



中国未来发电： 可再生能源引领绿色 创新与开放共享发展

2022年12月

本报告与以下
机构联合完成



前言

2015年第21届联合国气候变化大会通过《巴黎协定》，提出把全球平均气温较工业化前水平升高控制在2°C之内，并为把升温控制在1.5°C之内而努力。加快绿色低碳能源转型、共同努力实现全球碳中和成为国际社会普遍共识。截至2021年年底，全球已有136个国家和地区提出了“碳中和”承诺，覆盖了全球88%的二氧化碳排放、90%的GDP和85%的人口。

2020年9月22日，习近平主席在第七十五届联合国大会一般性辩论上向国际社会作出碳达峰、碳中和的郑重承诺，中国将力争2030年前达到二氧化碳排放峰值，努力争取2060年前实现碳中和。2021年发布的《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》提出，展望2035年，中国将基本实现社会主义现代化，广泛形成绿色生产生活方式，碳排放达峰后稳中有降，生态环境根本好转，美丽中国建设目标基本实现，推动2050年把中国建成富强民主文明和谐美丽的社会主义现代化强国。《中共中央国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》要求，完整准确全面贯彻新发展理念，坚持系统观念，以经济社会发展全面绿色转型为引领，以能源绿色低碳发展是关键，加快形成节约资源和保护环境的产业结构、生产方式、生活方式、空间格局；到2060年，绿色低碳循环发展的经济体系和清洁低碳安全高效的能源体系全面建立，非化石能源消费比重达到80%以上，碳中和目标顺利实现。

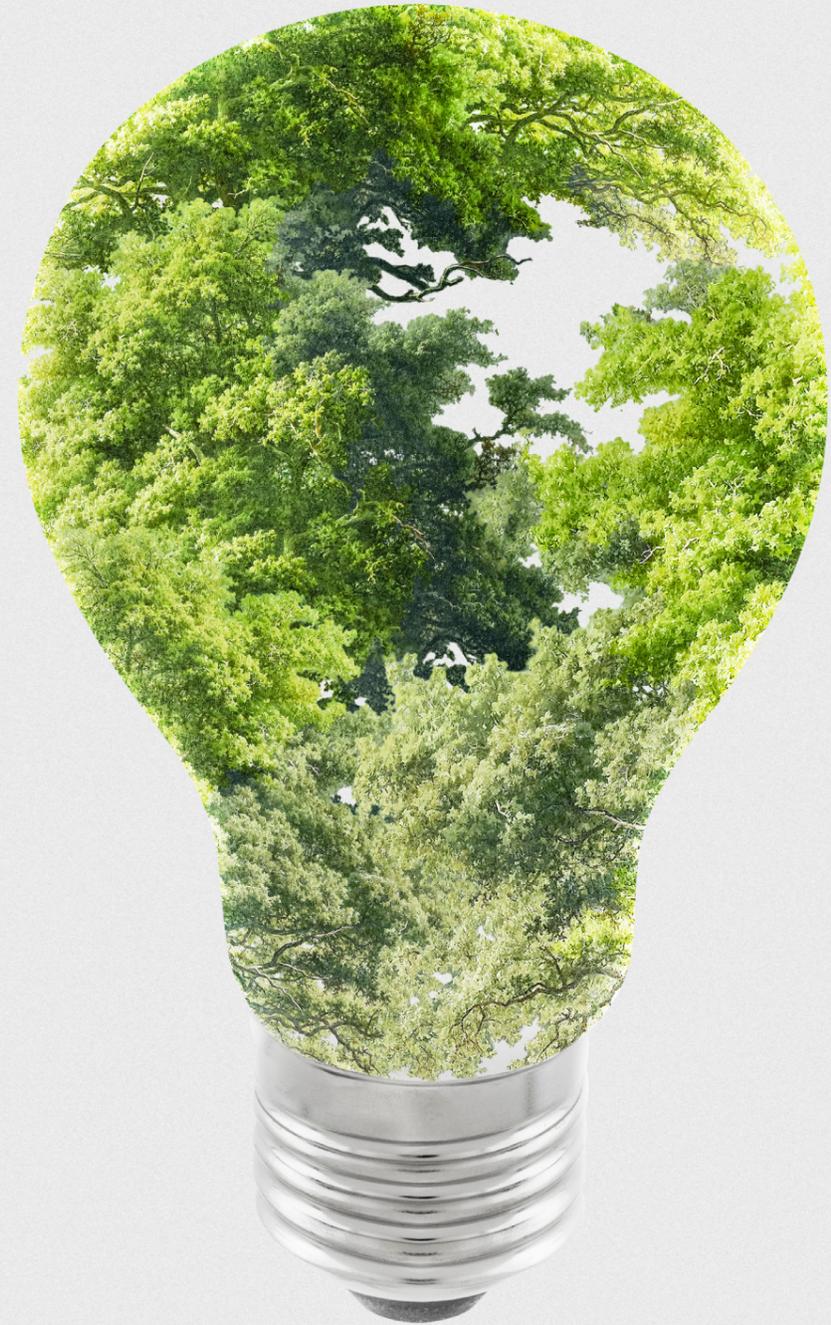
电力转型是实现能源低碳转型和碳中和的核心任务，必须坚持创新、协调、绿色、开放、共享的新发展理念，构建新能源占比逐渐提高的新型电力系统。《中国未来发电报告》总结了全球高比例可再生能源发展情景，特别是可再生能源发电引领的各类电力系统转型行动和创新，展望了可再生能源引领的中国未来电力发展情景，重点描绘了可再生能源电力驱动的全方位融合开发利用格局、从智能电网到能源互联网、开放融合电力市场、有序推进绿氢的生产应用、城市绿色能源应用、企业的更多选择和角色、人人成为生产消费者等未来电力发展场景，通过构建和描绘未来绿色创新开放共享的场景，促进各部门和各类主体共同参与未来电力转型，共同努力推动实现碳中和。

目录 CONTENTS

前言	2	(三) 开放融合电力市场	38
一、全球共同的绿色低碳未来电力	4	1. 进一步完善统一电力市场体系功能，构建多元竞争市场格局	38
(一) 高比例可再生能源发展前景	6	2. 提高跨区跨省电力交易市场化程度，逐步构建区域和全国统一电力市场	38
(二) 全方位的转型行动与创新	8	3. 构建适应新能源发展参与市场交易的电力市场机制，激励主动消纳可再生能源	39
1. 可再生能源城市	8	(四) 有序推进绿氢的生产应用	39
2. 社区能源	10	1. 绿氢是未来的主要发展方向	39
3. 电动汽车V2G (VEHICLE-TO-GRID)	12	2. 未来绿氢将逐渐具备经济性	40
4. 虚拟电厂	14	3. 不断提升绿氢生产消费占比	40
5. 绿色电力消费	15	(五) 企业的更多选择和角色	41
6. 电网互联互通和市场融合	17	1. 以绿电消费推动构建绿色供应链	41
7. 电转氢技术P2X (POWER TO X)	19	2. 就近开发利用新能源	41
二、中国未来电力的愿景与场景	20	3. 智慧企业参与灵活需求响应	41
(一) 中国未来电力发展的战略考量	22	(六) 绿色能源让城市更美好	42
1. 经济社会发展需要更高质量的现代能源和电力服务	22	1. 在城市市政运营中大力推广绿色能源	42
2. 生态文明建设和绿色发展	23	2. 在城市范围大力推广绿色能源	42
(二) 中国2050年可再生能源电力情景	24	(七) 人人可成为能源的生产者和消费者	44
1. 未来能源和电力发展情景	24	1. 人人成为绿色电力和促进绿色转型的生产者	44
2. 一次能源总体趋势与特征	26	2. 人人成为绿色电力的消费者	46
(三) 开放融合多元共享的未来电力场景	29	(四) 落实中国未来电力愿景的重点政策与实施路线的展望	30
(四) 落实中国未来电力愿景的重点政策与实施路线的展望	30	1. 大力开发风电光伏等新能源电力，助推能源供给侧结构性改革	30
1. 大力开发风电光伏等新能源电力，助推能源供给侧结构性改革	30	2. 以终端部门的电气化需求引导能源生产持续优化	30
2. 以终端部门的电气化需求引导能源生产持续优化	30	3. 实施绿色电力转型的重点驱动政策	31
3. 实施绿色电力转型的重点驱动政策	31	三、绿色创新与开放共享发展	32
三、绿色创新与开放共享发展	32	(一) 全方位协调融合开发利用可再生能源的新格局	34
(一) 全方位协调融合开发利用可再生能源的新格局	34	1. 构建网格化、立体式资源勘查和集成规划体系	34
1. 构建网格化、立体式资源勘查和集成规划体系	34	2. 统筹推进各类可再生能源开发利用新模式新场景	34
2. 统筹推进各类可再生能源开发利用新模式新场景	34	3. 推动可再生能源融入生产生活生态空间	35
3. 推动可再生能源融入生产生活生态空间	35	(二) 从智能电网到能源互联网	35
(二) 从智能电网到能源互联网	35	1. 电力系统的根本性转变	35
1. 电力系统的根本性转变	35	2. 各主体应如何参与	37
2. 各主体应如何参与	37		

一、 全球共同的绿色 低碳未来电力

在气候变化的现实威胁下，全球正在掀起一场减碳浪潮，以化石能源为主的能源结构正逐步向以风能、太阳能等可再生能源为主的能源结构转型，并以电力作为最重要的能源载体支撑经济生产与社会生活。作为实现碳中和的重要途径，构建高比例可再生能源电力系统已越来越成为全球共同趋势。



(一) 高比例可再生能源发展前景

进入本世纪以来，全球可再生能源发展迅速，特别是风电光伏等新能源成本持续下降、装机规模快速增加，推动可再生能源电力进入高比例发展阶段。截至到 2021 年底，丹麦风电光伏发电量比重超过 51%，位居世界第一；德国、西班牙、葡萄牙、英国、爱尔兰等国的风光发电量比重也达到 30% 左右。中国风电光伏发电量比重也历史性地超过 10%，使得全部可再生能源发电量在全国发电量的比重达到 30%。

可再生能源在碳中和中的作用。国际能源署的净零排放路径中，2050 年全球能源需求将比目前低 8% 左右，但全球总发电量需

要到目前的 2.5 倍以上，电力将占能源消费总量近 50%，近 90% 的发电来自可再生能源，风能和光伏发电合计占近 70%。国际可再生能源署的《世界能源转型展望报告》同样表明，电力占终端能源消费总量的比例从 2018 年的 21% 增加至 2050 年的 50% 以上，届时全球可再生能源发电装机将接近 300 亿千瓦，占电力总装机的 92%，可再生能源发电量超过 70 万亿千瓦时，占全部发电量的 90%。各国家地区都将全面发展各类可再生能源发电，风电和光伏将在各地区成为主要电源。

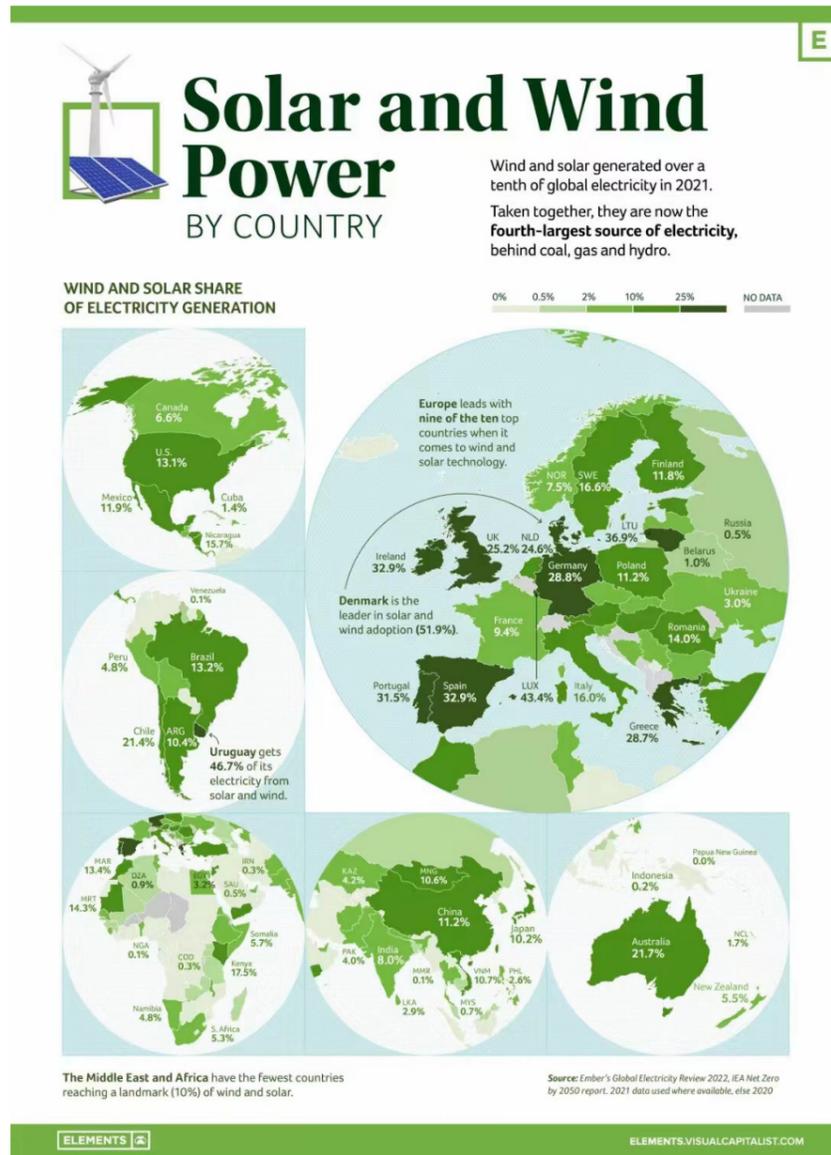


图1-1 全球可再生能源发电发展趋势

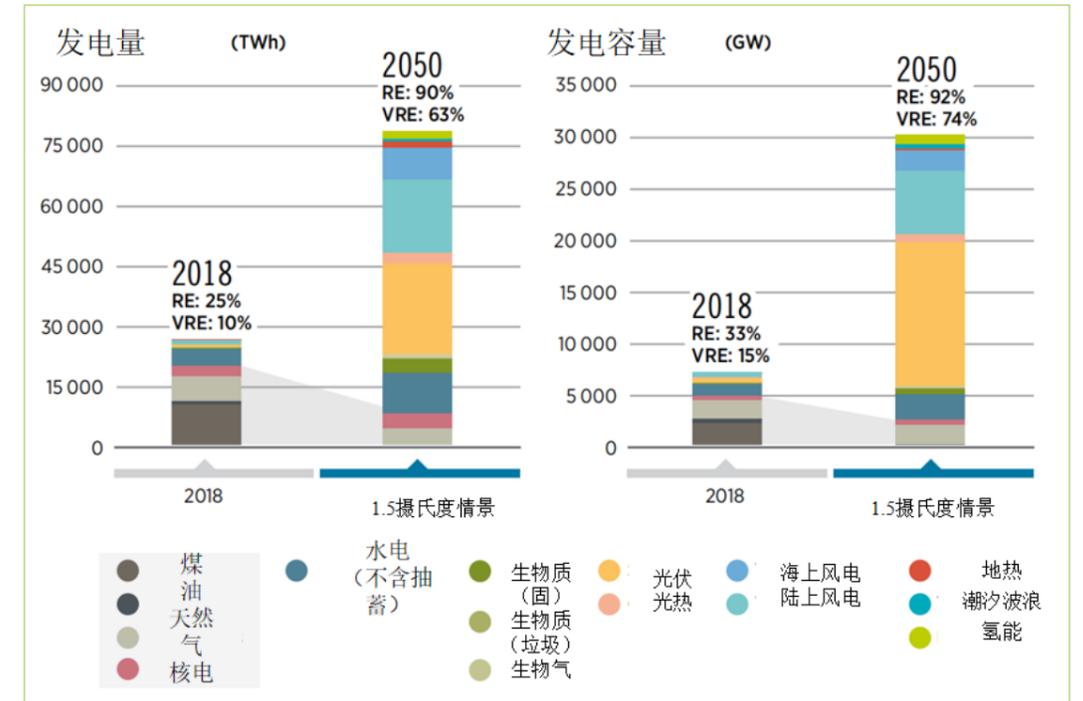


图1-1 全球可再生能源发电发展趋势

来源: International Renewable Energy Agency. World Energy Transitions Outlook 1.5oC Pathway

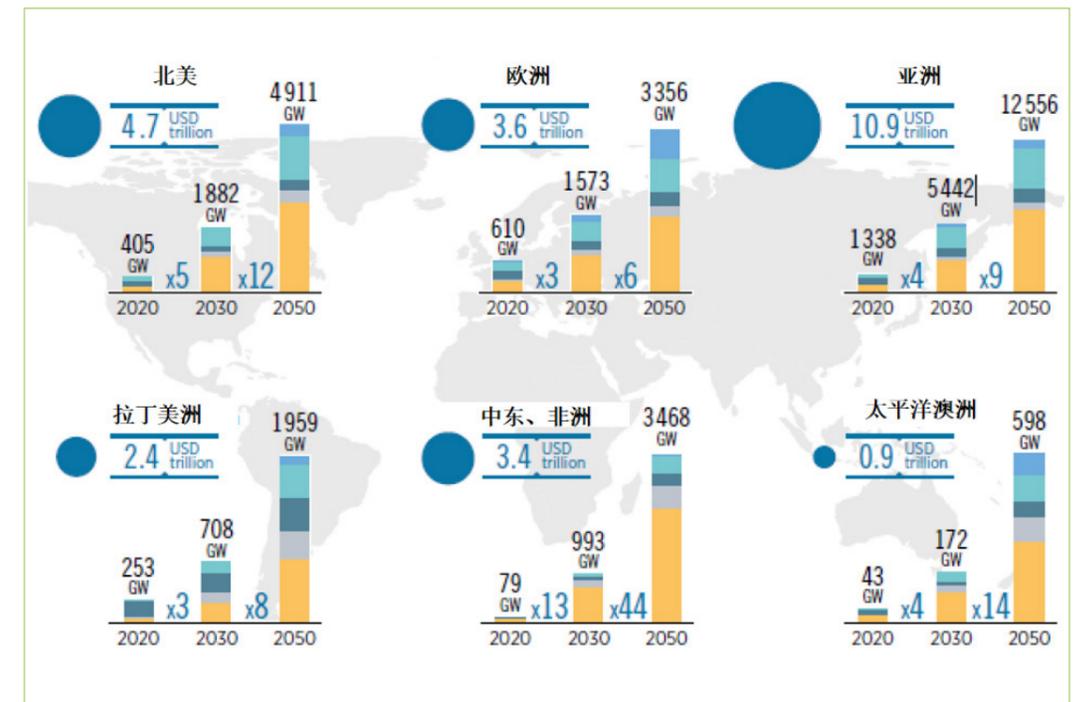


图1-3全球电力装机及发电量展望

来源: International Renewable Energy Agency. World Energy Transitions Outlook 1.5oC Pathway

(二) 全方位的转型行动与创新

随着新能源发电的快速发展,将引领电力系统、能源系统、经济社会系统变革,城市、社区、企业都需要在引领城市能源电力低碳转型、全面推广绿色电力消费、建设分布式可再生能源发电、共建绿色电力收益方面发挥关键作用。

1. 可再生能源城市

城市拥有全球 55% 的人口并且还在不断增长,同时还直接或间接贡献了全球 80% 以上的 GDP。城市对直接支持可再生能源的承诺正在增加。到 2020 年底,总共有 1300 多个城市制定了可再生能源目标和/或政策,覆盖人口超过 10 亿人(占世界城市人口的 25%);仅 2020 年一年就约有 260 个城市设定新目标或通过新政策。其中,包括 72 个国家/地区的 830 多个城市至少在一个部门(电力、供暖和制冷和/或交通)设定了可再生能源目标,其中超过 600 个城市设定了在市政或者全市范围内未来实现 100% 可再生能源的目标,主要通过扩大绿色电力消费来实现。

到 2020 年,约 800 个城市承诺未来要实现净零排放,巴黎、伦敦、纽约、东京、悉尼、墨尔本、维也纳、温哥华等,都明确要在 2030-2050 年间实现城市净零碳排放。为实现这些目标,城市政府以身作则,扩大公共建筑用电中可再生能源的发电(主要是太阳能光伏)和购电比例。约 800 个市政府实施了监管政策、财政激励措施以及间接支持政策,城市层面的政策组合正在迅速扩展到电力部门之外。

图1-4 2020年前设定了100%可再生能源目标的城市分布
数据来源:REN21, Renewables in Cities 2021 Global Status Report.

