

森吉米尔20辊轧机轧线计算 在一级系统的应用

马志强¹, 吴畏^{2,3,4}, 杨鹤¹, 于元春¹, 刘鑫州¹, 孙发瑞¹

(1. 天津电气科学研究院有限公司, 天津 300180;

2. 重庆材料研究院有限公司, 重庆 400707;

3. 国家仪表功能材料工程技术研究中心, 重庆 400707;

4. 耐腐蚀合金重庆市重点实验室, 重庆 400707)

摘要:以重材院和福建某厂森吉米尔20辊轧机为研究案例。目前森吉米尔20辊轧机的轧线调整大都在二级系统中进行计算,对不具备二级系统的设备来说就很难找到合适的轧线位置。因此在一级系统开发轧线计算功能尤为重要。在一级系统中建立了该轧机的轧线位置模型,根据工作辊最大与最小直径计算上齿条行程、工作辊间比率关系、下齿条与侧偏心角关系。实际应用表明,一级系统开发的程序在不同条件下计算的轧线位置与侧偏心角能够满足轧制要求,为该类轧机提供很好的借鉴方法。

关键词:森吉米尔20辊轧机;轧线位置;侧偏心角;一级系统开发

中图分类号:TM28 **文献标识码:**A **DOI:**10.19457/j.1001-2095.dqed26511

Application of Sendzimir 20-high Rolling Mill Line Calculation in Primary System

MA Zhiqiang¹, WU Wei^{2,3,4}, YANG He¹, YU Yuanchun¹, LIU Xinzhou¹, SUN Farui¹

(1. Tianjin Research Institute of Electric Science Co., Ltd., Tianjin 300180, China; 2. Chongqing Materials

Research Institute Co., Ltd., Chongqing 400707, China; 3. National Instrument Functional Materials

Engineering Technology Research Center, Chongqing 400707, China;

4. Chongqing Key Laboratory of Corrosion Resistant Alloys,
Chongqing 400707, China)

Abstract: Takes the Chongqing Materials Research Institute Co., Ltd., and a certain factory in Fujian, China, as research cases for the Sendzimir 20-high rolling mill. At present, the adjustment of the rolling line for the Sendzimir 20-high rolling mill is mostly calculated in the secondary system, making it difficult for equipment without a secondary system to find a suitable rolling line position. Therefore, it is particularly important to develop the rolling line calculation function in the primary system. A rolling line position model for the rolling mill in the primary system was established, and the upper gear stroke, the ratio relationship between the working rolls, and the relationship between the lower gear and the side eccentricity angle was calculated based on the maximum and minimum diameters of the working rolls. The practical application shows that the program developed by the primary system can calculate the rolling line position and side eccentricity angle under different conditions, which can meet the rolling requirements and provide a good reference method for this type of rolling mill.

Key words: Sendzimir 20-high rolling mill; rolling line position; side eccentricity angle; primary system development

森吉米尔20辊轧机具有机架横向刚度大、压力小以及成品厚度公差小等优点^[1]。由于停车换下率大、轧制工艺精度高、板形控制能力强、轧制辊时受到工作辊直径、轧制力、产品厚度、上下齿

基金项目: 国机集团科学技术研究院有限公司科研专项(SINOMAST-KYZX-2023-03);

重庆市技术创新与应用发展重点专项(CSTB2023TIAD-KPX0021)

作者简介: 马志强(1991—),男,硕士,工程师,主要研究方向为电气传动、冶金自动化,Email:1306565310@qq.com

条压下行程等各种条件的影响,需要人员多次手动调整轧线位置,且精度不够,无法满足正常轧制生产要求。

目前,森吉米尔20辊轧机的轧线计算模型与计算功能大都在二级系统中处理^[2],为了满足不具备二级系统的企业能正常轧制生产,本文以重材院和福建某厂森吉米尔20辊轧机为例,在一级系统建立该轧机的轧线位置模型,对压下位置调整、工作辊辊缝变化、侧偏心率、轧线位置调整等进行计算,计算结果能够很好地满足生产轧制要求。

