

电驱压裂设备技术在川渝地区的优化与应用

余家同, 槐巧双, 刘琨, 林春来

中国石油集团渤海钻探工程有限公司井下技术服务分公司 天津 300283

通讯作者: Email: 1072764572@qq.com

项目支持: 中国石油集团油田技术服务有限公司重大技术研究项目“非常规深层、超深层储层改造关键技术研究与应用”(2024T-001-003-02)

引用: 余家同, 槐巧双, 刘琨, 等. 电驱压裂设备技术在川渝地区的优化与应用[J]. 油气井测试, 2024, 33(6): 48-53.

Cite: YU Jiatong, HUAI Qiaoshuang, LIU Kun, et al. Optimization and application of electric drive fracturing equipment technology in the Sichuan Chongqing region[J]. Well Testing, 2024, 33(6): 48-53.

摘要 随着工厂化压裂和体积压裂 2.0 工艺在川渝地区广泛应用, 电驱压裂设备技术替代柴驱压裂设备技术成为川渝地区开发非常规油气藏的主要手段, 由于作业区域供电限制, 急需对电驱压裂设备技术进行优化。通过对川渝地区电驱压裂设备技术进行设备选型、电网供电优化、柴电混驱设备配置、设备施工评价、停电应急方案等方面的研究, 总结出符合川渝地区压裂施工需求的电驱+柴驱压裂施工方案, 满足了川渝地区非常规油气藏的开发需求。电驱+柴驱的混驱压裂施工方案在泸 203H66 平台的成功应用, 相较于柴驱压裂施工方案经济环保性更强, 减少碳排放量 $1\ 605.9 \times 10^3$ t, 节省燃料费用 190.71 万元。为川渝地区电驱压裂设备技术的现场应用提供有效借鉴。

关键词 川渝地区; 工厂化压裂; 电驱压裂设备; 非常规油气藏; 供电限制; 电网供电优化; 柴电混驱; 停电应急方案

中图分类号: TE934

文献标识码: B

DOI: 10.19680/j.cnki.1004-4388.2024.06.008

Optimization and application of electric drive fracturing equipment technology in the Sichuan Chongqing region

YU Jiatong, HUAI Qiaoshuang, LIU Kun, LIN Chunlai

Downhole Technical Service Company, CNPC Bohai Drilling Engineering Co., Ltd., Tianjin 300283, China

Abstract: With the widespread application of industrial fracturing and volume fracturing 2.0 technology in Sichuan and Chongqing areas, electric fracturing equipment technology has become the main means to replace diesel fracturing equipment technology to develop unconventional oil and gas reservoirs in Sichuan and Chongqing areas. Due to the limited power supply in operation areas, it is urgent to optimize the electric fracturing equipment technology. Based on the research of electric drive fracturing equipment technology in Sichuan and Chongqing area, such as equipment selection, power supply optimization, diesel-electric hybrid drive equipment configuration, equipment construction evaluation, power outage emergency plan, etc., the electric drive + diesel-drive fracturing construction plan meeting the needs of fracturing construction in Sichuan and Chongqing area is summarized, which meets the development needs of unconventional oil and gas reservoirs in Sichuan and Chongqing area. The successful application of the hybrid fracturing construction scheme of electric drive + diesel drive in the Lu 203H66 platform has stronger economic and environmental protection compared with the diesel drive fracturing construction scheme, reducing carbon emission by $1\ 605.9 \times 10^3$ t and saving fuel cost by 1.907 1 million yuan. It provides an effective reference for the field application of electric drive fracturing equipment technology in Sichuan and Chongqing area.

Keywords: Sichuan-Chongqing area; industrial fracturing; electric drive fracturing equipment; unconventional reservoirs; power supply constraints; grid power optimization; diesel-electric hybrid drive; power outage contingency plan

川渝地区页岩气、致密气等非常规油气藏资源丰富, 随着非常规油气藏开发技术不断更新迭代, 压裂酸化施工规模越来越大, 对压裂设备的施工要求也随之更高^[1-2]。传统柴驱压裂设备在经济环保、施工性能等方面的弊端被放大, 已不能满足对

非常规油气藏的压裂酸化施工^[3]。电驱压裂设备技术在非常规油气藏的勘探开发中被大力应用, 电驱压裂已成为当前开发川渝地区非常规油气藏的主要设备研究方向^[4]。目前, 电驱压裂设备技术已在全国多个油田区块规模应用, 具有施工效率高、

