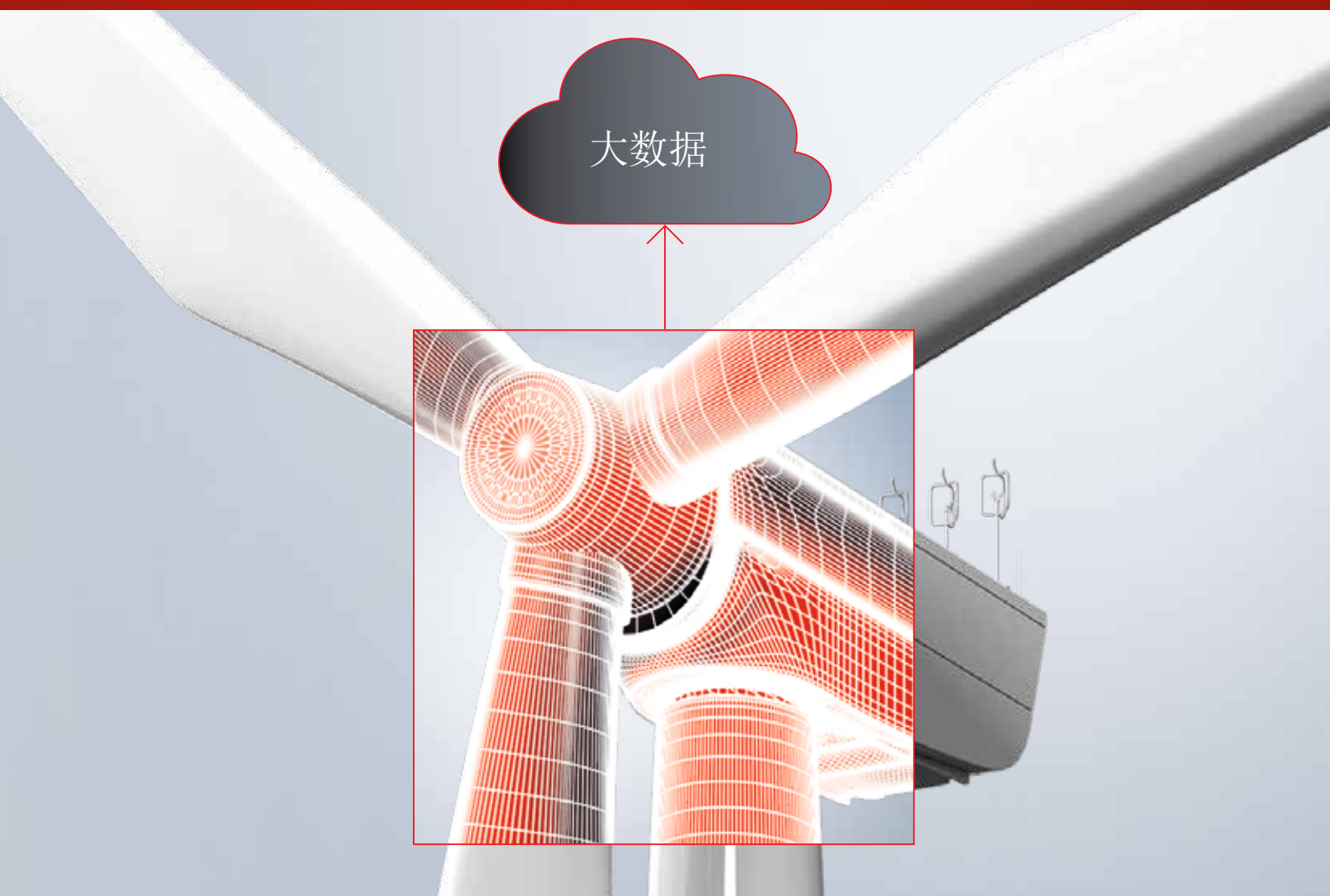


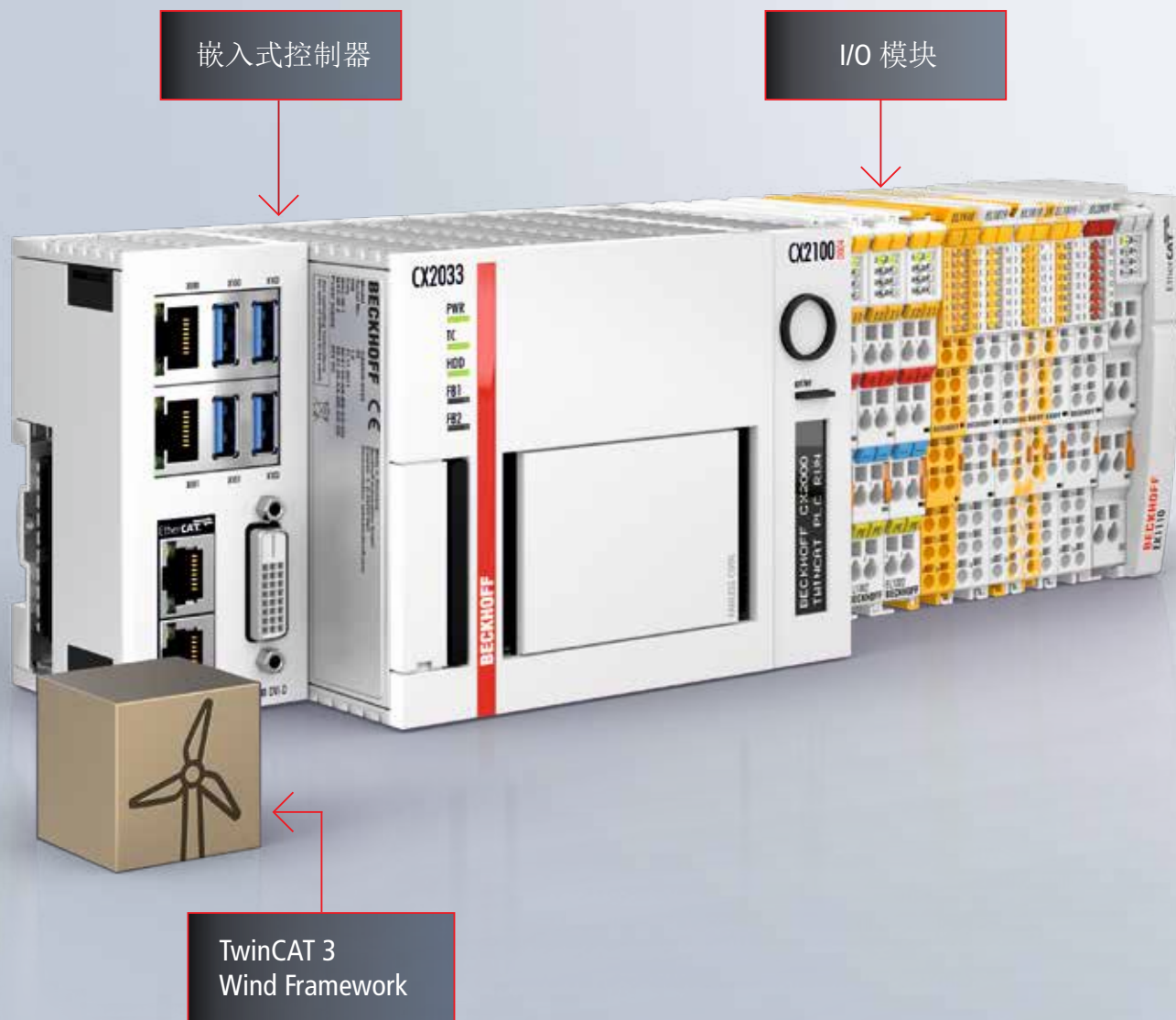
# 基于 PC 控制的 Wind 4.0 解决方案



# 基于 PC 的控制 技术：通用控制 架构应用于风力 发电机组

通过基于 PC 和 EtherCAT 的控制技术，倍福实施的系统解决方案已经在全球范围内得到了检验和测试：全球有超过 100,000 台风力发电机已经使用倍福的技术进行自动化控制，单台风力发电机的容量最大可达 16 兆瓦。一台插接了 I/O 端子模块的嵌入式控制器、用作通用通信系统的 EtherCAT 和 TwinCAT 自动化软件构成中央控制系统。其硬件组件坚固耐用并符合工业通信标准，为您的投资保驾护航。我们拥有一支经验丰富、技术精湛的风电专家团队，可以为您提供从控制柜设计到系统调试等全方位支持。

