

# 永磁电机在电厂开式水系统中的应用与分析

刘海山, 彭加成

[ 神华国华(北京)燃气热电有限公司, 北京 100024 ]

**摘要:** 分析了开式水泵电机的负载特性, 分析探讨了稀土永磁同步电机(PMSM)的起动策略。PMSM 具有效率高、结构简单、运行经济、维护方便等优点, 将其应用于电厂辅机系统有先天优势, 能提高电机运行效率, 改善末端电压供电水平, 实现了较好的节能效果。应用于电厂开式水系统的现场测试结果进一步验证了该结论。

**关键词:** 永磁同步电机; 电厂辅机系统; 开式水泵; 起动策略; 过热改造

**中图分类号:** TM 351   **文献标志码:** A   **文章编号:** 1673-6540(2020)07-0099-04

**doi:** 10.12177/emca.2020.057

## Application and Analysis of Permanent Magnet Motor in Open Water System of Power Plant

LIU Haishan, PENG Jiacheng

[Shenhua Guohua (Beijing) Gas Thermal Power Co., Ltd., Beijing 100024, China]

**Abstract:** The load characteristics of an open water pump motor are analyzed. The starting strategy of the rare earth permanent magnet synchronous motor (PMSM) is analyzed and discussed. PMSM has the inherent advantages of high efficiency, simple structure, economic operation and convenient maintenance. Applying PMSM to the auxiliary system of the power plant will result in high operating efficiency and good energy saving effect. The field test results of a PMSM applied to the open water system of a power plant further verify this conclusion.

**Key words:** permanent magnet synchronous motor (PMSM); auxiliary system of power plants; open water pump; starting strategy; overheating reconstruction

## 0 引言

发电厂电机节能可从 2 方面着手:(1) 配合节能的驱动设备, 如变频器、永磁调速器;(2) 选用新型高效节能电机, 如稀土永磁电机。

永磁电动机效率比异步电机高 2%~5%, 永磁电动机效率随负载率变化较小, 在 25%~120% 额定负载范围内均可保持较高的效率和功率因数, 而异步电机工作在 70% 功率以下效率降低的较多。永磁同步电机(PMSM)在低负载率时, 功率因数可以达到 0.85 以上, 接近满载或满载时候功率因数可达到 0.95 及以上。同等工况下, PMSM 相比异步电机, 运行电流可以低了 21.4%

以上, 无功损耗可以降低 85%, 工作温度比异步电机低约 15~20 °C<sup>[1-5]</sup>。

本文开展了稀土永磁电机应用于电厂辅机系统的研究, 现场应用验证了永磁电机替代比它大 1~2 个功率等级的异步电机的可行性, 在发电厂应用方面永磁电机有明显的优势和较好的节能效果。

## 1 开式水泵电机的负载特性及存在的问题

### 1.1 开式水泵主要技术规范

开式水泵主要技术规范如表 1 所示。型式为卧式水平中开离心泵, 型号为 700S20J+。

收稿日期: 2020-04-10; 收到修改稿日期: 2020-05-12

作者简介: 刘海山(1974—), 男, 高级工程师, 研究方向为发电厂生产管理。

彭加成(1980—), 男, 工程师, 研究方向为电气专业技术管理。

表 1 开式水泵主要技术规范

参数名称	参数值
流量/( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )	4 000
扬程/m	12
最小流量/( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )	1 000
水泵轴功率/kW	152
效率/%	86

## 1.2 开式水泵电机的负载特性

开式水泵为卧式水平中开离心泵,其流量-轴功率关系曲线如图 1 所示,当泵的流量低于额定流量时轴功率呈上升趋势。

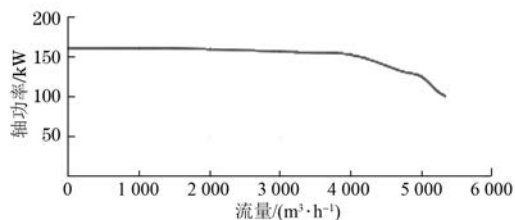


图 1 开式水泵流量-轴功率曲线

开式水系统工艺流程如图 2 所示。循环水经开式水泵增压后,作为电厂闭式水板式换热器的冷却水源。运行中当板式换热器脏污时,沿程阻力增加,泵出口流量远低于额定流量,造成电机过负荷。电机连续运行 5 h,绕组温度最高 130 °C,轴承温度最高 95 °C;板式换热器滤网清洁,电机连续运行 5 h,绕组温度最高达 110 °C,轴承温度 83 °C。开式水泵电机绝缘层碳化如图 3 所示,电机绕组绝缘层老化非常快,长期运行后可能导致定子绕组相间短路故障。

