

大连理工大学

硕士学位论文

变频恒压供水系统的研究与应用

姓名：初乃茂

申请学位级别：硕士

专业：控制工程

指导教师：张守国

20070616

摘 要

随着社会主义市场经济的发展，人们对供水质量和供水系统可靠性的要求不断提高；再加上目前能源紧缺，实现大连市自来水公司二次供水的自动化，依据其自身特点对其进行改造。利用先进的自动化技术、控制技术以及通讯技术，设计高性能、高节能、能适应不同领域的恒压供水系统成为必然发展的趋势。

本文首先根据管网和水泵的运行特性曲线，阐明了供水系统的变频调速节能原理。接着分析了变频恒压供水的原理及系统的组成结构，提出不同的控制方案，通过研究和比较，本文采用变频器和 PLC 实现恒压供水和数据传输，然后用数字 PID 对系统中的恒压控制器进行设计。最后对系统的软硬件设计进行了详细的介绍。

本文设计与实现了通过 GPRS 和 MODEM 与电话网进行数据传输的远程网络巡回监控系统。具体讲述了系统的总体设计与软件的实现，并对系统采取的可靠性措施进行了说明。本文的变频恒压供水系统已在国内许多实际的供水控制系统中得到应用，并取得稳定可靠的运行效果和良好的节能效果。经实践证明该系统具有高度可靠性和实时性，极大地提高了供水的质量，并且节省了人力，具有明显的经济效益和社会效益。

关键词：变频调速；恒压供水；PID；PLC；GPRS；监控系统

Research and Application of Frequency Constant Pressure Water-supply System

Abstract

With the rapid development of socialistic marketing economy, there is a growing demand for better quality of water supply and higher reliability of supply system. In addition, considering the current common energy crisis, Dalian Water Supplying Company aims to rebuild the system based on its present characteristics, achieving the scheme of automating the water supply system. So it is an inevitable tendency to design and create an energy-saving constant-pressure water supply system of excellent performance with the help of advanced techniques of automation, monitor-control system, and communication. Meanwhile, the system can also adapt to various water supply regions.

This paper explains the energy-saving principle of pump VF speed control on the basis of characteristic curve of running pipelines and water pump, analyzes the structure of VF speed regulating constant-pressure water supply, and proposes several control methods. By careful study and comparison, PLC and inverter's method fits water supply system and data transmission very well. Finally the paper shows the design of constant pressure supply water controller according to PID data and detailed introduction of its software and hardware.

In this paper, the author designs and realizes the remote monitor and control system through GPRS, MODEM and telephone network, and then illustrates its general design, software implement and the measures of preventable disturbance in details. The system, which has initially been completed with reliable performance and excellent energy-saving effect, proves to possess high reliability and real-time quality. The system can not only remarkably improve the quality of water supply, but also economize on labor, which will surely bring us both economic and social benefits.

Key Words: VF speed; constant pressure water supply; PID; PLC; GPRS; monitor and control-system

独创性说明

作者郑重声明：本硕士学位论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写的研究成果，也不包含为获得大连理工大学或者其他单位的学位或证书所使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的贡献均已在论文中做了明确的说明并表示了谢意。

作者签名：孙乃岩 日期：2007.6.12

大连理工大学学位论文版权使用授权书

本学位论文作者及指导教师完全了解“大连理工大学硕士、博士学位论文版权使用规定”，同意大连理工大学保留并向国家有关部门或机构送交学位论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权大连理工大学可以将本学位论文的全部或部分内
容编入有关数据库进行检索，也可采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编学位论文。

作者签名: 孙乃岩

导师签名: 张宇国

2007年6月12日

1 绪 论

1.1 城市供水系统的要求

众所周知,水是生产生活中不可缺少的重要组成部分,在节水节能已成为时代特征的现实条件下,我们这个水资源和电能短缺的国家,长期以来在市政供水、高层建筑供水、工业生产循环供水等方面技术一直比较落后,自动化程度低。主要表现在用水高峰期,水的供给量常常低于需求量,出现水压降低供不应求的现象,而在用水低峰期,水的供给量常常高于需求量,出现水压升高供过于求的情况,此时将会造成能量的浪费,同时有可能导致水管爆破和用水设备的损坏。在恒压供水技术出现以前,出现过许多供水方式。以下就逐一分析。

(1) 一台恒速泵直接供水系统

这种供水方式,水泵从蓄水池中抽水加压直接送往用户,有的甚至连蓄水池也没有,直接从城市公用水网中抽水,严重影响城市公用管网压力的稳定。这种供水方式,水泵整日不停运转,有的可能在夜间用水低谷时段停止运行。这种系统形式简单、造价最低,但耗电、耗水严重,水压不稳,供水质量极差。

(2) 恒速泵+水塔的供水方式

这种方式是水泵先向水塔供水,再出水塔向用户供水。水塔的合理高度是要求水塔最低水位略高于供水系统所需要压力。水塔注满后水泵停止,水塔水位低于某一位置时再启动水泵。水泵处于断续工作状态中。这种供水方式,水泵工作在额定流量额定扬程的条件下,水泵处于高效能区。这种方式显然比前一种节电,其节电率与水塔容量、水泵额定流量、用水不均匀系数、水泵的开、停时间比、开/停频率等有关。供水压力比较稳定。但这种供水方式基建设备投资最大,占地面积也最大;水压不可调,不能兼顾近期与远期的需要;而且系统水压不能随系统所需流量和系统所需要压力下降而下降,故还存在一些能量损失和二次污染问题。而且在使用过程中,如果该系统水塔的水位监控装置损坏的话,水泵不能进行自动的开、停,这样水泵的开、停,将完全由人操作,这时将会出现能量的严重浪费和供水质量的严重下降。大连市马栏子部分地区现在仍采用该供水方式。

(3) 射流泵+水箱的供水方式

这种方式是利用射流泵本身的独特结构进行工作,利用压差和来水管粗,出水管细的变径工艺来实现供水,但是由于其技术和工艺的不完善,加之该方式会出现有压无量(流量)的现象,无法满足高层供水的需要。

(4) 恒速泵+高位水箱的供水方式

这种方式原理与水塔是相同的，只是水箱设在建筑物的顶层。高层建筑还可分层设立水箱。占地面积与设备投资都有所减少，但这对建筑物的造价与设计都有影响，同时水箱受建筑物的限制，容积不能过大，所以供水范围较小。一些动物甚至人都可能进入水箱污染水质。水箱的水位监控装置也容易损坏，这样系统的开、停，将完全由人工操作，使系统的供水质量下降能耗增加。

(5) 恒速泵+气压罐供水方式

这种方式是利用封闭的气压罐代替高位水箱蓄水，通过监测罐内压力来控制泵的开、停。罐的占地面积与水塔水箱供水方式相比较小，而且可以放在地上，设备的成本比水塔要低得多。而且气压罐是密封的，所以大大减少了水质因异物进入而被污染的可能性。但气压罐供水的方式也存在着许多缺点，在介绍完变频调速供水方式后，再将二者作一比较。

(6) 变频调速供水方式

这种系统的原理是通过安装在系统中的压力传感器将系统压力信号与设定压力值作比较，再通过控制器调节变频器的输出，无级调节水泵转速。使系统水压无论流量如何变化始终稳定在一定的范围内。变频调速水泵调速控制方式有三种：水泵出口恒压控制、水泵出口变压控制、给水系统最不利点恒压控制。

① 出口恒压控制

水泵出口恒压控制是将压力传感器安装在水泵出口处，使系统在运行过程中水泵出口水压恒定。这种方式适用于管路的阻力损失在水泵扬程中所占比例较小，整个给水系统的压力可以看作是恒定的，但这种控制方式若在供水面积较大的居住区中应用时，由于管路能耗较大，在低峰用水时，最不利点的流出水头高于设计值，故水泵出口恒压控制方式不能得到最佳的节能效果。

② 出口变压控制

水泵出口变压控制也是将压力传感器安装在水泵出口处，但其压力设定值不只是一个。是将每日 24 小时按用水曲线分成若干时段，计算出各个时段所需的水泵出口压力，进行全日变压，各时段恒压控制。这种控制方式其实是水泵出口恒压控制的特殊形式。他比水泵出口恒压控制方式能更节能，但这取决于将全天 24 小时分成的时段数及所需水泵出口压力计算的精确程度。所需水泵出口压力计算得越符合实际情况越节能，将全天分得越细越节能，当然控制的实现也越复杂。

③ 最不利点恒压控制

最不利点恒压控制是将压力传感器安装在系统最不利点处，使系统在运行过程中保持最不利点的压力恒定。这种方式的节能效果是最佳的，但由于最不利点一般距离水泵较远，压力信号的传输在实际应用中受到诸多限制，因此工程中很少采用。

变频调速的方式在节能效果上明显优于气压罐方式。气压罐方式依靠压力罐中的压缩空气送水，气压罐配套水泵运行时，水泵在额定转速、额定流量的条件下工作。当系统所需水量下降时，供水压力将超出系统所需要的压力从而造成能量的浪费。同时水泵是工频率启动，且启动频繁，又会造成一定的能耗。而变频恒压供水在系统用水量下降时可无级调节水泵转速，使供水压力与系统所需水压大致相等，这样就节省了许多电能，同时变频器对水泵采用软启动，启动时冲击电流很小，启动能耗比较小。另外气压罐要消耗一定的钢量，这也是它的一个较大的缺点。而变频调速供水系统的变频器是一台由微机控制的电气设备，不存在消耗多少钢材的问题。同时由于气压罐体积大，占地面积一般为几十平米。而变频调速式中的调速装置占地面积仅为几平米。由此可见变频调速供水方式比气压罐供水方式将节省大量占地面积。在运行效果上，气压罐方式与调速式相比也存在着一定差距。气压罐方式的运行不稳定，突出表现在它的频繁启动。由于气压罐的调节容量仅占其总容积的 1/3-1/6，因而每个罐的调节能力很小，只得依靠频繁的启动来保证供水，这样将产生较大的噪声，同时由于启动过于频繁，压力不稳，加之硬启动，电气和机械冲击较大，设备损坏很快。变频调速式的运行十分稳定可靠，没有频繁的启动现象，加之启动方式为软启动，设备运行十分平稳，避免了电气、机械冲击。在小区供水中，而且由于调速式是经水泵加压后直接送往用户的，防止了的水质二次污染，保证了饮用水水质可靠。

由此可见，变频调速式供水系统具有节约能源、节省钢材、节省占地、节省投资、调节能力大、运行稳定可靠的优势，具有广阔的应用前景和明显的经济效益与社会效益。

随着社会经济的迅速发展，水对人民生活与工业生产的影响日益加强，人民对供水的质量和供水系统可靠性的要求不断提高。把先进的自动化技术、控制技术、通讯及网络技术等应用到供水领域，成为对供水系统的新要求。

由于城市供水量不断加大，对城市管网的实时监测提出了更高的要求。大连市城市供水系统始建于 1897 年，是我国最早的供水系统，部分管网设备老化严重。为使城市供水系统更稳定、可靠的运行，避免管线压力过高或过低对管网及供水造成不良影响，决定对城市供水管网供水设备和调度系统进行升级改造。

大连市区地形复杂，多为丘陵、高坡，不同于平原地区，水压水流波动频繁、变化大。根据环境、地形、控制对象、控制要求的不同，设计一套具有可靠安全的、运行稳

定的、经济适用的、高效节能的、有连锁保护容错功能又能对其做到时时监控测量的自动化供水系统势在必行。

大连市自来水二次加压泵站的新建与改造工程是大连市人民政府牵头并投资的为民办的大事实之一。为保证大连市市民能够吃上安全卫生的放心水，确保大连市自来水二次加压泵站的安全、可靠、平稳、高效、经济地运行，根据对现场环境、控制要求和系统要简单、经济、以及维护方便等诸多方面的综合考虑，最终我们设计和使用了变频恒压供水控制系统，使其达到相应的技术和工艺的标准要求，使之达到国内甚至是国际上的领先水平。

1.2 变频调速系统的发展趋势

电机调速经历了从静止的晶闸管整流器直流调速到交流感应电机变频调速的发展过程；变频调速又由VVVF的变压变频控制的PWM变频调速发展到矢量控制变频调速，提高了变频器的恒定转矩输出范围和动静态特性，使得交流电机变频调速性能超过了直流电动机调压，调速性能；在矢量控制变频调速的基础上又发展了无速度传感器的矢量控制变频调速。现代电力电子技术的进步和高压大功率开关器件的成功开发和应用，交流变频调速在技术与性价比上已优于直流调速系统。在中、高压（3kv, 6kv, 10kv）等调速范围的应用也越来越多。随着电力电子器件的发展，特别是具备有将单极型和双极型大功率管两种器件组成的混合气传动装置的控制由模拟控制转向数字控制，使信息处理能力大幅度地增强^[1]，出现了许多高、中压的变频设备（像西门子、ABB、罗克韦尔），本文介绍的变频调速电压等级是380V的低压变频器。

1.3 变频恒压供水产生的背景和意义

泵站担负着工农业和生活用水的重要任务，运行中需大量消耗能量，提高泵站效率，降低能耗，对国民经济有重大意义。我国泵站的特点是数量大、范围广、类型多、发展速度快，在工程规模上也有一定水平，但由于设计中忽视动能经济观点以及机电产品类型和质量上存在的一些问题等等原因，致使在技术水平、工程标准以及经济效益指标等方面与国外先进水平相比，还有一定的差距。

目前，大量的电能消耗在水泵、风机负载上，城乡居民用水设备所消耗的电量在这类负载中占了相当的比例。这一方面是由于我国居民多，用水量大，造成用电量；另一方面是因为我国供水设备工作效率低，控制方式不够科学合理。造成不必要的能量浪费。因此，研究提水系统的能量模型，找出能够节能的控制策略方法，这里大有潜力可挖，是减少能耗，保障供水的一个很有意义的工作。

据统计,全国 381 个城市中的 344 个城市自来水厂,1987 年的用电量合计为 47 亿千瓦时。计入其它城市和乡镇自来水以及工业给水设施用电,总计耗电约 65 亿千瓦时左右。若按 90%为水泵机组用电,则水泵的总用电量约计 60 亿千瓦时。如果一半机组采用调速装置,则每年可节电 4.5 亿千瓦时。可见水泵调速的节电潜力很大,经济效益很高。目前全国绝大多数水泵机组都没有采用调速装置,在进行供水水量、供水压力控制调节时,多采用阀门控制(压水门)与开机台数控制,能源资源浪费严重。对于大多数电力供水泵站来说,日常运行费用太高,抽水成本居高不下,提抽的单位水量的能耗太大,是一个长期困扰供水泵站的问题。从泵站经济运行理论入手是解决这一难题的办法之一,也是一个比较有效的办法。目前给水泵站的设计按最大扬程与最大流量这一最不利条件设计,水泵大多数时间在设计效率以下运行。另外,电动机与水泵之间的大马拉小车问题也很严重。水泵机组的调速运行是泵站经济运行的重要手段。传统的定(恒)速水泵供水系统是指水泵在额定转速下为系统提供一定水量的供水系统这种传统而简单的给水方式,无反馈信号和压力控制。用水量小时,系统压力增高,泵效率降低,管路内漏增加,阀门损坏加剧。用水量增大时,系统压力则降低,易造成系统高位供水点断流。实际上,定(恒)速水泵给水系统不但存在供水质量差,压力波动大的缺陷,而且不易实现有效的经济运行。对于用水量变化大的给水系统,特别是用水量小于二分之一额定流量时,水泵工况点偏离高效能区之外运行,能量损失严重^[2]。

水泵机组变频调速运行的研究和运用,目前已经成为城镇供水行业的重要课题,各地区根据本地不同情况,也逐步开始运用。特别是在二十世纪 90 年代开始,已逐渐在各地城镇供水厂的二次加压泵站中(即二级送水泵站)使用。

变频调速技术以其显著的节能效果和稳定可靠的控制方式,在风机、水泵、空气压缩机、制冷压缩机等高能耗设备上广泛应用。特别是在城乡工业用水的各级加压系统,居民生活用水的恒压供水系统中,变频调速水泵节能效果尤为突出。变频调速给水系统是由作为核心部件的变频调速器以及压力传感器、控制器、泵和管路组成的给水系统。它根据用户用水量的实际需求,设定压力控制值,控制器按传感器送来的用户用水量信息,控制变频器的频率,自动改变水泵电机的转速,最终达到调速及调节水量的目的。这种调速供水系统既能保持管网压力恒定,又能随时调整供水量。尽管水泵时常偏离额定流量工况点工作,但水泵的效率仍然维持在高效能区^[3]。

水泵电机的变频调速技术应用具有其多个方面优越性能:一是节电显著;二是在开、停机时能够减小电流对电网及供水水压对管网系统的冲击;三是能减小水泵、电机自身的机械冲击损耗。在众多供水行业中的许多实例表明:对水泵电机采用调速技术对企业

降低能耗,提高管网和设备的使用寿命有着重大的经济意义,也是保障管网系统供水安全运行的方法之一。

PLC 是一种专为工业环境应用而设计的数字运算电子系统,它是以为微处理机为基础,综合了计算机技术、自动控制技术和通信技术等现代科技而发展起来的一种新型工业自动控制装置,是当今工业发达国家自动控制的标准设备之一。PLC 在小型化、大型化、大容量、强功能等方面有了质的飞跃。

以变频器为核心结合 PLC 组成的控制系统具有高可靠性、强抗干扰能力、组合灵活、编程简单、维修方便和低成本等诸多特点,变频恒压供水系统集成变频技术、电气技术、防雷避雷技术、现代控制、远程监控技术于一体。采用该系统进行供水可以提高供水系统的稳定性和可靠性,方便地实现供水系统的集中管理与监控;同时系统具有良好的节能性,这在能量日益紧缺的今天尤为重要,所以研究设计该系统,对于提高企业效率以及人民的生活水平、降低能耗等方面具有重要的现实意义。

1.4 国内外研究概况

变频恒压供水是在变频调速技术的发展之后逐渐发展起来的。在早期,由于国外生产的变频器的功能主要限定在频率控制、升降速控制、正反转控制、起制动控制、变压变频比控制及各种保护功能。应用在变频恒压供水系统中,变频器仅作为执行机构,为了满足供水量大小需求不同时,保证管网压力恒定,需在变频器外部提供压力控制器和压力传感器,对压力进行闭环控制。从查阅的资料的情况来看,国外的恒压供水工程在设计时都采用一台变频器只带一台水泵机组的方式,几乎没有用一台变频器拖动多台水泵机组运行的情况,因而投资成本高。即 1968 年,丹麦的丹佛斯公司发明并首家生产变频器(丹佛斯是传动产品全球五大核心供应商之一)后,随着变频技术的发展和变频恒压供水系统的稳定性、可靠性以及自动化程度高等方面的优点以及显著的节能效果被大家发现和认可后,国外许多生产变频器的厂家开始重视并推出具有恒压供水功能的变频器,像瑞典、瑞士的 ABB 集团推出了 HVAC 变频技术,法国的施耐德公司就推出了恒压供水基板,备有“变频泵固定方式”,“变频泵循环方式”两种模式。它将 PID 调节器和 PLC 可编程控制器等硬件集成在变频器控制基板上,通过设置指令代码实现 PLC 和 PID 等电控系统的功能,只要搭载配套的恒压供水单元,便可直接控制多个内置的电磁接触器工作,可构成最多七台电机(泵)的供水系统^[4]。这类设备虽然说是微化了电路结构,降低了设备成本,但其输出接口的扩展功能缺乏灵活性,系统的动态性能和稳定性不高,与别的监控系统(如 BA 系统)和组态软件难以实现数据通信,并且限制了带负载的容量,因此在实际使用时其范围将会受到限制。

