

# 基于虚拟仿真技术的板形控制实践教学平台开发

罗晓东<sup>1</sup>, 王 强<sup>2</sup>, 张丽萍<sup>1</sup>, 蒋月月<sup>1</sup>, 胡 彬<sup>1</sup>

(1. 重庆科技学院 冶金与材料工程学院, 重庆 401331;

2. 中冶赛迪电气技术有限公司, 重庆 401122)



**摘 要:**针对当前材料成形及控制工程专业实践教学环节存在的相关问题,开发出了基于虚拟仿真技术的板形控制实践教学平台,并针对性地分为原料准备、轧制过程控制、轧制板形控制基础、轧制板形控制策略和板形控制仿真训练5个模块,循序渐进地深入到板形控制的各个环节,从点到面,有浅入深,有序地完成目前无法实现的板形控制实践教学。并以板形控制仿真训练中的轧制温度及热凸度模拟仿真为例,详细分析了建模的过程,并进行了仿真训练。通过2015届学生的实践,发现借助于该实践教学平台,能够有效激发学生的学习兴趣,提高学生实际操作能力,为学生适应钢铁企业的复杂轧制条件和板形控制条件打下了坚实的基础。

**关键词:**虚拟仿真;板形控制;实践教学;模块教学;案例分析

中图分类号:TB 31;G 642

文献标志码:A

文章编号:1006-7167(2017)05-0114-04

## Development of Flatness Control Practical Teaching Platform Based on Simulation Technology

LUO Xiaodong<sup>1</sup>, WANG Qiang<sup>2</sup>, ZHANG Liping<sup>1</sup>, JIANG Yueyue<sup>1</sup>, HU Bin<sup>1</sup>

(1. College of Metallurgical and Materials Engineering, Chongqing University of Science and Technology, Chongqing 401331, China; 2. CISDI Electric Technology Co., Ltd., Chongqing 401122, China)

**Abstract:** Simulation technology can realistically simulate the real world, cultivate students' innovative practice ability, improve practical teaching effect. In view of the problems existing in the practical teaching of materials processing and controlling engineering, we designed a flatness control practical teaching platform based on simulation technology. The development of practical teaching platform divided into five modules: raw material preparation, rolling process control, flatness control foundation, flatness control strategy and flatness control training. The five modules contain all aspects of flatness control, and introduce from point to surface, from shallow to deep. The rolling temperature and thermal crown simulation were taken as examples, the process of modeling and simulation were introduced in detail. The teaching platform can stimulate students' interest of learning, improve students' practical ability, also can make the students handle the complex rolling conditions and the complex flatness control conditions.

**Key words:** simulation; flatness control; practical teaching; modular teaching; case analysis

收稿日期:2016-06-23

**基金项目:**2014年国家级虚拟仿真实验教学中心(钢铁制造虚拟仿真实验教学中心,教高司函[2013]94号);2014年重庆市本科高校“三特行动计划”特色专业群(渝教研[2014]7号);2014重庆科技学院特色专业(201402);2014重庆科技学院精品资源共享课(201408);2016重庆科技学院冶金材料特色学科群课程建设项目

**作者简介:**罗晓东(1981-),男,河南许昌人,博士在读,副教授,主要从事塑性加工相关教学和科研工作。

Tel.: 023-65022425; E-mail: lxd336@163.com

## 0 引 言

我校是一所省属特色鲜明的应用型高校,作为具有60多年办学历史的传统优势学科—材料成形及控制工程专业,背靠冶金,以轧制为主要发展方向,面向钢铁企业,培养板型管的专业技术人才<sup>[1-3]</sup>。传统的轧制方向由于存在设备重、占地面积广、投资大、利用率

低等缺点,在实验室设备投资上显得捉襟见肘,因而大部分实验以演示性为主,很难直观地展现现场轧制的情景与轧制技术。而实践教学质量的提高对于实现“具有创新精神的应用型高级专门人才”的培养目标显得尤为重要。

