

文章编号: 1674-5566(2017)04-0621-08

DOI:10.12024/jsou.20161201916

池塘偏心式水动力装备控制系统设计与实现

胡庆松¹, 王 曼¹, 陈雷雷¹, 李 俊¹, 杨性楷²

(1. 上海海洋大学 工程学院, 上海 201306; 2. 上海义民电机有限公司, 上海 201401)

摘 要: 水体流动是池塘水质调控的基础性条件, 高效率的水动力形成与控制具有重要价值。偏心式水动力装备从增氧和水动力形成两个方面达到了较好的平衡, 基于池塘精细化生态因子调控的需求, 本文研发了包含传感器、数据处理、存储、输出及无线通讯模块的控制硬件系统, 开发了基于溶氧和水动力双参数的控制算法, 并具备弱电自主检测和强电断路器校核功能以增强系统的可靠性。控制系统通过实时监测溶氧值, 结合水动力设备不同功率的作用范围, 实现了具有一定自适应能力的功率输出控制, 从溶氧、水动力范围及能耗的角度实现综合性效果。现场试验表明, 根据池塘生态因子变化规律, 在满足池塘增氧需求的前提下, 基于所开发控制系统的偏心式水动力装备与同功率的其它增氧设备相比, 水动力流速衰减更慢, 设备周边同范围内水动力提升效果明显, 综合能耗下降约 24%。该控制系统的设计和实现为偏心式水动力装备的推广应用打下了良好基础。

关键词: 偏心式水动力装备; 弱电自主检测; 强电断路器校核; 双参数控制; 能耗

中图分类号: S 969 **文献标志码:** A

大部分养殖池塘设有两个或以上的排水口, 用于养殖废水的排放, 这些废水给环境带来了巨大压力, 加强养殖过程中池塘水体的自我净化能力, 减少养殖用水的换水率非常重要^[1-2]。水体具有较好的自我调节能力, 其基础条件是能够进行一定的水体流动, 即“流水不腐”^[3-5]。叶轮式增氧机增氧能力较强, 但水动力扩散范围偏小; 涌浪机能产生较大范围的水动力, 但是增氧能力不足^[6-8]。为了解决这一问题, 研发了偏心式水动力装备(图 1), 通过偏心式摇摆件在空气中运动阻力小的特点来达到增氧、水动力和能耗的兼顾与平衡。该装备由电动机、齿轮箱、撑杆、浮体、叶轮和上方的摇摆件等造浪、增氧部件组成, 创新之处在于上下相异减速比双输出结构实现了空气与水下两种运动的优化统一。目前所研发的设备有 1.5kW、380V 和 0.75kW、380V 两种型号, 采用交流供电模式, 具有推水、提水、破水和增氧的功能。浮体的低速偏心振动使池塘水动力范围在较低能耗下明显扩大; 提水叶轮可以

实现底层水和表层水的交换, 有利于对塘底区域实施氧债偿还; 破水功能有助于池塘中硝酸铵、硫化氢、甲烷和一氧化碳等的削减^[9-10]。目前叶轮式增氧机等设备主要采用参数单一控制, 相关方法无法满足新研发设备的精细化控制需求^[11-13], 为此, 本文基于池塘实际现状, 以增氧、水动力、能耗等为目标对相关控制算法进行研发, 设计了能够适应池塘潮湿环境的高可靠板卡系统, 现场试验结果表明了所研发软硬件系统的有效性。

1 偏心式水动力装备控制系统总体设计

1.1 偏心式水动力装备控制系统整体架构

根据功能模块需要, 整体设计框如图 2 所示。STM32F427 单片机主频 168MHz, 片上资源相对丰富, 能耗与成本较低, 根据计算能力需求和市场普及度情况, 采用其作为控制系统核心。通过温度/溶氧传感器(24V)、传感器信号调节电路将数据输入到单片机, 其中传感器信号调节电

收稿日期: 2016-12-01 修回日期: 2017-03-26

基金项目: 国家自然科学基金(51309150); 上海市科技兴农推广项目(2016-1-6-4)

