

# 本钢高炉智能管理系统的研发与应用

徐海涛

(本钢信息自动化公司, 辽宁 本溪 117000)

**[摘要]** 结合本钢高炉基础监测及信息化基础条件,应用工业传感器、数据采集、工业建模等技术构建高炉智能系统,打破了高炉生产现场数据孤岛,推动了炼铁技术从“经验式炼铁”向“数字化炼铁”的转变,提高现场高炉异常工况的诊断、预判、处理能力,促进了板材数字化、标准化、智能化的炼铁技术体系建立,为炼铁行业智能制造落地应用树立了一个标杆。

**[关键词]** 高炉; 智能制造; 工业模型; 智能诊断

**[中图分类号]** TF572 **[文献标志码]** B **[文章编号]** 1003-8884(2023)03-0058-06

**DOI:** 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2023.03.011

## 0 前言

随着物联网、大数据、机器学习、人工智能等新一代信息技术的快速发展,在钢铁行业智能制造的大背景下,国内各大钢铁企业开始探索数字化、智能化转型升级模式<sup>[1]</sup>。本钢集团有限公司(以下简称“本钢”)为提高炼铁智能化水平,提升自身竞争力,提出从“经验式炼铁”向“智慧炼铁”模式的转变,构建数字化的炼铁技术及管理体系,将“高炉智能管理系统”的研发与应用作为落实智慧炼铁的一项重要内容。

近些年,本钢为提高高炉的生产效率及管理水平,通过配置基础的智能传感器及 Mes、检化验等信息系统,提高了高炉生产的安全顺行及管理水平,实现了高炉初步的数字化监测与数据搜集,但仍存数据信息孤岛<sup>[2]</sup>、经验式操炉造成炉况波动、炉况诊断及工艺优化能力薄弱等问题。

本钢集团基于炼铁现有的装备基础,充分吸收国内外高炉专家系统的成果经验<sup>[3-10]</sup>,深度应用智能传感器、大数据、机器学习、机理模型等技术,构建新一代高炉智能管理系统,从工艺机理、专家知识、

大数据层面实现高炉黑箱可视化,提升高炉现场的炉况诊断及工艺优化能力,提高了高炉炼铁的智能化管理水平。

## 1 系统设计研发

### 1.1 系统架构

结合本钢高炉现场监测硬件、信息化基础条件,高炉智能系统按照传感器补充、数据采集、存储处理、工业建模、功能应用开发的层次结构进行构建。通过对现场的 L1 系统、MES 系统、传感器等数据进行统一采集、清洗、存储、分析处理,融合工艺机理、专家知识、数据科学等多学科知识进行工业建模,基于模型分析计算结果,构建包含高炉安全预警、物料能量、冶炼工艺、智能诊断、移动 APP 多方面的智能应用。

### 1.2 传感器补充

本钢炼铁高炉在传感器层面已经配备了十字测温、壁体测温、炉身静压、炉顶热成像、炉缸炉底热电偶、炉缸区域冷却壁水温差等高精度智能传感器,结合现有监测基础条件及系统建模需求,在高炉检修期间,在炉腹、炉腰、炉身部位的进水、出水管加装冷却壁水管专用温度传感器,用于高炉炉腹、炉腰、炉身的水温差热负荷监测及数据获取,为建模提供基础数据支撑。

