

# 核技术利用建设项目

西安勒能石油科技有限公司

中子发生器测井核技术利用建设项目

## 环境影响报告表

建设单位：西安勒能石油科技有限公司

编制单位：核工业二〇三研究所

编制日期：二〇二四年四月

## 目 录

表 1	项目基本情况.....	1
表 2	放射源.....	7
表 3	非密封放射性物质.....	7
表 4	射线装置.....	8
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）.....	10
表 6	评价依据.....	11
表 7	保护目标与评价标准.....	13
表 8	环境质量和辐射现状.....	18
表 9	项目工程分析与源项.....	19
表 10	辐射安全与防护.....	27
表 11	环境影响分析.....	31
表 12	辐射安全管理.....	40
表 13	结论与建议.....	48
表 14	审批.....	50

### 附件：

- 附件 1 委托书
- 附件 2 建设项目环境影响评价信息公开说明
- 附件 3 市场主体环境信用承诺书
- 附件 4 公示截图

**表 1 项目基本情况**

建设项目名称		西安勒能石油科技有限公司中子发生器测井核技术利用建设项目			
建设单位		西安勒能石油科技有限公司			
法人代表	邓付身	联系人	徐丽明	联系电话	██████████
注册地址		陕西省西安市高新区唐延路 25 号银河科技大厦 7 层 7H038			
项目建设地点		油气井测井现场（非固定场所）			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资（万元）		300	项目环保投资（万元）	10.5	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 <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 type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
<input checked="" type="checkbox"/> 使用		<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类			
其他	/				
<p><b>1.1 单位简介</b></p> <p>西安勒能石油科技有限公司成立于 2020 年，位于陕西省西安市高新区唐延路 25 号银河科技大厦 7 层 7H038，公司致力于石油井下钻探施工的各类随钻测斜仪器，物联网、机器人自动化系统的产品开发与技术服务。为客户提供井下作业测斜仪各类产品及一站式管家服务。</p> <p>公司高度重视技术研发与创新成果转化，设立专门负责结构研发、电子电路研发、嵌入式软件研发、算法研发等部门，涉及石油钻探、物联网设备、自动化生产线研发与自动化机器人等行业，除自主研发输出设计能力外，公司拥有丰富的加工单位合作支持，可结合加工生产能力进行产品设备输出。</p> <p>公司拥有一支专业、经验丰富、团结高效且年轻向上的团队，公司主要成员以 80、90 后为主，目前团队有算法工程师，硬件工程师，结构工程师，软件工程师等。公司</p>					

主要研发人员均从事过多年石油钻探设备研发经验。

## 1.2 项目由来

为了扩大业务范围，提高测井技术服务质量，西安勒能石油科技有限公司拟购置1台中子发生器测井仪进行油气田井下测井活动。拟购置的1台中子发生器测井仪，中子强度为 $1.5 \times 10^8 \text{n/s}$ ，内含氚靶活度最大为 $5.0 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，在延安地区开展油气测井活动。

根据国家环保部、国家卫生和计划生育委员会总局《关于发布<射线装置分类>的公告（2017年第66号公告）》相关规定，该项目拟购置的1台中子发生器测井仪属于II类射线装置。

根据《中华人民共和国环境影响评价法》、《中华人民共和国放射性污染防治法》和《建设项目环境保护管理条例》，本项目应进行环境影响评价。根据《建设项目环境保护分类管理名录》（2021年版），本项目属于“五十五、核与辐射—172、核技术利用建设项目，制备PET用放射性药物的；医疗使用I类放射源的；使用II类、III类放射源的；生产、使用II类射线装置的；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实验的”，应编制环境影响报告表。

为此，西安勒能石油科技有限公司于2023年12月13日委托核工业二〇三研究所对该项目进行环境影响评价工作。接受委托后，我单位即组织工程专业技术人员对收集该项目相关基础资料，根据国家、省市的有关环保法规和《辐射环境保护管理导则—核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016），编制了《西安勒能石油科技有限公司中子发生器测井核技术利用建设项目环境影响报告表》。

## 1.3 编制目的

（1）通过收集资料，掌握拟开展工作区域天然本底辐射水平。

（2）通过环境影响评价，预测建设项目对其周围环境影响的程度和范围，提出环境污染控制对策，为工作场所的辐射屏蔽和环境管理提供科学依据。

（3）对不利影响和存在的问题提出防治措施，把辐射环境影响减少到“可合理达到的尽量低水平”。

（4）提出环境管理和环境监测计划，使该项目满足国家和地方生态环境保护部门对建设项目环境管理规定的要求，为辐射环境管理提供科学依据。

## 1.4 实践正当性分析

西安勒能石油科技有限公司在延安地区开展中子发生器测井项目。中子发生器测井技术是一种有效的地球物理探矿方法，主要是用以确定地层的岩性和孔隙度，判断和划分油层及含油量等，为制定采油方案提供科学依据，为石油开采提供了先进的技术保证，所带来的利益远大于可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”的要求。

根据《产业结构调整指导目录 2024 年本》，本项目属于鼓励类中“三十一、科技服务业—1、工业设计、气象、生物、新材料、新能源、节能、环保、测绘、海洋等专业技术服务，标准化服务、计量测试、质量认证和检验检测服务、科技普及”项目，符合国家产业政策。

## 1.5 本次环评项目内容与规模

### （1）项目简况

项目名称：西安勒能石油科技有限公司中子发生器测井核技术利用建设项目

建设单位：西安勒能石油科技有限公司

单位地址：陕西省西安市高新区唐延路 25 号银河科技大厦 7 层 7H038

建设内容：新增 1 台中子发生器测井仪，中子强度为  $1.5 \times 10^8 \text{n/s}$ ，内含氚靶活度为  $5.0 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，在延安地区开展测井活动。

工作区域：测井场所不固定，位于陕西省延安市境内

建设性质：新建

应用类型：使用 II 类射线装置

项目投资：300 万人民币

### （2）公司交通地理位置

西安勒能石油科技有限公司位于陕西省西安市高新区唐延路25号银河科技大厦，公司地理位置见图1。中子发生器测井仪日常存放于西安勒能石油科技有限公司位于延安市宝塔区的专用贮存库房，测井时由专业测井车运输，工作完成后，将中子管送回贮存室，当测井地点较远，中子管不能及时返回贮存库房存放时，将在测井地点的测井车内临时暂存。专用贮存库房地理位置见图2。



图1 西安勒能石油科技有限公司地理位置图



图2 专用贮存库房地理位置图

### (3) 项目内容与规模

西安勒能石油科技有限公司本次拟购置 1 套中子发生器，用于油气井测井，主要工作区域位于陕西省延安市。本次拟购置的中子发生器主要由中子管、高压电源、控制系统等组成。本次使用的中子发生器工作电压最大为 120kV，最大靶流 100 $\mu$ A，中子强度  $1.5 \times 10^8$  n/s。每只中子发生器内部含有一个氚靶，氚靶密封在严密包壳中，其放射性活度为  $5.0 \times 10^{11}$  Bq。

拟购置的中子发生器技术参数见表 1-1。

表 1-1 中子发生器相关技术参数

名称	型号	数量	类别	最大管电压 (kV)	最大靶电流 ( $\mu$ A)	中子强度 (n/s)	最大氚靶 活度 (Bq)
中子发生器	暂定	1 套	II	120	100	$1.5 \times 10^8$	$5.0 \times 10^{11}$

本次评价仅包括中子发生器的检验以及测井使用过程，中子发生器的刻度工作由生产厂家完成。测井过程中，中子发生器若发生故障，将中子发生器返回厂家进行维修。中子发生器的刻度、维修不包括在本项目内容。

### (4) 工作人员配备情况

根据建设单位提供的资料，西安勒能石油科技有限公司本次拟配备辐射工作人员 2 名，组成测井小队，项目建成后，预计年测井 70 口，单井打靶时间约 20min，仪器检查时间约 5min。

### (5) 防护设备配备情况

根据建设单位提供的资料，西安勒能石油科技有限公司本次拟配备 $\gamma$ 辐射剂量率仪 1 台、中子周围剂量当量率仪 1 台，测井人员使用 1 台 $\gamma$ 剂量率仪和 1 台中子周围剂量当量率仪用于日常监测；2 名辐射工作人员均配备个人剂量报警仪，配备两套铅衣。

### (6) 项目组成

本项目具体组成情况见表 1-2。

表 1-2 项目组成一览表

名称	建设内容与规模	
主体工程	购置 1 套中子发生器测井仪，用于油气井测井。	
辅助工程	库房	在延安市租用库房一间，用于日常存放中子发生器测井仪。
公用工程	给水	日常生活依托公司办公区现有设施。
	排水	测井过程依托测井现场周围公共设施；日常生活依托公司办公区现有废水处理设施。
	供暖	空调制热。
	制冷	空调制冷。
环保工程	废水	测井作业时依托测井现场周围公共设施；日常生活依托公司办公区现有废水处理设施。
	生活垃圾	测井过程依托测井现场周围公共设施；日常生活依托公司办公区现有垃圾箱收集，由环卫部门统一清运。

### 1.5 原有核技术项目以及辐射安全证许可情况

西安勒能石油科技有限公司无原有核技术项目，本次中子发生器测井项目为公司第一次核技术利用项目，公司尚未取得辐射安全许可证。

### 1.6 评价因子及评价重点

本项目的污染因子主要为中子发生器测井仪通电激发过程中产生的中子以及中子与地层发生相互作用的产生  $\gamma$  射线、中子发生器测井仪关机后仪器表面残留的感生放射性。本次评价采用年附加有效剂量作为评价因子，重点评价测井过程以及测井结束后中产生的中子、 $\gamma$  射线或感生放射性对职业人员、公众产生附加有效剂量是否满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002 规定的基本限值和本次环评规定剂量约束值要求。

表 2 放射源

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

注: 日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(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	
1	中子发生器测井仪	II类	1	未定	120	100	$1.5 \times 10^8$	中子测井	油气井测井现场	$5.0 \times 10^{11}$	密封在中子管屏蔽体内	1	1只中子管内含1个氚靶
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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
废中子管	固态	$^3\text{H}$	/	/	/	/	/	交厂家或有资质单位回收处理
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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，气态单位为 mg/m<sup>3</sup>；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

