

# 单总线温控和电解质溶液加热技术在水浴系统中的应用

郭铁梁, 李海宝, 尹向宝

黑龙江科技学院理学院, 哈尔滨 150027

**摘要** 水浴系统设计主要考虑两个问题,即系统的精度与灵敏度。系统的精度主要由温度传感器的精度决定,系统的灵敏度主要与加热源及传热介质有关。传统热电偶精度较低,使得水浴系统的精度不高;传统加热源和导热介质使热量的时空分布不均匀,严重影响了水浴系统的灵敏度。利用单总线温控传感器 DS18B20,通过硬件电路与软件程序相结合的温控设计,提高了水浴系统的温控精度;同时,利用电解质溶液加热技术提高了水浴系统的温控灵敏度。设计实验对该水浴系统温控精度进行测试,结果表明其温控精度可达 0.05℃;通过电化学理论与实验对该系统的温控灵敏度进行测试,结果证明加热介质的温度变化与传感器指示的温度值能基本保持时间与空间上的同步。

**关键词** 水浴系统;单总线温控传感器;电解质溶液加热;温控精度;温控灵敏度

**中图分类号** TP202

**文献标识码** A

**文章编号** 1000-7857(2010)18-0089-05

## Application of Single-bus Temperature Control and Electrolyte Solution Heating Technology in the Water-bath System

GUO Tieliang, LI Haibao, YIN Xiangbao

College of Science, Heilongjiang Institute of Science and Technology, Harbin 150027, China

**Abstract** Two issues should be considered in designing a water-bath system, namely, the accuracy and sensitivity of temperature control. The sensor's accuracy directly determines the system's accuracy. The system's sensitivity is largely related with the heat source and the thermal medium. The low accuracy of traditional thermocouples leads to low accuracy of the system. The traditional heat source and thermal medium make the heat distribution uneven in the temporal and spatial domains, resulting in a low sensitivity of the system. In this paper, a system is designed with the hardware and the software combined. First of all, the single-bus temperature sensor DS18B20 is used to improve the system's accuracy. Secondly, the system's sensitivity is enhanced through utilizing the electrolyte solution heating technique. Some experiments are designed to test the system's accuracy. The results show that the system's accuracy is up to 0.05℃. Other experiments are used to test the system's sensitivity according to the electrochemical theory. The results show that the system can maintain the temperature synchronization in space and time. That is to say, the sensor can capture the system's temperature in real time.

**Keywords** water-bath system; single-bus temperature sensor; electrolyte solution heating; temperature control accuracy; temperature control sensitivity

### 0 引言

温控精度和灵敏度是评价水浴系统温控性能的两个重要指标。水浴系统的温控精度主要由温控传感器的精度决

定,温控灵敏度主要与水浴系统的加热源和导热介质有关。20世纪90年代以前,水浴系统的温控传感器通常采用传统的热电偶<sup>[1]</sup>,由于电压和温度间的非线性关系,温度变化时电

收稿日期:2010-05-17;修回日期:2010-08-01

基金项目:黑龙江科技学院科技立项(04-79)

作者简介:郭铁梁,副教授,研究方向为自动控制及通信与信息系统,电子信箱:gottlang@163.com

压变化很小。例如, J型热电偶在  $0^{\circ}\text{C}$  时产生的电压为  $50\mu\text{V}$ , 每  $1^{\circ}\text{C}$  的温度变化只产生  $5\mu\text{V}$  量级的电压变化。需要用精密的测量设备测量如此小的电压。文献[1]研究表明, 与当今其他类型温度传感器相比, 热电偶是最不灵敏和最不稳定的温度传感器。此外, 这一时期的水浴系统控制技术通常为机械式的, 由于热电偶的测量精度较小, 再加上机械控制装置反应不灵敏及稳定性差, 致使整个水浴系统的温控精度很低。20世纪90年代以后, 由于计算机技术与自动控制技术的发展, 这一阶段的水浴系统由机械控制发展为计算机控制, 使得整个系统的温控精度得到了提高, 但由于温度传感器依然为传统的热电偶, 所以系统的温控精度通常仅达  $0.5^{\circ}\text{C}$  左右, 依然无法满足某些物理化学或生物实验对于温控精度的要求。最近几年, 由于高精度数字式温度传感器的大量使用, 例如美国 Dallas 公司的产品 DS18B20, 使温度测量技术又得到了进一步的提高, 这为水浴温控技术的快速发展, 特别是为温控精度的提高提供了新的可能。文献[2]介绍了单总线温度传感器的相关技术, 但未具体指明该技术的相关应用。另外, 在过去的几十年间, 尽管传统水浴系统采用的温控传感器(多为模拟式传感器)与控制方式各不相同, 但大多系统采用电阻丝作为加热源, 以水作为传热介质, 使得加热源与传热介质之间的温度在时空上不同步, 导致加热介质的实际温度与温度传感器的指示值不同步(超前或落后), 测温传感器所测数据不能真实反映水浴系统的真实温度, 严重影响了系统的温控灵敏度, 这样的水浴系统不能适用于温控灵敏度要求较高的科学实验。文献[3]提出了电解质加热技术, 但未能与单总线温控技术结合用于水浴系统, 也未能进行系统灵敏度方面的实验探讨。综上所述, 水浴温控技术的突破点主要包括温控精度和灵敏度, 针对传统水浴系统存在的温控精度、灵敏度不高的问题, 本研究提出采用单总线温控传感器 DS18B20 作为系统的温控传感器, 以电解质溶液作为加热

