

## 光伏支架结构整体性能的研究\*

张梅<sup>1</sup>, 张恬<sup>2</sup>, 汪婷婷<sup>3</sup>

(1.特变电工新疆新能源股份有限公司西安设计中心, 西安 710065, 电话: 15829603418)

**摘要:** 为了优化光伏支架设计方法, 提高支架整体质量, 针对光伏支架的整体性能提出了此类钢结构在设计中应明确的几个概念, 有稳定性、强度、刚度和疲劳等。并深入剖析了现阶段在光伏支架设计中存在的问题, 提出在支架结构理论设计和承载力等整体性能方面该做的两方面实验, 以期通过试验来验证理论设计结果的可靠性, 优化支架结构, 为支架设计人员和研制单位进行支架结构优化设计工作提供有力的参考。

**关键词:** 支架结构; 整体性能; 设计方法; 性能试验

### 1 引言

钢结构因其具有自重轻、强度高、工业化程度高等优点, 在建筑工程中得到了广泛的应用, 在其他一些行业中也得到了普遍应用。光伏支架作为一种简单的钢结构, 具有钢结构所具有的各种性能, 它的设计要求不像建筑钢结构那么严格, 加之目前光伏行业的特殊性, 支架整体的性能往往就被人们所忽视。但是, 随着行业的发展逐渐成熟, 对上下游所涉及到的所有产品和服务的要求会越来越高, 经验性的设计将不再满足光伏行业的需求, 注重质的提升无疑将会成为企业长期站稳市场的制胜法宝。所以, 我们有必要对光伏支架结构的整体性能进行深入的研究, 改进目前的设计方法, 优化支架结构, 提升支架的质量, 降低支架的成本, 使光伏结构专业朝向健康良好的方向发展。

### 2 结构设计的目的和支架结构整体性能分析

#### 2.1 支架结构设计的目的和要求

1) 在满足各种预定功能的要求下, 做到技术先进、经济合理、安全适用、保证质量。

2) 支架结构功能要求

(1) 安全性: 结构能承受在正常施工和

正常使用时可能出现的各种作用和设计规定的偶然事件(地震、温度变化等)发生时及发生后仍能保持必须的整体稳定性;

(2) 适用性: 在正常使用时, 具有良好的工作性能, 如不产生影响正常使用的过大变形。

(3) 耐久性: 结构在正常维护下, 具有足够的耐久性能, 如材料风化、老化、腐蚀不超过一定的限度。

#### 3) 结构的可靠性与可靠度

**可靠性:** 支架结构在设计使用年限内, 在规定的条件(正常设计、正常施工、正常使用)下, 完成预定功能的能力。可靠性是结构的安全性、适用性和耐久性的概称。

**可靠度:** 是指结构在规定的时间内, 规定的条件下完成预定功能的概率, 是对结构可靠性的概率度量。

#### 2.2 支架所受载荷分类

作用在支架结构上的荷载, 按其作用时间的长短和性质可分为三类:

1) 永久荷载 **G**: 在结构设计使用年限内, 其值不随时间而变化, 或其变化与平均值相比可以忽略不计, 或其变化是单调的并能趋于限值的荷载;

2) 可变荷载  $Q$ : 在结构设计基准期内其值随时间而变化, 其变化与平均值相比不可忽略的荷载;

3) 偶然荷载  $Q$ : 在结构设计基准期内不一定出现, 但一旦出现其值很大且作用时间很短的荷载。

### 2.3 钢结构支架的性能分析

强度、刚度和稳定性是三个不同的概念[1]。强度表示结构或者单个构件在稳定平衡状态下由荷载所引起的最大应力(或内力)是否超过材料的极限强度, 它是一个应力问题。极限强度的取值因材料的特性不同而异, 对钢材是取它的屈服点; 稳定主要是找出外部荷载与结构内部抵抗力间不稳定的平衡状态, 即变形开始急剧增长而需设法避免进入的状态, 因此它是一个变形问题。失稳表示结构不再能够保持原来的平衡状态继续承受附加荷载(虽然此时最大应力达不到材料的屈服强度), 不再能承受附加的水平力或竖向力, 代表了其水平抗侧压刚度或竖向抗压刚度的丧失(刚度=0), 它是一个变形问题; 刚度表示其抵抗变形的能力。强度和稳定性代表结构的极限状态, 即结构不再有继续承受荷载、抵抗进一步变形的能力, 刚度到了零的状态。

