



编者按

过去十几年,可再生能源的迅猛发展不断改变着全球能源格局。近期,英国牛津能源研究所(OIES)发布报告称,与储量有限的化石能源不同,可再生能源以取之不尽、用之不竭的太阳能和风能为核心动力,以太阳能电池板、风力涡轮机、电池、电解槽等关键部件,呈现出完全不同于以往的能源经济特征,正在改写能源史。具体而言,可再生能源的竞争力不再是自然资源禀赋,而是产业政策、供应链效率和规模经济的协同作用,只要有工业基础和资本投入,就能形成强大的生产能力。深刻认识这一趋势,对能源从业者尤其重要。

本版文字由中国石化石油勘探开发研究院 卢雪梅 提供

能源经济新趋势 将重塑全球能源格局

视觉中国 供图

能源经济将发生根本转变

全球能源格局正经历一场重大变革,可能颠覆过去几十年围绕资源稀缺性建立的能源经济思维定式。不同于以稀缺性和地理偶然性为特征的化石能源,可再生能源以生产技术为核心,以取之不尽的风能或太阳能为原料,一旦完成初始建设就可以提供低成本的新能源。

这意味着,能源经济框架将从霍特林规则(稀缺驱动成本上升)转变为学习曲线模型(成本随累积产量下降),形成与传统能源经济学不一致的新模式。

产业政策效仿潮

近年来,各国先后意识到控制新能源技术供应链的经济性和战略效益,而我国在这一领域早已走在前列。截至2021年,我国电动汽车电池产量占全球总产量的79%;截至2023年,我国光伏组件产量占全球总产量的85%。我国的成功经验也刺激了竞争对手的政策跟进。美国的《通货膨胀减少法案》、欧盟的《净零工业法案》均旨在通过补贴、税收减免等激励措施提振本土清洁能源制造业。日本的“绿色增长战略”(2024年)和韩国的“绿色新政”(2021年)则分别为氢能和电池技术制造业设定了具体目标,并提供了支

持政策。这些新兴的产业战略正促使电池制造业突破原有地域限制,向美国、欧盟、印度和东南亚等国家和地区扩散。一些国家(如越南、马来西亚)正利用低成本劳动力、政策支持与现有制造业基础等优势,积极扩大光伏生产规模。这些趋势表明,制造业流动性更强,如锂、镍、钴等关键资源可以全球采购运输,电池组装等环节可以在政策和市场条件更具优势的地区进行。相比之下,化石能源的开采往往受限于特定的地质构造。此外,低碳制造依赖的供应链可以在全球建立,地域限制较少。基于这一认识,各国都在积极争夺市场份额,反映出全球竞争正经历从“资源控制”到“产业战略”的深刻转向。

能源安全再定义

上述产业格局的转变正在重新定义能源安全。各国政府不再局限于保障油气供应安全,而是逐渐从稳定获取清洁能源技术的角度构建国家能源安全体系。例如,美国能源部在供应链审查文件中强调过度依赖进口太阳能电池组件的脆弱性,并指出应尽快发展本土产能。其他国家也在寻求获得固态电池或氢电解槽等新兴技

术的知识产权和制造技术。

此外,政策制定者试图利用对先进技术的出口管制保护本土产业。这也说明,作为能源安全工具的技术管制正在发生转变。随着可再生能源系统与数字电网整合程度的提高,网络安全成为保障能源安全的关键,技术领先程度则成为能源安全战略的核心支柱。

创新重点的转移

能源领域创新的性质也随之发生变化。制造业创新的重心正从化石能源时代的资源勘探与开采效率提升,转向可再生能源领域的制造工艺优化、成本下降和技术效率提升。因此,各国逐步将研发投资和人才储备的重点向可再生能源制造技术研发倾斜。国际能源署(IEA)2024年数据显示,过去20年,可再生能源相关专利的增速持续超过化石能源。虽然在专利总量上化石能源仍占上风,但在许多具体技术类别中,这一差距已大幅缩小甚至逆转。

