

储能系统在陇东页岩油电驱压裂中的探索与应用

张增年¹, 刘东方¹, 梁斌², 刘坤³, 张铁军⁴, 闫育东⁴

(1. 中国石油川庆钻探工程有限公司, 四川 成都 610066;

2. 中国石油西南油气田分公司川中油气矿南广采油气作业区, 四川 南充 637100;

3. 中国石油西部钻探工程有限公司井下作业公司, 新疆 克拉玛依 834000;

4. 中国石油川庆钻探工程有限公司长庆井下技术作业公司, 陕西 西安 710018)

摘要: 电驱压裂作为一种经济高效、节能环保的作业模式, 成为非常规油气资源效益开发的有效途径。陇东页岩油作为中国石油集团电驱压裂规模化应用的重点区域, 要求 2025 年年末区域电驱压裂占比达到 70% 以上, 由于该区域电网资源匮乏, 燃气发电经济性不高, 钻井电网容量小、末端电压低无法接续使用等因素限制了电驱压裂规模化发展。随着储能技术的快速发展和成熟应用, 川庆钻探结合电驱压裂应用场景, 通过储能系统应用, 拓宽电驱压裂供电模式, 缓解了电驱压裂应用困局, 为电驱压裂规模化应用提供新路径。

关键词: 储能; 电驱压裂; 陇东页岩油

中图分类号: TP308;TK02

文献标识码: A

文章编号: 1671-0711 (2025) 01 (下) -0197-04

在“双碳”背景下, 储能技术不断迎来新突破, 并在智能电网、光伏、风电等领域普遍应用, 为电网运行提供调峰、调频、应急备电、需求侧响应等多种策略, 成为提升电力系统灵活性、经济性和安全性的重要手段。近年来, 川庆钻探开展了“电网+储能”和“燃气发电+储能”电驱压裂供能方式探索, 应用“源、网、荷、储”一体化储能技术, 提升电网利用率, 提高燃气发电经济性, 充分发挥储能装置电网增容、平抑负载、应急保障、峰谷套利和降低用能成本的价值。

1 电驱压裂供电方式及主要问题

1.1 电驱压裂供电模式

根据陇东页岩油压裂规模、作业周期、网电资源、天然气资源等实际情况, 形成网电和燃气发电两种电驱压裂供电方式。

(1) 网电。主要依托自建电网, 根据电网供电能力, 开展全电驱或混驱压裂。

(2) 燃气发电。使用管道气、井口气、CNG、LNG 等供气方式, 在具备综合经济性的平台开展天然气发电(燃气涡轮发电和燃气内燃机发电), 为电驱压裂提供电能。

1.2 供电模式存在的问题

(1) 网电。陇东页岩油区域网电资源不足, 区域内可调配容量 50MW, 电网容量有限, 仅满足区域内 5 个平台开展全电驱压裂, 且电驱压裂大功率、峰谷式用电特性, 易打破区域电力供应平衡, 自建电网容量申请困难; 电动钻井前期架设了电网专线, 因钻井供电线路径细、容量小、末端电压低, 无法用于电驱压裂, 造成电网资源浪费; 依托网电开展全电驱压裂时, 在应对电网突发停电情况, 因缺乏备用电源, 通常采用柴驱压裂设备作业应急设备, 存在占用设备资源的问题。

(2) 燃气发电。燃气发电分为大功率燃气涡轮发电和分布式燃气内燃机发电两种, 燃气涡轮发电具有单

机大功率的特点, 抗负载冲击能力强, 存在低负载工况下发电经济性低的问题; 分布式燃气内燃机发电机组由多台小功率发电机组组成, 可根据负载变化自动调整发电机启停数量, 具有发电效率高的优势, 但抗冲击能力不足, 电驱压裂负载突变时存在拉停发电机组的风险。

2 电驱压裂储能系统构成

陇东页岩油电驱压裂主要采用网电或燃气发电, 以 10kV 电压向电驱压裂变频房(VFD)进行供电, 增加储能系统与网电或燃气发电共同为电驱压裂供电, 可以解决电网容量不足、燃气发电效率不高的问题, 减轻电驱压裂作业过程中对供电电源的负荷冲击, 同时, 为电驱压裂提供应急电源。

2.1 电驱压裂储能系统运行模式

(1) 燃气发电削峰填谷模式。保持燃气发电设备在最佳工况下运行, 电驱压裂低负载工况下, 燃气发电过剩电能给储能充电, 高负载工况时储能自动投入, 满足电驱压裂时的功率突增; 现场泵送桥塞作业、送球、现场生活用电等低功率用电工况, 储能以离网模式运行, 单独采用储能进行供电, 不启用燃气发电机组, 降低燃气消耗。

