

分布式控制系统(DCS)在涂料生产中的应用展望

滕毅, 任贤萍

(江苏冠军科技集团股份有限公司, 南京 211200)

摘要: 主要探讨了分布式控制系统(DCS)在涂料生产中的应用前景, DCS 的实施可以显著提高生产效率和产品质量。通过分析 DCS 和 PLC 的投资回报率(ROI)的差异, 结合物联网(IoT)、人工智能(AI)等新兴技术, 论述了 DCS 未来的发展趋势和挑战。

关键词: 涂料; DCS; PLC; 物联网; 人工智能; 投资回报率

中图分类号:TQ630.6 文献标志码:A 文章编号:1007-9548(2025)02-0040-04

Application Prospects of Distributed Control Systems (DCS) in Coatings Production

TENG Yi, REN Xian-ping

(Jiangsu Champion Technology Group Co., Ltd., Nanjing 211200, China)

Abstract: The application prospect of distributed control systems (DCS) in coatings production is discussed, the implementation of DCS can significantly improve production efficiency and product quality. Analyzes the difference in return on investment (ROI) between DCS and PLC, combining emerging technologies such as the internet of things (IoT) and artificial intelligence (AI), the future trends and challenges of DCS are discussed.

Key words: coatings; DCS; PLC; internet of things; artificial intelligence; return on investment

0 引言

涂料行业是现代工业体系中不可或缺的组成部分,其产品广泛应用于建筑、汽车、航空、船舶、家电、电子等多个领域。2023 年全球涂料市场规模达到 1 774 亿美元,预计到 2032 年将达到 2 690 亿美元,增长率为 4.7%。市场正在经历稳步增长,推动因素包括人们对环境影响的认识不断提高和法规越来越严格、全球城市化和工业化不断推进,以及建筑和汽车行业的显著增长。工业自动化是现代制造业提升效率、降低成本和保证质量的关键手段。随着物联网(IoT)、大数据、人工智能(AI)和云计算等新兴技术的快速发展,工业自动化正向智能化、数字化和网络化方向迈进,对涂料生产行业,工业自动化的发展带来了深远的影响。

收稿日期: 2024-12-10

作者简介: 滕毅(1978—),男,本科,主要从事涂料生产工艺设计研究工作。E-mail: millbase@hotmail.com。

1)提高生产效率:自动化设备和系统的引入,使得生产过程中的投料、原料配比、分散和混合、研磨等环节能够精准控制,减少了人为操作的误差和低效率。

2)提升产品质量:通过实时监测和控制关键工艺参数,如:线速度、电流、时间和温度等工艺参数,确保产品质量的一致性。

3)降低生产成本:自动化系统能够优化资源配置,减少原材料和能源的消耗,同时降低人力成本。

4)增强灵活性和定制化能力:自动化生产线可以快速调整,满足不同批次、不同规格产品的生产需求,适应市场的快速变化。

5)提升安全和环保水平:自动化设备减少了人员在危险环境中的操作,降低了安全风险。同时,通过精确控制,减少了废料和有害物质的排放,有助于涂料生产企业在环保方面的合规。

1 涂料生产工艺概述

涂料的生产是一项复杂且多步骤的过程,涉及从

原材料的选择和处理到最终产品的包装和分发,为了确保高品质和品质一致性,需要精确控制和监测生产过程中的关键工艺参数。

1.1 原材料准备

涂料的生产从原材料的准备开始,包括树脂、颜料、溶剂、助剂和填料等。树脂是涂料的成膜物,主要提供涂层的硬度、附着力、耐候性和光泽;颜填料决定涂料的颜色、遮盖力和耐候性等;溶剂用于调节涂料的黏度和干燥速度;助剂和填料则改善涂料的施工性能、贮存稳定性、硬度和其他特性。

1.2 预混

预混是将部分原材料均匀分散在一起的过程,这一步骤对于后续的高速分散或者研磨工序是至关重要的。在这个工艺过程中,根据产品类型,通常使用低速桨式搅拌机或高速盘式分散机,将部分树脂、溶剂、助剂混合成一个均匀的浆料。

1.3 分散和研磨

分散和研磨是涂料生产中的关键工艺之一,比如在颜料的处理方面。基于产品类型,颜料的粒径必须被分散研磨到一个设定的范围,以确保涂层的颜色和遮盖力符合配方设计要求。主流的分散和研磨设备包括高速分散机、湿法研磨设备(立式或卧式砂磨机)和超高速在线固液混合设备等。在这个过程中,黏度、线速度、转速、电流、时间和温度等是关键工艺参数。因此,自动化系统必须能够精确监控并调节这些参数。

