

1 头条信息

我室承办的 2021 年材料加工国际研讨会在沈阳成功召开

2021 年 10 月 19 日—20 日, 由中国金属学会、中国有色金属学会和东北大学联合主办, 我室承办的“2021 年材料加工国际研讨会”在沈阳举行。会议围绕钢铁和有色金属加工领域中新材料的成分设计、加工工艺的前沿科学技术等热点问题, 邀请著名专家学者介绍最新科技进展, 交流近年来取得的技术成果, 探讨关键共性技术问题的解决途径和今后的发展方向, 为促进金属材料加工领域的发展、推动国际轧制加工领域基础理论研究与工艺技术创新提供交流平台。



中国金属学会理事长、中国工程院院士干勇, 中国有色金属学会副理事长兼秘书长张洪国, 中国工程院院士、东北大学校长冯夏庭, 中国工程院院士谢建新, 乌克兰科学院院士 Serhii Yershov, 中国工程院院士潘复生, 中国工程院院士王国栋等嘉宾出席本次研讨会。来自全国各地的高校、科研院所、企业的近 400 人现场参会, 由于疫情原因, 部分代表不能到场参会, 本次会议同时开启了线上直播, 750 余人参加了线上论坛。中国金属学会副理事长王新江, 中国钢研集团总工程师田志凌, 吉林大学材料学院院长王慧远, 西北有色金属研究院副总工程师赵永庆分别主持会议。

中国金属学会理事长、中国工程院院士干勇在致辞中表示, 新型信息技术、新材料、技术创新体系是制造业强国的三大基础要素, 高端装备需要新材料和信息技术的支撑。“一代材料, 一代技术, 一代工程”, 创新驱动发展一方面需要抢占未来发展制高点的新材料, 另一方面需要转方式、调结构、智能化。希望各位专家将这两方面存在的关键问题进行深入交流与探讨, 加强行业技术交流, 促进我国材料领域科技进步, 为行业发展贡献智慧和力量。

中国有色金属学会副理事长兼秘书长张洪国代表有色金属学会向会议的召开表示热烈祝贺。他在致辞中表示, 有色金属是国民经济的重要基础产业, 是实现制造强国的重要支撑。东北大学在有色金属高精热

处理装备与技术、铝合金铸造与成形技术、有色资源循环利用等领域具有深厚的学科基础和显著的技术优势。期待与会各方聚焦关键共性技术难题协同创新, 汇聚实践智慧、碰撞思想火花, 分析机遇挑战、展望未来发展, 努力在原始创新上取得新突破, 在关键装备技术开发、资源和环境循环利用等领域实现跨越发展, 多出高水平的原创成果。

中国工程院院士潘复生致辞时表示, 材料加工是具有较强领域带动效应的工程科学, 不仅研究多领域多学科交叉的基础性、科学性和创新性共性问题, 同时可以通过解决企业生产应用中的关键科学技术问题, 成为推动制造装备、制造工艺和相关产业发展最有力、最直接的牵引力和原动力。期待与会专家学者深入交流钢铁、有色金属、新材料的成分设计、加工工艺的前沿科学技术, 产出高水平的原创成果, 聚焦关键共性技术难题, 坚定不移推动行业的高质量发展。

东北大学校长冯夏庭在致辞中表示, 东北大学先后研发出第一块超级钢、钕铁硼磁铁矿冶炼新技术、钢铁工业节能理论和技术、控轧控冷技术等一大批高水平科研成果, 在钢铁和有色金属领域的新技术、新理论、新装备、新材料等方面拥有较强的科研实力和丰富的科技资源。学校与中国金属学会、中国有色金属学会长期保持战略合作, 围绕推动产品结构调整、产业转型升级、绿色智能制造、资源能源高效综合利用等方面开展联合攻关, 谱写了优势互补、资源共享、机制创新、共谋发展的合作新篇章。面向未来, 要积极开展全方位深层次合作, 聚焦材料加工领域的战略性、前沿性、颠覆性问题和制约企业发展的关键共性技术, 进行协同创新体制机制改革, 产教融合, 探索加速成果转化的新模式, 实现材料加工前沿关键技术的重大突破, 引领行业技术创新与发展。此次共同举办第一届材料加工国际研讨会, 搭建了技术创新和理念引领的重要交流沟通平台, 促进各方深度融合、汇聚资源、协同创新。希望与会专家学者交流经验、分享成果、增进友谊、大胆创新, 共同为材料加工领域的可持续发展作出更大贡献。

19日, 在主旨报告环节, 来自材料加工领域的十位中国工程院院士、专家学者分别以线上线下结合的方式作大会主题报告, 并在报告后和与会学者互动。19日上午, 中国工程院院士、北京科技大学谢建新教授, 日本东北大学 Tadashi Furuhashi 教授, 中国工程院院士、重庆大学潘复生教授, 乌克兰科学院院士、武汉科技大学特聘教授 Serhii Yershov (瑟起亚·耶雪夫) 分别以“材料大数据及应用”“钢材微观组织与性能控制中的界面工程”“高塑性镁合金及加工技术新进展”“异型材孔型设计及其对生产效率的影响”为题作学术报告。19日下午, 中国工程院院士、北京工业大学聂祚仁教授, 澳大利亚工程院院士、迪肯大学 Peter Hodgson 教授, 韩国材料科学研究院首席研究员 Bong Sun You, 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、东北大学王国栋教授, 中信金属公司副总经理/总工程师郭爱民分别以“微合金化高强耐蚀铝合金研究”“奥氏体钢和双相钢中热变形组织的演变行为”“耐腐蚀镁合金研发”“热轧带钢连续化生产技术”“材料科学技术转型发展及钢铁创新基础设施的建设”“含 Nb 钢的物理冶金学原理及最新应用进展”为题作学术报告。

20日, 会议设置金属材料组织性能控制、材料计算与智能制造、扁平材轧制工艺与产品开发、长型材轧制工艺及产品开发、有色金属材料加工及产品、国际分会场 6 个分会场, 134 位专家学者作分会场报告, 同时与会代表进行了墙报交流。

会议得到了钢铁行业同仁的大力支持, 来自宝钢、鞍钢、首钢、本钢、河钢、包钢、南钢、山钢、湘

钢、涟钢、中冶赛迪、中冶华天、中信金属公司、天津钢管、上海宝信软件、上海优也信息、Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM)、Vanitec、Canmet MATERIALS、CITIC Metal 等企业代表积极参会, 与会代表围绕材料加工工艺技术创新、金属材料机理研究、高端金属材料制备、金属材料数字化智能化等方面进行了深入的交流。

有色金属材料领域的中铝材料应用研究院、有研工程技术研究院、东北轻合金、广西南南铝、中铝洛阳铜、西安赛特金属、西部钛业等企业广大代表也踊跃参会, 与会代表围绕有色金属材料设计与组织调控、短流程加工技术、新产品开发及工程应用等方面展开了深入的研讨。

国内外高校、科研机构的代表也积极参与, 来自日本东北大学、澳大利亚迪肯大学、英国兰卡斯特大学、韩国材料科学研究院、北京科技大学、北京工业大学、上海交通大学、中南大学、天津大学、同济大学、重庆大学、吉林大学、东南大学、大连理工大学、哈尔滨工业大学、中国科学院金属研究所、西北有色金属研究院、西北工业大学、安徽工业大学、燕山大学、太原科技大学、昆明理工大学、辽宁科技大学、东北大学等专家学者围绕钢铁行业与有色金属材料领域战略性、前沿性、颠覆性技术、基础研究与应用基础研究、科技创新与产业化应用等方面进行了深入的交流。

我室承办的“绿色制造, 低碳减排 ——新技术新工艺专题会”在沈阳举行



2021年10月20日, 由中国金属学会和东北大学主办、我室承办的“绿色制造, 低碳减排——新技术新工艺专题会”在沈阳举行, 来自绿色制造轧制领域的专家、学者和技术提供方的代表参加了会议。随着国家对金属基础材料发展绿色化、低碳化要求的不断提升, 如何在机遇与挑战中寻找金属材料的可持续发展道路, 成为与会代表关注和讨论的焦点。

会议由首钢京唐钢铁联合有限责任公司副总经理杨春政主持, 中国金属学会新技术推广应用办公室主任姜曦、东北大学轧制技术及连轧自动化国家重点实验室主任袁国发表致辞。

姜曦表示, 此次会议是聚焦绿色制造、低碳减排方面新工艺新技术的专题研讨会, 学会将服务行业生产企业和会员单位, 定期分区域以生产为中心组织新技术新工艺专题研讨会。

袁国表示, 在新的形势下聚焦绿色、聚焦双碳, 东大轧制国家重点实验室希望在王国栋院士的带领下与行业同仁不断研发出更好的轧制新技术, 满足业内对高质量产品和高质化发展的要求。

经过报告分享与交流讨论, 大家一致认为, 基于轧制工艺的金属基础材料规模化绿色制造技术的换代提升, 是其服务于社会绿色、创新发展的主要途径, 而智能制造和工业互联网将积极为其赋能。

