

高端访谈

中国科学院院士、复旦大学未来能源高等研究院院长、中国科学技术大学原校长包信和谈新型能源体系——

逐绿向新,浙江如何“加速跑”

提要:构建新型能源体系是立足“双碳”目标、关乎能源安全与高质量发展全局的系统性变革,涵盖生产、使用、存储、输送等全链条,需要统筹兼顾、稳步推进。浙江加快建设新型能源体系,关键在于“补短板、强优势”,不盲目追求能源生产规模,而要在技术创新、模式创新、制度创新上做文章,打造“资源小省、能源强省”的转型样板。

■ 本报记者 吴晔 周宇晗
通讯员 姚燕芬

国家“十五五”规划建议将“加快建没新型能源体系”作为“十五五”时期加快经济社会发展全面绿色转型的重要任务,提出“持续提高新能源供给比重”“推进行化石能源安全可靠有序替代”等要求。浙江作为资源小省、用能大省,提出“十五五”时期要“加快构建清洁低碳、安全可靠、高效节能的新型能源体系”。如何应对能源绿色低碳转型挑战,更好把握机遇,加快建设新型能源体系?近日,本报记者专访了中国科学院院士、复旦大学未来能源高等研究院院长、中国科学技术大学原校长包信和。

实现“绿、保、稳”的战略之举

记者:“十五五”时期是基本实现社会主义现代化夯实基础、全面发力的关键时期。如何认识在“十五五”时期加快建设新型能源体系的重要性和迫切性?

包信和:构建新型能源体系,绝非简单的能源结构调整,而是立足“双碳”目标、关乎能源安全与高质量发展全局的系统性变革,是涵盖生产、使用、存储、输送等全链条的协同变革,涉及生产方式、生活方式的全面绿色转型,需要统筹兼顾、稳步推进。“十五五”时期是衔接“十四五”时期与2035年远景目标的关键五年,实现高质量发展需要稳定、绿色、高效的能源支撑,构建新型能源体系,是实现“绿、保、稳”三者统一的关键路径。

“绿”是低碳发展的必然要求。这意味着减少碳排放,改善生态环境,践行“双碳”承诺,守护蓝天碧水,让天更蓝、水更清。我国能源禀赋呈现“富煤、贫油、少气”的特征,2025年煤炭消费量占能源消费总量比重仍超过50%,年二氧化碳排放量的增量虽呈下降趋势,但总量占全球比例依然较高。2020年9月22日,在第七十五届联合国大会一般性辩论上,习近平主席郑重宣布:“中国将提高国家自主贡献力度,采取更加有力的政策和措施,二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值,努力争取2060年前实现碳中和。”建设新型能源体系,本质上是通过能源结构转型升级减少碳排放,既兑现“2030年前碳达峰、2060年前碳中和”的庄严承诺,也为全球气候治理贡献中国力量。

“保”是能源安全的战略选择。核心在于保障能源安全,降低对外依存度,缓解国际能源价格波动带来的冲击和地缘政治带来的风险。当前,我国油气对外依存度高,超70%的石油、50%左右的天然气依靠进口,而能源供应易受国际地缘政治影响。构建以非化石能源为供应主体、化石能源为兜底保障、新型电力系统为关键支撑、绿色智慧节约为用能导向的新型能源体系,能降低对外部能源的依赖,牢牢掌握能源安全主动权。

“稳”是经济社会健康发展的坚实支撑。稳定的能源供应和合理的能源价格是经济社会持续健康发展的坚实支撑,是推动产业升级、增强国际竞争力的重要引擎。绿色低碳转型已成为产业升级的核心方向,我国“新三样”产业(新能源汽车、锂电池和光伏产业)已取得国际竞争优势。持续推进新型能源体系建设,能进一步带动上下游产业技术创新,推动工业体系、产品结构向高端化、绿色化转型,为经济增长注入强劲新动能。

以科技创新塑造新型能源体系之核

记者:构建新型能源体系,我们面临哪些主要技术挑战,又有哪些突破方向?