1 森吉米尔20辊轧机模型

1.1 辊系结构及分布

森吉米尔20辊轧机的辊系是上、下对称的两部分,塔型分布,上、下均10个轧辊,包括工作辊、一中间辊、二中间辊、支撑辊,本文建立了以轧线位置为 x 轴,S辊圆心到J辊圆心的连线为 y 轴的轧机辊系,结构如图1所示^[3]。

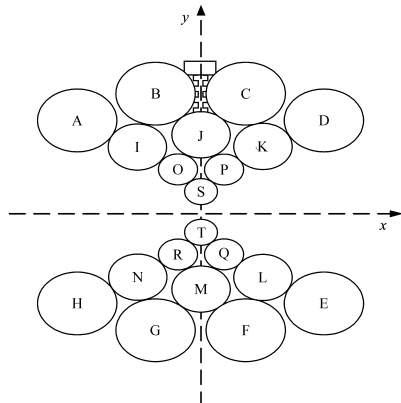


图1 森吉米尔20辊轧机辊系结构图

Fig.1 Structural diagram of the roll system of the Sendzimir 20-high rolling mill

图1中,A,B,C,D辊为上支撑辊;I,J,K为上二中间辊;O,P为上一中间辊;S为上工作辊;E,F,G,H辊为下支撑辊;L,M,N为下二中间辊;Q,R为下一中间辊;T为下工作辊。其中,A,D辊为上偏心率。

该20辊轧机的压下调整主要通过B,C辊之间的双向齿轮,通过齿轮上下移动控制工作辊的向上与向下动作^[4]。

1.2 工作原理

在A,D辊径不变情况,中心不变,在J辊压下同时,I,K,O,P辊中心在压下方向和轧线方向都要发生位移,来保证各辊相接触。由于各辊接触

点始终在两接触辊中心的连线上,因此在辊径、侧偏心率、齿条压下行程一定条件下,确定工作辊压下量,来确保工作辊行程在最小和最大厚度之间且能够满足轧制要求^[5]。D辊偏心如图2所示。

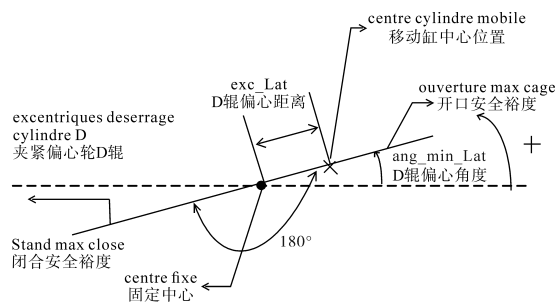


图2 D辊偏心结构图

Fig.2 D-roller eccentric structure diagram

1.3 轧线计算的具体实现

如果在一级系统中开发出该轧机的轧线计算模型,那么就可以帮助操作员计算出工作辊合适的直径范围、预设轧线位置以及最佳侧偏心率。考虑完全压下行程,对侧偏心率进行几次调整(当前,0%,50%,100%),找到辊系间最小间隙,如图3所示。

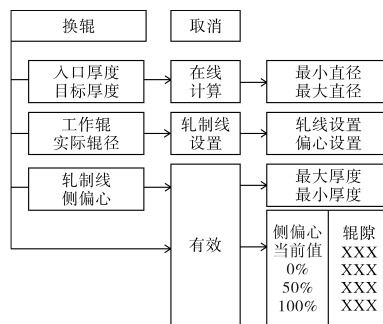


图3 轧机辊系功能计算流程图

Fig.3 Calculation flowchart of rolling mill roll system function

换辊前,操作员按下“换辊”,再按下“轧线计算”,系统将执行新的计算。

轧线和侧偏心率调整有人工调整和自动调整两个方法。如果操作人员手动进行轧线和侧偏心率调整,需要修改初始和最终厚度,来获得最小、最大直径的计算,系统将根据最大轧制力,检查辊系是否有打滑风险,并在出现问题时发出警报。自动调整首先要输入不同的初始厚度和最终厚度,再根据在线计算程序块来寻找合适位置,轧线辊系计算结构如图4所示。

