

8-3-2020

Application of Fuzzy PID Control Based on Neutral Network on High/Low Temperature Environmental Simulation System

Jingwang Jiang

1. State Key Laboratory of Virtual Reality Technology and Systems, Beihang University, Beijing 100191, China; ;2. School of Automation Science and Electrical Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China; ;3. Science and Technology on Aircraft Control Laboratory, Beijing 100191, China; ;

Yunjie Wu

1. State Key Laboratory of Virtual Reality Technology and Systems, Beihang University, Beijing 100191, China; ;2. School of Automation Science and Electrical Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China; ;3. Science and Technology on Aircraft Control Laboratory, Beijing 100191, China; ;

Mengchen Wu

4. School of Aeronautics Science and Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research](#), [Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Application of Fuzzy PID Control Based on Neutral Network on High/Low Temperature Environmental Simulation System

Abstract

Abstract: High/Low Temperature Environmental Simulation System is mainly used for the functional deploying test of the giant space deployable antenna and some large-scale structures at extreme high/low temperatures, and some other relevant tests. This project requests controlling the parameters of the system in a large range with high accuracy and no overshoot. Temperature control system has features of non-linearity, time-variant, and large delay, which seriously affect the speed and accuracy of the control. However, the conventional PID finds it difficult to achieve desired effect of control. *A new scheme of compound control which is referred to as fuzzy-PID control based on neutral network was proposed. Comparison between the compound control and the PID control was made in simulation.*

Keywords

temperature control, PID control, fuzzy theory, neutral network, simulation

Recommended Citation

Jiang Jingwang, Wu Yunjie, Wu Mengchen. Application of Fuzzy PID Control Based on Neutral Network on High/Low Temperature Environmental Simulation System[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(8): 1922-1926.

神经网络模糊 PID 控制在高低温环境模拟系统的应用

蒋景旺^{1,2,3}, 吴云洁^{1,2,3}, 吴梦晨⁴

(1.北京航空航天大学虚拟现实技术与系统国家重点实验室, 北京 100191; 2.北京航空航天大学自动化科学与电气工程学院, 北京 100191; 3.飞行器控制一体化技术重点实验室, 北京 100191; 4.北京航空航天大学航空科学与工程学院, 北京 100191)

摘要: 高低温环境模拟系统主要用于大型空间可展开天线及其他大型机构的高低温极限环境下的展开功能试验及其他相关试验; 系统要求测控的范围较广、精度较高且不能超调; 温度控制具有典型的非线性、时变性和滞后性等特性, 增加了控制的难度; 为了解决常规 PID 控制效果不理想的问题, 提出了一种新型复合控制方案——神经网络模糊 PID 控制算法, 并将此算法与常规 PID 控制进行了仿真比较。

关键词: 温度控制; PID 控制; 模糊理论; 神经网络; 仿真

中图分类号: TP273

文献标识码: A

文章编号: 1004-731(2015) 08-1922-05

Application of Fuzzy PID Control Based on Neutral Network on High/Low Temperature Environmental Simulation System

Jiang Jingwang^{1,2,3}, Wu Yunjie^{1,2,3}, Wu Mengchen⁴

(1. State Key Laboratory of Virtual Reality Technology and Systems, Beihang University, Beijing 100191, China; 2. School of Automation Science and Electrical Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China; 3. Science and Technology on Aircraft Control Laboratory, Beijing 100191, China; 4. School of Aeronautics Science and Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China)

Abstract: High/Low Temperature Environmental Simulation System is mainly used for the functional deploying test of the giant space deployable antenna and some large-scale structures at extreme high/low temperatures, and some other relevant tests. This project requests controlling the parameters of the system in a large range with high accuracy and no overshoot. Temperature control system has features of non-linearity, time-variant, and large delay, which seriously affect the speed and accuracy of the control. However, the conventional PID finds it difficult to achieve desired effect of control. A new scheme of compound control which is referred to as fuzzy-PID control based on neutral network was proposed. Comparison between the compound control and the PID control was made in simulation.