源, 同时又作为传热介质, 基于这两种技术设计出单总线温控和电解质溶液加热水浴温控系统, 以提高水浴系统的温控性能指标, 为水浴系统的研发开辟新的途径。

## 1 单总线温控技术

美国 Dallas 公司生产的单总线数字式温度传感器 DS18B20 与传统的热电偶温度传感器不同, 它可以直接读出被测物体或环境的温度值, 使系统结构更趋于简单, 其可靠性及测量精度更高, 其温控精度可达  $0.05^{\circ}\text{C}$  或更高, 可以解决传统热电偶的测量精度问题。DS18B20 的特点<sup>[2]</sup>如下。

- 1) 采用独特的单总线接口方式, 即只有一根信号线与控制器相连, 实现数据的双向通信, 不需要外部元件。
- 2) 测量结果直接输出数字温度信号, 以单总线串行传送给控制器, 同时可传送 CRC 校验码, 具有极强的抗干扰纠错能力。
- 3) 支持多点组网功能, 多个 DS18B20 并联在一起, 可以实现多点组网测量。
- 4) 不需要备份电源, 可用数据线供电, 温度测量范围为  $-55\sim 125^{\circ}\text{C}$ 。

5) 通过编程实现 9~12 位的数值读数方式, 对应的可分辨温度分别为  $0.5$ 、 $0.25$ 、 $0.125$ 、 $0.0625^{\circ}\text{C}$ , 可实现高精度测温。

### 1.1 温度控制装置硬件设计

温度控制装置的硬件部分主要由单片机 (AT89C51)、固态继电器 (SSR)、单总线温控传感器 (DS18B20)、译码显示芯片 (MAX7219)、12MHz 晶振、七段数码管、发光二极管、控制按键等组成 (图 1)。主要功能及原理如下。

1) 单片机 (AT89C51)。作为系统的中心控制器, 具有功耗小、输入输出功能强和抗干扰能力强的特点, 用来存储设置参数及测试数据, 自带的  $4\times 1024\text{B}$  程序存储器提供了扩展程序功能的余地, 通过开发单片机的软件功能, 能有效减少

