

# 高品质钢冶金前沿技术专刊序言

包燕平<sup>✉</sup>

北京科技大学钢铁冶金新技术国家重点实验室, 北京 100083

✉通信作者, E-mail: baoyanp@ustb.edu.cn

钢铁是国民经济建设重要的基础材料。作为世界上最大的钢铁生产国, 我国的钢铁工业为中国及世界经济的快速发展作出了重要贡献。但是在全球绿色低碳发展的时代主旋律下, 钢铁工业的发展面临巨大的压力: 包括如何破解中国钢铁工业面临的低碳发展的路径、如何进一步提升产品质量以满足各行业对钢铁材料的需求、如何进一步提升钢铁生产过程的智能化和绿色化的水平, 等等。解决这些制约我国钢铁工业可持续发展的问题, 必须加强基础理论研究与创新技术研发, 为钢铁行业的发展提供技术支撑! 为此, 《工程科学学报》组织“高品质钢冶金前沿技术专刊”, 主要从炼钢角度探讨如何解决这些制约钢铁技术发展的瓶颈问题。

感谢《工程科学学报》提供这个机会, 本专刊特别邀请了来自国内知名高校、研究院所和企业的科技人员, 他们都是近年来活跃在炼钢领域的知名专家教授, 感谢他们在紧张的科研工作之余, 按时完成了论文的撰写。专刊共收录了 14 篇论文, 按照论文的内容分为 4 个部分: (1) 低碳炼钢技术; (2) 洁净钢及夹杂物控制技术; (3) 连铸技术; (4) 高品质钢生产技术。希望通过本专刊的发表, 能够为炼钢技术的进步做出贡献。

绿色低碳化是钢铁工业发展的必然途径, 专刊特约了 3 篇此方向的论文。朱荣教授<sup>[1]</sup>的论文“CO<sub>2</sub> 顶吹比例对转炉终点控制的影响”, 结合 CO<sub>2</sub> 的高温反应特性, 针对性地制定了 CO<sub>2</sub> 冶炼工艺, 并对转炉顶吹 CO<sub>2</sub> 比例对终点磷、氮和碳氧浓度积的影响进行了工业试验研究, 得到了优化的转炉顶吹 CO<sub>2</sub> 比例。李京社教授<sup>[2]</sup>的论文“‘双碳’背景下低碳排炼钢流程选择及关键技术”, 分析了“碳达峰”和“碳中和”背景下的低碳排放炼钢

关键技术, 对全废钢电弧炉炼钢技术进行了系统分析。徐安军教授<sup>[3]</sup>的论文“国内外钢铁行业低碳发展策略分析”, 概述了全球钢铁行业 CO<sub>2</sub> 排放现状, 以及主要产钢国的碳减排目标, 并对低碳策略和技术进行详细的分析, 梳理了中国钢铁行业实现“双碳”目标的应对策略, 指出减量化发展、流程结构调整是未来我国钢铁行业低碳发展的主攻方向。

洁净钢及夹杂物控制技术一直是炼钢技术发展的重要方向, 本专刊特约了 4 篇此方向的论文。姜周华教授<sup>[4]</sup>的论文“Ce/Mg 处理对 M50 轴承钢洁净度的影响”, 采用真空感应熔炼工艺冶炼航空轴承钢 M50, 对比分析了 Ce 处理、Mg 处理和 Ce–Mg 复合处理对氧、硫含量和夹杂物分布特征的影响, 研究发现, Ce–Mg 复合处理可以显著降低钢中夹杂物的尺寸和数量, 将钢中的氧含量降低至  $7.5 \times 10^{-6}$ 。张立峰教授<sup>[5]</sup>的论文“稀土元素铈对钢中非金属夹杂物改性和腐蚀影响的第一性原理研究”, 通过原位腐蚀观察和基于密度泛函理论的第一性原理计算方法, 从微观角度研究了稀土元素铈(Ce)对 J5 不锈钢中夹杂物的改性和夹杂物诱导腐蚀的机理, 结合不锈钢中复合夹杂物的实验结果发现, Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 诱导点蚀发生的概率最高, CeAlO<sub>3</sub> 可以有效提高钢的耐腐蚀性能。朱立光教授<sup>[6]</sup>的论文“基于氧化物冶金的微合金化研究”, 总结了国内外氧化物冶金技术的进展, 分析了微合金体系中各元素的协同及交互作用, 以及夹杂物、第二相粒子析出、演变对钢的相变、组织结构和性能的影响规律, 提出了基于氧化物冶金的微合金化思想。王晓峰教授<sup>[7]</sup>的论文“基于微细异相钢液净化技术研究进展”, 从微细异相净化钢液技术原理出发, 介绍了微细异相去除细小夹杂物、脱硫、