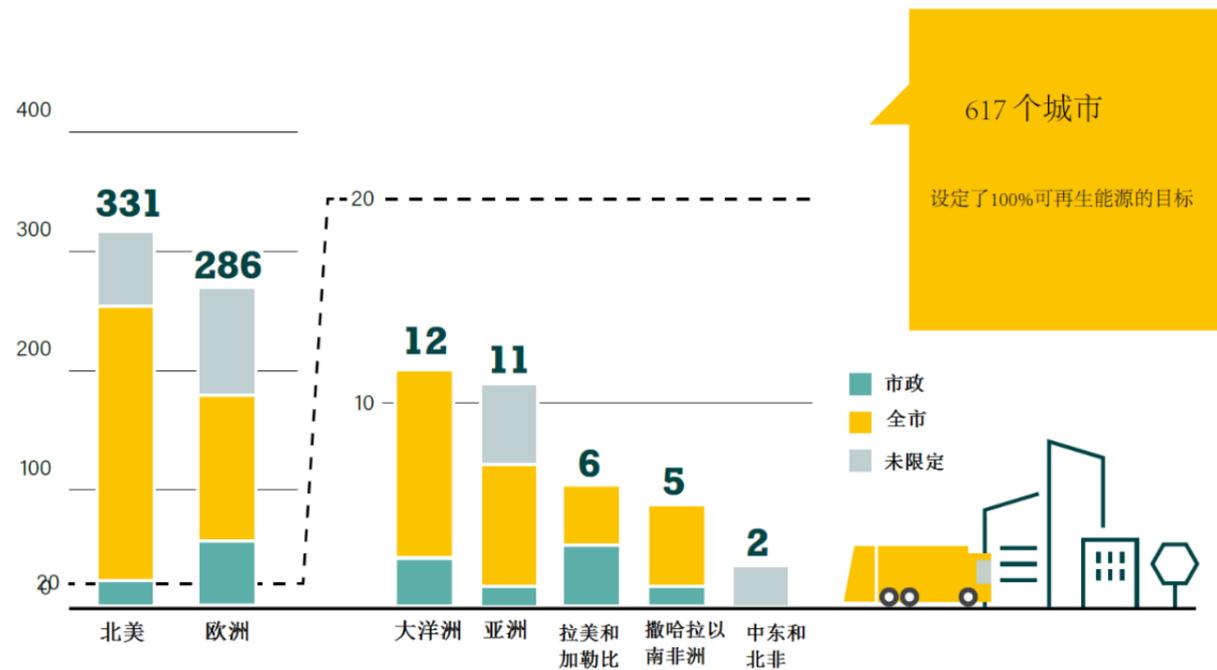
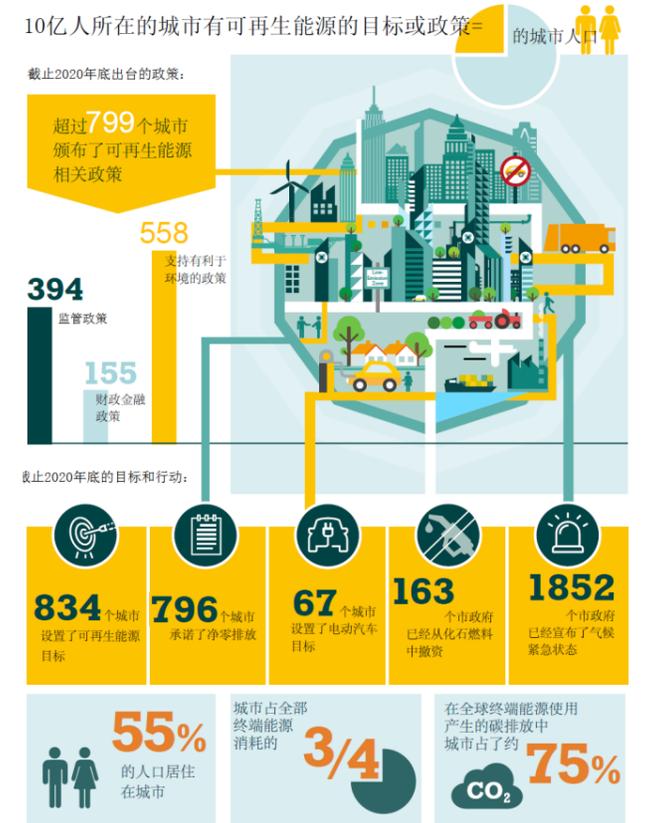


图1-5 全球城市可再生能源政策一览
数据来源:REN21, Renewables in Cities 2021 Global Status Report.



专栏1 城市案例

城市案例 1: 德国慕尼黑 (310 平方公里, 145 万人口)

市政府为慕尼黑市政公司设立目标,致力于在 2025 年使绿色电力发电量满足全市年用电需求,在 2040 年成为第一个区域供热系统完全由可再生能源(主要来源于地热能)供给的德国城市。

慕尼黑市气候保护方案计划从能源、建筑、供暖、工业、交通五个方面分别制定方案措施及支持政策。在电力领域,慕尼黑市政公司(SWM)拟大幅提高可再生能源发电量,倾向于在慕尼黑市及其周边,新增水电站、光伏电站、陆上和海上风电场、生物质热电联产厂等发电设施。截至 2021 年底,SWM 在慕尼黑及其周边地区运营着约 60 座可再生能源发电厂,2022 年绿电发电量已达到约 63 亿千瓦时,满足该市 90% 的电力需求,并有望在 2025 年实现由绿色电力完全满足电力需求的目标。

城市案例 2: 美国佛罗里达州奥兰多市 (295 平方公里, 28 万人口)

2020 年,奥兰多公用事业委员会(OUC)开始制定其电力综合资源计划,目标是到 2050 年实现 100% 可再生能源发电。光伏将是新能源的主要来源,并将投资储能和其他相关技术,以确保电力的可靠性。OUC 在使城市能够获得可负担的太阳能方面发挥着重要作用,2017 年以来通过长期购电协议从垃圾填埋场社区太阳能电站购买绿电,建设两个新的太阳能光伏发电场共同为 3 万户家庭供电。奥兰多还拥有超过 1 兆瓦的漂浮式太阳能光伏发电项目,持续研究漂浮式光伏发电的性能和可扩展性。2020 年,奥兰多市在其国际机场的水面区域安装新的漂浮式光伏,展示了这种独特的太阳能应用。同时政府还在城市内安装了几座“太阳能雕塑”和“太阳能树”发电,向公众宣传太阳能。

2. 社区能源

“社区能源”的产生主要源于可再生能源的分布式特点，随着技术的成熟和单体项目规模的提升，可再生能源可供应远超过一个家庭的用能，可再生能源的利用逐渐向“隔墙售电”“社区共享电力”转变。在能源低碳转型的背景下，随着可再生能源补贴等政策为可再生能源开发提供了稳定的收入来源，可再生能源在为社区供能的同时也可以实现投资和增加本地就业的作用，社区能源应运而生。欧盟的 JCR 报告《Energy communities: an overview of energy and social innovation》提出了“能源社区”的定义：社区能源是指促进民众在整个能源系统中参与的集体能源行动，家庭、个人和企业共同投资于与能源有关的资产的开发和运营。“社区能源”为民众积极参与与能源相关的事务提供了新的机会，而民众的积极参与也使能源的开发和应用方式发生了巨大的转变。

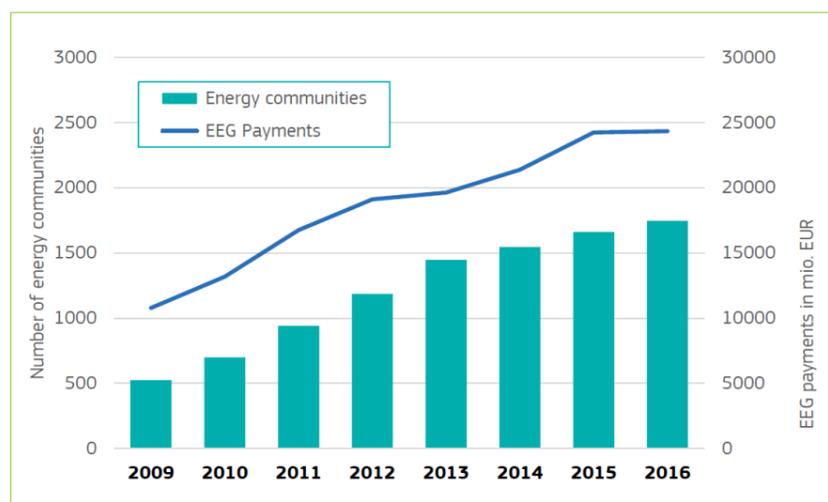
根据 REN21 统计，2020 年社区能源规模出现了大幅的增长。其中，欧盟和美国的社区能源规模正在快速扩大，且成为了促进社会绿色消费和可再生能源开发利用的很重要的一种形式（见图 1-6）。欧洲的人人享有清洁能源一揽子计划当中要求欧盟各个成员国需要提供社区能源项目的法律释义并制定支持性法律。

根据预测，到 2030 年，欧盟的社区能源将拥有全部装机容量中 17% 的风电和 21% 的太阳能¹。美国的社区能源的主要是社区太阳能 (Community solar)，截至 2021 年 6 月，全美 41 个州和华盛顿特区开展了社区太阳能项目，累计装机达到 3400 万千瓦，全美共有 19 个州和华盛顿特区针对社区太阳能项目提供了政策和规划支持。预计未来 5 年，美国的社区太阳能新增装机将超过 4300 万千瓦。

地方政府的低碳发展目标和相关支持政策在发展社区能源上发挥着重要的作用，尤其是提供直接补贴或投融资支持、支持自产自用的计量模式以及以社区光伏为代表的各种形式的可再生能源共享机制和所有权设计等。社区能源的集体特征使它有别于“简单”的产消者模式。由于社区能源安排取决于当地居民的集体决策，这扩大了普通民众在能源系统转型和系统构建的参与度。社区能源使参与者意识到他们的权利和责任，可以更好的平衡当地居民在项目开发中的利益分配，降低开发和投资风险，有效促进当地经济发展，提供安全且负担得起的能源，并促进社区的凝聚力²。

图1-6 德国可再生能源法案下的投资增长和社区能源数量增长情况比较

数据来源: Kahla et al., Development and State of Community Energy Companies and Energy Cooperatives in Germany, 2017.



1. EU commission staff working document, impact assessment of “Proposal for a directive of the EU parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources”, 2020. [OL]
2. Aura Caramizaru, Andres Uihlein, Energy communities: an overview of energy and social innovation, 2020, EU JRC science for policy report. [OL]

专栏2 社区共有 (COMMUNITY SHARE) 模式

“社区能源”为民众积极参与与能源相关的事务提供了新的机会，而民众的积极参与也使能源的开发和应用方式发生了巨大的转变。在业主自由模式的基础上，当社区 / 村镇拥有共有的土地、屋顶等资源时，通过社区成员参股或集体共有资金投资的方式投资开发分布式发电项目，获取电量或售出电量获得的收益按对应比例分配给社区成员或进行集体受益的二次投资。例如：丹麦的 Hvide Sande 镇通过集体经济组织筹资建设 3 台 3 兆瓦风机用于当地港口扩建、增加就业以及增加地方社会福利，三台风机在 30 年周期内，每年收益 21 万欧元，400 户当地居民获得入股的收益。故此类商业模式也被称为 Hvide Sande 模式，此项目也因此于 2013 年获得欧洲太阳能奖。

可再生能源合作社 (Renewable Energy Cooperatives, REScoops)，是最常见的“社区能源”的组织形式，在欧盟许多国家都有一些运营较为成熟的合作社。可再生能源合作社拥有能源基础设施或能源基础设施的部分股权，部分合作社只作为可再生能源的出售方通过出售全部能源生产量获得收益并对参与者分红，而部分合作社则首先满足当地居民的直接能源需求，其后将多余的能源出售获得收益并分红。合作社主要投资方式受到各个国家可再生能源项目开发的政策限制，例如西班牙 2010 年之前不允许合作社在电力市场中出售电力，以及德国以“社区能源”的方式主导开发的风能项目较少，也是因为项目组织按照出资比例而不是按照自然人数量主张权利。

社区代表的董事会组织是另外一种社区直接参与投资的重要的组织方式，通过社区发展信托、社区福利公司或社区福利协会等形式投资和运营“社区能源”项目。和合作社的方式最大的不同点在于其投资和拥有的能源基础设施的收入不是直接向参与投资的居民分红，而是返回社区用于社区的发展和设施建设。

其他的组织类型还包括**居民直接参与政府项目**投资并获得股份、通过**公司伙伴关系 (Public-Private Partnership)**的方式通过入股为项目提供资金、以及**注册私人公司**等形式。

专栏3 高比例可再生能源乡村和社区案例

案例 1: 德国 Wildpoldsried 村分布式可再生能源应用案例

Wildpoldsried 村人口 2600 人，从 1997 年开始开发分布式可再生能源，主要目的是通过可再生能源发电获得稳定收益以在不增加村庄债务的同时建设新的体育馆、剧院、老年人中心等。村庄编写了《Wildpoldsried 村创新引领发展战略》指导村庄未来发展。目前，Wildpoldsried 村已累计投资 3000 万欧元以上，建成 5MW 的光伏（其中 190 户用光伏共计 3.3MW、9 个公共建筑屋顶光伏共计 1.9 兆瓦）、12MW 的风电（其中最早的 2 座风机由集体创立的公司和州政府赠款筹建，其后的风机均由当地村民个人入股的方式投资）、3 个小型水电站，以及 5 个沼气池为基础的生物质综合应用，建成区域供热网络，除生物质制热外还有 2100 平米的太阳能供热，实现了全村热力的自给自足，而发电量是全村用电量的 5 倍以上，相当于每年全村节省了 33 万吨石油的消耗，每年获得收益超过 700 万欧元。

案例 2: 丹麦 Hvide Sande 社区风电商业模式

为了鼓励社区参与风电项目的开发,自 2008 年起,丹麦法律规定大型风电开发项目必须提供 20% 及以上的社区投资 / 入股分红比例。目前,80% 的风电场具有社区风电性质,Hvide Sande 的社区风电具有较强的代表性。在 Hvide Sande 的旅游协会支持下,2012 年 Hvide Sande 社区基金会组织建设了 3 台 3 兆瓦风机的社区风电项目,总投资约 1220 万欧元,其中 80% 的股份由社区基金会拥有,20% 由当地 400 个合作投资社区居民拥有。偿还银行贷款后的发电收益用于当地港口扩建,项目同时实现了增加就业以及当地居民的收益的效益。社区风电的模式增强了当地居民参与的积极性,最终促成了项目的落地。Hvide Sande 港通过社区风电的收益实施了改扩建,具备了风电母港的功能,港口自身的收益可达 480 万丹麦克朗 / 年³,同时也吸引了海上风电叶片、塔筒等相关配套产业的入驻。

案例 3: 西班牙的大型区域合作社支持城市可再生能源发展

西班牙于 2019 年提出社区能源的法律释义,即集体性的自发自用,允许人口稠密地区的公民通过投资家附近和邻近建筑物的太阳能光伏装置成为“异地产消者”,造福于更广泛的社区。城市居民通过几个大型区域合作社参与社区能源项目,包括 Som Energia (67,800 名成员)和 GOIENER (10,000 多名成员)等实现了社区能源的开发与采购。西班牙的巴塞罗那、加的斯、赫罗纳、马德里、潘普洛纳、圣塞巴斯蒂安、瓦伦西亚和巴利亚多利德等市政府也率先开展了社区能源项目。

案例 4: 美国科罗拉多州丹佛市的社区太阳能花园项目

2020 年 4 月,丹佛市利用科罗拉多州地方事务部授予的 100 万美元赠款资助可再生和清洁能源项目,通过市政物业对市内的公共建筑屋顶、停车场和空地安装太阳能发电项目进行统一的托管管理,并将项目产生的 20% 的电力提供给低收入居民,以减轻其能源支出负担。同时,项目还将支持劳动力培训计划,保证 10% 的项目的工作岗位供给。项目除了利用州政府的赠款外也接受第三方的融资,第三方投资人可参与项目的运营,并通过售出电力获得收益。

3. 电动汽车 V2G (Vehicle-to-Grid)

随着风光等波动性新能源和电动汽车等用户侧新型负荷的发展,两者对电力系统的运行带来新的挑战,也带来了新的机遇。凭借不断进步的电池技术和庞大的车辆规模,可灵活充放电的电动汽车能够为电力系统提供极具性价比的灵活性调节资源,极大弥补电力系统灵活性资源不足的制约,辅以合理的电力市场机制,将提升电力系统对波动性可再生能源的消纳能力。

截至 2021 年 8 月,全球有 88 项 V2G 试点示范项目,主要集中在欧洲 (56 项)、北美地区 (20 项),项目主要目的为技术验证 (78 个项目的首要目标为验证 V2G 项目技术可行性),2020

年起开启的 3 个项目已推进到商业可行性验证阶段⁴。虽然电动汽车与电网协同仍为新鲜事物,但从国际案例看,电动汽车与电网协同可应用于局部配网优化到全网应用,覆盖了几乎所有可能的应用场景。车网协同试点显示了潜在的巨大效益:一是利用为电网提供服务的收益,降低电动汽车全生命周期的成本,提升电动汽车推广的规模;二是在保障电网系统安全、稳定运行的前提下,利用电动汽车作为电网资源,减少电网、电源和固定式储能设施的投资。

3. Neil Simcock, et al., Cultures of Community Energy: International case studies, 2016.

4. V2G Hub: <https://www.v2g-hub.com/>

图1-7 丹麦PARKER项目试验方案

来源: PARKER Project Final Report.

https://parker-project.com/wp-content/uploads/2019/03/Parker_Final-report_v1.1_2019.pdf



专栏4 V2G案例

2016 年日产与丹麦技术大学等多个机构开展了时间最久且成功验证商业模式的 V2G 项目 (PARKER 项目), 利用 10 台包括日产聆风在内的多个品牌电动汽车以及 43 台支持 V2G 功能的充电桩, 在丹麦多个区域电力市场持续提供接近 5 年的全天候调频服务。项目覆盖多车型车队以验证 V2G 技术的跨车型兼容性。丹麦 PARKER 试点证明了即使私人电动汽车搭载的电量仅有 24 千瓦时、30 千瓦时、40 千瓦时, 也具备在满足日间出行的前提下, 在夜间停车充电时提供调频辅助服务的能力。

