

山东省科学技术进步奖项目公示材料

一、项目名称：热连轧高强钢规格快速过渡与稳定轧制核心技术创新及产业化应用

二、提名者：日照市

三、提名意见

我单位认真审阅了该项目提名书及其附件材料，确认全部材料真实有效，相关栏目均符合山东省科学技术奖励委员会办公室的填写要求。

按照要求，项目完成单位已对该项目的拟提名情况进行了公示，公示期间无异议。

山钢日照 2050 mm 热连轧产线关键工艺设施设备引进国际供应商 TMEIC 和 SMS 公司，各项装备性能均处于行业先进水平，自 2017 年生产以来，高强钢生产过程中暴露出以下主要问题：热连轧产线关键工艺控制模型为原 TMEIC 和 SMS 模型，随着产线产品结构变化，模型适应性和精准性已无法满足生产需求。在高强钢轧制时表现的尤为突出，精轧机机架的轧制力会出现 10%、甚至 20%以上的预报偏差；高强钢品种规格切换过程中板形控制水平低，无法针对性地补偿由磨损与热胀引起的凸度误差，仅能在出现板形偏差后通过短期自学习被动补偿；产线在薄规格高强钢生产过程中轧机频繁出现振动现象，在轧制厚度 3mm 以下产品时出现轧机剧烈振动现象；高强钢品种规格过渡轧制过程效率低，过渡材消耗较高，产生大量无订单计划的厚规格过渡材。另外，厚度跳变大就会带来板形控制难度大问题，操作人员往往需要临时改变带钢目标厚度来减小风险，这无疑给稳定生产带来了挑战。

针对以上问题，山东钢铁集团日照有限公司联合东北大学、北京科技大学、山东钢铁股份有限公司、山鼎云科信息技术股份有限公司等单位组建攻关团队，基于已有的技术经验和人才力量，结合产线实际情况，自主开发关键控制模型并完成与原有模型进行融合，提升工艺控制模型的精准性和适应性，开展工序遗传的轧机振动抑制技术研究，实时跟踪掌握轧制过程产线运行的状态和关键参数，及时分析异常情况并快速给出解决方案，形成高强钢规格快速过渡和稳定轧制的工艺技术体系，有效提升产线高强钢批量稳定生产能力、生产效率和稳定性。

项目实施后，生产效率、产品质量、工序成本等得到明显改善，平直度命中率由 2021 年 94.9%提高到 97.5%，楔形命中率由 2021 年 93.9%提高到 95.9%，凸度命中率由 2021 年 93.87%达到 96.5%，非计划材的数量在 2021 年全年 11.15 万吨基础上下降 35%，近 3 年直接经济效益超 2.2 亿元，经济社会效益显著。

项目获得授权专利 15 项；在国内外学术期刊上发表论文 21 篇（其中 SCI 论文 12 篇），被检索引用总次数为 42 次；围绕本项目出版专著 2 部，发布白皮书 1 部。

经中国金属学会组织的专家评价，专家一致认为项目总体技术达到国际领先水平。研究成果符合当前钢铁行业高质量发展总体要求，对于提升热连轧产线高强钢品规快速过渡和稳定轧制水平具有重要意义，推广应用前景广阔。

四、提名等级：山东省科学技术进步奖 二 等奖

五、项目简介

本项目属于冶金过程控制和自动化技术，主要应用于热连轧生产及智能化控制领域。

针对山钢日照 2050mm 热轧产线轧制高强钢过程中出现的品规切换效率低、过渡材消耗大、板形控制水平低、设定模型精度低、轧机振动频发等难题，开展系统分析和研究攻关，开发面向快速过渡的“机理+数据”双驱动控制模型、面向高强钢稳定轧制的轧机振动抑制技术、轧制状态综合诊断分析技术和高强钢品规快速过渡与稳定轧制协同管控技术，形成了高强钢品规快速过渡和稳定轧制智能优化控制生产体系，提升了高强钢批量稳定生产能力。

