

面向灌区调水工程的远程自动计量闸门研究^{*}

张从鹏 罗学科 李功一 毛 潭 岳向泉

(北方工业大学机电工程学院, 北京 100144)

摘要: 设计了一种基于远程无线通信技术的灌区动态调水系统,由安装于各级渠道上的自动计量闸门集群和运行于调度中心的远程调水控制系统组成。利用明渠测流理论和传感测量技术,实现了闸门的计量功能;对称双轮双向卷拉驱动机构和中空蜂窝闸板结构设计,提高了闸门启闭运动的可靠性和闸门运行能效;开发了基于 ARM 的闸门终端控制器,实现了闸门终端的智能控制和无线远程通讯,多种闸门工作模式可满足不同的应用需求;设计了太阳能供电与电源管理系统,解决了闸门野外工作的供电问题;开发了远程动态调水控制的应用软件包,实现了对闸门的远程监控与联动调水。实验表明,闸门终端环境适应性强,性能稳定,动态水位误差小于 5 mm,闸门定位误差小于 1 mm,自由流的测流误差小于 4.6%,淹没流测流误差小于 8.3%,可满足各类自动调水工程应用。

关键词: 自动计量闸门 远程动态调水 明渠测流 远程无线控制

中图分类号: TV663; TP29 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)08-0172-06

引言

目前,我国灌溉用水量约占总用水量的 60% 以上,大部分灌区输水系统中使用的传统分水和节制闸门,均采用单闸门的离散手动操作和开环控制,测流计量和灌溉方式粗放,渠道输水过程中经常出现“退水”现象,水流失十分严重。“十一五”末全国农业灌溉用水有效利用系数的预期指标为 0.5,大部分灌区的实际水有效利用率不到 50%,灌溉水的利用率和利用效益较低^[1]。国外的灌区自动输水控制技术开发较早,澳大利亚通过采用渠道控制系统,将墨尔本维多利亚北灌区几千公里渠道的灌溉水有效利用系数提高至 84%~90%,并且实现了全流域动态调水与灌溉自动化^[2]。我国相关的研究起步较晚,设备技术落后,现有测流装置和分水控制闸门各自独立,信息融合与系统集成成本高,不能满足建设自动化灌区的需求^[3]。本文面向我国各型灌区自动化建设的迫切应用,基于明渠测流理论,研究具有测流计量功能的自动化闸门及其控制系统;融合广域无线物联网技术,实现闸门终端的远程无线测控,通过全流域闸门集群系统的协同控制,以期实现灌区高效、精确、按需配水,提高水资源的利用率和利用效益。

1 闸门测流原理与系统构成

1.1 矩形平板闸门测流原理

矩形平板闸门具有占地面积小、驱动功耗低、安

装方便等优点,性价比高,非常适合在各型灌区中使用。根据明渠测流理论,矩形平板闸门通过闸门开度调节流量,当开度水位之比 $e/H \leq 0.65$ 时,属于闸孔出流状态;当 $e/H > 0.65$ 时,为堰流状态。闸孔出流又分为自由出流和淹没出流,如果下游水位不影响闸下流出的射流,称之为自由出流;反之,称为淹没出流,如图 1 所示^[4]。图中, H 为闸前水位, h_t 为下游水位, e 为闸孔开度,这 3 个参数可采用传感器测量得到; H_0 为包含水流动能的闸前总水头,在灌区渠系应用中,水流速度 v_0 较小,实际应用中忽略动

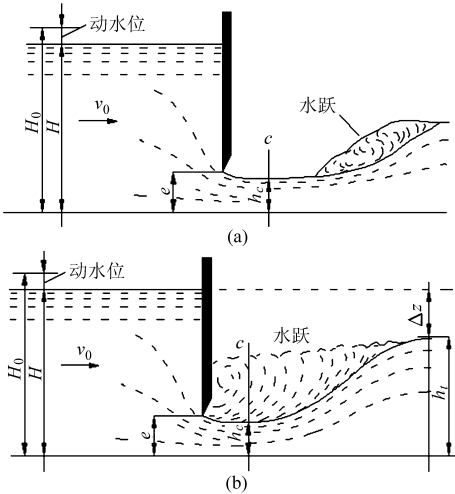


图 1 闸孔出流方式

Fig. 1 Sluice flow mode

(a) 自由出流 (b) 淹没出流

收稿日期: 2014-03-17 修回日期: 2014-04-20

^{*} 北京市人才强教计划资助项目 (PHR201108053) 和山西省水利科学技术资助项目 (JSKY201007001)

