

# 大型高炉炉型管理综合模型的开发研究

范正赞<sup>1</sup>, 张卫东<sup>1</sup>, 沈海波<sup>2</sup>, 张建良<sup>3</sup>, 国宏伟<sup>4</sup>

(1. 首钢技术研究院钢研所, 北京 100043; 2. 首钢京唐钢铁联合有限责任公司炼铁部, 河北 唐山 063200 ;  
3. 北京科技大学冶金与生态工程学院, 北京 100083; 4. 苏州大学沙钢钢铁学院, 江苏 苏州 215021)

**摘要:**为了能在日常操作中及时掌控炉型变化规律、稳定炉况,以首钢集团某高炉为依托,开发了高炉炉型管理综合模型。该模型以二维、三维方式采用可视化技术对表征炉型演变的热流强度进行动态显示与跟踪,以便在日常高炉操作中及时观察炉型在周向和纵向的变化情况,并借助聚类分析法从宏观上寻求最佳操作炉型以及与其对应的各段冷却壁温度范围,为高炉稳定操作提供依据。

**关键词:**高炉;炉型管理;热流强度;可视化;聚类分析

**文献标志码:**B **文章编号:**1000-7059(2015)02-0047-05

## Research and development of comprehensive management model of large blast furnace operational profile

FAN Zheng-yun<sup>1</sup>, ZHANG Wei-dong<sup>1</sup>, SHEN Hai-bo<sup>2</sup>, ZHANG Jian-liang<sup>3</sup>, GUO Hong-wei<sup>4</sup>

(1. Iron and Steel Research Department of Shougang Research Institute of Technology, Beijing 100043, China;  
2. Ironmaking Department of Shougang Jingtang United Iron and Steel Co., Ltd., Tangshan 063200, China;  
3. School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology Beijing,  
Beijing 100083, China; 4. Shagang School of Iron and Steel, Soochow University, Suzhou 215021, China)

**Abstract:** In order to master the change regulation of operational profile and stabilize the furnace operation, a comprehensive management model of blast furnace operational profile is developed on the basis of Shougang blast furnace operation. Heat flow intensity, which represents changes of operational profile, is displayed and recorded by two-dimensional and three-dimensional modes in order to find out the changes of operational profile in circumferential and axial directions in the process of blast furnace operation. The best operational profile and the corresponding cooling stove temperature range can be found out through clustering analysis. All of these guarantee the steady operation of blast furnace.

**Key words:** blast furnace ; management of operational profile; heat flow intensity; visualization; clustering analysis

### 0 引言

近 10 年来,国内兴建了多座 4 000 m<sup>3</sup> 级以上大型高炉的事实充分说明,大型高炉集约高

效、低耗环保的特点已经为国内炼铁工作者所认识。大型高炉合格的原燃料是发挥大型高炉特点的内在根本,而冷却壁温度、冷却壁水量、水温

差及热流强度等现代监测技术的应用,则是实践上述大型高炉特点的外在保障。通过对冷却壁温度、水温差及热流强度等参数的监测判断操作炉型变化,并利用高炉上下部调节制度维持合理的煤气流分布,实现对高炉操作炉型的管理,可以确保高炉稳定顺行,国内在这方面已经开展了相关研究<sup>[1-5]</sup>。笔者以首钢集团某大型高炉监控参数和技术经济指标为数据基础,开发了高炉炉型管理综合模型并于 2013 年在该高炉实际应用。利用该模型可对炉缸以上部位的热流强度进行二维、三维实时动态跟踪和显示,并可依据热电偶温度的变化特点和高炉操作指标评判操作炉型的优劣,确定最佳炉型时的高炉冷却壁最佳温度控制范围。

## 1 模型设计

合理的设计炉型是形成良好的操作炉型的基础,该大型高炉高径比为 1.93,炉腹角为  $79.38^\circ$ ,死铁层深度为 3 m,炉喉直径为 11.2 m,炉腰直径为 17 m,炉缸直径为 15.5 m。从高炉炉底往上共安装了 18 段冷却壁,1~6 段(风口区)采用光面冷却壁,7~17 段采用镶砖冷却壁,18 段为 C 型无衬冷却壁。其中,铁口区、象脚区为光面铜冷却壁,炉腹、炉腰及炉身中下部为镶砖铜冷却壁。整个炉体系统采用 1.1 MPa 中压除盐水作为冷却水对串联管路进行冷却<sup>[6-7]</sup>。

