

DOI:10.13228/j.boyuan.issn0449-749x.20190058

冷轧带材板形测控系统国家标准解读

于华鑫¹, 刘宏民^{1,2}, 徐扬欢¹, 王东城^{1,2}

(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)

摘 要: 为了推动 GB/T 34901—2017 与 GB/T 34902—2017 两项国家标准的实施和推广应用,提高中国冷轧带材板形测控技术的标准化、智能化水平,提高板形质量和国际竞争力,对这两项标准进行了系统地解读。首先阐述了这两项国家标准的制定背景与意义,其次介绍了标准的使用范围与术语定义,最后系统地解读了标准中板形仪和板形闭环控制系统的结构组成、技术要求、试验方法和检验规则等。

关键词: 冷轧带材; 板形仪; 板形闭环控制; 国家标准

文献标志码: A **文章编号:** 0449-749X(2019)10-0052-06

Interpretation of national standards for cold rolled strip
shape detection and control system

YU Hua-xin¹, LIU Hong-min^{1,2}, XU Yang-huan¹, WANG Dong-cheng^{1,2}

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

Abstract: In order to promote the implementation and application of GB/T 34901—2017 and GB/T 34902—2017 national standards, enhance the standardization and intelligence level of China's cold-rolled strip shape measurement and control technology, and improve the shape quality and international competitiveness, these two standards were interpreted systematically. Firstly, the background and significance of these two national standards are expounded. Secondly, the scope of the application and the term definitions of the standards are introduced. Finally, structural compositions, technical requirements, experimental methods and inspection rules of shape meter and shape control system are interpreted.

Key words: cold rolled strip; shape meter; shape close-loop control; national standard

冷轧带材包括钢带、铝带和铜带等,属于高端金属带材,广泛应用于汽车家电、电工电子、建筑航空、轨道交通等行业^[1-3]。板形(平直度)是冷轧带材特别是宽带材(1 000 mm 以上)的重要质量指标。板形的在线检测与控制是板带材生产的关键技术和高端技术,是中国冷轧带材生产工艺装备智能升级急需解决的重大技术难题^[4-7]。板形仪是板形在线检测的眼睛,是实现板形闭环控制的前提。由于板形仪制造困难、使用环境恶劣,长期以来被瑞士 ABB、德国 SIEMENS 等国际大公司所垄断。进口板形仪价格昂贵,供货周期长,技术保密,售后服务不到位。目前国内只有冷连轧机和极少数单机架冷轧机配备了板形仪,大多数冷轧机仍然依靠操作工人目测和

棍棒敲击感觉板形,手动调整,导致板形检测和控制水平低,生产的冷轧带材不能作为高级产品使用。

为打破国外垄断,攻克板形在线检测这一难题,该标准起草单位依托国家科技支撑计划项目“精密冷轧带钢轧机与板形测控系统研制”,在板形仪研制方面取得重大突破,自主研制了整辊无缝无线式板形仪,并与企业合作研发板形闭环控制系统,实现冷轧带材板形在线检测与闭环控制技术的国产化^[8],通过一系列工业应用证明,技术指标达到国际先进水平。经过多年研究与应用,中国从板形测控技术的理论模型和工程软件,到板形测控系统的设计、加工、安装、调试、运行、维护等,已经积累了系统丰富的成果和经验^[8-19],但还没有总结、提炼、发展、形成

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50675168); 国家科技支撑计划资助项目(2011BAF15B00)
作者简介: 于华鑫(1988—), 男, 博士生; E-mail: 15033537589@163.com; 收稿日期: 2019-02-19
通讯作者: 刘宏民(1959—), 男, 博士, 教授; E-mail: liuhmin@ysu.edu.cn

相关技术标准,从而影响该项技术的标准化,影响引领推动行业技术发展的能力。

为此,全国冶金设备标准化技术委员会于 2016 年 12 月 19 日下发了板形检测与控制系统国家标准制定的通知(国冶标[2016]24 号),推荐燕山大学国家冷轧板带装备及工艺工程技术研究中心进行起草,经过近 1 年的调研编制、征求意见、最终修订形成 GB/T 34902—2017《冷轧带材接触式板形仪》和 GB/T 34901—2017《冷轧带材板形闭环测控系统》^[20-21],于 2017 年 11 月 1 日发布,2018 年 5 月 1 日实施。本文对这两项国家标准进行了系统地介绍。