1.4 调色

调色是将涂料调制成特定颜色的步骤。调色过程需要对色粉或色浆的加入量进行高精度的控制,因为颜色的微小偏差可能导致产品不合格。关键参数包括色浆的色强、固含量、添加量、搅拌速度和时间等。在自动化调色系统中,在线色差仪可以实时监测颜色的变化,确保最终颜色符合预期标准。

1.5 包装

涂料的包装不仅是简单计量罐装,还涉及到贴标、压盖、包装材料的输送,以及罐装后的产品搬运和污染控制。

2 分布式控制系统(DCS)的定义和基本功能

2.1 DCS的定义

分布式控制系统(DCS)是一种用于过程工业的自动化控制系统,其特点是将控制功能分布在整个系统的各个部分,通过网络实现集中管理和分散控制。DCS的架构包括控制站、操作员站、工程师站、现场控制器、现场设备和通信网络。DCS因其能够集中管理和分布式控制复杂工艺,提高生产效率和安全性,目前广泛应用于化工、石化、发电等行业。

2.2 DCS的基本功能

1)过程控制:对温度、压力、流量、液位等过程参数进行实时监测和控制。

2)数据采集与管理:收集生产过程中的各种数据,为生产管理和决策提供支持。

3)报警与事件处理:当出现异常情况时,系统能够及时发出报警,并记录事件信息。

4)人机界面:提供友好直观的操作界面,方便操作人员查看和控制生产过程。

5)历史数据存储与分析:保存历史运行数据,支持趋势分析和报告生成。

3 DCS系统在涂料生产中的应用

在涂料生产中,DCS已成为提升生产效率和产品质量的重要工具。DCS系统在原材料处理与配料控制、生产过程控制以及生产优化与效率提升方面发挥了关键作用。

3.1 原材料处理与配料控制

涂料生产的第一步是原材料处理和配料控制。DCS系统通过传感器网络实时监控原材料的参数,如质量、体积和浓度。DCS系统可以根据设定的配方自动控制各投料单元的运行,实时调整投料速度和顺序,确保原材料在最佳条件下混合,DCS系统能够显著减少配料中的误差;同时,DCS系统还能根据生产需求的变化灵活调整配料策略,例如在原材料供应或质量发生变化时自动调整配方,减少人为误差并提高生产投料的一致性。DCS系统还能够自动记录每次配料的详细信息,包括原材料来源、配比和投料时间,从而确保整个生产过程的可追溯性。

3.2 生产过程控制

在涂料的生产过程中,预混、分散、研磨和调色等工艺环节对最终产品的性能有着重要影响。DCS系统通过对关键参数的实时监控和精确控制,确保了这些工艺过程的稳定性和产品的一致性。

预混是涂料生产中的关键环节,DCS系统可以实时监控投料速度、温度、搅拌速度和时间等参数,并根据实际情况动态调整,同时在投料后自动清洁设备内部。

在研磨和分散过程中,DCS系统会根据产品工艺需求,精确控制高速分散机的线速度、研磨机的主轴转速、物料流速、冷却水流量。通过DCS系统的实时调整,整个生产过程始终在最佳条件下进行。

在调色环节,对于需要外加色浆进行调色的产品,首先DCS系统能够管控色浆的贮存,确保每次使用的色浆品质稳定;其次DCS系统通过集成的颜色传感器实时监测颜色变化,并自动调整色浆的添加比例,控制最终产品的色差符合控制标准。DCS系统能够记录每

次调色的具体参数,为后续批次生产提供参考,进一步确保调色效率和颜色一致性。

3.3 生产优化与效率提升

DCS 系统通过对生产环节的实时数据采集,识别工艺波动和瓶颈,在设定范围内自动调整工艺参数,超出设定范围及时提醒工程师干预,避免生产中断和质量问题。

通过 DCS 系统采集的历史数据,为工程师优化工艺提供数据支持。DCS 系统能够识别出影响效率的关键因素,帮助工程师高效地调整生产计划和工艺参数,最大限度地提高生产效率和资源利用率。通过这些数据的分析,能够优化原材料的使用和能源消耗,进一步降本增效。

在提高生产线灵活性方面,DCS 系统的模块化设计使其能够快速响应市场需求变化。例如,当涂料产品的配方或生产批量发生变化时,DCS 系统可以自动调整相应预设生产参数,无需人工干预,从而缩短生产切换时间,提高生产线的适应性和灵活性。

