

## 1 头条信息

## 教育部科技司司长雷朝滋到东北大学调研

2023年6月10日下午,教育部科技司司长雷朝滋一行到东北大学调研,先后来到工业智能与系统优化国家级前沿科学中心、钢铁共性技术协同创新中心、深部工程与智能技术研究院考察。辽宁省教育厅副厅长罗文波、校党委书记熊晓梅、校长冯夏庭、中国工程院院士王国栋等陪同调研。

雷朝滋听取了工业智能与系统优化国家级前沿科学中心面向国家重大需求,围绕行业和区域高质量发展的工业智能“卡脖子”技术研究情况,钢铁共性技术协同创新中心基础研究、应用基础研究、前沿技术、关键共性技术融通发展情况,深部金属矿山安全开采教育部重点实验室、重大科技基础设施包括超大型深部工程灾害物理模拟设施建设及深部金属矿领域国家级平台筹建情况等方面工作的介绍,并与各实验室专家教师深入交流研究方向、项目进展、推广应用等情况。

雷朝滋对学校依托学科优势,在科研方向凝练、协同创新建设、科技成果转化以及重大科技创新平台建设等方面取得的成果表示肯定。雷朝滋表示,高校要瞄准国家产业发展需求,坚持问题导向,瞄准“卡脖子”问题,实现关键核心技术突破;要加强有组织科研,加快打造国家战略科技力量,为高水平科技自立自强提供有力支撑。

教育部科学技术与信息化司,辽宁省教育厅科技与信息化处,东北大学科学技术研究院、发展规划与学科建设处、轧制技术及连轧自动化国家重点实验室、工业智能与系统优化国家级前沿科学中心、深部工程与智能技术研究院等单位相关负责人参加调研。



## 王国栋：当前亟须创建一流现代冶金学科

“在当前绿色低碳、智慧制造驱动产业升级的大背景下，亟须创建一流现代冶金学科，更新升级工科教材，推动新时代钢铁行业创新型、应用型、技能型、复合型人才队伍建设，为钢铁行业高质量发展持续注入新鲜血液。”2023年4月15日，中国工程院院士、东北大学教授王国栋在专业学术出版改革创新论坛暨庆祝冶金工业出版社成立七十周年研讨会上讲话时这样表示。



图为王国栋院士

会上，王国栋介绍，根据冶金工业出版社的调研结果，目前钢铁专业高等教材、高职高专教材和工具书的发展与中国冶金行业发展进程不相匹配，具体表现在以下3个方面。

一是教材工作落后于行业发展。王国栋表示，当前，绿色低碳、数字智能、高质高效、强链补链是冶金行业发展的主题。这些领域如今爆炸性地涌现出了大量新技术、新理论、新产品，但教材内容并未随之更新。

二是教材、教育落后于社会发展。当前，数字经济、数字技术与实体经济融合，催生出了大量的新产业、新业态、新模式。王国栋指出，教材和教学也要同步实现升级更新，不断拓展研究领域。

三是教材、教育落后于人才培养的时代要求。王国栋认为，新时代提出了新要求，一是要求教育采用启发式教学，强化实践式教学，培养学生独立思考能力和解决实际问题的能力；二是要求培养复合型人才，学科交叉与行业协同，使学生能够综合应用各个不同学科的知识，解决自己专业、行业面临的复杂问题。再加上如今知识的传播方式、学生的学习方式、人与人的交流方式都发生了本质性的变化，所以现在的教育与教材必须与新形势相适应，彻底改革，跟上时代的步伐。“时代性、现实性、启发性、实践性是新工科、新教育、新教材的发展方向。”他认为。

王国栋还特别说道，对行业发展而言，丰富的优秀人才储备是其取得长足进步的源动力，高校作为人才培养的主阵地，要充分发挥教材的基础和根本作用，培养新时代高素质技术人才。

同时，王国栋指出，在当前背景下，冶金行业发展已然拥有新的主题：实现碳达峰碳中和，是党中央统筹国内国际两个大局作出的重大战略决策；数字化为绿色制造赋能，是制造强国建设的主攻方向。他认为，学科建设与人才培养的方向也要相应地进行调整，要全面启动新工科建设，建立以绿色化、数字化引领的新冶金学科体系和知识体系。

最后，王国栋说道，冶金院校一定要坚持在新冶金工程学科建设上进行卓有成效的探索，推进产学研深度融合，努力创建一个覆盖钢铁生产全流程装备、工艺及相关机械、材料、控制、物理、化学专业的新冶金、大冶金学科群，引领世界冶金科技发展。

## 辽宁省科技厅副厅长金莉一行莅临轧制技术及连轧自动化国家重点实验室调研

2023年4月27日, 辽宁省科技厅副厅长金莉、成果转化与奖励处副处长王旭莅临轧制技术及连轧自动化国家重点实验室(RAL)调研。中国工程院院士王国栋、实验室副主任刘振宇、赵宪明、丛广宇、主任助理孙杰陪同调研, 双方在RAL实验室563会议室举行座谈。

王国栋院士代表RAL实验室对金莉副厅长一行来室调研交流表示热烈欢迎, 对辽宁省科技厅长期以来对实验室科技和人才工作的支持和帮助表示感谢, 并简要介绍了实验室围绕国家战略需求, 聚焦共性关键技术, 开展重大科学问题攻关和所取得的突破性成果, 以及实验室研究队伍、近期科研工作等情况。随后, 王院士着重介绍了实验室在钢铁材料创新基础设施建设、废钢资源数字化管理和高质量循环利用与高端产品研发等方面所做的创新工作。王院士表示, 实验室将持续以创新驱动为引领, 发挥科技、人才优势, 在服务辽宁全面振兴新突破中贡献力量。

金莉副厅长充分肯定了RAL实验室在钢铁工业绿色化、智能化、高质化等领域取得的成绩。金莉表示, RAL实验室为国家和区域经济社会发展做出了突出贡献, 她指出, 高校科技成果转化是高校科技创新的重要环节, 也是高校服务区域经济社会发展的重要途径。科技厅将在政策制定、平台搭建、激励建设等方面给予实验室更多的支持, 与实验室构建有效的沟通机制, 推进科技成果转化、产学研合作、科技创新等工作的深入开展。

会上, 实验室副主任刘振宇教授、赵宪明教授、主任助理孙杰教授分别围绕本领域研究内容、代表性成果、下一步工作规划以及在成果转化过程中遇到的难点、堵点问题等内容向金莉进行了汇报。金莉表示, 科技厅会针对本次调研的精神, 进一步梳理座谈事项, 积极发挥好政府的服务作用, 解决困难问题; 不遗余力地从举措、政策上予以支持, 推动实验室科技成果在辽转化和产业化。



## 2 RAL 要闻

### 国际领先 | “全强度系列高韧性铝硅镀层热冲压钢技术及应用” 项目科技成果评价会顺利召开

2023年4月7日, 依照《中国汽车工程学会汽车科技成果评价管理办法(试行)》的标准及程序, 本着科学、独立、客观、公正的原则, 受东北大学和育材堂(苏州)材料科技有限公司委托, 汽车轻量化技术创新战略联盟对东北大学、育材堂(苏州)材料科技有限公司、长城汽车股份有限公司、鞍钢集团公司、马鞍山钢铁股份有限公司、东风汽车集团有限公司、中国一汽股份有限公司、攀钢集团西昌钢钒公司等企业共同完成的“全强度系列高韧性铝硅镀层热冲压钢技术及应用”项目组织了科技成果评价会议。



本次成果评价专家组由中国工程院院士于勇教授, 中国工程院院士、北京科技大学毛新平教授, 中国工程院院士、南京航空航天大学校长单忠德教授, 中国金属学会秘书长王新江先生, 中国汽车工程学会副秘书长候福深先生, 重庆长安汽车股份有限公司副总裁张晓宇博士, 比亚迪集团执行副总裁廉玉波先生, 北京车和家汽车科技有限公司(理想汽车)副总裁汤靖先生, 江苏省产业技术研究院材料事业部主任、长三角先进材料研究院副院长石功奇博士等行业专家组成。

专家们听取了项目组的汇报, 认真审阅了相关材料, 并就现阶段解决的技术问题及后续发展前景进行了全面评估。经过专家评审, 认为“全强度系列高韧性铝硅镀层热冲压钢技术及应用”项目通过底层的科学创新, 突破了热冲压钢的高韧性薄镀层技术、高强韧性新材料技术、高激光拼焊/电阻点焊可焊性技术难题, 研发出 AluSlim® 1000-1500-2000-2200MPa 全强度系列高韧性铝硅镀层热冲压钢, 其性能优于全球同强度级别产品 10%~20%。

该项目已授权中国发明专利 9 件、国外发明专利 9 件, 牵头制定了中国汽车工程学会团体标准 2 项, 为汽车车身轻量化提供了新的技术方案。

经专家组全面评估, 一致认为该成果创新性强、产品性价比高, 将带来巨大的经济及社会效益, 该项目成果处于国际领先水平。

## 国家重点研发计划“工业软件”重点专项“钢铁轧制全流程工艺优化与管控软件开发”项目启动会暨实施方案论证会召开



2023年4月16日,国家重点研发计划“工业软件”重点专项“钢铁轧制全流程工艺优化与管控软件开发”项目启动会暨实施方案论证会在东北大学轧制技术及连轧自动化国家重点实验室411会议室举行。辽宁省科学技术厅副厅长王胜秋,中国工程院院士王国栋,东北大学副校长唐立新,科技部高技术研究发展中心先进制造

与网络项目处项目主管张梦月,以及项目专项责任专家组、咨询专家组有关专家学者出席会议。科技部高技术研究发展中心、辽宁省科学技术厅、项目参研单位相关负责人参加论证会。

唐立新在致辞中向科技部高技术研究发展中心、辽宁省科学技术厅对东北大学长期以来的支持与帮助,向与会专家对学校科技工作的关注与鼓励表示感谢。唐立新表示,党的二十大和2023年全国两会,对加快建设制造强国、质量强国提出了明确要求;东北大学长期致力于钢铁生产全流程数字化关键技术的研发,持续推动产业关键技术协同创新攻关;期待项目团队面向国家重大需求,聚焦钢铁工业数字化转型升级,以更开放的胸怀和视野开展高水平科技合作,突破工业软件“卡脖子”技术,把项目做强、做精、做深,引领行业发展方向,为构建新发展格局,建设现代化产业体系,实现高水平科技自立自强做出钢铁人应有的贡献。

张梦月致辞表示,“工业软件”重点专项的设立是科技部贯彻落实党中央、国务院战略部署,破解重点领域工业软件“卡脖子”难题,打造未来产业优势,推动制造业升级,加快建设制造强国的重大战略举措。希望项目团队立体化设计、高质量推进,齐心协力开展创新技术贡献,攻克研发技术难题,取得突破性研究成果。

王胜秋致辞表示,东北大学是一所以工为主的多科性大学,形成了服务国家重大需求和区域经济发展的科研方向。近年来,学校自主创新能力不断跃升,科技创新捷报频传。希望参研单位努力攻坚克难、不负使命,早日实现预定目标,开展示范应用,为我国钢铁行业数字化转型提供保障,为辽宁创建区域科技创新中心贡献力量。

项目负责人孙杰教授作项目实施方案整体情况汇报,各课题负责人分别就项目实施方案具体理论技术进行分项汇报。项目以轧制过程关键工艺控制技术的自主可控为出发点,以数字孪生模型构建、全流程工艺优化算法研发为突破口,开发轧制全流程工艺优化与管控软件,进行控制系统集成和工业应用示范,支撑生产线优化设计、工艺技术升级与高端产品研发,提升产品质量和生产效率。

东北大学王国栋院士、大连理工大学电子信息与电气工程学部部长孙希明教授、北京科技大学国家板

带生产先进装备工程技术研究中心主任杨荃教授、中国金属学会专家委员会副主任李文秀教授级高工、中国钢铁工业协会冶金科技发展中心主任姜尚清教授级高工、中国科学院沈阳自动化研究所副所长曾鹏研究员、燕山大学电气工程学院院长华长春教授、沙钢钢铁研究院常务副院长麻晗教授级高工、中南大学自动化学院蒋朝辉教授等专家组成员分别就项目方案可行性、考核指标等提出建设性意见和建议。

专家组成员经过充分审核论证,认为项目研究工作和课题分解合理,方案切实可行,一致同意“钢铁轧制全流程工艺优化与管控软件开发”项目实施方案通过论证。

王国栋院士代表科研团队作总结发言,感谢各位领导和专家长期以来的关心、支持与帮助。希望项目团队奋发努力,践行产学研用一体化创新模式,进一步强化数据处理与应用软件的标准化、通用化,研发数字化技术和全新软件架构,在项目研究过程中加强资源开放和共享,为我国钢铁工业转型升级和创新发展做出贡献。

据悉,该项目由东北大学联合冶金自动化研究设计院有限公司、河钢集团有限公司、鞍钢集团北京研究院有限公司、上海宝信软件股份有限公司、中冶南方工程技术有限公司、中冶京诚工程技术有限公司、山东钢铁集团日照有限公司、二重(德阳)重型装备有限公司、中国科学院金属研究所共10家单位,围绕我国轧制控制系统长期依赖引进,核心工业软件均为“黑箱”,制约生产线优化设计、工艺技术升级与高端产品研发等问题,重点解决钢铁工业数据智能感知、轧制过程动态数字孪生、高性能多目标协调优化等科学问题,突破载荷特性-材料组织多尺度解析、产品综合性能关联分析、轧制过程数值模拟、全流程工艺管控与优化等关键技术,开发自主可控的轧制全流程工艺管控与优化软件,实现设备关键参数优化设计与产品形性一体化调控,在大型钢铁企业应用示范。

