

有色金属冶炼的智能工厂建设

文/王建国
白银有色集团股份有限公司

运用智能制造技术实现有色金属冶炼工厂的智能化，提高生产效率和生产质量，降低生产成本，节约生产能耗。通过基础条件、设计规划、整体架构、基本要素和系统集成等方面对有色金属冶炼智能工厂建设进行探讨。

受上游原料、煤炭、电力以及人工等成本上涨影响，有色金属冶炼生产成本不断上涨。下游房产、电力、汽车和家电等传统消费需求减弱，国际环境多变，使得有色金属市场受到冲击，价格波动较大，市场风险增加。近年来国家对安全及环保要求不断提高，有色金属冶炼作为高耗能产业压力与日俱增。随着人工智能、云计算、5G、物联网和工业互联网技术的不断发展，传统运营模式已无法满足有色金属冶炼工厂的现代化建设和管理需求，落后的生产方式与管理模式已成为制约有色金属冶炼发展的最大障碍。如何运用新一代智能制造技术建设有色金属冶炼智能工厂是有色行业亟待解决的问题。

本文讨论了有色金属冶炼智能工厂，介绍了有色金属冶炼过程中配料、生产执行、设备管理、能源管控、仓储、物流和安全环保等过程的智能化技术应用，对有色金属冶炼智能工厂建设有一定的指导意义。

有色金属冶炼智能工厂建设的基础条件

智能工厂是在数字化工厂的基础之上，运用物联网、工业互联网、大数据分析等新兴技术实现工厂管理的智能化，而数字化工厂又是建立在数字化车间的基础之上的。根据数字化车间建设的国家标准，数字化车间建设必须符合一定的条件，如数字化设备应用的占比达到70%，生产过程的数据采集

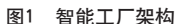
达到90%，生产资源实现信息识别能力，生产过程实现可视化，生产工艺设计采用数字化设计方法。离散型智能工厂可根据生产规模、生产成本和工艺特点决定是否建设数字化车间，流程型智能工厂必须建设关键工序的数字化车间。有色金属冶炼属于流程型制造行业，因此有色金属冶炼智能工厂必须建设配料、熔炼、电解、熔铸和供电等关键工序的数字化车间。同时实现各系统的集成与各车间之间的网络连接或建有全厂网络与数据中心。

有色金属冶炼智能工厂建设的设计规划

智能工厂建设不管是新建工厂还是旧厂改造，都是一项复杂而又漫长的工程，尤其是旧厂改造，难度远大于新建工厂，因此智能工厂建设必须有专业详细的设计规划作为指导。设计规划自上而下，从前往后，以生产工艺为主线，以生产需求为导向，从生产过程的难点、堵点入手。做到顶层设计，设定智能工厂建设的预期目标与效果。智能工厂设计规划包含智能工厂整体架构、系统平台建设、生产执行管理、计量管理、能源管理、设备管理、安全环保管理、仓储管理、物流管理和质量管理等。有色金属冶炼智能工厂规划加入行业特色相关内容，如炉料、炉渣、烟气成分在线检测，冶金炉终点判断，炉温在线检测等冶金工艺的智能化技术及智能装备的应用。

业务架构指企业通过分析自身所处环境的状态, 考虑自身面临的机遇与挑战, 同时剖析企业自

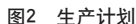
身的结构特点和资源状况，明确企业的优劣态势，从而选择和制定企业发展的总体目标，制订具体的实施方案和发展计划。业务架构定义了企业的业务流程和信息系统如何支持企业业务，对业务进行分类分级，建立业务运行模式、流程框架。



技术架构设计了企业开发、实施和管理应用系统、数据所需的IT技术体系和IT基础设施。主要是网络架构、数据接口的规划设计和数据中心的建设规划。

根据不同金属种类，有色金属冶炼智能工厂基

根据年度生产目标或市场环境预期制定年度生产计划, 然后对年度计划进行分解, 形成季度、月度和日生产计划。同时按照工艺, 对生产流程进行分解, 将年度、季度、月度和日生产计划分发至各工序。建设计划编制、审批、变更、发布、分解和跟踪的多功能管理系统。实现计划的记录、预警和预测。运用大数据分析实现生产计划的智能编排与预测性分析, 如图2所示。