作者简介: 胡庆松(1979—), 男, 副教授, 博士, 研究方向为渔业工程装备。E-mail: qshu@shou.edu.cn

通信作者: 陈雷雷, E-mail: llchen@shou.edu.cn

路的功能包括将传感器输出的微弱电流值变为电压值,之后经过放大器进行信号放大,再由 A/D 模块将模拟信号转换为数字信号,输入单片机。单片机连接 LCD 显示屏,实时显示当前水质数据的检测值及电机运行状态,通过按键程序控制不同的显示界面。单片机读取的传感器值进行存储和处理,基于不同的输出转速所达到的水动力和增氧效果,将检测值与设定值比较,自动地控制水动力设备的启停和输出转速。为确保电机的正常运行,状态检测电路利用霍尔传感器检测水动力设备的输出电流,判断水动力设备的运行

状态,避免水动力装备出现未知执行故障所导致的控制系统决策与执行不一致问题。水动力设备应开未开或应关未关以及传感器检测值达到预设报警条件时都将启动声光报警系统,以提醒工作人员进行相应处理,声光信号被反射式光电传感器接收,将相应的信号传给单片机,单片机经过信号处理来显示报警界面。系统通过 GPRS 实现电路的数据通讯和远程配置,所读取的传感器测试值会相应地保存在单片机的存储卡中,单片机所保存的数据传输到服务器,电脑、手机终端通过访问服务器获得当前或历史数据。

