

高炉热风炉在线能效分析系统的建立及应用

孙守斌^{1, 2}, 刘常鹏^{1, 2}, 白雪³, 鲁璐³, 王东山^{1, 2}

(1.海洋装备用金属材料及其应用国家重点实验室, 辽宁 鞍山 114009; 2.鞍钢集团钢铁研究院环境与资源研究所, 辽宁 鞍山 114009; 3.鞍钢集团自动化有限公司, 辽宁 鞍山 114000)

摘要: 本文介绍一种集成数据驱动及工艺驱动的热风炉能效分析模型, 通过现场测试、大数据分析、在线监测等技术手段对能效参数进行诊断分析, 并通过能效模型对热风炉运行过程的在线指导, 达到提高设备能效的目标。

关键词: 热风炉; 能效; 在线分析

SUN Shoubin^{1,2}, LIU Changpeng^{1,2}, BAI Xue³, LI Weidong^{1,2}, LU Lu³,
WANG Dongshan^{1,2}, YAN Dongyang^{1,2}

(1.State Key Laboratory of Metal Material for Marine Equipment and Application, Anshan 114009, Liaoning, China; 2.Environment and Resource Institute, Iron and Steel Research Institute of Ansteel Group, Anshan 114009, Liaoning, China; 3.AI Management Division of Information Industry Co., Ltd. of Ansteel Group Corporation, Anshan 114000, Liaoning, China)

Abstract: This paper introduces an integrated data-driven and process-driven energy efficiency analysis model for hot blast stoves. The energy efficiency parameters are diagnosed and analyzed through field test, big data analysis, online monitoring and other technical means, and the energy efficiency model is used to guide the operation process of hot blast stoves online to achieve the goal of improving energy efficiency of equipment.

Keywords: hot blast stoves; energy efficiency; online analyse

热风炉是高炉炼铁工艺流程的主要设备, 其以先蓄热后放热的原理工作, 即先燃烧煤气加热热风炉内部安装的格子砖, 将热量储存在格子砖里面, 然后鼓入空气, 空气经过高温的格子砖后被加热送出。热风炉一般由蓄热室和燃烧室组成, 按照一定周期运行, 每个周期内分为燃烧期和送风期。燃烧煤气加热蓄热室格子砖至高温 (约 1300~1500℃) 的阶段为燃烧期, 高温耐火砖加热冷风送向高炉的阶段为送风期。为了不断地向高炉提供大量高温热风, 通常一座高炉配备三到四座热风炉交替地进行燃烧和送风^[1]。

据权威统计, 高炉炼铁作为关键工序, 消耗大量能源。其能耗约占整个钢铁生产能耗的 48%左右^[2]。由此可见, 高炉炼铁工序的节能减排至关重要。而热风炉是炼铁生产工序中最重要的热交换设备, 其提供的热能约占炼铁生产耗热的 1/4^[3], 能源消耗很大, 对热风炉能源消耗的分析将有利于煤气的高效利用, 在当前钢铁行业节能环保要求不断提高的形势下, 对炼铁工序节能降耗意义重大。

目前国内很多钢铁企业已经开始进行智能化能耗监控系统的建设, 主要思想是实现设备能耗的集中监视和控制, 提高能源使用的效率, 同时有利于优化人员配置, 降低人员成本, 但是钢铁行业作为典型的流程工业, 工业参数间存在非线性、强耦合多变量等特点^[4], 单纯靠集中监视和控制, 很难降低企业用能成本。大多数能耗监控系统存在以下问题: (1) 对能耗监控思想贯彻更多地体现在监视上, 缺少与企业自身特点相适合的管控措施; (2) 能源管控与生产管控相互独立, 能源信息与生产信息分别控制在两个部门, 能源管理不能充分考虑生产因素影响, 造成能源管理效果较差; (3) 多种能源介质协同调度研究较少, 导致能源调度无法满足生产所需而使节能结果无效的情形; (4) 能源信息系统中的信息被分成监控信息、设备信息、质量信息、计量信息等, 建立初期未考虑后续各信息的相互关联, 降低了信息的使用效率和分析价值^[5]。