### 1.3 数据采集存储

#### 1.3.1 数据采集

本次系统构建所需的数据包括 MES 系统数据、

**[收稿日期]** 2023-01-12

**[作者简介]** 徐海涛(1976—),男,山东安丘人,高级工程师,大学本科,主要从事自动化专业研发及提供冶金行业自动化解决方案工作,现任本钢信息自动化公司首席工程师。

**[引用格式]** 徐海涛.本钢高炉智能管理系统的研发与应用[J].有色设备,2023,37(3):58-62.

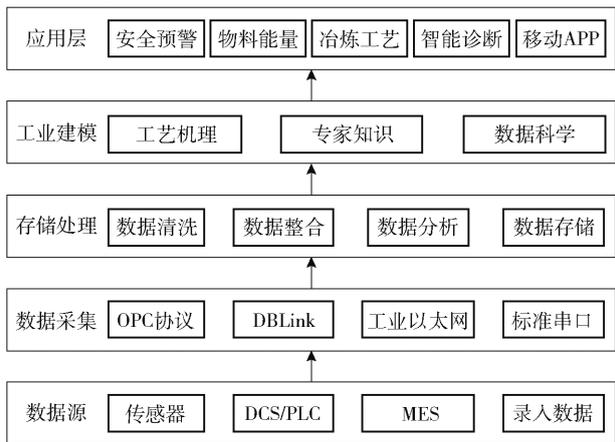


图1 系统架构图

L1 系统数据、传感器数据、人工录入数据。

MES 系统数据包括原燃料质量、铁水炉渣质量、原燃料消耗计量、铁水计量、副产品计量、铁钢包跟踪。MES 系统数据通过 DBLINK 的方式,定制开发数据同步工具进行数据采集,采集频率与现场实际业务一致。

L1 系统数据包括槽下上料重量数据及信号,炉顶排料相关数据及信号,高炉本体监测数据,喷吹相关数据,铁水测温数据。L1 系统数据应用 OPC 采集协议,利用定制开发的数据采集工具实现数据采集。由于槽下炉顶的数据采集需要根据多个信号前后变化进行判断采集,所以该部分数据采用 COM + 缓存形式进行临时存储,并定制开发槽下炉顶数据采集服务,最终将完整料批信息进行存储。其他类数据按照 5 s 瞬时值与 5 min 均值的定周期频率进行存储。

传感器类数据通过标准串口协议进行采集,本次项目的传感器类数据主要包括炉腹、炉腰、炉身段冷却壁进出水管温度数据。

录入数据包括高炉炉型尺寸、传感器监测点配置、使用料种代码、各类预警阈值等。

### 1.3.2 数据存储

项目采用 Oracle 数据库作为主要的存储工具,并配合使用文本文件及缓存文件,存储的内容主要包括采集的原始数据、统计分析数据、模型计算结果三方面数据。

本项目的数据增量主要由采集的原始数据决定,为满足一代炉役的数据存储需求及提供高效的数据服务,对大量的原始采集数据按照“高频短期、

低频长期”的原则进行转换分表存储,包括最新单条数据表、高频近期数据表、低频永久数据表三种形式,其他类数据存储按照业务要求进行正常存储即可。同时利用数据备份工具进行定周期备份,保证数据安全。

### 1.3.3 数据处理

为了提高建模的准确性及建模效率,需要对数据进行预处理。本项目的数据处理主要包括异常数据过滤、定周期数据小时均值统计、检化验数据处理等。异常数据过滤除了常规的上下限阈值过滤外,还包括逻辑过滤,例如换炉期间的风量、风压数据过滤。定周期类小时均值统计处理利用小时均值计算服务进行处理。检化验数据处理是为了满足现场对检化验数据的特殊数据需求进行处理,例如现场配料时需要使用最新 5 条检化验数据均值的需求。

### 1.4 工业建模

本项目工业建模主要是以工艺机理为支撑,适当应用数据科学,深度结合现场专家知识总结进行构建。项目中模型算法统一采用 C++ 语言定制开发,其中工艺机理建模算法包括物料平衡、热平衡、炉缸平衡等共 7 个计算服务,专家知识包括 30 s、5 min、4 h、8 h、24 h、喷煤计算等共 7 个计算服务,所有算法服务统一由服务调度程序进行调用,所有服务由模型管理器进行统一管理。

在智能诊断部分,定制开发规则配置平台实现诊断规则的“无代码化”开发,大大提高了诊断知识库的扩展性与易操作性,采用动态编译方式生成动态链接库,供诊断调度服务使用,实现炉况的实时诊断。

