

引用格式:赵崇胜,王波,苟波,等.深部煤层气油电混驱压裂设备配置与工艺技术[J].油气藏评价与开发,2025,15(2):292-299.

ZHAO Chongsheng, WANG Bo, GOU Bo, et al. Equipment configuration and process technology of hybrid oil-electric fracturing for deep coalbed methane[J]. Petroleum Reservoir Evaluation and Development, 2025, 15(2): 292-299.

DOI: 10.13809/j.cnki.cn32-1825/te.2025.02.014

深部煤层气油电混驱压裂设备配置与工艺技术

赵崇胜,王波,苟波,罗鹏飞,陈国军,巫国全

(中国东方电气集团有限公司四川宏华电气有限责任公司,四川成都 610036)

摘要:为了解决深部煤层气储层改造中,油电混驱压裂设备的配置技术问题,以鄂尔多斯盆地东缘大宁—吉县区块吉深11-7A平台深部煤层气油电混驱压裂设备配置为例,从压裂泵组功率计算、考虑输电线路功率损耗和辅助系统功率的电网容量计算、运输和混砂装置能力、低压管汇系统供液能力计算、高压管汇系统和仪表撬功能等方面提出了具体配置要求,结合压裂施工要求与设备作业能力,提出了深部煤层气油电混驱压裂设备计算配置方法,在平台3口井进行了应用。应用结果表明,形成的配套方法满足深部煤层气高压、大排量、高砂比、大砂量和24 h连续压裂作业的要求。在满足泵组功率储备系数1.3的条件下,功率冗余系数为1.46;电网申请容量19 000 kVA大于线路需求总计容量18 269 kVA,满足用电要求;运砂、混砂设备和低压供液设备能力等也满足实际需求。吉深11-7A平台从2024年3月10日开始,2024年3月31日结束压裂施工。施工压力介于55~75 MPa,排量介于19~20 m³/min,风险层段排量介于14~16 m³/min,砂比6%~24%,单泵最大排量为2.0 m³/min。3口井的累计总液量为73 926.7 m³,电泵总液量为36 458.1 m³,累计电量719 200 kW·h。完成3口井34段压裂施工,完成了“中国首座油电混驱深部煤层气平台”水平井储层改造。研究结果可以为深部煤层气油电混驱压裂施工提供设备配置计算方法,对中国其他油气区块压裂施工设备配置具有一定的借鉴意义。

关键词:深部煤层气;油电混驱压裂;设备配置;作业模式;大宁—吉县区块

中图分类号:TE934

文献标识码:A

Equipment configuration and process technology of hybrid oil-electric fracturing for deep coalbed methane

ZHAO Chongsheng, WANG Bo, GOU Bo, LUO Pengfei, CHEN Guojun, WU Guoquan

(Sichuan Honghua Electric Co., Ltd., Dongfang Electric Corporation, Chengdu, Sichuan 610036, China)

Abstract: In order to address the technical challenges in equipment configuration for hybrid oil-electric fracturing in deep coalbed methane reservoir modification, this study used the configuration of hybrid oil-electric fracturing equipment for deep coalbed methane at the Jishen 11-7A platform in the Daning-Jixian block on the eastern edge of the Ordos Basin as a case study. Specific configuration requirements were proposed in aspects such as the calculation of fracturing pump group power, power grid capacity calculation considering power loss in transmission lines and auxiliary system power, the capacity of transportation and sand mixing equipment, calculation of the liquid supply capacity for the low-pressure manifold system, and the functions of the high-pressure manifold system and instrument skid. A method for calculating the configuration of hybrid oil-electric fracturing equipment for deep coalbed methane was proposed by integrating fracturing operation requirements with equipment performance and applied to three wells on the platform. The application results showed that the developed configuration method met the requirements for high pressure, large displacement, high sand ratio, large sand volume, and 24-hour continuous fracturing operations in deep coalbed methane. With a pump power reserve factor of 1.3, the power redundancy factor was 1.46. The applied capacity of 19 000 kVA exceeded the total line demand of 18 269 kVA, meeting power demand. The capabilities of sand transportation, sand mixing, and low-pressure liquid supply equipment also met operational requirements. Fracturing operations at the Jishen 11-7A platform began on March 10, 2024, and concluded on March 31, 2024. The operating pressure ranged from 55 to 75 MPa, with

收稿日期:2024-06-03。

第一作者简介:赵崇胜(1982—),男,本科,高级工程师,主要从事电动压裂工程系统研发设计与运营管理工作。地址:四川省成都市金牛区信息园东路99号,邮政编码:610036。E-mail: zhaocs@hhcp.com.cn

通信作者简介:王波(1983—),男,硕士,高级工程师,主要从事油气压裂工程系统设备的故障诊断与优化设计工作。地址:四川省成都市金牛区信息园东路99号,邮政编码:610036。E-mail: 32414471@qq.com

基金项目:四川省科技成果转移转化示范项目“150 MPa超高压深层页岩气压裂成套智能装备示范应用及产业化”(2024ZHCG0064)。

a displacement of 19 to 20 m³/min and 14 to 16 m³/min in risk zones. The sand ratio ranged from 6% to 24%, with a maximum single-pump displacement of 2.0 m³/min. The three wells had a total liquid volume of 73 926.7 m³, including 36 458.1 m³ from the electric pump, with a total electricity consumption of 719 200 kW·h. A total of 34 fracturing sections across 3 wells were finished, completing the reservoir reconstruction of the horizontal wells of China's First Hybrid Oil-Electric Deep Coalbed Methane Platform. The findings provide a method for configuring fracturing equipment in deep coalbed methane operations and offer insights for fracturing equipment configuration in other oil and gas blocks in China.

