

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.08.016

基于农药光透性的混药比反馈在线混药装置*

贾卫东¹ 陈志刚¹ 赵鑫² 邱白晶¹ 吴春笃³

(1. 江苏大学现代农业装备与技术教育部重点实验室, 镇江 212013; 2. 江苏大学电气信息工程学院, 镇江 212013;
3. 扬州环境资源职业技术学院, 扬州 225127)

摘要: 设计了基于农药光透性的混药比检测单元、采用 PWM 波占空比控制注入量的药液注入单元和以 MSP430F149 单片机为核心的低功耗控制单元, 分别对各功能单元进行性能测试和标定实验, 在此基础上构建了药液混药比反馈在线混药装置, 并对农药百草枯进行 1:200 混药比定点跟踪实验。结果表明, 基于农药光透性的混药比反馈在线混药方法及装置可以实时获取混药比反馈信息, 自动调节药液注入量, 准确跟踪设定混药比, 有效满足农药在线自动混药要求。

关键词: 混药比反馈 在线混药 农药光透性

中图分类号: S49 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)08-0090-04

Online Pesticide Mixer with Mixing Ratio Feedback Based on Light Permeability of Pesticides

Jia Weidong¹ Chen Zhigang¹ Zhao Xin² Qiu Baijing¹ Wu Chundu³

(1. *Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology, Ministry of Education, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China*
2. *School of Electronic and Information Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China*
3. *Yangzhou Vocational College of Environment and Resources, Yangzhou 225127, China*)

Abstract: A pesticide mixing ratio detection unit based on light permeability of pesticides, a pesticide injection device controlled by PWM duty cycle and a low power consumption control unit based on single chip microcomputer MSP430F149 were designed. A performance test and a calibrating experiment were conducted for each unit. An online pesticide mixer with mixing ratio feedback was constructed and a fixed-point tracking experiment on the Paraquat SL mixing pesticide and water by 1:200 was conducted. The result showed that the online pesticide mixer developed by the method of online mixing pesticide with mixing ratio feedback based on light permeability of pesticides could acquire mixing ratio information in time, automatically adjust injection volume of pesticides, accurately track the set of mixing ratio, and effectively meet the requirement of online mixing pesticides.

Key words: Mixing ratio feedback Online mixing pesticide Light permeability of pesticides

引言

喷雾机的混药方式从预混式发展到农药与水在喷雾管道内的在线混合, 可实现按需施药、提高农药有效利用率, 减少农药对操作者的危害、对施药器具

的腐蚀以及对环境和非靶标生物的污染^[1]。国内外不少机构开展了喷雾施药在线混合装置方面的研究^[2~7], 但其共同特点都是采用开环控制方式来实现自动混药, 没有对混合后的混药比(本文所指混药比为混入的药液和水的体积比)进行检测反馈,

收稿日期: 2012-12-14 修回日期: 2013-03-26

* 国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2008AA100905)、江苏省高校科研成果产业化推进资助项目(JH09-41)和现代农业装备与技术教育部重点实验室开放基金资助项目(NZ201006)

作者简介: 贾卫东, 副研究员, 主要从事精确施药技术研究, E-mail: jiaweidong@ujs.edu.cn

通讯作者: 陈志刚, 教授, 主要从事现代施药技术及农业环境保护研究, E-mail: chenzg@ujs.edu.cn

从而无法实时获取当时混合液混合比例信息,也无法抑制作用于混合管路的扰动信号所引起的混药比偏差。近年,国外学者着手研究喷头注入式在线混药方式,试图通过缩短混药管路的方法减少扰动因素对混药过程的干扰,并缩短在线混药响应时间,但却存在药液均匀混合难度加大以及要求药液注入装置出口压力较高的问题,使得混药装置成本提高^[8~11]。

目前,已有学者根据溶液在不同浓度时表现出的不同光学特性,研究溶液浓度检测方法及其装置^[12~15],尽管各种研究对象溶液的光学特性各异,但其检测过程基本类似,即用光源照射液体,再通过光电传感器接收折射或透射的光信号,经转换获得实时浓度信息。另一方面,为防止误食毒性较大的农药,农业部农药检定所规定,一些农药(如百草枯、敌草快)生产过程中要添加染色剂^[16],这为基于农药光透性的混药比检测方法应用于实际农业植保作业提供了可能性。

