

# 智能制造在冷轧工厂的应用思考

王业科<sup>1</sup>, 梁勋国<sup>2</sup>, 谢二虎<sup>1</sup>

(1. 中冶赛迪工程技术股份有限公司, 重庆 400013; 2. 中冶赛迪技术研究中心有限公司, 重庆 400013)

**摘 要:**通过分析智能制造中生命周期、系统层级、智能功能的三维架构,结合冷轧的生产特点,分析了智能制造在冷轧工厂中的应用,并提出了冷轧工厂智能制造提升路径;冷轧工厂的智能制造可以实现生产提升、质量提升、管理提升、效率提升、效益提升,通过构建产业生态,实现产业链协同发展,需要整体顶层设计、总体规划。

**关键词:**智能制造;冷轧工厂;智能功能

**文献标志码:**A **文章编号:**1003-9996(2018)增刊2-0005-06

## 1 概述

智能制造源于人工智能的研究,一般认为智能是知识和智力的总和,前者是智能的基础,后者是指获取和运用知识求解的能力。它把制造自动化的概念更新,扩展到柔性化、智能化和高度集成化。

冷轧工厂是钢铁生产流程中的一个独立单元,通过多年的技术积累、知识沉淀、检测和控制技术的进步,冷轧工厂已具备实现智能制造的条件和基础,根据其生产特点,冷轧工厂可构建起生命周期、系统层级和智能功能组成的三维智能制造系统架构。

## 2 冷轧工厂的特点

冷轧工厂专用于冷轧板带的生产。

冷轧板带是以热轧钢卷为原料,其标志性的特征是其中的轧制过程是在室温在再结晶温度以下进行的。带钢轧制后,根据不同的产品特点,后续配置不同的后处理机组。冷轧板带的生产有几个特点:

(1)热轧钢卷一般需冷却到70℃及以下后才能酸洗或酸洗连续轧制,故冷轧工厂均配置有热轧钢卷原料库;

(2)冷轧的生产工序比较多,从热轧钢卷原料到成品钢卷需要经过多条机组进行生产,一条机组可以由一个或多个生产工序组成,如酸轧机组就涵盖了酸洗和轧制工序,连退机组就包含了带钢表面清洗、退火、平整等工序,前一条机组的成品作为下工序机组的原料,故在前后两条机组之间设置有中

间库;

(3)在冷轧厂所有的生产工序及包装完成后,就完成了冷轧成品的制造,最后还需要成品库进行成品堆存;

(4)冷轧工序中的每条机组一般采用单卷或连续生产,钢卷通过吊车吊运到机组入口,在机组上需要完成上卷、开卷、焊接、工艺处理、卷取、卸卷、称重、打捆等动作,再通过吊车把钢卷吊运至库进行堆存。

因此,冷轧工厂的智能制造在生产阶段就包含原料钢卷入原料库至成品发运的全过程,除生产外,冷轧工厂的智能制造还包括设计、物流、销售、服务等全生命周期的各阶段。

## 3 冷轧工厂智能制造的内容

### 3.1 智能制造的架构

根据文献[1],智能制造的架构由生命周期、系统层级、智能功能构成,如图1所示。

推广应用到冷轧企业,其智能制造的架构如图2所示。

### 3.2 系统架构中的系统层级

系统层级自下而上共5层,分别为设备层、控制层、车间层、企业层和协同层<sup>[1]</sup>。智能制造的系统层级体现了装备的智能化和互联网协议(IP)化,以及网络的扁平化趋势。对冷轧板带生产而言,包括:

(1)设备层级包括传感器、仪器仪表、条码、射频识别、机器、机械和装置等,这些设备是企业进行生产活动的物质技术基础。

收稿日期:2018-07-09

作者简介:王业科(1967—),男,高级工程师,硕士。

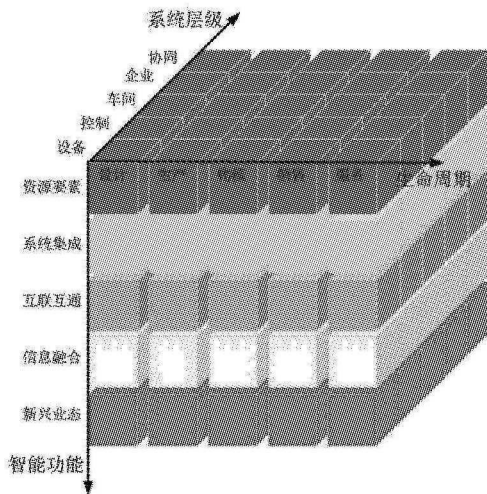


图 1 智能制造的三维架构

企业设备层级由生产系统和辅助生产系统两部分组成,包括所有感知、控制与执行部分,它以关键设备为核心,构建基本设备层级的各生产单元。辅助生产系统以各工序辅助生产的设备为单元,构成一个辅助单元,包含原来的仓储、天车、物流等基础的功能。

如冷轧板带生产中的酸轧机组,机械设备包括开卷机、卷取机、轧机、活套、张力辊、转向辊等;机器包括拆捆带机、焊机、取样机器人、打捆机等;传感器、仪器仪表等包括张力计、焊缝检测仪、激光测速仪、测厚仪、板形仪、各循环系统仪表(温度计、压力计、流量计、电导率仪等)等。如果没有底层设备做支撑,更高层级的功能就无法实现。

