

# 能源强国建设亟待解锁七大关键密码

■徐耀强

能源是工业的粮食,是国民经济的命脉,更是国家安全的基石。“十五五”规划纲要提出,深入实施能源安全新战略,加快构建清洁低碳安全高效的新型能源体系,建设能源强国。站在“十五五”开局起步的历史节点,面对资源禀赋约束、国际竞争压力、绿色转型需求与技术迭代浪潮的多重挑战,建设能源强国必须深入贯彻落实能源安全新战略,着力破解能源供给、能源保障、能源科技、能源形态、能源配置、能源运行、能源治理七大关键密码,以系统性变革推动能源领域实现质的有效提升和量的合理增长,推动我国从“能源大国”向“能源强国”迈进,努力为全面建设社会主义现代化国家提供澎湃的能源动力。

## 能源供给:实现从“规模扩张”到“质量跃升”的历史跨越

供给充足是能源强国的根基所在,是保障经济社会持续健康发展的底线要求。经过数十年的不懈奋斗,我国已建成全球规模最大的能源供应体系,煤炭、电力,特别是风电、光伏等领域产能规模稳居世界前列,建成了覆盖全国、联通内外的能源生产与输送网络,实现了从“能源短缺”到“总量充裕”的历史性转变。与此同时,传统能源供给体系中存在结构不优、品质不高、韧性不足等问题仍未完全解决,部分领域仍依赖规模扩张的粗放式发展模式,难以适配高质量发展的新要求。

迈向能源强国,供给体系必须实现从“规模扩张”向“质量跃升”的历史跨越。一是做大能源供给总量。科学把握经济社会发展阶段、产业结构转型趋势、居民用能升级需求,合理设定煤炭、电力弹性系数,统筹短期保供与长期转型,推动2030年能源综合生产能力达到58亿吨标准煤,避免供给不足制约发展或过度供给造成浪费。二是调整能源供给结构。锚定“双碳”目标,实施非化石能源十年倍增行动,加快风电、光伏、水电、核电、氢能等清洁能源开发布局,持续提升非化石能源在能源供给中的比重。三是提升能源供给韧性。在巩固煤炭清洁高效利用、油气增储上产能力,夯实传统能源兜底保障根基的同时,科学布局抽水蓄能、新型储能,加快火电机组的灵活性改造和节能改造,着力构建新型电力系统,全面提升电力系统互补互济和安全韧性水平。

## 能源保障:实现从“外部依赖”到“自主可控”的战略突围

能源安全是国家安全的重要基石,是关乎全局、服务全局的战略任务。当前,全球能源格局深度调整,地缘政治冲突频发、国际能源贸易博弈加剧、能源供应链波动风险上升,我国能源发展面临的外部不确定性持续增加,特别是石油、天然气对外依存度分别高达70%、40%,能源供应链的稳定性、安全性面临严峻挑战。与此同时,国内能源系统的抗风险能力仍有提升空间,应急保供体系、储备调节机制仍需进一步完善。

建设能源强国,核心是“把能源的饭碗

牢牢端在自己手中”,实现从“外部依赖”到“自主可控”的战略突围。一是聚焦重点领域攻坚,提升国内保障能力。加大油气资源勘探开发力度,推动页岩油、页岩气、煤层气等非常规油气资源高效开发,提升油气自给率;巩固煤炭兜底保供地位,完善煤炭产供储销体系,确保能源供应“不断链、不断供”。二是完善战略储备与应急体系,提升抗风险能力。健全政府储备与企业储备相结合的能源储备制度,优化储备布局与结构,提升储备调节的灵活性与时效性;建立能源应急保供预案体系,完善极端情形下的能源调度机制,确保关键时刻能源供给“拉得出、供得上、稳得住”。三是推进能源进口多元化,降低外部单一依赖。加强与“一带一路”共建国家能源合作,拓展多元化进口渠道,推动陆路、海路、管道等多通道运输协同发展,加强能源技术、市场、规则协同,全方位筑牢能源安全防线。

## 能源科技:实现从“跟跑并跑”到“创新引领”的硬核突破

能源竞争的本质是科技竞争。技术先进是能源强国的核心标志,也是推动能源转型、破解发展瓶颈的关键支撑。长期以来,我国能源领域的技术发展以引进、消化、吸收、再创新为主,在部分领域实现了“跟跑”“并跑”甚至“领跑”,但在高端装备制造、核心材料、前沿颠覆性技术等方面仍有不足,自主创新能力与国际领先水平还有差距。随着全球能源革命向纵深推进,高效储能、先进核电、氢能等关键技术成为竞争焦点,唯有掌握核心技术自主权,才能在能源强国建设中占据主动。