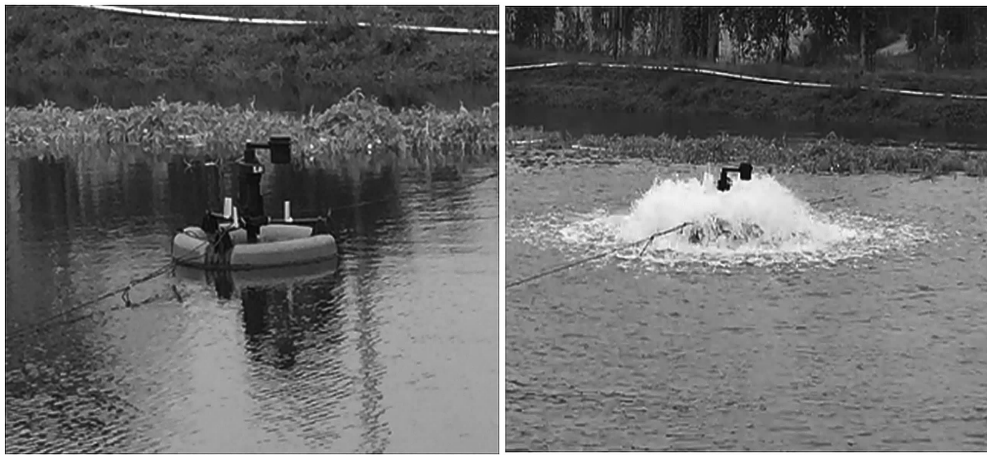


图 1 偏心式水动力形成装备池塘工作图

Fig. 1 Elcentric hydrodynamic forming equipment working in the pond

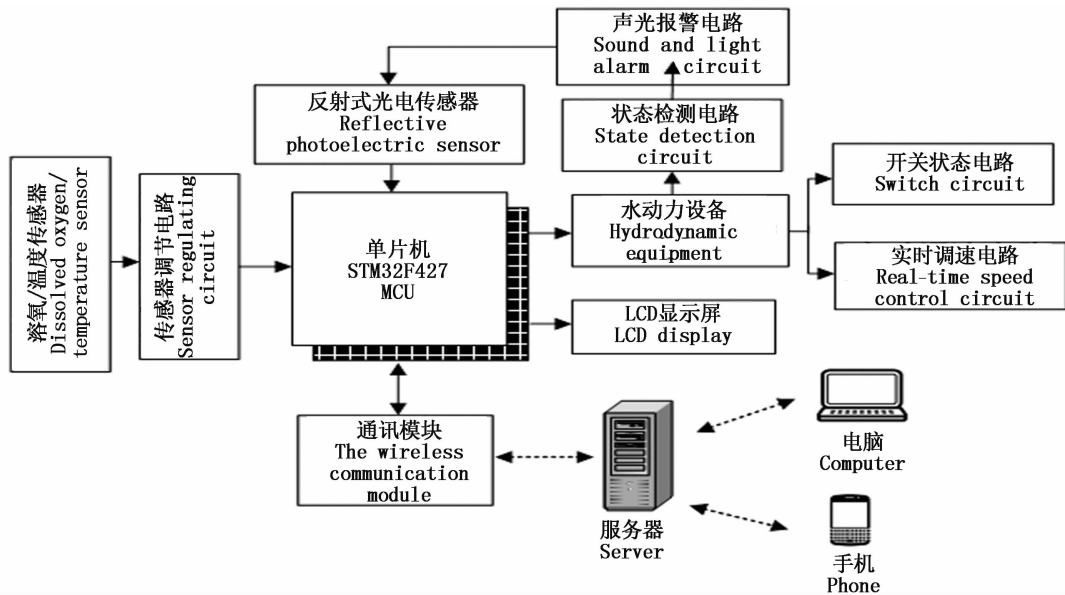


图 2 水动力控制系统的整体架构

Fig. 2 The overall structure of the hydrodynamic control system

1.2 控制系统模块组成

图3为所设计的控制系统主控框图,以STM32F427CPU为核心,外围模块包括:电源、按键等模拟信号接口、传感器(RS485接口)、以太网接口、LCD显示、电机驱动、GPRS无线模块和SD卡存储接口等。系统中模拟输入接口包括反射式光电传感器所接收到的报警信号、参数和时间的配置接口,LCD显示屏显示当前传感器参数值及设备工作情况信息,通过单片机所发出的信号来控制电机的三相输出电平,通过SIM900A无线模块实现GPRS通讯。

2 偏心式水动力装备控制系统的软硬件实现

2.1 控制系统的硬件设计

控制电路的组成模块主要有电源模块控制电路、传感器检测电路、声光报警电路以及三相固态继电器控制电机等组成,所完成的电路控制板卡如图4所示,具有4个基本功能。

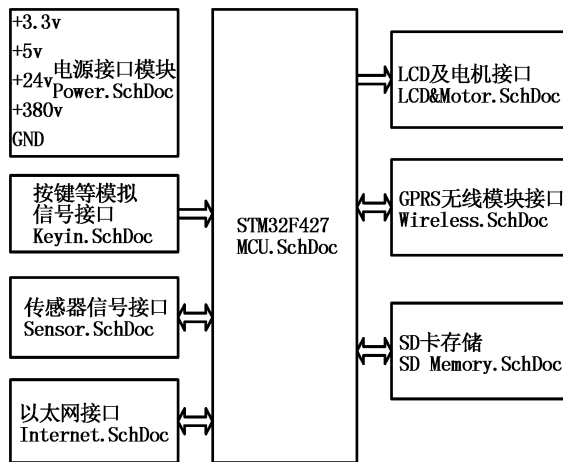


图3 控制系统整体模块组成

Fig.3 The general schematic of control system

(1)电源模块供电对象:24 V的传感器和报警器、SIM900A无线模块、3.3 V LCD19264-ZA液晶屏及STM32F427单片机等。不同的电路供电通过变压器、整流器和稳压器等元器件来实现相应电压和功率的输出,该部分将各模块厂家提供的成熟电路融合进行设计。

(2)传感器调节电路:水质传感器采用DOB-300型温度/溶氧于一体的传感器,传感器本身带

有变送电路,采用MODBUS RTU通信协议,可以通过RS485直接输出数字量,通过单片机处理显示于LCD中。

(3)声光报警电路:系统根据溶氧/温度值所设定的动作阈值来控制水动力设备,如果水动力设备达到启动条件时,检测电路检测到设备没有启动,或者满足水动力设备关闭条件而没有关闭,启动报警系统,蜂鸣器响起,LCD屏跳出报警界面。

(4)固态继电器的电动机控制电路:使用3.3 V单片机来控制380 V交流电机,高压端输出具有一定的危险性,使用交流接触器来控制,但是接触器会产生间断的电火花问题,为了保证较高的安全性和可靠性,本设计中增加光电耦合器进行隔离。

