

核技术利用建设项目

中子管测井核技术利用项目

环境影响报告表

西安石油大佳润实业有限公司

2020年8月

环境保护部监制

核技术利用建设项目

中子管测井核技术利用项目

环境影响报告表

建设单位名称：西安石油大佳润实业有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：陕西省西安市高新区丈八街办锦业路 69 号创业研发园 C
区 1 号创新商务公寓 2 号楼 10902 室

邮政编码：710075

联系人：孙武

电子邮箱：304022748@qq.com

联系电话：18591990412

表 1 项目基本情况

建设项目名称		中子管测井核技术利用项目			
建设单位		西安石油大佳润实业有限公司			
法人代表	杨毅	联系人	孙武	电话	18591990412
注册地址	陕西省西安市高新区丈八街办锦业路 69 号创业研发园 C 区 1 号创新商务公寓 2 号楼 10902 室				
项目建设地点	陕西省延安地区				
立项审批部门	/		批准文号	/	
建设项目总投资（万元）	1000	环保投资（万元）	100	投资比例	10%
项目性质	新建 <input checked="" type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 技改 <input type="checkbox"/>			占地面积（m ² ）	/
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类(医疗使用) <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input checked="" 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>一、项目概述</p> <p>1、建设单位简介</p> <p>西安石油大佳润实业有限公司成立于 1995 年 5 月，注册于西安市高新技术产业开发区，是西安石油大学下属的科技产业公司，西安石油大学科技成果转化基地，西安市高新技术企业。目前已发展成为集科研、生产、销售、服务为一体，以特种润滑油、专用油脂为龙头，石油专用工具、油气增产技术及装备为一体的集团化企业。</p> <p>公司现有专职员工 190 人，其中科研人员 50 人，博士生导师 1 人，教授 8 人，副教授及高工 10 人。公司占地面积约 40000m²，现有润滑油调和车间 1 座，生产调和装置 8 套；成品油分装车间 1 座，分装流水线 9 条（套）；生产面积 3000m²，年生产能力 50000t。公司具有较强的油田技术服务能力，现有放射性同位素 ¹³¹Ba 和 ¹³¹I 测井业务，长年服务于塔里木油田、克拉玛依油田、吐哈油田、长庆油田等。</p>				

西安石油大佳润实业有限公司位于西安市高新区丈八街办锦业路 69 号创业研发园 C 区 1 号创新商务公寓 2 号楼 10902 室，公司地理位置见图 1-1。



图 1-1 地理位置示意图

2、项目由来

西安石油大佳润实业有限公司为拓展业务，拟新增 1 台中子管测井仪，中子强度为 $1.5 \times 10^8 \text{ n/s}$ ，内含氡靶活度为 $4.81 \times 10^{11} \text{ Bq}$ ，在延安地区开展测井活动。其中中子管属于《射线装置分类》中 II 类射线装置，氡靶属于《关于发布放射源分类办法的公告》中 V 类放射源。

根据《中华人民共和国环境影响评价法》（2016 年修订）和《建设项目环境保护管理条例》（国务院令 第 682 号），本项目应进行环境影响评价；本项目中子管属于 II 类射线装置，根据《建设项目环境保护分类管理名录》（环境保护部令 第 44 号）中“五十、核与辐射”、“191、核技术利用建设项目”中“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；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。

西安石油大佳润实业有限公司于 2020 年 7 月委托我公司对中子管测井核技术利用项目进行环境影响评价。接受委托后，我公司组织有关技术人员对该项目进行了实地踏勘、资料收集等工作，按照《辐射环境保护管理导则—核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016) 的基本要求，编制了《中子管测井核技术利用项目环境影响报告表》。

3、实践正当性分析

西安石油大佳润实业有限公司在延安地区开展中子管测井项目，主要是测量注水井内的注水层位及注水量，为制定采油方案提供科学依据，本项目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 2019 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”，符合国家产业政策。

二、建设项目概况

1、项目概况

项目名称：中子管测井核技术利用项目

建设单位：西安石油大佳润实业有限公司

建设内容：新增 1 台中子管测井仪，中子强度为 $1.5 \times 10^8 \text{ n/s}$ ，内含氚靶活度为 $4.81 \times 10^{11} \text{ Bq}$ ，在延安地区开展测井活动。

建设性质：新建

应用类型：使用 II 类射线装置

2、射线装置概况

本项目射线装置技术参数见表 1-1。

表 1-1 射线装置技术参数一览表

装置名称、型号	生产厂家	最大管电压 (kV)	最大靶电流 (μA)	中子强度 (n/s)	氚靶活度 (Bq)
SWFL 型多功能水流测井仪	西安奥华电子仪器股份有限公司	120	170	1.5×10^8	$4.81 \times 10^{11} \text{ Bq}$

3、人员编制及工作制度

根据建设单位提供的资料，本项目放射工作人员编制为 4 人，从现有人员中调

配，4 人均已取得辐射安全培训合格证，进行了职业健康体检，建立了个人剂量监测档案（培训合格证、个人剂量监测报告等见附件）。

项目建成后，预计年测井 70 井次，单井打靶时间约 20min，仪器检查时间约 5min。中子管日常存放于西安石油大佳润实业有限公司定边基地专用库房，测井时由专业测井车运输，工作完成后，将中子管送回定边基地专用库房，不存在临时暂存的情况。

三、原有核技术利用项目回顾

1、原有核技术利用项目环保手续履行情况

2014 年 9 月，西安石油大佳润实业有限公司委托中圣环境科技发展有限公司对“新增放射性同位素 ^{131}I 和 ^{131}Ba 测井核技术应用项目”进行了环境影响评价，2014 年 11 月 19 日取得陕西省生态环境厅的环评批复（陕环批复〔2014〕637 号）。2016 年 12 月，西安石油大佳润实业有限公司委托陕西省辐射环境监督管理站对该项目进行了竣工环境保护验收监测，2017 年 9 月 4 日取得陕西省生态环境厅的竣工环境保护验收批复（陕环批复〔2017〕438 号）。

2、辐射安全许可证情况

2020 年 1 月 22 日，西安石油大佳润实业有限公司因注册地址变更重新申领了辐射安全许可证，许可编号为陕环辐证〔00448〕号，有效期至 2025 年 2 月 17 日，许可种类和范围为：使用非密封放射性物质，丙级非密封放射性物质工作场所。

西安石油大佳润实业有限公司辐射安全许可证台账明细见表 1-2。

表 1-2 西安石油大佳润实业有限公司辐射安全许可证明细

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
1	测井现场	丙级	I-131	8.88×10^5	7.8×10^9	使用
2	测井现场	丙级	Ba-131	8.88×10^5	7.8×10^9	使用

3、辐射安全管理现状

(1) 辐射防护管理机构

西安石油大佳润实业有限公司于 2018 年以红头文件的形式成立了辐射安全管理领导小组（佳润综字 2018〔04〕号，见附件），组长为公司法人，领导小组下设办公室，办公室设在延安测井项目部。文件中明确了辐射安全管理部门职责。