(1) 构建了面向快速过渡的“机理+数据”双驱动控制模型，开发了基于概念偏移检测及迁移学习的滚动优化方法，实现了高强钢轧制过程三维尺寸和板形的高精度控制，取得自主开发模型与产线进口模型高效融合创新突破，全面提升过程控制模型的适应性和精准性。

(2) 从工序遗传角度出发，创新研发了基于自抗扰控制的热连轧机组振动抑制调节器优化技术，建立了轧机振动能量预测模型，给出了精准判定轧机振动的能量判据，显著降低了轧机振动能量，为热连轧高强钢稳定高效生产提供保障。

(3) 开发了高强钢轧制状态综合诊断分析技术，构建了品规快速过渡与稳定轧制协同管控方法，实现了轧辊辊形配置和板形优化、轧制计划优化以及生产稳定性提升，提升了高强钢品规快速过渡水平和产线整体调控能力。

该项目成功应用于山钢日照 2050mm 热连轧产线，提升了高强钢品规快速过渡时模型的适应性、精准性和轧制稳定性，平直度命中率由 2021 年 94.9%提高到 97.5%，楔形命中率由 2021 年 93.9%提高到 95.9%，凸度命中率由 2021 年 93.87%达到 96.5%。降低了轧机振动能量，振动速度由 5mm/s 降到 1mm/s 以内，具备 2mm 以下高强钢批量稳定生产能力，高强钢占比由 2021 年的 10.81%提高到了 2025 年的 20.43%，过渡材由 2021 年的 2.2%减少到了 2025 年的 1.67%，过渡辊耗由 2021 年的 40.81 吨降低到 2025 年的 34.95 吨，近 3 年直接经济效益超 2.2 亿元，间接年效益 4000 万元以上。该项目成果已在本钢板材、首钢迁安、天津荣程及马钢热连轧产线推广应用并取得了良好效果。

项目实施过程中获得授权发明专利 15 件；发表科技论文 21 篇（其中 SCI 论文 12 篇），出版专著 2 部，发布白皮书 1 部。项目研究成果符合当前钢铁行业智能制造发展总体要求，具有很强应用示范作用，对于提升热连轧产线品规快速过渡和稳定轧制水平具有重要意义，推广应用前景广阔。

六、主要知识产权和标准规范等目录

知识产权（标准）类别	知识产权（标准）具体名称	国家（地区）	授权号（标准编号）	授权（标准发布）日期	证书编号（标准批准发布部门）	权利人（标准起草单位）	发明人（标准起草人）	发明专利（标准）有效状态	第一完成人是否为发明人（标准起草人）	第一完成单位是否为权利人（标准起草单位）
发明专利权	一种抑制极限薄带钢精轧时精轧机振动的方法	中国	ZL2022 10260383.0	2023 年 10 月 31 日	第 6451192 号	山东钢铁集团日照有限公司	孙丽荣;万佳峰;张维国;张万龙;张吉庆;王峰;邵常丽仲建华;徐广;赵方旭	有效	是	是
发明专利权	一种除鳞箱集管结构改进及增强打击力的	中国	ZL201910 987016.9	2020 年 11 月 17 日	第 4096653 号	山东钢铁集团日照有限公司	孟祥瑞; 孙丽荣; 张吉庆; 刘明; 左建强; 李仲伟; 石润涛; 万佳峰	有效	是	是
发明专利权	一种防止带钢热轧甩尾、轧破的控制方法	中国	ZL202210 277210.X	2023 年 11 月 24 日	第 6510714 号	山东钢铁集团日照有限公司	孙丽荣;万佳峰;王峰;张万龙;张吉庆;张明金	有效	是	是
发明专利权	一种热轧带钢划伤缺陷的快速诊断与控制的操作方法	中国	ZL 2022 1 0355130.1	2023 年 09 月 19 日	第 6332304 号	山东钢铁集团日照有限公司	孙丽荣;王峰;万佳峰;张吉庆;石润涛;左建强;张华张万龙;赵世龙	有效	是	是
发明专利权	一种提高热轧耐磨钢 BH550MC 薄	中国	ZL 2021 1 1419594.6	2023 年 11 月 10 日	第 6471618 号	山东钢铁集团日照有限公司	孙丽荣;张维国;文雄;王克柱;李贺;万佳峰;班晓阳刘杨;董强;王峰;王南辉	有效	是	是
发明专利权	一种一钢多用的 800MPa 级复相钢及其调控方法	中国	ZL 2022 1 0598779.6	2023 年 05 月 02 日	第 5936811 号	山东钢铁集团日照有限公司	侯晓英;王军;孙丽荣;刘万春;丁明凯;展英姿;初林康华伟;郝亮;王鹏	有效	是	是

