

打造解决方案延长风力发电机组（WT）的使用寿命

基于 PC 的控制技术，结合传感器和风力发电专业知识延长风力发电机组的使用寿命

到 2020 年中期全球风电累计装机容量已经超过 650 GW，这是一项具有里程碑意义的成就。然而要让风力发电机组长期成功运行仍然是一个重大挑战：未来五年内，德国、丹麦和西班牙安装的风力发电机组中有三分之一以上将达到预期使用寿命。鉴于此，能够优化风机并延长风机使用寿命的解决方案，如由 fos4X 和 aerodyn 公司共同开发的变桨控制系统改造和完整的叶片状态监测系统，为风电行业的发展提供了重要方向。

总部位于慕尼黑的 fos4X 有限公司成立于 2010 年，是一家业内知名企业，专业研究包括机器学习在内的数据驱动方法的使用，对新增风机和存量风机进行数字化和优化。其智能解决方案基于当今性能最好的最新一代风机系统中部署的强大的光纤转子叶片传感器技术。总部位于德国伦茨堡的 Aerodyn Energiesysteme GmbH 公司是一家专门从事风力发电机（WT）系统和转子叶片开发的工程公司，提供风力发电机组的再设计和优化服务，并授权其风力发电机组的设计给第三方。公司的产品系列基于其模块化 aeroMaster 技术，一种具有电动变桨控制和变速发电机/变流器的三叶片设计。

可使设备效率最大化的延寿解决方案

延寿解决方案有助于延长风力发电机组的使用寿命，同时显著提高总电能收益率。尤其是在受到管制不能进行旧风电场改造时，延长风力发电机组的使用寿命有时是保护风电场的唯一途径。延长风机的使用寿命还可以提高风电项目的财务吸引力，并降低发电成本。以下维修和停机数据及其财务影响充分说明了这一点：

- 转子叶片故障约占所有风力发电机组故障的 7%，维修可能非常耗时，导致停电时间持续数周
- 实地经验表明，风力发电机部件很可能在其预期使用寿命结束之前发生故障，这意味着通常需要预留适当的维修预算

- 在 10 年的时间里，平均有 2% 的风力发电机需要完全更换叶片。因此，监测转子叶片结构状况的能力变得越来越重要，特别是因为叶片的购置成本占风机系统总成本的 15%-20%。