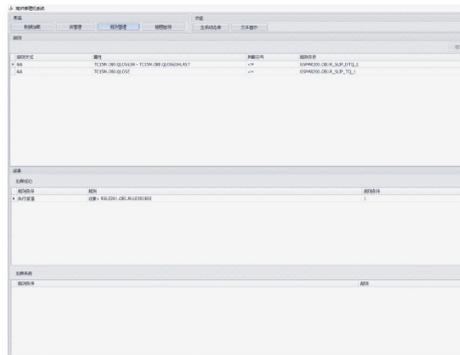


图2 规则配置平台

### 1.5 功能模块

系统功能模块包含安全预警、能量利用、冶炼工

艺、智能诊断、生产管理、数据仓库、移动 APP 共 7 如图 3 所示。

个一级功能模块,下边包含共 38 个二级功能模块,

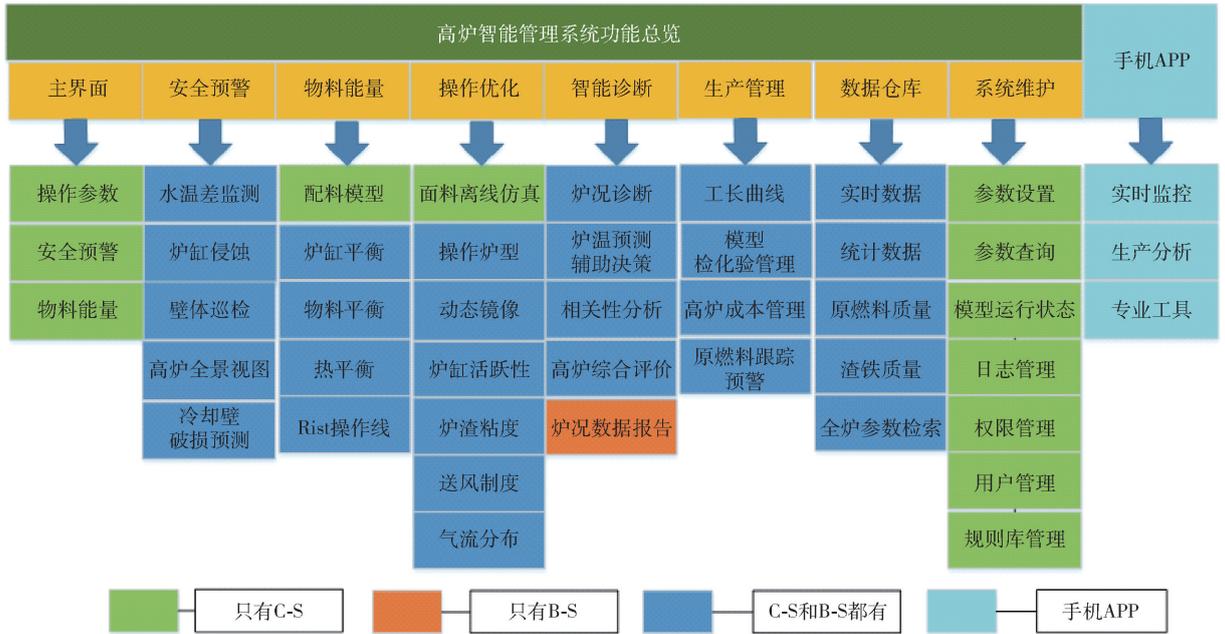


图 3 系统功能架构图

## 2 系统应用

### 2.1 安全监测预警

通过系统的安全预警模块,打通各安全监测模型的数据孤岛,建立高炉全炉水温差热负荷统一安全标准以及冷却壁热面温度超限及长时间高温服役的数字化安全标准体系,为高炉炉长、工长、水工等一线技术人员提供安全预警标准以及智能化预警。

### 2.2 工艺制度优化

从高炉操作的四大制度出发,涵盖高炉上、中、下部的监控模型,对高炉运行过程中上部调剂、中部调剂和下部调剂进行全方面的数字化、模型化,通过综合分析为整个高炉生产操作过程提供系统分析和支撑保障。

#### 2.2.1 布料制度优化

基于单颗粒受力分析及碰撞理论,综合考虑炉料物理特性、料罐类型、溜槽形状、炉料滑滚等因素,分析炉料从料罐→喉管→溜槽→料面整个过程的运动状态,对高炉炉顶布料的料流轨迹、内部料面形状、料面下移过程进行模拟,一方面可以实现高炉料面形状在线模拟,自动计算布料矩阵对应的径向矿

焦层厚及矿焦比分布,另一方面可以通过录入布料制度对布料调整进行探索性离线模拟,为布料制度调整与优化提供方向。

#### 2.2.2 操作炉型

操作炉型模型对自动计算并绘制操作炉型及渣皮形状,对炉墙结瘤进行预警,自动统计炉墙渣皮脱落频率、裸露时间,自动对不同段位和不同方位区域内渣皮脱落、渣皮结厚、热面温度、渣皮波动的异常次数进行统计和图形化展示,为高炉炉型变化、炉型均匀性和煤气流分布提供支撑。

