

基于炼铁大数据智能互联平台 推动传统工业转型升级

赵宏博^{1,2}, 刘伟¹, 李永杰¹, 王强¹, 吴建¹

1. 北京北科亿力科技有限公司, 北京 100102; 2. 北京东方国信科技股份有限公司, 北京 100102

摘要

通过炼铁物联网子系统采集高炉现场监控系统、检化验系统、生产运营系统的基础数据, 根据工艺流程建立相关机理数学模型及信息物理系统, 研发了基于数据驱动和机理模型的大数据存储和智能互联平台, 对炼铁工序海量数据进行深度挖掘。结合机理模型及冶金行业的核心评价标准, 对不同企业、各工序、各人员操作数据进行横向及纵向对比分析, 在此平台上快速高效地完成炼铁操作制度的建议、炼铁大数据的云端数学建模计算、炼铁信息和标准的快速获取、炼铁问题的互动咨询等, 探索了信息技术、大数据技术、互联网技术与传统冶金技术的深度融合。

关键词

炼铁; 大数据; 智能制造; 信息物理系统

中图分类号: TP391

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-0271.2017058

Transformation and upgrade of the traditional industry based on big data intelligent interconnection platform for iron-making

ZHAO Hongbo^{1,2}, LIU Wei¹, LI Yongjie¹, WANG Qiang¹, WU Jian¹

1. Beijing North Billion Technology Co., Ltd., Beijing 100102, China

2. Beijing Business on New Conception Technology Co., Ltd., Beijing 100102, China

Abstract

The basic data of blast furnace site monitoring system, inspection system and production operation system were collected through the iron-making things. The mechanism mathematical models and cyber physical systems were built. A big data storage and intelligent platform based on internet was developed by data-driving and mining. Each process and each operation data were analyzed by horizontal and vertical comparisons. Cloud computations and suggestions for smelting operations were finished quickly and efficiently. Information and standards of iron-making can also be acquired. The integration of information technology, big data technology, internet technology and traditional metallurgical technology was explored.

Key words

iron-making, big data, intelligent manufacturing, cyber physical system

1 引言

1996年以来,我国钢铁产量已连续18年位居世界第一,年复合增长率达12.9%。但是,钢铁行业的迅猛发展也造成了目前整个行业体量大、产能过剩、竞争激烈、污染严重、利润率低等现状。市场竞争压力迫使冶金企业从过去的追求规模化、重量型向产品市场占有率及利润最大化、质量型发展,从要素驱动、投资驱动转向创新驱动的新常态,在风险可控的前提下积极谋求转型升级,才能确保冶金企业的生存和可持续发展,这就要求冶金企业必须利用现有资源,最大限度地发挥人、财、物的效能,建立更加数字化、智能化、高效率的生产及业务流程,更精细化地控制生产成本。

现代信息技术特别是企业资源计划(ERP)、执行制造系统(MES)、自动控制等系统正是为了满足企业技术和管理的需要而产生并不断发展改进的,成为协助企业管理、实现价值的重要技术手段。目前这些技术已应用于大多数的钢铁企业。在生产运营过程中,每时每刻都有大量的数据产生和收集存储,但是,由于缺乏合适的处理技术,很多数据仅仅存在于硬盘中,没有经过分析和加工转化为更有价值的信息,对海量数据的快速处理和价值的深度挖掘已成为冶金企业信息化深度应用的一个瓶颈。另外,企业信息化的发展需要引入多个系统,系统所需的服务器及存储资源独占系统,但无法实现共享。此外,硬件的逐渐更新、机房和设备的扩张给企业在信息化的投资、运维和能耗等方面带来了巨大压力。

炼铁大数据技术和“互联网+”技术的引进能够很好地处理信息技术与钢铁现状

之间的矛盾,对生产经营和管理起到巨大的改善作用。大数据技术的使用将使冶金企业有效缩减以往对数据存储、处理和硬件、场地方面的巨大投资,并取得更加明显的效果。大数据处理技术的应用将使工业企业的运营和流程数据得到更深的开发。炼铁大数据智能互联平台整合生产单位的设备监测数据和业务数据,结合冶炼工艺机理、设备管理模型对数据进行多维度深度挖掘,使“沉睡”的数据发挥出应有的价值。一方面极大解放了冶金企业中相当大一部分技术人员的工作,另一方面从数据统计、数据挖掘方面,使企业对冶金规律的认识得到很大的提高。工业智能制造技术的使用和普及,首先需得到技术人员和管理人员的支持和认可,才能在冶金企业以及其他工业企业得到快速开展。

“互联网+冶金工业”能够改变冶金企业在社会上的印象(如技术落后、污染严重、顽固不化、安全频发等)。同时,发挥“互联网+”的效应,充分借助社会化智力资源对冶金工业的支撑力度,将部分业务(如工业传感器技术、数据分析处理、人员管理培训等)承包给外围单位,使冶金企业自身实力得到极大增强。更为重要的是,“互联网+”技术的应用打破了传统冶金企业封闭的技术圈,数据、管理、流程优化等都能够更大范围得到有效利用和增强。以冶金企业高炉炼铁为例,天气预报、同类型企业对标、产品价格等互联网普遍应用的信息对未来的预测能够极大地影响高炉的生产。炼铁大数据智能互联平台和“互联网+”技术的应用应以实现和提升企业效益为目标,技术服务于应用,解决重点需求和企业关心的成本控制,利用量化的方法从整体上制定战略,服务于全局。

