

光伏组件相变材料应用对光伏支架结构影响分析

刘庆阳 张振利 边培松

山东电力工程咨询院有限公司 山东济南 250013

摘要: 光伏组件相变材料在光伏组件的封装应用会对原有光伏支架结构的安全运行产生不利影响。本文选取5类典型应用场景,通过SAP2000软件进行数值分析模拟,对光伏组件相变材料封装应用对光伏支架结构载荷、支架安全性及经济性影响开展了定性及定量分析。并针对光伏组件相变材料的最优应用场景,提出一种新型光伏支架结构,为该项新技术的规模化推广应用提供新的解决方案。

关键词: 光伏组件相变材料;光伏支架;载荷分析;新型支架方案

Analysis of the influence of photovoltaic module phase change material application on photovoltaic bracket structure

Qingyang Liu, Zhenli Zhang, Peisong Bian

Shandong Electric Power Engineering Consulting Institute Co., LTD., Jinan, Shandong 250013

Abstract: The packaging and application of photovoltaic module phase change materials in photovoltaic modules will have an adverse impact on the safe operation of the original photovoltaic bracket structure. In this paper, five types of typical application scenarios are selected and carried out numerical analysis and simulation through SAP2000 software to carry out qualitative and quantitative analysis on the impact of photovoltaic module phase change material packaging application on the structural load, bracket safety, and economy of photovoltaic supports. According to the optimal application scenario of photovoltaic module phase change materials, a new photovoltaic bracket structure is proposed to provide a new solution for the large-scale promotion and application of this new technology.

Keywords: photovoltaic module phase change materials; photovoltaic bracket; load analysis; new support scheme

引言:

光伏组件发电功率受温度影响比较大,温度越高,光伏组件发电功率越低。适用于光伏组件的相变材料及封装技术可通过降低光伏组件运行温度提高光伏组件发电功率,增加光伏电站的发电量。因光伏支架结构为轻型钢结构,对荷载增量较为敏感,光伏组件相变材料及其封装技术的应用势必影响光伏支架结构的安全。本文选取5类典型应用场景,对应不同组件倾角和环境条件,从荷载增量、结构强度、结构变形等角度,量化该项技术应用对原有支架结构的影响程度。针对封装模块的安装环境条件,研究开发一种新型光伏支架结构形式,为

光伏组件相变材料技术在未来光伏电站建设中的推广应用提供技术基础。

1 光伏组件相变材料载荷影响分析

光伏组件相变材料的封装主要利用光伏组件背板空间,通过采用粘结剂粘接结合铝合金保护壳与组件边框螺栓连接的方式实现,主要组成包括:改性相变材料模块、封装模块等。以540W_p组件为例,组件尺寸为2256mm*1133mm*35mm(厚),组件单块重量27.2kg,

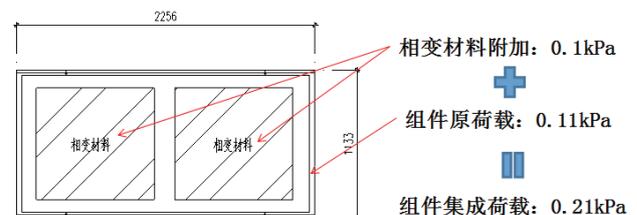


图1 相变材料载荷增加示意图

通讯作者简介: 刘庆阳(1990-),男,山东泰安人,硕士,结构工程师,研究方向:建筑与土木工程领域, E-mail: liuqingyang@sdepci.com.

表1 正风工况下典型环境场景光伏组件相变材料载荷分析统计表

地点	倾角	支架	风压/kPa	雪压/kPa	恒载/kPa	强度组合/kPa	变形组合/kPa	相变强度占比	相变变形占比
达拉特	36	沙漠	0.48	0.23	0.21	1.172	0.867	10.2%	11.5%
玉门	35	戈壁	0.48	0.19	0.21	1.137	0.842	10.5%	11.9%
潍坊	32	渔光	0.38	0.21	0.21	0.964	0.719	12.4%	13.9%
甘孜	30	牧光	0.41	0.40	0.21	1.140	0.844	10.5%	11.8%
定安	10	分布式	0.63	0.00	0.21	0.958	0.714	12.5%	14.0%

