

[电动机]

永磁调速技术节能分析

文/大庆油田第二采油厂规划设计研究所 姚杰

永磁调速技术是目前较为先进的电动机调速、节能技术，具有高效节能、可靠性高和柔性连接传递扭矩等优点。叙述永磁调速技术的工作原理与节能原理，并和现阶段应用较多的液力耦合调速及变频调速进行比较，永磁调速器具有明显的优势。

目前泵类耗电是油田耗电的重要组成部分，充分挖掘其节能潜力，对提高油田开发效益具有重大意义。泵类节能技术主要是液力耦合调速、变频调速和永磁调速。液力耦合调速的发展已有 100 年的时间，技术比较成熟，缺点为调节准确度差、响应慢、维护费用高。变频调速的发展已有 50 年的时间，其功能越来越全面，调速准确度也越来越高，但也因其电力电子组件多且老化快，柜体占地面积大，对运行环境要求高。永磁调速的开展已有 20 多年的时间，具有调速比大、可靠性高、稳定性好、振动噪声小、无谐波、占地面积小、环境要求低和寿命长等优点。

永磁调速技术

1. 工作原理

导体转子安装在电动机轴上，永磁转子安装在负载轴上，导体转子内圈安装铜导体环，永磁转子内安装永磁体，永磁转子套装在导体转子内。若导体转子不旋转，磁力线通过导体，没有切割磁力线，永磁转子静止。当导体转子旋转时，导体在永磁转子的磁场中切割磁力线产生涡电流，从而形成涡流感应磁场。感应磁场与永磁场相互作用，从而带动永磁转子沿着导体转子相同的方向旋转。导体转子的铜导体内圈与永磁转子的外圈形成一定的间隙，间隙也称为气隙。如果永磁转子和导体转子在轴向的位置相对不动，则传递

的转速、扭矩和功率稳定不变，如图 1 所示。永磁调速器由导体转子、永磁转子、屏蔽套筒和驱动装置组成，如图 2 所示。

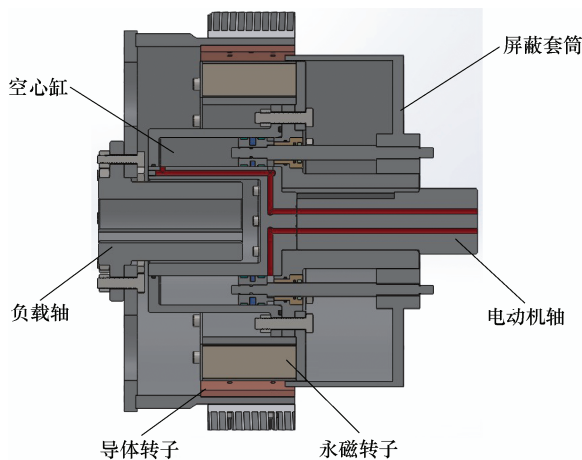


图 1 永磁调速器示意图

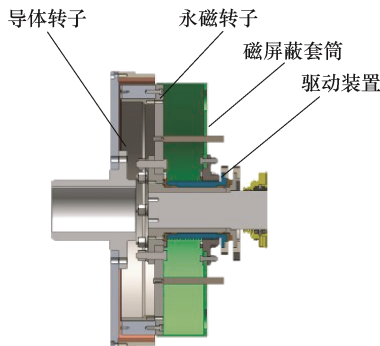


图 2 永磁调速器组成

导体转子可安装在负载一侧，即套装负载轴上；永磁转子安装在电动机一侧，即套装在电动机轴上，这样形成了永磁转子被导体转子套住，即永磁转子的圆柱面与导体转子的内圆柱面完全相对，这两个表面形成一定的间隙，即为“气隙”。

在这个间隙中间安装屏蔽套筒，屏蔽套筒为圆筒状的部件，该部件被驱动装置驱动，可以与永磁转子同步转动，并且沿着轴向进行左右移动。

如果不存在屏蔽套筒，导体转子的内表面获得了最大的磁场环境，即建立的磁场磁通量最大，电动机转动后负载的转速最高、传递的扭矩最大。而采用屏蔽套筒（高磁导率的合金材料），随着屏蔽套筒向永磁转子和导体转子的间隙不断插入，由于磁屏蔽的原理、导体转子内圆柱表面处在磁场强度不断减小、磁通量不断减小，导体转子的转速不断降低，当屏蔽套筒完全遮盖住永磁转子，导体转子的转速最低。

