

基于 PLC 控制的室内降雨入渗自动测定系统*

吕华芳 杨汉波 丛振涛 雷慧闯

(清华大学水沙科学与水利水电工程国家重点实验室,北京 100084)

摘要: 在马氏瓶供水进行人工降雨入渗测定方法的基础上,设计了一种以 PLC 为处理器、触摸屏为人机界面的室内降雨入渗自动测定系统,可实现马氏瓶自动补水、降雨强度自动调节、试验数据实时显示存储及查询。系统测控元件包括马氏瓶及径流瓶中的 2 个液位传感器,马氏瓶进水口和通气孔处的 2 个电磁阀,马氏瓶与降雨器间的 1 个调节阀。PLC 实时采集液位传感器的输出信号,通过模/数转换获取记录马氏瓶与径流瓶中的液位值;并根据马氏瓶液位控制电磁阀的开闭实现马氏瓶自动补水;通过改变调节阀输入电流强度实现降雨强度的自动调节。试验表明,系统操作简单、运行稳定,测定结果可以合理反映土壤降雨入渗过程,适用于与土壤有关领域的降雨入渗测定。

关键词: 降雨入渗 自动测定 PLC

中图分类号: S24; S271 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)09-0144-06

引言

入渗是指水分进入土壤的过程,是水文学中非常重要的基本概念,量化土壤入渗性能对于理解和描述水文模型具有重要意义,对增加土壤入渗、提高作物水分利用效率也具有重要的实践价值^[1-2]。国内外许多学者致力于入渗试验的研究^[3-5],提出了不同的测量方法,主要包括模拟降雨法、双环法、圆盘入渗仪法、水文法、土柱法等^[6-8]。并在这些方法的基础上,进行了入渗仪的研制改进,如袁建平^[9]研制了一套便携滴头式野外坡地土壤入渗产流试验装置,刘汗等^[10]设计了一种在降雨、径流和侵蚀影响作用下测量土壤入渗性能的入渗仪。也有学者在传统测量方法的基础上,利用自动检测与控制技术提高土壤入渗测定仪器的自动化程度,如王文焰等^[11]与 Prieksat 等^[12]在传统双环法的基础上增加了马氏瓶、传感器、伽玛射线仪等,可完成自动测量,缩短测量时间并提高测量精度^[8];Milla 等^[13]将红外传感器及单片机应用到环式入渗仪的测量中;Moret-Fernández 等^[14]则将流量计与电磁阀应用到圆盘入渗仪的测量中。

本文在传统的利用马氏瓶进行人工降雨测定入渗方法的基础上,设计开发一种以 PLC 为控制器,触摸屏为人机界面,主要用于室内试验的新型降雨入渗自动测定系统,以实现降雨入渗过程的自动监测,试验数据的采集存储、分析处理、实时显示、历

史查询等功能。

1 系统结构及原理

系统总体结构如图 1 所示,包括通气电磁阀、马氏瓶、供水液位传感器、供水电磁阀、调节阀、针盘式降雨器、土柱、径流瓶、径流液位传感器、PLC、触摸屏等。其中,马氏瓶、针盘式降雨器、土柱及径流瓶均由有机玻璃加工制成。系统按照功能可分为供水装置、降雨装置、入渗装置、控制装置 4 部分。

1.1 供水装置

供水装置由通气电磁阀、马氏瓶、供水液位传感器、供水电磁阀组成。

马氏瓶外径 100 mm,高 600 mm,用于存放试验用水,其底部设有通气孔与大气相通,从而保证瓶底出水口处的压力恒定,形成稳定压力的供水水头。顶部连接通气电磁阀,底部进水口与水路连接,中间连接供水电磁阀。瓶内安装有液位传感器。

1.2 降雨装置

降雨装置由调节阀与针盘式降雨器组成。

目前常用的室内模拟降雨器有 2 种形式,一种是用于研究土壤侵蚀、径流汇集、滑坡侵蚀等的大型土槽试验的喷头式降雨器,喷头高度在 10 m 以上^[15-16];另一种是用于土柱试验的针头式降雨器,降雨强度由注射针头型号、大小及供水器水位控制,在同一种注射针头的降雨器下,可通过改变降雨器内的水位进行降雨强度的微调^[17-18]。

收稿日期:2014-04-27 修回日期:2014-05-15

* 国家自然科学基金资助项目(51379098)和“十二五”国家科技支撑计划资助项目(20121858562)

