

# 浅谈风电机组螺栓副安装及日常维护

刘海斌 于满源 王博 高伟杰 杨晓梅

华能酒泉风电有限责任公司 甘肃 酒泉 736100

**[摘要]** 风力发电机组主要有塔筒、叶片、轮毂主轴、齿轮箱、发电机等部件组合而成，风力发电机组组成部件多为钢结构，钢结构的连接组装主要由高强度螺栓完成。高强度螺栓的安全可靠在日常运行中对风力发电机组安全、可靠运行有着极其重要的作用。近年来风电行业由于在运行过程因螺栓断裂造成风电机组倒塔、叶片掉落、齿轮箱爆箱等事故。防止钢结构高强度螺栓设计、安装、维护等方面隐患进一步发展成事故，对螺栓开展精细化巡检运维，为企业设备综合治理和风电场设备管理提供宝贵资料。本文就风电机组螺栓的介绍，重点对风电机组螺栓安全可靠安装及螺栓探伤等维护措施进行分析。

**[关键词]** 风电机组螺栓；运行措施；安全

**【DOI】** 10.12252/j.issn.2096-6288.2021.10.1305

## 一、风电机组高强度螺栓副的结构及作用

风力发电机组主要使用高强度六角头螺栓副，它由一个大六角头高强度螺栓、大六角头高强度螺母和两个高强度平垫圈组成一幅连接紧固件。螺栓副硬度应达到10.9级，芯部要求材质为90%以上回火索氏体+回火托氏体，且表面无明显脱碳现象。螺栓副将风力发电机组基础环、塔筒、风轮、主轴、齿轮箱、发电机等大部件组合而成。

## 二、风电行业螺栓副运行现状

进入新世纪之后，风电技术迅速发展了起来，作为一种年龄较轻、发展迅速的新型工业，风电技术在过去10年内的的发展速度大大超过了人们的预期。在风电机组安装运行过程中对螺栓副存在的设计问题、内部缺陷、疲劳、外部锈蚀、螺栓预紧力力矩不满足要求，在后期运行中螺栓断裂造成风机倒塔、齿轮箱倾覆、叶片断裂等事故层出不穷。2020年7月，河北某风电场11号风机发生一起倒塔事故，引发该事故的原因是该风电机组的第一节与第二节塔筒连接处的一根螺栓发生断裂，直接导致了这场事故的发生。如能有效的定期对风电场进行高效可靠的螺栓检测，判断风机上每根螺栓的质量，完全可以提前避免事故的发生。

## 三、风电机组螺栓安装运行措施

### 1. 到货检查及存储

到货检查要检查螺栓质量检测以及外观检查记录，同时留有影像资料，以备后续记录调查。存储要在室内按批号、规格分类存放，存放环境干燥，存放时间不应超过6个月，超过6个月时需重新开展扭矩系数或紧固轴力试验，检验合格方可使用。

### 2. 安装注意事项

2.1 风电机组安装应严格按照《风电机组现场安装（指导手册）》和《风力发电机组紧固件技术规范》执行。螺栓紧固主要通过控制施工扭矩值对高强度连接副进行紧固和通过控制螺母和螺栓相对转角值对高强度连接副进行紧固两种方法，现场安装需严格按照规定力矩值进行，避免出现过力矩或欠力矩。过力矩会导致螺栓应力强度下降，甚至在力矩维护中发生直接断裂；欠力矩长期运行会导致螺栓松动，叶片、塔筒、叶片及传动来呢振动加剧，造成叶片断裂和叶片变桨轴承与轮毂法兰接触面间隙变大、倒塔、齿轮箱倾覆等问题。

2.2 安装时对螺栓副均匀涂抹润滑剂，如果润滑剂涂抹在不规范会导致螺栓扭矩系数偏差，进一步造成预紧力的一致与不均匀，为叶片螺栓断裂埋下隐患。

2.3 安装期间所用的工器具必须按要求进行备案检查，留有完整的工器具编号，如信息缺失，设备状态不详，就不能确定其实际输出是否满足要求，特别是用于打力矩的液压站和力矩扳手，都需进行校验。液压力矩扳手 扳手头最多只能发出一声“咔嚓”，超过则表明预紧力缺失。力矩扳手从起始点最大旋转15度，超过则表明预紧力缺失。确保设备状态良好，满足现场安装要求。

