

首页 | 行业新闻 | 会展信息 | 专利信息 | 项目推荐 | 论文精选 | 技术交流 | 最新访谈 | 能源专家库 | 能源商机



中国首部最权威、最科学、最系统的新能源年
国家政府、顶尖级科研力量、数千企业倾力打造

中国新能源网风能站

太阳能 | 生物质 | 风能 | 地热能 | 海洋能 | 小水电 | 氢能 | 天然气水合物

当前位置: 中国新能源网 > 风能 > 风机叶片在台风中结构破坏的分析

风机叶片在台风中结构破坏的分析

中国新能源网 | 2006-5-22 16:23:00 | 新能源论坛 | 我要供稿

特别推荐: 《2008中国新能源与可再生能源产业发展报告》征订

0 引言

事故分析是一个极为有价值的工程实践活动,无论是在产品/部件的设计过程中,还是在事故发生后,都是如此。作为对产品/部件进行坚固性的设计工具,“失效模态及其影响力分析”(简称FMEA)是保证项目开发和产品质量的一个强有力工具,因此这种分析手段正被广泛地应用于当今的制造业中,事实上,FMEA分析过程遵循了美国质量管理先导者戴明先生所指出的一套极为有效的路径:即计划—行动—核实—具体实施—再计划—再行动□□。这是一个对产品质量和设计不断认识和改进的循环(或称之为PDCA循环)。它最早在50年代用于航空业,其后60年代又被NASA(美国航天宇航局)采用,直到80年代被用于汽车工业当中。这里所采用的FMEA(逆向)将给我们对发生在中国汕尾红海湾风电场的风机叶片结构失效性分析提供一个指导性路径。其间该风场的风机经受了2003年台风“杜鹃”的袭击,造成了9台风机叶片损坏。通过这种分析,失效的潜在原因及机理、失效的影响力、失效的结果和事实以及风机叶片整体功能的丧失都得到了相应的剖析。

1 从风流边界层及其特性看破坏的宏观原因

我们知道,流体在流过平板时靠近平板表面有一个流体边界层,同样的在低海拔范围内,地球表面流动的大气也有类似的效果。这部分低海拔大气层就称为“边界层”。在边界层中,流体的速度随边界层高度的增加而增加。也就是说在地球边界层中,风速也随离地表高度的增加而增加。这类自然现象简称为“风切变”。值得指出的是,在下文所提到的大多数风力活动均指在地球边界层当中的活动,那么丘陵与山脉等就成这边界层的表面“粗糙度”了。地球边界层的特性对认识风机所遇到的湍流现象是很有帮助的。

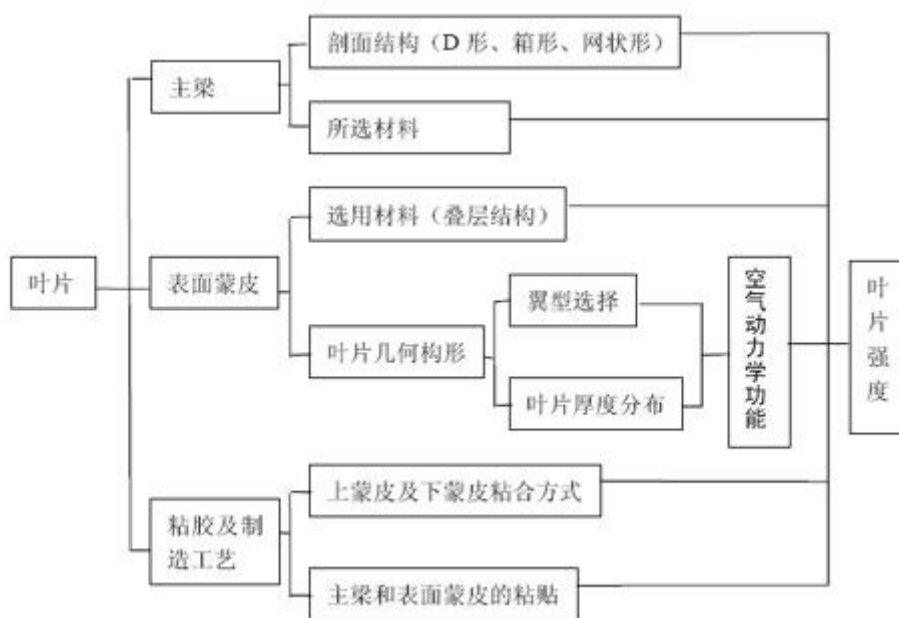
相比于风力的旬周期和日周期变化,那么风的湍流则指的是风在相对短的时间中其速度的波动变化,通常这种时间是以分、秒甚至更短来计的。在热带气旋情况下,应该说这种变化的时间周期小于10秒。也就是说在台风中风湍流的变化频率是很高的。因此,它对风机叶片有着十分显著的影响。2003年台风“杜鹃”中所损坏的一些叶片便证明了这一点。

