

变频调速技术的发展及其在电力系统中的应用

张承慧, 程 金, 夏东伟, 崔纳新

(山东大学 控制科学与工程学院, 山东 济南 250061)

摘 要: 从电力半导体、控制技术和主电路拓扑结构等方面综述了变频调速技术的发展历史和现状, 并总结了在变频控制中的主要控制技术; 分析了高压变频调速技术的发展动态和几种实现方案的技术特点对比情况; 指出变频调速技术在未来的发展趋势。最后介绍了变频调速技术在电力系统中节能降耗、改善工艺和控制性能等方面的应用。

关键词: 变频调速技术; 矢量控制; 交流电动机; PWM 技术; 高压变频器; 电力系统

中图分类号: TN773

文献标识码: A

1 交流变频调速技术的发展历史及现状

近些年来, 以变频调速为核心的交流调速技术在电力电子技术、自动控制技术的推动下有了飞速的发展。交流变频调速技术发挥了交流电机本身固有的优点(结构简单、动态响应好等), 并且很好地解决了交流电机调速性能先天不足的问题。交流变频调速技术以其卓越的调速性能、显著的节电效果以及在国民经济各领域的广泛适用性, 而被公认为是一种最有前途的交流调速方式,

代表了电气传动发展的主流方向。目前, 变频调速理论已经形成较为完整的科学体系, 成为一门相对独立的学科。

1.1 20 世纪是电力电子变频技术由诞生到发展的一个全盛时代

交流变频调速理论最初诞生于 20 世纪 20 年代, 到 80 年代, 变频器已经产品化, 性能也不断提高, 并开始被应用于工业各部门。进入 90 年代, 由于新型电力电子器件如 IGBT、IGCT 等的发展^[1]及性能的提高、微型计算机技术(如 DSP)的发展, 以及先进控制理论的发展和完善(如磁场定向矢量控制、直接转矩控制)等原因, 使变频器在调速范围、驱动能力、调速精度、动态响应、输出性能、功率因数、运行效率^[2~3]及使用方便性等方面大大超过了其它常规交流调速方式, 变频调速技术取得了显著的成就并日臻成熟。目前, 交流变频调速技术以其优异的性能而深受各行业的普遍欢迎, 并已取得了显著的社会效益。变频调速技术在电力、轧钢、造纸、化工、煤炭、纺织、船舶、机床等传统工业的改造中和航空航天等高新技术中得到应用。

1.2 国内外交流变频调速技术的现状

早在国家“八五”科技攻关计划中, 交流调速技术就被列为重点科技攻关项目, 但是由于我国电力电子器件总体水平很低, IGBT、GTO 器件的生产虽引进了国外技术, 但一直未形成规模经济效益, 几乎不具备变频器新产品的独立开发能力, 这在一定程度上影响了国内变频调速技术的发展。在大功率交—交变频技术、无换向器电机等方面, 国内产品在数字化及系统可靠性方面与国外水平相比, 还有相当差距; 在中小功率变频技术方面, 国内几乎所有的产品都采用普通 V/F 控制, 仅有少量样机采用矢量控制, 品种与质量不能满足市场需要。而在国外, 变频调速技术得到了充分的发展, 并在各个方面取得了显著成就。在功率器件方面, 高电压、大电流容量的 SCR、GTO、IGBT、IGCT 器件的出现和并联、串联技术的应用, 高压大功率变频器产品得到生产和推广应用。在微电子技术方面, 16 位、32 位高速微处理器以及 DSP 和 ASIC(Application Specific IC)技术的快速发展, 为实现变频器高精度、多功能化提供了硬件手段。

收稿日期: 2003-04-02; 修订日期: 2003-06-30

基金项目: 山东省自然科学基金资助项目(Y2001G01); 山东省优秀中青年科学家基金资助项目(02BS020)

作者简介: 张承慧(1963-)男, 山东滕县人, 山东大学教授, 博士生导师

在理论方面, 矢量控制、磁通控制、转矩控制、智能控制等新的控制理论都为高性能变频器的研制提供了相关理论基础。可以看出, 总体上我国交流变频调速技术水平较国际先进水平有着很大差距。

