

# 集约化鱼类养殖水温模糊控制\*

曾颖峰, 本柏忠, 冯华勇

(四川工程职业技术学院 电气信息工程系, 四川 德阳 618000)

**摘要:** 养鱼池水体体积大、热惯性大且经常换水, 而采用传统的水温控制方式使得水温均匀性差、波动大, 不利于鱼类生长, 针对这一问题, 提出了一种新的水温控制方案。为实现养鱼池恒温加热控制, 首先采用进水口处的加热管预加热和鱼池内加热线加热保温的联合加热方式; 其次对温控器的控制策略采用二维模糊控制, 利用热电阻测量得到的温度计算偏差及变化率, 通过反复试验确定温度偏差的各模糊子集的隶属度表, 依据 max-min 推理法及重心法计算得到输出精确量以建立查询表; 最后对查询值进行比例因子归一化处理, 控制通电时间实现精确控制水温。石斑鱼(*Epinephelus*)养鱼池的水温控制实例表明, 采用该水温控制方案, 其进水温度 4~13 °C, 经加热管预加热后送入养鱼池加热线模糊加热, 能保证水温(25.0±0.2) °C, 换水期间水温的波动控制在 24.3~25.3 °C 范围内, 成功实现了水温的精确控制。

**关键词:** 鱼类养殖; 水温; 模糊控制

**中图分类号:** TP273<sup>+</sup>.4

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1672-6693(2014)04-0146-04

近年来, 随着经济的发展, 人们对生活质量的要求越来越高。普遍常见的鱼类已经不能满足人们日益提高的物质生活需要。大量肉质鲜美、营养丰富的优质鱼产品受到越来越多人们的青睐和追捧, 鱼类养殖业也随之蓬勃发展。然而, 优品质鱼类的供应受季节性、地域性、周期性的波动较大。如何缩短鱼产品的生长周期, 创造更高的经济效益成为了鱼养殖关注的问题。研究表明, 随水温的降低, 鱼类的摄食量明显减少, 生长减缓<sup>[1-3]</sup>。因此, 保持适宜的水温进行鱼类养殖则成为了关键, 但传统的温度控制方式操作复杂, 需耗费大量人工成本, 且换水时水温难以准确控制, 对鱼类正常生长造成不利影响。本文设计了一套冬季集约化鱼类养殖分布式的水温模糊控制系统, 改良鱼类养殖的温度调控方案, 并在石斑鱼(*Epinephelus*)冬季养殖得以应用, 为水产养殖提供了基础资料。

## 1 温控器设计

根据养鱼池工况, 采用分布式加热, 温控器的设计模式如下图 1 所示。进水口采用了加热管预加热, 加热线加热养鱼池水温, PT100 热电阻温度传感器检测水温。热电阻 PT100 的电阻值随温度的变化转化为电压的变化, 送入 A/D 转换器中处理得到数字量的大小, 通过数值的大小即可得到温度值的大小。其中电阻值与温度值在 0~850 °C 的关系可以通过关系式  $R_t = 100 \times (1 + At + Bt^2)$ <sup>[4]</sup> 换算得到, 其中  $A = 3.9684 \times 10^{-3} / ^\circ\text{C}$ ,  $B = -5.847 \times 10^{-7} / ^\circ\text{C}$ ,  $R_t$  表示  $t$  时刻的电阻值。通过定时测量得到温度值的大小、变化后就可以调整温控策略进行温度控制。考虑到养鱼池体积大, 热惯性大, 水表面、鱼池四周同室温热交换较为复杂, 并且对水温稳定性要求高, 所以采用二维模糊控制方案控制水温。

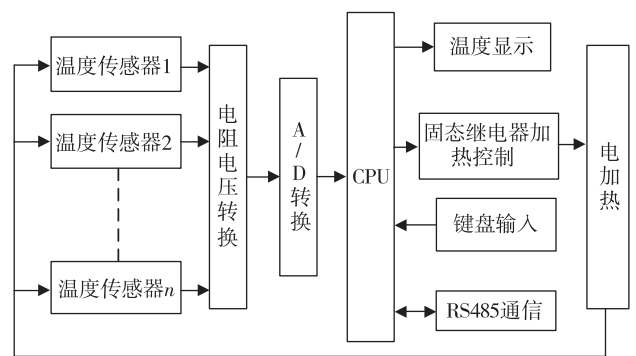


图 1 温控器控制框图

\* 收稿日期: 2013-09-17 修回日期: 2013-10-14 网络出版时间: 2014-7-3 23:03

资助项目: 德阳市重点科学技术研究项目 (No. 2012ZZ040-10)

