

风力发电机组叶片螺栓断裂原因分析及解决措施

骆春雨

福建省福能新能源有限责任公司, 福建 莆田 351100

[摘要]针对某风电场风力发电机组自投运开始风机叶片与变桨轴承连接螺栓频繁发生断裂问题,文中结合该风电场风机叶片螺栓断裂的次数、数量和所对应位置等现场螺栓断裂的实际情况,分别从螺栓质量、叶片螺栓安装施工等方面分析叶片螺栓断裂失效原因,通过原因分析提出了具体解决措施,并组织整改后得以验证。

[关键词]风力发电机组;叶片螺栓;螺栓断杆;失效原因;解决措施

DOI: 10.33142/hst.v7i9.13491

中图分类号: TG115.2

文献标识码: A

Causes Analysis and Solutions for Bolt Breakage of Wind Turbine Generator System Blades

LUO Chunyu

Fujian Funeng New Energy Co., Ltd., Putian, Fujian, 351100, China

Abstract: In response to the frequent breakage of bolts connecting the wind turbine blades and pitch bearings of a wind turbine generator unit in a certain wind farm since its commissioning, this article combines the actual situation of bolt breakage on site, such as the number, quantity, and corresponding location of bolt breakage of the wind turbine blades in the wind farm. The reasons for the failure of blade bolts are analyzed from the aspects of bolt quality, blade bolt installation construction, etc. Specific solutions are proposed through cause analysis, and after rectification, they are verified.

Keywords: wind turbine generator system; blade bolts; bolt breakage; causes for failure; solutions

1 现场情况概述

某风电场安装20台叶轮直径116米的风力发电机组,于2019年2月开始并网发电,风力发电机组配套使用的是时代新材TMT56.8A-2.0MW叶片,叶片与变桨轴承连接螺栓为山东高强(规格:M36×600,84组/叶片法兰面)。截止2023年4月,共计有15台风机发生叶片螺栓断杆,累计叶片断杆螺栓111根。

表1 风电场风机叶片螺栓断裂统计表

机位	叶片编号	断裂次数	断裂数量	机位	叶片编号	断裂次数	断裂数量
1	叶片2	2	3	11	叶片2	4	7
2	叶片3	4	10		叶片3	6	6
	叶片1	4	5	12	叶片3	3	6
3	叶片3	1	1	13	叶片1	2	3
4	叶片2	1	1	14	叶片3	3	4
5	叶片3	3	4		叶片1	4	8
	叶片1	1	3		叶片2	1	1
6	叶片3	7	10	17	叶片1	5	8
	叶片2	2	2		叶片3	2	2
7	叶片3	2	2	18	叶片2	6	12
9	叶片2	3	3	合计			
10	叶片2	1	1			73	111
	叶片3	6	9				

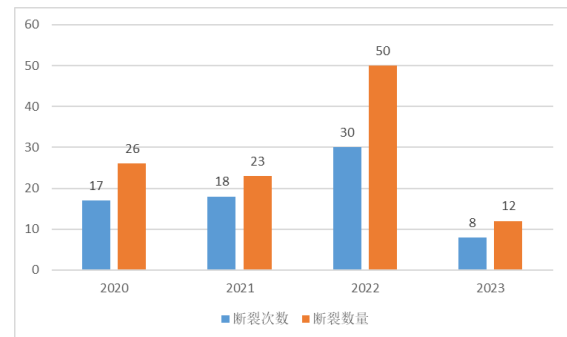


图1 各年份叶片螺栓断裂次数及数量统计表

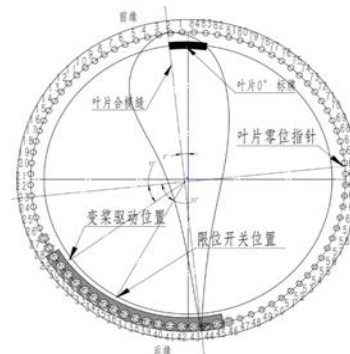


图2 叶片螺栓断裂位置及编号

2 叶片螺栓失效分析

叶片高强度螺栓运行工况复杂,对螺栓质量、安装和维护等要求都非常严格,能够引起断裂的因素有很多种,

多个因素相互影响更容易引起叶片螺栓提前失效,根据该风场风机实际运行情况,从以下几个方面分析螺栓的断裂原因:

2.1 螺栓断面宏观分析

下图为叶片螺栓断裂脱落螺栓头的断面形貌,断面未见明显塑性变形。从断面推测,螺栓断口处有明显不同程度的锈蚀情况和疲劳贝纹线,且疲劳源位于图示上方的螺牙底部,最后在图示下方的最后断裂区发生脆断。根据对宏观断口的分析,判断该叶片螺栓断裂形式为疲劳断裂。