Keywords: deep coalbed methane; hybrid oil-electric fracturing; equipment configuration; operation mode; Daning-Jixian block

中国煤层气资源丰富,已在鄂尔多斯盆地和沁水盆地建成2个煤层气勘探开发一体化产业基地,水力压裂是储层改造的主要手段^[1-3]。近年来,逐步从浅层和中层向深部(埋深大于2 000 m)煤层气开采方向发展,但深部煤层气开采难度较大,勘探开发与工艺技术都还处于摸索中^[4-6]。

美国和加拿大在油电协同压裂装备技术已有一些适应当地的成熟技术与经验^[7-8]。刘克强等^[9]介绍了工厂化连续供水、连续混配、连续供砂和柴驱连续泵注压裂车等设备。彭俊威等^[10]介绍了柴油驱动、涡轮驱动、全液压驱动、电驱压裂车和撬装压裂泵等不同驱动方式压裂泵。王庆群^[11]提出了统一规划和管理35 kV电网,利用电力开展页岩气压裂规模应用。唐瑞欢^[12]介绍了川渝地区页岩气压裂设备新方向。刘红磊等^[13]梳理了中国石化页岩气电驱压裂技术现状及发展建议。樊建平等^[14]对鄂尔多斯盆地“井工厂”压裂施工作业流程及设备配套进行了举例说明。闫育东等^[15]对长庆区域电驱压裂装备配套技术进行了研究。吴汉川等^[16]对柴驱压裂设备的选择与配置、施工参数的选择、配液与供砂以及地面高低压管汇的连接等方面提出了配置方案和连接要求。郭华璋等^[17]对页岩气商业化开采及设备配置方案进行了探讨。张国友^[18]对页岩油平台的油电混合作业设备进行了分析,得出混砂装置和高低压管汇配置的结果,指出压裂泵组功率储备系数要满足石油行业推荐标准,但是对压裂泵组、电网需求容量和液灌容积等缺乏定量计算。供电、供液和供砂类设备的配置会影响施工时效性和经济性。

以大宁一吉县区块“中国首座油电混驱深部煤层气平台”吉深11-7A平台压裂开发为例,从压裂泵组功率储备系数计算、输配电系统电网容量计算、低压供液系统、运砂混砂设备、高压管汇系统和仪表撬配置以及现场应用等方面,提出了适用于深部煤层气开发的油电混驱压裂设备整体配套方法,对其他油气开发中油电混驱压裂设备总体配置和工艺技术研究具有参考价值。

1 电动压裂作业

在页岩油气储层改造上,电动压裂作业已经得到广泛应用。

1.1 电动压裂现状

低噪音、低成本和零排放的电动压裂设备得到广泛认可。在网电容量相对不足的平台,越来越多的页岩油气平台采用油电混驱设备配置方案;在电网容量充足的平台实现了全电动压裂。在煤层气开发作业中,电动压裂设备的应用还较少。

1.2 深部煤层气压裂模式转变

大宁一吉县区块是中国深部煤层气重要的产区之一,显著的特点是高压、大排量、高砂比和大砂量。对于多井平台,根据页岩油气的施工经验,电动压裂相对柴驱压裂具有较大的成本优势。

随着对深部煤层气勘探开发和地质工程的进一步深入认识,由最初参考致密气、中浅部煤层气的压裂模式逐渐向页岩气体积压裂模式转变^[19]。

2 油电混驱压裂设备配置

吉深11-7A平台构造位置位于鄂尔多斯盆地伊陕斜坡东部太原组8号煤层,平01、平02、平03井煤层气显示井段斜深分别为2 331~3 385 m、2 336~3 350 m、2 353~3 392 m,垂深分别为2 105.00~2 109.91 m、2 102.84~2 112.49 m、2 103.20~2 108.03 m,段数分别为10段、8段和16段。垂深均超过2 000 m,判断为深部煤层气。压裂井口使用KQ130-105型,井口大四通和1号阀门通径一致,油管挂可以通过1号阀门在大四通位置悬挂。采用光套管注入方式压裂,按照泵注程序进行压裂施工。使用外径244.5 mm、壁厚8.94 mm的钢级J55的表层套管,使用外径139.7 mm、壁厚12.70 mm的钢级BG125V的生产套管,抗内压强度为118.60 MPa,考虑压裂阶段井口、套管头为薄弱点,在井口施工限压80 MPa的条件下,安全系数为1.31。射孔采用电缆传输泵送桥塞和射孔联作方式。桥塞位置避开套管节箍。采用二次转向压裂技术,每段施工中途停泵1~2 h,增加有效改造体积,压裂施工结束后测30 min以上压降。

压裂设备需满足施工排量20 m³/min及施工限压

80 MPa的要求,电泵排量要求为12 m³/min。要基于压力、排量、井数、持续作业时间和单个设备性能参数进行总体配置。主要压裂设备配置2个35 kV变压器撬、2个10 kV配电房、5个VFD变频房、10台6000HP型电动压裂泵撬、10台2500型压裂车;辅助设备配置1台HSQ130型电动混砂撬、1台HSQ130型混砂车、25辆压裂砂罐车、1辆酸罐车、1台柴驱酸撬、1台仪表撬、2套千方圆形液罐装置和高压管汇装置等。吉深11-7A平台井场平面如图1所示,布置如图2所示。



