油层底界 30m 以上，并在最下一个油层底部留有一个足够的沉砂口袋，以保证油井能进行长时期的安全生产。其管外用水泥浆封固牢，水泥上返高度必须超过油气层顶界 100~150m。

#### ⑤固井水泥环

在套管和井壁的环形空间内注入水泥浆进行封固，这套施工工艺称为固井。在套管与井壁的环形空间形成的坚固水泥环状柱体，称为固井水泥环。固井水泥环其作用是加固井壁，保护套管，封隔井内各个油、气、水层使之互不串通，便于以后的分层采油。

### 三、放射性同位素示踪测井原理

水力压裂裂缝的形态对于油田公司后期合理安排井位、选择压裂施工作业参数、评估施工质量具有十分重要的指导意义。因此，中国石油公司要求对所开展水力压裂的油井开展压裂效果评价，放射性同位素示踪技术测井是油井压裂效果评价的有效手段。

放射性同位素示踪测井是利用放射性同位素作为示踪剂，将示踪剂以一定比例加入油井压裂用携砂液中，利用油田压裂过程将放射性同位素压入油田压裂制造的裂缝中，通过测量注入示踪剂前后同一井段的 $\gamma$ 射线强度得到支撑剂的分布情况、估算裂缝导流能力、评价压裂的效果并判识裂缝高度，这种测井方法又被称为放射性示踪测井。

本项目使用  $^{46}\text{Sc}$ （钪-46）、 $^{85}\text{Sr}$ （锶-85）、 $^{124}\text{Sb}$ （锑-124）、 $^{160}\text{Tb}$ （铽-160）和  $^{192}\text{Ir}$ （铱-192）放射性同位素作测井示踪剂时，通过同位素释放器再经压裂装置的低压口将示踪剂依次注入井下约 1500~3000m 地层，在注入后 15~300d 内，待井下压力恢复正常后，使用测井仪器在井下进行测井，通过分析示踪剂核素的 $\gamma$ 射线数据获得测井结果。

示踪剂分布示意图见 9-5，得到的压裂示踪测试结果图谱示意图见图 9-6。



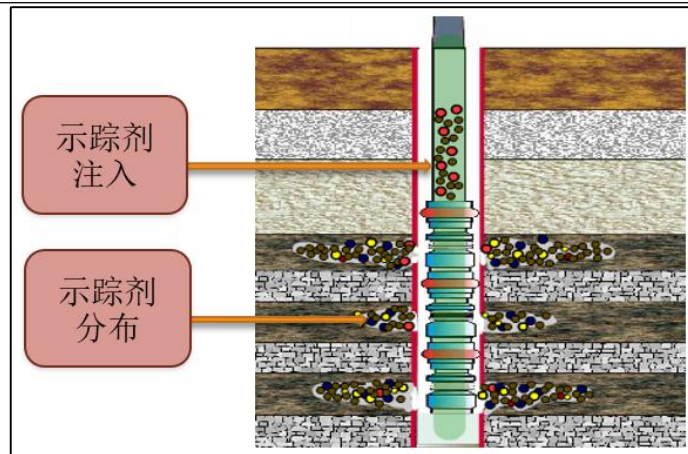


图 9-5 示踪剂分布示意图

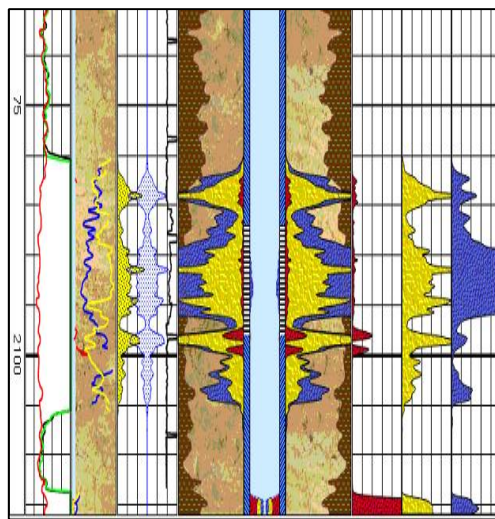


图 9-6 压裂示踪测试结果图谱示意图

#### 四、本项目示踪砂特性

##### (1) 本项目使用的示踪砂的基本特性

本项目使用的  $^{46}\text{Sc}$ 、 $^{85}\text{Sr}$ 、 $^{124}\text{Sb}$ 、 $^{160}\text{Tb}$ 、 $^{192}\text{Ir}$  放射性同位素示踪砂是一种高强度的固体陶粒，表面光滑，硬度较高，不易破碎，不易溶于油、水，不会对与之接触的仪器和流体造成污染。

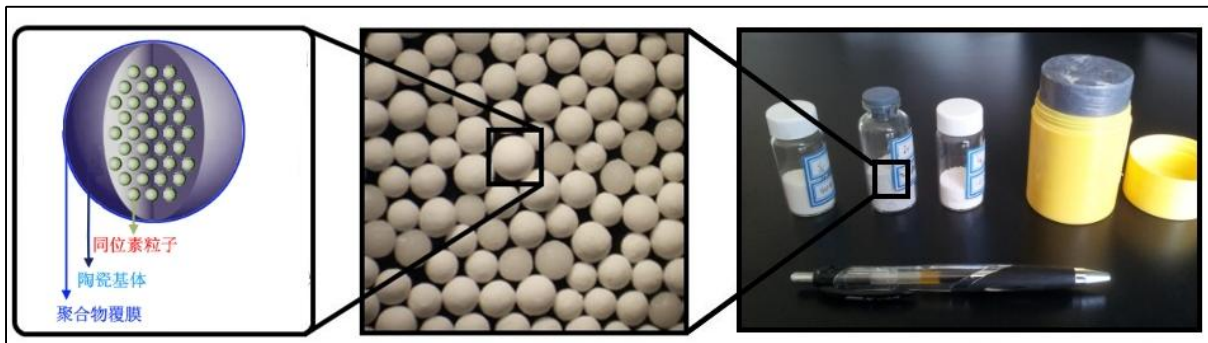


图 9-7 示踪砂陶粒图

该类示踪砂是采用向氧化铝（纯度为 99.9%以上）中加入所需的高纯度惰性金属盐（氧化钨、锶金属、氧化铈、铀金属和铀金属，纯度均在 99.9%以上）经过混合技术将金属盐与氧化铝充分混合，加纯水摇成球状，然后在窑中烘烤形成中等强度的陶瓷陶粒，冷却后被过筛，按尺寸分级，送到反应堆中进行辐照，通过中子照射活化陶粒内部的金属盐，使之成为放射性同位素示踪砂，装入铝筒中备用。

本项目使用的示踪砂在中国原子能科学研究院 49-2 堆进行辐照加工，所生产用原材料均为高纯度原料，杂质极少，经反应堆活化后，基本不会产生对环境产生影响的其他放射性核素。本项目测井用示踪砂特性参数见表 9-1。

表 9-1 测井用示踪砂特性参数表

核素	物理性状	射线能量(MeV)		β射线最大能量	衰变方式	半衰期(天)	污染类型
		γ射线					
		主要γ射线能量	平均能量				
<sup>46</sup> Sc	固态	0.603, 0.720, 1.691	1.005	0.357	β-	83.8	β表面污染, γ射线
<sup>85</sup> Sr	固态	0.514, 0.868	0.691	/	ec	64.8	β表面污染, γ射线
<sup>124</sup> Sb	固态	0.311, 0.468, 0.609	0.463	2.301	β-	60.2	β表面污染, γ射线
<sup>160</sup> Tb	固态	0.299, 0.879, 0.966	0.715	1.749	β-	72.3	β表面污染, γ射线
<sup>192</sup> Ir	固态	0.889, 1.121	1.005	0.672	β-(95.24%)、ec(4.76%)	73.8	β表面污染, γ射线

备注：β-为负β衰变，即原子核发射电子和反中微子的放射性衰变；ec为电子俘获衰变，即原子核俘获轨道电子并放射中微子的放射性衰变；<sup>192</sup>Ir有β-、ec两种衰变方式

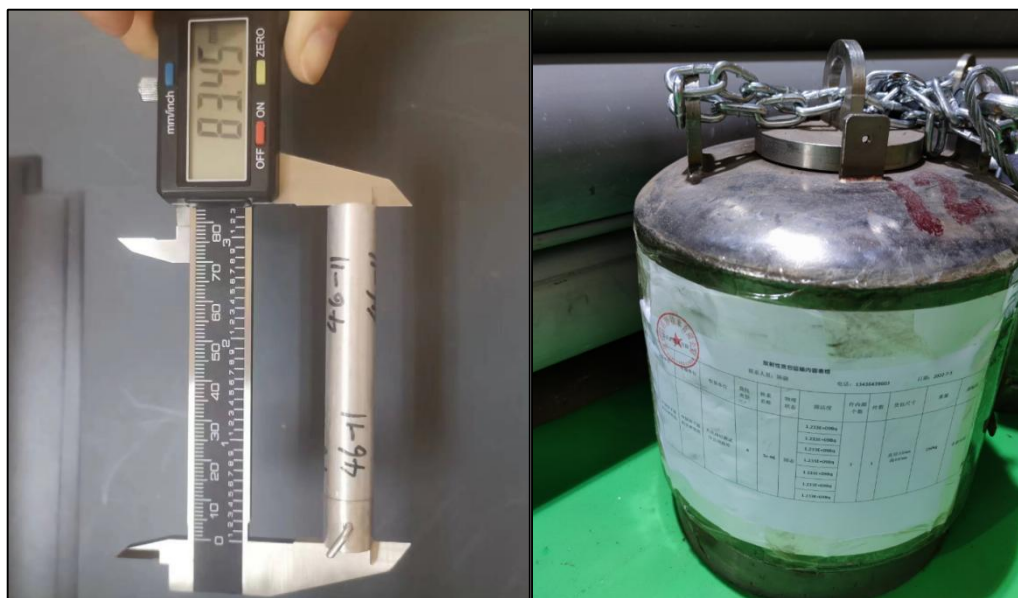
### (2)示踪砂的理化特征

根据中国原子能科学研究院、原子高科股份有限公司组织鉴定并出具的鉴定结果，项目使用的示踪砂洗脱率小于 1%、最大耐压 77MPa，出现破碎或溶解污染周边地层情况概率极低。且示踪砂为陶粒，与油田压裂用支撑剂成分一致，不会对油田压裂效果造成影响。

### (3)示踪砂的装载与暂存

本项目使用的放射性同位素示踪砂在中国原子能科学研究所内进行生产和分装，

生产和分装过程不在本次评价范围内，示踪砂装载于专用铝筒中，单个铝筒内仅存放一种放射性同位素，装载活度最大为 30mCi，铝筒装载于铅罐中。项目使用的铝筒与铅罐型式见图 9-8。



铝筒

铅罐

图 9-8 项目使用铝筒、铅罐照片

本项目不在克拉玛依市建设放射性源库，每次使用的放射性同位素示踪砂直接从北京原子能科院拉运，拉运采用专用运源车或测井车（测井车仅在少量偏远井场，运源车无法抵达时使用，在测井现场只用于存放示踪砂，不做其他用途）进行，测井实施期间运源车或测井车一直停放于测井井场中。项目运源车照片见图 9-9。

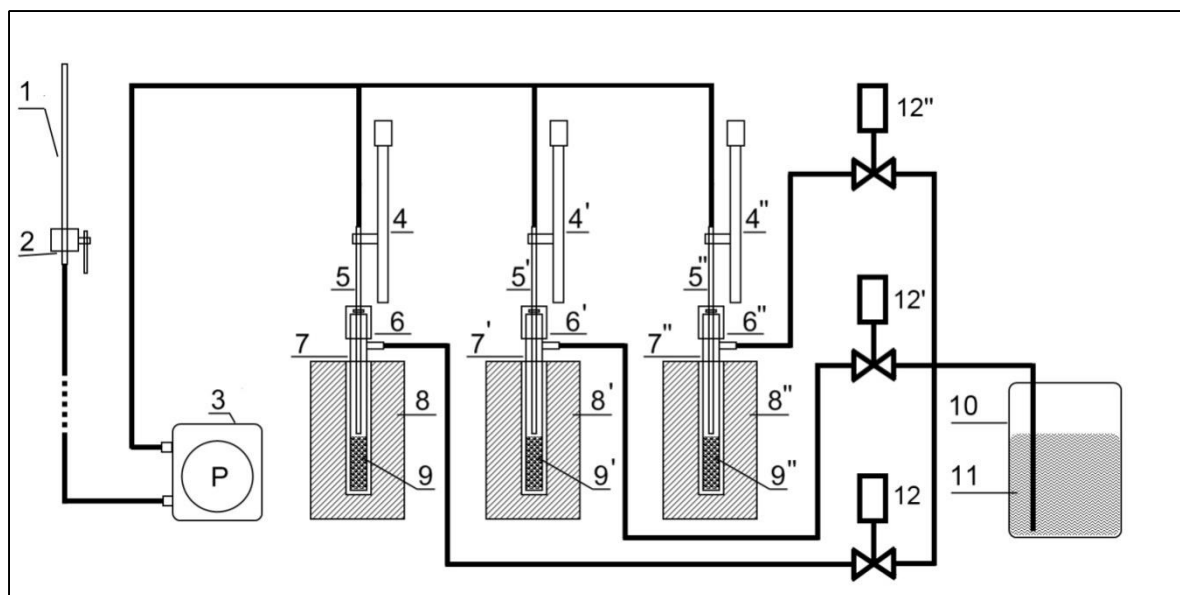


图 9-9 项目运源车照片

#### (4)释放器简介

项目使用的释放器为中国原子能科学研究院自主研发设备，设计有铅屏蔽筒

(10mmPb)，示踪砂铝筒放入铅屏蔽筒内，采用一个细管插入装有示踪砂的铝筒内，将示踪砂吸入软管泵的软管中，由携砂液携带示踪砂由软管泵泵入混砂车。示踪砂的注入启停和速度通过软管泵的启停和转速控制。释放器结构见图 9-10，释放器及其控制器照片见图 9-11。



