



Federal Ministry  
for Economic Affairs  
and Climate Action



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

# 德国能源转型目标、现状与展望 及对中国碳达峰碳中和的借鉴



**giz** Deutsche Gesellschaft  
für Internationale  
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

# 出版说明

《德国能源转型其对中国的借鉴意义》报告介绍了德国能源转型的目标、现状及展望，包括分析德国能源转型整体的政策框架及主要激励措施，总结了能源转型实践的成功经验及教训。报告同时给出了德国能源转型对中国完善政策框架、实施措施和激励政策的建议。

报告在中德能源与能效合作伙伴项目框架下发布。项目受德国联邦经济和气候保护部（BMWK）委托和资助，中国国家发展和改革委员会（NDRC）为中方政府合作伙伴提供支持和指导。项目旨在围绕能效提升和发展可再生能源，通过深入交流可持续能源系统发展相关的政策、最佳实践和技术知识，推动高级别政府对话，企业与政府交流以及技术和政策法规层面交流，从而促进和推动两国能源转型，助力实现气候目标。受德国联邦经济和气候保护部委托，德国国际合作机构（GIZ）负责实施中德能源与能效合作伙伴项目。

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。

## 发行方：

中德能源与能效合作伙伴  
受德国联邦经济和气候保护部（BMWK）委托

北京市朝阳区亮马河南路 14 号  
塔园外交办公楼 1-15  
邮编：100600

c/o  
德国国际合作机构（GIZ）

Torsten Fritsche

Köthener Str. 2  
柏林 10963

## 研究负责人：

尹玉霞  
德国国际合作机构（GIZ）

## 作者：

Simon Göß  
张迪

## 技术协调与指导：

时希杰  
国家节能中心（NECC）  
王昊、刘文瑾  
德国国际合作机构（GIZ）

## 版面设计与排版：

© 2023 年 8 月，北京

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，但不对其中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。

# 目录

缩略表.....	2
执行摘要.....	3
导论.....	5
图表与表格.....	6
1. 德国能源转型的背景.....	8
1.1 为什么德国需要能源转型.....	8
1.2 德国能源转型概要.....	8
1.3 德国与中国能源指标比较.....	11
2. 能源转型导览：政策框架和治理结构.....	14
2.1 欧盟层面.....	14
2.2 德国能源与气候政策.....	16
2.3 德国能源转型的治理结构及利益相关方.....	17
3. 德国能源转型的具体实施：三个支柱.....	21
3.1 化繁为简：能效作为能源转型的关键.....	21
3.2 供给转型：所有领域都需要发展可再生能源替代.....	24
3.3 灵活性及互联性：部门耦合解锁去碳化.....	27
4. 实现成功的能源转型：供应安全、可负担性和可持续性.....	33
4.1 通过能源转型提升供应安全.....	33
4.2 能源转型的经济性和可负担性.....	35
4.3 最优先是降低碳排放.....	38
5. 更大的雄心：德国能源系统的未来.....	40
6. 德国能源转型对中国的启示及政策建议.....	43
6.1 德国能源转型对中国的启示.....	52
6.2 对中国的政策建议.....	47
6.3 中国的能源转型前景.....	53
附录 1: 能源转型的监控指标.....	54
附录 2: 能源转型与气候目标.....	56
附录 3: 2020 年前欧盟能源和气候目标及成果.....	57
附录 4: 德国能源法体系图.....	58
附录 5: 2030 年德国氢能网络潜力规划.....	59
参考文献.....	60

## 缩略表

BaFa	德国联邦经济与出口管制局
BMUV 部	德国联邦环境、自然保护、核安全和消费者保障部
BMDV	德国联邦数字化与交通部
BMWK	德国联邦经济和气候保护部
BMWSB	德国联邦住房、城市发展与建筑部
BNetzA	联邦网络监管局
EE	能源效率
EEG	可再生能源法
ETS	欧盟碳排放体系
EU	欧盟
GDP	国内生产总值
GEG	建筑能源法
GHG	温室气体
GIZ	德国国际合作机构
GW	吉瓦
IPCC	气候变化政府间合作机制
kW	千瓦
kWh	千瓦时
NAPE	国家能效行动方案
RE	可再生能源
TWh	太瓦时
UBA	联邦环境保护局



# 执行摘要

## 能源转型的目标

德国能源转型的三项总体政策目标包括：确保能源的供应安全、确保能源的可负担性及实现能源与环境及气候保护目标一致的可持续发展。

截止 2022 年，德国能源转型取得了丰硕的成果。其中最重要的成果包括：可再生能源发电比例占全部电力消费的 46.2%；可再生能源占全部终端能源消费比例的 20.4%；与 1990 年相比，德国温室气体排放减少了 40.4%。

俄乌战争加剧了全球对能源安全的担忧。德国决定尽快停止从俄罗斯进口化石能源，这间接推进了德国国内的能源转型。德国国内不断提升的可再生能源比例有助于德国摆脱对化石能源进口的依赖，从而降低能源进口成本并确保能源供应安全。通过市场化的手段，强化德国国内电网与欧洲电力和天然气网络的互联，能够将能源供应安全保持在较高水平。

从消费端来说，提升可再生能源发电比例在能源转型早期会推高电价。但是随着能源转型实践是不断深化，目前可再生能源发电价格与来自煤炭、天然气或者核能发电相比，已具备很强的竞争力。能源转型相关的产业让德国增加了出口收入、吸引了投资（每年 500 多亿欧元的私营部门投资），同时增加就业（近 100 万个就业岗位），从多方面对德国整体经济发展起到了积极作用。

## 能源转型的三个支柱

能源转型是一项针对德国能源供给及需求系统长期且全面性的战略。德国原有的依赖核能及化石能源（主要依赖于进口）的能源结构将转型为以德国国内的可再生能源为主，尤其是风能和太阳能。为实现德国的能源转型目标以及 2045 年气候中和目标，所有部门都要共同聚焦于能效提升、发展可再生能源及推动部门耦合，这三个领域也成为德国能源转型战略互相支持共同推进的三个支柱。

2000 年以来实施的补贴电价体系是德国电力部门发展可再生能源的动力。包括风能、太阳能和生物质发电在内的可再生能源为德国提供 40-50% 的电力供应。相比之下，可再生能源在供热部门和交通部门占比较低，分别为 17% 和约 7%。

随着 2010 年《能源方案》的颁布实施，能效提升获得了更多关注。降低终端能源消耗不仅使各个领域的能源供应更为灵活，还能降低终端用能成本。德国能效支持政策形式多样，直接财政支持或赠款等措施促进了能效设备在建筑和工业部门的应用。

在能源需求全面电气化（如供热部门使用热泵或交通部门推广电动汽车等）的进程中，能源消费可大幅下降。通过直接电气化或用可再生电力生产氢和合成燃料，将其他经济部门与电力部门耦合是能源转型成功的第三个支柱。2015 年以来，部门耦合以一种系统化的思路落实能源转型战略。热泵、电动汽车和绿氢基础设施发展齐头并进，并得到了国家层面的政策和项目支持。

## 能源转型：全球和欧洲视角

促进极具雄心的国际行动是德国气候和能源政策的基石。《巴黎协定》的签署和实施表明，推动全球层面合作，实现气候变化的承诺是 21 世纪最大的挑战之一。“Energiewende”（能源转型）是德国启动能源转型以来德语中的一个专有名词。作为欧盟最大的经济体，德国气候和能源领域的相关发展从很早就受到了国内及国际的广泛关注。为实现欧盟 2050 年气候中和目标而推出的《欧洲绿色新政》及其他国家不断增加的雄心勃勃的气候和能源目标，也都需要德国能源转型的贡献。