1 标准的适用范围和术语定义

1.1 标准适用范围

GB/T 34901—2017 与 GB/T 34902—2017 适用于冷轧带材轧机、平整带材轧机的板形在线检测和闭环控制,其他冷轧生产机组(如连退、矫直机组等)的板形检测和控制也可参照使用。冷轧带材主要指冷轧带钢、铝带、铜带等金属带材。冷轧机结构形式有四辊轧机、六辊轧机和多辊轧机等。轧机布置形式有连轧机、单机架轧机。轧机轧制方式主要有冷轧机、平整机、光整机等。

1.2 标准术语和定义

GB/T 34901—2017 与 GB/T 34902—2017 中规定了关于冷轧带材板形仪与板形闭环控制系统使用的主要术语定义,介绍如下。

(1)板形(平直度),指自然状态(无张力)下的带材长度或残余应力沿宽度方向的分布形态。

(2)板形检测辊,通常安装在轧机出口侧,通过检测前张力横向分布反映板形状态,为接触式检测装置。

(3)板形信号传输处理器,与板形检测辊相连接,由信号传输模块和处理模块两部分组成。

(4)板形仪,即板形检测仪器系统,由板形检测辊、信号传输处理器、信号处理计算机 3 部分组成。

(5)实测板形信号,指经过消噪处理和误差补偿后的板形信号,反映了在线板形真实状态。

(6)板形模式识别,即把复杂的板形分解为几个简单的板形分量(1 次、2 次、3 次、4 次等),以便采取相应的控制措施。

(7)板形目标曲线,指为考虑轧制和后续加工工艺要求而制定的板形控制目标曲线。在板形控制过程中,要使实测板形逼近目标板形^[22-26]。

(8)板形控制参数(手段),指能够改变轧辊辊缝形状和带材板形状态的参数(装置),主要有轧辊倾斜、轧辊弯曲、轧辊横移和轧辊分段冷却参数(装置)等。

(9)板形控制效率,指板形控制参数的单位变化量对各板形分量或横向各点板形造成的改变量。

(10)板形控制矩阵,指板形控制效率矩阵的逆矩阵,反映了板形改变量与板形控制手段调节量之间的关系^[12-14]。

(11)板形控制精度,通常用实测板形与目标板形之间的标准误差(均方差)来表示。

(12)板形闭环控制周期,指从产生板形信号到完成调整板形动作的整个时间。

2 标准的主要技术内容

冷轧带材板形检测与控制系统如图 1 所示,GB/T 34901—2017 与 GB/T 34902—2017 这两项标准给出了板形仪与控制系统的结构组成、基本参数、技术要求、试验方法和检验规则等。

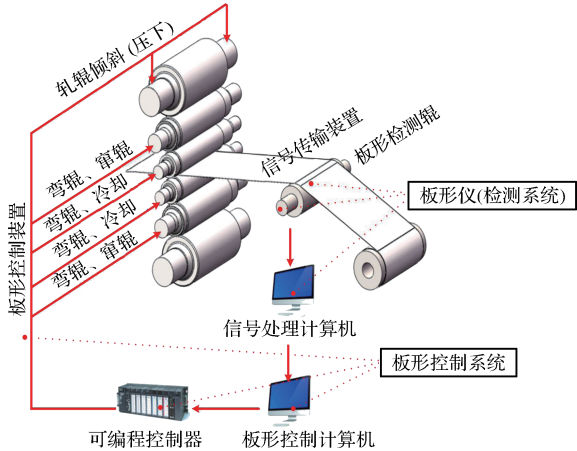


图 1 板形检测与控制系统

Fig. 1 Shape detection and control system

2.1 板形仪结构组成与技术要求

2.1.1 板形仪设备系统组成

板形仪设备系统主要包括板形检测辊、板形信号传输处理器、板形检测计算机 3 个组成部分。

板形检测辊中布置一系列高灵敏度的传感器,通过感知带材对板形检测辊的径向压力分布,提供原始板形模拟信号。板形信号传输处理器对原始板形模拟信号进行采集和数字处理,并将得到的原始板形数字信号传送给板形检测计算机。板形检测计算机由计算机硬件及操作系统、通讯接口和板形检测软件 3 部分组成,主要完成原始板形数字信号处