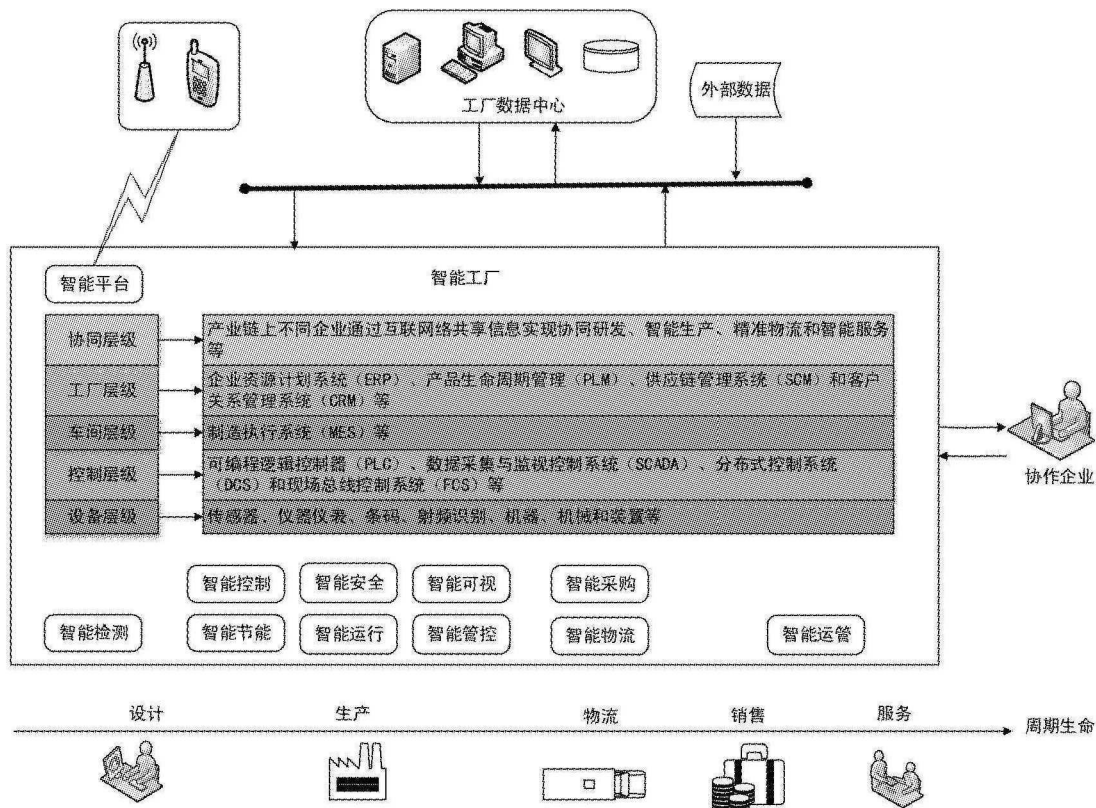


图 2 冷轧企业智能制造的架构

(2)控制层级包括可编程逻辑控制器(PLC)、数据采集与监视控制系统(SCADA)、分布式控制系统(DCS)和现场总线控制系统(FCS)等。

通过控制层级基础自动化级  $L_1$ ,就可以实现设备的动作、设备及设备间的连锁、区域设备的联动和动作的顺控,直接面向生产过程,完成生产过程的程序控制和调节控制,实现生产工序的半自动或全自动操作,并直接监视各个生产设备的运行状

态,它是保证工艺设备正常运行的关键。

控制层级的过程控制级  $L_2$ ,主要完成控制过程的模型设定计算、优化处理,向  $L_1$  传送设定值等,还包括控制过程的跟踪与显示,过程数据的处理,生产计划管理,轧辊管理,报表编制及打印等,它是保证产品质量及机组稳定运行的关键。

控制层级覆盖了冷轧车间机组及设备、机组的辅助系统、各独立运行的公辅系统等。

又以酸轧机组为例:PLC<sub>1</sub> 主要完成对酸洗入口段的顺序控制、辅助上卷、带钢传送、主令速度、张力、酸洗入口活套和介质系统等进行控制;PLC<sub>2</sub> 主要完成对酸洗过程进行控制;PLC<sub>3</sub> 主要完成对酸洗处理段和出口段的顺序控制、带钢传送、主令速度、张力、辅助系统、酸洗出口活套、轧机入口活套、拉伸矫直机等进行控制。

轧机区一般设置 4 套工艺控制器,分别实现如下控制功能:支撑辊偏心控制、液压压下系统控制,辊缝控制、弯辊控制、中间辊轴向移动控制、机架之间的张力控制、板形控制、卷取控制、飞剪控制及轧机协调管理控制等功能。设置 3 套逻辑控制器,其中 1 套用于轧线辅助设备控制,1 套用于介质系统控制,1 套用于机架的换辊控制。

设置一套快速数据采集系统,以便于调试和维护的故障诊断。

(3)车间层级实现面向工厂/车间的生产管理,包括制造执行系统(MES)等。

冷轧的生产管理主要由 MES 系统来完成,其控制范围从冷轧原料钢卷库入口开始到各成品库发货口为止,主要完成全厂物料跟踪,库管理和控制,质量管理,磨辊间管理。MES 由服务器、操作终端、打印机、网络设备及附件和相应系统软件组成。主要功能包括:生产计划管理;制造标准管理;物料跟踪、生产实绩收集及生产统计、质量管理与质量跟踪、生产运行状况监视、工器具管理、库管理、画面显示和操作、报表编制和打印、数据通信等。

(4)企业层级实现面向企业的经营管理,包括企业资源计划系统(ERP)、产品生命周期管理(PLM)、供应链管理系统(SCM)和客户关系管理系统(CRM)等。

ERP 是将企业资源进行整合集成管理,简单的说是将企业的三大流:物流,资金流,信息流进行全面一体化管理的管理信息系统。

产品生命周期管理就是指从人们对产品的需求开始,到产品淘汰报废的全部生命历程。PLM 是一种先进的企业信息化思想,即用最有效的方式和手段来为企业增加收入和降低成本。

供应链管理系统(SCM)是对企业供应链的管理,即对市场、需求、定单、原材料采购、生产、库存、供应、分销发货等的管理,包括了从生产到发货、从供应商到顾客的每一个环节。供应链是企业赖以生存的商业循环系统。

客户关系管理系统(CRM)是以客户数据的管理为核心,利用信息科学技术,实现市场营销、销售、服务等活动自动化,并建立一个客户信息的收集、管理、分析、利用的系统,帮助企业实现以客户为中心的管理模式。