作者简介: 张从鹏, 副教授, 主要从事数字化制造工艺装备和计算机测控技术研究, E-mail: soaringroc@ncut.edu.cn

水位 $v_0^2/(2g)$ ，用 H 代替 H_0 。

采用闸门进行测流时，需根据不同流态采用不同的流量计算方法。根据闸门安装和使用条件，出流状态依照图 2 所示的流程进行判别。

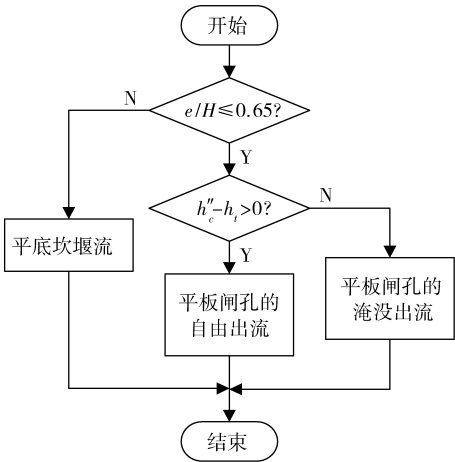


图 2 流态判断流程图

Fig. 2 Flow status judging flowchart

收缩断面的跃后共轭水深为^[4]

$$h_c'' = \frac{h_c}{2} (\sqrt{1 + 8F_{rc}^2} - 1) \tag{1}$$

其中 $F_{rc}^2 = 2\varphi^2 (H - h_c) / h_c$ (2)

$$h_c = e\varepsilon \tag{3}$$

$$\varepsilon = 0.6159 - 0.0343 \frac{e}{H} + 0.1923 \left(\frac{e}{H} \right)^2 \tag{4}$$

式中 h_c ——收缩断面水深

F_{rc}^2 ——收缩断面的佛氏数

ε ——垂向收缩系数

闸孔自由出流状态的流量为^[4]

$$Q = \mu_0 e b \sqrt{2gH_0} \tag{5}$$

式中 μ_0 ——流量系数 b ——闸门宽度

闸孔淹没出流状态下的流量为^[4]

$$Q = \varphi b \varepsilon e \sqrt{2g(H_0 - h)} \tag{6}$$

其中 $h = \sqrt{h_t^2 - M \left(H_0 - \frac{M}{4} \right)} + \frac{M}{2}$ (7)

$$M = 4\mu_0^2 e^2 \frac{h_t - h_c}{h_t h_c} \tag{8}$$

式中， φ 为流速系数，闸下底孔出流时， φ 的取值范围为 0.95 ~ 1.00。

堰流出流状态下的流量为^[4]

$$Q = \sigma m_0 b \sqrt{2gh_a^{3/2}} \tag{9}$$

其中 $\sigma = 1.05 (1 + 0.2h_t) \sqrt{\frac{H - h_a}{h_a}}$ (10)

$$m_0 = 0.4034 + 0.0534 \frac{h_a}{a} + \frac{1}{1610h_a - 4.5} \tag{11}$$

式中 h_a ——堰上水头 σ ——淹没系数

m_0 ——流速系数

a ——堰高，闸门安装后 a 为一个确定值

国内、外学者对此开展了深入的研究^[5-12]，证明在不同安装及流态条件下，明渠闸门的流量计算系数取值不同，对测流精度影响较大，本文中，各计算系数设计为智能可调参数，方便根据使用条件进行调整。

1.2 系统构成

基于远程自动计量闸门的动态调水系统通过将流量测量、上下游水位和闸门控制结合为一个整体来精确控制渠道输水。采用解耦控制使水位波动降至最低，确保所有分水口供水稳定；通过按需供水及订水计算机网络化，提高农业用水利用率；用水户可根据自己需要通过手机或网络订水，系统控制相应的闸门定时定量的分水灌溉。一个完整的自动计量闸门动态调水系统构成如图 3 所示。