所有功能都在中央 CPU 上运行：从风力发电机运行控制和管理、变桨控制、可视化和安全技术到状态监测、远程访问功能和风场网络监控。凭借其在控制系统设计上卓越的灵活性、在性能方面的高度可扩展性以及高度集成性，基于 PC 的控制系统能够提高风力发电机组的效率和盈利能力。硬件和软件的模块化组合让用户能够配置一套与其系统性能要求完全匹配的控制系统，并且未来无需花费高昂的费用即可进行扩展和修改，例如状态监测功能的升级改造。TwinCAT 3 Wind Framework 软件工具可为风机制造商提供合适的系统编程帮助和支持，并能够将工业



4.0 方案应用到风电行业中。

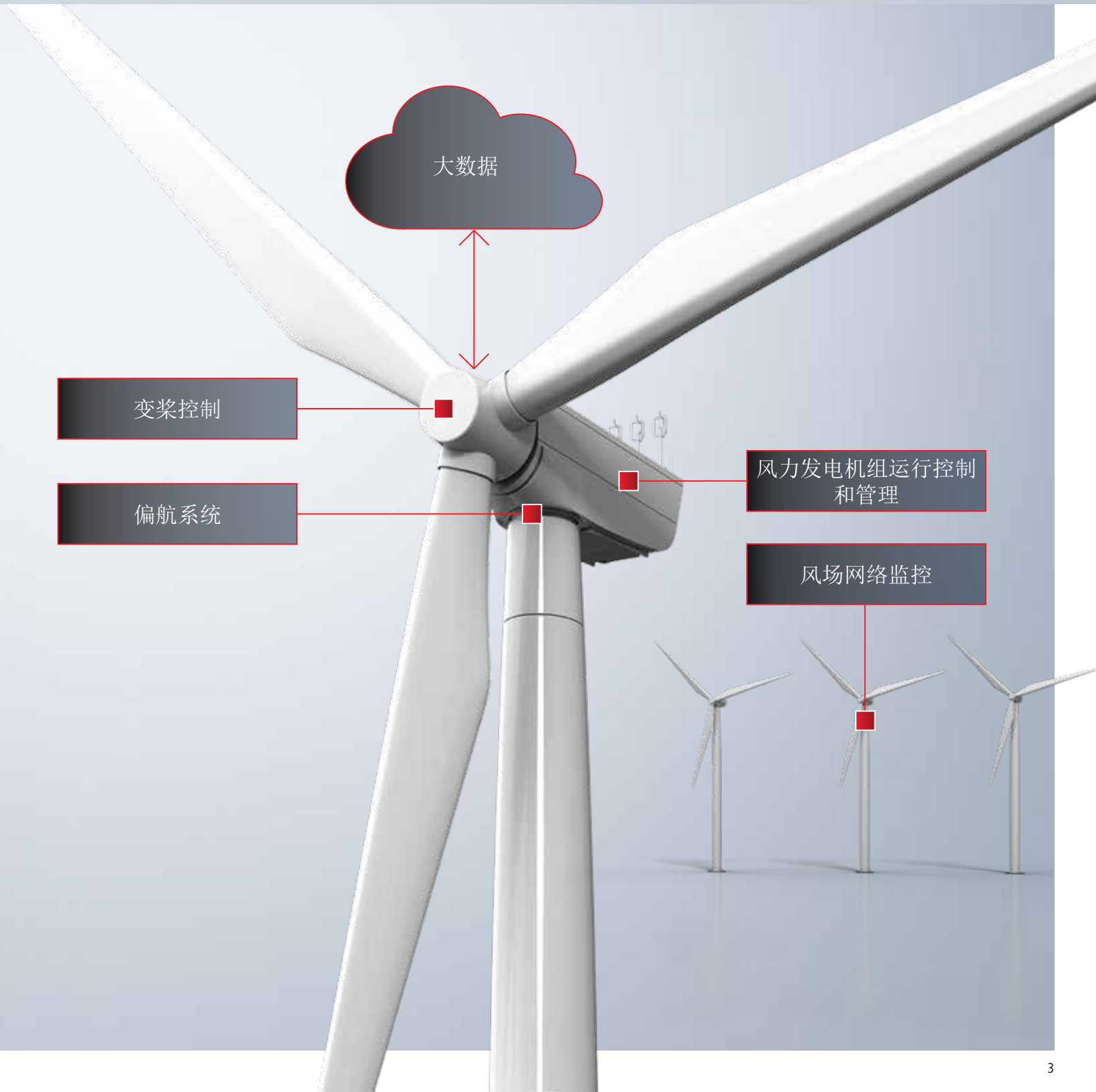
倍福的服务范围还包括控制柜设计与建造：  
从电路图绘制到样机制造以及批量生产。

[www.beckhoff.com.cn/wind](http://www.beckhoff.com.cn/wind)



#### 基于 PC 的风力发电机组控制解决方案

- 集成式控制平台应用于风力发电机组运行控制和管理、变桨控制、风场网络监控以及偏航系统
- 在控制系统设计上有很大的灵活性
- 可满足各种性能等级需求
- 可模块化扩展
- 降低硬件和工程成本
- 提升效率和盈利能力

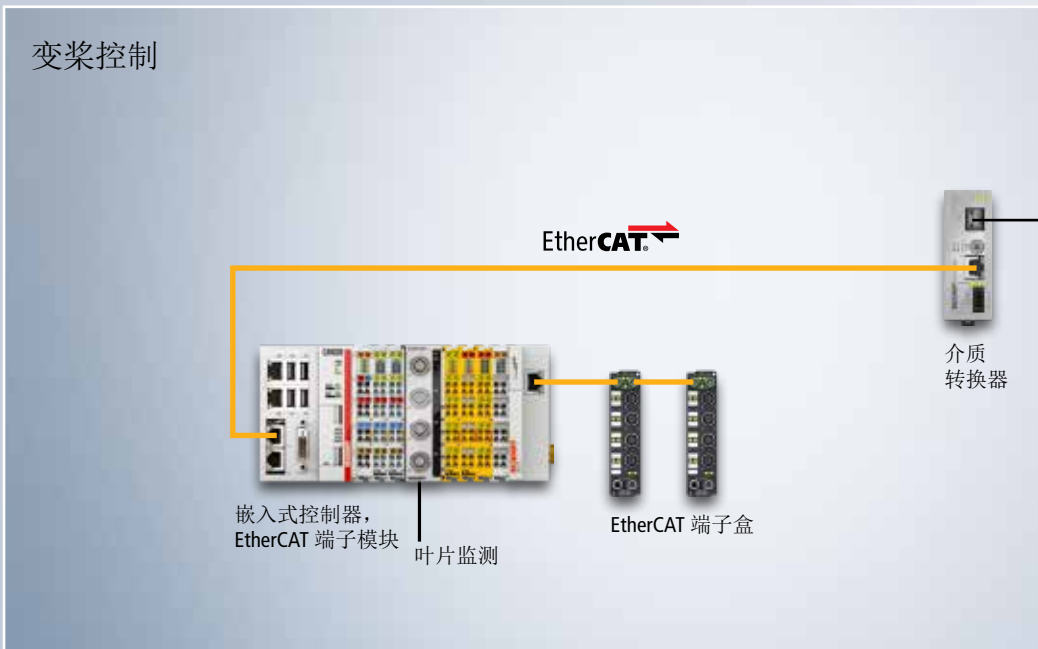


# 适用于所有控制功能的系统解决方案

塔基中安装的一台嵌入式控制器负责采集和处理所有数据，监测电网馈电情况，并与中央控制室通信。安全和测量技术以及状态监测功能通过合适的 I/O 端子模块无缝集成到控制器中。塔基中的变流器、机舱中用于风力发电机运行控制管理的 I/O 系统以及轮毂中的变桨控制器都通过 EtherCAT 与主控制器

通信。诸如 CANopen、PROFIBUS 和 Ethernet TCP/IP 等下位现场总线可以通过现场总线主站或从站端子模块部署在现场，用于控制子系统。EtherCAT 的普遍使用不仅提高了通信速度，同时简化了风力发电机组的项目规划、编程和布线。开放的硬件和软件接口能够集成从传感器到云端的通信。