4 DCS 与 PLC 在涂料生产中的应用对比及财务 ROI 分析

分布式控制系统 (DCS) 和可编程逻辑控制器 (PLC) 在涂料的生产自动化中扮演着重要角色。选择合适的控制系统,不仅关系到生产效率和产品质量,更直接影响企业的财务收益。

4.1 DCS 的特点

- 1) 灵活性和扩展性强:适应复杂工艺,易于扩展。
- 2) 控制精度高:实现对温度、压力、流量等多个参数的高精度控制,减少产品不良率。
- 3) 数据分析能力强:提供实时数据分析,为生产优化提供依据,降低能耗。
- 4) 集成度高:能够与 MES、ERP 等系统无缝集成,实现全面的生产管理,提高生产效率。

4.2 PLC 的特点

- 1) 成本低:初始投资和维护成本较低。
- 2) 易于编程:编程语言简单,易于掌握。
- 3) 可靠性高:结构简单,故障率低。

4.3 DCS 与 PLC 的财务 ROI 对比

DCS 与 PLC 的财务 ROI 对比见表 1。

5 案例研究

DCS 系统通过其强大的实时数据处理能力、精确的过程控制以及高度的系统集成性,显著提升了生产的效率和产品质量。根据网上公开资料的报道,阿克苏·诺贝尔在英国阿辛顿工厂部署了西门子的 SIMATIC PCS 7 DCS 系统后,生产制造效率发生了巨大提升。

表 1 DCS 与 PLC 的财务 ROI 对比

项目	DCS	PLC
初始投资	高	低
长期运营成本	低	可能较高
产品质量	高	较低
生产效率	高	较低
能耗	低	较高
ROI	长期高	短期高,长期可能下降

- 1) 产品品类增加到 33 000 种之多。
- 2) 生产周期缩短了约 85%,交货时间从原来的 3 个月缩短至 2 周。
- 3) 能源利用率提升,100%的水和 90%的溶剂可以重新用于生产中。
- 4) 只需要保持 3 d 库存,减少库存压力。
- 5) 每生产 1 L 产品,碳足迹减少 50%。
- 6) 整合 Batch、MES、SAP,实现了生产数据的严谨性和可追溯性。

6 挑战与未来发展趋势

涂料生产行业正逐步引入 DCS 系统,以提升自动化水平和生产效率。然而,在实际应用中,DCS 系统面临着一系列挑战。同时,随着新兴技术的发展,DCS 系统在未来也有着广阔的应用前景。

6.1 DCS 系统在涂料生产中面临的挑战

6.1.1 系统集成的复杂性

涂料生产过程涉及多个工艺环节,这些环节通常由不同的设备和子系统组成,将它们有效地集成到 DCS 系统中是一大挑战。不同厂商的设备可能使用不同的通信协议和接口标准,增加了系统集成的难度。现有的生产设备通常已经运行多年,兼容性和可扩展性有限,需要在集成过程中进行定制化开发。

6.1.2 维护和升级的难度

DCS 系统通常具有复杂的硬件和软件架构,维护和升级需要专业的技术人员。但是,目前涂料行业熟悉生产工艺的 DCS 工程师还是非常欠缺的,这个短板亟待解决。由于涂料生产对连续性和稳定性要求高,任何系统故障都可能导致生产中断,造成经济损失。定期的系统维护和升级不仅需要投入大量的人力和物力,还可能面临停机时间长、备件供应不足等问题。

6.1.3 操作培训的需求

DCS 系统的高效运行依赖于操作人员对系统的充分理解和熟练使用。许多企业的员工可能缺乏自动化系统的操作经验,需要进行系统性的培训。培训不仅涉及对 DCS 系统的基本操作,还包括对故障诊断和应急处理的能力培养。培训成本高、周期长,而且人员流

动可能导致培训效果的持续性受影响。

6.2 DCS 系统在未来涂料行业中的应用前景

6.2.1 与物联网(IoT)的集成

将 DCS 系统与物联网集成,可以实现设备和系统之间的无缝通信和数据共享。通过传感器网络,实时监控生产过程中的各项参数,实现更精细的过程控制。同时,物联网还可以支持远程监控和诊断,帮助企业及时发现和解决生产中的问题,减少停机时间。

