

基于工业互联网的钢铁产品精益生产管控

杜超

柳州钢铁股份有限公司

DOI:10.32629/btr.v8i10.5112

[摘要] 在全球制造业向智能化、绿色化和服务化转型的大趋势下,作为我国重要基础产业的钢铁行业也面临诸多问题,如产能过剩、成本高昂、能耗大以及客户需求日益多样化等。传统的粗放型发展模式已经不能适应时代发展要求,必须借助新一代信息技术深度融合来寻求新的出路。而工业互联网凭借其“全要素、全产业链、全价值链”连接优势对钢铁企业的精细化生产和管理起到巨大推动作用。本文主要研究基于工业互联网的钢铁产品精细化生产管理方案。首先介绍了钢铁生产工艺特点以及它和精益生产之间关系;然后分析了工业互联网平台对于实现全面感知、广泛互联、高效配置资源发挥重要作用;接着就如何从计划调度、生产过程控制、产品质量追踪、设备维护保养以及能源消耗等方面落实精细化管理进行了探讨;最后展望未来钢铁精益生产将会是云边端融合发展、以数字孪生为手段、利用人工智能技术进行深层次赋能的过程,从而实现由大规模生产到大规模个性化定制根本性变革。

[关键词] 工业互联网; 钢铁工业; 精益生产; 智能制造; 数字孪生

中图分类号: TF302 **文献标识码:** A

Lean Production Management of Steel Products Based on Industrial Internet

Chao Du

Liuzhou Iron and Steel Co., Ltd.

[Abstract] Under the global trend of manufacturing transformation toward intelligence, greening, and servitization, the steel industry—an important pillar of China’s basic industries—faces multiple challenges, such as overcapacity, high costs, high energy consumption, and increasingly diversified customer demands. The traditional extensive development model can no longer meet the requirements of the new era, and new solutions must be sought through deep integration with next-generation information technologies. Industrial Internet, with its advantages of “full-factor, full-industrial-chain, and full-value-chain” connectivity, plays a significant role in promoting refined production and management in steel enterprises. This paper studies a refined production management scheme for steel products based on the Industrial Internet. It first introduces the characteristics of steel production processes and their relationship with lean production. It then analyzes the important role of Industrial Internet platforms in achieving comprehensive perception, extensive interconnection, and efficient resource allocation. It further discusses how to implement refined management in areas such as production planning and scheduling, process control, product quality traceability, equipment maintenance, and energy consumption management. Finally, it envisions that future lean steel production will evolve toward cloud-edge-terminal integration, enabled by digital twin technology and empowered by artificial intelligence, thereby achieving a fundamental transformation from mass production to mass customization.

[Key words] Industrial Internet; Steel Industry; Lean Production; Intelligent Manufacturing; Digital Twin.

引言

钢铁是“工业粮食”,其发展程度反映了一个国家工业现代化以及综合实力强弱。经过快速发展之后,我国钢铁行业进入存量竞争时代,以往依靠规模扩大和资源消耗的发展方式已经难

以为继。下游制造业对于钢材品质、精度及交货期有更高的、个性化需求,而且“双碳”目标对能源消耗和排放提出了更加严格的管控要求。在这种情况下,推行精益生产——减少浪费,投入最小获得最大收益——成为提高企业竞争力的重要手段。精

益起源于丰田生产方式(TPS),注重准时制(JIT)与自动化(Jidoka),但是由于钢铁生产连续性强、工艺流程长、各环节相互关联密切、工况恶劣(如高温高压等)等原因,照搬看板等方法往往难以适应。信息孤岛以及决策迟缓也阻碍了精确管理。而工业互联网利用物联网、5G、云计算、大数据、人工智能等技术连接矿山至最终产品的全过程,形成涵盖“人、机、料、法、环、测”的神经系统,使钢铁这一复杂系统的精益化、及时性和智能化管控成为可能。

1 钢铁生产流程特性与精益生产需求

1.1 钢铁生产流程的典型特征

目前大多数现代化钢铁联合企业一般会采用“高炉-转炉-连铸-热轧-冷轧”的长流程生产工艺,“三高三长”是它的主要特征。“三高”指高温、高压、高危;“三长”指流程长、工序长、物料停留时间长。由于其复杂性,各个工序之间相互关联紧密并且有较大的滞后性,一个小小的变动都会层层放大,对最终的产品质量和产量造成影响^[1]。在炼钢过程中,温度往往高达1500摄氏度以上,高炉内压力可达0.3兆帕以上,而且整个生产过程从原材料进厂至产品出厂需经过上百千米的距离,耗时数日。这样大规模而又精密的系统,正常运转就已是难题,更不用说出现局部问题可能会带来一系列连锁问题,这就给推行精益制造带来了极大的困难。