知识产权（标准）类别	知识产权（标准）具体名称	国家（地区）	授权号（标准编号）	授权（标准发布）日期	证书编号（标准批准发布部门）	权利人（标准起草单位）	发明人（标准起草人）	发明专利（标准）有效状态	第一完成人是否为发明人（标准起草人）	第一完成单位是否为权利人（标准起草单位）
发明专利权	一种外板用冷轧深冲钢表面轧制纹的控制方法	中国	ZL 2021 1 1370563.6	2024 年 04 月 16 日	第 6906258 号	山东钢铁集团日照有限公司	王乐;高兴昌;陈晓潇;王栋;丁紫正;张冲冲;朱信成梁亚;刘精华;许铭;李贺;王兴	有效	是	是
发明专利权	一种热轧带钢板形控制的弯辊力和窜辊量设定方法	中国	ZL202411 555352.3	2025 年 10 月 3 日	第 8324617 号	东北大学	丁敬国,孟令明,杜昊展,侯铁城,张旭,李旭,张殿华	有效	否	否
发明专利权	针对带钢局部高点的变凸度工作辊弯窜辊协同控制方法	中国	ZL 2023 1 0140883.5	2024 年 04 月 16 日	第 6903331 号	北京科技大学	姚驰寰;曲侯歌;何安瑞;周冠禹;邵健;孙文权;荆丰伟刘超	有效	否	否
发明专利权	一种热轧工作辊磨损补偿辊形设计及窜辊设定方法	中国	ZL202310 159229.9	2024 年 02 月 20 日	第 6720986 号	北 京 科 技 大学	姚驰寰、曲侯歌、何安瑞、周冠禹、刘超、邵健、孙文权、荆丰伟	有效	否	否

七、主要完成人

姓名	排名	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目贡献
孙丽荣	1	副厂长	正高级工程师	山东钢铁集团日照有限公司	山东钢铁集团日照有限公司	对本项目主要科技创新的贡献: 负责整个项目的技术方案构建、组织实施及优化; 研究了制约热连轧高强钢轧制过程中模型控制精度不够、原模型适应性差等“瓶颈”问题, 开发了非稳态轧制过程轧制力模型、宽度控制模型、头尾短行程控制模型和基于概念偏移检测的板形滚动优化; 参与高强钢快速过渡和稳定轧制智能优化控制技术体系构建, 在加热、除鳞、轧制, 冷却等工序开发相应的精准控制技术, 取得了自主开发模型与产线原模型高效融合创新突破, 全面提升过程控制模型的适应性和精准性, 降低了过渡材 35%, 第 1、2、4、5、6、7 项专利的主要申请人, 工作量达到 80% 以上。
丁敬国	2	无	教授	东北大学	东北大学	在本项目主要科技创新性贡献: 自主开发了面向快速过渡的“机理+数据”双驱动关键控制模型。研究了制约热连轧高强钢轧制过程中模型控制精度不够、原模型适应性差等“瓶颈”问题, 构建了面向快速过渡的“机理+数据”双驱动控制模型; 开发了非稳态轧制过程轧制力模型、宽度控制模型、头尾短行程控制模型和基于概念偏移检测的板形滚动优化, 实现了高强钢轧制过程三维尺寸和板形的高精度控制, 取得了自主开发模型与产线原模型高效融合创新突破, 全面提升过程控制模型的适应性和精准性。参与开发综合状态诊断分析技术和高强钢快速过渡和轧制稳定技术, 提高了换规格后首卷轧制力精度和板凸度、平直度控制水平, 为高强钢快速过渡轧制提供了平台建设和协同控制技术支持, 工作量达到 80% 以上。

