

# 低温活鱼运输箱监控系统研制\*

聂少伍<sup>1</sup> 洪苑乾<sup>1</sup> 黄汉英<sup>1</sup> 黎焯<sup>1</sup> 胡月来<sup>1</sup> 熊善柏<sup>2</sup> 赵思明<sup>2</sup>

(1. 华中农业大学工学院 武汉 430070; 2. 华中农业大学食品科技学院 武汉 430070)

**摘要** 目前市场上应用的活鱼运输装置大都采用人工控制或单片机控制系统,自动化水平低或抗干扰性差,不能满足长途运输的要求。为了提高低温活鱼运输箱系统的自动化水平,改善活鱼运输条件,提高活鱼运输的存活率,采用 PLC 为核心控制器,触摸屏为人机界面,通过对系统的硬件和软件进行设计,实现了设备的启停控制,运用 PID 控制算法和脉冲定时器建立的 PPI 通信网络,实现了温度、pH 值和 DO 的自动采集与控制。系统温度、pH 值和 DO 控制范围分别为 3–35℃、8–13 mg/L 和 6.5–8.0,箱体内水温分布均匀,升温 and 降温速率平缓。试验结果表明,空载时,箱体内水体温度分布偏差为 1℃,温度上升和下降速率分别为 2.5、2.3℃/h;按鱼水质量比 1:2 运输,水温控制在 6.7–7.3℃、DO 在 8.9–12.8 mg/L, pH 在 6.5–7.5 的水体条件下,运输时间约为 72 h 时,武昌鱼的存活率达到 96.7%。系统性能稳定、可靠性高、人机界面友好、使用灵活,能适应不同地区和不同鱼种的运输要求。

**关键词** PLC; 活鱼运输; 监控系统; 触摸屏

中图分类号 S24 文献标识码 A 文章编号 1000-7075(2014)04-0110-08

活鱼运输是鱼类移殖、引种和供应市场鲜活商品鱼等过程中的一种活体运输方式(赵丹等, 2012)。现在已经应用的活鱼运输装置大多停留在人工控制状态,只是在运输箱上加了增氧措施,人工观察鱼的状态并进行调整(黄海等, 2009; 史建华等, 2007)。随着自动化技术的广泛应用,人们对活鱼运输的自动化程度的要求也越来越高。目前已经有以单片机为核心的活鱼运输自动监控系统,实现了活鱼运输过程中 DO、温度等的监测(朱健康等, 2005; 陈郡等, 2009; King, 2009),但是单片机控制系统抗干扰能力差,不能满足长途运输的要求。

针对上述问题,本研究开发了一套基于 PLC 的全自动活鱼运输装置,实现了对活鱼长途运输过程的参数监控。

## 1 活鱼运输系统的组成

该系统主要由 PLC 控制器、触摸屏、箱体、增氧系统、水循环系统、过滤系统以及冷热水机组等部分组成,各部分的相互关系如图 1 所示。

控制系统采用 PLC 作为控制器,利用触摸屏实现鱼箱内水质的监测。

增氧系统采用气流增氧、喷淋增氧相结合的方法对箱内水体进行增氧。喷淋增氧由安装与箱体上部 150 mm 处贴紧箱体壁的喷头来完成,气流增氧由增氧泵以及安装于箱体底部的纳米微孔曝气管来完成。通过控制增氧泵的启停,即可实现对 DO 的自动控制。

水循环系统和过滤系统的作用是保证箱体内的水体温度均匀并对水体 pH 值进行调节,以提高鱼的成活率(李利等, 2009; 田朝阳, 2003; Farrell, 2006;

\* “十二五”国家科技支撑计划(2013BAD19B10)和“鲜活水产品物流过程品质维持与质量安全控制技术集成应用与示范”共同资助。聂少伍, E-mail: nsw19910707@163.com; 共同第一作者, 洪苑乾, E-mail: hongyuanqian1987@163.com

