

思想市场

能源结构调整是碳中和重中之重

■左前明



作为世界上最大的发展中国家，碳达峰、碳中和目标不仅彰显了我国应对气候变化大国担当，也是我国实现高质量发展、构建人类命运共同体的重要举措。在碳达峰、碳中和目标驱动下，以煤炭为主的化石能源占比将逐步下降，光伏、风电等非化石能源有望加快发展，占比进一步提升，同时，碳技术和碳市场在政策、需求推动下也将逐步得到重视。

碳达峰、碳中和 将分为加速减排期等三个阶段

我国实现碳达峰、碳中和的路径主要有：节能降耗，降低能源消费总量，进而降低能源系统碳排放；调整能源结构，降低化石能源消费，提高太阳能、风能、水能、核能、地热能等非化石能源比重；利用负碳技术减碳，如森林碳汇、碳捕集与封存(CCS)、碳捕集封存与利用(CCUS)、碳循环利用等技术。考虑减排措施的成本效益与难易程度，我国碳达峰、碳中和路径预计将分为三个阶段：

2020—2030年为达峰期，需在生产侧和消费侧持续提高能效，控制煤炭等化石能源消费，大规模发展清洁能源，推进工业、建筑、交通部门电能替代，引导消费者低碳消费行为和低碳生活方式转型。

2030—2045年为加速减排期，将面临一定的缓冲时间，需依托以可再生能源为主的低碳能源系统实现碳排放“稳中有降”并进入减排加速期，将实现交通系统全面电气化，完成农业零碳化改造，推进工业领域减碳行动，同时，开展负排放技术应用推广。

2045—2060年为深度减排期，需以深度脱碳为首要任务，通过负排放技术和碳汇应用为必要的碳排放部门提供中和手段，从而兼顾经济发展与减排行动，最终实现“净零排放”目标。

碳达峰、碳中和并非一蹴而就，需要付出艰苦卓绝的努力。我国是世界上最大的发展中国家，能源和电力需求仍有较大增

长空间，且以煤炭为主的化石能源资源禀赋决定了未来碳达峰、碳中和并非短时间内可以实现，即便达峰也可能有一个较长的峰值平台期出现。同时，我国碳排放基数大，当前减碳政策、措施还不健全，相关技术手段亦不完备，要实现倒U型减碳路径难度很大。相比之下，发达国家从碳达峰到碳中和约需60年，而我国只有30年，时间更紧，任务更重。因此，2060年实现碳中和是一项艰巨的任务，我国面临的挑战比其他国家更大。

节能降耗、能源结构调整、 碳技术和碳市场是发展重点

我国能源将从以清洁发展为主线转向以低碳发展为主线，2030年前碳达峰意味着煤炭消费需在此前、甚至2025年前率先达峰；2060年前碳中和意味着在达峰后几十年内，煤炭等化石能源消费量需大幅降低，同时，推动光伏、风电等新能源发展。因此，围绕低碳发展，从现实有效的途径来看，能源发展的重点在于节能降耗、结构调整、碳技术和碳市场三大领域；从实际产业角度来看，能源结构调整是重中之重。

(一)节能降耗是实现碳达峰、碳中和的有效手段

我国长期以“保供应”为主的能源发展思路，造成产能持续扩张、能源利用效率低下等问题，加之我国产业结构中制造业占比高，导致我国单位GDP能耗居高不下。与末端治理和发展替代能源相比，节能降耗能够带来污染物和二氧化碳减排的协同效应，也是现阶段效果最明显、经济性最好的减排手段。国际能源署研究表明，要实现到本世纪末将全球升温控制在2℃以内的目标，节能和提高能效的贡献将达49%。

工业用能占我国能源消费量约65%，能效提升最主要的潜力来自余热余压利用、通用设备的能效提升，以及基于数字化技术的流程和系统优化。目前，建筑节能提升处于蓬勃发展期，存量的公用建筑单位能耗水平

相较民用建筑更高，未来有很大的节能空间，是下一步能效发展的新动力，将主要集中在建筑围护结构和供暖制冷系统的能效提升。此外，数字化、智能化等新一代信息技术的快速渗透与应用，也将为传统建筑行业挖掘更深层次的节能潜力。

(二)能源结构调整是实现碳达峰、碳中和的重要途径

从供给端看，需大力发展清洁能源，降低化石能源尤其是煤炭的消费占比。由于资源禀赋特点，我国能源供给体系以化石能源为主，而二氧化碳排放主要来自于化石能源消费，其中煤炭排放占76.6%，石油排放占17.0%，天然气排放占6.4%。减少碳排放的重点之一是减少化石能源尤其是煤炭消费占比。