包信和:新型能源体系建设,本质上是一场能源科技的革命。没有核心技术突破,就没有新型能源体系的坚实支撑。目前最突出的挑战有三个方面:一是新能源的“不稳定性”问题,风能、太阳能受天气影响显著,存在“看天吃饭”的波动性——白天光照强、晚上没太阳,有风发电多、无风发不出,这对电力系统稳定运行构成严峻考验。二是“并网消纳”难题,大量分布式新能源电站接入电网,要求电网具备更强的调节和承载能力,否则容易出现“发得出、送不走、用不上”的困局。特别是在东西部能源协作中,需要进一步优化能源配置,完善能源基础设施网络,统筹好东部产业发展、西部绿电外送和本地消纳之间的关系。三是成本与效率平衡问题,部分新能源技术和储能设备的初期投入较高,规模化应用还需要通过技术迭代降低成本。

但挑战之中蕴藏机遇。破解这些难题,关键要抓好三大技术方向:首先是聚力基础研究突破。要聚焦新能源材料、储能原理、高效转化等核心领域,破解源头上的“卡脖子”问题。例如研发更高效



航拍下的浙江省杭州市临安区太湖源镇50兆瓦集中式光伏电站。

本报记者 姚颖康 通讯员 胡建强 摄

率、宽光谱的光伏电池材料,提升单位面积发电量,特别要面向东部光能资源较为贫乏地区的需求,开发寿命更长、容量更大、更加安全可靠的储能材料和器件,增强电力储存的可靠性。

其次是加快技术集成创新。新型能源体系并非单一技术的叠加,而是多技术的系统融合。例如推进“风光储一体化”,将风电、光伏与储能设备结合,并通过智能调控系统,提升绿电输出的稳定性,让不稳定的绿电变得“靠谱”;构建“源网荷储”协同体系,实现发电侧、电网侧、用户侧和储能侧的动态联动,形成类似精密“能源生态系统”的平衡机制。

最后是强化数字技术赋能。利用智能电网、能源大数据平台等技术,实现能源供应与需求的实时互动,从“单向调节”转向“双向匹配”,提升整个能源体系的运行效率,这也是未来能源科技创新的重要方向。浙江的数字经济优势在这方面能发挥巨大作用。通过大数据、人工智能、物联网等技术,搭建智慧能源管理平台,实现对电力生产、传输、消费全链条的实时监测与精准预测,从而优化电力调度,提升能源整体利用效率。

记者:科技创新的最终目的是服务产业创新。请您进一步谈谈,如何实现能源领域科技创新和产业创新的深度融合?

包信和:第一,强化企业创新主体责任。鼓励能源企业与高校、科研院所共建创新平台,围绕产业实际需求开展联合攻关。特别是在东西部能源协作中,需要进一步优化能源配置,完善能源基础设施网络,统筹好东部产业发展、西部绿电外送和本地消纳之间的关系。三是成本与效率平衡问题,部分新能源技术和储能设备的初期投入较高,规模化应用还需要通过技术迭代降低成本。

但挑战之中蕴藏机遇。破解这些难题,关键要抓好三大技术方向:首先是聚力基础研究突破。要聚焦新能源材料、储能原理、高效转化等核心领域,破解源头上的“卡脖子”问题。例如研发更高效

完整产业链,应引导企业加大研发投入,推动从“制造”向“创造”升级,掌握核心技术专利,实现能源领域的科技自立自强。

第二,打通科技成果转化“最后一公里”,加速成果转化。当前,不少实验室里的先进技术受限于缺乏中试平台、资金不足等原因,难以落地应用。政府应发挥桥梁作用,通过设立专项基金、建设中试基地和验证中心等方式,让科研成果能快速走向市场。当前,浙江已认定了一批“双碳”领域全省重点实验室,应推动其与企业建立常态化合作机制,加强科研与市场的有效衔接,针对海上风电、新型储能等重点发展领域,联合开展定向攻关。

第三,以能源科技突破催生和引领新产业、新业态。例如随着新能源汽车普及,动力电池回收利用产业正在兴起;零碳园区建设开辟了节能改造、碳监测等新赛道。浙江要提前布局这些未来产业,培育绿色增长新引擎,让能源转型既能提升发展的“含绿量”,也能提升经济的“含金量”。

浙江能源转型关键在于创新

记者:浙江的能源资源禀赋并不占优。您认为,浙江应如何扬长避短,推动能源转型,构建新型能源体系?

