

机抽排水采气生产制度应用与优化经济效益

齐振华 (中石化华北石油局华北油气分公司, 河南 郑州 450006)

摘要: 大牛地气田的水气关系较为复杂, 且随着气田开发阶段进入中后期, 气井压力与产能持续下降, 常规的泡沫排水采气工艺已难以满足低压低产井以及高液气比气井的携液需求。因此, 为进一步实现这部分气井的产能释放, 就需要介入机械排采工艺辅助排液。目前, 大牛地气田已逐步形成以机抽为主, 射流泵为辅的机械排采工艺模式。本文针对机抽排水采气工艺实际应用效果与存在问题, 提出高产液水淹井稳产产液量预测方法的优化建议, 确定以合理淹没度(300-400m)为依据的工艺制度调整方法, 该工艺的运用取得良好经济效益。

关键词: 大牛地气田; 机抽排水采气; 生产制度优化; 经济效益

中图分类号: TE375 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2025) 021-0046-03

Economic benefit after application and optimization of gas production system by machine pumping and drainage

Qi Zhenhua(North China Oil and Gas Branch, North China Petroleum Bureau, Sinopec,Zhengzhou Henan 450006, China)

Abstract: The relationship between water and gas in Daniudi gas field is complicated. As the gas field development stage enters the middle and late stage, the pressure and productivity of gas Wells continue to decline, and the conventional foam drainage gas production technology cannot meet the liquid carrying demand of low pressure and low production Wells and high liquid-gas ratio gas Wells. Therefore, in order to realize the productivity release of this part of the gas well, it is necessary to intervene in the mechanical drainage process to assist drainage. At present, Daniudi gas field has gradually formed a mechanical extraction technology model with machine pumping as the main and jet pump as the auxiliary. In view of the practical application effect and existing problems of the gas production process by machine pumping and drainage, this paper puts forward optimization suggestions on the prediction method of stable production volume of high yield liquid in water-flooded well, and determines the adjustment method of process system based on reasonable submergency (300-400m), which has obtained good economic benefits.

Key words: Daniudi gas field; Pump drainage gas production; Production system optimization; Economic benefit

鄂尔多斯盆地作为我国的第二大沉积盆地, 有着丰富的油气资源。近些年的探索和开发均揭示了鄂尔多斯盆地广阔的天然气勘探前景, 该盆地的开发和扩大对我国天然气工业的发展具有重要的现实与经济意义。大牛地气田地处鄂尔多斯盆地, 位于陕蒙交界处, 是中石化华北油气分公司主要的开发地区之一, 也是我国最重要的天然气能源生产基地之一。气田为孔隙型低渗-特低渗气驱气藏, 地质上呈现“一大、一多、一强、四低”的特征, 即储量规模大、含气层位多、储层非均质强、压力系数低、储层渗透率和风度低、单井产量低。而水平井由于泄气面积大、储层改造充分等优势, 已逐步成为大牛地气田开发的主要方式。气井自投产至中后期, 部分气井由于地层压力和产气量较低, 井筒无法连续携带产出液至井口, 造成井内积液, 最终导致水淹停产。截至目前, 国内外含水气藏的排水采气工艺逐渐形成了一套适合多种气藏的配套工艺技术, 如优化管柱、泡沫排水、制氮气举等, 但这些工艺都有其独特的优势和局限性。因此, 为维持气井生产, 针对不同的气井现状就需要实施相匹配

的排水采气工艺。对于低压低产气井以及高液气比气井, 其自身无法携液且通过常规工艺仍无法生产的, 则需要通过外部动力源助力强排井筒积液, 从而实现连续稳产。其中, 机抽排水采气工艺故障发生频率相对较低, 已然成为气田生产的关键机械增能手段。借助抽油机达成油管排液、套管采气的目的, 应用成效显著, 为后续确保气田的长期稳产以及高效开发给予了强劲的技术支撑。

