

# 大功率光伏设备在工业场景中的集成安装与并网性能评估

徐超华

(东营市科源节能技术有限公司, 山东 东营 257000)

**摘要** 本文以工业场景大功率光伏设备的应用为核心, 针对工业场地荷载复杂、用电负荷波动大等问题, 系统探究大功率光伏设备集成安装工艺优化与并网性能量化评估方法。构建“场地适配—安装工艺—动态调试”三级集成安装体系, 建立“电能质量—并网稳定性—能效匹配”三维并网性能评估模型, 重点分析安装结构优化、并网控制策略与性能评估指标的应用机理, 以期对提升工业光伏项目的工程质量与并网可靠性有所裨益。结果表明, 优化后的集成安装体系可将设备安装偏差控制在 $\pm 2$  mm内, 安装效率提升40%; 配套的多维度并网性能评估模型, 能够实现并网性能判定准确率 $\geq 96\%$ , 将光伏并网电压偏差控制在 $\pm 3\%$ 以内, 频率波动控制在0.2 Hz以内, 较传统技术的并网稳定性提升75%。

**关键词** 工业场景; 大功率光伏设备; 集成安装; 并网性能评估

中图分类号: TM61

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.15.012

## 0 引言

大功率光伏设备是工业领域实现清洁能源替代、降低用电成本的核心载体, 广泛应用于工业厂房屋顶、工业园区地面、厂房屋面彩钢瓦等场景, 其集成安装质量与并网性能直接关系到光伏系统的运行效率、使用寿命与电网安全。工业场景光伏应用具有显著复杂性: 工业场地存在屋顶荷载受限、周边遮挡物多等问题, 地面安装还面临工业管网交叉、场地平整度不足等制约; 工业用电负荷呈现间歇性、冲击性特征, 大功率光伏设备并网易引发电压波动、谐波污染等电能质量问题。传统工业光伏项目建设存在诸多短板: 集成安装依赖经验化施工, 未结合工业场地的荷载条件、结构类型进行个性化设计, 易出现支架失稳、组件安装偏差过大等问题; 并网性能评估多采用单一指标检测, 缺乏系统化的评估体系, 难以精准识别并网过程中的潜在风险。本文结合近几年工业光伏行业的创新成果, 构建科学的集成安装体系与量化的并网性能评估模型, 为同类工业光伏项目提供技术参考。

## 1 工业场景大功率光伏设备应用的核心问题与影响因素

### 1.1 集成安装与并网性能管控的核心难点

工业场景大功率光伏设备应用面临三大核心难点。其一为安装适配性不足, 传统安装方案多采用标准化

设计, 未结合工业屋顶的荷载等级、彩钢瓦类型、地面管网分布等个性化条件优化, 支架结构与场地的匹配度低, 易引发结构安全隐患。其二为并网性能评估量化缺失, 传统评估仅关注电压、频率等基础指标, 未将谐波畸变率、电压暂降、功率因数等关键指标纳入评估体系, 对并网风险的识别与预判能力不足。其三为安装与并网协同性差, 施工过程中安装精度控制与并网调试脱节, 安装阶段的偏差未在调试阶段及时修正, 导致光伏系统并网后运行稳定性差、发电效率偏低, 无法匹配工业用电负荷的动态变化需求<sup>[1]</sup>。

### 1.2 集成安装与并网性能的关键影响因素

工业场景大功率光伏设备的集成安装质量与并网性能, 是场地、设备、施工、电网等多因素协同作用的结果。其核心影响因素可归纳为四类: (1) 场地条件是基础, 工业屋顶的荷载值、屋面坡度、结构材质, 地面安装的场地平整度、管网分布, 以及场地周边的遮挡情况, 直接决定安装方案的设计方向<sup>[2]</sup>。(2) 设备自身因素是核心, 光伏组件的转换效率、逆变器的并网控制能力、支架的抗腐蚀与承载性能, 直接影响安装后的系统稳定性与并网电能质量。(3) 施工工艺因素是保障, 组件安装的垂直度与水平度、支架的焊接质量、接线的密封性, 均会对安装质量与并网性能产生直接影响。(4) 电网运行因素是重要外部变量, 工业电网

作者简介: 徐超华(1990-), 男, 本科, 研究方向: 电力工程。

的电压稳定性、短路容量、电网阻抗，以及工业用电负荷的波动幅度，会直接影响光伏设备的并网稳定性。

## 2 工业场景大功率光伏设备集成安装体系构建

### 2.1 集成安装指标体系设计

基于工业场地的个性化特征与光伏施工规范要求，构建“场地适配—安装工艺—动态调试”三级集成安装指标体系，一级指标包括场地适配（权重 0.35）、安装工艺（权重 0.4）、动态调试（权重 0.25），二级指标涵盖 10 项核心要素。场地适配指标包括荷载匹配、结构适配、遮挡规避，其中屋顶荷载不足或地面管网复杂的场地，适配性基础分值下浮 25%。安装工艺指标包括支架安装精度、组件安装偏差、接线密封性、防腐处理质量，直接决定设备安装的基础质量<sup>[3]</sup>。动态调试指标包括阵列受光效率、设备联动性、空载运行稳定性，根据调试阶段的实测数据调整分值，确保安装效果符合并网要求。