磁屏蔽式移动到不同位置，产生不同效果，磁屏蔽式没有屏蔽永磁转子，此时传递的转速最高、扭矩最大，如图 3 所示。磁屏蔽式部分屏蔽永磁转子，此时传递的转速较低、扭矩降低，如图 4 所示。磁屏蔽式完全屏蔽永磁转子，此时传递的转速最低、扭矩最小，如图 5 所示。电动机、负载和永磁调速装置的整体布置示意图如图 6 所示，400 kW 以上电动机应用永磁调速器需要增加水冷系统，此项目中电动机最大功率为 315 kW，可直接采用风冷的冷却形式，该冷却形式结构简单，投资成本低，易于维护。

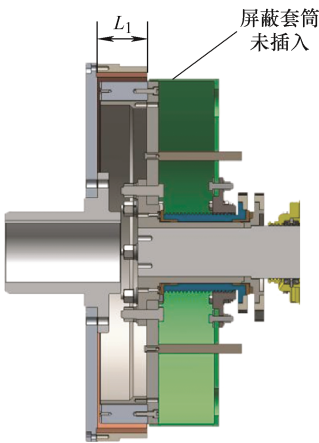


图 3 屏蔽套筒没有屏蔽永磁转子

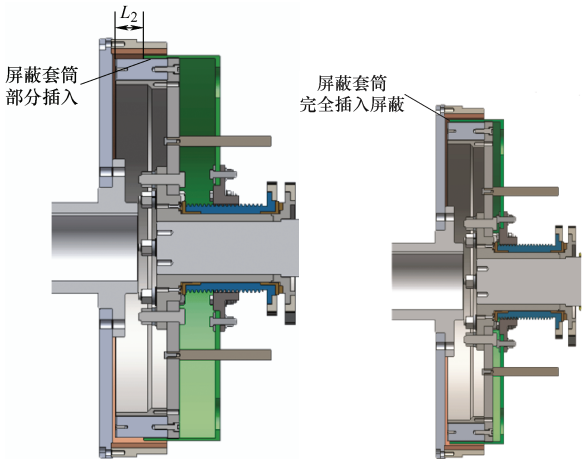


图 4 屏蔽套筒部分屏蔽永磁转子 图 5 屏蔽套筒完全屏蔽永磁转子

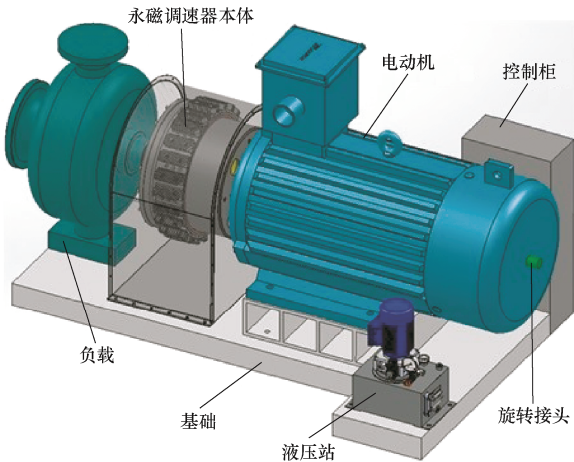


图 6 整体布置示意图

2. 节能原理

从流体力学的原理得知，使用感应电动机驱动的水泵，轴功率 P 与流量 Q 、 H 的关系为 $P \propto QH$ 。

当电动机的转速由 n_1 变化到 n_2 时， Q 、 H 、 P 与转速的关系为

$$Q_2 = Q_1 \frac{n_2}{n_1} \tag{1}$$

$$H_2 = H_1 \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 \tag{2}$$

$$P_2 = P_1 \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^3 \tag{3}$$

可见流量 Q 和电动机的转速 n 是成正比关系的，而水泵扬程与转速的二次方成正比，所需的轴功率 P 与转速的立方成正比关系。所以当需要 80% 的额定流量时，通过调节水泵的转速至额定转速的 80%，这时所需功率仅为原来的 51.2%，而此时系统的压力仅为原来的 64%。

