

风力发电机组故障诊断与预测技术研究综述

丁 蓉

华电新能源集团股份有限公司福清分公司 福建福州 350001

摘要: 随着风电产业的迅速发展,风电机组的装机容量迅速增长。但是,由于运行条件的苛刻,使得风机的故障率很高。采用故障检测技术,可以及时地检测出设备的缺陷,从而保证机组的安全、稳定运行,是减少事故发生的一种有效方法。本文介绍了一种对风电机组进行早期故障诊断的新方法,即对其进行实时监控和趋势预报,从而能够及时地发现其在运行中的安全隐患。

关键词: 风力发电机组;故障诊断;故障预测

A survey of fault diagnosis and prediction techniques for wind turbines

Rong Ding

Huadian New Energy Group Co., LTD., Fuqing Branch, Fujian Fuzhou 350001

Abstract: With the rapid development of wind power industry, the installed capacity of wind turbines grows rapidly. However, due to the harsh operating conditions, the failure rate of the fan is very high. It is an effective way to reduce the defects of the equipment to ensure the safety of the unit and the stable operation of the unit. This paper introduces a new method of early fault diagnosis of wind turbine, that is, the real-time monitoring and trend forecast, so as to find out the potential safety risks in its operation in time.

Keywords: Wind turbine; Fault diagnosis; Fault prediction

引言:

在全球环境问题日趋严重的今天,在解决能源危机的同时,风能作为一种可再生的绿色能源正逐渐受到人们的关注。风力发电设备往往位于偏远、交通不便、环境恶劣的郊区、海岸、近海等地方,机舱一般都是距离地面数十米、数百米的地方,所以对风力发电设备的日常运行状况进行监测和维护费用高昂。因此各国都在大力发展风电机组的研究,其中最重要的就是风电机组的故障诊断。

一、风力发电设备的故障特征

尽管风力发电机组的故障率在不断下降,但与蒸汽轮机、燃气轮机、水轮机等传统发电系统相比,其故障率仍比较高,其运行可靠性仍需不断加强和改进。一般而言,风力发电设备在恶劣的工作环境和复杂多变的环境下,更容易出现故障;海上风力发电设备在遭受风暴、波浪和盐雾的侵蚀时,其失效的可能性较大;此外,风力发电设备的失效频率也会随之增加。根据统

计,在风力发电系统中,有电气系统、转子叶片、桨叶、液压系统、控制系统、变速箱等,其失效情况见图1。尽管风电场中出现的电力与控制系统的故障频率很高,但由于维护此类故障而造成的风机停机时间相对较少;由于故障的原因,如主轴、齿轮箱、发电机等,其维修周期通常较长,而齿轮箱故障是风力发电机的最大原因,而由于各组件(子系统)的失效而造成的停机检修时间见图2。

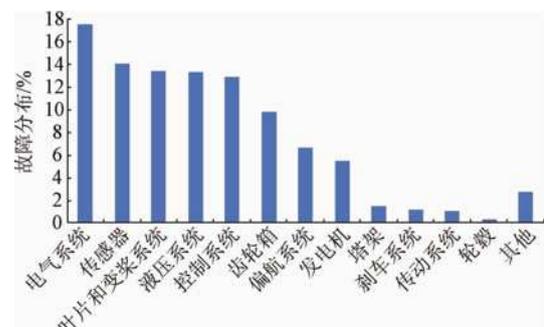


图1 风力发电机组中各零部件引起的故障分布

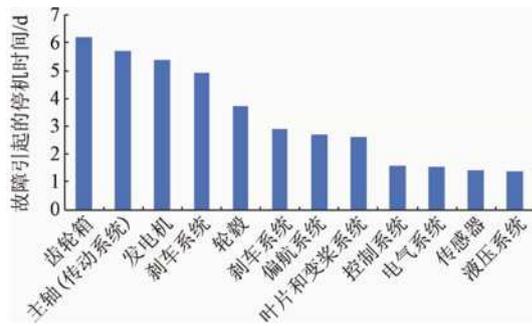


图2 风力发电机组中各零部件故障引起的停机时间

二、风电机组故障诊断技术研究

1. 采用振动信号进行故障诊断

振动信号分析技术是当前技术最为成熟、讨论最为广泛的一种，在风电机组关键零部件如齿轮箱、轴承、叶片等方面得到了广泛的应用。近几年，越来越多的科研工作者将振动信号应用到风力发电机的故障诊断中。