2 交流变频调速中的主要控制技术

交流变频调速技术在 20 世纪得到了迅速发展。这与一些关键性技术的突破性进展有关, 它们是交流电动机的矢量控制技术、直接转矩控制技术、PWM 技术, 以及以微型计算机和大规模集成电路为基础的全数字化控制技术、自整定技术等。

2.1 矢量控制技术

矢量变换控制技术是西门子公司于 1971 年提出的一种新的控制思想和控制理论。它是以转子磁场定向, 采用矢量变换的方法实现定子电流励磁分量和转矩分量之间的解耦, 达到对交流电动机的磁链和电流分别控制的目的, 从而获得了优良的静、动态性能。迄今为止, 矢量控制技术已经获得了长足的发展, 并得到了

广泛的应用。

2.2 无速度传感器矢量控制技术

无速度传感器控制技术^[4~9]免去了传感器带来的环境适应性、安装维护等问题, 降低了成本, 提高了系统的可靠性, 同时结合矢量控制, 具有矢量控制的优良性能。无速度传感器技术中速度估算的方法, 除了根据数学模型计算电动机转速外, 目前应用较多的有模型参考自适应法和扩展卡尔曼滤波法。此外全维转子磁通观测器, 齿谐波电势 (RSH) 等理论也出现在无速度传感器技术中^[6~9]。

从 1983 年提出无速度传感器矢量控制策略以来, 一直受到学术界和产业界的高度重视, 日立、安川电机等公司于 1987 年分别发表了研究成果, 并相继推出了产品。目前, 无速度传感器矢量控制变频器的调速范围为 1: 50 左右, 个别厂商有 1: 75 甚至更高的产品。

2.3 直接转矩控制技术

1985 年, 德国的 M. Depenblock 首次提出直接转矩控制技术 (DTC)。DTC 控制直接在定子坐标系下分析交流电动机的数学

模型, 采用定子磁场定向而无需解耦电流, 直接控制电动机的磁链和转矩, 以使转矩得到快速响应, 从而获得高效的控制性能^[10~12]。

直接转矩控制技术是近 10 年继矢量控制技术之后发展起来的又一种新型的高性能交流变频调速技术, 这种控制技术与矢量控制技术相比, 对电机参数不敏感, 不受转子参数的影响, 简单易行, 具有广阔的发展和应用前景。

2.4 PWM 控制技术

1964 年, 德国的 A. Schönung 等率先提出了脉宽调制 (PWM—pulse width modulation) 变频的思想, 为近代交流调速系统开辟了新的发展领域。PWM 控制技术通过改变矩形脉冲的宽度来控制逆变器输出交流基波电压的幅值, 通过改变调制周期来控制其输出频率, 从而在逆变器上同时进行输出电压幅值和频率的控制。PWM 技术简化了逆变器的结构, 能够明显的改善变频器的输出波形, 降低电动机的谐波损耗, 并减小转矩脉动, 同时提高了系统的动态响应性能。PWM 技术还可用于整流器的控制, 能够