(2) 规章制度建设及落实情况

西安石油大佳润实业有限公司目前已制定了一系列辐射环境管理规章制度，包括《放射性同位素负责人岗位职责》、《放射性同位素安全防护管理制度》、《放射性同位

素安全操作规程》、《辐射人员培训制度》、《辐射场所监测制度》、《执行放射源转移、转让、收贮备案制度》等。公司已制定《放射性同位素事故应急预案》，确保放射性同位素使用过程中的安全防护。

(3) 放射工作人员管理

西安石油大佳润实业有限公司现有放射工作人员 13 人，均已取得辐射安全培训合格证书。放射工作人员均已进行职业健康体检，并建立了健康档案。

13 名放射工作人员均配备个人剂量计，根据陕西新高科辐射技术有限公司出具的 2019 年 3 月~2020 年 3 月 4 个季度的监测报告，检测人员个人剂量当量为 0.08~0.23mSv，未超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中规定的剂量限值。

(4) 工作场所及辐射环境监测情况

西安石油大佳润实业有限公司已配备 4 台 X- γ 辐射监测仪，仪器已在上海市计量测试技术研究院进行了检定，在测井时进行巡测。

西安石油大佳润实业有限公司委托西安志诚辐射环境检测有限公司进行了 2019 年的核技术应用项目辐射环境监测（监测报告编号：XAZC-JC-2019-300，见附件），监测结果显示：测井现场警戒线四周各点位监测结果满足《油（气）田非密封型放射源测井卫生防护标准》(GBZ118-2002)中相关要求，警戒线区域内地面、工作人员防护服、手套 β 表面污染测值满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中规定的剂量限值。

四、评价目的

(1) 通过对拟开展测井业务区域辐射环境水平基础资料的收集、分析，了解项目所在区域辐射环境背景情况。

(2) 通过对公司拟新增中子管测井仪产生的辐射环境影响进行预测、分析，确定其对环境的影响程度与影响范围，分析辐射防护措施的效果，提出减少辐射影响的防护措施。

(3) 对项目运行过程中对周围环境可能产生的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) 满足国家和地方环境保护部门对该项目环境管理规定的要求，为该项目的辐射环境管理提供科学依据。

表 2 放射源

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

注: 密封源包括放射性中子源, 对其要说明是何种核素以及产生的中子流强度 (n/s)。

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式及地点
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

注: 日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)。

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型

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

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析仪等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大靶电流 (mA)	中子强度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
1	多功能水流测井仪	II	1	SWFL 型	120	170	1.5×10^8	石油测井	测井现场	4.81×10^{11}	密封在中子管中	1	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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	^3H	4.81×10^{11} Bq	/	/	/	/	厂家回收
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

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

表 6 评价依据

法规文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》，2015 年 1 月 1 日；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月 29 日；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日；</p> <p>(4) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》及其修改单，生态环境部第 1 号令，2018 年 4 月 28 日；</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》国务院令 682 号，2017 年 10 月 1 日；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》国务院 449 号令，2005 年 12 月 1 日起实施，国务院令 709 号修订，2019 年 3 月 2 日起实施；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》及其修改单，环保部令 47 号，2017 年 12 月 20 日修改；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环保部第 18 号令，2011 年 5 月 1 日起实施；</p> <p>(9) 《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公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日；</p> <p>(10) 《关于进一步加强流动放射性同位素和射线装置应用监督管理工作的通知》，陕环函〔2012〕681 号；</p> <p>(11) 《陕西省放射性污染防治条例（2019 年修正）》，2019 年 11 月 6 日发布；</p> <p>(12) 《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 号文。</p>
------	--

<p>技术标准</p>	<p>(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002);</p> <p>(2) 《石油放射性测井辐射防护安全规程》(SY5131-2008);</p> <p>(3) 《石油测井中子发生器及中子管技术条件》(SY/T5419-2007);</p> <p>(4) 《油(气)田测井用密封型放射源卫生防护标准》(GBZ142-2002);</p> <p>(5) 《放射性废物管理规定》(GB14500-2002);</p> <p>(6) 《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>(7) 《油气田测井放射防护要求》(GBZ 118-2020)。</p>
<p>其他</p>	<p>西安石油大佳润实业有限公司中子管测井核技术利用项目环境影响评价委托书、辐射安全许可证、相关人员培训合格证及个人剂量报告</p>

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

根据《辐射环境保护管理导则—核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016)“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)”。中子管测井仪工作时,通常在井下 200m 以下开机发射中子,周边无实体屏蔽边界,本次评价范围确定为以井口为中心周围 100m 区域。

保护目标

本项目环境保护目标主要为西安石油大佳润实业有限公司从事中子管测井作业的人员,测井现场周围活动的其他公众人员,其所接受的年附加有效剂量应满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的要求和本次评价提出的剂量管理限值。

表 7-1 本项目环境保护目标

序号	保护对象	人数	相对方位	测井时与井口距离范围	剂量约束值
1	测井队放射工作人员	4	/	30~100m	5mSv/a
2	井场工作人员及公众	流动人群	/	30~100m	0.25mSv/a

评价标准

一、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)

11.4.3.2 剂量约束值通常应在照射剂量限值 10%~30% 的范围之内。

标准附录 B 剂量限值和表面污染控制水平:

B1.1.1.1 条规定:应对任何工作人员的职业照射水平进行控制,使之不超过下述限值:由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量(但不可作任何追溯性平均),20mSv(本项目取其四分之一即 5mSv 作为职业工作人员的年剂量约束限值)。

B1.2.1 规定:实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估算值不应超过下述限值:年有效剂量,1mSv(本项目取其四分之一即 0.25mSv 作为公众人员的年剂量约束限值)。

A2.3 c) 正常运行操作条件下,在距设备的任何可达表面 0.1m 处所引起的周围剂量当量率或定向剂量当量率不超过 1μGy/h。

二、《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 $-40^{\circ}\text{C}\sim+70^{\circ}\text{C}$

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 A2.3c)规定的控制水平时，工作人员方可靠近产品。

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。

三、《油（气）田测井用密封型放射源卫生防护标准》(GBZ142-2002)

本标准适用于在油(气)田使用密封型(中子、 γ)放射源(以下简称放射源)进行测井及测井研究。

3.6 室外操作放射源时，须在空气比释动能率为 $2.5\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ 处的边界上设置警告

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。

四、《石油放射性测井辐射防护安全规程》（SY5131-2008）

本标准适用于油气田的放射性测井。

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。

10 报废及废物处理要求

10.1 退役、报废的放射源应退回生产厂家或上交当地环境保护行政主管部门。

10.3 任何单位和个人不应私自处理退役、报废放射源以及放射性废液、废物。

五、《油气田测井放射防护要求》（GBZ 118-2020）

《油气田测井放射防护要求》（GBZ 118-2020）将于 2020 年 10 月 1 日实施，本项目放射防护要求参照该标准执行。

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。

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 γ 射线和中子剂量监测。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、公司地理位置和项目场所位置