通讯作者: 黎焯, 讲师, E-mail: lx@mail.hzau.edu.cn

收稿日期: 2014-01-20, 收修改稿日期: 2014-03-25

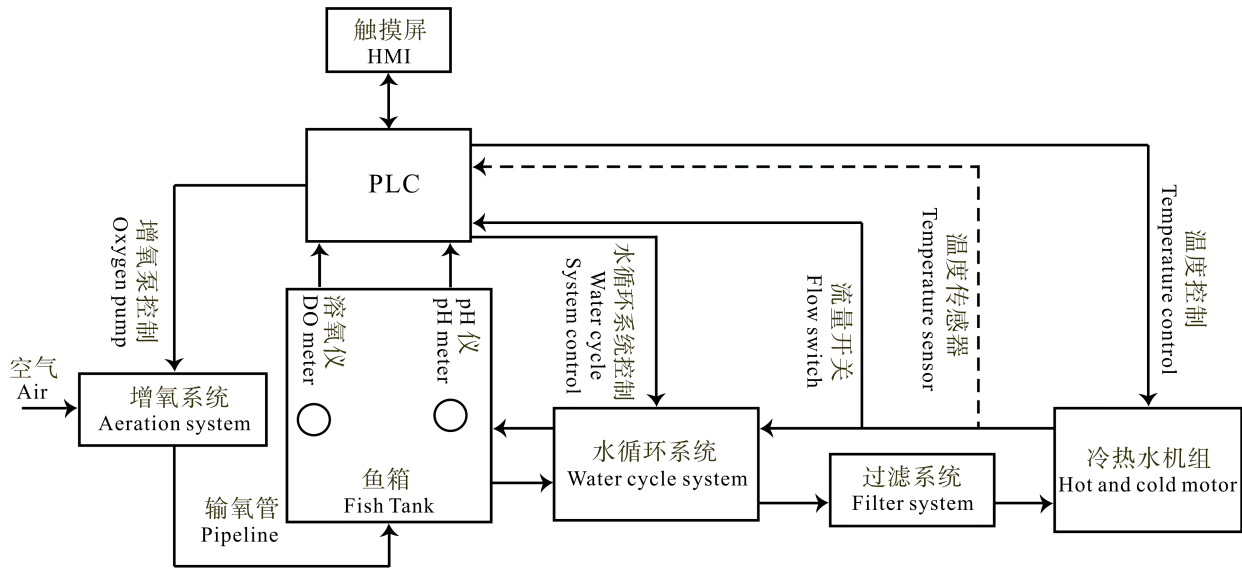


图 1 活鱼运输系统组成结构

Fig.1 Scheme of live fish transport system

周德强, 2005)<sup>1)</sup>。水循环系统包括水泵、旁路电磁阀、水管、出水嘴、喷淋头等。水泵将水箱内的水抽出, 通过过滤器、输水管道, 进入过滤系统, 过滤后的水再经过蒸发器输入到水箱, 以保证箱体内水质适合鱼的生存。过滤系统安装在水泵和制冷机组之间, 过滤系统采用两级串联过滤的方式, 另外, 再与过滤系统并联安装一个旁路水管, 两管道上均安装有电磁阀, 用来选择是否需要进行水质过滤。

冷热水机组由压缩机、蒸发器、冷凝器、风机、电磁阀等组成, 用来实现鱼箱内水体温度的调节, 以满足低温保活运输的要求。

## 2 控制系统设计

### 2.1 硬件设计

控制系统采用在线式溶氧仪 SJG-208 及 pH 仪 PHG-217D 检测鱼箱内水体的 DO、pH, 在冷热水机组的出水口处采用 PT100 温度传感器检测水温。

PLC 控制器的接线原理如图 2 所示, 系统有增氧泵、水泵、压缩机等共 8 个控制对象。其中, 增氧泵、水泵、压缩机通过交流接触器控制, 电磁阀由 PLC 直接驱动。系统需要 8 个数字量输出控制点、1 个数字量输入点(流量开关)、1 个模拟量输入(温度)。pH 仪、溶氧仪及触摸屏需要通过串口与 PLC 通信, 本系统将 pH 仪与溶氧仪组成一个网络, 通过一个串口

与 PLC 相连, 分时采集信号, 实现 pH 值和 DO 的交替检测。故选用西门子的 CPU224XP 作为 PLC 控制器, 它具有 14 个数字量输入, 10 个数字量输出, 两个模拟量输入, 两个 RS485 串行通信端口, 可以满足控制要求。

### 2.2 系统参数控制

**2.2.1 温度** 温度控制由冷热水机组及循环水泵实现, 在系统运行过程中, 压缩机及循环水泵一直处于运行状态, 即 KM1、KM2 接通, 系统通过控制制冷电磁阀及旁通电磁阀的开启实现温度的控制。

若水温( $T$ )高于设定温度( $T_0$ ), 接通制冷阀 YV3, 给水箱降温。当水温降至高于设定值不超过  $2^{\circ}\text{C}$ , 系统进入温度微调控制。

若水温( $T$ )低于设定温度( $T_0$ ), 关闭制冷阀 YV3, 接通四通阀 YV1, 给水箱供热。当水温升至低于设定值不超过  $2^{\circ}\text{C}$ , 系统进入温度微调控制。