2. 生产执行

生产执行可理解为有色金属冶炼过程包括配料、熔炼、电解、硫酸等关键生产过程。

配料是有色金属冶炼行业的最基本工序，是衔接原料和产品生产过程的重要环节。有色金属矿种比较多，成分复杂不稳定，质量参差不齐，配料比例难以精准控制，配料计划的管理是配料的前提工作，合理的配料计划能够保持炉况的稳定和产品质量合格。借助人工智能技术完成配料过程计算，自动生成配料单，应用无人行车、智能电子秤、原料成分在线检测等装备完成配料执行过程，实现配料的自动化、智能化。

熔炼作为火法冶炼的核心工序，对整个有色金属生产线起着至关重要的作用，因此对熔炼过程的管控可有效提高生产效率，保障产品质量。运用APC技术、机理模型、数字孪生等技术实现冶金炉窑的智能控制，实现熔炼工艺控制的智能化。

电解工序在有色金属冶炼过程中是必不可少的环节，电解过程能否稳定高效运行直接决定了产品的品质，因此电解工序的管理可采用数模系统和红外热成像等技术，通过在线控制系统控制新液供给量、酸液比、槽温和电流强度等过程参数，最终使电解槽产出的产品品位和产量比趋向目标值。

铸锭工序可应用视觉+AI机器学习方式进行产品质量判定，通过自动化系统串联浇筑、码垛、打包、称重和贴标等功能实现产品计量打包全流程的无人化作业。

3. 计量管理

检测计量、化验分析是企业检测原料产品质量和贸易结算的重要手段。有色金属冶炼企业计量与化验产生大量的数据，如何及时、准确、无误地采集、传输、处理、应用这些海量数据变得越来越重要。减少人为干预，提高衡器作业效率，实现无人化、智能化计量，是现代企业计量发展的趋势。应用工业互联网技术与智能计量、检测装备，建设智能计量及化验管理系统，实现对工厂进出物料计量、检验和结算的统筹管理。规范企业检斤计量、化验过程，提高计量与检测工作效率和可靠性，达到严密监控各类物料的质与量的情况并有效指导企业生产运行的目的。

4. 能源管理

能效管控围绕生产与能源协同规划设计，以生产平稳为目标，实现能源效益最大化。能源管理可分为四个阶段：数据采集、能源控制、统计分析展示和管理决策优化。首先应完善介质计量基础，实现全过程监控管理，如油、电、煤、气等物资的消耗实时数据与历史记录和统计，汇聚能源消耗数据。然后建立精细化能源管理平台，优化运行模式，实现能源调度。应用大数据分析技术对数据进行分析赋能，提高能源应用效率。基于大数据平台，汇总企业、国家及行业标杆企业能耗及能效指标数据，进行能效对标的统计及对标分析，找出企业生产工艺、设备运行中的高能耗或能耗异常、不合理的环节，以及能源管理的薄弱点，发现节能机会，从而制定相应的节能改造目标，进行设备及工艺的改造、管理流程的调整等，如图3所示。

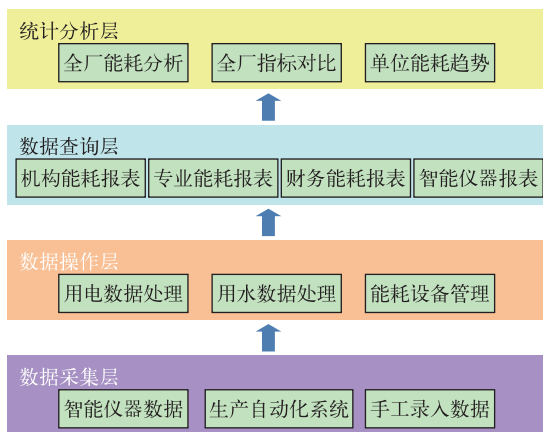


图3 能源管理层级

5. 设备管理

设备管理的目标是为企业生产设备管理提供信息化平台。通过采集设备管理在日常工作中所产生的各种原始数据，包括设备的一般特性、设备状态数据和设备能力数据，利用数字孪生等技术建立设备运行模型，建立程序化、制度化和规范化的设备管理系统，对生产设备的状态数据、能效数据和工艺数据进行统计、汇总、分类和分析，及时准确地生成各种报表。基于大数据、人工智能等技术实现故障诊断、故障预报，制定周期性维护计划、预测性维护方案以及故障解决方案。通过对点巡检的管理保证生产设备的可靠运行。跟踪从计划制定到故障发生、检修执行的关键环节，记录故障的原因和