作者简介:吕华芳,工程师,主要从事水文水资源实验技术研究,E-mail:lvhf@tsinghua.edu.cn

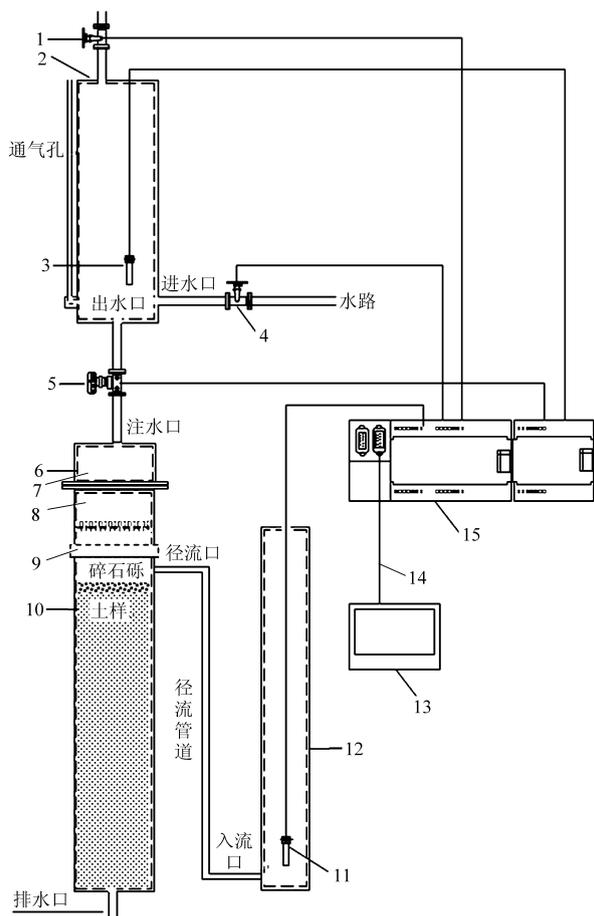


图1 系统结构图

Fig. 1 Frame of the systems structure

1. 通气电磁阀 2. 马氏瓶 3. 供水液位传感 4. 供水电磁阀
5. 调节阀 6. 针盘式降雨器 7. 法兰 8. 针盘 9. 套筒 10. 土柱
11. 径流液位传感器 12. 径流瓶 13. 触摸屏 14. MPI/PPI
通讯电缆 15. PLC

本系统采用针盘式降雨器,外径 200 mm,由上、下两部分组成。其下端部分高 50 mm,底部均匀钻有小孔,用来安装医用胶塞,然后将医用针头垂直插入胶塞中,形成降雨阵。其上端部分高 50 mm,并设有注水口,通过管路与马氏瓶出水口连接,并在连接管路中加入调节阀。为方便更换清洗针头,降雨器上、下两部分通过法兰方式连接,法兰中间垫有橡胶片,可通过安装不同型号的针头来控制不同雨强范围^[17]。同时通过法兰止水,形成马氏瓶-管路-降雨器的密封连接,从而保证降雨的稳定均匀^[19]。通过改变调节阀开度实现固定针头型号控制范围内降雨强度的调节。

1.3 入渗装置

入渗装置由土柱、径流瓶、径流液位传感器组成。

土柱外径 200 mm,高 1 000 mm,用来盛放试验土样。土柱通过套筒与针盘式降雨器连接,底部设有排水孔;上部设有径流口,通过管路与径流瓶底部的入流口连接。径流瓶外径 100 mm,高 1 000 mm,

瓶中安装有液位传感器,顶部与大气连通。

1.4 控制装置

控制装置由 PLC 与触摸屏组成。

PLC 是以微处理器为基础,结合计算机技术、自动控制技术和通信技术发展起来的一种通用自动控制装置^[20],具有体积小、功能强、编程简单、通用灵活、可靠性和稳定性高等特点,在很多行业都得到广泛应用^[21-24]。触摸屏的基本原理是触摸安装在显示器前端的感应屏幕时,所触摸的位置被触摸屏控制器检测并转化为坐标数据,通过接口送到 CPU,从而确定输入的信息,触摸屏与 PLC 通过通信 PPI 协议建立高速连接^[25],可作为系统的控制器和人机界面,用于数据显示和参数设置^[26]。

