

温室节点式渗灌自动控制系统设计与实现

任文涛¹, 杨 懿¹, 张本华¹, 崔红光¹, 黄 毅², 张玉龙²

(1. 沈阳农业大学工程学院, 沈阳 110161; 2. 沈阳农业大学土地与环境学院, 沈阳 110161)

摘 要: 为了充分发挥节点式渗灌技术的节水增效作用, 根据中国东北的农业资源特征, 并考虑到农民的生产规模和经营条件, 应用模糊控制方法, 研制了一种适用该技术的自动控制灌溉系统。该系统由控制器、电磁阀、土壤湿度传感器、水箱和渗灌管网等构成。控制器采用 89S51 单片机。A/D 转换芯片的型号为 ADC0804。显示器采用 LCM 显示模块。外部存储器采用 24c02 芯片。键盘由 4 个弹跳按钮构成。输入到二维模糊控制器的信号有 2 个, 即土壤含水率误差和经过差分变换的土壤含水率误差变化率。经过二维模糊控制器的分析和放大作用后, 其输出信号也是 2 个, 即电磁阀的开启时刻和电磁阀开启持续时间。初步试验结果表明把土壤含水率提高 10% 所需的调整时间在 30~40 min 之内、系统的控制误差在 3% 以内, 系统运行稳定, 准确性和快速性等指标能满足农业技术要求。

关键词: 温室, 灌溉, 模糊控制, 可编程控制器

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2009.08.011

中图分类号: S11+6, S275.9

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2009)-8-0059-05

任文涛, 杨 懿, 张本华, 等. 温室节点式渗灌自动控制系统设计与实现[J]. 农业工程学报, 2009, 25(8): 59—63.

Ren Wentao, Yang Yi, Zhang Benhua, et al. Design and implementation of automatic control system for sectional type subsurface drip irrigation in greenhouse[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(8): 59—63. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

节点式渗灌是一种新型地下微灌形式, 它将渗水软管与不透水硬塑管套接在一起构成一个渗水单元, 再根据温室内作物栽培垄长, 将主管、支管和若干个渗水单元组合在一起形成一个埋覆于地表以下 30 cm 左右、只对作物根部供水的土壤水分供给系统, Camp C R 和 Lamm F R 等人称该技术为地下滴灌 (subsurface drip irrigation) [1-3]。节点式渗灌技术因具有节约水资源, 对温室内空气温度和湿度影响小, 减少病虫害发生等优点, 在美国、法国、日本、意大利和以色列等国的温室生产中应用并实现了自动控制, 在中国东北地区的温室生产中正在推广应用 [4-5]。张玉龙、杜尧东、刘作新等的研究结果认为渗灌可保持温室内空气相对湿度在 60% 左右, 比畦灌低 25% 左右 [6-9]。

温室环境因子间具有强耦合性, 采取地面灌溉会因地表蒸发导致温室内的空气湿度大幅度增加。为了保证温室内作物生长适宜的空气湿度, 灌溉时必须进行通风换气, 结果会造成室内气温下降。而在寒冷地区的冬天室内外温差很大, 为了保证作物生长需要的环境温度, 又需要在灌溉的同时对温室进行加温, 这就必然增加能耗。温室系统还具有非线性、慢时变、大滞后、多输入多输出等特点, 国内外绝大部分温室自动控制系统均采取了多因素综合控制方法, 相关研究主要集中在对温室内的温度、湿度、光照和 CO₂ 含量等参数的综合控制,

对单片机控制 (MCU)、工控机控制 (IPC)、可编程控制器控制 (PLC)、集散型控制 (DCS)、现场总线控制 (FCS) 和基于互联网的远程控制等控制模式 [9-14] 和模糊控制等控制技术 [15-17] 进行了较为深入的研究, 成果在较大规模的温室生产基地得到了应用。