光伏组件相变材料的密度约为 $0.9\text{g}/\text{cm}^3$ ，预估材料厚度约为20mm，增加光伏组件相变材料模块后的组件重量增加25kg，原有支架结构所受恒荷载由0.11kPa增加至0.21kPa，增幅91%。

本文选取内蒙古达拉特旗沙漠光伏、甘肃玉门戈壁光伏、山东潍坊渔光互补、四川甘孜牧光互补、海南定安分布式光伏等5种典型光伏应用场景，结合各地区环境荷载条件进行光伏组件相变材料载荷分析，荷载组合根据《光伏支架结构设计规程》(NB/T 10115-2018) 4.3节执行，具体分析详见表1。

表1从强度和变形两个关键指标定量给出了光伏组件相变材料的应用对光伏支架结构所受荷载的影响程度分析。在支架强度计算时，光伏组件相变材料的荷载增量为10.2%~12.5%，在支架变形计算时，其荷载增量为11.5%~14%。结论：光伏组件相变材料的封装技术应用造成的荷载增量程度约占原有荷载的1/10；光伏组件相变材料的应用对支架结构的变形影响权重大于对支架结构强度的影响。

2 典型光伏支架结构受力分析

常见光伏支架结构形式包括单坡双列式支架结构和

单坡单列式支架结构两类。单坡双列式支架结构常用于山地、沙漠、戈壁等地形起伏较大、对光伏组件离地高度要求低的应用场景，单个组件阵列较小。单坡单列支架结构形式常用于农光、渔光等“光伏+”项目中，一般对组件离地高度、组件支架间距等有较高要求，单个阵列单元较大，一般包含2-3个组串。本文从5类典型应用场景中选择玉门戈壁滩光伏和潍坊渔光互补光伏项目的两类典型支架结构进行结构受力分析，采用SAP2000软件，通过对比两类光伏支架结构在增加光伏组件相变材料模块前后结构受力和工程量变化，探讨该项技术应用对光伏支架结构安全性和经济性的影响程度。

方案一：选取玉门戈壁应用场景，组件选用540Wp，阵列形式为2*26，支架结构采用单坡双列支架结构形式，组件倾角35度，组件离地高度0.5m，支架筒间距3.6m，支架结构主要构件及计算结果详见下表2。

方案二：选取潍坊渔光互补应用场景，组件选用540Wp，阵列形式为2*39，支架结构采用单坡单列支架结构形式，组件倾角32度，组件离地高度4.0m，支架间距4.0m，支架结构主要构件及计算结果详见下表3。

表2 双坡双列支架计算结果统计表

编号	构件名称	构件型号	未考虑相变材料			考虑相变材料		
			应力比	长细比	挠度	应力比	长细比	挠度
1	立柱	D60*2.5	0.49	149	/	0.54	149	/
2	主梁	C80*50*15*2.2	0.93	/	1/400	1.05	/	1/330
3	檩条	C100*50*15*2.2	0.89	/	1/285	1.02	/	1/235
4	斜撑	C50*40*20*2.0	0.64	132	/	0.71	132	/

表3 单坡双列支架计算结果统计表

编号	构件名称	构件型号	未考虑相变材料			考虑相变材料		
			应力比	长细比	挠度	应力比	长细比	挠度
1	立柱	C70×60×20×2.5	0.35	168	/	0.39	168	/
2	主梁	C80×50×15×2.5	0.87	/	1/365	0.98	/	1/310
3	檩条	C120×50×15×2.0	0.90	/	1/270	1.01	/	1/225
4	斜撑	C60×40×20×2.0	0.36	176	/	0.41	176	/

结论：相变材料的增加对立柱、斜梁等支撑构件影响较小，原因是支撑构件主要由构造要求和稳定控制，对荷载增量不敏感；相变材料模块的增加对斜梁和檩条影响较大，原因是斜梁与檩条为受弯构件，主要控制指标是强度和变形；原有光伏支架结构在设计较为经济的情况下，增加相变荷载后，檩条和斜梁不满足规范要求，需要考虑对结构进行加固。

