

# 循环水泵电动机双速改造在 600 MW 机组中的应用

李继忠

(安徽阜阳华润电力有限公司, 安徽 阜阳 236158)

**摘要:**交流电动机的调速方法很多,有变频调速、改变磁极对数调速、改变转差率调速、转子回路(绕线式)串电阻调速等等。其中改变磁极对数调速因改造费用低、维护运行保养方便、可靠性高等优点被越来越广泛应用。

**关键词:**电动机; 双速; 循环水泵; 节能

**Abstract:** There are many speed control methods for AC motor, such as variable-frequency speed control, speed control by changing the number of pole pairs, speed control by changing the slippage, speed control with resistance series-connected in wound rotor circuit and so on. Among them, the speed control by changing the number of pole pairs has been widely used because of its low transformation expense, convenient maintenance and operation and higher reliability.

**Key words:** electric motor; double-speed; circulating water pump; energy conservation

中图分类号: TM303 文献标志码: B 文章编号: 1003-6954(2012)02-0065-05

## 0 前言

随着电力行业竞争的加剧,发电厂节能降耗的压力越来越大,600 MW 机组电能消耗的 60%~70% 是被电动机消耗的,因此对电动机的节能运行要求越来越高。近年来鼠笼型异步电动机调速运行应用很广泛,调速方式也比较多,其中双速改造因改造费用低、维护运行保养方便、可靠性高等优势被越来越认可。此方法仅改变定子绕组的接线方式,不添置和改变任何设备,即可达到两种速度。在改造设计时以高转速档为基本极,进行对称轴线优化,把电动机在 16 极和 18 极的绕组引线全部引出,在电动机中性点接线盒旁重新设置一个双速切换的端子箱,通过改变接线端子连接片的位置,即可改变电动机的极数,从而达到改变转速实现节能运行的目的,而整个电气系统不需变动。

## 1 改造原理及节能潜力估算

安徽阜阳华润电力有限公司(简称为公司,下同)总装机容量  $2 \times 600$  MW,每台机组配置两台循环水泵,出口节门采用蝶阀,只有全开全关两个位置。机组运行中,不同季节的凝汽器供水量只有依靠增减循环水泵的台数来调节。在春、秋、冬季节会出现 2

台循环泵供冷却水量偏少,而 3 台循环泵机组供给又偏多的现象。考虑将循环水泵电机由单一转速改为双速,在四季环境温度变化时,通过改变循环泵电机转速和几台循环水泵不同转速组合的运行方式,既可满足运行需要,又可实现节能的目的。

循环水泵是长沙水泵厂生产的 88KLXA-26 型混流泵,电机型号为 YKKL3600-16/2150(3 600 kW, 6 kV, 372 r/min, 由湘潭电机股份有限公司制造) 2009 年 8 月委托西安热工研究院对公司机组进行了冷端试验,试验后认为循环水泵进行双速改造是可行的。

根据电动机转速公式  $n = (1-s) \frac{60f}{p}$

其中  $p$  为电动机极对数;  $s$  为转差率。

改变电动机的极对数  $P$  即可改变电动机转速,将电机的 16 极改为 18 极,转速相应地变为 330 r/min。

根据泵类流体定律,改变泵的转速,泵的效率近似不变,其性能近似关系式为

$Q_1/Q_2 = n_1/n_2, H_1/H_2 = (n_1/n_2)^2, P_1/P_2 = (n_1/n_2)^3$ 。

$Q_1, H_1, P_1, Q_2, H_2, P_2$  分别表示在转速  $n_1$  和  $n_2$  情况下水泵的流量、扬程和所需轴功率。根据公式,当电动机的转速下降时,流量成正比关系下降,扬程成平方关系下降,泵的轴功率成 3 次方关系下降,因此电动机改造后有功率消耗会大幅度下降。

