

永磁盘式电机在冶金行业的应用前景分析

孙培福

(首钢京唐公司 设备部, 北京 100043)

摘要: 通过对永磁盘式电机在首钢的应用实例分析表明, 只要永磁盘式电机寿命超过1年, 用户1年节电的费用就可将全部辊道电机更换为永磁盘式电机, 同时还可创造将近399万元的经济效益。由此推论, 如果全国冶金行业应用永磁盘式电机, 再考虑除辊道电机以外的其他电机的应用, 永磁盘式电机将会带来巨大的社会效益。

关键词: 永磁盘式电机; 冶金; 应用

中图分类号: T

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1671-1041.2016.04.011
文章编号: 1671-1041(2016)04-0035-03

Permanent Magnet Disc Motor Analysis Application Prospects in the Metallurgical Industry

Sun Peifu

(Shougang Jingtang Equipment Department, Beijing 100043, China)

Abstract: The permanent magnet disc motor application example Shougang analysis shows that as long as the permanent magnet disc motor life more than one year, only one user in saving the cost of the entire roller motor can be replaced by a permanent magnet disc motor, but also It can create nearly 3.99 million yuan economic benefits. It follows that if the national metallurgical industry applications permanent magnet disc motor, and then consider other than roller motor application other motors, permanent magnet disc motor will bring great social benefits.

Key words: permanent magnet disc motor; metallurgy; applications

0 简介

1) 现在的能源结构

- ◎ 能源消费以煤为主, 环境问题日益突出
- ◎ 优质能源比重上升, 石油安全不容忽视
- ◎ 工业用能居高不下, 结构调整任重道远
- ◎ 生活用能有所改善, 用能水平仍然很低

2) 目前能耗水平

2000年以来中国单位产值能耗比世界平均水平高2.4倍, 比美国高2.5倍, 比欧盟高4.9倍, 比日本高8.7倍, 比印度高0.43倍。

在电力、钢铁、有色、石化、建材、化工、轻工、纺织8个行业主要产品单位能耗平均比国际先进水平高40%。

3) “十一五”规划目标

2010年新增主要耗能设备能源效率达到或接近世界先进水平, 部分汽车、电动机、家用电器达到国际领先水平。中小电机平均设计效率达到90~92%。

4) 能源利用效率与国外差距

燃煤工业锅炉平均运行效率65%, 比国际先进水平低15~20%。

中小电机平均设计效率87%, 比国际先进水平低5%, 系统运行效率低20%; 机动车燃油经济性水平比欧洲低25%, 比日本低20%, 比美国低10%; 载货汽车百吨公里油耗7.6升, 比国际先进水平高1倍以上; 内河运输船舶油耗比国外先进水平高10~20%。

5) 电机节能目标

表1 电机节能目标
Table 1 Energy saving goals

项目	单位	2000年	2010年
燃煤工业锅炉(运行)	%	65	70~80
中小电动机(设计)	%	87	90~92
风机(设计)	%	75	80~85
泵(设计)	%	75~80	83~87
气体压缩机(设计)	%	75	80~84
汽车(乘用车)平均油耗	升/百公里	9.5	8.2~6.7
房间空调器(效能比)		2.4	3.2~4
电冰箱(能效指数)	%	80	62~50

收稿日期: 2016-02-01

作者简介: 孙培福(1960-), 男, 北京人, 大学, 工程师, 副总经理。

永磁盘式电机平均比同功率同转速的传统电机效率高5~10%，最高可达98~99%，见表1。

1 永磁盘式电机技术介绍

1.1 永磁盘式电机原理

该电机的工作原理近似于直流电机的原理，只不过用电子换向装置取代了机械换向器。线圈沿半径方向放置在由永久磁钢构成的磁场中，当线圈通电后，载流导体在磁场中受到电磁力（洛伦磁力）的作用，转子就可以旋转，旋转方向为左手定则的反方向。转子要想连续运转，只要保证处于N极下的线圈在处于S极下时电流方向要换向。同时，旋转的转子磁场切割定子线圈，在线圈中产生反电势与外电源平衡，这样就实现了电能到机械能的转化，见图1。