作者简介: 曾颖峰, 男, 讲师, 研究方向为智能控制、故障预测, E-mail: zyf9999999@163.com; 通讯作者: 冯华勇, E-mail: 9657988@qq.com

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20140703.2303.029.html>

## 2 二维模糊控制

对于温控器的控制策略采用二维模糊控制<sup>[5-8]</sup>的原理如图 2 所示。对 PT100 热电阻测量得到的温度计算偏差  $E=T-T_0$  ( $T$  为实际测量温度值,  $T_0$  为预设值), 偏差的变化  $EC=dE/dt$  两个数值进行模糊化处理, 处理后的数据根据模糊推理机清晰化来控制加热管加热时间, 然后反馈检测到的温度值进行再次模糊处理, 再次调整加热的时间以达到温度的稳定控制。

$E$  和  $EC$  可以用 5 个词汇表示 {负大、负小、零、正小、正大} 对应为 {NB、NS、ZE、PS、PB}。  $E$  为负表示当前温度值小于设定值, 为正表示当前值大于设定值;  $EC$  为正表示升温, 为负表示降温, 根据程度不同均有大、小两种状态。为防止鱼池内水温波动太大影响石斑鱼的生活环境, 加热分两部分进行: 一为进水口处的加热管预加热, 二为鱼池内加热线加热保温。两部分仅水温初始值不同, 均采用二维模糊控制。以鱼池电加热为例, 进水口流入鱼池内的水作为温控对象; 控制水温  $20\sim 30\text{ }^\circ\text{C}$ , 设定温度  $25\text{ }^\circ\text{C}$ ; 偏差  $E$  基本论域  $[-5, +5]$ , 模糊论域  $[-5, +5]$ , 量化因子 1;  $EC$  基本论域  $[-1, +1]$ , 模糊论域  $[-5, +5]$ , 量化因子 5, 控制量  $U$  基本论域、模糊论域为  $[-5, +5]$ , 比例因子为 1。根据反复试验各模糊子集的隶属度表如表 1、表 2 所示。

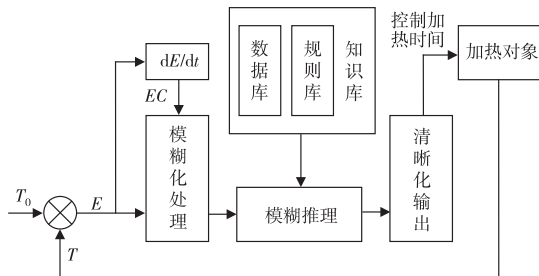


图 2 模糊控制器

表 1 模糊子集隶属度 ( $E, EC$ )

	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
PB	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.4	1
PS	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1	0.5	0
ZE	0	0	0	0	0.3	1	0.3	0	0	0	0
NS	0	0.5	1	0.5	0	0	0	0	0	0	0
NB	1	0.4	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0

表 2 模糊子集隶属度 ( $U$ )

	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
PB	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.6	1
PS	0	0	0	0	0	0	0	0.4	1	0.4	0
ZE	0	0	0	0	0.5	1	0.5	0	0	0	0
NS	0	0.4	1	0.4	0	0	0	0	0	0	0
NB	1	0.6	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0

考虑到水温加热降温要求缓慢进行采用对称方式建立模糊规则控制表(表 3)。可以由 max-min 推理法<sup>[9]</sup>得到控制量  $U$  输出模糊集, 再由重心法计算得到输出精确量  $U$ 。由此, 建立表 4 供模糊控制查询。当时采集温度值后对  $E$  和  $EC$  进行量化处理, 查询相应的精确输出值  $U$ , 经比例因子归一化处理, 控制通电时间的变化从而达到控制水温的目的。

## 3 程序流程图

该控制方案主要解决 4 个功能, 即键盘输入、温度采集、模糊处理和数据管理。键盘输入主要是用户根据养殖鱼的类型调整所需控制最适宜的温度值。温度采集主要是对热电阻 PT100 的电阻值与温度值之间的转化。模糊控制是利用建立的模糊控制查询表进行控制策略的选择进行恒温控制。数据管理开辟了一些存储单元作为全局变量如采集的温度值、温度设定值等的处理与局部变量处理。该程序流程如下图 3 所示, 控制器通电将初始化数据调入 CPU, 定时器用于加热与温度采集, 将得到的温度值进行模糊控制处理, 并且随时准备处理外部中断键盘输入的数据。

