



2022
GE中国能源转型
白皮书



Building a world that works

目 录

引 言	02
中国的能源结构与转型路径	03
中国电力系统的清洁转型	06
不可或缺的调节型电源	09
总 结	14
参考文献	



技术创新 是破解能源转型困境的钥匙

中国有着全球最具雄心的能源转型目标，当前正处于转型的关键窗口期。

随着国家主席习近平在2020年提出中国将于2030年实现碳达峰，2060年实现碳中和，这意味着中国从碳达峰过渡到碳中和的时间只有短短30年，远低于欧美、日本等发达国家。

能源转型是实现“双碳”目标最重要的抓手。中国是一个发展中国家，随着工业和城镇化的不断深入发展，能源需求仍保持可观的增长。另一方面，中国以煤炭为主的资源禀赋和供能结构，既是能源安全的重要保障，也是低碳转型要面临的艰巨任务。

要破解能源转型的多重矛盾，需要兼顾安全、低碳、经济等多重目标，处理好发展与减排、当前与长远的关系，从能源结构转型和能源消费两侧入手，循序渐进，周密规划，不可急于求成。

技术创新始终是驱动能源转型的钥匙。在全球，我们致力于破解能源转型的“三难困局”，即能源的可及性、可靠性和可持续性；在中国，我们着眼于实现供能稳定性和消费经济性的平衡，不断为中国引进、研制最合适的能源解决方案。

目前，GE的9HA级燃气轮机可以实现50%的掺加氢气燃烧。我们在中国的首个以天然气掺氢为燃料的9HA级电厂2023年将在由广东能源集团运营的大亚湾石化区综合能源站正式投运，该燃气电厂的两台9HA.01燃机将由GE与哈电集团在中国的合资公司——哈电通用燃气轮机（秦皇岛）生产，并实现10%掺氢燃烧。

可再生能源是构建新型电力系统的支柱，如何应对其波动性，避免其对能源安全带来的潜在挑战是必须考虑的问题。我们认为，天然气与可再生能源互补的能源结构，是针对中国实现双碳目标的最有效、最可持续的方案。具备良好调节性能的天然气发电和抽水蓄能，仍将是电力系统不可或缺的组成部分。

高度本地化的供应链，使我们在中国的生产基地不仅能组装、制造GE迄今最高效的9HA级燃气轮机，还拥有全球唯一的具备生产GE所有系列陆上风力发电机组的沈阳工厂，全球第二个可生产单机功率达14兆瓦Haliade-X海上风电机组的揭阳生产基地，多个生产GE迄今最先进的海上及陆上风电机组的叶片生产基地，拥有完善的精益生产和智能制造技术的天津水电工厂，以及具备全系列高压开关和环保气体组合电器生产能力的苏州工厂。这些布局符合当前中国能源转型的需求，也很好满足了全球乃至中国对更高效、更清洁和更先进电力生产设备的需求，这是GE迎接行业挑战的所应付出的努力。

GE对碳中和有着坚定的承诺，与中国实现低碳发展的目标高度一致。当前，GE持续通过研发和投资行业解决方案，来提升在能源、航空、医疗三大领域全产业链的能源利用率，减少碳排放，以构筑低碳未来。这是我们创新的动力，也是我们对中国市场的承诺。

向伟明
GE全球副总裁
GE中国总裁



第一章

中国的能源结构及转型路径

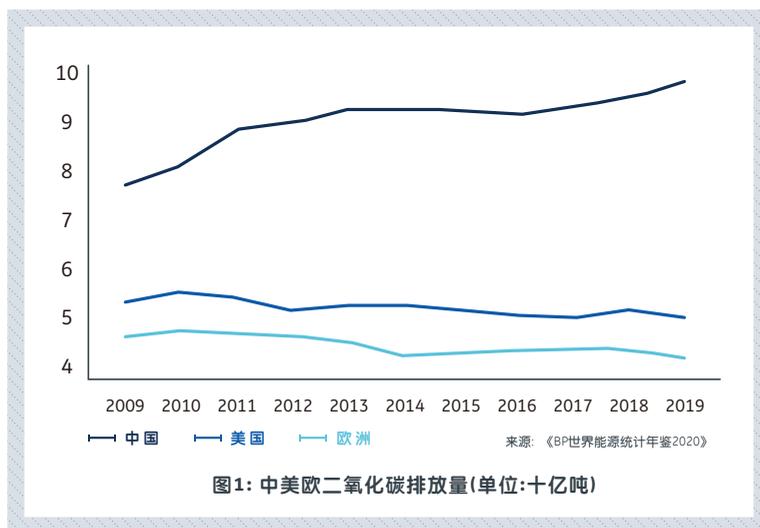
新冠疫情爆发以后，绿色转型成为全球经济复苏的新动能，包括中国在内的大国纷纷提出了向绿色低碳能源转型的宏伟蓝图。

2020年9月22日，中国国家主席习近平在第七十五届联合国大会一般性辩论上提出，中国的二氧化碳排放将力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和。这一被业内广泛称为“双碳目标”的承诺，是当前中国能源转型的基本纲领。

1.1 中国减排雄心

目前中国的二氧化碳排放量仍在增长之中，综合多个机构的估算，中国二氧化碳排放总量接近100亿吨/年，接近全球三分之一，减排压力巨大。

美国、日本、英国和德国等世界主要经济体碳排放总量已过峰值。这些国家从碳达峰到碳中和共历时40至60年不等，而中国只有30年来实现达标，可见中国实现“双碳”目标的难度和魄力。



1.2 能源转型是减排抓手

对于中国二氧化碳排放源的结构，虽各研究机构的统计口径和数据有所不同，但总体而言，对排放源的排序和结构是类似的，能源电力产生了最大的碳排放。

国际能源署（IEA）在2021年9月发布的《中国能源体系碳中和路线图》中估算，中国二氧化碳的主要来源是电力行业（48%）、工业（36%）、交通（8%）和建筑（5%）。