图1 吉深11-7A平台井场平面图

Fig.1 Well site layout of Jishen 11-7A platform



图2 吉深11-7A平台井场布置

Fig.2 Well site arrangement of Jishen 11-7A platform

2.1 压裂泵组

吉深11-7A平台深部煤层气压裂为24 h连续作业工况,压裂与泵送不同时进行。当施工中途部分压裂泵发生故障时^[20-24],剩余泵组需要依然能够满足施工排量要求。

根据石油天然气行业标准《石油天然气钻采设备压裂成套设备:SY/T 5211-2016》压裂泵送设备单车使用功率,不宜超过额定输出功率的80%;施工设计限压80 MPa及以下时,单井施工允许在单段施工结束后停机检修的情况下,功率储备系数不低于1.3。10台6000HP电动压裂泵撬与10台2500型压裂车,合计配置额定功率为63 410 kW。根据公式(1)和(2),配置额定功率大于泵组总功率,满足标准要求,功率冗余系数较大,为1.46。

$$P_{\text{设计总功率}} = 16.67Qp \quad (1)$$

$$P_{\text{泵组总功率}} = \frac{1.3P}{80\%} \quad (2)$$

$$\eta = \frac{P_{\text{配置额定功率}}}{P_{\text{泵组总功率}}} \quad (3)$$

式中: Q 为设计最大流量,单位m³/min; p 为设计施工限压,单位MPa; P 为设计总功率,单位kW; η 为功率冗余系数。

电动压裂泵的不同外径柱塞在不同泵冲次下对应不同额定压力。在配置压裂泵时,根据工作压力来选择泵柱塞直径。选择更大柱塞直径,在满足相同总排量要求时泵台数更少。根据压裂泵性能参数(表1),宜选择使用4.5"(114.3 mm)柱塞。同理,2500型压裂车宜配置114.3 mm柱塞,额定压力为97 MPa。

2.2 输配电系统

井场供电由35 kV网电提供。平台距变电站10 km。LGJ240/30型钢芯铝绞线路架空输电,2台容量12 500 kVA的35 kV变压器撬主要将电网提供的35 kV变为10 kV输出。

表1 HH6000HP电动压裂泵性能参数

Table 1 Performance parameters of HH6000HP electric fracturing pump

| 冲次/(s/min) | 柱塞尺寸 | | | | | | | |
|------------|--------------------------|--------|--------------------------|--------|--------------------------|--------|--------------------------|--------|
| | 3.75"(92.25 mm) | | 4"(101.6 mm) | | 4.5"(114.3 mm) | | 5"(127 mm) | |
| | 排量/(m ³ /min) | 压力/MPa | 排量/(m ³ /min) | 压力/MPa | 排量/(m ³ /min) | 压力/MPa | 排量/(m ³ /min) | 压力/MPa |
| 80 | 0.87 | 140 | 0.99 | 120 | 1.25 | 95 | 1.54 | 77 |
| 120 | 1.30 | 140 | 1.48 | 120 | 1.88 | 95 | 2.32 | 77 |
| 160 | 1.74 | 140 | 1.98 | 120 | 2.50 | 95 | 3.09 | 77 |
| 180 | 1.96 | 128 | 2.22 | 112 | 2.82 | 89 | 3.48 | 72 |
| 200 | 2.17 | 115 | 2.47 | 101 | 3.13 | 80 | 3.86 | 65 |
| 230 | 2.50 | 100 | 2.84 | 88 | 3.60 | 70 | 4.44 | 56 |

井场辅助设备用电负荷估算如表2所示,线路电网容量计算如表3所示。申请电网容量19 000 kVA,大于线路总计容量18 269 kVA,满足用电要求。

表2 井场辅助设备用电明细

Table 2 Electricity consumption details of auxiliary equipment at the well site

| 用电设备 | 数量/台 | 单台功率/kW | 负荷/kW |
|------------|------|---------|-------|
| 电动压裂泵橇辅助系统 | 10 | 50 | 500 |
| 电动混砂橇 | 1 | 200 | 200 |
| 营区 | 1 | 100 | 100 |

10 kV 配电房主要将10 kV电压分配到变频房两侧的变压器输入端。其容量为1 000 kVA的站用变压器将10 kV降压为400 V,满足变频房内辅助电源、电动压裂泵橇辅助系统电源、电动混砂橇为AC 380 V 50 Hz,仪表橇、临时生活用电等设备为AC 220 V 50 Hz的用电要求。实际配置了2个“1拖6”配电房。吉深11-7A平台电网分配如图3所示。

2.3 变频房

变频房采用“1拖2”结构,即1个变频房内2台变频器分别独立控制2台电动压裂泵橇的运行。变频房内两侧变压器将10 kV交流电转变为1 885 V。变频器通过整流和逆变模块输出电压和频率可调的交流电,驱动电动压裂泵橇的三相交流异步电机旋转。