### 1.1 降速后单泵工作点的确定(以2A循环水泵为例)

根据2A循环水泵的实测性能曲线,结合2号机组循环水系统的实际阻力特性,计算出循环水泵降速后的性能工作点,见图1。

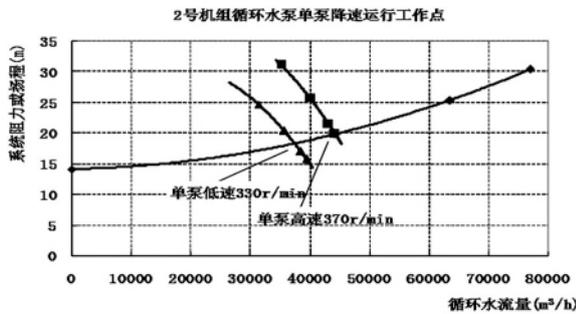


图1 2号机组循环水泵降速后的工况点

图1为2号机组2A循环水泵降速(转速由370 r/min降为330 r/min)后的运行工况点,转速降为330 r/min后,根据循环水系统的阻力特性曲线计算出此时的循环水泵的运行工况点为:工作流量37 500 m<sup>3</sup>/h、扬程18.4 m。单泵低速(330 r/min)运行和高速(370 r/min)运行相比较,能降低电动机功率约26.7%,见表1。

在冬季循环水温较低(低于15℃)、负荷低于400 MW的情况下,选择一台循环水泵进行高低速改造,可以进一步降低厂用电率。

表1 循环水泵降速后的节能效果

单泵工作点	高速	低速
转速/(r·min <sup>-1</sup> )	370	330
流量/(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	44 276	37 500
扬程/m	19.86	18.4
轴功率/kW	3 425	2 510
效率/%	69.7	74.4
电动机功率/kW	3 663	2 684
节约厂用电/kW		979
节电率/%		26.7

### 1.2 降速后运行安全性分析

2号机组一台循环水泵降速运行后,在循环水系统单元制运行条件下,2号机组的循环水泵可能的运行方式有:单泵低速运行、单泵高速运行、1台高速和1台低速并联运行、2台高速并联运行4种方式。单台循环水泵降速后与另外一台定速泵并联运行安全

性尤为重要。2号机组2A循环水泵降速后与2B循环水泵(定速)并联运行的工作状态,见图2。

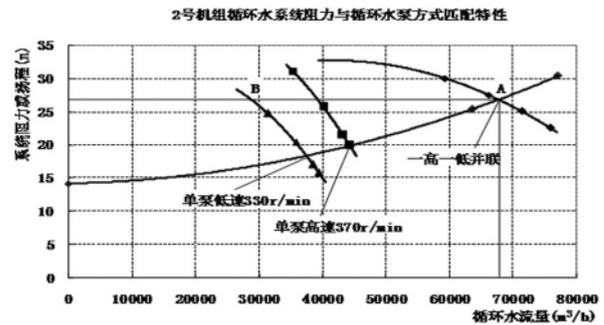


图2 循环水泵一高速一低速并联运行状态

从图2中看出,循环水泵一高速一低速并联运行的工作点为:并联流量67 600 m<sup>3</sup>/h、扬程26.8 m(图中A点)。此时低速泵的流量约为29 200 m<sup>3</sup>/h、扬程为26.8 m(图中B点),具体并联特性见表2。

表2 循环水泵高低速并联运行工况确定

2B高速2A低速 并联运行工作点	2A、2B 并联	2A泵(低速)	2B泵
流量/(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	67 600	29 200	38 400
扬程/m	26.8	26.8	26.8
效率/%	/	80.5	79.5
轴功率/kW	6 152	2 638	3 513
电动机功率/kW	6 579	2 822	3 758

在循环水系统阻力特性下,循环水泵一高速与一低速并联运行是可行的,能保证低速泵的运行稳定性和安全性。只有在循环水系统阻力接近或超过33 m时,低速循环水泵会空转或呛水现象,危害泵的安全。

## 2 改造要点及措施

(1) 电动机改造后极对数由8改为9,额定功率由3 600 kW变为2 600 kW,额定电流由444 A变为333 A,功率因数由0.83变为0.795,额定转速由372 r/min变为331 r/min,定子绕组接线由4Y改为2Y/△接法。由于电动机改造后低速运行时的接线方式为△接法,综合保护装置中的“差动保护”将被退出,另外在每次的高低速切换运行时,由于功率及接线方式的变化,综合保护装置参数均需重新修改。

