

# Design and Analysis of MW H-Type Vertical Axis Wind Turbine Tower

Lijun Zhang<sup>1</sup>, Minggang Sun<sup>2</sup>, Lele Li<sup>1</sup>

<sup>1</sup>College of Mechanical and Electronic Engineering, China University of Petroleum, Qingdao

<sup>2</sup>Taihe Wave Energy Research Center, Qingdao Economic and Technological Development Zone, China

Email: [zlj-2@163.com](mailto:zlj-2@163.com)

Received: Feb. 21<sup>st</sup>, 2014; revised: Mar. 2<sup>nd</sup>, 2014; accepted: Mar. 10<sup>th</sup>, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

---

## Abstract

Aiming at the deficiency of existing large vertical axis wind turbine tower, a MW H-type vertical shaft wind power tower with double triangle is designed. The permanent load and wind load of tower structure are calculated. By means of Ansys workbench software, the static strength and rigidity of the tower are also analyzed. Numerical simulation results show that the maximum deformation and the maximum stress of the tower are within the allowable range in the condition of given design parameters.

## Keywords

Vertical Axis Wind Turbine; Tower; Static Strength; Rigidity

---

# 兆瓦级垂直轴风力发电机塔架的设计与分析

张立军<sup>1</sup>, 孙明刚<sup>2</sup>, 李乐乐<sup>1</sup>

<sup>1</sup>中国石油大学(华东), 机电工程学院, 青岛

<sup>2</sup>青岛经济技术开发区泰合海浪能研究中心, 青岛

Email: [zlj-2@163.com](mailto:zlj-2@163.com)

收稿日期: 2014年2月21日; 修回日期: 2014年3月2日; 录用日期: 2014年3月10日

## 摘要

针对现有大型垂直轴风力发电机组塔架存在的不足,提出了一种新型兆瓦级H型垂直轴风力发电双三角形式的塔架,计算了塔架所承受的永久载荷和风载。利用Ansys workbench有限元分析软件,对塔架进行了静强度和刚度分析。结果表明,在现有设计参数下,塔架的最大等效应力为7.1 Mpa,塔架的最大变形位于最高处,为0.04 m,强度和刚度均满足要求。

## 关键词

垂直轴风力发电机;塔架;静强度;刚度

## 1. 引言

根据风轮及其在气流中的位置,可将风力发电机分为两大类:水平轴风力机和垂直轴风力机[1] [2]。目前,垂直轴风力发电机由于存在无须对风,增速齿轮箱和发电机能安装在地面上,以及运行维修方便等优点而逐步被推广。塔架是风力发电机组的重要组成部分,承载着风力发电系统运行引起的各种载荷,同时传递这些载荷到基础,其设计水平直接影响风力发电机的可靠运行。

然而,据统计,在风力发电机组损害的诸多因素中,塔架占到了18%,为各项破坏因素之首[3]。为此,为了保证风机,尤其是兆瓦级风机运转的稳定性和可靠性,同时扩大现有塔架的装机容量,本文提出了新型兆瓦级H型垂直轴风力发电机双三角形式的塔架,并对塔架的强度进行了计算和校核。

## 2. 新型塔架的结构及特点

由于沿不同高度梯度风的密度不同,且离地面高度越高,风速越大,风的密度也越大[4] [5]。另外,风力机在单位时间获得的风能与其扫风面积有关,为此将多层单一H型垂直轴风力机塔架沿高度方向串联起来,且沿高度方向越往上单个塔架的安装高度稍高,塔架共10层,并在每层塔架的底部设置平台,使H型垂直轴风力发电机组位于两层平台之间,每个风机都有独立旋转轴,形成大型风力发电机组。H型垂直轴风力发电双三角塔架的整体结构如图1所示,主要由塔柱和平台组成,塔柱呈“△”型排列。每层平台俯视图如图2所示。为了增加塔架的抗弯刚度,每个塔柱也由三组立柱组成,呈“△”型排列。

