

编号：RDSH202517

核技术利用建设项目

北京国原新技术有限公司

南充地区放射性同位素压裂示踪测井项目

环境影响报告表

(公示本)



北京国原新技术有限公司

2025年9月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

北京国原新技术有限公司

南充地区放射性同位素压裂示踪测井项目

环境影响报告表



建设单位名称：北京国原新技术有限公司

建设单位法人代表（签名或盖章）：

通讯地址：北京市房山区新镇北区 20 号 324 室

邮政编码：

联系人：

电子邮箱：

联系电话：

打印编号：1757309744000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	fq4f8j		
建设项目名称	北京国原新技术有限公司南充地区放射性同位素压裂示踪测井项目		
建设项目类别	55--172核技术利用建设项目		
环境影响评价文件类型	报告表		
一、建设单位情况			
单位名称（盖章）	北京国原新技术有限公司		
统一社会信用代码	911101111027253793		
法定代表人（签章）			
主要负责人（签字）			
直接负责的主管人员（签字）			
二、编制单位情况			
单位名称（盖章）	四川瑞迪森检测技术有限公司		
统一社会信用代码	91510107MA61RNC437		
三、编制人员情况			
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
何桂桦	20220503551000000020	BH025547	
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
何桂桦	表9~表13	BH025547	
余珊	表1~表8	BH060449	

目 录

表 1 项目基本情况	- 1 -
表 2 放射源	- 9 -
表 3 非密封放射性物质	- 9 -
表 4 射线装置	- 10 -
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	- 11 -
表 6 评价依据	- 12 -
表 7 保护目标与评价标准	- 14 -
表 8 环境质量和辐射现状	- 21 -
表 9 项目工程分析与源项	- 31 -
表 10 辐射安全与防护	- 45 -
表 11 环境影响分析	- 52 -
表 12 辐射安全管理	- 65 -
表 13 结论与建议	- 73 -

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南充地区放射性同位素压裂示踪测井项目				
建设单位	北京国原新技术有限公司				
法人代表		联系人		联系电话	
注册地址	北京市房山区新镇北区 20 号 324 室				
项目建设地点	四川省南充市，属于西南油田				
立项审批部门	/		批准文号	/	
建设项目总投资（万元）		项目环保总投资（万元）		投资比例（环保投资/总投资）	
项目性质	<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他			占地面积（m ² ）	
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
		<input 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	/			

项目概述

一、建设单位简介

北京国原新技术有限公司（统一社会信用代码：911101111027253793，以下简称“国原公司”）成立于 1993 年，是中国原子能科学研究院全资子公司。原子能院产业发展十三五规划的深入落实，为国原公司注入了新的发展使命和机遇。2018 年国原公司成为原子能院产业化平台公司-北京原科技术开发有限公司的全资子公司。

作为一家科技型企业，国原公司通过产业升级、技术研发、自主创新等手段建立了自有的产品的服务体系。主要优势有：

- 1、在涉源处置方面，具备全核素放射源安装、倒装、处置的技术能力和专业队伍，可提供仪器仪表、装置、设施的装源倒源服务；

2、在放射性去污和放射性废物整备与处理方面，承担过多项技术攻关项目，技术能力得到长期检验并获得用户充分肯定，自研的系列去污产品，市场应用范围广泛；

3、在油田压裂示踪技术方面，具有成熟的技术体系和专业化人才队伍，在大型油田应用上积累了丰富的实践经验。

二、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。

四川省南充市属于西南油田，该区块是西南油田在四川省境内主要的页岩气储层开发建设区块。西南油田为了进一步了解区块内的页岩气储层的开发过程中压裂裂缝形成情况，提高油气采收率、降低开采成本，需要在以上页岩气储层区块内的油气井压裂过程中产生的裂缝情况进行检测。受西南油田委托，北京国原新技术有限公司拟使用 ^{46}Sc 、 ^{85}Sr 、 ^{124}Sb 、 ^{160}Tb 及 ^{192}Ir 五种放射性同位素对该区域进行压裂示踪测井。

三、编制目的

为加强核技术应用项目的辐射环境管理，防止辐射污染和意外事故的发生，确保其使用过程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保护法》《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》及《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关法律法规要求，建设方北京国原新技术有限公司需对该项目进行环境影响评价。

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 版）》（生态环境部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行）的规定，本项目属于“第 172 条 核技术利用建设项目”中“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。

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，对同地质条件环境作一次总体评价，并报送审批。

本项目压裂示踪测井现场均为远离公众的空旷野外地区，且压裂测试均处于西南油田的1500m地层以下，总体是对同一油藏地质层位进行测试，因此本项目作一次总体评价。

为此，北京国原新技术有限公司委托四川瑞迪森检测技术有限公司对该项目开展环境影响评价工作（委托书见附件1）。四川瑞迪森检测技术有限公司接受委托后，通过现场勘察、收集资料等工作的基础上，结合本项目的特点，按照国家有关技术规范要求，编制了该项目环境影响报告表。为进一步保障公众对环境保护的参与权、知情权和监督权，加强环境影响评价工作的公开、透明，建设单位已在向生态环境主管部门提交建设项目环境影响报告表前，依法主动公开建设项目环境影响报告表全本信息（详见附件9）。

北京国原新技术有限公司南充市放射性同位素压裂示踪测井项目环境影响评价报告表的评价内容与目的：

- 1、对南充市放射性同位素压裂示踪测井项目运行期的环境影响进行评价分析。
- 2、对项目拟建地址进行辐射环境质量现状评价，并对项目进行环境影响预测评价。
- 3、提出污染防治措施，使辐射影响降低到“可合理达到的尽可能低水平”。
- 4、满足国家和地方环境保护部门对建设项目环境管理规定的要求，为项目的环境管理提供科学依据。

四、项目概况

项目名称：北京国原新技术有限公司南充地区放射性同位素压裂示踪测井项目

项目性质：新建

建设单位：北京国原新技术有限公司

建设地点：本项目放射性同位素示踪测井位于四川省南充市，属于西南油田，油气井场一般都很分散，分布范围广，多处于偏远地区。

1、建设内容与规模：

北京国原新技术有限公司拟在四川省南充市开展放射性同位素 ^{46}Sc 、 ^{85}Sr 、 ^{124}Sb 、 ^{160}Tb 及 ^{192}Ir 同位素示踪测井活动，每天最大测井工作量为 1 口，本次涉及的 13 口油井为：公 003-X14、西 52、西 051-X2、公 003-H17、公 003-6、公 003-11、公 15、广安 20、广安 21、广安 17、顺 101、顺 102 及顺 103。测井计划从 2025 年开始，2 年之内完成。

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，每口井可使用一种或多种放射性同位素，每支释放器中只有一种核素，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}Sc : $1.11 \times 10^9 \text{Bq}$ 、 ^{85}Sr : $1.11 \times 10^9 \text{Bq}$ 、 ^{124}Sb : $1.11 \times 10^9 \text{Bq}$ 、 ^{160}Tb : $1.11 \times 10^9 \text{Bq}$ 、 ^{192}Ir : $1.11 \times 10^9 \text{Bq}$ ）。

放射性同位素 ^{46}Sc 、 ^{85}Sr 、 ^{124}Sb 、 ^{160}Tb 和 ^{192}Ir 日等效最大操作量为 $5.55 \times 10^6 \text{Bq}$ ，年最大用量为 $1.11 \times 10^{11} \text{Bq}$ ；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、分装工作不在本项目评价范围内；本项目使用的放射性同位素示踪砂的运输委托有资质的单位进行运输，运输过程辐射影响由该单位负责，本项目不再进行评价。

综上所述，本项目非密封放射性物质的生产、分装及运输工作不在本项目评价范围内。

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 北京国原新技术有限公司新建项目情况一览表

序号	核素	用途	单口井最大使用量 (mCi)	日最大测井量 (口)	年最大测井量 (口)	日最大操作量 (Bq)
1	^{46}Sc	示踪测井	30	1	20	1.11×10^9

2	⁸⁵ Sr		30			1.11×10 ⁹
3	¹²⁴ Sb		30			1.11×10 ⁹
4	¹⁶⁰ Tb		30			1.11×10 ⁹
5	¹⁹² Ir		30			1.11×10 ⁹

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)	年最大操作量 (Bq)	活动种类
1	公 003-X14、西 52、西 051-X2、公 003-H17、公 003-6、公 003-11、公 15、广安 20、广安 21、广安 17、顺 101、顺 102 及顺 103	丙级	⁴⁶ Sc	1.11×10 ⁹	5.55×10 ⁶	1.11×10 ¹¹	使用
2			⁸⁵ Sr	1.11×10 ⁹			
3			¹²⁴ Sb	1.11×10 ⁹			
4			¹⁶⁰ Tb	1.11×10 ⁹			
5			¹⁹² Ir	1.11×10 ⁹			

注：每口井按同时使用 5 种放射性同位素，单种核素最大操作量为 1.11×10⁹Bq（30mCi）进行考虑。

2、工作制度及人员配置

为降低测井工作过程中对工作人员辐射影响，公司拟针对南充地区放射性同位素测井工作组建 1 只测井队，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），测井队队员均为原有辐射工作人员，均已在生态环境部“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，并考核合格（详见附件 5）。测井队职责分工如下：

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。

五、项目选址合理性分析

本项目放射性同位素压裂示踪测井位于南充市的油井井场内，油井井场一般都比

较分散，分布范围较广，多处于农村远离居民的偏僻地区。

公 003-X14、西 52、西 051-X2、公 003-H17、公 003-6、广安 21、广安 17、顺 101、顺 102 及顺 103 测井区域周围 50m 评价范围内主要为山地、农田和乡道，无住户；公 003-11、公 15 和广安 20 测井区域周围 50m 评价范围内为农田和乡道，仅涉及 1~2 户住户且距离较远。本项目保护目标主要为控制区外监督区内的辐射工作人员及监督区外评价范围内的邻近公众。

本项目的油井均已完成了环境影响评价工作，公 003-X14、西 52、西 051-X2、公 003-H17、公 003-6、广安 21、广安 17、公 003-11、公 15 和广安 20 为原有的老井，并取得了所在地的环评

在施工现场作业时，将采取有效屏蔽，且将因地制宜地充分利用示踪测井具体地点地形特征及周围设施防护。建设单位将通过清场、张贴公告、拉警戒线及调整示踪测井工作时间等安全管理措施，按照划定的控制区和监督区严格管理，禁止其他人员出入。本项目产生的辐射影响通过采取相应的屏蔽措施和管控措施后，对周围环境的辐射影响是可以接受的。

六、项目产业政策符合性

本项目为核技术应用项目在工业领域内的运用。根据国家发展和改革委员会《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，属于鼓励类中第六项“核能”的第 4 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”，是目前国家鼓励发展的新技术应用项目。本项目属于国家鼓励发展的新技术应用项目，符合国家有关法律法规和当前产业政策。

七、实践正当性与利益代价分析

北京国原新技术有限公司拟在四川省南充市开展放射性同位素 ^{46}Sc 、 ^{85}Sr 、 ^{124}Sb 、 ^{160}Tb 及 ^{192}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》（GB 18871-2002）中辐射防护“实践的正当性”原则。

八、项目单位核技术应用现状

(一) 核技术应用现状

1、辐射安全许可证

北京国原新技术有限公司现持有生态环境部颁发的《辐射安全许可证》（国环辐证〔00511〕，发证日期：2023年11月28日），许可种类和范围为：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；有效期至2026年03月31日。辐射安全许可证正副本详见附件2。北京国原新技术有限公司，现有核技术利用情况详见表1-2。

表 1-2 北京国原新技术有限公司现有核技术利用情况一览表

放射源					
序号	核素	类别	总活度（贝克）/活度（贝克）×枚数	活动种类	备注
1	^{60}Co	I	2.035×10^{17}	使用	已许可
2	^{60}Co	I	1.83×10^{16}	使用	

表 1-2 北京国原新技术有限公司现有核技术利用情况一览表（续表）

非密封放射性物质							
序号	工作场所名称	场所等级	核素	日等效最大操作量（Bq）	年最大用量（Bq）	活动种类	备注
1	野外非固定工作场所	丙	^{46}Sc	1.11×10^6	1.776×10^{11}	使用	已许可
2			^{85}Sr	1.11×10^6	1.776×10^{11}	使用	
3			^{124}Sb	1.11×10^6	1.776×10^{11}	使用	
4			^{160}Tb	1.11×10^6	1.776×10^{11}	使用	
5			^{192}Ir	1.11×10^6	1.776×10^{11}	使用	

