

载荷与优化

通过管理风机运行时载荷帮助风能产业
改进能源成本的最新产品和技术进步

由风电月刊2014起草和发布
由米塔主办

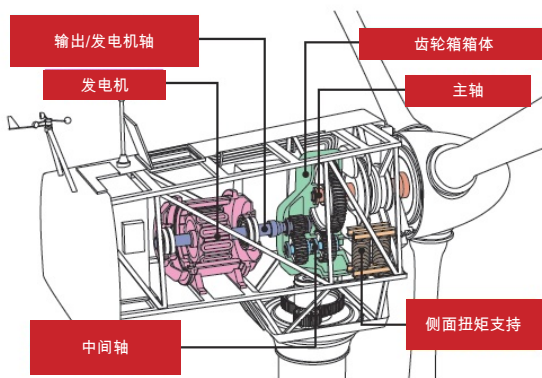
载荷与优化

探索产品和服务的进步旨在帮助业主/操作人员控制风机载荷

风机受到各种载荷的影响并需要能够承受正常条件以及暴风雨和飓风期间的极端情况 — 在运行和停机时。

动态风机载荷会在进行安装时产生，这些载荷可以与冲击或疲劳相关或者拥有持续变化或循环的实质。叶片上的载荷会在叶轮每次旋转时改变，但也会受到偏航动作、风载荷以及持续变化的载荷组合的影响。针对水平轴风机，叶片上的重力载荷会在每次旋转时改变两次；首先叶片会提升至最高点且叶尖朝上，然后叶片会“跌落”至最低点。

当叶轮受到阵风影响，非集成传动链的齿轮箱会被反向作用推至扭矩支持的一侧。这种突然的动作通常会导致输出轴与发电机轴的暂时不对称。动态载荷也被认为会导致结构变形的连续变化如在主轴、主载波和发电机框架中。



阵风影响下的不对称风险

如果潜在动态载荷可以降低，叶轮和机舱质量以及在较低程度上塔筒和塔基质量可以减少以降低风机成本。

静态风机载荷将在例如叶轮质量吸收向下重力并传递至所有相互连接的结构组件时在叶轮上产生。结构组件的静态变形可在风机生命周期内改变，例如作为焊接组件的一部分在最初几个月运行中解决。

“塔基动态弯曲载荷的累积效应可通过提高与叶轮直径相对的塔筒高度加强”

随着风机的规模扩大，叶片在最高点和最低点的风速区别也在加大。塔基的动态弯曲载荷也具有相同情况，但其累积效应可通过提高与叶轮直径相对的塔筒高度加强。

最后应考虑冲击载荷和疲劳载荷。极限冲击载荷 — 例如飓风条件下 — 可导致直接损坏以及组件或系统故障。而疲劳载荷（当组件受到重复载荷和卸荷的影响如湍流风况下叶片的弯曲和缓和）可导致组件/系统的过早损坏以及严重故障。

载荷与优化

探索产品和服务的进步旨在帮助业主/操作人员控制风机载荷

市场需求

自20世纪70年代后期现代风能产业开始起步，已引进了大量风机品牌和机型——最初只在几个先驱国家，但逐渐扩大到了全球市场。

最初绝大多数千瓦级机型的功能相当基本并以与失速输出限制（风速增加时，叶片进行变桨以产生失速并降低风机速度）或变桨控制相结合的固定速度运行。荷兰Lagerwey、德国Enercon和美国Kenetech在20世纪80年代到90年代初都生产约500kW以下的变速风机。自2000年早期开始，变桨控制的变速已成为半标准风机技术；该技术目前已用于8MW以下额定功率的机型中并可能会被用于更大规模的风机。

优化变速风机系统的业主/操作人员都在为基于生命周期的最低能源成本（CoE）而努力。这可通过结合降低资本支出、降低运行和维护（O&M）成本、提高发电性能以及最大化可利用率最佳实现。

一种持续趋势是迎合兆瓦级机型的大型风机叶轮——这是降低能源成本的一种有效手段。安装修长纤薄型的叶片可最大化发电量，但动态载荷必须利用最新控制技术进行限制。这种大型叶轮的趋势有利于较低和中等风速的陆上风机以及最严苛的海上IEC等级I站点。

由于叶轮扫掠面积的增长速度超过额定功率，在先进控制和转子叶片以及成本优化的机械结构设计方面需做更多工作。丹麦控制系统专家米塔载荷和控制首席项目经理Jørgen Lakkenborg说。

