

「变频器」

节能降耗是水工业建设的主题

文/北京市市政工程设计研究总院 陈运珍

近二十多年来,国内外水工业等各种企业,大量选用变频调速技术来实现工艺流程的节能降耗,是主流也是主题。变频器具有什么样的功能,才是安全可靠的绿色环保型的驱动装置?一个现代化的水工业网络综合自动化监控系统,监控功能标准和功能安全标准如何做到同步设计?作者就这两个主题的解决思路,提出解决问题的对策,这只是抛砖引玉,希望广大的同仁智士,都来研究这两大主题的科学技术解决之道,多快好省的完成中各行各业十一五规划的建设任务。

我国人均水资源占有量只有世界人均水平的1/4。一方面国家拨巨资进行建设,到2010年,将投入1250亿美元进行水厂扩建改建和污水处理及环境改造;另一方面由于老一套的经济运转模式,存在严重的污染和浪费。综观当前国内水工业市场,绝大多数是老企业,设备陈旧,工艺及供电设备老化,自动化水平低下,水耗药耗材耗严重,先进控制技术极少采用。就是近几年来新建扩建改建的水处理工程,花了不少投资组建的FCS、DCS及PLC监控系统也不是名符其实的,不能进行网络化监控,造成许多资源白白浪费。更有许多处理厂站,存在先天性的不足,工艺设计不合理,工艺流程布局混乱,变电站远离负荷中心,使得电力电缆和控制电缆大多太长。特别是水泵机组的配置不够科学,使得给排水系统的电耗居高不下。吨水的单位电耗远远超过欧美、日本等国家。水工业的节能降耗到了刻不容缓的地步。水工业各大系统节能降耗要做的文章大多了。要针对大量老水厂的技术改造和新水厂的节能降耗中的几个关键技术难题,进行科学的分析研究并对每个水厂都要从实际情况



陈运珍
北京市市政工程设计研究总院高工

出发,对水源供水做深入细致的调查分析,对水管的平差压力必须做大量的科学的计算。一个大型的给水工程往往有1个或2个以上的取水泵站,几个中间加压泵站和综合的净配水厂组成。大、中型城市的供水系统,往往是多水源、多泵站、多管道和多用户组成。一个大型的水泵站,又是多台机组并联运行。装机容量是按最不利的条件下,最大时流量和所需扬程来决定的。只有采用水泵机组变频的无级调速技术,才能连续地改变各水泵机组的转速,来变更水泵的工况,使其综合的等效特性曲线适应特定管网用

水量的变化,维护管网的压力恒定,最大限度地提高各水泵机组效率,达到理想的节能效果。

一个流程企业采用变频调速技术,既是电气传动问题,也是一个综合自动化网络监控问题。过去设计时,对电气的机械安全问题比较重视,对网络监控系统功能安全问题考虑不够。一个流程企业的调速装置是重要的现场起动设备,它本身的功能安全与否与系统的安全运转有直接的关系,网络监控系统的功能安全好坏也直接影响到调速装置的正常运行。变频调速技术是一个多专业跨行业的高科技综合体,与数字采集、数据信息传输、监控组态软件、现代的先进控制技术、仪器仪表监控系统、电子技术、电气传动技术、流体技术、嵌入式技术、虚拟技术、微细的精加工技术、网络技术及功能安全技术等多领域的高精尖科学技术紧密相联。

节能降耗是水工业建设的永恒主题

1. 北京水源九厂大型静水配水处理厂站变频调速的实例介绍

北京水源九厂的送水泵房有4套西门子的变频调速装置,第三期又

上了2套罗宾康的电压源型变频调速装置。现在6台2 500 kW的调速水泵机组同时并联运转。日供水量为150万 m^3/d ，占了北京总供水量的2/3之多，其节能降耗的成果非常显著。

从20世纪80年代开始，水工业市场真正步入了变频调速时代。水泵电动机单机容量从200 kW到3 000 kW，采用了大容量的变频调速装置约2 000台以上。200 kW以下容量选用变频调速装置的就更多了。

2. 引入连大型水源取水泵站变频调速的实例介绍

东北市政设计院设计的供水工程水源泵站，2001年正式投产，其供水能力为66万 m^3/d ，共5台2 800 kW的卧式离心水泵，变速电动机电压为3 kV，其中4台水泵机组选用Simovort MV电压源型变频器，采用三电平的磁场定向矢量控制技术，逆变侧采用了大功率全控器件高压IGBT元件，因为IGBT元件的开通和关断过程都是连续可控的，无需附加其他电路，就能实现 dv/dt 控制，减小了电动机和变压器上的 dv/dt 。由于采用了KTY84器件，可在线得到高精度转矩控制，Simovort MV是可靠性较高的变频器，4年来一直运转良好，其节电效果非常明显：每年节电452万 $\text{kW}\cdot\text{h}$ ，按0.6元/ $\text{kW}\cdot\text{h}$ 计算，则每年均能省电费536万元。而取水泵站的全部调速装置投资为800万元，2年内就收回了基建投资。