据《财经》杂志2021年11月发布的《中国上市公司碳排放排行榜》统计，在A股和港股上市的碳排放最高的前100家上市公司合计占了2020年全国碳排放的45%，其中电力、水泥行业碳排放强度（单位营收的碳排放量）远高于其他行业，碳排放强度前10名企业几乎全部来自电力行业。在排放量榜单上，前10名有6家是能源电力企业。

同样，就全球而言，能源电力部门是碳排放的大户。国际能源署发布的《全球能源部门2050年净零排放路线图》指出，能源部门占当今温室气体排放的约四分之三，是缓解气候变化恶劣影响的关键。



图2：中国二氧化碳主要来源（来源：国际能源署）

1.3 能源结构调整任务艰巨



中国能源转型的难点，在于煤炭在我国能源资源端和结构端的比例过高，这使得推行能源减碳任务艰巨。而2021年秋季以来的电力短缺现象，说明能源转型难以一蹴而就，需要兼顾资源禀赋特点、能源安全和长期的减排目标，循序渐进地完成转型。

与世界平均水平相比，中国煤炭占一次能源消费的比重虽然在近十年持续下降，但目前仍占比超过50%。

未来，以风电、太阳能为代表的中国非化石能源发电的比例将大幅提升。清华大学发布的《中国长期低碳发展战略与转型路径研究》报告预计，到2030年，中国的水电、风电、太阳能发电装机均将达4亿千瓦左右；到2050年，在控制温度升高不超过2°C的情景下，非化石能源总装机将达53.0亿千瓦，非化石能源电力将占总电量的90.4%。

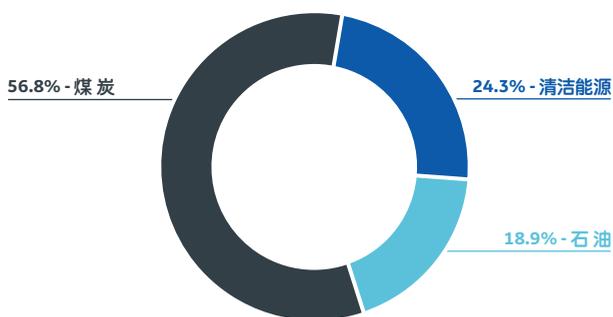
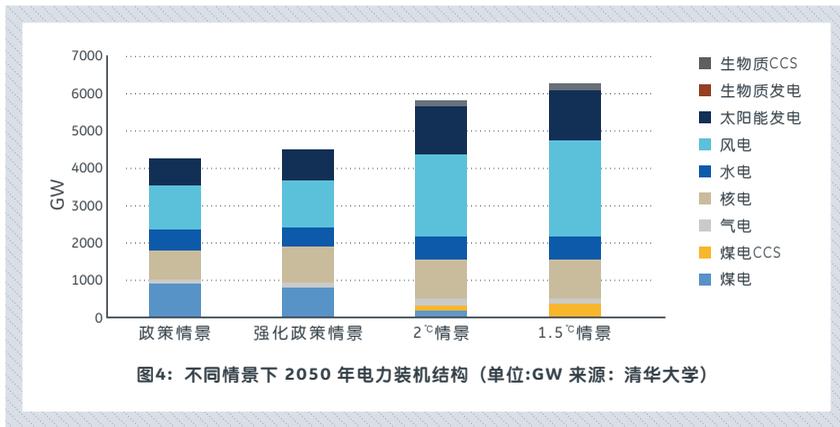


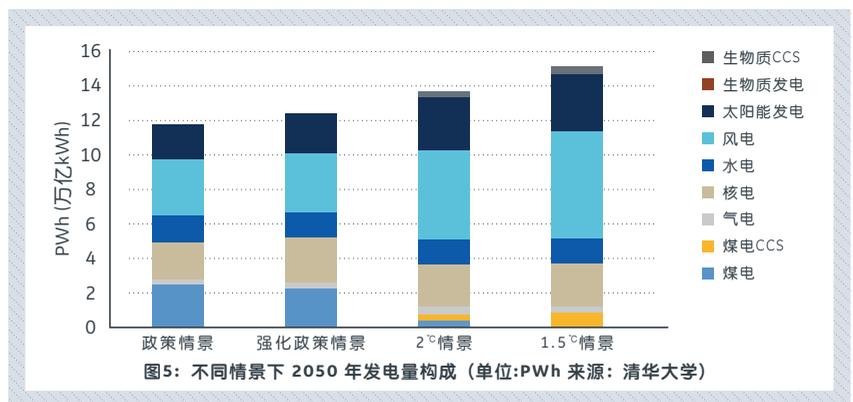
图3：2020年中国一次能源消费结构（%）
（来源：国家统计局）



在能源供应清洁化的基础上，终端消费方面，以风电、水电等清洁能源替代煤炭、石油等化石能源直接利用，可有效减少二氧化碳排放。

清华大学的报告称，这类清洁能源在2015年在终端能源消费比例为21.3%，预计2030年将超过30%，2050年将达70%以上，对减排二氧化碳将发挥重要作用。

未来，中国仍将继续坚持减排措施，并制定了清晰的阶段性减排目标。《国民经济发展“十四五”规划和2035远景目标纲要》中提出，“十四五”期间，单位国内生产总值能源消耗和二氧化碳排放分别降低13.5%、18%。



1.4 总结

综合来看，中国要用发达国家一半的时间实现从碳达峰到碳中和的巨大转变，同时又是全球最大的排放国，减排压力巨大。

能源领域的排放是中国最大的碳排放源，能源转型也因此成为最重要的减排抓手。在保障能源稳定，甚至是递增供应的前提下，逐步转变中国以煤炭为主的能源结构，提高清洁能源利用率，是实现双碳目标的立足点。考虑到转型要“稳”，比煤电排放更低的天然气发电具有良好的灵活性和稳定性，将是转型期间保障能源安全的重要能源。

