[[1]](#footnote-2)

基于板厚标准曲线的平直度预设定控制方法

吕 略1，罗常培2，欧阳文2,3，赵平安1,3,\*

（1.燕山大学 国家冷轧板带装备及工艺工程技术研究中心，河北 秦皇岛 066004；  
2.燕山大学 亚稳材料制备技术与科学国家重点实验室，河北 秦皇岛 066004；  
3.燕山大学 机械工程学院，河北 秦皇岛 066004）

摘 要：在分析各种平直度预设定控制算法优缺点的基础上，提出一种基于板厚标准曲线的平直度预设定控制算法。首先，建立基于分步优化的平直度和板厚标准曲线制定方法，将平直度判别和平直度预报分开独立计算，通过分步优化得到平直度标准曲线和板厚标准曲线，计算快速、稳定。其次，采用横断面预报模型优化计算平直度预设定值，使计算的带钢出口厚度横向分布逼近板厚标准曲线，得到基于板厚标准曲线的平直度预设定控制方法，该方法计算快速、稳定，完成一次在线设定计算时间约为1.781 s，满足工业在线应用实时性的要求。最后，以某1 800 mm五机架冷连轧机为例验证了上述算法的计算精度，满足工程需要。

关键词：板带轧制；预设定；平直度标准曲线；板厚标准曲线；分步优化

中图分类号：TG333 文献标识码：A

0 引言（标题1）

请注意参考文献标注方式。引言引言引言引言引言引言引言，引言引言引言引言引言引言引言引言引言引言引言引言引言引言引言[1]。引言引言引言引言引言引言，引言引言引言引言引言引言引言。引言引言引言引言引言引言，引言引言引言引言引言引言引言。引言引言引言引言引言引言，引言引言引言引言引言引言引言[2-3]。

引言引言引言引言引言引言引言引言引言引言引言引言引言引言引言，引言引言引言引言引言引言引言引言引言引言引言引言引言[4-7]。引言引言引言引言引言引言引言引言引言引言引言引言引言引言引言[3,8]。于潇等[9]提出引言引言引言，引言引言引言引言引言引言引言引言引言。引言引言引言引言引言引言引言引言引言引言引言引言引言引言引言。文献[10]中引言引言引言引言引言引言引言引言引言引言引言引言引言。

引言引言引言引言引言引言引言引言引言引言引言，引言引言引言引言引言引言引言引言引言引言引言引言引言。引言引言引言引言引言引言引言引言引言引言引言引言引言引言引言引言引言引言引言引言引言。

1 标题1

正文正文正文正文，正文正文正文正文正文正文正文正文正文。

正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文。根据牛顿冷却定律确定边界条件

， (1)

式中，，，分别为工作辊表面温度，与工作辊表面的接触介质温度，径向距离；，分别为换热系数（随时间和边界条件变化而变化），工作辊热传导系数。

正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文，正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文。分块矩阵、具有以下性质：

， (2)

即

。 (3)

正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文，正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正。

2 标题1

2.1 标题2

正文正文正文正文正文，正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文。

2.2 标题2

正文正文正文正文正文正文，正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文。正文正文正文正文正文见表1。

表1 轧制参数表

Tab.1 Table of rolling parameters

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 带材参数 | 数值 | 工作辊参数 | 数值 |
| 入口厚度/mm | 21.02 | 直径/mm | 850 |
| 出口厚度/mm | 12.55 | 辊长/mm | 2 050 |
| 宽度/mm | 1 900 | 密度/(kg·m-3) | 7.9×103 |
| 表面平均温度/℃ | 900 | 初始温度/℃ | 20 |
| 平均变形抗力/MPa | 240 | 比热J/(kg·K) | 460 |
| 导热系数W/(mm·K) | 2.72×10-2 | 导热系数W/(mm·K) | 2.82×10-2 |

2.2.1 标题3

正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文。正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文如图1所示。



图1 基于分步优化的平直度和板厚标准曲线计算流程

Fig.1 Calculation flow chart of the thickness standard curve based on stepwise optimization

2.2.2 标题3

文正文正文正文正文正文正文，正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文。

定理1 定理、引理及推论内容汉字使用楷体。定理定理定理定理定理定理定理定理定理定理定理定理定理定理定理定理定理定理定理。

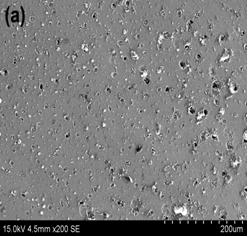
证明 文正文正文正文正文正文正文，正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文。

2.2.3 标题3

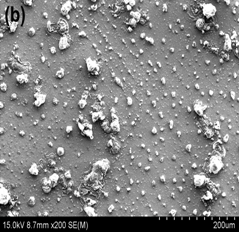
正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文，正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正。

3 标题1

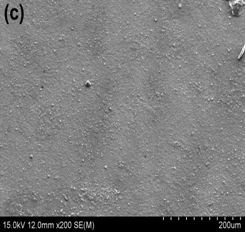
正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文。正文正文正文正文正文正文正文正文，正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文，正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文如图2所示。



100 μm



100 μm



100 μm

(a)原态高锰钢 (b)变形高锰钢 (c)纳米高锰钢

图2 高锰钢在海水介质中电化学腐蚀后的表面形貌

Fig.2 Surface morphologies of Hadfield steel after the electrochemical corrosion in seawater

从图2可以看出，正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正文正。正文正文正文正文正文正文正文正文，正文正文正文正文正文正文正文。正文正文正文正文正文正文正文正文正文如图3所示。



(a)900 ℃下轧制



(b)1 050 ℃下轧制

图3 轧制过程中轧件截面不同位置处温度变化情况

Fig.3 Distribution of temperature in radial section of rolled piece

4 结论（标题1）

结论结论结论结论结论结论结论结论结论结论结论结论结论结论结论。结论结论结论结论结论结论结论结论，结论结论结论结论结论结论结论结论结论。结论结论结论结论结论结论结论结论结论结论结论，结论结论结论结论结论结论结论结论。结论结论结论结论结论结论结论结论结论结论结论结论结论，结论结论结论结论结论结论结论结论结论结论结论。

参考文献

[1] 胡承正, 周详, 缪灵. 理论物理概论: 上 [M]. 武汉:武汉大学出版社, 2010: 112.

