

文章编号: 1001-5361(2000) 05-0042-03

# 稀土永磁同步电动机驱动抽油机的节能效益

Power-saving Benefit of the Well Pumping Unit Driven by a  
Rare-earth Permanent-magnet Synchronous Motor

薄保中, 米春亭, 杨新海, 江秀汉, 屈波

(西安石油学院, 陕西 西安 710065)

**摘要:** 传统的同步电动机与异步电动机相比具有突出的优点, 如效率高、功率因数高, 但是同步电动机仍然不能取代异步电动机用于小功率简单驱动场合。电磁式的同步电动机需要附加起动控制装置而永磁同步电动机一般用于变频传动。用于抽油机自起动的稀土永磁同步电动机是一种复合电机, 它兼有同步电动机与异步电动机的优点, 起动时如同异步电动机而牵入同步后运行在同步转速。笔者研制的稀土永磁同步电动机转子上装有空间对称的鼠笼条和稀土磁铁。抽油机负荷特点是驱动电动机需要起动转矩大而运行时负荷率很低(30%), 介绍了研制的稀土永磁同步电动机的结构和设计特点和节能机理。油田现场试验结果表明驱动方案可行, 用稀土永磁同步电动机替代三相异步电动机来驱动抽油机可节电15%左右。最后讨论了驱动电动机的优缺点和相应解决方法。

**关键词:** 同步电动机; 稀土永磁; 节能; 抽油机械设

**中图分类号:** TM 301.4 **文献标识码:** B

## 1 抽油机的负荷特点及拖动现状

抽油机种类繁多, 油田上用得最广的是游梁式抽油机。抽油机上下冲程负荷相差很大, 一般都配有平衡机构如平衡块, 电动机轴上的负载转矩是油井负荷与平衡转矩的合成转矩。抽油机负荷周期性波动, 抽油机停车后总是从负荷最重的点开始起动, 为了使抽油机起动顺利, 常按抽油机的最大负荷来选配电动机, 而抽油机的平均转矩一般只为最大转矩的三分之一, 因而抽油机电机的负荷率也大约为30%, 从而形成了“大马拉小车”的现象。抽油机电机负荷率低, 又常年运转, 所以抽油机电机的节能问题一直受到广泛关注。

在七十年代, 油田上主要用的是JO JO2 系列电机, 八十年代投产的采油区块都用普通Y 系列电机, 当时JO2 系列电机已被明令淘汰; 八十年代后期承德石油机械厂研制成功高转差电机, 之后投产

的采油区块都尽量采用高转差电机, 同时开始用高转差电机替代JO2 系列、Y 系列电机。目前, 油田上普通Y 系列电机、高转差电机JO2 电机及其它节能电机大致各为三分之一。

近年来, 国内各油田陆续采用了各种节能方法, 取得了不少成果, 其中比较成功的是高转差电机。抽油机负荷周期性波动时高转差电机的转速波动也很大, 转差变化范围在10% ~ 26%, 高转差虽然改善了抽油机的受力有不少优点<sup>[1]</sup>, 但从节能的角度看是不利的, 不仅使转差损耗增大, 也使过渡过程损耗增加<sup>[2]</sup>, 作者基于以往的研究工作提出了抽油机由异步电机驱动改为同步电机驱动的设置, 同步电动机选用的是具有自起动能力的稀土永磁同步电动机。

## 2 稀土永磁同步电动机

稀土永磁电机指采用永久磁铁代替励磁绕组来

收稿日期: 1999-09-01

作者简介: 薄保中(1967-), 男, 河北保定人, 讲师, 主要从事电气能动的教学和油田电机节能的研究工作。www.cnki.net

激磁的电机。钕、钐等 17 个元素在地壳中含量极少, 被称为稀土元素。在制造永磁材料时加入稀土元素能显著地增加永磁材料的磁能积。稀土永磁磁钢可代替直流电机和同步电机的电激磁系统, 所以永磁电机主要是永磁直流电机和永磁同步电机两大类。

