

火力发电厂现场总线控制系统的应用研究与可靠性分析

文 / 王泽健 国能(惠州)热电有限责任公司

摘要: 随着火力发电厂向高参数、智能化升级,现场总线控制系统因布线简洁、信息集成度高,逐步成为核心控制架构,它的可靠性对机组安全稳定运行起着决定性作用。本文以火电厂 FCS 为研究对象,并结合调研和现场总线实际应用情况,提出了现场总线的实施方案以及基于现场总线技术和厂级自动化系统的设备状态检修策略的设想。其次针对火电厂特殊环境,提出硬件选型、网络拓扑优化、数据诊断等改进方案。能够为电厂节约运行费用、减少检修投入、缩短维护周期、实现状态检修提供了可能,同时为建设智能电厂提供了基础技术支撑。

关键词: 现场总线; FCS; 火力发电; 可靠性; 网络拓扑

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.23.082

引言

随着火力发电作为能源供应核心枢纽,正从传统高能耗、粗放式运行向智能化、高效化方向升级。本文以火电厂总线控制系统为研究对象,首先梳理其在典型生产环节的应用架构、实施要点与适配场景;进而从硬件冗余设计、故障诊断等方面,分析影响系统可靠性的关键因素,并结合实际优化总线方案。研究成果可为总线控制系统的工程应用提供技术参考,同时为提升电力生产过程的安全性及稳定性提供理论支撑,助力火电厂实现“安全、高效、智能”的运行目标。

一、概述

目前,火力发电厂的监控系统普遍采用由分散控制系统(DCS)与工控机组成的网络控制架构,承担着对主要工艺流程及设备的控制任务。随着计算机与网络技术的不断进步,生产控制大区的厂级、机组及辅助车间控制系统已基本实现数字化,并构建了信息共享的数字化网络。然而,在现场设备层面,包括成百上千的变送器、执行机构、电动机及电气开关柜等,仍大多采用一对一的模拟量或开关量信号进行控制,导致电缆用量大、工程建设投资高、运行维护成本高。这不仅制约了系统的灵活性与扩展性,也对自动控制系统提出了更高的分散化、网络化、智能化及维护简化要求。

在此背景下,现场总线控制技术作为近年来兴起的先进控制手段,已在石油、化工、冶金、医药、市政工程等众多行业中成功应用。由现场总线与智能现场设备构成的控制系统,即现场总线控制系统(Field bus Control System,简称FCS),以其开放的全数字化、双向多站通信网络,以及具备多种功能的智能数字仪表为核心特征,大幅提升了自动控制系统的整体效能,并能有效降低设计、施工、调试、运行、维护及系统扩展等环节的综合成本。因此,在电厂数字化建设进程中,越来越多的专家、学者和电力工程设计人员认识到,推动现场总线技术在电厂自动化领域的应用,不仅有助于电厂降低运行成本、减少检修维护费用、缩短维护周期、实现状态检修,还将为智能电厂建设提供坚实的技术支撑,具有重要意义且刻不容缓。

二、现场总线标准

根据国际电工委员会(IEC)制定的工业通信网络现场总线标准的定义,现场总线是一种用于连接制造或生产过程区域中的现场设备与控制室内自动控制装置的数字式、串行、双向、多点通信数据总线。它本质上是一套实现现场自动化设备与其控制系统之间双向数字通信的协议。

在当前火力发电厂使用的技术成熟度与市场份额领先的现场总线主要包括FF(FOUNDATION Fieldbus)和PROFIBUS(Process Fieldbus)。这两类总线均有全球化的行业组织,并在我国设有专门委员会。其中,中国PROFIBUS用户协会成立于1997年7月,并率先建立了PROFIBUS技术资格认证与产品测试中心,负责对国内生产的PROFIBUS产品进行技术认证与检测。2001年,通过JB/T10308.3-2001《测量和控制数字数据通信工业控制系统用现场总线-第3部分:PROFIBUS规范》,PROFIBUS被批准为中华人民共和国工业自动化领域行业标准。该标准等同于国际标准IEC61158-3 TYPE III,也与欧洲工业标准EN50170V.2相对应。GB/T 20540-2006是2006年由中国国家标准化管理委员会审查通过的国家标准。该标准是在JB/T10308.3-2001的基础上,由全国工业过程测量和控制标准化技术委员会组织相关单位共同转化制定的,它代替了JB/T10308.3-2001。

