



轧制技术及连轧自动化国家重点实验室
钢铁共性关键工艺技术与装备研发创新平台

简报

NEWSLETTER

3

2023 年 (季刊)

Vol.11

内容提要

· 头条信息 ·

“国家出版基金计划”资助项目、“十四五”国家重点出版物《数字钢铁关键技术丛书》编纂研讨会在东北大学召开.....	1
东北大学与中冶京诚签署全面合作协议.....	2

· RAL 要闻 ·

东北大学与湘潭钢铁举行科技交流会.....	3
河钢集团与东北大学召开技术交流会.....	4
王国栋院士带队赴柳钢防城港基地进行交流访问.....	4
王洋副研究员获华为公司难题揭榜“火花奖”.....	5
东北大学与山东钢铁集团科技交流会举行.....	6
河钢材料技术研究院刘宏强副院长一行到东北大学交流访问.....	7
日本 JFE 钢铁公司技术总监岸本康夫一行到访实验室交流访问	7

· 技术前沿 ·

东北大学研发的奥氏体不锈钢热轧卷在线固溶退火工艺.....	8
东北大学研发的基于虚拟化平台的中厚板轧线自动化系统.....	11

欢迎访问

<http://www.ral.neu.edu.cn>

查看更多内容

1 头条信息

“国家出版基金计划”资助项目、“十四五”国家重点出版物 《数字钢铁关键技术丛书》编纂研讨会在东北大学召开



7月7日上午，“国家出版基金计划”资助项目、“十四五”国家重点出版物《数字钢铁关键技术丛书》编纂研讨会在东北大学轧制技术及连轧自动化国家重点实验室（RAL）隆重召开。冶金工业出版社社长顾问、原总编辑任静波，编辑中心副主任卢敏，中国工程院院士、东北大学副校长唐立新，中国工程院院士、东北大学教授王国栋出席会议。中

国钢研科技集团、宝山钢铁、鞍钢集团、鞍钢股份、上海逢石科技、山东钢铁、抚顺新钢铁等二十多位来自企业的领导、专家与东北大学 RAL 实验室、资源与土木工程学院、冶金学院、机械学院、低碳钢铁前沿技术研究院、信息学院等相关负责人及教授专家参加会议。研讨会由 RAL 实验室副主任张殿华教授主持。

东北大学副校长唐立新院士在致辞中表示，党的十九大对建设网络强国、数字中国、智慧社会作出了战略部署。本套《数字钢铁关键技术丛书》的编纂出版，正是在认真贯彻落实党中央、国务院的决策部署，并且具有非常重要的意义：一是数字化技术离不开应用场景，通过场景来迭代数字化技术对工业软件的发展至关重要；二是钢铁企业可以从该套丛书获得共性技术的支撑，提升研发攻关的速度；三是提出了解决问题的新思路，将对学术界提供强有力的支撑。

王国栋院士表示，2022 年《钢铁工业协同创新关键共性技术丛书》(23 分册) 的出版得到了各方广泛关注与认可，这些科研成果是钢铁共性技术协同创新中心产学研深度融合的结晶。王院士指出，党的二十大报告提出“坚持创新在我国现代化建设全局中的核心地位，加快实现高水平科技自立自强，加快建设科技强国。”此次东北大学联合各优势单位围绕钢铁行业全流程“黑箱”痛点难题出版的《数字钢铁关键技术丛书》对推进我国钢铁工业数字化转型升级、加快钢铁行业高质量发展具有重要意义。随后，王院士对“丛书”下一阶段的编纂工作作出具体要求和工作部署。一是要突出创新、体现数据驱动；二是要以企业为主体、市场为导向、产学研深度融合；三是要体现出实干的结晶、实践的成果。

冶金工业出版社社长顾问、原总编辑任静波首先向东北大学钢铁共性技术协同创新中心《数字钢铁关键技术丛书》在获得国家出版基金资助后又成功入选“十四五”国家重点出版物出版规划增补项目表示祝

贺, 并对“丛书”编写工作提出了具体要求。她表示, 国家出版基金规划管理办公室在《2023 年度国家出版基金项目评审立项工作综述》中对“丛书”做出了“集中展示我国具有自主知识产权的重大科技攻关成果, 促进创新链和产业链精准对接”的评价, 这是对钢铁共性技术协同创新中心科技创新工作的高度认可, 希望中心的各位专家再接再厉, 共同把“丛书”的编纂工作做得更好, 助力钢铁工业的高质量发展。

会上, 冶金工业出版社编辑中心副主任卢敏围绕丛书出版背景、丛书编写注意事项、成书样例等内容向与会人员作了详细介绍。与会人员就“丛书”下一阶段编纂的基本想法与架构等内容进行了研讨。

东北大学与中冶京诚签署全面合作协议

7月16日, 东北大学与中冶京诚工程技术有限公司全面合作协议签约仪式在中冶京诚总部举行, 中冶京诚党委书记、董事长岳文彦, 东北大学副校长孙雷、中国工程院院士王国栋出席签约仪式, 双方相关部门负责同志参加签约仪式。

孙雷首先祝贺中冶京诚建院 72 周年, 并介绍了东北大学历史沿革、办学特色等情况。东北大学面向国民经济主战场, 积极发挥自身优势, 尤其是在服务国家战略、行业发展、区域发展上, 取得一系列重要科研成果与关键共性技术, 推进了科技成果转移转化, 为实现高水平科技自立自强做出了突出贡献。今年恰逢学校建校 100 周年, 东北大学在百年的办学历程中, 为国家和行业培养了大批人才, 拥有一流的人才队伍和科研创新平台, 希望双方以签署全面合作协议为契机, 在前期良好合作基础上, 进一步加大合作与交流, 共谋行业高质量发展。