目前国内有不少公司在做变频恒压供水的工程,大多采用国外品牌的变频器控制水泵的转速,水管的管网压力的闭环调节及多台水泵的循环控制,有的采用可编程控制器(PLC)及相应的软件予以实现;有的采用单片机及相应的软件予以实现。但在系统的动态性能、稳定性能、抗干扰性能以及开放性等多方面的综合技术指标来说,还远远没能达到所有用户的要求。原深圳华为(现已更名为艾默生)电气公司和成都希望集团(森兰牌变频器)也推出了恒压供水专用变频器(2.2kw-30kw),无需外接 PLC 和 PID 调节器,可完成最多四台水泵的循环切换、定时起动、停止和定时循环(丹麦丹佛斯公司的 VLT 系列变频器可实现七台水泵机组的切换)。该变频器将压力闭环调节与循环逻辑控制功能集成在变频器内部实现,但其输出接口限制了带负载容量,同时操作不方便且不具有数据通信功能,因此只适用于小容量,控制要求不高的供水场所。

可以看出,目前在国内外变频调速恒压供水控制系统的研究设计中,对于能适应不同的用水场合,结合现代控制技术、网络和通讯技术同时兼顾系统的电磁兼容性(EMC)的变频恒压供水系统的水压闭环控制的研究还是不够的。因此,有待于进一步研究改善变频恒压供水系统的性能,使其能被更好的应用于生活、生产实践中。

目前,在给水泵站中水泵机组变频调速系统的主要控制方式是采集管网压力信号,采用闭环控制的方法,通过变频调速系统来控制水泵机组转速以改变水泵的出水扬程和电机的输出功率。采用变频调速控制改善了工艺,水泵阀门可在全开位置,其出口压力等于管网供水压力。阀门节流损失减小到零。由于变频器可以非常平滑稳定的调整,运行人员可以自如的调控,改善了供水质量,提高了效率。可以避免因通过阀门控制导致泵过多偏离额定工作区而引起的振动。通常情况下,变频调速系统的应用主要是为了调节泵的转速来改变水泵的出水扬程,以满足不同条件时对水泵的性能要求。由于起动缓慢,相应地延长了许多零部件,特别是密封件、轴承的寿命。有效地延长检修维护周期,减少了检修维护开支,节约大量维护费用。

采用变频调节以后,系统实现了软起动,电机起动电流从零逐渐增至额定电流,起动时间相应延长,对电网没有较大的冲击,减轻了起动机械转矩对于电机的机械损伤,有效的延长了电机的使用寿命。这种调控方式以稳定水压为目的,各种优化方案都是以母管(市政来水管)进口压力保持恒定条件。实际上,给水泵站的出口压力允许在一定范围内变化。因此这种调控方式缩小了优化范围,所得到的解为局部最优解,不能完全保证泵站始终工作在最优状态^[5]。

变频调速是优于以往任何一种调速方式(如调压调速、变极调速、串级调速等),是当今国际上的一项效益最高、性能最好、应用最广、最有发展前途的电机调速技术。它采用微机控制技术;电力电子技术和电机传动技术实现了工业交流电动机的无级调速,具

有高效率、宽范围和高精度等特点。以变频器为核心结合 PLC 组成的控制系统具有高可靠性、强抗干扰能力、组合灵活、编程简单、维修方便和低成本低能耗等诸多特点。

1.5 课题来源及本文的主要研究内容

本课题的目标是通过变频恒压供水控制系统，达到相关工艺的标准要求，保证大连市市民吃上安全卫生的放心水，确保大连市自来水二次加压泵站系统安全、可靠、平稳、高效、经济地运行，使之达到国内甚至国际的领先水平。

本文研究的主要内容如下：

- (1) 通过扬程特性曲线和管阻特性曲线分析供水系统的工作点，根据管网和水泵的运行曲线，说明供水系统的节能原理。
- (2) 变频恒压供水系统的构成及工作原理。
- (3) 分析变频恒压供水系统的组成及特点，探讨变频恒压供水系统的控制策略，并归纳实用性的控制方案。
- (4) 研究 PID 控制器的设计原理及方法。
- (5) 在实际供水系统中运行该系统，分析系统性能。
- (6) 恒压供水远程监控系统。

2 变频恒压供水系统简介

2.1 供水系统的基本特性

供水系统的基本特性和工作点扬程特性是以供水系统管路中的阀门开启度不变为前提,表明水泵在某一转速下扬程 H 与流量 Q 之间的关系曲线 $f(Q)$,如图 2.1 所示。由图 2.1 可以看出,流量 Q 越大,扬程 H 越小。由于在阀门开启度和水泵转速都不变的情况下,流量的大小主要取决于用户的用水情况,因此,扬程特性所反映的是扬程 H 与用水流量 Q 之间的关系。而管阻特性是以水泵的转速不变为前提,表明阀门在某一开度下,扬程 H 与流量 Q 之间的关系 $H=f(Q_w)$ 。管阻特性反映了水泵的能量用来克服泵系统的水位及压力差、液体在管道中流动阻力的变化规律。由图可知,在同一阀门开启度下,扬程 H 越大,流量 Q 也越大。由于阀门开启度的改变,实际上是改变了在某一扬程下,供水系统向用户的供水能力。因此,管阻特性所反映的是扬程与供水流量 Q_s 之间的关系 $H=f(Q_s)$ 。扬程特性曲线和管阻特性曲线的交点,称为供水系统的工作点,如图 2.1 中 A 点。在这一点,用户的用水流量 Q_w 和供水系统的供水流量 Q_s 处于平衡状态,供水系统既满足了扬程特性,也符合了管阻特性,系统稳定运行^[6]。

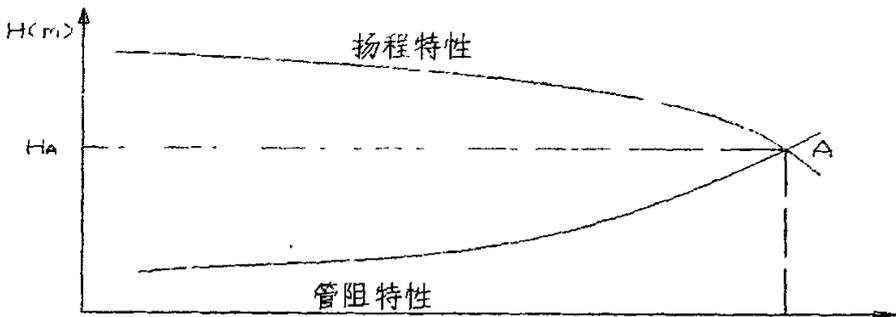


图 2.1 供水系统的基本特性

Fig.2.1 The basic characteristics of the water supply system

2.2 变频调速原理

变频恒压供水系统的供水部分主要由水泵、电动机、管道和阀门等构成。通常由鼠笼式异步电动机驱动水泵旋转来供水,并且把电机和水泵做成一体,通过变频器调节异步电机的转速,从而改变水泵的出水流量而实现恒压供水的(具体原理将在下一章阐

述)。因此,供水系统变频的实质是异步电动机的变频调速。异步电动机的变频调速是通过改变定子供电频率来改变同步转速而实现调速的^[7]。异步电机的转差率定义为:

$$S=1-(n/n_1) \quad (2.1)$$

异步电机的同步速度为:

$$n_1=60f/p \quad (2.2)$$

异步电机的转速为:

$$n=60f(1-S)/p \quad (2.3)$$

其中: n_1 为异步电机的同步转速; n 为异步电机转子转速;

f 是异步电机的定子电源频率; p 为异步电机的极对数。

从上式可知,当电机极对数 p 不变时,电机转子转速 n 与定子电源频率 f 成正比,因此连续调节异步电机供电电源的频率,就可以连续平滑地调节电机的同步转速,从而调节其转子的转速。变频调速时,从高速到低速都可以保持有限的转差率,因而变频调速具有高效率、高精度、调速范围广、平滑性较高、机械特性较硬的优点,调速性能可与直流电动机调速系统相媲美。因此,变频调速是交流异步电机一种比较合理和理想的调速方法,它被广泛地应用于对水泵(风机)电机的调速。

2.3 水泵调速运行的节能原理

在供水系统中,通常以流量为控制目的,常用的控制方法为阀门控制法和转速控制法。阀门控制法是通过调节阀门开启度来调节流量,水泵电机转速保持不变。其实质是通过改变水路中的阻力大小来改变流量,因此,管阻的特性将随着阀门开启度的改变而改变,但其扬程特性不变。由于实际用水中,需水量是变化的,若阀门的开启度在一段时间内保持不变,必然要造成超压或欠压现象的出现。转速控制法是通过改变水泵电机的转速来调节流量,而阀门开启度保持不变,是通过改变水的动能改变流量。因此,扬程特性将随水泵转速的改变而改变,但管阻的特性不变。变频调速供水方式属于转速控制^[8]。其工作原理是根据用户用水量的变化自动地调整水泵电机的转速,使管网压力始终保持恒定,当用水量增大时电机加速,用水量减小时电机减速。

用阀门控制时,若供水量高峰期水泵工作在 E 点,流量为 Q_1 ,扬程为 H_0 ,当供水量从 Q_1 减小到 Q_2 时,必须关小阀门,这时阀门的摩擦阻力变大,阻力曲线从 β_3 移到 β_1 ,扬程特性曲线不变。而扬程则从 H_0 上升到 H_1 ,运行的工况点从 E 点移到 F 点,此时水泵输出功率用图形表示为 $(0, Q_2, F, H_1)$ 围成矩形部分,其值为:

$$P_d = \frac{rH_1Q_2}{102\eta} \quad (2.4)$$

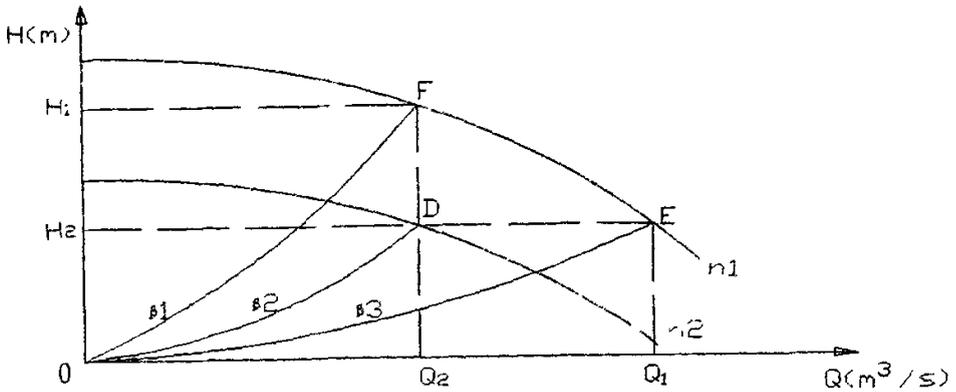


图 2.2 管网及水泵的运行特征曲线

Fig.2.2 Network and pumps operating characteristic curve

当用调速控制时,若采用恒压(H_0)、变速泵(n_2)供水,管阻特性曲线为 β_2 ,扬程特性变为曲线 n_2 ,工作点从 E 点移到 D 点。此时水泵输出功率用图形表示为($0, Q_2, D, H_0$)围成的矩形面积,其值为:

$$P_f = \frac{rH_0Q_2}{102\eta} \quad (2.5)$$

可见,改用调速控制,节能量为(H_0, D, F, H_1)围成的矩形面积,其值为:

$$\Delta P = P_f - P_d = \frac{rH_1Q_2}{102\eta} - \frac{rH_0Q_2}{102\eta} = \frac{r(H_1 - H_0)Q_2}{102\eta} \quad (2.6)$$

所以,当用阀门控制流量时,有功率被浪费掉,并且随着阀门不断的关小,阀门的摩擦阻力不断变大,管阻的特性曲线上移,运行工况点也随之上移,于是 H_1 增大,而被浪费的功率要随之增加。

根据水泵变速运行的相似定律,变速前后流量 Q 、扬程 H 、功率 P 与转速 N 之间的关系为:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{n_2}{n_1}; \frac{H_2}{H_1} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2; \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3; \quad (2.7)$$

式中, Q_1, H_1, P_1 为变速前的流量、扬程、功率, Q_2, H_2, P_2 为变速后的流量、扬程、功率。

由公式(2.7)可以看出,功率与转速的立方成正比,流量与转速成正比,损耗功率与流量成正比,所以调速控制方式要比阀门控制方式供水功率要小得多,节能效果显著。

3 恒压供水的理论分析及方案设计

3.1 供水压力和变频器输出频率的关系

在变频恒压供水系统中，供水压力是通过变频器输出频率的控制来实现的。确定供水压力和输出频率的关系是设计控制环节控制策略的基础，是确定控制算法的依据。

自来水二次加压泵站所采用的水泵是离心泵，它是通过装有叶片的叶轮高速旋转来完成对水流的输送，也就是通过叶轮高速旋转带动水流高速旋转，靠水流产生的离心力将水流甩出去。离心泵也因此得名。在给水处理工程中，从使用水泵的角度来看，水泵的工作必然要和管路系统以及许多外界条件联系在一起。在给水处理工程中，把水泵配上管路以及一切附件后的系统称为“装置”，在控制系统的设计中，真正对系统的分析和设计有价值的也是这种成为系统的装置，而不是单单的孤立水泵。水泵装置如图 3.1 所示。

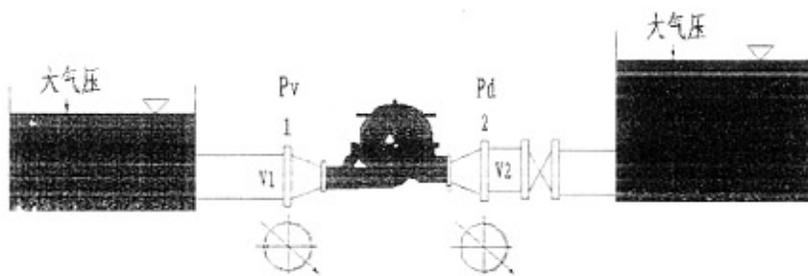


图 3.1 离心泵装置

Fig.3.1 Centrifugal Pump

在水泵机构和理论中，有一些评价水泵性能的性能参数，这里把与本文研究有关的几个参数列举如此：

扬程(H)：单位重量液体通过水泵后的能量的增量

流量(Q)：水泵在单位时间内所输送的水体体积

轴功率(N)：原动机输给水泵的功率成为水泵的轴功率

效率(η)：水泵的有效功率和轴功率之比，其中有效功率是指单位时间内通过水泵的液体从水泵那里得到的能量

转速(n)：水泵叶轮的转动速度

根据水泵理论，在图 3.1 中，

$$H = \Delta Z + \frac{P_d + P_v}{r} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} \quad (3.1)$$

其中, P_v : 真空表读数(公斤/厘米)

P_d : 压力表读数(公斤/厘米)

r : 水的单位容积重量

ΔZ : 水泵出水口测量点与进水口测量点位置差造成的附加扬程

$\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g}$: 水泵出水口与进水口的动能增量转化的扬程

由于水泵在送水的过程中, 清水池水位一般高于水泵的测量点, 所以不存在进水口抽真空, 所以在进水口的真空值为 0。水泵进水口与出水口都沿水平方向放置, 位置差为 0。水泵在正常工作时, 动能的变化相对比较小。考虑到这些具体情况, 上式可以改写为:

$$H \approx \frac{P_d}{r} \quad (3.2)$$

水泵的轴功率为:

$$N = \frac{rQH}{\eta} \quad (3.3)$$

把扬程的表达式代入上式, 得:

$$H \approx \frac{QP_d}{\eta} \quad (3.4)$$

水泵是与一台交流感应电机相连, 由电机带动其运行的, 电机的转速与水泵的转速相同, 电机的输出有效功率与水泵的轴功率相等。在电机理论中, 感应电机的机械功率 P_m 为:

$$P_m = \frac{m_1 U_1^2 \frac{R_2}{s}}{(R_1 + \frac{R_2}{s})^2 + (X_{1s} + X_{2s})^2} \quad (3.5)$$

在变频调速时, 由于磁通 ϕ_m , 不变, 从电机公式

$$\frac{U_1}{f_1} \approx \frac{E_1}{f_1} = 4.44NK_w \phi_m \quad (3.6)$$

可以看出, 要使主磁通 ϕ_m , 保持不变, 则 U_1 / f_1 必须保持不变。因此在变频调速过程中, 电压应该与频率成正比例变化, 设

$$U_1 = K_u f_1 \quad (3.7)$$

带入式(3.5)得:

$$P_m = \frac{m_1 k_u^2 \frac{R_2}{s} f_1^2}{(R_1 + \frac{R_2}{s})^2 + (X_{1\sigma} + X_{2\sigma})^2} \quad (3.8)$$

根据能量守恒定律, 有

$$N = \eta P_m \quad (3.9)$$

其中, η 为电机的效率。所以, 水泵装置在变频调速的工作状态下运行时, 有

$$\frac{Q P_d}{\eta} = \eta \frac{m_1 k_u^2 \frac{R_2}{s} f_1^2}{(R_1 + \frac{R_2}{s})^2 + (X_{1\sigma} + X_{2\sigma})^2} \quad (3.10)$$

从上式可以看出, 当变频器的输出频率一定的情况下, 当用户用水量增大, 从而 Q 增大时, 压力表的读数将会变小, 即管网的供水压力将会降低。为了保持供水压力, 就必须增大变频器的输出频率以提高水泵机组的转速; 当用户的用水量减小时, Q 减小, 在变频器输出频率不变的情况下, 管网的供水压力将会增大, 为了减小供水的压力, 就必须降低变频器的输出频率。由于用户的用水量是始终在变化的, 虽然在时段上具有一定的统计规律, 但对精度要求很高的恒压控制来讲, 在每一个时刻它都是一个随机变化的值。这就要求变频器的输出频率也要在一个动态的变化之中, 依靠对频率的调节来动态地控制管网的供水压力, 从而使管网中的压力恒定^[10]。

3.2 恒压控制的理论分析

3.2.1 恒压控制的理论模型

对本文提到的变频恒压供水的主要特点进行分析, 我们可以得出如下结论: 变频调速恒压供水系统控制对象是一个变化的、线性的、滞后的、模型稳定的对象。对它的控制仍属于工业过程控制的范畴, 它以供水出口管网水压为控制目标, 在控制上实现出口总管网的实际供水压力跟随设定的供水压力。设定的供水压力可以是一个常数, 也可以是一个时间分段函数, 在每一个时段内是一个常数。所以, 在某个特定时段内, 恒压控制的目标就是使出口总管网的实际供水压力维持在设定的供水压力上。

