

水工业的节能降耗必须与自动化集成紧密交融

陈运珍

(北京市市政工程设计研究总院, 北京 100045)

摘 要: 从四十多年工程设计及管理实际经验出发, 总结出水工业在采用变频调速、节能降耗的高新技术时必须解决的关键技术问题, 如寻找综合理想的水泵特性曲线, 选用最佳的调速方案, 制造最理想的网络监控环境等。针对这些应用中的技术问题, 提出了见解。

关键词: 理想特性曲线; 绿色环保型变频器; 信息控制一体化网络监控

中图分类号: TM921.51 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-6540(2008)08-0011-05

Energy Saving and Reduce Power Consumption of Water Industry Keep Close Relationship with Integrated Automation

CHEN Yun-zhen

(Beijing Municipal Engineering Design & Research General Institute, Beijing 100045, China)

Abstract: From 40-years working experience in project design and management of the all sizes of water supply and drainage, the key technology problems should to be solved in applying VVVF technology to save energy and reduce power consumption in water business are: find the equivalent, ideal and comprehensive curve of the pump characteristic, choose the best speed adjust solution, establish the ideal network monitoring environment. Opinions about these issues is expressed.

Key words: ideal characteristic curve; green and environment-friendly inverters; information control integration network monitoring

0 引言

随着“十一五”规划的实施, 城乡缺水将更加严重。我国当前情况是: 一方面国家拨巨资进行建设; 另一方面, 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行业, 其中绝大多数都是老企业, 设备陈旧, 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。水工业各企业要节能降耗, 必须从每个工程项目出发, 花大力气从以下几个方面解决问题。

1 综合等效的水泵特性曲线

对每个水厂都要从实际情况出发, 对水源供水做深入细致地调查分析, 对水管的平差压力必须做大量精确地科学计算。1个大型的给水工程往往由 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。一个大型的水泵站, 又会有多台机组并联运行。

下面从两个典型的工程设计实例来分析要不要调速节能, 以及什么方式是最理想的。

1.1 某大型水源取水泵站的实例分析

水泵相似定律如下:

$$Q/Q' = n/n' \quad (1)$$

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

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

$$N = (1 - s)f/P \quad (4)$$

$$H = H_h + H_f = H_h + CQ^2 \quad (5)$$

式中: n ——转子实际转速;

s ——电机转差率;

f ——定子频率;

P ——电机极对数;

Q ——综合流量;

H ——水泵扬程;

N ——电机轴功率。

一般水泵站的装机由最不利条件下、最大时流量和所需相应扬程决定。而实际一年中只有几

天能达到最大时流量,大多数时间里,水泵站都处于小流量状态。为适应流量的变化,许多泵站在运行中采用关小出口阀门的办法来控制流量,导致出口阀门前后的压力差值(少则几米多则几十米)白白浪费于阀门阻力上。当水泵台数足够多时,宏观上可以适应水量变化,但水泵型号有限,若装机台数过多,不仅管理不便,增大建筑面积,加大工程造价,流量脉冲变化极大,无法做到安全平稳调节水量变化,而且还需要调节阀来调节水量。很多水厂以切削水泵叶轮来适应工作点需要,但水泵工作点不连续仍然会有大量能量损失。

采用水泵机组无级调速技术,可连续改变水泵转数,进而变更水泵工况,使其流量和扬程适应管网用水量的变化,提高机组效率,维持管网压力恒定,达到节能的效果。

东北市政设计院设计的引英入连供水工程水源泵站于 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,变速电机电压为 3 kV,其中 4 台水泵机组选用 Simovert MV 电压源型变频器。其节电效果非常明显,每年可节省电费 536 万元。而取水泵站的全部调速装置为 800 万元,不到 2 年,就收回了基建投资。