近年来虚拟网络炼钢大赛的发展,学生通过在虚拟平台进行原料准备、工艺设计、节奏控制、成品质量检测,为学生应用能力的提升提供了一个很好的实践平台<sup>[4-6]</sup>。但该平台对于板带钢成品质量起决定作用的板形控制却无能为力,为了更好地提高学生的实践能力,加强与现场工艺的融合,在前期调研分析及学生实践验证的基础上,尝试建立基于虚拟仿真技术的板形控制实践教学平台,通过该平台的建设,完善当前的实践教学体系,为板带钢的板工艺设计及板形控制提供支撑。

## 1 板形控制实践教学内容

板带钢有通用钢材之称,可随意切断分离、拼凑组合。目前生产出来的钢铁制品 80% 以上为板带钢,因此在教学大纲设置时,为了在专业教学环节中更好地开展仿真实实践教学,对板带钢的内容进行重点考究编排,《塑性加工力学》《塑性加工原理》《加热炉》《轧钢设备》《板带钢轧制工艺学》《材料加工 CAD/CAE/CAM 技术基础》《材料成形自动化基础》《连铸连轧》《控轧控冷》《轧钢车间设计》等作为基础平台课程和专业课,安排在第 5~7 学期。在开设专业课时,借助 steel university 平台和钢铁制造国家级虚拟仿真实验教学中心的仿真实验平台进行成分设计、铸造工艺、加热工艺、轧制工艺、热处理及精整工艺的模拟。对于目前不具备的板形控制工艺部分,为了提高实践教学效果,考虑到板形控制的工艺和过程,通过不同的阶段设计及准备,通过不同的实践项目(开设项目一览表如表 1 所示)逐步提升学生的操作能力和实践经验,提高学生的工程实践能力<sup>[7]</sup>。

## 2 板形控制实践教学平台的设计

板形控制实践教学平台的设计宗旨是,针对企业的生产特点,加强教师的主导作用,强调实践环节,以培养学生的能力为中心,提高学生的工程训练水平和实践应用能力。基于该原则,虚拟仿真平台有 5 个部分组成。原料准备+轧制过程控制+轧制板形控制基础+轧制板形控制策略+板形控制仿真训练。

原料准备主要是根据轧制的要求为轧制备料,而为了满足轧制温度条件所具备的加热工艺要求。主要包括加热温度(预热段、加热段、均热段的温度要求)、加热速度(满足加热温度的基础上尽量减小氧化提高加热效率)、炉压制度(是组织火焰形状、调整温度场

及控制炉内气氛的重要手段,在保证炉子出料端钢料面压力为零压或微正压,同时炉内气疏通畅的燃料计算及设计)、加热时间(受钢种、钢料形状和尺寸、炉内布料方式、炉型结构、供热能力、加热速度等因素的影响,确定需保证加热均匀性、减轻铸锭缺陷,减少氧化和脱碳、防止过热过烧)等。

表 1 板形控制平台的实践项目一览表

模块	对应阶段	实践项目
原料准备	加热工艺控制	炉压调节与控制
		加热时间设计与分配
		加热温度制定
		加热速度选取
轧制过程控制	轧制工艺设计	轧制方法及压下量的设计
		轧制速度及速度制度的设定
		轧制时间、轧制温度计算与校核
		轧制压力及轧制力矩计算
		轧制强度校核
轧制板形控制基础	辊缝设定及影响分析	板形及板形不良
		热凸度辊缝影响规律研究
		轧辊的磨损对辊缝的影响规律研究
		轧辊的弹性压扁对辊缝的影响规律研究
轧制板形控制策略	板形控制理论分析	弯辊力对板形的影响规律研究
		窜辊量对板形的影响规律研究
		辊型曲线对板形的影响规律研究
板形控制仿真训练	板形控制仿真分析	轧制温度及热凸度模拟仿真
		弯辊力优化模拟仿真
		窜辊量优化模拟仿真
		辊型曲线设计及模拟仿真
		同宽轧制模拟仿真
		板形控制效果分析及调整

