

王丽娟,吕途,马刚,等. 基于模糊控制的水肥一体化控制策略[J]. 江苏农业科学,2018,46(23):238-241.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.23.060

# 基于模糊控制的水肥一体化控制策略

王丽娟,吕途,马刚,毛媛媛

(华北水利水电大学电力学院,河南郑州 450000)

**摘要:**水肥一体化技术是将灌溉和施肥融为一体的新技术,将水溶性肥料加入灌溉水中,借助滴灌管网将水和肥料送到作物根部。该技术将水和肥融合,能够有效地省时省工,提高水肥的利用率,节约水肥资源。针对水肥一体机配肥过程中的大滞后、大惯性、数学模型不确定的特点,将模糊控制应用于水肥一体化控制设备,设计二维模糊控制系统,用 Matlab 软件对此系统进行仿真,并和传统的 PID 控制系统进行对比,效果理想,可应用于水肥一体化控制设备,实现水肥一体机的精准自动配肥。

**关键词:**水肥一体化;电导率;模糊控制;Matlab 仿真;策略

**中图分类号:** TP273 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)23-0238-03

随着我国人口的快速增长和城镇化进程的加速,耕地面积减少、水资源匮乏等问题日益严重,而且传统农业的大水漫灌、过量施肥等问题严重降低了水肥的利用率,浪费了水肥资源<sup>[1]</sup>。近年来,各级部门大力推广水肥一体化技术,可提高水肥的利用率、节约水肥资源<sup>[2]</sup>。

模糊控制技术是智能控制技术的重要组成部分,是基于丰富操作经验总结出来的、用自然语言表述的控制策略,与传统的 PID 控制相比,模糊控制的性能要好得多,不需要精确的数学模型,只须要总结人为的控制经验,是一种仿照人的行为控制技术<sup>[3-4]</sup>。

国外设施园艺发达的国家,例如美国、以色列等,早已深入开展精准灌溉施肥研究与开发,信息技术、智能控制技术等逐步应用于精准施肥灌溉<sup>[5]</sup>。目前国内的水肥一体化系统还存在智能化水平低、混肥精度不高的问题<sup>[6]</sup>,针对此问题设计了适用于水肥混合的模糊控制器,并通过 Matlab 软件对此模糊控制器进行仿真并与传统的 PID 控制器进行对比,本研究结果可以应用于水肥一体化控制设备,实现水肥一体化的精准自动配肥。

## 1 水肥一体机的结构及工作原理

水肥一体机的结构见图 1,水肥一体机主要由控制器、过滤器、文丘里吸肥器、传感器、液位计、水泵、施肥泵、电磁阀等组成。灌溉时,启动水泵将清水从水源经过滤器抽进混肥罐,水位超过低位液位计时,施肥泵启动,水从支路流入文丘里吸肥器,当电导率传感器检测到当前水肥的电导率未达到设定值时,母液罐的电磁阀开启,母液被文丘里吸肥器的负压吸入

管道中<sup>[7]</sup>,流入混肥罐与水混合,通过控制器每个周期对母液罐电磁阀开通时间的控制<sup>[8]</sup>,使混肥罐中的水肥电导率达到设定值。

## 2 模糊控制系统的设计

由于水肥一体机配肥过程中大滞后、大惯性、数学模型不确定的特点<sup>[9]</sup>,而模糊控制对被控对象不要求有精确数学模型,具有很强的鲁棒性,易于解决大滞后、大惯性系统,因此本系统采用模糊控制的方法实现水肥一体化系统的精准配肥。

### 2.1 模糊控制原理

模糊控制是模糊理论在控制技术上的应用,用模糊算法来刻画复杂关系,是具有模拟人类学习和自适应能力的控制系统,模糊控制系统主要由模糊控制器、传感器、执行器、被控对象等组成(图 2),模糊控制器是系统的核心,模糊控制器的性能取决于控制器的结构、隶属度函数、控制规则等因素。

