

天然氢蓄势待发 开拓氢能产业新空间

全球天然氢勘探步入关键验证期,其低成本优势渐显,未来仍需接受技术验证、资本耐心与监管框架的多重考验

●赵华

对于低碳氢产业而言,2025年充满挑战。能源咨询公司伍德麦肯兹数据显示,与2024年相比,氢能项目的最终投资决定数量下降30%。项目取消量增长约两倍。现实困境并非需求不足,而是生产成本居高不下。在此背景下,天然氢(或称白氢)进入投资者视野。它无须绿氢或蓝氢的转化过程,理论上能够以更低成本直接获取,为氢能供应提供了全新的想象空间。但这一新兴领域能否重塑氢能产业格局,取决于技术验证、资本配置和监管框架的协同演进。

氢能产业困境与天然氢的战略定位

低碳氢产业发展2025年放缓反映出的根本矛盾是,虽然氢能在能源转型过程中备受期待,但绿氢和蓝氢的生产成本难以下降,经济性难以与化石能源匹敌。电解槽投资、可再生电力成本、碳捕集与封存支出共同构成了低氢的成本门槛。

而天然氢是由地壳通过硬岩地球化学反应持续生成的氢分子,可直接开采利用,无须能量转化。伍德麦肯兹分析师指出,如果天然氢实现商业化开发,成本将显著低于其他低碳氢。

天然氢的资源特性与勘探逻辑

天然氢与油气资源类似,经运移和聚集,可形成具备商业开采价值的矿藏。但与碳氢化合物的本质差异在于:氢分子体积小、重量轻,单位体积能量密度远低于天然气。这意味着,如果要匹配天然气发现的能量价

值,需要探明规模大得多的氢资源量,这一物理特性决定了商业开发必须建立在大规模、高丰度资源发现的基础上。

从地质勘探角度看,天然氢与油气资源高度同源,依赖相同的地球科学和地下评价技能。油气公司拥有天然的技术优势,其盆地分析、地震解释、钻井经验均可迁移应用。但与油气资源不同,天然氢理论上可能是一种可再生清洁能源,而非消耗性资源。这一特性如果得到证实,将从根本上改变资源评估模型和开发策略,使其具备类似地热能的可持续开发潜力,对投资者而言意味着更长的资产寿命。

全球勘探进展与行业格局演变

经过多年理论推演,天然氢勘探已进入实质性勘探阶段。伍德麦肯兹追踪显示,美国勘探活动领先,澳大利亚紧随其后,加拿大和法国也已启动勘探计划。这些初期探井至关重要,将验证天然氢的勘探计划是否可行。

目前,全球有60个天然氢公开项目,但几乎都处于资料分析或地表数据采集阶段。如果初期勘探成功,将快速推进更多目标。未来两三年是关键验证期,将决定这一资源能否从概念走向现实。

从区域分布来看,勘探活动主要集中在监管框架相对清晰的地区,反映出政策确定性对早期勘探的引导作用。从参与主体看,天然氢勘探由初创公司、小型能源企业和矿业公司

主导。美国科罗拉多州Koloma公司是领跑者,迄今为止获得该领域风险投资总额的85%,约4亿美元。澳大利亚矿业巨头福斯特克金属集团、英国力拓集团等投资者目前正在采取观望策略,这是资源领域的典型案例,即等待概念验证后,再大规模投入。

资本配置与监管框架的双重考验

对于天然氢而言,关键战略问题在于能否吸引油气行业的主流参与者。答案目前是否定的。虽然勘探能力高度重合,石油公司拥有资本实力和地下勘探经验,但其战略重心正转向强化未来十年的上游资产组合。伍德麦肯兹分析指出,经过2020年前后的能源转型热潮,石油巨头的战略目标已明确转向加强核心油气业务,短期内不太可能将大量资本配置给低碳能源。这意味着,天然氢发展仍将依赖初创企业和风险投资驱动,而非产业资本规模化注入。这种资本结构决定了天然氢产业的新进式发展特征。

清晰的监管框架是天然氢的投资前提。目前监管最完善的地区正是勘探最活跃的地区,美国便捷的矿权获取机制和澳大利亚前瞻性的立法已形成勘探热点。欧洲各国则态度不一:法国率先将氢认定为受监管的能源;西班牙则因严格勘探监管导致项目受阻。政策差异直接决定了资本流向。

但整体来看,针对天然氢的政策监管仍较为缺乏。许多市场根本问题尚未厘清,即天然氢是否有资格获得与绿氢、蓝氢相同的政策支持,地下资源的权利归属不清晰也成为投资障碍。中东地区便是典型案例,当地条件优越、能源需求强劲,但尚未建立起配套的监管框架。考虑到该地区天然氢分布广泛,各国政府应加快制定相关政策,提供政策确定性和激励措施。监管框架的完善速度很大程度上将决定天然氢产业的发展节奏。

