

1 头条信息**中国工程院院士王国栋新年寄语：创新驱动发展 技术引领未来**

承前启后，继往开来。刚刚过去的2018年是我国钢铁工业近10年来表现最好的一年，行业运行质量和效益稳步提升。我们迎来的2019年是新中国成立70周年，也是我国深化供给侧结构性改革，加快建设制造强国，推动实现高质量发展的关键一年。钢铁工业作为支撑国家高质量发展的重要产业之一，也要深化供给侧结构性改革，向绿色化、智能化、高质化方向进行战略转变，实现创新驱动发展，技术引领未来。

创新助力工艺绿色化发展

绿色化发展是钢铁工业发展的必由之路，要实现绿色化发展，就要进行全流程控制，重点攻克以下几方面：一是材料设计，要加强对关键共性工艺技术的创新，使材料和产品的开发真正做到“减量化、低成本、高性能”；二是源头治理，要实行精料方针，依靠创新选矿技术，把提高原料洁净度的主要窗口前移，提高生铁质量，降低后续成本；三是生产流程创新，要针对各工序进行创新，代之以绿色化的生产方法，实现钢铁工业全流程绿色化生产。如：开展高炉低碳炼铁及非高炉炼铁技术研究，重视废钢利用及电弧炉炼钢相关研究，关注无缺陷坯连铸技术和高速连铸技术、连铸坯直接轧制及全连续无头轧制技术发展，应用和发展免酸洗热镀锌技术以及冷轧带钢快速热处理与热镀锌技术等。

创新推进装备智能化升级

钢铁工业是智能化需求最强的行业，目前总体上尚未形成全流程一体化的智能化控制与协调优化。钢铁行业是流程行业，智能制造的核心任务是建立CPS（信息物理系统）的具有足够精度的虚拟映射。然而高炉、转炉、精炼炉、钢包、连铸坯、热轧轧件、冷轧轧件等生产流程主体均为“黑箱”，生产状况和参数无法在线实时测量，目前所采用的机理或物理模型预报精度有限并且通过传统方法难以进一步提高，要解决这个问题就要诉诸于技术创新。“数字感知”这一全新理念的提出为我们利用大数据、云计算、人工智能等现代信息技术攻克以往无法逾越的障碍提供了全新的思路和可行的方法，能够为冶金等“黑箱”行业的精准感知及控

制提供理想的解决方案，从而实现智能化系统及装备的精准协调控制以及更进一步的智慧优化抉择。

创新催生产品高质化转型

钢铁产品高质化转型就是要通过创新，在深入研究材料的“成分、工艺、组织、性能”四面体关系的基础上，以“减量化、低成本、高性能”作为材料研发的新理念，重点关注以下几个方面：一是升级换代传统材料，降低合金含量，采用先进工艺技术，减少资源与能源消耗，常规产品迈向中高端，创造“第一”；二是创新开发高新材料，实现规模化生产，发挥引领作用，打造“唯一”；三是攻克重点高端材料，满足国防军工等重大工程的需求；四是重视拓展复合材料，扩大钢铁材料在复合材料领域的应用，提高材料的利用效率。同时，针对高质化产品要研发高质化的生产工艺、配套的生产设备，实现冶炼、精炼、连铸连轧及热处理等全流程的优化，实现高质化产品的批量生产及产业化应用。

创新加快供给服务化进程

提高服务质量和水平，建设服务型钢铁行业是我们努力的方向。要以市场和用户需求作为驱动力，把握本质，积极创新，为用户提供包括材料研选、产品制造、设备调试以及量产应用在内的全流程技术服务和整体解决方案。宝钢汽车板 EVI 合作模式、东北大学研发的 2GPa 热冲压成型钢在本钢实现产业化等都值得借鉴。

我国经济发展进入新时代，钢铁工业高质量发展之路任重道远，依靠创新，着力开发绿色化、智能化、高质化、服务化的新技术、新工艺、新装备、新产品，是我们建设钢铁强国的必由之路。希望世界金属导报在 2019 年加强创新技术报道，发挥在钢铁工业技术领域的舆论导向作用，为钢铁行业实现高质量发展作出贡献。

国家重点研发计划项目“高强度、大规格、易焊接海洋工程用钢及应用”顺利完成中期检查

2018 年 10 月 31 日，科技部高技术研究发展中心重点专项管理办公室（以下简称“专项办”）组织专家对东北大学牵头、河钢、宝钢、中科院金属所等国内 20 家单位参与承担的“十三五”国家重点研发计划项目——“高强度、大规格、易焊接海洋工程用钢及应用”（项目编号：2016YFB0300600）进行中期检查，项目中期检查会议在河钢舞钢召开。东北大学科研院相关负责人、项目负责人和各课题骨干成员，专项总体专家组专家、同行专家等检查组专家，以及专项办相关人员等 40 余人参加了此次会议。会议由国家科技部高技术中心副处长蒋志君主持。

项目中期检查以现场考察和会议研讨两种方式进行。会前，专家组在河钢舞钢现场考察了由项目资助东北大学设计制造的世界首套 300mm 级大断面特厚钢板辊式淬火机装备和屈服强度 785MPa 级 180mm 特

厚钢板辊式淬火过程，项目负责人王昭东教授在现场对各位专家介绍了装备和产品的先进性及特点。中期检查会议上，国家科技部高技术中心副处长蒋志君介绍了参会人员和中期检查要求，宣布了专家组名单及专家组组长。蒋志君处长表示，此次检查将为进一步梳理项目进展，发现问题并提出解决问题办法，更快更好地推动项目进展奠定基础。整个项目组要采取“整体设计，一体化实施”的原则，加强整个项目和各课题之间的有机结合，充分发挥参与单位的优势，按期完成整个项目的总体目标和考核指标。国家科技部高技术研究发展中心将与项目承担单位、项目参与单位、项目负责人作为一个共同体，面向同一个目标，携手并肩，共同努力，推进我国海洋工程用钢铁材料研发能力和国际影响力的显著提升，为我国海洋强国战略提供有力的基础保障。

“高强度、大规格、易焊接海洋工程用钢及应用”项目负责人、东北大学轧制技术及连轧自动化国家重点实验室主任王昭东教授从项目研究目标与内容、重要进展及成果、项目中期考核指标完成情况、项目经费使用情况、后续研发计划等方面汇报了项目中期执行情况。项目在两年的实施过程中，取得了多项阶段性进展和标志性成果：1、项目围绕高强度、大规格、易焊接海洋工程用钢全流程关键共性技术与核心开展了高强度特厚板尺寸效应引起的组织性能差异和强韧化机理等方面进行了研究，开发出高强度特厚钢板性能均匀性控制技术、海洋工程用大线能量焊接厚钢板制备技术、高性能大规格管材、型材合金设计、控制轧制与热处理技术、海洋工程用钢服役性能评价技术等4项关键技术，研究了系列高强韧性特厚钢



中期检查现场考察

板、大壁厚无缝管、高强度大规格型钢、高级别锚链钢、铸造节点等系列产品，并进行了系列产品的工业试制或中试，完成了中期研究任务，达到了预期目标和中期考核指标。2、项目取得了系列阶段性标志成果：（1）特厚板高强均匀淬火、轧制-冷却-热处理一体化组织性能调控、大规格异型材制备等技术实现了产业化应用；（2）690MPa 级 210mm 特厚钢板通过第三方检验和权威部门认证，具备供货条件，大规格 H 型钢 H1000 实现了工业化生产和示范应用；（3）研制出特厚规格钢板高强度均匀化淬火成套装备，实现了示范应用。3、项目取得了多项重要进展：进行了 180mm 厚屈服强度 785MPa 特厚齿条钢板、30~60mm 厚 EH420 海洋工程用 200kJ/cm 大线能量焊接厚钢板、屈服强度 500MPa 级 H700 高强度型钢、屈服强度 690MPa 级厚度 40mm 无缝管和钛 / 钢复合钢板的工业化试制和第三方性能检验，性能指标满足项目任务书规定要求。4、项目实行一体化组织实施和协同推进，制订了多项内部管理制度，成立了专家咨询委员会等内部管理机构，保证了项目的顺利实施。

检查专家组结合现场考察、会议报告对项目执行情况进行了质询，对项目总体进展情况进行了客观的评价，并从项目创新点凝炼、考核指标的评测方法、实现系统节能指标的技术难度、牵头单位对项目财务监督与管理等方面给出了建设性的建议。

2 2011 计划专题

东北大学钢铁共性技术协同创新中心 2018 年度工作总结暨表彰会举行

1月3日上午，东北大学钢铁共性技术协同创新中心2018年度工作总结暨表彰会在汉卿会堂蔡冠深报告厅举行。校长赵继、中国工程院院士王国栋以及相关部门负责人出席会议，并为获奖集体和个人颁奖。

中心主任王国栋院士以“加快一流大学和一流学科建设，推进产学研协同创新”为题作2015~2018年总结报告，回顾了钢铁共性技术协同创新中心的发展历程，介绍了中心取得的重要成果。王国栋表示，2015~2018年间，中心坚持面向国家重大战略需求、面向经济社会主战场、面向世界科技发展前沿，提升教育服务经济社会发展能力；坚持问题导向，需求牵引，明确方向和目标；坚持协同创新，资源汇聚，移山填海，造福人民；坚持全流程一体化协同创新；坚持学科交叉，行业协同，联合承担重大科研项目；坚



东北大学钢铁共性技术协同创新中心 2018 年度工作总结暨表彰会举行

持产学研深度融合，把论文写在主战场上；坚持人才与成果科学评价机制，建设宏大的科技创新队伍；坚持改革开放，加强国际交流与合作；坚持科技创新，实现了由跟跑向领跑的转变。四年间，钢铁共性技术协同创新中心在 5 个方向的 10 项关键共性技术上取得了重要成果，共获国家科技进步二等奖 1 项、省部级一等奖 11 项、二等奖 12 项、三等奖 5 项；科研经费合同额 19.54 亿元，进款额 11.27 亿元；发表论文 1988 篇，其中 SCI 收录 761 篇，授权专利 370 件；培养硕士研究生 239 人，博士研究生 488 人。王国栋希望，中心全体人员用创新驱动发展，努力攀登世界高峰，共同建立领跑世界的钢铁工业集群，共圆中国梦。

中心副主任吴迪教授宣读了《东北大学钢铁共性技术协同创新中心关于表彰 2018 年度优秀方向、优秀个人的决定》。兰梦飞等 10 人被评为优秀硕士研究生、冯浩等 15 人被评为优秀博士研究生，王晨充等 4 人被评为青年新秀，袁国教授等 10 人被评为创新标兵，韩跃新教授、李建平教授被评为优秀首席，先进常规流程热轧工艺与装备技术方向被评为优秀方向。

优秀研究生代表李云杰、创新标兵代表蔡兆镇、优秀首席代表韩跃新先后发表获奖感言，表达了对中心的感谢和对未来发展的憧憬。

“2011 计划”工作办公室负责人刘海波以详实的数据介绍了钢铁共性技术协同创新中心四年来取得的骄人成绩。学校经研究决定，特授予中心主任王国栋院士杰出贡献奖，校长赵继为王国栋院士颁奖。



中心主任王国栋院士作 2018 年总结报告

赵继表示，此次总结表彰会是对中心运行 4



中心副主任吴迪教授宣读表彰决定



校长赵继发表讲话

年来的一次工作总结和对中心发展前景的展望，是值得铭记的历史时刻。中心在王国栋院士和各位首席专家带领下，经过4年的发展，已成为集聚四五百人的优秀群体，在5大方向的10项关键共性技术上取得了许多重要成果。4年来，协同创新中心集科学研究、人才培养、学科建设三位一体，不仅在科研创新上取得进展，而且在学科建设上取得建树、在人才培养上大有作为，达到了成立协同创新中心的预期效果，一批青年才俊在中心茁壮成长成才。赵继强调，产学研深度融合、跨界发展合作，是当今世界科学的研究主流，协同创新是重要探索。中心把论文写在钢铁生产线上，用实实在在的科研成果，为学校一流大学建设提供了强大支撑。学校将认真总结中心的工作，用中心的先进经验助力学校的发展建设。赵继指出，学校各部门都要给予中心大力支持，不断研究中心可持续发展的长效机制，支持中心在新的起点上再创辉煌，持续发展。