节能减排等优势。2023 年,李来鸿等^[5]对胜利油田义 193-X28 井电驱压裂施工项目进行分析、研究,对油田电驱压裂所需供电质量提出相关施工建议;武志学等^[6]总结长庆油田陇东页岩油区块成套电驱压裂设备实验,应用结果表明电驱压裂设备具有单机效率高、污染低的施工特点。

本文分析了电驱压裂设备技术在川渝地区应用中存在的问题,从设备选型、供电方案、设备配置方案等方面制定针对性解决方案,并在泸 203H66 平台成功运用,有效提高该平台压裂酸化施工质量。

1 柴驱压裂设备使用困境

传统柴驱压裂设备在施工性能、经济效益、安全环保等方面已不能满足川渝地区的压裂酸化施工,严重制约当前川渝地区非常规油气藏的开发进度,主要表现在以下几个方面:

- (1)道路和井场受限。川渝地区页岩气、致密气产区的地貌以丘陵、浅丘为主,道路险峻,压裂泵车的行驶存在非常大的交通安全隐患。并且井场的布井多为“小井场大井丛”开发模式,储层改造规模大,设备设施数量多,现场空间不足以规划出安全施工距离,存在很大的安全隐患^[7]。
- (2)设备固定成本高。传统压裂设备多为带有车辆底盘的压裂泵车,一个平台施工周期多为 2~3 个月,导致压裂泵车的底盘长期闲置,沉没成本巨大。且车辆底盘需要定期保养维护,无形中增加了设备成本^[8]。
- (3)连续施工受限。柴驱压裂设备会产生巨大的噪声污染,压裂作业时噪声测量值最大值为 109.3 dB,严重超过规定噪声标准,遭到井场周围居民的大量投诉,无法实现 24 h 连续压裂酸化作业,

严重影响施工效率^[9]。

(4)尾气污染严重。每台 2500 型柴驱压裂泵车在施工压力为 90~105 MPa 的作业条件下,每方砂液量会大约消耗 7.9 L 柴油。若每段泵注砂液量为 2 500 m³,年施工量 400 段,则消耗 0 号柴油 663.6×10⁴ t,将会向大气排放二氧化硫 85.96 t,烟尘颗粒 57.29 t,氮氧化物 67.18 t^[10]。

2 电驱压裂设备配置技术优化

电驱压裂设备在动力源上放弃以柴油为动力燃料的驱动模式,改为使用电能驱动压裂设备,对供电要求高。川渝两省作为水资源大省,水利发电量大,电网架设密集,这为电驱压裂设备提供了先天条件,使得电驱压裂设备更适用于当前川渝地区的压裂酸化施工,并获得非常高的适用性^[11]。但是,由于川渝地区井场布置密集,电驱压裂施工受到同一作业区域多个压裂平台的影响,往往不能满足全电驱设备压裂施工。因此,需要对电驱压裂设备技术进行优化,以适配川渝地区压裂酸化施工需求。

2.1 电驱压裂设备选型

电驱压裂设备已在川渝地区规模化应用,该地区内施工排量在 14~18 min/m³,页岩气施工限压 120 MPa,平均作业压力 100 MPa;致密气施工限压 90 MPa,平均作业压力 70 MPa。页岩气、致密气的开发区域都处于丘陵、浅丘地貌,综合考虑井场周围区域电网分布及负载能力,压裂施工选用电驱压裂设备型号为:JRYLQ95-5000D 压裂泵撬+JRHSQ20D 混砂撬+GYQ160D 供液撬+CBQ24-2 仪表撬组合;电驱压裂辅助设备型号为:35 kV 移动变电站+变频器撬+变电整流撬,电驱设备配置参数见表 1。

