

鞍钢高炉大数据可视化平台开发及应用

李建军¹, 胡代超², 刘炳南², 姚硕², 曾宇¹, 胡攀¹, 张大伟¹

(1. 鞍钢股份有限公司炼铁总厂, 辽宁 鞍山 114021; 2. 鞍钢集团钢铁研究院, 辽宁 鞍山 114009)

摘要: 针对鞍钢炼铁工序数字化程度不够、智能化程度不高、缺乏统一的智能化管控平台, 不适应集约化、数字化及智能化发展需要的突出问题, 研发了鞍钢智慧高炉大数据可视化平台。通过建立以高炉群为核心、覆盖其他工序的大数据处理中心, 打破了“信息孤岛”, 同时在炼铁机理层面开发高炉“一炉一策”数学模型, 对不同炉型高炉冶炼过程实施统筹智能管理和可视化监控, 实现了鞍钢炼铁工序全流程的转型升级, 极大提升了高炉生产、技术与管理的数字化、科学化、智能化水平。

关键词: 高炉; 大数据; 可视化

中图分类号: TF5

文献标识码: A

文章编号: 1006-4613(2023)03-0015-06

DOI: 10.3969/j.issn.1006-4613.2023.03.003

Construction and Application of Visualization Program for Big Data System for Blast Furnaces of Ansteel

LI Jianjun¹, HU Daichao², LIU Bingnan², YAO Shuo², ZENG Yu¹, HU Pan¹, ZHANG Dawei¹

(1. General Ironmaking Plant of Angang Steel Co., Ltd., Anshan 114021, Liaoning, China;

2. Ansteel Iron & Steel Research Institutes, Anshan 114009, Liaoning, China)

Abstract: In allusion to the protrudent problem that the digitization and intelligentization of ironmaking process in Ansteel were not enough, and the unified intelligent management and control platform was not suitable for the intensive, digitized and intelligentized development, the big data visualization platform for Ansteel smart blast furnaces (BFs) was developed. By establishing a big data processing center with BFs group as the core including other processes, the Information Silo was broken and not isolated at all. Instead, the mathematical model for One Furnace with One Countermeasure for BFs was developed based on the ironmaking mechanism, and thus integrated intelligent management and visual monitoring were carried out for the smelting processes of different furnaces. Therefore the transformation and upgrading of the whole ironmaking process was achieved in Ansteel, which greatly improved the digital, scientific and intelligent level of production, technology and management in terms of the BFs.

Key words: BF; big data; visualization

《中国制造 2025 发展规划》明确要求传统的制造业要向数字化、网络化、智能化、绿色化发展, 支持传统产业优化升级, 尤其是钢铁行业依靠信息化、智能化技术, 把传统的钢铁企业转型成智能

制造企业^[1-2]。在钢铁工业中高炉的生产成本、能源消耗、CO₂ 排放量均占 70% 以上, 是制约钢铁行业竞争力的瓶颈。由于高炉及其附属工序设备工艺多样复杂性、生产过程不确定性, 以及所有变化过程均发生在封闭性的大高炉内部, 难以直接检测, 属于典型“黑箱”问题。到目前为止, 高炉操作依然是以操作者经验为主, 难以做到高炉长期高

李建军, 高级工程师, 1996 年毕业于华东冶金学院钢铁冶金专业。E-mail: bargo6@163.com

效低耗和炉况稳定顺行。

鞍钢高炉及其附属工序之间、多工序和各高炉之间,在一体化管理方面存在一些难题:一是缺少统一智能化管理平台,炉况、生产信息分散独立,数据共享和分析挖掘不够^[3-4]。二是协同响应滞后。由于时空阻隔,协同信息、需求信息滞后;部分信息经层层过滤,准确性、及时性受限。三是缺少统一的评价体系。由于高炉群工艺装备、原燃料、操作模式的差异,指标先进性、运行状态评价体系不一致。四是语言、标准尚未完全统一。一些工艺参数名称、计算方法、异常炉况的判别、操作应对标准、各高炉操作手法与偏好不一致^[5-6]。

基于以上背景与需要,鞍钢与北科亿力科技有限公司、北京科技大学和东北大学团队通过运用物联网、大数据、智能化、移动互联和云分析诊断等技术,开发了“鞍钢高炉大数据可视化管控平台”,实现了高炉群及附属工序数据资源共享、优势互补、高效协同的统一管理,并打通传统各级信息化系统之间的数据孤岛,完成高炉炼铁从智能单元到智能平台的升级。此外,以高炉大数据平台为基础,从炼铁机理层面定制开发“一炉一策”高炉数学模型,对不同炉型高炉冶炼过程实施统筹智能管理,使得鞍钢炼铁工序全流程得到转型升级,极大提升高炉生产、技术与管理的数字化、科

