



# 加快建设能源互联网 助力提升我国能源安全韧性

上接 1 版

三是转型保供挑战叠加,能源系统安全复杂性大幅提高。我国能源消费以化石能源为主,2021年比重约为80%,其中绝大部分为煤炭。面对实现“双碳”目标的迫切需要,我国一方面要转变以煤为主的发展路径,稳步推进退煤降碳,另一方面要应对气候环境对清洁能源发电稳定性的影响,系统安全复杂性大幅提升。例如,受今年夏季极端高温干旱天气影响,7-8月四川水电出力较常年减少五成、光伏发电量同比下降6%,同时因高温引起降温负荷大幅增长,造成供电紧张。如何在确保能源安全可靠供应的前提下,实现清洁能源对化石能源的有序高效替代,推动能源体系从高碳向低碳转型,需要加强研究、统筹谋划。

总体看,化石能源资源的先天不足和过度依赖化石能源的不合理开发方式,是导致我国能源供应总体偏紧、油气过度依赖进口、能源转型任务艰巨的根源,已成为制约我国能源安全的突出矛盾。有效破解困局,需要彻底摆脱传统能源发展路径束缚,关键要坚持新发展理念和系统观念,以大格局、大思路深入推进能源安全新战略,开辟一条适应现代化建设和高质量发展需要的能源转型新道路。

## 统筹生产、消费、市场各环节,协同推进能源转型

面对保障经济社会发展、应对地缘政治摩擦,实现“双碳”目标等多重压力,如何将能源的饭碗端稳拿牢,是我国亟需研究解决的重大战略问题。近年来,全球能源互联网发展合作组织结合“双碳”目标,对我国清洁能源资源、电力发展需求、能源基地开发及外送规模等进行了系统研究,深刻认识到以提高安全性、实现能源自主为导向,统筹生产、消费、市场各环节推动能源体系变革转型,让能源开发供给更充足、更绿色,配置利用更安全、更高效,是保障我国能源安全的根本途径。

### (一)以清洁替代加速摆脱化石能源依赖,构建新型能源供应体系

破解化石能源资源紧缺困局,关键要找到充足的替代能源,大力发展清洁能源就是答案。我国太阳能和陆上风能资源丰富,目前利用率仅为0.2%、5%,经过开发利用,完全能够满足我国发展需求。当前,以化石能源为主的发展模式仍在我国根深蒂固,推进能源转型,应以加快清洁能源“立”的速度助推化石能源“破”的进程,稳步实现清洁能源对化石能源的全面替代,提高能源自给能力和保障水平。

用好西部北部风光资源是构建新能源供给消纳体系的重中之重。我国西部、北部地区太阳能和风能资源占全国总量的80%,资源条件好、开发成本低,适宜集中式、规模化开发,是“风光无限”的能源宝藏。据测算,以库布其、乌兰布和、库姆塔格、柴达木等沙漠戈壁为重点,加快推进内蒙古、新疆、甘肃、青海等地区大型新能源基地建设,到2060年,我国西部、北部风电和太阳能发电装机将达15亿千瓦、27亿千瓦,占比将达全国总装机的一半以上,成为我国能源供应的主力军。

加快开发西南水电将促进能源清洁化转型提供有力保障。水电是重要的清洁能源,可与风电、太阳能发电形成有效互补。我国水电技术可开发量约为6亿千瓦左右,目前开发率约为50%,未开发部分主要集中在西南地区。加快金沙江、雅砻江、澜沧江、怒江、雅鲁藏布江等流域水电基地建设,到2060年,我国常规水电资源将总体开发完成,为能源清洁化供应发挥重要作用。同时,在西南水电开发规划中,可考虑将跨区调水工程与水电站、抽蓄电站建设结合,通过异地抽发和接力方式将西南

流域的水送往青海、甘肃、新疆等地。这既能缓解西北地区水资源短缺问题,又能发挥跨流域水电联合调节特性和跨地域资源互补性强的优势,推动西部水、风、光一体化发展,更好促进新能源大规模开发利用。据初步估算,到2060年,我国西南地区水电装机规模将超3亿千瓦,具备季、年、多年调节能力的装机占比可达45%,可满足3-5亿千瓦新能源装机的调峰和打捆外送需求;如考虑建设异地抽发跨流域调水工程,可进一步促进西部新能源开发利用。

