



Federal Ministry
for Economic Affairs
and Climate Action



中德能源与能效合作
Energiepartnerschaft
DEUTSCHLAND - CHINA

中国和德国的能源转型——中德两国气候目标的实现和可再生能源的扩张

中德能源转型研究项目



dena
德国能源署

giz
Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

版本信息

《中国和德国的能源转型》报告概述了中德两国的能源转型以及最新发展。该报告在中德能源转型研究项目框架内发布，项目受德国联邦经济和气候保护部 (BMWK) 委托，在中国国家能源局 (NEA) 的支持下，致力于在中德两国在低碳能源政策的深入交流合作。作为中德能源与能效合作伙伴的一部分，项目结合德国能源转型的优秀实践经验及遇到的问题与挑战，为中国能源领域的政治决策者和能源政策研究相关的智库提供政策领域的参考建议。德国国际合作机构 (GIZ)、德国智库 Agora 能源转型论坛和德国能源署 (dena) 受 BMWK 委托，与中方相关合作伙伴共同实施该项目。作为一家德国联邦企业，德国国际合作机构为德国政府实现可持续发展国际合作目标提供相应支持。

发布方

中德能源转型研究项目
受德国联邦经济和气候保护部 (BMWK) 的委托
北京市朝阳区亮马河南街 14 号
塔园外交办公大楼 1-15, 邮编 100600

德国国际合作机构 (GIZ)

Torsten Fritsche
Köthener Str.2
Berlin 10963

项目管理

Christoph Both
德国国际合作机构 (GIZ)

作者

Corina Bolintineanu, Lisa Strippchen, Wiktor
Witan, 德国能源署 (dena)

设计

Edelman.ergo (受德国联邦经济和气候保护部的委托)

图片:

德国联邦经济和气候保护部/封面

本报告全文受版权保护。截至本研究报告发布前，德国国际合作机构和相关作者对出版物中所涉及的数据和信息进行了仔细研究与核对，但不对其所涉及内容及评论的正确性和完整性做任何形式的保证。本出版物中涉及到的外部网站发行方将对其网站相关内容负责，德国国际合作机构不对其内容承担任何责任。本文件中的观点陈述不代表委托方的意见。对于图例是否最新、正确或者完整，以及由其使用造成的任何直接或间接损害，德国国际合作机构概不承担任何责任。

目录

执行摘要.....	4
1. 德国和中国的气候目标.....	5
1.1. 德国的气候目标	5
1.2. 中国的气候目标	7
2 可再生能源的扩张.....	9
2.1. 德国现状	9
2.2. 中国现状	9
2.3. 可再生能源的整合	10
2.4. 发展现状	14
3 结论	17
参考文献.....	21

执行摘要

中德两国都承诺遵照《巴黎协定》条款应对气候变化，都制定了实现气候中和的短期及长期目标。德国当前的目标是在 2030 年之前，实现总电力消费中可再生能源(RES)的比例达到 80%。此外，德国还计划在 2038 年之前（理想情况下，在 2030 年之前）淘汰煤炭，并在 2045 年之前实现气候中和。中国力争于 2030 年之前实现碳排放达峰，2060 年之前实现碳中和。

清洁能源转型是中德两国努力实现气候中和的主要支柱。尽管德国在能源转型方面是公认的先驱，但中国也正以不可思议的速度迎头赶上，现已成为世界上可再生能源（RE）装机容量最大的国家。仅 2021 年，中国的新增装机容量几乎等同于德国的可再生能源总装机容量。

因为两国都致力于推进能源转型，所以都努力将快速增长的可再生能源集成到电力系统中，在此过程中遇到了相似的挑战。天气条件决定了可变发电量的可用性，因此需要调整电力系统、引进更高水平的灵活性，以确保稳定的供应。

集成更高比例可再生能源的解决方案多种多样，包括需求侧管理（DSM）、储能系统、绿氢、精确的电力系统规划和预测以及辅助服务的进一步发展。中德两国在能源转型方面有其各自独特的现实与潜力，两国政府制定解决方案的目标也大相径庭。因此，中德两国目前正处于不同的部署阶段。

在德国，储能解决方案对有意提升自消费量的产销者（包括家庭）尤其具有吸引力。2022 年，德国安装了大约 500,000 套

光伏储能系统，不同储电技术的市场也在最近几年间取得了长足的发展。在中国，屋顶光伏系统与储能系统的配套为商业及工业消费者（而非家庭消费者）创造了最大的潜力。但到目前为止，这些消费者在部署储能系统方面还是会遇到重重阻碍，其原因众多，经济顾虑也是其中一方面。随着中国针对储能行业设定了新的目标，例如到 2025 年实现单位储能成本下降 30% 的目标，预计在不久的将来，储能系统将会在中国更大规模地发展。

中德两国都面临挑战，一部分原因是化石燃料的依赖性。2022 年初，俄罗斯切断了天然气供应，迫使德国更多地转向煤炭和石油，此后，确保短期供应安全成为德国的当务之急。面对严重的能源危机，德国开始反思天然气在能源转型中扮演的角色，考虑加速替代解决方案的发展。在中国，能源安全也影响着政策抉择，在过去两年内经历的严重能源短缺，致使中国的煤炭产量和消费量都有所增加。

这些短期的能源安全措施都不利于中德两国的气候行动和能源转型目标。但两国仍恪守承诺：在最近召开的中共第二十次全国代表大会以及联合国（UN）气候变化大会（COP27）上，中国重申了对减碳目标的承诺。COP27 之前，德国总理奥拉夫·朔尔茨（Olaf Scholz）也确认德国不会偏离在 2045 年之前实现碳中和的前进道路。为了尽快摆脱化石燃料，中德两国都需要为可再生能源的进一步扩张和整合扫除所有障碍。

1. 德国和中国的气候目标

应对气候危机、向清洁能源过渡是中德两国的当务之急。尽管两国的地理、人口及经济状况大相径庭，但两国政府都致力于践行雄心勃勃的气候行动议程。德国提出在 2045 年之前实现气候中和，而中国的目标是在 2030 年之前碳达峰、在 2060 年之前实现气候中和。

1.1. 德国的气候目标

德国的能源转型（“Energiewende”）旨在通过满足气候中和目标，建立气候中和的无核能源系统。德国已经多次调整并收紧了这些目标，如表 1 所示。德国最新的目标是在 2045 年之前实现气候中和。

2010 年，政府通过了“德国能源方案”¹，概述了德国能源政策的整体目标架构，此方案一直沿用至今。

“能源方案”的最初目标是在 1990 年的基础上到 2020 年温室气体（GHG）减排 40%，到 2050 年减排 80%。可再生能源的扩张是实现这些目标的关键措施之一，因此“能源方案”提出可再生能源在终端能源消费总量中所占比例在 2020 年达到 18%、在 2030 年达到 30%、在 2050 年达到 60%，在电力消费总量中所占比例在 2020 年达到 35%、在 2030 年达到 50%、在 2050 年

达到 80%。此外，在 2008 年的基础上，一次能源消费量到 2020 年下降 20%。

2016 年生效的《巴黎协定》设定了更加远大的目标。德国政府于 2016 年 11 月通过了《2050 年气候行动计划》，这让德国成为第一批按照《巴黎协定》要求向联合国提交低温室气体排放长期发展战略的国家之一。《2050 年气候行动计划》描述了在 2050 年之前大体上实现气候中和经济体的路径²，更加具体地定义了政府提出的远大的气候目标。德国的中期目标是相比 1990 年的排放水平，到 2030 年实现温室气体减排至少 55%。此计划还设定了各个部门的 2030 年目标，描述了必要的发展路径，列出了初步的落实措施，建立了监督及更新政策和措施的过程。德国通过此计划，尽其所能地实现《巴黎协定》中规定的国际目标——将全球平均气温上升幅度控制在 2 摄氏度以内，并努力限制在 1.5 摄氏度以内。

弃核



1986 年切尔诺贝利核事件导致了人们对核能的普遍担忧，造成反核情绪高涨。大部分德国人担心核能技术带来的风险，政治家也开始强调核能只是一项过渡技术，未来终将被淘汰。1989 年后，德国没有新建任何商业核电站。

在 2010 年“能源方案”中，核能仍被视为一项过渡技术：德国政府总结称，有限延长现有核电厂的使用寿命，对于过渡期内德国三项能源政策目标——气候保护、经济效率和供应安全——的实现做出了重大贡献。

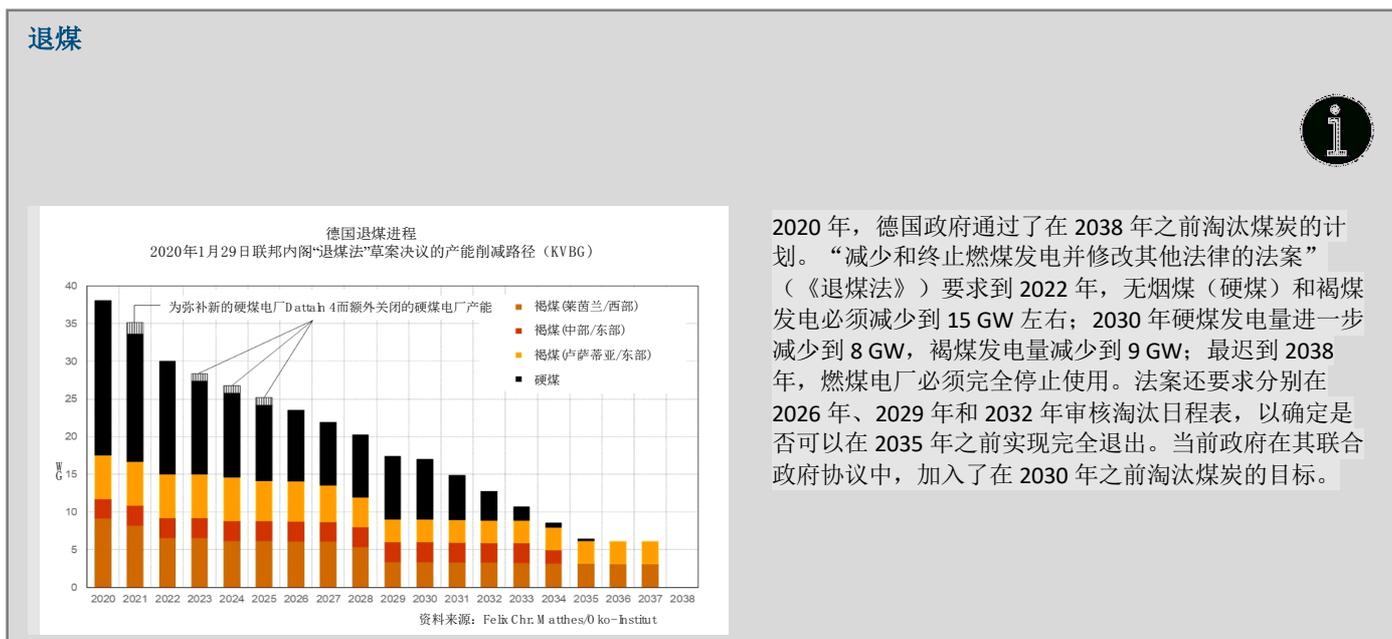
有鉴于 2011 年 3 月 11 日日本福岛的核灾难事件，同一届政府决定在 2022 年之前淘汰核电，并在几个月之内关闭德国 7 个最陈旧的核电站反应堆。由于 2022 年能源危机，核能淘汰日期被延后到 2023 年。