建设能源强国,必须以科技创新为核心驱动力,推动能源技术实现从“跟跑并跑”到“创新引领”的硬核突破。一是聚焦关键技术攻关,突破发展瓶颈。发挥新型举国体制优势,集中力量攻克高效光伏电池、储能电池、大型燃气轮机、先进核电技术、CCUS核心技术等关键领域难题,推动核心装备与关键材料国产化、高端化。二是布局前沿颠覆性技术研发,抢占未来先机。围绕氢能、核聚变能、深海能源、空间能源等前沿领域,开展原创性、引领性技术创新研究,培育能源领域新质生产力。三是完善科技创新生态,激发创新活力。健全能源领域知识产权保护体系,优化科技成果转化机制,培育一批具有国际竞争力的能源科技企业与创新团队;加强国际科技交流合作,推动我国能源技术向全球领先水平迈进。

## 能源形态:实现从“黑色发展”到“美丽中国”的范式革命

绿色低碳是能源革命的基本方向,也是建设美丽中国、实现人与自然和谐共生的必然要求。过去,我国能源发展长期依赖煤炭等化石能源,形成了“高消耗、高排放、高污染”的发展模式,给生态环境带来沉重压力,制约了可持续发展。随着“双碳”战略的深入推进,由能源生产到能源消费全链条、全生态的绿色转型已成为能源发展的必答题,能源形态的绿色化转型迫在眉睫。



建设能源强国,必须推动能源形态向“美丽中国”所需的绿色低碳范式革命。一是理念重塑。牢固树立新发展理念,将“绿水青山就是金山银山”理念深度嵌入能源发展战略,坚持生态优先的价值导向,推动全社会形成绿色低碳的文化共识。二是生产变革。加速可再生能源规模化发展,提升风光水核等绿色能源占比,破解新能源消纳瓶颈,推动煤电灵活性改造与有序退出,实现化石能源清洁高效利用,构建多能互补的现代能源体系。三是消费转型。加快终端用能电气化、智能化改造,推动重点领域节能降碳,推广绿色用能模式,引导全社会形成绿色低碳的用能习惯。四是政策护航。完善能源绿色转型政策机制,健全碳市场、绿电交易、节能降碳激励约束体系,协同推进降碳、减污、扩绿、增长,推动能源发展形态全面绿色转型。

## 能源配置:实现从“粗放开发”到“精益利用”的效能变革

能源配置效率直接关系到发展质量和效益,是衡量能源强国建设水平的重要指标。长期以来,我国能源配置存在粗放式利用、供需错配、区域失衡等问题,加之部分领域能源利用效率偏低,全国统一的能源市场体系尚未完全建成,导致能源资源价值未能充分释放。

建设能源强国,必须推进能源配置效能变革,实现从“粗放开发”到“精益利用”的转变。一是坚持节约优先方针,不断提升能源资源利用效率。把节能作为能源发展的重要任务,加强重点用能单位节能监管,推动工业、建筑、交通等领域节能技术改造,不断降低单位GDP能耗。二是深化要素市场改革,有效实现能源资源优化配置。推进能源要素市场化改革,完善能源价格形成机制与市场交易体系,引导能源

要素向高效益、低排放、高产出的领域和企业流动;优化跨区域能源资源配置,完善西电东送、西气东输、东数西算、北油南运等跨区域能源输送网络,实现能源资源“全国一盘棋”调度。三是加强能源消费监管,充分释放能源资源价值。建立健全能源消费总量与强度双控制度,推动能耗双控与碳排放管控协同发力;推广智慧用能、精准用能模式,实现能源消费的实时监测、精准调控,提升能源配置的精细化、精准化水平,让能源资源的价值得到充分释放。

## 能源运行:实现从“人工调控”到“灵活智能”的模式跃迁

数字技术与能源系统的深度融合,是能源现代化的重要标志,也是提升能源运行效率的核心路径。随着数字技术、人工智能、大数据、物联网、云计算等新一代信息技术与能源产业深度融合,我国能源系统智能化水平有了显著提升。但是,当前我国能源系统运行在诸多领域和环节仍存在响应速度慢、调节精度低、灵活性不足等问题,难以适配大规模可再生能源并网、源网荷储一体化发展的需求。