能源之外，交通领域减碳也是重要议题。在航空领域，GE通过在发动机架构、空气动力学和材料科学等领域的不断创新，持续降低飞机的油耗和碳排放，实现更安全更可持续的航空出行。

在单通道飞机领域，GE和赛峰国际的平股合资公司CFM国际于2021年宣布启动了“RISE可持续发动机先进技术验证项目”，有望较目前广泛应用的LEAP发动机减少20%以上的油耗和碳排放，实现和可持续航空燃油及氢等替代能源的100%兼容。



在小型和大型双通道飞机上，GENx发动机和GE9X发动机分别相比之前的产品减少了15%和10%的碳排放。

此外，GE是国际民航组织航空运输行动小组（ATAG）成员，致力于帮助航空业实现2050年减少50%碳排放的目标。作为航空发动机制造商，GE正在研发包括混合动力飞行、氢燃料发动机、100%应用可持续航空燃料等新的减碳技术，有望将燃油效率进一步提高，从而减少等量的碳排放。



第二章

中国电力系统的清洁转型

如上所述，随着电力在能源终端消费比例的不断提高，电力系统的清洁转型是中国实现双碳目标的核心抓手。而中国以煤炭为主的电力结构，和全球最大的电力装机和发电量，都使得这一转型既艰难又重要。

受能源资源禀赋的影响，目前煤电仍在中国电力结构中占据主导地位，但在“碳达峰、碳中和”目标指引下，中国正在加大电力结构调整力度，绿色低碳化已成为转型的确定方向，清洁能源的替代效应日益凸显。

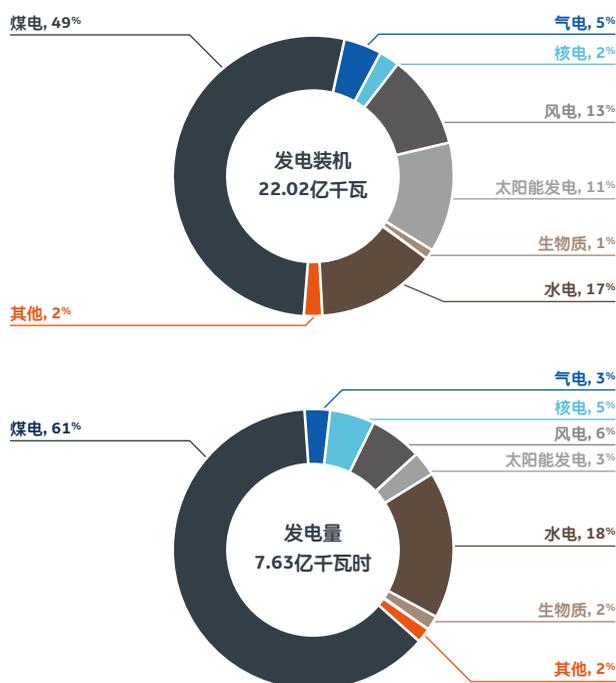
2.1 转型与安全

尽管受国家煤电停、缓建政策影响，近年来中国煤电装机增速得到明显遏制，但煤电仍是并将是未来较长一段时期内的中国主力能源，是保障电力系统运行的“压舱石”。2021年秋季以来频发的限电现象，也再次凸显需要将能源安全作为改革方案的立足点，在近期及中长期的能源转型目标中寻找平衡点的必要性。

国家电网能源研究所的《中国能源电力发展展望2020》就我国现有能源结构的碳达峰做了分析。报告指出，煤电等常规电源将长期在电力平衡中发挥重要作用。煤电装机预计于2030年前达峰，峰值为12.5亿-13.5亿千瓦，未来宜通过延寿来发挥保底作用；核电、水电、气电等各类电源近中期将稳步发展。

图6：2020年中国各类电源发电装机和发电量
(亿千瓦、万亿千瓦时)

来源：电力规划设计总院《中国电力发展报告2020》
数据来源：国家统计局、中电联



要实现“双碳”目标，需要处理好发展和减排、当前和长远的关系。长期来看，电力结构的清洁化转型仍是大势所趋。2021年，可再生能源发电量达到2.48万亿千瓦时，占全社会用电量29.8%，2012年这一数字为21.3%。以风电、光伏为代表的清洁能源正逐步成为新增电源装机主体。

中国的电力结构在过去10年清洁化成果显著，未来这一趋势仍将持续。

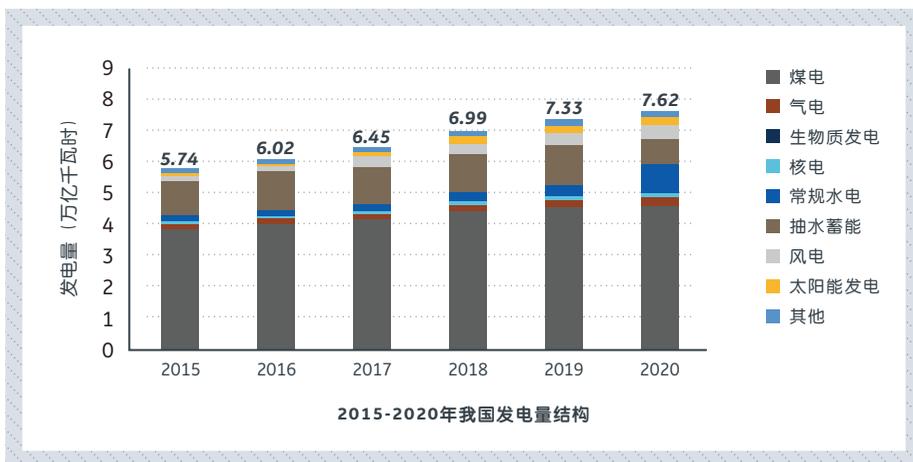
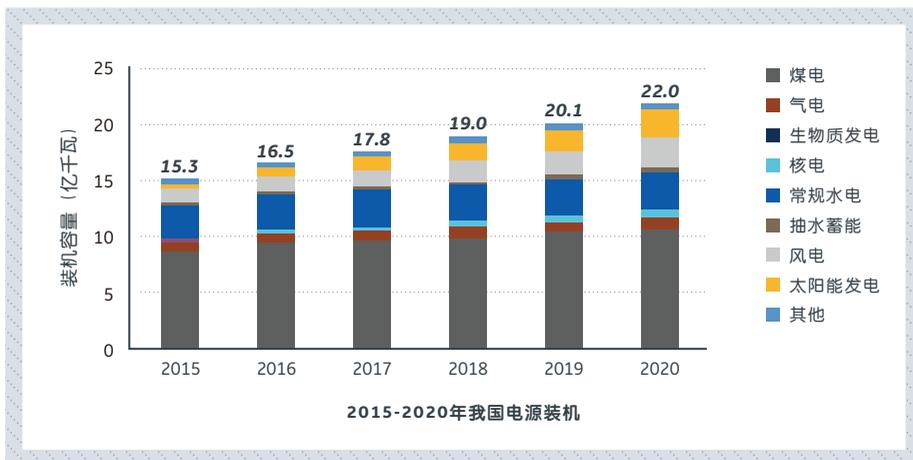