注：1 压裂系统适配器；2、阀门；3、高压蠕动泵；4-9 示踪砂容器及示踪砂吸取装置；10-11、油田压裂现场携砂液及储罐；12、电磁阀。

图 9-10 项目释放器结构图



释放器 控制器

图 9-11 项目释放器及其控制器照片

## 五、设备组成及工作方式

本项目主要设备组成表见 9-2。

表 9-2 项目主要设备组成表

序号	设备名称	数量	单位
1	测井仪及其控制箱	1	套
2	软管泵	1	个
3	释放器及其控制器	1	套
4	专用夹具（50cm）	1	个
5	专用钳子（10cm）	1	个
6	发电机	1	台

## (2)工作方式

根据放射性同位素示踪测井工艺要求，进行放射性同位素示踪测井时首先启动发电机，操作人员将释放器（释放器不下井）安装到压裂混砂车上，然后使用专用夹具将装有示踪砂的铝筒安装到释放器上，并用专用钳子打开铝筒，并连接至软管泵，实现自动注入，示踪砂随着压裂设备管路中的携砂液一同进入压裂高压泵，经过加压后注入井下地层（约 1500-3000m 深）；注入井下地层的同位素示踪剂被压实固定在地层的裂缝中，在注入后的 15~300d 内，待井下压力恢复正常后，操作人员通过控制箱将测井仪用电缆下放到井下裂缝的位置，进行测试，根据测试结果，分析压裂施工效果，完成整个施工作业。

## 六、测井工艺流程

### 1、前期准备

(1) 北京国原新技术有限公司接收测井委托任务后，收集测井井场布置及钻井数据等资料，并根据上述资料制定测井实施方案，方案中明确示踪砂种类用量、各类人员分工、测井工况和清场方式等；

(2) 测井人员到达测井现场，与油井压裂队汇交底并确定注入装置位置，根据测井方案划定控制区及监督区范围，并设置工作区域警戒线，线高约 1m；控制区边界设置明显的警戒线，并设置电离辐射警告标识，专人巡查，除测井工作人员外其他无关人员严禁入内。监督区边界设置电离辐射警告标识和“无关人员禁止入内”的标牌，限制公众人员进入此区域；

(3) 根据测井方案，放射性核素运输部门将示踪砂运至测井现场指定位置。

### 2、现场注入

(1) 操作人员将释放器（释放器不下井）安装到压裂混砂车上，并将释放器与压裂混砂车上的携砂液储罐连接，测试释放器保证设备正常；

(2) 安全员对现场操作区域、井口、释放器等位置和工具及劳保用品进行 $\gamma$ 辐射剂量率和 $\beta$ 表面沾污本底测量；

(3) 操作人员穿戴铅防护服，做好准备工作；

(4) 操作人员手工将转移铅罐（内含装有示踪砂的铝筒）从运输车辆搬运到释放器旁，用时约 60s；

(5) 操作人员使用 50cm 的专用夹具将装有示踪砂的铝筒从转移铅罐中取出，装入释放器的铅屏蔽筒中，用时约 30s；

(6) 操作人员采用 10cm 的专用钳子打开示踪砂铝筒盖，并将铝筒与软管泵的软管连接，用时约 20s；

(7) 操作人员手工打开释放器控制器（释放器控制器距离释放器约 3m），用时约 10s；

(8) 操作人员离开释放器控制器位置，在距离释放器 6m 位置处实时监控示踪砂注入情况，每次注入用时约 1h。注入过程示踪砂随着压裂设备管路中的携砂液一同进入压裂高压泵，经过加压后注入井下裂缝。如采用多种放射性同位素示踪砂，则等一种示踪砂注入下井完毕后，再进行下一种示踪砂注入操作，重复(4)~(8)。整个注入过程，示踪砂始终处于注入装置和压裂管路中，不会洒落到地面；

(9) 注入后，操作人员打开释放器外壳，安全员对释放器、铝筒和软管等设备进行 $\gamma$ 辐射剂量率和 $\beta$ 表面沾污监测，如有部件沾污由测井队进行清污处理，未沾污的部件不进行清洗直接重复使用。拆除释放器后，安全员对现场操作区域、井口等位置和工具、劳保用品进行 $\gamma$ 辐射剂量率和 $\beta$ 表面沾污进行监测，将普通废物和放射性废物分开存放。

### 3、测试

(1) 压裂后，压裂井进行返排，返排时间一般为 15~300d，待井下压力恢复正常返排结束后，安全员对反排砂进行 $\gamma$ 辐射剂量率和 $\beta$ 表面沾污监测，如有沾污将沾污部分作为放射性废物收集到污物回收箱中；同时，操作人员通过控制箱将伽马能谱测井仪用电缆下放到井下裂缝的位置，进行测试；

(2) 测试得到井下示踪砂的伽玛计数和能谱数据，通过分析和计算得到示踪砂的分布情况和近井裂缝的形态参数，结束后回收仪器；

(3) 测井结束后，安全员对井场及相关区域进行 $\gamma$ 辐射剂量率和 $\beta$ 表面沾污监测。

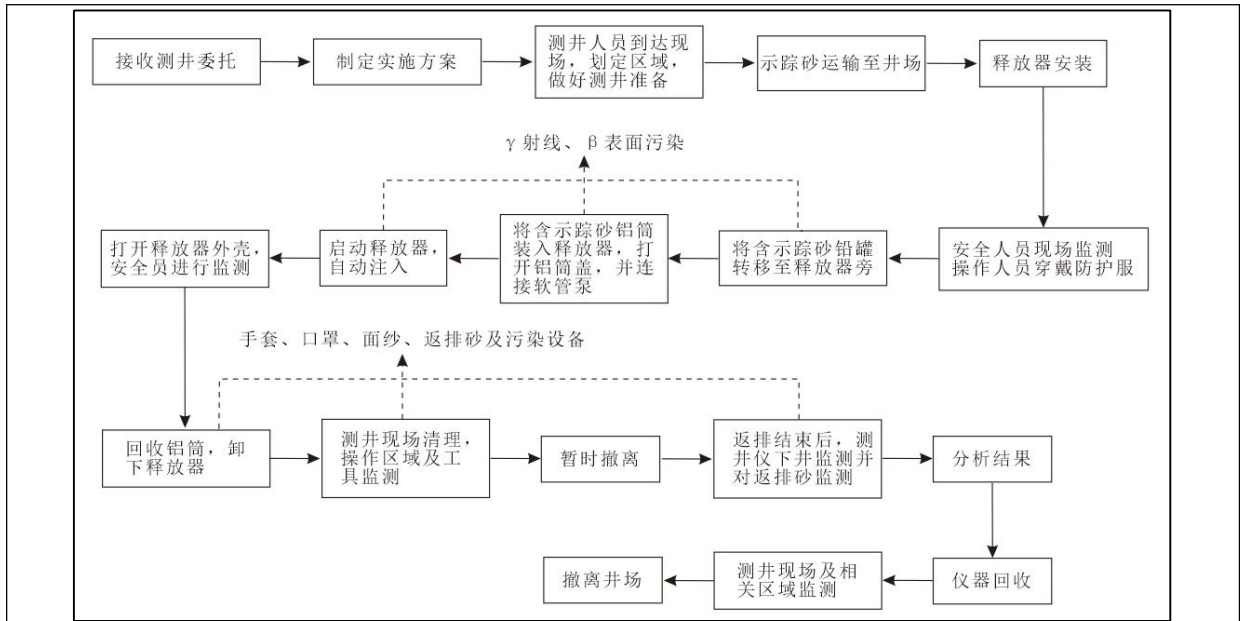


图 9-11 工艺流程及产排污环节示意图

### 七、项目涉及的人流物流路径规划

放射性同位素示踪测井工作共涉及 3 种车辆。运源车负责放射性同位素以及测井放射性废物的运输。测井车负责进行测井数据采集等工作以及拉运测井仪器。工程车负责测井人员往返测井现场。测井工作开展前，按照工程车、测井车、运源车的前后，前往井场。待井场控制区设置完成后，运源车前往井口，开展测井工作。测井工作完成后，放射性废物收至专用回收箱，用 X- $\gamma$  剂量率仪检查测井现场；利用表面沾污仪对井场及相关区域、职业人员裸露皮肤、工作服和个人防护用品的表面沾污情况进行监测。完成监测确认无异常现象，测井工作人员整理现场，运源车、测井车、工程车统一离开井场。

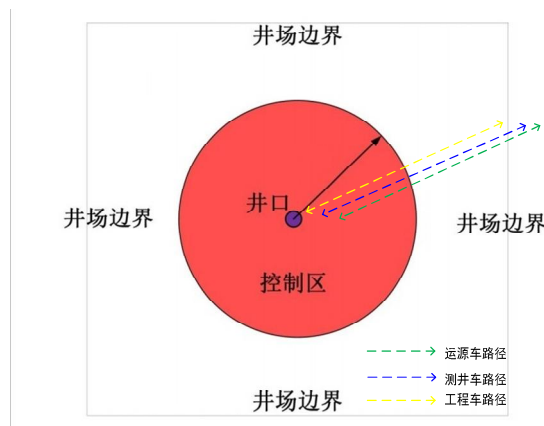


图 9-12 人流物流路径规划示意图

## 污染源项描述

### 1、正常工况

(1) 示踪测井用放射性同位素  $^{46}\text{Sc}$ 、 $^{85}\text{Sr}$ 、 $^{124}\text{Sb}$ 、 $^{160}\text{Tb}$ 、 $^{192}\text{Ir}$ ，正常工况下整个操作过程放射性同位素处于密闭环境，不会逸出。对环境产生影响的主要污染因子是放射性同位素产生 $\gamma$ 射线和 $\beta$ 表面污染，由于 $\gamma$ 射线具有较强的穿透性，在整个操作过程中可能将对工作人员和公众产生辐射影响。本项目拟使用的放射性同位素主要辐射特性见表 9-3。

表 9-3 本项目拟使用的放射性同位素主要辐射特性表

核素	物理性状	射线能量(MeV)		颗粒大小 (目数)	衰变方式	半衰期 (天)	污染类型
		$\gamma$ 射线					
		主要 $\gamma$ 射线能量	平均能量				
$^{46}\text{Sc}$	固态	0.603, 0.720, 1.691	1.005	20 或 40	$\beta$ -	83.8	$\beta$ 表面污染, $\gamma$ 射线
$^{85}\text{Sr}$	固态	0.514, 0.868	0.691	20 或 40	ec	64.8	$\beta$ 表面污染, $\gamma$ 射线
$^{124}\text{Sb}$	固态	0.311, 0.468, 0.609	0.463	20 或 40	$\beta$ -	60.2	$\beta$ 表面污染, $\gamma$ 射线
$^{160}\text{Tb}$	固态	0.299, 0.879, 0.966	0.715	20 或 40	$\beta$ -	72.3	$\beta$ 表面污染, $\gamma$ 射线
$^{192}\text{Ir}$	固态	0.889, 1.121	1.005	20 或 40	$\beta$ - (95.24%)、 ec(4.76%)	73.8	$\beta$ 表面污染, $\gamma$ 射线

备注： $\beta$ -为负 $\beta$ 衰变，即原子核发射电子和反中微子的放射性衰变；ec 为电子俘获衰变，即原子核俘获轨道电子并放射中微子的放射性衰变； $^{192}\text{Ir}$  有 $\beta$ -、ec 两种衰变方式

(2)放射性废气：本项目使用的  $^{46}\text{Sc}$ 、 $^{85}\text{Sr}$ 、 $^{124}\text{Sb}$ 、 $^{160}\text{Tb}$ 、 $^{192}\text{Ir}$  放射性同位素示踪砂是一种高强度的固体陶粒，表面光滑，硬度较高，不会产生放射性废气。示踪测井产生的 $\gamma$ 射线会使空气电离产生少量  $\text{O}_3$  和  $\text{NO}_x$ ，经自然分解和稀释后对周围环境及工作人员基本无影响。

(3)放射性固体废物：本项目产生的固体废物主要为测井现场工作后产生的废手套、口罩、棉纱以及反排砂，全年最多产生 1kg 的废手套、口罩、棉纱和 100kg 的反排砂；每次测井作业完成后，对废手套、口罩、棉纱以及反排砂进行检测，检测结果不超过放射性固体废物免管水平的作为一般工业固体废物，依托井场现有的一般固体



废物处理设施统一处置；高于免管水平的固体废物为放射性固体废物，分类收集后暂存于运输车辆上的污物回收箱中，待测井完成后运回北京国原新技术有限公司处理。本次评价确定的固体废物豁免标准详见表 7-4。

(4) 空释放器及其他设备：本项目同位素示踪砂为光滑的固体陶粒，不会沾附于释放器和其他设备上，基本不产生表面污染，注入过程中为密闭式自动操作，注入过程完成后对释放器及其他设备进行 $\gamma$ 辐射剂量率和 $\beta$ 表面沾污监测，如有部件沾污由测井队进行清污处理，未沾污的部件不进行清洗直接重复使用。

(5) 放射性废水：本项目使用的放射性同位素半衰期最长为 83.8 天 ( $^{46}\text{Sc}$ )，经 2~3 年后 (10 个半衰期)，可以衰变完毕，不存在累积影响；示踪砂为陶瓷颗粒，具有耐高压的特性 (最大耐压 77MPa)，在压裂过程中出现破碎或溶解的概率极低，对地下水无影响。从项目工艺流程与产污环节分析，本项目示踪砂为固体陶粒，被压紧固定在裂缝中，溶解的概率极低。示踪沙体积极小，因此本项目正常情况下不产生放射性废水。

(6) 非放射性三废影响分析：

本项目不存在土建施工过程产生的三废影响，测井作业产生三废影响主要有运输车辆、发电机产生的发动机尾气。尾气污染物主要有 CO、NO<sub>2</sub>、THC，选用先进设备和优质燃油，以减少燃油废气对周围大气的污染。同时应加强设备和运输车辆的检修和维护，尽量减少因设备故障而产生的污染物对周围空气环境的影响。测井作业产生的固体废物以及生活污水就近依托井区相关环保设施，固体废物和生活污水妥善处理后再对环境的影响较小。

## 2、事故工况

本项目实施过程中可能产生的事故有：

(1) 装有放射性同位素  $^{46}\text{Sc}$ 、 $^{85}\text{Sr}$ 、 $^{124}\text{Sb}$ 、 $^{160}\text{Tb}$ 、 $^{192}\text{Ir}$  示踪砂的转移铅罐丢失、被盗事故，导致公众超剂量照射；

