

· 系统与装置 ·

步进式加热炉加热时间预测优化

陈 永 刚

(宝山钢铁股份有限公司宝钢分公司 设备部, 上海 201900)

摘要:主要研究在热轧步进式加热炉过程控制计算机系统中,如何准确预测板坯在炉加热时间。通过分析时间预测计算的相关因素,给出了针对板坯抽出节奏、最小在炉时间和待轧策略等相关因素的时间预测优化手段。其中优化手段主要包括预测策略的改进,采用理论公式计算值替代经验常数,通过实际数据回归修正公式系数等。最后采用离线模拟试验,通过验证结果数据展现了优化效果。整个时间预测优化提高了炉内板坯在炉时间的预测精度,为加热炉自动燃烧控制模型提供了可靠的计算前提条件。同时准确的时间预测既保证了轧线对板坯产量的需求,又保证了板坯有较好的加热质量和较低的燃耗。

关键词:步进式加热炉;时间预测;抽出节奏;待轧策略

中图分类号: TF068; TP273 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7059 (2009) 0033-04

Optimization of heating time prediction for walking beam furnace

CHEN Yong-gang

(Department of Equipment, Baosteel Branch of Baoshan Iron & Steel Co., Ltd., Shanghai 201900, China)

Abstract: Accurate prediction of slab heating time in-furnace in process control computer system of walking beam furnace for hot rolling is studied. Through analysis of relevant factors which relate to time prediction calculation, time prediction optimization means which relate to slab taking rhythm, smallest in-furnace time and waiting rolling strategy etc. relevant factors are given. Optimization means include improvement of prediction strategy, theoretical formula calculation instead of empiric constants, and correction of formula factors with actual data regression. Off-line simulation test was carried out to verify result data, and optimization effect is given. Through time prediction optimization, prediction accuracy of slab heating time in-furnace was improved, and prerequisite for reliable calculation was provided for automatic combustion control model of walking beam furnace. At the same time, accurate prediction of time meets the need of slab rolling production line, and slab has better heating quality and fuel consumption is lower.

Key words: walking beam furnace; time prediction; taking rhythm; waiting rolling strategy

0 引言

加热炉在加热过程中,板坯在炉时间预测准确与否直接影响温度控制。预测时间比实际需要加热的时间长会导致满足不了轧线的产量需求和出炉的板坯温度指标不合格;时间预测过短则会使板坯在加热炉内过早地升温,这样不但增加燃料消耗,同时还会导致板坯的氧化烧损加剧。目

前对加热炉燃烧控制来说,不能准确预测板坯在炉时间的模型通常就不能投入自动烧钢控制,即便强制投入烧钢控制,同时加入操作上的干预,也会产生控制不是最优的状况。准确预测板坯在炉时间不但对加热炉自动烧钢有很大的作用,同时对提高板坯加热质量、减少板坯的氧化烧损及降低燃耗都密切相关,所以研究如何提高板坯在炉

收稿日期: 2008-12-01;修改稿收到日期: 2009-02-27

作者简介:陈永刚(1973-),男,上海人,工程师,硕士,一直从事加热炉过程控制计算机的相关工作。

时间的预测精度对加热炉自动烧钢控制有着非常重要的意义。

1 时间预测的相关因素

一般来说,板坯在炉时间预测需要考虑生产安排、产品本身限制及加热炉状况等因素。要分析影响时间预测的主要因素可以从计算方法入手,预测时用到的外围数据很多,大致可以分为以下几类:抽出节奏、轧制顺序、板坯本身的限制条件和加热炉的状态,下面对这几类分别进行分析。

1.1 抽出节奏

抽出节奏是加热炉的抽钢间隔时间。加热炉抽钢的前提是加热炉方面和轧线方面都满足条件才能进行抽钢,抽出节奏由式(1)确定。

$$T_p = \text{Max}(T_{pm}, T_{pf}) \quad (1)$$

式中, T_p 为最终抽出节奏; T_{pm} 为轧线节奏; T_{pf} 为炉子节奏。

轧线节奏是轧线对炉子的产能要求,炉子节奏是炉子本身的加热能力。炉子本身的加热能力完全可以通过自身的数据计算出来,而其中的难点是如何较为准确地预测轧线节奏,如果要精确地计算轧线节奏,会涉及到轧线上的大多数模型,而把它们放在加热炉模型中既不可行,也不现实。所以,如何将轧制节奏由复杂、不可控转变为可控、可预测,对时间预测来说非常必要。