产品/服务开发

6到8年前，独立或循环变桨控制被用作降低叶轮和风机结构上动态风载荷的一种手段。该技术的一个关键要素是每个转子叶片的变桨角会在每次叶轮旋转期间持续调节以补偿叶片在最高和最低点的风速区别。制造商GE是首批在其2.5MW风机平台上采用循环变桨技术的公司，公司称实现的降载优势可在保持风机结构设计载荷不变的情况下大幅增加叶轮直径。

但是，专家们对该循环叶片变桨技术的特定性能能否实际实现宣称的降载及其他优势存在争议。一些专家认为风机变桨系统速度太慢无法对风速变化做出反应；其他则称变桨动作频率的大幅提高将增加磨损并降低风机的可靠性。

这些“典型的”循环变桨系统根据预定的120°变化正弦信号（基于描述平稳反复振荡的数学曲线的信号）运行，并与真实的动态载荷控制策略不同。丹麦控制系统专家米塔载荷和控制首席项目经理Jørgen Lakkenborg说。

通常风机在切入风速（2.5 – 3.5 m/s）和一般为25m/s、高风速海上风机有时可达到30m/s的切出风速之间运行。如果轮毂高度的风速峰值在阵风天气条件下超过25m/s，风机停机且必须通过重置协议才能重启。频繁停机可能导致巨大的发电量损失。

载荷与优化

探索产品和服务的进步旨在帮助业主/操作人员控制风机载荷

Enercon的风暴控制特性被视作成功的风机控制策略。当此控制策略启用时，风机在额定风速到25m/s风速之间以额定输出运行；当风速提高时，风机切换至限定叶轮速度以限定额定功率运行，直至风速达到34m/s，此控制策略停止。这可减少风机上的过多载荷并同时避免风机在阵风天气条件下的频繁停机以显著提高年发电量。

“这种前瞻性系统可以感测经过叶轮的300m以下接近风速。在15m/s时预留额外20s的控制动作间隔时间”

2013年初GE首次引进的“智能”风机平台采用工业互联网功能对风场中每秒的数万个数据点进行分析，提高输出和发电能力并为客户创造新的收益流。工业互联网和先进控制可帮助应对风能的间歇性并提供可预测性以及提高可靠性和可利用率。例如，如果风机出现风速计故障，连接附近风机的风速计可保持风机继续运行。

最后，风机载荷可通过选择灵活的转子叶片安装和/或使用长度相同但重量较轻的叶片进行限制。但灵活的转子叶片安装通常会增加整体复杂性，可能会为可靠性和长期运行和维护需求带来负面影响。

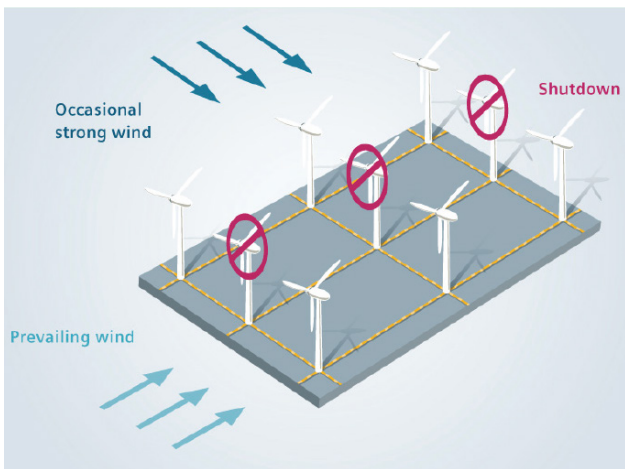
前瞻性风力传感器

机舱安装或机舱集成的前瞻性系统设计可对接近风速、风向和快速风力变化进行先进的感测，并且是载荷控制的另一有利发展。该系统建立在光纤脉冲激光雷达（光探测和测距）系统以及光学遥感技术的基础上，同时这种前瞻性系统可以感测经过叶轮的300m以下接近风速，在风速为15m/s时预留额外20s间隔时间激发控制动作如在叶轮受风力影响前调节偏航系统和/或变桨系统角。

载荷与优化

探索产品和服务的进步旨在帮助业主/操作人员控制风机载荷

平衡风场的整体性能



来源：西门子

基于软件的技术也得到发展，包括管理整个风场的程序。在捕获风能时，风机会创建一个尾迹影响到达后方风机的风量和条件。通过监控和管理尾迹，整个项目的独立风机性能和载荷可实现平衡。风机可作为相互联系的合作团体的组成部分运行，而不是与其他风机竞争获得最佳风能。