辽宁省政协副主席李晓安到我室调研

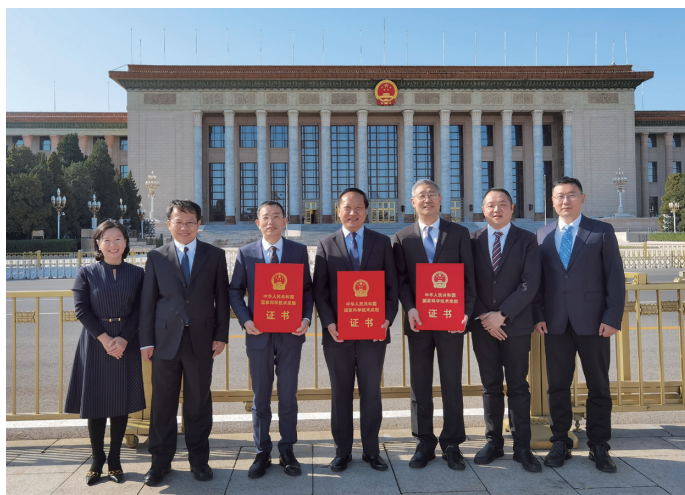
2021年10月29日上午, 辽宁省政协副主席李晓安一行来我室调研。东北大学党委书记熊晓梅, 校党委副书记、纪委书记杨明以及相关部门负责人陪同调研。

实验室副主任张殿华向李晓安一行介绍了实验室总体情况、科研队伍、创新机制、人才培养和近期在钢铁工业全流程生产等方面取得的重大科研成果及进展。随后, 李晓安一行走进实验工场实地考察了薄带连铸机组、热轧实验机组和部分科研创新成果。



李晓安对实验室所取得的成绩给与了高度评价, 希望实验室面向区域、立足东北, 为助力辽宁全面振兴作出更大贡献。

我校5项成果荣获国家科学技术奖



11月3日, 2020年度国家科学技术奖励大会在北京人民大会堂隆重召开。东北大学牵头和参与完成的5项成果荣获2020年度国家科学技术奖励。其中, 1项牵头项目和1项参与项目获国家自然科学奖二等奖, 2项牵头项目和1项参与项目获国家科技进步奖二等奖, 继2019年我校国家科学技术奖励取得突破后再创佳绩。

东北大学作为第一完成人和第一单位牵头完成的“分布式动态系统的自学习优化协同控制理论与方法”项目获得国家自然科学奖二等

奖。东北大学主要完成人是张化光、罗艳红、孙秋野、刘振伟、王占山。

东北大学作为第一完成人和第一单位牵头完成的“连铸凝固末端重压下技术开发与应用”项目获得国家科技进步奖二等奖。东北大学主要完成人是朱苗勇、祭程。

东北大学作为第一完成人和第一单位牵头完成的“钢材热轧过程氧化行为控制技术开发及应用”项目获得国家科技进步奖二等奖。东北大学主要完成人是刘振宇、曹光明。

东北大学作为第二完成单位参与完成的项目“非线性切换系统的分析与控制”获得国家自然科学二等奖（东北大学主要参与人是赵军、马瑞诚）；东北大学作为第二完成单位参与完成的项目“特高压高效输电变电装备用超低损耗取向硅钢开发与应用”获得国家科技进步二等奖（东北大学主要参与人是沙玉辉）。此外，东北大学牛萍教授在中国科学院金属研究所工作期间参与完成的项目“光催化材料的能带与微观结构调控”获得国家自然科学二等奖。

多年来，东北大学始终坚持与国家发展和民族复兴同向同行，瞄准国际科技前沿，服务国家战略需求和区域经济社会发展，把论文写在中国大地上，取得了一批具有原创性的科技成果，在技术创新、技术转移和成果转化方面形成了独特优势，探索出了一条产学研融通创新和协同育人的有效途径，实现了学科、人才、科研良性互动发展，努力建设在中国新型工业化进程中起引领作用的“中国特色、世界一流”大学。

我室举行 2021 年度表彰会



2022年1月15日，我室在411报告厅（560报告厅设直播分会场）举行了2021年度总结表彰会。王国栋院士、实验室领导班子和200余名师生出席会议，会议由丛广宇副主任主持。

会上，实验室主任袁国教授宣读了《关于表彰2021年度

优秀个人暨颁发奖学金、奖教金的决定》。根据实验室整体工作部署，依托年度绩效考核成绩和综合表现，对王秀琦等11名硕士研究生、董竞博等22名博士研究生、陈俊等16名教师、矫志杰等6名教师予以表彰。

获奖教师代表李振垒老师在获奖感言中回顾了自己在东北大学十几年的学习和工作经历，深切感受到实验室实干、实绩、实效的科研精神。李老师鼓励研究生们在今后的科研工作中，以国家需要和行业需求为指引，以金属材料领域创新为己任，承担国家和行业重大科研任务，为实验室建设贡献力量，为国家需要的战略科技贡献力量。

优秀学生代表任家宽在获奖感言中感谢实验室提供的国家级创新科研平台，以及将理论与实际充分结合的科研环境。结合自己的学习与科研工作，他鼓励同学们在科研工作和生活中只争朝夕，不负韶华，开拓创新，在新的一年里取得更多科研成果。



获奖教师代表李振垒老师
发表获奖感言



优秀研究生代表任家宽
发表获奖感言

王国栋院士表示，2021年，在全体师生的共同努力下，实验室各项工作均取得了丰硕的成果。

在科研方面，“热冲压钢高韧性铝硅镀层技术”“船用高止裂韧度特厚钢板关键制造技术及应用”“V-N微合金高强韧中厚板绿色制造关键技术及应用”“基于机器视觉的宽厚板轮廓及板形CPS智能制造技术研发与应用”四项科技成果达到国际领先水平；“热轧无缝钢管在线组织性能调控关键技术、装备开发及应用”项目获得冶金科学技术奖特等奖；三个“十三五”项目顺利通过验收，智能化、数字化工作取得突破性进展；“十四五”项目也成功立项。中厚板团队设计和实施的中厚板创新基础设施项目、“数据驱动融合机理的热连轧三维尺寸数字孪生与CPS系统应用”项目、热连轧相关课题组共同开发的热连轧产线基础设施项目等方面工作均取得突破性进展。



王国栋院士讲话

2021年，实验室科研体量创历史新高。实验室老中青年教职员工努力拼搏，为学校及实验室赢得了声誉，做出了重要贡献。

2021年，实验室在人才培养方面取得重大突破，多位教师入选国家人才项目。在本科生教学方面迈出了新步伐，推进成立智能制造班，为实验室提供了更好的人才培养平台。由实验室组织，吴思炜老师开设的“机器学习实践”系列讲座举行，推动了实验室研究工作数字化转型，助力实验室每位老师和学生的科研工作发展。

王院士希望实验室师生在今后的工作中，进一步加强基础研究、应用基础研究和技术创新。抓住钢铁高质化、数字化、绿色化转型发展的重大历史机遇，面向国家战略需求，找准科研方向，协同创新，攻关大项目，把工作做深做实，理论联系实际，在实际工作中取得真知，取得更多实质性成果，在更多的创新领域留下属于我们中国人的印记，为钢铁工业发展做出实实在在的贡献。

附：获得优秀个人名单

轧制技术及连轧自动化国家重点实验室 2021 年度优秀个人获得者名单

2021 年度优秀硕士研究生	一等奖：王秀琦 单文超 夏雨锟 宁新禹 杨 洁 二等奖：贾泽伟 杨沁儒 王宇豪 牛思佳 李晓华 李慧杰
2021 年度优秀博士研究生（低年级）	一等奖：刘靖达 张 朕 魏晓蓼 董竞博 二等奖：李 华 王 旭 王鹏杰 环鹏程 原家华
2021 年度优秀博士研究生（高年级）	一等奖：沈春光 任家宽 陈 冬 李 坤 李 鑫 李 泳 二等奖：宋丽英 卢 兵 阚立烨 齐霄楠 陈其源 董 营 李成儒
2021 年度奖教金获得者	一等奖：陈 俊 康 健 李建平 李 旭 王 君 张殿华 二等奖：丁敬国 高秀华 韩 毅 何纯玉 贾 涛 王 超 王凤辉 王灵禹 吴思炜 张福波
2021 年度优秀教师	矫志杰 李 勇 李振垒 孙 杰 田 勇 易红亮

2 RAL 要闻

我室举办的第六届全国“材料加工工程研究生学术论坛”成功召开

2021年10月22日,我室举办的第六届全国“材料加工工程研究生学术论坛”成功召开。本次会议采用线上方式举办,来自哈尔滨工业大学、西北工业大学、中国科学院金属研究所、西安交通大学、南方科技大学、上海大学、苏州大学、北京有色金属研究总院、燕山大学、安徽工业大学、东北大学等多所高校180余名研究生和老师参加了此次论坛,论坛共评选出一等奖5名、二等奖10名、三等奖15名。

论坛开幕式由论坛组委会主持,研究生院教育管理办公室主任欧阳恒岳老师、东北大学材料科学与工程学院副院长王建军教授、我室主任袁国教授应邀出席并致开幕辞。欧阳主任对与会研究生表示热烈欢迎并鼓励广大研究生学子们珍惜机会、畅所欲言、敢于就学术问题进行辩论,将理论创新与实践发展相结合,在研究课题上取得更好的成绩。王建军副院长高度肯定了材料加工论坛已取得的成就以及RAL国家重点实验室在特殊时期对于论坛精心细致的筹备工作,并希冀论坛能够帮助同学们拓宽学术视野,提升科研能力。袁国主任介绍了实验室基本情况,并对实验室近十年取得的建设成效作简要介绍,希望通过这样自主性的研究生学术论坛,切实提升研究生的学术与交流能力,并祝愿同学们能够享受学术盛宴,激荡智慧火花,在此次论坛中收获满满,最后预祝本次论坛取得圆满成功。