可再生能源专利的快速增长意义重大。过去十年,太阳能发电成本大幅下降主要源于制造创新,如更大的晶圆、更薄的硅片和更优化的电池设计。研发工作也主要聚焦于提高电池性能,如能量密

度、充电速度和寿命,并通过材料科学和制造工艺的革新进一步降低成本。更高效的风力涡轮机的发展动力也来自先进材料、空气动力学和制造技术的创新。由此可见,材料科学、制造工程和系统集成方面的专业知识,对能源行业的重要性与日俱增。

脱碳战略受影响

上述转变深刻影响了各国的脱碳战略。越来越多的国家意识到,仅补贴上网电价并不能自动降低供应链的脆弱性和对外依赖度。因此,许多国家的脱碳重点已转向扶持可再生能源产业,将激励措施与本地化生产要求、制造业税收减免或研发支持政策结合起来。如一些国家开始对进口清洁能源产品征收关税,以保护国内制造商免受低价进口产品的冲击。

这说明,能源经济学将发生根本转变,从化石能源时代的稀缺性、地理限制和资源控制,转向可再生能源时代由技术创新、制造业可扩展性和政策协调驱动的新范式。要掌握这种范式,需要理解能源经济学的新框架,原本植根于化石能源的传统模型已难以捕捉低碳能源的独特运行规律。

技术进步提升了老油田的采收率。这些技术进步降低了单位能源成本,延长了传统资源的经济开采寿命。更重要的是,水力压裂等技术突破成功释放了页岩油、页岩气等非常规资源的潜力。这一发展显著增加了全球油气供应,深刻改变了能源格局,并有效缓解了先前关于资源稀缺的忧虑。

9. 多样化的监管环境

化石能源行业的监管框架呈现高度多样化。一些主要产油国(如美国、中东部分国家)监管相对宽松,对环境影响或安全标准的约束较少;而另一些地区(如欧洲)则在环保法规、劳工保护和价格管控方面更严格。即便在设定碳中和目标的国家之间,环境监管也存在显著差异。目前,仅少数G20国家立法要求逐步淘汰特定化石能源,如德国设定煤电退出目标、法国禁止新油气勘探、西班牙承诺结束煤炭开采与发电等。随着公众对环境污染、安全事故(如石油泄漏)及开采副作用的担忧加剧,未来监管将更复杂和全面。相关研究指出,要实现2050年将升温幅度控制在1.5摄氏度内,全球58%的石油储量、59%的天然气的储量和89%的煤炭储量都必须留在地下不开采。

10. 高额补贴及影响

化石能源行业长期受益于各种补贴,包括直接补贴和间接补贴。这些补贴降低了化石能源企业的生产成本,提高了盈利能力,巩固了其在国家能源结构中的主导地位。2023年,各国政府对化石能源的支持达到1.5万亿美元,其中补贴占最大份额。这些补贴掩盖了真实的市场成本,使得经济更依赖化石能源,阻碍了向清洁能源的转型。

新能源行业的经济特征

能源转型并非人类历史上的新生事物。从工业革命时期的生物质能(如木材、柴草等)向煤炭的过渡,到20世纪初向石油的转移,以及后来引入核能,都代表着能源转型。然而,人类下面面临的可再生能源转型与以往有根本不同。以往新能源主要用于补充,而非完全取代现有的能源形式,煤炭并未完全取代生物质能,石油也并未导致煤炭退出历史舞台。相反,这些新的能源形式还拓展了能源结构,最终使得每种能源都找到了定位,得以并存发展。

而当前的可再生能源转型则标志着这一模式的历史性突破。推动此次能源转型不是发现了更集中的能源或更高效的开采方法,而是具有不同经济特征的能源技术的出现。这些新能源不仅是对现有能源结构的补充,而且是在多个领域取代化石能源。这种转变除了源于环境问题的紧迫性或政策要求,还因为可再生能源系统的潜在经济特征,即边际成本趋于零,基于制造业的学习曲线不断提效降本,以及积极的网络外部性。

这些经济特征创造了一种本质上完全不同、更具竞争力的新经济范式。这一发展促进了新能源经济的出现,其特性与传统以煤炭、石油和天然气等大宗商品为基础的体系有很大不同。在新能源经济学中,丰富性取代稀缺性成为决定性特征,技术创新和制造能力,而非资源控制,构成了这一新范式的核心竞争力。

