

# PLC控制的太阳能灯塔供电系统设计与优化

周孟瑜 苏英钦

浙江康阳机械有限公司 浙江衢州 324000

**摘要:** 太阳能灯塔将无穷尽的辐射能转换为可调度的电能,并通过储能缓冲使其在离线状态下持续产生高强度的光束,已成为赛事、矿山和灾难应急等必备光源。可编程控制器实时对比光伏端电压、电量和负载电流,实现日照高峰时快速拉低阵列运行点,在阴雨天提前压缩放电深度,保证能量链始终处于安全曲线之上,为灯塔注入“自思考”能力。同时引入数字孪生技术,构建灯塔供电系统虚拟映射模型,实现物理实体与虚拟模型的实时数据交互,为系统设计优化、运维管控提供全生命周期支撑。

**关键词:** PLC控制;太阳能;灯塔供电;系统设计优化

## 引言

可编程控制器并不是单纯地代替继电器,它将“发电-储存-用电”三个阶段的过程抽象成一个连续状态,并采用PID和模糊规则迭加的方式,实现电力路径的灵活调度。在最大功率点锁定之后,剩余的能量按照温度梯度分布到蓄电池和逆变支路上;当灯在夜间启动时,控制器会通过软启动来抑制浪涌,然后根据束流的角度逐步提高占空比,防止蓄电池电压崩溃。当云层突然出现时,系统可以毫秒级切换到限流模式,而无需断开负载,使光照衰减曲线变平,保证现场工作节奏的零感知。可见,未来灯塔将不再是一道单独的光柱,而是一种可联网、可集群的能量节点,它的每一次迭代,都将成为“零碳光储”的最直观体现。

## 一、太阳能灯塔供电系统核心构成与工作原理

### (一) 系统整体架构

利用PLC对太阳能灯塔供电进行控制,采用“能量收集-蓄能-控制-输出-保障”的五层结构设计。能量收集层选用高效率的435W单晶硅太阳能电池板,光电转化效率 $\geq 23.5\%$ ,表面涂有防反射涂层和3.2mm超白钢化玻璃,具有良好的耐候性和耐冲击性,能适应复杂的室外环境。配有水平角 $\pm 180^\circ$ 和 $0\sim 90^\circ$ 的双轴旋转机构,可实现全天时跟踪。

储能层采用8个12V胶体蓄电池,具有深度放电(深度 $\geq 80\%$ )和长循环( $\geq 1500$ 次)的特点,蓄电池组内置隔热层和温控装置,可在 $-20^\circ\text{C}\sim -60^\circ\text{C}$ 环境下保持稳定的储能特性<sup>[1]</sup>。控制核心部分采用西门子S7-

200SMART PLC作为主控制单元,配以汇能精电的IT系列太阳能控制器,并将光强、风速、电压、电流等传感器进行集成,实现对环境参数和系统运行参数的实时采集,并进行逻辑运算和指令执行。

负载输出层包括一个照明负载(4-6个150W的LED高亮度灯具)和一个辅助负载接口,它可以用正弦波逆变器把直流电转换成220V/50Hz的交流电,支持1000W以下的充电器,吹风机等。在辅助保障层增加65A的智能工频充电装置,以应对多雨天气下的电力互补充电,并配有故障诊断和报警模块,保证系统的连续、可靠运行。

### (二) 核心工作原理

系统的工作流程分为白天蓄能、夜间照明和特殊工况保障三个阶段,通过PLC实现整个闭环控制。在白天,PLC与预先存储的阳光轨迹数据和强度传感器相结合,驱动步进电机驱动太阳能电池板旋转,利用“程序粗定位”获得太阳方位角和高度角,实现快速追光。然后利用四象限强度传感器检测出不同强度的光强差,实现 $\pm 0.5^\circ$ 的微调,保证太阳直接照射在平板上,使光电转换效率最大化。汇能精电控制器将从太阳能电池板输出的直流电压稳定在28.8V,并由PLC实时监控电池的电压和电流,防止过充和过放电。

在夜晚或者光照强度低于20000lux的情况下,PLC切换到放电模式:蓄电池经控制器对发光二极管负载提供电力,并根据周围环境的亮度自动调整灯的功率(50-100%);逆变电源同步起动,保证用电稳定,输出电压精度 $\pm 2\%$ ,谐波失真 $\leq 3\%$ <sup>[2]</sup>。当电池电量低于额定容量的25%时,PLC会触发低电量警告,用电优先断开,照明

功率降低到50%，延长核心供电时间。

在下雨的时候，PLC会根据光照传感器和天气预报的数据，预先判断出电源的缺口，它会自动激活辅助充电器，将其接入市电。采用恒流-恒压-浮充三段方式进行充电，在蓄电池电量 $\geq 80\%$ 的情况下，停止供电，实现对能量的利用和成本的控制。当风速大于10m/s时，PLC启动抗风保护逻辑，使太阳能电池板恢复到水平状态，从而避免设备的损坏。