试验时通气电磁阀、供水液位传感器、供水电磁阀、调节阀、径流液位传感器均通过电缆接入 PLC 中,PLC 通过通讯电缆与触摸屏连接。

系统上电后,液位传感器开始工作,将水位这一物理信号转换成 4 ~ 20 mA 电流信号输出;PLC 对供水液位传感器的输出电流进行实时检测,并通过模拟量到数字量的计算转换,获得马氏瓶中的水位情况;当马氏瓶中水位降低到下限值即开阀液位时,PLC 控制通气电磁阀与供水电磁阀同时打开,对马氏瓶进行补水;当水位上升到上限值即关阀液位时,PLC 控制通气电磁阀与供水电磁阀同时关闭,并自动记录补水次数,从而实现对马氏瓶的自动补水及降雨量的实时采集记录。

PLC 通过改变调节阀输入电流强度来实现调节阀开度的自动控制,从而改变马氏瓶出水口出流速度,实现设定降雨强度的自动调节功能。

PLC 通过对径流液位传感器输出电流的实时检测,并通过模拟量到数字量的计算转换,获得径流瓶中的水位情况,从而实现对径流量的实时采集记录。

PLC 与触摸屏通过变量链接,实现同步操作。通过触摸屏软件的设计开发,可在触摸屏上对马氏瓶供水装置的控制液位即开阀液位与关阀液位、调节阀的开度大小进行手自动设定;手自动控制通气电磁阀与供水电磁阀的开闭及整个试验的启停;对累计降雨量、累计径流量、累计入渗量、降雨强度、入渗率等试验数据进行实时显示、存储及查询。

2 控制系统设计

2.1 硬件设计

控制系统均采用西门子系列产品。具体型号依据系统架构,输入、输出点的数量,参考精度和经济

性两点进行选型^[27-28]。本系统中,控制量包括2个开关量和3个模拟量,选择有2个模拟量的 Siemens S7-200 224XP CPU,再加上支持4通道的模拟量输入模块 Siemens EM231,选用 Siemens SMART 1000 触摸屏作为系统人机界面,构成了控制终端。系统所有硬件配置如表1所示。

表1 控制系统硬件配置

Tab.1 Hardware configuration of control system

设备名称	型号规格	数量
液位变送器	量程:0~600 mm,精度3 mm,两线制,输出:4~20 mA	1
液位变送器	量程:0~1 000 mm,精度3 mm,两线制,输出:4~20 mA	1
电磁阀	24VDC 供电,常闭阀	2
调节阀	24VAC 供电,输出:4~20 mA,0~100% 可调,掉电保持	1
PLC CPU	Siemens S7-200 224XP CN, 24VAC 供电,14DI/10DO,2AI	1
PLC 扩展模块	Siemens EM231,4AI	1
触摸屏	Siemens SMART 1000,24VDC 供电	1

系统硬件在供电设计部分,考虑到电路的安全性,除总开关进行总控制外,触摸屏、电磁阀、调节阀等设备均有单独开关控制供电,控制系统的供电及 PLC 接线如图2所示。

2.2 PLC 软件设计

PLC 程序在 SIEMENS STEP 7 MICRO-WIN 操作平台上采用梯形图进行开发,系统控制程序流程如图3所示,主要功能包括系统运行时间计时、水位检测、模数转换、阀门控制、开度阀调节、数据计算及存储。对应的 PLC 网络程序(部分如图4所示)包

括:系统初始化,系统运行计时,马氏瓶及径流瓶液位传感器模-数转换,马氏瓶及径流瓶液位初始值修正,马氏瓶关阀液位及开阀液位设置,通气及供水电磁阀开闭控制,调节阀开度控制,马氏瓶加水次数累计,降雨量、降雨强度、径流量、径流率、入渗量、入渗率等试验数据的计算存储。

2.3 触摸屏软件设计

触摸屏的软件设计包括创建功能界面和信息,输入/输出区域组态、指示器组态、功能键组态及文本显示等;可根据实际控制要求设计不同的画面,设定变量及参数,使触摸屏组态功能与 PLC 相应 I/O 接点及存储单元之间建立联系,从而实现触摸屏敏感元件对 PLC 参数的输入及 PLC 当前值及历史信息向触摸屏的输出^[29]。

根据系统控制要求,设计功能界面包括:系统介绍、主界面、实时数据界面、趋势曲线查询界面。其中主界面(图5),可以实现各个控制元件相关参数及状态的实时显示;可进行开阀液位、关阀液位、调节阀开度的设定;手动、自动两种方式进行阀门的控制及控制试验启停。点击主界面中实时数据功能按钮可进入实时数据界面(图6),可以查看所有试验数据的实时值。点击主界面中趋势图形功能按钮,可以进入趋势曲线界面(图7),可进行历史数据的曲线显示及查询。