本文提出建立一种基于农药光透性、以混药比检测信号作为反馈的闭环药液注入式在线混药装置,其特点是在混药腔出口处设置混药比检测单元,装置系统直接根据混药比反馈信息进行调整并完成在线混药,从而提高自动混药效果。通过在实验室采用百草枯除草剂农药对该装置进行在线混药实验研究,探讨该种在线混药方法的实用价值。

1 混药装置设计结构与工作原理

混药装置由水箱、药箱、药液注入单元、主泵、混药比检测单元和控制单元等组成,结构示意图如图 1 所示。

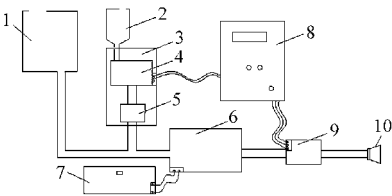


图 1 混药装置结构示意图

Fig. 1 Structure of mixing pesticide equipment

1. 水箱 2. 药箱 3. 药液注入单元 4. 药液注入泵 5. 压力调节阀 6. 主泵 7. 主泵供电电路 8. 混药比检测单元 9. 控制单元 10. 喷头

混药装置的工作过程为主泵从水箱抽水,而由药液注入泵将一定量的农药从药箱注入主泵入水口(主泵对药液注入泵出口产生一定负压),药与水在主泵及附属管路中完成混合。通过调节压力调节阀,可以调节主泵对药液注入泵出口产生的负压大小,进而来控制因负压而导致的药液注入量偏大问题。混药比检测单元利用光透性来检测主泵出口处

农药混药比,并把混药比信息作为反馈量送至控制单元,再由控制单元产生偏差信号调节药液注入泵的输出流量,使得主泵出口的药液混药比实时跟踪当前的混药比设定值。

若将药液注入泵放置在主泵出口处,则作为药液注入单元组成部件的压力调节阀可用作减少主泵出口压力对药液注入泵的影响(此种情况本文未涉及,另文论述)。

2 混药比检测单元

混药比检测单元是实现在线混药装置实时跟踪设定混药比的核心部件,其利用混入染色剂的农药与水按不同比例混合时光透性不同的特点,通过光电转换元件将混药比信息转换成电信号,再将电信号作为反馈信号送入控制系统。

2.1 结构与原理

混药比检测单元的结构如图 2 所示,主要由高亮 LED、透明窗、透明流道和光电池等组成,并且在外部用避光材料进行整体包裹,以防止外界光线对检测信号的干扰。

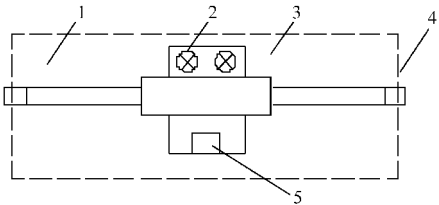


图 2 混药比检测装置结构示意图

Fig. 2 Structure of mixing ratio detection device

1. 透明流道 2. 高亮 LED 3. 透明窗 4. 避光外壳 5. 光电池

混药比检测单元采用光电检测方式。流道上方的高亮 LED 发出的光线经过透明窗和透明流道被下方的光电池接收。光电池把接受到的光强信号转换成毫安级模拟电流信号,送至调理电路。当流道内流过混药比不同的有色药液时,其光透性发生改变,电流信号幅值将产生相应变化。

调理电路由 2 个 OP07 运算放大器分别组成的电流电压转换电路和电压放大电路构成。

2.2 混药比与输出电压关系

采用山东省绿丰农药有限公司生产的蓝绿色百草枯除草剂(百草枯母液占总体积的 20%)作为实验农药(本文所有实验使用的百草枯均为这种蓝绿色的百草枯除草剂)。

在 20℃ 温度下,从 1:10 的比例开始混合百草枯除草剂和水,每次保证百草枯除草剂体积始终混入 1 mL 的情况下,逐次增加混入水的体积,进行混药比检测,直到混药比检测单元输出的电压与用清水检测出的电压相同(此时输出值应为 2.471 V)时

