分布式恒压自动化灌溉系统的研制

黄修桥[1]，高胜国[1]，于思亭[2]，齐学斌[1]，郭志新[1]
（1. 水利部、中国农业科学院 农田灌溉研究所，河南 新乡 453003；2. 威海市环翠区水利局，山东 威海 264200）

摘　要：论述了分布式恒压自动化灌溉系统的系统结构，软、硬件设计方法和工程实例。通过采用变频调速器的多功能应用，实施软启动和软关机等技术手段，有效地避免了管网系统因“水锤”而爆管的现象发生；通过采用分布式系统结构和有线无线结合的经济组网方式等技术措施，极大地降低了工程建设成本和运行、维护、管理费用；重点介绍了在实践中非常有效的特殊电路和非常规处理方法，在采样的普通接点上施加100 V交流电，解决了恶劣条件下，因电接点腐蚀而影响系统长期可靠性的难题。其技术模式和设计方法，具有一定的参考价值。

关键词：恒压灌溉；自动控制系统；变频调速器；建设成本；维护费用
中图分类号：S277　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1005－6254(2007)02－0040－05

Study on the distributing constant pressure automatic irrigation system

HUANG Xiu-qiao[1], *GAO Sheng-guo*[1], *YU Si-ting*[2], *QI Xue-bin*[1], *GUO Zhi-xin*[1]
(1. Farmland Irrigation Research Institute, MWR, CAAS, Xinxiang, Henan 453003, China; 2. Conservancy Bureau of Weihai City, Huancui District, Weihai, Shandong 264200, China)

Abstract: In this paper the structure of automatic irrigaton system of distributing contant pressure, the design method of softwares and hardwares, and engineering examples are studied. The phenomenon of pipe explosion because of "water hammer" is avoided effectively through the applying of variable frequency speed regulation of multi-function and the implement of means of soft start and shut. The cost of engineering structure, maintainment and management are reduced greatly through the adoption of some measures, such as the distributing system structure, the combination of wire and wireless. By using the special circuit and the abnormal means of handlement, adding 100 V alternate current to the commom circuit point, we can solve the difficult problem of decayed circuit point which affect the long-term credibility of the system in the bad sitution.

Key words: constant irrigation; automatic controlled system; variable frequency speed regulation; construction cost; maintain expenses

管道式喷灌系统通常处于一种随机工作状态，其用水的不确定性经常造成管网系统压力、流量的变化；同时，为适应田间用水量的变化，保证供给所需要的水量，供水系统例如水泵运行的组合工况也处于经常性的变化之中[1]，在设计及管理上需要使整个系统随田间水量的变化处于一种自适应的动态调节过程，否则会产生水锤、供水不足等问题。目前世界许多国家在灌溉管网中尤其是大规模管网中广泛采用了调压罐、调蓄水池、减压池、减压阀、多台水泵、泵转速调节以及优化闸阀控制等多种控制调节设施；在末端灌溉系统采用调压罐控制，大大提高了系统自动化程度及供水对用水的调节能力。我国许

收稿日期：2006－12－05
基金项目：科技部农业科技成果转化资金资助项目(02EFN216801231)
作者简介：黄修桥(1961－)，男，湖北汉川人，研究员，博导，主要从事节水灌溉理论与技术的研究。
高胜国(1960－)，男，辽宁本溪人，副研究员，主要从事水资源管理与灌溉自动化技术的研究。

万方数据

多喷灌工程由于技术水平不高，管理水平低，造成系统运行及维护费用高，爆管、机组损坏等问题也时常出现，往往使得工程效益得不到充分发挥，甚至报废。近年来，农业生产已经从扩大种植规模追求单位粮食产量，向因地制宜调整农业种植结构，提高现有的水土资源利用率，追求单位效益的效益型农业发展。多种作物，多种种植方式，多种灌溉形式并存，使当前农业灌溉用水情况比以往任何时候都更加复杂，对灌溉系统也提出了更高更新的要求。在此情况下，大幅度提高灌溉系统整体效率，靠现有的单一灌溉技术已经很难做到。因此，研制能够根据用水情况随时调整供水状态，将管网压力限定在一定幅度内的恒压灌溉控制系统，具有重要的意义。

