

。系统与装置。

基于一体化生产的炼钢—连铸—热轧 动态调度仿真系统

芦永明, 贺东风, 徐安军, 田乃媛

(北京科技大学 冶金与生态工程学院, 北京 100083)

摘要: 根据炼钢—连铸—热轧一体化生产计划与调度的特点, 提出了一体化生产下炼钢—连铸—热轧的动态调度问题, 并在此基础上分析了炼钢—连铸过程中的生产扰动。基于生产扰动问题, 提出了炼钢—连铸—热轧一体化动态调度策略, 并依此建立了炼钢—连铸—热轧一体化动态调度仿真系统。最后对实际生产中常见的“追加计划”进行了仿真, 系统分别对炼钢—连铸计划、轧制和加热炉计划进行了动态调度。结果表明, 该系统能够依据扰动, 动态调整生产计划, 保证生产稳定顺行。

关键词: 一体化生产; 炼钢—连铸—热轧; 动态调度; 仿真系统

中图分类号: TP273 TP777.2 文献标志码: A 文章编号: 1000-7059(2010)06-0033-06

Dynamic scheduling simulation system based on integrated Production of SM-CC-HR

LU Yongming, HE Dongfeng, XU Anjun, TIAN Naiyuan

(School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology Beijing,
Beijing 100083, China)

Abstract: In this paper, the issue of dynamic scheduling of SM-CC-HR is raised first based on the characteristics of integrated production planning and scheduling of SM-CC-HR. Then, the production disturbances of SM-CC process are analyzed. To cope with the production disturbances, integrated dynamic scheduling strategy of SM-CC-HR is proposed, and accordingly an integrated dynamic scheduling simulation system of SM-CC-HR is established. Finally, a case of "Add Plan" that is frequently arisen request in actual production is simulated, in which steelmaking, continuous casting planning, hot rolling planning and reheating furnaces planning are scheduled dynamically by the system. The results of the simulation show that the system can dynamically adapt the production plan to the disturbances and ensure stable operation of the integrated production.

Key words: integrated production; SM-CC-HR; dynamic scheduling; simulation system

生产调度是生产管理中关键的中间环节。生产调度是指针对一项可分解的工作(如产品制造), 探讨在一定的约束条件下, 如何安排其组成部分(操作)所占用资源、加工时间及先后顺序, 以获得产品制造时间或成本的最优化。生产调度包

括静态调度和动态调度。静态调度是指原始调度的生成; 动态调度是指由于某种信息或事件的发生, 使得原始调度必须做相应修改和更新^[1]。炼钢—连铸—热轧动态调度要解决的是生产计划调度的动态性、实时性和在线性问题^[2]。

收稿日期: 2010-04-26 修改稿收到日期: 2010-05-26

基金项目: 国家科技支撑计划(2006BAE03A07)

作者简介: 芦永明(1982-), 男, 山西大同人, 博士研究生, 主要研究方向为钢铁制造流程多维物流管制。

一直以来, 研究炼钢—连铸区段动态调度的文章居多, 但对一体化生产下炼钢—连铸—热轧动态调度问题鲜有研究。文献 [3] 提出了基于人机协调、多种方法组合、四维一体综合集成的动态调度方案; 文献 [4] 提出了基于案例推理、人机交互相结合的局部调整以及基于分批规则的重调度方法; 文献 [5] 建立了基于图形化编辑平台的炼钢—连铸动态调度仿真系统; 文献 [6] 研究了案例推理在炼钢—连铸动态调度系统中的应用; 文献 [7—13] 提出了运用模型的方法, 实现炼钢厂炼钢—连铸区段的动态调度。2009 年, 我们在以上文献基础上, 研究了一体化生产下炼钢—连铸—热轧动态调度问题, 提出了针对炼钢、精炼和连铸等过程中不同扰动所采取的调度方案, 并运用了规则、模型、算法和人机交互相结合的方法, 实现一体化生产下炼钢—连铸—热轧计划动态调整, 并建立了相应的炼钢—连铸—热轧动态调度系统。