风的湍流主要起因于地球表面“粗糙度”及其“摩擦阻力”。湍流过程固然复杂，人们也不能简单地用一个确定的方程去描述它，但是它们还是遵循一些物理定理的，比如质量守恒、动量守恒、能量守恒。

对湍流描述的一个最基本方式是：湍流强度。它是由风速变化的标准方差与其平均风速相除来表示的。湍流强度明显地取决于如上所述的地球表面边界层的“粗糙度”以及海拔高度等。所处的区域越“粗糙”，那么湍流强度就越高，所以说湍流强度高的地方，其风速就相对低一些，这是受动量和能量守恒所制约的。这种情形下湍流区域有较大的气流混合与动量转换活动。

有了上述的分析，我们便会对风机所处地球边界层内的风流环境特性在遭遇台风时有个基本的判断，这也是红海湾风场风机叶片受损的外部环境因素（外因）分析。

2 风机叶片部件组成逻辑图：



部件构成图为我们的失效性分析勾画了一个清晰的逻辑结构流程，它有助于我们分析和认识蕴藏于此结构的失效原因，无论是局部的还是整体的，如上图所示，影响叶片整体强度以及振动的因素有很多，从主梁到表面蒙皮（即翼壳）的材质甚至到粘接材料和制造质量等。

3 叶片的刚性、共振特性、荷载以及疲劳

自70年代以来，大多数水平轴风机的叶片都是由复合材料制成的，最常用的复合材料是预应力玻璃钢塑料（GRP）。从结构上来讲，复合材料的优点在于他们具有较高的强度—重量或刚度—重量比以及较长的运行寿命等。我们知道，刚性—重量比决定着叶片的固有频率，同时刚性强也将极大地影响叶片的形变。

具体地讲，杨氏弹性模量、结构及部件的设计、叶片材料的选用以及制造质量都是决定叶片总体刚性的主要因素，通过对具有特定刚性的叶片的模态分析，人们可以确定一些主要固有频率及其形变和振

动方向东。这种分析又叫振型分析。

根据于午铭先生在其相关论文中所述, 从地形上来讲, 九个所损坏的风机都处在复杂的丘陵地形区域中。如上所述, 即使是在正常的运行情形下, 风流通过该区域的时候都会产生一些尺度较大的湍涡流, 这些湍涡流会增加风流的变化, 或者说是风的湍流强度, 因此增加了对风机主要部件的疲劳程度。所以说, 处于此地形当中的风机将因此经受着比平原地区更为严峻的工况条件。特别是在经受热带气旋的时候。从边界层的角度来讲, 该区域的“粗糙度”也达到了较高的量值。

当风流变化的频率接近风机叶片的固有频率时, 就会激起叶片的共振, 这对一个刚性叶片来讲, 就是一个荷载了, 本文把这次热带气旋——台风“杜鹃”大风急湍流变化所带来的叶片共振表述为叶片的极端疲劳荷载, 这是一个非运行荷载。通过下述对叶片失效的调查性分析, 我们将会看到这类荷载对风机叶片所造成的损害。

众所周知, 一些材料可以经得起一次较重的荷载, 但却经不起重复施予其上的轻荷载。因为这种重复循环的应力和应变将导致其结构的破坏直至断裂。S—N疲劳图就是用来描述疲劳应力及其疲劳次数关系的图。实验表明, 和蠕变损坏不同的是: 由疲劳带来的断裂应力小于材料的实际屈服应力, 疲劳循环次数越多, 其失效的应力也就越小。

