

高压变频技术在火电厂吸风机中的应用与研究

张振阳¹, 刘军祥², 李遵基³

(1. 胜利发电厂, 山东 东营 257087; 2. 北京中能长城控制公司, 北京 100071;

3. 华北电力大学, 河北保定 071003)

摘 要: 在分析了火电厂吸风机的运行现状和研究了高压变频调速技术的基础上, 通过美国罗宾康公司完美无谐波变频器在某火电厂吸风机改造中的应用实例, 介绍了高压变频调速技术在火电厂主要辅机设备中的控制技术, 实例证明, 该变频技术在节能降耗、提高自动化控制水平方面具有很好的应用前景。

关键词: 高压变频调速技术; 辅机设备; 节能降耗

中图分类号: TM621.7 文献标识码: A

1 概述

火电厂现行使用的吸风机等主要辅机设备的电机容量大、能耗高, 在火电厂厂用电中占有很大比重。设法降低这些设备的电耗是降低厂用电率, 达到节能目的的重要措施之一。长期以来, 火电厂吸风机在运行过程中普遍存在着以下几个问题: (1) 电机按定速方式运行, 功耗无法随机组负荷变化进行调整, 浪费电能; (2) 风量采用挡板调节, 节流损失大; (3) 系统响应速度慢调节品质差, 自动投入率低; (4) 执行机构易出故障, 设备利用率低; (5) 电机启动时, 启动电流一般为额定电流的 6~8 倍, 严重影响电机的绝缘性能和使用寿命。随着电力系统商业化运营的进展, 提高自动化水平, 降低火电厂发电成本, 成为迫切需要解决的问题。

目前, 解决上述问题重要手段之一是采用变频调速技术, 电厂吸风机等设备的电机都为 6 kV 的高压电机, 采用高压变频器对这些电机进行变频调速运行, 不仅可解决执行机构等设备非线性、滞延等难以控制的缺点, 提高系统自动化水平和系统运行的可靠性, 更重要的是减少了调节挡板的节流损失, 改善了经济性, 为降低电厂厂用电率开创了广阔的应用前景。

2 高压变频调速原理及其工程实现

2.1 高压变频调速原理

交流电动机的输出功率可以用 $P = M_e \cdot \omega$ 表示, 其中 M_e 表示电动机的负荷转矩, ω 表示电动机的旋转角频率。而风机的变转矩负载特性为 $M_e \propto k\omega^2$, 即: $P \propto k\omega^3$, 其中 k 对于一定的辅机设备而言为一常数。因此, 对交流异步电动机实施变频调速, 就可改变辅机设备的转速, 从而改变吸风量等受控介质。

由于异步电动机的转速

$$n = 60f(1-s)/p$$

式中 f 为电源频率, s 电动机转差率, p 为电动机极对数。

当电动机确定以后 s 和 p 即为常数, 则电动机转速 n 与电源频率成正比, 所以改变供给电动机的电源频率就能改变转速 n , 从而实现变频调速。

2.2 高压变频调速技术的工程实现

目前, 大容量传动的高压变频按高压组成方式, 可分为直接高压型和高一低一高型; 按有无中间直流环节, 可分为交—交变频器和交—直—交变频器; 在交—直—交变频器中, 按中间直流环节的不同, 可分为电压源型和电流源型。目前, 广泛的被接受并得到迅速发展的是直接高压交—直—交型变频器, 其中又以单元串联多电平 PWM 电压源型变频器最为典型。