1 机抽排采井基本概况

大牛地气田机械排采工艺包括射流泵、机抽、同井采注、电潜泵等6类29口, 通过几年的运行, 电潜泵、螺杆泵在大牛地气田应用效果较差, 射流泵因检泵周期短等问题较突出, 逐步发展为机抽为主, 射流泵为辅的机械排采模式。机抽排水采气主要应用于天然气开发的中后期, 该工艺原理主要为利用深井泵在油管中抽水, 使天然气能够在油套管环空中连续产出, 与油田所使用的抽油机工作原理相似。威远气田在1978年首次将该工艺应用到排水采气, 并对设备进行了相关改造。进入21世纪后, 国内多位研究人员对设备

抽汲参数与杆柱组合进一步优化，分别在吐哈丘东气田、子洲气田等气田取得了良好的应用效果。目前该工艺常用的设备主要包括深井泵、抽油机、抽油杆等，原则上该工艺在设备拥有足够长的泵挂深度时，可以在不同井深的气井中得到良好应用，且该工艺采用的设备相对简单，拥有较高的安全性。在气田开发过程中，对于高产液、井筒积液无法生产的气井而言，机抽排采工艺是一种有效的复产或增产措施，同时为满足经济有效开发，选井时也应满足一定条件：①气井自身具有一定产能价值，产出特征具有代表性，存在推广前景；②气井产液量大于 10 方 / 天；③气井由于高液气比水淹关井，无法正常生产。

以大牛地气田 6 口机抽井为例，工艺应用前 6 口井均处于长期关井无法生产状态，介入机抽工艺后已实现连续稳产，日均产气 0.62 万方 / 天，产液 28.5 方 / 天，投运至今累计产气 576.31 万方（表 1）。

表 1 机抽工艺应用后气井生产状况表

井号	工艺参数		措施工艺后					
	泵型	泵深	油压 (MPa)	套压 (MPa)	日产气 (万方 / 天)	日产液 (方 / 天)	累产气 (万方)	累产液 (方)
DX1	38	2100.29	/	1.14	0.12	2.2	224.22	5149.32
DX2	32	2202.57	/	2.95	0.20	3.1	9.01	3632.98
DX3	38	2191.69	/	2.63	0.20	2.8	143.85	4203.81
DX4	38	2300.58	/	2.4	0.13	6.2	183.69	589.62
DX5	38	2304.59	/	1.8	0.12	5.6	6.99	402.70
DX6	38	2212.94	/	1.89	0.21	8.6	8.54	681.33
合计					0.62	28.5	576.31	14659.76

投运以来，机抽排水采气井具有较长的检泵周期和相对稳定的运行表现，但在实际运行过程中也存在较多不足之处。部分气井在应用机抽排采工艺后，其实际产液能力超出了现有工艺所能达到的排液能力，使得这些设备在应用后无法完全满足排液需求。此外，传统的产液量预测方法主要依赖于静态地质参数以及理论模型，例如达西公式或经验公式，但这些方法存在实时性不足、适应性差以及缺乏对具体排采工艺适配性的考虑等问题。随着机抽井的持续运行，个别抽油机泵效逐渐下降至 40% 以下，存在沉没度控制不当的问题。当沉没度小于 300m 时，泵的吸入口压力不足，导致液体严重脱气，从而降低了泵的充满度；相反，若沉没度超过 400m，则会增加井筒内的摩擦阻力，从而降低了系统整体效率。这些问题的存在限制了机抽井产能的有效发挥，也揭示了当前技术手段在应对动态变化方面存在的局限性，要求我们在今后的工作中要更加注重实时监控与调整，优化沉没度控制理论，并改进现有的预测模型，提高机抽井的整体工作效率和经济效益。

