

广州新电视塔：借助基于 PC 的控制系统实现振动控制数据采集与远程监控

EtherCAT 技术为高塔的安然无恙提供保障

广州新电视塔（又称广州塔、电视观光塔）是为迎接 2010 年在广州召开的第十六届亚洲运动会而新建的地标性建筑。建造地点选在城市新中轴线和珠江新城景观轴的交汇处，是一座以观光旅游为主，具有广播电视发射、文化娱乐和城市窗口功能的大型城市基础设施。

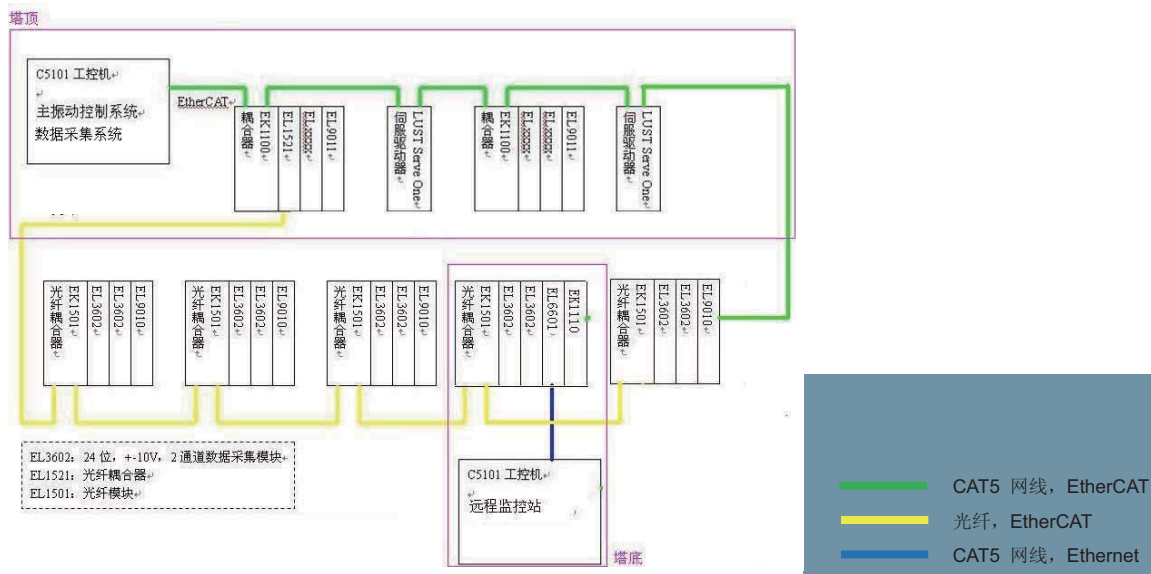
广州新电视塔的整体高度达到 610 米，其中塔身主体 454 米，天线桅杆 156 米，竣工后将取代加拿大的西恩塔成为世界第一高塔，也将成为广州的新地标。由于广州夏季台风频繁，电视塔纤细高耸，很容易受到台风影响。新电视塔塔身按照特一级标准进行抗震设计，并采用 Beckhoff 的控制系统作为整个建筑振动控制的核心部分，即使遇到百年一遇的大风和 8 级地震，也可确保高塔安然无恙。

广州新电视塔全部采用高强钢，总重不到 5 万吨，外筒大约 3 万吨。为了让它在地震和台风时仍能够保持平稳，设计人员在塔顶设计了一个大型平衡水箱。水箱与塔身主体之间采用阻尼器连接，并通过水箱给塔体施加力矩，即纠偏力矩。振动控制系统的核心目标就是根据瞬息万变的环境数据实时调节施加给塔体的纠偏力矩。具体做法是：在平衡水箱上安装一套直线电机，并将导轨固定在水箱上。直线电机在导轨上运动的力就会经过导轨和水箱传递到与塔体相连的阻尼器上，产生弹性变形。由于阻尼器的存在，直线电机可以用较小的力给塔体施加一个较大的纠偏力矩，但是二者之间的关系并非线性，而是动态变化的。

