提名河北省科学技术奖项目公示

**项目名称：**基于煤焦矿协同利用的高炉高效低成本冶炼技术研究与实践

**提名单位：**河北省金属学会

 提名编号：239-403

**一、完成单位：**德龙钢铁有限公司、北京科技大学

**二、项目简介（不超过1200字）：**

本项目所属科学技术领域：钢铁冶金

目前我国钢铁行业的能源消费总量约占全国能源消费总量的16%，碳排放量占全球钢铁碳排总量的60%以上。炼铁系统接近钢铁生产排放量的80%，高炉炼铁占70%以上。面对碳达峰、碳中和的国家重大战略，要使钢铁工业满足低碳经济的要求必须从炼铁做起。因此，炼铁工序的节能减排任务艰巨。炼铁系统的高效低成本冶炼重点集中在高炉用煤粉、焦碳和含铁炉料的协同利用上。

德龙钢铁有限公司地处环保形势较为严峻的邯邢地区，进入2017年以来，随着蓝天保卫战的打响，邢台市为了响应国家号召，经过一系列的"铁腕治霾"，政府加大低碳排放要求力度，尤其对钢铁企业铁前工序限产频次加剧，导致成本与环保双重压力日益增加，建立煤焦矿协同利用的高效低成本冶炼技术体系是德龙钢铁有限公司当前面临并急需解决的重大难题。德龙钢铁有限公司与北京科技大学合作，于2017年下半年开始，以德龙钢铁现有的原料和燃料条件为基础，将《基于煤焦矿协同利用的高炉高效低成本冶炼技术研究与实践》项目作为校企合作项目进行深入研究，开展了前期研究和工业试验，寻找一条高效经济生产新途径，为炼铁实现绿色、安全、优质、长寿、低耗生产贡献德龙力量。本项目主要研究内容如下：

1、研究德龙喷吹煤粉原料的基础性能和各单煤之间的相互作用规律，建立高炉喷煤配煤优化数学模型；

2、研究焦炭的反应性CRI和反应后强度CRS与焦炭微观组织间关系，建立合理的焦炭配合制度并提出具体控制参数；

3、研究高比例自熔性球团矿、块矿以及废钢炉料的高温软化及熔融特性，优化合理的炉料结构并进行工业验证；

4、理论分析与高炉工业试验结合，获得并验证煤焦矿协同利用的技术体系。

最终开发了系统集成技术，将其研究成果成功应用于生产实际，实现高效低成本炼铁，提高企业竞争力。

主要技术创新点如下：

1、开发了高炉喷煤经济性评价模型。以煤粉燃烧性、反应性、煤粉间交互作用性等工艺参数为基础自变量，获得了最佳混合喷吹用煤配比的数学模型。

2、研究了焦炭微观组织对焦炭高温性能的影响，探明了焦炭破片结构和镶嵌结构与焦炭反应性、反应后强度的相关性，结合工艺检测，控制焦炭多品种的配比为CRI25±1%，CRS65±1%。

3、研发了一种高比例球团矿、低热值煤粉及多品质焦炭协同冶炼技术，实现了高效低成本生产。

4、提出了高炉配加废钢处理高炉炉缸石墨碳堆积的一种新方法并成功实施。

该项目的成功实施，在提升了公司科研水平和科技创新能力的同时，具有很大的推广应用价值。目前该项目已在德龙钢铁有限公司、唐山市德龙钢铁有限公司、天津铁厂有限公司的高炉生产中推广应用近3年，高炉实现了长周期稳定顺行，产量明显提升，消耗进一步降低，燃料比较研发前下降了12kg以上，铁水质量明显改善，铁水合格率达到99.94%。同时解决了长期以来烧结、炼铁、炼钢工序产能不匹配问题，释放产能，优化了指标，满足高效低成本生产要求。在同行业中居先进水平，拓宽了市场份额，增加了公司效益。

**三、主要完成单位及创新推广贡献**

德龙钢铁有限公司：为第一完成单位，该单位系高新技术企业、河北省热轧板带钢技术创新中心，专业科研人员数量达到500人，公司理化中心通过CNAS试验室认可，科研设备原值达3000余万元，工艺设备、科研人员、检化验条件为项目开展提供保障。该单位技术团队首先结合高炉现有原料和燃料条件，通过工业试验数据收集、汇总、分析，共同与北京科技大学开发了高炉喷煤经济性评价模型并得到成功实践；其次提供了各类焦炭品种及配用情况，结合该院校对焦炭微观组织与其高温性能相关性的深入研究，确定了控制焦炭多品种性能指标；最后通过该院校对原料成分及性能分析，开展高炉不同炉料结构工业试验，形成了高球比、低热值煤及多品质焦炭协同冶炼技术，并首次在生产实践中提出添加废钢解决炉缸石墨碳堆积的新工艺，为前期理论研究提供支撑。