在国外先进成果的基础上，充分利用已有的工作基础和相关行业的信息资源，紧密结合生产实际，充分考虑到使用对象是基层管理人员，在普通农产品特别是水价偏低的情况下，通过省水、增产和改善农作物品质而获得的直接收益并不高的实际情况，有针对性地研制了一种管理方便，操作简单，易于维护维修，投入不高的新型恒压自动化灌溉系统。经实际使用，效果良好，达到了预期目标。

1　系统设计

1.1　系统结构

该系统采用分布式系统结构，分布式恒压灌溉自动控制系统是由一台控制计算机和一台内置单片机的控制总站（置于中央控制室，简称“上位机”）以及若干台内置单片机的控制子站（置于机井井房或测控现场，简称“下位机”）组成的。下位机可以分为两级，系统为树形拓扑结构，见图 1。

控制总站（中央控制室）为树形分布结构的中心节点，相当于树的根，根据具体情况，可设在灌区外、灌区边缘和灌区内的任何有效范围内。树形结构的外节点为各控制子站。控制子站分为两级，一级子站和二级子站，相当于树的枝杈，分布在灌区的各机井处或测控现场。一个控制总站理论上可以带任意多个控制子站，但过多的控制子站将影响系统运行速度。控制总站与一级控制子站的通信采用无线半双工方式进行，一级子站和二级子站采用有线通讯方式。在控制面积较大的情况下，采用分布式系统结构和有线无线结合的组网方式[2]，可有效降低系统造价 30% 以上，可靠性高，系统模块化，维护简便。

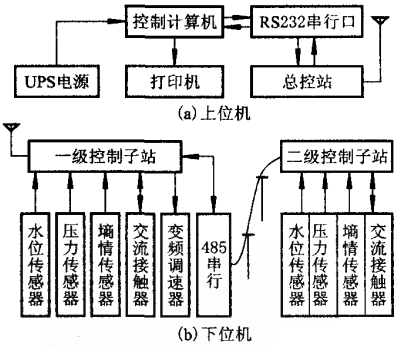


图 1　系统典型构成示意图

1.2　硬件研制

1.2.1　硬件设备的组成

控制总站以单片机为中心，主要包括与中心计算机通讯的串口电路，与下位机通讯的无线调制解调器和射频收发电路，日历时钟电路和数据存储器，电源供给电路等部分组成，见图 2。

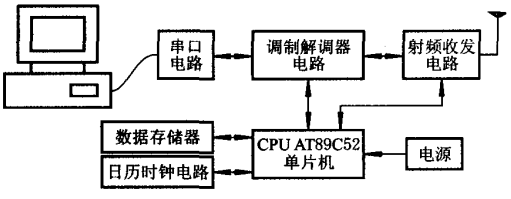


图 2　控制总站电路组成示意图

测控现场设备包括：控制子站，传感器，强电控制箱，调压罐和天线等，见图 3。

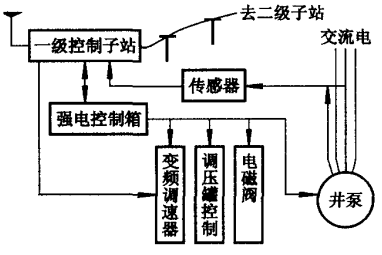


图 3　测控现场示意图

控制子站以单片机为中心，主要包括与上位机通讯的无线调制解调器和射频收发电路，一、二级下位机通讯的 485 串口电路，A/D 转换和 D/A 转换电路，信号调理与光电隔离电路，功率驱动电路，电源供给电路，数据存储器等部分组成，见图 4。

1.2.2　硬件设计基本原则

对整体性能影响不大的一般电路的设计，是在保证设备性能要求的前提下，以采用低成本、可靠的元器件和成熟的电路为原则；对整体性能影响很大

万方数据

的重点电路的设计，大胆地尝试采用新技术和新方法，软件能解决的问题决不采用硬件解决，尽可能地采用知名公司研制的最新的集成电路进行设计，取得低成本高性能的整体效果。

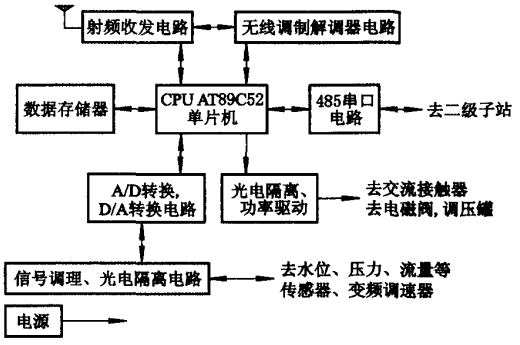


图4 控制子站电路组成示意图

1.2.3 系统硬件主要电路设计

(1)微处理器(单片机)