学化、智能化水平,完美实现高炉冶炼过程从“黑盒”向“白盒”的实质性突破。

1 鞍钢铁前大数据可视化平台

1.1 铁前大数据平台开发

炼铁大数据平台的建立必须以物联网构建为基础,鞍钢针对炼铁工序需求,将无线测温技术、数字测温、三维激光雷达、柔性电偶技术、热成像等技术应用于炼铁工业传感及物联网开发升级,以高炉实现“自感知”为目标整合物联网数据、基础自动化 PLC 系统(L1)、过程控制系统(L2)、制造执行 MES 系统(L3)、企业资源计划 ERP 系统(L4)数据,将整个产线的设备监测、过程监测、能源监控数据,经过采集、标准化、清洗、存储、数据挖掘和快速检索后,全部上传到云端服务器上,最终完成内部数据整合,建立包含数据源、整合、传输、管理、持久、分析、接口、应用、边缘计算、数学模型的高炉大数据处理中心,实现以成本和碳素为核心的全局性物质流、能量流、信息监控及优化协同,初步达到了高炉“自适应”目的。高炉大数据中心平台基本构架如图1所示。为了在保障数据实时采集的同时,不影响一级系统安全运行,鞍钢铁前大数据平台与一级不设置 TCP/IP 协议通路,而是采用串口通讯,以避免三级计算机系统遭到病毒感染及人为入侵。