欧盟颁布了影响力巨大的“减碳 55” (Fit for 55) 一揽子政策，以更加具体的方式呈现了 2030 年能源和气候领域的目标及实施方案。欧盟的总体目标是可再生能源消费在终端能源消费占比达到 40%，终端能效提升 36%- 39%，以及温室气体排放与 1990 年相比减少 55%。

---

## 德国能源转型目标的提升

---

德国气候和能源政策框架与欧盟层面的政治行动和目标紧密相连。德国新一届联邦政府上任之后即正式宣布，将在国家层面继续强化和推进气候保护和能源系统转型领域的行动，并研究出台针对性更强的实施细则。新政策的实施将覆盖国家的整个能源体系，其目标是确保到 2030 年可再生能源将覆盖 80% 的电力消费并满足至少 50% 的供热需求，同时温室气体排放与 1990 年相比将降低 65%。

部门耦合在 2020 年代将取得突飞猛进的发展。到 2030 年，电动乘用车数量将从不到 100 万辆提升到 1500 万辆，400-600 台热泵将投入使用，同时 10 吉瓦的电解槽将生产 28 太瓦时纳入能源系统的绿氢。在 2020 年末，德国太阳能光伏发电量将为目前的 4 倍。同时，风能发电容量将提升 2 倍以上。德国国内将建成 5 条从北到南的高压输电线，保证与欧洲电网更好的互联。

德国能源转型已经进入了全新阶段，表现为不同能源消费部门之间更强的协同和互联。能源转型战略的成果不仅将成为德国实现其 2045 年气候中和的有力保证，同时也将确保为其公民、经济主体和产业提供安全和可负担的能源供应。

---

## 对中国的启示

---

德国将能源转型作为一项长期战略，力求以能源转型推动国民经济和社会运行方式转变，其经验与做法对中国具有重要的借鉴意义。

首先，德国重视通过立法构建能源转型战略的顶层政策体系，并形成多层次配套措施矩阵；其次，德国坚持能效优先，由此协同了多项务实有效举措；第三，德国注重发挥市场和社会公众的积极作用；第四，强化区域能源安全保障。

---

## 对中国的政策建议

---

首先，立足国情、统筹规划，保障国家能源顺利转型；其次，聚焦节能工作，以能效提升促进碳排放削峰；第三，完善配套措施，增进政策协同。

# 导论

《德国能源转型目标、现状与展望及其对中国碳达峰碳中和行动方案的借鉴意义》报告（“本报告”）提供了德国能源转型的全面介绍。

**第一章** 介绍了本报告的背景并主要阐述了德国能源转型的必要性。本章描述了能源转型的总体框架及目标。通过对比德国和中国最相关的能源指标，呈现了两国在能源领域发展的异同。

**第二章** 介绍了德国能源转型的政策框架概览和总体管理架构。以退煤为例，具体介绍了管理架构、利益相关方和他们的相互关系。由于德国为欧盟成员国，因此本章涵盖德国国家层面及欧盟层面的政策。

**第三章** 具体介绍了在德国能源转型实施中，相对独立但又相互作用和影响的三大支柱，即能效提升、发展可再生能源和推进部门耦合。本章还介绍了与每个支柱相关度最高的政策、目标及成就。

**第四章** 具体阐述了德国能源转型的三个目标：确保高度能源供应安全、提供可负担的能源供应及创建与可持续及环境目标高度一致的能源系统。本章还介绍了衡量每个目标所用的指标体系及追踪办法。

**第五章** 聚焦于德国能源系统的未来发展。向去碳化经济的转型将在未来几年提速。本报告提供了转型的中期（即到 2030 年）和长期（即到 2045 年）视角。

**第六章** 主要从中国视角，概括介绍了中国能源转型的要点，同时基于前文所述德国能源转型的经验，提出了相关的政策建议。这些建议包含了政策设计的建议和具体的实施细则建议。

# 图表与表格

图 1: 德国能源战略的目标框架 (德国经济部, 2021a) .....	9
图 2: 高级别定量能源转型目标和德国能源转型的成果 (BMWK, 2022b), 本文作者编辑 .....	10
图 3: 2020 年中德两国一次能源消费构成 .....	12
图 4: 截止 2018 年, 欧盟层面主要的能源与气候计划、框架和目标 (Heinrich Böll Foundation, 2018), 作者总结 .....	14
图 5: 全球及德国能源转型的里程碑 (BMWK, 2022b), 作者总结 .....	16
图 6: 德国温室气体减排发展及目标 (BMWK, 2022b) .....	17
图 7: 德国能源转型的治理结构 (BMWK, 2022b), 作者总结 .....	18
图 8: 欧盟及德国能效政策框架 (BMWK, 2022b), 作者总结 .....	21
图 9: 德国终端能源需求及生产率 (BMWK, 2021) .....	24
图 10: 德国可再生能源政策框架 .....	25
图 11: 截止 2021 年不同部门可再生能源占比 (UBA, 2022a) .....	26
图 12: 2021 年德国可再生能源供应总量及构成分析 .....	27
图 13: 电力和其他能源消费部门的部门耦合 (ENTSO-E, 2020) .....	28
图 14: 德国用于新建居民建筑的供热系统市场份额 (Bundesverband Wärmepumpe e.V., 2022), 作者总结 .....	30
图 15: 德国各年电动汽车上牌数 (统计截止当年年底) (BMWK, 2022b), 作者总结 .....	31
图 16: G7 国家 2020 年平均断电持续时间指数 (SAIDI) (BMWK, 2022b), 作者总结 .....	34
图 17: 德国的电网扩展项目 (BMWK, 2022b) .....	35
图 18: 德国可再生能源设施投资发展 (BMWK, 2022d) .....	36
图 19: 2018 年德国不同用户电力价格构成 (BMWK, 2022b) .....	37
图 20: 德国电力市场现货价格与可再生能源附加费之和的发展 .....	37
图 21: 德国通过可再生能源避免温室气体排放 (UBA, 2022b) .....	38
图 22: 德国空气污染物的减少 (UBA, 2021) .....	39
图 23: 德国可再生能源容量和新的 2030 年目标 (BMWK, 2022b), 作者整理 .....	40
图 24: 不同能源转型情景分析比较 (50 Hertz, Amprion, TenneT TSO, TransnetBW, 2022) .....	42

表 1: 能源转型的目标及其影响政策.....	10
表 2: 中德两国能耗和能耗强度.....	11
表 3: 中德两国一次能源消费结构及电力消费结构.....	12
表 4: 中德两国发电装机容量 (数据来源: 德国经济和气候保护部、中国及中国电力企业联合会).....	13
表 5: 根据《欧洲绿色新政》总结欧盟现有能源和气候目标.....	15
表 6: 《气候保护法》监测和合规机制.....	17
表 7: 利益相关方机制举例.....	18
表 8: 煤电退出委员会的任务.....	19
表 9: 德国可再生能源目标及成果概览.....	26
表 10: 部分德国部门耦合目标及成果概览.....	29
表 11: 国家氢能计划概要.....	32
表 12: 德国进口俄罗斯化石能源的比重: 过去、现在及未来目标.....	33
表 13: 不同部门 2030 年前减排措施.....	41

# 1 德国能源转型的背景

## 1.1 为什么德国需要能源转型

人类活动排放的二氧化碳引起了气候变化，给人类文明带来了系统性风险。2021 至 2022 年间，联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）分三次发布了第六次评估报告，对推动以科学为基础的气候行动形成了一致意见。