(2) 电网扩容供电模式。采用双回路电源供电, 储能系统以并网模式运行, 压裂间隙通过电网给储能充电, 电驱压裂时, 电网与储能并网供电, 用于电网扩容提高供电功率, 夜间以峰谷套利方式节省电费。在电力系统双回路电源断电时, 储能系统以离网模式运行作为负载应急供电。

电驱压裂储能系统接入示意图如图 1 所示。

2.2 电驱压裂储能系统构成

电驱压裂储能系统由储能电池仓、电池管理系统(BMS)、储能变压逆变系统(PCS)和能量管理系统(EMS)等模块组成, 各模块功能如下。

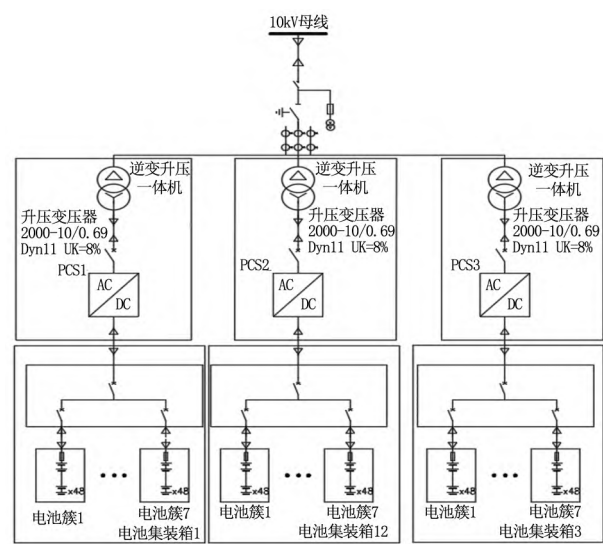


图1 储能系统接入拓扑图

(1) 储能电池仓。储能电池仓采用模块化集装箱设计，适用于压裂野外作业工况，由电池架、电池组（PACK）温控系统、照明系统、自动消防系统、应急系统等组成，电池组分区设置消防隔断，舱外设置声光报警器；自动消防系统由烟雾传感器、声光报警器、全氟己酮灭火器、超细干粉灭火器组成，探测到烟火信号自动触发启动扑救；温控系统由液冷机组及液冷管道系统组成，根据集装箱内外温度、湿度自动控制液冷系统工作，保持舱内温度在15~35℃范围内，延长电池使用寿命，提高电池组运行安全性。

(2) 储能变压逆变系统（PCS）。储能变压逆变系统用于电池充放电时的交直流转换和电压升降，充电时，将交流电降压后转换为直流给储能充电，放电时将直流电转换交流，升压后给负载供电；储能变压逆变系统由储能变流器、10kV干式变压器、10kV开关柜、辅助变压器一体化箱式集成，并拥有独立温度控制系统、隔热系统、阻燃系统、自动消防系统、应急系统等自动控制和安全保障系统。电池系统经储能变流器变流侧，接入

双绕组变压器的低压侧，通过变压器升压至10kV，经过开关柜接入10kV母线；自动消防系统由烟感探测器、消防告警主机、超细干粉灭火器组成，当PCS探测到烟火信号时，通风散热系统停止运行，消防系统自动扑救。

(3) BMS电池管理系统。电池管理系统（BatteryManagementSystem,BMS）作为储能系统的大脑，由电池模组管理单元BMU和电池簇管理单元BCMU及电流、温度检测单元组成，用于采集电池的各项运行数据，实时监测电池电压、电流、温度、SOC等状态，通过和上层控制器的联合控制电池簇充、放电，确保电池安全和高效运行；电池管理系统能够在本地对电池系统的各项运行状态进行显示，包括电池单体电压/温度查询及显示，电池组电压/温度查询及显示，电池簇电流/SOC/SOH查询及显示，告警信息显示，电池系统容量标定及SOC标定（图2）。

(4) 能量管理系统（EMS）。能量管理系统（EMS）是储能系统的重要组成部分，实行全数字化控制，可以查看储能双向变流器PCS、电池管理系统BMS、环境、负载等的运行状态，可对储能系统进行数据采集分析、集中监测、实时控制、智能运维等，为储能系统的安全、稳定、高效运行提供保障。系统采用三层架构，从实时层、数据层，验证层进行分层。系统界面分别为系统概况、能耗统计、报表管理、设备管理、实时监控（图3）。

