

文章编号:1000-0615(2007)03-0335-08

工厂化水产养殖水体的 pH 值在线自动控制系统

朱明瑞^{1,2}, 曹广斌¹, 蒋树义¹, 韩世成¹

(1. 中国水产科学研究院黑龙江水产研究所, 黑龙江 哈尔滨 150070;

2. 上海水产大学工程学院, 上海 200090)

摘要:根据鱼类养殖的水体适合 pH 值范围为 6.5~8.5, 硝化细菌进行硝化反应去除氨氮的 pH 值在 7.0 以上, 养殖水体的 pH 值大于 8.75 就会产生大量对鱼类有毒的非离子态氨的生产实际情况, 进行了工厂化水产养殖水体的 pH 值控制研究。由于 pH 值的中和过程是非线性的, 很难控制, 所以本文根据水产水体养殖的要求确定将 pH 值控制在 7.0~7.5 之间的稳定范围内, 确保整个控制过程在 pH 值变化的线性范围, 降低控制难度。控制采用 PID 算法, 以占空比方式控制电磁阀添加中和剂, 实现对 pH 值的控制。中和剂选择 NaOH 和 NaHCO₃, 并进行了稳定控制配比试验, 浓度分别为 2 g·L⁻¹和 20 g·L⁻¹的配比组, 获得满意效果。本控制系统使用电磁阀而不是变频器或是调节阀之类昂贵作为执行元件, 方法简单, 成本低廉, 控制准确可靠, 是一种非常适用于工厂化水产养殖的 pH 值在线自动控制系统。

关键词:工厂化水产养殖; pH; 自动控制; 比例微积分控制; 电磁阀

中图分类号: S 969; TP 272/278

文献标识码: A

Automatic control system of pH value in the recirculating aquaculture

ZHU Ming-rui^{1,2}, CAO Guang-bin¹, JIANG Shu-yi¹, HAN Shi-cheng¹

(1. Heilongjiang River Fishery Institute of Chinese Academy of Fishery Science, Harbin 150070, China;

2. Collage of Engineering, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China)

Abstract: Fish generally can tolerate a pH range from 6.5 to 8.5. The recirculating aquaculture system always depends on nitrifying bacteria to transform toxic ammonia into nitrate-nitrogen, and this transformation process will reduce the pH of culture water. When the value of pH is below 7, the activity of nitrifying bacteria will be decreased. If the value of pH is below 6, the nitrifying bacteria will be inhibited and do not remove toxic nitrogen wastes. The value of pH affects ammonia form in water. At a pH of 7.0, most of total ammonia are in the ionized form, while at a pH of 8.75, up to 30 percent of total ammonia are in the un-ionized form. The un-ionized form of ammonia is extremely toxic to most fish. The optimum pH range for recirculating aquaculture system should be from 7 to 7.5 and it's necessary to monitor and control the value of pH in the industrialized culture water. Though the pH auto control system is used widely in industry and environment field, there is no effective pH control system applied to industrialized aquaculture. The pH control is recognized as one of the most difficult problems in the process control field because of its highly nonlinear nature. In the recirculating

收稿日期: 2006-06-02

资助项目: 科技部社会公益研究专项基金(2002DIB50121)

