

# 考虑来料板形遗传影响的带钢平直度模型

张大志

北京科技大学高效轧制国家工程研究中心, 北京 100083

**摘要** 根据轧制理论中的体积不变原理和平直度的基本定义, 考虑来料板形的遗传影响, 推导出了以入口和出口带钢相对凸度差表示的带钢平直度模型. 该模型在连轧机参数优化设计和辊型配置优化设计系统中均得到应用, 效果良好.

**关键词** 板形; 平直度; 遗传影响; 带钢连轧; 数学模型

**分类号** TG 335.12

板厚和板形精度是表征带钢质量的主要指标, 随着家电和汽车工业的进一步发展, 对带钢板形质量的要求越来越高, 板形研究成为带钢质量控制研究领域的一个热门课题. 板形由横向凸度、平直度和边部减薄量这三方面来表征, 其中平直度是表征带钢板形的最主要的质量指标, 所以建立一个简便实用的平直度计算模型具有十分重要的意义.

## 1 带钢平直度的定义

直观上讲, 带钢的平直度是指其翘曲程度, 就其实质而言, 是指带钢沿其横向的残余应力分布. 带材平直度可以定性地为潜在的板形、表现的板形和双重的板形偏离理想板形的偏差量. 实际上, 根据轧制过程中带钢体积不变定律, 这个偏差量可以通过把带材切成窄条, 随后测量其长度而观察到.

## 2 平直度模型的建立

### 2.1 单机架

由轧制过程中带钢体积不变定律得:

$$H_i L_i = h_i l_i \quad (1)$$

式中,  $H_i, h_i$  为带钢入口和出口各条厚度;  $L_i, l_i$  为带钢入口和出口各条长度. 对于带钢中部, 公式变为:

$$H_c L_c = h_c l_c \quad (2)$$

式中,  $H_c, h_c$  为带钢入口和出口中间厚度;  $L_c, l_c$  为带钢入口和出口中间长度. 对于带钢边部, 公式变为:

$$H_c L_c = h_c l_c \quad (3)$$

式中,  $H_c, h_c$  为带钢入口和出口边部厚度;  $L_c, l_c$  为带钢入口和出口边部长度.

设  $\Delta L = L_c - L_c, \Delta l = l_c - l_c$  则

$$L_c = L_c + \Delta L, l_c = l_c + \Delta l.$$

$\Delta L, \Delta l$  为分别表示入口和出口带钢存在平直度不良.

设  $C_H = H_c - H_c, C_h = h_c - h_c$  则

$$H_c = H_c - C_H, h_c = h_c - C_h.$$

$C_H, C_h$  为分别表示入口和出口带钢横断面凸度.

把式(2)与式(3)相减得:

$$h_c l_c - h_c l_c = H_c L_c - H_c L_c \quad (4)$$

将  $\Delta l, \Delta L, C_H, C_h$  代入式(4)得:

$$H_c l_c - (h_c - C_h)(l_c + \Delta l) = H_c L_c - (H_c - C_H)(L_c + \Delta L) \quad (5)$$

展开后整理得:

$$\frac{\Delta l}{l_c} = \frac{\Delta L}{L_c} + \frac{C_h}{h_c} - \frac{C_H}{H_c} + \frac{C_h \Delta l}{h_c l_c} - \frac{C_H \Delta L}{H_c L_c} \quad (6)$$

即

$$\frac{\Delta l}{l_c} = \frac{H_c h_c}{H_c h_c} \frac{\Delta L}{L_c} + \frac{h_c}{h_c} \left( \frac{C_h}{h_c} - \frac{C_H}{H_c} \right) \quad (7)$$

令  $\varepsilon_h = \frac{\Delta l}{l_c}, \varepsilon_H = \frac{\Delta L}{L_c}, \alpha = \frac{H_c h_c}{H_c h_c}, \beta = \frac{h_c}{h_c}$ , 则上式变为:

$$\varepsilon_h = \alpha \varepsilon_H + \beta \left( \frac{C_h}{h_c} - \frac{C_H}{H_c} \right) \quad (8)$$

式中,  $\varepsilon_h$  为出口带钢平直度;  $\varepsilon_H$  为入口带钢平直度;  $\alpha$  为入口带钢平直度遗传系数;  $\beta$  为平直度系数.