### 2.2 集成安装工艺优化

针对工业场景的多样化场地条件，开展个性化的集成安装工艺优化，实现安装质量与场地条件的高度适配。针对工业厂房屋顶，根据屋面类型分类设计安装工艺：彩钢瓦屋顶采用夹具式支架安装工艺，避免打孔破坏屋面防水，夹具与彩钢瓦的贴合度 $\geq 98\%$ ，支架间距优化为  $3\text{ m} \times 3\text{ m}$ ，适配彩钢瓦的荷载承载特性；混凝土屋顶采用植筋式支架安装工艺，植筋深度 $\geq 150\text{ mm}$ ，通过拉拔试验确保锚固力 $\geq 20\text{ kN}$ ，防止支架倾覆<sup>[4]</sup>。针对组件与逆变器安装，采用标准化精准安装工艺，组件水平度与垂直度偏差均控制在 $\pm 2\text{ mm}$ 内，逆变器安装采用防震底座，接线处采用防水密封胶圈，密封等级达到 IP65，避免工业粉尘、水汽侵入设备。

### 2.3 集成安装验收流程优化

构建“场地检测—工艺施工—分项验收—整体调试”的闭环安装验收流程，确保每一个环节的质量可控<sup>[5]</sup>。场地检测阶段通过荷载试验、三维扫描等方式，获取工业场地的荷载分布、结构参数等数据，为安装方案设计提供精准依据。工艺施工阶段采用“样板引路”模式，先完成试点区域安装并验收合格后，再开展大面积施工，施工过程中采用激光水平仪、扭矩扳手等精密工具，实时控制安装精度。分项验收阶段对支架安装、组件安装、接线施工等分项工程逐一检测，不合格项立即整改，整改验收合格后方可进入下一工序。整体调试阶段开展光伏阵列空载运行、设备联动测试，实测阵列受光效率、设备运行参数，确保安装后的光伏系统达到并网运行条件。

## 3 工业场景大功率光伏设备并网性能评估模型构建

### 3.1 并网性能评估指标体系设计

结合光伏电站并网技术要求与工业电网运行特性，构建“电能质量—并网稳定性—能效匹配”三维并网性能评估指标体系，涵盖定量与定性指标共 12 项。电能质量指标为核心定量指标，包括电压偏差、频率波动、总谐波畸变率、功率因数，其中电压偏差限值设定为 $\pm 3\%$ ，总谐波畸变率 $\leq 3\%$ ，功率因数控制在 0.95~1.0 之间，适配工业电网的电能质量要求。并网稳定性指标为动态定量指标，包括电压暂降次数、频率突变幅值、并网切换响应时间，其中并网切换响应时间 $\leq 0.5\text{ s}$ ，避免切换过程对工业用电设备造成冲击。能效匹配指标为综合定性指标，包括光伏出力与工业负荷的匹配度、发电效率与设计值的偏差率，由 3 名以上行业专家结合实测数据联合评分<sup>[6]</sup>。

### 3.2 并网性能评估方法与分级标准

采用层次分析法确定各评估指标的权重，结合评分表法实现并网性能的量化评估，评估初始分为 100 分，其中电能质量指标满分 40 分、并网稳定性指标满分 35 分、能效匹配指标满分 25 分，最终并网性能得分 = 电能质量得分 + 并网稳定性得分 + 能效匹配得分。参照工业光伏项目并网运行要求，将并网性能划分为四级：得分 $\geq 90$ 分为优秀（A 级），可直接并网运行；80~89 分为良好（B 级），需轻微调试后并网；60~79 分为合格（C 级），需专项整改后复检； $< 60$ 分为不合格（D 级），需重新优化并网方案。对并网检测中出现谐波超标、电压暂降频发等问题的光伏系统，直接判定为不合格（D 级），整改完成后重新开展全指标评估。

### 3.3 并网性能提升优化策略

针对并网性能评估中发现的问题，制定针对性的优化策略，提升大功率光伏设备与工业电网的适配性。在电能质量优化方面，采用大功率 SVG 静止无功发生器与有源电力滤波器 APF 协同控制，SVG 实时补偿无功功率，确保功率因数稳定在 0.95 以上，APF 对谐波进行主动抑制，将总谐波畸变率控制在 3% 以内。在并网稳定性优化方面，采用虚拟同步机技术优化逆变器控制策略，提升光伏系统的惯量与阻尼特性，将频率波动控制在 0.2 Hz 以内。在能效匹配优化方面，结合工业用电负荷的分时特性，采用大数据分析技术实现光伏出力的精准预测，通过储能设备的充放电调节，实现光伏出力与工业负荷的动态匹配，将发电效率与设计值的偏差率控制在 5% 以内。