1 炼钢—连铸—热轧动态调度方法研究

所谓炼钢—连铸—热轧一体化生产, 实际就是炼钢、连铸、热轧各工序统一计划、统一调度、统一制定“时刻表”, 保证生产物流连续高效运作, 使物流和信息流尽可能同步, 有效地发挥热送热装和直轧工艺的作用, 进而达到降低成本, 提高产品质量, 缩短产品生产周期的目的。炼钢—连铸—热轧一体化生产计划与调度如图 1 所示。

—热轧动态调度的关键是如何在整个过程遇到扰动时, 特别是在炼钢—连铸过程的扰动发生时, 根据系统监控到的实时情况修改炼钢—连铸、加热炉以及热轧原定的生产计划 (即静态调度), 使钢铁生产流程能够持续、优化、稳定地运行。

1.1 炼钢—连铸生产过程扰动及其分类

炼钢—连铸生产过程中的扰动包括铁水供应波动、时间偏差、钢水温度类和成分类扰动、浇铸异常、产品缺陷以及设备故障等。根据钢厂生产过程中的扰动特点可归纳为时间波动类、冶炼工艺类、产品问题类和设备故障类扰动, 见图 2。

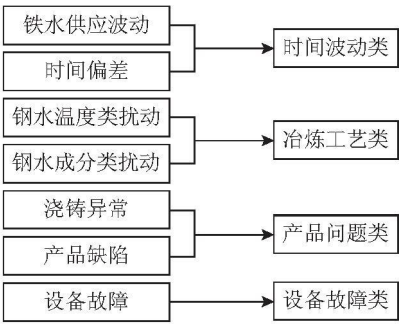


图 2 炼钢—连铸生产过程扰动分类

Fig 2 Disturbances classification of SM-CC process

(1) 时间波动类。时间波动类扰动主要包括铁水供应波动和时间偏差等, 是指生产过程中, 生产状态开始或结束的时刻与生产计划中的时刻相比有偏差。

(2) 冶炼工艺类。冶炼工艺类扰动主要包括钢水温度类扰动和成分类扰动, 温度类扰动是指精炼和连铸过程中钢水温度不合格, 不能满足最终连铸要求, 对于钢水温度低的处理预案主要有 LF 炉加热或回炉等措施, 而对于钢水温度太高的处理措施主要是加废钢和吹氩气等; 成分类扰动是指精炼过后钢水成分不合格, 不能满足冶炼此钢种的冶金技术标准要求, 产生此类扰动的主要原因一般是某些元素 (如 P 和 S) 含量偏高, 一般来说, 可采用钢种改判或钢水回炉方法来处理, 而对于 S 含量高的处理预案, 还可采用 LF 炉处理。

(3) 产品问题类。产品问题类扰动包括浇铸异常和产品缺陷, 浇铸异常主要指连铸生产过程中诸如漏钢、铸坯鼓肚等现象; 产品缺陷则主要指轧制后产品存在不能满足客户要求的某种缺陷。产品问题类扰动的计划调整, 往往需要调整轧制计划或追加新的生产计划以满足订单要求。

(4) 设备故障类。设备故障在炼钢、精炼和连

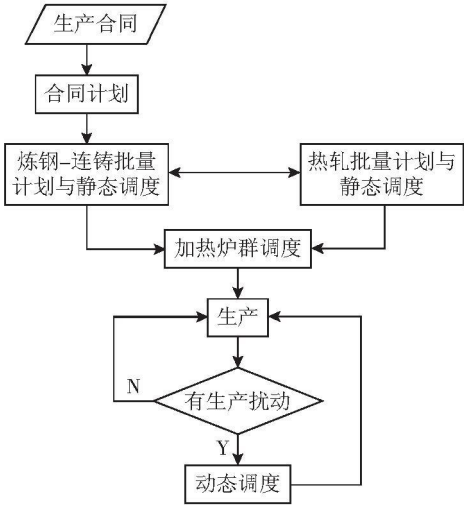


图 1 炼钢—连铸—热轧一体化生产计划与调度
Fig 1 Integrated production planning and scheduling of SM-CC-HR

