

天津市科学技术奖提名项目公示材料

项目名称：基于动态数字孪生的高精度热连轧 CPS 系统关键技术研发及应用

提名奖种和等级：天津市科学技术进步奖，一等奖

主要完成单位：天津荣程联合金属制品有限公司

东北大学

首钢股份公司迁安钢铁公司

太原科技大学

沈阳建筑大学

安钢集团信阳钢铁有限责任公司

中重科技（天津）股份有限公司

主要完成人：李旭，丁敬国，张殿华，张君婷，曹剑钊，姬亚锋，王伦，王海深，陈丰，司水山，高坤，田志强

提名单位：天津市津南区科技局

项目简介：热连轧三维形貌高精度控制和绿色化生产工艺是钢板生产领域内的终极追求目标之一，也是提高钢板生产成材率和生产效率的关键。当前，随着钢板产品在国民经济建设中的应用领域不断拓展，产品定制化生产特征日益增强，对产品外观形状的要求不断提高。热轧过程是钢板制造过程中的关键工序，轧件在生产过程中时变、非线性特点使温度、压下等工艺参数对三维形貌等质量指标的影响规律难以精确描述。另一方面，由于钢板生产工艺复杂，订单多采用个性化期货定制模式，“个性化”小批量需求与现场“共性化”批量生产的矛盾尖锐。全连续热轧实际控制过程采用的单一常参数模型难以满足连续变化的要求，模型匹配性差，实际生产过程中轧制力、宽度、厚度、板形等关键参数存在很大偏差。因此，需要积极应对轧制行业对数字化和智能化的技术需求，探索数据处理技术及人工智能算法等学科前沿知识在稳定生产工艺、提升产品实物质量方面的作用，以智能化制造技术的局部示范作为切入点，推动热连轧行业整体工艺技术控制水平的全面提升。

因此，项目围绕行业领域内重大共性技术需求，东北大学，太原科技大学和沈阳建筑大学，依托天津荣程联合金属制品有限公司，首钢股份公司迁安钢铁公司，安钢集团信阳钢铁有限责任公司，中重科技（天津）股份有限公司，开发了全连续热轧绿色化生产工艺与智能控制技术，基于数值模拟分析技术建立了全连续粗轧强迫宽展和无活套微张力控制模型，实现了全连续粗轧过程的高精度秒流量控制。通过机器学习、机理建模等方法，建立了高精度的力能参数模型和宽度预测模型，搭建了板带轧制过程动态数字孪生模型体系。使用机器视觉的钢板板形深度感知技术，开发了基于轮廓识别的形状感知和特征值提取的滚动优化方法，形成了机理融合数据驱动的侧弯和短行程 CPS 系统。构建了基于多源数据与多模型联合解析的板形动态数字孪生模型体系，形成了具备板形智能识别、精准计算、闭环控制和动态优化等特征的板形 CPS 系统。研究板带轧制非稳态过程多目标动态工艺逆向优化设定方法，以实际运行轧制工艺规程为初始条件进行在线优化，在各因素运行指标允许范围内提高板带轧制非稳态过程产品质量和性能。

通过上述全连续热连轧控制过程的系统性研究及技术开发，建立了全连续热轧关键工艺参数的数字孪生模型，构建了数字孪生驱动的全连续热轧带钢 CPS 系统。开发的基于机器视觉的热连轧带钢轮廓识别系统的宽度检测精度达到 $\pm 1\text{mm}$ ，长度方向检测误差小于 5%，侧弯量检测精度 $\pm 0.1\text{mm/m}$ ，跑偏检测精度 $\pm 0.5\text{mm}$ ；开发的基于动态数字孪生的高精度热连轧 CPS 系统轧制力预测偏差小于 5%，板凸度的命中率($\pm 15\mu\text{m}$)大于 96.5%，宽度命中率大于 97.0%，纵向厚度命中率($\pm 10\mu\text{m}$)大于 97.5%。