(一)现场总线技术简介

以下内容将简要介绍PROFIBUS现场总线控制系统的基本情况:

PROFIBUS由PROFIBUS-DP、PROFIBUS-PA、PROFIBUS-FMS三个兼容部分组成,广泛适用于制造业自动化、流程工业自动化和楼宇、交通、电力等其他领域自动化。

PROFIBUS-DP是一种高速低成本的、用于设备级与DCS的通讯技术。协议结构是以开放式系统互联标准(OSI)为参考模型,定义了物理层、数据链路层和应用层;传输技术采用RS-485双绞线电缆和光缆,波特率从9.6Kbps~12Mbps,传输距离为100至1200米;支持单主或多主系统令牌传输方式,总线上最大站点数为126个。

PROFIBUS 的标准产品有：现场设备（如：执行机构、变送器、控制装置、变频器等）、人机接口、远程 I/O 等。

（二）现场总线标准的选择

判断一个控制系统是否属于真正的现场总线控制系统（FCS），需要从三个要素考量：核心、基础和本质。

1) 核心是总线协议，只有严格遵循现场总线协议的控制装置，才能称为现场总线控制系统；

2) 基础是数字智能现场仪表和控制装置，它们是现场总线运行的硬件支撑；

3) 本质是信息处理的现场化，这直接体现了现场总线系统的效能。

在电力、化工、冶金等连续生产的工业过程中，PROFIBUS 和 FF 是较为适用的两种总线标准。相比之下，FF 主要适用于连续量控制（可替代传统的 4~20 mA 模拟量信号），而 PROFIBUS 不仅支持连续量控制，还能兼顾离散量控制，应用范围更为广泛。

三、现场总线技术优点

现场总线技术凭借其独特的技术架构与功能设计，相比传统控制系统展现出多方面显著优势，具体可归纳为以下三类：

（一）功能拓展性强

1. 控制逻辑下沉，减少中控依赖

可直接在现场仪表端实现复杂控制逻辑，无需完全依赖中控系统，避免因中控与现场信号传输延迟导致的控制滞后，提升控制响应速度与精准度。

2. 支持多变量同步传输

打破传统控制系统单参数的传输局限，能同步采集并传输设备的多个运行参数（如温度、压力、流量等），丰富数据采集维度，为系统调控提供更全面的依据。

3. 具备设备自查与智能管理能力

依托现场设备的自查功能，可实时获取设备运行状态数据（如故障预警、磨损程度等），实现对现场设备的精准维护与高效管理，减少盲目检修带来的资源浪费。

（二）全生命周期效益显著

从系统设计、建设、运行到维护的全生命周期来看，现场总线技术能创造切实价值：

1. 设计阶段：简化系统架构，减少复杂的布线规划；

2. 建设阶段：降低电缆用量与施工难度，缩短建设周期；

3. 运行阶段：提升数据传输效率与系统稳定性，减少运行故障；

4. 维护阶段：通过智能运维降低人工成本与设备故障率，降低系统综合运维成本。

（三）架构更具优势

传统控制系统受限于模拟量信号传输与集中式控制架构，存在信号损耗大、控制灵活性低、功能拓展难等问题；而现场总线技术以数字化、分布式架构为核心，不仅解决了传统系统的痛点，还能通过功能迭代持续适配工业场景的升级需求，适配性与扩展性更强。

四、现场总线技术的应用

目前，现场总线技术已在国内很多电厂得到了应用。通过广东电力设计院统计的现场总线技术应用数据情况来看，PROFIBUS 总线技术在国内广东地区电厂中有较多的应用。如：阳西电厂二期 2×1240MW 机组、海南文昌 2×460MW 级燃气蒸汽联合循环电厂、华能东莞燃机热电 2×472.52MW 机组等。