## 3 支架结构研究现状和性能实验内容

### 3.1 支架结构设计的研究现状分析

现阶段国内所应用的支架形式都是基于工程经验进行设计的, 早期从国外引进, 经过模仿和改进, 形成了国内通用的支架形式。国内现在已经有很多支架厂商在发展壮大, 但其产品却都是大同小异, 基本上是基于初期引进国外的产品进行设计的, 缺少创新理念, 而创新理念的欠缺主要是因为没有坚实

的理论基础和适用于验证理论设计的试验方法, 也没有人去深入研究, 支架的设计技术基本处于停滞状态。

首先在支架的设计阶段就存在着问题, 支架的受力计算公式和各种参数的选取参照的都是建筑钢结构的规范和标准, 虽说都是钢结构, 但建筑钢结构和光伏支架在结构上还是存在很大差别的, 按照建筑钢结构的规范进行设计出的结果势必会过于保守, 结果很不合理。

其次, 在软件应用上也不尽如人意, 支架结构分析采用的软件主要是工程应用软件 PKPM, 该软件操作简单, 设计效率较高, 但该软件是适用于规则建筑钢结构的, 其中的钢材截面没有适用于光伏支架的截面, 计算时只能用近似的截面代替, 其整体结构也只能用近似的框架结构来计算, 加载方式也不是很合理, 计算结果并不能让人满意, 而且这个软件不能计算铝材, 这对于很多使用铝型材的支架结构来说, 就不能进行计算, 加之一般项目的工期都比较紧, 没有人费时间用更专业的分析软件计算, 而完全是靠设计师的经验来做的, 而光伏设计的经验在国内却并不是很成熟, 所以, 凭着这样的经验和技术水平设计出来的支架产品必定不是最合理的, 必定存在着极大的优化空间, 这就需要设计师们从基本的理论出发, 对支架的性能进行深入研究, 从原理上来对支架进行优化和改进, 而不是单靠外形的模仿进行设计。

第三, 在对支架理论设计的实验验证方面的工作做得也不够, 现阶段对支架结构零部件的研究技术已经普遍和成熟, 但对于支架整体性能却很少有人关注, 一方面原因是光伏支架结构简单, 其结构失稳造成的损失

不像建筑钢结构那么严重，一般不会造成人员伤亡；另一方面现阶段光伏电站工程存在着盲目投资和扩大建设的现象，大家都在急于获得收益，很少有商家愿意耗费人力和财力去研究这些。但因为支架结构本身存在缺陷而出的问题越来越多，有的电池板被吹翻，有的支架整体倒塌，因此，提高支架整体的质量，优化支架设计方法和进行支架性能试验必须引起我们的重视了。从长远来看，在光伏电站建设量越来越多的未来，对质的追求则显得尤为重要，必须从当下入手，把提高电站的质量放到头等大事上来，而支架的质量作为影响电站质量的关键环节，我们有必要对其进行深入的研究。

## 2.2 支架设计方法的改进和支架整体性能的试验研究

### 2.2.1 在理论设计阶段把好质量关

目前还没有任何专业性的标准和规范适用于光伏支架，支架的设计方法存在着很多问题，需要做的是针对光伏支架的特点出具一套适用的标准和规范来指导支架的设计和计算，也需用适合于光伏支架的软件来分析、模拟和计算，而单纯套用建筑结构的规范和软件来设计支架，势必不会得到最合理的结果。而对设计方法的实践检验就是进行试验，用试验数据来验证理论的正确性、合理性和可靠性，理论和实践结合，相互修正，才能总结出适合于光伏支架的规范来。

### 2.2.2 支架结构整体性能的试验研究

钢结构性能检测主要包括三个部分：钢结构材料检测、钢结构连接检测及钢结构性能检测等。其中第三项测试内容包括结构及构件的承载能力及正常使用的变形要求检

测，主要检测内容有：（1）结构形体及构件几何尺寸的检测；（2）结构连接方式及构造的检测；（3）结构承受的荷载及效应核定（或测定）；（4）结构及构件的强度核算；（5）结构及构件的刚度测定及核算；（6）结构及构件的稳定性核算；（7）结构的变形(挠度等)测定；（8）结构的动力性能测定及核算；（9）结构的疲劳性能核算及测定。

对于建筑钢结构来说，有适用的规范去指导试验研究，技术也比较成熟，但光伏支架不能完全套用建筑钢结构的研究方法，需根据光伏支架的结构特点，设计适合的实验方法和手段，故针对光伏支架，建议要进行的试验研究有如下几点。