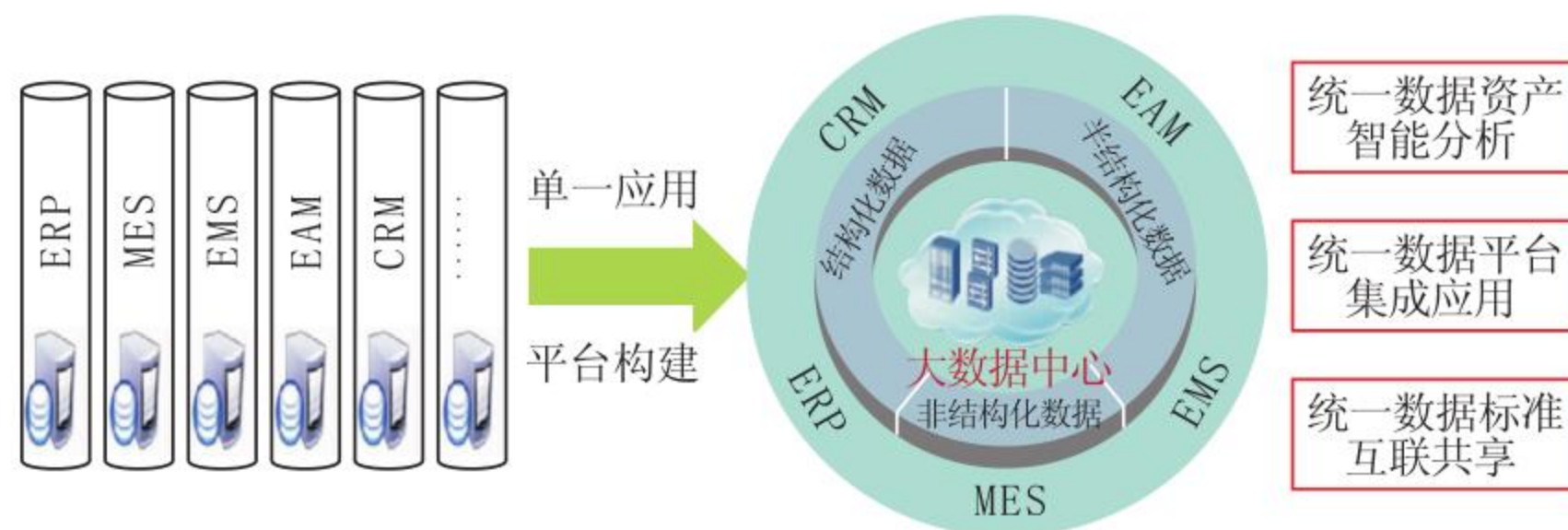


图1 高炉大数据中心平台基本构架

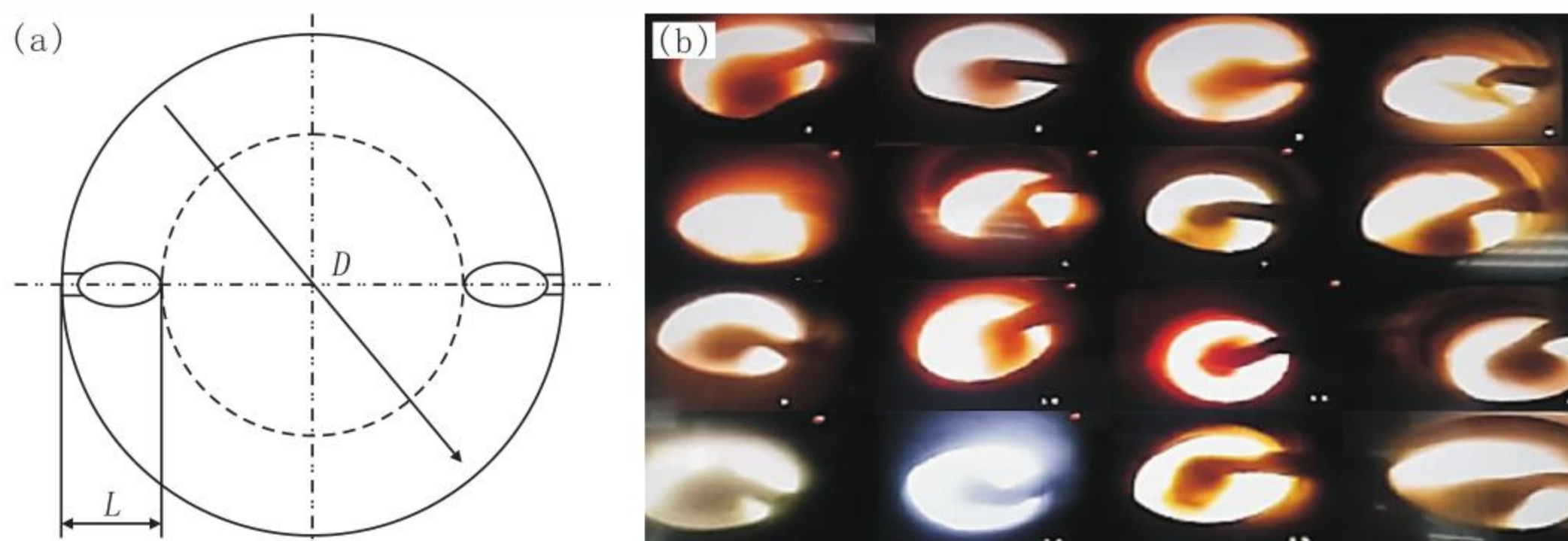
Fig. 1 Basic Framework of BF Big Data Center Platform

1.2 送风制度监控模型开发

高炉下部送风制度合理与否直接影响着高炉的稳定顺行,为此利用多次高炉休风机会进行风口取样,测试风口回旋区深度,校正风口回旋区深度与鼓风动能和喷煤量的经验模型,高炉风口回旋区示意图见图2(a)。按照风口回旋区深度所构成的外环面积大于炉缸总面积的50%标准控制送风制度,即2000 m³级高炉风口回旋区深度大于1.7 m、

3000 m³级高炉风口回旋区深度大于1.8 m和4000 m³级高炉风口回旋区深度大于1.9 m,实现各个高炉合理送风和风口回旋区深度在线监控。

除此之外,由于高炉风口区域是高炉内部温度最高的部位,其温度可达2300℃以上,利用风口成像(见图2(b))实时观察风口和煤枪的工作状态,掌握煤粉喷吹情况,根据观察结果,采取调整措施,实现预防性维护,保障高炉圆周上风口均匀冶炼。



