

Research on Flexible Closed Loop Control System of Pumping Well

Xinyu He

North China Petroleum Communications Co., Ltd., Cangzhou, Hebei, 062550, China

Abstract

From the perspective of energy saving and consumption reduction, the flexible closed-loop control system of pumping wells is developed for different well types of oil wells and coalbed methane wells, real-time intelligent control of oil and gas wells, pump efficiency analysis, pump condition diagnosis, power calculation and other related management. The system includes the front-end pumping unit intelligent measuring and controlling cabinet and the back-end PC software. The oil well adopts real-time working condition diagnosis and output calculation, intelligent adjustment, intelligent adjustment dynamic balance, intelligent variable speed operation and other technical combinations to achieve flexible closed-loop control, CBM wells are used for flexible closed-loop control by means of intelligent drainage control technology for step-down wells, stabilized wells and pumping wells. In addition, the precise control of continuous and intermittent opening of the working well is completed, so that all departments of production management can grasp the working state of single well in time, shorten the fault processing time and reduce the number of workers' drilling, so as to achieve the unattended operation of the well station, so that oil and gas production can be realized and automated, and the purpose of energy saving and consumption reduction can be achieved.

Keywords

flexible closed loop; working condition diagnosis; production calculation; intelligent control

抽油机井柔性闭环控制系统研究

何新宇

华北石油通信有限公司, 中国·河北 沧州 062550

摘要

从节能降耗的角度出发, 针对油井和煤层气井不同井类型, 研发抽油机井柔性闭环控制系统, 实现油气井实时智能管控、泵效分析、泵况诊断、功图算产和其他的相关管理。系统包括前端的抽油机智能测控柜和后端的上位机软件, 油井采用实时工况诊断与产量计算、智能调参、智能调节动平衡、智能变速运行等技术组合实现柔性闭环控制, 煤层气井则针对降压井、稳压井、间抽井通过智能排采控制技术来实现柔性闭环控制。进而完成机采井连续、间开的精确控制, 使生产管理的各个部门及时掌握单井工作状态, 缩短故障处理时间, 降低工人巡井次数, 达到井站无人值守, 使油气生产实现信息化、自动化, 达到节能降耗的目的。

关键词

柔性闭环; 工况诊断; 产量计算; 智能管控

1 引言

近年来, 随着油田的持续开采, 地下原油储量不断下降, 节能降耗问题已经成为油田可持续发展的重中之重。截至2015年底, 中国华北油田共有抽油机井6321口, 占机采井总数的95%, 其年耗电为 $4.7 \times 10^8 \text{kw/h}$, 占油气生产总用电量的57%。在这种形势下, 节能抽油机、节能电机等节能配套技术在节能降耗方面虽然取得了一定成效, 但没有从根本上解决载荷波动幅度大的问题, 因此抽油机井低效、高能耗运行尚

未得到解决, 其系统效率平均不超过30%。

从节能降耗的角度出发, 针对油田生产特点与需求, 自主研发抽油机井柔性闭环控制技术, 搭配使用前端抽油机智能测控柜, 为油气生产和优化决策提供直观、动态的综合信息, 提升精细化管理水平, 实现节能降耗、稳定产量、均衡生产、提高生产效率的目标。

2 柔性闭环控制

针对油井和煤层气井两种类型井, 研究采用不同的功能模块组合实现柔性闭环控制功能。油井采用实时工况诊断与

产量计算、智能调参、智能调节动平衡、智能变速运行等技术；煤层气井则针对降压井、稳压井、间抽井通过智能排采控制技术来实现柔性闭环控制。^[1]

2.1 实时工况诊断与产量计算

应用地面示功图，计算阻尼系数，求解波动方程，消除地面示功图的影响因素，得出井下泵功图，寻找特征点判断工况类型，根据不同工况应用不同分析方法计算单井产量，结合井环实际计量产量，实现环状流程多井的产量劈分工作。如图1所示。