(2) 装有放射性同位素  $^{46}\text{Sc}$ 、 $^{85}\text{Sr}$ 、 $^{124}\text{Sb}$ 、 $^{160}\text{Tb}$ 、 $^{192}\text{Ir}$  示踪砂的铝筒在与释放器连接过程中出现撒漏事故；

(3) 由于地层压力过大，含有放射性同位素  $^{46}\text{Sc}$ 、 $^{85}\text{Sr}$ 、 $^{124}\text{Sb}$ 、 $^{160}\text{Tb}$ 、 $^{192}\text{Ir}$  的示踪砂随返排液进入反排池，造成污染井场环境事故；

(4) 少量示踪砂未被压紧于裂缝或示踪砂污染地下水。

事故工况的污染源项与正常工况一致。

### 3、主要污染物及预计排放情况汇总

本项目运营期主要污染物产生及预计排放情况汇总见表 9-5。

表 9-5 项目运营期主要污染物产生及预计排放情况汇总表

序号	污染物	核素	主要污染因子	辐射源强/产生量	处理方式
1	电离辐射	<sup>46</sup> Sc	γ射线	<sup>46</sup> Sc 的平均能量为 1.005MeV，照射量率常数为 1.09R·m <sup>2</sup> /h·Ci； <sup>85</sup> Sr 的平均能量为 0.691MeV，照射量率常数为 0.30R·m <sup>2</sup> /h·Ci； <sup>124</sup> Sb 的平均能量为 0.463MeV，照射量率常数为 0.93R·m <sup>2</sup> /h·Ci； <sup>160</sup> Tb 的平均能量为 0.715MeV，照射量率常数为 0.6R·m <sup>2</sup> /h·Ci； <sup>192</sup> Ir 的平均能量为 1.005MeV，照射量率常数为 0.46R·m <sup>2</sup> /h·Ci	操作人员穿戴符合要求的防护用品，严格按照规章制度进行测井操作等
2	废气	<sup>85</sup> Sr	O <sub>3</sub> 和 NO <sub>x</sub>	少量	经自然分解和稀释后对周围环境及工作人员基本无影响
3	固体废物	<sup>124</sup> Sb、 <sup>160</sup> Tb、 <sup>192</sup> Ir	废手套、口罩、棉纱、反排砂	全年最多产生 1kg 的废手套、口罩、棉纱和 100kg 的反排砂	本项目产生的固体废物主要为测井现场工作后产生的废手套、口罩、棉纱、反排砂；每次测井作业完成后，对废手套、口罩、棉纱、反排砂进行检测，检测结果不超过放射性固体废物免管水平的作为一般工业固体废物，依托井场现有的一般固体废物处理设施统一处置；高于免管水平的固体废物为放射性固体废物，分类收集后暂存于运输车辆上的污物回收箱中，待测井完成后运回北京国原新技术有限公司处理。收集暂存过程中应做好检测与废物处理、转移等相关记录，并严格按照具体事项对全过程进行存档

**表 10 辐射安全与防护**

## 项目安全设施

### 一、测井实施方案及分析

#### (1)典型实施方案

北京国原新技术有限公司在项目实施前，均会针对需要测井井场实际情况制定测井实施方案，测井实施方案主要内容包括：施工目的、基本数据、示踪砂种类选择及用量、纵向裂缝剖面监测施工流程、Q&HSE 要求、井控要求、作业安全操作规程、应急预案等。

#### (2)实施方案可行性分析

北京国原新技术有限公司制定的测井实施方案内容较为全面，作业过程中严格按照方案中作业安全操作规程进行操作，作业前后对现场工作区域、工具、劳保用品等进行 $\gamma$ 辐射剂量率和 $\beta$ 表面沾污监测，测井完成后固体废物均能得到合理处置，能够保证测井作业的安全。

但实施方案流程中未将辐射防护要求、辐射安全操作规程纳入其中，且应急预案中未将示踪砂撒漏污染井场、示踪砂丢失等污染事故应急处置措施纳入其中。

评价要求后续测井作业制定实施方案时，北京国原新技术有限公司应全面考虑测井过程中的辐射防护措施、辐射应急措施内容，将该部分内容纳入实施方案中，并对相关人员进行培训，预防辐射事故的发生，将辐射影响降到尽可能低。

### 二、辐射工作场所及分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），第 6.4 条“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”，第 6.4.1.1 条“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”，第 6.4.2.1 条“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”。

根据《油气田测井放射防护要求》（GBZ 118-2020）中规定：“放射源及非密封放射性物质放射性测井现场应设置控制区，控制区边界应设置电离辐射警告标志及警戒线”。

本项目放射性同位素压裂示踪测井位于克拉玛依市白碱滩区的油井井场内，在放射性同位素入场前，测井队根据测井方案划定控制区及监督区范围，并在井场边界设置警戒线、电离辐射警告标识等。井场平面布置示意图见图 10-1。

本次以项目所用示踪砂中辐射剂量率最大的  $^{46}\text{Sc}$  考虑，经公式计算（详见环境影响分析章节），裸源情况下，距  $30\text{mCi } ^{46}\text{Sc}$  放射源  $10.686\text{m}$  处的辐射剂量当量率为  $2.50\mu\text{Sv/h}$ ，为方便管理，本次评价拟将测井区域延伸  $11\text{m}$  范围（包含测井区域）划设为控制区，控制区边界外井场围墙（若至围墙少于  $50\text{m}$ ，则至少划至  $50\text{m}$  范围）内划设为监督区。若井场场地受限，测井队可根据井场平面布置情况巡测调整控制区和监督区边界，要求控制区边界周围剂量当量率小于  $2.5\mu\text{Sv/h}$  或其他无关人员不可达。

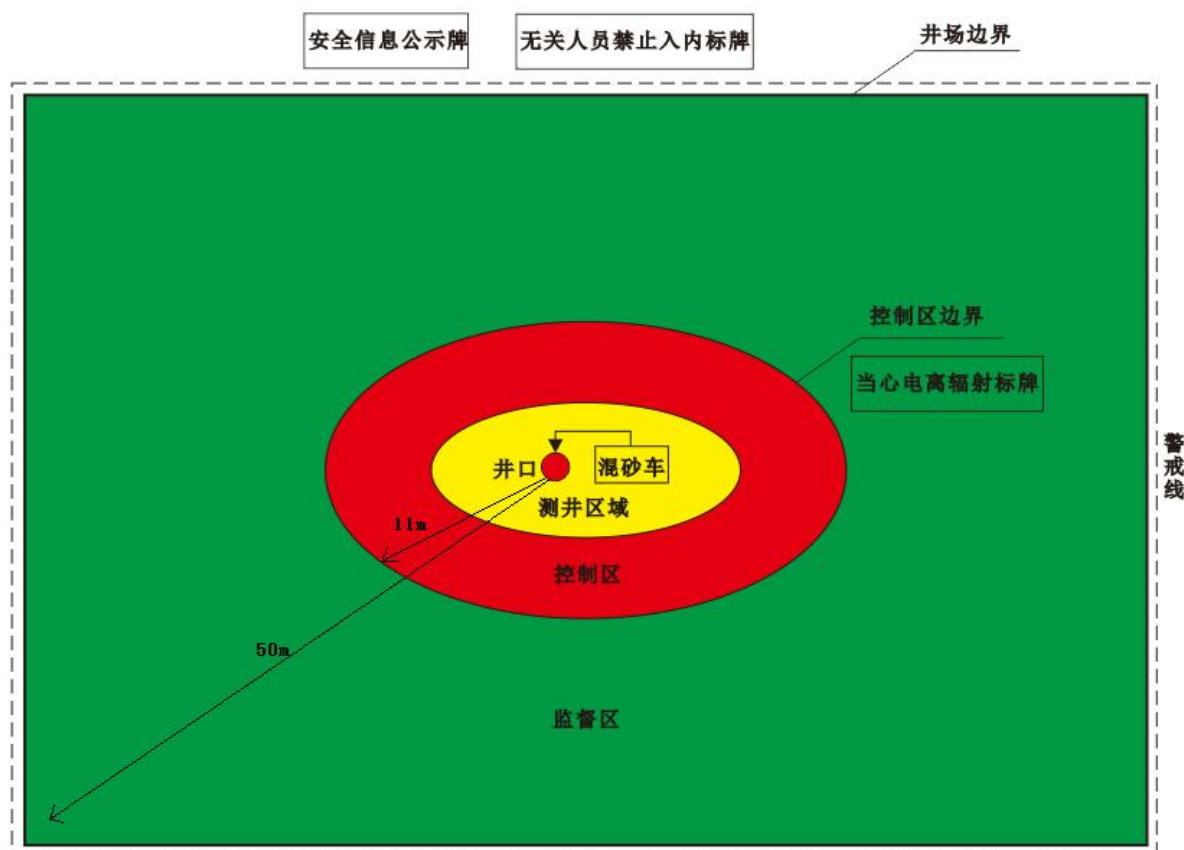


图 10-1 井场平面布置示意图

### 三、辐射安全防护措施

#### 1、示踪砂固有防护措施

本项目采用的放射性同位素示踪砂主要用于压裂裂缝测试，是一种新型的放射性示踪剂材料，由烧结工艺将核素固定在陶瓷体中，属于高强度的陶粒，不会对与之接触的仪器和流体造成污染。

## 2、释放器固有防护措施

本项目同位素示踪砂的注入过程为密闭式自动操作，释放器采用 10mmPb 进行防护。

## 3、放射性同位素测井过程中采取的辐射安全防护措施

(1) 测井现场进行分区管理，以测井区域为中心，延伸 11m 范围（包含测井区域）划设为控制区，控制区边界外井场围墙（若至围墙少于 50m，则至少划至 50m 范围）内划设为监督区。若井场场地受限，测井队可根据井场平面布置情况巡测调整控制区和监督区边界，要求控制区边界周围剂量当量率小于  $2.5\mu\text{Sv/h}$  或其他无关人员不可达。

控制区边界拟设置明显的警戒线，并设置电离辐射警告标识，专人巡查，除测井工作人员外其他无关人员严禁入内。监督区边界拟设置电离辐射警告标识和“无关人员禁止入内”的标牌，限制公众人员进入此区域。

(2) 禁止在放射性工作场所饮食和吸烟。

(3) 未用或剩余示踪砂由院内运输部门带回北京国原新技术有限公司处理。

(4) 操作装有放射性同位素示踪砂的铝筒时，采用长度不小于 50cm 的专用夹具进行夹取，将铝筒安装到释放器上（释放器采用 10mmPb 进行防护），并用长度不小于 10cm 的专用钳子打开铝筒，并连接至软管泵，实现自动注入。

(5) 测井现场操作人员穿戴符合要求的铅防护服、口罩和手套等个人防护用品，并做到统一保管和处理。

(6) 测井开始前、结束后，对井场及相关区域、测井设备、工作服和个人防护用品的 $\gamma$ 辐射剂量率和表面沾污情况进行监测。

## 4、示踪砂运输过程防护安全措施

本次示踪砂运输由中国原子能科学研究院运输部门进行，结合其现有运输管理制度，本次对运输过程中提出如下防护措施：

(1) 通过道路运输放射性物品的，应当经公安机关批准，按照指定的时间、路线、速度行驶，并悬挂警示标志，配备押运人员，使放射性物品处于押运人员的监管之下；

(2) 运输前对运输车辆进行保养、维修，防止运输过程出现安全事故；

(3) 运输前应当按照国家相关标准，对运输容器和运输车辆进行辐射监测；

(4) 容器应装在车辆中后部，并在底部安放防滑胶垫。容器吊装完毕后，用钢丝绳与锁紧钢丝环连接加固，确保车辆在行驶过程中不会造成容器的倾斜、移位；

(5) 运输车辆行驶车速控制在 80km/h 以内，运输过程 GPS 车载终端、行车记录仪、手机，全天 24h 开通，并确定好紧急联系人；

(6) 遇雨雪天气、交叉路口、乡村公路及山路行车时，随时注意观察路面情况，并合理掌握车速。路口减速在 20km/h。车辆在进出作业现场时，应减速慢行，一般速度控制在 5km/h，严禁逆道行驶；

(7) 运输过程中运输人员须佩戴个人剂量计、个人剂量报警仪；

(8) 运输过程中运输人员每 2~3h 检查车辆、货物紧固程度一次，定时检测货包的剂量率水平及表面沾污水平；

(9) 运输过程中临时停车的安全措施（含食宿停车）：有监控摄像或有人看管的停车场停车，进出停车场速度不超过 5km/h；车辆必须进入指定的停车泊位，严禁乱停乱放；车辆停好后，必须关闭车辆总电源，关好车窗、锁好车门；在运输途中避开在人群密度较大的地点停车、食宿；如需车辆中途临时停靠、加油、过夜，必须安排专人看管。

### 5、示踪砂在测井现场暂存防护安全措施

本次不在克拉玛依市建设放射源源库，示踪砂运输至测井现场后，直接存储于运输车辆内，存储过程采取的防护措施如下：

(1) 放射性同位素示踪砂贮存于转移铅罐中的铝筒内，转移铅罐外表面张贴“当心电离辐射”标志，转移铅罐存放于测井现场的运输车辆中，非测井使用期间不得离开运输车辆；

(2) 距转移铅罐外表面 5cm 处的周围剂量当量率不超过 25 $\mu$ Sv/h，100cm 处的周围剂量当量率不超过 2.5 $\mu$ Sv/h；转移铅罐外表面 $\beta$ 放射性物质不超过 4Bq/cm<sup>2</sup>。

(3) 含放射性同位素示踪砂的转移铅罐加锁，运输车辆加锁；

(4) 示踪砂暂存期间，安排两人对装有放射源的测井车实施 24h 轮流看管；

(5) 在运输车辆四周设置警示标志，提醒非工作人员和其他人员不要接近运输车辆；

(6) 运输车辆现场管理由运输部门负责，并做好放射性同位素示踪砂的领用、登记记录。

## 6、辐射安全防护用品

北京国原新技术有限公司拟为辐射工作人员配备个人防护用品和便携式辐射监测仪、表面沾污仪、个人剂量计、个人剂量报警仪等设备，监控辐射环境和个人剂量。拟配备的辐射安全防护用品见表 10-1。

