

# 绿色环保型变频器的标准

实践所需要的绿色环保型变频器新技术的优劣标准，正是理论战线和研究开发新产品所急需解决的现实课题。

## 我国应用调速技术的几个重要阶段

(1)应用液力耦合器调速 是将电动机的动能通过泵轮和涡轮之间油的传递获得机械能。

(2)电磁滑差离合器调速装置。由电枢和磁极两部分组成 电枢与电动机同轴 电枢切割磁力线感应涡流，产生电磁力，推动磁极跟着旋转，带动负载转动；改变励磁电流大小，就可改变负载的转速。

(3)串级调速装置。我国进入20世纪70~80年代，水工业和其他行业一样，大量采用串级调速装置。串级调速装置又分内反馈和外反馈两大类。大中型水泵调速采用外反馈的串级调速很多，它是将转子的转差功率经过整流和逆变，经

反馈变压器将多余的电能反馈给电网。其优点是可无级平滑调速，总效率还可以。缺点是调速范围不大，需增设起动电阻和电容补偿，功率因数低，低速时更低。

(4)变频调速装置。从20世纪80年代开始，我国各行业真正步入了变频调速时代。水行业和石油、钢铁、化工等行业一样，如北京水源九厂、深圳梅林水厂、上海原水公司和自来水公司、上海排水管理公司、天津、广州、重庆、石家庄、昆明、成都、潮州、大庆油田等几十个大中型水厂和泵站都选用了变频调速装置。水泵电机容量从315~2500kW，采用变频调速装置的台数近300台以上。200kW以下容量选用变频调速装置就更多了。

由于电流型变频器是全控桥整流，谐波非常丰富，对电网公害大，抑制谐波的措施比较复杂，在价格和可靠性上失去了优势，在水工业领域和其他行业中已很少采用了。

## 市场广阔、调速节能、势在必行

(1)我国能耗名列世界前茅。根据国家经贸委1995年的全面调查统计，我国发电量的60%~70%用于推动电动机做功（约4.5亿kW·h），电机中有90%是交流电动机。

因此，对交流电机拖动采用变频调速技术是达到节约能源、简化控制、优化资源的主要手段。由于现有国产的电力电子产品技术落后和应用水平较低，尤其是耗能大户的大、中型企业技术更新滞后，使我国单位产品的耗能高出发达国家的3倍以上，造成我国能源生产上的巨大浪费，目前我国能源生产消费已列世界前茅，但国民生产总值却排在十位以后，其中最主要的原因就是单位产值能耗太大。因此，研究出大中容量电机的调速节能技术产品对于我国工业降低单产能耗具有十分重要的意义。

(2)节电的直接效益和间接效益分析。对于一个节电方案起决策作用的是它的直接经济效益，即初次投资和回收时间。一般要求初次投资能在1~3年内回收，否则该方案的可行性就值得思考。但是除直接经济效益之外，还应从全局的观点考虑节电的间接经济效益，间接经济效益往往高出直接经济效益的数十倍，是不容忽视的。

(3)电气工程设计中的节能工作是一个系统工程，要采取综合措施才能取得良好的效果，所以应从设计方案阶段开始，会同各有关专业，搞好整个工程的节能工作。



## 在设计、运用调速节能新技术中遇到的问题

(1)在多台同期运行的水泵机组中,只上一台调速装置。这样一来,调速效果不好,甚至起不到调节的作用。调速泵台数必须超过同期运转台数的一半以上,才能真正起到调速节能的作用。

(2)制造厂家没有严格筛选主要元器件,致使调速装置不能工作。

(3)谐波分量严重,使用户投产 after,严重影响各种弱电系统的控制和计量,有的烧毁电机、变压器、电容器等设备。

调速操作过程中新产生的脉冲电流,将导致电动机定子电流波形畸变,不仅变频器和电动机使用寿命缩短,对电子计算机监控系统也造成极大危害。

(4)产品电磁干扰问题。

1)变频器以交直交三相桥式整流为例,其输入侧没有任何电抗器,电源直接接入配电变压器的电源网络中,通过三相全波整流电路整流后向电容充电,其充电电流值大小取决于整流电压和电容电压之压差。整流脉冲次数愈高,高次谐波对电源污染就愈小,采用整流脉冲次数高,再加 PWM 控制整流谐波干扰就小。