表 3 模糊控制规则表

$E$	$EC$				
	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	PB	PB	PB	PS	ZE
NS	PB	PS	PS	ZE	NS
ZE	PS	PS	ZE	NS	NS
PS	PS	ZE	NS	NS	NB
PB	ZE	NS	NB	NB	NB

注: 表身内容为控制量  $U$ 。

表 4 模糊控制查询表

$E$	$EC$										
	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
-5	5	4	4	4	4	4	4	3	2.5	1.5	0
-4	4	4	4	3.5	3.5	3.5	3	2	0.5	0	-2
-3	4	4	3.5	3.5	3	3	3	1	0	-0.5	-3
-2	4	3.5	3	3	3	3	2	0	-1	-2	-3
-1	3	3	3	3	3	0	0	-2	-3	-3	-4
0	3	3	3	3	0	0	0	-3	-3	-3.5	-4
1	3	3	3	2	0	0	-3	-3	-3	-3.5	-4
2	3	2	1	0	-2	-3	-3	-3	-3.5	-3.5	-4
3	3	0.5	0	-1	-3	-3	-3	-3	-3.5	-4	-4
4	2	0	-1	-2	-3	-3	-3	-3.5	-4	-4	-4
5	0	-2	-3	-3	-3	-3	-3	-4	-4	-4	-5

注: 表身内容为控制量  $U$ 。

## 4 应用实例

以石斑鱼养殖<sup>[10]</sup>为例,该种鱼类适宜在水温为 22~28 ℃ 生长,水温低于 20 ℃ 石斑鱼摄食量明显减少,最佳养殖温度为 25 ℃。现有一室内养鱼池(图 4)长 2.5 m、宽 1.5 m、高 1.2 m,盛水约 3 t,放养石斑鱼 180 尾。为保证在冬季石斑鱼摄食量不减退、生长不减缓,环境温度要求相对稳定,需对水温进行(25.0±0.5) ℃ 温度调控。加热管用于进水预加热控制,在进水口管道内装热电阻 PT100,加热元件安装于底部两侧用于养鱼池恒温控制(每隔 0.5 m 并排放一对,共 8 个电加热元件),温度传感器安装于加热元件上方 10 cm 处与加热元件一一对应,采用热电阻 PT100 测量,气石增氧搅拌。两个排水阀,一个用于水处理,另一个备用。按图 1 所示方案,针对养鱼池的 3 t 水进行(25±0.5) ℃ 恒温加热控制,2012 年 10 月中旬至 2013 年 3 月初该温控系统得以应用,天气温度在 4~15 ℃ 范围变化,而养鱼池水温可以维持在(25.0±0.2) ℃,在换水期间 24.3~25.3 ℃ 范围内波动(图 5),石斑鱼长势良好,说明本研究提出的方案是有效可行的。

