

DCS 控制系统在数字自动化中的应用分析

崔 琪

(大唐黄岛发电有限责任公司, 山东 青岛 266500)

摘 要 DCS (分布式控制系统) 作为工业自动化的“中枢神经”, 凭借其分布式架构与集中管理的双重优势, 在数字自动化领域发挥着关键作用。鉴于数字自动化已成为工业发展的核心趋势, DCS 的智能化升级逐渐成为企业突破转型瓶颈的重要路径。本文以 DCS 控制系统为核心, 从技术特性、应用场景以及和数字自动化深度融合, 系统分析融合关键技术要素, 以期有助于推动 DCS 朝着智能化、网络化、服务化方向发展, 满足工业 4.0 智能制造产业变革要求。

关键词 分布式控制系统; 工业自动化; 数字自动化; 智能制造

中图分类号: TP273

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.04.009

0 引言

在传统自动化系统中, 分布式控制系统 (DCS) 作为工业控制领域的基石, 在保障生产安全稳定运行方面发挥着不可替代作用^[1]。然而, 面对日益复杂的市场需求变化、个性化定制趋势、能源效率挑战以及智能化转型压力, 仅依靠传统 DCS 已无法满足当前时代工业发展需求。相关研究^[2]显示, 构建以 DCS 为核心并融合物联网 (IoT)、大数据、人工智能 (AI)、云计算等数字技术的智能控制系统, 成为推动工业 4.0 和智能制造的关键路径。

1 DCS 技术特性概述

DCS (Distributed Control System, 分布式控制系统) 是工业自动化领域广泛应用的集成化控制系统, 其核心是采用分散控制与集中管理模式来实现对复杂工业生产过程高效稳定控制。DCS 软件系统体系如图 1 所示。目前主流 DCS 采用分层分布式结构设计, 由现场控制层、监控层和管理层共同组成。现场控制层是由多个控制器 (PLC、智能调节器) 组合, 负责实时采集并且处理传感器数据, 同时执行相应的控制策略。监控层是通过操作站来实现全局监控、数据记录以及故障诊断工。管理层则主要负责生产调度以及战略决策方面事务。其技术核心是通过冗余设计 (双控制器、双网络) 来确保局部故障不会对整体运行造成影响, 关键部件采用容错配置以此提升系统的容错能力。同时, 模块化设计支持硬件与软件灵活增减, 从而适应不同规模的生产需求, 便于系统升级和功能扩展。此

外, 该系统集成高速通信网络 (以太网、现场总线), 可实现毫秒级的数据采集与响应, 还支持复杂控制算法 (例如: PID、串级控制), 并且采用标准化、模块化设计。支持与 ERP、MES 等系统进行无缝对接, 打破信息孤岛, 构建“计划—执行—反馈”的闭环体系。

2 DCS 在数字自动化中的典型应用场景

2.1 石油和天然气行业

在石油和天然气行业里, DCS 广泛应用于上中下游各环节。在上游领域, DCS 用于油气田开采处理及输送工作, 可实现对油井气井集输站处理厂等设备远程监控与自动化控制, 操作人员借助 DCS 能实时监测油气产量、压力、温度等关键参数, 还可根据预设控制策略自动调节阀门泵等设备确保生产安全、高效、稳定。在中游领域, DCS 用于管道输送和储运相关工作, 能实现对管道压力、流量、温度等参数实时监测与控制, 以此预防泄漏爆裂等安全事故的发生。在下游领域, DCS 用于炼油厂化工厂等生产场景, 可实现对原油蒸馏、催化、裂化、加氢、精制等复杂工艺的精确控制, 从而提高产品生产质量。

2.2 电力行业

在电力行业当中, DCS 广泛用于火电厂、核电站、水电站等各类发电厂, 实现对锅炉、汽轮机、发电机等关键设备集中监控与自动化控制。借助 DCS, 操作人员能够实时监测发电机运行状态和电网负荷等关键参数, 并自动调节供给、流量和等参数, 以此确保发电过程安全、稳定且经济地运行。除此之外, DCS 还可应