从恒压供水控制的原理图 3.2 中可以看出, 在系统运行过程中, 如果实际供水压力低于设定压力, 控制系统将得到正的压力差, 这个差值经过计算和转换, 计算出变频器输出频率的增加值, 该值就是为了减小实际供水压力与设定压力的差值, 将这个增量和

变频器当前的输出值相加，得出的值即为变频器当前应该输出的频率。该频率使水泵机组转速增大，从而使实际供水压力提高，在运行过程中该过程将被重复，直到实际供水压力和设定压力相等为止。如果运行过程中实际供水压力高于设定压力，情况刚好相反，变频器的输出频率将会降低，水泵机组的转速减小，实际供水压力因此而减小。同样，最后调节的结果是实际供水压力和设定压力相等^[1]。

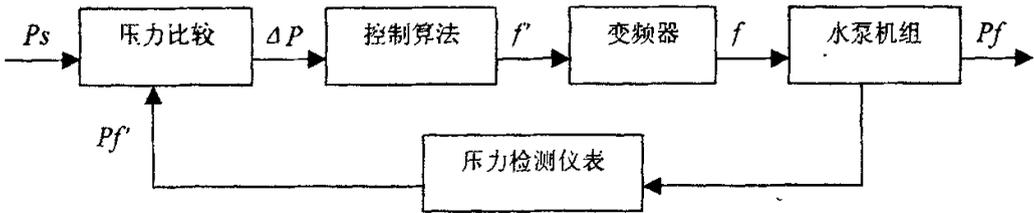


图 3.2 变频恒压控制原理图

Fig.3.2 Frequency constant pressure control diagram map

3.2.2 变频恒压供水的近似数学模型

由于变频调速恒压供水系统的控制对象是一个变化的、线性的、滞后的、模型稳定的对象，我们难以得出它的精确数学模型，只能进行近似等效。

水泵由初始状态开始向管网进行恒压供水，供水管网从初始压力开始启动水泵运行，直到管网压力达到稳定要求时经历两个过程：

(1) 水泵将水送到管网中，这个阶段管网压力基本保持初始压力，这是一个纯滞后的过程；

(2) 水泵将水充满整个管网，压力随之逐渐增加直到稳定，这是一个大时间常数的惯性过程。

系统中其他控制和检测环节，例如变频环节、继电控制的转换、压力检测等的时间常数和滞后时间与供水系统的时间常数和滞后时间相比，可忽略不计，均可等效为比例环节。因此，恒压供水系统的数学模型可以近似成一个带有纯滞后的一阶惯性环节，即可以写成：

$$G(S) = \frac{Ke^{-\tau s}}{Ts + 1} \quad (3.11)$$

式中： K 为系统的总增益， T 为系统的惯性时间常数， τ 为系统的滞后时间。

3.3 变频恒压供水系统的构成及工作原理

3.3.1 变频恒压供水控制系统控制方案的设计与选择

从上一节变频恒压供水的原理分析可知,该系统主要有压力传感器、压力变送器、变频器、恒压控制单元、水泵机组以及低压电器组成的闭环控制系统。系统主要的设计任务是利用恒压控制单元使变频器控制一台水泵或循环控制多台水泵,实现管网水压的恒定和水泵电机的软启动水泵以及变频水泵与工频水泵的切换^[12],同时还要能够对于运行数据进行传输。根据系统的设计任务要求,结合系统不同的使用场所,有以下几种方案可供选择:

(1)通用变频器+水泵机组

这种控制系统结构简单,用于变化不大且来水正常的小流量小容量的系统,前期投入成本低,比较经济实用。

(2)有供水基板的变频器+水泵机组+压力传感器

这种控制系统结构简单,它将PID调节器和PLC可编程控制器等硬件集成在变频器供水基板上,通过设置指令代码实现PLC和PID等电控系统的功能。它虽然说微化了电路结构,降低了设备成本,但在压力设定和压力反馈值的显示比较麻烦,无法自动实现不同时段的不同恒压要求,在调试时,PID调节参数寻优困难,调节范围小,系统的稳态、动态性能不易保证。其输出接口的扩展功能缺乏灵活性,数据通信困难,并且限制了带负载的容量,因此仅适用于要求不高的小容量场合^[13]。

(3)通用变频器+单片机(包括变频控制、调节器控制)+人机界面+压力传感器

这种方式控制精度高、控制算法灵活、参数调整方便,具有较高的性能价格比,但开发周期长,程序一旦固化,修改较为麻烦,因此现场调试的灵活性差,同时变频器在运行时,将产生干扰,变频器的功率越大,产生的干扰越大,所以必须采取相应的抗干扰措施来保证系统的可靠性。该系统适用于某一特定领域的小容量的变频恒压供水。

(4)通用变频器+PLC(包括变频控制、调节器控制)+人机界面+压力传感器

这种控制方式灵活方便,具有良好的通信接口,可以方便地与其他系统进行数据交换;系统通用性强,由于PLC产品的系列化和模块化,用户可灵活组成各种规模和要求不同控制系统。在硬件设计上,只需确定PLC的硬件配置和I/O的外部接线,当控制要求发生改变时,可以方便地通过PC机来改变存储器中的控制程序,所以现场调试方便。同时由于PLC的抗干扰能力强、可靠性高,因此系统的可靠性大大提高。因此该系统能适用于各类不同要求的恒压供水场合,并且与供水机组的容量大小无关。

通过对以上这几种方案的比较和分析,可以看出“变频器主电路+ PLC(包括变频控制、调节器控制)+人机界面+压力传感器”的控制方式更适用于本系统。这种控制方案既有扩展功能灵活方便、便于数据传输的优点,又能达到系统稳定性及控制精度的预期要求。

3.3.2 变频恒压供水系统的构成

由于本文的供水系统要适用生活用水、工业用水以及消防等多种场合的供水要求,我们以四台水泵(三台主水泵和一台附属小水泵)组成的供水系统为例,其原理框图如图 3.3 所示^[14]。

从原理框图,我们可以看出变频调速恒压供水系统由执行机构、信号检测、控制系统、人机界面、通讯接口以及报警装置等部分组成。

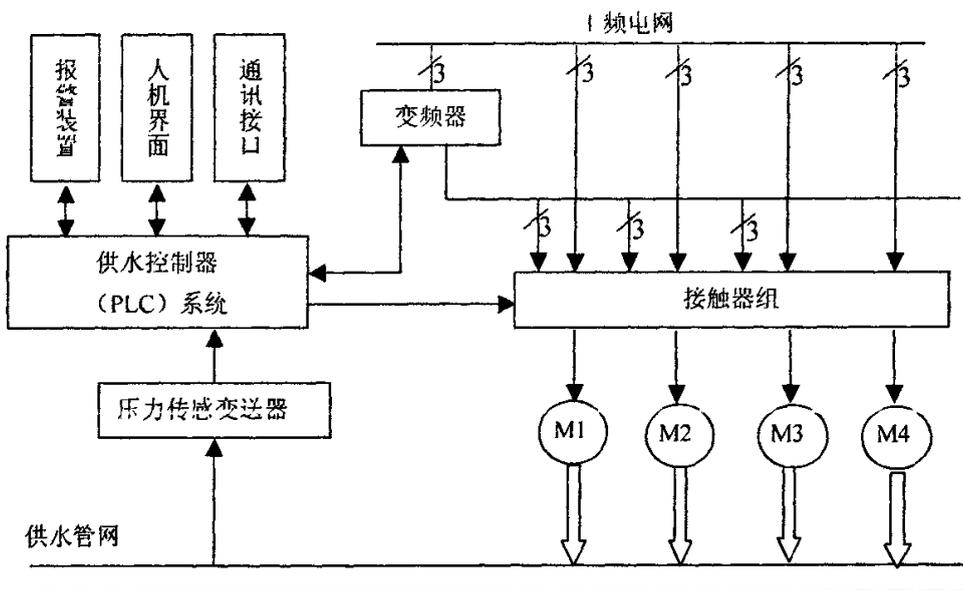


图 3.3 变频恒压供水系统组成原理框图

Fig.3.3 Frequency constant pressure control system diagram map

(1) 执行机构

执行机构是由一组水泵组成,它们用于将水供入用户管网,图 3.3 中的 4 个水泵分为三种类型:

调速泵:是由变频调速器控制、可以进行变频调整的水泵,用以根据用水量的变化改变电机的转速,以维持管网的水压恒定。

恒速泵:水泵运行只在工频状态,速度恒定,它们用以在用水量增大而调速泵的最大供水能力不足时,对供水量进行定量的补充。当水泵采用循环的控制方式时,M1、M2、M3既可以作调速泵,也可以作为恒速泵,如果水泵采用固定的控制方式时,M1、M2、M3中只有一台可以调速泵,其余两台作为恒速泵。

附属小泵:它只运行于启、停两种工作状态,用以在用水量很小的情况下(例如:夜间)对管网用水量进行少量的补充。系统中使用附属小泵的原因在于变频器暂时无法在实际使用中实现其恒压供水,尤其是夜间和管网有小流泄压现象时会出现超压或断流。

在变频调速恒压供水系统中,这样构成水泵组有以下几个原因:

①用几个小功率的水泵代替一台大功率的水泵,使水泵选型容易,同时这种结构更适合于大功率的供水系统。

②供水系统的增容和减容容易,不需要更换水泵,只要再增加恒速水泵即可。

③以小功率的变频器代替大功率的变频调速器,以降低系统投入成本,增加系统运行可靠性。

④附属小泵的加入,使系统在用水量很低时(如:夜间)可以停止所有的主水泵,用小水泵进行补水,降低系统的运行噪音。

⑤在用水量不太大时,系统中不是所有的水泵在运行,这样可以提高水泵的运行寿命,同时降低系统的功耗,达到节能的目的。

对于多泵并联的母管制供水系统,既要保证恒压供水,又要实现经济调度,一般均采用如下的设计原则:多泵并联,大小泵结合,调速泵保证管网压力,水泵台数的增减保证流量,小泵实现小流量保压。

其具体方案如下:

①一般不用一台大泵,宁可用多台小泵,这样有利于经济调度。

②调速泵为主泵,流量最大,扬程要比其他水泵高出30%-50%,有利于扩大调速效果,只能在超过实际压力的富裕扬程内调节流量,大大的制约其调节范围。

③定速泵的选择可以采用相同扬程,不同流量的泵,这样也有利于经济调度。

④为了进行小流量的保压(例如深夜),系统中有一台小流量的泵。

⑤调速泵采用变频器调速,一备一用的固定拖动不进行切换操作。水泵检修时可采用冷切换方式暂时切换到其他泵上做调速运行。

⑥其他泵可采用一台软启动器或用PLC实现循环软启动操作。

变频器与工频电网之间的相互切换问题,使用冷切换是最简单、最安全的切换方式,但是它只能用于可以分为异步切换和同步切换两种方式。目前流行的多泵恒压供水系统变频循环软启动控制方案都采用异步切换的方式,因此就不可避免地会产生过大的电流

冲击和机械转矩冲击,导致供电系统的保护跳闸和设备的损坏,也不可避免地会引起供水系统的压力和流量的扰动。

(2) 信号检测

在系统控制过程中,需要检测的信号包括来水出水水压信号、液位信号和报警信号:

①水压信号:它反映的是用户管网的水压值,它是恒压供水控制的主要反馈信号。此信号是模拟信号,读入 PLC 时,需进行 A/D 转换。另外为加强系统的可靠性,还需对供水的上限压力和下限压力用电接点压力表进行检测。检测结果可以送给 PLC,作为数字量输入,在来水不足和出水超压(电接点压力表控制)时控制水泵的启动与停止。

②液位信号:它反映水泵的进水水源是否充足。信号有效时,控制系统要对系统实施保护控制,以防止水泵没水空抽而损坏电机和水泵。此信号来自安装在水源处的液位传感器或电接点压力表。

③报警信号:它反映系统是否正常运行,水泵电机是否过载、变频器是否有异常,是否有溢流现象(地下室用),该信号为开关量信号。

(3) 控制系统

供水控制系统一般安装在供水控制柜中,包括供水控制器(PLC 系统)、变频器和电控设备三个部分。

①供水控制器:它是整个变频恒压供水控制系统的核心。供水控制器直接对系统中的工况、压力、液位、报警信号进行采集,对来自人机接口和通讯接口的数据信息进行分析、实施控制算法,得出对执行机构的控制方案,通过变频调速器和接触器对执行机构(即水泵)进行控制。

②变频器:它是对水泵进行转速控制的单元。变频器跟踪供水控制器送来的控制信号改变调速泵的运行频率,完成对调速泵的转速控制。根据水泵机组中水泵被变频器拖动情况不同,变频器有两种工作方式:

变频循环式:变频器拖动某一水泵作为调速泵,当这台水泵运行在 50Hz 时,其供水量仍不能达到用水要求,需要增加水泵机组时,系统先将变频器从该水泵电机中脱出,将该泵切换为工频的同时用变频去拖动另一台水泵电机。

变频固定式:变频器拖动某一水泵作为调速泵,当这台水泵运行在 50Hz 时,其供水量仍不能达到用水要求,需要增加水泵机组时,系统直接启动另一台恒速水泵,变频器不做切换,变频器固定拖动的水泵在系统运行前可以选择。

③电控设备:它是由一组接触器、保护继电器、转换开关等电气元件组成。用于在供水控制器的控制下完成对水泵的切换、手/自动切换及就地/远控等工作。

(4) 人机界面

人机界面是人与机器进行信息交流的场所。通过人机界面,使用者可以更改设定压力,修改一些系统设定以满足不同工艺的需求,同时使用者也可以从人机界面上得知系统的一些运行情况及设备的工作状态。人机界面还可以对系统的运行过程进行监视,对报警进行显示。

(5) 通讯接口

通讯接口是本系统的一个重要组成部分,通过该接口,系统可以和组态软件以及其他的工业监控系统进行数据交换;同时通过通讯接口,还可以将现代先进的网络技术应用到本系统中来,例如可以对系统进行远程的诊断和维护等。

(6) 报警装置

作为一个控制系统,报警是必不可少的重要组成部分。由于本系统能适用于不同的供水领域,所以为了保证系统安全、可靠、平稳的运行,防止因电机过载、变频器报警、电网过大波动、供水水源中断、出水超压、泵站内溢水等等造成的故障,因此系统必须要对各种报警量进行监测,由 PLC 判断报警类别,进行显示和保护动作控制,以免造成不必要的损失^[5]。

3.3.3 变频恒压供水系统的控制流程

整个变频恒压供水控制系统要根据检测到的输入信号的状态、按照系统的控制流程、通过变频调速器和执行元件对水泵组进行控制实现恒压供水目的。其需要完成的控制流程如图 3.4 所示:

现将流程图说明如下:

(1) 系统上电,按照接收到有效的自控系统启动信号后,首先启动变频器拖动水泵 M1(可以是 M2, M3, 这里以 M1 为例),通过恒压控制器,根据用户管网实际压力和设定压力的误差调节变频器的输出频率,控制 M1 的转速,当输出压力达到设定值,其供水量与用水量相平衡时,转速才稳定到某一定值,这期间 M1 工作在调速运行状态。

(2) 当用水量增加水压减小时,通过压力闭环和恒压控制器,增加水泵的转速到另一个新的稳定值,反之,当用水量减少水压增加时,通过压力闭环和恒压控制器,减小水泵的转速到另一个新的稳定值。

(3) 当用水量继续增加,变频器的输出频率达到上限频率 50Hz 时,若此时用户管网的实际压力还未达到设定压力,并且满足增加水泵的条件(在下一节有详细的阐述)时,在变频固定式的控制方式下,系统将变频器的输出的频率降为下限频率的同时开启一台恒速水泵。在变频循环式的控制方式下,系统将电机 M1 切换到工频电网供电后, M1 恒速运行,同时使第二台水泵 M2 投入变频器并变速运行,系统恢复对水压的闭环

调节,直到水压达到设定值为止。如果用水量继续增加,满足增加水泵的条件,将继续发生如上转换,并有新水泵投入并联运行。当最后一台水泵 M3 投入运行,变频器输出频率达到上限频率 50Hz 时,压力仍未达到设定值时,控制系统就会发出水压超限报警。

(4) 当用水量下降水压升高,变频器的输出频率降至下限频率,用户管网的实际压力水压仍高于设定压力值,并且满足减少水泵的条件(在下一节有详细的阐述)时,系统将先运行的那台恒速水泵关掉,恢复对水压的闭环调节,使压力重新达到设定值。当用水量继续下降,并且满足减少水泵的条件(在下一节有详细的阐述)时,将继续发生如上转换,直到剩下一台变频泵运行为止。

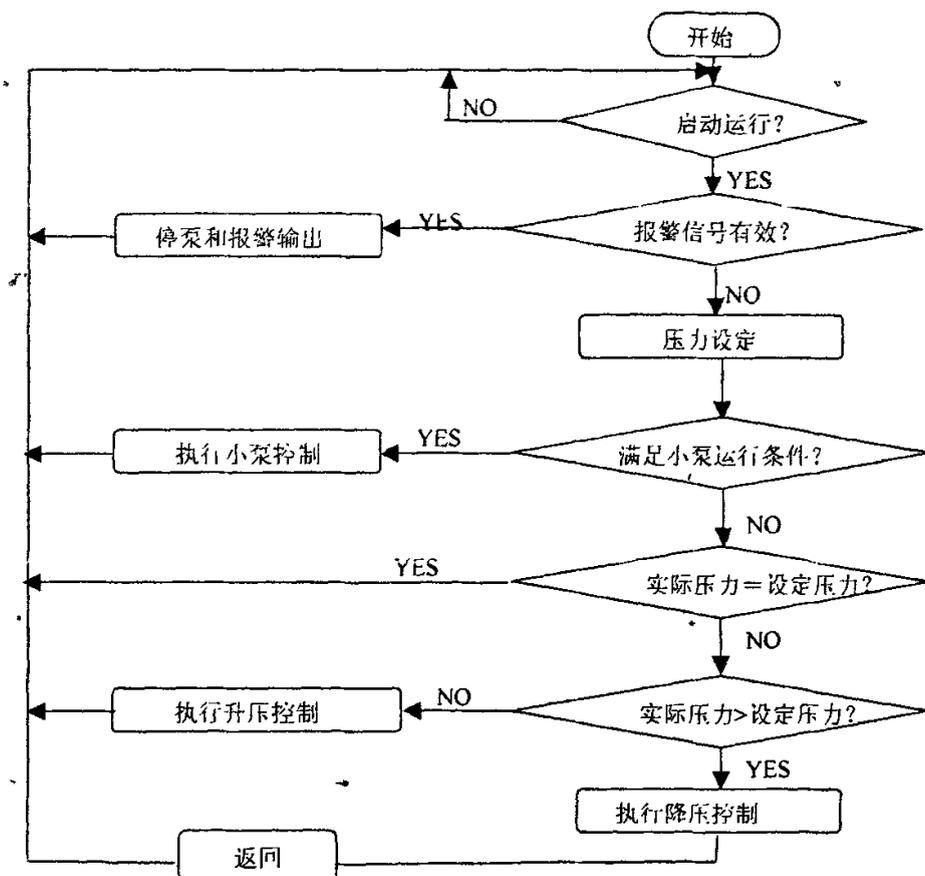


图 3.4 变频恒压供水系统控制流程图

Fig.3.4 Frequency constant pressure control Process diagram map

(5) 当系统中只有调速泵在工作,而调速泵的运行频率已降至下限频率时,且满足关泵条件,此时关闭调速泵。系统进入靠附属小泵进行少量补水的状态。在这种情况下,若实际压力低于设定压力,则延时后再开启附属小泵进行补水,附属小泵开启后,若实