图7：2015-2020中国发电结构变化
来源：国家能源局

根据“十四五”规划纲要，中国将坚持集中式和分布式并举。

大力提升风电、光伏发电规模，加快发展东中部分布式能源，有序发展海上风电；加快西南水电基地建设；安全稳妥推动沿海核电建设。

在兼顾能源安全和能源转型的背景下，中央经济工作会议明确，传统能源的退出要在新能源安全可靠的替代基础上。能源转型期间，天然气发电具有调节速度快、调峰幅度大、二氧化碳排放低等优势，将成为“十四五”及以后重要的过渡能源。中电联《能源转型中的电力燃料供需格局研究》认为，从成本、对外依存度、化石能源特性上看，燃气发电可以适度推进，预计到2025年、2030年全国气电装机分别达到1.5、2.35亿千瓦。

2.2 海上风电提速

据国家能源局统计，2021年中国风电、光伏装机均突破3亿千瓦。其中海上风电新增1690万千瓦，创历史新高，总装机达到2639万千瓦，跃居全球第一。

经过数十年的发展，陆上风电日臻成熟，海上风电也将步入成熟发展期。全球风能理事会（GWEC）预计，2025年全球海上风电的年新增装机量将增至23.9GW，其在全球新增装机中的份额将从目前的6.5%增至2025年的21%。国际可再生能源署（IRENA）预计，到2030年，全球海上风电的平均度电成本将比2018年下降55%。

2021年和2022年初，全国各沿海地区海上风电规划及支持政策陆续出台，其中广东、山东、浙江、海南、江苏、广西等地区已初步明确其海上风电发展目标。“十四五”期间，全国海上风电规划总装机量超100GW，伴随着海上风机价格不断下探及施工成本逐步降低，海上风电在“十四五”阶段将迎来爆发式增长。

经济及用电大省广东制定了宏伟的海上风电发展计划，以持续开发丰富的海上风电资源。

根据《广东省海上风电发展规划（2017-2030）》，广东计划到2030年底建成投产海上风电装机容量约3000万千瓦，形成整机制造、关键零部件生产、海工施工及相关服务业协调发展的海上风电产业体系，将海上风电产业打造成省内具备国际竞争力的优势产业之一。

广东省政府印发的《广东省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》指出，大力发展海上风电、太阳能发电等可再生能源，推动省管海域风电项目建成投产装机容量超800万千瓦，打造粤东千万千瓦级基地，加快8兆瓦及以上大容量机组规模化应用，促进海上风电实现平价上网。

广东省政府办公厅《促进海上风电有序开发和相关产业可持续发展的实施方案》提出，到2021年底，全省海上风电累计建成投产装机容量达到400万千瓦；到2025年底，力争达到1800万千瓦，在全国率先实现平价并网。到2025年，全省海上风电整机制造年产能达到900台（套），基本建成集装备研发制造、工程设计、施工安装、运营维护于一体的具有国际竞争力的风电全产业链体系。

2019年，GE在广东省揭阳市投资了在华的首个海上风电总装基地，该基地同时也是GE全球第二条具备生产其迄今功率最大海上风电机组Haliade-X的产线。目前总装基地的首批机组已经投产，首批机组已发货给英国目前最大的海上风电场Dogger Bank项目。2020年，GE在广



位于广东省揭阳市的GE海上风电机组总装基地

州的海上风电运营和开发中心投入使用，该中心与总装基地构成立足广东、辐射亚太的区域性海上风电生态圈的重要支点，将助力区域的能源结构优化以及产业链的转型升级。

广东海上风电发展规划也指出，经济性是制约海上风电的重要因素，与传统化石能源以及目前技术成熟的光伏、水电相比，海上风电的成本仍较高；此外，海上风电对设备和施工技术要求高，机组需要具备抗台风、防盐雾腐蚀等海洋环境挑战；且选址和建设受海域等客观因素影响，程序相对复杂，前期工作需时较长。

针对这些挑战，企业的技术创新必不可少。

大型化、轻量化、智能化是海上风电机组技术发展的大趋势，也是实现集约化用海、降低初始投资和后期运维成本的客观需求。

目前GE在广东省生产组装的Haliade-X海上风电机组，最大额定功率可达14MW，按照IEC-IB风速等级设计，能承受70m/s的极限风速。其12MW和13MW机组拥有权威独立认证机构挪威船级社DNV颁发的T级（台风级）认证，可在全生命周期内有效地抵御台风等极端风力情况，保持安全、高效、稳定的运营，且即使在中低风速下，也可比行业内对标风机实现更高的满发小时数。

目前，海上风电正在向中远海域进发，海上施工及风机吊装等成本成为风场建设主要支出。GE Haliade-X机组可以显著降低单位千瓦的前期投入，为海上风电迎接新的机遇和解决新的挑战提供了很好的技术平台。