<p>法律 法规 文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法（修订）》，2015 年 1 月 1 日施行；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法（修订）》，2018 年 12 月 19 日施行；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日实施；</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例（修订）》，国务院第 682 号令，2017 年 10 月 1 日起施行；</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令第 449 号公布，2005 年 12 月 1 日施行；国务院令第 653 号进行第一次修订，2014 年 7 月 29 日施行；国务院令第 709 号进行第二次修订，2019 年 3 月 2 日施行；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》2021 年修订；</p> <p>(7) 关于发布《射线装置分类》的公告，环境保护部、国家卫生和计划生育委员会 2017 年第 66 号公告，2017 年 12 月 6 日；</p> <p>(8) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年度）》2021 年 1 月 1 日；</p> <p>(9) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》环发〔2006〕145 号，2006 年 9 月 26 日实施；</p> <p>(10) 《关于加强放射性同位素与射线装置辐射安全和防护工作的通知》，环境保护部环发〔2008〕13 号，2008 年 4 月 14 日；</p> <p>(11) 《陕西省放射性污染防治条例》，2019 年 11 月 6 日；</p> <p>(12) 关于发布《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》的公告，国环规环评[2017]4 号，2017 年 11 月 20 日；</p> <p>(13) 《关于印发新修订的&lt;陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表&gt;的通知》，陕环办发〔2018〕29 号，2018 年 6 月 6 日；</p> <p>(14) 《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 2019 年第 57 号公告，2020 年 1 月 1 日实施。</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》(HJ10.1-2016)；</p> <p>(3) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)；</p> <p>(4) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)；</p> <p>(5) 《环境<math>\gamma</math>辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)；</p> <p>(6) 《电离辐射监测质量保证通用要求》(GB8999-2021)；</p> <p>(7) 《油气田测井放射防护要求》(GBZ 118-2020)；</p> <p>(8) 《石油放射性测井辐射防护安全规程》(SY5131-2008)；</p> <p>(9) 《石油测井中子发生器及中子管技术条件》(SY/T5419-2007)；</p> <p>(10) 《放射性测井辐射安全与防护》(HJ1325-2023)；</p> <p>(11) 《放射工作人员健康要求及监护规范》(GBZ 98-2020)。</p>
<p>其他</p>	<p>(1) 西安勒能石油科技有限公司中子发生器测井核技术利用建设项目环评委托书，附件 1；</p> <p>(2) 西安勒能石油科技有限公司提供的其它相关技术资料。</p>

## 表 7 保护目标与评价标准

### 7.1 评价范围

本项目使用的中子发生器为 II 类射线装置，正常运行工况下，在进行油气井测井时，将中子发生器置于井下 500m 以下，测井过程中产生中子以及俘获 $\gamma$ 射线经过地下土层屏蔽、距离衰减后，基本上不会对地表产生辐射影响。

事故状态下，中子发生器可能在井口或地表进行通电运行，可能周边环境产生辐射影响。根据《石油测井中子发生器及中子管技术条件》（SY/T 5419-2007）7.1 款要求“在没有辐射屏蔽条件的情况下，应将距产品不小于 30m 的区域划为安全防护区，设置明显标志，设专人警戒，确保区内无人，方可发射中子”。根据《辐射环境保护管理导则—核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）“放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围（无实体边界项目视具体情况而定，应不低于 100m 的范围）”。

根据本项目中子发生事故状态下影响范围，结合导则相关规定，从保守角度考虑，本次评价以测井现场油气井井口为中心，半径为 100m 作为评价范围。

### 7.2 环境保护目标

本项目环境保护目标可分为职业人员和公众，使其所接受年有效剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的剂量限值和本次评价提出的剂量约束值。其中，职业人员为西安勒能石油科技有限公司放射性测井人员；公众：测井现场评价范围内其他工作人员、进入评价范围内，短时间停留其它人员。

西安勒能石油科技有限公司本项目环境保护目标见表 7-1。

表 7-1 本项目环境保护目标一览表

序号	保护对象	类型	规模	距离(m)	年有效剂量约束值
1	放射性测井人员	职业人员	2 人	30~100	$\leq 2\text{mSv}$
2	其他工作人员	公众	2 人	30~100	$\leq 0.1\text{mSv}$
3	进入评价范围内，短时间停留其它人员	公众	若干	30~100	$\leq 0.1\text{mSv}$

### 7.3 评价标准

(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

“本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

#### ①剂量限制和潜在照射危险限制

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

#### B1 剂量限值

##### B1.1 职业照射

##### B1.1.1 剂量限值

B1.1.1.1 应对任何工作人员的照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

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

b) 任何一年中的有效剂量 50mSv；

##### B1.2 公众照射

##### B1.2.1 剂量限值

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：

a) 年有效剂量，1 mSv；

b) 特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均有效剂量不超过 1mSv，则某一单一年份的  
年有效剂量可提高至 5mSv。

依据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）剂量限值相关规定，结合该项目对职业人员、公众产生的辐射影响，从辐射防护最优化角度，确定该项目所致职业人员、公众年附加有效剂量约束值分别为 2mSv、0.1mSv。”

#### (2) 《石油测井中子发生器及中子管技术条件》（SY/T5419-2007）

“本标准适用于石油测井中子发生器及中子管的设计、制造、应用、检验和质量评价。

#### 3 技术要求

##### 3.2.1 贮存温度为-40℃~+70℃

##### 3.2.2 贮存湿度

3.2.2.2 中子管贮存相对湿度不大于 70%。

#### 6 标志、包装、运输和贮存

6.3 运输的要求和管理应符合 GB11086-2004 中 6.6 的有关规定，可以用常规水、陆、空方式运输。运输时应防止剧烈震动和雨水侵淋。

6.4 产品贮存应符合中华人民共和国国务院令第 449 号《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第三十五条之规定，储存场所温、湿度符合 3.2.1 和 3.2.2。

产品长期不使用时，应至少每间隔三个月发射一次中子，每次发射时间不少于 30min。

## 7 安全与环境保护

### 7.1 产品工作时的辐射防护

在没有辐射屏蔽条件的情况下，应将距产品不小于 30m 的区域划为安全防护区，设置明显标志，设专人警戒，确保区内无人，方可发射中子。

### 7.2 活化伽马射线的防护

中子发射结束后，待产品的活化伽马辐射水平符合 GB/T18871-2002 中附录 A2.3 的水平时，工作人员方可靠近产品。

在产品标准和使用维修手册中应对该型号产品的活化伽马冷却时间给出具体规定。

### 7.3 产品的报废处理

中子发生器和中子管内含有放射性物质氚，产品报废后使用单位不得自行处置，应按中华人民共和国国务院令第 449 号《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第二十三条要求，返回生产单位或送交有相应资质的放射性废物集中贮存单位处理。”

#### (3) 《石油放射性测井辐射防护安全规程》（SY5131-2008）

##### “8.2 现场测井作业的辐射防护要求

8.2.2 进行放射源操作时，应设非安全控制区，在醒目位置摆放电离辐射标志。设专人监护，无关人员不得进入。

8.2.5 使用带有中子发生器的仪器进行测井作业时，中子发生器断电 20min 后，仪器方能起出井口。”

#### (4) 《油（气）田测井放射防护要求》（GBZ118-2020）

“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所使用的放射源、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、放射性污染监测仪器等自检设备，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。

5.1.12 中子管贮存库应为单独房间，宜为独立建筑物或建筑物底层的一端，应设防盗装置。贮存库内不应居住、办公和放置易燃、易爆等其他危险物品。中子管贮存场所温度、湿度等环境条件应符合 SY/T5419。中子管转运时应防止碰撞、摩擦。

5.2.11 中子发生器应从井口进入地平面 10m 以下后方可发射中子。中子发生器回收时，应在地平面 10m 下关闭，中子发生器出井后应由放射工作人员进行擦拭清理，回运过程中距离人员应大于 1m。

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。

7.3.1 新中子发生器投入使用前应进行下列项目检测：

- a) 刻度及测井辐射场周围剂量当量率；
- b) 中子管工作结束后活化产物外照射周围剂量当量率。

7.3.2 投入使用后的检测：

对 7.3.1 中 a)项应每年进行一次检测；7.3.1 中 b)项每次工作完成后均应进行。

7.4.1 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。”

(4) 《放射性测井辐射安全与防护》(HJ 1325-2023)

“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。

4.7 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。

5.1.1 放射源测井操作应按照辐射防护原则，采取最优化的防护措施。

5.1.2 测井现场应根据实际情况划分控制区，控制区边界设置明显的警戒线和电离辐射警告标志，并安排专人值守。

5.3.1 中子发生器测试、刻度宜在专用的屏蔽体内进行，可使用符合屏蔽要求的屏蔽介质，也可使用深度大于 10m 的专用地下测试井。没有专用屏蔽体时，应将距测试中子发生器不小于 30 m 范围设置为控制区，边界应设置警戒线或栅栏及电离辐射警告标志，由专人值守。

5.3.2 中子发生器到达井下指定位置后，方可打开电源。中子发生器回收时，须确保断电 20min 后人员方能接近仪器。

5.3.3 中子发生器贮存场所应配置安防设施，实现 24 小时监控，也可放置源库内保管。

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工作。

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。

8.2.1 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 7-1 的内容。”

表 7-1 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 30 cm 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（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 5 cm、车辆驾驶员座位、车辆外表面 30 cm 处、2 m 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



**表 8 环境质量和辐射现状**

### **8.1 公司地理位置和项目场所位置**

#### **(1) 公司地理位置**

西安勒能石油科技有限公司地址位于陕西省西安市高新区唐延路 25 号银河科技大厦。西安勒能石油科技有限公司所在地地理位置见图 1-1。

#### **(2) 项目场所位置**

西安勒能石油科技有限公司拟在陕北延安开展中子发生器测井业务，本项目为流动式作业，作业区域集中在延安地区采油（气）区，测井现场不固定。

### **8.2 环境质量和辐射现状**

本项目为中子发生器测井项目，主要污染因子为电离辐射。西安勒能石油科技有限公司开展的中子发生器测井项目为流动式作业（延安地区开展中子发生器测井项目为主），不在某一场所长期作业，故本次评价未开展辐射环境质量现状监测，辐射环境现状以作业地辐射环境质量现状为准。

根据《中国环境天然放射性水平》（原子能出版社，2015 年 7 月），延安地区道路

$\gamma$  辐射剂量率为 34.0~114.0nGy/h，原野  $\gamma$  辐射剂量率为 41.0~112.0nGy/h。

根据陕西省《2023 年 1-9 月全省环境质量状况的函》，2023 年 1-9 月陕西省 12 个辐射环境空气自动监测站 $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率监测范围为 71.7~107.2nGy/h，23 个累积剂量监测点 $\gamma$ 辐射剂量率监测范围为 86.57~107.63nGy/h。其中，延安市 $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率监测范围为 79.2~95.1nGy/h，累积剂量监测点 $\gamma$ 辐射剂量率为 96.38nGy/h，处于天然本底涨落范围内。

由此可见，延安地区 2023 年 $\gamma$ 辐射剂量率调查结果与《中国环境天然放射性水平》中延安调查结果处于同一水平范围内，项目所在地辐射环境质量良好。

## 表 9 项目工程分析与源项

### 9.1 中子发生器结构以及工作原理

#### (1) 中子发生器结构

中子发生器（又称脉冲中子发生器），主要由中子管和靶端高压电源组成。中子管和靶端高压电源密封在不锈钢筒内，并在钢筒内充入 1MPa 以上 SF<sub>6</sub> 气体。高压电源由一系列倍压线路组成，它的作用是输出高达高压。中子管是将离子源以及加速系统、氚靶、气压调节系统密封在一个陶瓷或金属管内，形成一个小型的特种电真空器件。中子管主要由以下几个部分组成：补偿氘气的氘气存贮器；产生入射粒子的离子源；加速带电粒子的引出部件，即引出、加速系统；带电粒子轰击产生中子的靶。对于充气性中子管，氘气存贮器在中子管中提供氘气并能调节管内氘气压强大小，利用吸氢金属的吸气特性进行的。氘气存贮器释放的氘气量是由它的温度决定的，温度的高低由氘气存贮器灯丝的电流大小调节。