际压力高于附属小泵的工作压力(设定压力+附属小泵开、停压力误差),则关掉附属小泵。等到实际压力再次低于设定压力后,重复上述过程。在附属小泵开启后,压力达不到设定压力,则经过一定的延时后,关掉附属小泵,开启调速泵进行控制,工作过程同第 2, 3, 4 步骤^[16]。

3.3.4 变频恒压供水系统中加减水泵的条件分析

在上面的工作流程中,我们提到当一台调速水泵已运行在上限频率,此时管网的实际压力仍低于设定压力,此时需要增加恒速水泵来满足供水要求,达到恒压的目的;当调速水泵和恒速水泵都在运行且调速水泵已运行在下限频率,此时管网的实际压力仍高于设定压力,此时需要减少恒速水泵来减少供水流量,达到恒压的目的。那么何时进行切换,才能使系统提供稳定可靠的供水压力,同时使机组不过于频繁的切换。

尽管通用变频器的频率都可以在 0-400Hz 范围内进行调节,但当它用在供水系统中,其频率调节的范围是有限的,不可能无限地增大和减小。当正在变频状态下运行的水泵电机要切换到工频状态下运行时,只能在 50Hz 时进行。由于电网的限制以及变频器和电机工作频率的限制,50Hz 成为频率调节的上限频率。当变频器的输出频率已经到达 50Hz 时,即使实际供水压力仍然低于设定压力,也不能够再增加变频器的输出频率了。要增加实际供水压力,正如前面所讲的那样,只能通过水泵机组切换,增加运行机组数量来实现。另外,变频器的输出频率不能够为负值,最低只能是 0Hz。其实,在实际应用中,变频器的输出频率是不可能降低到 0Hz。因为当水泵机组运行,电机带动水泵向管网供水时,由于管网中的水压会反推水泵,给带动水泵运行的电机一个反向的力矩,同时这个水压也在一定程度上阻止源水池中的水进入管网,因此,当电机运行频率下降到一个值时,水泵就已经抽不出水了,实际的供水压力也不会随着电机频率的下降而下降。这个频率在实际应用中就是电机运行的下限频率。这个频率远大于 0Hz,具体数值与水泵特性及系统所使用的场所有关,一般在 20Hz 左右。由于在变频运行状态下,水泵机组中电机的运行频率由变频器的输出频率决定,这个下限频率也就成为变频器频率调节的下限频率。

从上面的分析可以看出,当变频器的输出频率已经到达上限频率,而实际的供水压力仍然低于设定压力时,存在的实际供水压力差已经不能够使输出频率增大,实际供水压力也不会提高。当变频器的输出频率已经下降到下限频率,实际的供水压力却仍高于设定的供水压力时,存在的压力差不会使输出频率继续降低,实际的供水压力也不会降低。所以,选择这两个时刻作为水泵机组切换的时机是合理的,但要做以下考虑。

首先把上面的判别条件简写如下:

$$f = f_{up} \quad P_s > P_f \quad (3.12)$$

$$f = f_{low} \quad P_s < P_f \quad (3.13)$$

式中： f_{up} :上限频率， f_{low} :下限频率， P_s :设定压力， P_f :反馈压力。

对于第一个判别条件，可能出现这种情况：输出频率达到上限频率时，实际供水压力在设定压力上下波动。在这种情况下，如果按照上面的判别条件，只要条件一旦满足就进行机组切换，很可能由于新增加了一台机组运行，供水压力一下就超过了设定压力。并且使新投入运行的机组几乎在变频器输出频率的下限运行，对供水作用很小。在极端的情况下，运行机组增加后，实际供水压力超过设定供水压力，而新增加的机组在变频器的下限频率运行，此时又满足了机组切换的停机条件，需要将一个在工频状态下运行的机组停掉。假设这一段时间内用户的用水状况保持不变（其实在一个稳定的供水时段可以看作这种情况），那么按照要求停掉了一个工频状态下运行的机组之后，机组的整体运行情况与增加运行机组之前完全相同。可以预见，如果用水状况不变，供水泵站中的所有能够自动投入切换的机组将一直这样投入、切出，一再投入、一再切出地循环下去。这增加了机组切换的次数，使系统一直处于不稳定的状态之中。同时，在切换过程和变频器从启动到稳定的过程中，系统的供水情况是不稳定的，实际供水压力也会在很大的压力范围内震荡。这样的工作状态既无法提供稳定可靠的供水压力，也使得机组由于相互切换频繁而增大磨损，减少运行寿命。

对于第二个判别条件，通过相同的讨论方法也能够同样得到类似的结论。所以，在实际应用中，应当在确实需要机组进行切换的时候才进行机组的切换。相应的判别条件是通过上面两个判别条件的修改得到的，其实质就是增加了回滞环^[15]的应用和判别条件的延时成立。

在恒压供水中，机组的切换为机组增加与机组减少两种情况，这两种情况由于变频器输出频率与供水压力的不同逻辑关系相对应。考虑到只有当变频器的输出频率在上下限频率时才可能发生切换，并且上限频率时不可能减泵，下限频率时也不可能增泵，所以，可以采用回滞环思想进行判别如图 3.5 表示。即：如果变频器的输出为上限频率，则只有当实际的供水压力低或者比设定压力小 $\Delta P_d/2$ 的时候才允许进行机组增加；如果变频器的输出为下限频率，则只有当实际的供水压力高于比设定压力大 $\Delta P_d/2$ 的时候才允许进行机组的增加。

回滞环的应用提供了这样一个保障，即如果切换的判别条件满足，那就说明此时实际供水压力在当前机组的运行状况下满足不了设定的要求。但这个判别条件的满足也不

能够完全证明当前确实需要进行机组切换，因为有两种情况的出现可能使判别条件的成立有问题：

- (1) 实际供水压力超调的影响
- (2) 现场的干扰使实际压力的测量值有尖峰

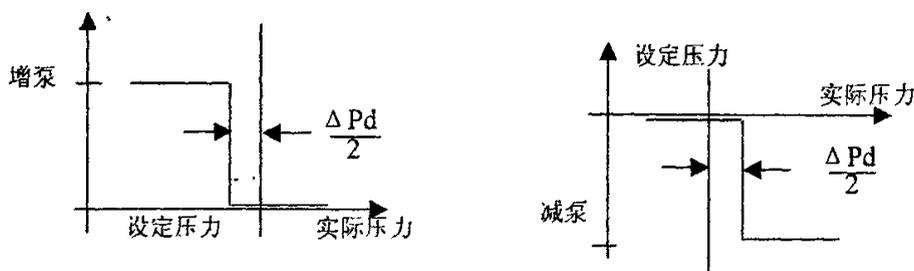


图 3.5 用压力判断的回滞环
Fig.3.5 The hysteresis for pressure estimation

这两种情况都可能使机组切换的判别条件在一个比较短的时间内满足，造成判断上的失误，引起机组切换的误操作。这两种情况有一个共同的特点，即他们维持的时间短，只能够使机组切换的判别条件在一个瞬间满足。根据这个特点，在判别条件中加入延时的判断就显得尤为必要了。

所谓延时判别，是指系统仪满足频率和压力的判别条件是不够的，如果真的要要进行机组切换，切换所要求的频率和压力的判别条件必须成立并且能够维持一段时间，比如 1-2 分钟，如果在这一段延时的时间内切换条件仍然成立，则进行实际的机组切换操作；如果切换条件不能够维持延时时间的要求，说明判别条件的满足只是暂时的，如果进行机组切换将可能引起一系列多余的切换操作。

经过上面的讨论，将实际的机组切换的实际条件定为：

$$\text{增泵条件: } f = f_{up} \quad P_s > P_f - \frac{\Delta P_d}{2} \quad \text{并且延时判别成立}$$

$$\text{减泵条件: } f = f_{low} \quad P_s < P_f + \frac{\Delta P_d}{2} \quad \text{并且延时判别成立}$$

3.5 本章小结

本章首先分析了调节变频器的频率，可以实现供水管网中压力的恒定；给出了恒压供水的理论模型及近似的数学模型。选择变频恒压供水的方案，指出变频恒压供水系统的构成，给出了变频恒压供水的控制流程及工作原理；最后分析了在变频恒压供水系统中，水泵机组增加和减少的条件。

4 变频恒压供水的控制

变频恒压供水系统的核心是恒压控制，它是根据水压给定值与供水管道中实际压力值的压差大小，控制变频器输出频率，使变频器实时调节水泵电机的转速以适应管路中压力的变化。PID 控制和模糊控制（本文不涉及）是目前使用的两种主要方法。

4.1 PID 控制器的设计

PID 控制方式是现代工业控制中应用的最广泛的反馈控制方式之一。它的原理如图 4.1 所示

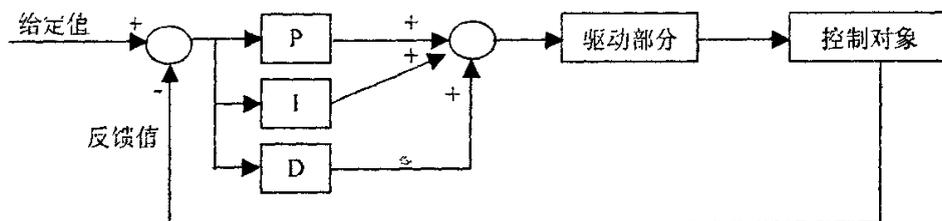


图 4.1 PID 控制原理图

Fig.4.1 PID control diagram map

通过对被控制对象的传感器等检测控制量(反馈量)，将其与目标值(温度、流量、压力等设定值)进行比较。若有偏差，则通过此功能的控制动作使偏差为零。也就是使反馈量与目标值相一致的一种通用控制方式。它比较适用于流量控制、压力控制、温度控制等过程量的控制。在恒压供水常见的 PID 控制器的控制形式主要有两种：

(1) 硬件型，即通用 PID 控制器，在使用时只需要进行线路的连接和 P, I, D 参数及目标值的设定。如富士 PXW9/11 型通用 PID 控制器。

(2) 软件型，使用离散形式的 PID 控制算法在可编程序控制器(或单片机)上做 PID 控制器^[17]。

4.1.1 PID 控制算法及特点

(1) PID 控制算法的一般形式

PID 控制器根据目标值(设定值) $r(t)$ 与反馈值(测量值) $c(t)$ 构成的控制偏差：

$$e(t)=r(t)-c(t) \quad (4.1)$$

将偏差的比例(P)、积分(I)和微分(D)通过线性组合构成控制量，对受控对象进行控制。其控制规律为：

$$U(t)=K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (4.2)$$

$$\text{或 } U(t)=\frac{1}{\delta} \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (4.3)$$

式中, K_p : 调节器的比例系数 T_i : 调节器的积分时间

K_d : 调节器的微分时间 $e(t)$: 调节器的偏差信号

δ : 比例带, 它是惯用增益的倒数 U : 输出

简单来说, Pm 控制器各校正环节的作用是这样的:

①比例环节:即时成比例地反应控制系统的偏差信号 $e(t)$, 偏差一旦产生, 控制器立即产生控制作用以减小误差。

②积分环节:主要用于消除静差, 提高系统的无差度, 积分作用的强弱取决于积分时间常数 T_i , T_i 越大, 积分作用越弱, 反之则越强。

③微分环节:能反应偏差信号的变化趋势(变化速率), 并能在偏差信号值变得太大之前, 系统中引入一个有效的早期修正信号, 从而加快系统的动作速度, 减小调节时间。PID 调节器的传递函数是:

$$GC(s)=\frac{1}{\delta} \left[1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right] \quad (4.4)$$

当上述控制算法公式只包含第一项时, 称为比例(P)作用, 只包含第二项时, 称为积分(I)作用;但只包含第三项的单纯微分(D)作用是不采用的, 因为它不能起到使被控变量接近设定值的效果, 只包含第一、二项的是 PI 作用;只包含第一、三项的是 PD 作用;同时包含这三项的是 PID 作用。

仅用 P 动作控制, 不能完全消除偏差。为了消除残留偏差, 一般采用增加 I 动作的 P+I 控制。用 PI 控制时, 能消除由改变目标值和经常的外来扰动等引起的偏差。但是, I 动作过强时, 对快速变化偏差响应迟缓。对有积分元件的负载系统可以单独使用 P 动作控制。

对于 PD 控制, 发生偏差时, 很快产生比单独 D 动作还要大的操作量, 以此来抑制偏差的增加。偏差小时, P 动作的作用减小。控制对象含有积分元件的负载场合, 仅 P 动作控制, 有时由于此积分元件的作用, 系统发生振荡。在该场合, 为使 P 动作的振荡衰减和系统稳定, 可用 PD 控制。换言之, 该种控制方式适用于过程本身没有制动作用的负载。

利用 I 动作消除偏差作用和用 D 动作抑制振荡作用, 在结合 P 动作就构成了 PID 控制, 本系统就是采用了这种方式。采用 PID 控制较其它组合控制效果要好, 基本上能获得无偏差、精度高和系统稳定的控制过程。这种控制方式用于从产生偏差到出现响应需要一定时间的负载系统(即实时性要求不高, 工业上的过程控制系统一般都是此类系统, 本系统也比较适合 PID 调节)效果比较好^[18]。

(2) 离散 PID 控制算法

① 离散 Pm 控制算法

在用计算机、单片机、PLC 等作为控制装置进行直接数字控制(DDC)时, 对各个被控制变量的处理在时间上是离散进行的。DDC 控制方式的特点是采样控制, 每个被控制变量的测量值隔一定时间与设定值比较一次, 按照预定的控制算法得到输出值, 通常把它保留到下一采样时刻^[19]。

目前离散 PID 控制算法主要有两类, 第一类叫做位置式算法, 即对 4.2 式进行差分后直接给出 $u(k)$, 第二类叫做增量算法, 给出:

$$\Delta u(k) = u(k) - u(k-1) \quad (4.5)$$

位置算法如下:

$$u(k) = K_p \left[e(k) + \frac{T}{T_i} \sum_{j=0}^k e(j) + \frac{T_d}{T} [e(k) - e(k-1)] \right] \quad (4.6)$$

上式可改写为:

$$u(k) = K_p \left[e(k) + K_i \sum_{j=0}^k e(j) + K_d [e(k) - e(k-1)] \right] \quad (4.7)$$

增量算法如下:

$$\begin{aligned} u(k) &= u(k) - u(k-1) \\ &= K_p [e(k) - e(k-1)] + K_i e(k) + K_d [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \end{aligned} \quad (4.8)$$

上面的各式中:

$e(k)$: 第 k 次采样时的误差值;

$e(k-1)$: 第 $k-1$ 次采样时的误差值;

$K_i = K_p T / T_i$: 积分系数;

$K_d = K_p T_d / T$: 微分系数;

T : 采样周期

K_p : 比例系数

为方便编程, 将(4.8)整理为:

$$\Delta u(k) = q_0 e(k) + q_1 e(k-1) + q_2 e(k-2) \quad (4.9)$$

$$q_0 = K_p \left(1 + \frac{T}{T_i} + \frac{T_d}{T} \right) \quad (4.10)$$

$$q_1 = -K_p \left(1 + \frac{2T_d}{T} \right) \quad (4.11)$$

$$q_2 = K_p \frac{T_d}{T} \quad (4.12)$$

(3) 离散 PID 控制特点

把离散的 PID 算法与模拟的 PID 算法相比较, 它具有如下优点:

- ① P, I, D 三个作用是独立的, 可以分别整定, 没有调节器参数间的关联问题, 不需要考虑干扰系数。
- ② 在用计算机、单片机或 PLC 实施时, 等效的 T_i 和 T_d 可以在更大的范围内自由选择, 但在模拟式调节器中, 由于线路和元件性能上的限制, 可调范围要小得多。
- ③ 积分和微分控制作用的某些改进, 较之常规调节器更为灵活多变。

考虑到离散的 PID 具有以上的优点, 同时结合本文研究的恒压供水系统具有开放数据通讯功能、良好的人机界面以及高的性价比等特点, 采用离散的 PID 对水压进行恒定控制。

4.1.2 PID 参数整定的相关原则

针对一个具体的系统, 设置和调整 PID 参数, 使调节过程达到满意的品质, 称为参数整定, 不管是用常规调节器还是数字 PID 调节器, 统称为调节器参数整定。下面简单列举一些准则:

(1) 如果广义对象的传递函数是 $K_0 e^{-s\tau_0} / (T_0 s + 1)$, 调节器的比例增益是整个系统的总的开环增益是 $K_0 k_c$ 。在其他因素相同的情况下, 当 K_0 大的时候, k_c 应该小一些, K_0 小的时候, k_c 应该大一些。例如, 变更了变送器的量程以后, 调节器的 k_c 应该成比例调整。若控制系统压力变送器的测量范围原为 0-1.6MPa, 如改为 0-1.0MPa, k_c 应降为原来的 3/5。

(2) 在动态参数方面, 可取 τ_0 / T_0 作为特征值。 τ_0 / T_0 越大, 系统越不易稳定, 因此 k_c 应该小一些。同时, T_i 和 T_d 也应取适当的数值。经验上常取 T_i 为 2τ 左右, T_d 为 0.5τ 左右。因此, 如有 τ 的估计值, T_i 和 T_d 值就不难定出了。

(3) 在 P, I, D 三个作用中, P 作用往往是最基本的控制作用。由这一点出发, 可从两条途径之一进行现场凑试:

①先用单纯的P作用，选出合适的 k_c 值，作为基础，然后适当引入 T_i 和 T_d ， T_i 和 T_d 值进行挑选。

②依据经验知识(如对 τ 的了解)，把 T_i 和 T_d 置于合适的数值，然后主要对 k_c 值进行凑试，得出最合宜的数值。

以上两条途径表面上看来截然相反，但它们都是以承认P作用为主体作为前提的。

(4)积分(I)作用的引入既有利又有弊。必须尽量发挥它能消除静差的利，尽量缩小它不利于稳定的弊。一般取 $T_i=2\tau$ 或 $T_i=(0.5-1)T_p$ (T_p 是振荡周期)在以上情况下，由I作用引起的相位滞后不超过40度，幅值比增加不超过20%。即使如此，在引入I作用后， k_c 应比单纯P作用时减小10%左右。

(5)对于含有噪音的过程，不宜引入微分作用，否则高频分量放大得很厉害。

(6)在控制品质方面，稳定性的要求是前提。如果只有一个调节器参数可以调整，则只能满足一个品质指示，通常就取衰减比作为指标。如果有两个参数可以调整，可在衰减比之外，再添加一个指标^[20]。

4.1.3 PID 调节现场使用结果及分析

(1)因为变频调速恒压供水系统的控制对象是一个时变的、线性的、滞后的、模型稳定的对象，很难建立精确的数学模型，因而PID参数整定困难，并且最终整定的参数并不一定最优：