作者简介: 朱明瑞(1983-), 男, 安徽滁州人, 硕士研究生, 从事渔业机械自动化研究。E-mail: zhmr20000@163.com

通讯作者: 曹广斌, E-mail: laocao@hotmail.com

aquaculture system, because the optimum variation of pH is a very small range from 7 to 7.5, it can be considered as a linear parameter. As the pH of culture water decline gently, electromagnetic valve was chosen as control element. Based on the experience of the pH control in industry and environment field, we used PID arithmetic to control electromagnetic valve with the method of duty ratio to add chemical neutralization solution, which was mixed by sodium hydroxide and sodium bicarbonate, so that we built a pH on-line auto control system which could meet the needs of pH control in recirculating aquaculture water. For controlling the pH of aquaculture water, the most commonly used buffers are sodium bicarbonate and calcium carbonate, but calcium hydroxide, calcium oxide, and sodium hydroxide have also been used. In this system, we used sodium hydroxide and sodium bicarbonate as neutralization solution. According to the experiment we found that sodium hydroxide changed pH very quickly, but it could not increase alkalinity as to cause electromagnetic valve to work so frequently that its life-span decreased greatly. Adding sodium bicarbonate could maintain culture water in the zone of high alkalinity and electromagnetic valve did not run frequently. Usually, the addition of sodium bicarbonate at a rate of 17 to 20 percent of the daily feeding rate is sufficient to maintain pH and alkalinity. Actually, it was difficult to meet the needs of pH and dosage of sodium bicarbonate at same time when we used sodium bicarbonate solely. So we used sodium hydroxide and sodium bicarbonate together. Considering all factors such as pH, alkalinity, the dosage of the neutralization solution and life-span of electromagnetic valve, the concentrations of the sodium hydroxide and sodium bicarbonate were determined as $2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ and $19.6 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, respectively. The parameters of PID which controlled sodium hydroxide were $K_p = 4$, $T_i = 240 \text{ s}$, $T_d = 30 \text{ s}$ and the parameters of PID which controlled sodium bicarbonate were $K_p = 6.5$, $T_i = 120 \text{ s}$, $T_d = 30 \text{ s}$. Because of using electromagnetic valve, the cost of this system was much lower than other pH auto control systems and this kind of pH control was suitable to recirculating aquaculture system.

Key words: industrialized aquaculture; pH; automatic control; PID; electromagnetic valve

工厂化水产养殖是综合应用工业技术、生物技术和自动控制技术进行水产养殖的工业化生产方式。集约化的工厂化水产养殖技术以高氧、适温为基础,以水体再循环的方式运行,养殖密度高,生长快,饵料系数低,病害少,不但排除了环境及外界水质污染的干扰和影响,而且不污染水资源,是水产养殖技术发展的趋势。在水体循环的养殖系统中需要监测或控制的水质参数包括温度、DO、CO₂、pH、氨氮等^[1]。其中 pH 会影响许多其他的水质参数和生物化学反应过程的速度,所以 pH 是一个很重要的参数,也是监测和控制研究的重点^[2]。

根据我国渔业水质标准,鱼类养殖的水体适合 pH 值范围为 6.5 ~ 8.5,水体中的有毒物质——氨氮应该不超过 $0.05 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。工厂化水产养殖一般通过附着在生物滤器的底层硝化细菌和亚硝化细菌进行硝化反应,将氨氮转化成亚硝酸盐和亚硝酸盐氮,以此降低氨氮含量。水体 pH 值影响硝化细菌的活性和生长速度,当 pH 值低于 7 时,将大大减低硝化菌的活性^[2],导致氨氮的

转化速率小于生成的速率,氨氮含量上升。pH 对氨氮在水中的存在形式也有很大的影响:pH 7 时,绝大部分的总氨氮是处于离子状态的;pH 8.75 时,30% 的总氨氮处于非离子态,而非离子态氨对鱼类毒性极大^[3]。国内在应用微生物处理养殖水体中氨氮的研究中,对 pH 值的影响没有给予足够重视和深入研究,有的文章提到生物膜去除氨氮的过程中要将 pH 值控制在 7 左右,但没有说明控制 pH 值的具体方法^[4];有的文章提及处理过程 pH 值下降,影响鱼类生存,但没有微生物处理过程中控制 pH 值的设计^[5]。

pH 值的自动控制系统在工业和环保领域都有广泛的应用,如控制电化厂工业 pH 值污水^[6],控制电厂锅炉给水 pH 值^[7]等。在工厂化水产养殖方面,pH 能实现在线监测^[8],但都是人工调整,未见有 pH 自动控制的应用。本文根据工厂化水产养殖的对 pH 的要求,开发一个在线自动控制系统解决 pH 值控制问题。利用化学中和方法和自动控制技术使进入生物滤器的水体 pH 稳定在适当的范围内,维持硝化细菌的活性,保证养殖鱼