图1 实时工况诊断与产量计算

2.2 智能调参

根据实时工况诊断结果判识油井供采平衡关系，计算最佳冲次，实现油井自动、手动和远程调节冲次三种控制模式。

(1) 自动调节：上位机软件计算出最佳冲次，通过 RTU 发送指令给变频器调节冲次；

(2) 手动调节：本地旋转旋钮人为控制抽油机冲次。

2.3 智能调节动平衡

上位机软件根据电流和功图数据等计算出抽油机当前的平衡状态，通过自动控制平衡电机对抽油机进行平衡调节，达到最佳运行状态，并显示平衡度。同样具有手动、自动、远程平衡度调节三种模式，还具有限位开关保护功能。

2.4 智能变速运行

变速运行实现功率的平稳输出，大幅降低功率峰值及波动幅度。它是在冲次不变的前提下，当载荷大的时候减速，同时释放惯性能量，载荷小的时候提速，积蓄惯性能量，使光杆扭矩与平衡扭矩匹配的更合理，能有效降低扭矩峰值及波动幅度，实现常说的“减速削峰，加速填谷”。

2.5 智能排采控制

根据煤层气井井底流压变化规律和排采规律，地面人工预先设定井底流压下降速度值，控制系统根据井下压力计采集的井底流压变化情况，控制器自动计算控制变频器频率，

调节抽油机冲次，使流压按照设定值自动均匀下降，达到智能排采的目的。^[2]

3 相关技术

3.1 PVT 物性模型

在一定的压力和温度下，应用黑油模型计算沿井筒的 PVT 物性剖面，为多相管流计算提供可靠的物性数据，PVT 物性模型是抽油机井下故障及功图计算单井产量研究的基础。包括：原油 API 度、一定压力和温度下的原油密度、溶解气油比、原油的压缩系数、体积系数、粘度（原油、水、油水混合物）等。

3.2 多相管流模型

应用 Beggs-Brill 相关式，研究多相流体在井筒中的流动规律和分布形态。包括：水平流动、垂直流动和倾斜流动。下面公式是计算压力梯度的方程式， H_L 和 f_{ip} 分别用来确定两相混合流体的当地密度以及流动过程中的摩擦损失。

$$\frac{dP}{dZ} = \frac{\frac{g}{g_c} \sin \theta [\rho_L H_L + \rho_g (1 - H_L)] + \frac{f_{ip} G_m v_m}{2 g_c d}}{1 - \frac{[\rho_L H_L + \rho_g (1 - H_L)] v_m v_{\delta g}}{g_c P}}$$

3.3 泵效模型

对泵效进行分析，涉及到泵的实际容积和理论排量。泵的实际容积是一个定值，在生产过程中被以下五部分所占据：实际产液量、进泵气体量、泵的漏失量、冲程损失和泵内液体的体积变化影响。经分析推导可知，泵效影响因素： $\eta = \frac{Q_{实}}{Q_{理}} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4$ ，其中， η_1 为冲程损失对泵效的影响； η_2 为泵的充满程度，可由功图形状计算分析求得； η_3 为泵漏失，包括间隙漏失、游动凡尔漏失、固定凡尔漏失等； η_4 为体积变化影响，可通过计算泵条件下的液体体积系数求得。如图2所示。

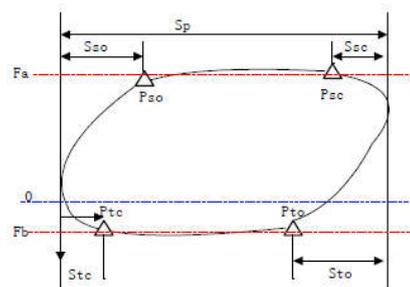


图2 泵效模型

3.4 模拟人工管控智能排采技术

3.4.1 降压井 (图3)