对于钢铁生产动态调度, 其任务是根据来自设备级的反馈信息和实际系统状态数据, 决定下一步执行哪个操作。一体化生产下的炼钢—连铸

铸工序都有可能发生, 对于设备故障的处理预案主要是通过满足工艺条件的情况下进行设备替换, 当无法替换时采取计划延迟策略。

1.2 炼钢—连铸—热轧动态调度策略和方法

钢铁生产工艺复杂、生产设备多、物流纵横交错。因此, 生产中不仅要考虑钢水到达时间偏差、设备故障, 而且还需考虑钢水成分不合格、钢水温度补偿、浇铸异常及产品缺陷等动态扰动事件。本文从生产过程中的动态扰动事件出发, 通过监控、识别扰动事件从而选择相应的扰动处理策略, 进而采用启发式规则、优化模型、算法和人机交互相结合的方法调整静态计划。图 3 示出一体化生产下炼钢—连铸—热轧动态调度策略和方法。

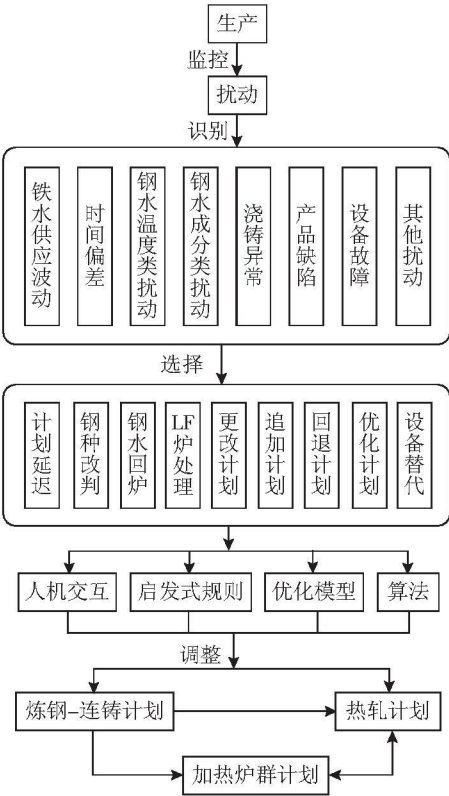


图 3 一体化生产下炼钢—连铸—热轧动态调度策略和方法

Fig 3 Strategies and methods of dynamic scheduling based on integrated production of SM-CC-HR

2 动态调度仿真系统结构和功能

2.1 仿真系统结构

炼钢—连铸—热轧动态调度系统结构如图 4 所示, 主要包括以下 5 个部分。

(1) 预案库。预案库针对不同扰动给出相应处理建议, 有助于操作者做出正确决策, 包括转炉扰动、精炼扰动、连铸扰动、加热炉扰动、热轧扰动

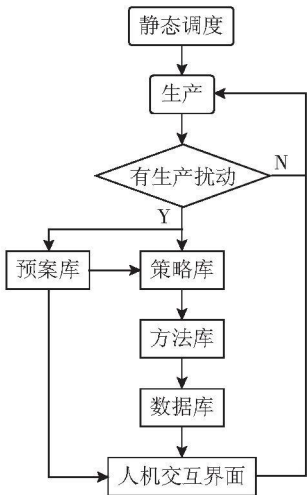


图 4 炼钢—连铸—热轧动态调度系统结构

Fig 4 Dynamic scheduling system structure of SM-CC-HR

和其他扰动的预案。

(2) 策略库。策略库针对不同扰动进行归纳分析, 提出不同处理策略, 主要包括计划延迟、钢种改判、钢水回炉、LF 炉处理、更改计划、追加计划、回退计划、优化计划和设备替代等策略。

(3) 方法库。方法库针对不同的扰动处理策略, 提出了以启发式规则、优化模型、算法为核心的动态调度方法。其中启发式规则中包括时间缓冲规则、钢种冶炼工艺规则等; 优化模型包括计划优化模型、机器冲突消解模型等; 算法包括遗传算法、禁忌搜索算法、设备替换算法等。

(4) 数据库。系统采用 Oracle 数据库, 并应用支持数据访问的 Hibernate 中间件, 将调整后的生产计划数据及时存储于生产计划数据库中, 便于顺利执行生产计划。

