

绿色低碳冶金

钢铁行业脱碳的技术路径

对于钢铁行业的脱碳而言,碳捕获、利用与封存(CCUS)技术是一种可行方案,它有助于处理传统高炉运行过程中产生的残余排放。此外,还可以用直接还原(DR)装置取代高炉-转炉装备中的炼铁高炉。直接还原工艺以天然气为原料,与高炉-转炉工艺路线相比,可减少约50%的二氧化碳排放。同时,该工艺也有助于从天然气逐步过渡到氢气,推动钢铁行业进一步脱碳。

传统炼钢工艺路线

当前钢铁生产主要有三种传统工艺路线:高炉-转炉;废钢-电弧炉(EAF);基于天然气的直接还原铁(DRI)+电弧炉。

尽管从循环经济和最低二氧化碳排放(取决于电力的碳强度)的角度来看,废钢-电弧炉工艺是最有效的方法,但由于回收废钢中微量元素的富集,其生产高等级钢材的能力受到一定限制。

直接还原铁作为电弧炉生产优质钢材的原料,主要依靠天然气和/或氢气作为还原铁矿石的能源。这是目前取代高炉-转炉工艺实现脱碳的技术途径。由于铁矿石中脉石的成分和含量会影响电弧炉运行和经济效益,因此,直接还原铁的生产需使用优质铁矿石。

对高炉-转炉装置进行脱碳改造的一种替代和过渡方式,是用基于气体的直接还原工厂和电弧炉取代炼铁高炉系统,同时保持转炉下游的炼钢设施继续运行。在这个系统中,直接还原工厂使用天然气、氢气和低品位铁精矿球团,生产热直接还原铁(HDRI)。热直接还原铁被送入电炉,生产出含有特定碳含量的铁水,作为现有转炉的原料。为满足综合钢铁制造商的脱碳需求,意大利特诺恩公司推出了iBLUE®方案,该方案包括回收废气中的能量,并将其作为燃料在直接还原工厂中使用。

直接还原铁工艺配置

直接还原铁-电弧炉(DRI-EAF)和直接还原铁-熔分炉-转炉(DRI-Melter-BOF)这两种配置,能够生产多种质量等级的钢材。直接还原工厂以天然气(和/或氢气)作为还原和燃料的主要

能源,天然气通过烃类重整转化为氢气和一氧化碳,用于还原铁矿石,最终的副产品为二氧化碳和水。与高炉-转炉工艺相比,该工艺的二氧化碳排放量减少约50%甚至更多。

用天然气直接还原铁矿石主要有两种方法:

方法1以ENERGIRON工艺为代表,该工艺无论使用何种还原气体来源,核心配置都相同,且在较高压力下运行。这项由特诺恩和达涅利联合开发的创新技术,包含一个高效且具选择性的二氧化碳去除系统,这是该工艺的固有组成部分。它配备了一个工艺气体加热器(PGH),将还原气体温度提升至所需水平,必要时还可注入氧气。该二氧化碳去除系统能够捕获约60%的总排放量,同时使未反应的氢气和一氧化碳循环回到还原竖炉。尾气仅用于系统内的惰性气体吹扫和压力控制。该工厂只需调整运行模式,就能使用天然气和氢气的任意组合进行运行。

方法2是专为100%使用天然气而设计的优化配置。它包含天然气重整器、一个热回收系统(通过该重整器对炉顶煤气进行部分循环),以及将尾气用作燃料,其主要功能是通过烟道气对工艺过程进行非选择性的除碳。然而,该方法本身缺乏高效去除二氧化碳的能力。对于其他还原气体,需针对每种具体情况采用不同的配置方案。

ENERGIRON 技术

在选择直接还原铁生产方法时,应考虑以下两种情况:①直接还原工厂在一段时间内将100%使用天然气,或混入一定比例的氢气,最终目标是在可预见的未来完全使用氢气。②直接还原工厂从一开始就完全使用100%氢气。

在第一种情形下,ENERGIRON 方案在减少

二氧化碳排放、能源优化、天然气/氢气使用以及操作灵活性方面展现出独特优势。

采用ENERGIRON工艺的工厂具备独特的灵活性,能够使用相同的工艺流程和设备,以任意还原气体组合进行生产。比如瑞典的Hybrit工厂,它以100%的氢气作为生产气体。直接还原工厂可以通过调整工艺参数,并根据操作模式绕过某些设备来处理从天然气(及其他气体)与氢气的任意混合比例,直至100%氢气的情况。