1、公司地理位置

西安石油大佳润实业有限公司位于陕西省西安市高新区丈八街办锦业路 69 号创业研发园 C 区 1 号创新商务公寓 2 号楼 10902 室，地理位置见图 1-1。

2、项目场所位置

西安石油大佳润实业有限公司拟在延安地区开展中子管测井业务，项目场所位置为延安市各需要做钻井剖面的井场。本项目为流动式作业，不在某一场所长期作业。

二、环境质量和辐射现状

本项目为中子管测井项目，主要污染因子为电离辐射。项目主要在延安地区进行流动式作业，因此辐射环境现状以作业地辐射环境质量现状为准。

根据《2020 年一季度陕西省辐射环境质量》，2020 年一季度，我省 5 个辐射环境自动监测站（陕西环保大厦、西安市标准型自动站、汉中市基本型自动站、延安市基本型自动站、宝鸡市基本型自动站）的空气吸收剂量率排除降雨（雪）等自然因素的影响，处于本底涨落范围内，监测结果为 70.3~106.2nGy/h，其中延安市基本型自动站空气吸收剂量率监测结果为 83.3~94.4nGy/h。2020 年一季度，我省陆地监测点累积剂量测得的空气吸收剂量率处于本底涨落范围内，累积剂量监测结果为 83~130nGy/h。

根据《陕西省环境天然贯穿辐射水平调查研究》（辐射防护，第 14 卷第 4 期，1994 年 7 月），延安地区室内 γ 辐射剂量率为 64.0~157.0nGy/h，平均值为 91.0nGy/h；原野 γ 辐射剂量率为 41.0~112.0nGy/h，平均值为 57.0nGy/h；道路 γ 辐射剂量率为 34.0~114.0nGy/h，平均值为 57.0nGy/h。可见，延安地区的辐射环境本底值处于正常水平，辐射环境现状良好。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

一、中子管测井仪简介

1、典型中子管结构简介

中子管是将离子源、加速系统、靶子以及气压调节系统密封在一个陶瓷或玻璃管内，形成一个小型的特种电真空器件。中子管可以在外接电路的控制下，由离子源产生氖离子，经加速后轰击氚靶，与靶中的氚产生核反应，产生 14MeV 的快中子。中子管外接电路通常由离子源电路和密封加速高压组成。离子源电路决定于中子管离子源的结构。如采用冷阴极潘宁离子源的中子管需要 2kV 左右的阳极脉冲高压，而热阴极中子管所需的阳极高压则很低。密封加速高压一般采用倍加整流电路。典型中子发生器结构见图 9-1。

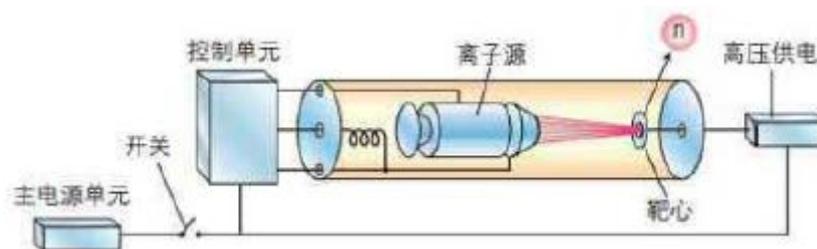


图 9-1 典型中子管结构示意图

2、本项目中子管测井仪简介

本项目中子管测井仪为 SWFL 型多功能水流测井仪，生产厂家为西安奥华电子仪器股份有限公司。一次下井可完成井温、压力、自然伽玛、CCL、远/近俘获截面 Σ 或各种条件下的流量等参数的同时测量。能在注水井、注聚井及注二氧化碳井中完成常规注入量测试、工具完整性测试、管外找窜等；能在产出井中通过测量热中子俘获截面、远近计数比等参数，进行剩余油评价和寻找气层；能在水平或垂直产出井中寻找出水层。

本项目中子管测井仪包括下井仪器和地面系统，下井仪器可拆分为中子发生器气密封短节、遥测短节、上采集短节、下采集短节、加长短节等 5 部分，各短节之间以螺丝扣相连。地面系统主要为电缆工具及数据收集系统。

中子管内含氚靶，密封于陶瓷管内，外有不锈钢外壳，与外接电路一起组成中子发生器短节。

本项目中子管测井仪示意图见图 9-2。

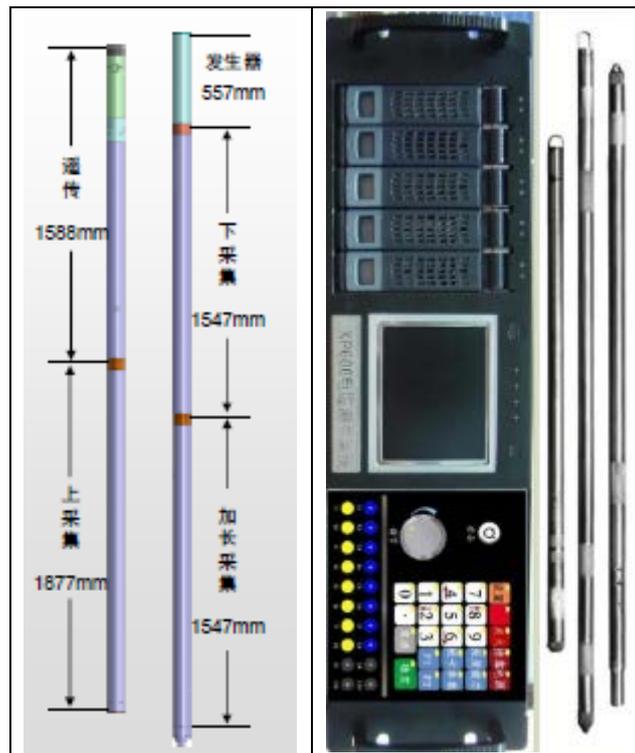


图 9-2 本项目 SWFL 型多功能水流测井仪示意图

二、中子管测井原理

中子管测井是把装有中子源和探测器的下井仪器放入井内，由于中子源发射的快中子按球状向外迁移，在穿过井孔介质进入岩层的过程中，高能量中子与物质的原子核相互作用而减速，扩散和被吸收其能量不断损失或减弱。利用中子与钻井周围岩石和井内介质其作用、研究钻井剖面、寻找有用矿藏及研究油井工程质量的一种矿场地球物理方法。

本项目利用中子管作为脉冲中子源发射 14MeV 快中子对地层进行测量。脉冲中子源是氘气体在中子发生器内被电离为氘核 (D) 和负电子。氘核 (D) 在负电场作用下被加速，轰击涂在靶上的氚核 (^3H)、发生 (D, n) 核反应，发生出高能中子。当中子轰击地层时，快中子和地层的元素发生非弹性散射 (n, n') 和弹性散射 (n, n) 外，还有热中子的 (n, p) 反应。快中子的非弹性散射 (n, n') 会伴随产生非弹性散射 γ 射线、热中子被吸收发生 (n, γ) 反应伴随产生俘获 γ 射线。