HU C Z, ZHOU X, MIAO L. Introduction to Theoretical Physics: Volume 1[M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2010: 112

[2] International Federation of Library Association and Institutions. Names of persons: national usages for entry in catalogues [M]. 3rd ed. London: IFLA International Office for UBC, 1977.

[3] U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration. Guidelines for handling excavated acid-producing material: PB 91-194001 [R]. Springfield: U.S. Department of Commerce National Information Service, 1990.

[4] CALMS R B. Infrared spectroscopic studies on solid oxygen [D]. Berkeley: Univ. of California, 1965.

[5] 张凯军. 轨道火车及高速轨道火车紧急安全制动辅助装置: 201220158825.2 [P]. 2012-04-05.

ZHANG K J. Emergency safety braking auxiliary device for rail train and high-speed rail train: 201220158825.2 [P]. 2012-04-05.

[6] 全国信息与文献标准化技术委员会. 文献著录: 第4部分非书资料: GB/T 3792.4—2009 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2010: 3.

National Technical Committee on standardization of information and documentation. Bibliographical Description: Part 4 Non-book Materials: GB/T 3792.4—2009 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2010: 3.

[7] 汪学军. 中国农业转基因生物研发进展与安全管理 [C]//国家环境保护总局生物安全管理办公室. 中国国家生物安全框架实施国际合作项目研讨会论文集. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 22-25.

WANG X J. Progress of agricultural living modified organisms research and biosafety management in China[C]//The Biosafety Administration Office, SEPA, China. The Proceedings of the Workshop of the International Cooperation Project on “Implementation of National Biosafety Framework of China”. Beijing: China Environmental Science Press, 2002: 22-25.

[8] 白书农. 植物开花研究 [M]. 李承森. 植物科学进展. 北京: 高等教育出版社, 1998: 146-163.

BAI S N. Study on plants flowering[M]. LI C S. Advances in plant sciences. Beijing: Higher Education Press, 1998: 146-163.

[9] 于潇, 刘义, 柴跃廷, 等. 互联网药品可信交易环境中主体资质审核备案模式 [J]. 清华大学学报（自然科学版）, 2012, 52(11): 1518-1523.

YU X, LIU Y, CHAI Y T, et al. Qualification examination and filing modes in a trusted pharmaceutical e-commerce environment[J]. Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 2012, 52(11): 1518-1523.

[10] ZHENG Y J, XIE Z H, LI Y G, et al. Spatial vibration of rolling mills [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2013, 213(4): 581-588.

Flatness pre-set control method based on   
thickness standard curve

LÜ Lüe1, LUO Changpei2, OUYANG Wen2,3, ZHAO Ping’an1,3

(1. National Engineering Research Center for Equipment and Technology of Cold Strip Rolling, Yanshan University,  
Qinhuangdao, Hebei 066004, China; 2. State Key Laboratory of Metastable Materials Science and Technology,   
Yanshan University, Qinhuangdao, Hebei 066004, China; 3. School of Mechanical Engineering,   
Yanshan University, Qinhuangdao, Hebei 066004, China)

**Abstract:** The flatness pre-set control method based on the thickness standard curve is proposed, which is based on the analysis of various flatness pre-set control methods. First of all, the established method of the flatness standard curve and the thickness standard curve based on stepwise optimization is founded, and by calculating the flatness discrimination and the flatness forecast separately, the flatness standard curve and the thickness standard curve are attained with stepwise optimization, the calculation speed is fast and the calculation stability is good. Secondly, the flatness pre-set values are optimized with the strip cross section forecast model, making the transverse distribution of the exit thickness of the strip calculated approach the thickness standard curve, and then the flatness pre-set control method based on the thickness standard curve is gained. The time of completing once on-line pre-set calculation is about 1.781 s and the method can satisfy the real-time need of the engineering on-line application with fast calculation speed and good calculation stability. Finally, the calculation precision of the flatness pre-set control method based on the thickness standard curve is verified on some 1 800 mm five-stand cold strip tandem mill for example, and the calculation precision can satisfy the need of the engineering on-line application.

**Keywords:** strip rolling; pre-set; flatness standard curve; thickness standard curve; stepwise optimization

1. 收稿日期：yyyy-mm-dd

   基金项目：国家重点基础研究发展规划（973计划）资助项目（2015CB\*\*\*\*\*\*）；国家自然科学基金资助项目（518\*\*\*\*\*）；河北省自然科学基金资助项目（E2018\*\*\*\*\*\*）；国家冷轧板带装备及工艺工程技术研究中心开放课题资助项目（40\*\*\*\*\*）

   作者简介：吕略（1982-），男，吉林省吉林市人，博士，副教授，主要研究方向为板带轧制过程板形控制；\*通信作者：赵平安（1960-），男，河北蔚县人，博士，教授，博士生导师，主要研究方向为三维轧制理论和板带轧机板形控制技术，Email：\*\*\*\*@\*\*\*.\*\*\*。 [↑](#footnote-ref-2)