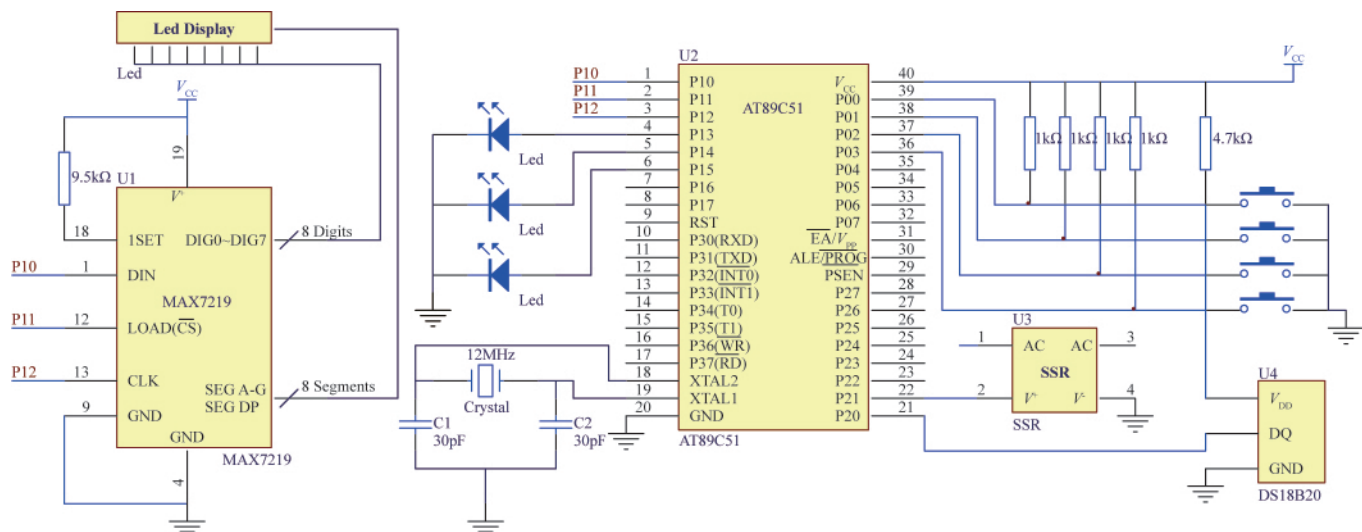


图 1 温度控制硬件电路图

Fig. 1 Hardware circuit of temperature control device

硬件电路。

2) 固态继电器(SSR)。它为过零触发固态继电器,内部由双向晶闸管构成电子触点。其使用特点为当输入端加高电平控制信号时,只有在交流电压的过零点附近才能使双向晶闸管触发导通(电子触点闭合)。一旦触发导通后,即使撤除控制信号,也必须在电流过零时才会关断。

3) 数码显示芯片(MAX7219)。美国 Maxim 公司生产的串行输入/输出共阴极显示驱动器。该芯片可直接驱动 8 位 7 段数字 LED 显示器。它与 CPU 的接口非常简单,仅用 3 个引脚与 CPU 相应端连接即可实现最高 10MHz 串行口。

4) 单总线温控传感器(DS18B20)。它能在现场采集温度数据、一线接口传递信息,并将温度数据直接转换成数字量输出,最大转换时间为 200ms。

## 1.2 温控装置软件设计

温控装置的软件主要使用 MS-C51 语言进行程序设计<sup>[4]</sup>。包括主程序、键盘控制子程序、初使化 LED 子程序、LED 显示子程序、中断初始化子程序、倒计时子程序、延时子程序、DS18B20 驱动子程序等,温控装置主程序流程图如图 2 所示。需对 DS18B20 驱动子程序特别说明的是,每一次进行读写操作之前需要对 DS18B20 进行复位,复位成功后发送一条 ROM 指令,最后发送 RAM 指令,这样才能对 DS18B20 进行预定的操作。DS18B20 编程主要通过 ROM 指令和 RAM 指令实现。为了在 AT89C51 与 DS18B20 之间建立正确的数据通信,AT89C51 单总线接口必须严格遵守 DS18B20 的操作协议和操作时序。其中,操作协议按步骤分为 DS18B20 复位命令、ROM 功能命令、存储器操作命令、数据交互命令等。

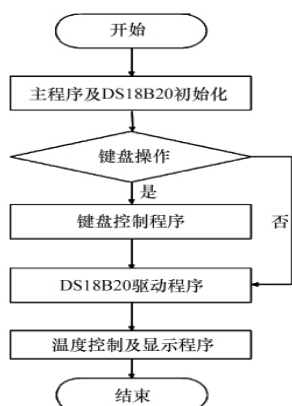


图 2 主程序流程图

Fig. 2 Flow diagram of main program

## 2 电解质溶液加热技术

### 2.1 电解质溶液导电和加热原理

导体大致分为两类:① 电子导体,依靠自由电子的定向运动而导电,如金属、石墨及某些金属化合物等,在导电过程中导体本身不发生任何化学变化;② 离子导体<sup>[5]</sup>,依靠离子的定向运动导电,如电解质溶液及熔融电解质等,在导电过程中电极与溶液界面上可能会发生化学变化。图 3 为离子导体

的导电机制图。与金属导体相反,当温度升高时,电解质溶液中离子迁移速率加快,电导增加。在一定浓度的电解质溶液中插入电极,并加上一定交流电时,由于电阻的存在,电能转变为热能。电场作用使正、负离子分别向两极迁移,导电的同时,两极可能会发生氧化、还原反应。因此,可通过选择合适的电解质和电极材料避免交流电能转变为化学能。