根据图4所示,可以计算出轧线位置,也就是下工作辊面距离基准线的纵坐标,如下式:

$$Pass_line = -Th(i)/2 \quad (1)$$

轧制最厚、最薄带钢上工作辊面纵坐标分别

如下式所示:

$$Gap_max \geq Gap(h) + 0.5 \times Th(i) \quad (2)$$

$$Gap_min \leq -Gap(l) - \{[0.5 \times Th(i)] - Th(f)\} \quad (3)$$

压下全打开、全关闭位置分别如下式:

$$L_open = Gap(h) + 0.5 \times Th(i) \quad (4)$$

$$L_close = Gap(h) - [0.5 \times Th(i) - Th(f)] \quad (5)$$

式中: $Th(i)$ 为当前卷厚度; $Pass_line$ 为轧线的位置; $Gap(h)$ 为当压下装置在当前卷厚度上打开最大时可用的间隙; Gap_max 为最大上压下装置的位置; $Gap(l)$ 为当压下装置在前卷换辊前的最后一个道次厚度上最大闭合时可用的行程; $Th(f)$ 为当前卷换辊前的最后一个道次厚度; Gap_min 为最小上压下装置的位置; L_open 为压下全打开位置; L_close 为压下全关闭位置。

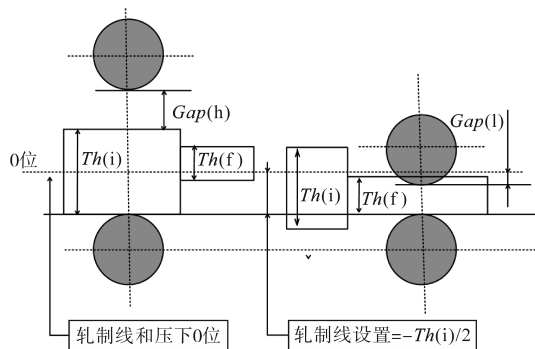


图4 轧机辊系计算结构图

Fig.4 Calculation structure diagram of rolling mill roll system

2 森吉米尔20辊轧机轧线计算在一级系统应用

2.1 一级系统

以重材院和福建某厂的森吉米尔20辊轧机为例,该系统采用S7-1500系列PLC,CPU1518,上位机系统采用西门子KTP1200。根据轧线位置模型找到辊系坐标,然后通过辊系坐标、轧辊直径、带钢厚度、轧制力等数据计算出轧线位置与偏心角度。

上位机画面如图5所示,包含了20辊辊径输入、最大厚度及最小厚度设定,以及侧偏心角和轧线齿条位置的计算结果显示。

首先,输入20辊的所有辊径,点击“输入确认”,所有辊径数据将输入到一级系统,然后点击“计算”则直接计算轧线位置及侧偏心角,输入辊径或厚度不合理则提示错误。

图6为辊系坐标计算程序块图,通过AD辊偏

心角度、齿条位置、轧制力计算工作辊和中间辊的位置。

图5 轧线计算上位机画面

Fig.5 Rolling line calculation HMI screen

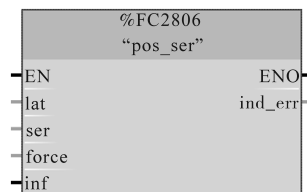


图6 辊系坐标计算程序块图

Fig.6 Block diagram of roll system coordinate calculation program

图6中,输入引脚lat为AD辊的偏心角程度;ser为齿条行程;force为轧制力;inf为上下工作辊选择;ind_err为正常与否判断。

图7为主程序块图,根据辊系坐标、齿条行程、最大和最小辊径、最大和最小带钢厚度等数据准确计算轧线位置和偏心角度。

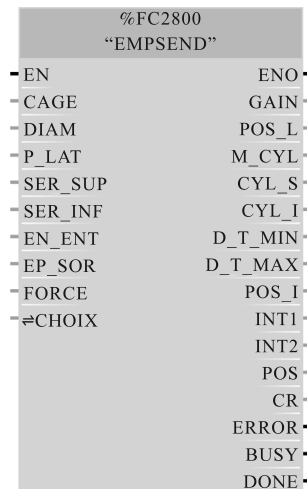


图7 轧线计算主程序

Fig.7 Rolling line calculation main program

图7中,输入引脚CAGE为计算轧制位置所需数据;DIAM为20辊的辊径;P_LAT为D辊侧偏心角;SER_SUP为上齿条位置;SER_INF为下齿条位置;EN_ENT为轧制最大厚度;EP_SOR为轧制最小厚度;FORCE为轧制力;CHOIX为不同计算模式。输出引脚GAIN为增益系数;POS_L为