表 10-1 拟配备的辐射安全防护用品表

类别	环保设施/措施	数量
防护设施	铅衣	6 套
	专用夹具	1 个
	大功率喊话器	1 个
	口罩、手套、棉纱	若干
	警示标识	若干
	安全警戒线	2 盘
	个人剂量报警仪	6 个
监测	X-γ剂量率检测仪	1 台
	表面沾污仪	1 台
	个人剂量计	6 个

## 7、其他辐射环境管理措施

(1) 每次测井作业完成后，建立辐射安全与防护档案，包括测井方案、作业期间记录及日志、辐射环境监测报告等。

(2) 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。

(3) 根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（公告 2019 年 第 57 号），北京国原新技术有限公司新从事辐射活动的人员，参加国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习并通过考核后方可上岗。

(4) 放射性同位素操作人员经过操作业务培训，熟练掌握操作方法后方可进行放射性同位素测井操作。

(5) 在保证示踪测井效果的前提下，选择合理且尽可能少的放射性同位素示踪砂进行示踪测井，实现源项控制；测井作业时间应避开公众活动的高峰时段，以实现时间防护；测井现场通过划分控制区和监督区实现距离防护。

(6) 测井方案中明确各类人员分工、测井工况和清场方式，并制定监测方案。

(7) 实施测井作业报备制度，及时将测井工作方案向当地生态环境主管部门报备，以便监管。

(8)制定内部管理机构 and 规章制度，逐级落实测井作业的辐射安全责任。

(9)制定有针对性的辐射事故应急预案，并适时演练，维持应急能力。

(10)拟为辐射工作人员配备个人剂量计，做到定期送检，专人专戴，建立个人剂量档案。

(11) 每年 1 月 31 日前向辐射安全许可证发证机关报送辐射安全年度评估报告。

北京国原新技术有限公司在采取以上措施后，可以满足《油气田测井放射防护要求》（GBZ 118-2020）中相关要求。

#### 四、异地作业备案与登记

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令 第 449 号）中“**第二十五条 使用放射性同位素的单位需要将放射性同位素转移到外省、自治区、直辖市使用的，应当持许可证复印件向使用地省、自治区、直辖市人民政府生态环境主管部门备案，并接受当地生态环境主管部门的监督管理**”以及《新疆维吾尔自治区辐射污染防治办法》中“**第十九条，跨州、市（地）使用放射性同位素和射线装置的单位，应当在实施使用前不少于 10 个工作日向移入地州、市（地）环境保护主管部门备案，并在使用结束后 5 个工作日内办理备案注销手续**”；北京国原新技术有限公司应当在进行示踪测井前在生态环境主管部门进行备案，备案后再开展运输和测井工作，测井工作完成后需在当地生态环境主管部门办理注销手续，作业期间应当接受当地主管部门的监管。



## 三废的治理

### 一、废气

本项目  $^{46}\text{Sc}$ 、 $^{85}\text{Sr}$ 、 $^{124}\text{Sb}$ 、 $^{160}\text{Tb}$ 、 $^{192}\text{Ir}$  示踪测井产生的 $\gamma$ 射线会使空气电离产生少量  $\text{O}_3$  和  $\text{NO}_x$ ，经自然分解和稀释后对周围环境及工作人员基本无影响。

### 二、固体废物

本项目产生的固体废物主要为测井现场工作后产生的废手套、口罩、棉纱以及反排砂；每次测井作业完成后，对废手套、口罩、棉纱以及反排砂进行检测，检测结果不超过放射性固体废物免管水平的作为一般工业固体废物，依托井场现有的一般固体废物处理设施统一处置；高于免管水平的固体废物为放射性固体废物，分类收集后暂存于运输车辆上的污物回收箱中，待测井完成后运回北京国原新技术有限公司处理。

项目固体废物收集暂存过程中应做好检测与废物处理、转移等相关记录，并严格按照具体事项对全过程进行存档。

### 三、放射性同位素示踪测井作业完成后的辐射安全措施

放射性同位素示踪测井作业完成后将测井现场的固体废物妥善处理，未用或剩余示踪砂由院内运输部门带回北京国原新技术有限公司处理，然后对测井现场的控制区及监督区边界处、示踪砂操作区、井口、反排池等进行 $\beta$ 表面污染和 $\gamma$ 辐射剂量率检测，达到清洁解控水平后方能离开井场。

## 项目措施与相关要求的符合性分析

本项目拟采取的辐射安全与防护措施与《油气田测井放射防护要求》（GBZ 118-2020）等相关要求对比情况见表 10-2 所示。根据表 10-2 可知，本项目拟采取的辐射安全与防护措施满足以上标准要求。

表 10-2 项目拟采取的辐射安全与防护措施与相关标准要求对比分析表

标准名称	标准要求	项目情况
《油气田测井放射防护要求》（GBZ 118-2020）	5.1.4 所有示踪剂都应盛放于严密盖封的容器（指直接盛放非密封放射性物质的容器，下称内容器）内，然后根据其辐射特性再放入具有一定屏蔽能力的贮存运输容器中。内容器及由厂家直接提供的含非密封放射源井下释放器应附有生产批号和放射性核素名称、化学形式、物理状态、活度与标定日期的标签及醒目的电离辐射标志的标签，并附有含上述内容的说明书。盛装放射性示踪剂的内容器应选用质地坚韧不易损坏、破裂，并具有良好密封性能的容器。释放器表面应设置醒目的电离辐射标志	本项目示踪砂直接存放于铝筒中，铝筒具有质地坚韧、不易损坏，密封性能良好等特点；铝筒存放于转移铅罐中。铝筒表面贴有附有生产批号和放射性核素名称、化学形式、物理状态、活度与标定日期的标签及醒目的电离辐射标志的标签。转移铅罐的外表面张贴电离辐射标志及“当心电离辐射”警告标志。
	5.2.1 放射性核素外部运输时，其放射性包装和运输工具应符合 GB 11806 的规定。运源车应配备随车放射检测仪器及随车记录，随车记录应有所运放射源编码、核素种类、出厂活度、出厂时间、装车及卸车时间、装车及卸车检测记录、运输及驻留记录等信息。	本项目使用的放射性同位素示踪砂的运输由中国原子能科学研究院运输部门负责，该部门具有北京市交通委员会颁发的道路运输经营许可证（许可经营范围中含有放射性物品的运输，详见附件），放射源运输符合相关要求。
	5.2.2 运源车内外由中子、 $\gamma$ 射线及韧致辐射导致的周围剂量当量率之和不应大于（GBZ 118-2020）表 2 的控制值。	
	5.2.3 进行放射源操作时应根据放射源活度，采取操作距离、操作时间和防护屏蔽等措施，以保证操作人员所受剂量控制在可以合理做到的尽可能低的水平。可使用监控设施全过程记录放射源的操作，以便核实放射工作人员近距离接触放射源时间。放射源回收后应使用仪器检测确认源罐中是否具有放射源并记录。	本项目进行放射源操作时，辐射工作人员使用铅衣、手套、个人剂量报警仪等个人防护用品，使用 50cm 专用夹具操作含放射性同位素示踪砂；测井结束后，安全员对井场及相关区域进行 $\gamma$ 辐射剂量率和 $\beta$ 表面沾污监测并记录。
5.2.4 搬运或传递放射源的工具应操作灵活、使用方便、性能可靠，并使放射源与人体间保持适当的距离，不应徒手操作放射源。无机		

	械化操作时，根据源的不同活度，应使用符合下列要求的工具：b) 小于 185 GBq 的中子源和小于 18.5 GBq 的 $\gamma$ 源，操作工具柄长不小于 50 cm。	
	5.2.5 室外操作放射源时应设置控制区，在控制区边界上设置警戒线和警告标志（或采取警告措施），防止无关人员进入边界以内的操作区域。使用刻度源对测井仪器进行刻度时，宜在源库所在地的围墙内进行，如需在场外进行刻度应设置控制区，控制区边界的周围剂量当量率不应超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$	测井现场进行分区管理，以测井区域为中心，延伸 11m 范围（包含测井区域）划设为控制区，控制区边界设置有明显的警戒线。本项目不使用刻度源
	5.2.7 放射性示踪测井中释放放射性示踪剂应采用井下释放方式，将装有示踪剂的井下释放器随同测井仪一起送入井下一定深度处，由井上控制、在井下释放放射性示踪剂。采用井口释放方式时，应先将示踪剂封装于易在井内破碎或裂解的容器或包装内，施行一次性投入井口的方法：禁止使用直接向井口内倾倒示踪剂的方法	本项目采用井口释放方式，将示踪砂定量添加于压裂作业携砂液中，不直接向井口内倾倒示踪砂
	5.2.8 释放放射性示踪剂前，应经过认真检查井口各闸门、井管压力与水流量正常，井管与套管通畅，井口丝堵与防喷盒结构严密后，按照操作规程释放示踪剂，防止含放射性示踪剂的井水由井口回喷，污染井场与环境	本项目采用井口释放方式，将示踪砂定量添加于压裂作业携砂液中，示踪砂随压裂液一起注入压裂井中，注入前会认真检查井口，且压裂过程中压裂井内设置有套管、油罐、封隔器、水力锚等设备，可以有效防止井水回喷，污染井场与环境
	5.2.9 释放器出井后应置于密封袋中，由供货厂家回收或返回实验室在专用清洗池中清洗，清洗液应作为放射性废液处理	本项目释放器仅用于注入操作，不下入井内；注入过程为密闭式自动操作，注入过程完成后对释放器进行 $\gamma$ 辐射剂量率和 $\beta$ 表面沾污检测，如有沾污由测井队进行清污处理，未沾污的不清洗直接循环使用
	5.2.10 放射源及非密封放射性物质放射性测井现场应设置控制区，控制区边界应设置电离辐射警告标志及警戒线	本项目控制区边界设置明显的警戒线，并设置电离辐射警告标识，专人巡查，除测井工作人员外其他无关人员严禁入内。监督区边界设置电离辐射警告标识和“无关人员禁止入内”的标牌，限制公众人员进入此区域

		6.1 退役放射源、放射性液体和固体废物应按 GB 14500 的规定执行。	本项目产生的放射性固体废物由院内运输部门带回北京国原新技术有限公司处理
标准名称 《油气田测井放射防护要求》 (GBZ 118-2020)	6 放射性废物的处置要求	6.2 低放射性废液的排放按照 GB 18871 的规定执行。	本项目示踪砂为固体陶粒，被压紧固定在裂缝中，溶解的概率极低，因此本项目正常情况下不产生放射性废水。
		6.3 非密封放射性物质实验室及中子管贮存库内应设放射性污物桶，所有固体放射性废物应丢入污物桶内收集或放入贮存设施内暂存	本项目产生的固体废物主要为测井现场工作后产生的废手套、口罩、棉纱以及反排砂；每次测井作业完成后，对废手套、口罩、棉纱以及反排砂进行检测，检测结果不超过放射性固体废物免管水平的作为一般工业固体废物，依托井场现有的一般固体废物处理设施统一处置；高于免管水平的固体废物为放射性固体废物，分类收集后暂存于运输车辆上的污物回收箱中，待测井完成后运回北京国原新技术有限公司处理。收集暂存过程中应做好检测与废物处理、转移等相关记录，并严格按照具体事项对全过程进行存档
		6.5 未用或剩余放射性示踪剂（或连同释放器）以及放射性废物应带回实验室处理	本项目未用或剩余示踪砂由院内运输部门带回北京国原新技术有限公司处理
		6.6 放射性污染事故的处理原则与应急措施参照附录 A 进行	本项目已制定应急处理措施，本项目事故状态不产生放射性废液，若出现放射性同位素示踪砂洒漏事故时，采取人工铲除地表污染土壤等步骤清除放射性污染。
	7.2 测井用非密封放射性物质的放射防护检测要求	7.2.1 新建非密封放射性物质工作场所投入使用前应进行下列项目检测： a) 所有放射性核素的容器及其外包装，贮存和运输设备，外照射周围剂量当量率和表面放射性污染； b) 实验室操作前、后，工作场所外照射周围剂量当量率水平和表面污染；	a) 本项目每次测井前均会对装有示踪砂的铝筒、转移铅罐、运输车辆的剂量当量率和表面放射性污染进行监测； b) 本项目不涉及实验室操作； c) 操作人员工作结束离开现场前会对其裸露皮肤、工作服和个人防护用品进行放射性污染监测；

		<p>c) 实验与测井操作人员工作结束离开实验室或现场时，其裸露皮肤、工作服和个人防护用品的放射性污染；</p> <p>d) 源库内贮原坑（池）与贮源箱屏蔽效果，源库屏蔽墙外周围剂量当量率；</p> <p>e) 运源车内、外周围剂量当量率。</p>	<p>d) 本项目不设置源库；</p> <p>e) 本项目每次测井前均会对运输车辆内、外剂量当量率和表面放射性污染进行监测。</p>
		<p>7.2.2 投入使用后的检测： 对 7.2.1 中 a)、d)、e) 项应每年进行一次检测；7.2.1 中 b) 项每月进行一次检测；7.2.1 中 c) 项每次工作完成后均应进行，发现污染应及时去污。</p>	<p>本次评价中已提出投入使用后的检测要求</p>
	<p>7.4 个人剂量监测</p>	<p>7.4.1 个人剂量监测应按照 GBZ128 的要求进行，单纯使用<math>\gamma</math>放射源的油气田测井放射工作人员可仅进行光子个人剂量计监测，对于可能使用中子源或中子发生器的油气田测井放射工作人员个人剂量计应能同时满足对<math>\gamma</math>射线和中子剂量监测</p>	<p>北京国原新技术有限公司拟为辐射工作人员配备个人剂量计，做到定期送检，专人专戴，建立个人剂量档案</p>