1.2 某大型静水配水处理厂站的实例分析

给水处理工艺流程一般为进水、配水井、絮凝沉淀、过滤、清水池、配水泵房,然后送入配水管网;还有加药、加氯、加氨等辅助系统,中间还有回流泵房等。

取水泵站的流量变化系数为

$$K_{\text{取}} = K_{\text{d1}} / K_{\text{d2}} = 1.4 / 0.6 = 2.33 \quad (6)$$

式中: K_{d1} ——高日系数,取 1.4;

K_{d2} ——低日系数,取 0.6。

净配水厂的流量变化系数为

$$K_{\text{配}} = (K_{\text{d1}} \cdot K_{\text{h1}}) / (K_{\text{d2}} \cdot K_{\text{h2}}) = (1.4 \times 1.4) / 0.6 \times 0.5 = 6.53 \quad (7)$$

式中: K_{h1} ——高时变化系数,取 1.4;

K_{h2} ——低时变化系数,取 0.5。

由式(6)、(7)可见,净配水厂比取水泵站的流量变化更大,给水处理厂更要考虑科学的调流降耗措施。流量的千变万化影响着整个处理系统的不断变化,要采取各种先进监控技术来伺服变化。20 世纪 80 年代中期,北京市市政工程设计研究总院在其承接的北京市第九水厂的设计中已充

分认识到这个问题。从整个工艺流程到变配电设备选型都是在满足最大设计水量的基础上,尽量使调速高效特性曲线接近系统的特性曲线,即尽量将各种调速泵组合的高效区套入出现机率最高的工作段或点上。调速水泵台数应以在全年内运行工况中开泵出现次数最多的台数为需要的台数,而备用选泵则使用定速泵。北京第九水厂配水泵工作特性曲线如图 1 所示。

由电算可知,首期 2 台 2 500 kW 的水泵运转机率最大,其次为 3 台同时运转,要考虑的是,各种台数组合的系统曲线高效区在均能包入高日高时流量的基础上向右下方移动。由图 1 可知,加大额定流量,但降低了额定扬程,使多台配水泵综合的高效中心线介于 2、3 台水泵运转时的系统特性曲线之间。2 期后同时运转需要 4 台 2 500 kW 的水泵机组,再考虑日变系数和时变系数的变化率,设计中规定,4 台运转泵均采用变频调速装置,这样运转最为经济合理。当 1 台调速泵有故障时,可以“3 调 1 定”运转,其综合效率降低一点,但工作扬程还是很高。现在该厂的送水泵房有了 4 套西门子的变频调速装置,第 3 期又加了 2 套罗宾康的电压源型变频调速装置。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 ,占北京市总供水量的 2/3,其节能降耗的效果非常显著。

从以上两个实例可知,创建理想的、综合等效的多台水泵并联运转的虚拟特性曲线非常重要。也就是说,变频调速能使泵站始终(特别是在小流量的最低速时)运行在高效区域内,真正平滑无级的运转在最优化的组合上,保证水处理系统一直运转在最低的电耗、药耗、水耗的目标上。

2 选择最佳的调速方式

工程建完后要改变总的出水流量,采用调节阀的方法是不可行的,因为其会产生巨大的水锤,故障实例已屡见不鲜。采用液力耦合器,电能是节省一些,但电耗还是不小,最好的办法就是采用变频无级调速技术。当然在一些调速范围不宽的水厂,也可采用软起动器设备,其有一定范围的调节功能,简单、实用、价格便宜,但节电效果不如变频调速装置。应用于水泵类的中压电机主要为三相异步电动机,包括笼型和绕线型两种;高效率