稳步开发海上风电是满足东中部中远期能源需求的重要途径。海上风电是新能源发展的重要领域,具有不占用土地、出力波动小、利用小时数高等优势。我国具有较好的海上风电资源,5-50米水深、70米高度可开发资源约为5亿千瓦。稳步有序推进广东、江苏、福建、浙江等沿海地区千万千瓦级海上风电基地建设,到2060年装机容量预计可达1.6亿千瓦,成为东中部地区重要的清洁能源。

因地制宜推动分布式能源开发将为保障能源供应提供有益补充。分布式能源就地取能、分散灵活、靠近用电地区,但资源总量有限、利用小时偏低。综合考虑资源禀赋和技术经济性,在条件适宜地区推广屋顶光伏、分散式风电以及“农光互补”、“渔光互补”等新能源扶贫项目,预计到2060年,我国分布式新能源装机将达到15亿千瓦,以灵活便捷的方式进一步满足当地用能需求。

### (二)以电能替代加速改变能源使用方式,打造以电为中心的能源消费体系

油气对外依存度高是制约我国能源安全的重大隐患,以自主生产的清洁能源替代进口油气是解决问题的有效途径。大力发展清洁发电技术,打造以电为主的能源消费体系,不但可以推动以电代煤、代油、代气,大幅减少化石能源使用,还能催生电制燃料新产业,丰富能源供应渠道,对于提高我国能源供给韧性,掌握安全主动权具有重要意义。

推进各领域电能替代是摆脱终端用能对化石能源依赖的最有效途径。实施电能替代,构建以清洁电力为基础的产业体系和生活方式,能够有效摆脱能源消费对煤、油、气的依赖。工业、交通、建筑作为终端用能的主要领域,是电能替代的重点行业。工业领域应加快高耗能行业电气化升级,大力培育新兴产业和绿色产业,推动施工等各类机械电气化,建立低碳工业体系;交通领域应大力推动电动汽车、电气化铁路、港口岸电、内河航运电气化发展,实现从油驱动向电(氢)驱动转变;建筑领域应普及建筑节能改造和智能家电应用,推动炊事、供热、制冷等电气化。据估算,通过电能替代,到2050年,我国每年可减少进口石油和天然气3.8亿吨、1500亿立方米,分别相当于2021年进口总量的76%和90%,能源自主水平大幅提升。

大力发展电制燃料产业是深入推动工业、交通等领域电能替代的创新举措。电制燃料利用清洁电能和水、二氧化碳等物质生产氢气、甲烷等燃料,在冶金、化工、长途货运、航空航海等难以直接实施电能替代的领域具有较大应用空间,能够进一步减少终端用能对化石能源的需求。同时,电制燃料的产能主要来自清洁能源发电,将有效摆脱对进口油、气的依赖。我国已是全球最大的氢能生产和消费国,今年3月发布了氢能产业发展中长期规划,加快电制氢等产业发展前景广阔。初步估算,2060年我国清洁能源制氢产量将达到近1亿吨,电制甲烷产量将达到500亿立方米以上。

### (三)发挥全国统一大市场作用,打破能源大范围优化配置“梗阻”

市场是连接生产和消费的纽带。我国能源资源与需求呈逆向分布,构建清洁能源大范围配置、电能大规模利用的能源生产消费新格局,需要发挥市场的决定性作

用。当前,我国能源领域市场化建设仍有较大空间,清洁能源大规模消纳、市场分割、价格有效调节供需等环节仍存在尚未有效解决的“梗阻”,迫切需要加快电力市场建设,通过体制机制创新破解上述问题。

以全国统一电力市场为平台,推动清洁能源大范围优化配置。近年来,我国电力市场建设稳步推进,2021年市场化交易电量达3.7万亿千瓦时,但其中清洁能源发电和省间电力交易比重偏低,占比分别为3%、18%,市场对于清洁能源配置的促进作用亟待增强。加快构建全国统一电力市场,促进跨区跨省电力交易,将打破省间壁垒和市场分割,推动清洁能源大范围配置,充分发挥大市场作用和优势,保障能源经济高效、安全可靠供应。同时,推动建立适应高比例新能源的市场机制,通过签订中长期合约、参与市场竞价、科学考核弃电量等方式,提升清洁能源市场化交易规模和水平。适时研究推动电力市场与碳市场融合,构建全国电—碳市场,整合能源和气候领域治理机制、参与主体和市场功能,实现能源转型与碳减排协同推进。