温度微调控制时首先调用 PID 调节算法, 计算旁通阀 YV2 与制冷阀 YV3 的开、关时间, 从而调整系统的供冷量, 保持水温在设定温度附近。

温度的微调控制采用脉宽调制的方法, 通过 PID 算法, 计算制冷电磁阀与旁通电磁阀的开关时间, 并生成一个阀门控制脉冲。PID 参数采用自整定的方法来获得, 其中比例系数为 10, 微分时间  $0.7\text{ min}$ , 积分时间  $10\text{ min}$ , 温度控制流程见图 3。

1) 周德强. 水产养殖环境参数自动监控系统的研究. 华中农业大学硕士学位论文, 2005, 1-54

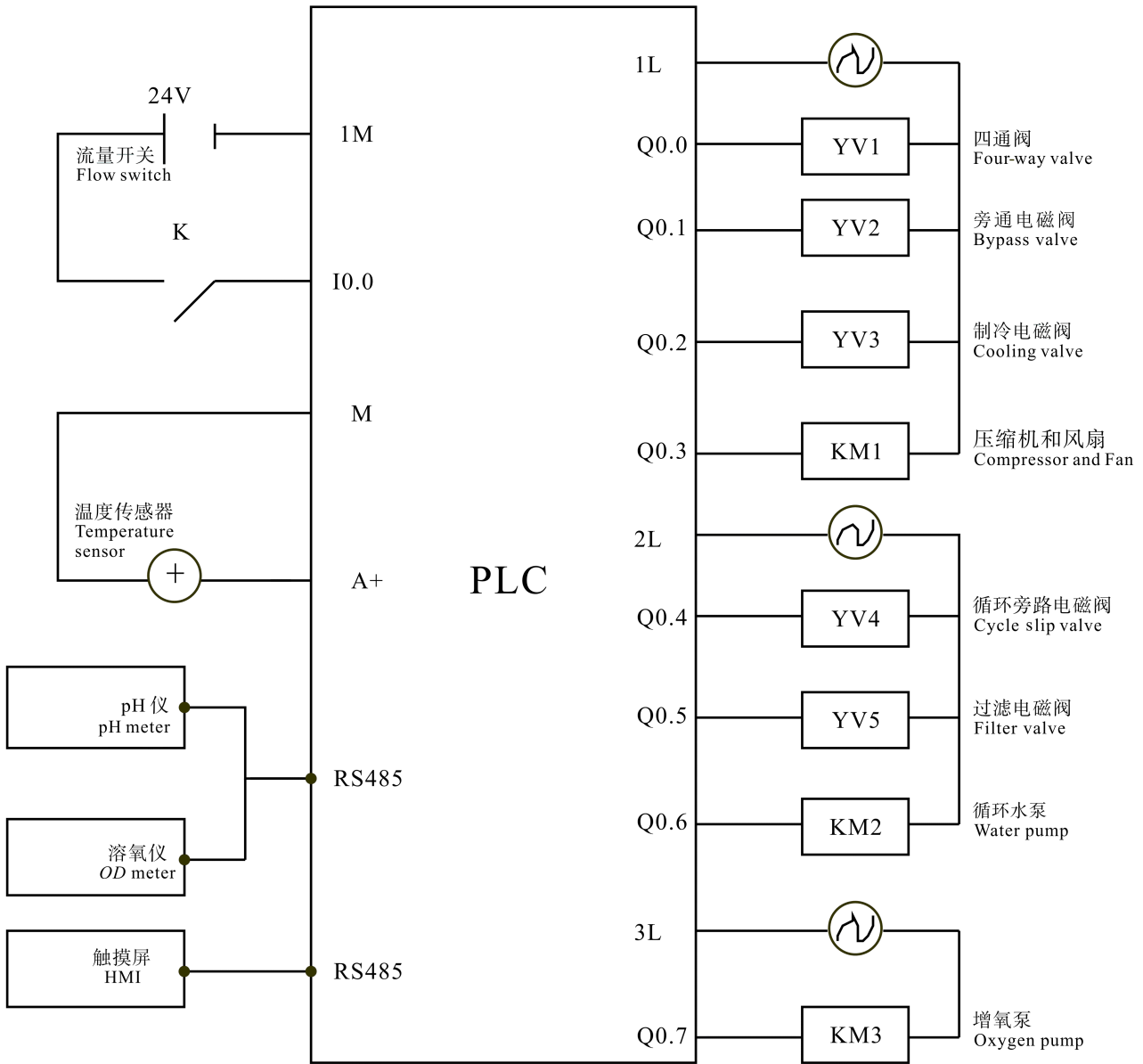


图 2 PLC 接线原理  
Fig.2 Circuit of PLC control

**2.2.2 DO** 淡水鱼低温保活运输适宜的 DO 为 8-13 mg/L(朱明瑞等, 2007a; 丁永良等, 2003)。本系统通过溶氧仪检测鱼箱内水体的 DO 并送到 PLC 控制器。当鱼箱内水体 DO 低于设定值时, 系统启动增氧泵, 实现增氧; 当 DO 达到设定值时, 系统控制增氧泵停止运行。