停止检测。重复整个检测过程 3 次,对每个检测点得到的电压取平均值,得到混入水的体积与输出电压的对应关系,结果如图 3 所示(因为每次混入的百草枯原液都是 1 mL,所以可由此直接得到相应的混药比与输出电压的关系)。

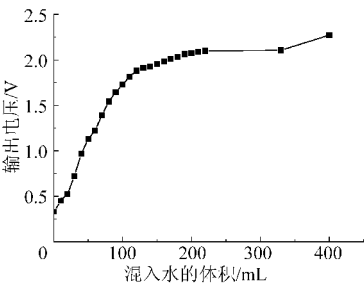


图 3 混入水的体积与实测输出电压关系
Fig. 3 Relationship between volume of water and output voltage value

由实验数据可知,当混入水的体积小于 90 mL 时,每增加 10 mL,检测点之间的电压差都接近或大于 0.1 V;当混入水的体积介于 90 ~ 270 mL 时,相邻检测点之间的电压差都大于 0.01 V;当混入水的体积大于 270 mL 时,几乎不能区分各个检测点的电压,即此段不能用于检测混药比。

3 药液注入单元

药液注入装置是混药装置的执行机构,主要由注入泵、直流电动机(工作电压 6 ~ 12 V,本设计采用 7.5 V 电压驱动)和压力调节阀组成。直流拖动电动机由 PWM 波控制的 L298 驱动电路驱动。调整 PWM 波的占空比(频率 20 kHz,对应周期 T 为 0.000 05 s),可达到调整药液注入量的效果。

在室温 20℃,以百草枯制剂作为流质,在压力调节阀从全开位置逆时针转动 30°的条件下(压力调节阀全开时最小流量为 170 mL/min),实验测得导通时间(对应占空比)每改变 1/32 时,流量变化情况如图 4 中曲线 a 所示。

通过实验得到:当导通时间小于 $\frac{15}{32}T$ (即 $2.343\ 75 \times 10^{-5}$ s) 时,注入泵停止工作;当导通时间

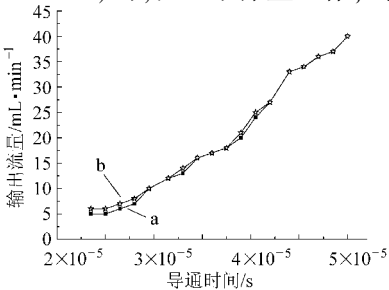


图 4 导通时间与输出流量关系
Fig. 4 Relationship between conduction time and flow rate

介于 $\frac{15}{32}T \sim T$ (即 $2.343\ 75 \times 10^{-5} \sim 5 \times 10^{-5}$ s) 时,输出流量随导通时间增加而增加。

由于在本设计中,药液注入单元加装在主泵的入口处,故还进行了如下实验:从水箱中拔出主泵抽水管后,在主泵对药液注入泵输出口处有负压的情况下,再作注入泵输出流量与导通时间关系标定实验,结果如图 4 中曲线 b 所示。

由实验数据可知,主泵对药液注入单元产生的抽吸力使得注入量有一定增加,增量都在 1 mL/min 左右。另外,当拖动药液注入泵的电动机因导通时间小于 $\frac{15}{32}T$ 而停转时,仍有小于 1 mL/min 流量的药液流出,随着齿轮泵内齿轮的磨损加大,这个流量略有增大,但在整个实验过程中未曾有大于 1 mL/min 的情况发生。

4 控制单元

为搭建可长时间连续工作的混药比反馈在线混药实验装置,构建了以 MSP430F149 单片机为核心的低功耗控制单元系统,硬件结构框图如图 5 所示。系统主要由按键电路、显示电路、混药比检测调理电路、L298 电动机驱动电路和 SD 卡存储电路等组成。控制系统采用锂电池供电。

