

doi:10.3969/j.issn.1007-855x.2013.04.009

pH 过程仿人智能测控算法研究

曹良坤,艾昌文,杨艳华,王云峰
(云南大学 云南省电子计算中心,云南 昆明 650223)

摘要: pH 酸碱中和反应过程是一个典型的非线性物理和化学变化过程,难以建立精确的数学模型. 本文基于模拟人的 pH 测控行为、思维方式、经验及分析方式等,利用 pH 动态过程中的输入和输出所表现出来的相关动态特征,详细设计与分析了适应于 pH 过程的仿人智能测控算法,以便智能定性推理和自适应定量控制 pH 过程,使被测对象 pH 值控制稳定. 实验与工程应用表明,仿人智能测控算法比传统的测控算法具有更好的控制效果,是 pH 过程的有效测控技术之一.

关键词: 仿人智能;pH 过程;pH 测控算法;中和反应

中图分类号: TP273 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2013)04-0039-05

Research on Simulated Human Intelligent Measure and Control Algorithm of pH Process

CAO Liang-kun, AI Chang-wen, YANG Yan-hua, WANG Yun-feng
(Yunnan Electronic Computing Center, Yunnan University, Kunming 650223, China)

Abstract: pH neutralization is a typical nonlinear physical and chemical process, whose mathematical model is difficult to establish. Based on the simulation of human's action, thinking mode, experience and analyzing mode, the correlative dynamic characteristics of input and output of pH process are adopted to design and analyze simulated human intelligent measure and control algorithm, which can provide intelligent qualitative reasoning and adaptive quantitative control of pH process to control pH value of measured object stably. The results of experiment and engineering application prove that simulated human intelligent algorithm is better than traditional algorithm on pH process measure and control and that it is an efficient measure and control technique of pH process.

Key words: simulated human intelligence; pH process; pH measure and control algorithm; neutralization

0 引言

pH 过程^[1]是被测对象发生酸碱中和反应的过程,包括被测对象的混合、中和反应、pH 测量等过程环节,包含 pH 值、温度、压力、流量、液位等过程参数,是一个严重典型的非线性^[2]变化过程. pH 过程的特性有:①被测对象(如溶液)的 pH 值容易受被测对象的温度、压力、液位、流量、中和剂浓度、悬浮颗粒及 pH 测量电极的清洁度等变化的影响;②被测对象在动态过程中存在严重的迟延和滞后性;③在酸碱中和反应过程中,被测对象 pH 值的变化通常呈严重非线性和时变不确定性,动态特性是单调曲线,无法建立准确的数学模型. 因此 pH 过程既有化学变化又有物理变化,要实现被测对象 pH 值的有效测控很不容易.

收稿日期: 2013-04-26. **基金项目:** 云南省教育厅科学研究基金项目(2011Y123, 2013Y364).

作者简介: 曹良坤(1972-),男,硕士,副研究员. 主要研究方向:电子与自动控制技术、软件工程.

E-mail: kminsect@163.com

在工业领域使用的 pH 过程测控系统大多采用传统测控算法,系统运行时,操作人员根据现场实时情况进行控制参数的整定,系统性能指标低,控制效果不佳,这类控制系统不具备智能化特点.随着计算机技术的发展,现已有人工神经网络、遗传算法等许多先进的智能控制算法,但能够适用于 pH 过程并能够解决 pH 过程控制对象难以建立精确数学模型问题的智能测控算法相对甚少.仿人智能测控以人的思维方式、控制经验、行为和直觉推理为基础,避开了求解繁琐的对象模型时遇到的种种难题^[3],它在过程测控系统中具有独特的优势,因此对于模型复杂或模型相对难于建立的 pH 过程系统,仿人智能测控是最佳的选择.