3. 南水北调各输水泵站工程变频调速的大量选用

北京市田村山水厂和石化供水取水泵站改扩建工程均为南水北调工程的重要配套项目之一，6 kV中压水泵机组均选用西门子电压源型高效变频器，根据用户的实际需要，进行在线的变速监控。其他各输水泵站都选用西门子等公司的变频器作为节能降耗的主要措施。

南水北调中线工程北京段惠南

庄泵站，工艺流程特点是：扬程变幅大、工艺复杂以及大流量高扬程，共安装8台离心泵，单机功率7 300 kW，工作方式为6工2备。如果采用变台调节流量，水泵就会长期偏离设计工况运行，就会长期低效率，能耗不断提高，还将引起严重汽蚀，极易产生谐振，破坏力极大的水锤现象就会不断出现。为了保证泵站的长期安全平稳、高效率运行，最大限度降低能耗，并能在网络上能安全的远程监控和在线实时诊断，经过科学计算和分析，8台离心泵全部采用高性能的绿色环保型的中压变频调速装置。

4. 变频器在水利行业大型泵站节能降耗改造项目中的广泛运用

全国的水利行业大型泵站有383处，2 663座，共16 360台水泵机组，合计448.88万kW。纳入该行业“十一五”改造的大型泵站共计318处，1 514座，10 649台机组，共计375.69万kW。全国水利行业为了提高效益，除了选用高效的优质泵和阀门之外，采用高效的调速装置是当务之急。采用双速电动机，运行可靠，设备造价高；采用液力耦合器，低速时效率很低，调速范围小，节能有限；采用变频调速，可以平滑的无级调速，运行可靠，节能降耗效果最高。西门子公司和ABB等公司的变频调速装置，已经成功的运用在国内外许多大型的排灌泵站或流域调水工程之中，节省了大量能源，优化了工艺运转条件。

5. 变频器在各种大中小型电厂给水排水设备节能降耗的改造项目中的广泛应用

重庆合川双槐电厂(2×300 MW)工程，水源取至渠江。该江水位变化较大，枯水期与洪水期的水位差达30 m左右。取水口水压因水位落差的变化也随之发生较大改变，取水量也相应发生变化。为了保证取

水管道的流量处在一个比较稳定的范围值内，取水泵则需随着取水口水位的变化频繁起停，造成取水管道压力变化较大，而且电动机运行效率极低。取水口水位越高，管道压力就越高，调节阀门开度越小，电能损失就越严重。为了降低取水泵的单耗，节约运行成本，某院对2台江边取水泵(功率400 kW，电压等级6 kV)采用高压变频调节控制。

采用变频调速后，启动实现了软启动，运行十分平稳，消除了对电网和机械设备的冲击效应，降低了设备维护保养费用，减少了噪声；延长了设备的使用寿命，提高了系统运行质量，具有良好的社会效益。

6. 变频器在城市雨污水排放泵站中的节能降耗改造项目中的广泛应用

前几年，上海市某污水排放泵站，采用了6台1 000~1 600 kW变频器，电压6 kV。由于无法预测污水排量的实际数值，设计专家们，选用了同一容量和型号的多台水泵，选中美国罗宾康公司的中压电压源型变频器。这种电压源型变频器，功率因数在0.95以上，效率高达97%，谐波电流总失真 $<2\%$ ，采用低压的IGBT器件，可靠性高，技术成熟。模块化设计，维护简单，圆满地解决了变化无常的污水排量问题，收到了很好的节电效果。

7. 变频器在污水处理厂节能降耗改造项目中的广泛应用

SBR系统的运行是周期性的循环操作，操作模式由控制软件选择指定，运行方式的调整通过调整软件的基本参数即可实现，具有高度的可控性和灵活性。针对SBR工艺设计的这种曝气系统，采用变频调速器调节罗茨鼓风机风量，取消了节流装置，使进入曝气池的空气压力及流速稳定，在使用上也可以达

到十分理想的效果,避免了使用空气调节阀带来的调解范围线性度较窄的弊端,以及在空气调节阀上的能量损失。风机采用变频调速可方便地从低速起动,起动平稳,起动电流小。对风机来说降低转速的同时,噪声大幅度降低。

