

基于SEM的光伏企业质量管理影响因素研究

张泽钰

东北电力大学经济管理学院, 吉林 吉林

收稿日期: 2024年9月18日; 录用日期: 2024年9月29日; 发布日期: 11月11日

摘要

在双碳目标的发展需求下, 新能源市场迅速发展, 太阳能光伏产业快速崛起, 同时随着全球能源危机的加剧和环境问题的日益严重, 可再生能源的开发利用成为世界各国的共同选择。本文采用文献分析、数据分析和调查问卷法系统性的梳理了影响光伏组件企业质量管理的因素, 从5M1E因素出发, 对不良问题进行了总结, 经过筛选最终列出人员、设备、原材料、监测、方法以及质量管理效果6个维度以及20个不同的影响因素, 以此为基础构建质量管理体系, 应用结构方程计算指标权重并分析合因素之间的关系, 最后经过计算确定原材料和方法是最应优化的因素。论文的研究成果为光伏组件企业质量管理优化提供了新的思路与方法。

关键词

光伏组件企业, 质量管理, 结构方程模型

Research on the Influencing Factors of Quality Management in Photovoltaic Enterprises Based on SEM

Zeyu Zhang

School of Economics and Management, Northeast Electric Power University, Jilin Jilin

Received: Sep. 18th, 2024; accepted: Sep. 29th, 2024; published: Nov. 11th, 2024

Abstract

Under the development demand of the dual carbon target, the new energy market is rapidly developing, and the solar photovoltaic industry is rising rapidly. At the same time, with the intensification of the global energy crisis and the increasingly serious environmental problems, the development and utilization of renewable energy have become a common choice for countries around the world.

This article systematically sorted out the factors that affect the quality management of photovoltaic module enterprises through literature analysis, data analysis, and survey questionnaire methods. Starting from the 5M1E factor, the adverse problems were summarized. After screening, six dimensions including personnel, equipment, raw materials, monitoring, methods, and quality management effectiveness were finally listed, as well as 20 different influencing factors. Based on this, a quality management system was constructed. The structural equation was applied to calculate the weight of indicators and analyze the relationship between the factors. Finally, after calculation, it was determined that raw materials and methods were the most optimized factors. The research results of the paper provide new ideas and methods for optimizing the quality management of photovoltaic module enterprises.

Keywords

Photovoltaic Module Enterprise, Quality Assurance, Structural Equation Model

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在全球能源结构逐步向低碳、绿色、可持续方向转变的大背景下，光伏发电作为清洁可再生能源的重要组成部分，其发展前景受到广泛关注。光伏组件企业作为产业链中的关键一环，其发展状况直接影响到整个光伏产业的稳定和进步。本研究聚焦于光伏组件企业的发展背景与现状，旨在通过深入分析，揭示影响质量管理因素，研究光伏组件质量管理优化问题，创新企业管理理念、模式和方法，提升产品质量，是光伏组件生产企业应对激烈市场竞争，提供市场竞争力的必然选择。

2. 影响因素的汇总和指标分析

2.1. 识别影响因素

本文通过文献研究法对质量管理的影响因素进行初步识别，通过知网、万方等等中文数据库和 Web of Science 等外文数据库对影响因素进行筛选[1]，通过专家打分法，删除不合理的指标项，最后归纳为6个维度的20项指标[2]。设计量表问卷，对该20项指标的影响程度进行打分，最后剔除不合格问卷，收集有效问卷311份，对问卷数据进行梳理，对各指标得分情况进行平均分计算，得到结果如表1所示。

Table 1. Selection of indicators affecting quality management factors

表 1. 影响质量管理因素的指标选取

评价指标	均值	评价指标	均值
人员因素(A)	3.835	监测因素(D)	3.859
人员培训力度(A1)	3.971	供应链质量监督(D1)	4.068
人员组织架构(A2)	3.392	产前物料与设备检测(D2)	3.804
人员思想状态(A3)	4.141	抽检流程完善性(D3)	3.704
设备因素(B)	3.904	方法因素(E)	3.950
设备检修周期(B1)	3.666	物料管理与更新实时性(E1)	4.164
设备负荷水平(B2)	4.138	组件研发设计流程(E2)	4.026
设备运行环境温度(B3)	3.489	组件失效模式运用(E3)	3.659
设备选型规范性(B4)	4.325	质量管理效果(F)	4.203
原材料因素(C)	3.923	制程质量管控效果(F1)	4.161