## 变桨控制



## 风场网络监控



### 变桨控制

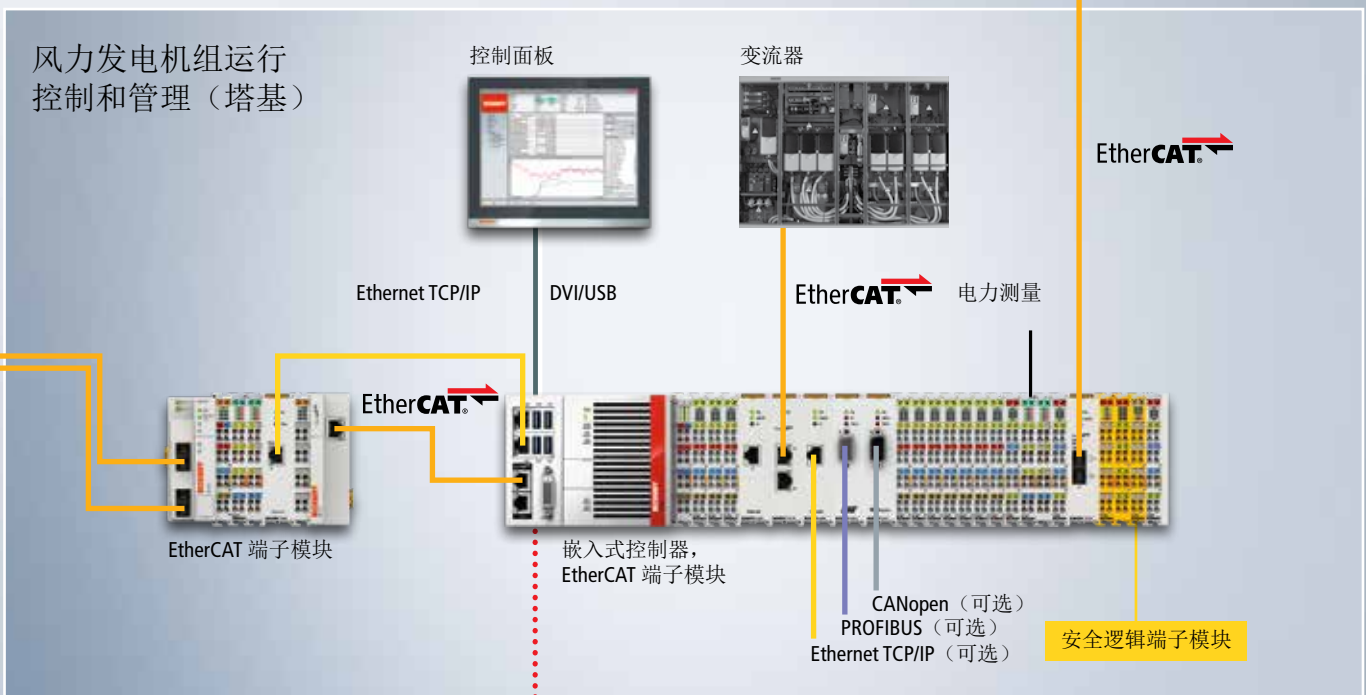
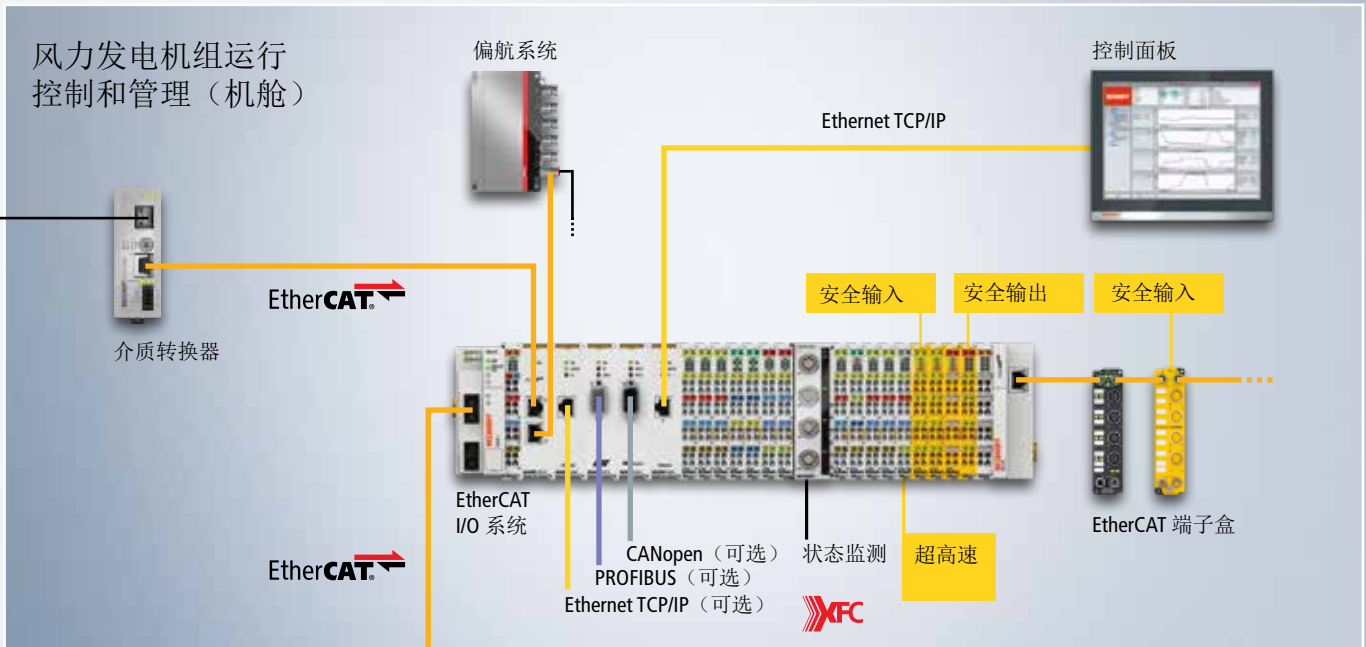
我们提供完整的变桨系统控制解决方案：适合 DIN 导轨安装的嵌入式控制器与 EtherCAT I/O 端子模块或防护等级为 IP67 的端子盒非常适合用于集中式或独立式的叶片控制。编码器端子模块适用于各种桨距传感器，并可作为标准产品提供。智能控制程序减轻了系统负荷，从而延长了系统使用寿命。

### 风力发电机组运行控制和管理

倍福为塔基和机舱中的运行控制和管理提供一个完整的硬件和软件解决方案。与上级控制系统的通信接口遵循国际标准的电力远程控制协议。嵌入式控制器中集成了能够远程访问控制系统的服务器。TwinSAFE 能够将传统硬连线、更高级别的安全链集成到自动化系统中。塔基和机舱之间的通信采用 EtherCAT 并通过光缆经济、灵活地实现。

### 电力测量

最高可测量 690 V AC 电压的 EL3453 三相 EtherCAT 端子模块专注于要求更严苛的过程控制任务。端子模块每半个周波时间更新一次其过程值，50 Hz 时，对应的间隔为 10 ms。在设备方面，有 4 个电气隔离的电流测量通道可供使用，测量范围在 100 mA、1 A 或 5 A 中自由的调整，另外还具有 60 A 的浪涌过载能力。此外，我们还可提供各种电流互感器产品系列，通过它们可以在现场直接布署可靠的功率传感器。