不止于此，GE目前正与海洋工程公司Glosten合作，探索浮式海上风电机组的应用前景。目前，海上风电固定式基座受限于项目的水深深度，一般在60米以内。通过开发漂浮式技术，海上风电的适用范围将拓宽至60米以上水深的广大深远海区域。按计划，双方将合作开发适用于12MW Haliade-X风机和PelaStar Tension-leg 张力腿技术相结合的海上漂浮式风机发电机的控制技术。通过结合在风机控制、多体动力学、空气动力学、海洋工程学和流体力学等方面的技术优势，项目团队预计能够降低风机的塔架和漂浮式基础平台35%的质量，大幅降低海上漂浮式机组的成本。

除了研发适用于更复杂应用场景的浮式风力机组，GE同时着眼于提升海上风电场能源传输的效率和稳定性。例如，GE气体绝缘开关产品专用于海上变电站和海上风机塔筒。在远离海岸的深水区海上风场，GE电网苏州工厂生产的F35-31MW（Wind Modul）系列能比原先常用的35kV中压系统电压翻倍，电流减小。这意味着可以连接更多的风机，传输更多的能源，同时减少传输过程中的损耗。该系列产品配有智能数字化控制系统，还可用于盐雾环境、耐受高冲击和海上的恶劣天气，能很好地支持海上风电场的规模化、深海域发展。



第三章

不可或缺的调节性电源

构建有更强新能源消纳能力的新型电力系统，是“十四五”以及未来中国能源转型、实现“双碳”目标的工作主线之一。在已有基础上，未来可再生能源比例还将继续提高，而这也给电力系统带来新的挑战，需要兼顾当下及未来的电力消费需求和趋势。其中，以天然气发电、抽水蓄能为代表的调节性电源不可或缺，将迎来新的发展机遇。

3.1 新型电力系统的新挑战

可再生能源成为电力供应的主体，不可忽视的是其波动性、间歇性的特点。

为此，着力提升电力系统的灵活调节能力，要通过电源侧、电网侧、需求侧、储能侧等方面来推动电力系统的灵活调节能力提升，适应大规模新能源并网后的要求。



GE电网事业部研发生产的Hypact复合电器可以运用于多种电源频率，例如50/3Hz，20Hz，50Hz，可灵活运

用于光伏，陆上和海上风电等场合，具有接线灵活，可靠性高，建设周期短和成本经济的特点。新能源并网后，不能出现大量弃风弃光问题，也不能出现缺电问题，要保障供电安全，把波动性、间歇性的新能源特点，通过系统的灵活调节变成友好的、确保用户供应的新型系统。GE电网事业部研发生产的GIL（气体绝缘金属封闭管道母线）可广泛运用于超高压交流与直流系统，并可以绿色气体g3替代SF6（六氟化硫）使用，满足大型直流换流站的严苛运行要求，避免了直流积污，减少温室气体排放，大幅降低电力传输能耗及电磁辐射。

作为中国碳达峰碳中和“1+N”政策体系中的综合性政策文件，国家发改委和国家能源局在2022年2月发布的《关于完善能源绿色低碳转型体制机制和政策措施的意见》特别提出要完善灵活性电源建设和运行机制，并就天然气发电和抽水蓄能的发展，明确了因地制宜建设既满足电力运行调峰需要、又对天然气消费季节差具有调节作用的天然气“双调峰”电站；加快建设抽水蓄能电站，探索中小型抽水蓄能技术应用，推行梯级水电储能。

3.2 气电助力能源安全转型

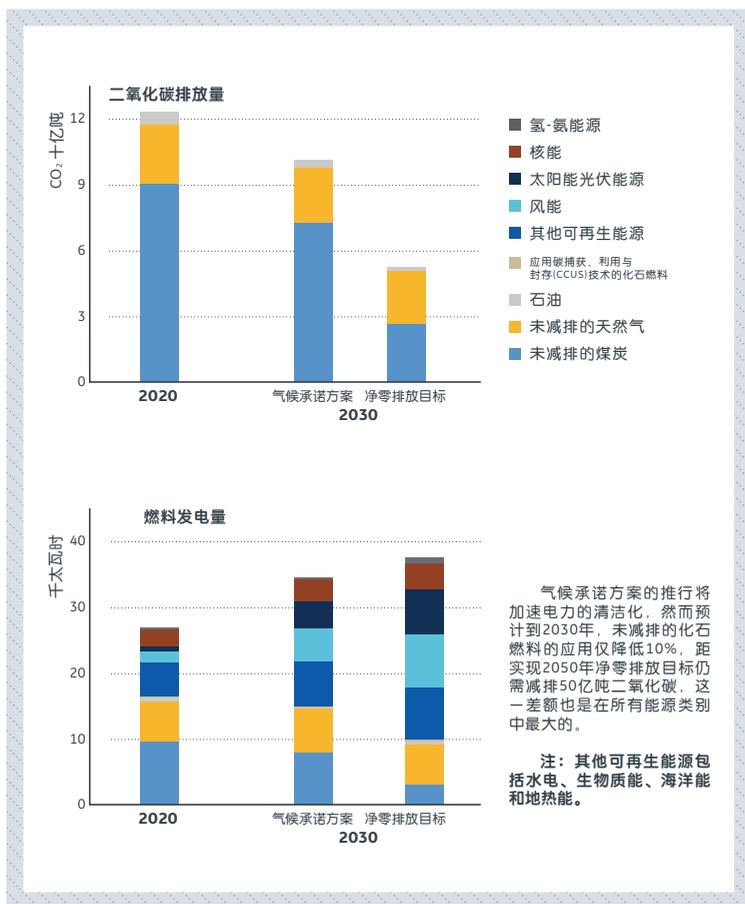
新型电力系统将带来电力产业格局的深刻变革。可再生能源比例的提高，意味着传统化石能源如煤电的角色将发生重要变化，从传统的电力、电量提供者逐步转变为容量、转动惯量的提供者；天然气发电、抽水蓄能电站将为电力系统提供重要的灵活性和调节性能，在新型电力系统中扮演更重要的角色。供应侧的变化之外，需求侧也将参与系统互动，为系统提供调节的潜力。不仅如此，**燃气发电具有清洁低碳的特点，在煤电有序退出的过程中，将成为重要的清洁、低碳替代电源。**