(5) 人机交互界面。采用面向对象的 Java 作为编程语言, 应用支持图形渲染的 JGraph 中间件, 充分考虑界面的可视性, 并采用人机交互技术, 使用户可以直接在甘特图上进行动态调度操作, 极大地提高了系统界面的友好性, 降低了操作难度。

2.2 仿真系统功能

(1) 预案管理。预案管理包括对一体化生产下炼钢—连铸—热轧发生的扰动及其处理预案进行学习积累、补充修改以及删除和查找等功能。

(2) 炼钢—连铸动态调度。炼钢—连铸动态调度根据扰动处理策略, 及时调整炉次计划和浇次计划, 保证炼钢—连铸区段生产计划顺利执行。

(3) 热轧动态调度。热轧动态调度包括热轧出现扰动时执行的动态调度, 以及当炼钢—连铸

计划发生改变时对热轧计划做出的及时调整,最后可以选择根据轧制计划优化模型进一步优化调整后的轧制计划,以保证热轧计划能够顺利执行。

(4)加热炉群动态调度。加热炉群动态调度主要是当炼钢—连铸和热轧计划发生变化时,动态调整加热炉群板坯加热计划,以保证热轧生产顺利进行。

3 仿真实例

本仿真基于“国家科技支撑计划”——钢铁制造流程仿真平台。某钢厂炼钢—连铸—热轧区段生产流程配置为:3座转炉;6台精炼设备(RH设备3台,CAS设备两台,LF设备1台);3台连铸机;两条热轧线,其中每条热轧线对应3座加热炉。根据以上条件建立仿真系统的设备环境。

以追加计划为例,假设由于某种扰动,需要在炉次 L30003之后插入一个新炉次 L300031,选择追加炉次和模型优化策略。首先通过人机交互在炉次 L30003之后插入一个新炉次 L300031(炉次 L300031追加后的转炉—连铸计划如图 5所示),并在轧制计划中追加相应的板坯,通过智能优化算法动态优化炼钢—连铸计划,然后通过设备动态调度算法选择合适的精炼设备,最后再根据轧制优化模型和加热炉群调度模型,分别优化追加板坯后的热轧计划和加热炉群调度计划。优化后的其中一条热轧线的轧制计划和加热炉群调度如图 6所示,图中,深色部分表示原有板坯计划,浅色部分表示追加的板坯计划。