(a) 高炉风口回旋区示意图; (b) 高炉风口成像

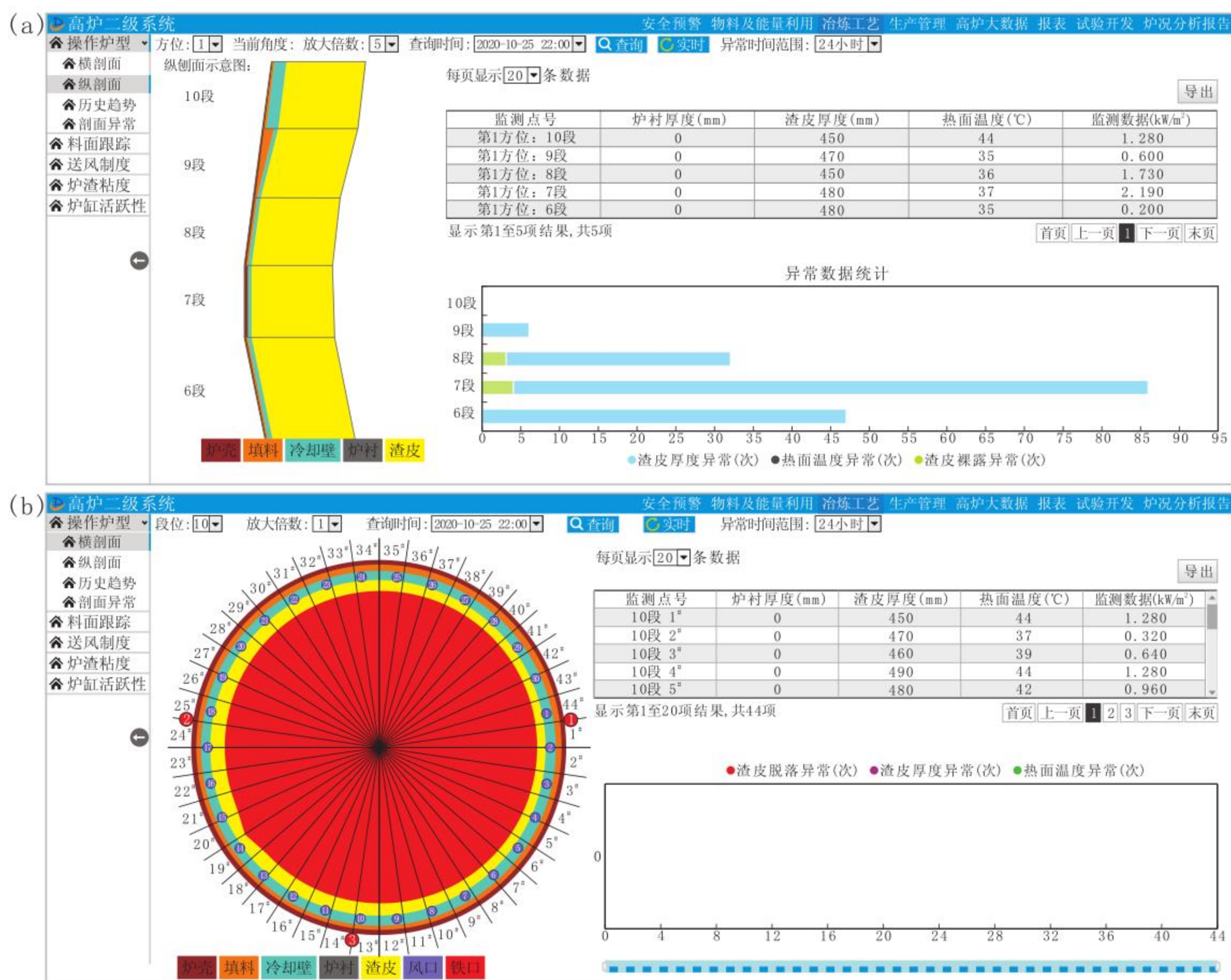
图2 送风制度监控示意图

Fig. 2 Schematic Diagram of Air Supply System Monitoring

1.3 炉型管理模型开发

高炉炉身布满 200 多块冷却壁。据国外学者统计,70%以上的异常炉况发生与炉型变化有关,为避免炉身冷却壁渣皮大面积脱落和结厚的渣

皮影响高炉冶炼,开发了炉型管理模型。高炉炉型管理界面如图 3 所示。时刻观察高炉炉型,并根据实际情况采取措施,以避免高炉异常炉况的发生。



(a) 纵剖面; (b) 横剖面

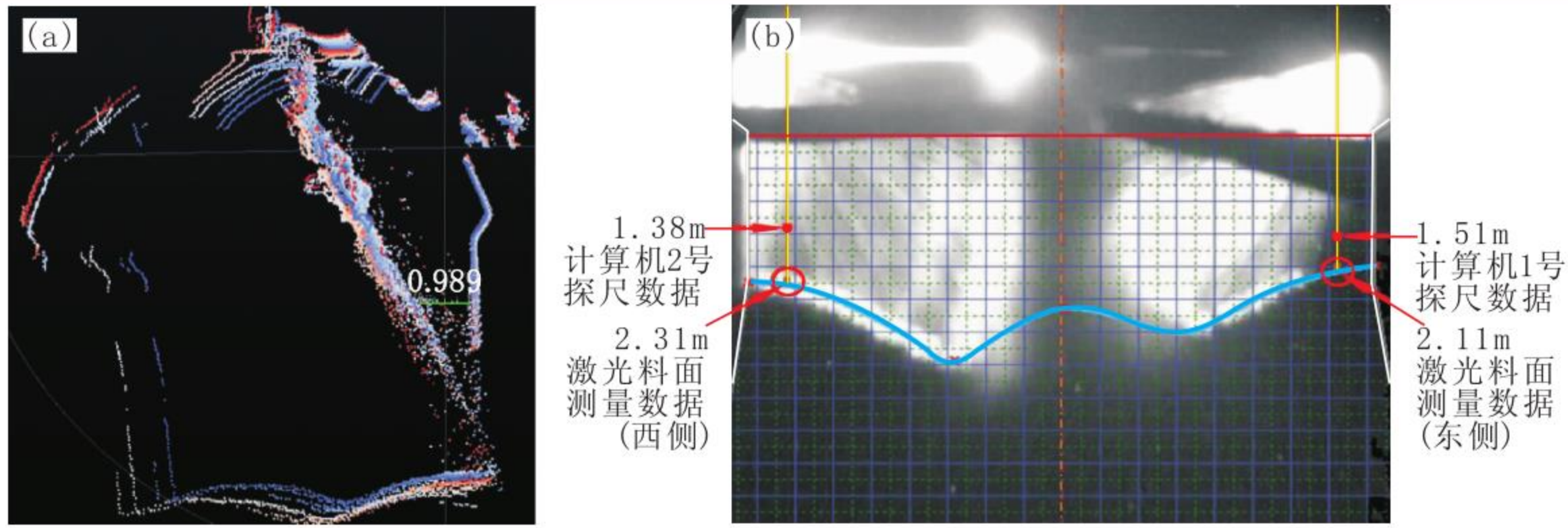
图3 高炉炉型管理界面

Fig. 3 BF Type Management Interface

1.4 高炉布料模型开发

上部布料制度合理与否直接决定高炉的燃料消耗,在炉顶 1/5 模型布料实验基础上开发布料模型,并利用 3D 扫描技术扫描高炉设备参数、料流轨

迹和溜槽倾角等校正开发的高炉布料落点和料面形状模型,实现对高炉料面形状的精准预判(见图 4)。同时,引进激光雷达技术对料面形状扫描重构,实现对高温高压高炉内部料面形状的实时监控。



(a) 布料过程 3D 扫描图像; (b) 料面形状扫描重构图像

图 4 高炉布料可视化

Fig. 4 Visualization Image of BF Distribution

1.5 高炉日常诊断模型开发

炉缸活跃是高炉取得好的经济技术指标的充分必要条件,为解决高炉长周期稳定顺行问题,总结出一套符合鞍钢高炉炉缸日常操作的诊断模型。炉况评价在线运行图见图 5。通过对炉芯温度、

炉腹煤气量、煤气阻力、鼓风动能、风速、理论燃烧温度和铁水硅含量等历史数据进行分析挖掘,确定高炉各项操作参数合理范围并按对产量和消耗的贡献度赋予不同参数权重值,对高炉的运行状态进行实时赋分评价。

