

能源强国调研纵深行

# 电动压裂：绿水青山中的一抹“亮色”

电动压裂技术在国内逐步推广应用，为降低深层和常压页岩气压裂成本、实现能源绿色开发提供了有力保障

南川页岩气田焦页211-4HF井应用全电动泵进行储层改造。

沈志军 摄

华东油气

## 最早尝试电动压裂的勇者

□沈志军 周剑

2016年9月，国家能源局发布了《页岩气发展规划（2016~2020年）》，华东油气积极响应，加快重庆南川页岩气田建产步伐。

页岩气想要获得高产，必须利用压裂设备对页岩层进行大规模储层改造。当时，华东油气共有10台柴油压裂车，总功率约为2.5万水马力，而一场大规模压裂至少需要5万水马力。更让人头疼的是，市场上的柴油压裂车又处于供不应求的状况。

“当我们准备租赁传统的柴油压裂车时，了解到市场上出现了新型节能电动压裂泵。与传统压裂车相比，电动压裂泵功率大、占地少、噪声低、无碳排放、维护简易，还可连续施工，且施工费用降低近1/4。”时任压裂队队长周劲说。然而，由于供电条件不完善、设备设计不成熟等诸多因素，没有人愿意提供“试验田”，这种



华东油气党员突击队在漆页2HF井现场保养设备。沈志军 摄

新型电动压裂泵一直被束之高阁，无人问津。

这条信息让大家既兴奋又紧张：如果能第一时间进入电动压裂领域，华东油气就可能在压裂技术上率先实现“换道超车”，降伏常压页岩气效益开发的“拦路虎”，但新技术千好万好，也没有

国内大规模工业试验的先例，且施工所需10千伏安的高压电对电网配套提出了严峻挑战。经过多次讨论验证，华东油气决策者下定决心——2017年5月，电动压裂泵首次在南川页岩气田焦页195-1HF井应用。

就在大家满怀期待见证效果

时，却迎头浇了一盆冷水。“原来一天能压3~4段，引入两台电动泵后，一天只能压一段，电动泵不停地出毛病，差点崩盘！”技术人员牛作刚回忆。“大泵曲轴瓦常烧、柱塞盘根常烧、异常高温死机……”设备大班金峰的本子上也记满了遇到的各种问题和改进方案。

新技术应用总有波折，但为了实现页岩气绿色开发，华东油气不懈坚持，不到3年时间，电动压裂泵在平桥南区实现了从试用到大规模应用的跨越式发展，并先后申请了几十项优化专利，设备稳定性、自动化、智能化逐步提高。

2019年8月4日，在攻克了诸多技术难题后，首次全电动泵压裂在南川工区焦页211-4HF井试验成功。10台电动压裂泵的动力输出与20台柴油压裂车相当，占地少、噪声低、零碳排放，真正实现了绿色施工。随后，在苏北盆地页岩油开发中，全电动泵压裂再次“出马”，有效降低了

开发成本，实现了页岩油效益开发。

2022年8月20日，华东油气首次运用智能化压裂系统在胜页33平台顺利完成了57段储层改造，初步实现了储层改造指挥的标准化、智能化，标志着页岩气压裂开发正式迈入“电动、绿色、数控、智能”的新时代。

从2016年至今，电动压裂技术从单台试验到柴电混合应用，再到全电动自动化，发展迅猛，而华东油气正是第一个敢于“吃螃蟹”的勇者。目前，南川页岩气田已完成了页岩气井近5000段全电动压裂，累计减少近20万吨二氧化碳排放。

如今，在群山环绕的压裂现场，没有了柴油机震耳的轰鸣、刺鼻的浓烟，在白色变频驱动房围绕下，红色的高压管汇像一条中轴线，把10台蓝色电动压裂泵整齐分成两列。白、红、蓝三色相配，与绿色的群山呼应，构成了一幅清洁能源绿色开发的美丽画卷。