仿真结果表明,系统图形化界面直观形象,人

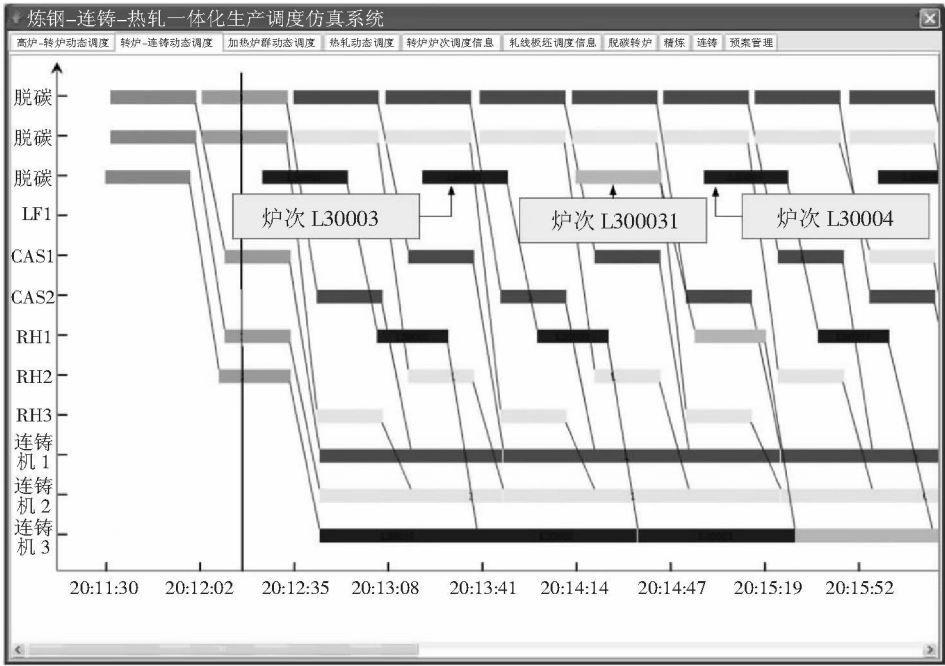


图 5 追加炉次后炼钢—连铸计划

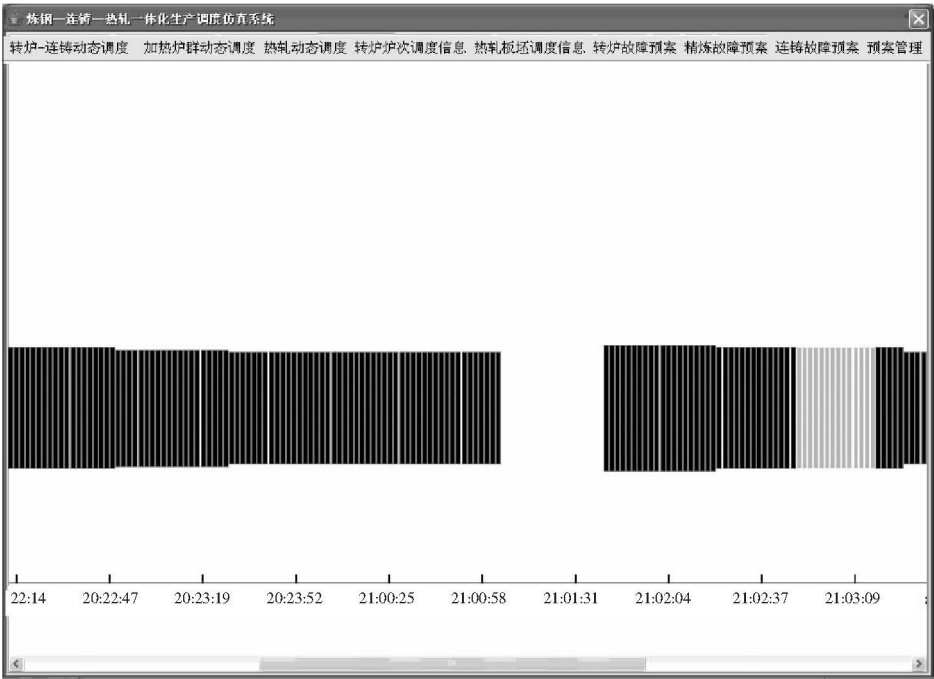
Fig 5 SMC scheduling after adding heat

机交互操作简单方便,且能够依据扰动动态调整炼钢—连铸、热轧以及加热炉群调度计划,从而保证生产稳定顺行。仿真结果证明该系统对钢铁企业实际生产中的动态调度有一定的借鉴意义。

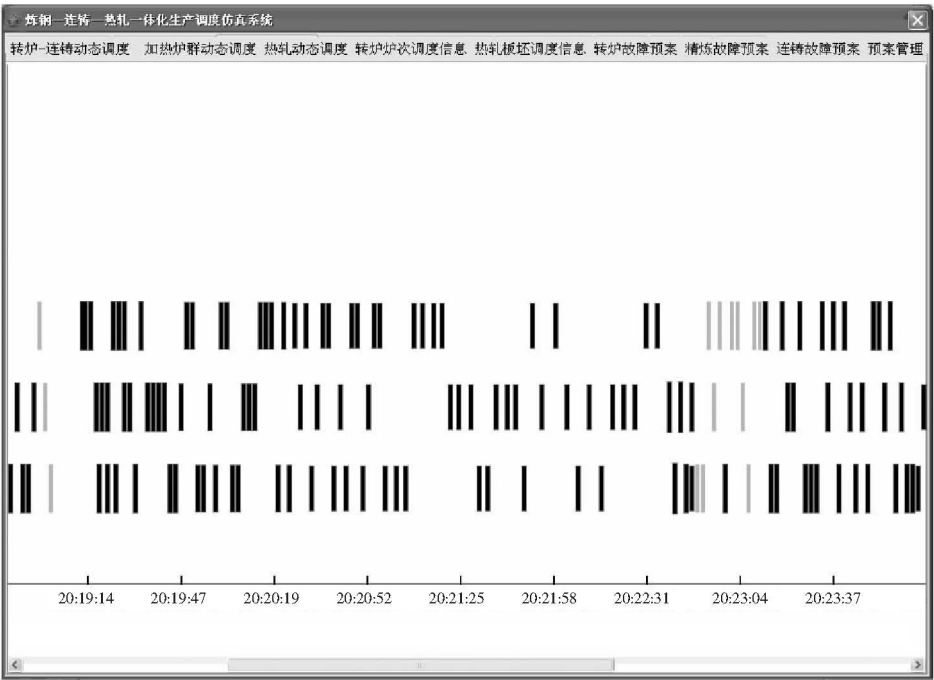
参考文献:

[1] 戴绍利,谭跃进,汪浩. 生产调度方法的系统研究[J]. 系统工程, 1999, 17(1): 41-45
DAI Shao-li, TAN Yue-jin, WANG Hao. System research of production scheduling [J]. Systems Engineering, 1999, 17(1): 41-45

[2] Cowling P J, Ouelhadj D, Petrovic S. A multi-agent architecture for dynamic scheduling of steel hot rolling [J]. Journal of Intelligent Manufacturing, 2003, 14(5): 457-470
[3] 庞新富,俞胜平,黄辉,等. 炼钢连铸动态调度子系统及其应用研究[J]. 冶金自动化, 2006, 30(3): 8-12
PANG Xin-fu, YU Sheng-ping, HUANG Hui, et al. Engineering implement of dynamic subsystem in steelmaking and continuous casting scheduling system [J]. Metallurgical Industry Automation, 2006, 30(3): 8-12
[4] 庞新富,俞胜平,郑秉霖,等. 炼钢连铸动态调度方法及



(a)热轧计划



(b)加热炉群调度

图 6 追加板坯后热轧计划和加热炉群调度

Fig 6 Hot rolling Planning and reheating furnaces scheduling after adding slabs

其应用[J]. 石油化工高等学校学报, 2007, 20 (3): 60-63

PANG Xin-fu, YU Sheng-ping, ZHENG Bing-lin, et al. Dynamic scheduling method and its application for steel making and continuous casting[J]. Journal of Petrochemical Universities, 2007, 20 (3): 60-63

炼钢连铸动态调度仿真系统[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(16): 5 145-5 149

YU Sheng-ping, CHEN Wen-ming, PANG Xin-fu, et al. Simulating system of dynamic scheduling for steelmaking and continuous casting based on graphic edit platform[J]. Journal of System Simulation, 2009, 21(16): 5 145-5 149

- 度系统中的应用研究[J]. 冶金自动化, 2008, 32(2): 29-33
- CHEN Jun-peng, CHEN Wen-ming, LUO Shou-zhang et al. Study on application of CBR in steelmaking and continuous casting dynamic scheduling system[J]. Metallurgical Industry Automation, 2008, 32(2): 29-33
- [7] 江秀霞, 陈文明, 苏冬平, 等. 炼钢连铸调度系统中制造命令调整模型及算法[J]. 冶金自动化, 2008, 32(3): 23-27.
- JIANG Xiuxia, CHEN Wenming, SU Dongping et al. Product order adjustment model and algorithm in steel making and continuous casting scheduling system[J]. Metallurgical Industry Automation, 2008, 32(3): 23-27.
- [8] 宁树实, 王伟, 潘学军. 基于准时制思想的炼钢—连铸生产动态调度算法[J]. 信息与控制, 2007, 36(1): 56-62
- NING Shu-shi, WANG Wei, PAN Xue-jun. A dynamic scheduling algorithm based on just in time principle for steelmaking continuous casting process[J]. Information and Control, 2007, 36(1): 56-62
- [9] 唐立新, 杨自厚, 王梦光. 炼钢—连铸生产调度问题研究[J]. 钢铁, 1996, 31(11): 27-30
- TANG Lixin, YANG Zhihou, WANG Meng-guang. Study on steelmaking and continuous casting production scheduling[J]. Iron and Steel, 1996, 31(11): 27-30
- [10] 俞胜平, 王秀英, 郑秉霖, 等. 基于变约束规划模型的炼钢连铸动态调度[J]. 控制理论与应用, 2009, 26(7): 771-776
- YU Shengping, WANG Xiuying, ZHENG Binglin et al. Dynamic scheduling for steelmaking and continuous casting based on the programming model with varying constraints[J]. Control Theory & Applications, 2009, 26(7): 771-776
- [11] TANG Lixin, Peter B Luh, LU Jiyin et al. Steelmaking process scheduling using Lagrangian relaxation[J]. International Journal of Production Research, 2002, 40(1): 55-70
- [12] Cowling P J, Ouelhadj D, Petrovic S. Dynamic scheduling of steel casting and milling using multi agents[J]. Production Planning and Control, 2004, 15(2): 178-188
- [13] Ouelhadj D, Cowling P J, Petrovic S. Utility and stability measures for agent based dynamic scheduling of steel continuous casting[C]//IEEE International Conference on Robotics and Automation, Taipei, 2003, 175-180
- [编辑: 初秀兰]