(2)调节时间较长，超调量比较大；

(3)存在一定的动态超调；

在一些高要求的用水场所，为了使系统具有更好的控制性能，可以采用另一种现在比较流行的控制算法——模糊控制(本文不涉及)对水压进行分析和控制。

4.3 本章小结

本章阐述了PID控制的工作原理，提出了在变频恒压供水中PID控制器的设计方法，并分析了这种控制方式的特点，为这种控制器的实际使用提供依据。

5 变频恒压供水系统的软硬件设计

5.1 系统的硬件组成及其功能

根据 3.3 节中变频恒压供水系统组成原理框图, 得到该系统的电气控制框图如图 5.1 所示。根据该框图, 系统所需的硬件有:

- ① PLC 及扩展模块
- ② 变频器、水泵机组
- ③ 人机界面
- ④ 软启动器或自耦变压器
- ⑤ 压力传感器、压力变送器、电接点压力表
- ⑥ PLC 用隔离变压器、低压电器以及控制柜

下面逐一对他们进行分析和阐述。

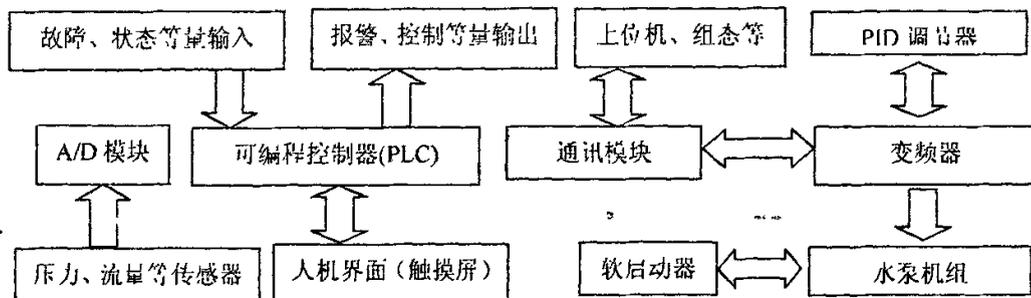


图 5.1 变频恒压供水系统电气控制系统结构图

Fig.5.1 Frequency Constant Pressure water system Electrical Control System Chart

5.1.1 PLC 及其扩展模块分析选择

PLC 是整个变频恒压供水控制系统的核心, 它要完成对系统中所有输入信号的采集、所有输出单元的控制、恒压的实现以及对外的数据交换。因此在选择 PLC 时, 要考虑 PLC 的指令执行速度、指令丰富程度、内存空间、通讯接口及协议、带扩展模块的能力和编程软件的方便与否等多方面因素, 以日本三菱 PLC 为例, 该 PLC 有 FX, A, Q 三大系列, 在 FX 系列中有 FX-1S, FX-1N 和 FX-2N 三种型号, 结合恒压供水系统输入/输出点数不是特别多的特点, 只要选择在本文的控制系统中, 要将压力变送器输出的模拟信号转换成数字量信号, 作为压力反馈值传送到 PLC 的内存中。选择与 FX-1N PLC 相匹配的同为三菱的模拟量输入模块 FX2N-4AD, 以下为它的性能指标:

当系统需要与上位机或别的控制系统进行数据通讯时,按照不同的通讯要求我们可以选择不同的通讯模块。FX-232BD 用来进行 RS232 通讯;FX-485BD 用来进行 RS422 或 RS485 通讯;此外还有与以太网进行连接的接口模块 AJ71E71 与 MAP 网进行连接的接口模块 AJ71M51S1 与 FAIS MAP 网进行连接的接口模块 AJ71MS1M1 等。不同的通信方式,有着不同的成本价格和不同的适用范围。

值得注意的是 FX-1N 系列 PLC 的编程接口采用 RS-422 标准,而计算机的串行口采用 RS-232 标准。因此当计算机通过编程口与 PLC 进行通信编写程序时,须增加 RS-422 标准与 RS-232 标准的转换器(专门配套的编程电缆)。

5.1.2 变频器和水泵机组

变频器和水泵机组作为系统的执行机构,完成系统对外的供水量输送。要清楚水泵电机的功率及额定电流,用变频器控制水泵电机的转速。由于在本文研究设计的恒压供水系统中,数字 PID 控制输出的数字量没有经过 D/A 转换,而是直接将数字量通过通讯方式传送给变频器,因此在选择变频器时,首先要选择与电机额定功率、额定电流相匹配的通用变频器,同时还考虑变频器的通讯功能,现在的变频器一般都具有通讯功能,如三菱 FR 系列变频器、富士变频器、西门子变频器、ABB 变频器等。水泵一般选用格兰夫、威乐、凯泉、山东双轮,或根据客户的要求选型。

5.1.3 人机界面(HMI)

触摸屏是本系统的人机界面,通过触摸屏可以和系统进行信息交流。触摸屏可以对系统的运行流程、水泵运行电流、变频器的输出频率、输出电压以及系统报警情况进行显示;同时通过触摸屏可以进行压力的设定、选择系统的运行方式(自动/手动)、泵的运行方式(正常运行/检修),所以在选择触摸屏(ADS7843)时,要考虑它与 PLC 通讯情况,建议 PLC 和触摸屏使用同一个厂家的。若 PLC 为三菱 FX-1N,触摸屏可以选三菱 F900 系列;也可以选用西门子的触摸屏(带通用接口和开放协议)^[23]。

5.1.4 压力传感器和 PID 调节器

压力传感器和压力变送器是将水管中的压力信号变成 1-5V 或 4-20mA 的模拟量信号,作为模拟输入模块(D/A 模块)的输入,在选择时,为了防止传输过程中的干扰与损耗,我们采用 4-20mA 输出压力变送器。在运行过程中,当压力传感器和压力变送器出现故障时,系统有可能开启所有的水泵,而此时的用水量又达不到,这就使水管中的水压上升,为了防止爆管和超高水压损坏家中的用水设备(热水器、抽水马桶等),本文中的供水系统使用电极点压力表的压力上限输出,作为 PLC 的一个数字量输入,当压力

超出上限时,关闭所有水泵并进行报警输出。采用丹麦 DANFOSS 公司和大连中原仪表厂的压力传感器和压力变送器,电极点压力表选用大连马赫开关厂的产品。PID 调节器选用日本富士 PXW11 温度调节器(硬件型)或者用变频器自身带的 PID 自整定功能来实现控制。

5.1.5 软启动器、自耦变压器

当系统采用手动或变频固定方式运行时,如果电机的功率较大;不允许直接启动时,需采用软启动器或自耦变压器进行降压启动。在选择软启动器、自耦变压器时,可选用 ABB 的软启动器或 DANFOSS 的产品,选择时应与电机的额定功率、额定电流相匹配。手动启动是系统不可缺少的组成部分,尤其是当系统的自动部分出现问题时,而此时的供水又不能中断。

5.1.6 PLC 用隔离变压器、低压电器、控制柜

PLC 用隔离变压器是对 PLC 的供电电源进行隔离,防止由于供电电源对 PLC 引起的干扰。低压电器和电气控制柜是为系统的各种功能的实现提供条件,同时控制柜的接地必须良好。我公司选用大连空六厂生产的白钢柜(标准的、非标)。

变频恒压供水系统由电源系统、PID 调节器、PLC 自控系统、变频器、供水水泵、市政水压电控表、免地池装置控制器、压力传感器等组成。考虑到市政水压可能偏低或停水停电等原因,为确保用户有水用,变频恒压供水系统的工作原理是在市政水压(来水压力)基础为楼宇恒压供水,若市政水压能够为用户供水,则设备不动作(不耗能),当市政水压较低,不能为全楼宇用户供水时,设备自动启动为楼宇变频供水恒压,楼宇用户市政供水转至变频恒压直供水,通过设置压力传感器参数 P,达到恒压供水的目的。同时使用免地池装置和防雷击保护装置,检测市政水压,经过设置参数 PLC 识别控制变频恒压直供水设备的工作与否,从而保护市政水压,做到不抢水。而当市政停水、欠压($P < 0.02\text{MPa}$)或停电时,楼宇供水自动转到水池供给,可以解决停电或缺水的难题^[23]。

5.2 恒压供水系统的变频电路设计

5.2.1 系统组成原理

从恒压控制的原理图 5.2 中可以看出,在系统运行过程中,如果实际供水压力低于设定压力,控制系统将得到正的压力差,这个差值经过计算和转换,计算出变频器输出频率的增加值,该值就是为了减小实际供水压力与设定压力的差值,将这个增量和变频器当前的输出值相加,得出的值即为变频器当前应该输出的频率。该频率使水泵机组转速增大,从而使实际供水压力提高,在运行过程中该过程将被重复,直到实际供水压力

和设定压力相等为止。如果运行过程中实际供水压力高于设定压力，情况刚好相反，变频器的输出频率将会降低，水泵机组的转速减小，实际供水压力因此而减小。同样，最后调节的结果是实际供水压力和设定压力相等。

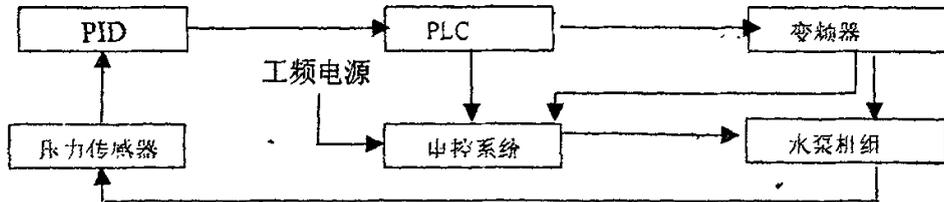


图 5.2 系统控制示意图

Fig.5.2 control system Diagram

(1) 对水泵电机的调控技术进行分析和比较，并对多泵恒压供水系统中的关键问题进行了论述；在此基础上，提出了本文的主要研究内容和研究方法。

(2) 从水泵理论和管网特性曲线分析入手，讨论水泵工况点（工况点）的确定方法和水泵工况调节的几种常用方法。在变频调速恒压供水系统中，水泵工况的调节是通过改变水泵性能曲线得以实现的。重点对变频调速恒压供水系统中水泵能耗机理进行深入研究，得出一些有益的结论。

(3) 介绍了基于 PLC 的变频调速恒压自动控制供水系统，该系统由一台变频器拖动多台水泵电机变频运行。压力传感器采样管网压力信号经 PID 处理传送给变频器，变频器根据压力大小调整电机转速，改变水泵性能曲线来实现水泵的流量调节，保证管网压力恒定。重点对变频调速恒压供水系统的构成和工作过程，控制系统的硬件设计和 PLC 程序设计进行研究。根据现场需要，对上位机上的监控软件进行总体方案设计。

(4) 通过对 PID 控制器的基本原理的介绍，深入的分析 PID 算法的实现。运用 GPPW 编程软件设计一个用于供水系统压力控制的 PID 控制器，并通过现场工业试验，调整和检验 PID 算法的重要参数。

(5) 当变频器输出频率达到 50Hz 时，在工频电源和变频输出电源相位一致时，PLC 发出指令切断变频器输出，真正实现了大功率电机的无冲击起动，保证切换电流为额定电流的 1.5 倍左右，从而减少对电机设备的损坏和电网的冲击。

变频恒压供水控制系统的基本控制策略：采用电动机变频调速装置与可编程控制器构成控制系统，进行优化控制水泵机组的调速运行，并自动调整水泵机组的运行台数，完成供水压力的控制，在管网流量变化时达到稳定供水压力和节约电能目的。该系统的控制目标是泵站总管的出水压力，系统设定的给水压力值与反馈的总管压力实际值比

较，其数值输入 CPU 进行运算处理后，发出控制指令，控制水泵与电动机的投入运行台数和运行变量泵电动机的转速，从而达到供水管网压力稳定在设定的压力值上。

交流异步电动机直接起动所产生的电流冲击和转矩冲击会给供电系统和拖动系统带来不利影响，故对于容量较大的异步电动机一般都要采用软起动方案。采用变频器带动电机从零速开始起动，逐渐升压升速，直至达到其额定转速或所需的转速，此时变频器同时承担了软起动的任务。变频软起动的优点是采用电压/频率按比例控制方法，所以不会产生过电流，并可提供等于额定转矩的起动力矩，故特别适合于需重载或满载起动的大功率水泵电机^[24]。

多泵恒压供水系统为了提高变频器的使用效率，减少设备的投入费用，常采用一台变频器拖动多台电机变频运行的方案。当变频器带动电机达到额定转速后，就要将电动机切换到工频电网直接供电运行，变频器可以再去起动其他的电动机。这样就不可避免地要进行电网和变频器之间的相互切换操作^[25]。

变频器的输出切换问题，目前尚未得到足够的重视，因而在认识上还存在着一些误区：一种看法是将变频器当作一般的交流电源，或者像软起动器一样，因而可以将电动机在变频器与供电电网之间任意切换；另一种看法则认为由于变频器自身的设计原理，是不允许变频器在运行中进行切换的。这两种看法都不免有失偏颇，所以有关变频器在拖动系统应用的文章中，碰到变频器的切换问题时，要么有意回避，不作具体描述；要么一语带过，用简单的一句“切换到电网运行”不了了之。即使有此情况也只是停留在小功率电机上，大功率电机变频转工频并不成功。因此，如何在不停电的情况下，采用鉴频鉴相技术对变频器的输出电压进行跟踪，当变频器输出电压的频率、幅值和相位均保持与电网电压一致时，实现变频器与电网之间的同步平稳切换，是多泵变频恒压供水系统中的关键问题。

5.3 系统的软件设计

本系统的多泵连动程序（详见附录 A）是建立在第三章变频恒压供水的方案和控制流程的基础上，按照 PLC 应用的步骤开发完成的。程序控制的目的是实现整个供水系统的恒压运行，为此必须控制变频器的频率以及四台水泵的顺序投入与切除，使得供水量的变化与用户用水量的变化基本保持同步，以此保证水网水压的恒定，同时还要保证系统的安全性与可靠性。在程序的开发过程中需要注意以下几点：

- (1) 不管使用变频循环式还是变频固定式的控制方式，要确保水泵的平均使用量一致，损耗大致相同；
- (2) 系统运行的任何时刻，变频器只对当前控制的水泵负责；

(3) 对于每一台水泵来说, 任何时刻都只能工作在一种状态(变频或工频)或者处于停止状态;

(4) 触摸屏的主画面要显示 PLC 与变频器或其他系统的通讯情况、压力设定值、压力反馈值、泵的工作状态等。

程序采用结构化的设计方法, 分为故障检测、数字 PID 控制或模糊控制、泵的切换控制、系统对外通讯控制、定时修改压力设定值等几部分。下面对逐一他们进行阐述。

5.3.1 系统运行主程序

系统运行主程序首先要进行一系列的初始化工作, 并使扩展模块(通讯模块、D/A 模块等)、触摸屏、变频器等设备与 PLC 的数据传输正常。在系统运行过程中要及时进行故障检测, 防止设备的损坏和意外发生; 当出现故障时, 要在触摸屏上及时显示并进行报警输出, 方便工作人员确认和维修, 有利于系统恢复正常工作。无故障情况下, 在触摸屏上显示设定压力和实际压力, 系统自动启动后, 进行恒压控制。流程框图见图 5.3。

5.3.2 故障检测子程序

故障检测是保证系统安全、可靠运行的一个重要环节, 在本文的自控系统中, 检测的量主要有: 原水池液位、变频器故障、水泵故障、压力传感器断线故障、水泵出水压力脱离正常范围等信号, 其流程框图见图 5.4。

5.3.3 数字 PID 子程序

该子程序与模糊控制子程序的功能一样的, 只是控制算法不一样。在系统中, 只需选择一个, 它同样通过定时中断来调用, 通过对水泵转速的调节, 实现系统输出压力的恒定。利用第四章第一节的(4.9), (4.10), (4.11), (4.12)式, 在主程序初始化时计算 Q_0 、 Q_1 、 Q_2 , 在子程序中直接读取 A/D 模块的输出, 得到当前的实际水压, 将此压力值与压力设定值相减, 得到当前误差量 $e(k)$, 计算控制增量 $\Delta u(k)$, 将该增量通过 PLC 与变频器的通讯去控制变频器的频率, 实现恒压供水。其流程框图(见图 5.5)如下:

5.3.4 泵切换程序

以下五种情况, 将调用泵切换程序:

- (1) 增加水泵条件成立;
- (2) 减少水泵条件成立;
- (3) 切换辅助小泵条件成立;
- (4) 辅助小泵切换主泵条件成立;
- (5) 系统只有一台主泵在运行且该泵连续运行时间已到达 8 小时, 进行主泵间交换。

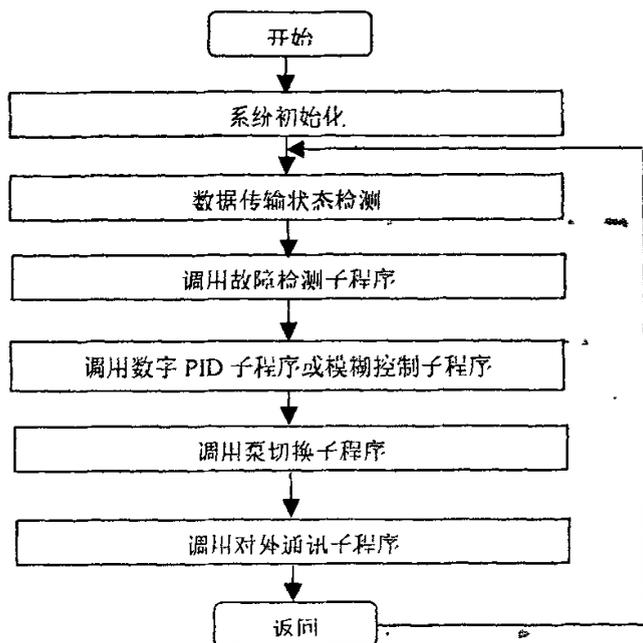


图 5.3 主程序流程框图

Fig.5.3 Main program flow chart

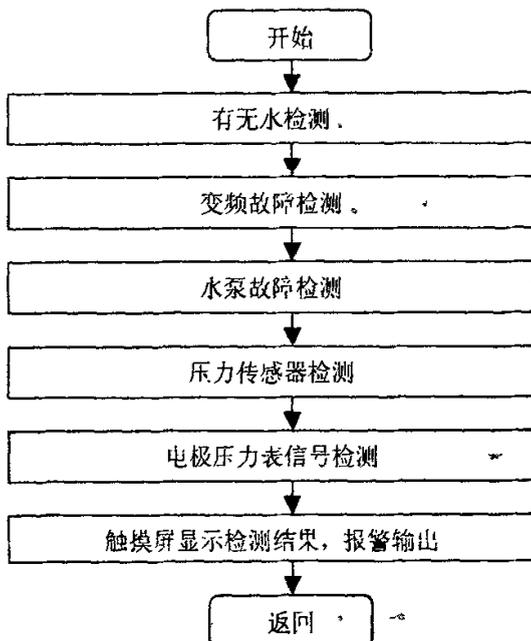


图 5.4 故障检测子程序流程框图

Fig.5.4 Fault detection program flow chart

5.3.5 定时修改压力设定值

为了更好的供水效果，将每日 24 小时按用水曲线分成几个时段，不同的时段采用不同的压力设定值，程序根据 PLC 提供的实时时钟，自动修改设定值。

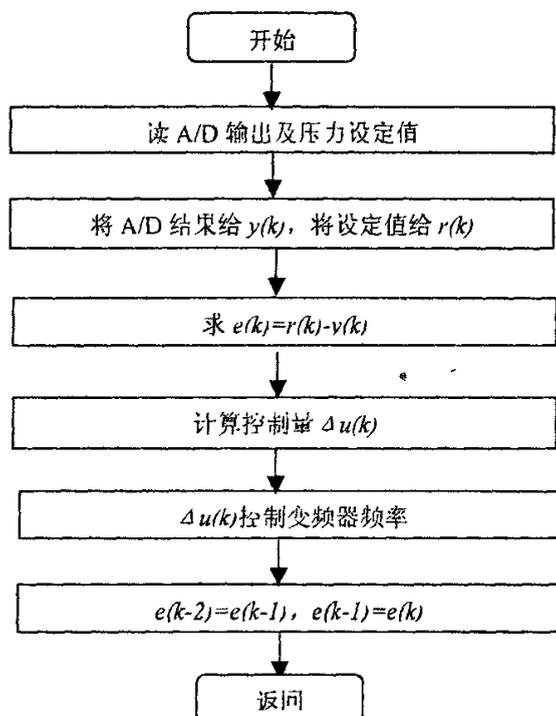


图 5.5 PID 程序流程框图

Fig.5.5 PID Process flow chart

5.3.6 对外通讯子程序

对外通讯子程序不是每个变频恒压供水系统所必须的。当该系统作为另一个控制系统的子系统时，它需要和上一级系统建立通讯，进行数据交换，以便上一级系统对它进行监控和管理，这是需要编写对外通讯子程序。通讯时，可以采用有线方式，也可以采用无线方式。该子程序采用定时中断的方式来调用。