## 3. 塔架的模型简化与技术参数

### 3.1. 模型简化原则

1) 本文研究的是兆瓦级大型风力发电机,塔架结构高,体量大,根据其几何特征和受力特点可将其简化为集弯曲变形,轴向压缩、扭转变形为一体的梁柱问题来解决。

2) 风力机、法兰、轮毂的重量作为集中载荷加载在每层平台中心位置处。塔基底部固定,即约束所有自由度。

3) 采用载荷等效原则将作用在塔架上的风载进行静力等效,即将塔架上的面载荷等效为节点集中载荷。

4) 每三层塔架为一组,为便于计算与分析,这里仅分析一组塔架,且塔柱每一角按有一根立柱计算。

### 3.2. 技术参数

塔架材料为Q345钢,屈服强度345 MPa,弹性模量06 GPa,泊松比0.3,密度7850 Kg/m<sup>3</sup>,风速12 m/s,

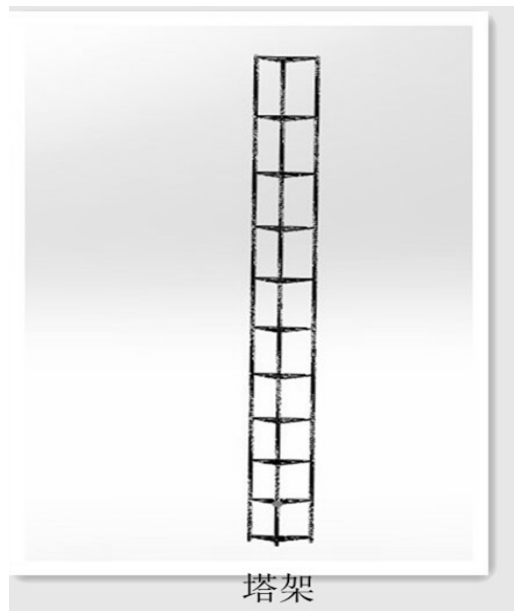


Figure 1. Schematic diagram of structure of the tower  
图 1. 塔架的整体结构示意图

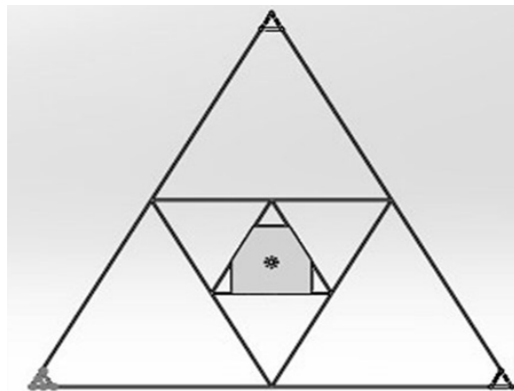


Figure 2. Top view of each layer of platform  
图 2. 每层平台的俯视图

每根塔柱的外径 200 mm，内径 100 mm。风机、法兰、轮毂重量 200 Kg。

### 3.3. 载荷计算

1) 每一层风机、法兰、轮毂的重力： $G_1 = mg$ ，其中： $m$  为风机，法兰、轮毂的总质量，取 200 Kg， $g$  是重力加速度取  $9.8 \text{ m/s}^2$ 。

2) 塔架的自重  $G_2$ 。

3) 作用在塔架上的风压为：

$$P = 0.5\rho(Z/H_0)^{2a}V_z^2 \quad (1)$$

其中： $P$  为风压分布载荷， $\text{N/m}^2$ ； $\rho$  为空气密度， $\text{Kg/m}^3$ ； $Z$  为塔架高度， $\text{m}$ ； $V_z$  为高度为  $Z$  处的风速， $\text{m/s}$ ； $H_0 = 10 \text{ m}$ ； $a$  为地面粗糙度和地面风的切变系数。根据以上公式，可得  $G_1 = 1960 \text{ N}$ ， $P = 92.88 \text{ N/m}^2$ 。