# AMP8000 驱动系统助力提高风力发电机组的发电量

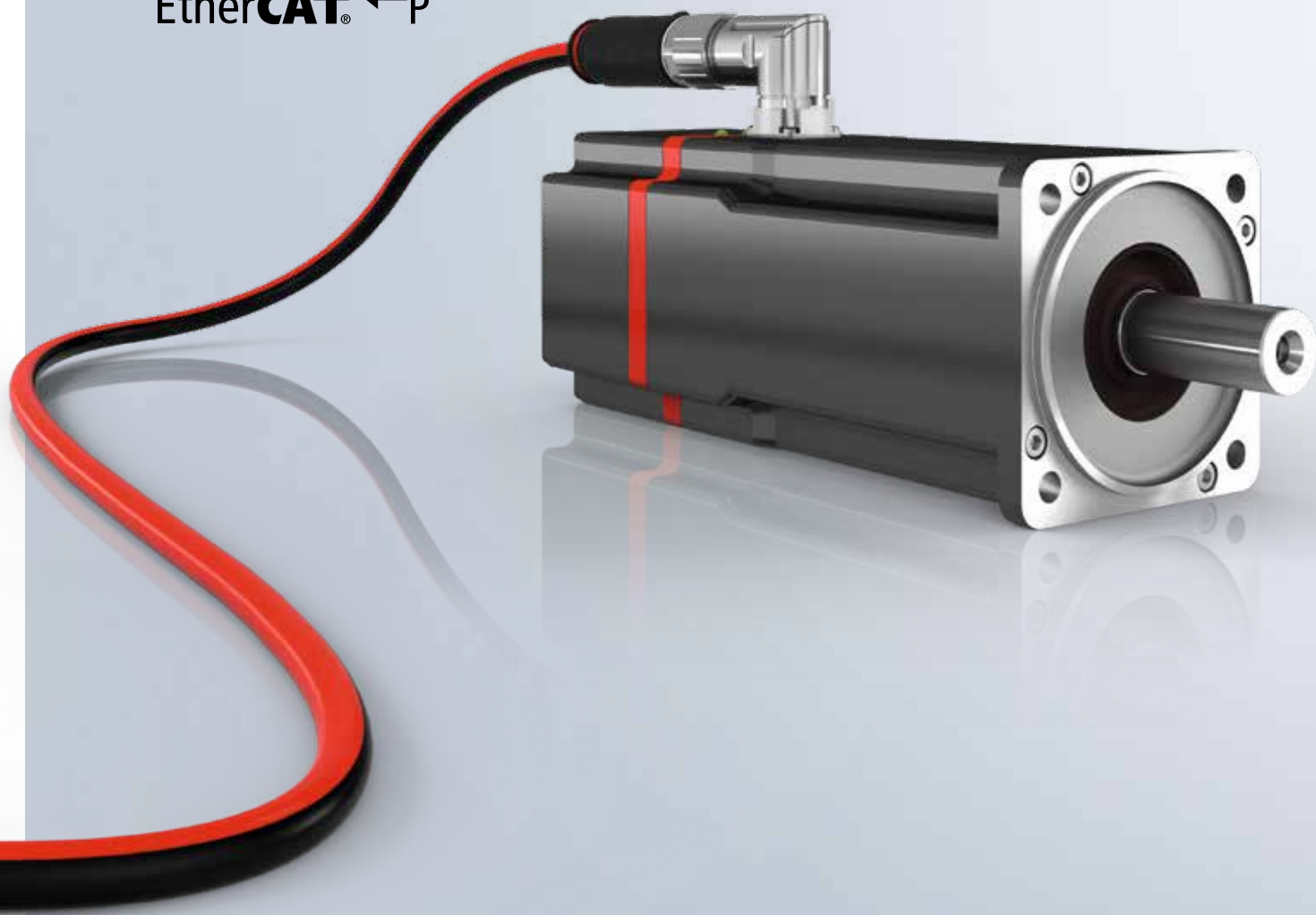
偏航系统是风力发电机机舱的一部分，其作用在于当风向发生变化时，能够偏转风机风轮，使风轮正对风向，以便风轮获得最大的风能。除了电力驱动之外，液压制动系统通常用于水平定向和锁定机舱。

然而，一直使用制动单元主动跟踪风向会导致偏航系统的持续磨损，从而造成很高的维护成本。使用现有的电力驱动系统来生成所需的反扭矩和夹紧偏航机构可以减少磨损并提高效率。

传统的驱动系统通常是基于由市电供电不带软启动功能的异步电机，因为它们的价格相

对较低。但为了在软供电网络中实现安全的起动转矩，所使用的电机和上游供电器件选型通常都留有特别大余量。由于目前风力发电机可以为控制柜提供的空间越来越小，因此必须避免在机舱中增加任何额外的重量和体积。全新的 AMP8000 驱动系统在电机中集成了分布式伺服功能，可以很好地满足这些要求。视风力发电机的大小和负载要求，可以根据可靠的驱动和制动扭矩大小调整电机的数量和输出。与传统解决方案相比，基于倍福 AMP 组件的伺服驱动系统即使在电网波动的情况下也能提供更高的效率，并为安全功能提供足够的扭矩。

EtherCAT<sup>®</sup> P



过去，考虑到制动系统容易磨损，因此很少会在风力发电机中使用风能跟踪功能。而采用新的方案，在没有液压制动系统辅助的情况下实现动态制动功率，通过更加动态的风能跟踪，可以帮助许多风场提高发电量。

### 分布式伺服驱动系统用于风力发电机机舱方位控制

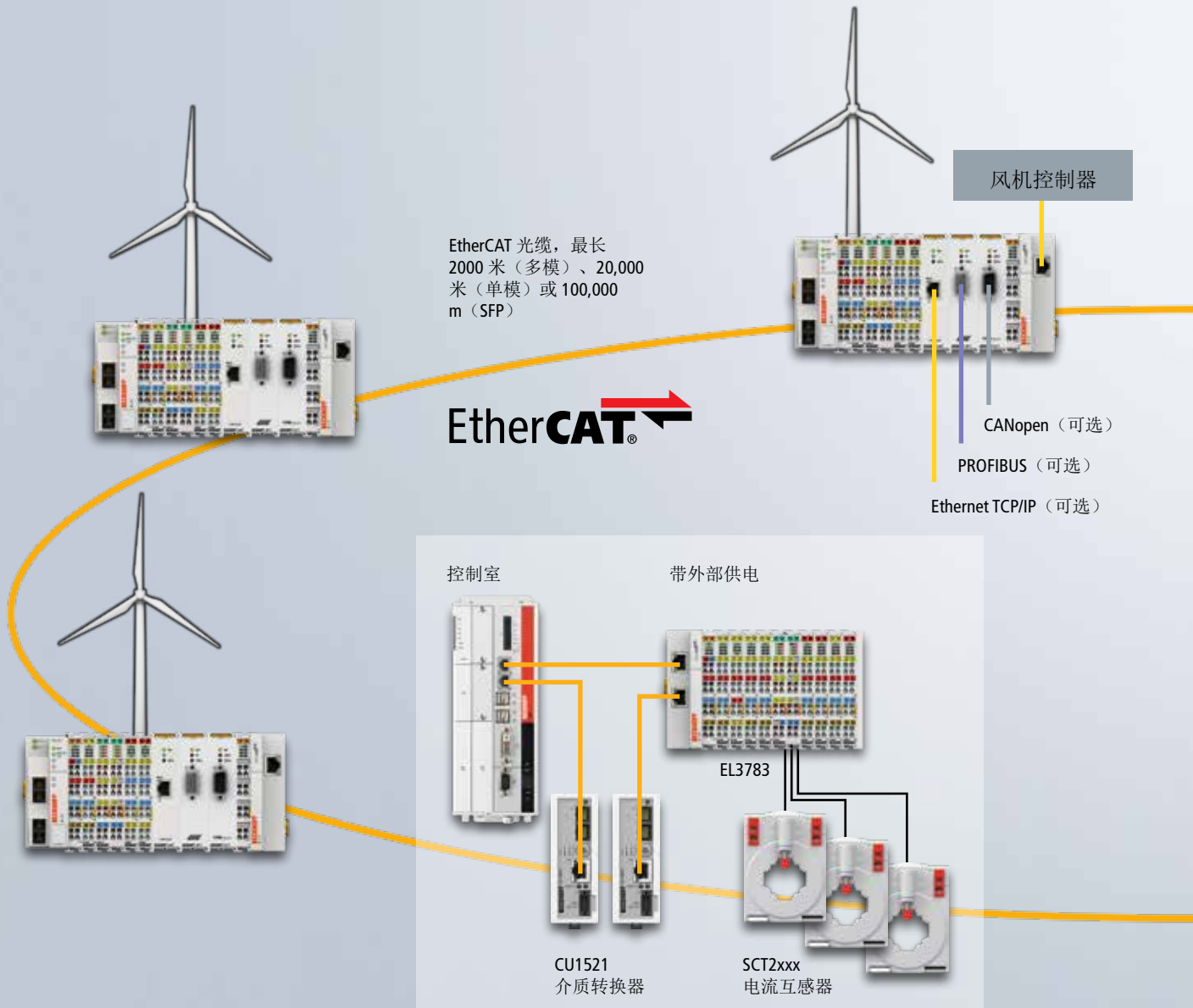
- 通过更加动态的风能跟踪提高发电量
- 降低维护需求，从而降低运营成本
- AMP 组件节约了机舱的安装空间，减少重量
- 显著降低布线 and 装配成本
- 可选集成安全功能
- 集成状态监测和远程诊断功能



# 超高速风场 网络监控： 借助 EtherCAT

可再生能源生产商面临着电压跌落（低电压穿越）时支撑电网的挑战。EtherCAT 技术的突出特点是传输速度快，因此使用 EtherCAT 实现的风场网络监控系统树立了新的标杆：在遇到低电压穿越时，可以在不到 1 毫秒的时间内设定风场网络中所有风力发电机组的设定值，同时还可以高效地调整电流、电压和频率的控制。基于现有光纤的以太网基础设施可使用的最远距离为 20 公里，而不会降低传输速度。使用这项技术甚至还可以实现与风场内各风机变流器的 IGBT 同步。

与传统的以太网解决方案相比，基于 EtherCAT 的风场网络监控系统不仅处理速度更快，而且由于无需使用昂贵的交换机和集线器，具有巨大的成本效益。通过集成在自动化系统中的 EtherCAT 电力测量端子模块 EL3783，可以在公共接入点以高达 20,000 个采样点/秒的速度测量瞬时电流和电压值。



通过 EtherCAT 分布式时钟功能，所有风力发电机组的测量值和接入点处的测量值可以实现小于 1 微秒的时间同步。TwinCAT 支持标准的 IEC 61400-25 风力发电机组通信协议，从而简化了复杂的风场系统环境中的监控，以及与电力公司的连接。