## 二、PLC控制模块设计与优化

### (一) PLC硬件选型与接口配置

光强传感器（精度 $\pm 1\%$ ），风速传感器（量程0-30米/秒），经模拟量接口与PLC相连，信号传递误差不超过0.5%；汇能精电控制器采用RS485接口和PLC进行双向通信，实现充电和放电参数的交互和控制命令的传送，通信速率为9600bps，误码率 $\leq 10$ 。步进电动机驱动装置接收PLC的指令脉冲输出接口，控制太阳能电池板的旋转精度达到0.1度<sup>[3]</sup>。该触摸屏通过以太网接口与可编程控制器相连，可实时显示系统的工作参数，如太阳能板的电量，电池的电量，负荷状态等，并支持参数设定和故障查询。

### (二) 双模式追光控制算法优化

针对传统的单模式追光法精度不高或者抗干扰能力差的缺点，提出“程序粗定位+传感器精修正”的双模追光法。PLC预先存储不同纬度和季节的太阳运动轨迹数据库，根据当地的经纬度和实时时间，利用查找表快速求出太阳方位角和高度角，驱动步进电机实现太阳能电池板的粗定位，避免繁琐的三角函数计算，响应时间 $\leq 0.3$ 秒。

### (三) 智能充放电控制策略

可编程控制器和汇能精电控制器协同工作，实现三级充电和动态放电的控制。充电阶段：在电池电压 $\leq 22V$ 的情况下，进行恒流充电；当电压达到26.8V时，改为恒压充电方式，以保持电压稳定，防止电池失水。当电压达到28.8V，充电电流 $\leq 2A$ 的情况下，切换到悬浮充电模式（电压为27.2V），对电池的自放电进行补偿，从而延长电池的使用寿命。采用PLC对电池温度进行实时监控，在温度 $\geq 45^\circ C$ 时，自动将充电电流降至10A，有效防止电池热失控。

## 三、系统关键模块设计与参数优化

### (一) 能源采集与储能模块优化

采用高强度铝合金支架安装太阳能板，基础采用C30混凝土独立支座（尺寸800mm $\times$ 800mm $\times$ 600mm），

地脚螺栓M20，抗风等级 $\geq 14$ ，抗震烈度 $\leq 8$ 度。通过Solidworks对支架进行拓扑优化设计：以6061铝合金为材料，在满足抗风等级 $\geq 14$ 级、抗震烈度 $\leq 8$ 度的前提下，减少支架非承重区域材料用量，使整体重量降低15%，同时保留关键部位的加强筋结构（厚度8mm）；借助SolidworksSimulation模块开展模态分析，确定支架固有频率为28Hz，避开风速引起的共振频率区间，防止长期共振导致结构疲劳损坏。在此基础上，选用新型的435W太阳能电池板最大功率跟踪方法（MPPT），通过引入导纳增量法，实现对最大功率点的跟踪，且不受光照、温度等因素的影响，稳定状态误差 $\leq 0.5\%$ ，比传统的扰动观测方法提高12%-15%。

储能电池采用免维护胶态电池，内置AGM隔离层，高纯硫酸电解质，具有极佳的低温启动和耐硫化性能。通过Solidworks对电瓶箱进行结构设计，优化内部通风通道布局：设计3条宽50mm的纵向风道，配合顶部2台直径80mm的轴流风机安装位，确保空气流速 $\geq 1.2m/s$ ，快速带走电池运行产生的热量；同时建模时预留传感器安装槽，方便温度、电压传感器精准固定，为数字孪生模型提供实时数据输入，采用基于充放电循环次数和容量衰减速率的健康度评估模型，在SOH $\leq 70\%$ 时触发维修预警。电瓶箱配有通风冷却系统，当温度 $\geq 40^\circ C$ 时，自动开启风机，保证储存的稳定性。

### (二) 负载输出模块适配设计

光源选择150WLED光源，光效 $\geq 170lm/W$ ，显色指数 $\geq 88$ ，采用具有IP67保护设计的鳍片式散热结构，寿命 $\geq 5$ 万小时。PLC采用PWM方式对灯具的亮度进行调整，支持0-100%的无级调光，满足不同场合的照明需要。煤矿井下作业采用4个照明分区控制，严格保障重点部位照度不低于1500lx、非重点部位照度不低于500lx，在满足井下高强度照明需求的同时，通过分区调光实现节能降耗的目标。

辅助负载接口采用正弦波型逆变器，额定功率1500W，转换效率 $\geq 92\%$ 。接口采用防水防尘插座（保护等级为IP65），并配有漏电保护装置。支持充电器，吹风机，小工具等设备的电源供应，能满足野外的临时需要，PLC对辅助负荷电流进行实时监控，当电流大于4.5A时，可自动限流，防止逆变器过载<sup>[6]</sup>。