1.2 轧制顺序

轧制顺序直接决定了板坯的抽出生产顺序,也是时间预测计算的基础条件。实际生产中,轧制顺序一般情况下不会有变动,只是在某些特殊情况下会导致轧制顺序发生变化。这时如果没有很好的处理手段,往往会导致时间预测出现很大的误差。这里需要指出的是,少量的换抽(更换轧制顺序)对时间预测并无大碍,但是大批量的换抽会极大地影响预测时间的准确性。良好的待轧策略可以减小轧制顺序变动导致的时间预测误差。

1.3 板坯本身的限制条件

在预测计算中,板坯本身的限制条件较多。其中主要的是板坯最小在炉时间、当前在炉内所处的位置和正常情况下的轧制节奏。随着板坯本身的特性不同及炉子加热能力的不同,各种板坯的最小在炉时间并不相同,即便同一板坯在不同加热能力的炉子中它的最小在炉时间也不尽相同。所以对于板坯本身而言,找准板坯合理的最小在炉时间,是准确预测的前提。

1.4 加热炉状态

加热炉状态对时间影响的主要因素是加热能力、机械搬运能力和是否处于待轧状态。炉子的加热能力一般情况下是指炉子标准坯的小时产量,而这里可以将它转换为炉内各段可以达到的极限炉温。机械搬运能力是指步进梁移动的步长和时间,一般在多炉正常连续生产时,它不会成为时间预测中的主要因素,只有在单炉或有较大空炉时它才会制约预测的时间。待轧与否对时间预测会有很大的影响,实际生产中也存在着大量的待轧情况,如何合理地利用待轧信息进行在炉时间预测相当重要。

通过以上分析可知,预测时间的关键是合理地提前预测抽出节奏、根据炉子板坯本身的特性和炉子的加热能力计算板坯最小在炉时间、在预测时间上合理体现待轧策略。

2 准确预测时间

2.1 准确预测抽出节奏

抽出节奏控制方式一般分为三种,即手动抽出、定时抽出和按轧制节奏计算。在手动抽出时,板坯始终处于待抽出状态,因为抽出节奏随意性较大,所以抽出节奏不稳定。定时抽出是指按照固定的间隔时间向轧线提供板坯,这时的抽出节奏基本上是一个恒定值,但是定时的时间随着生产状况经常会发生变化,时间预测也会受到干扰而产生波动。轧制节奏方式是指由轧线模型进行预测计算后,按计算的抽出节奏进行控制,这使得时间预测对轧线模型有较强的依赖性,一旦轧线模型出现异常,时间预测必然受到影响,最终导致加热炉温度控制不合理。以上所述的节奏控制都受到较多不稳定因素的影响,而且波动范围较大,这样势必导致预测时间不准。由于加热模型需要的抽出节奏应是一个相对比较稳定而且合理的值,所以根据现有经验和资源,将抽出节奏按式(2)方法进行推测计算。

$$T_p = f(C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6) \quad (2)$$

式中, C_1 为生产炉子数; C_2 为板坯规格; C_3 为成品规格; C_4 为温度要求; C_5 为钢种; C_6 为特殊要求。

由于生产炉子数与抽出节奏变化趋势相反,板坯规格、成品规格与温度要求的变化和抽出节奏变化趋势相同,钢种和特殊要求随具体情况而发生变化。所以节奏的预测公式可按式(3)进行估计。

$$T_p = \alpha_1 / c_{\text{fuc}} + \alpha_2 \times (\alpha_3 h_{\text{slab}} - h_{\text{aim}}) + \alpha_4 (\alpha_5 w_{\text{slab}} - w_{\text{aim}}) + \alpha_6 T_{\text{aim}} + \alpha_7 \quad (3)$$

式中, $\alpha_1 \sim \alpha_7$ 为系数, 其中 α_7 可以考虑部分特殊因素影响; c_{fuc} 为正在生产的加热炉数; h_{slab} 为板坯厚度; h_{aim} 为成品厚度; w_{slab} 为板坯宽度; w_{aim} 为成品宽度; T_{aim} 为板坯目标温度。