续表

电池端来料质量(C1)	3.672	产品交付与维护效果(F2)	4.328
标签类质量(C2)	3.965	合格率提升效果(F3)	4.119
组件污染程度(C3)	4.209		
其他辅料不良(C4)	3.846		

2.2. 信效度检验

采用 SPSS26.0 软件对问卷的信效度进行分析，信度检验与效度检验计算情况如表 2 和表 3 所示。

Table 2. Reliability test

表 2. 信度检验

项	克隆巴赫系数	项数
A	0.811	3
B	0.727	4
C	0.866	4
D	0.832	3
E	0.859	3
F	0.786	3
量表整体	0.819	20

Table 3. Validity test

表 3. 效度检验

维度	KMO 和 Bartlett 球形度检验		
人员因素 A	KMO 取样适切性量数		0.712
	Bartlett 球形度检验	近似卡方	315.798
		自由度	3
		显著性 p	0
设备因素 B	KMO 取样适切性量数		0.81
	Bartlett 球形度检验	近似卡方	439.559
		自由度	6
		显著性 p	0
原材料因素 C	KMO 取样适切性量数		0.828
	Bartlett 球形度检验	近似卡方	574.956
		自由度	6
		显著性 p	0
监测因素 D	KMO 取样适切性量数		0.719
	Bartlett 球形度检验	近似卡方	355.502
		自由度	3
		显著性 p	0
方法因素 E	KMO 取样适切性量数		0.733
	Bartlett 球形度检验	近似卡方	432.06
		自由度	3
		显著性 p	0
质量管理效果 F	KMO 取样适切性量数		0.732
	Bartlett 球形度检验	近似卡方	526.736
		自由度	3
		显著性 p	0
量表整体	KMO 取样适切性量数		0.865
	Bartlett 球形度检验	近似卡方	3287.524
		自由度	190
		显著性 p	0

根据上表计算结果可知,系数 α 在 0.7 以上,说明可信度可以接受,可进行下一步的分析。所有的因子都在 0.7 之上,量表的总体 KMO 值为 0.865,各个维度的 Bartlett 球度测试的显著水平 P 都不到 0.001,调查问卷的资料经过了验证,项目适宜进行因子分析。

2.3. 相关性分析

在本文中,相关性分析用于衡量多个变量之间的相关密切程度,用于研究多个处于同等地位的随机变量之间的相关关系,为后续研究奠定基础,见表 4。

Table 4. Correlation analysis

表 4. 相关性分析

		C	E	A	B	D	F
C	皮尔逊相关性	1	0.098	0.06	0.443**	0.378**	0.488**
E	皮尔逊相关性	0.098	1	0.474**	0.155**	0.318**	0.446**
A	皮尔逊相关性	0.06	0.474**	1	0.109	0.295**	0.371**
B	皮尔逊相关性	0.443**	0.155**	0.109	1	0.377**	0.433**
D	皮尔逊相关性	0.378**	0.318**	0.295**	0.377**	1	0.491**
F	皮尔逊相关性	0.488**	0.446**	0.371**	0.433**	0.491**	1