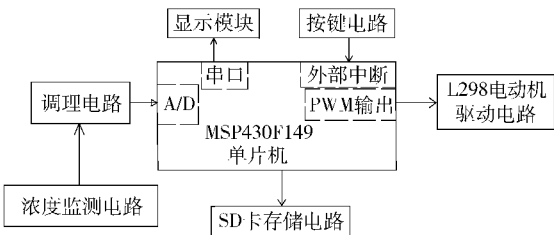


图 5 控制单元系统硬件结构框图
Fig. 5 Hardware structure of control system

在主泵开启后,接通混药装置电源,此时药液注入泵为停止工作状态。通过按键设定混药比后,控制系统自动按照药液注入单元最小药液注入量开始混药,同时采集主泵出口处混药比检测单元的输出电压,采样频率为 100 Hz,每采集 20 次求平均值作为最终输出值(实际采样频率为 5 Hz,即采样周期为 0.2 s)。根据每次得到的最终输出值,查询已存入单片机的当前药液相应电压与混药比对应关系表,再与所设定的混药比相比较,产生误差信号,然后根据误差信号的正、负,逐级增加或减少药液注入装置驱动 PWM 波的导通时间并且设定,如果混合后的药液混合比例逼近设定的混药比(混药比检测单元的最终输出值在设定混药比对应电压 $\pm 0.5\%$ 的范围内时),则保持 PWM 波的占空比不变(即至少每隔 0.2 s 改变一次 PWM 波的导通时间)。整个

逼近过程根据混药比检测单元实时输出电压,在线查表得到当前混药比,在 LCD 模块上显示当前混药比和导通时间,并同时把这些数据存入 SD 卡中以备读取分析。

5 混药装置性能测试

实验系统由 RS-360SH 型齿轮泵作为药液注入泵(使用 7.5 V 电源供电),PLD-1201 型直流隔膜水泵作为主泵(使用 12 V 锂电池供电)。单片机对混药比检测单元传送的电压信号的采样周期为 0.2 s,由第 4 节中控制策略可知,药液注入单元的驱动 PWM 波调整导通时间的周期也是 0.2 s。压力调节阀从全开位置逆时针转动 30°。

环境温度 20℃,采用百草枯除草剂作为实验农药,当主泵流量为 2 L/min(误差 ± 5%),定点跟踪混药比 1:200 时(此比例为百草枯除草剂使用说明上常用使用剂量,即 200 mL 药液混 40 L 水),输出电压变化的实验数据如图 6 所示。

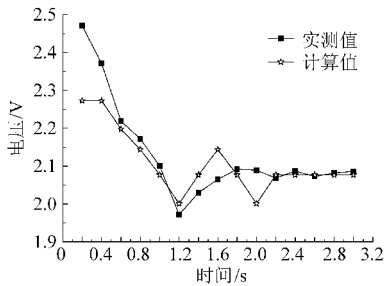


图 6 混药比检测单元理论和实测输出曲线
Fig. 6 Line of output voltage value of concentration detection

由药液注入单元占空比与输出流量关系(图 4)和第 4 节中所述的控制策略以及第 2 节中混药比与混药比检测单元输出电压对应表(图 3),结合前一

时刻测得的混药比检测单元输出电压,计算出理论上当前混药比检测单元输出电压的曲线(图 6)。

由实验数据可知:当设定混药比 2.6 s 后,混药比检测单元输出电压虽有波动,但都落在预设混药比对应电压 ± 0.5% 的范围内(即图 6 中两条曲线在 2.6 s 后基本重合的部分),此时控制单元使得药液注入单元的驱动 PWM 波的导通时间固定在一个值上。此时混药比检测装置输出电压相对于理论计算值 2.077 V 波动 ± 0.5% (对应 ± 0.01 V),由第 2 节对实验数据的分析可知,本混药装置对百草枯除草剂,在设定 1:200 混药比时,输出药液的混药比在 1:190 ~ 1:210 之间波动。由此可知,混药比相对误差小于 5.3%,调节时间小于或等于 2.6 s。

6 结论

(1) 研制了一种基于农药光透性的农药混药比检测方法并构建检测单元,能对百草枯除草剂 1:10 ~ 1:270 的混药比,输出具有明显区分度的电压信号,表现出优良的检测灵敏性。实验表明,能有效地适用于该类混有颜色农药的混药比检测。