中子管基本结构见图 9-1。

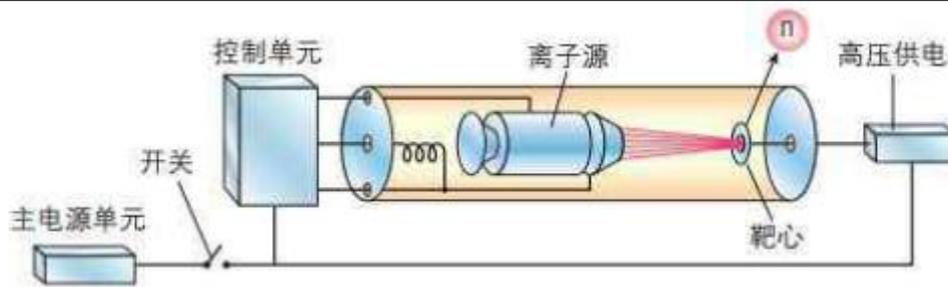


图 9-1 中子管内部结构

### (2) 中子管中的 $^3\text{H}$ 核素性质

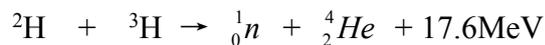
本项目所用的中子发生器每只中子管内含有 1 个氚靶，氚靶中的  $^3\text{H}$  为纯  $\beta$  放射性核素， $\beta$  粒子最大能量  $E_{\max}=18.6\text{keV}$ ，平均能量为  $E_{\text{avg}}=5.7\text{keV}$ ，半衰期为 12.34 年，在空气中最大射程为 6mm，在其他材料中最大射程为  $0.8\text{mg}/\text{cm}^2$ 。 $^3\text{H}$  是被固定在中子管内的氚靶上，中子管的  $^3\text{H}$  先制成氚（钛）靶，以金属氚化物的形式被固定在氚（钛）靶中。

表 9-2 中子管中  $^3\text{H}$  核素性质

类型	核素	衰变方式	最大能量	平均能量	半衰期
中子管	$^3\text{H}$	$\beta$	18.6keV	5.7keV	12.34 年

### (3) 中子发生器工作原理

中子发生器是利用氢的同位素氘 ( $^2\text{H}$ ) 和氚 ( $^3\text{H}$ ) 在一定条件下互相作用，发生反应，生成能量为 14MeV 的快中子和  $^4_2\text{He}$  原子核。其核反应方程为：



中子发生器工作过程为：高压电源产生直流高压加于靶电极上，离子源电源产生电压加于离子源的阴极和阳极上。工作时，氘气存贮器灯丝加热，释放出氘气，在离子源内电离成氘核、负电子，氘核被吸出，在电场作用下被加速，以约 100keV 的能量轰击到氚靶，发生氘氚反应，产生能量为 14MeV 中子。

## 9.2 中子发生器测井工作原理

中子发生器测井工作原理为：利用中子发生器产生中子，把装有中子发生器和探测器的井下仪器放入井内，由中子发生器发射出的能量为 14MeV 的快中子，该快中子具有很强的穿透能力，中子穿过仪器外壳、井液、套管、水泥环后，射入钻孔周围地层中，

中子与地层中物质发生碰撞（发生非弹性散射、弹性散射等），快中子能量不断被损失，快中子被慢化成热中子，热中子被地层中其它原子核所吸收，发生俘获反应。在非弹性散射以及俘获反应过程中均会  $\gamma$  射线产生。通过探测器探测中子与地层相互作用过程中产生的  $\gamma$  射线或中子强度能量或计数率，可以得到地层中核素相关信息，从而为油气田的开发利用提供准确数据。

中子发生器可适用不同的测井工作任务，具体如下：

当快中子与地层中氢核相碰撞时，由于两者质量相近，快中子的大部分动能传递给氢核而变成了慢中子，后者易被各种物质的原子核俘获，释放出强度较大的  $\gamma$  射线；若快中子与其他物质的原子核相碰撞，损失的动能较少，能到达地层深处，经多次碰撞才会变成慢中子。这时它将被其他物质的原子核俘获而释放出  $\gamma$  射线，因这  $\gamma$  射线要穿过较深的地层，衰减较大，到达地面时强度较小。从探测仪上测到的  $\gamma$  射线强度的变化就可推断钻井周围地层的含氢量，由此划出石油层或水层的分布。

地层中广泛存在氧、铝、硅，这些核素的原子核在中子的作用下，发生俘获反应，均能生成新的放射性核素，其反应式分别为： $^{16}\text{O}(\text{n}, \text{P})^{16}\text{N}$ 、 $^{27}\text{Al}(\text{n}, \text{P})^{27}\text{Mg}$ 、 $^{28}\text{Si}(\text{n}, \text{P})^{28}\text{Al}$ 。活化后新核  $^{16}\text{N}$ 、 $^{27}\text{Mg}$ 、 $^{28}\text{Al}$  均能放出  $\gamma$  射线， $\gamma$  射线最大能量分别为 6.13MeV、2.16MeV、1.81MeV，半衰期分别为：7.35min、2.3min、9.5min。通过测量活化后核素衰变产生的  $\gamma$  射线的照射量率可判断地层中某些元素存在及其含量。

由于核素的性质差异，使其产生的非弹性散射和俘获  $\gamma$  射线的能谱也不同，利用中子发生器顶端的高分辨率探测器记录下每种能量  $\gamma$  射线的个数，再由多道脉冲幅度分析仪给出各种核素的谱，输入电脑储存，记录下 C/O 的比值，由地层中的 C/O 比值确定储层含油饱和度。

脉冲中子测井仪可以进行次生  $\gamma$  能谱测井和热中子衰减时间测井。次生  $\gamma$  能谱测井是利用脉冲中子源发射的快中子与地层中某种元素发生非弹性碰撞的概率及放出的非弹性散射  $\gamma$  射线的能量都与被碰撞元素的结构有关，根据地层中常见元素的非弹性散射  $\gamma$  射线能谱和各自的非弹性散射截面，确定地层中存在的元素种类和含量。热中子衰减时间测井是利用地层对热中子的俘获特性测量地层孔隙中油、水的相关含量。

### 9.3 中子发生器测井工作流程

根据建设单位提供的资料，本次拟购置的中子发生器测井仪的刻度工作由中子发生器测井仪生产厂家在出厂前完成，西安勒能石油科技有限公司在测井过程中，不进行中子发生器测井仪的刻度工作。中子发生器购买完成以及每次测量任务完成后，将中子发生器测井仪放置在西安勒能石油科技有限公司租用的一间位于延安市宝塔区的专用贮存库房内（见图 9-1）。专用贮存库房平面布置图见图 9-2。

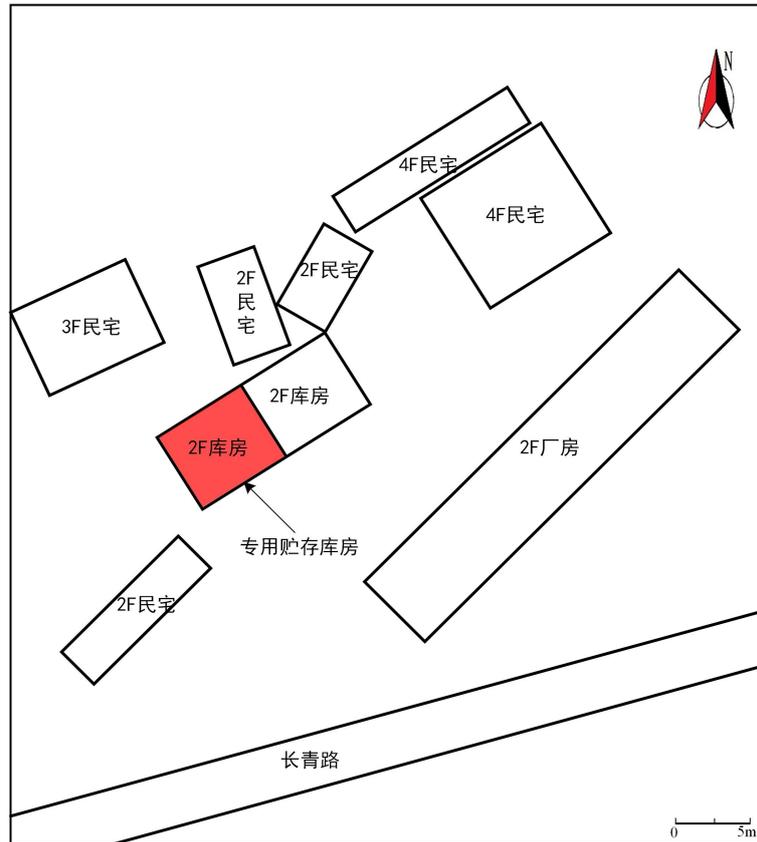


图 9-1 中子发生器贮存库房



图 9-2 中子发生器贮存库房平面布置图

西安勒能石油科技有限公司野外测井工作流程如下：

(1) 接到测井工作任务后，西安勒能石油科技有限公司根据测井井场具体布置情况、钻井数据制定测井计划书。测井计划书包含本次测井任务的工作人员安排、测井时间安排、测井队人员职责及测井现场辐射防护方案和辐射事故应急预案等内容。

(2) 测井队接到测井通知后，测井人员应认真阅读《测井计划书》，组织准备上井所需的材料、工具。从库房领取中子发生器装置，并办理领用手续。将中子发生器测井仪器固定在测井车的仪器仓内，仓门加锁。

(3) 运输过程中，测井车应按照计划路线行驶，不得随意改变行车路线。中途停车时应停放在安全处所，并由专人看管。

(4) 现场测井阶段：

①到达作业现场后，操作人员与委托方现场人员取得联系，了解现场情况，核对井号。

②对测井现场进行清场，确认测井现场无无关人员停留后，在测井现场设置安全控

制区，安全控制区距离井口 $\geq 30\text{m}$ ，将控制区边界用警戒线隔离，并在显著位置设置“禁止进入辐射工作场所”警告标志。现场操作人员距井口 30~50m，测井现场安全员对控制区进行巡查监护，严禁无关人员进入控制区。安装滑轮、张力计等，组装中子发生器测井仪及地面电缆。

③测井人员地面联机调试测井仪器，仪器通讯正常后，将中子发生器与测井仪器连接下入井内。

④仪器检验。仪器下井速度不得超过 3000m/h。仪器下到至少 100m 深度时，给中子发生器供电约 5min，检查其是否正常工作。

⑤将仪器下放到目的层底部，按仪器使用说明书的要求对中子发生器进行供电操作，进入测试状态，地面读取、记录测井曲线。井下每个检测点打靶时间约数分钟，平均单井打靶时间累积 20min 左右。

⑥仪器出井：井下所有点测完后，关闭电源，中子发生器断电 30min 后，将中子发生器测井仪器提升出井口。

⑦仪器清洗装箱：仪器提出井口后，检测其表面 0.1m 处感生放射性，待满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）（表面 0.1m 处剂量当量率不超过  $1\mu\text{Gy/h}$ ）的要求后，对仪器进行擦拭，拭去外壳粘油，拆卸后放入专用箱内，擦拭废物放入专用污物箱中，清理现场，确保井场周围环境无污染。