Keywords: temperature control; PID control; fuzzy theory; neutral network; simulation

引言

本项目中高低温环境模拟系统的设计, 是为了便于进行航天天线在不同温度条件下展开机构的运行状态测试。该系统可用于大型空间可展开天线

及其他大型机构的高低温极限环境下的展开功能试验及其他相关试验^[1]。本论文所研究的控制系统能够保证所模拟的环境参数高效稳定可控, 使得特定环境下的相关试验可以有效实施。该系统通过制冷系统和加热系统来获得相应的高低温环境状态, 对温度控制范围与控制精度均有较高要求, 因此设计可靠、有效的控制方法是整个项目的重点和难点。

传统 PID 控制是现今过程系统控制当中使用最为广泛的一种经典控制方法。但对于该温度控制



收稿日期: 2015-06-03 修回日期: 2015-06-30;
基金项目: 国家自然科学基金(91216304);
作者简介: 蒋景旺(1991-), 男, 山东德州人, 硕士生, 研究方向为计算机测量与控制; 吴云洁(1969-), 女, 河北人, 博士, 教授, 研究方向为智能控制理论、仿真设备及工业过程控制等; 吴梦晨(1991-), 男, 江苏人, 硕士生, 研究方向为人机与环境。

<http://www.china-simulation.com>

• 1922 •

系统, 主要是一个非线性、时变、大延迟、多变量耦合的复杂控制对象, 而且传统 PID 控制器参数往往整定欠佳, 性能欠优越, 所以只应用常规 PID 控制器是很难达到试验要求的控制效果的^[2]。

新世纪以来, 计算机技术以及智能控制理论的发展日新月异, 各种新型控制方法层出不穷, 其为常规 PID 控制方法难以胜任的场合提供了一种可利用的途径。本论文拟采用一种新型的智能控制算法—神经网络模糊 PID 控制算法, 该算法以神经网络为基础, 综合了 PID 控制与模糊控制的优点, 在实时性、鲁棒性、控制精度等性能指标上有显著提升。经仿真验证, 控制效果较为理想, 可应用于实际, 从而解决上述项目中出现的难题。

1 系统模型

1.1 高低温环境模拟系统

本项目设计的环境模拟系统主要由以下几个部分构成: 试验舱体、气源系统、制冷系统、加温系统、排风系统、测控系统和监控系统等。须满足

以下技术指标要求: 温度可调范围 $-100^{\circ}\text{C}\sim+130^{\circ}\text{C}$; 温度波动度 $\leq 4^{\circ}\text{C}$; 温度偏差 $\leq 2.5^{\circ}\text{C}$, 且在控制精度范围内不能出现超调, 避免造成试验构件损坏。

高低温环境模拟系统综合试验台采用分布式控制系统的形式, 即上位管理级、检测与执行级(即现场级)和下位控制级三位一体的构成方式(图 1)。该系统以工业控制计算机为核心, 集合了多种微处理器和单元组合仪表, 采用控制功能分散、显示操作集中, 兼顾分而自治和综合协调的运行方式, 同时具有可扩展性和可裁剪性。

现场级采集状态信息, 通过温度传感器变送成 $4\sim 20\text{mA}$ 电信号, 传送到下位级 PID 控制仪表。控制仪表一方面显示现场的测量信号, 计算输出控制量, 并转换成标准信号发送给现场执行机构, 从而完成对现场的温度状态量的调节和控制。另一方面, 可通过 RS485 总线与上位计算机通信, 接收上位机的设定信号^[3]。上位计算机运行编制程序, 主要完成对环境试验工况的管理监视以及试验数据的存档、报表生成和曲线绘制等工作。