针对上述存在的问题, 本文提出一种热风炉在线能耗分析系统, 通过能耗参数及能耗指标在线分析模

型的建立，降低热风炉能源损失，提高能源使用效率，降低能源成本。

1 热风炉能源构成分析

在建立热风炉能效分析模型之前，首先对热风炉进行热平衡测试，得出现有热风炉能源构成。热平衡测试结果如表 1 所示。

表 1 热平衡测试结果

收入热量				支出热量			
符号	项目	kJ/m ³	%	符号	项目	kJ/m ³	%
1	燃料的化学热量	1899.769	85.17	1	热风带出热量	1624.290	72.82
2	燃料的物理热量	66.346	2.97	2	烟气带出的物理热量	321.019	14.39
3	助燃空气的物理热量	17.999	0.81	3	化学不完全燃烧损失热量	150.055	6.73
4	冷风带入热量	246.369	11.05	4	炉体表面散热量	43.495	1.68
				5	冷风管道表面散热量	2.068	0.09
				6	热风管道表面散热量	3.140	0.14
				7	烟道表面散热量	0.213	0.01
				8	热风炉泄压带走热量	21.141	0.95
				9	冷却水	7.699	0.35
				10	热平衡差值	63.394	2.84
合计	总收入热量	2230.483	100.00	合计	总支出热量	2230.483	100.00

从表中可以看出，热风炉主要的能源支出是热风带出热量（72.82%）、烟气带出的物理热量（14.39%）、化学不完全燃烧损失热量（6.73%）。其中，热风带出热量为热风炉有效热量，应在热风炉设计范围内保证热风温度，降低高炉焦比。烟气带出的物理热量为热风炉主要热损失项，应在热风炉燃烧期根据拱顶温度和排烟温度变化及时调整空燃比和煤气流量，降低排烟热损失。同时，应提高换热效率，增加助燃空气和煤气带入物理热，增加余热回收量。化学不完全燃烧损失热量也是不可忽视的热损失项，应检测烟气成分中可燃物质含量，及时调整空燃比。而且应在检修期间检查烧嘴和隔墙损坏情况，防止燃烧混合不好或燃烧短路情况出现。

2 热风炉能效分析模型

通过对煤气热值、空煤气流量、煤气压力、空燃比、空气与煤气预热温度、排烟温度等参数变化时的历史数据进行统计分析，分析不同参数变化对热风炉能效的影响，完成相关性分析，利用大数据分析法对历史数据进行寻优，设定不同参数条件下的能效目标值。在实际生产时，实时采集所有参数数据，按周期统计单台炉能效，将实际能效与目标值进行对比，结合相关参数比对，得出原因分析与操作指导建议。模型如图 1 所示。