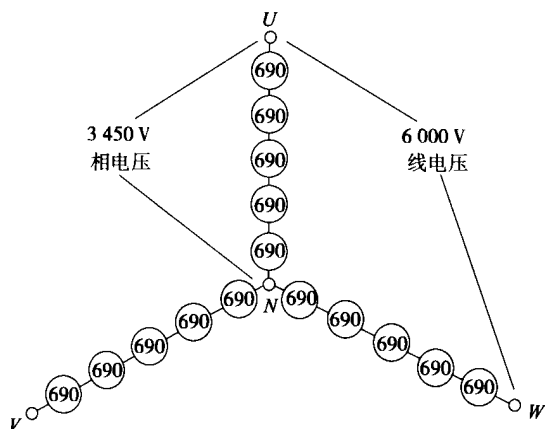


图 1 多重化变频器结构图

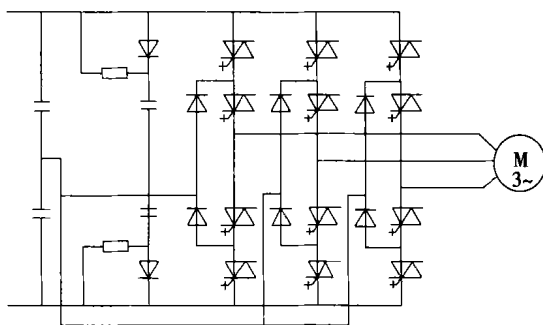


图 2 三电平逆变器主电路框图

实现输入电流非常接近正弦, 并可使电网功率因数为 1。PWM 整流器因而被称为“绿色”变流器。目前, PWM 技术已成为变频器中应用最为广泛的控制技术。交流电机调速性能的不断提 高在很大程度 上是由于 PWM 技术的不断进步。目前广泛应用的是在规则采样 PWM 的基础上发展起来的准优化 PWM 法, 即三次谐波叠加法和电压空间矢量 PWM 法^[13~14]。

2.5 数字化控制技术

控制技术的数字化是静止变频装置的核心技术, 也是今后的发展趋势。目前市场上的变频装置几乎全面实现了数字化控制。采用 DSP 和 ASIC 技术实现了快速运算和高精度控制, 可以得到良好的电流波形, 使变频器的噪音大幅度降低, 并且扫描时间大幅度缩短, 目前电流响应为 0.1~0.7 ms, 速度响应为 2~4 ms, 足以满足传动领域的控制要求。同时由于应用微电子技术和 ASIC 技术, 装置的元器件数量得以大幅度减少, 从而使变频装置的体积减小, 可靠性得到大幅度提高。

全数字控制方式使变频器的信息处理能力大为增强。采用模拟控制方式无法实现的复杂控制在今天都已成为现实, 从而所谓的 RAS 概念即可靠性 (Reliability)、可操作性 (Availability)、可维修性 (Serviceability) 得以充实。

2.6 自整定技术

自整定技术在变频调速系统中的应用日益广泛, 它可以根据速度和负载的变化自动调整控制系统的参数, 使得系统具有快速的动态响应^[13]。自整定技术分为离线式和在线式两种。离线式

的研究成果已经在相当多的产品中应用, 它是在运行系统程序之前通过运行一段自整定程序, 辨识相关数据, 并修改系统程序的相关参数, 以期获得良好的系统控制性能。另外, 改进控制技术, 提高系统鲁棒性也和自整定技术紧密相联系。

3 高压变频器的发展

随着变频调速技术的发展, 作为大容量传动的高压 (2~10 kV) 变频调速技术也得到了广泛的研究和应用, 高压变频器已成为当前电力电子技术最新发展动向之一。到目前为止, 高压变频器还没有像低压变频器那样近乎统一的拓扑结构, 各种新型的高压变频器不断出现。根据其组成方式, 高压变频器可主要分为两种, 即间接高压变频器和直接高压变频器。直接高压变频器主要有采用低压 IGBT 多重化技术的单元串连多电平 PWM 电压源型高压变频器和采用高压 IGBT、IGCT 的三电平型高压变频器。

3.1 间接高压变频器

间接高压变频器也称高一低一高型变频器, 它由输入、输出变压器和低压变频器组成。输入变压器为降压变压器, 它将高压电源降至变频器所允许的电压, 经低压变频器后, 再经输出变压器即升压变压器升压后, 供给高压电动机。高一低一高型高压变频器由于经历两次电压变换, 增加了电能损耗, 影响了节能效果, 并且占地面积大, 还产生了大量的高次谐波, 具有较明显的缺陷。由于这种技术难度相对较低, 投资相对较少, 一般适用于功率小于 200 kW 的高压电动机。

3.2 直接高压变频器

3.2.1 单元串连多电平高压变频器

单元串连多电平变频器一般采用多重化技术, 所谓多重化技术就是采用若干个低压 PWM 功率单元串连的方式实现直接高压输出, 其结构原理如图 1 所示。各功率单元由一个多绕组的隔离变压器供电, 以高速微处理机和光纤实现控制和通信。这项技术由美国罗宾康公司发明并申请专利, 取名为“完美无谐波变频器”。该技术从根本上解决了一般 6 脉冲和 12 脉冲变频器产生的谐波问题, 可实现完美无谐波变频, 具有对电网谐波污染小、输入功率因数高、不必采用输入谐波滤波器和功率因数补偿装置, 不存在由谐波引起的电动机附加发热和转矩脉动、噪声、共模电压等问题。其输出电压为 2 kV、3 kV 和 6 kV, 功率为 800~5 600 kW。适合于功率在 1 MW 以上的电厂辅机应用。其缺点是造价昂贵, 占用空间大, 安装较困难。

