

变频器在水行业节能降耗中的巨大作用

The Great Contribution of Inverter for Energy Saving and Depletion Controlling in Water Industry

北京市市政工程设计研究总院 陈运珍

Chen Yunzhen

摘 要: 源水输送、城市给水排水处理、各工矿企业上下水处理系统, 城镇高层楼群的二次供水系统, 用电大户能耗严重, 必须重点研究各工艺流程的特点和能耗情况, 广泛而又科学的选用合适的变频器, 使传统的耗能大户, 做到有效的节能降耗。

关键词: 水工业系统 节能降耗 变频器选型 网络监控

Abstract: Water transporting, water supply and drain system, water treatment of industrial and mining enterprises, as well as city high-rise water supply system are the major consumer of electricity with serious depletion of energy. The different technological process and energy depletion should be studied. Selecting proper inverters widely to save energy can help the major energy consumers to save energy and control depletion.

Key words: Water industry system Energy saving and depletion controlling Lectotype of inverter
Network monitor and control

[中图分类号] TU991 [文献标识码] B 文章编号 1561-0330(2006)09-0080-06

1 引言

中央“十一五”建议中指出:“大力推进节能节水节地节材, 加快企业节能降耗的技术改造, 对消耗高、污染重、技术落后的工艺和产品实施强制性淘汰制度”。

我国水行业在能耗方面的情况: 据2002年统计: 中国能源消耗强度为1.18吨标准煤/千美元GDP, 远远高于发达国家。创造每万元GDP所消耗的能源数量, 是美国的3倍, 德国的5倍, 日本的6倍。我国每年由于各行业建设的迅速发展制成的生态和环境破坏带来的损失占GDP的比重达8%以上。我国的水资源, 年平均总量为27115亿立方米, 扣除重复计算量, 水资源总量居世界第六位, 但人均水资源不到世界人均水资源的1/4, 人均水资源占有量(97年)排名第121位, 被联合国列为13个贫水国家之一。预计到21世纪中叶, 我国人均水资源量将降为1700立方米, 水资源紧缺形势将更加严重。而水资源地区分布又严重不协调, 要

花费巨资搞南水北调等工程。

随着“十一五”规划的实施, 缺水缺水将更加严重。近年来, 许多城市限水限电。国家每年出巨资进行大规模的给水排水建设。据统计及预测: 全国城市每年缺水 $2000 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$, 污水排放量从1981年迅速增到 $6 \times 10^8 \text{m}^3/\text{d}$, 工业废水猛增到 $200 \times 10^8 \text{m}^3/\text{d}$, 我国每年新建扩建上水处理厂近 $600 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$, 污水处理厂的处理能力为 $700 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 左右。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。每顿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。水工业市场遇到了巨大的挑战, 也给我们提供了巨大的空间和舞台。

2 变频器在源水取水泵站中的应用

对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。枯水期间, 江河水位最低, 水泵所需的扬程最高, 而冬季的供水量很少; 丰水期间, 江河水位上升, 夏季是高峰供水阶段, 供水量最大, 但水泵的静扬程不需要很高。由于某种原因, 非正常供水也有可能经常出现: 如夏季高峰供水时出现特大干旱, 此时江河水位也可能下降到最低点, 而此时供水量又要求最大; 冬季枯水期时也可能需要特大的供水量。这样, 投入巨资升建的取水泵站, 将不能发挥作用, 按设计规范选定的扬程和流量参数将会变得非常不合理, 运行能耗和基建投资浪费很大。

取水泵站的流量变化系数:

$$K_{\text{取}} = K_{d1} / K_{d2} = 1.4 / 0.6 = 2.33$$

(K_{d1} —高日系数, 取 1.4; K_{d2} —低日系数, 取 0.6)

水泵工作扬程:

$$H = H_h + H_f = H_h + CQ^2, \quad (1)$$

H_h 为水泵的几何高差, 一般为常数; $H_f = CQ^2$ 为管道摩阻水头, 随流量平方而变化, $H_f = H_{f\max} / H_{f\min} = K_{d1}^2 / K_{d2}^2 = 5.4$ 。

一个供水系统的取水泵站, 其综合水泵扬程是由几何高差和管道摩阻所组成。当江河水域远离取水泵站时, 其供水管道就很长, 按这种情况选取几何高差较小时, 管道摩阻数值所占比重都增大, 而冬季或夏季后半夜时, 配水扬程就变得很低, 水泵的工作点就会远离高效区。见图 1。

水泵的特性曲线有 $Q-H$, $Q-N$, $Q-\eta$, $Q-G$ 是管道特性曲线。它们分别表示流量与扬程、流量与轴功率, 流量与效率, 流量与管道摩阻特性之间的关系。

