

太阳能光伏板风载的载荷分析

张庆祝, 刘志璋, 齐晓慧, 贾立庄

(内蒙古工业大学能源与动力工程学院, 呼和浩特 010051)

摘 要: 无基础的光伏板支架可以节约成本和工期, 无地基光伏板支架倾翻力矩的计算需要较为精确的风载数值, 而传统的经验数值是否准确设计需要也有待验证。采用 Labview 编程, 使用拉压传感器对光伏板的拉压力进行测试, 所得结果再与经验数值对比分析, 验证经验数值, 为光伏板支架强度设计和光伏板倾翻力矩的计算提供依据。

关键词: Labview; 风载; 测试; 分析

中图分类号: TK51 文献标志码: A 文章编号: 1005-7439(2010)02-0093-03

Solar Photovoltaic Panels Wind Load Testing and Analysis

ZHANG Qing-zhu, LIU Zhi-zhang, QI Xiao-hui, JIA Li-zhuang

(School of Energy and Power Engineering, Inner Mongolia University of Technology, Hohhot 010051, China)

Abstract In order to save cost and duration, no foundation based photovoltaic panels have been proposed, without foundation PV plate bracket tipping moment need a more precise calculation of wind load values, whereas the traditional values of experience to meet the design needs whether it has yet to be verified. In this paper, using Labview to program, using the pull-pressure sensor to test the pulling and pressing on the photovoltaic panels and then compared with the experience of numerical analysis and verification experience, values, providing the basis for the strength design of photovoltaic panels and photovoltaic panels tipping moment calculation.

Keywords: labview; load of wind; testing; analysis

荒漠地区和沙漠地区的太阳能资源相对比较丰富非常适合建设太阳能光伏电站, 但是荒漠的风沙也比较大, 当风速很大时无基础的光伏板支架有可能倾覆, 因此光伏电池板的力学计算非常重要。本文将结合一个光伏电池板介绍它的风载性能测定方法, 并对测定结果进行分析。

1 风载性能的测定

1.1 测试设备

测定对象为京瓷 KC130GH-2p 太阳能电池板, 尺寸为: 1 425 mm×625 mm×36 mm。光伏板支架固定在地面的地角螺栓上, 支架中间有两个法兰连接, 以便光伏板旋转, 可以测得各个方向的风载, 如图 1。光伏板上安装了 4 个北京航宇华科测控技术有限公司 HK-812 型拉压力传感器, 传感器的精度 $\pm 0.1\%F.S$; 线性范围为 $\pm 0.03\%F.S$; 工作温度为 $-20 \sim +60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

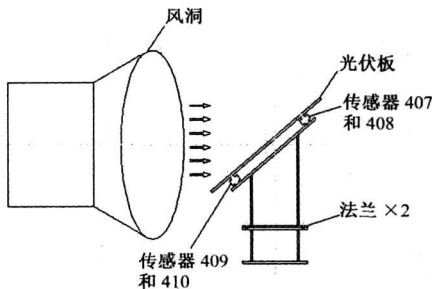


图 1 试验台架示意图

本实验所用的风洞是吹气式 B1/K2 开路低速卧式风洞, 风洞水平布置。风洞结构全长 24.6 m, 洞体部分长 20.8 m, 中心线高 1.7 m。风扇下游依次为稳定段、收缩段、闭口段和扩压段, 扩压段出口形成稳定射流, 构成开口实验段, 实验在开口实验段进行。闭口实验段直径 1 m, 风速 60 m/s; 开口实验段直径 2 m, 风速 15 m/s; 闭口实验段湍流度 $\zeta \leq$

5%; 驱动电机功率 55 kW。风洞的风速由变频控制, 与频率相对应; 例如变频器为 10 Hz 时, 风速为 3.28 m/s, 14 Hz 时风速为 4.51 m/s。启动时由较小的频率开始, 即启动风速较小, 频率的调节从小到大逐步缓慢的进行, 这是因为如果风洞的风速变化太大, 不易稳定。变频器调到新的频率后过几分钟再测量风速, 因为频率改变后电机转速变化较大, 转速需要经过一段时间才能稳定。