技术可行性方面, 调动私家车提供调频辅助服务是各种应用中挑战较大的应用场景: 负荷集成商需要准确预测多个车辆聚合后能够提供的调节容量, 系统须支持车-桩-网间高响应度且高频通信, 以满足调频的严苛要求, 并避免电动汽车调频带来本地配电变压器过载等安全问题。车网协同智能软件平台是破解这些问题的关键手段。Parker 电动汽车负荷集成商开发的智能平台利用大数据分析预测电动汽车提供的最优调频容量, 在确保不影响用户出行的基础上, 保证配电变压器不过载。同时, 平台也能根据可再生能源电力出力特点和电力市场价格变化, 提出合理市场报价。此外, 随着电力市场出清, 智能平台能够在制定参与调频的时段实时读取本地电网频率, 发送本地智能平台处理, 输送指令到充电桩侧执行调频。

经济性方面, 在电力市场化水平较高的北欧电力市场, 电动汽车在个别调频场景下的收益非常可观, 五年最高收益可达到每车 3500 欧元。考虑到参与调频市场充放电相对较少, 且利用“谷时”零售电价充电, 项目已具有显著经济性。PARKER 试点也证明私家车以 V2G 方式参与调频对电池衰减的影响有限。试点 5 年后, 参与调频及日常出行的三元锂电池的容量仅比正常出行使用后的容量少 1-2%。特别是 V2G 参与调频充放电深度较浅时, 电池衰减影响较小, 项目整体经济性较高。

4. 虚拟电厂

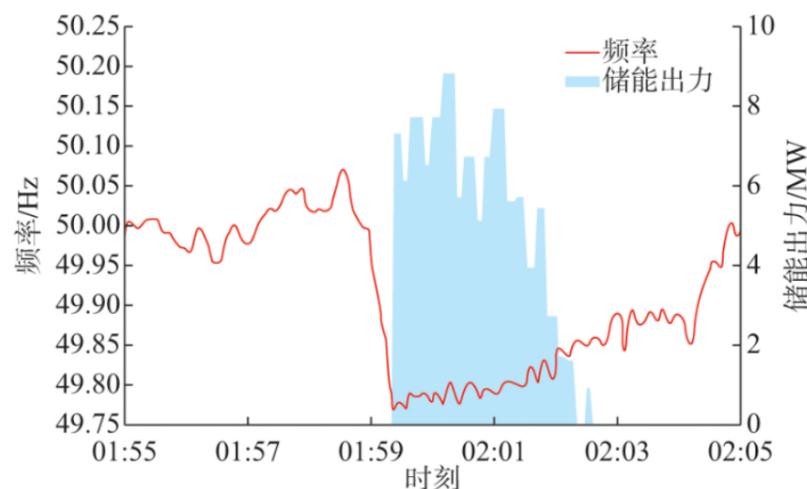
虚拟电厂 (Virtual Power Plants, VPP) 是指通过分布式能源管理系统将配电网中分散的清洁能源、可控负荷、储能系统聚合成一个特殊电厂参与电力系统运行,从而协调电力系统中各类分布式发电、电力用户及储能资源,提升供电经济性和可靠性。随着物联网、区块链、人工智能等新兴技术在电力系统中逐步得到推广应用,虚拟电厂的运行维护、信息交互、市场交易、控制策略等都将不断完善,并深度融入电力系统运行。

目前国际上已有一些虚拟电厂 (VPP) 的相关应用案例。例如,作为欧洲最大的综合服务商之一,比利时的 Restore 公司利用发电(热电联产、光伏和风能)、储能、灵活负荷(工业、商业和住宅),为企业提本地分布式能源综合消纳方案。REstore 已经开发出多种解决方案,为比利时电力平衡市场提供服务。2018 年以来,REstore 在比利时国家公园旁边的一座旧煤矿推出了 3.2 万千瓦的 Terhills 虚拟发电厂,安装了由 140 个电池组成的 1.82 万千瓦特斯拉 Powerpack 存储系统。这个电池项目的独特之处在于其包含的灵活性资源组合,包括:微型发电、工业负载和家用锅炉等家用电器。Terhills 项目为比利时系统运营商提供备用和频率调节。该虚拟电厂在支持电网系统服务的同时,减少了增加化石燃料、高碳发电的需求。

澳大利亚政府为解决南澳电网日益增长的新能源占比和逐年减少的系统转动惯量之间的矛盾,向全球公开招标大规模储能电池项目,希望通过储能技术解决系统稳定问题。2017 年以来,特斯拉 (Tesla) 为美国南加州爱迪生公司 (SCE) 位于 Mira Roma 的变电站安装了 20MW/80MWh 锂电池储能系统。2017 年 12 月 14 日凌晨 01:58:59,维多利亚州电网 LoyYangA3 机组跳闸,直至 01:59:19 造成 560MW 功率缺失,同时维多利亚州电网频率跌至 49.8Hz,频率跌至 49.8Hz 的 140ms 后,距离 LoyYang 机组 1000 公里的南澳 Tesla 储能系统快速反应,01:50:23 向电网注入 7.3MW 有功功率。在 Tesla 储能动作 4 秒后,位于昆士兰州已签署调频辅助服务合约的 Gladstone 电厂 1 号机组才开始向电网注入有功功率。02:05:00 系统频率恢复至 50Hz。图 1-8 为 12 月 14 日系统频率和储能出力情况,可见储能出力在频率下跌后立即做出反应并输出有功功率持续至 02:03:00,证明了储能系统的快速调节能力。

图1-8 2017年12月14日Tesla储能的频率响应

来源:曾辉,孙峰,邵宝珠,葛维春,葛延峰,许天宁.澳大利亚100 MW储能运行分析及对中国的启示



5. 绿色电力消费

随着《巴黎协定》的达成和全球金融投资领域对绿色增长趋势共识的形成,为增强企业产品竞争力和彰显企业社会责任和绿色形象,许多行业龙头企业和知名跨国公司日益重视其生产运营、产品和供应链的绿色低碳化,且纷纷制定了企业自身和延伸至供应链的碳中和目标。而可再生能源电力作为目前边际降碳成本较低且市场可及性较高的降碳方式得到了各个企业的青睐,全球低碳发展趋势使企业绿电采购成为可再生能源发展的重要推动力。

在低碳发展趋势引领下,世界上加入国际科学碳目标倡议 (Science Based Targets initiative, SBTi)、100% 可再生能源电力倡议 (RE100)、可再生能源采购者联盟 (REBA) 等公益项目的企业数量大幅增加,许多知名跨国企业制定了颇具雄心的碳中和目标,并对其供应链企业也提出了相应要求(见图 1-9); 38% 的财富 500 强企业制定了 2030 年的碳减排目标,超过 50% 的财富 500 强企业为实现自身碳减排目标,开始积极采购绿电。截至 2021 年 3 月底,已有 1300 余家成员企业加

入 SBTi,总市值超过 20 万亿美元。70% 以上的企业集中在高度国际化产业,如机电设备、化工等。世界 500 强企业中超过 20% 已加入 SBTi。对于企业绿电采购的需求的提升,政府的政策目标持续发挥关键和积极的作用,同时投资机构的投资倾向和经济社会的减碳氛围也使企业将可再生能源利用作为其承担社会责任的重要表现形式。另外,可再生能源利用的低成本和低风险也促使企业的需求大幅增加。绿电采购需求也随着供应链管控的企业内部政策和一些国家的供应链法的制定由各个行业的龙头企业向其供应链企业外溢。

图1-9 提出碳中和目标的典型跨国公司

◆知名跨国公司制定碳中和目标,且传递至全供应链



◆ 国内已有众多参与其全球供应链的**供应商**被要求参与供应链碳中和!

根据 RE100 的统计，其成员平均实现 100% 绿电消费的时间为 2028 年，全部成员的绿电消费占比达到了 41%，超过 75% 的成员承诺了 2030 年之前实现 100% 的绿电消费。

企业可以通过多种方式获取绿电，包括自发自用（现场或异地）、通过公用事业公司的绿电采购套餐进行采购、从可再生能源发电企业购买环境属性证书、以及越来越多的与可再生能源发电企业签订长期购电协议（PPA）。从 RE100 会员获取绿电的方式来看，最主要的仍是通过购买环境属性证书来完成，但越来越多的企业通过 PPA 的方式来采购绿电，PPA 形式的绿电采购规模从 2015 年的 3.3% 增长至 2019 年的 26%。根据彭博新能源财经（BNEF）统计，尽管受到新冠疫情的影响，2020 年全球企业绿电采购规模同比仍增长了 18%。北美占新增企业采购容量的大部分，亚马逊是领先的企业绿电采购商。非电领域的可再生能源应用也逐渐进入企业采购的视野，尤其是在钢铁、水泥和化工等能源密集型的行业，相关的需求正在增长，对于氢燃料的关注度也大幅提升。

一些传统制造企业不但积极采购绿色电力，还加大技术创新，深度参与电力需求响应、推动建立新型电力系统。例如，德国

是制造业大国，政府和企业高度重视工业部门参与电力需求响应。2014 年以来，德国 Trimet 公司对电解铝电解槽进行了技术改造，当电力供需和市场价格发生变化，电解槽自动调整电流和控制，调整幅度可以达到额定电流的 ±25%，时长最长达到 48 小时，同时保证电解槽的平稳运行。Trimet 公司的电解槽储能，实质是电解铝负荷参与电网调峰，通过升高或降低电解槽电流强度，维持电网供需平衡，是一种虚拟储能。在新能源发电量高于电网正常用电量时，提高电解槽电流强度，消纳多余电量；在电网供电量匮乏时，降低电解槽电流强度，少用电来保障德国电网的稳定。自 2014 年开始，这一模式已经向电网提供了近千次调峰服务。降低电解槽电流可获得德国电网的政策补贴，消纳多余电量时电价较低，能出现零电价甚至负电价。在该机制下，电解铝企业参与电网调峰的积极性很高，在维护电网稳定的同时，通过电网对企业的补偿和低电价电量的使用，增加了企业的经济效益，实现了电解铝企业和电网公司的双赢。

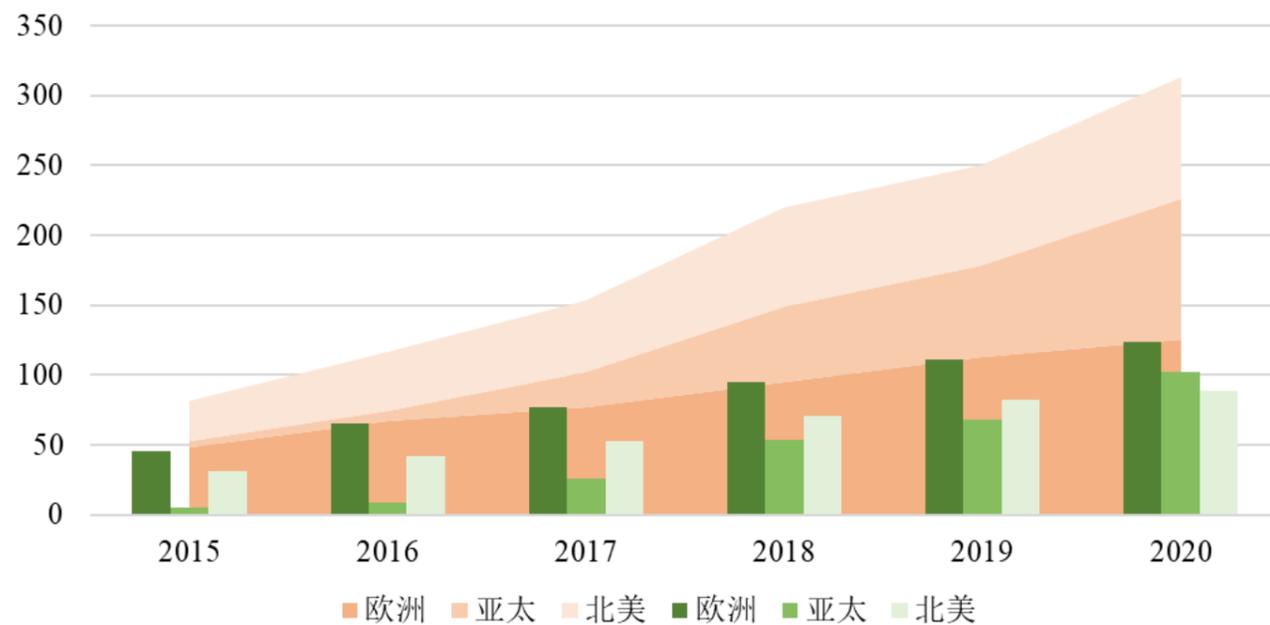


图1-10 RE100分区域会员数量(绿)以及绿电消费量(橙)的比较
数据来源: RE100 2021 Annual Disclosure Report.

6. 电网互联互通和市场融合

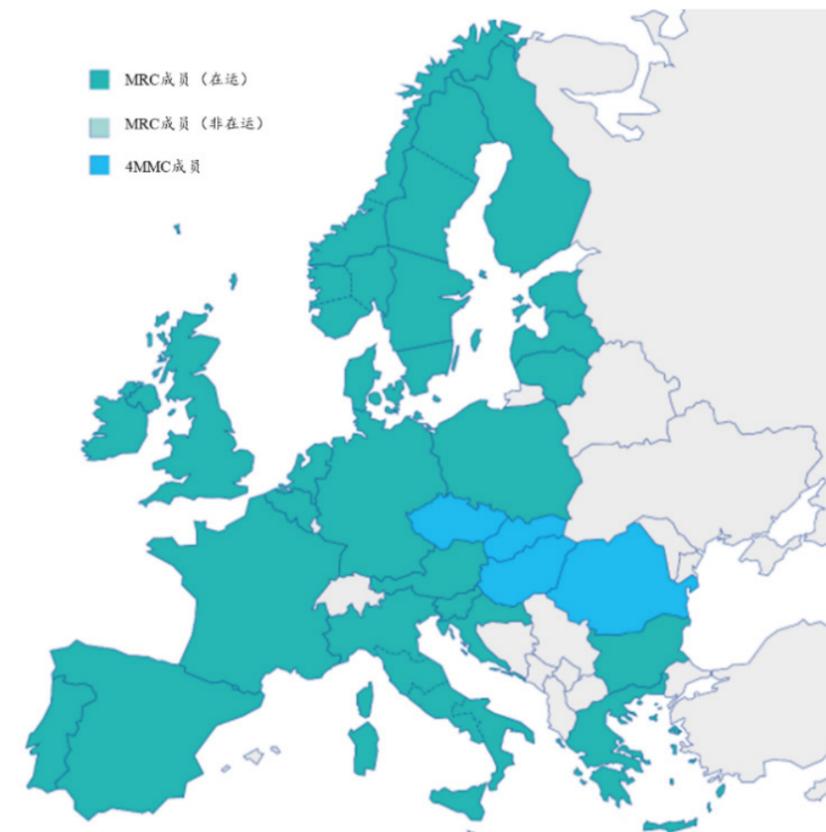
随着越来越多国家和地区进入高比例可再生能源发展阶段，波动性新能源对电力系统运行和电力市场价格的影响越来越显著。通过更大规模电网互联互通和电力市场融合促进新能源发展成为普遍趋势，欧洲在这个方面走在了世界前列。

欧洲电力传输网络系统运营商（ENTSO-E）成立于 2008 年，由 35 个成员国的 42 个输电网络运营商（TSO）组成，包括欧洲大陆、北欧、波罗的海、英国、爱尔兰五个同步电网区域，以及北非等与欧洲大陆同步的区域、冰岛等独立的电网系统。欧盟和 ENTSO-E 自 2011 年致力于提升欧洲电力系统集成度和建设欧洲内部统一的电力市场，以实现欧洲国家之间电力传输能力的提升，更有效和低成本地配置资源和提升欧洲各个电网之间的互济能力，积极消除欧洲国家间的电力贸易壁垒，最终建立一个更具有竞争性的、以用户为中心的、灵活的和歧视的欧洲电力市场，同时将具有自然垄断属性的系统运行与市场解绑。欧洲电力市场耦合指的不是在单一市场中竞价并开展统筹调度，而是采用同样的算法确定电力市场的电价和电力流。

早在 2006 年，欧洲跨境耦合的日前电力现货市场启动；2014 年在欧洲西北部地区 17 个电力交易机构和电网运营商的共同支持下，以 Euphemia 算法（Pan-European Hybrid Electricity Market Integration Algorithm）为基础的区域电价耦合（PCR，Price Coupling of Regions）机制正式上线运行，随着欧洲中部和南部更多的国家加入，PCR 逐步升级为多区域电价耦合（MRC，Multi-Regional Coupling）机制；2018 年，跨境耦合的日内电力市场也成功上线运行。截至 2020 年底，MRC 已经覆盖了欧洲 19 个国家、85% 的年用电量，下一步将与东欧 4 国（匈牙利、斯洛伐克、捷克和罗马尼亚）的算法机制进行融合。基于统一的电力市场和耦合的电力系统，欧洲的“2030 年可再生能源发电量占比达到 50% 以上”的可再生能源目标，可以直接纳入电力市场设计当中。除此之外，市场设计还要求市场需要为储能和需求侧提供相应的价格激励，以提升系统的灵活性。

图1-11 2020年欧洲MR覆盖范围

资料来源: All NEMO Committee



以德国为例，目前德国已与周边 7 个国家实现联网，年输出电量约为 600-700 亿千瓦时，年输入量为 200-400 亿千瓦时，与大部分国家均有双向的电量传输，为可再生能源在更大范围内的高效消纳提供保障。通过电网的互联和日内市场的应用，欧洲各地的可再生能源发电的波动性可以在更大的范围内进行平滑，北欧的大型水电、工业需求响应以及其他类型的系统灵活性可以进行跨国的调用，而可再生能源发电较多的国家可将多余的可再生能源电力送至其他国家消纳。德国的能源转型很好地利用了欧洲的整体资源，并主导和推动这一进程。北欧电力市场的良好运行已初步证明跨越国界发展可再生能源可带来更高的系统效率和更低的系统成本。