普通电激磁同步电动机转子铁芯上敷设励磁绕组, 通入直流电流后转子形成恒定的磁场, 同步电动机功率因数高, 且可以通过励磁电流来调节功率因数, 但由于存在起动问题给使用带来不便。自起动能力的稀土永磁同步电动机具有普通电激磁同步电动机的优点, 又克服了起动缺点, 运行性能好, 使用方便同异步电动机一样。稀土永磁同步电动机定子与普通三相异步电动机相同, 转子结构如图 1 所示。自起动能力的稀土永磁同步电动机转子上同时装有鼠笼条和稀土磁钢, 异步起动同步运行, 起动时笼条与旋转磁场相互作用产生异步起动力矩, 牵入同步后笼条失去作用, 永磁磁场与旋转磁场相互作用带动负载工作。

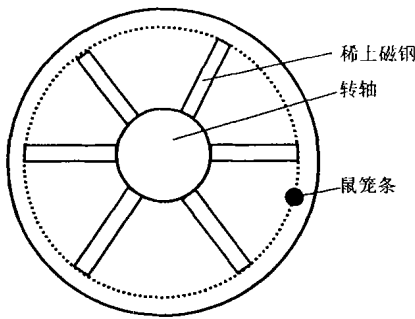


图 1 稀土永磁同步电动机转子结构

这种电机的起动过程比较复杂, 起动特性如图 2 所示。起动过程中, 笼条与旋转磁场相互作用产生异步起动力矩, 永磁磁钢与与旋转磁场相互作用产生负值的发电制动转矩, 转子交直流不对称会产生凸极转矩, 起动过程中电机的起动力矩是三种转矩的合成转矩。

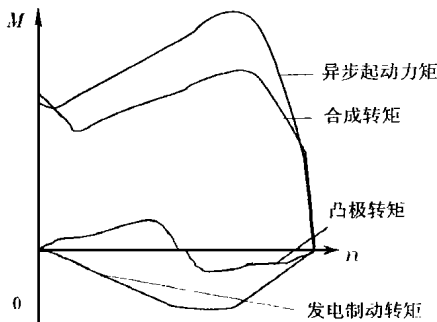


图 2 稀土永磁同步电动机的起动特性

稀土永磁同步电动机用于抽油机驱动, 其节能机理在于: 同步电动机稳定运行在同步转速, 与异步电动机相比没有转差损耗; 使用稀土永磁材料激磁, 提高了功率因数, 定子电流减小, 铜损降低, 提高了电机效率; 针对抽油机专门设计, 提高了低负荷区 (50% 以下) 的电机效率; 同步电动机在负载变化和电网电压波动时, 不存在转速波动, 没有机械过渡过程损耗。

参考 Y 系列三相异步电动机标准, 研制成功 TY200L<sub>2</sub>-6 稀土永磁同步电动机, 其外形、安装尺寸、绝缘等级、功率等级均与同机座号的 Y200L<sub>2</sub>-6 三相异步电动机相同, 主要性能指标如下:

- 额定功率 22kW;      额定电压 380V;
- 额定电流 41A;      定子绕组接法 Δ;
- 额定频率 50Hz;      额定转速 1000rpm;
- 额定效率 93.6%;      功率因数 0.88;
- 绝缘等级 E 级;      防护等级 IP44;

起动转矩倍数 4 倍牵入转矩倍数 0.9 ~ 1.1; 过载倍数 1.8 ~ 2.0。

具有自起动能力的稀土永磁同步电动机的技术关键是解决起动, 对负荷率低的抽油机还应使电机的效率特性尽可能平坦, 以提高低负荷区的效率, 稀土永磁同步电动机 TY200L<sub>2</sub>-6 与同机座号的 Y200L<sub>2</sub>-6 三相异步电动机效率特性比较见图 3。

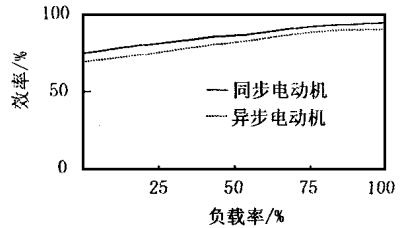


图 3 两种电机效率特性对比

### 3 应用实例

#### 3.1 性能对比

研制的 22kW、TY200L<sub>2</sub>-6 稀土永磁同步电动机与 22kW、Y200L<sub>2</sub>-6 三相异步电动机空载数据额定数据对比如下:

表 1 空载数据、额定数据对比

项目	空载电流 / A	空载输入功率 / kW	空载功率因数	额定转速 / (r · min <sup>-1</sup> )	额定电流 / A	额定效率 / %	额定功率因数
Y200L <sub>2</sub> -6	17.0	0.74	0.07	970	44.6	90.2	0.83
TY200L <sub>2</sub> -6	9.2	0.71	0.12	1000	41.2	93.6	0.88