类的正常生长。

1 材料和方法

1.1 实验环境

实验利用黑龙江水产研究所建造的工厂化水产养殖实验车间,基本布局如图 1。鱼类生活在养殖池中,养殖池的水流入循环池,经过初步沉淀,由水泵抽入生物滤器中,经生物滤器过滤,硝化反应后进入养殖池,实现了养殖水体的封闭循环。图中养殖池共有 8 个,直径 1.6 m,水深 0.5 m,水体 1.0 m³;循环池水体 1.2 m³;生物滤器容积 1.3 m³,其中的滤球为 0.6 m³,水体 0.7 m³。

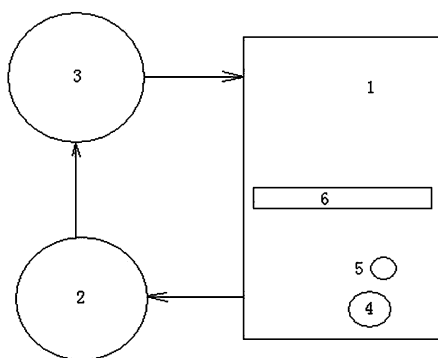


图 1 养殖车间平面示意图

Fig.1 The planar sketch map of industrialized culture workshop

1:循环池;2:生物滤器;3:养殖池;4:水泵;5:传感器;6:加药点

1. recirculating tank; 2. biological filtration; 3. rearing tank; 4. water pump; 5. pH sensor; 6. location of adding neutralization solution

1.2 pH 控制分析

pH 值控制的特点 pH 值是工业控制中最难控制的一个参数,图 2 是一条典型的 pH 值中和曲线。由该曲线可知,作为控制对象,pH 值具有严重的非线性:在 pH 7 附近,添加的中和剂药量改变很小就会引起 pH 值很大的变化,而远离 pH 7 的地方,中和剂药量增加很多 pH 才改变一点。

养殖水体 pH 值控制要求 在养殖过程中,系统的 pH 值变化呈现温和、渐进降低趋势。养殖鱼类适应的 pH 值是 6.5 ~ 8.5,生物滤器合适的水体 pH 值应该在 7.0 ~ 8.0^[1]。为了降低 pH 的控制难度,我们选择较小线性区间进行控制,范围是 7.0 ~ 7.5。

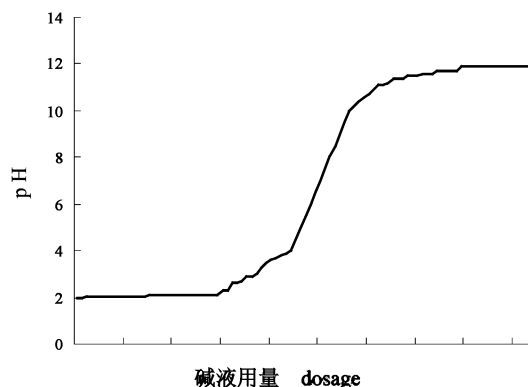


图 2 pH 典型中和曲线

Fig.2 A typical neutralization curve of pH

1.3 控制设备

控制系统硬件如图 3 所示,下位机选择西门子公司的 PLC S7-200,该型 PLC 有 PID 向导模块,一个主程序中最多可以同时使用 8 个 PID 子程序。

传感器探头选用的是 S400 双阶参比电极,变送器为 PHAB5000,输出 4 ~ 20.0 mA 电流信号。

养殖水体的 pH 值降低缓慢,而且流量基本不变化,加之考虑成本问题,选择电磁阀作为控制元件即可。

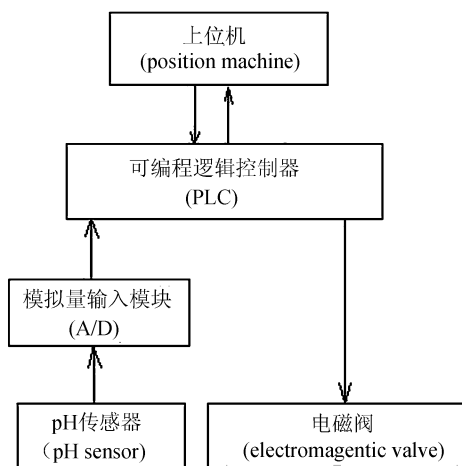


图 3 控制系统硬件

Fig.3 The hardware of the control system

1.4 自动控制算法

根据工厂化水产养殖对水体 pH 值的要求,选择区间控制,通过电磁阀控制向水体添加中和剂的量,使水体 pH 保持在 7.0~7.5 范围内。有 2 种控制算法用于添加中和剂:

算法一是以开关量的方式控制电磁阀加中和剂:即当 pH < 7.0 时,电磁阀打开,添加中和剂,直到 pH ≥ 7.5 时才电磁阀关闭,停止添加中和剂。

算法二是电磁阀以占空比方式工作^[9],当 pH 低于 7.0 时,根据 PID 的计算结果控制添加中和剂的量,直到 pH 升至 7.5,控制过程结束,停止添加中和剂。基本的 PID 控制算法如下:

$$U(t) = K_p [e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + \frac{T_d \cdot de(t)}{dt}]$$

式中 $e(t)$ 为偏差; K_p 为比例系数; T_i 为积分时间常数; T_d 为微分时间常数。

以采样周期 T 作为电磁阀的工作周期 T_1 ,保持 T_1 不变,根据 PID 算法的结果计算出 T_1 时间内电磁阀打开的时间 T_2 ,通过 T_2 的改变来控制加药量从而达到控制要求,这种方式即为占空比控制。

1.5 中和剂添加方法

在水产养殖中使用的中和剂有 NaHCO_3 , CaCO_3 , Ca(OH)_2 , CaO_2 和 NaOH ^[2]。本试验选用 NaOH 和 NaHCO_3 作为中和剂。用 3 种添加方法对 pH 进行控制;方法一是单独添加 NaOH 溶液;方法二是单独添加 NaHCO_3 ;方法三是同时添加 NaOH 和 NaHCO_3 。

2 结果

2.1 自动控制算法

图 4 是以开关量控制电磁阀,即按照算法一添加 NaOH 所的过程。此算法超调 17.07%,并且在添加过程中出现试验用鱼死亡的情况。

图 5 是按照算法二添加 NaOH 所得的曲线。首先选定 PID 控制的设定值为 7.5,当 pH 低于 7.0 时, PID 控制开始运行,电磁阀根据其计算结果以占空比方式工作,添加 NaOH 。pH 值缓慢上升,当超过 7.5 后, PID 控制结束计算,电磁阀关闭,停止添加 NaOH 。此算法超调 2.03%,PID 的参数分别为 $K_p = 6$, $T_i = 180 \text{ s}$, $T_d = 30 \text{ s}$ 。控制过程中试验用鱼未出现异常情况。

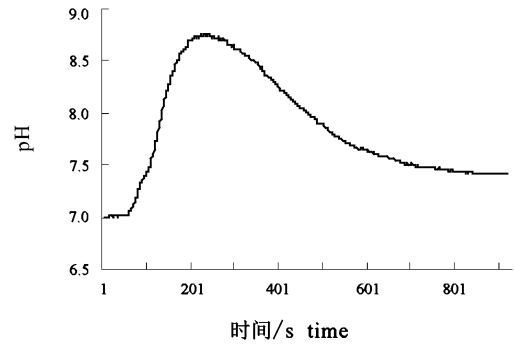


图 4 NaOH 的开关量控制曲线
Fig.4 The on-off control curve of NaOH

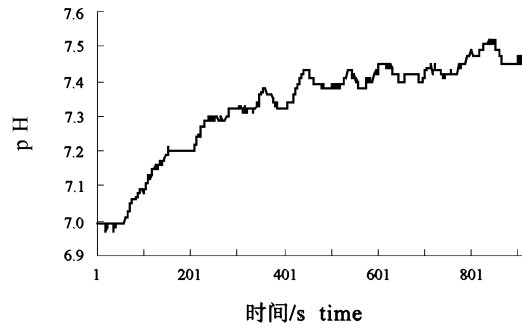


图 5 NaOH 的 PID 控制曲线
Fig.5 The PID control curve of NaOH

2.2 中和剂添加方法

方法一 使用 NaOH 溶液单独调节,设定控制区间为 7.0~7.5(图 6)。浓度为 $2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, PID 参数为 $K_p = 5$, $T_i = 240 \text{ s}$, $T_d = 30 \text{ s}$ 。