先进冶炼、连铸工艺及装备技术方向重要研究进展

重要研究进展之一

钢包底喷粉精炼新工艺的开发与应用

2018年度方向人员研发了异型缝隙元件和防渗漏装置，解决了工艺稳定性和安全性难题，实现了钢包底喷粉在45钢包的工业应用，并在鞍钢260t大规格钢包实施底喷粉精炼工艺推广应用。取得了如下进展：

- (1) 开发了异型缝隙和配套导流气室的喷粉元件，喷粉元件缝隙率由原来1.27%提高至31.7%，解决了喷粉元件进粉阻力大和气室易堵塞难题，喷粉元件供粉阻力减小27%，粉剂无堵塞率提高至99%。
- (2) 研发了30~3000NL/min超大量程高稳定性自控供气系统，消除了喷粉过程脉动现象；针对钢包底

部透气砖渗钢共性难题, 开发了循环冷却控压防渗漏装置, 解决了由渗钢造成的堵塞难题; 研发了“喷气—喷粉—吹扫一回收”一键自动控制, 确保底喷粉系统的稳定长效运行机制。

(3) 已完成45t钢包工业应用现场应用, 连续喷粉突破6炉, 钢液脱硫率达80%, 与LF脱硫工艺相比, L-BPI的钢水脱硫率提高了20%, 脱硫时间缩短15min, 吨钢成本降低20元、节能3.7kg标准煤。

目前已系统解决了L-BPI/RH-BPI所涉及的渗漏、堵塞、安全、稳定、高效等关键科学与技术问题, 在鞍钢260t大规格钢包实施了L-BPI的推广应用, 与本钢、河钢等企业达成RH-BPI/VD-BPI的合作意向。



底喷粉元件、自动化控制装备及现场应用

重要研究进展之二

微合金钢连铸坯表面质量控制技术规模化推广应用

2018年度方向研究人员揭示厚板坯偏离角凹陷形成机理、开发形成连铸板坯二冷末端表面高温全连续淬火控制工艺与装备技术, 同时进一步突破并推广了微合金钢连铸坯角部裂纹控制技术。取得了如下主要进展:

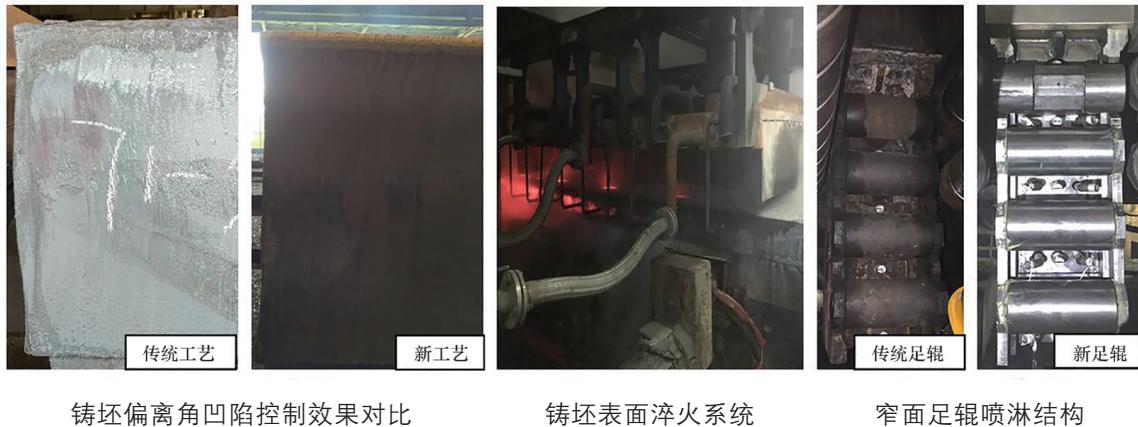
(1) 研究获得了铸坯在结晶器及二冷铸流内的凝固热/力学行为规律, 全面探明了厚板坯宽面偏离角凹陷形成原因, 开发形成了基于曲面结晶器和二冷窄面足辊大锥度并强冷的控制技术, 并进行了现场实施。

(2) 研究了在板坯连铸机末端实施铸坯表面淬火组织高塑化的控冷关键理论, 并开发形成了铸坯高温全连续淬火装备, 成功在唐钢3条宽厚板坯连铸机投用。

(3) 成功开发出了窄面足辊横向3喷淋结构, 并形成了铸坯二冷高温区强冷却、保障铸坯角部高温奥氏体组织快速铁素体化的控冷工艺, 在宝钢1#等产线上线应用。

(4) 成功新推广本钢、攀钢等5条微合金钢连铸坯角部裂纹控制技术应用产线。

上述相关技术的开发与推广, 有利保障了微合金等钢连铸生产过程表面无缺陷高效化生产, 提升应用企业产品国内与国际市场竞争力。



铸坯偏离角凹陷控制效果对比 铸坯表面淬火系统 窄面足辊喷淋结构

重要研究进展之三 宽大断面连铸坯凝固末端重压下技术开发

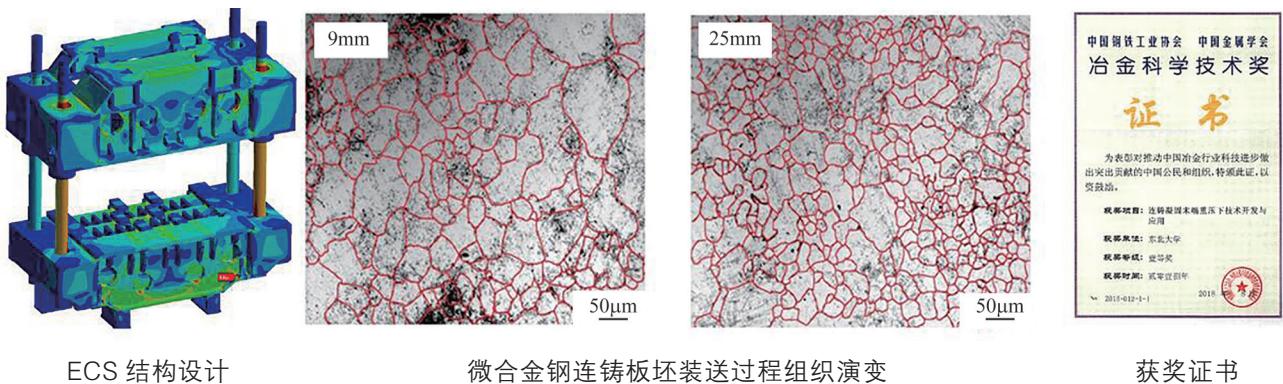
2018年度研究人员在前期研发工作的基础上,进一步推广应用重压下工艺,并完成了成果总结归纳工作,取得的主要技术进展与工作如下。

(1) 深入系统研究了连铸凝固末端重压下过程冶金学行为规律,在致密化方面建立了基于静水应力积分的大方坯缩孔闭合度预测模型;在均质化方面准确表征了“坯壳变形-溶质宏观偏析”关系,定量阐明了重压下对偏析的改善作用——带液芯压下的必要性;在细晶化方面阐明了宽厚板坯、大方坯重压下过程组织演变规律及其在装送过程的遗传性。上述理论研究为重压下工艺的进一步优化与精准设计提供了重要支撑。

(2) 完成宝钢韶钢大方坯重压下技术的推广,高碳高合金钢大方坯中心质量显著改善,生产高端轴承钢供货宝马、奔驰轮毂轴承,生产非调钢供货 KOMATSU、卡特彼勒、三一重工等企业。

(3) 在宝钢梅山开展常规板坯连铸机高碳钢大压下量新工艺研发与实践,针对碳含量 $\geq 0.7\%$ 、锰含量 $\geq 1.0\%$ 的汽车零部件用精冲钢,突破了常规轻压下变形率不足1.5%的约束,研发投用了变形率 $\geq 5\%$ 的压下新工艺,铸坯中心偏析曼标评级 ≤ 2.2 级比例由2016年13%提高至2018年92.1%,实现精冲钢的国产化替代。

2018年获中国金属学会冶金科学技术奖一等奖,在鞍钢、石钢等继续开展重压下技术的推广应用,部分企业已达成合作意向。



ECS 结构设计

微合金钢连铸板坯装送过程组织演变

获奖证书

重要研究进展之四

加压冶金理论及新一代航空航天用高氮不锈钢轴承钢制备关键技术开发

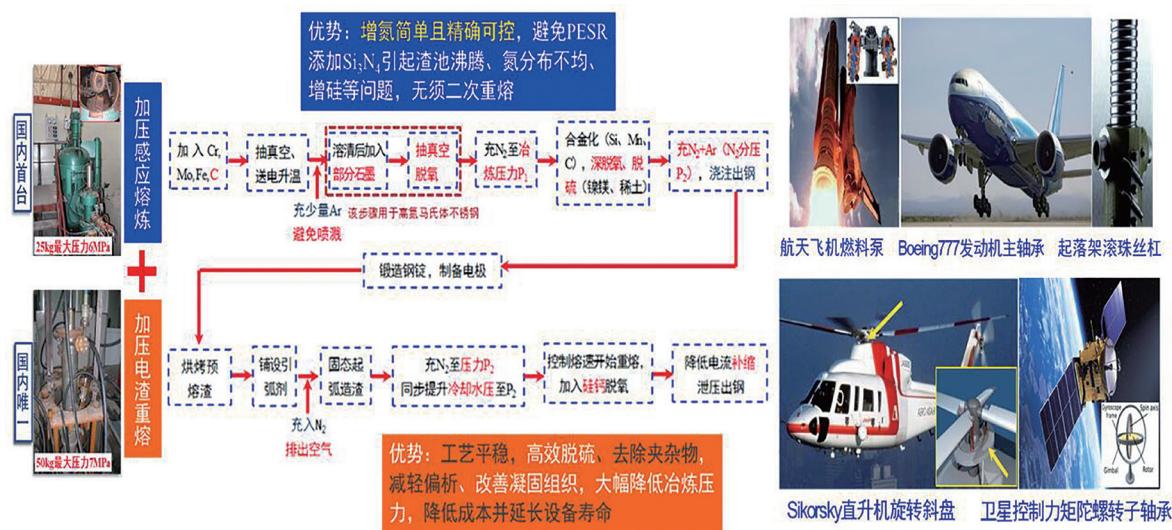
2018年度依托沈阳市重大成果转化项目,发展了加压冶金理论、研发了加压冶金关键装备、创新了加压冶金制备关键技术,开发新一代航空航天用高氮不锈钢轴承钢。取得了如下创新和技术进展:

(1) 构建了加压下氮溶解度模型和渗氮动力学模型,阐明了氮在凝固过程偏析和析出机制,明晰了压力强化冷却、促进凝固组织细化机理,揭示了加压下钙、镁元素等微合金元素净化钢液和夹杂物变性机理。

(2) 自主研发了加压感应和加压电渣关键冶金装备,攻克了氮合金化和氮含量精确控制、纯净度控制、均质化凝固等系列关键技术,全流程集成创新,形成了成套专有技术,首创了加压双联全新工艺流程。

(3) 发展了以“碳氮调控”为核心的合金优化设计方法,攻克了热加工工艺优化及组织调控、热处理过程中组织演变与性能调控等系列关键技术,研发了新一代航空航天用高氮不锈钢轴承钢。

目前,依托东大(中德)产业园,完成工业化规模关键装备设计,正加速产业化推广及应用,满足我国航空航天轴承换代升级的材料急需,引领和示范我国特殊钢行业转型与升级。



新一代航空航天用高氮不锈钢轴承钢加压冶炼制备关键技术及应用领域

重要研究进展之五

复合铁焦低碳炼铁新炉料制备与应用技术

2018年度针对我国炼铁产业低碳前沿技术的重大需求,方向研究人员成功开发了复合铁焦低碳炼铁新炉料制备与应用技术,取得如下创新和技术进展:

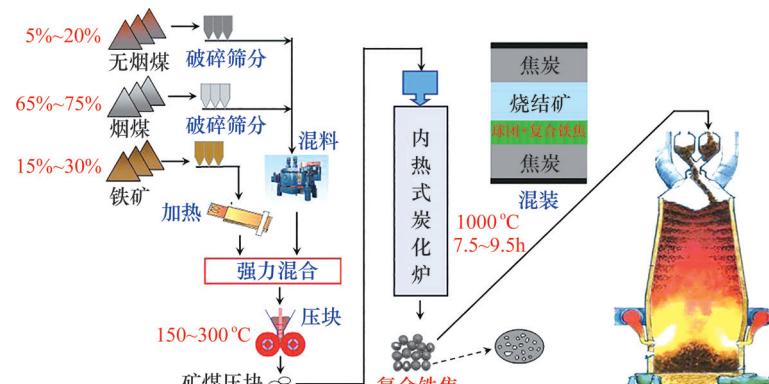
(1) 研究了物料配比、粘结剂种类、炭化温度、炭化时间、升温速率等工艺参数对复合铁焦炭化前后抗压强度的影响,确定了复合铁焦压块和炭化工序关键技术参数;

(2) 开发了复合铁焦反应性和反应后前度优化技术, 获得复合铁焦冶金特性协同优化机制, 并提出复合铁焦冶金特性评价新方法;

(3) 阐明复合铁焦气化反应动力学、复合铁焦对综合炉料熔滴性能改善机制, 形成高炉使用复合铁焦低碳冶炼技术;

(4) 进行了复合铁焦工业化生产核心装备设计, 试制了国内首台复合铁焦生产装置。

上述研究成果形成了复合铁焦低碳炼铁新炉料的整套工艺和装备技术, 正与宝钢、河钢开展工业性应用研究。同时, 本项目研究获批 NSFC-辽宁联合基金重点项目资助。据估算, 河钢集团高炉吨铁使用 40kg 热压铁焦, 成本约降低 10 元, CO₂ 排放量减少 25kg。本研究成果的实际应用对我国低碳炼铁具有重要示范和推动力作用。



复合铁焦新型低碳炼铁炉料制备与应用技术

先进常规流程热轧工艺与装备技术方向重要研究进展

重要研究进展之一

极限规格钢板热处理装备技术及应用

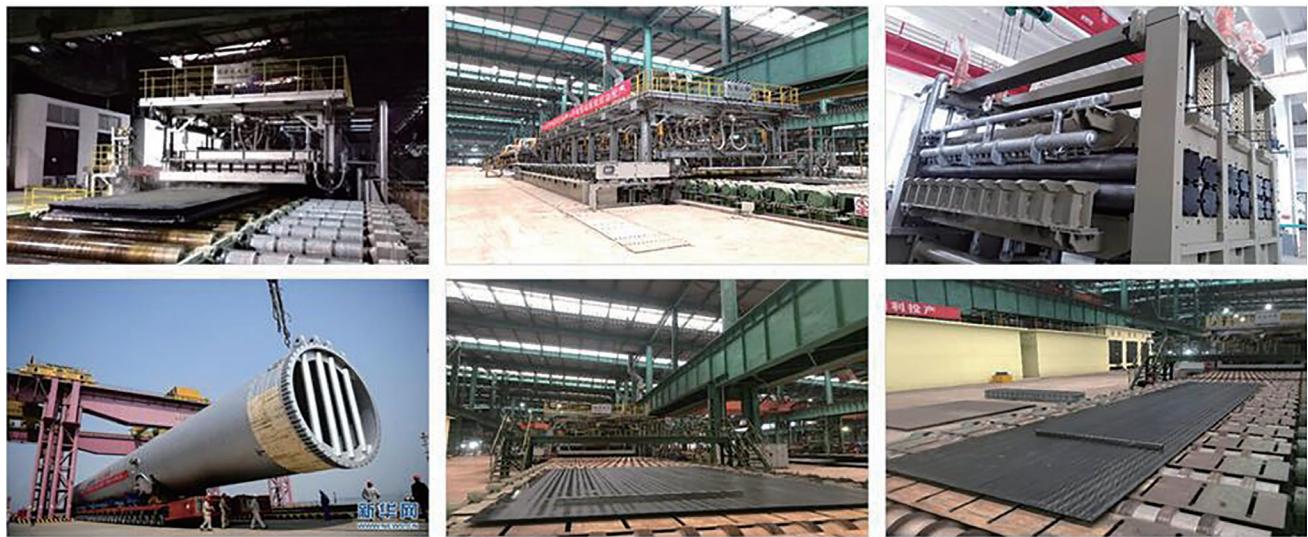
热处理是制约极薄、超宽、特厚等极限规格钢板生产和研发的瓶颈。本年度方向人员攻克了特厚钢板断面组织调控与壁面有序传热、超宽极薄钢板高均匀淬火、工艺模型等关键技术, 研发成功系列极限规格钢板连续辊式淬火装备, 取得了如下创新:

(1) 持续推进国际首套 300mm 级特厚钢板辊式淬火装备技术升级, 国内首次测定 160~300mm 钢板热处理加热-淬火温降曲线, 开发成功高强韧大厚度海洋平台齿条钢板和临氢化工钢板热处理产品, 填补了国内空白。

(2) 研制成功国内厚度跨度最大 (5~200mm)、宽度最大 (5m) 重型辊式淬火装备及间歇淬火、双排淬火等系列高均匀性淬火核心技术, 在华菱湘钢成功应用, 实现大宽厚比钢板连续稳定生产。

(3) 研制成功国际首台套 2~9mm 极薄钢板多机架受约束辊压式淬火装备, 在带张力约束淬火、液压伺服压下控制、大载荷传动系统、紧凑型射流喷嘴等方面实现创新, 成功应用于华菱涟钢。

成果进一步拓宽了钢板辊式淬火厚度上限、下限和宽度上限, 实现全厚度、全宽度钢板连续稳定热处理生产。经第三方检测, 钢板性能达到或优于法国阿赛洛、德国迪林根等国际先进产品。授权发明专利 3 项、申请发明专利 10 项, 登记软件著作权 2 项, 发表 SCI/EI 论文 8 篇。



特厚钢板淬火及应用

超宽钢板淬火

极薄钢板淬火

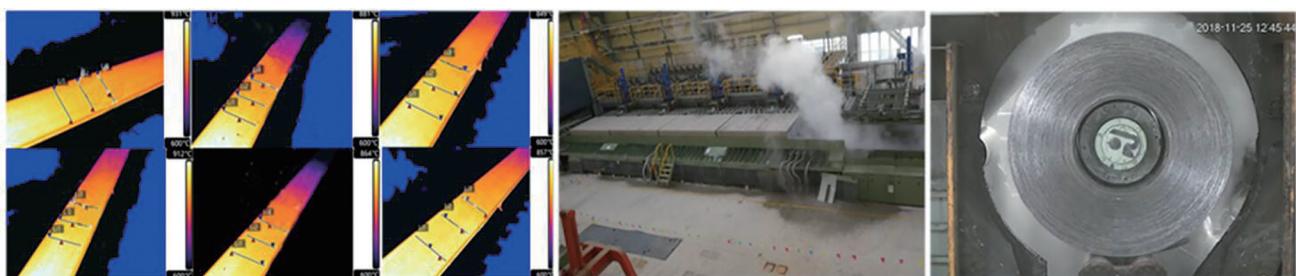
重要研究进展之二

热连轧线轧制 – 冷却一体化 TMCP 技术及装备

超快速冷却作为近年来热轧钢材控轧控冷技术领域最重要的技术突破，为热连轧产线产品的生产工艺进步提供了重要支撑。2018年度，方向研究人员结合热连轧生产线当前高品质产品工艺的开发需求，与攀钢西昌、山钢日照等行业企业产学研协同，持续开展热连轧生产线轧制 – 冷却一体化 TMCP 技术及装备的科研开发工作。2018年取得的进展为：

(1) 依托攀钢西昌 2050 热连轧线，开展我国首台套热连轧粗轧控温冷却系统的工艺调试及应用工作。针对典型钢种，开展 3000 余吨控温轧制工艺批量化生产应用及考核，考核表明，设备冷却均匀性良好，减少中间坯待温时间，提高轧制生产效率。

(2) 依托山钢日照 2050 常规热连轧线，配置形成完善的轧后超快速冷却系统（前段 4 组超快冷、后段 3 组超快冷），实现 DP540/590 级别热轧双相钢的稳定批量化生产，突破了长期以来常规热连轧产线高轧速条件下稳定开生产热轧双相钢的技术瓶颈。



攀钢西昌粗轧控温宽向冷却均匀性

山钢 2050 产线热轧双相钢生产线

目前已开发构建了包含中间坯粗轧控温技术—轧后超快速冷却技术为一体的大型热连轧板带钢超快速冷却工艺平台性技术体系。相关研究成果应用于国内十余条大中型热连轧生产线。

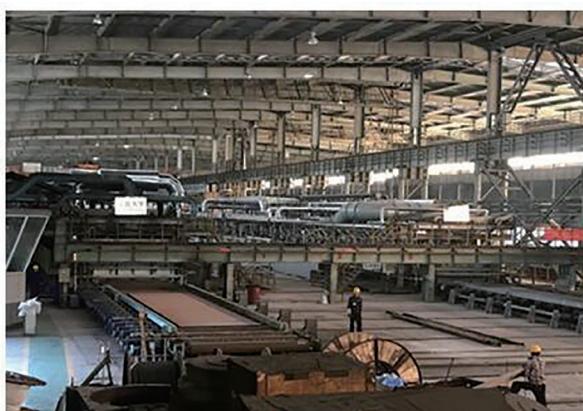
重要研究进展之三

高精度中低温回火炉均匀加热技术及装备研发和应用

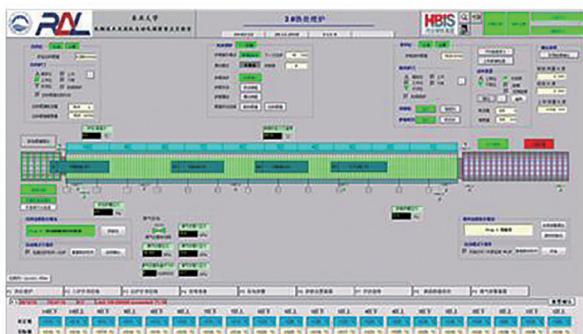
极限低温回火技术是高强、耐磨等高性能钢板生产的关键技术。随着此类钢板对质量稳定性要求的提高, 低温回火温度均匀性要求也越来越高, 一般在 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 以内, 常规热处理加热技术很难实现。本年度团队方向人员突破了中低温回火炉均匀加热技术, 研制出新型中低温回火炉成套装备, 取得了如下创新和技术进展:

- (1) 国内首次提出热风循环式脉冲射流加热方法替代烧嘴火焰射流加热, 开发了单级、多级热风循环式脉冲加热系统结构, 成功研制热风循环式中低温回火炉, 具备 $150\sim 750^{\circ}\text{C}$ 快速均匀回火特性。
- (2) 建立火焰射流和循环热风射流复合驱动的控温策略与自动控制系统, 实现了炉温控制精度 $\pm 3^{\circ}\text{C}$, 板温均匀性 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 。此外, 建立烟气循环控制技术, 大幅减少了烟气排放, 降低了低温回火能耗。

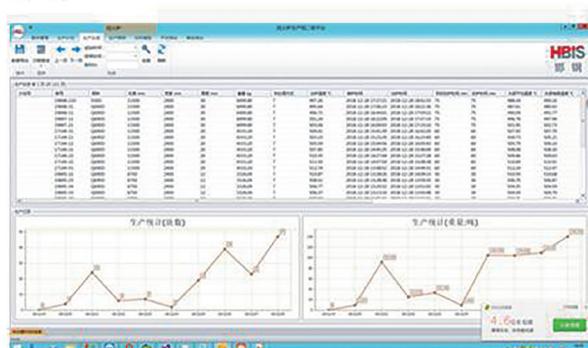
研究成果成功应用于邯钢, 提升了我国热处理工艺装备水平, 为高性能特种钢板的质量稳定性提高和新产品、新工艺开发提供了重要保障。