由表 1-2 可知，北京国原新技术有限公司许可的非密封放射性物质为全部核素，包含本项目使用的 ^{46}Sc 、 ^{85}Sr 、 ^{124}Sb 、 ^{160}Tb 、 ^{192}Ir 。

2、放射性同位素示踪测井环保手续办理情况

北京国原新技术有限公司目前已陆续准备在黑龙江省、吉林省等区域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 1-3。

表 1-3 北京国原新技术有限公司放射性同位素测井项目环保情况一览表

序号	日期	批准文号	项目名称	建设地点及内容
1	2022.12.6	庆环辐表（2022）10号	北京国原新技术有限公司甘肃庆阳油田放射性同位素压裂示踪测井项目	建设地点：甘肃省庆阳市 建设内容：使用 ^{46}Sc 、 ^{85}Sr 、 ^{124}Sb 、 ^{160}Tb 、 ^{192}Ir 放射性同位素示踪剂进行测井作业

2	2023.4.16	黑环审 (2023)18号	北京国原新技术有限公司大庆放射性同位素压裂示踪测井项目	建设地点：黑龙江省大庆市 建设内容：使用 ⁴⁶ Sc、 ⁸⁵ Sr、 ¹²⁴ Sb、 ¹⁶⁰ Tb、 ¹⁹² Ir放射性同位素示踪剂进行测井作业
3	2023.2.20	松环审辐字 (2023)001号	北京国原新技术有限公司松原放射性同位素压裂示踪测井项目	建设地点：吉林省松原市 建设内容：使用 ⁴⁶ Sc、 ⁸⁵ Sr、 ¹²⁴ Sb、 ¹⁶⁰ Tb、 ¹⁹² Ir放射性同位素示踪剂进行测井作业

注：以上测井示踪项目环评批复详见附件4。

(二) 辐射安全管理现状

1、辐射防护管理组织

北京国原新技术有限公司已成立安全部，安全部职责为：组织制定辐射安全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安全部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》及《应急预案、执行程序管理与控制》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（详见附件7）。

3、辐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；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。本项目依托北京国原新技术有限公司的辐射工作人员管理制度。

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。

八、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。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) /活度 (Bq) ×枚数	类别	活度种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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	备注
1	⁴⁶ Sc	固态	使用	1.11×10 ⁹	5.55×10 ⁶	1.11×10 ¹⁰	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	本次环评
2	⁸⁵ Sr	固态	使用	1.11×10 ⁹		1.11×10 ¹⁰	示踪测井	很简单的操作	油井井场		
3	¹²⁴ Sb	固态	使用	1.11×10 ⁹		1.11×10 ¹⁰	示踪测井	很简单的操作	油井井场		
4	¹⁶⁰ Tb	固态	使用	1.11×10 ⁹		1.11×10 ¹⁰	示踪测井	很简单的操作	油井井场		
5	¹⁹² Ir	固态	使用	1.11×10 ⁹		1.11×10 ¹⁰	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》(GB 18871-2002)。

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

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

(二) 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
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
操作过程中产生的手套、口罩、棉纱	固态	⁴⁶ Sc、 ⁸⁵ Sr、 ¹²⁴ Sb、 ¹⁶⁰ Tb、 ¹⁹² Ir	/	/	2kg	/	/	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或四川省城市废物库处理
反排砂	固态	⁴⁶ Sc、 ⁸⁵ Sr、 ¹²⁴ Sb、 ¹⁶⁰ Tb、 ¹⁹² Ir	/	/	200kg	/	/	
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

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

表 6 评价依据

<p>法规 文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》，1989 年 12 月 26 日发布施行；2014 年 4 月 24 日修订，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 年修正版），2018 年 12 月 29 日发布施行；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日起实施；</p> <p>(4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令 449 号，2005 年 12 月 1 日起施行；2019 年修正，国务院令 709 号，2019 年 3 月 2 日施行；</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》，（2017 年修订版），国务院令 682 号，2017 年 10 月 1 日发布施行；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，生态环境部令 20 号，2021 年 1 月 4 日起施行；</p> <p>(7) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 版）》，生态环境部第 16 号令，自 2021 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环保部令 18 号，2011 年 5 月 1 日起施行</p> <p>(9) 《放射性物品运输安全管理条例》，国务院第 562 号令；</p> <p>(10) 《放射性物品运输安全许可管理办法》，环保部 11 号令；</p> <p>(11) 《交通运输部关于修改<放射性物品道路运输管理规定>的决定》（中华人民共和国交通运输部令 2016 年第 71 号）；</p> <p>(12) 《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>(13) 《四川省辐射污染防治条例》，2016 年 6 月 1 日起施行。</p>
<p>技术 标准</p>	<p>(1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）；</p> <p>(2) 《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>(3) 《放射性测井辐射安全与防护》（HJ 1325-2023）；</p> <p>(4) 《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ 1326-</p>

	<p>2023)；</p> <p>(5) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)；</p> <p>(6) 《油气田测井放射防护要求》(GBZ 118-2020)；</p> <p>(7) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB 11930-2010)；</p> <p>(8) 《放射性废物管理规定》(GB 14500-2002)；</p> <p>(9) 《放射性核素载体法示踪测井技术规范》(SY/T 5327-2008)；</p> <p>(10) 《石油放射性测井辐射防护安全规程》(SY 5131-2008)。</p>
其他	<p>(1) 《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》国家环保总局，环发[2006]145号，2006年9月26日起施行；</p> <p>(2) 《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；</p> <p>(3) 《关于发布<建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法>配套文件的公告》，生态环境部，公告2019年第38号，2019年11月1日起施行；</p> <p>(4) 《建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法》生态环境部公告2019年第9号，2019年11月1日起施行；</p> <p>(5) 《关于启用环境影响评价信用平台的公告》，生态环境部，公告2019年第39号，2019年11月1日起启用；</p> <p>(6) 《产业结构调整指导目录(2024年本)》(中华人民共和国国家发展和改革委员会令 第7号)2024年2月1日起施行；</p> <p>(7) 四川省生态环境厅关于印发《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲(2016)》的通知，川环函[2016]1400号。</p>

表 7 保护目标与评价标准

评价范围					
<p>根据本项目的特点并参照《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）中“核技术利用建设项目环境影响评价报告书的评价范围和保护目标的选取原则：放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目评价范围，甲级取半径 500m 的范围，乙、丙级取半径 50m 的范围。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”，本项目测井现场为丙级非密封放射性物质工作场所，确定本项目测井现场周边 50m 范围内作为评价范围，详见图 1-3。</p>					
保护目标					
<p>本项目放射性同位素压裂示踪测井位于南充市的油井井场内，油井井场一般都比较分散，分布范围较广，多处于农村远离居民的偏僻地区。</p> <p>公 003-X14、西 52、西 051-X2、公 003-H17、公 003-6、广安 21、广安 17、顺 101、顺 102 及顺 103 测井区域周围 50m 评价范围内主要为山地、农田和乡道，无住户；公 003-11、公 15 和广安 20 测井区域周围 50m 评价范围内为农田和乡道，仅涉及 1~2 户住户且距离较远。</p> <p>北京国原新技术有限公司计划组建 1 个测井队，有队员 6 名。环境保护目标主要为公司从事放射性测井作业的人员、测井现场周围活动的其他公众人员，详见表 7-1。</p>					
表 7-1 本项目评价范围内辐射环境保护目标一览表					
工作场所名称	保护目标名称	相对方位	最近距离 (m)	规模 (人)	照射类型
公 003-X14、西 52、西 051-X2 公 003-H17、公 003-6、广安 21、广安 17、顺 101、顺 102 及顺 103 井场	测井队放射性同位素操作人员	四周	0.5~11	4	辐射工作人员
	测井队其他工作人员	四周	0.5~11	2	
	井场工作人员	四周	11~50	50	公众
	其他公众	四周	11~50	/	

表 7-2 本项目评价范围内辐射环境保护目标一览表

工作场所名称	保护目标名称	相对方位	最近距离 (m)	规模 (人)	照射类型
公 003-11 井场	测井队放射性同位素 操作人员	四周	0.5~11	4	辐射工作 人员
	测井队其他工作人员	四周	0.5~11	2	
	井场工作人员	四周	11~50	50	公众
	1 处住户	南侧	40	5	
	其他公众	四周	11~50	/	
公 15 井场	测井队放射性同位素 操作人员	四周	0.5~11	4	辐射工作 人员
	测井队其他工作人员	四周	0.5~11	2	
	井场工作人员	四周	11~50	50	公众
	1 处住户	东北侧	37	5	
	其他公众	四周	11~50	/	
广安 20 井场	测井队放射性同位素 操作人员	四周	0.5~11	4	辐射工作 人员
	测井队其他工作人员	四周	0.5~11	2	
	井场工作人员	四周	11~50	50	公众
	1 处住户	东侧	27	5	
	1 处住户	北侧	41	5	
	其他公众	四周	11~50	/	

评价标准

一、执行标准

本项目执行标准如下：

1、环境质量标准

大气环境：执行《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）二级标准；

2、污染物排放标准

固体废物：执行《一般工业固体废物储存、处置场污染物控制标准》（GB 18599-2001）及其修改单相关标准；危险废物执行《危险废物贮存污染控制标准》（GB 18597-2001）及其修改单相关标准。

3、辐射防护标准

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

二、辐射环境评价标准

1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）：

工作人员职业照射和公众照射剂量限值

对象	要求
职业照射 剂量限值	工作人员所接受的职业照射水平不应超过下述限值： ①由审管部门决定的连续5年的年平均有效剂量，20mSv ②任何一年中的有效剂量，50mSv
公众照射 剂量限值	实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过下述限值： ①年有效剂量，1mSv； ②特殊情况下，如果5个连续年的年平均剂量不超过1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到5mSv。

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。

控制区：

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。

监督区：

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。

表 B11 表面污染控制水平 单位：Bq/cm²

表面类型		α 放射性物质		β 放射性物质
		极毒性	其他	
工作台、设备、 墙壁、地面	控制区 ¹⁾	4	4×10	4×10
	监督区	4×10 ⁻¹	4	4
工作服、手套、 工作鞋	控制区、监督区	4×10 ⁻¹	4×10 ⁻¹	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10 ⁻²	4×10 ⁻²	4×10 ⁻¹

1) 该区内的高污染子区除外。

三、《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 GB 11930 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、 γ 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 GB 18871 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, 同时为辐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。

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, α 放射性物质不应超过 0.4Bq/cm^2 , β 放射性物质不应超过 4Bq/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、 γ 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 7-2 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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

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) 源库内贮原坑（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 γ 放射源的油气田测井辐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辐射工作人员个人剂量计应能同时满足对 γ 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。

四、放射性测井辐射安全与防护（HJ 1325-2023）

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	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

等		
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

五、辐射环境评价标准限值

本项目主要评价标准及限值要求见表 7-3。

表 7-3 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	年剂量约束值		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 β 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	$\beta \leq 4 \times 10^4 \text{Bq/cm}^2$	GB 18871-2002
			监督区	$\beta \leq 4\text{Bq/cm}^2$	
		工作服、手套、工作鞋	控制区	$\beta \leq 4\text{Bq/cm}^2$	
			监督区		
手、皮肤、内衣、工作袜	$\beta \leq 4 \times 10^{-1} \text{Bq/cm}^2$				

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

(一) 项目地理位置

本项目位于西南油田在南充市境内的页岩气储层开发建设区块，均为远离公众的空旷野外地区，且压裂测试均处于西南油田的 1500m 地层以下，总体是同一油藏地质层位。

北京国原新技术有限公司拟在南充市境内开展放射性同位素压裂示踪测井业务，项目场所位置主要是四川省南充市需要做示踪测井的井场。放射性同位素压裂示踪测井为流动式作业，不在某一场所长期作业。

项目地理位置见附图 1。

(二) 辐射工作场所外环境关系

本项目放射性同位素压裂示踪测井位于南充市的油井井场内，油井井场一般都比较分散，分布范围较广，多处于农村远离居民的偏僻地区。

公 003-X14、西 52、西 051-X2、公 003-H17、公 003-6、广安 21、广安 17、顺 101、顺 102 及顺 103 测井区域周围 50m 评价范围内主要为山地、农田和乡道，无住户；公 003-11、公 15 和广安 20 测井区域周围 50m 评价范围内为农田和乡道，仅涉及 1~2 户住户且距离较远。各油井井场现场示意图见图 8-1~图 8-16。