北京科技大学：为第二完成单位，本项目开发过程依托于北京科技大学钢铁冶金新技术国家重点实验室，其拥有高温共聚焦显微镜、XPS及多功能电子能谱仪、冶金过程模拟工作站等为项目研究提供直接支持。该研究团队进行了以煤粉燃烧性、反应性、煤粉间交互作用性等工艺参数为基础自变量，结合煤粉价格因素为经济参数自变量，开发了高炉喷煤经济性评价模型，提出优化喷煤的可行性方案；以控制焦炭反应性和反应后强度指标为基础，引入焦炭微观组织影响因素，提出控制焦炭微观组织镶嵌结构应大于50%；进行了高球比、高块矿比以及金属化炉料等炉料结构的冶金性能的基础研究，并提供高炉加入废钢处理炉缸堆积的原理，为后续工业试验顺利开展提供了有力理论支撑。

**四、推广应用及经济社会效益情况**

1、推广应用情况：

煤焦矿协同利用的高炉高效低成本冶炼技术可应用在大中型高炉企业。目前该技术已成功推广应用到德龙钢铁有限公司、唐山市德龙钢铁有限公司、天津铁厂有限公司。该项目四项关键技术达到国际先进水平。其核心技术已实现工业化应用，成果转化成熟度高。该项目开发了高炉合理配煤及其经济性优化模型，拓展高炉用煤范围，简化配煤研究过程，可用于预判高炉混合喷吹煤粉综合性能以及经济性。严格了1000立方级高炉使用焦炭的性能要求，焦炭微观组织含量可作为反应性和反应后强度的控制指标，制定部分高反应性焦炭替代优质焦炭工艺路线。采用了高比例块矿炉料结构和添加废钢的炉料结构进行生产，并研究了高比例球团对高炉冶炼过程影响，拓展了高炉原料范围。提出了基于煤焦矿协同强化以及结合高炉强化操作的低碳炼铁集成技术。最终实现了高炉高效、低成本、低碳冶炼，对提高企业竞争力起到较大推动作用。

2. 经济社会效益：

2018年11月-2020年12月，该项目分别推广应用在德龙钢铁有限公司，唐山市德龙钢铁有限公司、天津铁厂有限公司，该项目成果产生的累计净增效益达1.33亿元。

通过该项目研究，形成了一套煤焦矿协同的高炉高效低成本冶炼技术，保证了高炉长周期稳定顺行；优化了指标，降低了消耗；拓展高炉用煤范围，优化焦炭结构，缓解了资源紧张，降低了企业能耗和能源利用，既保护了资源，又节约了能源、减少环境污染，最终实现了高炉高效、低成本、低碳冶炼，也为国内外高炉进行系统性煤焦矿协同技术研究提供理论支撑。

**五、主要知识产权证明和代表论文（或标准规范）等目录**

1. 知识产权证明

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 已授权专利名称 | 国家 | 授权号 | 专利权人 | 授权公告日 | 专利有效状态 |
| 1 | 一种设有富氧喷煤风口的高炉及熔炼工艺 | 中国 | 201910901376.2 | 北京科技大学，德龙钢铁有限公司 | 2020/7/3 | 0 |
| 2 | 一种高炉添加废钢生产铁水的方法 | 中国 | 201910421388.5 | 德龙钢铁有限公司，北京科技大学 | 2020/10/13 | 0 |
| 3 | 用于废钢定点加料的高炉炉顶布料器 | 中国 | 201910674640.3 | 德龙钢铁有限公司，北京科技大学 | 2021/1/19 | 0 |
| 4 | 一种设有移动式投料口的高炉布料器 | 中国 | 202010244610.1 | 北京科技大学，德龙钢铁有限公司 | 2021/1/8 | 0 |
| 5 | 一种设置在高炉上的移动式布料器 | 中国 | 202010246673.0 | 北京科技大学，德龙钢铁有限公司 | 2021/3/30 | 0 |
| 6 | 一种铁水罐内精准加废钢装置 | 中国 | 201921840079.3 | 德龙钢铁有限公司 | 2020/7/28 | 0 |
| 7 | 一种高炉炉顶受料斗抑尘装置 | 中国 | 201821092605.8 | 德龙钢铁有限公司 | 2019/3/15 | 0 |
| 8 | 一种高炉渣铁处理系统的渣沟结构 | 中国 | 201920648254.2 | 德龙钢铁有限公司 | 2020/3/27 | 0 |