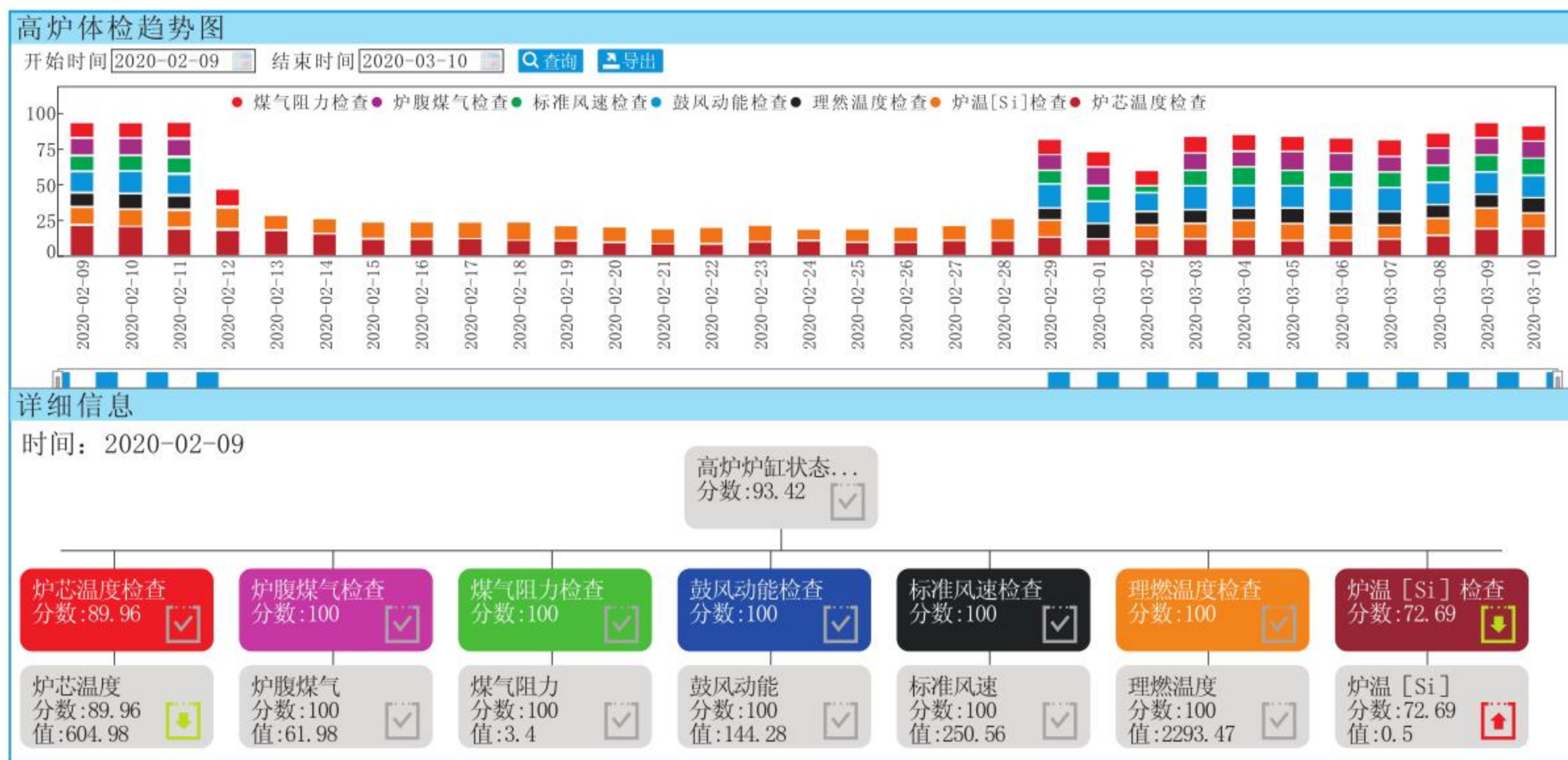


图 5 炉况评价在线运行图

Fig. 5 On-line Operation Diagram of Furnace Condition Evaluation

分析 3 个月内的评价分数与平均日产和燃料比对应关系,如图 6 所示。

由图 6 可以看出,高炉经济技术指标越好,赋值评分越高,证明高炉炉况评价各因素所选取权重值准确,可以满足客观评价高炉炉缸活跃性需要。

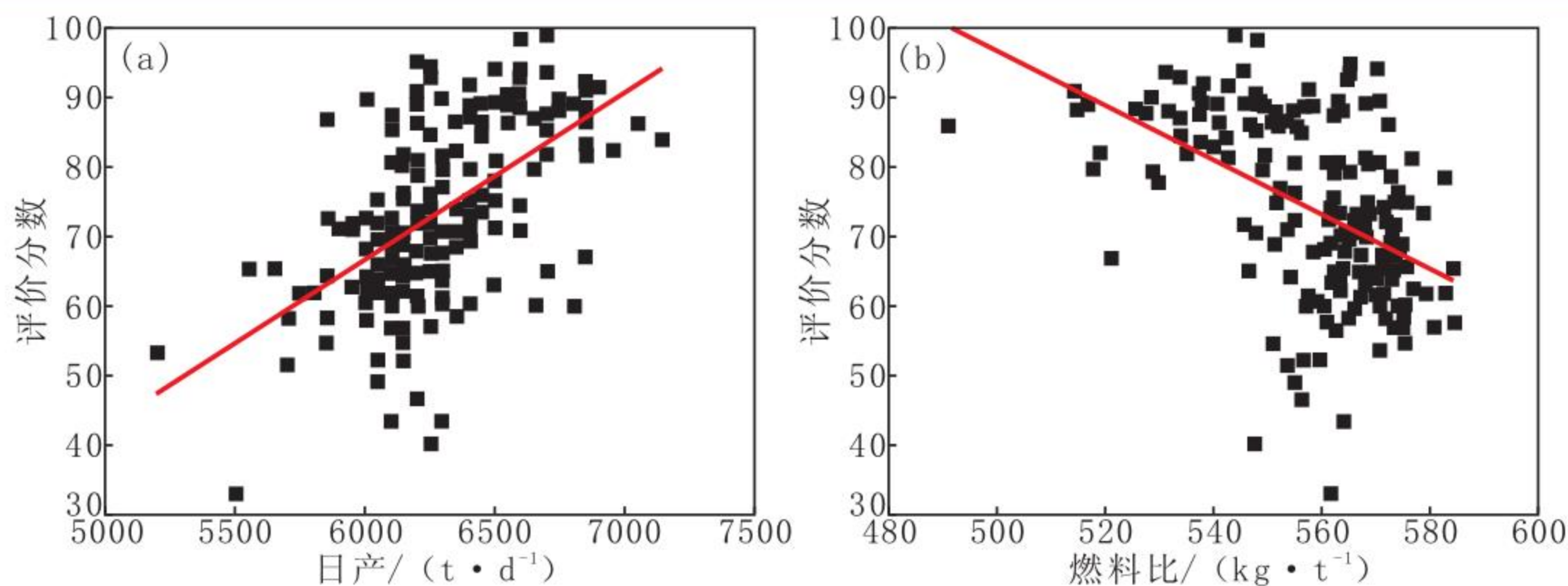
在炉缸诊断模型基础上,开发了涉及炉缸安全、原料质量、煤气流分布、操作、炉型管理多因素的高炉综合评价系统,对高炉冶炼进行总体评价。高炉炉况评价界面如图 7 所示。