开幕式后,汇报人员在组委会人员的指引下按顺序进入分会场,就各自研究领域当前所处的发展状态及已取得的科研成果展开充分的交流,各分会场线上气氛热烈。本次论坛按照汇报主题类型不同共设有五个分会场,分别为“钢铁材料组织性能调控(1)”“钢铁材料组织性能调控(2)”“特种金属材料制备理论与技术”“有色金属材料组织性能调控与工艺”与“金属材料成型及加工工艺”。在为期一天的分会场报告中,钢铁、特种金属、有色金属微观组织调控以及加工工艺、微观-介观-宏观的多层次跨尺度等热点研究问题被广泛讨论。

经过一天的精彩汇报,论坛圆满落幕。论坛闭幕式上进行了隆重的颁奖仪式,张守清等五名研究生同学获得一等奖,王旭等十名研究生同学获得二等奖,魏晓蓼等十五名研究生同学获得三等奖。

本次论坛由实验室研究生组委会担任主角,全面负责论坛策划宣传、日程安排以及线上会场组织等所有事宜。受疫情影响,本次论坛以网络会议形式开展。在组委会周密策划与组织下,论坛参与人数远超预期,学术报告内容深度与广度进一步得到提升,赢得与会人员普遍认可并对本届论坛给予高度评价。

迄今为止,RAL“材料加工工程”研究生学术论坛已成功举办六届,得到各单位领导和广大研究生同学共同认可与支持。今后我室将继续举办这项研究生交流学术论坛,借助本论坛大家能够开阔自身科研视野,强化自身的科研能力,为以后的科研发展增添助力,使其成为国内外“材料加工工程”领域内具有影响力的研究生交流平台之一。

我校两个工作室被授予“辽宁省创新工作室”

近日, 辽宁省总工会组织开展劳模创新工作室和职工创新工作室命名工作。经学校推荐、辽宁省总工会考核验收, 我校姜周华劳模创新工作室被授予“辽宁省劳模创新工作室”, 袁国职工创新工作室被授予“辽宁省职工创新工作室”。

本次命名评选旨在大力弘扬劳模精神、劳动精神、工匠精神, 充分发挥高技能人才的示范引领作用, 建设知识型、技术型、创新型职工队伍, 为辽宁全面振兴、全方位振兴作出新的更大贡献。

据悉, 我校姜周华劳模创新工作室突破传统电渣冶金理论, 国际首创大断面电渣连铸技术, 成为电渣炉国际标准的制订者, 荣获国家科技进步奖一等奖, 节镍型不锈钢冶金理论与应用取得重大突破, 两次获得国家科技进步奖二等奖。我校袁国职工创新工作室围绕钢铁行业绿色制造转型升级发展需求, 聚焦大宽厚比板带钢高平直度连续辊式淬火工艺方法研究、热连轧板带钢新一代控轧控冷技术开发及应用研究等内容, 取得了系列创新性成果, 两次荣获国家科技进步奖二等奖。

开封市政府副市长王国庆一行到我室交流访问

2021年12月2日上午, 开封市政府副市长王国庆一行到我室交流访问。中国工程院院士王国栋, 实验室主任袁国教授出席会议, 开封市政府各部门负责同志, 实验室相关负责人参加会议。会议由袁国教授主持。

王国庆副市长首先介绍了开封市、尉氏县的基本情况与工业发展情况以及当地企业的现状和需求。王国庆表示, 开封市委、市政府高度重视科技工作, 将科技创新工作作为十大战略之首,

希望通过此次来访交流能够推进开封市与 RAL 实验室的战略合作, 充分发挥好实验室在科技创新方面的优势, 加强与相关企业沟通协作, 积极开展技术合作及基地共建等工作, 促进先进科技成果在开封市的落地转化, 提升转化质量与转化效能。

王国栋院士对王国庆副市长一行表示热烈的欢迎并介绍了实验室发展概况与科技创新工作开展情况。王国栋表示, 实验室长期以来面向世界科技前沿, 面向国家重大需求, 面向经济社会主战场, 在技术创新、成果转化、智能制造、产学研用深度融合等方面具有特色优势, 希望通过此次交流为开封市当地相关企业在科技创新、绿色低碳生产等方面提供技术支撑, 做到真正为企业解决问题, 为国家绿色发展作出贡献。



RAL 实验室花福安教授就铝合金绿色化生产技术进行了详细的介绍, 双方就相关问题进行了深入探讨。会上, 双方就下一步具体开展合作展开了深入研讨, 初步达成了合作意向。

会前, 王国庆副市长一行参观了轧制技术及连轧自动化国家重点实验室。

我室举办的首期“机器学习实践”系列学术讲座圆满结束

为了响应数字中国号召, 加快实验室在冶金流程智能化控制研究方面的人才建设, 使广大师生能将数据学的研究方法融入钢铁制造领域, 加快新材料、新工艺的开发, 推动新技术的进步, 我室在 2021 年 6 月 11 日 ~ 11 月 26 日组织了“机器学习实践”系列学术讲座。本次系列学术讲座全程由 RAL 实验室吴思炜副教授主讲, 共分 8 次进行, 系统全面地为师生介绍机器学习的基本理论及应用方法。

讲座从 MATLAB 基本操作开始讲解, 并针对工业数据建模存在的问题介绍了相关的数据处理策略。尔后又分别介绍了 BP 神经网络、径向基神经网络、支持向量机、决策树、随机森林、遗传算法、降维和特征选择等典型机器学习算法的原理及应用案例。讲座采用理论讲授与钢铁生产中典型案例相结合的方式交互进行, 针对材料、冶金、自动化过程控制中涉及的数据驱动建模问题进行案例分析, 并结合实际需求进行建模示范。讲座旨在帮助实验室师生快速了解并熟悉数据分析和机器学习相关理论和应用方法, 拓宽学术研究视野, 帮助师生从材料科学研究者的角度理解数据学、数据科学和机器学习理论, 使实验室师生对机器学习这一方法由陌生到熟悉, 以至于最终能够将“数据 + 机理 + AI”的方法应用到自己的研究工作中。



在系列讲座结束后, 结合讲座期间的交流情况和后期问卷调查结果, 将进一步完善具有钢铁行业特征的机器学习建模理论, 引入更多具有生产背景的实际案例, 形成系统的具备钢铁行业特征的机器学习教学和研究资料。

本次系列学术讲座活跃了实验室的学术氛围, 为师生提供了思想交流的平台。通过本次系列学术讲座, 师生对机器学习相关理论和应用有了基本了解, 并采用 MATLAB 完成了相应案例的建模, 初步具备了将“数据 + 机理 + AI”的方法应用至相关研究工作中的能力。讲座吸引了来自材料科学与工程学院、机械工程与自动化学院、信息科学与工程学院、冶金学院、EPM 教育部重点实验室以及 RAL 国家重点实验室等百余名师生参加, 受到了广大师生的高度认可与广泛欢迎。

该系列讲座是实验室在大数据与人工智能人才培养方面的一次新的尝试, 是实验室在优化人才培养模

式过程中探索出的新路径。实验室将大数据分析和人工智能技术作为一种通识教育,使得每个进入实验室的同学都具备数据学和数据科学的基本知识和应用能力。持续促进人工智能理论与材料、冶金、自动化控制学科的融合,为钢铁生产技术“绿色化、数字化”提供支撑。

3 科研动态

“V-N 微合金高强韧中厚板绿色制造关键技术及应用”项目 通过中国钢铁工业协会科技成果评价

2021年10月24日,由我室杜林秀教授负责,莱芜钢铁集团银山型钢有限公司、东北大学、山东钢铁股份有限公司和兖矿东华重工有限公司等单位共同完成的“V-N 微合金高强韧中厚板绿色制造关键技术及应用”项目通过中国钢铁工业协会组织的科技成果评价。评价委员会认为,该成果整体技术达到了国际先进水平,其中厚规格(Q550级80mm厚)产品V-N微合金化制造技术国际领先。

评价委员会由中国工程院干勇院士,中国工程院毛新平院士以及来自钢铁研究总院、北京科技大学、首钢集团、宝武集团和南京钢铁有限公司的著名专家学者组成,中国钢铁工业协会科技环保部主任姜尚清主持评价会。东北大学王国栋院士,山钢集团公司党委委员、副总经理、山钢股份公司党委书记、董事长王向东以及钢铁工业协会、莱芜钢铁集团银山型钢有限公司、东北大学等业内专家和研究人员参加了此次会议。



该项目提出并利用奥氏体中高N+形变诱导VN析出和VN诱导铁素体形核的机制,成功开发出低屈服比V-N微合金化高强韧中厚板绿色低碳关键制备技术,为实现相关应用领域钢铁材料的升级和产业技术进步发挥了积极推动作用,具有广阔的应用前景。

此项技术已在工业化生产线上实现了批量化生产,与常规工艺相比,省去了RH真空精炼、淬火和回火工艺,减少了能源消耗,实现了绿色化生产,社会效益显著。同时,综合生产成本大幅度降低,成材率大幅度提高,产生了显著的经济效益。Q550级高强中厚板产品性能优于国内外同类产品,在煤矿机械行业知名企业推广应用,得到了用户的高度认可。

纳米晶奥氏体不锈钢强塑性调控及工业化制备技术

奥氏体不锈钢以其无磁性、优良的耐腐蚀性、易焊接、易成型及良好的综合力学性能而被广泛应用于民用、交通、石油化工、核电国防等领域。然而,其屈服强度普遍偏低(200~300MPa),严重限制了其在工程结构领域的应用。通过组织细化提高奥氏体钢的强度意义重大。

1. 研究概况

基于相关理论研究基础,利用常规冷轧及退火工艺,采用形变及相变的耦合作用实现奥氏体组织的纳米化,开发出纳米/亚微米晶 304 冷轧不锈钢板,其屈服强度达到 1GPa 以上;通过微观组织调控,实现其良好的强塑性匹配;研究其低温超塑性行为及变形机制;基于研究成果并结合现有装备条件,实现了高强塑纳米晶 304 冷轧不锈钢板的工业化制备。