岳文彦对孙雷、王国栋及专家团队一行表示热烈欢迎, 并介绍了中冶京诚的历史沿革、业务发展、科技规划等情况。岳文彦表示, 一直以来中冶京诚与东北大学合作密切、渊源深厚。东北大学立足于人才培养和钢铁技术创新优势, 为中冶京诚输送了一大批优秀人才。双方在技术服务、科技研发、科技成果转化、工程项目建设、标准规范编制等方面展开了长期友好合作。岳文彦指出, 在新时代新形势下, 中冶京诚聚焦行业新需求, 以低碳冶金、数字智能为主线, 不断增加科研平台建设的投入, 加大人才培养, 致力于推动企业高质量发展。中冶京诚与东北大学签署合作协议, 将推动双方开展更全面、更深入的合作, 进一步推进产学研深度融合, 实现资源共享、优势互补、合作双赢, 共同发展。

王国栋院士首先对中冶京诚长期以来给予东北大学的支持和帮助表示感谢, 并介绍了东北大学钢铁共性技术协同创新中心围绕钢铁全流程生产, 在数字化、绿色化、高质化等科技创新方面取得的一系列成果。王院士表示, 希望通过此次东北大学与中冶京诚的深入交流, 建立起常态化合作机制, 系统梳理研发需求, 以企业为主体, 以市场为导向, 在人才培养、科学研究等方面进一步深化合作, 发挥双方优势, 实



现校企深度合作、共赢发展。

东北大学副校长孙雷, 中冶京诚党委委员、副总经理、冶金公司党委书记、总经理李铁代表双方签署全面合作协议。

随后, 双方就创新平台建设、科技项目研究、人才培养等进行了座谈交流。

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, 低碳钢铁前沿技术研究院院长储满生, 轧制技术及连轧自动化国家重点实验室副主任张殿华、赵宪明、丛广宇及有关专业的老师; 中冶京诚冶金公司副总经理、总工程师常旭, 冶金公司副总经理段国建, 以及相关部门负责人参加会议。

2 RAL 要闻

东北大学与湘潭钢铁举行科技交流会



7月27日, 东北大学与湘潭钢铁集团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) 560 会议室举行。湘潭钢铁副总经理刘吉文, 中国工程院院士、东北大学教授王国栋出席交流会。湘潭钢铁集团有限公司、东北大学 RAL 实验室、资源与土木工程学院、冶金学院、低碳钢铁前沿技术研究院等相关负责人及教授专家参加会议。

交流会由 RAL 实验室副主任刘振宇教授主持。

刘吉文副总经理在致辞中感谢东北大学长期以来对湘潭钢铁在产业发展与人才培养等方面给予的强力支撑, 并简要介绍了湘潭钢铁当前的发展概况和未来发展方向。刘吉文表示, 湘潭钢铁集团与东北大学有着悠久的合作传统和扎实的合作基础。目前, 湘潭钢铁正在大力推进产品结构调整、绿色低碳及智能制造三大方面的改革与创新。在此关键节点, 亟需东北大学在科技创新和人才培养等方面的支持, 希望通过此次交流双方能够进一步深化多方面的合作对接, 建立合作共赢的长效机制。

王国栋院士对刘吉文副总经理一行的到来表示热烈欢迎, 并简要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。王院士表示, 在新形势下, 高校与行业领军企业携手, 是产学研结合协同创新的必由之路, 希望双方紧密围绕企业的“痛点”“难点”等问题, 本着“优势互补、合作共赢”的原则, 充分发挥各自优势, 共同推进企业与学校在技术创新、人才培养等领域的深度合作, 联合推动科研成果应用与产业化, 攻破更多“卡脖子”难题, 共同推进钢铁行业高质量发展。

会上, 王院士将《钢铁工业协同创新关键共性技术丛书》赠与刘吉文副总经理一行。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。

河钢集团与东北大学召开技术交流会

7月27日，河钢集团与东北大学技术交流会在东北大学召开。河钢集团副总经理李毅仁，东北大学副校长王强，中国工程院院士、河钢东大产业技术研究院院长王国栋出席交流会。

河钢集团坚持科技引领、创新驱动，持续加强企业主导的产学研深度融合，聚焦新材料、新能源、新工艺和绿色低碳、智能制造，深度链接全球科技创新资源，努力打造原创技术策源地和自主创新高地，以技术升级推动高质量发展。2016年，由河钢集团和东北大学联合共建、国内首家校企合作实体化运作的钢铁技术研发平台——“河钢东大产业技术研究院”成立。该研究院是河钢集团“全球技术研发平台”的重要组成部分，旨在充分发挥河钢集团的产业资本优势和东北大学的技术资源优势，共同打造产学研用高效融合的全球钢铁技术研发平台，聚集全球技术创新要素，加快推进钢铁产业升级。



河钢集团与东北大学不断深化技术创新合作，成为校企合作的典范。河钢东大产业技术研究院成立七年来，聚焦钢铁行业的战略性、前沿性、颠覆性问题和制约企业发展的关键共性技术，为推动双方务实深度合作发挥了重要的平台作用。围绕高端化、智能化、绿色化发展，双方将着力加强材料技术研发，充分发挥河钢集团应用场景和数据资源优势，用足用好东北大学研发资源，打造科技成果产业化聚集地。

会上，河钢东大产业技术研究院介绍了近几年取得的主要成果，河钢集团相关单位交流了加快企业技术升级的技术需求，东北大学 RAL 国家重点实验室、冶金学院、材料科学与工程学院、资源与土木工程学院交流了最新科研成果。

