

2019 年度国家科学技术奖拟提名项目 公示材料

项目名称：高速重载系列钢轨及异型材数字化高质量轧制关键技术及应用

提名者：

谢建新 北京科技大学 中国工程院院士 化工、冶金与材料学部

毛新平 宝武钢铁集团有限公司 中国工程院院士 化工、冶金与材料学部

刘正东 中国钢研科技集团有限公司 教授 冶金工程技术

提名意见：

项目针对高速重载系列钢轨及异型材高质量轧制技术中的难题，在复杂孔型系统高效设计、产品内部及表面质量稳定性一致性控制、全长尺寸高精度控制等复杂截面型材生产的核心技术上取得创新性成果，研发出一整套高铁、重载铁路系列钢轨及异型材数字化高质量制造技术，实现大规模产业化应用。

项目的主要创新包括：研发出基于数字化虚拟制造的全轧制过程孔型系统智能设计技术，实现钢轨及异型材孔型系统智能设计-配辊-轧辊加工，使新产品研发效率大幅度提高；开发出全轧程三维模拟精准预测轧件参数及生产过程质量稳定性控制技术，实现系列钢轨及异型材轧制全过程工艺优化和质量稳定性控制，显著提高了产品内在质量稳定性和一致性；开发出基于大数据及在线控制的钢轨轧制金属流动预测-补偿模型和全长尺寸精度智能控制技术，解决了高铁百米轨，重轨全长尺寸在线高精度控制难题；研发出钢轨局部润滑轧制及表面质量控制技术，显著减少了轧疤等钢轨表面质量缺陷。

项目获授权发明专利 37 件，制定国际标准 2 项，国家标准 1 项，行业标准 4 项，发表学术论文 53 篇，专著 1 部，形成完整的自主知识产权。所开发的技术已大规模应用于系列高速重载钢轨及异型材的高质量制造过程中，产品在京沪高铁、青藏铁路及大秦重载铁路等国家重点铁路建设工程中得到大规模应用，经济社会效益显著。项目技术对发展新一代钢铁材料绿色化、数字化和智能化制造技术具有重要意义。

提名该项目参评国家科学技术进步奖一等奖。

一、项目简介

我国高铁、重载铁路及工程机械发展迅速，已成为国家名片和品牌，高铁运营里程占世界 66%。高铁百米轨、重轨及特种异型材是铁路及机械装备的关键基础材料，其质量与精度对列车运行平稳安全性、服役寿命及建造成本影响极大。钢轨及异型材轧制为高温多道次大变形复杂过程，孔型系统高效设计、产品内部质量稳定性及表面质量控制、全长尺寸高精度控制一直是国内外研究的技术难题。

项目历经 12 年，研发出一整套高铁、重载铁路系列钢轨及异型材数字化高质量轧制技术，实现大规模产业化应用，取得重大科技创新：

(1)研发出基于数字化虚拟制造的全轧制过程孔型系统智能设计技术。突破了型材轧制孔型系统设计长期依赖经验试错、效率低、成本高的难题，首次实现钢轨及异型材孔型系统智能设计-配辊-轧辊加工，使新产品研发效率提高 10 倍以上，大幅度降低了研制成本；

(2)开发出全轧程三维模拟精准预测轧件参数及生产过程质量稳定性控制技术。通过精准预测各道次温度及变形,应用发明的机架间高温区局部冷却及残余应力控制装置,保证了产品内在质量的稳定性并大幅度降低了残余应力。产品强度波动 $\leq 40\text{MPa}$;轨底中心残余应力 $\leq 50\text{MPa}$,甚至改善为压应力的国际领先水平;

(3)开发出基于大数据的钢轨在线轧制金属流动预测-补偿模型和全长尺寸波动智能控制技术。解决了钢轨生产中存在轨高局部“高点”的世界性难题,实现了百米钢轨全长波动:轨高 $\leq 0.4\text{mm}$,轨底宽 $\leq 0.7\text{mm}$ 的国际领先指标;