侧偏心角;M_CYL为非接触辊间最小距离;CYL_S为上工作辊面纵坐标;CYL_I为下工作辊面纵坐标;D_T_MIN为工作辊最小辊径;D_T_MAX为工作辊最大辊径;POS_I为下齿条位置;INT1为一中间辊位置;INT2为二中间辊位置;POS为工作辊与轧线间距离;CR,ERROR为故障;BUSY为程序块正在计算;DONE为计算完成。

2.2 仿真测试

本文对该程序块进行了仿真测试,模拟不同情况下中间辊的间距及工作辊与轧线间的距离,实验数据如表1所示。

表1 轧线计算预设参数

Tab.1 Preset parameters for rolling line calculation		
符号	参数	数值
x_lat	D辊横坐标/mm	542.925
y_lat	D辊纵坐标/mm	291.1
x_ser	C辊横坐标/mm	200.025
y_sery_haut	C辊纵坐标/mm	542.925
ang_min_ser	最小偏心角/rad	0
ang_max_ser	最大偏心角/rad	-1.204
exc_ser	C辊偏心距离/mm	8.9
course_ser	上压下齿条行程/mm	170
d_ser	BC辊径/mm	292.1
ang_min_bmb	凸度最小偏心角/rad	0.279
ang_max_bmb	凸度最大偏心角/rad	-0.279
exc_bmb	凸度偏心距离/mm	1.52
ang_min_lat	AD辊偏心角度/rad	0.262
exc_lat	AD辊偏心距离/mm	6
diam_t_max	工作辊最大直径/mm	108
diam_t_min	工作辊最小直径/mm	74
jeu_cyl	非接触最小间隙/mm	0.1
m_ep_ent	打开安全裕度/mm	1
m_ep_sor	闭合安全裕度/mm	0.5
p_lat	偏心辊实际位置/%	44.82
ser_sup	上辊齿条位置/mm	0
ser_inf	下辊齿条位置/%	99
ep_ent	最大带钢厚度/mm	2
ep_sor	最小带钢厚度/mm	1.5
force_max	最大轧制力/T	500

模式1:根据实际输入偏心角和齿条位置,计算增益系数和辊系坐标,如下式所示:

$$Gain:=d_pos/(Ser_h-Ser_b) \quad (6)$$

$$cyl_sup:=y-r+dr \quad (7)$$

式中:Gain为增益系数;Ser_h为变化前上工作辊面纵坐标;Ser_b为变化后上工作辊面纵坐标;d_pos为计算上夹紧位置每增加0.1后,工作辊的位置变化率;cyl_sup为辊系坐标;y为上工作辊的中心垂直坐标;r为上工作辊的半径;dr为上工作

辊受力压扁的形变值。

模式1下轧线计算结果如图8所示。

Output			
GAIN	Real	0.0	20.08916
POS_L	Real	0.0	44.82
M_CYL	Real	0.0	1.633132
CYL_S	Real	0.0	5.805674
CYL_I	Real	0.0	3.663333
D_T_MIN	Real	0.0	74.0
D_T_MAX	Real	0.0	108.0
POS_J	Real	0.0	99.0
INT1	Struct		
S0	Real	0.0	3.541079
S1	Real	0.0	11.39618
S2	Real	0.0	11.46983
S3	Real	0.0	19.49645
S4	Real	0.0	1.913374
S5	Real	0.0	9.778604
S6	Real	0.0	-8.816836
S7	Real	0.0	-0.6138217
INT2	Struct		
S0	Real	0.0	9.513324
S1	Real	0.0	9.404484
S2	Real	0.0	13.89574
S3	Real	0.0	13.92786
S4	Real	0.0	8.613297
S5	Real	0.0	8.50119
S6	Real	0.0	2.676128
S7	Real	0.0	2.696672
POS	Struct		
S0	Real	0.0	5.250951
S1	Real	0.0	-2.768079
S2	Real	0.0	10.4568
S3	Real	0.0	3.040069
S4	Real	0.0	4.236837
S5	Real	0.0	-3.866346
S6	Real	0.0	-2.019285
S7	Real	0.0	-10.47706

