

一种多模式集约化智能电力设备的设计及应用

徐阳¹ 汪栩彤¹ 苏州¹ 徐子豪¹ 衡森¹ 刘天浩¹ 孙亮²

1. 苏州大学应用技术学院, 中国·江苏 苏州 215325

2. 南通大学杏林学院, 中国·江苏 南通 226007

摘要: 针对电力设备散热、线缆管理、应急响应等问题, 采用太阳能循环供电系统、多级线缆固定装置与导轨滑块快拆结构创新柜体, 集成 Siemens TIA Portal 平台、AI-PAC 数据采集系统与人工智能模型, 基于西门子 S7-200 SMART PLC 构建电力控制系统。研究表明, 该设备可将柜内核心区域温湿度稳定在可控范围, 降低运行电费 0.3-0.5 元/度, 18 组模拟测试中温湿度超限报警及设备联动响应成功率达 100%, 适配新型渔场智能控制需求, 推动渔业智能化发展。

关键词: 智能电力设备; PLC 控制; 节能减排; 渔业应用

Design and Application of a Multi-mode Intensive Smart Power Device

Xu Yang¹, Wang Xutong¹, Su Zhou¹, Xu Zihao¹, Heng Miao¹, Liu Tianhao¹, Sun Liang²

1. Applied Technology College of Soochow University, China Jiangsu Suzhou 215325

2. Xinglin College of Nantong University, China Jiangsu Nantong 226007

Abstract: To address issues such as heat dissipation of power equipment, cable management, and emergency response, an innovative cabinet is developed incorporating a solar energy cycle power supply system, a multi-level cable fixing device, and a guide rail slider quick-release structure. The system integrates the Siemens TIA Portal platform, AI-PAC data acquisition system, and artificial intelligence model, while constructing a power control system based on the Siemens S7-200 SMART PLC. Research results indicate that the equipment can stabilize the temperature and humidity in the core area of the cabinet within a controllable range, reduce the operating electricity cost by 0.3-0.5 yuan per kilowatt-hour, and achieve a 100% success rate of temperature and humidity over-limit alarm and equipment linkage response in 18 groups of simulation tests. It meets the intelligent control needs of new-type fishery farms and promotes the intelligent development of the fishery industry.

Keywords: Intelligent power equipment; PLC control; Energy conservation and emission reduction; Aquaculture application

0 引言

近年来, 我国渔业持续发展, 水产养殖业已成为农业农村经济的重要产业^[1]。传统渔业面临能源消耗高、环境压力大等挑战, 而人工智能技术的快速发展, 为渔业智能化转型提供了新机遇。

本项目研究采用太阳能光伏板构建电气柜循环供电系统缓解设备耗电高的缺陷、利用线缆固定装置与导轨滑块快拆结构整理线缆节省柜内空间, 利于散热的同时便利操作者维修、升级等工作, 同时降低触电风险, 将 Siemens TIA Portal 平台和 AI-PAC 数据采集系统以及人工智能数据模型结合不断更新渔场温度、湿度、溶氧量等传感数据, 电力控制系统检测到渔场温、湿度以及溶氧量变化时, 人工智能大模型及时做出数据决策, 即可警报并立即启动应急操作。项目开发了一种结合人工智能和节能、恒温恒湿

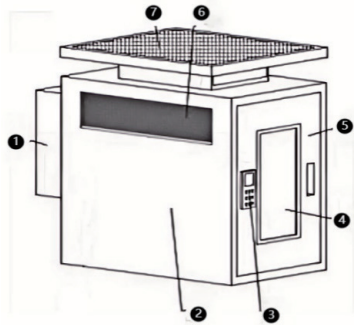
技术的新型渔场调节电力设备, 能够推动渔业甚至是农业向智能化、高效化、可持续化方向发展, 实现渔场环境的实时监测和智能调控从而实现节能减排, 提高管理效率和资源利用率。

1 硬件系统设计

电气柜从专业角度来讲就是电气成套设备, 由多个执行部分组成, 也是分配电能的重要设备, 故从用户的角度而言, 电气柜也被称为配电柜^[2]。需系统地解决高密度散热、大量线缆敷设和管理、大容量配电, 以及在高稳定性的环境下运行等问题^[3]。

本多模式集约化电力设备以西门子 S7-200 SMART CPU CR20 为控制核心, 采用模块化集成架构, 硬件划分为发电储能、环境适控、结构执行三大模块。发电储能模块由太阳能板与储能单元组成, 实现“太阳能优先、电网

互补”双模式供电,降低能耗与电网依赖;环境适控模块搭载温湿度及光照传感器,实时反馈数据并驱动风道滑动板与防尘滤网联动,智能调节风道以优化散热防尘效果;结构执行模块创新多级线缆固定机构(兼容不同直径线缆、减少交叉风险)与导轨滑块快拆结构(传动逻辑简洁,提升维护便捷性与安全性)。设备工作时,核心控制器实时采集数据与电力参数,依算法决策调控策略与电力切换模式,驱动各模块协同运作,确保在渔场高温、高腐蚀环境下高效稳定智能化运行(见图1)。