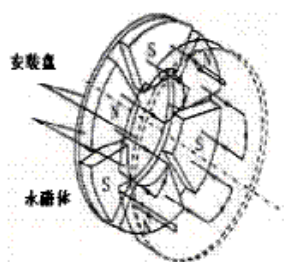


图1 永磁盘式电机原理

Fig.1 Disc permanent magnet motor theory

1.2 结构特点及效果（见表2）

表2 永磁盘式电机结构特点及效果

Table 2 Characteristics of permanent magnet motor structure and effect

超静音设计 →用于美国 海军、航空 航天等声音 敏感设备	<ul style="list-style-type: none"> ◎ 减小或取消了轴承，消除了轴承噪音 ◎ 替代硅钢片，取消了铁芯齿槽，消除了电磁噪音 ◎ 普通机械变速机构，消除传动噪音
超高效率设计 →效率高达 98%~99%，真 正的节能产品	<ul style="list-style-type: none"> ◎ 高能永磁材料的应用，提高效率 ◎ 无硅钢片结构，消除了磁滞损耗与铁芯损耗 ◎ 独特的线圈设计，降低杂散损耗 ◎ 独特的控制技术，使它随时适应负载变化，始终发挥最佳性能 ◎ 减小或取消轴承，降低了机械损耗 ◎ 没有冷却风扇，消除了风摩损耗
极高的控制精 度→用于伺服 电机或其他有 很高精度要求 的场合	<ul style="list-style-type: none"> ◎ 没有齿槽效应、磁饱和、电枢反应、和磁滞现象，不会产生低频扭矩振荡和噪声 ◎ 没有传统电机中电磁场的非正弦波型的分布所产生低频的扭矩波动
性价比最好的 电机	<ul style="list-style-type: none"> ◎ 极高功率密度设计，体积大幅度缩小，极大地节约原材料及制造成本，不需传统的维护，降低维护成本 ◎ 轻松享受节能10~15%的节能效益

1.3 技术特点与优势

- ◎ 高功率密度
- ◎ 体积小
- ◎ 维修成本低
- ◎ 重量轻
- ◎ 安装成本低
- ◎ 可靠性高

1.4 结构与性能对比（见图2）


项目	e-TORQ14" Y100L1-6	永磁盘式-E813	Y315M1-2	
图片				
直径/mm	358	205	813	645
轴向长度/mm	104.9	320	163	1100
D2L/×106mm ³	13.44	13.45	107.7	457.7
额定转速/rpm	1100	1000	2750	2980
额定扭矩/Nm	14.6(8.93)	14.3	450	422
额定功率/kW	1.683	1.5	130	132
效率/%	90	77.5	>98	93
重量/kg		36	295	1080

图2 结构与性能对比

Fig.2 Comparison of structure and properties

2 永磁盘式电机应用实例（见图3）

行业应用前景 - 节能效果

应用永磁盘式电机取代传统的低效率电机，平均按照10%节电估计，对于连续运行的系统来说效益是非常显著的。一般而言，1KW电机，运行1年的节电效果为：

$$1kW \times 24h/d \times 365d \times 10\% \times 0.8 \text{ 元/kWh} = 700 \text{ 元}$$

永磁盘式电机与同类电机价格相当，按照中小电机350元/KW的价格估计，更换永磁盘式电机0.5年即可靠节电收回投资；对于运行时间为12h/天的电机，当年可收回投资。为了进一步验证这种想法，同时也有一个对比性的量化的概念，我们针对首钢应用辊道、天车两大类电机的使用状况做了调研，并在此基础上探求在整个冶金行业的应用前景。

3 国内市场分析

目前国内最大的几家千万吨钢厂主要是宝钢、包钢、鞍钢、武钢、首钢等，其中前5位都超过首钢，还有规模稍小的像樊钢、太钢等十几家，再加上新兴的百万吨级规模的中小钢厂几十家，所以钢铁行业是一个庞大的市场。

3.1 首钢的情况

对首钢迁钢、首钢京唐等4个主要钢铁基地厂矿天车和辊道电机进行了粗略调查，情况如下：

迁钢、京唐：

辊道电机的年修理量大约在67×12=804万元/年左右，由此推算平均使用寿命大约为3~6个月左右，

天车电机的年修理量大约在400万元/年左右。

年备件费用约1.5~2.0亿元，若电机备件占10%，则为1500~2000万元。

3.2 冶金行业整体情况预测

1) 首钢以外的各大钢厂规模上都大于首钢，备品备件

合作伙伴	商标	产品
Lynx Motion Technology, Inc.		
iPower Technologies, Inc		
Bodine Electric Co.		
Delco Remy International		
Oak Ridge National Laboratories		
其他应用		
电动自行车 医用核磁共振 碎纸机、碎树机 木工锯床 美国航空航天局的 航天飞机		
	速度伺服电机	焊接机器人