在“能源方案”提出9年后，德国的排放量并未大幅下降。因此，德国政府通过2019年《气候保护法》设定了一条具有约束力的实现气候中和的路径。该法律要求在1990年的基础上到2030年实现温室气体减排55%，到2050年实现气候中和。在可再生能源扩张的过程中，能源部门的排放自1990年起大幅下降，如图1所示。因为新冠肺炎疫情导致的经济活动和流动性的骤然下降，德国在2020年就达到了其温室气体减排40%的目标。但在不久之后，排放量又快速回升到了疫情之前的水平：2021年，排放量相较于1990年水平下降了38.7%。2021年，总排放量为大约7.62亿吨温室气体，比2020年高4.5%。

3

尽管此前的气候目标并未实现，但政府还是在2021年进一步提高了目标。2021年，德国最高法院做出了一项引人注目的决定——最高法院认定德国的气候政策力度不够，于是修订了《气候保护法》，要求在2045年之前实现气候中和。

新当选的德国政府（绿党、社会民主党和自由民主党）随后在联合政府协议中提出了一项发电及消费部门能源系统转型的全面计划。联合政府协议将实现气候目标视作政府要务，相关措施包括针对2030年设定的新目标，例如可再生能源在总电力消费量中的占比达到80%或者分配2%的国家领土用于陆上风电。

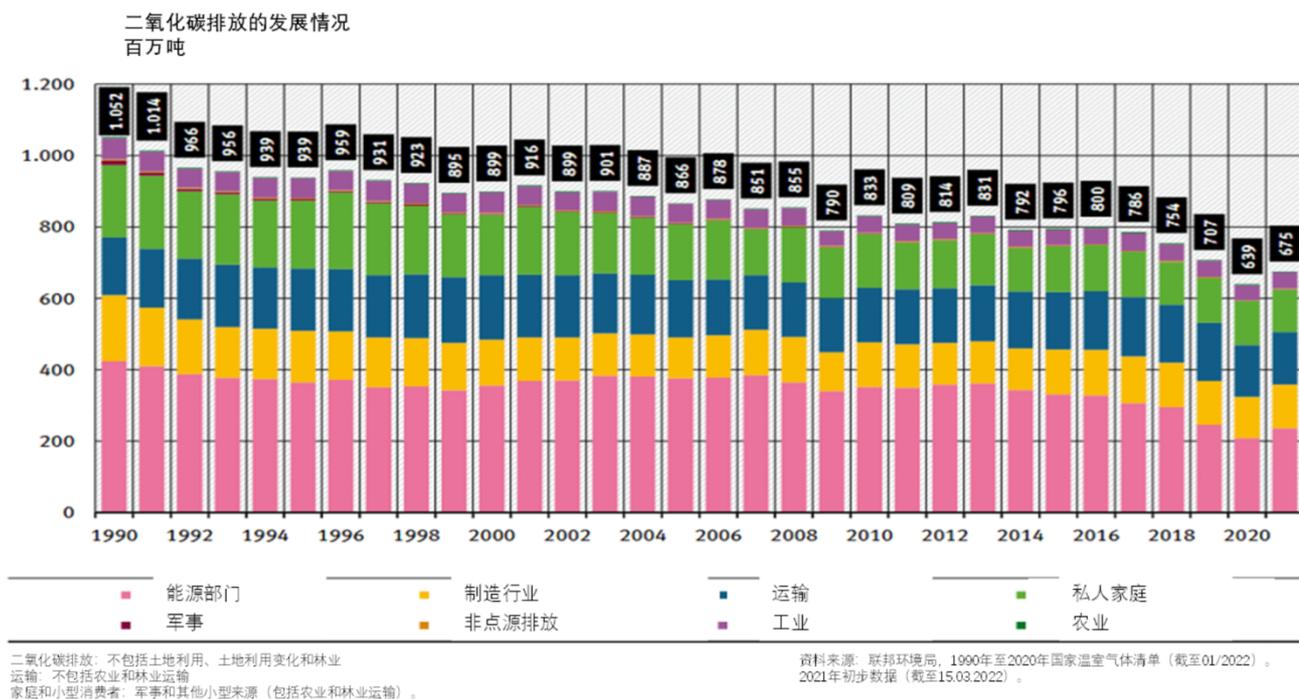


2020年，德国政府通过了在2038年之前淘汰煤炭的计划。“减少和终止燃煤发电并修改其他法律的法案”（《退煤法》）要求到2022年，无烟煤（硬煤）和褐煤发电必须减少到15 GW左右；2030年硬煤发电量进一步减少到8 GW，褐煤发电量减少到9 GW；最迟到2038年，燃煤电厂必须完全停止使用。法案还要求分别在2026年、2029年和2032年审核淘汰日程表，以确定是否可以在2035年之前实现完全退出。当前政府在其联合政府协议中，加入了在2030年之前淘汰煤炭的目标。

表 1: 德国碳排放及可再生能源目标概览

碳排放目标				
	2020	2030	2045	2050
能源方案（2010）	减少 40%			减少 80-95%
气候行动计划（2016）	减少 40%	减少 55%		减少 80-95%
气候保护法（2019）		减少 55%		减少 100%（净）
气候保护法修正案（2021）		减少 65%	减少 100%（净）	
可再生能源在发电中的占比				
	2020	2030	2045	2050
能源方案（2010）	35%	50%		80%
复活节一揽子计划（2022）	80%		100%	

图 1：德国二氧化碳排放情况⁴



1.2. 中国的气候目标

过去三十年，中国的能源需求大幅增加，主要是因为中国的能源密集型工业化和城市化。能源需求的剧增，加之中国对煤炭的高度依赖性，使得中国在 2006 年就成为世界第一大温室气体排放国。在此背景下，习近平主席在 2014 年呼吁在四个关键领域发起一次国内“能源革命”：能源消费、能源供给、能源技术和能源体制。⁵减少能源消费、限制一次能源增长以及提高能效成为这一能源转型计划的核心部分。推动中国能源及结构的多样化以降低中国对化石燃料的依赖性，以及扩大可再生能源的发展，构成此战略的第二大支柱。⁶

中国“十三五”规划（2016-2020 年）重申了发起“能源革命”的承诺，国家发展和改革委员会（NDRC）和国家能源局（NEA）于 2017 年发布的“能源生产和消费革命战略”（2016-2030 年）（简称：能源革命战略）构成“能源革命”的基础。“能源革命战略”中包含 2030 年之前在中国实现低碳、清洁、高效且安全的能源系统的总体目标和战略。

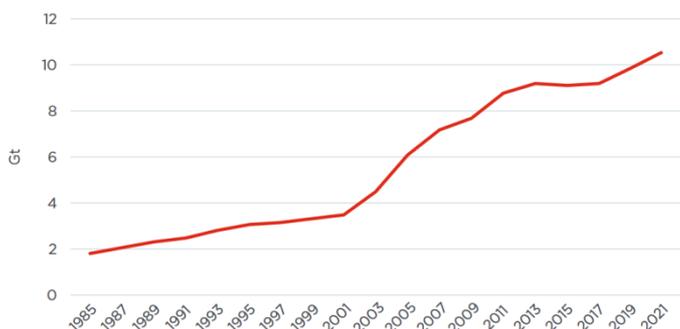
2015 年，中国签署了《巴黎协定》，根据此协定的承诺，中国政府于 2016 年提交了第一份国家自主贡献（NDC）文件，承诺实现远大的气候及能源目标。⁷中国承诺在 2030 年左右实现二氧化碳排放达峰，并在 2020 年之前，实现单位国内生产总值二氧化碳排放较 2005 年下降 40%到 45%，并进一步在 2030 年之前，下降 60%到 65%。同时，中国承诺将其一次能源消费中非化石燃料的占比提高到 20%左右。上文提到的“能源革命战略”以这些目标为基础，又新增了着眼于 2030 年的多个新目标，包括将一次能源消费量控制在 60 亿吨标准煤当量以内的承诺。2017 年末，中国提前三年实现了其在哥本哈根联合国气候变化大会（COP15）上设定的 2020 年碳强度目标——即碳强度水平

相比 2005 年累计下降 46%。⁸回顾历史，中国超前实现气候目标的情况并不罕见。例如，中国在“十一五”规划、“十二五”规划和“十三五”规划中提出的可再生能源发展目标均已超前实现。⁹

2020 年，中国又完成了其气候工作中的一个重要里程碑事件。2020 年 9 月，中国政府详述了其现有的气候目标，宣布于 2030 年之前（而非之前在第一份国家自主贡献文件中承诺的“2030 年左右”）实现二氧化碳排放达峰，并在 2060 年之前实现气候中和。

这两个新目标——也称为“30-60”目标或者“双碳”目标——代表了中国气候政策的重大转变。温室气体排放不再只是其他措施和目标的“副产品”，而是成为核心目标本身。2021 年 10 月 28 日，在格拉斯哥联合国气候变化大会（COP26）召开之前，中国政府更新并提交了最新版本的国家自主贡献文件¹⁰，其中再一次确认了这两个主要目标。碳中和目标暗示了中国能源系统的重大转变，中国的能源系统依然极为依赖化石燃料，如图 2 所示。2021 年，中国总计 113 亿吨二氧化碳排放中大约有 105 亿吨来自于化石燃料（煤炭、油和气）的燃烧。¹¹

