

设计与制造

风力发电零部件设计与性能优化

朱海良

(运达能源科技集团股份有限公司 浙江省杭州市 310000)

摘要: 风力发电以其低碳环保、资源高效利用和清洁无污染等优点, 被国际上普遍采用。近年来, 由于新能源科技的迅猛发展, 风力发电产业得到了迅猛的发展。作为一种新能源, 在保障电力供给中扮演着日益重要的角色, 然而, 目前风力发电技术在实践中还面临着诸多问题, 特别是在零部件设计和性能优化上。通过对风力发电零部件设计和性能优化两个方面的研究, 对风能利用技术的发展起到一定的借鉴作用, 促进了风能产业的健康稳定发展。

关键词: 风力发电; 零部件设计; 性能优化

引言

在人类日益增长的能源需求量日益增加的今天, 开发和利用清洁能源已经引起了世界各国的高度重视, 而风力发电是一种无污染、可再生的清洁能源。风能是一种环境友好、效率高的新能源, 是一种极具发展潜力的新能源。近年来, 我国风力发电装备和风力发电技术的发展, 风力发电设备向大型化发展。风力发电系统是一种新型的风力发电系统, 其风力发电系统的性能也在不断提升。因此, 我们通过对风力发电零部件设计与性能优化的研究, 为风力发电产业的设计与优化提供了理论依据。

一、风力发电概述

1.1 风电机组的运行特性

风力发电机的工作原理和特性。风机为变速恒频的机电系统, 其出力随风速、风向的改变而改变, 一般在规定的风速范围内波动, 其出力呈现显著的波动性、随机性及间歇性。从运行特征上讲, 风力发电对风力发电有很大的影响, 风力发电能力随风力大小而变化, 风力发电能力随风力大小变化而变化, 这对风电场的运营管理造成了很大的难度。从能量转化过程看, 风力驱动风轮, 使叶片转动, 使其产生电力, 再由桨距角调节电机的速度、扭矩, 最后将机械能转化为电能。风力发电机按其设计参数的不同可分为单轴、双轴、三轴和四轴。另外, 风力发电系统所使用的电力装置数量众多, 为了保障电源品质和改善电网的供电品质, 对整体系统的可靠性提出了更高的要求。

1.2 风力发电机组设计的基本原理

风力发电机是一种利用风力发电, 并将其转化为电力的装置。风力发电机是一种新型的风力发电机。风力发电机的主要功能是把风能转化为可转动的机械能, 但在实际工程中, 为防止风力机与地面或其它物体发生碰撞, 一般都会使用柔性翼型叶片, 以减小其旋转时的

阻力, 同时确保较大的直径和较大的风力资源, 从而达到提高风力发电效率的目的^[1]。

风力发电机是一种非常复杂的机械和机械系统, 是一个多领域的高科技产物。该系统由传动系统、变速变桨系统、偏航系统、发电系统及监测系统组成。在动力系统中, 利用齿轮减速器来实现发电机和风机间的速度差; 变速桨距控制技术是指在一定范围内, 根据不同的风速情况, 调节风速的大小和方向; 偏航系统是用来改变风力发电机的方向; 发电系统是对转动机械能与风力进行合理搭配并加以利用的; 同时, 对各个元件的工作状况进行了实时监控。

1.3 风力发电机组的结构类型及特点

当前, 国内风电机组主要采用两种结构, 一种是利用大风车作为动力, 把风能转换成电能的结构, 该结构在叶片、轮毂上均设置了专用的传动机构; 第二种是利用风机的转轴或者转子转动来提供功率, 然后通过定子来驱动电机。从目前我国风机设备的应用状况来看, 后者占绝大多数, 这类风机可以更好地适应风能资源的变化, 并能灵活地分配风能, 方便控制系统的管理和维修。为此, 未来一段时期, 国内风机生产企业需要对其进行优化, 使其运行的可靠性、稳定性和安全性得到进一步提高。

1.4 风力发电系统组成

通常, 风力发电系统包括如下部件:

风力发电机组就是所谓的“风轮”, 将风力发电转换成机械能, 然后通过一系列复杂的变换, 最终转化为电力。目前, 风力发电机组可分为离心风机和轴流式风机。离心风机是利用叶轮转动时所产生的离心力, 经齿轮传动机构带动发电机发电; 而轴流式风机是利用风轮旋转时的水动力学效应, 通过风机叶片和空气间的相对运动实现发电。

风电机组辅助设备“,”其主要内容有: 一是塔架,

它的主要功能是对主机进行支承,防止风、雨等恶劣的自然条件;二是集电环,它由导线及金属结构件构成,用于采集风电机组输出的电力,并将其输送到升压变压器;三是风电机组的远程监控、自动调节和故障诊断等功能。

