

文章编号: 1671-7848(2007)04-0353-00

快速监控 FMN 在热连轧上的应用研究

李伯群¹, 张海波², 刘恩东²

(1. 辽宁科技大学 电信学院, 辽宁 鞍山 114044; 2. 鞍山钢铁公司 热轧厂, 辽宁 鞍山 114021)



摘 要: 研究了快速监控 FMN 在热连轧上的应用, 提高头部命中率是投入绝对 AGC 所要求的, 它的重要手段是靠提高设定模型精度、模型自学习的收敛速度。为进一步提高带坯全长厚控精度及控制品质, 依靠液压压下快速移动特性及利用快速监控 FMN 功能。以热连轧模型增量方程为核心, 对不同轧制规程, 给出了兼顾板厚与板形 FMN 动作表。在鞍钢 1700ASP 热轧现场中得到了实际应用。结果表明, 此算法是正确的, 它可大幅度地改善板卷头部的厚度精度。

关键词: 热连轧; 快速监控; 板形板厚; 绝对 AGC

中图分类号: TG 334

文献标识码: A

On Application of FMN to Hot Continuous Rolling

LI Bo-qun¹ ZHANG Hai-bo² LIU En-dong²

(1. School of Electronic and Information Engineering, Liaoning University of Science and Technology, Anshan 114044, China;

2. Plant of Hot Rolling, Anshan Iron and Steel Co, Anshan 114021, China)

Abstract: The application problem of FMN to hot continuous rolling is dealt with. It is necessary to hit the head of the strip for applying absolute AGC, and important means are to improve accuracy of set-up model and convergence of self-learning model. For improving automatic gauge control precision and quality of the whole strip, FMN is proposed to correct gap of the rolling by fast hydraulic pressure system. FMN action table in different rolling rule is calculated. The flatness and gauge are both considered based on increment equation of hot continuous rolling. Application result in 1700ASP shows the validation of the method and ameliorate greatly quality.

Key words: hot continuous rolling; FMN; flatness and gauge; absolute AGC

1 引言

提高头部命中率不仅对 AGC 的工作有明显影响, 而且直接关系到带坯全长厚控精度^[1]。其主要手段是靠提高设定模型精度(主要是轧制力预报精度—这涉及到温降模型精度及 $Q_p \cdot K_p$ 的精度)以及模型自学习的收敛速度。在此基础上, 则需依靠 $F_3 \sim F_6$ 液压压下快速移动特性利用 FMN 功能作为进一步提高头部命中率的手段。快速监控功能的基本思想是当带钢头部到达 X 射线测厚仪处如存在较大厚差时, 考虑有利于出口板形的负荷分配, 对 $F_3 \sim F_6$ 进行一次性上抬或下压。在执行 FMN 之后, 不仅减轻了单纯依靠 $F_5 \sim F_6$ 监控的负担, 而且对各机架的压力 AGC 的平滑投入及系统的稳定性都有着重要的意义^[2]。

减少头尾不考核长度是当前努力的方向, 为进一步提高带坯全长厚控精度及其百分比, 在鞍钢 1700 mm 热连轧上利用了兼顾板形与板厚的快速监

控 FMN 功能。

2 FMN 的基本算法

取监控量 δh_{FMN} 为

$$\delta h_{FMN} = \delta h_{XRY} \pm 30 \mu\text{m} \quad (1)$$

然后将此 δh_{FMN} 分配到 $F_3 \sim F_6$ 作一次性下压或上抬来加以消除, $F_3 \sim F_6$ 分配的主要目的是保持后 4 个机架轧制力分配比例不变以利于板形^[3], 即要求下压或上抬 $S_3 \sim S_6$ 后仍能保持:

$$P'_6 : P'_5 : P'_4 : P'_3 = P_{S6} : P_{S5} : P_{S4} : P_{S3} \quad (2)$$

式中, P_{Si} 为设定值。

为此应使 $\delta S_3 \sim \delta S_6$ 造成的 $\delta P_3 \sim \delta P_6$ 能保持以下比例恒等。

$$\frac{\delta P_3}{P_3} = \frac{\delta P_4}{P_4} = \frac{\delta P_5}{P_5} = \frac{\delta P_6}{P_6} \quad (3)$$

因此要计算以下各“影响系数” K_{Si}^h (i 机架的辊缝变化 δS_i 对出口厚度 δh_6 的影响)

设轧制力方程为

$$P = f(R', H, h, K, B)$$

式中, R', H, h, K, B 依次代表压扁后的轧辊半径、入口厚度、出口厚度、金属变形阻力、带坯宽度。

用泰勒级数展开, 将非线性方程在小范围线性化, 忽略缓慢变化量, 只取其一次项, 则轧制力的增量方程^[4]:

$$\delta P = \frac{\partial P}{\partial H} \delta H + \frac{\partial P}{\partial h} \delta h + \frac{\partial P}{\partial K} \delta K \quad (4)$$