图 2：中国化石燃料产生的二氧化碳排放（十亿吨）（1985-2021 年）¹²



与中国的国家自主贡献文件相比，修订后的目标更为明确，也更具雄心。例如，在原本的国家自主贡献文件中，中国的目标是到 2030 年，二氧化碳强度相比 2005 年下降 60% 到 65% 左右，而在更新的国家自主贡献文件中，目标被提高到了 65% 以上。同样的，针对 2030 年一次能源消费中非化石燃料所占比例设定的目标也从 20% 左右提高到了 25% 左右。审视现状后可以发现，这些目标是可能实现的：截至 2021 年，中国单位国内生产总值二氧化碳排放相比 2005 年下降了 50.8%，非化石燃料在一次能源消费中所占比例约为 16.6%。¹³

更新后的国家自主贡献还包含一个针对太阳能和风能发电装机容量容量的新目标：到 2030 年达到 1,200 吉瓦。中国的太阳能和风能发电装机容量已经是世界上最大的，为实现此目标，中国承诺在 2020 年代将此容量再提高一倍以上。考虑到当前中国风能及太阳能发电装机容量前所未有的增长速度，此目标有望大幅超前实现。¹⁴

除了修订版的国家自主贡献文件以外，2021 年 10 月 28 日，中国还一并向联合国提交了《中国本世纪中叶长期温室气体低排放发展战略》。¹⁵在此文件中，针对建筑和交通等关键领域，增设着眼于 2025 年及 2030 年的多个定量目标。例如，根据计划，到 2025 年，100% 城镇新建筑物都须落实绿色建筑标准，50% 的新公共建筑物和新工厂建筑物都应该配备屋顶光伏系统。关于 2030 年的清洁交通目标，新能源车¹销售占比大约 40%。

2021 年 3 月，中国政府发布了“十四五”规划（2021-2025 年），设定了针对 2025 年的新目标，包括到 2025 年，中国二氧化碳排放和能源强度相比 2020 年分别降低 13.5% 和 18%。与前一份五年规划中设定的水平相比，当前规划中能源强度的降低目标下调了 1.5%，而碳强度目标保持不变。在规划中，中国还承诺到 2025 年，将其能源构成中非化石能源的比例提高到 20% 左右——此目标超过了中国最初的国家自主贡献文件中设定的目标（即到 2030 年达到 20%）。

作为“十四五”规划的一部分，2021 年 11 月，中国在联合国气候变化大会（COP26）召开之前还发布了另外两份重要的政策文件。这两份文件，分别是《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》（简称为“工作意见”，也称为“气候方案”）和《2030 年前碳达峰行动方案》（简称为“行动方案”），构成中国实现其减碳目标的气候政策框架的基础：“1+N”政策框架。

所谓的“气候方案”（政策中的“1”）统一了中国政府在 2030 年之前实现碳达峰、在 2060 年之前实现碳中和的官方目标和战略。但是，其中还包括一些额外的目标，例如到 2060 年，非化石燃料在总能源消费量中占比达到 80% 的定量目标。“N”方案中定义了针对具体部门的目标和政策。“行动方案”是第一份发布的“N”文件，其中概述了在 2030 年之前实现二氧化碳排放达峰的具体路径。两份文件都强调减少能源消费量以及加速可再生能源的发展。

除了主要的五年规划以外，中国还发布了部门及子部门方案，提出了更加具体的目标和行动方案。2022 年 3 月 22 日发布的“十四五”现代能源体系规划（简称为“能源规划”）及可再生能源规划（2022 年 6 月 1 日发布的“十四五”可再生能源发展规划），可能是到目前为止中国所发布的所有文件中，对中国脱碳意义最为重大的两份文件。尤其是“十四五”能源规划是一项新的突破，因为它是第一份在名称中提到“现代能源体系”的规划。之前的文件仅被称为“能源发展规划”。根据中国国家能源局发言人的说法，规划名称的变化表明政府承认目前存在改变体系、加速发展“低碳化、智能化、多元化和多极化”能源系统的迫切需求。¹⁶表 2 概述了中国当前最重要的气候目标。

表 2：中国气候目标概览

碳排放目标	2025	2030	2060
二氧化碳排放达峰		2030 年之前	
碳中和			2060 年之前
二氧化碳强度	相比 2020 年水平下降 18%		
二氧化碳减排（单位国内生产总值）		相比 2005 年水平下降 <65%	
能源效率			
能源强度	相比 2020 年水平下降 13.5%		
可再生能源目标			
非化石燃料在能源产生中所占比例	39%		
非化石燃料在总能源消费量中所占比例	≈20%	≈25%	80%
可再生能源产量	10 亿吨标准煤	风电和太阳能发电容量 <1,200 吉瓦	

¹ 在中国，新能源车（NEV）指的是电池电动车、插电式混合动力车和燃料电池电动车。

2 可再生能源的扩张

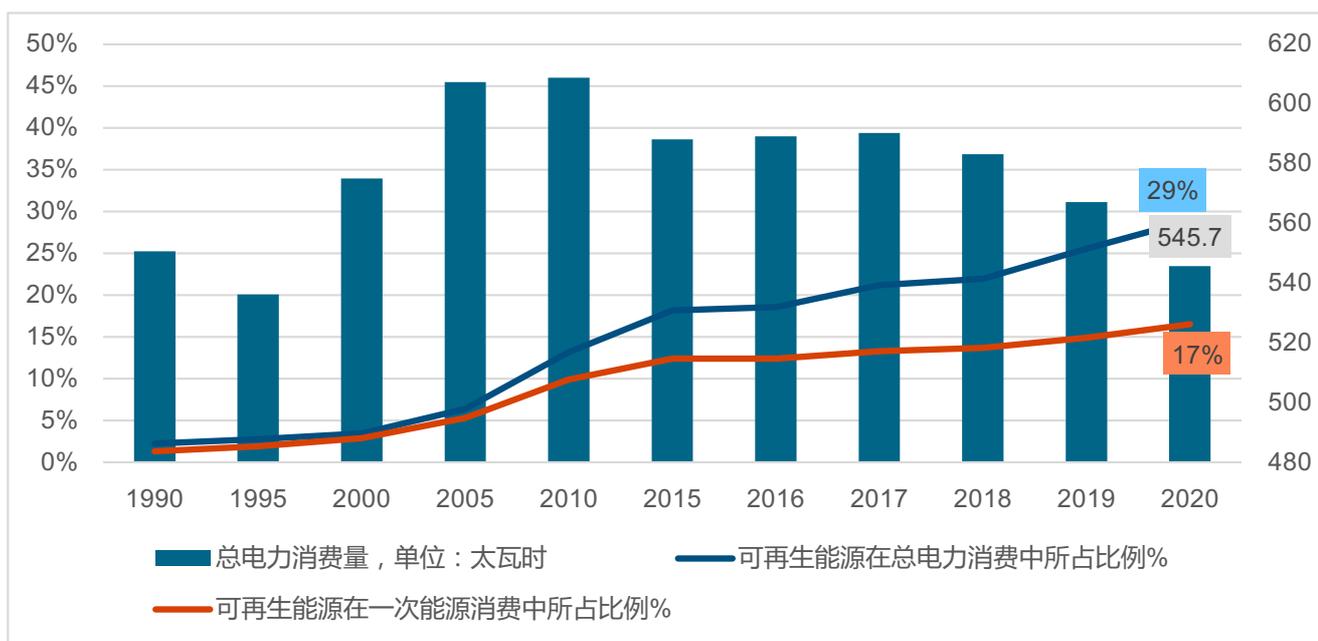
可再生能源的扩张是所有部门能源转型的基础。尽管德国和中国处于能源转型的不同阶段，在其发展过程中遇到了不同的挑战，但它们在能源转型方面都取得了突飞猛进的发展。但两个国家来说，如何顺利地将快速增长的可变可再生能源集成到电力系统中以及如何维持系统稳定性，是一项重大的挑战。通过部署技术解决方案、氢或者在电力规划过程中进行调整以提高灵活性，可能减轻对电网的压力，确保供应安全。

2.1. 德国现状

过去二十年间，可再生能源在德国电力消费中所占比例已大幅提升。2020年，大约为总电力消费量的29%，如图3所示。在2020年国家发电构成中，可再生能源所占比例甚至达到了44%。²相反，可再生能源在消费端起到的作用不大。在交通部门，可再生能源所占比例仅为6.8%。¹⁷化石燃料在工业和供热部门的能源使用中占比较大，而可再生能源仅占到16.5%。

目前，德国的电力消费大约为每年500太瓦时(TWh)。到2030年，预计增长到750太瓦时。要让可再生能源在电力消费中占到巨大的比例，就必须大规模扩大装机容量。2021年，电力消费中可再生能源的总容量为138吉瓦，主要由陆上及海上风电(64吉瓦)以及光伏发电(59吉瓦)构成，这些都是可变可再生能源。剩下的则由水力或者生物质等可控的可再生能源提供。

图3：可再生能源在电力消费和一次能源消费中所占比例¹⁸



在规模方面，分布式发电（主要是光伏发电）已经在德国的可再生能源总装机容量中占到了很大的比例。59吉瓦的光伏发电相当于大约200万套小型系统，其中60%低于10千瓦(kW)。¹⁹2019年，低于10千瓦的已安装小型光伏系统的总容量大约为7,100兆瓦(MW)，在光伏总装机容量中占到约15%。10千瓦到20千瓦之间的小型光伏系统的容量总和约为4700兆