### 2.2 模糊控制器的设计

本系统采用二维模糊控制器,其性能优于一维模糊控制器,由于要控制的变量是营养液电导率 EC 值,所以选取 EC 值的误差  $E$  和 EC 值的误差变化率  $C$  作为 2 个输入变量,选取母液罐电磁阀的通断时间  $U$  作为输出变量。

$$E(kT) = T(kT) - T_0; \quad (1)$$

$$C(kT) = \frac{E(kT) - E[(k-1)T]}{t}. \quad (2)$$

式中: $t$  为采样周期; $T_0$  为 EC 给定值; $T(kT)$  为第  $k$  个 EC 采样值。 $E(kT)$  为  $t$  周期第  $k$  个 EC 采样值的误差值; $C(kT)$  为  $t$  周期第  $k$  个 EC 采样值的误差变化率; $E[(k-1)T]$  为  $t$  周期第  $k-1$  个 EC 采样值的误差变化率。

为了提高控制的精确性,本系统的隶属度函数采用常用的三角形,选取 EC 值的误差  $E$  和 EC 值误差变化率  $C$  的论域分别为

$$E = \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, -0, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\};$$

$$C = \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}.$$

$E, C$  的语言值分别选为

$$E = \{NB, NM, NS, NO, PO, PS, PM, PB\};$$

$$C = \{NB, NM, NS, O, PS, PM, PB\}.$$

收稿日期:2018-06-06

基金项目:河南省科技攻关项目(编号:162102210075);华北水利水电大学高层次人才计划(编号:40434)。

作者简介:王丽娟(1966—),女,河南周口人,博士,教授,主要从事大型复杂系统控制、软件工程、嵌入式系统研究。E-mail:wlj@ncwu.edu.cn。

通信作者:吕途,硕士研究生,主要从事农业物联网研究。

E-mail:839498204@qq.com。

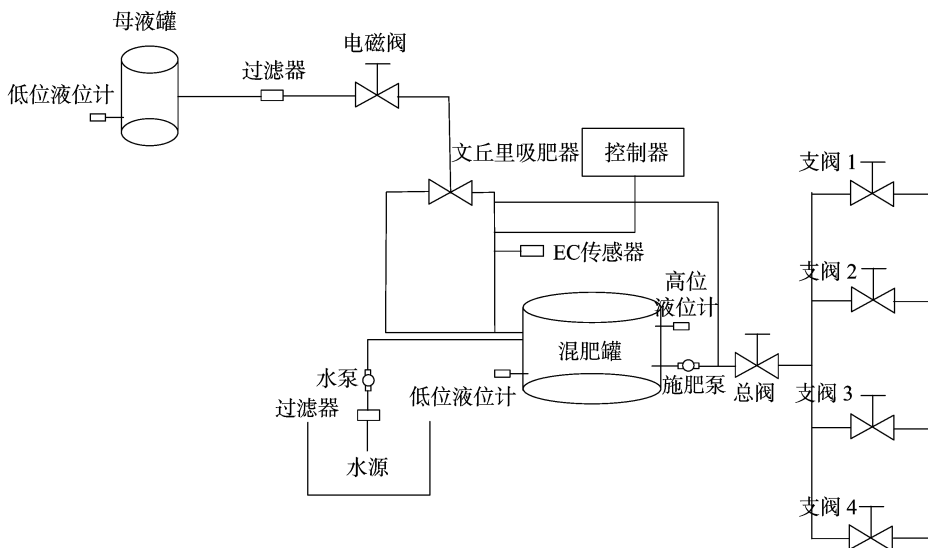


图1 水肥一体机结构

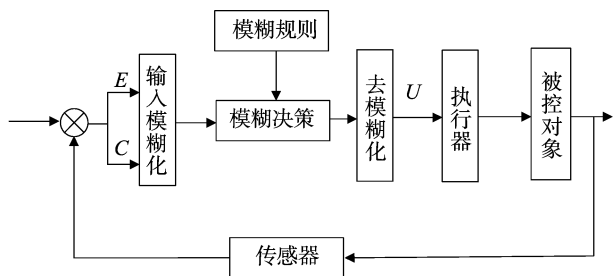


图2 模糊控制系统

式中:NB为负大;NM为负中;NS为负小;NO为零负;O为零;PO为零正;PS为正小;PM为正中;PB为正大。

选取控制量即电磁阀的通断时间  $U$  的论域和语言值为:

$$U = \{-7, -6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\};$$

$$U = \{NB, NM, NS, O, PS, PM, PB\}.$$

式中:NB为关闭母液罐电磁阀,NM、NS、O、PS、PM、PB为高浓度的营养液电磁阀在1个周期内开启时长的短时、较短时、

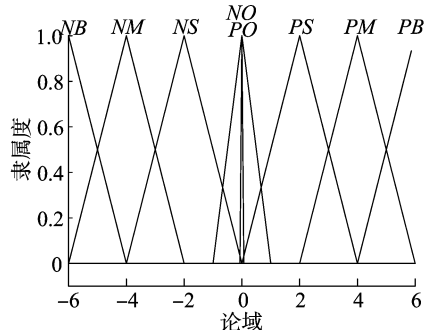


图3 E的隶属度函数

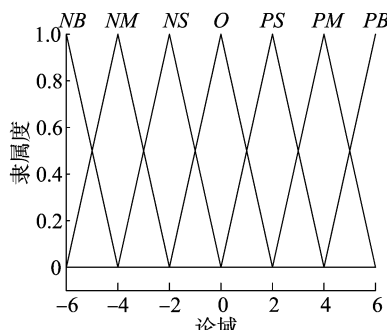


图4 C的隶属度函数

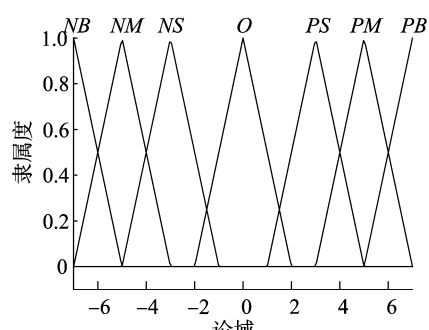


图5 U的隶属度函数

中时、长时、较长时、超长时。

通过总结作物EC值调控的专家经验,如:“若当前EC值远小于目标EC值,且有大幅降低的趋势,则长时间添加营养液”等,编写了56条模糊控制规则:

- (1) if( $E$  is NB) and ( $C$  is NB) then ( $U$  is PB);
- (2) if( $E$  is NB) and ( $C$  is NM) then ( $U$  is PB);
- (3) if( $E$  is NB) and ( $C$  is NS) then ( $U$  is PM);
- (4) if( $E$  is NO) and ( $C$  is NB) then ( $U$  is PS);
- (5) if( $E$  is PO) and ( $C$  is NB) then ( $U$  is PS);
- ⋮
- (56) if( $E$  is PB) and ( $C$  is PB) then ( $U$  is NB).

### 2.3 模糊控制器的实现

通过 Matlab 的 FIS 编辑器编写  $E$ 、 $C$ 、 $U$  的隶属度函数分别见图3、图4、图5,模糊规则的输入输出的三维曲面图见图6,图中曲面平滑度很高,说明系统的控制精度很高。

## 3 水肥电导率调节过程

通过调节母液电磁阀的每个控制周期内的开通时间,使混肥罐的水肥达到设定的电导率,由于实际混肥过程比较复杂,干扰因素较多,所以通过一个简化的动态模型来分析混肥过程。假设混合罐内的液体体积不变,水肥均匀混合,系统达到平衡时,根据物料守恒的原理,可得:

$$\frac{dV_{(t)} C_{sf(t+t_0)}}{dt} = Q_{s(t)} C_s + Q_{f(t)} C_f - Q_{sf(t)} C_{sf(t+t_0)}; \quad (3)$$

$$\frac{dV_{(t)}}{dt} = Q_{s(t)} + Q_{f(t)} - Q_{sf(t)}. \quad (4)$$

式中: $V_{(t)}$ 为混合液的体积; $C_s$ 为流入清水的质量浓度; $C_f$ 为流入母液的质量浓度; $C_{sf(t+t_0)}$ 为流出水肥的质量浓度; $Q_{s(t)}$ 为流入清水流量; $Q_{f(t)}$ 为流入母液的流量; $Q_{sf(t)}$ 为流出水肥的流