通过采集一定量的现场数据并进行回归分析, 可以确定式 (3) 中 $\alpha_1 \sim \alpha_7$ 的系数, 从而确定抽出节奏的计算公式。

以此节奏作为基准值, 在实际使用过程中通过式 (4) 对实际使用的抽出节奏间隔时间进行进一步的学习修正, 具体学习方法根据实际需求而定。选用的学习方法要求能够快速逼近实际要求, 并且过渡要平稳。

$$T_{\text{pu}} = T_p + \Delta T_p \quad (4)$$

式中, T_{pu} 为实际使用的抽出节奏; ΔT_p 为节奏学习值。

2.2 计算板坯最小在炉时间

最小在炉时间是保证板坯温度质量的一个重要参数, 但它随着加热炉的加热能力、板坯自身条件的不同而不同。加热能力可以通过模拟炉内供热段极限负荷时的工况获取, 板坯自身因素与装炉初始温度、抽出目标温度、板厚及钢种有关。

一般某板坯在一个特定炉子中的最小在炉时间可以计算如下。

$$T_{\text{min}} = -H/\alpha \cdot \ln \left(\frac{\theta_g - \theta_{\text{out}}}{\theta_g - \theta_{\text{in}}} \right) \quad (5)$$

式中, T_{min} 为最小在炉时间, h; H 为板坯厚度, m; α 为热传导率; θ_g 为炉气温度, (加热炉内各点的极限温度, 随位置变动而变化); θ_{out} 为目标温度, ; θ_{in} 为初始温度, 。

式 (5) 给出了计算最小在炉时间的基本思路, 实际计算时需要注意的是炉气温度并不是固定不变, 另外热传导率也会随着板坯温度的变化而变化。

2.3 在时间预测上体现待轧策略

根据不同的生产情况待轧策略一般分为三种: 轧线突发事故导致加热炉停止抽出一段时间; 加热炉故障导致停止抽出; 计划安排导致停止抽出。

轧线突发事故导致的停炉一般处理起来相对较为简单, 只要在现有预测的时间基础上累加待轧时间即可。即

$$T_{\text{slb}} = T_{\text{pre}} + T_{\text{sud}} \quad (6)$$

式中, T_{slb} 为轧线突发故障后板坯的预测在炉时间; T_{pre} 为轧线突发故障前板坯的预测在炉时间; T_{sud} 为轧线突发故障时间。

加热炉故障导致停炉时, 轧线生产能力保持不变, 这时如果按照原来生产节奏时, 加热炉往往会成为瓶颈。为了避免无法满足轧线产量要求, 需要考虑加快其它几个炉子的生产节奏。

$$\sum_{i=1}^n T_i' = \sum_{i=1}^n T_i - T_{\text{sgl}} \quad (7)$$

式中, T_i' 为没有故障炉子的预测在炉时间; T_i 为故障前没有故障炉子的预测在炉时间; T_{sgl} 为故障炉子的故障时间; n 为没有故障的炉子数。

一般可提前输入计划安排导致停止抽出的时间, 并在待轧板坯进入高温区前输入待轧时间, 产生的效果更为明显。在时间预测上如果预测到板坯在炉时间长, 则可以更好地控制升温曲线, 延迟升温时间, 避免过早升温导致大量的氧化烧损。

现有的时间预测计算中, 导致时间计算不准的原因很多, 除上述原因外, 其它主要表现在: 不能实时地刷新部分外围数据, 原因是很多数据在装炉后一旦确定了就再也不变; 计算时间时大多采用假设炉内搬送是匀速的, 时间一般按照距离进行分割。

如果重新计算时能够及时更新外围数据, 必然可以提高预测计算的准确性, 这样虽然会增加一定的模型计算时间, 但是对于现在计算机的计算能力来说, 这点时间消耗不会引起新的问题。

3 试验对比

试验数据采用 2007 年 4 月宝钢现场实际生产数据 (包括轧制计划、轧制顺序等信息), 模拟程序所用控制逻辑和现场实际使用的控制逻辑一致, 在此基础上对优化程序进行测试。