轧制过程控制主要是通过对轧制过程的分析,参考轧制工艺设计的主要指标学习轧制方法及压下量的设计、轧制速度及速度制度的设定、轧制时间和轧制温度计算与校核、轧制压力及轧制力矩计算、轧制强度校核,从而为后续的板形控制提供理论支撑。

轧制板形控制基础<sup>[8-11]</sup>主要是通过该环节的训练让学生知道板形控制的基础理论,了解板形与横向厚差的关系,同时认识到板形不良的危害及板形控制对板带钢的重要性,在此基础上分析影响辊缝形状的因素:轧辊的热膨胀、轧辊的磨损、轧辊的弹性压扁、轧辊的原始辊型。

轧制板形控制策略<sup>[12-13]</sup>是通过板形控制理论的分析,通过相关理论计算及模型分析弯辊力、窜辊量、辊型曲线对板形的影响规律,从而获得相关的控制策略。通过该部分的训练帮助学生更深刻地认识到板形

的主要控制手段及策略。

板形控制仿真训练是结合板带钢轧制的特点,选取现场典型钢种的轧制工艺,通过轧制温度及热凸度模拟仿真、弯辊力优化模拟仿真、窜辊量优化模拟仿真、辊型曲线设计及模拟仿真、同宽轧制模拟仿真、板形控制效果分析及调整来达到实践能力提升的目的。

5 个部分循序渐进地将学生引入到现场板形控制的情景中,为学生营造真实的实践氛围,激发学生的想象力和创造力。为学生掌握板形控制的方法及将来现

场轧制策略制定打下坚实的基础。

3 板形控制实践教学平台教学案例分析

以板形控制仿真训练中的轧制温度及热凸度模拟仿真为例,首先通过理论讲解,并结合前期的原料准备、轧制过程控制、轧制板形控制基础模块的学习,让学生对轧制温度和热凸度有直观的认识,然后借助平台的板带钢轧制模拟仿真软件,其输入参数采用某厂真实数据如表 2 所示<sup>[14-15]</sup>。

表 2 某厂 2250 热连轧机设备参数

参数	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
工作辊辊身长度/m	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25
支撑辊辊身长度/m	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25
工作辊直径/mm	765 ~ 850	765 ~ 850	765 ~ 850	765 ~ 850	630 ~ 700	630 ~ 700	630 ~ 700
支撑辊直径/m	1.44 ~ 1.60	1.44 ~ 1.60	1.44 ~ 1.60	1.44 ~ 1.60	1.44 ~ 1.60	1.44 ~ 1.60	1.44 ~ 1.60
支撑辊辊颈直径/mm	955	955	955	955	955	955	955
工作辊弯辊缸间距/m	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35
压下油缸间距/mm	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35
各机架牌坊刚度/(t·mm <sup>-1</sup> )	680	680	680	680	630	630	630
各机架工作辊弯辊力范围/(t·侧 <sup>-1</sup> )	0 ~ 150	0 ~ 150.1	0 ~ 150.2	0 ~ 150.3	0 ~ 150.4	0 ~ 150.5	0 ~ 150.6
各机架工作辊窜辊量范围/mm	-150-150	-151-151	-152-152	-153-153	-154-154	-155-155	-156-156
各机架中心线与其后架中心线间距/m	5.925	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
各机架中心线至其后水冷节点间距/m	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	N/A
水冷节点有效喷洒区域/mm	800	800	800	800	800	800	N/A
入口测温仪至第一机架中心线间距/m				2.62			
入口测温仪至入口除鳞箱中心线间距/m				7.60			
除鳞箱有效喷洒区域/m				2.62			
末机架中心线至出口测温仪间距/m				5.50			

结合现场的轧制过程,通过对精轧运动过程进行分析,并通过观看某 2 250 热连轧企业的现场轧制过程的视频,让学生能够基于有限模拟软件建立起轧制的模型如图 1 所示,通过定义边界条件和初始条件,并采用 C3D8RT 将坯料离散,然后选取材料并建立工艺参数,从而实现与现场轧制基本一致的工艺参数和性能特征,在检查无错的基础上进行运行。