⑧由测井人员向委托方测井监督人员汇报测井情况，待对方验收签字后方可离开。

#### （5）测井结束阶段：

按第三步规定运输返回西安勒能石油科技有限公司的中子发生器专用贮存库房里，管理人员负责办理中子发生器及测井仪器入库手续，签字归还。

中子发生器测井的工作流程见图 9-2：

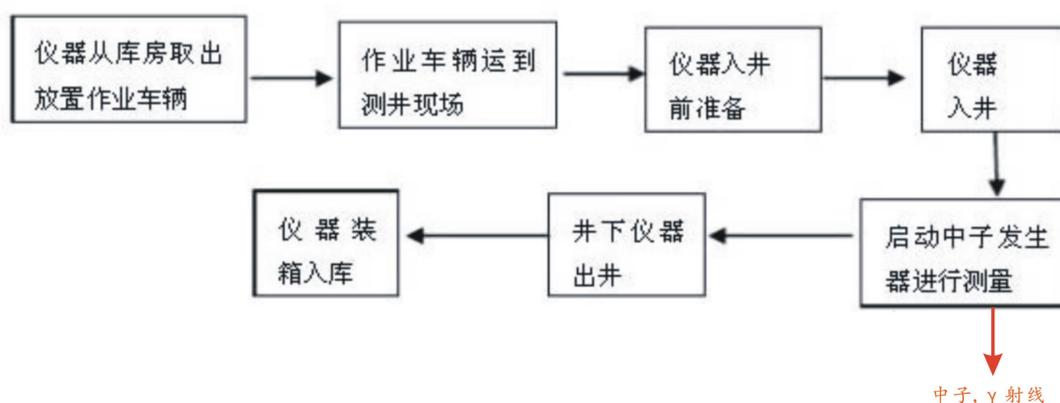


图 9-2 中子发生器测井工作流程

中子发生器在测井过程中，若中子发生器出现技术故障，需要维修、更换时，将仪器送回生产厂家进行维修、更换，西安勒能石油科技有限公司不进行拆卸、维修调试操作。

## 9.4 污染源项描述

### (1) 正常工况下污染物以及污染途径分析

#### ①中子发生器未通电情况下

本项目中子发生器在未通电情况下，无中子产生。在出入库、运输、测井准备过程中，中子发生器内中氚靶中的  $^3\text{H}$  为纯 $\beta$ 放射性核素，衰变时释放出最大能量为 18.6keV 的 $\beta$ 射线（平均能量为 5.7keV），污染因子为 $\beta$ 射线，但其 $\beta$ 射线能量较小，在空气中射程较短，贯穿能力较弱， $\beta$ 射线及 $\beta$ 射线引起韧致辐射外照射基本不会对外环境造成影响。 $^3\text{H}$  以金属氚化物的形式被固定在氚（钛）靶中，且被封装在真空的中子管中，不会泄漏而导致吸入内照射。

#### ②中子发生器通电情况下

在检验以及井下测井过程中，中子发生器利用氘氘反应生产能量为 14MeV 的快中子，中子在与地层发生相互作用的过程中，可能发生非弹性散射和俘获反应，进而产生  $\gamma$  射线。上述过程中，主要污染因子为中子、 $\gamma$  射线，由于待测量的井下深度一般大于 500m，加之钻井中水层屏蔽作用，产生中子、 $\gamma$  射线到井口附近已基本衰减完全，不会对地表操作人员产生辐射影响。

中子发生器通电过程中，产生的中子、 $\gamma$  射线，会与地层中空气产生电离作用，进而产生  $\text{O}_3$  和  $\text{NO}_x$ 。由于本项目测井场所位于野外，测井场地较为开阔，环境稀释能力强，在测井过程中产生的中子、 $\gamma$  射线与空气接触时间较短， $\text{O}_3$  和  $\text{NO}_x$  产生量较小，在环境稀释作用下，空气中  $\text{O}_3$  和  $\text{NO}_x$  较低， $\text{O}_3$  随时间中很快分解，因此，本项目中子发生器通电状态下产生  $\text{O}_3$  和  $\text{NO}_x$  对周围环境的影响极小，基本上可以忽略不计。

中子发生器测井工作完成后、拆卸前，中子发生器表面材料因中子活化仍残留一部分感生放射性核素，并伴随  $\gamma$  射线、 $\beta$  射线产生，这些感生放射性核素多为短寿命核素，随时间快速衰减，其活度不断降低。中子发生器测井结束 30min 后，工作人员按照规程进行中子发生器装卸操作，此时中子发生器表面仍可能残留有少量的感生放射性，可能通过外照射途径对测井人员产生辐射影响。

本项目固体废物主要为中子管退役时产生的含氡靶废旧中子管和中子管出井后擦拭过程产生的固体废物。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第二十三条要求，本项目废旧中子管属于放射性固体废物，已与西安奥华电子仪器股份有限公司签订回收协议，由厂家回收处置。测井后的擦拭废物为废弃的含油抹布，根据《国家危险废物名录（2021年版）》附录中危险废物豁免管理清单，“900-041-49 废弃的含油抹布、劳保用品”全过程不按危险废物管理；故本项目拟将测井现场擦拭废物暂时放入专用废物桶中，测井结束后由测井车运回公司，作为一般工业固体废物处置。

## （2）事故工况下污染物以及污染途径分析

①操作人员供电操作失误或供电开关失控，导致中子发生器测井仪在地面通电产生中子，导致周边操作人员受到照射。

②测井过程中，中子发生器测井仪未下井到指定深度、或断电后未停留足够时间即起出井口，使操作人员受到不必要的照射。

③测井过程中，操作人员或公众进入控制区，受到不必要的照射。

④测井结束后，操作人员未按照操作规程，在中子测井仪断电后未到达预定的停留时间便将中子发生器测井仪升上地面，导致周边操作人员受到照射。

⑤中子管因丢失、被盗、卡井、坠井等外因导致破坏，致使氡泄漏，或误使中子管落入非工作人员手中，使其通电发射中子，使工作人员或公众受到辐射照射，进一步可能造成放射性污染。

⑥中子发生器测井仪运输过程中发生的交通运输事故，导致中子管遭到外力破坏，致使氡泄漏，使工作人员或公众受到辐射照射，进一步可能造成放射性污染。

表 10 辐射安全与防护

### 10.1 安全控制区划分

本项目中子发生器测井仪在井下距井口至少 100m 以下深度进行通电检查，中子发生器通电过程中产生的中子以及  $\gamma$  射线，随着距离衰减、钻井中水层屏蔽作用，到井口处附加剂量率处已处于极低水平，但出于辐射安全和降低事故时的辐射影响考虑，建议对测井工作现场划定控制区、监督区边界。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），应将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。根据国际放射防护委员会第 103 号出版物，控制区和监督区的定义为：

控制区：在正常工作情况下控制正常照射或防止污染扩散，以及在一定程度上预防或限制潜在照射，要求或可能要求专门防护手段和安全措施的限定区域。在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志并给出相应的辐射水平和污染水平的指示。

监督区：未被确定为控制区、通常不需采取专门防护手段和安全措施但要不断检查其职业照射条件的任何区域。

根据《石油测井中子发生器及中子管技术条件》（SY/T5419-2007）、《石油放射性测井辐射防护安全规程》（SY5131-2008）等标准要求，在没有辐射屏蔽条件的情况下，应将距井口为中心周围 30m 范围划为控制区，防止无关人员进入。

根据《放射性测井辐射安全与防护》（HJ 1325-2023）第 5.3.1 款规定：中子发生器测试、刻度宜在专用的屏蔽体内进行，可使用符合屏蔽要求的屏蔽介质，也可使用深度大于 10m 的专用地下测试井。没有专用屏蔽体时，应将距测试中子发生器不小于 30m 范围设置为控制区，边界应设置警戒线或栅栏及电离辐射警告标志，由专人值守。

参照我国油（气）田测井标准，一般取空气比释动能率  $2.5\mu\text{Gy/h}$  作为警戒区边界。正常操作时，本项目井口区域空气比释动能率低于  $2.5\mu\text{Gy/h}$ ；计算中子发生器测井安全控制区边界时，可以认为中子发生器在井口时开始供电（事故状态），放射性测井人员暴露于中子发生器产生的中子辐射场中。此时井口周围操作区域边界距辐射源的距离  $R$ （cm）可根据《中子发生器及其应用》（原子能出版社）中推荐的模式计算：

$$R = \sqrt{\frac{3600 \times S \times d_H}{4 \times \pi \times D}} \dots\dots\dots (10-1)$$

式中： $s$ —中子强度，本项目为  $1.5 \times 10^8 \text{n/s}$ ；

$d_H$  — 中子剂量转换因子（各项同性照射）， $E_n=14\text{MeV}$  时， $d_H=3.33 \times 10^{-10} \text{Sv/(n/cm}^2\text{)}$ ；

$D$ —控制区边界空气比释动能率， $2.5 \times 10^{-6} \text{Gy/h}$ 。

中子的辐射权重因子参考《石油放射性测井辐射防护安全规程》（SY5131-2008）附录 A 表 A.1，当中子能量为  $2\text{MeV} \sim 20\text{MeV}$  时，辐射权重因子取 10。

由式（10-1）可计算得出， $R=757\text{cm}=7.57\text{m}$ 。

综上，以中子发生器测井仪在井口供电的情况进行估算，以井口为中心外扩至  $7.57\text{m}$  处空气比释动能率可降低至  $2.5 \mu\text{Gy/h}$ 。结合《石油测井中子发生器及中子管技术条件》（SY/T5419-2007）的相关要求，从保守角度考虑，本次评价以井口为中心周围  $30\text{m}$  范围内划定为控制区，测井前在控制区边界设置警示标志，限制周围的人员活动。建议测井作业时，将井口周围  $30\text{m} \sim 50\text{m}$  的范围划分为监督区。

## 10.2 辐射安全防护措施

根据《油（气）田测井放射防护要求》（GBZ 118-2020）、《石油放射性测井辐射防护安全规程》（SY5131-2008）、《放射性测井辐射安全与防护》（HJ 1325-2023）等有关条款的要求，本项目应采取以下辐射安全防护措施：

### （1）监测仪器及个人防护用品

西安勒能石油科技有限公司拟配备 1 台 X- $\gamma$  辐射检测仪、1 台中子周围剂量当量率检测仪用于辐射监测。为 2 名辐射工作人员各配备 1 套铅衣、铅手套等个人防护用品，每名辐射工作人员均配备个人剂量计，并配备 1 台个人剂量报警仪。

（2）中子发生器测井仪由测井车运输，测井车货箱内有电缆绞车、中子发生器测井仪控制台、测井结果数据处理系统和用于固定中子发生器测井仪的包装箱的气囊，运输过程中货箱门上锁，以保证物品安全，避免损坏中子发生器测井仪。运输前，工作人员应仔细核对中子发生器测井仪的型号、数量，保证中子发生器测井仪包装良好，锁好货箱。运输过程中，安排 2 名人员负责中子发生器测井仪的运输，运输过程中不得打开测井车货箱，应预先设计好的运输路线行进，路线尽量避开人群集中地区，采取各种措施确保运输过程不会发生中子发生器测井仪被盗事故。测井车到达目的地，运输人员应重新核对中子发生器测井仪的型号、数量，务必与装车前一致。

（3）公司应为测井现场配备安全警戒线、电离辐射警示牌、个人剂量报警仪。测

井时，将测井现场井口 30m 范围作为安全控制区边界，在边界上设置的警戒线，设置专人警戒，并在警戒线边界外明显位置“禁止进入辐射工作场所”电离辐射警告标志，告诫无关人员远离该区域。辐射工作人员按要求佩戴个人剂量计，位于安全控制区边界外进行中子发生器通电操作。