2)变频器投入运转时也会引起干扰,如三相电压不平衡,配电网中有其他功率因数补偿电容器及晶闸管整流装置时,就会使变频器输入的电流波形和电压波形畸变,峰值加大,就会加重整流二极管的电压负担。

3)变频器本身有脉冲、振荡、数字开关电路、继电器、风扇等均产生严重的辐射传导等干扰,这种

干扰是一个频谱,有的厂家没有解决好抑制的措施。

(5)有用户反映,某一国际知名厂家的变频器内微机控制板被腐蚀,厚薄不一致,使充电电路反冲电压过高,电磁被击穿,造成漏液现象,变频器不能正常使用。

(6)有的变频器模块化和智能化均不符合要求,产品的兼容性和升级换代困难,给用户选用时增加了压力。有的自称“完美无谐波”、“完美免检修”都是不可能的。

(7)我国目前推广的 110kV/10kV/0.4kV 标准的供电电源体系,可以进一步简化泵站的供配电等级,减小基建投资,希望厂家尽快设计电压等级标准化系列的变频器装置。

变频器主要用作电动机的调速电源,对电动机的结构、性能、运行等各方面影响较大,而标准电动机是按工频电源下能获得最佳特性而设计的,因此使通用变频器适应现有的标准电动机是一个努力的目标,至少目前并非所有类型的变频器能做到这一点。尽管有的厂家声称自己的产品对电动机没有要求,但实际上都是有条件的,选用变频器时应加注意。

1)由于国外品牌的变频器并非是为适应我国市场的需要而开发生产的,因此几乎都存在与我国电网电压和电动机容量系列等级的适应问题。例如变频器的输入、输出电压有多种,如 500V、690V、1000V、2300V、3300V、6600V 等等,对我国的电压等级而言均为非标准。当与标准电动机配合时,都要设置输入(降压)和输出(升压)变压器,这又将影响到装置的综合效率。有的电压等级虽然接近,但其制造容量

与我国标准电动机的容量在系列搭配上又相去甚远。

2)对于无 PWM 的变频器,即基本型变频器,如本身输出侧不附带二次滤波装置,有的厂家配置或另外采用谐波处理措施,一般也不能适用于标准电动机。因为由方波逆变器供电的电动机,负载电流将因谐波而增大 10% 左右。为防止温升过高,影响电动机寿命,如要配用标准电动机,则需采取以下措施:电动机改自冷方式为它冷方式,以增加冷却能力;提高电动机绝缘等级,以达到提高电动机温度上限的目的;电动机降容使用。

3)对于 PWM 变频器,在变频器的输出电压中,由于换流作用产生瞬变电压,该瞬变电压反复加到电机线卷上,主要集中在卷端部,使绝缘加速老化。因此,一般也应使用特殊设计的电动机。

(8)有的变频器不能根据用户的需要,设计合理的控制系统,使变频器不能发挥应有的功效。

## 绿色环保形变频器

1995 年,建设部就颁发了《城市给水工程项目建设标准》。其中,对城市配水制水的单位水量电耗作出了明确规定:大型配水厂不大于  $4.0\text{kWh}/(\text{km}^3 \cdot \text{m})$ ;中小型配水厂不大于  $4.5\text{kWh}/(\text{km}^3 \cdot \text{m})$ 。据了解,绝大多数城市都大大超过此标准。污水处理的单位电耗更加超标。其他行业也是这样。1998 年我国发布的《节约能源法》明文规定:“逐步实现电动机、风机、泵类设备和系统的经济运行,发展电机调速节能和电力电子技术”、“提高电能利用率”。实践证明,变频调速是最理想的高效调速节能技术,成为当代调

