

碳中和愿景下看上海能源绿色转型

王娜¹ 徐玲玲² 刘哲¹ 曹颖爽¹¹

(1. 国网上海电力公司电力科学研究院 200437;

2. 上海市经济信息中心 200050)

【摘要】: 随着世界主要经济体对“有必要在本世纪中叶实现全球净零排放”逐步形成共识,各国纷纷将绿色转型视为后疫情时代经济复苏的新动能,将大力发展清洁能源作为实现碳中和、争夺未来竞争优势的重要手段。各界再掀碳中和行动热潮,全球投资偏好也将进一步向绿色能源、低碳经济、环境治理等领域倾斜。化石能源是全球最重要的温室气体排放来源,本文聚焦碳中和愿景下能源体系的深度转型,梳理总结了国际上能源转型的主要路径,基于上海能源发展的现状特点,重点分析了未来进一步推进可再生能源发展的资源禀赋条件以及能源转型面临的主要挑战,为上海能源领域认清大势、谋定后动,助力全市如期实现“双碳”目标建言献策。

【关键词】: 碳中和 能源转型 绿色发展

一、全球碳中和的几个趋势

2020年9月,习近平总书记在第七十五届联合国大会一般性辩论上宣布“中国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”。这一重大战略目标既是一个发展中大国责任与担当的体现,也为我国经济社会的高质量发展指明了方向,同时更是一项充满挑战和机遇的任务。从全球范围看,当前碳中和呈现以下几点趋势:

碳中和已成全球共识。据不完全统计,为落实《巴黎协定》,目前全球已有超过120个国家以不同形式提出了碳中和目标,其中以欧洲主要国家为代表的少数国家通过立法形式确立了碳中和目标,其余大部分国家通过领导人承诺、政策宣示等形式提出。大部分国家计划在2050年实现碳中和,乌拉圭、芬兰、冰岛、奥地利、瑞典、德国等计划更早实现碳中和。

国际大企业开始积极行动。联合国在非国家层面发起“零碳竞赛”,各地区、城市、企业、机构等不断加入。全球已有超过300家企业加入RE100行动倡议,致力于以可再生能源覆盖企业所有营运活动的电力消耗。越来越多企业将促进脱碳作为其经营活动的主要前提之一,更加积极地推动整个供应链脱碳。

全球投资偏好向绿色领域倾斜。《巴黎协定》推动各方以“自主贡献”的方式参与全球应对气候变化行动,积极向绿色可持续的发展方式转型。随着世界向低碳经济转型,绿色和可持续性债券的全球发行量不断创出历史新高,氢能和燃料电池、可再生能源技术领域的全球投资快速增长。未来,投资偏好将进一步向绿色能源、低碳经济、环境治理等领域倾斜。

能源转型是必由之路。使用化石燃料产生的CO₂排放是全球最重要的温室气体排放来源,实现碳中和愿景需要能源体系的深

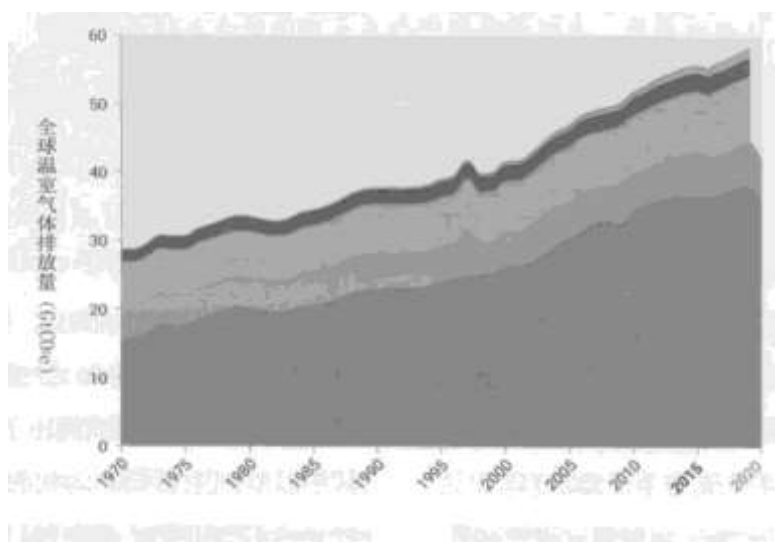
作者简介: 王娜,经济师,国网上海电力公司电力科学研究院咨询师。

徐玲玲,经济师,上海市经济信息中心分析师。

刘哲,工程师,国网上海电力公司电力科学研究院主任工程师。

曹颖爽,工程师,国网上海电力公司电力科学研究院咨询师。

度脱碳。因此，能源向绿色低碳转型无疑是实现全面绿色转型的重中之重，关键要大力发展非化石能源，逐步替代化石能源的使用。当前，主要发达国家无一例外以能源转型为重点，将大力发展清洁能源作为实现碳中和，争夺未来竞争优势的重要手段。