(4) 在检验中子发生器测井仪时，先将仪器下井至 100 米以下时开始检查仪器（由于受地理条件限制，一般都是在井下完成中子发生器测井仪通电发射中子），严禁在井口通电激发中子发生器。

(5) 中子发生器测井仪断电 30min 后，仪器方能出井口。收回中子发生器测井仪时，辐射工作人员应佩戴个人剂量报警仪，并使用  $\gamma$  剂量率监测仪器对中子发生器表面 0.1m 处进行辐射水平监测，确定其感生放射性核素辐射水平已降至小于 1uSv/h，方能拆卸中子发生器。

(6) 中子发生器测井仪测井完成后，应及时将仪器存放至西安勒能石油科技有限公司设备库房内。在外地进行测井工作，中子发生器测井仪用完不能及时返回设备库房保管的，应利用现场工作条件，将设备存放置具备防盗能力的库房或测井车辆中，设置值班人员，防止中子发生器测井仪被盗；建设单位应加强人员管理，防止无关人员接触使用中子发生器测井仪，对无关人员造成误照射。

(7) 射线装置存放及管理要求：

西安勒能石油科技有限公司在延安市租用了一间占地面积约 15m<sup>2</sup> 库房存放购置的 1 台中子发生器测井仪。

为了保证射线装置存放的安全性，项目建成后西安勒能石油科技有限公司应采取以下措施：

① 库房只能存放中子发生器测井仪、辐射防护用品等测井用相关用品，不得堆放与无损检测无关的杂物；

② 项目建设单位应制定射线装置台账管理制度，射线装置台账应记载射线装置的名称、型号、射线种类、类别、用途、来源和去向等事项，同时对射线装置的说明书建档保存，确定台账的管理人员和职责，建立台账的交接制度。建立射线装置使用登记制度，每次进行测井工作时应进行基本信息记录；

③ 建立设备出入库台账。根据设备出入库管理制度，辐射工作人员应持现场测井计划书，经过设备管理员确认后领取设备，并在出入库台账上登记设备出库时间、设备型

号、使用地点、领用人等信息。检测完毕后，经过设备管理员确认后归还设备，并在出入库台账上登记开机时间、入库时间等信息；

④库房采取安保措施，如安装防盗门，安装监控装置等，同时测井作业结束后，辐射工作人员应及时将射线装置放回到库房，确保射线装置不会被盗和遗失。

### 10.3 三废的治理

#### (1) 废气

本项目测井现场为较开阔的场所，环境稀释、扩散能力强，中子发生器测井仪激发过程中产的中子以及伴随产生的 $\gamma$ 射线，会与空气发生电离作用，产生极少量  $O_3$  和  $NO_x$ ，其经过空气稀释、扩散后以及  $O_3$  自然分解后，其浓度基本为环境本底水平，不会对工作人员以及周围环境产生明显影响。

#### (2) 固体废物

中子发生器测井仪中的中子管具有一定的寿命，使用一段时间后，中子产额达不到规定技术要求，将会产生废中子管。废中子管由厂家或有资质单位进行回收、处置。

## 表 11 环境影响分析

### 11.1 建设阶段环境影响分析

本项目利用中子发生器在油（气）井中进行测井，测井活动在井下进行，测井地点不固定，测井主要在建好的油（气）井中完成，不存在建设期环境影响。

### 11.2 运行阶段环境影响分析

#### (1) 辐射影响因素

根据建设单位提供的资料，本项目使用的中子管的最大工作电压为 120kV，最大靶电流 100 $\mu$ A，中子强度为  $1.5 \times 10^8$ n/s。每只中子管内含有一个氚靶，氚靶密封在严密包壳中，其放射性活度为  $5.0 \times 10^{11}$ Bq， $^3\text{H}$  的衰变方式为 $\beta$ 衰变。中子管在没有通电状态下，主要为  $^3\text{H}$  的衰变产生的 $\beta$ 射线以及 $\beta$ 射线引起韧致辐射。

在通电状态下，中子发生器产生 14MeV 的快中子，快中子与地层中核素原子核发生非弹性散射，产生 $\gamma$ 射线。快中子被慢化成热中子，发生俘获反应，而产生 $\gamma$ 射线。中子发生器在测井过程中主要产生反应方式以及射线见表 11-1。

表 11-1 中子发生器测井过程中主要产生核反应

序号	反应方式	射线种类	射线能量 MeV
1	$^3\text{H} (d,n) ^4\text{He}$	中子	14
2	非弹性散射	$\gamma$ 射线	2~6
3	$^{16}\text{O}(n,p)^{16}\text{N}$	$\gamma$ 射线	6.13
4	热中子、慢中子俘获反应	$\gamma$ 射线	$\leq 3$
5	中子活化反应	$\gamma$ 射线	0.6~2.16

#### (2) 中子发生器未通电情况下辐射环境影响分析

中子发生器中子管内本身含有  $^3\text{H}$ ， $^3\text{H}$  自然衰变时释放出 $\beta$ 射线，但其能量很小，穿透能力很弱，对周边环境产生的辐射影响很小。中子管由钛合金钢外壳包裹， $^3\text{H}$  不易泄露，其对周边环境的影响主要考虑 $\beta$ 射线引起的韧致辐射。

根据《辐射防护导论》， $\beta$ 粒子所致韧致辐射的剂量可根据下式计算：

$$D=4.58 \times 10^{-14} \times A \times Z_c \times (E_b/r)^2 \cdot (\mu_{en}/\rho) \quad \text{公式 (11-1)}$$

式中：D— $\beta$ 粒子产生的韧致辐射在 r(m)处空气中的吸收剂量率，Gy/h；

A—核素活度， $5.0 \times 10^{11}$ Bq；

$Z_e$ —吸收 $\beta$ 粒子的屏蔽材料（或靶核）的有效原子序数，靶核材料为钛原子序数为 22；

$E_b$ —韧致辐射的平均能量，MeV。在实际屏蔽计算时可以假定是入射 $\beta$ 粒子的最大能量 1/3，即  $6.2 \times 10^{-3}$  MeV。

$r$ —计算点与  $^3\text{H}$  靶之间的距离，m。计算点距测井仪表面 5cm， $r$  取 0.05m。

$\mu_{en}/\rho$ —平均能量为  $E_b$  的韧致辐射在空气中的质量能量吸收系数， $\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ ，查询《辐射防护导论》附表 1 得  $\mu_{en}/\rho$  值为 2.242。

综上，可计算出距测井仪表面 5cm 处韧致辐射所致空气吸收剂量率  $D$  为  $1.74 \times 10^{-2}$  Gy/h，此数值未考虑任何屏蔽情况下的计算结果。实际上测井仪外表面钛合金钢材质，厚度 10mm，查表可知，能量为 20keV 的韧致辐射光子在铁中的 1/10 值层厚度为 0.55mm，钛合金钢厚度约合 18 个 1/10 值层，则经过屏蔽后距测井仪表面 5cm 处韧致辐射所致空气吸收剂量率  $D$  为  $1.74 \times 10^{-20}$  Gy/h。

由计算结果可知，中子发生器未通电情况下，中子发生器内氚靶  $\beta$  射线韧致辐射所致中子发生器表面剂量率较小，可忽略不计。

综上，中子管在非工作状态时，运输、贮存过程中不会产生韧致辐射和表面污染，主要考虑通电工作状态下对周围环境的影响。

### （3）中子发生器通电情况下辐射环境影响分析

#### ①井下测井时井口剂量率估算

根据建设单位提供的资料，测井时，中子管在井下至少 100m 处通电进行工作状态检查（检查时间以 5min 计），随后断电下至打靶位置处进行打靶（单井打靶累计时间为 20min）。工作人员在地面上通过相关设备进行操作，中子管发射出的中子几乎都是快中子，在屏蔽层中主要通过散射和非弹性散射损失能量，最后被井水和岩层物质吸收，放出 $\gamma$ 射线。此时，主要考虑中子和 $\gamma$ 射线的辐射影响。从保守角度考虑，假设中子发生器在井下 500m 处进行测井，500m 深度上至少含有 5m 水层，则井口处中子剂量率、 $\gamma$  辐射剂量率计算如下：

#### 1、井口中子剂量率计算

中子经过一定厚度水层后中子衰减倍数计算公式：

$$\eta = 10^{\frac{T_{H_2O}}{T_{1/10}}} \quad \text{公式 (11-2)}$$

式中： $T_{H_2O}(cm)$ —屏蔽水层厚度（取最小水深 5m）， $T_{H_2O}(cm)=5\times 10^2cm$

$T_{1/10}$ —对于 14MeV 的中子，水 1/10 值层厚度， $T_{1/10}=40cm$ ；

$\eta$ —中子衰减倍数；

$$H_n = 3600 \times \frac{\varphi_0 \times d_H}{4 \times \pi \times R^2 \times \eta} \quad \text{公式 (11-3)}$$

式中： $\varphi_0$ —中子发生器 1cm 处的中子注量率，从保守角度取中子发生器中子强度  $\varphi_0=1.5\times 10^8n/s\cdot cm^2$ ；

$R$ —井口到中子发生器的最近距离，500m， $R=5\times 10^4cm$ ；

$H_n$ —经水屏蔽、距离衰减后井口处的中子剂量率，Sv/h；

$d_H$ —中子剂量转换因子（各项同性照射）， $E_n=14MeV$  时， $d_H=3.33\times 10^{-10}Sv/(n/cm^2)$ 。

根据公式（11-3），计算得到中子剂量率为  $1.81\times 10^{-21}Sv/h$ 。

## 2、井口 $\gamma$ 辐射剂量率计算

$$H_\gamma = \frac{\dot{H}_c}{K \times R^2} \quad \text{公式 (11-4)}$$

式中， $\dot{H}_c$ —中子管 1m 处伴随产生的  $\gamma$  辐射剂量率，根据 MCNP-4C 程序模拟 D-T 反应结果，1m 处  $90^\circ$  方向单位中子注量与  $\gamma$  剂量比值为  $7\times 10^{11}(n/cm^2)/Gy$ ，本项目中子产额为  $1.5\times 10^8n/s$ ，则计算得到 1m 处的  $\gamma$  辐射剂量率为  $7.71\times 10^{-5}Sv/h$ 。

$H_\gamma$ —关注点处  $\gamma$  辐射剂量率，Sv/h；

$R$ —中子发生器距关注点距离，取 500m；

$K$ — $\gamma$  射线衰减倍数，查《辐射防护概论》（清华大学）附表 6，对于 6MeV 的  $\gamma$  射线，5m 厚度水屏蔽层，衰减倍数为  $1.62\times 10^5$ ；

由公式 11-4 计算，可知该项目中子测井状态，井口  $\gamma$  射线辐射剂量率为  $1.90\times 10^{-15}Sv/h$ 。

考虑中子、 $\gamma$  射线的叠加影响，剂量率贡献值为  $H_n + H_\gamma = 1.90\times 10^{-15}Sv/h$ ，远低于辐射环境本底值，实际测井过程中，测井深度大于 500m，且水层厚度远大于 5m，中子发生器通电激发状态下产生的中子以及伴随产生的  $\gamma$  射线，经过水层屏蔽、距离衰减后，井口剂量率远小于上述计算值，对周边环境影响较小。