GE最近发布了其自己的风能和尾迹管理软件，据称可提高风场的总发电量输出，同时客户可预期降低5-10%的尾迹损失并通过降低尾流紊流速度增加机械载荷。

近期创新

米塔的Lakkenborg表示，基于载荷的循环变桨系统的一种替代创新策略涉及连续测量每个叶片中应力的技术。该技术允许每个叶片的实际变桨角进行独立计算和重新调节。这种技术已在其他行业中应用，但风机使用需进一步发展。Lakkenborg说。

面临挑战

风机创新技术的常见阻碍是抗风险项目开发人员、银行以及其他金融方的态度，尽管这种情况并不普遍。

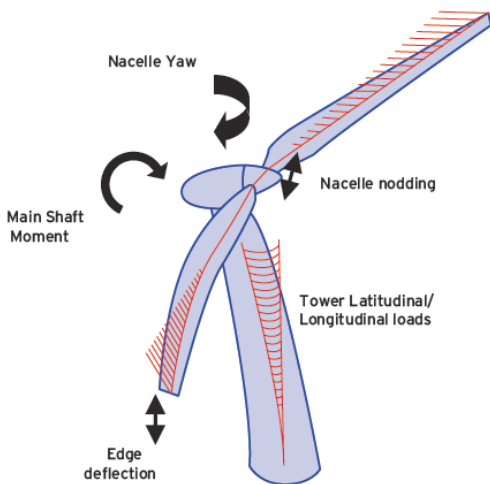
在基于硬件的降载/优化解决方案中纤薄型的叶片通常看起来表现良好，但对于包含碳纤维的轻质长叶片来说，图片显示差强人意。灵活的叶片安装解决方案已在过去采用多次，但成效甚微。这里似乎应在增加复杂性、成本与降低载荷和质量方面的潜在增益以及增加安装寿命的前景之间取得平衡。

目前很难预测基于软件的进步是否能被市场接受。旨在提高风机稳健性的措施如基于网络的控制和数据交换系统多年来一直是最先进风机中的标准配置。基于互联网的增强工业系统如GE系统似乎无法应对其推广的众多阻碍。

载荷与优化

探索产品和服务的进步旨在帮助业主/操作人员控制风机载荷

风能产业的真实整体挑战是利用创新的硬件和软件解决方案继续取得进步但同时保持能源成本的改进并避免系统可靠性和稳健性的同步损失；在这方面，载荷控制和管理是关键因素。



模型估算器

风机上的传感器向GE的控制逻辑估算器传递信息，并正确使用基于物理形变的模型持续优化接近运行条件的控制设定点。

来源：GE

对于更大规模的新风机来说，通过综合能源成本优化分析并对主过程驱动进行仿真可实现最佳配置。如果新风机设计的最初额定功率固定，但其他参数可以修改，这些变量则可通过优化循环中的迭代步骤确定。这些变量输入通常包括叶片制造商的初始数据、最新控制器技术和特定风力等级平均风速数据。最终仿真过程结果包括叶轮直径、叶尖速度、风机成本、年发电量以及运行和维护成本。

技术预测

随着风机规模扩大和复杂性增加，控制系统成本相对总资本支出降低。Lakkenborg说，并同时补充道，在许多情况下使用仿真技术降低载荷具有经济意义。为实现这一目的，风能产业越来越多地使用被视作行业标准集成软件工具的先进软件式风机设计工具如DN V GL Bladed对陆上和海上风机进行设计和认证。

载荷与优化

探索产品和服务的进步旨在帮助业主/操作人员控制风机载荷

载荷优化产品的选择

公司	载荷控制产品	关键特性
巴合曼电子	运行和动作控制系统， SCADA	可从风机扩展到风场，提供CMS改造
丹迪动态	激光光学测量系统和传感器	叶片、塔筒和整个风场的解决方案
GE	风场尾迹管理软件	风场等级管理应用程序使客户能够重获因尾迹效应丢失的功率输出
Mecal	载荷仿真、组件优化、控制器	载荷和功率输出
米塔	控制系统，包括变桨控制	所有规模陆上风机的完整控制系统到单个模块
穆格	变桨控制解决方案	为陆上和海上位置的风机提供解决方案以及远程变桨软件
西门子	西门子风机载荷控制	根据实时风况动态控制风机，使其能够在高载荷条件下运行时只损失较少功率输出
SSB风力系统	控制系统	已为不同风机制造商提供驱动和控制系统超过20年
维斯塔斯	维斯塔斯PowerPlus技术	性能增强升级，包括扩展切入范围以获得高风速的全部潜力并实现维斯塔斯叶片的气动升级
国际风速测量	风速监测和评估	捕获风力数据且准确度最高的解决方案