姚驰寰	3	无	高工	北京科技大学	北京科技大学	在本项目主要科技创新性贡献:主要负责板形控制模型开发,消除高次浪形缺陷的HVC+辊形技术等,显著提高了换品规格板形质量与轧制稳定性;负责开发基于聚类分析的自学习层别优化方法、基于贡献度的缺陷关键原因诊断算法、高次板形缺陷的自动识别算法、多维板形质量统计与判定功能、同品规格向对比分析功能、基于辊系轧件一体化仿真的设定优化和辊形优化功能、基于换品规格系数的排产优化模型开发;参与高强度轧制状态综合诊断分析技术高强度规格快速过渡与稳定轧制协同管控技术的研发与应用,工作量达到80%以上。
王成镇	4	无	正高级工程师	山鼎云科信息技术股份有限公司	山鼎云科信息技术股份有限公司	在本项目主要科技创新性贡献:负责系统构建、调试及优化全过程管控,兼顾新旧系统融合实施系统间无缝衔接;重点聚焦薄规格高强度生产时轧机振动问题,研究了传统的各种抑振方法,拓展到从加热-除鳞-轧制视角出发,牵头开发了基于工序遗传的全流程轧机振动抑制技术、机电液耦合振动解析技术和传动、液压抑制技术,减缓了高强度轧制时的轧机振动现象,取得了较国外先进的效果,2mm高强度可实现批量稳定轧制;参与“机理+数据”双驱动模型的开发及验证优化和轧机状态综合诊断分析技术的开发,为数据验证及归纳提供技术支持,工作量达到80%以上。
周平	5	所长	正高级工程师	山东钢铁股份有限公司	山东钢铁股份有限公司	本项目规划设计、具体研发重要参与人,负责项目板形研究及技术实施和技术效果现场验证与改进实施,参与总体方案策划、组织实施等工作;研究了制约热连轧高强度快速过渡轧制过程中出现的板形、精度等问题,协助开发了“数理+机理”双驱动控制模型;构建了全流程的大数据平台,完善了快速过渡轧制系统架构及技术优化;协助完成了基于工序遗传的轧机振动抑制技术,优化了液压压下垂振系统,丰富了抑振研究理论,工作量达到50%以上。

李贺	6	无	高级工程师	山东钢铁集团日照有限公司	山东钢铁集团日照有限公司	负责高强钢轧制过程辊形变化研究,开发品种规格快速过渡基准约束技术,针对支撑辊,工作辊辊型优化提出可行性方案;解读PCFC板形控制系统,开发板形控制优化技术,减少了薄规格高强钢高次浪形缺陷,实现了非计划材有效降低;参与开发综合诊断分析技术和轧机振动抑振技术,提供了现场实时数据支撑。
万佳峰	7	无	高级工程师	山东钢铁集团日照有限公司	山东钢铁集团日照有限公司	负责开发CVC辊形功能优化技术,通过修改CVC窜辊震荡,使边降分布负向移动,边降减小,控制局部高点减小,保障了合格的带钢截面形状。从加热-除鳞-轧制工序遗传关联视角,系统分析轧机振动复杂诱因,解析机电液和带钢界面耦合效应,开展液压和传动系统综合优化,参与开发了抑制热连轧机组耦合振动技术;参与了加热炉加热优化、除鳞优化技术研究,为钢坯温度均匀、提高除鳞效果提供了技术支持。
杨恒	8	无	正高级工程师	山鼎云科信息科技股份有限公司	山鼎云科信息科技股份有限公司	负责项目现场调试和系统集成优化工作;开发了非稳态轧制过程轧制力模型、宽度控制模型、头尾短行程控制模型和基于概念偏移检测的板形滚动优化,实现了高强钢轧制过程三维尺寸和板形的高精度控制,全面提升过程控制模型的适应性和精准性;协助开发了基于工序遗传的全流程轧机振动抑制技术、机电液耦合振动解析技术和传动、液压抑制技术,减缓了高强钢轧制时的轧机振动现象,取得了较好效果。
裴宁	9	无	副研究员	北京科技大学	北京科技大学	负责板形控制实施优化工作,研究高强钢板形波浪问题,开发了中浪、边浪形成机制优化控制算法,配合实现轧辊辊形科学匹配,实现了高强钢在线板形良好控制,全面提升板形控制的精准性;协助开发了高强钢轧制状态综合诊断分析技术和高强钢快速过渡和稳定轧制智能优化控制技术,提供了板凸度、平直度及辊形控制技术,为高强钢快速过渡轧制技术体系提供技术支撑。

