

基于 PC 的控制技术从一开始就为德国首个海上风电场提供动力

Alpha Ventus 风电场与基于 PC 的风机控制系统的 10 年成长历程

十年前，Alpha Ventus 项目的启动标志着德国正式进入海上风力发电时代。Alpha Ventus 风电场也是世界上第一座深海海上风电场。在过去的 10 年里，其 12 台风力发电机组与一座离岸变电站相连，为德国电网接入 2.1 太瓦时的绿色电力。其中 6 台风力发电机组由西班牙西门子歌美飒可再生能源公司（Adwen，前身为阿海珐）提供。在此次采访中，来自 Adwen 公司的 Bernd Zickert 为我们介绍了倍福基于 PC 的控制技术在这些系统中的具体应用。

Alpha Ventus 风电场部署了哪些倍福产品？

Bernd Zickert: 倍福产品主要部署在风电场内安装的风力发电机组中。早在 2006 年，我们就确定了基于 PC 的控制系统的基本架构，同年推出了第二台样机。由于当时并不是所有 EtherCAT 端子模块都能提供，或者没有足够的运行历史记录验证，因此我们决定 I/O 组件采用通过 BK1120 EtherCAT 总线耦合器连接的 K-Bus 端子模块，以及通过 EK1100 EtherCAT 总线耦合器连接 EL6731 PROFIBUS 主站/从站

端子模块部署在机舱和轮毂上。我们从一开始就将节约成本、高性能的 EtherCAT 用作上位总线系统，事实证明这是一个非常理想的折衷方案。机舱内的两个 PROFIBUS 主站不需要单独购买和配置计算机，而是通过两台 EL6731 端子模块快速、经济地实现。

2010 年 4 月，德国首个海上风电场——“Alpha Ventus”风电场正式投入运行。

当时您们选择的是哪款工业 PC？

Bernd Zickert: 主控计算机采用的是一台安装有 Windows CE 操作系统的无风扇工业 PC C6515。它主要控制以下 PROFIBUS 从站：主变压器、中压开关柜和空气处理变频器。从站设备选用的是一台也安装有 Windows CE 操作系统的 CX9000 嵌入式控制器，并通过 PROFIBUS “紧凑型”总线耦合器 BK3150 与用于调节转子叶片桨距的变频器进行通信。各风力发电机之间通过实时以太网交换运行数据，并根据 IEC 61400-25 标准传输给上位风电场管理系统。我们还使用 OPC UA 服务器实现在线可视化，使用 Modbus TCP/IP 与传动装置/主轴承和叶片状态监测系统交换数据，以及使用 FTP 服务器上传运行数据或新的 PLC 版本。每台风力发电机内的数据流都通过 EtherCAT 运行，每个都有大约 1000 个数字量 I/O 和 400 个模拟量 I/O。我们可以实现 10 ms 的任务循环时间。由于目前实时负荷不到 30%，我们有足够的资源可供未来进行改进。

可否简要谈一谈您使用倍福技术的经验？

Bernd Zickert: 在整个项目中，我们在陆上风电样机中使用了基于 PC

的控制技术，体验一直非常良好。三台陆上风电样机和 M5000-116 硬件在环（HIL）测试风力发电机组装机确定了大部分基础技术。因此，我们在开发、功能测试、调试和运行方面收集到的研究结果让 Alpha Ventus 风电场获益匪浅。即使 10 年过去了，倍福的控制产品仍能够可靠地运行；只有少数产品需要更换。倍福高度灵活的模块化 I/O 产品以及整个系统可轻松远程维护并具有极大的诊断深度和计算机性能等优势也让我们受益颇多。

控制软件有哪些独特优点？

Bernd Zickert: 风力发电机组的 PLC 程序是在 TwinCAT 2 软件中开发的。由于 PLC 运行实时核和系统管理器可以分离，因此能够在一开始就将 PLC 程序与硬件解耦。因此，不考虑其应用和需求，一个 PLC 程序即可覆盖所有 M5000-116 风力发电机组项目，即使硬件系统配置不同。相同的 PLC 程序在序列号为 02 到 130 的所有 M5000-116 风力发电机组以及序列号为 01 到 71 的所有 M5000-135 风力发电机组上运行。这种标准化在程序维护、根本原因分析（RCA）和故障模式与影响分析（FMEA）有很大的优势。它让我们可以针对每个客户进行改进和优化。

在贵公司的风电场中，您们已经在多大程度上实施了物联网相关方案？

Bernd Zickert: 考虑到物联网的总体目标，我们从一开始就或多或少有意识地实施了最重要的步骤。每台风力发电机最多拥有三个物理上独立的 IP 网络以及总共约 15 台计算机。所有风力发电机都通过包含有针对性网络的光纤线路的 33 千伏海底电缆与离岸变电站相连。这些光纤线路汇聚在由我们设计并由倍福制造的离岸变电站的通信机柜中。一根带光纤线路的 110 千伏海底电缆用于连接变电站和大陆。这些网络可以通过一个公共 IP 地址实现。每台风力发电机都会自主将其运行数据（如计量数据、高分辨率错误日志、消息、警告、错误信息和参数变动）写入中央数据库。我认为，自动数据分析工具蕴藏着巨大的运行和服务改进潜力，运行数据的自动传输和集中存储已经为此奠定了基础。

如何评价与倍福的合作？

Bernd Zickert: Alpha Ventus 风电场 M5000-116 的开发基石早在几年前就已经奠定，代表 Multibird 开发公司的 M5000-116 的第一台陆上样机于 2004 年底投入运行。当时，倍福的 I/O 已经是自动化解决方案的一部分。为了从第二台样机开始，为风力发电机组提供统一、开放、灵活、成熟、高性能及面向未来的自动化解决方案，我们在 2005 年底选择倍福作为我们的控制系统和控制柜供应商。第二台 M5000-116 陆上样机配备了倍福的 CX1020/CX9000 控制器，于 2006 年 12 月投入运行。倍福从一开始就积极参与了这个项目，例如设计整个风机的自动化解决方案并同时开发 M5000-116 HIL 试验台，用 C# 开发 HMI 框架，设计和建造控制柜以及现场功能测试。倍福不仅能够提供控制组件，还能够提供针对低压系统的控制柜，以及测试和调试阶段所需的所有控制柜，事实证明，这一点对我们来说大有裨益。多年来，我们之间的合作为双方带来了巨大回报。



Bernd Zickert，Adwen Technology 公司 CSE AD5-116/AD5-135

能否简单介绍下您们与倍福之间的合作经历了哪些重要步骤？

Bernd Zickert: 2008 年，倍福开发了 IEC 61400-25 服务器，用作连接外部风电场管理系统的接口，据我所知，Alpha Ventus 是第一个部署该服务器的风电场。2009 年，倍福开发了 OPC UA 服务器，用作 PLC 和风力发电机 HMI 之间的接口；2011 年，我们首次将 TwinCAT 3 用于 HIL 风力发电机仿真，用作我们风电场管理系统的测试环境。在倍福技术支持团队的大力帮助下，我们在 MATLAB®/Simulink® 中实现了 110/33-kV 网络模块。2017 年，我们使用 TwinCAT 3 实现了风电场管理系统的热备解决方案，期间，倍福完成了大部分软件开发工作。

采访人：德国倍福自动化有限公司全球风电行业经理 Dirk Kordtomeikel

更多信息：

www.alpha-ventus.de

www.siemensgamesa.com

www.beckhoff.com/wind

M5000-116 HIL 试验台，Alpha Ventus 2010