针对首钢某高炉冷却系统的特点,炉型管理综合模型设计主要由 3 部分组成,数据采集模块、后台计算分析模块以及前端可视化模块。通过数据采集模块采集炉体热电偶温度、水温差、水流量以及高炉技术经济指标等数据,并将数据传递给后台计算分析模块,进行水温差、热流强度计算和炉型聚类分析,最终通过可视化模块在终端实现二维、三维方式的显示,高炉炉型管理综合模型设计框图如图 1 所示。

(1)数据采集模块。对该大型高炉的炉体冷却监测包括炉体冷却壁温度、冷却水流量和压力的监测。冷却壁布置 11 层共 460 个检测点,监测冷却壁温度、冷却壁支管温度和水流量;各冷

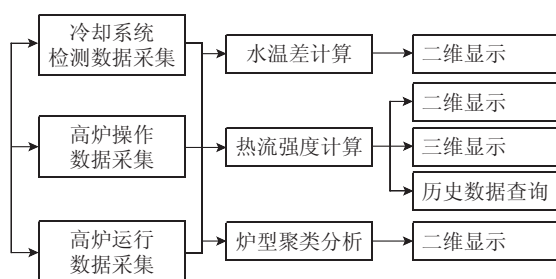


图 1 首钢某高炉炉型管理综合模型设计框图

Fig. 1 Design diagram of comprehensive management model of operational profile for a certain Shougang blast furnace

却设备冷却水进出点共计 542 个检测点,监测冷却水水温、流量及压力<sup>[6-7]</sup>。数据采集模块主要完成对上述数据的采集、预处理及存储工作。利用该大型高炉已经配备的高炉专家系统,通过 Oracle EXP 数据导出方式将冷却壁温度、冷却壁支管出口温度、冷却壁支管水流量等数据导出,并保存在 dmp 文件中。数据预处理过程主要是将冷却壁温度、水温差、水流量等数据与相应的冷却壁、水管对应,并剔除高炉异常炉况、休风等情况下的异常高炉技术经济指标。最终将处理后的数据保存在一个新的数据库中,以便后续计算模块的调用。

(2)后台计算分析模块。该模块根据数据采集模块对数据的处理结果,计算冷却壁水管进出口水温差,再根据水温差计算热流强度,然后,对冷却壁温度进行聚类分析并结合高炉各项技术指标确定最佳炉型,最终将计算和分析结果显示在终端上。

(3)可视化模块。该模块的主要功能是将水温差、热流强度及聚类分析结果以三维或二维形式表征出来。其功能特点是:1)在线实时显示。摒弃了传统的以单一曲线表示热流强度的方法,采用三维炉体模型,根据一定的标尺和精度将炉体表面划分成区域和网状,以不同颜色表征热流强度的高低,可实现图形的自由旋转和缩放以及在线实时显示热流强度的变化并附带了二维热流强度、水温差分及冷却壁材质图。2)历史记录视频回放。可以播放特定时间高炉炉体展开图

所生成的视频录像。3)报警及查询。当某点温度超过设定的报警温度时,系统会进行警报提示,这时,可以对报警的信息针对全炉或某点进行时间段内的日志查询。

2 模型实现

将系统安装到现场客户端,并同时数据库导入连通后,实现对高炉水温差、热流强度的在线监控并进行炉型聚类分析。

2.1 水温差监控

图 2 所示为首钢某高炉炉体冷却壁水温差二维平面图示例,拖动滑条可逐步显示高炉不同

方向的冷却壁水温差情况,其构图单位为每个冷却壁上的每根冷却水管。其中,若存在跳管,则不显示。图中每个冷却壁设有 4 根水管,但只在一根水管上设有水温检测,并以不同的颜色将水温差表示出来。当水温差超过规定值时,可根据上升管和铁口位置确定水管的周向位置,采取堵塞超过水温差冷却壁上方的风口、适当加重边缘或采用新水强制冷却该冷却壁的方法保证水温差控制在允许的范围内。图左侧还画出了高炉的大致轮廓,以便于清楚地显示每段冷却壁相对于高炉的位置。