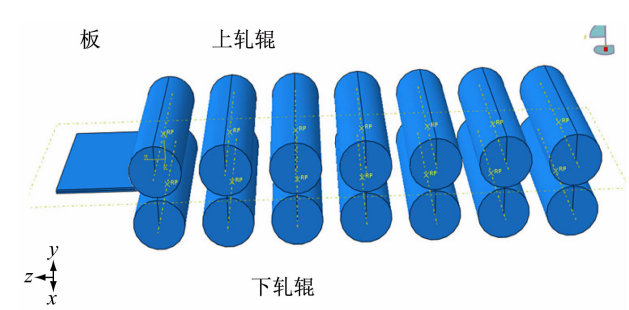


图 1 热连轧带钢轧制模型

在运行的过程中不断调整模型和参数,同时进行

辊型、轧制温度、压下量等进行不断校正,尽量按照现场的轧制工艺进行模拟仿真,重点对轧制过程中的温度和热凸度进行设置监控,最终得到一系列结果,将精轧过程中温度结果进行分析和整理如图 2、3 所示,通过对模拟结果的分析可以得到整个精轧过程中温度的分布,为控制轧制控制冷却提供指导。

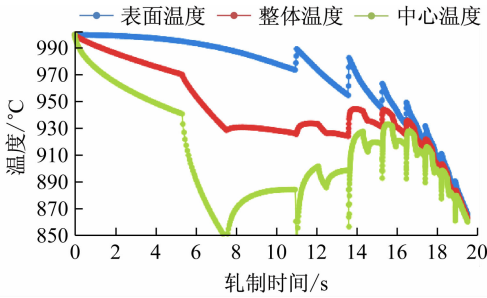


图 2 精轧过程中经过第一机架出口时板坯中心位置的温度分布

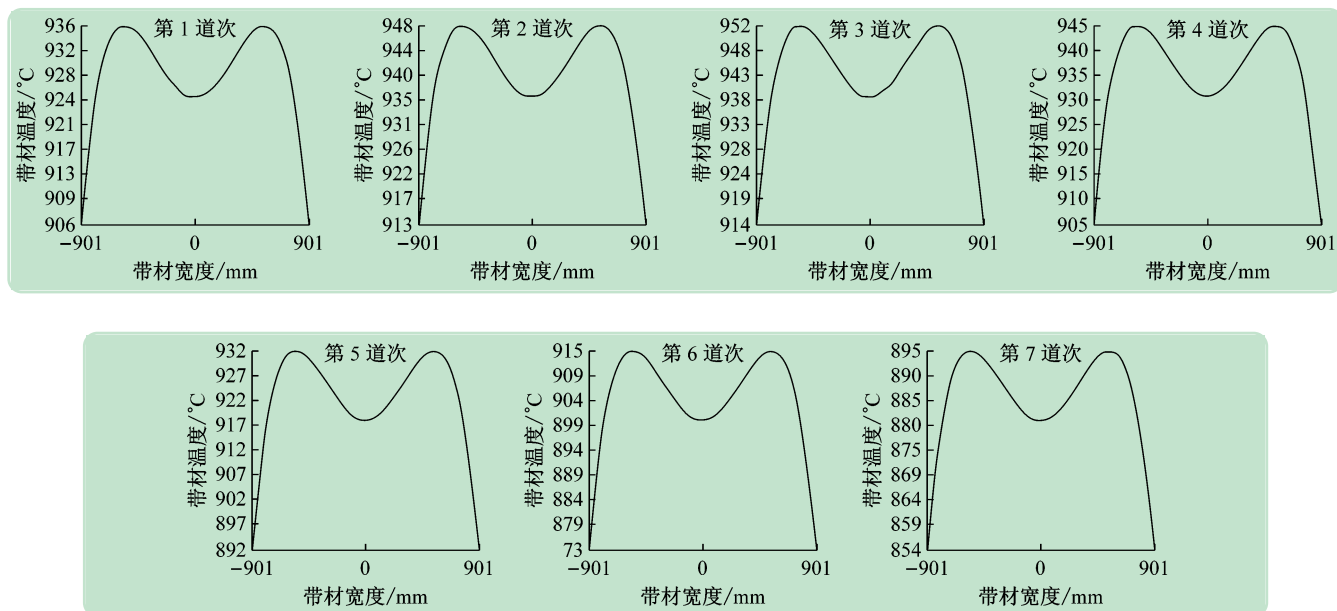


图3 精轧过程中经过每一机架出口时板坯(长度方向中心端面)沿着宽度方向的温度分布

#### 4 结 语

在整个虚拟仿真实践过程中,我们对学生进行了抽样调查,根据学生反馈的结果显示学生的兴趣度由原来的12.3%提高到了76.3%,教学效果良好。同时根据钢铁企业调研反馈结果显示,通过该实践平台的实践,学生对板形控制的理解更加深入,在2015届签约的学生中有51%的人从事板带钢相关工作,根据其现场一年的工作情况来看,进行过板形控制实践的学生在现场的适应能力更强,能够适应现场复杂的轧制条件,大大地提高了企业对学校的认可度。在2016届的毕业双选会中有71.5%的学生选择板带企业。

总之通过该板形控制实践平台的开发,提高了学生实际操作能力,为学生积累了丰富的实践经验,锻炼了学生分析解决问题的能力,为学生适应钢铁企业的复杂轧制条件打下了坚实的基础。

#### 参考文献 (References):

- [1] 朱光俊,杨治立,杨艳华. 校企联合应用型本科人才培养机制探析[J]. 职业与教育,2012(26):39-40.
- [2] 陈 静. 地方院校应用型本科人才培养模式探究[J]. 重庆科技学院学报(社会科学版),2011(3):160-162.