表 1 电驱设备主要配置参数
Table 1 Main configuration parameters of electric drive equipment

设备名称	占地面积/m ²	质量/t	施工噪音/dB	电机功率/kW	主要参数
JR5000D 压裂泵撬	18.75	30.5	<80	3 350	最大排量:2.06 m ³ /min(97.7 MPa);2.54 m ³ /min(79.1 MPa) 最大理论压力:137.9 MPa(114.3 mm 柱塞);111.7 MPa(127 mm 柱塞) 最大输出功率:3,675 kW
JRHSQ20D 混砂撬	23.64	23.6	<75	380(吸入泵) 450(排出泵)	最大排量:20 m ³ /min 最大排出压力:0.6 MPa 支撑剂添加能力:300~10 000 kg/min
GYQ160D 供液撬	15.36	12.6	<65	550	最大排量:20 m ³ /min
CBQ24-2 仪表撬	20.60	6.0	<10		可对 24 台压裂设备、2 台混砂设备进行控制
35 kV 移动变电站	27.00	36.0	<50		可输出 3 路 10 kV 电路至 3 台变频器撬
变频器撬	19.14	25.0	<50		可输出 3 路 3 300 V 电路,控制 3 台 JR5000 型电撬
变电整流撬	18.27	24.0	<50		可输出 220 V、380 V、1 600 V 直流电路,控制压裂辅助设备

2.2 高压电网供电方案优化

电驱压裂施工适合在电网资源丰富的区域,在页岩气、致密气平台使用电驱压裂设备施工准备前,应向供电公司递交用电申请等相关手续,申请 35 kV 的输电线路。因此当电驱压裂设备作业时,需求电量是由作业压力和施工排量决定,根据经验公式可求得需求电量。供电系统容量需考虑供电余量 10%,电驱压裂设备用电功率见表 2。

表 2 电驱压裂设备用电功率

Table 2 Electric power consumption of electric fracturing equipment

开发类型	施工限压/ MPa	平均工作压力/ MPa	平均单段液量/ m ³	单日施工段数	施工排量/ (m ³ ·min ⁻¹)	用电功率/ kW·A
页岩气	120	100	2 700	4	13	28 000
					14	30 000
					15	32 000
致密气	90	70	1 600	3	13	21 000
					14	23 000
					15	24 000

设备所需电网功率计算

$$w_f = Q \times P_{\max} \times 16.67 \tag{1}$$

$$w_{\text{act}} = w_f + w_s \tag{2}$$

$$W_{\text{tol}} = \frac{W_{\text{act}}}{\cos \varphi} \tag{3}$$

式中: w_f 为主压设备用电功率, kW; Q 为施工排量, m³/min; P_{\max} 为施工限压, MPa; w_{act} 为压裂设备需求有效功率, kW; w_s 为辅助压裂设备用电功率(电驱混砂撬、电驱供液撬、电驱仪表撬、电驱砂囤等), kW; $\cos \varphi$ 为功率因数, 因素值 0.91~0.95; W_{tol} 为供电系统总电容量, kW。

单台 35 kV 移动变电站电功率为 16 000 kW·A, 若整套电驱压裂设备所需电功率大于 16 000 kW·A, 则需要配套 2 台 35 kV 移动变电站。从图 1 可以看出, 35 kV 网电线路通过独立分线箱与 2 个 35 kV 移动变电站相连接, 输出 3 路 10 kV 施工用电线, 可与 3 台变频器撬连接, 或者 2 台变频器撬和 1 台变电整流撬连接。变频器撬输出 3 路 3 300 V 交流电线路, 1 台变频器撬可带动 3 台 JR5000D 电驱压裂泵撬; 变电整流撬可输出 220 V、380 V、1 600 V 三种直流电线路, 220 V 为预留线路, 可连接相关施工辅助设备, 380 V 连接仪表撬和电供液泵, 1 600 V 连接电驱混砂撬。

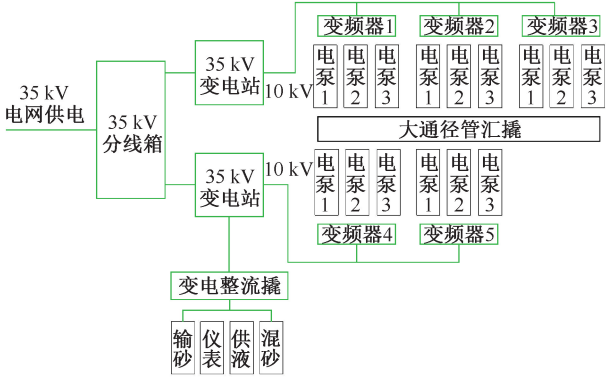


图 1 电网电路设备连接线路图

Fig. 1 Connection diagram of power grid circuit equipment

2.3 电驱+柴驱设备配置方案

国家电网实际供电量由于季节原因会有很大波动,处于夏、冬两季时,若同一供电区域内有两支以上压裂队使用电驱压裂设备进行施工,电网负载大,电力保障将出现安全隐患。只使用电驱压裂撬进行压裂作业,35 kV 移动变电站的处理能力不能小于电驱压裂用电功率,需要考虑 35 kV 移动变电站、变频器撬与用电功率的适配问题,否则会大大提高设备成本。