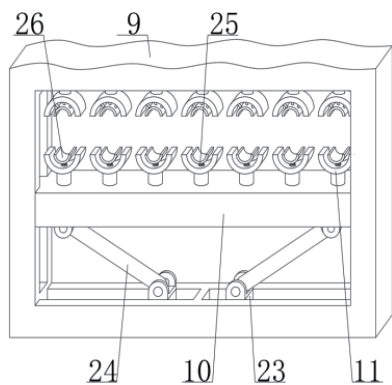
1:制冷箱 2:设备箱 3:控制面板 4:玻璃板 5:前侧柜板 6:防尘网 7:光伏板

图1 电气柜模型

1.1 机械结构设计

本设备的机械结构设计围绕渔场高温、高腐蚀的极端环境,以“集约化布局、便捷维护、高效防护”为核心,集合线缆管理、散热防尘、柜体防护三大关键模块。

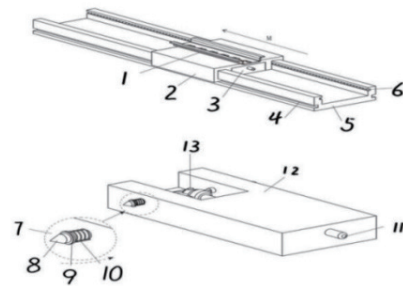
线缆多级固定机构由一级/二级线缆夹、弹簧、可旋转螺杆组成,夹内侧设弹性件与圆弧形橡胶板,多个线缆夹固定于安装块并通过电动伸缩杆紧固(见图2)。该机构可根据线缆直径灵活选择一级弹簧压力固定或二级螺杆位置固定,兼容多种规格线缆,有效减少布线交叉风险,同时简化电气元件拆装流程,降低故障发生率与维护难度。



9:结构外框 10:移动板 11:线缆夹支撑杆 23:安装块 24:铰接杆 25:一级线缆夹 26:二级线缆夹

图2 电气柜的线缆梳理箱的内部结构图

导轨滑块快拆结构采用“驱动杆—斜向槽—定位柱—锁止杆”传动逻辑,将直线按压动作转换为双锁止杆同步运动,实现快速解锁与复位,拆装效率较传统螺丝固定提升1倍,兼顾操作便捷性与安全性。



1:安装架 2:滑块 3:锁止组件 4:滑槽 5:滑轨 6:齿槽 7:安装块 8:锁止杆 9:限位盘 10:弹簧 11:驱动件 12:安装块 13:传动件

图3 导轨滑块快拆结构

柜体散热系统:为了优化散热条件,近年来研究人员从减小材料电阻、增加机柜散热面积、优化机柜发热元件布局等方面进行研究^[4]。柜体散热系统采用垂直风道布局,以底部为冷空气入口、顶部为热空气出口,借助自然对流促进空气循环,散热效率较水平风道高出20%~30%;同时加装防尘滤网与滑动板,可智能调节风道面积,兼顾散热与防尘效果,辅以热管提升热量传导效率。

柜体防护设计:柜体主体选用316L不锈钢材质。搭配双密封圈防护结构,防护等级能够达到IP65,有效抵御渔场高湿度、腐蚀性气体侵蚀;柜体表面采用环氧底漆+聚氨酯面漆双层涂覆,进一步提升抗渗透性与抗冲击性。

1.2 电气硬件设计

电气硬件采用的是“发电—控制—传感—执行”模块化架构,确保系统稳定运行与灵活扩展。

发电储能模块:柜体的上端固定连接有光伏发电模组,光伏发电模组的下侧箱体内部分别加装了蓄电池和光伏控制器,能够将太阳能转换为电能,从而催动内部电力运作,减少装置对电网的依赖,降低能耗,为装置持续供能,同时,在遇到蓄电池电力不足的情况下依然能够及时反应,调用电网对内部设备进行稳定电能供应^[5]。

控制核心单元:在PLC选型中,S7-200 SMART凭借其结构紧凑、功能强大、成本低、扩展性强等特点成为理想之选。控制核心单元选用西门子S7-200 SMART CPU SR20,具备结构紧凑、成本低、扩展性强的优势,可实现模拟量采集与控制,通过以太网和RS485接口与上位机、触摸屏连接,支持远程监控与集中管理;配套24VDC电

