综 述

中国废钢资源利用现状及“十五五”高质量发展建议

王森
（鞍钢集团矿业有限公司，辽宁 鞍山 114000）

摘要： 随着我国“双碳”目标的深入推进，废钢资源作为唯一可规模化替代铁矿石的钢铁工业原料，其高效利用已成为构建低碳循环工业体系的关键环节。当前，我国废钢资源利用正处在高速增长与战略转型的重要阶段。立足产业现状，梳理了废钢资源的产出规模与未来趋势，分析了不同炼钢流程的技术特点与应用优势，并此基础上，围绕“十五五”时期废钢资源的高质量、规范化与规模化发展目标，提出了具有针对性的路径建议与政策展望，以期为行业转型与政策制定提供参考。

关键词： 废钢资源；废钢比；产出量；利用方式；发展建议
中图分类号： TF702 **文献标志码：** A **文章编号：** 1006-4613(2026)03-0009-06
DOI：10.3969/j.issn.1006-4613. 2026. 03. 002

Current Status of Scrap Steel Resources Utilization in China and Recommendations for High-quality Development in the “15th Five-Year Plan”

WANG Sen
（Ansteel Group Mining Co., Ltd., Anshan 114000, Liaoning, China）

Abstract: With the deepening advancement of China’s “dual carbon” goals, scrap steel resources, as the only raw material in the steel industry that can be scaled up to replace iron ore, have become a key link in building a low-carbon circular industrial system through their efficient utilization. Currently, the utilization of scrap steel resources in China is at an important stage of rapid growth and strategic transformation. Based on the current industrial situation, the production scale and future trends of scrap steel resources are reviewed, the technical characteristics and application advantages of different steelmaking processes are analyzed, and on this basis, the path recommendations and policy outlooks centered on the high-quality, standardized, and large-scale development goals of scrap steel resources during the “15th Five-Year Plan” period are proposed, aiming to provide a reference for industrial transformation and policy formulation.

Key words: scrap steel resources; scrap steel ratio; output; utilization methods; development recommendations

钢铁行业作为现代工业体系的支柱，其能源消耗与碳排放强度在国民经济各部门中居于前列[1]。在我国全面推进绿色低碳循环发展的战略背景下，提升废钢资源的循环利用效率已成为驱动工业体系绿色转型与实现社会经济高质量发展的关键路径。废钢资源主要产生于钢铁制品制造过程中的自产废钢、加工废钢，以及社会钢铁存量产品报废后形成的折旧废钢[2]。作为当前唯一可规模化替代铁矿石的炼钢原料，废钢的高效利用

王森，硕士，助理工程师，2025年毕业于辽宁工业大学机械工程专业。E-mail：3136135402@qq. com

对于缓解我国钢铁工业碳排放（约占全国总量的15%）和突破铁矿石对外依存度（超过80%）的双重约束具有战略意义[3]。系统性地推进废钢资源回收利用，不仅能够显著降低全产业链的物耗与能耗，从源头减少固体废物与环境排放，更能够从根本上优化钢铁工业的原料供给结构，提升资源自主保障能力，构建更具韧性和可持续性的产业安全体系。

1 国内废钢资源利用现状及发展前景

1.1 废钢资源利用现状

作为中国工业化的支柱产业，我国钢铁工业自改革开放以来，在市场化改革与技术引进的双重驱动下，实现了跨越式发展。1996年，中国粗钢产量首次突破1亿t，超越日本成为全球第一大钢铁生产国[4-5]。此后，伴随城镇化进程的加速推进与工业体系的不断完善，粗钢产能持续攀升，至2022年已突破10亿t大关，占全球粗钢总产量的54%。而随着产量的持续增长，中国的人均钢材消费量与社会钢铁蓄存量亦呈现出快速攀升态势[6]。2024年，中国人均钢材表观消费量约为601 kg，位列全球第三（同期韩国约为924 kg，中国台湾地区约为746 kg）[7]。与此同时，社会钢铁蓄存量增长尤为迅猛，截至2023年已增至约128亿t，超越美、日等先期工业化国家，跃居全球首位。