6.2.2 定制化和柔性生产

随着市场需求的多样化,涂料生产需要具备更高的灵活性。未来的 DCS 系统将支持更灵活的生产调度和配方管理,快速响应市场变化。通过模块化设计和可重构的系统架构,企业可以轻松调整生产线,实现小批量、多品种的生产模式,满足个性化的客户需求。

6.3 与新兴技术的融合带来的创新和变革

6.3.1 人工智能(AI)的应用

将人工智能技术引入 DCS 系统,可以大幅提升系统的智能化水平。通过机器学习算法,系统可以从历史数据中学习,优化控制策略。例如,预测性维护可以通过 AI 算法分析设备运行数据,提前预警潜在的故障,减少意外停机。此外,AI 还可以用于优化生产参数,提高产品质量和能源效率。

6.3.2 大数据分析的价值

涂料生产过程中会产生大量的数据,包括工艺参数、设备状态、质量检测结果等。通过大数据分析,可以深入挖掘这些数据的价值。企业可以识别生产过程中的规律和趋势,优化生产工艺,降低成本。同时,大数据分析还可以支持市场预测和供应链管理,提高企业的竞争力。

6.3.3 云计算和边缘计算的结合

将 DCS 系统与云计算平台结合,可以实现更强大的数据分析和存储能力。云平台可以为 DCS 系统提供实时的数据分析和决策支持。然而,考虑到工业控制对实时性和安全性的要求,边缘计算也将发挥重要作用。通过在现场部署边缘计算设备,可以在本地快速处理关键的数据和控制指令,确保系统的可靠性和安全性。

6.3.4 增强现实(AR)和虚拟现实(VR)的应用

AR 和 VR 技术可以用于操作培训和设备维护。通过虚拟的交互界面,操作人员可以在安全的环境中学习 DCS 系统的操作和故障处理方法。此外,AR 技术可以在实际工作环境中提供实时的指导和信息叠加,帮助维护人员快速定位和解决问题,提高工作效率。

6.3.5 网络安全的强化

随着 DCS 系统与外部网络和新兴技术的融合,系统的网络安全风险也在增加。未来,DCS 系统需要集成更先进的网络安全防护措施,如入侵检测、防火墙和加密通信等,保护系统免受网络攻击和数据泄露。

7 结语

DCS 系统在涂料生产中的应用,既面临挑战也拥有广阔的发展空间。系统集成、维护和操作培训是当前需要解决的主要问题,通过积极的策略和创新的技术,这些挑战可以得到有效应对。未来,随着物联网、人工智能和大数据等新兴技术的融合,DCS 系统将迎来新的发展机遇。企业应当尽早储备熟悉涂料生产工艺的 DCS 工程师,主动和 DCS 系统提供商进行深度技术交流,搭建基于企业产品线和生产规模的定制化 DCS 系统,实现企业的智能化和数字化转型,提升市场竞争力。◆

《现代涂料与涂装》征稿启事

征稿范围:

- ★ 涂料涂装行业关键核心技术自主创新及进口替代进展
- ★ 最新涂料涂装政策、标准解读及应对措施
- ★ 环境友好型涂料及特种功能型涂料的研发及创新应用
- ★ 涂装行业 VOC 源头控制、过程管理、末端治理技术及设备,涂料涂装废水处理技术及设备
- ★ 涂料涂装行业安全生产管理创新
- ★ 传统制造业(汽车、工程机械、轨道交通、船舶)、战略性新兴产业和新型基础设施涂装智能化及新工艺、新材料和新设备

征稿要求:

- (1) 来稿涉及技术保密问题需通过作者单位审查;来稿请注明作者单位(中英文)、地址及邮编。
- (2) 请勿一稿多投,如欲改投,请提前告知本编辑部。稿件收到后即发回执,稿件一经刊发,即按规定付给稿酬,并赠送期刊 3 本。来稿一般不退,请作者自留底稿,半年内未接到通知,作者可自行处理。
- (3) 稿件要求内容新颖、主题明确、逻辑严谨、文字精炼、格式规范、数据真实,全文字数不少于 5 000 字,相似度不高于 15%,附 100~200 字的摘要并列关键词(3~8 个)及相应的英文;附作者简介,内容包括:姓名(出生年)、性别、学历、职称、主要从事的工作或研究方向、联系方式及身份证号。
- (4) 稿件用电子文档投稿,一律采用法定标准计量单位名称和符号。
- (5) 文章标题以 3 级为限,文题简洁,表格一律为三线表,文中插图要清晰。
- (6) 参考文献勿省略,置于文末,并在文中注明序号、排好次序。