以科学电价机制为引导,更好促进能源市场化交易。“煤电价格倒挂”以及煤电转型缺少有效价格传导机制,是长期制约我国电力供应的重大问题。破解上述难题,需要以电力市场为载体,健全电价形成机制,充分调动各方参与电力供需平衡的积极性和主动性。加快完善一次能源价格、上网电价、销售电价联动机制,适时推动形成电价与碳价有机融合的价格体系,将真实反映能源价格和供求关系,有效体现能源供应、碳排放和生态环境成本。建立健全调峰等辅助服务补偿和跨区跨省交易机制,科学测定辅助服务成本,加快形成市场化的输电权分配和交易模式,将最大程度利用跨区跨省输电通道和调峰资源,促进清洁电力在全国范围高效配置。

## 发挥煤炭兜底保障和战略资源作用,为能源转型和可靠供应保驾护航

以煤为主的能源禀赋是我国的基本国情,如何用好、打好煤炭这张“牌”,统筹推进能源转型与保供,事关我国能源安全根基。2021年,煤电以接近50%的装机占比生产了全国60%的电量,承担了70%的顶峰任务,为保障能源安全稳定供应发挥了“顶梁柱”和“压舱石”作用。深刻新形势下保障能源安全的重要性,推动以清洁替代和电能替代加快能源转型,仍需发挥煤炭的基础性、战略性作用,守住能源安全底线。

### (一)推动煤电向调节性电源转型,是实现存量煤电经济高效利用与平稳有序转型的根本出路

煤电与新能源在能源转型中既是替代关系,又需相互协调。我国煤电规模大、占比高,平均服役时间仅10多年,如何在用好现有煤电基础上,经济高效实现能源清洁化转型是一项艰巨任务。从现实看,煤电需要调整功能定位,从主体电源向调节性和保障性电源转变,在保安全、促转型中发挥关键作用。以控总量、调布局为重点,推动我国煤电装机和发电量在2030年前达峰,布局由东中部向西部北部转移,将促进煤电与新能源优化组合,平稳有序实现煤电体系转型。同时,进一步加大煤电机组灵活性改造力度,充分发挥煤电经济高效的灵活调节性能和极端条件下的保供作用,为促进新能源消纳提供重要支撑。

### (二)推动煤电清洁低碳利用,是实现“双碳”目标的必然要求

能源转型是个长期过程,不能一蹴而就。面对减排与保供的双重压力,需要通过清洁高效利用煤电资源,为新能源发展保驾护航,实现主体能源的平稳过渡。一方面,以“高质量、低排放”为原则,加快煤电机组转型升级和落后产能淘汰,以新技术、新工艺、新标准推动煤电节能减排,

实现全过程、全要素清洁化和低碳化。另一方面,研究采用碳捕集与封存、自然碳汇等措施,为2060年前实现煤电净零排放提供支撑。

### (三)推动煤炭向战略性资源转型,是进一步夯实我国能源安全根基的重要举措

煤炭作为我国自主可控、具有一定储量优势的一次能源,是我国确保能源安全的底气所在。受日益复杂的国际局势影响,全球能源供应反复收紧、能源价格大幅波动,在这样的大环境下,我国应将煤炭作为重要的战略资源“扩储缓用”,提升我国能源供给的弹性和韧性。一方面,加大力度勘探新的资源,不断扩大煤炭储备,提高能源自给能力,做到“家中有粮、心里不慌”;另一方面,要按照节约、高效、可持续的原则科学合理开发使用现有煤炭,留存更多的资源应对未来的“不时之需”,切实发挥煤炭的战略资源和兜底保障作用。

## 构建以新型电力系统为主体的中国能源互联网,是推动能源转型、提高安全韧性的根本举措

稳步推进中国能源互联网建设是习近平总书记立足国情作出的重要指示,是推动我国能源转型的根本途径。2021年,围绕“双碳”目标,习近平总书记进一步提出构建新型电力系统、打造新能源供给消纳体系,为建设中国能源互联网,加快能源绿色转型指明了方向。