作者简介: 崔琪 (1989-), 女, 本科, 工程师, 研究方向: 火电机组热控设备检修。

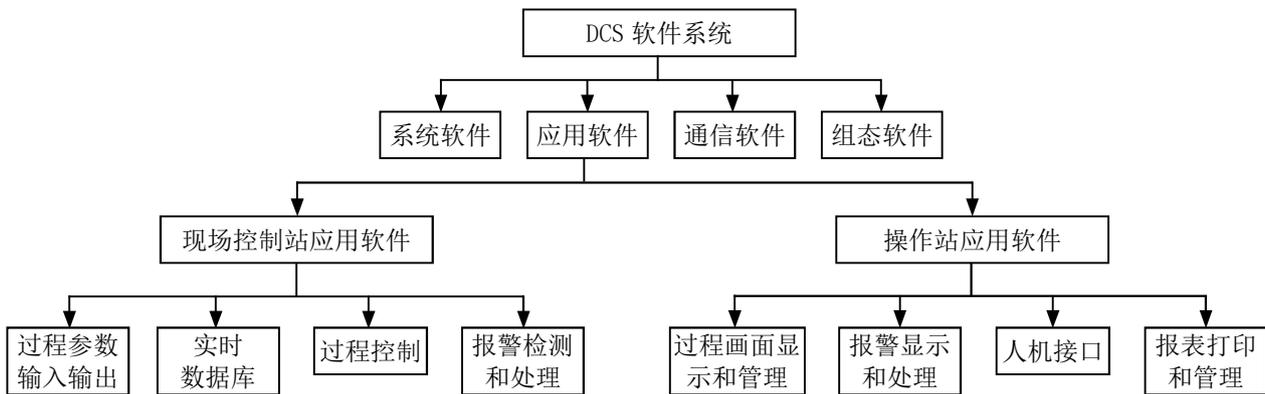


图1 DCS软件系统体系

用于电厂的环保控制，实现对污染物排放进行实时监测与控制，从而满足环保要求^[3]。

2.3 化工行业

在化工行业里，DCS广泛用于各类化学反应过程控制。借助DCS，操作人员能够实时监测反应器关键参数，以此确保化学反应过程可稳定持续地进行。同时还能够有效降低能耗以及污染物排放。此外，DCS还能用于化工生产安全控制，进行紧急停车和联锁保护等相关操作，从而可全面保障生产过程的安全，防止各类事故的发生^[4]。

2.4 制药行业

在制药行业里，DCS广泛用于药品生产各单元操作，如发酵、提取、结晶、干燥等。借助DCS，操作人员能够实时监测生产过程温度、压力、pH值、湿度等关键参数，并自动调节设备运行状态，保证药品生产质量稳定性^[5]。另外，DCS也可用于制药生产过程追溯管理，记录各类参数与操作信息，为药品质量追溯提供依据。

3 DCS与数字自动化深度融合实践案例

3.1 案例背景

以大唐黄岛发电有限责任公司为实践主体。该公司属于国内大型火力发电企业，其原有DCS控制系统在面临日益增长的生产优化需求、环保压力以及数字化转型趋势时，逐渐显现出集成度不足、数据分析能力有限和新兴数字技术融合度不高等问题。为了提升生产效率、优化能源管理、增强设备预测性维护能力并最终达成智能制造的目标，该公司决定基于现有DCS系统实施与数字自动化技术的深度融合项目。

3.2 实施方案

1. 构建分层递进的智能控制体系。DCS和数字自动化的融合要把技术架构升级当作核心，依靠分层递

进的设计实现从底层控制到顶层决策的智能化贯通，传统DCS的分层结构是现场控制层、监控层、管理层^[6]。该企业进一步拓展成“边缘—云端—终端”协同架构，以此来适应数字自动化高实时性、高灵活性和高协同性的需求。在边缘层，DCS集成边缘计算模块，将部分控制逻辑下沉到现场设备端，通过部署边缘控制器，能够实现反应釜温度、压力等参数的毫秒级响应，以此避免因云端通信延迟造成的控制失效情况。同时支持轻量化AI模型部署，提前识别设备劣化的发展趋势。在云端层，构建基于工业互联网平台的DCS云控制系统。利用虚拟化技术将传统DCS的硬件控制器转化为云端微服务，以此实现控制资源的动态分配。在终端层，将传统DCS操作站升级成支持多模式交互的智能终端。

2. 从流程监控到价值挖掘形成闭环升级。此前，该工厂DCS主要关注生产过程中温度、压力、流量等各类参数实时采集，保证生产过程在设定范围之内稳定运行。然而，该方式仅对生产状态做表面观察，并未深入挖掘数据价值^[7]。企业优化后，从流程监控到价值挖掘的转变，形成从流程监控到价值挖掘的闭环升级。具体而言，除采集传统工艺参数外，还应对设备运行状态、能源消耗以及质量检测等数据进行收集，通过高效数据存储，并对采集到数据，运用数据分析技术进行深度挖掘，对DCS系统及其他监测设备的海量历史数据进行趋势及异常点的深度分析，通过识别出设备故障早期特征，构建故障预测模型，从而将传统被动响应式维修转向主动预防性维护。最后，建立完善反馈机制，数据分析得出的优化策略和改进措施及时反馈到生产过程中，借助DCS系统实现对生产参数的自动调整与控制，形成“数据采集—分析挖掘—策略反馈—生产调整”的流程闭环，以此不断提升工业生产的效益和竞争力。