王深	10	无	讲师	北京科技大学	北京科技大学	负责基于工序遗传的轧机振动抑振技术开发；轧机振动幅频特性研究及共振频率仿真研究，开发轧机振动数据诊断分析技术，为轧机抑振提供基础技术支撑。
----	----	---	----	--------	--------	---

八、主要完成单位

单位名称	排名	对本项目贡献
山东钢铁集团日照有限公司	1	山东钢铁集团日照有限公司设计年产铁 810 万吨、钢 850 万吨、钢材 790 万吨，主要产品为高附加值的热轧薄板、冷轧薄板、镀层钢板、宽厚板等，覆盖海洋工程、高端制造业、新兴产业、建筑用钢等领域。 在本项目中，作为项目研发和推广实施单位，统筹四个关键课题，突破并应用了多项关键工艺技术，为构建高强钢品规快速过渡和稳定轧制智能优化控制技术并实现落地应用奠定了坚实基础。主要贡献有:在高强钢全流程轧机抑振方面，开发了加热炉加热精准和稳定技术、除鳞优化技术、轧机辊系设备精准安装技术，为全流程轧机抑振提供了基础能力，加热温度控制在$\pm 5^{\circ}\text{C}$，除鳞压力达到 29MPa，有力的减缓了轧机振动幅度；构建了大数据平台，为“数理+机理”模型及状态诊断提供运行平台，使全流程数据互联互通，充分发挥大数据融合效用；在高强钢快速过渡轧制中，针对板形、轧辊匹配、计划排产、生产组织等方面开发了相应的技术保障措施，保证了高强钢品规快速过渡和轧制稳定生产。
东北大学	2	东北大学是国家首批“211 工程”、“985 工程”和“双一流”重点建设的高校，学校冶金特色鲜明，先后研发出第一块超级钢以及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。近年来，先后承担了“扁平材全流程智能化制备关键技术”等多项十三五重点研发计划项目、863 计划项目、973 计划项目、国家自然科学基金项目、国家攻关计划项目等。 在本项目中，负责关键技术一，开发了面向快速过渡的“机理+数据”双驱动关键控制模型。分析研制了约热连轧高强钢轧制过程中模型控制精度不够、原有模型适应性差等“瓶颈”问题，构建了面向快速过渡的“机理+数据”双驱动控制模型，开发了非稳态轧制过程轧制力模型、宽度控制模型、头尾短行程控制模型和基于概念偏移检测的板形滚动优化，实现了高强钢轧制过程三维尺寸和板形的高精度控制，取得自主开发模型与产线原有模型高效融合创新突破，全面提升了过程控制模型的适应性和精准性，产品的楔形、厚度、宽度、凸度控制精度大幅度提高，构建了高强钢品规快速过渡与稳定轧制协同管控方法，降低了产线非计划材数量和相应的辊耗，高强钢生产效率提高 5.02%，质量异议减少 12.4%。