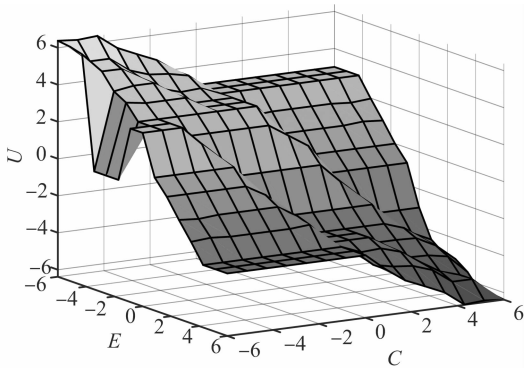


图6 模糊规则三维曲面

量;  $t_0$  为时滞时间。

假设条件为:

$$Q_{s(t)} + Q_{f(t)} = Q_{sf(t)} \quad (5)$$

将式(4)、式(5)代入式(3)可得:

$$\frac{V_{(t)} dC_{sf}(t+t_0)}{dt} + Q_{sf(t)} [C_{sf}(t+t_0) - C_s] = Q_{s(t)} [C_f - C_s] \quad (6)$$

由于清水的质量浓度非常小,为了简化计算,令  $C_s = 0$ , 可得:

$$\frac{V_{(t)} dC_{sf}(t+t_0)}{dt} + Q_{sf}(t) C_{sf}(t+t_0) = Q_{s(t)} C_f \quad (7)$$

式(7)即为水肥电导率调节过程的动态模型。

#### 4 仿真分析

为了验证模糊控制方案的有效性,在 Matlab 的 simulink 中搭建模糊控制系统仿真模型和 PID 控制系统仿真模型(图7),根据式(7)确定 EC 值对象的传递函数为带延迟的一阶惯性环节,设定系统流量为  $5.2 \text{ m}^3/\text{h}$ ,母液浓度为  $78.8 \text{ g/L}$ ,电磁阀输出占空比为 100%,获取开环阶跃响应曲线,通过系统辨识得 EC 值的传递函数为  $G(s) = \frac{0.125 \times e^{-5s}}{31.5s+1}$ 。根据实际作物的需水需肥规律<sup>[10]</sup>,选取实际 EC 值误差  $e$  的基本论域为  $[-10 \text{ mS/cm}, +10 \text{ mS/cm}]$ ,  $E$  的量化因子为 EC 值误差  $E$  的隶属度函数的范围比上实际 EC 值误差  $e$  的范围,则  $E$  的量化因子  $K_e = 6/10 = 0.6$ ;选取实际误差变化率  $c$  的基本论域为  $[-2.4, 2.4]$ ,  $C$  的量化因子为 EC 值误差变化率  $C$  的隶属度函数的范围比上实际 EC 值变化率  $c$  的范围,则  $C$  的量化因子  $K_c = 6/2.4 = 2.5$ ;选取实际控制量  $u$  的基本论域为  $[-14, +14]$ ,  $U$  的量化因子为实际控制量  $u$  的范围比上控制量  $U$  的隶属度函数的范围,则控制量  $u$  的比例因子  $K_u = 14/7 = 2$ 。

首先对系统进行阶跃响应跟踪试验,对系统的设定值进行 4 次变化,分别为 1.0、1.5、2.0、0.5,仿真结果见图 8,此 EC 值模糊控制模型相比于 PID 控制器超调量非常小,几乎没有,而且系统达到稳定的速度比较快,控制的过程也比较稳定。