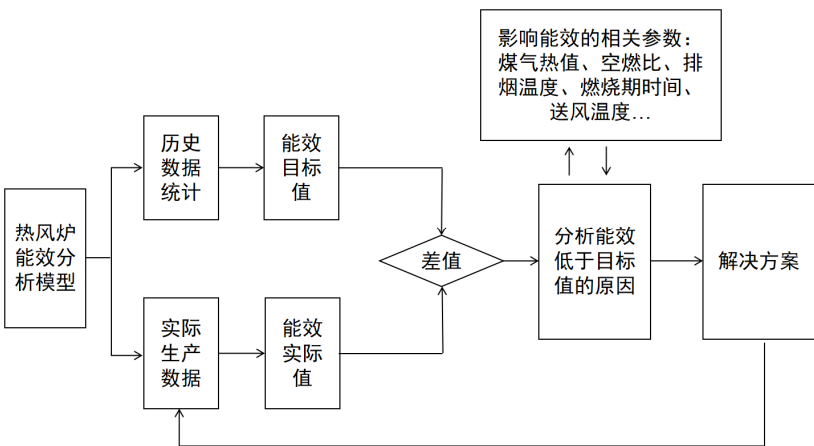


图 1 热风炉能效分析模型

2.1 能效目标值模型

能效目标值是指热风炉在历史生产过程中所能达到的最优水平，采集真实的历史工艺数据和能耗数据的作为模型输入项，采用计算机大数据分析进行数据甄别及历史数据寻优，并完成能效与工艺参数的相关性分析，以此为基础建立智能专家库，针对能效数据劣化时，及时制定出工艺参数优化方法，并在生产过程中逐步完善。针对非工艺参数变化造成的能效影响，应取历史数据中非工艺参数稳定值区间单独分析。热风炉能效目标值模型如图 2 所示。

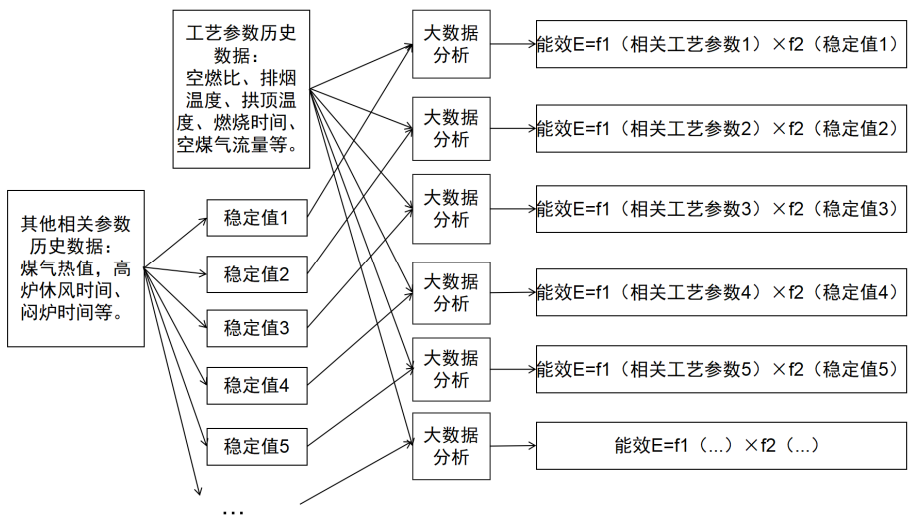


图 2 热风炉能效目标值模型

2.2 能效影响分析模型

通过热工测试结果分析能效影响因素，建立针对目标热风炉的能效与工艺参数相关性数据库，量化空煤气流量、煤气压力、空燃比、空气与煤气预热温度、排烟温度等工艺参数变化对能耗影响的值。按秒级采集实际工艺数据，计算不同周期的能效指标，按不同煤气热值、不同休风时间等非工艺参数条件下的能效实际值与能效目标值进行对比分析，得出能效实际值与目标值的差值。分析实际工艺参数和历史工艺参数的差别，根据目标热风炉的能效与工艺参数相关性数据库，得出实际工艺参数调整值。能效影响分析模型如图 3 所示。

