

淮南矿区 L 型煤层气井多类型排采工艺适应性研究与应用

郝建朝

中石化中原石油工程有限公司油气开发公司, 河南 濮阳 457001

DOI:10.61369/ME.2026040008

摘 要 : 淮南矿区是我国典型高煤阶、低渗透开发区, L 型水平井凭借储层改造优势成为区块主力开发井型, 但长水平段、易出煤粉、井斜角大等特点, 给煤层气排采作业带来诸多难题。本文以淮南潘谢、顾桥区块 L 型煤层气井为研究对象, 针对区块应用的顶驱螺杆泵、电潜螺杆泵、电潜泵、潜油隔膜泵四类排采工艺, 剖析工艺运行原理、结构特点及现场适配难点, 结合现场生产数据, 从工艺适应性、排采效率、设备运维、产能释放等维度开展对比分析, 明确不同工艺的适用场景与优化方向, 构建淮南矿区 L 型井全生命周期排采工艺选型模式。研究结果表明, 潜油隔膜泵可实现水平段零水位排采, 适配区块复杂生产条件, 电潜螺杆泵为稳产期高效选型, 电潜泵适用于高产水初期, 顶驱螺杆泵仅适用于短水平段井型。研究形成的“一井一策、分阶段选型”方案, 可有效提升排采效率、延长检泵周期、释放气井产能, 为同类复杂地质条件煤层气 L 型井排采作业提供实践参考。

关 键 词 : 煤层气; L 型水平井; 排采工艺; 顶驱螺杆泵; 电潜螺杆泵; 电潜泵; 潜油隔膜泵; 淮南矿区

Adaptability Research and Application of Multi-type Drainage and Production Technologies for L-type CBM Wells in Huainan Mining Area

Hao Jianchao

Oil and Gas Development Company, Zhongyuan Petroleum Engineering Co., Ltd., China Petroleum & Chemical Corporation, Puyang, Henan 457001

Abstract : Huainan Mining Area is a typical development zone of high-rank, low-permeability, coal and gas outburst coalbed methane (CBM) in China. L-type horizontal wells have become the main well type in the block due to their advantages in reservoir reconstruction, but the characteristics of long horizontal section, easy coal powder production and large hole deviation angle bring many difficulties to CBM drainage and production operations. Taking L-type CBM wells in Panxie and Guqiao blocks of Huainan as the research object, this paper analyzes the operation principles, structural characteristics and on-site adaptation difficulties of four drainage and production technologies applied in the block, namely top-driven screw pump, electric submersible screw pump, electric submersible pump and submersible oil diaphragm pump. Combined with on-site production data, a comparative analysis is carried out from the dimensions of process adaptability, drainage and production efficiency, equipment operation and maintenance, and productivity release, so as to clarify the applicable scenarios and optimization directions of different processes and construct a full-life cycle drainage and production process selection model for L-type wells in Huainan Mining Area. The results show that the submersible oil diaphragm pump can realize zero-water-level drainage in the horizontal section and is suitable for the complex production conditions of the block; the electric submersible screw pump is an efficient selection for the stable production period; the electric submersible pump is suitable for the initial stage of high water production; and the top-driven screw pump is only suitable for L-type wells with short horizontal sections. The proposed "one well one policy, staged selection" scheme can effectively improve drainage and production efficiency, prolong pump inspection cycle and release gas well productivity, providing practical reference for drainage and production operations of CBM L-type wells under similar complex geological conditions.