3.2.2 采用高压 IGBT、IGCT 的三电平大容量变频器

变频器中常用的开关器件多为 IGBT、GTR、GTO 等。由于制造水平及原材料的原因, 这些器件很难直接应用于 6 kV 的电压。最近几年来, 许多国家开始研制开发新材料及新的高耐压器件。ABB 和西门子公司已开发出高耐压开关器件, 如 ABB 公司的 IGCT (场控晶体管), 耐压值为 39 kV。西门子的 HV-IGBT, 耐压值为 4.5 kV。西门子、ABB 公司、GE 公司和 Cegelec 公司分别采用专门研制的高耐压开关器件并以传统的交流变频器的结构研制开发了自己的高压变频器, 其中典型的产品如西门子公司 SIMOVERTM

系列变频器。

SIMOVERIMV 系列变频器采用传统的电压型变频器结构,通过采用耐压较高的 HV-IGBT 模块,使得串连器件数减少为 12 个,可靠性更高,并且降低了成本,减小了柜体尺寸。由于 SIMOVERIMV 系列变频器的逆变部分采用传统的三电平方式,如图 2 所示,所以不可避免的会产生较大的谐波分量,这是三电平逆变方式所固有的。因此 SIMOVERIMV 系列变频器的输出侧需要配置输出滤波器才能用于通用的电动机。同样由于谐波的影响,电动机的功率因数和工作效率都会受到一定的影响。这是该类变频器的缺点所在,因而限制了其应用。

目前,高压变频器正向着高可靠性、低成本、高输入功率因数、高效率、低输入输出谐波、低共模电压和低 dv/dt 等方向发展。此外,基于 DSP 技术的无速度传感器矢量控制技术以及串联功率单元的热插拔、热备份等技术为高压大功率变频器的发展提供了更为广阔的空间。

4 交流变频调速技术的发展趋势

20 世纪末,以电力电子功率变换技术、微电子控制技术为核心的交流电动机变频调速技术得到了惊人的发展。展望本世纪,变频调速技术有着更为广阔的发展前景。本文仅介绍以下五个方面的发展动态。

4.1 在开关器件方面

IGBT 变频器已成为 20 世纪 90 年代变频调速技术的主流,在 21 世纪初相当长的一段时间内仍将是电气传动领域的主导变频器。功率变换、驱动、检测、控制、

保护等功能的集成化促成了功率器件及变频器的智能化,同时采用新电力电子器件 IGBT、IEGT(集成发射式门极晶闸管(Integrated Emit Gate Thyristor))、GaAs(砷化镓)、SiC(碳化硅复合器件)、光控 IGBT 及超导功率器件的新功能变频器将会进一步研究开发。

4.2 在变频电路拓扑结构方面

基于双 PWM 技术的交—直—交变频器和矩阵式变频器是变频调速技术的最新发展趋势。双 PWM 控制技术采用 PWM 技术分别控制变频器的整流和逆变,打破了过去变频器的统一结构,成为变频器技术的最新发展动态。目前,双 PWM 控制技术已经在交—直—交变频器中应用。其主要优点是:输出电压和输出电流的低次谐波含量都较小;输入功率因数可调;输出频率不受限制;能量可双向流动,以获得四象限运行,符合当今“绿色变频”的概念。

另外,矩阵式变频器也采用了一种全新的电路拓扑结构。它在三相输入与三相输出之间用 9 组双向开关组成矩阵阵列,如图 3 所示。其整流部分也采用全控型开关器件构成,并对其进行 PWM 控制,可直接输出变频电压。矩阵式变频器除了具有上述优点外,还可省去中间直流环节的大电容元件。随着电力半导体器件性能的不断提高和价格的不断下降,这种结构会得到广泛地推广和应用。目前矩阵式变频器在国内外都已有研制样机出现。

