

煤层气水平井排采设备适应性技术应用及经济效益

李浩 (山西蓝焰煤层气集团有限责任公司, 山西 晋城 048000)

摘要: 伴随水平井在煤层气开发领域的大规模建设与运用, 传统的排采工艺已无法满足需要。为形成适用于水平井的排采工艺技术, 文章基于沁水盆地南部郑庄区块水平井的现场应用和排采实践, 分析了水平井专用整筒泵、顶驱螺杆泵、射流泵、液压无杆泵、高压软管泵、隔膜泵等排采设备对水平井的适应性及现场运用情况。总结以上各排采设备的适用条件和工况, 针对各类工况水平井排采形成一套适用性与经济性兼具的应对策略。

关键词: 沁水盆地南部; 水平井; 排采工艺; 现场应用; 经济效益

中图分类号: TE358 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 002-0067-03

Application and Economic Benefits of Adaptive Technology for Coalbed Methane horizontal well drainage and production equipment

Li Hao (Shanxi Lanyan Coalbed Methane Group Co., Ltd, Jincheng Shanxi 048000, China)

Abstract: With the large-scale construction and application of horizontal Wells in the field of coalbed methane development, the traditional drainage and production processes can no longer meet the needs. In order to form the drainage and production process technology suitable for horizontal Wells, based on the field application and drainage and production practice of horizontal Wells in the Zhengzhuang Block in the southern part of the Qinshui Basin, this article analyzes the adaptability and field application of drainage and production equipment such as horizontal well dedicated whole cylinder pumps, top drive screw pumps, jet pumps, hydraulic rodless pumps, high-pressure hose pumps, and diaphragm pumps to horizontal Wells. By summarizing the applicable conditions and working conditions of the above-mentioned drainage and production equipment, a set of applicable and economical response strategies for horizontal well drainage and production under various working conditions has been formed.

Key words: Southern part of Qinshui Basin Horizontal well; Production and drainage process Field application; Economic benefits

沁水盆地早期中浅层煤层气开采以直井、定向井为主, 单井日产量降低, 随着 L 型水平井分段压裂技术应用, 煤层气单井产量突破 2 万方/d。但现场应用时, 大部分水平井排采初期平稳, 顶驱螺杆泵可满足降液和排采需求^[1, 2]。排采中后期, 伴随泵挂位置的下调, 开始出现卡泵、断杆、油管漏失等排采问题^[3]。这些问题不仅严重影响设备的正常运行和生产井平稳产气, 同时大幅缩短了修井周期, 增加了修井成本。考虑到煤层气水平井不同排采阶段气、液、固体产出特征有显著差异, 仅靠一种设备很难满足单井整个生命周期^[4-7]。

本文以沁水盆地郑庄区块为例, 结合现场情况对水平井不同排采设备适应性进行分析, 并研究了井身轨迹差、恶劣井况下如何优选设备及配套措施, 提出针对水平井系统性排采工艺, 以期水平井高效排采提供技术支撑。

1 区块基本概况

郑庄区块位于山西省晋城市沁水县境内, 平均海拔约 900m, 境内包含中山区、低山丘陵区、河谷平川区三种类型。因此煤层气分布井场较多, 且井场大

小不一。沁水盆地南部郑庄区块构造简单, 区内煤储层以山西组 3 号煤、太原组 15 号煤为主。3 号煤层厚度均值 6m, 埋深 1000 ~ 1310m, 孔隙率 3% ~ 7%, 煤层渗透率 $(0.01 \sim 0.10) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 储层压力 7.02 ~ 13.51MPa。

郑庄区块 3 号煤层煤层气井以直井、定向井为主, 煤层气井最大产气量为 1000m³/d, 但随着持续开发, 郑庄北部储层埋深普遍超过 800m 甚至 1000m, 直井平均单井产量降低至 300m³/d, 整体低产低效, 未取得理想的开发效益。郑庄区块开采 15 煤层时煤层气井型向单分支水平井为主, 井眼轨迹相对较复杂。

2 排采设备应用及适应性分析

郑庄区块煤层气生产井排采设备类型以有杆泵、无杆泵为主, 有杆泵主要为顶驱螺杆泵、水平井专用整筒泵, 无杆泵主要为液压无杆泵、射流泵、智能软管泵、隔膜泵等。不同排采设备工作原理、结构等显著差异。以郑庄区块煤层气井常用的 ZL40-1(射流泵)、ZL40(液压无杆泵)、ZL54(液压无杆泵)、ZL54-1(液压无杆泵)、CL-029(高压软管泵)、CL-015(隔膜泵)等井为例, 对排采设备适应性技进行分析。