中国钢铁工业年产值高达数万亿元,占国家GDP的比重约为12%。通用电气公

司董事长杰夫·伊梅尔特在2013年主题为“工业互联网——当智慧遇上机器”的论坛上演讲提出,即将到来的工业互联网革命会带来不可估量的巨大效益。以提升整个行业生产率1%计,炼铁大数据智能互联平台和“互联网+技术”在钢铁工业的应用就可能带来每年数百亿元的潜在巨大收益。

综上所述,钢铁行业目前面临的外部市场和内部压力决定了冶金企业必须通过不断变革,引入炼铁大数据智能互联平台和“互联网+”技术,才能实现技术和管理模式的更新及突破,重新获得强大的生命力和竞争力。

本文首先从总体结构、网络结构、数据流向、组件4个方面对炼铁大数据智能互联平台的架构及技术要点进行详细阐述,再通过对平台功能服务的介绍,明确如何利用大数据平台实现设计、生产、操作、管理、维护、科研等冶金链条各关键环节的链接。

2 炼铁大数据智能互联平台功能架构

2.1 炼铁大数据智能互联平台总体结构

炼铁大数据智能互联平台以生产工艺为主导,充分利用工业物联网、边缘计算、云存储、云计算等技术进行体系化和标准化建设。针对高炉设计、生产和操作特点的多样化,从传热学、炼铁学等机理层面建立合理的预警标准,实现行业各高炉的安全、长寿生产,实现炼铁智能化、数字化、自动化,提升炼铁劳动生产率;炼铁生产工艺机理模型包含物料利用模块、技术经济指标模块、冶炼机理模块、热风炉燃烧自动控制模块;结合数字化布料制度、操作炉型管理标准实时判断物料及能量的利用状态,进一步完善高炉操作标准,提

高岗位人员对高炉操作的掌控能力,提升炼铁过程的数字化、科学化、智能化、标准化水平,实现高炉长期稳定运行,促进炼铁成本持续下降,降低燃料消耗水平;实现行业关键指标的数据对标、趋势监测以及数据相关性分析,结合机器学习算法和业务对数据进行分析,形成数据资产以及数据标准,集成云端的设计方案和优化经济指标,开放针对开发者的微服务接口,分享内容到应用市场,对行业的设计院和供应商进行综合性的评价,形成专家库以及知识库等。炼铁大数据智能互联平台总体结构如图1所示。

从信息物理系统平台整体设计考虑,其系统包括:感知和控制层、单元级业务层、系统级整合层、行业级云平台。实现状态感知、实时分析、科学决策和精准执行,进一步优化资源配置。构建跨系统、跨平台、跨领域的数据集散中心、数据存储中心、数据分析中心和数据共享中心,基于工业云服务平台推动专业软件库、应用模型库、产品知识库、测试评估库、案例专家库等基础数据和工具的开发集成和开放共享,实现生产全要素、全流程、全产业链、全生命周期管理的资源配置优化,提升生产效率,创新模式业态,构建全新产业链生态。以优化铁水成本为整个大炼铁的智能制造技术目标,建立烧结、球团、高炉的整体智能协同优化制造方针。通过大数据深度挖掘进行多维综合计算分析,对从铁矿粉焙烧造块到铁水产出的整个过程的物质流、能量流、信息流进行全面监测和智能优化。以冶炼工艺为主、以数据挖掘和人工智能为辅,开发从原燃料到生产出铁水的全流程工艺模型及智能专家系统,例如优化配料模型不再是烧结和高炉分开,而是以铁矿粉—烧结产质量—高炉铁矿石炼铁性能—炉渣铁水成分性能为技术链条,在保证铁矿石和渣铁成分、炼铁性能