(2) 电动机送至专业修理厂,根据原定子槽数、绕组线规和匝数、接线方式等,重新设计电动机定子绕组,重新确定绕组上述参数,新定子绕组兼顾高低

速性能。

(3) 定子绕组拆除、制造、嵌装,采用真空压力浸漆(VIP工艺)。

(4) 直阻、绝缘、直流耐压、交流耐压、定子铁耗温升试验及整机试转。

(5) 电动机的高压引线和中性点引线盒均不变,在中性点引线盒旁单独设立一个高低速切换箱,电动机高低速运行的选择,只需改变切换箱内连接片的连接方式即可(电动机需停电),图3为接线箱内两种不同的连接方式图。

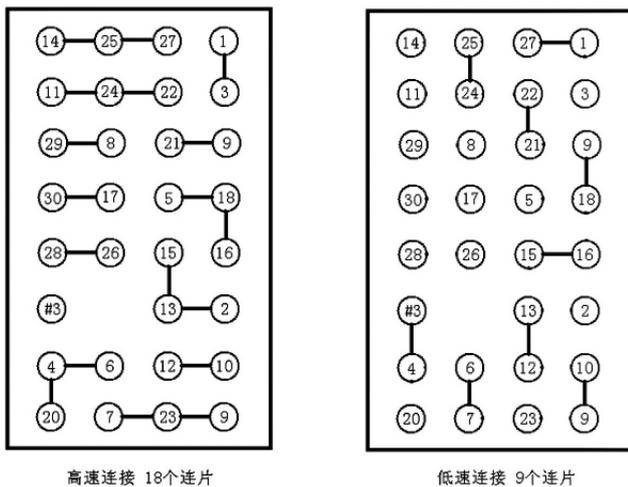


图3 高低速切换箱内端子连接图

(6) 电动机改造前接线方式为4Y接法,改造后高速接线方式为2Y接法,低速接线方式为 $\Delta$ 接法,接线方式完全不同。

### 3 改造后调试

#### 3.1 电动机低速空载运行

检查电动机电源引线、中性点引线、加热器引线、TA二次引线、温度测点引线连接正确;电动机高低速切换端子箱内连接片为低速连接方式;电动机综合保护装置参数重新设定,电动机二次额定电流( $I_e$ )项由4.44改为3.33,所有差动相关控制字选择“退出”,差动保护出口压板退出;将循环水泵启动允许条件置“1”,将2A循泵出口门强制“关”;将就地蝶阀控制柜上蝶阀控制方式切到“就地”方式,并在控制柜上挂“设备调试,禁止操作”临时标示牌,核实蝶阀处于关闭位置;1、2号机循环水联络门关闭;电动机送电并启动运行;电动机运行4h,间隔30min测试电动机电流、振动、温度等参数。

#### 3.2 电动机高速空载运行

电动机高低速切换端子箱内连接片改为高速连接方式;核对电动机中性点TA二次线连接的正确性;电动机综合保护装置参数重新设定,将电动机二次额定电流( $I_e$ )项由3.33改为4.44,所有差动相关控制字选择“投入”,差动保护出口压板投入;将循泵启动允许条件置“1”,将2A循泵出口门强制“关”;将就地蝶阀控制柜上蝶阀控制方式切到“就地”方式,并在控制柜上挂“设备调试,禁止操作”临时标示牌,核实蝶阀处于关闭位置;电动机运行4h,间隔30min测试电动机电流、振动、温度等参数。

#### 3.3 电动机高速带泵运行

电动机找中心并连接对轮;解除循环水泵启动允许条件置“1”,恢复正常运行方式;将就地蝶阀控制柜上蝶阀控制方式切到“远方”控制方式,将控制柜上挂“设备调试,禁止操作”临时标示牌去除;1、2号机循环水联络门关闭;电动机送电并启动;测试电动

