

大功率变频器在供水厂中的应用实践与研究

北京市政工程设计研究总院(100038) 陈运珍

编者按 作者对大型变频器的工程设计与实际应用有多年经验,本文是总结,值得学习,其中关于水泵在并联运行且调速下的工作特性有深入分析,问题较复杂,由于着重介绍电气技术部分,故将其略去,如欲深入探讨,可与作者联系。

摘要 从四十多年在大型给水排水工程的设计、运行、管理实际出发,总结了大型水厂采用变频调速节能降耗的高新技术中,必须解决的关键技术难题:如何寻找等效的理想的理想的水泵特性曲线?谐波治理及功率因素补偿如何综合考虑?如何选择绿色环保型的变频器?什么是最理想的现场网络监控环境?如何采用最科学的智能控制先进技术?针对这些应用中的关键技术难题提出了作者的见解,供同仁磋商。

关键词 水泵运行特性 节能 可靠性

1 引言

随着“十一五”规划的实施,城乡缺水将更加严重。我国人均水资源占有量只有世界人均水平的四分之一。全国年缺水量约 300~400 亿立方米,城市每年缺少 60 亿立方米,日缺水量超过 1600 万立方米。据统计,全国供水总量将达 600 亿立方米,到 2010, 2030, 2050 年我国城市相应需水量将分别增加到 910 亿立方米、1225 亿立方米和 1550 亿立方米左右。“十一五”期间,全国新增供水能力 400 亿立方米,其中新增城市为 160 亿立方米,新增乡镇为 80 亿立方米,重点城市新增 4500 万立方米/日。预计到 2030 年,全国用水总量将达到 7000 亿到 8000 亿立方米,接近水资源可利用量的极限。

当前情况是:一方面国家拨巨资进行建设;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、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。水工业的降耗节能到了刻不容缓的地步。今年国务院又增加 215 亿元的巨资,加大节能减排的力度,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提出对策。

2 认真分析综合等效的水泵特性曲线来确定调速问题至关重要

对每个水厂都要从实际情况出发,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、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,维护管网的大压力恒定,最大限度地提高各水

泵机组效率,达到理想的节能效果。

2.1 某大型水源取水站的节能实践

水工艺专家们,在取水泵站选泵设计时,都是考虑供水保证率达到 95~99% 的最低原水水位时泵站最大出水量的供水规模。水泵站的装机是按最不利条件下、最大时流量和所需相应扬程决定的。而实际上,每天内只有很短时间能达到最大时流量,大多数时间里,水泵站都处在小流量下工作。为了适应流量的变化,许多泵站在运行中采取关小出口闸门的办法来控制流量,从而造成出口闸门前后的压力差值(少则多米,多则几十米)就白白地浪费了于闸门阻力上,见图 1。

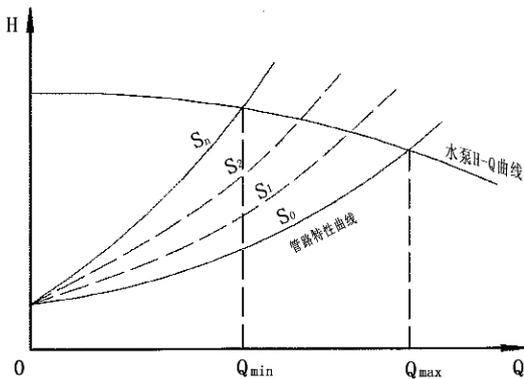


图 1 用水泵出口闸门调节水泵运行工况

当水泵台数足够多时,是可以很好地适应水量变化的,但是水泵型号是有限的,装机台数过多,不仅管理不便,而且会无谓地增大建筑面积,提高工程造价,即使这样,也无法做到完全适应水量变化,还需要用调节阀来调节水量,见图 2。