为方便了解高炉运行情况,在边缘侧建立规

则库自动生成高炉体检报告和给出高炉调整操作总结建议。定期对高炉进行多维度解析、分析、优化,同时与人工操作相互评价对比,包括班评价、日评价、周评价、月评价及专项评价等,将操作经验和冶炼机理充分结合,寻求最优方案,不断进行自学习提升,最终实现由人工评价向智能化评价的转变。

1.6 高炉炉缸侵蚀模型开发

根据炉底炉缸砌筑图、耐材参数和热电偶布置图等,建立炉底炉缸侵蚀内型和渣铁壳变化在线监



(a) 评价分数与平均日产对应关系; (b) 评价分数与燃料比对应关系

图6 评价分数与平均日产、燃料比对应关系

Fig. 6 Corresponding Relation between Evaluation Score and Average Daily Output and Fuel Ratio



图7 高炉炉况评价界面

Fig. 7 BF Condition Evaluation Interface

测模型,实现对高炉炉缸的可视化监控,避免炉缸烧穿事故的发生。炉缸侵蚀纵剖图如图8所示。

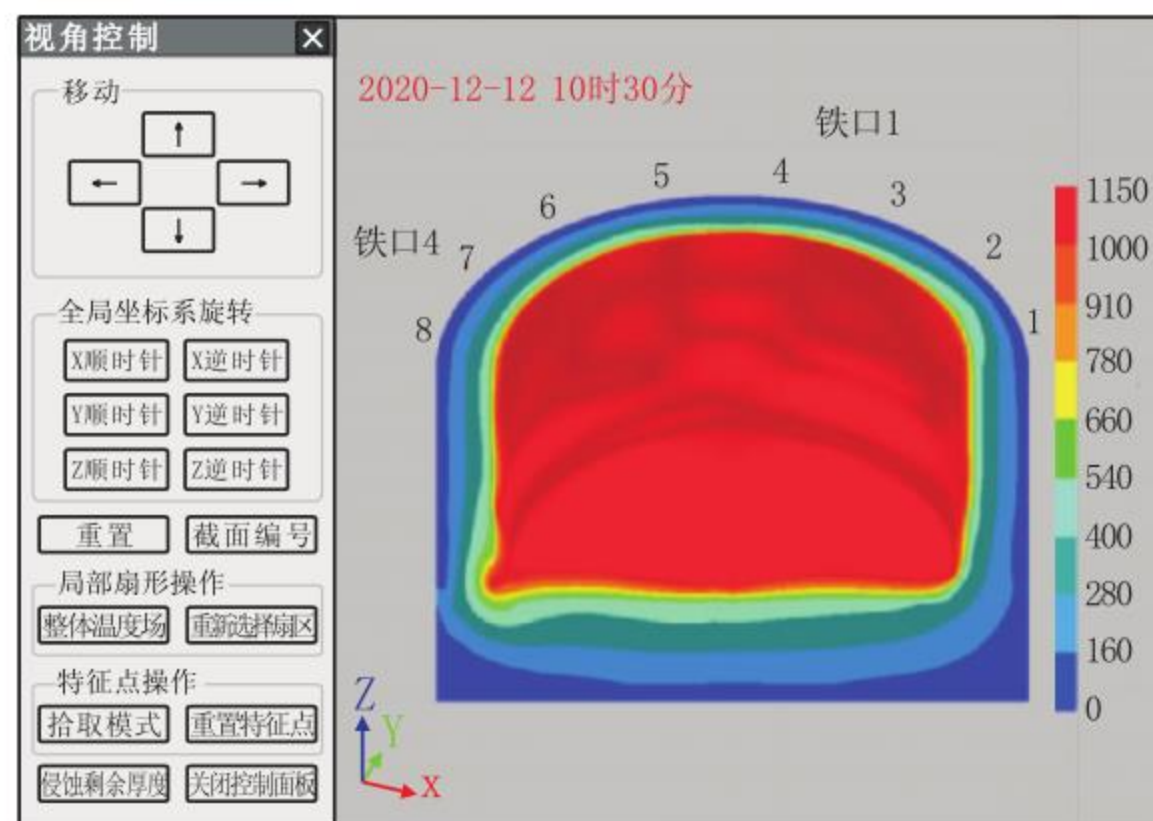


图8 炉缸侵蚀纵剖图

Fig. 8 Longitudinal Section of Furnace Hearth Erosion

为了提高高炉炉缸侵蚀模型预判的准确度,通过鞍钢十座高炉的破损调查,分析侵蚀原因,总结 SGL、NDK 和国产炭砖的各种性能基础上建立“一炉一策”的炉缸三维侵蚀模型,实现了高精度预判,通过实际对比目前误差小于 5%。