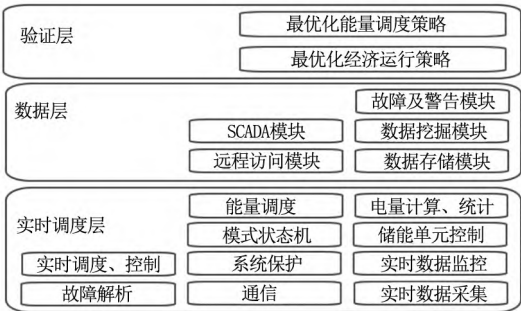


图3 EMS软件架构图

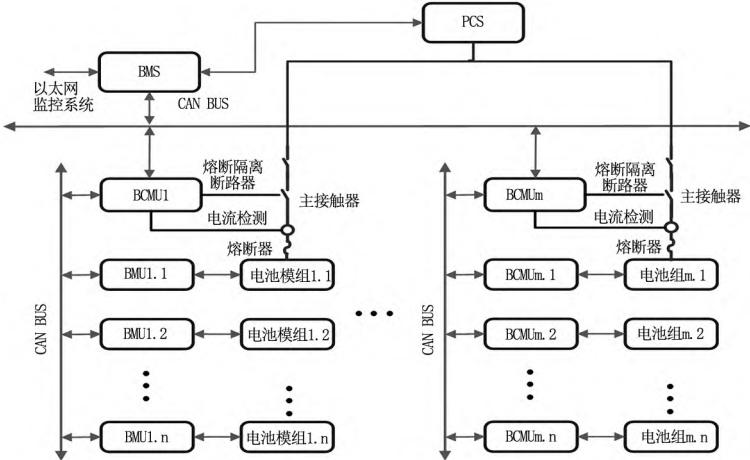


图2 BMS系统拓扑图

(5) 安全保护系统。储能系统拥有直流侧与交流侧的电压、电流过载保护，短路保护，过温保护及电网安全保护。在电网电压、相位、频率不稳定并超过设备内设置的阈值时会立刻进行报警或进步进行停机保护。同时，储能系统拥有防逆流管控装置，当负载低于整体储能系统的输出时，系统对变流器进行降功率处理，防止出现电力倒送的问题，同时，在并网点安装有二级保护双向闭锁装置确保防逆流的可靠性。

3 储能系统在电驱压裂中应用

3.1 电网与储能并网供电模式应用

2024年，川庆钻探在陇东页岩油乐XX平台，利用10kV、3150KVA钻井遗留电网，

配套 4.1MW/8.2MWh 大功率储能装置,开展小容量电网+大功率储能组合供电电驱压裂现场试验,试验取得圆满成功,打造了电网储能压裂的节能作业新模式,为电驱压裂应用提供了新思路(图4)。



图4

(1) 乐XX平台钻井遗留电网情况。线径95mm²,带载时末端电压9.0KV,可用功率1500~2000KW,由于供电线路距离长、电压低、功率小、抗冲击性差,经测试无法驱动1台5000型电驱压裂橇工作。

(2) 设备配套。现场投用4100KW/8.2MWh移动式储能装置一套(0.5C电芯),采用标准20英尺集装箱,单台设备重量控制在30吨以下,以满足油区山区道路运输需求。电驱压裂配置3台5000型电驱压裂橇、1台130桶电驱混砂橇和1台仪表橇供电。

(3) 作业工况运行策略。每天压裂三段的情况下,每段6MWh的放电,有效压裂的时间2h,充电时间2.5h。在这样的工况下,储能初始电量SOC为100%,第一段压裂结束后,电量SOC为27%;在压裂第二段前充电至90%,在第二段压裂结束后进行充电,开始第三段前电量SOC为77%。当第三段结束为电量为5%。保障在最短的等停时间完成电驱压裂工作,提高压裂施工效率(图5)。

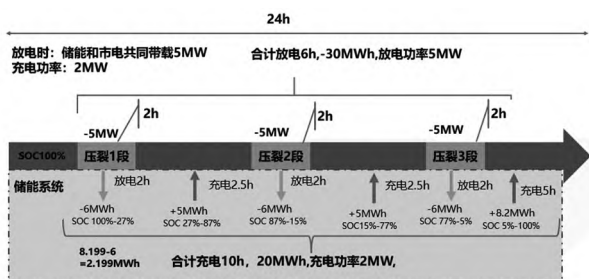


图5 储能运行策略分析图

(4) 现场应用情况。压裂施工间隙及夜间电网给储能充电,施工时电网+储能同期并网供电,并网输出电压稳定在10.5KV,储能最大输出功率3800KW,电网+储能组合供电最大输出功率5500KW;累计完成乐XX平台97段油电混驱压裂,平均工作压力38MPa工况下,电驱最大排量7.2m³/min,储能累计充电407200kWh、放电359200kWh,充放效率88.2%,供电性能稳定可靠;储能系统具备电网功率自动跟随功能,在负载低于电网供电功率时,优先投用网电功率,负载超过电网供电功率阈值时,EMS电源管理系统快速投用储能功率补充,