水量总是变化的。当用水量减小时, 如果水泵正常运转, 则系统压力将增高, 当流量减小到 75 % 和 50 % 时, 可以看到: 系统压力憋高, 而 H_f 将加大, $Q-G$ 曲线平移到 $Q'-G'$, $Q''-G''$ 曲线上, 它们与 $Q-H$ 曲

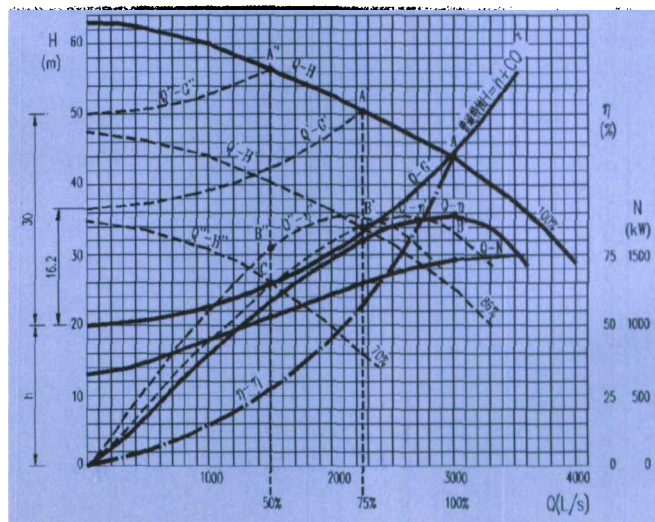


图1 水泵不同调流方式运行工况图

线交于 A' 和 A'' 点, 水泵工作效率降低了, 大量的水头势能损失掉了, 管网漏水量也将大大增加。为了使水泵工作效率仍保持在高效区, 采用关小出水闸阀角度来调流, 由图 1 可知, 水头势能全浪费在闸阀上, 闸阀就极易被破坏。

为了适应流量的变化, 可改变水泵运转台数和组合, 此时, 水泵的工作点将运转在低效率上, 大量的能源将浪费在管道的水头损失上。

$$Q/Q' / Q'' = n/n' / n'' \quad (2)$$

$$H/H' / H'' = n^2/n'^2 / n''^2 \quad (3)$$

$$N/N' / N'' = n^3/n'^3 / n''^3 \quad (4)$$

$$N = 60f(1-S)/P \quad (5)$$

其中: n 为转子实际转速, S 为电机转差率, f 为定子频率, P 为电机极对数, Q 为综合流量, H 为水泵扬程, N 为电机功率, η 为综合效率。

如果采用变频调速, 从公式 (2)、(3)、(4)、(5) 可知, 当流量减少到 75 % 和 50 % 时, $Q-H$ 曲线平移至 $Q'-H'$ 和 $Q''-H''$, 效率曲线 $Q-\eta$ 移至 $Q'-\eta'$ 和 $Q''-\eta''$ 。可见水泵效率 (B, B', B'' 点) 基本不变, 仍在高效区域内, 而水泵所需的轴功率都相应减小了, 转速下降了, 水头损失不存在, 但其工作效率却很高。还有, 水泵组合的扬程处处能与管道综合的系统阻力相适应, 能始终保持管网末梢的压力稳定。所以说, 变频调速是水泵机组节能降耗的最佳选择。北京市第九水厂、第八水厂的加压泵站, 天津市引滦工程、深圳东湖取水泵站, 南水北调所有的输水泵站, 全国许多大中小型城市的取水输水泵站, 近十几年均采用了变频调速装置。

Figure 1 is a nomogram for determining the required head H (m) for a centrifugal pump. The vertical axis represents head H in meters, ranging from 0 to 80. The horizontal axis represents flow rate Q in m^3/h , with a logarithmic scale from 0.01 to 24.0. The chart includes several sets of curves: efficiency curves (η) ranging from 60% to 100%, and specific speed curves (n) ranging from 500 to 2500 rpm. A dashed line represents the pump's performance characteristics. The chart is used to find the head H required for a given flow rate Q and efficiency η .