图 8-1 公 003-X14 井场

图 8-2 西 52 井场

图 8-3 西 051-X2 井场

图 8-4 公 003-H17 井场

图 8-5 公 003-6 井场

图 8-6 广安 21 井场

图 8-7 广安 17 井场

图 8-8 顺 101 井场

图 8-9 顺 102 井场

图 8-10 顺 103 井场

图 8-11 公 003-11 井场

图 8-12 公 003-11 井场

图 8-13 公 15 井场

图 8-14 广安 20 井场

图 8-15 广安 20 井场

图 8-16 广安 20 井场

二、辐射环境现状评价

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，故本项目评价环境 γ 辐射剂量率和表面污染水平的布点监测，监测报告见附件6。

（一）监测因子

根据工程分析项目主要污染因子为工作场所运行时产生的 β 射线、韧致辐射及 β 表面污染水平等。为了更好反映实际情况，本项目的环境监测选取环境 γ 辐射剂量率和 β 表面污染水平作为监测因子。

（二）监测内容

对拟建项目周围环境水平进行现状调查。

（三）监测方案

1、监测项目、方法及方法来源表

表 8-1 监测项目、方法及方法来源表

监测项目	监测方法	备注
环境 γ 辐射剂量率	《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）	探测限为本次测量使用方法和仪器的综合技术指标
表面污染水平	《表面污染测定第一部分： β 发射体（ $E_{\beta\max}>0.15\text{MeV}$ ）和 α 发射体》（GB/T 14056.1-2008）	

2、布点原则

参照《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）中的方法布设监测点，根据本次新增项目拟建址及其周围环境现状，监测点位的选取覆盖新增项目拟建区域及周围 50m 公众人员区域。根据上述布点原则与方法，本项目监测点位布置如图 8-17~图 8-29 所示。

略

图 8-17 公 003-X14 现场检测点位平面示意图

略

图 8-18 西 52 现场检测点位平面示意图

略

图 8-19 西 51-X2 现场检测点位平面示意图

略

图 8-20 公 003-H17 现场检测点位平面示意图

略

图 8-21 公 003-6 现场检测点位平面示意图

略

图 8-22 公 15 现场检测点位平面示意图

略

图 8-23 公 003-11 现场检测点位平面示意图

略

图 8-24 广安 21 现场检测点位平面示意图

略

图 8-25 广安 20 现场检测点位平面示意图

略

图 8-26 广安 17 现场检测点位平面示意图

略

图 8-27 顺 101 现场检测点位平面示意图

略

图 8-28 顺 102 现场检测点位平面示意图

略

图 8-29 顺 103 现场检测点位平面示意图

3、监测仪器

监测使用仪器见表 8-2。

表 8-2 监测使用仪器表

监测项目	监测设备		
	仪器名称	仪器编号	设备参数及检定情况
环境 γ 辐射剂量率	BG9511 型 X- γ 辐射检测仪	SCRDS-067	能量范围：35keV~3MeV 剂量率范围：0.01~600 μ Gy/h 检定单位：上海市计量测试技术研究院 校准有效期：2025.04.10-2026.04.09
β 表面污染水平	COMO170 型表面污染仪	SCRDS-007	测量范围：0cps~20000cps 检定单位：中国测试技术研究院 校准有效期：2024.11.4-2025.11.3

（四）质量保证措施

人员培训：监测人员经考核并持有合格证书上岗。

仪器刻度：监测仪器定期经计量部门检定，每次监测必须在有效期内。

自检：每次测量前、后均检查仪器的工作状态。

数据记录及处理：开机预热，手持仪器。一般保持仪器探头中心距离地面（基础面）为 1m。仪器读数稳定后，每个点位读取 10 个数据，读取间隔不小于 10s。每组数据计算每个点位的平均值并计算标准差。

②表面污染水平：选取直接测量，在探测器灵敏窗和待检表面避免接触的情况下，将探测器在表面上方慢慢地移动，读取测量值，每个点位读取 6 个数据，读取间隔不小于 5s。

数据复核：监测报告实行三级审核制度，经校对审核后由授权签字人审定签发。

（五）比较标准

项目所在地环境天然贯穿辐射水平参考四川省生态环境厅发布《2024 年四川省生态环境状况公报》中南充市环境 γ 辐射剂量率连续自动监测年均值范围 $\leq 70\text{nGy/h}$ 。

（六）环境现状监测与评价

监测所用仪器已由计量部门年检，且在有效期内；测量方法按国家标准方法实施；测量数据处理符合统计学要求；布点合理，结果可信，能够反映出辐射工作场所的客观辐射水平，可以作为本次评价的科学依据。具体监测结果如下：

表 8-3 公 003-X14 井场周围环境 γ 辐射剂量率检测结果

测点编号	检测点位描述	测量结果 (nGy/h)	备注
1	公 003-X14 东侧 15m 处	72±2	室外
2	公 003-X14 南侧 15m 处	75±2	室外
3	公 003-X14 西侧 15m 处	73±2	室外
4	公 003-X14 北侧 15m 处	69±2	室外
5	公 003-X14 西北侧工作人员处	74±3	室外

注：1. 检测结果未扣除宇宙射线响应值；
2. 检测点位见附图 8-17。

表 8-4 公 003-X14 井场 β 表面污染水平检测结果

测点编号	检测点位描述	检测结果 (Bq/cm ²)	备注
1	公 003-X14 东侧 15m 处地面	<LLD	/
2	公 003-X14 南侧 15m 处地面	<LLD	/
3	公 003-X14 西侧 15m 处地面	<LLD	/
4	公 003-X14 北侧 15m 处地面	<LLD	/

注：1. 仪器探测下限 LLD 为 0.09Bq/cm²；
2. 检测点位见附图 8-17。

表 8-5 西 52 井场周围环境 γ 辐射剂量率检测结果

测点编号	检测点位描述	测量结果 (nGy/h)	备注
1	西 52 东侧 15m 处	71±2	室外
2	西 52 南侧 15m 处	77±3	室外
3	西 52 西侧 15m 处	72±3	室外
4	西 52 北侧 15m 处	76±2	室外
5	西 52 北侧工作人员处	69±2	室外

注：1. 检测结果未扣除宇宙射线响应值；
2. 检测点位见附图 8-18。

表 8-6 西 52 井场 β 表面污染水平检测结果

测点编号	检测点位描述	检测结果 (Bq/cm ²)	备注
1	西 52 东侧 15m 处地面	<LLD	/
2	西 52 南侧 15m 处地面	<LLD	/
3	西 52 西侧 15m 处地面	<LLD	/
4	西 52 北侧 15m 处地面	<LLD	/

注：1. 仪器探测下限 LLD 为 0.09Bq/cm²；
2. 检测点位见附图 8-18。

表 8-7 西 051-X2 井场周围环境 γ 辐射剂量率检测结果

测点编号	检测点位描述	测量结果 (nGy/h)	备注
1	西 051-X2 东侧 15m 处	74±1	室外
2	西 051-X2 南侧 15m 处	77±2	室外
3	西 051-X2 西侧 15m 处	72±2	室外
4	西 051-X2 北侧 15m 处	70±2	室外
5	西 051-X2 东南侧工作人员处	73±2	室外

注：1. 检测结果未扣除宇宙射线响应值；
2. 检测点位见附图 8-19。

表 8-8 西 051-X2 井场 β 表面污染水平检测结果

测点编号	检测点位描述	检测结果 (Bq/cm ²)	备注
1	西 051-X2 东侧 15m 处地面	<LLD	/
2	西 051-X2 南侧 15m 处地面	<LLD	/
3	西 051-X2 西侧 15m 处地面	<LLD	/
4	西 051-X2 北侧 15m 处地面	<LLD	/

注：1. 仪器探测下限 LLD 为 0.09Bq/cm²；
2. 检测点位见附图 8-19。

表 8-9 公 003-H17 井场周围环境 γ 辐射剂量率检测结果

测点编号	检测点位描述	测量结果 (nGy/h)	备注
1	公 003-H17 东侧 15m 处	74±3	室外
2	公 003-H17 南侧 15m 处	76±3	室外
3	公 003-H17 西侧 15m 处	75±2	室外
4	公 003-H17 北侧 15m 处	69±1	室外
5	公 003-H17 南侧入口	72±2	室外

注：1. 检测结果未扣除宇宙射线响应值；
2. 检测点位见附图 8-20。

表 8-10 公 003-H17 井场 β 表面污染水平检测结果

测点编号	检测点位描述	检测结果 (Bq/cm ²)	备注
1	公 003-H17 东侧 15m 处地面	<LLD	/
2	公 003-H17 南侧 15m 处地面	<LLD	/
3	公 003-H17 西侧 15m 处地面	<LLD	/
4	公 003-H17 北侧 15m 处地面	<LLD	/

注：1. 仪器探测下限 LLD 为 0.09Bq/cm²；
2. 检测点位见附图 8-20。

表 8-11 公 003-6 井场周围环境 γ 辐射剂量率检测结果

测点编号	检测点位描述	测量结果 (nGy/h)	备注
1	公 003-6 东侧 15m 处	73±2	室外
2	公 003-6 南侧 15m 处	74±3	室外
3	公 003-6 西侧 15m 处	73±2	室外
4	公 003-6 北侧 15m 处	69±1	室外
5	公 003-6 西北侧入口	72±2	室外

注：1. 检测结果未扣除宇宙射线响应值；
2. 检测点位见附图 8-21。

表 8-12 公 003-6 井场 β 表面污染水平检测结果

测点编号	检测点位描述	检测结果 (Bq/cm ²)	备注
1	公 003-6 东侧 15m 处地面	<LLD	/
2	公 003-6 南侧 15m 处地面	<LLD	/
3	公 003-6 西侧 15m 处地面	<LLD	/
4	公 003-6 北侧 15m 处地面	<LLD	/

注：1. 仪器探测下限 LLD 为 0.09Bq/cm²；
2. 检测点位见附图 8-21。

表 8-13 公 15 井场周围环境 γ 辐射剂量率检测结果

测点编号	检测点位描述	测量结果 (nGy/h)	备注
1	公 15 东侧 15m 处	71±2	室外
2	公 15 南侧 15m 处	74±3	室外
3	公 15 西侧 15m 处	75±2	室外
4	公 15 北侧 15m 处	69±2	室外
5	公 15 西侧工作人员处	73±3	室外
6	公 15 东北侧房屋外	73±2	室外

注：1. 检测结果未扣除宇宙射线响应值；
2. 检测点位见附图 8-22。

表 8-14 公 15 井场 β 表面污染水平检测结果

测点编号	检测点位描述	检测结果 (Bq/cm ²)	备注
1	公 15 东侧 15m 处地面	<LLD	/
2	公 15 南侧 15m 处地面	<LLD	/
3	公 15 西侧 15m 处地面	<LLD	/
4	公 15 北侧 15m 处地面	<LLD	/

注：1. 仪器探测下限 LLD 为 0.09Bq/cm²；
2. 检测点位见附图 8-22。

表 8-15 公 003-11 井场周围环境 γ 辐射剂量率检测结果

测点编号	检测点位描述	测量结果 (nGy/h)	备注
1	公 003-11 东侧 15m 处	72±2	室外
2	公 003-11 南侧 15m 处	77±3	室外
3	公 003-11 西侧 15m 处	74±3	室外
4	公 003-11 北侧 15m 处	70±2	室外
5	公 003-11 北侧入口	74±2	室外
6	公 003-11 南侧房屋外	75±3	室外
7	公 003-11 东侧乡道	74±3	室外

注：1. 检测结果未扣除宇宙射线响应值；
2. 检测点位见附图 8-23。

表 8-16 公 003-11 井场 β 表面污染水平检测结果

测点编号	检测点位描述	检测结果 (Bq/cm ²)	备注
1	公 003-11 东侧 15m 处地面	<LLD	/
2	公 003-11 南侧 15m 处地面	<LLD	/
3	公 003-11 西侧 15m 处地面	<LLD	/
4	公 003-11 北侧 15m 处地面	<LLD	/