2. 块体纳米晶 304 不锈钢的制备

通过热轧-冷轧-退火一体化控制,基于循环相变细晶原理,利用多阶段冷轧退火实现纳米/亚微米晶(晶粒尺寸为 100~300nm) 304 不锈钢的实验室制备(图 1),板型和表面质量良好,屈服强度达到了 1100MPa。

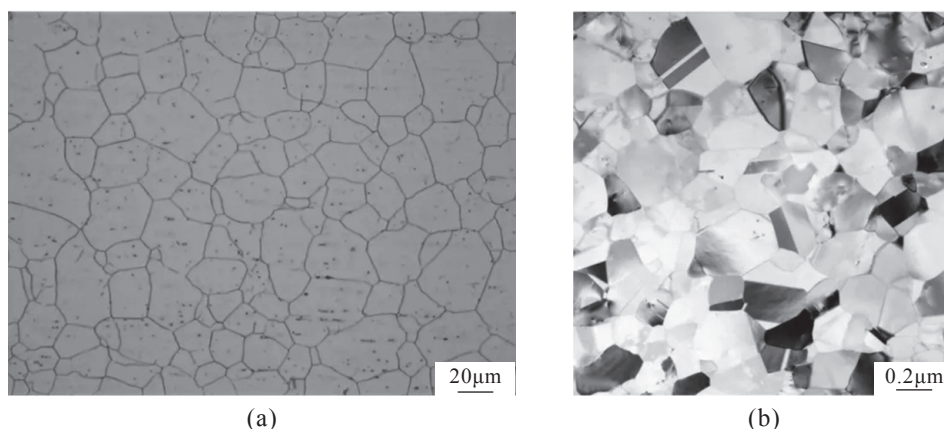


图 1 304 不锈钢初始热轧组织 (a) 及制备的纳米/亚微米晶组织 (b)

3. 组织性能调控

通过控制冷轧压下及退火工艺,在超细晶逆相变奥氏体基体上引入少量晶粒尺寸大于 1μm 的再结晶奥氏体粗晶,形成多尺度的纳米/亚微米晶组织,可获得屈服强度约 900MPa,延伸率约为 45% 的优异性能(图 2)。利用快速加热,控制冷轧马氏体以切变机制向奥氏体转变,形成具有高密度位错的层状异质结构,亦能获得良好的强塑性匹配,其原因在于位错强化、背应力强化、TRIP 效应等多种强化机制的协调作用。

4. 低温超塑性行为

研究了纳米/亚微米晶(晶粒尺寸约 200nm) 304 不锈钢的低温($<0.5T_m$)超塑性行为(图 3),发现其在 600℃表现出类超塑性行为,伸长率大于 150%;在 630℃表现出典型的超塑性行为,最大延伸率超过

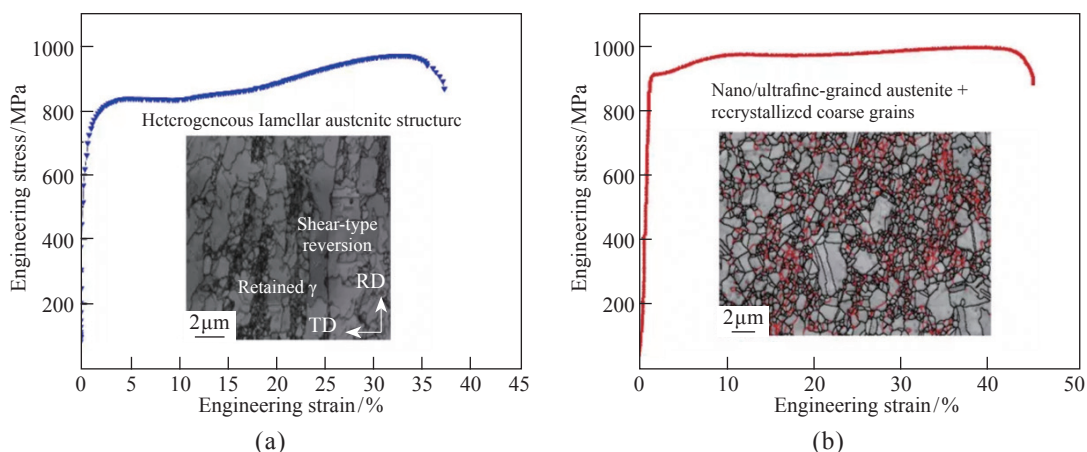


图2 不同异质结构的奥氏体组织及其工程应力 - 工程应变曲线

300%，其超塑性变形机制为晶界滑动，协调变形机制包括晶界迁移和位错滑移。低温超塑性的发现进一步拓宽了其在高温领域的应用。

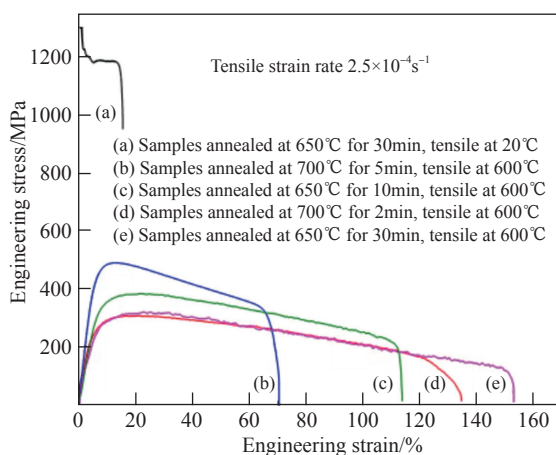


图3 纳米 / 亚微米晶 304 不锈钢不同温度下的拉伸曲线

5. 研究成果及推广应用

本研究发表 SCI 论文 8 篇，获得国家发明专利 3 项，出版专著 2 部。基于本钢不锈钢冷轧丹东有限责任公司现有工艺装备条件，实现了兼具高强高塑性的纳米 / 亚微米晶 304 不锈钢的工业化制备（图 4），屈服强度不小于 900MPa，伸长率大于 30%。该纳米 / 亚微米晶冷轧不锈钢适用于轨道车体、汽车结构及海洋软管等领域，推广应用正在进行中。



图4 纳米 / 亚微米晶 304 冷轧不锈钢的工业化制备

1180MPa 级热轧 TRIP 钢开发及应用

随着汽车行业对产品环保及减重的要求不断提高, 汽车轻量化已为汽车工业发展的主要趋势。先进高强度钢 (advanced high-strength steel, AHSS), 可以极大地提高燃油效率和减少温室气体排放, 在汽车结构中应用广泛。其中, 相变诱发塑性 (transformation-induced plasticity, TRIP) 钢, 组织中含有嵌入铁素体基体的亚稳态残余奥氏体相, 以及不同数量的马氏体和贝氏体。在变形过程中残余奥氏体向马氏体的应变诱导转变, 导致应力重新分布, 可以同时满足强度和成形性能良好匹配。目前, 超高强度 (1000MPa 以上) TRIP 钢生产需要在热轧后, 经过冷轧 + 退火工艺, 以确保残余奥氏体积分数, 工艺复杂, 生产周期长。因此, 通过简化工艺, 缩短生产周期, 降低成本, 开发适合工业化的超高强度热轧 TRIP 钢产品, 在工业生产上具有十分重要的意义。

RAL 国家重点实验室杜林秀团队着眼于市场需求, 与河钢承钢合作, 确立超高强钢攻关课题。根据课题组实验成果, 采用 C-Si-Mn 系, 复合添加 Cr、Mo 和 Ti 元素的成分设计。通过 TMCP (thermo-mechanical controlled processing) 与贝氏体相变区间卷取相结合的新工艺获得了残余奥氏体 + 贝氏体的显微组织。在承钢 1780 热轧生产线上成功试制了 1.5~6.0mm 厚的 1180MPa 级热轧 TRIP 钢薄带。试制产品满足屈服强度 700~900MPa, 抗拉强度大于 1180MPa, 伸长率大于 13%, 扩孔率达 28%, 弯曲满足 $D=3a$ 不断裂。10%~15% 的残奥在变形过程中因 TRIP 效应大大改善了带钢的塑性和成型性能。同时, 所有厚度规格薄带的激光焊接性能也十分优异。目前, 试制薄带已通过一汽解放和北汽福田产品认证, 成功应用于其商用车前下部防护横梁。与市场普通 700MPa 级汽车防撞梁相比, 可减重 29%, 具有强度高、重量轻、安全性高、节能环保等特点, 可以很大程度提高钢铁材料资源利用率。1180MPa 级热轧 TRIP 钢的成功试制不仅填补了高强度热轧 TRIP 钢生产空白, 更助力河钢承钢超高强防撞梁用钢生产能力达到行业领先水平。