**2.2.3 pH** 本系统采用沸石过滤的方法对 pH 进行调节, pH 仪检测鱼箱内水体的 pH 值并送到 PLC 控制器。当鱼箱内水体 pH 值高于设定值上限时, 系统启动水泵和过滤电磁阀, 鱼箱内的水经过过滤系统进行过滤后, 再回到鱼箱, 从而改善鱼箱内水的 pH 值, 直到 pH 值达到设定值; 当 pH 值低于设定值下

限时, 系统关闭过滤电磁阀而开启水循环系统中的循环旁路电磁阀, 循环水直接通过旁路水管回到鱼箱, 不进行过滤。最终使箱体内水的 pH 值控制在 6.5-8.0 之间, 以满足鱼的存活要求(朱明瑞等, 2007b)。

**2.3 控制程序设计**

PLC 控制主程序框图如图 4 所示。程序中首先对 PLC 有关变量及串口通讯参数进行初始化设置, 然后生成一个周期为 10 s、占空比为 50%的方波时间脉冲, 在脉冲的上升沿及下降沿, 分别调用不同的中断程序与传感器通讯, 从而获得 DO、pH 值、温度的实测数据, 并对这些数据进行处理, 将其转换为 10 进制数据。中断调用返回后, 主程序会根据时间脉冲电