为保证压裂施工的安全进行,同时从经济适用的角度出发,优选柴电混驱压裂设备配置,柴驱压裂设备进行施工排量补充^[15]。

2.3.1 主压设备最优排量

页岩气、致密气现场施工时,电驱压裂主压设备选用 JR5000D 电驱压裂泵撬,柴驱压裂设备选用市场覆盖率最高的 2000 型与 2500 型压裂泵车(撬)。压裂主压设备单机配置最优排量,需要考虑设备在合理的泵冲范围内,同时还需要考虑压裂设备在突发情况下提档恢复排量的承载能力,在平均作业压力内 3 种型号压裂设备进行最优排量对比见表 3。

表 3 压裂设备最优排量

Table 3 Optimal displacement of fracturing equipment

开发类型	平均作业压力/MPa	设备型号	最优排量/(m ³ ·min ⁻¹)
页岩气	100	2000 型柴驱压裂泵车(撬)	0(2000 型压裂泵车头不具备超高压下的工作能力)
		2500 型柴驱压裂泵车(撬)	0.9
		JR5000D 电驱压裂泵撬	1.4
致密气	70	2000 型柴驱压裂泵车(撬)	0.9
		2500 型柴驱压裂泵车(撬)	1.1
		JR5000D 电驱压裂泵(撬)	2.0

2.3.2 压裂配套设备配置方案

川渝地区压裂施工限压在 90 MPa 以上,2000 型柴驱压裂泵车的施工性能相较与 2500 型柴驱压裂泵车(撬)和 JR5000D 电驱压裂泵撬相差很大,故不采用 2000 型柴驱压裂泵车(撬)进行主压

施工。2000 型柴驱压裂泵车符合“拉链式”作业时的泵送设备性能要求,且不会性能过剩。可在一口井进行主压时,对另一口井进行泵送桥塞作业,进行“拉链式”作业。根据设计排量,压裂设备配置见表 4。

表 4 压裂设备配置
Table 4 Fracturing equipment configuration

开发类型	施工压力/MPa	设计排量	电驱压裂泵撬/台	柴驱设备/台	压裂辅助设备/台
页岩气	100	14	8+1(备用设备)	4+3(泵送设备)	1(混砂撬)+1(仪表撬)
		16	9+1(备用设备)	4+3(泵送设备)	1(混砂撬)+1(供液撬)+1(仪表撬)
		18	11+1(备用设备)	6+3(泵送设备)	1(混砂撬)+1(供液撬)+1(仪表撬)
致密气	70	14	6+1(备用设备)	2+2(泵送设备)	1(混砂撬)+1(仪表撬)
		16	7+1(备用设备)	2+2(泵送设备)	1(混砂撬)+1(供液撬)+1(仪表撬)
		18	8+1(备用设备)	2+2(泵送设备)	1(混砂撬)+1(供液撬)+1(仪表撬)

在该配置下,可保障电力供应不足时,柴驱压裂设备能参与压裂施工当中。或者在停电状态下,柴驱压裂设备能迅速启动,并将井筒内的砂液完全顶替进地层之中,防止井下复杂事故的发生。

在该配置下,可保障电力供应不足时,柴驱压裂设备能参与压裂施工当中。或者在停电状态下,柴驱压裂设备能迅速启动,并将井筒内的砂液完全顶替进地层之中,防止井下复杂事故的发生。

2.4 电驱压裂设备施工评价

相较于传统柴驱压裂,电驱压裂在设备维护、安全环保、功率输出、经济适用等方面均占优势,不再依靠进口柴油发动机、变速箱等昂贵易损件,且省去了维修保养费用。而电驱压裂泵的电机、移动变电站、变频撬均可国产,设备成本大幅降低 20%^[16]。

压裂泵车在升挡提排量时,受变速箱的影响,发动机转速波动大,动力端泵冲提升不平稳,导致作业压力在设备换挡时产生波动,影响施工质量。电驱压裂设备适用电机作为驱动装置可以实现无极调速,电机转速、泵冲提升平稳,作业压力不会因设备因素产生额外波动,提升施工人员对地层压裂情况的判断,减少井下事故复杂的发生。