表3 线路电网容量计算

Table 3 Calculation of power grid capacity

| 参数 | 数值 |
|--------------------------|----------|
| 排量/(m ³ /min) | 12 |
| 压力/MPa | 80 |
| 泵组压裂负荷功率/kW | 16 003.2 |
| 辅助设备用电功率/kW | 800 |
| 用电终端有功功率/kW | 16 803.2 |
| 功率因数 | 0.95 |
| 用电终端容量/kVA | 17 688 |
| 用电终端无功功率/kVar | 5 523 |
| 负荷电流/A | 277 |
| 线路长度/km | 10 |
| 电缆线每千米电阻/(Ω/km) | 0.138 |
| 线路电缆线电阻/Ω | 1.38 |
| 电缆线每千米感抗/(Ω/km) | 0.369 |
| 线路电缆线电抗/Ω | 3.69 |
| 线路有功损耗功率/kW | 318 |
| 线路无功损耗功率/kVar | 851 |
| 线路总计有功功率/kW | 17 121 |
| 线路总计无功功率/kVar | 6 373 |
| 线路总计容量/kVA | 18 269 |

直接转矩控制(DTC)是一种变频器控制三相交流变频电机转矩的方式。根据测量到的交流变频电机电压及电流,计算交流变频电机磁通和转矩的估测值,而在控制转矩后,也可以控制交流变频电机的速度。

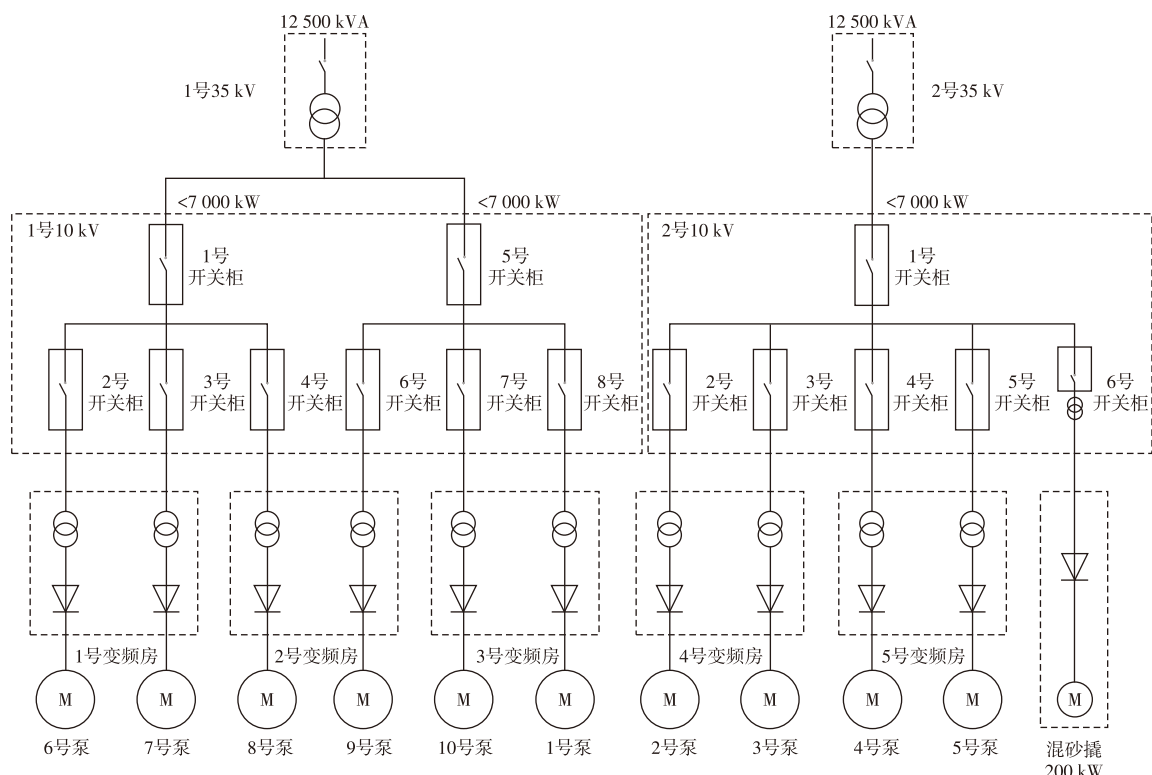


图3 吉深11-7A平台电网分配

Fig.3 Power grid distribution of Jishen 11-7A platform

HH6000HP电动压裂系统使用ABB公司的ACS5000系列的谐波更小的36脉波强制风冷变频器,输出频率介于0~87 Hz,输出功率为4 500 kW,额定输出电压为6 kV,输出电压介于0~6 kV,额定输出电流为509 A。高电压低电流降低了系统发热,减小了电缆重量和规格型号,降低了井场上铺设电缆和连接的工作强度。

