

# 风光储联合的游梁式抽油机自动平衡装置研究

魏航信, 吴伟, 职黎光, 贺冲

(西安石油大学 机械工程学院, 西安 710065)

**摘要:** 针对游梁式抽油机平衡装置效果不理想的问题, 设计了风光储联合供电的抽油机自动平衡装置; 该装置由伺服电机驱动平衡块, 根据油井工况实时调节其位置, 实现抽油机的最佳平衡; 针对平衡装置耗电量大不足, 设计了由风光储联合供电的模式, 真正实现抽油机节能; 最后, 对该装置设计了模糊PD自适应控制器, 由模糊控制器在线调节PD控制器参数; 在实验室试验10h, 该装置可将抽油机平衡度从1.61减小到1.03以内, 白天由太阳能电池供电, 夜间由蓄电池供电, 其电压从12V降到9.3V, 表明供电系统完全能满足要求。

**关键词:** 抽油机; 风光储联合; 平衡度; 模糊逻辑; 控制

## Study of Auto Balanced Device for Beam Pumping Units Powered by Wind—Solar—Battery Energy

Wei Hangxin, Wu Wei, Zhi Liguang, He Chong

(School of Mechanical Engineering, Xi'an ShiYou University, Xi'an 710065, China)

**Abstract:** Aiming at the problem of the bad effect of the balanced device for beam pumping units, the auto balanced device powered by wind—solar—battery is designed. In this device, the counterweight is actuated by servo motor according to the condition of the oil well, which realizes the best balance effect. Considering the disadvantage of energy consumption of the device, the power is supplied by the wind—solar—battery energy, which makes the beam pump unit realize energy saving truly. Finally, the fuzzy PD controller is designed for the device. The experiment in laboratory takes ten hours. The device can decrease the balance index from 1.61 to 1.03. The power is supplied by the solar battery in the daytime and by the storage battery at night. The output voltage is from 12V to 9.3V at night, which shows the power supplement system can satisfy the needs of the device.

**Key words:** pumping units; wind—solar—battery energy; balance; fuzzy logic; control

## 0 引言

目前油田采油设备中90%仍是游梁式抽油机, 但其能耗大。为了减小能耗, 常采用平衡块存储和释放能量<sup>[1]</sup>, 或采用电动机控制节能的<sup>[2-3]</sup>。传统的游梁式抽油机平衡方式有3种: 曲柄平衡、游梁平衡及复合平衡<sup>[1]</sup>。这3种方式调整繁琐, 工人劳动强度大, 且不能够实时调节, 平衡效果不够理想, 因此出现了一些游梁式抽油机平衡方式的改进型, 典型的有: 随动平衡、增加超越离合器、飞轮动能平衡及电机加滚珠丝杠自动调节平衡等<sup>[4-6]</sup>。前3种方式虽然理论上效果较好, 对于现场实际的复杂载荷, 平衡效果变差; 最后一种虽然效果良好, 但其调整电机耗电量较大, 因此不能实现真正节能, 此装置在某低渗透油田曾做过试验, 但因为平衡装置电机耗电量问题而未大范围使用。为此, 本文提出风光储联合的抽油机智能平衡调节装置, 其最大特点是可根据油井工况实时调节游梁式抽油机

平衡度, 减小工人劳动强度。同时装置本身利用风能—太阳能—蓄电池方式供电, 不消耗油田电能, 因此可实现抽油机节能降耗。

## 1 工作原理及硬件结构

### 1.1 工作原理

风光储联合的抽油机智能平衡调节装置总体结构如图1所示。当抽油机悬点下行时, 游梁平衡块和曲柄平衡块上升而存储能量, 当抽油机悬点上行时, 游梁平衡块和曲柄平衡块下降释放能量, 帮助抽油机把井下抽油杆向上拉, 实现采油。此处采用两个平衡块: 游梁平衡块和曲柄平衡块, 曲柄平衡块位置固定, 而游梁平衡块位置可以实时调节。这样可以减少游梁平衡块的重量, 从而减少伺服电机功耗。抽油机运行过程中, 由于井下工况的变化而出现欠平衡, 即悬点载荷大于平衡块这边的载荷, 伺服电机转动, 带动滚珠丝杠旋转, 滚珠丝杠上螺母向左运动, 螺母固定在游梁平衡块上, 从而带动游梁平衡块向左运动, 平衡块有效力臂变长, 抵消了悬点处载荷的增加, 使欠平衡得到改善, 反之亦然。

