

过程控制系统的发展及展望

曾康慧

摘要: 过程控制系统作为工业自动化领域的重要支撑,其发展历程不仅体现了科技进步的脉络,更是工业生产效率提升、产品质量保障及能耗降低的关键所在。本文深入剖析了过程控制系统从初始阶段到智能化阶段的演变历程,详细探讨了其在各个工业领域的应用现状,并指出了当前存在的安全性、可靠性、灵活性和系统集成等关键问题。在此基础上,本文进一步展望了过程控制系统未来的发展方向,特别是安全性与可靠性的增强、灵活性与可扩展性的提升、系统集成与优化的推进以及智能化与自适应性的加强。通过本文的研究,旨在为过程控制系统的未来研究和应用提供理论支持和实践指导。

关键词: 过程控制系统; 自动化; DCS; 发展历程; 系统集成与优化; 智能化与自适应性

1 引言

以生产原材料为代表的过程工业和以制造机械装备为代表的离散工业是工业生产的两种主要类型。中国已经成为世界上原材料生产品种最多、规模最大的原材料工业制造大国。面临的主要问题是能耗高、资源消耗大、高附加值产品少、环境污染大。因此,必须实现高效化与绿色化。高效化即在市场和原料变化的情况下,实现产品质量、产量、成本和消耗等综合生产指标的优化控制,实现生产全流程安全可靠运行,从而生产出高性能、高附加值产品,使企业利润最大化。绿色化即能源与资源的高效利用,使能源与资源的消耗尽可能少,污染物实现零排放、环境绿色化,智能制造已成为提升制造业整体竞争力的核心高技术^[1]。

2 过程控制系统的发展历程

工业过程自动化是通过自动化仪表、自动化技术与生产工艺及设备的有机结合来实现的。过程控制技术经历了一个由简单到复杂,从低级到高级,并日臻完善的过程。过程控制所涉及到的领域比较广泛,对新技术的发展极为敏感。对其影响最大的是自动化理论与技术、自动化仪表技术。下面说明过程控制技术的发展过程^[2]。

2.1 第一代过程控制体系——基地式气动控制仪表系统

基地式仪表控制系统始于40年代,是最初的工业自动化控制系统。当时由于石油、化工、电力等工业对自动化的需求,出现了将检测、记录、调节仪装在一个表壳内的“基地式”自动化仪表,其结构特点是以指示仪表和记录仪表为中心,附加一些线路来完成调节任务。这种指示和记录仪表是电子电位差计、电子平衡电桥及动圈仪表等。可完成简

单的就地操作模式,实现现场的单回路控制,适用于单机自动控制,典型的基地仪表是04型调节器。

2.2 第二代过程控制体系——电动单元组合式模拟控制仪表系统

20世纪50年代末,随着电子技术的发展出现了电动单元组合式模拟控制仪表。电动单元组合式模拟控制仪表的结构特点是:根据自动检测及调节系统中各组成环节的不同功能和实用要求,将整套仪表划分为能独立实现一定功能的若干单元,各单元之间采用统一的标准信号,由这些不多的单元经过不同的组合就能构成多种多样的、复杂程度不同的自动控制系统。但电动单元组合式模拟控制仪表系统在控制性能上一般只能实现简单参数的PID调节和简单的串级、前馈控制,无法实现如自适应控制、最优化控制等复杂的控制形式,难于实现全厂各级之间的通信联系和全厂的综合管理,而且随着生产规模的扩大,中央控制室仪表盘愈来愈长,难于实现高度集中管理和操作。

2.3 第三代过程控制体系——计算机集中式数字控制系统

随着生产过程的强化,参数间关联性增加,要求控制系统具有多种多样的控制功能,并能灵活、集中地进行操作以及提高控制精度。1962年,美国首先在火电厂将计算机直接控制系统应用于单元机组的自动启停和自动调节,成功地实现生产过程的计算机闭环控制;同年英国帝国公司(ICI)安装了Ferranti Argus计算机控制系统,替代全部模拟控制仪表,即模拟技术由数字技术来替代,而系统功能不变。这是一种崭新的控制技术,是人们将数字技术引入工业自动化过程控制的初步尝试。它经历了计算机直接控制系统DDCS(Direct Digital Control System)、计算机集中监督控制系统SCCS(Supervisory Computer Control System)等阶段。但DDCS和SCCS系统都属于集中控制系统,这种集中型计算机控制系统在将控制集中的同时,也将危险集中,因此可靠性不高。计算机一

旦发生故障,将使整个系统瘫痪。因此在具体实施时,往往对计算机控制系统不太放心,故在使用这种集中式计算机控制系统时,又在很多场合下仍保留了模拟调节仪表,使系统繁冗。况且随着生产的发展,生产规模越来越大,信息源越来越多,仅靠一台大型计算机来完成过程控制和生产管理的全部任务是不恰当也是不可能的。生产实际呼唤新的计算机控制系统。