2. 代表性论文（或标准规范）

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 论文(专著)名称 | 发表刊物(出版社) | 年卷页码 | 发表(出版)时间 | 第一作者 | 全部国内作者 |
| 1 | 高炉内兰炭与焦炭之间的交互作用 | 有色金属科学与工程 | 2019,(05):12-18 | 2019年9月20日 | 边城 | 边城,刘燕军,刘迎立,王京彬,罗明锁,佘雪峰  |
| 2 | 高炉添加废钢的能耗和经济性分析 | 2019年全国高炉炼铁学术年会 | 354-358 | 2019年11月6日 | 刘颖超 | 刘颖超,王京彬,刘燕军,刘迎立,李丽红,佘雪峰 |

**六、全部完成人情况（公示内容包括姓名、排名、技术职称、工作单位、对本项目技术创造性贡献、曾获科学技术奖励情况）：**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 姓名 | 技术职称 | 文化程度 | 工作单位/完成单位 | 对成果创造性贡献 | 曾获科学技术奖励情况 |
| 1 | 刘燕军 | 高级工程师 | 大学本科 | 德龙钢铁有限公司 | 负责本项目整体统筹和策划。首次提出了第4创新点，高炉加废钢可以处理炉缸石墨碳堆积的一种方法，参与了第1、2、3创新点，主导撰写了《用于废钢定点加料的高炉炉顶布料器》一项发明专利，《一种铁水罐内精准加废钢装置》一项实用新型专利，同时参与《一种设置在高炉上的移动式布料器》、《一种设有富氧喷煤风口的高炉及熔炼工艺》、《一种高炉添加废钢生产铁水的方法》三项发明专利及2篇论文撰写。个人工作量30%。 | 《高炉高效排锌工艺研究》项目获河北冶金科学技术奖一等奖，2019年，排名第2；《高炉炉顶煤气温度低原因分析及对策研究》项目获河北冶金科学技术奖三等奖，2020年，排名第1。 |
| 2 | 佘雪峰 | 副教授 | 博士 | 北京科技大学 | 北京科技大学副教授，为该项目第2负责人，提出第2创新点，参与了第3创新点、第4创新点，同时在研究金属化炉料的布料规律及在高炉内演变规律方面，从理论上论证了金属化炉料处理炉缸堆积的可行性。主导撰写了《一种设有富氧喷煤风口的高炉及熔炼工艺》一项发明专利；主要参与了《一种高炉添加废钢生产铁水的方法》、《用于废钢定点加料的高炉炉顶布料器》等四项发明专利撰写；并参与了撰写论文2篇。个人工作量15%。 | 《转底炉直接还原工艺处理钢铁厂尘泥成套工艺产业化》项目获山东省科技进步奖二等奖，2014年，排名第9；《高炉高效排锌工艺研究》项目获河北冶金科学技术奖，2019年，一等奖，排名第3。 |
| 3 | 杨志刚 | 高级工程师 | 硕士 | 德龙钢铁有限公司 | 负责项目具体方案协调与实施工作。提出了第3创新点，研发了高比例球团矿、低热值煤粉及多品质焦炭协同冶炼技术，主要参与了第2创新点，在焦炭微观组织对焦炭高温性能影响和研究方面贡献较为突出。个人工作量12%。 | 《高炉高效排锌工艺研究》项目获河北冶金科学技术奖一等奖，2019年，排名第4；《热轧低碳钢带冲压性能提升工艺研究》项目获河北冶金科学技术奖二等奖，2020年，排名第1。 |
| 4 | 李丽红 | 工程师  | 大学专科 | 德龙钢铁有限公司 | 参与本项目具体策划。在研究煤粉特性，取得经济性评价模型方面作出了重要贡献。参与了两项实用新型专利《一种铁水罐内精准加废钢装置》和《一种高炉渣铁处理系统的渣沟结构》，两项发明专利《用于废钢定点加料的高炉炉顶布料器》和《一种设有移动式投料口的高炉布料器》撰写工作，同时参与撰写论文一篇。 | 《高炉高效排锌工艺研究》项目获河北冶金科学技术奖一等奖，2019年，排名第9；《高炉炉顶煤气温度低原因分析及对策研究》项目获河北冶金科学技术奖三等奖，2020年，排名第6。 |
| 5 | 刘迎立 | 助理研究员  | 博士 | 北京科技大学 | 负责实施理论基础研究，在控制焦炭多品种配比方面及对炉料结构变化对炼铁炉料性能影响研究方面做出了重要贡献。参与了两项发明专利《一种高炉添加废钢生产铁水的方法》、《用于废钢定点加料的高炉炉顶布料器》，一项实用新型专利《一种铁水罐内精准加废钢装置》的撰写，并主要参与撰写了论文两篇。 | 《高炉高效排锌工艺研究》项目获河北冶金科学技术奖一等奖，2019年，排名第10。 |
| 6 | 王艾军  | 工程师  | 大学专科  | 德龙钢铁有限公司 | 负责高炉试验跟踪及实施，参与了第3创新点，实施了低热值煤粉工业试验。同时参与了实用新型专利《一种高炉渣铁处理系统的渣沟结构》撰写工作 |  |
| 7 | 刘广武 | 助理工程师  | 大学专科 | 德龙钢铁有限公司 | 负责研发方案实施，参与第3创新点，第4创新点，在高比例球团矿、低热值煤粉及多品质焦炭协同冶炼研究方面贡献较为突出。 |  |
| 8 | 王雷 | 高级工程师  | 大学本科 | 德龙钢铁有限公司 | 负责对项目进行总结，形成报告，并进行技术指导。参与第3、4创新点，在高比例球团矿工业试验，高炉配加废钢生产研究方面做出了重要贡献。 | 《高炉炉顶煤气温度低原因分析及对策研究》项目获河北冶金科学技术奖三等奖，2020年，排名第2。 |
| 9 | 牛倩倩 | 工程师  | 大学本科 | 德龙钢铁有限公司 | 负责试验过程数据收集，重点对高炉喷煤经济性评价模型工业应用数据进行收集。参与了一项实用新型专利《一种铁水罐内精准加废钢装置》，两项发明专利《用于废钢定点加料的高炉炉顶布料器》和《一种设置在高炉上的移动式布料器》撰写工作。 | 《高炉高效排锌工艺研究》项目获河北冶金科学技术奖一等奖，2019年，排名第12；《高炉炉顶煤气温度低原因分析及对策研究》项目获河北冶金科学技术奖三等奖，2020年，排名第5 |
| 10 | 刘颖超  | 其他  | 硕士 | 北京科技大学 | 负责参与实施理论基础研究，主要参与第1创新点，在喷吹煤粉配煤优化及经济评价模型开发方面做出突出贡献。主导撰写论文1篇。 |  |