王国栋院士带队赴柳钢防城港基地进行交流访问

8月11日，钢铁共性技术协同创新中心主任王国栋院士带队赴广西防城港，对柳钢集团旗下的广西钢铁集团（以下简称广钢集团）进行交流访问。柳钢集团副总经理陈海，柳钢集团科技质量中心总经理邓深，副总经理杨跃标，广钢集团总经理韦军尤，副总经理余志军，生产制造部总经理杨舟，广钢集团铁钢轧各厂相关负责人出席交流会。东北大学储满生教授、张殿华教授、李宝宽教授、高秀华教授、李海军副教授、



周晓光副教授等相关首席和专家参加会议。

柳钢集团副总经理陈海对王国栋院士一行的来访表示热烈欢迎。他展示了柳钢集团贯彻“一体两翼”战略、建设防城港广钢集团的丰硕成果，并结合广钢集团未来发展愿景，提出了广钢对科技创新、产学研深度融合、

绿色化数字化发展的迫切需求。陈海表示，一直以来柳钢集团与东北大学密切合作，协同创新，进行钢铁行业的跨越式发展，确立了柳钢集团在我国南方的发展优势。东北大学为柳钢集团输送了一大批优秀人才，目前广钢平均年龄 29 岁的强大创新队伍为企业发展提供了宝贵的人才资源。他希望双方进一步加强合作的广度和深度，为企业现代化发展注入新的动能，双方共同努力将防城港基地建设成为钢铁行业的样板标杆企业。

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，“中心”立足钢铁工业特点，多年来面向钢铁领域绿色化、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系统性的解决方案。相信广钢集团与东北大学携手合作，坚持“围绕产业链部署创新链，围绕创新链布局产业链”的指导思想，以钢铁行业绿色化转型、数字化转型为中心，发挥东北大学协同创新中心在技术创新、产学研用深度融合等方面的特色优势，建立互利共赢的深度融合关系，切实解决企业发展面临的瓶颈问题，为我国钢铁工业绿色化、数字化转型发展提供有力支撑。

会后，东北大学一行在集团领导的陪同下，参观了广钢集团的生产现场和建设工地。井然有序的生产组织和先进实用的工艺技术及融于其中的绿色化、数字化、高质化理念震撼人心，预示一个崭新的现代化新柳钢将屹立我国南大门，创新发展，创造奇迹，大步迈向国际领先的钢铁企业！

王洋副研究员获华为公司难题揭榜“火花奖”

8 月 13 日，华为公司发布难题接榜第 69 期“火花奖”获得者名单。东北大学轧制技术及连轧自动化国家重点实验室王国栋院士 / 袁国教授团队的王洋副研究员获此殊荣。这也是我校教师首次获得该奖项。

针对华为公司某硬件工程材料制备难题，在团队相关科研工作积累基础上，王洋副研究员将钢铁材料先进制备技术与电子行业关键需求相结合，为实现关键元器件基础原料自主可控，提供了有效的工艺与装备一体化解决方案。该方案兼具创新性和可落地性，被授予最新一期火花奖。

火花奖，取自火花碰撞之意。华为公司重视基础研究，坚持开放创新，自 2021 年 11 月起，华为把产业会战和行业面临的老大难问题总结提炼为科学问题向社会发布，采用难题揭榜的形式，寻找基础理论扎实、有创新解题思路的人才。这些难题兼具商业价值和科学价值。在这个过程中，涌现出数百位高校老师

踊跃揭榜, 其中有些非常好的创意, 具备解决挑战难题的潜力。为了表彰这些才华斐然的老师, 华为公司特设立火花奖, 以奖励其获奖者对于产业界及科学界做出的重大贡献。

东北大学与山东钢铁集团科技交流会举行

8月19日, 东北大学与山东钢铁集团科技交流会在东北大学举行。山钢集团副总经理, 山钢股份党委书记、董事长, 山钢研究院院长王向东; 中国工程院院士王国栋; 东北大学副校长唐立新出席会议。山钢股份和东北大学有关部门负责人参加会议。



王向东介绍了山钢集团产能分布与年度运营情况。王向东表示, 山钢集团与东北大学保持紧密的协同创新关系, 立足新时代高质量发展要求, 山钢形成了以山钢研究院为核心的一院多中心的研发体系, 科技创新成果获得行业、省级多项奖励; 聚焦山钢产品研发和产线特点, 山钢积极推进全流程数字化转型, 强化市场开拓和内部精益管理创新, 着力在降本增效、高炉稳定、品种开发等领域取得新成效。

唐立新表示, 钢铁行业作为国家实体经济的重要组成部分, 面向高质量发展要求, 学校构建 HSEV 有组织科研创新体系, 强化智能化、链条式、生态性、科学化的集成技术创新; 坚持 H 计划, 以工业智能联合冶金全链条工艺技术与感知、发现、决策、执行等垂直集成的自动控制技术深度融合; 实施 S 计划, 推动单个技术向多维度全链条集成, 解决单一技术难以解决的系统难题; 强化 E 计划, 聚焦制造核心, 融合环境、物流、能源、装备等形成工业生态; 执行 V 计划, 推动科学、技术、工程分时融合整体创新。学校愿与山钢共同聚合钢铁转型升级内驱力和上下游联合协同创新的外驱力双向动力, 着力推进钢铁生产高质、高效、低碳、智能发展。