理和板形通讯。板形检测软件首先进行原始板形数据解包操作,然后换算为径向压力、张应力、残余应力和相对长度差(板形值),最后进行消噪处理和误差补偿^[27],形成反映实际板形状态的信号。

常用的板形检测辊包括分片式检测辊、整辊镶块式检测辊、整辊无缝式检测辊、探针式检测辊和空气轴承式检测辊等 5 种,标准对目前主要应用的前 3 种板形检测辊的结构、特点和适用场合分别进行了说明。常用的板形信号传输处理器包括碳刷滑环式和无线式两种,标准分别对其结构组成、工作原理、性能特点进行了说明。

2.1.2 板形仪基本参数

标准中对板形仪检测辊直径、辊身长度、检测通道宽度、辊面粗糙度、辊面硬度、板形分辨力等基本参数做出了规定,见表 1。其中 I 表示 1 个板形单位,数值为 10^{-5} 。板形检测分辨力指板形仪能检测出来的最小板形变化量,用于表述板形仪的最小板形识别能力。

表 1 板形仪基本参数

Table 1 Basic parameters of shape meter

结构名称	参数	结构名称	参数
辊身直径/mm	260~400	辊身长度/mm	300~2 200
信号路数	≤81	通道宽度/mm	26/52
有效测量长度/mm	≤2 106	辊面粗糙度/ μm	0.2~3.2
板形分辨力/I	0.5	辊面硬度(HRC)	50~62

2.1.3 板形仪技术要求

检测辊直径范围一般为 260~400 mm,宜选用 280、313 和 400 mm 3 个规格。检测通道宽度,根据板形检测精细程度要求,可设置为宽、窄两种类型,对应宽度分别为 52 和 26 mm。检测通道数量,首先根据轧机规格和带材最大宽度确定检测辊的有效检测长度,然后根据有效检测长度和通道宽度确定通道数量。检测辊的工作温度范围为 $(-30\sim180)^\circ\text{C}$,辊面粗糙度为 $0.2\sim3.2\ \mu\text{m}$,辊面硬度为 HRC 50~62。对检测辊的标记和轴承润滑方式等也做出了规定。

检测辊一般安装在轧辊与卷取机之间。对于改造轧机,可在导向辊位置安装板形检测辊,替换导向辊;对新建轧机,应在出口导向辊前留有板形检测辊安装位置。安装精度应保证检测辊水平度小于 $50\ \mu\text{m}/\text{m}$,检测辊与前后导辊(包括卷取机)的相对平行度小于 $50\ \mu\text{m}/\text{m}$ 。带材对检测辊的包角范围

应为 $4^\circ\sim50^\circ$,固定包角有助于提高检测精度。

标准对板形信号传输处理器的工作温度、防护等级、信号接地方式等以及板形检测计算机硬件、通讯接口、板形检测软件的功能等做出了规定。

标准对板形仪标定的量程、检测辊转速、数据平滑次数、标定精度和需要重新标定的情况等做出了规定。

2.1.4 板形仪试验方法和检验规则

板形仪的试验方法包括离线试验和在线试验。离线试验的内容有检测辊辊面硬度、粗糙度、圆度、检测单元精度、板形仪精度等;在线试验的内容有检测辊安装精度、板形信号零点波形、板形仪精度、轧制工艺参数对板形信号的影响等;对各个试验方法做了规定和介绍,特别是对板形仪精度的试验,介绍了波浪度法和分条长度差法两种测量方法。