4 失效性分析

根据对损坏的9个叶片的观察, 我们注意到, 所有叶片的主大梁及前缘表面均无断裂, 从另一方面讲, 这一事实证明叶片的主大梁基本上承受住了由台风“杜鹃”带来的剧烈的动态冲击。具体来说, 叶片的襟翼向和后缘向的弯曲振动是可以忽略的。因为此时这类中空叶片的较高的抗弯刚性使得叶片的弯谐振频率远高于由风湍流产生的激振频率。但是这9个叶片的后表面蒙皮(即翼壳后沿)受到了损坏, 为什么呢? 我们知道, 实际的风机叶片在此时另外会受到扭谐振, 当风流变化所带来的激振荷载强劲而又与该叶片的固有频率相同时, 再加上极为重要的一点, 即当叶片的设计和制造存在缺陷时。注意, 此时这类扭谐振就是施予叶片的极端疲劳荷载。

关于疲劳损坏的原因是复杂的, 但还是可以用最简单的想象把疲劳损坏看作为缘于极小裂纹的生长开始, 这类失效的机制显然是因为叶片表面的极小的区域受到了局部集中应力的影响, 这个局部集中应力又远大于粘接叶片翼后缘胶的粘合平均应力以及叶片蒙皮复合材料的平均应力。当这类较高的切应力反复作用时, 就导致了极微裂痕的形成, 这些极微裂痕又会进一步延伸至粘胶层内部和叶片蒙皮的相邻区域中去, 最终导致粘胶和复合蒙皮强度的降低。宏观结果是上下蒙皮汇合处的后翼沿开裂以及叶片蒙皮断裂。叶片蒙皮的整体性刚度因此受到损坏(参见图1)。此外, 这类复合材料较低的杨氏弹性模量和主梁、蒙皮间较差的胶粘接强度一同导致了蒙皮的鼓包断裂(见图2、3)。这类鼓包断裂在此次极端失效中起着相当的主导作用, 同时应该指出的是本次破坏活动还有严重的二次破坏现象(见图4、5)。注意, 扭谐振是关于叶片主梁对称的, 这可以用来解释为什么大多数叶片的损坏发生在翼的上下两侧的原因。

至于每台受损风机为什么只有一只叶片遭到破坏的原因是以下三个因素同时作用的结果:

1. 风机叶片的固有频率（叶片的谐振方向）；
2. 风湍流的激振（风的变化方向）；
3. 叶片的位置使其自身的谐振方向与来风的谐振方向一致。

对于最后一个条件一旦某叶片恰好占据了恰当的位置，那么另外两个叶片便没有可能在这360°范围拥有同一位置了。总的来讲，恰当的材料刚性、恰当的时间以及恰当的位置，决定了只能有一个叶片受损。

到目前为止，我们得出结论，台风“杜鹃”在复杂地形区域/丘陵地带中所带来的风湍流激起了处于恰当位置的那一叶片的扭谐振是叶片损坏的决定性原因之一。另一方面，自叶片蒙皮几何结构的损坏起，叶片的空气动力学功能便随之丧失。进一步来讲，风机的运行功能也因此不复存在。同时还注意到，在风机设计过程中来自于运行态和非运行态的疲劳荷载都是至关重要的。

为了定性地探讨，扭矩荷载下的变形，断裂和断裂的相关位置，作者特别制作了一个小比例纸制叶片，其中有一中空塑料主梁。该纸制叶片也曾于一贯流风机产生的风场之中，以探讨其振动和失效的演变（参见图6、7）。这两个实验都是概念性模拟并对此次失效分析的研究有着一定的帮助。

5 关注与讨论

我们知道，刚性——重量比决定叶片的固有频率，因此叶片设计的最重要的目标之一就是去避开谐振，也就是除去施予风机叶片上的极端疲劳荷载。因此在这种情形下，扭转刚度的改善应该集中在以下几个方面：

1. 主梁结构：尤其是在接近于叶根处的大面积中空和叶片上半部的刚性的处理（见图4、9）。
2. 主梁与蒙皮的粘接：包括两个方面——所采用的胶以及制作过程，如残余应力的控制等（见图8）；
3. 翼后沿的粘接：粘合方式以及加工过程（见图9）。

再次重申，本分析主要集中在风机叶片的极端荷载以及它的形成上，包括从风湍流到叶片受激谐振和它的结构失效机理。此分析并没有包括风机非工作情况下的控制方法，如偏航和停车等。

[关于我们](#) - [联系我们](#) - [广告服务](#) - [友情链接](#) - [新能源论坛](#) - [会员登录](#)