保持总功率稳定输出工况下储能最大用电时长。

(5) 应用效果及认识。①安装调试快捷。该套大功率储能装置安装、调试简单,占地面积小,首次调试成功后转场至新的作业平台,2天内可完成供电安装调试准备;②实现钻井电网接续使用。通过大功率储能设备给钻井电网扩容、升压,实现钻井电网电驱压裂接续使用,拓宽了电驱压裂应用的深度和广度,可缓解电网资源欠发达地区电驱压裂规模化应用困局;③实现应急供电保障。电网异常停电时,储能无缝切换持续给电驱压裂供电,防止电驱压裂设备全部停机,能够有效保障井筒安全;④降低电网投资风险。目前,油气田开发实行“边打边看”的开发模式,若后期开发效果不理想,区域工作量压减,将造成电网建设投资亏损;压裂前钻井供电线路已建成,钻井完成后基本已回收线路投资,利用钻井遗留的小容量电网,压裂时配套大功率储能装置开展电驱压裂,无前期自建电网投资风险;⑤应用前景广阔。投用大功率储能装置,可将钻井遗留的低品质电网资源提升至电驱压裂可用的高品质、高功率的可用电源,切合压裂工况特点,夜间电价低谷时段给储能充电,电费更低,经济性更好。结合钻井遗留电网功率情况,配备不同功率的储能装置,能够实现混驱或全电驱压裂,可以有效解决电驱压裂电网专线建设周期长、费用高、容量申请困难等制约电驱压裂规模化应用的瓶颈问题,市场前景广阔,战略意义重大。

3.2 燃气发电与储能并网供电模式应用(高桥XX平台)

燃气涡轮发电具有单机功率大、车载机动性强的特点,适用于电驱压裂工况特点,为了进一步提高燃气涡轮发电经济性,川庆钻探在高桥XX平台开展了燃气发电+储能并网供电模式探索并取得成功,为燃气发电优化配置提供新思路。

(1) 设备配套。该平台采用泵送桥塞光套管压裂工艺,排量10.0m³/min,平均工作压力35MPa;配套1台5.8MW燃气涡轮发电机组+1套2.4MW/3.4MWh储能,为5台5000型电驱压裂橇、1台130桶电驱混砂橇和1台电驱仪表橇供电,实施全电驱压裂。

(2) 现场应用情况。压裂施工前燃气涡轮发电机组以最大功率给储能充电,电驱压裂时,燃气涡轮发电机组与储能并网供电,施工结束后,利用泵送桥塞间隙燃气涡轮发电机组不停机持续给储能充电,1台5.8MW燃气涡轮发电机组+1套2.4MW/3.4MWh储能并网供电功率可达6.8MW,该平台累计发电17.5万度,用气5.9万方,平均发电效率2.97KWh/Nm³;储能系统具备电网功率自动跟随功能,在负载低于电网供电功率时,优先投用燃气发电功率,负载超过燃气发电供电功率阈值时,EMS电源管理系统快速投用储能功率补充,保持总功率稳定输出工况下储能最大用电时长。

(3) 应用效果及认识。①提高燃气发电效率。将涡轮发电效率从每方气2.0度提升至2.97度,发电效率提高30%,减少燃气消耗,降低综合用电成本;②提※

往复式压缩机气阀故障分析及预防措施

管信刚, 高小强, 李欣, 张文洁, 辛芳
(中国石化兰州石化分公司, 甘肃 兰州 730060)

摘要: 作为往复式压缩机的重要组成部分, 气阀质量与压缩机运行效果息息相关。在实际运行过程中, 气阀容易因各种因素出现故障, 通过分析气阀故障产生原因, 有助于保障压缩机稳定、持续运行。为了提升企业经济和社会效益, 本文从往复式压缩机气阀结构入手, 对气阀性能要求展开研究, 深入分析气阀故障与原因, 提出往复式压缩机气阀故障预防措施, 旨在为相关人员提供参考。