脱磷、渣料迁移、RH 快速脱碳及中间包长水口喷粉工艺特点及作用机理, 并对其在工程领域应用进行了展望。

连铸技术一直是炼钢领域非常活跃和创新突出的方向, 本专刊特约了 3 篇相关论文。朱苗勇教授<sup>[8]</sup>的论文“微合金钢薄板坯连铸边角裂纹控制”, 针对微合金钢薄板坯连铸过程高发边角部裂纹这一共性技术难题, 对某钢厂 Qste380TM 低碳含铌钛微合金钢薄板坯连铸生产进行系统深入研究, 提出了沿高度方向有效补偿坯壳凝固收缩的窄面高斯凹型曲面结晶器及其足辊区超强冷工艺, 促使铸坯角部组织碳氮化物弥散析出, 并促进铸坯窄面在液芯压下过程金属宽展流动而降低角部压下应力, 大幅降低了微合金钢薄板坯边角部裂纹发生率。文光华教授<sup>[9]</sup>的论文“连铸结晶器‘自适应保护渣’理论及应用”, 通过对保护渣中以铝为代表的网络形成中间体元素具有适应结晶器工况环境的系统研究, 提出连铸结晶器“自适应保护渣”设计理论 (Smart mold powders, SMP)。利用这一理论开发出环境友好、非牛顿流体及热扩散效应保护渣并成功进行了工业应用。杨健教授<sup>[10]</sup>的论文“石油套管钢管壁内缺陷的形成机理”, 针对某石油套管钢管壁内缺陷, 采用多种分析检测方法及理论计算, 得到这些缺陷由炼钢及连铸过程中形成的  $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2\cdot\text{MgO}$  3 种类型的夹杂物, 在圆管坯在穿孔变形过程中, 在纵向拉应力和横向切应力作用下, 使卷入的大型渣滴沿纵向及横截面延伸扩展, 最终形成钢管壁内的缺陷。

高品质钢生产是炼钢技术的主要任务和发展方向, 本专刊特约了 4 篇相关论文。曾加庆教授<sup>[11]</sup>的论文“转炉锰矿熔融还原工业试验研究”, 对锰矿熔融还原过程和提高锰收得率的工艺参数进行了热力学研究和工业试验验证, 研究结果为锰矿熔融还原技术的开发和应用提供了技术支撑, 为打通转炉炼钢过程锰矿熔融还原技术路径, 提高锰的收得率提供了重要依据。朱国森教授<sup>[12]</sup>的论文“汽车车身用新型冷轧薄板研发进展”, 对近年来汽车车身用新型冷轧薄板的研发进展进行了综述, 指出在汽车用钢市场竞争日益激烈的趋势下, 满足汽车零件高成形性需求的 DH 钢在解决传统高强钢冲压开裂和实现汽车轻量化方面、锌铝镁镀层钢板在提高耐蚀性方面以及高鲜映性汽车外板在车身绿色涂装方面展现出了巨大优势, 具有广阔的应用前景。徐安军教授<sup>[13]</sup>的论文“基于数