**在 0.01 级别(双尾),相关性显著。

根据相关性分析结果,说明各因素之间有一定正相关关系,为以后的研究奠定基础。

3. 结构方程模型研究假设的提出与建立

3.1. 模型建立与假设

除通过上述研究分析结果,本次调查问卷数据满足结构方程模型的基本需求,可进行一阶结构方程模型拟合,模型图如图 1。

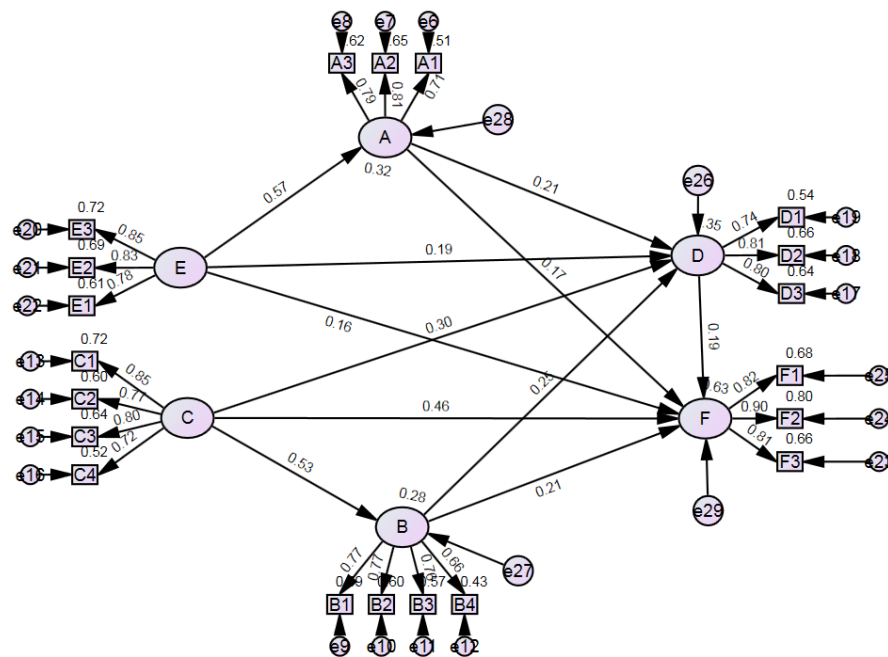


Figure 1. Preliminary calculation results of the model
图 1. 模型初步运算结果图

3.2. 模型指标检验

将模型适配资料输入 AMOS，以拟合指数为标准对其进行验证。通过 AMOS 计算得，其中 AGFI 为 0.887，IFI 为 0.831 均不符合要求，说明该模型未通过拟合验证，所以对模型进行修正，根据 M.I.值调整模型，将 e14 和 e16 拉关联，e16 和 e20 拉关联，对模型进行校正。最后模型图如图 2 所示。