### 3. 螺栓副维护要求

3.1 维护标识异常按要求每次力矩维护后都需用不同颜色标识力矩标识线，标记的位置：螺栓头的前端面或者六角螺栓头上。标记线划过的范围要涵盖 螺栓头、垫片和所紧固的部件连接面，并且要成一条直线。（如图1所示），标识线需覆盖螺杆、螺母及垫片，如果机组维护期间所采用的力矩标识线混乱，不符合规范要求，就无法保证异常情况（如螺栓松动）的及时发现与处理。

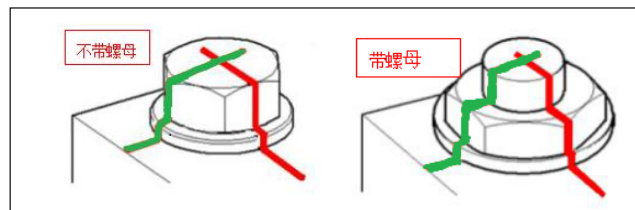


图1 力矩标示线示意图

3.2 目视检查所有螺钉标记线。如果有一颗螺栓的标记线有移位，则对该项所有的螺栓都要按照规定的力矩进行检查，并在记录文件中记录预紧力不够的螺栓的数量。如果目视检查所有螺栓标记线都没有移位，则按照规定的力矩和抽检比例进行螺栓维护。所有进行过力矩检查的螺栓必须要使用绿线进行标记。

### 3.3 螺栓预紧力缺失的判断方法

3.3.1 液压力矩扳手：扳手头最多只能发出一声“咔嚓”，超过则表明预紧力缺失。

3.3.2 力矩扳手：从起始点最大旋转15度，超过则表明预紧力缺失。

3.3.3 如果螺栓可以拧动，那么此螺栓连接肯定是松动的。

3.3.4 黄色/红色标记线产生位移，表明该螺栓预紧力可能缺失。

### 3.4 螺栓颜色标记的要求

3.4.1 黄色/红色标记线：用于标记螺栓是否松动产生了位移。

3.4.2绿色标记线：用于标记螺栓在上一次定期维护作业中是否进行了力矩检查。

3.4.3对于预紧力缺失的螺栓，重新紧固后由于原有标记线产生了位移，需清除原有黄色/红色标记线，并重新使用黄线/红线进行标记。标记方式同首次维护。

3.4.5对于螺栓更换，在更换的螺栓上施加规定力矩以后，在其上使用黄线/红线进行标记。

### 3.5螺栓检查要求

3.5.1全检：该项目所有螺母必须按照规定力矩使用合适的扳手全部进行检查。

3.5.2X/Y（抽检）：该项目螺栓必须按照规定力矩使用合适的扳手进行抽检，抽检要求为每Y颗抽检X颗，未抽检螺栓目视检查标记线。

3.5.3目视检查：该项目所有螺栓只需目视检查标记线。

4.使用超声波探伤仪对风机螺栓进行不拆卸探伤检测

4.1宜采用A型脉冲反射式超声波探伤仪。仪器和探头的组合灵敏度在达到所检工件最大声程时，其余量应 $\geq 10\text{dB}$ 。采用直探头及小角度纵波斜探头分别从螺栓端部进行检测。小角度纵波探头宜选用晶片频率为5MHz，根据所检螺栓规格尺寸，晶片尺寸宜选择7mm $\times$ 12mm或9mm $\times$ 12mm，折射角 $\beta$ 取4 $^{\circ}$  - 8.5 $^{\circ}$ 。直探头应选用晶片频率为5MHz，尺寸根据螺栓规格选取 $\Phi 6\text{mm}$ 、 $\Phi 10\text{mm}$ 、 $\Phi 14\text{mm}$ 探头。（根据现场检测经验，采用4 $^{\circ}$ 小角度纵波直探头效果也很好，明显好于直探头。）