据驱动的转炉二吹阶段钢水温度动态预测模型”, 针对大多数转炉终点预测模型属于静态模型, 只能实现对转炉吹炼终点钢水温度的预测, 无法实现动态预测的问题, 提出了一种基于数据驱动的转炉二吹阶段钢水温度动态预测模型, 实验结果表明: 模型在重用案例个数为 4, 神经元个数为 10 时模型对钢水温度的预测误差在  $[-5^\circ\text{C}, 5^\circ\text{C}]$ 、 $[-10^\circ\text{C}, 10^\circ\text{C}]$  和  $[-15^\circ\text{C}, 15^\circ\text{C}]$  的命中率分别达到 40.33%、68.92% 和 88.33%。包燕平教授<sup>[14]</sup>的论文“基于非铝脱氧工艺的高品质轴承钢关键冶金技术研究”, 通过对轴承钢生产过程的研究, 提出了基于非铝脱氧的高品质轴承钢生产工艺, 其主要特色是出钢过程硅锰合金预脱氧、LF 精炼采用炉渣扩散脱氧、RH 采用真空终脱氧。通过扩散脱氧和真空碳脱氧不产生污染钢液的脱氧夹杂物, 达到净化钢液的目的。同时由于无铝脱氧大大改善钢液的流动性, 有效地减少钢中 Ds 夹杂物。

本专刊总结了高品质钢冶金的部分前沿炼钢技术, 希望能够为炼钢技术的发展起到促进作用, 为实现我国从钢铁大国向钢铁强国的转化贡献力量。真诚地感谢所有作者的高水平论文和所有审稿专家的审稿意见。最后, 衷心地感谢《工程科学学报》编辑团队的辛勤工作, 让专刊得以顺利出版。

## 参 考 文 献

- [1] Dong J F, Wei G S, Zhu R, et al. Effect of the  $\text{CO}_2$  top-blowing ratio on the end of the converter. *Chin J Eng*, 2022, 44(9): 1476  
(董建锋, 魏光升, 朱荣, 等.  $\text{CO}_2$  顶吹比例对转炉终点控制的影响. 工程科学学报, 2022, 44(9): 1476)
- [2] Zhang F J, Yang S F, Li J S, et al. Selection and key technologies of low-carbon steelmaking processes under the background of “Double Carbon”. *Chin J Eng*, 2022, 44(9): 1483  
(张福君, 杨树峰, 李京社, 等. “双碳”背景下低碳排炼钢流程选择及关键技术. 工程科学学报, 2022, 44(9): 1483)
- [3] Cui Z F, Xu A J, Shang Guan F Q. Low-carbon development strategy analysis of the domestic and foreign steel industry. *Chin J Eng*, 2022, 44(9): 1496  
(崔志峰, 徐安军, 上官方钦. 国内外钢铁行业低碳发展策略分析. 工程科学学报, 2022, 44(9): 1496)
- [4] Wang L C, Tian J L, Ren J, et al. Effect of Ce/Mg addition on the cleanliness of M50-bearing steel. *Chin J Eng*, 2022, 44(9): 1507  
(王礼超, 田家龙, 任吉, 等. Ce/Mg 处理对 M50 轴承钢洁净度的影响. 工程科学学报, 2022, 44(9): 1507)
- [5] Liu H Z, Zhang J, Zhang J, et al. First-principle study of the effect of cerium on the modification and corrosion of nonmetal inclusions in steel. *Chin J Eng*, 2022, 44(9): 1516  
(刘瀚泽, 张静, 张继, 等. 稀土元素铈对钢中非金属夹杂物改性