IPCC 评估报告的核心结论是，气候变化给全球各个地区带来影响仍将持续，其广度和深度远超预期。气候变化和极端天气将严重影响农业生产，在经济不发达地区尤为严重。从可持续发展的角度来看，气候变化和极端天气也对全球生态系统造成了不可逆的破坏。随着气温不断升高，相应的风险也将升级。因此，在 2030 年以前，要想将全球气温升高控制在 1.5° C 以下，仍需采取更多行动以将温室气体排放减少 40%。根据 IPCC 的报告，从目前的化石能源消费模式和已规划的化石能源消费情况来看，该目标几乎不可能实现。为减缓全球气候变暖，必须向低碳能源系统转型，停止开采现有的化石能源，并停止运行现有的化石能源发电厂<sup>1</sup>。化石能源不可再生，且其在全球的分布也不均衡。长期能源安全战略的制定需要综合考虑上述因素。

基于对气候变化和化石能源不可再生性科学认知，欧盟和德国正力争在 2050 年前实现大幅减碳，可再生能源将成为能源供应系统的主要来源。尤其是对于德国来说，能源转型是为其实现更加安全、环境友好和经济繁荣的长期战略。这一战略将带来三重优势：第一，通过提升能效并淘汰化石能源，德国将为减缓气候变化和全球变暖做出重大贡献；第二，德国的能源转型将为德国社会经济发展带来独特的商业机会，能源转型将成为现代化工业社会发展新经济模式的重要驱动力，将为社会带来大量创新元素并创造新的经济增长点及就业机会。第三，在当今俄乌战争局势升级的情况下，能源转型将使德国减少对煤炭、石油和天然气进口的依赖。增加国内的可再生能源也将减少对化石能源的进口，并增加能源供应的安全性<sup>2</sup>。

能源转型作为一项长期战略也可以为德国、欧洲乃至全球带来经济、环境保护和社会发展方面的巨大福祉。

## 1.2 德国能源转型概要

能源转型（德语“Energiewende”），是将现有基于化石能源（例如煤炭、天然气、石油及核能）的能源系统向更加可持续和可再生的能源系统转型的过程。风能、太阳能、水能、地热能和可再生原材料，如生物质能等，都可以作为可持续和可再生的能源来源。它们既可以进行发电、供热和制冷，也可以作为交通部门所需要的燃料。可再生能源的利用将使我们的经济和社会变得更加高效。德国能源转型是一项长期战略，不单单是能源系统的转型，而是整个经济和社会方式的转变。

### 能源转型政策架构

德国能源转型战略融入了欧盟能源和气候战略的目标和政策，并考虑了全球在能源和气候战略方面的发展。欧盟旨在成为全球第一个在 2050 年实现气候中和的重要经济联合体，这一目标与《巴黎协定》一致。为实现此目标，欧盟出台了《2030 年气候与能源政策框架》，其中包括一系列战略、目标和政策计划。《欧盟绿色新政》是《2030 年气候与能源政策框架》的更新版本，提出了更多措施，主要目标是到 2030 年将温室气体排放量与 1990 年相比至少减少 55%。在欧盟层面，关键的政策领域包括欧盟气候立法，能源市场整合、欧盟碳排放权交易系统以及其他能效、交通和土地利用方面的法规建设。

作为欧盟成员国之一，德国当前国家层面的能源和气候目标都高于欧盟的同等目标。实现能源转型需要建立一套从目标到实施层面的综合体系。德国的目标体系基于 2010 年颁布的《能源方案》，该方案已在德国议会以法律形式通过，且符合欧盟的目标（见图 1）

1 气候变化政府间合作机制 (IPCC), 2022, 气候变化政府间合作机制 (IPCC) 报告

2 德国联邦经济和能源部 (BMWi), 2015, 实现能源转型的成功

3 德国联邦经济和能源部 (BMWi), 2021a, 未来的能源：第八次能源转型监测报告 --2018 和 2019 报告年度



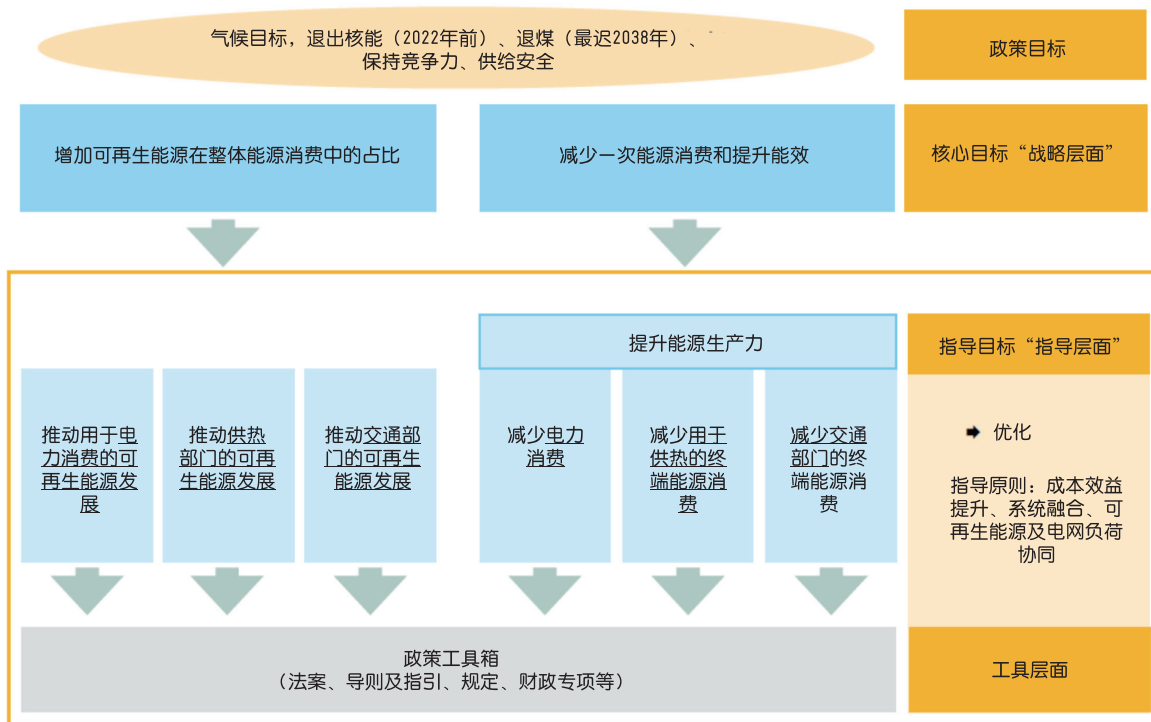


图 1：德国《能源方案》的目标体系<sup>3</sup>

德国能源转型涵盖三个主要目标：确保能源的供应安全、确保能源的可负担性及实现能源与环境及气候保护目标一致的可持续发展。在摆脱化石能源、发展可再生能源、调整能源供应系统的结构过程中，必须要考虑到能源供应安全和可靠的能源服务。对于公民和企业来说，能源可支付性及经济的整体竞争力也是能源转型成功的一项重要前提。同时，德国能源转型的实施也必须考虑到更多环保发展方面的因素，以实现气候和可持续发展目标。

德国能源转型的支柱是能效提升、发展可再生能源和推进部门耦合。能源转型的核心目标是减少一次能源消费、提升能效、提升可再生能源在能源消费中的占比和促进部门耦合技术与应用的发展。这些目标在后续出台的细化战略、法律法规和支持项目中得到了进一步体现。

能源转型的主要行动领域是发电、供热和交通部门。为提高能效和提升可再生能源的生产力，降低一次能源消费、减少供热能源和交通能源的使用至关重要。可再生能源在发电、供热和交通部门的占比是衡量其发展水平的主要指标。在部门耦合领域，制定特定目标并利用部门耦合技术是重点。

### 能源转型目标和成果监测

能源转型战略自 2000 年起实施，德国政府制定了一系列能源相关的指标以及定性、定量的目标。随着《能源方案》2010 年生效，政府进一步针对能源转型的指标和目标的全面及持续性的追踪机制。该追踪机制需要对目标的进展及达成性、工具和措施的实施进行定时更新。