Keywords : coalbed methane (CBM); L-type horizontal well; drainage and production technology; top-driven screw pump; electric submersible screw pump; electric submersible pump; submersible oil diaphragm pump; Huainan mining area

引言

我国煤层气资源储量丰富，高效开发煤层气既能优化能源结构，又能从源头防控煤矿瓦斯安全事故，具备显著的经济、安全与生态效益。淮南矿区作为华东地区重要的煤炭与煤层气生产基地，境内煤层具有高煤阶、高地应力、低孔低渗、高瓦斯含量、煤岩质地松软等特征，常规直井开发产能偏低、效益较差，近年来 L 型水平井逐步成为区块规模化开发的核心井型。L 型井由垂直段、造斜段、水平段组成，水平段长度可达 800–1300m，可大幅增加煤层接触面积，提升产气效率，但同时也带来了排采难题：井斜角大导致杆管偏磨严重、水平段积液难以排出、煤粉易堵塞泵体、高气液比易引发气锁等，制约气井产能释放。

当前淮南矿区结合不同井况、生产阶段，规模化应用顶驱螺杆泵、电潜螺杆泵、电潜泵、潜油隔膜泵四类排采工艺，但各类工艺缺乏系统性的适应性对比与标准化选型依据，部分井存在工艺选型不匹配、排采效率低、设备故障频发、运维成本高等问题。基于此，本文结合淮南矿区地质特征与 L 型井生产实际，开展四类排采工艺对比研究，提出适配性选型与优化方案，为矿区煤层气高效排采提供技术支撑。

一、淮南矿区 L 型煤层气井生产地质特征

（一）地质与储层特征

淮南矿区主力开发煤层为二叠系煤层，属于高煤阶无烟煤，镜质组最大反射率介于 3.5%–4.8%，煤层渗透率仅 $0.01 \times 10^{-3} - 0.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，属于特低渗透储层；煤层原始压力 3.0–6.4MPa，为高压储层，瓦斯含量 10–36m³/t，煤岩质地松软，排采过程中易产生煤粉，产出水矿化度较高，且含少量腐蚀性离子，对排采设备抗腐蚀、抗煤粉堵塞性能要求极高。此外，矿区煤层非均质性极强，层间裂隙发育不均，煤层孔隙以微孔隙为主，气体解吸、运移难度大，进一步加大了排采管控与产能释放的难度，也对排采工艺的稳定性提出了更高要求。

（二）L 型井井身与排采难点

矿区 L 型煤层气井采用垂直段 + 造斜段 + 水平段的井身结构，造斜段井斜角 45°–90°，水平段井斜角 90°，水平段长度 800–1300m。结合现场生产实际，该类井型排采核心难点集中在四方面：一是井斜角大，常规有杆排采设备杆管偏磨、断脱风险高，泵挂深度受限；二是水平段低位易形成积液，造成液封现象，抑制煤层气解吸产出；三是煤岩松软，煤粉产出量大，易造成泵体卡堵、部件磨损；四是生产阶段气液比波动大，易引发气锁问题，降低排采效率。与此同时，长水平段井身轨迹管控难度大，局部井段易出现积粉、砂堵问题，加之排采参数调控精度要求高，稍有不慎便会引发井底压力波动，进一步加剧排采作业风险。

二、矿区四类排采工艺原理与结构特点

煤层气排采工艺的核心是平稳排出煤层积水、精准控制井底压降速率，避免储层煤粉大量运移堵塞裂隙，同时适配 L 型井大井斜、长水平段的特殊井身结构。淮南矿区结合储层特性与生产需求，选用的顶驱螺杆泵、无杆螺杆泵、电潜泵、潜油隔膜泵四类工艺，分属有杆排采、无杆排采、离心式排采、容积式往复排采四大类别，各类工艺在动力传输、举升原理、结构组成上差异显著，适配的生产工况与井况条件也各不相同。下文结合矿区现