来源：联合国环境规划署《排放差距报告 2021》。

图 1 1970 年以来全球温室气体排放情况

二、国际能源转型的主要路径

能源绿色转型是指将能源的供给和消费从以化石能源利用为主逐步过渡到以非化石能源利用为主。目前，国际上转型路径主要是通过加快发展清洁能源产业推动能源供给侧的全面脱碳，同时大力推动需求侧终端用能的电气化，对于无法用电能替代的领域，则加快氢能等零碳或近零碳燃料的开发利用。具体来看，主要包含以下几个方面：

一是将绿色技术创新置于战略核心位置。日本发布《绿色增长战略》，将致力于加强太阳能、氢能等重点技术领域的研发与投资，计划成立 2 万亿日元规模的绿色基金鼓励绿色技术创新，并动员超过 240 万亿日元的私营领域投资。韩国“数字和绿色新政”计划投入 73.4 万亿韩元，支持节能建筑、电动汽车和可再生能源发电。美国重返《巴黎协定》后，提出“到 2035 年通过向可再生能源过渡实现无碳发电，到 2050 年实现碳中和”目标，拜登政府计划拿出 2 万亿美元用于基础设施、清洁能源等重点领域的投资。英国现代工业战略以清洁发展为核心，巩固和提升其在应对气候变化领域的国际影响力。

二是加速可再生能源发展。美国通过税收抵免、贷款优惠等方式重点鼓励私人投资风力发电，目前风能已成为美国排名第一的可再生能源。德国出台《气候行动法》和《气候行动计划 2030》，明确提出可再生能源发电量占总用电量的比重逐年上升，到 2050 年达到 80% 以上。为推动后疫情时代绿色复苏，各国纷纷提速可再生能源发展计划，同时采取低税率或退税等税收措施支持可再生能源产业发展，采用公开招标方式吸引太阳能、风能等可再生能源投资，并推动可再生能源逐步深度参与电力市场，通过市场机制实现高效消纳。

三是大力推进氢能产业。截至 2021 年初，全球已有 30 多个经济体发布氢能路线图，许多经济体将发展氢能产业作为能源发展战略。如欧盟 2020 年 7 月发布氢能战略，计划到 2050 年将氢能在能源结构中的占比提高到 12%-14%，绿氢发展技术路线明晰；日本以突破本土能源禀赋、实现能源独立为导向，不断探索氢及燃料电池应用场景。据国际氢能委员会报告，自 2021 年 2 月以来全球范围内已启动了 131 个大型氢能开发项目。目前氢能产业仍处于起步阶段，从现状看，低碳氢的生产和利用还需各国

通过不同手段加以刺激。国际能源署指出，随着可再生能源成本下降及电解槽规模效应显现，到 2030 年绿氢将在成本上更具竞争力。

四是逐步减少化石燃料使用。2017 年加拿大和英国共同发起“助力淘汰煤炭联盟”，目前已有 104 个国家、城市、区域和国际组织成员加入。在 2021 年联盟峰会上，联合国秘书长古特雷斯呼吁“所有经合组织成员国致力于在 2030 年前逐步淘汰煤炭，其他国家则在 2040 年前淘汰煤炭”。在不久前召开的《联合国气候变化框架公约》第二十六次缔约方大会上出台了一系列关于化石燃料的应对政策，会上爱尔兰、法国等 11 个国家成立“超越石油和天然气联盟”，将致力于终止所有涉及石油和天然气的新的特许权、许可和租赁。