图3 永磁盘式电机应用实例
Fig.3 Magnet motor example

消耗量也大于首钢，就按与首钢相当估计，则电机备件费将达到 $5 \times (1500 \sim 2000) = 7500 \sim 10000$ 万元。

2) 再考虑中小钢厂 30% 的比例，则整个钢铁行业的备件将达到 $1.3 \times (7500 \sim 10000) = 9750$ 万元 \sim 1.3 亿元。

3) 还应考虑非钢产业的应用，则市场潜力将更大。

4 目前主要存在的问题

目前应用的传统电机主要存在以下问题：

1) 寿命短

这两类电机都是用在高温、高粉尘、潮湿环境，再加上管理上的问题，使得电机的使用寿命短，导致了加大备件储备，备件频繁更换浪费人力，修理费用上升。

2) 效率低

辊道电机设计效率也就是 90% 左右，加上频繁修理造成电气、机械等损耗加大，实际的使用效率可能更低。在现在电力紧张，能源紧缺的时代，造成能源浪费显得很不合适宜。

3) 种类多，管理复杂

电机根据容量不同有不同的型号，因而需要分别管理，造成管理成本也很高，库房大，管理人员多。

4) 应用数量少的高效电机

成本高，应用数量少，替换成本略高。效率高，有极大的前景。

5 永磁盘式电机的技术优势

永磁盘式电机是美国专有技术，美国已经在电锯、锄草机、搅树机、电动汽车、机器人等方面作了试验性研究，证实其先进性与可靠性，它主要优点就是：

- 1) 高转矩倍数，非常适合于冲击性负载场合。
- 2) 高效率，正是节能的首选产品。
- 3) 高防护能力，可以适用于各种恶劣的环境。
- 4) 体积小，使安装更容易。

6 用永磁盘式电机替代传统电机的可行性

用永磁盘式电机代替传统电机的可行性主要考虑以下两个方面：

6.1 永磁盘式电机的特性能适合辊道电机

辊道电机一般速度较低，要求较高的启动转矩，环境温度较高，要求能在 180℃ 下运行。由于速度低，体积大、而安装空间又小，所以往往是矛盾的，而这些正是永磁盘式电机的优势，永磁盘式电机的抗冲击能力，远远高于普通辊道电机，只要永磁盘式电机的外形不超过普通电机在控制上又能兼容，用永磁盘式电机替代是完全可行的。

用一台永磁盘式电机代替辊道电机由于其效率达 98% 以上，相当于将普通电机容量增加 10%，另外永磁盘式电机精确控制特性将使该电机在工作时能紧密跟踪负载变化，使其不论高速低速都能发挥其高效特性。

6.2 永磁盘式电机的价格优势

永磁盘式电机的价格与其同容量、同转速的传统电机价格应该有比较优势，这主要是基于它极大地缩小了体积，因而也就节约了原材料，特别是节约昂贵的铜线，即使由于永磁材料的应用，其增加的价格应该小于材料节约的价格。

表 3 是一台永磁盘式电机与一台传统的 GE 电机的对比资料。

表 3 永磁盘式电机与传统的 GE 电机的对比		
Table 3 Permanent magnet motor in contrast to traditional GE motors		
对比项目	永磁盘式电机	GE电机
功率：HP	160	160
转速：rpm	3600	3600
直径：mm	467	559
长度：mm	152	762
重量：kg	58	704

可见其同容量、同转速的 SEME 电机的重量远远小于普通电机，一般认为只有普通电机的 20% 左右。一般估计电机的材料价格占整个价格的 60% 左右，按照节约材料 80% 计算，电机价格将下降 $80\% \times 60\% = 48\%$ ，而永磁盘式电机中只要永磁材料和控制器的价格不超过整个价格的 48%，则永磁盘式电机的价格将与普通电机的价格持平。

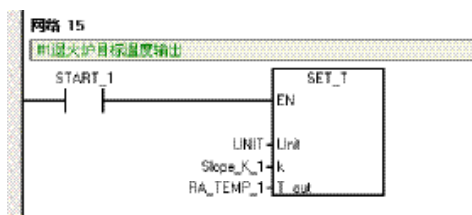


图5 目标温度输出子程序

Fig.5 Target temperature output subroutine

4 退火炉运行情况

原来通过手工操作时,如果让炉温从常温缓慢加热到 500℃,即使频繁的拉闸与合闸,在半小时左右的时间炉温就窜到或超过 500℃了;程序控制改造后,通过参数设定,可以实现让炉内温度按照预期(例如两个小时)的时间区间从常温按斜率匀速升温到 500℃,有效地解决了加热速度快,温度难以控制的难题。