### **EtherCAT：适用于风场网络监控的高速现场总线**

- 超高速风场网络监控
- 响应时间小于 1 毫秒
- 电流和电压测量采样率为 20,000 samples/s
- 有效防止电压跌落
- 通过标准化的通信协议监测复杂的风场环境



# 系统集成状态 监测功能

现代风力发电机组的运行和维护所花费的费用相当可观。为了保持竞争力，必须最小化故障风险、降低维护成本以及提高系统的可用性和能效。这正是状态监测功能的用武之地：不仅仅只是监测偏远地区的海上风力发电机组或系统，而且还可以对减速机和发电机进行监测。

倍福借助现代 PC 技术的强大处理能力和用作高速通信系统的 EtherCAT 将状态监测功能无缝集成到控制器中。倍福的标准测量端子

负责采集轴承或电机的振动信号，并通过 EtherCAT 传输到控制器。组态、编程及诊断都可使用 TwinCAT 在一个系统内实现。

在改进错误检测和整体系统分析功能方面，倍福的集成在控制系统中的状态监测功能优于传统的基于硬件的状态监测解决方案。通过集成来自运行控制和管理系统中包括温度、压力和电流等其它信号，可以防止误报警并且提高错误检测效率。将状态监测功能集成到基于 PC 的中央控制器中会带来很多



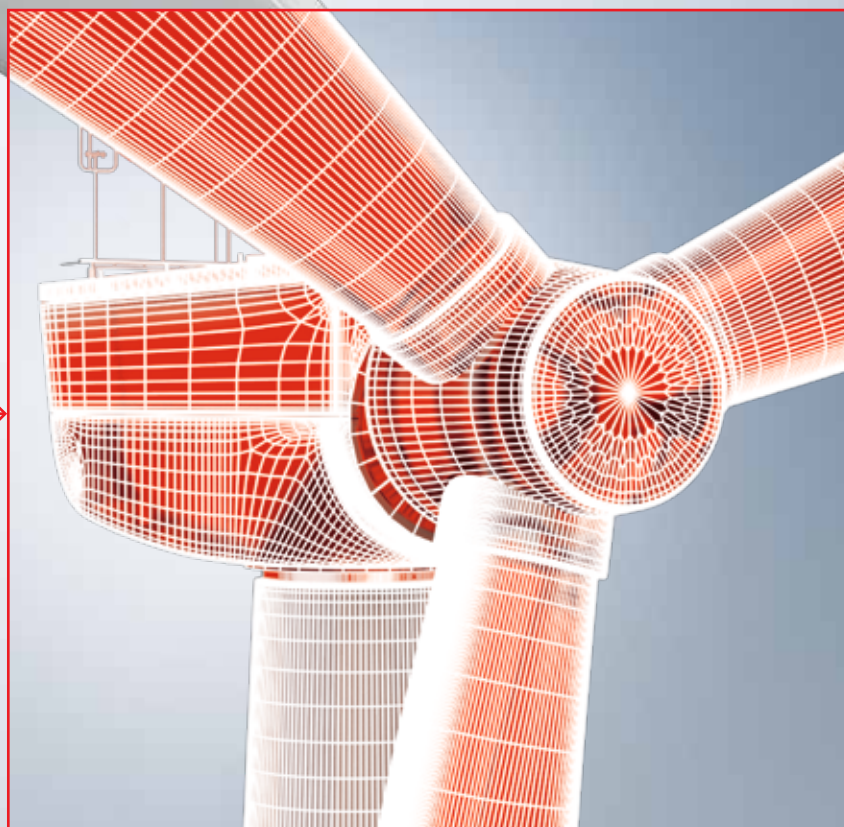
EtherCAT® 

好处，特别是在需要对不同设备中的大量数据进行分析，或需要根据旋转速度评估损坏频率的情况下。控制器负责采集并处理微秒级别的信号。

系统集成状态监测的突出优点还包括可以大幅降低系统、安装和维护方面的成本，同时还可以简单且经济地翻新改造现有系统。

### 状态监测功能助力提升风力发电机组效率和可靠性

- 时间同步的数据记录速度小于 1 微秒
- 可靠的数据分析
- 提高诊断能力
- 提高系统可用性
- 延长风力发电机组的使用寿命
- 节省维护费用
- 降低系统成本
- 提升竞争能力



# 倍福测量技术： 为不同的应用 场景搭配不同 性能等级的设备

我们的测量技术组件系列是不断扩展的，可以全方位满足工业测量领域的所有带宽需求：从每秒测量一次到每秒测量数千次，从电压和电流测量到振动和力测量。IP20 组件用于读取控制柜内的传感器数据。通过无缝集成到 EtherCAT I/O 系统中，ELM 系列高端测量组件甚至可以记录标准型 EL/KL 模拟量端子模块无法测量的要求苛刻的过程测量通道数据。基本系列的测量模块设计用于以高测量精度采集所有通道和模块上的高动态过程

的信号，而经济型系列则设计用于动态性不高的过程。集成的 24V 传感器电源和 24V 电源触点可以减少控制柜中的接线数量。由于它们具有在控制柜中常见的温度范围内保持 100 ppm 精度的超高温稳定性，因此这些模块在这方面远胜过基本系列。

当然也可以用于样机测量或状态监测所需的常用信号形式，例如应变计、温度传感器和加速度计。

## ELM3x4x 经济型系列

- 24 位
- 每通道 1 ksp/s
- 多路复用
- 0...50 °C 时的测量精度为 100 ppm



## ELM3x0x 基本型系列

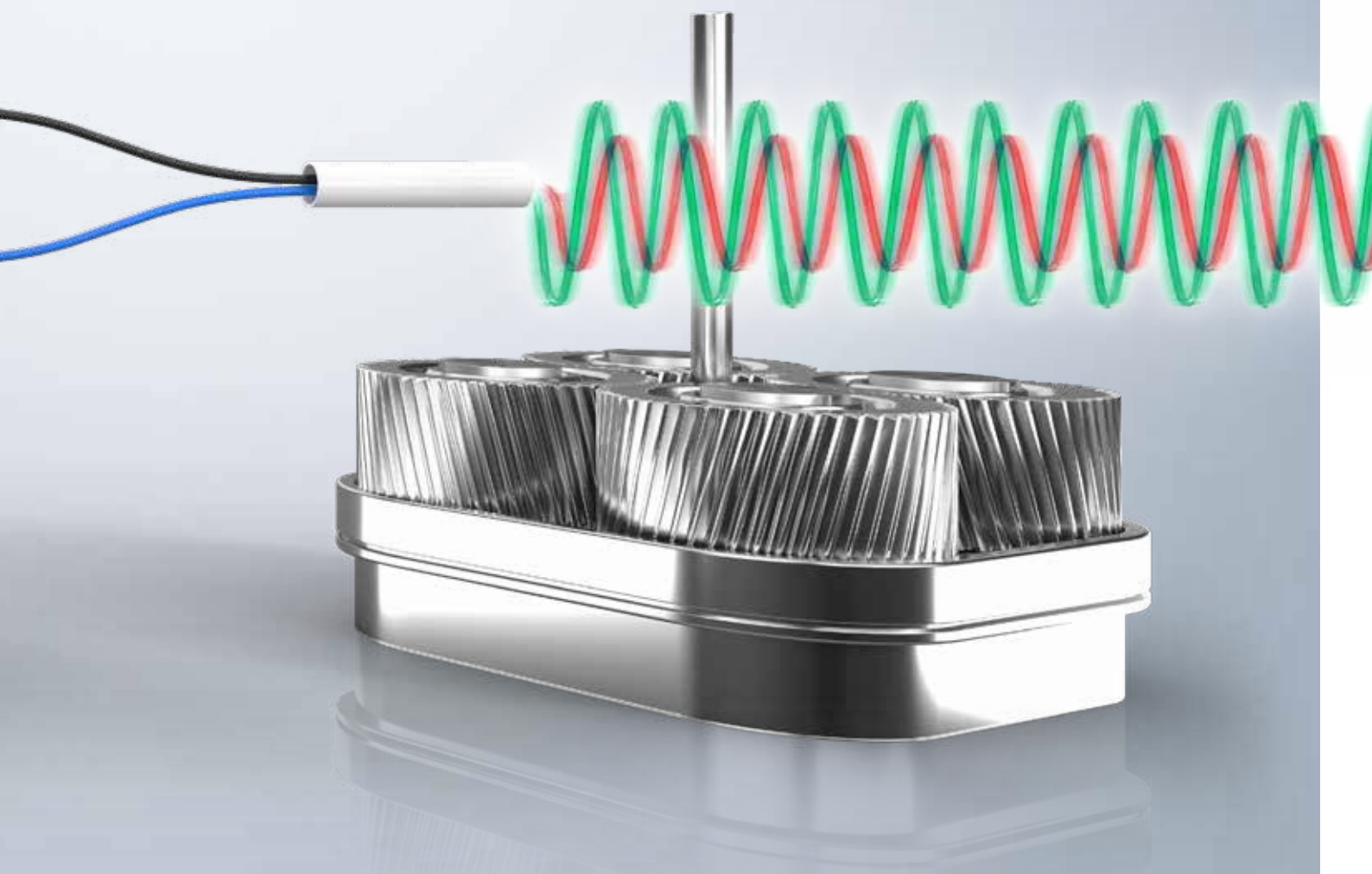
- 24 位
- 每通道 50 ksp/s
- 同步
- 23 °C 时的测量精度为 25 或 100 ppm