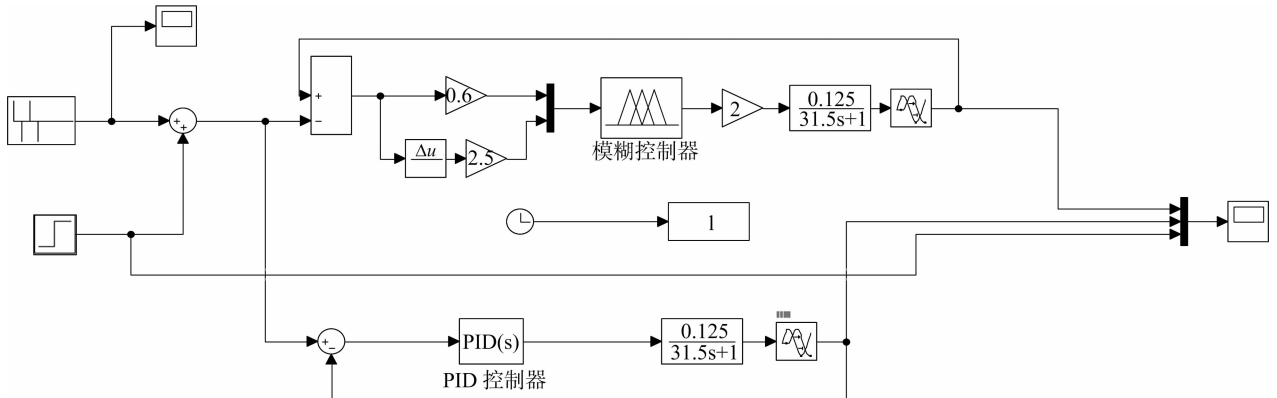


图7 EC 值模糊控制和 PID 控制 Simulink 模型

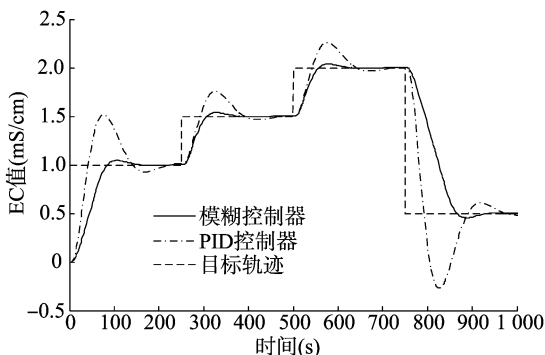


图8 阶跃响应跟踪试验仿真结果

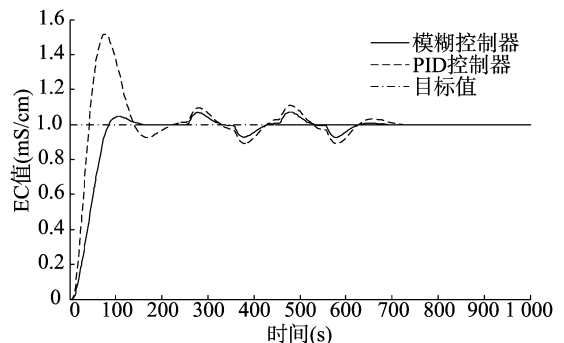


图9 抗干扰仿真测试结果

在系统达到稳定的时候,对系统进行 4 次扰动试验,仿真结果见图 9,模糊控制器和 PID 控制器在同时受到相同的干扰后,模糊控制器的超调量和恢复时间明显小于 PID 控制器,说明此模糊控制器的抗干扰性好、鲁棒性强。

图 8 和图 9 说明此模糊控制器的性能要优于传统的 PID 控制器,是一个很理想的模型,能够满足水肥一体机对 EC 值控制的要求,实现精准配肥。

王 鹏, 龚瑞昆. 基于粒子群算法优化 PIDNN 的温室系统解耦控制[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(23): 241-244.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.23.061

# 基于粒子群算法优化 PIDNN 的温室系统解耦控制

王 鹏, 龚瑞昆

(华北理工大学电气工程学院, 河北唐山 063210)

**摘要:**传统的温室系统控制,只是针对系统中的单一变量,运用比例-积分-微分(PID)控制器使控制目标维持在一定的范围内,但是温室系统是一个具有强耦合关系的复杂系统。为了使温室系统变量间耦合解耦,并增加系统的控制精度,提出基于粒子群优化(PSO)算法的PID神经网络(PIDNN)算法。通过利用神经网络强大的函数逼近特性,使温室系统的变量间耦合解耦,通过 PSO 算法对 PID 神经网络权值的优化,使 PIDNN 避免陷入局部收敛,并搜索到权值的最优初始值。应用该方法对温室系统的简化模型进行仿真,结果表明,经过该方法优化后,温室系统的解耦效果理想,且具有稳定性高、响应速度快、鲁棒性强等优点。