2 生产制度优化与经济效益

2.1 优化高产液水淹井稳产产液量预测方法

在气田开发过程中，对于高产液水淹井的复产经常会遇到工艺选型与实际产能不匹配的问题。在以往的研究中，预测和规划相关措施时主要依赖静态地质参数和理论模型，无法充分考虑具体机械排采工艺的实际适应性和现场操作条件。这种基于理论的方法忽略了地层流体性质、动态变化特征以及设备的具体性能限制，导致部分气井在应用机抽等机械排采工艺后，其实际产液能力远超现有设备的排液上限。从而导致设备频繁故障，增加了维护成本和停机时长，降低了整体采出效率和经济效益。因此，为有效解决这一问题，需要研究更加精确和灵活的预测方法，综合考虑地质特性、流体动力学以及排采设备的技术参数，确保所选工艺能够真正适应每口井的实际需求，从而达到高效稳产的生产目标。通过改进预测方法和现场实践验证，可以大幅提高复产措施的成功率，优化气田的整体开发效果。因此，本研究提出基于动态监测数据的产液预测方法：

动态参数测试体系构建：建立包含地层压力（ P_R ）、流压（ P_{wf} ）、瞬时液量（ Q_L ）的数据监测体系。采用高精度电子压力计进行连续压力监测，消除井筒存储效应影响，同时通过井下流量计获取瞬时液量数据，采样频率提升至 1 次 / 分钟，最后通过试井工具监测验证地层压力梯度分布。

产液指数（PI）计算模型优化：修正传统产液指数公式，引入地层渗透率变异系数 β （0.001–0.005），通过 20 口试验井数据回归分析验证，该模型的产液指数（PI）计算误差值从 $\pm 18\%$ 降至 $\pm 7\%$ 。

$$PI = \frac{Q_L}{(P_R - P_{wf}) * (1 + \beta * Q_L)}$$

结合抽油泵最大下深预测稳定生产产液量：根据现有的泵型以及最大冲程、冲次，机抽工艺适用的产液范围为 5–15 方 / 天。结合产液量预测，可为机抽工艺选井提供依据。

2.2 沉没度控制理论优化

传统调参方法存在较大的技术缺陷，仅依赖示功图的特征判断调整具有明显的局限性。功图实际反映的是井下工况的瞬时状态，不能够表征地层供液能力的动态变化，例如渗透率时变、液气比波动等。统计表明，仅凭功图判断是否供液充足的误差高达 35%，从而导致冲程冲次调节方向错误。而且，采用“供液足则提参数，不足则降参数”的粗调方式极易引发两大矛盾，过抽（当冲次 >6 次 / min 时，柱塞下行速度超过液体入泵流速，造成液击和空抽，泵效骤降至

22% 以下) 与欠抽 (冲程 <2.4m 时, 有效排量仅达理论值的 65%, 导致沉没度被动抬升, 系统效率下降)。本文则通过研究抽油泵的合理沉没度与系统效率、泵效以及产气量的关系, 确定以合理沉没度为依据的工艺制度调整方法。

对大牛地气田 6 口机抽排水采气井在不同沉没度条件下的系统效率、泵效及产气量进行实测 (图 1), 旨在确定最佳沉没度范围, 确保气井在高效稳定的条件下运行。实验测试将沉没度范围限定在 200m-700m 的区间, 测定每个沉没度条件下的系统效率、泵效及产气量。结果表明, 沉没度大于 400m 时, 系统的整体效率和泵效均保持在较高水平, 超过 40%。但产气量却出现明显下降趋势。该结果表明过高沉没度有助于维持设备的良好运行状态, 但会导致气体流动阻力增加, 从而影响实际产量。沉没度低于 300m 时, 系统效率和泵效显著下降, 未能达到理想工作状态。同时, 预期较低的沉没度可能有利于气体的快速排出, 但实际上并未观察到产气量的明显提升。相反, 低沉没度可能导致泵的吸入压力不足, 进而影响其正常工作, 最终导致产量受限。综合考虑系统效率、泵效以及产气量之间的平衡, 合理的沉没度应控制在 300 至 400m 之间。这一区间既能保证较高的系统效率和泵效, 又能实现较为理想的产气量。