单元串联多电平 PWM 电压源型变频器采用若干个低压 PWM 变频功率单元串联的方式实现直接高压输出, 其原理如图 1 所示。

6 kV 输出电压等级的变频器主电路结构如图 2 所示。电网电压经过二次侧多重化的隔离变压器降

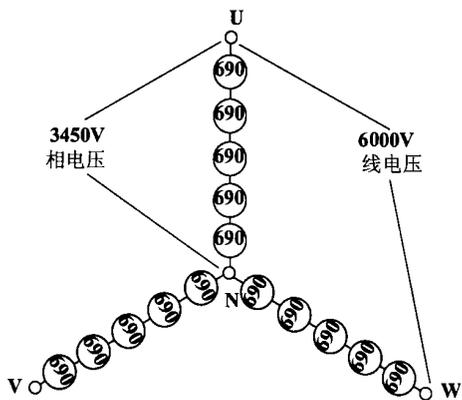


图 1 单元串联多电平 PWM 电压源型变频器原理接线图

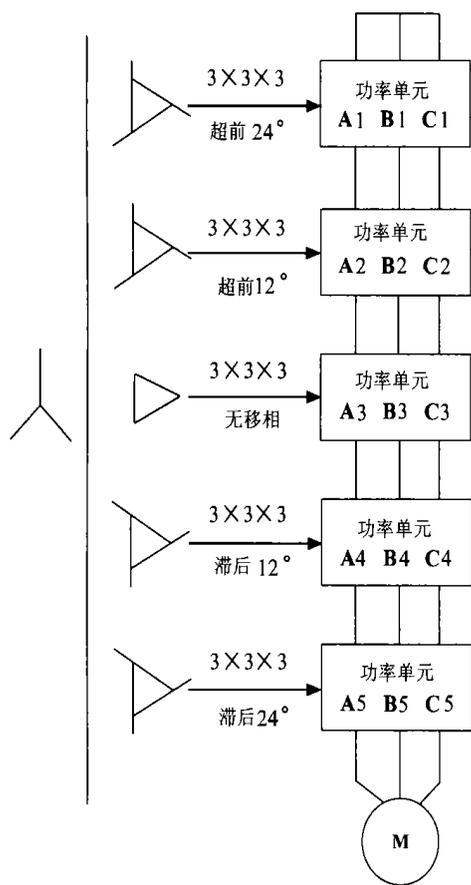


图 2 单元串联多电平 PWM 电压源型变频器输出结构图

用二极管整流的电压源型结构,电动机所需要的无功功率可由滤波电容提供,所以输入功率因数较高,基本上可保持在 0.95 以上,不必另外增设功率因数补偿装置。逆变器输出采用多电平移相式 PWM 技术,输出电压非常接近正弦波。每个电平台阶只有单元直流母线电压大小, dv/dt 很小,使得电动机绝缘不会受到影响。由于采用多电平移相式 PWM,等效输出开关频率很高,且输出电平数增加,可大大改善输出波形,降低输出谐波,谐波引起的电动机发热、噪声和转矩脉动都大大降低。所以这种变频器对电动机没有特殊要求,可用于各种类型的普通 3 kV、6 kV 电动机,也可用于系统改造中的旧电动机,且不必降额使用。功率单元采用目前低压变频器中广泛使用的低压 IGBT 功率模块,技术成熟、性能可靠。

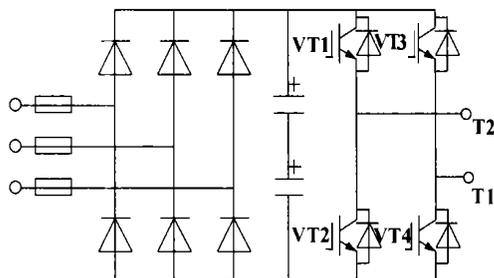


图 3 单相输出的交一直一交 PWM 电压源型变频器原理图

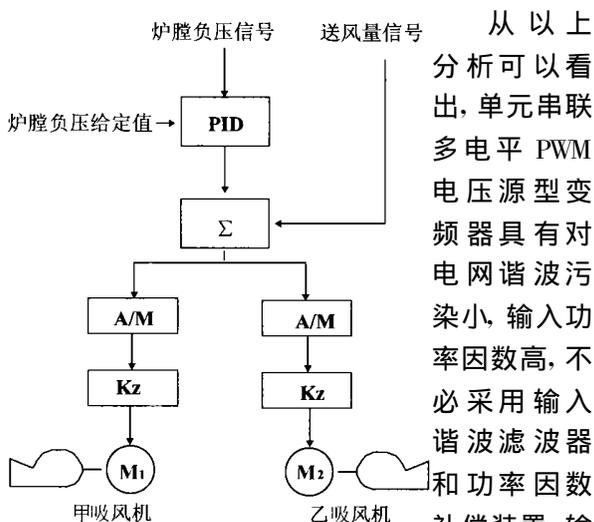


图 4 吸风控制系统的调节原理图

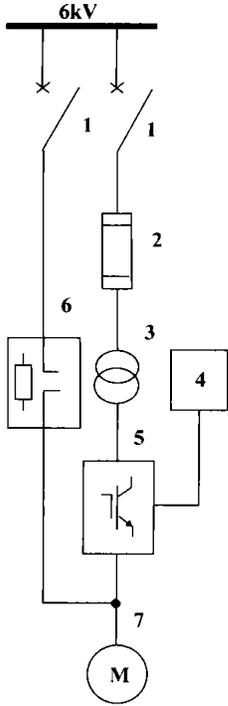
压后给功率单元供电,功率单元为三相输入,单相输出的交一直一交 PWM 电压源型逆变器,原理如图 3 所示,将相邻功率单元的输出端串接起来,形成 Y 联结结构,实现变压变频的高压直接输出,供给电动机。为了达到降低输入谐波电流的目的,输入变压器采用副边为十五绕组输出的多重化设计。由于采