板形仪的检验包括出厂检验和在线检验。出厂检验为制造商出厂前对板形仪性能进行相关检测,在线检验为板形仪在用户现场设备上运行过程中的性能检测。

板形仪出厂前应当进行出厂检验。对设备部件、主要参数和检测性能等进行逐项检验,确保满足技术要求。检验合格后,方能出厂。制造商应向用户提供板形仪的《产品合格证》和检验报告。

板形仪在冷轧带材生产线上应用时,应当进行在线检验。板形仪上线安装后,首先保证安装精度,之后测试原始板形信号是否正常,按照接口编码协议测试接口通讯数据是否准确无误。生产测试时,观察高速下板形检测辊和信号传输处理器是否正常,观察生产过程中带材表面是否出现压伤或划伤缺陷,同时检查检测辊的辊面状况和表面温度。

采用波浪度法或分条长度差法测量板形,检验板形仪在线检测精度。比较在线板形与板形仪实测板形是否一致、离线板形与板形仪实测板形是否一致,判断板形检测效果和精度。进而将板形仪与板形控制系统联调,测试板形闭环控制效果。

2.2 板形闭环控制系统结构组成与技术要求

2.2.1 板形闭环控制系统的组成

冷轧带材板形闭环控制系统主要包括控制计算机、可编程控制器和板形控制装置 3 部分(图 1)。板形控制计算机由板形信号采集处理单元、板形控制计算单元、I/O 接口单元、信息存储单元、信息显示单元等 5 个功能模块组成,如图 2 所示。板形控制系统应该留有相应接口,用于与轧机其他控制系统进行信息交换。

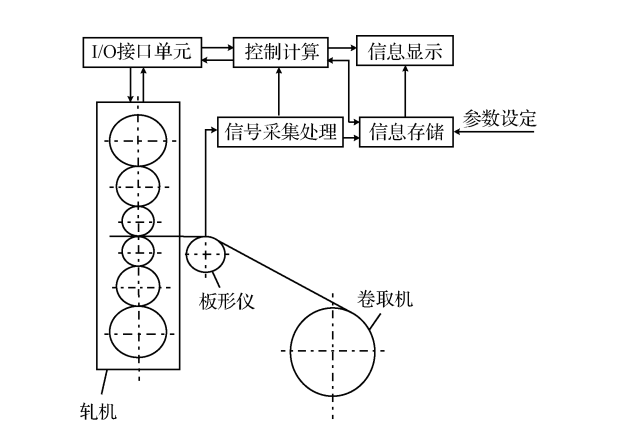


图 2 板形闭环控制系统结构组成

Fig. 2 Structure components of shape closed-loop control system

信号采集处理单元从板形仪实时读取检测到的信号,必要时还应进行板形模式识别。

控制计算单元首先从信号采集处理单元读取板形信号,从 I/O 接口读取控制参数,从信息存储单元读取工艺参数、目标曲线和自学习系数等。然后,

计算实测板形与目标板形之间的偏差,再通过板形控制矩阵方程计算各控制参数的最佳调节量。最后,将控制参数的调整量通过 I/O 接口传递给板形控制装置。

I/O 接口单元具有双向传递功能,保证控制单元与控制装置之间数据传递的准确性。

信息存储单元负责从参数设定、信号采集处理和控制计算等单元读取并存储工艺参数、控制参数、实测数据、目标曲线和自学习系数等。在断电时,应保留已采集的信息。在存储量达到设定值前,应提示备份保存。