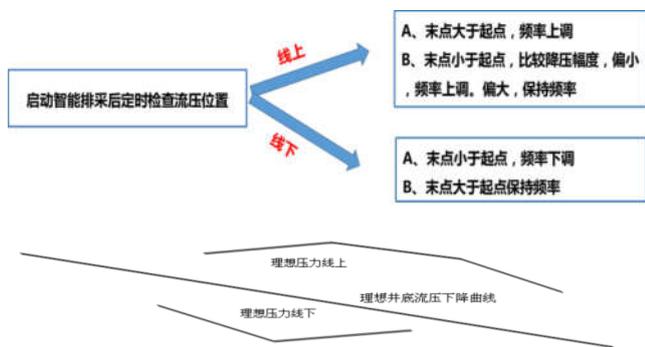


图3 降压井

3.4.2 稳压井 (图4)

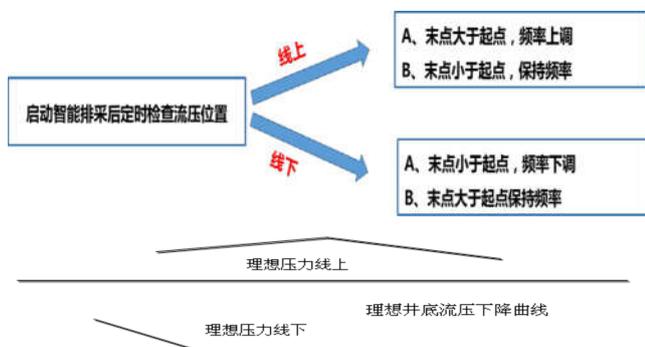


图4 稳压井

3.4.3 间开井

时间段间抽: 根据用户时间段设置, 使抽油机自动启停, 达到智能间抽目的。

周期性地间抽: 根据用户时间周期设置, 使抽油机自动启停, 达到智能间抽目的。

3.4.4 无功补偿节电技术

围绕抽油机能耗影响因素, 以电能刚好满足抽油机的工作效率为原则, 通过变频及能量回馈控制技术实现抽油机系统的参数优化, 消除倒发电对电网的影响, 使每一口井减少不必要的能源浪费。在保证供液量与产液量平衡的前提下, 提高抽油机的采收率和节能效率, 综合节电率能够达到14%。^[1]

4 抽油机井柔性闭环控制系统

该系统将数据采集、GIS系统、调度生产管理整合在一个平台上, 降低了信息操作的复杂度, 彻底改善了信息决策支持能力弱的现状, 可完成单井生产数据测控、井泵效分析、

井泵况诊断、功图量油和其他的相关管理。平台按照A11标准规范设计, 数据库存储能满足A2系统的要求。

4.1 系统特点

(1) 支持不同厂家的RTU、PLC设备, 实现单井、站控的现场实时监控及远程数据采集, 同时可以进行远程启停井控制、变频控制、自动调节平衡等。

(2) 通过对生产数据的实时分析, 生成报表、曲线、功图等, 并支持历史数据、报警信息的查询, 降低油井蜡卡等停工躺井数量, 提高油井生产时率。

(3) 实现Google地图本地化, 精确显示每个井位以及管道信息, 并具有报警提示功能。

(4) 实现高寒地区的油井间歇工作限制功能。避免井口结蜡、结盐或结油, 造成油井再开启困难的后果。

(5) 支持Oracle、SQL Server等不同数据库模式。

(6) 支持公网(2/3/4G)、McWill、无线网桥、光纤等远程通信方式。

(7) 根据用户的不同需求, 平台功能模块可实现定制开发。

4.2 上位机平台应用

(1) 及时准确的油井分析诊断: 用户在上位机平台上可实时查看各单井工况、产液量、产油量、泵效、充满系数等, 也可查看历史工况分析记录及地面功图、杆功图、泵功图。延长了油井的检泵周期, 为油田的稳产提供技术支持。如图5所示。