电气化是新能源模式的核心。它不仅是一种脱碳途径,而且是实现新能源经济动态的基本载体。电气化驱动了边际成本低、开采依赖型的能源系统向通过制造技术提供能源服务的结构转变,边际成本趋于零。这不仅提高了热力学效率,而且增强了系统集成性。此外,虽然由于工艺或能量密度要求,部分难减排行业面临直接电气化的挑战,但其长期脱碳也将依赖低成本、充足的可再生能源。许多间接脱碳途径,如绿氢、合成燃料和电化学过程,本质上都能以可再生能源为原料。因此,即使是面临转型障碍的行业,可行的脱碳方案仍是丰富、低成本的可再生能源。

新能源系统的最基本特征是发电的边际成本趋于零。一旦基础设施(如太阳能电池板或风力涡轮机)到位,阳光和风作为“燃料”可以免费获取。这从根本上改变了电力市场的定价动态,可再生能源可以取代化石能源,在产量较高时压低批发价格,也颠覆了传统的供需关系。趋于零的边际成本与新经济范式的另一个决定性特征(前期

期资本成本占主导地位)有内在联系,即可再生能源的主要成本是制造和安装设备的初始资本支出,运营费用(主要是维护费用)相对较低。这种高资本支出和低运营成本的结构需要大量的前期融资,导致平准化度电成本(LCOE)对资本成本和设备寿命高度敏感。然而,一旦投入运营,这种结构也会转化为相对低风险的低长期回报,对寻求稳定现金流的机构投资者颇具吸引力,这与化石能源投资回报的不稳定性形成鲜明对比。

此外,化石能源生产的地理限制在可再生能源领域基本不存在。只要气候条件合适即可生产可再生能源,显著降低了地缘政治风险和运输成本。但太阳能和风能在各地区分布也不均衡,部分地区太阳能资源丰富(如撒哈拉沙漠、阿拉伯半岛和澳大利亚内陆),部分地区风力和太阳能固有的间歇性挑战,推动对输电基础设施和智能电网的投资增加,构建更具韧性的一体化能源系统。

可再生能源的分布式特征通过互联系统可以形成相辅相成的关系。电网互联能减少风能和太阳能固有的间歇性挑战,推动对输电基础设施和智能电网的投资增加,构建更具韧性的一体化能源系统。更重要的是,新范式的经济优势重心出现了转移。化石能源的规模经济主要体现在开采、运输和精炼环节,可再生能源则表现在设备制造上。生产太阳能电池板或风力涡轮机的大型工厂单位成本更低,推动了制造业整合,而随着产量增加,成本将进一步降低,促进了国际技术转让和竞争。

这种制造驱动的降本增效将进一步放大。随着时间推移,可再生能源技术的成本急剧下降,产量每增加一倍,成本也同比比例下降。这与传统的霍特林模型有根本背离。传统的霍特林模型认为,资源消耗会增加成本。

总体而言,新能源经济的特点是成本紧缩轨迹、空间民主化和制造业驱动的可扩展性。虽然间歇性、确保关键矿产的供应,以及适应市场设计等挑战依然存在,但可再生能源的结构性优势表明,能源转型大势是不可逆转的。新模式鼓励创新、制造业和技术领先,而不是资源控制,开创了能源丰富的新时代,并将从根本上重塑全球能源格局。

1. 稀缺性与耗竭焦虑

传统能源行业最根本的经济特征是稀缺性,即化石能源是有限的、不可再生的资源。传统能源市场经济的基础理论核心霍特林规则正是基于此提出的。几十年来,围绕对化石能源耗竭的担忧和霍特林模型,诞生了不少峰值理论,如“石油峰值”“煤炭峰值”等,都不同程度影响了国家或公司的投资战略,也促使各国建立战略储备或寻求能源多元化。对化石能源耗竭的焦虑还推动了能源独立政策、储备战略和替代能源的发展。然而,现实中,技术进步和新资源发现不断推迟了这些“预料中”的能源耗竭场景的到来。