热处理炉生产线



钢板生产操作控制系统



加热工艺控制系统

高精度中低温回火炉生产线现场及生产控制

重要研究进展之四

自卸车轻量化用超薄规格高强度耐磨钢板系列产品开发与应用

薄规格耐磨钢板由于钢板较薄,且强度均在1000MPa以上,内应力敏感性极高,应力不均相对于厚规格钢板由于约束性等原因更容易体现,极限薄规格耐磨钢板低内应力和高性能协同控制,一直是行业的难题。采用极限薄规格耐磨钢板替代传统高强钢或普碳钢来制造自卸车车厢,是解决自卸车轻量化和提高车厢寿命的有效途径。薄规格耐磨钢板由于钢板较薄,且强度均在1000MPa以上,内应力敏感性极高,应力不均相对于厚规格钢板由于约束性等原因更容易体现,极限薄规格耐磨钢板低内应力和高性能协同控制,一直是行业的难题。采用极限薄规格耐磨钢板替代传统高强钢或普碳钢来制造自卸车车厢,是解决自卸车轻量化和提高车厢寿命的有效途径。

2018年度,方向研究人员协同攻关,取得了如下创新和技术进展:

- (1)首次采用在线直接淬火+罩式退火方式批量化稳定生产出NM300~NM500系列2~6mm极限超薄规格耐磨钢板,相对传统生产方式,新方式效率提高10倍以上、耐磨性提高15%~18%、碳当量降低约10%。
- (2)开发成功系列高成型性低内应力耐磨钢板,满足了最长10m大宽幅耐磨钢板整体直接折弯成型不开裂,系列耐磨钢板被大量应用于自卸车U型车厢制造,减少焊接近50%。

上述研究成果在国内华菱涟钢实现推广应用,系列产品在中国重汽、中集集团、新宏昌和十堰池田等大型自卸车制造企业车厢实现应用,降低了车身重量、提高了车辆使用寿命;团队与华菱涟钢合作的项目“自卸车轻量化用超薄规格耐磨钢”荣获2018年度中国钢铁工业协会“中国钢铁工业产品开发市场开拓奖”。



在线淬火生产的耐磨钢板及其在绿色环保渣土自卸车上的应用

重要研究进展之五

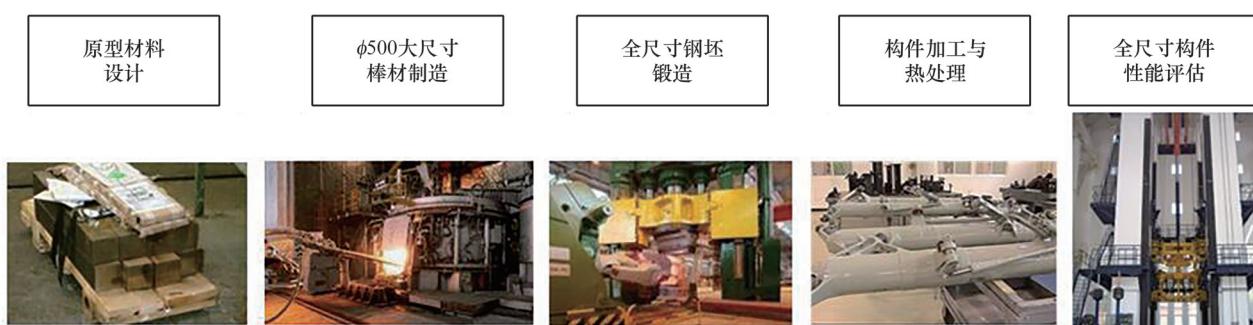
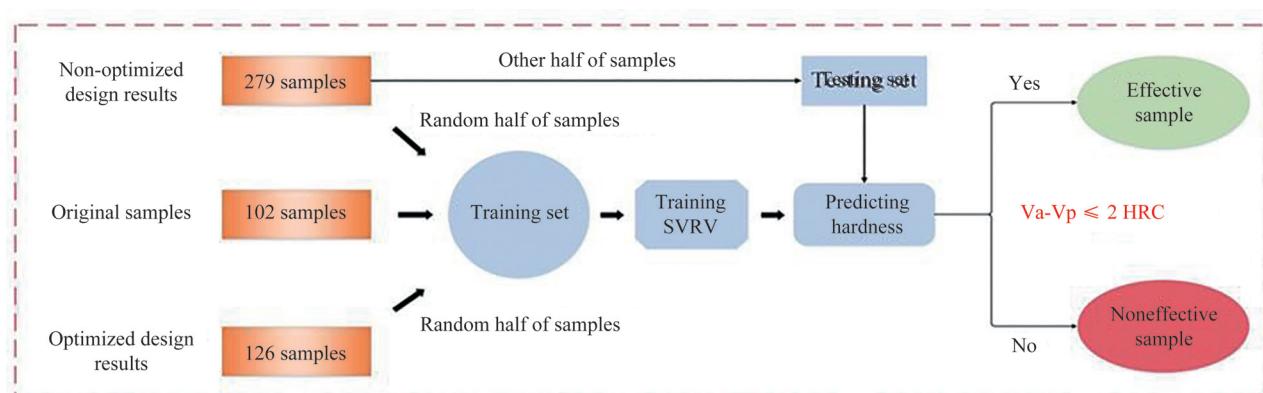
物理冶金学指导的机器学习集成计算平台与超强钢设计应用与验证

我国空军力量建设中, 基于材料基因理念的高性能特殊钢集成计算设计、基于机器学习方法的大数据深入挖掘技术是制约超高强不锈钢研发的核心瓶颈问题。徐伟教授研究团队以加速特殊服役工况下的高性能钢种研发效率为目的, 通过物理冶金学理论指导机器学习算法的优化, 实现超高强不锈钢设计, 极大地缩短研发周期。研发得到的新型超高强不锈钢与传统牌号钢种相比已实现综合性能提升。取得的关键创新和技术进展:

(1) 建立了基于多种物理冶金学原理指导的机器学习集成计算设计平台, 以指导超强不锈钢的高通量大规模设计优化。

(2) 基于集成计算设计结果研制新型超强不锈钢, 形成制造大纲并制备得到 $\phi 200$ 棒材样件。

研究形成基于物理冶金学指导的超强钢集成计算设计平台及高维度数据库, 进行具有自主知识产权的高性能超强不锈钢研发设计。获得国家“十三五”装备预研共用技术项目支持, 进行舰载机主起外筒全尺寸构件研制, 为我国多种空军高端装备中的关键构件的制备提供了材料保障。



先进短流程热轧工艺与装备技术方向重要研究进展

重要研究进展之一

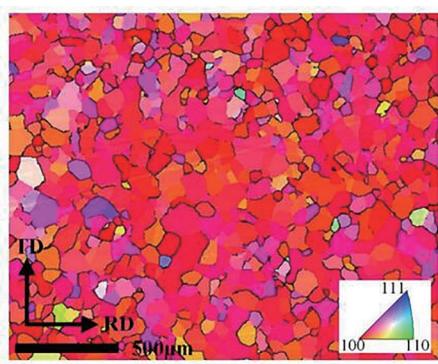
薄带铸轧电工钢组织与抑制剂控制工艺与技术研发

薄带连铸将铸和轧合二为一，钢水直接凝固成型为薄带。该工艺具有近终形和亚快速凝固两大工艺特点，有利于实现无取向电工钢组织控制特殊要求和取向硅钢抑制剂元素的均匀固溶。方向人员在深入探索其内在物理冶金基础上发现，铸轧流程中硅钢的组织演化、抑制剂行为具有鲜明特点。2018年度，方向研究人员持续进行了电工钢的组织和抑制剂控制工艺的深入研发，取得了如下进展：

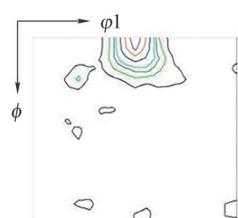
(1) 基于薄带铸轧的超高磁感无取向硅钢组织控制机理与工艺。发现了柱状晶组织铸带中{100}取向晶粒受控异常长大的特殊现象，并利用{100}组织遗传性实现了强{100}组织无取向硅钢的高效制备。阐明了薄带连铸无取向硅钢中发达立方组织的形成机制，原型钢横纵向磁感 B_{50} 分别达到1.86T和1.87T。在此基础上，设计了以薄带连铸为关键核心工艺流程的新一代高性能无取向硅钢制备技术。

(2) 基于薄带连铸亚快速凝固特点在析出调控方面的优势，设计了含Nb和含Bi的新型取向硅钢抑制剂，完善了薄带连铸取向硅钢组织-组织-抑制剂一体化调控原理，拓宽了抑制剂选取范围并提高了磁性能。成功降低了取向硅钢中Al元素添加量，使其适合薄带铸轧工艺特点要求。成功制备出高磁感极薄取向硅钢，磁感 B_8 高达1.97T。

在基于上述科研成果的基础上，所形成的高性能硅钢控制理论和原创工艺将为我国电工钢产业提供工艺理论保障。



强{100}无取向硅钢结构与性能



薄带铸轧武钢中试线装备

重要研究进展之二 免酸洗还原退火热镀锌工艺技术研发

在常规的“热轧 - 酸洗 - 冷轧 - 热镀锌”工艺中, 酸洗工序严重污染环境、增加成本。同时镀锌基板润湿性差, 容易造成镀层厚度不均、漏镀、凸起等缺陷。基于此, 本方向提出了免酸洗还原热镀锌技术, 通过气体还原除鳞, 省略酸洗工序, 极大地提高了生产效率, 并且很好地消除了合金元素选择性氧化对镀层的影响。

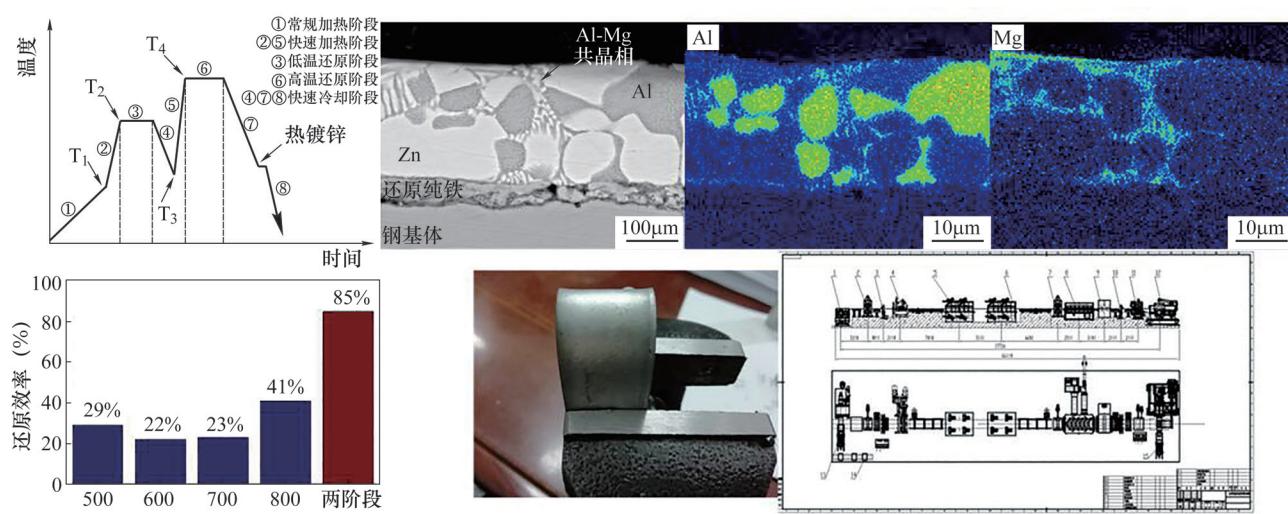
2018年度, 方向研究人员突破了氧化铁皮高效还原和多元合金镀层等关键控制技术, 研制出高表面质量、良好成型性能的免酸洗热镀锌板, 取得了如下创新成果:

(1) 开发出了氧化铁皮预处理技术, 预处理后残留的氧化铁皮厚度和结构均匀, 并且低于 $4\mu\text{m}$, 不同位置的厚度波动在 $\pm 2\mu\text{m}$ 。