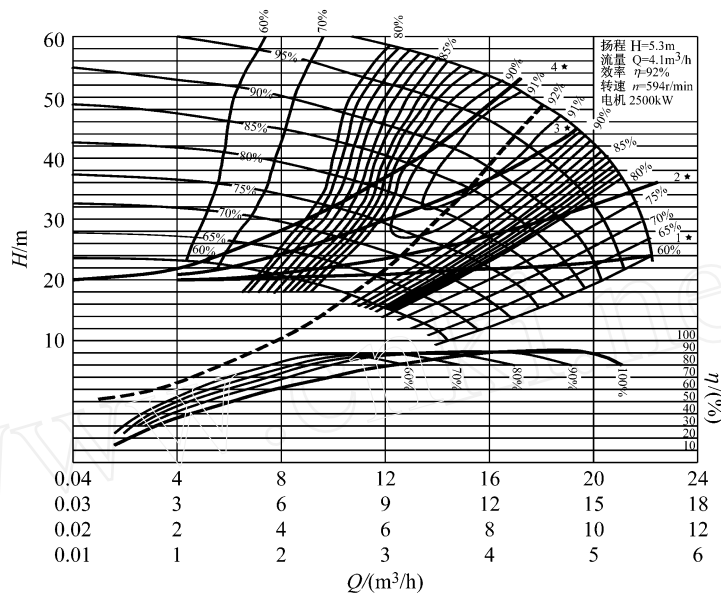


图 1 北京第九水厂配水泵特性曲线

的调速方式有两种,即定子侧变频和转子侧变频。定子侧变频也叫中压变频,普遍应用笼型电动机。现有一种转子变频调速装置,由于转子侧电压较低,使得技术复杂度降低、体积缩小、可靠性相对提高、价格也比较适中。采用内反馈电动机的转子变频装置,被控电动机转差功率直接回馈给电动机本身,增大了电动机的出力,且转差功率不回馈入电网,不需要升压变压器。

3 变频器在水工业的应用

3.1 变频器在城市雨污水排放泵站中的应用

上海市某污水排放泵站,采用 6 台 1 000 ~ 1 600 kW 的变频器,电压为 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样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%,谐波电流总失真小于 2%,采用低压的绝缘栅双极晶体管 (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,取得了很好的节电效果。

3.2 变频器在某水利系统泄洪闸门起闭机中的应用

水利系统中各类泄洪闸门起闭机大部分都是人工操作,效率低,可靠性差,危险性极大。项目改造中,采用可编程逻辑控制器 (PLC) 和变频器,

实现了无人值守的泄洪闸门起闭机自动变速控制功能,节约了大量能源。如广东水利系统某江边排涝泵站安装了 4 组斜式轴流水泵机组,每台 500 kW,电压 10 kV,要求泵站运行的响应时间小于 0.5 s,画面实时数据刷新时间 (从数据刷新后算起) ≤ 1 s。改造实现了优化调控,远方遥测、遥控功能,及远方灭磁检测功能;大大减轻了运行管理人员的劳动强度;系统监测完善、安全可靠,有效地避免了事故的发生;减少了设备损失费用;系统实现了与上一级的联网和数据共享。

3.3 变频器在污水深度处理工艺中的应用

一般的污水深度处理工艺有混凝沉淀、过滤、加药加氯等,并设有出水泵站。变频装置一般用在混凝沉淀池的刮泥机、滤站的反冲洗水泵及鼓风机、加氯加药间的加药泵、出水泵站的出水泵等。一般污泥浓缩机、加药泵及离心脱水机均采用变频调速装置控制。离心脱水机的进泥泵也常采用变频调速控制。

3.4 变频器在污水处理厂中的应用

SBR 反应池是一种间歇进水、间歇出水、变容积、完全混合、静置沉淀、厌氧缺氧好氧顺序发生的循环活性污泥反应器。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 工艺设计的曝气系统,采用变频调速器调节罗茨鼓风机的

风量,取消了节流装置,使进入曝气池的空气压力和流速稳定,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节范围线性度较窄的弊端和能量损失。风机采用变频调速可方便地从低速平稳启动,且启动电流小。对风机来说降低转速的同时,噪声也大幅降低了。