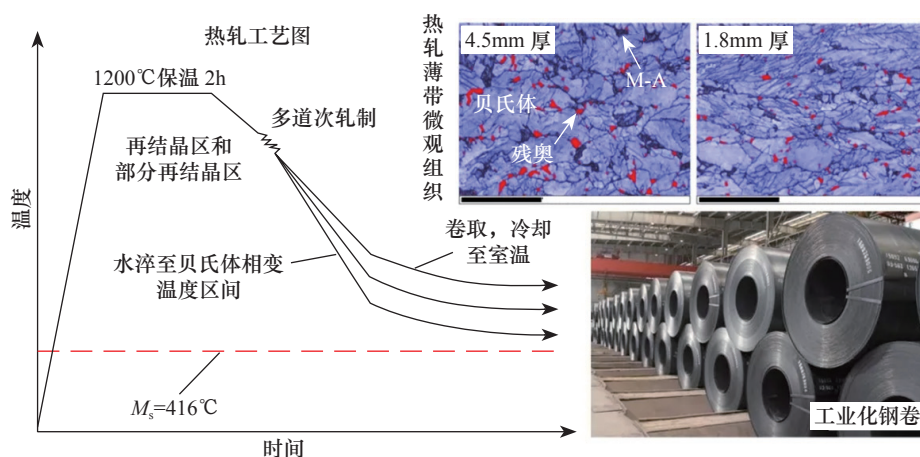


图1 工艺路线图, 热轧薄带显微组织及工业化成品

我室师生在国际著名期刊 Science 子刊 Science Advances 上发表论文

近日, 我室师生在国际著名期刊 Science 子刊 Science Advances 上发表题为《UniSteel——革命性的钢车身制造概念》的论文。论文第一作者为通用汽车中国科学研究院高级研究员、

东北大学客座教授卢琦博士; 南京理工大学赖庆全副教授为共同第一作者; 通讯作者为通用汽车中国科学研究院院长王建锋, 我室教授徐伟, 我室特聘教授、香港大学黄明欣教授。论文的作者还包括育材堂(苏州)材料科技有限公司熊小川博士和我室易红亮教授以及徐伟教授课题组的两位博士研究生柴志松和魏晓蓼。该论文提出了以单一钢铁合金成分取代已有繁多的汽车钢种成分, 即 UniSteel 概念。

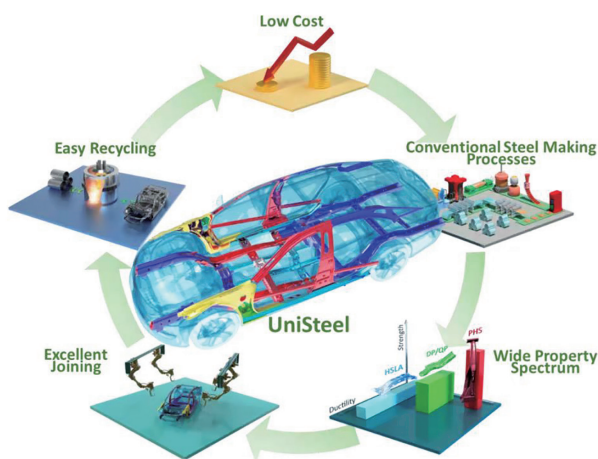


图1 UniSteel 概念成为钢质白车身制造的可行材料解决方案所需要满足的要求

UniSteel 概念体现了一种崭新的技术路径, 巧妙的成分设计和传统物理冶金百年知识的累积, 完美地实现了“成分”和“性能”之间的“1 和 N”映射关系。UniSteel 可以灵活通过热处理获得性能优异的各种衍生钢种, 解决了现今多钢种车身制造的大多数系统性的问题, 有望革新全球汽车行业的车身制造模式, 通过钢种的“素化”来降低钢质白车身设计、采购、生产和制造等各个环节的复杂性, 在车身轻量化的同时大幅度降低车身用钢的碳排放, 从而助力汽车行业早日实现碳中和。

目前, UniSteel 已经成功在中、美两国的四个钢厂分别进行了百吨级工业规模试验, 采用现有的汽车钢生产工艺制造了若干厚度的热轧和冷轧卷, 累计试生产规模接近千吨。其中, 有两家钢厂采用的是基于电炉炼钢的短流程钢铁生产工艺, 使用了大概 50% 的废钢, 从而大幅度地降低了吨钢的碳排放。

据悉, 研究人员借鉴了若干目前主要先进高强钢的设计理念, 选择低成本的碳 (C)、锰 (Mn)、硅 (Si) 和铬 (Cr) 作为主要合金元素, 使用铌 (Nb) 作为微合金元素添加。通过成熟的热处理工艺, 灵活组合了铁素体、马氏体、奥氏体和纳米碳化物等物相, 从而得了 Unisteel 衍生的 HSLA、DP、Q&P 和 PHS 钢种对应的显微组织。

通过合理地利用析出强化、固溶强化、细晶强化、相变强化以及残余奥氏体相变增塑等机理, UniSteel 的所有衍生钢种都获得了优异的机械性能; 其抗拉强度范围为 600~1680MPa, 相对应的断裂延伸率范围为 9%~25%, 表明 UniSteel 可以获得比较宽广的机械性能范围。在相同强度水平下, UniSteel 的 HSLA、DP 和 PHS 衍生钢种的伸长率均高于其对应的同类商业化产品。此外, 以 UniSteel 的 PHS 钢种为例, 在生产线上

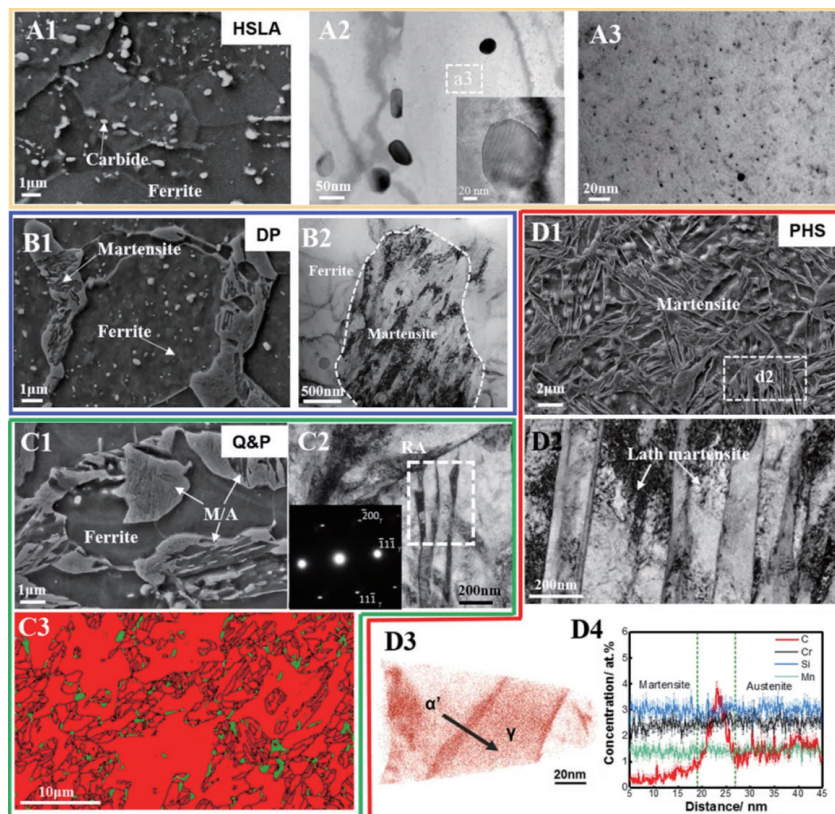


图2 UniSteel 衍生的 HSLA、DP、Q&P 和 PHS 钢种的显微组织

通过常规热冲压工艺试制了前保险杠防撞梁, 其抗侵入性能优于目前商用的热成形钢产品 22MnB5, 并且该热成形钢的可焊性也得到了初步验证。通过巧妙设计 UniSteel 的合金成分, 单一成分的钢种可以通过已有的成熟生产工艺获得不同的显微组织, 从而提供比现有钢种更加优异的机械性能, 实现钢质白车身的轻量化。

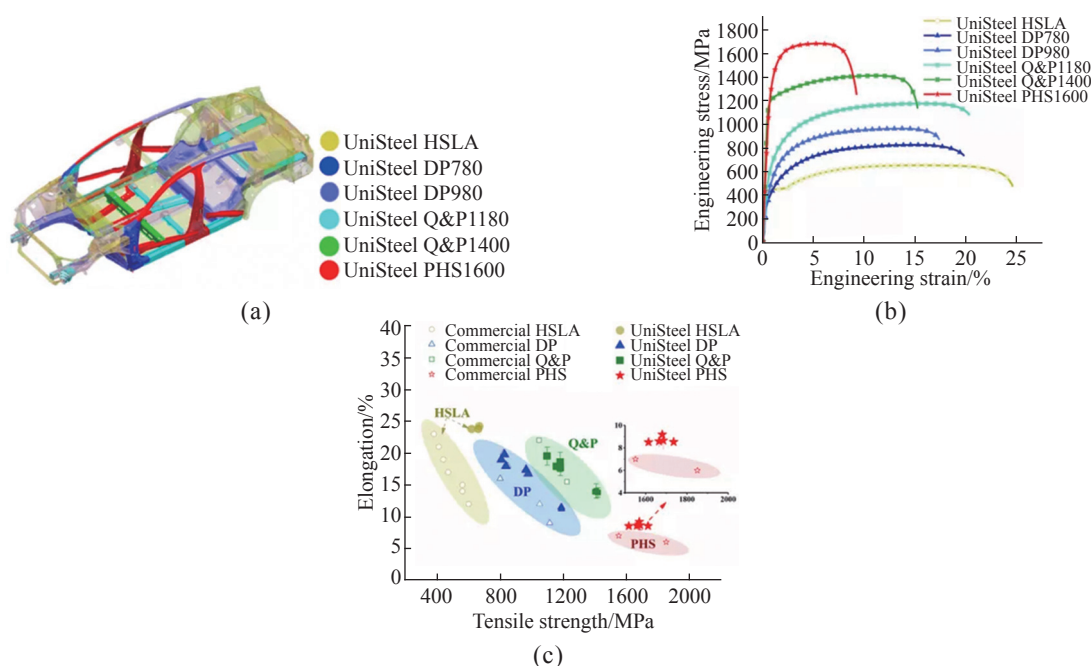


图3 (a) 使用 UniSteel 衍生的 HSLA、DP、Q&P 和 PHS 的白车身设计; (b)UniSteel 衍生钢种的拉伸性能; (c)UniSteel 衍生钢种和一些现有商业钢种的抗拉强度和伸长率的比较