我国持续且规模巨大的粗钢产出，为废钢资源的大规模生成与高效循环利用提供了坚实的物质前提。2016年—2025年我国粗钢及废钢产出量见图1。由图1可知，我国废钢产出量从2016年的约0.9亿t增长至2025年的2.53亿t。根据行业预测，到2030年，这一规模预计将进一步达到3.3亿~3.6亿t[8-9]，为减少铁矿石的使用、降低行业碳排放提供了现实的资源条件。因此，高效利用废钢资源至关重要。

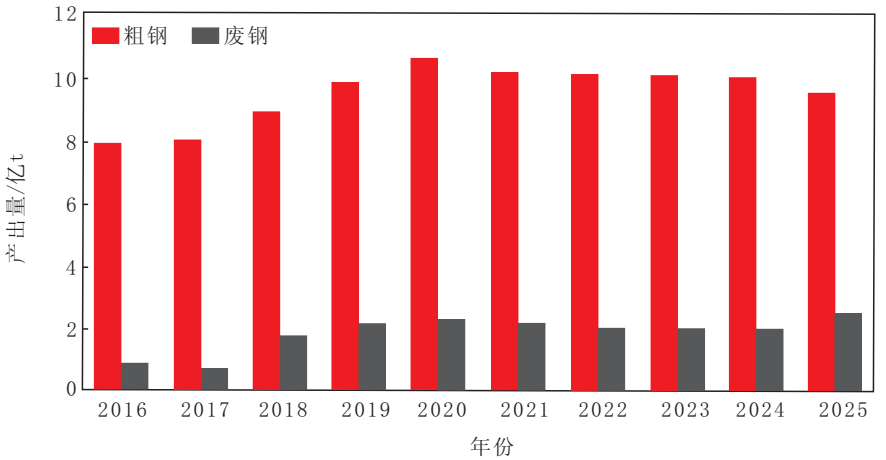


图1 2016年—2025年我国粗钢及废钢产出量

Fig. 1 Output of both Crude Steel and Scrap Steel in China from the Year of 2016 to 2025

1.2 废钢资源发展前景

在我国全面推进“双碳”战略目标和完善废弃物循环利用体系的宏观背景下，国家发展改革委等七部门联合印发《再生资源应用推广行动方案》（以下简称《方案》），明确将废钢铁、废有色金属、废纸、废塑料等再生材料作为重点，提高再生资源应用比例、加快行业绿色低碳转型，从而进一步推动完善我国废弃物循环利用体系和循环经济发展格局。2024年我国主要再生资源占比情况见图2。由图2可知，废钢铁作为再生资源重要组成部分，在2024年我国11种主要再生有价资源的回收总量中占比高达61.24%[10]，由此可见，其资源回收价值与减碳潜力尤为突出。基于废钢在再生资源结构中的重要地位，《方案》明确指出，到2030年我国废钢铁年回收利用量将超过3亿t。与此同时，国家在税收政策层面持续释放红利，对符合条件的废钢回收企业给予增值税退税30%的税收支持，为废钢资源的高效利用提供了坚实的制度保障。

