

# 工业以太网在大型自动化立体电力系统中的实时性保障与应用

梁 东

山西焦煤集团山焦焦化股份有限公司 山西 临汾 041606

**摘 要：**大型自动化立体电力系统对通信实时性需求严苛且多维，涵盖共性与差异化需求。工业以太网通过通信协议优化、合理拓扑设计、数据传输精准管控保障实时性。其在设备状态数据采集、控制指令传输、系统协同监控环节应用广泛，能提升数据采集效率、确保指令精准执行、实现设备状态实时共享。不过，应用时需强化网络抗干扰能力、完善冗余设计、建立网络性能实时监测与优化机制，确保工业以太网稳定运行，满足系统实时性通信要求。

**关键词：**工业以太网；大型自动化立体电力系统；实时性保障；应用

引言：在电力行业蓬勃发展的当下，大型自动化立体电力系统应运而生，其集电力生产、传输、分配与设备管控于一体，结构复杂且对通信实时性要求严苛，不同环节与数据类型对实时性需求各异。工业以太网凭借其独特优势，成为满足该系统通信需求的关键技术。通过通信协议优化、网络拓扑合理设计、数据传输精准管控等策略，工业以太网在设备状态数据采集、控制指令传输、系统协同监控等环节发挥着重要作用。不过，其应用中还需强化网络抗干扰能力、完善冗余设计、实时监测与优化网络性能。

## 1 大型自动化立体电力系统对通信实时性的需求分析

大型自动化立体电力系统作为集电力生产、传输、分配以及设备管控于一体的复杂系统，对通信实时性有着极为严苛且多维度的需求。（1）从共性需求层面分析，系统内各环节的数据传输都必须满足低延迟的硬性条件。在电力生产环节，实时数据能确保发电机组根据负荷变化及时调整输出功率；在传输和分配环节，低延迟通信可保障电力稳定输送与合理分配；在设备管控环节，控制指令需快速抵达执行单元，如开关的闭合与断开、变压器的调压操作等，任何指令延迟都可能引发设备运行偏差，甚至导致设备故障。同时，传输延迟的稳定性也至关重要，延迟波动会干扰系统的协同控制，使各环节无法精准配合，降低系统整体运行效率。（2）从差异化需求来看，不同类型数据的传输优先级和实时性要求差异明显。设备故障预警数据具有最高优先级，一旦检测到故障隐患，需在最短时间内完成数据上报至监控中心，并迅速下发初步响应指令，以降低故障扩大风险，避免造成重大损失。电力负荷调节指令需精准匹配负荷变化的节奏，及时且准确地调整电力分配，确保系

统稳定运行。而常规状态监测数据，如设备温度、电压电流等参数，虽实时性要求相对较低，但也必须在系统整体管控的时间阈值内完成传输，为系统运行分析提供基础数据支持。此外，数据传输还需兼顾可靠性与实时性，防止数据丢失或误码影响控制决策的准确性<sup>[1]</sup>。

## 2 工业以太网实时性保障的核心技术策略

### 2.1 通信协议的实时性优化

通用以太网协议因采用CSMA/CD介质访问控制方式，存在冲突检测与重传机制，易产生传输延迟，无法直接满足大型自动化立体电力系统的实时性需求。针对这一问题，需对工业以太网协议进行针对性优化。一方面，采用具有优先级划分功能的协议机制，通过对不同类型的数据赋予不同的优先级等级，确保故障预警、紧急控制等关键数据优先占用通信带宽，减少传输等待时间；另一方面，优化协议的帧结构设计，精简帧头冗余信息，缩短帧的传输时长，同时采用确定性调度机制，替代传统的随机竞争访问方式，明确各数据帧的传输时序，保障传输延迟的可控性与稳定性。此外，通过协议的校验机制优化，在提升数据传输准确性的同时，降低校验过程对传输效率的影响，实现实时性与可靠性的协同保障。

### 2.2 网络拓扑的合理性设计

网络拓扑结构是影响工业以太网传输实时性的关键因素之一，针对大型自动化立体电力系统的结构特性与数据传输需求，需采用合理的拓扑设计策略。首先，优先采用星型与环型相结合的混合拓扑结构，星型结构便于实现各设备单元的集中管控与数据汇聚，降低单点故障对整体网络的影响；环型结构则能提升数据传输的路径稳定性，确保关键数据传输的连续性。其次，通过网

络分区设计,将大型自动化立体电力系统按功能划分为不同的通信分区,如设备控制分区、状态监测分区、数据汇聚分区等,各分区内部采用独立的通信链路,减少不同功能类型数据的传输干扰,提升各分区内数据传输的实时性。同时,合理规划网络节点的分布位置,缩短设备单元与核心通信节点的物理距离,减少信号传输过程中的衰减与延迟,进一步提升整体网络的传输效率<sup>[2]</sup>。