5.4 本章小结

本章阐述了变频恒压供水系统的硬件的组成及其原理功能，提出了变频恒压供水系统中电路的设计方法，提出了该系统的软件设计和程序分析。

6 恒压供水远程监控系统

6.1 系统的组成

本章研究的恒压供水远程监控系统由恒压供水主控制系统(由计算机、上网设备和上位机软件等组成)、远程通信设备和恒压供水子系统组成。子系统除了完成恒压供水功能外,还将通过通信设备向主控制系统发回实际供水压力、水位、流量、温度、电网电压、设备电流、故障信息情况等重要信息,还包括向主控制系统发回开机自检和定期自检信息以及报警信息等。主控制系统应根据子系统送回的实际压力值和水位信息对子系统的设定压力值进行调整,能对子系统发回的报警信息进行及时处理。远程通信设备早期由施耐德 MC35 模块和单片机系统组成^[26]。

本章研究的子系统早期是由单片机系统、检测电路、变频电路、电机控制电路四部分组成(现在已经用 PLC 远程监控终端)。检测电路包括压力传感器、温度传感器、转速传感器、液位传感器、流量传感器和振动传感器,运算放大电路,脉冲信号处理电路、D/A 转换电路组成;它完成相应信号的采集、放大、整形、D/A 转换等处理。变频电路由 8253, 555 振荡电路、SPWM 芯片、IPM 模块组成,它根据单片机送来的信号输出对应幅度、频率的三相交流电以供异步电动机用。电机控制电路由接触器、按钮开关等组成,根据单片机送来的控制信号启动异步电动机。单片机系统由看门狗、时钟电路、复位电路等组成;它对检测电路送来的信号作进一步处理,并根据测试信号和主系统送来的控制信号对变频电路和电机驱动电路进行控制;根据电机的振动情况,采用故障诊断技术对电机进行故障诊断。

6.1.1 恒压供水远程监控系统的功能

(1) 远程通信功能

由于该恒压供水远程监控系统采用 GPRS 调制解调器和 Internet 来实现监控中心和恒压供水子系统之间的通信,故障其通信距离基本上不受限制,真正实现远程通信,并且不需要敷架线路。

(2) 远程检测和测试功能

通过对供水子系统流量参数测量,实现了远程抄表并便于统计水资源的损耗情况;能对该系统的出水压力进行检测,从而通过 PID 控制方法实现恒压供水;能对温度、电机的振动、转速进行测量,从而对电机、管网等进行故障诊断;还能对液位进行测量,从而防止电机无水时空转。

(3) 变频功能

采用变频方式实现恒压供水，供水系统采用一台变频器，三台异步电动机进行恒压供水，从而实现节能:它和远程控制方构成闭环控制，主控制站可对供水系统的压力初始值进行设置，从而调节方便，可以根据用户的具体情况随时随地的对供水的重要参数进行监测和修改。

(4) 远程故障诊断功能

能根据温度、电机的振动情况对电机进行故障诊断:能根据变频器的上作情况对变频器进行故障诊断:能根据对存储器的读写操作情况对存储器进行故障诊断。

(5) 远程控制功能

能选择远程控制和单片机恒压供水子系统自动控制,当通信系统出现故障时可由单片机子系统自动控制:能选择手动控制和恒压供水系统控制,当变频器出现故障后,可选择手动控制,防止供水系统不能供水的情况:另外采用一台变频器,三台异步电动机进行供水,进一步防止一台电机故障后出现不能供水的情况。

6.1.2 恒压供水远程监控系统的组成框图

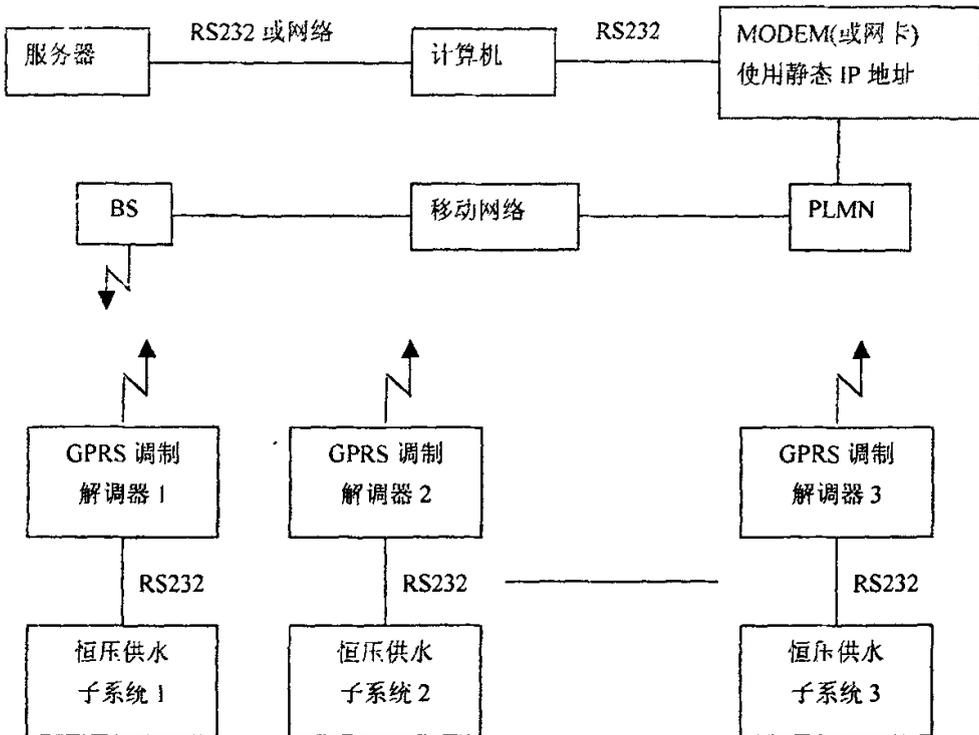


图 6.1 恒压供水远程监控系统的组成框图

Fig.6.1 constant pressure water supply Remote Monitoring System component diagram

6.2 恒压供水远程 GPRS 监控系统

6.2.1 GPRS 的综述

GPRS (General Packet Radio Service)通用分组无线业务 GPRS (General Packet Radio Service)是一种基于包的无线通讯服务。它将使得通讯速率从 56 一直上升到 114Kbps,并且支持计算机和移动用户的持续连接。较高的数据吞吐能力使得可以使用手持设备和笔记本电脑,进行电视会议和多媒体页面以及类似的应用。GPRS 是基于 Global System for Mobile(GSM),并且能完成现有的一些服务,例如:蜂窝电话电路交换(circuit-switched)连接和短消息服务(SMS)。

GPRS 调制解调器是采用通用分组无线业务 GPRS (GENERAL PACKET RADIO SERVICE)是在现有的 GSM 网络基础上进行的软件服务,采用分组交换技术,可提供高速无线 IP 或 X.25 服务。他增加了 SGSN (GPRS 业务支持节点)和 GGSN (GPRS 网络支持节点)2 个服务节点,可提供端到端的、广域的无线 IP 连接。相对于其他数传方式,GPRS 更具优势:建设成本低,数据传输可靠性高,传输速率可达 171Kbps,基于 IP 协议可以访问整个 Internet,永远在线和按流量收费。

GPRS 数据采集系统通信的实现:上位机服务器不管采用那种方式接入 Internet 都必须有固定的 IP 地址,并对各终端开放相应的侦听端口号,在接入网络后要尽量保持在线。下位机(终端)工作后,会通过 DTU 主动与服务器建立连接,随后告知服务器自己的终端地址;服务器收到后将其加到动态地址数据库中,并自动定时刷新数据库以确定那些表还挂在网络上,再根据管理员设定的自动查抄时间对连接在网络上的终端进行数据的读取、参数设定、校时等操作。

在理论上,GPRS 包服务的花费将比电路交换服务所花的费用要少。信道是共享使用的,是需要的时候才有包产生。那么比专用的连接要节省很多资源。它将使得为用户提供应用服务更加简单。因为以往为了适应终端设备的缓慢速度而增加的缓冲中间部件(middleware)已经没有必要了。一旦 GPRS 成为现实,移动用户就可以随时访问自己的虚拟专用网络(VPN),而不是每次都需要拨号上网。

对于 Internet 协议(IP,GPRS 支持 X.25(一种基于包的协议,主要在欧洲地区广泛应用).GPRS 要逐渐边向高性能数据 GSM 环境(Enhanced Data GSM Environment,EDGE)和通用移动电话服务(Universal Mobile Telephone Service,UMTS)。

GPRS 具有相对原来 GSM 的拨号方式的电路交换数据传送方式,GPRS 是分组交换技术,具有“高速”和“永远在线”的优点。

(1) 极速传送,移动新干线

电路交换数据业务，速率为每秒 9.6Kbps，因此电路交换数据业务(简称 CSD)与 GPRS 的关系就像是 9.6K 调制解调器和 33.6K,56K 调制解调器的区别一样，GPRS 的最高速率可达每秒 115Kbps。

(2)永远在线、轻松方便、我行我速

除了速度上的优势，GPRS 还有“永远在线”的特点，即用户随时与网络保持联系举个例子，用户访问互联网时，点击一个超级链接，手机就在无线信道上发送和接受数据，主页下载到本地后，没有数据传送，手机就进入一种“准休眠”状态，手机释放所用的无线频道给其他用户使用，这时网络与用户之间还保持一种逻辑上的连接，当用户再次点击，手机立即向网络请求无线频道用来传送数据，而不象普通拨号上网那样断线后还得重新拨号才能上网冲浪。

利用中国移动的 GPRS 系统实时传输数据是最安全，最可靠，最及时的方法。完全解决了以往远程监测通讯方式采用有线电话线传输数据不能保证实时性；采用无线数传电台，误码率较高、抗干扰差的缺陷。使数据传输更加安全可靠、准确及时。中国移动的 GPRS 系统经过几年的建设，覆盖范围不断扩大已成为成熟、稳定、可靠的通讯系统。在中国移动 GPRS 平台上传输管网数据可充分利用网络，缩短建设周期，降低建设成本，且安装方便、维护简单。

6.2.2 GPRS 的展望

该系统开发过程中收集的相关资料有移动通讯、局域网/广域网、数据采集、自动控制等。在没有应用先例的情况下边开发、边测试、边克服发现的技术难题，如：GPRS 模块在信号不稳定时死机，因上位机故障或网络问题无法进行 TCP/IP 连接等，经过不懈的努力克服重重困难最终使该系统投入使用。通过对该系统的开发，我们对 GPRS 无线通信取得了进一步的了解，给其它监控系统，SCADA 系统的改造打下了良好的基础。

同时中国 3G 牌照发放在即，GPRS 及 EDGE 毕竟属于 2G 至 3G 的过度产品，几年后网络升级，GPRS 的通讯终端将不能使用，而 CDMA 1X 则可以平稳的升级到 3G，所以现在我们要开始对 CDMA 网络数据传输应用的尝试，为 3G 做好准备。

6.2.3GPRS 无线远传系统概述

该系统可进行中心监控室与 12 个管网的测压点、两个流量测量点之间的数据通信。中控室有一台具有公网静态 IP 地址的 Internet 服务器，并通过 DDN 专线接入 Internet，用以接收处理各监控点上传的数据并把数据提供给调度中心的上位机。各终端由一台 GPRS 无线电台负责把采集的压力数据上传(每 5 分钟一次)，调度中心值班人员可以实时了解全市供水管网状况，实现安全生产和科学调度。

通讯过程如下:

- (1) 终端分别拨号连接到 Internet 。
- (2) 终端与中控室服务器建立连接。
- (3) 双向传输数据。

6.2.5 系统硬件组成

该系统主要由监控中心、通讯系统、现场监控终端、传感器及仪表四部分组成。

表 1.1 各测量点及其测量属性
Table 1.1 measurement points and measuring attributes

序号	测量点	测量属性
1	孙家沟维修所	测量压力
2	老甘井子维修所	测量压力
3	春柳维修所	测量压力
4	五一广场	测量压力
5	七贤岭	测量压力
6	西岗维修所	测量压力
7	岭前维修所	测量压力
8	付家庄	测量压力
9	华能电厂	测量流量
10	春海电厂	测量流量

(1) 监控中心

由一台 UPS、硬件防火墙、Internet 服务器, 通过 GPRS 模块及中国移动无线网络与各压力监测点、流量检测点的远程终端机通讯, 同时该服务器与企业内部网络连接实现资源共享。

(2) 通讯系统

采用无线方式, 利用成熟先进的技术, 使中心调度室与各监测点构成网络化通讯系统。通讯采用无线半双工方式进行, 通讯协议采用 TCP/IP 协议, 24 小时实时在线。通讯由终端机定时向上位机(调度中心)发送数据包然后等待上位机返回确认信息。数据包由同步符、包头、数据块及包尾组成。同步符统一设置为 40H, 包头内容为自身地址, 数据块则由字节有效长度, 有效数据及校验码组成, 包结束符构成数据包尾。

(3) 现场监控终端

远程控制终端采用了高可靠性的、内存容量大的西门子 S7-200 系列 PLC, 完成现场信号电气隔离、数据采集、转换、报警、自动保护功能, 能通过 Internet 与监控中心进行信息传递。

(4) 仪表及传感器

监控现场需要测量的参数有管线压力、流量等参数，需配置相应的变送器，且输出 4-20mA 标准信号。

(5) 用户软件

具备实用、灵活、易操作等特点，功能完善，运行可靠。系统能够进行相应参数的在线设置。实时监测各个测压点在上表中所列的系统运行参数。采集数据具有标准数据结构，能实现多用户同时访问该数据库，便于与其它软件共享资源。根据用户需要还可实现根据运行参数给出超限报警，压力流量参数的历史曲线及运行报表。

6.2.6 功能原理

GPRS 无线远程测控系统的各种数据及控制信号由在现场的西门子 S7-200PLC 通过传感器将压力、水位等信号采集处理。再利用 S7-200 的自由通讯口控制 GPRS 模块，联入 Internet 互联网于本系统 Internet 服务器建立 TCP/IP 联接。把 S7-200 处理后的各种信号上传至 Internet 服务器。各上位机通过访问 Internet 服务器，读取各种信号数据，从而实现远程监测的目的。同时，所有数据采用双向方式也就可以实现远程控制功能。如图 6.2 所示：

GPRS 模块我们采用 ETPro++，该模块加入嵌入式 TCP/IP 单片机。通讯接口包括 TTL 电平、RS232 电平，由于模块具有了 TCP/IP 协议栈我们不需要其他编程即可通过 RS232 接口联入使用 TCP/IP 协议的互联网。

西门子 s7-200PLC 结构紧凑，低成本、功能强。本系统采用的 S7-200PLC 具有一个 RS485 通讯口、8 路 DI、6 路 DO 及 4 路 AI(模拟输入)模块。传感器采用 2 线或 4 线制 4-20mA 标准信号。

Internet 服务器，要有公网的静态 IP 地址，通过 DDN 专线接入 Internet 用与接收处理各监控点上传的数据，并把数据提供给各上位机。

6.2.6 系统主要性能指标

(1) 系统指标

系统属性：网络型远程测控系统

系统容量：最大容量 4096 个站点

工作方式：全天 24 小时实时检测

信道传输方式：网络形式半双工

通讯速率：9600bps

系统响应时间：<0.5 秒

工作范围：以监控中心为中心点，“无限远”

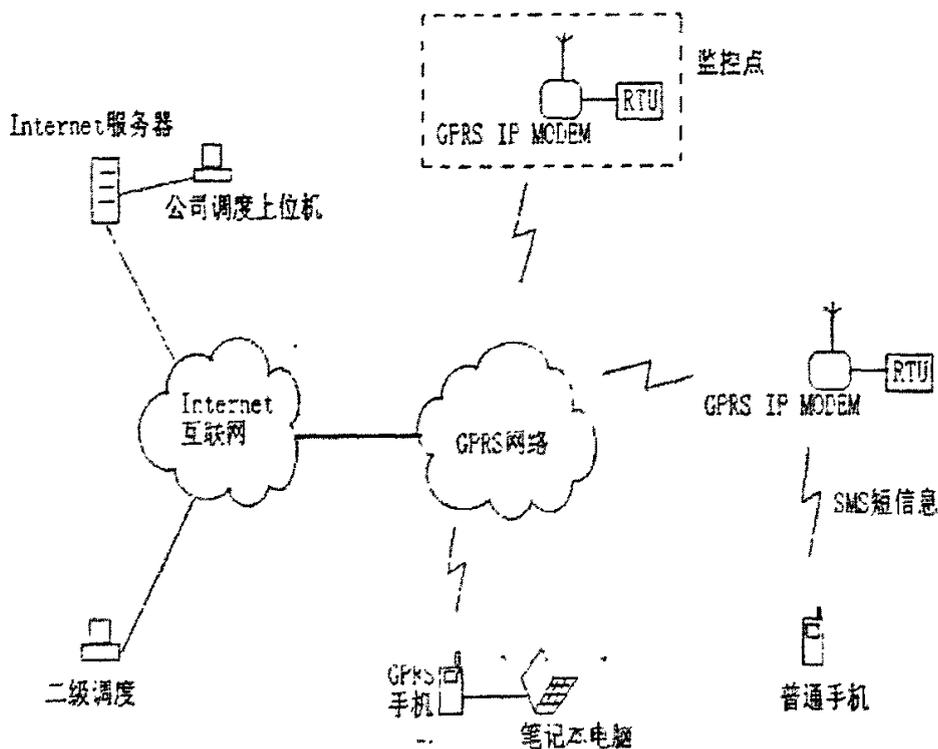


图 6.2 GPRS 无线远程测控系统框图

Fig.6.2 GPRS Wireless Remote Control System diagram

(2) 远程测控终端(RTU)指标

遥信量输入: 8 路

采样周期: ≤ 200 ms

光电隔离电压: ≥ 1500 VDC

输入回路电压: 24VDC

输入延时: 30us-0.2ms

遥测量输入: 4 路

直流输入: 0-10mA 4-20mA 0-5V

A/D 转换时间: ≤ 25 us

分辨率: ≥ 12 位+符号位

抑制噪声: 40db 50HZ

共模电压:最大 12V

平均无故障时间:30000 小时

使用寿命:>10 年

电源:220VAC \pm 10% 50HZ \pm 5%

环境温度:-10℃-50 ℃

湿度:5%-95%不结露

RTU 容量:4KB (4 字节)