## 【科技活动周】瑞典 KTH 皇家理工学院 Peter Hedström 教授 应邀来我室交流访问

2023年5月25—27日,瑞典KTH皇家理工学院Peter Hedström教授应邀到轧制技术及连轧自动化国家重点实验室(RAL)交流访问,访问期间为我室师生作了题为“Integrated Computational Materials Engineering Supported by Synchrotron X-ray and Neutron Facilities”的学术报告,报告会由实验室副主任刘振宇教授主持。该报告是实验室科技活动周系列活动之一。

会上,Peter Hedström教授介绍了集成计算材料学中常用的计算及实验方法,重点是加强对金属材料和复合结构材料微观组织的理解与设计。先进的材料表征是这一方法的关键,同步辐射光源和中子光源等大科学装置(LSRI)所提供的原位和高通量能力是实验室常规技术



手段的有效补充。

同时, Peter Hedström 教授就当今中国同步辐射光源和中子光源设施所能支持的集成计算材料学相关研究进行了详细介绍。会后, Peter Hedström 教授亲切认真地解答了在场同学提出的问题, 与会师生受益匪浅。

报告会前, Peter Hedström 教授参观了实验室中试车间, 对实验室自主研发的试验装备给予了高度评价, 并希望双方高校开展更深入的合作与交流, 借助各自优势共同推动金属材料研发。

访问期间, Peter Hedström 教授分别与实验室相关课题组就专业领域问题开展了交流和讨论。

### 3 研究进展

## 数据驱动的中厚板轧机自动转钢系统研发与应用进展

当前中厚板生产线自动化程度已经很高, 只有转钢过程仍需要人工操作。实现自动转钢可使中厚板轧制过程实现真正意义的全自动控制, 减少人为干预, 提高生产效率, 使轧制工艺控制具备更高的准确性和复现性。

目前国内外自动转钢技术仍处于研发阶段, 国内有少数中厚板厂家开展了自动转钢的应用实践, 但自动转钢的效率和异常复杂工况的处理仍不够理想。

东北大学轧制技术及连轧自动化国家重点实验室(RAL)搭建自动转钢试验平台并依托中厚板生产线开展自动转钢系统的研发工作。开发基于机器视觉的自动转钢检测系统, 建立数字驱动的转钢控制模型, 研发了成套自动转钢系统并成功应用于现场。

### 1. 自动转钢试验平台

在实验室通过对现场设备按比例缩小搭建了自动转钢试验平台, 如图1所示。在此试验平台上可完整模拟生产环境, 进行基于机器视觉的转钢角度检测软件开发、自动转钢控制策略和控制模型测试, 为自动转钢系统的研发与应用提供了良好的支撑条件。



图1 自动转钢试验平台

## 2. 基于机器视觉的自动转钢检测系统

以高速工业相机采集钢坯实时图像, 基于图像仿射变换、灰度自适应增强、阈值分割、亚像素边缘拟合与角度平滑等算法, 开发了自动转钢检测系统, 如图2所示。该系统能够适应生产过程中复杂环境变化, 自动剔除水汽干扰和角度异常情况, 系统的检测时间周期 $\leq 20\text{ms}$ , 检测精度偏差 $\leq \pm 0.5^\circ$ , 可为自动转钢控制系统提供实时、稳定的角度检测值。



图2 自动转钢检测系统

## 3. 数据驱动的自动转钢控制系统

提升转钢效率是自动转钢系统的研发目标。基于机器学习算法, 以转钢时间为约束条件, 通过对操作人员转钢经验的采集与处理, 开发数据驱动的自动转钢控制模型。针对转钢异常问题, 基于对转钢过程所建立操作经验数据库的数据挖掘, 以强化学习算法辨识异常情况特征, 快速搜索最优转钢策略, 通过智能判断满足异常情况下快速转钢的要求。通过对转钢全过程控制步序交接的柔性处理, 融合数据驱动的自动转钢模型, 开发了自动转钢控制系统。

## 4. 自动转钢系统的实际应用

自动转钢系统已在宝钢湛江 4300mm 宽厚板生产线和新天铁 2500mm 中厚板生产线成功应用。基于转钢全过程的智能调控在最大程度上减少了时间浪费, 使转钢过程总体更加稳定、流畅。对自动转钢与手动转钢的生产时间进行统计分析, 使用自动转钢时每块钢坯平均可缩短时间 1~2s。自动转钢系统的投入也实现了中厚板轧机真正意义的全自动控制。

实际应用表明, 采用数据驱动模型可解决转钢过程难以直接建模、复杂因素导致控制过程效率不高的

问题。后续还需要基于自动转钢系统平台大量采集实际数据, 通过数据驱动算法对生产大数据进行深入挖掘。特别是针对转钢异常情况, 通过机器学习算法对异常特征进行快速、精确辨识, 基于数据驱动模型的自组织优化能力寻找最优转钢策略, 进一步提升自动转钢效率。

## 【封底论文】预氮化对马氏体不锈钢渗碳层 微观组织与机械性能的影响

### ● 论文标题

The Impact of PreNitriding on the Microstructure and Mechanical Properties of the Carburized Surface Layer in a Martensitic Stainless Steel  
(预氮化对马氏体不锈钢渗碳层微观组织与机械性能的影响)

### ● 作者列表

Yong Tian, Chaowei Song, Bin Wang, Zhaodong Wang, Guodong Wang, Haojie Wang (田勇, 宋超伟, 王斌, 王昭东, 王国栋, 王昊杰)

### ● 作者简介

田勇 (1981—), 男, 东北大学教授, 主要从事金属材料的先进制备技术及高性能材料研发工作。

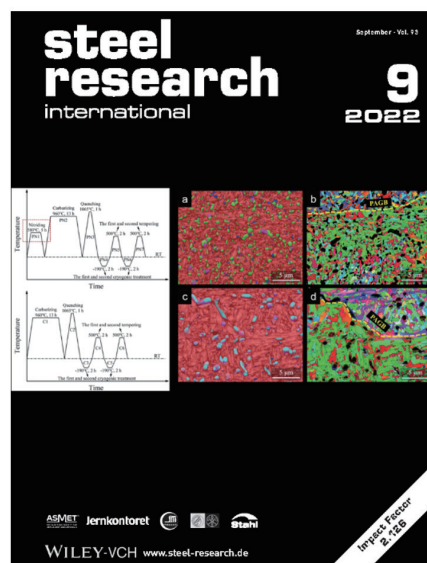
### ● 相关信息

First Published: September 2022

### ● 摘要

Herein, it is proposed to obtain a favorable combination of microstructure and mechanical properties of martensitic stainless steel 14Cr14Co13Mo5 by prenitriding method before carburizing and appropriate heat treatment processes. The result indicates that the effective hardened layer depth is increased by 32% to 0.66 mm, and the hardness is significantly improved by prenitriding. The confocal laser scanning microscope and electron backscattered diffraction show that the prenitriding can effectively refine the martensite substructure of the carburized layer after quenching due to the refinement of prior austenite grain. In addition, plenty of second-phase particles  $M_2N$  with finer size appear at the same case layer depth instead of coarse  $M_{23}C_6$  in the specimen prenitrided, which optimize the microstructure of the case layer.

航空领域日新月异的发展不断推动着对材料性能极限的追求。轴承是航空发动机的关键性基础部件之一, 其性能的优劣具有重要意义。近几年来, 国内外航空航天技术不断取得突破, 随着推力等级的提高以及燃料效率的增加, 对综合性能优良的高温轴承钢的需求迫在眉睫。马氏体不锈钢 14Cr14Co13Mo5 的铬含量高达 13%, 这使得其渗碳处理与低合金钢差别迥异: 一方面, 复杂的成分设计提高了热处理工艺的调控难度; 另一方面, 高碳和高合金元素含量极易导致渗碳过程中粗大的网状碳化物的析出。



扫码获取全文

封底论文图片

对于含氮不锈钢而言, 氮元素能够导致形成均匀的微观组织和细小的碳化物, 有助于提高力学性能。但实际上, 由于在大气压下有限的氮溶解度, 很难在没有气孔的情况下向不锈钢中添加氮元素。目前为止, 在实际生产中人们常将渗氮处理作为最终热处理工艺, 对高合金马氏体不锈钢渗碳层的预渗氮机理的研究较少。本文以 14Cr14Co13Mo5 轴承钢作为试验材料, 首次提出利用预氮化工艺提高高温轴承钢真空渗碳效率, 增加渗层硬度及改善析出物分布的方法, 具体内容如下。

## 1. 工艺制定

如图 1 所示, 针对 14Cr14Co13Mo5 轴承钢 (具体化学成分见表 1) 制定两组试验工艺, 即预氮化组试验 (PN) 与渗碳组试验 (C), 与 C 组试样相比, PN 组试样在其渗碳处理前进行了时长为 5h 的 580℃的预氮化处理工艺。目的在于以 C 组作为对照组, 通过表征经预氮化处理后的有效硬化层深度、渗层表面硬度、相结构组成以及析出物类型等分析渗碳处理前的预氮化处理工艺对马氏体不锈钢 14Cr14Co13Mo 渗碳层组织与性能的影响规律, 进一步探究高合金钢渗碳层中预先存在的氮原子的作用机理。

表 1 试验钢的化学成分 (质量分数)

										(%)
C	Cr	Co	Mo	V	Ni	W	Si	Mn	Fe	
0.14	13.96	12.73	4.75	0.6	1.8	0.5	—	—	Bal.	

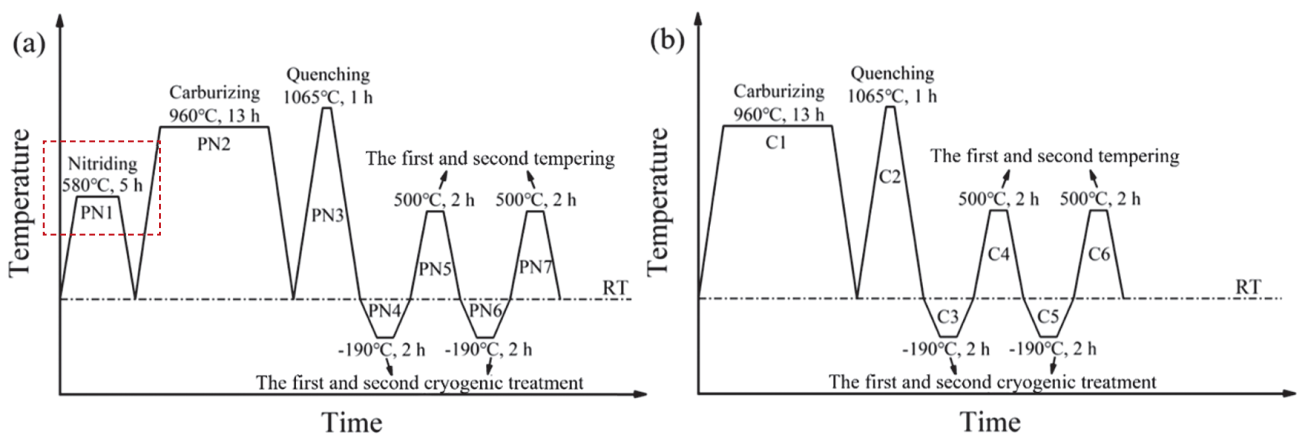


图 1 试验钢复合改性工艺示意图

## 2. 预氮化对渗碳层奥氏体晶粒尺寸的影响

如图 2 所示, 通过 CLSM 和 SEM 对 PN 和 C 组渗碳后的渗层组织进行观察。结果表明: PN 组试样渗层奥氏体晶粒尺寸随深度的增加先减小后增大, 且在相同渗层深度其奥氏体晶粒尺寸明显小于 C 组试样。结合两组试样渗层碳氮含量分析: PN 组试样在预氮化后进行了较高温度的长时间渗碳, 导致渗层表面氮含量下降, 氮原子逐渐从表面向心部扩散, 影响区域远大于原渗氮层厚度。此外, 由于氮化物的生成焓高于碳化物, 在奥氏体化过程中, 氮化物的热稳定性优于碳化物, 不易溶解, 具有较高的钉扎能力, 可以有效抑制奥氏体晶粒的长大, 故氮的加入能有效地细化原奥氏体晶粒。

