

# 光伏组件智能生产线电气系统标准化研究

陈培杰 金君斌 周湖滨

浙江晶盛机电股份有限公司, 浙江省绍兴市, 312300;

**摘要:** 光伏组件智能生产线电气系统标准化意义重大。它可提高生产效率与稳定性, 减少兼容性问题, 缩短调试换行周期; 能降低全生命周期成本, 涵盖采购、库存及运维成本; 还可保证产品质量一致性。标准化策略包括构建分层级标准体系, 分阶段推进实施, 建立动态优化机制。

**关键词:** 光伏组件; 智能生产线; 电气系统; 标准化

**DOI:** 10. 64216/3080-1508. 25. 07. 030

## 引言

在光伏产业蓬勃发展的当下, 光伏组件智能生产线的高效稳定运行至关重要, 而电气系统标准化是关键支撑。电气系统标准化不仅关乎生产线的日常运转效率, 更影响着企业长期的市场竞争力。它能在多个层面为光伏组件生产带来积极影响, 从生产效率的提升到成本的降低, 再到产品质量的保障。研究光伏组件智能生产线电气系统标准化, 对推动光伏产业高质量发展意义深远。

## 1 光伏组件智能生产线电气系统标准化的意义

### 1.1 提高生产效率与稳定性

光伏组件智能生产线的电气系统标准化具有极为深远的意义, 其关乎着整个生产线能否安全、高效且稳定地运行, 更是影响企业长期竞争力的关键因素。首先, 标准化能够切实减少兼容性问题, 鉴于光伏组件生产线涵盖焊接机、承压机等数十种设备, 若电气系统缺乏标准化, 便极易出现设备间通讯协议不匹配、信号传输延迟等状况, 进而导致生产线停机, 而通过标准化, 可确保设备接口、数据格式、控制逻辑统一, 从而大幅度降低设备孤岛现象, 全面提升生产线连续运行能力。其次, 标准化有助于缩短调试与换行周期, 当生产线的电气系统实现标准化后, 在切换产品型号时, 只需调用预定义的参数模板, 无需重新编写控制逻辑, 如此便能显著缩短唤醒时间, 全面提升柔性生产能力。

### 1.2 降低全生命周期成本

通过光伏组件智能生产线电气系统标准化, 可有效降低采购与库存成本, 由于标准化明确了电气部件的选型范围, 进而能够实现批量采购, 获取供应商折扣, 同时, 备件库存也可进行集中管理, 减少冗余库存, 降低资金占用。其次, 还能减少运维成本, 标准化的电气系

统使运维人员无需熟悉多品牌、多型号的设备特性, 只需掌握统一的操作规范与故障处理流程, 便可全面提升运维效率。此外, 标准化的故障诊断接口可快速定位问题, 减少停机维修时间, 降低生产损失。

### 1.3 保证产品质量一致性

光伏组件的质量对其发电效率以及使用寿命起着至关重要的作用, 而电气系统的稳定性会直接影响整个设备的运行精度。首先, 标准化的电气参数, 诸如焊接温度的控制精度、承压机压力的反馈调节逻辑等, 能够保证同一生产线或不同工厂的设备运行参数一致, 进而避免因设备差异导致产品质量出现波动。其次, 统一的检测电气标准可确保质量检测结果更具客观性, 有效减少人为或设备差异导致的误判问题。

## 2 光伏组件智能生产线电气系统标准化策略

### 2.1 构建分层级标准体系

#### 2.1.1 分层级标准体系框架搭建

构建分层级标准体系需以光伏组件智能生产线电气系统的功能结构以及运行逻辑为基础, 开展系统功能模块的深度解析工作, 结合电气系统在生产流程中的核心作用, 将整个系统划分为电源供给层、信号控制层与设备驱动层三个主要层级。针对电源供给层, 作为整个系统的能量输出源头, 企业需明确其标准制定围绕电压稳定性、电流容量适配性以及电源转化效率等关键参数展开, 确保为后续层级提供可靠稳定的电力支持, 其边界设定应聚焦于电源输入输出的规格限制以及与其他层级的电气接口规范。针对信号控制层, 因其承担着信息传递与处理的重任, 标准制定时应涵盖信号传输协议、数据格式统一性以及控制指令的精准性等方面, 通过明确信号的编码规则、传输速率以及错误检测机制, 界定

该层级与上下层级的信息交互边界,防止信号干扰或丢失导致系统失控。针对设备驱动层,由于其直接作用于整个生产设备,其标准需聚焦于驱动信号的响应时间、动作精度以及设备运行的稳定性,明确驱动器与设备之间的映射关系<sup>[1]</sup>。