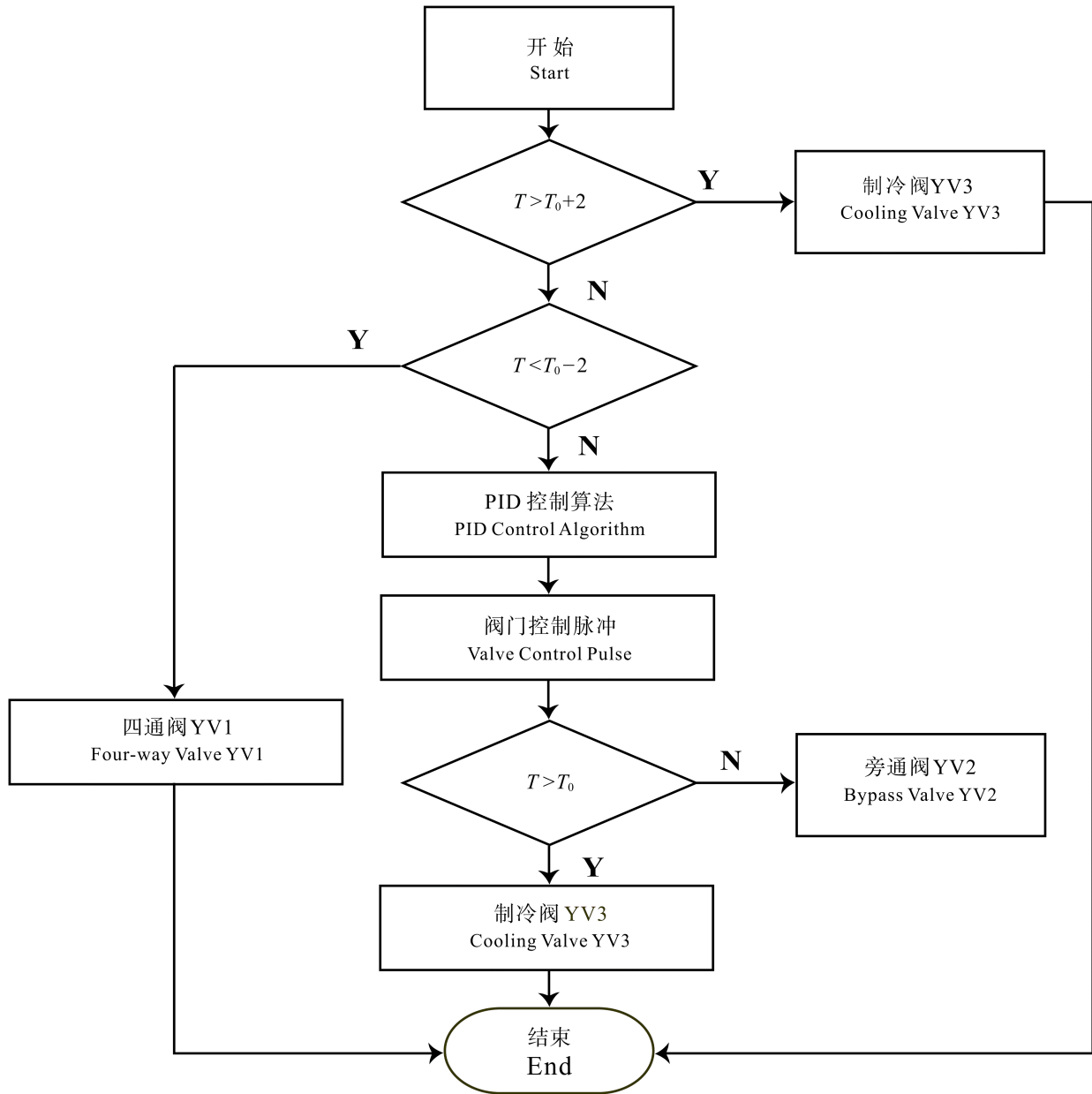


图 3 温度控制流程

Fig.3 Algorithm chart of temperature control

平的高低调用 DO 控制子程序或 pH 值控制子程序。DO 控制子程序是根据 DO 的高低来启、停增氧泵，并对增氧泵的启与停之间的时间间隔进行设定。pH 值控制子程序是根据 pH 值的大小来开、关过滤阀，并对阀门的开与关之间的时间间隔进行设定。程序最后调用温度控制子程序控制冷热水机组的运行。

### 2.4 人机界面设计

人机界面选用 Siemens 7 寸彩色触摸屏，利用 WinCC Flexible 2008 进行工程组态，主要实现对各设备的启停控制、参数的设定和实时显示以及报警等功能。

## 3 运行试验

### 3.1 试验材料与方法

**3.1.1 试验材料** 试验时间为 2013 年冬。武昌鱼，购于华中农业大学农贸市场。低温活鱼运输箱，总容积 0.8 m<sup>3</sup>；暂养箱，总容积 0.8 m<sup>3</sup>。DO-995 型溶解氧传感器，PC-2WS 型多通道温度测试仪(精度为 ±0.3℃)，FG-991 型 pH 仪。环境温度 5–15℃，相对湿度 45.0%–64.0% RH。