包信和:构建新型能源体系,对浙江而言,既是一项必须完成的政治任务,也是一次抢占未来发展先机的战略选择。

浙江能源转型的关键在于“补短板、强优势”,不盲目追求能源生产规模,而要在技术创新、模式创新、制度创新上做文章,打造“资源小省、能源强省”的转型样板。

首先,充分发挥地形与区位优势,做强特色清洁能源供给。浙江“七山一水二分田”的地形适合发展抽水蓄能,而抽水蓄能是目前技术最成熟、经济性较优的规模化储能方式,应加大布局力度,为可再生能源消纳提供保障。同时,依托绵长海岸线,浙江近海风电资源丰富,要重点突破深远海风机研发、海上风电并网和海水(包括直接和间接路径)制氢等关键技术,推动海上风电规模化发展,弥补陆上光伏资源不足的短板。此外,要持续推进核电项目落地和特高压工程建设,通过“外电入浙”与省内清洁能源互补,优化能源供给结构。

其次,聚焦能源科技与装备产业,打造核心竞争力。这一轮能源革命的重要特征是从“资源依赖”转向“技术引领”,浙江虽然能源资源有限,但在数字经济、高端制造等领域具有明显优势。应重点发展高效光伏电池、氢氨醇技术、储能设备、智能电网等高端产业集群,通过技术进步弥补资源不足。同时,推动能源产业与数字技术深度融合,构建智能化能源调度体系,提升能源利用效率,这也是浙江最具潜力的发力点。

再次,创新体制机制,破解转型痛点、应对外部挑战。作为外贸大省,浙江需积极面对欧盟碳边境调节机制等国际

碳壁垒,加快建立健全碳核算、碳足迹追溯体系,使绿色产品的低碳属性可测量、可验证,在国际贸易中占据主动。针对国家级零碳园区建设,要系统总结分布式能源利用、产学研协同创新的经验,形成可复制推广的模式,通过“微循环”构建区域能源平衡体系。

最后,强化全民节能理念,在全社会形成能源绿色低碳转型的共识。能源转型不仅是产业和技术的变革,也需要每个人的参与。应积极倡导绿色生活方式,从合理控制空调温度、节约用电用水等点滴做起,通过全社会节能意识的提升,降低能源消费总量,为能源转型留出更大空间。浙江民营经济活跃、创新氛围浓厚,只要找准定位、聚焦优势,完全有能力在新型能源体系建设中走出特色之路,为全国同类地区提供示范。

能源转型是一场持久战,也是一场攻坚战。在我看来,浙江完全有能力通过创新实现“加速跑”,在新能源关键核心技术攻关、破解体制机制障碍上取得更多突破。期待浙江能率先建成新型能源体系,实现生态效益、经济效益、社会效益的统一,为全国提供可复制、可推广的浙江经验。

(本期栏目协办
单位:浙江省科学技术协会、德清县浙工
大莫干山研究院)



专家简介:包信和,物理化学家,中国科学院院士、发展中国家科学院院士、英国皇家化学会荣誉会士。曾任中国科学院大连化学物理研究所所长,复旦大学常务副校长和中国科学技术大学校长等职,现任复旦大学教授、未来能源高等研究院院长。第九届、十届、十二届、十三届、十四届全国人大代表,第十三届、十四届全国人大常委会委员。主要从事能源高效转化相关的表面科学和催化化学基础研究,聚焦新型催化材料创制及碳基资源(天然气、煤等)清洁高效转化过程,创立了“纳米限域催化”理论,推动甲烷、煤基合成气直接转化制烯烃等高值化学品技术突破,为碳基资源清洁利用开辟新路径。曾获2005年国家自然科学奖二等奖、2020年国家自然科学奖一等奖、国际天然气转化杰出成就奖等。