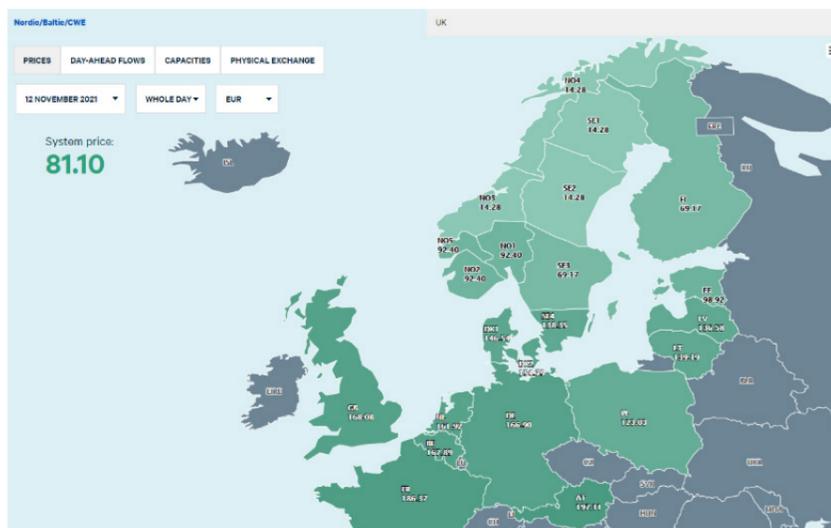
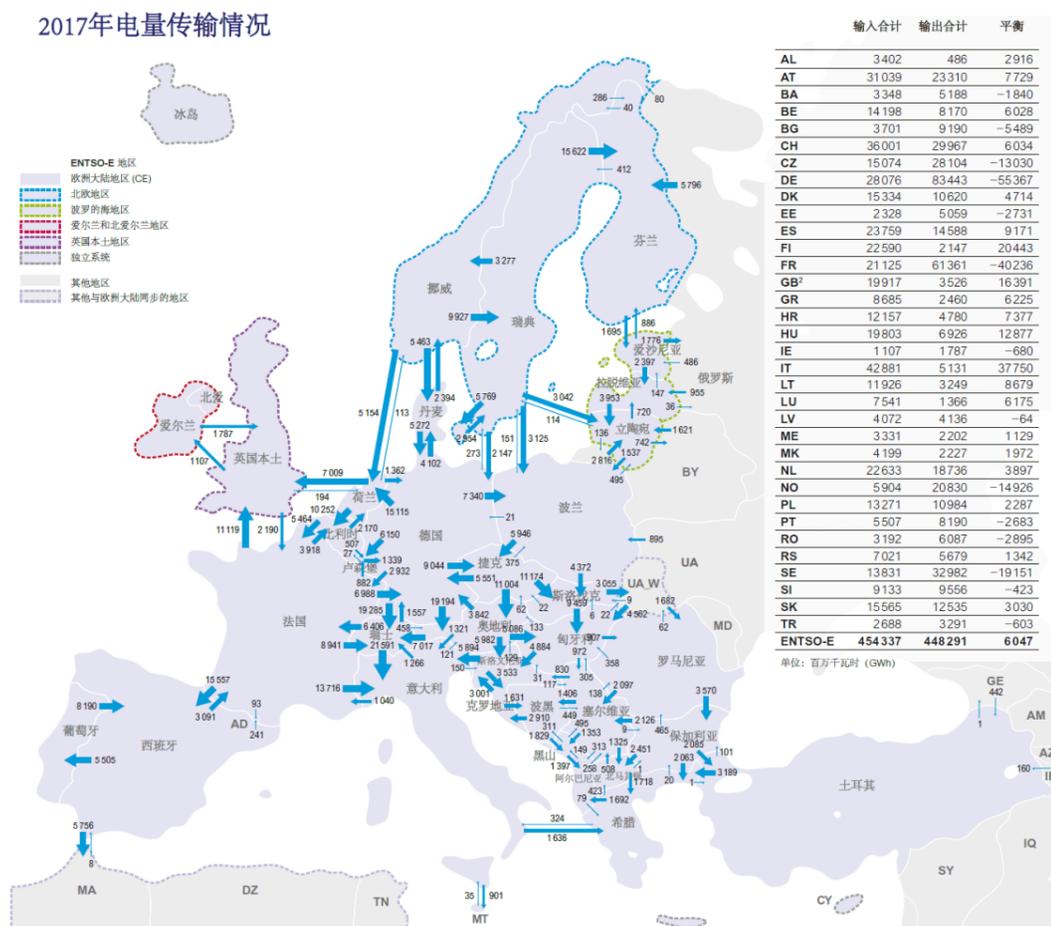


图 1-12 2021年11月12日某时刻Nord Pool日前市场的系统电价和区域电价

资料来源:Nord Pool

图1-13 欧洲各国电量传输情况

资料来源:ENTSO-E



7. 电转氢技术P2X (Power to X)

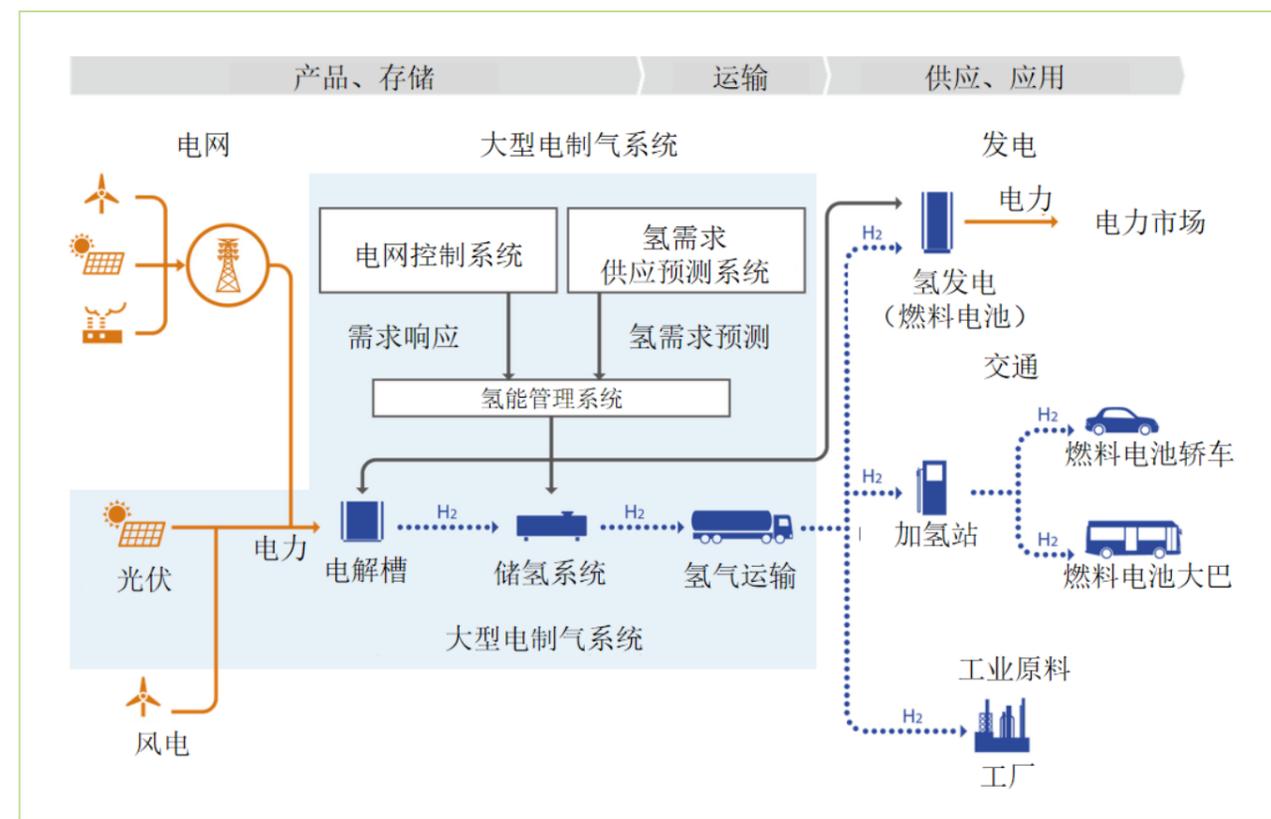
电转氢技术将富余的可再生能源转化为化学能，运用于电力系统中有望实现富余可再生能源的大规模消纳。氢在交通、发电以及化工领域具有广阔应用前景，发展面向可再生能源的 P2X 技术是提升高比例可再生能源利用效率的一条重要途径。IEA 研究表明当前正是发挥氢能在清洁、安全和经济的未来能源中潜力的关键时刻，尤其是扩大氢能的技术规模、降低成本的重要时机。

日本政府 2017 年制定的《氢基本战略》号召开展包括大规模制氢、长时间氢储藏和在燃料电池动力、电网负荷调整（基于需求响应）、功率波动大的可再生能源发电并网等多方面应用的研究。由日本国立的新能源产业技术综合开发机构（NEDO）牵头，东芝能源系统、东北电力、岩谷产业三家企业联合于 2018 年开始在福岛县浪江町棚盐工业区建造氢能研究场，2020 年 2

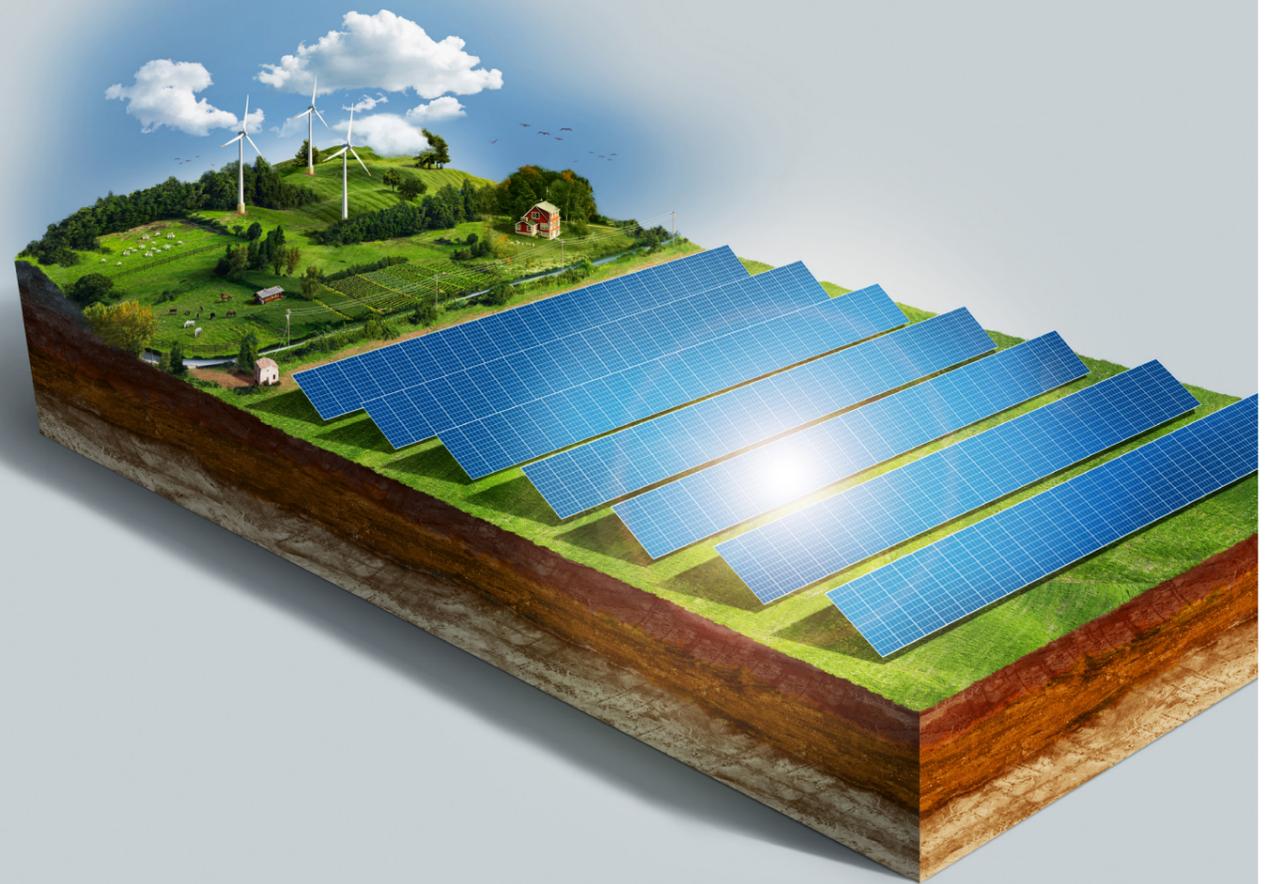
月末完成施工，3 月 7 日开始运行。该设施在 18 万平方米场地内铺设了 20 兆瓦太阳能发电装置，接入 10 兆瓦电解水制氢装置，设计生产能力每小时 1200 标准立方米氢气。开始运行期间能够年产 200 吨氢气，生产过程中二氧化碳净排放为零。生产的氢气预计主要以压缩罐车和气瓶组的形式供应福岛县和东京都市场。氢产量和储存量将根据对市场需求的研判进行。氢产量还将适应电力系统负荷调整的需要进行调节，以满足用电供需平衡的要求，最终不使用蓄电池而通过利用电能 - 氢能之间的转化实现电网负荷调整达到供需平衡。具体实施中，东芝能源系统负责项目协调及氢能系统，东北电力负责电力系统及相关控制系统，岩谷产业负责氢的需求预测系统和氢的储存、供给。

图1-14 福岛电制氢设施及周边产业环节

来源:TOSHIBA FH2R Project



二、 中国未来电力的 愿景与场景



(一) 中国未来电力发展的战略考量

1. 经济和社会发展需要更高质量的现代能源和电力服务

(1). 经济转向中高速增长，中国步入高收入国家行列

经过改革开放以来四十年的经济快速发展，2020年中国人均GDP达到10504美元，正处于由中高收入向高收入阶段迈进的关键时期。从国际经验看，高速增长经济体在进入中高收入阶段后，都经历过经济明显减速和换挡的过程，且绝大部分国家的经济减速都发生在中等收入阶段。中国潜在经济增长率将趋于下降，中国经济处于从高速增长向高质量发展的转换期。考虑到2035年基本实现现代化的目标，预计“十四五”期间GDP增速将保持在6%左右；2026-2030年，GDP增速下调至5.6%；2031至2035年间，中国GDP增速下调至4.8%。2035年人均GDP超过2万美元，对能源服务，特别是高品质能源服务需求将增加。

(2). 工业化进入中后期阶段，信息化、服务化特征日益突出

中国正逐步从工业化中期转向后期。从工业化发展进程看，中国工业化处于从中期向后期过渡阶段，从“十四五”开始，中国将进入工业化后期，服务业比重会逐步提高，高加工度产业比重会趋于上升，要素投入从主要依靠数量扩张向主要依靠质量提升转变，要素结构、产业结构和需求结构都会加速调整。在向工业化后期转变的阶段，生产要素组合方式将发生重大变化，从劳动密集型向资本技术密集型产业升级，从资源能源高消耗性产业向节能减排产业发展。同时，信息网络技术广泛应用，新一代信息基础设施建设大力推进，现代信息技术产业体系逐

步形成，信息化改造推动传统产业向高加工度、高技术含量、高附加值方向发展，产业的信息化、服务化特征日益明显。

基于工业化进程分析，对未来中国产业结构变化进行展望：2035年，三次产业占比分别为3.0%、32.0%、65.0%，制造业占GDP的比重为23.0%。传统工业及能耗将大幅下降，波动较大的商业和居民负荷比重将快速提升，数据中心等新型产业负荷将显著增加，智慧能源服务市场需求大幅增加。

(3). 人口逐步进入峰值期，城镇化进入城市群和都市圈时代

中国人口正逐步进入峰值期。改革开放以来，中国人口持续增长，从1980年的不到10亿人增长到2020年的14.12亿。不过，人口自然增长率已不断下降，目前已降至5‰不到，人口总量正逐步逼近峰值。随着中国人口出生率的不断下降和老龄化程度的增加，参考联合国人口署、世界银行等机构预测，预计到2030年前后中国人口总量达到峰值，到2035年降至14.4亿以内。

中国城镇化已进入均衡推进期。伴随工业化进程，中国已经进入城镇化中期阶段。按照第七次普查的城镇常住人口统计结果，2020年中国城镇化率已经达到63.9%。中国将继续实施区域协调发展战略和新型城镇化发展规划。未来一段时期，随着新型城镇化战略的实施，中国城镇化将进入均衡推进期，城镇化质量将不断提升。

增加值	2020	2025	2035
第一产业	7.7%	6.4%	3.0%
第二产业	37.8%	36.78%	32.0%
其中：制造业	26.2%	26.8%	23.0%
第三产业	54.5%	56.82%	65.0%

表2.1 中国的产业结构及预测

预计2025年中国城镇化率能够达到66%，至2035年达到70~80%的均衡水平。中心城市对周边地区的聚集效应将逐渐转向扩散效应；大中小城市、小城镇协调发展格局将逐步形成。未来进入城市群、都市圈为主的城镇化形态，更具生产效率和

节能，在全国能源与电力供需平衡、东中部分布式能源利用、西部能源基地外送、各地多能互补系统建设、区域综合能源发展等方面带来新的技术、经济和生态环境方面的机遇和挑战。

	2020	2025	2030	2035
人口(亿人)	14.12	14.3	14.5	14.4

表2.2 中国人口变化前景

2. 生态文明建设和绿色发展

(1). 绿色发展和实现生态文明契合中国新发展理念和目标

随着中国经济社会发展进入新时代，中国社会的能源发展也从过去解决“有没有”问题为主，向未来解决“好不好”问题转变。在生态文明建设国策的指导下，中国将进一步推进绿色发展，加快建立绿色生产和消费的法律制度和政策导向、建立健全绿色低碳循环发展的经济体系。构建市场导向的绿色技术创新体系，发展绿色金融，壮大节能环保产业、清洁生产产业、清洁能源产业。推进能源生产和消费革命，构建清洁低碳、安全高效的能源体系。推进资源全面节约和循环利用，降低能耗、物耗，实现生产系统和生活系统循环链接。未来能源的发展，必须要符合国家绿色发展和生态环境保护的各项政策要求，在生态红线、环境底线和资源上限的“三条红线”之内运行。

(2). 碳达峰、碳中和纳入生态文明建设整体布局

习近平主席在2020年9月的联大会议期间作出重大宣示，要采取更加有力的政策和措施应对气候变化，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。2020年12月，习近平主席在气候雄心峰会上又提出“到2030年，中国单位国内生产总值二氧化碳排放将比2005年下降65%以上，非化石能源占一次能源消费比重将达到25%左右，森林蓄积量将比2005年增加60亿立方米，风电、太阳能发电总装机容量将达到12亿千瓦以上”。

2021年3月中央财经委员会第九次会议强调，实现碳达峰、碳中和是一场广泛而深刻的经济社会系统性变革，要把碳达峰、碳中和纳入生态文明建设整体布局，拿出抓铁有痕的劲头，如期实现2030年前碳达峰、2060年前碳中和的目标。要坚定不

移贯彻新发展理念，坚持系统观念，处理好发展和减排、整体和局部、短期和中长期的关系，以经济社会发展全面绿色转型为引领，以能源绿色低碳发展为核心，加快形成节约资源和保护环境的产业结构、生产方式、生活方式、空间格局，坚定不移走生态优先、绿色低碳的高质量发展道路。要坚持全国统筹，强化顶层设计，发挥制度优势，压实各方责任，根据各地实际分类施策。要把节约能源资源放在首位，实行全面节约战略，倡导简约适度、绿色低碳生活方式。要坚持政府和市场两手发力，强化科技和制度创新，深化能源和相关领域改革，形成有效的激励约束机制。要加强国际交流合作，有效统筹国内国际能源资源。要加强风险识别和管控，处理好减污降碳和能源安全、产业链供应链安全、粮食安全、群众正常生活的关系。

会议指出，“十四五”是碳达峰的关键期、窗口期，要重点做好以下几项工作。要构建清洁低碳安全高效的能源体系，控制化石能源总量，着力提高利用效能，实施可再生能源替代行动，深化电力体制改革，构建以新能源为主体的新型电力系统。要实施重点行业领域减污降碳行动，工业领域要推进绿色制造，建筑领域要提升节能标准，交通领域要加快形成绿色低碳运输方式。要推动绿色低碳技术实现重大突破，抓紧部署低碳前沿技术研究，加快推广应用减污降碳技术，建立完善绿色低碳技术评估、交易体系和科技创新服务平台。要完善绿色低碳政策和市场体系，完善能源“双控”制度，完善有利于绿色低碳发展的财税、价格、金融、土地、政府采购等政策，加快推进碳排放权交易，积极发展绿色金融。

(二) 中国2050年可再生能源电力情景

1. 未来能源和电力发展情景

按照中国 2035 年基本实现现代化、推动能源生产消费革命、生态文明建设、“30/60 双碳”目标、共同履行《巴黎协定》的要求，统筹国际国内两个大局，进行“低于 2 度情景”设计。研究主要采用情景发展目标和边界倒逼分析和自下而上定量预测相结合，主要依据情景设计，通过建立对未来经济社会人口的预测，并据此提出相应的能源需求，依据碳排放总量和强度要求，设计合理的能源结构，通过模型分析等定量分析的方式确定未来能源结构和发展路径。

研究将以目前能源体系的政策框架作为研究基点的展望式方法，和以 2050 年预期社会经济发展目标、分析需要采取何种措施路径确保目标实现的倒逼回溯式研究方法相结合。洞察中国能源体系未来的发展趋势。两种方法的结合在专注于研究能源体系长期发展愿景的同时，又能兼顾持续健康发展面临的短期障碍。