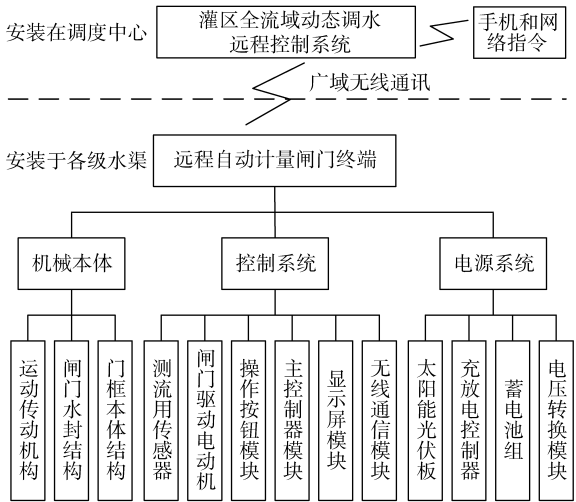


图 3 系统构成框图

Fig. 3 System composition block diagram

图 3 中，灌区全流域动态远程调水控制系统安装于调度中心的服务器上，通过广域无线通信技术实现对安装于各级渠系上的闸门终端远程监控，实现动态调水控制，同时处理手机和网络客户端的订水及控制指令；远程自动计量闸门集群是实现全流域自动动态调水的关键终端设备，主要由机械本体、控制系统、电源系统 3 部分组成。

2 自动计量闸门设计

2.1 机械结构设计

自动计量闸门的机械结构如图 4 所示，主要包括闸门框架、闸门门板、密封条、升降杆、钢线拉绳、绳轮、减速机、驱动电动机和传感器等。闸门启闭过程为：步进电动机的驱动力矩通过减速机传递到传动轴，传动轴带动钢绳卷轮转动，从而牵拉闸门开启

或关闭^[13-14]。

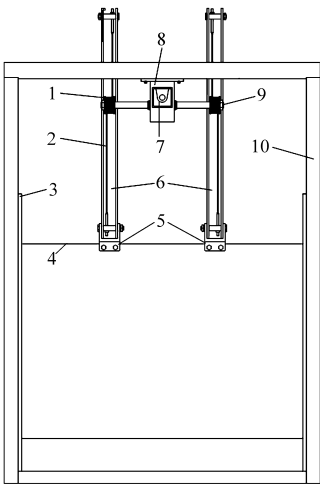


图 4 闸门机械结构

Fig. 4 Mechanical structure of sluice

1. 钢绳卷轮 2. 钢绳拉线 3. 密封条 4. 闸门门板 5. 连接块
6. 升降杆 7. 电动机和编码器 8. 减速机 9. 传动轴 10. 闸门框架

保障闸门的正常启闭是机械设计的关键,常见的螺杆式闸门启闭装置为单点受力结构,门板在上下运动中容易侧斜、卡阻;而一般的卷扬式闸门启闭机,需依靠门板自重实现闸门闭合,容易造成卡阻,不适用于小型闸门。

设计一种对称双轮双向卷拉驱动机构,门板的施力点对称布置,2个卷轮的线槽分别设计为左、向右螺旋,门板启闭运动过程中2个受力点始终保持对称和同步,上下运动均受到升降杆对称的同向驱动力作用,可有效避免门板走偏卡阻及门板底部一端翘起的情况。绳轮结构如图5所示。

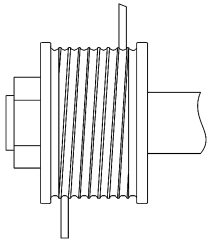


图 5 双向卷拉绳轮

Fig. 5 Bidirectional roll-pulling rope pulley

为减轻供电系统负荷,设计一种基于蜂窝技术的轻量化、高强铝合金复合门板,主体框架采用高强铝合金,空腔内复合了蜂窝结构压粘面板,惯量小于实心铝板的50%,并满足高水压下的强度和刚度要求。