然而, 中国目前的温室生产规模较小, 绝大部分农民的经济承受能力较低, 尤其在东北寒冷、干旱和贫困地区, 温室生产主要是在冬季, 节约水资源和能源更为重要, 因此, 节点式渗灌技术在上述地区受到欢迎。该技术的主要优点是对室内温度和湿度影响小, 为单因素控制提供了可能性, 但是目前采用的人工灌溉方法, 灌水时间和灌水量等参数很难控制, 加之需要消耗一定的劳动时间, 限制了该技术优势的充分发挥。据此, 本文研制与该技术相配套的单因素控制系统。

1 节点式渗灌自动系统总体设计

设计的节点式温室渗灌自动控制系统主要由控制器、电磁阀、土壤湿度传感器、水箱和渗灌管网等构成。水箱置于距地面 1.5 m 的高度处, 水流通过渗灌主管和支管进入渗灌管, 对作物的根系进行灌溉, 主管道的通断由电磁阀控制。

控制部分由单片机、控制器、电磁阀、土壤湿度检测传感器等构成, 系统控制原理如图 1 所示。通过单片机的键盘, 输入设定的土壤含水率 X_0 , 该值与经过 A/D 转换的实际土壤含水率 X_6 进行比较后输出差值 ΔX 。输入到二维模糊控制器的信号有 2 个, 一个是土壤含水率误差 ΔX , 另一个是经过差分变换的土壤含水率误差变化率 ΔX_c 。经过二维模糊控制器的分析和放大作用后, 其输出信号也是 2 个, 一个是电磁阀的开启时刻 X_{11} , 另一个是电磁阀开启持续时间 X_{12} 。从二维模糊控制器输出的电压信号 X_{11} 和 X_{12} 经过电磁阀的作用后, 转换成阀的开启

收稿日期: 2008-08-31 修订日期: 2009-06-16

基金项目: 辽宁省重大农业攻关项目 (2006215005)

作者简介: 任文涛 (1958—), 男, 辽宁海城人, 教授, 博士生导师, 中国农业工程学会会员 (E041200316S), 主要从事农业机械系统理论与设计研究。沈阳市东陵路 120 号 沈阳农业大学工程学院, 110161。

Email: renwentao1958@yahoo.cn

信号 X_{21} 和阀的开启延迟时间 X_{22} 。电磁阀开启后向渗灌管的主管路供水（水靠势能从水箱中自流而出），其流量为 X_3 ，水再经过渗灌管网络渗入土壤中，形成实际的土壤含水率 X_t 。通过分布在温室土壤内的土壤湿度传感器实时地检测温室土壤含水率，并以电压形式 X_4 输入给 A/D 转换器，再由 A/D 转换器将模拟量转换成数字量 X_5 ，与设定的土壤含水率 X_0 进行比较，完成温室渗灌自动控

制过程。

ΔX_c 的差分变换原理如下：设当前时刻为 K ，前一时刻为 $K-1$ 。温室内当前土壤含水率为 $X_5(K)$ ，前一时刻的土壤含水率为 $X_5(K-1)$ ，当前时刻的土壤含水率误差为 $\Delta X(K) = X_5(K) - X_0$ ，前一时刻的土壤含水率误差为 $\Delta X(K-1) = X_5(K-1) - X_0$ ，则当前时刻土壤含水率误差变化率为 $\Delta X_c = \Delta X(K) - \Delta X(K-1)$ 。

