

Reflection on the Structural Design of Composite Wind Turbine Blades

Pengyu Cong

Jiangsu Xinyang New Material Co., Ltd., Yangzhou, Jiangsu, 225100, China

Abstract

Blade is the core component of wind turbine, which can convert wind energy to mechanical energy. With the development of science and technology, composite materials play an important role in the structural design of wind turbine blades, which can further improve the aerodynamic performance of wind turbines, ensure the improvement of wind power generation, and increase the overall economic benefits of wind farms. Therefore, it is necessary to optimize the structural design of composite wind turbine blades to ensure the large-scale, lightweight and low-cost blades, and effectively play the advantages of composite materials in the structural design of wind turbine blades. This paper mainly analyzes the specific application in the structural design of zha wind turbine blade of composite material, and explores the optimization design scheme, so as to realize the optimization and upgrading of wind turbine in China.

Keywords

composite material; wind power blade; structural design

复合材料风电叶片结构设计相关思考

丛朋雨

江苏新扬新材料股份有限公司, 中国 · 江苏 扬州 225100

摘 要

叶片是风力发电机的核心部件, 可以将风能向机械能进行转化。随着科学技术的发展, 复合材料在风电叶片结构设计中发挥了重要作用, 可以进一步提高风力发电机气动性能, 保障风力发电产量的提升, 并增加整体风电场的经济效益。因此, 需要对复合材料风电叶片结构设计进行优化, 确保叶片的大型化、轻量化、低成本化, 有效发挥复合材料在风电叶片结构设计中的优势作用。论文主要对复合材料在风电叶片结构设计中的具体应用进行分析, 并探究优化设计方案, 实现中国风力发电机的优化升级。

关键词

复合材料; 风电叶片; 结构设计

1 引言

在现代化科学技术发展背景下, 中国提出了碳达峰、碳中和目标, 加大对清洁能源的开发利用率, 有效推动了风电行业的可持续发展, 从而缓解生态环境恶化态势。在风力发电技术应用中, 需要对复合材料风电叶片结构进行优化设计, 从而实现风能的有效性吸收, 同时实现风能向机械能的全面性转化, 有效提升风力发电质量和效率。

2 复合材料在风电叶片结构设计中的应用类型

2.1 增强纤维

该类材料应用费用较低, 性能较强, 可以批量供应。主要有玻璃纤维、碳纤维等类型。其中玻璃纤维主要在蒙皮、

腹板、主梁上进行使用, 可以强化叶片刚度, 减少叶尖挠度变形问题; 碳纤维比模量、比强度较高, 可以强化叶片刚度和强度, 满足超大型叶片轻质高强要求^[1]。

2.2 夹芯材料

该类材料可以提高叶片结构刚度和抗载能力, 在蒙皮、腹板上继续使用, 主要包含轻木、硬质泡沫等类型。轻木密度小、生长迅速, 可以强化叶片结构刚度, 但是吸胶量高, 适用性不足; 硬质泡沫类型较多, 包括聚氯乙烯 (PVC)、高性能聚氨酯 (HPE) 等。

2.3 基体树脂

该材料具有良好的粘接、支持、保护、传递载荷的功能, 常用的基体树脂有不饱和聚酯、环氧类热固性树脂。其中热固性树脂有环氧灌注、手糊树脂, 前者主要在叶片腹板、主梁、壳体部位使用, 强化成型效果; 后者主要在叶片前后缘、腹板位置使用, 能够粘接补强。随着科学技术的发展, 聚氨

【作者简介】丛朋雨 (1997-), 男, 中国辽宁省盖州人, 本科, 助理工程师, 从事复合材料结构设计研究。

酯、双环戊二烯树脂被广泛应用,具有良好的灌注优势,固化快,且黏度低。此外,还有热塑性树脂,能够循环使用,可熔融性高,可以降低叶片制造成本,是未来叶片发展重要方向。

2.4 结构胶

该类材料可以对叶片蒙皮和腹板进行有效性粘接,发挥主承力结构的作用,在具体应用中,需要精准计算各项参数,减少误差。常用的材料有环氧型结构胶、聚氨酯型结构胶。前者适用性强,强韧性、固化收缩率低,可以提高叶片剪切强度和剥离强度^[2]。

3 复合材料风电叶片结构设计类型

3.1 单壁结构

单壁结构就是在叶片设计中,利用单层复合材料进行制造,该类型的结构较为简单,且费用不高。但刚度较低,很可能在使用过程中出现振动、疲劳破坏等现象。

3.2 双壁结构

即在叶片结构设计中利用两层复合材料进行设计和制造,且要在两层复合材料之间填充泡沫、蜂窝结构等轻质材料。该类结构的刚度、强度较好,能够对振动、疲劳破坏进行有效抑制^[3]。