4 专家观点

王国栋：我国高端不锈钢管制造技术

在当前钢铁行业高质量发展、钢铁行业绿色低碳发展的新时期，不锈钢以其高耐蚀、长寿命、寿命周期成本低、100% 回收利用等优点，成为最具发展潜力的钢铁产品。核电军工化工等工业用材国产化进程的加快，建筑工程、供水领域等民用市场的拓展都预示着不锈钢管应用前景广阔，用户对产品的需求不断走向高端化——高、精、特、快、专、省，同时也将促进高端不锈钢管制造技术不断创新和进步，支撑不锈钢管行业向绿色化、智能化、高质化、服务化方向发展。

在“2021（第二届）中国不锈钢管高峰论坛”上，王国栋院士发布了东北大学 2011 钢铁共性技术协同创新中心姜周华教授团队的高端不锈钢管制造技术研究成果，本文根据大会报告整理。

1. 当前我国不锈钢发展现状

据中国特钢企业协会不锈钢分会数据，2020 年我国不锈钢粗钢产量为 3013.9 万吨，增长了 2.51%，其中：Cr-Ni 钢（300 系）1437.96 万吨，占比 47.71%；Cr 钢（400 系）592.50 万吨，占比 19.66%；Cr-Mn 钢（200 系）964.32 万吨，占比 32.007%。进口不锈钢为 180.59 万吨，同比增加 68.62 万吨，增长 61.33%；出口不锈钢为 341.69 万吨，同比减少 25.54 万吨，降低了 6.95%。不锈钢表观消费量为 2560.79 万吨，增长 6.64%。

2. 高端不锈钢管产品

2.1 高氮不锈钢

高氮钢是近年来出现的一种新型工程材料，是材料中的实际氮含量超过常压下（0.1MPa）制备材料所能达到的极限值的钢。其中，高氮奥氏体不锈钢的氮含量在 0.40% 以上，高氮铁素体、马氏体不锈钢的氮含量均大于 0.08%。采用氮做合金元素，不仅可以稳定奥氏体组织，提高强度，使韧性无显著下降，而且还可以提高耐腐蚀性能。

目前，高氮不锈钢成为主要研究热点，尤其是高氮奥氏体不锈钢。比如用 P900（18Cr-18Mn-0.6N）制成的护环，具有高的屈服强度和塑性，良好的耐腐蚀性能特别是耐应力腐蚀，低的导磁性能。高端无磁钻铤，具有低磁导率、高强度的机械性能、优越的耐腐蚀能力、耐晶间腐蚀开裂性能及优越的耐磨性能。

2.2 双相不锈钢

双相不锈钢主要由铁素体和奥氏体相组成，是一类集优良耐腐蚀、高强度和易于加工等诸多优异性能于一身的钢种。物理性能介于奥氏体不锈钢和铁素体不锈钢之间。具有优异的耐氯化物应力腐蚀和耐孔蚀性能；良好的腐蚀疲劳和磨损腐蚀性能；综合力学性能优异，有较高的强度和疲劳强度；良好的焊接性能；材料成型性能优良，广泛应用于造船及运输、石油和化工等领域。

双相不锈钢典型品种：第一类属低合金型，代表牌号 UNS S32304（23Cr-4Ni-0.1N），钢中不含钼，PREN 值为 24-26，在耐应力腐蚀方面可代替 AISI304 或 316 使用。第二类属中合金型，代表牌号是 UNS S31803（22Cr-5Ni-3Mo-0.15N，即 2205），PREN 值为 32-35，其耐蚀性能介于 AISI316L 和 6%Mo+N 奥

氏体之间。第三类属高合金型,一般含 25%Cr,还含有钼和氮,有的还含有铜和钨,标准牌号 UNS32550 (25Cr-6Ni-3Mo-2Cu-0.2N),PREN 值为 37-39,这类钢的耐蚀性能高于 22%Cr 的双相不锈钢。第四类属超级双相不锈钢型,含高钼和氮,标准牌号 UNS S32750 (25Cr-7Ni-3.7Mo-0.3N,即 2507),有的也含钨和铜,PREN 值大于 40,可适用于苛刻的介质条件,具有良好的耐蚀与力学综合性能,可与超级奥氏体不锈钢相媲美。

双相不锈钢品种发展趋势是经济型,超级和特超级。其中,LDX 2101 (UNS S32101)为经济型最成功的低镍高氮双相不锈钢,具有高强度和良好耐氯化物应力腐蚀开裂性能,现已广泛用于造纸工业设备、食品加工设备、海上石油平台、脱盐(海水淡化)设备等特殊化工环境设备。SAF 3207 HD 抗拉强度极高,980-1180 MPa,PREN 为 50,临界点腐蚀(CPT)为 90℃,可在更深的水下、更高的温度和压力环境下开采油、气田,是用于深水项目的理想材料。DP-3W 高耐蚀超级双相不锈钢板主要用于食品工业中制盐、酱油酿造含有高氯化物的生产设备以及海底石油开采的泵等氯离子腐蚀严重的环境。

2.3 超级奥氏体不锈钢

超级奥氏体不锈钢是一种特种不锈钢,与普通奥氏体不锈钢相比,Ni、Cr、Mo、N 等合金元素含量均高于一般值,特别是 Mo,可达 4.5%~7%。其特点主要是:(1)高合金化,主要是铬、钼、氮,尤其是钼,含量显著高于常规不锈钢;(2)高纯化,尤其是 C 含量;(3)高性能,具有高的耐局部腐蚀性能,抗应力腐蚀开裂性能。金相组织是 100% 的奥氏体。但由于铬和钼含量均较高,处理不好会出现金属中间相,如 sigma 相。

超级奥氏体不锈钢主要用于制造海水处理设备、湿法烟气脱硫吸收塔、烟气净化设备、热交换机、制药工业、造纸工业中的漂白设备等。

2.4 特种不锈钢

特种不锈钢产品主要应用于耐蚀塑料模具(如 4Cr13、4Cr13Mo、4Cr13MoN);能源领域(核电、火电、水电)的核电主管道、高压锅炉管、叶片、护环、水轮机导叶和叶片;油气开采(如超级 13Cr、15Cr、双相不锈钢);石油化工的高温、耐蚀部件(管道、阀门);海洋工程(海水淡化、深海采油、建筑)(如超级双相不锈钢、超级奥氏体不锈钢、双相不锈钢钢筋);航空领域(如高强不锈钢轴承钢(CSS-42L、X30CrMoN152),高强紧固件 PH13-8Mo、15-5PH);环保领域(如烟气脱硫用超级不锈钢 NAS 254N、NAS 354N)。

此外,还有热核聚变实验堆用不锈钢材料、核电用不锈钢材料——主管道、航空用超高强度不锈钢等。

3. 高端不锈钢冶炼技术

3.1 高端不锈钢冶炼技术——电渣重熔

电渣重熔生产的高端精品特钢,占我国特种冶金总产量 90% 以上。电渣重熔是生产高端特殊钢和合金的主要方法。它是在水冷结晶器中,通过渣阻热,将自耗电极重新熔化和精炼,顺序凝固成钢锭的特种冶金方法。具有渣洗精炼、顺序凝固、铸锭无大型夹杂物、宏观和微观偏析小,成分和组织均匀等显著特点。适用于生产服役条件苛刻(高温、高压、高速、重载、腐蚀)、凝固时偏析严重的大型钢锭,极易偏析和析出脆性相的高合金铸锭。模铸和连铸(大夹杂物和偏析)无法替代。

传统电渣重熔存在电耗高、污染严重、成本高、洁净度低、凝固质量差、优质大锭缺等问题,亟需开发新一代电渣重熔技术,来满足高端装备升级、服役条件苛刻、性能要求极高、机组参数升级的需求。

东北大学钢铁共性技术创新中心创新采用全参数过程稳定的洁净化理论(constant state of all parameters,

简称 CSP), 实现低渗透率渣, 全密闭惰性气保, 渣温和成分、熔池、渣钢氧化性恒定; 创新采用超快冷和最佳熔速下的浅平熔池均质化控制理论 (super-cooling+optimum melting rate+shallow pool, 简称 SCOM-SP), 在兼顾表面成形质量的同时, 最大限度地降低 LST (局部凝固时间), 减少钢锭的宏观和微观偏析, 实现电渣过程的均质化凝固。创新开发半连续电渣重熔实心 and 空心钢锭成套技术及装备, 与传统电渣重熔流程对比, 创新流程减少了工序、提高了质量、降低了成本, 实现了生产的连续化、高效化、低成本化; 创新流程生产的半连续实心钢锭的材料收得率提高 10%, 生产效率提高 60%, 成本降低 15%~20%; 半连续空心钢锭的质量大幅提高, 材料收得率提高 10%, 生产效率提高 60%, 成本降低 30%~60%。该技术被中国钢铁工业协会专家组评价为总体技术达到国际领先水平。