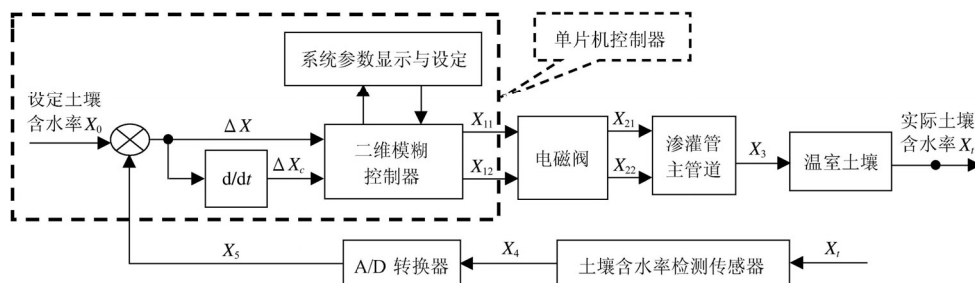


图 1 系统控制原理

Fig.1 Block diagram of the control system

2 控制系统硬件设计

控制系统的硬件如图 2 所示，主要由单片机控制器、A/D 转换器、显示器、键盘、外部存储器、传感器和电磁阀等构成。控制器采用 89S51 单片机，型号为 EEPROM。A/D 转换芯片采用 ADC0804。显示器为 LCM 显示模块。外部存储器采用 24c02 芯片。键盘为 4 个弹跳按钮。传感器采用 AZS-2 型土壤湿度测试探头。

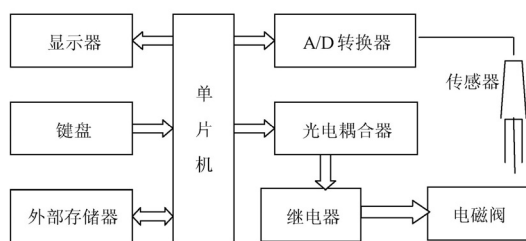


图 2 控制系统硬件框图

Fig.2 Block diagram of hardware structure of the system

外部存储器存储模糊控制表和系统设定值，通过 I2C 总线与单片机实现数据的传递。A/D 转换器在单片机的控制下将测得的土壤湿度模拟信号转化为数字信号。光电耦合器切断外部电路对控制器的干扰并驱动继电器动作。键盘上各按键功能定义如表 1 所示。A 键可以实现手动控制、自动控制、土壤湿度和灌水时间等各设定模式之间的转换。B 键实现设定参数的递减功能。C 键实现设定参数的递增功能。D 键用于对输入键模式或参数的最终确认。

表 1 键盘定义

Table 1 Definition of the keyboard

按 钮	功 能
A	设置选择
B	递 减
C	递 增
D	确 定

3 控制系统软件设计

采用模糊控制方法，设计了模糊控制表，将此表存入系统的外部存储器，单片机查询该表实现模糊控制。设计的系统程序主要包括：主程序、计时器中断程序等。

3.1 模糊控制表设计

参照余泳昌、毛平平等人的研究成果^[18-25]，结合本系统的控制精度要求，将土壤湿度偏差及其变化率作为模糊控制的两个输入变量，灌溉启动时刻和灌溉时长作为输出变量，各个变量取值如表 2 所示。

由于输入变量都为正值，所以将论域设定为“正大”(PB)、“正中”(PM)、“正小”(PS)和“零”(0)，根据正态分布型隶属函数分别对其进行模糊化。输出变量论域也设定为“正大”(PB)、“正中”(PM)、“正小”(PS)和“零”(0)，利用三角形隶属函数进行模糊化。表 3 是用 Matlab 软件模糊控制工具箱设计的模糊控制决策表。

表 2 各变量取值

Table 2 Evaluating of the variable parameters

参 数	论 域	量化值
土壤含水率与设定值的差值 e	1%~11%	0~6
含水率增加率	1%~6%	0~6
灌溉时间间隔/s	6~96	0~6

表 3 模糊控制查询表

Table 3 Fuzzy controlling inquiry

输出控制时间	含水率增加的模糊变量							
	0	1	2	3	4	5	6	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
含水率与设定值差值的模糊变量	1	3	3	2	2	2	1	1
	2	4	4	3	3	2	2	2
	3	4	4	3	3	3	2	3
	4	5	5	5	4	3	3	4
	5	5	5	4	4	3	3	5
	6	6	5	5	4	4	4	6

