

大连市引英入连供水工程 水源泵站变频调速设计

杨 红^{[1][2]} 丁志刚^[2] 孙晓宇^[2] 纪丰远^[3] 陈立志^[3]

[1] 中国地质大学(北京)水资源与环境学院 北京 100083

[2] 中国市政工程东北设计研究院 长春 130021

[3] 大连市自来水集团有限公司 大连 116011

摘要 本文结合大连市引英入连供水工程水源泵站变频调速设计的实例,介绍了矢量控制技术的原理及特点,分析了变频器应用的节能原理,并对中压变压器的选择进行了分析。

关键词: 变频调速 脉宽调制技术 矢量控制 磁场定向闭环控制 中压变频器

The Summary of Water Source Pumping Station's VFD Design of Dalian YINYING Water Supply Project

Yang Hong^{[1][2]} Ding Zhigang^[2] Sun Xiaoyu^[2] Ji Fengyuan^[3] Chen Lizhi^[3]

[1] Water Resources and Environmental School, China University of Geosciences, Beijing 100083

[2] China Northeast Municipal Engineering Design and Research Institute, Changchun 130021

[3] Dalian Water Supply Group CO.LTD, Dalian 116011

Abstract: According to the design example of the water source pumping station's VFD design of Dalian YINYING water supply project, this paper presents the principle and characteristic of the field orientation control technology, and analyse the VED system energy-saving principle with square-law load and the selection for medium voltage drive converter are also presented.

Keywords: VFD, Pulse-width modulation, Vector control technology, Closed-loop control using field-oriented, Medium voltage drive converters.

1 引言

水泵的装机容量是按最不利条件下最大时流量和所需相应扬程确定的。水泵运行工况点与水泵流量和扬程有关,当水泵流量或扬程发生变化时,水泵则不能一直处在高效区域里工作。

水源泵站的流量相对恒定,但是河流、湖泊、水库的水位是随季节变化,且幅度很大,所以泵站的几何扬程也是变化的。为了适应水泵的特性曲线,大多数情况下采取调节控制出口闸门、水泵运行台数等方法来调整管路的特性曲线,造成水泵能量浪费的浪费。

水库水位的升高,表现在水泵几何扬程的减少,

管路特性曲线平行下移。如果能同时改变水泵转数,使水泵的特性曲线适应管路特性曲线的变化。不但可以充分地利用水库的位能,同时也大量的节省了电耗。

大连市引英入连供水工程是大连市建成的最大的供水项目。该工程于2001年6月建成投产,其供水能力为66万 m^3/d ,水源取水泵站安装5台卧式离心水泵,其中4台水泵机组采用变频调速功率2750kW,另外一台恒速泵功率采用2800kW。该工程分两期实施,其中一期为供水能力33万 m^3/d 、二期为供水能力33万 m^3/d 。该工程应用水泵的变频调速技术及矢量控制技术,充分的利用水库位能,水泵常年运转在高效区,一期每年净省电费265万元,

二期每年净省电费 271 万元。大连市引英入连供水工程水源泵站采用 2750kW 变频调速电机,变频器为矢量控制技术的电源型变频器,已成功的运行了 5 年,在国内尚数首例。

本文介绍了矢量控制技术在此装置上的应用特点,对本工程采用的最优脉宽调制技术进行了分析,对变频调速应用中的注意事项进行了论述。

2 调速泵的节能原理

为使水泵适应流量和扬程变化的要求。可采用变速调节,即在管道特性曲线基本不变时,采用改变转速来改变泵的 Q—H 特性曲线。使它的工作点保持在高效段,达到输入功率减少的目的。详见图 1。

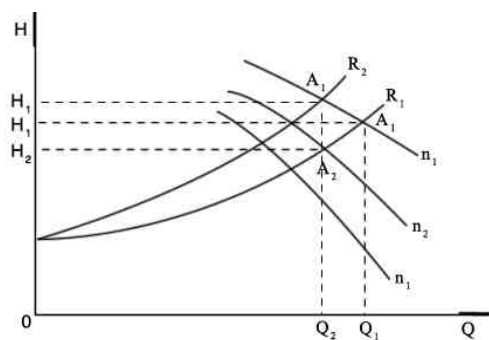


图 1 水泵变速运行图

根据水泵的相似定律,变速前后流量、扬程、功率与转速之间关系为:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$$