(4)首创研发出钢轨局部润滑轧制及表面质量控制技术。搞清了高温高压轧制条件下金属流动、轧辊氧化皮粘结及局部磨损机理和规律,解决了钢轨通长“人”字轧痕等表面质量缺陷难题,显著提高了表面质量,并使轧辊寿命延长1倍以上。

项目获授权专利63件(其中发明专利37件),制定国际标准2项,国家标准1项,行业标准4项,发表学术论文53篇,专著1部,形成完整的自主知识产权,系统掌握了轧制核心技术,确保了高速重载系列钢轨在国际上的领先地位。

该技术在攀钢,山钢等企业成功应用,实现高质量高铁轨,重载轨,道岔轨等系列钢轨全覆盖,并出口美国等30多个国家,异型钢材达11个牌号。产品大量应用于国内外高铁、重载铁路(包括世界最快的京沪线,海拔最高的青藏线,运力最大的大秦线)及机械行业。攀钢成为我国重轨产量最大,出口量最大的高品质钢轨生产基地,为国内唯一钢轨出口免检产品,并为第一条高铁线路京津城际高铁供轨100%,大秦线等重载铁路供轨85%以上,重载钢轨使用寿命由通过总重9~12亿吨提高到15~20亿吨。该项目的完成显著提高了钢轨内外质量,焊接质量,服役寿命,列车运行安全平稳性,为国家重点工程建设和一带一路战略做出了重要贡献。

企业近3年高质量系列钢轨及异型材销售额174.4亿元,利润27.2亿元,用户及应用过程的经济效益可达上百亿元。项目成果经干勇院士、李卫院士等专家组评价认为达到国际领先水平,获冶金科学技术奖一等奖2项,四川省科技进步奖一等奖1项,并被列入中国金属学会钢铁关键共性技术推广项目。

二、客观评价

1. 项目科技成果评价:

2019年1月7日,中国金属学会组织并主持召开了“高速重载系列钢轨及异型材数字化高质量轧制关键技术及应用”科技成果评价会。形成评价意见如下:

该成果针对高速铁路、重载铁路及工程机械用异型材设计制造及应用问题,突破了复杂孔型系统高效设计、产品内部及表面质量稳定性控制和全长尺寸高精度控制等高质量轧制技术瓶颈,实现了高速重载系列钢轨及异型材数字化高质量轧制大规模生产应用。主要创新点如下:

1)研发出基于数字化虚拟制造的全轧制过程孔型系统智能设计技术。实现钢轨及异型材孔型系统智能设计-配辊-轧辊加工,使新产品研发效率大幅度提高,并降低研制成本;

2)开发出全轧程热力耦合三维模拟精准预测轧件参数值及生产过程质量稳定性控制技术。实现系列钢轨及异型材轧制全过程工艺优化和质量稳定性控制,产品内在质量稳定性和一致性显著提高,钢轨残余应力降低60%以上;

3)开发出基于大数据及在线控制的钢轨轧制金属流动预测-补偿模型和全长尺寸精度智能控制技术。解决了系列重轨全长尺寸形状在线高精度控制难题,实现百米高铁轨通长波动值:轨高 $\leq 0.4\text{mm}$,轨底宽 $\leq 0.7\text{mm}$ 的国际领先指标;

4) 研发出钢轨局部润滑轧制及表面质量控制技术。搞清了高温高压轧制条件下金属流动、轧辊氧化皮粘结及局部磨损机理和规律，消除了钢轨轧疤等表面缺陷，钢轨表面质量显著提高，轧辊寿命延长 1 倍以上。

评价委员会认为该项技术成果达到国际领先水平。

2. 应用效果, 重要科技奖励:

该技术在攀钢、山钢成功应用于高铁轨,重轨及异型材设计制造过程,产品质量及稳定性大幅度提升,大批量应用于国内外高铁,重载铁路及机械行业。产品大量应用于国内外高铁、重载铁路(包括世界最快的京沪线,海拔最高的青藏线,运力最大的大秦线)及机械行业。攀钢为大秦线等重载铁路供轨 85%以上,重载钢轨使用寿命由通过总重 9~12 亿吨提高到 15~20 亿吨,提高近 1 倍。

相关成果“高质量钢轨及复杂断面型钢轧制数字化技术及应用”及“高速铁路钢轨平直度控制”分获中钢协冶金科技一等奖,“时速 250 公里及以上高速道岔轨”获四川省科技一等奖。该技术被列入中国金属学会钢铁关键共性技术推广项目。

3. 用户对本项技术及产品的评价(摘要):

(1)攀钢集团有限公司:该技术成功应用于 60kg/m 百米轨,75kg/m 重轨,道岔轨,出口美、澳一级铁路 115RE 轨,UIC60 轨等的设计制造过程,产品质量及稳定性大幅度提升,大批量应用于国内外高铁、重载铁路。近应用表明,显著提高了钢轨的强韧性、焊接质量、服役寿命、列车安全平稳性,大幅度降低了成本并节约了能耗。

(2)山东钢铁股份公司:该技术的成功开发,大幅度缩短了异形钢产品的开发周期,提高了产品尺寸形状的高精度及质量,实现高精度热轧异型材替代过去的焊接+机加工生产工程机械用异型材的低效率,高成本,高耗材生产方式。异型材产品大量应用于工程机械叉车门架结构,牵引梁等。

(3)中铁宝桥集团,中铁山桥集团:从检验结果来看,钢轨的化学成分、力学性能、低倍组织、非金属夹杂、断面尺寸、平直度、扭转等各项主要指标均达到了标准的要求。同时 42 号单开道岔通过鉴定,该道岔容许直向通过速度 350km/h,侧向通过速度 160km/h,一举创造了岔体长度最大、制造难度最大、直向速度最高、侧向速度最高多项“中国第一”。目前,攀钢生产的高速客运专线道岔已经成功应用,已经建成的遂渝、温福、勇温台等时速 250km 客运专线,以及沪宁、郑西、武广等时速 350km 客运专线。

(4)成都铁路局成都工务段:每年使用攀钢 100 米钢轨近 22 万吨,经质量检测部门检测,攀钢钢轨头尾尺寸偏差小。由于钢轨头尾尺寸波动范围小,钢轨断面尺寸全长均匀性好,大大提高了钢轨的焊接质量,减少了钢轨焊接设备损伤及故障率,通过减少焊接接头的修磨量,提高了钢轨焊接生产的作业率。钢轨全长断面尺寸均匀性的提高,还大大提高了钢轨焊接接头的平直度,保证了列车运行的安全性、平稳性及舒适性。

(5)美国 A&K 铁路材料公司:攀钢钢轨满足 AREMA-2012 技术条件的全部要求。A&K 铁道线路物质公司进口的钢轨已被安装到工业线路、地区和支线线路在内的北美铁路系统。凭借高水准的制造工艺,攀钢供应的钢轨在线路应用过程中表现出极为出色的服役性能。攀钢对产品持之以恒的改进和高于产品技术条件要求的不懈追求,成为世界顶级钢轨供货商。

(6)中铁物贸有限责任公司线路事业部:中铁物贸公司每年从攀钢采购大量钢轨作为铁路、地铁及道岔用钢轨原料的使用。经检测应用表明,攀钢供货钢轨的形状尺寸精度、组织性能等方面的相关指标均达到国内外同类钢轨产品的领先水平。攀钢作为我公司的长期、稳定的战略供应商,其高质量、高精度的钢轨系列产品取得了显著的经济效益和社会效益。