3 系统测试

针盘式降雨器安装9号注射器针头,可模拟降雨强度50~450 mm/h。试验土样取自国家节水灌溉工程技术研究中心(北京)大兴研究基地,土壤性质以砂壤土为主,容重 1.35 g/cm^3 ,高度为800 mm,

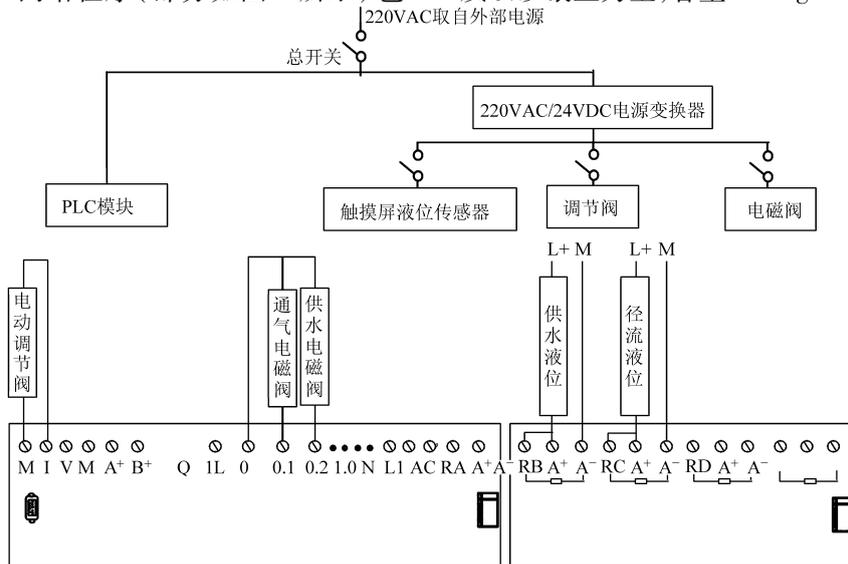


图2 控制系统供电及接线图

Fig.2 Power and wiring of control system

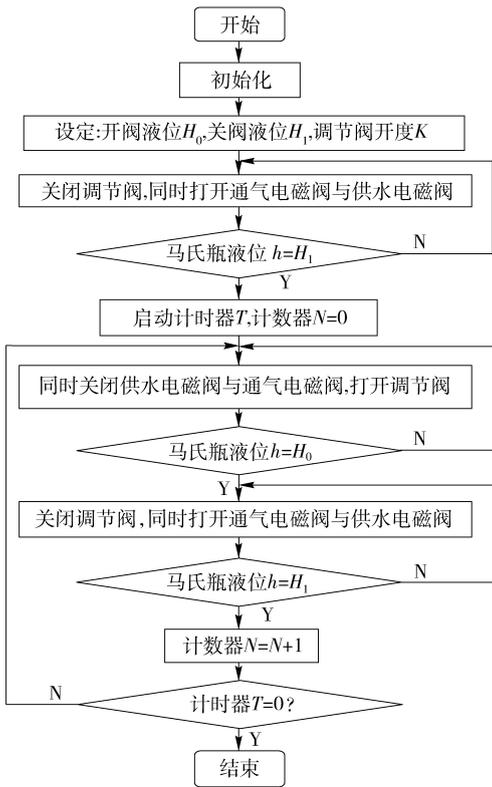


图3 控制程序流程图

Fig. 3 Flow chart of control program

平均初始体积含水率为 20%。阀门开度为 80% 条件下连续运行 100 min,进行测试试验。PLC 存储卡记录数据共计约 200 条,包括每分钟的累计降雨量、累计径流量、累计入渗量、补水次数、马氏瓶当前高度、径流瓶当前高度、每分钟平均降雨强度、平均径流率、平均入渗率等。