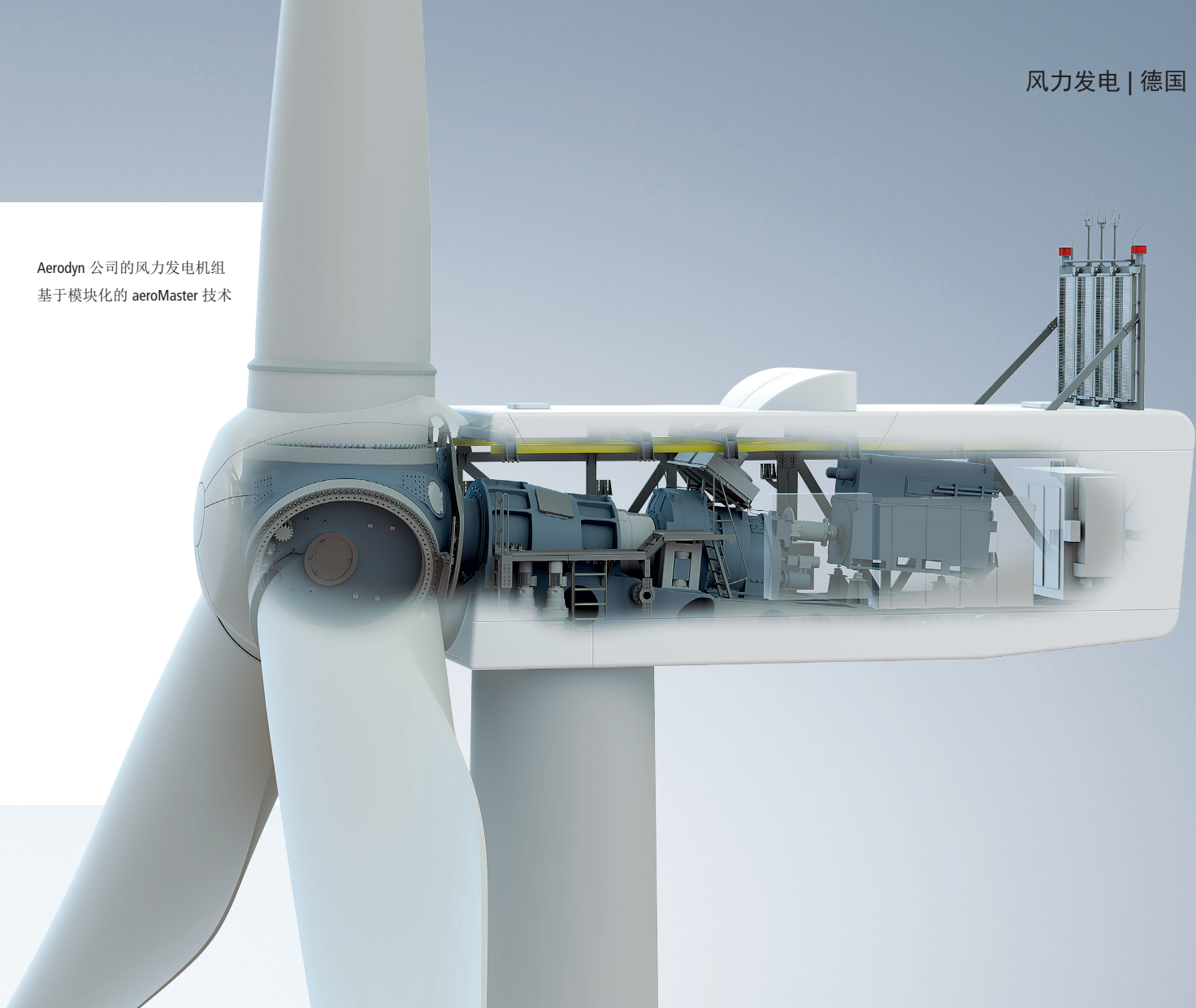
最终，考虑的关键是延长风力发电机组使用寿命的项目能带来什么样的经济效益。延长风力发电机设计寿命的方法之一是减少主要部件的负荷，从而在不影响收益的情况下延长相对使用寿命。例如，转子叶片根部的损伤等效载荷如果能减少 10%，使用寿命就会延长 50%。因此，如果一个系统在其投入运行的第 10 个年头接受了改造，减少其转子叶片根部 10% 的损伤等效载荷，其使用寿命就会延长 5 年。

全面的负荷监测可以让风电场运营商持续跟踪离散事件对转子叶片使用寿命的影响。同样的指标可以作为了解同一风电场内各个风机性能差异的指标，让运营商能够识别疲劳程度较严重的风机中的尾流效应（由滑流中的尾流引起），以及由于转子叶片固有频率的跟踪波动、转子负荷不均匀导致的偏航和变桨故障造成的损坏。

建立在综合专业知识基础上的解决方案

fos4X 的解决方案通过以下方式降低风机的发电成本：

Aerodyn 公司的风力发电机组
基于模块化的 aeroMaster 技术



- 提高年发电量
- 降低运营成本
- 最小化运营风险
- 延长使用寿命

这些解决方案的重点是转子叶片传感器和数据分析。fos4X 公司销售总监 Bernd Kuhnle 说道：“在我们与 aerodyn 联合开发的解决方案中，我们提供硬件平台和流式分析，作为优化风机运行和延长使用寿命的不同方法的基础。风力发电机组配备了我们经过现场验证的传感器系统，该系统安装在转子叶片内，以保护其免受环境影响。传感器在整个风力发电机组使用寿命期间内可靠地提供有价值的。”