HuangQ等^[1]针对风力发电设备的故障特征，采用了基于小波神经网络的分析方法，对风电机组的变速箱进行了故障诊断；由于风力发电机的弱故障信号具有非平稳、瞬态等特性，严如强等^[2]采用了一种将平稳子空间分析与连续小波变换相结合的方法，对风机齿轮箱的故障特征进行了有效的识别。目前风力发电设备的故障诊断主要是对稳态下的振动信号进行脱机分析，但实际运行条件变化较大，需要对其特性进行深入研究，并研制出适合于在线运行的风力发电机组健康监测系统。

2. 基于电气信号的故障诊断

与振动信号相比，诸如电流信号之类的电信号中的故障相关信号一般都很弱，而且经常被电动机自身的电信号和随机噪声所遮蔽，信噪较小，难以提取出故障的特征。因此，运用现代的信号分析技术，将其与故障有关的特征提取出来，并将其与电动机、转子的动态特性相结合，以达到对风力发电设备进行故障诊断的目的。

YacaminiR等^[3]利用电动机的动态模型，揭示了电动机的电流信号和转矩波动的耦合，从而成功地诊断了电动机的故障；KiaS.H^[4]等对带有齿轮箱的电动机进行了故障建模，对其进行了模拟和分析，并对其进行了试验。国内仅有几位学者将电流信号用于电机的故障诊断，例如陈峙^[5]等，将调制信号双谱分析法用于电机的电流信号，从而对电机的故障进行诊断；刘振兴^[6]等利用希尔伯特黄变换和广义弗里尔变换，讨论了变频电动机的故障诊断问题。目前，风力发电系统的电力信号主要应用

于风电机组自身的控制、保护等方面，但尚未应用到风电机组的故障诊断中。利用电力信号分析技术进行风力发电机的故障诊断，既不需要增加传感器，又可以降低成本，而且信号可靠，所以需要对其进行进一步的分析，以获得其在不同的健康状况下的特性，从而对其进行故障诊断。

3. 故障诊断中的模式识别法

这类故障诊断的基本思想是通过对一类或多种类型的风电场信号进行分析，在时域、频域、时频域上建立一系列的高维统计特征，并利用机器学习技术对特征进行融合、降维、分类、可视化等特征，从而达到对设备进行故障诊断的目的。

黎敏^[7]等采用无监督分类方法，对重建后的高维流行拓扑进行了有效的识别；蒋全胜^[8]等提出了一种利用拉普拉斯特征映射技术进行故障诊断的新方法。栗茂林^[9]等人根据局部切空间的优化与学习，建立了一种用于滚动轴承故障诊断的非线性流形学习算法。目前已有的故障诊断方法多为无监督、有监督的模式识别技术，但由于模式识别中存在着大量的计算问题，需要不断地改进无监督和监督的模式识别技术来进行风电场的故障诊断。此外，在实际情况下，获得风电机组在不同工况下的完整数据（如工作状态（稳定和动态）、故障（单一故障、多类别故障）的情况下，需要花费更多的时间和费用；因此，本文提出了一种基于半监督模式识别技术的风力发电机故障诊断方法。