整个追踪过程的核心是年度监测报告，该报告提供了监测概览和对相关过程的详细评估，并展望了未来重要能源转型指标的发展趋势。德国联邦经济和气候保护部（原德国联邦经济与能源部，在 2021 年 10 月组织机构调整前名称）负责该报告的发布。报告撰写工作由四名独立且权威的能源专家组成的独立委员会负责，最终提交至德国议院和德国联邦参议院。该独立委员会还需要准备一份额外的声明报告以说明德国能源转型的整体进展及现状。

年度监测报告涵盖了超过 70 项指标，反映了定量及定性目标的进展情况及能源转型战略总体实施情况（见附录 1）。对指标的评估基于官方和公开可收集到的数据，并采用专门的打分系统来评估目标与实际值之前的差距。最近一份监测报告于 2021 年完成，并包含了对目标评估的总结<sup>4</sup>。该报告中，独立的能源专家评估了 21 项指标，其中 8 项指标进度与目标相符，6 项指标部分相符，7 项指标与目标存在差距<sup>5</sup>。表 1 总结了整体定性指标和能源转型的相关政策领域。

<sup>4</sup> 德国联邦经济和能源部（BMWi），2021a，未来的能源：第八次能源转型监测报告 --2018 和 2019 报告年度。Berlin: BMWi

<sup>5</sup> Lüscher, Grimm, Lenz, & Staiss, 2021，关于联邦政府 2018 和 2019 报告年度第八次监测报告的声明。“未来能源”“监测进程专家委员会”。

表 1: 能源转型的目标及主要政策

能源供应安全	保证德国在任何时间的有效能源供应。
核能退出	在 2022 年底前，关停德国境内最后一座核能发电厂。
煤炭发电退出	以一种社会平衡的、可预期的和经济性高的方式，在 2038 年前退出煤电
可负担性与竞争力	保持能源的可负担性以保证德国的竞争力。
环境友好	确保能源供应与整个生命周期内的环境、气候和自然保护发展相协调
电网扩建	扩建并提升电网现代化以满足用电需求
部门耦合与数字化	进一步激发部门耦合之间的有效潜力并推动数字化以保证能源转型的成功
研发与创新	加速可用于能源供应转型的前瞻性创新
投资、增长与就业	保持并创造更多的工作机会，为德国打造可持续繁荣和高质量生活的坚实基础。

图 2 列出了 2020 年、2030 年及以后最重要的定量目标，以及截止 2021 年所取得的成果。在下图所列的目标之外，联合执政政府也在他们的《联合执政声明》<sup>6, 7</sup> 中新增了 2030 年前需要达成的目标，包括供热领域气候中和比例

提高到 50%、达到 1500 万辆全电动乘用车上牌数以及安装 10GW 的生产绿氢的电解槽。更多关于最重要的能源转型目标的详细信息请参见附录 2。

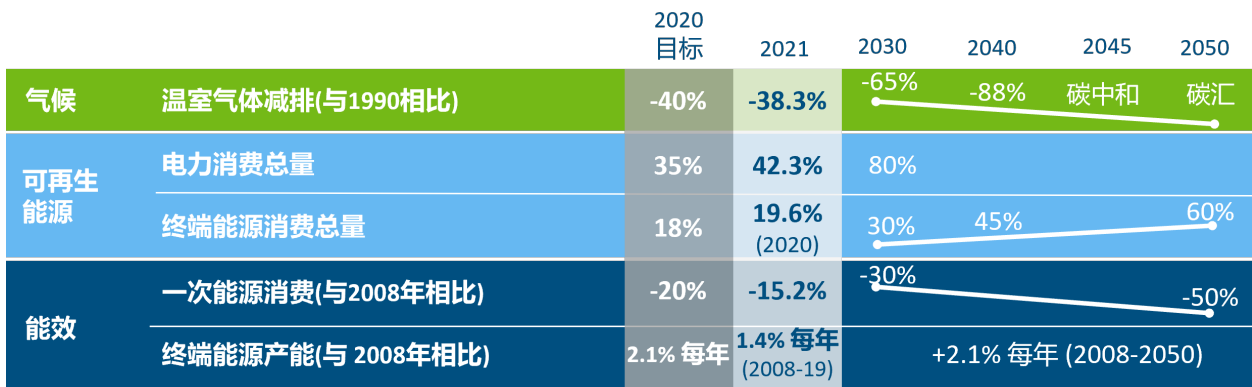


图 2: 能源转型宏观定量目标和实现情况<sup>8</sup>，本文作者编辑

6 德国不同党派组成联合政府时，通常会发布一个联合执政声明，包含各个执政党派所达成未来政府工作的共同目标。联合执政声明是一项政治性的合作备忘录，同时向公众提供一个关于新政府愿景和工作计划的纲领。

7 德国联邦经济和气候保护部 (BMWK), 2022a, 德国气候行动现状

8 德国联邦经济和气候保护部 (BMWK), 2022b, 德国能源转型的国际交流



## 1.3 德国与中国能源指标比较<sup>9</sup>

通过对德国和中国能源系统与能源消费进行比较，可以看出两国的异同均很显著（详见表 2、表 3、表 4 和图 3）。

### 一次能源和电力消费

1990 年，中国的一次能源消费仅为德国的两倍。随着经济发展，中国一次能源消费增速很快。与此相反，德国的一次能源消费自 1990 年以来稳步下降。由于中国人口众多，中德两国一次能源消费的绝对数值存在巨大差距，但两国人均一次能源消费的差距却在逐渐缩小。中国电力消费和发电量在过去几十年中快速增加，而相比之下，德国的发电量较稳定。德国人均发电量在过去 30 年一直保持在相对稳定的水平，而中国的人均发电量持续快速增长，并逐渐接近德国的人均水平。

德国一次能源和电力消费呈现此发展趋势的主要原因是能效的提升、火电在电力系统中占比的下降以及服务业快速发展且超过了重工业。在中国，特别是在 2000 年之后，煤电的主导地位及整体经济的快速增长使得能源消费迅速增加。

### 能耗强度和碳强度

能耗强度和单位能源碳强度是另外两项重要的能源和气候指标。能耗强度用于衡量每单位国内生产总值（GDP）所需的一次能源消费量。该项指标越低，说明单位能量为国家经济发展带来的经济价值越高。能源生产的碳强度与每单位能源生产所造成的二氧化碳排放相关，该指标越低，表明该国能源体系越环保且二氧化碳强度越低。由于可再生能源在电力系统中的占比不断增加、能效不断提升以及整个经济结构转型，中德两国的单位碳强度从长期趋势上来看应该是持续下降的。

表 2: 中德两国能耗和单位能源碳强度

		1990	2005	2020
一次能源消费（太瓦时）	德国	4180	3940	3360
	中国	7970	21000	40400
人均一次能源消耗量（千瓦时）	德国	52870	48220	40150
	中国	6770	15780	28070
发电量（太瓦时）	德国	547	613	565
	中国	621	2500	7727
人均发电量（千瓦时）	德国	6920	7520	6740
	中国	530	1880	5379
单位 GDP 一次能源消费能耗强度（千瓦时 / 2011\$ PPP）	德国	2.07	1.32	0.96*
	中国	2.35	2.44	2.10*
能源生产的碳强度（公斤 CO <sub>2</sub> / 千瓦时）	德国	0.25	0.22	0.19
	中国	0.31	0.28	0.26
* 2018 年数值				

<sup>9</sup> 消费和发电数据来自数据库 Our World in Data，发电容量的数据来自 AGEB（AG Energiebilanz）和中国电力企业联合会（中国电力企业联合会，2022）。由于数据的来源不同，可能会略有偏差。