五是大力推动终端用能的电气化。国际上对能源转型、能源—经济建模、不同能源组合效果等开展了大量研究，在这些场景中电气化基本都被视为深度脱碳的必然选择。2020 年 7 月欧盟发布《能源系统整合策略》，将在终端领域大力推进电气化作为其向绿色能源转型的三大支柱举措之一。在交通领域，通过各种激励政策推动交通工具电气化，主要发达国家及部分发展中国家公布了禁售燃油车的时间表。在工业领域，钢铁、化工等能源密集行业探索通过生产流程的电气化并与绿电相结合实现深度脱碳。在建筑领域，推广采用热泵为住宅供暖，在气候温和地区和隔热较好的建筑中电锅炉和电炉等传统供暖方式也不失应用价值。

三、上海市能源发展现状及绿色转型分析

在上海的能源结构中，化石能源的比重仍居高不下，绿色能源主要依赖外来电

中的非化石能源发电，受资源禀赋约束，本地非化石能源发电虽增长较快但总量有限，氢能发展也尚处培育阶段。在碳中和愿景下，进一步加快推进非化石能源发展，需要从本地资源开发、市外电源建设两方面同时考虑。

（一）上海市能源发展现状

化石能源比重居高不下。按照电热当量方法计算，2019 年上海全市能源消费总量为 1.05 亿吨标准煤，其中煤炭消费占比 29.95%，油品消费占比 48.25%，合计占比 78.20%；终端能源消费量为 0.94 亿吨标准煤，其中煤品和油品消费合计占比 67.98%，电力消费占比 19.97%。

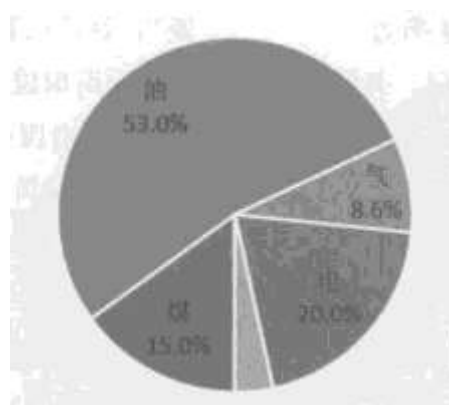


图 2 上海市 2019 年终端能源消费结构



图 3 上海市 2019 年非化石能源发电来源结构

绿色能源利用主要依赖外来电。非化石能源包括本地可再生能源和外来电非化石能源发电，2019 年上海市非化石能源发电量约占全市用电量的 38%，占全市一次能源比重约为 18%。非化石能源发电量中本地风电、光伏发电量约占 4.2%，本地其他非化石能源发电量约占 5.4%，外来非化石能源发电量占比超过 90%。

截至 2020 年底上海市新能源装机容量

单位（万千瓦）		2015	2016	2017	2018	2019	2020
新能源	风电	61	71	71	71	82	82
	光伏	21	35	58	89	108.6	137
	合计	82	106	129	160	190	219

氢能发展尚处培育阶段。我国从 2020 年起将氢气纳入能源统计。目前，全市氢气的理论产能约 16 万吨/年，主要是工业副产氢；全市已建成投运各类加氢站 9 座，累计示范运营各类氢燃料电池汽车约 1500 辆。围绕“2025 年燃料电池汽车应用总量突破 1 万辆、建成并投用各类加氢站超 70 座、实现重点区域应用全覆盖”目标，上海的氢能产业正在步入发展快车道，将从示范运营向商业化扩张过渡。

（二）能源系统绿色转型的有关考虑

市内资源开发。

一是光伏方面，上海不具备大规模集中式太阳能发电厂建设条件，主要以分布式为主，可围绕楼宇、高架、水库等重点区域，定制化设计、示范推进。据测算，上海市 2035 年屋顶资源可支持光伏发电的理论最大开发规模为 1700 万千瓦。

二是风电方面，陆上风电资源有限，海上风电目前还不能平价上网，需重点争取专属经济区海域和与浙江涉界海域。但受生态环保要求、项目周期、技术发展、建设运营成本、跨省协调机制等方面影响，预计 2030 年上海风电实际最大开发规模为 600

万千瓦。

三是生物质方面，结合城市资源处置需求，预计 2035 年生物质及资源利用发电规模可达 100 万千瓦。

四是储能方面，目前已建成总容量达兆瓦级的 4 座储能电站（徐汇漕溪站、崇明前卫站、嘉定朱桥站和杨浦闸殷站），突破了储能电池工程化、实用化、系统集成等技术难题，已具备扩大储能规模的基础。