试验过程中降雨、入渗及产流过程如图 8 所示。从雨强曲线看,降雨强度经过 5 min 左右的系统初始化后,稳定于 400 mm/h 附近,但在每次补水时,雨强会瞬间增大,表现在曲线的 2 个波峰处。说明降雨装置总体性能良好,供水稳定,但补水通气不够充分,致使马氏瓶内的压力瞬时增大,需要进一步改进系统装置,加大马氏瓶通气孔孔径,使补水时空气能够及时补充,保证马氏瓶中压力恒定,从而保证降雨强度的稳定。从径流率曲线看,随着降雨的进行,土壤入渗性能降低,在 10 min 左右时产生径流,土壤始终保持积水状态。从入渗率曲线看,开始时土壤入渗能力大于降雨强度,随后入渗曲线与降雨曲线重合,其入渗率取决于降雨强度;随着降雨入渗的进行,土壤入渗能力降低,10 min 左右产生径流后,入渗曲线取决于土壤的入渗能力;由于降雨强度非

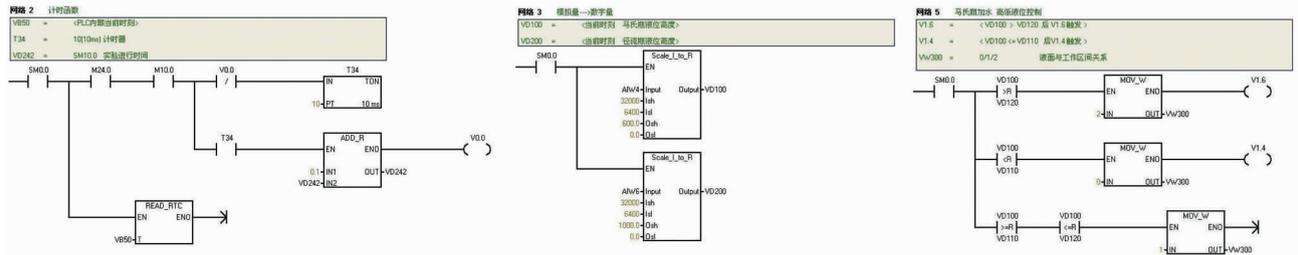


图4 部分网络程序

Fig. 4 Program network (part)

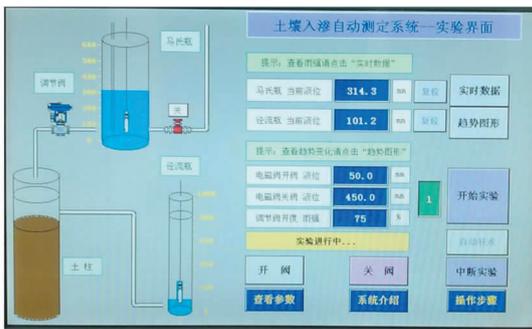


图5 主界面

Fig. 5 Main interface

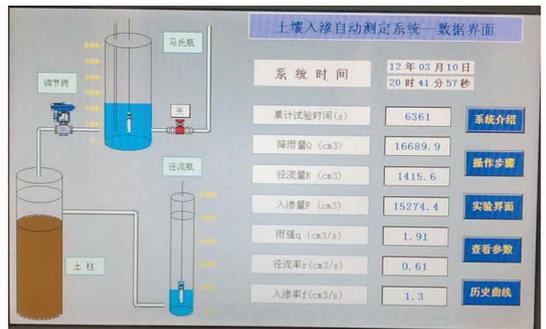


图6 实时数据界面

Fig. 6 Real-time data interface

常大,且试验开始时,土体含水率较高,因而入渗曲线会迅速下降^[30-31],在 100 min 时接近稳定入渗率 190 mm/h,与该区域近似性质土壤入渗的相关研究^[32]结果相近。系统测定结果可以合理反映土壤降雨入渗过程。