新型电力系统是融合低碳能源、先进输电、信息通信、网络控制等前沿技术,以交直流混联大电网为主导,配电网、微电网、分布式能源系统等多种形态电网为支撑,推动各类集中式和分布式清洁能源大规模开发、配置、利用的现代电力系统,具有绿色低碳、广泛互联、坚强可靠、智能高效、柔性灵活等突出特点,将实现源网荷储协同、多能互补利用,打造清洁主导、电为中心、互联互通的能源互联网,为实现我国能源有序转型和安全供应发挥枢纽平台作用。

### (一)中国能源互联网发展思路清晰、工作重点突出

构建多能互补、跨区协同的送端系统。西北、西南、东北及华北北部是我国的大型清洁能源基地,应加快各区域协同开发,推动水电、风电、太阳能发电等清洁能源多能互补协调发展,为我国经济社会发展提供充足、经济、可持续的电力保障。其中,西北、东北及华北北部地区将利用构网型逆变器等技术打造清洁能源汇集网络,并配套建设部分火电机组和新型储能,满足电压支撑和灵活性调节需求,保障清洁能源开发需要;西南地区将以特高压电网为平台,主要依托水电机组和异地抽发调水系统,并适度采用构网型逆变器设备,为水、风、光一体化开发提供电压支撑和有功调节。同时,积极研究构建西部大电网,通过西北与西南电网互联,进一步发挥西南水电的灵活性调节能力,支撑西部清洁能源大规模开发利用。

构建坚强可靠、灵活智能的受端系统。华北(京津冀鲁)、华东、华中、南方(粤桂琼)等东中部地区是我国的用电中心,预计2060年电力需求占我国总用电量的60%以上,其中约70%依靠区域内风电、光伏、水电、气电等满足,30%依托特高压由西部、北部送入。为支撑区外清洁能源大规模送入和区内清洁能源消纳,需要在东中部加快构建以特高压交流为骨干网架的坚强智能电网,大力建设抽水蓄能等调节性电源提高调峰能力,采用构网型逆变器、调相机等技术增强受端系统电压支撑能力,全面提升电力配置调度能力和系统灵活运行水平,确保电力可靠供应。同时,积极应用智慧城市、智能家居、现代通信、智能控制、需求侧管理、虚拟电厂等创新技术,提升分布式能源灵活接入和电网安全运行水平,加速终端用能领域再电气化进程,满足多元化、智能化、便捷化用能需求。

构建全国互联、配置高效的特高压网络。特高压输电是我国原创、世界领先的重大技术创新,为我国优化资源配置、保障电力供应、改善生态环境等发挥了重要作用。建设中国能源互联网,需要进一步发挥特高压输电距离远、容量大、效率高、损耗低、占地省、安全性高等显著优势,在送、受端系统之间依托特高压电网构建横贯东西、纵贯南北的全国“电力高速公路网络”,保障西部北部清洁能源基地大规模外送,促进跨区跨省资源优化配置和互补互济,为高质量建设新能源供给消纳体系提供重要载体和平台保障。

### (二)中国能源互联网将统筹发展与安全,协同实现能源转型与能源保供目标

大幅提升清洁能源供应能力。构建中国能源互联网,促进“源网荷储”多向互动和“风光水火”多能互补,既能保障清洁能

源大规模开发、高比例消纳的安全性和可靠性,又能发挥煤电的调节性电源和兜底作用,让让清洁能源“立得快”、化石能源“破得稳”,实现发展与安全协调统一。依托中国能源互联网,清洁能源开发速度将提高1.5倍以上,预计到2060年,我国清洁能源占一次能源消费比重将超过90%,发电量占比将达95%以上,为经济社会发展提供充足、经济、可靠的能源保障。

有效破解油气进口依赖难题。中国能源互联网作为推动工业、交通、建筑等领域电能替代的基础平台,将引领能源消费向电气化加快转型,大幅降低我国油气消费规模和进口依赖度。依托中国能源互联网,全社会电气化率增速将提升1.5倍以上,到2060年,绿色电能和电制燃料将替代近90%的化石能源消费,我国能源供应将基本实现自给自足,摆脱油气供给受制于人局面。