地层中广泛存在氧、铝、硅，他们在中子的作用下，均能生成新的放射性核素，其反应式分别为： $^{16}\text{O} (n, p) ^{16}\text{N}$ ， $^{27}\text{Al} (n, p) ^{27}\text{Mg}$ ， $^{26}\text{Si} (n, p) ^{26}\text{Al}$ 。活化后新核 ^{16}N 、 ^{27}Mg 、 ^{26}Al 均放出 γ 射线，其半衰期分别为：7.35min, 2.3min, 9.5min。 γ 射

线最大能量分别为 6.13MeV, 2.16MeV, 1.81MeV。通过测量活化 γ 射线的照射量率而获得地层中某些元素存在及其含量。

根据产品说明, 本项目水流测井仪是用仪器中的人工可控中子源发射的高能中子去轰击水中氧核使其跃迁到激发态变成带放射性的活化氧 (半衰期 7.13s), 因此井下测井仪四周 0.5m 范围内的水便变成了放射性活性水, 测井仪中的伽玛探头接到来自活化水的活化伽玛信号, 信号的强弱反映出活化水与探头之间的距离长短, 信号的强度变化直接反映活化水与探头之间的距离变化, 当中子源与探头之间的距离 (即仪器源距) 不变时, 信号强度随时间的变化就体现出水流动速度的大小, 根据水流速度与管子截面积可求得井筒内的测点水流量。对比各测量点的水流量大小变化, 可了解套管的漏失段、吸液段、吐液段和管外窜槽段。

3、测井工艺流程

中子管刻度及维修更换返回生产厂家进行, 西安石油大佳润实业有限公司不自行刻度和拆卸维修。中子管内含氚靶, 密封于陶瓷管内, 外有不锈钢外壳, 中子管测井仪日常拆分为短节, 装于专用仪器箱, 贮存于西安石油大佳润实业有限公司的榆林市定边基地专用库房。

根据建设单位提供的资料, 本项目测井工作程序如下:

(1) 测井队接到测井通知后, 准备所需材料、工具, 从库房中领取中子管测井仪, 并办理领用手续。运输过程中测井车按照计划路线行驶, 不得随意改变行车路线。

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

(3) 仪器入井前准备: 安装滑轮、张力计等, 组装中子管测井仪及地面电缆。在井口周围 30m 范围内设置控制区, 控制区边界用警戒线隔离, 并设置警告标志。现场操作人员距井口 30~50m, 并严禁无关人员进入控制区。

(4) 仪器入井: 作业车辆绞车绳将测井仪下井。

(5) 测量: 仪器下井距井口约 200m 时, 第一次给中子管供电, 检查其工作是否正常 (约 5min), 检查结束后断电; 继续将测井仪下放到目的层 (延安地区一般为井下 2000~3000m), 第二次给中子管供电, 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, 仪器提升约 1h 后出井。

(7) 仪器装箱入库：仪器提出井口后，清洗接头、戴好护帽，拭去外壳粘油，放入专用箱内，清理现场，确保井场周围环境无污染，仪器设备等工具装入作业车，运回专用库房，办理仪器入库手续。

中子管测井的工作流程及产污环节见图 9-3。

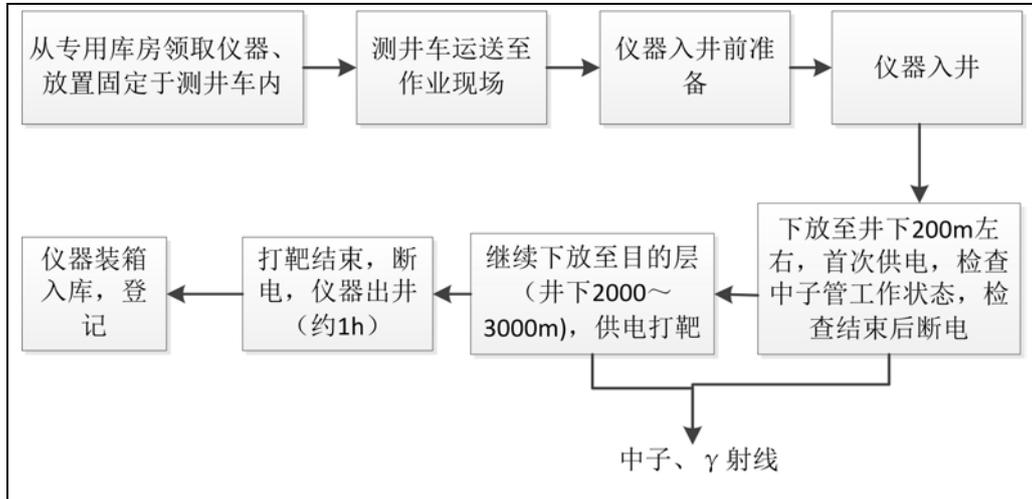


图 9-3 中子管测井工作流程及产污环节

污染源项描述

一、正常工况

1、电离辐射

(1) 断电状态时，中子管内使用的氚靶自然衰变时释放出 18.598keV 的 β 粒子，半衰期为 12.3 年，这种辐射的射程很短，外照射危害很小。中子管经陶瓷密封，外有不锈钢外壳，断电状态下一般不会产生表面污染。

(2) 通电工作时，中子管释放出能量为 14MeV 的中子，中子强度为 $1.5 \times 10^8 \text{n/s}$ 。同时快中子流与被作用的核素发生非弹性散射和热中子 (n、 γ) 反应产生 γ 射线。中子和 γ 射线辐射对环境产生影响。

2、废气

γ 射线穿过屏蔽物（地层），空气会电离产生 O_3 和 NO_x 。由于本项目使用中子管的场地较为开阔，且测井时在 200m 的水面以下才通电开机，因此其 O_3 和 NO_x 产生量极小，对周围环境的影响较小，同时 O_3 在空气中很快分解，因此本次评价不考虑。

3、固体废物

本项目固体废物主要为中子管退役时产生的含氚靶废旧中子管。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，应与生产厂家签订回收协议，由厂家回收处置。

二、事故工况

运行过程中可能产生的事故有：

(1) 操作人员供电操作失误或供电开关失控，中子管测井仪下井未到达预定深度即通电发生中子，或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

项目安全设施

一、工作场所及区域划分

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《油(气)田测井用密封型放射源卫生防护标准》(GBZ142-2002), 须在空气比释动能率为 $2.5\mu\text{Gy/h}$ 处的边界上设置警告标示(或采取警告措施); 根据《石油测井中子发生器及中子管技术条件》(SY/T5419-2007), 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, 防止无关人员进入。参考以上规定, 对本项目控制区边界进行估算。

中子管测井是在井下 200m 左右首次供电进行仪器检查、2000m 以下打靶测井, 此时经过水层的屏蔽, 井口处的剂量率较低, 因此计算控制区时, 假设测井仪在井口时供电(事故状态), 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:

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

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), 根据《油(气)田测井用密封型放射源卫生防护标准》(GBZ142-2002)附录 B, 查出 $E_n=14\text{MeV}$ 时, $d_H=3.33 \times 10^{-10} \text{Sv}/(\text{n}/\text{cm}^2)$;

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

由式(10-1)可计算得出, $R=2392\text{cm}=23.92\text{m}$

综上，本项目测井时，以井口为中心外扩至 23.92m 处空气比释动能率可降低至 2.5 μ 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 30m 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 30m~50m 的范围划分为监督区。