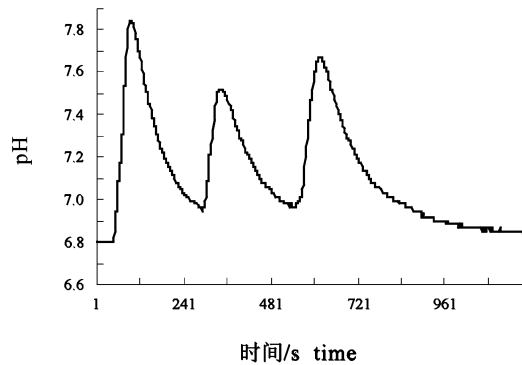


图 6 NaOH 连续控制曲线
Fig.6 The curve of NaOH continual control

方法二 使用 NaHCO_3 溶液单独调节,系

统连续运行了 24 h(图 7)。溶液浓度为 $18.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, PID 控制参数为: $K_p = 8$, $T_i = 120 \text{ s}$, $T_d = 30 \text{ s}$ 。控制周期和每次调节的用量见表 1, 共用 NaHCO_3 溶液 1 125 g, 电磁阀动作 172 次。

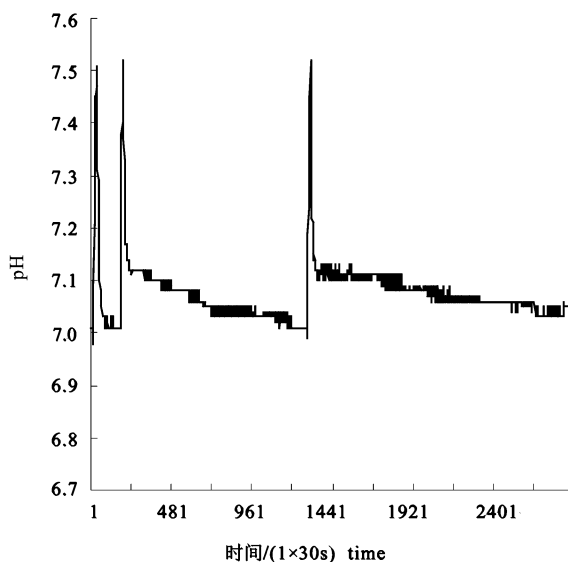


图 7 NaHCO_3 连续调节曲线

Fig.7 The curve of NaHCO_3 continual control

方法三 同时添加 NaOH 溶液和 NaHCO_3 溶液, 控制添加 NaOH 溶液的 PID 模块定义为 PID1, 控制添加 NaHCO_3 溶液的 PID 模块定义为 PID0。根据文献 [1] 的结果, 每天添加投饲量 17% ~ 20% 的 NaHCO_3 溶液即可达到 pH 值的要求, 对于本系统, 每天添加的 NaHCO_3 溶液应该为 850 ~ 1 000 g。在此前提下, 考虑到电磁阀的寿命和 PID 参数整定, 选择 NaOH 溶液为 $2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, NaHCO_3 溶液 $19.6 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。PID1 的参数为 $K_p = 4$, $T_i = 240 \text{ s}$, $T_d = 30 \text{ s}$; PID0 的参数为 $K_p = 6.5$, $T_i = 120 \text{ s}$, $T_d = 30 \text{ s}$ (调节情况见图 8)。

3 讨论

3.1 自动控制算法比较

算法一为开关量控制, 电磁阀一般用此种方法控制, 即设定一个阈值, 当过程值超过阈值电磁阀便开始动作, 一直到过程值低于阈值时电磁阀才停止工作。对于本系统, 采用此种算法进行区间控制, 会加入过量的 NaOH , 从而产生很大的超调, 达到 17.07% (图 4)。且由于 pH 值在短时间内快速升高, 出现了试验用鱼死亡的情况。用此