3.5 变频器在各种大中型电厂给排水设备中的应用

重庆合川双槐电厂(2×300 MW)工程,水源取自渠江,该江水位变化较大,枯水期与洪水期的水位变幅可达 30 m。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,电机运行效率极低。为降低取水泵的损耗,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)采用了高压变频调节控制。负荷率按比值 0.752 计算,扣除变频器的耗电量 4% P (变频器功率),每台电机年运行小时数按 5 500 小时考虑,单台电机运行一年可节约电量 519 411.2 kWh,按 0.50 元/kWh 计算,每台泵一年节约电费为 259 705.6 元。采用变频调速后,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,减少了设备维护保养费用,降低了噪声,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 and 经济效益。

3.6 变频器在水利行业大型泵站中的运用

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“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。为了提高效益,水利行业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。采用双速电机,运行可靠,但设备造价高;采用液力耦合器,低速时效率低,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。大型的水利泵站改造起点要高,要尽快提升泵站技术的装配水平,提高泵站竞争力。

另外,变频器在居民生活和办公场所等领域都有广泛应用。

4 实时工业以太网是现场控制网络的最佳选择

变频调控系统包含了多学科的技术领域,是一个快速监控的系统,需要存储和处理大量数据,而且要在网络上快速实时传递。变频器必须数字化、智能化、网络化、安全化,才能在网络上进行快速稳定地工作、诊断和维修。过去的 DCS 系统、现场总线、PC、OPC 和以太网技术,都只是被镶嵌在传统的系统结构中,只能对系统作些边缘性的提高,而所有现场设备及控制器都还是独立地控制,只管束独立的数据。

目前,世界流行的六种实时工业以太网技术打破了过去传统系统结构的坚冰,为真正科学的信息控制系统奠定了坚实的技术基础。目前流行的实时工业以太网有:Profinet、EtherCAT、Ethernet、Powerlink、EPA、Modbus-DA 和 Ethermer/IP 等。其中 Profinet 应用最广,占世界第一位,支持厂商最多。

实时工业以太网要求有:对整个监控系统来讲,要有一个大家共同遵守的标准化编程语言系统软件设计平台;在一个实时工业以太网开发平台上,只需要一个公共的变量定义和一个存放所有数据参数的实时数据库,这个统一的实时数据库是 MES 的核心设备;这种实时工业以太网的标准软件编程技术,能同时开发多主站和多终端的所有设备,也能同时调试和安装众多的机械设备,还应该是 DCS、FCS、IPC、CNC、GIS、OAS、PLC、MC、无线传感器网络、SCADA 系统的统一编程标准,都遵守 TCP/IP 通信协议,同时能横向传输所有从站之间的海量实时数据信息;这种开放的模块式结构应面向所有工业现场应用,从各个现场的光、机、电、气、仪等一切设备到整个系统的全部设备都能无缝联接并能在网络中统一调度。

5 综合自动化监控系统

综合自动化集成架构就是将工程中工艺、机械、电气、仪器仪表测控系统等现场设备、监控组态软件、通信网络、计划管理、生产制造执行、商务供应链、财务人事、领导决策等内联网进行同步设计,做到有机整合集成,谋求实现最佳经济效益。一个好的综合自动化系统是节能降耗的根本保

证。美国咨询集团 ARC 提出的信息控制一体化的综合自动化的集成,即协同过程自动化系统 (Collaborative Process Automation System, CPAS) 如图 2 所示。