速节能的重要手段和重大措施。

### 绿色环保变频器的标准

(1) 选择适应多变量非线性参数的控制系统

现在的电力电子变换装置中,用于控制交流电机(笼型异步电机、绕线型双馈电机、同步电机、开关磁阻电机)的主要是变压变频器。其中用于中、小功率交流传动控制的由IGBT或其他器件组成的PWM变换器,大容量的用高压IGBT或IGCT的PWM变换器,特大容量的(例如,10MW以上)才用晶闸管的交-交变换器和电流源型交-直-交变换器。PWM变压变频技术是目前主要采用的变换器控制技术,常用的PWM控制技术有:基于正弦波对三角波脉宽调制的SPWM控制;基于消除指定次数谐波的HEPWM控制;基于电流跟踪的CHPWM控制;电压空间矢量控制(即磁链轨迹跟踪控制)——SVPWM控制。

电压空间矢量控制的效果最好,而且是直接控制功率器件的开关状态,算法简单,因此目前应用最广。

在各种控制策略中,基于动态模型保持定子磁链恒定的直接转矩控制,是最理想的方略。

直接采用转矩反馈的内环控制可以抑制磁链变化,近似地实现转速与磁链解耦,直接转矩控制系统正是突出了这一特色,与此同时,还获得了转矩的快速动态响应。至于磁链控制,在这里选择了定子磁链,而不是转子磁链,从而换来了鲁棒性的提高。

保持定子磁链恒定的直接转矩控制系统,转矩和定子磁链闭环都

采用双位式砷-砷控制,根据它们的变化直接选择电压空间矢量SVPWM的开关状态,省去线性调节器和旋转坐标变换,控制结构大为简化。

交流电动机,从本质上看是一个非线性多变量系统,应该在线性控制理论的基础上研究其控制策略,才能真正揭示问题的本质。近年来,由于电力电子变频器性质的改善,更由于微处理器能力的增强,实现较复杂的控制算法已不成问题,因此交流电机的各种非线性控制策略已成为研究工作者的热门课题。在这方面,已经取得的成果有:非线性反馈解耦与精确线性化控制,基于无源性(Passivity)的能量成型(Energy shaping)非线性控制,基于逐步后推(Backstepping)设计方法的非线性控制,等等。虽然在理论上成果累累,但由于它们的共同基础是已知参数的电机模型,参数的变化仍不可避免地要影响控制系统的鲁棒性,因而至今尚未形成能够取代已有控制系统的实用的新型系统。

制造厂家应生产出故障能诊断、非线性多变量参数能自整定、灵活的便于用户使用的软件包;制造厂家应设计出适合多变量非线性参数为控制对象的最新的控制理论的品牌,如模糊逻辑控制和神经网络自整定控制系统等。

(2) 要有高质量的抑制高次谐波措施,对电磁频谱的干扰问题,一定要按国际和我国的有关规定做好频谱干扰的抑制工作。特别是多台装置放在一条电网上时,对公共供电点作为公共的谐波测试点,准确测定电网及变频装置的电能质量的性能参数。无功补偿要与谐波治

理综合起来考虑。

(3) 既重视硬件,又重视软件。

(4) 变频器输入功率要高质量,要避免和其他变频装置互相干扰,要保护联机设备。

(5) 要求变频器输出功率是高质量的,从本质上提供正弦波输出波形,特别是低速调速范围内,也要保持很好的输出波形。电机不能因变频器输出谐波电流而加热,使电机噪声加大;改善电机机组的运行参数,减小电机轴及其所带设备的扭矩应力。减小电机起动电流冲击,延长电机和设备的寿命。

(6) 要求变频器功率因数高、效率高。在正常变速范围内功率因数不低于0.95,特别是在低转速调速时也要保持稳定的功率因数在0.95以上。整个变频系统效率要高于96%以上。

(7) 要求变频器有可靠性和在线操作功能强。主要的元器件要严格筛选,控制系统适应能力强,空冷或水冷系统要有标准的备用水泵、风扇。要有过负荷过电压的保护功能;确保远传设备的数字通讯的高精度、高速度的数字通讯。

变频器可在电机旋转情况下重新调速跟踪起动,如果环境温度过高,变频器能智能自动降低生产负载继续工作而不跳闸;可承受25%的电压下降而继续运转。各控制单元要模块化,便于在线的抽出移动和修理,而不影响连续运转。变频器在运行时的各种参数调试和诊断,操作人员可在线操作。EA