3.3 混合结构

该类结构应用中,需要对两种及两种以上的材料进行组合设计和制造,其组合方式有玻璃纤维增强复合材料、碳纤维增强复合材料、木材等。该结构形式可以对不同材料的优点进行综合发挥,强化叶片整体性能的提升。

4 复合材料风电叶片结构优化设计

4.1 优化设计方法

在对复合材料风力发电机叶片结构进行设计过程中,需要结合风力发电项目的具体特点,对叶片材料、载荷、剖面结构等进行优化设计,持续性优化叶片结构,才能保障风力发电机的高质量运行,为风力发电事业的可持续发展奠定良好基础。

4.2 优化设计模型

叶片材料选择:要对叶片材料的物理特性、安全性等进行全面性分析,确保叶片能够对各种复杂环境进行良好适应。当前在叶片结构设计中常用的复合材料类型有玻璃纤维增强塑料和碳纤维增强塑料等。前者设计性强,质量轻,成本较低,具有良好的性价比,但强度和刚度不足;后者质量较轻,能够实现叶片的轻量化设计,刚度和强度较好,但是成本较高。在具体选择中,要结合设计要求、成本等因素进行优化选择^[4]。

叶片剖面结构设计:要结合具体情况,精准计算剖面结构相关参数,明确其具体厚度、弦长、截面形状、扭角等,从而提升叶片捕风效率,并强化气动性能和噪声控制效果,保障整体结构稳定性,确保剖面结构能够对各种几何特性进

行灵活性适应。其中常见的叶片翼型剖面如图1所示。

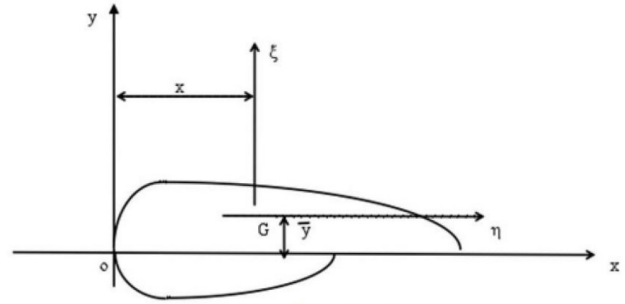


图1 翼型剖面图

铺层设计:铺层设计是风力发电机结构设计的核心环节,且铺层方式不同,对叶片的运行效果产生差异化的影响,因此需要结合实际情况,优化铺层结构设计方案,确保结构设计的严谨性和标准化^[5]。其中叶片主要包含外壳、主梁、夹芯等构件,主梁为主要的承载结构,其截面形状、布局与叶片强度、刚度息息相关;夹芯结构直接影响叶片剪切性能和稳定性;外壳可以提升内部结构承受风载荷的能力,保障结构稳定性。在具体的铺层设计中,需要通过有限元分析方式,精准模拟和分析叶片结构,精准定位结构薄弱点,并提出针对性的整改措施;此外还需要通过拓扑优化、形状优化等方法,优化叶片结构布局,保障整体叶片性能的全面提升。

叶片载荷设计:风力发电机叶片载荷主要有气动载荷、重力载荷、离心力载荷等,要对风力发电机所处环境特点进行分析,实现叶片载荷的针对性设计,强化承受能力。尤其要对叶片连接、支撑结构进行优化设计,确保能够对外部载荷进行良好的承载。其中包含叶片与轮毂连接、叶片内部支撑结构等的设计。在连接设计中,主要包含螺栓连接、胶接等方式,需要保障连接强度和耐久性,避免出现松动、断裂问题,保障叶片正常旋转;在支撑结构设计中,要对风载荷变形、振动问题进行分析,优化支撑结构设计,强化叶片动态性能,有效控制振动、噪声问题。

蒙皮设计:在离心载荷、重力载荷、气动载荷影响下,叶片在不同位置会出现不同变化,通常情况下,针对长度为12.5m的叶片来讲,其应力主要集中在0~9m处,因此要做好这些方位内的蒙皮优化工作,保障叶片设计质量^[6]。

4.3 优化设计程序

在当前风力发电项目研究和实施过程中,需要有效提升风能利用率,才能强化风能发电质量,保障风力发电事业的可持续发展。其中,发电机叶片设计与风力发电机的捕风能力息息相关。因此,需要结合实际情况,对发电机叶片进行优化设计,尤其要对复合材料进行合理应用,并实现结构设计的科学性与合理性,才能进一步提高整体叶片设计质量,强化其捕风能力,保障发电效率的提升。在具体的叶片设计中,需要优化设计程序,并精准掌握风力发电机的年能量输出情况,且要对风能转换系统进行优化控制,防止发生

