

冶金自动化技术及其发展趋势

王有栋

宝信软件(安徽)股份有限公司 安徽 马鞍山 243000

摘要: 随着全球工业4.0浪潮的推进,冶金自动化技术正经历深刻变革。本文聚焦冶金自动化技术及其发展趋势。首先概述冶金自动化技术历经基础自动化、系统集成、智能协同三个阶段的发展历程。接着阐述其关键技术,涵盖过程控制、生产管理、智能装备、能源管理、环境监控及智能机器人技术等方面。最后探讨该技术未来在智能化升级、绿色化转型、高效化提升和安全化保障等方向的发展趋势,旨在为冶金行业自动化技术的进一步发展提供全面的理论参考与实践指引。

关键词: 冶金自动化;关键技术;发展趋势

引言:在科技飞速发展的时代背景下,冶金行业作为国民经济的重要支柱产业,正面临着前所未有的挑战与机遇。传统冶金生产模式在效率、质量、环保等方面逐渐暴露出诸多不足,难以满足日益增长的市场需求和严格的环境标准。冶金自动化技术的出现与发展,为冶金行业的转型升级提供了强大动力。它不仅能够显著提高生产效率、提升产品质量,还能有效降低能耗、减少环境污染。深入研究冶金自动化技术及其发展趋势,对于推动冶金行业实现可持续发展、增强国际竞争力具有至关重要的现实意义。

1 冶金自动化技术的概述

1.1 基础自动化阶段

基础自动化阶段以设备层控制为核心,通过顺序控制器、模拟调节器及PLC等技术实现生产单元的机械化操作。该阶段重点解决单一工序的自动化问题,如高炉风量温度控制、轧机压下位置调节等,形成由检测仪表、控制器和执行机构组成的闭环控制系统。典型特征包括:采用常规过程变量检测仪表,依赖电气、液压执行机构完成动作,通过工业控制计算机实现基础逻辑运算。此阶段奠定了冶金自动化的技术基础,但系统间缺乏数据交互,难以实现全流程协同优化。

1.2 系统集成阶段

系统集成阶段以信息融合为特征,通过计算机集成制造系统(CIMS)实现生产计划、制造执行与过程控制的纵向贯通。该阶段突破单机自动化局限,构建PCS-MES-ERP三级架构:过程控制系统(PCS)完成实时数据采集,制造执行系统(MES)优化生产调度,企业资源计划系统(ERP)统筹资源分配。关键技术包括制造资源计划(MRPII)、高级计划排程(APS)及工业以太网通信,实现设备层与管理层的双向数据流动。此阶段显

著提升生产柔性,但系统间仍存在信息孤岛,需进一步深化协同机制^[1]。

1.3 智能协同阶段

智能协同阶段以人工智能与工业互联网深度融合为标志,构建覆盖全流程的智能化网络。该阶段通过物联网技术实现设备互联,利用大数据分析优化工艺参数,借助数字孪生技术模拟生产场景,形成"感知-分析-决策-执行"的闭环体系。核心特征包括:基于机器学习的质量预测模型、自适应控制算法及智能诊断系统,实现设备故障预判与工艺动态调整;通过5G通信技术支撑远程运维,结合区块链技术保障供应链透明度。此阶段推动冶金生产向少人化、柔性化、绿色化演进,标志着行业进入智能制造新时代。

2 冶金自动化的关键技术

2.1 过程控制技术

过程控制技术是冶金自动化的核心,通过实时监测与精准调控冶金生产中的关键参数,实现工艺稳定与质量优化。该技术以传感器网络为基础,集成温度、压力、流量、成分等多元数据采集系统,覆盖高炉炼铁、转炉炼钢、连铸连轧等全流程。控制算法层面,采用PID算法实现基础回路控制,结合专家系统、模糊逻辑、神经网络等智能算法构建自适应控制机制,例如通过机理模型与数据驱动的混合建模,动态优化高炉炉况、转炉吹炼终点等复杂工艺参数。设备控制方面,依托PLC、DCS等分布式控制系统,结合工业互联网实现设备互联与协同操作,如连铸结晶器液位自动控制、轧机厚度自动压上等。过程控制技术还通过信号连锁系统强化安全防护,对氧压、冷却水温度等临界参数设置越限报警与连锁保护,确保生产安全。其核心价值在于提升工艺稳定性、降低能耗与原料消耗,同时为后续生产管理提供