宝武特冶提供的 CRP1000 及 CAP1400 核电及 700℃ 示范电站用关键材料, 为首次探月工程嫦娥卫星和长征三号甲运载火箭、神舟六号载人航天和运载火箭作出贡献。舞钢生产的 20MnNiMo 电渣型钢板, 用于 8 万吨模压机支撑件, 最大厚度达 390mm; SXQ500D 等水电钢板, 最大厚度达 305mm, 满足白鹤滩和乌东德水电站关键部件要求, 填补国内空白, 替代进口, 进口价格从 6 万元/吨降至 2 万元/吨。通裕重工生产的百吨级大型电渣钢成为世界首台 AP1000 核电主管道关键材料, 填补了国际空白, 并出口国外; 为我国福建霞浦第四代核电示范工程提供特厚电渣钢板, 实现了第四代核电用钢的国产化。大冶特钢已成为全球顶级轴承制造企业 (SKF、FAG、TIMKEN 等) 电渣材料供应商。其供应份额占我国准高速铁路 (160km/h) 轴承材料供应 60% 以上。中钢邢机的电渣冷轧辊在板带市场国内占有率达 70%, 出口世界 50 多个国家。

3.2 高端不锈钢冶炼技术——加压冶金

加压不仅可以强化冶金过程, 即提高元素溶解度、改善热力学条件、改善动力学条件, 而且还可以改善凝固组织, 即改变凝固过程相变、强化冷却效果、缩短局部凝固时间。

加压电渣重熔 (PESR) 是目前商业上生产高氮钢的有效方法。目前典型的合金化方式有两种: 设有合金添加装置 (德国)、制造复合电极 (日本)。德国最大加压电渣炉为 20t, 熔炼室运行压力 4.2MPa, 最大生产铸锭直径 1m 重 20t。

为促进辽宁航空和新材料等产业发展, 东北大学钢铁共性技术创新中心与抚顺特钢、601 (沈阳飞机设计研究所)、606 (沈阳发动机研究所)、410 (黎明)、112 (沈飞), 辽宁忠旺等达成了合作意向, 2023-2024 年将在沈抚示范区以 10 吨级工业化设备 (10t 加压钢包炉、10t 加压电渣炉) 实现高氮不锈钢轴承钢 (X30-NEU) 产业化, 并将产品拓展到高端模具、医疗器械、军用刀具等领域。

3.3 特种合金冶炼技术

对于难变形高温合金 GH4151 铸锭冶金质量控制技术, 东北大学钢铁共性技术创新中心从铸锭组织分析、合金凝固行为、合金偏析特征、裂纹形成机制、均匀化工艺研究等方面进行研究, 制定了铸锭质量控制准则, 经过挤压开坯、近等温锻造成形和最终热处理, 最终对盘件的组织、 γ' 相和力学性能进行评估。通过控制 GH4151 合金铸锭冶金质量, 制备的 GH4151 盘件具有优异的拉伸性能、持久性能和疲劳性能等力学性能, 均超过了发动机设计厂家提供的技术指标要求。与其他盘件合金相比, GH4151 合金的拉伸、持久性能与国外典型变形和粉末盘水平相当; 超过了国内变形盘合金和粉末高温合金的拉伸性能和持久性能等力学性能; GH4151 合金疲劳性能超过了国内粉末高温合金的性能。盘件性能的优越验证了锭型尺寸控制、热装退火、裂纹控制、均匀化工艺、元素偏析控制、 γ' 相组织控制的正确性与合理性。下一步将在沈抚新区工研院进行中试和产业转化。

钢铁行业的数字化转型之路——专访中国工程院院士王国栋

习近平在中共中央政治局第三十四次集体学习时强调,“数字经济正在成为重组全球要素资源、重塑全球经济结构、改变全球竞争格局的关键力量。……充分发挥海量数据和丰富应用场景优势,促进数字技术与实体经济深度融合,赋能传统产业转型升级,催生新产业新业态新模式。”中国钢铁行业的数字化转型、智能化发展是实现高质量发展的内在需求,那么如何使数字技术赋能钢铁行业,实现放大、叠加、倍增作用?《世界金属导报》就钢铁行业的数字化转型之路,视频采访了中国工程院院士王国栋。

记者:中共中央政治局第三十四次集体学习时指出,互联网、大数据、云计算、人工智能、区块链等技术加速创新,日益融入经济社会发展各领域全过程,习总书记指出要推进数字产业化和产业数字化,请问您对此的理解?

王国栋:习主席关于数字产业化和产业数字化的精彩论述,给我们的工作指明了方向。我们现在所处的时代是数字时代,数据已经成为一种重要的新型生产要素,如果能够很好地利用数字资源,推动产业数字化,利用互联网新技术对产业进行改造,提高全要素生产率,发挥数字技术的作用,就可以改变我们的社会生活和生产过程,使经济发展得到放大、叠加、倍增。数据是当今时代的核心资源,就像农业时代的土地、工业时代的能源一样,数据已成为全球新一轮产业竞争的制高点、改变国际竞争格局的新变量。数字技术、数字经济是世界科技革命和产业变革的先机,是新一轮国际竞争重点领域,我们要抓住先机、抢占未来发展制高点。

随着数字时代的来临,人们认识客观世界的方法论也发生了重大改变。牛顿定律、爱因斯坦的相对论是依赖于少数天才科学家,通过“观察+抽象+数学”进行理论推理获得的;20世纪伴随工业化进入鼎盛时期,人们大量通过“假设+实验+归纳”的实验验证(试错法),才有了爱迪生发明电灯,钢材控轧控冷参数的确定等;20世纪80年代,人们采用“样本数据+机理模型”的模拟择优方法,缩短了飞机、舰船等重大装备的设计研发周期,实现了钢铁材料组织性能的预测;21世纪初进入数字时代,数据继农业时代的土地和劳力、工业时代的资本和企业家才能之后,成为重要的生产要素。特别是基于统计学的数据科学取得了长足进步,大数据、机器学习、人工智能、互联网等技术与实体经济相结合,使人们认识和改造客观世界的方法论进入一个新发展阶段,即“海量数据+数据分析”。在此阶段,计算、存储资源的低成本和高效率解决了各领域、各行业的难题,实现了人类认识领域的巨大跨越。比如,人工智能机器人——阿尔法围棋(AlphaGo)就是利用大数据+机器学习,在非结构化数据处理的博弈中崭露头角,在人机围棋大战中实现全胜战绩的。科学家们正是利用基因组学领域的丰富数据,通过AI技术开发深度学习算法,成功研发出AlphaFold实现对蛋白质结构的预测,解决了过去五十年都没有解决的难题。数据分析将是我们改造客观世界的强有力武器。

习主席在中共中央政治局第三十四次集体学习时的讲话,给我们钢铁工作者极大的鼓舞。我们一定要响应习主席“建设数字中国”的号召,把我们钢铁行业的事情做好,建设“数字钢铁”,将数字技术与钢铁行业深度融合,充分发挥钢铁行业海量数据和丰富应用场景优势 and 数据分析的作用,赋能钢铁行业转型升级,打造出钢铁行业的新天地。

记者:钢铁行业在实现数字化转型中有哪些优势?

王国栋:第一,钢铁行业对数字技术需求迫切,数字技术在钢铁行业大有可为。钢铁工业为大型复杂流程工业,全流程各工序均为“黑箱”,实时信息极度缺乏;钢铁生产流程具有多变量、强耦合、非线性

和大滞后等特点;各单元为孤岛式控制,尚未做到单元间界面无缝、精准衔接。这些严重的不确定性是钢铁生产过程面临的重大挑战。解决这些问题必须依赖数字化、智能化技术。

第二,钢铁行业具有丰富的应用场景资源。钢铁生产的高炉冶炼、转炉冶炼、电炉冶炼、连铸、轧制等过程均为“黑箱”过程,这些是数字化、智能化信息通信技术应用的最佳场景。借助大数据/机器学习和深度学习等数据挖掘技术,可以快速解决流程工业普遍存在的“黑箱”难题。

第三,钢铁行业具有充沛的数据资源。钢铁工业发达的数据采集系统、自动化控制系统和研发设施,能够实现全面的数据采集和丰富的数据积累,并可提供大量的实验数据。这些海量数据中蕴含企业生产过程的全部规律,是最宝贵的资源,是关键生产要素。钢铁行业在充分合理利用丰富的数据资源,实现数字产业化方面具有巨大潜力。

第四,钢铁行业还具有直接反馈赋能物料的优势。如果我们能通过实时大数据分析把钢铁生产的物料——铁水、钢水、钢坯、轧件内部的规律摸清,得出决策,并进行反馈控制,直接作用到物料上,形成闭环反馈,就可以及时纠正各种扰动带来的问题,对模型进行自学习、自适应,提高模型的保真度,从而赋值生产过程,提高产品质量,降低生产成本,提高生产效率。

记者:钢铁行业在实现数字化转型中有哪些困难,需要特别注意哪些问题?