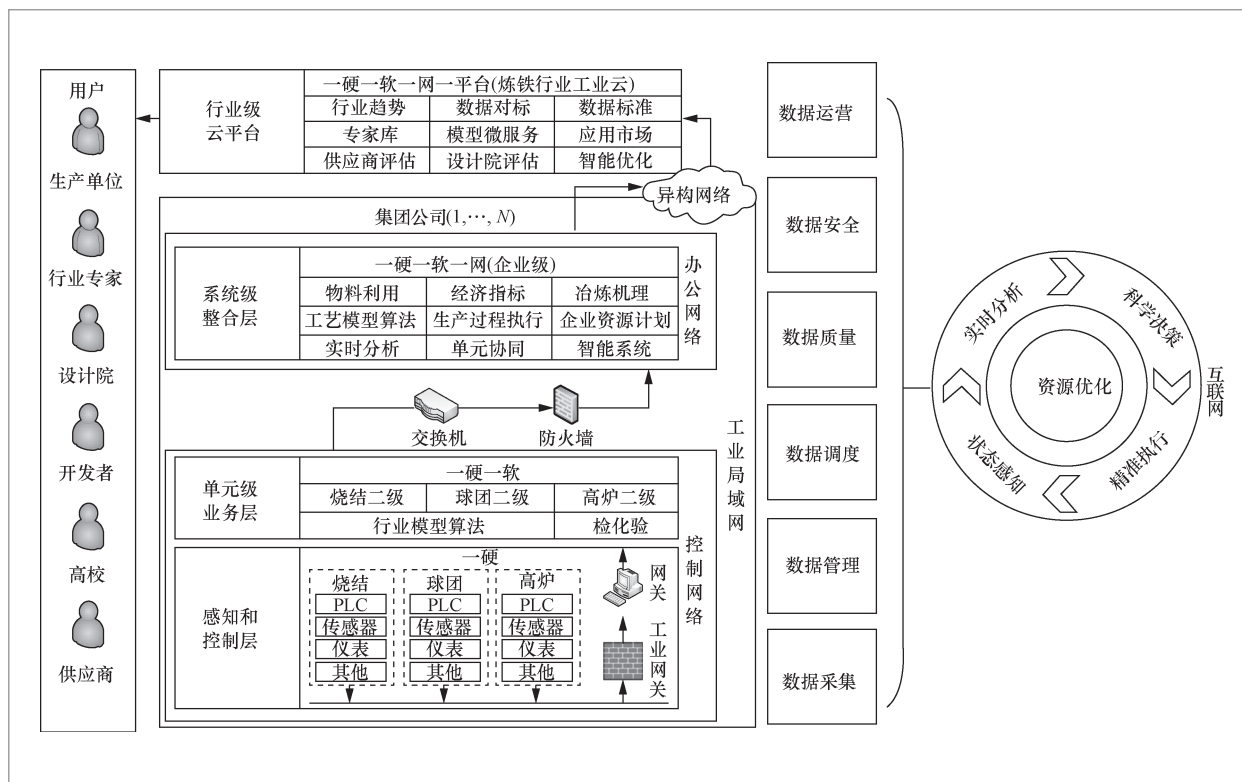


图1 炼铁大数据智能互联平台总体结构

的前提下，通过非线性寻优模型实现吨铁成本最优，而不是只考虑烧结矿产质量，忽略铁矿石的炼铁性能对高炉炉况的影响。

2.2 炼铁大数据智能互联平台网络结构

炼铁大数据智能互联平台涉及底层传感器的数据到云平台的整体网络链路，在数据链路形成闭环过程中经过的网络包括生产控制网（单元级）、办公生产网（系统级）、企业工业局域网（企业级炼铁平台）和互联网（炼铁智能互联平台）。炼铁大数据智能互联平台网络结构如图2所示。

2.3 炼铁大数据智能互联平台数据流向

炼铁大数据智能互联平台数据流向如

图3所示。首先从烧结、球团和高炉等感知与控制部分采集数据，获得数据源；然后，将数据整合到生产单元，再把数据汇总到集团或企业级信息中心；将集团或企业的信息中心与炼铁行业工业云进行对接；最后，把处理、分析后的业务数据反馈给最终的用户。数据流的每个环节都需要对数据进行治理，包括数据采集、元数据调度与管理、数据运营、数据质量与安全、数据应用等。

2.4 炼铁大数据智能互联平台组件

炼铁大数据智能互联平台主要面向炼铁高炉的行业云平台。充分利用互联网、大数据等先进技术，打破地域限制和信息“孤岛”，建立模拟实操系统和机理培训机制，实现数据流的“引进来”和“走出去”。炼铁大数