4.3 在变频控制电路方面

现在变频装置几乎已实现了数字化控制,但控制技术的数字化仍是今后的发展趋势。变频装置的数字化技术是从 20 世纪 80 年代中期开始逐步发展到 16 位、

32 位微处理器,到目前普遍采用的 DSP 和 ASIC。

4.4 矢量控制技术及直接转矩控制技术

矢量控制依然是高性能交流电机调速系统的主流控制策略。它所包涵的关键技术有: PWM 技术,无速度传感器控制(磁通观测,速度辨识);电机铁损补偿,参数辨识和参数变化的补偿;新型电力半导体器件,微电子技术(DSP、ASIC)等。

直接转矩控制技术在低速范围还存在着很多难题,尤其是定子电阻的辨识问题,已经成为它进一步发展的障碍,困扰着各国的学者。对于矢量控制低速范围已有了相应的解决方法^[13]。最近,模糊控制^[16~17]、人工神经网络已开始应用于直接转矩控制技术中,这是一个良好的开端。也是当前值得深入研究的课题。

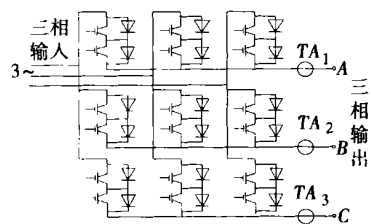


图 3 矩阵式变频器主电路图

4.5 PWM 及多电平技术

消除机械和电磁噪音的最佳方法并不是盲目地提高工作频率,随机 PWM 技术可以提供一种新途径。由于 PWM 逆变器的开关损耗随着功率和频率的增加而迅速增加,因此,在高频化和大功率方面还有大量工作。目前提高开关频率的一个方法是采用谐波技术及在此基础上发展起来的软开关技术^[18]。

5 变频调速技术在电力系统中的应用

变频调速技术以其卓越的调速性能、完善的保护功能、显著的节能效果和及易与自动控制系统接口实现自动调节等特点成为企业技术改造和设备节能降耗的一种行之有效的途径。近几年来, 变频调速技术在电力系统中的应用日益广泛, 在节能降耗、改善工艺等方面逐渐表现出其优越的性能。

5.1 变频调速技术在电力系统节能方面的应用

节能是变频器在电力系统中的主要应用领域。美国、日本及西欧各国对火电厂用水泵和风机正大力推广应用变频调速方式。在美国和原苏联进行的一项独立研究表明, 用变频调速传动装置代替传统的无转速调节电气传动装置时, 泵可节能 25%, 风机可节能 30%。因此将变频调速技术应用于风机、水泵等设备将会取得显著的经济效益。

5.1.1 在锅炉给水泵传动系统中的应用

目前国内火电厂在给水传动系统中应用变频器还只是个别机组。例如大庆新华电厂在 100 MW 调峰机组的 2 300 kW 给水泵上就采用了美国 Robicon 公司“完美无谐波”系列变频器。据作者考察, 国外发达国家是把锅炉给水泵传动系统作为推广应用变频器的主要对象之一。例如美国 EPRI 在 1984 ~ 1989 年关于变频器应用于电厂辅机可调速传动现场试验计划, 就把 Sierra Pacific 电力公司第一邱吉尔电厂的一台 149 kW 的锅炉给水泵传动系统作为首选对象。俄罗斯莫斯科电

力研究院研制的 3TBA 系列功率元件串联型高压变频器也首先应用于莫示瓦区域电厂 200 MW 燃煤机组的 5 000 kW 锅炉给水泵上。由此可见, 锅炉给水泵传动系统也是火电厂利用变频器进行节能改造的主要对象之一。

5.1.2 在锅炉送引风机传动系统中的应用

目前国内火电厂在其辅机传动系统中使用或正在安装的 6 kV 变频器总台数为 87 台, 总功率约为 96 400 kW。其中锅炉送引风机系统的变频器约 66 台, 功率约为 77 000 kW, 占总台数的 76%, 占总功率的 80%。可见, 锅炉送引风机是目前电厂应用变频调速技术进行节能改造的首选和主要对象。变频调速系统可控制引风机在最大流量时, 运行在比额定功率运行点低很多的运行点上, 从而达到节能的目的。