2.4 材料中转站和压裂砂罐车

材料中转站位于井场附近,是各种化工料和支撑剂的中转站。通过自臂随车吊货车转运化工料;货车将支撑剂运输到料场后,通过压裂砂罐车转运支撑剂。

深部煤层气开发压裂作业中,最大砂比和单段砂量显著提升,吉深11-7A平台最大砂比达到22%,单段设计最大砂量为平01井第8段,达455.9 m³。

吉深11-7A平台(除平01井第8段外)使用压裂砂罐车全部提前到场,按照计划加砂顺序往混砂橇和混砂车砂斗倒砂的方式;平01井第8段时,重复利用第1车返回料场装混合陶粒15 m³。砂罐车理论容积18 m³,一般装载最多17 m³;每段一般储存5种支撑剂,分别为70/140目石英砂、40/70目石英砂、30/50目石英砂、30/50目陶粒和30/50目覆膜陶粒,其中30/50目陶粒和30/50目覆膜陶粒按照1:2混合。加砂时,压裂砂罐车的液压起升装置将前侧顶起后通过尾部圆形开口将砂倒入绞龙的砂斗。不需要高空吊砂风险作业,免去了输砂储砂装置的占地面积,计量简单,适用于高砂比、大砂量和连续加砂的深部煤层气压裂作业工况。

2.5 混砂装置

为了满足高砂比连续加砂工况,改变了一般页岩气工况下1台混砂橇和1台供液橇配合的模式,深部煤层气压裂现场配置了1台额定排量为20 m³/min的130BPM电动混砂橇和1台额定排量为20 m³/min的130BPM柴驱混砂车。电动混砂橇为3绞龙输砂系统,配合振动电机,不会出现在高砂比时支撑剂堵在绞龙出口无法进入搅拌罐的情况。混砂车配置了2绞龙,在扇形方向上一定范围内调节砂斗间距和高度,可以满足2台压裂砂罐车同时加砂作业。

电动混砂橇和混砂车的最大输砂量均为7.5 m³/min,电动混砂橇在最大砂比22%和最大排量12 m³/min的情况下要求最大输砂量为2.64 m³/min,满足加砂施工要求。

电动混砂橇配置有4套液添和2套干添系统,采用变频电机驱动螺杆泵实现添加剂按比例添加。助排剂、阻垢剂、缓蚀剂、酸化用缓蚀剂和酸化用铁稳定剂等液体添加剂可以通过混砂橇上液添螺杆泵输入搅拌罐,过硫酸铵等干粉添加剂可以通过混砂橇上干添系统输入搅拌

罐。减阻剂采用带质量流量计的专用液添泵输入混砂撬搅拌罐。

2.6 低压管汇系统

一级供水是通过离心泵从附近河流抽水到平台现场,通过10"低压三通分别供液到2个圆形水罐,单个圆形储罐容积1 000 m³,施工中途保持一级供水供液6 m³/min。通过查看储罐内的高度尺,简单估算可用液量。

水罐与混砂车和混砂橇之间使用10"FIG206MxM软管连接,混砂车和混砂橇与高低压管汇橇的10"FIG206F接口通过10"FIG206MxM软管连接。每组高低压管汇橇配置2排10"FIG206低压钢管,通过蝶阀隔离。混砂橇和混砂车分别给一边的5台电动压裂泵橇和5台压裂车供液。压裂泵的4"FIG206M吸入管路接口与高低压管汇橇的4"FIG206F通过4"FIG206MxF软管连接。

根据泵注程序,最大设计液量的平01井第8段为3 167 m³。第1阶段施工用水670 m³,用时约50 min,停泵1 h,共计可以补水660 m³;第二阶段启泵前可用液量1 990 m³,计划用水2 497 m³,在施工排量16 m³/min的情况下用时约156 min,用水1 560 m³,即液体余量为430 m³,满足供液施工要求。

2.7 高压管汇系统

法兰连接比由壬连接具有更高的密封可靠性,并且大大减少了密封副个数,高低压管汇橇到井口采用单通道大通径万向直连管汇。

压裂泵与高低压管汇橇之间高压管汇依次是50型弯头、1 m直管、10型双公、50型弯头、1 m直管和2个50型弯头。

3组高低压管汇橇提供24个3"FIG1502F接口和30个4"FIG206F接口。每组高低压管汇橇顶部预留2个78-105转2"FIG1502F接口,用于数据采集用泵压传感器和高压安全阀安装。高压管汇为单通道大通径结构,内径180 mm,工作压力等级105 MPa;管汇入口与压裂橇排出口通过3"FIG1502弯头和直管相连。通过180/130 mm-105 MPa变径法兰后,通过液动平板阀、手动平板阀和130 mm-105 MPa单通道万向直连管汇接井口。

分流管汇一次连接3口井,每路分流管汇安装液控、手动平板闸阀和130 mm-105 MPa单通道万向直连管汇到井口压裂四通,通过液控柜实现对地面液动平板阀远程开关(图4),液控柜还可以远程开关井口4号液动平板阀。试气队负责连接放喷管汇和放喷池等。

在施工中途出现高压设备故障时,停砂顶替泵后,可通过液控柜远程关井泄压,提高了施工安全性。



图4 吉深11-7A平台高压管汇流程

Fig.4 High-pressure manifold process of Jishen 11-7A platform

泵送桥塞上提过程中,远程关闭分流橇上液动平板闸阀泄压,利用射孔枪上提阶段维护保养设备,减少了施工等停时间。

2.8 仪表橇

智能化压裂控制中心,即仪表橇,用于远距离控制、显示和采集施工参数。在仪表橇内通过 iFracOPS 压裂设备集控软件对电动压裂泵橇等设备远程操控,同时保留操作箱在仪表橇断电时对电动压裂泵的远程操作控制,通过 VFD 监视系统对泵组进行状态监测和故障诊断,压裂车操作箱也放置在仪表橇内,方便远程操作和信息传达。