## 发展完善电动压裂技术提升页岩气开发经济性

□刘红磊 周林波 陈作 薄启炜 马玉生

水平井多级分段压裂是页岩气增储上产的关键技术，主要依靠压裂泵车组来完成，而压裂泵车组施工费用通常占页岩气单井压裂总费用的35%~45%。压裂泵车组的运行质量、施工时效及运行成本直接影响页岩气区块开发的经济性。

国内页岩气井多位于川渝山区，施工井场面积、平整度等地面条件有限，为满足页岩气井高泵压大规模压裂，通常需要配备10~20台压裂泵车，现场施工组织难度较大。2015年之前，国内压裂泵车几乎全部是柴油驱动。页岩气勘探开发向深层和常压发展，对压裂设备提出了更高要求，电动压裂泵车应运而生，打破了柴油驱动压裂泵车组独占市场的格局。

国内电动压裂发展势头迅猛：2015年电动压裂尚不超过百段，2018年电动压裂超过1000段，2021年突破4000段。随着页岩气开发步入2.0时代，电动压裂应用范围将不断扩大。中国石化电动压裂多集中在川渝页岩气工区，随着电力资源逐步完善，未来两年电动压裂施工将达到50%以上，多井平台成为电动压裂主战场。

电动压裂技术是一项新的压裂技术，经过现场应用证明了其优势，但要大规模推广应用还存在不足，需要在设备配套、技术协同、过程管理等方面进一步发展和完善。

一是全面升级电动压裂系统。要升级井场电力系统和压裂配套设备能力。6000HP电动压裂泵由8~10台增为12~14台，电力系统的容量由25000千伏安升至35000千伏安，清水供水能力由每分钟10立方米升至16立方米，现场连续配液能力由每分钟8立方米升至20立方米，混砂供水能力由每分钟16立方米升至20立方米。要优化改进自动输砂装置，提高输砂效率。加砂方式由人工添加改为电力自动输砂，采用双仓式一体化连续输砂装置、螺旋绞龙式连续输砂装置，输砂效率可提升30%以上。要推广电子监控设备，实现流程自动化、决策信息化。压裂施工指挥方式由初期控制压裂泵进行数据检测逐渐转换为集成部分设备控制，最终升级为电动仪表控制中心，可对电动压裂泵、混砂、配砂实现远程集中控制、监控，实现流程自动化；同步研发远程监控决策系统，可实时监测每台压裂设备的参数和施工参数，用手机即可远程实时查看每台压裂设备的参数和各项施工参数，跨专业全体系协同工作及远程指导。

二是科学细化压裂井场布置。电动压裂配套电气设备的增加及压裂提速的需求，打破了原有现场布局模式；泵送射孔与压裂施工共用一套供液流程，无法进行模块化划分；压裂提速增加了物流车辆进场频次，原有物流通道无法满足现有需求。为避免井场电缆被碾轧，应合理设计运/转砂通道、换泵头通道，提高物流运行效率。施工前要对高压变电站进行勘察并硬化地面，除了对强度有要求，还需考虑川渝地区山区、多水、滑坡的影响，保障安全用电。可将井场设备分为变电、高压作业、混砂等10个作业模块布置，高压电模块须集中封闭式管理。针对每个模块，从连接、接口、占地面积等方面进行梳理，形成作业指导规范，保障布局优化更加合理。

三是合理优化交叉施工工序。根据生产任务安排，提前制订压裂运行计划，采取“拉链式压裂+独立泵送”的施工模式，同时实时优化交叉压裂井位和井段组合，保障压裂提速。要建立独立泵送流程，并将桥塞泵送橇的控制流程移出高压区，以保障施工安全，同时配备独立仪表车，可实现压裂—泵送同步，减少或消除泵送—压裂交叉等待时间，提高压裂效率。