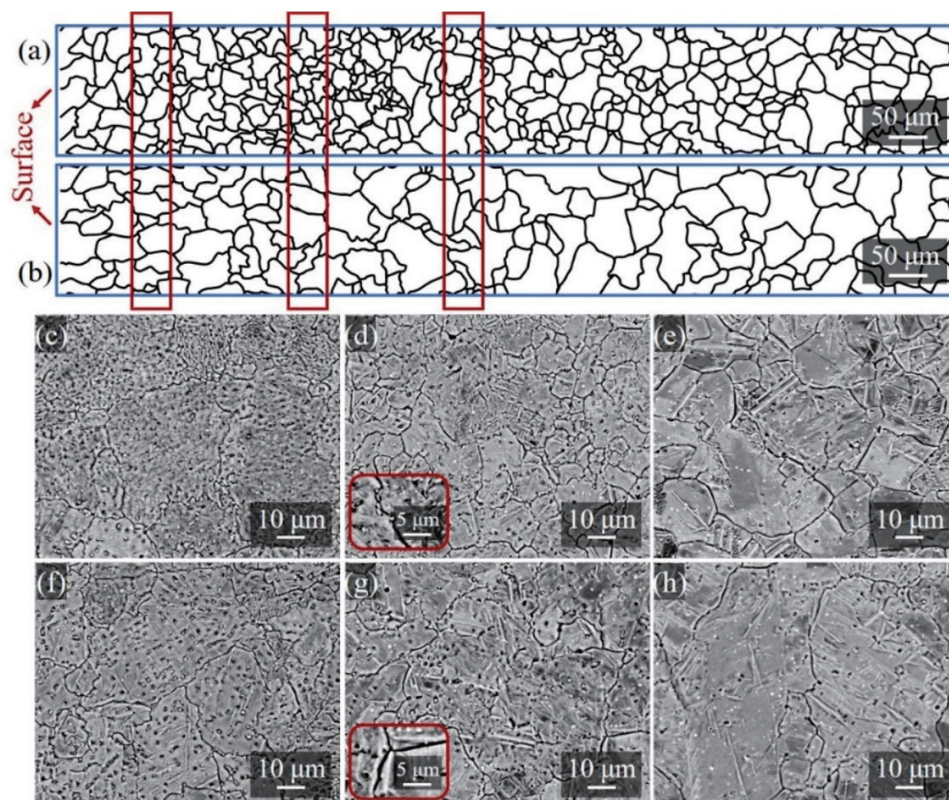


图2 渗层原奥氏体晶粒的 CLSM 和 SEM 图

(a) PN3 渗层组织; (b) C2 渗层组织; (c)~(e) PN3 渗层 0.12/0.32/0.52 mm 深度;

(f)~(h) C2 渗层 0.12/0.32/0.52 mm 深度

### 3. 表面复合改性层的相分析

如图3所示, XRD 结果表明预氮化处理导致了渗碳后两组试样不同的渗层相组成及含量。主要区别变化为: 1065℃淬火后, PN3 和 C2 试样渗层皆出现了  $M_{23}C_6$  与  $M_6C$  类型析出物, C2 试样的基体组织主要为马氏体, 奥氏体含量略低, 而 PN3 试样奥氏体含量更高, 仅有少部分转变为马氏体。第一次回火处理后, C4 试样各相含量的变化较小, 但 PN5 试样出现了新相  $M_2N$ , 且  $M_{23}C_6$  衍射峰消失, 残余奥氏体含量大幅度降低。

### 4. 表面复合改性层的析出物演变

为观察全工艺试样渗层析出物类型、尺寸以及分布情况, 对两组试样 0.12mm 渗层深度进行 EBSD 以及面扫分析。如图4和图5所示, 两组试样相组成与 XRD 实验结果吻合。其中,  $M_2N$  型析出物应为  $(Cr, Mo)_2(C, N)$ , 尺寸相对较小, 多呈球状在基体上弥散分布; 而  $M_{23}C_6$  型析出物应为  $(Cr, Mo)_{23}C_6$ , 多呈棒状, 或沿原奥氏体晶界分布的长条状;  $M_6C$  型析出物应为  $(Mo, W)_6C$ , 与富 Cr 析出物相比数量较少, 呈球状分布。此外, IPF 图表明: 对比 C6 试样, PN7 试样的马氏体亚结构明显细化, 这归因于前序工艺中形成的更细的奥氏体晶粒。

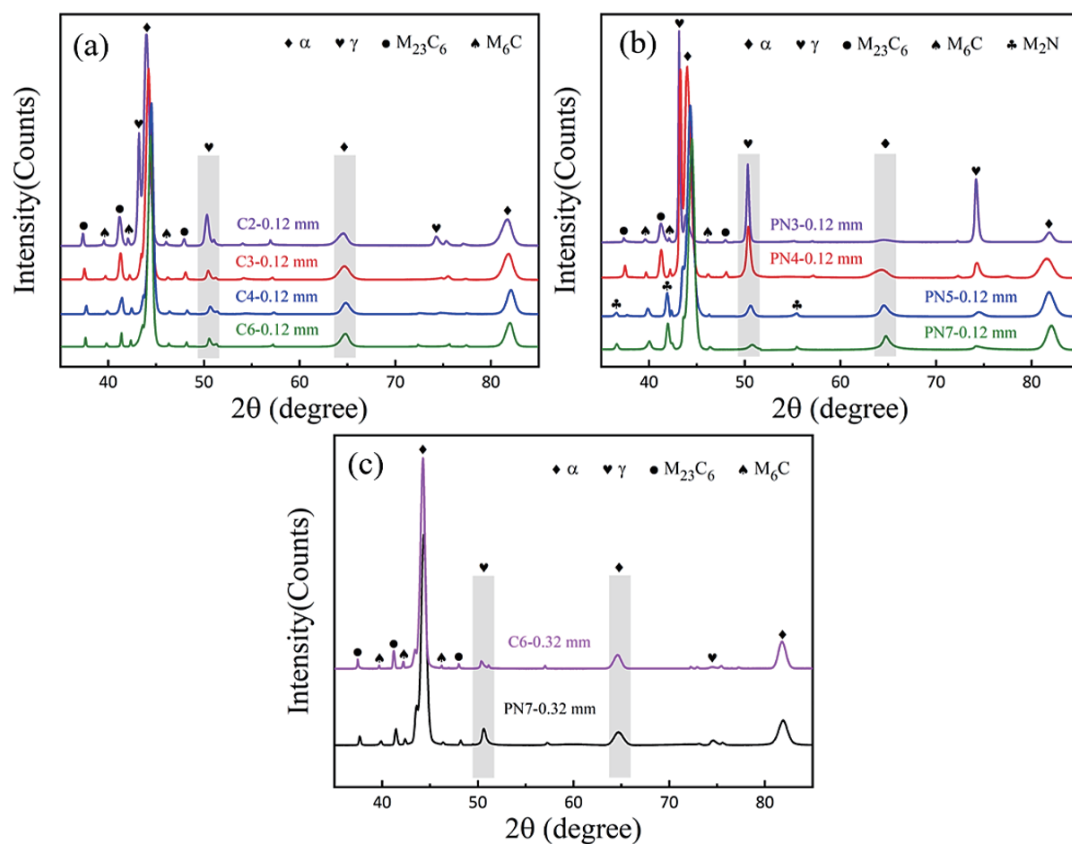


图 3 不同工艺后渗层的 XRD 图谱

(a) C 组试样 0.12 mm 渗层深度; (b) PN 组试样 0.12 mm 渗层深度; (c) 0.32 mm 渗层深度

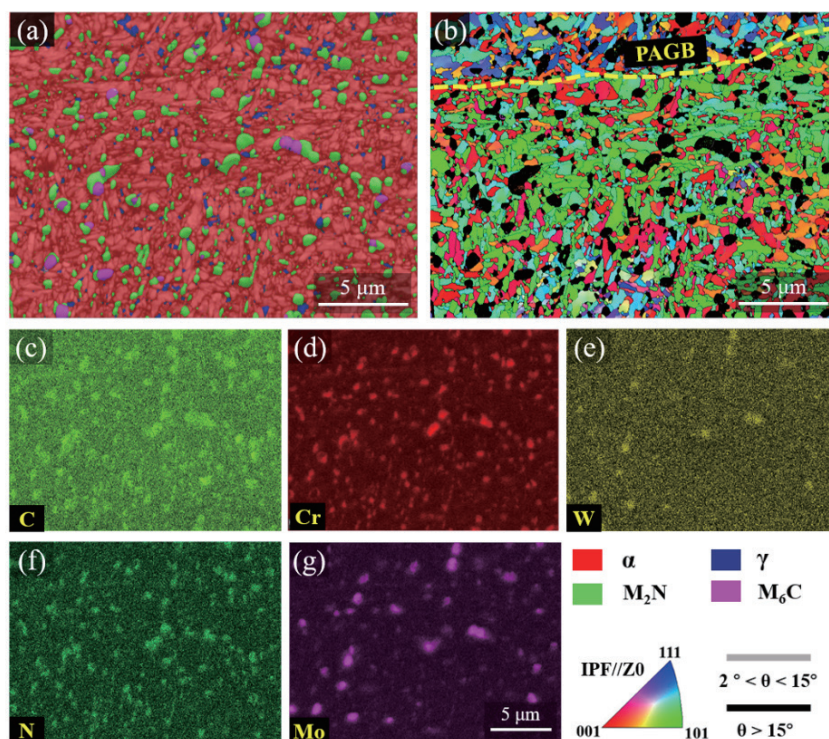


图 4 PN7 试样在 0.12mm 渗层深度的 EBSD 试验

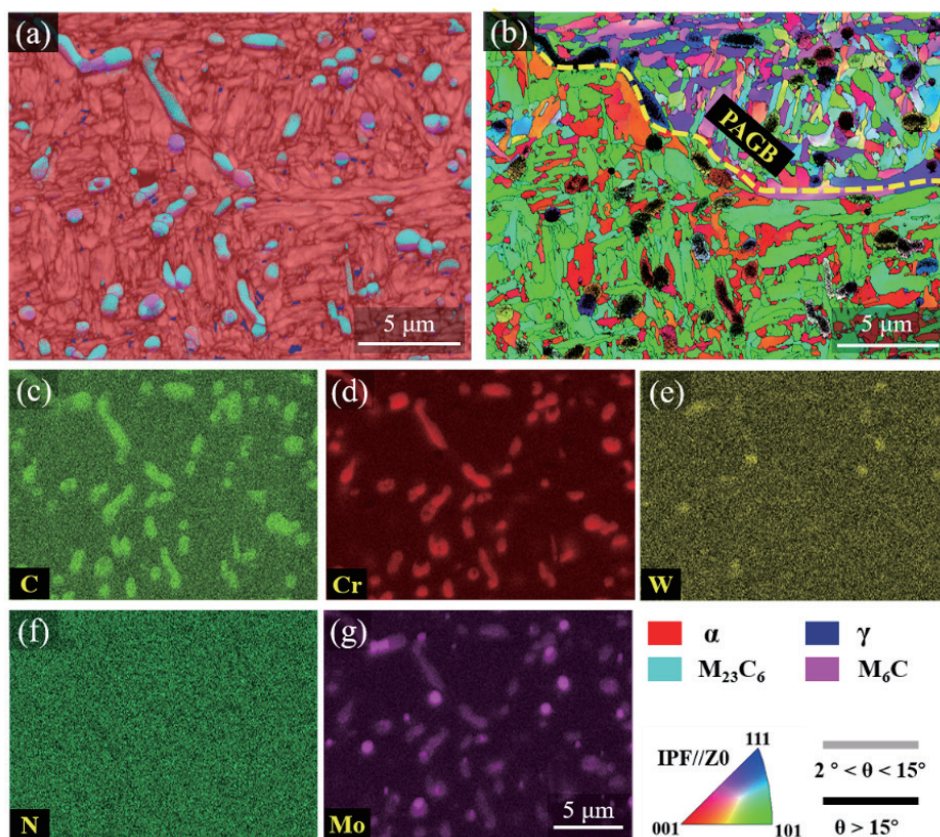
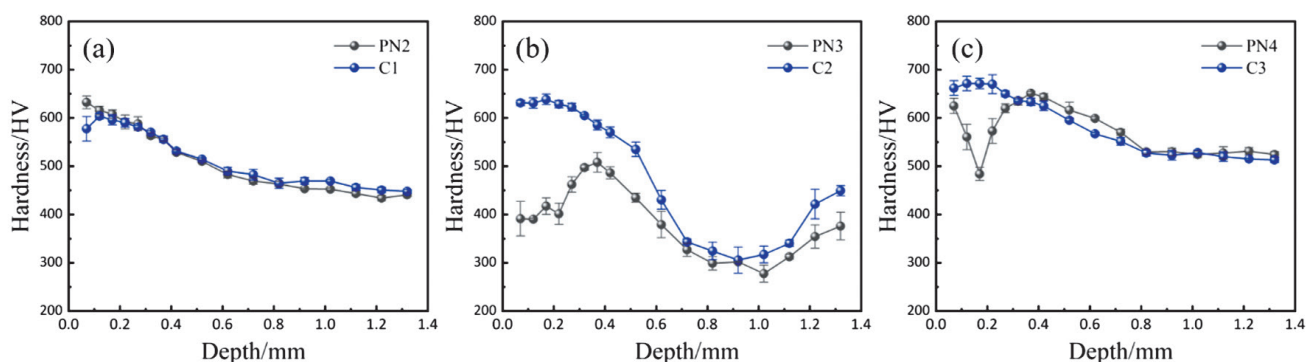


图5 C7试样在0.12 mm渗层深度的EBSD试验

## 5. 预氮化对渗碳层硬度的影响

图6为两组试样不同工序后的渗层硬度分布,相较于C组试样,全工艺后PN组试样有效硬化层深度由0.50mm提升至0.66mm,渗层硬度提高约1.7~3.0HRC。分析认为,PN组试样渗层硬度更高的原因在于,(1)奥氏体化过程中,氮能够增加间隙固溶度,更多的合金元素固溶在基体中,提高了基体的固溶强化程度;(2)相较C6试样,PN7试样峰值区域的析出物多呈弥散球状分布,且粗大的析出物数量较少,析出强化效果更好;(3)PN7试样在该渗层区域的原奥氏体晶粒尺寸较小,在热处理后形成了尺寸更为细小的马氏体亚结构,提高了渗层的力学性能。