1.2 测试方法

光伏板的安装倾角根据内蒙古呼和浩特市经纬度取 41°。为了测定光伏板的受力大小及光伏板上的受力情况, 选择在光伏板的四个角处各安装一个拉压力传感器, 9s00410 与 9s00409 是位于垂直方向上的低端, 9s00408 与 9s00407 是位于垂直方向上的高端。拉压传感器受力时拉力为正, 压力为负, 由于光伏板等本身重力的影响, 所以安装后无风测得数据均为负值, 需进行归零处理。首先连接传感器与数据采集卡, 启动测试软件, 在无风时测出自重下拉压力传感器的数值, 然后再程序中减去自重时的数值, 再启动风洞, 变频器的频率从 10 Hz 时开始, 每次增加 4 Hz, 一直测到 40 Hz。测试完一个方向后调转图 1 中的法兰, 旋转 180°后重新对拉压力的自重数值进行调零处理, 再从 10 Hz 时的风速开始测量一直测到 40 Hz, 记录下测试的数值。

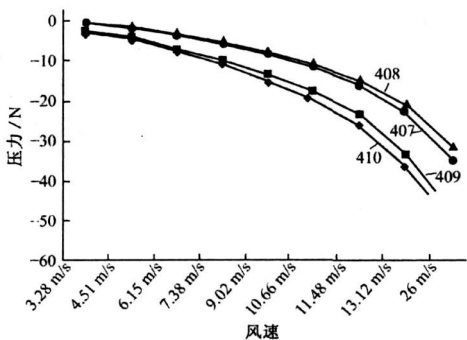
2 测定结果及其验证

2.1 测定结果

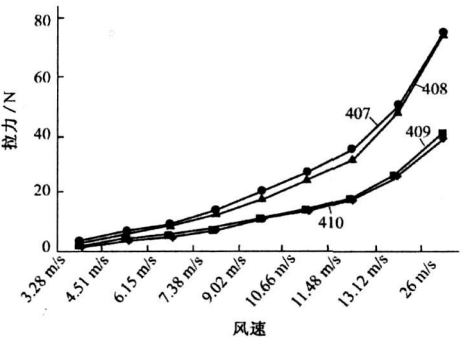
四个传感器在测定风速范围内的测得的结果见图 2。从图中可以看到, 同一水平方向上的两个传感器测得数值比较接近, 但垂直方向两个传感器测得数值有差异: 正向时低端的 410 和 409 所受的力比高端的 407 和 408 大; 背向时低端的低端的 410 和 409 所受的力比高端的 407 和 408 小, 而且高端和低端的差值随着风速的增加也会增加。试验时无论是正向还是背向, 拉压力传感器数值大的一端都是靠近风洞的一端; 以正向为例, 传感器 409 和 410 是低端离风洞较近, 会先接触到来流, 来流受到遮挡会沿着光伏板斜面平行于光伏板继续流动, 而传感器 407 和 408 就会稍晚接触到来流, 后续来流就不会直接作用在光伏板上而先作用平行于光伏板的来流, 这种来流就抵消一部分作用在 407 和 408 上的作用力。

2.2 数据的拟合公式

由于风载等于四个传感器之和, 而设计支架强



(a) 41°正向



(b) 41°背向

图 2 四个传感器分别测得的风载图

度所需的风载是用最大风速时的风载, 但是风洞试验能够测定的最大风速仅为 13 m/s, 这样只能利用试验数据作一些估算, 根据在风洞所测试出的变频从 10 Hz 到 40 Hz 的风速和风载, 采用最小二乘法对曲线进行拟合, 利用拟合公式估算 60 m/s 风速时的风载。

41°正向时的拟合式为:

$$y = 1.0824x - 0.70897x^2 \tag{1}$$

41°背向时的拟合式为:

$$y = 0.9883x + 0.6974x^2 \tag{2}$$

式中: x 为风速, m/s; y 为光伏板所受的风力, N。

2.3 测定结果的验证

由《太阳能光伏发电系统的设计与施工》上的经验风载公式:

$$W = 0.5C_w \rho V_{max}^2 S \alpha I J \tag{3}$$

式中: C_w 为风力系数, 正压时取 0.65+0.009 θ , 负压时取 0.71+0.016 θ ; θ 为光伏板的倾角; ρ 为空气密度, kg/m³; V_{max} 为最大风速, m/s; S 为光伏板面积, m²; I 为用途系数 0.85~1.15; α 为高度修正系数; J 为环境系数, 与地形有关。

