

# 抽油机智能控制技术研究应用

张 蕾

延长油田股份有限公司南泥湾采油 陕西延安 716006

**摘 要:** 本文论述了抽油机的合理下行程比,并给出了一种综合多目标多参数优化的智能控制方案;本文提出了一种基于峰值电流法的电力系统均衡判别方法,它能很好地解决因反向产生的峰值电流法无法准确判断油井的平衡性,实现对抽油机的平衡进行实时监测与调整;针对抽油机变速运行的智能化控制技术,采用前端控制与后台云图分析相结合的方式,克服了传统变速技术的自适应能力、参数的可变等局限性,拓展了其应用范围;达到了节能、增油的目的。  
**关键词:** 抽油机井; 变速运行; 智能控制; 平衡度; 云端控制

## Research and Application of Intelligent Control Technology of Pumping Unit

Lei Zhang

Yanchang Oilfield Co., Ltd. Nanniwan Oil Production Plant, Shaanxi, Yan'an 716006

**Abstract:** This paper discusses the reasonable downstroke ratio of the pumping unit, and presents a comprehensive multi-objective and multi-parameter optimization intelligent control scheme; this paper proposes a power system balance discrimination method based on the peak current method, which can be very It is a good solution to the inability to accurately judge the balance of the oil well due to the peak current method caused by the reverse, and realize the real-time monitoring and adjustment of the balance of the pumping unit; for the intelligent control technology of the variable-speed operation of the pumping unit, the front-end control and the background cloud map are adopted. The combination of analysis and analysis overcomes the limitations of the traditional speed change technology such as self-adaptive ability and variable parameters, expands its application scope, and achieves the purpose of saving energy and increasing oil.

**Keywords:** Pumping well; Variable speed operation; Intelligent control; Balance degree; Cloud control

为有效地延长油井的检测时间和提高生产效率,本文从对游梁抽油机的工作状况的分析入手,根据现场的具体情况,对其进行了相应的调整。利用先进的计算机技术,实现了每个行程的速度控制,减小了活塞行程损耗,减小了杆柱负荷;增加泵效率,增加检泵的工作时间。为了提高泵效率,减少冲程损耗,改善充盈程度,对抽油机的智能调速系统进行了研究;解决了供液不足,供、排不匹配的问题;降低了能耗,实现了电机的平衡,保证了系统的稳定性,解决了水泵的不平衡问题;提高检泵周期,降低抽油杆的应力幅值和惯性载荷,增加应变疲劳,减少管棒的偏磨;这样才能实现“按需而行”,提高系统的效率。

### 一、存在的主要问题

有杆抽油机具有结构简单、生产方便、可靠性高的

特点;它的使用寿命长,维护方便,在石油开采机械中占有举足轻重的地位。目前,我国80%以上的油田正在采用该技术,其生产能力为240,000套。然而,这其中有两个问题。

#### 1. 作业成本高

抽油机的机械性能决定了电机的输出扭矩是由四杆驱动向悬点方向传递,从而在一定的运动时间内产生不同的加速度。因而,在吊装时,由于惯性载荷与其他载荷的作用,会导致结构的振动和变形。如果生产工艺参数不合理(例如冲头过大)、抽油杆体系失衡,将导致抽油杆过度拉伸、失稳屈服,导致抽油杆与油管间的摩擦损耗增大,缩短抽油杆使用寿命,造成油管、抽杆、接箍损坏,造成油井水平检泵,增加投资,缩短检泵周期。同时,由于减速器的传动机构经常会被反向载荷,导致

反向碰撞,从而降低了泵的使用寿命。目前,在全国所有油田的抽油机井维护中,检泵的成本占到了60%左右。由于抽杆断、脱、偏磨等因素,导致了整个钻井过程中钻井井数的45%。江苏一厂每年接受检查的油井约为250~300口,占总油井总数的25%。