中出现的问题上,帮助各企业建立一个节能降耗的有效手段上,这才是我们理论研究界和产品创新制造界的立足点,给水排水市场巨大,机遇极多,正是变频调速的巨大舞台。

现在北京水源九厂的送水泵房有了四套西门子的变频调速装置,第三期又上了二套罗宾康的电压源型宽频带的变频调速装置。六台2500kW的调速水泵机组同时运转。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。

从上世纪80年代开始,水工业市场真正步入了变频调速时代。如北京水源九厂、深圳梅林水厂、深圳东湖泵站、北京第八水厂、长春第二水厂,上海自来水公司,重庆、成都、武汉、昆明、石家庄、大庆油田、厦门、福州、东莞、天津、苏州、沈阳、哈尔滨、西安自来水公司等几百个大中小型水厂的配水泵房都选用了变频调速装置。水泵电机单机容量从200kW到3000kW,采用了大容量的变频调速装置约2000台以上。200kW以下容量选用变频调速装置的就更多了。

4 变频器在污水处理厂中的运用

(1) 城市生活污水、发电厂污水除硫工程、各系统工矿企业的污水处理的工艺主流都是:提升泵房,曝气池生化处理,污泥消化及污泥脱水,加药处理。

为了达到排放标准,必须根据污水的流量和各种水质参数来进行监控。重点介绍一下生物曝气处理的调控问题。污水生化处理,必须适时提供菌胶团生存和繁殖所需氧气量。氧气量少了,会降低细菌分析的效果,甚至导致生化处理失败,氧气量过多,污水中的细菌会过氧化。在生化处理过程中氧气量与下列的水质参数有关:生物需氧量BOD、化学需氧量COD、悬浮物SS、水量和温度等。

曝气所需的风量与污水中的溶解氧的关系最为重要。常规的风量恒定控制和曝气倍率控制都不是好的方法,没有节能的效果,当然曝气所需风量与溶解氧的关系也是非线性,根据溶解氧的偏差来调整鼓风机的风流量。检测溶解氧含量是件非常困难的事情,过去采用PID技术建模预测,效果不好,采用模糊控制等技术,其超调和过度时间都远远小于常规的PID控制,其优点是越调整量和振荡小,过度时间短,稳定性好,抗干扰能力强。根据溶解氧参数就可以实现风量的闭环自动控制。我们知道,鼓风机在工频下起动,电流冲击很大,

引起电压波动,而鼓风机风压一定,只能靠调节出气阀门和增减工作台数,来改变风量。这样,增加管道阻力,能量浪费在阀门上;在罗茨风机上应用变频器技术,适当调节电机转速来调节风量,从而调节污水中的氧气含量。如某污水处理厂,曝气机容量为132kW $\times$ 4,每年节电885600kW $\cdot$ h。采用变频器调度,节电效果非常显著。

(2) 污水处理厂提升泵房的潜水泵和脱水离心机,都可以根据处理量的多少来采用变频调速装置,使电机软启或软停,可以消除水锤的冲击破坏,防止电机过早的老化,又有显著的节电效应。

(3) 污水处理过程中的加药量多少,直接影响污水的排放标准。水质参数和污水量变化是绝对的,药剂量加少了,不能保证出水标准,药量加大了造成很大的浪费,过多过少都会严重破坏生态环境。现在新建的绝大多数污水处理厂站,都设计了自动加药装置,保证了排放标准,又大大减小了浪费。自动投加药系统的核心是安装变频器。通过模糊控制等技术,就可在线的实时的改变加药泵转速,从而达到自动加药的目的。新的自动加药系统,大大简化了操作程序,又大大减轻了人力强度,降低了劳动成本,提高了工作效率,大大提高了污水处理厂的竞争力。

我国为了确保生态环境不继续恶化,每年投资300多亿元,随着“十一五”规划的实施,每年都要追加环保投资到500亿元以上。污水处理的建设力度率比给水处理大得多,给变频调速和各种先进控制技术的采用,提供了更广阔的空间。

5 变频器在城市污水排放泵站中的应用

沿江河两岸的大中小型城市,如上海、南京、武汉、镇江、天津等城市,为了保护城池,把建设污水排放工程放在非常重要的位置。举例。

前几年,上海市政府,利用世界银行贷款来建设“上海市污水处理二期工程”这个污水排放泵站,采用了6台1000kW~1600kW变频器,电压6kV。由于无法预测污水排量的实际数值,设计专家无法进行精确设计。但选用了变频调速设计方案后,选用统一容量的多台水泵,圆满的解决了上述问题。

他们通过筛选,选中美国罗宾康公司生产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%,谐波电流总失真小于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, 收到了很好的节电效果。其缺点是 IGBT 元器件过多, 由 5 个 690V 的功率单元串联, 价格偏多, 故障率也会偏多。