弹跳方程为

$$h = S + \frac{P - P_0}{C} + O + G \quad (5)$$

增量化后:

$$\delta h = \delta S + \frac{\delta h}{C} \quad (6)$$

将式(4)带入式(6)得:

$$\delta h = \delta S + \frac{1}{C} \left[\frac{\partial P}{\partial H} \delta H + \frac{\partial P}{\partial h} \delta h + \frac{\partial P}{\partial K} \delta K \right] \quad (7)$$

$$C \delta h - \frac{\partial P}{\partial h} \delta h = \left(C - \frac{\partial P}{\partial h} \delta h \right) \delta h = C \delta S + \frac{\partial P}{\partial H} \delta H + \frac{\partial P}{\partial K} \delta K \quad (8)$$

由此得增量厚度方程

$$\delta h = \frac{1}{C - \partial P / \partial h} \left[\frac{\partial P}{\partial H} \delta H + \frac{\partial P}{\partial K} \delta K + C \delta S \right] = \frac{1}{A_H \delta H + A_K \delta K + A_S \delta S} \quad (9)$$

将此增量厚度方程代入 δP 方程得:

$$\delta P = \frac{\partial P}{\partial H} \delta H + \frac{\partial P}{\partial K} \delta K + \frac{\partial P}{\partial h} \left(\frac{1}{C - \partial P / \partial h} \right) * \left[\frac{\partial P}{\partial H} \delta H + \frac{\partial P}{\partial K} \delta K + C \delta S \right] \quad (10)$$

$$\left(C - \frac{\partial P}{\partial h} \right) \delta P = C \frac{\partial P}{\partial H} \delta H + C \frac{\partial P}{\partial K} \delta K + C \frac{\partial P}{\partial h} \delta S \quad (11)$$

$$\delta P = \frac{C}{C - \partial P / \partial h} \left[\frac{\partial P}{\partial H} \delta H + \frac{\partial P}{\partial K} \delta K + \frac{\partial P}{\partial h} C \delta S \right] = \frac{1}{B_H \delta H + B_K \delta K + B_S \delta S} \quad (12)$$

式中, $A_H = \frac{\partial P / \partial H}{C - \partial P / \partial h}$; $A_K = \frac{\partial P / \partial K}{C - \partial P / \partial h}$; $A_S = \frac{C}{C - \partial P / \partial h}$; $B_H = C \frac{\partial P / \partial H}{C - \partial P / \partial h}$; $B_K = C \frac{\partial P / \partial K}{C - \partial P / \partial h}$; $B_S = \frac{C \partial P / \partial h}{C - \partial P / \partial h}$ $\partial P / \partial K = P_S / K_S$

此时在按照负荷分配的 H_i 及 h_i 计算 P_{Si} 后, 设: $H'_i = 0.99 H_i$, 用 H'_i 及 h_i 再计算 P'_i :

$$\frac{\partial P}{\partial H} = \frac{P'_i - P_{Si}}{H'_i - H_i} \quad (13)$$

同理再设 $h'_i = 0.99 h_i$, 用 H_i 及 h'_i 计算轧制力 P'_i :

$$\frac{\partial P}{\partial h} = \frac{P'_i - P_{Si}}{h'_i - h_i} \quad (14)$$

求得 $\frac{\partial P}{\partial K}, \frac{\partial P}{\partial H}, \frac{\partial P}{\partial h}$ 后, 即可算出 A_H, A_K, A_S 及

B_H, B_K, B_S 。由此可计算上面所述影响系数。

$$\delta h_6 = K_{S6}^{h6} \delta S_6 = A_{S6} \delta S_6, K_{S6}^{h6} = A_{S6} \quad (15)$$

$$\delta h_6 = K_{S5}^{h6} \delta S_5 = A_{S5} \delta S_5 A_{H6}, K_{S5}^{h6} = A_{S5} A_{H6} \quad (16)$$

同理可得:

$$\begin{cases} K_{S4}^{h6} = A_{S4} A_{H5} A_{H6} \\ K_{S3}^{h6} = A_{S3} A_{H4} A_{H5} A_{H6} \end{cases} \quad (17)$$

$$\text{又 } \delta P_i = B_{Si} \delta S_i + B_{Hi} \delta H_i$$

设已知 δh_{FMN} 后需一次性调整 $\delta S_3 \sim \delta S_6$, 一方面为了消除 δh_{FMN} 使其尽快进入目标值, 同时又要保持压力负荷分配以利于出口板形, 即有:

$$\frac{\partial P_3}{P_3} = \frac{\partial P_4}{P_4} = \frac{\partial P_5}{P_5} = \frac{\partial P_6}{P_6} \quad (18)$$

