

新型永磁调速器在闭式冷却水泵节能改造中的应用

常少辉 赵秀成 王小辉 许继东 李超越
(华电(北京)热电有限公司 北京 100055)

摘要: 永磁调速器通过机械方式调节切割磁力线的多少,从而改变传递转矩,调节负载转速,是一种机械调速方式。本文简要阐述了一种通过移动底座调节耦合磁场的永磁调速器的结构原理、技术特点,通过在闭式冷却水泵上的安装过程的介绍和应用效果分析,证明永磁调速器具有安装方便、节能效果显著、减振隔振等特点,在离心式风机、泵等系统中具有较高的推广应用价值。

关键词: 永磁调速器; 移动底座; 调速节能

0 引言

离心式风机、泵类设备是电力、石油、化工、钢铁等行业中的重要设备,也是耗能大户,一定程度上影响着企业的生产成本和经济效益。出于设计上的安全考虑,水泵与风机的实际运行流量一般都远小于额定流量,通常都是采用调节阀门或风门挡板的方式来控制输出流量,因此造成一定的能源浪费,电动机的能耗高^[1],且系统的安全性和可靠性差,较不经济且设备维护成本较高。

调速是目前公认的实现离心式负载节能的最优技术。对于水泵或风机,若采用永磁调速器进行调速节能,不仅可以提高系统的运行效率,降低设计余量和工艺余量,还可以使电动机与负载之间的转矩传递不存在机械硬联接,减少系统的振动,提高电动机拖动系统的稳定性和可靠性,延长电动机的使用寿命。该技术于1999年由美国MagnaDrive公司提出,2005年引进中国,受到了高校、科研机构、生产厂家尤其是高耗能企业的广泛关注。近年来,该技术不断突破和创新,出现了多种形式的永磁调速器,且基于在水泵、风机上大量的应用案例,技术逐渐趋于成熟,结构更加简单、性能更加可靠,正成为水泵、风机调速节能的优选技术。

1 永磁调速技术

1.1 结构原理

永磁调速器由移动底座、导体转子、永磁转子三部分组成。导体转子安装在电动机轴上,永磁转子

安装在负载轴上,两者无连接,其间由空气隙分开,并随各自安装的旋转轴独立转动。当导体转子转动时,导体转子与永磁转子产生相对运动,导体转子切割永磁体磁力线产生涡流,涡流又产生感应磁场与永磁场相互作用,从而带动永磁转子沿与导体转子相同的方向转动,最终将电动机轴的转矩传递到负载轴上^[2]。永磁调速器传递转矩和转速的大小与耦合面积相关,耦合面积越大,转矩越大,负载的转速越高,反之,则传递的转矩越小,负载的转速越低,如图1所示。

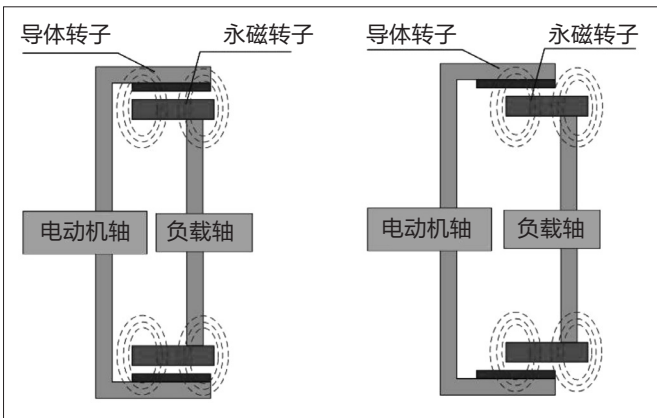


图1 永磁调速器转矩传递原理图

此次研究采用的永磁调速器打破了一直以来直接调节永磁转子以改变导体转子和永磁转子耦合面积的方式,而是将一种移动式的底座安装在电动机底部,通过调节电动机轴向移动来间接调节导体转子和永磁转子耦合面积,如图2所示。移动底座上安装有固定底板、移动底板、滑轨和调节机构,滑轨的结构与大型机床