6 变频器在城市高层楼群二次供水中的应用

从“十一五”规划开始, 城镇化建设将会更加迅猛发展, 城镇高层楼群的二次供水问题将显得更加严重。气压罐、高位水箱、高位水塔、泵组分时供水等传统的做法, 已经过时了。它们的共同缺点是占地面积大, 基建投资高、管网系统压力不可调, 能源消耗巨大, 特别是水锤问题无法解决, 高层用户不能保证供水, 水质二次污染严重, 维护工作量和维护费用巨大。不自主创新是没有出路的。多少年来, 许多城市, 采用变频调速技术构建二次恒压供水系统已取得了巨大成果: 大大提高了水质服务的质量。但是, 城市楼群在迅猛发展, 采用变频调速技术和各种先进监控技术, 组建更节能更科学的二次供水体系, 是摆在我们面前的巨大责任。沈阳自来水公司在这个领域做了大量的应用研究工作, 取得了很好的研究成果, 为城镇二次供水的节能降耗做出了应有的贡献。二次供水只采用变频器不行, 还要研究各种先进的监控技术。据某城市实测, 一台 154kW 的变频调速器用于水泵调速, 每小时节电近 40kW·h, 节电率高达 28.5%, 在锅炉引风机上安装一台 22kW 的变频调速器, 节电率可达 30%, 节电效果十分显著。

7 结束语

(1) 水工业各系统领域的企业是传统的基础产业, 是降耗节能最有武之地之的巨大市场。上面提到的变频器应用案例, 只是一个缩影。变频器将大大提高水行业各领域的经济效益和竞争力, 在全球化的市场经济中就能占领一席之地, 不安居思危, 企业就会被别人并购或被历史所淘汰。

(2) 节能降耗必须树立科学发展观。“十一五规划”提出“科学发展观是指导发展的世界观和方法论”; 特别强调: “转变发展观念、创新发展模式、提高发展质量”。

变频调速节能必须是科学的, 不能一哄而上, 必须有坚实的科学依据。每建一个给排水厂或泵站, 设计专家们必须做大量的水力计算, 不同的地点, 会有千差万别的电算结果。北京金易奥科技发展有限公司创建了“泵站目标电耗设计测算”软件。此软件, 通过复杂的

数学模型计算出泵站在满足工艺设计要求下的最低的单位电耗, 通过此软件去控制水泵机组按最优化的组合以及调速策略运行, 能保证水处理系统一直运转在最低的单位电耗下, 来实现节能降耗的最终目标。没有可靠的量化研究和在线实时的对温度、压力、水质各参数测试, 粗放型凭经验主观估算, 只是定性判断, 就不能真正做到科学的节能降耗。此软件已被国家发改委列在重大高科技的推广项目之中。在东北某水厂用了此软件后, 发现原工况还有 7% 的节电能力没有利用, 比过去同期相比, 节电比例增加 10.75%, 节电效果显著。

(3) 从实际出发, 选择绿色环保型变频器

水工业的各行业系统如何做到有效的节能降耗, 要从自己的实际情况出发, 进行科学的全面规划和选择。水系统中有的要求调速精度不很高, 调速范围不要 100%, 但有的加药系统和先进控制配套的变频调速要求很高, 稳定性要求也很高, 在选择变频器时要进行科学的综合分析比较, 否则初步投资过大, 收回成本时间过长, 甚至有些功能用不上。

对那些不严格筛选元器件而粗制乱造的变频器千万不能选用; 否则, 谐波分量严重, 投产后, 不仅严重污染电源质量, 也造成许多电器, 弱电设备、电机、变压器、电容器的破坏, 甚至烧毁, 造成极大的经济损失。高次谐波造成的巨大故障在过去屡见不鲜。凡是有整流的地方就有谐波存在。电压型变频器输出电压为矩形波, 而电流型变频器输出的电流为矩形波。采用高速开关 PWM 控制方式的变频器, 由于开断频率很高, 电机绕组的寄生电容和电缆连接线处的分布电容就增大, 调速过程中新产生的脉冲电流就加大, 导致电机定子波形畸变。

(4) 关于调速电机电压等级的选择问题

我国推广的供电电源是 110kV/10kV/0.4kV/0.22kV 等标准等级。而国内外的变频器电压等级是 10kV/6.6kV/4.2kV/3.3kV/2.3kV/1kV/0.69kV/0.5kV。这是一个巨大的反差。如何解决这个问题、历来有二种不同的意见, 现在, 还在激烈的争论之中。

罗宾康、ABB 等国内外的厂家均能制造 10kV 的变频器, 但这种 10kV 电压源型变频器, 是用低压的 IGBT 元器件组成的极复杂的电路, 要 6 组这种功率单元串联起来才能控制 10kV 等级的电动机, IGBT 等元器件大多, 容易产生故障, 价格也比较昂贵。如果选用耐压