#### 2.2.3 高炉动态镜像

根据高炉入炉料物理特性、布料状态、探尺状态变化,应用回归拟合、三次方程可行解理论,计算每批料随高炉冶炼进程的位置及厚度变化,建立高炉炉身在线动态镜像,实时跟踪每批料的位置,自动对变负荷料批进行标记,可以帮助现场操作人员对下部接负荷时机进行精准把控,实现上下部调剂匹配,保证炉况稳定。

### 2.3 智能诊断建议

1) 炉况诊断:基于大数据、知识库和机器学习技术,结合不同类型数据和机理模型计算结果,对炉况进行诊断、报警和优化建议输出,知识库内嵌有包

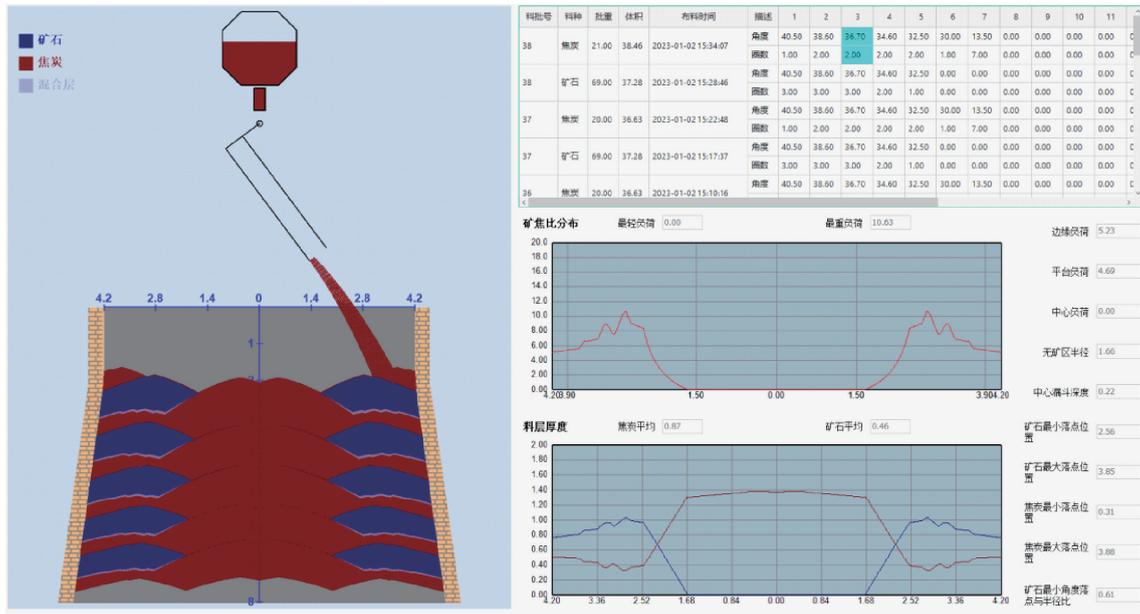


图4 布料仿真模型图

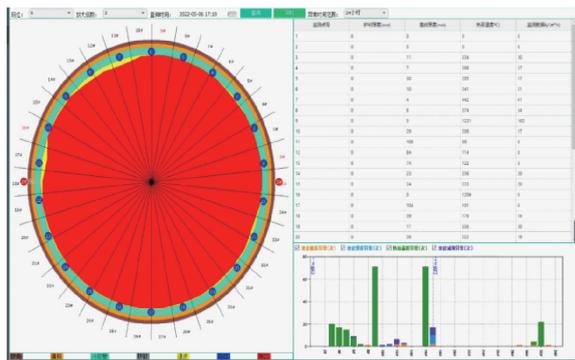


图5 操作炉型图

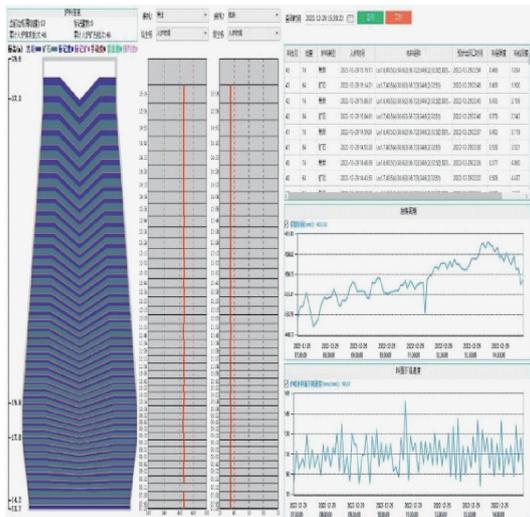


图6 高炉动态镜像图

括炉料质量、高炉行程类、炉体和炉热等四大类完整的高炉炉况识别知识库以及包含 1 000 多条规则的规则库,通过参数判断、过程分析得出现象等级的分析结果,取得控制动作,并对控制动作进行综合处理,按不同周期综合预报炉况现象及趋势,根据高炉实际情况实现风量、氧量、喷煤量、焦比、风温等多类一级动作的智能提示。

2) 炉热辅助决策:根据不同高炉现场不同时期实际运行参数,自动提取特征基准参数,通过自动学习历史炉热控制、自动寻优燃料比、自动精准匹配负荷变化、自动平衡料速变化、自动平稳提/降硅、自动适应炉况波动等自动控制模块,形成常见异常炉况下的炉热自动控制策略,并形成喷煤控制建议量,帮助统一各班操作,减少由于人工操作不及时导致炉温波动。

### 3 结论

1) 高炉智能系统的成功研发与应用,建立了本钢数字化的炼铁技术体系,推动了经验式炼铁向数字化智慧炼铁模式的转变。

2) 高炉智能系统融合工艺机理、专家知识、数据科学构建的工艺模型及功能,能从多个维度解析生产现场的工艺难题,提高了现场对高炉异常工况的预判及处理能力。

3) 通过对本钢高炉炉热辅助模块的结果跟踪



图 7 炉热辅助决策图

发现,系统与现场操作人员对煤量调整基本一致,在保证数据质量的前提下,具备进一步投入闭环控制的条件,为炼铁智能制造迈出了跨越性的一步。

## Development and Application of Blast Furnace Intelligent Management System in Benxi Iron and Steel Co.

XU Hai-tao