“以客户为中心”,提高客户满意度,培养、维持客户忠诚度,在今天这个电子商务时代显得日益重要。客户关系管理正是改善企业与客户之间关系的新型管理机制,越来越多的企业运用 CRM 来增加收入、优化赢利性、提高客户满意度。

(5)协同层级由产业链上不同企业通过互联网共享信息实现协同研发、智能生产、精准物流和智能服务等。

宝钢汽车板 EVI(Early Vendor Involvement),即先期介入,应该属于企业间协同层级中的上下游合作协同研发的典范。

宝钢为下游用户的汽车厂提供从设计到量产的全过程技术支持:

1)汽车设计选材支持、零部件同步开发、焊接与涂装技术支持,达到设计控制成本与质量;

2)汽车用材和结构持续优化,实现技术降本和轻量化;

3)模具设计与验收技术支持,获得模具与钢材的最佳匹配;

4)新材料、新技术的推荐应用,提升汽车产品竞争力。

精准物流:在原有物流基础上,在运输方面精准把控货物从下单、运输等流程中的每一个细小环节,确保货物 100%安全到达,在时效方面通过标准化的作业,运输过程的实时监控,保证在承诺时间内准时到达。

不同企业间的智能生产和智能服务也可理解为按订单生产、个性化和定制化服务。

### 3.3 系统架构中的智能功能

智能功能包括资源要素、系统集成、互联互通、信息融合和新兴业态等 5 层<sup>[1]</sup>。

(1)资源要素包括设计施工图纸、产品工艺文件、原材料、制造设备、生产车间和工厂等物理实体,也包括电力、燃气等能源。此外,人员也可视为资源的一个组成部分。

(2)系统集成是指通过二维码、射频识别、软件等信息技术集成原材料、零部件、能源、设备等各种制造资源。由小到大实现从智能装备到智能生产

单元、智能生产线、数字化车间、智能工厂,乃至智能制造系统的集成。

(3)互联互通是指通过有线、无线等通信技术,实现机器之间、机器与控制系统之间、机器与人之间、企业之间的互联互通。

(4)信息融合是指在系统集成和通信的基础上,利用云计算、大数据等新一代信息技术,在保障信息安全的前提下,实现信息协同共享。

(5)新兴业态包括个性化定制、远程运维和工业云等服务型制造模式。

在目前的现代化冷轧厂,资源要素、系统集成、互联互通已基本实现,在信息融合方面,文献[2]中也提出了建立工厂数据中心的概念,通过工厂数据中心可以为企业提供高性能、高可用性、高扩展性和高安全性的硬件架构、软件平台及技术支持,以满足企业数据共享的要求,确保企业各单位数据中心之间的互联互通,并满足面向各类用户提供数据服务的基本技术要求。

工厂数据中心作为企业数据和信息交换体系当中的核心和基础平台,通过制定统一的数据交换与共享标准,建设统一的数据共享与交换平台和统一的接口系统,可以避免重复投资,降低接口的复杂性,有效实现数据中心与业务部门以及业务部门之间的数据共享与数据交换,消除“信息孤岛”,实现数据资源的互联互通。

建立工厂数据中心,还可以对存储资源进行大数据分析,通过可视化分析、数据挖掘算法、预测性分析,采用标准化的流程和工具对数据进行处理以得到高质量的分析结果,可以为企业提供快速精准的决策指导,进行个性化定制、远程运维和工业云服务,实现智能功能的最高等级,以提高企业的管理水平、工作效率、服务能力及竞争力。

### 3.4 系统架构中的生命周期

生命周期是由设计、生产、物流、销售、服务等一系列相互联系的价值创造活动组成的链式集合<sup>[1]</sup>。

具体到冷轧,应该从冷轧工程建设的设计开始,就应对智能制造的建设做通盘的规划,也可根据投资情况分步实施,其中生产包括冷轧工厂的一切活动,直至生产出合格产品,然后通过火车或汽车等物流进行外运、销售,产品在用户使用后,要对产品使用情况进行跟踪,根据用户的反馈,再进行产品质量的持续改进。