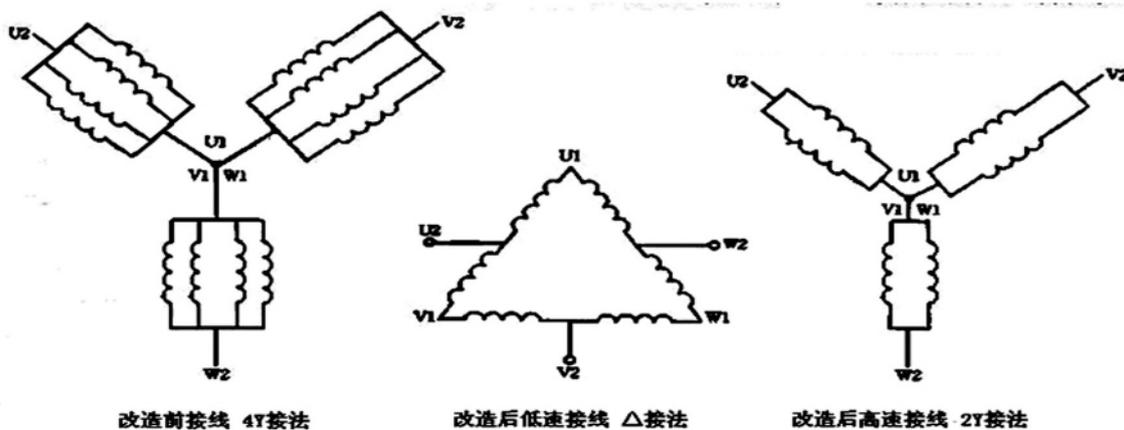


图4 双速改造前后定子绕组原理图



图5 电动机改造后实物图

机电流、振动、温度等参数,观察运行2 h。

### 3.4 电动机低速带泵运行

电动机高低速切换端子箱内连接片改为低速连接方式;电动机综合保护装置中二次额定电流( $I_e$ )项由4.44改为3.33,所有差动相关控制字选择“退出”,差动保护出口压板退出;解除循环水泵启动允许条件置“1”,恢复正常运行方式;确认就地蝶阀控制柜上蝶阀控制方式为“远方”控制方式;高、低速循环水泵并联运行前单元循环水系统的阀门应全开;确认1、2号机循环水联络门已关闭;电动机送电并启动运行;测试电动机电流、振动、温度等参数,观察并投入正常运行。

## 4 节能效果

2A循环水泵电动机投低速稳定运行15 d后,选择2台机组负荷基本相同时(510 MW),分别记录1号机组1A循环水泵电动机电流为387.8 A(未进行双速改造)2A循环水泵电动机电流为309.4 A。

1A电动机有功损耗  $P_1 = 1.732 \times 6.3 \times 387.8 \times 0.83 = 3\,512.2$  kW(未改)

2A电动机有功损耗  $P_2 = 1.732 \times 6.3 \times 309.4 \times 0.795 = 2\,683.9$  kW(未改)

节电率  $= (P_1 - P_2) / P_1 = (3\,512.2 - 2\,683.9) / 3\,512.2 = 23.58\%$

节约有功功率  $= (P_1 - P_2) = 3\,512.2 - 2\,683.9 = 828.3$  kW

年节约费用  $= 320 \text{ d} \times 24 \text{ h} \times 828.3 \text{ kW} \times 0.39 \text{ 元/kWh} = 248.09$  万元

## 5 结束语及经验分享

(1) 高压电动机在设计中,根据不同的功率和极对数,在考虑损耗、磁场对称等因素情况下都设计了最佳的定、转子槽数。而在双速改造过程中,需要在两种不同的极对数情况下使用同一、转子槽数,根据绕组理论得知,绕组每极每相槽数  $Q = 168 / (18 \times 3) = 28/9$ ,只要 $Q$ 的分母为3或3的倍数,可能会得到不对称的三相绕组,也就是定子168槽,18极时,三相绕组不对称(本次改造存在这种情况),就是三相磁场不对称(119°多或120°多),会导致振动。针对这种情况在电动机改造前与XXX电动机修理厂总工程师进行了充分沟通,认为在制造厂里这种型号的18极电动机是不会采用168槽的,这个问题确实存在,但是根据改造经验,这个型号的电动机因此产生的振动放大是可以接受的,基本不会影响电动机的运行。改造结束后从试转指标来看,振动值确实都在合格范围内,因此并未对电动机的稳定运行产生影响,改造是成功的。但是不是所有的电动机都会遇到这种情况,有些电动机并不适合改造,改造前应充分论证,应充分收集其他电厂和改造厂家的意见和建议。