这两款产品系列都支持成熟的 EtherCAT 功能，例如以纳秒为单位的分布式时钟时间戳和总线诊断功能。这些模块最好是由如 EKM1101 这样的 EtherCAT 耦合器系统组件供电。集成式诊断功能能够确保可靠的测量操作。

#### 高端测量技术助力实现系统集成状态监测

- 在数据库或云服务器中记录运行和诊断数据
- 可靠的数据分析
- 提高诊断能力
- 提高系统可用性；延长风力发电机组的使用寿命
- 节省维护费用，降低系统成本



# 三步即可打造 一套集成式 状态监测系统

通过 EtherCAT 端子模块实现高频数据采集  
倍福的 EL3783 电力测量端子模块带超采样功能，用于监测三相交流电网中的状态，而具有时间戳功能的 EL1252 数字量输入端子模块用于实现数字控制信号时序的精确检测，这两款产品都可用于检测电源电压。

在改造风机状态监测功能时，只需通过插接合适的 EtherCAT 测量端子模块来扩展风机控制器即可。应变计（SG）可以通过 ELM 模块进行分析。EtherCAT 端子模块

EL3751 中具有针对模拟测量技术的多功能输入。EL3632 能够通过 IEPE 接口（Integrated Electronics Piezo-Electric）直接连接各种加速度传感器并实现高精度振动测量。原始数据与其它系统数据（例如功率和速度）同步记录（ $<1\mu\text{s}$ ），这提高了数据的可靠性，同时减少了误报警的数量。

TwinCAT 状态监测软件库中提供了一个包含数学算法的模块化工具包，用于分析测量值。软件库的功能主要与分析、数据统计和

## 步骤 1 现有的风力发电机控制系统

## 步骤 2



EtherCAT

EL3783:  
电力测量  
端子模块

EL1252:  
2 通道数字量输入端子模块，  
带时间戳功能

分类相关。除了通过 FFT 或使用如包络谱进行的频谱分析之外，它还能够计算关键统计值，如峰度或波峰因数。这些算法与限值监测的结合非常适合用于（例如）监测滚子轴承。但建议使用第三方状态监测软件来分析状态数据，可以将该软件作为 TwinCAT 3 下的授权 TcCom 模块直接集成到倍福控制平台中。风电行业中的很多知名公司已经在 TwinCAT 中实施了他们自己的解决方案。

如果超过了与组件相关的阈值，状态监测系统就会触发报警，以通知系统操作员出现了磨损、失衡或不被允许的运行状态。这些报警可以直接报告给系统控制器或其它运营系统，等待进一步处理。当然也可以在线进行连续设备监测。在这里对特征值趋势进行分析，并将其转化为具体的行动方案建议，例如计划维护间隔时间。

## 状态监测硬件

## 步骤 3

## 状态监测软件



ELM3604-0002:  
4 通道模拟量输入  
端子模块 (IEPE)

EL3632:  
用于状态监测 (IEPE) 的 2 通道  
模拟量输入端子模块



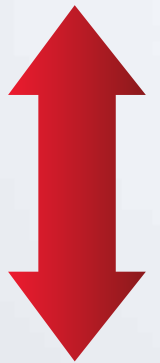
# TwinCAT 3 Wind Framework: 成熟的风电行业 知识已在全球 100,000 多台风机 中得到验证

我们将在超过 100,000 台风力发电机中积累的自动化控制的专业知识打包到 TwinCAT 3 Wind Framework 中，并使得先进的工业 4.0 方案也可以用于风电应用领域。模块化软件包包含了风力发电机的现代化和高效开发设计所需的所有功能和工具。所有基本功能都可以封装为 TwinCAT 3 模块，以便在 TwinCAT 3 中使用功能块，并提供模块化的组件范围供编程人员选择，简化了应用软件的开发。

除了用于风力发电机运行控制管理及状态机的功能之外，还包括用于事件管理、参数配置、用户管理、电力和状态监测以及仿真等的软件模块。集成的数据库链接能够实时、全面地采集、分析及传输运行控制和管理、状态监测和电力管理系统中的数据。所有数据都被连续记录并存储在中央控制器中，然后进行详细分析。这样，例如，可在早期阶段就检测到风力发电机组某个组件有磨损现象（可能会导致运行故障），从而提高了系统的可用性。

系统运营商

大数据



## 通信

安全的垂直和水平通信

- 支持所有常用总线系统  
(EtherCAT, Ethernet, PROFIBUS 等)
- 全面的消息传送/链接功能  
(ADS, OPC UA, 现场诊断等)

现成的软件模块和应用程序模板都已经非常成熟，具有很高的品质并面向未来。可以使用与修改硬件时所采用的相同方式添加或删除这些软件模块。这样可以尽可能地简化工程工作，开发工作也可以通过细分团队进行优化：可以同时开发和测试多个客户特定模块，从而进一步缩短产品上市时间。

#### TwinCAT 3 Wind Framework

- 面向未来的标准应用软件
- 显著简化工程工作
- 安全、高效的软件开发
- 提高软件质量，优化可复用性
- 大大缩短产品上市时间
- 深入的监测和互动
- 连续采集和分析信号
- 将工业 4.0 理念应用到风电领域

## 制造商

## 工程设计

整个风机生命周期保持一致的集成式开发环境

- IEC 61131-3, C/C++,  
MATLAB®/Simulink®
- 面向对象，模块化
- 两个开发工具之间可以进行数据交换
- 自动完成工程设计