### 2.3 数据传输的精准化管控

数据传输过程的管控是保障工业以太网实时性的重要环节,需从数据过滤、流量控制、路径优化三个方面开展工作。在数据过滤方面,采用边缘计算技术在数据采集终端对原始数据进行预处理,过滤掉无效数据与冗余数据,仅传输系统管控所需的关键数据,减少数据传输量,提升传输效率。在流量控制方面,通过设置合理的带宽分配策略,为不同优先级的数据分配专属带宽资源,避免高优先级数据因带宽占用不足导致传输延迟;同时采用流量整形技术,平滑数据传输的流量波动,避免因流量突发导致网络拥堵,保障传输延迟的稳定性。在路径优化方面,采用动态路径规划算法,实时监测网络链路的传输状态,当某条链路出现传输延迟增大或故障时,自动切换至最优传输路径,确保数据传输的及时性与连续性。

## 3 工业以太网在大型自动化立体电力系统中的应用要点

### 3.1 设备状态数据采集环节的应用

在大型自动化立体电力系统的设备状态数据采集环节,工业以太网是构建高效数据采集网络的关键支撑,承担着连接各类传感器、监测仪表与数据汇聚单元的核心任务。(1)工业以太网具备高带宽的突出特性,这一特性为其实现多设备、多参数的并行数据采集提供了坚实基础。众多传感器和监测仪表能够同时将采集到的数据通过工业以太网传输,极大地提高了数据采集的规模和效率。同时,借助经过优化设计的实时性协议,采集到的数据能够以极低的延迟快速传输至数据处理单元,满足系统对数据实时性的严格要求。(2)在实际应用中,要根据不同监测参数的实时性需求,精准合理地配置数据采集频率与传输优先级。对于设备温度、电压、电流等直接反映设备运行状态的关键参数,采用高频采集与高优先级传输模式,确保系统能及时获取这些关键信息并做出响应。而对于设备环境温湿度等辅助参数,则采用低频采集与常规优先级传输模式。此外,工业以太网的分布式通信能力可实现对分散布置的设备单元进行集中数据采集,进一步提升数据采集的统一性和效率,为系统的状态评估与精准控制决策提供及时、准确

且全面的数据支撑。

### 3.2 控制指令传输环节的应用

控制指令传输作为大型自动化立体电力系统达成自动化管控的核心环节,工业以太网的应用必须着重确保指令传输的快速性与准确性,这是保障系统稳定、高效运行的关键所在。(1)为达成这一目标,工业以太网采用确定性传输协议与优先级调度机制。确定性传输协议能够为控制指令的传输提供稳定、可预测的传输时间,而优先级调度机制则可保证控制指令在传输过程中优先于其他非关键数据,有效减少传输延迟,避免外界干扰对指令传输造成影响。(2)在指令传输架构设计方面,采用“控制中心-区域控制器-执行单元”的三级传输模式。控制中心下达的全局控制指令,借助工业以太网迅速且准确地传输至各区域控制器。区域控制器依据本地设备的实时状态,对指令进行细化和适配处理,随后通过局部以太网将细化后的指令传输至具体的执行单元,实现指令的分层传输与精准执行。(3)工业以太网具备的双向通信能力发挥着重要作用。执行单元能够实时将指令执行结果反馈至上级控制器,形成“指令下达-执行-反馈”的完整闭环管控,进一步提升系统的控制精度与响应效率,确保系统始终处于最佳运行状态<sup>[3]</sup>。

### 3.3 系统协同监控环节的应用

大型自动化立体电力系统中,各设备单元之间存在着复杂且紧密的协同运行关系,这种关系要求必须通过高效协同监控来保障各单元运行状态的精准匹配,进而维持整个系统的稳定可靠运行。工业以太网凭借自身出色的网络扩展性与强大的多节点通信能力,成为实现系统内所有设备单元运行状态实时共享与协同监控的理想选择。(1)在实际应用时,依托工业以太网构建起统一的监控数据传输网络。该网络如同一条信息高速公路,将各设备单元的运行状态数据以及指令执行情况数据,实时、准确地传输至监控中心。监控中心对这些海量数据进行整合分析,从而全面、精准地掌握系统整体运行态势。(2)一旦某一设备单元的运行状态出现变化,监控中心能够迅速响应,通过工业以太网向相关联的设备单元快速下达协同调整指令,确保各设备单元在运行过程中保持高度的协调性与一致性。此外,工业以太网的高传输速率优势显著,可实现监控画面和实时数据的无延迟展示,为监控人员提供直观、详尽且准确的系统运行信息,助力其及时做出科学合理的决策。