(7)昆明工务机械段黄龙山焊轨基地：每年使用攀钢 100 米钢轨 10.8 万吨,经质量检测部门检测,攀钢钢轨头尾尺寸偏差小,对钢轨焊接质量直接影响较大的几项主要规格尺寸头尾波动值优于国内其他钢轨厂的钢轨。…，大大提高了钢轨的焊接质量。钢轨断面尺寸全长均匀性的提高还大大提高了钢轨焊接接头的平直度,保证了列车运行的安全性,平稳性及舒适性。

(8)江淮银联重型工程机械公司,安徽合力股份公司：采用山东莱钢开发生产的热轧门架型钢产品替代原有的焊接及机加工制造的叉车门架、牵引车梁等。门架型钢产品通长组织性能、形状尺寸稳定,叉车门架制造省略焊接等工序,降低工人劳动强度及制造成本,提高叉车潜在生产效率。

三 应用情况

该项目技术成果从 2010 年开始在攀钢集团攀枝花钢钒有限公司轨梁厂、山东钢铁股份有限公司莱钢型钢厂等企业推广应用。近 3 年应用该技术在攀钢生产高质量高铁轨,重载轨,道岔轨等系列钢轨全覆盖(409.14 万吨),并出口美国等 30 多个国家;在莱钢生产 J 形、C 形、H 形门架型钢等多种复杂断面型钢 13.68 万吨,用户包括安徽合力股份有限公司、山东光明机器制造有限公司等用于工程车叉车门架、牵引车梁制造等。

高质量钢轨在提高钢轨焊接质量、生产作业率和钢轨焊接接头的平直度、减少钢轨焊接设备的损伤及故障率,保证列车运行的安全性、平稳性及舒适性,J 型钢等复杂断面型钢在替代原有焊接及机加工制造的叉车门架、牵引车梁等方面发挥了关键作用,得到用户的高度评价,实现产品生产和用户双赢的局面。两家钢企近 3 年采用本项目技术成果生产产品的销售额共 174.4 亿元,两家钢企共利润 27.2 亿元,节约成本 1.13 亿元。

四 主要知识产权证明目录

1. 发明专利：用于钢轨轧制孔型的仿真设计方法, ZL201410350447.1, 攀钢集团有限公司
2. 发明专利：钢轨轨高通长波动控制方法, ZL201210060807.5, 攀钢集团有限公司
3. 发明专利：500MPa 级叉车用门架型钢生产方法, ZL201410169482.3, 山东钢铁股份有限公司
4. 发明专利：热轧 H 型钢轧制过程机架间控制冷却方法, ZL200810238804.X, 北京科技大学
5. 发明专利：一种热轧 J 型钢及其应用, ZL201310565911.4, 山东钢铁股份有限公司
6. 发明专利：钢轨底宽通长波动控制方法, ZL201210060808.X, 攀钢集团有限公司
7. 发明专利：轧后件顺序拉伸成体的建模方法, ZL201310284565.2, 攀钢集团有限公司
8. 发明专利：轧机斜楔液压压下装置, ZL201110126569.9, 北京科技大学
9. 发明专利：钢轨断面规格通长波动控制方法, ZL201210061164.6; 攀钢集团有限公司
10. 国际标准：Flat bottom (Vignole) railway rails 43kg/m and above. ISO 5003: 2016(E), 2016.03.01, 攀钢集团有限公司

五 主要完成人情况

- 排名 1. 康永林, 教授, 北京科技大学, 项目负责人。
- 排名 2. 陶功明, 首席工程师, 教授级高工, 攀钢集团有限公司, 攀钢技术开发及应用负责人。
- 排名 3. 朱国明, 副教授, 北京科技大学, 项目技术开发及应用主要完成人。
- 排名 4. 杜健, 副厂长, 高级工程师, 攀钢集团有限公司, 项目主要完成人。
- 排名 5. 张思勋, 教授级高工, 山东钢铁股份有限公司, 山钢技术开发及应用负责人。