瓦，或者在光伏总装机容量中占到差不多10%。空地光伏系统仅在小规模光伏的装机容量中占到一小部分。²⁰

2.2. 中国现状

2021年，中国的总电力消费量约8,310太瓦时。²¹根据各项预测，中国的总电力消费在短期内会继续升高，只有到2040年之

² 发电包括德国纯发电机组以及热电联产机组产生的电力，而电力消费也包括电力的进出口。因此，进口量不同，可再生能源所占比例也会不同。

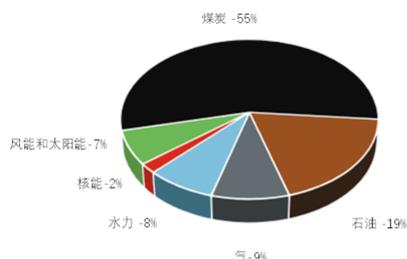
后才会开始下降。²²目前，化石能源占到能源消费总量的 80% 以上，因此以非化石能源取代化石能源是中国抑制碳排放增长的主要道路。

图 4：可再生能源总装机容量的增长（吉瓦）²³



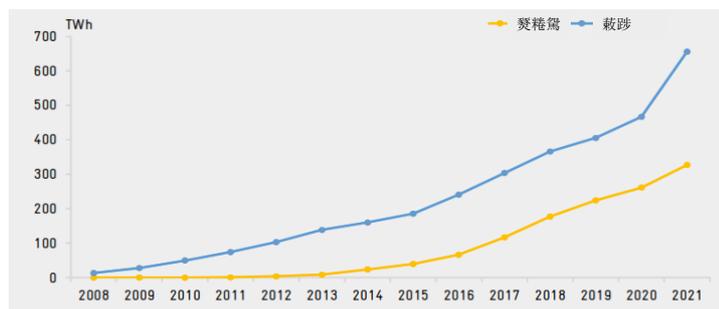
2021 年末，中国的可再生能源装机容量达到 1,063 吉瓦，成为世界上可再生能源装机容量最大的国家。2021 年，可再生能源占到中国发电装机总量的 45% 左右，而其实际发电的比例为 30% 左右（水力发电 16.1%；风力发电 7.9%；太阳能发电 3.9% 和生物质发电 2%）。如图 5 所示，截至 2021 年，非化石燃料（风能和太阳能、核能、水力）在一次能源消费中所占比例约为 17% 左右。²⁴

图 5：中国一次能源结构（2021）²⁵



在所有可再生能源中，太阳能和风能目前正在经历最高速的扩张。图 6 展示了风能和太阳能发电量的激增。截至 2022 年初，风电（342 吉瓦）和太阳能发电（336 吉瓦）的总装机容量为 678 吉瓦。²⁶

图 6：2005-2021 年中国风电和太阳能发电量（太瓦时）²⁷



在 2019 年之前，为了维护系统稳定性，中国可再生能源的快速扩张始终伴随着高限电率。因为各项因素的综合影响，包括行政激励措施、可再生能源准入配额、存在输电瓶颈的省份内对新可再生能源的限制以及省际可再生能源的交易，在此时期内，大多数省份内可再生能源的限电率都下降到了较低水平。

中国的可再生能源扩张主要依赖于集中式的应用级设备。但是，过去五年内，分布式能源也在中国逐步扩张。³和德国一样，最重要的分布式技术是太阳能光伏，但也应该注意到中国与德国的差异之处，即被归类为分布式太阳能的很多太阳能光伏设施通常位于工业区附近，多为兆瓦级的地面安装设施。尽管目前，屋顶太阳能在中国太阳能总装机容量中所占比例依然比较小，但屋顶太阳能系统的安装数量自 2017 年起就一直在快速增长。²⁸

还应该注意到，目前中国不仅仅是太阳能光伏设备的顶尖生产国，在清洁能源领域，中国也已经发展成令人印象深刻的创新者。中国在太阳能光伏解决方案、风能和储能领域所拥有的绿色专利数量遥遥领先。⁴

2.3. 可再生能源的整合

中德两国要想在 2045 和 2060 年之前实现气候中和目标，未来就必须让风电和太阳能发电成为主要的发电来源。可再生能源依赖于天气条件，且本质上具有可变性，因此需要调整电力系统并引进灵活性措施，以始终维持稳定的供应，满足需求。

确保供应安全取决于诸多因素，例如精确的电力系统规划和预测，而随着风能和太阳能等可变可再生能源的规模扩大，规划和预测都将变得愈发困难。精确评估容量充裕度的能力——即电力系统中始终有能够满足需求的足够容量——将在维持电力系统可靠性方面发挥关键的作用。

通过储能技术和需求侧管理等技术选择，也可以提供系统可靠性。通过储存剩余能量并在高需求时将能量馈入电网，储能部门可以平衡可变可再生能源发电量。利用这些选择有助于中国

³ 中国分布式能源和灵活性相关的更多信息，请参考报告“分散式灵活性和可再生能源的整合”（2022）：https://www.energypartnership.cn/fileadmin/user_upload/china/media_elements/publications/2022/Decentralized_Flexibility_and_Integration_of_Renewable_Energy_EN.pdf.

⁴ 中国分布式发电及储能领域创新相关的更多信息，请参考报告“创新的分布式发电和储能”，此报告很快将在“中德能源与能效合作伙伴项目”的网站上发布：https://www.energypartnership.cn/media_elements/.

和德国将更多的可再生能源整合到电力系统中，促进其朝着气候中和和经济体的转型。

也可以通过调整系统运行和市场设计，例如通过进一步发展辅助服务，适应更高比例的可变可再生能源。

氢能，或者更确切的说，使用可再生能源电力无排放生产的绿氢，也将全球能源转型中发挥重要作用。绿色氢促成了不同部门基于可再生能源的转型，例如化工行业，或者在当前技术水平下无法实现电气化的应用领域，例如海运和航空。在电力部门，使用氢能可以更长期地储存（季节性储存）以及更长距离地输送可再生能源电力，也能通过电力部门与能源系统其他部分的耦合，提高系统的弹性。

2.3.1. 德国

电力储存

电力储存根据具体类型提供一系列服务，从而提高电网的稳定性，促进可再生能源的整合。

可以将各种不同类型的传统及创新技术用作储存电力。在配电网层面，电池是最适宜的技术，电池经过聚合可能提供负荷转移以及各种电网服务，包括平衡电力、空转备用以及黑启动容量。表后的电池可能有助于增加消费者的自用消费，改进用电质量。

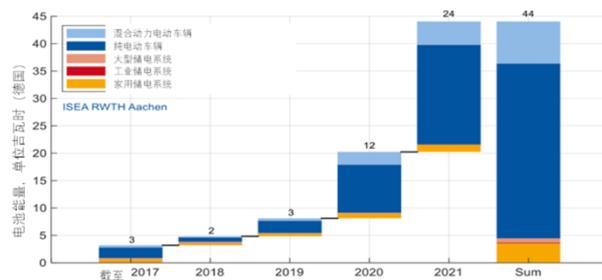
过去两年，德国储能系统的数量大幅增加。截至 2021 年，德国的蓄电池装机容量大约为 4.5 吉瓦时（GWh），其中 3.5 吉瓦时为家用储电。2021 年，新增的储电容量大约为 1.4 吉瓦时，其中绝大多数为家用储电。2022 年，德国安装了大约 50 万套光伏储电系统。这些储电系统可以通过增加自消费比例、减少峰值负荷及峰值太阳能发电馈入量，为分布式电力的整合做出巨大贡献。

电动汽车（EV）电池是一个新兴的领域，具有整合大量分布式能源的巨大潜力。2021 年，新增电动汽车登记量总计为 68 万辆，对应的电池总容量大约为 22 吉瓦时，如果它们同时充电，理论上的最大输出量为 33 吉瓦。德国政府设定了在 2030 年之前电动汽车保有量达到 1500 万辆的目标，所以未来电动汽车有望更多地被用作一种灵活性选择。²⁹目前，仅有少数车型可提供双向充电，而具备此功能的电动汽车就可以用作一种储电设备。私人电动汽车平均每天停放大约 23 个小时，因此它们适合用来提供电网服务或者储存分布式可再生能源发电。近年来，不同类型储存技术的市场取得了长足的发展，如图 7 所示。

图 7：德国固定式及移动式蓄电池市场³⁰

⁵ 了解更多信息，请参考报告“中德工业需求侧管理和能源效率的比较分析与模拟”：
https://www.energypartnership.cn/fileadmin/user_upload/china/media_elements/publications/2022/Analysis_DSM_and_Energy_Efficiency_in_Chinese_and_German_Industry_EN.pdf

需求侧管理



在配电网层面上，提供需求侧管理的典型技术是空调或热泵等家用电器，或者冷冻仓库等商用设备或化学工艺。电表计量的消费者可以利用需求侧管理优化自身的采购策略，而分布式电网运营商可与分布式需求侧管理的提供商签订负荷控制合同，以管理电网堵塞。

在德国，需求侧管理主要用于工业层面。住宅的需求侧管理目前尚未发挥重大作用。尽管德国为工业需求侧管理建立了多种营销选择，但市场准入和监管障碍依然存在巨大的需求侧管理潜力有待释放。为了进一步发挥工业需求侧管理的潜力，德国监管机构可以清除剩余的市场障碍，创立稳定的监管框架，为利益相关者提供可预测性和规划安全性。⁵

随着智能计量系统（智能电表）及其他数字技术的逐步引进，住宅的需求侧灵活性将发挥更加重要的作用。

氢能

尽管氢能的生产目前仍以化石燃料为基础，但其长期目标是未来仅以可再生能源为基础。绿氢可能有助于多个部门的能源转型，尤其是无法轻易实现电气化的部门，例如化工行业和重型运输。绿氢也可能用作电力系统的一种灵活性选择。德国的绿氢指的是使用可证实的可再生能源电力生产的电解氢，而不只是使用电网电力以电解方式生产的氢。德国的雄心和目标以及大多数扶持计划都非常明确地以绿氢为对象。

2020 年德国氢能战略设定了国内电解槽容量在 2030 年之前达到 5 吉瓦、在 2040 年之前达到 10 吉瓦的目标。2021 年德国政府的联合政府协议将此目标翻了一番，要求在 2030 年之前达到 10 吉瓦。到 2030 年，国内容量大约只能满足其中的 15%。因此，必须从欧洲及其他国家进口氢。有一些能源情景会导致对氢本身的高需求，而另一些情景则预见了对氢衍生物的更高需求，即所谓的电转 X 产品（简称为：电转 X）。

德国的氢能战略并未明确限制氢的使用。相反，在第一阶段，德国通过制定脱碳化战略，聚焦于氢在化工、钢铁、物流和航空行业的应用。但是，德国政府同时也推广在建筑物内安装燃料电池供热设备。⁶