综上，由估算结果可知，中子管在井下测井时，井口中子及  $\gamma$  辐射剂量率接近本底水平，基本无影响。

## ②中子管检验时辐射环境影响分析

中子管检验在井下 100m 深度，检验时间为 5min，井口附加剂量率 $\leq 4.76 \times 10^{-14} \mu\text{Sv/h}$ ，对周边环境影响较小。

## ③中子管测井完成后中子活化辐射环境影响分析

当测井仪在注水井下工作时，快中子对测井仪本身的材料进行照射，使材料被激活，中子发生器停止工作后，测井仪本身仍会释放出 $\gamma$ 射线。

根据《石油测井中子发生器及中子管技术条件》（SY/T5419-2007）中要求：“中子发射结束后，待产品的活化伽马辐射水平符合 GB/T18871-2002 中附录 A2.3c)规定的控制水平时（任何可达表面 0.1m 处所引起的周围剂量当量率或定向剂量当量率应不超过  $1\mu\text{Sv/h}$ ），工作人员方可靠近产品。在产品标准和使用维修手册中应对该型号产品的活化伽马冷却时间给出具体规定”。

根据产品方提供的资料，本项目所用中子发生器测井仪活化伽马冷却时间为 0.5h，即断电后 0.5h 后，表面 0.1m 处剂量当量率不超过  $1\mu\text{Sv/h}$ 。本项目打靶结束后即断电，从断电到仪器出井大约 1h 左右，超过设备的活化伽马冷却时间，此时表面感生放射性可以满足以上标准要求。

## 11.3 辐射剂量估算与评价

本次剂量估算主要依据辐射剂量学原理进行理论剂量估算，预测中子发生器投入运行后对职业人员和公众辐射影响。

$\gamma$  射线或中子外照射所致人员年有效剂量计算公式如下：

$$H=D \times t \times 10^{-3} \quad (\text{mSv}) \quad (\text{公式 11-5})$$

式中：H— $\gamma$  射线或中子外照射所致人员年有效剂量当量，mSv；

D—人员停留位置处剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

t—人员年接触  $\gamma$  射线或中子时间，h；

### (1) 职业人员辐射剂量估算与评价

由前面 11.2 章节辐射环境分析结果可知，中子发生器贮存、运输状态下，中子发生器未通电情况下，其中子发生器内  $^3\text{H}$  衰变产生的 $\beta$ 射线产生韧致辐射导致中子发生器表面剂量率为  $1.74 \times 10^{-20} \text{Gy/h}$ ，该剂量率已基本接近于 0，不会对工作人员以及公众参加附加剂量。

中子发生器检验以及测井过程中，中子发生器至少位于井下 100m 深度，其井口处

剂量率 $\leq 4.76 \times 10^{-14} \mu\text{Sv/h}$ ，工作人员操作时位于井口 30m 外，根据剂量率随距离的平方成衰减关系，此时工作人员操作位置处附加剂量率 $< 5.29 \times 10^{-17} \mu\text{Sv/h}$ ，该剂量率已远远小于辐射环境本底值，不会对工作人员以及公众附加有效剂量。

测井结束后，在仪器拆卸、清洗及装箱过程中，放射工作人员受到仪器的感生放射性影响，仪器断电后 1h 出井，大于活化伽马冷却时间 0.5h，且每次出井后对仪器表面进行监测，表面剂量低于  $1 \mu\text{Sv/h}$  后方可拆卸装箱，因此以表面 0.1m 处剂量率为  $1 \mu\text{Sv/h}$  来估算放射工作人员的剂量，每次测井后拆卸、清洗、装箱、搬运累计受照时间以 0.5h 计，年测井数量约为 70 口，则工作人员年受照剂量约为  $3.5 \times 10^{-2} \text{mSv}$ 。

综上所述，中子发生器测井过程对测井人员的辐射影响基本可以忽略，该项目运行后对职业人员的辐射影响主要在测井工作完成以后，中子发生器因被活化而短时间内对测井工作人员造成外照射，其所致测井工作人员最大年附加有效剂量为  $0.035 \text{mSv}$ ，小于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的职业人员年有效剂量基本限值（ $20 \text{mSv/a}$ ）和本次评价提出的  $2 \text{mSv}$  年有效剂量约束值。

## （2）公众剂量估算与评价

本项目测井人员接到测井任务到达测井现场后，首先对测井现场进行清场，让无关人员远离测井区域，在井口 30m 外设置警戒线，测井过程中，中子发生器位于井下至少 100m 深度处，在警戒线外设置专人警戒，防止公众进入操作区边界范围内。由于本项目测井现场位于野外，当地居民一般难以达到测井区域，加之采取设置警戒线、专人警戒等措施后，当地居民最大可达到的位置为井口 30m 外，此处中子发生器测井运行所附加的最大剂量率为 $< 5.29 \times 10^{-17} \mu\text{Sv/h}$ ，由于测井现场不固定，且当地居民在测井区域停留次数较少、所接触射线的时间较短，经估算，中子发生器运行所致当地居民的年附加有效剂量极小，可忽略不计。假设公众距井口 30m，居留因子保守取 1，根据上文分析，仪器在井下工作时井口的剂量率极低，因此以公众主要受测井结束后感生放射性影响进行预测，此时公众所处位置的剂量以距离衰减公式进行估算，约为  $1.11 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ ，每次测井在不同的场所，受影响的公众均不同，因此单次测井公众受到的最大剂量率为  $5.56 \times 10^{-7} \text{mSv}$ ，远低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中相关要求及本次评价设定的剂量约束值（公众人员 $< 0.1 \text{mSv}$ ）。

## 11.4 大气污染物环境影响分析

本项目测井现场为较开阔的场所，环境稀释、扩散能力强，中子发生器通电激发过程

中产的中子以及伴随产生的 $\gamma$ 射线，会与空气发生电离作用，产生极少量  $O_3$  和  $NO_x$ ，其经过空气稀释、扩散后以及  $O_3$  自然分解后，其浓度基本为环境本底水平，不会对周围环境产生明显影响。

### 11.5 固体废物环境影响分析

中子管内氚靶属于 V 类密封放射源，随着放射性衰变，氚靶活度逐渐降低，在一定时间以后将无法使用要求，需要更换新的中子管。废旧中子管具有一定的放射性强度，属于废旧放射源。废旧中子管须向辐射环境保护部门提出申请，并与生产厂家签订回收处置协议，将送交取得相应资质的放射性固体废物贮存单位集中贮存，严禁私自处置。

### 11.6 事故环境影响分析

根据《放射源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 4 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，或者放射源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

本项目发生事故的风险主要为：

1、操作人员供电操作失误或供电开关失控，中子管在地面通电发射中子，或下井未到指定深度、断电后未达到预定停留时间就升上地面，导致井上操作人员受到照射。

2、测井过程中，操作人员或公众进入控制区，受到不必要的照射。

3、中子管因丢失、被盗、卡井、坠井等外因导致破坏，致使氚泄漏，使工作人员或公众受到辐射照射，进一步可能造成放射性污染。

4、本项目中子管属于 II 类射线装置，发生以上事故时，将会导致职业人员或公众超剂量照射，属于一般辐射事故。

(1) 中子发生器误照射事故

由于管理不善，操作规程执行不到位，中子发生器未进入钻井或未到达井下一定深度就对中子发生器通电发射中子，造成测井现场相关人员误照射。从保守角度，考虑中子发生器在井口通电发射中子，不考虑中子屏蔽，则根据公式 11-3，可计算出辐射工作人员不同距离不同接触时间所产生的剂量，估算结果见表 11-5。

表 11-5 中子发生器井口通电产生中子所致人员剂量估算 mSv/次

距离 m	接触中子射线时间					
	5min	10min	20min	30min	40min	1h
1	2.39E-01	4.78E-01	9.55E-01	1.43E+00	1.91E+00	2.87E+00
5	9.55E-03	1.91E-02	3.82E-02	5.73E-02	7.64E-02	1.15E-01
10	2.39E-03	4.78E-03	9.55E-03	1.43E-02	1.91E-02	2.87E-02
20	5.97E-04	1.19E-03	2.39E-03	3.58E-03	4.78E-03	7.16E-03
30	2.65E-04	5.31E-04	1.06E-03	1.59E-03	2.12E-03	3.18E-03

当中子发生器测井仪因操作不当发生误照射时，假设操作人员距离中子发生器测井仪 1m，根据表 11-5 估算结果可得可知，误照射 0.7h 后放射工作人员剂量方达到职业工作人员年附加剂量约束值 2mSv。根据《核与放射事故干预及医学处理原则》，此种情形下一般不会产生急性重度放射病、局部器官残疾，但其剂量超过辐射工作人员年有效剂量基本限值 20mSv，事故等级为一般辐射事故。

(2) 事故应急措施：

1、发生辐射事故时，应立即启动本单位事故预案，第一时间消除事故源，防止事故继续蔓延和扩大。由于中子发生器是在通电的前提下才能发射中子，所以在出现误照射事故后必须第一时间断开电源，停止中子发射。在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门和公安部门报告。

2、及时将受照人员送往指定的医院，进行医学救护，估算人员受照剂量。造成或可能造成人员超剂量照射，同时向当地卫生行政部门报告

3、调查事故原因以及过程，总结原因、经验和教训，提出预防措施，防止事故再次发生。

(3) 中子发生器感生放射性误照射

测井结束后，操作人员未按照操作规程，在中子发生器断电后未到预定的停留时间便将中子发生器升上地面，测井人员进行中子发生器拆卸操作，测井人员因受到中子发生器部件感生放射性而受到额外辐射照射。中子发生器断电后，中子发生器表面仍残留

较大的感生放射性，依据 MCNP-4C 程序模拟 D-T 反应结果，中子发生器断电后的瞬间其表面 1m 处  $\gamma$  剂量率达  $7.71 \times 10^{-5} \text{Sv/h}$ ；从保守角度考虑，每次测井后拆卸、清洗、装箱、搬运累计受照时间以 0.5h 计，且不考虑感生放射性核素随时间衰变，则整个过程中，所致人员的最大剂量为 0.039mSv，未超过辐射工作人员年附加剂量约束值 2mSv，不构成辐射事故。

#### (4) 中子发生器氚靶泄漏事故

中子发生器因人为因素被破坏，致使中子管内氚靶泄漏在地面。由于本项目每个中子发生器内氚靶出厂放射性活度  $5.0 \times 10^{11} \text{Bq}$ ， $^3\text{H}$  的衰变方式为  $\beta$ -衰变，衰变产生的  $\beta$  射线贯穿能力较弱，活度较小，且为固体，泄漏在地面的氚靶不会对人员产生外照射影响，不会导致出现年有效剂量超过限值情况。

事故应急措施：发现氚靶泄漏后，现场负责人立即组织周围人员撤离，封锁现场，划定警戒区域，立即报告本单位辐射安全与环境保护领导机构，组织相关技术人员妥善将氚靶收回。

#### (5) 中子发生器丢失或被盗事故

若发生中子发生器丢失或被盗事故，中子发生器未通电情况下，不会对人员产生辐射影响。中子发生器通电情况下，会产生大量中子射线以及感生放射性，可能会对附近人员产生辐射影响，进而可能出现人员受到超过年剂量限值的情况，此种情形事故属于一般辐射事故。