表 11 环境影响分析

### 建设阶段对环境的影响

本项目是在野外进行放射性同位素测井工作，测井工作在油田压裂井口所在井场已征用土地范围内开展，在各示踪测井作业现场均无土建施工过程，不存在建设阶段的环境影响。

### 运行阶段对环境的影响

根据前文所述，本次仅评价放射性同位素的测井工序的环境影响。

#### 一、放射性同位素示踪测井过程环境影响分析

根据工程分析，测井工序的主要产污环节包括：转移铅罐搬运、铝筒安装、连接软管泵、操作控制器、示踪砂注入。

根据《辐射防护导论》（原子能出版社，方杰著）， $\gamma$ 放射源裸源状态的剂量当量指数率按下式进行计算：

$\gamma$ 射线：距点源其他距离处的 $\gamma$ 有效剂量率可按照以下公式计算：

$$\dot{X}_r = \dot{X}_1 / r^2 \dots\dots\dots \text{（公式 11-1）}$$

$$\dot{D} = 8.73 \times 10^{-3} \dot{X}_r \dots\dots\dots \text{（公式 11-2）}$$

$$H = \sum W_R \dot{D} \dots\dots\dots \text{（公式 11-3）}$$

式中： $\dot{X}_r$ ——距放射源 r m 处的照射量率，R/h；

$\dot{X}_1$ ——距放射源 1m 处的照射量率，R/h；

对于  $^{46}\text{Sc}$ 、 $^{85}\text{Sr}$ 、 $^{124}\text{Sb}$ 、 $^{160}\text{Tb}$ 、 $^{192}\text{Ir}$  均为放射 $\gamma$ 源， $\dot{X}_1 = A\Gamma$ 。其中 A 为放射源的放射性活度（Ci）， $\Gamma$  为放射性核素的照射量率常数。由《辐射防护手册》（第一分册辐射源与屏蔽）中表 1.11 查得： $^{46}\text{Sc}$  照射量率常数取  $1.09\text{R}\cdot\text{m}^2/\text{h}\cdot\text{Ci}$ ； $^{85}\text{Sr}$  照射量率常数取  $0.30\text{R}\cdot\text{m}^2/\text{h}\cdot\text{Ci}$ ； $^{124}\text{Sb}$  照射量率常数取  $0.93\text{R}\cdot\text{m}^2/\text{h}\cdot\text{Ci}$ ； $^{160}\text{Tb}$  照射量率常数取  $0.6\text{R}\cdot\text{m}^2/\text{h}\cdot\text{Ci}$ ； $^{192}\text{Ir}$  照射量率常数取  $0.46\text{R}\cdot\text{m}^2/\text{h}\cdot\text{Ci}$ 。

r——计算点与源的距离，m；

$\dot{D}$ —— $\gamma$  辐射空气吸收剂量率，Gy/h；

$\sum W_R$ ——辐射权重因子， $\gamma$ 射线取为 1；

H—— $\gamma$  辐射剂量当量率, Sv/h。

由此计算的放射源裸露状态下, 放射源周围的辐射剂量水平见表 11-1。

表 11-1 裸源情况下不同距离处的 $\gamma$ 辐射剂量率当量率估算

距离 (m)	辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ ) 活度 30mCi ( $1.11 \times 10^9 \text{Bq}$ )				
	$^{46}\text{Sc}$	$^{85}\text{Sr}$	$^{124}\text{Sb}$	$^{160}\text{Tb}$	$^{192}\text{Ir}$
0.05	1.14E+05	3.14E+04	9.74E+04	6.29E+04	4.82E+04
0.1	2.85E+04	7.86E+03	2.44E+04	1.57E+04	1.20E+04
0.3	3.17E+03	8.73E+02	2.71E+03	1.75E+03	1.34E+03
0.5	1.14E+03	3.14E+02	9.74E+02	6.29E+02	4.82E+02
0.7	<b>5.83E+02</b>	<b>1.60E+02</b>	<b>4.97E+02</b>	<b>3.21E+02</b>	<b>2.46E+02</b>
1	2.85E+02	7.86E+01	2.44E+02	1.57E+02	1.20E+02
1.5	1.27E+02	3.49E+01	1.08E+02	6.98E+01	5.35E+01
2	7.14E+01	1.96E+01	6.09E+01	3.93E+01	3.01E+01
3	3.17E+01	8.73E+00	2.71E+01	1.75E+01	1.34E+01
4	1.78E+01	4.91E+00	1.52E+01	9.82E+00	7.53E+00
5	1.14E+01	3.14E+00	9.74E+00	6.29E+00	4.82E+00
6	7.93E+00	2.18E+00	6.77E+00	4.37E+00	3.35E+00
10	2.85E+00	7.86E-01	2.44E+00	1.57E+00	1.20E+00
10.686	<b>2.50E+00</b>	6.88E-01	2.13E+00	1.38E+00	1.06E+00
15	1.27E+00	3.49E-01	1.08E+00	6.98E-01	5.35E-01
20	7.14E-01	1.96E-01	6.09E-01	3.93E-01	3.01E-01
25	4.57E-01	1.26E-01	3.90E-01	2.51E-01	1.93E-01
30	3.17E-01	8.73E-02	2.71E-01	1.75E-01	1.34E-01
35	2.33E-01	6.41E-02	1.99E-01	1.28E-01	9.83E-02
40	1.78E-01	4.91E-02	1.52E-01	9.82E-02	7.53E-02
45	1.41E-01	3.88E-02	1.20E-01	7.76E-02	5.95E-02
50	1.14E-01	3.14E-02	9.74E-02	6.29E-02	4.82E-02

在测井过程中, 放射性同位素均在铝筒内暂存; 根据建设单位提供资料, 本项目使用的专用夹具长度约 50cm。在示踪砂注入过程中, 操作人员与源的距离取 0.7m。如采用多种放射性同位素示踪砂, 则等一种示踪砂注入下井完毕后, 再进行下一种示踪砂注入操作。根据表 11-1 可见, 距离非密封放射性物质 0.7m 处的最大辐射剂量当量率为 5.83E+02 $\mu\text{Sv/h}$ 。

本次以项目所用非密封放射性物质中辐射剂量率最大的  $^{46}\text{Sc}$  考虑, 裸源情况下, 距 30mCi  $^{46}\text{Sc}$  放射源 10.686m 处的辐射剂量当量率为 2.50 $\mu\text{Sv/h}$ , 为方便管理, 本次评价拟将测井区域延伸 11m 范围 (包含测井区域) 划设为控制区, 控制区边界外井场围墙 (至少 50m 范围) 内划设为监督区; 若井场场地受限, 测井队可根据井场平面布置情况巡测调整控制区和监督区边界, 要求控制区边界周围剂量当量率小于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ ,

可以满足《油气田测井放射防护要求》（GBZ 118-2020）中相关要求。

此外，根据附件 8 已开展的放射性核素示踪测井现场辐射剂量率监测报告，测井现场左右前后的  $\gamma$  剂量率均趋于本底水平，对环境影响小。

## 二、个人年附加有效剂量估算

本项目测井过程中产生辐射影响的主要环节是：转移铅罐搬运、铝筒安装、连接软管泵、操作控制器、示踪砂注入过程中放射性同位素衰变产生的  $\gamma$  射线对环境产生的影响。本次评价保守以 5 种同位素示踪砂同时参与测井过程来估算人员剂量。测井时工作人员穿戴专用工作服、佩戴口罩，操作人员还应穿戴铅衣、手套等防护用品。

### 1、职业人员年附加有效剂量分析

#### (1) 估算模式

在测井现场，操作人员穿着铅衣进行操作，铅衣的厚度为 0.5mm。 $^{46}\text{Sc}$ 、 $^{85}\text{Sr}$ 、 $^{124}\text{Sb}$ 、 $^{160}\text{Tb}$ 、 $^{192}\text{Ir}$  发出的  $\gamma$  射线的平均能量分别为 1.005MeV、0.691MeV、0.463MeV、0.715MeV、1.005MeV，最大为 1.005MeV，本次评价  $\gamma$  射线的能量按 1MeV 取，由《辐射防护手册》（第三分册 辐射安全）中表 2.12 可知，在 1MeV 条件下，铅的半值层厚度约为 1.1cm。放射性同位素示踪砂的注入为密闭式自动操作，释放器采用 10mmPb 进行防护。

#### ① $\gamma$ 辐射剂量当量率估算公式

屏蔽状态下， $\gamma$  辐射剂量当量率估算公式如下：

$$D = \dot{D} \times K^{-1} = \dot{D} \times 2^{-\frac{dp}{HVT}} \dots \dots \dots \text{（公式 11-4）}$$

$$H = \sum W_R D \dots \dots \dots \text{（公式 11-5）}$$

式中：

$dp$ —屏蔽层厚度，mm；

HVT—半值层厚度，mm；

$\dot{D}$ — $\gamma$  辐射空气吸收剂量率，Gy/h；

$\sum W_R$ —辐射权重因子， $\gamma$  射线取为 1；

H— $\gamma$  辐射剂量当量率，Sv/h。

#### ② 年附加有效剂量估算公式

操作人员个人年有效剂量参考 UNSCEAR-2002 年报告中提出的模式进行。其个人



年有效剂量计算模式如下：

$$H_r = D_r \times T \times 1 \times 10^{-6} \text{ (mSv)} \dots\dots\dots \text{ (公式 11-6)}$$

式中：

$H_r$ — $\gamma$ 辐射外照射人均年有效剂量，mSv；

$D_r$ — $\gamma$ 辐射剂量率，nGy/h；

T—年工作时间，h；

1——剂量转换因子，Sv/Gy；根据《实用辐射安全手册》（第二版，从慧玲主编），权重因数取 1。

(2) 估算结果

北京国原新技术有限公司使用放射性同位素  $^{46}\text{Sc}$ 、 $^{85}\text{Sr}$ 、 $^{124}\text{Sb}$ 、 $^{160}\text{Tb}$ 、 $^{192}\text{Ir}$  年最大用量总计不超过  $5.55 \times 10^{10}\text{Bq}$ ，累计测井年最大工作量不超过 10 口/年。根据表 11-1 预测结果，同时考虑防护作用，假设每口井都使用了 5 种示踪砂，测井过程中操作人员所受最大照射剂量如下。计算参数取值见表 11-2，操作人员受照射剂量估算见表 11-3。

表 11-2 计算参数取值表

项目	参数	依据
铅的半值层厚度	1.1cm	《辐射防护手册》（第三分册 辐射安全）中表 2.12
释放器屏蔽	10mmPb	建设单位提供资料
铅衣屏蔽	0.5mmPb	建设单位提供资料
辐射权重因子	1	ICRU 60, 1991
剂量转换因子	1	《实用辐射安全手册》（第二版，从慧玲主编）
转移铅罐搬运过程操作人员居留位置剂量当量率	25 $\mu\text{Sv/h}$	根据《油气田测井放射防护要求》（GBZ 118-2020）中：“距非密封放射性物质防护容器外表面 5cm 处的周围剂量当量率不应超过 25 $\mu\text{Sv/h}$ ”
铝筒安装过程操作人员居留位置剂量当量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）	$^{46}\text{Sc}$ : 5.83E+02 $^{85}\text{Sr}$ : 1.60E+02 $^{124}\text{Sb}$ : 4.97E+02 $^{160}\text{Tb}$ : 3.21E+02 $^{192}\text{Ir}$ : 2.46E+02	根据表 11-1，距离放射源 0.7m 处（使用 50cm 专用夹具进行操作放射源）
连接软管泵过程操作人员居留位置剂量当量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）	$^{46}\text{Sc}$ : 3.17E+03 $^{85}\text{Sr}$ : 8.73E+02 $^{124}\text{Sb}$ : 2.71E+03 $^{160}\text{Tb}$ : 1.75E+03	根据表 11-1，距离放射源 0.3m 处（使用 10cm 专用钳子近距离操作）

	<sup>192</sup> Ir: 1.34E+03	
操作控制器过程操作人员居留位置剂量当量率 (μSv/h)	<sup>46</sup> Sc: 3.17E+01 <sup>85</sup> Sr: 8.73E+00 <sup>124</sup> Sb: 2.71E+01 <sup>160</sup> Tb: 1.75E+01 <sup>192</sup> Ir: 1.34E+01	根据表 11-1, 距离放射源 3m 处 (释放器控制器距离释放器约 3m)
示踪砂注入过程操作人员居留位置剂量当量率 (μSv/h)	<sup>46</sup> Sc: 7.93E+00 <sup>85</sup> Sr: 2.18E+00 <sup>124</sup> Sb: 6.77E+00 <sup>160</sup> Tb: 4.37E+00 <sup>192</sup> Ir: 3.35E+00	根据表 11-1, 距离放射源 6m 处 (操作人员离开释放器控制器位置, 在距离释放器 6m 位置处实时监控示踪砂注入情况)

表 11-3 测井过程操作人员受照射剂量估算表

放射性核素	操作工序	剂量率 (μSv/h)	单次操作时间 (s)	年累计最大测井数量 (口)	年受照射时间 (h)	职业人员年受照射剂量 (mSv/a)
<sup>46</sup> Sc	转移铅罐搬运	25	60	10	0.17	4.25E-03
	铝筒安装	5.83E+02	30	10	0.08	4.66E-02
	连接软管泵	3.17E+03	20	10	0.06	1.90E-01
	操作控制器	3.17E+01	10	10	0.03	9.51E-04
	示踪砂注入	7.93E+00	3600	10	10.00	7.93E-02
<sup>85</sup> Sr	转移铅罐搬运	25	60	10	0.17	4.25E-03
	铝筒安装	1.60E+02	30	10	0.08	1.28E-02
	连接软管泵	8.73E+02	20	10	0.06	5.24E-02
	操作控制器	8.73E+00	10	10	0.03	2.62E-04
	示踪砂注入	2.18E+00	3600	10	10.00	2.18E-02
<sup>124</sup> Sb	转移铅罐搬运	25	60	10	0.17	4.25E-03
	铝筒安装	4.97E+02	30	10	0.08	3.98E-02
	连接软管泵	2.71E+03	20	10	0.06	1.63E-01
	操作控制器	2.71E+01	10	10	0.03	8.13E-04
	示踪砂注入	6.77E+00	3600	10	10.00	6.77E-02
<sup>160</sup> Tb	转移铅罐搬运	25	60	10	0.17	4.25E-03
	铝筒安装	3.21E+02	30	10	0.08	2.57E-02
	连接软管泵	1.75E+03	20	10	0.06	1.05E-01
	操作控制器	1.75E+01	10	10	0.03	5.25E-04
	示踪砂注入	4.37E+00	3600	10	10.00	4.37E-02
<sup>192</sup> Ir	转移铅罐搬运	25	60	10	0.17	4.25E-03
	铝筒安装	2.46E+02	30	10	0.08	1.97E-02
	连接软管泵	1.34E+03	20	10	0.06	8.04E-02
	操作控制器	1.34E+01	10	10	0.03	4.02E-04
	示踪砂注入	3.35E+00	3600	10	10.00	3.35E-02
合计						1.01E+00