### 2.1.2 各层级标准内容的细化定制

在完成层级划分之后,需对各层级之间的标准内容进行细化定制。针对电源供给层,其标准细化应涵盖电源模块的选型规范,包括输入电压范围、输出功率、效率等级等具体指标,同时制定电源线路的布线标准,明确线径选择、线路走向以及绝缘要求,确保电源传输的安全性与稳定性。针对信号控制层,标准需详细规定通信接口的物理特性,例如接口类型、引脚定义、电气特性,同时制定通信协议的软件标准,包括数据帧结构、通信流程、错误处理方式等,确保不同设备间的信号能够准确高效的传输。针对设备驱动层,其标准应涵盖驱动器的性能参数,例如响应时间、控制精度、扩展能力等,同时制定设备与驱动器之间的接口标准,明确信号传输的电气特性与机械连接方式。最后,在各层级标准制定的基础上,企业还需设计跨层级的协同规则,明确不同层级在线路运行中的交互顺序以及优先级,通过这种协同规则的设计,确保系统各层级能够有序高效的运行。

### 2.1.3 标准体系的实施推进

标准体系的实施需建立一套系统化的推进机制,企业应当成立由电气工程师、标准化专家以及生产管理人员组成的专项实施小组,负责标准的宣贯、培训与监督执行,通过组织专题培训课程,向相关人员详细讲解各层级标准的内容与要求,确保其能够准确理解并严格执行。同时,在实施过程中,企业也需建立标准执行情况的监督与反馈机制,通过安装传感器、采集系统运行数据等方式,实时监测各层级标准的执行情况,及时发现标准执行过程中的偏差或问题。最后,为保证整个体系能够适应技术与生产需求的变化,企业还需建立动态优化机制,定期对标准体系进行评审与更新,结合行业最新技术动态、生产过程中的实际反馈等相关数据,对各层级标准进行修订与完善,进而全面提升电气系统的标准化水平。

## 2.2 分阶段推进实施

### 2.2.1 前期规划与准备

分阶段推进光伏组件智能生产线电气系统标准化,需提前构建严谨的前期规划体系,成立由电气工程专家、标准化研究人员以及生产线管理人员组成的核心团队,系统梳理现有电气系统的技术架构、设备配置与运行流程,识别出关键技术节点与潜在的标准化瓶颈。首先,企业需开展全面的技术调研,分析国内外光伏行业电气化系统标准化的发展趋势,结合企业自身技术积累与生产需求,明确标准化的总体目标与分阶段里程碑。其次,企业还需制定标准化的技术框架,将电气系统划分为电源管理系统、信号控制、设备驱动、安全防护等核心模块,并对每个模块制定初步的技术规范草案,明确模块间的接口标准与数据交互规则。最后,企业需评估标准化实施所需要的资源投入,制定详细的资源配置方案,确保后续阶段能够得到持续的支持。

如某企业组建了由电气工程专家、标准化研究人员及生产线管理人员构成的核心团队,梳理现有电气系统技术架构(含硅片切割设备伺服驱动系统等)、设备配置与流程,识别出激光掺杂设备模块衔接处等关键节点及传感器数据格式不统一等瓶颈。开展技术调研,分析国际电工委员会最新标准等行业趋势,结合高效N型电池生产线扩建需求,明确全生产线数据交互效率提升的目标及首阶段完成电源管理系统标准化的里程碑。制定技术框架,划分核心模块并拟定规范草案(如急停回路响应时间),明确RS485接口通信等接口标准及数据传输规则,评估资源投入(含功率分析仪购置费用等)并制定配置方案。

### 2.2.2 分模块实施与标准验证阶段

当前期规划完成之后,企业则进入到分模块实施与标准验证阶段,在该阶段需按照技术框架的模块划分,采取逐层突破、逐步集成的策略。首先,针对电源管理模块,企业需制定详细的电压稳定性标准、电源转化效率标准,通过理论计算与仿真分析验证标准的可行性,同时开发配套的监测工具,实时采集电源参数,以评估标准执行效果。其次,针对信号控制模块,企业需统一通信协议与数据格式标准,设计标准化的信号传输测试平台,通过模拟不同工况下的信号传输场景,验证标准的抗干扰能力与数据完整性。再次,企业需针对设备驱动模块明确驱动信号的响应时间、动作精度以及故障反馈机制,通过硬件在环测试验证驱动器与执行机构的兼容性,确保设备能够按照标准要求精准运行<sup>[2]</sup>。

