

全球钢铁业低碳转型能否“氢”尽所能？

近期闭幕的《联合国气候变化框架公约》第三十次缔约方会议（COP30），让全球绿色低碳转型的共识与紧迫性进一步凸显。不少观点认为，要想实现钢铁行业的深度减碳，关键在于用低碳还原剂替代传统化石燃料。在这一背景下，尽管在储运与能量密度上仍面临挑战，但氢正得到越来越多的重视。然而，全球钢铁业能否真正发挥氢能的潜力，在低碳转型进程中实现“氢”尽所能？米德雷克斯（Midrex）近期发布了一份报告，系统梳理了氢在钢铁行业转型中的角色，从氢的类型与制取成本，到其在炼铁工艺中替代碳基还原剂的可行路径，再到大规模应用所面临的技术与产业链挑战，吸引了不少关注。

该报告指出，氢基直接还原炼铁已成为最具前景的发展方向，而其产业化速度最终取决于绿氢能否以足够规模、具有竞争力的成本稳定供应，并成功跨越技术集成、设施配套与市场协同等多重障碍。

成本壁垒有待突破

米德雷克斯介绍，虽然目前有不少可选选择的绿氢生产方式，但是工业和发电领域对绿氢的巨大需求，仍将带来较大的技术和商业挑战，并需要政府或私营部门的大规模资金支持。米德雷克斯在报告中测算，全球“低碳排放氢”产能预计从2021年的70万吨/年大幅增长至2030年的约2400万吨/年。这一增长依赖于电解槽技术的快速进步与廉价可再生电力的充足供应。当前，欧洲、大洋洲及拉丁美洲等地区正在建设更大规模的电解槽项目，预计到2030年单个项目规模可超过1吉瓦。

报告指出，绿氢成本是决定其竞争力的关键，目前估算范围4美元/千克-9美元/千克，远高于传统蒸汽重整制氢约1美元/千克的成本。在成本构成中，电力费用占比最高。未来成本下降依赖于电解效率提升，可再生能源电价持续降低和关键金属如铂、稀土供应链的稳定。

报告指出，目前氢能的大规模应用还面临储存与调峰的难题。无论是电力还是氢气本身的储存，目前成本均很高且缺乏工业级解决方案。尽管挑战重重，但在钢铁等高排放行业，结合绿氢与CCUS的技术路线，仍被视为欧盟、北美等发达地区实现2050年深度降碳目标的最可行路径。

根据国际能源署的可持续发展情景预测，到2050年全球氢能需求将增至2.87亿吨/年，较2020年增长超过400%；2030年之后，氢能需求将大幅增长。

沿3条技术路径 推进在钢铁业的应用

报告指出，当前全球钢铁生产的传统路径中，约72%采用焦化—高炉—转炉（CO-BF-BOF）工

艺，约29%采用废钢—直接还原铁—电弧炉（Scrap-DRI-EAF）工艺。高炉工艺的二氧化碳排放量最高可达电弧炉工艺的4倍。

氢气在钢铁冶金中的直接应用主要用于加热和还原铁氧化物。一是高炉喷吹氢气。氢可部分替代焦炭或煤粉喷吹及替代天然气等其他还原剂，但作用有限。二是氢等离子体熔融还原。这是一种利用氢等离子体还原铁矿石的工艺，目前仍处于试验阶段，但具有一定潜力。三是氢基直接还原铁。氢气可以替代天然气或煤作还原剂，去除铁矿石中的氧，过程也更为环保。

米德雷克斯介绍，目前，欧洲多家企业已规划在2030年前建设氢基直接还原铁产能，并探索配套碳捕集与封存技术，以处理过渡阶段的排放。对于在直接还原竖炉中氢气与一氧化碳的混合使用，欧洲等地区钢铁行业已就逐步提高氢气比例直至实现100%纯氢还原进行了大量规划。其在具备地质封存二氧化碳实际条件的地区，也可在现有直接还原工厂和高炉工艺中增加碳捕集与封存技术，以减少碳足迹。例如，墨西哥和阿布扎比已部分应用捕集的二氧化碳。欧洲主要钢铁制造商计划在2030年或之后不久增加其钢厂是直接还原铁产能。值得注意的是，热压铁块也可视为一种能源运输形式。在美国、部分中东国家、澳大利亚等生产的热压铁块，运输到能源成本高昂或可再生能源潜力有限的国家，相比以液态、气态或氢形式运输氢气，是一种更简单且成本更低的解决方案。