场应用实际，逐一剖析四类工艺的运行原理、核心结构、优劣特点及现场适配局限性，为后续工艺适应性对比奠定基础。

（一）顶驱螺杆泵工艺

顶驱螺杆泵属于地面驱动式容积排采工艺，也是煤层气开发早期应用最广泛的有杆排采技术，核心结构由地面驱动装置、抽油杆柱、井下螺杆泵总成、井口密封装置、扶正器五大模块组成。其运行原理为地面变频电机提供旋转动力，经减速箱调节转速后，将扭矩传递至抽油杆，抽油杆沿井筒垂直段、造斜段向下延伸，带动井下螺杆泵转子做圆周运动，转子与定子之间形成密闭的容积腔，随着转子旋转，容积腔从吸入端向排出端移动，将煤层水从井底举升至地面集水系统。该工艺动力传输路径清晰、设备采购成本低廉、现场安装调试流程简单，后期检泵、维修无需大型专业设备，适合基础排采条件较好的井型使用。但在淮南矿区 L 型井复杂工况下，工艺短板被进一步放大，抽油杆在大斜度井段易与套管内壁发生摩擦、碰撞，长期运行会出现杆管磨损、断脱、偏心磨损等问题，不仅缩短设备使用寿命，还会引发井下故障停机；同时受杆柱传动限制，泵体无法下入水平段，只能放置于低角度造斜段，难以解决水平段低位积液问题，煤粉也易在定子橡胶腔内堆积，造成泵体卡泵、举升效率下降。

该工艺在淮南矿区早期 L 型井中应用较多，优势在于设备结构简单、前期投入低、现场运维便捷；但短板十分突出，受抽油杆限制，泵挂深度有限，仅能下至井斜角 70° 以内的造斜段，无法深入水平段，水平段遗留积液无法排出，且造斜段抽油杆与套管偏磨严重，检泵周期仅 3–6 个月，仅适用于水平段较短、井斜角较小的 L 型井。

（二）无杆螺杆泵工艺

无杆螺杆泵又称电潜螺杆泵，是针对有杆排采工艺偏磨问题优化升级的无杆排采技术，彻底摒弃地面驱动、抽油杆传动模式，实现井下动力直驱，核心结构由井下永磁同步电机、保护器、螺杆泵泵体、动力电缆、地面变频控制柜、井下传感器组成。运行原理为地面控制柜通过动力电缆将电能传输至井下电机，电机直接驱动螺杆泵转子旋转，省去中间杆柱传动环节，依靠转子与定子的啮合容积变化完成液流举升。其中保护器起到平

衡电机内外压力、隔绝地层液体进入电机内腔的作用，保障电机在井下高温、潮湿环境中稳定运行。该工艺完美解决了传统有杆排采的杆管偏磨问题，可适配更大井斜角的 L 型井段，泵挂深度可延伸至近水平段位置；同时采用永磁电机，能耗更低、运行噪音小，对煤粉的适配性优于离心式排采设备，适合中低产水量、产气稳定的气井稳产期生产。但受螺杆泵自身结构限制，定子橡胶易受地层温度、腐蚀性水质影响出现老化、脱落现象，且依旧无法完全贴合水平段井底，少量积液仍会残留，面对高煤粉、高气液比工况时，仍存在轻微气锁、泵效降低的问题。

该工艺适配淮南矿区 L 型井生产特点，取消抽油杆后彻底消除杆管偏磨问题，可下至井斜角 85° 以下的井段，设备运行平稳，抗煤粉、抗气蚀性能优于顶驱螺杆泵，适配中低产水量（ $1\sim 10\text{m}^3/\text{d}$ ）的稳产期气井，检泵周期可延长至 12–18 个月，是矿区中期开发的主流工艺，但仍无法完全解决长水平段积液问题。

（三）电潜泵工艺

电潜泵属于多级离心式排采工艺，是高产液井常用的高效排水技术，核心结构由井下潜油电机、保护器、多级离心泵叶轮、气液分离器、动力电缆、地面控制系统组成。运行原理为地面供电系统通过专用潜油电缆将电能输送至井下电机，电机高速旋转带动多级离心泵叶轮同步运转，液流在离心力作用下获得动能与压能，逐级举升后输送至地面。该工艺最大优势在于排量大、扬程高，排水速度远超螺杆泵类工艺，能够快速降低井底压力，排出煤层大量积水，缩短气井见气周期。但在淮南矿区高煤阶、低渗透、多煤粉的储层条件下，该工艺适配性较差，离心泵叶轮、导轮间隙极小，地层产出的煤粉极易进入间隙造成部件磨损、卡阻，长期运行会大幅降低泵效；同时煤层气易混入液流形成气泡，引发气锁现象，导致泵体抽空、停机，设备维修难度大、更换成本高，且大排量排水易造成井底压力波动过快，引发煤层大量出粉、裂隙坍塌，不利于储层长期保护，仅适合投产初期短期使用。