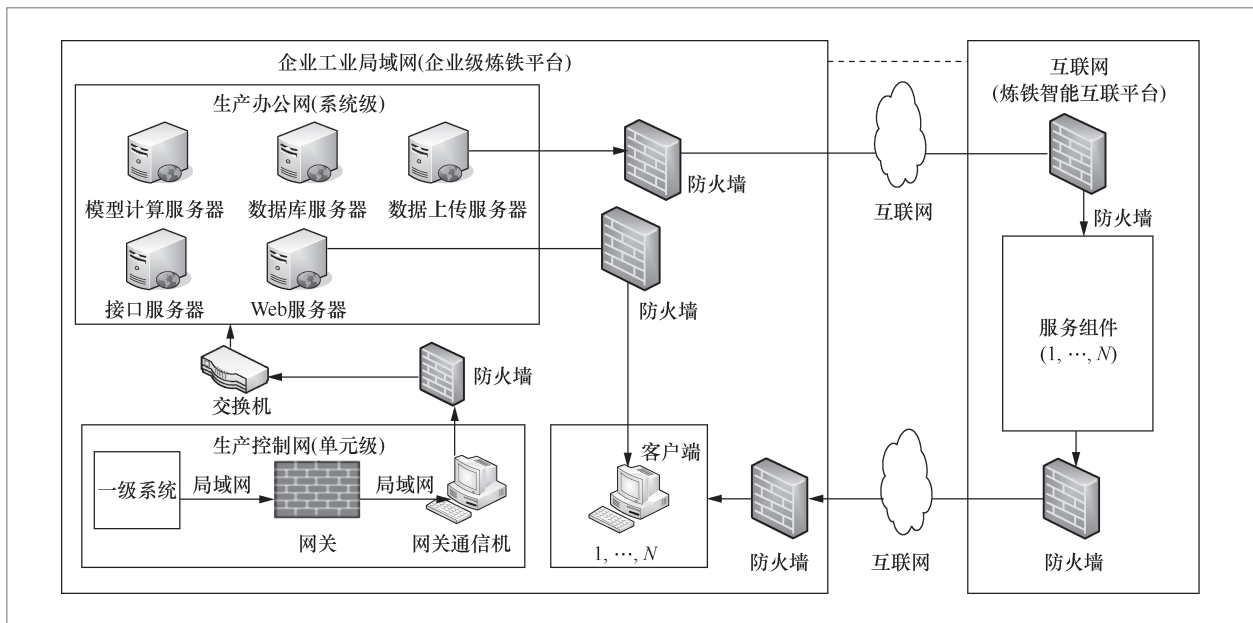


图2 炼铁大数据智能互联平台网络结构

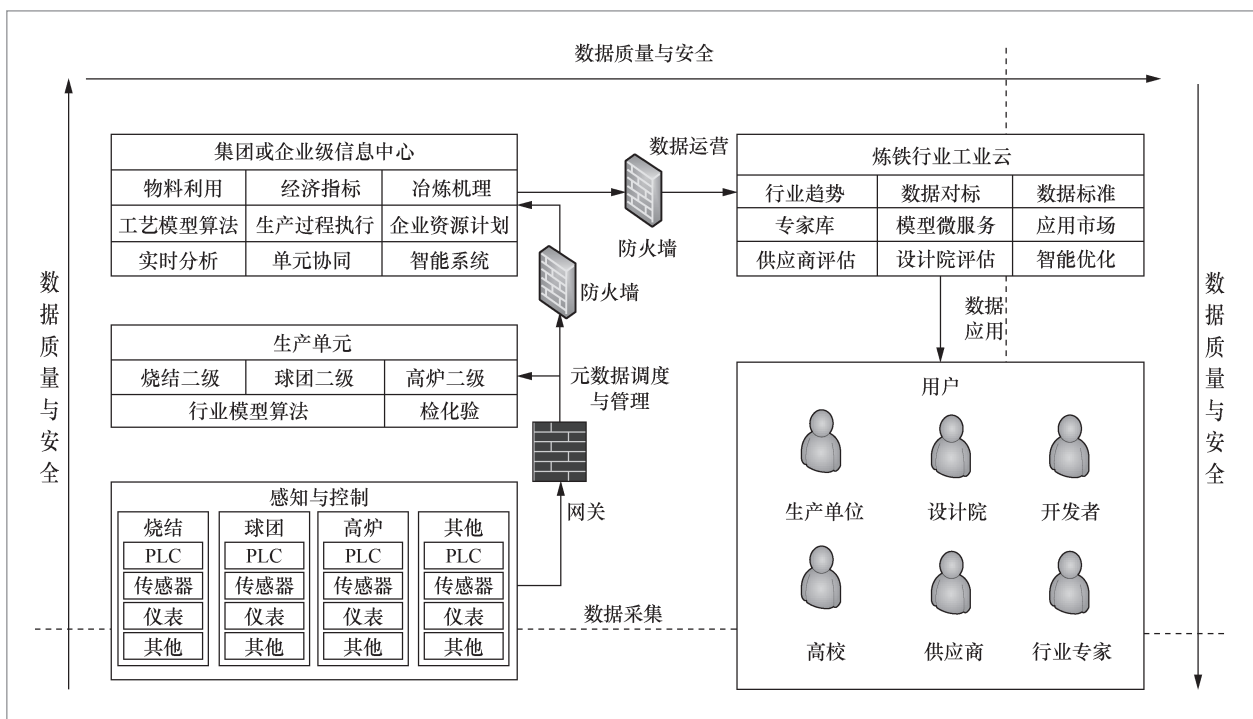


图3 炼铁大数据智能互联平台数据流向

据智能互联平台组件构成如图4所示。

企业级数据源通过智能网关进行数据处理、转换、打包等操作，与炼铁工业云和

智能服务平台对接。云平台在异构集成的过程中对外提供3种数据接口：自定义协议接口、HTTP接口和OPC Client DA/UA接

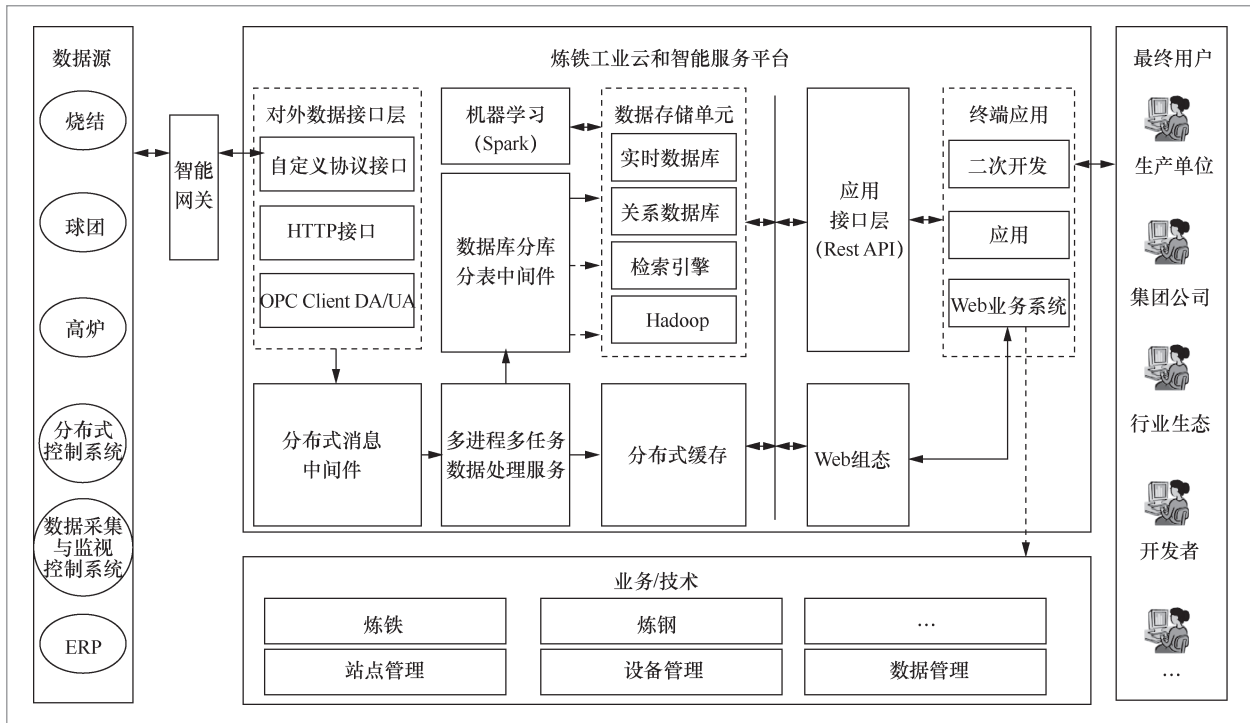


图4 炼铁大数据智能互联平台组件构成

口,以满足不同炼铁工业现场的需求,适配不同炼铁工业2.0、工业3.0等多种现场环境。对外数据接口层采集数据后,通过分布式消息中间件对数据信息进行集中管理;多进程多任务数据处理服务订阅消息中间件的数据信息,并对数据信息进行转换和预处理;通过数据库分库分表中间件,把数据集中、批量存储到实时数据库、关系数据库、分布式缓存,实时数据库负责存储设备数据,关系数据库负责存储业务数据,分布式缓存负责数据实时监测;数据存储单元还提供检索引擎和Hadoop大数据技术体系,每个组件之间通过服务相互协调工作;对外提供应用接口和Web组态,最终形成业务层,为行业相关人员提供服务。