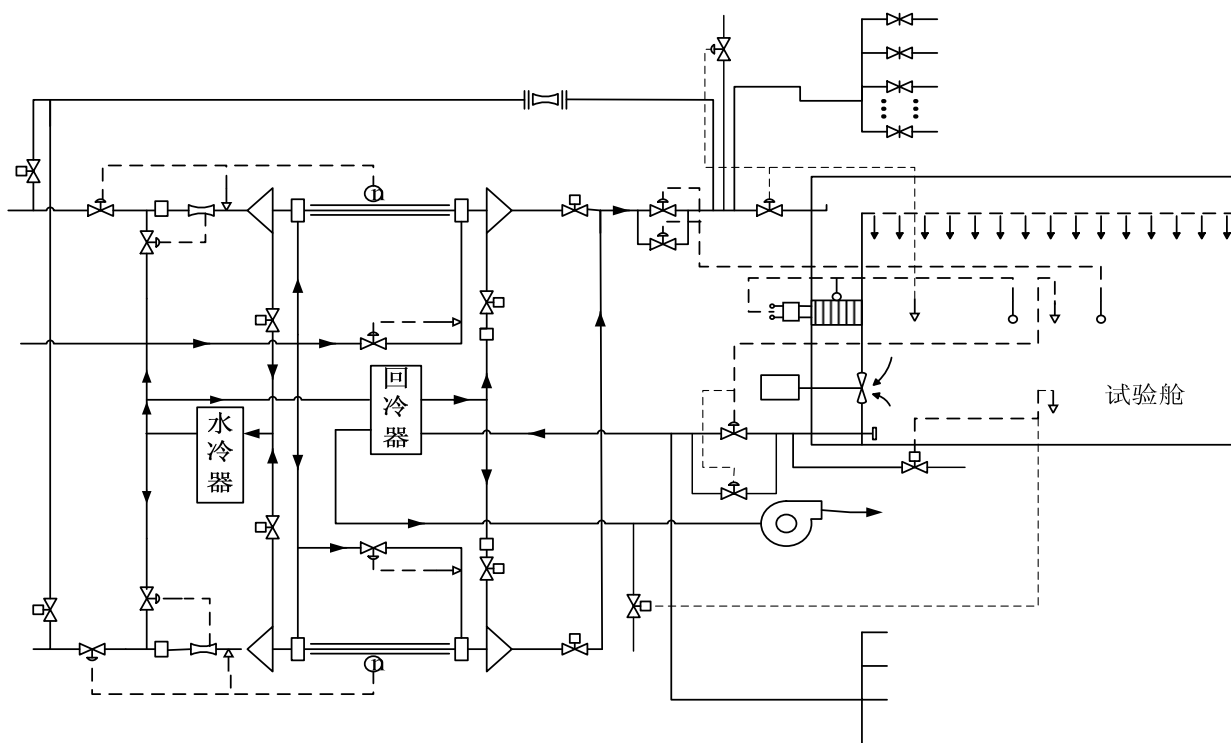


图 1 高低温环境模拟试验台测控系平台设备流程图

1.2 被控对象

通过对多变量的解耦, 本论文所考虑的被控对象可近似用二阶惯性纯滞后环节来表示, 其传递函数通式为: $G(s) = \frac{K}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)} e^{-\tau s}$

式中: K 为对象的静态增益; T_1, T_2 为时间常数; τ 为纯滞后时间。

大时延问题是控制领域经典难题之一, 作为影响控制效果的重要来源, 一直未得到妥善解决。若不能消除控制作用的时延影响, 容易导致系统的超调, 使系统震荡, 动态品质变坏, 甚至使系统失稳, 对扰动无法作出及时的响应^[4]。仅采用传统的控制方法是无力解决大时延问题的。

2 控制方案设计

因为控制对象具有非线性、大惯性和纯滞后的特点, 单纯使用任何一种控制方式都很难得到良好的控制效果。基于此, 文章尝试构造一种新型的综合算法——神经网络模糊 PID 控制算法。

所设计的神经网络模糊 PID 控制器主要由 3 个部分组成, 结构如图 2 所示。每个部分作用: (1) 传统 PID 控制器: 直接作用于被控对象, 为闭环控制, 并且参数 K_p, K_i, K_d 在线整定。(2) 模糊处理模块: 针对系统的状态变量, 做模糊化和归一化处理。即利用模糊控制的鲁棒性和非线性控制作用, 对神经网络 NN 的输入进行预处理, 防止因 NN 的活化函数采用 Sigmoid 函数, 输入量过大而导致的输出饱和现象, 以实现设定的模糊规则^[5]。(3) 神经网络模块 NN: 神经网络具有自学习能力, 可以将模糊规则转化为加权系数, 从而实现通过修改加权系数初值, 达到生成规则的目的。并且输出层神经元的状态直接对应于 PID 控制器的 3 个参数 K_p, K_i, K_d , 系统利用神经网络的自学习能力, 动态调节 PID 控制器参数, 使其稳定状态下的 PID 控制器参数最优化, 达到最佳控制效果^[6-7]。最后, 利用 PID 控制器的输出 u 作用于被控对象, 达到期望的控制目的。