从消费端看，需提高终端部门电气化率，加速化石能源替代。终端部门碳排放主要来自工业、建筑、交通三个领域，减碳重点是提升终端电气化率水平，减少化石能源消费。据中国能源研究会预测，到2060年我国终端部门电气化率将由现在的27%提升至64%。

具体而言，工业电气化的重点是工业过程热电气化，主要措施包括微波加热、红外加热、电弧加热等新技术应用；建筑电气化的重点是采暖电气化，热泵是采暖电气化的主要手段；交通电气化的重点是乘用车电动汽车渗透率的增长。为实现这一目标，一方面，需克服电动汽车里程和充电焦虑，主要措施包括电池技术持续进步和充电模式不断创新；另一方面，需形成对燃油汽车的差异化优势，通过智能网联、无人驾驶、人性化服务等创造新体验，使电动汽车成为新兴热点科技和出行体验的载体。

从政策端看，围绕碳达峰、碳中和的相关规划、制度将持续出台，金融支持力度也将加大。2020年12月底召开的中央经济工作会议首次将“做好碳达峰、碳中和工作”作为2021年我国八项重点任务之一，提出要抓紧制定2030年前碳达峰行动方案，支持有条件的地方率先达峰。随后，各部委均表示将围绕碳达峰、碳中和开展政

策研究和工作部署。其中，国家发改委表示要部署开展碳达峰、碳中和相关工作，完善能源消费双控制度；工信部表示将围绕碳达峰、碳中和目标节点，实施工业低碳行动和绿色制造工程；生态环境部表示正加紧编制2030年前二氧化碳排放达峰行动方案；央行将落实碳达峰、碳中和重大决策部署作为2021年十大重点工作的第三位，仅次于货币、信贷政策。

(三)碳技术和碳市场将成为主攻方向

有关研究显示，到2050年我国仍可能有10亿—20亿吨碳排放量，这需要通过负碳技术进行减排。

近年来，各国都在关注负碳技术，主要包括再造林、生态修复、新型建筑材料、土壤固碳、碳捕集利用与封存(CCUS)、直接空气捕集与封存(DACCS)、生物质能源碳捕集与封存(BECCS)、生物质炭(Biochar)等。我国在这一领域也有试点示范，国家能源集团、华能集团等发电企业现役机组已建成投产多套二氧化碳捕集实验、示范装置，预计未来在钢铁、水泥、化工等高碳行业也将逐步示范应用。

生态环境部发布的《碳排放权交易管理办法(试行)》透露，2021年6月，我国将启动全国碳排放交易市场，电力行业首当其冲，涉及2225家发电行业重点排放单位，“十四五”钢铁、建材、有色、化工、石化等行业亦将逐步纳入。从中长期看，被纳入碳市场的企业一方面可能受限于排放配额，导致生产成本上升；另一方面，也可通过技术改造降低碳排放，节省的配额可以在碳市场上卖出获得收益。因此，如何面对碳排放交易市场运行带来的机遇和挑战，是能源企业必须考虑的问题。

可再生能源替代将 由增量向存量替代演进

碳达峰、碳中和是一场广泛而深刻的经济社会系统性变革，明确了绿色低碳发展的时间表，将加速我国清洁低碳、安全

高效的能源体系建设。期间，构建以新能源为主体的新型电力系统任务艰巨，同时，以煤炭为主的化石能源消费比重的下降趋势不可逆转。未来十年，可再生能源替代将由增量替代逐步向存量替代演进，煤炭消费量也将进入峰值平台区，而后逐步下降。

煤炭等传统能源企业亟需认清形势，主动参与、主动求变，在做好能源供应“压舱石”的前提下，积极减排，主动转型。

控制煤炭增量，优化存量。“十四五”是煤炭行业转型升级的关键期，在碳达峰、碳中和背景下，新建煤矿受审批严、周期长、成本高等影响将更加凸显，加之部分存量资源逐渐枯竭，煤炭企业兼并重组将提速，产业集中度有望进一步提升。对于存量煤矿，需深度运用大云物移智链等先进信息技术，构建智能矿山，实现节能降耗、减员提效，为煤炭行业平稳转型打好基础。