(3) GPRS 无线模块

通讯距离:“无限远”(只要有中国移动 GSM 手机信号的地方即可安装)

传输速率:下行 Max45Kbps, 上行 Max21.6Kbps

误码率:<0.01%

功耗:300mw

工作温度:-20℃-55℃

通信协议支持 PPP, TCP, UDP, HTTP, FTP, SMTP, POP3, MINE。

6. 2. 7GPRS 无线测控系统经济效益报告和社会效益

根据城市供水管理科学化的需要开发了“GPRS 无线测控系统”，实现了实时监控城市供水管网压力和流量的功能。经过一年多的实际运行证明，该系统达到了预期的效果。提高了大连市供水管理的科学化和现代化水平，提高了大连市自来水集团的经济效益，同时也带来了巨大的社会效益。

由于大连市属于丘陵地区，供水管网压力和流量变化较大，所以每天每个分公司都要派两三个人进行管网巡视。市内四个营业分公司、三个净水分公司。依据人工工时计算，每年最少节省 14 个人工作量，以人均 2 万元/人（年计），则每年公司减少 14 人工工资支出计： 14×2 万元=28 万元。这里还没有计算由于人员巡视不及时而出现管网意外事故所造成的巨大经济损失。

应用该系统，实现科学合理安全供水，提高公司调度决策科学化水平。通过实时监测，可以合理的调度平衡管网压力。保证市民正常用水，不再吃“夜来水”。进而降低电耗、降低管网损耗，减少供水成本，实现对水资源的合理利用，这对于大连市这样一个严重缺水型城市来说，意义非凡。

另外，GPRS 无线测控系统不仅仅只是应用在管网压力和流量测控上。它还可以应用在类似供水行业等等的诸多领域。

6.3 恒压供水远程监控系统组成

二次加压泵站现有的远程监控管理系统架构模型采用有线 MODEM 的通讯方式,使出 PLC 构成的采集系统和调度室内的 PC 主机通过有线市话网连接成一体。二次加压泵站管理系统由监测采集系统、MODEM 及调度室主机构成。其中监测采集系统主要是由施耐德公司出品的小型 PLC 产品 TSXNEZA 系列与 MODEM 共同构成。采集系统可将二次加压泵站运行中的各项参数进行采集处理,其中包括来水压力、出水压力、电压值、电流值、水位值、变频器工作频率、电机温度等模拟信号以及各电机运行情况等开关量信号。系统将实际值与由调度室设定的值(指出水压力或水位的上、下限,可由上位机设定并下传至采集处理机)相比较,若出现异常(如出水压力超过上、下限或水位超出上、下限),则 PLC 或工控机程序自动制作一起发送数据包,将各项数据整理后通过所连接的 MODEM 自动拨号发送至中心调度室内的主机进行报警,使调度中心及时了解泵站运行情况,采取各项措施保障供水。下位机 PLC 所执行的采集控制程序是由支持施耐德 NEZA 运行的 PL707WIN 编程语言软件编写的。主机运行自行开发的 VB 主程序,进行报警数据处理和日常查询工作,通过计算机串行口收发数据。对于收到的数据利用 Microsoft Access 进行存储,以利日后查询。另外,为达到直观仿真效果,在另一台计算机上用“组态王”智能软件包编写了一套工控软件应用程序,将采集到的数据直接添加到画面中,形象地表现出泵站现场情况,并可对历史数据进行趋势描绘^[27]。

6.3.1 成果创新性

(1) 本系统的上位机软件是自行开发,以 VB 语言为开发平台进行编译。

(2) 运用动态数据存储等技术,通过一定的通信协议实现与下位机(PLC)的握手。

(3) 传输媒介为有线电话,方便可靠。

(4) 下位机(PLC)控制与传输程序也由公司人员自行编写,可随时针对泵站具体情况变化对程序进行修改、更新。更好地将信息及时反馈,使监控具有人性化,针对性,方便了调度中心人员的使用与维护。

6.3.2 主要参数及性能指标

工控机:凌华 ADLINK(型号根据具体情况定购) 西门子 PIII

数据采集卡:凌华 ACL-8112PG 16路 DI 和 16路 DO、12位 A/D 采样精度

PLC:MODICON NEZA

主体模块—TSX08CD12R8A(S):12点 24VDC 输入,8点继电器输出

扩展模块—TSX08EAV8A2:8点 0-5V 或 0-20mA 模拟量输入,

2点 0-5V 或 0-20mA 模拟量输出，
扩展模块—TSX08EA4A2：4点 0-10V 或 0-20mA 模拟量输入，
2点 0-10V 或 0-20mA 模拟量输出。

该监控系统是对二次加压泵站现场的电压、电流、进水压力、出水压力、变频器频率、电机运行状态等数据利用远端 PLC 进行实时采集、实时监控，实现无人值守情况下的二次加压泵站安全运行和高效管理。如发现异常情况则通过远端的 PLC（采用 TSX NEZA），向与其所连接的调制解调器发出指令对调度中心进行拨号呼叫，使调度中心及时掌握全市各处二次加压泵站的情况，对紧急情况进行相应及时处理，满足市民的用水需求，也有效地保障泵站设备正常运行，达到无人值守的要求。

PLC 作为二次加压泵站的现场终端，起到完成现场信号的电气隔离、数据采集与转换、报警、巡检维修人员“打卡”报到、变频器保护后自动复位等作用。远端 PLC 通过市话线路与调度监控中心进行信息的传递、交换（RS-485 到 RS-232 转换），并根据调度中心的命令完成数据交换，控制输出等任务，具有较强的抗干扰性。

该监控系统的远程终端采用施耐德公司出品的具有丰富功能的小型 PLC 中的 TSX NEZA 系列产品，其 I/O 点数从 20 点可扩展至 80 点。该产品具有较高的可靠性，存储量适中，经济实用的特点。并且具有高速计数、脉冲输出、网络通讯、客户化功能块等先进功能。

PLC（可编程控制器）是由以下四个主要部分构成的：输入、输出、存储器和处理器。其中存储器用于存放用户程序的指令和数据，处理器用于执行用户程序，读取输入数据并控制输出。而由 PLC 组成的控制系统的结构是由输入元件、PLC、输出执行机构、编程终端等组成的。

编程终端是一种用于对 PLC 进行编程的工具，可用于：

- (1) 创建和传送用户程序到程序存储器。
- (2) 调试用户程序并控制系统的启动。
- (3) 对于执行装置的诊断。

该监控系统采用了施耐德 NEZA 系列 PLC 中的本体 I/O 模块和模拟量扩展模块（8 点输入和 4 点输入）三种 PLC 模块。

本体 I/O 模块的型号是：TSX08CD12R8A（S），其结构为：12 点 24VDC 输入，8 点继电器输出，电源供电为 220VAC。该模块面板上有一内置的 Terminal 终端口，可使用 Uni-Telway（主/从）协议，Modbus（主/从）协议和 ASCII 通讯方式。这里采用的是 ASCII 通讯方式。其本体端口为 RS-485 端口，需加 RS-485/RS-232 转换线，与计算机的 232 端口相连，完成数据交换。

监控现场 4 路信号时所采用的模拟量扩展模块其型号是 TSX08EA4A2，其结构为：4 点 0-10V 或 0-20mA 模拟量输入，2 点 0-10V 或 0-20mA 的模拟量输出。该模块可与 NEZA 本体 PLC 相连，也可连接到与本体 PLC 相连的扩展模块上（最多 1 个）。如果 NEZA 本体 PLC 后面连接多个扩展模块，TSX08EA4A2 必须在最末端。此监控系统中该模块与本体 PLC 直接相连。

监控现场 8 路信号时所采用的模拟量扩展模块其型号是 TSX08EAV8A2，其结构为：8 点 0-5V 的模拟量输入，2 点 0-20mA 的模拟量输出。该模块可与本体 PLC 相连，也可连接到与本体 PLC 相连的扩展模块上（最多 1 个）。如果本体 PLC 后面连接多个扩展模块，TSX08EAV8A2 必须在最末端。此监控系统中该模块与本体 PLC 直接相连。

该套远程计算机监控系统是由调度监控中心、现场监控终端、传感器及仪表四个部分构成。调度监控中心由两台监控计算机通过调制解调器及市话网线路与各二次加压泵站内的远程监控终端通讯。现场监控终端采用 NEZA PLC 中的本体 I/O 模块和模拟量扩展模块（8 点输入）。传感器分为电压传感器与电流传感器两种。均需输出 4-20mA 标准信号。仪表采用数字远传压力表作为进水压力表与出口压力表。

远程监控终端(PLC)应用程序使用施耐德 NEZA PLC 所支持的控制语言 PL707WIN 编写，功能可随时扩充，运行平稳可靠。监控数据精确，编程终端采用的是掌上电脑编程器（PDA）或 PC 机。图 6.3 为监控现场 8 路信号时所采用的 PLC 远程监控终端的原理接线框图：

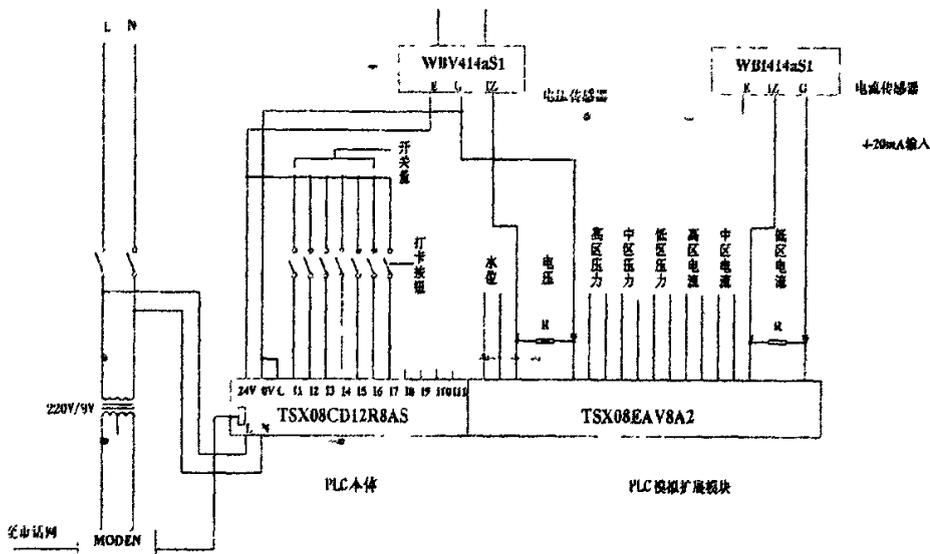


图 6.3 PLC 远程监控终端的原理接线框图

Fig.6.3 Principle PLC remote monitoring terminal wiring diagram

PL707WIN 编程软件支持指令列表和梯形图编程语言。指令列表语言是一种基于行级的文件型类布尔语言，它也可以用于处理数字操作。梯形图语言是一种基于梯级的图形布尔语言。PL707WIN 还允许在指令列表语言和梯形图语言之间进行转换^[28]。

利用梯形图语言编写程序具有直观化、图形化的特点，在此远程监控终端（PLC）的编程中被采用。梯形图类似于用来描述继电器控制电路的逻辑图。主要的不同是，在梯形图编程中所有的输入都由触点符号（—| |—）表示，所有的输出都由线圈符号（—（ ）—）表示，并且在梯形图指令集中包括数学运算。

用梯形图编写的程序由梯级构成——梯级是指画在象征电势的两条垂直栏里的特定图形指令集——并由 PLC 按顺序执行。图形指令集用于表示：

PLC 的输入/输出（按钮、传感器、继电器、指示灯……）

PLC 的功能（定时器、计数器……）

算术和逻辑运算（加法、除法、与、或……）

比较运算和其他数学运算（ $A < B$ 、 $A = B$ 、移位、循环……）

PLC 的内部变量（位、字……）

竖自和水平连接这些图形指令从而实现一个或多个输出的与/或动作。一个梯级只能支持一组相关指令。

编程原则：每个梯形图的梯级由 7 行 11 列组成，划分为两个区域：

测试区：它包括动作发生所必须具备的条件。

动作区：它包括由相关测试引起的输出或操作。

梯级形象化为 7 行 11 列的编程网格，并从最左上方的一个网格开始。在测试区编写测试指令、比较程序和功能程序，其中测试指令应该左对齐。测试逻辑将使得动作区中的线圈程序、数字运算和程序流控制指令保持连贯性。这些动作指令应该右对齐。梯级自上而下自左而右地执行（进行测试和计算输出）。除了梯级以外，在它上方还有一个梯级注释区，用于说明梯级的逻辑目的。它包括梯级编号、所有标号（%Li:）或子程序说明（SRi:），梯级标题和梯级注解。

下面举例说明利用 PLC 本体 I/O 模块和四路模拟量扩展模块监控现场四路模拟量信号时所采用的梯形编程图（见附录 B）：

利用 PLC 采集一路信号：出口压力信号时的部分编程方法，其中的梯级 0 部分：%IW1.1 为输入字，这里为 0-5V 的现场出水压力信号，%MW444 和 %MW502 为内部字，用于存放程序运行时产生的值。梯级 1-5 为将采集到的出口压力信号经过换算最终转换为 BCD 码的编程方法。其中 %KW61 为常量字，这里指的是现场远传压力表的实际量程。ITB 为二进制→BCD 转换指令。

PLC 的远程通讯，现场终端采用的是大连市自来水公司自行开发研制的 PLC 梯形图编程软件，调度中心主画面主要是利用 VB6.0 语言自行开发研制的，配合市话网，调度中心主机、调制解调器，现场 PLC 终端及调制解调器共同完成的。采用的是 ASCII 码通讯方式。PLC 编程时，将每个现场终端设有一个三位编号，调度中心主机可通过电话线、调制解调器及编号主动呼叫对应的现场终端 PLC，将发送的数据打包，并等待现场数据的回传。现场 PLC 接收到信息后，首先判断是否是发送给自己的信息，若是则迅速将现场信息打包回送给调度中心主机。以备工作人员查看。同时，调度中心主机向现场 PLC 终端发送结束符，切断通讯线路，等待下一次呼叫或报警。此外，现场 PLC 终端在检测到异常后（如出水压力超过上、下限），可将异常数据上传给调度中心主机，并进行声光报警。

6.4 硬件组成

该系统由调度中心通讯系统、现场监控终端、传感器及仪表四部分构成（见图 6.4）。本监控系统监测并采集二次加压泵站的电压、电机电流、变频器工作频率、电机运行状态、泵站进水压力、出水压力、贮水池水位情况等数据，同时可出现场的远端 RTU（由 PLC 构成）对变频器故障进行检测分析以便进行复位等现场操作。另外，系统附有“打卡”功能（即设置报到按键，以对巡检人员的巡检出勤情况进行监督）。

6.4.1 调度监控中心

由两台监控计算机通过调制解调器及市话网线路与各二次加压泵站内的远程监控终端机（RTU）通讯。

6.4.2 通讯系统及方式

(1) 采用有线方式，技术成熟、应用广泛。调度监控中心与各二次加压泵站构成网络通讯系统，系统通讯方式为有线的半双工方式，采用类似 TCP/IP 协议，以 ASCII 码通讯方式传输数据。每台终端机均有一个 3 位的编号，构成主从通讯网。调度监控中心有主动呼叫权。在通讯发生前，调度中心主机将欲发送的数据打包，再通过 MODEM 发送，并等待回传数据。数据包由包头、数据块以及包尾结束符组成。包头由数据起始标志符及地址编号组成，数据块则由操作命令（遥测、遥控）和有效数据组成。

(2) 终端 RTU 接收到信息后，首先判断包头第一部分是否是发送给本机的信息，若是则将现场的数据信息打包回送给调度监控中心主机，主机将数据块进行解包，对应处理后形成泵站信息表供分析处理。同时，主机向下位终端机（RTU）发送结束符，主机切断通讯线路，随时等待下一次呼叫或报警。

(3) 调度监控中心可以主动呼叫任意的一台终端机, 终端机一方面被动回送现场信息, 另一方面亦可在检测到异常信号后将数据打包上传至调度中心主机存储备查, 以及及时通知相关工作人员分析解决故障。

(4) 现场监控终端 (RTU) 采用具有较高可靠性、存储量适中、经济实用的施耐德公司出品的小型 PLC 中的 TSXNEZA 系列产品构成远程监控终端, 以完成现场信号的电气隔离、数据采集与转换、报警、巡检维修人员“打卡”报到、变频器保护后自动复位等功能。远程监控终端通过市话线路与调度监控中心进行信息的传递、交换 (RS-485 到 RS-232 转换), 并根据调度中心的命令完成数据交换, 控制输出等任务, 具有较强的抗干扰性。

6.4.3 仪表及现场传感器

监控现场需测量的参数有供电电压、水泵电机电流、贮水箱水位、泵站进水压力、出水压力、变频器工作频率等, 配置有电压传感器、电流传感器等相应变送器, 均需输出 4-20mA 标准信号。

6.3.4 软件开发及功能

采用功能较强的“组态王”工控组态软件及 VB6.0 语言开发平台, 各远程终端应用程序均用施耐德 PL707 或 NEZA 控制语言自行编写, 功能可随时扩充, 运行平稳可靠。

(1) 系统能够进行相应参数 (如出水压力上、下限) 的在线设置。

(2) 远程终端实时监测各二次加压泵站运行参数, 并根据具体情况给出超限报警。

(3) 调度监控中心的工控组态软件较直观地表现出泵站现场的运行情况, 报警程序可对超限参数进行声光报警。

6.4.4 系统主要性能指标

(1) 系统指标

系统属性: 网络型远程测控系统

系统容量: 根据组态软件设计容量而定

工作方式: 人工查询、设置和远程现场控制及检测、超限自动报警

数据传输误码率: 优于 1×10^{-6} (无人工或其他市话线路干扰)