图 2 冷却壁水管水温差分布

Fig. 2 Distribution of cooling stave temperature difference

2.2 热流强度监控

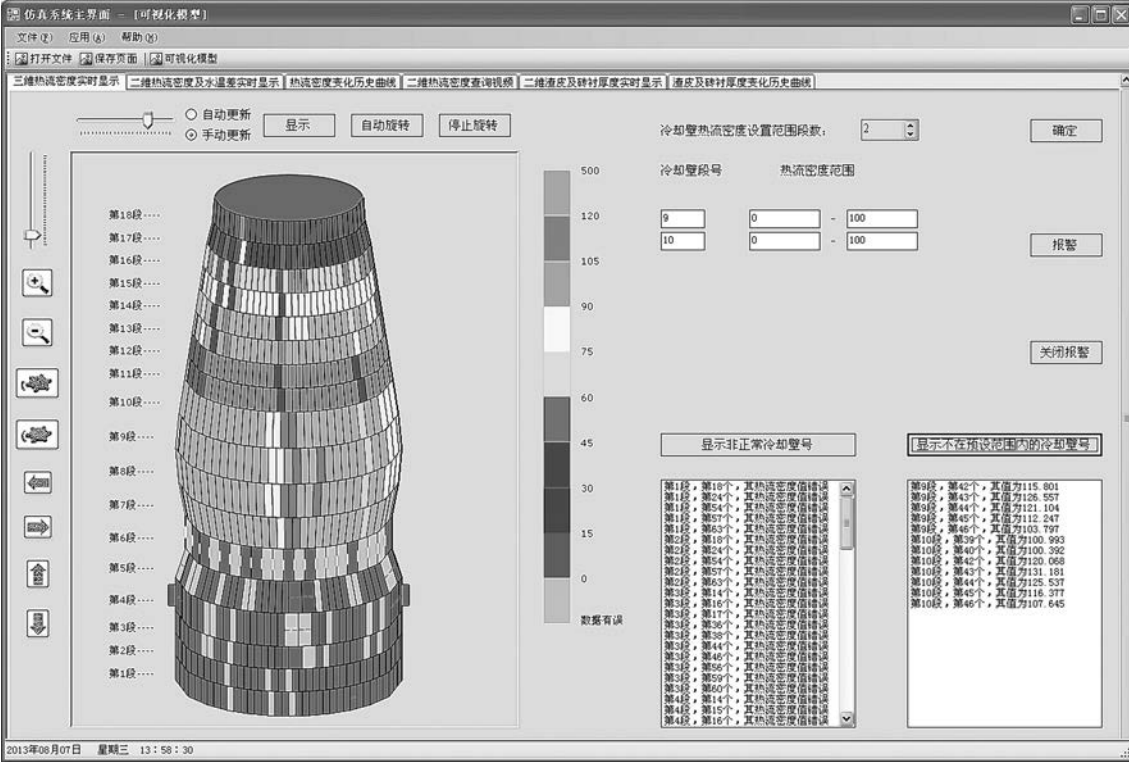
下面以首钢某高炉 2013 年 7 月 23 日 8 时 45 分三维热流强度和二维热流强度展开图为例说明热流强度的监控,如图 3 所示,实际显示中,分别用红色和紫色表示高、低热流强度,并可对单块冷却壁设置热流强度报警上限。通过热流强度图可及时发现炉内煤气流在高炉圆周方向的不均匀性,以便可以通过上、下部调剂制度的