## 4. 基于 SolidWorks 的塔架强度分析

### 4.1. 模型的建立和网格划分

在 SolidWorks 软件中建立塔架的三维模型，并采用自动划分方式划网格，网格尺寸为 100 mm 时，节点为 165,546 个，单元为 80,564 个，自动划分的网格如图 3 所示。

### 4.2. 塔架的位移约束和载荷约束

由于风力发电机塔架与基础固联，在进行强度分析时对塔架底部施加全约束。

每一层风机塔架上的集中载荷通过每层平台上的法兰表面传递到整个塔身。通过指定受力点的坐标位置(0, 50.1, 6.93)，载荷类型设置为 Components，方向沿 Y 轴负方向，大小为 1960 N。重复上述过程，给剩余平台施加载荷。

施加风载荷。施加的载荷类型为 Components，方向沿 Z 轴正方向，大小为  $92.88 \text{ N/m}^2$ 。塔架上的所有载荷和约束如图 4 所示。

## 5. 结果分析

通过 Ansys 后处理得出了塔架的等效应力分布云图和整体变形云图分别如图 5 和图 6 所示。由图 5 可知，在现有条件下，塔架的最大等效应力为 7.1 Mpa，远小于 Q345 材料的屈服极限 345 MPa，满足设计要求。需要说明的是在计算风载荷时是按最大额定风速 12 m/s 计算的，塔架的静强度有较大储备。