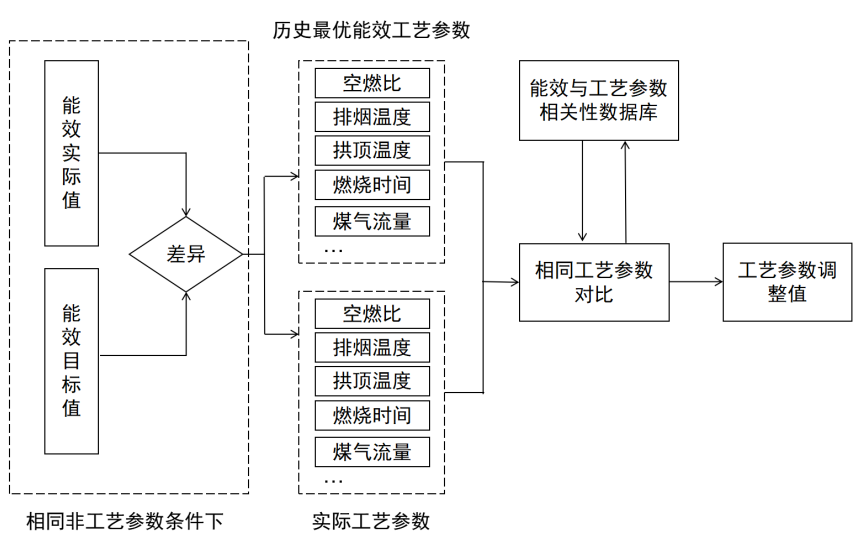


图 3 能效影响分析模型

2.3 模型应用情况

该技术在鲅鱼圈某钢厂能源中心成功应用，运行图如图 4 所示。通过模型的开发与应用，建立热风炉

运行能效专家库，在热风炉能效指标发生劣化时，及时找出对能效指标产生影响的热风炉能效相关工艺参数，并根据生产实际给出切实可行的解决方案。该模型应用后，单体热风炉能源使用效率提高 2%。

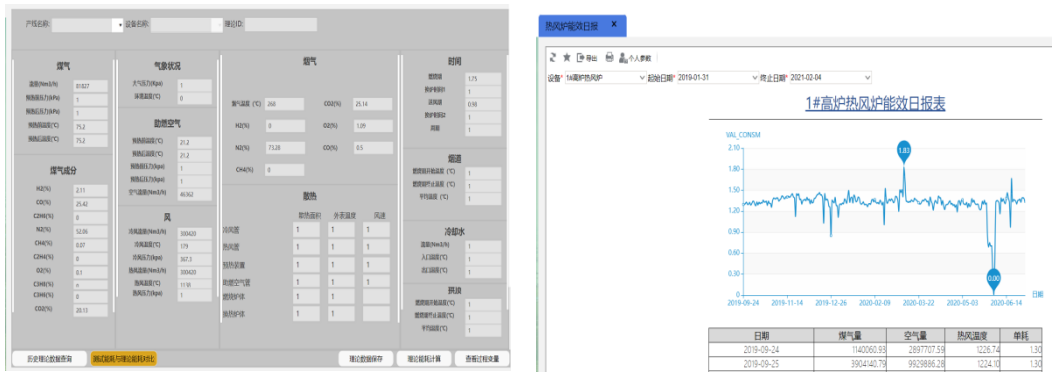


图 4 系统应用画面

3 结语

为了解决高炉热风炉能源使用效率低下的问题，介绍一种集成数据驱动及工艺驱动的热风炉能效分析模型，通过现场测试、大数据分析、在线监测等技术手段对能效参数进行诊断分析，找出影响设备能效的影响因子，对这些影响因子进行相关性分析，建立相关性数据库，量化工艺因素对能效参数的影响，在热风炉能效发生劣化时显示有影响的工艺参数和解决方案。实现模型在线动态优化，并通过能效模型对热风炉运行过程的在线指导，达到提高设备能效的目标。该模型实施后，单体设备能源使用效率提高 2%。

参考文献：

[1] 闫鹤. 高炉过程控制系统的研究与应用[D]. 沈阳: 东北大学, 2013.

[2] 王维兴, 李忠. 高炉炼铁能耗与节能分析[J]. 中国钢铁业. 2007, (2): 16-18.

[3] 周继程, 张春霞, 酆秀萍, 等. 中国高炉工序能耗现状及节能技术的回顾与展望[J]. 钢铁研究学报. 2010, 22(9): 1-4+12.

[4] 姚琳, 王军生. 钢铁流程工业智能制造的目标与实现[J]. 中国冶金, 2020, 30(7):1-4.

[5] 刘常鹏, 孙守斌, 马宁, 等. 浅谈钢铁行业在线能效系统的建立[C]. 第十一届全国能源与热工学术年会论文集, 2021.