1. **完成人合作关系说明及完成人合作关系情况汇总表**

完成人合作关系说明

项目第一完成人刘燕军是德龙钢铁有限公司炼铁厂厂长助理，作为项目总负责人，主要负责本项目整体统筹和策划。主要完成人杨志刚、李丽红、王艾军、刘广武、王雷、牛倩倩是本项目在德龙钢铁有限公司的技术负责人，与北京科技大学合作联合攻关，他们团结合作，保证了项目的顺利进行。针对德龙钢铁有限公司现有原料和燃料条件，从高炉喷煤经济性模型开发、混合用焦炭性能控制指标和高比例球团矿、低热值煤粉及多品质焦炭协同冶炼技术及高炉配加废钢处理高炉炉缸石墨碳堆积技术四方面出发，开展了深入细致的研究工作。项目研究期间获得了相关专利：刘燕军为本项目《用于废钢定点加料的高炉炉顶布料器》发明，《一种铁水罐内精准加废钢装置》（与李丽红、刘迎立、牛倩倩合作）实用新型专利第一发明人，参与了《一种高炉炉顶受料斗抑尘装置》实用新型专利及本项目2篇论文的撰写。李丽红主要参与撰写本项目《一种高炉渣铁处理系统的渣沟结构》（与王艾军合作）实用新型专利，参与本项目1篇论文的撰写。