检修的结果，形成企业设备知识库，同时形成一套对设备台账、点巡检管理、实时装备状态监控、备品备件管理及设备统计分析等进行设备全生命周期

管理的完备系统，实现设备管理数字化、智能化，如图4所示。

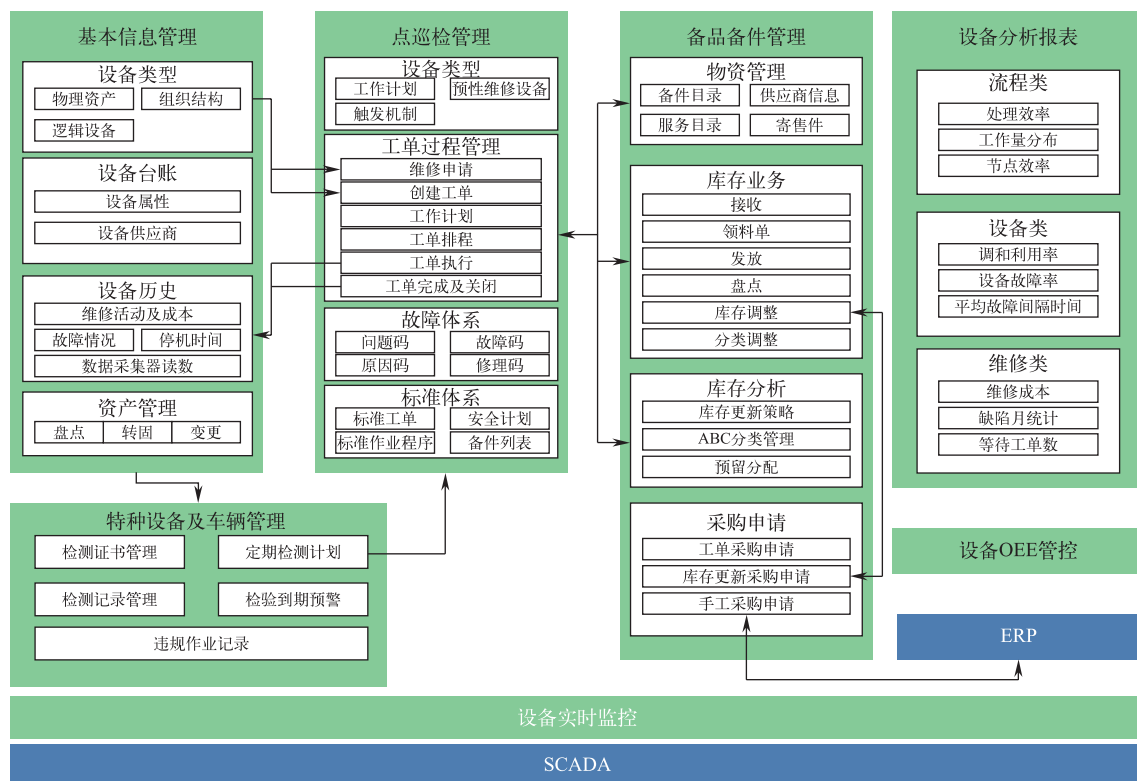


图4 设备管理系统

6. 安全环保管理

有色金属冶炼属于重工业，工厂环境复杂，大量的机械设备和机动车辆等导致危险因素较多，生产工艺复杂，能耗较高，产生的危废较多，因此安全、环保压力较大。随着社会发展，立足发展新阶段，面临发展新格局，国家坚持人民至上、生命至上，对安全环保的要求越来越高。加强安全环保管理成为企业的重点任务，应用新一代信息技术和安全环保深度融合，实现数字化转型、智能化升级已成为一种趋势。通过构建“工业互联网+安全生产”技术体系和应用生态系统，提升安全环保风险感知评估、监测预警和响应处置能力，排查化解潜在风险。建设企业安全应急一体化管理平台，强化快速感知、实时监测、超前预警、动态优化、智能决策、联动处置、系统评估和全局协同能力，实现有色金属冶炼企业安全环保的智能化管理。