3 炼铁大数据智能互联平台功能服务

目前炼铁行业企业间技术生产相对独

立,数据相对零散,行业数据统计更多依赖人工的统计,准确性和时效性都无法保证,同时企业生产缺乏行业级信息物理系统,无法随时监控产线各工序的运行状况,实现远程工况诊断、对标和“云服务”。生产企业也开始意识到基于现有单元级二级系统以及一些独立的检测模块无法在炼铁生产流程的成本、能耗方面做出革命性的转变,这就对炼铁流程的优化提出了更高的要求,为炼铁大数据智能互联平台的建立奠定了坚实的需求基础。因此,亟需建设行业级信息物理系统,突破地域、组织、机制的界限,实现对人才、技术、资金等资源和要素的高效整合,从而带动炼铁行业产品、模式和业态创新。

本节首先阐述炼铁大数据智能互联平台针对整个生态圈各类用户的服务定位,再介绍如何建设平台支撑各类服务,最后阐述如何利用平台和大数据技术实现行业的转型升级。

3.1 炼铁大数据智能互联平台建设

平台旨在通过建设面向炼铁企业、高校、科研院所、钢铁设计院、设备供应商、钢铁类期刊/学会、职能机构等行业内相关机构的完整炼铁生态圈,使生态圈内的成员可以通过大数据平台实现跨系统、跨平台的互联、互通和互操作,促成多源异构数据的集成、交换和共享的闭环自动流动,在全局范围内实现信息全面感知、深度分析、科学决策和精准执行,助推炼铁行业的智能升级和技术革新,同时带动整个行业生态圈的发展。

3.1.1 炼铁企业

平台通过在炼铁企业的上线验证,将实现炼铁监测一体化、浏览器/服务器模式(browser/server, B/S)架构、云分发、传感器代替人工巡检、推理机和大数据支撑、自动控制等,不但可自动汇集全方位的数据以减轻高炉工长及相关岗位人员的工作量,还可提供大量数据深度分析的模型工具,从而为各相关岗位提供技术和数据支撑服务,提高岗位人员的数据分析能力、流程认识能力、知识水平等,精简现场劳动人员,提高企业劳动生产率。平台在验证过程中通过充分收集企业使用建议进行深度完善优化。行业级大数据平台的应用可以支持企业对标、技术支持、专家咨询、疑难互联攻关,真正打破传统炼铁企业“孤岛式”“封闭式”生产研发模式。

3.1.2 高校、科研院所

高校、科研院所通过平台获取行业实际生产基础数据,为其提供研发支撑,充分发挥研发创新能力,同时高校、科研院

所可以通过平台将研发成果直接应用到炼铁生产企业,同时校验研发成果,实现行业产学研一体化,加速行业技术进步与革新。同时,可以为炼铁院校的师生提供丰富的冶炼实践教学素材下载资源,针对炼铁课程授课需求,还可以开发炼铁动画、炼铁实操模拟软件等大数据平台分支应用,满足高等院校“研究型教学”需求。

3.1.3 钢铁设计院

设计院通过平台跟踪监控不同设计方案下高炉、烧结、球团工序全生命周期运行情况,通过对各设计单位已完成的炼铁生产单元、反应器的工作状态和运行情况进行全生命周期的监测和反馈,能够实时了解并掌握其设计的炼铁生产单元的实际运行特点,为设计技术的改进提供丰富的数据支撑和实践检验。同时,设计院同样能够通过平台为制造企业提供定制化设计服务,从而获得适应性强、最佳的设计方案。

3.1.4 设备供应商

设备供应商通过平台能够实时监控设备智能传感器数据,实时监控设备运行情况,在保障设备稳定运行的同时,实现设备运行状态的实时在线诊断与维护,为企业提供更深层的智能服务,从而帮助企业制定合理的使用规定,选择更加合适的设备。同时,通过对设备生产及故障信息进行收集,对设备运行参数进行分析挖掘,寻找影响设备寿命的关键影响因子,实现设备设计的优化创新。设备实时监测如图5所示。

