

电气自动化的分布式控制系统架构与性能研究

桑生福

西安辉煌软件信息产业有限公司, 陕西 西安 710075

摘 要 : 本文聚焦电气自动化的分布式控制系统 (DCS), 深入研究其架构与性能。DCS 架构涵盖系统网络、现场 I/O 控制站、操作员站和工程师站, 各部分协同工作实现高效控制。随着技术发展, DCS 将朝着智能化、标准化与开放性提升、与工业物联网深度融合以及强化网络安全的方向演进, 为工业自动化发展注入新动力, 助力相关行业迈向更高水平的自动化和智能化。

关 键 词 : 电气自动化; 分布式控制系统; 系统架构; 系统性能; 发展趋势

Research on the Architecture and Performance of Distributed Control Systems for Electrical Automation

Sang Shengfu

Xi'an Huihuang Software Information Industry Co.,Ltd. Xi'an, Shaanxi 710075

Abstract : This paper focuses on the distributed control system (DCS) for electrical automation, conducting an in-depth study on its architecture and performance. The DCS architecture includes the system network, field I/O control stations, operator stations, and engineer stations, with each component working together to achieve efficient control. With technological advancements, DCS is evolving towards increased intelligence, standardization, openness, deeper integration with the Industrial Internet of Things, and enhanced network security. These developments are injecting new momentum into industrial automation, pushing related industries towards higher levels of automation and intelligence.

Keywords : electrical automation; distributed control system; system architecture; system performance; development trends

引言

随着科技的飞速发展, 电气自动化在工业生产等领域的应用越来越广泛, 分布式控制系统作为电气自动化的关键技术, 其架构与性能对于整个系统的高效运行起着决定性作用。分布式控制系统 (DCS) 以微处理器为基础, 采用控制功能分散、显示操作集中、兼顾分而自治和综合协调的设计原则, 自 1975 年问世以来, 经历了不断的发展和完善, 在系统功能和性能方面都取得了巨大的提升。本文将深入研究电气自动化的分布式控制系统架构与性能, 以期对相关领域的发展提供有益的参考。

一、分布式控制系统架构

(一) 系统网络

目前, 我国在电力系统控制方面大多还是采用的中央集中控制方式, 传统集中控制系统需要按照电力系统的结构参数 (像发电机、变压器、用户和输配电线路等)、运行参数运行时的潮流和电压等)、网络拓扑结构及各种扰动情况, 来确定系统应该采取的控制方式^[1]。系统网络作为 DCS 的基础与核心要素, 决定着整个系统的实时响应、可靠运行以及扩展潜能, 是系统运转的关键支撑。为满足实时性要求, 系统网络需在确定的时间限度内完成信息传送, 这一时间限度由被控制过程的实时性要求决定, 因此衡量系统网络性能的关键指标是实时性, 而非网络速率。多数厂家的 DCS 采用双总线、环形或双重星形的网络拓扑结构, 以确保网络通信的可靠性, 无论在任何情况下都不会中断。系统在规

划网络架构时, 充分考量扩充性要求, 将系统网络最大可接入节点数量, 设定为显著高于实际使用数量。这一策略, 不仅确保系统可便捷接入新节点, 实现灵活扩展, 还能降低网络通信负荷, 为系统实时性和可靠性筑牢根基。与此同时, 系统网络集成了强大的在线网络重构功能。当节点进行上线或下线操作时, 该功能能够有效应对由此产生的网络结构变化, 保障系统稳定、持续运行。

(二) 现场 I/O 控制站

现场 I/O 控制站作为 DCS 架构中具备特定功能的网络节点, 承担着现场 I/O 处理以及直接数字控制 (DDC, 推测此处 DOS 为笔误) 的重要任务。在 DCS 体系内合理部署现场 I/O 控制站, 能够将系统 I/O 与控制功能进行分散处理。这种分散式架构一方面有效规避了单一站点故障引发的系统整体性瘫痪风险, 显著提升系统的可靠性; 另一方面, 各站点能够协同完成数据采集与控制任

务，进而优化系统的数据处理效率，大幅提升整个系统的运行性能^[2]。例如，在工业生产中，现场 I/O 控制站可实时采集各种传感器的数据，如温度、压力、流量等，并根据预设的控制策略对执行器进行控制，实现对生产过程的精确控制。

（三）操作员站

操作员站作为网络节点，集中承载并处理人机界面中，与运行操作相关的全部功能^[3]。它为操作人员提供了一个直观、便捷的操作平台，通过该平台，操作人员可以实时监控系统的运行状态，获取各种数据信息，如设备的运行参数、生产过程的实时数据等，并能够对系统进行各种操作，如调整控制参数、启动或停止设备等。良好的操作员站设计能够提高操作人员的工作效率，减少操作失误，保障系统的稳定运行。