整个振动控制系统分为主控系统、数据采集系统和远程监控系统三个部分，分别由深圳大簇精密机电有限公司、广州大学工程抗震研究中心以及香港理工大学的土木及结构工程学系实施。

数据采集系统是整个系统的运算依据，它的任务是采集环境数据，并根据专门的数学模型实时计算直线电机的目标转矩。广州新电视塔数据采集系统有三个特点：一是采集点分散，从塔基到





杆顶部，共 610 米的高度上，一共设有 6 个采集站，主机位于塔体的顶部，即 454 米高度的平台上；第二个特点是要求速度快，台风或者地震的时候，风速、加速度都在高速变化，而纠偏力矩必须及时对风速或者振动的变化做出响应；第三个特点是要求精度高，数据采集模块必须既能分辨出轻微的风速和振动，也能测量出台风和地震时的风速和振动。

主控系统是整个系统的核心，它的主要任务是接受数据采集系统给出的直线电机目标转矩，并发送给直线电机的驱动器。和数据采集系统一样，主控系统也必须迅速响应，目标转矩必须及时传送到驱动器。

远程监控系统是整个系统的 HMI 人机交互部分，它的任务是将实时环境数据以及相关的运算结果以用户友好的界面显示给操作人员，并完成数据存储等工作。为了方便监视和维护，远程监控系统的主机放在整个电视塔的底部，它必须和位于塔顶的主控系统和数据采集系统进行通讯。

在原设计中，三个子系统分别由三个单位实施，各有 1 台计算机。但主控系统和数据采集系统的通讯频繁，且实时性要求高。如果使用模拟量传输，速度虽然快，但是容易受到干扰；若使用以太网通讯，又不能达到实时性要求。Beckhoff 的控制系统就很好的解决了这两个问题，它将主控系统和数据采集系统的主机合二为一，共用一条 EtherCAT 总线，主控系统的运算在 TwinCAT PLC/NC 软件中实现，数据采集系统的运算在 C 语言中实现，通过包含 IO 变量的 .h 文件和包含 TwinCAT IO 的 API 函数来控制硬件。主控系统和数据采集系统之间的通讯通过 TwinCAT 变量链接实现，传输性能可靠，同时还可保证实时性。EtherCAT 的通讯速度非常快，刷新 100 个伺服轴的数据只需要 100 微秒，本系统中只用了 2 个伺服轴和不到 50 个模拟量 IO，响应时间小于 50 微秒，远低于系统要求的 1ms 响应时间。

由于数据采集系统点数分散，对于站点间超过 100 米的情况，Beckhoff 可提供带光纤接口的 EtherCAT 耦合器，使数据传输链路简单、快速，不受电磁干扰。同时，光纤可形成环路，从而能够实现网络冗余，大大提高整个系统的可靠性。另外，为了满足数据采集系统对速度和精度的要求，我们采用了 24 Bit 的 EtherCAT 模拟量输入端子模块 EL3602，AD 转换时间只需 60 微秒。

Beckhoff 基于 PC 的控制技术在远程控制站与主站之间的通讯上面也显示出很强的灵活性。根据原设计方案，位于塔顶的主控系统和位于塔底的远程控制站之间距离超过 500 米，因此必须有一条专门的光纤和一对光纤转换器。使用 Beckhoff 的 EtherCAT 技术可以在位于塔底的数据采集站上增加一个 Ethernet 以太网交换机端子模块 EL6601，其作用相当于在塔顶的主控计算机上增加一张以太网卡，通过 EL6601 连接一条普通网线到远程控制站的主机上，两台计算机之间就可以进行实时的 Ethernet 通讯。

广州新电视塔振动控制系统是 Beckhoff 控制技术在工业控制、仪器仪表和测量、楼宇自动化等三个领域的综合应用，其中，EtherCAT 是 Beckhoff 技术的灵魂，也是这个项目中贯穿三个子系统的核心技术，本项目充分体现了 EtherCAT 传输速度快、实现简便、组网灵活等特点。TwinCAT 控制软件具有很强的实时性和开放性，在集成采集系统的 C 语言程序时可简化软硬件结构，并大大提升系统性能。

此外，使用了我们的控制系统之后，还给客户带来了意外的惊喜：材料成本和工程费用比预算节约了近 30%。