(2) 由混药比检测单元、药液注入单元和控制单元构建了混药比反馈在线混药装置,并对百草枯除草剂进行定点混药比 1:200 在线自动混药实验。结果显示,混药比相对误差小于 5.3%,调节时间不大于 2.6 s。表明该装置可在无流量计参与控制的情况下,快速实现较高精度的在线自动混药。

(3) 该在线混药装置采用常用元部件,构制方便;以植保作业常用的百草枯除草剂作实验农药,具有适用普遍性;依靠混药比反馈来提高系统精确性,可避开微小流量检测问题,保证混药质量,并极大降低设计和制造成本。

参 考 文 献

- 1 吴萍. 简述我国农药剂型与农药施用技术发展[J]. 现代农药,2007,6(6):52~55.
Wu Ping. Development of pesticide formulation and its employment technique in China[J]. Modern Agrochemicals, 2007,6(6):52~55. (in Chinese)
- 2 Landers A. A compressed air direct injection crop sprayer[J]. Optimising Pesticide Applications,1997,48(3):25~32.
- 3 Steward B L, Humburg D S. Model the raven SCS-700 chemical injection system with carrier control sprayer simulation[J]. Transactions of the ASAE,2000,43(2):231~245.
- 4 胡开群,周舟,祁力钧. 直注式变量喷雾机设计与喷雾性能试验[J]. 农业机械学报,2010,41(6):70~74.
Hu Kaiqun,Zhou Zhou,Qi Lijun. Spraying performance of the direct injection variable-rate sprayer[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2010,41(6):70~74. (in Chinese)
- 5 张文昭,刘志壮. 3WY-A3 型喷雾机变量喷雾实时混药控制试验[J]. 农业工程学报,2011,27(11):130~132.
Zhang Wenzhao,Liu Zhizhuang. Experiment on variable rate spray with real-time mixing pesticide of 3WY-A3 sprayer[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011,27(11):130~132. (in Chinese)
- 6 刘志壮,徐汉虹,洪添胜,等. 在线混药式变量喷雾系统设计与试验[J]. 农业机械学报,2009,40(12):93~96.
Liu Zhizhuang, Xu Hanhong, Hong Tiansheng, et al. Key technology of variable-rate spraying system of online mixing pesticide [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009,40(12):93~96. (in Chinese)
- 7 洪添胜,刘志壮. 一种变量喷雾自动混药装置:中国,200810027898.6[P]. 2008-05-06. (下转第 164 页)