王国栋指出, 钢铁共性技术协同创新中心自 2014 年组建以来, 聚焦钢铁全流程技术, 坚持理论联系实际的学风, 构建踏实认真的学术生态, 围绕钢铁智能化、高质化、绿色化加强协同创新, 取得了突出的成绩, 在国内外受到广泛关注; 面向钢铁数字化转型, 要立足生产装备与生产模型的现代水平状态, 进一步强化数据驱动解决钢铁“黑箱”问题, 不断提高钢铁生产的稳定化、高质化, 实现生产模型的理论推演向大数据、机器学习等数字技术融合转型, 持续打造服务企业高质量发展的数字钢铁全新系统技术体系。

会议期间, 东北大学校长冯夏庭会见王向东一行, 双方围绕学校与山钢集团深化合作交流意见。

会上, 学校冶金学院、轧制技术及连轧自动化国家重点实验室、材料电磁过程研究教育部重点实验室相关教师围绕炼铁、炼钢、轧制等方向开展专项汇报, 同与会人员开展技术深度交流。

河钢材料技术研究院刘宏强副院长一行到东北大学交流访问



9月1日,东北大学与河钢材料技术研究院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。河钢材料院副院长刘宏强,中国工程院院士、东北大学教授王国栋出席交流会。河钢材料院协同创新中心、用户技术中心、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。

刘宏强副院长简要介绍了河钢材料院及集团研发中心的基本情况、体制机制改革创新举措及集团所属分公司的技术需求。他表示,近年来河钢与东大持续深化校企合作关系,在解决企业重大技术难题攻关、关键技术研发引领、高素质人才培养等领域取得了丰硕成果。他指出,目前河钢集团高度重视科技创新工作,希望通过此次交流进一步强化双方合作,借助东北大学强大的科研力量,为河钢在科技创新、降本增效等方面提供技术支撑,共同推动钢铁产业创新发展、绿色低碳发展。

王国栋院士表示,在全面构建新发展格局的新形势下,要认真贯彻习近平主席在中共中央政治局第三十四次集体学习时的讲话精神,发挥数字技术对经济发展的放大、叠加、倍增作用,将深入推进钢铁行业数字化转型作为我国钢铁行业高质量发展的重要着力点。王院士表示,希望通过此次交流,深入了解河钢在数字化转型、产品开发、技术创新等领域的想法与需求,同时发挥东北大学在技术创新、产学研用深度融合等方面的特色优势,加强深度交流合作,共同为河钢高质量发展作出新的贡献。

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。

日本 JFE 钢铁公司技术总监岸本康夫一行到访实验室交流访问

9月8日,应东北大学冶金学院李宝宽教授邀请,日本JFE钢铁公司技术总监岸本康夫、日本东京大学教授月桥文孝、韩国汉阳大学教授 Jong Jin pak 等一行5人到访东北大学轧制技术及连轧自动化国家重点实验室(RAL),与中国工程院院士王国栋、协同创新中心各方向首席及团队



成员和研究生进行了深入交流。

日本 JFE 钢铁公司技术总监岸本康夫为与会人员作了题为“JFE 钢铁公司的碳中和举措”的学术报告。报告详细介绍了 JFE 钢铁公司的企业概况与 JFE 钢铁公司的碳中和措施, 以及未来炼铁过程中向碳中和转变的相关问题。

王国栋院士对岸本康夫一行的到访表示热烈的欢迎并介绍了实验室的基本情况。王院士表示, 日本 JFE 钢铁公司在碳中和举措方面做了大量工作, 希望通过此次交流促进双方技术合作, 共同把钢铁行业绿色化、数字化转型工作做的更好, 共同为全世界钢铁工业高质量发展乃至人类社会的发展做出贡献。

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内容进行了交流与探讨。



3 技术前沿

东北大学研发的奥氏体不锈钢热轧卷在线固溶退火工艺

前言:

奥氏体不锈钢板带材作为重要的钢铁材料广泛应用于石油、化工、核电、船舶、机械设备等工业领域及餐具、厨卫等家居领域。奥氏体不锈钢热轧卷, 除了少部分直接供冷轧以“黑皮卷”状态直接轧制、生产板面等级为 2E 的中低级材外, 其余均需进行固溶退火及酸洗处理。目前奥氏体不锈钢热轧卷固溶退火处理均采用离线方式: 热轧后的不锈钢冷却至室温, 再进入热处理炉重新加热到固溶温度(通常为 1050~1150°C), 并保温一定的时间, 使得碳化物和各种合金元素完全均匀地溶解在奥氏体中, 然后快速冷却, 以改善不锈钢的耐蚀性能, 并软化组织, 消除加工硬化。

不锈钢板带材热轧完成后, 温度一般高达 950°C 以上, 因此, 亟待突破相关技术瓶颈, 充分利用轧制余热开发奥氏体不锈钢在线固溶退火工艺, 实现奥氏体不锈钢热轧板带材免固溶退火直接酸洗, 推动我国不锈钢行业向绿色低碳方向转型发展。

项目概述:

东北大学 RAL 通过产品工艺理论研究, 获得奥氏体不锈钢在线热处理工艺窗口, 满足不锈钢产品力学性能、耐蚀性能及表面质量的多重需求; 通过配套机械装备及自动化控制系统的开发, 破解高冷却强度下不锈钢板带材板形难以控制的技术难题, 联合不锈钢板带材生产企业, 开展产学研协同创新, 推动实验室科研成果向生产实践转化。