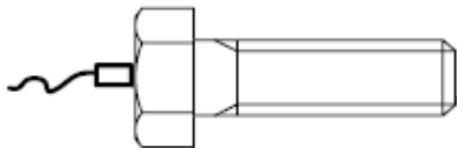


图2 探伤部位示意图

4.2试块的形状和尺寸应依据DL/T 694 - 2012《高温紧固螺栓超声波检验技术导则》中的附录A和附录B确定。DL/T 694 - 2012标准中附录A为螺栓探伤专用试块（LS - I）；附录B为螺栓探伤便携式对比试块（LS - II）。螺栓超声波检验试块的制造应符合JB/T 10063 - 1999 超声探伤用1号标准试块技术条件的规定。LS - I螺栓探伤专用试块，主要用于对探伤仪、探头性能及组合性能的测定并根据螺栓规格在试块上调整扫描速度和校准探伤灵敏度。LS - II螺栓探伤便携式对比试块，主要用于现场探伤时测定探头参数，调整扫描速度，校准探伤灵敏度等。

### 4.3探伤要求

4.3.1抽检每层塔筒法兰连接螺栓，按照抽检不少于百分之五的比例进行抽检，检查方式以两个相互垂直的方向进行，尽可能地探测到锻件的全体积。

4.3.2凡判定为裂纹的螺栓应判废。

4.3.3采用人工裂纹调节灵敏度时，凡缺陷反射波幅高达满幅80%时，应判定为缺陷记录。

4.3.4凡缺陷反射波幅大于或等于丝扣波幅6dB且指示长度 $\geq 10\text{mm}$ ，应判定为缺陷记录。

4.3.5如能确定为螺栓结构性反射波，不应作为缺陷波记

录。

4.3.6对不足以判定的较小信号应作好记录，便于复查。

4.3.7对检测出缺陷的螺栓拆下后进行渗透检测。

### 5.螺栓断裂后处理措施

齿轮箱及叶片等大部件连接螺栓出现断裂后，应及时更换断裂螺栓，以避免其他螺栓继续断裂，处理方法主要有2种，一是就地在风机上将损坏螺栓取出，将断裂螺栓及其邻近5—6根螺栓均更换为新螺栓；二是更换所有根部螺栓。目前现场多采用第1种方法处理螺栓断裂问题，但采用第1种方法后，需进行持续观察，缩短巡检周期，紧盯风电机组振动数据，对螺栓进行超声波探伤，如探伤发现问题或多次出现断裂现象，则需采用第2种方法。

### 6.运行安全措施

6.1风机的振动、安全链等故障禁止远程复位，需现场检查故障原因，确定故障已消除后再复位启机。

6.2在后续定期巡视、日常消缺等工作中继续对其余风机叶片螺栓、主轴螺栓、齿轮箱弹性支撑、发电机地脚螺栓、偏航轴承螺栓、塔筒螺栓开展排查。

6.3对变桨轴承法兰等部件采取过加固措施的机组，在巡检和定检时需对变桨螺栓、变桨轴承进行仔细检查，保证变桨轴承无裂纹、螺栓紧固，变桨大齿圈润滑正常。

6.4按照技术监督要求，开展风机高强螺栓探伤工作，利用技术手段尽早发现风机各个部位螺栓存在的问题，并及时进行处理。

6.5在风机定检工作中，认真核对液压站有无合格的检验证书，避免力矩校验值错误。根据液压站检验情况核算各个机型不同部位螺栓的力矩值，根据技术监督要求开展螺栓检查工作。

6.6在后续机组巡检中对机组基础周围地面有无高空坠物进行巡查。

6.7现场巡检及检修人员到达现场后必须及时佩戴安全帽，且不要在塔筒周边长时间逗留，车辆严格规定停放在上风向且距离风机20米外。

### 结束语

为避免出现螺栓副断裂造成风机倒塔、叶片掉落等事故，对螺栓副设计、制造、前期运输、安装过程加强监管外，在后期维护中还需做到定期对全风电场叶片螺栓力矩进行检查，发现问题及时处理；严格按照厂家力矩值对螺栓力矩定期检查；利用振动检测、螺栓探伤等新技术及时发现隐患避免隐患演变为事故。

### 参考文献

[1]杨校生. 风力发电技术与风电场工程[M]. 北京：化学工业出版社，2011：179-182.

[2]孔繁晓，言婷，周海波. 预紧力对风电叶片根部螺栓疲劳寿命的影响分析[J]. 风机技术，2017（6）：42-43.

[3]吴佳梁，胡杰，陈修强，等. 风力机安装、维护与故障诊断. 北京：化学工业出版社，2011.

### 作者简介：

刘海斌（1988-05），男，汉，甘肃永昌人，本科学历，中级工程师，主要研究方向为风力发电