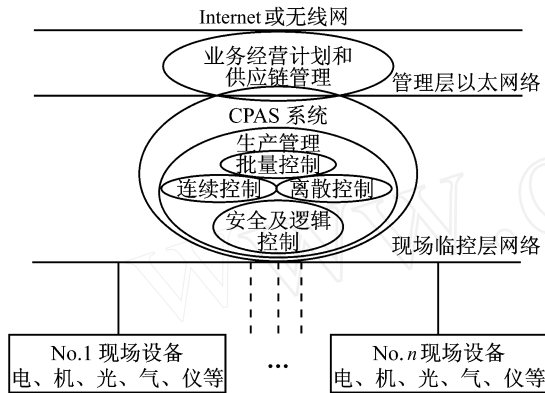


图 2 CPAS示意图

在设备层和现场控制层只有可编辑自动控制器 (PAC) 才能满足大型水厂的现代智能控制要求。PAC 综合了 PLC 和 IPC 的诸多优点,还可以集成 PLC、FCS、DCS 等功能,是一个完全数字化的、功能强大的、开放的可编程自动控制器; PAC 可以激活 PLC、IPC、FCS 系统的孤岛现象,现场所有执行器、仪器仪表、传感器及所有电气设备都有网络接口,都遵守 TCP/IP 通信协议。工程师能在网络上轻松自由地、高精度地进行频率设定,准确地进行故障诊断,可在线监控和维修变频器软、硬件及电气、仪器仪表等设备。

实现信息控制一体化的关键有:抓住信息化的核心技术不放,各种数据、图象、声频、视频、文本、报表能畅通无阻,达到无距离、无时限的垂直上下和横平左右的安全、高效、快速地访问;从企业的实际情况出发,站在建设数字工厂的高点上思考问题,做好企业的 ERP/MES/PCS 三个系统基础的科学配置,特别是选好功能强大的实时数据库、监控组态软件和先进控制软件;各车间现场采用 PAC (也可选用新型的 PLCopen 设备);光、机、电、气、仪等一切现场设备做到全数字化、智能化、多功能化、网络化、虚拟化 (采用嵌入式技术将网络功能植入到旧设备中去,使它们具有网络功能);现场监控网络采用全开放的实时工业以

太网;共同采用 TCP/IP 通信协议 (对加氯、加药、预估、氧曝、调速等响应时间要求毫秒级、抖动误差小于 $1\mu s$ 的可采用等时同步实时“RT”等技术来满足要求)。这个科学的、实用的、现代化的水工业综合自动化系统,就是“(INTERNET + WLAN) + (RTE + WPAN) + TCP/IP 协议 + PAC”的集成体,见图 3。

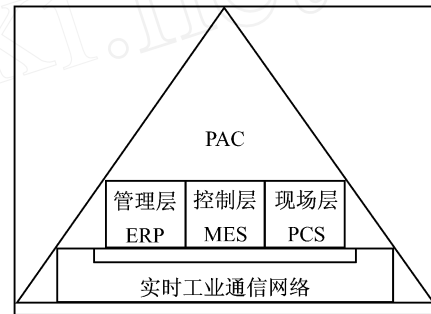


图 3 水工业综合自动化集成架构图

必须加强变频器在实践应用中的技术研究,对实践中出现的技术难题,更要共同攻关和协力研究,巧妙运用虚拟技术、嵌入式技术、网络技术、微处理器技术和现代化智能控制理论去研发新型的、绿色环保型的、高端的、成本低廉的变频器,使客户有更多挑选的余地。巨大的实践客户群和国内外的变频器制造商,都必须树立“创新是硬道理”的“科学发展观”,用信息化带动自动化,将变频调速节能降耗的基本国策落到实处。

【参考文献】

- [1] 赵相宾,夏长亮,宋国兰. 变频调速技术的发展[J]. 变频器世界, 2006(12): 6-9
- [2] 宋少杰. 基于 PROFIBUS-DP 总线交流伺服系统、变频系统应用[J]. 国内外机电一体化技术, 2008(2): 10-12
- [3] 项立峥. 高压变频的高可靠性[J]. 电机与控制应用, 2007(9): 1-3
- [4] 瞿自露. 矩阵式变换技术的发展综述[J]. 变频器世界, 2007(5): 40-46
- [5] 李小兵. 基于 PROFIBUS-DP 的三菱变频器群控系统[J]. 电机与控制应用, 2008(1): 27-29
- [6] 张世峰. 基于 winAc 的变频器数据通讯与在线监测[J]. PLC&FA, 2007(6): 79-81

收稿日期: 2008-06-24