⁶ 了解更多信息，请参考报告“绿氢在部门耦合中的作用”：
https://www.energypartnership.cn/fileadmin/user_upload/china/media_elements/publications/2022/The_Role_of_Synthetic_Energy_Carriers_in_Sector_Coupling.pdf

容量充裕度

为了确保未来供电的稳定性，德国还需要充分的容量规划。即将到来的煤炭淘汰将加剧德国对容量充裕度的担忧。2020 年通过的一项法律规定所有的燃煤电厂都必须在 2038 年末之前退役，而在 2021 年末，新当选的政府将此截至期限提前到了 2030 年。

德国的传统发电容量即将下降，电力部门的官员一直在对由此带来的普遍影响进行反复辩论，并持续了至少十年时间，甚至促进了关于泛欧洲容量充裕度的讨论。欧洲的容量充裕度确实非常有价值，因为多个欧洲国家都计划退役煤电容量。

在互通互连且市场融合度不断提高的欧洲电力系统中，已经无法从单一国家的层面上感知及应对发电充裕度问题。欧洲输电系统运营商网络(ENTSO-E)及其前身电力传输协调联盟(UCTE)都在全欧洲范围内评估了容量充裕度。欧洲输电系统运营商网络明确提到：欧洲煤电和核电容量的减少是其基于中期充裕度预测(MAF)，制定欧洲资源充裕度评估(ERAA)方法的驱动力之一。目前以及未来的所有评估都应使用欧洲资源充裕度评估方法。³¹

相比中期充裕度预测，欧洲资源充裕度评估方法是一次巨大的飞跃，其中考虑了影响容量充裕度的更多参数，例如欧洲基于潮流的市场耦合机制，⁷还在更大程度上考虑了电池和电转 X 等技术。德国以及其他地方未来都必须修改容量充裕度评估方法，就这一点而言，欧洲资源充裕度评估(ERAA)为这种改变树立了一个典范。

- **就德国而言**，除了核能和煤炭的淘汰以外，还需考虑**发电地点和电网容量**：理论上，一个国家或者区域可能有充分的供应量，但如果电网无法向负载中心输送电力，就可能无法满足所有需求。可再生能源发电厂的最佳选址通常是在远离负载中心的地方，因此当之前临近负载中心的基础负载发电厂退役之后，电网在容量充裕度评估中的作用也会变得愈发重要。
- **互连线路、电力交易和资源分享**：如果可以进行可靠地电力输入/交易，则无法通过本国资源满足自身负荷需求的国家或区域仍可保持其供应侧的充裕度。此外，随着互通互连及资源共享的普及，可再生能源的容量贡献也会随之增长。要正确评估这些特征，就必须采用一种协调的泛欧洲方法，因为各国的规划人员可能低估或者高估相关的影响。例如，2018 年，德国联邦能源和水资源协会发布了一份研究，表明输电系统运营商(TSO)和德国联邦网络局(BNetzA)高估了邻国的可用容量。³²
- **灵活性措施**：例如需求侧管理、储能和电转 X。

在煤炭淘汰方面，容量充裕度评估法以及容量不足时要采取的措施都具有重要的意义。

德国电力系统始终满足负载的能力与电网容量和电网堵塞挂钩。**充裕的可调度发电容量和/或输入容量显然是必不可少的，但它并不足以维持供电安全。**这一点早在 2013 年就已经相当

⁷ 基于潮流的市场耦合可用于将竞价区之间的可用输送能力最大化。它之前所采用的净输电容量(NTC)法的主要不同之处在于：基于负载潮流计算和电网状态不断调整输送容量。净输电容量也是基于负载潮流，但它是输电系统运营商每年或每半年一次相互议定的，留出了相当大的安全边际。

明确，那时人们开始讨论电网备用问题(于 2016 年引进)。与容量和安全备用不同，电网备用经常被用于缓解德国北部和南部之间的电网堵塞。尽管始终可以提供足够的发电容量，但德国北部在朝着风力发电转变，而德国南部负载中心附近的传统电厂相继退役，因此从北部向南部进行输电的规模和重要性都有所增加。为解决此问题，德国政府引入了“电网发展计划”(NEP)，首次发布于 2013 年。电网扩张的推进速度远低于预期，主要是因为成本考量以及公众接受度的问题。麦肯锡公司在其 2019 年年度能源转型回顾中指出：如果无法大幅提高电网的扩张速度，第一份电网发展计划中提出的 2020 年目标在 2037 年之前都无法达成。³³目前，对供电安全而言，电网充裕度的挑战性与容量充裕度相当——尽管后者仅在 2020 年决定淘汰煤炭之后才具有相关性。淘汰煤炭之后，可再生能源将取代大部分的燃煤发电，这将使得电网充裕度的重要性进一步提高。⁸

2.3.2. 中国

储能

为了顺利完成绿色转型，中国需要一个先进、高效且具有成本效益的储能系统。中国可再生能源的快速扩张不仅给国家电网造成了巨大的技术挑战，也超过了可再生能源的实际使用容量，导致越来越多的清洁能源被浪费。例如，在青海或内蒙古等一些风能和太阳能资源充沛的西北省份，过剩的发电量往往无法被电网吸纳。³⁴储能是缓解问题的关键，有助于平衡可再生能源发电的可变性。但是，到目前为止，低盈利性、安全顾虑以及管理滞后等问题限制了中国储能系统的大规模部署。

屋顶光伏系统与储能技术的结合可能是对中国商业及工业消费者极为有利的一种选择。德国国际合作机构(GIZ)近期开展了一项研究，通过与中国工业园区的电力消费者进行访谈，发现他们整体上缺乏足够的动力将光伏与储能系统融为一体，一方面是因为经济顾虑，另一方面则是因为政府未负起责任。³⁵然而，考虑到中国在其最新的“十四五”规划中前所未有地强调了储能的重要性，这一点可能会在不远的将来发生变化。

2022 年 3 月，国家发展和改革委员会和国家能源局发布了《“十四五”新型储能发展实施方案》(简称为“十四五”储能方案)。此文件是储能部门的发展蓝图。中国的目标是到 2025 年，新型储能由商业化初期步入规模化发展阶段。此方案还呼吁推动技术进步，概述了多种新型储能技术的发展，例如压缩空气、氢能、电池和热能，但其中不包括抽水蓄能。

此方案的主要目标之一是在 2025 年之前，使储能技术的单位成本降低 30%，从而提高储能技术的竞争力。实现这些目标之后，储能系统的价格可能会达到 0.8-1.0 元/Wh(0.11-0.14 欧元)之间，届时储能系统无需补贴，就具有商业可行性。³⁶

“十四五”规划明确规定优先发展发电侧和电网侧储能。规划中用于描述用户侧储能的语言非常谨慎，这意味着在不久的将来

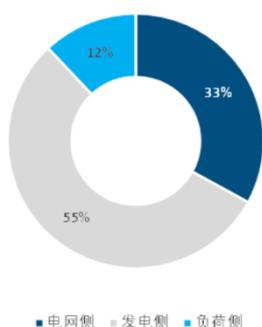
⁸ 了解更多信息，请参考报告“评估德国和中国电力系统的充裕度以及中国可借鉴的经验教训”

https://www.energypartnership.cn/fileadmin/user_upload/china/media_elements/publications/EnTrans/Assessing_power_system_adequacy_in_Germany_and_Europe_and_lessons_for_China.pdf

来，不太可能大规模部署用户侧储能技术。这在很大程度上是因为安全顾虑以及缺乏明确的标准。2021年4月，北京一家购物商场内的大型磷酸锂电池起火，这一事件加剧了人们对储能技术安全性的担忧。³⁷

截止2021年底，中国储能项目的累积装机容量46.1吉瓦，占全球总规模的22%，年同比增长30%。如图8所示，大部分储能位于发电侧。2021年底，中国电池储能的装机容量超过4吉瓦。其中1.2吉瓦位于电网侧，剩余的大部分容量位于发电厂内。中国会继续在电池储能领域进行投资，目标是在2030年之前，达到100吉瓦的储能容量。³⁸在实现扩张的同时，还必须引进更多的安全标准与法规。截至2021年，储能行业现行有效或者正在开发中的标准只有31项，与之相比，电动车行业落实的标准超过100项。

图8：中国新型储能的比例³⁹



截至2022年6月，19个省份已经发布了可再生能源和储能配建的附加政策（见图9）。典型的要求是呼吁储能时间不低于2小时，储能配置规模达到峰值产量的10%。⁴⁰

图9：提出可再生能源储能要求的中国省份⁴¹



需求侧管理

中国于1990年代首次引进需求侧管理作为节能战略。为了保障居民日常用电，政府会部署“行政需求侧管理措施”，例如强制的负荷转移和拉闸限电。在发生电力短缺的情况下，将优先为选定名单上的用户提供能源供应，包括公共部门、医院、公用事业提供商及相关用户，同时限制其他用户的电力消费。⁴²

2010年后，中国政府引进了一系列方案和措施，针对商业用户开展市场化需求侧管理。需求侧管理开始获得贷款支持，且政府为能源服务公司提供税收减免，并为试点项目提供补贴。2012年，中国还在北京、江苏、佛山和唐山启动了需求侧管理试点城市计划，测试基于激励措施的自愿需求侧管理。各城市设定了电力节约和负荷转移目标，而中央政府提供了财政激励。⁴³自2014年起，中国工业和信息化部发布了六批需求侧管理示范企业和工业园区的名单，其中包含超过一百家参与企业。通过该方法，鼓励企业积极参与需求侧管理，并通过试点项目探索最适合的技术和管理模式。

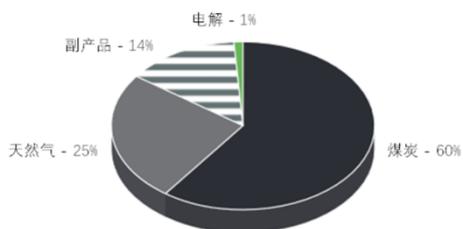
目前，中国需求侧管理可用的营销选择有限，因为在获取负荷灵活性方面，缺乏基于市场或规则的制度化过程。有序的电力消费以及通过行政手段设定的峰谷定价依然限制着需求侧管理的市场化。