2.4 第四代过程控制体系——集散式控制系统DCS (Distributed Control System)

70年代中期开始,随着IPC的大量采用以及控制理论与技术、数字通信技术的发展,在多年计算机控制研究基础上,产生了一种新的设计思想,即通过功能分散,达到分散危险、提高可靠性的目的。这就是新型的集散式控制系统DCS (Distributed Control System)。DCS既有计算机控制系统控制算式先进、精度高、响应速度快的优点,又有仪表控制系统安全可靠、维护方便的特点。集散系统的数据通信网络是连接分级递阶结构的纽带,是典型的局域网,它传递的信息以引起物质、能量的运动为最终目的,因而它强调的是其可靠性、安全性、实时性和广泛的实用性。DCS被称为自动控制领域的又一次革命,成为当时解决过程控制自动化最成功的系统,直到今天,DCS仍有其一席之地。但集散系统大多采用封闭式的网络通信体系结构,采用本公司专用的标准和协议,加之受到现场仪表在数字化、智能化方面的限制,它没能将控制功能“彻底地”分散到现场。

2.5 第五代过程控制体系——现场总线控制系统(FCS)

计算机与电子技术的发展及当今对自动化控制系统数字化、智能化、网络化(或分散化)的要求,产生了以现场总线技术为核心的现场总线控制系统FCS(Fieldbus Control System),通过现场总线,将工业现场具有通信特点的智能化仪器仪表、控制器、执行机构等现场设备和通信设备连接成网络系统,连接在总线上的设备之间可直接进行数控传输和信息交换,同时,现场设备和远程监控计算机也可实现信息传输。此系统具有设备间数据通信能力和设备自控、自调整、自诊断、自标定等功能。由于它位于网络结构的底层,即成为Infranet也叫做现场总线控制网络。实际上现场总线控制系统就是以现场总线技术为核心,以基于现场总线的智能I/O或智能传感器、智能仪表为控制主体、以计算机为监控中心的集系统编程、组态、维护、监控等功能为一体的工作平台。FCS从以下几个方面发展了DCS:互操作性、网络化、体系结构趋于扁平化,提高了系统的可靠性、自律性和灵活性。FCS较好地解决了过程控制的两大基本问题,即现场设备的实时控制和现场信号的网络通信。另一方面,现场总线的出现导致了目前生产的自动化仪表、集散控制系统(DCS)、可编程控制器(PLC)在产品体系结构、功能结构方面的较大变革,使相关的制

造厂家面临产品更新换代的又一次挑战,它标志着工业控制技术领域又一个时代的开始。

3 流程工业运行现状

随着工业控制技术的不断革新,智能制造已经成为公认的提升制造业整体竞争力的国家战略。

3.1 各国工业互联网发展愿景

工业互联网作为新一代信息技术与制造业深度融合的产物,是以数字化、网络化、智能化为主要特征的新工业革命的关键基础设施。工业互联网的概念是由美国通用电气公司在2012年11月首次提出^[3],德国的工业4.0^[4]和中国制造2025也都将工业互联网作为实现智能制造的关键基础设施。美国、德国等发达国家和我国为代表的发展中国家正在依托工业互联网大力推动制造业变革。

3.2 国内流程工业运行现状

流程工业制造是以各类自然资源为原料,通过包含物理化学反应的气、液、固多相共存的连续化生产过程,为下游制造业提供原材料和能源的基础工业。流程工业制造的特点是制造过程涉及复杂的物理化学反应、连续生产不能中断、产品不以件计。流程工业制造过程的物质化学反应过程建模难且产品难以数字化;全流程多单元协同生产对制造流程全局优化带来挑战;企业多冲突目标,物质流、能量流、信息流联系错综复杂,需求、设计、供应链复杂关联造成难以实现企业全局优化。上述特点使得制造过程和运行管理过程中的检测、操作、决策等多个环节仍是人参与的信息物理系统,如图1所示。目前,流程工业普遍采用企业资源计划(Enterprise resource planning, ERP)、制造执行系统(Manufacturing execution system, MES)和过程控制系统(Process control system, PCS)三层结构,然而,流程工业生产全流程优化控制、流程工业管理与决策涉及到的多冲突目标非凸动态优化,仍是尚未解决的科学难题^[5]。

当市场需求和生产条件发生变化时,目前的信息化系统难以有效感知这些变化,使得决策者难以及时准确地决策,人的行为制约发展。另一方面,ERP/MES各类信息系统相对独立、集成性不强,仅能局部优化、难以实现信息集成基础上的生产全流程全局优化,且上下游多个生产单元以及研发、能源、生产、供销多系统间难以协同。我国流程工业不能直接采用工业4.0为代表的离散工业智能制造模式,需研究适合流程工业的智能优化制造模式。

