

绿色钢铁之路

Gerald Scheffels 郝博洋

(部分内容编辑自 Automobil Industrie)

摘要: 世界钢铁行业正在必然地走向绿色环保, 所有知名钢铁生产商都在积极行动以降低碳排放。但大家可能不太清晰的是, 所谓的“绿色钢铁 (Green Steel)”, 其成本会不会增加? 客户会不会接受这些成本? 钢铁生产商在生产汽车用绿色钢铁的道路上还要走多久?

关键词: 车用钢材; 绿色钢铁; 碳排放

0 前言

“绿色钢铁”一般是指通过颠覆性工艺替代传统高炉焦炭炼钢工艺, 实现全流程近零碳排放的钢铁产品。其核心在于消除了冶炼过程中对化石燃料的依赖, 依托可再生能源驱动的“绿电”与“绿氢 (通过可再生能源电解水制取的氢气)”, 将生产每吨钢产生的 CO_2 排放从传统高炉焦炭炼钢工艺的 $1.8 \sim 3 \text{ t}$ 降至趋近于零。

1 两种技术: 电弧炉和直接还原

所有知名钢铁生产商都为自己制定了脱碳时间表, 并已开始对工厂进行改造, 或者新建采用更加绿色的新工艺的工厂。目前, 他们主要依靠电弧炉 (EAF) 和直接还原 (DRI) 这两种技术来实现降碳。

在电弧炉中, 废钢在电能的加热下融化为钢水回到生产线当中去, 最终成为可以重新使用的钢材, 这符合循环经济的要求。与传统高炉相比, 电弧炉可减少约 80% 的 CO_2 排放。

直接还原工艺不使用焦炭, 不产生废炭渣, 因此碳排放量低, 环保性好。直接还原生产过程中可以使用各种还原剂, 如天然气、氢气等, 这些燃料的燃烧效率非常高, 能够显著提高能源利用效率, 降低碳排放, 甚至是零碳排放。

相比传统的高炉焦炭炼钢, 电弧炉技术和直接还原工艺的碳排放量都显著减少, 对环境更加友好。

2 脱碳目标和时间表

所有知名钢铁生产商都在积极采取措施降低碳排放, 以下是部分汽车工业钢材生产商的脱碳时间计划和目标。

中国宝武钢铁集团 (以下简称为: 宝武) 提出分阶段达到零碳目标, 力争 2023 年实现碳达峰, 2025 年具备减碳 30% 的工艺技术能力, 2035 年力争减碳 30%, 2050 年实现碳中和。为实现目标, 宝武聚焦科技创新路径, 包括研发富氢碳循环氧气高炉 (HyCROF) 技术 (2020 年启动 430 m^3 试验高炉, 2025 年完成工业化验证) 和百万吨级氢基竖炉项目 (2022 年开工); 同步推进能源转型, 2021 年绿电采购量达 13.7 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$, 厂房屋顶光伏装机容量 196 MW (国内最大), 计划 2027 年扩至 500 MW; 并通过创立全球低碳冶金创新联盟推动氢能及生物质能布局。

安赛乐米塔尔设定 2030 年欧洲业务碳排放强度较 2018 年降低 35%、2050 年全球净零排放的目标。其技术路径分为两条主线: 一是智慧碳技术 (Smart Carbon), 在高炉工艺中耦合生物质能与碳捕集 (CCUS), 例如比利时根特工厂将废木材转化为生物煤, 富碳废气制乙醇, 并在法国敦刻尔克、加拿大魁北克推进天然气过渡绿氢的 DRI 项目, 计划 2025 年西班牙希洪工厂量产 160 万 t 绿色钢铁; 二是氢基直接还原铁 (Hydrogen-DRI), 德国汉堡工厂进行氢气还原铁矿石工业试验, 全球首个低温电解法制铁项目 (Volteron) 计划 2027 年投产。该公司还推出 XCarb 低碳品牌, 产品碳足迹低至 $0.3 \text{ tCO}_2/\text{吨钢}$, 供应巴黎奥运会等高端市场。