基于目前现场总线在各个电厂的应用的情况，以及设计院在多个工程项目中现场总线控制系统设计中的经验，新建或改造工程项目可以采用 PROFIBUS 总线技术，并在非参与保护连锁的区域系统中采用现场总线技术，并广泛采用现场总线型智能变送器、执行机构、集中式电磁阀阀岛等。

（一）实施方案网络配置

1. 网段划分

在工业控制系统实际应用中，调节回路的控制策略与设备控制逻辑，通常会依据工艺系统的划分标准来制定。对应到现场总线的设计环节，同样需遵循工艺系统的划分逻辑：对于归属于同一工艺系统的现场设备，若其物理安装空间也处于相近区域，则建议将这些设备集中配置在同一个总线网段内。

每个现场总线网段至少应包括：设备编号、设备位置、网段属性、网段编码、控制器所属位置等，如图 1。

2. 网段结构

PROFIBUS DP 现场总线网段应采用光纤环形拓扑结构。PROFIBUS PA 现场总线网段采用树形、总线形和两者的复合结构。现场总线网段的拓扑设计需尽可能降低单点故障风险。

在操作现场总线设备时，连接或断开总线上的设备不得对相关现场总线网段的运行产生影响。其中，PROFIBUS PA 总线在电缆端口处连接或断开任意现场总线设备，均不应干扰总线运行；PROFIBUS DP 总线则需结合设备维护需求，防止因移除任一设备导致总线回路出现开路问题。

每个现场总线网段的端点处，需预留用于连接测试设备与通信分析设备的接口，并配备连接器。同时，应根据实际需求配置现场总线网络测试与调试所需的专用工具。

各网段挂接设备数量需遵循以下要求：PROFIBUS DP 总线每个网段挂接的现场总线设备数量宜控制在 12 台以内；PROFIBUS PA 总线网段若用于控制场景，每个网段挂接的现场总线设备数量宜不超过 6 个，且同一网段内挂接的阀门数量宜不超过 2 个；若为 PROFIBUS DP 与 PA 混合网段，该网段挂接的现场总线设备总数宜不超过 18 个。

（二）保证安全的措施

1. 现场总线系统需通过网络冗余、电源冗余、控制器冗余等方式构建冗余配置。对于具备冗余总线接口的设备（如电动执行机构），需通过冗余总线进行连接；同时，将配置冗余的总线设备（如变送器）部署在不同