安全运行

流程工业采用变频调速技术时必须做到:谐波治理与无功功率动态补偿要有机的相结合,电网和设备都要长期安全运行。

实践告诉我们,变频器就是一个谐波源。高次谐波危害极大,所以水厂设计之初就要将无功补偿和高次谐波治理综合考虑,无功功率补偿到全厂的综合功率因数达到0.90以上,已被我们所认识,但谐波治理的重要性,我们的认识还远远不够。如我们设计的北京第九水厂,6台调速水泵机组都在运转。试运行后,邀请北京电力科学院做了多次谐波电流的测试工作。发现其高次谐波非常丰富,不仅偶次谐波超标,奇次谐波更是超标。不但产生特征谐波电流,而非特征谐波电流也很大。西门子没有消谐装置和无功功率补偿装置。

谐波抑制的方法有两种:一种是增加变频器整流的相数,相数越多,主要的高次谐波就越小;另一种是采用滤波器,在变频器的输入和输出侧安装,LC无源滤波器目前还有采用,但采用有源电力滤波器是主要趋势。中国荣信公司在电网侧采用隔离移相变压器,构成多级移相叠加的整流方式,实现几十到一百的脉冲整流效果,这种多重化结构设计,可大大改善电网侧的电流波形,无需任何无功功率补偿及谐波抑制装置就可满足供电部门对负载网侧电能质量的要求,功率因数高达0.95以上。由于变压器二次绕

组的独立性,使变频功率单元的主回路也相对独立,非常安全可靠,不增加噪声和发热,不产生转矩脉动,变频器的效率高于0.97。

即使不采用变频调速的给排水工程,也要综合考虑谐波抑制和无功功率补偿的问题。荣信公司的SVC装置,具有多项国际专利技术,是综合考虑谐波抑制和无功功率动态补偿的最佳选择方案之一。

选择和应用大功率变频器的几个关键要素

1. 选择高性能IGBT模块功率元件构建双PWM绿色环保型的新型变频主电路是重中之重

变频主电路的功率元件是变频器技术发展最主要的核心物质基础。主电路功率元件的工作过程就是能量的过渡过程,其可靠性、稳定性、精确性决定了变频器的可靠性、稳定性和精确性。

双PWM绿色变频主电路拓扑结构,将是新型大功率变频调速技术发展的主要趋势。不仅逆变部分采用最新的自关断器件,就是整流部分也采用最新的PIC功率模块元件,电网侧输入电流波形接近正弦波,且功率因数接近于1;另一方面,实现能量向电网回馈,保证变频器能四象限运行。PWM整流回路还可以大大减小直接环节的滤波电容的容量。采用双PWM技术,对消除机械和电磁噪声是最佳的方法。随着功率和频率的增加,PWM的开关损耗也会增加;在大功率和高频化方面还有大量技术要研究和突破。我们可以采用虚拟技术和嵌入式技术,随着微处理技术迅速发展,利用谐波技术,硬开关变软开关,采用标准化的PWM模式,来解决开关损耗问题。优化的PWM模式,即3次谐波叠加法和电压空间矢量PWM法,这两种方法具有计算简

单,实时控制容易,动态响应速度快,控制精度高,准确度的全数字化和网络化的特点。

PWM控制技术现在正处在不断完善,不断创新的大好局面,将进一步推动更多更好的绿色环保型变频器的创新。自20世纪70年代到现在,随着微电子技术的迅猛发展,主电路的功率元件经历了4代巨大的变革。由第一代的SCR晶闸管,第二代的GTR电力晶体管、MOSFET场效应晶体管,第三代的IGBT绝缘栅极双极晶体管,到第四代的智能功率集成模块PIC为代表的最新型功率元件,将成为变频主电路的决定性因数。

2. 选择高质量长寿命的滤波电容是变频器长期稳定运行的根本保证

当今变频器大都要配置电容,为了打价格战,大多选用电解电容。无数实践告诉我们,这种电解电容耐压低,要多个串联,其均压问题不好解决,致使电容发热严重,不能自愈,极易引起外壳炸裂,寿命极短,每5年就要全部更换,变频器的维护重点就是电解电容,运行维护价格很高,使客户望而却步。

3. 变频器要真正做到全数字化、智能化和网络化

变频调控系统包含多学科的技术领域,是一个快速监控的系统,需要存储和处理大量的多种数据,在网络上要快速实时的处理,传递大量的信息。水泵机组配套的变频器是一个执行器,在大型的水系统中,变频器就工作在工艺流程非常复杂,工作环境不好,要不断接受指令变速运行。泵站和净化处理厂相距遥远,加上无人值守,长期高负荷运转,出现故障的机率就很高。变频器必须数字化、智能化和网络化,才能在网络上进行快速的工作、诊断和维修。[EA](#)