事故应急措施：若发生中子发生器丢失或被盗事故，当事人应立即保护现场，报告辐射安全与环境保护领导机构，启动单位应急预案：及时封锁现场，禁止人员进入，在 2 小时内报当地生态环境部门、卫生部门、公安部门，并在行政主管部门的部署下展开应急工作，查找、搜寻丢失的中子发生器。

## 11.6 事故防范措施

为减少事故发生，本项目运行期应采取以下防范措施：

(1) 公司应制定严格的中子发生器测井仪操作规范及管理制度，中子发生器测井仪出库及入库应及时进行登记，并安排专人看管，防止中子发生器测井仪处于无人监控的状态。

(2) 中子发生器测井仪出现故障或活度不满足需求时，应联系厂家进行维修更换，严禁私自维修和打开中子管。

(3) 中子发生器测井仪测井前，必须划定控制区，认真检查中子发生器测井仪安装状态、电缆连接情况，下井达到预定深度后方可接通电源。

(4) 放射工作人员操作时应佩戴个人剂量计。

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十条规定，西安勒能石油科技有限公司应制定《放射性同位素事故应急预案》并成立事故应急组织机构，事故应急预案主要包括以下内容：

- 1、事故类型和危害程度
- 2、应急处置基本原则
- 3、预防与预警
- 4、信息报告程序
- 5、应急处置（响应分级、响应程序、处置措施）
- 6、应急物资及装备保障

本项目建成后，应根据项目特点，进一步完善应急预案。

## 11.7 辐射环境影响评价

西安勒能石油科技有限公司中子发生器测井项目，其正常测井状态下，项目对周边的辐射环境影响较小，测井活动所致工作人员、公众年附加有效剂量分别满足本次评价2mSv、0.1mSv 剂量约束值要求。评价认为：西安勒能石油科技有限公司中子发生器测井项目，对周围环境的辐射影响在可接受范围之内。

表 12 辐射安全管理

### 12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条规定：使用 I 类、II 类、III 类放射源，使用 I 类、II 类射线装置的工作单位，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与环境保护管理工作；其他辐射工作单位应当具有 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和环境保护管理工作。

西安勒能石油科技有限公司应成立公司领导为负责人的辐射安全与环境保护领导机构，负责公司日常辐射安全监管和协调工作，并明确领导机构相关成员，规定各成员的职责，做到分工明确、职责分明，并安排专业技术人员，专职或兼职负责该公司辐射安全和环境保护具体管理工作。管理机构主要职责如下：

(1) 认真贯彻执行国家放射性同位素和射线装置的法律法规，接受国家和地方环境保护部门、公安部门和卫生部门的监督与检查。

(2) 对公司的辐射安全管理负全责。

(3) 制定和监督实施公司的辐射安全管理制度。

(4) 制定公司辐射事故应急预案，负责辐射事故应急预案的日常演练和辐射事故处置。

(5) 研究审查新建、扩建、改建放射性装置及其防护工作。

(6) 每年定期召开环保专题工作会议，研究部署解决辐射安全管理工作中存在的重大问题。

(7) 定期安排辐射安全管理专项检查，督促基层单位认真执行辐射安全管理，消除各种辐射安全隐患。

(8) 发生辐射事故，按职能进行指挥、协调、处理，防止事故蔓延扩大，将放射伤害和损失降低到最低限度。

(9) 对发生的事故按照“四不放过”原则组织调查处理，落实防范措施。

### 12.2 辐射安全与防护培训

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部令第 18 号）中规定，“使用放射性同位素或射线装置的单位，应当按照环境保护部审定的辐射安全培训和考试大纲，对直接从事使用活动的操作人员以及辐射防护负责人由具备一定条件

的培训单位进行辐射安全培训，并进行考核；考核不合格的，不得上岗”。

西安勒能石油科技有限公司拟配备放射性测井人员 2 名，兼职辐射安全管理人员 1 人。

环评要求：公司从事放射性测井人员和负责辐射安全防护的相关管理人员应通过生态环境部国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识、相关法规，取得核技术利用辐射安全与防护考核成绩合格报告单，方可上岗。取得核技术利用辐射安全与防护考核成绩合格报告单，应定期接受再教育。未取得辐射安全与防护培训合格证的人员，不得进行放射性操作。

### 12.3 辐射安全管理规章制度

西安勒能石油科技有限公司该项目使用 II 类射线装置活动，公司应根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院第 449 号令）、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（国家环境保护部第 31 号令）等相关法律、法规要求，结合所使用的中子发生器测井的具体实践，制定辐射安全管理制度和操作规程，通过不断完善相关的辐射安全管理制度，加强对放射性操作人员的培训，确保射线装置的安全使用。

环评要求：公司应针对中子发生器测井实际情况，制定《中子发生器操作规程》、《辐射工作人员以及辐射管理人员岗位职责》、《辐射防护与安全保卫制度》、《辐射工作人员培训制度》、《辐射工作人员个人剂量检测制度》、《辐射工作人员职业健康检查制度》、《辐射场所监测制度》、《辐射事故应急预案》、《中子发生器领用、归还台账制度》、《国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度》、《辐射安全防护设施维护与维修制度》、《辐射环境监测设备使用与检定管理制度》等，并根据国家最新法律法规相关规定，不断对制定的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案加以完善，使其具有更强的针对性和可操作性。

医院辐射安全防护管理机构应根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等国家相关监管法律法规要求开展辐射安全管理工作。

依据原陕西省环境保护厅办公室关于印发新修订的《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》的通知（陕环办发〔2018〕29 号）相关规定要求，对辐射工作人员及辐射工作场所进行科学化、规范化管理。具体管理内容及管理要求见表 12-1。

表 12-1 陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表  
辐射安全管理部分

序号	管理内容	管理要求	对照落实情况
1	决策层	就确保辐射安全目标做出明确的文字承诺，并指派有决策层级的负责人分管辐射安全工作	需补充完善。
		年初工作安排的和年终工作总结，应包含辐射环境安全管理工作内容	
		明确辐射安全管理部门和岗位的辐射安全职责	
		提供确保辐射安全所需的人力资源和物质保障	
	辐射防护负责人	参加辐射安全与防护培训并通过考核取得合格证，持证上岗；熟知辐射安全法律法规及相关标准的具体要求并向员工和公众宣传辐射安全相关知识	需补充完善
		负责编制辐射安全年度评估报告，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度评估报告	项目投入使用后由辐射防护负责人负责编制辐射安全年度评估报告，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度评估报告
		建立健全辐射安全管理制度，跟踪落实各岗位辐射安全职责	应按要求制定《辐射工作人员以及辐射管理人员岗位职责》、《辐射防护与安全保卫制度》、《辐射设备维护与维修制度》、《辐射工作人员培训制度》等规章制度
		建立辐射安全管理档案	建立辐射安全管理档案
		对辐射工作场所定期巡查，发现安全隐患及时整改，并有完善的巡查及整改记录	项目投入使用后应定期对辐射工作场所巡查，发现安全隐患及时整改，并有完善的巡查及整改记录
		岗前进行职业健康体检，结果无异常	放射性测井人员应进行职业健康体检，保证结果无异常
	直接从事放射工作的作业人员	参加辐射安全与防护培训并通过考核取得合格证，持证上岗	需组织放射性测井人员参加辐射安全与防护培训并通过考核取得合格证，持证上岗
		了解本岗位工作性质，熟悉本岗位辐射安全职责，并对确保岗位辐射安全做出承诺	工作人员了解本岗位工作性质，熟悉本岗位辐射安全职责并做出了《辐射工作人员岗位辐射安全承诺书》
熟悉辐射事故应急预案的内容，发生异常情况后，能有效处理		需给工作人员进行了辐射事故应急预案培训	
设立辐射环境安全管理机构和专（兼）职人员，以正式文件明确辐射安全与环境保护管理机构和负责人		设立辐射环境安全管理机构和专（兼）职人员，并以正式文件明确辐射安全与环境保护管理机构和负责人	
2	机构建设	设立辐射环境安全管理机构和专（兼）职人员，以正式文件明确辐射安全与环境保护管理机构和负责人	设立辐射环境安全管理机构和专（兼）职人员，并以正式文件明确辐射安全与环境保护管理机构和负责人
3	制度执行	建立全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度，指定专人负责系统使用和维护，确保业务申报、信息更新真实、准确、及时、完整	需补充完善

		建立本单位射线装置岗位职责、操作规程，严格按照规程进行操作，并对规程执行情况进行检查考核，建立检查记录档案	需制定《中子发生器操作规程》等
		建立辐射工作人员培训管理制度及培训计划，并对制度的执行情况及培训的有效性进行检查考核，建立相关检查考核资料档案	需制定《辐射工作人员培训管理制度及培训计划》《国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度》
		建立辐射工作人员个人剂量管理制度，每季度对辐射工作人员进行个人剂量监测，对剂量超标人员分析原因并及时报告相关部门，保证个人剂量监测档案的连续有效性	需制定《辐射工作人员个人剂量检测制度》，每季度对辐射工作人员进行个人剂量监测，对剂量超标人员分析原因并及时报告相关部门
		建立辐射工作人员职业健康体检管理制度，定期对辐射工作人员进行职业健康体检，对体检异常人员及时复查，保证职业人员健康监护档案的连续有效性	需制定《辐射工作人员职业健康检查制度》，定期对辐射工作人员进行职业健康体检，对体检异常人员及时复查
		建立辐射安全防护设施的维护与维修制度（包括维护维修内容与频次、重大问题管理措施、重新运行审批级别等），并建立维护与维修工作记录档案（包括检查项目、检查方法、检查结果、处理情况、检查人员、检查时间）	需制定《辐射安全防护设施维护与维修制度》《辐射环境监测设备使用与检定管理制度》
		建立辐射环境监测制度，定期对辐射工作场所及周围环境进行监测，并建立有效的监测记录或监测报告档案	需制定《辐射场所监测制度》，定期对辐射工作场所及周围环境进行监测，并建立有效的监测记录和监测报告档案
		建立辐射环境监测设备使用与检定管理制度，定期对监测仪器设备进行检定，并建立检定档案	需制定《辐射环境监测设备使用与检定管理制度》，定期对监测仪器设备进行检定，并档案
4	应急管理	结合本单位实际，制定可操作性的辐射事故应急预案，定期进行应急演练 辐射事故应急预案应报所在地县级环境保护行政主管部门备案。应急预案应当包括下列内容：①可能发生的辐射事故及危害程度分析；②应急组织指挥体系和职责分工；③应急人员培训和应急物资准备；④辐射事故应急响应措施；⑤辐射事故报告和处理程序	需制定《西安勒能石油科技有限公司辐射事故应急预案》，应急预案应当包括下列内容：①可能发生的辐射事故及危害程度分析；②应急组织指挥体系和职责分工；③应急人员培训和应急物资准备；④辐射事故应急响应措施；⑤辐射事故报告和处理程序

## 12.4 辐射监测与安全设施检查

### (1) 个人剂量检测

公司应为所有放射性测井工作人员配备个人剂量计（个人剂量计应能够同时测量 $\gamma$ 射线和中子累计剂量），并建立个人剂量档案，个人剂量计应委托有资质单位进行定期监测，每季度检测1次。

## (2) 职业健康检查

公司应安排放射性测井人员定期（至少每 2 年 1 次）进行职业健康检查，并建立职业健康监护档案。除此之外，放射性测井人员上岗前、离岗前也应接受职业健康检查，并将检查结果纳入剂量档案中。