改变,维持合理的煤气分布,建立合理的操作炉型。<sup>[8]</sup>

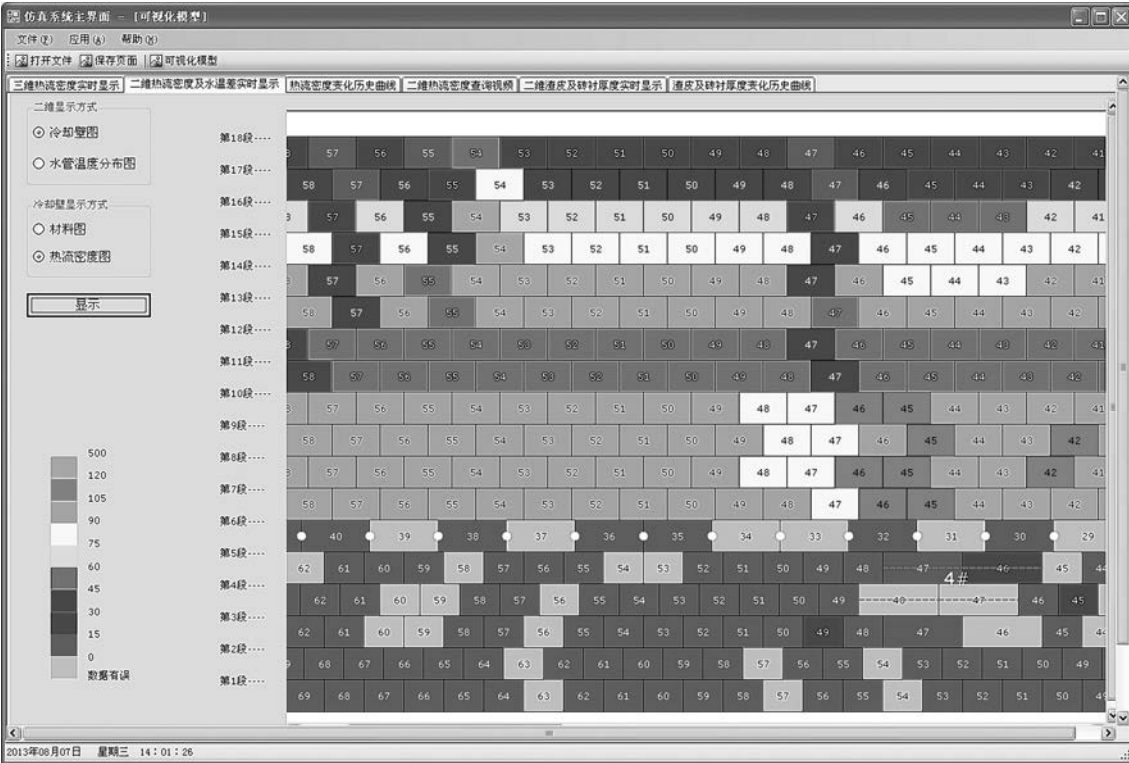
2.3 炉型聚类分析

以首钢集团某高炉 2013 年 1 月 1 日—9 月 24 日炉体 7~18 段热电偶历史数据为基础进行炉型聚类分析。

在选取数据库内海量冷却壁热电偶数据的基础上,计算各段冷却壁热电偶温度平均值,并



(a) 三维热流强度



(b) 二维热流强度

图 3 热流强度监控

Fig. 3 Heat flow intensity of blast furnace

以平均温度为横坐标,冷却壁段位为纵坐标,绘 出各段冷却壁热电偶温度分布曲线,如图 4 所示。



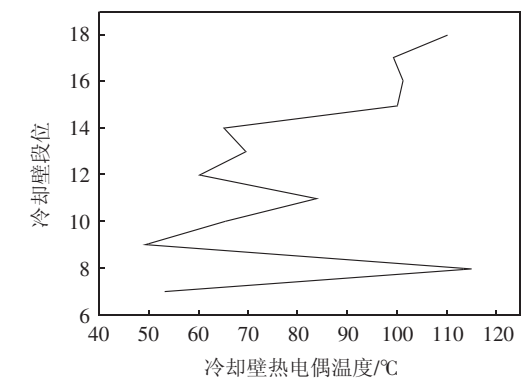


图4 冷却壁温度分布曲线

Fig. 4 Curve of cooling stave temperature distribution

表1 每类各段冷却壁的温度平均值

Table 1 Average temperatures of cooling staves for each section of every kind

类别	段												℃
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
第1类	140.42	192.52	26.30	29.40	34.40	31.10	25.80	27.50	34.20	38.20	47.20	42.00	
第2类	62.19	130.86	26.30	29.37	34.36	31.07	25.78	27.48	34.16	38.20	47.20	42.00	
第3类	60.87	116.55	56.53	56.72	60.39	58.21	70.96	69.37	81.47	90.05	100.76	113.29	
第4类	15.39	25.14	26.24	29.34	34.31	31.03	25.87	27.49	34.77	38.20	47.20	42.00	
第5类	60.00	121.45	56.47	56.61	62.82	60.38	73.78	69.68	103.45	18.20	47.20	42.00	
第6类	59.48	111.13	55.42	57.76	61.54	58.36	75.81	72.50	91.40	113.61	122.05	122.79	
第7类	60.06	119.48	57.32	73.83	88.81	80.80	107.79	97.85	113.74	120.01	124.68	120.63	
第8类	58.44	113.53	55.17	65.75	75.13	72.79	91.72	85.88	107.11	112.87	114.87	114.00	
第9类	64.53	144.40	59.59	82.23	101.56	90.92	122.25	111.85	112.19	126.81	121.84	116.19	
第10类	68.55	173.75	59.80	70.89	75.62	72.60	77.07	74.14	85.48	105.17	129.44	119.97	

表2 各类炉型对应主要操作指标

Table 2 Main operating indicators for every operational profile