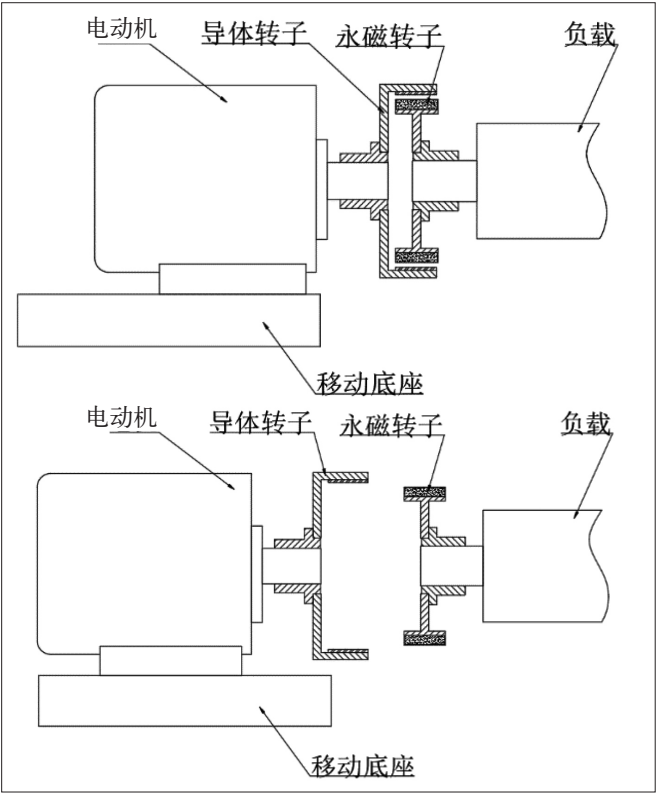


图 2 永磁调速器调节原理图

的刀具和工件的移动结构类似，可实现移动底板在固定底板上高精度直线移动。移动底座一般设计成双滑轨结构，滑轨之间的距离大于等于电动机安装孔的距离，避免出现翻转的情况。且导体转子和永磁转子之间通过气隙传递动力，不存在机械连接，避免了硬连接方式由于对中误差给电动机造成偏心力，更有利于电动机的固定。调节机构则用于控制移动底板的位置，一般连接电动执行机构。电动执行机构接收来自控制系统的控制信号，转换为调节机构的机械动作，精准控制移动底板的位置。

永磁调速器是专门针对风机、泵类离心负载调速节能的适用技术，离心式负载的主要性能参数符合相似定律：流量与转速成正比，压力与转速的平方成正比，轴功率与转速的三次方成正比。因此，通过永磁调速器调节水泵转速可以改变水泵的流量和压力，降低水泵的轴功率和电动机的输出转矩，使电动机按需供给，实现经济运行。使用时，通过 PID 控制方式自动调节永磁调速器行程，PID 的控制信号源为工艺需要控制的参数，对于水泵系统而言可能是压力、流量或者水温。

1.2 永磁调速器的特点

(1) 永磁调速器作为一种无机械连接的调速方式，

具有隔振减振、可靠性高、使电动机空载启动、对电动机进行过载保护、环境适应能力强等特点^[3]。相比于常见的永磁调速器，本次闭式水泵节能改造采用的永磁调速器在调节方式有了很大突破，不再采用连杆滑块、齿轮齿条、蜗轮蜗杆等调节结构，而是将用于传动的导体转子和永磁转子部分与调节部分分开，采用安装在电动机底部的移动底座移动电动机的方式进行调节，传动部分和调节部分互不干涉，结构更加简单。传统永磁调速器与新型永磁调速器的对比见表 1。

表 1 传统永磁调速器与新型永磁调速器的对比

内容	传统永磁调速器	新型永磁调速器
结构	复杂，风冷 3 套轴承，水冷 6 套轴承，水冷型密封要求高，密封结构复杂	简单，无轴承。转子与移动底座分开，导体转子上的冷却水不会进入移动底座中，密封要求低
安装空间	大，轴端距要求风冷 750mm，水冷 1650mm	小，轴端距要求风冷 150mm 以内，水冷 250mm 以内
安装对中	风冷需 1 套联轴器，水冷需 2 套联轴器，联轴器对中要求高	无联轴器，无需热装，对中导体转子和永磁转子，允许 1mm 安装对中误差
改造施工工作量	需后移电动机，延长基础	无需延长基础
维护	定期给轴承加润滑脂，更换易损件	无易损件，免维护
调速范围	30% ~ 97%，结构空间有限，无法使导体转子和永磁转子完全脱开	0 ~ 97%，调节距离长，可完全脱开，实现电动机空载启停
调节线性度	差，调节距离短，转速可能出现突变的情况	好，调节距离长，更利于调节精度的提高