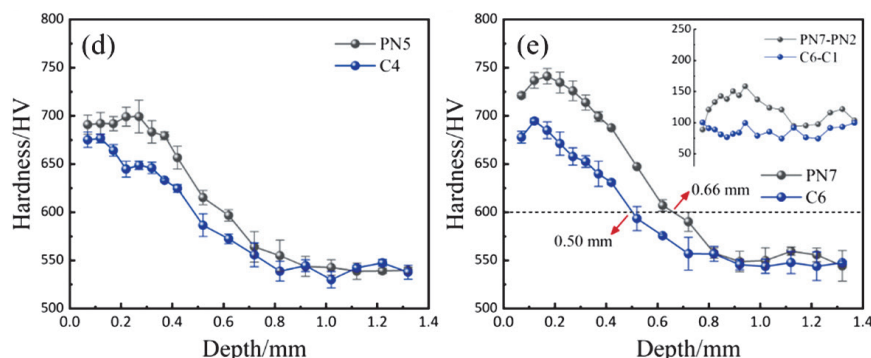


图6 PN和C组试样渗层硬度分布

(a) 渗碳; (b) 淬火试样; (c) 第一次深冷; (d) 第一次回火; (e) 全工艺

## 6. 工艺优化效果

通过工艺调控在渗碳处理前进行预氮化处理工艺, 使 14Cr14Co13Mo5 马氏体不锈钢获得了具备良好微观组织与力学性能的复合改性层。基于对不同条件下渗层组织以及碳氮析出物情况与其硬化行为的关系的研究, 本文提出的预氮化处理工艺能够有效提高后续渗碳效率, 优化渗层性能, 为实际研发和生产提供了一定的指导意义与理论支撑。

## 【封面论文】中厚板轧制过程基于可控点的平面形状设定方法

### ● 论文标题

Controllable Points Setting Method for Plan View Pattern Control in Plate Rolling Process

### ● 作者列表

Jing-Guo Ding\*, Gui-Qiao Wang, Yang-Hao-Chen He, Ling-Pu Kong, and Zhong Zhao (丁敬国, 王贵桥, 何杨皓晨, 孔令普, 赵忠)

### ● 作者简介

丁敬国 (1981—), 男, 东北大学副教授, 主要从事板带轧制过程数字化建模与多目标优化的研究开发工作。

### ● 摘要

Traditional Mizushima automatic plan view pattern control system (MAS) can improve plate rectangular



扫码获取全文



封面论文图片

to some extent; as setting curve is not fine, and products yield cannot be further improved, controllable points setting method for plan view pattern control (PVPC) in plate-rolling process is proposed. Prediction model of

head metal flow pattern including broadening coefficient is deduced, Gaussian mixture model is introduced, and three Gaussian curves with different shapes are weighted to obtain functional expression. To study the influence of different controllable points setting and relationship between the elongation coefficients, finite element method is used with different broadening and elongation ratio; simulation results show that different points setting can get similar cut loss length when the broadening ratio equals 1.45, but either the broadening ratio decreases to 1.15 or increases to 1.75, the cut loss with more set points can be decreased to a great extent. Practical application show that comprehensive yield with traditional PVPC is 92.28%, and comprehensive yield is significantly improved to 93.36%, as PVPC with controllable points method is used without reducing the efficiency of production. It creates remarkable economic benefit for enterprises and greatly enhances their competition ability.

厚板作为钢铁材料中的重要品种之一, 广泛应用于航天军工、能源动力、海洋船舶等领域, 在国防建设和国民经济发展中占有举足轻重的地位。随着宽厚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, 对中厚板生产过程提出了越来越高的要求, 迫切需要借助智能化手段进一步提升产品的质量和成材率, 提高生产过程的稳定性和生产效率。

传统的控制过程中, 设定点数少, 设定曲线形式简单, 无法实现精细控制, 导致轧件的不良头部形状无法消除。同时, 传统方法只能填充产品的四个角的金属, 对中间位置金属流动无控制能力, 并且平面形状控制过程的长度跟踪方法粗放, 跟踪精度差, 易出现跟踪偏差, 新增不良的斜角缺陷, 严重恶化平面形状控制效果, 以上这些都极大地限制了平面形状控制过程的稳定投入和成材率的进一步提高。因此, 本研究以“中厚板轧制过程基于可控点的平面形状设定方法”为题, 开展研究工作, 具体内容如下。

## 1. 平面形状控制过程金属流动建模

要实现平面形状高矩形度控制, 必须对不同轧制条件下产品的平面形状进行准确预测, 再以该预测结果为基础, 得到准确的控制模型。国内外已经对平面形状的预测模型和控制模型进行了大量的研究, 可以通过实验的方法, 根据实测数据回归得到数学模型; 也可以通过有限元模拟计算, 并对模拟计算结果进行回归。但上述两种方法在实际生产应用中, 控制效果并不理想。本研究通过变分法, 建立了中厚板轧制过程沿宽度方向变厚度轧制过程的钢板边部与中部宽展系数模型, 获得了头尾不规则形状参数模型和不同压下量条件下的金属延展分布模型, 如图1所示。

## 2. 基于高斯曲线的可控点平面形状设定模型

为实现轧制成品的高度矩形化, 理论上其控制模型为高次曲线形式, 传统上采用的6点设定法形式简单且易于实施, 但因与高次曲线接近度偏低, 限制了平面形状控制效果, 通过大量的理论分析、数值模拟和现场试验, 开发了基于高斯曲线的可控点平面形状设定模型。该方法可实现平面形状控制过程楔形段的高灵活度调节, 控制系统对边部金属流动的可控性增强, 产品的矩形度大幅度提高, 具体模型计算逻辑如图2所示。

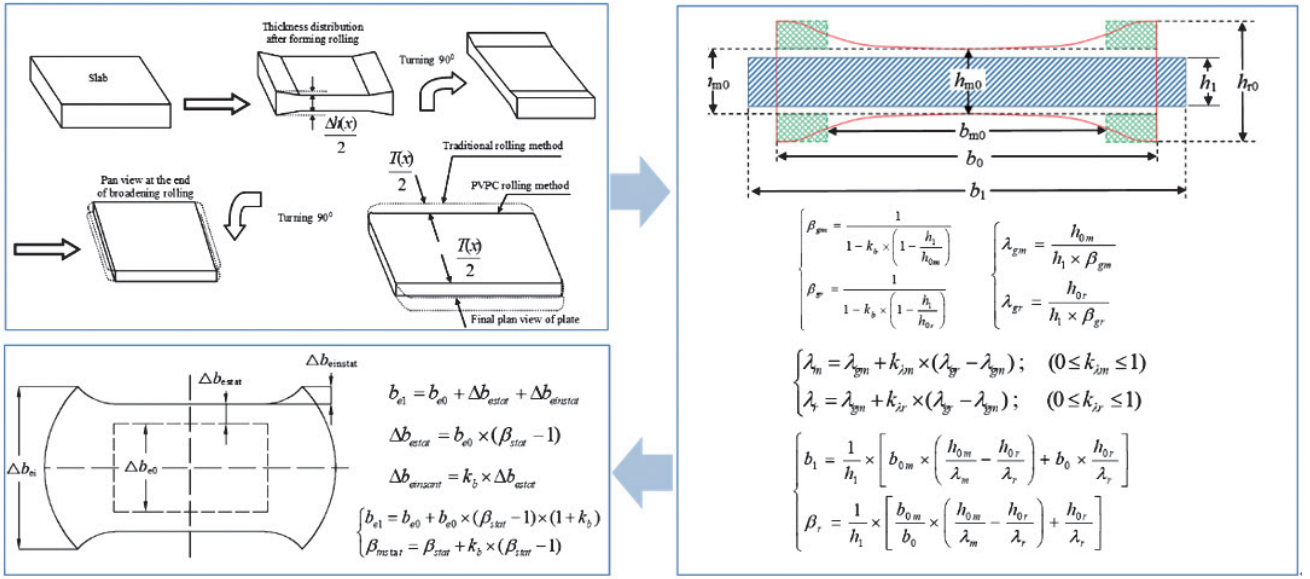


图1 平面形状金属流动预测模型

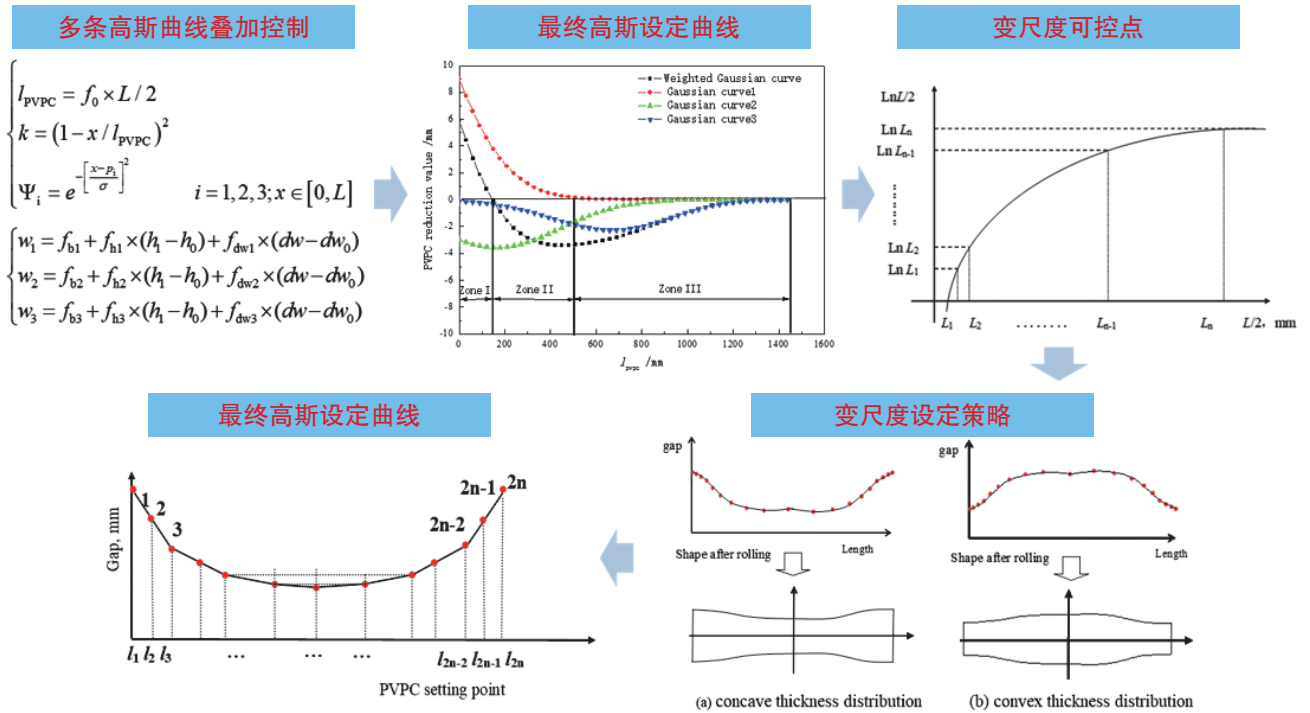


图2 基于高斯曲线的PVPC设定方法

### 3. 基于有限元模拟结果的形状预测模型参数优化

针对不同展宽比和延伸比时的中厚板轧制过程进行有限元模拟, 基于模拟结果优化平面形状可控点设定过程中的高斯曲线模型, 并根据可控点轧制的有限元模拟结果优化轧件延伸系数。同时, 获得了不同平面形状设定点数量、分布以及变厚度压下量条件下的头部形状变化规律, 获得了该条件下的头部延伸系数的修正模型, 其模型参数优化过程如图3所示。

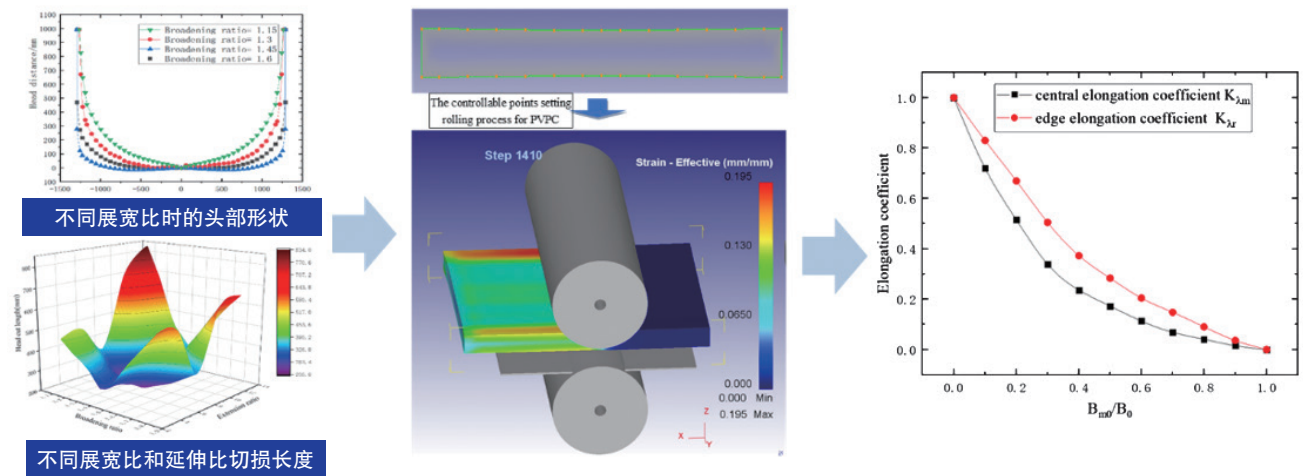


图3 基于有限元模拟结果的形状预测模型参数优化

#### 4. 不同展宽比和延伸比的高斯曲线设定模型修正

针对基于高斯函数的宽厚板端部变形的计算模型设定曲线和不同权值对设定曲线进行分析, 然后将其设定曲线分成 3 个控制区, 通过调整不通过控制区域的高斯曲线形状, 得到一条复合高速曲线设定模型并用于平面形状控制。同时, 基于不同生产工艺条件下的平面形状有限元模拟数据, 针对不同展宽比和延伸比时的头尾形状, 对三个平面形状控制区的高斯曲线函数进行参数优化, 获得了不同展宽比和延伸臂条件下的复合高斯曲线函数, 如图 4 所示。