## 2. 系统效率低

目前国内大部分的油田都是采用游梁式抽油机,但其系统效率只有12%~23%,个别地方的机组利用率还不到30%。美国的常规水泵系统效率更高,但仅为46%。江苏一厂45%的油井产能利用率为30%,载荷率为36%,60%以下的油井中,低于30%的油井占17%。由于抽油机的工作机理不合理,导致油层与采油系统之间的供气不平衡,从而制约了油井的泵效率,导致了电能的大量消耗,使整个系统效率低下。同时,经过大量的实验与实践,结果表明,在同样的地层能量、泵深、泵径等情况下,泵的悬点转速和一个冲程的转速的改变都会对管路的损耗有一定的影响;主要的影响因素是生产和能耗。

## 二、抽油机变速运行智能控制技术

### 1. 抽油机合理上下冲程时间比

应用载荷跟踪技术,大大减少了抽油井的能耗,大大减少了振动负荷,运行更加平稳;并对电机的反向发电问题进行了研究。然而,该方案无法确保各实施井均能达到预期的泵效,且其适用范围也较为狭窄。同时,与50Hz工频运行相比,该方法也会降低抽油机井的工作冲次,影响生产单位按期完成产量任务,并有一定的安全风险。本文就抽油机井调速控制技术的丰富与完善,拓展其应用范围。我国目前还没有关于抽油机合理上下冲程的控制模型和研究方法。所以,在某一冲次条件下,对抽油机上、下冲程进行人工调节,会对产量、效率、有效冲程造成影响;载荷和能源消耗量有哪些变化?为了获得这一直观数据,我们制定了详细的野外测试方案,并进行了实地测试。本文对抽油机井的抽油频率设定为每分钟2.9次,对抽油机上、下冲程比为1:1.2的工况进行了分析。抽油机上、下冲程时,抽油机的出液率在1:1.5时为最大;此外,较大的下冲程可以提高泵的效率。在此基础上,利用多因素相关性分析,建立了一套以多目标、多目标优化参数为基础的智能控制系统。通过选择不同的控制目标,利用自适应算法,对各油井的运行冲次、上下冲程比、频率变化轨迹等进行了优化,从而达到了油井实时运行的最优。对于低产低效井,可以将能耗最少作为控制指标,通过自优化算法实现控制,而不会减少生产;实现了能耗最低、产量最高、保修期最

长的目标。在高产油气田中,应选取最大采油率为控制指标,并通过最佳工艺对其进行系统的优化控制,从而使采油效果更好;为了确保生产计划的如期完成,该油井在能源消耗和免维护周期方面都达到了最佳状态。

### 2. 抽油机井平衡监测与自动调整

现场应用表明,抽油机具柔性作业后,其平衡问题是影响其稳定性的重要因素。目前最大的问题是由于不平衡引起的控制系统发热,特别是在产液脉动井中。研究发现,井口在一个稳定的平衡条件下,很难适应频繁的井液流动。目前,抽水井的平衡状态主要通过增加或减少曲轴与尾梁的配重来调整,而判断井筒是否达到了平衡,则以峰值电流作为主要依据。现场测试结果显示,在有反向发电条件下,峰值电流法不能真实地反映出抽油机井的平衡状况。在此基础上,提出了一种新的均衡方法,即在此基础上提出了一种新的均衡方法。这两种方法可以很好的筛选出一些不合格的参数,能够真实地反映当前的抽油井的平衡情况。如图所见,尽管在平均平衡度中存在一个数值,但在某些平衡度测试中,其结果为0,这种测试数据属于不合格;其评价结果不能真实地反映油井的平衡状态,只有当两次测试同时发生或相近时,才能反映当前的抽油水平。根据新的平衡判别标准,需要根据井液流量的变化,对油井的平衡状况进行及时的判别;并在曲柄或尾梁上添加一个平衡块;或者是调整曲柄平衡块的位置。然而,由于抽油机型号众多,平衡方法千差万别,很难形成一个统一的调整策略;二是平衡块体大,重量大,调整时需要停机,调整周期短,成本高。对各种因素进行了对比,得到了各因素的影响,得到了几种影响油井平衡的因素,这些因素都是可以用小扭矩来解决的。基于该模型,本文提出了一种新的方法,即通过增加或减少曲轴和尾梁的平衡块来实现柔性工作状态下的动力调整;或者把曲轴平衡器调整到不能真正平衡的初始状态,在曲轴或者尾梁上施加较少的扭矩;通过实时调节该附加扭矩,可以实时地实现油井的动态平衡。基于该模型,研制了一套油井的动态监测与自动调整系统。本文介绍了两种动态调整抽油机井平衡的措施:一是在抽油机的尾梁上增加一条特殊的油梁,并在此基础上安装一个平衡块;利用电机的控制,可实现平衡块的前后运动,动态调整附加平衡扭矩的大小,实现对油井平衡的动态调整;二是在抽油机的后部设置1个液体槽,在地面上设置1个液体槽,通过一条管道连接两个液体槽,通过泵将液体喷射出来;采用动态调整平衡力矩,达到了抽油井平衡的目的。其中,第一