- 和腐蚀影响的第一性原理研究. 工程科学学报, 2022, 44(9): 1516)
- [6] Zhu L G, Zhang Q J. Fundamental research of the microalloying theory based on oxide metallurgy technology. *Chin J Eng*, 2022, 44(9): 1529  
(朱立光, 张庆军. 基于氧化物冶金的微合金化研究. 工程科学学报, 2022, 44(9): 1529)
- [7] Wang X F, Li H, Cao D, et al. Progress in cleaning and purification of liquid steel technology based on fine heterogeneous phases. *Chin J Eng*, 2022, 44(9): 1538  
(王晓峰, 栗红, 曹东, 等. 基于微细异相钢液净化技术研究进展. 工程科学学报, 2022, 44(9): 1538)
- [8] Cai Z Z, Zhu M Y. Corner crack control for thin slab continuous casting of microalloyed steel. *Chin J Eng*, 2022, 44(9): 1548  
(蔡兆镇, 朱苗勇. 微合金钢薄板坯连铸边角裂纹控制. 工程科学学报, 2022, 44(9): 1548)
- [9] Wen G H, Chen F H, Jiang W B, et al. Theory and application of “smart mold powders” for continuous casting of steel. *Chin J Eng*, 2022, 44(9): 1558  
(文光华, 陈富杭, 蒋文波, 等. 连铸结晶器“自适应保护渣”理论及应用. 工程科学学报, 2022, 44(9): 1558)
- [10] Yang W K, Yang J, Song J L, et al. Formation mechanism of defects in the wall of a petroleum casing steel pipe. *Chin J Eng*, 2022, 44(9): 1566  
(杨文魁, 杨健, 宋景凌, 等. 石油套管钢管壁内缺陷的形成机理. 工程科学学报, 2022, 44(9): 1566)
- [11] Lin L, Zeng J Q, Li S J, et al. Industrial test of smelting reduction for manganese ore in converter. *Chin J Eng*, 2022, 44(9): 1575  
(林路, 曾加庆, 李双江, 等. 转炉锰矿熔融还原工业试验研究. 工程科学学报, 2022, 44(9): 1575)
- [12] Zhu G S, Han Y, Jiang G R, et al. Research and development progress of new cold rolled sheet steels of car body. *Chin J Eng*, 2022, 44(9): 1585  
(朱国森, 韩贇, 蒋光锐, 等. 汽车车身用新型冷轧薄板研发进展. 工程科学学报, 2022, 44(9): 1585)
- [13] Gu M Q, Xu A J, Liu X, et al. Dynamic, data-driven prediction model of molten steel temperature in the second blowing stage of a converter. *Chin J Eng*, 2022, 44(9): 1595  
(谷茂强, 徐安军, 刘旋, 等. 基于数据驱动的转炉二吹阶段钢水温度动态预测模型. 工程科学学报, 2022, 44(9): 1595)
- [14] Wang Z L, Bao Y P, Gu C, et al. Key metallurgical technology for high-quality bearing steel production based on the nonaluminum deoxidation process. *Chin J Eng*, 2022, 44(9): 1607  
(王仲亮, 包燕平, 顾超, 等. 基于非铝脱氧工艺的高品质轴承钢关键冶金技术研究. 工程科学学报, 2022, 44(9): 1607)



包燕平, 男, 教授、博导, 钢铁冶金新技术国家重点实验室“钢的净化与夹杂物控制”方向学科带头人, 主要研究方向为高品质钢生产、洁净钢生产与炼钢炉渣高效利

用、连铸新技术、冶金过程模拟与反应器优化等。兼任中国金属学会《连铸》期刊主编, 教育部钢铁行业行(教)指委委员, 中国金属学会科普工作委员会副主任委员, 中国冶金教育学会实践教学分会副理事长, 国家板带工程中心特聘教授等。曾于1999—2001年赴德国亚琛工业大学冶金所做访问学者, 于2012年荣获美、德联合基金委员会设置的“Willy Korf杰出教育奖”。近年来完成国家重点攻关项目、自然科学基金项目、国际合作项目和重要厂协项目等50余项, 在主要研究方向发表SCI(EI)收录论文120余篇, 出版学术专著和教材8部, 获得发明专利20余项。研究成果获得国家科技进步二等奖1项, 省部级科技进步一等奖2项、二等奖4项、三等奖4项。培养博士研究生40余名、硕士研究生90余名。