式中: P_1 、 H_1 、 Q_1 为转速 n_1 时的功率、扬程、流量; P_2 、 H_2 、 Q_2 为转速 n_2 时的功率、扬程、流量。

由此可见,当水泵在变负荷工作情况下,采用变频器调节水泵电机转速时,轴功率随转速比的三次方关系进行变化,节电效果明显。水泵转数的自

动调节,可根据水泵出口流量计或压力计控制。

3 矢量控制原理

矢量控制又称为磁场定向控制,即模仿直流电机换向器的作用,保持磁场与电枢之间的角度固定为正交空间关系,因此在感应电动机中定子电流相对转子磁通来取向,以达到独立控制磁通和转矩的目的。

在三相到二相的静止坐标系变换中,通常采用三相平衡正弦电流的三相对称静止绕组,将产生合成磁动势 F ,并以同步转速 ω_1 旋转, A, B, C 绕组的轴线形成三相静止坐标系。 α, β 为两相静止绕组,在空间上正交,且通过时间上相差 90° 的两相交流,同样可以产生与三相绕组一样的磁动势,只需由简单的三角函数变换即可得到转换矩阵。一般选择 α 轴与 A 相绕组轴线相重合。

在两相静止到两相旋转坐标系变换中, $\alpha - \beta$ 为两相静止坐标系, M - T 为两相旋转坐标系(2r)。M、T 绕组在空间上也是正交的,且分别加上直流电压 u_m 、 u_t ,其产生的磁动势 F 相对绕组是静止的。如果让 M - T 坐标以同步速度 ω_1 旋转,则它产生的磁动势将与 $\alpha - \beta$ 坐标系等效。M、T 和 α 、 β 轴的夹角 γ (亦即 M 轴和 A 轴夹角)是一个变量,随负载、转速而变,不同时刻有不同的值。

从上述坐标变换可以看出,三相异步电机的数学模型经过两次坐标变换转换为两相旋转的直流绕组,从而对异步电机可以实现类似于直流电机的控制,即对空间正交而无耦合的无功分量 - 励磁绕组的磁化电流 i_μ 以及有功分量 - 转子电流 i_w 进行分别控制,图 2 表示了异步电机与直流电机之间的内在关系,当然所有控制是建立在高速微处理器实时运算和控制的基础上。

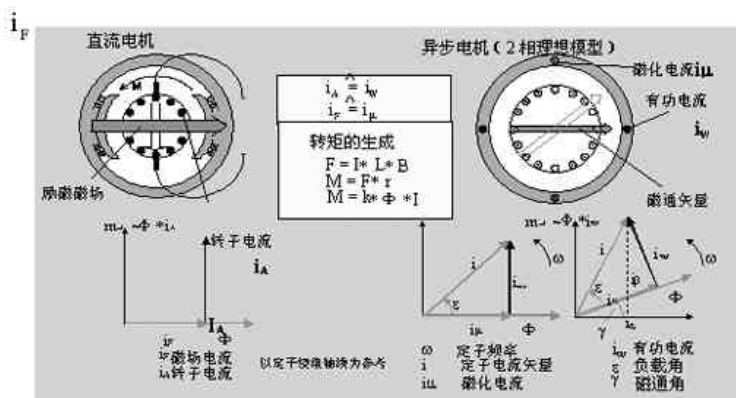


图 2 异步电机模拟直流电机的矢量图

Simovert MV 采用磁场定向矢量控制技术,图3是无速度传感器的磁场定向闭环控制原理图,加上虚线部分则是带有转速传感器的磁场定向闭环控制系统。它包括两个闭环控制,一是磁场闭环控制,二是附带从属转矩闭环的转速控制闭环。即将感应电机通过坐标变换模拟直流电机的控制,电流分解成有功分量和无功分量,有功分量控制电机的转矩,无功分量控制电机的磁通,两者通过电机的数学模型及电机的电压、电流的实时检测值计算得到,实现转矩、磁通的分别控制,从而模拟直流电机控制,这即是矢量控制的原理。无传感器矢量控制中的速度确定是通过检测实际电机的电压、电流,并经过电机的数学模型进行计算所得,一般在调速范围为1:10内可以采用此种控制方式;若在1:10以上须采用带有速度传感器的矢量控制才能满足要求。