### 能源载体的比例

中德能源系统的主要差别在于关键能源资源在能源供给系统中相对占比的区别。与中国相比，德国一次能源消费中石油和天然气占比较高，而中国能源供给来源以煤炭为主。

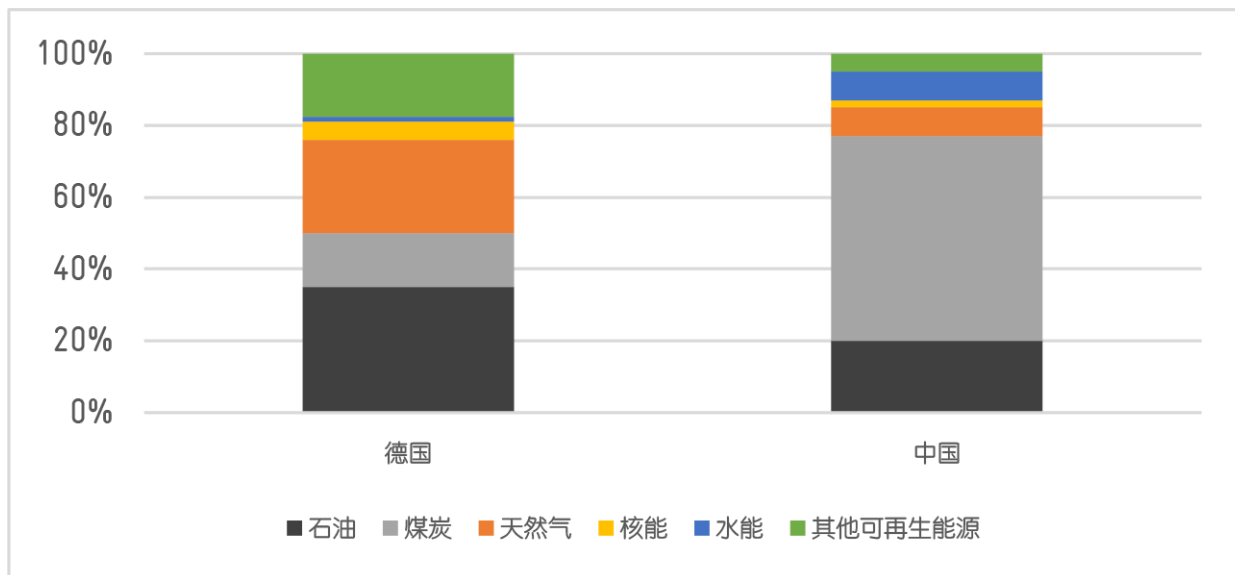


图 3: 2020 年中德两国一次能源消费构成

在电力部门，中德两国之间的差距也非常明显。在中国的电力系统中，煤电仍占到 65%，水电占比其次。尽管

其他可再生能源如风能和太阳能在中国发电中所占比例不断增加，但与德国相比仍相对较少。

表 3: 中德两国一次能源消费结构及电力消费结构

	一次能源消费占比 %				发电量占比 %			
	德国		中国		德国		中国	
	2000	2020	2000	2020	2000	2020	2000	2020
石油	40	35	23	20	3	3.5	3.5	0
煤炭	25	15	70	57	52	23.5	78	60.7
天然气	21	26	2	8	9	17	0.5	3
核能	12	5	0	2	30	11.5	1.5	5
水能	1.5	1.5	5	8	4	3.5	16.5	17.7
其他可再生能源	0.5	17.5	0	5	2	41	0	13.6

在过去的 20 年中，德国发电装机容量从 120 吉瓦增长到超过 230 吉瓦，而同期中国的发电装机容量增长了近 7 倍，从不足 300 吉瓦增加到了 2000 吉瓦。2020 年，可再

生能源占德国发电装机容量的一半，而同期中国发电装机容量仍以煤电主导。

表 4: 中德两国发电装机容量（数据来源：德国经济和气候保护部、中国电力企业联合会）

	发电装机容量（吉瓦）					
	德国			中国		
	2000	2010	2020	2000	2010	2020
石油	8	6	5	10	5	1
煤炭	54	53	45	200	652	1080
天然气	23	24	32	2	9	100
核能	24	22	8	2	11	50
水能	9	10	14	61	216	370
其他可再生能源	7	50	127	0	31	536
总计（含如垃圾焚烧发电等其他发电方式）	125	165	232	275	924	2202

由于煤炭在德国一次能源消费和发电中的占比较低，且德国对重工业的依赖度也较低，所以整个德国能源系统的能耗强度和碳强度与中国相比都相对较低。两国的化石能源在一次能源消费和电力消费中的占比都在持续降低。

中国一次能源消费约为德国的 10 倍，但两国的人均碳排放逐渐趋于接近。德国的数据显示，大力发展可再生能源可以降低煤炭在能源结构中的占比，并降低能耗强度及碳强度。

# 2 能源转型导览：政策框架和治理结构

## 2.1 欧盟层面

### 欧盟能源及气候转型的政策框架

欧盟层面的政策框架对欧盟能源转型和去碳化的成功起着至关重要的作用。自上世纪90年代末开始，随着《京都议定书》的签订，欧盟能源政策的重点转向碳减排和气候保护。图4展示了1997年至2018年间欧盟主要计划框架及其对应目标的时间表<sup>10</sup>。该时间表展示了欧盟去碳化的雄心及其在过去20年间向可再生能源转型的进展。

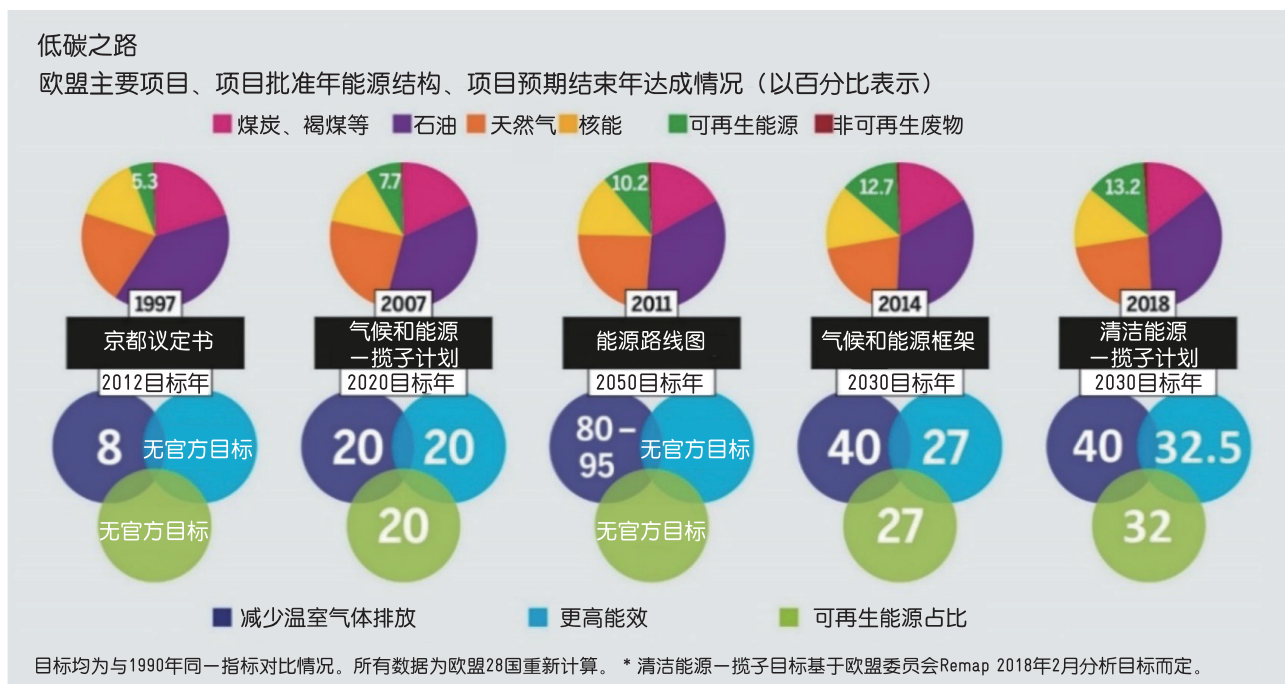


图4：截止2018年，欧盟层面主要的能源与气候计划、框架和目标<sup>11</sup>，作者总结

自2007年以来，欧盟实施了实现气候与能源目标的综合性路径。欧盟层面的气候与能源一揽子计划介绍了主要的能源和气候相关规定，并将欧盟碳排放体系（EU ETS）作为欧盟核心的气候政策。欧盟碳排放体系涵盖能源和工业领域的大规模排放设施，排放量约占欧盟总排放的40%。