图8 模式1下轧线计算结果

Fig.8 Calculation results of rolling line in mode 1

模式2:寻找满足条件的偏心角。计算侧偏心角,如图9所示。对于最大打开量,上工作辊与轧线间距离为

$$L=jeu_h+0.5\times reg \quad (8)$$

对于最大关闭量,上工作辊与轧线间距离为

$$L=-jeu_b-(0.5\times reg-ep_ent-reg-ep_sor) \quad (9)$$

式中:L为上工作辊与轧线间距离;jeu_h为开口安全裕度;jeu_b为闭合安全裕度;ep_ent,ep_sor分别为最大带钢厚度、最小带钢厚度;reg为工作辊间隙。

式(8)、式(9)中L需满足以下条件:1)下齿条行程在0~100%内能够走到轧线位置;2)上齿条0行程时,满足最大来料厚度的带钢能够穿过辊缝;3)上齿条最大行程时,能够轧制最小目标厚度的带钢。

模式3:计算工作辊最小直径、最大直径,寻找合适的lat和ser,如图10所示。

图8~图10中,s[i]分别是一中间辊、二中间辊、工作辊在最大齿条和最小齿条下的行程。

将图8~图10仿真结果与经验数据对比分析,在不同条件下该程序块计算结果均能达到预期效果,测试结果表明在一级系统该模型的设计是有效、实用的。

GAIN	Real	0.0	20.20189
POS_L	Real	0.0	40.0
M_CYL	Real	0.0	5.177825
CYL_S	Real	0.0	7.048373
CYL_J	Real	0.0	-1.0
D_T_MN	Real	0.0	74.0
D_T_MAX	Real	0.0	108.0
POS_J	Real	0.0	47.01991
▼ INT1			
■ S0	Real	0.0	3.541079
■ S1	Real	0.0	11.39618
■ S2	Real	0.0	11.46983
■ S3	Real	0.0	19.49645
■ S4	Real	0.0	1.913374
■ S5	Real	0.0	9.778604
■ S6	Real	0.0	-8.816836
■ S7	Real	0.0	-0.6138217
▼ INT2			
■ S0	Real	0.0	9.513324
■ S1	Real	0.0	9.404484
■ S2	Real	0.0	13.89574
■ S3	Real	0.0	13.92786
■ S4	Real	0.0	8.613297
■ S5	Real	0.0	8.50119
■ S6	Real	0.0	2.676128
■ S7	Real	0.0	2.696672
▼ POS			
■ S0	Real	0.0	5.250951
■ S1	Real	0.0	-2.768079
■ S2	Real	0.0	10.4568
■ S3	Real	0.0	3.040069
■ S4	Real	0.0	4.236837
■ S5	Real	0.0	-3.866346
■ S6	Real	0.0	-2.019285
■ S7	Real	0.0	-10.47706

图9 模式2下轧线计算结果

Fig.9 Calculation results of rolling line in mode 2

GAIN	Real	0.0	0.0
POS_L	Real	0.0	0.0
M_CYL	Real	0.0	0.0
CYL_S	Real	0.0	0.0
CYL_J	Real	0.0	20.70445
D_T_MN	Real	0.0	79.1
D_T_MAX	Real	0.0	89.3
POS_J	Real	0.0	0.0
▼ INT1			
■ S0	Real	0.0	3.541079
■ S1	Real	0.0	11.39618
■ S2	Real	0.0	11.46983
■ S3	Real	0.0	19.49645
■ S4	Real	0.0	1.913374
■ S5	Real	0.0	9.778604
■ S6	Real	0.0	-8.816836
■ S7	Real	0.0	-0.6138217
▼ INT2			
■ S0	Real	0.0	9.513324
■ S1	Real	0.0	9.404484
■ S2	Real	0.0	13.89574
■ S3	Real	0.0	13.92786
■ S4	Real	0.0	8.613297
■ S5	Real	0.0	8.50119
■ S6	Real	0.0	2.676128
■ S7	Real	0.0	2.696672
▼ POS			
■ S0	Real	0.0	5.250951
■ S1	Real	0.0	-2.768079
■ S2	Real	0.0	10.4568
■ S3	Real	0.0	3.040069
■ S4	Real	0.0	4.236837
■ S5	Real	0.0	-3.866346
■ S6	Real	0.0	-2.019285
■ S7	Real	0.0	-10.47706