	风、太阳能和储能	天然气发电
燃料	无限、变化的免费燃料	在需要时提供灵活、可调节的电力 利用价格可负担且储量充足的天然气或液化天然气
CO ₂	零碳排放	所产生的CO ₂ 排放量不到煤炭发电的一半 未来通过氢气与碳捕获和封存 (CCS) 技术可发展为低碳或接近零碳
成本	有竞争力的度电成本 (LCOE)；整个生命周期内不存在太多不确定性 (主要是初始投资)	有竞争力的度电成本LCOE；初始投资最低；提供可负担的可靠发电量
调度	按优先顺序调度 (可变成本极低)	价格最经济的可调度技术 (填补供需缺口)
调峰	经济的蓄电池储能，可满足短时调峰需求 (<8小时，日间轮班)	天然气对长时间调峰需求 (日常及与天气相关的持续期) 具有良好经济效益
容量系数	基于资源 (风能太阳能之间通常是互补的) 的容量系数为25%-55%	必要时容量系数能够>90%，可以根据可变成本和可再生能源的需求而减少运行
土地	利用有可再生资源的大面积土地 (多用途土地利用)；海上风能不受土地限制	对于空间有限的密集市区，其所占的物理空间较小
混合解决方案扩展	推广可再生能源，满足峰值需求	利用现场蓄电池储能技术可达到零碳排放旋转备用的调峰电厂

表1：可再生能源与天然气发电之间的互补性

当前中国燃气发电和抽水蓄能在电力系统中占比仅约为6%左右，而美国、德国、法国、日本、意大利等发达国家燃气发电和抽水蓄能在电力系统中占比均超过10%，**中国与发达国家相比，灵活、高效、清洁的调节电源占比仍有较大差距。**

国务院的《2030年前碳达峰行动方案》中强调，在首要的能源绿色低碳转型行动中提出，因地制宜建设天然气调峰电站，大力提升电力系统综合调节能力，加快灵活电源建设。



全球来看，天然气发电都将在能源转型中扮演重要角色。国际能源署最新的《世界能源展望2021》中预计，在新兴市场和发展中国家，天然气发电在既定政策情境和承诺目标情境下，到2030年将增长大约三分之一。并且这两类情境下，到2050年气电都会是维持电力系统灵活性的重要角色。该报告还指出，为应对高比例可再生能源并网所带来的潜在供电波动性等挑战，在包含2050净零情境的各类情境下，到2050年全球电力系统的灵活性需要提高三至四倍。

推动能源绿色低碳转型，在工业、建筑、交通、电力等多领域有序扩大天然气利用规模，以及充分发挥燃气发电效率高、运行灵活、启停速度快、建设周期短、占地面积少等特点，将气电调峰作为构建以新能源为主体的新型电力系统的重要组成部分，是助力能源碳达峰，构建清洁低碳、安全高效能源体系的重要实现途径之一。

图8：国际能源署预测的现有承诺情景 (APS) 和2050净零情景 (NZE) 下到2030年全球电力系统碳排放来源和电力结构，两种情境下气电到2030都将占据重要角色

来源：国际能源署《世界能源展望2021》

GE认为，加速可再生能源与天然气发电的战略部署可改变气候变化的轨迹，以实现大幅减排，同时精进低碳或接近零碳发电的技术。

GE最新的燃气轮机技术将为中国的能源转型助一臂之力。经过多年技术创新和机型更迭，GE当前最先进的9HA燃机与同级别燃机相较，在灵活性、运行效率、经济绩效、环境绩效等方面的表现可圈可点，其优异的调峰能力和启停快等优势能很好地与风电、太阳能等可再生能源形成互补，有效对冲可再生能源不稳定造成的电网波动，起到电网稳定器和电源支点的作用，因此也得以在全球各区域市场得到广泛认可。

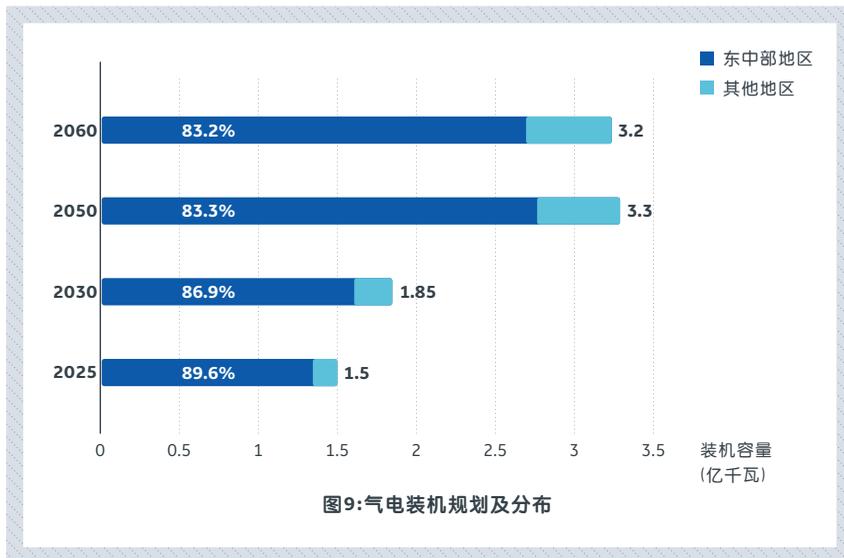


图9:气电装机规划及分布

来源：全球能源互联网组织《2030年能源电力发展规划及2060年展望》报告

目前，GE在国内的首台9HA.01燃机也已应用于华北地区的“煤改气”项目——中国天津华电军粮城电厂，帮助电厂实现从燃煤电厂到燃气-蒸汽联合循环热电联产的转型升级。投运以来，电厂运行稳定，效率远超预期：**联合循环效率达到63.36%，为目前国内投运的HA级燃机机组中效率最高**；按照全年运行4500小时测算，夏季满负荷纯凝工况下，军粮城9HA燃机综合供电煤耗约为196g/kWh，比600MW级别超临界煤机同工况下煤耗低100g/kWh左右，年节约标煤量30万吨以上，年减排二氧化碳达180万吨。