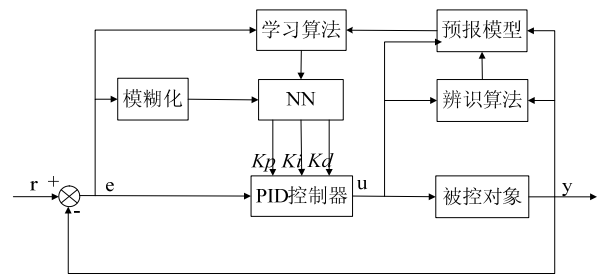


图 2 神经网络模糊 PID 控制系统结构

2.1 模糊化模块

模糊方法可以简化系统设计的复杂性, 特别适用于非线性、时变、滞后、模型不完全系统的控制。模糊推理是针对模糊量进行的, 而模糊控制器输入、输出变量均为精确值, 因此首先要做的是对输入量进行模糊化处理。模糊化简言之就是根据输入变量模糊子集的隶属函数, 由输入的精确值找出相应的隶属度的过程^[8]。

参考工程应用的经验, 在设计的基于神经网络的模糊 PID 控制器中, 输入、输出变量的语言值划分为 7 个等级: {NB, NM, NS, O, PS, PM, PB}。各变量模糊集合的论域为[-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6]。隶属度函数采用最常用的三角函数。考虑到隶属度函数的分辨率及系统的鲁棒性要求, 在误差 0 值附近的函数直线斜率取得更大一些^[4], 形式如图 3 所示。

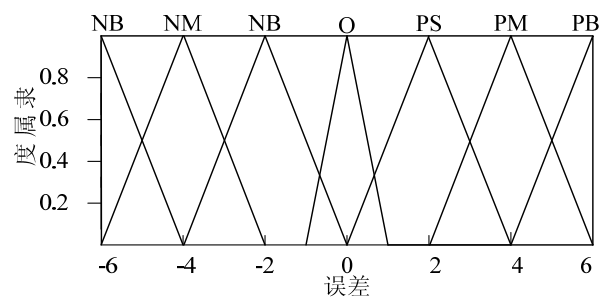


图 3 隶属度函数

模糊控制设计最重要的一步是得到针对 K_p, K_i, K_d 三个参数进行整定的模糊控制表, 建立合适的模糊规则^[9]。这主要依靠工程设计人员的技术知识和实际操作经验。

2.2 自适应变步长神经网络

神经网络 NN 中心框架为一个三层 BP 网络, 输入层有 4 个节点、隐含层有 8 个节点, 输出层有 3 个节点^[10], 结构如图 4 所示。4 个输入节点对应系统状态变量, 已经过模糊归一化处理。3 个输出节点即为 PID 控制器的 3 个参数 K_p, K_i, K_d 。