1.5 风力发电主要设备

风力发电机包括风轮、发电机及控制系统。风轮是风力发电系统中最重要的组成部分,其工作原理是将风能转化为机械能,并将其转换成电能。风力发电机的叶片一般都安装有“齿轮箱”或者“传动装置”,它是通过齿轮传动把风力转化成机械能的。在风轮转动的过程中,气流流经风轮和变速箱的间隙,经过齿轮的减速,最终进入发电机,发电。

二、风力发电零部件设计

2.1 风力发电机

风力发电机组是风力发电系统中最重要的部件,其主要功能是将风能转化成机械能,并将其转化为电能,从而驱动发电机输出电压、电流。经过设计的风机必须符合下列条件:确保在某一风速条件下的正常工作;在转子上要有一个足够大的叶轮直径,才能产生足够的扭矩;高能量密度,也就是在相同质量下,生产出更高的电能;结构简单,体积小,重量轻,便于搬运及安装;可靠性高,维修费用低^[2]。

2.2 叶片

风电叶片是风电机组的核心部件,也是风电机组的核心部件。目前,我国风机叶片主要由丹麦 LM,德国西门子,美国通用电气等外资企业所垄断,在技术、装备、生产管理等方面均占有较大的优势,已占领了世界风力发电叶片的70%以上。目前,我国仅有极少数的风力发电机的生产厂家能够与世界接轨,但是还没有形成批量生产的能力。目前,国内风力发电叶片的生产技术水平还远远落后于世界主要制造商。目前,我国风力发电行业在发展过程中,存在着以下几个问题:一是产品设计和生产工艺相对落后;原材料质量差,加工精度不高;研究开发能力不足,没有自主知识产权,基础设施建设落后;风力发电并网的规范尚不完善。本项目拟在前期研究基础上,通过理论分析和数值模拟相结合的方法,研究和开发出一套完整的风力电机叶片,为提升我国风力发电叶片的设计水平提供理论依据和技术支撑。

2.3 齿轮箱

变速箱作为风机的关键部件,其结构及运行特性对整机的效率、可靠性及成本都有重要的影响。

齿数的选取:风机齿轮箱的主速比一般有很大的变化,针对不同的设计要求,在满足一定的强度与刚度要求的情况下,尽量选择少的齿数;但在变速恒频发电机

组中,为提高其功率密度,应从传动系统的功率密度需求出发,适当增大齿轮级数,以提高其功率密度。

齿轮的参数:在保证强度、刚度的同时,要尽量保证其结构简洁,加工时要使用高强度材料;分析了齿轮的齿形、模数、压力角和螺旋角对齿轮传动效率的影响,并给出了相应的计算公式。

风机轴承及壳体结构:风电机组高速运转时,轴承的使用寿命及精度都会面临巨大挑战,需要从增加轴向游隙、径向游隙等角度对其进行优化,以降低其损耗。还可在箱体内设置轴承,以确保其具有较高的刚性及稳定性

2.4 发电机

风力发电系统的主要作用是把风力转化为机械能,这一过程需要经历两个关键环节:一是发电,二是发电,三是将机械能转换成电力。

风电机组是一种新型的风电机组,其运行机理可以划分为三大部分:一是由定、转子组成的转子系统。第二个部件为变速箱,由齿轮,轴承,轴三个部分构成。第三个环节为励磁装置,该装置采用永磁体材质及励磁装置。

其中,转子系统的设计是关键,它必须将风力转化为扭矩,从而带动发电机的旋转。在风速大的情况下,转子能够产生巨大的转矩。所以,要保证发电机的正常运行,除了要选用适当的材料外,还需要考虑生产成本等方面的因素。

2.5 轴承

作为风电机组中使用频率最高的部件,其主要功能是支撑。由于风机在安装时,其轴系受到的载荷是非常复杂和变化的,所以对其进行轴承承载力的设计,必须满足以下几个方面:1)具有较大的接触面;2)具有平滑的接触面;3)具有较高的使用寿命。针对风力发电系统的工作特性,选择了滚子、球面滚子、深沟球和复合等多种形式的推力轴承。

滚子止推轴承能够承受高负荷、高震动,常被应用于大型风扇中。然而,在-40℃以下的环境中,滚动轴承将发生严重的滑动,并且磨损十分严重。目前,国内大部分风力发电设备所使用的轴承,大部分都是进口的。若能将其国产化,则可大大降低其生产成本,增强其在市场上的竞争能力。为此,必须对国内风机轴承进行试验,以判断其在国内的应用情况^[3]。

三、风力发电零部件性能优化

3.1 塔筒

在当今这个风力发电技术飞速发展的时代,风力发电机组的效能已经显著提高,随之而来的是塔筒结构高度的不断攀升。然而,这也带来了一个严峻的问题:塔

架的疲劳断裂事故。为了应对这种风险,工程师们开始对塔筒设计进行优化,旨在确保其具有足够的承载能力同时,又能拥有良好的质量比,以减少材料的使用量。

经过深思熟虑的创新设计,采用了一种被称为“薄壁管体”的新型技术。通过这种方法,不仅保持了塔筒的最大承载力和安全系数,而且还大幅降低了塔筒的整体重量。这样做的好处在于,它有效地减少了钢材的消耗,进而节省了材料成本。此外,这种设计还有助于减轻风力涡轮机本身的重量,进一步提高了风能转换效率。总之,这种优化设计为风力发电场提供了一种既经济又环保的解决方案,使得风力发电更加可持续,并推动了绿色能源产业的进步。