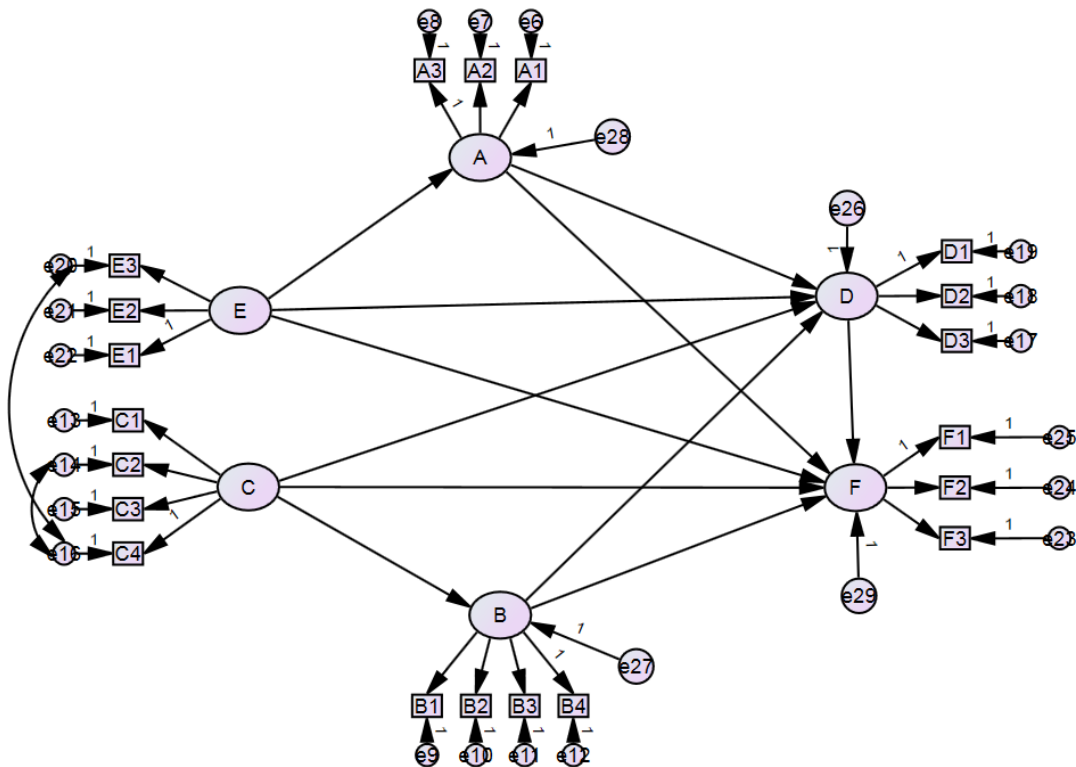


Figure 2. Results of model correction

图 2. 模型修正后结果图

通过修订之后，对拟合指数重新计算分析，进行修正之后模型各项拟合指标达到了要求，并通过了有效性验证。见表 5。

Table 5. Test results of model fit index after revision

表 5. 修正后模型拟合度指标检验结果

拟合指数	指标要求	实际数值	检验结果
CMIN/df	1~2 之间	1.613	符合要求
RMSEA	≤ 0.08	0.044	符合要求
GFI	> 0.90	0.927	符合要求
AGFI	> 0.90	0.902	符合要求
NFI	> 0.90	0.927	符合要求
TLI	> 0.90	0.964	符合要求
IFI	> 0.90	0.931	符合要求
CFI	> 0.90	0.96	符合要求

模型的基础适应性指数应符合以下条件：估计参数无误差方差，所有均要有显著性，即 t 值大于 1.96，

估计参数统计量之间的相关性不能过大，潜在变量和观察指标之间的因子负载量不能过大，显著性检验结果见表 6。

Table 6. Results of significance level test

表 6. 显著性水平检验结果

潜在变量	观察变量	Std	UNstd	SE	t-value	P
B	C	0.534	0.549	0.08	6.85	***
A	E	0.548	0.552	0.07	7.908	***
D	A	0.213	0.209	0.076	2.771	0.006
D	B	0.248	0.282	0.088	3.22	0.001
D	C	0.295	0.345	0.089	3.886	***
D	E	0.182	0.181	0.074	2.44	0.015
F	A	0.174	0.181	0.064	2.802	0.005
F	B	0.21	0.251	0.076	3.322	***
F	C	0.467	0.575	0.089	6.475	***
F	D	0.189	0.2	0.065	3.049	0.002
F	E	0.162	0.169	0.063	2.684	0.007

***是 P 小于 0.001，从表格中的资料可以看出，各个 t 值都大于 1.96，P 都在 0.05 以下，所以模型假设已经通过了检验。

3.3. 收敛效度与区分度检验

Table 7. Convergence test results of measurement model

表 7. 测量模型收敛度检验结果

潜在变量	观察变量	SMC (项目信度)	CR	AVE
A3	A	0.507		
A2	A	0.653	0.814	0.595
A1	A	0.624		
B4	B	0.590		
B3	B	0.772		
B2	B	0.76	0.829	0.549
B1	B	0.657		
C4	C	0.866		
C3	C	0.748		
C2	C	0.795	0.853	0.595
C1	C	0.662		
D1	D	0.737		
D2	D	0.81	0.826	0.614
D3	D	0.801		
E1	E	0.605		
E2	E	0.717	0.863	0.678
E3	E	0.711		
F1	F	0.676		
F2	F	0.805	0.882	0.713
F3	F	0.659		

各因素的 SMC 结果都在 0.5 以上， $CR = 0.826 > 0.7$ ， $AVE = 0.614 > 0.5$ ，说明了各因素的度量模型已经通过了收敛效度的验证。同时经过区分效度检验结果得到，维度 A、B、C、D、E、F 的内系数都比

所有外因子大，表明该模型已通过了区分效度的验证。

4. 模型解析

4.1. 假设检验

在模型拟合并且修正通过后，显著性以及模型适配度均在要求范围内，由上述计算结果可知，路径系数均大于 0.5，说明影响质量管理因素之间具有相关性[3]，并且是正相关，可知研究假设通过。

- (1) 人员因素 A 对质量管理效果 F 有正向影响
- (2) 环境因素 B 对质量管理效果 F 有正向影响
- (3) 原材料因素 C 对质量管理效果 F 有正向影响
- (4) 监测因素 D 对质量管理效果 F 有正向影响
- (5) 方法因素 E 通过对人员因素 A 和监测因素 D 正向影响间接影响质量管理效果 F。