纵横谈

加快推动新型储能向“技术引领”转型

■ 翁雷

能源保障和安全事关国计民生,是须臾不可忽视的“国之大者”,而储能环节在能源保障和安全中扮演着核心角色,是实现能源高效、稳定的关键支柱。国家“十五五”规划建议提出,加快建设新型能源体系,其中包括“大力发展战略性新兴产业,培育能源领域新质生产力,进一步扩大内需,推动新型储能规模化建设和高质量发展,并提出“应用场景持续丰富”“多元技术逐步成熟”“系统性能显著提升”“产业创新稳步增强”等目标。

相关数据显示,截至2025年9月底,我国新型储能装机规模超过1亿千瓦,装机规模占全球总装机比例超过40%,已跃居世界第一。当然,离2027年全国新型储能装机规模达到1.8亿千瓦以上的目标,还有一定距离。我认为可以在电化学储能等热门领域率先突破,加快摆脱资源依赖,拓展增长空间,这对于保障能源安全也具有战略意义。举例来说,锂离子电池是电化学储能的主导技术。截至2024年底,锂离子电池技术路线以96.4%的占比主导市场。锂离子电池深度依赖锂资源,中国的锂矿储量全球占比为16.5%,却主导着全球70%的锂化合物(如碳酸锂、氢氧化锂等)的精炼和加工环节,原材料依靠进口。近年来,国际市场碳酸锂价格

出现大幅波动,对于能源安全和产业稳定都是不利的。此外,人工智能、新能源汽车、光伏、风电等新兴产业也刺激了铜需求的增长,推动铜从传统工业金属向战略资源转型,而中国铜矿储量仅占全球4%左右,对外依存度也很高。

近年来,浙江持续推进绿色低碳发展和能源保供稳价工程,大力发展风光水核等清洁能源,引入西北风光电、西南水电等省外绿电通道,煤炭消费占比低于全国15个百分点左右,用电量中每3度电就有1度绿电。

“十四五”期间,浙江全省可再生能源装机实现翻两番,历史性超过火电,占比达到50%左右,光伏取代煤电成为了省内第一大电源。

2025年,浙江新增可再生能源电力装机占比达65%左右。截至2025年11月底,省内清洁能源发电量1795亿度,占全社会电量的36%。

通过科学实施能耗调控,合理控制煤炭消费,预计2025年全年能耗强度下降4.0%以上。

数据来源:浙江省发展改革委、浙江日报 制图:潘泓璇

作为资源小省、用能大省,浙江大力发展战略储能,可以为全国以技术引领摆脱资源依赖先行示范。面对煤、油、气等资源禀赋不足,浙江多渠道扩大核、风、光、水等清洁能源供给,并借助地理优势大力发展抽水蓄能,提升能源储存和利用效率。当前,浙江储能产业正处于规模扩张与结构调整并行的关键阶段。政策支持下,储能装机快速增长,2024年储能、光伏消纳率保持100%,同时,相关产业正从单纯追求装机量向注重技术质量和优化结构转型,低效项目有序退出,电源侧储能调频性能的技术水平大幅提升。

面向未来,浙江发展新型储能主要面临两大机遇:一是产业升级与技术创新的机遇。浙江省“十五五”规划建议明确提出,加快构建清洁低碳、安全可靠、高效节能的新型能源体系,其中包括“推进抽水蓄能、新型储能有序发展”。要实现这一

对成本极度敏感、对能量密度要求不高的电网侧和发电侧储能,在新型电动车领域,比如电动两轮车、低速电动车,在基站备用电源比如对安全性和低温性能有要求的通信基站后备电源供给上,钠离子电池都具有广阔的应用场景。

当前,大规模生产钠离子电池还需要突破一些技术瓶颈。负极的技术难点主要是批量精细烧结工艺的实现和产品批次的稳定性;正极则须应对贵金属材料无法降低成本的问题。近年来,我们团队依托温州大学碳中和技术创新研究院及浙江省重点实验室“全省特种电池材料与技术重点实验室”,专注开发正极材料——普鲁士白,以便宜的铁和锰实现对贵金属的替代,助力推动钠离子电池真正应用到储能系统。通过材料端的精细除水工艺,能够保证材料的结构稳定,且随着规模效应的生成,有望进一步降低技术大规模应用的成本。