**关键词:**温室;粒子群算法;神经网络;解耦控制

**中图分类号:** TP273 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)23-0241-04

温室系统是一个复杂的多变量系统,具有时变性、时滞性、非线性等特点,且多种变量之间有着相互耦合的关系。随着社会的发展,对温室控制的要求也逐渐提高,但是对于温室系统的研究还处于基础阶段,大量应用于工业的技术并没有在农业中得到应用,使得温室系统的控制无法跟上当前技术发展的水平。目前,对于温室的控制研究主要集中在对温室中某一单一变量的精确控制上,如雷勇等主要通过运用新的智能算法优化对温室系统的温度进行控制,使温度这一大惯性、非线性变量的控制精度和稳定性有所提高,对植物生长环境的优化改进发挥了有利影响<sup>[1-3]</sup>。季宇寒等针对温室中的 CO<sub>2</sub> 浓度进行研究,通过调节温室中 CO<sub>2</sub> 的施用量,使 CO<sub>2</sub> 浓度维持在作物需求的合理范围,从而增加温室作物的产

量<sup>[4-6]</sup>。朱舟等着重研究了光照度对温室作物生长的影响,通过建立温室补光模型,合理调控温室的光照需求<sup>[7-8]</sup>。温室系统是一个多变量耦合系统,温度、湿度、CO<sub>2</sub> 浓度、光照度等变量之间相互耦合,某一变量的变动就会对其他变量造成影响,所以针对单一变量控制的研究,无法同时满足变量之间的协调控制,文献[9-10]分别通过模糊控制和基于改进遗传算法的模糊神经网络对温湿度进行解耦控制研究。为了解决温室温湿度耦合问题,本研究提出基于粒子群优化(PSO)算法的比例-积分-微分神经网络 PIDNN,温室系统解耦控制方法。

## 1 PID 神经网络原理

### 1.1 PID 神经网络简介

比例-积分-微分(PID)神经网络不是单纯地将 PID 与神经网络相结合,而是通过将 PID 的控制规律与神经网络的优点相结合,形成的一种新型改进神经网络。它既具有常规 PID 控制器控制规律简单易用的优点,同时又具有神经网络非线性映射能力,舒怀林对 PID 神经网络(PIDNN)进

大学出版社,2015:25-26.

[4]周亮亮,柯建宏. 基于模糊控制的温室灌溉施肥控制系统[J]. 浙江农业科学,2012(12):1648-1652.

[5]张 伟. 果园水肥一体化控制系统设计与实现[D]. 南昌:华东交通大学,2017.

[6]李加念,洪添胜,冯瑞珏,等. 基于模糊控制的肥液自动混合装置设计与试验[J]. 农业工程学报,2013,29(16):22-30.

[7]李加念,洪添胜,冯瑞珏,等. 基于脉宽调制的文丘里变量施肥装置设计与试验[J]. 农业工程学报,2012,28(8):105-110.

[8]刘永华. 温室精准灌溉施肥系统关键技术研究[D]. 南京:南京农业大学,2015.

[9]孙宜田,李青龙,孙永佳,等. 基于模糊控制的水肥药一体化系统研究[J]. 农机化研究,2015,37(8):203-207.

[10]牛 寅,张侃谕. 轮灌条件下灌溉施肥系统混肥过程变论域模糊控制[J]. 农业机械学报,2016,47(3):45-52.

收稿日期:2017-08-03

基金项目:国家自然科学基金(编号:61271402)。

作者简介:王 鹏(1991—),男,河北邯郸人,硕士研究生,主要从事农业自动化研究。E-mail:1124017334@qq.com。

通信作者:龚瑞昆,博士,教授,主要从事检测技术及智能装置研究。E-mail:grk@ncst.edu.cn。

## 5 结束语

水肥一体化系统的研究,有助于推进农业灌溉智能水平的提升,使农业灌溉效率得到显著提升,有利于实现农业现代化,从而达到农产品竞争力强、高效利用农村能源、环境保护和可持续发展的目标。该模糊控制系统比传统 PID 的混肥系统更加精确,提高水肥的利用率,节约水肥资源。

## 参考文献:

[1]刘永华,俞卫东,沈明霞,等. 智能化精准灌溉施肥技术研究现状与展望[J]. 江苏农业科学,2014,42(8):384-387.

[2]吴景来,李家春,陈跃威,等. 模糊控制模型在水肥一体化中的应用研究[J]. 中国农村水利水电,2018(2):11-14,19.

[3]石辛民,郝整清. 模糊控制及其 MATLAB 仿真[M]. 北京:清华