作为关键减排领域，钢铁工业的绿色低碳转

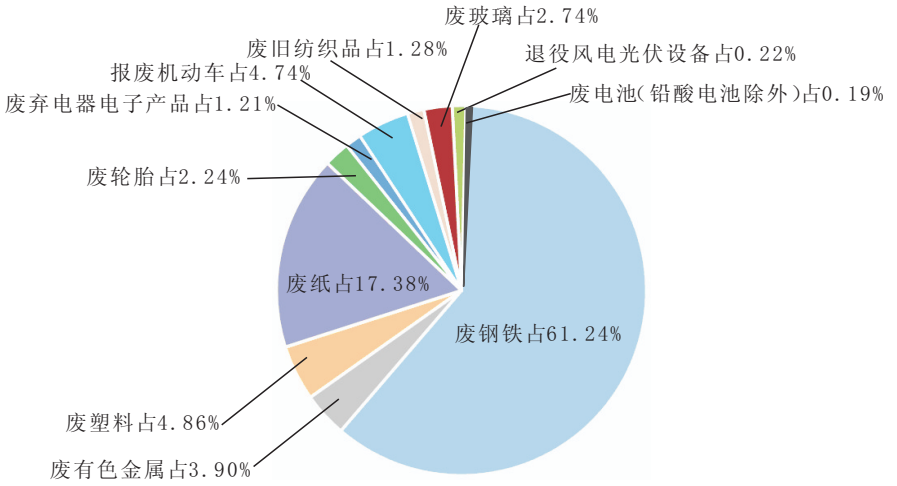


图2 2024年我国主要再生资源占比情况

Fig. 2 Proportion of Major Recyclable Resources in China in the Year of 2024

型进程长期受制于现有冶炼技术的碳排放刚性约束与结构性调整所面临的资源瓶颈,导致行业整体碳排放强度的下降幅度尚未达到预期[11]。在此背景下,推动废钢资源的高效利用,已成为破解钢铁行业减排困局、挖掘潜在降碳空间的核心突破口。理论研究与工业实践均表明,以废钢为主要原料生产1 t成品钢,相较传统的铁矿石-高炉长流程工艺,可节约标准煤约0.35 t,并直接减少约1.6 t的二氧化碳排放,减碳与资源节约效益极为显著[12]。

另一方面,根据中国钢铁年鉴数据,我国是世界上最大废钢消费国,2024年世界主要产钢国废钢比情况如表1所示。

表1 2024年世界主要产钢国废钢比情况

Table 1 Scrap Steel Ratio in Major Steel-Producing Countries in the Year of 2024 %

中国	欧盟	美国	日本	俄罗斯	韩国	土耳其	印度
20.9	59.2	69.2	37.5	25.1	37.7	84.8	24.0

由表1看出,衡量废钢利用效率的关键指标废钢比(炼钢过程中废钢消耗量与粗钢总产量之比),我国在世界主要产钢国中仍处于较低水平[13]。这一巨大反差表明,我国在废钢资源的利用效率上存在短板,整体废钢比与发达国家相比仍有较大差距,同时也揭示了通过提升废钢比来挖掘减碳潜力、推动产业结构升级,具有广阔的发展空间。

综上所述,废钢资源的高效利用,是突破钢铁工业低碳转型瓶颈、释放巨大减排潜力的关键路径。

2 废钢资源的生成路径与核心利用方式

2.1 废钢资源的生成路径

废钢资源产生于钢材生产制造与自然损耗的全生命周期中,钢铁制品生命周期流程图如图3所示[14]。

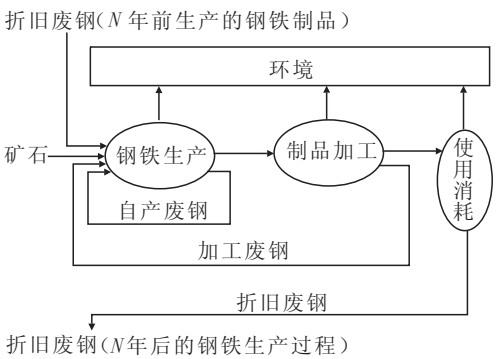


图3 钢铁制品生命周期流程图

Fig. 3 Lifecycle Flow Chart of Steel Products

由图3看出,根据废钢生产阶段和来源不同,可以划分为自产废钢、加工废钢与折旧废钢,由于

我国废钢资源统计体系尚不健全，加工废钢与折旧废钢统一称为社会废钢。

自产废钢又称为厂内废钢，主要来源于钢铁冶炼过程中的炼钢、连铸、轧制等环节的废料，具有成分稳定、杂质较少的特性，通常在钢厂内部循环使用，不进入社会市场流通[15-16]；加工废钢主要指下游制造加工企业对钢材进行冲压、切削、打磨等加工过程中产生的废钢；折旧废钢是各种钢制品（建筑、机械、汽车等）到达使用年限后产生的废钢，其来源分散、成分复杂，往往表面含有涂层、合金、油污或其他附着物，需要拆解、破碎、分选等手段进行预处理，是废钢回收的主要挑战和重点[17]。