市外电源建设。有三个方向可重点考虑：

一是西北风光基地。目前沪陇两省市发改委已于 2021 年 7 月签署电力合作框架协议，积极布局千万千瓦风光储一体化基地，但在具体推进中仍存在诸多困难。

二是西南水电基地。若葛南直流能向西延伸，可在四川再布局 200 万千瓦水电，但资源落实难度较大。

三是华东核电基地。福建核电，中长期力争 500 万千瓦；此外，若浙江支持，可在崎岖列岛布局核电基地，但通道建设困难。

四、上海市能源绿色转型面临的挑战

从上海能源发展的现状来看，一方面，煤、油等高碳能源占比较高，且消费需求仍在增长；另一方面，产业结构偏“重”，制造业中钢铁、石化化工行业作为传统优势产业仍然占有相当比重，航空、水运行业对油品的需求预计仍将保持较长时期的增长。为如期实现全市“双碳”目标，推动上海能源系统逐步向绿色低碳转型，并最终实现全面脱碳是必由之路，且任务艰巨、绝非易事。

1. 面临时间紧任务重、关键技术储备不足的挑战。一是与发达国家“自然达峰”相比，我国的“主动达峰”需要付出更大代价；二是我国从碳达峰到碳中和的时间窗口仅为 30 年左右，远远少于欧美的 45 年左右或更长；三是现有低碳、零碳、负碳技术供给不足，亟需在再生资源利用、能效提升、终端消费电气化、零碳发电技术、储能、氢能和数字化等多个领域加快推广成熟技术，并提前部署碳中和实施路径和深度减排所需的各项技术，以匹配快速减排的需求；四是我国科技创新领域尚存科技计划碎片化、科研项目重复化、科研经费分散化等弊端，关键技术创新能力需要大幅提升，创新融合有待强化。

2. 火电发展定位平稳转换面临挑战。火电是上海市的基础性电源，而且在未来较长一段时期内，仍将是保障能源供应安全不可或缺的组成部分。实现碳中和，要求高碳化石能源逐渐退出，虽然这并不意味着完全放弃化石能源，但是要推进化石能源消费的有序减量替代，大力实施节能降碳和灵活性改造，还要按增容减量的原则，根据实际情况合理统筹火电的新增和退役，避免大起大落，充分发挥其托底保障和系统调节作用。同时，持续推进可再生能源发展，加快实现关键技术突破和规模成本效应。

3. 新能源快速渗透对电力系统运行带来考验。电力是绿色能源转换利用的主要媒介，习近平总书记在中央财经委员会第九次会议中指出，要构建以新能源为主体的新型电力系统。但随着新能源快速发展和新型用能设备广泛接入，电力系统运行特性将发生显著变化，也面临着诸多挑战：

一是与系统安全存在矛盾。新能源、直流特高压等大量替代常规机组，分布式能源、储能等交互式用能设备广泛应用，电力系统将呈现高比例可再生能源、高比例电力电子设备的“双高”特征，系统转动惯量持续下降，调频、调压能力不足。以 2019 年 8 月英国大停电为例，事故发生前共有 21GW 风电和 13GW 太阳能接入系统，取代了大部分传统煤炭和天然气发电，使得系统抗扰能力大幅下降。在该次事件中，仅损失 1878MW 出力，就导致频率下降至 48.8Hz；而华东电网在 2015 年 9 月 19 日由于锦苏直流闭锁损失 4900MW 出力，频率最低仅降到 49.563Hz。

二是与系统平衡存在矛盾。风电和太阳能发电具有随机性、波动性，发电出力“靠天吃饭”，主要提供的是电量，无法按需控制。而近年来，我国半数以上省级电网冬峰负荷赶超夏峰，峰谷差不断扩大，电力保障供应的难度逐年加大。从运行实际看，满足电网高峰负荷需要，主要依靠的还是常规电源。以2020年上海市电网运行情况为例：“双峰特征”愈发凸显，夏季最高达3312万千瓦，同比增长5.75%，较历史极值（2017年3268万千瓦）增长1.35%；冬季最高达3339万千瓦，同比增长23.9%。冬峰与夏峰比值进一步增大，前20年比值区间为74%-91%、平均83.4%，冬季两次寒潮的比值分别达到90.3%和100.8%。峰谷差日益加剧，2020年峰谷差率最大达43.05%；冬季共有21个工作日晚峰与早峰负荷比值大于1，其中7个工作日比值大于105%。