同时,保温时间可以设置任意时间长度,并且保证了炉内温度不超温、不欠温。通过对保温阶段的精确温度控制,避免了系统频繁加热的情况出现,大大的减少了单台炉电能的消耗,根据退火炉功率不同,当前每次完成一次退火过程,相比以前工艺可以节省 35% 的电费支出。

利用铁芯磁性能测量仪对退火后出炉的产品进行导磁性能检测结果对比。改造前出炉的产品在对其给定 0.2A 的励磁电流后,测得的感应电势一般在 1.4 ~ 2.0mV 之间;改造后出炉的产品在给定同样的励磁电流后,测得的感应电势一般在 1.8 ~ 2.5mV 之间。通过对加热系统匀速升温

控制方案的实现,提高了产品的导磁性,大大降低了废品生成率。

控制系统投入后,就不需要操作工人全程值守了,解放了人力资源投入的同时,也使得产品产量从有人值守时的每次 2 炉运行工况提升到当前的 6 炉同时运行,大大地提高了生产效率,取得了非常满意的效果。

5 结束语

系统经过两年多的运行,控制系统的运算准确和保护功能运行正常,数据通讯顺畅,完全达到了预期设计目标。不但使产品质量和合格率得到了提高,也提升了系统的安全性,还使得生产效率大幅度的提高,节省了人力成本,降低了电力能耗,收获了可观的经济效益。

参考文献:

- [1] SIMATIC.S7-200 可编程序控制器系统手册 [Z].2008.
- [2] 龚彦兵.取向硅钢连续退火的工艺与设计 [J].工业炉,2011,33(2):12-15.
- [3] 匡元辉,李建军,岳尔斌,等.退火对 TSCR 生产低碳低硅无取向硅钢的影响 [J].钢铁钒钛,2010,31(3):25-29
- [4] OMRON.数字式控制器通讯手册(E5CC,E5EC) [Z].2012.
- [5] 马莹,郑文斌.基于 PLC 和组态软件的加热炉温度控制系统 [J].中国科技信息,2007(21):64-65.
- [6] 孟凡姿.西门子 PLC 和组态软件在温度控制系统中的应用 [J].工业控制计算机,2014,27(4):158-158.
- [7] 刘天伟,张磊,周昌勇.退火工艺对无取向硅钢磁性能的影响 [J].江西冶金,2012(05):29-31.
- [8] 樊军庆,张宝珍.温度控制理论的发展概况 [J].工业炉,2008,30(6):12-14.

(上接第37页)

7 效益分析

7.1 永磁盘式电机的高效率将带来明显的节能效益

还以上述辊道电机的统计数据为基础

1) 总在装量 2016 台,平均每台按 3KW 计算,总容量为 $2016 \times 3 = 6046 \text{ KW}$

2) 考虑 70% 负载率,则年耗电量为 $6048 \text{ KW} \times 365 \times 24 \text{ h} \times 70\% = 37090000 \text{ KWh}$

3) 工业用电按 0.8 元 /KWh 计算,则年电费消耗为 $37090000 \times 0.8 = 29670000$ 元

4) 用永磁盘式电机可以节电 10%,每年的电费节约量为 $29670000 \times 10\% = 2967000$ 元

7.2 用永磁盘式电机综合效益明显

假定全部电机都更换为永磁盘式电机,而永磁盘式电机价格估计为普通电机的两倍,则:

- 1) 设备投资 $3508800 \times 2 = 7017600$ 元
- 2) 年节电 2967000 元

设备使用寿命大于 1 年,则年修理费可节约 $670000 \times 12 = 8040000$ 元

3) 用户年创效益

$8040000 + 2967000 - 7017600 = 3989400$ 元

8 结论

只要永磁盘式电机寿命超过 1 年,用户仅 1 年节电的费用就可将全部辊道电机更换为永磁盘式电机,同时还可创造将近 399 万元的经济效益,由此推论到全国整个冶金行业的应用,再考虑除辊道电机以外的其他电机的应用,将会带来巨大的社会效益。

参考文献:

- [1] 郭芳,励鹤鸣,王正茂,等.三相盘式永磁同步电机 [J].微特电机,1997(2):2-5.
- [2] 范瑜,郭慧浩.永磁无刷直流电机定、转子机械结构的设计 [J].电机技术,2005(2):3-5.
- [3] Axial flux interior PM synchronous motor: parameters identification and steady-state performance measurements A Cavagnino, M Lazzari, F Profumo, Industry Applications IEEE Transactions on, 1999:1-2.