注: 1、示踪砂统一搬运, 单次时间按 60s 计;

2、铝筒安装过程中, 操作人员采用 50cm 的专用夹具进行操作, 操作人员与示踪砂的距离取 0.7m; 考虑 5 种示踪砂依次注入, 单次时间为 30s;

3、连接软管泵过程中, 操作人员采用 10cm 的专用钳子进行操作, 操作人员与示踪砂的距离取 0.3m; 考虑 5 种示踪砂依次操作, 单次时间为 20s;

4、操作控制器过程中, 操作人员在距离释放器 3m 处的控制器处操作; 考虑 5 种示踪砂依次操作, 单次时间为 10s;

5、操作人员在距离释放器 6m 的地方实时监控; 考虑 5 种示踪砂依次操作, 单次时间为 1h;

6、由于井下测试位置位于井下 1500~3000m 深度，放射性同位素经岩土屏蔽后对地面环境无影响，本次评价不考虑。

本项目放射性同位素测井过程中，转移铅罐搬运、铝筒安装、连接软管泵、操作控制器、示踪砂注入等操作由 4 名操作人员分 2 组轮换完成，则每名操作人员在使用放射性同位素  $^{46}\text{Sc}$ 、 $^{85}\text{Sr}$ 、 $^{124}\text{Sb}$ 、 $^{160}\text{Tb}$ 、 $^{192}\text{Ir}$  进行测井时年附加有效剂量为  $1.01 \div 2 = 0.51\text{mSv}$ 。低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业照射限值和本次环评提出的年剂量约束值（5mSv）。

## 2、公众年附加有效剂量分析

本项目进行测井作业时，公众位于监督区警戒线外，距放射源距离不小于 50m，警戒线处辐射剂量率当量率选取表 11-1 中  $^{46}\text{Sc}$  裸源 50m 的剂量率为  $1.14\text{E}-01\mu\text{Sv/h}$ ，按整个测井流程最大时间 5.1h（由于各井场位置分散，以单口井考虑）保守计算，公众居留因子取 1/16，则公众年附加有效剂量为  $3.63\text{E}-05\text{mSv/a}$ ，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中公众限值及本次环评提出的年剂量约束值（0.1mSv）。

## 三、固体废物影响分析

本项目产生的固体废物主要为测井现场工作后产生的废手套、口罩、棉纱以及反排砂；每口井约产生 0.1kg 的废手套、口罩、棉纱和 10kg 的反排砂，本项目累计年最大测井工作量为 10 口，全年最多产生 1kg 的废手套、口罩、棉纱和 100kg 的反排砂。每次测井作业完成后，对废手套、口罩、棉纱以及反排砂进行检测，检测结果不超过放射性固体废物免管水平的作为一般工业固体废物，依托井场现有的一般固体废物处理设施统一处置；高于免管水平的固体废物为放射性固体废物，分类收集后暂存于运输车辆上的污物回收箱中，待测井完成后运回北京国原新技术有限公司处理。

固体废物收集暂存过程中应做好检测与废物处理、转移等相关记录，并严格按照具体事项对全过程进行存档。在做好上述措施后，本项目产生的固体废物均能得到合理处置，对环境的影响可接受。

## 四、废气环境影响分析

本项目  $^{46}\text{Sc}$ 、 $^{85}\text{Sr}$ 、 $^{124}\text{Sb}$ 、 $^{160}\text{Tb}$ 、 $^{192}\text{Ir}$  示踪测井产生的  $\gamma$  射线会使空气电离产生少量  $\text{O}_3$  和  $\text{NO}_x$ ，经自然分解和稀释后对周围环境及工作人员基本无影响。

## 五、对地下水、土壤的环境影响分析

本项目使用的放射性同位素半衰期最长为 83.8 天（ $^{46}\text{Sc}$ ），经 2~3 年后（10 个

半衰期)，可以衰变完毕，不存在累积影响；示踪砂为陶瓷颗粒，具有耐高压的特性（最大耐压 77MPa）且粒径小（20 或 40 目），在压裂过程中出现破碎或溶解的概率极低，对地下水、土壤无影响。

## 事故影响分析

### 一、辐射事故分级

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令 第 449 号）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 11-4。

表 11-4 辐射事故等级划分表

事故等级	事故情形
特别重大辐射事故	I 类、II 类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果，或者放射性同位素和射线装置失控导致 3 人以上（含 3 人）急性死亡
重大辐射事故	I 类、II 类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 2 人以下（含 2 人）急性死亡或者 10 人以上（含 10 人）急性重度放射病、局部器官残疾
较大辐射事故	III 类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 9 人以上（含 9 人）急性重度放射病、局部器官残疾
一般辐射事故	IV 类、V 类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射

### 二、事故状态可能引起的电离辐射生物效应

电离辐射引起生物效应的作用是一种非常复杂的过程。目前仍不清楚，但是大多数学者认为放射损伤发生是按一定的阶梯进行的。生物基质的电离和激发引起生物分子结构和性质的变化，由分子水平的损伤进一步造成细胞水平、器官水平的损伤，继而出现相应的生化代谢紊乱，并由此产生一系列临床症状。

这类症状存在阈值效应，其严重程度取决于剂量大小，只有在剂量超过一定的阈值时才能发生，称之为确定性效应，该效应是高水平辐射照射导致细胞死亡，细胞延缓分裂的各种不同过程的结果。确定性效应常出现在短时间间隔内的高剂量照射的情况（急性照射）。

确定性效应定义为通常情况下存在剂量阈值的一种辐射效应，超过阈值时，剂量越高则效应的严重程度越大。同时不同个体不同组织和器官对射线照射的敏感度差异较大。在非正常情况下，急性大量辐射照射可以造成人或者生物的死亡。

随机性效应是国际辐射防护委员会（CP）建议区分辐射效应的类型之一。假定在通常辐射操作的照射条件（即低剂量和低剂量率）下，生物效应的发生概率与剂量当量之间呈线性关系，而该效应的严重程度与剂量大小无关。生物效应的发生可能起源于受损伤的单个细胞，其过程具有随机效应，随机效应的名称也由此而来。另外，须指出，随机性效应不存在剂量的阈值。

随机性效应一般包括有范围广泛的癌症和遗传效应，这些效应要在初次受照之后许多年才可能发生。与确定性效应形成对照，随机性效应假定不存在凡是低于它时就不会引起效应的剂量阈值，随机性效应不会发生于每一个受照者；但在受照者本人或其顺序几代子孙中发生这些效应中的一种的概率将随所受剂量的增加而增加。因此从理论上讲，即使剂量非常小，人们仍然会有一定机会（尽管机会非常之小）遭受这样的效应。对于一个在其中的所有人都受到小辐射剂量的大群体，就能够统计地估计出可能发生附加的随机性效应的期望数。然而，由于与辐射无关的其它原因也能引起类似的效应，因此不可能截然区分开蒙受该类效应者中间哪一个来自辐射照射的直接结果。

成人全身受到不同照射剂量的损伤估计情况见表 11-5。

表 11-5 不同照射剂量对人体损伤的估计

类型	受照剂量参考值 (Gy)	初期症状和损伤程度
/	<0.25	不明显和不易察觉的病变
	0.25~0.5	可恢复的机能变化，可能有血液学的变化
	0.5~1	机能变化，血液变化，但不伴有临床症状
骨髓型急性放射病	1.0~2.0	轻度：乏力，不适，食欲减退
	2.0~4.0	中度：头昏，乏力，食欲减退，恶心，呕吐，白细胞短暂上升后下降
	4.0~6.0	重度：1h 后多次呕吐，可有腹泻，腮腺肿大，白细胞明显下降
	6.0~10.0	极重度：1h 内多次呕吐和腹泻，休克、腮腺肿大，白细胞明显下降
肠型放射病	10~50	肠上皮、隐窝损伤
脑型放射病	>50	小脑、大脑损伤

### 三、辐射事故类型

本项目的主要环境风险因子为 $\gamma$ 射线，危害因素为射线超剂量照射。根据分析，该项目使用的放射性同位素  $^{46}\text{Sc}$ 、 $^{85}\text{Sr}$ 、 $^{124}\text{Sb}$ 、 $^{160}\text{Tb}$ 、 $^{192}\text{Ir}$  发生事故的主要类型为：

(1)装有放射性同位素  $^{46}\text{Sc}$ 、 $^{85}\text{Sr}$ 、 $^{124}\text{Sb}$ 、 $^{160}\text{Tb}$ 、 $^{192}\text{Ir}$  示踪砂的转移铅罐丢失、被盗

事故，导致公众超剂量照射；

(2)装有放射性同位素  $^{46}\text{Sc}$ 、 $^{85}\text{Sr}$ 、 $^{124}\text{Sb}$ 、 $^{160}\text{Tb}$ 、 $^{192}\text{Ir}$  示踪砂的铝筒在与释放器连接过程中的撒漏事故；

(3)由于地层压力过大，含有放射性同位素  $^{46}\text{Sc}$ 、 $^{85}\text{Sr}$ 、 $^{124}\text{Sb}$ 、 $^{160}\text{Tb}$ 、 $^{192}\text{Ir}$  的示踪砂随返排液进入反排池，造成污染井场环境事故；

(4)少量示踪砂未被压紧于裂缝或示踪砂污染地下水。

#### 四、辐射事故影响分析

##### 1、装有示踪砂的转移铅罐丢失、被盗事故影响分析

测井的放射性同位素源属于非密封放射性物质，测井用非密封放射性物质暂存于转移铅罐中的铝筒中，但由于其开放型的特性和野外作业等诸多因素，可能存在保管不善，发生转移铅罐丢失、被盗事故。

装有示踪砂的转移铅罐丢失、被盗后，及时进行寻找，找回时间以 24h 计，根据《油气田测井放射防护要求》（GBZ 118-2020）中：“距非密封放射性物质防护容器外表面 5cm 处的周围剂量当量率不应超过  $25\mu\text{Sv/h}$ ”，权重因数取 1，经计算公众受照剂量为  $0.6\text{mSv}$ ，未超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“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算值不应超过下述限值：年有效剂量， $1\text{mSv}$ ”规定剂量限值；如果事故没有得到及时妥善处理，经估算事故发生超过 40h，可能造成公众受到超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“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算值不应超过下述限值：年有效剂量， $1\text{mSv}$ ”规定剂量限值。

##### 2、装有示踪砂的转移铅罐丢失、被盗后裸源事故影响分析

由于公众对于放射源认识不足，可能存在装有示踪砂的转移铅罐丢失、被盗后，遭到破坏或放射性同位素被取出，造成裸源事故。

转移铅罐丢失、被盗后，及时进行寻找，找回时间以 24h 计，本次以项目所用非密封放射性物质中辐射剂量率最大的  $^{46}\text{Sc}$ （ $30\text{mCi}$ ），按 0.5m 处最大辐射剂量当量率为  $1.14\text{mSv/h}$  考虑（根据表 11-1 计算结果），由此计算的放射源裸露状态下辐射剂量，经计算公众受照剂量为  $27.36\text{mSv}$ ，超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“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算值不应超过下述限值：年有效剂量， $1\text{mSv}$ ”规定剂量限值，造成了一般辐射事故的发

生。

### 3、铝筒连接释放器过程中的撒漏事故影响分析

在铝筒连接释放器的过程中，可能由于操作人员操作不慎，导致示踪砂撒漏造成工作场所地面、仪器设备等受到污染；事故发生后，测井队立即对撒漏区域使用剂量率检测仪进行监测，将监测数据高于本底的土壤等环境介质范围进行清污处理，由于项目使用示踪砂的量较小，一般散落范围有限，污染范围较小，且示踪砂为固体陶粒，清理难度不大，因此清理产生的放射性废物量较小。

本次以项目所用非密封放射性物质中辐射剂量率最大的  $^{46}\text{Sc}$  考虑撒漏后的事故影响，根据表 11-5 计算结果，距放射性同位素 0.5m 处最大辐射剂量当量率为 1.14mSv/h，撒漏事故发生后测井队立即进行处理，时间保守以 1h 计，经计算职业人员受照剂量为 1.14mSv，未超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“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：由审管部门决定的连续 5 年的平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv；任何一年中的有效剂量，50mSv”规定剂量限值。

### 4、示踪砂随返排液进入反排池的事故影响分析

由于地层压力过大，导致示踪砂并未很好的固定在压裂裂缝中，而随返排液进入反排池，对井场环境造成污染；事故发生后，测井队立即对返排砂池使用剂量率检测仪进行监测，将监测数据高于本底的土壤等环境介质范围进行清污处理，由于项目使用示踪砂的量较小，一般散落范围有限，污染范围较小，且示踪砂为固体陶粒，清理难度不大，因此清理产生的放射性废物量较小。

本次以 5 种示踪砂全部反排保守考虑事故影响，距离以 0.5m 计，根据表 11-1 计算结果，距 0.5m  $^{46}\text{Sc}$ 、 $^{85}\text{Sr}$ 、 $^{124}\text{Sb}$ 、 $^{160}\text{Tb}$ 、 $^{192}\text{Ir}$  辐射剂量当量率分别为 1.14mSv/h、0.314mSv/h、0.974mSv/h、0.629mSv/h、0.482mSv/h，示踪砂返排事故发生后测井队立即进行处理，时间保守以 1h 计，经计算职业人员受照剂量为 3.539mSv，满足本项目辐射工作人员的剂量约束值 5mSv/a。

### 5、少量示踪砂未被压紧于裂缝或示踪砂污染地下水

#### (1)示踪砂未压紧对地下水影响

由前文中井深结构原理介绍可知，项目测井井口为钻探施工完成的井口，除目标油层外，井内与周边地下水含水层间存在油井井身的油层套管、技术套管、表层套

管、导管、固井水泥环等多层的隔水措施，用于隔绝井内油与周边地下水水层。因此，即使出现示踪砂未被压紧进入井深的情况，未被压实的示踪砂也仅可能会从井底顺井管返排至地面，形成被污染的反排砂，因此在测井井深结构完好的情况下示踪砂未压紧对周边地下水基本无影响。