北京科技大学	3	北京科技大学，首批“985 工程”优势学科创新平台建设高校、“双一流”建设高校。学校牵头的以北京科技大学、东北大学为核心高校的“钢铁共性技术协同创新中心”成功入选国家“2011 计划”。学校已发展成为一所以工为主，工、理、管、文、经、法等多学科协调发展的教育部直属全国重点大学。 本项目贡献为：研究高强钢轧制状态综合诊断分析技术，开发综合诊断分析系统，在分析高强钢凸度、楔形、平直度等板形关键过程数据和辊耗、窜辊等轧制模型输入等数据基础上，形成报表或直观展示界面，实现对高强钢轧制状态的精准诊断分析。建立基于多源数据与多模型联合解析的高强钢板形质量异常诊断方法，系统分析精轧机出口板形（包括凸度、楔形、边降、局部高点、对称平直度、非对称平直度、高次浪形等）实测数据及其演变规律。针对存在异常的板形数据，关联分析其与相关工艺制度、过程控制参数、品规变化、轧辊使用、生产管理等方面的关系。实现终端工序质量异常在线分析，以及中间工序质量异常实时诊断，为高强钢快速过渡和轧制稳定性提供了保障。
山东钢铁股份有限公司	4	山东钢铁股份有限公司是千万吨级大型钢铁企业，致力于中厚板、热轧板卷、冷轧板卷、H 型钢、优特钢等高端绿色化产品的研发和生成，产品广泛应用于造船、桥梁、建筑、机械等领域。公司拥有 1 个国家级企业技术中心、3 个省级企业技术中心、3 个省级工程技术研究中心、2 个省级实验室、3 个国家级认可质检中心、2 个院士工作站和 4 个博士后科研工作站。近年来，公司积极推进绿色化、智能化的高质量发展理念，围绕钢铁制造全流程智能化水平的提升，聚焦新一代信息计划与传统制造工艺的有效融合，开展了富有成效的探索和实践。 在本项目中，作为项目研发和推广实施单位，突破了多项关键工艺技术，在轧制模型、数理模型、板形控制、轧机抑振、协同制造等方面发挥了突出技术优势，重点参与关键技术二，针对热连轧薄规格高强钢生产过程中出现的轧机振动行业难题，研究改善轧制润滑、调整轧制温度、重新分配负荷、频繁换辊和改变轧制速度等多种传统的抑振方法，推广到从加热-除鳞-轧制工序遗传视角出发，开展面向高强钢稳定轧制的轧机振动抑制技术研究和应用，为构建热连轧高强钢品规快速过渡与稳定轧制智能优化控制技术并实现落地奠定了坚实基础。

山鼎云科 信息技术 股份有限 公司	5	山鼎云科信息技术股份有限公司，2016 年 7 月注册成立，注册资本 1.88 亿元，为国家高新技术企业、省级智能制造标杆企业。公司现有员工 1100 余人，高级职称近 500 人，硕士人才 145 名。拥有信息系统建设和服务能力证书（CS3）、涉密信息系统集成资质证书（乙级）、信息安全服务资质证书、增值电信业务经营许可证，并通过 ISO9001:2015 质量管理体系标准认证、ISO/IEC27001:2013 信息安全管理标准认证、ITSS 信息技术服务运行维护标准认证（三级）和 CMMI3（软件开发成熟度三级）认证。 在本项目中，山鼎云科信息技术股份有限公司参与关键技术二“面向高强钢稳定轧制的轧机振动抑制技术”的研发与应用。主要负责开发了热连轧轧机数据驱动的抑振器自抗扰技术，建立了轧机振动能量预测模型和能量判据，形成了面向加热-除鳞-轧制全流程工艺遗传优化的抑振控制策略。开发了轧机数据驱动的抑振器自抗扰技术，根据采集异常振荡信号生成反向抑制信号，作为前馈控制直接参与 AGC 调节，抵消系统产生的扭振、垂振和耦合振动，从而实现稳定运行。构建了二维轧制界面特性研究及三维轧机振动模型，将实际生产和设备数据，代入基于 attention 机制的 Bi-LSTM 网络训练，建立了轧机振动能量预测模型，给出精准判定轧机振动的能量判据及策略，有力地支撑了高强钢快速过渡和稳定轧制。
----------------------------	---	---