2 应用情况

2.1 系统概况

华电（北京）热电有限公司配置有 2 套燃气—蒸汽联合循环机组，每套机组配置 2 台闭式冷却水泵，运行方式为“一用一备”，闭式冷却水泵机组为下游用户提供冷却水。目前水泵为定频运行，没有采用任何调速装置。闭式冷却水泵出口阀门为全开状态，现场始终为最大流量运行状态。一方面原设计本身就留有较大余量，另一方面由于全年运行工况存在较大温差，机组在供热工况与春凝工况下对闭冷水

流量需求不同，因此闭冷水系统存在较大节能空间。由于闭冷水泵是机组运行时间最长的重要辅机设备，因此对闭冷水泵进行节能优化改造可降低机组全年煤耗水平。可以通过增加永磁调速器，在满足生产安全和需求的同时，适当降低供水量和供水压力，达到节省厂用电的目的。

闭式水泵的参数见表 2。根据电动机的功率和转速对永磁调速器进行选型设计，采用的是风冷型的永磁调速器。

表 2 负载参数调查表

电动机铭牌		负载铭牌	
型号	YKK400-4	型号	S450-350-450BT
额定功率 /kW	280	轴功率 /kW	226.85
额定转速 / (r/min)	1489	额定转速 /(r/min)	1480
额定电压 /V	6000	额定流量 / (m³/h)	2000
额定电流 /A	33.6	扬程 /m	35
功率因数	0.86	效率 /%	84

2.2 改造过程

项目施工改造过程主要有如下几个阶段。

2.2.1 准备阶段

拆除电动机和水泵之间的联轴器连接螺栓、电动机与底座之间的连接螺栓，将电动机吊装至安全区域，采用火焰烘烤的方式拆除电动机和水泵轴上的联轴器，并对轴头进行清洗，测量尺寸。由于原电动机底座高度高于永磁调速器移动底座的高度，于是将原电动机底座切除部分，再焊接一块底板用于安装移动底座，如图 3 所示。焊接底板前测量底板至水泵轴的高度，确保留有足够的高度和调整的余量，且底板已放置水平，再进行底板的焊接。整个安装准备工程中未破坏原有电动机基础即完成了安装位置的改造。

2.2.2 永磁调速器安装

将导体转子和永磁转子通过胀紧套分别安装至电动机轴和水泵轴上，再将电动机整体吊装至移动底座上，移动底座吊装至焊接固定好的底板上，对导体转子和永磁转子进行对中，依次在两转子耦合程度为 0、50%、100% 时，通过微调电动机位置调整两转子间的气隙，利用塞规测量上下左右的气隙，误差控制在 0.3mm 以内。对中完成后固定电动机安装螺栓和移动底座安装螺栓，安装永磁调速器的防