信道传输方式: 网络形式的半双工

通讯速率: 33.6Kbps/56Kbps

工作范围: 市内四区各二次加压泵站

(2) 远程测控终端 (RTU) 指标

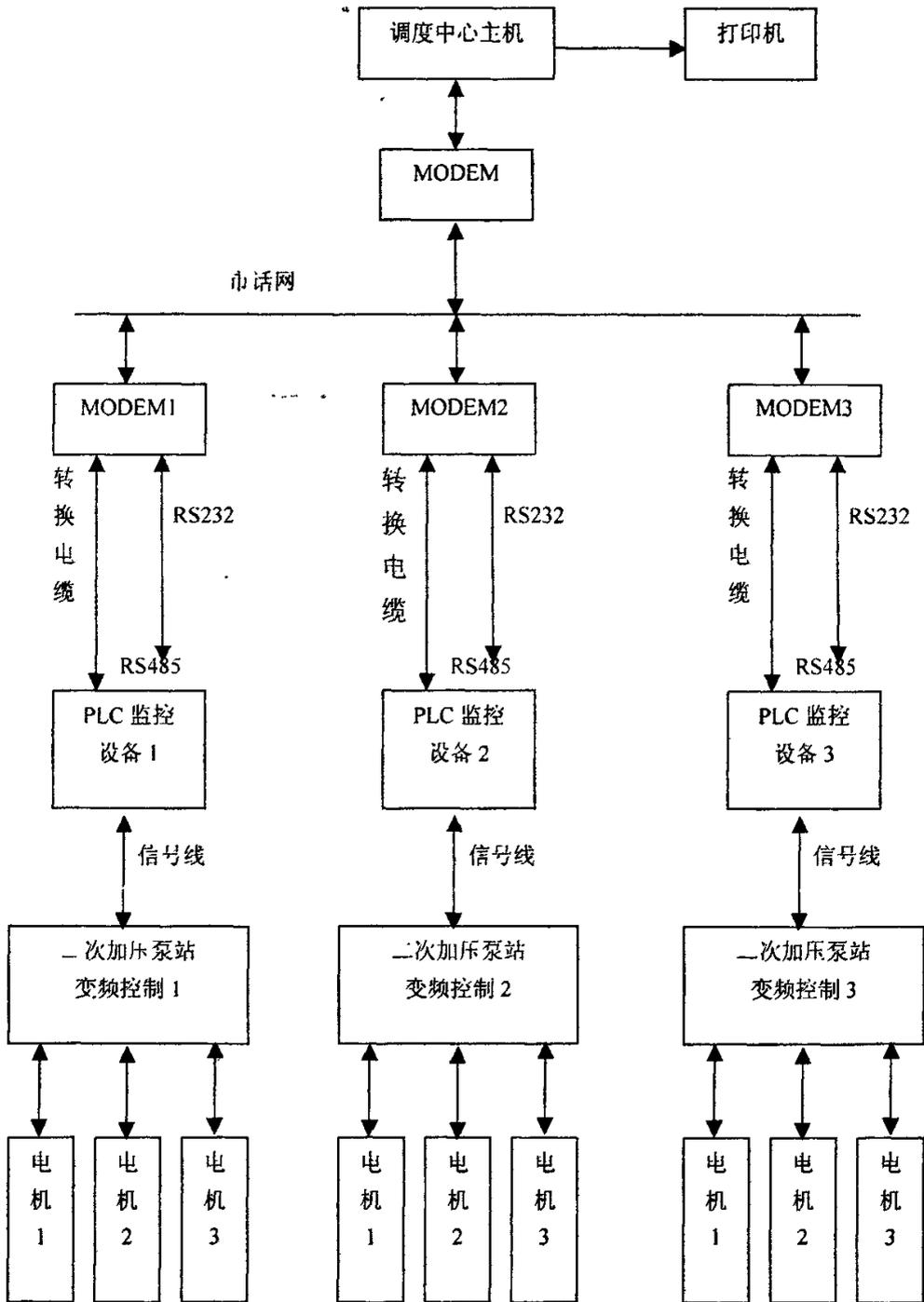


图 6.4 恒压供水远程监控系统的硬件组成框图

Fig.6.4 constant pressure water supply Remote Monitoring System component diagram

采样周期: $\leq 1s$

端口特性: TER

链路类型: RS485

波特率: 9600/19200 bits/s

RS485/RS232 的电平转换接口: 自制

输入回路电压: 24VDC

直流信号输入: 0-10mA 4-20mA 0-10v 0-5v

隔离: 2000v rms

电源: 220v 极限 85-264 VAC

I/O: 12 点 24VDC 输入, 8 点继电器输出, 符合 IEC 1131-2 标准

继电器直流负载: 每个触点 $\leq 2A$

响应时间: 打开 $\leq 5ms$ 闭合 $\leq 10ms$

机械寿命: 1×10^7 次

PLC 工作条件: 0--60°C

湿度: 5% - 95% (无凝露)

6.4.5 项目存在的问题

(1) 调度室主系统较为简单, 很多功能有待扩充。例如报表查询、打印功能等, 报警系统与组态查询系统软件分离, 未实现信息共享。

(2) 远程终端所实现的功能有待增加, 如对电机的控制及泵站运行信息的储存等。

6.5 本章小结

(1) 针对主机系统存在的问题, 要逐步加以完善, 使之能快速、全面、形象地将泵站实际情况反应出来。

(2) 针对远程监控终端设备, 则要根据工作实际需要随时进行功能的扩充, 以实现全面的自动化管理。

结 论

本人从 2001 年开始，就从事与供水有关的项目和工程的设计和机电设备的安装调试维护工作，先后参与大连市沙河口净水厂二期自动化系统的新建工程、大连市大沙沟净水厂一期自动化系统改造和二期自动化系统升级工程、大连市大沙河水厂（水源地）SCADA 系统改造工程、皮口自来水管网的自动化工程、金州青山净水厂自动化改造工程、旅顺大学城自来水加压大泵站工程、石屯（高压）加压大泵站工程、金州工业区加压大泵站工程以及大连市内各个自来水二次加压泵站的新建和改造工程（电气部分）。因而本文设计的系统在实际的工程运用中完全可以满足系统使用的各项功能要求，达到设计和运行的技术指标。

本系统现如今仍需在软件设计与实际情况结合等方面进行发展和完善。本系统经我公司和集团近十年的设计、开发、调试、改进、再调试运行实践证明具有操作简易、实用性强等特点，又兼有可靠、经济、易维护性，适用于各种工业（生活）用水二次加压泵站管理领域，也可以用于各类型的自来水厂、增压泵站，供热和空调循环用水系统、工业锅炉补水系统，化工、制冷空调和其他工业及民用领域。是一套具有一定科技领先技术的自动化控制系统。

由于它的功能全面、操作简便、方便可靠的数据通讯接口、高精度的恒压控制、时时的远程监控以及良好的节能效果，取得了良好的经济效益和社会效益。此系统现已应用于大连市内 400 余处二次加压泵站和高位配水池（水塔），现在正在为我市自来水事业做出自己的贡献。

参 考 文 献

- [1] 陈伯时, 陈敏逊. 交流调速系统. 北京: 机械工业出版社, 1998.
- [2] Mousavi H, Ramamwrthy A. S. Advances in Water Resources. china water and wastewater, 2000, 6(13):12-13.
- [3] 吴忠智, 吴加林. 变频器应用手册. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [4] 李华. 变频调速技术在供水系统中的应用. 电气传动自动化, 1996, 5:38-40.
- [5] 吴白凯, 余承烈, 陈学功. 水泵变频调速应用的注意事项. 工业用水与废水, 2002, 33(5): 45-47.
- [6] George A. Aldworth. energy-saving pump selection. AWWA, 1983, 10: 497-480.
- [7] YAN De qing. Application of variable Frequency Pressure Water Supply Equipmiention Lage-scale Pumping Station . Drainage and Irrigation Machinery, 2004, 22(4): 23-25.
- [8] 蒋丽君. 泵装置优化设计研究: (硕士学位论文). 江苏: 扬州大学, 2004.
- [9] Benjamin C. Kuo, Farid Golnaraghi. 许小帆、李翔译. 自动控制系统. 北京: 高等教育出版社, 2004
- [10] 电机工程手册编辑委员会. 电机工程手册. 北京: 机械工业出版社, 1987 .
- [11] Lindell E. Ormsbee. Methodology for improving pump operation efficiency. Water Resour Planning and Mgmt. ASCE, 1989, 2(2): 147-148.
- [12] Zou A. p. Energy-saving Design for Frequency Control and Constant Pressure Water Supply System in Residential Area. china water and wastewater, 2003, 9(8):76-78.
- [13] 周久艳, 张燕宾. 变频与工频切换的控制电路. 电气时代, 2002, 7:46-47.
- [14] 吴守篇, 藏英杰. 电气传动的脉宽调制技术. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [15] 朱玉堂. 变频恒压供水系统的研究开发及应用: (硕士学位论文). 杭州: 浙江大学, 2005.
- [16] 韩安荣. 通用变频器及其应用. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [17] 徐德, 张明军. 双泵恒压供水变频调速 PLC 控制系统. 山东工业大学学报, 1996, 9(3): 272-274.
- [18] 干蕾, 宋文忠. PID 控制. 自动化仪表, 2004, 25(4): 1-6.
- [19] Sun Ming. Study of Fuzzy PID Control. Computer Application, 2004, 4:51-53.
- [20] 李曼珍. 过程控制中 PID 控制算法的实用性. EIC, 2004, 11(5): 48-50.
- [21] 杜清府. 小气压罐与变频调速结合的节能供水系统. 中国给水排水, 2005, 7:77-79.
- [22] 杜金城. 电气变频调速设计技术. 北京: 中国电力出版社, 1999.
- [23] 张延年, 陈少雄. 触摸屏技术用于水厂实时监控. 电气时代, 2004, 6:66-67.
- [24] Eker, Iyas. Operation and control of a water supply system. ISA Transactions, 2003, 2(3): 461-473.
- [25] 孙增圻, 张再兴等. 智能控制理论与技术. 北京: 清华大学出版社, 1997.
- [26] 赵永成, 阎长罡. PLC 在变频调速多泵并联供水系统中的应用. 控制工程, 2002, 11(6): 19-23.
- [27] 刘海芳. 泵站网络巡回监控系统的设计与实现: (硕士学位论文). 大连: 大连海事大学, 2000.
- [28] 干华强, 李少东. 基于组态软件的监控系统. 电气时代, 2004, 2:94-95.
- [29] 施耐德电气(中国)投资有限公司产品部. Modicon TSX Neza PL707Win 编程软件操作手册. 2000

附录 A 恒压变频供水系统变频多泵连动程序（节选）

```
LD    Q
ANDN  %M50
ST    %M101
END_BLK
LD    %TM1.Q
ST    %M50
LD    %M101
ANDN  %Q0.1
AND   %Q0.3
AND   %Q0.5
ST    %M4
LD    %M101
ANDN  %Q0.1
ANDN  %Q0.3
AND   %Q0.5
ST    %M5
LD    %M101
AND   %Q0.1
ANDN  %Q0.3
AND   %Q0.5
ST    %M6
LD    %M101
AND   %Q0.1
ANDN  %Q0.3
ANDN  %Q0.5
ST    %M7
LD    %M101
AND   %Q0.1
AND   %Q0.3
ANDN  %Q0.5
ST    %M8
LD    %M101
```

```
ANDN %Q0.1
AND %Q0.3
ANDN %Q0.5
ST %M9
LD %M1
OR %M12
ANDN %M102
ST %M12
BLK %TM2
LD %M12
IN
OUT_BLK
LD Q
ST %M102
END_BLK
LD %M1
OR %M21
ANDN %M22
ST %M21
BLK %TM2
LDN %I0.3
AND %M21
IN
OUT_BLK
LD Q
ST %M22
END_BLK
LD %M2
OR %M13
ANDN %M103
ST %M13
BLK %TM3
LD %M13
IN
OUT_BLK
```

附录 B 恒压变频供水系统远程监控程序 (节选)

```
LD 1
[ %MW444 := %IW1.1 + %IW1.1 ]
[ %MW502 := %MW444 - 819 ]
AND [ %MW502 < 0 ]
[ %MW502 := 0 ]
(* 电压 *)

LD 1
[ %MW445 := %IW1.2 + %IW1.2 ]
[ %MW503 := %MW445 - 819 ]
AND [ %MW503 < 0 ]
[ %MW503 := 0 ]
(* 频率 *)

LD 1
[ %MW505 := %MW501 / 32 ]
[ %MW506 := %MW502 / 32 ]
[ %MW507 := %MW503 / 32 ]
[ %MW508 := %MW504 / 32 ]

LD 1
[ %MW509 := %MW505 * %KW60 ]
[ %MW510 := %MW506 * %KW61 ]
[ %MW511 := %MW507 * %KW62 ]
[ %MW500 := %MW508 * %KW63 ]
```

攻读硕士学位期间发表学术论文情况

- 1、初乃茂, 姜贵全. 无线抄表技术及应用. 给水与排水, 2007, 1: 35-41.
- 2、孙德君、陈洪泽、丁波、初乃茂. 无线抄表系统. 大连市电子信息技术推广应用优秀成果二等奖. 2005.
- 3、丁波、李为民、初乃茂、张旭. GPRS 无线远程测控系统. 大连市电子信息技术推广应用优秀成果二等奖. 2005.
- 4、邢罡、肖长存、胡庆红、初乃茂. 自来水二次加压泵站远程测控系统. 大连市电子信息技术推广应用优秀成果三等奖. 2005.
- 5、赵宝璋、刘红卫、袁忠伟、初乃茂. 微电子避雷系统. 大连市电子信息技术推广应用优秀成果三等奖. 2005.
- 6、丁波、初乃茂. WCX-A、WCX-B 无线抄表系统. 大连市科技进步二等奖. 2007.

致 谢

在此论文完成之际，向养育我的父亲母亲道声辛苦！向培养过我的老师们道声感谢！谨向为此论文倾注了大量心血和提供了许多帮助的各位老师、同学以及同事表示深深的敬意和谢意。我的导师张守国教授在我完成论文的过程中倾注了悉心的指导和大力支持，在此表示深深地感谢。在论文的完成期间，还得到了大连市自来水集团二次供水工程有限公司孙晓宇、邢罡、丁波等同事的指导和帮助，在此致以衷心的感谢。

感谢大连理工大学的所有教职员工，在我完成学业的过程中提供的指导和帮助。

最后向审阅本论文的各位专家老师表示深深的谢意，感谢你们在百忙之中抽出时间和精力来指导我的论文。

作者: [初乃茂](#)
学位授予单位: [大连理工大学](#)

相似文献(10条)

1. 期刊论文 [王乐勤, 王循明, 陈颂英 射流泵辅助变频调速恒压供水系统的研究开发](#) -流体机械2002, 30(7)
概述了变频调速泵节能原理, 针对高层建筑供水设施改造的实际情况, 设计开发了一套射流泵辅助变频调速恒压供水系统. 实际应用表明, 该系统自动化程度高, 装置运行稳定可靠, 节能效果明显, 具有推广价值.
2. 期刊论文 [陈新恩, 王永祥 基于S7-200的变频调速恒压供水系统](#) -电气应用2006, 25(6)
为解决供水压力不稳定的问题, 设计了一种基于S7-200的变频调速恒压供水系统. 介绍该系统的组成和工作原理, 具体说明控制系统中硬件和软件的设计, 最后总结该系统的优点. 实践证明, 该系统可靠性高、经济性强.
3. 期刊论文 [张小明, ZHANG Xiao-ming 变频调速在恒压供水系统中的应用](#) -南京工业职业技术学院学报2003, 3(4)
我国传统的供水有方式三种: 恒速泵供水、水塔及高位水箱供水和气罐供水, 但都存在着较大的缺陷. 本文在恒速泵供水系统的基础上设计了一种变频调速恒压供水系统, 这种供水系统自动化程度较高, 节能性好, 有广泛适用性.
4. 期刊论文 [刘旭宇 PLC在变频调速恒压供水系统中的应用](#) -机电电器2003, 30(2)
本文介绍了SIMATIC S7-200 PLC在变频调速恒压供水系统中的应用, 并具体说明了系统工作原理和控制系统设计实践.
5. 学位论文 [叶金虎 自适应模糊控制技术在变频调速恒压供水系统中的应用研究](#) 2007
本文针对目前的小区供水系统中存在的电能、水资源浪费且供水质量差等问题, 研究并设计了一种变频调速恒压供水控制器. 该控制器是以AT89S52单片机为核心, 并与变频器、继电器、压力传感器等器件结合起来, 共同构成了变频恒压供水系统. 该系统是以管网水压为设定参数, 根据用水量的大小由单片机控制投入运行的水泵的数量及电机的转速, 实现管网水压的闭环调节, 即实现恒压供水. 首先根据供水系统的管阻特性曲线和水泵扬程特性曲线, 分析了恒压供水的原理; 然后根据管网和水泵的运行特性曲线, 阐明了供水系统的变频调速节能原理. 接着分析了变频调速恒压供水系统的构成、工作原理和控制流程. 在研究了模糊控制原理的基础上, 设计了一种应用于变频调速恒压供水系统的自适应模糊控制器, 并建立了离线模糊控制查询表. 最后对系统的软硬件设计进行了详细的介绍, 并指出了系统所存在的EMI问题, 并给出了相关的抑制方法. 经过试验验证, 本课题所设计的恒压供水系统对水压的实时控制性能良好, 硬件模块工作稳定、可靠, 所设计的自适应模糊控制器正确有效, 较好的保证了管网水压的稳定性. 该系统是一种较理想的控制系统.
6. 期刊论文 [李兰村, LI Lan-cun 变频调速恒压供水系统的微机控制](#) -机电工程2000, 17(4)
介绍了用8501单片机控制的变频调速恒压供水系统, 给出了系统的硬件结构及单片机控制程序框图. 在系统中, 8501 CPU产生三相交流变频控制信号, 经驱动后, 输送到逆变主桥路, 实现恒压调速.
7. 期刊论文 [彭小红, 刘国东 基于PLC的变频调速恒压供水系统的设计](#) -现代电子技术2004, 27(6)
以一个生活区的恒压供水系统为例, 介绍了应用PLC实现变频恒压供水的方法. 详细介绍了系统的硬件结构、工作原理和软件实现, 并给出了有关控制软件的流程图和PLC功能图.
8. 期刊论文 [许建平, 焦建雷 PLC在变频调速恒压供水系统中的应用](#) -九江职业技术学院学报2004(1)
本文详细地介绍了三菱公司FX系列小型PLC在小区高楼恒压供水系统中的应用, 并具体说明了系统工作原理和控制系统的设计. 实际系统中由一台变频器和自耦降压启动器带动多台水泵, 采用PLC实现PID调节和水泵的工频、变频运行切换. 现场运行表明, 该系统自动化程度高, 稳定性好, 完全符合工艺要求.
9. 会议论文 [纪文革 浅析变频调速恒压供水系统](#) 1997
10. 会议论文 [黄颂民 经济型恒压供水系统](#) 2002
经济型恒压供水系统是由先进的电气、控制设备构成的水泵运行台数控制系统. 本文简述了变频调速恒压供水系统和经济型恒压供水系统的控制方式及性能差异从经济性的角度对两系统进行了粗略的比较.

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Thesis_Y1092880.aspx

下载时间: 2010年3月16日