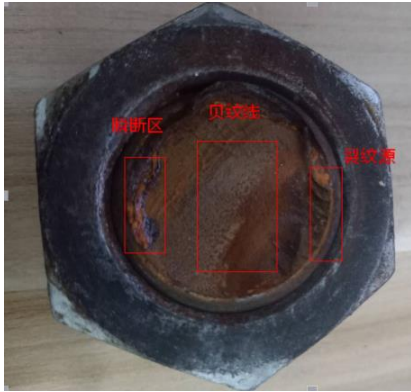


图3 叶片螺栓断裂截面

2.2 叶片螺栓质量问题

叶片螺栓质量问题通常表现在各项机械性能参数、化学成分、非金属夹杂等指标不合格。该批次的螺栓出厂报告,所有检测项目都符合国标要求。

2.3 叶片螺栓安装施工因素

叶片螺栓的安装施工是否规范对高强度螺栓的运行服役性能具有很大影响,安装施工中存在的问题有外部损伤、超拧、欠拧、螺纹润滑脂未涂或涂抹不均、液压扳手压力值换算错误、螺栓与法兰螺栓孔错位等。

2.3.1 螺栓与法兰螺栓孔错位

螺栓与变桨轴承螺栓孔错位产生的原因:

吊装时,叶片螺栓在对准变桨轴承或轴承法兰上的螺栓孔过程中有偏差;

吊装时,叶片螺栓开始时对准了变桨轴承或轴承法兰上的螺栓孔,但在力矩打完之前过早释放吊带,在叶片重力作用下引起错位;

螺栓的预紧力不足,导致法兰面摩擦力不够,出现滑动,造成螺栓孔错位。

螺栓错位量较大时可能导致:一是由于螺栓的接触使得螺栓承受一个弯矩,打完力矩后的螺栓预紧力不足,二是螺栓杆与变桨轴承螺栓孔壁贴合,引起螺栓的微振动磨损疲劳断裂。

根据现场检查及螺栓更换情况,断裂螺栓取出困难和新装螺栓无法安装,以及断裂螺栓光杆部分发现压痕,说明部分机位叶片法兰面与轮毂法兰面存在严重的错位情况,如图4~5所示。



图4 风机叶片螺栓错位情况



图5 螺栓光杆部分情况

2.3.2 螺纹润滑脂涂抹

螺纹润滑脂不仅可以起到防止螺纹咬合蠕变的作用,还可以调整扭矩系数值到所需范围。按照工艺要求在现场螺栓施工时要求螺纹润滑脂涂抹位置:螺栓螺纹旋合段、螺母与垫圈贴合面。如图6所示。

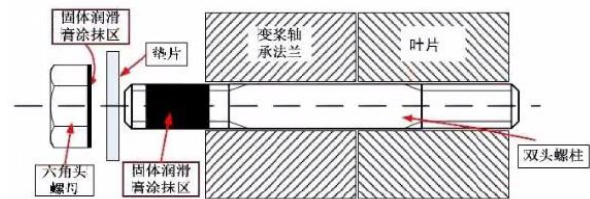


图6 叶根螺栓涂抹螺纹润滑脂示意图

根据现场检查情况,如图7所示,叶片螺栓断裂部分螺纹旋合段以及螺母与垫圈接触面能明显看到达克罗涂层,可以判断该风场风机吊装期间对叶片螺栓安装施工时螺纹润滑脂涂抹不规范。



图7 螺栓润滑脂涂抹情况

3 叶片螺栓失效分析总结

综合以上分析,得到如下结论:

(1) 该风电场安装的叶片螺栓出厂报告和第三方送检报告不存在质量缺陷问题;

(2) 叶片法兰与变桨轴承法兰存在错位,这种程度的错位会导致螺栓在力矩施工时由于螺栓不是直的,承受

了一个弯矩,力矩施工时会被弯矩消耗一部分,导致预紧力达不到设计要求,提前出现松动,导致螺栓疲劳断裂;

(3) 吊装时,叶片螺栓组螺纹润滑脂涂抹不规范,造成螺栓组的扭矩系数K值增大,同样预紧力矩的情况下,螺栓无法达到设计的预紧轴力,多个因素的叠加会导致螺栓提前出现疲劳断裂。

4 解决措施

通过现场试验后发现不拆除螺母,单纯提升螺栓预紧力矩对螺栓预紧力的提升效果较差,为保证之前未规范施工的螺栓的预紧力达到设计要求,必须拆除螺母后重新涂抹螺纹润滑脂并三次进行力矩施工。针对该风场的实际情况,并考虑到整改费用,最终采用的整改措施如下:

4.1 叶片螺栓孔错位调整

(1) 检查风机叶片螺栓与变桨轴承螺栓孔之间的错位情况,如存在叶片螺栓与变桨轴承螺栓孔错位量较大的状况(现象为拆除螺母后螺栓紧贴螺栓孔或者无法正常拆装螺栓),则先对叶片螺栓与变桨轴承螺栓孔错位进行校正。