二、辐射安全防护措施

根据《油(气)田测井用密封型放射源卫生防护标准》(GBZ142-2002)、《石油放射性测井辐射防护安全规程》(SY5131-2008)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

针对本项目，西安石油大佳润实业有限公司拟配备相应的监测仪器及个人防护用品，具体情况见表 10-1。

表 10-1 本项目拟配备监测仪器及个人防护用品一览表

序号	名称	单位	数量
1	X- γ 辐射检测仪	台	1 (利用现有)
2	中子检测仪	台	1 (新增)
3	个人剂量计 (监测 γ 射线和中子剂量)	枚	4 (新增)
4	铅衣、铅背心、铅手套	套	2 (新增)

2、中子管的贮存

本项目中子管内氚靶密封于陶瓷管中，外有不锈钢外壳。中子管测井仪装于专用仪器箱内，日常贮存于西安石油大佳润实业有限公司榆林市定边基地设备库房里。

库房为单独房间，严禁放置易燃、易爆等其他危险物品。设备库房指定专人负责保管，取用归还时进行登记、检查。库房内安装监控报警系统以防盗，配备灭火器等防火设施。库房采用砖混结构，可避免雨水侵淋，贮存温度及湿度满足《石油测井中子发生器及中子管技术条件》(SY/T5419-2007)中相关要求(温度-40 $^{\circ}$ C~+70 $^{\circ}$ C，相对湿度不大于 70%)。

3、中子管的运输

中子管由专业测井车运输，测井车内配备电缆绞车、控制台、测井结果数据处理系统和用于固定中子管包装箱的气囊，以避免剧烈震动。运输过程中车厢门上锁，以保证物品安全。

运输前预先设计好路线，行进中尽量避开人群集中区域，严禁在居民小区等人员

聚集地区停留。

4、中子管测井过程中的防护措施

(1) 测井现场进行分区管理，井口周围 30m 范围内设置为控制区，设置警戒线，并悬挂电离辐射警示标志，专人值守，除测井工作人员外其他无关人员严禁入内。

(2) 测井仪下井深度达到 200m 后，方供电进行中子管工作状态检查。

(3) 中子管测井完成后即断电，约 1h 后仪器方能起出井口，撤销警戒。收回中子管后，使用辐射检测仪器对中子管表面进行辐射水平监测，确定其活化辐射水平已满足相关标准要求（表面 0.1m 处剂量当量率不超过 $1\mu\text{Gy/h}$ ）后，方能搬运中子管离开现场。

(4) 测井时放射工作人员必须配备个人剂量计，穿戴铅手套等防护用品，个人剂量计应能同时对中子及 γ 辐射进行监测。

5、废旧放射源

本项目废旧的含氚靶中子管由原厂家回收。

更换放射源时，西安石油大佳润实业有限公司必须向陕西省环境保护主管部门提交《放射性同位素转让审批表》，申请转入放射源。放射源使用单位、放射源生产单位应当在转让活动完成之日起 20 日内，分别将 1 份《放射性同位素转让审批表》报送各自所在地省级环境保护主管部门备案。

6、还应采取的辐射环境管理措施

(1) 为保证中子管测井辐射防护措施的落实和中子管测井放射工作人员的安全，应按照国家标准和法律法规的要求，完善相关管理制度、操作规程、岗位职责及应急预案。

(2) 本项目放射性工作人员 4 名，从现有人员中调配，均已取得辐射安全防护培训合格证，并进行了个人剂量监测和职业健康体检。后续当合格证到期时，应及时进行培训学习，重新取得证书后方能上岗。

中子管测井放射工作人员必须经过业务培训，熟练掌握操作方法后方可进行中子管测井操作。

(3) 定期进行个人剂量监测和职业健康体检，个人剂量监测档案及职业健康档案应至少保存 30 年或保存至工作人员年龄满 75 周岁。

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

7、异地作业备案

到外省、自治区、直辖市进行测井作业时，公司应当于活动实施前填写“放射性同位素异地使用备案表”，先向使用地省级环境保护主管部门备案后，到陕西省环境保护厅备案。异地使用活动结束后，使用单位应在放射源转移出使用地后 20 日内，先后向使用地、移出地省级环境保护主管部门注销备案。

8、核技术利用单位辐射安全防护标准化建设要求

建设单位应根据《关于开展核技术利用单位辐射安全管理标准化建设工作的通知》（陕环办发〔2018〕29 号）的要求，完善相应的辐射安全防护措施，详见表 10-2。

表 10-2 陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表——辐射安全防护措施部分

项目	具体要求	本项目情况
放射源	源外壳应标有核素名称或符合；2004 年以后生产的放射源源外壳还应有放射源编码	使用符合要求的中子管
贮源或载运容器	源罐应便于搬运和放射源的取出、放入，必须能锁定 源罐外表面应有标注源罐编号、核素名称和活度的标签，并印有电离辐射警示标志和使用单位的名称	使用符合要求的中子管
测井操作现场	设置电离辐射警示标志(或采取警告措施)，防止无关人员进入操作区域	现场划定控制区，严禁无关人员进入
	根据源的不同活度，配备符合要求的工具，不得徒手操作放射源	本项目中子管氚靶密封于陶瓷管内，外有不锈钢外壳，日常操作无法直接接触，操作时工作人员佩戴铅手套
	现场检测情况及结果记录	每次测井工作进行巡测并记录
监测设备及个人防护用品	X-γ 剂量率监测仪、中子剂量当量率仪、个人剂量计	X-γ 剂量率监测仪利用现有，其余拟配备

三废的治理

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，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，严禁私自处置。

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中子管测井，无土建施工过程；项目未运行时，不会对周围产生辐射影响。

运行阶段对环境的影响

一、运行期辐射环境影响分析

1、中子管在运输、贮存过程中的辐射影响

本项目中子管测井仪贮存时各短节拆分后装于专用仪器箱内，存放于西安石油大佳润实业有限公司定边基地专用库房。测井仪在日常存放、运输及下井前仪器组装过程中处于断电状态，中子管无法工作，不能产生中子，不存在中子辐射的安全问题。

中子管内氙靶自然衰变时产生 18.598keV 的 β 粒子，在空气中的射程为 4.6mm，穿透厚度为 0.6mg/cm²。本项目氙靶密封于陶瓷管内，外有不锈钢外壳，氙靶不易泄露，因此可有效避免 β 射线的外照射、表面污染以及内照射。

综上，中子管在运输、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。

2、测井时井口辐射影响分析

根据建设单位提供的资料，测井时，中子管在井下200m处通电进行工作状态检查（检查时间以5min计），随后断电下至2000~3000m处进行打靶（单井打靶累计时间为20min），测井时释放出能量为14MeV的中子，中子强度为 1.5×10^8 n/s。工作人员在地面测井车进行操作。本项目主要检测注水井，入井后即进入水层。