3. 构建纵深防御的工业网络安全架构。在物理层

方面,针对控制室、服务器机房这类关键场所需进行严格物理访问控制。安装门禁系统以及监控摄像头等设备防止未经授权人员进入,同时对硬件设备采取防电磁干扰、防雷击等保护措施以确保设备物理安全^[8]。在网络层面,重点强化控制网络与企业信息网络之间边界防护,通过部署高性能工业防火墙来精确隔离不同安全级别的网络区域,以防止未经授权的横向移动。同时,在网络关键节点部署入侵检测/防御系统(IDS/IPS),发现阻断恶意攻击。在系统层,不仅及时更新操作系统补丁来修复已知的安全漏洞问题,还采用访问控制技术对用户的操作权限进行严格管理,以此确保只有授权用户才能访问和操作关键系统。在应用层,加强对 DCS 应用程序安全管理工作。一方面,针对应用程序开展全面的安全测试活动,及时发现并修复潜在的安全漏洞问题。另一方面,采用先进的加密技术对应用程序里的敏感数据进行加密处理操作,以此防止数据在传输以及存储过程中被窃取或者篡改^[9]。此外,强化分布式控制系统(DCS)应用程序安全管理制度。在访问控制方面,强化身份核验与权限分配体系,限定仅许可人员操作使用 DCS 系统。数据加密环节,对流转及留存信息做加密处理,规避信息泄露或恶意篡改风险。安全审计工作中构建操作追踪程序,留存审视全部用户行为便于快速识别处置安全隐患^[10]。除上述模块优化外,制定应急预案,明确各部门和人员的安全职责,减少安全事件对工业生产的影响,从而确保工业网络安全架构的整体抗风险能力得到优化^[11]。

3.3 实践效果

上述方案应用后,大唐黄岛发电有限责任公司在智能控制体系构建方面引入边缘计算和云端协同架构,使控制响应速度提升到毫秒级,系统灵活性以及协同性得到显著增强;从流程监控到价值挖掘实现闭环升级,通过采集设备状态、能源消耗等多元数据,结合机器学习算法建立故障预测模型,实现设备劣化趋势提前识别。全年设备非计划停机时间减少大约 40%,维修成本降低大约 25%。数据分析驱动的生产参数优化策略借助 DCS 自动调整,使机组运行效率提升大约 15%。在网络安全方面,纵深防御架构有效提升系统抗风险能力,全年无重大网络安全事件发生,进一步提高了整体工业效能。

3.4 经验总结

此案例充分表明,在火电厂设计中,DCS 控制系统与数字自动化技术的深度融合需要技术架构升级作支撑,可实现从底层控制到顶层决策的智能化贯通,为融合项目成功实施筑牢根基。同时,在设计优化中运

用数据分析技术深度挖掘并建立故障预测模型、能源消耗预测模型等,可为生产优化、能源管理、设备维护提供科学依据。此外,工业网络安全是 DCS 控制系统运行的重要保障,需构建纵深防御的工业网络安全架构,从物理层、网络层、系统层、应用层等多层面防护确保工业网络整体抗风险能力。最后,DCS 和数字自动化融合,需不断总结经验教训并依据生产需求和技术发展趋势进行动态调整,从而保持技术前沿性。

4 结束语

DCS 控制系统是工业领域中的核心基础设施,当面临日益复杂的市场需求、个性化定制的发展趋势、能源效率提升的挑战以及智能化转型带来的压力时,传统 DCS 迫切需要以数字化为核心来优化 DCS 控制系统。建议将 DCS 从底层控制到顶层决策进行智能化贯通,实现从流程监控到价值挖掘的闭环升级。挖掘数据价值并优化生产过程,构建纵深防御的工业网络安全架构,以此保障工业网络的安全,打造开放共赢的工业自动化生态。未来,随着 AI、5G 与数字孪生技术日益成熟,DCS 将进一步朝着智能化、绿色化与开放化方向发展,为全球制造业高质量发展提供坚实的技术支撑和关键保障,推动工业生产范式持续革新。

参考文献:

- [1] 鄢毓文,徐波.DCS 技术在电气设备自动化控制中的运用实践研究[J].中国井矿盐,2025,56(05):32-33.
- [2] 冯钦祖,王继红,高浩浩,等.DCS 全感知智慧中枢平台项目:智慧电厂建设中的技术创新与应用实践[J].自动化博览,2025,42(06):46-49.
- [3] 杨洪.关于 DCS 和 SIS 共用传感器的若干问题[J].石油化工自动化,2022,58(04):54-57,106.
- [4] 闫旭,寇耐,梁鑫鑫.多元化 HMI 集控技术在石灰窑产线的应用[J].冶金设备管理与维修,2024,42(06):40-41,44.
- [5] 汪凡,张洪磊,徐银光,等.APC 系统在 101 生产中的应用研究[J].中国设备工程,2024(19):100-102.
- [6] 李永坤.煤矿选煤厂 DCS 集散控制输煤技术研究[J].煤化工,2023,51(03):132-136.
- [7] 郭晓娇.浅析核电厂 DCS 控制系统老化问题的优化管理策略[J].中国设备工程,2025(S2):63-65.
- [8] 苏伟,毕盛源,田若锦.火电厂热工自动化 DCS 控制系统的设计与应用[J].自动化应用,2025,66(11):46-48.
- [9] 黄世平,黄美元.发电厂 DCS 控制系统故障的应急处理和对策分析[J].集成电路应用,2025,42(03):409-411.
- [10] 同 [9].
- [11] 林信桐,杨汝贞,蔡红伟,等.基于 C# 的 DCS 故障日志诊断分析方法的研究和应用[J].自动化仪表,2023,44(06):1-4,12.