当使用天然气与氢气的混合气体时,该工厂不仅能灵活应对氢气供应的变化,还具备在100%天然气、100%氢气或两者间任意比例之间随时切换的能力。

ENERGIRON 直接还原方案在工艺配置中已内置了二氧化碳去除系统,无需额外能源(从而避免了潜在的额外二氧化碳排放)。倘若CCUS技术可用,即便不使用氢气为原料,该工艺也能使直接还原工厂的二氧化碳排放量减少约60%。

在第二种情形下,假设直接还原工厂仅使用100%的氢气运行,ENERGIRON 方案可省略二氧化碳吸收系统、氧气注入装置和加湿器,因为只有在使用高比例天然气时,才需要加湿器来控制直接还原铁中的碳含量。

在此背景下,虽然其他系统通过用加热器替代天然气重整器来采用相同的工艺配置,但ENERGIRON 系统具有显著优势。

ENERGIRON 直接还原工厂对选择性二氧化碳捕集进行商业利用的主要优势包括:ENERGIRON 工艺具备灵活性,既可以考虑将CCUS作为过渡方案,也可以将使用天然气与氢气相结合;对于在还原回路中捕集并可直接用于CCUS的二氧化碳,无需额外的能源需求或资本支出,目前几座正在运行的ENERGIRON 直接还原工厂就是如此;根据国际能源署(IEA)发布的《全球氢能回顾2023》报告,即便考虑二氧化碳封存成本(约80美元/吨)或利用成本(约60美元/吨),分别相当于约0.80美元/千克氢气和0.55美元/千克氢气,这些成本仍低于通过蒸汽甲烷重整(SMR)结合CCS生产的氢气成本,且显著低于水电解制氢成本。不过,需要注意的是,二氧化碳封存对环境的长期影响仍在深入分析之中。(内容来源于世界金属导报)

国际钢铁

SSAB 低碳转型项目获 23 亿欧元绿色融资

■据信息资源网 2024 年 4 月,SSAB 决定投资 45 亿欧元在吕勒奥建设无化石燃料新钢厂。该项目将促使 SSAB 欧洲公司重新被定位为低成本、低碳排放的优质钢铁产品制造商。近日,SSAB 宣布该项目获得 23 亿欧元的绿色融资,融资计划由瑞典国家债务办公室、意大利出口信贷局和北欧投资银行共同承担。

此次融资已签署三项绿色贷款协议,且所有贷款期限均为长期,以全程支持项目开展。三项贷款协议包括:瑞典国家债务办公室根据“绿色投资信用担保”计划提

新材料新技术

先进材料领域技术应用：

日本制铁 HS 实用化技术提升车身轻量化

■据信息资源网 近日,日本制铁“热冲压高度实用化技术的开发”项目获得 2025 年度(第 60 届)日本塑性加工学会最高奖“学会大奖”。

日本制铁在研发先进材料的基础上,持续开发能最大限度发挥材料性能的零件结构设计、加工技术和评价技术,实现了汽车车身轻量化与安全性能提升,并提出了适应碳中和时代需求的下一代钢制汽车概念“NSafe-AutoConcept”(简称“NSAC”)。此次获奖的是 NSAC 的核心关键技术之一。

为实现汽车轻量化以减少温室气体(GHG)排放,车体零部件正朝着高强度薄壁化的方向发展。热冲压(HS)技术能在高温下同步进行加工与淬火,以良好的精度制造高强度部件。日本制铁通过防止零件制造时产生氧化皮来提升 HS 生产效率。为此,开发出 Al-Si 镀层、合金化热镀锌(GA)镀层等多种 HS 钢板。为了在汽车各部位适配高强度零部件以提高轻量化效果,除传统 1.5GPa 级材料外,还运用改善淬透性与韧性的创新材料技术,成功开发 1.8 吉帕级(高强度)、2.0 吉帕级(高强度)、0.5 吉帕(低强度)、1.0 吉帕级(低强度)的 HS 钢板系列,推进 HS 的实际应用。

为提高 HS 生产效率,日本制铁开发出直水冷工艺,在成型品淬火时直接从模具喷射冷却水进行冷却。该工艺通过数值解析来优化冷却管路设计,实现模具结构的均匀冷却。经实际试制验证,零部件淬火硬度质量与传统 HS 相当,同时达到了接近冷冲压成型的约 11spm(冲程/分钟)的高生产效率。

此次开发的 HS 高度实用化技术,通过低 GHG 排放的材料实现车身轻量化,并有效降低行驶时的 GHG 排放,为整个生命周期的 GHG 减排作出了贡献。

日冶炼炉数创纪录：

量子电炉为湖北顺乐大幅降低运行成本

■据世界金属导报 中国钢铁企业湖北顺乐设在湖北省的工厂成功运行着两座普锐特冶金技术量子电炉。这些电弧炉具有出色的运行性能,为湖北顺乐大幅降低运行成本。这家钢厂每年生产 200 万吨高强度抗震钢筋。