4 结束语

设计开发了 PLC 为控制器,触摸屏为人机界面的室内柱状土层降雨入渗自动测定系统,并通过降雨入渗测定试验,验证了该系统的合理性。

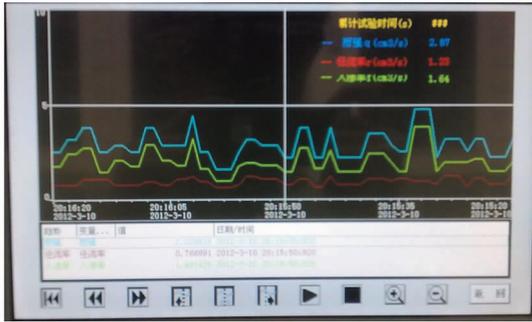


图7 趋势曲线界面

Fig.7 Trend curve interface

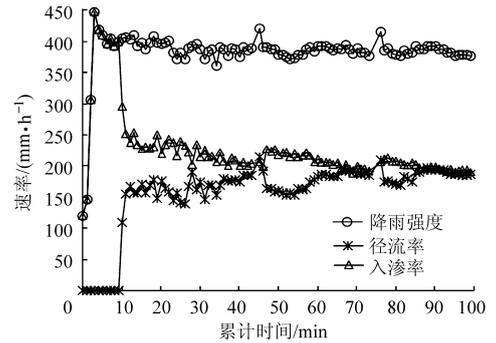


图8 降雨入渗曲线

Fig.8 Rainfall infiltration curve

系统可克服传统马氏瓶供水进行人工降雨入渗测定试验中补水困难、耗时、数据不易保存、人工读数精度低等不足。系统在数据监测、实时记录、存储显示等方面具有良好的稳定性,能够在无人看守的条件下实现降雨入渗的自动监测,适用于与土壤有

关领域降雨入渗的测试,具有较广泛的应用前景。

系统机械装置设计及管路连接方式还存在缺陷,需要进行专业机械加工处理,提升系统机械部分的密封性和管路的流畅性,从而提高系统测量精度。

参 考 文 献

- 赵西宁,吴发启. 土壤水分入渗的研究进展和评述[J]. 西北林学院学报,2004,19(1):42-45.
Zhao Xining, Wu Faqi. Developments and reviews of soil infiltration research[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2004, 19(1):42-45. (in Chinese)
- Mao L L, Bralts V F, Pan Y H, et al. Methods for measuring soil infiltration: state of the art[J]. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2008, 1(1):20-30.
- 许明祥,刘国彬,卜崇峰,等. 圆盘入渗仪法测定不同利用方式土壤渗透性试验研究[J]. 农业工程学报,2002,18(4):54-58.
Xu Mingxiang, Liu Guobin, Bu Chongfeng, et al. Experimental study on soil infiltration characteristics using discpermeameter[J]. Transactions of the CSAE, 2002, 18(4):54-58. (in Chinese)
- Ma Y, Feng S, Su D, et al. Modeling water infiltration in a large layered soil column with a modified Green-Ampt model and HYDRUS-1D[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2010, 71(Supp. 1):40-47.
- 李淑芹,王全九. 垂直线源入渗土壤水分分布特性模拟[J]. 农业机械学报,2011,42(3):51-57.
Li Shuqin, Wang Quanjiu. Simulation of soil water distribution under vertical line source infiltration[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(3):51-57. (in Chinese)
- 寇小华,王文,郑国权. 土壤水分入渗的影响因素与试验研究方法综述[J]. 广东林业科技,2013,29(4):74-78.
Kou Xiaohua, Wang Wen, Zhang Guoquan. Soilwater infiltration mechanism and experiment: a review[J]. Guangdong Forestry Science and Technology, 2013, 29(4):74-78. (in Chinese)
- 朱良君,张光辉,任宗萍. 4种土壤入渗测定方法的比较[J]. 水土保持通报,2012,32(6):163-167.
Zhu Liangjun, Zhang Guanghui, Ren Zongping. Comparing four methods for soil infiltration measurement[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2012, 32(6):163-167. (in Chinese)
- 雷廷武,张婧,王伟,等. 土壤环式入渗仪测量效果分析[J]. 农业机械学报,2013,44(12):99-104.
Lei Tingwu, Zhang Jing, Wang Wei, et al. Assessment on soil infiltration rates measured by ring infiltrometer[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(12):99-104. (in Chinese)
- 袁建平,蒋定生,文妙霞. 坡地土壤降雨入渗试验装置研究[J]. 水土保持通报,1999,19(1):27-30,45.
Yuan Jianping, Jiang Dingsheng, Wen Miaoxia. Research on rainfall penetration testing device of slopeland[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 1999, 19(1):27-30,45. (in Chinese)
- 刘汗,赵晓芬,潘英华,等. 产渗流土壤入渗性能测量仪的设计及应用[J]. 农业机械学报,2007,38(8):187-189,210.
- 王文焰,张建丰. 田间土壤入渗试验装置的研究[J]. 水土保持学报,1991,5(4):38-44.
Wang Wenyan, Zhang Jianfeng. Research on field soil water penetration testing device [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1991, 5(4):38-44. (in Chinese)
- Prieksat M A, Ankeny M D, Kaspar T C. Design for an automated, self-regulating, single-ring infiltrometer[J]. Soil Science Society of America Journal, 1992, 56(5):1409-1411.
- Milla K, Kish S. A low-cost microprocessor and infrared sensor system for automating water infiltration measurements[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2006, 53(2):122-129.
- Moret-Fernández D, González C, Lampurlanés J, et al. An automated disc infiltrometer for infiltration rate measurements using a microflowmeter[J]. Hydrological Processes, 2012, 26(2):240-245.