中子管发射出的中子几乎都是快中子，在屏蔽层中通过散射和非弹性散射损失能量，被井水和岩层物质吸收，主要放出 γ 射线。由实际经验可知，中子的危害与 γ 射线的危害相比，中子是主要的，因此，主要考虑中子的屏蔽。中子的屏蔽一般较为复杂，除考虑快中子的减弱过程和吸收过程外，也就是屏蔽层对中子是足够的话，还必须满足对 γ 射线的安全屏蔽，为此将中子剂量增加 1 倍，即为总贡献的剂量率。

利用《中子发生器及其应用》（原子能出版社）推荐的估算模式和参数，估算中子管在井下测井时井口附近的剂量。

水层厚度公式：

$$T_{H20} = T_{1/10} \times \lg \eta \quad (11-1)$$

式中： T_{H20} —水层厚度，本项目取水深 $2 \times 10^4 \text{cm}$ 、 $2 \times 10^5 \text{cm}$ ；

$T_{1/10}$ —水中的 1/10 减弱厚度值，查《中子发生器及其应用》P160 图 2.27 得 40cm；

η —中子减弱比

中子减弱比公式：

$$\eta = \frac{\varphi_0}{\varphi_{mp}} \left(\frac{1}{R}\right)^2 \quad (11-2)$$

式中： φ_0 —中子管 1cm 处的中子注量率，本项目取 $1.5 \times 10^8 \text{n/s} \cdot \text{cm}^2$ ；

φ_{mp} —中子管 R (cm) 处最大的中子注量率， $\text{n/s} \cdot \text{cm}^2$ 。

R—井口到中子管的距离， $2 \times 10^4 \text{cm}$ 、 $2 \times 10^5 \text{cm}$ 。

中子剂量率公式：

$$H_n = 3600 \times \varphi_{mp} \times d_H \quad (11-3)$$

式中： H_n —经水屏蔽后井口处的中子比释动能率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

d_H —中子剂量转换因子， $3.33 \times 10^{-10} \text{Sv}/(\text{n}/\text{cm}^2)$ 。

根据公式 (11-1)，得出中子减弱比 $\eta=10^{500}$ (200m)、 10^{5000} (2000m)。

代入公式 (11-2)： $\varphi_{mp}=3.75 \times 10^{-501} \text{n/s} \cdot \text{cm}^2$ (200m)、 $3.75 \times 10^{-5003} \text{n/s} \cdot \text{cm}^2$ (2000m)。

代入公式 (11-3)： $H_n=4.496 \times 10^{-507} \text{Sv/h}$ (200m)、 $4.496 \times 10^{-5009} \text{Sv/h}$ (2000m)。

中子被探测的岩层吸收中子后会放出一些 γ 射线，照射量约为中子照射剂量当量的两倍。 γ 射线贡献值为 $2H_n=8.992 \times 10^{-507} \text{Sv/h}$ (200m)、 $8.992 \times 10^{-5009} \text{Sv/h}$ (2000m)。

中子和 γ 射线的贡献 $H_n + 2H_n=1.349 \times 10^{-506} \text{Sv/h}$ (200m)、 $1.349 \times 10^{-5008} \text{Sv/h}$ (2000m)，远低于背景值。

综上，由估算结果可知，中子管在井下测井时，井口剂量率极低，基本无影响。

4、测井结束后感生放射性影响

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 γ 射线。

参照《测井用密封型中子发生器管理建议》(王晓涛等，中国职业医学，2017 年

8月) 中对中子管打靶后关机不同时间仪器周围 γ 剂量率监测结果, 对本项目测井结束后感生放射性影响进行分析, 监测结果见表 11-1。

表 11-1 不同型号中子管关机后 γ 剂量率的变化

仪器型号	氚靶活度 (Bq, $\times 10^{11}$)	表面 5cm ($\mu\text{Sv/h}$)		表面 30cm/50cm ($\mu\text{Sv/h}$)		表面 100cm ($\mu\text{Sv/h}$)	
		10min	1h	10min	1h	10min	1h
S/N8227 型	3.70	34.00	12.00	3.00	1.00	0.80	0.20
S/N8299 型	3.70	40.00	10.00	2.60	0.90	0.20	0.20

由表 11-1 可知, 随着表面距离的增大和关机时间的延长, 中子发生器周围 γ 剂量率逐渐降低, 关机 1h 后, 表面 5cm 处剂量率为 10~12 $\mu\text{Sv/h}$, 30cm/50cm 处为 0.9~1 $\mu\text{Sv/h}$, 100cm 处为 0.2 $\mu\text{Sv/h}$ 。本项目氚靶活度为 4.81 $\times 10^{11}$ Bq, 类比数据可以反映本项目中子发生器打靶结束后感生放射性影响。

根据《石油测井中子发生器及中子管技术条件》(SY/T5419-2007), 中子发射结束后, 产品的活化伽马辐射水平满足设备的任何可达表面 0.1m 处所引起的周围剂量当量率或定向剂量当量率不超过 1 $\mu\text{Gy/h}$ 的要求时, 工作人员方可靠近。根据建设单位提供的资料, 本项目打靶结束后即断电, 从断电到仪器出井大约 1h 左右, 根据类比监测结果, 此时中子管测井仪表面 30cm/50cm 处剂量率方满足要求。

为进一步降低打靶后感生放射性影响, 建议采取以下措施:

- ① 进一步延长仪器断电至出井时间;
- ② 每次测井完成后, 对中子管活化产物外照射周围剂量当量率进行监测, 满足表面 0.1m 处剂量当量率不超过 1 $\mu\text{Gy/h}$ 的要求时后工作人员方可靠近;
- ③ 活化剂量监测及后续装箱操作时, 工作人员必须穿戴铅衣、佩戴铅手套, 进一步降低感生放射性影响。

二、放射工作人员及公众剂量分析

1、放射工作人员剂量

根据上文分析, 测井工作时仪器检查时间以 5min 计, 测井打靶平均时间为 20min, 以每年测井 70 次计算, 则测井人员的职业照射剂量为 7.84 $\times 10^{-502}$ Sv, 远低于背景值。

测井结束后, 放射工作人员受到仪器的感生放射性影响, 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, 每次测井后仪器装箱、搬运累计受照时间以 0.5h 计, 年受照剂量约为 3.5 $\times 10^{-2}$ mSv。

本项目放射工作人员从现有人员中调配, 根据 2019 年 3 月~2020 年 3 月 4 个季

度的监测报告，检测人员个人剂量当量为 0.08~0.23mSv，叠加本项目剂量后最大年个人剂量当量为 0.265mSv，满足《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（职业工作人员<5mSv）。

2、公众剂量

本项目测井属于流动式作业，一般井场位置都较为偏僻，测井过程中在井口周围 30m 范围内划定控制区，控制区四周设置“当心电离辐射”标志，设专人巡视，除测井操作人员外，一般公众不会靠近，中子管测井仪使用完毕后即断电运走，不会在現場长时间停留，评价认为该项目运行不会对公众产生辐射影响。

三、固体废物

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，严禁私自处置。

事故影响分析

一、事故风险因素分析

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 11-2。

表 11-2 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，中子管下井未到达预定深度即通电发生中子，或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。