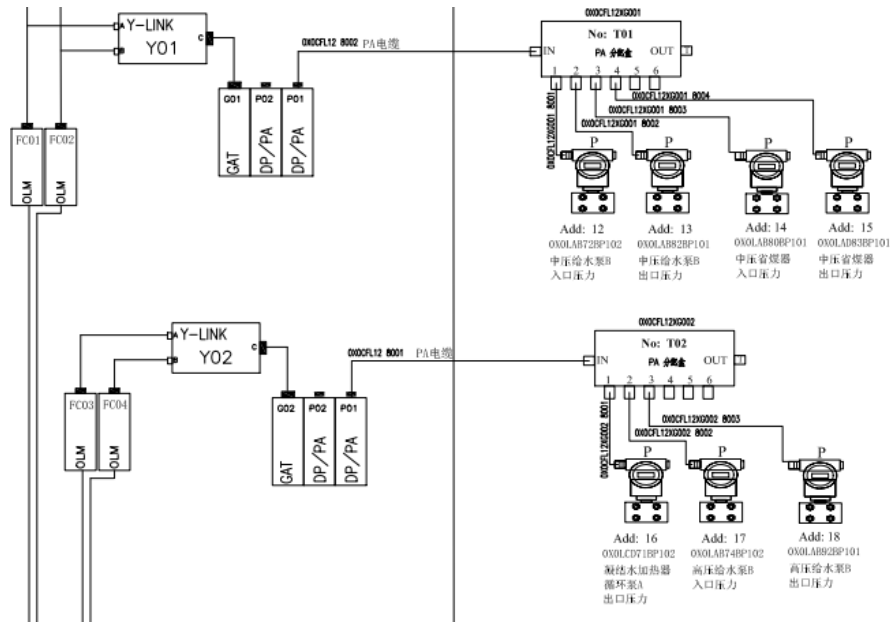


图 1: 网段设备配置信息示例

网络分段内, 进一步提升系统运行可靠性。

2. 为提升系统抗干扰能力, DCS 机柜与现场通讯箱之间的总线主干电缆需采用光纤连接。

(三) 实施中应注意的事项

1. 各类现场总线设备应事先与 DCS 进行匹配测试, 设备安装、调试前应进行相关的培训。建议聘请有相关经验的技术队伍来解决调试运行中出现的难题。

2. 由于现场总线技术涵盖大量新兴技术要点, 且涉及的组态参数数量繁杂, 对使用者的掌握难度较高。因此, 学习已经投产并采用现场总线技术的火电厂的安装调试经验显得尤为重要。

3. 现场总线系统的安装工作量虽有所减少, 但对技术的要求却相应提高。例如通讯光纤的熔接、通讯电缆的分支连接、总线仪表的通讯接口接线等操作, 需要使用专用设备、工具和采用特殊的工艺与方法。需要特别注意屏蔽线的处理和连接、接地线的处理以及电缆敷设方面。

五、基于现场总线的设备状态检修方案

厂级自动化系统具有设备状态监测和故障诊断的功能, 基于设备的各种状态信息, 通过诊断软件, 能够实时分析出设备的故障原因、故障点并提供排除故障的处理办法。现场总线技术解决了状态检修面临的数据不够的问题, 建立 PROFIBUS 总线协议的远程监控系统, 集中式远程监控, 随时掌握网络运行过程中的所有状态波动。总线设备内置网段物理层诊断模块, 可在线实时地对 PA 总线的物理层进行智能诊断, 测量物理层的电压、电流、信号大小、噪声等参数。内置示波器功能, 可以直接观察每一现场仪表及通讯过程的信号波形, 由此判断网段通讯质量, 在通讯中断之前发现故障, 切实做到预防性维护。以智能化现场仪表为基础的现场总线技术的应用, 其优点不仅在于节省电缆、安装、调试等工程量, 更多

的在于维护简单、具有自动诊断、校正等管理功能方面。

现场总线技术应用的意义就在于提高电厂的信息化水平, 采用现场总线技术之后, 可以获得大量的设备相关的信息。总线系统具有强大的自动诊断、故障显示功能, 诊断包括总线节点的通讯故障、电源故障, 以及现场装置和连接件的断路、短路故障, 从而迅速地发现系统的各种故障位置和状态。将现场总线诊断技术与厂级自动化系统的故障诊断结合起来, 充分利用现场总线采集到的丰富的设备信息, 逐步实现设备的状态检修, 将大大为电厂降低运行成本、减少设备检修维护成本、缩短维护周期、实现状态检修提供条件。

结语

现场总线技术已在火力发电厂仪控领域得到广泛应用, 促使数据采集、概率安全分析、风险指引与实时管理等方面发生深刻变革。本文通过网络拓扑优化、冗余配置及故障诊断等措施, 有效提升了总线控制系统的可靠性与安全性, 为火电厂自动化系统的高可靠设计与运维提供了理论依据和工程参考。可以预见, 随着现场总线技术在电力行业应用经验的持续积累, 其在降低安装与维护成本、提高控制精度与系统稳定性等方面的优势将进一步凸显, 必将在未来的火电厂建设与改造中发挥更加重要的作用。

参考文献

[1] 阳宪惠, 王卓, 赵天卓. 基于工业以太网的现场总线控制系统及其应用研究 [J]. 控制与决策, 2020, 35 (8): 1801-1812.

[2] 王宏, 张楠. 基于 OPC UA 的异构工业总线系统集成与信息建模研究 [J]. 仪器仪表学报, 2021, 42 (3): 212-221.

[3] 李俊杰, 刘艳, 陈强. PROFIBUS-DP 总线在智能制造产线控制系统中的设计与实现 [J]. 制造业自动化, 2022, 44 (5): 133-136, 157.