(2) 将叶片螺栓与变桨轴承螺栓孔错位量控制在2mm以内,不影响螺栓的穿入穿出。

4.2 叶片螺栓无损探伤

完成所有叶片螺栓探伤并出具探伤报告,将探伤存在缺陷或已断裂叶片螺栓取出,完成失效叶片螺栓取出并更换相邻螺栓组。

4.3 叶片螺栓更换并采用防松螺母:

(1) 将叶片上编号为29#-45#与#1、#2、84#两个区域内频繁断裂的19颗螺栓进行更换,并将螺母与垫片全部更换为新螺栓组配套安装防松螺母和凯特克Z-washer防松垫圈。(螺栓更换位置见:图2叶片螺栓断裂断裂位置及编号)

(2) 该风场风机更换的新叶片螺栓必须为同一品牌、同一批次,螺栓端面无内六角孔,以适用于电磁双波超声轴力进行检测。

(3) 分批次拆除目标螺栓组的螺母和垫圈(单次拆除不多于10组螺栓),按顺序进行摆放后,先清理拆除下来螺母和垫圈表面以及螺栓螺纹上的污渍,然后给螺母的内螺纹和垫圈结合面均匀地涂抹螺纹润滑脂。

(4) 将涂抹好螺纹润滑脂的螺母和垫圈按照顺序逐个安装到对应螺栓组,然后分三次对螺栓进行力矩施工。

4.4 叶片螺栓预紧力测量及调整

使用电磁超声双波螺栓应力仪对叶片上所有螺栓的预紧力进行测量,对于没有达到预紧力要求的螺栓,则拆除螺母,重新对螺母、垫片、螺栓进行润滑脂的涂抹,并分三次按规定力矩值进行紧固,并在紧固过程中测量螺栓的预紧力。

(1) 螺栓预紧力检测方法必须是电磁双波超声轴力检测法。现场检验前,需提供仪器校准报告,确保所检验

的数据准确无误。

(2) 将涂抹好螺纹润滑脂的螺母和垫圈按照顺序逐个安装到对应螺栓组,然后分50%~75%~100%三次对螺栓进行力矩施工,需对螺母和垫圈拆除后及重新安装后的情况进行拍照记录。注:每个批次的螺栓重新施工力矩值需要根据现场测量的螺栓预紧力-预紧力矩变化规律进行调整。

(3) 对叶片所有螺栓进行轴力检测并记录检测结果,叶片螺栓设计预紧力为400kN,并将所有叶片螺栓的预紧力在360~440kN范围内,对于不符合预紧力要求的螺栓必须重新进行力矩调整。

5 整改后效果

整改后叶片螺栓预紧力:

(1) 以该风场6#风机3号叶片为例,通过超声波轴力检测仪器测量螺栓预紧力满足技术规范求(360~440kN)仅有1颗螺栓,合格率为1.19%,通过调整后螺栓预紧力合格率100%。(见图8叶片螺栓轴力雷达图)

(2) 此次对该风电场叶片螺栓断杆频次高的5台风机(#2、#6、#10、#11、#18)的9支叶片螺栓进行整改,通过风机近1年多的运行验证,达到了预期效果。

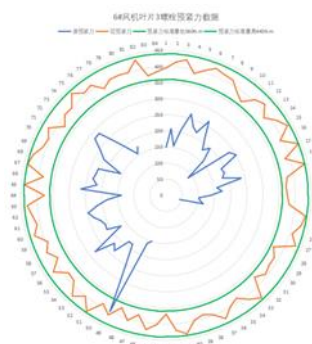


图8 叶片螺栓轴力雷达图

[参考文献]

- [1] 高培昱. 风力发电变桨连接螺栓故障诊断和可靠性分析[D]. 太原: 太原理工大学, 2017.
- [2] 闫云强, 王鹏鑫, 赵英芝. 风电机组叶片螺栓断裂原因分析及处理[J]. 内蒙古电力技术, 2018(6): 51-53.
- [3] 左天强. 风电机组叶片螺栓断裂原因分析[J]. 中国重型装备, 2018(1): 24-26.
- [4] 张磊, 何建军, 程庆阳, 等. 风机叶片连接螺栓损伤的在线监测[J]. 无损检测, 2021, 43(5): 64-68.
- [5] 刘胜祥, 宋晓萍, 曾毅, 等. 随机载荷作用下的风力机高强度螺栓疲劳特性分析[J]. 太阳能学报, 2013, 34(2): 201-206.

作者简介: 骆春雨(1985.2—), 男, 职称: 工程师, 2008年毕业于西北民族大学电气工程学院电气工程及其自动化专业, 学历: 本科, 工学学士; 2008年8月至今, 就职于福建省福能新能源有限责任公司, 现任首席检修师职务。