数据显示,量子电炉的日冶炼炉数达到 50——这是电炉炼钢的一项领先纪录。每台量子电炉每天生产炉数稳定在 48-50 炉之间,量子电弧炉的冶炼周期稳定保持在 28 分钟以内,通电和断电时间分别为 25 分钟和 3 分钟。量子电炉的效率进一步体现在极

低的消耗指标上,包括电耗低于 312 千瓦时/吨,氧耗低于 24 立方米/吨。

量子电炉的特点是采用了多项先进技术。创新性的废气利用系统利用生产过程中产生的废热对废钢进行预热,从而降低了冶炼能耗。

2018 年,湖北顺乐从普锐特冶金技术订购了两座量子电炉和两座双工位钢包炉。供货范围包括了全套机械和电气设备、1 级和 2 级自动化系统、自动废钢料场管理、自动装料工艺以及吹氧和填沙系统。

相关行业

今年我国风电光伏发电装机预计新增 2.8 亿千瓦

■据经济日报 日前,水电水利规划设计总院发布的《中国可再生能源发展报告 2024 年度》(下称《报告》)显示,通过“沙戈荒”大型风光基地的加速投产,水风光一体化基地的加快建设、海上风电深水远岸开发和分布式新能源在城乡全面加快渗透,预计今年全年风电光伏发电装机新增 2.8 亿千瓦,进一步增强新能源和可再生能源供给能力。

今年和“十五五”时期是我国实现碳达峰目标、规划建设新型能源体系、构建新型电力系统的关键时期。《报告》指出,2025 年我国可再生能源大规模发展的方向坚定不移。其中,预计常规水电投产规模 500 万千瓦左右,大型常规水电核准规模 900 万千瓦左右;抽水蓄能发电投产规模约 800 万千瓦,核准规模 4000 万千瓦 5000 万千瓦;全国风电新增并网装机容量有望突破 8000 万千瓦;全国太阳能发电新增并网装机容量 2 亿千瓦。

水电水利规划设计总院相关负责人解读《报告》时指出,2025 年随着新能源更大规模发展,新型电力系统加快建设,国内特高压输电通道与智能配电网协同推进,跨省跨区新能源消纳能力实现快速提升,抽水蓄能、新型储能等电力系统调节性资源同步建设,将为新能源消纳提供核心支撑。同时,可再生能源多元创新、产业牵引和集成发展的趋势明显,构网型技术与虚拟电厂技术逐步推广,源网荷储多元互动模式加快成熟。此外,可再生能源市场化发展的进程再度提速,随着电力市场化改革的持续深化,新能源和新型储能、虚拟电厂等将加快进入电力市场。

值得注意的是,在新形势下,可再生能源面临的约束和挑战更多,新能源大规模发展的用地用海国土资源趋紧,消纳问题重新凸显,投资收益的不确定性上升。对此,上述人士希望全行业在今年及“十五五”期间,要积极推动集成发展,建立适应新能源发电特点的产业体系。深化体制机制改革,落实分布式光伏、抽水蓄能开发管理办法及上网电价市场化改革,建立适应新能源的电力市场体系。

信息动态

鞍钢股份薄壁超高强度地质专用无缝管成功供货

近日,鞍钢股份大型总厂与技术中心联合开发的薄壁超高强度地质专用无缝管 50Mn 首单成功供货,标志着鞍钢股份在地质勘探无缝管制造领域取得重大技术突破与市场进展,可为更多复杂地质条件下的勘探项目提供有力支持。

南钢获全国机械冶金建材行业职工技术创新成果特等奖

近日,中国机械冶金建材职工技术协会通报 2025 全国机械冶金建材行业职工技术创新成果展示活动获奖名单,南钢“豪华邮轮用宽薄板关键生产技术开发与应用”荣获特等奖。南钢独家为国产第一、第二艘大型豪华邮轮“爱达·魔都号”“爱达·花城号”提供了全部邮轮用船板和型钢。大型豪华邮轮的船体重心位置相对较高,为保证邮轮的航行和运营安全、建造进度和舒适美观度等,对钢板重量、整板不平整、焊接变形、钢板尺寸、厚度公差、板形质量和焊接效率等都提出了严苛的要求。

邯钢 800 兆帕级低合金高强钢供应德系汽车

日前,河钢集团邯钢公司为某全球知名汽车零部件企业研发生产的新一批 800 兆帕级低合金高强钢交付,产品各项性能指标完全满足客户需求。该低合金高强钢将替代进口产品,用于德系汽车传力杆制造。目前,该产品每月稳定供货量达 300 余吨。低合金高强钢具有强度高、塑性和韧性良好、耐磨性好、耐腐蚀性强、耐低温性能好等特点,被广泛应用于建筑、汽车、机械制造、船舶等领域。