图10 模式3下轧线计算结果

Fig.10 Calculation results of rolling line in mode 3

2.3 实际应用

以重材院和福建某厂森吉米尔20辊轧机为例,根据图5~图7的画面及程序块,将轧辊直径、带钢厚度输入画面计算出轧线位置与偏心角度,将设备调整至计算显示结果。

首先,根据经验操作人员自行校准位置是否合适,然后启车生产轧制,根据轧辊不同辊径将轧线位置与侧偏心角度调整至计算位置。具体应用情况如下:初始辊径为支撑辊300 mm、二中

间辊172 mm、一中间辊102 mm、工作辊62 mm、最大厚度3.5 mm、最小厚度0.5 mm。不同辊径下轧制位置、侧偏心角计算结果如图11~图14所示。图15、图16为其他参数保持不变,最大厚度、最小厚度对应轧线位置和侧偏心角度的关系。

由图11~图14可看出辊径与轧线位置、侧偏心角的对应关系,随着辊径的增大,轧线位置增大、侧偏心角减小,输入辊径超出合理范围进行

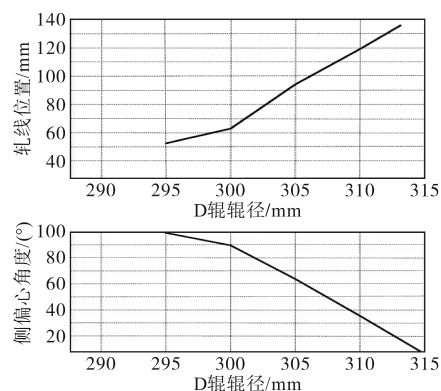


图11 D辊不同辊径下的轧线位置和侧偏心角

Fig.11 The rolling line position and side eccentricity angle of

D-roll under different roll diameters

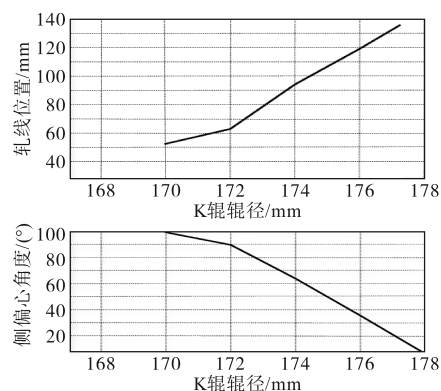


图12 K辊不同辊径下的轧线位置和侧偏心角

Fig.12 The rolling line position and side eccentricity angle of

K-roll under different roll diameters

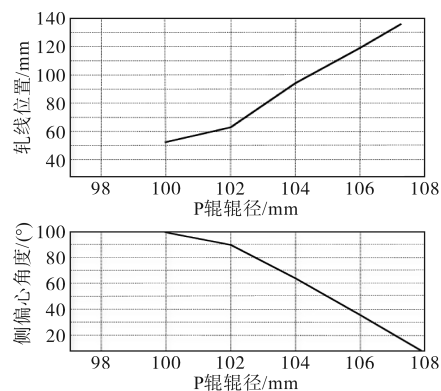


图13 P辊不同辊径下的轧线位置和侧偏心角

Fig.13 The rolling line position and side eccentricity angle of

P-roll under different roll diameters

计算直接报错。

由图15~图16可看出厚度与轧线位置、侧偏心的对应关系。随着最大厚度的增大,轧线位置减小、侧偏角增大;而随着最小厚度的增大,轧线位置增大、侧偏角减小。

实际应用结果表明该系统能满足轧制需求,且已稳定运行。

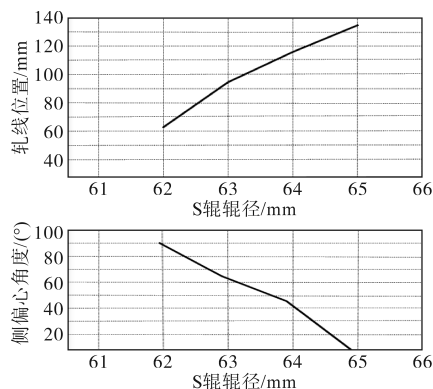


图14 S辊不同辊径下的轧线位置和侧偏角

Fig.14 The rolling line position and side eccentricity angle of

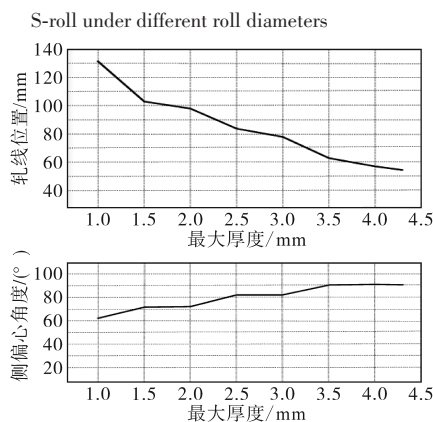


图15 不同最大厚度下的轧线位置和侧偏角

Fig.15 Rolling line position and side eccentricity angle at different maximum thicknesses

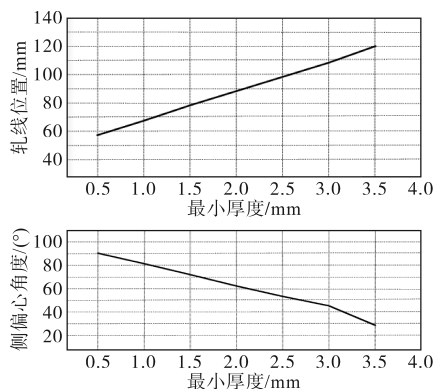


图16 不同最小厚度下的轧线位置和侧偏角