数据支撑。

2.2 生产管理技术

生产管理技术是冶金自动化中衔接工艺控制与资源优化的核心环节，通过信息化手段实现生产计划、调度、执行与评价的全流程协同。该技术以制造执行系统（MES）为中枢，集成企业资源计划（ERP）与过程控制系统（PCS），构建三级管理架构：ERP层负责订单分解、产能规划与物料采购；MES层基于实时生产数据动态调整排产计划，优化设备利用率与工序衔接；PCS层执行具体工艺指令并反馈状态信息。核心功能包括：基于约束理论的智能排产算法，平衡设备、能源与人力约束；可视化看板实时监控生产进度与异常预警；质量追溯系统通过批次管理实现全流程数据关联，支持质量分析与改进。此外，生产管理技术融合数字孪生技术，构建虚拟产线模拟生产场景，提前验证计划可行性并优化资源分配。其价值在于缩短生产周期、降低在制品库存，同时通过数据驱动决策提升管理透明度，为冶金企业实现柔性生产与精益管理提供关键支撑。

2.3 智能装备技术

智能装备技术是冶金自动化向高端化发展的关键支撑，通过集成传感器、控制器、执行机构与人工智能算法，赋予传统冶金装备自主感知、决策与执行能力。其核心包括：高精度智能传感器网络，可实时采集温度、压力、振动等多维度数据，支持设备状态监测与工艺参数优化；自适应控制执行机构，如智能阀门、变频电机等，能根据工艺需求动态调整输出参数，提升控制精度与响应速度；自主导航与操作机器人，如无人天车、巡检机器人等，可替代人工完成高温、高危环境作业，降低安全风险。此外，智能装备融合边缘计算与5G通信技术，实现设备间实时数据交互与协同控制，支持远程运维与故障诊断。数字孪生技术的应用进一步推动装备智能化，通过构建虚拟模型模拟运行状态，提前预测设备寿命与性能衰减趋势。智能装备技术的普及不仅提升了冶金生产效率与产品质量，还为柔性制造与个性化定制提供了硬件基础，成为推动行业转型升级的核心动力^[2]。

2.4 能源管理技术

能源管理技术是冶金自动化实现节能降耗与绿色发展的核心手段，通过数据采集、分析优化与智能调控，构建覆盖能源生产、输送、分配与使用的全流程管理体系。其核心功能包括：实时能源监测系统，依托高精度传感器与物联网技术，动态采集电力、燃气、蒸汽等能源消耗数据，结合生产工序建立能耗模型；智能优化算法，基于机器学习分析历史数据，识别能耗瓶颈并生

成优化策略，如动态调整高炉鼓风量、轧机加热炉温度等关键参数；能源调度平台，整合分布式能源资源（如余热回收装置、光伏发电系统），实现多能互补与供需平衡，降低对外部电网的依赖。此外，能源管理技术融合数字孪生技术，通过虚拟仿真预测不同工况下的能耗趋势，指导生产计划制定。其价值在于提升能源利用率、减少碳排放，同时降低生产成本。随着“双碳”目标推进，能源管理技术正向智能化、精细化方向发展，成为冶金企业构建绿色低碳生产模式的关键支撑。

2.5 环境监控技术

环境监控技术是冶金自动化保障绿色生产、实现合规排放的核心环节，通过多维度数据采集与智能分析，构建覆盖废气、废水、固废及噪声的全要素监测体系。其核心功能包括：高灵敏度传感器网络，实时采集烟尘、二氧化硫、氮氧化物等污染物浓度，以及废水pH值、重金属含量等关键指标，结合边缘计算实现数据预处理与异常预警；智能分析平台，基于大数据与机器学习算法，建立污染物排放模型，预测排放趋势并生成治理策略，如动态调整除尘设备运行参数、优化废水处理工艺；可视化监管系统，通过地理信息系统（GIS）与数字孪生技术，直观展示污染源分布与扩散路径，支持远程监控与决策。此外，环境监控技术融合区块链技术，确保监测数据不可篡改，满足环保监管要求。其价值在于实现污染源精准管控、降低环保风险，同时推动冶金企业从末端治理向源头减量、过程控制转型，为行业可持续发展提供技术保障。

2.6 智能机器人技术

智能机器人技术是冶金自动化向无人化、柔性化演进的核心驱动力，通过融合机器视觉、力觉感知、自主导航与人工智能算法，赋予机器人适应复杂冶金环境与高精度作业的能力。其核心应用包括：高温高危场景替代，如耐高温巡检机器人搭载红外热成像与气体传感器，可自主完成高炉、转炉等区域的设备巡检与泄漏检测，降低人工风险；精密操作执行，如焊接机器人利用激光视觉定位与自适应焊缝跟踪技术，实现复杂结构件的高精度焊接，提升产品质量稳定性；物流自动化升级，如无人叉车与AGV（自动导引车）通过SLAM（同步定位与地图构建）技术实现物料自动搬运与库存管理，优化生产流程。此外，协作机器人（Cobot）与人类工人共享作业空间，通过力反馈控制实现安全交互，支持柔性化生产。