信息显示单元从信息储存和控制计算单元读取数据,显示实测板形、目标板形、工艺参数和控制参数等^[26]。

2.2.2 板形闭环控制系统主要模型

板形闭环控制的计算系统主要由 8 大理论模型组成^[13,28],每个模型的主要作用及与其他模型的关系如图 3 所示。

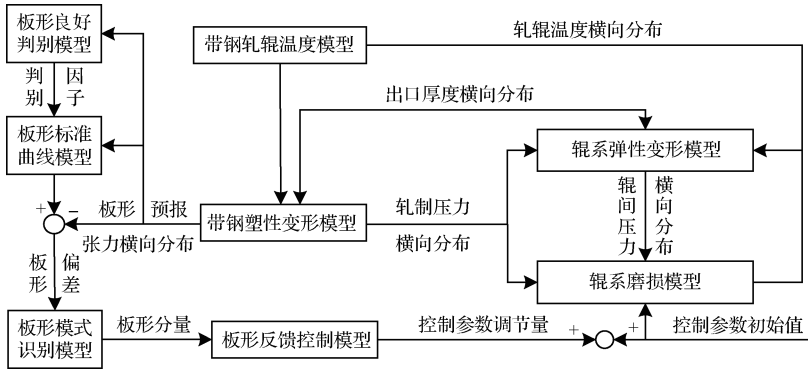


图 3 板形控制基本模型及其相互关系

Fig. 3 Basic model of shape control and their relationship

2.2.3 板形闭环控制系统主要技术要求

板形闭环控制系统应显著提高板形质量,减少人工操作,稳定轧制过程。冷轧带材板形闭环控制的目标值规定见表 2 和表 3。表 2 要求来料板形在 40 I 以内,表 3 要求来料板形在 25 I 以内。

板形闭环控制系统投入时的轧制速度宜大于 60 m/min。如果速度过小,则可能造成轧制过程不稳定。闭环控制周期应在 200 ms 以内,时间长则滞后性大,控制效果差。板形控制系统与轧机其他控制系统之间推荐采用以太网或 DP 进行通讯。板形

表 2 冷轧带材轧机板形闭环控制目标值			
Table 2 Cold rolled strip mill shape closed-loop control target value			
带材厚度 h/mm	板形目标值/I		
	稳态轧制速度大于 300 m/min	加减速过程轧制速度大于 300 m/min	90~300 m/min
$h\leqslant 0.4$	$\leqslant 10$	$\leqslant 20$	$\leqslant 25$
$0.4<h<0.6$	$\leqslant 8$	$\leqslant 16$	$\leqslant 20$
$h\geqslant 0.6$	$\leqslant 6$	$\leqslant 12$	$\leqslant 16$

表 3 冷轧带材平整机或光整机板形闭环控制目标值
Table 3 Cold strip temper rolling mill or brushing machine closed-loop control target value

带材厚度 h/mm	板形目标值/ I		
	稳态轧制速度大于 200 m/min	加减速过程轧制速度大于 200 m/min	90~200 m/min
$h\leq 0.3$	≤ 8	≤ 10	≤ 15
$0.3<h<0.5$	≤ 6	≤ 8	≤ 12
$h\geq 0.5$	≤ 5	≤ 7	≤ 10

控制系统应具有人工调控和自动调控两种模式。人工调控优先级高,一旦人工参与调控,系统自动切换为手动模式^[26]。

3 结语

本文对 GB/T 34901—2017 和 GB/T 34902—2017 两项国家标准进行了解读,以便对冷轧带材板形检测系统(板形仪)和板形闭环控制系统的技术内容和要求有系统清晰的了解,推动标准的实施应用,提高中国冷轧带材生产工艺和技术装备的标准化、智能化水平,提高冷轧带材板形质量和国际竞争力。

参考文献:

[1] 李靖,马进峰,王飞,等. 四辊平整机板形前馈模型的研究与应用[J]. 轧钢, 2019, 36(1): 58. (LI Jing, MA Jin-feng, WANG Fei, et al. Development and application of flatness feedforward model for four-high skin pass mill[J]. Steel Rolling, 2019, 36(1): 58.)

[2] 王雪松,李群,王志勇,等. 首秦公司管线钢板形控制的研究与实践[J]. 中国冶金, 2018, 28(5): 51. (WANG Xue-song, LI Qun, WANG Zhi-yong, et al. Research and application of shape control of pipeline steel in Shouqin Company[J]. China Metallurgy, 2018, 28(5): 51.)