4 未来展望——工业互联网驱动的流程制造企业智能优化制造模式

4.1 制造流程全局优化

流程工业生产过程通过工业互联网获取工业大数据,实现智能感知与工况识别、高性能智能自主控制、全流程多工序协同优化控制、远程移动可视化监控和增强操作人员能力的AI系统,实现制造流程全局优化新模式。

4.2 数字孪生驱动的生产要素管理与决策和控制一体化

工业互联网驱动集中式ERP与MES向分散式大数据驱动的生产要素(设备、产品质量、能耗与物耗、碳排放)数据采集、数字孪生、可视化监控、预测与回溯和决策一体化系统发展。

4.3 工业互联网驱动的能耗物耗管控智能化

工业互联网驱动能耗物耗实时动态监控、预测和异常回溯,并与生产协同优化决策,包括如下部分。

能耗物耗智能感知与动态监控。利用工业大数据和企业生产全流程运行态势智能感知设备的启停状态及能耗,对能耗物耗相关数据自动进行分类与标记索引,智能化分析各个生产环节中能耗物耗的实时状态。通过对设备运行数据、能耗物耗数据的全面采集和分析,建立典型设备的状态分析和效能分析的性能模型。

能耗物耗智能分析、预测与异常回溯。针对生产过程反映单位产品能源利用效率的指标——产品单吨能耗,将机理分析与机器学习相结合,建立单吨能耗数字孪生模型,实现单吨能耗可视化监控与分析 and 终点预报。当实际单吨能耗指标不能满足要求时,基于数字孪生驱动的预测与回溯和智能优化决策算法进行能耗超限原因分析、生产瓶颈定位与异常溯源和智能优化决策。

能耗管控与生产管控的协同优化决策。目前生产管理与控制和能耗管理与控制采用不同的系统分别进行。利用工业互联网,实现能耗管控与生产管控的协同优化,在满足企业总能耗和产品交货期要求的前提下优化不同耗能设备的能源分配和计划排产。

4.4 工业互联网驱动的碳排放管控智能化

目前,企业碳排放统计的方式为年度碳排放报告填报,工业互联网驱动碳排放实时监控、分析、预测、回溯与协同优化决策。碳排放智能感知与动态监控。

利用工业互联网动态感知生产全流程运行态势,采集碳排放相关数据,对其进行自动分类与标记索引,实现大数据驱动的各个生产环节中碳排放的可视化监控。生产全流程碳排放智能分析、预测与异常回溯。在大数据驱动的各生产环节中碳排放可视化监控的基础上,计算与分析生产过程单位产品的碳排放量,预测碳排放量变化趋势,回溯碳排放量超限原因。经济效益指标和碳排放指标协同优化决策。以实现经济指标和碳排放指标目标值优化为目标,优化生产链与供应链,实现能源分配和物资调配与生产计划与调度的智能协同优化决策。

5 结束语

纵观工业过程控制技术的发展,经历了三次大革命:电动单元组合式模拟控制仪表系统(DDZIII为代表)→集散控制系统(DCS)→现场总线控制系统(FCS)。过程控制技术与控制理论、自动化仪表技术、计算机技术、通信技术同步发展其趋势是:过程控制技术由分离设备向共享设备发展,自动化技术由模拟仪表向智能仪表发展,计算机网络技术向现场延伸,工业控制系统向分散化、网络化和智能化发展,从而,过程控制走向过程信息资源共享。结合我国过程工业的重大需求和工业过程控制系统的发展方向,当前应开展以发展具有自适应、自学习、安全可靠优化运行功能的智能化控制系统为目标的研究方向。

参考文献

- [1] 柴天佑.工业过程控制系统研究现状与发展方向[J].中国科学:信息科学, 2016(8):13.
- [2] 潘世永, 严兵, 饶蜀华.过程控制技术的发展及展望[J].贵州科学, 2003, 21(3):4.
- [3] Evans P C, Annunziata M. Industrial Internet: Pushing the Boundaries of Minds and Machines[J].sci.rep.kanazawa univ, 2012.
- [4] Henrik von Scheel.Recommendations for implementing the strategic initiative GERMAN INDUSTRIE 4.0. Final report of the Industrie 4.0 Working Group[J]. 2013.
- [5] 陈永生.工业过程控制自动化中的智能控制应用[J].无线互联科技, 2021, 18(24):88-89.
- [6] 曹卫华, 何王勇, 甘超.过程控制系统[M].中国地质大学出版社:武汉.