2.2 终端控制系统设计

远程自动计量闸门终端控制系统的主要功能有:闸门启闭运动控制、传感器数据采集及测量计算、远程无线通信功能、多模式闸门控制、本地操作

及信息显示等。

(1)控制系统总体方案

远程自动计量分水闸门的控制系统硬件组成如图6所示,主控模块采用 ARM Cortex M4 系列的主控芯片,包括数据采集接口、无线通信接口、电动机驱动接口、限位开关接口、LCD 模块和数据存储模块等^[15-19]。

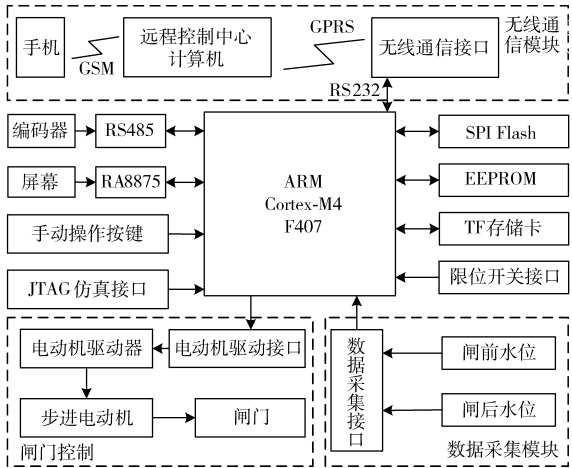


图 6 控制系统结构

Fig. 6 Control system structure

(2)测量系统设计

根据明渠测流理论,通过闸门计量流量,至少要测量闸前水位 H 、闸后水位 h_t 和闸门开度 e 等3个参数。传感器的布置如图7所示,水位传感器选用水压型水位传感器,选用单圈14位分辨率的绝对值旋转编码器作为闸门开度传感器,通过测量电动机的旋转位置实现对闸门开度的测量。

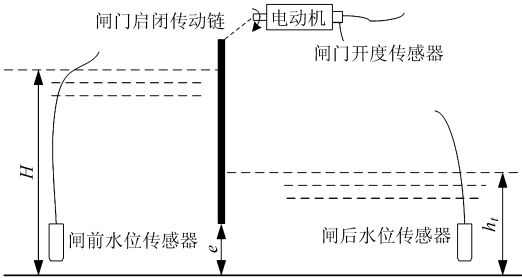


图 7 传感器安装位置

Fig. 7 Sensor installation location

(3)无线通信模块

闸门安装点离散分布,架设专用有线网络成本很高,无线通信方案是理想的选择。GPRS 无线传输方案的传输距离则不受空间距离限制,传输速率满足应用要求,可实现大范围内设备的远程控制。基于双频 GPRS 模块 SIM900A 开发的无线通信模块如图8所示,通过 RS232 接口与主控板通讯。

2.3 电源系统设计

由于闸门安装在各级渠系上,绝大多数情况下

无法从电网取电供给闸门控制系统工作,本文设计了太阳能供电系统如图 9 所示^[14]。



图 8 GPRS 通信模块

Fig. 8 GPRS communication module

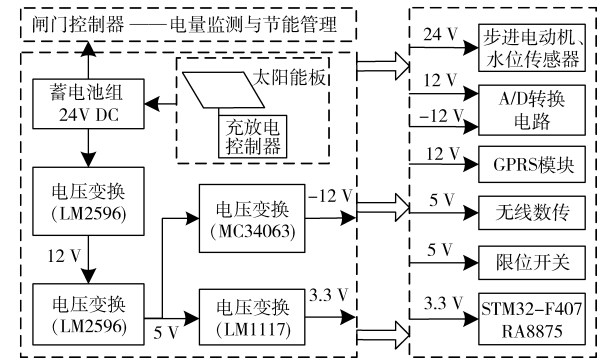


图 9 闸门供电系统

Fig. 9 Gate power supply system

最大规格闸门电控系统满负荷功耗为 148 W,静态节能模式下功耗小于 15 W,电源系统配置为: 24 V、100AH 的蓄电池组、200 W 的太阳能板,基本保障连续 10 d 阴天情况下闸门供电正常。电源模块转换出控制系统需要的各种电压信号;控制器检测供电系统的电量,实现对电源的用电管理,具有过充、过放保护和切换节能模式等功能。