能量损失问题,保障叶片具有较高的吸收率,提高风能利用率,保障风力发电系统的高质量、高效率运行。

4.4 制造工艺控制

在对复合材料风电机叶片结构进行设计时,要做好叶片的静强度分析、模态分析、稳定分析等内容,对各项设计、制造参数进行优化设计和精准计算,从而保障叶片制造质量。此外,要选择合适的制造工艺,结合材料特性、产品形状、尺寸、生产效率等要素,选择合适的制造工艺,如手糊成型、真空袋压成型、预浸料模压成型等。同时要制定可行性的质控体系,严格检测原材料、成品质量,并加大生产过程的监控力度,保障生产操作规范性,有效控制生产成本^[7]。

4.5 受力特点分析

①弯曲力,主要体现在叶片根部,容易引起叶片弯曲变形、应力集中等问题,因此要强化叶片弯曲刚度、强度设计。②扭转力,会引起叶片扭转变形问题,主要集中在叶片中部位置,需要提升叶片的扭转刚度、强度设计,减少扭转变形问题,并强化叶片材料、结构设计质量。③压缩力和拉伸力,主要集中在叶片前缘、后缘部位,会引起叶片应力集中、变形问题,需要强化叶片抗压强度、抗拉强度设计。④疲劳载荷,主要来自风力变化、叶片自重引起的振动,会引起叶片疲劳破坏问题,要优化叶片疲劳寿命设计,延长使用寿命,保障叶片可靠性。

5 复合材料风电叶片结构设计质量检测方法

5.1 敲击检测技术

该技术应用中,主要是敲击复合材料叶片结构,通过声音辨别,对叶片结构是否受损进行判断。该技术主要对结构脱胶、分层损伤等问题进行检测,方便操作。在敲击检测中,正常的叶片结构会发出清晰的声音;一旦结构中存在脱落问题,会发生强烈沉闷的声音。其中主要的敲击设备为小锤,也可以利用金属、木质小锤为主。还可以在智能化技术支持下,进行数字化敲打,从而对叶片结构缺陷进行高效性检测。但是需要在十分安静的环境中进行使用^[8]。

5.2 超声波检测技术

该技术应用中,即通过专业设备向被测物体发射超声波,使其穿透物体结构,并对反射回来的信号进行分析,以便对叶片结构性能进行判断。该技术主要在前期结构试验环节中进行使用,且具有较强的灵活性,方便操作,不会对叶片结构造成破坏,能够对复合材料结构进行动态检测,应用范围广泛。

5.3 目测检测技术

该方法可以对复合材料叶片结构的完整性进行检测,这是结构质量的最佳方法,其中影响因素为外部因素、检测条件等,存在很大的不足之处。在具体应用中,可以使用照明工具联合目视进行检测,明确结构表面的裂纹等缺陷问题。

5.4 X射线检测技术

X射线属于电磁波,具有较强的穿透力,可以穿透被测物体,并吸收能量,其强度逐渐衰减。一旦风电叶片复合材料中存在裂纹、杂质等病害问题,其吸收性能会发生改变。通过该技术能够精准检测叶片结构质量,保障叶片安全。

6 结语

综上所述,随着社会经济的发展,风力发电事业高速发展,同时对风力发电机叶片结构设计质量提出了更高的要求。在现代化科学技术支持下,复合材料在风电叶片结构设计中得到了有效应用,尤其是玻璃纤维和碳纤维等增强材料的优化应用,能力实现风电叶片的轻量化设计,强化整体叶片结构的刚度和强度,保障叶片稳定性、可靠性运行,为风电事业的可持续发展奠定良好的基础。在未来发展中,需要对复合材料风电叶片结构设计向自动化、数字化、整体化方向发展,在自动铺装技术、自动铺设纤维技术、拉挤技术的支持下,实现叶片结构设计的自动化和高效化。

参考文献

- [1] 李成良,杨超,倪爱清,等.复合材料在大型风电叶片上的应用与发展[J].复合材料学报,2023,40(3):1274-1284.
- [2] 张鑫桂.风电叶片复合材料主梁结构的多尺度可靠性优化设计研究[D].上海:东华大学,2023.
- [3] 曾旭升.大型复合材料风电叶片模具整体设计与制造技术[J].区域治理,2018(11):222.
- [4] 秦志文.大型分段式复合材料风电叶片结构与性能研究[D].武汉:武汉理工大学,2019.
- [5] 张朋.大型复合材料风电叶片真空灌注缺陷研究与解决[J].玻璃纤维,2023(2):18-22+27.
- [6] 杨海如,马祥禹,喻国铭,等.碳纤维复合材料风力发电机叶片振动特性研究[J].玻璃钢/复合材料,2018(9):70-74.
- [7] 吴彦波,黄有慧,张述强,等.后缘阻胶海绵在复合材料风电叶片上的应用效果研究[J].天津科技,2019,46(7):3.
- [8] 柴红梅,袁凌,李颖,等.复合材料风电叶片先进制造技术研究现状[J].玻璃钢/复合材料,2019(2):6.