## (2)示踪砂污染地下水

本项目使用的示踪砂为高强度的固体陶粒，其生产过程为将原料氧化铝（纯度99.9%以上）和所需惰性金属盐（纯度99.9%以上）加纯水摇成球状后进行辐照生产。

根据中国原子能科学研究院、原子高科股份有限公司组织鉴定并出具的鉴定结果，项目使用的示踪砂洗脱率小于1%，在地下水内溶解率极低。项目示踪砂分布于油层内，油层与地下水水层间存在隔水层，因而极少量示踪砂仅能顺油井内上返，根据前文介绍，井内与周边地下水含水层间存在油井井身的油层套管、技术套管、表层套管、导管、固井水泥环等多层的隔水措施，上返部分基本不会对周边地下水造成影响，仅会进入反排池，对周边地下水的影响基本可以忽略不计。此外，示踪砂为高强度的固体陶粒，具有耐高压的特性（最大耐压77MPa）且粒径小（20或40目），在压裂过程中出现破碎或溶解的概率极低，对地下水、土壤无影响。

## 五、辐射事故防范措施

由于放射性同位素 $^{46}\text{Sc}$ 、 $^{85}\text{Sr}$ 、 $^{124}\text{Sb}$ 、 $^{160}\text{Tb}$ 、 $^{192}\text{Ir}$ 测井存在发生事故的风险，本项目制定以下风险防范措施：

### (1)装有示踪砂的转移铅罐丢失、被盗事故

① 使用放射性同位素示踪砂必须登记造册，建立严格的领取制度。办理交接登记手续，并定期检查核对，做到账物相符。

② 转移铅罐外表面张贴“当心电离辐射”标志。

③ 测井现场的转移铅罐拟采取双人双锁、专人值守等安保措施。

### (2)铝筒在连接释放器过程中的撒漏事故

① 在操作放射性同位素示踪砂之前做好准备工作，穿戴和使用外照射防护用品和防护服，佩带个人剂量计；

② 严格执行放射性同位素测井安全操作规程，防止事故发生。

### (3)示踪砂随返排液进入反排池的事故

返排液中含有极少量的砂子，多为井壁表层砂，建设单位为确保返排液中的砂子



不含放射性，会在含有示踪砂的砂子注入井下后，再注入部分不含示踪砂的砂子；并对反排砂进行检测，检测结果不超过放射性固体废物免管水平的作为一般工业固体废物，依托井场现有的一般固体废物处理设施统一处置；高于免管水平的固体废物为放射性固体废物，分类收集后暂存于运输车辆上的污物回收箱中，待测井完成后运回北京国原新技术有限公司处理。

(4)少量示踪砂未被压紧于裂缝或示踪砂污染地下水

为防止示踪砂未被压紧于裂缝，建设单位会在含有示踪砂的砂子注入井下后，再注入部分不含示踪砂的砂子，来保证返排液中基本不含示踪砂；项目示踪砂对地下水是否会造成影响主要取决于井身结构的完好性，建设单位在示踪测试前应积极与油田压裂队沟通，确保在钻井工作完成、井深结构完好的情况下开展放射性同位素示踪测井工作。

**表 12 辐射安全管理**

**辐射安全与环境保护管理机构的设置**

**一、辐射安全与环境保护管理机构**

北京国原新技术有限公司成立辐射安全与环境保护管理机构，负责公司日常辐射安全监管和协调工作，并安排专业人员负责该公司辐射安全工作。管理机构人员如下：

组 长： 李 航

副组长： 陈洪涛、何荣华、徐奉保

组 员： 姜海英、王 凯、罗联哲、潘 群、刘玉柱

**二、管理机构主要责任人职责**

**1、管理机构负责人职责**

- (1)认真宣传贯彻放射防护法规、标准，组织培训放射工作人员。
- (2)组织或实施放射工作场所放射防护的检测、个人剂量监测和改进防护设施。
- (3)对从事同位素测井人员进行专业技术和放射防护教育，并定期考核。
- (4)组织实施放射工作人员的健康检查和医学监护。
- (5)协助上级主管部门调查和处理放射事故。

**2、测井队长岗位职责**

- (1) 负责本队的辐射安全管理和检查工作，对查出的隐患问题落实整改。
- (2) 负责制订、修订本队有关辐射安全管理制度，并检查执行情况。
- (3) 做好本队的辐射安全防护培训工作，负责新工人入队和上岗前的辐射安全防护培训教育。
- (4) 按照辐射安全技术规范、标准的要求，负责本队井控装备、防护和应急器具的管理，提出改进意见和建议。
- (5) 参加本队辐射事故的调查处理，负责统计分析，按时上报。
- (6) 健全完善辐射安全管理基础资料，做到齐全、准确、规格化。
- (7) 发生辐射事故时组织抢险和保护现场，按规定及时上报事故，配合调查处理。

**三、人员配备与职能**

依据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中第十六条第二款的要求，从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考

核。依据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》中第二十八条的要求，生产、销售、使用放射性同位素和射线装置的单位，应当对直接从事生产、销售、使用活动的职业人员进行安全和防护知识教育培训，并进行考核；考核不合格的，不得上岗。

本项目拟新增6名辐射工作人员，分别为1名队长、1名安全员、4名操作人员，可以满足本项目测井工作需求，辐射工作人员需按照《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（公告 2019年 第57号）的要求，参加辐射安全与防护培训考核并取得了合格证书后方可上岗。

### 辐射安全管理规章制度

#### 一、辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条规定：使用放射性同位素、射线装置的单位申请领取许可证，应当具备下列条件：（六）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。

北京国原新技术有限公司已制定了《辐射防护大纲》、《重大危险源安全管理程序》、《辐射环境监测大纲》、《个人剂量监测管理程序》、《辐射监测质量控制程序》、《放射性废物管理大纲》、《放射性物品运输安全管理程序》、《应急预案、执行程序管理与控制》《油田压裂示踪应急预案》等规章制度，并于每年1月31日前向辐射安全许可证发证机关报送了辐射安全年度评估报告，到目前为止院内尚未发生过同类型项目的辐射事故。北京国原新技术有限公司的规章制度可用于指导本项目，在进一步完善环境影响评价提出的防护措施和管理制度后，可以满足辐射环境管理要求。

#### 二、辐射活动能力评价

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（第十六条）、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（第七条）的相关规定，北京国原新技术有限公司从事本项目放射性同位素示踪测井的辐射活动能力评价见表12-1。

表 12-1 从事本项目辐射活动能力评价

应具备条件	落实情况
使用 I 类、II 类、III 类放射源，使用 I 类、II 类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全	北京国原新技术有限公司已成立辐射安全与环境保护管理机构，辐射安全与环境保护管理机构职责为：组织制定辐射安全相关管理规章制度并监督检查各单位辐射安全规章制度建设和执行情

与环境保护管理工作；其他辐射工作单位应当有 1 名具有大专以上学历的技术人员专职或者兼职负责辐射安全与环境保护管理工作	况；监督检查北京国原新技术有限公司的辐射工作场所与放射性同位素贮存场所等安全管理情况。本项目依托北京国原新技术有限公司的辐射安全与环境保护管理机构开展辐射防护管理工作
从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核	本项目拟新增的辐射工作人员按照规定参加辐射安全与防护培训考核并取得了合格证书后方可上岗
放射性同位素与射线装置使用场所所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施	测井现场进行分区管理，划分控制区和监督区，要求控制区边界周围剂量当量率小于 2.5 $\mu$ Sv/h 或其他无关人员不可达；放射性同位素示踪砂采用铝筒+转移铅罐存储和转运，测井现场的转移铅罐拟采取双人双锁、专人值守等安保措施
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、辐射监测等仪器。使用非密封放射性物质的单位还应当有表面污染监测仪	北京国原新技术有限公司拟为测井队配备 1 台 X- $\gamma$ 剂量率检测仪和 1 台表面沾污仪、6 套铅衣；为每位辐射工作人员配备个人剂量计、个人剂量报警仪等个人防护用品
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	北京国原新技术有限公司已制定了《辐射防护大纲》、《重大危险源安全管理程序》、《辐射环境监测大纲》、《个人剂量监测管理程序》、《辐射监测质量控制程序》、《放射性废物管理大纲》、《放射性物品运输安全管理程序》、《应急预案、执行程序管理与控制》等规章制度，并于每年 1 月 31 日前向辐射安全许可证发证机关报送了辐射安全年度评估报告，到目前为止院内尚未发生过同类型项目的辐射事故。现有的规章制度可用于指导本项目，在进一步完善环境影响评价提出的防护措施和管理制度后，可以满足辐射环境管理要求
有完善的辐射事故应急措施	北京国原新技术有限公司已制定《应急预案、执行程序管理与控制》，并成立突发公共事件领导小组，针对放射性同位素压裂示踪测井项目拟制定专项辐射事故应急预案，一旦发生事故及时启动应急预案，事故能得到及时有效的处理
产生放射性废气、废液、固体废物的，还应当具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案	项目运行产生的“三废”，北京国原新技术有限公司拟采取相应的处理措施（具体见表 10），保证放射性废物均能得到妥善处置，对环境的影响可接受

## 辐射监测

### 一、辐射监测

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）中的相关规定，本项目监测的内容包括：工作场所监测、个人剂量监测。

根据调查，北京国原新技术有限公司已制定有监测计划，定期委托有资质单位进行监测，包括工作场所监测及个人剂量监测等，满足相关要求。

## 1、监测仪器

北京国原新技术有限公司拟为测井队配备 1 台 X- $\gamma$ 剂量率检测仪和 1 台表面沾污仪、6 套铅衣；为每位辐射工作人员配备个人剂量计、个人剂量报警仪等个人防护用品。

环评要求：项目投运后，需保证每名辐射工作人员均配备个人剂量计，个人剂量计每三个月送有资质部门检测一次，做到定期送检，专人专戴；建立辐射工作人员个人剂量档案。加强辐射工作人员职业健康检查管理，定期组织辐射工作人员体检，建立放射工作人员个人健康档案。

## 2、监测计划

根据测井作业特点，制定项目的辐射环境监测计划。监测内容、监测点位布设及监测频次见表 12-2。

表 12-2 辐射环境监测计划表

类别	监测项目	监测点位	监测频次
自主 监测	周围剂量当量率	控制区及监督区边界处、示踪砂操作区、井口、反排池、释放器、工作人员防护服、劳保用品、工具	现场测井前、后各监测 1 次
		固体废物	现场测井后 1 次
	$\beta$ 表面污染	井口周围地面、工作人员裸露皮肤、工作服、个人防护用品表面、释放器及其他设备表面	现场测井前、后监测 1 次
		固体废物	现场测井后 1 次
委托 监测	$\gamma$ 辐射空气吸收剂量率	示踪砂操作区、井口、反排池、释放器、工作人员防护服、劳保用品、工具	委托有资质单位在测井作业前、后各监测 1 次
	$\beta$ 表面污染	示踪砂操作区、井口、反排池、释放器、工作人员防护服、劳保用品、工具	委托有资质单位在测井作业前、后各监测 1 次
	工作人员个人剂量当量	/	每 3 个月送有资质检测机构检测 1 次

## 辐射事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十一条之规定：“生产、销售、使用放射性同位素和射线装置的单位，应当根据可能发生的辐射事故的风险，制定本单位的应急方案，做好应急准备。”北京国原新技术有限公司已制定《油田水力压裂放射性示踪测试辐射安全应急预案》，并成立突发公共事件领导小组，针对放

射性同位素压裂示踪测井项目拟制定专项辐射事故应急预案，一旦发生事故及时启动应急预案，事故能得到及时有效的处理。

### 一、辐射事故应急预案内容

油田水力压裂放射性示踪测试辐射安全应急预案主要包括以下内容：

- (1) 目的和适用范围
- (2) 事故风险描述
- (3) 应急资源配备
- (4) 应急组织机构、职责、测井现场人员职责
- (5) 预警、突发情况应急措施及信息报告
- (6) 响应程序
- (7) 后期处置
- (8) 记录

### 二、辐射事故应急预案启动与报告

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环保部第 18 号令）中要求，发生辐射事故或者发生可能引发辐射事故的运行故障时，北京国原新技术有限公司应当立即启动本单位的放射性同位素示踪测井专项辐射事故应急预案，采取应急措施，并在 2h 内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境主管部门报告，同时向当地人民政府、公安部门和卫生主管部门报告。

报告联系电话如下：

原子能院安防环保部电话：010-69357774

克拉玛依市卫生健康委员会：0990-6629686

克拉玛依市生态环境局：0990-6881537

克拉玛依市公安局：110

24 小时政务服务便民热线：12345

国原公司安全部门电话：010-61378251

生态环境部华北核与辐射安全监督站：18810250510

### 三、事故应急措施

#### 1、处理原则

- (1) 尽早采取去污措施；
- (2) 选择合理的去污方法，防止交叉污染和扩大污染；
- (3) 穿戴有效的个人防护用品；
- (4) 详细记录事故过程和处理情况，档案妥善保管。

#### 2、应急处理措施

(1) 装有示踪砂的转移铅罐丢失、被盗事故

① 立即封锁工作区域，禁止任何人员出入。

对于示踪砂的丢失、被盗情况，现场安全员应，禁止任何人员出入，持表面污染仪对现场进行巡视，示踪砂找到并确认安全状态后（如有破损部件，一同进行现场收集、并存储带回）方可解除警戒，撤离现场

② 先在井场范围内寻找转移铅罐，确认是否丢失、遗漏。

③ 如井场范围内未找到转移铅罐，则应在 2 小时内逐级上报至监管部门，同时报告所在地公安部门。过程中应听从当地环保、公安等单位的指挥安排，开展事故应急救援措施。

(2) 铝筒与释放器连接过程中的撒漏事故

① 当发现放射性同位素示踪砂洒漏事故时，立即通知现场作业人员撤出，同时标出一定的污染范围，防止非作业人员进入，由测井队人员进行清污处理；

② 对井场周围进行 $\gamma$ 辐射剂量率及表面污染水平监测，划出污染范围。采取人工铲除地表污染土壤的办法清除，将清除的污染物装入密封袋，达到清洁解控水平后作为一般工业固体废物处置；