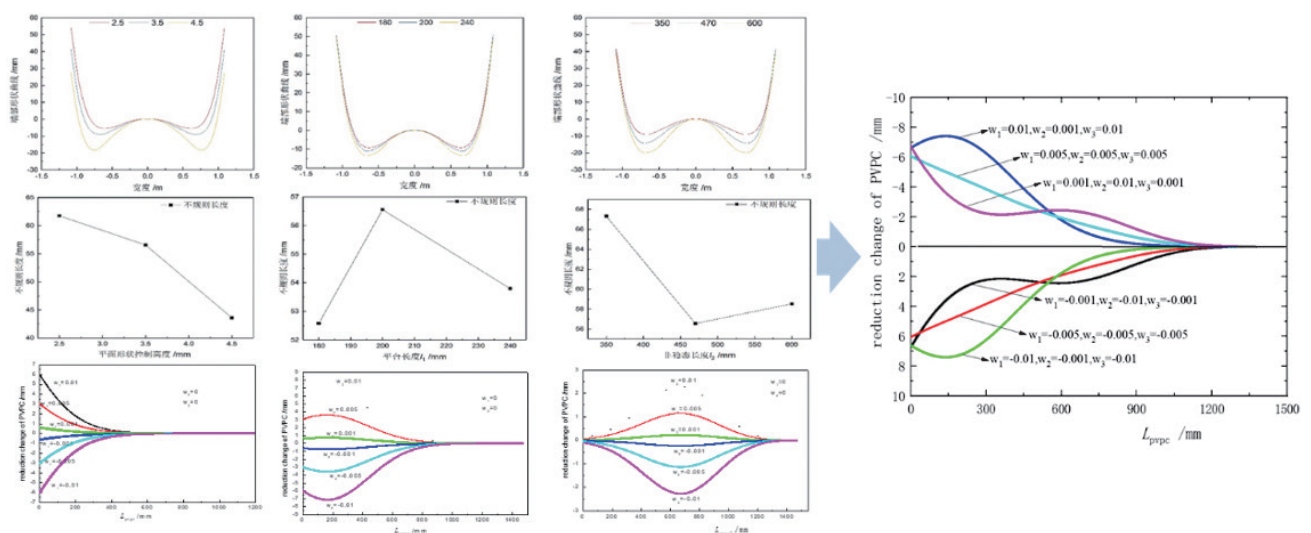


图 4 不同展宽比和延伸比的高斯曲线设定模型修正

### 5. 不同展宽比时设定点对切损长度影响规律分析

基于参数优化后的复合高斯曲线，通过有限元模拟可以获得不同展宽比条件下的头尾切损长度，如图 5 所示。基于这些切损长度数据，研究了不同平面形状设定点数量、分布以及变厚度压下量条件下的切损

长度变化规律, 并将这些变化数据用于反馈和优化高斯曲线复合函数的权值、高斯函数宽度、高斯函数中心点等参数, 从而获得了不同工况下的最优设定点数量和动态分布参数。

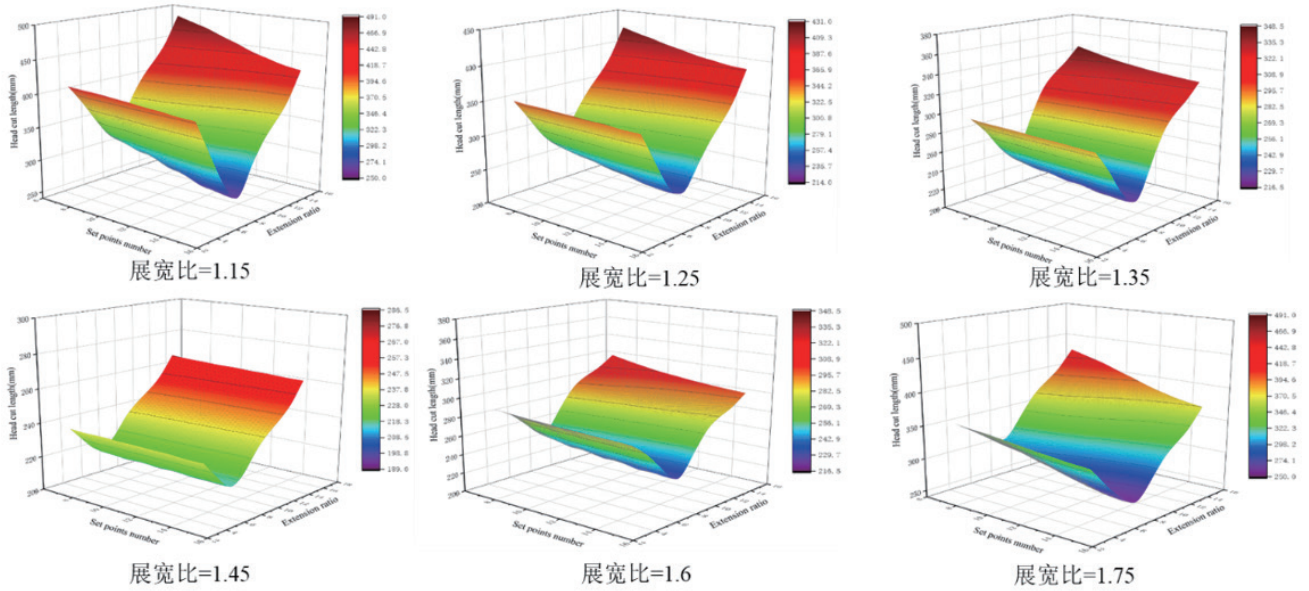


图5 不同展宽比时设定点对切损长度影响规律分析

## 6. 中厚板可控点 PVPC 控制与智能优化

开发了多种机器学习和深度学习算法融合的钢板图像处理、轮廓特征提取算法, 研制出基于机器视觉的高精度宽幅钢板的轮廓在线检测装置, 实现了钢板轮廓高精度在线检测。基于不同工艺条件下的钢板轮廓数据, 建立了基于数据驱动的可控点 PVPC 预测模型, 提出了基于机器视觉的平面形状模型滚动优化方法, 实现了可控点 PVPC 的智能预测、动态设定和反馈优化, 如图 6 所示。

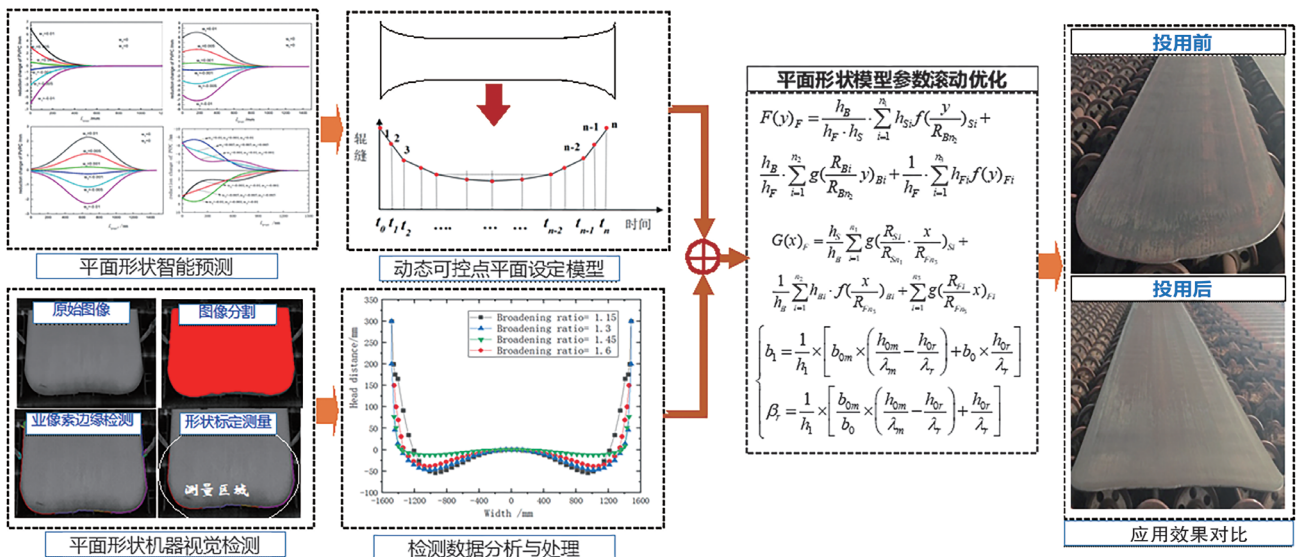


图6 中厚板可控点 PVPC 控制与智能优化

## 7. 实际应用效果

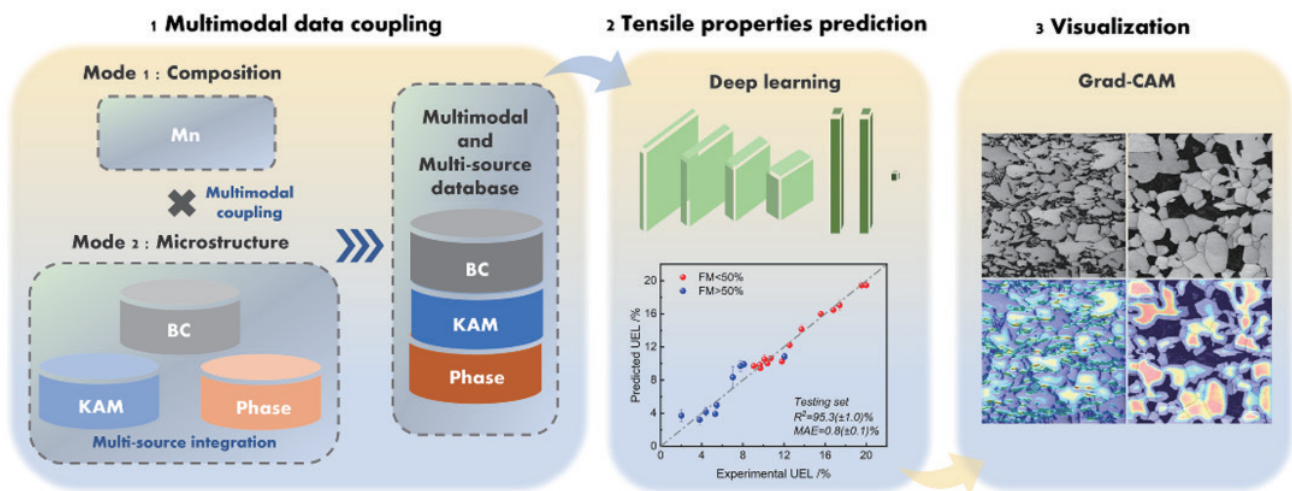
开发出多类型混杂噪声高效滤除、自适应图像分割、翘曲特征提取等多个算法库和模型库, 实现了钢板轮廓在线检测, 钢板轮廓感知精度为  $\pm 2\text{mm}$ 。基于数据统计, 传统 PVPC 控制的综合成材率为 92.28%, 而基于可控点的平面形状控制方法可将综合成材率提高至 93.36%, 大幅度减少了头尾舌形和侧边鼓肚现象, 显著提高了产品成材率, 该方法为企业创造了显著的经济效益, 极大地增强了企业的市场竞争力。

## Acta Materialia 发表徐伟教授团队研究成果: 金属材料的多模态数据挖掘策略

东北大学轧制技术与连轧自动化国家重点实验室徐伟教授团队近期在 Acta Materialia 252 (2023) 118954 发表题为 “Building a quantitative composition-microstructure-property relationship of dual-phase steels via multimodal data mining” 的研究成果 (<https://doi.org/10.1016/j.actamat.2023.118954>), 文章第一作者为实验室博士研究生任达, 共同通讯作者为王晨充副教授、徐伟教授。



扫码获取全文



成分-显微组织-性能关系的建立一直是金属材料设计和优化研究的核心。因此, 基于成分/工艺和显微组织的力学性能定量评估和预测对于精确定制不同金属材料的显微组织和优化力学性能至关重要, 特别是具有复杂微观组织的钢铁材料。传统性能预测方法如平均场均匀化方法和有限元方法, 在数值类型组织信息的提取以及本构方程搭建方面包含部分基于人为经验的主观判断与机制假设过程, 因此普适性存在局限。而新兴的机器学习方法普遍为“数值-数值”的计算模式, 同样存在人为提取数值信息的主观判断过程, 同时其物理可解释性一直饱受争议。

为解决上述问题, 东北大学徐伟教授团队与南京工业大学赖庆全教授团队合作, 提出了通过多模态数据挖掘策略建立钢铁材料“成分-真实组织图像-性能”关系的方法。在该方法中, 首先对双相 (DP) 钢