项目成果于 2020 年率先应用于国内某炉卷中厚板产线, 在行业内建成了首条奥氏体不锈钢板材在线

固溶退火工业示范线。项目投产后，厚度 20mm 及以上的所有奥氏体不锈钢板材产品，均省去了离线固溶退火工序直接酸洗，不但将奥氏体不锈钢板材的生产周期由原来的 30h 以上，降低至了 5h 以内，同时大幅度降低了生产能耗及温室气体排放量，促进了企业的降本增效。相关工作入选世界金属导报 2020 年世界钢铁工业十大技术要闻，获得行业专家高度评价：“不锈钢中厚板免加热在线固溶处理工艺装备的成功研发，改变了延续多年的传统热处理生产流程。在环境保护问题日益突出的当今时代，不锈钢中厚板免加热在线固溶热处理工艺装备的研发，适应钢铁业绿色低碳发展的时代要求，对促进我国不锈钢中厚板行业生产技术的进步及绿色化发展将发挥重要的引领示范作用。”

为将项目成果从中厚板产品推广应用于不锈钢热轧卷，2022年东北大学RAL联合广东广青金属科技有限公司，依托其1780mm不锈钢热轧线现有装备条件，开展了一系列奥氏体不锈钢热轧卷在线热处理工

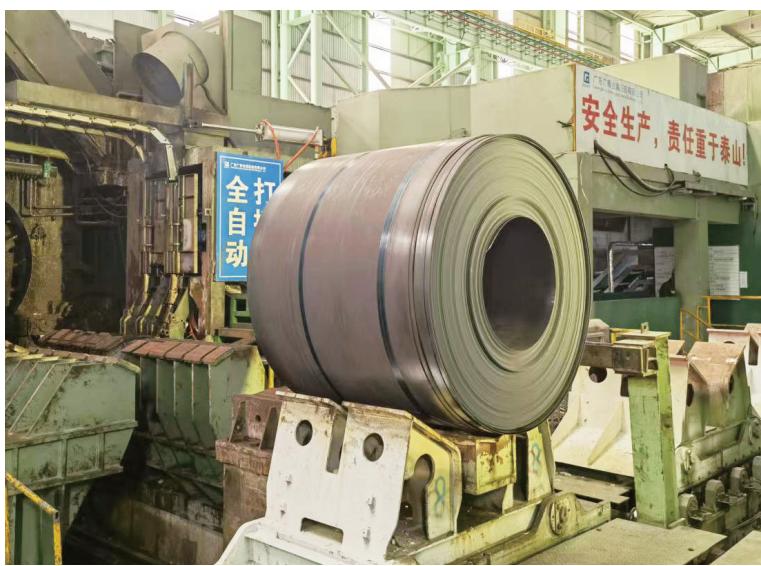


图 1 奥氏体不锈钢在线固溶退火黑皮卷

业实验，实现了奥氏体不锈钢热轧“黑皮卷”免固溶退火直接酸洗，并以直接酸洗获得的“白皮卷”为原料，成功试制出板面等级为2B的高级不锈钢冷轧卷，验证了奥氏体不锈钢热轧卷免固溶退火直接酸洗工艺在热连轧产线可行性；2023年8月东北大学RAL依托国内某炉卷产线开展了奥氏体不锈钢热轧卷在线热处理工业实验，成功生产出板面等级为2B的高级不锈钢冷轧卷并销售给下游用户，充分验证了奥氏体不锈钢热轧卷免固溶退火直接酸洗工艺在炉卷产线可行性。



图 2 在线固溶退火钢卷冷轧过程负荷监控画面

四连轧性能数据											
试验时间	钢卷号	钢种	规格 /mm	实际厚度 mm	屈服强度 MPa	抗拉强度 MPa	断后伸长率 /%	硬度	晶粒度	实验员	备注
标准	/	304	/	/	280-330	680-760	55-70	165-185	/	/	/
		201J1			390-480	890-970	45-55	235-255			
		201J2			410-500	980-108	40-50				
2022/11/23	YG22112928	304	0.750	0.705	302	697	60.5		9.59	曾卓华	
2022/11/23	YG22110170头	304	1.450	1.356	285	678	60.5	170.9	8.71	曾卓华	测试卷 原料只酸洗不退火
2022/11/23	YG22110170中	304	1.450	1.412	315	695	58	173.3	9.13	曾卓华	测试卷 原料只酸洗不退火
2022/11/23	YG22110170尾	304	1.450	1.569	323	694	56	186.7	8.92	曾卓华	测试卷 原料只酸洗不退火

机械性能情况:

对取样机械性能数据结果同正常卷无明显差异性, 延伸率为58-60.5%, 硬度为173-175左右;

图 3 在线固溶退火工艺、常规工艺钢卷冷轧后机械性能的对比

装备技术创新:

面向不锈钢行业绿色低碳战略转型发展需求, 东北大学 RAL 整合工艺、自动化、机械等多学科优势资源, 开展协同创新, 突破奥氏体不锈钢在线热处理关键技术瓶颈。针对不锈钢炉卷产线、中厚板产线及热连轧三种产线的不同工艺特点, 开发设计出适用于不同类型产线的不锈钢在线固溶退火工艺方案, 申请国家发明专利 4 项, 国际发明专利 1 项。针对不锈钢热传导率低的特性, 基于有限元流场分析技术及实验室水冷换热冲击实验, 进行奥氏体不锈钢水冷过程换热机理研究, 研制出系列超快速冷却喷嘴, 采用高压倾斜射流冷却方式及“自水封”技术, 有效打破冷却水与钢板之间的气膜, 促进钢板表面残留水的有序流动, 实现了不锈钢板带材的高强度、高均匀性冷却。所开发的冷却装备, 每个冷却集管均配备流量调节阀、气动开闭阀及流量计, 实现了冷却过程的快速响应及冷却速度无级连续调控, 可同时满足常规产品冷却及在线固溶退火产品冷却双重需求。