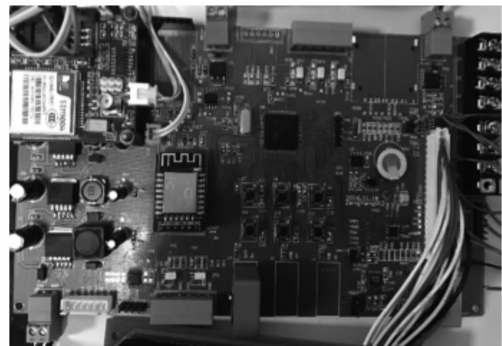


图4 控制系统硬件板卡

Fig.4 Circuit board designed for the control system

2.2 控制系统软件设计

主程序总体架构如图5所示,上电后单片机各个模块初始化,包括单片机通过发送命令获取传感器返回值的方式对溶氧/温度传感器进行标定和调零。系统5 s采集一次数据,在LCD界面实时显示溶氧/温度值,并将水质数据向SD中存储。读取数据后获得溶氧值及其变化率并调用控制算法计算得到控制指令并发出。为保证所发出指令获得执行,通过霍尔电流传感器、反射式光电传感器判断电机实际转动情况,如果出现异常则启动蜂鸣器进行报警,若正常则返回继续采集传感器数据。LCD显示屏显示内容包括溶氧/温度传感器的当前值、三相电机的运行状态和报警信息,工作界面如图6。

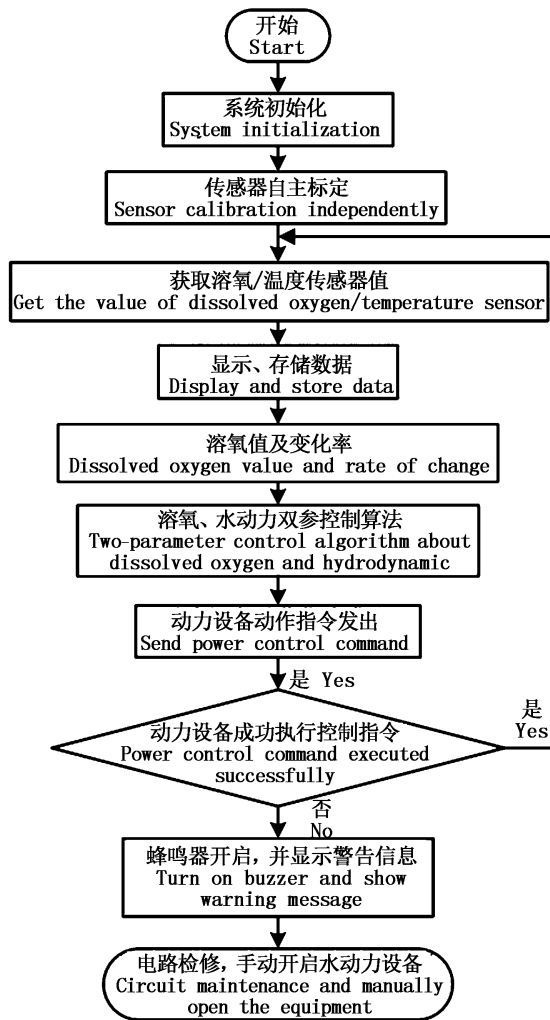


图5 控制程序流程图

Fig. 5 Control program flow chart

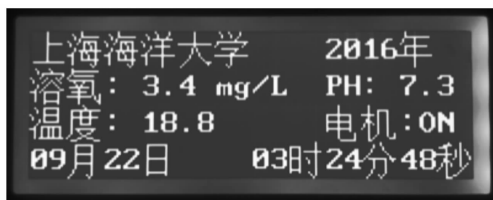


图6 LCD 正常工作界面

Fig. 6 LCD normal working interface and alarm interface

2.3 控制系统的可靠性和自适应性设计

设备不能正常工作将会导致养殖对象浮头或死亡,因此系统整体可靠性非常重要,为此从弱电和强电两个方面予以考虑。弱电部分包括控制板卡、传感器、通讯系统等。控制板卡采用看门狗定时检测电路进行主程序和电路的正常