从生命周期来看,设计是基础。

## 4 冷轧企业智能制造提升路径

通过分析智能化制造的架构,现有冷轧工厂可以通过硬件升级、软件融合、人力融合来实现产线智能化升级。主要以智能检测、智能平台为基础等,实现智能运行、智能运管、智能节能、智能控制、智能物流、智能可视、智能管控等功能提升<sup>[3]</sup>。

### 4.1 智能检测和智能平台

在工业生产过程中,为及时了解工艺过程和生产过程的情况,需要对被控对象特性的某些参数进行检测,准确获得表征它们的有关信息,如温度、压力、流量、速度、张力、电导率、浓度、质量等,以对被测对象定性判别和定量分析。

智能检测是智能控制的基础,需要对产线进行具体分析,在设计阶段就要总体规划,在工程建设中加以实施。

智能平台包括车间或工厂无线网路、远程运维平台、大数据平台/冷轧云平台或工厂数据中心、冷轧一体化虚拟计算机系统等。

### 4.2 智能制造功能的提升

(1)智能可视。

智能可视主要包括数据采集及集中展示中心、掌上工厂、虚拟化仿真工厂、厂房智能监控等。

其中虚拟化仿真工厂面向冷轧企业制造与管理过程的全生命周期进行仿真和优化,在工厂数据中心海量数据的基础上,综合运用可视化仿真技术,智能优化技术和人工智能技术,构造与组织管理功能群相平行的模拟仿真系统,通过离线和在线学习方式,训练和优化各类感知控制、排程、计划模型,为钢铁企业提供优化与智能化的可持续解决方案。虚拟系统由关键工序虚拟制造仿真、企业物流过程仿真分析、企业能源流仿真分析、设备健康与运维仿真分析、企业供应链仿真分析和仿真模型开发环境等模块组成。

利用掌上工厂,生产管理人员可随时掌控生产状态。

(2)智能运行。

设备层级的升级是满足智能运行的基础,无人化运行是智能运行的标志。

针对冷轧的生产线而言,目前各机组工艺段已可实现全自动运行的条件,主要可提升的在于入口、出口、取样、质量检查等岗位,通过无人化行车和智能库管系统,可实现钢卷自动装载至入口鞍座

或步进梁,在入口完成自动拆捆带、自动宽度和高度对中、自动上卷,然后通过开卷机和开卷器完成钢卷的自动开卷,头尾的自动剪切,在焊机处完成前后钢卷的焊接、冲月牙,然后入口段重新启动运行。

在机组取样区域,可通过机器人完成取样、贴标签,有些厂还通过 AGV 完成试样的自动送检,检验数据可以自动传输至数据中心进行数据存储、筛选和分析,并可指导生产操作;

在质量检查区域,目前已可通过仪表实现表面质量、板形、厚度精度、力学性能、尺寸精度的在线检测;

在机组出口,可以完成自动卸卷、自动打捆和包装,不能直接包装的钢卷可以通过无人化行车和智能库管系统吊运至钢卷库进行存放。

实现智能运行,需要完成设备层、控制层、车间层 3 个层级的装备。

### (3) 智能运管。

通过产线运行集中监控中心、生产区域融合、操作室融合、公辅区域管理融合,实现智能运管。

产线运行集中监控通过底层生产过程实时信息的采集,通过信息集成形成优化控制、优化调度和优化决策等的判断或指令。实现流程工业企业生产过程的安全、稳定、均衡、优质、高产、低耗的目标,使生产过程数据和企业管理数据在实时数据平台中融合与贯通。

通过生产区域融合、操作室融合、公辅区域管理融合,把相似或相近的岗位进行整合,达到实现减员增效、提高管理和操作水平的目的。

### (4) 智能节能。

包括精细化能源管理系统、退火炉节能、智能照明、最佳化节能生产工艺决策系统、智能水处理等。

精细化能源管理系统包括成本基础管理、成本预算、成本采集、成本核算、成本评估、成本预测等内容。

产品的竞争就是质量和成本的竞争,而能耗是构成成本很重要的因素,实现智能节能,可以减少消耗、降低生产成本。

对生产过程各类成本、能源相关数据进行终端采集、在线监测,动态诊断生产运行过程中的成本状况及能源消耗,建立生产成本核算及评估体系;制定降本增效措施。最终为管理层动态把握生产