由于 δP_i 不仅受 δS_i 的影响, 还受 δH_i (由 δS_{i-1} 产生 δh_{i-1} 造成 δH_i) 的影响, 因此需采用叠代法计算 $\delta S_3 \sim \delta S_6$ 。

$$\text{先设 } \delta S_3 = \delta h_{FMN} + (7.0 - h_6) * 0.02$$

然后算出:

$$\begin{cases} \delta h_3 = A_{S3} \delta S_3 \\ \delta PP_3 = \frac{\partial P_3}{P_3} = \frac{B_{S3} \delta S_3}{P_3}, \delta H_3 = 0 \end{cases} \quad (19)$$

$$\begin{cases} \delta S_4 = [P_4 * \delta PP_3 - B_{H4} * \delta h_3] / B_{S4} \\ \delta h_4 = A_{S4} * \delta S_4 \\ \delta PP_4 = (B_{S4} \delta S_4 + B_{H4} \delta h_3) / P_4 \end{cases} \quad (20)$$

$$\begin{cases} \delta S_5 = [P_5 * \delta PP_3 - B_{H5} * \delta h_4] / B_{S5} \\ \delta h_5 = A_{S5} * \delta S_5 \\ \delta PP_5 = (B_{S5} \delta S_5 + B_{H5} \delta h_4) / P_5 \end{cases} \quad (21)$$

$$\delta S_6 = [P_6 * \delta PP_3 - B_{H6} * \delta h_5] / B_{S6} \quad (22)$$

而 $\delta S_3 \sim \delta S_6$ 的大小则应使:

$$\delta h_{36} = K_{S6}^{h6} \delta S_6 + K_{S5}^{h6} \delta S_5 + K_{S4}^{h6} \delta S_4 + K_{S3}^{h6} \delta S_3 \quad (23)$$

当 δh_{FMN} 为正时, $\delta S_3 \sim \delta S_6$ 都为负, 因此 δS_{S36} 为负。 δh_{FMN} 为负时, $\delta S_3 \sim \delta S_6$ 都上抬, δS_{S36} 为正。

当 $|\delta h_{FMN} + \delta h_{S36}| < 30 \mu\text{m}$ 时认为 FMN 已经达到目的, 否则如当 δh_{FMN} 为正时, 则:

$$\delta h_{FMN} > |\delta h_{S36}| \text{ 需要再下压一些。}$$

$$\delta S_3 = \delta S_3 - 0.01$$

$$\delta h_{FMN} < |\delta h_{S36}| \text{ 已压过头, } \delta S_3 = \delta S_3 + 0.01。$$

当 δh_{FMN} 为负时, 则:

$$-\delta h_{FMN} > |\delta h_{S36}|, \text{ 需要再上抬一些。}$$

$$\delta S_3 = \delta S_3 + 0.01$$

$$-\delta h_{FMN} < |\delta h_{S36}| \text{ 已抬过头, } \delta S_3 = \delta S_3 - 0.01。$$

修正 δS_3 后再进行上述计算过程, 叠代到 $|\delta h_{FMN} + \delta h_{S36}| < 30 \mu\text{m}$, δh_{S36} 为 FMN 下压或上抬 $\delta S_3 \sim \delta S_6$ 的效果。

为了加快 FMN 计算 $\delta S_3 \sim \delta S_6$ 的过程，针对不同的轧制规格当 $\delta h_{xy} = 100 \mu\text{m}$ 时的 δS_i 的值，实时控制时，可根据 δh_{xy} 的大小制作 FMN 控制表，见表 1。

表 1 快速监控 FMN 控制表
Table 1 Control table for FMN

厚度规格/mm	F_3	F_4	F_5	F_6
2.00	-0.180	-0.160	-0.160	-0.140
3.60	-0.120	-0.125	-0.130	-0.130
5.20	-0.085	-0.095	-0.105	-0.110
7.00	-0.080	-0.090	-0.103	-0.108
9.75	-0.068	-0.078	-0.082	-0.087
11.45	-0.052	-0.063	-0.071	-0.076

即在相应的区间线性化处理确定 FMN 的一次辊缝调节量。厚度规格单位 mm， $\delta S_3 \sim \delta S_6$ 的辊缝调节量单位 mm。

3 FMN 实际应用结果

实际工程做法是：在带头进入 X 射线测厚仪处过 2 m 连续采样 10 点得到 δh_{xy} ，考虑工艺要求头部厚度目标误差范围 $\pm 50 \mu\text{m}$ （为了投入绝对 AGC），可取应调整厚度 $\delta h = \delta h_{xy} \pm 30 \mu\text{m}$ ，则应调整的辊缝值为 $\delta S'_i = \frac{\delta h}{100} * \delta S_i$ ， $i = 3 \sim 6$ 。