(2) 电动机改造过程中的真空压力浸漆工艺(VPI)的好坏直接影响着电动机的使用寿命,不同的修理厂因成本和操作复杂的原因对这个工艺的执行都存在很大偏差,而执行的好坏在电动机改造结束后从外观上是无法判断的,因此这个过程需有人见证。

(3) 电动机的改造时间长、工序多、工艺要求高,因此在选择比较有实力的修理公司的同时,需要有熟练掌握相关工艺的人员进行关键点见证甚至全程监督。

(4) 改造工期约10~15 d,重要辅机失去备用时间较长,不利于机组的稳定运行,改造应尽量安排在机组检修期间进行。

(5) 高速电动机降低转速,转子圆周速度降低,轴承发热会得到改善。虽然通风条件变坏,但因定子电流减小,定子铜耗也会明显减小,发热量减小,所以不会造成电动机整体温度的升高。

参考文献

[1] GB 1032-85,三相异步电动机试验方法[S].

[2] 7. QI-7.4-0.2,大型交流异步(同步)电机修理规范[S].

[3] 孙克军.异步电动机与变压器[M].北京:化学工业出版社

(上接第18页)

2.3 时钟同步效果

通过数字录波器比较两条线路B相保护电流的相角,可以估算出两套从硬件平台之间的时间同步误差。数字录波器默认将A相电流通道作为其余通道的基准,故设为0.00°。

表3 录波器显示的相角量

通道	相角 / °
合并单元甲	119.99
合并单元乙	119.68

分析表3数据,两条线路的B相保护电流相角为0.31°。按照一个周期20ms计算,将相角差转换成时间差得17μs,而合并单元是按照250μs的周期接收数据,所以平台实现的同步对时指标远远满足要求。

3 结 语

提出了一种基于FPGA和ARM处理器协同工作的智能变电站全场景实验硬件平台方案。经实验验证,该套硬件平台能准确接收和发送数据,无线同步对时效果达到20μs以内,为智能变电站二次侧继电保护试验新方法提供了一种可操作的硬件平台。

参考文献

[1] Q/GDW 383-2009,智能变电站技术导则[S]. 2009: 4-7.

[2] IEC 61850,Communication Networks and Systems in Substations[S].

[3] IEC 60044-8,Instrument Transformers Part: Electronic Current Transformers[S].

[4] 张明珠,邹欣洁.基于FPGA & ARM9合并单元的研制[J].电力系统保护与控制,2010(9): 84-87.

社2010.

作者简介:

李继忠(1978),男,工程师,从事发电厂电气设备的维护、检修、管理工作,公司技术支持部电气专工岗位。

(收稿日期:2011-12-23)

[5] Jingmeng Liu, Wheihai Chen, Tianmiao Wang et al. Hardware Circuit Design of NC System Based on ARM and FPGA[C]. The IEEE International Conference on Industrial Informatics(INDIN 2008) DCC, Daejeon, Korea 2008.

[6] 朱超,黄灿,梅军,等.基于FPGA与ARM的智能合并单元设计[J].电网技术,2010,6(8): 84-87.

[7] 卢祥弘,陈儒军,何展翔.基于FPGA的恒温晶振频率校准系统的设计[J].电子技术应用,2010(7): 104-107.

[8] IEEE Std 1588-2008,IEEE Standard for a precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems[S].

[9] T. Cooklev, J. C. Eidson and A. Pakdaman. An Implementation of IEEE 1588 over IEEE 802.11b for Synchronization of Wireless Local Area Network Nodes[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2007, 23(2): 1632-1639.

[10] Aneeq Mahmood and Feorg Gaderer. Timestamping for IEEE 1588 based Clock Synchronization in Wireless LAN[J]. International IEEE Symposium on Precision Clock Synchronization for Measurement, Control and Communication Brescia, 2009, 21(1): 12-16.

作者简介:

吴杰(1986),男,硕士研究生,研究方向为电力系统广域测量与控制;

黄琦(1976),男,教授博导,研究方向为电力系统控制、电力系统分布式计算、电力系统通信及超导直流输电;

井实(1980),男,博士研究生,主要研究方向为电力系统广域测量与控制;

王彪(1985),男,硕士研究生,主要从事电力系统分析与仿真计算工作;

张华(1985),男,硕士研究生,主要从事电力系统分析与仿真计算工作。

(收稿日期:2012-03-01)