③ 污染区经去污后，经监测达到清洁解控水平后，方可开放；

(3) 示踪砂随返排液进入反排池的事故

① 如出现示踪砂随返排液进入反排池的情况，应立即停止注入操作，封锁反排池区域。

② 组织工作人员尽快撤离测井现场。

③ 根据现场情况，待反排结束后，对反排池中的示踪砂进行收集，运回北京国原新技术有限公司处理。

④示踪砂收集处理后，对反排池进行监测，达到清洁解控水平后，方可继续操作。

#### **四、应急演练及应急预案修订**

应急预案编制后，拟对测井队进行应急预案培训，并适时开展应急演练，并根据演练中发现的问题，完善、修订应急预案，维持应急能力。



## 竣工环境保护验收

### 一、竣工环境保护验收内容及要求

根据《建设项目环境保护管理条例》（国务院第 682 号令，2017 年 10 月 1 日起实施），“编制环境影响报告书、环境影响报告表的建设项目竣工后，建设单位应当按照国务院环境保护行政主管部门规定的标准和程序，对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告”，本项目竣工后，应按要求及时对配套建设的环境保护设施进行验收。验收合格后，方可投入生产或使用。

本项目竣工环境保护验收清单（建议）见表 12-3。

表 12-3 项目竣工环境保护验收清单（建议）

序号	验收内容	防护措施	验收效果和环境预期目标	与现有工程依托情况
1	辐射安全与环境管理领导机构和辐射事故应急领导组织	设立以公司主管领导为组长相关部门负责人参加的辐射安全与环境管理领导小组，负责整个辐射安全与环境管理工作	以文件形式成立辐射安全与环境保护管理小组	依托现有
2	辐射环境监测	监测工作场所放射性污染以及放射源所处状态，避免相关人员受到不必要的辐射	根据《油气田测井放射防护要求》（GBZ 118-2020）及表 12-2 要求进行放射性工作场所及其周围环境监测，保存监测记录	依托现有监测仪器监测
3	工作场所设立电离辐射警示标志	防止无关人员进入边界以内的操作区域	在测井现场的控制区边界上设置警戒线和警告标志（或采取警告措施）	依托现有
4	监测仪器	测井队均应配备相应的监测仪器	表面沾污仪、X-γ剂量率检测仪、个人剂量计、个人剂量报警仪等	表面沾污仪、X-γ剂量率检测仪依托现有；个人剂量计、个人剂量报警仪新增
5	个人剂量档案和健康档案	进行放射性同位素操作时按要求佩戴个人剂量计，每个季度送有资质监测机构监测 1 次；并建立个人剂量档案和健康档案	确保相关人员安全：工作人员年有效剂量低于 5mSv；建立个人剂量档案和健康档案	/
6	辐射防护用品	测井队放射性同位素操作人员配备个人防护用品	配备铅衣、手套等个人防护用品	依托现有
7	放射性工作人员资质	放射性工作人员均按要求参加国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习并通过考核	参加国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习并通过考核	/

续表 12-3 项目竣工环境保护验收清单（建议）

序号	验收内容	防护措施	验收效果和环境预期目标	与现有工程依托情况
8	控制区边界周围剂量当量率控制值	测井现场进行分区管理，以测井区域为中心，延伸 11m 范围（包含测井区域）划设为控制区，控制区边界外井场围墙（至少 50m 范围）内划设为监督区	控制区边界周围剂量当量率小于 2.5 $\mu$ Sv/h	/
9	距非密封放射性物质防护容器外表面周围剂量当量率控制值	测井现场的转移铅罐拟采取双人双锁、专人值守等安保措施；外表面张贴“当心电离辐射”标志	5cm 处 $\leq$ 25 $\mu$ Sv/h 100cm 处 $\leq$ 2.5 $\mu$ Sv/h	/
10	非密封放射性物质贮存运输容器外表面 $\beta$ 放射性物质		$\leq$ 4Bq/cm <sup>2</sup>	/
11	工作场所的放射性表面污染控制水平	工作人员严格按照测井规程进行操作；测井现场操作人员穿戴符合要求的铅防护服、口罩和手套等个人防护用品，并做到统一保管和处理；测井结束后，对井场及相关区域、辐射工作人员裸露皮肤、工作服和个人防护用品的 $\gamma$ 辐射剂量率和表面沾污情况进行监测	工作台、设备、墙壁、地面控制区 $\beta\leq 4\times 10^1$ Bq/cm <sup>2</sup> ，监督区 $\beta\leq 4$ Bq/cm <sup>2</sup> ；工作服、手套、工作鞋控制区及监督区 $\beta\leq 4$ Bq/cm <sup>2</sup> ；手、皮肤、内衣、工作袜 $\beta\leq 4\times 10^{-1}$ Bq/cm <sup>2</sup>	/
12	固体废物治理	每次测井作业完成后进行检测，检测结果不超过放射性固体废物免管水平的作为一般工业固体废物，依托井场现有的一般固体废物处理设施统一处置；高于免管水平的固体废物为放射性固体废物，分类收集后暂存于运输车辆上的污物回收箱中，待测井完成后运回北京国原新技术有限公司处理	固体废物合理处置；放射性固体废物免管水平： $\beta\leq 0.08$ Bq/cm <sup>2</sup> 、辐射剂量率满足所处环境本底水平	/
13	测井现场清洁解控	每次测井作业完成后对测井现场进行 $\beta$ 表面污染和 $\gamma$ 辐射剂量率检测	测井现场清洁解控水平： $\beta\leq 0.08$ Bq/cm <sup>2</sup> 、辐射剂量率满足所处环境本底水平、达到清洁解控水平后方能离开井场	/

## 二、环保投资估算

本项目环保设施、监测仪器及防护用品部分依托北京国原新技术有限公司现有。本项目总投资 200 万元，环保投资 1.2 万元，占总投资的 0.6%。

表 12-4 项目环保投资估算表

类别	环保设施/措施	数量	投资金额 (万元)	备注
防护设施	铅衣	6 套	/	依托现有
	专用夹具	1 个	/	
	专用钳子	1 个		
	大功率喊话器	1 个	/	
	口罩、手套、棉纱	若干	/	
	警示标识	若干	/	
	安全警戒线	2 盘	/	
	个人剂量报警仪	6 个	0.6	/
监测	X-γ剂量率检测仪	1 台	/	依托现有
	表面沾污仪	1 台	/	
	个人剂量计	6 个	0.6	/
合计			1.2	/

**表 13 结论与建议**

## 一、结论

### 1、项目概况

项目名称：北京国原新技术有限公司克拉玛依放射性同位素示踪测井项目

建设单位：北京国原新技术有限公司

建设性质：新建

建设规模及内容：使用  $^{46}\text{Sc}$ 、 $^{85}\text{Sr}$ 、 $^{124}\text{Sb}$ 、 $^{160}\text{Tb}$ 、 $^{192}\text{Ir}$  在克拉玛依市白碱滩区进行示踪测井活动，日最大测井工作量为 1 口，年最大工作量不超过 10 口。每口井可能会用到一种或多种放射性同位素，单个铝筒内仅存放一种放射性同位素，活度最大为 30mCi（即  $1.11 \times 10^9 \text{Bq}$ ）。放射性同位素  $^{46}\text{Sc}$ 、 $^{85}\text{Sr}$ 、 $^{124}\text{Sb}$ 、 $^{160}\text{Tb}$ 、 $^{192}\text{Ir}$  日等效最大操作量为  $5.55 \times 10^6 \text{Bq}$ ，年最大用量为  $5.55 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，测井现场属丙级非密封放射性物质工作场所。

### 2、实践正当性结论

北京国原新技术有限公司拟在克拉玛依市白碱滩区开展放射性同位素  $^{46}\text{Sc}$ 、 $^{85}\text{Sr}$ 、 $^{124}\text{Sb}$ 、 $^{160}\text{Tb}$ 、 $^{192}\text{Ir}$  测井，主要用于压裂作业后的完井测试，诊断压裂裂缝宽度、确定水泥环窜槽、识别裂缝，为压裂测试提供更加先进的检测技术，具有明显的社会效益；同时利于提高油气田采收率，增加油气产量，可以创造更大的经济效益。项目采取的辐射安全与防护措施符合要求，对环境的辐射影响在可接受范围内，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践的正当性”原则。

### 3、产业政策符合性

本项目利用放射性同位素进行压裂放射性示踪测试，系核技术在工业领域内的运用，属《产业结构调整指导目录（2024 年本）》中规定的鼓励类第六项“核能”中第 4 条“核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发”。因此，本项目符合国家有关的产业政策。

### 4、辐射安全与防护措施分析结论

测井用放射性同位素暂存于转移铅罐中的铝筒内，测井队安排专人看管，并严格执行台账管理制度。现场测井操作人员，穿戴符合要求的专用工作服、帽子、口罩和手套等个人防护用品，并进行统一保管和处理。

本次评价拟将测井区域延伸 11m 范围（包含测井区域）划设为控制区，控制区边界外井场围墙（若至围墙少于 50m，则至少划至 50m 范围）内划设为监督区。控制区边界周围剂量当量率小于  $2.5\mu\text{Sv/h}$  或其他无关人员不可达，并在边界处设置电离辐射警告标志。

放射性同位素操作人员经过操作业务培训，熟练掌握操作方法后方可进行放射性同位素测井操作。

测井结束后，对井场及相关区域、辐射工作人员裸露皮肤、工作服和个人防护用品的 $\gamma$ 辐射剂量率和表面沾污情况进行监测。

每次测井作业完成后，对废手套、口罩、棉纱以及反排砂进行检测，检测结果不超过放射性固体废物免管水平的作为一般工业固体废物，依托井场现有的一般固体废物处理设施统一处置；高于免管水平的固体废物为放射性固体废物，分类收集后暂存于运输车辆上的污物回收箱中，待测井完成后运回北京国原新技术有限公司处理。注入过程完成后对释放器及其他设备进行 $\gamma$ 辐射剂量率和 $\beta$ 表面沾污监测，如有部件沾污由测井队进行清污处理，未沾污的部件不进行清洗直接重复使用。收集暂存过程中应做好检测与废物处理、转移等相关记录，并严格按照具体事项对全过程进行存档。

综上，本项目拟采取的辐射安全与防护措施可以满足《油气田测井放射防护要求》（GBZ 118-2020）中相关要求。

## 5、环境影响分析结论

### (1) 职业人员年附加有效剂量

本项目放射性同位素测井过程中，转移铅罐搬运、铝筒安装、连接软管泵、操作控制器、示踪砂注入等操作由 4 名操作人员分 2 组轮换完成，则每名操作人员在使用放射性同位素  $^{46}\text{Sc}$ 、 $^{85}\text{Sr}$ 、 $^{124}\text{Sb}$ 、 $^{160}\text{Tb}$ 、 $^{192}\text{Ir}$  进行测井时年附加有效剂量为  $0.51\text{mSv}$ 。低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业照射限值和本次环评提出的年剂量约束值（ $5\text{mSv}$ ）。

### (2) 公众剂量分析

本项目进行测井作业时，公众位于监督区警戒线外，测井所致公众年附加有效剂量为  $3.63\text{E-}05\text{mSv/a}$ ，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中公众限值及本次环评提出的年剂量约束值（ $0.1\text{mSv}$ ）。

### (3) 固体废物影响分析

本项目每次测井作业完成后对废手套、口罩、棉纱以及反排砂进行检测，每次测井作业完成后进行检测，检测结果不超过放射性固体废物免管水平的作为一般工业固体废物，依托井场现有的一般固体废物处理设施统一处置；高于免管水平的固体废物为放射性固体废物，分类收集后暂存于运输车辆上的污物回收箱中，待测井完成后运回北京国原新技术有限公司处理。本项目产生的固体废物均能得到合理处置，对环境的影响可接受。

### (4) 地下水及土壤环境影响分析

本项目使用的放射性同位素半衰期最长为 83.8 天 ( $^{46}\text{Sc}$ )，经 2~3 年后 (10 个半衰期)，可以衰变完毕，不存在累积影响；示踪砂为陶瓷颗粒，具有耐高压的特性 (最大耐压 77MPa) 且粒径小 (20 或 40 目)，在压裂过程中出现破碎或溶解的概率极低，对地下水、土壤无影响。

### (5) 废气环境影响分析

本项目  $^{46}\text{Sc}$ 、 $^{85}\text{Sr}$ 、 $^{124}\text{Sb}$ 、 $^{160}\text{Tb}$ 、 $^{192}\text{Ir}$  示踪测井产生的  $\gamma$  射线会使空气电离产生少量  $\text{O}_3$  和  $\text{NO}_x$ ，经自然分解和稀释后对周围环境及工作人员基本无影响。

## 6、环境影响可行性结论

北京国原新技术有限公司在克拉玛依市白碱滩区开展放射性同位素  $^{46}\text{Sc}$ 、 $^{85}\text{Sr}$ 、 $^{124}\text{Sb}$ 、 $^{160}\text{Tb}$  和  $^{192}\text{Ir}$  测井，主要用于压裂作业后的完井测试，诊断压裂裂缝宽度、确定水泥环窜槽、识别裂缝，目的是提高油气田采收率，增加油气产量，其带来的利益远大于其可能引起的辐射危害，符合辐射防护实践的正当性要求，项目建设的目的是可行的。北京国原新技术有限公司对该项目拟采取辐射防护措施，使辐射影响达到尽可能低的水平。

北京国原新技术有限公司严格执行国家相关法律法规和标准要求，健全各项规章制度，加强运行管理；切实落实本报告表中提出的污染防治措施和建议，本项目对工作人员和公众产生的辐射影响就可以控制在国家标准允许的范围之内。因此从辐射环境保护角度分析，该项目可行。

## 二、建议和承诺

1、配备合格的同位素示踪测井相关工作人员，所有辐射工作人员上岗前需经国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习并通过考核。

2、测井作业完成后对测井现场进行 $\beta$ 表面污染和 $\gamma$ 辐射剂量率检测，达到清洁解控水平后方能离开井场。