### 3.2 现场应用测试结果

现场测试的目的是对比TY200L<sub>2</sub>-6稀土永磁同步电动机与22kW、Y200L<sub>2</sub>-6三相异步电动机驱动抽油机时的单产电耗,从而确定TY200L<sub>2</sub>-6稀土永磁同步电动机替代Y200L<sub>2</sub>-6三相异步电动机驱动抽油机时的节能效果.测试过程参照国家标准SY5266-91《机械采油井系统项目效率测试方法》.

表2 现场试验节能测试及计算结果

井号	中 240		樊 7-7		32-10	
	CYJ8-37		CYJ5-2-23		CYJ5-2-23	
抽油机型号	TY200L <sub>2</sub> -6		Y200L <sub>2</sub> -6		Y200L <sub>2</sub> -6	
电机型号	TY200L <sub>2</sub> -6	Y200L <sub>2</sub> -6	TY200L <sub>2</sub> -6	Y200L <sub>2</sub> -6	TY200L <sub>2</sub> -6	Y200L <sub>2</sub> -6
平均电压/V	436	430	401	398	370	365
平均电流/A	21.20	26.20	17.63	20.91	17.07	25.26
$I_{\min}/I_{\max}$	24/47	25/48	15/34	18/32	14.1/32	17.3/39
输入无功功率/kVar	13.73	16.80	10.67	12.41	6.61	12.35
抽油机有效功率/kW	3.29	3.27	2.39	2.37	2.32	2.33
功率因数	0.513	0.508	0.487	0.509	0.802	0.633
系统效率/%	40.7	32.96	40.17	32.29	26.10	23.05
单产电耗/(kW·h t <sup>-1</sup> )	5.66	6.87	8.27	10.29	7.86	8.86
有功节电率/%	17.61		19.60		11.27	
无功节电率/%	18.27		14.03		46.52	

## 4 结论

(1) 通过实测数据可以看出,用TY200L<sub>2</sub>-6稀土永磁同步电动机替代22kW Y200L<sub>2</sub>-6三相异步电动机来驱动抽油机具有显著的节能效果,3口井的平均有功节电率为16%,平均节约无功功率26%.

(2) 稀土永磁同步电动机用于抽油机驱动,稳定运行在同步转速,与三相异步电动机比较没有转差损耗,使用稀土永磁激磁提高了功率因数,平均电流比异步电机降低,提高了效率.

(3) 稀土永磁同步电动机,定子采用油田提供的同机座号三相异步电动机的定子,考虑了通用性,方便推广和节能改造,为批量生产提供了便利.

(4) 稀土永磁同步电动机用于驱动抽油机具有较大的经济效益.据测算,22kW电机每年节约电费3000元以上,稀土永磁同步电动机成本虽高于异步电动机,一年半左右即可收回投资.

(5) 从现场试验和用户反映来看,稀土永磁同步电动机存在以下问题:(1)电压过低时起动困难,有些井位离变压器较远,或供电线路导线截面过小,电

测试中,分别测试了两种电机驱动同一台抽油机时油井的动液面、油压、套压、有效扬程、油液密度以计算抽油机的有效功率,测试了两种电机的输入电流、电压、输入功率,节电率是对比两种电机使用时的吨液电耗而得出的.为了测试准确,电动机安装在抽油机上运行8h以上,待电机温升稳定后才开始测试,各点同步测试,测量及计算结果见表2.

源电压在340V以下时会出现起动困难.(2)稀土永磁同步电动机在电压高于440V时功率因数下降较快,消耗无功功率比异步电动机多,但同时有功节约也较多.这两个问题在电网规范(电压范围-10%~+7%)的场合都不存在,合理的磁钢用量和参数选择可以有效地改善这些缺点,但在测试中发现有的油井上运行的普通异步电动机甚至起动电流小的高转差电机也存在起动困难问题,所以改善油田供电状况也是当务之急.