社会废钢（尤其占比较大的折旧废钢）资源潜力与回收特性取决于其上游制成品行业和生命周期。主要行业钢制品再生循环寿命周期如表2所示[18]。

表2 主要行业钢制品再生循环寿命周期[18]

Table 2 Lifecycle of Steel Products Regeneration and Recycling in Major Industries[18]

行业	寿命循环周期/a	废钢回收率/%
建筑住宅	60~70	80~90
建筑厂房	20~30	80~90
机械	8~20	60~70
汽车	8~20	60~70
造船	20~35	70~80
家电	8~15	60~70
能源化工	30~50	50~70
其他（五金）	3~5	70~80

根据表2中数据，不同行业间差异显著，建筑、造船、能源化工等大型基础设施寿命周期长达数十年至半个世纪，而家电、五金等消费品寿命则较短；同时，产品的结构复杂性和回收体系完善程度共同决定了其最终的废钢回收率[19-21]。例如结构相对单一的建筑钢材回收率可高达80%~90%，而成分复杂、拆解困难的机械、汽车等产品回收率则相对较低。因此，针对不同行业废钢的资源特性，采取差异化的回收、分选与预处理技术，是构建高效、绿色的现代化废钢回收加工体系的重要基础。

2.2 废钢资源的核心利用方式

目前，我国废钢资源在钢铁工业中的利用呈现以高炉-转炉长流程为主导、电炉短流程为补充的二元结构格局，二者在粗钢产量中的比例约为9:1。其中高炉-转炉炼钢主要使用铁水（由铁矿石冶炼而来），废钢作为冷却剂和辅助材料进行添加使用，废钢比大约15%，是目前我国消耗废钢的主要途径；电炉炼钢则以废钢为核心原料[22]，由于不涉及焦炭使用，主要利用电能加热融化金属原料，碳排放量相对长流程炼钢更具优势。

电炉炼钢与转炉炼钢因各自工艺特性、原料结构及成本构成的差异，在产品应用领域上呈现出显著的差异化分工[23-24]。转炉炼钢以高炉铁水为主要原料，从源头上规避了因废钢来源复杂、分拣工艺局限所导致的钢材杂质元素不可控问题[25]。同时，转炉冶炼过程为封闭体系，能有效控制钢液与空气接触，显著降低钢材中氮含量，从而保障产品具有优异的延展性与成形稳定性。此外，高炉-转炉长流程具有生产规模大、效率高的系统优势，尤其适合对纯净度与表面质量要求严苛的高端扁平材（如汽车外板、电工钢、高性能镀层板等）的大规模连续化生产。相比之下，电炉炼钢基于其“短流程”特性，具备生产灵活、原料适应性强等工艺优势，更适用于我国市场需求量庞大的长材（棒线材）领域。该类产品对残余元素容忍度相对较高，且电炉炼钢便于在冶炼过程中加入大量合金成分。在特种钢材领域，如航空航天、核工业、精密仪器装备等所需的高端合金钢、不锈钢及特殊性能钢材，电炉炼钢因其灵活的冶炼节奏与高效的合金熔配能力，展现出显著的性能调控优势，成为特种钢生产的核心工艺路径[26]。

综上，转炉炼钢依托其纯净原料与高效连续化生产体系，主导高纯净度、高性能扁平材市场；而电炉炼钢则凭借其灵活性与合金成分精准调控能力，在长材及特种钢材领域占据关键地位[27]。二者并非简单的竞争或替代关系，而是基于各自鲜明的工艺特长，在构建绿色低碳、高效集约、多元互补的现代钢铁材料体系中，形成深度协同、融合共生的产业发展新格局。