如图 7 所示，从水泵的运行曲线图来分析采用永磁调速后的节能效果。

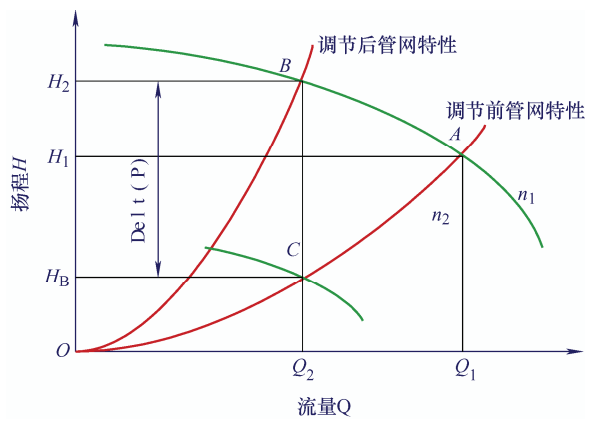


图 7 水泵的运行曲线

3. 炼化热电厂风机节能实测

- 1) 功率按照 $P = 1.732UI \times \text{功率因数}$ 。
 - 2) 电动机的额定电流 $I_{\text{额定}} = 26.9 \text{ A}$ ，在额定转速和额定负荷下的电流。
 - 3) 实际节能率 = $(P_{\text{额定}} - P_{\text{实际}}) / P_{\text{额定}}$ 。
 - 4) 位移百分比为磁屏蔽套筒进入永磁转子长度方向的百分比。
 - 5) 转速的百分比，风机实际风机转速/电动机额定转速。
 - 6) 转差率 = $(\text{电动机额定转速} - \text{风机实际转速}) / \text{电动机额定转速}$ 。
 - 7) 理论节能率 $1 - (\text{转速的百分比})^2$ ，理论节能率未考虑风机的泄露，风机内部压降等因素。
 - 8) 电动机功率为 220 kW，转速 1 480 r/min。
- 节能率计算见表 1。

表 1 节能率计算

序号	位移百分比(%)	风机转速/(r/min)	转速比(%)	实际电流/A	转差率(%)	实际节能率(%)
1	10	613	41.30	10	58.7	62.80
2	20	674	45.80	10.6	60.60	60.60
3	30	746	60	11.3	57.90	57.90
4	40	854	57.50	12.5	53.50	53.50
5	50	997	67	14.5	33	46
6	60	1 214	81.70	18.2	18.30	32.30
7	70	1 324	89	21.05	10.00	21.70
8	80	1 369	92.10	22.8	7.90	15.20
9	90	1 406	94.60	23.7	5.40	11.90
10	100	95.50	95.50	26.9	4.60	10.80

永磁调速与其他调速技术的对比

泵类节能技术主要是液力耦合调速、变频调速和永磁调速。永磁调速与变频调速、液力耦合器的比较见表 2。

表 2 同类调速产品对比

比较项目	永磁调速器	变频调速	液力耦合器
工作原理	无机械连接 耦合磁场 传动	电气变换频率	改变叶轮间 液体压力
过载保护	滑差保护	过电流保护	滑差保护
输入敏感电压	无输入敏感 电压	有输入敏感电 压	无输入敏感 电压
气候敏感	无影响	有影响	无影响
环境适应能力	好	差	一般
系统减震能力	好	差	好
电力谐波	无	高	无
设备使用寿命	>25 年	<10 年	15~20 年
软起动	空载起动	低频起动	空载起动
能频繁起动	可以	不可以	可以
输入功率因数	与电动机相 同	低于电动机功 率因数	与电动机相 同
安装难度	一般	一般	较难
电动机负载对 中要求	不高	高	较高
占地空间	小	最大	大
对电动机-泵 的改动	安装泵与电 动机之间	更换较高等级 的电动机	安装泵与电 动机之间
防护措施	防护罩	防雷、防尘、 空调	防漏、放易燃
事故检修难度	易	最难	难
电源对工艺工 况的影响	无	影响生产工艺 电源母线烧损	无

液力耦合器在使用过程中由于诸多问题，逐渐被用户淘汰。高压变频器应用得较多，但是变频调速在生产运行中出现的问题，尤其是变频设备故障的不确定性，给生产上带来了隐患，直接影响了生产运行的连续性、稳定性和可靠性，也带来了较大的经济损失，这种损失通常是因为电气设备故障时造成停机导致的。通过比较，永磁调速器具有明显的优势。

结束语

永磁调速技术是一种先进的电动机调速，具有高效节能、可靠性高、柔性连接传递扭矩、环境适应能力强、维护成本低及使用寿命长等优点，具有良好的应用前景。EA

(收稿日期：2020.12.10)