若来料平直度良好, 即  $\varepsilon_H = 0$ , 则公式(8)变为:

$$\varepsilon_h = \left( \frac{C_h}{h_c} - \frac{C_H}{H_c} \right) \quad (9)$$

式(9)是不考虑来料平直度遗传影响的带钢出口平直度模型, 只与入口和出口带钢的相对凸度

差有关. 在不考虑来料平直度遗传影响的情况下, 新日铁公司曾假设带钢的平直度与入口和出口带钢的相对凸度差成线性关系, 本文推导的模型证明了这一假设.

在实际使用中, 为方便起见, 可以利用带钢出口和入口平均厚度  $h, H$  代替  $h_c, H_c$ , 所以公式(8)变为:

$$\varepsilon_h = \alpha \varepsilon_H + \beta \left( \frac{C_h}{h} - \frac{C_H}{H} \right) \quad (10)$$

公式(10)就是本文所推导的考虑轧机入口板形遗传影响的带钢平直度模型.

当来料板形良好且要求出口板形良好, 即  $\varepsilon = 0$  且  $\varepsilon_H = 0$ , 则式(10)变为:

$$\frac{C_h}{h} = \frac{C_H}{H} \quad (11)$$

式(11)就是带钢板形良好的基本条件, 即入口带钢相对凸度等于出口带钢相对凸度.

### 2.2 连轧机

对于第  $i$  机架, 公式(10)则变为:

$$\varepsilon_{hi} = \alpha_i \varepsilon_{Hi} + \beta_i \left( \frac{C_{hi}}{h_i} - \frac{C_{Hi}}{H_i} \right) \quad (12)$$

对于连轧机, 本架的入口带钢即是上架的出口带钢, 所以  $H_i = h_{i-1}$ ,  $C_{Hi} = C_{h_{i-1}}$ , 式(12)则可以写成以下形式:

$$\varepsilon_{hi} = \alpha_i \varepsilon_{h_{i-1}} + \beta_i \left( \frac{C_{hi}}{h_i} - \frac{C_{h_{i-1}}}{H_i} \right) \quad (13)$$

根据式(13), 经过推导后, 连轧机末机架出口带

钢的平直度公式为:

$$\varepsilon_{in} = \prod_{i=1}^n \alpha_i \varepsilon_{Hi} + \beta_n \left( \frac{C_h}{h} - \frac{C_H}{H} \right) \quad (14)$$

式中,  $n$  为机架数目;  $i$  为机架号;  $\varepsilon_{in}$  为成品带钢平直度;  $\varepsilon_H$  为来料带钢平直度;  $h, H$  为成品和来料带钢平均厚度;  $C_h, C_H$  为成品和来料带钢凸度. 式(14)就是本文推导的考虑来料板形遗传影响的连轧机成品带钢平直度计算模型.

### 3 平直度模型的应用

针对鞍钢冷轧厂冷连轧机, 笔者开发出基于改进遗传算法的冷连轧机辊型配置优化系统和轧制参数优化设计系统. 在这两个优化系统中, 板形都是主要的优化目标函数, 在建立板形目标函数和计算带钢平直度时, 利用了本文推导的平直度计算模型. 计算结果表明, 该模型计算结果符合现场实际生产情况, 为准确进行辊型配置优化和轧制参数优化提供了依据.

以本文推导的平直度模型为依据建立目标函数的两个优化系统都在鞍钢冷轧厂冷连轧机上得到了应用, 结果显示带钢的板形质量得以改善. 对于材质 Q195, 来料厚度 2.75 mm, 成品厚度 0.98 mm, 带钢宽度 1000 mm, 按旧设定规程和新设定规程计算的结果分别见表 1 和表 2, 其出口带钢平直度则分别为 19.5 I 和 12.8 I.