源模块,保障系统稳定供电。同时,要根据 PLC 主机以及连接到该电源模块的所有设备(如扩展模块、传感器、执行元件等)的总功耗来确定电源模块的输出功率^[6]。

传感检测模块:传感检测模块选用岐洛物联系列传感器(温湿度、光照、溶氧量),采用进口芯片与多重接口防护设计,抗浪涌和脉冲干扰,传输距离超 1200 米,可与 PLC 模拟量输入端口连接,实时采集环境参数与柜体内部状态数据,为控制决策提供依据。如图 4 所示。



图 4 岐洛物联温湿度光照度传感器

执行元件配置:柜体执行元件包括通风机、热风机、干燥机、水泵等,均通过继电器与 PLC 数字量输出端口连接,接收控制信号实现启停动作。

1.3 模块化设计

智恒保护柜采用模块化设计,将功能划分为散热系统、固线结构、开关结构等独立模块,各模块互不干扰,便于安装、维护与升级;同时优化内部元器件布局与散热系统,提升设备运行的热管理能力,避免局部过热导致的元器件老化。总体设计框图如图 5 所示。

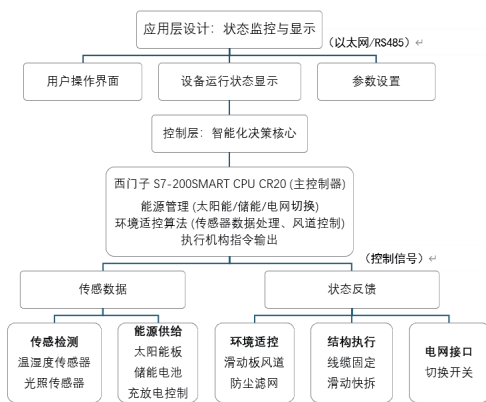


图 5 总体设计框图

2 软件系统设计

控制电路以西门子 S7-200 SMART CPU SR20 作为核心控制单元,负责接收外部输入信号,并根据预设的程序逻辑输出控制信号,实现对系统的精准控制。控制电路的电源包括 AC220V 和 24V。AC220V 电源主要为部分继电器等元件供电,而 24V 电源则为 PLC 以及一些低电压的

输入输出元件提供稳定的直流电源。

2.1 控制程序设计

电气设计是电器柜施工的基础。通常情况下,电气控制柜的设计部分主要包括控制程序的设计和制作这两部分。受控装置是否可用、是否具有较高的先进性和自动化水平,主要取决于程序设计的合理性,而这也正是保证电气系统正常、高效运转的关键所在。在设计时,设计人员需对电路的控制函数与逻辑有明确的理解,尽可能采用简单的电气控制方式,以实现 PLC 的有效控制。

2.1.1 数字量控制逻辑

系统设自动/手动两种运行模式,触发自动模式后,指示灯亮起,系统按预设程序自动调控设备;触发手动模式后,自动模式指示灯熄灭,操作人员可手动干预设备运行。当系统遭遇硬件故障、通信中断等异常时,默认切换至手动模式,保障基础设备操控,避免事故发生。

2.1.2 模拟量处理与控制

PLC 通过 Modbus RTU 协议周期性轮询模拟量传感器(采样周期 100ms),采集温度、湿度、光照、溶氧量数据,经滑动平均滤波算法消除随机干扰后,转换为实际物理量。采用 PID 闭环控制,设定目标温度 25℃、湿度 40%~60%,当温度高于 30℃时启动通风机降温,低于 16℃时启动热风机升温;湿度高于 60%时启动干燥机,低于 40%时启动加湿,实现温湿度精准调节。

2.1.3 报警逻辑

系统预设温湿度、溶氧量上下限报警阈值,实时对比监测数据与阈值;若参数超限,相应报警灯点亮,同时触摸屏显示报警信息,快速提醒操作人员处理,保障环境稳定与元件正常运行。

2.1.4 触摸屏(HMI)设计

触摸屏采用分区设计,包括参数显示区(实时温湿度、溶氧量、蓄电池电量,数字+进度条展示)、控制按钮区(自动/手动切换、设备手动启停)、报警提示区(红色闪烁显示异常参数及时间)、参数设置区(密码登录后可修改阈值),通过 RS485 接口与 PLC 实时通信,实现便捷操作与状态监控。

输入按钮 S1-S6 对应不同功能:S2 切换自动模式、S3 切换手动模式,S4-S6 分别手动控制通风机、水泵及热风机、干燥机;操作人员按下按钮后,电信号传输至 PLC 并经内部程序逻辑处理。输出部分包含指示灯 H1-H4 及设备控制信号:H1、H2 分别在自动、手动模式下点亮,H3、H4 对应温度、湿度超限报警提示,提醒操作人员及