王国栋:第一,钢铁生产由原料到产品,经过炼铁→炼钢→轧制→热处理等冶金与加工过程,其一天产生的数据量可以达到数千亿字节的信息。生产诸多环节的内部运行状况无法在线实时监测,因此现场制造运行的数学模型大多为机理模型,由于环境状况和操作条件波动以及设备运行状态变化,加之过程输入条件、状态变量和控制系统之间的关系十分复杂,这些机理模型对于全流程“黑箱”的动态过程适用性很差,预报精度不高,难以准确透视工艺、设备、质量等关键参数之间的复杂关系。因此,模型控制精度是进一步提高钢材质量的“卡脖子”问题。

第二,钢铁生产中存在着复杂的物理、化学过程,甚至发生气、液、固多相共存的连续变化,外界随机干涉因素多,物质/能量转化过程复杂。冶炼、轧制等工序都是异质、异构单元组合的集成体,单元之间存在非线性相互作用、动态耦合过程。各个工序涉及的工艺质量参数成千上万;过程变量类型混杂、维数高、规模大,变量之间存在着多重相关性。目前,钢铁工业流程中各层次、全流程的协调优化有限,各生产单元的质量、流量和时间偏差,会遗传到下游工序,影响全流程的稳定运行以及工序间设备能力的平衡。

第三,钢铁生产过程中还有一些检测比较困难,这些都是我们必须应对的现实性问题。另外,钢铁冶金是一个包含多层级、多领域、多学科的交叉过程,除了材料、冶金领域之外,还涉及庞大的机械系统、控制系统、物理系统、化学系统等,把这些系统组合在一起,要想实现全面的控制比较困难,但是现在我们有了新技术,加速钢铁行业的数字化转型,这些问题是可以解决的。

在钢铁行业数字化转型发展中,我认为需要注意以下几个问题:第一,钢铁工业互联网总体架构的顶层设计。我们必须在工业互联网架构下,根据钢铁行业特点,以生产主流程为主线,将提升产品质量、消除产品缺陷、稳生产过程、降低生产成本、提高生产效率等作为目标,开展系统深入研究,设计钢铁工业互联网架构。

钢铁行业工业互联网平台是一个双层结构,即云端智能层和边缘实时层。云端智能层,即我们所称的“云平台”。它兼有 PaaS 和 SaaS 的功能,承担低实时性的 MES、ERP 和 BI 生产计划、管理、调度、决策等功能,同时,还可以实现质量、设备能力、成本、资源、能源、人力资源、排放、环境等多个目标综合协调、资源优化配置等支撑、保证作用。数字孪生的模型优化部分也是一个低实时性的环节,也配置在云端智能层。

边缘与边缘云。这是钢铁生产进行分析与决策的核心,是系统的“本地决策层”,承担高实时性 PCS、BA 和传感器等功能、数字孪生的实时分析与反馈,并辅以人工智能、大数据等新技术。对于钢铁等流程工业,必须将云端业务能力延伸到边缘节点,强化边缘低时延、实时性工业控制,发挥边云协同能力,实现分布式云功能。构筑在边缘设施基础上的云计算平台,具有和传统私有云一样的安全性,在用户机房内就近部署,满足数据不出厂的需求。

还有一个需要考虑的问题就是新系统与企业原有系统的衔接和继承。我们不能把原来的系统抛掉,而是要把新系统融入到原有系统中,然后让新旧系统顺利过渡,这一点非常重要。这个做法保持了原有系统的优点和优势,同时通过无缝衔接把最新的技术加进去,只立不破,多立少破,降低改造成本,逐步上线实施,确保安全可靠。这是在改造中我们必须认真对待的重要策略。

记者:在钢铁行业的数字化转型实践中,有哪些重要的技术需要推广,有哪些重要的技术需要突破?

王国栋:要有“1、2、3”的三个突破。第一是“1”,即突破“一个核心”,也就是建立信息物理系统的数字孪生,目标是建立高保真度的数字孪生模型。这个核心包括两部分。一部分是位于云端的数字孪生自学习系统,它依据来自物理世界的的数据,利用机器学习等智能技术,不断进行自学习,修正模型,来适应物理世界的经时变化。另一部分是位于边缘的实时控制,它融入原有的自动化系统,调用经过自学习的数字孪生模型的最新更新,承担生产过程的初设定与动态设定。数字孪生如何无缝地融入到原有的边缘自动化系统,用于实现数字孪生与物理实体的实时交互,现在已取得了可喜的成果。

另外,不同的场景,比如烧结、球团、高炉、转炉、精炼、连铸、热轧、冷轧,有各自不同的特点。所以要注意不能千篇一律,一定要依据各个场景的特点,采用不同的算法,解决各自问题。这是我们需要突破的技术难点。

第二是“2”,要在“双层架构”上取得突破。边缘已经发展成为边缘云,它实质上是融合了数字孪生的强大智能功能的自动化系统,它与物理实体实时交互,循环赋能。边缘设有边缘数据中心,进行相应的数据存储、管理和调用。

位于云端智能层的资源配置与管理系统包括七部分:(1)生产计划与调度管理系统(MES、ERP);(2)设备运维、管理、诊断、维护、点检、检修等;(3)物流、原料、介质、能源调度、管理以及工件跟踪、产品管理、排放管理等;(4)安全;(5)钢铁材料创新基础设施;(6)数字孪生模型自学习系统,自学习、自适应、高度自治;(7)大数据中心,数据处理、储存、存取,特殊的数据管理方式。这七个方面从不同的角度对数字孪生系统的分析决策提供支撑,保证数据采集齐全可靠,数据分析精准,决策科学正确,赋能有效执行。需要各领域专家的深入研究和多学科的密切配合。

第三是“3”,即“云”“边”“端”的连接、协调与配合。“云”“边”前已述及。位于生产线的端部应当具有完备的数据检测系统和精准的基础自动化系统。由于钢铁行业作业条件和技术水平的限制,过去的一些数据难以检测,甚至检测不了。比如炼钢过程中的下渣检测、连铸液面波动检测、复杂形状的测量等,现在可以采用各种新的检测方法来实现。利用机器视觉技术可以提供多维测量的信息,经过数据变换和计算,获得我们需要的尺寸、形状、分布,并给出定量的表达。这方面有很大的创新空间。

可以将原有光纤网络系统与新型的 5G 网络混合,形成泛在网络,将“云”“边”“端”的内部和外部连接起来,做到无时不在,无处不在,即插即用,保证数据在系统内自由流动。5G 网络的短时延(实时交互),大带宽(新型检测仪表、图像等非结构化数据的传输),海量物联(垂直方向)在网络系统运行上可发挥重要作用。

这样一来,沿着钢铁全流程,建设信息物理系统,将整个流程融合成为一个整体,综合考虑前端对后

端的影响, 后端对前端的要求, 进行全流程统一的设计与考量。

记者: 数字化(智能化)和低碳化是钢铁行业高质量发展的两翼, 请您谈一下行业如何将这两者更好地融合发展?

王国栋: 目前钢铁行业面临两件大事: 一件是绿色低碳, 另一件是产业数字化, 这两者实际上是一个事物的两个方面。我们特别要按照习主席讲的“围绕产业链部署创新链, 围绕创新链布局产业链”, 用全面、辩证、长远的眼光看待两者的融合发展。

第一步, 先是围绕钢铁生产的产业链部署创新链, 那就在钢铁产业链的各个工艺环节上都有什么问题, 这些问题如何通过工艺技术、设备技术、绿色化技术来改造的, 这就是创新, 沿着产业链布局各个地方都做什么事, 实际就是围绕着钢铁的产业链布局绿色化的创新链。

第二步, 围绕创新链布局产业链, 这个产业链是高新技术产业链, 特别是信息化技术产业链。通过这种部署创新, 我们能够更好地、更快地、低成本地实现产业链创新, 所以说第一步是围绕着钢铁产业链部署创新链, 然后围绕着创新链布局信息化产业链, 实际上就是使钢铁产业链和信息化产业链两化融合, 这两者互相支撑。我们有了绿色化创新链, 实现这个目标要进行工艺技术创新, 同时还要采用高新技术, 就是信息化和智能化等技术来建立高新技术产业链。因为信息化产业链的创新, 可以使实现绿色化的效率大幅提高, 成本显著降低。最近我们也在布局, 将钢铁行业的绿色化技术和信息化技术结合, 通过采用信息化、数字化技术来加快绿色化进度, 降低成本, 从而迅速实现绿色化, 形成了一个动态的创新。所以, 这两者的关系非常重要, 值得我们期待。

记者: 请您谈一谈东北大学在这方面做出的努力和成果。

王国栋: 我们 RAL 实验室是从 1995 年正式投入运行的。其实在此之前, 就已经开展了这方面的研究工作。1988—2004 年, 我们在无人区探索创新, 利用物理冶金模型与人工神经网络模型预测热轧过程钢材组织与性能。2004—2014 年, 我们与梅钢等合作, 采用贝叶斯神经网络, 进行组织性能预测, 开发集约化生产技术, 实行热轧钢材的大规模定制化生产。2014—2019 年, 信息物理系统和数字孪生被列入国家“十三五”规划研究内容。2017 年, RAL 实验室利用承担国家“十三五”关于钢铁智能制造 3 个重点研发项目的机会, 开始进行信息物理系统的研究。以数字孪生的保真度、自治性、快速性为核心进行系统开发, 获得性能适应钢铁行业需求的实时控制系统, 建立了热连轧动态数字孪生。2019—2022 年, 我们与企业合作, 探索开发了钢铁全流程动态数字孪生与 CPS 系统, 由钢材热轧过程向炼铁、炼钢、连铸、冷轧、热处理等钢铁全流程扩展。

目前, 我们的研究团队与企业结合, 已经开发出选冶结合悬浮焙烧系统的信息物理系统; 开发出基于铁前大数据的智能配煤配矿技术, 智能化铁前系统取得巨大进展, 智能化炼铁在铁前系统全面布局, 目前已经或正在太钢、建龙抚顺新钢铁、河钢邯钢、昆钢、本钢等企业的炼铁系统实施应用; 已经建立了智能炼钢区域系统架构, 正在建龙抚顺新钢铁、河钢邯钢 2250 等产线实施, 已经取得重要进展; 已经开发出轧制过程动态数字孪生体与 CPS 模块化工业软件, 热轧系统和冷轧系统正在上线中。稳定化工艺实施初步效果已经显现, 力学性能波动范围大幅收窄, 屈服比等过去难以控制的指标得到稳定、达标的控制, 并开发出了用单一成分生产相邻级别钢种的集约化、稳定化生产技术。

我们坚信, 只要坚持产学研用深度融合, 协同创新, 按照习主席指出的方向奋斗, 一定能够把中国钢铁工业的数字化转型做好, 建成中国的“数字钢铁”, 走到世界前列。