氢基直接还原技术正从示范走向产业化。根据报告，就目前而言，成熟的MIDREX®与ENERGIRON®工艺已具备100%氢基还原的技术能力。与此同时，多项新技术也正围绕氢能展开，例如普锐特冶金技术的Hyfor®流化床工艺、其与浦项制铁联合开发的HyREX工艺（结合熔炼环节），以及美卓重新推出的Circored®流化床工艺。在欧洲，如瑞典钢铁公司（SSAB）、蒂森克虏伯、奥钢联等钢企，正积极推进从高炉向直接还原铁生产的

转型，他们计划将所产直接还原铁用于电弧炉补充废钢，或经电熔后作为转炉原料使用。类似布局也出现在亚太地区，例如澳大利亚计划替换肯布拉港高炉。欧洲旗舰项目“H2FUTURE”已在奥地利林茨钢厂投运一套6兆瓦质子交换膜电解系统，用于绿氢生产。瑞典的“HYBRIT”项目在完成吕勒奥中试后，正推进耶利瓦雷示范工厂建设，将采用绿电制氢与“绿球团矿”生产纯绿色直接还原铁。更进一步的商业化项目标杆是瑞典Stegra公司（原H2GS公司）位于布登的工厂，计划于2026年投产，将成为全球首个完全依托可再生能源和100%氢基直接还原工艺的规模化“绿色钢铁厂”，规划年产能达250万吨低碳排放钢。

与此同时，多数新建直接还原产能将先以天然气为基础，并设计为可灵活调节还原气中的氢比例、兼容碳捕集技术，以待绿氢具备经济性时平滑过渡。“需要了解的是，若采用天然气重整制氢再进行还原，其碳排放反而高于直接使用天然气。”米德雷克斯在报告中强调。

从示范走向主流 仍面临多重挑战

尽管规划的应用前景广阔，但氢在钢铁行业真正实现规模化应用，仍面临多重挑战与不确定性。

米德雷克斯介绍，就目前而言，规划的绿氢项目规模远不足以满足未来需求，特别是欧洲钢铁行业的减排目标。与此同时，大规模、低成本的绿氢生产依赖于绿电设施的快速扩张，和电解槽技术成本的持续降低。尽管预计到2030年制氢成本将显著下降，但其实际进度将直接影响2050年目标的实现可能性。因此，氢能否成为经济可行的替代方案，仍存在不确定性。

与此同时，氢能技术的工业应用效果需要实际项目验证，特别是大型高炉富氢冶炼、氢基直接还原铁等关键工艺。当绿氢供应有限时，钢铁行业能否获得足够份额尚不明确，这也会影响企业技术路线规划与投资决策。

政策和舆论环境变化也是需要考量的因素。虽然全球普遍支持2050年的碳中和目标，但各国进展不一，部分发达国家已出现政策执行放缓迹象。

再看技术层面，在具体工艺中，氢基直接还原还需克服两大操作难题。一是氢还原为吸热反应而产生的炉内冷却效应，需通过优化温度与气流控制进行补偿。二是反应生成的水蒸气在设备上部可能凝结，需通过改进设计与操作制度予以避免。

最后，米德雷克斯表示，氢在钢铁行业低碳转型进程中能否物尽其用，不仅取决于配套技术成熟度，还受到供应体系、成本竞争力、产业政策及全球协作等多重因素的综合影响。

三是合理控制企业配额盈缺率。基于企业（生产线、工序）实际碳排放强度与行业基准水平的差距进行绩效比较。对排放强度低于基准水平20%及以上的企业实行配额封顶，盈余率为3%。排放强度低于基准水平20%以下的企业配额盈余率在3%以内，排放强度越低、盈余率越大。排放强度高于基准水平20%以下的企业配额亏缺率在-3%以内，排放强度越高、亏缺率越大。对排放强度高于基准水平20%及以上的企业实行配额封顶，亏缺率为-3%。

为确保碳排放数据质量，生态环境部将从进一步健全核算报告核查（MRV）制度体系、不断加强数据质量日常监管和监督检查、持续提升企业碳排放统计核算能力等方面采取措施，加强数据质量全过程管理。

下一步，生态环境部将根据行业发展状况，降碳减污贡献、数据质量基础、碳排放特征等，有序扩大覆盖行业范围和温室气体种类，将覆盖范围逐步扩展至化工、石化、民航、造纸等行业。到2027年，碳排放权交易市场基本覆盖工业领域主要排放行业。