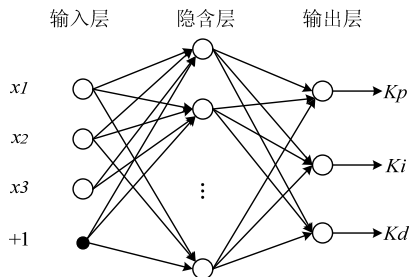


图 4 神经网络结构

该神经网络 NN 的输入为

$$o_1^{(1)}(k) = e(k)$$

$$o_2^{(1)}(k) = e(k) - e(k-1)$$

$$o_3^{(1)}(k) = e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)$$

$$o_4^{(1)} \equiv 1$$

隐含层输入输出

$$net_i^{(2)}(k) = \sum_{j=0}^4 \omega_{ij}^{(2)} o_j^{(1)}(k)$$

$$o_i^{(2)}(k) = f[net_i^{(2)}(k)] \quad (i=0,1,\dots,8)$$

式中: $\omega_{ij}^{(2)}$ 为隐含层加权系数, $f[\cdot] = \tanh(x)$ 为活化函数。

最后, 输出层的输入输出

$$net_l^{(3)}(k) = \sum_{i=0}^8 \omega_{li}^{(3)} o_i^{(2)}(k) \quad (l=0,1,2)$$

$$o_0^{(3)}(k) = g[net_0^{(3)}(k)] = K_p$$

$$o_1^{(3)}(k) = g[net_1^{(3)}(k)] = K_i$$

$$o_2^{(3)}(k) = g[net_2^{(3)}(k)] = K_d$$

其中: $\omega_{li}^{(3)}$ 为输出层加权系数, $g[\cdot] = (1/2)[1 + \tanh(x)]$ 为活化函数。

BP 神经网络虽然具有优秀的非线性映射能力, 理论上可逼近任意非线性函数, 但自身存在不可忽略的缺点: 整体学习速度慢, 易陷入局部的最

小值等。为克服以上缺点, 文章尝试采用改进的自适应变步长 BP 算法 (即 ABPM 算法)。

ABPM 算法的先进之处在于, 引入了动量项的自适应变步长, 以达到调整学习率的目的。我们知道, BP 网络的逼近误差曲面的梯度变化是不均匀的, 即 $\partial E / \partial \omega(k)$ 随位置移动而改变大小, 因而采用固定的步长显然是不能适应各种情形的。针对该缺陷, ABPM 算法通过连续两次观测训练的误差值, 根据不同的观测值做出不同的响应, 提高了灵活性。例如误差下降则增大学习率, 误差的反弹在较小范围内, 则保持步长不变, 误差的反弹超过可容忍限度则减小学习率^[11]。

学习率的选择决定收敛速度, 选的过大或过小都无法达到期望效果。变步长算法如下:

$$\omega(k+1) = \omega(k) + \alpha(k)[1 - \eta D(k) + \eta D(k-1)]$$

$$\alpha(k) = 2^\lambda \alpha(k-1)$$

$$\lambda = \text{sgn}[D(k)D(k-1)]$$

式中 $D(k) = -\partial E / \partial \omega(k)$ 表示 k 时刻的负梯度, $\alpha(k)$ 为 k 时刻的学习率, η 是动量因子。

确定好网络结构和训练算法后, 有了输入、输出参数, 就可以开始对网络进行训练, 当达到期望的输出时训练即告完成, 否则继续调整权值。

2.3 PID 控制器

本文采用增量式 PID 控制, 控制算式为

$$u(k) = u(k-1) + K_p[e(k) - e(k-1)] + K_i e(k) + K_d[e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)]$$

式中: K_p, K_i, K_d 分别为比例、积分、微分系数, 即神经网络模块的 3 个输出节点。 $u(k)$ 是控制器的输出, 直接用于控制被控对象。

3 控制算法的仿真验证

3.1 MATLAB 仿真结果

利用 Matlab 软件分别对常规 PID 和本文设计的神经网络模糊 PID 控制算法进行了仿真比较。图 5 为 2 种控制算法在 $T_1=20, T_2=15, K=15, \tau=60$ 时的阶跃响应曲线。

图 6 为加入设定值干扰后的阶跃响应曲线。

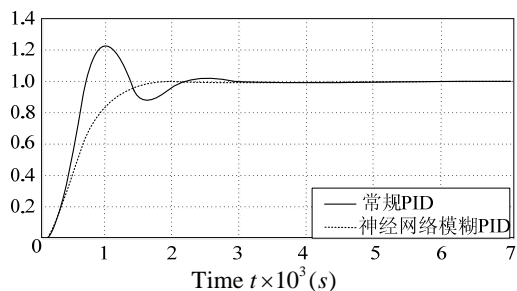


图 5 未加扰动的两种仿真曲线对比

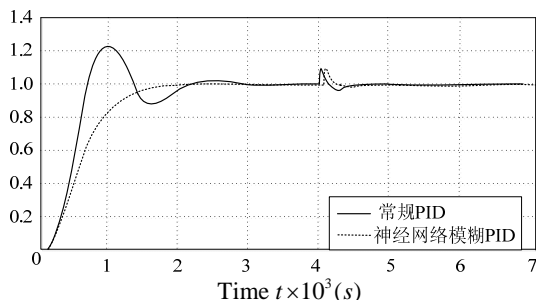


图 6 设定干扰下两种仿真曲线对比

仿真结果表明，神经网络模糊 PID 控制算法较常规 PID 有更好的动静态性能和鲁棒性，控制效果较为理想。

3.2 高低温环境模拟系统实际运行效果

将本文所设计的控制方案应用到高低温模拟综合实验台中进行验证。设定温度目标值 20℃，得到利用常规 PID 控制方式和采用神经网络模糊 PID 控制算法的结果曲线图 7-8。