3 冶金自动化技术发展趋势

3.1 智能化升级

冶金自动化技术的智能化升级是行业迈向高端制造的核心路径。随着人工智能、大数据、工业互联网等技术的深度融合，冶金生产正从“人工经验驱动”转向“数据智能驱动”。智能算法通过实时分析海量生产数据，动态优化冶炼温度、压力、成分等关键参数，提升工艺稳定性与产品质量一致性；智能调度系统基于机器学习预测生产需求，自动编排计划并优化资源配置，减少人工干预与资源浪费。同时，智能诊断系统利用设备运行数据构建故障预测模型，实现异常预警与远程维护，降低非计划停机风险。未来，5G与数字孪生技术将进一步推动冶金装备的自主感知与决策能力，形成覆盖“数据采集-模型构建-决策优化-执行反馈”的闭环智能体系，推动生产模式向柔性化、精准化、无人化转型，重塑冶金制造的核心竞争力^[1]。

3.2 绿色化转型

冶金自动化技术的绿色化转型是行业可持续发展的内在需求。通过技术创新，行业正从高能耗、高排放的传统模式向低碳、环保方向转变。在能源利用上，氢冶金、电弧炉短流程等低碳工艺逐步替代传统高炉-转炉长流程，结合智能能效管理系统，实现能源的精准分配与动态优化，大幅降低单位产能的能耗与碳排放。在污染控制方面，自动化环保监测系统利用高精度传感器，实时追踪烟气、废水等污染物指标，通过智能算法自动调节处理参数，确保排放达标。同时，智能固废处理技术实现废渣的自动分类与资源化利用，减少固体废弃物堆积。此外，智能冷却系统与余热回收装置的应用，进一步提升了能源循环利用率。

3.3 高效化提升

冶金自动化技术的高效化提升是行业突破资源约束、增强竞争力的核心方向。通过深度融合工业互联网与智能控制技术，生产流程实现全链路优化：高精度传感器网络实时采集设备运行数据，智能算法动态分析并调整工艺参数，减少过程波动与能源损耗；智能调度系统基于生产需求预测，自动编排原料配送、工序衔接与设备启停，缩短生产周期并提升资源利用率。同时，模块化设计与标准化接口推动装备快速部署与灵活换型，适应多品种、小批量生产需求。此外，智能物流系统结合AGV（自动导引车）与无人仓储技术，实现物料自动搬运与库存动态管理，降低周转成本。数字孪生技术的

应用进一步构建虚拟产线，通过仿真优化生产节奏与设备协同，挖掘潜在效率空间。这些技术革新共同推动冶金生产向高精度、高柔性、高效率方向演进。

3.4 安全化保障

冶金自动化技术的安全化保障聚焦于通过技术革新构建全方位防护体系，确保生产过程稳定可靠。在设备层面，耐高温、防腐蚀的智能传感器与执行器被广泛部署，实时监测炉温、压力、气体浓度等关键参数，并通过边缘计算实现本地化快速响应，一旦数据异常立即触发报警或自动停机，防止事故扩大。在系统层面，分布式控制系统（DCS）与安全完整性等级（SIL）认证的安全仪表系统（SIS）深度集成，形成冗余控制架构，确保单一故障不影响整体安全功能。同时，数字孪生技术构建虚拟产线模型，通过仿真模拟极端工况下的设备状态与工艺反应，提前识别潜在风险点。此外，基于增强现实（AR）的远程协作平台支持专家实时指导现场操作，减少人员进入危险区域的需求，而智能巡检机器人则替代人工完成高危环境巡查，全方位提升生产安全水平^[4]。

结束语

冶金自动化技术作为推动行业转型升级的核心引擎，正通过智能化、绿色化、高效化与安全化的深度融合，重塑传统生产模式。智能算法优化工艺参数、低碳技术减少环境负荷、数字孪生挖掘效率潜力、安全系统筑牢风险防线，共同构建起高精度、低能耗、可持续的现代冶金体系。未来，随着5G、人工智能与工业互联网的持续渗透，冶金自动化将向全流程自主决策、全要素动态协同方向演进，不仅提升行业竞争力，更将为全球资源高效利用与碳中和目标实现提供关键技术支撑，开启冶金制造的新纪元。

参考文献

- [1]刘肖肖.基于冶金电气自动化控制技术特点与运用研究[J].冶金管理, 2021(1): 50-51.
- [2]孟国泰.电气自动化技术在冶金产业的应用分析[J].中国设备工程, 2021(23): 232-234.
- [3]铉科.电气自动化在冶金工业控制技术领域的应用[J].科技展望, 2021, 26(22): 156.
- [4]陈磊.基于冶金电气自动化控制技术特点与运用研究[J].冶金管理, 2021(21): 70-71.