7. 仓储管理

有色冶炼企业多为大型企业，生产涉及的物料

种类繁多，数量庞大，仓储管理成为有色冶炼企业急需优化升级的业务。随着现代仓储管理理念和技术不断发展，仓储管理已经形成了成熟的建设理论和方法。企业可利用主数据平台、标识解析、射频识别、条形码和二维码等技术建设仓储管理系统，实现出入库、盘库、备品备件全流程管理等精细化仓储管理，实现库存管理规范化操作与可视化管理。通过与财务系统集成优化采购流程、平衡利库，共享库存信息，降低库存资金占用，帮助各级管理者及时了解业务执行状态并作出科学决策，降低各类经营风险，提高企业经营管理效率，为企业创造更多收益。

8. 物流管理

有色金属冶炼企业原料及产成品等大宗商品运输量巨大，物流运输作为物料运输甚至整个供应链运行的基础条件，对企业运转有着至关重要的作用。建设智能物流可以很大程度地降低成本，确保上下游供应链稳定，提高企业运营效率。企业物流

可分为外部货运和内部配送。大型企业通常都有自己的货运系统，可通过建设内外部货运管理于一体的货运管理系统或供应链管理系统实现企业物流智能化。通过一体化物流管理系统，实现外部货运的人、车、物实时动态管理，应用物联网及数学模型分析，实现物流数字化、可视化，实现人、车、物的最佳自主匹配方案。内部配送可基于生产工艺及生产物料需求计划，应用5G、物联网技术和AGV小车、无人驾驶车辆等智能装备，优化内部物流计划调度，实现最佳配送方案。

9. 质量管理

质量是企业的生命，生产质量直接关系到产品质量，而产品质量直接关系到企业的效益甚至存亡，因此做好质量管理是企业的核心任务。有色金属冶炼企业的质量管理贯穿于整个生产流程，主要是对生产工艺参数的控制、对原材料成分的控制以及对产成品外观及纯度的控制。工艺参数控制可建设独立的质量管理系统，建立生产工艺模型，或者将采集到的质量数据汇总至生产管理系统，形成质量参数记录，实现工艺参数分析、优化和纠偏。原材料成分控制可利用先进的激光诱导在线检测技术（LIBS）、中子活化技术等成分在线检测技术，实现原材料成分的实时监测，及时对生产进行指导与优化。产成品质量控制可利用机械手臂、自动铸锭机、自动打包机和自动称重贴标机等智能装备应用来实现。通过对各环节的质量数据采集、汇总、分析和优化，实现质量管理可预测、可跟踪、可管控和可追溯。

系统集成与优化

有色金属冶炼智能工厂系统集成可采用基于工业互联网平台的云、边、端架构，实现各系统、各区域和各层级的信息传输与集成。建立生产管控与业务经营两个层面的管理系统，实现采购、生产、销售和决策于一体的管控平台。建设系统对接的网络、车间联通的网络和全厂互联的网络，实现网络互联、信息互通。根据工厂大小以及信息安全要求，考虑网络安全建设，可对网络进行物理隔离或防火墙隔离，将办公网与工控网、生产网进行隔离。智能工厂运行过程中产生大量的数据，系统集成不仅需要软件系统、网络建设，还需服务器、存储器等硬件设施的建设，因此智能工厂必须建有数据中心对数据进行汇总、存储和监视。通过硬件设施部署、网络建设、系统集成实现全厂甚至整个企业的集成管控。

结束语

本文简述了有色金属冶炼智能工厂建设的思路，主要描述了智能工厂建设的整体框架、基本要素以及建设目标等。有色金属冶炼工厂设备繁杂，工艺复杂，车间布局分散，管理集成度低。通过建设集全流程自动化生产线、综合集成信息管控平台、实时协同优化的智能生产体系和精细化能效管控于一体的环保低耗、安全高效的有色金属冶炼智能工厂，实现生产数据数字化、生产过程可视化、生产管理协同化和生产集成规范化。EA

（收稿日期：2023-04-10）