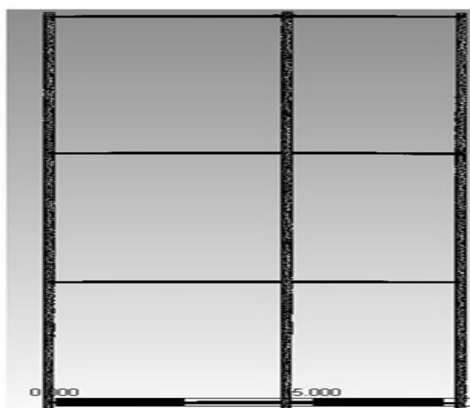


Figure 3. Automatic mesh division

图 3. 自动划分的网格模型

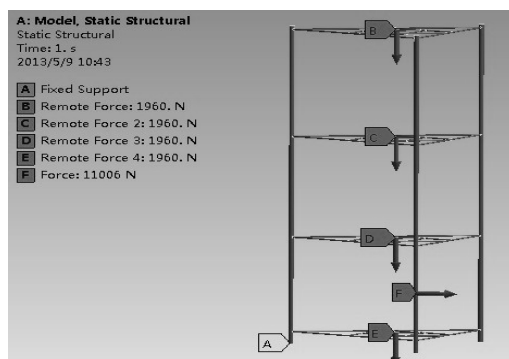


Figure 4. The mechanical model of the tower

图 4. 塔架的力学模型

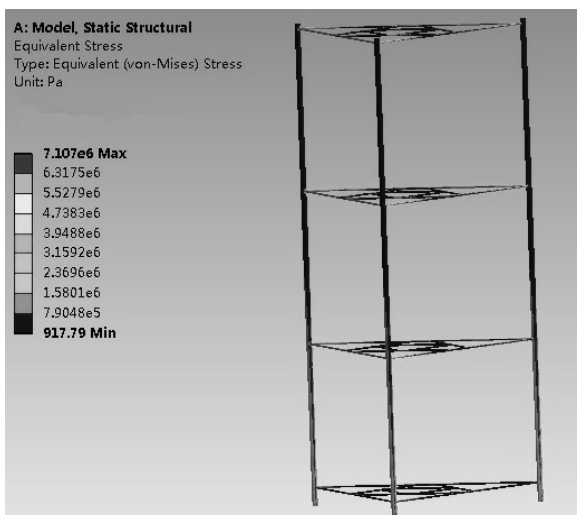


Figure 5. Von Mises stress of the tower  
图 5. 塔架的等效应力云图

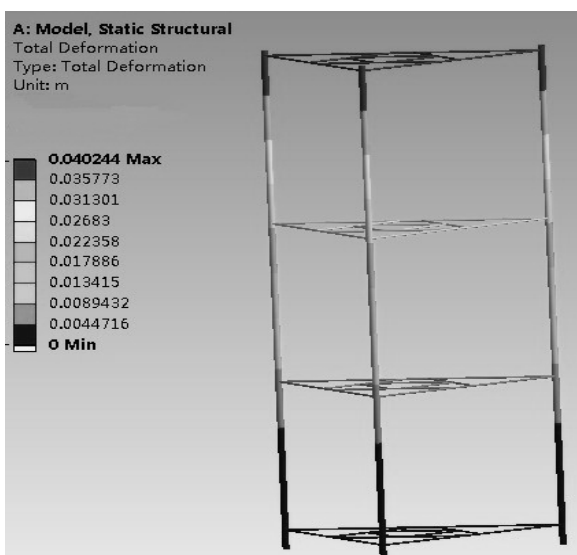


Figure 6. The deformation of the tower  
图 6. 塔架的整体变形云图

刚度校核是根据塔顶最大位移进行检验，判断是否超过其控制值。风力发电机塔架作为一种特殊的高耸钢结构形式，其许用的塔顶位移条件在国内尚无统一的标准和规范[6]。根据经验，要确保风力发电机内部设备的性能要求，将高塔架的顶部许用位移控制在塔架总高度的 0.5%~0.8% 的范围[7] [8]，即：

$$[f] < (0.5\% \sim 0.8\%)H \quad (2)$$

式中：[f]为塔架的许用位移，H为塔架的高度，取 46 m。顶部许用位移应小于 0.23 m~0.368 m。如图 6 所示，塔架的最大变形为 0.04 m，在安全变形范围内，满足设计要求，并有较高的刚度储备。

## 6. 结论

- 1) 提出了一种新型 H 型垂直轴风力发电机组双三角塔架，塔架高度 150 米，由塔柱和平台构成。俯

视看,塔架呈三角形,每个塔柱由三个立柱组成,也呈三角形。整个塔架结构紧凑、占地面积相对较小,装机容量进一步增强,可靠性提高很大。每个风轮都有独立旋转轴,保证运动协调性,避免了现有垂直轴风机仅有1根轴旋转造成其上下扭矩不同的情况。

2) 塔架在 50 m/s 风速下,塔架的最大等效应力为 7.1 Mpa,塔架的最大变形位于最高处,为 0.04 m,强度和刚度均满足要求,并有较大的储备。

3) 多次计算发现,塔柱的直径对塔架的强度和刚度有较大影响,选定每根塔柱的外径为  $D_1 = 200 \text{ mm}$ ,内径为  $D_2 = 100 \text{ mm}$ 。

## 致 谢

中央高校基本科研业务费专项资金项目(14CX02069A)。

## 参考文献 (References)

- [1] 卢为平 (2011) 风力发电基础.化学工业出版社,北京.
- [2] 姚兴佳,宋俊 (2009) 风力发电机组原理与应用.机械工业出版社,北京.
- [3] 朱仁胜,刘永梅,蒋东翔等 (2011) 基于 MW 级风力发电机塔架的有限元分析. *机械设计与制造*, **5**, 104-106.
- [4] 李宗福,张有闻,白云飞 (2007) 风力发电机塔架设计综述. *低温建筑技术*, **4**, 79-80.
- [5] 杜志杰,马丽娜 (2009) 风力发电.化学工业出版社,北京.
- [6] 赵文涛,曹平周 (2010) 陈建锋. 风力发电钢塔筒的荷载计算方法和荷载组合研究. *特种结构*, **4**, 73-76.
- [7] 戴建鑫 (2011) 风力机塔架的有限元建模与静动态特性的分析. 兰州理工大学,兰州, 12-14.
- [8] 张晓峰,张静,姚金山 (2012) 基于 ANSYS Workbench 的大型风力发电机组塔架静态分析. *太阳能*, **15**, 36-39.