1.2 精益生产在钢铁行业的核心诉求

钢铁行业的精益生产对精益生产的核心需求有其自身特点:一是实现柔性生产,及时响应订单,灵活调整节奏,取代传统的大量生产方式,大大减少半成品、成品存货,节约流动资金;二是将质量管理从传统的“事后把关型”向“预防型”转变,在线监测重要工序指标并进行自动反馈,保证产品质量一次合格,避免返工、废品产生;三是保证高炉、轧机等主要生产设备的正常运转,制定科学有效的维护方案,尽可能减少意外停机;四是积极响应“双碳”,合理利用煤气、蒸汽、电等能源介质,降低吨钢综合能耗;五是对整个流程公开透明并且可追溯,建立从原材料批次到最终产品卷号的质量记录,便于快速查找出问题所在并不断改进。所有这些都旨在实现基于数据驱动精细、高效、绿色地生产。

2 工业互联网平台:精益生产管控的数字基座

2.1 全面的数据感知与采集

工业互联网起始于“万物互联”。在生产设备、能源管网、物流车辆、质检仪器等重要位置安装大量传感器并运用5G、TSN(时间敏感网络)、工业PON等高效能、低延迟方式连接它们,从而可以进行钢铁生产全过程、全方位的信息毫秒级、大批量获取。这就把原来被禁锢在各自动化孤岛内部的信息集中在一个平台上,在整个矿山-焦炭-铁水-粗钢-热轧这条链路上形成一个动态的数据海洋。每一个温度值、每一个压力波动、每一种成分检测数据都详细记载,就是对工厂运行情况的一个全面描述。而这样全面的信息获取能力,则是后面智能化分析以及准确判断的基础,也是做到精细化管理的前提条件。

2.2 泛在的网络连接与边缘计算

钢铁厂占地面积大,环境较差,对于网络的要求较高,需要有较大的覆盖面积以及较强的抗干扰性和稳定性。而5G专网具有大带宽、低时延、高可靠性和大量连接的特点,适合用于连接移动设备、高清摄像头以及AR远程运维等场景。而且由于核心控制指令对时延有着较高的要求,因此一般会使用边缘计算来解决这个问题,在距离数据源较近的地方部署边缘服务器,可以对数据进行初步处理、实时分析以及闭环控制,只需将重要摘要信息及告警上报到云端即可^[2]。“云-边”结合的方式既可以保证底层控制回路的毫秒级响应速度,以满足像轧机自动厚度控制(AGC)这一类的应用需求;也可以通过云端强大的计算能力实现跨工序、跨地域的整体优化,从而达到良好的实时性和智能化的效果。

2.3 强大的平台能力与智能引擎

工业互联网平台最核心的一部分是它的PaaS(平台即服务)层,提供如数据管理、建模、应用开发等通用能力,在此基础上,通过数据中台将来自各种来源的不同类型的原始数据清洗、整合、标准化,形成一个统一的数据资产目录,进而集成大量的智能引擎,共同组成指导精准决策的“智慧大脑”,规则引擎可以存储专家知识并根据预先设定的规则进行自主判断与控制;而机器学习引擎可以从大量历史数据中发现潜在模式,建立用于预报设备问题、产品性能或者能源消耗变化等高级模型;仿真引擎可以在虚拟空间测试新的方法论或者想法而无需承担风险及成本。这些引擎并不是单独工作的,它们互相配合成为一个整体来为钢铁生产的所有方面提供智能化指导。

3 基于工业互联网的精益生产管控路径

3.1 智能计划与动态排程

传统ERP/MES系统中固定排程方式对于订单变化、设备故障等不确定性因素无法有效处理。而在工业互联网基础上可实现一种持续优化、灵活调整智能化排程方法。它可以及时掌握订单池、设备状况、原材料数量、电力成本等多种信息,并运用运筹学或者强化学习算法进行在线求解最佳生产和资源配置。一旦出现意外情况,系统可在数分钟之内提出合理排程方案并通过显示屏展示给各个部门实施,保证生产顺畅并且高效,大幅降低交货期。这也就是以数据为导向动态排程所带来的好处,可以使钢铁生产如同流水般平稳、顺畅,最大程度避免等待、搬运以及切换等浪费行为,完全符合精益生产的“一个流”。

3.2 过程质量的在线监控与闭环控制

质量是精益生产的灵魂。工业互联网实现从“离线抽检”到“在线全检”。在线部署高精度检测装置并将产生的数据流与工艺控制系统紧密结合形成质量内建的闭环控制系统。如在热轧工段可依据进料温度、轧制速度等因素及时调节轧辊弯辊力以及窜辊位置从而抵消板型波动;在炼钢工段可利用光谱仪检测钢水中各种元素含量并发出加入相应合金命令保证目标达成。一旦出现不合格品系统会立刻将其剔除并且启动原因查找(RCA)。这样把质量管理融入整个生产流程当中不但大幅度提高