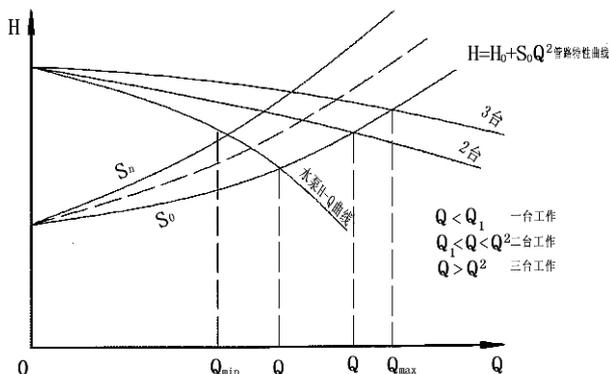


图 2 调节水泵台数和出口闸门适应流量变化

很多水厂切削水泵叶轮适应工作点需要,因水泵工作点不连续照样有能量损失。

为此,采用水泵机组无级调速技术,可连续地改变水泵转数来变更水泵工况,使其流量与扬程适应于管网水量的变化,才能提高机组效率,维持管网压力恒定,达到节能的效果。节能原理如图 3 所示。AB 为全速泵特性曲线, $AnBn$ 为调速泵特性曲线, $CBnB$ 为管路特性曲线, CO 为几何扬程(含地形差和自由水头), 当用水量从 Q_{max} 减少到 Q_{min} 的过程中,全速泵的扬程将沿 BA 曲线上升,而管网所需扬程将沿 BBn 曲线下降,这两条曲线纵坐标的差值就意味着全速泵扬程的浪费。应用水泵调速技术时,当用水量从 Q_{max} 变动到 Q_{min} 的过程中,水泵转数随流量从额定位 n 降到 $n_1n_2n_3\dots n_n$,水泵的 $Q-H$ 特性曲线 AB 也相应变化为 $A1B1, A2B2, A3B3\dots AnBn$ 。而这组平行的特性曲线 $AB-AnBn$ 与管路特性曲线 CB 的交点轨迹 BBn 正在管路特性曲线上。这样就可使水泵工作点沿管路特性曲线滑动,使他扬程处处能与系统阻力相适应,做到没有多余压力的损失,且能保持管网供水压力恒定,根据水泵轴功率的计算公式,明显收到节能效果。

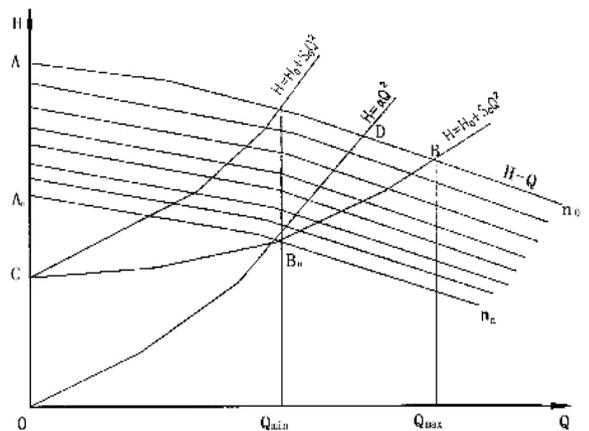


图 3 水泵机组无级调速适应流量变化

东北市政设计院设计的引英入连供水工程水源泵站,2001 年正式投产,其供水能力为 66 万 m^3/d ,共 5 台 2800kW 的卧式离心水泵,变速机电电压为 3kV,其中 4 台水泵机组选用 Simovert MV 电压源型变频器,采用三电平的磁场定向式矢量控制技术,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,无需附加其它电路,就能实现 dv/dt 控制,减

小了电机和变压器上的 dv/dt 。由于采用了 KTY84 器件, 可在线地得到高精度的转矩控制, Smovert MV 是一种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 $kW \cdot h$, 按 0.6 元 / $kW \cdot h$ 计算, 则每年均能节省电费 536 万元。而取水泵站的全部调速装置投资为 800 万元, 不到 2 年, 就收回了基建投资。

3 谐波治理与功率因素补偿要有机的相结合

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的功率因素达到 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, 现在日供水量为 150 万吨, 6 台调速水泵机组都在运转。试运行后, 我们邀请北京电力科学院做了多次谐波电流的测试。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。

谐波抑制的方法有几种: 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, 但是线路复杂了, 功率元器件很多; 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。它串联或并联于主电路中, 能实时产生一个与谐波电流大小相等, 而方向相反的补偿电流。从而使电网电流只含基波电流分量, 它不受电网阻抗的影响。