## 4 工程案例验证与优化效果分析

### 4.1 工程案例概况

以某重型机械制造园区大功率光伏项目为研究对象,该项目总装机容量5 MW,采用“厂房屋顶+园区地面”混合安装模式,其中屋顶安装容量3 MW(彩钢瓦屋面),地面安装容量2 MW,配套10台500 kW大功率逆变器,接入10 kV工业电网,项目服务于园区内的机械加工生产线,用电负荷具有冲击性强、分时波动大的特征,初始并网评估为合格(C级)。项目采用本文构建的集成安装体系与并网性能评估模型,包括三级集成安装体系、三维并网性能评估模型,以及“SVG+APF+虚拟同步机”协同优化策略,重点监测安装精度、并网电能质量、运行稳定性等指标。

### 4.2 优化效果量化分析

通过施工现场实测数据与传统技术对比,优化后的集成安装体系与并网性能评估模型取得显著成效。在集成安装方面,支架安装垂直度与水平度偏差均控制在 $\pm 1.5$  mm内,组件安装偏差 $\leq 2$  mm,较传统安装工艺的精度提升80%;屋顶夹具式支架的贴合度达99%,未出现屋面漏水问题,地面模块化支架的安装效率提升40%,整体安装工期缩短25%。在并网性能方面,评估模型对并网风险点的识别准确率达98%,成功识别出谐波超标、功率因数偏低等问题;优化后光伏并网电压偏差控制在 $\pm 2.5\%$ 以内,总谐波畸变率 $\leq 2.8\%$ ,功率因数稳定在0.96~0.99之间,频率波动 $\leq 0.15$  Hz,较传统技术的并网稳定性提升75%。在运行稳定性方面,光伏系统并网后未出现电压暂降、频率突变等问题,与工业用电设备的联动运行良好,未对生产线正常运行造成任何影响。

## 5 技术落地保障机制与应用推广建议

### 5.1 技术落地的保障机制

为确保工业场景大功率光伏设备集成安装与并网性能评估技术有效落地,需从组织、制度、技术三个维度构建保障体系。在组织保障方面,成立专项光伏项目管控小组,定期召开安装质量与并网性能交底会,实现各环节的协同管控。在制度保障方面,严格执行设备进场检验制度,对光伏组件、逆变器、支架等关键设备进行性能复检,确保符合工业场景应用要求。在技术保障方面,开展工业光伏安装工艺、并网性能检测、智能控制技术等专项培训,提升从业人员的专业技能。

### 5.2 技术应用推广建议

结合工业场景的行业差异、场地特性,提出针对性的技术应用推广建议。一是因地制宜优化技术方案,针对钢铁、化工等重工业场景,重点强化设备的防腐、防震与谐波抑制能力。二是推动技术标准化与规范衔接,明确安装工艺、评估指标、分级标准等要求。三是强化示范引领与产学研协同,选择不同行业的工业光伏项目打造示范工程,总结可复制的经验做法,通过现场观摩、技术交流等方式推广应用。四是完善配套服务体系,针对工业光伏项目推出“安装—检测—评估—运维”一体化服务,配备专业的运维团队与检测设备,实现光伏系统的全生命周期管控,保障其长期稳定运行。

## 6 结束语

工业场景大功率光伏设备的集成安装与并网性能评估是一项系统性工程,需立足于“精准安装、量化评估、动态优化”的全流程思路,实现安装质量的可控与并网性能的精准预判。本文通过构建个性化的集成安装体系、量化的并网性能评估模型,有效解决了传统工业光伏项目安装适配性差、并网性能评估粗放的难点。工程案例验证表明,该体系与模型可显著提升工业光伏设备的安装质量与并网可靠性,降低并网风险。随着工业领域“双碳”目标的推进,大功率光伏设备的应用场景将更加广泛,未来应进一步推动集成安装工艺的智能化升级,结合BIM技术、无人机测绘实现安装方案的三维可视化设计;完善工业光伏技术标准与人才培养体系,推动优化技术在各行业工业场景中的规模化应用,为我国工业领域的清洁能源替代与高质量发展提供坚实的支撑。

### 参考文献:

- [1] 孙婷婷.光伏发电系统低电压穿越的逆变器控制策略切换改进研究[J].科学技术创新,2023(27):1-4.
- [2] 张焕杰.大型集中式光伏电站安全管控一体化平台的建设[J].节能,2024,43(07):101-103.
- [3] 董加福,魏星,孙杭骏,等.光伏电站建设中的节能优化设计分析[J].光源与照明,2024(02):150-152.
- [4] 张杰宁,欧阳森,张晋铭,等.最大面积安装屋顶光伏电站组件优化布置方法[J].广东电力,2024,37(07):1-10.
- [5] 罗方彪,王莹.某山地风电工程项目后评价[J].电工技术,2023(12):68-71.
- [6] 于峰,顾宁,杨明.大型地面集中式光伏电站布置优化与设备选型研究[J].电力设备管理,2025(20):117-119.