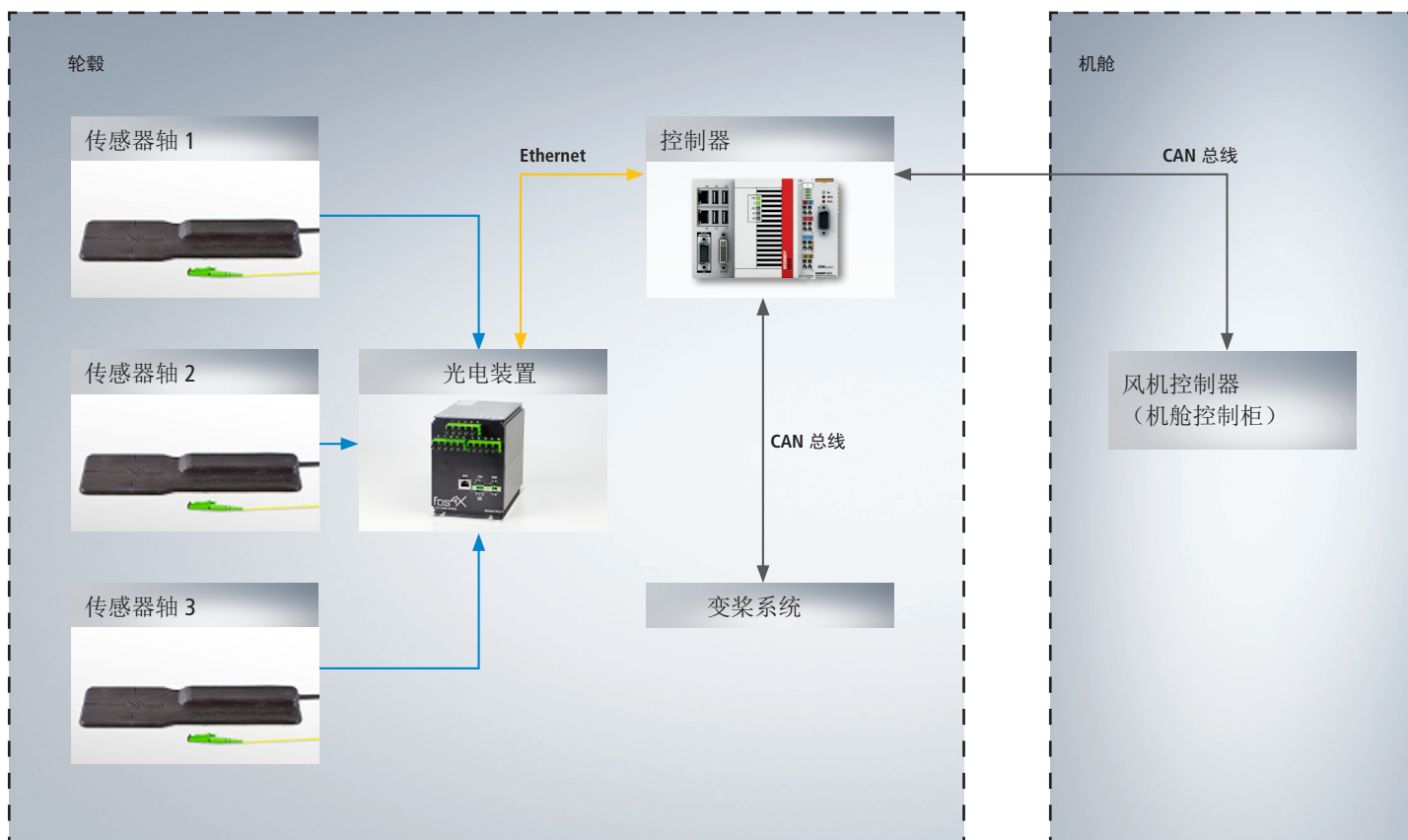
在系统正常运行期间，使用 fos4X 开发的算法对解决方案进行自主校准。就像数字双胞胎一样，fos4X 系统可以生成后续处理所需的高质量数据。Aerodyn 读取采集和生成的实时数据，并使用独立变桨控制方法调整每个转子叶片的迎角。