未来潜力与战略前景展望

客观来看,天然氢很可能仍将是小众领域,而非主流能源。伍德麦肯兹的长期氢能展望报告并未将其纳入基础情景供应预测。但分析同时指出,如果勘探成功,已公布的潜在技术可采资源量到2050年有望达到2000万吨/年,这将相当于当年低碳氢供应总量的12%。这表明,天然氢更多的是扮演补充角色,但12%的份额足以使其成为不容忽视的细分领域。

天然氢的吸引力在于成本优势。由于无须能量转化,成本理应显著低于绿氢和蓝氢。但关键战略问题在于,天然氢能否经济地运达市场,还是必须在资源地就地建设消纳

设施。氢气储运成本较高,这一物理特性可能限制市场范围,使其更适合资源地就近利用,或转化为氨等载体长距离运输。这意味着,商业化路径可能不同于液化天然气(LNG),更接近资源地产业开发模式。

证明天然氢商业模式的可行性,与获得政策支持、吸引资本,将成为该领域未来发展的三大战略挑战。对于能源观察者而言,天然氢提供了一个窗口,即新兴资源领域如何从概念走向验证,从风险投资驱动走向产业资本介入,从监管真空走向政策明晰。这一路径与页岩革命、深水开发、海上风电等发展轨迹一脉相承——技术突破、资本耐心和监管框架缺一不可。

未来3~5年的勘探成果,将决定天然氢是成为能源转型浪潮中的一个注脚,还是真正兑现其作为低成本清洁能源的潜力。无论结果如何,相关探索本身都是在拓展我们对地下资源的认知边界,为低碳能源发展增加新的可能。在能源转型的宏大叙事中,天然氢提醒我们:创新路径并非只有一条,具备战略眼光的政府和企业,在聚焦主流路径的同时,也应保持对新机会的关注与耐心。

启航“十五五” 全球观零碳



丹麦CCS招标遇冷 仍为重工业脱碳积累经验

本报讯 丹麦总额约39亿欧元的碳捕集与封存(CCS)招标近日公布阶段性结果,10家预审合格的竞标者中有9家退出。丹麦政府原定2029年~2044年捕集封存230万吨/年二氧化碳的目标恐难实现。这次被外界解读为“失败”的招标,实则是全球首个国家级大规模CCS补贴计划的现实压力测试,精准暴露了政策愿景与项目落地的差距,为各国制定CCS政策提供了参考。

此次招标是丹麦实现气候目标的核心举措。丹麦政府划拨287亿丹麦克朗(约合299亿元人民币)专项补贴,计划减排量约占丹麦年度总排放的5%,这也是少数将CCS从试点升级为核心理念脱碳工具的国家级尝试。项目初期市场反响积极,2025年初共收到16份申请,10家主体通过资格预审。

竞标者大规模撤离并非源于兴趣缺失,而是政策设计低估了CCS项目的复杂性与风险。矛盾主要集中在4个方面:招标时间线以2030气候目标等政治节点为基准,压缩了必要开发周期,将风险嫁祸给开发商;丹麦具备商业可行性的封存资源获取渠道有限,项目难以敲定最终投资;风险分配机制僵化,对项目延误设置严格处罚;价格上限则过滤掉技术可行但早期收益微薄的项目。

丹麦此次招标精准识别了CCS现阶段最具落地条件的突破口——水泥工业。作为唯一留下的竞标者,奥尔堡波特兰公司的项目计划实现每年高达150万吨的碳捕集规模。对于水泥这类过程排放占主导、无法通过电气化减排的行业,CCS是其唯一的深度脱碳路径。该项目一旦建成,将成为欧洲首个水泥行业全链条集成的陆上CCS系统,可为全球重工业的深度脱碳提供范本。

目前丹麦能源署已启动对剩余方案的评估,计划2026年4月敲定合同。丹麦政府可选择直接推进现有项目,或修订条款重新招标,两种路径均能实现政策价值。这场压力测试带来的经验是,政策时间线需贴合项目开发实际,封存资源应作为基础配套设施,风险需按管控能力分担。这场看似遇冷的招标,实则为全球重工业脱碳积累了宝贵的现实经验。(张雨潼)

韩国批准首个石化行业重组协议

本报讯 韩国产业部日前表示,已批准首个石化产业重组项目,并同步推出价值逾2万亿韩元(约合93亿元人民币)的扶持方案,旨在帮助企业应对行业长期低迷。产业部批准了由HD现代石油银行、乐天化学及其合资公司HD现代化学联合提交的大山工业园区运营整合计划,这是2025年8月韩国政府发布石化产业重组路线图后的首个获批项目。