显著增强能源应急保障能力。在重大灾害情况下,局部电源的调节能力难以满足本地功率平衡需求。构建中国能源互联网,能够充分发挥特高压电网大范围配置优势,调用全网资源协同参与突发事件处置,显著提升电网的应急保障和风险防御能力。例如,2020年2-4月新冠肺炎疫情发生初期,我国西部、北部依托特高压电网向华中累计送电超过150亿千瓦时,有力保障了湖北等地抗疫用能。今年夏季,德宝直流和渝鄂背靠背直流向川渝地区反送约800万千瓦电力,为缓解四川用电紧张局面发挥了重要作用。

## 加快建设中国能源互联网将带来拉动经济、保护环境等多重效益,是一举多得战略举措

发挥我国特高压、智能电网、清洁能源等领域优势,加快建设中国能源互联网,不仅能够推动我国能源平稳转型,提升能源安全韧性,还将创造经济、社会、环境等领域巨大综合效益。

拉动经济增长。能源互联网是资金密集型产业,投资规模大、覆盖面广、带动力强。在外部环境不确定性增加、经济下行压力增大的形势下,加快中国能源互联网建设,能够带动可持续的有效投资,引领产业发展、创造更多就业,为促进经济增长发挥“火车头”作用。据估算,“十四五”期间中国能源互联网投资可达7-8万亿元,增加就业岗位超过900万个,稳投资、保就业效益显著;到2060年,累计投资约为120万亿元,拉动全社会投资超过400万亿元,对GDP增长贡献率超过2%,为经济持续增长注入强劲动能。同时,构建中国能源互联网将加快西部、北部清洁能源大规模开发外送,变资源优势为经济优势,有力带动西部大开发和东北全面振兴。初步估算,到2060年,我国西电东送、北电南供规模将超过6亿千瓦,每年可为送端地区创收超6000亿元,有力促进区域协调发展。

改善生态环境。构建中国能源互联网,加快实施清洁替代和电能替代,将推动实现“双主导、双脱钩”(能源生产清洁主导、能源消费电能主导、能源系统与碳脱钩、经济发展与碳排放脱钩),不仅能根本解决发展与减排的矛盾,以较低成本、较小代价、更快速度实现碳达峰目标,还能从源头减少化石能源生产、运输和使用带来的污染物排放,促进美丽中国建设。预计到2060年,我国将实现二氧化碳净零排放,每年减排二氧化碳、氮氧化物、细颗粒物等污染物约3500万吨,空气污染物浓度较2015年减少80%以上,实现能源与环境协调发展。

提升核心竞争力。能源互联网是技术密集和清洁绿色产业,建设中国能源互联网,能够促进以化石能源为主体的传统产业集群向以清洁电力为主导的智能化绿色产业集群转型升级,有力带动新能源、新材料、特高压、电动汽车、5G、大数据、人工智能等前沿技术创新突破,培育清洁替代、电能替代、能源互联、储能、碳捕集与封存等一批战略新兴产业,占据新一轮科技革命制高点,极大提升我国综合国力。同时,加快中国能源互联网建设,促进能源、交通、信息三网融合发展,将打造集成共享、高效协同的新型基础设施网络,为经济社会发展提供新引擎、注入新动能。

当前,我国正在加快推进经济社会高质量发展,立足基本国情和能源转型要求,以中国能源互联网为载体,遵循“先立后破”原则,加快清洁能源开发利用,稳步推进化石能源转型,构建以我为主、清洁低碳、安全高效的现代能源体系,将统筹发展与安全、转型与保供,全面提升我国能源安全韧性和可持续发展能力,牢牢掌握能源安全主动权,护航全面建设社会主义现代化国家新征程。

(作者系全球能源互联网发展合作组织驻会副主席,国家电网有限公司原副总经理)



位于安徽宣城  
的±1100千伏古泉换  
流站是新疆昌吉—安  
徽古泉±1100千伏特  
高压直流输电工程  
的受端站。该工程被  
誉为“世界四最”电  
网工程——世界电压  
等级最高、输送容量  
最大、输电距离最  
远、技术水平最  
先进。  
全球能源互联网  
发展合作组织/图