四是持续强化施工过程管理。强化过程管理，就是在完成压裂部署后，对后续推进情况实施跟踪、协调、调度、干预的一系列管理措施。例如压裂设备维护保养，初期在压裂、泵送施工作业全部完成后集中进行检修维护，现在泵送施工独立进行，压裂后即可维护保养压裂设备，无须等待泵送，可有效提高压裂速度。加强新技术、新工艺、新工具的引进和应用，如将泵送桥塞射孔联作分段压裂工艺优化为泵送可溶桥塞分段压裂工艺，再升级为无限级固井滑套分段压裂工艺，可以完全消除泵送桥塞、射孔的工作环节。采用泵送桥塞射孔联作分段压裂工艺压裂速度为每天2~3段，采用泵送可溶桥塞分段压裂工艺可加快为每天4~6段，而采用无限级固井滑套压裂工艺每天8~12段。另外，以柴油发动机为动力的压裂设备数量众多，搬迁安装需要12天，而电动压裂通过设备模块化、便捷化和标准化，搬迁安装时间缩短至7天。

电动压裂技术在国内页岩气井压裂中逐步得到应用，为深层和常压页岩气的低成本压裂施工提供了技术手段。全电动压裂技术仍需不断升级、完善、改进和推广，才能真正实现绿色新能源页岩气的低碳开发，优化我国能源结构，保障国家能源安全，推动碳达峰、碳中和目标早日实现。

作者单位：页岩油气富集机理与有效开发国家重点实验室、石油工程技术研究院、油田勘探开发事业部

江汉油田

## 率先迈入电动压裂3.0时代

□谢江 牟莎莎

过去，页岩气压裂施工使用的是柴油压裂设备，能耗大、废气排放多、发动机噪声大。为实现绿色发展，2018年以来，江汉油田在涪陵页岩气田积极推进电动压裂设备应用。从最初的柴油搭压裂到全电动压裂再到智能化压裂，如今，电动压裂技术在页岩气开发中的运用越来越成熟。“今年，涪陵页岩气田一半的气井压裂会使用电动压裂设备。”江汉油田工程技术管理部负责人介绍。

电动压裂技术对页岩气开采提速增效贡献巨大。涪陵页岩气田开发区域分布在重庆市涪陵、南川、武隆等地，是典型的山区地形，许多井场依山而建，面积狭小。与传统柴油驱动压裂设备相比，电动压裂设备功率更大、占地面积更小，更适合山区施工。“以焦页39号东平台压裂施工为例，以往要用20台3000型柴油压裂



江汉油田员工在压裂施工前进行安全确认。李占军 摄

设备，现在采用6000型电动压裂设备，仅需要12台，占地面积减少了30%。”江汉油田工程技术管理部天然气室主任姚永柏说，“而且电动压裂设备可有效减少单井固废和废气排放，实现二氧化碳零排放，更加经济环保。”

由于噪声小，采用电动压裂设备可实现24小时连续施工，效率大大提升，这也改变了传统的生产组织模式，对压裂液、压裂砂等物资的供货速度提出了更高要求。“我们充分挖掘现有压裂设备的运行潜力，协调延长供砂时间，大力建

设供水管线，不断优化供电电网，努力做好关键物资保供工作，为高效施工创造良好条件。”涪陵页岩气公司试气项目部主任赵琨介绍。

2020年4月，焦页39号东平台3口井利用12台6000型电动压裂设备开展提速试验，在当时创下了区域单套压裂机组5段/日的压裂新纪录，压后平均测试日产量30万立方米，初步形成了一套在涪陵工区可推广应用的页岩气压裂生产组织模式。

电动压裂技术不仅是驱动形式的创新，而且是从配套装备、集成控制、数据采集、施工工艺、操作模式等方面进行的全面革新。围绕压裂智能化、自动化、信息化，江汉油田联合施工方、生产厂家不断对电动压裂模式进行升级改造，逐步实现了从低压供液装备到高压泵注装备的全流程、集成化、远程控制的页岩气全自动化压裂，率先迈入了电动压裂3.0时代。