类别	综合 焦比/ (kg/t)	煤气 利用率/ %	日产 铁量/ t	高炉利用 系数/ (t/(m <sup>3</sup> ·d))	Si 质量 分数/ %
第1类	302.92	50.75	12 395.36	2.254	0.253
第2类	306.49	50.66	12 286.57	2.234	0.262
第3类	308.61	52.32	12 438.20	2.261	0.273
第4类	312.00	50.01	12 297.05	2.236	0.236
第5类	295.04	52.45	12 807.20	2.329	0.292
第6类	303.08	52.12	12 748.78	2.318	0.299
第7类	305.30	52.22	12 516.40	2.276	0.262
第8类	323.20	51.05	12 163.81	2.212	0.288
第9类	295.88	52.18	12 902.23	2.346	0.257
第10类	299.29	50.57	12 562.00	2.284	0.281

据此,可以确定最佳炉型(新1类),并将该炉型条件下对应的冷却壁温度作为今后冷却壁的最佳温度控制范围。

3 结论

结合现代可视化技术将水温差、热流强度等信息以二维、三维方式表现出来,为高炉操作者

对不同时间的温度曲线利用层次聚类算法进行分析<sup>[9]</sup>,得到如表1所示的聚类结果。

利用权重分析法对各类炉型所对应的综合焦比、煤气利用率、高炉利用系数等指标进行综合排序,排序结果如表2所示。

对表2中的5个指标按炉型进行优劣排序,经过权重比较后,得到新的5类最终聚类类别,其中,第1类炉型为最佳炉型,第5类炉型为最差炉型,第2、第3、第4类为一般炉型,得到的最终聚类结果及评价如表3所示。

表3 排序后聚类结果及评价

Table 3 Clustering results after ranking and corresponding evaluation

最终聚类类别	对应之前聚类类别	炉型评价
1	5	炉型最优,焦比最低,煤气利用率高、日产铁量较高
2	6、9	炉型较优,日产铁量最高,利用系数高,焦比低,煤气利用率较高
3	3、7、10	炉型一般,日产铁量较高,焦比较高,煤气利用率高
4	1、2、8	炉型较差,日产铁量较低,焦比较高,煤气利用率一般
5	4	炉型最差,日产铁量最低,焦比较高,煤气利用率一般

及时把控炉体周向炉况变化提供了新的工具。尽管目前受限于炉体水温差系统温度测点不足的影响,没有充分显现该软件的功能,但是随着系统的改造升级,相信该软件将能够为高炉操作提供更多的信息。另外,根据聚类分析与权重分

表2 负荷分配优化计算结果

Table 2 Optimized load distribution calculation results

机架	出口厚度/ mm	压下率/ %	绝对张力/ kN	单位张力/ (N/mm <sup>2</sup> )	轧制速度/ (m/min)
入口	2.750		189.1	55.0	262.9
1	1.890	31.3	274.9	116.4	382.6
2	1.312	30.6	211.7	129.2	551.2
3	0.932	28.9	167.6	143.9	775.7
4	0.696	25.4	120.6	138.8	1 039.3
5	0.590	15.2	29.5	40.0	1 225.3