系统采用美国 Atmel 公司生产的 AT89C52 微处理器(CPU)，AT89C52 是一种低功耗、高性能的 CMOS 8 bit 处理器，芯片内包含有 8K 可重复编程的 Flash 存贮器和 256×8 bit RAM，无需外扩程序存储器，8051 指令系统。是目前使用量最大、最成熟的单片机系统之一。系统采用了效率最高，占用程序存储空间最小的汇编语言编程完成；采用特种加密手段，仿制者无法解密，有利于知识产权的保护。该机型非常适合于科研及其成果小批量生产[3]。

(2)调制解调器电路设计

调制解调器电路，对系统造价和可靠性的影响很大，选用了无线调制解调器集成电路的著名制造商英国康舒公司的集成电路芯片 MX909A 双点调制，进行设计制作，采用数据打包传输格式，具有很强的自动纠错和抗突发干扰能力[4]，可靠性和经济性得到了很大的提高。

(3)电路设计的抗干扰考虑与技术措施

通常情况下，灌溉系统的测控现场距供电变压器比较远，供电线路通常不规范，截面积小，线路电阻大，因此电压跌落比较大。水泵开关时电流从无到有变化幅度非常大，电磁干扰非常严重，如果不采取一定的技术措施，系统将无法正常工作。

已经采取的措施如下：软件措施：错开水泵开关与数据采样和数据传输的时间。关键控制字重复写入，软件滤波，软件陷阱，软复位设置[5]等。

硬件措施：设置看门狗电路，光电隔离[6]，加大总线驱动能力等。

除了以上措施外，针对实际运用中存在的农用机井房通风不良而致严重潮湿的问题，检测交流接触器是否闭合的普通接点采样，采用常规方式(触点加直流电)。由于电化学的腐蚀作用，长期可靠性差的问题，采用专门设计的电路(见图5)，使触点加 100 V 交流电，有效地解决了触点由于电化学腐蚀作用电阻加大而影响长期工作可靠性的问题。

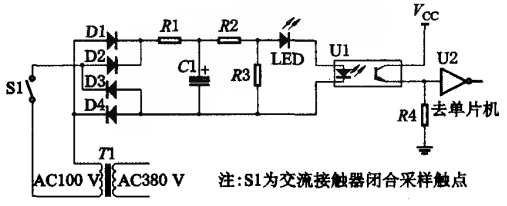


图5 触点采样处理电路

该措施在同类系统中未见报道，因此作了详细介绍。系统采用的技术措施已经收到了很好的效果，系统工作长期稳定可靠。

1.3 软件设计

系统包括5个功能模块：系统设置、监测控制、数据管理、预报模型以及帮助系统。

1.3.1 系统参数设置

如图6，根据系统控制模式进行不同的参数设置，包括开关机定时设置、地下水水位允许下限值、允许开采量、土壤含水量、工作压力等参数。这些参数可根据本软件系统地下水位动态预报模型的预报结果进行设置，也可以根据其他的区域水资源优化配置模型以及灌溉计划进行设定。



图6 参数设置界面

1.3.2 监测控制

对工作压力、水位、流量、土壤墒情、现场设备的开关状态等进行实时监测，并显示在总控计算机的屏幕上。重要的被监测参数，比如土壤墒情，除以数值方式显示外，同时还以动态直观的实时曲线的方式进行显示。总控计算机根据预先选择的控制模式

万方数据

将数据信息处理后，形成控制指令通过总站发送给控制子站，来控制子站相应设备的启闭。对系统运行中出现的故障进行记录和处理，当系统运行在限量开采方式时，如果水位或累积开采量超过限定值，系统将自动关机并作相应记录[7]。

1.3.3　数据管理

系统采用多级数据安全管理模式，并对各级操作员操作权限进行了定义和限制，以确保系统安全。包括数据的实时读入，历史数据的检索、查询、打印以及历史数据趋势图显示等功能，见图 7。