根据表 7 检验结果，计算得模型中各潜变量之间的影响效应为：人员管理 A 对质量管理效果 F 的作用为 0.174，而人员因素 A 则是通过调节因子 D 对质量管理效果 F 的作用是 $0.213 * 0.189 = 0.04$ ，所以人员因素 A 对质量管理效果 F 的总效应是 0.214。设备因素 B 对质量管理效果 F 的作用是 0.21，而同时设备因 B 通过监测因素 D 对质量管理效果 F 的作用是 $0.248 * 0.189 = 0.047$ ，所以设备因素 B 对质量管理效果 F 的总效应为 0.257。原材料因素 C 对质量管理效果 F 的作用是 0.467，同时原材料因素 C 通过调节因子 B 对质量管理效果 F 的作用是 $0.534 * 0.21 = 0.112$ ，同时原材料因素 C 通过调节因子 D 对质量管理效果 F 的作用为 $0.295 * 0.189 = 0.056$ ，所以原材料因素 C 对质量管理效果 F 的总效应为 0.635。监测因素 D 对质量管理效果 F 的作用是 0.189。方法因素 E 对质量管理效果 F 的作用是 0.162，同时方法因素 E 通过调节因子 A 对质量管理效果 F 的作用是 $0.548 * 0.174 = 0.095$ ，同时方法因素 E 通过调节因子 D 对质量管理效果 F 的作用是 $0.182 * 0.189 = 0.034$ ，所以方法因素 E 对质量管理效果 F 的总效应为 0.291。

Table 8. Summary of effects of structural equation modeling
表 8. 结构方程模型影响效应汇总表

	影响效应	方法因素 E	原材料因素 C	设备因素 B	人员因素 A	监测因素 D
设备因素 B	直接效应	/	0.534	/	/	/
	间接效应	/	/	/	/	/
	总效应	/	0.534	/	/	/
人员因素 A	直接效应	0.548	/	/	/	/
	间接效应	/	/	/	/	/
	总效应	0.548	/	/	/	/
监测因素 D	直接效应	0.182	0.295	0.248	0.213	/
	间接效应	0.117	0.133	/	/	/
	总效应	0.299	0.428	0.248	0.213	/
产品质量管理效果 F	直接效应	0.162	0.467	0.210	0.174	0.189
	间接效应	0.152	0.193	0.047	0.04	/
	总效应	0.314	0.660	0.257	0.214	0.189

由上表可知各影响因子之间的路径系数都是正值，说明各影响因子之间都具有积极的作用。在这些方面，原材料因 C 对设备因 B 具有积极的作用，它的作用因子是 0.534，这说明，当原材料提升 1 时，设备就会得到 0.534 的提升。方法因 E 对人员因 A 有积极作用，为 0.548。这说明，当方法提升 1 时，人员就会得到 0.548 的提升。方法因 E、原材料因 C、设备因 B、人员因素 A 都对监测因 D 有积极作用，作用因子分别为 0.182、0.295、0.248、0.213。其中方法因 E、原材料因 C、设备因 B、人员因素提升 1 单

位分别会提高监测因 D 效果的 0.182、0.295、0.248、0.213。

方法因 E、原材料因 C、设备因 B、人员因素 A、监测因 D 都对质量管理效果 F 有积极作用，作用因子分别为 0.314、0.66、0.257、0.214、0.189，这表明每增加 1 单位的方法因 E、原材料因 C、设备因 B、人员因素 A、监测因 D 分别提升 0.314、0.66、0.257、0.214、0.189 单位的产品质量管理效果。

4.2. 模型解析

通过将观察变量所属一级影响因子效应系数与观察变量的因子载荷系数之积来表达，再将表 7 中的各个度量模型的收敛效度测试结果和表 8 中的总体效果系数进行比较，得出各个观察变量的效应系数，如表 9 所示。

Table 9. Summary of the effects of various observational variables in the measurement model

表 9. 测量模型各观测变量影响效应汇总表

一级指标影响因素	一级指标总效应系数	一级指标效应相对系数	二级指标影响因素	二级指标因子载荷量	观测变量总效应系数	观测变量总效应相对系数	排序
人员因素 A	0.214	0.135	A1	0.712	0.152	0.308	15
			A2	0.808	0.173	0.340	5
			A3	0.79	0.169	0.332	9
设备因素 B	0.257	0.222	B1	0.772	0.198	0.257	12
			B2	0.773	0.199	0.259	11
			B3	0.79	0.203	0.264	8
			B4	0.657	0.169	0.220	17
原材料因素 C	0.635	0.4	C1	0.866	0.54	0.278	1
			C2	0.748	0.475	0.245	13
			C3	0.795	0.505	0.260	7
			C4	0.662	0.42	0.216	16
监测因素 D	0.189	0.119	D1	0.737	0.139	0.314	14
			D2	0.81	0.153	0.345	4
			D3	0.801	0.151	0.341	6
方法因素 E	0.291	0.183	E1	0.778	0.226	0.315	10
			E2	0.847	0.246	0.343	2
			E3	0.843	0.245	0.342	3