今年7月，焦页67号扩压裂

平台实施“一键式”智能化压裂施工，最高单日施工效率达8段，能源消耗平均降低了33.2%，现场操作和监管人员也由48人减至26人，大大解放了人力。

“以往压裂施工时，压裂负责人需要向混砂车、供液罐、液罐组等各区域负责人不停喊话、传达指令，员工在风吹日晒下操作设备，劳动强度大、安全风险高。”江汉油田工程院储层改造所长张凡介介绍，“现在，员工只需在数控仪表舱内轻点鼠标，就可实现自动供液、自动切换液体、自动开关阀门、精确调整砂比浓度等一系列施工程序操作，并通过高清电子屏实时查看现场施工画面及压裂曲线、各工艺参数、能耗情况等内容，高效完成每天的压裂施工任务。”

今年1~7月，江汉油田应用电动压裂V3.0模式，实施完成5个平台27口井，共计施工671段，累计降低能耗0.61万吨标准煤，实现二氧化碳减排1.28万吨。

石化机械

## 加快电动压裂装备迭代升级

□孙海涛 陆英娜

我国非常规油气资源丰富。近年来，随着页岩气向深层、规模化、低成本发展，大平台和电动化成为实现绿色效益开发的重要手段。

“十三五”期间，石化机械依托国家科技重大专项“深层页岩气开发关键装备及工具研制”，开启“电动革命”，加快自主研制适应非常规油气绿色、高效、低成本开发的压裂装备。

自2017年12月首台电动压裂泵在涪陵193平台完成先导试验以来，历经单台试验、油电混合、全电动应用等阶段，石化机械成功研制出超大功率全电动成套压裂装备，并于2020年5月在涪陵页岩气田焦页27东平台开展工业试验，首次从主压装备



石化机械完成首台先导8000型电动压裂泵试验。陆英娜 摄

到辅助设备实现100%电动化，完成了100段压裂施工，创造了当时国内页岩气单日7段压裂，配置电动压裂设备数量最多、种类最多的新纪录。石化机械电动压裂装备应用技术也先后入选国家绿色技术推广目录名单、中央企业科技创新成果推荐目

录。近年来，结合施工现场、跟踪工程应用，石化机械持续推动电动压裂装备迭代升级。2022年，该公司突破连续满载长寿命压裂泵、小体积变频系统、电动混砂混排电动直驱等技术难题，研制的世界首套单泵结构连续满载压裂机组，用50天完成了涪陵页岩气田焦页12扩平台12口气井共计303段的压裂施工任务，创下国内页岩气开发单平台压裂井数量最多、段数最多、加液量最大、加砂量最大、单机组效率最高等5项施工纪录，实现了电动压裂、电动配液、电动输砂等全流程电动和24小时连续作业。同年，石化机械电动压裂装备亮相胜利油田首个页岩油井工厂——樊页1试验井组，整体电动压裂功率达到6万水马力。

今年6月18日，国内最大规模页岩油井工厂——牛页一区试验井组开启单平台“双机组”作业模式。石化机械提供的两套电动压裂机组“并驾齐驱”，在一个平台同时对两口井进行储层改造，极大提升了现场作业自动化水平，施工效率翻了一番。

“采用双电动压裂机组对两口井进行压裂作业，在国内外均属首次。与单套压裂机组相比，‘双机组’压裂作业需要将地质、工程、装备、工艺等充分融合，动用设备多、集成控制协同难。”石化机械相关负责人介绍，“我们充分发挥页岩油气装备一体化服务优势，通过打造‘联合舰队’顺利完成了任务，既填补了同步电动压裂装备技术的国际空白，又为页岩油气储层改造增产降本开辟了新路径。”

装备  
工程

责任编辑：魏佳琪  
电 话：59963398  
邮 箱：  
审 校：张春燕  
版式设计：赵博

周“油”列国  
油事精彩

专家视点