3 “十五五”期间废钢资源高质量利用的相关建议

“十五五”时期，随着我国钢铁蓄存量持续释放和循环经济体系不断完善，我国废钢资源利用

正迎来提质增效的战略机遇期。与此同时，行业仍面临因标准体系约束力不足导致的流通效率偏低、重点行业回收粗放影响再生品质、政策激励机制与市场化手段协同不足、废钢利用产能结构有待优化以及资源供应体系韧性不强等多重挑战。为破解上述瓶颈，推动废钢资源高效配置与高值化利用，亟需在标准引领、源头回收、政策协同、结构优化、供应保障等关键领域系统发力。

3.1 废钢行业标准体系建设

“十五五”期间，我国废钢资源量预计将达3.3~3.6亿t，产业规模将迎来历史性跨越。可观的资源量既为行业高效发展提供了坚实基础，也对资源的高效利用提出了更高要求。当前，我国废钢行业仍面临国家标准与行业标准多为推荐性、约束力不足的问题，导致相关主体执行积极性不高[28]。企业往往自行制定内部标准，在资源名称分类、回收要求等关键环节存在较大差异，造成政策措施落地困难、市场统一进程受阻，制约了行业整体效率提升。因此，“十五五”期间应加快完善相关法律法规与标准体系，强化标准实施与监督，推动废钢资源实现规范、高效流通[29]。

此外，随着我国工业现代化进程的持续深化，废钢行业亟需加速向智能化、精细化与数字化方向转型升级。应着力推动智能检测技术、数字化资源标识、碳足迹追踪核算及智能化仓储管理等先进技术体系的规模化应用，构建覆盖废钢资源回收、分选、加工、检验、储运、交易与高效利用全生命周期的闭环管理模式。通过建立标准化、可追溯、数据驱动的现代废钢回收体系，从而系统提升资源综合利用效率，优化产业链协同效能，推动行业向更高效、更可持续的发展模式演进。

3.2 重点行业高效回收体系构建

为促进建筑施工、工程机械、交通运输等重点产废行业的废钢资源实现高效回收与再生利用，必须采用系统性措施。首先，在重点行业推行细化的生产者责任延伸制度，明确制造企业在其产品全生命周期内对废钢回收比例、质量及可追溯性所承担的具体责任，形成覆盖设计、制造、回收、再生环节的闭环责任体系；其次，推动钢铁制品向一体化、标准化设计制造转型，减少异质材料在结构中的混杂使用，从源头提升废钢资源的再生纯净度与分选效率；最后，建立基于规格、材质及服役历史的精细化分级分类回收体系，针对不同类别的结构件与零部件制定差异化的拆解、分选及预处理技术规范，实现废钢资源的精准回收与定向高值化利用，推动重点行业废钢回收从粗放处理向系统化、精细化循环模式转变。

3.3 政策激励与市场化机制协同

为确保“十五五”期间我国废钢资源实现高效循环利用，应构建税收调节、资金引导与市场机制协同发力的系统性政策框架。建议将2021年《关于完善资源综合利用增值税政策的公告》中对符合条件企业的废钢铁加工退税比例[30]，由现行的30%提升至50%~70%，并对废钢综合利用率达到先进水平的钢铁企业实施阶梯式企业所得税优惠。其次，应在中央预算内投资和超长期特别国债等财政工具中设立“废钢资源化利用技术与装备升级”专项，重点支持智能检测、数字化分选、洁净预处理等关键技术产业化与标准化加工基地建设。同时，需进一步完善“反向开票”制度的实施细则，设置个人所得税过渡性优惠期以提高政策执行率，并推动废钢资源化利用的碳减排量纳入交易市场。通过将税收征管机制与产业经营实践深度融合，系统提升废钢资源高效利用的综合效益。