由于不同厚度规格 F_6 出口速度有差异，因此在执行 FMN 之后所延时的时间也有不同，一般需要 1.5 ~ 2.5 s 之间。

轧制规程：5472D09170，1290 * * 0350 AUTO，ST02Z；宽度：1290 mm；厚度设定：3.5 mm，钢种：ST02Z；起始时间：23.11.2006.14：36：32.847，其厚差曲线及 X 射线测厚仪处偏差（X_RAY_HEAD_VALUE），如图 1 所示。

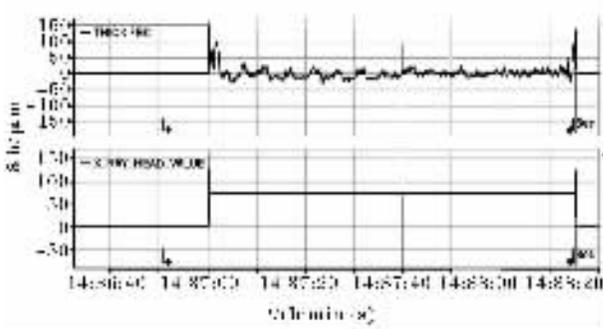


图 1 厚差曲线及 X 射线测厚仪处头部偏差

Fig.1 Thickness and strip's head error curve in x-rays

X_RAY_HEAD_VALUE = 75 μm 。执行 FMN 后， $F_3 \sim F_4$ 的辊缝调节量，如图 2 所示。

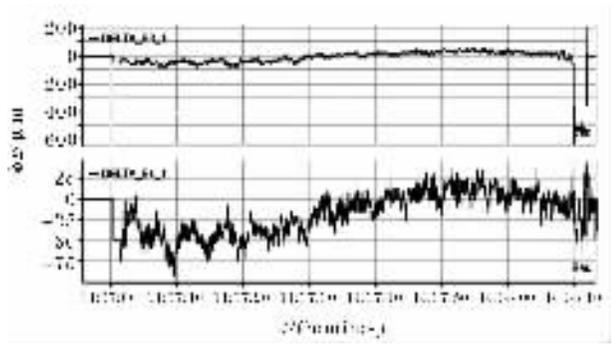


图 2 $F_3 \sim F_4$ 的辊缝调节量

Fig.2 Roller gap regulation value of $F_3 \sim F_4$

F_3 增加了前馈压尾功能。 $F_5 \sim F_6$ 的辊缝调节量如图 3 所示。

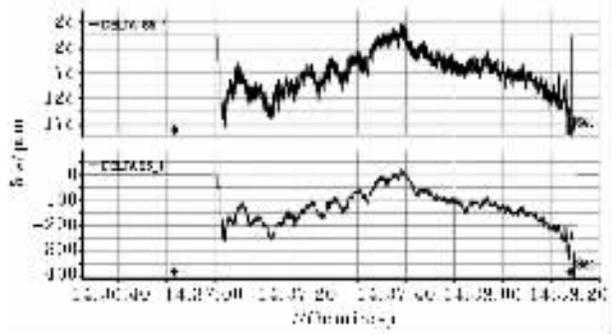


图 3 $F_5 \sim F_6$ 的辊缝调节量

Fig.3 Roller gap regulation value of $F_5 \sim F_6$

从实测的曲线可看出，在执行快速监控以后，系统是在新的辊缝设定下开始工作的，减轻了单纯依靠最后两个机架监控 AGC 的负担，同时也提高了系统的响应速度及稳定性。对目标厚度而言， $F_3 \sim F_6$ 都对成品厚度控制有贡献，在新辊缝基准值下， F_6 监控 AGC 的调节量相应地减少，这有利于出口板形，尤其对薄规格（轧制成品厚度在 4.0 mm 以下）。对于厚成品规格（轧制成品厚度在 7.0 mm 以上），为调节厚度偏差而对板形的影响可不考虑，厚规格压下效率高，其末机架出口速度低，为加快头部命中时间，当带头到达 X 射线测厚仪时，可按照表 1，适当地加大末机架下压或上抬的增益系数，而相应地减小 $F_3 \sim F_5$ 的控制增益系数。

4 结 语

提高头部命中率是提高带坯全长厚控百分比精度的关键，同时也是投入绝对 AGC 所需要的，一次性兼顾板形与板厚的快速监控 FMN，是以实测 X 射线仪的厚度偏差，对二级模型计算辊缝量的一次修正，其不仅加快了头部命中的速度，同时也是一种有利于板形的控制方式。如何进一步提升板带轧制控制水平及热连轧过程的模型精度，是下一步重点研究的问题。（下转第 365 页）