成分(数值信息)和真实显微组织(图像信息)的多模态数据进行耦合,而后对BC、KAM等多源显微组织图像进行集成,实现了多模态深度学习预测模型的建立。最后,应用了深度学习逆向可视化方法量化分析了影响DP钢强塑性的核心组织因素。基于该多模态性能预测框架,成功实现了多成分、多工艺路线DP钢在宽应力区间(600~1300MPa)和宽应变区间(2%~20%)内拉伸性能的精准预测。此多模态数据的耦合分析方法表现出良好的普适性与自主兼容多种物理机制的优势。同时逆向可视化技术进一步提高了深度学习模型可解释性,并实现了使用深度学习算法反向指导材料学机理深化的核心思路。该多模态深度学习性能预测方法为金属材料“成分-显微组织-性能”全链条关系的精准建立与机制深化提供了更为客观有效的普适性方法策略。

#### 4 协同创新

### 《双碳背景下我国钢铁行业绿色高质量发展战略研究》项目启动

“全废钢时代必将到来。”“谁掌握了优质废钢,谁就掌握了‘黄金矿山’,谁就掌握了未来。”2023年4月25日,由中国工程院、东北大学主办,中国冶金报社协办,东北大学作为依托单位的中国工程院2023年度战略研究与咨询重点项目——《双碳背景下我国钢铁行业绿色高质量发展战略研究》启动会在京召开。钢铁全产业链大咖“云集”线



图为启动会现场

上线下,共同见证项目启动瞬间,并就钢铁材料全生命周期数字化管理与废钢高质循环利用展开研讨,金句频出。

中国工程院院士、东北大学副校长唐立新致欢迎词;中国工程院原副院长、院士干勇(线上),中国工程院院士、中南大学教授姜涛对项目作指导发言;中国工程院院士、东北大学教授王国栋介绍项目内容和实施方案。国家发展改革委产业发展司冶金处副处长孙士瞳,中国钢铁工业协会总经济师王颖生,中国金属学会常务副理事长田志凌,中国汽车工程学会秘书长助理赵立金,中国船舶工业行业协会副秘书长谭乃芬,中国拆船协会执行会长兼秘书长谢德华,中国造船工程学会首席专家李正建,中国建筑材料联合会副秘书长周丽玮,中国废钢铁应用协会副秘书长王方杰,中国钢铁工业协会副秘书长、中国冶金报社党委书记、社长陈玉千,中国钢铁工业协会副秘书长、冶金工业信息标准研究院党委书记、院长张龙强,中国钢铁工业协会副秘书长、冶金工业规划研究院院长范铁军等在交流研讨环节发言。东北大学低碳钢铁前沿

技术研究院院长储满生主持会议。

唐立新在致欢迎词时谈到了该项目的特殊意义，即把传统意义上钢材的退役（废钢）看成是一个起点，推动废钢在钢材全生命周期中发挥作用。

王国栋对该项目的目标、内容和实施方案进行了简要介绍。该项目的总体目标是提出具有中国特色的废钢资源绿色化科学、合理利用的建议，助力解决我国面临的“双碳”和铁矿资源匮乏的问题；内容包括废钢利用现状与发展趋势分析，全产业链、全生命周期协同贯彻 EPR 文件（即《生产者责任延伸制度推行方案》），产品全生命周期、全产业链数字化、标识化管理与优质废钢拆解机器人化等 3 个课题。王国栋表示，要以 EPR 文件为指针，实现废钢有效利用的“四全”（即针对未来全废钢时代，从钢铁材料全生命周期、全生产流程、全产业链协同）和“四化”（数字化、信息化、标识化、优质废钢拆解回收的机器人化）。

干勇通过视频连线方式对项目做指导发言。他指出，目前，我国废钢加工与回收行业呈现出“小、散、乱”的局面，利用数字化技术、采用智能化平台来组建回收系统非常重要。钢铁行业要作出表率，推动实现标识解析全流程赋码，从而实现全产业链废钢回收的数字化、智能化和个性化。

姜涛在对项目作指导发言时表示，该项目课题目标起点非常高，但从眼下到相关技术成形需要一个过渡期，其间需要进行一些变革。如何在标识解析技术、拆解机器人尚未到位的情况下进行拆解、破碎、分选、再循环，是当前需要考虑的问题。

在交流研讨环节，来自国家部委、行业协会和学会、科研院所、钢铁冶炼企业、新闻媒体等单位的代表围绕该项目展开热烈讨论、提出宝贵建议。

孙士瞳认为，推进废钢的高质量循环利用，对保障钢铁产业原料供给、减少环境污染，实现行业绿色低碳发展具有重要意义。

王颖生指出了政府职能及政策指导在该项目推进过程中的关键作用，并表示该项目课题中提到的“赋码标识、一钢多用”，将为健全我国钢铁回收加工应用体系、实现钢铁材料的高效循环利用打下坚实基础。

田志凌提出，希望该战略研究与咨询项目的实施，能够助力钢铁行业原创性关键共性技术的研发，推动实现高水平自立自强。

赵立金建议，在课题研究中，应将未来汽车用材变化带来的影响考虑在内，并对未来二三十年汽车产业结构调整情况和汽车保有量进行梳理和预测。

谭乃芬表示，目前船舶协会的一些会员单位在供货过程中已经被要求提供全生命周期的碳排放数据，该项目提出全产业链、全生命周期贯彻生产者责任延伸制度，非常及时、意义重大。

谢德华点明，拆船回收的废钢是优质废钢，但目前我国在拆船监督管理方面仍有不足，国务院 2009 年发文提出的“规范发展拆船业，实行定点拆解”尚未落实到位，非法拆解现象仍存。希望能通过该项目的启动和推进，解决问题、促进发展。

李正建表示，对造船用钢进行标识有助于废钢资源利用水平的提高，建议研究在钢铁和船舶行业间建立大数据平台的可行性、绿色拆船技术装备智能化的可行性。

周丽玮指出, 建筑用钢的回收属于历史积累型的回收, 在建立回收利用产业链、核算碳排放量、分析碳足迹方面存在难度。另外, 针对传统材料的产品追溯体系尚未建立, 希望钢铁行业与建筑行业充分利用数字化、智能化技术, 开展好相关产品回收利用标准化工作。

王方杰建议, 一是优化废钢税收政策, 包括明确所得税核定方法等, 解决废钢加工企业税负较重的问题; 二是优化废钢进口政策; 三是建立国家层面的废钢资源统计渠道, 加强对废钢资源量的测算。

陈玉千表示, 需要加强对钢材全生命周期数字化的宣传, 中国冶金报社将全力渲染好该项目, 讲好钢材“四全”“四化”的故事, 为国家政策支持营造良好舆论环境。

张龙强建议, 应围绕钢铁产品全生命周期标识解析编制通则, 对标识解析体系如何建立、包含哪些环节等问题进行指导。

范铁军建议, 在标识解析技术开发过程中, 应建立企业级的碳排放管控平台, 从而提高碳排放数据的质量水平。



图为与会人员集体合影

在当天下午进行的钢铁材料全生命周期数字化管理与废钢高质循环利用研讨中, 来自钢铁行业和废钢再生行业的数位代表分别围绕高质量金属再生资源生态圈建立、短流程特钢企业废钢循环利用实践、全废钢冶炼工艺难点及船板海工钢循环利用问题探讨、废钢数字化建设及全生命周期管理、钢铁—汽车产业链贯彻 EPR 策略思考等内容分享了战略规划、技术思路以及实践经验。

来自国家部委、行业协会和学会、高校及科研院所、钢铁冶炼企业、主要用钢行业企业、废钢再生行业企业、信息化行业企业、新闻媒体等单位的近 150 人参会。

## 高质量发展要求下的我国废钢铁产业即将加速

废钢铁是再生资源的重要组成部分，是我国十种再生资源中年产出量最大的品种，是我国重要生产资料循环利用中的重要构成。目前，我国废钢铁社会积蓄量约 140 亿吨以上，年废钢铁产出量超过 2.6 亿吨，年资源增量约 1000 万吨。相对废有色金属中的铜 1 万吨、铝 5 万吨左右的社会积蓄量以及每年 400 万吨和 1150 万吨的年产出量，废钢铁均占据了绝对高的比例，成为我国再生金属领域中极其重要、不可或缺的组成部分。

### 一、2022 年我国废钢铁综合利用水平同比略降

2022 年我国粗钢产量 10.18 亿吨，同比下降 1.7%；生铁产量 86383 万吨，同比下降 0.6%。废钢铁方面，2022 年，受国内不断反复的新冠疫情困扰，我国废钢资源产生总量约 2.6 亿吨，同比减少 1000 万吨。在炼钢环节，2022 年我国废钢铁消耗总量 2.1 亿吨，同比减少 1619 万吨，降幅 7.2%。2022 年我国废钢比为 20.73%，较 2021 年下降了 1.17 个百分点，自 2016 年以来首次出现同比下降。

根据中国废钢铁应用协会的统计数据，2022 年我国钢铁行业综合废钢单耗 207.3 千克 / 吨，同比减少 11.7 千克 / 吨，降幅 5.3%。其中：转炉废钢单耗 166.2 千克 / 吨，同比减少 3.7 千克 / 吨，降幅 2.2%；电炉废钢单耗 590.5 千克 / 吨，同比减少 63.5 千克 / 吨，降幅 9.7%。2022 年我国电炉粗钢产量占比仅为 9.69%，同比减少 1.01 个百分点，高转炉粗钢产量依旧占据了 90% 以上的产量份额。2022 年，我国进口废钢铁原料 55.89 万吨，较 2021 年的 55.55 万吨水平基本持平，仅增 0.61%，但相比曾经 1000 万吨以上的进口峰值，差距甚远。

在新冠疫情影响下，2022 年我国废钢铁市场价格波动范围较大，最高价一度达到 3900 元 / 吨，最低价也曾跌至 2750 元 / 吨，年平均价格为 3310 元 / 吨。

### 二、目前我国废钢铁行业的热点问题

#### 1. 行业“小、散、乱”格局依然明显

同其他再生金属领域类似，截至 2022 年底，我国废钢铁行业整体“小、散、乱”现象依然明显。从行业布局上看，我国废钢铁行业上游从事废钢铁资源回收的企业超过 10 万家，而中游从事废钢铁加工并获得工信部相关授权许可的企业则只有 500 余家，其中民营企业数量占比约 80%，前三甲公司的年加工量在行业总量中的占比接近 14%，相比其他加工企业，行业集中度较上游回收企业相对集中。位于废钢铁产业链下游的资源应用型企业超过 100 家，集中度相对更高且以国内大型公司为主，前三甲企业的年废钢利用量接近 20%。

#### 2. 国家政策改善下的行业企业开票仍存在问题

财政部和国家税务总局于 2021 年正式发布了《关于完善资源综合利用增值税政策的公告》（40 号公告）。

公告中的“简易计税方法按3%征收率缴纳增值税”条款很好地解决了废钢铁加工准入企业上游开票计税税率难确定的问题,但3%的增值税票由谁开具及开票公司所得税征收的问题还未得到解决。目前行业中依然是除废钢产出单位及部分企业能够开具增值税票据外,大部分行业企业依旧难以开票,自制凭证、核定征收的模式依然大范围存在,行业从业企业仍普遍面临高额税赋征收甚至触犯法律的风险。

### 3. 科技攻关和技术突破正在成为困难破题的突破口

随着科学技术的发展,目前我国废钢铁领域的从业企业正在积极探索利用科技攻关寻求传统业务突破的有效方式,如废钢智能检测系统、废钢智能料场系统等。依靠科技谋求发展,坚持创新引领,推动关键技术突破,如鞍钢集团废钢公司积极实施废钢智能判级、打包预警远程监控系统项目,并在鞍山本部及朝阳分公司合计14个点位上线运行,智能打包点位识别率达到90%以上,大大提高了产业集中度,做到了资源可控、产业引领和规避恶性竞争。一些民营废钢企业近年来不断加强与科研院所、高等院校及行业协会的产学研合作,以市场化业务为导向,着力解决企业自身的痛点难点问题。目前,科技正在成为我国废钢铁行业破题乃至战胜诸多困难的突破口。

### 4. 废钢期货上市正在稳步推进中

2022年,中国废钢铁工业协会积极推进废钢期货上市工作。作为期货市场的交割品,随着期货市场的介入,废钢中铁元素的检测要求将会越来越高,废钢的分类将更加细化,整体行业将向标准化、智能化、规模化迈进。废钢期货上市将加速废钢铁行业标准化的进程。废钢期货的上市也将有利于我国通过期货市场形成对废钢定价体系的控制,并结合废钢期现货交易重新构建我国重要铁元素资源的稳供保价。

此外,期货交易代表着行业较为领先的操作行为,期货进入废钢领域,必将带来市场结构的巨大变革,有利于行业内企业重组和产业链重构。

### 5. 智能工厂建设已在行业内取得成效

2022年3月,由中冶赛迪和欧冶链金携手打造的国内首个废钢智能工厂在中国宝武慈湖基地正式发布。智能工厂以自动化、信息化为基础,通过应用物联网、人工智能等先进技术,实现了现场少人化、管理透明化、决策智能化。通过智慧工厂的使用,慈湖基地减少了仓储、运输、计量、检判等环节工作人工成本,提升了20%左右的发运量。与此同时,我国《钢铁行业—废钢智能工厂技术要求》团体标准也正在紧锣密鼓地制定中,该标准将有效提升废钢智能工厂的建设水平,为我国废钢铁的高效利用保驾护航。