## 4 工业以太网应用的关键注意事项

### 4.1 网络抗干扰能力的强化

大型自动化立体电力系统的运行环境极为复杂,存

在诸如强电磁干扰、电压波动等诸多不利因素，这些因素极易对工业以太网的传输性能产生负面影响，进而威胁到整个电力系统的稳定运行。因此，在工业以太网的应用过程中，强化网络的抗干扰能力至关重要。具体而言，要选用屏蔽线缆、抗干扰接头等专用通信设备。屏蔽线缆能有效屏蔽外界电磁干扰，抗干扰接头则可保证信号传输的稳定性，减少信号在传输过程中的衰减和失真。同时，需合理规划通信线缆的铺设路径，避免其与电力电缆平行铺设，以降低电磁耦合干扰；尽量缩短线缆长度，减少干扰信号的接入机会。此外，还应做好网络设备的接地处理，将干扰电流引入大地，保障设备安全；采用电源稳压保护措施，确保网络设备在电压波动时仍能稳定运行，从而全方位提升网络设备在复杂环境下的运行稳定性，保障数据传输的实时性与可靠性不受环境因素干扰<sup>[4]</sup>。

#### 4.2 网络冗余设计的完善

在大型自动化立体电力系统中，工业以太网作为关键通信网络，一旦出现数据传输中断，将严重影响系统运行。为避免因网络设备故障、链路中断等引发此类问题，完善工业以太网的冗余设计十分必要。在具体设计上，可采用双链路冗余、双核心节点冗余等方案。双链路冗余为数据传输提供了两条独立路径，当主链路因意外情况出现故障时，系统能自动且迅速地切换至备用链路，保障数据持续传输。双核心节点冗余同理，当主核心节点出现问题，备用核心节点可立即接管工作，维持网络正常运行。同时，要对网络交换机、路由器等关键设备进行冗余配置，多台设备相互备份，提升设备运行的可靠性。此外，还需建立冗余管理机制，实时监测网络冗余链路与设备的运行状态，精准掌握其工作情况。一旦主用部分出现异常，冗余资源能够快速、准确地投入使用，为工业以太网的持续稳定运行筑牢坚实防线。

#### 4.3 网络性能的实时监测与优化

在大型自动化立体电力系统中，工业以太网的传输性能对系统实时性起着决定性作用，因此建立网络性能实时监测机制至关重要。该机制需对网络传输延迟、带

宽占用率、数据丢包率等关键性能指标展开不间断的实时监测，这些指标犹如网络运行的“晴雨表”，能精准反映网络状态。通过对监测数据的深度分析，可及时察觉网络传输环节存在的隐患，像链路拥堵会使数据传输受阻，设备性能下降会引发传输延迟增大等问题。一旦发现问题，便要迅速采取针对性优化举措。若某链路带宽占用率居高不下，可灵活调整带宽分配策略，合理规划数据传输路径，提升链路传输效率；若设备性能下滑导致传输延迟增加，则要及时对设备进行维护保养或更新换代。此外，还应定期对网络性能进行全面且系统的评估，依据系统运行需求的动态变化，对网络配置进行灵活调整与优化，确保工业以太网始终以最佳状态运行，充分满足系统对实时性通信的严苛要求<sup>[5]</sup>。

#### 结束语

综上所述，大型自动化立体电力系统对通信实时性要求严苛，工业以太网凭借核心技术策略满足了系统需求，在设备状态数据采集、控制指令传输、系统协同监控等环节发挥关键作用。然而，其应用过程中，网络抗干扰能力、冗余设计以及性能监测优化等关键注意事项不容忽视。只有全方位强化网络抗干扰能力、完善冗余设计、做好性能实时监测与优化，才能确保工业以太网在复杂环境下稳定运行，为大型自动化立体电力系统提供可靠、高效的通信支撑，保障电力系统安全、稳定、高效地运行，推动电力行业朝着智能化、自动化方向持续发展。

#### 参考文献

- [1]王双.工业以太网在电力系统热工自动化中的应用研究[J].电力自动化设备,2021,41(7):100-105.
- [2]刘洋,周敏.工业以太网通信协议选型与优化策略[J].自动化与仪器仪表,2023,(11):72-75.
- [3]曹锦江.工业以太网环境下机器人数据采集系统应用研究[J].制造业自动化,2024,46(05):207-214.
- [4]张超逸,钱雪平.工业以太网在自动化领域中的发展应用分析[J].冶金管理,2023,(01):18-19.