自动化模型:

东北大学 RAL 开发的配套工艺自动化控制系统具有一次性通过式冷却、多次通过式冷却及摆钢冷却等多种冷却模式, 满足了不同产品的冷却工艺需求。冷却过程采用分段跟踪控制的先进思想, 可实现板卷任意位置的实时跟踪及动态冷却控制。

结语:

奥氏体不锈钢热轧卷连续固溶退火处理消耗天然气约 $35\text{m}^3/\text{吨}$, 天然气单价为 $3.0\text{~}5.0 \text{ 元}/\text{m}^3$, 加热成本为 $105\text{~}175 \text{ 元}/\text{吨}$, CO_2 排放 $68.74\text{kg}/\text{吨}$ 。我国目前已建成投产的不锈钢热轧(含连轧产线和炉卷产线)产线近 30 条, 不锈钢热轧卷的产能高达 3400 余万吨/年, 并且随着新一批产线的陆续建设, 不锈钢热轧卷的产能仍在逐年增加。奥氏体不锈钢由于其优异的综合性能, 在不锈钢产品中的占比高达 70%。我国不锈钢热轧卷产能大, 将不锈钢在线固溶退火工艺的应用范围从不锈钢板材进一步拓展应用于不锈钢热轧板卷, 不但经济效益显著, 而且具有明显的社会效益。

东北大学研发的基于虚拟化平台的中厚板轧线自动化系统

前言：

中厚板轧线单体设备众多，在实现区域自动化和智能化过程中，各个区域通过部署专门的计算机服务器和相应的自动化系统实现区域自动化和智能化。但随着近年来信息技术的发展，智能化应用范围的扩展，CPS 系统的部署、云计算和云应用的推广，中厚板轧线原有的多区域各自独立的控制系统结构已经难以满足需求。另外，传统自动化系统与底层硬件之间形成了“烟囱”结构，软硬件之间的强耦合关系导致资源利用率和效率低下，服务器 CPU 和内存的使用率不高，空余的资源得不到释放，且在线服务器出现故障时，切换备用服务器存在耗时长，数据丢失等问题。

鉴于上述问题，我们迫切需要一套完备的系统集成体系，该体系可提供一体化的数据存储共享，应用集成和统一展现能力。并且具有较强的信息网络传输、数据中心存储和处理、消息转换能力以及数据采集、存储、共享、交互和展现的能力。

项目概述：

中厚板轧线自动化系统经过多年的研究与实践，目前已经趋于成熟，每套单体设备都具备相对完善的自动化系统，能够实现较高的单体设备的控制精度和较好的控制效果，但中厚板产线工艺流程复杂，全线各工序间的协调性会影响到整条产线的生产稳定和产品质量，因此单体设备间的通讯以及协调全线各工序之间的作业就显得更加重要。

随着近年来 MES 系统的推广，CPS 系统的发展和企业对集控需求的日益增长，传统的多单点自动化系统难以满足新技术和新系统的要求，主要表现在：

- 服务器的物理分布不集中，各个工序都有自己独立运行的服务器。
- 服务器系统的环境比较复杂，表现为设备数量多，故障点多，产品不统一，缺乏规范性，运维管理的工作量和难度大。
- 各个系统重复投资和建设，建设成本高，技术上没有统一规范和标准。
- 没有实现资源共享，服务器资源使用率低，难以集中管理和使用。
- 不能根据实际需要和业务变化动态调整资源和快速扩展，系统的灵活性和扩展性差。
- 部分服务器存在单点故障隐患。有些服务器的配置不合理，造成资源闲置状态和成本过高。
- 陈旧服务器淘汰后，原有应用无法在新服务器上运行等问题。
- 硬件采购跟随各业务系统的上线或变更，呈离散状态递增，难以实现统一规划与管理。

东北大学 RAL 实验室中厚板自动化课题组针对上述问题开展探索研究，利用虚拟化技术构建了一套适合中厚板轧线的虚拟化平台，该平台不仅可以实现传统系统平台的全部功能，还具备硬件资源利用充分，系统扩展方便，故障点少，应用迁移灵活等优点。

虚拟化平台先进技术：

虚拟化平台采用先进计算机技术来实现高效、灵活和可靠的云计算环境。通过虚拟化软件将多个物理服务器的计算核心 -CPU 和内存整合成虚拟化计算资源池，承担着“计算”功能，根据不同虚拟机的用途分配其合适的计算资源，确保不同虚拟机对应的应用都可以完美运行。基于软件定义的计算资源可以实现动态调度和分配，根据虚拟机的实际需求灵活分配，最大程度的实现物理计算资源的高效利用。

基于软件定义的存储架构将各种结构各异、性能各异的存储设备，实现统一的虚拟化存储接口，并同时提供跨厂商平台的镜像、快照、瘦分配、远程容灾复制等高级功能，支持整个云计算平台的运行。存储系统采用先进、成熟的技术和优良的系统设计，使系统在整体上具有很快的响应速度和更高的数据带宽，可长时间承受大量用户极高的访问频率和访问速度。整个存储系统具有高可靠性、异构平台共享、高性价比、可扩展、易管理、易使用、性能优良等一系列优势，并能平滑地升级扩展，很好地适应数据存储技术的发展。