[3] 张维召. 邯钢 2 180 mm 酸轧机组板形控制研究[J]. 轧钢, 2018, 35(1): 82. (ZHANG Wei-zhao. Study on strip shape control technology of 2 180 mm picking and tandem cold mill of Hansteel[J]. Steel Rolling, 2018, 35(1): 82.)

[4] 常安,王树岗,张栋,等. 薄规格铝镇静钢板形缺陷的控制研究[J]. 轧钢, 2017, 34(5): 35. (CHANG An, WANG Shu-gang, ZHANG Dong, et al. Research on control of shape defect of thin gauge Al-killed steel strip[J]. Steel Rolling, 2017, 34(5): 35.)

[5] 李铁. 本钢 FTSR 薄规格带钢板形控制与精度提高[J]. 轧钢, 2018, 35(4): 90. (LI Tie. Improvement of thin gauge strip shape in FTSR line of Benxi Steel[J]. Steel Rolling, 2018, 35(4): 90.)

[6] 胡建军,文杰,于孟,等. DR9 镀锡板板形控制技术研究与应用[J]. 中国冶金, 2018, 28(6): 37. (HU Jian-jun, WEN Jie, YU Meng, et al. Research and application of flatness control on DR9 tinplate[J]. China Metallurgy, 2018, 28(6): 37.)

[7] 刘相华,赵启林,黄贞益. 人工智能在轧制领域中的应用进展[J]. 轧钢, 2017, 34(4): 1. (LIU Xiang-hua, ZHAO Qi-lin, HUANG Zhen-yi. Prospect of artificial intelligent application in rolling[J]. Steel Rolling, 2017, 34(4): 1.)

[8] 刘宏民,刘军,于丙强,等. 带钢冷轧机整辊无线式板形仪和智能板形控制系统[J]. 机械工程学报, 2017, 53(12): 87. (LIU Hong-min, LIU Jun, YU Bing-qiang, et al. Entire roller wireless shape meter and intelligent shape control system for cold steel strip mills[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2017, 53(12): 87.)

[9] 刘宏民,于丙强,杨利坡,等. 整辊内嵌式板形仪: 中国, 201310209604. 2[P]. 2015-09-16. (LIU Hong-min, YU Bing-qiang, YANG Li-po, et al. Entire Roller Embedded Shapemeter: China, 201310209604. 2[P]. 2015-09-16.)

[10] 刘宏民,于丙强,杨利坡,等. 一种用于冷轧带材板形仪的紧凑无线内嵌式信号处理器: 中国, CN105005287A[P]. 2015-10-28. (LIU Hong-min, YU Bing-qiang, YANG Li-po, et al. A Type of Seamless and Embedded Signal Processor Used for Shapemeter: China, CN105005287A[P]. 2015-10-28.)

[11] 刘宏民,丁开荣,李兴东,等. 板形标准曲线的理论计算方法[J]. 机械工程学报, 2008, 44(8): 137. (LIU Hong-min, DING Kai-rong, LI Xing-dong, et al. Theoretical computational method of shape standard curve[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2008, 44(8): 137.)

[12] LIU Hong-min, SHAN Xiu-ying, JIA Chun-yu. Theory-intelligent dynamic matrix model of flatness control for cold rolled strips[J]. Journal of Iron and Steel Research, International, 2013, 20(8): 1.

[13] LIU Hong-min, HE Hai-tao, SHAN Xiu-ying, et al. Flatness control based on dynamic effective matrix for cold strip mills[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2009, 22(2): 287.

[14] LIU Hong-min, ZHANG Xiu-ling, WANG Ying-rui. Transfer matrix method of flatness control for strip mills[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2005, 166: 237.

[15] 于丙强,杨利坡,刘宏民,等. 冷轧带钢接触式板形仪研制及其工业应用[J]. 仪器仪表学报, 2010, 31(4): 904. (YU Bing-qiang, YANG Li-po, LIU Hong-min, et al. Development and industry application of contact shape meter with new structure[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2010, 31(4): 904.)