**3.1.2 试验方法** 温度均匀性检测方法：在水体内部选取 4 个不同点，采用 PC-2WS 型多通道温度测试

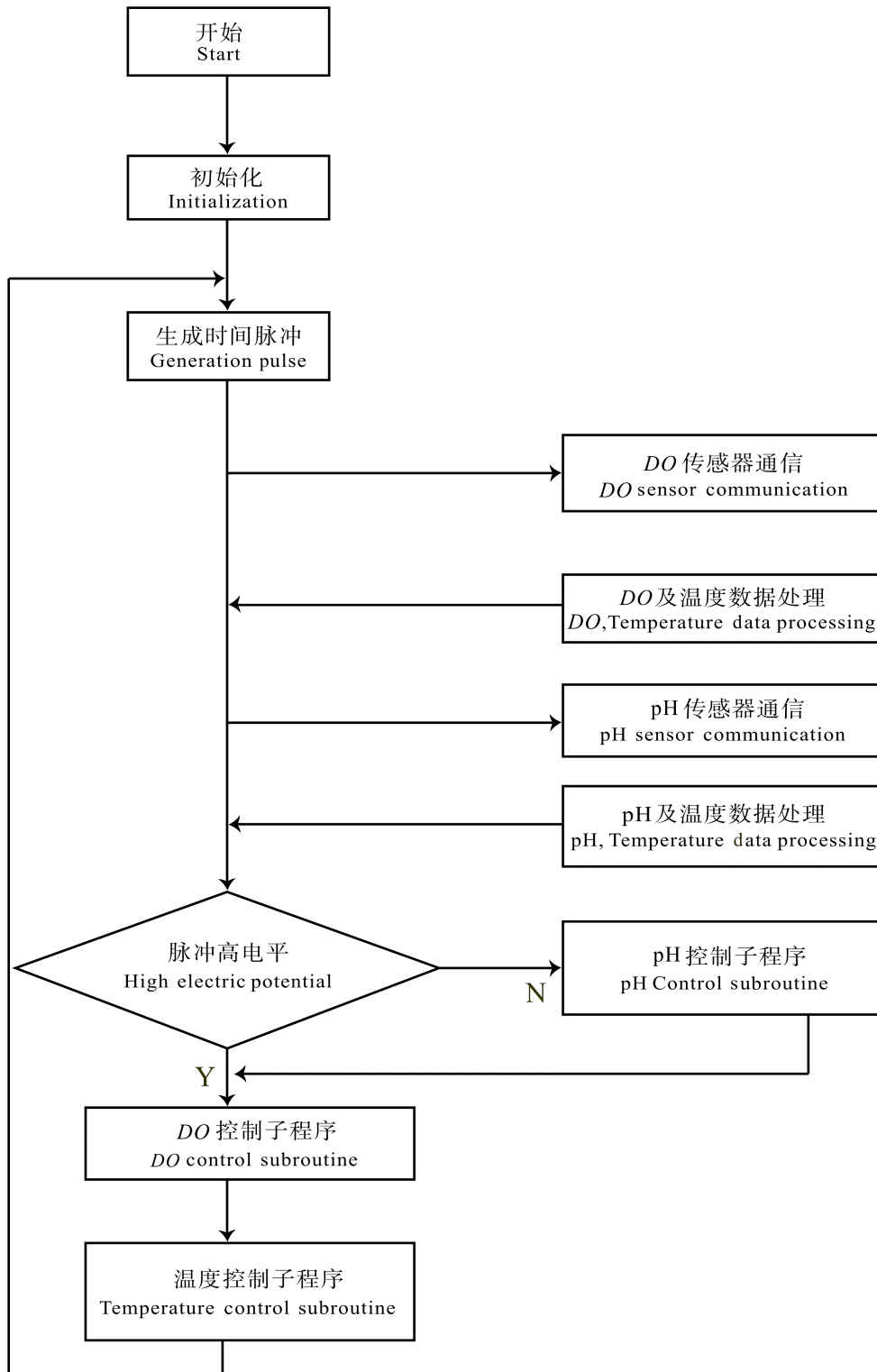


图 4 PLC 主程序

Fig.4 Chart of PLC main program

仪，每分钟对水体的温度采集 1 次，运行时间 3-4 h，箱体内测温点位置分布图如图 5 所示。

pH 检测方法 选取距离水面 35 cm 和 60 cm 的两个深度，采用 FG- 991 型 pH 仪，每 5 min 对水体的

pH 值进行 1 次采集。

DO 检测方法：选取距离水面 35 cm 和 60 cm 的两个深度，采用 DO-995 型溶解氧传感器，每 5 min 对水体的 DO 进行 1 次采集。

空载试验：鱼箱内无鱼，仅装入 0.6 m<sup>3</sup>自来水，水深约 76 cm。

鱼水质量比 1 : 2 试验：将武昌鱼停食，暂养在暂养箱 24 h，保持供氧，再进行试验。武昌鱼质量 136 kg，水的质量为 272 kg，水深约 65 cm。

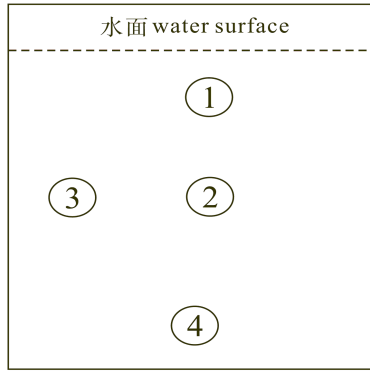


图 5 测温点位置分布

Fig.5 Distribution diagram of the thermometry points

### 3.2 结果与分析

3.2.1 温度 对系统进行了温度均匀性试验。在环境温度为 12℃的条件下，将水温降至 5℃。温度均匀性响应曲线如图 6 所示。

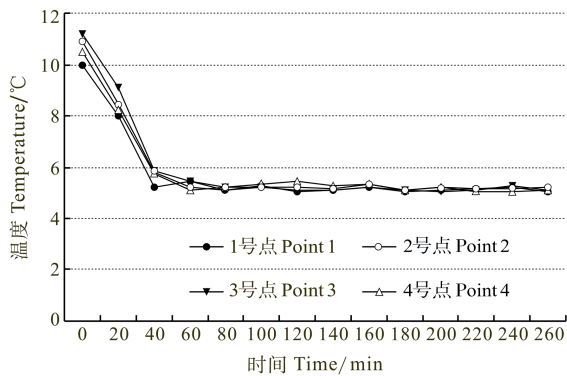


图 6 温度均匀性响应曲线

Fig.6 Curves of temperature uniformity response

由图 6 可知，随着时间的推移，箱内水体的温度呈下降的趋势，箱体内 1 号测试点和 4 号测试点的温差为 0.5℃左右，2 号测试点和 3 号测试点的温差也为 0.5℃左右，均匀性良好。

空载降温试验中初始水温 13.8℃，设定水温 8℃，升温试验中初始水温 8℃，设定水温 13℃，温度响应曲线如图 7 所示。鱼水质量比 1 : 2 的降温试验中初始水温 14℃，设定水温 10℃；升温试验中初始水温 12℃，设定水温 15℃，温度响应曲线如图 8 所示。

由图 7、图 8 可知，系统空载运行时降温速率为 2.3℃/h，升温速率为 2.5℃/h；在鱼水质量比为 1 : 2 时，降温速率为 1.15℃/h，升温速率为 1.0℃/h。当温度达到设定温度±2℃以内时，系统进入微调状态，其稳态误差为±0.3℃。