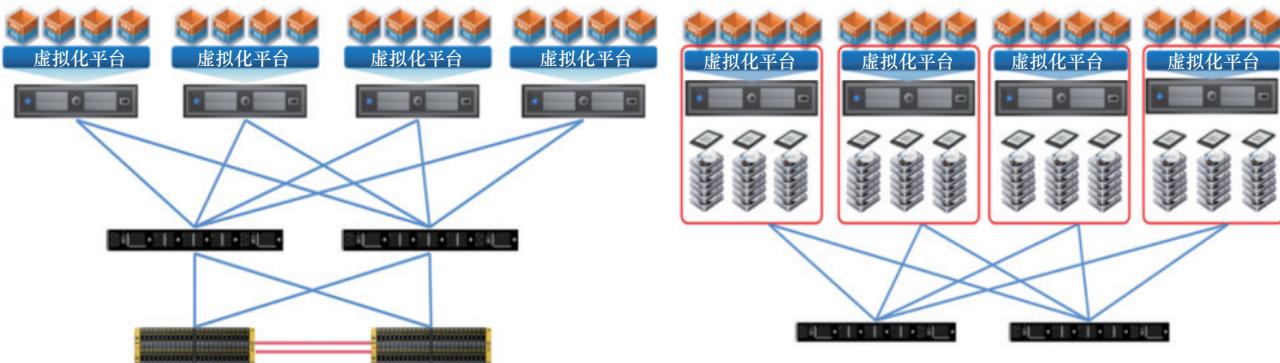


图 1 虚拟化平台架构

通过虚拟化软件定义虚拟网卡和分布式虚拟交换机，虚拟机对外通信通过虚拟网卡实现，分布式交换机的一端是与虚拟机相连的虚拟端口，另一端是与虚拟机所在主机上的物理以太网适配器相连的上行链路。通过它可以连接主机和虚拟机，实现系统网络互通。另外，分布式交换机在所有关联主机之间作为单个虚拟交换机使用。此功能可使虚拟机在跨主机进行迁移时确保其网络配置保持一致。在虚拟化软件中再现整个网络连接环境，平台可提供一套完整的逻辑网络连接元素和服务，其中包括逻辑交换、路由、防火墙、负载均衡、VPN、服务质量管理和监控。对于虚拟网络，可以独立于底层硬件以编程的方式对其进行调配和管理。

基于虚拟化平台的中厚板轧线自动化系统应用：

虚拟化平台架构搭建灵活，典型配置采用四台物理服务器，单台服务器可安装两块或四块高性能CPU，存储采用两台外置集中式存储，两台存储实现双活功能或采用分布式存储实现多副本数据保存，这种架构的设计支持自动化系统的大规模计算需求，可以提供强大的计算能力和处理速度，并为数据的安全性和可靠性提供保障，保证系统的高效运行。



图 2 虚拟化系统配置

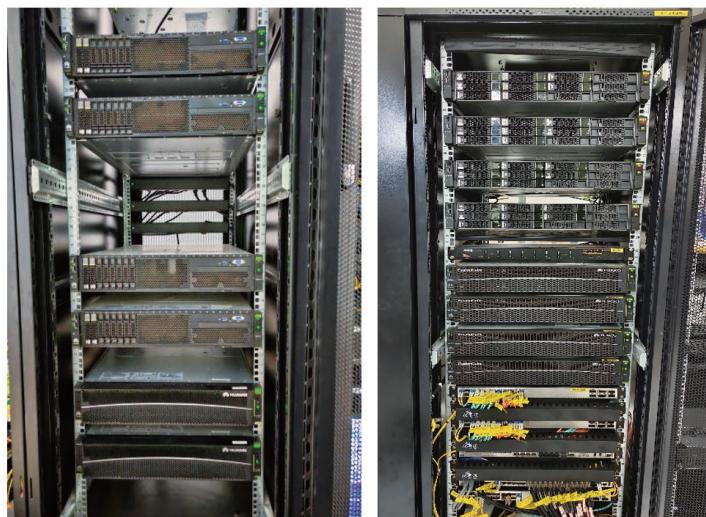


图 3 虚拟化平台硬件组成

中厚板全线自动化系统可全部集中到该平台上，包括：加热炉自动化系统、轧机自动化系统、轧后冷却自动化系统、矫直自动化系统、冷床自动化系统、切头剪自动化系统、双边剪自动化系统、定尺剪自动化系统、喷印自动化系统、收集自动化系统以及各个系统的客户端。这些系统之间通过虚拟化网络直接进行通讯，提高了系统间的通讯速度和通讯稳定性，同时也为各自动化系统与 MES、CPS 系统提供了统一、方便的接口方案。目前，虚拟化平台技术已经成功应用于国内多条中厚板生产线，实现了对于生产过程中数据存储与计算资源的整合。

图 4 为某中厚板轧线的基于虚拟化平台的自动化系统网络架构，轧线所有的计算资源由虚拟化平台提供，在虚拟化平台内集成了全线的数据服务器、二级服务器、HMI 服务器，同时对全线的操作客户端进行了虚拟化，生产操作人员只需通过瘦客户端或云桌面便可以便捷的访问虚拟平台内客户端。虚拟化平台对于数据、计算与通讯资源的整合不但降低了远程访问的硬件能力需求，而且也提高了数据的高速通讯能力与安全性。随着智能化技术在中厚板轧线的逐步投用，虚拟化平台的灵活升级与拓展能力也为产线的智能化改造与升级提供了强力支撑。