[16] 何小丽,汪峰,孙祖春. 梅钢 1 420 冷轧自动板形控制系统[J]. 梅山科技, 2010(5): 59. (HE Xiao-li, WANG Feng, SUN

- Zu-chun. Automatic strip shape control system of 1 420 mm TCM at Meigang[J]. Baosteel Meishan, 2010(5):59.)
- [17] 王军生,彭艳,张殿华,等.冷轧机板形控制技术研发与应用[C]//2012年全国轧钢生产学术会议.宁波:中国金属学会,2012:46.(WANG Jun-sheng, PENG Yan, ZHANG Dian-hua, et al. The development and application of cold strip rolling flatness control system[C]//Proceedings of the 2012 National Steel Rolling Production Technology Conference. Ningbo: The Chinese Society for Metals, 2012:46.)
- [18] WANG Dong-cheng, LIU Hong-min. A model coupling method for shape prediction[J]. Journal of Iron and Steel, International, 2012, 19(2):22.
- [19] 王东城,张威,王志杰,等.六辊冷轧机板形快速预报方法[J].钢铁,2016,51(9):51.(WANG Dong-cheng, ZHANG Wei, WANG Zhi-jie, et al. Fast shape prediction method for six-high cold rolling mill[J]. Iron and Steel, 2016, 51(9):51.)
- [20] 全国冶金设备标准化技术委员会. GB/T 34901—2017 冷轧带材板形闭环测控系统[S].北京:中国标准出版社,2017.(National Metallurgical Equipment Standardization Technical Committee. GB/T 34901—2017 Shape Closed-Loop Control System for Cold Rolling Strip[S]. Beijing:Standards Press of China, 2017.)
- [21] 全国冶金设备标准化技术委员会. GB/T 34902—2017 冷轧带材接触式板形仪[S].北京:中国标准出版社,2017.(National Metallurgical Equipment Standardization Technical Committee. GB/T 34902—2017 Contact Shapemeter for Cold Rolling Strip[S]. Beijing:Standards Press of China, 2017.)
- [22] 孙文权,何安瑞,邵建,等.高精度冷轧自动控制系统研究及实践[J].冶金自动化,2015,39(3):44.(SUN Wen-quan, HE An-rui, SHAO Jian, et al. Research and application of automatic control system for high precision cold rolling[J]. Metallurgical Industry Automation, 2015, 39(3):44.)
- [23] 贾生晖,张杰,曹建国,等.冷连轧机硅钢板形控制目标的改进[J].北京科技大学学报,2002,24(3):303.(JIA Sheng-hui, ZHANG Jie, CAO Jian-guo, et al. Flatness object curve for non-tropism silicon steel rolling in 5-stand tandem cold rolling mill[J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2002, 24(3):303.)
- [24] 杨荃,陈先霖.冷轧机的板形控制目标模型[J].北京科技大学学报,1995,17(3):254.(YANG Quan, CHEN Xian-lin. Target model of the automatic shape control on cold strip mill[J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 1995, 17(3):254.)
- [25] 贾春玉,尚志东.冷轧板形目标曲线的补偿设定[J].钢铁研究学报,2000,12(4):64.(JIA Chun-yu, SHANG Zhi-dong. Compensation of plank shape terget curves for cold-rolling strip[J]. Journal of Iron and Steel Research, 2000, 12(4):64.)
- [26] 王东城,刘宏民,苏静,等. GB/T 34901—2017《冷轧带材板形闭环测控系统》解读[J].标准科学,2018(11):117.(WANG Dong-cheng, LIU Hong-min, SU Jing, et al. Interpretation of GB/T 34901—2017 Shape Close-loop control system for cold rolling strip[J]. Standard Science, 2018(11):117.)
- [27] 赵章献,王东城,王鹏飞,等.板形仪位置误差补偿模型的研究及应用[J].钢铁,2015,50(3):49.(ZHAO Zhang-xian, WANG Dong-cheng, WANG Peng-fei, et al. Research and application of position error compensation model for shape meter[J]. Iron and Steel, 2015, 50(3):49.)
- [28] WANG Dong-cheng, LIU Hong-min, LIU Jun. Research and development trend of shape control for cold rolling strip[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2017, 30(5):1248.