对于以上情景的分析是建立在能源系统综合建模平台上的，基于全社会效益最大化的标准，并结合技术经济评价、能源系统优化、政策措施及社会经济评价、能源外部性分析和系统理论等方法进行综合决策分析。该模型工具主要由电力和区域供热优化部署模型 (EDO)、终端能源需求分析模型 (CREAM-Demand) 以及能源发展经济社会评价模型 (CGE) 三者构成。研究将首先以宏观经济发展增速和环境约束，通过终端能源需求分析模型研究得到能源需求总量及分部门、品种需求量；第二，结合可再生能源资源及产业基础等约束，对电力系统发展路径和并网输电消纳进行模拟分析和优化，分析优化电力结构和布局的总体方案，重点提出可再生能源电力的布局方案；第三，研究将利用能源发展经济社会评价模型分析得到可再生能源发展对部门经济、产业拉动、提高就业等方面的促进作用。最后通过模型研究结果，提出中国 2050 年可再生能源发展规模目标、重点方向、布局方案以及发展战略体系。



图2-1 能源系统分析模型框架

(1). 终端能源需求分析模型

利用的现有统计和预测数据，对人口、城镇化进程、以及工商业、建筑、交通和农业等各部门中不同技术转换、能源产品生产以及终端用能特性进行分析，推演并预估能源消费终端中消耗的能源类型、消费方式、能源效率以及年活动水平等参数的变化趋势，同时根据发展需求设置不同情景，依此分析预测 2050 年前的终端能源需求规模和结构。

自下而上的分部门能源消费预测需要大量的统计数据以及预测性数据的输入。这些数据主要来源于中国统计年鉴、中国能源统计年鉴数据、主要行业研究机构和领先国家相关预测。其中：经济社会预测模型将采用政府或大型国际组织的预测数据；能效等技术数据着眼于相应技术或领域的国际领先水平。中国在过去数十年中取得显著技术产业进步，或已然进入国际领先行列，在 2050 年有望在许多领域占据全球领先地位。

(2). 电力和区域供热优化部署模型

中国能源系统的绿色高质量发展依赖终端能源系统电气化和高渗透率的可再生能源电力供给，其中电力系统顶层部署将是中国能源转型的关键。

基于 2018 年到 2050 年对总体能源发展的判断以及对主要类型可再生能源发电的技术经济性、资源条件、配套电网优化运行、环境影响等因素的分析，并参考中国现有规划政策和目标，通过电力和区域供热优化部署 (Electricity and District Heating Optimization, EDO) 模型，对中国未来电源结构以及电力流向的发展目标和布局进行分析。

研究利用 EDO 模型模拟目标年小时级电力系统运行情况，通过对 2018-2050 年电力生产、运输和使用方式的假设，分析在基准情景和绿色高效情景下，中国电力系统的发展路径，同时根据不同地区各自情景下的电源组合和发展特点，研究相关电网、储能、需求响应等发展情况。此外，EDO 模型还兼顾区域供热系统分析，研究了可再生能源电力接入后系统总成本最低的发电和区域供热模式，分析提高可再生能源电力接纳的方法，实现全社会电力系统最低经济投入。

EDO 模型以系统投资和运行的综合最小成本为目标函数，以电源技术和经济特性、燃料和资源、电力和热力负荷以及增长预测、电力传输容量、国家（地方）的税收和补贴政策参数等作为基本数据输入，加以电力和热力平衡以及系统运行特性特点等模型边界条件，由此确定电力和区域供热系统未来电源、热源的规划和电力系统输电容量的扩充，以满足情景的碳排放约束。模型中根据电源特性的差异，设计了 50 余种差异化的电源技术，并根据地区性差异，对同一技术类型的发电效率和经济性参数进行了细分。

EDO 模型覆盖了中国 31 个省（市、自治区）。根据实际电网架构，内蒙古电网被分为东西两部分，因此在 EDO 模型中总共创建了 32 个不同的地理区域。依据电力传输和供热特点确定各类技术的工作区域，在每一区域内，模型分别计算发电和区域供热机组的发电量、供热量以及各区域之间电力传输。模型中对于这些活动相关的燃料消耗、排放及该系统运营的经济成本进行了计算。由于电力的生产和消费需要在同一时间完成，因此在每一时间步，必须在系统中的每一点上维持电力平衡。而时间分辨率则可以在模型运行中根据需要自行设定，最低可以维持在小时级水平上。在电力市场改革尚未完全完成的阶段，通过设定调度运行约束以反映当前实际采用的调度规则，如传统机组的年度满负荷运行小时数，省间电力传输计划等。依据输入数据，EDO 针对每年进行如下计算：

经济调度优化和机组启停组合——优化决策每一机组的最优运行水平；满足电网中每一区域以及每一时间的电力、热力需求；优化运行受限于电网约束、电力系统运行技术约束及其他约束条件。

容量拓展——一方面，模型可以内生确定各类技术容量，另一方面，也可使用 EDO 模型在满足外生系统电力和热力需求以及污染物排放的限额等条件下，在发电、电力传输和储能方面进行投资及容量扩展。

2. 一次能源总体趋势与特征

随着电气化程度加深与可再生能源占比提升，一次能源消费总量呈现先升后降的趋势。在两种情景下，“十四五”规划期间，2021年到2025年，一次能源消费总量不断增长，到2025年，一次能耗总量将增长到54亿吨标准煤左右。在“十五五”规划和“十六五”规划期间，此数值将稳定在56亿吨标准煤左右。到2050年，既定政策情景下，一次能耗总量将降低到54.1亿吨标准煤；低于2度情景下，则会增长到57.6亿吨标准煤左右。

随着中国不断推动能源生产和消费革命，经济发展从高增长逐渐转变为高质量增长，单位GDP能耗在未来将持续下降。到2035年，单位GDP能耗将下降到0.28吨标煤/万元，到2050年，单位GDP能耗将下降到0.17吨标煤/万元。未来在“十五五”和“十六五”期间，单位GDP能耗应进一步分别降低20%和21%。

随着中国能源体系正在从清洁化基础上向低碳化转型，化石能源在一次能源消费中的占比将持续下降。2020年，煤炭在一次能源需求中的占比为57%，既定政策情景下，到2035年，此占比将下降到30%；低于2度情景下，则会下降到23%。2020年，天然气在一次能源需求中的占比为8.4%，两种情景对此种需求增长的预测类似，既定政策情景下，到2035年，该占比会增长到20%；低于2度情景下，该占比会增长到18%。2025年到2035年期间，一次能源需求将会出现从化石能源到可再生能源的重大变化，且这种变化会非常明显。既定政策情景下，源自化石燃料的一次能源供应会相对下降14个百分点；低于2度情景下，则会下降23个百分点。2020年，源自可再生能源的能源供应所占比例为14%，既定政策情景下，到2035年，该比例将增长到27%；低于2度情景下，到2035年该比例则会增长到37%。

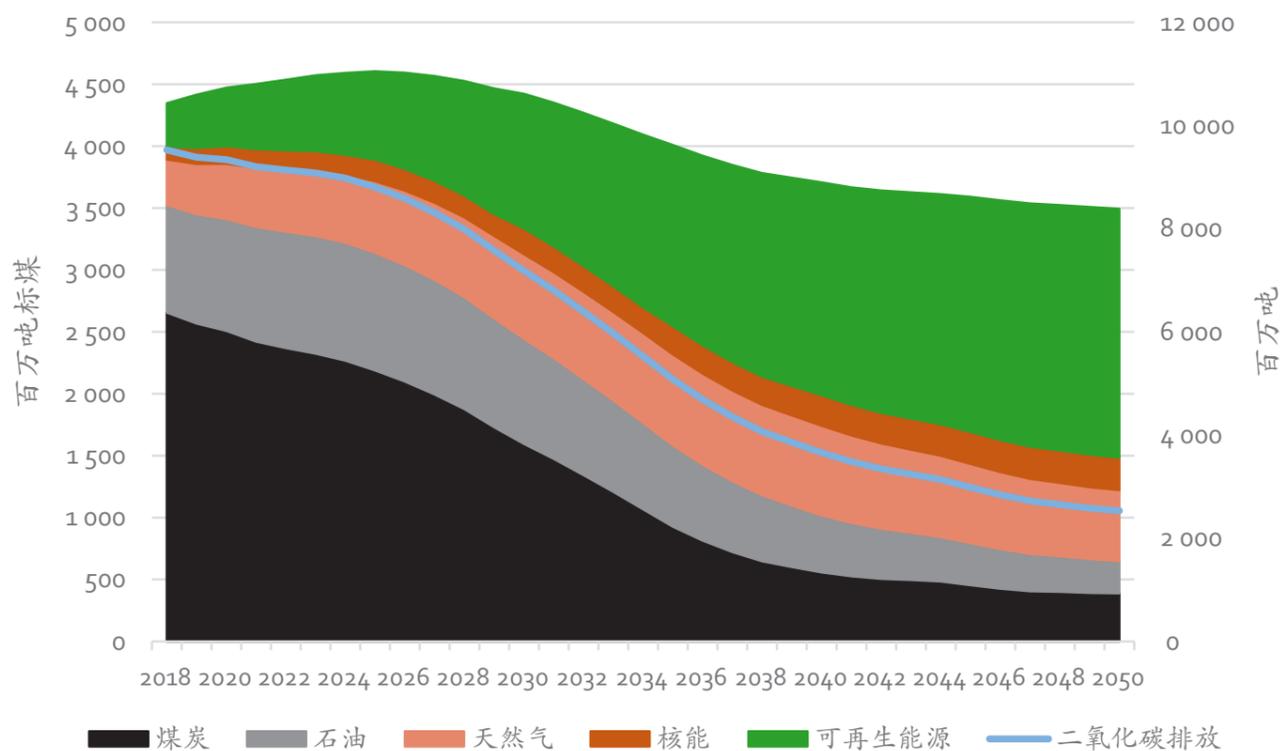


图2-2 低于2度情景下一次能源消费和二氧化碳排放情况

随着风电、光伏发电进入后补贴时代，未来风电和光伏发电成为装机规模和发电量最大的两种电源。2020年，风电、光伏发电量在全社会用电量中占比分别为6.2%和3.5%。两种情景下，煤炭发电逐渐退出，取而代之的是可再生能源，未来风电、光伏发电量在电力和能源消费中占比均将大幅提升。2050年，风电和光伏发电成为电力结构中主力电源。可再生能源在发电量中的占比从2020年的近30%增加到2050年低于2度情景下的

88%。发电装机中，到2030年，由于风能和太阳能与其他技术相比具有经济竞争力，且2030年之前实现碳达峰和非化石能源占比25%的目标，因此既定政策情景中风电装机容量约7亿千瓦，太阳能装机容量为8.8亿千瓦。低于2度情景下，则2030年将安装了8.5亿千瓦的风电和10亿千瓦的太阳能发电。

图2-3 低于2度情景下分能源品种发电量情况

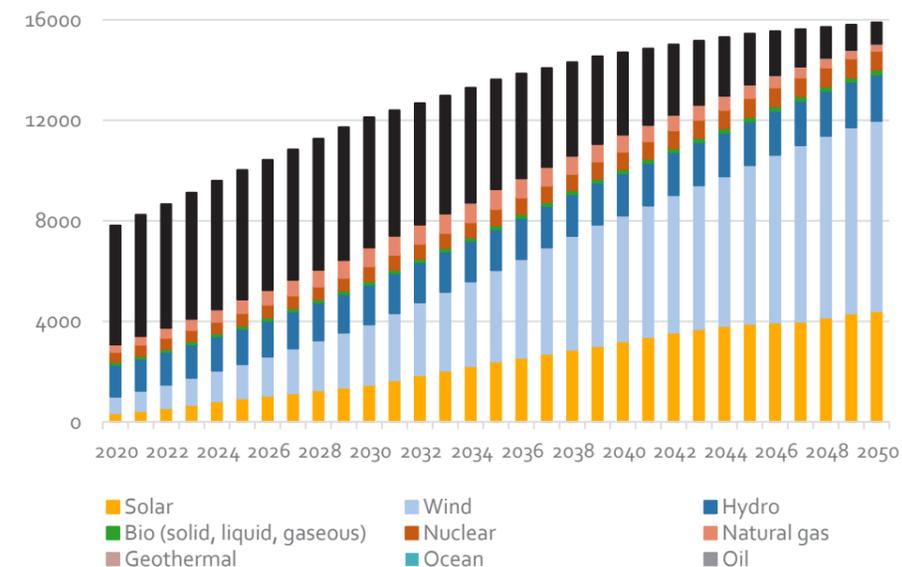
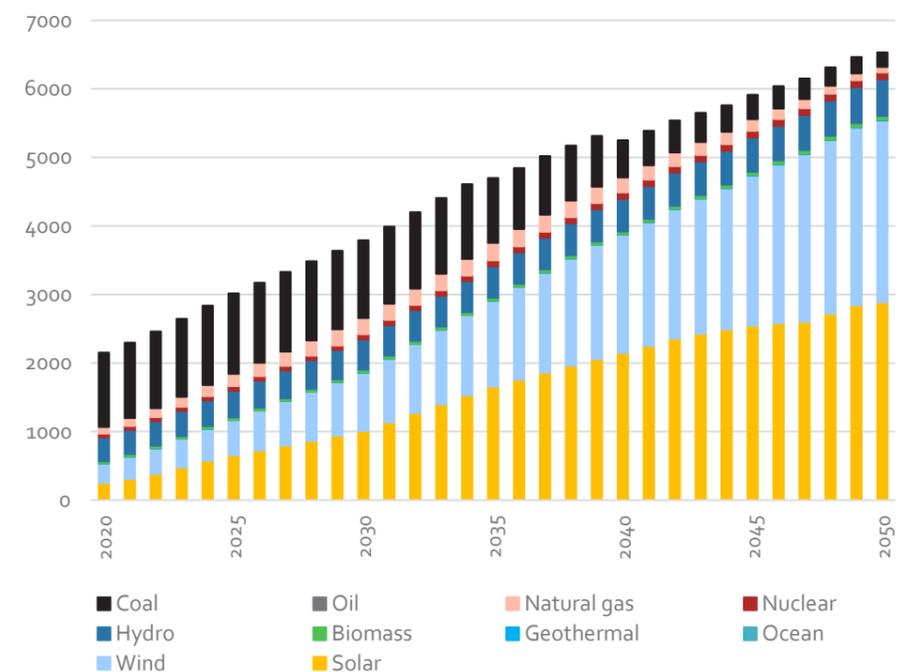


图2-4 低于2度情景下分能源品种发电装机情况



能源结构的优化调整将使得碳排放的增长与能源消费的增长将逐渐脱钩。随着加速电气化、高比例发展可再生能源、扩大天然气供给等措施，中国化石能源消费总量将在未来达峰，能源系统碳排放总量呈现先增后降的趋势。2018年，能源相关二氧化碳排放量为95.5亿吨，既定政策情景下，到2035年，能源相关二氧化碳排放量为67.5亿吨，到2050年，能源相关二氧化碳排放量为37亿吨；低于2度情景下，到2035年，二氧化碳

碳排放量将下降到51.5亿吨，到2050年，二氧化碳排放量将下降到26亿吨。2018到2050年期间，既定政策情景下的累积能源二氧化碳排放量为2300亿吨，低于2度情景下则为1950亿吨。

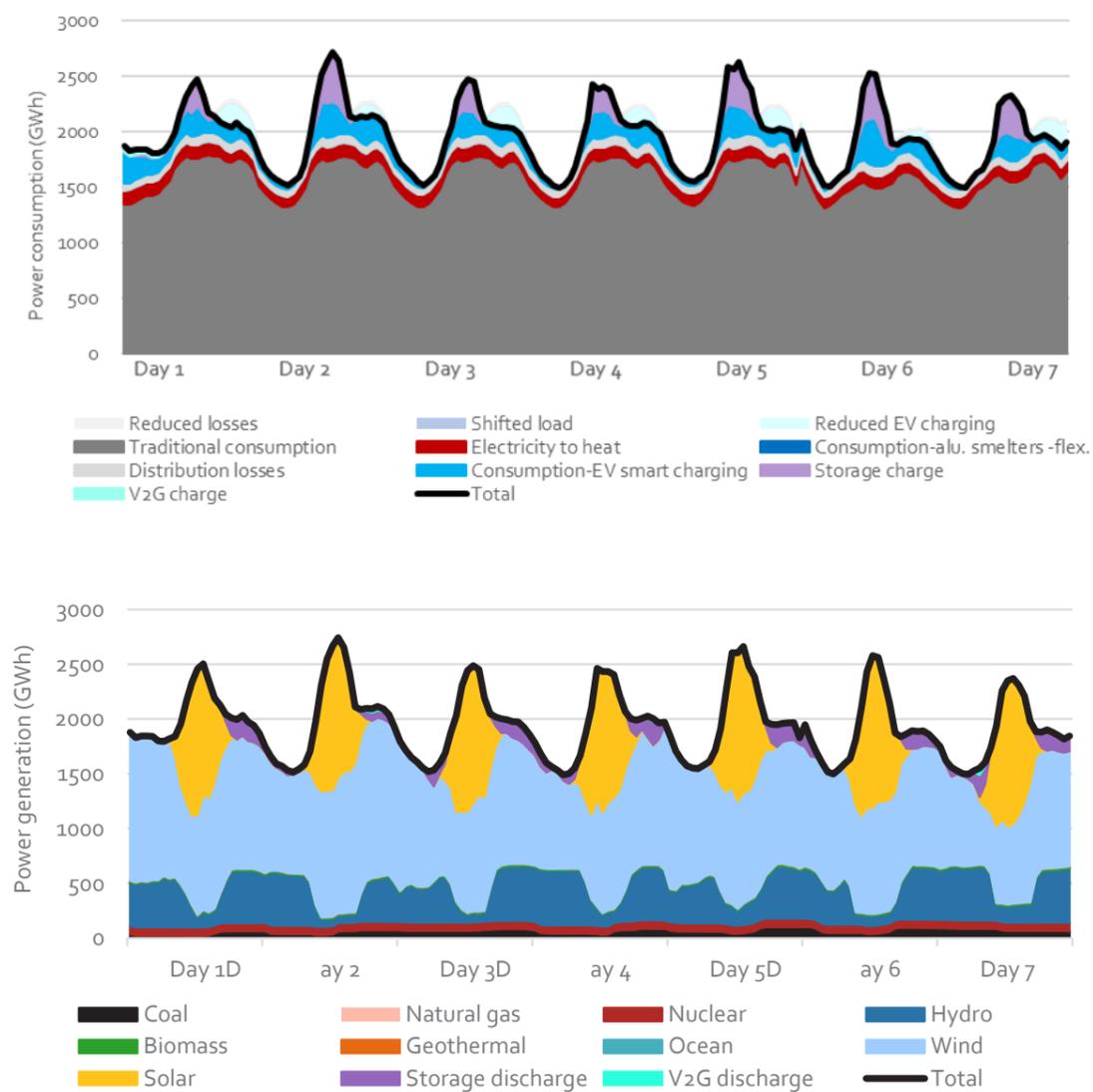


图2-5 低于2度情景下一周的电力平衡曲线

(三) 开放融合多元共享的未来电力场景

未来新能源的广泛接入将呈现智能灵活、友好并网、高效环保的特征。通过储能、交直流组网与多场景融合应用提升能源系统智能灵活运行水平。通过风光水火储、多能互补、集群调度、气象大数据发电预测、广义虚拟同步技术，可提升友好并网与主动支撑性能，并与灵活性火电机组、天然气与储氢调峰电站共同构成发电侧灵活资源体系。电网将呈现出交直流远距离输电、区域电网互联、主网与微电网互动的形态。未来终端用能结构中，电气化水平持续提升，电能逐步成为最主要的能源消费品种。电能替代、电动汽车、清洁供暖、屋顶光伏、家用储能设备及智能家居的广泛应用使用用电负荷朝着多元化方向发展。