3.1.5 炼铁类期刊/学会

平台可以实现电子期刊资源在平台上的推广,同时依据炼铁技术人员的查阅需

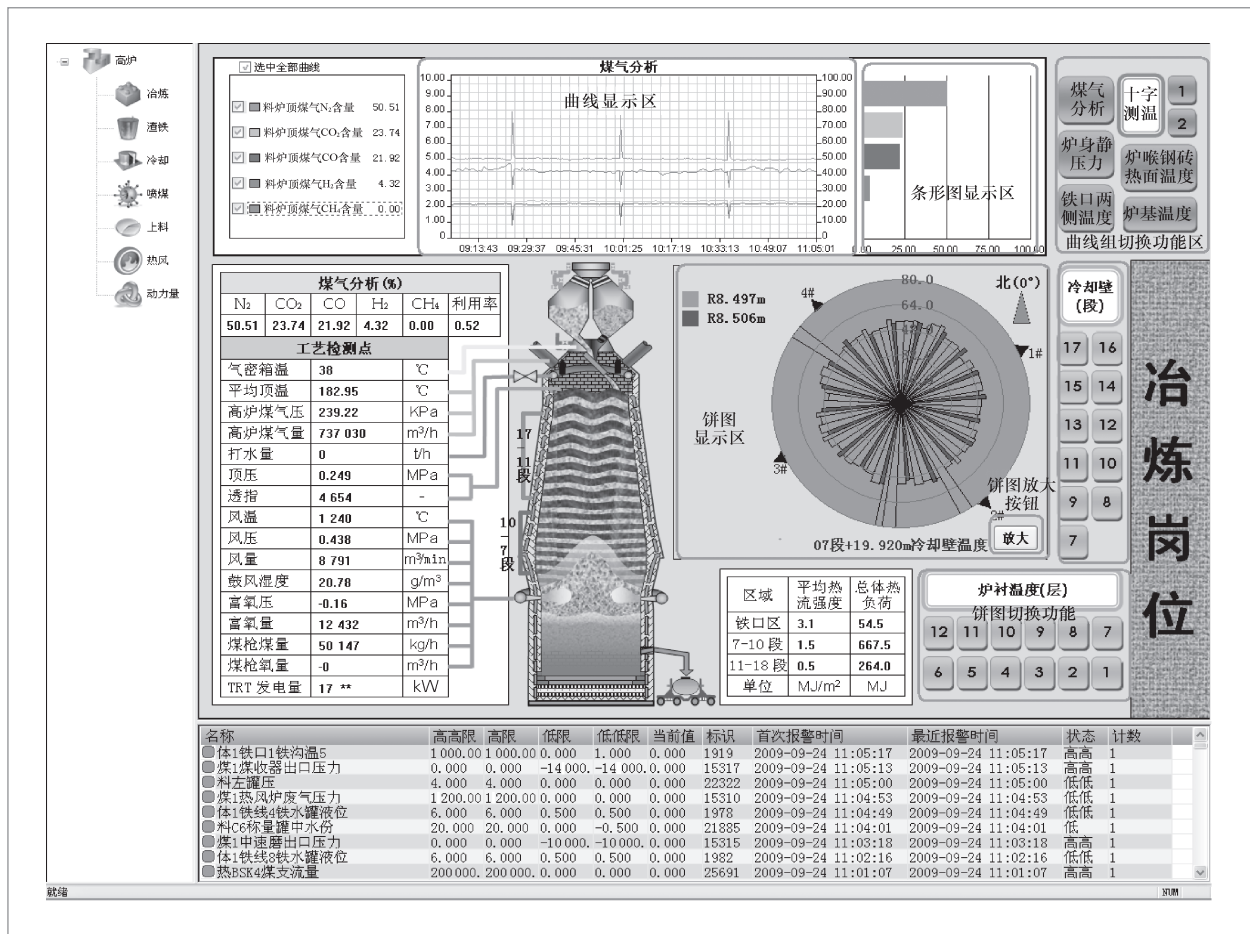


图5 设备实时监测

求,开发快速、高效的问题检索模型,搭建炼铁期刊/学会信息和广大一线炼铁操作人员之间的桥梁。

3.1.6 职能机构

平台可以为炼铁规划院、炼铁标准信息研究院等行业职能机构提供完整、及时、真实的企业运行数据资源,为其建立更加合理、实际的行业发展规划和各种标准提供大量的数据支撑。

3.2 产业生态级信息物理系统建设服务

通过系统及系统级信息物理系统实现从高炉、烧结、球团、原料各单元级,到

企业级大炼铁智能平台级,再到整个产业链,乃至产业生态级的信息物理系统建设,通过数据流闭环体系的不断延伸和扩展实现生产全流程、全产业链、全生命周期管理数据的可获取、可分析、可执行,并逐步形成相互作用的复杂系统网络,突破地域、组织、机制的界限,实现对人才、技术、资金等资源和要素的高效整合,从而带动炼铁行业产品、模式和业态创新。

3.3 一体化工业云服务体系构建

通过大炼铁智能互联平台形成本地与远程云服务相互协作、个体与群体(个

体)、群体与系统相互协同的一体化工业云服务体系,能够更好地服务于生产,实现智能装备的协同优化,支持企业用户经济性、安全性和高效性经营目标落地。

3.4 产业链协同能力提升,共创产业融合的分享型价值链服务

通过系统及系统级信息物理系统实现设计院—钢厂—用户—设计院的闭环分享型价值链,设计院通过了解炼铁厂的需求创造用户价值设计,炼铁厂向用户提供高价值的产品,用户在产品使用过程中将产品实际价值和市场行情趋势反馈给炼铁厂,同时将产品结构演变趋势反馈给设计院,智能优化配置资源,从而实现整个产业链的融合分享,激活产业链的创新能力,促进产业链的整体升级。

3.5 数据分析助力产业链决策服务

企业内部的横向集成和企业间的纵

向集成实现了数据的及时性、完整性、准确性和可执行性,通过对行业数据进行挖掘,为行业产业链提供决策,推动数据—信息—知识—决策持续转化,构建企业运营新机制。

例如通过实时监控行业产量、库存变化,对市场趋势进行预判,指导行业提前进行产能结构调整;通过对行业原燃料质量变化趋势进行监控,指导原燃料供应商、企业采购商以及企业生产管理部门提前决策与应对,保证产业链的健康平稳运行。

3.6 生产数据全生命周期的分级管理和云搜索服务

如图6所示,基于大数据智能互联平台可实现对管理、技术、操作人员的分级管理、定制报告自动生成及云分发。通过大数据挖掘实现工长画像、班组画像、高炉画像等,并且基于机理模型提炼关键指标,形成和完善行之有效的关键绩效指标(key performance indicator, KPI)管理机制。