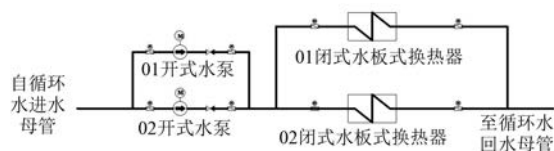


图 2 开式水系统工艺流程

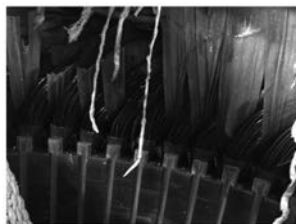


图 3 开式水泵电机绝缘层碳化

## 2 应用方案研究

在电机运行中,绕组及轴承温度高的主要因素是散热效果差和运行电流偏大。根据开式水泵性能曲线,解决电机过热问题最有效的方法是增加水泵流量来降低电机的运行电流。但是,受制于现场循环水运行方式、循环水压力、板式换热器的清洁程度,无法从工艺系统运行方式调节上来降低沿程阻力,只能通过增加冷却风量、采用大功率永磁电机、高压电机等设备改造方法来解决。

### 2.1 增加异轴风扇

开式水泵电机转速 740 r/min,依靠同轴的风扇进行冷却,转速低冷却效果差。为了改善其冷却效果,进行试验:取消其同轴风扇,在电机尾部增加一个异轴的较高转速的风扇,连续运行 5 h 后,电机绕组温度最高 115 °C。该方案无法从根本上消除电机过热的隐患,电机长期运行发生短路故障的概率非常大。

### 2.2 更换为 6 kV 异步电机

开式水泵电机额定功率 185 kW 偏小,将电机更换为 6 kV 220 kW 异步电机,可以从根本上解决电机过热问题。但现场电缆桥架已无裕量,高压电缆无法敷设。因此,该方法不具备现场实施条件。

### 2.3 更换为低压高效 PMSM

根据最新的电机研究制造成果,采用超高效节能三相 PMSM 可以在使用现有电源开关及电缆的情况下,不降低甚至可以增加电机出力,既可以降低电机运行温度,又可以达到节能的目的。对开式水泵电机进行换型改造,设备参数如表 2 所示。

表 2 改造前后设备参数

项目	异步电机	PMSM
电机型号	YX3-355L1-8	SPTY1A315L8
功率/kW	185	200
电压/V	380	380
电流/A	359	315
转速/( $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ )	740	750
起动方式	直接起动	直接起动
功率因数	0.81	0.98

## 3 永磁电机起动策略

在 PMSM 中,转子的漏磁系数影响电机的起

动性能,对运行后的性能几乎没有影响<sup>[6]</sup>。在进行电机改造时,要求生产厂家通过改变漏磁系数来控制电机的起动电流,以便 PMSM 可以采用直接起动的方式。

开式水泵电机电源开关配置有马达保护器,其配有定时限短延时保护(8In,0.2")和瞬时保护(15In,0")。第一次 PMSM 空载试运时,起动短延时保护动作,说明永磁电机起动电流较大,持续时间较长。厂家对改电机进行试验验证后,起动电流曲线如图 4 所示。超过 8In、持续时间达 4 s,与试运时保护动作结果相吻合。第二次试运时退出马达保护器短延时保护,永磁电机异步起动正常,但无法转入同步,就地电机声音异常,噪声很大。因此,此次改造用的 200 kW 电机无法采用直接起动,只能采用变频起动<sup>[7-8]</sup>。

配备永磁电动机专用变频器后,PMSM 起动正常,转入同步转速后切除变频器,电机运行正常,满足工艺系统的要求。

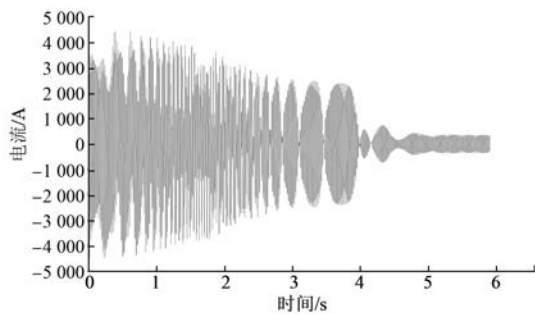


图 4 TYY1A355L8 电机起动电流曲线

## 4 运行效果分析

依据 GB/T 12497—2006《三相异步电机经济运行》附录 A.3.1 电机额定综合功率损耗计算公式进行计算分析。

异步电机各项参数在改造前正常运行期间测试,小修期间更换为 PMSM,更换完成后进行了空载及带载试运。由于开式水泵为定速泵,且工艺系统相对简单,PMSM 带载运行工况与正常运行异步电机测试工况基本一致。测试结果如表 3~表 5 所示。

从表 3~表 5 可知,PMSM 应用于开式水系统上后电机绕组温度下降了 35~50℃、电机轴承温度下降了 37~46℃。安全、经济效益体现如下。

表 3 空载运行

项目	异步电机	PMSM
运行状态	空载	空载
运行电流/A	120	5
运行时间/h	2	4
转速/(r·min <sup>-1</sup> )	740	750
电机绕组温度/℃	55	46
轴承温度/℃	49	43
轴承振幅/(mm·s <sup>-1</sup> )	2.1	0.7