1 仿人智能测控

仿人智能测控的基本思想^[4-7]是仿人.许多研究表明,仿人智能测控是以人的行为、思维方式、测控经验、测控分析方法等方面的特点为基础并利用机器加以系统测控的模拟,主要针对非线性、大滞后、难于建立模型的测控系统.其中机器模拟的核心是直接对人的测控经验、技巧和各种直觉推理逻辑进行测辩、概括和总结,编制成各种实用、测控精度高、自适应能力强及实时运行的测控算法^[8].也就是说,仿人智能测控算法以人对被测控对象的观察、记忆、决策等模仿为基础,根据被测对象实时测量数值与设定值的偏差及偏差的变化趋势来确定控制策略.

仿人智能测控是测控问题求解的二次映射的信息处理过程,即仿人智能测控算法从“认识”到“判断”的定性推理过程和从“判断”到“操作”的定量控制过程^[9].在 pH 实时动态过程中,被测对象的实时参数很多,有 pH 值、温度值、压力值、流量值等,其中反映过程的核心参数是被测对象的实时 pH 值.如何对人的 pH 测控行为进行模拟,实际上也就是如何建立 pH 测控问题的特征模型,如何依据特征模型对实时采样信息进行处理,如何对前期决策与测控效果的特征量和测控任务要求及被测对象性质的特征量的记忆,以及如何依据特征辨识结果决策与控制策略,最后完成对人的 pH 决策过程的模仿.

2 算法设计

pH 过程传统的手工操作是人连续不间断的测控动作,通过使用 pH 值试纸、碘液或 pH 值测量仪表间歇检测被测对象的 pH 值,如果被测对象的 pH 值超出设定值的范围,人根据经验,预测手动开关中和剂(碱或酸)阀门值,接着调节中和剂阀门,以此控制中和剂的流量,经过不断地测量与控制,逐步使被测对象 pH 值控制在预设的范围内^[10].

pH 测控系统动态过程的输入、输出数据是 pH 过程的主要信息.为了有效模仿人的智能 pH 测控行为,通过使用一些变量来描述被测控系统的特征状态.特征状态由特征基元的组合来描述,动态过程中 pH 的误差 e 和误差变化率 Δe 是两个基本的变量,这两个基本变量和系统的其它信息数据通过不同的数学组合得到的变量相结合可得到许多特征基元,从而获取许多的特征信息.在 pH 过程仿人智能测控算法中,控制策略与控制模式的选择和确定,是依据误差变化趋势的特征进行的,而这些确定误差变化趋势特征的集合,构成了 pH 过程仿人智能测控决策的依据.下面的算法设计是以中和剂碱为例.

pH 测控系统动态特性的特征模型 Φ 为:

$$\Phi = \{\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \Phi_4, \Phi_5, \Phi_6\}$$

其中:

$$\Phi_1 \Rightarrow |e| > M_1$$

$$\Phi_2 \Rightarrow |e| < \varepsilon$$

$$\Phi_3 \Rightarrow (e > 0) \cap (e \cdot \Delta e > 0) \cap \overline{\Phi_2} \cap \overline{\Phi_1}$$

$$\Phi_4 \Rightarrow (e > 0) \cap (e \cdot \Delta e < 0) \cap \overline{\Phi_2} \cap \overline{\Phi_1}$$

$$\Phi_5 \Rightarrow (e < 0) \cap (e \cdot \Delta e > 0) \cap \overline{\Phi_2} \cap \overline{\Phi_1}$$

$$\Phi_6 \Rightarrow (e < 0) \cap (e \cdot \Delta e < 0) \cap \overline{\Phi_2} \cap \overline{\Phi_1}$$

控制模式 Ψ 为:

$$\Psi = \{ \Psi_1, \Psi_2, \Psi_3, \Psi_4 \}$$

$$\Psi_1 \Rightarrow u = \pm u_{\max}$$

$$\Psi_2 \Rightarrow u = u_{0(n)} + u_{0(n-1)}$$

$$\Psi_3 \Rightarrow u = u_{0(n-1)} - kk_p e$$

$$\Psi_4 \Rightarrow u = u_{0(n-1)} + kk_p e$$

产生式推理规则 Ω 为:

$$\Omega = \{ \omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4 \}$$

$$\omega_1: \text{IF } \Phi_1 \text{ THEN } \Psi_1$$

$$\omega_2: \text{IF } \Phi_2 \text{ THEN } \Psi_2$$

$$\omega_3: \text{IF } \Phi_3 \cup \Phi_4 \text{ THEN } \Psi_3$$

$$\omega_4: \text{IF } \Phi_5 \cup \Phi_6 \text{ THEN } \Psi_4$$

上式中各符号的含义是: n —控制周期序号; e —pH 误差; Δe —pH 误差变化率; u —控制输出量; $u_{0(n)}$ —第 n 次控制输出值; k —抑制系数; k_p —比例系数; M_1, ε —设定的误差阈值, $M_1 > \varepsilon, \varepsilon$ 是接近系统测控精度的稳态误差值, M_1 是误差的最大阈值。

3 算法分析

假定被测对象的初始 pH 值是酸性的,所用中和剂是碱,那么 pH 过程示例误差曲线如图 1 所示。pH 过程测控算法设计根据不同的被测对象和系统不同的运行环境,首先需研究人员经验性地给出系统一个初始的控制输出量 u_0 ,此 u_0 值能够在一定程度上有效地减少系统的初始振荡,避免算法在系统一开始运行时就给出最大或最小控制输出量。

为了便于分析研究 pH 过程测控对策,将 pH 误差曲线划分为几个不同的阶段,如图 1 所示。

ab 段:这一段被测对象实时 pH 值由中性向碱性变化,pH 误差由稳态误差向误差正极值变化,pH 误差 e 的值逐渐增大且 $e \cdot \Delta e > 0$ 。为了获得良好的控制效果,算法在此段采用变参数控制,即在 pH 误差偏离稳态误差时,逐步增大抑制因子 k 和比例因子 k_p ,以此加强控制作用,使系统误差变化率 Δe 逐渐变小直至为零值,控制输出量逐渐减小。

bc 段:此段被测对象实时 pH 碱性值逐渐减小,在误差最大阈值 M_1 的范围内,pH 误差由正极值向稳态误差值变化。随着 pH 误差 e 的减少,被控量趋于给定值且 $e \cdot \Delta e < 0$ 。在 pH 误差正极值处, Δe 趋于零值或等于零值时,算法逐步减少抑制因子 k 和比例因子 k_p ,使控制输出量逐渐增大。

cd 段:此段被测对象实时 pH 值由碱性向酸性变化,pH 误差由稳态误差向误差负极值变化,pH 误差绝对值增大且 $e \cdot \Delta e > 0$ 。在 pH 误差 e 为零值或误差变化率 Δe 趋于负值时,算法逐步增大抑制因子 k 和比例因子 k_p ,增大控制输出量。

de 段:此段被测对象 pH 值逐渐增加,被测对象酸性逐渐减弱,在误差负最大阈值 $-M_1$ 的范围内, pH 误差由负极值向稳态误差值变化。随着 pH 误差 e 绝对值的减少,被控量趋于给定值且 $e \cdot \Delta e < 0$ 。在 pH 误差变化率 Δe 绝对值趋近于 0 或等于 0 时,算法逐步减少抑制因子 k 和比例因子 k_p ,使控制输出量逐渐

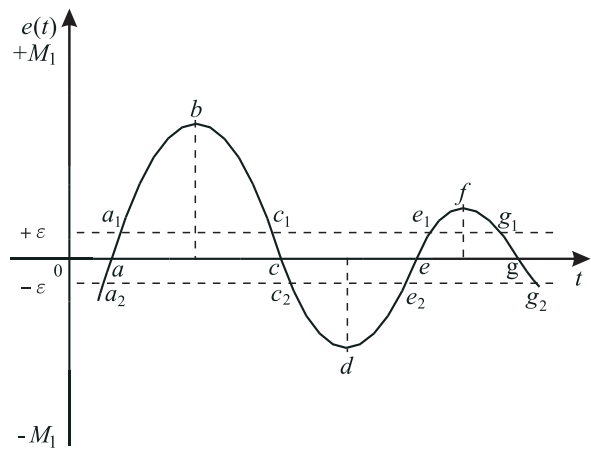


图1 pH误差曲线图
Fig. 1 The curve of pH error

减小.