种方法的基本原理是：在给定的力作用下，调整力臂的大小，以达到平衡力矩的动态改变；而后者则恰恰相反，在确定了力臂的尺寸后，可以根据扭矩的大小，对平衡扭矩进行动态调整。这两种方法都没有优点，也没有缺点，可以根据实际情况进行灵活的选择。

### 3. 油机变速运行远程智能控制

利用单片机编程实现了抽油机变速运行的智能化遥测控制系统，该系统能够较好地解决单井单井的速度调节，并能针对油井的具体工况设定相应的工作参数；按照预先设定的策略来控制水泵。该控制系统采用了远程控制及油井数据采集传感器，实现了油井的闭环控制、柔性运行以及智能终端的无线接入，进一步提高了油田的智能化管理水平。但实际应用中，由于单片机的核心控制程序算法简单，参数少，难以进行更为复杂的数据分析与优化运算；这是最大的阻碍。因此，通过引入前端控制和后台云端分析的方法，可以降低前端控制设备的运算能力，使数据处理、数据上传变得更加复杂；云端控制和控制水泵运行控制机制，使后台云端服务器能够对采油机井状态进行监测，优化采油机井参数，产生新的控制策略。采用油田自主开发的高带宽内网或工业专用VPN网络，实现了前端控制设备与后台云服务器的集成监测。基于上述理论，开发了一套用于抽油机变速运行的远程智能控制系统。该系统的前端控制设备由闭环柔性控制器、变频器、平衡调节控制器组成；后台云分析包括计算产量、状态诊断和策略产生；包含了均衡监测、分析等。它解决了传统单片机控制策略单一、平衡不能实现监控、自动调节等问题，从而拓宽了变速控制的应用范围。现场试验及控制试验结果证明，该系统可以完全满足数据传输的需要，数据传输稳定，反应速度快，总体可靠性高。

### 三、抽油机自适应控制技术

#### 1. 抽油机自适应控制技术总体设计方法

抽油机智能控制主要有变频器、位置传感器、变速控制等；控制器、液晶显示器、无线显示装置等。抽油机的牵引机构和位置传感器外部安装在泵车的变速箱上，显示装置安装在驴头上，其余的安装在控制室内。

#### 2. 基本控制模型研究

##### ① 基于软测量的动液面实时监测

采用经验模态分解（EMD）方法，将模型的输入信号分为趋势值和波动值，通过动态数值预测动液面，通过波动来修正模型的误差。最后，利用动态水位预测及补偿量的方法，对动态水位进行了预测。为提高该模型

的适应性，采用多变量统计方法对其进行评估、检验，并采用自适应校正。

##### ② 抽油机冲次优化研究

用于测量整个泵的运行速度。着重对供排间的关系及能耗进行了分析。提出了利用油井参数、抽汲参数、电气参数与油井生产/耗电量之间的潜在联系，并应用多目标优化法进行了预测。总体框图（见图1）。采用神经网络方法，对生产过程参数及产出量进行了建模分析（见图2）。而由机械设备与油藏构成的采掘体系，因其时变性大，其产出不仅受到设备老化、人为误差等因素的影响，还受到油藏状态变量（粘度、含水率、动液面等）的影响。随着时间的流逝，传统的静态模式变得越来越不稳定。为了解决上述问题，本研究小组利用无极卡尔曼滤波神经网络进行了动态演化模型的设计。采用非线性卡尔曼滤波器对神经网络进行校正，以神经网络的权重、门限为状态矢量，以神经网络输出为观测矢量，采用滤波算法进行自适应调整；由此得到了一个动态的预报模式。该模型可根据时间、储层状态、设备状态等因素进行初步预测；适应性变化是按照环境参数的变化进行的。（见图3）