## 大数据

为风机运营商和制造商实时优化所有相关数据的处理、可用性和评估

- 数据采集和数据存储
- 数据分析和数据挖掘
- 电力和状态监测



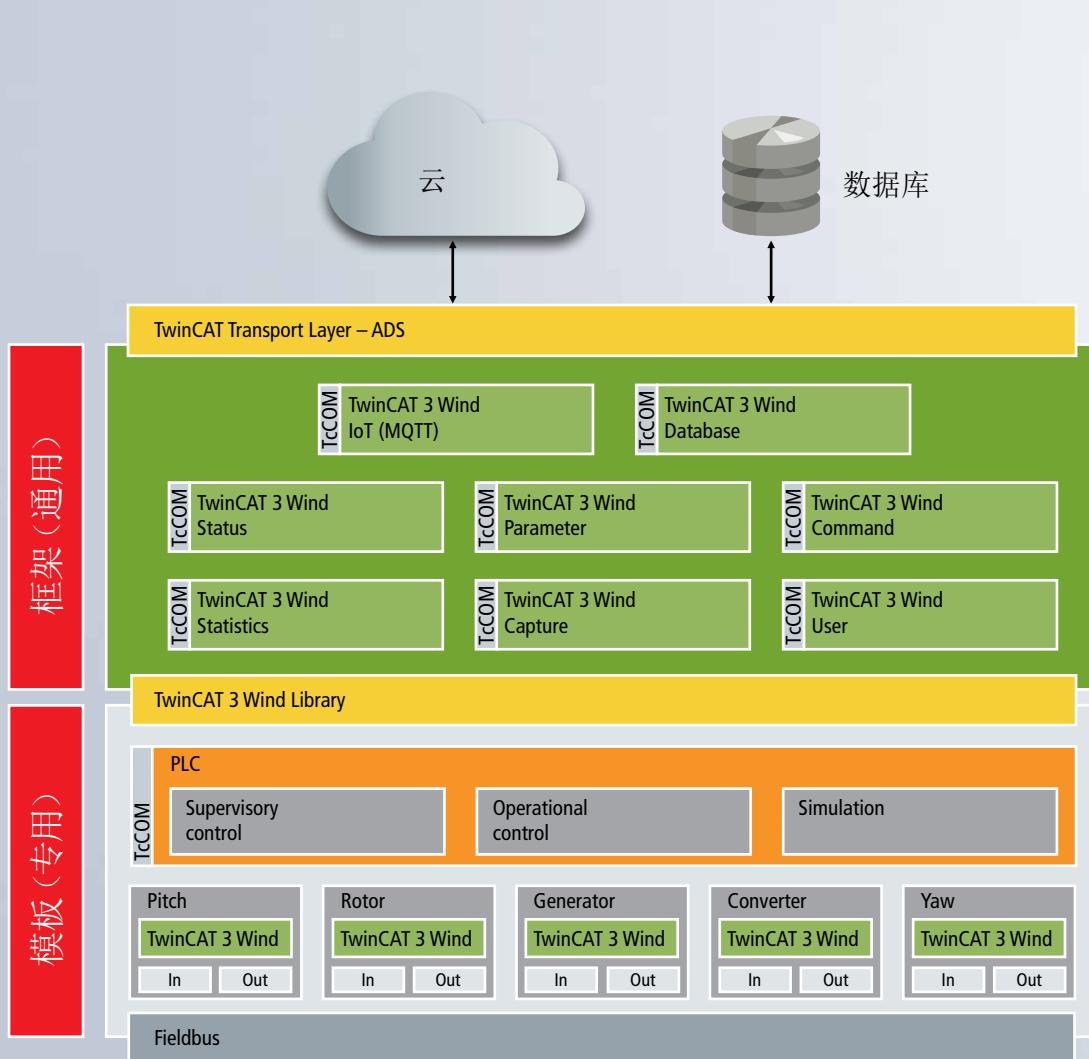
# TwinCAT 3 Wind Framework: 模块化 工程设计

TwinCAT 3 Wind Framework 可使统一、全面的开发设计贯穿于系统的整个生命周期。除了面向对象和模块化编程的 IEC 61131-3 标准语言之外，C/C++ 和 MATLAB®/Simulink® 现在也可用作编程语言。

基于 TwinCAT 3 Wind Framework 的风力发电机组运行控制管理软件开发通过一个风电功能库和一个 TcWind 应用模板实现。风电功能库将 Wind Framework 的所有功能以 PLC 功能块的形式实现，而 TcWind 应用模板则以 PLC 项目的形式为风力发电机组控制和管理软件的开发提供了一整套模块化架构。

风力发电机中的每个子系统由一个独立对象表示。这样，每个子系统的开发、使用和测试都相互独立。因此，正如现在机械系统组件可以实现互换一样，现在软件的子系统也可以实现模块化互换了。这就大大提高了软件的质量、灵活性和可复用性，同时也缩短了开发时间，节省了开发成本。

风力发电机的常规控制功能，如变桨控制、转矩控制等，在模板中出现在运行控制功能组中。对于整机控制，也可以集成更多的模块，如集成用于载荷计算的算法。



TwinCAT 3 Wind Framework 是一款模块化的风力发电机组控制架构

除此之外，与风力发电机相匹配的仿真也被集成到应用中。这就使得在开发环境中测试整个风力发电机运行控制和管理成为可能。应用程序中所集成的仿真模型可用于映射、分析及验证整个控制系统、运行模式以及各个子系统的处理。每个子系统可以独立地选择采用仿真或与实物连接的方式运行。例如，可以在车间测试时单独激活机舱组件。

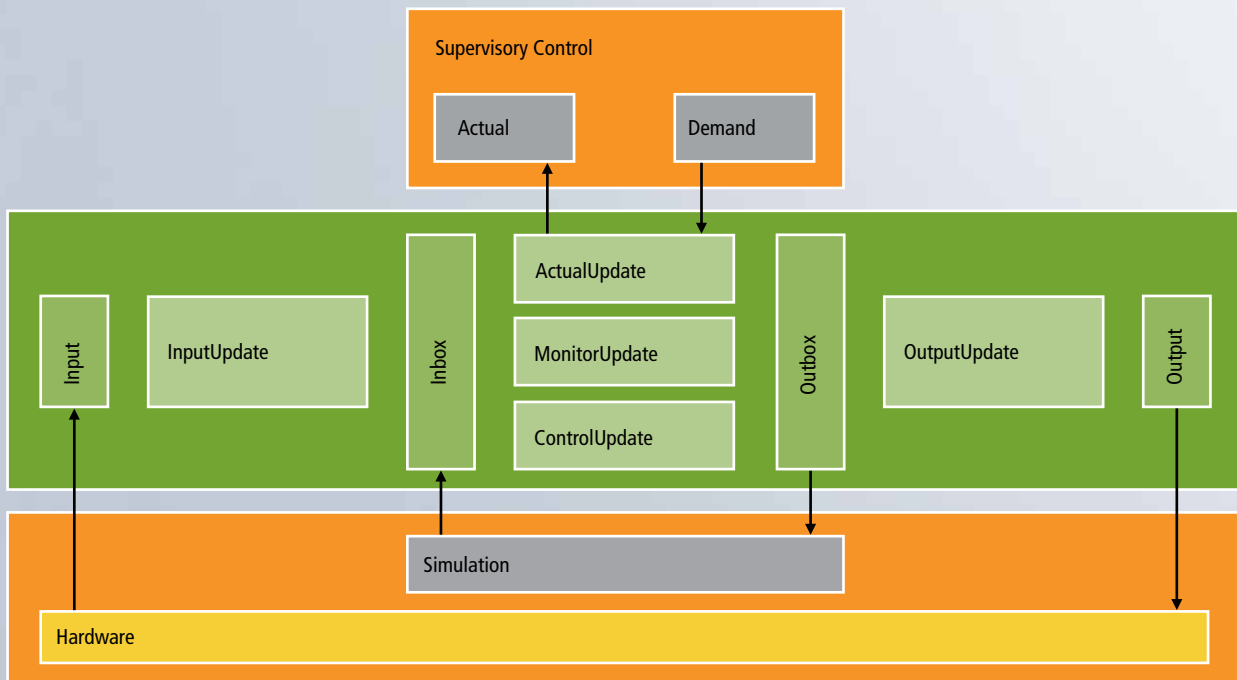
通用的 TwinCAT 模块提供上层服务，每个模

块只需要作为 TcCOM 模块集成到 TwinCAT 3 中即可使用。各模块也可以单独和相互独立地使用或组合使用，以便于进行交互和数据交换。

Status 模块支持监测所有组件，包括故障检测、事件管理、故障处理和生成报告。所创建的 Status 对象代表一个事件，并且这些对象可用于显示消息、报警或故障。Parameter 和 Command 模块提供配置和交互功能。信

号记录和统计分析功能通过 Capture 和 Mean 模块实现。初步的数据分析可以在实时系统中进行。通过这种方式可以监测一个单元及其动作，并统计出动作频率和运行时间。

集成的用户管理模块用于检查和记录所有用户与系统之间的交互。这样可以在编程期间指定每个功能的使用权限。



仿真和硬件之间可以无缝切换，确保在进行部分调试时不需要修改源代码

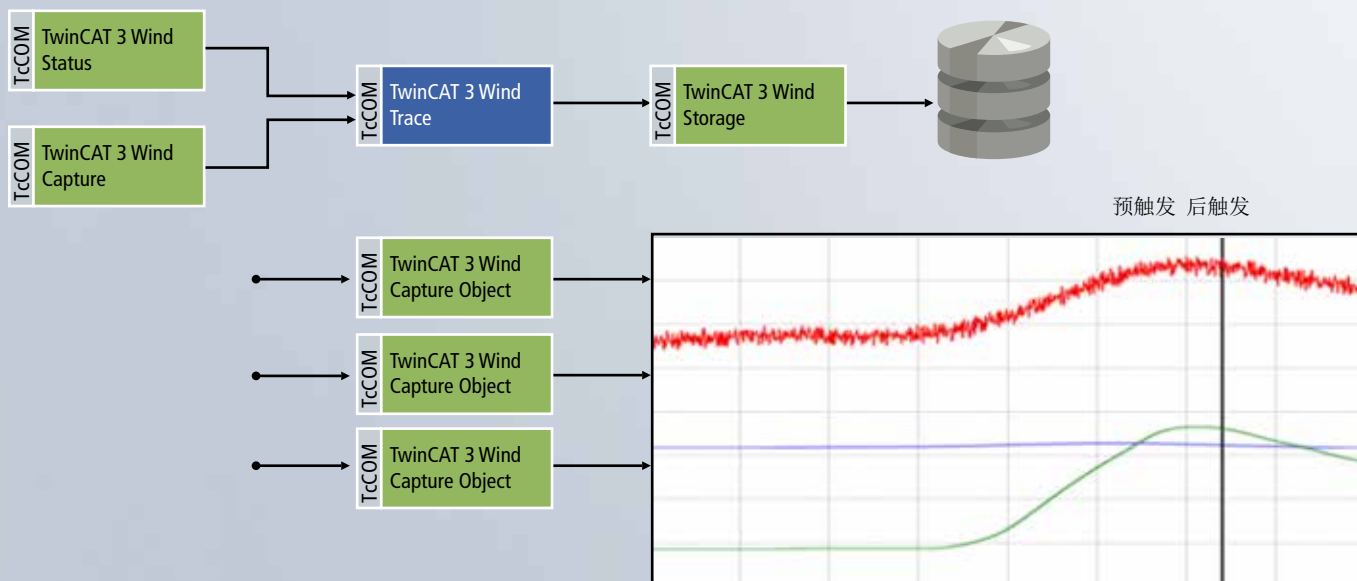
# TwinCAT 3 Wind Framework: 大数据助力优化 风力发电机组 控制