$a_1 a_2, c_1 c_2, e_1 e_2, g_1 g_2$ 段: 当系统的控制趋于稳定并且 pH 误差也趋于稳态误差时, 算法采取步进调节控制输出量方法, 即在上一次控制输出量的基础上按控制周期逐次增加或减少最小步进控制量. pH 误差一旦进入稳态误差范围内, 算法将抑制因子 k 赋值 k_0 , 促使控制输出量保持不变. 系统等待并观察 pH 误差 e 的变化, 若有新的变化, 算法则做出新的判断与决策. 此时抑制因子 k 赋值 k_0 , 能够避免其增大或减小, 影响控制效果, 从而保证 pH 测控系统控制稳定性.

当误差 e 的绝对值大于 M_1 时, 被测对象的 pH 值已经超过设定的误差阈值, 如果 $e > +M_1$, 系统控制输出量需立即减小, 直至为零, 同时可判断为被测对象停汁; 如果 $e < -M_1$, 系统控制输出量需立即增大, 直至为最大, 同时可判断为中和剂碱停汁.

从上面所述可以看出, 抑制因子 k 和比例因子 k_p 对 pH 测控系统的动态响应特性有很大的影响. k_p 过大, 引起系统响应速度加快, 从而会发生较大的超调及震荡现象; k 过小, 会引起系统收敛速度变慢. 因此抑制因子 k 和比例因子 k_p 之间需具有良好的组合匹配值, 算法依据相关数据及系统控制输出量, 动态地对 k 和 k_p 参数进行在线自调整.

此外, pH 测控系统遇到死机复位的情况, 算法需记忆死机复位前的控制输出量, 以便系统重启后及时延续此量控制输出, 从而不影响系统测控的连续性.

以上仿人智能测控算法实现利用识别 pH 过程实时动态的 pH 误差特征做出参数自调整、步进等相应的测控决策, 并以多模态的控制模式进行控制.

4 实验与应用

在 pH 过程测控实验平台及云南省内部分糖厂中和和生产环节对上述测控算法进行验证, 取得了很好的测控效果. 假定被测对象 pH 是酸性值, 所用中和剂为碱, 被测对象的 pH 值预控制在 7.0, 控制稳态误差为 ± 0.05 , 给定值为 7.0, 那么测控算法控制效果如图 2 所示. 图 2 实曲线所示为一般传统的测控算法控制效果, 控制震荡幅度较大, 需较长时间控制才能到达稳态误差范围内, 遇到不稳定因素就会反复进入系统震荡, 控制波动比较大; 图 2 虚曲线所示为 pH 过程仿人智能测控算法控制效果, 控制调节速度快, 能在较短时间内到达稳态误差范围以内, 控制更为稳定.

当 pH 过程测控系统受到干扰时, 如被测对象的 pH 值突然偏酸或者中和剂突然偏碱等, pH 过程仿人智能测控算法的控制效果如图 3 所示. pH 过程测控系统受到上述不稳定因素干扰时, 测控算法能够使系统迅速回到稳态误差范围内, 继而保持控制稳定.

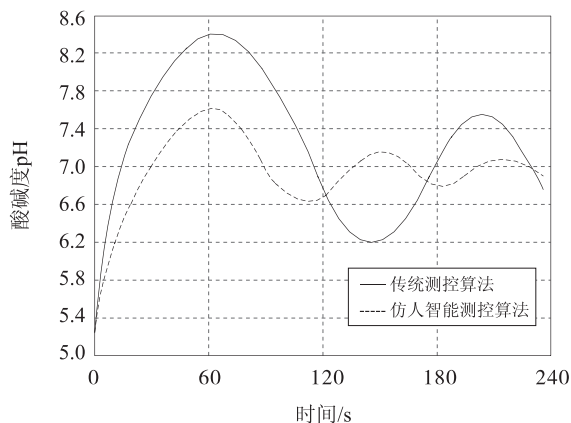


图2 pH过程仿人智能测控算法控制结果

Fig. 2 The result of of pH process simulated human intelligent measure and control algorithm of pH process