在能源互联网背景下，既是消费者，又是生产者的全新模式改变着能源电力服务形态，需求侧响应、虚拟电厂及分布式交易越来越多成为用户的新选择。除了普遍服务外，绿色电力、定制化服务、优质供电、精准计量、电力大数据增值服务成为用户的新需求。

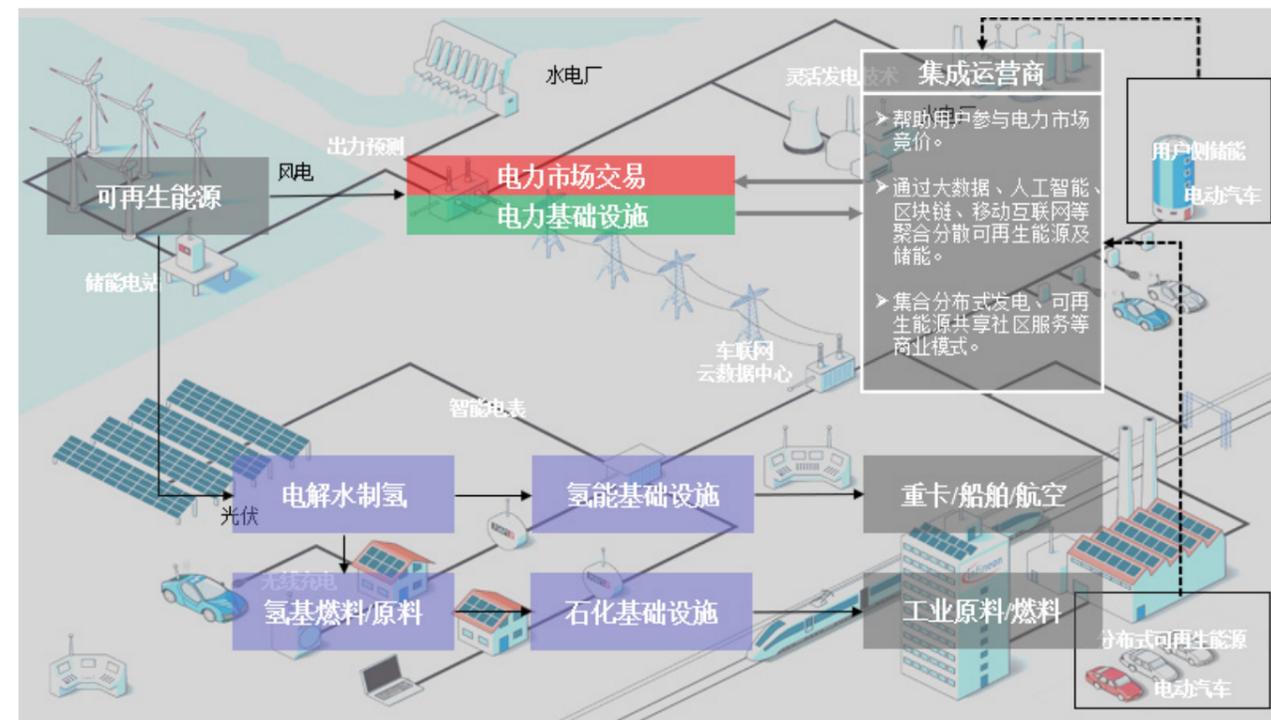


图2-6 多元融合、开放共享的未来电力场景

(四) 落实中国未来电力愿景的重点政策与实施路线的展望

面向碳中和目标的实现,需要以绿色电力的大规模开发和使用助推能源供给侧结构性改革,从源头上引领、带动和传导整个能源体系,形成构建现代能源体系的新突破;以能源行业信息化、数字化和智能化变革助推能源系统的绿色低碳转型;以终端能源用电需求引导能源生产持续优化,确保碳达峰碳中和目标的实现。

1. 大力开发风电光伏等新能源电力, 助推能源供给侧结构性改革

加快推动风、光成为主体能源。上述研究分析表明,风能和太阳能将是成为未来中国能源系统的支柱,这种转型对于中国建设生态文明的国内目标和实现应对气候变化的国际承诺均至关重要。对于 2035 年之前的时期,建议逐步增加风能和太阳能的装机容量。在 2020 年至 2025 年期间,建议每年部署 1.2-1.3 亿千瓦。从 2025 年到 2030 年,年新增装机规模应该增加到 1.35-1.40 亿千瓦,从 2030 年到 2035 年,年新增装机规模应该在 2 亿千瓦左右。

推进可再生电力与煤电、气电等协同转型。统筹考虑绿色低碳发展转型、煤炭消费总量控制、能源领域供给侧改革等各项要求,用好存量煤电资源,加快推进煤电灵活性改造。结合技术创新,鼓励燃煤机组增加高效热能装置,适应电力系统负荷和可再

生能源发电的快速波动,逐步引导煤电由基础负荷的主要承担者向系统灵活能力的主要提供者转变。2025 年前,全国存量煤电机组的灵活性改造完成率要达到 50% 以上,2030 年前煤电全部完成灵活性改造。抓住窗口期,发挥好燃气发电的调节作用,支撑西北地区高比例可再生能源发展和华北、华东及南方地区分布式能源发展。

建立健全以抽蓄、电化学、电动汽车和绿氢为主的储能体系。充分利用各类储能技术的不同时空特性,实现“可再生能源+储能”协同发展。加强西部风光资源富集地区可再生能源场站并网与储能设施配置;推动储能体系作为电网主要调节资源参与电力系统的调峰、调频,共同参与电力辅助服务市场。

2. 以终端部门的电气化需求引导能源生产持续优化

以终端部门的电气化改善能源效率和降低碳排放。改善终端部门的能源消费结构,以绿色电能替代促进工业、交通、建筑等终端部门的现代化和电气化,降低终端部门的污染物排放量。积极推动可再生能源发电与大规模电动汽车普及的协同,着力推进高污染工业、商业居民建筑的减煤和电气化,持续推动城乡电力、热力基础设施的扩容和与分布式可再生能源的整合,逐步实现人人享有可持续能源。

激发需求侧主动响应。建立健全基于价格激励的负荷侧响应措施,制定反映市场供求关系的价格体系,进一步优化峰谷电价机制,整合系统运行、市场交易和用户用电数据,提高负荷侧大数据分析能力,增强负荷侧响应能力。加快促进 V2G 规模化

应用,推动电动汽车充电基础设施体系加快建设,研究电动汽车充放电与电力系统互动技术与商业模式。充分发掘电动汽车动力电池全生命周期与可再生能源发电的协同潜力。

逐步发展电制氢替代。因地制宜布局电氢融合基础设施,力争在绿氢制备、长距离运输和终端应用等前沿技术方面取得突破,关键产业链技术自主可控。逐步推动电解水制氢成为西部地区风电、光伏发电等可再生能源消纳的重要方式。随着绿氢成本的持续下降,推动氢能下游应用市场由交通领域向储能、工业、建筑领域拓展,逐步形成较完备的电氢融合产业体。

3. 实施绿色电力转型的重点驱动政策

国内已经有多种政策工具用于促进绿色电力转型,最重要的是包括可再生能源消纳保障机制、绿色证书、电力市场和二氧化碳排放交易系统(ETS)。这些政策如果能够有效实施,将能够显著推动可再生能源的部署,尤其是风能和太阳能光伏。

可再生能源消纳保障机制。对可再生能源,尤其是风电和光伏等非水可再生能源电力设定强制性消费目标,这对于扩大风能和太阳能光伏的部署至关重要。按照国家能源局的要求,各省将负责确保可再生能源在该省总电力消耗中达到特定的占比,且各省的目标未来将朝着逐步统一的方向发展。各省的可再生能源消费既可以在省内本地生产,也可以通过跨省传输来自其他省份。

绿证制度。绿证制度是促进绿电发展的重要政策工具之一。绿证是由政府或授权机构认证的可再生能源发电量的凭证,用于计量和追溯绿电的消费,可与电量统一或分开交易及核算。通过强制消费配额和自愿认购激励等两种方式促进绿证交易。绿证制度可以让各省以灵活的方式决定本地生产或从其他省购买。风能和太阳能发电条件好的省份可以出口到条件较差的省份,有利于整体经济效益。购买绿色证书将为可再生能源电厂的所有者带来额外收入。

电力交易。可再生能源生产商的主要收入是电力销售。运行良好的电力市场的发展对于将可再生能源整合到电力系统中至关重要。电力市场必须为中长期价格风险管理和高效的系统调度提供机会。可再生能源生产商须能够进行中长期电力交易,以确保在该交易窗口内建立的其他发电商实体仓位不会将可再生能源生产商挤出市场。采用 PPA 还可用于保证可再生能源生产商和市场消费者的长期价格安全。一旦运作良好的现货市场提供了流动性和可信的价格参考,例如系统边际价格(SMP),就应该通过金融权力交易来加强价格风险管理。中长期实物交易参照系统边际价格,过渡到期货、差价合约(CfDs)等金融合约。基于边际和动态定价的现货市场将确保风能和太阳能在火力发电厂之前被调度。定价将反映与需求相比生产的稀缺性,并确保整个系统有效运行。

碳市场。二氧化碳排放交易系统(ETS)将通过提高使用化石燃料的发电厂的发电成本来支持能源转型。如果分配排放配额,则应授予所有发电厂,包括风能和太阳能发电厂,这将为可再生能源生产商带来额外收入,他们可将排放权出售给拥有化石燃料发电厂的发电厂。如果改为拍卖 ETS 配额,效率会更高,由此产生的收入应该会促进能源转型。



图 2-7 促进可再生能源的发展的主要激励措施

三、 绿色创新与开放 共享发展

进入十四五以来，中国可再生能源将呈现大规模、高比例、市场化、高质量发展新特征。面向碳达峰碳中和目标，必须完整、准确、全面贯彻新发展理念，统筹发展与安全，以绿色低碳为主题，大力推动发展模式和制度的改革创新，有序推进各类资源和市场向各类主体公平开放，促进可再生能源走上全民参与、共建共享式发展道路。



(一) 全方位协调融合开发利用可再生能源的新格局

随着新能源和可再生能源向大规模、高比例、普及化方向发展，中国需坚持生态优先、因地制宜、多元融合发展，推动构建全方位融合开发利用可再生能源的新格局。⁵

1. 构建网格化、立体式资源勘查和集成规划体系

随着可再生能源开发进入全面普及发展阶段，亟需全面开展全国可再生能源资源详细勘查和综合评价，纳入国土空间基础信息平台 and 国土空间规划“一张图”，构建国家能源基础信息及共享平台。为此，能源主管部门需要会同自然资源、水利气象、生态环保、城乡建设、农林牧渔、海洋岛屿等管理部门，发挥各级公共机构和各类企业优势，共同开展可再生能源开发资源量评估，对全国可利用的风电、光伏发电、地热能、生物质能资源进行全面勘查评价，按照资源禀赋、土地用途、生态保护、城乡建设等情况，准确识别县域单元具备开发利用条件的资源

潜力，建立全国、省、市县等各级可再生能源可开发资源数据库，并及时将可再生能源资源的可开发利用范围等空间信息纳入同级国土空间基础信息平台 and 国土空间规划一张图，对重要的新能源开发基地、储备基地、抽水蓄能站点等进行前瞻性布局，对建筑附加和建筑一体化太阳能利用设施预留接口，保障可再生能源开发利用合理的用地用海以及立体空间需求，建设多能互补、就近平衡、以清洁低碳能源为主体的新型能源系统。

2. 统筹推进各类可再生能源开发利用新模式新场景

大规模、高比例可再生能源发展将对自身发展方式和能源经济社会生态发展带来新的要求，必须统筹推进各类可再生能源开发利用新模式新场景。坚持集中式与分布式并举，加快建设水电、风电和光伏发电基地，因地制宜推动各类可再生能源分布式开发利用；坚持陆上与海上并举，优化海上风电开布局，有序推进海上风电基地建设；坚持就地消纳与外送消纳并举，提高电力系统灵活性和电网柔韧性，同步扩大可再生能源就地就近消纳规模和跨省跨区外送规模；坚持单品种开发与多品种

互补并举，既强调水风光等可再生能源各品种之间的互补发展，也注重可再生能源与火电等传统化石能源等融合发展。坚持单一场景与综合场景并举，贯彻生态文明建设、新型城镇化、乡村振兴、新基建等国家战略，拓展光伏治沙、建筑光伏一体化、可再生能源制氢利用等多场景应用，着力构建多能互补、因地制宜、多元迭代发展新局面。

5. “十四五”可再生能源发展规划

3. 推动可再生能源融入生产生活生态空间

随着能源革命的政策推动和新能源发电技术的不断成熟，在中东部加快探索推广以“光伏+”为代表的新能源融合发展的模式创新，拓展“建筑+光伏”“生态治理+光伏”“农业/渔业+光伏”等新模式新业态。加快构建有利于低碳发展产业布局，推进京津冀、长江经济带、粤港澳大湾区、长三角地区、黄河流域等重点区域产业有序转移和承接，引导有色金属、石化等行业产能向可再生能源富集、资源环境可承载地区有序转移。强化钢铁、石化化工、建材、有色金属、纺织、造纸等行业与可再生能源基地建设耦合发展，推动产业循环链接。

全面推进分布式光伏开发，重点推进工业园区、经济开发区、公共建筑等屋顶光伏开发利用行动，在新建厂房和公共建筑积极推进光伏建筑一体化开发。推进“光伏+”综合利用行动，鼓励农（牧）光互补、渔光互补等复合开发模式，推动光伏发电与5G基站、大数据中心等信息产业融合发展，推动光伏在新能源汽车充电桩、铁路沿线设施、高速公路服务区及沿线等交

通领域应用，建设新能源交通廊道。先利用采煤沉陷区、矿山排土场等工矿废弃土地及油气矿区建设光伏电站。在工业园区、经济开发区、油气矿区及周边地区，积极推进风电分散式开发。重点推广应用低风速风电技术，合理利用荒山丘陵、沿海滩涂等土地资源，在符合区域生态环境保护要求的前提下，因地制宜推进中东南部风电就地就近开发。创新风电投资建设模式和土地利用机制，大力推进乡村风电开发。

在“三北”地区结合生态建设推动绿色能源基地化规模化开发。以沙漠、戈壁、荒漠地区为重点，加快建设黄河上游、河西走廊、黄河几字弯、冀北、松辽、新疆、黄河中下游等七大陆上风电光伏新能源基地。以风光资源为依托、以区域电网为支撑、以输电通道为牵引、以高效消纳为目标，统筹优化风电光伏布局和支撑调节电源，加快建设一批生态友好、经济优越、综合效益高的大型风电光伏基地项目。

(二) 从智能电网到能源互联网

1. 电力系统的根本性转变

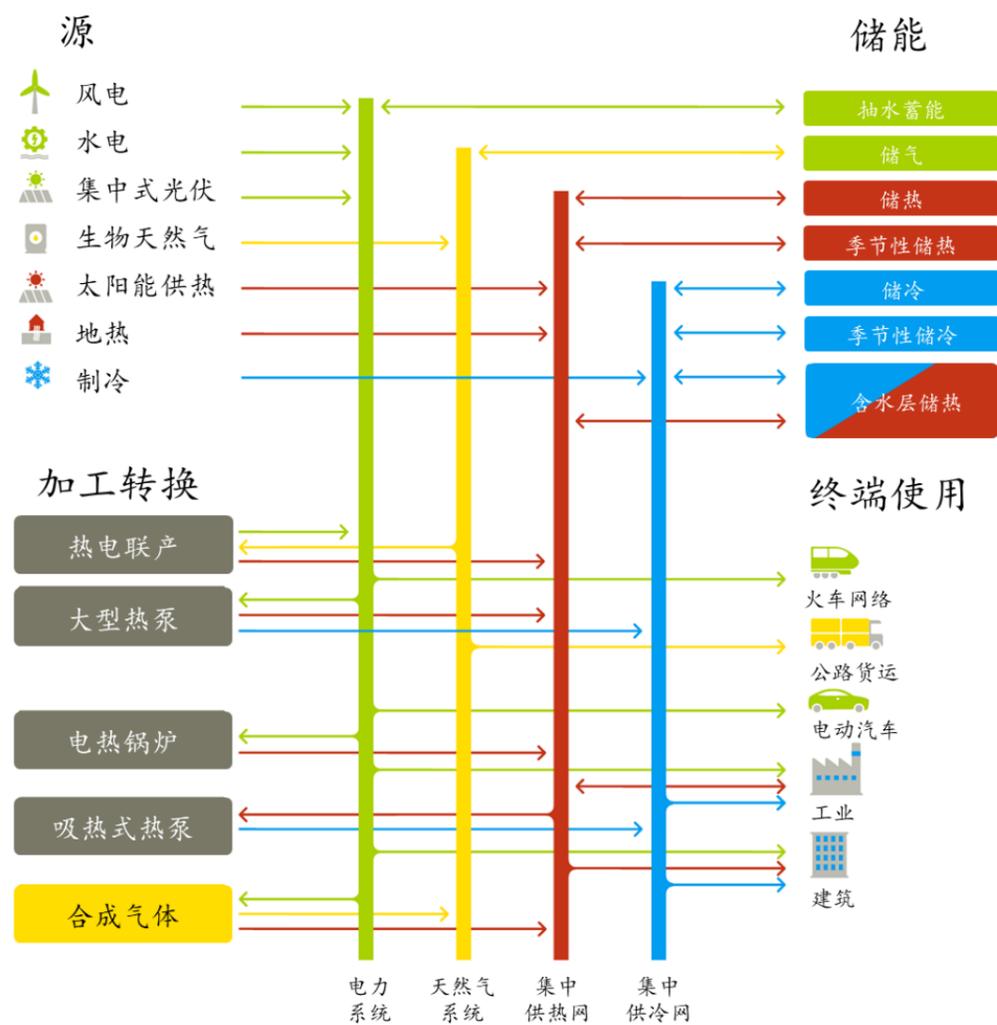
为更好的适应可再生能源的接入和实现深度绿色低碳转型，电网将面临多维度的根本性转变。

电从“身边来”和从“远方来”相结合：中国西北部风光资源条件更好，但电力负荷在沿海地区的比重仍然较高，资源分布和电力负荷分布的错配意味着中国大规模利用可再生能源未来仍需依靠长距离和大范围的电力传输。同时，考虑到地区之间的差异可平抑可再生能源的波动性，可通过更大范围的优化调度来提升可再生能源的消纳水平和降低系统运行成本，需要较大容量和互联互通的输电网络支持。可再生能源单机容量小、布置灵活、资源可获得性强，具有较强的分布式特性，通过将可再生能源利用与各类人类活动场景相结合，实现本地能源的有效开发利用，可降低能源传输的损耗，提高利用效率。通过将本地各类能源和资源的组网，一方面可以提升本地资源的统筹协调利用，另一方面还可以实现规模的倍增，为大电网提供支撑。

由电网走向能源互联：目前中国的电网、油气管网、热力管网都是相对独立，且氢能网络建设仍处于起步阶段。电力系统的自身的低碳转型将受到可再生能源接入带来的影响，同时也需要在实现低碳转型的同时为系统的安全稳定运行提供保障。从供应侧来看，需要提升电源的多元化，一方面可以更好的应对来自不同领域和方向的能源供应风险，另一方面可以为电力系统提供不同种类的系统调控的运行特性和灵活性。从需求侧来看，电气化水平的提升使电力成为未来各个行业部门的核心，工业和城市的智能化数字化水平的提升为多品种能源供应协同优化提供了技术支撑。从能源网络组织方式来看，需要形成以电力为核心，多种能源网络耦合协同、梯次利用的格局。一方面，形成多种能源网络协同的灵活性供应和调蓄体系，以燃气发电、热电联产机组、热泵、电解制氢装置、燃料电池等多种设备为各类能源耦合节点，实现各个系统互为备用；另一方面用户端的能源互联网将成为重要的耦合场景，形成冷热电气氢水耦合的供能系统，优化实现不同热值的能源梯次利用。