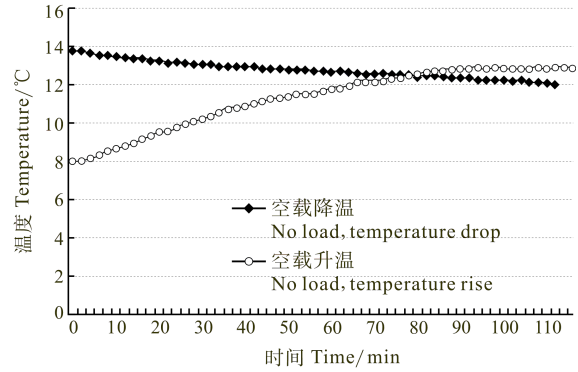


图 7 空载温度响应曲线

Fig.7 Temperature response curves without fish

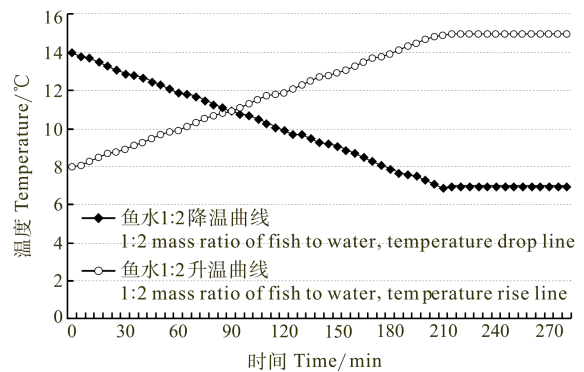


图 8 鱼水比例 1 : 2 温度响应曲线

Fig.8 Temperature response curves against time with 1 : 2 ratio between fish and water

3.2.2 DO 鱼水质量比 1 : 2，将鱼暂养 24 h 后，不同深度的 DO 分别为 11.8 mg/L 和 8.9 mg/L。设定 DO 值为 12.8 mg/L，启动增氧泵后，水体中的 DO 开始上升，经过约 200 min，DO 稳定在 12.8 mg/L，ΔDO < 1 mg/L，DO 曲线如图 9 所示。

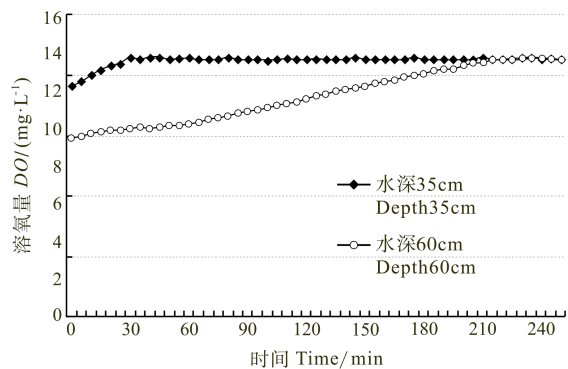


图 9 水深 60 cm 和 35 cm 的溶氧曲线

Fig.9 Curve of dissolved oxygen in water at depth of 60 cm and 35 cm

3.2.3 pH 鱼水质量比 1 : 2，将鱼暂养 24 h 后，

水体 pH 达到 9.1。设定 pH 值为 7.0, 过滤系统开启, 水体中的 pH 值开始下降, 经过约 180 min, pH 值达到 7.0, pH<0.4, pH 曲线如图 10 所示。

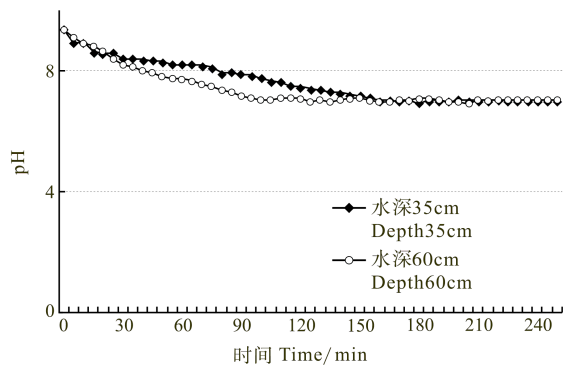


图 10 水深 60 cm 和 35 cm 的 pH 曲线

Fig.10 pH curve of water at depth of 60 cm and 35 cm

### 3.3 存活率

另取 210 条, 约 140 kg 武昌鱼进行鱼水质量比 1:2 的存活率试验, 试验水温设定为 7℃, DO 设定值为 12 mg/L, pH 值设定为 7。设备运行时间 72 h, 死亡 7 条, 鱼的存活率达到 96.7%。