3.2 主程序设计

设计的主程序结构如图 3 所示。系统启动时, 主程序应首先进行系统初始化, 该过程包括给各个变量赋初始值和初始化中断等。

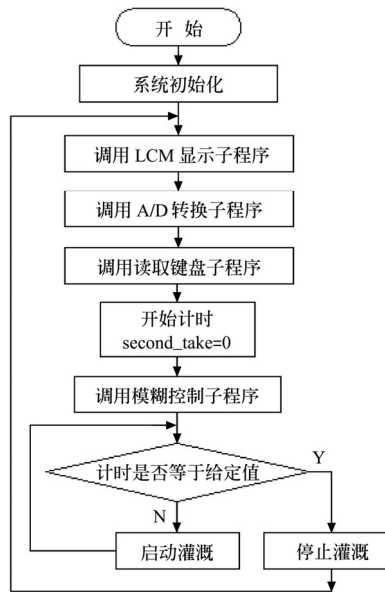


图 3 控制系统主程序

Fig.3 Main program of the control system

应用 Timer1 作为计时器中断, 然后调用各个子程序实现输入、输出和控制功能。子程序主要有 LCM 显示子程序、A/D 转换子程序、读取键盘子程序和模糊控制子程序等组成。模糊控制子程序将得到的土壤湿度值进行模糊化处理得到模糊变量, 然后读取保存在外部存储器的模糊控制决策表, 从而得到灌溉时间。变量 second_take 记录灌溉持续的时间, 这个值与由模糊控制子程序得到的灌溉时长值进行比较, 如果前者小于后者则启动灌溉, 否则停止灌溉。

3.3 计时器中断子程序

本程序采用单片机 Timer1 的 Model 模式, 该模式为 16 位的定时器/计数器, 其最大计数量为 216。设计的程序需 Timer1 每秒中断 20 次, 每中断 1 次变量 Timer1_tick 就自加 1, 送出 1 个 A/D 转换控制信号, 即变量 acd_wr 输出 1 个脉冲。当 Timer1_tick 加到 20 时, 变量 second_take 加 1, 同时 Timer1_tick 清零。当 second_take 加到 100 时, second_take 清零。计时器中断子程序如图 4 所示。

4 系统性能试验

4.1 材料与方法

试验在沈阳农业大学科研基地 3 号温室内第 10 和 11 号灌溉小区。每个小区种植 4 垄番茄、行距 0.5 m、垄长 6.7 m、渗灌管埋深为 30 cm。番茄种植在渗灌管的正上方, 穴距为 33 cm。在渗灌管上以在穴距中心位置为对称中心, 每穴有 5 个渗水孔, 孔距 1 cm。试验从 2009-05-15 到 2009-06-15。

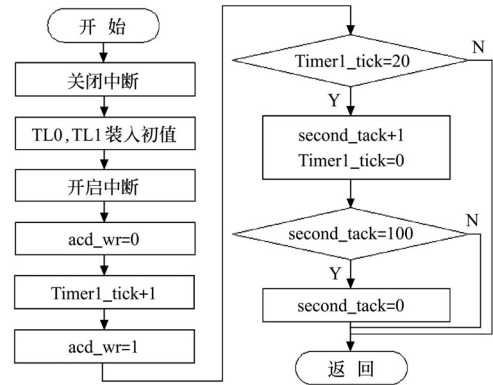


图 4 Timer1 中断子程序

Fig.4 Timer1 interruptive subprogram of the control system

为了研究系统的快速性, 利用 TDR 型土壤含水率检测仪, 采取 5 点取样法每隔 4 min 检测 1 次土壤含水率, 取其平均值作为检测结果, 用 EXCEL 进行数据处理。TDR 型土壤含水率检测仪的精度为 $\pm 2\%$, 分辨率为 0.1%, 探针长 10 cm。试验系统如图 5 所示。