本装置与以往类似装置的区别在于伺服电机的供电方式。过去一般通过井场上工业用电供给伺服电机。但如果井下工况变化较大(尤其是目前低渗透油田), 伺服电机耗电量就抵消

收稿日期: 2013-09-21; 修回日期: 2013-12-18。

基金项目: 陕西省教育厅专项科研项目(12JK0793); 西安市技术转移促进工程(高校类)CX Y1346(5); 国家自然科学基金(51074126)。

作者简介: 魏航信(1973-), 男, 陕西周至人, 工学博士, 主要从事石油机械及自动化方向的研究。

了抽油机本身的节电量,因此不能真正节能。这里采用太阳能电池板和风力发电机供电。白天或风力较大时,将多余电能存储在蓄电池中,夜间可以通过蓄电池给伺服电机供电,这样可以实现该装置完全不消耗井场电能,从而实现真正节能。

字信号,并送入单片机,单片机作为主控制器,根据采集到的主机电流、电压信号,计算抽油机上下冲程的电流、电压、功率,从而计算抽油机实时的平衡度。单片机输出的控制信号送入到驱动器,驱动器的作用是对信号进行功率放大,以适应伺服电机电平。伺服电机根据输入信号,实时调节抽油机游梁后部平衡块的位置,达到对平衡的调节。风力发电机和太阳能电池分别对整个系统进行供电,白天太阳能电池工作,当风力达到一定程度(白天或夜晚)时风力发电机工作,二者将产生的电能送入蓄电池存储,经过稳压电源稳压后,给伺服电机、单片机及变送器等部件供电。

### 2 控制算法

常用的抽油机平衡判断方法有电流法、均方根扭矩法及功率法等。对其进行分析可知,扭矩法没有直接进行测试的设备,不易对现场抽油机的实时平衡状况进行诊断,其现场实用性较差。电流法和功率法计算平衡度所采用的公式是根据严格的理论定义推导出来的,它综合考虑了反映抽油机平衡的各个要素,能够真实地反映抽油机的平衡状况,而且其应用简单,实用性较强<sup>[7-8]</sup>。因此,结合装置设计的需要,从准确性和实用性方面综合考虑,电流法最适合用来进行抽油机的实时平衡判断。因此,整个控制系统流程如图 3 所示。控制算法的目的是控制器如何根据当前平衡度值,输出控制信号到伺服电机,使平衡度趋于正常。考虑到自动平衡装置特点,采用模糊 PD 控制算法,如图 4 所示。输入量为理想平衡度,输出量为抽油机电机控制量  $u$ 。理想平衡度一般为 1,但在实际油井现场,由于井下工况的复杂性,抽油机难实现最佳平衡效果。文献研究表明过平衡效果要优于欠平衡效果<sup>[9]</sup>,所以可以取其 1.0—1.2 之间。控制器由常规 PD 控制器和模糊控制器组成。使用常规 PD 控制器对被控对象进行在线实时控制,但其控制参数  $k_p$  和  $k_d$  通过模糊控制器在线进行调整<sup>[10]</sup>。模糊控制器的输入  $e$  为理想平衡度与抽油机上个冲程实际平衡度差值,另一输入为  $e$  的变化率。模糊控制器模糊量为 5 档,即 {NB, NS, ZE, PS, PB},隶属度函数为三角形,控制灵敏度较高。模糊控制规则为 25 个。其控制步骤如下:

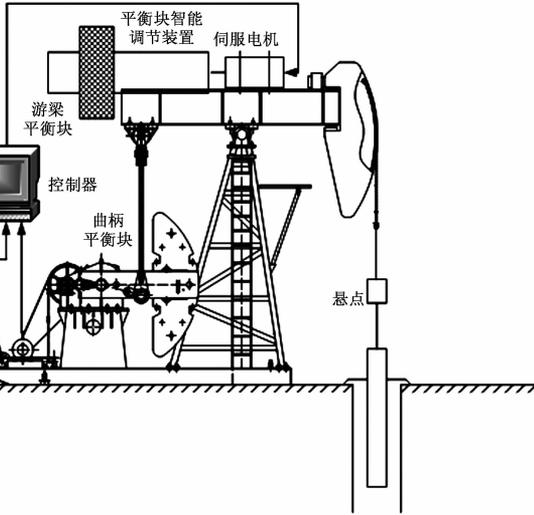


图 1 平衡调节装置总体结构

### 1.2 硬件选型

(1) 滚珠丝杠组件:该组件主要由滚珠丝杠、丝杠螺母、轴承、轴承座、游梁平衡块等组成。滚珠丝杠采用 W1L4006,公称直径 40 mm。轴承采用深沟球轴承 6207。游梁平衡块应根据抽油机机型变化,其质量在 800~1 200 kg 之间变化。

(2) 太阳能电池板:太阳能电池板采用多晶硅太阳能电池板,每块板 90 W,共使用 5 块。

(3) 控制器:采用单片机进行控制,其可靠性好、抗干扰能力强,型号为 JMDM-28DIOMT,12 路光电隔离晶体管输出控制,抗静电冲击,电脑串口控制,用 Keil C 或汇编语言编程。

(4) 风力发电机:功率为 500 W,风轮直径 2.5 m,叶片材质增强玻璃钢,额定风速 8 m/s,启动风速 3 m/s。

(5) 蓄电池:电压 12 V,容量 200 AH,荷电状态:适用范围:太阳能蓄电池。

常用的抽油机平衡判断方法有电流法、均方根扭矩法及功率法等。对其进行分析可知,扭矩法没有直接进行测试的设备,不易对现场抽油机的实时平衡状况进行诊断,其现场实用性较差。电流法和功率法计算平衡度所采用的公式是根据严格的理论定义推导出来的,它综合考虑了反映抽油机平衡的各个要素,能够真实地反映抽油机的平衡状况,而且其应用简单,实用性较强<sup>[7-8]</sup>。因此,结合装置设计的需要,从准确性和实用性方面综合考虑,电流法最适合用来进行抽油机的实时平衡判断。因此,整个控制系统流程如图 3 所示。控制算法的目的是控制器如何根据当前平衡度值,输出控制信号到伺服电机,使平衡度趋于正常。考虑到自动平衡装置特点,采用模糊 PD 控制算法,如图 4 所示。输入量为理想平衡度,输出量为抽油机电机控制量  $u$ 。理想平衡度一般为 1,但在实际油井现场,由于井下工况的复杂性,抽油机难实现最佳平衡效果。文献研究表明过平衡效果要优于欠平衡效果<sup>[9]</sup>,所以可以取其 1.0—1.2 之间。控制器由常规 PD 控制器和模糊控制器组成。使用常规 PD 控制器对被控对象进行在线实时控制,但其控制参数  $k_p$  和  $k_d$  通过模糊控制器在线进行调整<sup>[10]</sup>。模糊控制器的输入  $e$  为理想平衡度与抽油机上个冲程实际平衡度差值,另一输入为  $e$  的变化率。模糊控制器模糊量为 5 档,即 {NB, NS, ZE, PS, PB},隶属度函数为三角形,控制灵敏度较高。模糊控制规则为 25 个。其控制步骤如下:

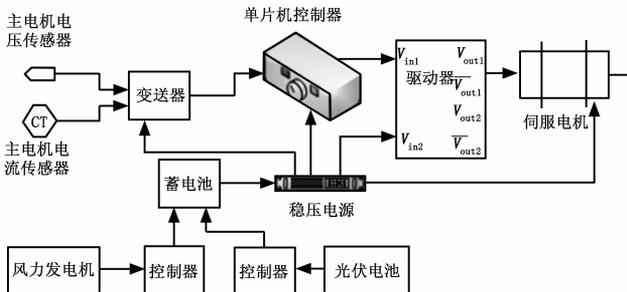


图 2 控制部分原理图

### 1.3 控制电路

控制电路总体结构如图 2 所示。其中,主机电流传感器和主机电压传感器分别检测抽油机电机工作时的电流和电压,变送器用于将传感器送来的模拟电流、电压信号转变为数

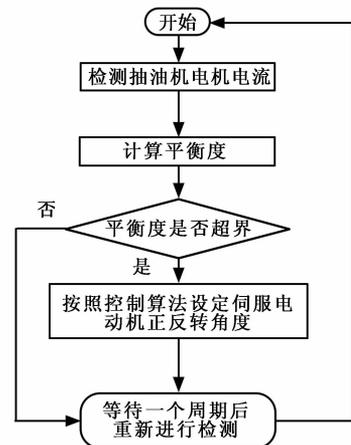


图 3 控制流程

(1) 通过传感器检测抽油机一个冲程内电流,计算其平衡度;

(2) 根据实际抽油机平衡度, 计算模糊控制器输入量  $e$  及其变化率;

(3) 确定模糊控制器的输入量、输出量论域范围、模糊控制规则;

(4) 模糊控制器对输入量进行模糊化、模糊推理、去模糊化, 得到输出量  $k_p$  和  $k_d$ ;

(5) 根据模糊控制器输出的参数  $k_p$  和  $k_d$ , PD 控制器用来对抽油机平衡装置进行实时控制, 输出控制量  $u$ 。考虑到实时性要求, 采用 PD 控制算法公式如下:

$$u = k_p(B_j - B_0) + k_d \left( \frac{(B_j - B_0) - (B_{j-1} - B_0)}{\Delta t} \right) \quad (1)$$

式中,  $k_p$  为比例因子,  $k_d$  为微分因子,  $B_j$  为当前采样时刻的平衡度值,  $B_{j-1}$  为前一时刻的平衡度值,  $B_0$  为最佳平衡度值, 输出量  $u$  为电压值, 可正可负, 即伺服电机可以正向和反向转动, 反向转动时, 平衡块朝着远离游梁支撑中心的位置移动;

(6) 返回 (1)。

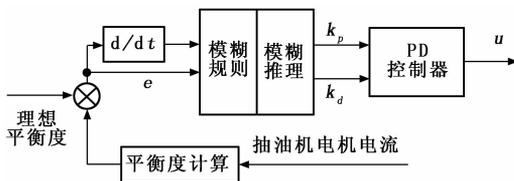


图 4 模糊 PD 控制算法

### 3 试验与分析

为了验证游梁式抽油机自动平衡装置效果, 制作了一台样机。抽油机的样机为 3 型抽油机的缩小模型。考虑到空间问题, 样机没有使用风力发电机, 而只用了太阳能电池板和蓄电池供电, 太阳能电池板放置在室外光线充足地方, 经测定在多云天气时其输出电压在 11~13 V 波动。抽油机悬点处悬挂一重物作为固定载荷, 其质量为 1.5 kg 和 2.5 kg 两种, 便于进行对比。抽油机冲次可以通过其驱动电机转速 (90YYJ-90) 进行调节。试验中游梁平衡块位置调整前后抽油机电机电流变化曲线如图 5 所示。其中曲线 1 和 2 是悬点挂重物为 2.5 kg 时平衡装置调整前后电流曲线, 平衡度从 1.61 减小到 1.03; 曲线 3 和 4 是悬点挂重物为 1.5 kg 时平衡装置调整前后电流曲线, 平衡度从 1.59 减小到 1.02。从图中可以看出抽油机的平衡度均有所提高。