Fig.16 Rolling line position and side eccentricity angle at different minimum thicknesses

3 结论

本文在一级系统中建立了森吉米尔20辊轧机轧线模型,找到了计算轧线合适位置的方法:

1)通过最小偏心辊角度、上齿条位置、下齿条位置以及轧制力等数据计算出各辊系的坐标位置;

2)根据辊系坐标、齿条位置、侧偏心实际角度、最大和最小偏心角度、最大和最小轧辊辊径、最大和最小带钢厚度等数据计算轧线位置和侧偏心角度。

实际应用结果表明,该程序在一级系统中能够准确计算出轧线位置和侧偏角,省去人工多次调整,大幅提升了生产效率。目前,该系统已在多条森吉米尔20辊轧机中应用,能够很好地满足轧制生产要求。

参考文献

- [1] 石宽,韩佳昌,郑剑,等. 森吉米尔二十辊轧机过程控制系统分析[J]. 电气传动,2022,52(2):32-35.
Shi K, Han J C, Zheng J, et al. Analysis of process control system of Sendzimir 20-high mill[J]. Electric Drive, 2022, 52(2): 32-35.
- [2] 孙永平,部国光,似伟华. 二十辊轧机计算分析软件开发之辊径配辊技术[J]. 一重技术,2016(4):17-19.
Sun Y P, Bu G G, Si W H. Calculation & analysis software development for 20-high rolling mills: roll diameter arrangement technique[J]. CFHI Technology, 2016(4): 17-19.
- [3] 贾志伟,李元华,张海利,等. ZR22B52"型二十辊森吉米尔轧机辊系分析技术研究[J]. 轧钢,2020,37(4):74-77,112.
Jia Z W, Li Y H, Zhang H L, et al. Research on the roll system analysis technology of ZR22B52" 20-high Sendzimir rolling mill [J]. Steel Rolling, 2020, 37(4): 74-77, 112.
- [4] 张耀兵. 二十辊森吉米尔轧机辊系力学分析与计算[D]. 武汉:武汉科技大学,2013.
Zhang Y B. Mechanical analysis and calculation of roll system in 20-high Sendzimir rolling mill[D]. Wuhan: Wuhan University of Science and Technology, 2013.
- [5] 袁凯,赵志毅,李显龙,等. 二十辊森吉米尔轧机辊系稳定性的有限元分析[J]. 轧钢,2018,35(3):52-56.
Yuan K, Zhao Z Y, Li X L, et al. Finite element analysis of the stability of roll system on 20-high Sendzimir mill[J]. Steel Rolling, 2018, 35(3): 52-56.

收稿日期:2025-03-16

修改稿日期:2025-08-09