## 三、中国废钢产业发展前景分析

电炉短流程炼钢工艺减少了高转炉炼钢过程中的焦化、烧结、球团、高炉等高污染物排放工序,相比高转炉炼钢,电炉炼钢能够有效降低62%的吨钢综合能耗,减少75%的颗粒物、二氧化硫、氮氧化物等主要污染物排放。在国家碳达峰、碳中和的工作要求下,钢铁工业必须要从降低排放总量、降低单位排放量和改变钢铁冶金生产方式等方面入手。其中,改变钢铁冶金生产方式方面,电炉短流程炼钢是不可或缺的手段。

### 1. 我国电炉短流程炼钢实施进程正在加快

2022年3月,工信部原材料司就工信部和四川省人民政府《关于创建电炉短流程炼钢示范区的实施方

案(讨论稿)》开展专家研讨,重点讨论打造绿色循环的产业体系,构建世界先进的电炉钢产业集群,促进全国短流程炼钢产业高质量发展。2022年12月,四川省人民政府、工业和信息化部、生态环境部联合印发了《开展电炉短流程炼钢高质量发展引领示范工程的实施方案》,提出到2025年,四川省电炉短流程炼钢要基本形成先进企业集群化发展、完善绿色低碳循环体系、显著提升资源保障能力和智能化数字化水平先进发展的格局,探索和打造绿色、智能、创新、高效、协调的发展模式,助力钢铁行业绿色低碳转型和高质量发展。

在碳达峰的要求下,未来钢铁行业整体布局将进一步调整和优化,短流程电炉炼钢时代必将加速到来。

## 2. 我国废钢产出日益稳定为废钢产业发展提供资源供给保障

从废钢的来源看,废钢可以分为钢厂自产废钢和社会废钢,其中社会废钢又分为加工废钢和折旧废钢。钢铁企业自产废钢指钢厂生产中产生的边角料,直接被钢厂回收利用,因我国粗钢产量进入峰值区间而日趋稳定在4000万吨左右;社会加工废钢指钢铁下游消费企业在生产中产生的边角料;而社会折旧废钢则是指在钢铁下游终端产品在使用年限到期后报废而生产的含铁废料。传统意义上的钢铁社会积蓄量指的就是未来我国社会折旧废钢的总资源量。

我国目前正处于工业化的后期,随着我国工业化进程的推进,未来10~15年,社会折旧废钢产出量将以每年1000万吨以上的速度递增,其中汽车和机械行业的不断升级和迭代将成为社会折旧废钢的重要来源。而废汽车拆解行业将成为国内社会折旧废钢、加工废钢的“主力军”,其社会加工废钢总量中的占比将超过目前25%的水平,甚至可能达到更高的比例。

## 3. 废钢产业正在加快推进中国钢铁工业的高质量发展

废钢作为重要的铁元素资源,可以被多次循环利用,每使用1吨废钢可以减少1.3吨铁矿石的使用,随着中国钢铁工业布局调整,废钢作为钢铁入炉原料的重要性凸显,将成为未来我国破解铁矿石资源进口“卡脖子”难题的关键手段。充分有效利用废钢资源是逐步提升我国铁资源自给量的重要支柱环节。

从我国钢铁产业布局上看,截至2022年,北起辽宁省鲅鱼圈,南至广西防城港,我国沿海地区已经汇集了全国70%以上的钢铁产能,而电炉钢则更多地向中西部内陆主要用钢聚集地汇集,加上铁矿石价格相对坚挺上行迫使内陆钢厂成本承压等因素的困扰,内陆钢厂对废钢的需求将逐渐增长。未来中国“以沿海新建的高转炉长流程炼钢和内地省会城市或主要用钢地区短流程电炉炼钢为主”的产业布局将促使废钢产业进入黄金发展期。

## 4. 高质量发展的要求将督促废钢产业成为构建循环经济的重要组成部分

绿色、循环、可持续发展是中国经济高质量发展的基本要求。在碳达峰和严格的环保要求以及中国经济对钢铁的绝对量的需求影响下,废钢的高效应用有利于我国钢铁企业的超低排放改造、铁前工艺革新、智能生产控制以及短流程炼钢工艺的提升,对“国之利器”的钢铁工业而言,发展废钢产业将是我国构建循环经济产业链的重要组成部分。

## 5. 废钢或因中国高质量发展成为紧缺资源

根据世界钢铁协会的统计, 目前全球电炉钢比约为 29%, 平均高转炉废钢比 35%。而我国对应的两个数字则仅为 9.6% 和 20.7%, 相差甚远。如按照世界钢铁协会的两个行业数据推算, 我国钢铁工业达到全球平均废钢应用水平, 至少废钢年供应量约 5 亿吨, 而目前我国的废钢年产出量只有 2.6 亿吨, 远不能同时满足电炉钢与高转炉废钢共同发展的需求, 因此从这一角度上看, 随着我国钢铁工业的高质量发展步伐的加快, 在转炉废钢应用和电炉短流程炼钢的共同需求下, 废钢或将成为钢铁原料领域中的“紧缺”原料。

## 四、2023 年或将成为中国废钢加速发展的始发年

综合以上分析, 作为我国再生金属资源的重要组成部分, 高效综合利用废钢铁, 是落实党的二十大要求的高质量发展内容的重要途径, 是中国钢铁工业实现高质量发展的必由之路。2023 年是落实党的二十大精神, 全面开启中国式现代化征程的开局之年。党的二十大报告中对绿色环保、资源友好的要求将全面推进我国废钢铁应用加速发展。随着我国废钢产业领域相关热点问题的有效解决和切实落实, 中国废钢铁产业发展将迎来加速期, 废钢铁乃至整体再生金属市场前景光明。

基于以上分析, 笔者认为: 继 2018 年我国废钢铁市场在严打“中频炉、地条钢”后迎来正规发展元年后, 2023 年即将成为中国废钢产业加速发展的始发年!

## 王国栋院士: 利用废钢炼出好钢

“逐步实现低比例废钢—高比例废钢—全废钢的平稳过渡, 最终达到基于全废钢高质循环利用的洁净钢冶炼, 利用废钢炼出好钢。”

“进入全废钢时代, 谁掌握了废钢资源, 谁就掌握了未来。”

“解决废钢问题必须立即从现在做起。”

“构建产品全生命周期标识解析体系, 实现全产业链废钢高质循环利用。”

“一定要探索出一条有中国特色的道路!”

.....

日前, 在中国工程院 2023 年度战略研究与咨询重点项目——“‘双碳’背景下我国钢铁行业绿色高质量发展战略研究”启动会上, 中国工程院院士、东北大学教授王国栋关于废钢资源高质循环利用的技术方案和前瞻性观点得到了现场多方代表的响应。会议间隙, 《中国冶金报》记者对王国栋进行了专访, 围绕该项目的规划设计、关键策略、组织实施等话题进行了深入交流。

## 形成中国特色废钢资源利用建议, 并创造条件落地实施

“我们的项目目标是围绕废钢循环利用开展一系列研究, 形成具有我国特色的废钢资源科学、合理利

用建议，上报国家，争取各级政府相关政策支持。如何实现目标，国家应采取哪些措施、出台哪些政策，如何实现全产业链高效协同、统一管理等内容是我们研究的核心。”王国栋告诉《中国冶金报》记者，该项目前期已经开展了一年多的调研，初步计划再利用半年时间对前期调研结果进行梳理，同时掌握市场新情况，形成较为科学完备的咨询报告，上报国家政府部门。

虽然目标是提出建议，但王国栋显然有着更高的追求和期待。“在形成建议的过程中，我们将创造条件，促进建议落地实施。我们请中国信息通信研究院（简称信通院）、工业互联网研究院、中科院新松机器人研究院参与进来，就是想要形成一个整体的设计思维，将整个产业链上的各行各业串起来，待国家政策落地后，组织各环节相互配合、有序联动。”

王国栋透露，当前兴澄特钢就在研究布局相关事宜。“有行业样板企业在着手落地，我们的信心就足了。如果我们真能使项目完美落地，等到废钢量超过钢铁需求量的时候，相当于进入全废钢时代。届时，谁掌握了废钢资源，谁就掌握了未来。”王国栋感慨道。

王国栋指出，传统观点认为，按照国际上的发展惯例，废钢只能冶炼低端钢材，必须保留20%的“高炉—转炉”产能用于生产高端产品。这就意味着无法摆脱“高炉—转炉”流程的碳排放。对此，他指出，这些难题既是挑战，又是机遇。今后几十年间，我们要抓住机遇，直面挑战，自立自强，自主创新，走出我们中国特色的废钢资源循环利用的道路来。要加强高比例废钢情况下低碳节能冶炼与精炼工艺和装备的研发，逐步实现低比例废钢—高比例废钢—全废钢的平稳过渡，最终实现基于全废钢高质循环利用的洁净钢冶炼，脱离“高炉—转炉”生产工序，摆脱对铁矿石的进口依赖，利用我国特色的废钢资源冶炼出满足国家需要的各类钢材。

王国栋坦言，这将是一个艰难、复杂的过程，但这对我国加强环境与资源保护、实现“双碳”目标意义重大，解决废钢问题必须立即从现在做起。他还提到，在此过程中，无论是钢铁行业，还是下游制造业，抑或是废钢回收利用行业，都会相应地提高收益，给国家创造财富。

“今天的会议，是项目启动会，也是项目调研会。产业链上各行业协会和企业的代表聚集在一起，围绕绿色低碳高质量发展主题建言献策，心中都有千言万语。制作名册、收录联系方式、合影留念，就是为了给大家创造相互联系和合作的机会，为产业链各行业企业交叉融合、相生共赢提供便利。我们会对会上提出的问题和一些未达成共识的关键点进行进一步讨论，研究形成协同机制，最后一定要探索出一条有中国特色的道路！”王国栋目光坚毅，话语掷地有声。

## 标识解析技术，意义在于互联互通基础上的数据流转

作为该项目的重要组成部分和未来工业互联网的关键技术，科技感极强的标识解析技术引起了大家的关注和好奇。

“标识解析技术，简单来讲，就像我们平常用的二维码。对准附在钢铁产品上的二维码扫一扫，所有

参数一目了然,包括钢是怎么炼的,连铸是怎么铸的,轧钢是怎么轧的,产品的等级、牌号、成分分别是什么,产品的排放是多少,都有记录。”王国栋向《中国冶金报》记者举例道,“就拿一卷钢板来说,把它运到汽车零件厂做成零件,给它附上二维码,这个信息就跟着零件了;零件又做成部件,各个零件的二维码汇在一起,成为部件的二维码;部件再组装成汽车。汽车的各个部件、部件的各个零件,都有各自的二维码,制造汽车所用的所有产品信息一应俱全。这样的话,这些产品流通到哪个地方,哪个地方就能拿到这些信息。我们只需跟踪二维码,就可以对这些产品进行比较准确、细致地分类。”

他同时强调,必须保证二维码在全产业链上的统一性。“不能在你这里代表一个意思,到其他环节又不一样,必须统一。”王国栋介绍,“所以我们邀请信通院、中国工业互联网研究院参与进来,由信通院作为二维码的牵头单位,帮助我们把产业链上各个行业,特别是钢铁行业的标识解析系统建立起来。届时,产业链上各环节的生产者不仅要考虑其生产过程中对环境和资源产生的影响,还要从全生命周期的角度进行综合考量,对产品的整个生命周期负责,这是社会进步的一个表现。”

“标识的价值不在于标识自身,而在于标识背后连接的数据信息,在于构建互联互通渠道,在于互联互通基础上的数据流转,在于数据流转中的数字价值,在于未来更开放、更柔性的生产体系与价值网络。”王国栋这样看待标识解析技术的意义。他指出,标识解析技术是国家2016年出台的《生产者责任延伸制度推行方案》(把生产者对其产品承担的资源环境责任从生产环节延伸到产品设计、流通消费、回收利用、废物处置等全生命周期)的核心内容,也是实现全球供应链系统和企业生产系统精准对接、产品全生命周期管理和智能化服务的前提和基础,将为实现全产业链、全场景数据共享和追溯,推进供给侧结构性改革和制造业转型升级提供有力支撑。

“关于标识解析技术及体系,工信部已经在几个行业里进行了推广,其中与钢铁行业相关的是家电行业。目前汽车行业也正在布局。”王国栋举例表示,“现在有一些钢铁企业已被列为二维码(标识)的二级节点。在新冠疫情防控常态化的背景下,我们利用二维码实现了全国各地甚至全世界的‘一码通行’。在工业生产中建立起标识解析体系,就相当于赋予工业生产中的机器和物品唯一的‘身份证’,实现唯一性的定位和信息查询。有了它,就可以打通企业产品、机器、车间、工厂甚至行业间的‘信息孤岛’,完成工业大数据汇聚,实现信息系统间的数据共享,进行数据挖掘和分析应用。钢铁材料在其全生命周期中会经历许多不同的领域、部门、场景,有了二维码这个‘身份证’,通过数据解析就可以准确地识别它、分析它,真正体现出数据的价值所在。”

## 两大挑战当前,亟须建立全产业链协同平台

“当前,我国推进废钢资源管理、循环和再利用面临哪些挑战?”面对《中国冶金报》记者的这一问题,王国栋从废钢回收本身和全产业链协同两个方面进行了分析,并给出了解决方案。