工作检测。在主程序正常工作的情况下,对传感器的输入数据进行合理性判断,是否为正常工作情况。针对通讯系统,通过通讯协议进行通讯正常化情况判断。强电部分主要为执行链路各环节,包括交流接触器、电机等,必须确保弱电部分的指令获得严格执行。为解决这一问题,增加反射式光电传感器,将水动力装备工作情况反馈回控制系统,控制系统根据反馈信号确定报警信号的发出,提升了控制系统的可靠性。

为提升控制系统的自适应性,其基础的反馈环节是池塘溶氧等数据在设备工作前后变化是否符合预期变化规律。为强化变化规律的识别功能,取每一次的溶氧值,计算每经过 t 时间后,当前值和初始值的误差值和误差值的变化率,二者作为输入变量,经过模糊控制算法,再经过具体的控制对象计算输出溶氧值,与所设定的溶氧期望范围作比较,如果达到期望范围则终止算法,否则一直进行实时调整,最终满足池塘水质溶氧需求或者达到溶氧条件下的水动力需求,达到控制系统的精准性和具有一定自适应性的目标。当达到期望的溶氧条件时,则进行各溶氧调控范围的判别,输出不同功率,缺氧条件下,高功率的输出负责快速增氧,富氧情况下,低功率的输出用来提供充足的水动力。增氧和水动力的平衡性可以较好地满足池塘养殖的精细化控制需求。

3 偏心式水动力装置控制系统的试验及数据分析

3.1 试验设定和分析

2016年8—9月在上海市海锋水产养殖合作社进行试验,选择其中2块池塘进行试验分析,其中1号塘为测试塘,采用偏心式水动力装备及控制系统,2号塘为对照塘,采用传统叶轮式增氧机。池塘的大小、深度和所使用的水动力设备的参数相同,最大额定功率为1.5 kW,每个池塘长105 m,宽40 m,水深1.25 m,传感器布置在水下0.5 m处进行测试^[14]。测试时,水动力设备置于池塘的中心,测试点以水动力设备为圆心,选择圆上测试点和圆外测试点,以及池塘较远点c,图7(左)所示为测试点a、b、c 3个测试点的示意图,分别距离水动力设备10 m、20 m和35 m,图7(右)为所设计高度可调式传感器浮体。

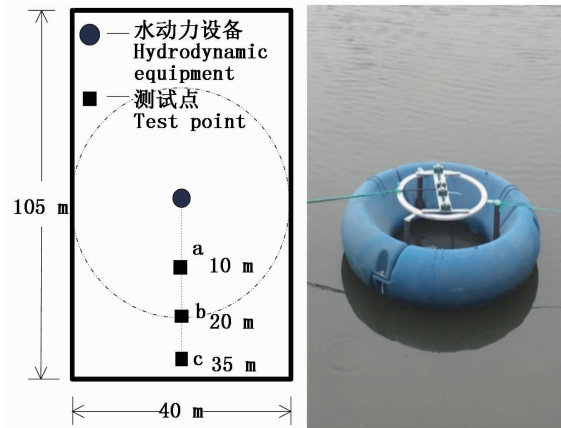


图7 传感器布局图

Fig. 7 The layout diagrams of sensor

3.2 试验实施和数据分析

由于一般溶解氧在 2 mg/L 以下时,鱼虾就已经停止摄食,1 mg/L 时鱼虾就会因为缺氧而窒息死亡^[15],考虑到水底与检查点的差值,溶解氧在 5.5 mg/L 是鱼类生存的最佳溶氧值。为检测所研发控制系统软硬件的正常工作能力,试验中

设定检测到溶解氧浓度在 1.5 ~ 3.0 mg/L 范围内,电机的输出功率以 1.5 kW 最大功率快速增氧,若检测到溶解氧浓度在 3 ~ 5 mg/L 范围内,电机的输出功率以 1.2 kW 功率增氧和提供水动力,若检测到溶解氧浓度在 5.0 ~ 8.5 mg/L 范围内,电机的输出功率以 0.75 kW 功率保持溶解氧的稳定,同时提供一定的水动力。在晴天凌晨 3 点,溶氧值略高于 3 mg/L 的情况,测试塘和对照塘水动力设备同时开启,都以 1.5 kW 最大功率运行,0.5 h 后进行测试,使用流速仪和溶解氧/温度传感器测试数据,结果如表 1 所示。测试过程中偏心式水动力装备电机转速随着溶氧值的变化出现改变,说明所设计控制系统软硬件工作正常。从表 1 中可以看出测试塘和对照塘的 3 个测试点的溶解氧值均有明显提升,增氧效果在 a、b 两点效果接近,在 c 点测试塘要好于对照塘。流速方面,a 点测试塘略差于对照塘,但衰减速度方面测试塘明显慢于对照塘,c 点的流速测试塘大于对照塘,也说明 c 点测试塘溶解氧值大,与偏心式水动力装备更好的水动力扩散能力有关系。