### 参考文献:

- [1] 赵之善.论抽油机的合理拖动[J].石油机械,1988,6(5).
- [2] 赵家礼译.电动机运行与节能技术[M].北京:机械工业出版社,1989.
- [3] 唐任远.现代永磁电机理论与设计[M].北京:机械工业出版社,1997.
- [4] 陈俊峰.永磁电机[M].北京:机械工业出版社,1983.
- [5] 李钟明.稀土永磁电机理论与应用[M].西安:西北工业大学学报编辑室,1991.

编辑:张新宝

## **Power-saving Benefit of the Well Pumping Unit Driven by a Rare-earth Permanent-magnet Synchronous Motor**

**Abstract:** The characteristic of the load of a well pumping unit is that starting torque is great and running torque is small (generally the latter is less than 30% of the former). The rare-earth permanent-magnet synchronous motor introduced in the paper is designed for the well pumping unit. It is a self-starting hybrid motor, and it has the advantages of asynchronous motors and synchronous motors. It is like a asynchronous motor when starting, and like a synchronous motor after starting. Its composition and power-saving principle are introduced in the paper. Field test results show that to replace a three-phase induction motor with the motor can save power of about 15%.

**Key words:** synchronous motor, rare-earth permanent magnet, power-saving, well pumping unit

*BO Bao-zhong, MI Chun-ting, YANG Xin-hai, et al* (Xi'an Petroleum Institute, Xi'an, Shaanxi 710065, China) JXAPI 2000 V. 15 N. 5 P. 42-44

## **Cascade Fuzzy Control of the Great Time-delay Systems in Petrochemistry Industry**

**Abstract:** A new control mode is put forward, that is, fuzzy and cascade combination control. It is used in the control of the great time-delay systems in petrochemistry industry. The composition of the control system is introduced in this paper. Simulation results show that the cascade fuzzy control is effective.

**Key words:** fuzzy control, cascade control, simulation

*HUO Ai-qing* (Xi'an Petroleum Institute, Xi'an, Shaanxi 710065, China) JXAPI 2000 V. 15 N. 5 p. 45-46, 53

## **Economical Distributed Control System Used for Automatic Water-injection Stations in Oilfields**

**Abstract:** The design of the hardware and software of the control system was finished. The running result of the system shows that it can meet the requirements of water-injection technology, and good economical benefit has gained. The system can also used for other medium-small sized distributed control systems.

**Key words:** water-injection station, automatic control, distributed system, design

*CHENG Wei-bin, HUANG Ming-guan, LIU Xi-dong* (Xi'an Petroleum Institute, Xi'an, Shaanxi 710065, China) JXAPI 2000 V. 15 N. 5 p. 47-49

## **An Approach to Changing the Breaking Velocity Characteristic of a Circuit Breaker**

**Abstract:** At present, the breaking velocity characteristic of a circuit breaker is unchangeable. The authors put forward an approach to solving this problem. After the motion equation of the circuit breaker with direct-acting hydraulic mechanism was analyzed, it is held that the breaking velocity characteristic of the circuit breaker can be changed by changing the pressure loss coefficient of oil return circuit. A quick electromagnet on-off valve and a choke valve are added in the hydraulic mechanism, two breaking velocity characteristics can be obtained by changing the "on" and "off" states of the on-off valve. More on-off valves are added, more breaking velocity characteristics can be obtained. The "on" and "off" states are controlled by the signal given by electric network. The motion equation of the circuit breaker with improved the hydraulic mechanism was established. The approach is proved to be effective by simulation analysis. The service life of the circuit breaker can be increased because of the little impact force and operating work of the improved hydraulic mechanism.

**Key words:** hydraulic system, circuit breaker, velocity characteristic, on-off valve

*SUN Yi, MA Zhi-ying, GAO Ji-nian* (Xi'an Jiaotong University, Xi'an, Shaanxi 710049, China) JXAPI 2000 V. 15 N. 5 p. 50-53

## **Dynamic Model of Rotary Sucker Rod String and Its Finite Difference Equation**

**Abstract:** In this paper was established the twisting dynamic model of the rotary sucker rod string, which is used for driving downhole screw pump in a vertical well. A kind of finite difference equation of the model was also given. Because the continuous conditions of the torsion moment and torsion angle at the connects of the sucker rod string, and Taylor expansion of the torsion angle were used in the establishment of the model, the difference equation can be used for the combined sucker rod strings of different material. Adding some definite conditions, the model and its difference equation can be used in the optimization design, behavior prediction, working condition diagnosis and strength checking of the sucker rod string combination.