一是废钢成分复杂,高效回收难度大。

“行业从业人员有近1000万人，而社会废钢的占比达到了50%~60%，成分复杂、种类繁多，一个一个地扫描二维码，显然不现实。怎么办？”王国栋停顿了一下，随即给出答案，“我们可以把废钢分成两类，一类是社会废钢，另一类是高端废钢。对于社会废钢，要进行分拣，剔除其中的各种有害物质，剩余部分主要是普碳钢。经过分拣后的废钢在摄像头全过程监控下压制成大块，并运用二维码技术进行标识以追溯责任，实现高效管理。从更进一步、长期发展的角度来看，我们还可以在冶炼过程中对废钢进行成分调整，通过洁净化冶炼，使低端废钢逐渐向高端化发展。”

“对于高端废钢，即有着‘高炉—转炉’流程‘出身’的优质废钢，要通过数字化、智能化技术进行合理分类、定向回收和循环利用。比如汽车面板，我们费了很大的劲儿，花费资源和能源，把它生产出来。等到报废的时候，如果和其他废品混在一起处理，那就全变成低端废钢了；但如果实现了合理分类、定向回收，在熔化后直接回收至精炼炉冶炼，即可保持其高端价值，实现循环利用。这不就省了很多成本和能源消耗吗？”王国栋说。

二是废钢回收利用尚未实现全产业链的规范化、集约化运行。

“要想实现废钢在全产业链的高效回收、加工、流通和利用，建立通用的规范标准体系非常重要。比如，钢厂和制造厂建立联系相对容易，但要实现钢材生产厂、制造厂、下游用户、废钢企业全产业链的绿色低碳生产和科学规范管理，难度很大，需要国家政策上的支持，也需要行业层面、全产业链层面的积极行动。尤其是钢厂，它是废钢的源头与归宿，处于废钢资源回收体系中心，应主动探索产业链废钢回收体系的运行机制与管理模式，确保各个环节都在这个过程中有所收益，有积极性和驱动力。”

“当前存在的这些问题，最主要的症结在于废钢加工与回收行业分散度高、缺乏全产业链协同平台。”王国栋话锋一转，“所以我们一定要建立起这样的平台，上下游打好配合，实现废钢有效利用的‘四全’和‘四化’，即针对未来全废钢时代，从钢铁材料全生命周期、全生产流程、全产业链协同，实现废钢资源的管理、循环和再利用，加强全流程生产管理的数字化、信息化、标识化，以及优质废钢拆解回收的机器人化，进行产业重构和经营模式创新。”

“成本会不会是一个挑战？”《中国冶金报》记者追问道。“该项目将产生非常可观的经济和环境效益，远超其成本。”王国栋透露，当前已有特钢厂通过高端废钢精选优用收获了较高的效益。他进一步解释道，对于特钢厂来说，加入合金的成本很高，但如果实现了高端废钢的精选优用，“边角废料”也能变成“真金白银”。与此同时，作为“边角废料”的来源地，机械厂也可用高端废钢换取一定收益。

“另外，现在国际上也对碳足迹有所要求，构建产品全生命周期标识解析体系，实现全产业链废钢高品质循环利用，将意味着我们的产品可以大踏步出口，走向更广阔的市场。”王国栋目光炯炯。目光所及，一张全废钢冶炼的绿色低碳蓝图好像正在徐徐铺开。

## 5 来访交流

### 东北大学与南京钢铁举行科技交流会

2023年6月20日, 东北大学与南京钢铁股份有限公司科技交流会在轧制技术及连轧自动化国家重点实验室(RAL)举行。南钢高级顾问朱金宝, 南钢板材事业部联席总经理周桂成, 南钢研究院副院长李东晖, 中国工程院院士、东北大学教授王国栋出席交流会。南钢铁板材第一炼钢厂、南钢板材技术处、京诚冶金公司、东北大学RAL实验室、冶金学院等相关负责人及教授专家参加会议。交流会由RAL实验室主任袁国教授主持。

朱金宝首先向与会人员简要介绍了南京钢铁第一炼钢厂概况以及工艺装备、板材品种等情况。朱金宝指出, 南钢与东北大学在长期的战略合作中形成了深厚友谊, 希望通过此次交流进一步强化双方合作的广度和深度, 借助东北大学在冶金及智能制造领域的专业优势, 围绕企业亟待解决的发展难题, 开展钢铁生产全流程的合作与交流, 助力南京钢铁实现高质量发展。

王国栋院士对朱金宝一行的来访表示热烈欢迎。王院士指出, 南京钢铁与东北大学在多年来的合作中形成了优势互补、合作共赢的良好发展态势, 树立了校企长期合作的成功典范。希望通过此次交流深入了解南京钢铁的想法与需求, 同时发挥东北大学在科技创新、绿色低碳生产、数字化技术等方面的优势, 面向钢铁全流程领域, 统筹推进产线问题解决与前沿技术研发, 注重实效, 共同为行业高质量发展做出新的贡献。

会上, 与会人员围绕双方感兴趣的研究议题及未来合作的领域等方面进行了分组技术交流与探讨。



## 东北大学与中联重科举行合作交流会



2023年6月16日, 东北大学与中联重科股份有限公司合作交流会在轧制技术及连轧自动化国家重点实验室(RAL)411会议室举行。中联重科副总裁董军, 中国工程院院士、东北大学教授王国栋出席交流会。中联重科中央研究院智能制造中心、材料中心、中央研究院材料所和东北大学RAL实验室相关负责人及教授专

家参加会议。交流会由RAL实验室主任袁国教授主持。

董军副总裁首先就中联重科的公司概况、发展历程、业务领域、产品种类等方面进行了简要介绍。董军表示, 东北大学RAL实验室在科学研究和技术创新等方面具有显著优势, 希望通过此次交流促进中联重科与实验室在先进工程机械用钢研发与制备技术、智能制造等方面的深度合作, 充分发挥各自优势, 促进双方共同发展。

王国栋院士表示, 中联重科近年来技术进步成绩显著, 在我国工程机械领域走在前列, 希望通过本次交流, 在双方关注的重要议题上能够达成共识, 为下一步深度合作打下坚实基础。王院士强调, 实验室将充分发挥自身科技创新方面的优势, 助推中联重科在高品质工程机械用钢提质升级与装备轻量化等方面取得新突破, 助力我国工程机械领域实现高质量发展。

会上, 与会人员围绕双方感兴趣的研究议题及未来合作的领域等方面进行了技术交流与探讨, 并初步明确了双方具体合作方向与后续联络机制。

## 泰山钢铁与RAL实验室科技交流会举行

2023年6月14日, 山东泰山钢铁集团有限公司与轧制技术及连轧自动化国家重点实验室(RAL)科技交流会在RAL411会议室举行。泰山钢铁副总经理陈培敦, 中国工程院院士、东北大学教授王国栋出席交流会。泰山钢铁技术中心、市场部、设计院和RAL实验室相关负责人及教授专家参加会议。交流会由RAL实验室主任袁国教授主持。

陈培敦副总经理首先向与会人员简要介绍了泰山钢铁生产运行发展现状及重点推进工作。陈培敦表示, 泰山钢铁多年来结合自身技术优势和产品优势, 坚持专业化、精品化发展。在国家双碳背景下, 泰钢目前

正处于新一轮产业转型升级阶段, 需要 RAL 实验室技术与人才等相关支持, 希望通过本次交流推动泰钢与 RAL 实验室在流程优化、产品定位、数字化、绿色化转型等方面进一步加强合作, 实现共赢发展。

王国栋院士对陈培敦一行的到来表示欢迎并表示, RAL 实验室多年来聚焦钢铁领域工艺绿色化、装备数字化和产品高质化的发展要求, 致力于为钢铁全流程生产提供创新解决方案。王院士强调, 双方要坚持精诚合作, 立足流程工业特点, 以钢铁企业创新基础设施建设、数字化、绿色化转型、产品开发、系统配置等方面为重点, 加强前沿性技术研发, 切实解决企业发展瓶颈问题, 不断增强泰山钢铁在相关领域的持久竞争力。

会上, 双方人员围绕感兴趣的研究议题及未来合作的领域等方面开展技术交流与研讨, 并初步明确了双方具体合作方向与后续联络机制。



## 东北大学与中冶京诚举行科技交流会



2023年6月10日, 东北大学与中冶京诚工程技术有限公司科技交流会在轧制技术及连轧自动化国家重点实验室(RAL)举行。中冶京诚党委委员、党委副书记, 京诚数科公司总经理韩冰, 中国工程院院士、东北大学教授王国栋出席交流会。中冶京诚科技部、质量部、数科公司、京诚冶金公司轧钢所、炼钢所和东北大学 RAL 实验室、钢铁共性技术协同创新中心相关负责人及教授专家参加会议。

交流会由 RAL 实验室主任袁国教授主持。

韩冰首先向与会人员详细介绍了中冶京诚工程技术有限公司近年来的业务架构、1+2+N 的整体布局、产业发展、未来预期目标以及创新技术需求情况。韩冰指出, 东北大学钢铁共性技术协同创新中心在科学研究、技术创新等领域具有显著优势, 希望通过本次交流促进中冶京诚与东北大学在项目合作, 业务拓展、资源配套、数字化转型等方面进一步加强合作, 助力中国钢铁行业实现高质量发展。

王国栋院士对韩冰一行的到来表示欢迎, 对中冶京诚长期以来在冶金建设方面的影响力及作出的贡献

表示充分认可。随后,王国栋院士详细介绍了东北大学钢铁共性技术协同创新中心的发展历程、研究领域与代表性成果等情况。王国栋院士表示,希望通过此次交流深入了解中冶京诚在高质量发展中的想法与需求,同时发挥中心在技术创新、产学研用深度融合等方面的特色优势,建立互利共赢的合作关系,为中国钢铁工业绿色化、数字化转型发展提供有效支撑。

会上,与会人员围绕双方感兴趣的研究议题及未来合作的领域等方面进行了分组技术交流与探讨,并初步明确了双方具体合作方向与后续联络机制。

## 河钢材料技术研究院李兰杰一行到东北大学交流访问



2023年4月11日,河钢材料技术研究院李兰杰副院长一行到东北大学交流访问,中国工程院王国栋院士,东北大学科学技术研究院、冶金学院、RAL实验室,宣钢技术中心、承德钒钛技术中心、宣钢金属材料公司等相关部门负责人和学术骨干参加会议。

李兰杰副院长表示,河钢集团高度重视科技创新工作,为充分挖掘和调动存量技术资源,实现内外部智力资源的优势发挥和优化调配,今年起,河钢所有科研项目全部实施“揭榜挂帅”管理,加大研发投入比重。李兰杰强调,东北大学冶金工业全流程学科群依托河钢东大产业技术研究院在科学研究、技术创新等领域具有显著优势,希望通过此次交流促进河钢集团与东北大学在绿色低碳技术、资源高效利用等方面的深度合作,在新技术方向上实现革命性、突破性的创新,加快成果转化,助力河钢集团实现跨越式发展。

王国栋院士表示,河钢集团和东北大学在长期的战略合作中形成了深厚友谊,河钢东大产业技术研究院成立六年来,聚焦钢铁行业的前沿性问题和制约企业发展的关键共性技术,以企业为主体、以市场为导向,形成了工艺—装备—产品—服务一体化创新模式,在协同创新、协同育人等方面取得突出成绩,为东大的学科发展也做出了突出贡献,树立了产学研合作的成功典范。王院士强调,党的二十大对强化企业科技创新主体地位作出明确部署,企业从“技术创新主体”转变为了“科技创新主体”。希望双方围绕企业亟待解决的科学技术问题,不断拓宽合作的深度与广度,为河钢集团钢铁产业提质升级、绿色低碳发展提供有效支撑。

会上,与会人员围绕双方感兴趣的研究议题及未来可能合作的领域等方面进行了技术交流与探讨。

## 东北大学钢铁共性技术协同创新中心与永锋钢铁科技交流会举行

2023年4月10日, 东北大学钢铁共性技术协同创新中心与永锋钢铁科技交流会在轧制技术及连轧自动化国家重点实验室(RAL)411会议室举行。永锋钢铁集团常务副总经理杨燕春, 中国工程院院士、钢铁共性技术协同创新中心主任王国栋出席交流会。永锋钢铁相关部门负责人与钢铁



共性技术协同创新中心首席科学家、学术骨干等参加会议。交流会由RAL实验室主任袁国主持。

杨燕春副总经理首先向与会人员简要介绍了永锋钢铁集团及永锋临港有限公司近年来的企业动态、产业发展情况以及科技创新情况等。杨燕春表示, 永锋临港有限公司二期建设正处于产业升级发展阶段, 对高水平前沿技术和高质量人才有着迫切需求, 本次来访交流旨在与中心在人才培养、产品研发、低碳绿色、高端智能等方面寻求深度合作, 实现联合创新, 建立合作共赢的长效机制。

王国栋院士对杨燕春副总经理一行的到访表示热烈的欢迎。王国栋院士表示, RAL实验室多年来致力于开拓钢铁行业绿色化、数字化、高质化创新技术, 在科技创新与产学研深度融合等方面具有一定优势。希望通过此次会议为双方搭好桥梁纽带, 为永锋钢铁解决技术难题提供科学指导, 助推永锋钢铁在技术升级、产品创新、数字化转型等方面加快步伐, 实现高质量发展。

会上, 参会人员围绕双方感兴趣的前沿技术议题, 结合生产和研发实际进行了交流研讨。