(2) 开发出了一套基于还原预处理的高效还原技术, 借助氧化铁皮自身固态相变的特性, 大幅度地提高氧化铁皮还原反应效率, 由常规工艺下的20%~40%提高至85%, 还原氢气浓度在10%~20%可以获得较高的还原效率, 降低高浓度氢气使用的危险性。

(3) 基于免酸洗热镀锌技术开发出了Zn-Al-Mg、Zn-Al-Mg-Si等合金镀层, 该种镀层具有较高耐蚀性能和良好成型性能。

这种短流程工艺在实现绿色生产的同时, 缩短工艺流程, 降低生产成本, 为企业和环境保护带来双重效益, 是热镀锌工艺技术发展的新方向, 将优化我国的镀锌板产品结构, 同时缩短与国外同类产品在耐蚀性、加工性和装饰性方面的差距。



绿色免酸洗环保热镀锌制备和生产线设计

重要研究进展之三

真空轧制复合技术与装备开发

高建、电力、模具等领域对高碳、高合金特厚板需求旺盛，附加值很高。在桥梁、常压储存容器、装饰行业等领域，普通奥氏体不锈钢复合板有着大量的应用空间。真空轧制复合技术（VRC）是获得高品质特厚板和异种金属复合板的关键技术，因此开发 VRC 技术和装备具有重要意义。

2018 年度，方向研究人员为文丰钢铁建成了新一代的 VRC 制坯产线，专门用于制备高碳当量的难焊接特厚板。此外，还为鞍钢成功开发出了可生产低成本 304 奥氏体不锈钢 /Q370 桥梁钢复合板的真空复合工艺技术。具体取得了如下创新和进展：

（1）为唐山文丰建成了年产 5 万吨的高碳当量难焊接特厚复合板 VRC 制坯产线，该产线具有完全自主知识产权，汇聚了高速表面清理装备、坯料组装及缓冲装置、焊前预热设备、双枪高效电子束焊机、全水冷真空室、阵列式红外补热 - 缓冷系统、水冷随动隔热系统等独有装备和技术，所生产的特厚复合板主要用于大型容器、核电外壳以及工业模具等大型构件。

（2）在唐山文丰产线开发出了厚度 300mm、宽度 4m 的 45 中碳钢特厚双坯复合板，以及厚度 600mm、宽度 3m 的 45 中碳钢超厚三坯复合板，复合界面探伤均满足国标 I 级合格，未发现任何界面痕迹，弯曲 180° 后原始界面处无开裂，Z 向拉伸性能满足 Z35 要求，未断裂在原始界面位置。

（3）为鞍钢开发出了基于埋弧焊的低成本 VRC 技术，生产了稳定的 304 奥氏体不锈钢 /Q370 复合板，界面性能超过 370MPa，内、外弯曲 180° 界面无开裂，探伤满足国家 I 级要求，目前已向用户供货。

目前，VRC 技术已成功推广至济钢、鞍钢、南钢、唐山文丰等，各类高品质特厚板满足了各类重大工程和装备需求。普通不锈钢复合钢板解决了桥梁及常压容器运行中的腐蚀问题，对国民经济有重要意义。



VRC 产线及产品

重要研究进展之四

薄规格 DP590~DP780 “以热代冷” 双相钢开发

铁素体 + 马氏体双相钢由于其优良的综合力学性能在高端汽车上得到了广泛应用。其中，薄规格冷轧 DP590~DP780 双相钢在汽车上使用的比例越来越高。随着半无头和无头轧制技术（ESP）的不断发展，薄规格双相钢的“以热代冷”成为可能，该技术将带来显著的经济效益和社会效益。

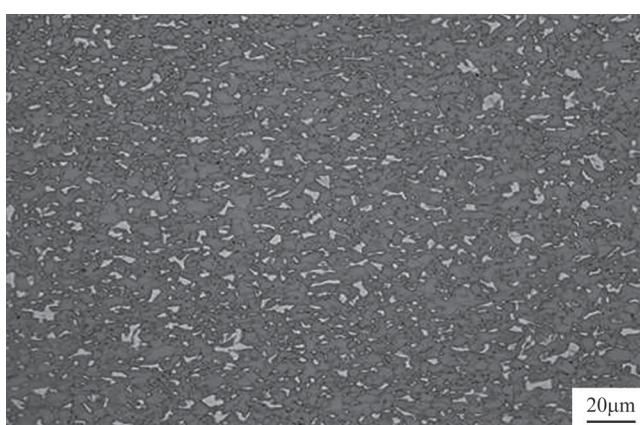
（半）无头轧制工艺生产热轧薄规格双相钢具有极大挑战。主要体现在：（1）冶炼过程 C 含量必须避开包晶区；（2）带钢强、塑性匹配问题；（3）表面质量问题。2018 年度，方向研究人员突破了上述技术瓶颈，成功开发出薄规格 DP590~DP780 热轧双相钢。取得了如下创新和技术进展：

（1）与常规轧制工艺相比，ESP 轧制工艺在相同变形条件下精轧阶段的变形抗力较低，室温组织中带状组织得到了显著改善。通过化学成分和工艺参数的优化设计，解决了 ESP 产线生产 DP590 双相钢过程中的红色氧化铁皮问题，并获得了良好的强塑性匹配。

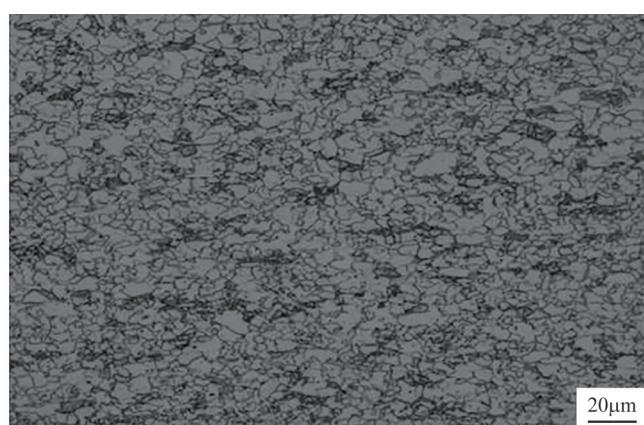
（2）日钢生产的薄规格热轧 DP590 双相钢经酸洗后，力学性能满足 DP590 的标准。2018 年，薄规格 DP590 双相钢制作成汽车的关键部件已被多家合资和国产车企所试用或使用，效果良好，并通过多家车企的认证，具备批量为车企供货的能力。

（3）在涟钢 CSP 产线，采用轧后超快冷结合半无头轧制工艺，成功实现了 1.4mm 厚 DP590 和 1.8mm 厚 DP780 双相钢的工业试制。经平整和酸洗工艺后，产品的性能分别满足 DP590 和 DP780/FB780 的标准要求。

综上，中心采用无头轧制工艺和半无头轧制工艺实现了高品质 DP590~DP780 薄规格双相钢的“以热代冷”。该技术有效缩短了薄规格双相钢的生产工序，为钢铁行业实现节能减排做出了重要贡献。



ESP 生产 DP590 金相组织



CSP 生产 DP780 金相组织

先进冷轧、热处理和涂镀工艺及装备技术方向重要研究进展

重要研究进展之一

先进热处理和涂镀工艺与装备技术

随着市场对冷轧产品性能、质量等的要求日趋苛刻，现有连续退火与涂镀关键技术亟待突破，高效率、低成本的加热和冷却技术是重要突破方向。

2018年，先进冷轧、热处理和涂镀工艺与装备技术方向经过理论、实验等基础研究，突破快速加热和快速冷却、锌层质量控制、先进高强钢可镀性等关键技术。相关研究成果在鞍钢、邯钢、宝武、攀钢等企业开展了中试实验和工业化应用，取得显著效果。取得了如下创新和技术进展：

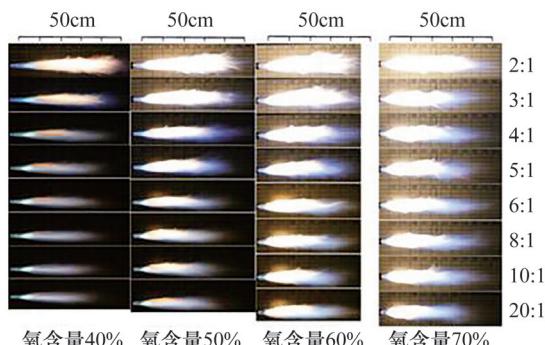
(1) 快速加热和快速冷却技术。开发了直接火焰冲击加热、横向磁通感应加热、戊烷喷射无氧化快速冷却和气雾冷却等技术。直接火焰冲击快速加热技术，加热速率达到 $180\sim240^{\circ}\text{C}/(\text{s} \cdot \text{mm})$ ；无氧化快速冷却技术，冷却速率 $100\sim500^{\circ}\text{C}/(\text{s} \cdot \text{mm})$ ，带钢横向稳态温度差小于 $\pm 15^{\circ}\text{C}$ ，表面质量良好。

(2) 先进高强钢合金元素选择性氧化及可镀性技术研究。得到了退火工艺对22MnB5钢可镀性的影响规律，开展了不同热成型工艺对锌基镀层裂纹的中试实验研究，揭示了液态Zn致脆(LMIE)现象以及裂纹产生的机理和规律，解决了锌基镀层22MnB5钢热成型工艺制定的关键基础问题。

(3) 镀层厚度和均匀性控制技术。针对鞍钢冷轧热镀锌线，建立镀层厚度及其均匀性控制模型和有限元分析模型，为探讨影响镀层厚度因素的机理提供基础，开发了相应的控制系统，实现了真正意义上的工业应用。实施效果：镀层平均厚度偏差小于 3.2g/m^2 ，合格率 $>2\sigma$ 值达到98.53%；稳态锌层厚度平均偏差降低 1.5g/m^2 ，非稳态锌层厚度平均偏差降低 3.7g/m^2 ，镀层均匀度 2σ 为 1.25g/m^2 ，比国际平均水平提高10.7%。



退火试验机



快速加热火焰状态



小锌花控制系统

重要研究进展之二

扁平材全流程智能化制备关键技术

智能化是钢铁行业发展的重要战略方向, 扁平材全流程智能化制备关键技术项目(2017YFB0304100), 面向扁平材多工序、系统级、全局的产品质量和制备流程优化, 构建扁平材智能化制备领域系统、完备的理论体系, 将形成智能决策与排产、质量在线监控与优化、精准控制与多工序协调、组织性能调控、绿色化新工艺等一批关键共性技术并应用示范。

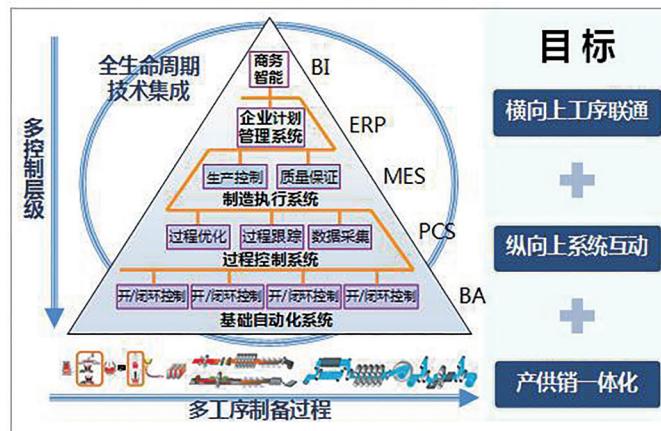
2018年, 以先进冷轧、热处理和涂镀工艺与装备技术方向为主体并协同其他方向, 开发智能化、协同化、柔性化、集约化、精准化控制技术, 实现钢铁行业横向工序联通、纵向上系统互动、产供销一体化的智能管控, 并将研究成果推广应用至鞍钢、河钢等企业。取得了如下创新和技术进展:

(1) 设计了产品全流程质量在线监控、诊断与优化系统平台, 完成了数据需求梳理及数据采集方案, 开发了时序数据库、物流信息模型, 完成了全流程集成质量信息平台离线测试。