## 4 结论

本系统主要由鱼箱、水循环系统、冷热水机组、增氧系统、过滤系统和 PLC 控制系统组成, 实现了温度、pH 值和 DO 的全自动控制, 控制范围广, 其中温度、pH 值和 DO 控制范围为 3–35℃、6.5–8.0、8–13 mg/L, 可以满足不同地区和不同鱼种的运输要求。

箱体内水温分布均匀, 升温 and 降温速率平缓, pH 值和 DO 在合理的范围内, 满足鱼体存活的需要。实验结果表明, 空载时, 箱体内水体温度分布偏差值为 1℃, 温度上升和下降速率分别为 2.5℃/h、2.3℃/h,

按鱼水质量比 1:2 运输, 在温度 6.7–7.3℃、DO 为 8.9–12.8 mg/L, pH 为 6.5–7.5 的水体条件下, 运输时间约为 72 h 时, 武昌鱼的存活率达 96.7% 以上。

该系统以 PLC 为核心控制器, 触摸屏为人机界面, 功能全、结构紧凑, 实现了多种控制参数的设置、读取、存储和显示, 使用灵活。

## 参 考 文 献

- 丁永良, 曲善庆. 回眸工业化养鱼 30 年. 现代渔业信息, 2003, 18(1): 9–14
- 田朝阳. 大力推广海水鱼闭式循环保活运输技术. 渔业现代化, 2003, (2): 35
- 史建华, 徐琴英, 李建忠, 等. 名贵水生动物活体运输箱的研制. 渔业现代化, 2007, 34(3): 40–41, 39
- 朱明瑞, 曹广斌, 蒋树义, 等. 工厂化水产养殖水体的 pH 值在线自动控制系统. 水产学报, 2007b, 31(3): 335–342
- 朱明瑞, 曹广斌, 蒋树义, 等. 工厂化水产养殖溶解氧自动监控系统的研究. 大连水产学院学报, 2007a, 22(3): 226–230
- 朱健康, 卢俊杰, 游远新, 等. 海水活鱼运输装置及应用效果试验. 农业工程学报, 2005, 21(10): 187–189
- 李利, 江敏, 马允, 等. 水产品保活运输方法综述. 安徽农业科学, 2009, 37(15): 7303–7305
- 陈郡, 王涛. 鱼塘溶氧量自动监控系统的设计. 河北渔业, 2009, (7): 56–58
- 赵丹, 姜永江. 降低活鱼水体氨氮的技术. 渔业科学进展, 2012, 33(4): 107–112
- 黄海, 苑德顺, 张宝欣. 水产品保活运输技术研究进展. 河北渔业, 2009, (9): 45–47
- Farrell AP. Bulk oxygen uptake measured with over 60,000 kg of adult salmon during live-haul transportation at sea. Aquaculture, 2006, 254(1-4): 646–652
- King HR. Fish transport in the aquaculture sector: An overview of the road transport of Atlantic salmon in Tasmania. J Vet Behav: Clinic App Res, 2009, 4(4): 163–168

(编辑 冯小花)



## The Development of a Monitoring System for Low-Temperature Live Fish Transportation

NIE Shaowu<sup>1</sup>, HONG Yuanqian<sup>1</sup>, HUANG Hanying<sup>1</sup>, LI Xuan<sup>1</sup>, HU Yuelai<sup>1</sup>,  
XIONG Shanbai<sup>2</sup>, ZHAO Siming<sup>2</sup>

(1. College of Engineering and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070;

2. College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070)

**Abstract** The most of current live fish transportation devices are designed using single chip microcomputer control system or manual control system. These devices cannot meet the need for long-distance transportation due to their low level of automation and poor anti-interference ability. To improve the automatic control of the low-temperature live fish transportation and the survival rate of live fish, we designed a special control system with a PLC as the core controller and a touch screen as the human-computer interface. The software and hardware of this system were designed for the start/stop control. The PPI communication network, based on the PID algorithm and the pulse timer, could conduct automatic and reliable data collection and the feedback control of key parameters such as the temperature, *DO*, and pH. The control ranges of the three parameters were 3–35°C, 8–13 mg/L, and 6.5–8.0 respectively. The temperature was uniform in the tank, and rose and dropped slowly and gently. When the system was unloaded, the deviation of temperature was only 1°C, and temperature rose and dropped at 2.5°C/h and 2.3°C/h respectively. After 72-hour transportation, the survival rate of *Megalobrama amblycephala* was as high as 96.7% under conditions below: the mass ratio of fish to water was 1:2, the temperature was 6.7–7.3°C, the pH was 6.5–7.5, and *DO* was 8.9–12.8 mg/L. The system had the advantage of stable performance, high reliability, friendly human-machine interface, and flexible operation. These enabled this system to meet the requirement of the water quality during the transportation of different fish species in different regions.

**Key words** PLC; Live fish transport; Monitoring system; Touch screen