### (三) 辅助保障与故障诊断模块

辅助充电模块选择的是一款65A的智能型工频充电器，它的输入电压为220V $\pm 10\%$ ，输出电压为24V-

28.8V。它可以和PLC连接,实现自动启停功能。PLC利用光照传感器和24小时的天气预报数据,预测雨天电力缺口,提前启动辅助充电,当电池电量 $\geq 80\%$ ,或天气晴朗时,系统自动断电,转换为太阳能,达到最大限度的利用能量。

采用可编程控制器和传感器网络相结合的方法,实现太阳能板开路/短路,电池过充/过放电,逆变器过载,电机卡阻等15种常见故障增加。当出现故障时,PLC会立即切断故障模块的电源,并将其切换到待机状态(如单光灯、蓄电池优先),并在触摸屏上显示故障码和处理意见;支持RS485远程通信接口,可以向监控平台推送故障信息,方便远程维护,并缩短故障诊断时间。

#### 四、系统安装调试与性能测试

##### (一) 安装与调试要点

安装于灯塔底部的PLC控制柜,按照“下强电、上弱电”原则,规划断路器、接触器等强电元件区域和PLC、模拟量模块等弱电元件区域,元件间距预留 $\geq 30\text{mm}$ ,确保散热和维修操作空间;同时设计可拆卸式背板(厚度3mm冷轧钢板),并在Solidworks中标注所有元器件的安装孔位坐标,现场安装时直接对照坐标钻孔,大幅提升安装效率。调试分为模块调试和系统联调两部分:模块调试阶段,分别对太阳能电池板的光电转换效率、PLC控制精度(指令执行延时 $\leq 0.2$ 秒)和逆变器输出稳定。

##### (二) 性能测试结果

在晴天(光强 $\geq 80000\text{lux}$ )、多云(光强不超过 $20000\text{lux}$ )、强风( $12\text{m/s}$ )和低温( $-15^\circ\text{C}$ )三个方面进行测试。追光测试结果表明,双模追光算法使得太阳能电池板的日发电量达到3.8度,比传统的固定安装方式提高32%。

在电源稳定性试验中,系统在晴天连续工作120小时,蓄电池充电效率 $\geq 96\%$ ,照明负荷电压波动在 $\pm 0.3\text{V}$ 以内;雨天开启辅助充电,电池最低电量保持在21%左右,无断电现象;在负载切换过程中,电压脉动小于3%,稳定性达到99.8%。环境适应试验表明,该系统可在 $-15^\circ\text{C}$ 下正常启动, $60^\circ\text{C}$ 高温时容量衰减 $\leq 5\%$ ,风速 $12\text{m/s}$ 时结构不发生变形,能充分满足室外恶劣环境的使用需求。

#### 五、系统应用推广价值

在技术层面上,将可编程控制器与太阳能供能技术

进行深度融合,通过优化算法和充放电策略,提高太阳能利用效率和供电稳定性,为太阳能灯塔智能化升级提供可借鉴的技术范例。在应用层面上,考虑不同场景和区域的不同需求,实现“一个系统多场景”的适配,减少设备的重复投入。

未来应从三个方面开展研究:(1)引入物联网技术,利用4G/5G模块实现远程监测和参数调节,建立“云-边-端”三级管控系统,提高运维效率。(2)对储能模块进行优化,利用锂电池和超级电容的混合储能技术,进一步缩短充电时间,延长续航时间。(3)拓展负载种类,研制高电压直流输出接口,为小水泵、通讯设备等大功率负载提供电源,拓宽其应用范围。

#### 结束语

综上所述,PLC对太阳能灯塔的渗透,将原来粗放式的电能传输提升到精细的电能交流,不仅可以延长电化学循环寿命,还使光输出不再受天气影响。未来的优化,将不限于单塔的效率,而是将成千上万的灯塔,以窄带物联的方式,共享发电曲线,将多余的电量集中到虚拟电站上,缓解城市的峰谷压力,缓解偏远地区的电网压力。每一次光储合作的闪光,都是将清洁能源这一宏大的叙事投射到寻常百姓的日常生活中。

#### 参考文献

- [1] 鹿泽宏. 工业自动化技术在太阳能路灯智能控制系统中的应用研究[J]. 光源与照明, 2025, (05): 48-50.
- [2] 白玉田. 基于PLC技术控制的太阳能电池板智能生产线产品故障检测研究[J]. 自动化与仪器仪表, 2025, (03): 71-75+80.
- [3] 赵晨阳, 刘汉涛, 李世民, 丁伟. 基于PLC的太阳能干燥系统及其远程监控系统设计[J]. 自动化与仪器仪表, 2025, (03): 187-191.
- [4] 单超杰. 基于PLC技术的温室控制系统设计及试验[J]. 农机使用与维修, 2024, (11): 24-28.
- [5] 孙丽萍. 基于PLC的太阳能光伏板清洗装置设计[J]. 电子制作, 2024, 32(19): 82-84+112.
- [6] 黄琰, 毛中华, 余稳, 张锦涛, 王建臣. 智能随动太阳能灯塔设计[J]. 科学技术创新, 2024, (06): 225-228.