- 15 周佩华,张学栋,唐克丽. 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室土壤侵蚀模拟实验大厅降雨装置[J]. 水土保持通报,2000,20(4):27-30,45.
Zhou Peihua, Zhang Xuedong, Tang Keli. Rainfall installation of simulated soil erosion experiment hall of the state key laboratory of soil erosion and dryland farming on loess plateau[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2000, 20(4): 27-30, 45. (in Chinese)
- 16 陈洪松,邵明安,王克林. 土壤初始含水率对坡面降雨入渗及土壤水分再分布的影响[J]. 农业工程学报,2006,22(1):44-47.
Chen Hongsong, Shao Ming'an, Wang Kelin. Effects of initial water content on hillslope rainfall infiltration and soil water redistribution[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(1): 44-47. (in Chinese)
- 17 朱伟,陈学东,钟小春. 降雨入渗规律的实测与分析[J]. 岩土力学,2006,27(11):1873-1879.
Zhu Wei, Chen Xuedong, Zhong Xiaochun. Observation and analysis of rainfall infiltration[J]. Rock and Soil Mechanics, 2006, 27(11): 1873-1879. (in Chinese)
- 18 王建新,王志志,王思敬. 降雨自由入渗阶段试验研究及其过程的水势描述[J]. 清华大学学报:自然科学版,2010,50(12):1920-1924.
Wang Jianxin, Wang Enzhi, Wang Sijing. Potential description of rainfall free infiltration phase[J]. Journal of Tsinghua University: Science and Technology, 2010, 50(12): 1920-1924. (in Chinese)
- 19 吕华芳,丛振涛. 土壤入渗测定教学实验装置设计[J]. 实验技术与管理,2012,29(9):75-78.
Lü Huafang, Cong Zhenhao. Teaching experimental device of soil infiltration[J]. Experimental Technology and Management, 2012, 29(9): 75-78. (in Chinese)
- 20 黄雀群. 基于PLC及触摸屏的液压施工升降机控制系统设计[D]. 成都:西南交通大学,2009.
- 21 赵立新,丁筱玲. 提升机后备保护中PLC的应用[J]. 农业机械学报,2006,37(4):164-166.
- 22 赵磊,唐虹. 基于PLC的扭矩检定装置的设计与实现[J]. 测控技术,2013,32(10):129-132.
Zhao Lei, Tang Hong. Design and implementation of torque calibration device based on PLC[J]. Measurement & Control Technology, 2013, 32(10): 129-132. (in Chinese)
- 23 吴俭敏,颜华,金鑫,等. 移栽机送盘装置与定位控制系统研究[J]. 农业机械学报,2013,44(增刊):14-18.
Wu Jianmin, Yan Hua, Jin Xin, et al. Research on disk conveying device and positioning control system for transplanter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(Supp.): 14-18. (in Chinese)
- 24 王志勇,谌志新,江涛,等. 标准化池塘养殖自动投饵系统设计[J]. 农业机械学报,2010,41(8):77-80.
Wang Zhiyong, Shen Zhixin, Jiang Tao, et al. Automatic feeding system in standardization pond culture[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(8): 77-80. (in Chinese)
- 25 于蒙,邹志云,赵丹丹,等. 基于PLC和触摸屏的自动阀门测试控制系统设计[J]. 石油化工自动化,2013,49(3):38-40,47.
Yu Meng, Zou Zhiyun, Zhao Dandan, et al. Design of automatic valve test control system based on PLC and touch screen[J]. Automation in Petro-Chemical Industry, 2013, 49(3): 38-40, 47. (in Chinese)
- 26 吕品. PLC和触摸屏组合控制系统的应用[J]. 自动化仪表,2010,31(8):45-47,51.
Lü Pin. Application of control system composed of PLC and touch screen[J]. Process Automation Instrumentation, 2010, 31(8): 45-47, 51. (in Chinese)
- 27 张桂香,张志军. PLC的选型与系统配置[J]. 微计算机信息,2005,21(7-1):81-82,36.
Zhang Guixiang, Zhang Zhijun. Choice and system configuration of PLC[J]. Control & Automation, 2005, 21(7-1): 81-82, 36. (in Chinese)
- 28 杨传华,方宪法,杨学军,等. 基于PLC的蔬菜钵苗移栽机自动输送装置[J]. 农业机械学报,2013,44(增刊1):19-23,18.
Yang Chuanhua, Fang Xianfa, Yang Xuejun, et al. Automatic delivery mechanism of potted-seedling for vegetable transplanter based on PLC[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(Supp. 1): 19-23, 18. (in Chinese)
- 29 雷新利,赵忠. 基于PLC和触摸屏的灌装系统设计[J]. 机械与电子,2007(9):78-80.
Lei Xinli, Zhao Zhong. Automatic filling system designed based on PLC and touch-panel[J]. Machinery & Electronics, 2007(9): 78-80. (in Chinese)
- 30 李卓,刘永红,杨勤. 土壤水分入渗影响机制研究综述[J]. 灌溉排水学报,2011,30(5):124-130.
Li Zhuo, Liu Yonghong, Yang Qin. Review on effects mechanism of soil water infiltration[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2011, 30(5): 124-130. (in Chinese)
- 31 刘目兴,聂艳,于婧. 不同初始含水率下粘质土壤的入渗过程[J]. 生态学报,2012,32(3):871-878.
Liu Muxing, Nie Yan, Yu Jing. The infiltration process of clay soil under different initial soil water contents[J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(3): 871-878. (in Chinese)
- 32 武敏,冯绍元,孙春燕,等. 北京市大兴区典型土壤水分入渗规律田间试验研究[J]. 中国农业大学学报,2009,14(4):98-102.
Wu Min, Feng Shaoyuan, Sun Chunyan, et al. Field experimental study on soil infiltration process of Daxing District, Beijing[J]. Journal of China Agricultural University, 2009, 14(4): 98-102. (in Chinese)