三、风电机组故障预报技术

大量的数据显示，大多数的机械设备失效都是时间相关的，而且趋势性很好，因此，采用一种科学、高效的故障预报方法，可以反映设备的性能劣化，从而达到对设备故障的预报。就风力发电来说，大多数风力发电设备的失效并非突发性的，它是一个动态、非线性的过程，由故障的发生、发展、恶化直至失效。通过对风电机组的早期故障进行早期诊断，将其分为两个阶段，即正常运行和性能下降，从而为风电机组的剩余寿命提供了有力的支撑。当前，可采用的故障预测方法有两种：一是根据失效物理模型、数据驱动模型和结合这两种模型的特征进行综合分析，见图3。第二类是基于失效物理模型的故障预报，它是通过对风能的材料特性、失效机理、失效路径和工作环境的深刻认识，建立其与工作条件、环境、时间等的内在联系，并依据目前的状态和预计的使用情况来估算其剩余寿命。基于数据驱动的故障预报是通过对产品的历史、生命周期的数据进行分析，

通过各种数据的分析,得到有用的信息,建立一个退化的模型,根据模型与目前的监测信号,对当前或将来的某个时间进行预测,见图4。

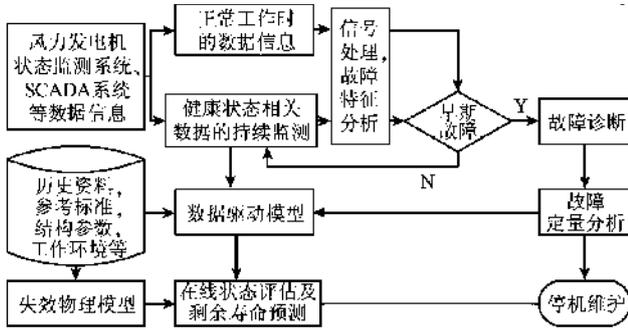


图3 基于失效物理模型和数据驱动模型融合分析的风电机组预测方法

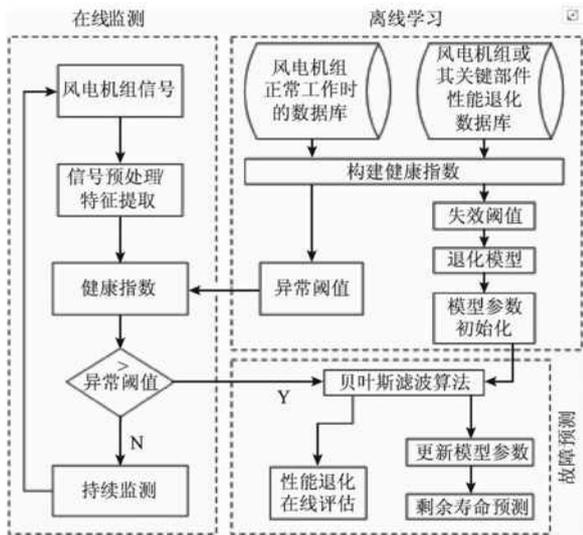


图4 基于数据驱动故障预测方法

四、风机状态在线监测系统的组成

风力发电设备的安全、可靠运行有赖于设计,制造,施工,平稳运行,并对构成这些系统的零件进行恰当的维修,其可靠性和可维护性工程对风力发电的生产能力和经济效益有重要影响。可靠性差会增加操作和维修费用,以及因风能设备的故障而减少电力的利用率。通过对风电机组的故障进行分析、测量和研究,以延长风机的设计使用寿命,最大限度地降低影响机组安全的因素,延长风机的工作时间。对在线监测而言,通过实时记录监测数据,并与相应的分析软件相结合,既降低了人工测试的费用,又降低了测试的随机性,又能及时准确地掌握设备的状态。尤其是现在,随着网络设备的不断降低,计算机和存储硬盘性能的不断改善,在线监控技术有着巨大的优越性。监控系统的工作流程,见图5。