“十三五”规划和“十四五”规划强调改进中国需求侧管理能力。“十四五”规划中，中国政府设定的目标是到2025年，电力需求侧响应能力达到最大负荷的3%-5%。但是，关于受限于需求侧管理的峰值负荷的比例，目前并没有任何公开可用的数据，也并不清楚政府官员将如何监督此目标的实现或者多久发布一次结果。但是，展望未来，基于市场的需求侧管理有望成为政府提供灵活性议程的核心要点。近年来，市场在分配需求侧管理资源方面所发挥的作用越来越大。截至2021年，国家电网区域内的九个省份都发布了支持需求侧管理的政策。在这些省份中，山东、浙江和甘肃计划允许需求侧管理参与现货市场，而河北北部允许需求侧管理参与辅助服务市场。市场参与者也变得越来越多样化，政策鼓励家庭、零售商、聚合商、储能提供商和电动车辆充电供应商参与，不过目前只是一个放眼未来的愿景。⁴⁴

氢能

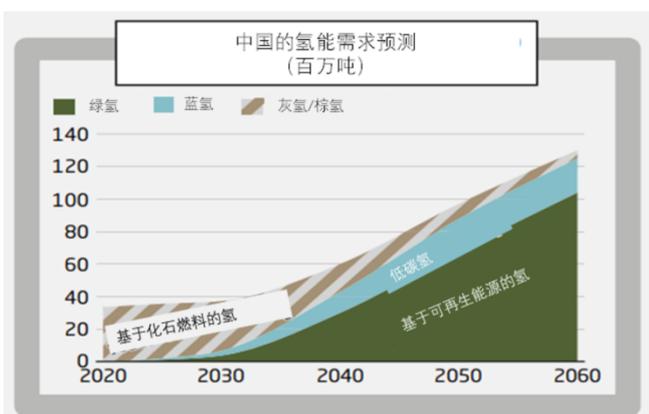
中国现在是世界上最大的氢能消费国和生产国，年制氢量达3300万吨。在最新的“十四五”规划中，氢能被视为一项前沿技术。氢能对中国能源转型的贡献取决于所用氢气的生产方式。目前，中国的氢能主要以煤炭（棕色氢；占到产量的60%）或天然气（灰色氢；占到产量的20%）为原材料，生产过程中会排放二氧化碳。基于可再生能源的氢（“绿氢”）目前占总产量的1%左右，而要为中国的脱碳化做出贡献，绿氢需要尽快取代棕色氢和灰色氢。⁴⁵但是，应该注意到中国还没有正式使用绿色、蓝色和灰色/棕色氢的分类，使得直接比较变得困难。⁴⁶

图 10：中国制氢的能源类别⁴⁷



截止目前，国家政策主要聚焦于发展一般氢能产业和技术，而非专门针对绿氢。2022 年 3 月，国家发展和改革委员会发布了中国第一份官方的长期氢能战略——《氢能产业发展中长期规划（2021-2035 年）》，其中也反映出了这一点。但是，国家氢能规划提出了 2025 年之前的绿氢发展目标。中国的目标是到 2025 年，实现每年 100,000 到 200,000 吨的绿氢产量，这是一个可以轻易达成的目标。2030 年以后，绿氢的重要性有望进一步提高，如图 11 所示。尽管短期内，氢能的应用主要集中于工业和交通领域，但中国正努力在 2035 年之前，打造一个全面的绿氢应用生态系统，包括储能和发电。

图 11：中国的氢能需求预测⁴⁸



今年，中国“十四五”可再生能源发展规划第一次提到可再生能源制氢，这是一个巨大的进步。根据中国氢能联盟的预测，到 2060 年，中国的可再生能源制氢量可能达到 1000 万吨，总用氢量将达到 1300 万吨，占中国终端能源消费的 20%。⁴⁹

尽管目前在国家层面并没有大力地优先发展基于可再生能源的氢能，但为氢能研究项目提供的公共资助已经在朝着“绿色”氢能技术倾斜。中央政府的研发支持使得可再生能源制氢领域学术出版物及专利注册量激增，这也让中国成为可再生能源氢能技术领域的创新领军者。

在省政府、研究机构和产业的推动下，所谓的“绿色”氢能的国内市场正以中国的战略政策为中心，逐渐发展成形。很多地方政府最近都发布了本地的氢能战略，针对基于可再生能源的氢能提出了远大的省级目标。河北、内蒙古和四川等可再生能源充沛的省份在这方面表现得尤为突出。例如，太阳能和风能

资源密集的内蒙古，提出在 2025 年之前可再生能源制氢量达到 500,000 吨的目标，比国家战略设定的目标高了一倍有余。⁵⁰

容量充裕度

随着中国在可再生能源扩张方面取得突飞猛进的增长，政策制定者、电网运营商和一般公众开始担忧系统在转型过程中能否维持可靠性和安全性。为了缓解这种担忧，支持使用新能源的转型，容量规划必须将风能和太阳能的可变性考虑在内。通过调整电力系统以适应结构性变化，可以在提供系统充裕度的同时，避免不必要的容量扩张，尤其是基于化石燃料的发电厂的容量扩张。

中国在容量充裕度规划方面的透明度相对较低。中国的电力发展规划编制的年限通常分为短期规划（5 年）、中期规划（10-15 年）和长期规划（15 年或以上）。短期规划和长期规划每五年修订一次，中期规划每三年修订一次。规划分为两种类型：国家规划（由中国国家能源局主导，国家发展和改革委员会审批）和省级规划（由省级能源主管部门主导，以国家级规划为依据）。

制定电力规划的第一步是负荷预测。进行负荷预测时，中国采用的是自下而上的方法，从省级到地域级再到国家级，聚焦于长期电力需求、峰值负载、负载分配和负载结构。负荷预测包括三种情景：高增长（强劲的经济增长和高温）、中增长（稳定的经济和低温趋势）和低增长（缓慢的经济增长和相对较低的温度）。最后，建议选择一种负荷情景作为后续发电规划和电网规划的基础。

发电容量规划要确定每一个电源的数量和地点，评估多种电源的建造规划，以确定所必需的新容量和投资需求。发电规划首先要基于非化石能源占比的政策目标以及省级可再生能源配额，制定非化石电源的情景。在每一情景中，根据地方电力平衡和本地可再生能源电力消费能力，规划中提出了每个地区化石能源电力容量和峰值容量的数值。最后，应根据经济和技术分析，确定地区总装机容量和电力结构。情景将使用每年、每月或典型的每周及每日负荷曲线，考虑不同的资源条件和政策以及地区特征。⁵¹

2.4. 未来发展

2.4.1. 德国

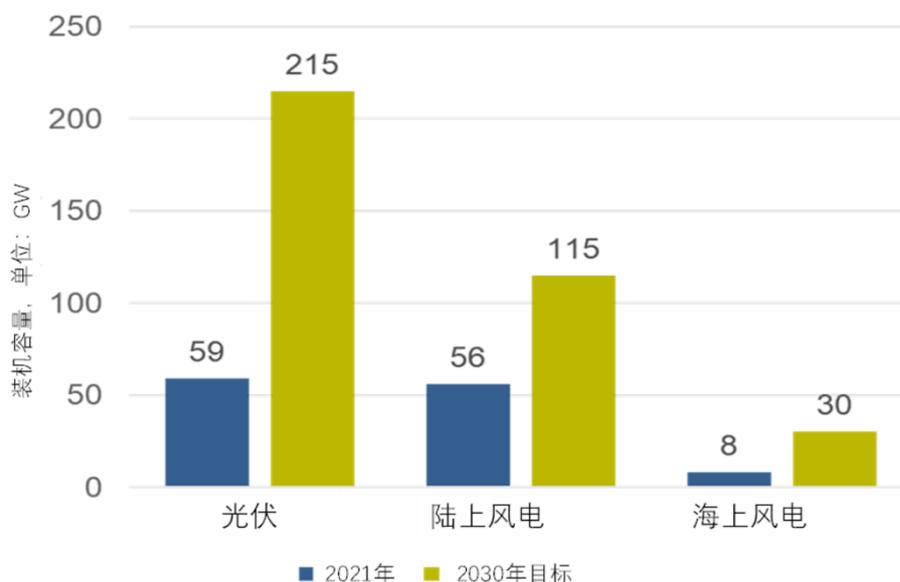
俄乌战争引发了能源危机，改变了德国能源政策的重点和发展动态。德国之前把重点放在可再生能源的扩张上，现在不惜一切代价确保供应安全成为首要任务，这也增加了可负担性和可持续性方面的压力。目前，可再生能源不仅要考虑可持续性，还要考虑独立性。为了加速可再生能源的扩张，德国政府批准了“复活节一揽子计划”。其中包括对《可再生能源法》、《海上风能法》、《陆上风能法》和《能源行业法》的修正，以及：

- 提出电力部门在 2030 年之前实现可再生能源占比 80% 的新目标和调整后的扩张目标；

- 重新定义可再生能源，以保障公共利益，维护公共安全；
- 网络扩张规划及审批程序的快速落实；
- 加速陆上风电的规划及审批程序；
- 提高新建筑物的默认能效（EH55）。
- 储气罐的最低充灌水平；
- 政府干预市场的法律依据；
- 加速液化天然气接收终端和液化天然气浮式转接终端的建设；
- 发生天然气短缺时的应急方案和措施。

此外，《能源安全供应法》、《能源产业法》和《液化天然气加速法》的修正案引进了以下提高能源安全性的措施：

图 12：德国风电和光伏发电的扩张目标⁵²



由于目前的能源危机，德国调整了核能及煤炭的淘汰进程。核电站的淘汰推迟到 2023 年，2024 年之前允许备用燃煤电厂参与市场。

在一个煤炭和天然气占比不断下降、可再生能源占比逐渐提高的系统中，能源危机的爆发引发了电力市场可靠性和充裕度方面的问题。这是一个关键性问题，公众、学术界以及主管部门都在展开激烈的辩论。十年来，能源转型的推进始终伴随着市场设计的改革，到目前为止，德国一直能够维持较高的供应质量，并始终维持着非常低的干预水平。德国提出了在 2030 年实现可再生能源占比 80% 的远大目标，为了应对由此目标引发的挑战，新一届联邦政府委托相关委员会在 2023 年中期之前，制定关于进一步改变市场设计的提案。