注：1. 仪器探测下限 LLD 为 0.09Bq/cm²；
2. 检测点位见附图 8-23。

表 8-17 广安 21 井场周围环境 γ 辐射剂量率检测结果

测点编号	检测点位描述	测量结果 (nGy/h)	备注
1	广安 21 东侧 15m 处	73±3	室外
2	广安 21 南侧 15m 处	75±2	室外
3	广安 21 西侧 15m 处	74±3	室外

4	广安 21 北侧 15m 处	69±3	室外
5	广安 21 东北侧入口	68±2	室外

注：1. 检测结果未扣除宇宙射线响应值；
2. 检测点位见附图 8-24。

表 8-18 广安 21 井场 β 表面污染水平检测结果

测点编号	检测点位描述	检测结果(Bq/cm ²)	备注
1	广安 21 东侧 15m 处地面	<LLD	/
2	广安 21 南侧 15m 处地面	<LLD	/
3	广安 21 西侧 15m 处地面	<LLD	/
4	广安 21 北侧 15m 处地面	<LLD	/

注：1. 仪器探测下限 LLD 为 0.09Bq/cm²；
2. 检测点位见附图 8-24。

表 8-19 广安 20 井场周围环境 γ 辐射剂量率检测结果

测点编号	检测点位描述	测量结果(nGy/h)	备注
1	广安 20 东侧 15m 处	74±3	室外
2	广安 20 南侧 15m 处	75±2	室外
3	广安 20 西侧 15m 处	74±2	室外
4	广安 20 北侧 15m 处	69±2	室外
5	广安 20 西南侧乡道	71±2	室外
6	广安 20 东侧房屋外	74±3	室外
7	广安 20 北侧房屋外	72±1	室外

注：1. 检测结果未扣除宇宙射线响应值；
2. 检测点位见附图 8-25。

表 8-20 广安 20 井场 β 表面污染水平检测结果

测点编号	检测点位描述	检测结果(Bq/cm ²)	备注
1	广安 20 东侧 15m 处地面	<LLD	/
2	广安 20 南侧 15m 处地面	<LLD	/
3	广安 20 西侧 15m 处地面	<LLD	/
4	广安 20 北侧 15m 处地面	<LLD	/

注：1. 仪器探测下限 LLD 为 0.09Bq/cm²；
2. 检测点位见附图 8-25。

表 8-21 广安 17 井场周围环境 γ 辐射剂量率检测结果

测点编号	检测点位描述	测量结果(nGy/h)	备注
1	广安 17 东侧 15m 处	73±3	室外
2	广安 17 南侧 15m 处	75±2	室外
3	广安 17 西侧 15m 处	76±1	室外
4	广安 17 北侧 15m 处	70±2	室外
5	广安 17 东侧乡道	75±3	室外
6	广安 17 东南侧入口	68±2	室外

注：1. 检测结果未扣除宇宙射线响应值；
2. 检测点位见附图 8-26。

表 8-22 广安 17 井场 β 表面污染水平检测结果

测点编号	检测点位描述	检测结果 (Bq/cm ²)	备注
1	广安 17 东侧 15m 处地面	<LLD	/
2	广安 17 南侧 15m 处地面	<LLD	/
3	广安 17 西侧 15m 处地面	<LLD	/
4	广安 17 北侧 15m 处地面	<LLD	/

注：1. 仪器探测下限 LLD 为 0.09Bq/cm²；
2. 检测点位见附图 8-26。

表 8-23 顺 101 井场周围环境 γ 辐射剂量率检测结果

测点编号	检测点位描述	测量结果 (nGy/h)	备注
1	顺 101 东侧 15m 处	69±2	室外
2	顺 101 南侧 15m 处	75±2	室外
3	顺 101 西侧 15m 处	73±2	室外
4	顺 101 北侧 15m 处	70±2	室外
5	顺 101 东侧乡道	75±2	室外
6	顺 101 西北侧入口	71±2	室外

注：1. 检测结果未扣除宇宙射线响应值；
2. 检测点位见附图 8-27。

表 8-24 顺 101 井场 β 表面污染水平检测结果

测点编号	检测点位描述	检测结果 (Bq/cm ²)	备注
1	顺 101 东侧 15m 处地面	<LLD	/
2	顺 101 南侧 15m 处地面	<LLD	/
3	顺 101 西侧 15m 处地面	<LLD	/
4	顺 101 北侧 15m 处地面	<LLD	/

注：1. 仪器探测下限 LLD 为 0.09Bq/cm²；
2. 检测点位见附图 8-27。

表 8-25 顺 102 井场周围环境 γ 辐射剂量率检测结果

测点编号	检测点位描述	测量结果 (nGy/h)	备注
1	顺 102 东侧 15m 处	73±2	室外
2	顺 102 南侧 15m 处	76±2	室外
3	顺 102 西侧 15m 处	74±2	室外
4	顺 102 北侧 15m 处	70±2	室外
5	顺 102 西侧乡道	71±2	室外
6	顺 102 南侧入口	71±1	室外

注：1. 检测结果未扣除宇宙射线响应值；
2. 检测点位见附图 8-28。

表 8-26 顺 102 井场 β 表面污染水平检测结果

测点编号	检测点位描述	检测结果 (Bq/cm ²)	备注
1	顺 102 东侧 15m 处地面	<LLD	/
2	顺 102 南侧 15m 处地面	<LLD	/
3	顺 102 西侧 15m 处地面	<LLD	/
4	顺 102 北侧 15m 处地面	<LLD	/

注：1. 仪器探测下限 LLD 为 0.09Bq/cm²；
2. 检测点位见附图 8-28。

表 8-27 顺 103 井场周围环境 γ 辐射剂量率检测结果

测点编号	检测点位描述	测量结果 (nGy/h)	备注
1	顺 103 东侧 15m 处	75±2	室外
2	顺 103 南侧 15m 处	76±2	室外
3	顺 103 西侧 15m 处	74±3	室外
4	顺 103 北侧 15m 处	69±2	室外
5	顺 103 东侧工作人员处	74±3	室外

注：1. 检测结果未扣除宇宙射线响应值；
2. 检测点位见附图 8-29。

表 8-28 顺 103 井场 β 表面污染水平检测结果

测点编号	检测点位描述	检测结果 (Bq/cm ²)	备注
1	顺 103 东侧 15m 处地面	<LLD	/
2	顺 103 南侧 15m 处地面	<LLD	/
3	顺 103 西侧 15m 处地面	<LLD	/
4	顺 103 北侧 15m 处地面	<LLD	/

注：1. 仪器探测下限 LLD 为 0.09Bq/cm²；
2. 检测点位见附图 8-29。

由表 8-3~表 8-28 可知，本项目拟建址周围环境 γ 辐射剂量率监测值在（68~77）nGy/h 之间，与四川省生态环境厅发布《2024 年四川省生态环境状况公报》中南充市环境 γ 辐射剂量率连续自动监测年均值范围 ≤ 70 nGy/h 相较，本项目拟建址周围辐射环境监测值与南充市天然贯穿辐射水平相当，属于正常本底范围；拟建址周围 β 表面污染水平低于仪器探测下限。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备与工艺分析

一、施工期工艺分析

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。

二、营运期工艺分析

1、工程设备

北京国原新技术有限公司拟在四川省南充市开展放射性同位素 ^{46}Sc 、 ^{85}Sr 、 ^{124}Sb 、 ^{160}Tb 及 ^{192}Ir 同位素示踪测井活动，测井现场属于丙级非密封放射性物质工作场所。

本项目所使用的非密封放射性物质的使用情况见表 9-1。

表 9-1 北京国原新技术有限公司新建项目情况一览表

序号	核素	用途	单口井最大使用量 (mCi)	日最大测井量 (口)	年最大测井量 (口)	日最大操作量 (Bq)
1	^{46}Sc	示踪测井	30	1	20	1.11×10^9
2	^{85}Sr		30			1.11×10^9
3	^{124}Sb		30			1.11×10^9
4	^{160}Tb		30			1.11×10^9
5	^{192}Ir		30			1.11×10^9

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)	年最大操作量 (Bq)	活动种类
1	公 003-X14、西 52、西 051-X2、公 003-H17、公 003-6、公 003-11、公 15、广安 20、广安 21、广安 17、顺 101、顺 102 及顺 103	丙级	^{46}Sc	1.11×10^9	5.55×10^6	1.11×10^{11}	使用
2			^{85}Sr	1.11×10^9			
3			^{124}Sb	1.11×10^9			
4			^{160}Tb	1.11×10^9			
5			^{192}Ir	1.11×10^9			

注：每口井按同时使用 5 种放射性同位素，单种核素最大操作量为 $1.11 \times 10^9 \text{Bq}$ (30mCi) 进行考虑。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 附录 C 提供的放射性同位素工作场所放射性同位素日等效最大操作计算方法和放射性同位素日最大操作量，可以计算出核素的日等效最大操作量。非密封源工作场所的分级判据如表

9-2。

表 9-2 非密封放射性物质工作场所的分级

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 $\sim 2 \times 10^7$

放射性同位素的日等效最大操作量根据其毒性组别、操作方式、放射源状态和实际日最大操作量确定。毒性组别和操作方式与放射源状态修正因子见表 9-3、表 9-4。

表 9-3 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 9-4 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

$$\text{日等效用量} = \frac{\text{日操作量} \times \text{毒性修正因子}}{\text{操作方式的修正因子}} \dots\dots \text{公式 9-1}$$

根据本项目非密封放射性物质工作场所使用放射性同位素的毒性组别、操作方式和日等效操作量, 确定出本项目非密封放射性物质工作场所级别, 计算结果见表 9-5。

表 9-5 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	^{46}Sc	^{85}Sr	^{124}Sb	^{160}Tb	^{192}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)				
日等效操作量计算过程	$5.55 \times 10^9 \times 0.1 / 100$				
日等效操作量 (Bq)	5.55×10^6				
工作场所等级	丙级				

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 非密封源工作场所的分级原则, 结合表 9-5 计算结果可知北京国原新技术有限公司同位素示踪测井日

等效最大操作量为 $5.55 \times 10^6 \text{Bq}$ ，属于（豁免活度值以上 $\sim 2 \times 10^7$ ） Bq 的范围，确定本项目工作场所为丙级非密封放射性物质工作场所。