但该系统除了 aerodyn 的独立变桨控制方法外，还提供更多的增值服务：虽然基础版本只测量负荷，但它可以在系统的剩余使用寿命内生成负荷历史记录。此外，fos4X 可以从采集到的负荷数据中检测出偏航和变桨故障。排除这些故障可以提高发电量，减少磨损。该解



对于 fos4X 公司销售总监 Bernd Kuhnle 来说，基于 PC 的控制技术具备的良好开放性是关键

决方案还可以监测叶片的状态，确定是否有损坏或结冰。这些功能使得该解决方案成为世界上第一个能够实现全面的转子叶片监测的解决方案，同时为数字双胞胎和预测性维护提供重要的数据。



fos4X 解决方案如何与风机控制系统相结合

实施独立变桨控制方案

若要实现变桨控制，需要采集各种数据，包括作用在风力发电机上的力，最好直接在转子叶片上测量这个力。为了实现这一点，fos4X 在风机叶片内安装了传感器，这一过程通常只需一天即可完成。它可以连续采集负荷数据，并将数据传输到 aerodyn 的变桨控制系统中。

改造系统中为特定目的设计的算法可以让每个转子叶片都能单独、实时响应负荷波动，并在产生负荷时进行补偿。这样可以大大降低所承受的有效负荷，有利于减少对各个风机部件的磨损并提高部件的耐久性。负荷控制通过根据叶片负载连续计算所需迎角的 aeroBalance 方案实现。Aerodyn 公司塔筒设计部的 Timm Daunke 详细解释了这一问题：“自我监测程序确保负荷总是减少，或至少不会超过无独立变桨控制时的水平。这意味着风机不需要返修，也不需要修改风机的控制参数。负荷控制过程在风机控制系统和变桨系统之间使用的是非安全型总线通信，它会使得风力发电机组在内部系统出错时仍旧自动激活旁路模式并继续运行。”

集成状态监测功能的控制系统

但若想真正进入风力发电机组的控制系统，必须确保通信安全。Bernd Kuhnle 认为，这正是倍福作为战略合作伙伴的优势所在，在这里，基于 PC 的控制技术具备的良好开放性起到了核心作用。特别是现有的风力发电设施通常使用的是由不同供应商提供的不同组件的组合，能够与已经部署的设备集成非常关键。基于 PC 的控制平台是

一个支持包括 EtherCAT、CANopen、PROFIBUS 和 PROFINET 在内的所有通用现场总线标准的开放式平台，它可以轻松、灵活地与任何类型的解决方案集成。模块化硬件与 EtherCAT 的高速通信能力和灵活的拓扑结构相结合，系统可以完全满足各种需求。

Fos4X 的解决方案作为 EtherCAT 从站运行，因此可以非常简单地集成到基于 PC 的控制系统中。它可以很轻松地与任何其它控制系统集成，既适用于现有风机改造，也适用于新风机系统的安装。如果需要，系统还可以使用倍福的 EtherCAT 模块进行模块化扩展，例如，采集应变、振动和温度信息。

Aerodyn 开发的控制器以 TwinCAT TcCOM 模块的形式呈现，这意味着它可以在任何安装有 TwinCAT 3 软件的嵌入式控制器或控制柜式 PC 上运行。TwinCAT 同时也简化了与 fos4X 传感器的连接。此外，通过添加用于 OPC UA、IoT 和数据库连接等 TwinCAT 3 功能，可以毫不费力地与现有的 SCADA 系统集成。