表 1 水动力设备开机 0.5 h 后增氧参数

Tab. 1 Oxygen parameters of hydrodynamic equipment after 0.5 hours operation

测试点 Test point	测试塘 Test pond			对照塘 Contrast pond		
	溶解氧/(mg/L) Dissolved oxygen	温度值/℃ Temperature	流速/(cm/s) Flow velocity	溶解氧/(mg/L) Dissolved oxygen	温度值/℃ Temperature	流速/(cm/s) Flow velocity
a	5.34	25.0	3.4	5.36	25.2	3.5
b	4.86	25.5	2.4	4.97	25.5	2.1
c	4.73	26	2.0	4.08	25.7	0.2

能耗对比测试:对照塘以额定功率 1.5 kW 运行,测试塘则通过所测试的溶氧传感器的基本水质参数来调控水动力设备的输出功率,测试塘和对照塘开机时间相同。选择一天中水动力设备的运行情况及其运行时间,试验数据整理后如表 2 所示。对照塘的水动力设备在凌晨 3 点和下午 1 点开机,总开机时长 3.3 h,总能耗 4.95 kW · h,测试塘在同样的时间启动水动力设备,通过水质参数的反馈,以不同的功率输出,其中凌晨 3 点池塘溶氧较低,此时开机属于紧急增氧,以最

大功率运行 20 min 左右,进入调节增氧状态,增氧的同时需要搅动水体上下水体交换,最后保持稳定增氧状态,使用钳形电流表测试电流,通过公式(1)换算,计算出此时的输出功率。测试塘水动力设备总开机时长 4.5 h 左右,总功耗相比以 1.5 kW 单一输出功率节省约 24% 的能耗,说明了该控制系统设计的实用性和有效性。

$$P = \sqrt{3}UI\cos\phi \quad (1)$$

式中:为线电压(380V);为线电流(钳形电流表所测得的电流值);为功率因数。

表 2 晴天一天中对照塘和测试塘设备输出功率和开机时间

Tab. 2 The equipments output power and operation time in contrast and experimental ponds in a sunny day

水动力设备输出功率 Output power of equipment		养殖塘 Culture ponds			
		对照塘 Contrast pond	测试塘 Test pond		
		1	3	2	4
输出 1.5 kW Output power of 1.5 kW	输出电流/A Output current	3.04	3.05	3.05	3.04
	工作时间/h Work time	3.3	3.5	0.33	0.42
	耗能/(kW·h) energy consumption	4.95	5.25	0.495	0.63
输出 1.2 kW Output power of 1.2 kW	输出电流/A Output current	-	-	2.43	2.43
	工作时间/h Work time	-	-	1.1	1
	耗能/(kW·h) energy consumption	-	-	1.32	1.2
输出 0.75 kW Output power of 0.75 kW	输出电流/A Output current	-	-	1.52	1.52
	工作时间/h Work time	-	-	2.9	3
	耗能/(kW·h) energy consumption	-	-	2.175	2.25
总能耗 Total energy consumption		4.95	5.25	3.99	4.08

根据惠特曼和刘易斯的双膜理论:

$$\frac{dM}{dt} = D_L A \left(\frac{C_s - C}{X_f} \right) \quad (2)$$

式中: M 为在单位时间内通过界面扩散的物质数量; C 为物质浓度; X_f 为液膜的厚度; D_L 为扩散系数; A 为界面面积; C_s 为空气与液面交界处需要扩散的物质浓度。