三、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。

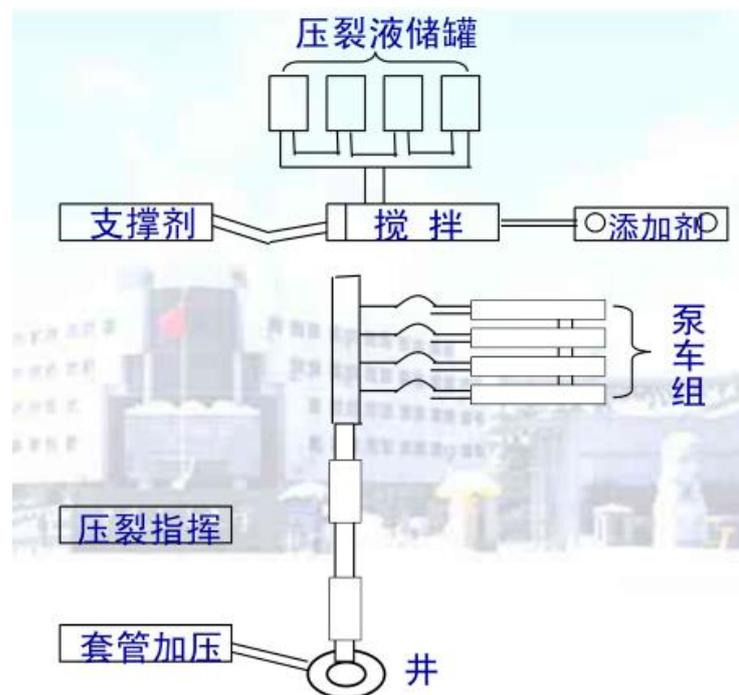


图 9-1 常规施工泵入装置简图

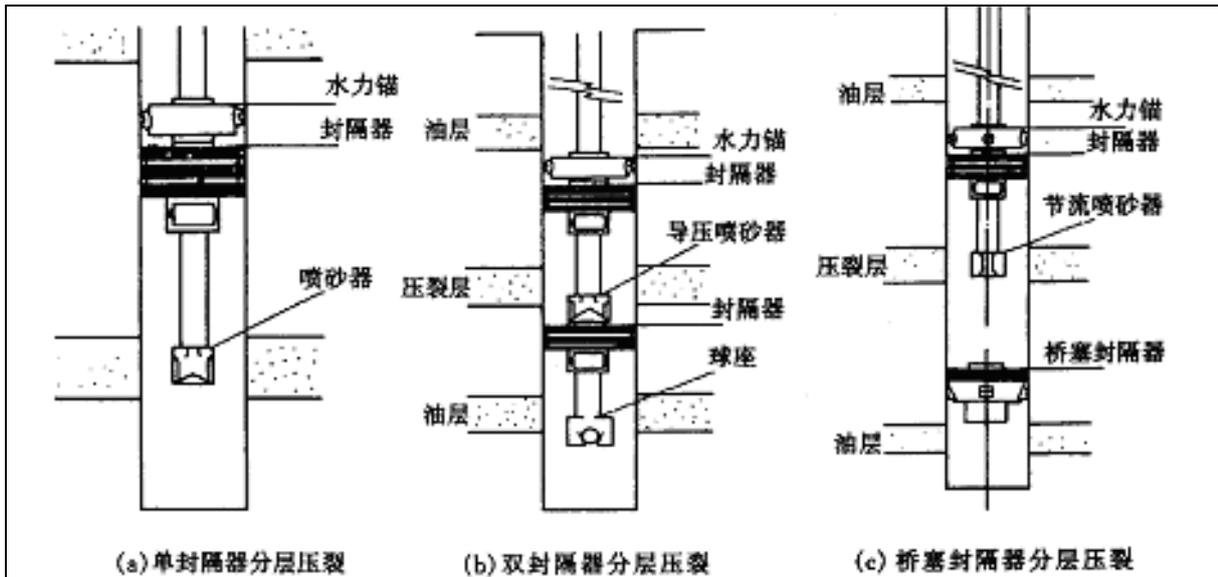


图 9-2 油田压裂过程地下结构图

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。

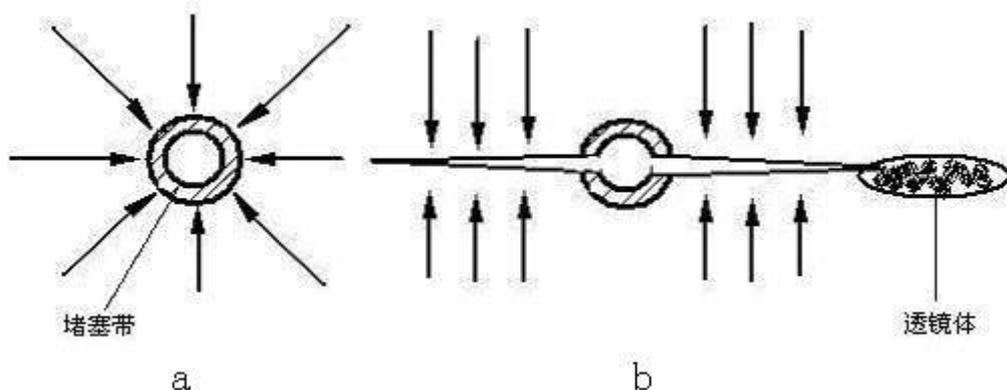


图 9-3 压裂增产原理示意图 (a—压裂前; b—压裂后)

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。

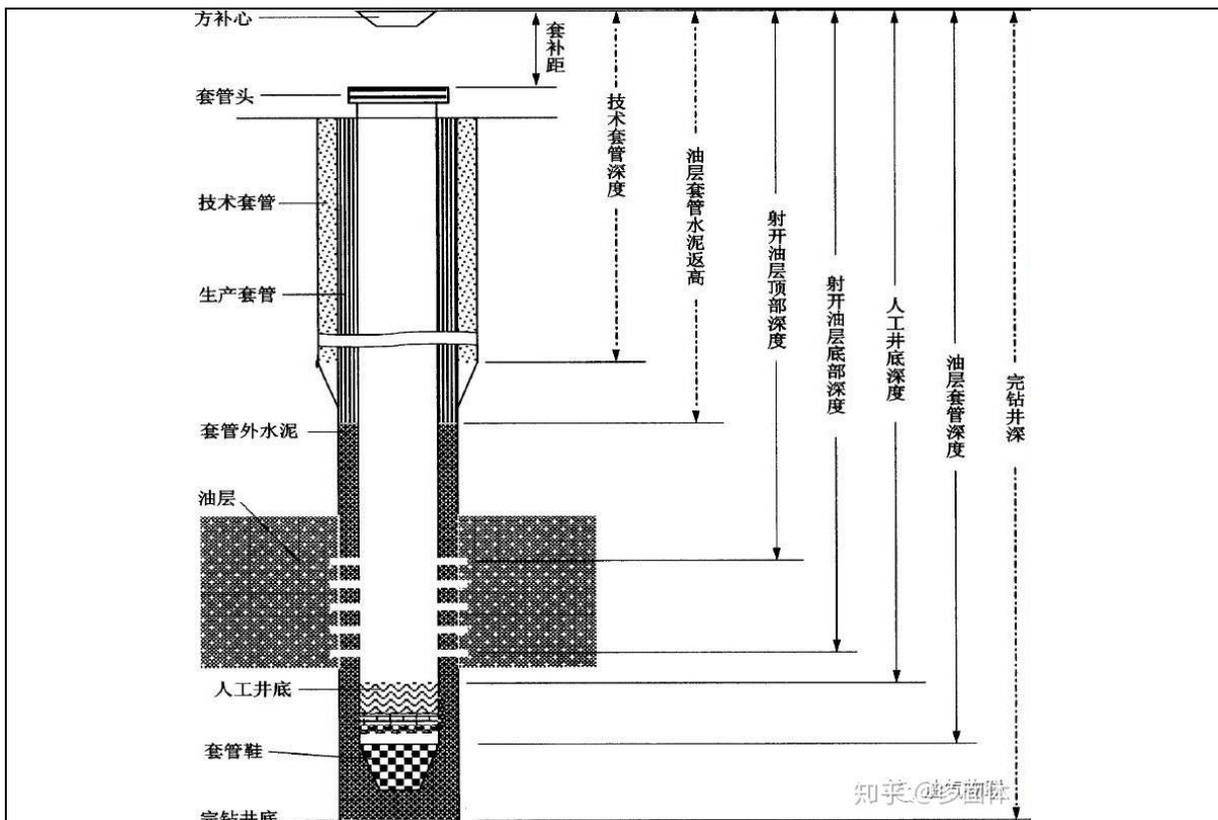


图 9-4 压裂井井深结构图

(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。

四、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，放射形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 γ 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}Sc （钪-46）、 ^{85}Sr （锶-85）、 ^{124}Sb （锑-124）、 ^{160}Tb （铽-160）和 ^{192}Ir （铱-192）等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 γ 射线数据获得测井结果。

示踪剂分布示意图见图 9-5，得到的压裂示踪测试结果图谱示意图见图 9-6。

略

图 9-5 示踪剂分布示意图

略

图 9-6 压裂示踪测试结果图谱示意图

五、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}Sc 、 ^{85}Sr 、 ^{124}Sb 、 ^{160}Tb 、 ^{192}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。

略

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（氧化钐、铈金属、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 9-6。

表 9-6 测井用示踪砂特性参数表

核素	物理性状	射线能量 (MeV)			衰变方式	半衰期 (天)	污染类型
		γ 射线		β 射线最大能量			
		主要 γ 射线能量	平均能量				
^{46}Sc	固态	0.603, 0.720, 1.691	1.005	0.357	β^-	83.8	β 表面污染, γ 射线
^{85}Sr	固态	0.514, 0.868	0.691	/	EC	64.8	β 表面污染, γ 射线
^{124}Sb	固态	0.311, 0.468, 0.609	0.463	2.301	β^-	60.2	β 表面污染, γ 射线
^{160}Tb	固态	0.299, 0.879, 0.966	0.715	1.749	β^-	72.3	β 表面污染, γ 射线
^{192}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

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； ^{192}Ir 有 β^- 、EC 两种衰变方式。

2、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院内进行生产和分装，生产和分装过程不在本项目评价范围内，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。

略
铝筒

图 9-8 项目使用铝筒、铅罐照片

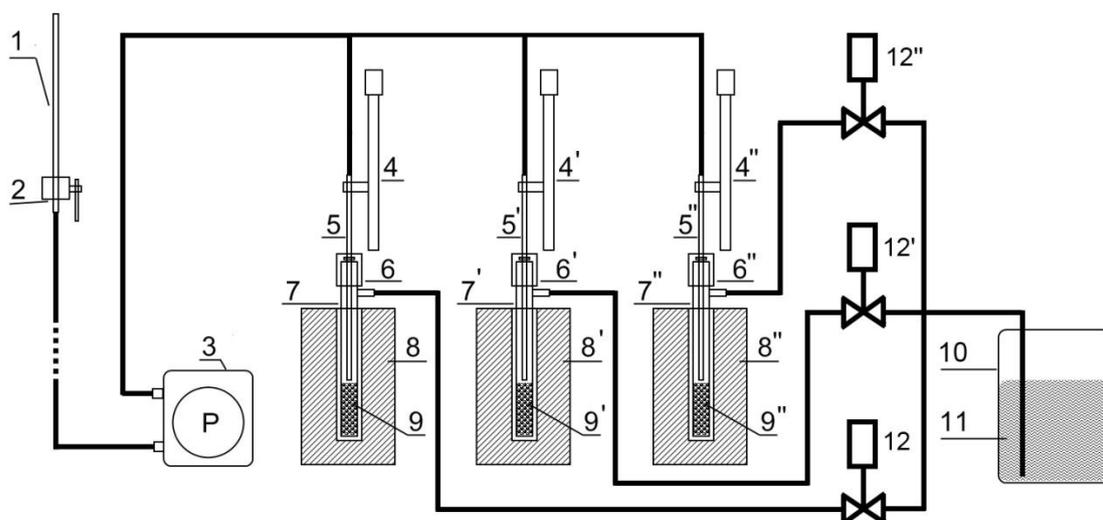
本项目不在南充市建设放射性源库，每次使用的放射性同位素示踪砂直接从北京或成都拉运到施工现场，拉运采用专用运源车或测井车（测井车仅在少量偏远井场，运源车无法抵达时使用，在测井现场只用于存放示踪砂，不做其他用途）进行，测井实施期间运源车或测井车一直停放于测井井场中。项目运源车照片见图 9-9。

略

图 9-9 项目运源车照片

3、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

略
释放器

略
控制器

图 9-11 项目释放器及其控制器照片

六、设备组成及工作方式

1、设备组成

本项目主要设备组成表见 9-7。

表 9-7 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。

七、测井工艺流程及产污环节

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，由有资质的单位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 γ 辐射剂量率和 β 表面污染本底测量；

(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 γ 辐射剂量率和 β 表面污染监测，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 γ 辐射剂量率和 β 表面污染进行监测，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 γ 辐射剂量率和 β 表面污染监测，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 γ 辐射剂量率和 β 表面污染监测。

根据示踪测井的工作流程可知，在测井过程中主要的产物环节主要在现场注入阶段，主要污染为 γ 射线，工艺流程及产排污环节示意图见图 9-11。

略

图 9-11 工艺流程及产排污环节示意图

污染源项描述

一、正常工况

(1) 示踪测井用放射性同位素 ^{46}Sc 、 ^{85}Sr 、 ^{124}Sb 、 ^{160}Tb 、 ^{192}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 γ 射线和 β 表面污染，由于 γ 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 9-6。

(2) 本项目 ^{46}Sc 、 ^{85}Sr 、 ^{124}Sb 、 ^{160}Tb 、 ^{192}Ir 示踪测井产生的 γ 射线会使空气电离产生少量 O_3 和 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) 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 2kg 的废手套、口罩、棉纱和 200kg 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或四川省城市废物库处理。

(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 γ 辐射剂量率和 β 表面污染监测，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) 地下水：本项目使用的放射性同位素半衰期最长为 83.8 天 (^{46}Sc)，经 2~3 年后，影响较小；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，因此本项目正常情况下不产生放射性废水。