经营许可证编号：粤B2-20050635 粤ICP备05004665号 中国新能源网

主办：中国科学院广州能源研究所 承办：广州经天广告传播有限

地址：广东省广州市天河区五山能源路四号中科院广州能源研究所技术集成大

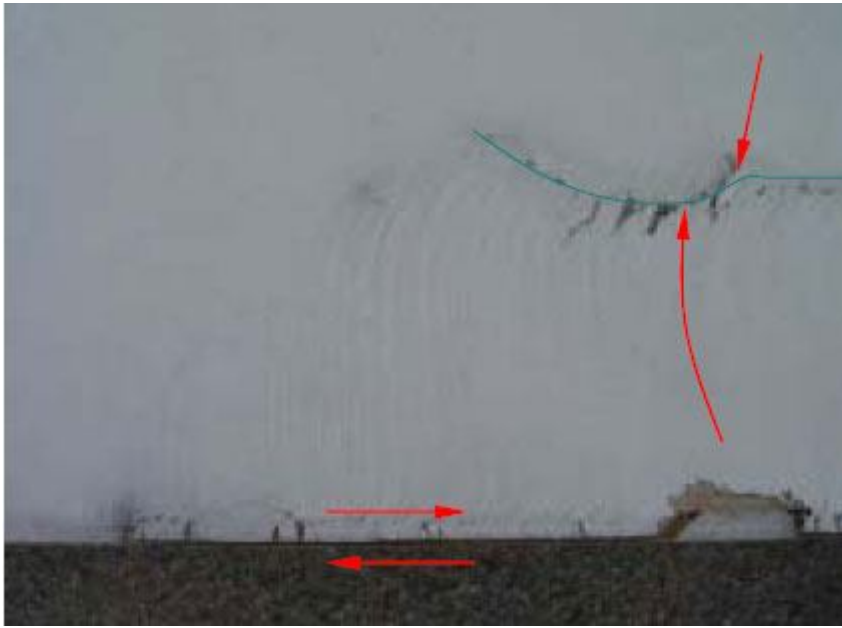


图1: 蒙皮及后缘开裂



图3: 典型的鼓包隆起、开裂 (II)



图4: 蒙皮断裂之后的二次性破坏



图5: 鼓包断裂后的二次性破坏

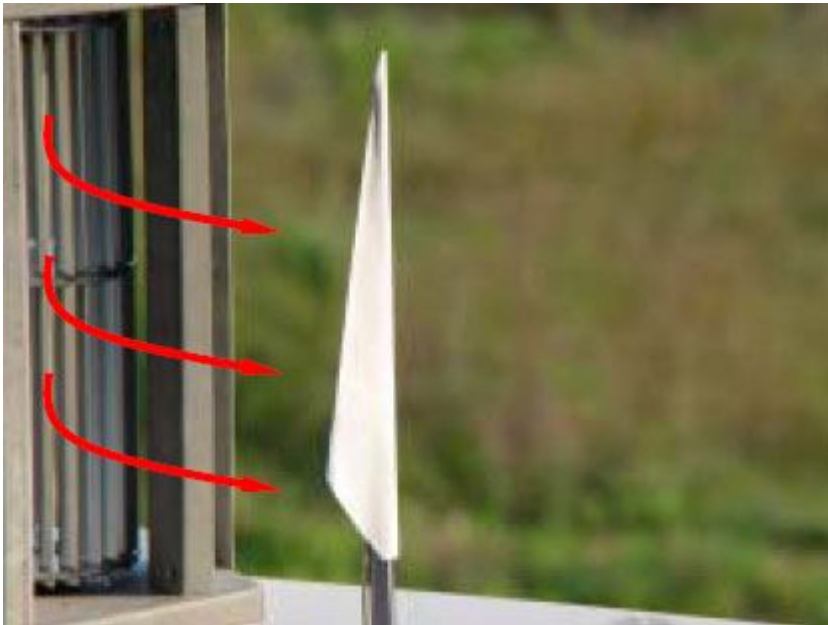
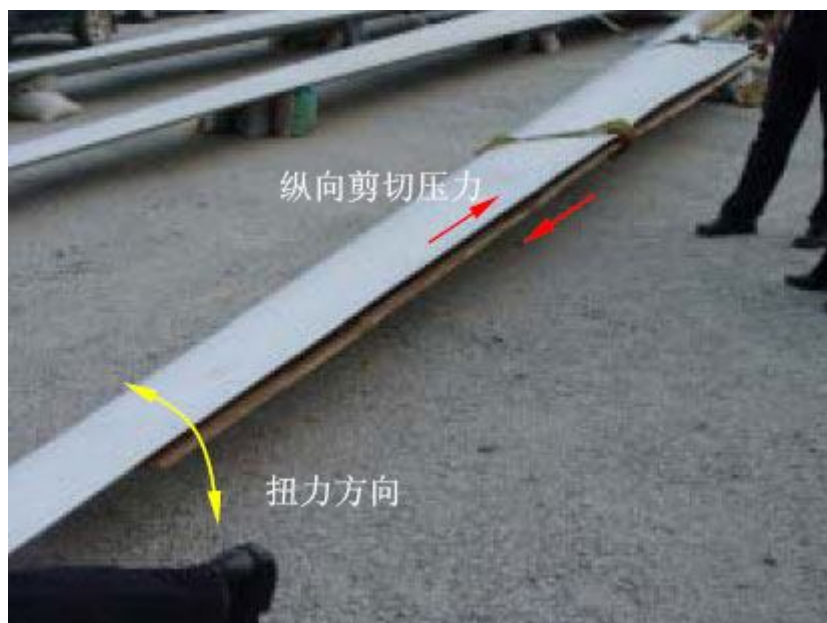