欧盟《努力分担决议》<sup>12</sup>确立了中小企业、住房、农业、垃圾和交通等欧盟碳排放交易体系之外部门的国家层面碳排放目标。这些目标的设定取决于各国的经济发展水平，经济最发达的国家必须减排，而经济最不发达的国家可以根据其经济发展情况增加排放。在责任分担部门中，国家层面的减排通常由欧盟委员会进行年度监测。

10 海因里希·伯尔 (Heinrich Böll Fundation), 2018, 能源转型

11 海因里希·伯尔 (Heinrich Böll Foundation), 2018, 能源转型

12 《努力分担决议》是一项欧盟法律，规定了2020年的国家排放目标，其表现为2005年水平相比的百分比变化。《努力分担条例》更新了《努力分担决议》，为成员国设定了2021年至2030年具有约束力的年度减排量。

国家层面的可再生能源目标也是气候和能源一揽子计划的一部分，并通过《可再生能源指令》正式立法和实施。欧盟成员国的目标根据其不同的可再生能源发电现有水平和增加可再生能源比例的能力（可再生能源发电目标差别巨大，其范围从马耳他的 10% 到瑞典的 49%）而有所不同。单个国家的可再生能源目标需要达到欧盟层面的整体目标，即可再生能源占比需达到 20%，也就是 2010 年占比的两倍。同时，到 2020 年，交通部门可再生能源占比需要达到 10%。

作为气候与能源一揽子计划的后续能效目标的跟进实施方案，欧盟 2012 年出台了修订版的《能效指令》。该修订版包含了一系列措施，旨在推动欧盟成员国在 2020 年达到欧盟层面减少 20% 一次能源消费的目标。各成员国同时制定了《国家能效行动方案》（与 3.1 节对比）来报告各成员国预估的能源消费、计划的能效提升政策、长期行动战略和预期的改进措施。该方案必须每三年进行一次更新，并每年向欧盟委员会报告进展。

### 《欧盟绿色新政》和“减碳 55”——雄心不断增加

在《巴黎协定》的全球目标提出后，欧盟议会和欧盟委员会颁布并实施了《欧洲绿色新政》。这是 2019 年 12 月以来欧盟核心的能源与气候战略，由多个政策倡议组成，将欧盟引向了更加雄心勃勃的绿色转型之路。《欧洲绿色新政》覆盖了气候、环境、能源、交通、工业、农业和可持续金融等多个领域，支持欧盟实现 2050 年气候中和转型。《欧洲绿色新政》提升了欧盟层面的能源和气候目标（见表 5）。

表 5: 根据《欧洲绿色新政》总结欧盟现有能源和气候目标

与 1990 年相比，2030 年温室气体排放至少减少 55 %。
到 2030 年，可再生能源比例至少提高 40 %。
能效提升 36% -39 % (2023 年可能还要提升目标)。
2050 年整个欧盟达到碳中和（净零排放）。

为了更好地实施《欧洲绿色新政》并达成其中新设目标，2021 年 7 月，欧盟委员会提出对一系列能源与气候相关法规进行更新。“减碳 55”根据 2030 年及 2050 年的新目标，修正了气候、能源和交通相关的法规，使现有的法律、法规更加全面。

除此之外，欧盟还对碳排放交易体系、《责任分担条例》、《可再生能源指令》、《能效指令》、《能源税指令》进行了更新与强化，新的政策如《碳边界调节机制》也正

在开始实施。在“减碳 55”中，欧盟绿色新政的目标已经纳入了法律。欧盟委员会还相应提高了国家层面非碳排放交易部门的温室气体减排目标，即从 2005 年的 29% 增加到了 40%。到 2035 年，新上牌的乘用车和面包车的减排目标是达到 100%，此外，欧盟还将引入“气候社会基金”，以展示欧盟碳排放机制中规划的碳价对道路运输和住房方面产生的社会及分配影响（欧盟议会，2022）。

### 国家能源与气候计划在欧盟层面的合规机制

为实现欧盟 2030 年的能源与气候目标，各欧盟成员国必须制定 2021-2030 年间的国家能源和气候计划（NECP）。国家能源与气候计划需阐明各成员国对能效、可再生能源、温室气体减排、电力和天然气互联以及研究和创新的定义。由于国家能源与气候计划的结构相对一致，所以各国可以进行比较。为了更好地发展和实施该项计划，欧盟成员国需要在该计划的草案和终稿阶段征询公民、企业和地方政府的意见。另外，各欧盟成员国还在 2020 年初提交了该国到 2050 年的长期规划。

根据欧盟治理条例，每个成员国在 2018 年底提交国家能源与气候计划草案。经过欧盟委员会对各国计划的分析，2019 年欧盟发布总体评估报告及对各成员国的建议。最终的国家能源与气候计划需要将欧盟对各国的建议纳入考量，并在 2019 年提交终稿，经过 9 个月的评估，于 2020 年 9 月最终发布。欧盟委员会在欧盟层面监测目标的完成情况，发布每年的监测报告。且各成员国需要每两年提交自己的进展报告。欧盟委员会为成员国提供了公开透明的建议，以确保计划具有雄心且成员国能采取有效措施，推动欧盟实现能源与气候目标。

### 欧盟能源与气候目标的实现情况

自 2007 年起，气候与能源一揽子计划规划了到 2020 年的核心目标（参见图 4）。欧洲环境署在 2021 年 10 月（参见附录 3）发布了对相关目标的评价。2020 年，欧盟 27 个成员国的温室气体排放量与 1990 年相比减少了 31%，超过了既定的减少 20% 的目标。能源消费减少 20% 的目标与参考情境规划项目在许多年内都未能实现，但新冠疫情使欧盟 2020 年的能源消耗降到了目标水平以下——与 2005 年相比，一次能源消费减少了 17%，终端能源消费减少了 10%。可再生能源在整体能源消费中所占比重提升到了 21%，略高于最初 20% 的目标。随着新冠疫情防控措施的解除，2021 年能源消费有所回升。虽然以上三项目标都已在 2020 年达成，但仍需推出更多相应策略，确保 2030 年目标的实现（欧洲环境署，2021）。



## 2.2 德国能源与气候政策

### 德国能源转型的里程碑与战略

能源转型是德国当前最重要的经济与环境政策，其目标是将以化石能源及核能为主的能源供给结构转向可再生能源为主。能源转型的最终目标（参见表 1）是温室气体减排和逐步淘汰核能和燃煤发电，同时确保能源安全和德国经济在国际竞争中的地位。

德国能源转型根植于全球减缓气候变化领域的共识。作为欧盟成员国，德国必须遵循前文所述欧盟在能源与气候领域的法规和目标。德国国内在减排和可再生能源目标的设定及达成表现都超过欧洲平均水平。德国能源转型的重要里程碑及其对全球的贡献总结于图 5。