2.1 水平井专用整筒泵应用及适应性分析

常规管式抽油泵一般情况下，只能适应井斜度小于 45° 的直井和定向井。而经过将泵体改进为长柱塞管式泵、将单固定阀改为双固定阀后的水平井专用整筒泵，可运用于泵挂位置井斜不大于 65° 的情况。对管柱结构优化，具体在造斜点、造斜段及稳斜段等井段均增设扶正器，实现全井段防偏磨。实际应用过程中，对于 65° 以下的泵挂井斜，水平井专用整筒泵检泵周期平均 305 天，当泵挂位置接近 70° 时，连续运行不足 8 个月，周期明显缩短。

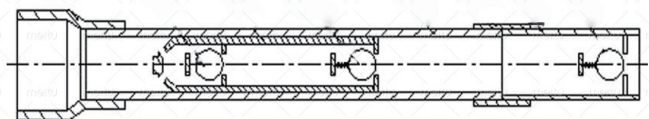


图 1 水平井专用整筒泵井下泵结构

2.2 顶驱螺杆泵的应用及适应性分析

水平井投运以来，郑庄区块开始大面积使用顶驱螺杆泵。该设备优点是工艺成熟度高，设备成本低、故障率低，产水量调节范围大 ($0.5\sim 250\text{m}^3/\text{d}$)，缺点是管杆相对移动易产生偏磨，在应用过程中需加装油管扶正器（同时保护压力计电缆）和抽油杆扶正器，同时在狗腿度变化大（大于 $7^\circ/30\text{m}$ ）处加装导向器和双保接箍，很大程度上延长了检泵周期。对水平井而言，泵吸入口位置需要同时考虑井斜角不至太大，泵位置所处井段应当以稳斜段为主。通常此状况下平均检泵周期接近 10 个月，当井斜度大于 75° 故障率显著增加，检泵周期缩短至 5 ~ 7 个月，故障主要为卡泵、断杆、油管漏失等。具体顶驱螺杆泵排采现场如图 2 所示。



图 2 顶驱螺杆泵排采现场

2.3 液压无杆泵的应用及适应性分析

液压无杆泵的运用，始于少数水平井投产初期，在水平井下调泵挂后运用开始趋于广泛。因该设备具有无管杆偏磨，功率相对较小，适用于狗腿度大、最

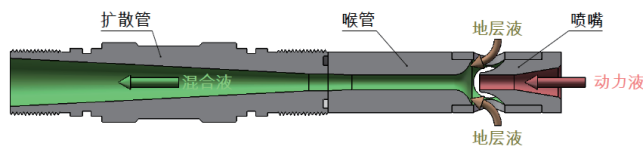
大井斜 $85^\circ \sim 90^\circ$ 的水平井生产，可携带一定浓度的煤粉，在很多水平井上得到了较好的运用效果，缺点是排水量相对有限 ($\leq 15\text{m}^3/\text{d}$)，高负荷运转下，地面驱动系统故障率相对较高。液压无杆泵平均检泵周期可达到 14 个月，运行效果总体较好。具体液压无杆泵排采现场如图 3 所示。



图 3 液压无杆泵排采现场

2.4 射流泵的应用及适应性分析

当产水量较高、煤粉浓度增加，液压无杆泵无法解决排采问题时，射流泵在部分水平井的运用上得到尝试。射流泵可根据排量、扬程需要选择 $37 \sim 90\text{kW}$ 电机，同时通过调频控制实现排量调节，调节范围在 $0.1 \sim 130\text{m}^3/\text{d}$ ；射流泵具备有排量调节范围大、检泵周期、可靠性强等优点。主要缺点为能耗高、占地面积大、设备价格高，同时对硫化氢含量高的煤层气井适应性差。



水力喷射泵工作原理图

(a) 井下结构



(b) 现场图

图 4 射流泵井下结构及现场图

2.5 隔膜泵的应用及适应性分析

隔膜泵通过井下潜油电机驱动隔膜高频震动,将流体源源不断举升出地面,优点是无管杆运动,大井斜适应性强(85°~90°),携煤粉能力强,功率小耗电量低,缺点是产水量相对有限($\leq 10\text{m}^3/\text{d}$),单次检修成本较高。隔膜泵配套人工定期回注制度或回注水设备,可针对煤粉浓度高、与粘土矿物等易形成糊状的水平井使用,从而延长稳定排采周期。通过以上措施,检泵周期可延长稳定至18个月以上。具体隔膜泵排采现场如图5所示。