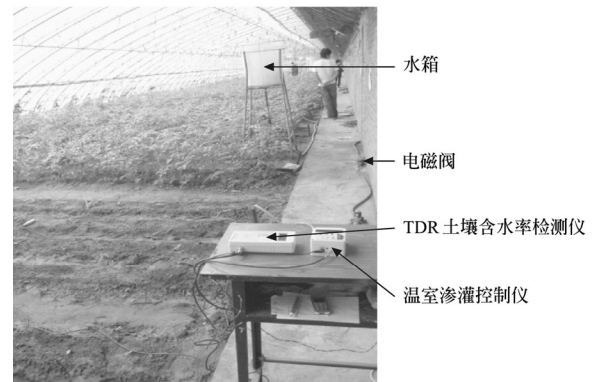


图 5 温室自动渗灌系统简图

Fig.5 Automatic control system of subsurface drip irrigation in greenhouse

4.2 结果与分析

图 6 是不同灌溉持续时间条件下的系统动态响应试验结果, 系统的阶跃输入激励是将初始的温室内土壤含水率 25% 调整到设定的 35%。

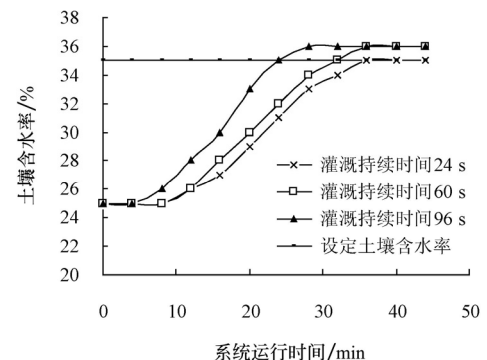


图 6 系统的阶跃响应曲线

Fig.6 Step responses of the control system

由图 6 可见, 本系统具有与一阶惯性系统相似的响

应特性,表明了系统的稳定性很好;系统每次灌溉持续时间越长,系统达到设定土壤含水率所需的时间越短,但系统的超调量也越大。当每次启动的持续灌水时间为 96 s 时,系统运行 24 min 即能将温室内土壤含水率从 25% 提高到设定的土壤含水率 35%,系统的超调量 $\leq 3\%$ 。当每次启动的次数灌水时间为 24 s 时,系统需运行 37 min 左右能使温室内土壤含水率从 25% 提高到 35%,虽然调整时间延长了,但系统的超调量很小,接近于 0。总体上看,系统将温室内的土壤含水率提高 10%,调整时间大约需要 30~40 min。而一般果蔬类植物对水分胁迫的忍耐时间至少在 1 h 以上,可见,本系统的快速性能够满足农业技术要求。影响系统快速性的主要原因是水在土壤入渗的速度较慢,致使系统惯性太大。对于本灌溉系统而言,响应速度太快没有必要。一味地追求快速性不仅很难达到满意的效果,还会影响电磁阀的使用寿命。

图 7 为用本系统进行自动控制灌溉和未灌溉条件下,温室内土壤含水率的试验结果。由图 7 可见,在不进行灌溉的条件下,随着时间的推移土壤含水率由 36%,经过 128 h 后逐渐下降到 24%;通过自动控制渗灌可使土壤含水率均值保持在 35.83%,误差带宽度为 1%、相对误差 $\leq 3\%$ 。一般蔬菜类植物适宜的土壤含水率变化范围 10% 左右,可见本系统的控制精度能够满足的要求。

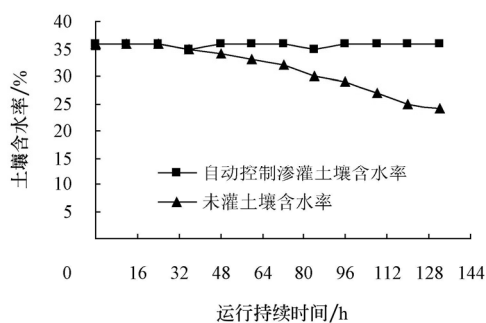


图 7 自动控制渗灌与未灌溉对温室内土壤含水率的影响

Fig.7 Soil moisture under subsurface drip irrigation system and no irrigation in greenhouse

5 结 论

1) 根据中国东北寒冷、干旱地区温室蔬菜生产的气候特征,考虑到当地农民的经济承受能力,并结合节点式渗灌技术对温室内空气湿度和温度等因子影响较小的特点,采用模糊控制方法,研制了一套小型、单因素温室渗灌自动控制系统。系统由控制器、电磁阀、土壤湿度传感器、水箱和渗灌管网等构成,不需要水泵和节流阀等部件,结构简单、能耗小、造价低。