3.4 实施电炉炼钢产能结构优化

电炉炼钢相较于高炉–转炉长流程炼钢具有资源利用效率高、污染排放少的优势。在目前我国仍以长流程炼钢为主导的情况下，除继续通过改进工艺、升级设备和完善管理以提高废钢比外，还应着力提升电炉炼钢的比重，推动钢铁冶炼产能结构优化[31]。

我国电炉短流程炼钢的结构优化应遵循以下几个方向：一是推动电炉炼钢技术装备升级。在引进国外先进炉型与技术体系的同时，持续加强国内技术研发，重点发展自动密闭加料、高效纯净钢冶炼等先进技术，提升残余元素控制水平和减排效率。二是提高清洁能源使用比例。通过推动电炉产能集约化布局，提升电力资源利用效率，并因地制宜发展水电、风电、光伏等清洁能源，逐步提高绿电在电炉炼钢中的占比，实现能源供给的多样化与低碳化。三是坚持有序发展，避免盲目扩张。在钢铁产能总体过剩的背景下，电炉炼钢应稳妥推进，确保企业公平竞争，禁止在未落实产

能置换的情况下新建电炉炼钢项目。四是优化产业布局与产品结构。贯彻“增品种、提品质、创品牌”的发展思路，提高优质特种钢的比重，围绕汽车交通、航空航天、核能装备等重点领域的下游需求，发展高性能特种钢材。综上，电炉炼钢结构优化应遵循技术升级、能源转型、有序布局、产品提质的系统路径。

3.5 强化废钢资源供应保障

随着我国废钢资源需求持续增长，为保障原料供应安全与产业绿色发展，需构建以国内循环为主体、国际供应为补充、战略储备为调节的复合型资源保障体系。建议从以下三个方面协同推进：整合国内回收网络，支持区域骨干钢铁企业牵头设立专业化废钢处理企业，如鞍钢绿金产业、宝武欧冶链金等[32]，以充分发挥其规模与技术优势，逐步改变当前中小企业占比过高、回收体系碎片化的局面；拓展国际优质资源渠道，在严格质量与环保标准的前提下，有序放宽再生钢铁原料进口限制，建立海外优质供应商白名单及通关便利机制，鼓励国内企业在境外布局加工基地，推动直接还原铁（DRI）、热压块铁（HBI）等标准化半成品回国利用；建立市场化战略储备机制，在长三角、京津冀等主要集中消费区域布局储备基地，实现储备规模与区域产能的动态匹配，形成“平时服务生产、急时保障供应”的调节能力。通过以上措施，构建系统、高效、安全的废钢资源保障格局，全面提升废钢资源供应链韧性。

4 结论与展望

为系统提升我国废钢资源利用效率、推动“十五五”期间废钢回收产业，实现高质量发展，本文在深入分析行业现状的基础上，系统提出发展路径与政策建议，以期为行业发展提供参考。主要结论与展望如下：

（1）我国已具备废钢资源规模化利用的坚实基础。随着我国钢铁产量的不断增加和社会蓄存量的持续增长，废钢年产出量已达相当规模，为减少铁矿石的使用、降低行业碳排放提供了现实的资源条件。

（2）当前我国废钢资源利用仍以高炉-转炉长流程炼钢为主要路径，电炉短流程占比较低，导致整体废钢比与发达国家相比仍有较大差距，资源利用效率与碳减排潜力尚未充分发挥。

（3）“十五五”期间应着力构建智能化、精细化与数字化的现代废钢回收利用体系，通过完善行业标准体系、强化重点行业回收网络、健全政策激励与市场化机制协同，系统推进废钢资源产能结构优化与供应链安全保障能力提升，从而有力推动我国钢铁工业的绿色低碳转型与高质量发展。