根据德国能源署的先导研究，该提案非常有可能包括以下措施⁵³：

中国政府反复重申仍将继续推进能源转型，但不能以牺牲能源供应安全为代价。最近召开的中共第二十次全国代表大会重申了中国现有的气候目标，着重强调了**逐步**脱碳。这意味着在近

- 1) 为氢能就绪的燃气电厂提供某种形式的投资支持，以便该等电厂在低可再生能源发电量时期提供备用容量，并在未来的气候中和的电力系统中提供辅助服务。
- 2) 改进储电（最主要是电池）的监管条件以及需求侧管理。
- 3) 针对分布式发电提出的、旨在优化网络集成的新规定。
- 4) 市场区域的改革，可能将德国拆分为多个市场区域，以改进地区的供需匹配。

2.4.2. 中国

2021 和 2022 年，中国经历了多次严重的能源短缺。造成能源短缺的因素是多方面的，包括限制发电时长和低电价导致的燃煤电厂经营动力下降、煤炭短缺、极端干旱导致的水力发电受限以及特定的政策。此后，维持国家能源安全成为首要任务。为解决停电问题，中国不得不推翻其严格限制煤炭消费的既定方针。⁵⁴

期内，煤炭将继续在确保供应安全方面发挥重要的作用。这种变化也反映在“十四五”能源规划的变化中，之前的五年规划限制了总煤炭消费量和煤炭在一次能源消费中所占的比例，在

“十四五”能源规划中，这些限制都被去除。新规划还强调煤炭在维持供应安全方面发挥的支柱作用，并强调煤炭的“清洁高效”利用——包括使用空气污染物排放量超低的煤电厂或者配备了碳捕集利用与封存技术（CCUS）的煤电厂——以及在容纳更多可再生能源的同时，减少燃煤电厂的运行时长。⁵⁵

理解中国政策制定者关于煤炭发电的抉择，必须站在更高的维度看问题。首先，中国拥有充沛的煤炭储量，90%的煤炭产自本国，而油气消费则严重依赖进口。中国电网在最初建造之时，重点考虑燃煤发电，这给煤炭的快速退出以及平稳过渡到可再生能源带来了巨大挑战。但是，一些专家认为目前的煤炭电战略不应该妨碍中国实现“30-60”目标，尽管脱碳化进程可能因此变得更加耗时耗力。⁵⁶

尽管中国增加了化石燃料的消费量，但在可再生能源扩张方面，仍然取得了突飞猛进的发展。仅2021年一年，中国新增可再生能源容量达到134吉瓦，略低于德国可再生能源总装机容量（2021年，德国可再生能源总装机容量为138.9吉瓦）。⁵⁷中国国家电网表示，在不久的将来，传统电厂发挥的作用主要包括电压支持和功率调节，而装机容量和发电量应该越来越多地被可再生能源所取代。⁵⁸

2022年第二季度，中国二氧化碳排放量创纪录地下降了8%。尽管审视排放量的下降时，必须结合因新冠疫情封锁导致的能源需求疲软和经济衰退的背景，但2.3亿吨二氧化碳的减排仍然是过去至少十年内最大幅度的下降。⁵⁹

3 结论

中德两国在应对气候变化、实现清洁能源转型的全球努力中发挥着主导作用。德国是众所周知的“能源转型”先驱，而中国的“能源革命”也令其成为迄今为止可再生能源装机容量最大的国家。尽管两个国家的气候目标和能源转型的特征大相径庭，但在绿色转型过程中都遇到类似的挑战。

维持能源安全的挑战目前对两国来说都是当务之急，对两国的气候议程都产生了负面影响。德国对能源安全感到担忧，主要是因为俄乌战争引发的天然气供应短缺，德国必须努力减少其对俄罗斯供气的依赖性。中国目前对供应安全的担忧主要是源于 2021 和 2022 年短期的能源短缺，起因包括煤炭短缺和极端天气周期。

2022 年的能源危机问题引发了化石燃料近中期未来发展的相关问题，例如燃煤发电在中德两国都引发了争议，俄乌战争加速了中国煤炭产量的提升，因为中国要通过增加燃煤发电量，减少对能源进口的依赖。德国计划最迟在 2038 年之前淘汰煤炭。与之相反，中国并没有设定煤炭淘汰的目标，仍将煤炭视为其能源系统的支柱。在德国，供气危机一方面导致了德国可再生能源规模的加速提升，另一方面也导致德国决定重新激活

燃煤电厂备用容量，推迟核电厂的淘汰进程——这有悖于德国既定的能源转型路线。

中德两国目前都面临一项挑战——确保供应安全和限制碳排放之间的平衡。

中国要实现碳中和目标仍然任重道远，以下数据也表明了这一点：中国占全球总排放量（吨）的三分之一左右；总能源生产量和消费量逐年增加；可再生能源扩张持续取得巨大进步；调整和扩张了电网运营，以容纳更多的可再生能源；在能源部门的创新方面增加投资，聚焦新型储能和氢能技术的大规模发展。此外，关于中国提前达到 2030 年碳达峰目标的愿景，目前也有相当多的文献可供参考。⁶⁰

德国《气候保护法》的修订为能源转型带来了新的动力，法案包含确保所有部门在 2045 年之前实现气候中和的可行措施。当前的能源危机凸显了以可再生能源为重点的能源系统的重要性，这种重要性不仅在于可持续性方面，也在于能源安全方面。可再生能源的进一步扩张、电力系统的灵活性措施、充分的容量规划以及新的氢能伙伴关系只是加速转型以及能源独立性的几个范例措施。

缩略语表

BNetzA	德国联邦网络局 (Bundesnetzagentur)
CCUS	碳捕获、利用与封存
DSM	需求侧管理
ERAA	欧洲资源充裕度评估
EV	电动车辆
FYP	五年规划
GHG	温室气体排放
Gt	十亿吨
GW	吉瓦
GWh	吉瓦时
kW	千瓦
MAF	中期充裕度预测
Mt	百万吨
MW	兆瓦
NEA	国家能源局
NDC	国家自主贡献
NDRC	国家发展和改革委员会
PtG	电转气
PtL	电转液
PtX	电转 X
RE	可再生能源
RES	可再生能源
TSOs	输电系统运营商
TWh	太瓦时
UN	联合国

图片列表

图 1: 德国二氧化碳排放情况.....	6
图 2: 中国化石燃料产生的二氧化碳排放（十亿吨）（1985-2021 年）	7
图 3: 可再生能源在电力消费和一次能源消费中所占比例	8
图 4: 可再生能源总装机容量的增长（吉瓦）	9
图 5: 中国一次能源结构（2021）	9
图 6: 2005-2021 年中国风电和太阳能发电量（太瓦时）	9
图 7: 德国固定式及移动式蓄电池市场预测	10
图 8: 中国新型储能的比例	13
图 9: 提出可再生能源储能要求的中国省份	132
图 10: 中国制氢的能源类别	143
图 11: 中国的氢能需求预测	143
图 12: 德国风电和光伏发电的扩张目标	154

表格列表

表 1: 德国碳排放及可再生能源目标概览.....	5
表 2: 中国气候目标概览.....	7

参考文献

- ¹ “能源方案”，德国联邦经济事务和气候行动部 (BWMK), https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/E/energiekonzept-2010.pdf?__blob=publicationFile&v=5.
- ² “全国气候政策”，德国联邦环境、自然保护、核安全和消费者保护部 (BMUV), <https://www.bmuv.de/en/topics/climate-adaptation/climate-protection/national-climate-policy#c12723>.
- ³ “温室气体排放的发展”，德国联邦环境署, <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/treibhausgasemissionen-stiegen-2021-um-45-prozent>.
- ⁴ “一次能源消耗”，德国联邦环境署, <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/primaerenergieverbrauch#definition-und-einflussfaktoren>.
- ⁵ Chen 等人, “比较德国和中国的能源转型: 协同作用和建议”, 能源报告 5, 2019 年, 第 1254 页.
- ⁶ “习近平发表讲话强调积极推动能源生产和消费革命”, 新浪财经, 2014 年 6 月 14 日, <http://finance.sina.com.cn/money/fund/20140614/141319413598.shtml>.
- ⁷ “强化应对气候变化行动——中国国家自主贡献”, 2016 年 9 月 3 日, <https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/China%27s%20First%20NDC%20Submission.pdf>.
- ⁸ “中国比计划提前三年实现 2020 年碳排放目标”, 联合国气候变化秘书处, 2018 年 3 月 28 日, <https://unfccc.int/news/china-meets-2020-carbon-target-three-years-ahead-of-schedulehttps://unfccc.int/news/china-meets-2020-carbon-target-three-years-ahead-of-schedule>.
- ⁹ 中国第一个可再生能源发展目标被列入 “十一五” 规划 (2006–2010).
- ¹⁰ “中国落实国家自主贡献成效 – 新目标新举措”, 2021 年 10 月 28 日, <https://unfccc.int/NDCREG>.
- ¹¹ David Sandalow 等人, “2022 年中国气候政策指南”, 牛津能源研究所, <https://chineseclimatepolicy.oxfordenergy.org/wp-content/uploads/2022/10/Guide-to-Chinese-Climate-Policy-2022.pdf>.
- ¹² David Sandalow 等人, “2022 年中国气候政策指南”, 牛津能源研究所, <https://chineseclimatepolicy.oxfordenergy.org/wp-content/uploads/2022/10/Guide-to-Chinese-Climate-Policy-2022.pdf>.
- ¹³ “中国敦促联合国气候变化框架公约第二十七次缔约方会议 (COP27) 关注当前目标, 回应发展中国家的要求”, 环球时报, 2022 年 10 月 27 日, https://www.globaltimes.cn/page/202210/1278117.shtml?utm_source=The+China+Project&utm_campaign=159a38ff62-EMAIL_CAMPAIGN_2022_11_09_11_04&utm_medium=email&utm_term=0_03c0779d50-159a38ff62-166171796.
- ¹⁴ “特邀文章: 为什么中国将大幅超额完成 2030 年气候目标?”, 碳简报, 2022 年 5 月 19 日, <https://www.carbonbrief.org/guest-post-why-china-is-set-to-significantly-overachieve-its-2030-climate-goals/>.
- ¹⁵ “中国本世纪中叶长期温室气体 – 低排放发展战略”, 2021 年 10 月 28 日, https://unfccc.int/sites/default/files/resource/LTS1_China_CH.pdf.
- ¹⁶ “国家能源局有关负责同志就《“十四五”现代能源体系规划》答记者问”, 国家发展和改革委员会, 2022 年 3 月 22 日, https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/jd/jd/202203/t20220322_1320031.html?code=&state=123.
- ¹⁷ “可再生能源数据”, 德国联邦环境署, <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen#uberblick>.
- ¹⁸ “能源数据”, 德国能源平衡工作协会 (AGEB), <https://ag-energiebilanzen.de/daten-und-fakten/auswertungstabellen/>.
- ¹⁹ Harry Wirth, “德国光伏现状”, 弗劳恩霍夫太阳能系统研究所, 2022 年 7 月 17 日, <https://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/studien/aktuelle-fakten-zur-photovoltaik-in-deutschland.html>.
- ²⁰ “可再生能源法数据”, 德国联邦网络机构, <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/ErneuerbareEnergien/ZahlenDatenInformationen/start.html>.
- ²¹ “2010 年至 2021 年中国电力消费”, Statista 全球统计数据库, 2022 年 6 月 8 日, <https://www.statista.com/statistics/302203/china-electricity-consumption/>.
- ²² “中国从加速、净零和新动力情境得到的启示”, 英国石油公司能源展望, 2022 年, <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2022-country-insight-china.pdf>.
- ²³ Arendse Huld, “中国的能源转型和去碳化承诺的现状”, 中国简报, 2022 年 4 月 22 日, <https://www.china-briefing.com/news/earth-day-2022-whats-the-state-of-chinas-energy-transition/>.