二、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}Sc 、 ^{85}Sr 、 ^{124}Sb 、 ^{160}Tb 、 ^{192}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}Sc 、 ^{85}Sr 、 ^{124}Sb 、 ^{160}Tb 、 ^{192}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}Sc 、 ^{85}Sr 、 ^{124}Sb 、 ^{160}Tb 、 ^{192}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 9-8。

表 9-8 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	^{46}Sc 、 ^{85}Sr 、 ^{124}Sb 、 ^{160}Tb 、 ^{192}Ir	γ 射线	^{46}Sc 的平均能量为 1.005MeV，照射量率常数为 $1.09\text{R}\cdot\text{m}^2/\text{h}\cdot\text{Ci}$ ； ^{85}Sr 的平均能量为 0.691MeV，照射量率常数为 $0.30\text{R}\cdot\text{m}^2/\text{h}\cdot\text{Ci}$ ； ^{124}Sb 的平均能量为 0.463MeV，照射量率常数为 $0.93\text{R}\cdot\text{m}^2/\text{h}\cdot\text{Ci}$ ； ^{160}Tb 的平均能量为 0.715MeV，照射量率常数为 $0.6\text{R}\cdot\text{m}^2/\text{h}\cdot\text{Ci}$ ； ^{192}Ir 的平均能量为 1.005MeV，照射量率常数为 $0.46\text{R}\cdot\text{m}^2/\text{h}\cdot\text{Ci}$	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		O ₃ 和 NO _x	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		废手套、口罩、棉纱、反排砂	全年最多产生 2kg 的废手套、口罩、棉纱和 200kg 的反排砂	<p>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，待测井完成后或四川省城市废物库处理。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</p>

表 10 辐射安全与防护

项目安全措施

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、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 γ 辐射剂量率和 β 表面污染监测，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、辐射工作场所两区划分

1、分区原则

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）要求，将本项目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。

控制区—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。

监督区—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。

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四川省的油井井场内，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。

本项目所用示踪砂中辐射剂量率最大的 ^{46}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 10.686m 处的辐射剂量当量率为 $2.50\mu\text{Sv/h}$ ，为方便管理，本项目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。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。

略

图 10-1 井场平面布置示意图

三、辐射安全及防护措施

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有资质的单位运输至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 γ 辐射剂量率和表面污染情况进行监测。

4、示踪砂在测井现场暂存防护安全措施

本项目不在四川省建设放射源源库，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 $25\mu\text{Sv/h}$ ，100cm 处的周围剂量当量率不超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；转移铅罐外表面 β 放射性物质不超过 4Bq/cm^2 。

(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有资质的单位负责，并做好放射性同位素示踪砂的领用、登记记录。

5、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)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。

(11)每年1月31日前在全国核技术利用辐射安全申报系统上提交上年度的《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》。

公司在采取以上措施后，可满足《油气田测井放射防护要求》(GBZ 118-2020)中相关要求。

6、辐射安全防护设施对照分析

为防止发生辐射事故，本项目评价根据建设单位采取的辐射安全装置及设备进行了对照分析，具体情况见表10-1。

表 10-1 本项目辐射安全防护设施汇总对照分析表

序号	类别	环保设施/措施	落实情况	备注
1	场所设施	专用夹具	/	拟配置
2		大功率喊话器	/	拟配置
3		口罩、手套、棉纱	/	拟配置
4		警示标识	/	拟配置
5		安全警戒线	/	拟配置
5		警戒绳、警戒灯	/	拟配置
6		储源钢板箱（含 3mm 厚铅层）	本次新增	/
7		放射性废物收集袋、放射性废物收集箱（回收个人防护用品）	本次新增	/
8		干粉灭火器	/	拟配置
9	个人剂量报警仪	/	拟配置	
10	监测设备	X-γ 剂量率检测仪	/	拟配置
11		表面污染仪	/	拟配置
12		个人剂量计	/	拟配置
13	防护器材	铅衣	/	拟配置

四、环保投资估算

为了保证本项目安全持续开展，根据相关要求，公司将投入一定资金建设必要的环保设施，配备相应的监测仪器和防护用品，本项目环保投资估算见表 10-2。

表 10-2 本项目辐射安全防护与环保设施（措施）投资一览表

类别	环保设施/措施	数量	投资金额 (万元)	备注
防护设施	个人防护用品（含防护服）	6 套	1.0	新增
	大功率喊话器	4 个	0.2	新增
	个人剂量报警仪	4 个	0.4	新增
	安全警戒线	6 盘	0.1	新增
	警戒绳、警戒灯	10 个	0.2	新增
	警示标志	若干	0.1	新增
	干粉灭火器	6 个	0.2	新增
	储源钢板箱（含 3mm 厚铅层）	4 个	0.2	新增
	放射性废物收集袋、收集箱（回收个人防护用品）	4 个	0.2	新增
辐射监测	γ 剂量率仪	4 台	2.0	新增
	表面污染仪	4 台	2.5	新增
	个人剂量计	6 个	0.04	新增
其他	其他环保投资（竣工验收及他应急物资）	/	10	预留
	合计	/	16.94	/

本项目总投资 290 万元，环保投资 16.94 万元，占总投资的 5.8%。今后公司在核

技术利用项目实践中,应根据国家发布的法规内容,结合实际情况对环保设施做补充,使之更能满足实际需要。同时公司应定期对环保设施、监测仪器等进行检查、维护。

五、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《四川省辐射污染防治条例》中“第十三条 野外(室外)跨市(州)转移使用放射性同位素和II类以上射线装置的,应当于转移前五个工作日,向转入地市(州)环境保护主管部门提交使用计划和作业方案;使用结束后十个工作日内,应当向转入地市(州)环境保护主管部门提交辐射安全评估报告。”。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

本项目运行期产生的主要废弃物为测井工作场所使用非密封性同位素过程中产生的含放射性固废及少量 O₃ 和 NO_x, 测井工作场所拟采取以下“三废”防治措施。

一、废气

本项目 ⁴⁶Sc、⁸⁵Sr、¹²⁴Sb、¹⁶⁰Tb、¹⁹²Ir 示踪测井产生的 γ 射线会使空气电离产生少量 O₃ 和 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或四川省城市废物库处理。

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有资质的单位运输至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 β 表面污染和 γ 辐射剂量率检测，达到清洁解控水平后方能离开井场。

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，本项目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，北京国原新技术有限公司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）， γ 放射源裸源状态的剂量当量指数率按下式进行计算：

γ 射线：距点源其他距离处的 γ 有效剂量率可按照以下公式计算：

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

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

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

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}Sc 、 ^{85}Sr 、 ^{124}Sb 、 ^{160}Tb 、 ^{192}Ir 均为放射 γ 源， $\dot{X}_r = A\Gamma$ 。其中 A 为放射源的放射性活度 (Ci)， Γ 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）查得： ^{46}Sc 照射量率常数取 $1.09\text{R}\cdot\text{m}^2/\text{h}\cdot\text{Ci}$ ； ^{85}Sr 照射量率常数取 $0.30\text{R}\cdot\text{m}^2/\text{h}\cdot\text{Ci}$ ； ^{124}Sb 照射量率常数取 $0.93\text{R}\cdot\text{m}^2/\text{h}\cdot\text{Ci}$ ； ^{160}Tb 照射量率常数取 $0.6\text{R}\cdot\text{m}^2/\text{h}\cdot\text{Ci}$ ； ^{192}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} —— γ 辐射空气吸收剂量率，Gy/h；

$\sum W_R$ ——辐射权重因子， γ 射线取为 1；

H —— γ 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 γ 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}Sc	^{85}Sr	^{124}Sb	^{160}Tb	^{192}Ir
0.05	1.14×10^5	3.14×10^4	9.74×10^4	6.29×10^4	4.82×10^4
0.1	2.85×10^4	7.86×10^3	2.44×10^4	1.57×10^4	1.20×10^4
0.3	3.17×10^3	8.73×10^2	2.71×10^3	1.75×10^3	1.34×10^3
0.5	1.14×10^3	3.14×10^2	9.74×10^2	6.29×10^2	4.82×10^2
0.7	5.83×10^2	1.60×10^2	4.97×10^2	3.21×10^2	2.46×10^2
1	2.85×10^2	78.6	2.44×10^2	1.57×10^2	1.20×10^2
1.5	1.27×10^2	34.9	1.08×10^2	69.8	53.5
2	71.4	19.6	60.9	39.3	30.1
3	31.7	8.73	27.1	17.5	13.4
4	17.8	4.91	15.2	9.82	7.53
5	11.4	3.14	9.74	6.29	4.82
6	7.93	2.18	6.77	4.37	3.35
10	2.85	7.86×10^{-1}	2.44	1.57	1.20
10.686	2.50	6.88×10^{-1}	2.13	1.38	1.06
15	1.27	3.49×10^{-1}	1.08	6.98×10^{-1}	5.35×10^{-1}
20	7.14×10^{-1}	1.96×10^{-1}	6.09×10^{-1}	3.93×10^{-1}	3.01×10^{-1}
25	4.57×10^{-1}	1.26×10^{-1}	3.90×10^{-1}	2.51×10^{-1}	1.93×10^{-1}
30	3.17×10^{-1}	8.73×10^{-2}	2.71×10^{-1}	1.75×10^{-1}	1.34×10^{-1}
35	2.33×10^{-1}	6.41×10^{-2}	1.99×10^{-1}	1.28×10^{-1}	9.83×10^{-2}
40	1.78×10^{-1}	4.91×10^{-2}	1.52×10^{-1}	9.82×10^{-2}	7.53×10^{-2}
45	1.41×10^{-1}	3.88×10^{-2}	1.20×10^{-2}	7.76×10^{-2}	5.95×10^{-2}
50	1.14×10^{-1}	3.14×10^{-2}	9.74×10^{-2}	6.29×10^{-2}	4.82×10^{-2}

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 0.5m。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 0.5m 处的最大辐射剂量当量率为 $1.14\times 10^3\mu\text{Sv/h}$ 。

本项目所用非密封放射性物质中辐射剂量率最大的 ^{46}Sc 考虑，裸源情况下，距 30mCi ^{46}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，本项目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，根据已开展的放射性同位素示踪测井现场辐射剂量率监测报告（详见附件8），测井现场左右前后的 γ 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 γ 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}Sc 、 ^{85}Sr 、 ^{124}Sb 、 ^{160}Tb 、 ^{192}Ir 发出的 γ 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，本项目评价 γ 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，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 γ 辐射剂量当量率估算公式

屏蔽状态下， γ 辐射剂量当量率估算公式如下：

$$D = \dot{D} \times K^{-1} = \dot{D} \times 2^{-\frac{d_p}{\text{HVT}}} \cdots \cdots \text{公式 11-4}$$

$$H = \sum W_R D \cdots \cdots \text{公式 11-5}$$

式中： d_p —屏蔽层厚度，mm；

HVT—半值层厚度，mm；

\dot{D} — γ 辐射空气吸收剂量率，Gy/h；

$\sum W_R$ —辐射权重因子， γ 射线取为1；

H— γ 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：

$$H_\gamma = D_\gamma \times T \times 10^{-6} \cdots \cdots \text{公式 11-6}$$

式中： H_γ — γ 辐射外照射人均年有效剂量，mSv；

D_γ — γ 辐射剂量率, 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}Sc 、 ^{85}Sr 、 ^{124}Sb 、 ^{160}Tb 、 ^{192}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 20 口/年。根据表 11-1 预测结果, 并考虑防护作用, 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	值	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 $\mu\text{Sv/h}$ ”
铅筒安装过程操作 人员居留位置剂量 当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	^{46}Sc : 5.83×10^2 ^{85}Sr : 1.60×10^2 ^{124}Sb : 4.97×10^2 ^{160}Tb : 3.21×10^2 ^{192}Ir : 2.46×10^2	在表 11-1 计算结果的基础上 (0.7m 处), 根据式 11-4~11-6, 考虑了操作人员铅衣的防护作用
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}Sc : 3.17×10^3 ^{85}Sr : 8.73×10^2 ^{124}Sb : 2.71×10^3 ^{160}Tb : 1.75×10^3 ^{192}Ir : 1.34×10^3	在表 11-1 计算结果的基础上 (0.3m 处), 根据式 11-4~11-6, 考虑了操作人员铅衣的防护作用
操作控制器过程操 作人员居留位置剂 量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	^{46}Sc : 31.7 ^{85}Sr : 8.73 ^{124}Sb : 27.1 ^{160}Tb : 17.5 ^{192}Ir : 13.4	在表 11-1 计算结果的基础上 (3m 处), 根据式 11-4~11-6, 考虑了操作人员铅衣和释放器的防护作用
示踪砂注入过程操 作人员居留位置剂 量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	^{46}Sc : 7.93 ^{85}Sr : 2.18 ^{124}Sb : 6.77 ^{160}Tb : 4.37	在表 11-1 计算结果的基础上 (6m 处, 本项目示踪砂注入过程中, 释放器内示踪砂的量随时间逐渐由 100%变为 0, 本次预测操作人员居留位置剂量当量率按 50%考虑), 根据式 11-4~11-6, 考虑了操作