注:环境温度为 31℃

表 4 带载运行(清洁)

项目	异步电机	PMSM
运行状态	带载	带载
运行电流/A	293	260
运行时间/h	5	5
转速/(r·min <sup>-1</sup> )	740	750
电机绕组温度/℃	110	75
轴承温度/℃	82	45
轴承振幅/(mm·s <sup>-1</sup> )	2.9	1.2

注:环境温度为 35℃;板式换热器并列运行且清洁

表 5 带载运行

项目	异步电机	PMSM
运行状态	带载	带载
运行电流/A	335	298
运行时间/h	5	5
转速/(r·min <sup>-1</sup> )	740	750
电机绕组温度/℃	130	80
轴承温度/℃	95	49
轴承振幅/(mm·s <sup>-1</sup> )	2.9	1.2

注:环境温度为 35℃;板式换热器并列运行且脏污

(1) 提高了电厂重要辅机的运行可靠性。该项目永磁电机比同等工况原异步电机运行电流下降了 33~37 A,电机绕组温度下降了 35~50℃,提高了电机的运行可靠性与稳定性,降低了辅机故障率以及辅机跳闸引起的其他连带损失。

(2) 降低了电机的耗电量。PMSM 节电率计算结果如表 6 所示。

(3) 提高了末端功率因数。永磁电机的功率因数与能耗有关,功率因数越高,能耗越低,永磁

表 6 PMSM 节电率计算结果

项目	异步电机	PMSM
电压/V	380	380
电流/A	310	249
有功功率/kW	165	156
修正后有功功率/kW	165	150
无功功率/kVar	120	53
功率因数	0.81	0.95
综合功率/kW	172	153
永磁电机综合节电率/%	11.01	11.01

电机的节能效果越好<sup>[9]</sup>。测试的 200 kW 电机功率因数为 0.95,与异步电机相比无功节电率达到了 55.84%。

功率因数的提高可以节省就地的无功补偿设备投资或者降低发电机无功出力,以减少励磁变功率损耗。

(4) 减少轴承维护工作量。与同等工况原异步电机相比,该项目永磁电机轴承温度下降了 37 ℃~46 ℃,同时电机轴承振幅也降低至约 1 mm/s。由于电机轴承运行中温度、振动处于稳定状态,降低了电机轴承的检查维护工作量,同时延长了轴承的使用寿命。

(5) 技术方案比选优化降低投资成本。某厂相同设备系统为了解决电机过热问题,采用 6 kV 220 kW 异步电机、配备永磁调速器的技术方案,包括设备采购、施工、安装,单台电机改造的费用为 100 万元。而该项目采用 PMSM 配套变频器的技术方案,单台电机改造的费用为 18 万元。通过技术方案的比选优化节约了投资 80 多万元。

## 5 结 语

对运行设备中设计容量偏小的异步电机换装改造,通过应用 PMSM,可以达到电机在电压等级不提高的情况下,降低绕组温度,增加设备容量,提高设备带载能力,实现发电厂辅机设备能效的综合提升。研究、应用新技术,创造性解决现场实际问题的设备改造探索,对于工程实际具有较强的借鉴指导意义。

### 【参考文献】

- [1] 史光辉,刘涛涛,张念钰. 大功率永磁变频技术在矿井提升机上的应用研究[J]. 矿山机械,2020,48(4): 23.
- [2] 宋建亮,王建新,司剑. 永磁电动机在贺西矿选煤厂应用的节能效益探讨[J]. 机械管理开发,2020,35(2): 118.
- [3] 何涛,赵杰. 磨煤机改装永磁同步电动机节能效果分析[J]. 热力发电,2017,46(3): 104.
- [4] 鲁锋. 高效稀土永磁交流同步电动机的应用分析[J]. 节能,2019,38(1): 24.
- [5] 张建. 永磁电动机功率因数与能耗关系研究[J]. 石油石化节能,2013(10): 11.
- [6] 张江涛. 永磁同步电机在水泥厂中的应用[J]. 水泥技术,2018(3): 73.
- [7] 徐良. 浅谈永磁电动机的启动电流和永磁体安装方式[J]. 科技风,2018(2): 90.
- [8] 张金辉. 三相永磁同步电机正弦波供电直接起动研究[J]. 河南科技,2015(12): 26.
- [9] 杜宗滢. 高效永磁电动机与变频器配置[J]. 微特电机,2014,42(7): 79.

## 声 明

本刊已许可万方数据、重庆维普、中国学术期刊(光盘版)电子杂志社、北京世纪超星信息技术发展有限责任公司在其网站及其系列数据库产品中以数字化方式复制、汇编、发行、信息网

络传播本刊全文。该社著作权使用费与本刊相关费用抵消。如作者不同意文章被收录,请在来稿时向本刊声明,本刊将做适当处理。

《电机与控制应用》编辑部