3 远程调水控制系统设计

3.1 闸门终端控制软件

闸门控制软件在 Keiluvision 4.5 环境开发完成,包括闸门自动控制、分水计量、远程通信、数据存储、人机交互等功能,如图 10 所示。

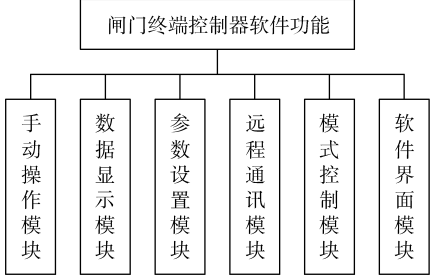


图 10 软件功能框图

Fig. 10 Software functional block diagram

操作人员可以通过闸门终端控制软件查看当前水位信息、累计流量、闸门状态以及控制闸门开度,选择分水模式等。

为满足不同应用要求,设计了 6 种工作模式:流量控制模式、定位控制模式、闸前水位控制模式、闸后水位控制模式、提灌控制模式和联动控制模式。在每种工作模式下,实时流量都由控制系统计算并发回远程控制中心。

3.2 远程调水控制软件

全流域动态调水远程控制系统的主要功能包括:灌区所有自动计量闸门的远程实时监控、全流域动态调水解耦控制、各级用户用水与订水信息管理、流域历史水情分析等。

调水工程空间跨度大,水流输送过程具有大时滞特性,同时渠系中单个闸门的开度变化会引起上、下游多个渠池的水位和流量变化,如果控制不当会引发水位波动的持续震荡,影响输水效率和工程的安全运行。动态调水解耦控制软件包通过“反馈 + 前馈”算法、变量间的合理匹配、整定控制器参数等算法解除渠池间耦合作用,有效降低甚至消除各个渠池间的相互影响,实现安全高效输水^[20]。

远程动态调水控制软件的开发环境为 Visual Studio 2010,数据库平台为 SQL Server 2008,主界面如图 11 所示。

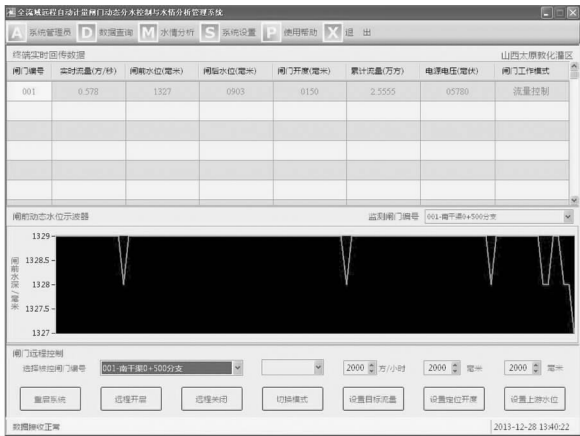


图 11 远程调水控制软件界面

Fig. 11 Remote water control software interface

4 应用试验

4.1 现场应用试验

矩形平板计量闸门既可以作为节制闸使用,也可以作为分水闸使用,自 2012 年 12 月份开始,先后在山西省运城市的引黄灌区和太原市的汾河流域敦化灌区进行了闸门应用试验。