（四）工程师站

工程师站作为 DCS 网络关键节点，承担离线配置、组态以及在线监督、控制与维护的重要职能。工程师站配备专业组态软件，用以完成 DCS 系统的全面组态与配置任务。当 DCS 进入在线运行阶段，工程师站可实时监测 DCS 网络内各节点的运行状态。工程师借助该平台，能够及时调整系统配置，灵活设定各类系统参数，保障 DCS 持续处于最优运行状态^[4]。

二、分布式控制系统性能研究

（一）高可靠性

DCS 运用分散式架构，将系统控制功能分配至各台计算机实现，同时在系统结构设计中融入容错机制。当某一台计算机发生故障时，系统凭借分散控制与容错设计特性，其他功能仍能持续正常运行。此外，鉴于各台计算机分工明确，单一承担特定任务，系统能够为其适配具有针对性结构和软件的专用计算机，从而有效降低功能复杂度，进一步提升每台计算机的可靠性^[5]。以工业自动化生产线为例，即使某一控制节点的计算机出现故障，其他节点仍能继续工作，保证生产线的部分运行，避免了因单点故障导致整个生产线停产的情况，大大提高了生产的连续性和稳定性。

（二）开放性

DCS 遵循开放式、标准化原则开展模块化与系列化设计。系统内各计算机借助局域网搭建通信链路，实现数据信息的高效传输。得益于这种设计架构，在系统功能需调整或拓展时，新计算机接入系统通信网络、从网络移除等操作，均可便捷完成，且不会对系统内其他计算机的运行产生显著影响，系统持续保持稳定、可靠的运行状态^[6]。这种开放性使得 DCS 能够方便地与其他系统进行集成，如与企业的管理信息系统（MIS）集成，实现生产过程与管理的一体化，提高企业的整体运营效率。同时，开放性也有利于系统的升级和维护，用户可以根据自身需求选择不同厂家的产品对系统进行扩展和优化。

（三）灵活性

借助组态软件，DCS 能够针对多样化流程应用场景开展软硬件组态。用户可基于具体需求，确定测量信号与控制信号及其之

间的连接关系，从控制算法库选取适配的控制规律，并且从图形库调用基础图形元素，构建涵盖监控与报警功能的各类画面，快速便捷地完成所需控制系统的搭建。这一过程不仅灵活高效，还满足了不同行业的差异化控制需求。这种灵活性使得 DCS 能够适应各种不同的工业生产过程和控制需求^[7]。例如，在化工生产中，不同的化学反应过程需要不同的控制策略和参数，DCS 可以通过组态软件轻松实现对这些不同过程的控制，而无需对硬件进行大规模的改动。

（四）易于维护

DCS 系统采用功能专门化设计，配置了小型或微型专用计算机，每台设备仅承担单一功能，大幅简化了维护工作的复杂度。当局部设备或某台计算机发生故障时，系统凭借自身架构优势，支持在线更换故障设备。这种特性确保系统整体运行不受影响，实现故障的快速排除，保障了系统的高可用性与稳定性。而且，由于系统的模块化设计，各个模块的功能相对独立，故障排查和修复也更加容易^[8]。以 I/O 模块故障场景为例，得益于 DCS 系统的模块化设计和故障隔离特性，技术人员借助系统内置的故障诊断机制，可迅速定位故障 I/O 模块，并开展在线更换操作。整个过程不会引发系统运行中断或产生显著波动，有效控制了系统维护成本，极大缩短了停机时长。

（五）协调性

各工作站依托通信网络，实现各类数据的高效传输，达成系统层面的信息共享与协同运作。借助这一模式，系统能够有机整合各工作站资源，完成控制系统既定的总体功能，并开展优化处理。在一个大型的工业自动化系统中，涉及多个生产环节和设备，DCS 能够使各个环节的工作相互协作，实现对整个生产过程的协同控制。例如，在电力系统中，发电、输电、配电等环节的设备通过 DCS 进行协调控制，确保电力的稳定供应和高效分配。通过信息共享和协调工作，DCS 能够实现对生产过程的优化，提高生产效率，降低能源消耗。