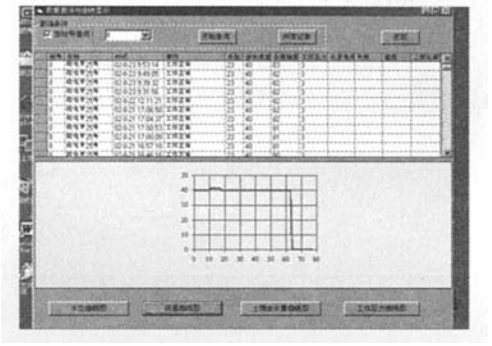


图 7　历史数据检索和趋势显示界面

1.3.4　预报模型

模型库包括自回归模型、人工神经网络模型[8]及有限元模型。这些模型各有优缺点，可根据不同条件和预测要求，选择相应的模型。

1.3.5　在线帮助

提供了控制系统运行、操作及数据管理等功能的在线帮助，帮助系统详细地说明了操作过程中容易出现的问题及具体的解决办法，对于初次接触本系统的基层管理人员，通过在线帮助系统可以很方便地熟悉系统的操作规程。

2　系统应用

恒压自动化灌溉工程位于威海市羊亭镇，区内工农业十分发达，像华宝花卉等一些大型外资企业也落户其中。淡水资源的供给情况，直接关系到当地的经济发展和投资环境。工农业用水以开采的地下水为主，用水情况比较复杂。由于一面临海，过量抽取地下水将直接面临海水入侵，地下水劣化，灌溉保证率低下等问题，给当地的生态环境质量和工农业的可持续发展带来不可挽回的严重影响。图 8 为系统监控面板及工程示意。

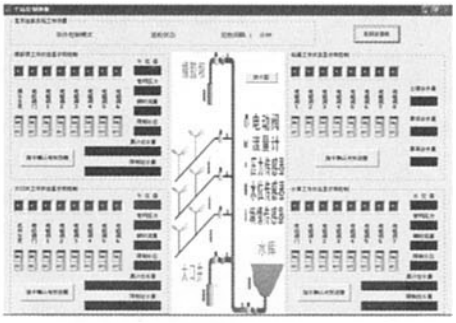


图 8　系统监控面板与工程示意图

该工程控制了区内的主要水源，有小二型水库 1 座，拦河橡胶坝 1 处，地下水开采大口井（方塘）1 处，控制面积超过 267 hm^2（约 4 000 亩）。橡胶坝设计供水流量为 100 m^3/h，扬程为 50 m，采用 1 台 22 kW 50 m 扬程的大型离心泵进行提水送入管网。由于管网的地埋管采用了 PVC 塑料管，同时还要向对面的 30 m 高程的山坡供水，为了避免水锤对管道的破坏，同时满足大型电机“软起动”的技术要求，安装了 1 台 22 kW 的森兰变频调速器。安装了 1 台 700 W 的单相潜水泵为离心泵补水。变频调速器在这里除了进行供水恒压外，还肩负离心泵的“软起动”和“软关机”功能，以避免水锤对管网造成破坏。

为了实现对该水源的监控，安装有弱电控制箱（控制子站）1 个，强电控制柜 1 台，大型电动阀 1 台，水位传感器 1 个，瞬时流量传感器 1 个，压力传感器 1 个。根据控制中心传来的控制指令，通过弱电控制箱、强电控制柜和电动阀控制离心泵自动补水、“软起动”和“软关机”过程。通过传感器采集到的运行参数回传给控制中心，进行实时监测。

小二型水库采用落差自流供水，在管网的入口处安装大型电动阀 1 台，流量和压力传感器各 1 个，弱电、强电控制箱各 1 个，以实现远程监控和现场手动功能。大口井采用 7.5 kW 的潜水泵提水，安装有 1 台 7.5 kW 的森兰变频调速器，电动阀 1 台，流量、水位、压力传感器各 1 个，弱电、强电控制箱各 1 个，以实现远程监控和现场手动功能。田间安装有控制子站，采集管网压力、土壤墒情，支管电磁阀启闭等信息，控制支管电磁阀的启闭。工程投入运行后，通过多水源联合运用，有效地缓解了当地的供水紧张局面，促进了当地的经济发展和环境改善。