(上接第 19 页)

- 47.
- YANG Wen-qing, LI Bin, ZHANG Zhi-gang. Character of mandrelless transform coil box in 1 750 mm Hot Strip Mill of Baogang[J]. Xijiang Iron & Steel, 2006, 98(2): 45-47.
- [2] 潘宏. PLC在热轧带钢厂热卷箱中的应用[J]. 电气传动, 2002, 32(2): 57-59
- Pan Hong. The application of PLC on the hot coil box of the hot strip mill plant[J]. Electric Drive, 2002, 32(2): 57-59
- [3] 胡建平, 张志刚. 带钢热连轧中热卷箱的选用[J]. 轧钢, 2007, 27(4): 45-47
- HU Jianping, ZHANG Zhi-gang. Integrated analysis on coil box selection for hot strip rolling mill[J]. Steel Rolling, 2007, 27(4): 45-47.
- [4] 张斌. 1 780 mm生产线上无芯轴隔热屏热卷箱及其功能[J]. 宝钢技术, 2004(5): 11-13, 34
- ZHANG Bin. Application of the coil box on the 1 780 mm hot strip rolling line[J]. Baosteel Technology, 2004(5): 11-13, 34
- [5] 纪有礼, 董逵, 赵恒远, 等. 川威、泰钢热连轧热卷箱自动控制[J]. 冶金自动化, 2005, 29(2): 36-39
- Ji Youli, DONG Kui, ZHAO Hengyuan et al. Automatic control of hot coil box for hot strip mill in Chuanwei Iron & Steel Co.[J]. Metallurgical Industry Automation, 2005, 29(2): 36-39
- [6] 王伟光, 谢向群, 俞春明. 热卷箱弯曲辊缝及抬起速度探讨[J]. 轧钢, 2006, 23(5): 27-29
- WANG Weiguang, XIE Xiangqun, YU Chunming. Study on roll gap of bending roll of heat coil box and its starting up speed[J]. Steel Rolling, 2006, 23(5): 27-29
- [7] 李伟, 杨振东, 石金宝. 热卷箱弯曲辊缝的控制[J]. 承钢技术, 1998(1): 36-39
- LI Wei, YANG Zhen-dong, SHI Jin-bao. Control of bending roll gap for coil box[J]. Chengsteel Technology, 1998(1): 36-39
- [8] 王新民, 术洪亮. 工程数学计算方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005
- [9] 焦景民, 王成军, 罗付华, 等. 攀钢 1 450 mm热连轧无芯移送式热卷箱技术及控制[J]. 冶金自动化, 2006, 30(5): 63-65
- JIAO Jingmin, WANG Chengjun, LUO Fuhua et al. Technology and control of mandrelless transform coil box in 1 450 mm hot strip mill of Pangang[J]. Metallurgical Industry Automation, 2006, 30(5): 63-65