各个 TwinCAT 模块中的所有信息被持续实时地传送给数据库模块。然后将其保存在数据库中，或通过 SQL 存储过程从中检索。TwinCAT 3 Database Server 管理数据库中的数据。

数据库模块通过 TwinCAT 3 Database Server 与 SQL 数据库实现连接，从而提供统一、高效、紧凑的数据管理。所有事件和信号的记录，加之全部对象配置的存储和载入，可以很好地支持深度的数据分析。所需进行的任何预处理都在 TwinCAT 模块中实时完成，所

有数据的实时记录和预处理数据是第一步，紧随其后的是与数据库间的可靠传输，从而可以在运行管理之外按需进行分析和评估。有了大量历史数据，就可以检测状态变化和故障原因，创建详细的统计报告，最终优化系统。

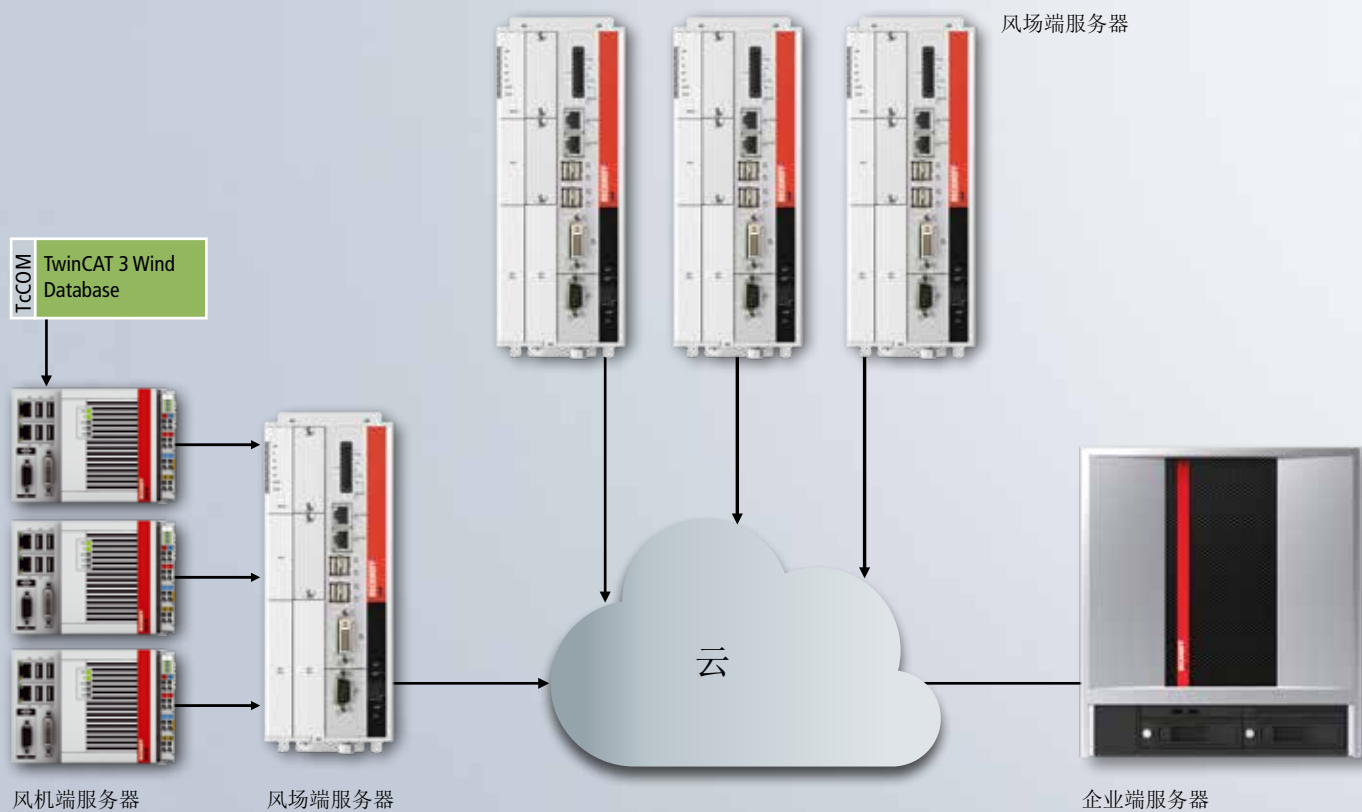
通过数据库结构的设计可以将相互独立的多个系统中的数据整合存储进入一个数据库中，这样，这些数据可以通过预制的程序被快速方便地进行整合，以便进行更高等级的



在重要事件期间，高分辨率地记录关键信号。

分析和比较。如果所有系统中的数据在公司中央服务器上合并，或在云中合并，将形成一个数据仓库，从而能够永久保存系统整个生命周期的数据。这种来自任意数量系统、实时生成并在中央服务器上累加的海量数据一般可以被称为大数据。大数据应用为驱动制造业迈向工业 4.0 进一步添砖加瓦，选择性地整合风场管理系统数据、监视系统数据和测量系统数据也可为大数据提供支撑。

标准化的访问方式使这些数据能够应用于更加广泛的自动化评估中。它们可以被用来检测故障或缺陷、创建统计报告并优化风力发电机组运行控制和管理系统，以及实现基于状态的监测和预防性系统维护。



所有系统数据可以在中央服务器上合并，以进行更高级别的分析

# 参考案例

IEH at KIT, 德国

可再生能源：  
嵌入式控制器和TwinCAT 软件  
助力控制发电厂

► [www.ieh.kit.edu](http://www.ieh.kit.edu)



© IEH/KIT



金风科技, 中国

TwinCAT Wind 及超采样技术助力  
实现高效状态监测

► [www.goldwindglobal.com](http://www.goldwindglobal.com)



© Goldwind

Leine & Linde, 德国

基于 PC 的控制技术与应变传感器结合，监测风力发电机的风轮叶片

► [www.leinelinde.com](http://www.leinelinde.com)



Structural Health Monitoring

Digital Strain Measurement

Structural Load Monitoring

Lifetime Extension  
Equivalent Fatigue Load

© Zentilia - stock.adobe.com

LORC and R&D Test Systems, 丹麦

风机 HALT 试验台  
助力实现严格测试

► [www.lorc.dk](http://www.lorc.dk)  
► [www.rdask.com](http://www.rdask.com)



© R&D Test Systems

基于 PC 的控制技术确保您在 Wind 4.0 领域中的领先地位：  
[www.beckhoff.com.cn/wind](http://www.beckhoff.com.cn/wind)

## 德国

### 总部

**Beckhoff Automation GmbH & Co. KG**

Hülshorstweg 20

33415 Verl

Germany

电话: +49 5246 963-0

[info@beckhoff.de](mailto:info@beckhoff.de)

[www.beckhoff.de](http://www.beckhoff.de)

### 倍福中国

**Beckhoff Automation (Shanghai) Co., Ltd.**

德国倍福自动化有限公司

上海市静安区汶水路 299 弄 9-10 号

(市北智汇园 4 号楼) (200072)

电话: 021 / 66 31 26 66

[info@beckhoff.com.cn](mailto:info@beckhoff.com.cn)

[www.beckhoff.com.cn](http://www.beckhoff.com.cn)

Beckhoff®、TwinCAT®、TwinCAT/BSD®、TC/BSD®、EtherCAT®、EtherCAT G®、EtherCAT G10®、EtherCAT P®、Safety over EtherCAT®、TwinSAFE®、XFC®、XTS® 和 XPlanar® 是德国倍福自动化有限公司的注册商标。本手册中所使用的其它名称可能是商标名称，任何第三方为其自身目的而引用，都可能触犯商标所有者的权利。

©德国倍福自动化有限公司 08/2022，版权所有。

本手册中所包含的信息仅是一般描述或性能特征简介，在实际应用中并不总是与所述完全一致或者可能由于产品的进一步开发而不完全适用。仅在书面认同情况下，才提供相关特性信息。

技术规格若有变更，恕不另行通知。



倍福官方微信