2.5 电驱压裂设备停电应急方案

停电状态下电驱压裂设备无法运行,为保障压裂酸化施工的正常进行,需要根据现场实际情况制定停电应急方案,防止施工事故复杂的发生。电驱压裂施工通常采用 3 种应急方案保障突发情况下的正常运行,停电应急处置流程如图 2。

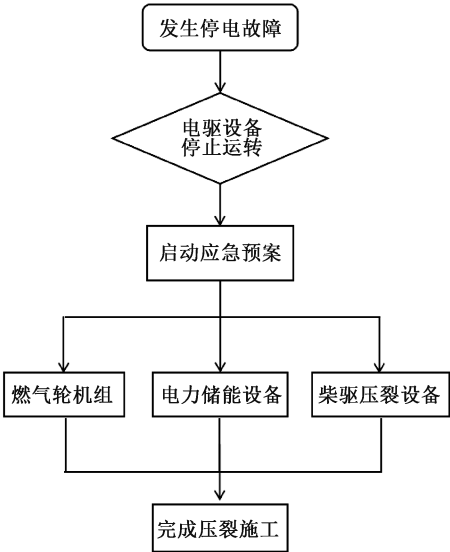


图 2 停电应急处置流程图
Fig. 2 Emergency response process for power outage

- (1)施工现场可配置大功率燃气轮机组,在停电状态下马上启动为电驱压裂设备供给电流,保障压裂施工正常进行。得益于北美天然气价格低廉,该应急方案已在北美电驱压裂施工中作为主力供电设施使用。
- (2)施工现场可配置工业电力储能设备,在施工等停期间对储能设备进行充电,在停电状态下可供给电驱压裂设备稳定电流。但受限于施工成本,工业电力储能设备无法在施工现场大规模配置。因此在停电状态下,该应急方案无法长时间保障压裂施工的正常运行。
- (3)施工现场采用电驱+柴驱压裂设备配置方案,在停电及其他异常状况下,启动柴驱压裂设备进行压裂施工,最大限度保障了施工的正常进行,

当前川渝页岩气压裂现场大多使用该应急方案。

3 电驱压裂设备现场配置与应用

使用川渝地区电驱压裂设备技术配置优化方案在泸 203H66 平台进行现场应用,并对现场使用情况进行详细记录,分析对比柴电混驱(混电)压裂模式与传统柴驱压裂模式的优劣情况。

3.1 压裂施工概况

泸 203H66 平台开发资源类型为页岩气,使用“工厂化”+“拉链式”压裂模式,采用体积压裂 2.0 工艺,施工限压 120 MPa,设计排量 16~18 m³/min。

3.2 压裂设备配置

泸 203H66 平台优选电驱+柴驱压裂设备配置方案,12 台 5000 型电驱压裂泵撬、6 台 2500 柴驱压裂泵车、100 桶柴驱混砂车、柴驱供液撬、电驱混砂撬和电驱供液撬参与施工。100 桶柴驱混砂车、柴驱供液撬为应急压裂设备,只在停电状态下参与施工。

电驱混砂撬和电驱供液撬同时供液,减阻剂由电驱混砂撬按施工指挥进行精细控制添加,实现低粘滑溜水、中粘滑溜水、高粘滑溜水的快速切换;支撑剂的添加由电驱混砂撬和立式连续输砂装置完成,最大砂流量为 5 m³/min,连续输砂装置中有 4 个仓储间,可分别添加 30 m³ 不同型号的支撑剂,通过控制阀门实现切换不同型号支撑剂。当施工排量在 10 m³/min 以内时,可启用纯电驱压裂设备;当施工排量大于 10 m³/min 时,则需要启用柴驱压裂设备,采用柴电混驱(混电)压裂模式。

泸 203H66 平台采用“工厂化”+“拉链式”施工模式,将需要施工的每口井分为主压管线流程和泵送桥塞管线流程连接起来,相互连通,通过分流阀撬和旋塞阀进行独立的主压作业和泵送桥塞作业,实现“拉链式”压裂施工。泵送桥塞作业由独立的 3 台 2000 型柴驱压裂设备连接在泵送管线流程上进行施工,不参与主压作业,压裂设备井场摆放及注入流程配置如图 3。