- 排名 6.刘丰收, 副研究员, 中国铁道科学研究院集团有限公司, 项目主要完成人。
- 排名 7.王中学, 处长, 教授级高工, 山东钢铁股份有限公司, 项目主要完成人。
- 排名 8.郭华, 院长助理, 教授级高工, 攀钢集团有限公司, 项目主要完成人。
- 排名 9.林刚, 主任, 高级工程师, 攀钢集团有限公司, 项目主要完成人。
- 排名 10.霍喜伟, 高级主任师, 高级工程师, 山东钢铁股份有限公司,项目主要完成人。
- 排名 11.黄潇,支部书记,工程师,中国铁路成都局集团有限公司成都工务大修段, 项目主要完成人。
- 排名 12.王仁福, 副厂长, 高级工程师, 攀钢集团有限公司, 项目主要完成人。
- 排名 13.蒲礼国, 纪委书记, 工程师, 攀钢集团有限公司, 项目主要完成人。
- 排名 14.陈崇木, 工程师, 攀钢集团有限公司, 项目主要完成人。
- 排名 15.吴郭贤, 助理工程师, 攀钢集团有限公司, 项目主要完成人。

六 主要完成单位及创新推广贡献

1. 北京科技大学: (1)提出基于数字化虚拟制造的全轧制过程孔型系统智能设计的技术方案, 负责并为主开发出基于高级计算机语言的型钢孔型参数化设计系统和钢轨及复杂断面型钢全轧程三维热力耦合数值模拟系统; (2)提出全轧程三维模拟精准预测轧件参数及生产过程质量稳定性控制技术思路, 结合现场工艺与装备, 同企业合作进行了全轧程三维模拟精准预测轧件参数及生产过程质量稳定性控制的软件开发及应用; (3)建立了参数化配辊与轧辊机加工代码自动生成系统, 实现各架轧机配辊图自动生成、数控加工机床 NC 代码自动输出以及系列轧辊加工 CAM, 实现先进的数字化钢轨及复杂断面型钢生产 CAD-CAE-CAM 集成系统, 同企业合作建立基于大数据及在线控制的钢轨轧制和全长尺寸精度智能控制技术方法; (4)与企业合作解决了复杂断面型钢新产品开发应用及尺寸形状高精度控制等技术难题; (5)获授权相关发明专利 11 项, 实用新型 9 项; 软件著作权 2 项, 出版相关专著 1 部, 发表相关学术论文 33 篇。

2. 攀钢集团攀枝花钢铁有限公司: (1)运用开发的全轧制过程孔型系统智能设计技术, 实现钢轨及异型材孔型系统智能设计-配辊-轧辊加工, 大幅度新产品研发效率, 降低了研制成本; (2)通过精准预测各道次温度及变形, 应用发明的机架间高温区局部冷却及残余应力控制装置, 保证了产品内在质量的稳定性并大幅度降低了残余应力。产品强度波动 $\leq 40\text{MPa}$; 轨底中心残余应力 $\leq 50\text{MPa}$; (3)建立了系统的钢轨在线轧制金属流动预测及补偿模型和全长尺寸波动智能控制技术。解决了钢轨生产中存在轨高局部“高点”难题, 在生产线上稳定实现了百米钢轨全长波动: 轨高 $\leq 0.4\text{mm}$, 轨底宽 $\leq 0.7\text{mm}$ 的国际领先指标; (4)研发出钢轨局部润滑轧制及表面质量控制技术。搞清了高温高压轧制条件下金属流动、轧辊氧化皮粘结及局部磨损机理和规律, 解决了钢轨通长“人”字轧痕等表面质量缺陷难题, 显著提高了表面质量, 并使轧辊寿命延长 1 倍以上; (5)将项目开发的技术成果在攀钢轨梁厂生产线进行大规模实施应用, 取得显著的经济社会效益; (6)获相关授权发明专利 18 项, 实用新型 8 项, 发表相关学术论文 12 篇。