由图可看出，常规 PID 控制有明显的超调且过渡时间较长，不能满足系统要求；而神经网络模糊 PID 控制能够满足要求，不但没有超调量，控制的精度更高，系统到达稳定状态所用的时间更短。

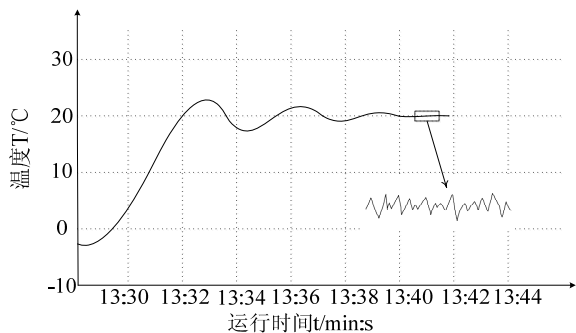


图 7 常规 PID 控制效果

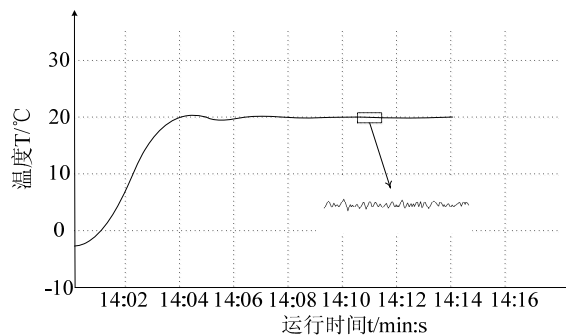


图 8 神经网络模糊 PID 控制效果

4 结论

神经网络模糊 PID 控制算法综合了模糊控制、神经网络控制和常规 PID 控制的优点，为非线性、纯滞后的被控对象的控制提供了解决方案。

实际的应用表明，采用此算法的测控系统在要求范围内的各个工作位置都具有良好的控制精度，满足了各个技术指标的要求。

参考文献:

- [1] 邓丁奇, 张继华, 高飞, 等. 模糊 PID 控制原理在高低温环境模拟系统的应用[J]. 计算机测量与控制, 2015(1): 277-279, 283.
- [2] 蒋鼎国. 基于改进型 BP 神经网络 PID 控制器的温室温度控制技术[J]. 实验室研究与探索, 2015 (1): 9-13.
- [3] 钱鹏, 沈为群, 朱恺, 等. 高温环境模拟试验测控系统设计及高温控制方法研究[J]. 计算机测量与控制, 2010 (11): 2553-2554, 2557.
- [4] 赵玮娜, 朱凌云, 钱宇达, 等. 基于 MOMI 模糊神经网络 PID 温室控制算法研究[J]. 仪表技术, 2008 (12): 23-25+28.
- [5] 龙冯文, 张春峰, 毕效辉. DMC-PID 算法在大时延系统中的应用[J]. 电气传动, 2008 (12): 50-52.
- [6] 董春霞. 神经网络模糊 PID 控制在加热炉温度控制中的应用[D]. 天津: 河北工业大学, 2004.
- [7] 张建勇, 刘东利. 神经网络模糊 PID 算法在温室温度控制中的仿真研究[J]. 中国农机化, 2006 (6): 67-70.
- [8] 褚丽丽, 李春茂, 郭汉桥, 等. 时滞系统的模糊自适应 PID 控制研究[J]. 自动化技术与应用, 2008 (1): 34-36.
- [9] 张阳. 基于变论域模糊控制的电机节能控制装置研究[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2010.
- [10] 韩超远. 基于神经网络的内模控制在温度控制系统的研究[D]. 成都: 西华大学, 2011.
- [11] 黄胜伟, 董曼玲. 自适应变步长 BP 神经网络在水质评价中的应用[J]. 水利学报, 2002(10): 119-123.