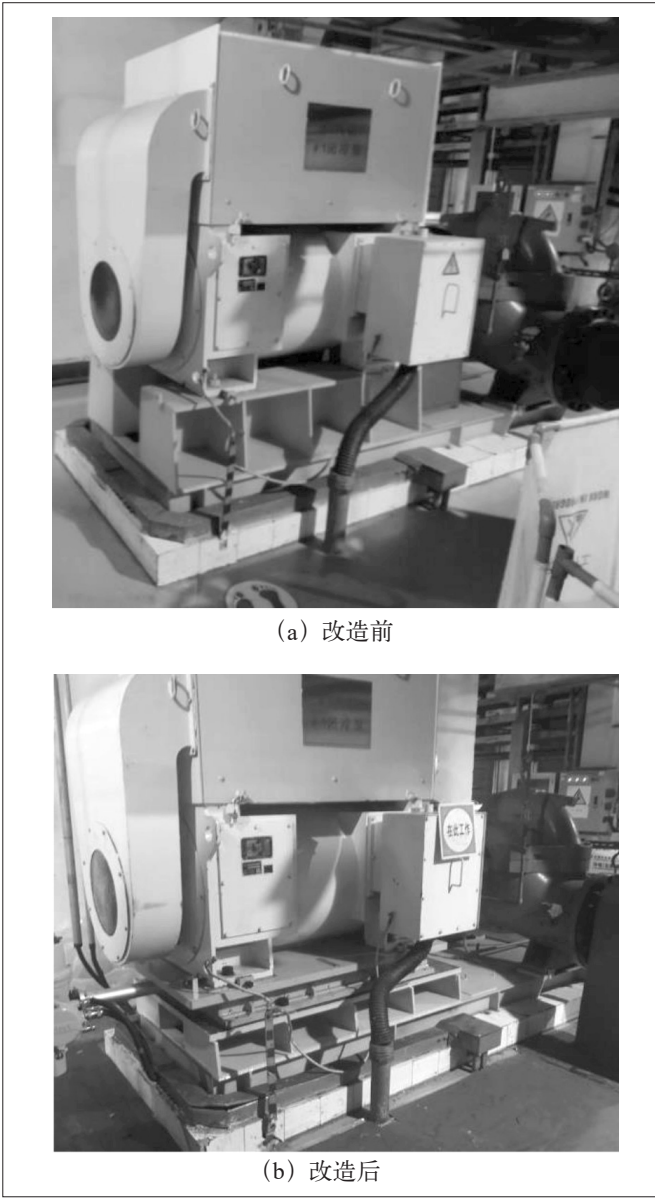


图 3 改造前后底座结构

护罩。

2.2.3 电气仪表安装

该永磁调速器配套的仪表仅有 1 台电动执行机构，安装在移动底座上，对移动底座实现就地 / 远程、自动 / 手动控制。铺设到控制室的一路控制信号和反馈信号电缆，以及到配电室的一路 380V/AC 电源电缆，随后进行电动执行机构和电动机信号及电源电缆的接线，安装所有电缆标识，检查电路完整性、安全性、可靠性，并测试。

2.2.4 DCS 组态

在 DCS 新增永磁调速器的画面，加入永磁调速器的控制逻辑。

2.3 改造效果

冬季 11 月完成了闭式冷却水泵改造并投入使用，永磁调速器可根据回水温度自动调节水泵转速，控制流量满足不同工况的需求，相比改造前，节电率达到了 18%，预计每年可节电约 29 万 kW·h，达到了预期的节能效果。

永磁调速器利用磁力传递转矩，代替原来的刚性联轴器，使电动机与负载之间无直接的刚性连接，不仅隔断了振动在传递过程中的放大效应，减小了设备整体的振动传递，有效地降低系统的振动，延长电动机、水泵的轴承和密封件的使用寿命；还可以实现电动机的轻载启动，缩短电动机启动电流的冲击时间，减小对电动机的热冲击负荷及对电网的影响，起到保护电动机、延长电动机使用寿命的作用。改造后水泵的振动数据见表 3。

表 3 改造后的闭冷水泵的振动数据

方向	位置	
	驱动端	非驱动端
水平 /mm	0.011	0.023
垂直 /mm	0.007	0.011
轴向 /mm	0.020	0.012

由于永磁调速器属于纯机械设备，相较于电气设备更为“皮实”，能够更好地适应现场使用工况，而且设备结构简单，可靠性高，无轴承、油封等易损件，

减少了很多日常维护工作，使用方便。

3 结语

综上所述，闭式冷却水泵采用永磁调速器改造施工方便、安装简单、改造工期短，投运后运行稳定，可根据工况自动调节水泵的转速，降低电动机的运行功率，节能效果显著，且水泵振动情况良好，没有任何故障和缺陷，无需维护，达到了预期的改造效果。通过实际应用证明移动底座式的永磁调速器是一种先进的离心式负载调速技术，是离心式负载调速节能技术的较优选择。

参考文献：

[1] 马玉顺，吴明，匡俊，等．永磁调速和变频调速技术对比研究[J]．黑龙江科学，2017，8(08):63-67.

[2] 曹朋怀，汪家胜，向朝虎．永磁调速技术在脱硫系统浆液循环泵上的节能研究与应用[J]．工业控制计算机，2017(06):152-153.

[3] 付琼，张冠群．永磁调速技术在发电厂设备上应用的探讨[J]．湖南电力，2016，36(01):72-74.

作者简介：常少辉（1971.09-），男，汉族，北京人，本科，高级工程师，研究方向：热动专业。