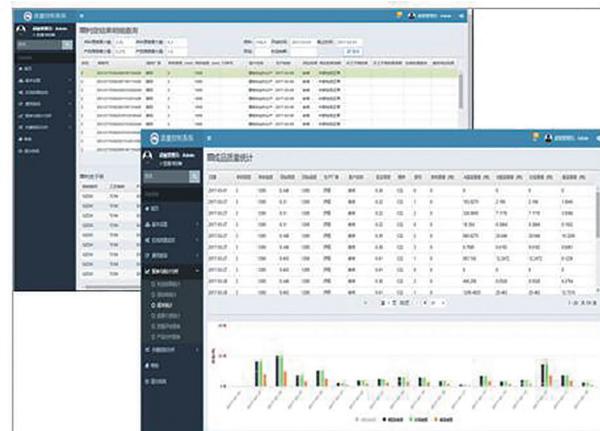
(2) 提出了多工序协调优化控制CPS系统的设计方案, 精炼温度 $\pm 5\%$ 命中率大于95%, 形成了有效抑制铸坯角部裂纹的内凸型窄面结晶器设计方案, 中厚板典型产品矩形化率大于93.8%, 基于数据驱动开发了连轧过程板形/板凸度预测模型。

(3) 建立了描述组织与性能对应关系的数学模型, 分析了成分对性能的控制余量, 形成了多因素影响下钢种成分归并的技术指导方法, 屈服强度预测准确率超过85%, 抗拉强度预测准确率超过90%。

(4) 减少了近终型ESP产线表面氧化铁皮的生成, 阐明了变厚度低合金高强钢力学性能差异化机制, 确定了合适的复合板热轧工艺, 明确了多尺度组织调控对于先进高强钢增塑行为的影响机理。



钢铁行业现状与智能化目标



多工序工艺质量管控系统

重要研究进展之三

高性能冷轧汽车用钢工艺与产品研发

汽车用钢的超高强化、汽车零部件的轻量化已经成为钢铁和汽车制造商竞相追求的重要目标。先进冷轧、热处理和涂镀工艺及装备技术方向围绕新一代高强韧汽车用钢的设计、研发、生产与应用全链条，在深度挖掘现有装备和工艺能力的基础上，突破高性能钢强韧化的经典理论和关键技术瓶颈，大幅度降低合金成本和工业制造难度，致力于推动我国汽车轻量化钢铁材料研发与应用达到国际领先水平。2018年，取得了如下创新和技术进展：

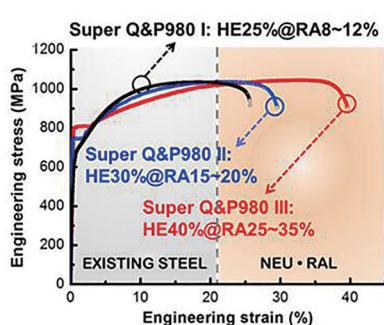
(1) “ δ -TRIP钢”的开发及工业应用。“ δ -TRIP钢”具有高强度、高成型性、可焊接并且低密度的特性，被列入《中国制造2025》重点领域技术路线图中。提出贝氏体相变的临界奥氏体晶粒尺寸效应，解决了晶粒细化与贝氏体相变的矛盾，基于钢铁厂连退产线工艺条件首次实现了980MPa级 δ -TRIP钢的实验室开发，伸长率达到28%；鞍钢突破了高Al钢的连铸工艺技术，980MPa级低密度钢全球首个工业卷于2018年11月在鞍钢下线，板形和边部质量良好。

(2) 新一代高强韧高成形性汽车用钢的研究与开发。国际上首次采用碳锰配分和应变配分协同调控机制开发出系列化超级淬火配分钢(Super-Q&P)的工业化原型技术，1000MPa级延伸率25%~40%，1200MPa级18%~24%，1400MPa级20%。新开发钢种力学性能达到或超过中锰钢水平，合金成本和生产难度大幅度降低，作为一种非常适合现有产线的全新第三代钢品种，具有广阔的应用前景。

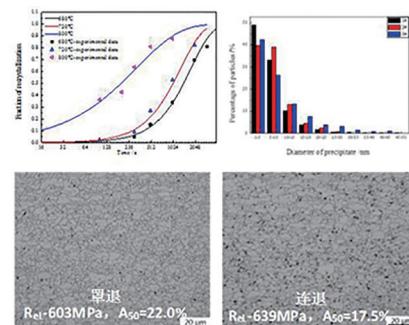
(3) 冷轧高强钢的热轧-冷轧-退火一体化控制工艺研究。采用一体化的工艺控制思路，通过控制热轧过程中的相变及析出行为，结合冷轧及连退过程中的再结晶、奥氏体相变及微合金元素析出行为调控，提高产品组织均匀性并获得良好的析出强化效果。在此基础上，开发出屈服强度500~650MPa级别强度、塑性及成形性能匹配良好的连退及罩退低合金钢。



实车碰撞试验



Super-Q&P 拉伸性能



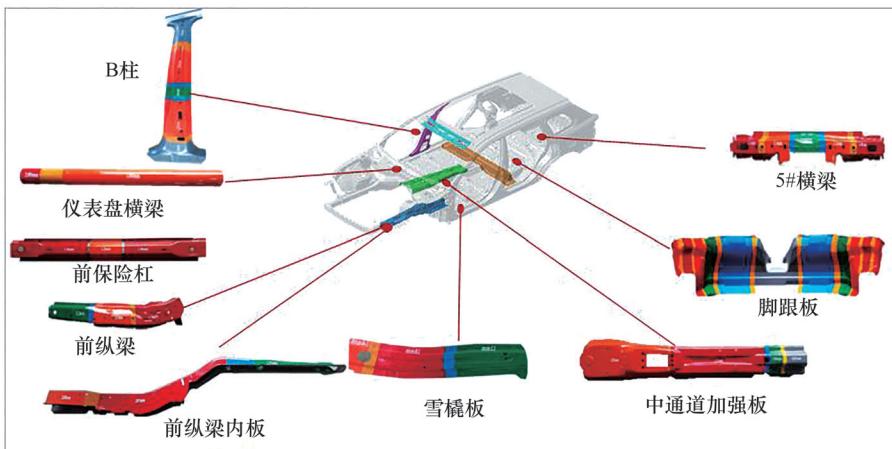
低合金钢再结晶-析出及组织性能

重要研究进展之四 轧制差厚板生产工艺与产业化

轧制差厚板是一种用于汽车减重的节能减排产品，其特点是可根据汽车零部件承载状况，灵活设计钢板的厚度尺寸，对负荷较小的部位减薄钢板厚度，产品质量和生产效率优于激光拼焊板，被认为是最具竞争力的汽车轻量化产品。

先进冷轧、热处理和涂镀工艺与装备技术方向提炼出“差厚板轧制工艺和技术”、“差厚板生产装备系统集成和软件开发”、“差厚板产品工艺开发和应用”三个课题。完成了大差厚比条件的轧制过程力平衡微分方程和水平速度方程，并提出四种典型过渡区类型的设计和控制方案，为变厚度轧制力模型的建立和高精度的厚度控制奠定了基础。开发了变厚度轧制过程的 VAGC 控制算法、板形控制机理、极限压下率条件下的稳定性控制方法。在此基础上，结合一汽骏派 A70 前纵梁差厚板的开发应用项目，研究变厚度钢板的成型特性，在此基础上完成了高精度轧制、高精度形状识别和高精度剪切软件的开发，1 万套批量产品成功在骏派车型应用，产品合格率达到 92%，浪形高度小于 12mm。

经过多年来的理论研究、中试实验和工业化集成等过程，本方向围绕差厚板轧制理论、生产工艺、装备集成开发、工业化开发和应用方面形成独有的理论体系，突破了变厚度轧制过程的高精度控制算法、生产装备系统优化集成和低成本产品工艺路径设计等关键技术。自主集成了国内首条 900mm 差厚板工业化生产线，并开发成功低合金高强钢冷成型差厚板、双相钢冷成型差厚板、Al-Si 镀层热成型差厚板等制备工艺，30 余款零件在不同类型产品装车应用，涉及钢种包括 CR340La、CR420La、HC260La、st12、22MnB5 等。该成果获得 2018 年汽车工业科技进步二等奖，本方向起草的汽车行业首个差厚板技术标准发布。



差厚板工艺装备

轧制差厚板产品

铁矿资源绿色开发利用方向重要研究进展

重要研究进展之一

复杂难选铁矿石悬浮磁化焙烧技术与装备推广应用

磁化焙烧是实现难选铁矿资源开发利用最有效方法，传统磁化焙烧技术和装备存在焙烧产品质量差、产能低、成本高、环境污染等问题。铁矿资源绿色开发利用团队自主研发了悬浮磁化焙烧新技术与装备，为铁矿资源绿色高效开发提供了途径。

2018年度，方向研究人员开拓进取，着力推进悬浮磁化焙烧技术的工程转化和进一步推广应用，取得主要进展如下：

(1) 酒钢集团年处理能力165万吨粉矿的悬浮磁化焙烧生产系统建设完成，并于2018年3月进行生产调试，目前生产能力已达150t/h，工艺顺行，指标良好。

(2) 完成山钢唐克里里铁矿综合样悬浮磁化焙烧扩大连续试验，获得了精矿TFe品位67.47%、作业回收率97.05%的技术指标。在扩大连续试验基础上，完成唐克里里铁矿悬浮磁化焙烧项目可行性研究工作，通过中国冶金矿山企业协会组织的评审会，专家一致认为“悬浮磁化焙烧新型选矿工艺装备先进可靠，技术经济指标可行。”

(3) 进行了海南矿业石碌铁矿悬浮磁化焙烧扩大连续试验，采用预富集-悬浮磁化焙烧-搅拌磨磨矿-两段弱磁选流程，获得了铁精矿TFe品位65.68%、作业回收率91.21%、硫含量0.038%的技术指标，完成了海矿铁矿石悬浮磁化焙烧项目可行性研究。

(4) 马钢姑山铁矿石在实验室采用悬浮磁化焙烧技术处理，可获得铁品位64.13%、回收率80.20%、P含量0.12%的铁精矿。马钢罗河矿尾矿在实验室采用悬浮磁化焙烧技术处理，获得精矿铁品位64.30%、铁回收率45.90%、S含量0.110%的技术指标。

(5) 中钢阿尔及利亚铁矿和太钢袁家村铁矿尾矿预富集-悬浮焙烧实验室试验正在开展，针对陕西大



西沟铁矿、新余钢铁公司铁坑铁矿、哈萨克斯坦鲕状赤铁矿脱磷、国外钴矿等进行了悬浮焙烧技术探索试验，均取得了超过常规选矿技术的良好指标。

悬浮磁化焙烧技术工业生产实践和扩大连续试验研究表明，悬浮磁化焙烧技术装备系统运行良好、工作参数控制稳定、焙烧产品质量优异。该技术的工程化应用及技术推广，可实现至今无法利用的复杂难选铁矿石的有效分选，盘活大量铁矿资源，降低我国铁矿石对外依存度，推进我国钢铁工业持续、健康、协调发展。

重要研究进展之二

节能磨矿装备、工艺技术研发

随着对矿产资源的开发利用，品位低难选矿产资源逐渐被开采，对于难选铁矿资源，细磨才能使有价值组分得到回收。搅拌磨机作为细磨设备，磨矿介质为钢球，因钢球密度较大，耐磨性中等，导致存在轴瓦等部件载荷大、钢耗及能耗依然较高的问题。

2018年东北大学韩跃新课题组研发人员突破了介质磨耗高、磨机能耗高关键技术，自主研发一台NEU-280kW型陶瓷球搅拌磨机，并实现工业化应用；研制开发成功了密度小、耐磨性高的陶瓷球磨矿介质，制定了相应的行业标准。取得进展如下：

(1) 研究了螺旋搅拌器导程与介质密度的关系，提出了小导程、高转速、低功耗的陶瓷介质专用搅拌磨机设计方案，以及适用于新型搅拌磨机的磨矿工艺，通过中试和工业试验确定了新型搅拌磨机参数，设计开发了系列化工业陶瓷介质搅拌磨机。