图3-1 电力供需情况

来源: Accelerating low-carbon energy production with smart sector coupling, <https://ramboll.com/partner-for-change/taarnby>



数字化赋能电力低碳化发展：一方面，大量的低碳技术采用了电力电子设备，设备的可测可调能力大大增强，电力系统电力电子化给予了数字技术更大的发挥空间；另一方面，电力系统的波动性随着可再生能源占比的提升将大大增加，电力系统的复杂性也随着电源品种的多元化和区域的差异化、分布式能源和微网等开发应用场景多元化、电采暖和电动汽车等新型用电设施的增加大幅增加，电力系统需要通过数字化赋能来实现系统优化。目前，智能电网已基本实现了电网的可测可观和输电网络的可控，智能化电表已在全国普及，部分站点可实现无人值守，柔性电网技术正在试验示范。未来数字化技术将在更广泛的领域实现与电力系统更深的耦合。首先，数字化技术需要增强应用深度和细化颗粒度，从静态数据扩展至动态数据，

实现电力系统的数字孪生，为状态模拟、预测等场景提供更有力的支撑。其次，数字化技术需要拓宽应用的广度和创新应用场景，实现数字化应用从电力生产向调度传输和使用消费扩展，从硬件设备运行状态向市场运行和用户行为扩展，扩大系统的优化边界。最后，数字化应用需要打通各个环节，形成各类业务之间的衔接与协调，例如将天气情况、可再生能源和灵活性电源运维情况、风电场发电情况、电煤库存情况、系统可用容量、电力用户行为等多个环节衔接，可实现电力供应安全风险的精准识别，合理安排电煤采购计划、机组出力和检修计划，及早启动弹性负荷调整等，防范因极端天气等突发性事件引发的电力断供等问题。

2. 各主体应如何参与

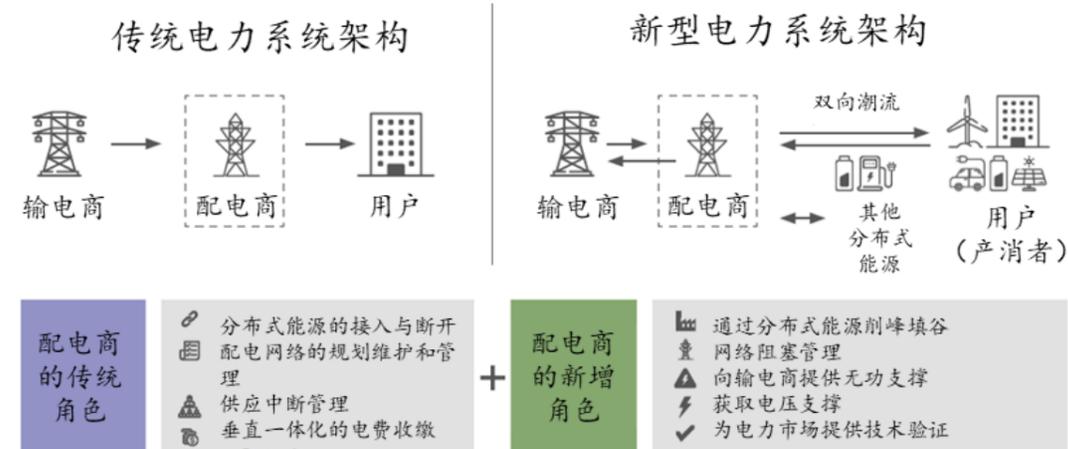
电源：集中式与分布式并举，因地制宜布局绿色低碳发电项目，在充分利用西部地区风光资源开发大型可再生能源生产基地的同时，发展园区风电、建筑光伏等多种形式的分布式电源，增强各类电源的调节能力，引导灵活性资源投资，形成多元化的电源结构。

输电网、配电网：加强坚强且灵活的输电网络建设，提升输电线路双向输电和负载灵活调节能力，在实现绿色电力大规模转

移调度的基础上，为地区间电力平衡和安全供应提供支撑；提升配电网接纳分布式电源、电动汽车、热泵等新型分布式能源的能力，尤其是进一步完善农村地区，尤其是县城和重点乡镇的供电能力和可靠性，加强智能配电网建设和电网末端优化调度能力建设，与输电网共同构建多级的智能优化调度体系，与其他能源网络以及交通网和城市物联网实现更深入的交互。

图3-2新型电力系统架构对比

来源: IRENA, Future role of distribution system operators, 2019.



电网调度和电力市场：电力系统调度将更加强调基于市场的经济调度，电力市场的架构和产品的设计也将更加反映电力系统调度的需求。电力市场的组织架构将与电力系统的平衡和调节范围将更加匹配，在不同层级体现相应层级的需求，形成多级兼容协调的电力市场设置，对同一资源不同的属性的调用和优化将成为关键。

未来将形成多种组织方式的市场和调度平衡责任主体 (Balancing responsible party)，形式不仅仅局限于目前的电力零售商、配电网运营商，也将出现电源集成管理商、灵活性资源集成商等多种形式的参与不同市场的主体形式，这些主体也需根据其提供的电力商品类型，承担相应的调度义务，为系统运行提供可承诺的确定性的服务。另外，也将出现多主体元素的集合体，例如能源互联网集成商将集成配电网运营商、电力零售商、灵活性资源集成商等多种主体形态为一体；产销者也是分布式电源与电力用户的集合体，可作为电源、负荷或灵活性资源参与到电力市场中。

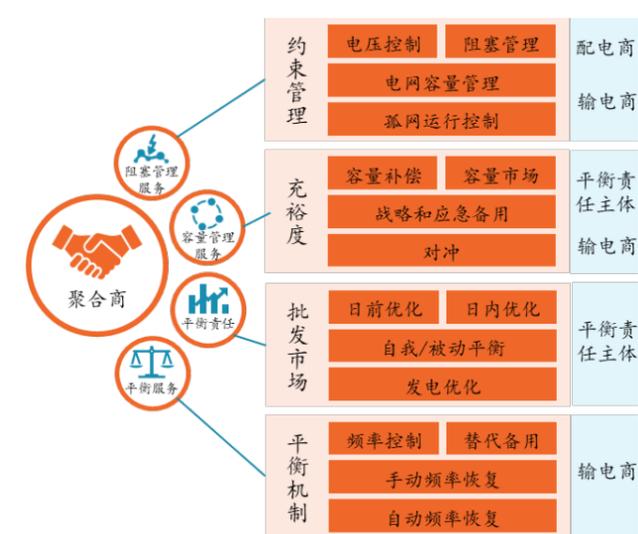


图3-3 各类需求侧灵活性资源可参与的市场和灵活性产品

来源: 欧盟智能电网工作组, 专家组3报告, Demand Side Flexibility Perceived barriers and proposed recommendations, 2019.

(三) 开放融合电力市场

随着新能源大规模发展,电力系统对于灵活性资源的需求在不断扩大。2015年以来,中国新一轮电力体制改革提出了“三放开、一独立、三强化”的电力市场建设方向,有序放开竞争性业务和竞争性环节电价,形成主要由市场决定电价的机制,构建有效竞争的电力市场体系。2021年,全国市场化交易电量3.7万亿千瓦时,同比增长17.2%,占全社会用电量的44.6%,是2015年市场化交易电量的近7倍,年均增长约40%。但同时,电力市场还存在体系不完整、功能不完善、交易规则不统一、跨省跨区交易存在市场壁垒等问题,对新能源的加快发展也构成制约,建设全国统一电力市场体系日益紧迫。

1. 进一步完善统一电力市场体系功能,构建多元竞争市场格局

2022年国家发展改革委 国家能源局《关于加快建设全国统一电力市场体系的指导意见》(发改体改〔2022〕118号)要求,适应碳达峰碳中和目标的新要求,优化电力市场总体设计,健全多层次统一电力市场体系,统一交易规则和技术标准,破除市场壁垒,推进适应能源结构转型的电力市场机制建设,加快形成统一开放、竞争有序、安全高效、治理完善的电力市场体系。

中国已开展了电力中长期、现货和辅助服务市场建设,但同时,市场功能机制有待进一步完善,各类型市场间的协调有待加强。要加快建立电力现货市场,逐步放开准入范围,允许更多灵活性资源及市场主体进入市场,例如需求响应资源、综合能源服务商;丰富完善辅助服务市场交易品种,包括动态优化调整备

用容量、引入爬坡备用机制等,通过市场更为准确反映灵活性资源的容量和爬坡价值,激励市场成员积极参与提供爬坡辅助服务,保证新能源高渗透率下系统的实时平衡。探索容量市场建设,逐步构建容量成本回收机制,形成合理的固定成本与变动成本回收机制,发挥容量市场引导电源投资、保障电力市场中长期充裕度的作用,激励具有快速启停能力的高灵活性电源建设,促进传统电源与可再生能源、电储能协调发展。针对高比例可再生能源区域,加速推进常规能源容量回收机制的落地,保障电力系统柔性资源的有效储备。

2. 提高跨区跨省电力交易市场化程度,逐步构建区域和全国统一电力市场

随着发用电计划的放开,跨区跨省市场化交易电量快速增长。当前,中国电力电量平衡方式已由分省分区平衡向全网平衡转变,必须提高跨区跨省电力交易市场化程度,培育市场主体直接参与跨区跨省交易,赋予市场主体以充分的选择权,以市场的方式更加快速地实现全网范围内电力电量的平衡,让市场成员在交易中推动省内外市场的均衡。探索区域市场一体化建设模式,实现跨区跨省市场融合发展。区域一体化市场建设是建

立全国统一电力市场的必由之路,应该在有关政策支持下,由各省市场自由选择融合发展,打破省间壁垒,促进资源优化配置。各省融合的市场中应逐步设计统一的交易品种、交易方式、交易流程,明确市场范围,健全保障措施。

3. 构建适应新能源发展参与市场交易的电力市场机制,激励主动消纳可再生能源

未来新型电力系统构建中,新能源参与电力市场将成为必然趋势。电力市场设计需要研究如何适应新能源的物理特性。当前电力市场规则的设计更多从常规电厂的特点出发,比较适合常规电厂规模大、出力稳定、易于控制等特点,不能适应新能源预测困难、波动性大、单体规模小、比较分散的物理特性。新型电力系统条件下,市场机制需要主动适应新能源的发电特性,要完善中长期合同市场化调整机制,缩短电力交易周期,提升交易频次,推动各类优先发电主体、用户侧共同参与现货市场,

建立合理的费用疏导机制,推动将优先发电、优先购电计划转化为政府授权的中长期合同,开展绿色电力交易试点,以市场化方式发现绿色电力的环境价值,鼓励分布式光伏、分散式风电等主体与周边用户直接交易。按照建立长期目标导向的可再生能源消纳责任权重机制的要求,做好市场机制与可再生能源电力消纳保障机制的衔接协调。

(四) 有序推进绿氢的生产应用

1. 绿氢是未来的主要发展方向

化石能源制氢是当前中国氢气的主要生产方式。氢能是一种二次能源,主要制氢方式包括化石燃料制氢、副产气体制氢和电解水制氢三大类。其中,化石燃料制氢主要包括煤制氢、天然气制氢等;副产氢主要来自氯碱副产氢和焦炉煤气副产氢等。中国是氢气生产大国,2019年中国氢气产量超过3000万吨⁶,其中以煤、天然气等化石燃料直接生产的氢气占了将近80%,以煤或天然气等为来源的工业副产氢约占20%,电解水占不到1%。对比各类制氢技术,传统制氢工业中以煤、天然气等化石能源为原料,制氢过程产生CO₂排放,制得氢气中普遍含有硫、磷等危害燃料电池的杂质,对碳捕获及提纯有较高要求。焦炉煤气、氯碱尾气等工业副产提纯制氢,能够避免尾气中的氢气浪费,实现氢气的高效利用,但长远来看受上游产量的限制,无法作为大规模集中化的氢能供应来源。电解水制氢纯度等级高,杂质气体少,易与可再生能源结合,被认为是未来最有发展潜力的绿色氢能供应方式。此外,农作物、藻类等生物质制氢、核能制氢、光催化制氢等也具有一定发展潜力,但目前受限于

资源条件、技术成熟度等问题,短期内难以成为主流制氢方式。

绿氢制备将是未来新型电力系统灵活性的重要来源。风电、光伏发电等可再生能源具有随机性、间歇性、能量密度低等特点,大规模可再生能源发电并网带来了电力系统供需两侧的双重波动性与不确定性,因此系统调峰难度增大,容易带来严重的弃风、弃光等一系列问题。利用富余时段的低价可再生能源电力制氢可减轻大规模可再生能源消纳压力,再将氢能输送到能源消费中心多元化利用,可一定程度解决风、光等可再生能源不稳定及长距离输送问题,同时也降低了清洁能源制氢成本。特别是在风、光资源好的“三北”地区,可再生能源基地化开发及技术进步带来的成本大幅下降,为清洁能源制氢提供了经济可行性。在用能负荷集中区,既可利用远方输送来的可再生能源电解制氢,也可直接利用远方储运过来的氢能,满足当地用能需求。

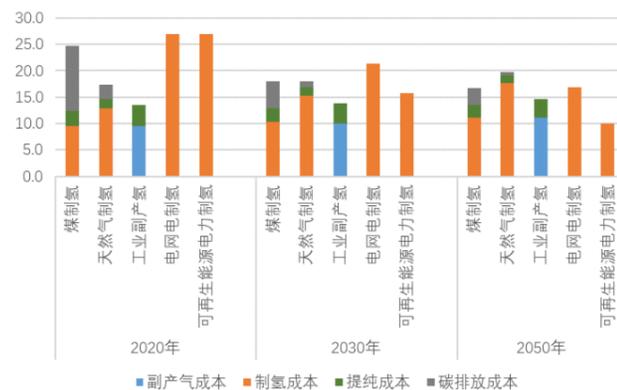
2. 未来绿氢将逐渐具备经济性

如果不考虑碳排放成本，当前煤制氢的成本最低，工业副产氢和天然气制氢价格紧随其后，而电解制氢的方式则相比之下要高出很多；预计到了 2030 年，采用可再生能源电力制氢即绿氢的成本可降低至约 15 元 /kg，和煤制氢和工业副产氢的成本已经基本相当；展望到 2050 年，随着可再生能源度电成本的不断下降，全国可再生能源电力制氢总体可降低至 10 元 /kg 以内，是成本最低的制氢工艺路线。而随着未来电网制氢工艺的平均购电成本的不断下降，到 2030 年和 2050 年制氢成本有望分别降低至约 20 元 /kg 和 15 元 /kg，并具备布局灵活、离加氢站近的优势，不考虑环境效益也将逐步具备较强的经济性。如果考虑碳排放成本，煤制氢和天然气制氢路线需要增加 CCUS

工艺，即制氢综合成本加入 CCUS 的成本。则在 2020 年的时候，煤制氢由于较高的碳排放强度造成 CCUS 成本较高，综合成本已经接近于电解制氢。而到 2030 年，采用可再生能源电力制氢的综合成本已经低于煤制氢和天然气制氢。到了 2050 年，可再生能源制氢成本最低，工业副产氢其次，电网制氢降低至和煤制氢的成本同一水平。随着绿氢的经济性不断增加，在石化、钢铁等工业，以及公路、航运、航空等交通部门的将具有大规模替代化石能源的潜力。

图3-4 不同工艺制氢典型成本构成(单位:元/kg)

数据来源:《氢能产业有序发展路径和机制》，中国经济出版社, 2021



3. 不断提升绿氢生产消费占比

考虑氢能应用规模发展情况，在氢能发展初期（到 2025 年），氢气作为燃料增量有限，工业副产制氢因成本较低，且接近消费市场，将成为以车用为主的新增氢能消费中的主要供氢主体，这一时期虽然可再生能源发电制氢成本较高，还难以大规模发展，但应该积极推动开展可再生能源制氢的技术示范；中期（到 2030 年），交通等新增氢能消费将初具规模，单纯以副产氢已经难以满足增量市场需求，并且可再生能源制氢在局部地区具备了经济竞争力，因此这一时期增量氢气消费将形成可再生能源发电制氢和工业副产氢并重的方式；从 2030 年开始，一方面可再生能源制氢成本将开始全面展现经济性优势，另一方面，氢能在交通等领域消费规模明显提升，因此新增氢能消费将基本以绿氢为主，并且在工业原料领域绿氢也将开展存量替代，绿氢规模和比例将快速提升，预计到 2050、2060 年绿氢供应占比分别达到 80% 和 90%。

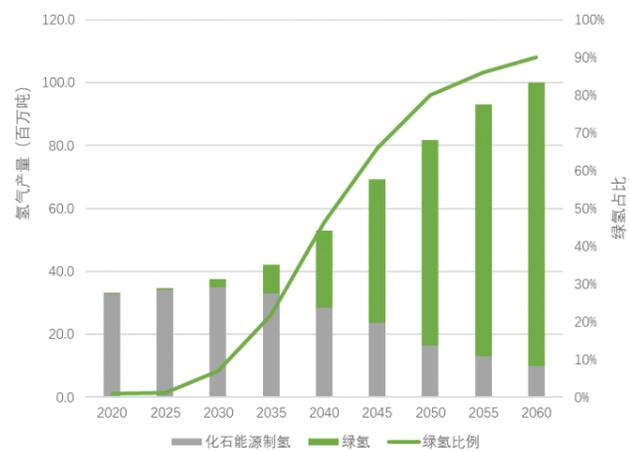


图3-5 2020-2060年氢能供应结构预测

数据来源:《氢能产业有序发展路径和机制》，中国经济出版社, 2021

(五) 企业的更多选择和角色

1. 以绿电消费推动构建绿色供应链

国家发展改革委、国家能源局已于 2021 年 9 月印发《绿色电力交易试点工作方案》，企业可以通过直接交易购买和向电网企业购买两种方式采购绿色电力。直接交易购买方式主要面向省内市场，由电力用户或售电公司通过直接交易方式向省内绿色电力企业购买绿电，以实现绿色能源供需的精准匹配，促进绿色能源的利用水平提升。在无法满足绿色电力消费需求的情况下，电力用户可通过第二种交易方式——向电网企业购买其保障收购的绿色电力产品达成交易。这类绿色电力产品来自部分带补贴的新能源项目，或来自本省电网企业参与省间市场化交易购入。

在绿色电力消费的基础上，企业应完善绿色制造体系，深入推进清洁生产，打造绿色低碳工厂、绿色低碳工业园区、绿色低碳供应链，构建绿色低碳供应链。特别是汽车、机械、电子、纺织、通信等行业龙头企业，在供应链整合、创新低碳管理等关键领域应发挥引领作用，将绿色低碳理念贯穿于产品设计、原料采购、生产、运输、储存、使用、回收处理的全过程。政府应组织推进构建统一的绿色产品认证与标识体系，推动供应链全链条绿色低碳发展；鼓励“一链一策”制定发展方案。

2. 就近开发利用新能源

鼓励企业、园区就近利用清洁能源，支持具备条件的企业开展“新能源 + 储能”等自备电厂、自备电源建设。加快工业绿色微电网建设。增强源网荷储协调互动，引导企业、园区加快分布式光伏、分散式风电、多元储能、高效热泵、余热余压利用、智慧能源管控等一体化系统开发运行，推进多能高效互补利用，促进就近大规模高比例消纳可再生能源。开展工业领域电力需