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 ($\mu\text{Sv/h}$)	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)
^{46}Sc	转移铅罐搬运	25	60	20	0.17	8.50×10^{-3}
	铝筒安装	5.83×10^2	30	20	0.08	9.32×10^{-2}
	连接软管泵	3.17×10^3	20	20	0.06	3.80×10^{-1}
	操作控制器	31.7	10	20	0.03	1.90×10^{-3}
	示踪砂注入	7.93	3600	20	10.00	1.59×10^{-1}
^{85}Sr	转移铅罐搬运	25	60	20	0.17	8.50×10^{-3}
	铝筒安装	1.60×10^2	30	20	0.08	2.56×10^{-2}
	连接软管泵	8.73×10^2	20	20	0.06	1.05×10^{-1}
	操作控制器	8.73	10	20	0.03	5.24×10^{-2}
	示踪砂注入	2.18	3600	20	10.00	4.36×10^{-2}
^{124}Sb	转移铅罐搬运	25	60	20	0.17	8.50×10^{-3}
	铝筒安装	4.97×10^2	30	20	0.08	7.96×10^{-2}
	连接软管泵	2.71×10^3	20	20	0.06	3.26×10^{-1}
	操作控制器	27.1	10	20	0.03	1.63×10^{-3}
	示踪砂注入	6.77	3600	20	10.00	1.35×10^{-1}
^{160}Tb	转移铅罐搬运	25	60	20	0.17	8.50×10^{-3}
	铝筒安装	3.21×10^2	30	20	0.08	5.14×10^{-2}
	连接软管泵	1.75×10^3	20	20	0.06	2.10×10^{-1}
	操作控制器	17.5	10	20	0.03	1.05×10^{-3}
	示踪砂注入	4.37	3600	20	10.00	8.74×10^{-2}
^{192}Ir	转移铅罐搬运	25	60	20	0.17	8.50×10^{-3}
	铝筒安装	2.46×10^2	30	20	0.08	3.94×10^{-2}
	连接软管泵	1.34×10^3	20	20	0.06	1.61×10^{-1}
	操作控制器	13.4	10	20	0.03	8.04×10^{-4}
	示踪砂注入	3.35	3600	20	10.00	6.70×10^{-2}
合计						2.01

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 0.5m 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 0.1m 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，本项目评价不考虑。

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 名操作人员完成，则每名操作人员在使用放射性同位素 ^{46}Sc 、 ^{85}Sr 、 ^{124}Sb 、 ^{160}Tb 、 ^{192}Ir 进行测井时年附加有效剂量最大为 2.01mSv。低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中职业照射限值和本项目环评提出的年剂量约束值（5mSv）。

2、公众年附加有效剂量分析

公 003-11、公 15 和广安 20 测井区域周围 50m 评价范围涉及 1~2 户住户，无学校等其他环境敏感点。故本项目保守对井场外环境保护目标所受剂量进行理论预测，辐射剂量率当量率选取表 11-1 中 ^{46}Sc 裸源 25m 的剂量率（ $4.57 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h}$ ）、35m 的剂量率（ $2.33 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h}$ ）及 40m 的剂量率（ $1.78 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h}$ ），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）保守计算详见下表。

表 11-4 测井作业时对保护目标的影响分析

井号	与井最近距离 (m)	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	使用因子	居留因子	照射类型	年有效剂量 (mSv/a)	结论
公 003-11	40	1.78×10^{-1}	1	1	公众照射	9.10×10^{-4}	满足
公 15	37	2.33×10^{-1}	1	1		1.19×10^{-3}	
广安 20	27	4.57×10^{-1}	1	1		2.33×10^{-3}	
	41	1.78×10^{-1}	1	1		9.10×10^{-4}	

公 003-X14、西 52、西 051-X2、公 003-H17、公 003-6、广安 21、广安 17、顺 101、顺 102 及顺 103 测井区域周围 50m 评价范围内主要为山地、农田和乡道，无住户，无学校等其他环境敏感点。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}Sc 裸源 50m 的剂量率为 $1.14 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h}$ ，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 $3.63 \times 10^{-5} \text{mSv/a}$ 。

综上所述，本项目周围 50m 评价范围内公众年附加有效剂量均低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中公众限值及本项目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 20 口，全年最多产生 2kg 的废手套、口罩、棉纱和 200kg 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或四川省城市废物库处理。

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}Sc 、 ^{85}Sr 、 ^{124}Sb 、 ^{160}Tb 、 ^{192}Ir 示踪测井产生的 γ 射线会使空气电离产生少量 O_3 和 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}Sc)，经 2~3 年后，影响较小；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，因此本项目正常情况下不产生放射性废水。

六、示踪剂运输环境影响分析

本次运输过程由有资质的单位制定完善的运输计划、安全措施、应急预案等，按照《放射性物品运输安全管理条例》、《放射性物品安全运输规程》（GB 11806-2019）、《油气田测井放射防护要求》（GBZ 118-2020）等相关规定进行运输和在相关部门备案。运输过程不在本次评价范围内。

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 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 11-5。

表 11-5 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

根据《职业性外照射急性放射病诊断》（GBZ 104-2017），急性放射病发生参考剂量见下表。

表 11-6 急性放射病初期临床反应及受照剂量范围参考值

急性放射病	分度	受照剂量范围参考值（Gy）
骨髓型急性放射病	轻度	1.0~2.0
	中度	2.0~4.0
	重度	4.0~6.0
	极重度	6.0~10.0
肠型急性放射病	轻度	10~20
	重度	20~50
脑型急性放射病	轻度	50~100
	中度	
	重度	
	极重度	
	死亡	>100

二、辐射事故识别

本项目的主要环境风险因子为 γ 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}Sc 、 ^{85}Sr 、 ^{124}Sb 、 ^{160}Tb 、 ^{192}Ir 发生事故的主要类型为：

（1）装有放射性同位素 ^{46}Sc 、 ^{85}Sr 、 ^{124}Sb 、 ^{160}Tb 、 ^{192}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}Sc 、 ^{85}Sr 、 ^{124}Sb 、 ^{160}Tb 、 ^{192}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}Sc 、 ^{85}Sr 、 ^{124}Sb 、 ^{160}Tb 、 ^{192}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。

三、事故情况下环境影响分析

1、装有示踪砂的转移铅罐丢失、被盗事故影响分析

(1) 事故情景假设

①测井用非密封放射性物质 ^{46}Sc 、 ^{85}Sr 、 ^{124}Sb 、 ^{160}Tb 、 ^{192}Ir 暂存的转移铅罐丢失、被盗事故；假设丢失时，铅罐内装的放射性物质活度为该核素单日最大操作量；

②假设丢失后在整个事故持续时间内放射性物质未发生洒漏，事故持续过程中按点源考虑；

③保守假设事故持续时间内，丢失的铅罐被同一人随身携带，距离按5cm考虑；

④受照人员不考虑任何屏蔽措施；

⑤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。

(2) 计算结果

根据事故情景假设条件计算得出不同事故持续时段的个人所受有效剂量，计算结果见表 11-7。

表 11-7 丢失事故下不同持续时间个人所受有效剂量

核素	距源距离 (m)	各事故持续时间段所致辐射有效剂量分布 (mSv)			
		0~6h	0~12h	0~18h	0~24h
^{46}Sc 、 ^{85}Sr 、 ^{124}Sb 、 ^{160}Tb 、 ^{192}Ir	0.05	0.15	0.3	0.45	0.6

(3) 事故后果

在上述事故情景假设条件下，携带装有示踪砂的转移铅罐的人员或近距离公众在事故持续时间内，其所受剂量低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)中的剂量限值(公众1mSv/a)。随着受误照人员受照时间的增加，其所受剂量可能将远超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)中的剂量限值，也可能造成更大的辐射事故。

2、装有示踪砂的转移铅罐丢失、被盗后裸源事故影响分析

(1) 事故情景假设

①测井用非密封放射性物质 ^{46}Sc 、 ^{85}Sr 、 ^{124}Sb 、 ^{160}Tb 、 ^{192}Ir 暂存的转移铅罐丢失、被盗；假设丢失时，铅罐内装的放射性物质活度为该核素单日最大操作量；

②假设丢失后在整个事故持续时间内放射性物质未发生洒漏，事故持续过程中按点源考虑；

- ③保守假设事故持续时间内，丢失的铅罐被同一人随身携带，距离按0.5m考虑；
- ④受照人员不考虑任何屏蔽措施；
- ⑤转移铅罐丢失、被盗后，及时进行寻找，找回时间以24h计。

(2) 计算结果

根据事故情景假设条件，并按辐射剂量率最大的 ^{46}Sc (30mCi) 考虑计算得出不同事故持续时段的个人所受有效剂量，计算结果见表 11-8。

表 11-8 裸源事故下不同持续时间个人所受有效剂量

核素	距源距离 (m)	各事故持续时间段所致辐射有效剂量分布 (mSv)			
		0~6h	0~12h	0~18h	0~24h
^{46}Sc	0.5	6.84	13.68	20.52	27.36

(3) 事故后果

在上述事故情景假设条件下，携带装有示踪砂的转移铅罐的人员或近距离公众在事故持续时间内，其所受剂量已超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 中的剂量限值(公众1mSv/a)。随着受误照人员受照时间的增加，其所受剂量可能将远超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 中的剂量限值，也可能造成更大的辐射事故。

3、铝筒连接释放器过程中的撒漏事故影响分析

(1) 事故情景假设

- ①假设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；假设撒漏时，放射性物质活度为该核素单日最大操作量；
- ②事故持续过程中按点源考虑；
- ③受照人员不考虑任何屏蔽措施；
- ④事故持续最长时间为 1h。

(2) 计算结果

根据事故情景假设条件，并按辐射剂量率最大的 ^{46}Sc (30mCi) 考虑计算得出不同事故持续时段的个人所受有效剂量，计算结果见表 11-9。

表 11-9 撒漏事故下不同持续时间个人所受有效剂量

核素	距源距离 (m)	各事故持续时间段所致辐射有效剂量分布 (mSv)			
		0~15min	0~30min	0~45min	0~60min
^{46}Sc	0.5	0.285	0.57	0.855	1.14

(3) 事故后果

在上述事故情景假设条件下，泄漏的放射性物质周围的人员或近距离公众在事故持续时间内，其所受剂量低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中的剂量限值（职业人员 20mSv/a）。随着受误照人员受照时间的增加，其所受剂量可能将远超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中的剂量限值，也可能造成更大的辐射事故。

4、示踪砂随返排液进入反排池的事故影响分析

(1) 事故情景假设

①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；假设 5 种示踪砂全部反排；

②事故持续过程中按点源考虑；

③受照人员不考虑任何屏蔽措施；

④事故持续最长时间为 1h。

(2) 计算结果

根据事故情景假设条件，本项目以 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}Sc 、 ^{85}Sr 、 ^{124}Sb 、 ^{160}Tb 、 ^{192}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。

(3) 事故后果

在上述事故情景假设条件下，泄漏的放射性物质周围的人员或近距离公众在事故持续时间内，其所受剂量低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中的剂量限值（职业人员 20mSv/a）。随着受误照人员受照时间的增加，其所受剂量可能将远超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中的剂量限值，也可能造成更大的辐射事故。

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。

本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。

在压裂过程中井深结构完全破损导致地下水层和油层连通的极端情况下，示踪砂会进入地下水含水层，根据现场调查及收集资料，项目拟测井区域周边地下水水井深度一般在 30~200m 范围，项目测井深度在 1500~3000m 且使用核素半衰期较短，示踪砂随地下水迁移至含水层附近时核实辐射影响已基本消失。