此外,产业链尚不成熟,也是制约新型储能技术全面推广的一大“痛点”。对此,一是进一步完善体制机制建设和绿色低碳政策引导,创新应用场景,充分发挥各技术线路优势,拓展新型储能能在电源协同运行、电网稳定支撑及智能微电网、虚拟电厂等领域应用。二是充分发挥浙江民营经济发达的优势,鼓励企业更好发挥创新主体作用,加快商业模式创新,以新需求引领新供给,以新供给创造新需求,促进产业链上下游协同、提质增效。三是要强化产学研协同,促进更多人才、技术、资本等优质要素资源有效集聚、系统衔接,共同推进新型储能规模化高质量发展,为新型能源体系建设夯牢基础。

(作者为温州大学碳中和技术创新研究院院长、教授,教育部“长江学者奖励计划”讲席教授)

我来讲故事

架起新时代的“能源高速路”

■ 金韬

21世纪初的浙江,经济快车疾驰,电力需求连年增长,但本土能源资源匮乏,“电荒”如同悬在头顶的达摩克利斯之剑。那时,我们电力工作者最常听到的话就是:“能不能再多送一点电?”正是那些年的“电荒记忆”,让我们这代电力人深刻体会到,电力不仅是经济发展的引擎,更是一方百姓民生冷暖的刻度。

转机始于“破局思维”。浙江没有坐等本地资源,而是将目光投向远方——既然缺电,那就把电“请进来”。十几年来,浙江电网逐步建成了“三直两交”的骨干电网。三横土800千伏特高压直流工程,是引入远方清洁电力的主力。2014年投运的溪洛渡左岸—金华工程实现西南水电直供浙江,2016年投产的灵州—绍兴工程实现西北火电与水电联合输送,2023年投运的白鹤滩—浙江工程则为浙江再增一条清洁能源大动脉。两条1000千伏特高压交流线路,承担着区域电力互济的任务。淮南—浙北—上海工程打通“皖电东送”通道,浙北—福州工程吸纳福建的清洁电力,最终形成南北贯通、多能互补的能源协同体系。

特高压工程在浙江构建新型能源体系中扮演着双重角色:既是支撑电力安全充裕的“钢铁脊梁”,也是促进能源优化配置的“智慧纽带”。“十四五”期间,特高压入浙工程累计输送电量达6926.06亿千瓦时,为浙江经济社会高质量发展提供了坚实的能源保障。更重要的是,外来电中清洁能源占比逐年提升,为制造业绿色转型提供了坚实的能源基础。柔性直流等前沿技术的攻关与应用,带动

了从材料、器件到装备、系统的全产业链创新突破,为能源科技自立自强和现代化产业体系建设提供了强大引擎。

目前,浙江正在建设第四条特高压直通道——甘肃—浙江±800千伏特高压直流输电工程,回答能源“如何更绿、更智、更高效”的新命题。这条全长约2370公里的新“动脉”,投运后每年可为浙江输送电量超360亿千瓦时,其中风光绿电输送占比将超过50%。作为世界首个±800千伏、800万千瓦特高压柔性直流输电工程,甘肃特高压工程为解决高比例新能源并网和消纳的世界性难题提供了“中国方案”。

身为一线电力工作者,我见证了浙江电力从“保供优先”到“多目标平衡”的跨越,也亲历了特高压从无到有、从有到优的升级。这条“电力丝路”上,流淌的不仅是电流,更是新一代电力人践行“绿水青山就是金山银山”的生动实践。

站在浙赣特高压工程全面进入施工高峰的节点,我深感荣幸,能与时代同行。我们建设的,不仅是一条输电线路,更是浙江面向未来的能源动脉;我们输送的,不仅是清洁电力,更是绿色发展的希望。当西北戈壁的风风光化作之江大地的灯火,当东西部能源优势互补成为高质量发展的生动实践,

我想,这就是我们电力人最朴素也最崇高的追求——为千家万户送去光明,为绿水青山注入动能,为新型能源体系建设贡献智慧与力量。

(作者为国网浙江建设公司党委委员、副总经理兼甘肃—浙江±800千伏特高压直流输电工程浙江段业主项目经理)