凌钢成功试制 LGCT-001 纯铁还料

近日,凌钢试制的 LGCT-001 纯铁坯料交付客户,经严格质量检测,顺利通过客户端验证并得到客户高度评价,认为产品表面质量优良,力学性能和电磁特性均达到行业领先水平,完全满足高端应用需求。这标志着凌钢在高端电极纯铁研发方面取得突破性进展。

汉钢公司高强度正火轧制风电用钢 Q420NE 下线

近日,汉钢公司高强度正火轧制风电用钢 Q420NE 在轧钢厂中厚板生产线顺利下线,经检验,钢板各项性能满足标准及客户要求。该产品的成功开发,极大地丰富了汉钢公司风电钢高附加值产品品种,巩固了风电钢“拳头”产品地位,更是汉钢公司落实“以订单驱动研发”产品转型思路的具体实践。

今日关注

全球关键矿产资源需求保持强劲增长

■据经济日报 国际能源署(IEA)最新报告显示,2024 年,全球关键矿产资源需求继续保持强劲增长,其中,对锂的需求增长近 30%,对镍、钴、石墨和稀土需求增幅在 6%至 8%的区间。增长主要得益于电动汽车、储能电池、可再生能源的广泛应用和需求的快速增长。

该报告指出,虽然关键矿产资源的需求出现快速增长,但印度尼西亚和刚果民主共和国等主导的供应稳定增长,推动关键矿产资源,特别是锂、镍、钴、石墨等储能电池所需矿产资源的价格下行。在经历 2021 年和 2022 年价格飙升后,关键能源矿产价格持续回落至 2020 年之前水平。2021 年至 2022 年间,锂的市场价格曾暴涨 8 倍,但自 2023 年以来锂的市场价格累计下跌已超 80%,2024 年石墨、钴和镍的市场价格也分别下跌了 10%至 20%。

尽管市场对关键矿产资源的未来需求增长抱有强烈预期,但当前投资者决策仍面临诸多不确定性。

报告显示,当前印度尼西亚主导全球镍供应,锂的供应增量主要来自阿根廷、津巴布韦等新兴生产国。锂、石墨和稀土开采领域呈现多元化趋势。报告预测,到 2035 年,全球关键矿产资源的供需平衡总体有所改善,但隐忧仍存,特别是在铜矿资源领域尤为突出。报告指出,如果关

专家观点

我国人工智能与各行各业加速融合

■据经济日报 人工智能(AI)作为引领新一轮科技革命和产业变革的战略性技术,正在深刻改变人类生产生活方式。专家表示,在政策环境不断完善和产业各界共同努力下,我国人工智能与各行各业加速融合,呈现出三大显著特征:

基础设施不断夯实。例如,在网络基础设施方面,我国已建成全球规模最大的移动通信和光纤宽带网络,截至 2025 年 3 月底,5G 基站总数达 439.5 万个,5G-A 网络部署稳步推进,具备千兆网络服务能力的 10G PON 端口数达 2925 万个,提前完成“十四五”规划关于 5G、千兆光网建设目标,实现县县通千兆、乡乡通 5G,90%以上行政村通 5G。

技术产业持续突破。在关键技术方面,国产 AI 芯片持续迭代,多个产品加速追赶国外领先水平。人工智能通用和行业大模型持续涌现。截至 2025 年 3 月底,我国已备案的生成式 AI 大模型数量达到 346 个。在产业生态方面,我国已构建较为全面的人工智能产业体系,涵盖芯片、算法、模型、数据、应用等产业关键环节,设立了

600 亿元规模的国家人工智能基金,加快布局投资项目。目前,我国人工智能企业数量超 4500 家,人工智能领域国家级专精特新“小巨人”企业达到 400 余家。

融合应用扎实推进。截至目前,全国已建成 3 万余家基础级智能工厂、1200 余家先进级智能工厂、230 余家卓越级智能工厂,覆盖超过 80%的制造业行业大类,工厂产品研发周期平均缩短 28.4%,生产效率平均提升 22.3%。

当前,我国经济已由高速增长阶段转向高质量发展阶段,迫切需要以人工智能为代表的数字技术为产业创新发展添薪续力。为此,专家建议:坚持创新引领,着力构建自主可控的技术生态;推动构建政产学研用协同的创新体系,通过设置联合实验室、产业创新中心等方式,强化基础理论研究与工程化应用衔接;坚持应用导向,着力打造数实融合的产业图景;坚持安全有序,着力建设协同共治的治理体系;坚持人才筑基,着力筑牢产业升级的智力支撑;打造适应“人工智能+”创新发展、具有竞争力的人才梯队。