用谐波滤波器
和功率因数
补偿装置,输
出波形好,不
存在由谐波
引起的电动机附加发热、转矩脉动、噪声、 dv/dt 应力、共模电压损害等问题。

3 应用实例

现以某火电厂的吸风机变频控制系统改造为例, 对高压变频调速控制在火电厂辅机设备调速中的实际应用效果进行分析。

3.1 控制炉膛负压参数的意义及控制方法



火电厂燃煤锅炉的运行要求炉膛负压保持在 $-20 \sim -50 \text{ Pa}$ 的范围内, 稳定炉膛负压值, 对保证锅炉安全、经济运行具有十分重要的意义。吸风控制系统的调节原理如图 4 所示。图中 PID 为调节器, Σ 为加法器, A/M 为手自动切换模块, K_z 为执行部件, M_1 、 M_2 为甲、乙吸风机电动机。负压调节器 PID 接受炉膛负压信号和来自送风系统的前馈信号, 经运算后去改变执行部件的输出频率, 调整吸风机转速, 达到稳定炉膛负压的目的。与原控制系统比较, 系统结构、运行操作方式基本不变, 最大的变化在于原由吸风门挡板调整开度改为对吸风机电动机的转速调整, 实现炉膛负压的控制。

3.2 吸风机控制系统构成

系统的主要组成如图 5 所示, 6 kV 电源通过母线段经输入开关加入到系统中, 采

1—输入开关; 2—熔断器; 3—多重化干式隔离变压器; 4—UPS 控制电源; 5—完美无谐波变频器; 6—工频运行备用开关; 7—三相异步电动机

图 5 吸风机系统图

用 3 进行输入侧隔离, 以减小对电网的谐波污染, 由 5 采用单元串联多电平 PWM 技术实现工作电源的变频调制输出驱动 7, 完成吸风量的控制。为了保证系统的安全可靠运行, 配备不间断 UPS 电源 4; 当变频器出现故障时, 可使 6 闭合投入全压常速的工频备用线路运行提高系统运行的可靠性。

3.3 实际应用效果

3.3.1 效率高、能耗低, 节能效益显著、性能价格比高

以下是某厂两台 220 MW 机组的实际运行对

比, 其中 2 号机组加装了吸风机变频器, 1 号机组未加装吸风机变频器, 其它主轴设备均相同。表 1 为 1 号、2 号机的发电量与吸风机用电量的实际运行数据。

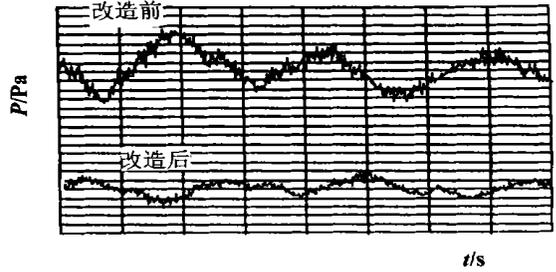


图 6 改造前后炉膛负压对比图

表 1

机组	发电量 / kWh	吸风机用电量 / kWh	吸风机用电率 / %
1 号机组	85 076 847	919 060	0.821 3
2 号机组	85 414 202	701 494	1.080 3

为了准确得到加装变频器后的节能效果, 该厂要求两台机组热力系统运行参数、煤质、负荷、辅机运行状况等基本相同。试验时间 20 天。

以每台 220 MW 机组每年发电 14 亿 kWh 计算, 则每台机组仅吸风机加装变频器后每年可多供电量为

$$1\,400\,000\,000 \times (1.080\,3\% - 0.821\,3\%) = 3\,626\,000 \text{ (kWh)}$$