太原敦化灌区为冬季灌溉,运城北赵引黄灌区为苹果种植区,春季至秋季进行灌溉。闸门控制器及现场应用情况如图 12 所示。

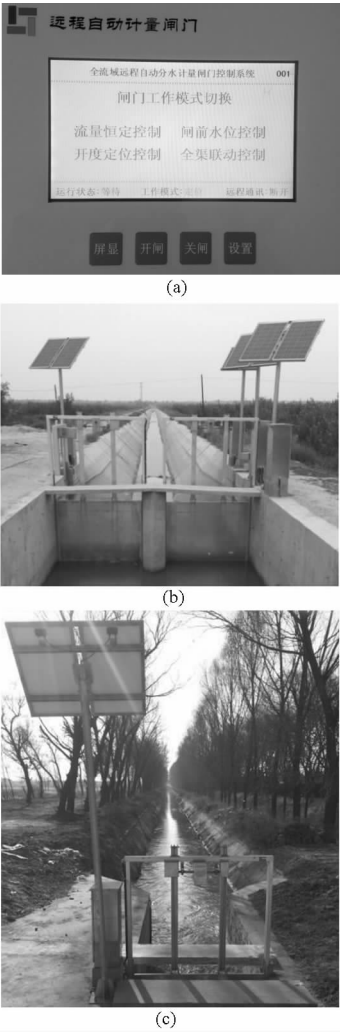


图 12 闸门应用现场

Fig. 12 Gate field application

(a) 闸门控制器 (b) 北赵南干渠五支节制与分水闸 (c) 敦化二支一节制中孔闸门

敦化灌区冬季室温最低气温达到 -20°C , 北赵灌区夏季控制箱表面温度超过 70°C , 引黄灌区水的含沙量很大, 从现场使用情况看, 闸门各个子系统工作正常, 远程无线网络通信稳定, 水压式传感器对泥沙的适应能力强。

4.2 计量数据分析

(1) 流量测量精度

2013 年 9 月, 北赵南干渠五支分水闸, 该闸门下流的支渠宽 1.2 m, 闸门净过水宽度为 1.168 m, 采集闸门正常使用中的实际数据如表 1 所示。

表 1 中的 Q' 为闸门下游量水槽测量的流量, 由表 1 可知, 自由流状态下, 闸门测流的最大相对误差 4.55%; 淹没出流状态下测量误差 8.29%。根据渠道和闸门设计匹配, 闸门基本工作在自由流状态。

表 1 闸门测流数据

Tab. 1 Gate flow measurement datum

$e/$ m	$H/$ m	$h_t/$ m	流态	$Q/$ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	$Q'/$ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	相对误 差/%
0.218	0.817	0.302	自由	0.555	0.541	2.60
0.306	0.821	0.367	自由	0.746	0.760	1.84
0.359	0.809	0.491	自由	0.848	0.823	3.04
0.452	0.776	0.561	自由	1.007	1.055	4.55
0.446	0.603	0.514	淹没	0.658	0.615	6.99
0.389	0.567	0.493	淹没	0.522	0.487	7.19
0.302	0.486	0.396	淹没	0.457	0.422	8.29

(2) 水位控制精度

在两个灌区试验表明, 闸门水位控制模式运行时, 在可调节范围内, 闸前、闸后动态水位的控制误差均小于 5 mm, 确保渠道水位的动态平稳, 可有效避免“退水”现象。

(3) 定位控制精度

由于采用步进电动机和高分辨率旋转编码器的技术方案, 实际应用中闸门开度控制的定位误差小于 1 mm。经水利部水工金属结构质量检验检测中心的检测, 闸门的定位控制精度为 1 mm。

5 结论

(1) 利用闸孔出流原理, 结合传感测量技术, 实现了闸门的测流功能, 将流量计量和分水控制功能融为一体, 开发了测控一体化闸门终端, 具有集成度高的优点, 有利于灌区自动化建设。

(2) 设计了对称双轮双向卷拉驱动机构和腔内蜂窝结构的轻量化门板, 可以满足闸门启闭运动的高可靠性和低能耗要求。

(3) 开发了嵌入式自动计量闸门终端控制器, 实现了闸门终端的智能控制和无线远程通讯, 设计了多种闸门工作模式, 可以满足灌区渠道的多样需求。

(4) 基于 GPRS 远程无线通信技术, 开发了远程动态调水控制系统, 实现了对闸门终端集群的远程监控与全流域联动调水, 有利于提高渠道的输水效率 and 安全性。

(5) 应用试验表明, 闸门终端设备对水情和环境适应性强, 性能稳定, 水位动态控制精度小于 5 mm, 闸门定位控制精度为 1 mm, 自由流条件的测流误差小于 4.6%, 淹没流测流误差小于 8.3%, 控制精度高, 完全能够满足我国各型灌区自动化建设及中小型调水工程的需求。