图7: 小比例叶片置于贯流式风机的“风”中



图8: 主梁与蒙皮粘胶或制造质量的缺陷



图中文字：主梁胶与蒙皮表层缺乏粘性渗透，此现象即意味着主梁与蒙皮之间在此处并未得到粘合，这样会降低叶片的总体刚性，并易产生振动。

来源：中国风能协会

>>您想让更多的人了解您的公司、产品吗？请点击进入[能源商务中心](#)发布信息。您有好文章要发表吗？请直接给我们投稿。请点击进入[网上投稿](#) 邮箱：[#改@](mailto:cneadmin#163.com)

相关文章

[浅谈风电产业中的风能技术](#) 2008-12-18 8:53:00

[工控机ARK在风能发电中的应用](#) 2008-7-9 9:22:00

[风能开发中的几个关键科学问题](#) 2008-5-16 9:10:00

[将风能储存在深深海底](#) 2008-5-9 10:15:00

[旋风风能提水系统的研究](#) 2007-9-7 10:54:00

[世界首台全永磁悬浮风能发电机在穗诞生](#) 2006-2-17 9:42:00

[我国风能资源分布（小资料）](#) 2006-2-17 9:13:00

[摆翼式立轴风力机将使风电普及使风能成为新世纪的主要能源](#) 2005-6-30 14:56:00

项目推荐

- 中等规模生物质气化发电技术
- 能量自给型城市生活垃圾堆肥系统
- 地源热泵供热供冷技术推广应用
- 太阳能空调与供热综合系统
- 自动调光高效节能镀膜玻璃
- 风光互补发电道路照明系统
- 常规饮用水光催化净化深度处理
- 动态冰蓄冷技术的推广应用
- 建筑物空调蓄冷节能技术
- 煤粉低尘燃烧技术

会展信息

- 亚太替代燃料和汽车2009
- 2009年青海太阳能及光伏工程展览会
- 2009第二届广东节能环保技术及应用展览会
- 2009中国风能可持续发展国际研讨会暨技术设备展览
- 2009湖北地源热泵技术研讨会暨展览会
- 2010中东电力展亟待启航
- 第三届国际节能减排及新能源科技(青岛)展览会
- 中国海洋能发展战略论坛暨中国可再生能源学会海洋
- 2009广西环保节能产品展览会
- 2009亚洲(广州)太阳能光伏产业展览会

中国新能源网版权及免责声明:

- 1、凡本网注明“来源：中国新能源网”的所有作品，版权均属于中国新能源网，未经本网授权，任何单位及个人不得转载、摘编或以其它方式使用上述作品。已经本网授权使用作品的，应在授权范围内使用，并注明“来源：中国新能源网”。违反上述声明者，本网将追究其相关法律责任。
- 2、凡本网注明“来源：XXX（非中国新能源网）”的作品，均转载自其它媒体，转载目的在于传递更多信息，并不代表本网赞同其观点和对其真实性负责。
- 3、如因作品内容、版权等需要同本网联系的，请在作品在本网发表之日起30日内联系020-87059065，地址：广州市天河区五山能源路四号广州能源研究所技术集大厦3楼，邮编：510640，否则视为放弃相关权利，经核实后本网将会尽快移除被控侵权的内容或链接。