通过 iFracview 对总体施工参数进行数据采集。自定义井口排出流量为柴驱排量和电泵总排量之和;通过自定义柴驱排量,手动设置快捷键偏移排量来与压裂车排量实时同步;通过模拟砂比来与混砂橇和混砂车加砂数据同步。为了减少传感器处沉砂和压裂液湍流带来的压力波动,将施工压力传感器安装于高低压管汇橇顶部。每次施工结束后可以导出施工曲线、秒点、分点和阶段记录表等施工参数。

通过开源的视频录制和视频实时交流软件与腾讯会议配合,使进入固定腾讯会议号的相关人员能够实时查看施工曲线。

通过电网监测软件对每一路电网的电压、阶段功率和总功率等电力数据进行状态监测,对阶段用电量和总用电量进行统计。

每台电动压裂泵橇盘根处布置了1个摄像头,泵区和井口也布置了多个摄像头,将视频通过海康威视视频监视系统传回仪表橇进行状态监测。

3 现场应用分析

吉深11-7A平台从2024年3月10日开始,2024年3月31日结束压裂施工。施工压力介于55~75 MPa,排量介于19~20 m³/min,风险层段的排量介于14~16 m³/min时,实际砂比6%~24%,单泵最大排量为2.0 m³/min。3口井的单段施工液量和砂量分别如图5—图7所示,累计总液量为73 926.7 m³,电泵总液量为36 458.1 m³,累计电量719 200 kW·h。完成3口井34段压裂施工,完成了“中国首座油电混驱深部煤层气平台”水平井储层改造。

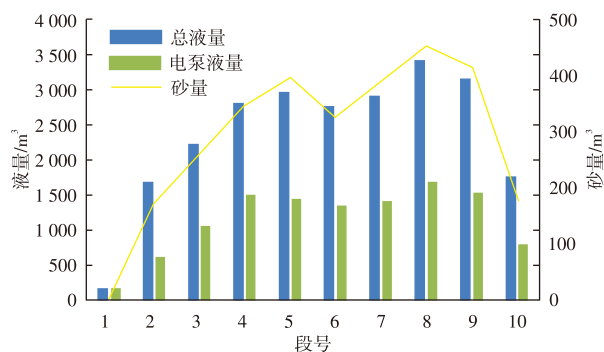


图5 吉深11-7A平台平01井每段施工液量和砂量

Fig. 5 Fluid and sand volume per fracturing section of Well 01 at Jishen 11-7A platform

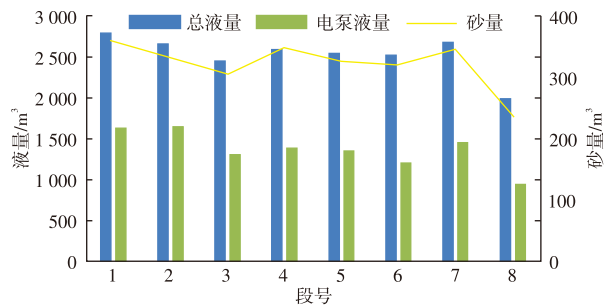


图6 吉深11-7A平台平02井每段施工液量和砂量

Fig. 6 Fluid and sand volume per fracturing section of Well 02 at Jishen 11-7A platform

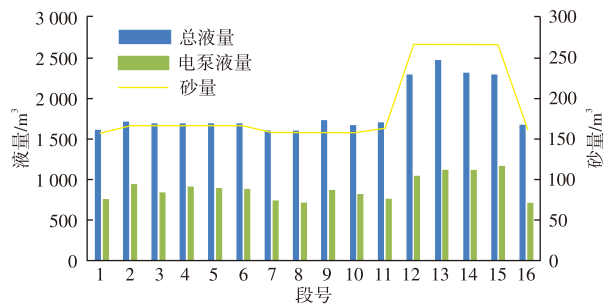


图7 吉深11-7A平台平03井每段施工液量和砂量

Fig. 7 Fluid and sand volume per fracturing section of Well 03 at Jishen 11-7A platform

施工中未出现电网断电需要压裂车顶替作业的情况;通过平台证明了电动压裂泵撬系统性能的可靠性,为后续深部煤层气油电混驱压裂施工作业提供了宝贵的经验。

4 结论

1) 针对深部煤层气油电混驱压裂作业模式下设备配置的技术和经济性问题,通过对压裂泵组功率的计算,功率储备系数满足行业标准要求,自定义功率冗余系数来衡量经济性;对井场辅助用电功率估算和考虑线路损耗功率的线路总计容量计算,使申请电网容量大于线路总计容量,满足用电要求;通过水和砂类设备配置,满足最大单段液量和最高砂比持续加砂需求。

2) 建立的深部煤层气开发压裂工况下的油电混驱压裂泵送设备和各类辅助设备配置方案,安全顺利完成了吉深11-7A平台压裂作业,为深部煤层气绿色低碳成本和低噪音开发奠定了基础。

3) 基于电驱压裂绿色低碳成本和低噪音等的优点和井场电网容量限制,油电混驱压裂施工将是未来深部煤层气开发的主流作业模式。建议提前规划井场区域电网,增大电驱压裂设备比例。