根据该计划,乐天化学将拆分大山分公司,并与HD现代化学合并,成立一体化运营实体。HD现代石油银行与乐天化学将分别向新合资公司注资6000亿韩元,合计增资1.2万亿韩元。合并后,HD现代化学将由双方各持一半股份,取代此前HD现代石油银行持股60%、乐天化学持股40%的股权结构。作为产能调整的关键措施,乐天化学年产110万吨的大山石脑

油裂解中心将停产3年,以缓解行业供应过剩压力。

韩国是全球最大的石脑油进口国之一,此次产能削减计划将对全球石油市场产生影响。韩国政府的扶持方案包括多方面的政策支持。债权银行将提供最高2万亿韩元的财政援助,税收优惠,以及约1150亿韩元的公用事业成本减免和260亿韩元的研发资金支持。(许建耘)

印度启动紧急措施保障燃气与化肥供应

该国政府要求炼油企业优先生产液化石油气,稳定居民用气,并保障化肥生产能源供应

●庞晓华

全球能源化工行业市场信息服务商安迅思近日称,印度政府动用紧急权限,要求国内炼油企业将丙烷、丁烷优先用于生产液化石油气(LPG),以保障居民用气供应,并稳定化肥生产所需的能源供应。

炼厂需优先生产LPG

印度石油和天然气部3月5日发布指令称,所有在印度运营的炼油企业必须最大限度将所获丙烷和丁烷用于液化石油气生产,并将产品供应给3家国有石油销售公司,即印度石油公司、巴拉特石油公司和印度斯坦石油公司。同时,炼油企业不得将上述原料用于石化产品或其他下游衍生品生产。该措施旨在保障家庭烹饪燃料供应稳定。

液化石油气是印度家庭最主要的烹饪燃料之一。目前,印度约60%的液化石油气依赖进口,主要来源包括沙特和卡塔尔。印度石油部长哈迪普·辛格·普里表示,国内能源供应总体充足,可以保障居民用气。印度政府近期多次向市场释放稳定信号,以免出现恐慌性囤气行为。

印度信贷评级研究公司3月4日发布报告称,短期内能源供应波动对多数印度企业影响

有限,但如果供应紧张状态长期持续,可能对通胀和经济构成压力。

LNG供应收紧或影响尿素生产

天然气供应波动给印度化肥行业带来了潜在影响。印度最大液化天然气(LNG)进口商Petronet LNG在供应商发出不可抗力通知后,3月5日向下游客发出类似通知,其中涉及印度天然气管理局、印度石油公司和巴拉特石油公司。

印度天然气管理局表示,由于供应限制,3月4日起公司LNG供应量已降至零,可能需要限制部分下游客户的供气。古吉拉特邦邦尔默达谷化肥和化工公司(GNFC)表示,3月6日起,其从印度天然气管理局获得的LNG配额已被削减至原水平的60%,可能影响印棉包膜尿素生产。但GNFC称,目前其他化工产品生产尚未受到限制。

印度尿素生产装置主要以天然气为原料,化肥行业约占全国天然气总消费量的30%,天然气供应稳定对农业生产至关重要。

化肥库存充足 并已提前锁定进口

虽然上游气源存在不确定性,但印度政府

表示,国内化肥供应总体充足,可满足即将到来的夏季作物播种季需求。

化肥对印度农业至关重要。印度农业为全国约46%的人口提供了就业,并贡献约16%的国内生产总值。印度同时是全球重要农产品出口国之一,农产品年出口额超过500亿美元。

从全球市场看,印度是世界第二大化肥消费国,但国内生产仍难以满足国内需求。印度本土没有生产氯化钾,主要依赖进口;国内虽有生产磷酸氢二铵,但约60%依赖进口补充。印度虽然是全球第三大尿素生产国,但国内需求庞大,仍需进口弥补需求缺口。此外,尿素生产所需的天然气原料很大程度上依赖进口LNG,主要来源包括卡塔尔、阿曼和阿拉伯。

印度政府已提前落实大批化肥进口船货。截至2026年2月,全国已进口约980万吨化肥,未来3个月计划进口化肥超过170万吨。印度化肥部数据显示,截至3月6日,全国化肥库存高于去年同期水平,为市场提供了缓冲,可避免供应紧张影响农业生产。印度政府向国内化肥企业表示,在可能出现LNG供应波动的前提下,化肥行业的天然气供应将被列为优先保障对象。化肥部表示,目前正与石油和天然气部保持密切协调,持续跟踪能源市场变化,并确保进口化肥在港口及时卸货,以保障农业生产。