#### 1) 支架结构承载力性能试验

支架承受的主要荷载是风荷载，可进行风洞试验，利用低速风洞，模拟 50 年一遇的大风，检测支架在风荷载作用下的真实受力情况，以此实验数据来验证和指导理论设计，从而优化支架结构。

但风洞的试验成本对于光伏支架来说确实过高，所以需开发新的更适合于光伏支架的试验方法，既能达到试验的目的，又节省经济成本。故可模仿建筑钢结构的实验方法进行支架的承载力试验，按照常规设计思路试制一套支架模型，根据光伏支架的特点设计合适的辅助加载设备，按照支架的实际受力点对支架逐级施加荷载，支架的加载示意图如图 1 所示。

通过在支架杆件上布置应变片，监测试验过程中杆件应变发展情况，通过在支架杆件、节点处布置位移计，监测杆件、支架的变形。分析实验结果数据，验证理论设计的正确性和可靠性，探寻支架优化空间，优化

和改进支架的设计。

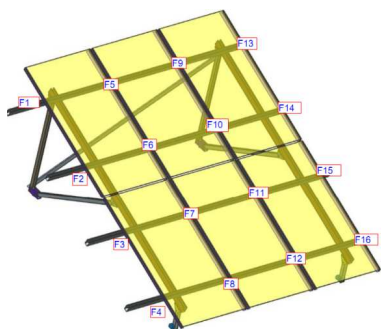


图1 支架荷载加载模型

## 2) 结构动力性能检测

结构动力性能可通过测量结构整体动力反应，然后进行动力性能识别得到。结构整体动力反应的激振方式一般采用如下两种：一种是正弦稳态激振，另一种是环境随机激振。正弦稳态激振的优点是：激振能量集中，可获较高信噪比记录，从而提高检测精度。缺点是：需专门激振设备，成本高；激振设备笨重，试验时搬运和安装困难；试验时可能影响结构的正常使用。而环境随机激振利用风或地脉动作激振源，其优点是：无激振设备要求，试验简便，所需人力较少，不受结构形状、大小的限制，试验费用低。缺点是：记录信噪比较低，试验时间长。结合支架的结构特点和激振方式的优缺点，支架较适合进行环境随机激振方式进行实验，通过此项实验数据来验证理论设计，能确保支架的质量和寿命的可靠性。

通过以上承载力的实验和动力性能的检测，能检测支架的实际工作情况与理论设计之间的差距，很好的验证理论设计的合理性和可靠性，再结合各种对连接节点的性能试验和对单个零件的性能实验数据，从零部件到整体的性能都得到了保证，也能根据实验数据来指导支架的设计工作，理论和实践相互、相互修正，使支架结构的设计更加合理。

## 4 结束语

光伏支架作为一种简单的钢结构，具有钢结构所具有的各种性能，它的设计要求不像建筑钢结构那么严格，却对光伏电站整体质量起着至关重要的作用。本文针对光伏支架钢结构的特点，对其设计方法和性能试验做了较全面的分析，剖析了在光伏支架的设计中存在的各种问题，针对存在问题提出必须从设计阶段包好质量关，做好前期设计和软件分析工作，并对设计产品的性能进行试验研究，着重指出了要进行结构整体承载力的试验和动力性能的试验研究，以试验数据来验证理论设计的合理性和可靠性，与理论设计相互修正，从而指导支架的优化设计方法，提高支架的质量，为支架设计人员和研制单位提供参考，使支架的设计技术能有更进一步的发展。

\*基金项目：国家 863 项目《百兆瓦级光伏系统设计集成技术研究及关键设备研制项目》，项目编号：2011AA05A305。

## 参考文献

- [1] 饶芝英,童根树. 钢结构稳定性的新诠释[J]. 建筑结构. 2002 (5) : 12~14.
- [2] GB50017-2003.钢结构设计规范[S].

作者简介: 张梅(1982年—),女(汉族),陕西富平,硕士研究生,机械设计及理论专业,主要从事光伏电站系统集成的结构部分的设计与研究;

张恬(1982年—),男(汉族),新疆乌鲁木齐,硕士研究生,电力电子与电力传动专业,主要从事光伏电站系统集成的设计与研究;

汪婷婷(1986年—),女(汉族),新疆乌鲁木齐,本科,电气工程及其自动化专业,主要从事光伏电站集成的电气系统的设计和研究。

联系方式: 张梅, 电话: 15829603418, Email: zhangmeizi2006@126.com

通讯地址: 陕西省西安市高新区唐延路37号Class国际公馆B座1102室, 邮编: 710065