3　结　论

经实际应用和现场考核，分布式恒压自动化灌

万方数据

溉系统运行稳定、可靠、自动化程度高,不仅可以进行恒压灌溉,还实现了大型离心泵的自动补水、软启动和软关机功能。

将变频调速器升速和降速分别设定为3 min的情况下,运行2年来,没有发生一起PVC塑料管因水锤而爆管的问题,极大地降低了工程建设成本和运行维护费用。

分布式恒压自动化灌溉系统的研制成功,使恒压喷灌造价降低30%以上,节能10%~20%。为我国恒压喷灌的发展提供了新的设计方法与模式。

参考文献(References)

[1] 刘 宜,李会暖,刘晓阳,等. 变频调速技术在水泵调节控制系统中的应用[J]. 排灌机械,2006,24(4):44-46,53.

[2] 高胜国,黄修桥,齐学斌,等. 基于经济组网方式的灌溉远程自动控制系统[J]. 农业机械学报,2005,36(2):79-81.

[3] 宦鸿兴,柏 屏. 基于AT89C52单片机的泵站现场监控单元设计[J]. 排灌机械,2006,24(3):12-16.

[4] 魏守明,刘宁庆. 高斯最小移频键控调制解调数据泵MX909A及其应用[J]. 电子技术,2003,30(4):45-48.

[5] 高培先. 提高实时系统数据采集质量的研究[J]. 电子技术应用,2002,28(3):22-24.

[6] 李 凯,毛罕平. 实时施肥灌溉自动控制系统的研制[J]. 江苏理工大学学报, 2001,22(1): 12-15,78.

[7] 高胜国,黄修桥,齐学斌,等. 基于经济组网方式的地下水限量开采自动控制系统[J]. 农业工程学报,2005,21(增刊):20-22.

[8] 赵 辉,高胜国. 商丘试区地下水动态的ANN模型研究[J]. 地下水,2001,23(2):78-79,85.

(责任编辑 张文涛)

(上接第39页)

出水流道方案4流道内的流态与方案3相同。方案4流道出口与河道之间未采用斜坡衔接,直接采用了跌坎方式。

5.2 出水流道水力损失计算

在出水流态数值模拟的基础上,对刘老涧二站虹吸式出水流道各方案设计流量时的水力损失进行了计算,计算结果列于表1。

表1 出水流道各方案设计流量时的水力损失

方案编号	方案1	方案2	方案3	方案4
流道水力损失/m	0.469	0.511	0.369	0.364

从流道水力损失的计算结果表明:充分利用泵站最低水位较高的有利条件,尽可能抬高流道出口断面的位置,可大大压缩虹吸式出水流道下降段内的旋涡区、减少流道的水力损失。由于出水池内的流速很小,出水流道出口断面的底面与河底之间的衔接方式对水力损失的影响很小,为了不影响相邻节制闸的过流能力,出水流道底面与河道之间可以采用较大坡度或跌坎的衔接方式。

6 结 语

对刘老涧二站虹吸式出水流道水力优化计算的结果表明:

(1)虹吸式出水流道的型线对流道内的流态影响很大,流道内的流态愈好,流道的水力损失愈小。

(2)虹吸式出水流道具有较大的水力性能优化的潜力,经过仔细的优化水力设计,传统形式的出水流道可以获得优异的水力性能。

(3)虹吸式出水流道具有断流方式简单、运行管理方便且水力损失小等优点,有非常好的应用前景。

参考文献(References)

[1] 王福军. 计算流体动力学分析[M]. 北京:清华大学出版社, 2004.

[2] 王福军,黎耀军,王文娥,等. 水泵CFD应用中的若干问题与思考[J]. 排灌机械,2005,23(5):1-10.

[3] 金忠青. N-S方程的数值解和紊流模型[M]. 南京:河海大学出版社,1989.

[4] Rodi W. Turbulence model and their application in hydraulics[M]. Delft: IAHR Section on Fundamentals of Division Ⅱ, 1980: 44-46.

[5] 陆林广,杲东彦,祝 婕. 大型泵站虹吸式出水流道优化水力设计[J]. 农业机械学报, 2005,36(4):60-63.

(责任编辑 贾国方)

万方数据