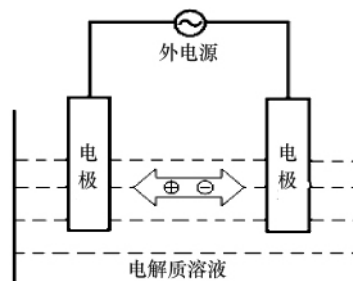


图 3 离子导体的导电机制

Fig. 3 Mechanism of ionic conductivity

传统水浴系统加热源为金属电阻丝,间接传热给容积很大的介质水,当水浴温度低于设定值而通电加热时,电热丝表面温度缓慢升高,传热介质升温滞后,出现控温负偏差;当水浴温度高于设定值而停止加热时,电热丝表面的余热使得被加热介质继续升温,导致控温正偏差;因此传统水浴系统的温控灵敏度不高。电解质溶液既做加热源又做传热介质,使传热介质的空间利用率很高,并且溶液各处浓度相同,从而单位体积的发热量相等,不存在因热量传递而引起的温差现象。当水浴温度低于设定值而通电加热时,电解质溶液立即达到最大发热量,溶液各处的温度均匀上升,不会存在传热介质升温在时间及空间上对测量结果的影响;当溶液温度高于设定值而停止加热时,电解质溶液即刻停止发热,且无余热,也就不会存在余热导致的影响。由此可知,以电解质溶液作为热源可以从根本上解决传统热源存在的热滞问题,并进而解决了传热介质的流动性和传热性以及搅拌速率等因素对控温误差的影响,从而较大幅度地提高水浴系统的控温灵敏度,降低了恒温区内的温度梯度。

### 2.2 加热装置设计

加热装置主要由水浴箱、低压交流电源、电极、搅拌器等组成。水浴箱的大小及形状可以根据不同需要自行设计,水浴箱的材料用耐热绝缘材料制成,内置耐腐蚀金属板作为电极,电极板相对平行排列。低压交流电源主要供给水浴箱电极 $\leq 36V$ 的安全电压,搅拌器可对溶液或实验样品进行匀速搅拌(此速度可以人工调节)。水浴箱内放入一定浓度的电解质溶液,把防水封装后的温度传感器 DS18B20 插入溶液中并且固定在水浴箱上。当溶液温度低于设定值时,由温控装置自动控制电极板通电加热,溶液温度上升;当溶液温度超过设定值时则停止加热,从而实现溶液温度的恒定不变。

### 2.3 电解质溶液选择和温控灵敏度测试

测量灵敏度是指对于被测量物理量的变化,测量器具及

时反应的能力。温控灵敏度是衡量温控系统优劣的主要标志,它与环境温度、温度传感器的灵敏度、控温区间、电解质溶液浓度等因素有关。若提高水浴系统的温控灵敏度,就要减小系统的温度波动范围,使加热介质的实际温度变化与温度传感器的指示值达到同步,这样才能使系统在最短的时间内回到系统所设定的控温点(平衡点)。上述各种因素中,电解质溶液的选择是一个重要因素,这种选择包括两个方面,电解质溶液种类和电解质溶液浓度。经实验测试<sup>[3]</sup>,作为强电解质的碱金属硫酸盐在惰性电极表面不发生任何电化学反应,且不同种类的电解质溶液对该系统的温控灵敏度的影响不大,因此电解质溶液种类的选择相对较容易,在这里不做详细讨论。根据电化学理论<sup>[6]</sup>,电解质溶液的浓度过高或过低会分别导致溶液通电后的发热功率偏高或偏低,从而导致温控效果滞前或滞后,结果会使系统温控灵敏度受到影响,因此,影响温控灵敏度的主要因素为电解质溶液的浓度。

为了测定电解质溶液浓度对温控灵敏度的影响,以 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 电解质溶液为加热介质进行实验。实验条件是:环境温度 20℃,固定电极面积、极间距离和极间交流电压。设定控制温度为 60℃(60℃是水浴系统温控范围的中间段温度,具有代表性),待 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 电解质溶液温度恒定后每隔 2min 测定一次温度,浓度分别为 0.005、0.01、0.02、0.03、0.05mol/L 的 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 电解质溶液的控温效果如图 4 所示。由图中可以看出,恒温阶段,电解质溶液的浓度太高或太低会导致控温的正偏差或负偏差(由图 4 中曲线的波动范围决定)。本实验在其他实验条件不变的情况下,在 60℃的控温点上,0.01mol/L Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 电解质溶液控温效果最好。在该浓度下,水浴系统的温度波动范围最小(系统温度在±0.02℃范围内波动),温控误差最小,基本能够实现加热介质的温度变化与传感器指示的温度值保持同步,温控的灵敏度最高。