算法添加 NaHCO_3 也有比较大的超调, 并导致试验用鱼生理活动出现异常。由此可见, 算法一不适合本系统。

算法二基于 PID 控制规律, 电磁阀以占空比方式工作, 使用算法二的控制情况如图 5 所示。PID 控制是典型的定值控制, 它能使系统准确地达到一个设定值, 系统超调量和调节时间都可以通过 PID 的三个参数来控制。算法二以控制区间的上限值 7.5 作为 PID 控制的设定值, 就是利用 PID 控制将 pH 值调节至区间上限, 把超调量限制在很小的范围内, 并保证 pH 值上升速度缓慢, 不对试验用鱼产生有害影响。

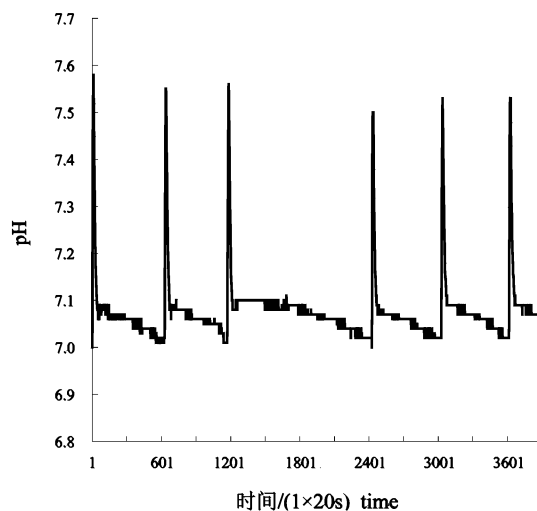


图 8 混合溶液连续调节曲线

Fig.8 The curve of mixture continual control

由以上分析可知, 根据 PID 控制规律, 以占空比方式控制电磁阀工作避免了一般开关量控制方式 pH 变化过快, 超调大的缺点, 完全能满足本系统要求。因此选用算法二作为控制算法。

表 1 24 h NaHCO_3 连续调节控制周期和用量

Tab.1 The control period and dosage of NaHCO_3 continual control in 24 hours

控制周期(s)	control period	用量(g)	dosage
612		405	
540		350	
597		370	

3.2 中和剂添加方法的对比

方法一 单独添加 NaOH 溶液, 可以通过改变溶液浓度和调整 PID 参数很快的将 pH 值调至设定值, 而且超调量比较小。但由于 NaOH 溶液

不能提高水体的碱性,无法保证 pH 值长时间维持在设定区间里,系统会频繁开机调节,图 6 记录了 13 min 38 s 内 NaOH 溶液调节了 3 次,这样对电磁阀的寿命非常不利,此种方法明显不可取。

方法二 单独添加 NaHCO_3 溶液,也可以通过调节溶液浓度和 PID 参数达到 pH 要求,而且 NaHCO_3 溶液能提高水体的碱性,即可以提高水体 pH 的稳定性。图 7 显示 24 h 内调节了 3 次。但控制周期和用药量都很大,见表 1。这是因为 NaHCO_3 溶液是弱碱,对 pH 值的调节作用有限,仅仅调整 PID 参数很难达到要求。控制周期长影响电磁阀寿命,加之用药量大,实际应用中长期运行的经济性不佳。

方法三 同时添加 NaOH 溶液和 NaHCO_3 溶液既可以很快的达到设定值,减少控制周期和用药量,又可以加大水体碱性,使稳定周期增加,保证电磁阀的使用寿命。而且使 PID 参数有很大的调整空间,减少参数整定难度,很容易就达系统要求。

3.3 NaOH 溶液浓度对控制过程的影响

当 $\text{pH} < 7.0$ 时,电磁阀动作,开始添加中和剂,直到 $\text{pH} \geq 7.5$ 时电磁阀停止动作,将这段时间定义为控制周期。表 2 显示了三种不同组成的中和剂调节情况,在这三种组成不同的中和剂中, NaHCO_3 浓度均为 $11 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, NaOH 分别为 1, 2 和 $3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$,表 2 记录了前两种浓度组合的中和剂连续添加 3 次的的数据,只记录了最后一种组合添加一次的数据,从中可以看出,在不 PID 参数不变的情况下,增加 NaOH 浓度控制周期明显变化。理论上也可以通过整定 PID 参数来改变控制周期。