关键词: 往复式压缩机; 气阀; 故障分析

中图分类号: TH45 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-0711 (2025) 01 (下) -0200-04

往复式压缩机是利用活塞杆在气缸中反复运动, 达到气体吸引、压缩、排出的目的。在石油等工业企业中应用广泛, 往复式压缩机运行状态, 容易受到气阀因素的影响, 一旦气阀发生故障, 会引发压缩气缸温度升高、排气量不足以及排气压力过高等现象, 因此, 解决气阀故障问题尤为重要。相关人员需要采取有效措施, 分析往复式压缩机中气阀故障产生的位置以及原因, 及时解决故障, 避免对企业经济发展造成不良影响。

1 往复式压缩机气阀结构

活塞压缩机在运作过程中, 会经历四个阶段: 膨胀、吸气、压缩和排气。为了保证压缩机的稳定运行, 防止出现故障, 对气门的要求是十分严格的, 这主要是因为气门的特性对活塞压缩机的排量和功耗具有直接的影响。更进一步说, 气门阀片的工作寿命与压缩机的工作时间息息相关, 气门的设计与制造涉及多个部

件, 包括阀座、阀片、弹性体和升程限位器等。在这些部件中, 弹性元件, 也就是弹簧, 起到了至关重要的作用, 它的主要功能是确保气体阀门的密封性, 从而保证压缩机的正常工作。另外, 阀帽上的阀片和升程限位器则负责阀门的开启与关闭。在表 1 中, 我们详细列出了这些特定的气体阀门部件。这些部件协同工作, 确保活塞压缩机的稳定运行, 同时, 也为提升压缩机的性能提供了可能。

表 1 气阀组成及各部件作用

气阀组成	作用
阀座	承受气缸内外压差
阀片	启闭元件
弹性元件	缓冲阀碰撞升程限制器
升程限制器	支撑弹性元件

※ 高发电机组利用率。该平台全电驱压裂施工需配置 2 台 5.8MW 燃气涡轮发电机组, 增配储能系统后, 减少了 1 台燃气涡轮发电设备配置, 提高了发电设备利用率, 解决了市场上大功率燃气涡轮发电设备资源不足的问题; ③提供应急备用电源。燃气发电异常停电时, 储能无缝切换持续给电驱压裂供电, 防止电驱压裂设备全部停机, 能够有效保障井筒安全。

4 结论及建议

4.1 结论

(1) 燃气涡轮发电和燃气内燃机发电使电驱压裂摆脱了电驱压裂对网电的依赖, 规避了用电高峰期网电限制, 为电驱压裂推广提供了新路径, 但均存在发电浪费问题, 配套储能装置进行削峰填谷, 可提高燃气发电效率和供电稳定性, 降低综合用电成本。

(2) 大功率储能供电是实现钻井遗留电网接续使用的有效方式, 可以解决电驱压裂电网专线建设周期长、费用高、容量申请困难等制约电驱压裂规模化应用的瓶颈问题, 市场前景广阔。

4.2 存在问题及措施

(1) 储能装置性能有待验证。目前, 储能系统普遍使用磷酸铁锂电池, 大功率储能装置在电驱施工中高

强度充放电, 电池的寿命、性能、充放电效率、安全性和可靠性等方面有待规模化应用验证。

(2) 经济性算赢较为困难。储能系统投入成本较高, 磷酸铁锂电池充放循环 6000 次, 寿命约 10 年, 实施网电峰谷差价套利, 收回投资成本时间较长, 经济性算赢较为困难, 需优化合作模式, 实现共赢。

(3) 压裂场景储能应用无石油行业标准。移动式大功率储能是否定义为危险源, 是否需要到属地应急管理部门备案, 目前, 无移动式大功率储能运输、吊装时的最高储电量、现场摆放安全距离行业标准; 移动式储能电池仓 PAK 包缓震结构、模块间接口、电池仓容量、外形尺寸、重量无行业标准。需制定石油行业移动式大功率储能标准, 规范储能现场应用, 确保现场用电安全, 为后期规模化推广奠定基础。

参考文献:

- [1] 张斌, 李磊, 邱勇潮等. 电驱压裂设备在页岩气储层改造中的应用 [J]. 天然气工业, 2020, 40(5):50-57.
- [2] 谢元杰. 电驱压裂设备在页岩气储层改造中的应用 [J]. 智能制造与设计, 2021,(4):73-74.
- [3] 刘文宝, 姚孔, 王元忠. 电驱压裂装备整体供电技术方案分析及应用 [J]. 机械研究与应用, 2020,33(3):210-213.