更多信息：

www.aerodyn.de

www.fos4x.com/en

www.beckhoff.com/wind

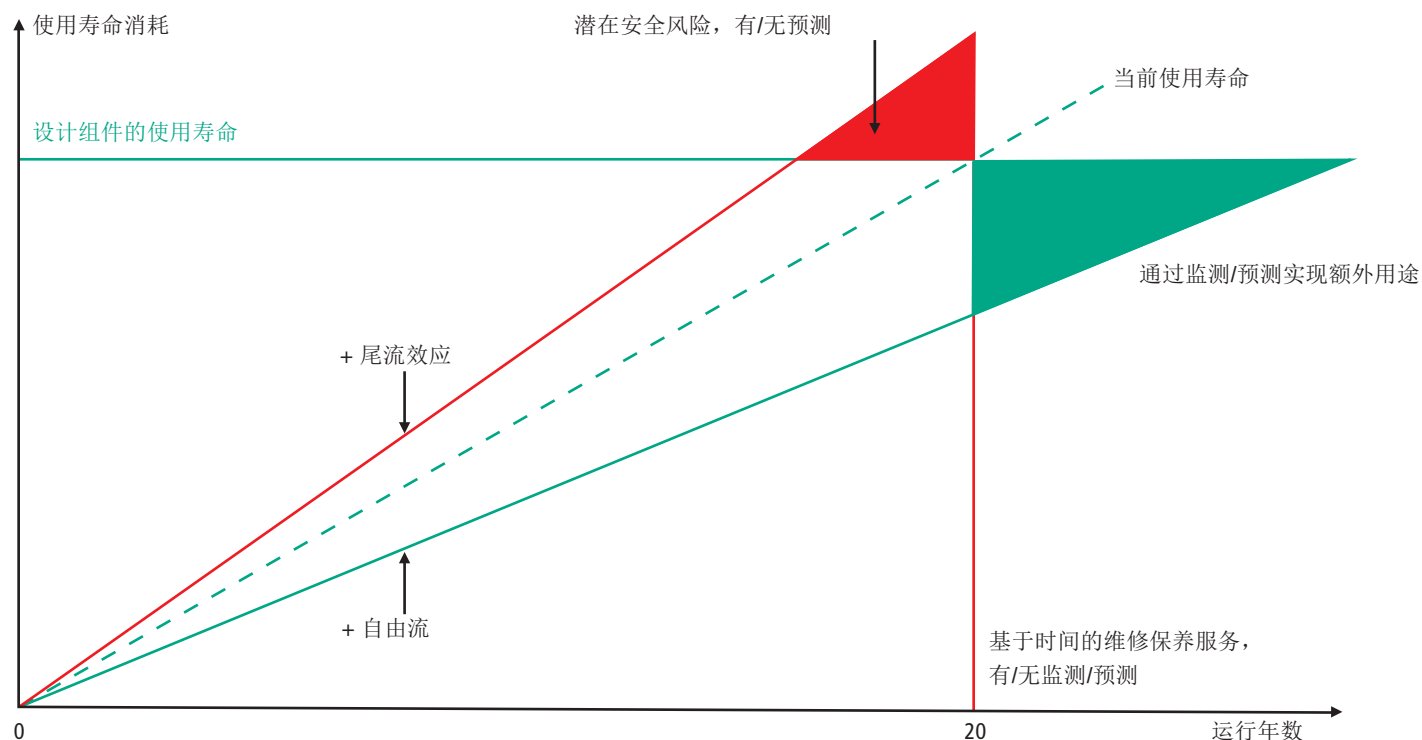
Aerodyn 采用 TwinCAT Wind Framework 设计风机

Aerodyn 的 aeroMaster 5.0 最初是在 2014 年的一个初始项目中实施的，它是第一个使用倍福 TwinCAT 3 软件和全新的 TwinCAT Wind Framework 的风机系统。基于 Wind Framework 的模块化控制软件与风机的模块化硬件完美匹配，其设计允许从不同的供应商处采购变桨控制器、变流器和发电机等组件。TwinCAT 3 Wind Framework 将控制技术 with 行业特定的专业技术统一封装在一系列软件模块和应用模板

中。这些模块为风机自动化提供全面的服务，实时访问各种数据并将数据长期存储在数据库中。应用模板采用的是模块化架构，旨在实现高效、高度集中的开发环境，并让用户能够快速、轻松地上手。

更多信息：

www.beckhoff.com/twincat-wind



使用 fos4X 转子叶片传感器进行连续监测的好处：组件运行时间的线性寿命消耗差异（虚线），包括潜在安全风险和额外用途，有或没有监测。