协同，注入强大的体系力量——宝钢股份协同支撑马钢有限纪实之一

钢体系的力量。“我们在原料采购上底气更足，选择更多了”，马钢原料采购中心综合管理室副经理程小前感叹道。

同样，马钢营销系统也强烈感受到来自宝钢体系强有力的支撑。24个协同支撑项目陆续启动，伴随IMC系统先期上线，营销信息系统全部切换完成。安徽钢贸也正式成立，马钢有限拥有了服务自己的兜底地区公司。“马钢原本在国内重点区域有自己的营销渠道和加工中心，但规模、网点远没有宝钢股份的完备强大”，马钢有限营销中心高级经理朱恩亚坦言，协同带来了立竿见影的效益。

快速盈利带来的“爽”感，仿佛久旱的甘露，让马钢有限的干部员工看到了企业发展的希望、树立了战胜困难的信心，也从内心开始认同协同支撑工作。“大家不分你我，心往一处使劲往一处使”，安徽钢贸总经理周海鹏对区域市场十分看好，“融入马钢、服务马钢，深耕安徽和苏北区域，这是充满希望的土地”。

对齐，迎接“江南一枝花”的新生

今天，走进马钢有限各个部门、厂部，你

现代制铁投资 1700 亿韩元 保障废钢原料供应

■据信息资源网 日前，现代制铁宣布，将投入大规模资金用于保障高品质废钢供应。截至2032年，现代制铁计划投资1700亿韩元（约1.16亿美元）用于低碳原料升级项目，包括引进废钢破碎机，以及在浦项和唐津工厂建设废钢分选生产线等。

废钢破碎机是利用高速旋转的锤头破碎从废旧汽车、家电产品、废弃建筑材料等回收的废钢并去除杂质的设备。经破碎机加工后的废钢，因铁含量高、均匀性好，被称为“破碎废钢（Shredded Scrap）”，属于高品质废钢。

现代制铁计划首先投资220亿韩元，在京畿道南部地区引进包括破碎机在内的“破碎—分选—精制”一体化废钢原料升级设备，并根据运营成效，逐步扩大破碎机及精制生产线的规模。此次引进的原料升级设备，将

提前介入钢铁建材产品设计：浦项钢铁开启“模块化办公室”新市场

■据信息资源网 近期，浦项钢铁公司与三友综合建筑事务所等韩国五家专业企业达成战略合作意向，将携手开发基于钢材与纸张复合面板（CLoop）的未来型办公空间平台产品“b.Grid”。

“b.Grid”是三友综合建筑事务所设计的模块化空间系统。其特点是通过组装式模块灵活搭建办公空间，能根据业务特性或组织变化轻松调整空间，实现重复利用。浦项钢铁计划通过开发CLoop面板技术并确保其性能，为“b.Grid”模块空间提供所需的钢材。

此次合作旨在顺应市场趋势，打造兼具空间灵活性、功能性与可持续性的下一代办公空间，参与方包括浦项钢铁、三友综合

配备高速锤头破碎设备、非铁/非磁性分离装置、粉尘收集系统、质量检测及输送设备等，预计2027年上半年动工，2028年正式投入运营。

随着碳中和成为时代要求，保障高品质废钢供应已成为钢铁行业的重要课题。韩国电弧炉废钢的自给率仅为80%-90%，供应无法满足需求。为此，现代制铁将推行原料升级战略：保障高品质废钢供应的同时，集中力量通过合作关系稳定采购高品质废钢。自2023年与庆尚北道金海地区的大型破碎机供应商建立合作关系以来，现代制铁已向3家有意投资破碎机的废钢企业提供了200亿韩元的投资支持。另一方面，现代制铁正在践行碳中和中长期路线图，逐步推进电弧炉—高炉复合工艺及配套设备转型，并为实现2050年净零排放（Net Zero）目标，研究氢能应用方案。

建筑事务所、Paper Pop、第一橡胶有限公司、Eha Lifestyle、Fine Wood Living。各方将在各自擅长的领域发挥作用，如优化材料开发、验证制造技术与保障质量、提供家具及订阅服务等，以提升空间模块的完善度与扩展性。

浦项钢铁表示，通过与设计型流通平台合作，构建了从设计阶段就将浦项钢铁的材料与市场对接的结构，这一意义重大。希望以此次合作为基础，联合开发符合市场需求的钢铁建材产品，为钢铁材料在建筑、室内装饰、模块化空间市场的实际应用创造机会。