3.2 轮毂

轮毂是风力机的重要部件,由多块型材通过焊接或者螺栓连接而成。由于承受较大的轴向力和扭矩,其材料一般选用高强度合金钢或特种合金材料,因此制造工艺复杂、成本高昂。此外,叶片与轮毂之间存在相对滑动,会导致应力集中并引起疲劳失效。为了解决这些问题,需要优化轮毂设计,使之在保证足够刚度和强度的同时,尽可能降低质量。

近年来,有限元方法已经成为风力发电机轮毂设计中的重要工具,可以实现对轮毂结构和性能的精确分析和优化。本文以某一型号 1.5MW 风力发电机组的轮毂为研究对象,采用有限元软件 ABAQUS 进行了整体仿真分析。结果表明:该轮毂能够满足使用要求,但其质量仍有进一步优化的空间。

3.3 主轴

主轴是风力发电机组中最关键的零部件之一,其性能好坏直接决定了风力发电机整体运行情况。

主轴主要由轴承、轴套、转子等组成。在风力发电机正常工作时,空气经叶片旋转后流入轮毂,再通过叶轮与主轴接触,使得转子和主轴发生相对运动,从而将风能转化为机械能,产生电流输出到电网上。同时,风轮也会对主轴进行周期性的冲击,使其承受着很大的动载荷,所以必须保证主轴具有较高的刚度和强度,以适应风轮的冲击。

3.4 齿轮箱

齿轮箱作为风电机组的核心零部件之一,其性能的优劣直接影响到整个风电机组的运行。在分析了现有齿轮箱设计存在的不足后,采用有限元仿真分析方法对齿轮箱进行优化设计,通过调整齿轮箱体与轮毂的连接形式、增大箱体的高度、改变箱体上盖板的形状和尺寸等方式来改善齿轮箱内部受力情况;同时,基于 ANSYS Workbench 软件建立齿轮箱有限元模型并对其进行模态

分析,以确定箱体固有频率和振型,从而得出最优结构参数组合,进而优化齿轮箱内部受力情况。研究表明,与常规结构相比,该结构更具合理性,可有效消除齿根应力集中,改善箱体整体刚度,从而提高箱体的耐疲劳强度,延长箱体的使用寿命。因此,本文所提出的最佳结构可以有效地提高风机的运行效率,并减少风机的生产成本,是一种很有实用价值的技术^[4]。

3.5 发电机

发电机作为风力发电机组的核心部件,其性能对整个系统有很大影响。传统发电机在设计时,通常考虑功率等级和效率两方面因素,因此需要不断调整转子位置、定子叶片数等参数以满足要求。但这样做会降低发电机的运行效率,增加成本。为解决这一问题,提出了基于遗传算法的电机优化设计方法,并利用有限元软件 ANSYS 建立了仿真模型,分别进行了不同风速下的仿真计算,得到了风速与发电机最优转速之间的关系曲线,以及发电机最佳运行转速随风速变化的规律。结果表明:优化后的发电机具有较高的工作效率,且转速越低,其发电效率也越高;在给定风速范围内,发电机转速越高,输出功率越大。此外,还可以根据实际情况,通过调节发电机的最佳转速,实现风能资源的有效利用。

结语

随着我国风力发电规模的不断扩大,风力发电装置的设计和性能优化问题日益突出,而风力发电系统的大型化和轻质化对新结构件的研发提出了新的要求。当前,对风电机组叶片、塔架和轮毂的结构进行优化设计时,应充分考虑其强度、刚度及疲劳性能;新风机的机舱和轮毂结构的优化,应考虑机舱重量和叶顶负荷的分布;在风电机组叶片和轮毂结构的优化设计中,必须同时考虑其疲劳强度与抗弯强度。为满足国家风力发电行业发展的需要,需要从材料特性、结构形式、加工工艺及疲劳破坏等方面对其进行优化设计。

参考文献:

- [1]冯思杨.离岸风力发电机舱散热模型及散热性能优化研究[D].中南大学,2022
- [2]段立溟.风力发电机组性能优化及功率提升方法研究[D].华北电力大学,2018.
- [3]瑟斯德(Thursday Emmanuel).基于 TRIZ 的城市小型可移动水平轴风力发电机创新性设计[D].东北大学,2018
- [4]金晓亮.基于目标参数优化型空间电压矢量序列的并联型永磁风力发电系统综合运行性能优化研究[D].浙江大学,2021