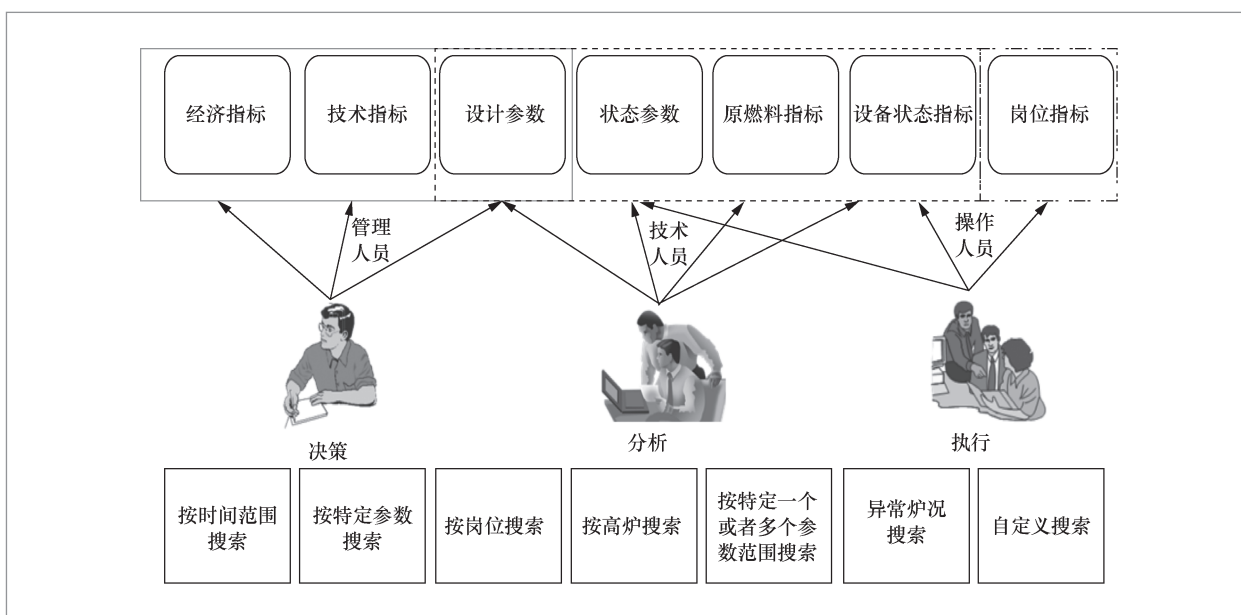


图6 基于大数据智能互联平台实现分级管理和云搜索

3.7 云诊断和远程运维服务

通过行业级大数据平台的云诊断和远程运维,可自动检索对标行业级平台中其他同类型烧结机及高炉的先进生产操作制度及技术经济指标。结合机理模型分析,为炼铁产线各工序生产优化提供数据资产及优化建议,同时通过移动互联打破时空限制,为企业炼铁整体技术水平的提升降低时间和财务成本。平台为行业专家和相关专业人士提供权限,专业技术团队和行业技术专家可以通过平台在线监控企业运行情况,通过在线模拟和在线诊断为企业提供智能解决方案,及时有效地为企业提供技术服务支持。

部分企业对高炉布料规律认识深度不够、制度调整效果不佳时,可以通过平台向专家咨询,专家通过平台远程获取高炉运行状况和调整过程,分析并利用平台上的布料仿真模型进行模拟,诊断出针对性的解决方案,直接指导企业进行优化调整,为企业排忧解难。

3.8 全流程智能管控

通过生产监控、能源管控、设备管控等子平台的使用,实现整个铁前工序的实时智能集中管控。能够通过平台同时监控

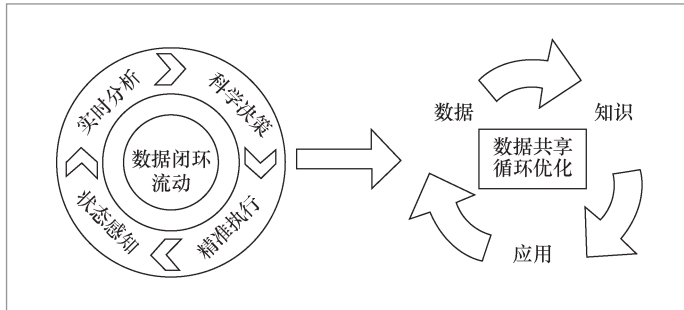


图7 数据共享循环优化示意

所有岗位的设备及生产过程运行状态,避免以前只有一级监控岗位高度集中监控数据的弊端,极大地提高设备监控效果,优化岗位人员设置,提高劳动生产率。

3.9 多学科知识体系指导生产

大数据智能互联平台将大数据、冶炼机理数学模型、模糊数学、人工智能、专家经验、知识库等多学科技术真正应用于实际生产操作过程中,人机一体化,实现自感知、自决策、自执行的智能制造。

3.10 数据共享循环优化

采用恰当的频率对人、机、料、法、环数据进行感知、分析和控制,运用工业大数据、机器学习、人工智能等技术手段,帮助企业解决装备健康监测、预防维护等问题,实现“隐形数据—显性数据—信息—知识”的循环优化。同时,将不同的“小”智能系统按需求进行集成,构建一个面向成体系系统(system of systems, SoS)的装备的工业数据分析与信息服务平台,对群体装备间的相关多源信息进行大数据分析、挖掘,实现群体、SoS之间数据和知识的共享优化,解决远程诊断、协同优化、共享服务等问题,通过云端的知识挖掘、积累、组织和应用构建具有自成长能力的信息空间,实现“数据—知识—应用—数据”,如图7所示。