完成人佘雪峰、刘迎立、刘颖超均为北京科技大学钢铁冶金新技术国家重点实验室能源高效转换与链接团队核心成员，该团队已与德龙钢铁公司进行了长期合作，对本项目理论研究及生产指导方面做出了突出贡献。佘雪峰副教授作为本项目的高校负责人，是本项目《一种设有富氧喷煤风口的高炉及熔炼工艺》专利第一发明人（与刘燕军合作），同时主要参与了四项发明专利分别为《一种高炉添加废钢生产铁水的方法》（与刘燕军,刘迎立合作）、《用于废钢定点加料的高炉炉顶布料器》（与刘燕军、刘迎立、李丽红、牛倩倩合作）、《一种设有移动式投料口的高炉布料器》（与李丽红、王艾军合作）、《一种设置在高炉上的移动式布料器》（与刘燕军、牛倩倩合作），同时参与了本项目2篇论文的撰写。刘迎立博士后负责本项目理论基础研究，在控制焦炭多品种配比方面及对炉料结构变化对炼铁炉料性能影响研究方面做出了重要贡献。是本项目《一种高炉添加废钢生产铁水的方法》、《用于废钢定点加料的高炉炉顶布料器》发明专利，《一种铁水罐内精准加废钢装置》实用新型专利主要参与者，也是本项目2篇论文的参与作者。刘颖超硕士负责参与本项目理论基础研究，在喷吹煤粉配煤优化及经济评价模型开发方面做出突出贡献。主导撰写论文1篇。

德龙钢铁有限公司与北京科技大学在本项目上充分发挥自身优势，在产学研合作模式上共同完成了项目工作，建立了良好的合作基础并获得了广泛的合作经验，为企业科技发展提供了智力支持和落地保障。

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 合作方式 | 合作者 | 合作时间 | 合作成果 | 证明材料 | 备注 |
| 1 | 共同立项 | 刘燕军,佘雪峰,杨志刚,李丽红,刘迎立,王艾军,刘广武,王 雷, 牛倩倩,刘颖超 | 2017年7月-2020年12月 | 产学研合作协议书 | 5.1.1,5.1.25.1.3,5.1.4 |  |
| 2 | 成果评价 | 刘燕军,佘雪峰,杨志刚,李丽红,刘迎立,王艾军, 安占永,刘广武,刘颖超,牛倩倩,王 雷,王海员, 苗 壮,任可飘,李艳斌,关孟冬 | 2021年5月 | 科学技术成果评价报告 | 3.3.1,3.3.23.3.3,3.3.4 |  |
| 3 | 共同知识产权 | 佘雪峰,王京彬,刘燕军 | 2019年9月23日 | 一种设有富氧喷煤风口的高炉及熔炼工艺 | 2.1.1 |  |
| 4 | 共同知识产权 | 王京彬,佘雪峰,王静松,刘燕军,刘士祯,张军红,刘迎立 | 2019年5月21日 | 一种高炉添加废钢生产铁水的方法 | 2.1.2 |  |
| 5 | 共同知识产权 | 刘燕军,佘雪峰,王京彬,刘迎立,王静松,李丽红,薛庆国,刘 欢,左海滨,牛倩倩,王 广 | 2019年7月25日 | 用于废钢定点加料的高炉炉顶布料器 | 2.1.3 |  |
| 6 | 共同知识产权 | 周 恒,张军红,佘雪峰,李丽红,王艾军 | 2020年3月31日 | 一种设有移动式投料口的高炉布料器 | 2.1.4 |  |
| 7 | 共同知识产权 | 周 恒,刘燕军,佘雪峰,王瑞强,牛倩倩 | 2020年3月31日 | 一种设置在高炉上的移动式布料器 | 2.1.5 |  |
| 8 | 共同知识产权 | 刘燕军,齐朝杰,张军红,李丽红,刘迎立,杨 岚,刘 欢,牛倩倩,王国强,王志强 | 2019年10月30日 | 一种铁水罐内精准加废钢装置 | 2.5.8 |  |
| 9 | 论文合著 | 刘颖超,王京彬,刘燕军,刘迎立,李丽红,佘雪峰 | 2019年11月6日 | 高炉添加废钢的能耗和经济性分析 | 2.6.6 |  |
| 10 | 论文合著 | 边 城,刘燕军,刘迎立,王京彬,罗明锁,佘雪峰 | 2019年9月20日 | 高炉内兰炭与焦炭之间的交互作用 | 2.6.7 |  |