计算方法得到的各道次负荷分配较为合理,遵循前几机架压下率分配较大、末机架较小、总体上压下率保持递减的原则,有利于保证产品板形及表面质量。张力分配合理且具有较高的轧制速度。本次优化计算共迭代31次,用时0.02 s,计算速度较快,稳定性好,符合在线控制的要求。

4 结束语

根据冷连轧在线生产要求,建立了冷连轧机负荷分配多目标函数,并通过两阶段计算方法求解,得出的结论如下:(1) 在建立基于轧制力、板形、压下率、功率及张力的目标函数基础上,构造了负荷分配多目标函数,通过引入惩罚项,将有约束的最优化问题转化为无约束的最优化问题。(2) 通过两阶段计算方法对目标函数进行求解,得到综合考虑设备能力、轧机产量和产品质量的负荷分配规程。(3) 该负荷分配优化计算方法

(上接第51页)

析找到最佳操作炉型,可依据得出的最佳操作炉型确定各段冷却壁热电偶温度控制范围,并结合热流强度的可视化结果进一步确定高炉各段的最佳控制参数,为高炉炉型的管理与操作提供依据。

参考文献:

[1] 车玉满,孙鹏,李连成,等. 鞍钢铜冷却壁高炉操作炉型管理模型开发与应用[J]. 炼铁,2007,26(5):18-21.

[2] 王宝海,张洪宇,车玉满. 鞍钢铜冷却壁高炉热负荷管理[J]. 炼铁,2008,27(2):14.

[3] 孙鹏,车玉满,李连成,等. 鞍钢高炉铜冷却壁操作炉型管理系统的开发与实现[J]. 冶金自动化,2012,36

已成功应用于某冷连轧生产线,计算速度快、稳定性好,具有良好的工业应用前景。

参考文献:

[1] 张超. MATLAB 在冷连轧机负荷分配优化模型中的应用[J]. 钢铁研究,2011,39(3):19-21.

[2] 矫志杰,赵启林,王军生,等. 冷连轧机过程控制在负荷分配方法[J]. 钢铁,2004,40(3):44-47.

[3] 李勇. 多目标进化算法及其在轧制规程优化中的应用研究[D]. 沈阳:东北大学,2009.

[4] 王军生,白金兰,刘相华. 带钢冷连轧原理与过程控制[M]. 北京:科学出版社,2009:185.

[5] PIRES C T A, FERRERA H C, SALES R M, et al. Set-up optimization for tandem cold mills: a case study[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2006, 173(3):368-375.

[6] 陈树宗,张殿华,刘印忠,等. 唐钢1 800 mm 五机架冷连轧过程控制模型设定系统[J]. 中国冶金,2012,22(10):13-17.

[7] GUO R M. Application of PC and LAN for a level 2 setup model of a single-stand reversing mill[J]. Iron and Steel Engineer,1997,74(8):41-46.

[8] NELDER J A, MEAD R. A simplex method for function minimization[J]. Computer Journal, 1965, 7(4):308-313. [编辑:薛 朵]

(1):58-61.

[4] 陈令坤. 武钢5号高炉操作炉型管理系统的开发及应用[J]. 炼铁,2011,30(6):6-10.

[5] 代兵,张建良,姜喆,等. 高炉铸铜冷却壁热面状况计算模型的开发与实践[J]. 冶金自动化,2012,36(5):37-41.

[6] 张卫东,任立军,沈海波,等. 首钢京唐5 500 m<sup>3</sup> 高炉长寿技术的应用[J]. 炼铁,2010,29(5):11-13.

[7] 王涛,张卫东,任立军,等. 首钢京唐公司1号高炉工艺技术特点[J]. 炼铁,2010,29(1):6-9.

[8] 陈义信,王开定. 热流强度监测操作炉型的实践[J]. 马钢技术,1999(4):26-28.

[9] 杜强. SPSS 统计分析从入门到精通[M]. 北京:人民邮电出版社,2009:291-296.

[编辑:沈黎颖]