(2) 建立了适用于新型搅拌磨机研磨介质的评价体系，对陶瓷球的压碎载荷、磨损、破碎率、球形率、密度、 Al_2O_3 含量等指标进行了检测，根据陶瓷球直径大小，划分了不同等级的陶瓷球，为工业生产中筛选合格的研磨介质提供可靠的质量依据。

(3) NEU-280kW搅拌磨机-0.043mm排矿增量较球磨机提高7.20%，电耗和球耗分别降低50.26%和50.61%，仅在车间推广后，预计年节约运行成本901.06万元，提高铁回收率提高0.2个百分点，新增铁精矿产量10800t/年，新增铁精矿效益702万元。

NEU-280kW型搅拌磨机与 $\phi 2.7 \times 3.6\text{m}$ 型球磨机相比较，具有大幅度节能节球，同时磨机负载下降后，作用于主轴上的作用力大幅下降，降低传动部件的疲劳强度，延长磨机的使用寿命，提高磨机的作业率等显著特点和优越性。在鞍钢矿业公司召开的“新型细磨设备及介质技术研究”项目评议会上，与会专家一致认为“该项新型细磨设备及介质技术创新性突出，为鞍钢矿业选矿厂节能降耗提供了技术支撑，研究成果达到国内领先水平。”



NEU-280kW 新型陶瓷球搅拌磨机

重要研究进展之三 难选铁矿石深度还原短流程熔炼技术

我国铁矿资源储量丰富,查明资源储量达841亿吨。然而我国铁矿石禀赋差,需要经过选矿处理才能进高炉冶炼。其中,约有上百亿吨难选铁矿石采用选矿方法难以处理,只能成为“呆”矿堆存,造成资源极大浪费。针对难选铁矿石的特点,铁矿资源绿色开发与利用方向团队突破选矿-球团(烧结)-高炉的传统理念,创造性地提出深度还原短流程熔炼技术。

2018年度,方向研究人员围绕深度还原短流程熔炼开展了大量的基础研究,并稳步推进该技术的工业化进程,取得如下进展:

(1) 针对深度还原过程中冶金物理化学问题进行基础理论研究。在矿石工艺矿物学特性基础上,开展了还原热力学模拟计算和动力学参数解析,探明了深度还原过程中物料的物相转变和微观结构演化规律。

(2) 针对还原过程中磷矿物的反应特性及磷的相际迁移开展研究。查明了深度还原中磷在金属相、渣相、气相中的分布规律和赋存状态,探明了磷微观迁移的路径,建立了磷相际迁移的动力学方程;探究了在冶炼过程中脱磷的影响因素和工艺参数。

(3) 在朝阳东大矿冶研究院建成处理能力为50吨/天的深度还原短流程熔炼半工业试验系统。针对印尼红土镍矿进行了中试试验,得到了合格铁水,生产成本较原工艺明显降低。

(4) 目前,正在开展承德信通首承矿业公司钒钛磁铁矿氧化球团深度还原短流程熔炼半工业试验,预期可实现含钒生铁中铁回收率 $\geq 90\%$ 、钒回收率 $\geq 86\%$ 的目标。

煤基深度还原短流程熔炼技术对钢铁生产流程的变革和节能减排具有深远影响。该技术省去了选矿、球团等工序,从而缩短了钢铁生产流程,提高了生产效率,降低了能源消耗。此外,该技术以普通煤粉为还原剂,摆脱了钢铁生产对焦煤的依赖,可有效地减少因炼焦造成的环境污染。综上所述,煤基深度还原短流程熔炼技术具有显著的经济、社会及环境效益。



处理能力 50 吨 / 天的深度还原短流程熔炼系统

钢铁领域信息化、智能化技术方向重要研究进展

重要研究进展之一

系统可重构的智能制造基础研究平台

以“中国制造 2025”为总体指导思想，融合工业 4.0、互联网+等概念，通过引进装配生产线、工业机器人、机器视觉、工业 SDN 网络、MES、离散系统数字化仿真技术、流程系统数字化仿真和运行系统，并结合企业管理协同工作形成平台整体解决方案。其技术体系主要包括：（1）基于 WIA-FA 的工业物联网系统；（2）软件定义的管控系统；（3）打通纵向集成的管理软件系统。柔性装配生产线制造执行系统是基于客户个性化订单，生成订单信息的混线柔性生产制造执行系统，不仅实现了对订单 - 物料 - 调度 - 生产的纵向全价值链集成，而且完成了生产过程中对生产过程关键 KPI 的生产监控，实现了对能源 - 物料 - 质量 - 设备的生产过程数据横向全过程集成。平台系统包含订单管理、柔性调度、库存管理、质量管理、设备管理、能源管理、生产监控、系统管理八大模块。

通过装配线实现产品的个性化选择、工件挑选、搬运上线、托盘运输、自动上下料、自动装配和质检等功能。以乐高积木个性化装配为例，通过选择不同型号和颜色的零部件个性化配置生成不同的订单，设计平台实现设计人员的权限分级管理，包括订单生成、工艺平台装配工艺流程自动生成和动态重构；订单生成后，结合工业机器人和机器视觉进行零部件的识别以及自动上下料和装配工作；装配完成后对产品进行总体拍照检测，然后下线，为师生提供可以开展从设计、装配、检测、下线存储整个生命周期生产过程智能制造技术的研究平台。



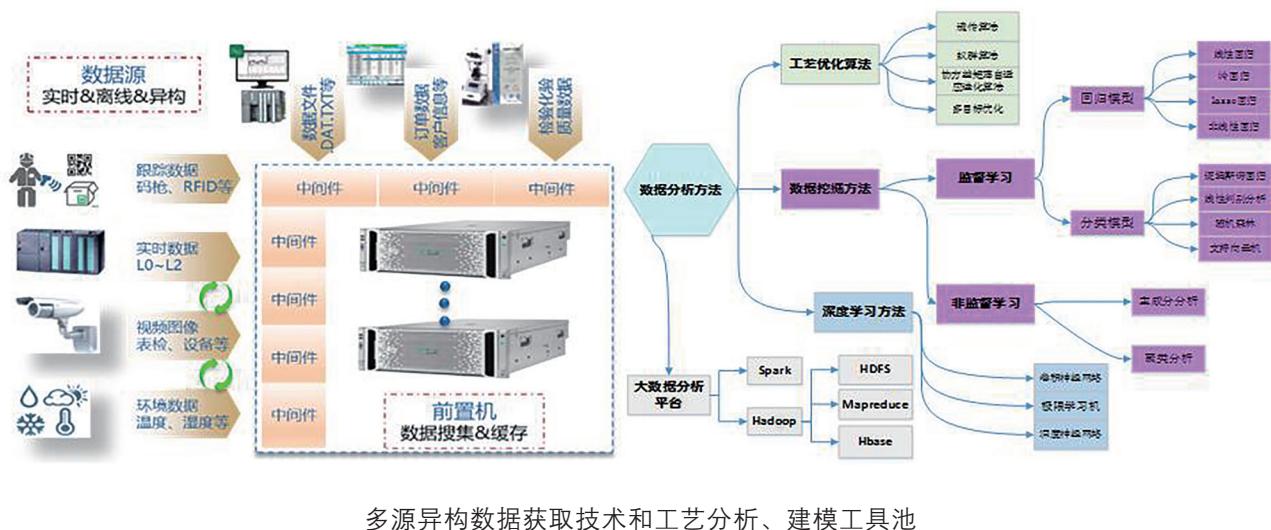
平台实物效果和虚拟系统

重要研究进展之二

面向铝 / 铜板带材智能制造的工业大数据平台

围绕国家智能制造战略需求，结合 2011 钢铁共性技术协同创新中心重大任务—国家重点研发计划之“基于工业大数据的铝 / 铜板带材智能化工艺控制技术”，经过前期的现场调研、理论研究、关键技术开发等等研究工作，克服了铝 / 铜板带材生产流程加工工序多、工艺复杂、装备控制系统种类多差异大、信息来源分散不完整、示范企业信息化技术不平衡等难题，在平台架构设计、全流程数据项设计、数据获取、存储及处理、平台应用工具等方面进行了完整设计。旨在通过对全流程工艺数据项进行构建并形成完整数据源的基础上，开发突破数据获取、整合、存储、分析等关键技术，形成具有标准化、开放性的大数据平台，最终实现基于工业大数据技术的工艺参数深度优化、生产过程质量建模、生产组织智慧优化决策等智能化工业应用。

经过 1 年多的艰苦工作，面向铝 / 铜板带材智能制造的工业大数据平台中试平台已经搭建完成，定义了全流程数据项、数据采集标准、数据存储等标准，开发了面向控制系统、实时数据库、关系数据库、二维码等多种数据源设备的接口中间件，基于已获取的现场 2TB 的历史过程数据开发了数据清洗和分析工具，各项功能处于逐步丰富完善中。



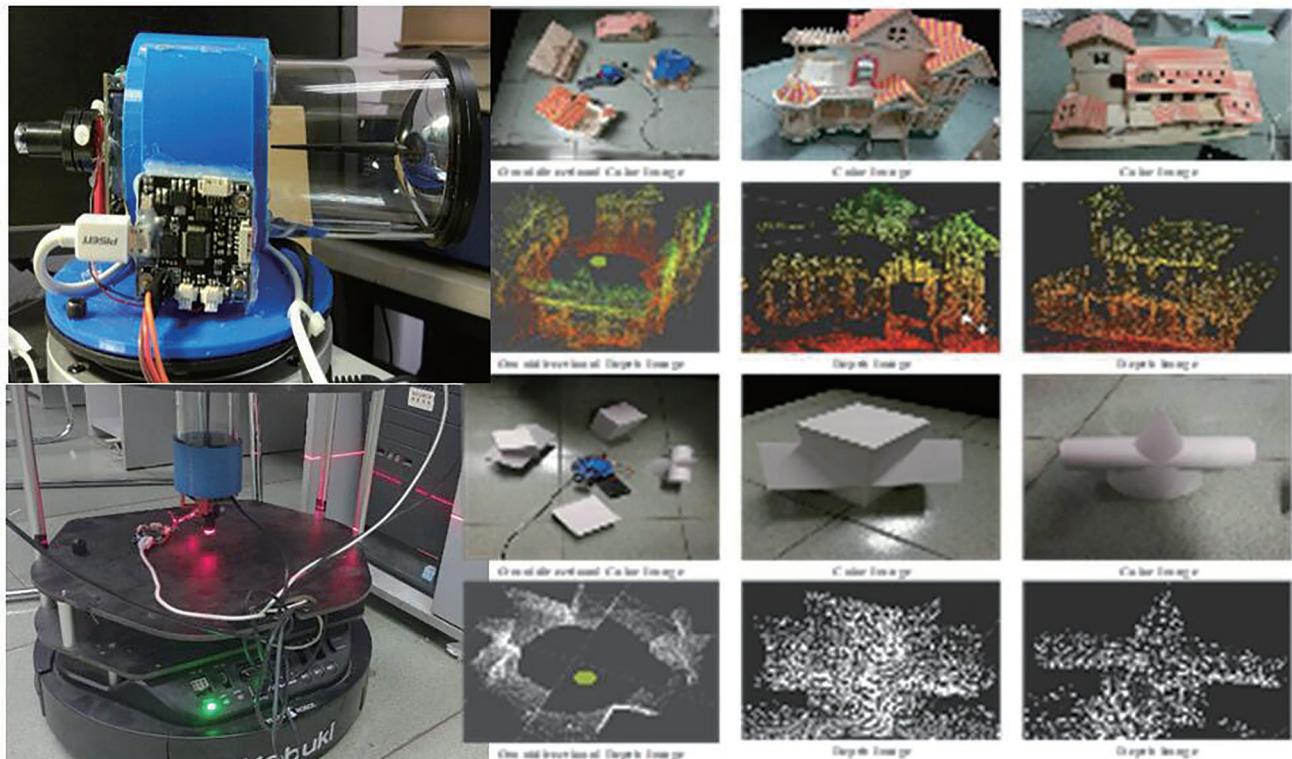
多源异构数据获取技术和工艺分析、建模工具池

重要研究进展之三

三维全景测量关键技术

三维扫描与建模是计算机视觉研究中的关键问题，可广泛应用于无人驾驶、机器人避障与导航、虚拟现实、增强现实等。课题组研发了一种基于全向图与编码光的三维全景测量技术。首先，为了满足测量系统易于安装的需求，采用了基于多参考面的投影仪标定算法，使繁琐的系统标定步骤变得简单容易；然后，设计了一组“四方位沙漏状”编码结构光，有效实现待测图像与参考图像的对应点计算，大幅度提高测量精度；最后，在移动条件下，研究基于先验约束迭代就近点的三维点云匹配算法，实现目标的三维建模。大量实验结果表明，该方法可以快速、准确、鲁棒地对大场景进行三维扫描与建模，且抗干扰能力较强。