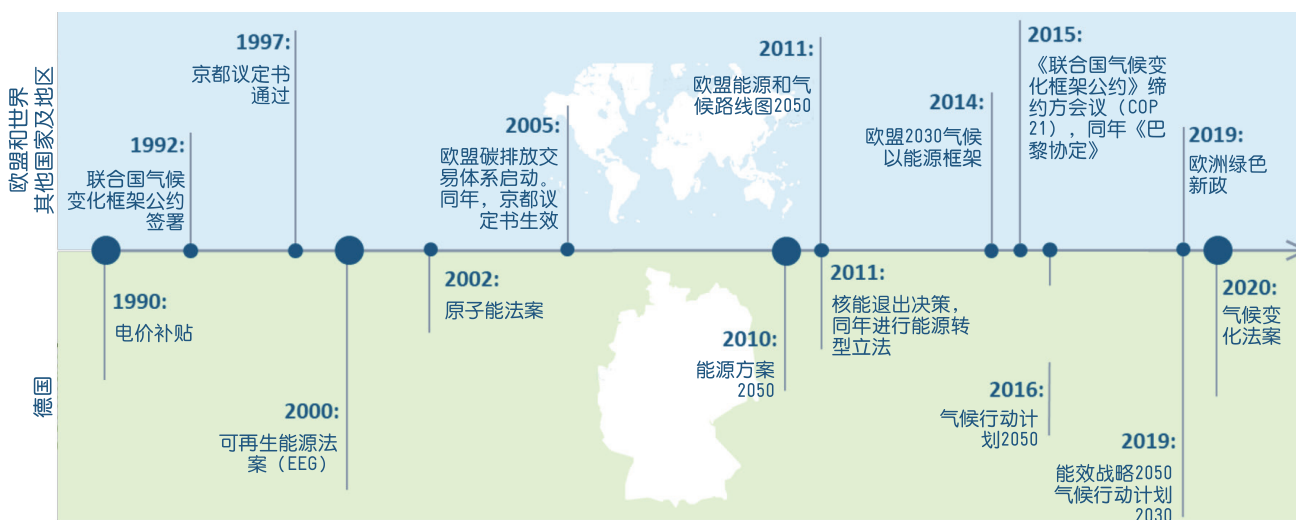


图 5: 全球及德国能源转型的里程碑<sup>13</sup>，作者总结

虽然，2000 年德国颁布《可再生能源法》(EEG) 推动可再生能源发展，但 2010 年颁布的能源方案中首次为德国的能源转型提供了全面的支撑框架。该方案设定了中期和长期目标，并针对能效提升、可再生能源发展、气候保护和部门耦合提出了更加具体的战略和计划。2019 年德国颁布《能效战略 2050》，更新了能源方案中有关能效提升的指南，同时补充了气候保护相关战略和政策及能源转型政策框架（见下）。

很多法律和具有实施细则的法规都已经存在，涵盖了电动汽车、电网扩容、针对能耗的相关标识系统要求以及排放交易系统的规定。上述立法的概览详见附录 4。

### 确保温室气体排放降低：德国气候目标的合规机制

2016 年出台的《气候行动计划 2050》是德国温室气体减排的总体战略，它提出了德国的整体气候目标及 2030 年德国各个行业（能源、工业、建筑、交通、农业和用地及森林）

的目标<sup>14</sup>，同时也聚焦部门耦合。该计划描述了为实现目标必要的发展路径，列出了可行措施并建立了国家层面的过程监控和措施更新机制，明确规定了每个行业部门相应的行动领域、目标和措施。

根据不断更新的《巴黎协定》目标及雄心，《气候行动计划 2050》每 5 年修订更新一次，逐步提高国家层面的气候目标。

为保障《气候行动计划 2050》的顺利实施，德国政府 2019 年出台《气候行动细则 2030》定义不同部门的减排措施，以实现法定的减排目标。2020 年出台的《气候保护法》首次在国家立法层面确定德国实现温室气体中和的目标，同时也在立法层面规定了 2020 年至 2030 年间每年的减排目标和所有部门的减排预算。年度监测和合规机制保证了目标的达成（见表 6）。独立的气候变化专家委员会每两年发布一次报告，以对相关措施和发展趋势提出建议。

<sup>14</sup> 该计划被称为“气候行动计划 2050”，因为该计划/战略预计在 2050 年之前实现德国气候目标。但它也制定了 2030 年的目标，因为只制定 2050 年的目标而不制定中间目标是没有意义的

表 6: 《气候保护法》监测和合规机制

1. 联邦环境署将在每年的 3 月发布前一年的温室气体减排数据。
2. 气候变化专家委员会在一个月内在该温室气体排放数据进行评估。
3. 如果单一部门或多个部门减排超预算，相应的主管部委需要在 3 个月内拿出一套快速行动方案，包含针对性的措施来保证年度减排预算在后续几个月内能够执行。
4. 气候变化专家委员会将对每一项快速行动方案进行审议。
5. 联邦政府将慎重研究并最终决定是否实施相应的快速行动方案。
6. 联邦政府通知德国议会关于相关措施的研究情况及是否需要引发相应法律法规的变动。

2021 年，德国政府需要根据德国联邦宪法法庭的规定相应地修改《气候保护法》。该规定使联邦政府不得不增加更多立竿见影的措施，将其气候保护目标与欧盟的计划和规定保持一致。本次修改将德国气候中和的时间表提前至 2045 年。图 6 解释了更新后德国温室气体减排目标。

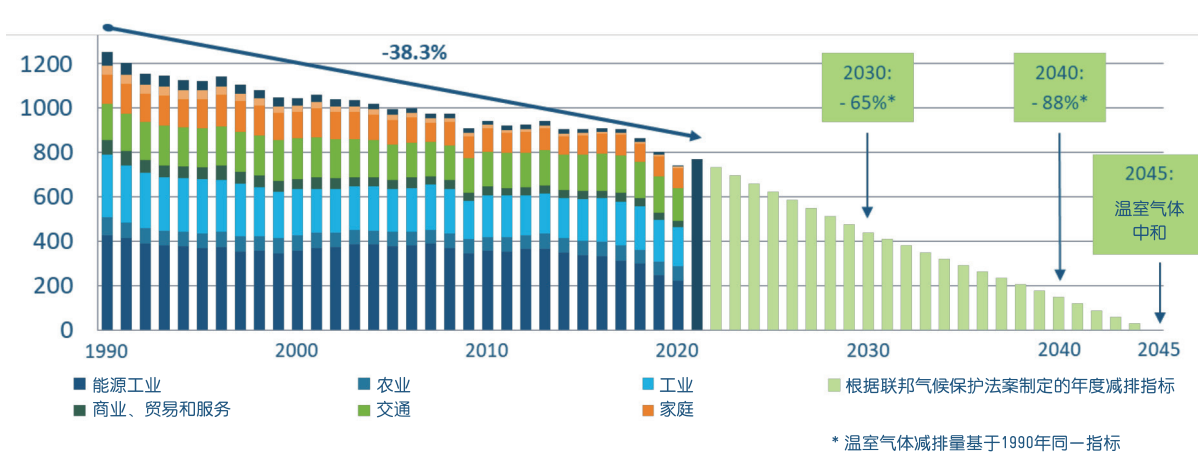


图 6: 德国温室气体减排发展趋势及目标<sup>15</sup>

## 2.3 德国能源转型的管理及利益相关方

从政治层面及战略层面来看，德国能源转型是一项国家工程。其发展和实施不仅由联邦层面的政治决策驱动，也是整个社会的诉求。德国能源转型的利益相关方包括：欧盟、德国各州、私营部门（包括能源公司及商会）、研究机构、社会团体组织、非政府组织和普通公民。

### 能源转型的管理

欧盟立法对德国整体能源与气候政策起到了决定性的作用。在国家层面，联邦政府负责绝大多数能源与气候立法，并设有协调机制以解决欧盟立法和联邦各州之间实际需求与建议的差距（德国能源转型高级别的管理结构见图 7）。德国经济与气候保护部 (BMWK)<sup>16</sup> 的牵头负责协调相关立法及不同利益相关方之间的合作与对话。