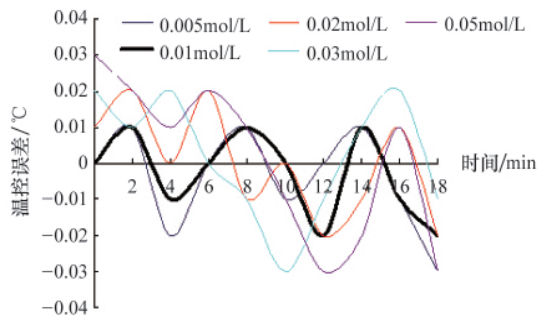


图 4 不同浓度 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 电解质溶液的温控实验结果  
Fig. 4 Experimental results of different Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solutions

### 3 水浴系统温控精度实验测试

将较高精度的单总线温度控制装置与灵敏度较高的电解质溶液加热装置组成水浴温控系统,对该系统进行温控精度实验测试。系统示意图如图 5 所示,首先将 DS18B20 防水

处理后放置在电解质溶液加热装置的适当位置,以便能及时准确地测量电解质溶液的温度;然后为单总线温度控制装置提供直流(DC5V)电压;再为电解质溶液加热装置提供交流(AC36V)电压。与 2.3 节中设计实验条件相同,利用该系统将 0.01mol/L Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 电解质溶液进行加热并分别保持在恒温 40、50、60、70、80℃,待系统温度恒定后每 2min 测定一次温度,得到如表 1 所示实验数据。由表 1 可知,该水浴温控系统的温控精度较高,可达 10<sup>-2</sup> 数量级,比传统水浴系统的控制精度有较大的提高。对表 1 所示数据进行处理,得到水浴系统在不同温度下的温控精度:40℃时,温度控制范围为(40±0.01)℃;50℃时,温度控制范围为(50±0.02)℃;60℃时,温度控制范围为(60±0.02)℃;70℃时,温度控制范围为(70±0.04)℃;80℃时,温度控制范围为(80±0.05)℃。结果表明,该系统在不同温度下的控制精度不同,随着控制温度的升高,系统温控精度有所下降。实验结果与传统水浴系统温控规律一致,表明该系统在这方面还有待进一步改进和提高。

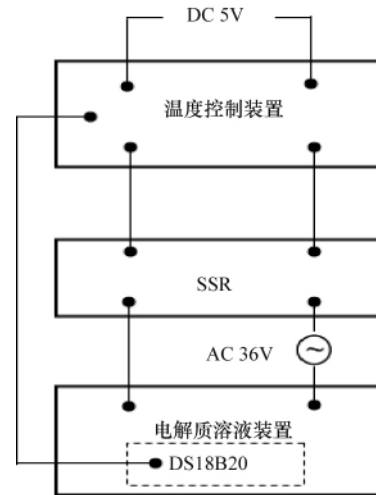


图 5 水浴温控系统示意图  
Fig. 5 Schematic diagram of the system

表 1 水浴温控系统的温控实验数据  
Table 1 Temperature control experimental data of bath temperature control system

时间/min	温度/℃				
	40	50	60	70	80
0	39.99	49.99	60.01	70.02	80.04
2	39.99	50.00	60.02	70.01	80.02
4	40.00	50.01	60.00	69.98	80.00
6	40.01	49.98	59.99	69.99	79.98
8	40.01	50.01	60.01	69.96	79.99
10	39.99	50.00	60.00	70.02	80.05
12	40.00	49.99	60.01	70.03	80.01
14	39.99	49.98	59.98	70.04	79.98
16	40.01	50.01	59.98	70.00	79.95
18	40.01	50.02	59.99	70.01	79.99

#### 4 结论

1) 采用 DS18B20 单总线温控传感器代替传统的热电偶, 可以提高水浴系统的温控精度, 通过硬件与软件相结合的创新性设计, 使水浴温控系统的温控精度达到  $0.05^{\circ}\text{C}$ , 较传统水浴系统的控制精度  $0.5^{\circ}\text{C}$  高出一个数量级; 另外, 采用离子导体作为水浴温控系统的加热源, 实验表明, 电解质加热水浴温控系统消除了传统水浴系统加热介质在温度变化时, 实际温度与温控传感器指示值不同步的现象, 通过合理选择电解质溶液的浓度 (例如  $0.01\text{mol/L Na}_2\text{SO}_4$  电解质溶液), 可以加快水浴系统对温度变化的反应速度, 大大提高水浴系统的温控灵敏度。由此得出结论, 单总线电解质加热水浴温控系统在测量精度、灵敏度方面都较传统水浴系统有了较大的提高, 使得传统水浴系统存在的部分问题得以解决。