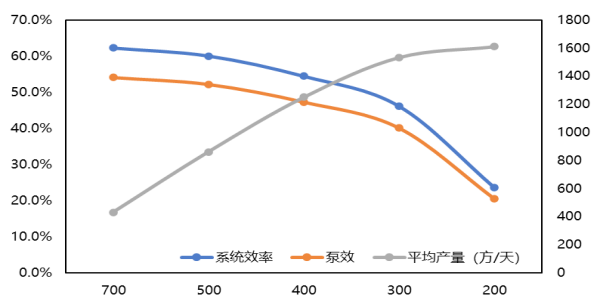


图 1 系统效率 / 泵效 / 产气量与沉没度关系图

3 实际应用经济效益

基于液面测试结果及泵深分析, 对大牛地气田中 3 口机抽井进行了 7 次工艺制度调整, 优化沉没度至合理范围 (300m-400m) 以提升排采效率。结果显示, 气井产液量稳定提高 7.0m³/d, 产气量稳定提高 2300m³/d, 平均泵效维持在 40% 以上 (图 2)。此次优化调整结果表明, 在合理沉没度范围内操作, 可以有效改善机抽井的工作性能, 提高液体和气体产出效率, 取得了良好的经济效益。

大牛地气田的勘探开发已逐步进入低压低产的中后期阶段, 对于气田内高液气比且无法正常生产的气井, 需要采用外部机械增能手段维持生产或复产。本文优化了高产液气井的液量预测方法, 对其进入机械排采阶段后的工艺选择和应用具有指导意义。此外,

通过对每口高产液气井进行全面评估, 制定个性化的排采方案, 并在实施过程中持续监测关键参数, 及时调整排采策略, 可以有效维持气井的稳定生产, 节约了生产成本。之后的工作还应进行详细的成本效益分析, 确保排采工艺的经济可行性, 制定长期发展规划, 推广排采工艺经验, 进一步提升整个气田的生产能力和经济效益。这一研究为大牛地气田高产液关停井排采工艺的选择和应用提供了理论依据和技术支持, 也为机抽排采工艺运行过程中的制度优化提供了新的思路 and 方向。

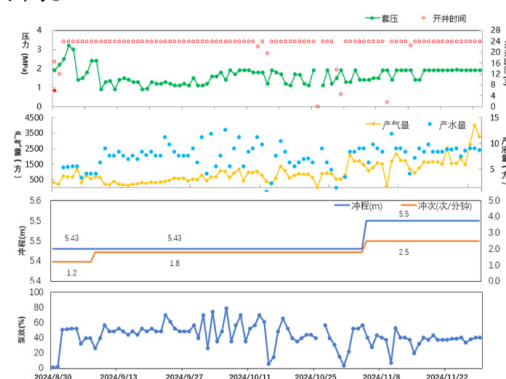


图 2 X5 井工艺运行曲线图

4 结论

本研究进一步优化了高产液水淹井稳产产液量预测方法, 综合现有抽油机设备型号等各类参数, 为下一步工艺选井提供一定的理论参考。完善机抽排采工艺制度优化调整方法, 确定以合理沉没度 (300-400m) 为依据的工艺制度调整方法。

参考文献:

- [1] 石春平. 泡沫排水采气工艺在大牛地气田的运用分析 [J]. 化工管理, 2015(05):179+181.
- [2] 刘忠群. 鄂尔多斯盆地大牛地致密砂岩气田水平井开发气藏工程优化技术 [J]. 石油与天然气地质, 2016,37(02):261-266.
- [3] 马原. 含水气井泡沫排水采气工艺设计解析 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2017,37(01):127-128.
- [4] 谷建东. Y29 井区气藏富水状况分析及机抽排水工艺研究 [D]. 西安: 西安石油大学, 2019.
- [5] 杨志, 栾国华, 梁政, 等. 机抽排水采气配套新技术的研究与应用 [J]. 天然气工业, 2009,29(05):85-88+142.
- [6] 杨政东. 机抽排采工艺在武隆工区页岩气井应用研究 [J]. 石化技术, 2023,30(07):126-127+30.
- [7] 姚博明. 排水采气工艺技术分析 & 优化措施 [J]. 化学工程与装备, 2022,(10):96-97.

作者简介:

齐振华 (1998-), 男, 硕士研究生, 助理工程师, 研究方向: 地质资源与地质工程。