鞍钢集团于 2024 年明确其目标要 2025 年碳排放达峰, 2035 年碳排放总量较峰值降低 30%, 2050 年实现碳中和。其实施路径包括四大基地差异化降碳 (鞍山基地“大比例废钢 + 绿电”降碳 30%, 本溪基地“50% 废钢 + 电炉”降碳 30%, 广州基地“100% 废钢 + 电

炉”降碳 50%，大连基地“电弧炉+全废钢+绿电”降碳 61%）；布局鲅鱼圈氢冶金项目，开发绿氢零碳硫化床炼铁技术；通过智能化实现全流程降碳，如建成全球最大铁前一体化智慧炼铁中心（整合 28 个操作室、104 套系统），关宝山选矿“黑灯工厂”利用 AI 优化能耗，2023 年铁精矿成本降低 9.12%，并推出低碳主品牌“angreen”覆盖绿色产品体系。

德国钢铁巨头蒂森克虏伯集团希望到 2030 年将 CO₂ 排放量减少 30% 以上，最迟于 2045 年实现钢铁生产过程的完全气候中和。目前其最大的单体项目是位于德国杜伊斯堡的 DRI 工厂，计划于 2027 年投产。该工厂初期将使用绿电和天然气运行，随后将逐步转向使用氢气。

印度塔塔钢铁公司的“Zeremis Carbon Lite”低碳钢材已经供给汽车行业的客户了，其按质量平衡法计算的 CO₂ 足迹最多可减少 90%。塔塔钢铁计划到 2030 年，在其规划中的 DRI 工厂和 EAF 工厂启动生产，制造 CO₂ 排放量减少 30% ~ 40% 的钢铁产品。

奥地利的奥钢联集团为实现钢铁生产近零排放而制订了明确的分阶段计划。首先，奥钢联集团将从 2027 年开始，在奥地利的林茨工厂和多纳维茨工厂分别投产一座使用绿色能源的电弧炉；其次，到 2029 年，按计划，

奥钢联集团的 CO₂ 排放量将比 2019 年减少 30%，几乎相当于奥地利全年 CO₂ 排放量的 5%。最后，其将在不远的未来使用绿色氢气实现钢铁生产近零排放。

德国的萨尔茨吉特集团在 10 年前就启动了减少 CO₂ 排放的钢铁生产计划——“SALCOS”低碳炼钢计划，并取得了良好的进展。SALCOS 项目的核心是采用新的氢基路线取代基于焦炭的钢铁生产工艺，预计这将使每年大约 800 万 t 的 CO₂ 排放减少 95% 左右。该计划已于 2022 年开始实际实施，第一阶段的萨尔科斯基工厂将于 2026 年投产。其技术数据为 100 MW 电解槽、200 万吨产能的采用直接还原工艺的工厂和 190 万 t 产能的电弧炉。这意味着从 2026 年起，萨尔茨吉特集团的客户就可以获得绿色钢铁。到 2033 年前，萨尔茨吉特集团将分三个阶段将现有联合钢厂转换成绿色钢铁生产。作为转型的一部分，萨尔茨吉特集团将增加两套直接还原设备和三个电弧炉，并将用它们相继取代现有的高炉—转炉工艺。

3 真实需求是否存在

将一座传统钢厂改造为碳中和的钢厂需要 9 到 10 位数的巨额投资，这些投资必须能为钢铁生产商后续带来回报才是现实的可持续发展路径。但是，汽车行



图 萨尔茨吉特钢铁公司的产品

业用钢的现实情况存在这种需求吗？

萨尔茨吉特集团和塔塔钢铁集团等生产商在德国和其他国家的情况也许可以通过他们获得的订单合同来回应这个质疑。蒂森克虏伯集团提到了一份与德国大众汽车的谅解备忘录，内容是从 2028 年起，蒂森克虏伯集团将为德国大众汽车供应来自德国杜伊斯堡工厂采用直接还原技术生产的绿色钢铁。