表 1 冷连轧机原模型设定结果  
Table 1 Setup results for the old model

机架号	1	2	3	4
厚度/mm	2.750→2.123	2.123→1.395	1.395→1.091	1.091→0.98
张力/kN	80.0→277.8	277.8→234.7	234.7→213.2	213.2→36.1
弯辊/%	50	60	32	45
辊缝/mm	5.154	4.834	4.678	4.407
速度/m·min <sup>-1</sup>	583.5	888.0	1135.4	1264.0
压下率/%	22.8	34.3	21.8	10.2
轧制力/MN	9.55	7.86	8.24	7.12

表 2 冷连轧机新模型优化设定结果  
Table 2 Setup results for the new model

机架号	1	2	3	4
厚度/mm	2.75→2.15	2.15→1.50	1.50→1.07	1.07→0.98
张力/kN	55.5→289.5	289.5→145.7	145.7→98.7	98.7→29.0
弯辊/%	10	20	12	-5
辊缝/mm	5.240	4.539	4.167	4.333
速度/m·min <sup>-1</sup>	576.1	825.8	1157.7	1264.0
压下率/%	21.8	30.2	28.6	8.41
轧制力/MN	9.26	9.82	9.13	7.05

从表1和2中可以看出,在旧和新设定模型下,连轧机出口带钢的平直度分别为19.51和12.81,计算结果符合现场的实际情况.新优化设定结果可以使带钢平直度改善34.4%.现场统计结果表明,带钢板形质量引起的废次品率减少了46.9%,其中带钢瓢曲引起的废次品率减少47.7%,带钢浪形引起的废次品率减少30%,与理论计算结果相符.

#### 4 结论

(1)根据平直度的基本定义和轧制过程中金属体积不变原理,推导出了单机架和连轧情况下的带钢平直度模型公式.

(2)模型以入口和出口带钢的相对凸度差表示,并考虑的来料的板形遗传影响,物理意义明确,结构清晰,简便实用.

(3)模型在实际生产实践中得到应用,效果良好.

#### 参 考 文 献

- 1 王国栋. 板形控制和板形理论[M]. 北京:冶金工业出版社,1986
- 2 Johan Van Roey, Hedwig Vergote, Rainer Mielke. Accurate profile and flatness control on a modernized hot strip mill [J]. *Iron and Steel Engineer*, 1996(2): 29
- 3 中岛浩卫. ホットストリップのクラウン制御技術に関する研究[J]. *制铁研究*, 1979, 299:13148
- 4 连家创, 刘宏民. 板厚板形控制[M]. 北京:兵器工业出版社, 1996
- 5 Egan Sean J, Fryer Christopher A, Lubomirski Mariusz S. Flatness modeling and control for A continuous tandem cold mill [J]. *Iron and Steel Engineer*, 1996(3): 38
- 6 Nappez Claire, Boulot Serge, McDermott Richard C. Control of strip flatness in cold rolling: a global approach [J]. *Iron and Steel Engineer*, 1997(4): 42
- 7 Cusmai P, Paolicchi M, Taormina B. A new mathematical model for calculation of flatness and profile of strip rolled in HSM equipped with roll-shifting [A]. *Mathematical Modeling of Hot Rolling of Steel Proceedings of the International Symposium* [C]. 1990. 392

## Strip Flatness Model Considering Heredity Influence of Entrance Strip Shape

ZHANG Dazhi

National Engineering Research Center for Advanced Rolling Technology, UST Beijing, Beijing 100083, China

**ABSTRACT** A flatness model expressed by the difference of entrance strip crown and exit strip crown is built based on the definition of flatness and the invariable cubage theory of strip rolling, and the entrance strip shape is also considered in the flatness model. The model was used in the rolling parameters optimal design system and the rolling shape optimal design system, and good results were obtained.

**KEY WORDS** strip shape; flatness; heredity influence; tandem strip mill; mathematical model