基于该研究成果，课题组已经在 IEEE Transactions on Image processing、Optics & Laser Technology、Optics and Lasers in Engineering、自动化学报等国内外重要期刊上发表论文二十余篇，申请及授权国家发明专利七项。同时，课题组也与国内多家企业建立联系，实现成果转化工作。



三维扫描与建模实验结果

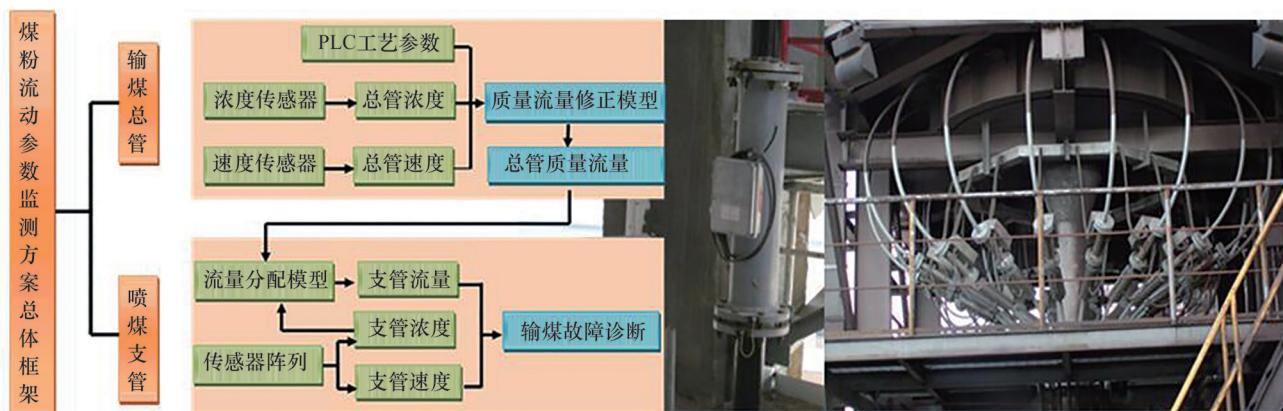
重要研究进展之四

多物理场条件下的煤粉流动参数测量技术

针对浓相输送的气固两相流，浓度、速度及质量流量等煤粉流动参数的在线检测难题。方向研究人员突破了煤种及配比变化等干扰条件下煤粉流动参数测量的关键技术，提出了基于电容传感器集成技术的输煤总量质量流量计量与支管流动参数检测的系统化解决方案，取得了如下创新和技术进展：

- (1) 提出了以具有固定相浓度传感器数据作为介电常数补偿数据的双电容测量方法，建立了补偿结合介电常数变化的煤粉质量流量在线校正模型。
- (2) 综合考虑静电场与流场、气相与固相的耦合作用，分析煤粉在多物理场条件下的流动特性及时空分布波动对于传感器测量结果的影响，结合传感器结构参数优化设计及传感器优化布设研究，设计完成了流型在线整定的装置。

(3) 针对高炉喷煤工艺特点, 提出了总管流动参数计量与支管流动参数一致性、均匀性与输煤故障诊断的系统化监测方案, 并在宝钢、湛江、南钢、韶钢等高炉在线应用。其中, 结构优化的灵敏度高、均匀性误差 $<5\%$ 的螺旋形状表面板电容式相浓度传感器, 是已有文献报道中均匀性误差最小的煤粉相浓度电容传感器; 具有抗杂散电容的高压交流微小电容检测电路, 将现有检测电路的分辨率及灵敏度提高了5倍以上; 基于数据驱动的煤粉质量流量模型及在线校正方法, 达到煤粉质量流量在线检测准确度 $\leq \pm 5\%$; 基于数据特征分析的快速输煤故障诊断方法, 达到输煤故障诊断准确率 $>99\%$ 。



检测系统技术框架和现场实物应用效果

“十三五”国家重点研发计划“铝工业典型危废无害化 高效利用关键技术研究与示范”项目获得批复立项

2018年12月4日, 在科技部网站上获悉, 由我校韩跃新教授主持的“十三五”国家重点研发计划固废资源化重点项目“铝工业典型危废无害化高效利用关键技术研究与示范”已批复立项, 获得国拨经费额度2318万元, 项目编号为2018YFC1901900。

据悉, 该项目由东北大学作为牵头单位, 东北大学资源与土木工程学院韩跃新教授担任项目负责人, 联合中南大学、中国科学院过程工程研究所、北京矿冶科技集团有限公司、昆明理工大学、广西大学、广西来宾银海铝业有限责任公司、魏桥创业集团滨州市宏通资源综合利用有限公司、中铝矿业有限公司、朝阳天马实业有限公司10家单位共同承担。

我国是铝工业制造大国, 氧化铝、电解铝产量均占世界50%以上, 每年产生赤泥约1亿吨、铝电解废槽衬约100万吨和铝灰约200万吨。我国赤泥综合利用率仅为4%, 铝电解废槽衬无害化处置率不足10%,

致使环境污染严重。铝工业危废的减量化、资源化、无害化及全组份利用，不仅能解决其大量堆存导致的严重环境污染问题，还可缓解我国铝土矿、铁矿石高度依赖进口的资源保障困局，深度契合面向生态文明建设与保障资源安全供给的国家重大战略需求。目前，我国铝工业危废无害化高效利用理论和适于大规模推广的技术支撑体系尚未形成，大量消纳铝工业危废和具有产业竞争力的共性关键技术瓶颈和装备创新与升级等难题亟待解决。

本项目围绕上述行业瓶颈问题和国家指导方向，以铝工业危废的减量化、高值化、无害化、全组分利用为总体目标，将矿物加工、冶金和材料等多学科深度交叉，通过基础理论研究 – 关键共性技术与装备开发 – 技术集成创新 – 应用示范的全链条系统研究，阐明铝工业危废毒害组分的安全利用属性、安全解毒和资源化利用理论，攻克赤泥、铝电解废槽衬和铝灰的无害化处置及有价组分协同提取高值利用新技术及装备等世界性难题，构建铝工业危废的资源化利用及安全处置共性关键技术创新体系。

本项目的研究成果将大幅提高我国铝工业危废的安全处置能力和资源利用水平，预期开发 5 套经济合理、技术可靠、应用广阔的一体化的集成技术和装备，为实现铝工业典型危废毒害组分安全处置、有价组分的高效回收及高值化利用提供技术可靠经济可行的产业化发展思路。此外，通过产学研用深度融合，构建铝工业危废的资源化利用及安全处置共性关键技术体系，建立系列科研成果商业化推广创新模式，建成 4 项铝工业危废安全处置与利用的年处理能力达万吨级的示范工程，为加快我国铝工业可持续健康发展和支撑生态文明建设提供科技保障。

3 RAL 要闻

湘钢 5m 宽厚板辊式淬火技术装备顺利完成调试

华菱湘钢 5m 宽厚板热处理调质线是 2018 年湖南省重点建设项目，经过前期华菱湘钢与东北大学 RAL 国家重点实验室多次交流，于 2018 年 2 月双方正式签订热处理线淬火机项目总承包合同，项目正式实施。2018 年 3 月，双方完成详细设计审查，8 月份，整条热处理线一次性热负荷试车成功。目前，项目已完成调试工作，正式投入使用。

湘钢 5m 宽厚板辊式淬火机是目前国内单体设备最大、生产钢板厚度跨度最大、宽度最大的辊式淬火装备，能够实现 5~200mm 厚、最宽 4800mm、最长 26m 钢板连续淬火热处理生产，具备正火、淬火、控制

冷却等多种功能。双方经过技术攻关,突破了超宽钢板高均匀性淬火、特厚钢板高渗透性淬火、极薄钢板高平直度淬火、钢板控温淬火、双排淬火等多项技术难题,截止目前已经实现最薄6mm、最厚200mm、最宽4800mm钢板连续稳定生产,装备技术优势逐渐显现,为湘钢高等级钢板生产和研发奠定基础。



湘钢 5m 宽厚板热处理线调质线



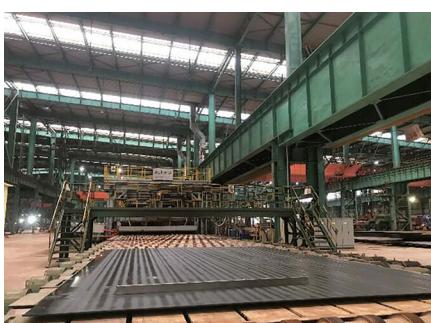
5m 宽厚板连续辊式淬火装备



钢板双排料淬火



200mm 特厚钢板高强度淬火



4800mm 超宽钢板高均匀性淬火



6mm 极薄钢板高平直度淬火

东北大学轧制技术及连轧自动化国家重点实验室学生在 “材料高温原位微观组织图像竞赛”中荣获多项奖项

11月22日,在中国金属学会、钢铁研究总院中心实验室主办,陕西午禾科技有限责任公司协办的“钢研杯”(2018)金属材料高温过程原位分析微观组织图像竞赛中,东北大学轧制技术及连轧自动化(RAL)国家重点实验室学生荣获一等奖一项,二等奖一项,三等奖两项,成绩喜人。其中王源同学以作品“2101双相不锈钢凝固过程组织变化原位观察”荣获大赛一等奖。王金亮同学以作品“无束缚条件下马氏体相变过程观察”荣获大赛二等奖。刘佳和李鑫同学分别以“马氏体转变过程原位观察”“不锈钢凝固过程原位观察”荣获大赛三等奖。

本次大赛旨在促进金属材料高温过程原位观察技术的学术交流及经验分享,更好地发挥高温激光共聚

焦显微镜在金属材料研究中的应用。此次参赛单位涵盖了全国各高等院校、科研院所以及金属材料生产企业。比赛作品涉及了金属材料的凝固过程、固态相变过程、晶界钉扎以及夹杂物的演变等高温组织演变过程分析。会议主办方邀请了相关研究领域的知名专家、学者就有关金属材料高温过程的原位观察技术展开了交流，并对参赛作品进行了评审。大赛共产生一等奖2项，二等奖5项，三等奖10项。



轧制技术及连轧自动化国家重点实验室与 河钢唐钢科技交流会举行

10月15~16日,东北大学与河钢唐钢科技交流会在唐山市举行。中国工程院院士王国栋、河钢集团副总经理王新东出席交流会,东北大学科学技术研究院、资源与土木工程学院、冶金学院、材料科学与工程学院、信息科学与工程学院、轧制技术及连轧自动化国家重点实验室、河钢东大产业技术研究院和河钢集团各子公司相关专家共150人参加交流会。

王国栋表示,东北大学围绕河钢集团钢铁生产重大问题,以绿色化与智能化为核心,坚持需求牵引,推动钢铁生产全领域、各环节技术改造与升级,形成了炼铁、炼钢、热轧、冷轧的全链条产学研深度融合技术改进模式。王国栋指出,本次对接交流会,重点就河钢集团未来钢铁技术方向进行深入研讨,以确定

将来钢铁生产与品种改进的突破方向与工作重点。

会议期间, 与会专家围绕炼铁、炼钢、热轧和冷轧等领域进行深入交流, 并就未来钢铁包括采矿、选矿、炼铁、炼钢、热轧冷轧、智能制造、环保减排与多元发展等20个技术专题进行了专项研究。