1.7 高炉大数据平台手机 APP 开发

通过积累鞍钢炼铁数据资产,以高炉大数据平台为基础,对数据进行采集、预处理、分析后,将数据重新分类,按时间数列存储在不同数据表中,开发云平台及移动终端 APP 服务,实现鞍钢高炉炼铁数据互联互通和移动互联,帮助操作人员进行远程诊断及对标,打破时间、空间、人员的限制,完成数据流的“引进来、走出去”。开发后的鞍钢高炉数据平台手机可实现远程在线点检与

对标。目前,鞍钢炼铁操作、管理和技术人员可以随时随地通过手机监控高炉冶炼情况和设备工作状态参数,实现高炉冶炼参数在线监测、远程在线巡检。

2 应用情况

鞍钢高炉大数据可视化平台已在鞍钢股份有限公司炼铁总厂 2 号、3 号 3200 m³ 高炉和 5 号 2580 m³ 高炉和鞍钢股份有限公司鲅鱼圈钢铁分公司炼铁部 1 号 4038 m³ 高炉实施应用,该平台将遥感测温、三维激光雷达、热成像等新技术应用于传统炼铁工业传感及物联网开发,实现对高炉群、烧结机、焙烧机等炼铁核心设备及大数据的在线监测。建立了数据源、整合、传输、管理、持久、分析、接口、应用的大数据处理中心,建立基于工艺机理、大数据、机器学习、互联网+的配矿、烧结、球团、高炉智能控制系统和炼铁大数据的智能可视化平台,实现“自诊断和自适应”,在生产、操作、技术、管理、培训等全方位提升鞍钢炼铁的数字化、科学化、智能化、标准化水平。高炉冶炼取得了从“黑盒”向“白盒”的实质性突破,炼铁操作和炉况分析由原先依靠人工经验和主观判断为主转变为依靠数据为主,鞍钢高炉指标随之大幅提升。尤其是在 2019–2021 年间,钢铁市场形势大好的背景下,鲅鱼圈炼铁部 1 号高炉和炼铁总厂 3 号和 5 号高炉月平均利用系数最高分别突破 2.37 t/(m³·d)、2.64 t/(m³·d)和 2.53 t/(m³·d)。

3 结论

(1) 物联网的构建是建设高炉大数据可视化平台的基础。高炉只有形成无死角的监测监控体系,边缘侧上的数学模型才能针对物联网传输的数据进行正确的响应与计算。因此,在高炉推广大

数据可视化平台前,必须针对炼铁工序个性化需求完成物联网的开发升级,以实现高炉炼铁工序的“自感知”。

(2) 建立高精度高炉布料、炉缸侵蚀、炉型管理和配矿配煤等数学模型是建设高炉大数据可视化平台的关键。高炉大数据可视化平台应用效果取决于高炉相关冶炼数学模型的精度,为提高数学模型的计算精度,应根据高炉原燃料条件、设计炉型、操作特点等参数校正理论模型或重新建立与高炉匹配的经验模型,实现高炉“自诊断”。

(3) 发展高炉智能化技术已成为必然趋势,但建设高炉大数据与可视化平台并不是高炉智能化发展的终点,而是应以高炉大数据和可视化平台为基础,进一步实现高炉群集约化管控与高炉在操作上的闭环控制。炼铁管理人员应针对企业高炉系统智慧制造的薄弱环节,以急用优先、成熟优先、实用优先、先易后难、重点突破为原则分步实施,推动高炉智慧制造工作。

参考文献

- [1] 杨天钧. 新常态下高炉炼铁技术转型升级和创新之路[C]//第十届中国钢铁年会暨第六届宝钢学术年会论文集. 上海:中国金属学会,2015:1–18.
- [2] 陈建华,徐红阳. “高炉专家系统”应用现状和发展趋势[J]. 现代冶金,2012,40(3):6–10.
- [3] 周传典. 高炉炼铁生产技术手册[M]. 北京:冶金工业出版社,2012:163–170.
- [4] 马富涛,张建良,张磊,等. 铁前数模技术进展与大数据应用探讨[J]. 钢铁,2018,53(12):1–9.
- [5] 储满生,郭宪臻,沈峰满,等. 多流体高炉数学模型的开发和应用[J]. 钢铁,2007,42(12):11–15.
- [6] 叶冬柏. 高炉数学模型和专家系统的研究[D]. 沈阳:东北大学,2007.

(编辑 查松妍)

修回日期:2022-08-24