建设能源强国,必须推动能源运行从“人工调控”向“灵活智能”的模式跃迁,打造智能高效的能源运行体系。一是推进智慧能源体系建设,实现全链条智能感知。依托新一代信息技术,推进智能电网、智能电厂、智慧油田、智慧煤矿、智慧储能设施建设,构建覆盖能源生产、传输、消费、存储全环节的智慧感知网络,实现能源数据的实时采集、传输、分析与应用。二是打造源网荷储一体化协同机制,提升系统灵活性。依托智能调度系统,实现可再生能源发电、电网输送、用户侧用能、储能调节的协同联动,提升能源系统对可再生能源的消纳能力,实现“源网荷储”双向互动,提升能源运行的稳定性与经济性。三是提升能

源运行智能决策水平,优化调度效率。依托人工智能、大数据分析等技术,构建能源运行智能决策模型,替代传统人工经验决策,提升能源系统对极端天气、突发故障等情况的快速响应能力,构建安全高效、灵活智能的现代能源运行体系。

## 能源治理:实现从“单一主体”到“多元协同”的体系重构

能源治理现代化是能源强国建设的制度保障,是推动能源领域高质量发展的关键支撑。长期以来,我国能源治理以行政指令为主,部分领域存在治理方式单一、权责划分不清、市场活力不足等问题,同时能源法律法规体系、监管机制、市场规则仍需进一步完善。随着能源领域改革的深入推进,必须构建与能源强国建设相适应的现代化治理体系,激发能源发展的内生动力。

建设能源强国,必须推动能源治理实现从“单一主体”到“多元协同”的体系重构。一是完善能源法治体系建设。加快推进能源领域法律法规立改废释工作,完善能源安全、能源市场、能源环保、能源科技等领域的法律法规,同时加强能源执法监管,做到能源治理“有法可依、有章可循”。二是深化能源体制机制改革。坚持有效市场与有为政府相结合,优化政府治理方式,推进能源要素市场化配置改革,完善能源价格形成机制、市场交易规则与监管体系,激发各类市场主体的创新活力与发展动力。三是构建能源多元共治格局。强化政府、企业、社会组织、公众在能源治理中的协同作用,加强能源领域信息公开,提升公众参与能源治理的积极性;同时深化国际能源合作,积极参与、引领全球能源治理规则制定和变革,推动构建公平合理、合作共赢的全球能源治理体系。

(作者系中国电力企业联合会专家委员、特约研究员)

# 推动煤电耦合生物质能源高质量发展

■靳雨琪 向柳 黎玺

煤电机组耦合生物质能源,作为一种技术成熟、见效较快的降碳有效路径之一,能够充分发挥生物质燃料低碳特性,实现煤电碳排放的精准管控与稳步下降,已受到行业内外的广泛关注和政策层面的重点支持。

近年来,煤电机组耦合生物质能源支持政策不断完善,国家发展改革委、国家能源局印发《煤电低碳化改造建设行动方案(2024—2027年)》,其中特别强调改造和建设方式包括生物质掺烧。今年颁布的《中华人民共和国生态环境法典》进一步强调国家鼓励合理开发利用生物质能,为煤电机组耦合生物质提供了法治引领。

目前,煤电机组耦合生物质能主要有两种技术路径:一是直接耦合燃烧,将预处理后的生物质与煤炭在燃煤锅炉中直接混合燃烧;二是气化耦合燃烧,生物质先经气化或热解生成可燃气体,再送入燃煤锅炉上的气体燃烧器燃烧;三是蒸汽耦合,

在燃煤锅炉旁新建独立生物质锅炉,产生的蒸汽共同进入汽轮机发电。三种技术路径各有优劣,直接耦合燃烧改造成本较小,但是燃烧效率较低,易对原有锅炉造成影响;气化耦合燃烧及蒸汽耦合燃烧燃料适应性较强,对原设备影响较小,但是占地面积大,改造成本高。因此,企业要根据机组情况、耦合比例、场地空间、改造成本等选择适合的技术路径。

然而,目前煤电企业使用生物质能进行降碳的意愿不强,主要包括以下三方面原因:

一是对生物质燃料认知不清晰。部分地区和企业对于生物质燃料的认识存在刻板印象,以为是无序进行燃烧排放从而产生环保问题,地方对生物质燃料作为降碳手段的宣传科普力度不大,导致大部分企业将生物质禁烧理解为禁止使用生物质,不清楚生物质作为燃料的低碳优势,认为煤电机组耦合生物质能不合规。

二是生物质可利用资源总量不确定。国家及多数省份都做过系统性的生物质可利用资源总量调研,目前数据存在全国有宏观、省级有概算、市县偏粗略的特性,且生物质资源受季节波动、区域竞争影响较大,无法准确预测区(县)范围内可利用的

资源总量,企业不敢盲目掺烧生物质,亟须打造量足且稳定的生物质供应链和基地。

三是能源及改造成本较高。一方面,由于生物质种类较多,来源呈现小而散的特点,收集存储难度较大,成本包括原料收购、收集加工、储存保管、管理人工成本等,未形成规模化产业链,其到厂价高于煤炭价格。另一方面,若采用煤电机组耦合生物质能,企业需进行相关改造,包括工程改造、购买设备、维护运营等相关成本。综合计算生物质颗粒燃料、粗加工生物质燃料、改造成本等,在煤炭价格偏低的情况下,将大幅增加其能源成本,就算考虑碳市场下的碳配额收益,企业经济账仍算不清。

为积极稳妥推进碳达峰碳中和,有效降低煤电机组碳排放强度,加快构建清洁低碳安全高效的新型能源系统,着力破解煤电清洁转型瓶颈,可从以下四个方面推动煤电机组耦合生物质能,实现传统煤电与生物质能的协同发展,助力电力绿色低碳高质量发展。

首先,提高对生物质资源燃料化利用的理解和认识。强化生物质燃料化利用科普宣传与政策解读,清晰区分规范燃料化利用与露天焚烧、违规焚烧的本质差异,明确生物质能属于国家法定可再生能源,具

备绿色低碳、循环利用的合法属性。持续推进煤电低碳化升级改造,积极支持现役煤电机组开展生物质耦合发电等技术应用,推动化石能源与可再生能源协同互补。生物质燃料化利用既是煤电低碳转型、可持续发展的重要路径,也能从源头替代散烧、减少露天焚烧,有效改善区域大气环境质量,助力实现碳达峰与生态环保协同增效。

其次,摸清县(区)级生物质资源可利用量。深入各县(区)开展生物质资源全面摸排与数据统计,按季节特征实施常态化实地调研,采取乡镇、村组分层抽样、现场核查与入户访谈相结合的方式,系统开展官方统计数据与现场实测数据交叉校验、比对分析,进一步提升数据真实性与准确性,为生物质资源可利用量精准核算筑牢坚实的数据基础。强化GIS技术在资源调查、空间分布、储量估算中的深度应用,推动生物质资源可视化监测、精细化管理、精准化管控,全面提升资源调查与管理的科学化、信息化水平。

再次,完善生物质资源收储运体系。严格规范生物质原料收集、仓储、转运全过程技术管理要求。收集环节统筹考虑作业区域布局、原料质量管控、标准化打捆、临

时堆放及防火、防潮、防散落等安全环保措施;仓储环节重点强化场地规范化建设,严格落实防火、防雨、防霉烂变质等管控要求;运输环节规范车辆装载与转运管理,强化运输过程防火安全与扬尘防控。聚焦破解各环节痛点难点,打通原料收集、中转、仓储、配送全链条,健全跨环节协同工作机制与标准化体系,构建稳定高效、安全可控、可持续供给的生物质原料保障体系。

最后,补齐生物质燃料价格短板。立足生物质资源禀赋与下游利用需求,科学统筹项目布局与点位选址,合理确定项目建设规模与原料供应服务半径,有效降低收储运环节综合成本,着力补齐价格竞争力短板。充分运用数字化、智能化、机械化技术装备,减少原料转运损耗,稳定原料品质,持续提升生物质能综合性价比。健全完善全产业链协同联动机制,推动原料供需精准对接、高效调度与闭环管理,加快构建成本可控、品质稳定、运行高效、可持续发展的生物质能产业发展新格局。

【靳雨琪系四川省环境政策研究与规划院(美丽四川建设研究中心)助理工程师;向柳系四川省环境政策研究与规划院(美丽四川建设研究中心)高级工程师;黎玺系四川省节能低碳协会总工程师】