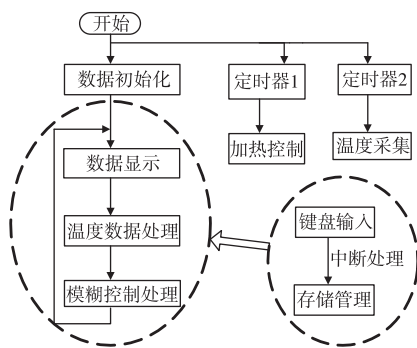


图 3 程序流程图

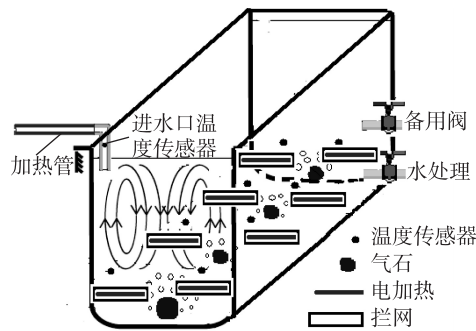


图 4 养鱼池

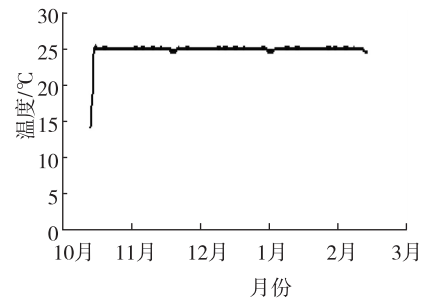


图 5 水温变化曲线

### 参考文献:

- [1] Jobling M. Fish bioenergetics[M]. London: Chapman and Hall, 1994: 213-230.
- [2] Xie X J, Sun R Y. The bioenergetics of the southern catfish (*Silurus meridionalis* Chen): growth rate as a function of ration level, body weight and temperature[J]. Journal of Fish Biology, 1992, 40(5): 719-730.
- [3] Hochachka P W, Somero G N. Biochemical adaptation: mechanism and processing physiological evolution[M]. New York: Oxford University Press, 2002: 466.
- [4] 王雪文, 张志勇. 传感器原理及应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2004: 11-27.  
Wang X W, Zhang Z Y. Fundamentals of sensors & application[M]. Beijing: Press of Beihang University, 2004: 11-27.
- [5] 诸静. 模糊控制理论与系统原理[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005: 208-257.  
Zhu J. Fuzzy control theory & systems theory[M]. Beijing: China Machine Press, 2005: 208-257.
- [6] 王建新, 童官军, 杨世风, 等. 基于模糊控制算法的温室温度监控系统研究[J]. 天津科技大学学报, 2005, 20(4): 68-72.  
Wang J X, Tong G J, Yang S F, et al. Research on greenhouse based on temperature fuzzy control system[J]. Journal of Tianjin University of Science & Technology, 2005, 20(4): 68-72.
- [7] 米林, 王飞, 杨晶晶. 基于模糊自适应 PID 的某箱式热处理炉的炉温仿真控制技术[J]. 重庆理工大学学报: 自然科学版, 2012, 26(11): 33-39.  
Mi L, Wang F, Yang J J. The temperature simulation control technology research of a box heat treatment furnace based on fuzzy adaptive PID[J]. Journal of Chongqing University of Technology: Natural Science, 2012, 26(11): 33-39.
- [8] 林海波, 赵靖. 隧道窑温度的多变量模糊自适应解耦控制[J]. 重庆理工大学学报: 自然科学版, 2011, 25(9): 38-42.  
Lin H B, Zhao J. Fuzzy adaptive decoupling control multi-variable for temperature of tunnel kiln[J]. Journal of Chongqing University of Technology: Natural Science, 2011, 25(9): 38-42.
- [9] 闻新, 周露, 李东江, 等. MATLAB 模糊逻辑工具箱的分析与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 54-63.  
Wen X, Zhou L, Li D J, et al. Analysis and application of MATLAB fuzzy logic toolbox[M]. Beijing: Science Press, 2001: 54-63.
- [10] 艾红, 巫特坚, 李永振, 等. 应用生产函数确定网箱养殖赤

点石斑鱼最佳放养密度[J]. 中国水产科学, 2001, 7(4): 42-45.

Ai H, Wu T J, Li Y Z, et al. Optimum stocking densities

of red-spotted grouper *Epinephelus akaara* in net cages: determination by production function[J]. Journal of Fish-

ery Science of China, 2001, 7(4): 42-45.

## The Fuzzy Control of Water Temperature about Intensive Fish Farming

ZENG Yingfeng, BEN Baizhong, FENG Huayong

(Department of Electrical and Information Engineering, Sichuan Engineering Technical College, Deyang Sichuan 618000, China)

**Abstract:** Owing to large water volume, obvious heat inertia and frequent water exchange of fishpond, traditional control method of water-temperature had poor water-temperature uniformity and high fluctuation, which were unfavorable for the growth of fish. Thus a new water-temperature control scheme was presented in this paper. Three steps were used to achieve thermostatic heating control of fishpond. Firstly, the heating pipe in water outlet was adopted to preheat and the heating wire was also used to heat and hold water-temperature of the pond. Secondly, two-dimensional fuzzy control was used by thermo-regulator. The temperature measured by thermal resistance was utilized to calculate deviation, and the membership degree table of every fuzzy subset of temperature deviation was determined through repeated experiments, then the output based on max-min organum and gravity method was gotten accurately to establish fuzzy control query table. Finally, the query value processed by proportional-factor normalization was used to control water-temperature precisely by controlling power-on time. After using this control system, the temperature ( $4 \sim 13 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) of inlet water, which was sent into fishpond after preheating and then was heated fuzzily by the heating wire, can be guaranteed to be  $(25.0 \pm 0.2) \text{ }^{\circ}\text{C}$ , while the water-temperature fluctuation during changing water can be in the range of  $24.3 \sim 25.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . The control example of water-temperature in grouper fishpond shows that this system can control water-temperature accurately and successfully.

**Key words:** fish farming; water temperature; fuzzy control

(责任编辑 方 兴)