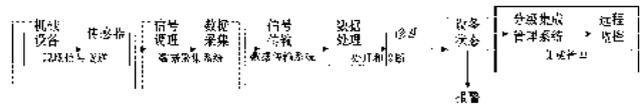


图5 设备状态监测与诊断系统流程图

目前,风力发电机组的运行状况监测技术已经相当成熟,但是风力发电机组运行环境的特殊性,并不是全部的监测手段都适合于风力发电机组的运行,其中包括振动监测、油液监测、温度标记监测、应变监测、噪声监测、电气效应监测、冲击脉冲监测、过程参数监测、性能监测等监测技术。根据这一特点,风机在线监测系统由传感器、下位机采集装置、计算机监控与分析软件构成。风力发电机是由多种机械元件和电子元件构成的,所以必须把机械与电力监控相结合来监控。齿轮箱传动装置的主要工作是转矩,其扭力信号的监控是齿轮运行状况的重要环节,通过齿轮箱的低速、高转速的转动信号可以得到;现代大型风力发电机的桨叶体积增大,其相应的重量也随之增大,同时由于叶片受到了迎风的影响,因而其承载力也很大,所以在监控中必须考虑到弯矩和转矩的影响。风轮机各部分的运行状况存在差异,在监控和分析中应注意区别。发电机既可以被看作是静止的转动装置,也可以被看作是一个缓慢的装置,它可以通过几种常规的傅立叶变换来检测和分析。对齿轮箱而言,由于其速度、载荷的变化较大,因此在监控和分析时必须认真考虑,其振动信号具有非平稳、非线性变化,因此必须采用小波、小波包、经验模式分解等方法。这样的振动信号可以被看作是由齿轮自身以及与该齿轮有关的其它组件所生成的噪音信号的一种关联的结合,使得该分析能够被移除。在监控系统的实施上,需要:高模块化;只要有可能,就可以使用;采用开放的标准;容易配置;通用的模块配置方案;通用的模组/资料介面;平台的独立性;现代的软件结构;可以进行远程软件升级;授权存取和安全性;自主启动和系统稳定。

五、结束语

综合以上的分析结果,可以看出,目前有关风力发电设备的故障诊断技术,主要是针对风机的各个部分进行故障诊断,并提出了相应的诊断方法,为今后的风机机组检修工作的开展提供了诸多参考。

参考文献:

[1]HUANG Q,JIANG D X,HONG L Y,et al. Application of wavelet neural networks on vibration fault diagnosis for wind turbine gearbox [j]. Lecture Notes in Computer

Science,2008,5264:313-320.

[2]严如强, 钱宇宁, 胡世杰, 等.基于小波域平稳子空间分析的风力发电机齿轮箱故障诊断[J].机械工程学报, 2014, 50(11): 9-16.

[3]YACAMINI R,SMITH K S,RAN L.Mmonitoring torsional vibrations of electro-mechanical systems using stator currents [J].Journal of Vibration and Acoustics,1998,120(1):72-79.

[4]KIA S H,HENAL H,CAPOLINO G. Mechanical transmission and torsional vibration effects on induction machine stator current and torque in railway traction systems [C]. Proceeding of IEEE Energy Conversion Congress and Exposition,2009:3182-3187.

[5]陈峙, 王铁, 谷丰收, 等.基于电动机电流信号

双谱分析的齿轮传动故障诊断[J].机械工程学报, 2011, 48(21): 84-90.

[6]刘振兴, 李月棠, 张文蓉, 等.基于hht和广义Fourier变换变频调速异步电动机故障诊断[J].同济大学学报, 2010, 38(12): 1832-1835.

[7]黎敏, 徐金梧, 阳建宏, 等.一种基于流形拓扑结构的轴承故障分类方法[J].控制工程, 2009, 16(3): 358-362.

[8]蒋全胜, 贾民平, 胡建中, 等.基于拉普拉斯特征映射的故障模式识别方法[J].系统仿真学报, 2008, 20(20): 5710-5715.

[9]栗茂林, 王孙安, 梁霖梁.基于非线性流形学习的轴承早期故障特征提取方法[J].西安交通大学学报, 2010, 44(5): 45-49.