成本状况,降本增效提供决策支持。

### (5) 智能控制。

冷轧生产线通过表面质量检测系统、在线力学性能检测系统、厚度精度控制系统、板形智能化控制系统、卷形视觉识别及控制系统、轧辊表面检测系统、锌液成分检测系统等实现智能控制。

产线的智能控制,是产线智能化生产的标志。如表面质量检测系统,可对产线产品进行实时检测、判别、分类、记录、反馈等;卷形视觉识别及控制系统对卷取钢卷卷形进行实时识别、研判,然后对相关辅助卷取设备进行实时调整、控制,实现高质量卷取。

依托基础自动化及过程自动化技术,实现对生产过程的设定、控制、跟踪、统计,结合大数据优化分析,找出满足需求的工艺参数,进而改进生产控制,积累自己专属的生产工艺诀窍,从而不断提高产品质量,降低生产成本。

### (6) 智能物流。

车间级或工厂级的智能物流主要包括原料库、中间库、成品库无人化行车和智能库管,热轧原料钢卷往冷轧车间的智能运输、车间或工厂内的废料或备品备件的运输等;智能磨辊间物流;工厂外智能物流包括外部原辅材料的精准运输、产品的安全、可控、正点的运输;零星物流的 AGV 运输等。

### (7) 智能管控。

涉及到 MES、ERP 等的提升,主要包括高级计划排产、一体化质量管控,设备智能点巡检平台及维修管理系统、关键设备检测、液压润滑智能监测等,实现生产、管理、维护水平的提升。

一体化质量管控包含质量计划、质量跟踪、质量监控、质量判定、质量分析、质量控制、质量预报等功能,为生产厂提供精益化质量管控平台,实现提质增效。

基于大数据基础平台,对生产企业关键设备、生产线等进行在线实时监控,并利用远程工具,基于相关的知识库,对设备状态进行诊断;利用大数据平台,详细记录事故发生时设备数据,对出现事故进行分析,以避免事故的发生,从而提高设备保障能力

### (8) 智能安全。

智能安全为企业内的人员、设备及场所提供安全管理,主要包括利用射频及智能手机提供灾害及危险点信息,提供实时灾害情报(如退火炉气体外

泄);通过射频等技术定位人员位置(RTLS),提供危险接近告警功能;人员活动管理及场所安全管理等,系统建设建立安全业务模型、安全监控预警平台、安全防护平台。

## 5 结语

冷轧工厂的智能制造可以实现生产提升、质量提升、管理提升、效率提升、效益提升,通过构建产业生态,实现产业链协同发展,需要整体顶层设计、总体规划,以生命周期的价值创造活动为过程,以系统层级的配置为平台,以系统可实现的功能为目标,构建三维的智能制造架构,促进制造工艺的仿真优化、数字化控制、状态信息实时监测和自适应控制。加快产品全生命周期管理、客户关系管理、

供应链管理系统的應用,促进总体管控、设计与制造、产供销一体、业务和财务衔接等关键环节集成,实现智能管控。

推而广之,从一个独立冷轧厂,延伸到多个冷轧厂或一个钢铁联合企业,都可以以此为模板建立一个更广泛范围的智能制造的现代化工厂。

## 参考文献:

- [1] 工业和信息化部、国家标准化管理委员会. 国家智能制造标准体系建设指南 2018[R]. 北京: 工业和信息化部、国家标准化管理委员会, 2018.
- [2] 李鸿儒. 钢铁生产智能制造顶层设计的探讨[C]//第十一届中国钢铁年会论文集. 北京: 冶金工业出版社, 2017: 1-4.
- [3] 孙彦广. 钢铁工业数字化、网络化、智能化制造技术发展路线图[J]. 冶金管理, 2015(9): 4.