应急增氧时,由公式(2)可知,随着物质浓度 C 的增加,增氧效率不断降低,当 C 接近 C_s 时,增氧效率接近于 0,因此当溶解氧值达到饱和的范围内,一直以最大功率输出,增氧的效率已经不存在。此时,水动力设备主要起到搅动水体的作用,特别是晴天的下午,虽然溶解氧已经满足了鱼类生存的需要,但是水动力设备的开启,可以将表层的高溶解氧水传递到底层低溶解氧水中,使整个养殖水体的溶解氧达到更加均匀状态,从而大大改善养殖水体的溶解氧状况。另一方面通过水动力装备的运转,把底层的低氧水送到表面曝气,既可起到增氧作用,还有利于底层水中有害气体地分解,为微生物絮凝等反应提供良好的环境,从而起到净化水质的作用。

4 结语

根据偏心式水动力形成装备增氧和水动力复合式控制需求,结合池塘实际工作环境情况,设计并实现了包括传感器、控制器、输出执行机构、通讯等模块的控制软硬件系统,并从弱电和强电两个方面进行了可靠性设计。现场试验表明,所设计控制系统能够根据传感器数据在程序控制下正常工作,测试结果显示偏心式水动力装备在水流形成方面相对于传统叶轮式增氧机有

明显优势,且综合能耗显著下降。本文所设计控制算法主要基于一般意义下水产养殖规律进行了设计和实现,针对不同养殖对象和水域面积,可以进行进一步分析与设计,能够在此基础上进一步提升调控效果,实现增氧和水动力的平衡,增强池塘水体自净能力。

参考文献:

- [1] 宋超,孟顺龙,范立民,等. 中国淡水池塘养殖面临的环境问题及对策[J]. 中国农学通报, 2012, 28(26): 89-92.
SONG C, MENG S L, FAN L M, et al. Environmental impact and countermeasures of freshwater fishpond aquaculture in China[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(26): 89-92.
- [2] 田昌凤,刘兴国,张拥军,等. 池塘底质改良机的研制[J]. 上海海洋大学学报, 2013, 22(4): 616-622.
TIAN C F, LIU X G, ZHANG Y J, et al. Development of a mechanized regulating system for pond sediment[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2013, 22(4): 616-622.
- [3] 葛成军,俞花美,唐文浩. 池塘养殖废水水质变化规律及修复技术研究[J]. 武汉理工大学学报, 2010, 32(5): 124-128.
GE C J, YU H M, TANG W H. Research on quality variation and rehabilitation of intensive pond aquaculture wastewater[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2010, 32(5): 124-128.
- [4] 许艳,关娇宏,葛娟,等. 池塘水体中亚硝酸盐的产生及预防[J]. 黑龙江水产, 2005(3): 19-20.
XU Y, GUAN J H, GE J, et al. Production and prevention of nitrite in pond water[J]. Heilongjiang Fisheries, 2005(3): 19-20.
- [5] 魏泰莉,余瑞兰,聂湘平,等. 养殖水环境中亚硝酸盐对鱼类的危害及防治的研究[J]. 水产养殖, 1999(3): 15-17.