在建设新型电力系统的大目标下，可再生能源比例不断提高，煤电装机预计在“十四五”期间达峰，而电力需求和电力系统的灵活性需求仍将增长，这都意味着**作为过渡能源的天然气发电在未来十年乃至到碳中和时期，都将在中国的电力系统中扮演更加重要的角色。**

全球能源互联网组织发布的《2030年能源电力发展规划及2060年展望》预测，立足中国的国情和资源禀赋，综合考虑气源条件、发电成本和碳减排约束，2025、2030、2050、2060年，我国气电装机分别达到1.5亿千瓦、1.85亿千瓦、3.3亿千瓦和3.2亿千瓦。新增装机主要分布在气源有保障、电价承受力较高的东中部地区，2060年装机占比达到83%。

值得一提的是，该报告还预测**未来燃氢机组将作为季节性调峰电源**。随着电解氢规模大幅增长，将部分燃气机组改造为燃氢机组，2050、2060年燃氢机组容量将分别达到1亿、2亿千瓦。

随着可再生能源的发展，可再生能源制备绿氢及相关产业链正越来越引起关注，它可以平抑可再生能源的波动性，并在未来带来更多氢燃料，在各个环节流通。国务院新闻办公室2020年发布的《新时代的中国能源白皮书》在“支持新技术新模式新业态发展”小节中提出，加速发展绿氢制取、储运和应用等氢能产业链技术装备。

目前，GE的HA燃气轮机已经可以达到50%掺氢燃烧，中国的首座天然气-氢气双燃料9HA电厂将于2023年落地广东能源集团旗下惠州大亚湾石化区综合能源站。该电站两台机组将使用GE及哈电合资公司制造的9HA.01重型燃气轮机，实现10%的氢气掺混比例与天然气混合燃烧。



GE还制定了技术路线图，计划在2030年前将HA级燃气轮机的燃氢能力提高到100%。

除了引进适合中国不同应用场景的技术设备，GE与本地伙伴就燃气轮机的本土化制造和服务进行合作，帮助中国打造世界一流的燃机生产能力。目前，GE与哈电集团以平股合资的方式在秦皇岛组建了重型燃机制造基地，以专注9HA机型的本土生产和服务能力；在上海与华电集团组建合资公司，以打造航改燃机等应用于分布式能源项目的设备制造能力。



图10：2012-2020年中国气电装机容量增长图
数据来源：中电联



图11：2012-2020年中国气电装机比例变化图
数据来源：中电联

3.3 抽水蓄能的新机遇

在调峰电源中，抽水蓄能是目前技术最成熟、经济性最优、最具大规模开发条件的选择，是保障中国电力系统安全稳定运行的重要支撑，正在迎来新的发展机遇。

截至2020年底，中国抽水蓄能电站已建、在建装机规模分别达3179万千瓦和5463万千瓦，均居世界首位。

在全球范围内，抽水蓄能也成为各国保障电力系统安全稳定运行的主要方式。据国际水电协会（IHA）统计，截至2020年底，全球抽水蓄能装机规模为1.59亿千瓦，占储能总规模的94%。

目前，抽水蓄能在中国电力系统中占比与发达国家仍有较大差距。截至2020年底，意大利、美国、日本、德国、法国抽水蓄能占比分别为6.6%、2%、8%、2.7%、4.3%，中国仅为1.4%。目前中国抽水蓄能装机规模较少、在电源结构中占比低，不能有效满足新能源大规模快速发展需要。未来十年将是中国抽水蓄能产业的黄金发展期。



图12：2015-2020年中国抽水蓄能累计装机规模变化趋势
数据来源：CNESA前瞻产业研究院

2021年9月，国家能源局印发《抽水蓄能中长期发展规划（2021-2035）》，认为，抽水蓄能电站具有调峰、填谷、调频、调相、储能、事故备用和黑启动等多种功能，是建设现代智能电网新型电力系统的重要支撑，对构建清洁低碳、安全可靠、智慧灵活、经济高效的新型电力系统至关重要。

根据该规划，到2025年，我国抽水蓄能投产总规模6200万千瓦以上；到2030年，投产总规模1.2亿千瓦左右。这意味着，中国抽水蓄能装机将在10年内增长近三倍。

为实现上述目标，中长期规划提出要加快新建项目开工建设，以及规划站点储备和管理，共布局抽水蓄能重点实施项目340个，总装机约4.21亿千瓦；提出抽水蓄能储备项目247个，总装机约3.05亿千瓦。



图13：GE水电中国典型案例
资料来源：GE中国

上述总规模7.26亿千瓦的重点实施项目和储备项目，以及进一步完善的电价政策，为抽水蓄能中长期规划实施奠定了坚实基础。

作为世界水电领域的领军企业，GE在过去的50年中持续生产抽水蓄能式水轮发电机组，至今已经生产了139套抽水蓄能式水轮发电机组，总出力达22,000MW，广泛适用于各种抽水蓄能式水电站。