此外，浦项钢铁计划今后继续通过与各行业合作，不断拓展市场业务模式，为创造钢铁的新价值贡献力量。

助力船舶业绿色低碳：安米为庞洛集团供应XCarb低碳钢材

■据信息资源网 日前，法国庞洛集团已与安赛乐米塔尔签署谅解备忘录，计划在船舶制造中采用安米西班牙希洪工厂生产的XCarb低碳厚钢板。双方的长期目标是实现船舶体完全采用XCarb钢材建造。

根据备忘录，法国船级社海事与近海部门将对XCarb材料及生产工艺进行认证，确保符合船舶建造标准。庞洛集团还将与其全球造船厂合作，在可行范围内承诺使用XCarb钢板。两家企业将共同评估钢材追溯系统，以实现船舶生命周期结束时钢材的回收再利用，推动闭环循环模式。该举措与2025年6月26日生效的《香港国际安全与无害环境拆船公

约》相契合，该公约要求船东保存有害物质清单并使用认证的回收设施。

双方在联合声明中表示，“这份备忘录体现了我们共同加速海运业向净零排放转型的承诺。通过将庞洛集团的先锋可持续发展目标与安米的先进钢铁解决方案相结合，本次合作为造船业设立了新标杆。”

此次合作是庞洛集团“Swap2Zero”计划的重要组成部分，该计划综合运用风机辅助推进、太阳能电池板和可再生燃料，旨在打造全球首艘近零排放远洋邮轮。该项目获得欧盟创新基金和“法国2030”计划共同资助，是庞洛集团新船建造及研发团队的重要一步。

会听到“对齐”这个词被反复提及。管理对齐、机构对齐、业务对齐、系统对

齐，像一把卡尺检验各个部门、岗位的工作。

在马钢有限，各个部门和厂部的对齐已基本落实到位了。原钢轧厂和炼铁事业部一拆一并很有代表性。钢轧厂被拆分成炼钢厂、热轧厂独立运营，炼铁事业部改名炼铁厂，并入原先运输部负责的厂内铁前物流和相对独立的煤焦化板块，完全对标宝山基地的运营模式。炼钢厂厂长毛鸣对“对齐”举双手赞成，“专业更加清晰、分工更加明确，工作起来效率更高”。

随着“对齐”的全面推进，各个层面的协同支撑完全被打开了，一厂对一厂、一部对一部得以顺畅实施。在马钢智园大大小小的会议研讨排得满满当当，从宝钢各个基地赶来的协同支撑团队与马钢有限团队的交流研讨同时有好几场在进行。马钢有限炼铁厂生产技术室主任、铁水降本项目牵头人高广静说，大家有了默契，各个层面的沟通是毫无保留的。高炉炉况不好，一个电话，梅钢公司的首席、技术员就赶来了。工序部还组织各基地厂部长来集体会诊，现场把脉。如今，炼铁25个协同支撑项目进展顺利，连续3个月铁水成本大幅下降。

有了“对齐”，各项工作得以进一步深入开展。马钢有限各厂部已经开始逐步推开“模拟经营”等管理实践。“还在起步阶段，怎么把市场的压力层层传导下去，向质量、成本要效益？”毛鸣正尝试制作一个成本小程序，并了解、学习其他基地的好做法。“要拥抱宝钢，不断学习迭代”，毛鸣的想法引起了共鸣。“下一步信息系统要做到数据不落地，不以形似为终点，誓以神似定乾坤”“我们已经在征集新的协同项目，继续深化细化，原先183个项目没有完成或想拔高的继续推进”……

同时，由公司领导牵头，马钢有限的三年发展规划编制工作也已经展开，打造新的优势产品，从企业未来发展的角度对每一个品种、产线的建设、技改、产能目标等逐一定位，强化优势、规避内部同质化竞争。展现在马钢人眼前的，不仅是当下的效益提升，更是未来的发展蓝图。

“体系的力量太强大了，协同的力量太强大了！”从最初的怀疑、犹豫，到如今的坚定不移，越来越多的马钢有限干部员工感到借助宝钢股份强大的体系推力实现了自我突破和能力跃升。“有宝钢股份的体系支撑，有良好的区位优势，有完备的品种结构”，正如祁卫东所说，马钢的明天会越来越好，“江南一枝花”会绽放新的花蕊。