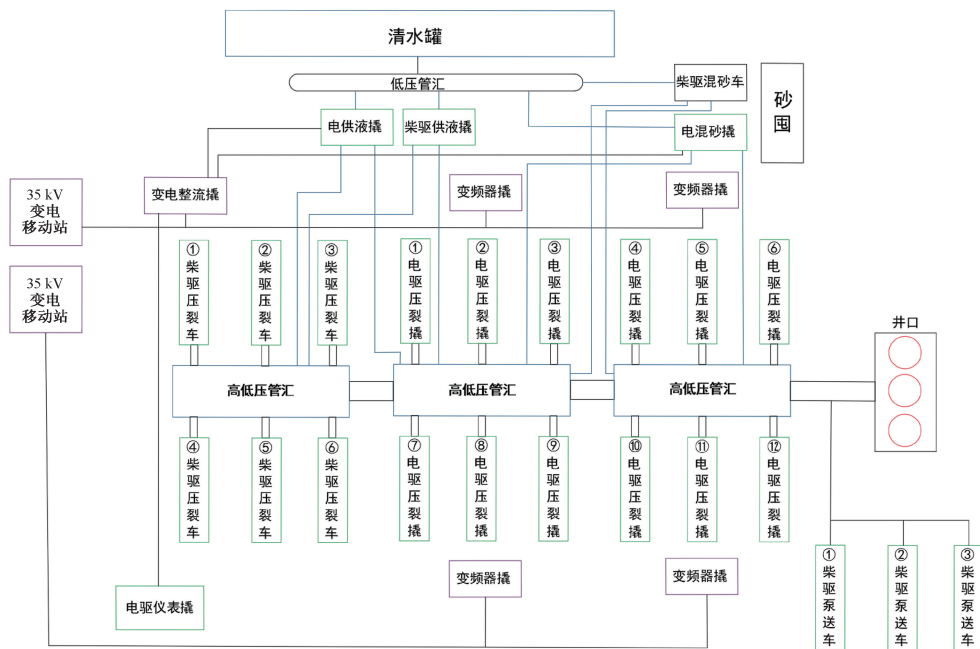


图 3 泸 203H66 平台电驱+柴驱混动压裂设备井场摆放及注入流程配置

Fig. 3 Well site placement and injection process configuration of electric drive+diesel drive hybrid fracturing equipment for Lu 203h66 platform

3.3 压裂施工应用情况

2023 年上半年,在泸 203H66 平台进行电驱压裂作业,使用成熟的柴电混驱压裂设备配置方案共施工 3 口井,完成储层改造 71 段,每日压裂施工 3 段,累计加砂 9 132.61 t,泵注总液量 101 464.5 m³,施工用电量 2 073 079 kW·h。按照常规燃油设备在泸州页岩气区块施工的泵注耗油比计算,减少柴油消

耗 505×10³ t(601 177.16 L),减少碳排放量 1 605.9×10³ t,节省燃料费用 190.71 万元。

4 结论

(1)电驱压裂设备维护频率低、操作人数更少,拥有 24 h 连续施工的作业能力,且使用区域电网供电,碳排放量几乎为零,更加环保。

(2)可在油气资源丰富的地区提前统筹部署大容量变电站,提升向同一作业区域多个施工平台供电的能力,实现全电驱钻井、压裂施工。

(3)对川渝地区油气藏进行储层改造时,当施工压力 ≤ 60 MPa,网电负荷较低,可使用纯电驱驱动压裂设备配置方案;当施工压力 >60 MPa,网电负荷较大,推荐使用电驱+柴驱混驱压裂设备配置方案,保障压裂酸化施工的安全进行。

(4)当前川渝地区压裂施工设备优选方案为柴驱+电驱混驱压裂设备配置,以提升停电状态下的应急处置能力,减少井下事故复杂的发生。并且鉴于川渝地区丰富的气藏资源,建议引进大功率燃气轮机组作为主要供电方案,以提升电驱压裂设备的施工稳定性。