主要技术支撑材料：

支撑技术创新点的主要论文材料目录

序号	论文专著名称	发表刊物	作者（按刊物发表顺序）
1	Predicting hot-strip finish rolling thickness using stochastic configuration networks	Information Sciences	Xu Li, Yaodong He, Jingguo Ding, Feng Luan, Dianhua Zhang.
2	Application of Mind Evolutionary Algorithm and Artificial Neural Networks for Prediction of Profile and Flatness in Hot Strip Rolling Process	Neural Processing Letters	Zhenhua Wang, Gengsheng Ma, Dianyao Gong, Jie Sun, Dianhua Zhang.
3	Camber Prediction Based on Fusion Method with Mechanism Model and Machine Learning in Plate Rolling	ISIJ International	Jing Guo DING, Yang Hao Chen HE, Ling Pu KONG, Wen PENG
4	Prediction of bending force in the hot strip rolling process using artificial neural network and genetic algorithm (ANN-GA)	International Journal of Advanced Manufacturing Technology	Zhen-Hua Wang, Dian-Yao Gong, Xu Li, Guang-Tao Li, Dian-Hua Zhang
5	Optimization of CVC shifting mode for hot strip mill based on the proposed LightGBM prediction model of roll shifting	International Journal of Advanced Manufacturing Technology	Guangtao Li, Dianyao Gong, Junfang Xing, Dianhua Zhang.

6	A new data-driven roll force and roll torque model based on FEM and hybrid PSO-ELM for hot strip rolling	ISIJ International	Zhenhua WANG, Dianhua ZHANG, Dianyao GONG, Wen PENG
7	基于 CPS 架构的板带热轧智能化控制	轧钢	张殿华, 孙杰, 丁敬国, 彭文, 李旭, 王国栋
8	热连轧带钢生产线计算机控制系统的研发与应用	轧钢	陈丰, 杨子江, 王庆军, 李旭, 张殿华

支撑技术创新点的主要专利及软著目录

序号	成果名称	成果类型	发明人	知识产权人	专利号/申请号	国别	当前状态
1	一种基于数据驱动和机理模型融合的板带钢凸度预测方法	发明专利	李旭; 陈楠; 丁敬国; 栾峰; 吴艳; 马冰冰; 高坤; 霍利锋; 王海深; 李伟	东北大学	202210000389.4	中国	授权
2	一种热轧带钢出口凸度预报方法	发明专利	王振华; 李旭; 龚殿尧; 李广焘; 张殿华	东北大学	201710588439.4	中国	授权

3	融合轧制机理和深度学习的热连轧带钢头部宽度预测方法	发明专利	李旭; 何垚东; 栾峰; 曹雷; 陈丰; 马冰冰; 高坤; 霍利峰; 张殿华; 丁敬国; 韩月娇	东北大学	202110243168.5	中国	授权
4	一种板带钢图像轮廓的提取方法	发明专利	董梓硕, 李旭, 曹剑钊, 张殿华	东北大学	202010461872.3	中国	授权
5	一种轧制过程中热态钢板长度及侧弯测量方法	发明专利	曹剑钊; 李旭; 朱晓岩; 董梓硕; 张殿华; 王长涛; 陈楠	沈阳建筑大学; 东北大学	201910508641.0	中国	授权
6	一种基于核偏最小二乘结合支持向量机的板凸度预测方法	发明专利	姬亚锋,宋乐宝,彭文,李华英,原浩,牛晶	太原科技大学	202010056162.2	中国	授权
7	一种热连轧精轧厚度控制方法	发明专利	张殿华; 尹方辰; 韩蕊繁; 彭文; 陈树宗; 李旭; 孙杰	东北大学	201510176042.5	中国	授权
8	一种全连续粗轧过程的强制宽展控制方法	发明专利	丁敬国; 曲丽丽; 马更生; 彭文; 孙杰; 张殿华	东北大学	201510242235.6	中国	授权

9	一种实现热轧带钢微中浪轧制的方法	发明专利	王振华; 龚殿尧; 李广焘; 鲁兴; 张殿华; 徐建忠; 邸洪双	东北大学	201711467013.X	中国	授权
10	一种轧制过程控制方法	发明专利	王海深; 王娜; 王秋娜; 张转转; 夏永彬; 李春元; 罗旭焯; 王伦	北京首钢股份有限公司	202110350119.1	中国	授权