产品质量及合格率而且节省很多用于后期检查劳动力从事更有意义的工作改进活动。

3.3 全流程的产品追溯与质量追溯

每一项钢铁制品都有属于它的完整“数字基因”。为每一条钢卷赋予唯一编号,在工业互联网平台上对其每一环节重要参数、检测情况、工作人员等进行记录,就可以实现从始至终的全过程追踪。当有下游用户提出质量问题时,只需要扫码该商品,就可以在几秒钟之内查找到其全部生产过程,明确在哪一工序出现什么问题及其原因,进而及时采取纠正与预防措施(CAPA)防止问题再次发生,极大提高顾客满意度以及品牌形象^[3]。而这样的追踪能力既是对产品质量的有效保证也是企业管理精细化及不断提升自身的一个手段,使每一次的质量问题都是一次很好的学习机会,促进企业的生产和管理不断提高。

3.4 预测性设备维护与健康健康管理

设备是生产的载体。工业互联网通过对设备振动、温度、电流、油液等相关信息进行实时监测,运用机器学习建立设备健康程度以及故障预报模型,可以提前几天甚至几周对可能发生的轴承磨损、齿轮断裂、电机过热等问题发出警报并自动生成维修任务单及备件需求量。从而实现由传统的“事后修理”、“定期保养”到“预知维护”。不仅可以减少意外停产带来的经济损失,还可以减少备品备件持有量,提高设备寿命。预知维护使设备管理由原来的被动应对变为主动预防,大大提高了设备整体效率(OEE),保证生产正常进行,这就是精益生产所追求的“零故障”。

3.5 精细化的能源与资源管理

钢铁属于典型的能源密集型行业。工业互联网平台整合整个企业的能源计量网络,可对电、煤气、氧气、氮气、水等各类能源介质进行分质、分级、分时精细化管控。结合当前的能源市场价格以及生产计划,系统可采用相应的优化方法来指导各工序的生产和用能行为,如在低价时段大量生产高耗电工序的产品,或者煤气充足时启动CCPP发电设备等^[4]。此外,对余热、余压、余能回收再利用进行建模和优化,也可以最大限度地提高能源梯级利用水平,有利于企业完成“双碳”任务。而这种精细化的能源管理将能源作为可被准确调度并合理分配的战略资源看待而不是一笔开支,在此基础上作出的数据化决策既经济又环保,同时也符合精益生产的宗旨即寻求最高效率并杜绝一切浪费。

4 未来展望: 迈向自主进化的新一代精益工厂

未来的钢铁精益工厂将进入自主进化的新时代。首先是“云-边-端”的自主决策:“端”实现毫秒级控制、“边”完成分钟级区域优化、“云”负责整个企业层面的整体规划,三者共同协作就像一个有生命的物体一样可以自我调节、自我优化的智能化系统。其次是数字孪生促进虚实结合,建立高度仿真的虚拟副本,可以对其进行观察以及“假设性”的实验,在这个虚拟的世界中低成本地测试产品、设备或者方法等,从而加快精益改进的速度。最后是AI原生于自学习与自优化能力,AI不再是工具而是工厂的一部分,它可以通过不断学习数据来自主地找出工艺规则并调整相关参数,做到真正的“机器自适应”,进而向“黑灯工厂”的目标迈进。这三个方面将会让精益生产变成基于数据和算法的自主进化过程,超越人的经验和知识,提高效率和质量。

5 结语

基于工业互联网的钢铁精益生产管控是一场生产范式革命,其核心在于通过数据、模型与智能驱动,重构组织方式、管理模式和价值逻辑。文章系统论证了工业互联网如何构建全面感知、泛在连接、智能分析的数字基座,并在计划、质量、追溯、设备、能源等关键领域落地精益路径,有效破解钢铁行业长期存在的效率低、成本高、质量波动和环保压力等难题。未来,随着“云-边-端”协同、数字孪生、AI原生等技术深度融合,精益生产将从消除显性浪费转向挖掘隐性潜能,迈向自主进化。这不仅是钢铁工业高质量发展的必由之路,更是我国从“制造大国”迈向“制造强国”的关键跃升。唯有深化工业互联网应用与精益理念融合,钢铁产业才能在数字经济时代焕发新生机。

[参考文献]

- [1] 薛威,李亮举,何绪铃.基于首钢工业互联网平台探索钢铁行业生产信息化新模式[C]//中国金属学会,中冶京诚工程技术有限公司.第十五届中国钢铁年会论文集—25.冶金自动化.北京首钢自动化信息技术有限公司战略技术部,2025:47-51.
- [2] 谢福清.钢铁企业精益生产管理实践[J].冶金信息导刊,2026,63(01):8-10+4.
- [3] 闫恩雪,李少波.精益生产在钢铁企业的实施分析[J].价值工程,2024,43(02):8-10.
- [4] 鲍松林.精益生产管理提升钢铁企业竞争力[J].冶金与材料,2019,39(06):167-168.