- WEI T L, YU R L, NIE X P, et al. The study on harm of nitrite to cultured fishes and its control [J]. *Journal of Aquaculture*, 1999(3): 15-17.
- [6] 宋瑜清, 蒋姣丽, 熊元芳, 等. 叶轮式增氧机对比试验结果分析[J]. *现代农业装备*, 2013(2): 46-48, 68.
- SONG Y Q, JIANG J L, XIONG Y F, et al. Analysis of the results of comparison test of impeller aerator [J]. *Modern Agriculture Equipment*, 2013(2): 46-48, 68.
- [7] 谷坚, 顾海涛, 门涛, 等. 几种机械增氧方式在池塘养殖中的增氧性能比较[J]. *农业工程学报*, 2011, 27(1): 148-152.
- GU J, GU H T, MEN T, et al. Performance comparison for different mechanical aeration methods in pond [J]. *Transactions of the CSAE*, 2011, 27(1): 148-152.
- [8] 顾海涛, 何雅萍, 王贤瑞. 典型增氧设备在养殖池塘中组合应用的研究[J]. *渔业现代化*, 2013, 40(4): 36-39.
- GU H T, HE Y P, WANG X R. Research on combined application of typical oxygen equipments in aquaculture ponds [J]. *Fishery Modernization*, 2013, 40(4): 36-39.
- [9] 王玮, 陈军, 刘晃, 等. 中国水产养殖水体净化技术的发展概况[J]. *上海海洋大学学报*, 2010, 19(1): 41-49.
- WANG W, CHEN J, LIU H, et al. The overview of aquaculture water purification technology in China [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2010, 19(1): 41-49.
- [10] 林少华, 周翔, 周婷婷, 等. 大型循环水池塘养殖系统氮磷污染控制绩效评估[J]. *环境工程学报*, 2016, 10(10): 5535-5541.
- LIN S H, ZHOU X, ZHOU T T, et al. Performance assessment of large-scale recirculating aquaculture system on nitrogen and phosphorous pollution control [J]. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2016, 10(10): 5535-5541.
- [11] 掌晓峰, 虞丽娟, 毛文武, 等. 基于 Zigbee 网络的中华绒螯蟹养殖中溶氧量智能控制系统研究与应用[J]. *上海海洋大学学报*, 2016, 25(6): 866-872.
- ZHANG X F, YU L J, MAO W W, et al. The research and application of oxygen intelligent control based on Zigbee in *Eriocheirsinensis aquaculture* [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2016, 25(6): 866-872.
- [12] RERKRATN A, KAEWPOONSUK A. ZigBee based wireless temperature monitoring system for shrimp farm [C]// *Proceedings of the 15th International Conference on Control, Automation and Systems*. Busan: IEEE, 2015: 428-431.
- [13] 王鸿雁, 孟祥印, 赵阳, 等. 基于 ARM9 及 Android 的水产养殖监控系统设计[J]. *渔业现代化*, 2016, 43(4): 11-15.
- WANG H Y, MENG X Y, ZHAO Y, et al. Design and implementation of aquaculture monitoring system based on ARM9 and Android [J]. *Fishery Modernization*, 2016, 43(4): 11-15.
- [14] 成永旭, 金继明, 朱选才, 等. 用测氧仪自动监控精养鱼池增氧机适时开机的实验[J]. *渔业现代化*, 1996, 23(6): 7-10.
- CHENG Y X, JIN J M, ZHU X C, et al. The experiment of automatic monitoring of the oxygen supply in the intensive rearing pond with the oxygen analyzer [J]. *Fishery Modernization*, 1996, 23(6): 7-10.
- [15] 张贵. 溶解氧、盐度、氨氮、亚硝酸盐氮对三疣梭子蟹存活和摄饵的影响[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2012.
- ZHANG G. Effect of dissolved oxygen, salinity, ammonia-N and nitrite-N on the survival and food intake of *Portunustrituberculatus* [D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2012.

Design and realization of pond eccentric hydrodynamic equipment control system

HU Qingsong¹, WANG Man¹, CHEN Leilei¹, LI Jun¹, YANG Xingkai²

(1. College of Engineering Science & Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Shanghai YI MIN Motor Co., Ltd, Shanghai 201401, China)

Abstract: Water flowing is the basic condition for the water purification of pond. High efficient water hydrodynamic forming and control are of great value. The eccentric hydrodynamic equipment provides a good balance between the oxygenation and hydrodynamic forming. Based on the requirement of pond fine ecological factor regulation, the control system hardware system including sensor, data processing, storage, output and wireless communication components is constructed. Control algorithm based on oxygenation and hydrodynamic parameters is developed, which also contains the low-voltage sub-system self-detection and high-voltage sub-system checking function. By real time supervision of the dissolved oxygen and combined with the covering range in different power conditions, the control system achieves adaptive power output control and reaches a comprehensive effect from the view of oxygenation, hydrodynamic and energy cost. Based on the pond ecological factors and the requirement of meeting the pond oxygen demand, the practical experimental comparison results between the eccentric hydrodynamic equipment with the designed control system and other oxygenation equipments show the power flow in the new equipment decreases more slowly, and the hydrodynamic effect of the same area is dramatically increased. It can save about 24% of energy cost. The above results lay a solid foundation for the wide application of eccentric water power equipment.

Key words: eccentric hydrodynamic equipment; low-voltage self-detection; high-voltage breakage check; double-parameter control; energy consumption