### 2.2.3 系统集成与持续优化阶段

当完成分模块标准验证之后,企业则进入到系统集成与持续优化阶段,在该阶段,企业需保证各模块标准能够无缝协同并建立动态优化机制,以此保证技术迭代符合当前生产需求的变化。首先,针对系统集成,企业需遵循先局部后整体的原则,首先在实验环境中搭建缩小版生产线,模拟实际生产流程,验证模块间接口标准与数据交互规则的兼容性。其次,企业需在试点生产线上进行全流程验证,收集实际运行数据,评估标准化对生产效率、设备稳定性以及产品质量的影响,针对发现的问题调整标准参数或优化实施流程。最后,企业需在全场范围内推广标准化体系,建立标准化管理平台,实现标准文档的在线更新、实施进度的实时监测以及问题反馈的闭环处理,进而形成实施、验证、优化、再实施的良性循环,持续提高光伏组件智能生产线电气系统的标准化水平。

## 2.3 建立动态优化机制

### 2.3.1 构建闭环体系

要想建立动态优化机制,则需结合光伏智能组件生产线电气系统的全生命周期管理,搭建一个包含监测、分析、决策、执行的闭环体系。首先,针对监测层,企业需部署覆盖电源、信号传输、设备状态等关键参数的实时采集网络,通过高精度传感器与边缘计算节点实现原始数据的本地预处理,进而保证数据采集的完整性与有效性。针对分析层,企业需建立多维度数据融合模型,整合设备运行日志、工艺参数等相关数据,运用机器学习算法挖掘数据中的潜在关联规律,识别标准化体系中的薄弱环节。针对决策层,企业需制定基于风险矩阵的优化优先级评估标准,将技术可行性、成本效益作为核心决策因子,进而形成动态优化任务清单。针对执行层,企业需建立标准化变更管理流程,明确从方案验证到全县推广的各个环节与节点,进而保证优化活动围绕系统稳定性、兼容性、可维护性展开<sup>[3]</sup>。

如企业结合光伏组件生产线电气系统全生命周期管理,搭建监测、分析、决策、执行的闭环体系。监测层部署覆盖电源、信号传输、设备状态的采集网络,通过硅片切割机的电压传感器、串焊机的信号探测器与边缘计算节点预处理数据,保障完整性。分析层建立多维度模型,整合扩散炉运行日志、PECVD 工艺参数,用算法挖掘关联,识别标准薄弱点。

### 2.3.2 建立 3 级需求识别机制

精准识别标准化体系的改进需求是动态优化的核心内容,在此过程中,企业需建立 3 级需求识别机制。首先,针对 1 级需求,通过设备故障率、停机时间等显性指标触发,当某类故障频次超过预设阈值时,系统自动启动专项优化流程。针对 2 级需求,须基于数据趋势分析,当关键参数呈现持续劣化趋势时,提前启动防御性优化。针对 3 级需求,则源于技术迭代驱动,通过跟踪 IEC62443 等国际标准更新动态,评估新技术引入对现有体系的兼容性影响。

如该公司建立 3 级需求识别机制:1 级需求由设备故障率等显性指标触发,如层压机故障频次超阈值,系统自动启动优化;2 级需求基于数据趋势,如刻蚀机参数持续劣化,提前防御性优化;3 级需求源于技术迭代,跟踪 IEC62443 标准更新,评估影响。需求确认后,用模块化设计生成方案,针对不同问题筛出最优替代方案,且均经仿真平台验证,避免新风险。

## 3 总结

光伏组件智能生产线电气系统标准化研究取得了诸多成果。通过构建分层级标准体系、分阶段推进实施以及建立动态优化机制,有效提升了生产效率、降低成本并保证产品质量。然而,光伏技术不断进步,标准化工作不能停滞。未来,需持续完善标准体系,紧跟技术发展,加强跨企业、跨行业合作,让标准化更好地服务于光伏产业,推动行业迈向更高水平。

## 参考文献

- [1] 姚静. 电动汽车生产线上电气控制系统集成优化实践[J]. 内燃机与配件, 2025, (13): 77-79.
- [2] 王奉吉. 基于物联网技术的工程机械电气系统安全监测研究[J]. 电气技术与经济, 2025, (01): 87-89+94.
- [3] 高恩杰. 输配电及用电工程标准化与跨越式发展研究[C]//广西网络安全和信息化联合会. 2025 年第二届工程领域数字化转型与新质生产力发展研究学术交流会论文集. 浙江容大电力工程有限公司承装分公司; 2025: 240-242.

作者简介: 陈培杰, 1996.09, 男, 汉族, 浙江省绍兴市上虞区, 本科, 职称无, 研究方向: 光伏组件智能生产线电气系统标准化研究, 单位: 浙江省晶盛机电有限公司。