表 1 是国外一些电厂采用变频调速技术后的经济效益分析。

表 1 经济效益分析数据

电 厂	数量	应用场合	年度节约 回收 (万美元) 年数	
第一邱吉尔	1	1491 kW 锅炉给水泵	160	3
Willow Glen	1	1678 kW 锅炉给水泵	13	2.5
Neal	2	5220 kW 锅炉给水泵	38.4	7.7
Seminole	2	2983 kW 引风机	15.2	5.3
Dextney	1	1941 kW 锅炉给水泵	8	2.4

5.2 变频调速技术在电力系统控制方面的应用

交流变频调速技术在电力系统改善工艺, 提高控制精度等方面也有实际应用。交流电力拖动具备宽的调速范围、高的调速精度、快的动态响应以及在四象限作可逆运行等良好的技术性能。因此在电力系统中, 不仅在节能方面需要变频器, 许多需要精确控制流量、压力及液位的场所都可以采用变频器。

5.3 燃料控制系统

国内很多火电厂采用变频调速技术对燃料控制系统进行改造, 利用变频器和鼠笼式异步电动机组成给粉机变频调速系统。由于变频调速线性、稳定性好, 能够迅速改变进入炉膛的煤粉量, 使机前压力很快的稳定下来, 并且调速稳定、线性度好、可靠性高、调速范围宽, 与上层燃料控制系统接口简单易实现, 改善了燃料控制系统的调节品质。在稳态工况下, 主汽压力在 $\pm 0.1\%$ MPa 范围内波动; 在动态工况如以 5% 负荷升、降速率下改变 10% 负荷, 主汽压力在 ± 0.2 MPa 范围内波动。其动态调节品质和稳态运行性能均优于滑差调速控制。

6 结 论

随着电力电子器件制造技术、基于电力电子电路的电力变换技术以及各种控制技术的发展和完善, 交流变频调速技术将日趋成熟, 并将成为未来交流调速的主流。交流变频调速技术在电力系统中的应用表明其在节能降耗、改善工艺和提高控制精度等方面有着很好的应用前景。

参考文献:

- [1] BOSE BIMAL K. Evaluation of modern power semiconductor devices and future trends of converters [J]. *IEEE Trans Ind Applicat* 1992 28(2): 403-412.
- [2] STEVEN L MECKER. Siemens energy & automation, Inc. Considerations in derating induction motors for applications on variable frequency drives [A]. *IEEE Conference Record of 1992 Annual Pulp and Paper Industry Technical Conference* [C]. California: IEEE Press. 1992. 19-24.
- [3] ZHANG CHENGHUI, SUN YANCHUN.