-
- ²⁴ “中国敦促联合国气候变化框架公约第二十七次缔约方会议 (COP27) 关注当前目标，回应发展中国家的要求”，环球时报, 2022 年 10 月 27 日, https://www.globaltimes.cn/page/202210/1278117.shtml?utm_source=The+China+Project&utm_campaign=159a38ff62-EMAIL_CAMPAIGN_2022_11_09_11_04&utm_medium=email&utm_term=0_03c0779d50-159a38ff62-166171796.
- ²⁵ Sandalow 等人, “中国气候政策指南”, 牛津能源研究所, 2022 年.
- ²⁶ “中国能源通讯”, 德国国际合作机构, 第 62 期, 2022 年 9 月.
- ²⁷ “中国 2022 年能源转型现状”, 德国国际合作机构, 2022 年 2 月 18 日, 演示文稿.
- ²⁸ “可再生能源的分散灵活性和整合”, 德国能源署和德国国际合作机构, 2022 年 8 月, https://www.energypartnership.cn/fileadmin/user_upload/china/media_elements/publications/2022/Decentralized_Flexibility_and_Integration_of_Renewable_Energy_EN.pdf.
- ²⁹ (德国联邦数字化和交通部, 2022 年).
- ³⁰ Figgenger 等人, “德国电池储能系统的发展--市场回顾 (2022 年现状)”, <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2203/2203.06762.pdf>.
- ³¹ “欧洲资源充足性评估”, 欧洲输电系统运营商联盟 (ENTSO-E), <https://www.entsoe.eu/outlooks/eraa/>.
- ³² “外国电厂供电能力在德国的可及性”, 德国公用事业行业协会(BDEW) (2018), https://www.bdew.de/media/documents/Awh_20180816_Verfuegbarkeit-auslaendischer-Kraftwerkskapazitaeten.pdf, 第 3 页.
- ³³ “麦肯锡: 煤炭淘汰威胁供应安全”, Solarify 公司(2019), <https://www.solarify.eu/2019/09/05/238-mckinsey-kohleausstieg-gefaehrdet-versorgungssicherheit/>.
- ³⁴ Yi Wu, “中国储能行业: 政策和投资机会”, 中国简报, 2022 年 7 月 8 日, <https://www.china-briefing.com/news/chinas-energy-storage-sector-policies-and-investment-opportunities/>.
- ³⁵ “中国电力批发价格改革对分布式储能和光伏经济性的影响”, 德国国际合作机构, 2022 年 2 月, https://www.energypartnership.cn/fileadmin/user_upload/china/media_elements/publications/2022/Impact_of_China_wholesale_power_price_reform_on_economics_of.pdf.
- ³⁶ Yi Wu, “中国储能行业: 政策和投资机会”, 中国简报, 2022 年 7 月 8 日, <https://www.china-briefing.com/news/chinas-energy-storage-sector-policies-and-investment-opportunities/>.
- ³⁷ “爆发后的中国电池储能”, 能源冰山 (Energy Iceberg), 2021 年 4 月 21 日, <https://energyiceberg.com/chinas-battery-storage-after-the-explosion/>.
- ³⁸ “中国计划在 2025 年前实现更便宜、更持久的能源储存”, 彭博新闻, 2022 年 3 月 21 日, <https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-03-21/china-plans-for-cheaper-longer-lasting-energy-storage-by-2025>.
- ³⁹ “中国能源通讯”, 德国国际合作机构, 第 62 期, 2022 年 9 月.
- ⁴⁰ “可再生能源的分散灵活性和整合”, 德国能源署, 2022 年, https://www.energypartnership.cn/fileadmin/user_upload/china/media_elements/publications/2022/Decentralized_Flexibility_and_Integration_of_Renewable_Energy_EN.pdf.
- ⁴¹ “中国 2022 年能源转型现状”, 德国国际合作机构, 2022 年 2 月 18 日, 演示文稿.
- ⁴² “可再生能源的分散灵活性和整合”, 德国能源署, 2022 年, https://www.energypartnership.cn/fileadmin/user_upload/china/media_elements/publications/2022/Decentralized_Flexibility_and_Integration_of_Renewable_Energy_EN.pdf.
- ⁴³ “中国和德国工业的需求侧管理和能源效率的比较分析和模拟”, 德国能源署, 2022 年, https://www.energypartnership.cn/fileadmin/user_upload/china/media_elements/publications/2022/Analysis_DSM_and_Energy_Efficiency_in_Chinese_and_German_Industry_EN.pdf.
- ⁴⁴ “可再生能源的分散灵活性和整合”, 德国能源署, 2022 年, https://www.energypartnership.cn/fileadmin/user_upload/china/media_elements/publications/2022/Decentralized_Flexibility_and_Integration_of_Renewable_Energy_EN.pdf.
- ⁴⁵ David Sandalow 等人, “2022 年中国气候政策指南”, 牛津能源研究所, <https://chineseclimatepolicy.oxfordenergy.org/wp-content/uploads/2022/10/Guide-to-Chinese-Climate-Policy-2022.pdf>.
- ⁴⁶ “中国氢能概况”, 德国智库阿德菲(Adelphi), 2022 年 4 月, <https://www.adelphi.de/en/system/files/mediathek/bilder/H2%20Factsheet%20China.pdf>.
- ⁴⁷ David Sandalow 等人, “2022 年中国气候政策指南”, 牛津能源研究所, <https://chineseclimatepolicy.oxfordenergy.org/wp-content/uploads/2022/10/Guide-to-Chinese-Climate-Policy-2022.pdf>.
- ⁴⁸ Nis Grünberg 和 Alexander Brown, “中国新兴的绿色氢能行业”, 墨卡托中国研究所中国观察, 2022 年 6 月 28 日.
- ⁴⁹ “专家预测: 在碳中和情景下 氢能在我国终端能源消费占比将达 20%左右”, 中央人民广播电台, 2021 年 4 月 22 日.

-
- ⁵⁰ Nis Grünberg 和 Alexander Brown, “中国新兴的绿色氢能行业”, 墨卡托中国研究所中国观察, 2022 年 6 月 28 日.
- ⁵¹ “评估德国和欧洲的电力系统充分性, 以及对中国的启示”, 德国能源署, 2022 年, <https://transition-china.org/wp-content/uploads/2022/03/Assessing-power-system-adequacy-in-Germany-and-Europe-and-lessons-for-China.pdf>.
- ⁵² 可再生能源法, https://www.gesetze-im-internet.de/eeg_2014/.
- ⁵³ “牵头研究: 气候中立的曙光”, 德国能源署, <https://www.dena.de/newsroom/publikationsdetailansicht/pub/abschlussbericht-dena-leitstudie-aufbruch-klimaneutralitaet/>.
- ⁵⁴ “习主席: 中国将在未来十年内控制并逐步减少煤炭消费量”, 新华社, 2021 年 4 月 22 日, www.xinhuanet.com/english/2021-04/22/c_139899306.htm.
- ⁵⁵ “分析: 中国推动煤炭发展对其气候目标意味着什么?”, 碳简报, 2022 年 3 月 29 日, <https://www.carbonbrief.org/analysis-what-does-chinas-coal-push-mean-for-its-climate-goals/>.
- ⁵⁶ Xiaoying You, “分析: 中国推动煤炭发展对其气候目标意味着什么?”, 碳简报, 2022 年 3 月 29 日, <https://www.carbonbrief.org/analysis-what-does-chinas-coal-push-mean-for-its-climate-goals/>.
- ⁵⁷ “2008 年至 2021 年德国的可再生能源产能”, 全球统计数据库 Statista, <https://www.statista.com/statistics/864713/total-renewable-capacity-in-germany/>.
- ⁵⁸ “中国气候目标下新型电力系统的关键技术”, 中国国家电网公司, 2022 年 10 月 31 日.
- ⁵⁹ “分析: 2022 年第二季度中国二氧化碳排放量下降 8%, 创历史新高”, 碳简报, 2022 年 9 月 1 日, <https://www.carbonbrief.org/analysis-chinas-co2-emissions-fall-by-record-8-in-second-quarter-of-2022/>.
- ⁶⁰ Swithin Liu, “为什么中国将大幅超额完成 2030 年的气候目标”, 碳简报, 2022 年 5 月 19 日, https://www.carbonbrief.org/guest-post-why-china-is-set-to-significantly-overachieve-its-2030-climate-goals/?utm_campaign=Daily%20Briefing&utm_content=20220816&utm_medium=email&utm_source=Revue%20newsletter.

网站



微信