2) 初步试验结果证明,系统具有与一阶惯性系统相似的动态响应特性,工作稳定。系统的控制误差在 3% 以内,把土壤含水率提高 10% 所需的调整时间在 30~40 min 之内,控制精度和快速性等性能指标能够满足农业技术要求。

3) 为了进一步简化系统结构、降低造价,尚需对土壤湿度传感器的空间布置问题进行深入试验,使系统在

满足控制精度要求的前提下,配置最少数量的传感器。可在对温室内土壤的水分入渗规律进行深入研究的基础上,通过调整系统启动的相关设定参数,使系统具有一定的预见性,提高控制精度,而不必改变系统硬件结构。

[参 考 文 献]

- [1] Camp C R. Subsurface drip irrigation[J]. Transactions of the ASAE, 1998, 41(5): 1353—1367.
- [2] Camp C R, Bauer P J, Hunt P G. Subsurface drip irrigation lateral spacing and management for cotton in the southeastern coastal plain[J]. Transactions of the ASAE, 1997, 40(4): 993—999.
- [3] Lamm F R, Stone L R, Manges H L, et al. Optimum lateral spacing for subsurface drip irrigation corn[J]. Transactions of the ASAE, 1997, 40(4): 1021—1027.
- [4] Rodrigo Castañeda-Miranda, Eusebio Ventura-Ramos Jr, Rebeca del Rocío Peniche-Vera, et al. Fuzzy greenhouse climate control system based on a field programmable gate array[J]. Biosystems Engineering, 2006, 94(2): 165—177.
- [5] Kittas C, Bartzanas T. Greenhouse microclimate and dehumidification effectiveness under different ventilator configurations[J]. Building and Environment, 2007, 42(10): 3774—3784.
- [6] 康银红, 马孝义, 李娟, 等. 地下滴渗灌灌水技术研究进展[J]. 灌溉排水学报, 2007, 26(6): 34—40.
Kang Yinhong, Ma Xiaoyi, Li Juan, et al. Research and development on subsurface drip irrigation technique[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2007, 26(6): 34—40. (in Chinese with English abstract)
- [7] 袁巧霞, 朱端卫, 艾平, 等. 设施栽培中渗灌技术研究现状与发展趋势[J]. 农业机械学报, 2006, 37(9): 200—203.
Yuan Qiaoxia, Zhu Duanwei, Ai Ping, et al. Current situation and developing trend of subsurface irrigation technology in protected land cultivation[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(9): 199—203. (in Chinese with English abstract)
- [8] 诸葛玉平, 张玉龙, 张旭东, 等. 渗灌土壤水分调控技术参数的研究进展[J]. 农业工程学报, 2003, 19(6): 41—45.
Zhuge Yuping, Zhang Yulong, Zhang Xudong, et al. Review on technical parameters of subsurface drip irrigation for soil water control[J]. Transactions of the CSAE, 2003, 19(6): 41—45. (in Chinese with English abstract)
- [9] 王淑红, 张玉龙, 虞娜, 等. 渗灌技术的发展概况及其在保护地中应用[J]. 农业工程学报, 2005, 21(增刊): 92—95.
Wang Shuhong, Zhang Yulong, Yu Na, et al. Development status of infiltration irrigation technology and its application in protected field[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(Supp): 92—95. (in Chinese with English abstract)
- [10] 顾寄南, 毛罕平, 李萍萍. 温室系统综合动态模型的研究[J]. 农业工程学报, 2001, 17(4): 79—82.
Gu Jinan, Mao Hanping, Li Pingping. Comprehensive dynamic models of greenhouse system[J]. Transactions of the CSAE, 2001, 17(4): 79—82. (in Chinese with English abstract)