参 考 文 献

- 1 冯保清. 我国不同分区灌溉水有效利用系数变化特征及其影响因素分析[J]. 节水灌溉, 2013(6):29-33.
Feng Baoqing. Analysis of water using coefficient of variation and its influencing factors of different regions of irrigation in China [J]. Water Saving Irrigation, 2013(6):29-33. (in Chinese)
- 2 鞠茂森. 关于灌溉现代化的思考[J]. 水利发展研究, 2013(3):10-15.
Ju Maosen. Thinking of irrigation modernization[J]. Water Resources Development Research, 2013(3):10-15. (in Chinese)
- 3 金宏智, 严海军, 钱一超. 国外节水灌溉工程技术发展分析[J]. 农业机械学报, 2010, 41(9):59-63.
Jin Hongzhi, Yan Haijun, Qian Yichao. Overseas development of water saving irrigation engineering technology[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(9):59-63. (in Chinese)
- 4 张志昌, 肖宏武, 毛兆民. 明渠测流的理论和方法[M]. 西安: 陕西人民出版社, 2004.
- 5 董淑芳. 直立平板闸门流量计算的实验研究[J]. 山东建筑工程学院学报, 1997, 12(2):72-75.
Dong Shufang. The experimental research of discharge calculation of vertical plane sluice gate[J]. Journal of Shandong Institute of Architecture and Engineering, 1997, 12(2):72-75. (in Chinese)
- 6 Alminagorta Omar, Merkley Gary P. Transitional flow between orifice and nonorifice regimes at a rectangular sluice gate[J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 2009, 135(3):382-387.
- 7 Sepúlveda Carlos, Gómez Manuel, Rodellar José. Benchmark of discharge calibration methods for submerged sluice gates[J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 2009, 135(5):676-682.
- 8 Habibzadeh A, Vatankhah Ali R, Rajaratnam N. Role of energy loss on discharge characteristics of sluice gates[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2011, 137(9):1079-1084.
- 9 Akoz Mevlut Sami, Kirkgoz Mehmet Salih, Oner Ahmet Alper. Experimental and numerical modeling of a sluice gate flow[J]. Journal of Hydraulic Research, 2009, 47(2):167-176.
- 10 Lozano David, Mateos Luciano, Merkley Gary P, et al. Field calibration of submerged sluice gates in irrigation canals[J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 2009, 135(6):763-772.
- 11 Ghodsian Masoud. Flow through side sluice gate[J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 2003, 129(6):458-463.
- 12 Belaud Gilles, Cassan Ludovic, Baume Jean-Pierre. Calculation of contraction coefficient under sluice gates and application to discharge measurement[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2009, 135(12):1086-1091.
- 13 北方工业大学. 双绳轮驱动防卡死灌溉水渠平板门启闭装置: 中国, 201210301338[P]. 2012-12-05.
- 14 郭桂祯, 张雅卓, 练继建. 平面闸门垂向自激振动机理和稳定性研究[J]. 振动与冲击, 2012, 31(9):98-101.
Guo Guizhen, Zhang Yazhuo, Lian Jijian. Mechanism and stability of self-induced vertical vibration of plane gates[J]. Journal of Vibration and Shock, 2012, 31(9):98-101. (in Chinese)
- 15 张从鹏, 岳向泉, 罗学科, 等. 基于 ARM 的远程自动控制计量闸门控制系统[J]. 仪表技术与传感器, 2014(2):57-59.
Zhang Congpeng, Yue Xiangquan, Luo Xueke, et al. Development of control system of remote automatic metering sluice gate based on ARM[J]. Instrument Technique and Sensor, 2014(2):57-59. (in Chinese)
- 16 巨辉. 用于挡水闸门的智能型明渠流量计的研制[J]. 仪表技术与传感器, 2004(12):55-57.
Ju Hui. Development of intel ligent open channel flow-meter used for sluice gate[J]. Instrument Technique and Sensor, 2004(12):55-57. (in Chinese)
- 17 沈明霞, 丛静华, 张祥甫, 等. 基于 ARM 和 DSP 的农田信息实时采集终端设计[J]. 农业机械学报, 2010, 41(6):147-152.
Shen Mingxia, Cong Jinghua, Zhang Xiangfu, et al. Design and implementation of terminal for agricultural data real-time acquisition based on ARM and DSP[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(6):147-152. (in Chinese)
- 18 何勇, 聂鹏程, 刘飞. 农业物联网与传感仪器研究进展[J]. 农业机械学报, 2013, 44(10):216-226.
He Yong, Nie Pengcheng, Liu Fei. Advancement and trend of internet of things in agriculture and sensing instrument[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(10):216-226. (in Chinese)
- 19 张小康, 许肖梅, 彭阳明, 等. 集中式深水网箱群鱼群活动状态远程监测系统[J]. 农业机械学报, 2012, 43(6):178-183.
Zhang Xiaokang, Xu Xiaomei, Peng Yangming, et al. Centralized remote monitoring system for bred fish in offshore aquaculture cage[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(6):178-183. (in Chinese)
- 20 刘之平, 吴一红, 陈文学, 等. 南水北调中线工程关键水力学问题研究[M]. 北京: 水利水电出版社, 2010.
- 21 崔巍, 王长德, 管光华. 渠道运行管理自动化的多渠段模型预测控制[J]. 水利学报, 2005, 36(8):1000-1005.
Cui Wei, Wang Changde, Guang Guanghua. Model predictive control for automatic operation of canals[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2005, 36(8):1000-1005. (in Chinese)