在图3中,第一部分包括电机模型、坐标变换和门极触发部分,通过采用西门子 sigma-delta 专利技术,精确地测量电机输入电压和电流值,并将这些值输入到电机数学模型中,由高速计算机实时计

算出电机的滑差频率、电机转速、无功磁场控制电流分量和有功转矩控制分量,从而保证控制精度。第二部分为磁通控制环,磁通由特性曲线 $\phi^*(n)$ 获得给定值,在基速范围内 $\phi^* = \text{常值}$,在弱磁区域 $\phi^* \sim 1/n$ 。第三部分为带有从属转矩控制环的速度控制环,转矩控制器由上一级的速度控制器获得转矩值,并与由电机模型计算得到的转矩控制有功电流一起经过调节器,送至坐标变换器,再经过Vd校正器对触发单元进行控制。速度实际测量值或通过电机数学模型计算得到或通过速度传感器直接测量得到,其值与速度给定值一起送到速度调节器上,速度调节器的输出与 dn/dt 前馈控制一起形成转矩给定值,经过公式变换得到有功电流分量给定值,其值与经过电机矢量变换模型计算得到的实际值送到电机转矩控制有功分量控制器中,从而形成对电机转矩的控制。第四部分为内控制环的预控制,它需要稳态数据,由EMF计算机计算可得,控制器只进行校正。第五部分是在速度控制器处加上了 dn/dt 的前馈控制,是为了提高系统的动态性能。

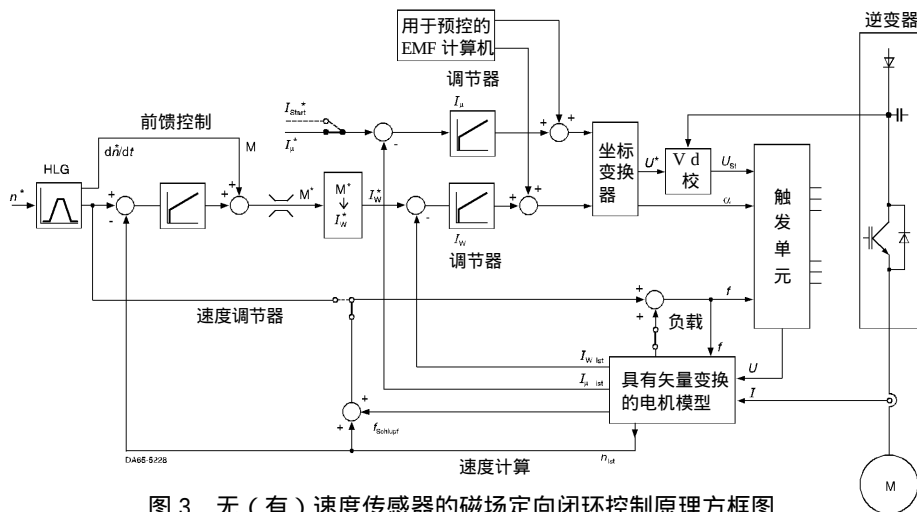


图3 无（有）速度传感器的磁场定向闭环控制原理方框图

除了采用磁场定向闭环控制技术以外, Simovert MV 还采用了最优脉宽 PWM 调制技术,减少转矩脉动,并且避免能引起机械系统共振的临界频率。

大连市引英入连供水工程水源泵站采用上述最新的电压源型变频器,较1986年以来其它项目采用的电流源型变频器的优点突出表现在,只需要一面变频调速柜,柜体体积小(2.418m×1.259m×2.2m)、占地面积小;变频器效率高(大于98.5%);精度高;在20~100%负荷下整个系统的功率因数不小于0.96,同时降低了变压器和动力电缆容量,节约投