- [11] 杜尚丰, 李迎霞, 马承伟, 等. 中国温室环境控制硬件系统研究进展[J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 7—12.
Du Shangfeng, Li Yingxia, Ma Chengwei, et al. Current situation on greenhouse environment control system modes in China[J]. Transactions of the CSAE, 2004, 20(1): 7—12. (in Chinese with English abstract)
- [12] 乔晓军, 沈佐锐, 陈青云, 等. 农业设施环境通用监控系统的设计与实现[J]. 农业工程学报, 2000, 16(3): 77—80.
Qiao Xiaojun, Shen Zuorui, Chen Qingyun. Design and realization of general computer monitoring and controlling system for environment of agricultural facilities[J]. Transactions of the CSAE, 2000, 16(3): 77—80. (in Chinese with English abstract)
- [13] 董乔雪, 王一鸣. 温室计算机分布式自动控制系统的开发[J]. 农业工程学报, 2002, 18(4): 94—97.
Dong Qiaoxue, Wang Yiming. Research and development of greenhouse computer distributed auto-control system[J]. Transactions of the CSAE, 2002, 18(4): 94—97. (in Chinese with English abstract)
- [14] 杨卫中, 王一鸣, 李海键. 基于现场总线的分布式温室智能控制系统[J]. 农业工程学报, 2006, 22(9): 163—167.
Yang Weizhong, Wang Yiming, Li Haijian. Distributed greenhouse intelligent control system based on the fieldbus concept[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(9): 163—167. (in Chinese with English abstract)
- [15] 邓璐娟, 张侃谕, 龚幼民, 等. 温室环境多级控制系统及优化目标设定的初步研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(5): 119—122.
Deng Lujuan, Zhang Kanyu, Gong Youmin, et al. Preliminary study on hierarchical greenhouse environment control system and setting of the optimized target values[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(5): 119—122. (in Chinese with English abstract)
- [16] 孙忠富, 曹洪太, 李洪亮, 等. 基于 GPRS 和 WEB 的温室环境信息采集系统的实现[J]. 农业工程学报, 2006, 22(6): 131—134.
Sun Zhongfu, Cao Hongtai, Li Hongliang, et al. GPRS and WEB based data acquisition system for greenhouse environment[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(6): 131—134. (in Chinese with English abstract)
- [17] 余泳昌, 胡建东, 毛鹏军. 现代化温室环境参数的模糊控制[J]. 农业工程学报, 2002, 18(2): 72—75.
Yu Yongchang, Hu Jiandong, Mao Pengjun. Fuzzy control for environment parameters in greenhouse[J]. Transactions of the CSAE, 2002, 18(2): 72—75. (in Chinese with English abstract)

Design and implementation of automatic control system for sectional type subsurface drip irrigation in greenhouse

Ren Wentao¹, Yang Yi¹, Zhang Benhua¹, Cui Hongguang¹, Huang Yi², Zhang Yulong²

(1. College of Engineering, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China;

2. College of Land and Environment, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China)

Abstract: In order to fully draw out the potential of water saving and benefit increasing of the subsurface drip irrigation technology in greenhouse production, the authors developed an irrigation control system with the method of fuzzy controlling. In the design process of the system, the authors considered the climate characteristic of cold and drought in the northeast of China, and the greenhouse production scale and financial situation of the local farmers specially. The developed system consists of a controller, a magnetic valve, a soil humidity transducer, a water tank and a sectional sub irrigation ductwork. An 89S51 type chip microprocessor has been used as the controller, and the type of the A/D converter is ADC0804. An LCM display module is adopted as the indicator, and a 24c02 type chip as the external memory. The keyboard of the system consists of four spring type keys. There are two input signals to the two-dimension controller which are the errors of soil moisture and the change rate of the above error. There are also two output signals from the controller which are the open time of magnetic valve and the continuous open period of the above valve. Experiment results showed that the governing time needed 30—40 min to raise soil moisture by 10%, the control error was $\leq 3\%$, and the operation of the system was steady. The accuracy and rapidity of the system were able to satisfy the agriculture technical requirements.

Key words: greenhouses, irrigation, fuzzy control, programmable logic controllers