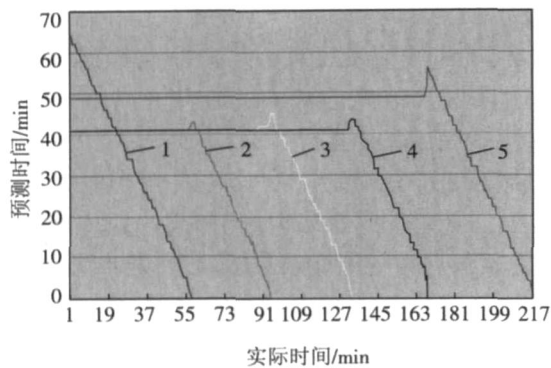
3.1 时间预测策略优化试验

原有时间预测模块是按照固定移动距离来预测, 结果如图 1(a) 所示; 改进后的时间预测模块是按照步进梁移动步数来预测, 结果如图 1(b) 所示。

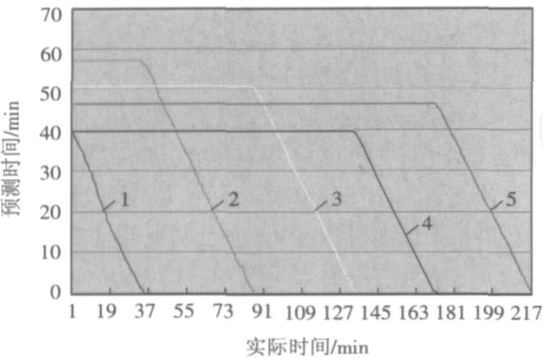
通过图 1 中 (a) 和 (b) 的比较, 可以清晰地看出以下两点: (b) 的预测结果比 (a) 的预测结果要平滑的多; (a) 中在跨段时有明显的跳跃。

3.2 时间预测整体优化试验

试验中的优化包括上述的抽出节奏、最小在炉时间、待轧策略等, 试验结果见表 1 和表 2。



(a)按固定距离



(b)按步进梁移动步数

图 1 预测的模拟结果

Fig.1 Result of time forecast

1—炉尾段; 2—预热段; 3—一加段; 4—二加段; 5—均热段

表 1 优化前的计算结果

Table 1 Results before optimizing

段名	预测时间 / min	实际时间 / min	误差 / min	误差百分比 / %
炉尾段	58	64	6	10.344 83
预热段	37	41	4	10.810 81
一加段	45	41	- 4	- 8.888 89
二加段	31	41	10	32.258 06
均热段	50	49	- 1	- 2

表 2 优化后的计算结果

Table 2 Results after optimizing

段名	预测时间 / min	实际时间 / min	误差 / min	误差百分比 / %
炉尾段	39.45	41	1.55	3.780 488
预热段	57.20	57	- 0.20	- 0.350 880
一加段	50.80	52	1.20	2.307 692
二加段	40.00	41	1.00	2.439 024
均热段	46.40	45	- 1.40	- 3.111 110

通过试验结果可以发现,未经优化的预测时间和实际时间的误差最大可以达到 10 min,部分段的误差百分比达到 32%;而优化后的预测时间和实际时间的误差在 2 min 以内,所有段的误差百分比控制在 5%以内。由此可见整个时间预测优化的效果相当明显。

[编辑:魏 方]

(上接第 32 页)

采集的部分运行画面,图中是两批管子进管时的温度曲线,除急冷段是直接用红外测温仪检测各个铸管温度外,其它各段均通过炉膛温度来反映和控制铸管温度。由图可见,系统稳定运行后,各段控制点控温精度不大于 ± 10 , 尤其保温段、缓冷段温度控制稳定、精确,炉膛温度很好的控制在 $(1\ 020 \pm 5)$, 明显改善了以往的超温现象。在急冷段第 1 个红外测温仪检测温度 (810 ± 8) , 急冷段出口温度 (760 ± 5) , 缓冷段温度控制在 (680 ± 2) , 很好地满足了厂方要求。

由于在该套生产线上独特的控制理念和良好的控制效果以及较低的价格性价比,最近两年来公司又先后设计完成了土耳其萨姆松 S.M. S. 公司 42 m 连续退火炉,印度 Jindal 公司 46 m 连续退火炉,俄罗斯列佩茨克 58 m 连续退火炉,伊朗卡

马市 Hanyco 公司 36 m 连续退火炉等多项工程,均调试完毕,运行良好。

参考文献:

[1]王 颖,王永华,秦炳熙. 基于 PLC 连续退火炉控制系统[J]. 自动化技术与应用, 2006, 25(10): 51-53
WANG Ying, WANG Yong-hua, QIN Bing-xi. PLC control of a continuous annealing furnace [J]. Techniques of Automation and Applications, 2006, 25(10): 51-53
[2]刘 峰,杨 屹,付 骏. 球墨铸铁中珠光体开始转变动力学数学模型[J]. 热加工工艺, 2007, 36(17): 12-16
LIU Feng, YANG Yi, FU Jun. Dynamic model of pearlite transformation in ductile [J]. Hot Working Technology, 2007, 36(17): 12-16

[编辑:魏 方]