外刊视点 Global Insights

美国伊利诺伊大学研发 太空变形复合材料结构

在太空探索领域,卫星天线等大型结构的运输长期面临成本高昂、操作繁琐等挑战。传统大型太空装备因体积庞大,发射与运输效率受限,亟须开发可实现结构轻量化、运输小型化及在轨成型的新技术。美国伊利诺伊大学厄巴纳-香槟分校格罗杰工程学的研究团队联合贝克莱曼研究所,提出一种基于增材制造与前沿聚合技术的创新方案,可在太空中将2D连续纤维打印结构高效转化为3D曲面形态。这一研究成果发表在《增材制造》期刊,为未来大型太空结构的制造与部署提供了新技术路径。

研究团队采用贝克莱曼研究所开发的高能效树脂体系,以商用航空级连续碳纤维为增强相,利用连续碳纤维3D打印机打印纤维束。打印过程中,纤维束在压缩状态下接受紫外光照射,实现部分固化。当卫星等大型器入轨后,需激活变形结构,可通过低能量热刺激触发树脂发生化学反应,依靠前聚合工艺完成完全固化,使初始2D结构自主变形为预设3D曲面形态。

为增加结构变形可控性,团队借鉴剪纸艺术,在2D打印图案中引入类似花瓣的裁剪结构,使材料通过受控弯曲实现光滑曲面成型,满足抛物面天线对卫星信号传输所需光滑曲面的高要求。前聚合工艺无须烘箱或热压罐等大型固化设备,仅通过一次低能量热刺激即可启动固化变形过程,且所需能量与结构尺寸无关,展现出应用于超大型太空结构的潜力。

此项研究通过跨学科融合,成功解决了太空大型结构运输与成型的关键挑战,契合太空探索对低成本、高效率、轻量化技术的迫切需求。

然而,当前技术虽已初步实现刚度与变形能力的平衡,但变形后结构的刚度难以直接满足太空承载部件的使用要求。团队计划通过“模具二次成型”工艺弥补这一不足,并持续在树脂体系优化、纤维增强方式改进等方面探索,进一步提升结构本体的刚度性能。

—— 春山 译自《复合材料世界》

瑞士固瑞特研发替代方案 应对欧盟CMR分类新规

化学物质的安全管控是全球制造业可持续发展的重要前提,尤其是具有致癌性、致突变性和生殖毒性(CMR)的物质。2024年,欧盟针对59种环境稀释剂化学品启动CMR分类程序,这一监管政策的调整对复合材料行业的环境树脂产品生产与应用具有直接影响。

为响应欧盟新规,瑞士固瑞特公司技术团队开展专项研究,成功开发出多款替代产品。目前,固瑞特公司多数受影响产品已推出相应替代方案,为行业合规生产与安全应用提供了有效支撑。

当前,固瑞特公司推出的替代产品均已不再含有被欧盟归类为CMR的物质,从配方层面消除了有害化学物质带来的安全隐患,符合全球化学品安全管控发展趋势。该公司的替代解决方案实现了“安全升级但不降级性能、不增加成本”的目标,确保客户在使用过程中不受产品认证状态的影响。

固瑞特公司表示,通过持续重构配方、改进化学体系,可确保复合材料市场获得兼具高性能与安全属性的材料。公司技术团队已建立完善的监管动态监测机制,持续跟踪全球化学物质分类监管政策变化,提前预警可能出现的物质重新分类情况。同时,公司致力于减少配方及生产场所中高关注度物质(SVHCs)、高危害物质及CMR物质的用量。此外,公司团队通过主动开展替代物质测试、研究与开发工作,确保产品在满足化学安全要求的同时,始终保持高性能水平。

—— 燕春晖 译自《复合材料世界》

美国高校联手打造 碳转化人工代谢系统

美国西北大学和斯坦福大学的合成生物学家创造了一种全新的人工代谢系统,可将废弃二氧化碳转化为有用的生物构建模块。该研究发表在《自然化学工程》杂志,标志着合成生物学与碳循环领域取得了重大进展。

在这项新研究中,团队设计的生物系统将二氧化碳作为原料制成的甲酸进一步转化为乙酰辅酶A,即所有活细胞均使用的通用代谢物。工程师随后还利用同一系统将乙酰辅酶A转化为苹果酸。苹果酸是具有商业价值的化学品,广泛应用于食品、化妆品及可生物降解塑料的生产。

与自然代谢途径不同,新系统完全为人工合成,且在细胞外运作。工程师利用改造酶构建了还原性甲酸途径(ReForm)系统,这些酶能执行自然界从未出现的代谢反应。—— 汤玮健 译自《生物燃料文摘》