3.3.2 运行操作方便、安全效益好

变频器启动输出转矩大、起动电流小, 从根本上克服了定速启动时 6~8 倍的启动电流对电动机本身及机械部分的冲击。根据锅炉负荷情况, 吸风机经常处于较低转速运行状态。省去了风机挡板及其操作机构。变频器本身还可以对吸风机运行工况进行信号检测, 并将检测到的信号进行综合逻辑处理, 然后通过 AO、DO 信号通道送进 DCS, 运行人员可以对吸风机的工作电流、频率、转速、输出功率以及运行、停止、故障等状态进行实时监控。具有极强的自诊断和保护功能, 能够对短路、过电流、过热、过电压、接地等故障进行快速有效的诊断和保护。

这一切都有效地减少了整套吸风机组的故障机率, 可大大提高整套机组的安全运行水平, 安全效益好。

3.3.3 控制调节特性好, 炉膛负压稳定

由于使用矢量控制技术使得速度控制和瞬态响应的精度大大提高。系统动态响应速度快, 调节线性度好, 自动投入率高。调试运行结果表明, 采用高压变频调速技术后, 炉膛负压调整稳定, 系统响应速度提高(见图 6)。

由于采用了完美无谐波技术, 变频器的输出电流波形接近正弦波, 对自身及周边设备无任何干扰。

4 结束语

高压变频调速技术已在多家电厂的送吸风机、给水泵、灰浆泵等辅机设备改造中得到推广应用, 并取得了良好的运行效果和经济效益。因此, 将高压变频调速控制技术应用到火电厂主要辅机设备的设

计和改造当中对节能降耗, 提高自动化控制水平具有重要的实际意义和广阔的推广应用前景。

参考文献:

[1] 李遵基. SPEC2000 MICRO 和 SPEC200 原理及应用[M]. 北京: 科学技术出版社, 1992.
 [2] 李遵基. 李遵基科技论文集[M]. 天津: 科学技术出版社, 1996.
 [3] 李遵基. 中压变频器在火电厂送风机控制中的应用[J]. 中国电力, 2000(6): 75-77.
 [4] 韩安荣. 通用变频器及其应用[M]. 第 2 版, 北京: 机械工业出版社, 2000.
 [5] 完美无谐波系列交流马达变频器用户手册[M]. 上海: 上海罗宾康高压电气有限公司, 1999.

(何静芳 编辑)

(上接第 190 页)

线圈的品质因子($Q = \omega R/L$) 都应尽可能高。

我们对广东省内的部分有代表性的电厂进行调研, 具体了解了目前在役和在建电厂凝汽器铜管、钛管及其它热交换管普遍采用的规格型号、材质等情况。在此基础上, 有针对性地设计制作了一批探头, 应用效果令人满意。部分探头资料见表 1。

表 1 涡流探伤用部分探头

探头规格	探头型式	适用管材
$\Phi 16 \times 1$ $\Phi 16 \times 1.5$	外穿式、内穿式	黄铜、白铜
$\Phi 19 \times 1$ $\Phi 19 \times 1.5$	外穿式、内穿式	黄铜、白铜
$\Phi 20 \times 1$	外穿式、内穿式	黄铜、白铜
$\Phi 21 \times 1$	外穿式、内穿式	黄铜、白铜
$\Phi 24 \times 0.7$	外穿式、内穿式	钛管
$\Phi 24 \times 1$	外穿式、内穿式	黄铜、白铜
$\Phi 25 \times 1$	外穿式、内穿式	黄铜、白铜
$\Phi 30 \times 1$	外穿式、内穿式	黄铜、白铜
$\Phi 32$	外穿式	钢管
$\Phi 38$	外穿式	钢管
$\Phi 42$	外穿式	钢管
$\Phi 44.5$	外穿式	钢管

4 数字四频涡流检测仪在电厂的应用

数字四频涡流检测仪经过不断完善, 近年来在广东电力系统得到广泛应用。通过对几十台汽轮机冷凝器、加热器、空冷器、氢冷器的热交换管和锅炉

水冷壁、过热器、再热器、经济器等锅炉热交换管的检测, 发现了一大批腐蚀、裂纹、磨损等缺陷。如 2001 年 2 月珠江电厂 1 号机组大修, 检验低加热交换管 2 484 根, 发现超标缺陷管 18 根; 检验冷凝器热交换管约 10 700 根, 发现缺陷管 51 根; 检验氢冷器热交换管 2 组 612 根, 发现缺陷管 15 根, 超标缺陷管 10 根; 检验 2 组在役空冷器热交换管, 发现超标缺陷管 15 根, 穿透裂纹管 8 根, 严重腐蚀管 7 根。以上缺陷, 厂方已决定堵管或换管, 确保发电机组安全运行。