- [3] 吴娅梅,胡 彬,阳 辉. 材料成型及控制工程专业实践教学改革探索[J]. 科技资讯,2011(8):208.
- [4] 李 平,毛昌杰,徐 进. 开展国家级虚拟仿真实验教学中心建设提高高校实验教学信息化水平[J]. 实验室研究与探索,2013,32(11):5-8.
- [5] 袁晓丽,万 新,杜长坤,等. 仿真技术在冶金工程专业实践教学中的应用[J]. 重庆科技学院学报(社会科学版),2013(3):191-193.
- [6] 邵 琰,刘敏超. 虚拟仿真教学实验平台在应用型大学的搭建及虚拟仿真技术在化工类课程教学中的探索性研究[J]. 广东化工,2015,42(14):243-244.
- [7] 罗晓东,尹立孟,王青峡,等. 基于虚拟仿真技术的实验教学平台设计—以材料成型及控制工程为例[J]. 实验室研究与探索,2016,35(4):5-8.
- [8] 陈先霖. 新一代高技术宽带钢轧机的板形控制[J]. 北京科技大学学报,1997,19(S1):1-5.
- [9] 张 杰. CVC 轧机辊形及板形的研究[D]. 北京:北京科技大学,1990.
- [10] 姜燕雄. 辊凸度连续可调(CVC)轧机的轧辊辊面曲线[J]. 中南工业大学学报,1995,26(3):357-359.
- [11] 郭忠峰. 热连轧带钢板形控制与辊形优化设计[D]. 沈阳:东北大学,2008.
- [12] A. Seilinger, A. Mayrhofer, A. Kainz. SmartCrown. 改善轧机凸度和平直度控制的新系统[J]. 中国冶金,2003(1):42-43.
- [13] 张 杰,陈先霖,徐耀寰,等. 轴向移位变凸度四辊轧机的辊形设计[J]. 北京科技大学学报,1994,16(S1):98-100.
- [14] 胡松涛. 太钢2 250 mm 不锈钢热连轧生产线的工艺及设备[J]. 轧钢,2006,23(5):33-36.
- [15] 郭立君. 邯钢CSP与2 250热轧厂精轧机主要设备比较与分析[J]. 金属世界,2011(2):57-59.