$$\alpha = \left(\frac{h}{h_0} \right)^{\frac{1}{n}}$$

式中: h 为阵列的地面以上的高度; h_0 为基准地面以上高度 10 m; n 为表示因高度递增变化的程度,一般取 5。

由于背向的风载大于正向的风载,所以重点研究背向时的风载。根据本文的测定条件,正向时的风力系数 C_w 取 1.019,背向时取 1.366;空气密度 ρ 取 1.225 kg/m^3 ;光伏板面积 S 为 0.89 m^2 ;由于风洞出口风速就是来流风速,所以高度修正系数 α 取 1;用途系数 I 取 1;环境系数 J 取 1.15。将数据代入式(3)后可以得到背向时的风载公式:

$$W = 0.856V^2 \tag{4}$$

式(4)与式(2)的结果比较见图 3。

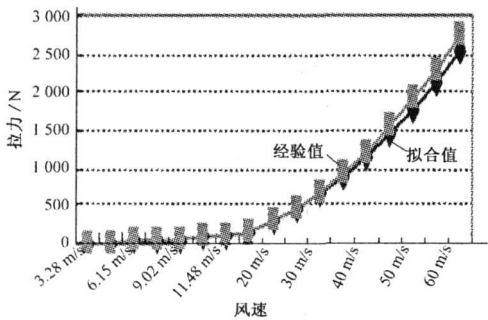


图3 背向拟合值和风载工程公式的对比

从图中可以看出拟合值与经验值基本一致。

3 测定结果的应用

根据图 2 可以发现上部和底部的作用力不相同,这将造成作用在光伏板上的作用点偏离几何中心,正向时向下偏移,背向时而向上偏移。由于背向所受的风载就比正向时大,再加上作用点中心又向上偏移,风载对光伏板的作用力矩增加,见图 4。

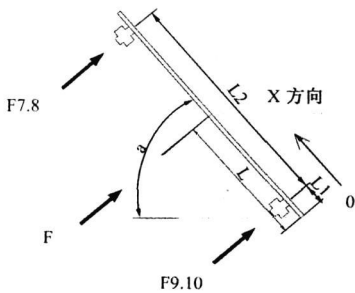


图4 风载作用中心偏移计算图

风载中心离光伏板下端的距离:

$$L = \frac{F_{7.8} \cdot L_2 + F_{9.10} \cdot L_1}{F} \tag{5}$$

式中: L 为风载作用中心离下端的距离, m; $F_{7.8}$ 为传

感器 407 和 408 所测受力, N; L_2 为传感器 407 和 408 作用中心离下端的距离, m; $F_{9.10}$ 为传感器 409 和 410 所测受力, N; L_1 为传感器 409 和 410 作用中心离下端的距离, m; F 为传感器 409, 410, 408 和 407 所测受力之和, N。

风载作用中心距离底边的垂直高度为:

$$L_{\perp} = L \cdot \sin a \tag{6}$$

式中: L_{\perp} 为风载作用中心在垂直方向上的距离, m; a 为光伏板与来流的夹角, $(^{\circ})$ 。

根据图 2 所列数据和式(5),结果见图 5 的结果。

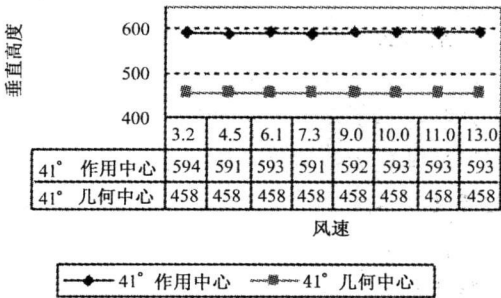


图5 41°背向时作用中心偏移与几何中心对比

从图 5 中可以看到,在垂直高度上几何中心比风载的作用中心低 140 mm 左右,在计算倾翻力矩时将会带来很大的影响,而且几何中心与风载的作用点随风速的变大而变动较小,可以认为基本保持不变,这时,当风速达到 60 m/s 时,可以准确推出上下四个点的风载作用力,这样可以使支架的强度设计更准确。

4 结论

- (1) 正向风载小于背向风载。
- (2) 背向风载的作用点位于中心偏上,更容易吹翻光伏板。
- (3) 用最小二乘法拟合试验数值推出风载,可以用于指导支架强度的设计。

参考文献:

[1] 刘树民, 宏伟. 太阳能光伏发电系统的设计与施工 [M]. 北京: 科学出版社, 2006: 114—128.
[2] 杨刚, 陈鸣, 姚少雄, 等. 太阳能光伏发电系统数据采集和测试平台 [J]. 微计算机信息, 2009, 25: 86—88.
[3] 周云龙. 工程流体力学 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2006: 69—71.