- 109 Shende C, Gift A, Inscore F, et al. Inspection of pesticide residues on food by surface-enhanced Raman spectroscopy [C] // Proceedings of SPIE, 2004, 5 271: 28 ~ 34.
- 110 Shende C, Inscore F, Gift A, et al. Analysis of pesticides on or in fruit by surface-enhanced Raman spectroscopy [C] // Proceedings of SPIE, 2004, 5 587: 170 ~ 176.
- 111 Zhang P X, Zhou X F, Cheng A Y S, et al. Raman spectra from pesticides on the surface of fruits [J]. Journal of Physics: Conference Series, 2006, 28: 7 ~ 11.
- 112 张丹, 王俊红. 蔬菜和水果的显微激光拉曼光谱研究 [J]. 光谱实验室, 2010, 27(4): 1 389 ~ 1 392.
- 113 Liu Yande, Lin Tao. Determination of pesticide residues on the surface of fruits using micro-raman spectroscopy [M] // Li Daoling, Liu Yande, Chen Yingyi, et al. Computer and Computing Technologies in Agriculture, IV IFIP Advances in Information and Communication Technology, 2011, 347: 427 ~ 434.
- 114 孙云云, 李永玉, 彭彦昆, 等. 基于拉曼光谱无损检测苹果农药残留的研究 [C] // 中国农业工程学会 2011 年学术年会论文摘要集, 重庆, 2011.
- 115 Xie Y, Mukamurezi G, Sun Y, et al. Establishment of rapid detection method of methamidophos in vegetables by surface enhanced Raman spectroscopy [J]. European Food Research and Technology, 2012, 234(6): 1 091 ~ 1 098.
- 116 Liu B, Han G, Zhang Z, et al. Shell thickness-dependent Raman enhancement for rapid identification and detection of pesticide residues at fruit peels [J]. Analytical Chemistry, 2012, 84(1): 255 ~ 261.
- 117 Liu B, Zhou P, Liu X, et al. Detection of pesticides in fruits by surface-enhanced Raman spectroscopy coupled with gold nanostructures [J]. Food and Bioprocess Technology, 2013, 6(3): 710 ~ 718.
- 118 Yang H, Irudayaraj J. Rapid detection of foodborne microorganisms on food surface using Fourier transform Raman spectroscopy [J]. Journal of Molecular Structure, 2003, 646(1 ~ 3): 35 ~ 43.
- 119 Bonora S, Francioso O, Tugnoli V, et al. Structural characteristics of 'Hayward' kiwifruits from elephantiasis-affected plants studied by DRIFT, FT-Raman, NMR, and SEM techniques [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57(11): 4 827 ~ 4 832.
- ~~~~~

(上接第 93 页)

- 8 徐幼林, 郭敬坤, 郑加强. 农药在线混合均匀度高速摄影分析 [J]. 农业机械学报, 2011, 42(8): 75 ~ 79.
Xu Youlin, Guo Jingkun, Zheng Jiaqiang. Mixing uniformity of chemical and water in direct injection system [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(8): 75 ~ 79. (in Chinese)
- 9 Vondricka J, Lammers P S. Real-time controlled direct injection system for precision farming [J]. Precision Agric., 2009, 10(5): 421 ~ 430.
- 10 Vondricka J, Lammers P S. Measurement of mixture homogeneity in direct injection systems [J]. Transactions of the ASABE, 2009, 52(1): 61 ~ 66.
- 11 Doerpmund M, Cai X, Walgenbach M, et al. Assessing the cleanability of a direct nozzle injection system [J]. Biosystems Engineering, 2011, 110(7): 49 ~ 56.
- 12 王玉田, 王忠东. 一种新型农药浓度荧光测量系统的研究 [J]. 测试技术学报, 2005, 19(2): 128 ~ 132.
Wang Yutian, Wang Zhongdong. Study on a new type of fluorescence measuring system for pesticides [J]. Journal of Test and Measurement Technology, 2005, 19(2): 128 ~ 132. (in Chinese)
- 13 田晓华, 常彦琴, 于助, 等. 光折射法快速测量牛乳乳糖质量分数研究 [J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2011, 23(5): 60 ~ 63.
Tian Xiaohua, Chang Yanqin, Yu Zhu, et al. Study on quick measurement of lactose content in milk with dioptric method [J]. Journal of Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2011, 23(5): 60 ~ 63. (in Chinese)
- 14 管贤平, 邱白晶. 不同农药剂型的透光特性研究 [J]. 安徽农业科学, 2012, 40(31): 15 236 ~ 15 238.
Guan Xianping, Qiu Baijing. Transmittance characteristics of different pesticide formulations [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2012, 40(31): 15 236 ~ 15 238. (in Chinese)
- 15 刘丽萍. 用单片机实现溶液浓度的自动检测 [J]. 石家庄铁道学院学报, 1999, 12(4): 22 ~ 25.
Liu Liping. Auto-measurement of solution concentration by chip microcomputer [J]. Journal of Shijiazhuang Railway Institute, 1999, 12(4): 22 ~ 25. (in Chinese)
- 16 农业部农药检定所. 关于加强百草枯和敌草快登记管理的通知 [C] // 2004 中国农药发展年会——农药管理与高毒农药替代战略研讨会专题报告集, 2004.
- 17 陈志刚, 朱树礼, 邱白晶. 在线射流混药浓度控制系统 [J]. 排灌机械工程学报, 2012, 30(4): 463 ~ 468.
Chen Zhigang, Zhu Shuli, Qiu Baijing. Online jet mixing control system of pesticide concentration [J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2012, 30(4): 463 ~ 468. (in Chinese)
- 18 邱白晶, 徐溪超. 射流混药装置二维和三维流场对比分析 [J]. 排灌机械工程学报, 2011, 29(5): 441 ~ 445.
Qiu Baijing, Xu Xichao. Contrast and analysis between 2D and 3D flow field of jet-mixing apparatus [J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2011, 29(5): 441 ~ 445. (in Chinese)