参考文献

[1] 郝阳，刘斌，孙泽辉．我国废钢资源产出情况分析[J]．冶金经济与管理，2024(6)：32-34.
[2] 上官方钦，郦秀萍，周继程，等．中国废钢资源发展战略研究[J]．钢铁，2020，55(6)：8-14.
[3] 王国栋，张龙强，付静，等．“双碳”背景下我国废钢资源高质循环利用战略研究[J]．中国工程科学，2024，26(3)：63-73.
[4] 陈小红．我国钢铁产业结构优化策略的研究[D]．上海：上海师范大学，2011.
[5] 朱文琪．中国钢铁产业高质量发展测度及提升路径研究[D]．北京：中国地质大学，2021.
[6] 吴昊龙．双碳背景下废钢再生利用碳减排评估研究[D]．上海：上海第二工业大学，2024.
[7] 张松波，张磊，蔡启端，等．中国钢铁工业演化和铁矿石供需展望[J]．中国矿业，2025，34(2)：204-211.
[8] 崔志峰，上官方钦，马文略，等．双碳背景下中国钢铁行业未来发展趋势探讨[J]．工程科学学报，2025，47(4)：862-874.
[9] 杨凯．国内废钢-电炉炼钢发展及展望[J]．鞍钢技术，2024(1)：15-20.
[10] 中国物资再生协会．中国再生资源回收行业发展报告(2025)[J]．资源再生，2025(6)：6-15.
[11] 廖志高，张頔．“双碳”目标下钢铁行业碳减排实施路径研究[J]．广西职业技术学院学报，2022，15(6)：1-7.
[12] 李云．废钢铁在钢铁行业中应用前景研究[J]．再生资源与循环经济，2020，13(1)：23-29.
[13] 姚同路，曾加庆，贺庆，等．我国废钢铁分类分拣技术的发展及应用[J]．冶金自动化，2025，49(3)：1-9.
[14] 贾冬．基于循环经济的废钢回收研究[D]．南京：南京工业学，2012.
[15] 赵锋．我国钢铁的社会积蓄量及其对钢铁工业能耗作用研究[D]．沈阳：东北大学，2021.
[16] 王兴艳，李丹．低碳的大势下，废钢产业如何健康发展[J]．资源再生，2014(9)：22-24.
[17] 金雄林．中国废钢铁资源量研究(2025年)[J]．资源再生，2025(5)：22-24.
[18] 王寿兵，隗琪，方锴，等．生命周期评价在钢铁行业的应用及研究进展[J]．复旦学报(自然科学版)，2024，63(3)：291-305.
[19] 杨绍鹏，张月峰．加强全链条统筹持续做好钢铁行业节能碳[J]．中国经贸导刊，2023(12)：43-45.

（下转第32页）

出规律，形成了35MnB钢的优化炼钢生产工艺：Ti含量控制在0.025%~0.030%，取消复氮合金包芯线喂入，RH真空度≤67 Pa，保持时间≥15 min，有效改善了夹杂物超标问题。

（2）制定稳定的轧制工艺：加热温度（预热段温度≤900 ℃、加热段温度1 070~1 140 ℃、均热段温度1 140~1 210 ℃）、轧制温度（开轧温度1 030~1 110 ℃、终轧温度930~1 010 ℃）及在炉时间（120~128 min），为同类含Ti、N合金结构钢的夹杂物控制提供了理论依据和技术参考。