2) 在单总线电解质加热水浴温控系统的整体设计方面, 利用了计算机技术、自动控制技术和集成电路技术, 使该系统在温控能力、制作成本、工作效率、节约能源及操作便利性等方面获得了较大的提升, 具有较高的实用价值。

3) 单总线电解质加热水浴温控系统还存在需要改进与提高之处, 例如温度传感器 DS18B20 的防水放置, 单点测量与多点测量, 系统的保温处理等问题。

#### 参考文献 (References)

- [1] MarkBally, 饶睿. 为您的应用选择正确温度传感器 [J]. 电子产品世界, 2009(6): 15-16.  
MarkBally, Rao Qian. *Electronic Engineering & Product World*, 2009(6): 15-16.
- [2] 韩成浩, 李柏峰, 高晓红. 单总线温度传感器的实用技术及冗余校验 [J]. 制造业自动化, 2009(9): 65-66.  
Han Chenghao, Li Bofeng, Gao Xiaohong. *Manufacturing Automation*, 2009(9): 65-66.
- [3] 马彩莲, 李东亮, 田安祥. 无热滞新型恒温水浴的研制 [J]. 陕西师范大学学报: 自然科学版, 2007(S1): 87-88.  
Ma Cailian, Li Dongliang, Tian Anxiang. *Journal of Shaanxi Normal University: Natural Science Edition*, 2007(S1): 87-88.
- [4] 赵亮, 侯国锐. 单片机 C 语言编程与实例 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003: 79-94.  
Zhao liang, Hou Guorui. *Microcontroller C programming language and examples* [M]. Beijing: The People's Posts and Telecommunications Press, 2003: 79-94.
- [5] 庞素娟, 吴洪达. 物理化学实验 [M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2009: 24-26.  
Pang Sujuan, Wu Hongda. *Physical chemistry experiment* [M]. Wuhan: Huazhong University of Science & Technology Press, 2009: 24-26.
- [6] 刘彬, 卢荣. 物理化学 [M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2008: 185-186.  
Liu Bin, Lu Rong. *Physical chemistry* [M]. Wuhan: Huazhong University of Science & Technology Press, 2008: 185-186. (责任编辑 刘志远)

#### ·学术动态·



## “第二届全国社会 计算会议”征文

中国自动化学会将于 2010 年 12 月 18—19 日在北京召开“第二届全国社会计算会议”。

征文内容: 面向社会问题的计算理论和方法研究; 基于计算与仿真的社会学研究; 社会网络及语义网分析与挖掘; 社会行为建模; 网络化社会态势分析与预警研究及应用; 社会环境下的数据挖掘、机器学习、信息检索、人工智能; 群体思维与社会智能研究及应用; 情感挖掘, 文化动力学, 网络环境中信息、情绪与影响传播过程; 万维网的普及对社会发展的影响研究及应用; 社会环境下的信任、风险和安全; 基于 Web 的情报与安全信息学研究及应用; 社会计算系统及平台的设计与结构; 社会计算应用及实证研究; 计算实验方法研究; 人工生命与人工社会建模; 军事计算与军事仿真; 互联网多媒体内容语义分析与应用。

征文截止时间: 2010 年 10 月 18 日。

联系方式: 电话: 0731-84573389 (邱晓刚), 电子信箱: 13874934509@139.com。

会议网址: [http://www.caa.org.cn/index.php?me\\_id=36&ac\\_id=275](http://www.caa.org.cn/index.php?me_id=36&ac_id=275)。



## “第三届全国生物入侵 学术研讨会”征文

中国植物保护学会将于 2010 年 11 月 26—29 日在海口市召开“第三届全国生物入侵学术研讨会”。

本次会议主题为全球变化与生物入侵, 针对中国入侵生物的预防预警、检测监测、控制管理等方面的理论与技术, 尤其是全球气候变化下的生物入侵这一热点与前沿问题展开广泛交流。

征文内容: 全球变化 (气候变化、大气变化、土地利用格局变化) 对生物入侵的影响, 入侵物种的基础生物学与生态学, 入侵物种的防控 (预防预警、检测监测、生态修复、综合治理等) 新技术。

征文截止时间: 2010 年 10 月 20 日。

联系方式: 电话: 0898-23300243 (彭正强), 电子信箱: lypehy@163.cnm。

会议网址: <http://www.nspic.com>。