由上表可知，影响最大的是电池端来料 C1，其因子载荷系数为 0.866，观测变量总效应系数为 0.54，表明其水平每提高 1 单位，能为原材料因素质量管理效果提升 0.866 单位，对整体提升 0.54 单位。原材料因素与方法因素对整体质量管理效果影响显著较强，即原材料管理与方法管理是目前提升质量管理最重要的手段，其次是监测因素、人员因素、设备因素。

5. 企业质量管理优化保障措施

5.1. 完善供应商绩效考核机制

对于原材料供应商的考核评价可采取百分制打分，由供应链、技术部、质量部、采购部四个部门分别对各方面的表现进行评分，评分后结果汇总至考核部门，再进行综合评定，对与原材料供应商的长期合作发展进行针对性指导，提出实践性的建议[4]。

绩效评估指标应包括质量、交付、成本、服务等多个维度，同时支持根据不同组织、不同品类自定义不同的评估指标。这样既能全面反映供应商的表现，又能针对性地解决特定问题[5]。在设置评估指标

时, 应结合定量指标(如交货准时率、合格率等)和定性指标(如服务态度、响应速度等), 以实现更全面公正的评价。根据绩效评估结果, 对表现优秀的供应商给予奖励, 对于表现不佳的供应商则采取必要的惩罚措施, 对淘汰以后的供应商如果需要则需重新走新供应商开发流程, 在淘汰的 2 年以内不得重新开发; 发生重大质量异常或者产品品质致命缺陷时立即暂停采购, 永不合作[6]。

5.2. 研发设计流程优化保障

企业产品研发设计流程优化的保障措施是多方面的, 涉及从市场调研到产品上市及售后服务的全过程。这一过程不仅要求企业紧跟市场需求和技术发展, 还要注重内部管理与外部合作的协同进步。企业应加大对新技术、新材料和新工艺的研发投入, 提升产品竞争力, 建立完善的技术储备机制, 关注行业内的技术发展趋势, 合理运用高效电池技术, 制定并严格执行光伏组件的生产工艺标准, 包括焊接、层压、EL 测试等关键工艺环节, 确保产品质量[7]。

建立健全的产品售后服务体系, 提供专业的技术支持和快速的故障响应, 增强客户满意度和忠诚度, 通过售后服务收集用户使用反馈[8], 作为产品持续改进的重要参考, 同时, 企业还应充分利用政策支持、加强产学研合作, 并重视售后服务体系的建设。这些措施的实施, 将有助于提高光伏组件企业的产品研发能力和市场竞争力, 推动行业持续健康发展。

参考文献

- [1] Brooks, T., Gunning, J.G., Spillane, J.P., *et al.* (2021) Regulatory Decoupling and the Effectiveness of the ISO 9001 Quality Management System in the Construction Sector in the UK-a Case Study Analysis. *Construction Management and Economics*, **39**, 988-1005. <https://doi.org/10.1080/01446193.2021.1983186>
- [2] 黄鹤, 曾凡新. 企业优化质量管理体系审核的对策研究[J]. 企业改革与管理, 2024(8): 44-45.
- [3] 刘虎沉, 王鹤鸣, 施华. 智能质量管理: 理论模型、关键技术与研究展望[J]. 中国管理科学, 2024, 32(3): 287-298.
- [4] 荆帅. 光伏组件质量问题及安装质量控制策略探析[J]. 电子质量, 2021(11): 85-88.
- [5] 江丽. 供应商管理与评价影响采办管控[J]. 中国招标, 2023(12): 165-167.
- [6] 覃智锦. 光伏发电设备安装质量控制与安全管理[J]. 中国机械, 2024(3): 97-100.
- [7] 戈鹏. 光伏组件加工工艺与质量控制[J]. 机械管理开发, 2022, 37(1): 271-273.
- [8] 张银环, 姜倩, 唐兰兰. 柔性光伏组件用一体透明前板材料的可靠性分析[J]. 合成材料老化与应用, 2023, 52(6): 27-30.