当 NaOH 浓度到 $3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,碱性很大, PID 参数整定困难,不容易获得理想 PID 参数,而且如果电磁阀故障,出现中和剂连续加入的情况,会使 pH 快速上升,对鱼产生伤害;当 NaOH 浓度低于 $1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,对 pH 的调节能力减弱,也不易整定 PID 参数。所以取 NaOH 溶液浓度在 $1 \sim 2.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间,在这个范围内的 PID 参数整定方便,能使不同的 NaOH 溶液浓度产生相同的控制效果。

表 2 不同浓度的 NaOH 溶液的调节数据对比

Tab.2 Result comparison in different concentration of NaOH solution

浓度 ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$) concentration		NaOH (g)	NaHCO_3 (g)	控制周期 (s) control period
NaOH 1	NaHCO_3 11	4.2	144.37	463
		6.1	206.25	500
		7.0	216.56	538
NaOH 2	NaHCO_3 11	1.88	22.69	113
		0.94	18.56	76
		1.88	20.63	82
NaOH 3	NaHCO_3 11	0.94	10.3	53

3.4 NaHCO_3 浓度对控制过程的影响

表 3 中, NaOH 溶液浓度均为 $1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, NaHCO_3 溶液有两种浓度,分别为 $11 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $20 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, 每种浓度组合添加两次,由表中数据可知增加 NaHCO_3 溶液的浓度也能减少调节时间。当溶液浓度达到 $30 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的时候,溶液中的悬浮颗粒很多,介质粘度大,容易导致本系统使用的电磁阀故障,所以本系统取 NaHCO_3 溶液浓度 $10 \sim 25 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。如果使用更大管径的电磁阀,便可以通过更大浓度的溶液。

每次调节添加 NaHCO_3 的量对于 pH 值的稳定性有较大的影响,连续调节时,将两个 $\text{pH} = 6.99$ 之间的时间间隔定义为稳定周期。表 4 纪录了 3

个连续调节 24 h 的试验数据,分别编号为 1、2、3,这 3 个试验中和剂的浓度和 PID 参数都不相同,相应的 PID 参数见表 5,电磁阀动作次数见表 6。由表 4 中的数据可知,每一次添加 $110 \sim 180 \text{ g}$ 的 NaHCO_3 , 平均稳定周期为 4 h; 每一次添加 200 g 以上的 NaHCO_3 , 平均稳定周期为 6 h。

从表 4 和表 6 中看出,不管如何调整 PID 参数和浓度,基本的规律是单次添加的 NaOH 和 NaHCO_3 数量越少,那么稳定周期越短,电磁阀动作次数越多,总的用药量越少;反之,稳定周期越长,电磁阀动作次数越少,总的用药量越多。在满足中和剂用量的前提下,通过调整 PID 参数和溶液浓度使电磁阀的动作次数尽可能的少,这样能

保证其使用寿命不会明显减少。对于本系统而言,选用的就是试验 2 的浓度组合和 PID 参数,24 h 内调节 5~6 次,每次的控制周期在 180~240 s 之内。

表 3 不同浓度的 NaHCO₃ 溶液的调节数据对比Tab.3 Result comparison in different concentration of NaHCO₃ solution

浓度(g·L ⁻¹) concentration		NaOH(g)	NaHCO ₃ (g)	控制周期(s) control period
NaOH 1 NaHCO ₃ 11	PID1 $K_p=6, T_i=240\text{ s}, T_d=30\text{ s}$	6.1	206.3	500
	PID0 $K_p=8, T_i=120\text{ s}, T_d=30\text{ s}$	7.0	216.6	538
NaOH 1 NaHCO ₃ 20	PID1 $K_p=6, T_i=240\text{ s}, T_d=30\text{ s}$	4.1	123.1	191
	PID0 $K_p=8, T_i=120\text{ s}, T_d=30\text{ s}$	3.5	189.4	229

表 4 24 h 之内不同的中和剂添加方法的调节情况

Tab.4 The result of different project of adding neutralization solution in 24 hours