## (3) 工作场所以及外环境监测

委托性监测：公司每年应委托有辐射环境监测资质的机构，对正常工况下测井工作场所进行 1 次监测。

自行监测：公司应至少配备 1 台  $\gamma$  剂量率仪、1 台中子周围剂量当量率仪（仪器经检定或校准合格），制定日常监测制度，定期对放射性测井人员操作位、安全控制区边界进行中子周围剂量当量率、 $\gamma$  辐射空气吸收剂量率监测。每次测井结束后开始拆卸中子发生器前，应测量中子发生器表面  $\gamma$  辐射空气吸收剂量率以及测井人员装卸操作位处  $\gamma$  辐射空气吸收剂量率，并建立监测数据档案，存档备查。

## (4) 安全设施检查

公司测井人员每次进行测井操作前，应对中子发生器安全设施、警戒线、电离辐射警示设施等进行检查，确保其处于正常的状态下，方可进行测井活动。

西安勒能石油科技有限公司辐射环境监测计划以及安全设施检查计划见表 12-2。

表 12-2 辐射监测计划与安全设施检查计划

对象	监测点位或安全设施内容	方式	监测项目或检查项目	频率	备注
测井现场	测井过程中：测井人员操作位、操作区边界；	实测	$\gamma$ 剂量率、中子剂量率	每年一次	委托有资质单位监测
	测井结束后*：中子发生器表面、测井人员装卸操作位	实测	$\gamma$ 剂量率		
	测井过程中：测井人员操作位、操作区边界；	实测	$\gamma$ 剂量率、中子剂量率	定期	自行监测
	测井结束后*：中子发生器表面及1m处、测井人员装卸操作位	实测	$\gamma$ 剂量率	每口井	
安全设施	中子发生器安全设施、警戒线、电离辐射警示设施	检查	检查安全设施是否完好、有效性	每次测井前	自行检查
放射性测井人员	个人剂量检测	佩戴个人辐射剂量计	$\gamma$ 射线、中子累计剂量	每季度送检	送有资质单位检测
	职业健康检查	医学检查	放射性职业病	至少每 2 年 1 次	去有资质单位检查

备注：\*表示测井结束后、装卸中子发生器前。

## 12.5 辐射事故应急

公司应根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十条规定，结合实际情况和本报告表的事故工况分析，制定合理可行的《辐射事故应急预案》，一旦发生事故及时启动应急预案，使事故能得到及时有效的处理，辐射事故应急预案应包括以下内容：

- (1) 应急机构和职责分工；
- (2) 应急人员的组织、培训以及应急；
- (3) 可能发生辐射事故类别与应急响应措施；
- (4) 辐射事故调查、报告和处理程序及人员和联系方式。

发生辐射事故时，公司应当立即启动本单位的辐射事故应急预案，采取应急措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地人民政府生态环境主管部门、公安部门报告；造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

## 12.6 环保投资和竣工环境保护验收

### (1) 环保投资

西安勒能石油科技有限公司中子发生器测井核技术利用建设项目总投资 300 万元，环保投资 10.5 万元，为项目投资额的 3.5%，环保投资比例适宜。环保投资主要为辐射安全设施购置费用、个人防护用品的购置费用、辐射环境监测费用、个人剂量计的购置及检测费用、职业病健康检查费用等。本项目环保投资一览表见表 12-3。

表 12-3 项目环保投资估算表

类别	污染源	污染防治措施或设施	费用
辐射防护措施	γ射线和中子剂量	专用贮存库房及防护措施	2.5
	γ射线和中子剂量	警戒线、警示标识等	0.5
	γ射线	X-γ辐射检测仪	2.0
	中子剂量	中子检测仪 1 台	2.0
个人防护用品	γ射线和中子剂量	个人剂量计 2 枚（监测γ射线和中子剂量）、 个人剂量报警仪 2 台	0.5
	γ射线	铅衣、铅背心、铅手套等 2 套	1.5
环境管理		完善环境管理制度	/
环境监测		工作场所定期监测	1.0
		个人剂量定期监测	0.5
总投资（万元）			10.5

### (2) 竣工环境保护验收

本项目中子发生器购置完成后，公司应及时委托有资质的监测机构进行环保竣工验收监测。按照标准以及环评相关要求，配备监测仪器进行日常监测，对放射性测井人员

配备个人剂量计，进行职业健康检查。放射性测井人员以及辐射管理人员应参加辐射防护与安全培训，并取得合格证，持证上岗。制定并完善相关规章管理制度。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），本项目竣工后，建设单位应及时对项目配套建设的环境保护设施进行自主验收，编制验收监测报告。验收合格后，方可投入生产或使用。

表 12-4 项目竣工环境保护验收清单（建议）

序号	项目	验收内容	验收指标
1	辐射安全管理机构与应急领导组织	以红头文件形式设立相应机构	以红头文件形式成立辐射安全和环境保护管理领导机构，或指派辐射管理专职人员设，并明确相应职责
2	安全设施	专用贮存库房；测井时划分控制区；警戒线、电离辐射警示设施	根据环评要求，专用贮存库房设防盗监控等设施，测井时划分控制区并配备警示标志，配备警戒线、电离辐射警示设施。各设施完好、运行正常
3	监测仪器	配备中子剂量率仪、X-γ辐射检测仪	配备中子剂量率仪、X-γ辐射检测仪各 1 台仪器，经检定合格，能够正常使用，建立日常监测记录档案
4	辐射环境监测	测井工作场所监测；感生放射性检测	按照监测计划执行，建立监测档案；在控制区边界线处的 $\gamma$ 剂量率、中子剂量率不大于 $2.5\mu\text{Gy/h}$ ；中子发生器断电出井后任何可达表面 $0.1\text{m}$ 处剂量当量率不超过 $1\mu\text{Sv/h}$
5	人员培训、体检	辐射防护与安全培训和考核	放射工作人员及辐射防护负责人应取得辐射安全培训合格证，定期体检并建立健康档案放射性测井人员、辐射直接管理人员参加辐射安全与防护培训，考核合格后上岗
		个人剂量检测	放射性测井人员配备个人剂量计（可监测 $\gamma$ 射线和中子剂量的个人剂量计），按要求佩戴，每季度送有资质单位检测，建立个人剂量档案
		人员职业健康管理	放射性测井人员定期进行体检，并建立职业健康监护档案
6	防护用品	铅衣、个人剂量报警仪等个人防护用品	每名测井人员配备 1 台个人剂量报警仪，仪器正常使用，配备 2 套铅衣
7	职业人员剂量限值	放射性工作人员、公众个人剂量限值	项目所致工作人员年附加有效剂量 $\leq 2\text{mSv}$ ，所致公众年附加有效剂量 $\leq 0.1\text{mSv}$
8	标准化建设	制定操作规程，岗位职责，辐射防护和安全保卫制度，设备检修维护制度，射线装置使用登记、台帐管理制度，人员培训计划，监测方案，辐射事故应急措施等规章制度	制定并完善相关规章制定，保证制度有效运行
9	废物处理	废中子管送厂家或有资质单位回收与处置	与仪器厂家或有资质单位签订处置协议

## 表 13 结论与建议

### 13.1 结论

#### (1) 项目概况

为了在海西洲开展油气测井业务，西安勒能石油科技有限公司拟购 2 套中子发生器（II 类射线装置），用于油气井地下测井。项目总投资 300 万，其中环保投资 10.5 万，占总投资的 3.5%。

#### (2) 产业政策以及实践正当性

根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，该项目属鼓励类第六项“核能”第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”项目，符合国家产业政策。

西安勒能石油科技有限公司利用中子发生器开展地下测井工作，测井深度位于地下 500m 深度以下，对地表辐射影响小，项目测井成果有助于石油、天然气的勘探和开发，带来的利益远大于其可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中关于辐射防护“实践的正当性”的要求。

#### (3) 辐射环境现状质量

西安勒能石油科技有限公司该项目测井主要位于陕西省延安市地区，延安地区道路  $\gamma$  辐射剂量率为 34.0~114.0nGy/h，原野  $\gamma$  辐射剂量率为 41.0~112.0nGy/h。

#### (4) 辐射安全与防护

针对本项目中子管测井的实际情况，考虑由于操作不当或其他因素导致中子发生器在井口通电激发事故状态下的影响，将进口 30m 范围划分为安全控制区边界，测井时设置警戒线，并在显著位置设置“禁止进入辐射工作场所”警告标志，设专人警戒，防止非工作人员误闯作业区。拟为每名放射性测井人员配备 1 台个人剂量报警仪。

#### (5) 辐射环境影响分析

理论估算表明，中子发生器未通电情况下，中子发生器内氚靶产生  $\beta$  射线能量较弱，其产生的韧致辐射较小，中子发生器表面剂量率基本为环境本底水平；井下测井过程中，中子发生器产生的中子和  $\gamma$  射线经过水层屏蔽、距离衰减后，井口处剂量率已趋于环境本底水平，对周边环境辐射影响较小。

分析可知，该项目放射性测井人员主要受中子发生器关机后残留的感生放射性影响。项目所致放射性工作人员、公众年附加有效剂量分别为 0.035mSv、 $5.56 \times 10^{-7}$ mSv，分别满足本次评价提出的职业人员、公众年附加有效剂量 2mSv、0.1mSv 约束值要求。

项目运行过程中产生的废中子管，交由厂家或有资质单位进行回收、处置。

#### (6) 辐射安全管理

西安勒能石油科技有限公司应设置辐射安全与环境保护管理机构或安排专职辐射安全管理人员，全面负责公司辐射安全管理相关工作，公司应按照国家相关法律法规要求，制定、完善各项辐射安全管理规章制度，放射性测井人员、辐射安全管理人员经辐射安全与防护培训合格，持证上岗，并建立起放射性测井人员个人剂量档案和职业健康监护档案。在满足环评相关要求前提下，该单位具备相应的辐射安全管理能力。

#### (7) 环境影响可行性结论

综上所述，西安勒能石油科技有限公司中子发生器测井项目符合国家产业政策以及辐射防护实践正当性原则，项目在严格落实本报告提出的各项污染防治措施和辐射管理措施后，具备辐射活动相适应的核技术应用能力，项目所致职业人员和公众年附加有效剂量满足国家相关标准规定限值要求。从辐射环境保护角度，该项目建设可行。

### 13.2 建议与承诺

(1) 放射性测井人员操作过程中应严格按照规程进行操作，防止中子发生器在井口附近进行通电激发，进而对周边人员产生辐射影响。

(2) 中子发生器测井工作结束，至少应间隔 30min，方可从事中子发生器的装卸操作；

(3) 本次环评完成，公司应及时申请办理辐射安全许可证。项目投入运行前，应按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法（国环规环评[2017]4号）》规定程序和内容，完成项目竣工环境保护自主验收工作。

(4) 公司应定期对辐射事故应急预案进行修订，使之具有针对性、可操作性，定期进行演练，做到有备无患，确保发生事故时，能够及时有效启动辐射事故应急预案。

(5) 公司每年应对射线装置的安全和防护状况编制相应的评估报告，于每年 1 月 31 日前向发证机关提交该评估报告。

## 表 14 审批

下一级环保部门预审意见:

经办人:

公章  
年 月 日

审批意见:

经办人:

公章  
年 月 日