试验进行了 10 h, 白天和晚上各 5 h, 白天太阳能电池板给蓄电池充电, 同时给伺服电机和控制器供电, 晚上由蓄电池给伺服电机供电。试验结束后经过测量, 蓄电池电压为 9.3 V,

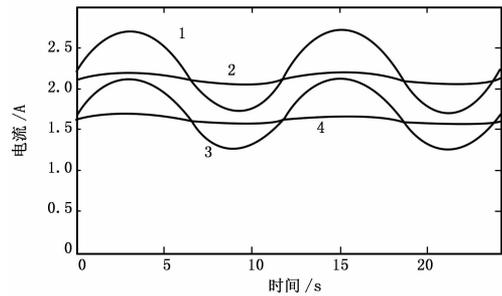


图 5 抽油机电流曲线

说明其完全可以满足夜间单独供电要求。

### 4 结论

目前国内外的抽油机平衡装置多种多样, 但在复杂多变的井下工况时, 平衡效果变差。本文通过总结各种平衡装置优缺点, 提出了新的游梁式抽油机自动平衡装置, 其特点在于采用风-光-储联合通电, 改变了以往使用油田现场交流电的方式, 从而实现了真正意义上的节能。

#### 参考文献:

- [1] 李颖川. 采油工程 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2009.
- [2] Butlin D M. Effect of Motor Slip on Submersible Pump Performance [J]. Society of Petroleum Engineers of AIME, 1991, (3): 1-14.
- [3] Luo Y L, Cui X S, Zhao H S, etc. A Multifunction Energy Saving Device with a Novel Poweroff Control Strategy for Beam Pumping Motors [A]. Industry Applications Society 56th Annual Petroleum and Chemical Industry Conference [C]. Anaheim, CA, USA, 2009: 79-93.
- [4] 刘牧洲, 张勇, 邱露, 等. 随动平衡游梁式抽油机设想 [J]. 新疆石油科技, 2007, 17 (4): 42-43, 55.
- [5] 任彦朝. 游梁式抽油机新型动能平衡装置及系统动态仿真 [D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2011.
- [6] 刘明皓. 常规游梁式抽油机自动平衡调节装置 [J]. 石油机械, 2012, 40 (7): 100-102, 105.
- [7] 王平, 崔臣君, 刘丽娟. 抽油机平衡度实时测量技术 [J]. 油气田地面工程, 2010, 29 (10): 6-7.
- [8] 孙振华. 游梁式抽油机采油系统实时评价方法研究 [D]. 山东东营: 中国石油大学, 2011.
- [9] 郭亦炯. 抽油机平衡的若干问题之讨论 [J]. 西安石油学院学报, 1997, 12 (6): 46-49.
- [10] 郭凤仪, 张焕强. 模糊 PID 控制在煤矿采区自动装车系统中的应用 [J]. 计算机测量与控制, 2013, 21 (7): 1803-1806.

(上接第 1880 页)

- [7] Kong J A. Electromagnetic Wave Theory [M]. Wiley-Interscience, New York, 1981.
- [8] Amman M. Design of rectangular microstrip patch antenna for the 2.4 GHz band [J]. Applied Microwave and Wireless, 1997: 24-34.
- [9] Bhattacharyya A K. Long rectangular patch antenna with a Single Feed [J]. IEEE Trans. on Antennas and Propagation. 1990, 38: 987-993.

- [10] Zhong S S. Microstrip antenna theory and applications [M]. Xidian University Press, 2001.
- [11] Chen Y B. Research on the reconfigurable microstrip antennas and broadband circularly polarized microstrip antennas [D]. Xi'an: Xidian University, 2008.
- [12] Wu Y S. Research of impedance match-class and its application in RFID system [J]. Modern Electronics Technique, 2008, 20 (283): 21-23.