积极减排降碳。在煤炭生产过程中，矿井关闭后，采空区产生裂隙，井下瓦斯由此散发到地表，是甲烷排放的主要来源之一。甲烷是仅次于二氧化碳的第二大温室气体，对全球变暖的贡献度达20%。因此，甲烷减排日益迫切。在碳达峰、碳中和目标下，加强煤层气抽采与利用，将成为煤炭开采行业实现高质量发展的路径之一。

加快转型升级，战略性超前布局。碳达峰、碳中和将是当前和今后一个时期中央和有关部门持续倡导与积极推动的重要工作，只有超前谋划、超前布局，方能化危为机，变被动为主动，抢占先机。

煤炭等传统能源行业需提高站位，充分认识碳达峰、碳中和的深刻内涵与深远影响，主动求变，战略性推动化石能源原料化应用及新能源、节能、碳技术和碳市场等相关领域发展。同时，抓住近十年的关键窗口期，探索发挥区位优势、土地、资金等优势，积极在上述领域布局，以长远视角发掘传统能源向新能源转型的方向、路径与方式，找准转型发展的切入点，把握低碳发展下的新增长点。

(作者系中国信达首席能源研究员)

行业前沿

煤基乙醇产业化前景可期

■张银平

我国“第十四个五年规划和2035年远景目标纲要”指出，推进能源革命，建设清洁低碳、安全高效的能源体系，提高能源供给保障能力。我国富煤贫油少气的资源禀赋特征，决定了煤基乙醇等新型煤化工符合我国能源结构转型方向，是国家能源安全的重要保障之一。

综合优势突出

乙醇属有机化合物，俗称酒精，可由多种方法制作。2000年以前，医药、工业、食用酒精的生产均采用发酵法，即粮食发酵生产。当时生产1千吨乙醇需要4—5千吨粮食，再按10%比例添加到汽油中。乙醇是世界上公认的环保、清洁和油品质量高的添加剂，美国、巴西都在推广乙醇汽油，并得到社会认可。

2017年9月，经国务院同意，国家发改委、国家能源局等十五部门联合印发《关于扩大生物燃料乙醇生产和推广使用车用乙醇汽油的实施方案》，推广生物燃料乙醇。后在7省(市)独立封闭运行，实行定点生产、定向流通、价格锁定、封闭销售，同时，为鼓励生产，政府还实行定额补贴政策。但2018年后，随着补贴取消，生物制乙醇成本增高，生产乙醇的工厂基本没有利润甚至亏损。而且，生物制乙醇原料主要有玉米、木薯，在消耗掉陈化粮后，原料出现短缺。

目前，燃料乙醇在我国至少有1000万吨的市场缺口。而且，乙醇下游衍生品众多，主要有乙烯、乙醛、乙酸、乙胺、乙酰胺、乙苯等，随着下游产品工艺技术不断成熟，乙醇为原料生产化工品的需求不断增大，将成为新的市场增长点，预计未来下游产品对乙醇的需求量每年约2000万吨。

基于我国富煤贫油少气的能源资源禀赋，建设高端能源化工基地、自主开发煤基乙醇工艺技术不仅是社会发展的需要，也是化工技术发展到了特定阶段的产物。煤基乙醇

无论做为燃料乙醇还是做为化工原料，都可以降低国家对石油的依赖程度，有利于提高能源安全。而且，煤基乙醇替代粮食法乙醇可以提高粮食安全水平，按照粮食法乙醇在工业上每年400万吨的用量，被煤基乙醇替代后，每年最少能节约1200万吨粮食。同时，煤基乙醇单位成本较生物法乙醇低2000元左右，能够创造良好的经济效益。

加快扩容示范

中国科学院大连化学物理研究所与陕西延长石油集团通过开展产学研强强合作，经过多年努力，在世界上首次开发了合成气、甲醇制无水乙醇技术(DMTE)，依托该技术建设的全球首套10万吨/年煤基乙醇工业示范装置于2016年底在陕西兴化建成，并于2017年1月产出合格无水乙醇产品，纯度达99.71%。

DMTE技术是原料煤经气化、变换、净化变成合成气，一部分合成气用于生产甲醇，一部分合成气经气体分离装置分离出CO和H₂。甲醇脱水后生成二甲醚，二甲醚与CO羰基化反应生成乙醛，乙醛经加氢生成乙醇。该技术替代粮食发酵的传统工艺路线，为化学法制乙醇提供了新的可行路径。