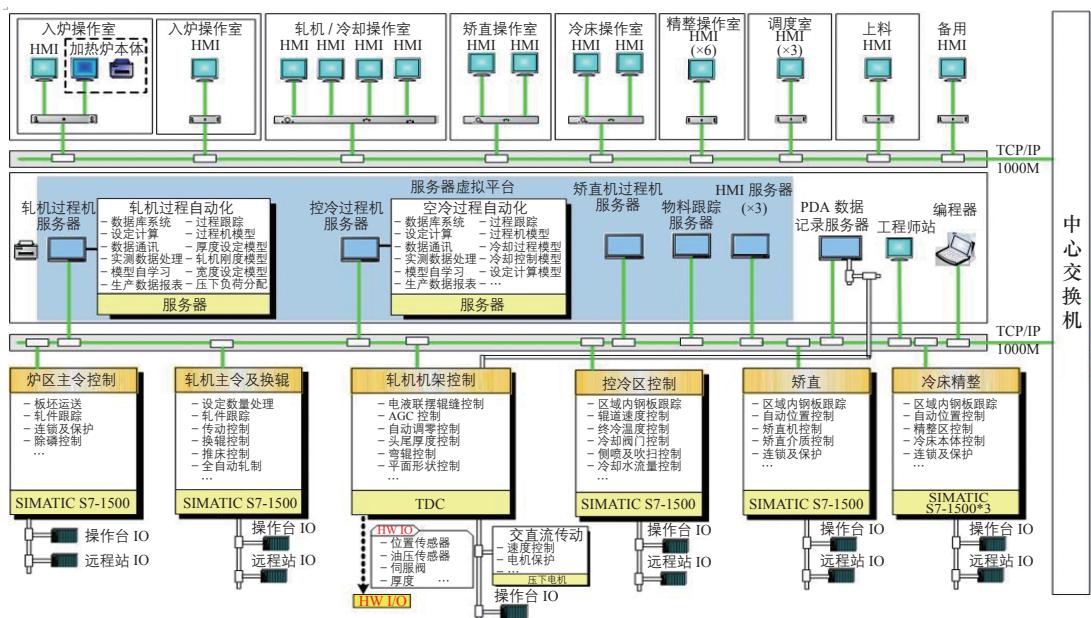


图 4 基于虚拟化平台的中厚板轧线自动化系统网络

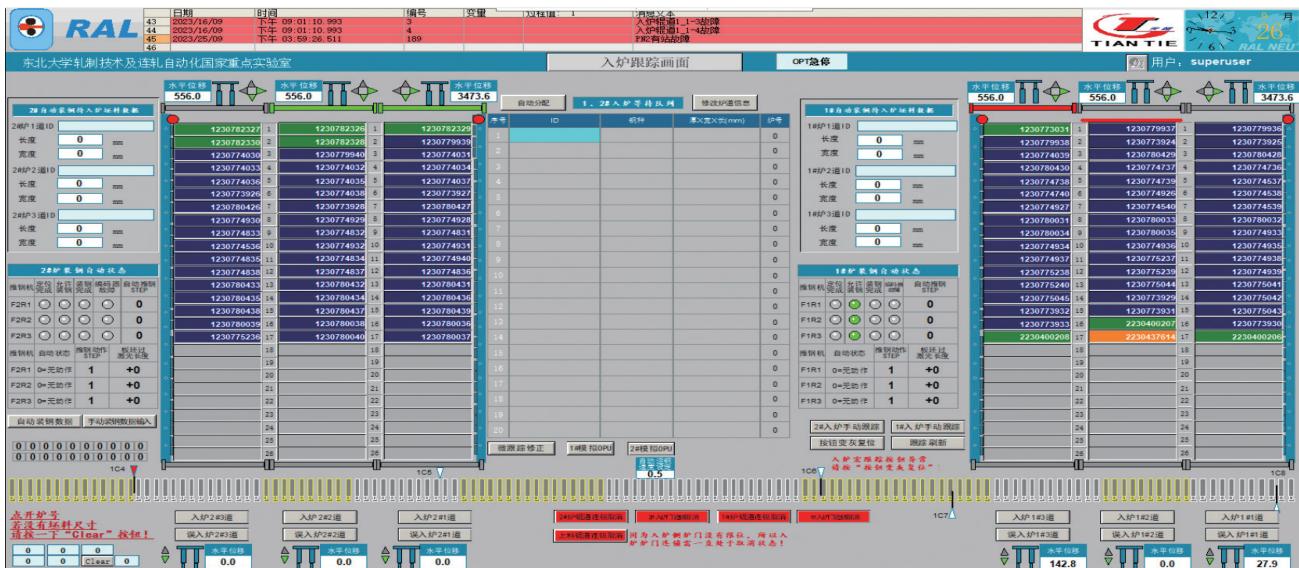


图 5 基于虚拟化平台的中厚板轧线自动化系统

结语：

虚拟化平台实现了中厚板轧线自动化系统中资源的灵活调配，通过在统一物理服务器上部署多个虚拟机，灵活分配计算、存储和网络资源，最大程度地提高资源的利用率，降低企业的成本；同时，虚拟化平台支持中厚板轧线自动化系统的操作自动化和集中化管理，提高了管理员的工作效率，减少了人为操作引起的错误和故障，增强了生产线的稳定性和可靠性。

该平台稳定性强，故障点少，扩展方便，维护简单，服务器硬件资源利用率高，重复投资少，无需改动原有过程控制系统等优点，同时也可作为新兴的 CPS 系统、云计算和云应用的边缘节点，为中厚板产线进一步的数字化、智能化提供了便捷的扩展平台。

开放 流动 联合 竞争



轧制技术公众号



钢铁共性技术公众号

轧制技术及连轧自动化国家重点实验室（东北大学）

网址：<http://www.ral.neu.edu.cn>

地址：辽宁省沈阳市和平区文化路三巷 11 号 邮编：110819

电话：024-83687220

传真：024-23906472