（3）试验生产的35MnB钢成品，非金属夹杂物和末端淬透性控制更加稳定，化学成分、低倍组织、金相组织等核心技术指标均符合协议要求。

参考文献

[1] 吴爱青，杨小芳，孙叶，等. 挖掘机链轨节失效分析及改善[J]. 金属加工（热加工），2025(4)：156-160，166.
[2] 袁淑君，戈文英，欧阳峥容，等. 链轨节用35MnB钢的开发生产实践[J]. 山东冶金，2016，38(2)：13-15.
[3] 杨占兵，王福明，宋波，等. 含Ti复合夹杂物对中碳非调质钢组织和力学性能的影响[J]. 北京科技大学学报，2007(11)：1096-1100.
[4] 彭光健，花含平，徐瑞军，等. 链轨节用35MnBH钢中Ti/N的控制实践[J]. 中国金属通报，2019(11)：106-107.
[5] 王贺明，董复明，孟庆勇，等. 高钛钢TiN类夹杂物控制技术实践[J]. 冶金与材料，2025，45(10)：106-108.
[6] 李国胜，战东平，方宇荣，等. BOF-LF-VD-CC过程35MnB钢中夹杂物的演变分析[J]. 钢铁研究学报，2023，35(5)：568-577.
[7] 宋生强，可向山，齐江华. 高废钢比条件下含钛钢中氮化钛夹杂析出与控制[J]. 钢铁研究学报，2025，37(5)：557-569.
[8] 张敏，李辉，赵亮. 中碳锰硼钢淬透性控制与组织性能研究[J]. 特殊钢，2024，45(3)：45-48.
[9] Konar B，Quintana N，Sharma M. Modeling and Optimization of the Vacuum Degassing Process in Electric Steelmaking Route [J]. Processes，2025，13(8)：2368-2368.
[10] Zhao Y，Yang Y，Barati M，et al. Strategies for nitrogen control during the production of interstitial-free steel[J]. Ironmaking & Steelmaking，2018，45(6)：485-491.
[11] Kim J，Lee S，Park J. Thermodynamic equilibrium and formation mechanism of TiN inclusions in gear steels[J]. Materials，2025，16(12)：432-439.
[12] Wang M，Min B. Control of precipitation and growth of TiN inclusions in medium-carbon boron steels [J]. Journal of Iron and Steel Research International，2024，31(4)：589-601.
[13] 张立峰，段东明，李金许. 钢中TiN夹杂物形核、长大与析出行为研究进展 [J]. 材料热处理学报，2015，36(S1)：1-8.
[14] 刘静，杨亮，李晶. JMatPro在钢中第二相析出热力学模拟中的应用 [J]. 材料科学与工艺，2016，24(2)：44-49.

（编辑　白璐）
修回日期：2026-04-14

（上接第14页）

[20] 吴海滨，姚茜，申远，等.“双碳”背景下的山西省钢铁行业低碳发展路径[J]. 当代化工研究，2023(4)：184-187.
[21] 韩中奎，代涛，李强峰，等. 基于动态物质流分析的中国铁二次资源回收潜力研究[J]. 地球学报，2023，44(2)：315-324.
[22] 李晓，彭锋. 我国电炉钢生产现状及发展前景[J]. 特殊钢，2009，30(2)：27-29.
[23] 孟华栋，陈超，赵小军，等. 电炉智能化炼钢技术实践与冶金效果分析[J]. 钢铁研究学报，2026，38(1)：50-61.
[24] 何鹏，吴学涛，张豫川，等. 电炉工艺模型进展与思考[J]. 工业加热，2025，54(8)：1-10，22.
[25] 李佳，孙大鹏，罗筱薇，等. 碳达峰碳中和新形势下电炉炼钢的机遇与挑战[J]. 现代工业经济和信息化，2024，14(10)：262-264.
[26] 李新宇，林严，苏步新. 中国电炉钢生产力布局现状分析与展望[J]. 中国冶金，2025，35(5)：22-32，74.
[27] 江宣. 转炉炼钢和电炉炼钢的优缺点比较分析[J]. 冶金与材料，2023，43(1)：83-85.
[28] 张琦，田硕硕，李星宇，等. 碳中和目标下中国废钢资源量预测及高质利用策略[J]. 钢铁，2024，59(9)：205-214.
[29] 刘永彬. 废钢铁回收利用体系建设及发展前景展望[J]. 再生资源与循环经济，2012，5(5)：25-26，30.
[30] 财政部，税务总局. 关于完善资源综合利用增值税政策的公告[J]. 再生资源与循环经济，2022，15(1)：6-7.
[31] 上官方钦. 中国全废钢电炉流程发展战略：意义、挑战与路径探索[J]. 资源再生，2025(11)：12-14.
[32] 再生资源全生命周期循环利用联合创新中心揭牌成立[J]. 再生资源与循环经济，2023，16(11)：32.

（编辑　许营）
修回日期：2026-02-24