三是与系统成本存在矛盾。未来电力增量主要以清洁电力为主。为解决新能源的间歇性和不稳定性而建设的调峰机组、应急电源和储能装置，势必导致发电成本增加，技术进步带来的下降空间很难完全实现对冲。特别是我国新能源资源与需求逆向分布，西部北部地区集中开发、远距离大规模输送，成本更高。

五、对策建议

当前，我国新增太阳能光伏发电装机总量已位居世界第一，拥有占全球70%的电动汽车电池产能，对全球的低碳技术领域做出较大贡献，尤其在太阳能光伏领域实现了成本较大幅度下降，使得全球清洁能源未来发生改观。上海肩负当好全国改革开放排头兵、创新发展先行者的重要使命，更应立足实际，主动服务国家重大战略，切实将碳达峰碳中和纳入生态文明建设整体布局系统谋划。“能源绿色转型”的目标要求我们把握好能源技术创新这个关键驱动力，在能源、技术、金融、监管等方面摆脱对高碳路径的惯性依赖，积极应对转型带来的风险挑战，在清洁能源领域取得更大进步。

1. 能源方面聚焦从供给侧和需求侧共同推进。受资源禀赋制约，上海可支持的风、光、生物质等可再生能源发电的开发规模有限，进一步提高非化石能源消费占比，需要市内、市外两手一齐抓。以西北地区为例，拥有风、光、未利用土地等资源优势，但产业基础设施落后，缺乏足够资金实力，为上海与其开展互补合作奠定了基础。建议：一是加强与西北等新能源富集地区合作，投资建设大型非化石能源基地，着力化解推进中困难和问题。二是结合上海市实际挖掘资源潜力，落实可再生能源建设任务完成率考核，切实推进分布式光伏、风电、生物质发电等发展，逐步扩大储能规模。三是在需求侧大力推动能源利用的高效化、再电气化和智慧化。

2. 技术方面聚焦全产业链的创新能力提升。当前，我国产业链供应链存在“大而不强、全而不精”的短板和话语权小的弱点。抓住当前以低碳为标志的能源革命有助于我国在新一轮产业革命中占据主导地位，促进产业结构向高科技、高产出、低能耗的高质量方向转型升级。建议：一是进一步提高新能源发电机组涉网性能，加快光热发电技术推广应用。二是推进大容量高电压风电机组、光伏逆变器创新突破，加快大容量、高密度、高安全、低成本储能装置研制。三是推动氢能利用，碳捕集、利用和封存等技术研发。

3. 金融方面聚焦重要行业主体的扶持培育。以储能为例，其是支撑新型电力系统的重要技术和基础装备，对推动能源绿色转型、应对极端事件、保障能源安全、促进能源高质量发展、支撑应对气候变化目标实现具有重要意义。但现阶段储能电站投资收益模式的不成熟，严重制约了发展规模。建议：协调金融机构，对有助于绿色能源发展但初始投资较大、运行成本较高的项目或产品，开展产业补贴、贷款优惠等政策研究，出台合理的分级分类鼓励政策。

4. 监管方面聚焦产业发展的统一规范、稳定有序。随着绿色能源规模化利用的不断推进，城市能源系统将发生形态衍化和功能演变，新的市场主体以及新业态、新模式也将不断催生，必将给能源产业发展带来新的投资经营风险点。建议：一是持续加强对能源电力行业的监控、协调，保障城市能源安全供给。二是提前谋划能源产业专项规划，推进产业集聚、合理布局。三是适应性优化地方性法规、规章草案，引导能源产业有序发展，预防结构性风险。

参考文献：

[1]高虎. “双碳”目标下中国能源转型路径思考[J]. 国际石油经济, 2021, 29 (03) :1-6.

[2]张贤, 郭偲悦, 孔慧, 等. 碳中和愿景的科技需求与技术路径[J]. 中国环境管理, 2021, 13 (1) :65-70.

[3]邱丽静. 近期世界能源低碳发展战略及政策动向[EB / OL]. 北极星电力新闻网, 2021-4-16.