图5 隔膜泵排采现场

2.6 智能软管泵的应用及适应性分析

智能软管泵配套井下电潜离心泵或隔膜泵,是近2~3年才出现的新型排采装置。它的出现,打破了原本使用油管、抽油杆或中心管实现地层水举升的固有思路,创新点在于将管壁变厚,材质变为高分子复合材料软管,同时将动力线、井下压力计线集成在软管内衬层内部,井下由隔膜泵或离心泵驱动。优点是无管杆运动,避免动力电缆和压力计电缆磕碰造成故障,大井斜适应性强(85°~90°),功率小能耗低;缺点是井身结构较差的井可能不易下入,起下软管较困难。智能软管泵配套人工定期回注制度或回注水设备,可针对煤粉浓度高、与粘土矿物等易形成糊状的水平井使用,从而延长稳定排采周期。通过以上措施,检泵周期可延长稳定至10个月以上。

3 经济效益分析

经济效益:通过排采设备优选,可有效提升设备运行率,水平井检泵周期得以延长,有利于气井稳产高产;同时,减少了修井费用和运维成本,由此两方面共同增加了经济效益。

生态效益:通过设备优选,保持设备稳定运行的同时,能够有效减少地面故障及气、水、油跑冒滴漏等问题,维护现场稳定的安全环保环境,产生肉眼可见的生态效益。

社会效益:研究不同地质条件、井眼轨迹和排采制度下的设备优选,不仅可以提升设备与生产井排采制度的匹配性,而且通过相关研究,可以总结出一套优选方法与理论,丰富复杂条件下设备优选相关理论,

具有一定的理论和实践价值。

4 结论

第一,水平井专用整筒泵在泵沉没度受限、轻微出煤粉、井斜角低于65°的煤层气水平井有较好的适应性。顶驱螺杆泵可适应大部分煤层气水平井初期排采,在螺杆泵适用于井斜角不超过75°,具有一定沉没度和煤粉浓度偏小的水平井有较强的适应性;液压无杆泵适用于井斜角不超过85°,可携带一定浓度煤粉,产水量相对有限的水平井。

第二,大井深、轨迹差、水量调节范围大的水平井可选用参数匹配的射流泵,辅助以井下吸水口结构优化、定期清洗泵芯、清洗地面过滤设备,有利于延长稳产周期,降低故障率,排采效果较好。

第三,隔膜泵适用于泵挂井斜角大、煤粉含量高、产水量相对有限的水平井。地面流程简单,基本无需维护,但井下一次性检泵成本较高。智能软管泵适用于井筒受限、动力电缆、压力计电缆易磕碰的水平井,可满足泵挂井斜角大、煤粉含量较高的水平井。无需日常维护,遇到煤粉浓度大,成糊状的情况需配套回注装置,有较好的排采效果。

参考文献:

- [1] 刘大猛,贾奇锋,蔡益栋.中国煤层气储层地质与表征技术研究进展[J].煤炭科学技术,2022,50(1):196-203.
- [2] 张道勇,朱杰,赵先良,等.全国煤层气资源动态评价与可利用性分析[J].煤炭学报,2018,43(6):1598-1604.
- [3] 熊先钺,闫霞,徐凤银,等.深部煤层气多要素耦合控制机理、解吸规律与开发效果剖析[J].石油学报,2023,44(11):1812-1826,1853.
- [4] 张聪,李梦溪,胡秋嘉,等.沁水盆地南部中深部煤层气储层特征及开发技术对策[J].煤田地质与勘探,2024,52(2):122-133.
- [5] 王红岩,段瑶瑶,刘洪林,等.煤层气水平井开发的理论技术初探——兼论煤层气和页岩气开发条件对比[J].煤田地质与勘探,2024,52(4):47-59.
- [6] 高德利,毕延森,鲜保安.中国煤层气高效开发井型与钻完井技术进展[J].天然气工业,2022,42(6):1-18.
- [7] 胡秋嘉,李梦溪,贾慧敏,等.沁水盆地南部高煤阶煤层气水平井地质适应性探讨[J].煤炭学报,2019,44(4):1178-1187.

作者简介:

李浩(1989.02—),男,汉族,山西晋城人,硕士研究生,中级工程师,现从事煤层气勘探与开发管理技术工作。