致谢:感谢渤海钻探井下技术服务分公司同意本文公开发表。

参考文献

- [1] 曹学军,王明贵,康杰,等. 四川盆地威荣区块深层页岩气水平井压裂改造工艺[J]. 天然气工业,2019,39(7): 81-87.
CAO Xuejun, WANG Minggui, KANG Jie, et al. Fracturing technologies of deep shale gas horizontal wells in the Weirong block, southern Sichuan basin [J]. Natural Gas Industry, 2019, 39(7): 81-87.
- [2] 郑新权,何春明,杨能宇,等. 非常规油气藏体积压裂2.0工艺及发展建议[J]. 石油科技论坛,2022,41(3): 1-9.
ZHENG Xinquan, HE Chunming, YANG Nengyu, et al. Volumetric fracturing 2.0 process for unconventional oil and gas reservoirs and R&D suggestions [J]. Petroleum Science and Technology Forum, 2022, 41(3): 1-9.
- [3] 彭平生,李莉莉,刘灼,等. 柴驱压裂泵送设备换挡特性分析与应用优化[J]. 石油和化工设备,2022,25(10): 65-67.
PENG Pingsheng, LI Lili, LIU Zhuo, et al. Shift characteristics analysis and application optimization of diesel drive fracturing pumping equipment [J]. Petroleum and Chemical Equipment, 2022, 25(10): 65-67.
- [4] 林蕾. 电驱压裂泵在页岩气开发中的优势分析[J]. 设备管理与维修,2020,(15): 31-32.
LIN Lei. Analysis of the advantages of electric drive fracturing pumps in shale gas development [J]. Equipment Management and Maintenance, 2020, (15): 31-32.
- [5] 李来鸿,王雅欣,张黎明,等. 油田电驱压裂技术研究与应用[J]. 装备机械,2023,(2): 28-34.

- LI Laihong, WANG Yaxin, ZHANG Liming, et al. Research and application of oilfield electric drive fracturing technology [J]. Equipment Machinery, 2023, (2): 28-34.
- [6] 武志学,王彦伟,杨成. 成套电驱压裂设备在长庆油田页岩油压裂改造中的应用[J]. 石油地质与工程,2023,37(3): 111-114.
WU Zhixue, WANG Yanwei, YANG Cheng. Application of complete electric drive fracturing equipment in shale oil fracturing reconstruction of Changqing oilfield [J]. Petroleum Geology and Engineering, 2023, 37(3): 111-114.
- [7] 王庆群. 利用电力开展页岩气压裂规模应用的分析及建议[J]. 石油机械,2018,46(7): 89-93.
WANG Qingqun. Analysis and suggestion on the application of electric power on shale gas fracturing [J]. China Petroleum Machinery, 2018, 46(7): 89-93.
- [8] 童征,展恩强,刘颖,等. 国内电驱压裂经济性和制约因素分析[J]. 国际石油经济,2020,28(7): 53-62.
TONG Zheng, ZHAN Enqiang, LIU Ying, et al. Analysis of economy and constraints of electric-powered fracturing application in China [J]. International Petroleum Economics, 2020, 28(7): 53-62.
- [9] 李阳,陈立荣,张晖,等. 四川页岩气钻井及压裂作业边界噪声调查与分析[J]. 油气田环境保护,2020,30(4): 12-16.
LI Yang, CHEN Lirong, ZHANG Hui, et al. Investigation and analysis of the boundary noise of routines shale gas drilling and fracturing operation in Sichuan [J]. Environmental Protection of Oil & Gas Fields, 2020, 30(4): 12-16.
- [10] 徐强. 页岩气开发中电动泵压裂技术应用的效益分析[J]. 江汉石油职工大学学报,2023,36(4): 100-102.
XU Qiang. Analysis of the benefits of electric pump fracturing technology in shale gas development [J]. Journal of Jiangnan Petroleum University of Staff and Workers, 2023, 36(4): 100-102.
- [11] 彭俊威,周青,戴启平,等. 国内大型压裂装备发展现状及分析[J]. 石油机械,2016,44(5): 82-86.
PENG Junwei, ZHOU Qing, DAI Qiping, et al. Development status and analysis of domestic large-scale fracturing equipment [J]. China Petroleum Machinery, 2016, 44(5): 82-86.

编辑 方志慧

第一作者简介:余家同,男,1995年出生,工程师,工学硕士,2021年毕业于西南石油大学油气井工程专业,现从事压裂酸化施工现场工作。电话:13108960661,Email:1072764572@qq.com。通信地址:天津市滨海新区港西大道640号渤海钻探工程公司井下技术服务公司,邮政编码:300280。