3. 山东钢铁股份有限公司: (1)合作开发出复杂型钢轧制数值模拟与优化系统; (2)将复杂型钢轧制 CAD-CAE-CAM 数字化集成系统技术在莱钢型钢厂生产线进行全面实施应用; (3)应用复杂型钢轧制 CAD-CAE-CAM 数字化集成系统技术成功开发出 J 形、C 形等复杂断面型钢等新产品, 解决了复杂型钢轧制尺寸精度控制技术难题; (4)将项目开发的技术成果在山钢大型、中型、小型型钢生产线进行大规模实施应用, 研发出 11 种规格品种的工程机械用异型钢, 取得显著的经济社会效益; (5)获得项目相关授权发明专利 8 项, 实用新型 7 项, 发表相关学术论文 8 篇。

4.中国铁道科学研究院集团有限公司：与攀钢等单位进行长期合作,对攀钢生产的高铁轨、重载钢轨、以及道岔轨等系列钢轨组织性能、表面质量及全长尺寸精度等内外质量进行系统的检测分析、提出质量进一步提升的建议,牵头与攀钢等国内钢轨生产企业完成了3项钢轨质量性能检测行业标准,为攀钢系列高质量钢轨的大规模生产应用作出有益的贡献。

5.中国铁路成都局集团有限公司成都工务大修段：与攀钢轨梁厂进行长期合作,对攀钢生产的高铁轨、重载钢轨、以及道岔轨等系列钢轨的尺寸形状精度、焊接质量、应用性能进行了全面系统的研究分析,并研究提出了适应更高标准百米钢轨焊接质量的建议,为攀钢系列高质量钢轨的大规模生产应用作出有益的贡献。

七 完成人合作关系说明

北京科技大学康永林从2007年开始同攀枝花新钢钒股份公司(现在的攀钢集团攀枝花钢钒有限公司)郭华等就“钢轨轧制与矫直过程有限元分析”开展合作研究。

北京科技大学康永林、朱国明等从2008年开始同攀钢集团攀枝花钢钒有限公司陶功明、杜健、郭华、林刚、王仁福等就“万能轧机型钢孔型化参数设计及轧制过程数值模拟系统的开发与应用”建立合作关系,开展研究开发及应用工作。北京科技大学康永林为项目总负责人,朱国明为软件开发负责人,攀钢陶功明为现场技术负责人,杜健等为攀钢轨梁厂及攀钢研究院郭华等为主要技术参与人。项目进行孔型系统数字化设计技术及软件开发并开展应用,该成果于2015年5月初通过四川省科技厅组织的项目鉴定,2016年合作完成的项目“高质量钢轨及复杂断面型钢轧制数字化技术及应用”获中国钢铁工业协会、中国金属学会冶金科学技术奖一等奖,上述人员为此项目的主要完成人。

在攀钢系列钢轨数字化高质量制造技术及应用研发期间,中国铁道科学研究院集团有限公司技术人员刘丰收主要针对攀钢钢轨的质量性能提升及检验评价方法、中国铁路成都局集团有限公司成都工务大修段技术人员黄潇主要针对钢轨的焊接质量、尺寸形状精度进一步提高及评价要求做了大量工作。

2007年-2016年,北京科技大学康永林、朱国明同山钢就大型H型钢轧制缺陷有限元模拟与仿真、型钢轧制过程数值模拟实验、复杂截面型钢-异型材模拟软件编程与系统集成优化等开展合作研究,山钢的主要研究人员为张思勋、王中学、霍喜伟等技术人员。2016年“高质量钢轨及复杂断面型钢轧制数字化技术及应用”获中国钢铁工业协会、中国金属学会冶金科学技术奖一等奖,上述人员为此项目的主要完成人。

2018年底“高速重载系列钢轨及异型材数字化高质量制造关键技术及应用”项目通过中国金属学会科技成果评价,上述人员为项目的主要完成人。