- A comparative study of proportional-integral and integral-proportional control strategy for speed control of AC and DC drives[A]. Zhou Liji. **Conference Proceeding Third International Conference on Electronic Measurement & Instruments[C]**. Beijing: CIA and Electronic Measurement and Instrument Society of CIE, 1997. 211—214.
- [4] BOSE B K, SMOES M G, CREELIUS D R, *et al.* Speed Sensorless hybrid vector controlled induction motor drive [A]. **Conf Rec IEEE-IAS Annu Meeting [C]**. Orland Florida: IEEE Press, 1995. 137—143.
- [5] XU X, DE DONKER R W. A stator flux oriented induction motor drive[J]. **Conf Rec IEEE/PESC**, 1988, 2: 870—876.
- [6] GIUSEPPE GUIDI, HIDETOSHI UMIDA. A novel resistance estimation method for speed-sensorless induction motor drives [J]. **Transactions on Industry Application IEEE**, 2000, 36(6):1619—1627.
- [7] COLIN SCHAUDER. Adaptive speed identification for vector control of induction motors without rotational transducers[A]. **In Conf Rec IEEE-IAS Annu Meeting [C]**. San Diego: IEEE Press, 1989. 493—499.
- [8] FUJITA K. Instantaneous speed detection with parameter identification for AC servo systems[J]. **IEEE Trans Industry Applications**, 1992, 28(4):234—237.
- [9] BOSE B K. High performance control and estimation in ac drives control and Instrumentation [J]. **IEEE Ind Applicat**, 1997, 2:377—385.
- [10] YAMADA T, MATSUSE K, TSUKAKOSHIM, *et al.* A determining method of flux level for deadbeat flux level controlled direct field oriented induction motors using adaptive flux observer[A]. **Proc IECON' 94[C]**. Bologna: IEEE Press, 1994. 282—292.
- [11] WASYNCZUK O, SUDHOFF S D. A maximum torque per ampere control strategy for induction motor drives[J]. **IEEE Trans Energy Conversion**, 1998, 2: 163—169.
- [12] KIM S H, SUL S K. Voltage control strategy for maximum torque operation for induction machine in the field weakening region[J]. **IEEE Trans Ind Power Electron**, 1998, 1: 134—141.
- [13] ZHANG CHENGHUI. Design and application of nonlinear feedback control system for SPWM inverter fed induction motor drive[A]. Li Botian. **Proceedings of The IEEE International Conference on Industrial Technology[C]**. Guangzhou: South China University of Technology Press, 1994. 524—527.
- [14] LOWERY THOMAS F, PETRO DAVID W. Application considerations for PWM inverter-fed low-voltage induction motors [J]. **IEEE Trans Ind Applicat**, 1994, 30(2): 286—293.
- [15] WILLIAMS B W, GREEN T C. Steady-state control of an induction motor by estimation of stator flux magnitude[J]. **IEEE Proc B**, 1991, 38(2): 69—74.
- [16] ZHANG CHENGHUI, QINGFAN ZHANG. A fuzzy control system for motor drive in urea production [A]. Sun Zengqi. **Proceedings of 1997 IEEE International Conference on Intelligent Processing Systems[C]**. Beijing: Tsinghua University, 1997. 343—346.
- [17] CLELAND J, TURNER W, WANG P, *et al.* Fuzzy logic control of AC induction motors[A]. **IEEE Int Conf Rec on Fuzzy Syst [C]**. San Diego: IEEE Press, 1992. 843—850.
- [18] SLEMON G R. An analysis of the harmonic impedance of a saturated induction machine[J]. **IEEE Trans Power Apparatus and Systems**, 1980, 99(4): 1663—1667.

(何静芳 编辑)

整体煤气化

改进的 IGCC 设计

据《Gas Turbine World》2001年9~10月号报道,由美国气化技术协会和电力研究所(EPRI)共同组织的第21届气化技术年度会议于10月初在旧金山举行。

30多个电力生产厂、16个工程设计和建造公司、20多个石油化工公司和14个设备供应商出席了今年的会议。

特别关注的项目和技术是:

地下气化——Linc Energy公司正在位于澳大利亚昆士兰州布里斯班市以西350km的软契拉镇附近现场开发一座地下煤气化电站。Linc Energy正计划建造一个以低热值煤气作为燃料的联合循环电站。该项目目前已处于电站设计、设备选择、项目投资的最终阶段。计划要求于2003年将开始简单循环运行。

该公司计划基于额定功率为45MW的Fr6B燃气轮机建造1×1联合循环装置,额定净输出功率为6767MW,每小时燃气轮机压气机抽出15t空气,用于注入煤层。

借助于地下气化,提供合成煤气燃料的生产成本是很低的,使得IGCC(整体煤气化联合循环)电站能以价格优势销售所生产的电力。经济分析表明,与地面气化的4~4.5美分/(kWh)相比较,地下煤气化所生产的电力价格仅为1.5~1.75美分/(kWh)。

Citgo石油焦炭——Tampa电力公司与德士古电力和气化公司合作,正在Lake Charles炼油厂建造一个新的IGCC系统。

联合循环动力单元将由每台额定功率为172MW的三台Fr7A燃气轮机、三台不补燃的余热锅炉和三台汽轮发电机组成。以合成煤气作为燃料,该装置总的输出功率为680MW,其中燃气轮机产生585MW功率,汽轮机产生95MW功率。