本项目中子管属于Ⅱ类射线装置，氡靶属于Ⅴ类放射源，发生以上事故时，坑内导致职业人员或公众超剂量照射，属于一般辐射事故。

二、辐射事故影响分析

1、中子管测井仪误照射事故

当中子管测井仪因操作不当发生误照射时，假设操作人员距离中子管测井仪 1m，根据公式（10-1）估算，误照射 21.4min 后放射工作人员剂量即达到 5mSv。假设操作人员位于控制区外 30m 处，中子管测井仪在井口发生误照射，累计照射 2000h 后剂量达到 5mSv，因此操作过程中必须划分控制区，以避免事故情况下对放射工作人员的影响。

2、中子管测井仪丢失、氡靶泄露事故

当中子管被盗、丢失或坠井卡井后，氡靶遭到破坏而裸露时，参照《测井用密封型中子发生器管理建议》（王晓涛等，中国职业医学，2017年8月）中分析：当氡活度为 $1.11 \times 10^{12} \text{Bq}$ 的放射源发生破裂时，估算可释放出 0.14mSv 的剂量；当以上氡靶在工作状态下破损，测井深度为 120~4500m 时所致吸收剂量为 5.83~13.70 μSv 。本项目放射源活度为 $4.81 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，当操作不当造成氡靶泄露时，造成的人员吸收剂量比类比剂量略小。

三、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管测井仪操作规范及管理制度，中子管测井仪出库及入库应及时进行登记，并安排专人看管，防止中子管测井仪处于无人监控的状态。

(2) 中子管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) 中子管测井仪测井前，必须划定控制区，认真检查中子管测井仪安装状态、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、穿戴铅衣、铅手套。

四、事故应急措施

1、应急预案

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十条规定，西安石油大佳润实业有限公司已制定了《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。

2、应急处理原则

(1) 中子管测井仪误照射事故

中子管测井仪发生误照时，事故处理原则为：

① 立即消除事故源，防止事故继续蔓延和扩大。由于中子管测井仪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，停止中子的发射。

② 及时检查、估算受照人员的受照剂量。在设备出库、运输、使用前进行严格检查，确保万无一失，估算工作人员受照剂量并佩戴个人剂量片，防止超剂量照射。

③ 出现事故后，应尽快集中人力、物力，有组织、有计划的及时处理。缩小事故影响，减少事故损失。

④ 处理较复杂的事故时，应该在有资格的安全防护人员的指导和监督下进行，要对事故处理人员进行辐射监测。

⑤ 在事故处理过程中，要在可合理做到的条件下，尽可能减少人员照射。

⑥ 事故处理后应将资料存档保存，及时总结报告。

(2) 中子管丢失、氚靶泄露事故

① 丢失或被盜

如发现中子管丢失，当事人应立即保护现场并启动应急程序：及时封锁现场，禁止人员进入，立即报告辐射安全管理领导小组，在 2h 内报当地环保、卫生、公安部门，并在行政主管部门的部署下展开应急工作，查找、搜寻丢失的放射源。

② 氚靶泄露

发现泄露后，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，立即报告辐射安全管理领导小组，由相关技术人员采取措施将放射源妥善收贮。

一旦有辐射事故发生，公司应当立即启动本单位的辐射事故应急预案，采取必要的防范措施，并在 2h 内填写《辐射事故初始报告表》；对于发生的误照射事故，应首先向当地卫生行政部门报告，发生放射源丢失事故须向当地公安部门报告。将事故形成文字资料留档学习，及时总结经验，防止事故再次发生。

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、管理机构设置及人员配备

西安石油大佳润实业有限公司已发布《关于成立辐射安全管理领导小组的通知》（佳润综字 2018〔04〕号，见附件），以法定代表人为辐射安全领导小组组长，配备 3 名专职人员。领导小组下设办公室，办公室设在延安测井项目部，由项目部部长兼任办公室主任。

二、管理机构主要职责

(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。

辐射安全管理规章制度

根据相关法律法规要求，西安石油大佳润实业有限公司已成立了辐射防护管理机构，制定了系统的辐射环境管理规章制度：《放射性同位素负责人岗位制度》、《放射性同位素相关人员岗位职责》、《放射性同位素工作岗位责任制》、《放射性同位素安全防护管理制度》、《放射性同位素安全操作规程》、《同位素配制及释放器操作规程》、《辐射人员培训制度》、《辐射场所监测制度》、《执行放射源转移、转让、收贮备案制

度》。

建设单位应根据《关于开展核技术利用单位辐射安全管理标准化建设工作的通知》（陕环办发〔2018〕29号）的要求，完善相应的辐射安全管理内容，详见表 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（二）—辐射安全管理部分

管理内容		管理要求	有/无
人员管理	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	有
		年初工作安排的和年终工作总结时，应包含辐射环境安全管理工作内容	有
		明确涉辐部门和岗位辐射安全职责	有
		提供确保辐射安全所需的人力资源及物质保障	有
	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	有
		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	有
		建立辐射安全管理制度，跟踪落实各岗位辐射安全职责	有
		建立辐射环境安全管理档案	有
		对辐射工作场所定期巡查，发现安全隐患及时整改，并有巡查及整改记录	有
		岗前进行职业健康体检，结果无异常	有
		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	有
		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	有
	熟悉辐射事故应急预案的内容，发生异常情况时，能有效处理	有	
	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环境安全管理机构和负责人	有
制度建立与执行	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	
	建立放射性同位素与射线装置管理制度，严格执行进出口、转让、转移、收贮等相关规定，并建立放射性同位素、射线装置台账	需完善	
	建立本单位放射性同位素与射线装置岗位职责、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	需完善	
	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	有	
	建立辐射工作人员剂量管理制度，每季度对辐射工作人员进行个人剂量监测，对剂量超标人员及时复查，保证职业人员健康档案的连续有效性	有	
	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内容），并建立维护、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）	需补充	
	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	需完善	
	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	需补	

	定，并建立检定档案	充
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，定期进行辐射事故应急演练	需完善
	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	

由上表可知，建设单位需补充全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度、监测设备使用与检定制度、辐射安全防护设施维护与维修制度；针对本项目，应补充制定中子管测井仪管理制度、岗位职责、操作规范；完善射线装置台账，将中子发生器纳入监测制度及应急预案中。

运行过程中应严格按照规章制度执行，按照监测计划对辐射环境进行监测，编制年度辐射安全与环境管理评估报告并及时上报辐射环境管理部门。

辐射监测

一、监测仪器

西安石油大佳润实业有限公司现有 4 辆测井车，已配备 4 台 X- γ 辐射检测仪。现有 13 名放射工作人员均已配备个人剂量计。

公司拟为本项目配备 1 台中子检测仪，利用现有 1 台 X- γ 辐射检测仪，并按期检定。为本项目 4 名放射性工作人员配备可监测 γ 射线和中子剂量的个人剂量计。

二、监测计划

根据中子发生器测井作业特点，制定监测计划如表 12-2。

表 12-2 监测计划表

序号	监测点位	监测内容	监测频次
1	测井现场巡测	γ 剂量率、中子剂量当量率	中子管测井仪通电工作时，定期对测井现场监测
2	中子管测井仪表面	γ 剂量率	中子管测井仪出井后监测 1 次
3	测井工作场所	γ 剂量率、中子剂量当量率	委托有资质单位监测 1 次/年
4	个人剂量监测	γ 剂量率、中子剂量当量率	委托有资质单位监测 1 次/季度