2. 规模经济与行业整合

化石能源生产、运输和精炼均表现出显著的规模经济特征,大型作业的单位成本通常较低。因此,在产能上投入巨资的公司能战胜规模较小、效率较低的竞争对手。这种动态加速了行业整合,使得行业结构逐渐向大型、资金雄厚的企业倾斜。规模驱动整合也塑造了生产的地理格局:大型炼厂或大型煤矿成为供应链的集输中心。各国政府往往通过直接补贴来支持这些大型企业,最终导致全球化石能源市场由少数大型公司主导,这些巨头能利用规模优势来影响燃料定价、生产节奏和技术方向。

3. 纵向与横向整合

为了提升效率和掌控力,化石能源企业广泛采用纵向整合策略,控制从勘探开采到炼油和零售分销的整个价值链。控制供应链的多个环节有助于降低不确定性和交易成本:企业可确保供应稳定,根

据上游产量优化下游炼油能力,并依照统一战略进行成品分销。这种模式在20世纪的石油行业尤其典型,大型国际石油公司多为上下游一体化巨头。然而,纵向整合的收益并非无限递增,超越最优边界点,可能导致效率降低。

横向整合则是指在价值链同一环节收购或合并竞争对手,可以增加市场份额,减少直接竞争,并获取成本优势。规模经济效应与纵向、横向一体化相结合,最终形成寡头垄断的市场结构,这在石油行业表现得尤其明显,即少数一体化跨国公司和国家石油公司共同控制全球生产、炼油和分销的大部分份额。寡头垄断通常出现在需要大规模、大量资本投资和专业技术的行业,这些都限制了竞争者的数量,使得现有企业对市场从定价到供应决策都有相当大的控制权。

4. 价格波动与风险

价格波动,尤其是油价变化是传统能源行业的显著特征。地缘政治冲突导致的供应中断、全球经济周期驱动的需求变化,以及大宗商品市场的投机行为是主要诱因。例如,主要产油区(如中东地区)的战乱或政局动荡可能限制供应并导致油价飙升;相反,全球经济衰退则会抑制需求,引发价格暴跌。

价格波动给投资者、政府和消费者带来巨大风险,并产生深远的结构性影响。石油公司经常陷入盛衰周期,直接影响其勘探投资决策,油价高涨时加大勘探开发投入力度,暴跌时则推迟或取消项目。同样,依赖化石能源出口的国家经济也易遭受价格波动的冲击,而依赖进口的国家在燃料成本飙升时则面临能源安全威胁和通胀压力。为了应对价格波动,产生了多

种稳定价格或保障供应的机制,如国家战略石油储备、长期合同和对冲工具等。

5. 地缘政治意义

地理分布不均赋予化石能源强烈的地缘政治属性。集中在中东、俄罗斯和北美的庞大石油储量使得这些地区拥有巨大的政治和经济影响力。因此,保障化石能源供应安全成为多数工业化国家的战略优先事项。这种地缘政治考量往往促使政府出台保护国内化石能源行业的政策,包括直接补贴、设置贸易壁垒或通过国家石油公司控制海外资源等。

6. 资本密集度高

化石能源项目(如煤炭开采、油气勘探、炼厂建设、管网铺设)具有极高的资本密集度,前期开发需要巨额投资,形成了较高的进入壁垒,将规模较小或资金不足的企业排除在外。资本密集度高与价格波动相互作用,增加了传统能源的投资风险——新项目可能需要数年才能盈利,不利的价格环境可能使经济性荡然无存。

7. 漫长的项目周期

化石能源项目从勘探评估、可行性研究、建设到最终投产,通常需要漫长的周期。这种滞后性使得企业难以灵活地对需求突变或供应冲击做出快速反应。项目周期漫长和资本密集度的相互作用,使得大型企业更有实力抵御经济衰退风险和应对漫长的投资回报周期。

8. 技术创新的双重作用

技术创新长期以来持续驱动化石能源供应链效率的提升。勘探技术进步提高了储量评估精度,减少了无效钻井,开采技