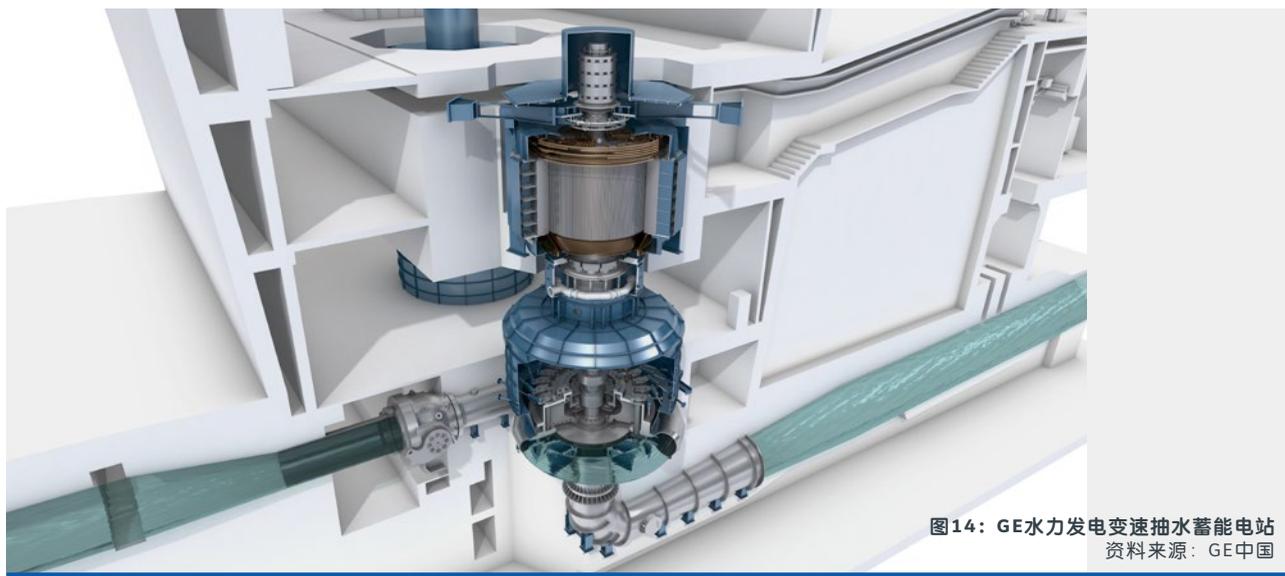


图14：GE水力发电变速抽水蓄能电站
资料来源：GE中国

凭借自身广泛的水力、电气以及机械设计解决方案，GE能够根据客户提出的具体要求，调整自身解决方案，应对各种复杂的环境条件。GE抽水蓄能水轮发电机组解决方案适用于高达1200M水头，出力范围在50MW到500MW之间。

此外，近年GE又开发了变转速的抽水蓄能机组，能够更加有效地利用有限的水力资源，具有更高的效率，灵

活性和电网平衡能力。首个变速项目机组已于2018年在瑞士投运。

GE同时还能够提供发电机断路器、五级换相开关、制动开关、启动和背对背开关的完整方案以满足抽水蓄能电站对发电机断路器频繁操作的特殊需求。



总结

随着中国“双碳”目标和构建新型电力系统目标的提出，未来中国的能源、电力系统将迎来更加深刻的变革。能源的可及性、可靠性和可持续性将面临更大的挑战。GE致力于破解这一能源转型的“三难困局”，借助全球领先的风电技术和天然气发电技术，将新能源与气电、抽蓄等调节电源互补发展，将是帮助中国实现碳中和、构建新型电力系统目标的有效助力。

能源转型是低碳转型的首要抓手，能源结构—尤其是电力结构调整又是重中之重。未来中国将迎来风电、光伏的大发展，其中海上风电尤其将进入高速发展期，GE全球领先的风机技术，将有助于中国进行海上风电资源的开发，降低海上风电的成本，经受住海上风电严苛的环境考验。

过去一年全球的能源供应危机显示出能源转型难以一蹴而就，新能源比例提高对能源系统带来了新的冲击，能源安全再度引起重视。转型过程中，灵活的调峰电源必不可少，GE的燃气轮机技术、抽水蓄能技术能够提供电力系统必须的灵活性，有效对冲可再生能源不稳定对电网带来的波动。GE同时也在布局燃机掺氢技术，为未来燃气电厂彻底实现净零排放做好准备。

与此同时，中国高速发展的城镇化建设，带动起交通运输网络的快速发展。在未来一段时间内，满足便捷出行和绿色低碳的交通系统建设，将是衡量航空、铁路、公路建设是否符合经济社会发展的唯一标尺。GE在航空领域有着超过百年的技术积累，与中国的民航业携手走过了40余年。如何为中国市场提供更高效、更安全、更可持续的民航出行方案，是GE以技术研发和伙伴合作来应对中国的“双碳目标”和“高质量发展”挑战的关键。



GE对碳中和有着坚定承诺，与中国实现低碳发展的目标高度一致。研发创新并非能一蹴而就，实现双碳目标亦不能操之过急。目前，GE正通过推进低碳运营、投资创新研发、产业链合作等方式，集合全球智慧和经验，携手本地合作伙伴，以帮助中国实现发电、工业和交通等高碳排放产业的低碳转型，驱动一个可持续的未来。



参考文献

1. BP, 《BP世界能源统计年鉴2020》, 2020
2. 国际能源署 (IEA), 《中国能源体系碳中和路线图》, 2021
3. 《财经》杂志, 《中国上市公司碳排放榜》, 2021
4. 国际能源署 (IEA), 《全球能源部门2050净零排放图》, 2021
5. 清华大学, 《中国长期低碳发展战略与转型研究》, 2020
6. 国家电网能源研究所, 《中国能源电力发展展望2020》, 2020
7. 中国电力企业联合会, 《能源转型中的电力燃料供需格局研究》, 2021
8. 国际风能理事会 (GWEC), 《Global Wind Report 2021》, 2021
9. 国际可再生能源署 (IRENA), 《Future of Wind: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects》, 2019
10. 国家发改委、国家能源局, 《关于完善能源绿色低碳转型体制机制和政策措施的意见》, 2022
11. 国家能源局, 《抽水蓄能中长期发展规划 (2021-2035) 》, 2021
12. 国际能源署 (IEA), 《世界能源展望2021》, 2021
13. 全球能源互联网组织, 《2030年能源电力发展规划及2060年展望》, 2021