参考文献

- [1] 徐凤银,王成旺,熊先钺,等.鄂尔多斯盆地东缘深部煤层气成藏演化规律与勘探开发实践[J].石油学报,2023,44(11):1764-1780.
XU Fengyin, WANG Chengwang, XIONG Xianyue, et al. Evolution law of deep coalbed methane reservoir formation and exploration and development practice in the eastern margin of Ordos Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2023, 44(11): 1764-1780.
- [2] 聂志宏,时小松,孙伟,等.大宁吉县区块深层煤层气生产特征与开发技术对策[J].煤田地质与勘探,2022,50(3):193-200.
NIE Zhihong, SHI Xiaosong, SUN Wei, et al. Production characteristics of deep coalbed methane gas reservoirs in Daning-Jixian Block and its development technology countermeasures[J]. Coal Geology & Exploration, 2022, 50(3): 193-200.
- [3] 张兵,杜丰丰,张海锋,等.基于经济效益评价的煤层气开发有利区优选:以鄂尔多斯盆地东缘杨家坡区块为例[J].油气藏评价与开发,2024,14(6):933-941.
ZHANG Bing, DU Fengfeng, ZHANG Haifeng, et al. Selection of favorable areas for coalbed methane development based on economic benefit evaluation: A case study of Yangjiapo block in eastern margin of Ordos Basin[J]. Petroleum Reservoir Evaluation and Development, 2024, 14(6): 933-941.
- [4] 聂志宏,徐凤银,时小松,等.鄂尔多斯盆地东缘深部煤层气开发先导试验效果与启示[J].煤田地质与勘探,2024,52(2):1-12.
NIE Zhihong, XU Fengyin, SHI Xiaosong, et al. Outcomes and implications of pilot tests for deep coalbed methane production on the eastern margin of the Ordos Basin[J]. Coal Geology & Exploration, 2024, 52(2): 1-12.
- [5] 郭旭升,赵培荣,申宝剑,等.中国深层煤层气地质特征与勘探实践[J].石油与天然气地质,2024,45(6):1511-1523.
GUO Xusheng, ZHAO Peirong, SHEN Baojian, et al. Geological features and exploration practices of deep coalbed methane in China [J]. Oil & Gas Geology, 2024, 45(6): 1511-1523.
- [6] 桑树勋,韩思杰,周效志,等.华东地区深部煤层气资源与勘探开发前景[J].油气藏评价与开发,2023,13(4):403-415.
SANG Shuxun, HAN Sijie, ZHOU Xiaozhi, et al. Deep coalbed methane resource and its exploration and development prospect in East China[J]. Petroleum Reservoir Evaluation and Development, 2023, 13(4): 403-415.
- [7] RODRIGUEZ G, RODRIGUEZ R, MARTINEZ BARRON H, et al. Natural gas powered direct-drive turbine hydraulic fracturing technology delivers high power density and energy transfer efficiency for environmental, economic and operational benefits[C]//Paper SPE-212749-MS presented at the SPE Canadian energy technology conference and exhibition, Calgary, Alberta, Canada, March 2023.
- [8] WEIJERS L, WRIGHT C, MAYERHOFER M, et al. Trends in the North American frac industry: Invention through the shale revolution [C]//Paper SPE-194345-MS presented at the SPE hydraulic fracturing technology conference and exhibition, the Woodlands, Texas, USA, February 2019.
- [9] 刘克强,王培峰,贾军喜.我国工厂化压裂关键地面设备技术现状及应用[J].石油机械,2018,46(4):101-106.
LIU Keqiang, WANG Peifeng, JIA Junxi. Status and applications of surface equipment for factory fracturing in China [J]. China Petroleum Machinery, 2018, 46(4): 101-106.
- [10] 彭俊威,周青,戴启平,等.国内大型压裂设备发展现状及分析[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.
- [11] 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.
- [12] 唐瑞欢.川渝地区页岩气压裂设备发展新方向[J].石油机械,2023,51(9):94-100.
TANG Ruihuan. New development direction of shale gas fracturing equipment in Sichuan-Chongqing area [J]. China Petroleum Machinery, 2023, 51(9): 94-100.
- [13] 刘红磊,周林波,陈作,等.中国石化页岩气电动压裂技术现状及发展建议[J].石油钻探技术,2023,51(1):62-68.
LIU Honglei, ZHOU Linbo, CHEN Zuo, et al. The up-to-date electric shale gas fracturing technologies of Sinopec and suggestions for further improvements[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2023, 51(1): 62-68.
- [14] 樊建平,铁连军.鄂尔多斯盆地“井工厂”压裂施工作业流程及设备配套[J].延安大学学报(自然科学版),2020,39(3):65-69.
FAN Jianping, TIE Lianjun. Fracturing operation flow and equipment