时处理（见图6）。



图6 触摸屏操作页面

3 仿真与实验设计

搭建与优化智电恒护 PLC 控制系统时，选用专为西门子 SMART LINE 触摸屏定制的 WINCC flexible SMART V4 仿真软件，其与 S7-200 SMART PLC 高度适配，支持可视化 HMI 界面设计，可实时显示温湿度等参数、设置控制按钮与指示灯，且模板丰富、操作简便，能快速完成界面设计与仿真搭建，缩短开发周期。试验阶段以模拟渔场真实工况为测试环境，重点设计设备操作页面与数据采集反馈功能，通过触摸屏可操控 PLC，实时调控并监视环境参数，实现系统自动化乃至无人化控制。

3.1 HMI 界面仿真与联机测试

采用 WINCC flexible SMART V4 软件进行 HMI 界面仿真，验证界面布局、按钮逻辑、参数显示及报警功能的有效性；将控制程序下载至 S7-200 SMART PLC，连接传感器、执行元件与触摸屏搭建物理调试环境，测试数据采集准确性、模拟量转换精度、PID 响应速度、设备联动逻辑及报警触发效果，确保系统在真实工况下稳定运行。仿真显示，系统可实时监控温湿度（如 25℃、46%），自动启停干燥机等设备，模式切换正常。



图7 仿真操作页面

3.2 实验设计

实验将 S7-200 SMART PLC 控制端与温湿度传感器、蓄电池电量供给系统联动，测试光电能转化量、柜内发热元件升温、内部湿度变化及温湿度超限后的报警与风扇响

应情况。在不同时间段、不同天气环境下进行运行测试，单日内每小时采集 1 次数据。

3.3 实验结果与分析

配电柜内部通常配有大量的元器件，工作时会产生大量热量，需合理设计风道，避免热量积聚引起温度超限的问题。温度一旦超限，轻则影响元件的工作效果，重则引起负荷端的电压产生波动，产生大量经济损失。因而必须把控柜内的温度，保证设备稳定运行。对户外电气柜而言，通常规定周围空气温度的上限不超过 +40℃。电气开关柜内设备允许的最高温升为 60K（开尔文，与摄氏度温差相等）。相对湿度控制目标为在 24 小时内测得的平均相对湿度不超过 95%，严格的控制目标为将柜内相对湿度长期维持在 75% 以下，重要设备控制在 50%RH 左右。系统通过传感器采集实时数据并与设定值比对，温湿度偏离时由控制器按算法驱动执行机构启停，将环境调控至适宜范围。18 组实验数据显示，系统在光伏发电效率、柜内温湿度控制及异常响应处理上表现优异：晴好天气（风速 0.2~4.5m/s）下光伏组件能量转化效率超 18%，阴天亦能稳定发电，显著降低电网依赖；单台设备年均减排二氧化碳 400~500kg，运行电费降低 0.3~0.5 元 / 度。借助 PID 控制算法与西门子 PLC 的精准控制，柜内温度稳定在 20~30℃、湿度 40%~60%，契合电子设备理想运行环境，且能有效抵御外界环境波动，保障核心设备长期稳定运行。

4 结语

综上所述，本文设计的多模式集约化智能电力设备，以西门子 S7-200 SMART PLC 为核心，集成太阳能 - 电网双供电、多级线缆固定、导轨滑块快拆、AI 辅助决策等创新设计，实现了柜内温湿度精准稳定、线缆集约化管理、应急响应 100% 成功的效果，兼具节能减排（降低电费 0.3~0.5 元 / 度）与维护便捷性，适配渔场高湿、高腐蚀的复杂环境，可打通渔场环境监测与智能调控链路，提升管理效率与资源利用率，为渔业智能化发展提供技术支撑。

参考文献：

[1] 金检生, 顾永强, 吴荣峰. 未来渔场标准化建设实践与思考[J]. 现代农业科技, 2024,(15):158-160+165.
 [2] 付万良. 论电气柜工艺设计的基本要求[J]. 化工管理, 2020,(17):189-190.
 [3] 刘豆, 兰日辉, 张世超等. 户外用电气柜的结构介绍及优化设计研究[J]. 家电维修, 2024,(07):83-85.
 [4] 马文婧, 陈泽雄, 姜明凯等. 农用电气柜温度仿真研究[J]. 机械设计与制造工程, 2022,51(04):131-134.

[5] 朱建杰, 王胜, 李嵩等. 配电柜电池区域的温湿度控制与凝露防护[J]. 电池, 2025,55(02):431-432.

[6] 闻辉辉, 刘国勋, 吴杰. 配电柜自动控制中 PLC 技术的应用[C]// 中国机电装备维修与改造技术协会. 机电装备技术论文交流及技术人才培育与发展研讨会论文集. 伊发控股集团有限公司; 温州意华接插件股份有限公司;

华夏恒业智能电气有限公司, 2025:527-533.DOI:10.26914/c.cnkihy.2025.017444.

基金项目: 2025 年度苏州大学应用技术学院大学生创新训练项目,《护佑渔生——新一代渔场电气设备保护柜》(S202513984013)。