在淮南矿区，该工艺仅适用于 L 型井投产初期高产水阶段，可快速排出煤层积水、实现平稳降压，但设备对煤粉、气体敏感度极高，高气液比、多煤粉工况下，叶轮易磨损、气蚀现象严重，设备故障率偏高，且前期投入与维修成本较高，无法长期适配低产液、多煤粉的稳产期生产。

（四）潜油隔膜泵工艺

潜油隔膜泵是专为长水平段、高煤粉、大斜度煤层气井研发的新型无杆往复式排采工艺，核心结构由井下永磁电机、减速传动机构、隔膜泵体、气液分离装置、回流降温系统、井下监测组件组成，彻底摒弃旋转式举升结构，采用隔膜往复运动实现液流举升。运行原理为井下电机输出动力，经减速机构转换为往复直线运动，带动泵腔内隔膜做往复伸缩，改变泵腔容积实现吸水、排水循环；地层液流经过气液分离装置预处理后，分离游离气体，避免气体影响隔膜运行，回流降温系统则可循环少量液体，降低电机运行温度，同时冲刷泵体周边煤粉，防止积粉卡堵。该工艺可全程下入 L 型井水平段底板位置，真正实现井底零水位、无积液排采，无旋转磨损部件，抗煤粉、防气锁、耐腐蚀性极

强，检泵周期大幅延长；且排采速率调控精准，可平稳控制井底压降速率，保护煤层裂隙不坍塌，适配淮南矿区各类复杂 L 型井况，尤其是长水平段、高煤粉、大井斜的难题井型，综合适配性远优于其他三类工艺，是矿区后期规模化推广的核心工艺。

该工艺可下至 L 型井水平段底板，实现井底零水位排采，完全消除水平段积液问题，同时具备极强的抗煤粉、防气锁、抗腐蚀性性能，适配矿区复杂生产工况，检泵周期可达 18–24 个月，配合间抽、回注水降温降粉模式，可大幅提升气井产能，是淮南长水平段 L 型井的优选排采工艺。四、四类排采工艺现场适应性对比

结合淮南潘谢、顾桥区块 L 型井现场生产数据，从井斜适配性、抗干扰能力、排采效果、运维成本、适用场景等维度，对四类工艺进行系统性对比，结果如下表所示。

表 1 淮南矿区 L 型井四类排采工艺适应性对比

评价指标	顶驱螺杆泵	电潜螺杆泵	电潜泵	潜油隔膜泵
最大适配井斜角	$\leq 70^{\circ}$	$\leq 85^{\circ}$	$\leq 85^{\circ}$	90° （水平段）
杆管偏磨风险	极高	无	无	无
煤粉适应性	一般	较好	差	优
防气锁能力	差	中等	差	优
水平段积液情况	严重	较轻	较轻	无
平均检泵周期	3–6 个月	12–18 个月	6–12 个月	18–24 个月
能耗水平	中高	低	高	低
前期投入成本	低	中等	高	中等

从现场应用效果来看，顶驱螺杆泵成本低廉，但适配性差、产能释放不足，仅适用于短水平段、浅埋深 L 型井；电潜螺杆泵运行稳定、运维成本适中，是矿区 L 型井稳产期主流选型；电潜泵排水效率高，仅适合气井投产初期高产水阶段；潜油隔膜泵在适配性、产能提升、运维周期上均表现最优，可解决长水平段 L 型井排采核心难题，综合效益最佳。