**Abstract:** Based on the basic monitoring and information conditions of the blast furnace at Benxi Iron and Steel Co., Ltd., the intelligent system of the blast furnace is constructed by using the technology of industrial sensors, data collection and industrial modeling, which breaks the isolated data island of the blast furnace production site, the transformation of ironmaking technology from “Experiential ironmaking” to “Digital ironmaking” has been promoted, and the ability of diagnosis, prediction and treatment of abnormal working conditions of blast furnace on site has been improved, it promotes the establishment of digitized, standardized and intelligent ironmaking technology system, and sets a benchmark for the application of intelligent manufacturing in ironmaking industry.

**Key words:** BLAST furnace; Intelligent manufacturing; Industrial model; Intelligent diagnosis



### [参考文献]

- [1] 何天庆,宁武,王晓雪,等. 鞍钢朝阳钢铁高炉数字孪生系统构建及应用[J]. 鞍钢技术,2022(06):66-71.
- [2] 张涛. 基于实时数据库的炼铁生产调度系统[J]. 数字技术与应用,2011(03):100-101+106.
- [3] 吴铿. 冶金传输原理[M]. 北京:冶金工业出版社,2011.
- [4] 成兰伯. 高炉炼铁工艺及计算[M]. 北京:冶金工业出版社,1991.
- [5] 那树人. 炼铁计算辨析[M]. 北京:冶金工业出版社,2010.
- [6] 沈华,王爱敏. 数值模拟技术在高炉炼铁中的应用[J]. 莱钢科技,2011(4):1-4.
- [7] 毕学工. 高炉专家系统的研究与开发(一)[J]. 炼铁,2000,19(2):50-55.
- [8] 国宏伟,邓君堂,陈杉杉,等. 高炉专家系统的数据采集及处理[J]. 冶金自动化,2008,32(3):18-22.
- [9] 陈令坤,傅连春,于仲洁,等. 武钢4号高炉专家系统的应用[J]. 炼铁,2001(S2):71-74.
- [10] 马富涛,周检平,吴建,等. 迁钢3号高炉专家系统的研发与应用[C]//中国计量协会冶金分会,2011.