（六）控制功能齐全

DCS 拥有丰富的控制算法体系，集成了连续控制、顺序控制以及批处理控制功能。不仅能够实现串级、前馈、解耦、自适应和预测控制等一系列先进控制策略，还可依据具体需求，灵活嵌入特殊控制算法，为各类复杂控制系统提供全面、多元的算法支撑。在实际工业生产中，不同的生产过程需要不同的控制方式，DCS 的这种齐全的控制功能能够满足各种复杂生产过程的控制需求^[9]。例如，在钢铁生产过程中，对于温度、压力、流量等参数的控制需要采用多种先进的控制算法，DCS 可以根据具体情况灵活选择和组合这些控制算法，实现对钢铁生产过程的精确控制，提高产品质量和生产效率。

三、分布式控制系统的发展趋势

（一）智能化发展

伴随人工智能、大数据、机器学习等前沿技术的持续迭代，DCS 正积极向智能化演进。这一趋势不仅驱动 DCS 架构、功能升

级，还将促使其在工业场景中深度应用，满足行业智能化转型需求。通过对大量生产数据的分析和学习，DCS能够实现对生产过程的智能预测和优化控制。例如，利用机器学习算法对设备的运行数据进行分析，提前预测设备故障，及时进行维护，避免设备突发故障对生产造成影响。同时，智能化的DCS还能够根据生产环境的变化自动调整控制策略，实现生产过程的自适应优化，提高生产效率和产品质量。

（二）标准化与开放性进一步提升

未来，DCS将更加注重标准化和开放性，以促进不同厂家设备之间的互联互通和互操作性。统一的标准将使得用户在选择和集成系统时更加方便，降低系统集成成本和风险。同时，开放性的提升将使DCS能够更好地与新兴技术和系统进行融合，如物联网、云计算等，拓展DCS的应用范围和功能。例如，通过与物联网技术的融合，DCS可以实现对更多现场设备的实时监测和控制，构建更加庞大和智能的工业自动化系统。

（三）与工业物联网深度融合

工业物联网的发展为DCS带来了新的机遇和挑战。DCS将与工业物联网深度融合，实现设备之间更广泛的连接和数据共享^[10]。通过工业物联网，DCS可以获取更多来自不同设备和环节的数据，进一步优化控制策略。同时，DCS也可以作为工业物联

网的核心控制部分，对物联网中的设备进行统一管理和控制。

（四）网络安全强化

随着DCS与网络的连接越来越紧密，网络安全问题日益突出。未来，DCS将加强网络安全防护，采用先进的加密技术、身份认证技术和防火墙技术等，保障系统的数据安全和运行安全。同时，建立完善的网络安全管理体系，实时监测网络安全状况，及时发现和应对网络攻击。例如，通过对网络流量的实时监测和分析，及时发现异常流量，判断是否存在网络攻击行为，并采取相应的防护措施，确保DCS系统的稳定运行和生产过程的安全。

四、结束语

电气自动化的分布式控制系统架构设计独特，系统网络、现场I/O控制站、操作员站和工程师站协同工作，高效控制工业生产过程。它具备高可靠性、开放性、灵活性等优势，有力地支持了工业自动化发展。随着科技进步，分布式控制系统将向智能化、更高的标准化与开放性发展，与工业物联网深度融合，强化网络安全。这使其在未来工业及其他领域的作用更重要，推动相关行业提升自动化和智能化水平。

参考文献

[1]王东云,刘芳华,彭红海,等.电力系统分布式连通控制[J].控制工程,2013,20(04):744-747+752.DOI:10.14107/j.cnki.kzgc.2013.04.014.
[2]张铁运,商冲冲,刘润坤.基于强化学习的PLC控制在电气自动化设备中的应用[J].自动化应用,2024,65(19):72-74+80.DOI:10.19769/j.zdhy.2024.19.020.
[3]杨正东.PLC在选煤厂电气自动化设备中的应用[J].矿业装备,2024,(01):48-50.
[4]魏小燕.人工智能技术在机电设备电气自动化控制中的应用研究[J].造纸装备及材料,2023,52(12):112-114.
[5]罗曼.数字技术在工业电气自动化系统中的应用[J].电子技术,2023,52(09):330-331.
[6]杨子润,陈康,周亚军,等.基于计算机技术的电气自动化控制系统设计研究[J].中国新通信,2023,25(18):56-58.
[7]周小祥.电气自动化工程控制系统的现状及其发展趋势[J].信息记录材料,2022,23(09):72-74.DOI:10.16009/j.cnki.cn13-1295/tq.2022.09.016.
[8]侯亮.电气自动化工程控制系统的发展应用[J].矿业装备,2022,(03):124-125.
[9]赵士松.电气自动化工程控制系统的现状及其发展探究[J].冶金管理,2021,(19):172-173.
[10]刘森.电气自动化工程控制系统的现状及其发展趋势[J].电子技术与软件工程,2021,(06):94-95.DOI:10.20109/j.cnki.etse.2021.06.042.