10万吨/年煤基乙醇项目于2017年1月开车成功，至今稳定运行。项目证明了DMTE技术路线的可行性并为该技术的工程放大提供了现场数据。同时，项目运行进行了大量改造，各类技术问题和工程问题得到解决，起到了工业示范作用。从2020年初至今，该项目每月净利润在1000万元以上，为企业赢得了效益，为此，陕西兴化股份公司(延长石油集团、兴化集团是股东)还在厂区规划了第二套10万吨/年乙醇装置，目前已完成基础工程设计，计划2022年投产。

同时，2020年6月6日，延长石油榆神

能化公司50万吨/年煤基乙醇项目在榆林能源重化工基地奠基。该项目作为榆林地区十大标杆化项目之一，是在2017年兴化10万吨/年煤基乙醇项目成功投产后，首套再放大的工业化装置，在行业中具有重要的示范引领作用。

50万吨/年煤基乙醇项目仍以中科院大连化物所和延长石油共同研究开发的DMTE技术为核心工艺技术，总投资约70亿元，设计年产无水乙醇50万吨，实现年销售收入35亿元以上，年均净利润10亿元以上，解决1000个就业岗位。截至目前，项目混凝土浇筑累计完成64.95%，给排水管道累计完成60%，钢结构安装累计完成19.25%。工艺设备陆续到货并开始安装。

DMTE技术特点包括：采用非贵金属催化剂；介质腐蚀性小，装置多为普通材质；反应目标产物收率高，物耗低；装置“三废”排放少，绿色环保；成本低。相比之下，乙醇工业合成技术路线及合成气一步法制乙醇、醋酸加氢制乙醇、醋酸乙酯加氢制乙醇存在以下问题：需采用贵金属催化剂；介质易腐蚀，材质要求高；成本高。因此，榆神煤基乙醇项目是真正意义上的从煤到乙醇的全厂性项目，具有重要引领作用。北京石油化工工程有限公司(BPE)作为DMTE技术的工程化合作单位，正优化设计，打造精品工程。

促技术及装备升级

近年来，随着全球经济形势下行和新冠肺炎疫情爆发双重影响，国内动力煤市场低迷、国际油价持续高位运行，要求我国需更加重视煤炭的高效利用，促使煤化工产业逐步变强，煤制乙醇、煤制芳烃、煤制天然气等各种新型煤化工项目不断涌现和发展。同时，随着疫情席卷全球，口罩、消毒剂、防护服等一系列产品的需求量猛增，从化工角度来看，不论口罩还是消毒剂，都离不开石油、



煤化工的原料供应。此外，随着社会经济持续发展，能源化工也在加快复苏。

政策方面，“互联网+”“智慧能源”等概念提出，为能源化工下一步发展提出了可能。2020年5月，国务院发布的《关于新时代推进西部大开发形成新格局的指导意见》提出，优化煤炭生产与消费结构，推动煤炭清洁生产与智能高效开采，积极推进煤炭分级分质梯级利用，稳步开展煤制油、煤制气、煤制烯烃等升级示范。2021年4月，国家能源局发布的《2021年能源工作指导意见》透露，要研究制定煤炭清洁高效利用关键技术攻关方案，设立专项重点推动。

这将有力推动榆神能化50万吨/年煤基乙醇项目工程今年全面铺开和实施，标志着我国已具备设计和建造煤基乙醇大型工程的能力，掌握其核心技术。项目不仅在国内外煤化工领域形成技术领先优势，还将带动整个产业发展，影响产业链下游企业和附加产品生产。如改变了部分甲醇厂、二甲醚厂的生产格局，优化了产品方案，释

放了产能，有望将亏损产能企业改造成拥有新产能、新产品的企业。

同时，项目开辟了煤化工产业研发、服务、生产、建造和管理一条龙全产业链新机制，开辟了多家单位联合生产、联合攻关乙醇产品的新模式，补链增链并提升了经济性，攻克了许多技术难关和“卡脖子”问题，取得了宝贵的研发经验，提升了技术队伍的整体实力。

总的来说，近年来我国虽然在新型煤化工领域取得一些重大突破，但还不完全具备超大规模产业化的条件，系统集成水平和污染控制技术仍有待提升，生产稳定性和经济性有待验证，行业标准和市场体系有待完善，产业整体仍处于升级示范阶段。通过建设榆神能化50万吨/年煤基乙醇项目，将提升气体净化、大型低压合成等技术及其重大装备水平，有力推动新工艺、新技术生产标准形成。

(作者系《经济观察报》宏观经济研究院特约研究员)