资;在距离变频器1m的任何地方,噪音标准低于85db;高次谐波失真系数小于3%。

4 变频调速后的节能效果及分析

本工程采用变频调速恒压供水系统后,解决了目前存在的由于水库水位变化造成管网系统水压不稳定,设备故障频出等问题,取得了良好的节能效果和经济效益。

英纳河水库的死水位为53m,正常水位为79.1m,高水位81.51m。多年水文记录,英纳河水库一年中高于常水位时期长达半年之久,而达最低

水位的日数多则月余,少则几天,许多年份不出现最低水位。应用水泵机组调速,常年都可利用水库水位位能,节省电力消耗。水泵站电能的节省数量可按水位计算水泵轴功率来求得。但是逐日计算全年的电力消耗实为繁杂之事,为简便计,可按年常水位计算全年电力消耗代替逐日电耗之和,是可以满足经济效果评价要求的。

大连引英入连供水工程水源泵站一期每年节省电费量为 442 万度,二期每年节省电费量为 452 万度。按每度电 0.6 元计,则每年均能省电费 536 万元。而泵站的全部调速装置的基建投资为 800 万元,可见,水泵调速后经济效益显著。

电机循环软启动,避免了在频繁启动时,较大的启动电流对供电系统、配电设备和电机的冲击,延长了电气设备、水泵及管网的使用寿命,减少了水锤带来的危害,减少了检修维护费用及工作量,提高了供水安全。

采用计算机实现闭环自动控制后,提高了供水质量,减轻了劳动强度,可实现无人值班,节约管理费用。

5 水泵变频调速应用的注意事项

水泵节能离不开工况点的合理调节。而变频调速在改变水泵性能曲线和自动控制方面优势明显,因而应用广泛。但同时应该注意的是,影响变频调速节能效果的因素很多,如果盲目选用,很可能事与愿违。

变频调速不可能无限制调速。一般认为,变频调速不宜低于额定转速 50%,最好处于 75%~100%,并应结合实际经计算确定。

国内大多数供水项目,在选变频调速设备时,一定要注意设备的可靠性;售后服务;解决问题的能力;成本及供货单位技术实力等。

其它主要技术指标如效率、功率因数、速度控制、转矩脉动、噪声、谐波等等也应进行综合考虑,但不可强求某一指标。采用电压控制型的晶体管系列的高压大功率半导体器件是目前可靠性最高的器件,也是未来发展的方向,西门子采用的三电平技术,高压 IGBT 器件以及矢量控制和最优脉宽调制技术代表了目前主要变频器的最先进的技术,以其简洁的主电路设计,可靠的门极触发技术保证了其使用可靠性。如果未来高压 IGBT 进一步提高其耐压及输出能力,将使其更具竞争力。

6 结束语

我国给水处理厂、深度水处理厂及污水处理厂所采用的风机、水泵部分用电量约占总发电量的 31%,目前大多数风机、水泵仍采用节流调节,变频调速是一项有效的节能降耗技术,采用变频调速装置改造风机、水泵运行方式,是目前企业节能降耗、提高自动化程度的重要措施之一,具有广泛的经济效益和社会效益。

(上接第 19 页)

4.2 应用软件

上位监控系统应用软件具备如下功能:

厂级显示:包括整个二供水车间的运行状态总貌、主设备的状态及相关参数以及控制回路中过程变量与设定值的偏差。任一监控回路出现报警,用改变颜色的方式进行提示。

功能组显示:包括过程输入变量、报警条件、输出值、输入值、设定值、回路标号、缩写的文字标题、控制方式、报警值等。功能组显示画面包含所有调节回路及顺控回路。

细节显示:可观察以某一回路为基础的所有信息。

标准画面显示:包含报警显示、趋势显示、成组显示、棒图显示等,其中报警显示画面的报警发生时自动弹出,并具有声光提示功能。

其它显示:包含帮助显示、系统状态显示等。

报表打印:使用甲方指定的格式将所有历史记录制成打印表格。报表包含交接班记录、日报、月报、操作记录、设备运行记录等。

历史数据的存储和检索:对重要的过程数据和计算数据进行在线存储,并可保存至少 48 小时,当发生事故时可以立即调出相应的趋势画面。甲方可定期将这些数据转存成历史数据。甲方可根据数据的组号、测点号、测点名称、时间间距等任一项目来检索所存储的历史数据。

5 小结

本次自动化改造工程于 2004 年 12 月份建成投产,至今运行良好,受到用户的好评。