四、辐射事故防范措施

由于放射性同位素 ^{46}Sc 、 ^{85}Sr 、 ^{124}Sb 、 ^{160}Tb 、 ^{192}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，做到帐物相符。

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暂存时拟采取双人双锁、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或四川省城市废物库处理。

(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的设置

北京国原新技术有限公司已根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规的要求成立辐射安全与环境保护管理机构，负责辐射安全与环境保护监督管理工作，保障辐射工作人员、社会公众的健康与安全。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领导小组（详见附件 7），具体成员见表 12-1。

表 12-1 辐射安全与环境保护管理领导小组成员表

组长	
副组长	
成员	

管理机构主要责任人职责如下：

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，组织培训辐射工作人员。
- (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) 组织实施辐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。

二、辐射工作人员配置和能力分析

本项目 6 名辐射工作人员，均为原有辐射工作人员，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，公司应根据以下要求完善辐射工作人员的管理工作：

根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部，公告 2019 年 第 57 号）：“自 2020 年 1 月 1 日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过生态环境部‘核技术利用辐射安全与防护培训平台’（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）报名并参加考核。2020 年 1 月 1 日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效”。本项目配置的辐射工作人员已在生态环境部“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，并考核合格。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，考核合格的人员，每 5 年接受一次再培训考核。

在辐射工作人员上岗前，公司应组织其进行岗前职业健康检查，并建立个人健康档案，符合辐射工作人员健康标准的，方可参加相应的辐射工作。

公司应当建立并保存辐射工作人员的培训档案。

三、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》及《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 日前在全国核技术利用辐射安全申报系统上提交上年度的《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》。目前北京国原新技术有限公司已制定相关制度。

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，公司应对其制定的一系列相关管理制度进行补充完善：

(1) 由于本项目新增丙级非密封放射性物质工作场所，相应辐射工作人员也将增加，因此建议根据人事变动情况及时调整人员名单，明确人员职责。

(2) 操作规程：公司拟根据本项目特点，明确操作人员的权限以及操作时必须采取的防护措施，明确工作中的控制措施以及操作程序等。

(3) 岗位职责：明确辐射工作人员及辐射安全管理人员的岗位责任，并落实到个人，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，层层落实。

(4) 辐射防护和安全保卫制度：根据项目的具体情况制定辐射防护和安全保卫制度，重点是：定期检查相关的检测仪器，发现问题及时修理或更换；工作人员定期开展个人剂量检测和职业健康监护。环境辐射剂量监测仪必须保持良好工作状态。

(5) 设备检修维护制度：明确监测仪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，剂量报警仪和监测仪器必须保持良好工作状态。

(6) 台帐管理制度：公司应当建立放射性同位素台帐，记载非密封放射物质的名称、型号、射线种类、类别、用途、来源和去向等事项。

(7) 人员培训计划：明确培训人员、培训周期、培训形式、培训内容、频次等，培训记录建立档案，做到有据可查。本项目辐射工作人员已参加生态环境部“核技术利用辐射安全与防护培训平台”辐射安全与防护相关知识的学习及考核合格，辐射安全培训合格证书到期的人员仍需通过生态环境部“核技术利用辐射安全与防护培训平台”进行再学习考核，公司应当建立并保存辐射工作人员的培训档案。

四、档案管理

公司应建立完整的辐射安全档案。需要归档的材料应包括以下内容：

- (1) 生态环境部门现场检查记录及整改要求落实情况。
- (2) 异常情况说明以及其它需要记录的有关情况。

根据《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》要求，档案资料应按以下九个大类分类：“制度文件”“环评资料”“许可证资料”“放射源台账”“监测和检查纪录”“个人剂量档案”“培训档案”“辐射应急资料”和“废物处置记录”。

辐射监测

辐射监测是安全防护的一项必要措施，通过辐射剂量监测得到的数据，可以分析判断和估计电离辐射水平，防止人员受到过量的照射。根据实际情况，需建立辐射剂量监测制度，包括工作场所监测和个人剂量监测。

一、个人剂量监测

本项目辐射工作人员均配有个人剂量计，并要求在开展工作期间必须佩戴个人剂量计。

公司按每季度 1 次（一年 4 次）的频率组织辐射工作人员进行个人剂量检测，并按《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）和《放射性同位素与射线装置安全与防护管理办法》（环保部 18 号令）的要求，建立辐射工作人员个人剂量档案，将监测结果记录到个人剂量档案中。

个人剂量监测工作应当由具备资质的个人剂量监测技术服务机构承担。

公司应建立个人剂量档案，辐射工作人员个人剂量档案内容应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。公司应当将辐射工作人员的个人剂量档案终生保存；公司应于每季度将个人剂量计交由有资质的检测部门进行检测。对于该项目每季度检测数值超过 1.25mSv 的，公司要及时进行干预，查明原因，撰写调查报告并由当事人在调查报告上签字确认，采取防护措施减少或者避免过量照射；若全年个人剂量检测数值超过 5mSv，公司应当立即暂停该辐射工作人员继续从事辐射工作，同时进行原因调查，撰写正式调查报告，经本人签字确认后上报《辐射安全许可证》发证机关；当单年个人累积剂量检测数值超过 50mSv，应立即采取措施，开展调查处理并报告辐射安全许可证发证机关。检测报告及有关调查报告应存档备查。

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。

二、工作场所监测

年度监测：委托有资质的单位对辐射工作场所的剂量进行监测，监测周期为 1 次/年；年度监测报告应作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成部分一并提交给发证机关。

三、公司自我监测

公司定期自行开展辐射监测（也可委托有资质的单位进行自行监测），制定各工作场所的定期监测制度，监测数据应存档备案，监测周期为1次/月。

四、监测内容和要求

(1) 监测内容：X- γ 空气吸收剂量率、 β 表面沾污水平。

(2) 监测布点及数据管理：本项目监测布点应参考环评提出的监测计划（表 12-2）或验收监测布点方案。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。

根据北京国原新技术有限公司测井作业特点，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

场所	监测项目	监测点位
油井 井场	γ 射线	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
		固体废物
	β 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
		固体废物

(3) 监测范围：控制区和监督区域及周围环境

(4) 监测频次：场所辐射水平现场测井前、后各监测 1 次，工作场所表面污染水平应每次现场测井完成后监测 1 次，同时每年委托有资质单位对场所进行表面污染水平进行 1~2 次监测。

(5) 监测质量保证

a、制定监测仪表使用、校验管理制度，并利用监测部门的监测数据与公司监测仪器的监测数据进行比对，建立监测仪器比对档案；也可到有资质的单位对监测仪器进行校核；

b、采用国家颁布的标准方法或推荐方法，其中自我监测可参照有资质的监测机构出具的监测报告中的方法；

c、制定辐射环境监测管理制度。

此外，公司需定期和不定期对辐射工作场所进行监测，随时掌握辐射工作场所剂量变化情况，发现问题及时维护、整改。做好监测数据的审核，制定相应的报送程序，

监测数据及报送情况存档备查。

五、年度评估报告情况

公司应于每年 1 月 31 日前在全国核技术利用辐射安全申报系统上提交上年度的《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》，近一年（四个季度）个人剂量检测报告和辐射工作场所年度监测报告应作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成部分一并提交。公司应按照《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》（川环函[2016]1400 号）规定的格式编写《安全和防护状况年度评估报告》并上传至“全国核技术利用辐射安全申报系统”。

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《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。

一、辐射事故应急预案内容

放射性同位素示踪测井辐射事故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、公安部门和卫生健康部门等。

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 γ 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或四川省城市废物库处理。

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。

表 13 结论与建议

结论

一、项目概况

项目名称：北京国原新技术有限公司南充地区放射性同位素压裂示踪测井项目

项目性质：新建

建设单位：北京国原新技术有限公司

建设地点：本项目放射性同位素示踪测井位于四川省南充市，属于西南油田，油气井场一般都很分散，分布范围广，多处于偏远地区。

建设内容与规模：

北京国原新技术有限公司拟在四川省南充市开展放射性同位素 ^{46}Sc 、 ^{85}Sr 、 ^{124}Sb 、 ^{160}Tb 和 ^{192}Ir 同位素示踪测井活动，每天最大测井工作量为 1 口，本次涉及的 13 口油井为：公 003-X14、西 52、西 051-X2、公 003-H17、公 003-6、公 003-11、公 15、广安 20、广安 21、广安 17、顺 101、顺 102 及顺 103。测井计划从 2025 年开始，2 年之内完成。

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，每口井可使用一种或多种放射性同位素，每支释放器中只有一种核素，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}Sc : $1.11 \times 10^9 \text{Bq}$ 、 ^{85}Sr : $1.11 \times 10^9 \text{Bq}$ 、 ^{124}Sb : $1.11 \times 10^9 \text{Bq}$ 、 ^{160}Tb : $1.11 \times 10^9 \text{Bq}$ 、 ^{192}Ir : $1.11 \times 10^9 \text{Bq}$ ）。

放射性同位素 ^{46}Sc 、 ^{85}Sr 、 ^{124}Sb 、 ^{160}Tb 和 ^{192}Ir 日等效最大操作量为 $5.55 \times 10^6 \text{Bq}$ ，年最大用量为 $1.11 \times 10^{11} \text{Bq}$ ；本项目测井现场属于丙级非密封放射性物质工作场所。

二、项目产业政策符合性结论

本项目系核技术应用项目在工业领域内的运用。根据国家发展和改革委员会《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，属于鼓励类中第六项“核能”的第 4 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”，是目前国家鼓励发展的新技术应用项目。本项目属于国家鼓励发展的新技术应用项目，符合国家

有关法律法规和当前产业政策。

三、实践正当性

北京国原新技术有限公司拟在四川省南充市开展放射性同位素 ^{46}Sc 、 ^{85}Sr 、 ^{124}Sb 、 ^{160}Tb 、 ^{192}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。

四、区域环境质量现状评价结论

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，故本项目评价对项目场址及评价范围内未开展辐射环境质量现状监测。

根据生态环境部《2022 年全国辐射环境质量报告》，四川省环境 γ 辐射剂量率自动监测年均值范围为 61.9~151.8nGy/h； γ 辐射剂量率累积监测年均值范围为 77.1~129nGyh。

五、代价利益分析

本项目开展可进一步了解四川省区域的油藏地质情况，提高油气采收率、降低开采成本。为保护该项目周边其他科室工作人员和公众，对测井工作场所项目加强了防护，从剂量预测结果可知，项目致工作人员所受附加剂量小于 5mSv、公众年所受附加剂量小于 0.10mSv，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”及本项目管理约束值的要求。因此，从代价利益分析看，该项目是正当可行的。

六、环境影响评价分析结论

1、施工期环境影响分析

本项目施工工程量比较小，施工时间较短，故施工期的环境影响是短暂的，施工结束后影响即可消除，对周围环境影响较小。

2、营运期正常工况下辐射环境影响

(1) 辐射环境影响分析结论

在严格落实环评提出的要求后，本项目所致职业人员和公众年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)的辐射剂量限值要求，同时也符合本报告提出的照射剂量约束值要求(职业照射 5mSv/a、公众照射 0.1mSv/a)。评价结果表明本项目辐射工作场所的防护性能符合要求。

(2) 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或四川省城市废物库处理。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。

(3) 废气环境影响分析

本项目 ^{46}Sc 、 ^{85}Sr 、 ^{124}Sb 、 ^{160}Tb 、 ^{192}Ir 示踪测井产生的 γ 射线会使空气电离产生少量 O_3 和 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、事故工况下环境影响评价结论

经分析，本项目可能发生的辐射事故等级为一般辐射事故。针对本项目可能发生的辐射事故，公司应按相关规定对已制定的辐射事故应急预案和安全规章制度进行补充完善并认真贯彻实施，以减少和避免发生辐射事故与突发事件。

建议和承诺

- 1、落实本报告中的各项辐射防护措施和安全管理制度的。
- 2、公司须重视控制区和监督区的管理。
- 3、测井作业完成后对测井现场进行 β 表面污染和 γ 辐射剂量率检测，达到清洁解控水平后方能离开井场。
- 4、公司今后在更换辐射安全许可证之前，需登录全国核技术利用辐射安全申报系统(网址 <http://rr.mee.gov.cn>)，对相关信息进行修改。
- 5、根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》以及《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》(HJ 1326-2023)，建设单位应当按照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，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。