参考文献:

[1] 韩书霞, 李强. 全数字涡流检测仪在 B30 白铜管涡流探伤中的应用[J]. 无损探伤, 1997 (1): 41-42.
 [2] 王绪敏, 于月峰. 国产 600MW 机组凝汽器铜管的涡流检测[J]. 黑龙江电力, 1998 (5): 284-285.
 [3] 饶利民. 凝汽器铜管的役前涡流检测[J]. 无损探伤, 1999 (1): 44-45.
 [4] 林介东, 倪进飞. 数字式四频涡流检测仪研制工作总结[R]. 广州: 广东省电力试验研究所, 1998.
 [5] 倪进飞, 刘红文. 潮安电厂冷凝器热交换管涡流检测报告[R]. 广州: 广东省电力试验研究所, 1999.
 [6] 童亮, 冯活河. 珠江电厂加热器、空冷器、氢冷器、冷凝器涡流检测报告[R]. 广州: 广东省电力试验研究所, 2001.

(渠 源 编辑)

ric Domain under an Adherent Body Coordinate System [刊, 汉] / CHEN Yong-jin, WU Wei-zhong (No. 711 Research Institute, Shanghai, China, Post Code: 200090), LU Wei-lin (Energy Source College under the Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(2). — 176 ~ 179

In conjunction with an adherent body coordinate system generated by a partial differential equation method and a SIMPLEC algorithm (a half-hidden algorithm for a coordinated solution of pressure coupling) a flow problem with a complicated geometric shape is converted to a calculation plane. For the latter a numerical simulation can be conducted by the use of a finite difference method. Furthermore, the flow in a flow duct with a curved boundary is forecast along with a discussion of the effect of flow duct shape on flow conditions. **Key words:** adherent body coordinate system, SIMPLEC algorithm, dual equation turbulent flow model

电站锅炉天然气点火装置的设计与研究 = Design and Study of the Natural Gas Ignition Device of a Utility Boiler [刊, 汉] / LIU Sheng-yong, ZHANG Bai-liang (Key Lab of Renewable Energy Under the Ministry of Agriculture, Zhengzhou, China, Post Code: 450002), LIU Zhi-gang (Xi'an Jiaotong University Xi'an, China, Post Code: 710049), WANG Jin-tao (Dengfeng Power Plant, Zhengzhou, China, Post Code: 450000) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(2). — 180 ~ 182

All utility boilers in China use oil for ignition and combustion-support with oil consumption in this regard hitting more than 400, 000 tons each year. The substitution of oil by coal has become an issue demanding an urgent solution. Based on the characteristics of natural gas the authors have by adopting a forced pre-mix combustion mode designed for an ignition device spray nozzles and an ejector, and conducted a study on the method of achieving flame stabilization. Under the condition of a given air-fuel ratio a test was conducted to identify the relationship between natural gas flow rate and ignition parameters. As a result, the optimum flow rate of the natural gas has been found to be $0.00172 \text{ m}^3/\text{s}$ with the flame temperature being as high as 1820°C and flame length 1.11 m. The use of the ignition device shows that it has the following merits: a high flame temperature, strong adaptation ability and ease of operation, etc. As compared with the former oil-ignition device, the pre-burning time of the natural gas ignition device is 1/4 of that of the oil ignition one while the cost is only 1/800 of the latter. **Key words:** utility boiler, natural gas, ignition device

某船主锅炉的设计特点 = Design Features of a Marine Main Boiler [刊, 汉] / CHEN Ming, MA Yun-xiang, XUE Guang-ya, CHEN Qi-duo (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(2). — 183 ~ 185, 210

A new type of marine main boiler designed by Chinese engineers was put into operation. It features a new construction, new materials and technologies. The structural design of this type of boiler is presented along with a description of its performance characteristics. **Key words:** marine main boiler, structural design, performance features

湿法脱硫除尘一体化装置应用中的问题及解决措施 = Some Problems Concerning the Use of an Integrated Wet Desulfurization and Dust Separation Device as well as Measures Taken for their Resolution [刊, 汉] / ZHAO Xu-dong, WU Shao-hua (Energy Science and Engineering College under the Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001), MA Chun-yuan, et al (Power Engineering Department, Shandong University, Jinan, China, Post Code: 250000) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(2). — 186 ~ 188

From the aspects of the operating parameters of a wet desulfurization system and its system configuration expounded are the existing problems involved in the industrial operation of an integrated wet desulfurization and dust-separation device.