求侧管理示范企业和园区创建，示范推广应用相关技术产品，提升消纳绿色电力比例。打造绿色低碳工业园区，通过“横向耦合、纵向延伸”，构建园区内绿色低碳产业链条，促进园区内企业采用能源资源综合利用生产模式，推进工业余压余热、废水废气废液资源化利用，实施园区“绿电倍增”工程。

3. 智慧企业参与灵活需求响应

电力需求响应在相当长一段收益期内仍将扮演重要作用。从趋势上来看，数字化技术的不断进步使得大规模协调小型系统资源成为可能，工商企业等电力用户也将越来越多地通过负荷聚合商参与市场交易。负荷聚合商利用数字平台，从对电力系统和消费者都有利的方式对电力用户和分布式能源进行主动管理，越来越多的小型工业用户和大型商业用户开始通过负荷聚合商参与需求侧响应。这些终端用户的参与也得益于智能电表基础设施和分时或实时电价，通过吸引更多的利益相关者，负荷聚

合商可以降低平衡系统的成本，但可能需要实施有针对性的政策或监管，以允许他们参与批发或辅助服务市场。成熟的电力市场环境下，企业等电力大用户既可参与电能与容量市场，还可以参与提供调频、备用、可中断负荷等辅助服务市场。同时也将孕育负荷聚合商等新的市场主体及商业模式，为用户提供专业的咨询和市场交易服务。

(六) 绿色能源让城市更美好

为实现可再生能源发展目标，城市政府应当采取各种政策措施，在电力、供暖和制冷以及交通领域推进可再生能源发展。一方面可以通过实施政策，提高整个市政中的可再生能源应用比例；另一方面，政府应利用政策制定者和监管者的角色，鼓励居民、企业和其他城市参与者采用可再生能源。

1. 在城市市政运营中大力推广绿色能源

为了增加可再生能源比例，市政府应利用其资产在公共建筑（例如学校、医院、体育中心等）、城市街道（包括街道）部署分布式可再生能源电力。市政府和其他参与者也可利用当地的风能、生物质能和水力资源，用于电力、热力生产或热电联产，支持区域内可再生能源的整合。

在市政建筑中推广可再生能源电力和供暖。建筑的政策趋势是通过市政建筑规范，要求新建筑使用可再生能源来发电或供暖。对于现有建筑，可以通过财政激励措施（如赠款、回扣和低息贷款）来鼓励使用可再生能源。通过政府直接投资等方式在市政建筑中增加可再生能源电力应用份额已经成为趋势，尤其是在市政建筑如市政厅、体育设施和学校安装光伏发电系统，或者将光伏发电与电池存储、太阳能热系统相结合。除了发电外，还需要逐步提高可再生能源在市政运营供暖和制冷方面的份额，虽然这比发电更具有挑战性。建筑供暖和制冷在减碳和改善空气质量上益发重要，可行的方式包括通过禁止和限制建筑物取暖化石燃料的禁令和限制，或者所有市政建筑中用可再生能源

2. 在城市范围大力推广绿色能源

实现城市可再生能源目标不仅取决于对可再生能源的政治承诺和市政直接投资，还应广泛动员和促进全体市民在全市范围内利用可再生能源。市政府应当推出一系列政策组合，包括建筑和交通等领域的监管政策、财政和金融激励措施以及营造可再生能源有利环境的间接政策，实现在全市推广绿色能源。

(1). 全市建筑

在建筑领域，对新建筑和现有建筑，以及不同的建筑类型（住宅、商业、工业、公共），实施有区别的政策。对于新增建筑，政府应当提高全市所有新建建筑的标准。由于中国仍处于城镇化阶段，新建建筑的规模仍然很大，专门针对新建筑出台政策或法规，

（或燃气锅炉）替换固体燃料炉灶，促进电气化和可再生能源的使用。

在市政交通中提高可再生能源运用比例。为了实现市政交通的绿色化，城市政府应当积极在公共采购或直接投资中为公共和市政车队采购电动汽车或者氢燃料电池汽车，取代以化石燃料驱动的内燃机汽车。电动公交车最受全球城市政府的关注，大多数零排放汽车的公共采购都集中在电动汽车上。中国的城市近年来持续主导全球电动公交车市场，未来仍将持续通过公交电动化推进城市能源转型。随着城市电力可再生能源比例的提高，公共交通用能也将更多的使用可再生能源。除了公交电动化以外，也有相当一部分城市选用氢能燃料电池公交车代替内燃机公交车，尤其是在北方地区的城市，燃料电池公交车可以克服电动车严寒天气下续航严重不足的弊端。除了采购新能源车外，城市政府还应当为市政车队的新能源车建设相关的充电或加氢等基础设施。

例如引入更严格的能源性能标准和可再生能源要求，在新建筑中强制要求安装太阳能光伏（或太阳能热、地热等可再生能源），就十分重要。比如，上海市要求新建民用建筑应当按照国家和该市有关规定以及可再生能源综合利用核算标准，采用太阳能光伏、太阳能光热、浅层地热能等一种或者多种可再生能源；推广安装与建筑一体化的分布式光伏发电系统。对于已有建筑，由于高昂的前期成本、惯性和建筑物所有权结构导致的激励分散等因素，为现有建筑制定和实施政策面临较大阻力，政府可通过提供补偿、税收抵扣和低息贷款等财政激励措施，鼓励用更清洁和可再生的方式替代现有供暖系统。

(2). 全市电力

为了提高城市用电实现绿色和清洁化，城市政府可实施各类监管政策、财政和金融激励方式推动在全市范围内安装尽可能多的可再生能源电力。尽管国家层面对风电、光伏的补贴已经基本退出，但是城市政府仍然可以通过实施一定的直接补贴来激励市场主体开发分布式可再生能源电力。比如，浙江省丽水市实施市级财政奖补，对市区 2022 年、2023 年、2024 年并网的家庭户用分布式光伏项目给予一次性建设补贴，补贴标准分别为 0.60 元 / 瓦、0.50 元 / 瓦、0.40 元 / 瓦。苏州吴江区提出对 2021 年 7 月至 2023 年底期间并网发电的光伏和储能项目进行补贴，工业企业分布式光伏项目应用方（屋顶方）补贴 0.1 元 / 千瓦时，补贴项目 1 年的发电量，居民屋顶光伏项目按 1 元 / 瓦对投资方进行一次装机补助等。除了直接财政补贴，未来采用税收抵扣、低息贷款也将是支持城市可再生能源开发的重要手段，尤其是税收抵扣在美国的诸多城市被证明是一种十分有效的激励方式。此外，除了直接利用本地生产的绿色电力，城市政府也可以通过购买其他区域的绿色电力或者绿证来提高本地绿色用电比例，在更大范围内推动绿色能源发展。

(3). 全市交通

很长一段时间内，生物燃料是提高交通用能中可再生能源比例的主要方式，比如燃料乙醇、生物柴油等。近年来，通过电动化驱使交通运输部门绿色转型越来越受到城市政策制定者的青睐。

城市近中期可以通过财政和金融措施来激励各类用户采购和使

用新能源汽车，中远期则可采用用能政策来限制非新能源汽车的出售和使用。通过直接补贴、退税、免税等财政和金融激励在国内外均已被证明是推广新能源车的有效手段。中国对于电动车的国家补贴即将完全退出，但是采用免税、城市层面的财政或路权等方面的激励措施等仍可能持续较长时间。在中远期，在城市辖区内禁止和 / 或限制使用化石燃料车辆的措施，包括禁止柴油车辆（国外如德国和西班牙的许多城市已宣布）或禁止 / 逐步淘汰所有内燃机车辆，从而使城市交通用能转向可再生燃料和电力。截至 2020 年底，全球至少有 14 个城市提出或通过了对燃油车的禁令。中国的海南省第一个提出在 2030 年开始全面禁售燃油车，西安市在城市层面率先提出力争到 2030 年全面实现电动化，预计未来中国的大中型城市将继续推动全国的电动化浪潮。

完善电动汽车充电基础设施是推动电动汽车持续增长的关键。近年来，中国充电桩增长滞后于电动车爆发式的增长，未来新能源车对充电基础设施需求不断加大。需要以城市为重点，构建全国的充电基础设施体系，包括强化城市重要节点充电基础设施能力，在大城市与中小城市间、中小城市与乡镇间等重要节点加强公共充电基础设施建设；优化城市公共充电网络建设布局，扩大网络覆盖范围；完善城市居民区充电基础设施，积极推广智能有序慢充为主、应急快充为辅的新模式。另一方面，将电动汽车充电与可再生能源联系起来将是未来的重要发展趋势。新建筑的电动汽车充电要求在城市层面会变得越来越普遍，尤其是分布式光伏电站与充电基础设施结合的模式。比如充电桩 + 光伏车棚模式，光伏阵列安装在车棚顶部，由光伏车棚发电系统、新能源汽车充电站、智能能源管理系统、储能电池系统等综合组成，有利于推动区域电网削峰填谷、多能互补，降低电动汽车大功率充电对配电网的冲击。



图3-6 可持续城市体系

(七) 人人可成为能源的生产者和消费者

1. 人人成为绿色电力和促进绿色转型的生产者

中国的分布式发电近期发展很快，以工商业企业和户用的分布式光伏为主，工业园区和农村集体等应用场景开发的分散式风电也初具规模。2021年分布式光伏新增装机2928万千瓦，在全部新增光伏中占比53%，2022年上半年分布式光伏市场继续扩大，新增装机1965万千瓦，在全部新增光伏中占比64%，截至6月底分布式光伏累计装机1.27亿千瓦⁷。2021年全国分散式风电新增装机802.7万千瓦，同比大幅增长702%；截至2021年底，全国分散式风电累计装机接近1000万千瓦，同比增长414.6%。欧美等发达国家的分布式发电受资源分布相对均匀、发展历史更长、以及当地低碳发展政策支持等因素影响，范围更广、占比更高，开发和运营模式也更加丰富多样。丹麦和德国超过80%的风电场具有社区风电性质。美国目前社区太阳能装机超过200万千瓦，占分布式光伏市场的32%以上⁸。随着风电和光伏成本下降，分布式发电的商业模式的创新和成熟，以及各地配套政策的陆续出台，中国分布式可再生能源发电的市场将持续扩大。

建筑光伏一体化和分布式风电使人人都能成为生产消费者。在农村地区，除已发展较为成熟的住宅屋顶光伏外，农村地区仍有大量可开发的其他建筑⁹屋顶、鱼塘大棚、田间地埂等公共资源可利用（表3-1）。如给予较好的政策环境，预计到2025年，农村地区分布式光伏和风电累计装机分别可达1.3亿千瓦和2000万千瓦，合计年发电量达2000亿千瓦时；其中，涉及公共资源的3980万千瓦光伏和2000万千瓦风电，占新增装机的51%，年发电量占总发电量的比重达47%。一方面，作为较为成熟的发展模式，户用屋顶光伏系统的电量收入已可达到年均2000-6000元/户。另一方面，以集体为单位的开发模式也可实现集体经济增收。以两台4MW风机的分布式风电项目为例，村集体或个人以提供田间地埂的500平米土地资源的方式入股，在每年分红20-30万元的情况下，项目仍可实现6%-8%的内部收益率，此项目对村集体收入的贡献率可达到50%左右，可有效增强基层治理能力。此外，分布式风电光伏项目运维可为农村带来本地就业机会，还可结合风电、光伏项目发展当地生态旅游。

资源类型	单户资源		公共资源		
	光伏		光伏		风电
	户用屋顶光伏	其他建筑屋顶光伏	渔光互补	农光互补(包括大棚)	田间分布式风电
规模潜力(万千瓦)	120000	25000	10000	3300	33000
“十四五”末总规模预测(万千瓦)	9000	2300	1000	700	2000
其中新增装机规模(万千瓦)	7000	2300	1000	600	1700
“十四五”末年发电量(亿千瓦时)	1100	275	230		500

表3-1 全国农村分布式风电、光伏资源潜力和发电量测算

资料来源:根据农业农村部和国家统计局数据测算。

7. 数据来源:国家能源局,国家发展和改革委员会能源研究所
 8. 数据来源:美国太阳能产业协会,美国国家可再生能源实验室
 9. 包括村委会、诊所、学校等公共建筑和村办工厂等工业厂房等

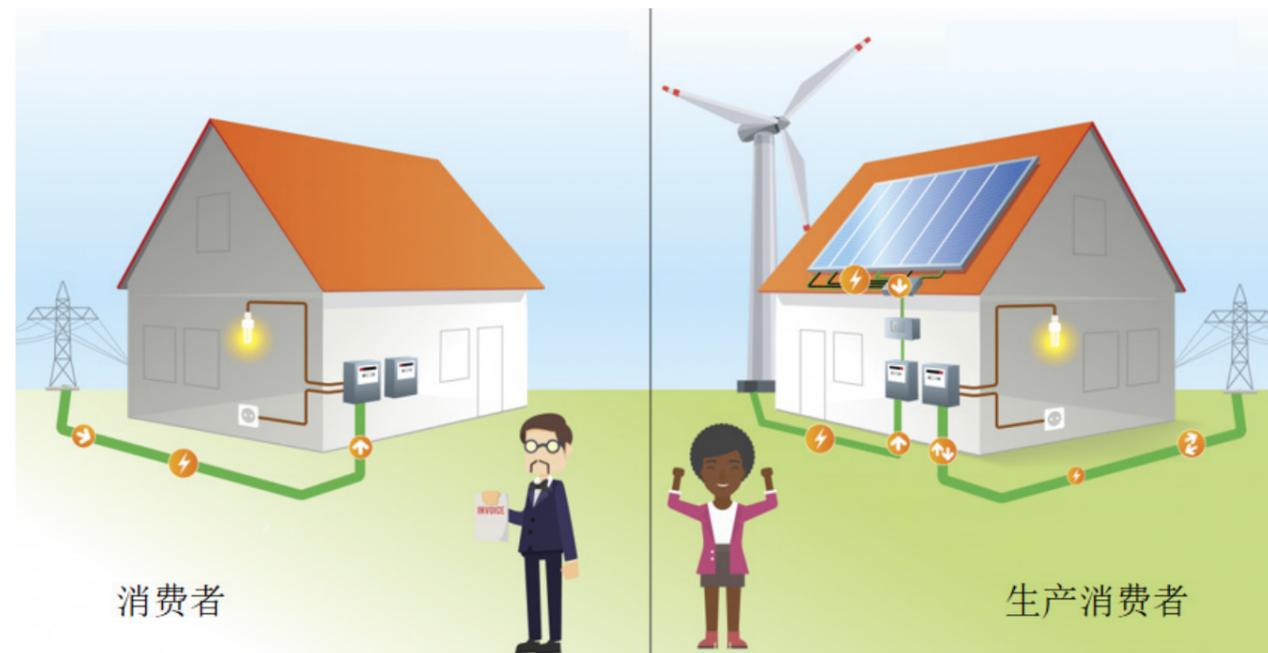


图3-7 产销模式转变

工业园区、经济开发区等电力负荷集中、用电成本较高、人口密度较低的地区是开发和利用绿色电力的重点场景，尤其是新建园区。通过统筹规划园区土地和厂房屋顶资源、匹配相应电力负荷，以园区管委会、园区业主集体开发、第三方服务等模式推动分散式风电和分布式光伏的开发，以可再生能源自备电厂、微电网、多能互补等载体形式，挖掘工商业用户可再生能源消纳潜力和利用空间，带动城市绿色发展。

社区共享和合作社的形式进一步提升了人人成为生产消费者的可能。城市地区人口相对稠密，独立产权的屋顶和土地相对紧张。但社区共享和合作社的形式将进一步拓宽绿色电力在城市的应用，通过商业模式的创新和多元化投资运营主体的引入，将使更多人参与到绿色电力的生产和消费中，并从中真正获益。针对中国国有经济比重较高的特点，加强公共建筑和基础设施结合分布式可再生能源发电项目的约束性和引导性的政策设计，重点布局物流园、数据中心、交通枢纽等重点和大型基础设施以及市政办公楼、医院、学校等公共建筑，加强建筑领域分布式发电项目标准建设和城市绿色发展政策和指标设计，盘活国有企业资产，实现基础设施融合发展新亮点。

数字技术和智能应用使人人不仅成为了“能量”的产销者，更成为灵活性资源的产销者。智慧用能模式、电动汽车和分布式储能使用户侧成为了灵活性资源的提供者，增加了生产消费者

自平衡的能力，也使普通用户成为了为系统提供调峰、调频等“能力”的角色。例如，通过对电动汽车充电行为的智能化管理，通过有序充电降低充电负荷尤其是日负荷中晚高峰对电网的冲击，从而避免更高的电网扩容投资和对更高电源容量的需求。又如，通过对家用电器如冰箱、洗衣机、热泵等电力负荷的智能化控制和集成，可提升终端负荷的弹性并实现对波动性电源的积极响应。对于分布式光伏装机渗透率较高的地区，通过对负荷以及分布式储能的集成控制，一方面可避免反送电对系统造成的电压抬升的影响，另一方面还可平抑净负荷的波动，提升系统对绿电的接纳能力。随着欧洲电力系统中波动性电源的增加以及工业需求负荷响应的有效应用，商业和居民负荷中的灵活性资源成为了其重点关注的对象。其多项研究表明，数据的可获得性和用户的隐私、市场机制的建设和可接入性、灵活性资源产品的设计、灵活性调用的检测和验证等都是使人人成为提供灵活性资源的必备条件，更重要的是，如何通过城市数字化水平提升和物联网系统的建设来加强灵活性资源的可获得性。

图3-8 高比例可再生能源系统与需求侧灵活性

来源: NREL <https://www.nrel.gov/news/program/2021/flexible-loads-and-renewable-energy-work-together-in-a-highly-electrified-future.html>



2. 人人成为绿色电力的消费者

加强顶层设计, 制定绿色消费国家行动计划。绿色消费涉及各类主体和个人, 覆盖面广泛, 影响因素复杂, 涉及资源能源、工业、经济、环保等多个管理部门, 统筹协调和政策落实的难度大。因此需要加强顶层设计, 制定专项的行动计划, 从多方面多维度入手, 采用多种政策工具, 推动形成绿色低碳的消费和生活方式。

完善可追溯的可再生能源认证体系, 加大可再生能源认证产品、服务的认证力度, 建立绿色生产、供应、服务和消费的链条, 扩大绿色产品和服务的供给。可再生能源认证产品和服务是绿色消费的重要内容, 通过完善可再生能源认证体系, 可从生产侧和消费侧两端通过挖掘其环境外部性同时激发可再生能源的发展。从电力消费侧来看, 可继续通过强制配额和自愿市场两

种方式, 鼓励各类用户使用可再生能源认证的电力来生产终端产品; 从终端产品消费侧来看, 则可通过建立可再生能源标识等方式激励终端用户消费和采购此类商品, 并通过《政府采购法》等方式将可再生能源标识作为政府采购商品或服务的必备条件, 并建立鼓励企业和社会团体购买可再生能源标识的产品或服务的政策环境; 从供应链条看, 则可通过供应链或绿色金融等方式从终端回溯或从投资引导等角度覆盖产业链的各个环节, 形成良好的绿色电力消费氛围。

通过标准制定和统计制度建设, 完善绿色电力统计、评估和监测制度, 并结合高效、节能的建筑、家居环境和其他节电行为等措施, 倡导节约绿色的生活方式和消费习惯。



WWF使命： 遏止地球自然环境的恶化 创造人类与自然和谐相处的 美好未来



我们致力于
遏止地球自然环境的恶化，创造人类与自然
和谐相处的美好未来

together possible

panda.org

版权所有©1986熊猫标识WWF - 世界自然基金会

@“WWF”是世界自然基金会的注册商标

WWF北京代表处地址：北京市东城区花园东巷城市空间1921文化产业园3号楼5层
更多信息，请访问<http://wwfchina.org>