离子交换膜——Air Products & Chemicals和Praxair正在开发基于离子交换膜技术的空气分离(生产氧)的新概念。与常规的低温空气分离装置比较,离子交换陶瓷膜装置能使IGCC装置的费用约减少100美元/kW,并使装置的热耗率降低211kJ/(kWh)。

(吉桂明 供稿)

变频调速技术的发展及其在电力系统中的应用 = **Development of Frequency Conversion-based Speed Governing Technology and Its Application in Electric Power Systems** [刊, 汉] / ZHANG Cheng-hui, CHENG Jin, XIA Dong-wei, et al (Institute of Control Science & Engineering under the Shandong University, Jinan, China, Post Code: 250061) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(5). — 439 ~ 444

An overview of the development history and present status of frequency conversion-based speed governing technology is given from the standpoint of the use of electric power semiconductors, control technology and main circuit topology structures, etc. The main control techniques of the above-cited speed governing method are concisely described. An analysis is given of the development dynamics of high-voltage frequency conversion-based speed governing technology with the technical features of its several schemes now in use being compared. On the basis of the above the development tendency of the speed governing technology under discussion is outlined. In conclusion, its application aimed at energy conservation, technology and control performance enhancement is described. **Key words:** frequency conversion-based speed governing technology, vector control, AC motor, PWM (pulse width modification) technology, electric power system

煤粉燃烧一维温度分布可视化模拟研究 = **Simulation Study on the Visualization of One-dimensional Temperature Profiles in a Pulverized Coal-fired Boiler Furnace** [刊, 汉] / LI Li, JIANG Zhi-wei, LOU Chun, et al (State Key Laboratory on Coal Combustion under the Huazhong University of Science & Technology, Wuhan, China, Post Code: 430074) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(5). — 445 ~ 449

Infrared thermal image devices currently available can only provide accumulative temperature images of a flame during the monitoring of the latter without the ability to present any information concerning the inner temperature distribution of the flame. Under certain conditions the local combustion process specific to a pulverized coal-fired boiler furnace can be approximated to a one-dimensional object. By using two probes for taking the picture of flame images respectively from two openings on a furnace wall and through the adoption of image processing techniques and radiation transmission principles a one-dimensional temperature distribution can be reconstructed between the two probes. With respect to two kinds of typical temperature profile and by the use of two kinds of flame monitoring mode a simulation study for each kind was respectively conducted. The simulation results indicate that a good reproduction effect of the temperature profiles can be achieved if flame detectors are mounted at an appropriate picture-taking angle, thus testifying to the significant usefulness of the method proposed by the authors. **Key words:** pulverized coal combustion, reconstruction of a temperature field, flame image processing

炉内煤粉燃烧一维数学模型及其仿真 = **One-dimensional Mathematical Model and Relevant Simulation for Pulverized Coal Combustion in a Boiler Furnace** [刊, 汉] / ZHANG Teng-fei, LUO Rui, REN Ting-jin, et al (Thermal Engineering Department, Tsinghua University, Beijing, China, Post Code: 100084) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(5). — 450 ~ 453

The combustion mechanism of pulverized coal particles was studied with pulverized-coal burning process in the most complex combustion zone of a furnace serving an object of research. On this basis a one-dimensional macroscopic model featuring pulverized coal combustion along the furnace height was set up to accurately calculate the burn-off rate of the pulverized coal in the furnace. Through a rational simplification of the combustion process of volatile matter and coke in the pulverized coal the model has taken into account the variation of oxygen content during the pulverized-coal combustion. With the iso-density model of a single pulverized-coal particle combustion serving as a basis an integral process of pulverized coal combustion is reflected through the combustion process of pulverized coal of various particle diameters. Thus, a formula for calculating the burn-off rate of pulverized coal in a furnace has been developed, meeting the requirements of real-time simulation computations. The results of simulation calculations are analyzed and found to be in good agreement with measured data and those given in current literature. **Key words:** pulverized coal combustion, isodensity model, macroscopic model, real-time simulation

气固两相透平内颗粒湍流扩散的 Lagrange 数值模拟 = **Lagrangian Numerical Simulation of Particle Turbulent**