三、淮南矿区 L 型井排采工艺优化选型方案

结合淮南矿区地质特征、L 型井井身结构及不同生产阶段特点，构建分阶段、分井型的差异化排采工艺选型方案，实现“一井一策”精准适配。

（一）按生产阶段选型

1. 投产初期（高产水期）：气井产水量大于 $10\text{m}^3/\text{d}$ ，核心需求为快速排水降压，优先选用电潜泵，利用其大排量优势快速排出煤层积水，缩短见气周期，待产水量降至 $10\text{m}^3/\text{d}$ 以下后，更换为适配稳产期的工艺。

2. 稳产期（气水同产期）：气井产水量 $2\sim 10\text{m}^3/\text{d}$ ，产气逐步稳定，水平段 $\leq 600\text{m}$ 的 L 型井选用电潜螺杆泵，保障平稳排采、降低运维成本；水平段 $> 600\text{m}$ 的长水平段 L 型井，选用潜油隔膜泵，实现零水位排采、最大化释放产能。

3. 低压递减期：气井产水量降至 $2\text{m}^3/\text{d}$ 以下，产气逐步递减，采用潜油隔膜泵 + 间抽管控模式，在保障排采效果的同时，

降低能耗，延长气井生产周期。

（二）配套工艺优化措施

为进一步提升排采效果，针对四类工艺配套针对性优化措施：一是顶驱螺杆泵加装多级扶正器，减少杆管偏磨，缩短检泵周期；二是电潜螺杆泵配套井下气液分离器，降低气锁风险；三是电潜泵加装煤粉过滤装置，减少叶轮磨损；四是潜油隔膜泵配套回注水系统，实现降温、降粉，保护泵体；五是所有井型搭建智能化排采管控系统，实时监测井底压力、产气量、产水量，自动调控排采参数，实现平稳排采。

四、结论与认识

1. 淮南矿区 L 型煤层气井排采核心制约因素为长水平段积液、杆管偏磨、煤粉卡堵、气锁影响，四类排采工艺适配性差异

显著，需结合井型、生产阶段精准选型。

2. 顶驱螺杆泵前期投入低、运维简单，但适配性差、偏磨严重，仅适用于短水平段、浅埋深 L 型井；电潜螺杆泵无偏磨、运行稳定，是矿区 L 型井稳产期经济型选型；电潜泵排水效率高，仅适用于高产水初期阶段；潜油隔膜泵可实现水平段零水位排采，抗干扰能力强、产能提升效果显著，是长水平段 L 型井最优选型。

3. 构建的淮南矿区 L 型井“分阶段、一井一策”排采工艺选型方案，可有效解决区块排采难题，延长设备运维周期、提升气井产能、降低综合成本，可为国内同类高煤阶、低渗透、长水平段煤层气井排采作业提供实践借鉴。

参考文献

[1] 范士强, 王健, 刘亮. 淮南深部煤层气 L 型水平井排采工艺实践与优化 [J]. 煤炭科学技术, 2024, 52(2): 368–375.
[2] 英胜丰, 彭煜敏, 李刚. 淮南潘谢区块潜油隔膜泵零水位排采技术应用 [J]. 中国煤层气, 2023, 20(4): 45–49.
[3] 张超, 陈磊, 赵阳. 高煤阶煤层气 L 型井电潜螺杆泵排采适应性分析 [J]. 煤田地质与勘探, 2023, 51(3): 112–118.
[4] 杨兆中, 李小刚, 朱静. 煤层气水平井排采工艺技术现状及发展趋势 [J]. 天然气工业, 2022, 42(5): 112–120.
[5] 郭晨, 史康, 秦勇. 低渗透煤层气井精细化排采制度优化及现场应用 [J]. 煤炭学报, 2023, 48(6): 2345–2354.
[6] 李洪生, 王军, 张磊. 淮南顾桥区块煤层气 L 型井排采故障分析与防控 [J]. 能源与环保, 2023, 45(5): 189–194.