浓度(g·L ⁻¹) concentration	NaOH(g)	NaHCO ₃ (g)	控制周期(s) control period
1 NaOH 1 NaHCO ₃ 18.5	3.3	258.5	203
	2.8	222.2	261
	3.5	260.5	300
	3.3	321.0	335
	共用 total 12.9	共用 total 1062.22	
2 NaOH 2 NaHCO ₃ 19.6	2.8	126.6	174
	3.3	144.5	210
	3.8	162.5	248
	3.3	126.4	194
	3.8	184.2	233
	3.8	180.6	232
共用 total 20.8	共用 total 924.83		
3 NaOH 1 NaHCO ₃ 11	4.7	140.3	434
	3.8	118.6	403
	3.0	113.4	332
	3.0	103.1	333
	2.8	67	273
	4.7	123.8	401
共用 total 22	共用 total 666.2		

表 5 不同添加方案的 PID 参数

Tab.5 PID parameter of different adding project

		K_p	$T_i(s)$	$T_d(s)$
1	PID1	6	120	30
	PID0	7	120	30
2	PID1	4	240	30
	PID0	6	120	30
3	PID1	7	180	30
	PID0	8	120	30

3.5 其他影响因素

工厂化水产养殖还有其他因素会影响 pH 控制过程,比如循环水体的流速,整个水体体积,传感器和加药点的位置等。这些因素都会影响到中和

剂溶液浓度的选择和稳定周期。所以 PID 参数和中和溶液配比,对于不同的养殖系统要做具体调试才能达到要求。

电极进行长期在线测量,探头会被污染,所以每隔 7 d 应该清洗,并定期进行校正。

表 6 不同添加方案电磁阀动作次数

Tab.6 The number of opening electromagnetic valve in different adding project

	电磁阀动作次数 number of opening electromagnetic valve
1	109
2	139
3	233

参考文献:

- [1] Michael P M, James R, Thomas M L. Recirculating aquaculture tank production systems (Management of recirculating systems) [J]. SRAC Publication, 1999, 452:1-8.
- [2] Thomas M L, Michael P M, James R. Recirculating aquaculture tank production systems (An overview of critical considerations) [J]. SRAC Publicaiton, 1998, 451:1-6.
- [3] 陈中祥,曹广斌,刘永,等. 低温工厂化养殖水体氨氮处理微生物的初步研究[J]. 农业工程学报, 2005,21(8):132-136.
- [4] 罗国芝,孙大川,冯是良,等. 闭合循环水产养殖系统生产过程中生物过滤器功能的形成[J]. 水产学报,2005,29(4):574-577.
- [5] 刘芳,白植庆. 一种工业化水产养殖的水质处理装置[J]. 渔业现代化,2002,3:26-28.
- [6] 何小其,麻红昭,俞蒙槐,等. 废水中和处理 pH 值控制的研究与实践[J]. 浙江大学学报(工学版), 2001,35(3):298-302.
- [7] 杨照华,杨智,魏列江. 基于 PLC 的电厂锅炉给水 pH 控制系统研究[J]. 甘肃工业大学学报,2000,12:64-69.
- [8] 潘天红,赵德安,全力,等. 水产养殖多环境因子的计算机监控系统[J]. 渔业现代化,2001,4:28-31.
- [9] 张国梁,李秀英,张星高. pH 系统中调节阀门的研究[J]. 北京动力经济学院学报,1995,12(1):36-41.

会议预告

世界养殖水产品贸易大会

为加强水产养殖和贸易领域的交流与合作,为全球养殖水产品的生产和贸易的发展提供指导和帮助,联合国粮农组织和中华人民共和国农业部定于2007年5月29-31日在青岛联合主办世界养殖水产品贸易大会。经农业部2007年第一次部常务会议批准,由中国水产学会承办此次大会。

一、会议时间和地点

1. 时间:2007年5月29-31日,28日报到;
2. 地点:山东省青岛市汇泉王朝大酒店

二、其它事项

1. 本次大会语言使用中、英文,大会有同声传译;
2. 大会秘书处设在中国水产学会秘书处;

联系人:陈述平、郭志杰、吴凡修、赵文武;
联系电话:010-64195140/5154/4233/4234;
传真:010-64195140/4235;
联系地址:北京市朝阳区麦子店街22号809室;
邮编:100026;
Email: infoyu@agri.gov.cn、csfish@agri.gov.cn