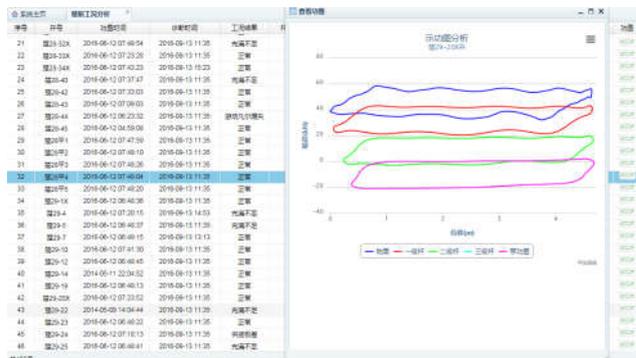


图5 上位机平台工况分析、示功图

(2) 远程控制: 用户通过上位机可实施远程启停井、变频、调平衡操作。如图6所示。



图6 上位机远程操作示意图

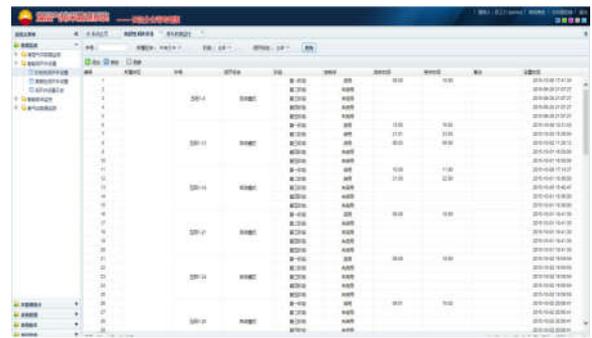


图9 间抽井控制示意图

(3) 智能排采:

降压井: 流压按要求平稳下降、套压上升, 煤层解吸气量增多, 日产气量增大。如图7所示。

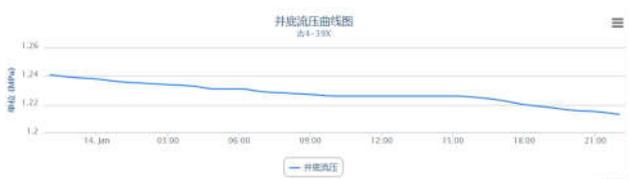


图7 降压井井底流压曲线图

稳压井: 保证稳压制度执行, 实现人工控制不能达到的控制目标。如图8所示。

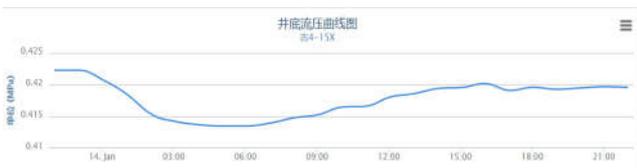


图8 稳压井井底流压曲线图

间抽井: 抽油机按照用户设定的时间段或周期自动启停。如图9所示。

5 结语

抽油机井柔性闭环控制系统目前应用于中国华北油田各采油厂、二连油田、中国山西省长治等区块, 共计500余口井, 产量算法准确度可达98%, 系统运行稳定、高效、可靠、操作简便, 受到用户单位好评。针对油气井实施柔性闭环控制, 可实现机采井连续、间开的精确控制, 使生产管理的各个部门及时掌握单井工作状态, 缩短故障处理时间, 降低工人巡井次数, 达到井站无人值守, 使油气生产实现信息化、自动化, 达到节能降耗的目的。

参考文献

- [1] 杜红勇, 李炜, 陶丽楠, 孙东. 抽油机柔性控制技术研究与应用 [J]. 电气应用, 2017, 14.
- [2] 王元超, 毛承雄, 陆继明, 王丹. 抽油机群分时启动交错运行节能控制策略 [J]. 电力系统及其自动化学报, 2017, 04.
- [3] 付亚荣, 王鹏举, 于志铭, 孙学峰, 高博翔, 王俊文, 郭青群. 抽油机用液力耦合器的试验研究 [J]. 石油机械, 2016, 11.