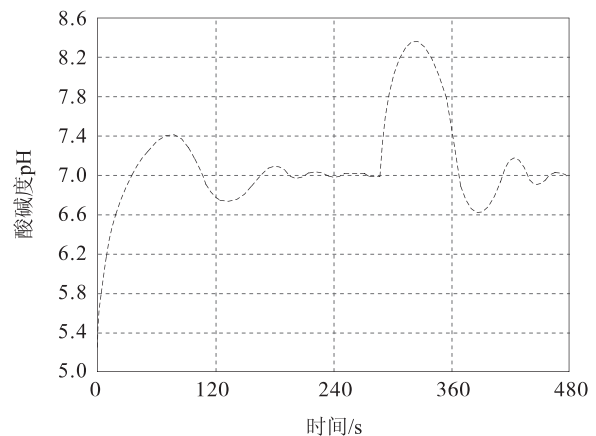


图3 抗干扰控制效果

Fig. 3 The result of eliminating disturbances

5 结论

为了提高pH过程测控系统的智能化水平,实现被测对象pH值的智能测控,必须在常规测控方法的基础上有新的突破.研发先进的pH过程测控算法,系统才能够实现测控精度高、实时性强、具有人工智能测控能力、适应面广等主要目标,从而满足制糖、污水处理、选矿、化工等许多工业领域的实际生产要求.通过“pH过程仿人智能测控算法研究”的课题研究、实验和应用证明,该测控算法在pH测控过程中能够模拟人的测量与控制行为能力,最大限度地识别与利用pH测控系统动态过程所提供的特征信息进行启发和直觉推理,使系统能够自动仿人智能,根据现场情况的变化及时调整控制参数,增加系统控制的自适应能力^[11],从而实现对pH过程缺乏精确数学模型的被测对象进行有效的测控,提高了pH测控系统的智能化水平.

参考文献:

- [1] 姚莉. pH过程自动控制系统研究与仿真[D]. 长沙:中南大学,2007.
- [2] Lam H K, Frank H, Peter K S. Design and Stability Analysis of Fuzzy Model – based Nonlinear Controller for Nonlinear Systems using Genetic Algorithm [J], IEEE Transon Fuzzy Systems, 2003, 33(2): 250 – 257.
- [3] 牛鹏辉,涂亚庆. 过程控制中的仿人智能控制算法[J]. 计算机测量与控制, 2005, 13(10): 1061 – 1062.
- [4] Zhou Qijian, Bai Jianguo. An Intelligent Controller of Novel Design [C]//Proc of a Multi – National Instrumentation Conference, Part 1, Shanghai, China, 1983, 137 – 149.
- [5] Zushu Li, Qingchun Chen, Xuemei Li, Hikaru Inooka. Human simulating intelligent control and its application to swinging – up of cart – pendulum [C]//Proceedings of the Sixth IEEE International Workshop on Robot and Human Communication'97Ro – Man, Sendai, Japan, 1997: 218 – 223.
- [6] Zushu Li, Hua Zhang, Yongling Wen, Guiping Wang, Human simulated intelligent control based on sensory – motor intelligent schemas [C]//Intelligent Control and Automation, WCICA2004, Fifth World Congress, 2004, 3: 2423 – 2427.
- [7] 李祖枢,涂亚庆. 仿人智能控制[M]. 北京:国防工业出版社,2003.
- [8] 王培进,刘兆伟,王飞. 仿人智能控制论[J]. 中南大学学报:自然科学版,2007, 38(S1): 910 – 914.
- [9] 郭光辉. 仿人智能控制算法的现状与趋势[J]. 安徽职业技术学院学报, 2007, 6(3): 13 – 15.
- [10] 曹良坤,艾昌文,杨艳华,杨建国,等. pH过程测控系统可用性研究[J]. 云南师范大学学报:自然科学版, 2011, 31(6): 53 – 57.
- [11] 张晓龙,尧世文,胡建杭,董人崧,等. 基于广义最大熵回归的自适应艾萨炉铜熔炼工艺参数的软测量[J]. 昆明理工大学学报:自然科学版, 2012, 37(4): 19 – 25.