监测报告应建立档案，每年对测井工作场所监测结果及个人剂量监测结果进行总结，并纳入辐射安全防护年度评估报告，于 1 月 31 日前向发证机关及当地生态环境部门提交上一年度的评估报告。

环保投资和竣工验收清单

1、环保投资

本项目总投资 1000 万元，其中环保投资 100 万元，占总投资的 10%，主要用于环保设施、辐射安全防护设施建设，个人防护用品购置等。环保投资估算见表 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	专用库房及防护措施、人员配备	50
	γ 射线和中子剂量	警戒线、警示标识等	5
	γ 射线	X-γ 辐射检测仪	/
	中子剂量	中子检测仪 1 台	30
个人防护用品	γ 射线和中子剂量	个人剂量计 4 枚（监测 γ 射线和中子剂量）	3
	γ 射线	铅衣、铅背心、铅手套等 2 套	2
环境管理	完善环境管理制度		2.0
环境监测	工作场所定期监测		5.0
	个人剂量定期监测		3.0
总投资（万元）			100

2、项目竣工环保验收内容及要求

根据《建设项目环境保护管理条例》（国务院第 682 号令，2017 年 10 月 1 日起实施），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	以红头文件形式设立相应机构，并明确相应职责（依托现有）
2	安全设施	专用库房；测井时划分控制区	根据环评要求，专用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
3	监测仪器	配备中子剂量率仪、X-γ 辐射检测仪	中子剂量率仪（新增）、X-γ 辐射检测仪各 1 台（利用现有）
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空气吸收剂量率不大于 2.5μSv/h； 中子发生器断电出井后表面任何可达表面 0.1m 处剂量当量率不超过 1μGy/h
5	人员培训、体检	人员培训、体检	人员取得辐射安全培训合格证，定期体检并建立健康档案

续表 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
6	人员防护及个人剂量管理	铅衣等个人防护用品，可监测 γ 射线和中子剂量的个人剂量计	铅衣等个人防护用品 2 套（新增），可监测 γ 射线和中子剂量的个人剂量计 4 枚；个人剂量每季度监测 1 次，并建立档案
7	标准化建设	根据标准化要求对管理制度、现场测井进行管理	补充全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度、监测设备使用与检定制度、辐射安全防护设施维护与维修制度、中子管测井仪管理制度、操作规范等；确保测井现场操作与管理的标准化

辐射事故应急

1、辐射事故应急预案

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十条之规定，西安石油大佳润实业有限公司已制定了《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

提出危险源监控相关措施及突发事件预警流程及措施。

- (4) 信息报告程序

明确了向公司报告及政府主管部门报告的程序及途径，并附联系方式。

- (5) 应急处置

明确事件响应分级、响应程序及详细的处置措施。

- (6) 应急物资及装备保障

列出应急物资清单及作业队医疗急救配置清单，定期对应急设备进行检查维护并记录。

2、应急预案执行情况

根据现场调查，西安石油大佳润实业有限公司运行至今尚未发生放射性相关事故，未启动过该应急预案。

本项目运行后，应根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》、《陕西省放射性污染防治条例》以及《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

设工作项目表>的通知》（陕环办发〔2018〕29号）中对于辐射事故应急预案的要求，将本项目纳入现有辐射事故应急预案管理体系，同时明确应急组织指挥体系和职责分工，确定应急人员培训内容并定期组织辐射事故应急演练，演练结果进行存档，并不断总结优化。

表 13 结论与建议

一、结论

1、项目概况

项目名称：中子管测井核技术利用项目

建设单位：西安石油大佳润实业有限公司

建设性质：新建

建设内容：新增 1 台中子管测井仪，中子强度为 $1.5 \times 10^8 \text{n/s}$ ，内含氚靶活度为 $4.81 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，在延安地区开展测井活动。其中中子管属于 II 类射线装置，氚靶属于 V 类放射源。

2、实践正当性结论

西安石油大佳润实业有限公司在延安地区开展中子管测井项目，主要用于测量注水井内的注水层位及注水量。项目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。

3、辐射安全防护内容

西安石油大佳润实业有限公司应按照报告中提出的要求，在测井工作前，划分控制区、监督区；配备相应的监测仪器和个人防护用品，对测井作业中的个人剂量、辐射环境状况进行监测；按照相关标准规范，对中子管的贮存、运输、使用及废旧放射源处理过程进行管理，确保本项目实施过程中的辐射安全防护。

4、环境影响分析结论

通过理论计算分析，项目运行后中子管测井现场周围的中子剂量当量率和 γ 剂量当量率可以达到本底水平，不会对周围环境造成辐射影响。

通过剂量估算，本项目放射性工作人员所受年有效剂量为 0.035mSv ；与现有项目个人剂量叠加后最大年个人剂量当量为 0.265mSv ，满足《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（职业工作人员 $< 5 \text{mSv}$ ）。项目运行后不会对公众产生附加剂量。

中子管废弃后，其内的氚靶按照放射性废物管理，由中子管生产厂家回收，放射性废物可以妥善处置。

4、辐射安全管理分析

西安石油大佳润实业有限公司已按照相关要求，成立辐射防护与安全管理机构，制定了一系列辐射安全管理制度、人员培训制度、辐射监测制度及辐射事故应急预案，用于指导、规范生产作业过程中的辐射安全。公司严格按照规章制度执行，可有效避免人为事故的发生，保证辐射安全。针对本项目新增的中子管测井仪，应进一步完善相关操作规程、岗位职责、监测制度等规章制度，将其纳入公司辐射安全管理体系中。

5、环境影响可行性结论

西安石油大佳润实业有限公司拟新增 1 台中子管测井仪，在延安地区开展测井活动。项目符合辐射防护实践的正当性要求，在严格执行国家相关法律法规和标准要求，落实报告中提出的防护措施后，可以使辐射影响达到合理尽可能低的水平，满足辐射防护最优化原则。项目运行所致工作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，符合剂量限值约束原则。从辐射环境保护角度，本项目可行。

二、建议和承诺

1、建设单位在项目投入运行前，应及时对本项目进行竣工环保验收，并变更辐射安全许可证。

2、按标准化建设要求补充相关辐射安全管理规章制度，完善应急预案，定期开展辐射事故应急演练，增强事故应急能力，常备不懈。

3、中子管测井放射工作人员必须经过业务培训，熟练掌握操作方法后方可进行中子管测井操作。辐射安全培训合格证书过期后应及时进行培训，重新取得合格证后方可上岗。

4、公司应配备辐射监测仪器，对测井现场进行监测；总结工作场所及个人剂量监测结果，于次年 1 月 31 日前向发证机关及当地环境主管部门报送辐射环境年度评估报告。

表 14 审批

预审意见:

经办人:

单位公章

年 月 日

下一级环境保护行政主管部门审查意见：

经办人：

单位公章

年 月 日