4 结束语

本文以钢铁联合工序中数字化水平最低、成本和能耗最高的炼铁产线为切入点,将“工业传感器、物联网、大数据、智能专家系统、云计算、移动互联”等技术

应用于行业级炼铁大数据智能互联平台建设,链接了以钢铁企业为主体(包含设计院、科研院所、专业期刊、供应商等)的冶金生态圈。

基于炼铁大数据智能互联平台,可以对各钢铁企业、各工序、各高炉、各人员操作数据进行横向及纵向对比分析,推行数字化、智能化、标准化炼铁,形成数据样本,培养数字人才,提供云平台的第三方开发接口,支撑基于云诊断的“自决策”和远程优化运维,开发手机应用,打造炼铁“移动工厂”;促进设计院、供应商、科研机构等整个生态圈的信息互联互通、数据深度应用、产学研用紧密结合和核心竞争力的提高。

参考文献:

- [1] 郭朝晖. 钢铁行业与工业4.0[J]. 冶金自动化, 2015, 39(4): 7-11.
GUO C H. Iron and steel industry and industry 4.0[J]. Metallurgical Industry Automation, 2015, 39(4): 7-11.
- [2] 周晓舸, 姚文英. 基于大数据的钢铁数字安全监控管理平台设计[J]. 有色冶金设计与研究, 2015, 36(3): 48-50.
ZHOU X G, YAO W Y. Design of steel digital security monitoring and management platform based on big data[J]. Nonferrous Metals Engineering & Research, 2015, 36(3): 48-50.
- [3] 胡恒法. 钢铁智能制造技术在钢铁行业的发展和展望[J]. 梅山科技, 2014(6): 1-2.
HU H F. Development and prospect of intelligent steel manufacturing technology in iron and steel industry[J]. Baosteel Meishan, 2014(6): 1-2.
- [4] ZUO G Q, BORKMAN B. An expert network for prediction and control of the silicon content of the hot metal[C]//The International Conference On Modeling and Simulation in Metallurgical Engineering and Materials Science, June 11-13, 1996, Beijing, China. [S.l.:s.n.], 1996: 417-422.
- [5] PEKKA I, ANTTI K, MATTI S. Computer systems for controlling blast furnace operations at rautaruukki[J]. Iron and Steel Engineer, 1995, 72(8): 44.
- [6] 毕学工, 李鹏, 彭伟, 等. 基于MES的韶钢8号高炉智能专家系统[J]. 炼铁, 2013, 32(2): 11-16.
BI X G, LI P, PENG W, et al. Intelligent expert system on no.8 blast furnace based on MES at SISG[J]. Ironmaking, 2013, 32(2): 11-16.
- [7] 刘银山, 董效弟. 大数据技术在钢铁企业运营中的应用分析[J]. 甘肃科技纵横, 2015, 44(7): 30-31.
LIU Y S, DONG X D. Application of big data technology in operation of iron and steel enterprises[J]. Scientific & Technical Information of Gansu, 2015, 44(7): 30-31.
- [8] 马竹梧, 徐化岩, 钱王平. 基于专家系统的高炉智能诊断与决策支持系统[J]. 冶金自动化, 2013, 37(6): 7-14.
MA Z W, XU H Y, QIAN W P. Intelligent diagnosis and decision support system for blast furnace based on expert system[J]. Metallurgical Industry Automation, 2013, 37(6): 7-14.
- [9] 刘祥官, 刘显著, 蒋美华, 等. 智能控制专家系统在莱钢高炉的应用[J]. 冶金自动化, 2002, 26(6): 15-18.
LIU X G, LIU X Z, JIANG M H, et al. Application of intelligent control and expert system on BF at Laiwu Iron and Steel Group Co[J]. Metallurgical Industry Automation, 2002, 26(6): 15-18.
- [10] ANGELIKA K, THOMAS K, MARTIN S, et al. Improving the ironmaking process with expert systems in closed-loop operation[C]//AISTech 2012 Proceedings, May 7-10, 2012, Atlanta, USA. [S.l.:s.n.], 2012: 395-405.
- [11] 延建林, 孔德婧. 解析“工业互联网”与“工业4.0”及其对中国制造业发展的启示[J]. 中国工程科学, 2015, 17(7): 141-144.
YAN J L, KONG D J. Study on “industrial internet” and “industrie 4.0” [J]. Engineering Sciences, 2015, 17(7): 141-144.

作者简介



赵宏博 (1981-), 男, 博士, 北京北科亿力科技有限公司总经理, 北京东方国信科技股份有限公司工业互联网研究院院长, 主要研究方向为工业互联网、工业大数据及智能制造。



刘伟 (1982-), 男, 博士, 北京北科亿力科技有限公司总经理助理, 主要研究方向为冶金工艺和大数据的结合。



李永杰 (1982-), 男, 北京北科亿力科技有限公司自动化部经理, 主要研究方向为工业传感器、物联网及机器学习。



王强 (1985-), 男, 北京北科亿力科技有限公司大数据平台经理, 主要研发方向为工业物联网及云存储、云计算。



吴建 (1981-), 男, 北京北科亿力科技有限公司软件部经理, 主要研究方向为工业专家系统。

收稿日期: 2017-10-03

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No.51504021); 2017年工业转型升级 (中国制造2025) 资金 (部门预算) 重点项目 (信息物理系统关键技术测试验证能力提升和行业试验床建设)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China(No.51504021), 2017 Industrial Transformation and Upgrading (Made in China 2025) Capital (Department Budget) Key Projects (Improvement of Test and Verification Ability for CPS Key Technology and Construction of Industry Test Bed)