results showed that the original spectra were most correlated with leaf chlorophyll content from 511 nm to 590 nm and from 688 nm to 715 nm. The correlation coefficients in September were high and the maximum value was 0.6. From the correlation analysis between apples leaves moisture content and their spectra, it was found that the original spectra were most correlated with leaf moisture content at the wavebands of 420 ~ 500 nm, 640 ~ 680 nm and 740 ~ 860 nm, and the correlation coefficients in fruiting period were high. According to the selected sensitive bands, the models for estimating the chlorophyll content and moisture content in apple leaves were built by multiple linear regression analysis (MLRA), principal component analysis (PCA) and artificial neural network (ANN), respectively. The models were tested by the validation set which included 25 samples of apple tree leaves. The forecasting results indicated that the model based on PCA was the best model to predict the chlorophyll content of apple leaves, and the calibration and validation R^2 were 0.885 2 and 0.828 9, respectively. The forecasting model of apple leaf moisture content based on ANN was the best, and the calibration and validation R^2 were 0.862 and 0.837 5, respectively.

Key words: Apple leaves Spectroscopy Chlorophyll content Moisture content

(上接第 177 页)

Development of Remote Automatic Metering Sluice Oriented to Irrigation Water Diversion Project

Zhang Congpeng Luo Xueke Li Leyi Mao Tan Yue Xiangquan

(College of Mechanical Engineering, North China University of Technology, Beijing 100144, China)

Abstract: Based on remote networking technology, a dynamic irrigation water diversion system was developed. The system consisted of automatic metering sluice clusters installed on the canals and remote diversion control and management system working in dispatching center. Combined with open channel flow measurement principle and sensor technology, the metering function of the gate was designed. The symmetrical bidirectional coupled winding wheel pulling mechanism and hollow honeycomb structure gate panel were utilized, which could improve the movement reliability and the energy efficiency. An ARM-based gate controller and software system were developed to achieve the gate intelligent control and wireless remote communication function. Various working modes of the sluice could meet the different applications needs. A solar power system was devised to solve the outdoor power supply problem of the automatic gate. To implement the remote linkage control of the sluice clusters, remote water diversion control software package was developed. The application and experiment results showed that the gate terminal had good adaptability to outdoor environment and stable work performance. The water level control error was less than 5 mm and the gate gap positioning control error was less than 1 mm. Under free flow conditions the flow measurement error was less than 4.6%, and under submerged conditions the flow measurement error was less than 8.3%. The remote automatic metering gate could satisfy all kinds of automatic water conveyance project applications.

Key words: Automatic metering sluice Remote dynamic water diversion Open channel flow measurement Remote wireless control