支架加固原则是增加构件截面、减小构件跨度、增强构件整体稳定，可采取的加固措施包括：斜梁增加斜撑，檩条下翼缘处设置拉条和在跨中增加截面，通过计算，得到上述两类典型环境条件下通过加固措施保证原有光伏支架结构满足增加光伏组件相变模块后安全运行要求时的工程增量，平均单位兆瓦需增加钢材1.5t，占支架钢材总量6%。

3 新型支架结构形式

传统的光伏支架结构檩条采用四根檩条的形式，组件短边与檩条平行，通过4颗螺栓或压块进行连接（图2）。因光伏组件相变材料在温差大的环境能更好实现组件发电量的增益，较好的应用环境为我国西北部地区。根据《建筑结构荷载规范》（GB 50009-2012）附录E：西北地区环境条件恶劣，风压及雪压均较大，采用传统的4点连接，组件在极端环境条件下连接节点易产生振动疲劳破坏，导致组件脱落，造成较大经济损失。

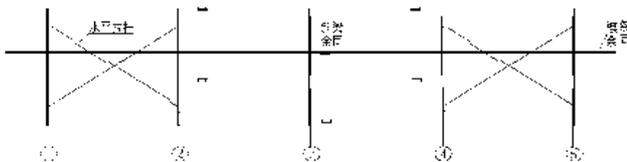


图2 传统支架结构平面布置图

本文在传统支架结构形式上进行了优化设计，提出一种新型支架结构形式（图3），在保持横向支架、纵向檩条的基础上增加“几”字形次檩，次檩沿着组件边框布置，改变光伏组件的整体受力模式，同时可实现组件和檩条的多点连接，能保证极端环境荷载作用下组件连接的可靠和安全，为光伏组件相变材料在光伏组件的封装应用创造更加安全的结构环境。

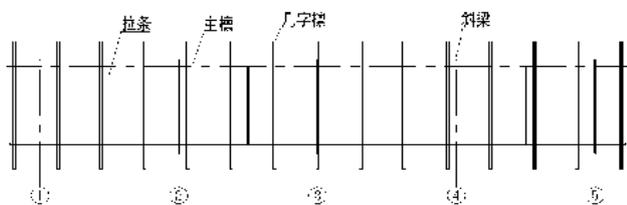


图3 新型支架结构平面布置图

本文选取玉门应用场景，组件选用540W_p，单个阵列选用2*26阵列，共计布置9组支架，组件倾角35度，针对两类支架结构形式进行经济性比选：新型支架方案单阵列工程量比传统方案增加约20.8kg，平均每兆瓦增加用钢量约0.7t，占比约2%。可看出新型支架方案比传统支架方案工程量略有增加，但其为光伏组件带来的连接强度提升明显优于传统支架方案，在西北地区等极端环境荷载较恶劣的应用场景具备推广应用的价值。

4 结束语

本文选取5种典型应用场景，从载荷角度分析了相变材料对光伏支架结构产生的影响，得出该材料封装应用对光伏支架的荷载增幅约为10%，且荷载增幅对结构变形影响权重大于对结构强度的影响。利用SAP2000软件对两类常见支架结构进行受力分析，得出相变材料应用对立柱、斜梁等支撑构件影响小，对斜梁和檩条等梁式构件影响大。同时本文创造性提出一种新型光伏支架结构，在工程量增加可忽略的情况下极大提高光伏组件抵抗极端环境作用的能力，为光伏组件相变材料的规模化推广应用提供技术支撑。

参考文献：

- [1]杨晓娇.相变热管理太阳能光伏光热系统综合效率研究[D].西南交通大学, 2020;
- [2]兰康, 白建波, 张超, 郑爽.光伏组件相变材料控温性能的试验研究[J].节能技术, 2020, 38(220): 173-177;
- [3]张晏清, 张雄, 金诚瀛.相变控温光伏电池组件[J].同济大学学报(自然科学版), 2014, 42(2): 320-324
- [4]杨涛, 范久臣, 刘荣辉, 等.基于有限元法的太阳能光伏支架结构设计优化[J].吉林化工学院学报, 2016, 33(3): 39-44;
- [5]王芝云, 杨林青, 吴二军.光伏支架受力性能影响参数有限元分析[J].低温建筑技术, 2015(12): 77-80;
- [6]黄万山, 卢红前, 彭秀芳, 等.光伏支架结构优化设计研究[J].武汉大学学报:工学版, 2018(A01): 72-76.