北京水源九厂前二期采用四套西门子的 SMOVERT "A" 电流源型变频器, 单台电机功率 2500 千瓦, 采用 12 脉冲整流, 又分主动变频器和从动变频器, 启动脉冲会产生 30 度的相位移, 这样 3、5、7、9 次的高次谐波数值是在允许值之内, 但 11、13 等谐波电流均超标, 加上变频器负载不一致, 三相电源电压不很平衡, 再加上控制回路触角的误差, 就会产生很多非特征性的谐波。第三期选用罗滨康的电压源型变频器, 没有谐波消除问题。

我们根据电力科学院的谐波治理方案, 一期和二期花了 350 万人民币来治理谐波和补偿无功功

率, 这样, 6kV 侧功率因素达到了 0.96 以上, 各次谐波数值都在允许值之内。

4 选择和应用大功率变频器的几个关键要素

当今大型水厂的节能降耗, 大都选用大功率变频调速技术, 选择好的符合水工艺流程要求的大功率变频器, 如何科学地应用好变频器? 是一个非常重要的课题, 要从六个关键要素中去评选。

4.1 大功率变频器要有过硬的消谐措施

现在的大功率变频器, 上面配有隔离变压器, 二次线圈供电, 功率单元和线圈相互绝缘, 线圈之间有一个小的相位差, 可清除各单元产生的大多数谐波电流, 使基波电流尽量接近正弦波, 而功率因数可在 0.95 以上。这样, 就可直接和普通电机配套, 不增加噪音和发热, 不产生转矩脉动, 变频器的效率高于 0.97 以上。

4.2 变频器的 dv/dt 值要小于 $500V/\mu s$ 以下, 当然越小越好

IGBT, IGCT 的开关频率高, 开断速度快, 对大功率的水泵电机绝缘不利, 还要增加电动机的损耗。我们知道, 有许多厂家变频器的 dv/dt 值大大超过 $500V/\mu s$, 有的高达 $1500V/\mu s$ 之上。希望厂商要为用户着想, 在功率单元电路上设置 LRC 电路, 其电感的铁芯要选用超微晶新材料, 进出电缆要屏蔽, 电缆敷设必须严格按设计规范去做, 保证 dv/dt 尽量小于 $500V/\mu s$ 之下。 dv/dt 越小, 就越有利于电动机绕组的绝缘, 减小电动机的附加损耗, 也可降低高次谐波分量。

4.3 选择高质量长寿命的滤波电容

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, 就是进口的电解电容每五年也要全部更换。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。建议厂商为客户着想, 也为自己的信誉着想, 配置寿命长, 具有高可靠性的无极性滤波电容。这种电容, 耐压高(比电解电容高 4 倍左右)、容量大, 寄生电感小, 有自愈功能, 寿命

可达 20~30 年。

4.4 选择绿色环保型的新型变频主电路

自上世纪 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四代巨大的变革。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素。还有最新的功率元件如 IGCT、IEGT 集成发射式门极晶闸管、GaAs 砷化镓管、SiC 碳化硅复合器件管、光控 IGBT 管及超导功率器件管等不断地闪亮登场。

变频主电路的功率元件是变频器技术发展的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。功率元件的小型轻量化、高性能化、多功能化和无公害化,也就决定了变频器的小型轻量化、高性能化、多功能化和无公害化。希望有更多集功率变换、驱动保护、监测、智能控制、自诊断、自愈力等功能于一身,效率更高、功能更强、附加值更多的新一代绿色环保型变频器供客户任意挑选。

双 PWM 绿色变频主电路拓扑结,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,一方面交流输入电流波形为正弦波,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音是最佳的方法。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,即三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、准确度高、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,不断创新的大好阶段,将进一步推动更多、更好的绿色环保型变频器的创新。

4.5 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,并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,长时间运转的工况中。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。

参考文献

- [1] 赵相宾等.变频调速技术的发展.变频器世界,2006 12
- [2] 徐甫荣等.高压变频调速技术应用现状与发展趋势.变频器世界,2007 4
- [3] 陈运珍.中压大功率变频器在多台大水泵机组并联运行时的机理研究.变频器世界,2007 4
- [4] 陈运珍.现代水工业自动化必须走信息控制一体化的道路.自动化博览,2006 6

(原载变频器世界 2007 本刊有删改)