- of "well factory" in Ordos Basin[J]. Journal of Yanan University (Natural Science Edition), 2020, 39(3): 65-69.
- [15] 闫育东, 杜焰, 孙建平. 长庆区域电驱压裂设备配套技术研究及应用[J]. 钻采工艺, 2023, 46(1): 57-63.
YAN Yudong, DU Yan, SUN Jianping. Research and application of electric-powered fracturing equipment supporting technology in Changqing Area[J]. Drilling and Production Technology, 2023, 46(1): 57-63.
- [16] 吴汉川, 王峻乔, 余旭阳. 大型压裂施工设备的配置与连接[J]. 石油机械, 2014, 42(4): 67-71.
WU Hanchuan, WANG Junqiao, YU Xunyang. The configuration and connection of large fracturing equipment[J]. China Petroleum Machinery, 2014, 42(4): 67-71.
- [17] 郭华璋, 段江涛. 页岩气商业化开采及设备配置方案探讨[J]. 石油钻采工艺, 2023, 45(3): 376-384.
GUO Huazhang, DUAN Jiangtao. Discussion on commercial recovery of shale gas and equipment configuration[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2023, 45(3): 376-384.
- [18] 张国友. 页岩油全电驱动压裂设备配置与作业技术研究[J]. 石油机械, 2024, 52(3): 102-107.
ZHANG Guoyou. Configuration and operation technology of fully electric fracturing equipment for shale oil[J]. China Petroleum Machinery, 2024, 52(3): 102-107.
- [19] 熊先钺, 甄怀宾, 李曙光, 等. 大宁吉县区块深部煤层气多轮次转向压裂技术及应用[J]. 煤田地质与勘探, 2024, 52(2): 147-160.
XIONG Xianyue, ZHEN Huaibin, LI Shuguang, et al. Multi-round diverting fracturing technology and its application in deep coalbed methane in the Daning-Jixian block[J]. Coal Geology & Exploration, 2024, 52(2): 147-160.
- [20] 王波, 王龙庭, 张金亚. 基于扭矩和扭压比偏差率的压裂泵故障诊断[J]. 石油机械, 2022, 50(11): 90-97.
WANG Bo, WANG Longting, ZHANG Jinya. Fault diagnosis of fracturing pump based on torque and torque-pressure ratio deviation rate[J]. China Petroleum Machinery, 2022, 50(11): 90-97.
- [21] 王波, 王江阳, 赵崇胜, 等. 基于有限疲劳寿命的压裂泵盘根铜套优化设计[J]. 机械设计, 2023, 40(增刊2): 168-174.
WANG Bo, WANG Jiangyang, ZHAO Chongsheng, et al. Optimization design of fracturing pump packing copper sleeve based on finite fatigue life[J]. Journal of Machine Design, 2023, 40(Suppl. 2): 168-174.
- [22] 王波, 赵崇胜, 黄鲲鹏, 等. 电动压裂泵排出法兰断裂原因分析与预防措施[J]. 流体机械, 2023, 51(11): 98-104.
WANG BO, ZHAO Chongsheng, HUANG Kunpeng, et al. Cause analysis of and preventive measures for electric fracturing pump discharge flange fracture[J]. Fluid Machinery, 2023, 51(11): 98-104.
- [23] WANG B. Failure analysis and equal life optimization design of fluid end of electric fracturing pump[J]. Journal of Failure Analysis and Prevention, 2023, 23(5): 2169-2180.
- [24] 梁右其, 程明皓, 胡勇, 等. ABB ACS5000 变频器常见故障及处理[J]. 盐科学与化工, 2024, 53(12): 46-48.
LIANG Youqi, CHENG Minghao, HU Yong, et al. Common faults and treatment of ABB ACS5000 frequency converter[J]. Journal of Salt and Chemical Industry, 2024, 53(12): 46-48.
- (编辑 徐佩)

(上接第 273 页)

- [22] MWAKIPUNDA G C, WANG Y T, MGIMBA M M, et al. Recent advances in carbon dioxide sequestration in deep unmineable coal seams using CO₂-ECBM technology: Experimental studies, simulation, and field applications[J]. Energy & Fuels, 2023, 37: 17161-17186.
- [23] GONG H H, LI Y Y, ZHANG J N, et al. A new filter feature selection algorithm for classification task by ensembling pearson correlation coefficient and mutual information[J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2024, 131: 107865.
- [24] 龚斌, 王虹雅, 王红娜, 等. 基于大数据分析算法的深部煤层气地质—工程一体化智能决策技术[J]. 石油学报, 2023, 44(11): 1949-1958.
GONG Bin, WANG Hongya, WANG Hongna, et al. Integrated intelligent decision-making technology for deep coalbed methane geology and engineering based on big data analysis algorithms[J]. Acta Petrolei Sinica, 2023, 44(11): 1949-1958.
- [25] WANG H Y, WANG Q Q, HUANG L, et al. Intelligent decision-making system for integrated geological and engineering of deep coalbed methane development[J]. Energy & Fuels, 2023, 37(18): 13976-13984.
- [26] GAO X Y, PENG D, KUI G F, et al. Reinforcement learning based optimization algorithm for maintenance tasks scheduling in coalbed methane gas field[J]. Computers & Chemical Engineering, 2023, 170: 108131.
- [27] ZHAO M M, XU H, ZHONG W B, et al. Robust and breathable all-textile gait analysis platform based on LeNet convolutional neural networks and embroidery technique[J]. Sensors and Actuators A: Physical, 2023, 360: 114549.
- [28] SONG H Q, DU S Q, YANG J H, et al. Evaluation of hydraulic fracturing effect on coalbed methane reservoir based on deep learning method considering physical constraints[J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2022, 212: 110360.
- [29] MARINS M A, BARROS B D, SANTOS I H, et al. Fault detection and classification in oil wells and production/service lines using random forest[J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2021, 197: 107879.
- [30] DU S Y, ZHAO X G, XIE C Y, et al. Data-driven production optimization using particle swarm algorithm based on the ensemble-learning proxy model[J]. Petroleum Science, 2023, 20(5): 2951-2966.
- (编辑 郭群)