behaviour[J]. *Journal Micromechanics & Microengineering*, 2002, 12(2):862–869.

21 魏正英,苑伟静,周兴,等. 我国压力补偿灌水器的研究进展[J]. *农业机械学报*, 2014, 45(1):94–101.

Wei Zhengying, Yuan Weijing, Zhou Xing, et al. Research progress of pressure compensating emitters in micro-irrigation systems in China[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2014, 54(1):94–101. (in Chinese)

Anti-clogging Design and Experimental Investigation of PIV for Labyrinth-channel Emitters of Drip Irrigation Emitters

Yu Liming^{1,2} Mei Qiyong^{1,2}

(1. *School of Hydraulic Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410004, China*

2. *Key Laboratory of Water-sediment Sciences and Water Disaster Prevention of Hunan Province, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410004, China*)

Abstract: In order to improve the reference of designing of anti-clogging ability of labyrinth channel emitter, the sand content and water and sand velocity distribution in the trapezoidal labyrinth channels were analyzed by CFD, the movement trajectories and velocity of solid particles in modified channel before and after tested by PIV. The phenomenon of a large number of solid particles concentrated on the surface near the upstream face and low velocity position of trapezoidal-channel emitters. When flow path is being modified, it is appropriate to increase the modification of the upstream face. Combined with the whole flow path and processing requirements, the downstream face may need not modified. Regarded the some one sand content distribution line as the borderlines of trapezoidal-channel to design the channel several times, after structural standardization and selecting the wide flow path, the position with high sand content can be canceled, and the better channel model is got. The method tested by CFD and PIV can keep the previous hydraulic performance before modification, and significantly improve the anti-clogging performance.

Key words: Emitter Trapezoidal-channel Anti-clogging Configuration design PIV

(上接第 149 页)

Indoor Automatic Measurement System for Rainfall Infiltration Based on PLC

Lü Huafang Yang Hanbo Cong Zhentao Lei Huimin

(*State Key Laboratory of Hydrosience and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China*)

Abstract: Based on the measuring method of manual rainfall infiltration with the Mariotte bottle, an indoor automatic measurement system for rainfall infiltration with PLC (programmable logical controller) and touch panel was designed. This system could automatically water to the Mariotte bottle, adjust rainfall intensity, display and record experiment data in real time, and also provide the function of data query. The PLC collects the analog signal and transforms it into a digital signal, which is used to control the water input of the Mariotte bottle to regulate water level through switching the two electromagnetic valves. In addition, the PLC controls regulating valve opening to adjust the rainfall intensity. Furthermore, this system can be operated easily, rationally reflect the infiltration process, and give a high precision measurement.

Key words: Rainfall infiltration Automatic determination PLC