更高的IGBT元器件,用一组功率单元就能控制10kV电动机,其价格降到比用低压功率单元还要便宜,其安全性可靠性耐用性又大大提高了,选用这种新型的变频器也是一种两全其美的好事。当然,对用户来说,不考虑投资问题,也不是好的办法。因为,现在的“中一中”型变频器,几年运转还可以,时间长了对维修的投资就是个大问题了。

有许多工程,不搞成本核算,没有科学的头脑,200kW左右的水泵风机也要上10kV的变频装置,我认为此事欠妥。低压变频器,线路简单,技术成熟,可靠性高价格便宜,特别是 dv/dt 小,建议1000kW以下的水泵机组还是选用低压变频器为好,如380V或690V。国内外的制造厂家均有成熟的经验。1000kW以上的水泵电机,可以选用1.1kV,2.3kV,3kV,4.2kV或6kV电压等级的中压变频器。现在,1.1kV,2.3kV,3kV,4.2kV的电动机,国内已能制造了,用户担心换电机难的问题已经解决了,就应该大量采用较低电压等级的变频装置。要从初建投资、运转维修费、系统可靠性,使用寿命上进行科学的细化的比较去选择变频器电压等级。

(5) 关于选用VC和DTC的思考

矢量控制系统(VC)的特点是通过两次坐标变换、按转子磁链定向,电压模型和电流模型都要应用,涉及到电机参数多,其定向准确度受电机参数非线性变化的影响大。直接转矩控制系统(DTC),是在转速环内,利用转矩反馈直接控制电机的定子磁链。除了极低速度,DTC受转子侧参数影响不大,DTC鲁棒性要比VC强。

DTC系统由电机的电压和电流直接计算出定子磁链和转矩,采用Band-Band控制器来实现变频器的PWM控制,其着眼点是电压,省去了两次的坐标变换,而矢量控制的着眼点是电流,存在电流调节的滞后性,而DTC没有电流控制环路,没有任何电流反馈,电机可以获得较大的加速电流,产生较快的电流响应,DTC转矩响应要比VC快4~5倍。但,DTC由于采用“砰-砰”控制,开关频率不很稳定,其电流谐波比VC稍大一些,稳定性比VC稍差一些。无速度传感器控制是DTC和VC控制系统共同的研究课题,它们都采用同样的交流电机数学模型,DTC和VC都是转矩控制,都是高性能的交流变频调速系统。是选用DTC,还是选用VC系统,要从实用性来选择,否则有害无益。DTC和VC本质上是相同的,只是控制方法上有差异,各有侧重的应用领域。VC系统更适应于取水送水的大容量的

水泵机组,因为取水送水都有静水头,且其调速范围不用100%,调速运转中精度要求不高。而加药系统及各种先进控制系统中,其配套的电动机容量不大,但调速范围宽,调节响应要求快,选用鲁棒性能好的DTC系统更好些。

(6) 加强信息化建设,用信息化推动变频调速的应用

“十一五规划”指出:“坚持以信息化带动工业化”,“广泛应用高新技术和先进适用技术改造提升制造业”。多年的实践证明:信息化正在迅速推进全球性的产业革命,信息化加速了经济全球化的进程,推动工业经济向信息化经济型式转变。

每条输水系统,每个水处理系统,不论是大水泵机组的调速,还是加药系统污水生化处理中曝气量的调控,都必须根据实际变化来控制变频器装置的运转,变频器是整个供水系统的一个棋子,是系统网络上的一个节点,是这个系统的有机体。要从整个系统的综合最小电耗药耗为指标,根据实时在线的水质参数标准为依据,来控制变频器的运转。现在是网络化、数字化时代。“网络就是控制器”。所有供水系统又是一个非常复杂的受多变量非线性参数影响的大滞后的流程企业制造系统。随着实时工业以太网、TCP/IP协议的不断完善和Internet技术的不断发展,都必须受网络来监控,必须“E网到底”,使变频器运转得更加合理,真正发挥其“节能降耗”的巨大作用,使它们始终运转在最佳的状态下。

参考文献

- [1] 陈伯时. 交流变频传动控制的发展. 北京: 第一届变频器与伺服企业论坛, 2004: 1-3
- [2] 陈运珍. 水工业领域与调速节能技术, 变频器世界, 2002(1): 4-7
- [3] 马小亮. 变频器选型中的几个问题. 变频器行业企业家论坛, 深圳, 2002

作者简介

陈运珍(1941-) 男 高级工程师 从事电气与自控专业的设计工作, 现任中国电工技术学会水工业电工专委会秘书长。