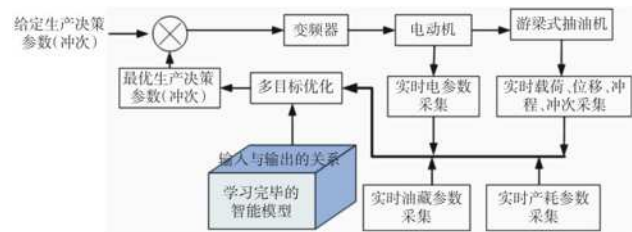


图1 冲次优化示意图

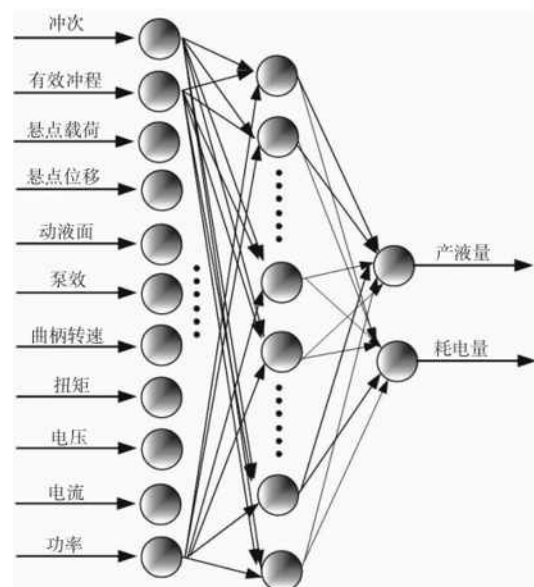


图2 生产参数与产耗模型示意图



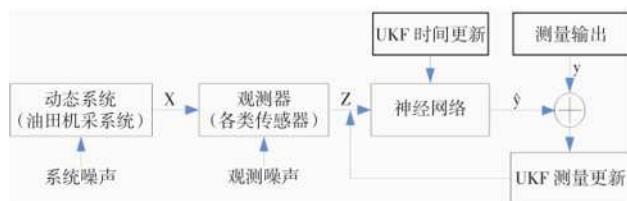


图3 UKFNN动态演化建模示意图

### ③周期内的运行速度控制

抽油机上、下两冲程所需要的动力和动力不同,若采用等速运动,将会极大地提高电机的能量消耗,增大水泵的损耗。如果将冲次优化看作是一个较长的趋势预测,那么在一个周期中,它是一个短期的最佳预测。通过分析上、下行程悬点的受力情况,并与之对应;通过对下冲程的曲轴做功的分析,分析了转速对冲程损失的影响,并建立了一套用于计算内圈电机的输出转矩的数学模型。根据油井的基本参数,根据油井特征及调整目的,进行了综合规划,并进行了优化。本文介绍了一种将此控制方式转换成可通过此控制模块完成的控制数据转换的方法。

## 四、结语

1) 研究了抽油机合理的上下行程时间比,并给出了

多目标控制与自优化的智能控制模型,为抽油机的调速工作开辟了一条新途径。2) 采用了功率峰值、功率平均等方法,消除了非标准的异常状态下的测试数据,提高了采油机井的平衡判别准确度。3) 现场使用表明:多目标控制与自最优控制相结合的变速运行控制,能够进一步降低采油机井的能耗,缩短检泵周期;提高油井管理的智能化水平。

### 参考文献:

- [1]张乃禄,同志超,陈媛.基于STM32F429的新型油井智能间抽控制系统[J].信息技术与信息化,2021,(10):101-103.
- [2]李博.数字感知平衡节能系统在解决抽油机不平衡问题上的应用[J].石油石化节能,2021,11(09):22-24+3.
- [3]贾志鹏,李盼,念彬,周婷,余杰.基于物联网的油井智能间抽控制系统[J].物联网技术,2021,11(07):59-61.
- [4]余传谋,史常平,姜学明,李金刚,袁红霞,聂辰.浅析高效智能游梁式抽油机的研制与应用[J].中国设备工程,2021,(S1):161-164.