宝马集团的行动似乎更早一些，2022 年，宝马中国与河钢集团在沈阳签署了《打造绿色低碳钢铁供应链合作备忘录》，携手推进绿色低碳汽车用钢的使用。按照计划，从 2023 年中期开始，宝马中国的沈阳生产基地量产车型将逐步使用河钢集团的低碳汽车用钢；从 2026 年起，该基地在整车量产过程中全部使用河钢集团生产的绿色钢铁。

作为全球新能源汽车的领头羊，比亚迪于 2025 年 6 月宣布与奥钢联集团达成战略合作关系。根据协议，双方将在新能源汽车用钢领域开展深度合作，共同研发高性能、轻量化、绿色化的钢材解决方案。此次合作旨在提升比亚迪新能源汽车产品的材料竞争力，并推动绿色制造、可持续发展相关技术的应用。

4 额外成本能有多高

紧随需求而来的，是成本的考量。由于钢厂为此而进行的新的投入，绿色钢铁价格更高，但相较于整车售价，其占比很小，尤其是考虑到低碳综合效益，那就更加占比甚微了。

据德国钢铁协会数据，中型轿车采用绿色钢铁仅导致成本增加不到 1%，而汽车全生命周期的碳排放（范围 1 ~ 3）却可以降低 23%。这意味着汽车制造商无需自主投入脱碳改造，便能显著减少车辆碳足迹，传统每吨原钢生产会释放高达 2 t 的 CO₂，现在这一数字正在持续减小。

电动汽车领域的成本结构同样乐观。波士顿咨询在《钢铁产业转型或是终极气候挑战》报告中指出，使用绿色钢铁仅使电动汽车售价微涨 0.6%。塔塔钢铁集团循环经济商务经理 David Busstra 强调了该溢价的战略价值：“电气化脱碳是欧洲能源战略的核心组成，既适用于钢铁制造，也关乎车辆本身。车企正在积极行动，

而越来越多的消费者也愿意为这类更加注重绿色环保的品牌支付溢价——欧洲新兴汽车品牌的增长态势便是明证。”

5 绿色钢铁面临短缺危机

鉴于所有钢铁生产商都在推行脱碳计划，有人可能会担心，市场当中的下一次产能过剩正在这个行业形成。事实情况如何呢？

使用瑞典 Boden-Luleå 地区可再生能源生产的氢气，H2 绿色钢铁公司旗下一座目前世界最大的低碳排放钢铁工厂，到 2026 年的钢铁产能将达到 250 万 t。该公司透露，其产品将比传统钢铁高出 20% ~ 30% 的成本。这将使汽车的材料成本增加大约 100 ~ 200 美元，但这只占汽车制造平均成本的不到 1%。该公司已经与包括梅赛德斯 - 奔驰、保时捷、采埃孚以及其他汽车零部件制造商在内的多个合作伙伴签署了价值超过 20 亿欧元的绿色钢铁供应协议。

伴随着欧洲钢铁行业转型期的结构性矛盾，如传统高炉因碳减排政策加速淘汰、绿色钢铁新产能（氢冶金、电炉短流程）建设周期滞后，以及汽车、机械制造等行业对高端钢材的持续刚性需求，有咨询公司预测，与当下观念形成强烈反差的是绿色钢铁可能不是太多，而是太少，到 2030 年，欧洲钢材年供应缺口或将高达 2000 万 t。这对其他国家和地区的钢铁企业来说也许意味着机会。

6 强化绿色钢铁的战略意义

除了碳减排效益外，萨尔茨吉特集团认为，绿色钢铁生产更具战略意义。“SALCOS”项目发言人 Stefan Mecke 强调：“我们将此次转型视为欧洲钢铁工业的历史机遇——通过构建绿色钢铁自主产能，可显著降低对地缘政治动荡、供应链风险以及海外劣质钢材进口的依赖。”他还进一步指出，绿色钢铁的转型将成为欧洲经济独立性提升的战略加速器。更重要的是，在材料竞争中，绿色钢铁正赋予传统钢材以全新优势——凭借超高强度钢实现的轻量化设计、可持续发展特性，叠加近零碳排放的生产工艺，钢材已在多维竞争力层面构建起了一道美丽的风景线。