<sup>15</sup> 德国联邦经济和气候保护部 (BMWK), 2022b 德国能源转型的国际交流

<sup>16</sup> 德国联邦经济与气候保护部 (BMWK) 在 2021 年 10 月前被称为德国联邦经济事务和气候行动部 (BMWi)。

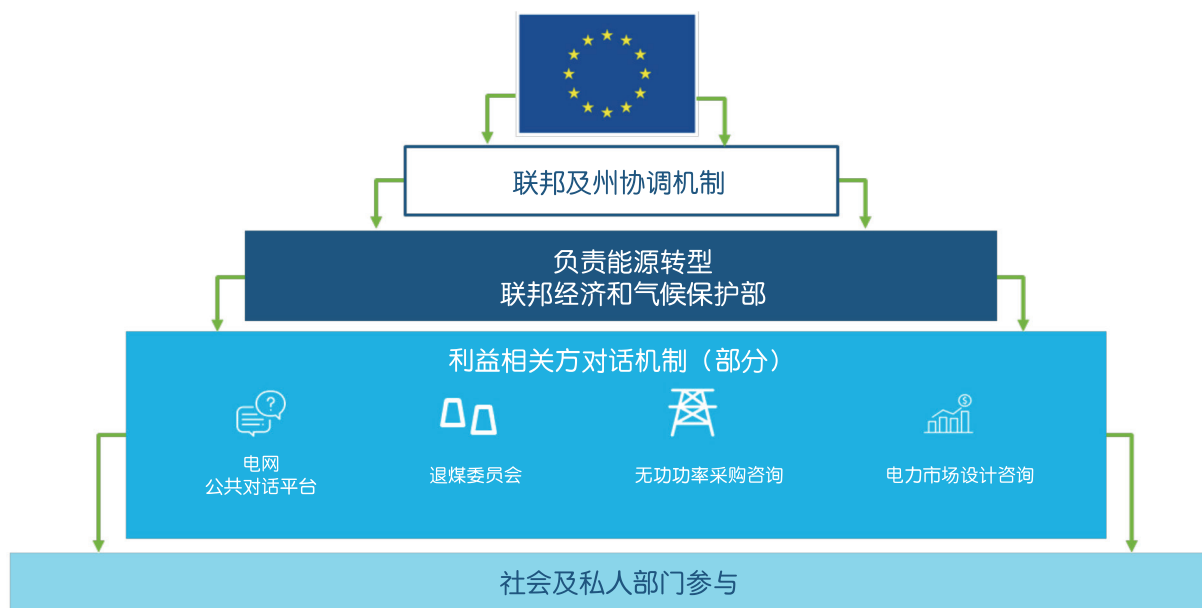


图 7: 德国能源转型的管理结构，作者总结<sup>17</sup>

德国经济与气候保护部与德国各联邦州、主要公司、产业和研究机构通过高级别的对话平台及利益相关方机制保持沟通（表 7）。所有利益相关方在德国能源转型的治理结构中都扮演着重要角色。利益相关方对话机制不仅有助于形成关于特定话题的广泛共识，也保证了能源转型对

所有利益相关方的所有权保护和信息透明。定期的对话咨询通过一些引导问题，及公众的回答和评价，能够保证公民及私营部门可以对政府提出有效意见并参与到决策过程中去。

表 7: 利益相关方机制举例

利益相关方机制	主要任务及成果
关于电网的公众对话	该项倡议旨在提供一个关于德国电网扩容计划相关话题的对话平台，该平台用于与公众沟通以便增加电网扩容的接受度。这一机制在德国设立了 10 个公民办公室和一个网上办公室，收集各类地方信息和对话形式，提供网上信息和参与者平台，组织与本地利益相关方沟通的区域性网络和对外发布相关的工作进展。
退煤委员会	德国联邦政府在 2018 年成立了针对经济发展、结构调整和就业委员会（“退煤委员会”），该委员会成员涵盖了与退煤相关的广泛的利益相关方，旨在形成退煤的共识并推动相关转型（详见后文案例研究部分）
无功功率采购咨询	欧洲委员会在 2019 年 10 月发布了针对无功补偿服务采购咨询的正式报告。在此之前，德国经济与能源部发布了允许专业听众、协会、公司和相关组织和机构发表意见的咨询工作指南。这些意见将在决策过程中被评估和考虑。
电力市场设计咨询	德国经济与能源部在 2014 至 2015 年成立了针对未来电力市场的广泛意见征集委员会。该委员会的关注点是如何让电力市场辅助实现高比例可再生能源前提下，安全、成本收益高且适用环保要求的电力供应。

### 其他部委及政府机构的角色

<sup>17</sup> 德国联邦经济和气候保护部 (BMWK), 2022b, 德国能源转型的国际交流



其他涉及能源转型立法的相关部委包括德国联邦环保、自然资源保护、核能安全及消费者保护部（BMUV）、德国联邦数字化与交通部（BMDV）及德国联邦住宅、城市发展及建筑部（BMWSB）。其中德国联邦环境、自然保护、核安全和消费者保护部要负责自然及气候保护相关的事务并将这些政策贯彻到部分部门当中；德国联邦数字化与交通部主要负责交通部门的能源转型及数字化基础设施相关工作；德国联邦住宅、城市发展及建筑部主要负责起草住宅和城市发展相关的能源及气候相关法律。德国各部委之间的协调机制会根据最新的立法进展进行沟通，同时这些最新进展可能会促成现行法律的修改。

不同的政府机构在能源转型工作中发挥不同作用。每个机构为特定的政府提供支持，包括开展研究、提供定量和定性数据、提出政策建议并确保法律及支持性细则的实施和遵守。德国联邦网络局（BNetzA）、德国联邦经济事务与出口管理办公室（BaFa）和德国联邦环境署（UBA）是能源转型与气候保护最重要的部门。

德国联邦网络局是隶属于德国联邦经济和气候保护部的独立联邦级机构，其主要职责是在符合对相关部门的监管及保证网络接入的合法性（非犯罪性质的）的前提下，推动网络基础设施的良性竞争。德国联邦网络局在很多方面具有高度的独立性，例如为供应方和消费者解决接入电网遇到的障碍、或在新电厂接入电网时供电商转换过程的标准化处理。同时，德国联邦网络局也负责执行可再生能源发电及火电退出的相关拍卖和国家层面的高压及天然气网络发展及扩容计划的推进。德国联邦网络局同时也在德国政府相关政策的指引下核准输电和输气网相关费用。2021年底，在欧洲法院的指引下，德国政府必须为德国联邦网络局提供更多的自主性，特别是在缺乏政策指引或交

互的情况下设定网络费用的权限。这种在设置网络费用方面的高度自主性改革目前正在进行中。

德国联邦经济事务与出口管理局也是隶属于德国经济与气候保护部的机构，其主要职责是推动能源经济有效利用、未来可再生能源在建筑与供热部门使用的发展。德国联邦经济事务与出口管理局推动了一系列针对能效提升和推广电动汽车的支持性政策。

德国联邦环境署为德国联邦环保、自然资源保护、核能安全及消费者保护部的下设机构，其主要职责是计算温室气体排放的数据，以支持联邦政府的能源及气候计划和目标的制定与监测。另外，德国联邦环境署也对能源、自然保护和气候相关话题进行广泛研究。德国碳排放交易局（DEHSt）是德国能源环境署的下设机构，其主要职责是组织欧盟碳排放交易机制及德国国家层面碳排放交易计划的执行及对其成果的监测。

### 能源转型治理结构的成功案例：退煤委员会

将淘汰火电作为德国能源转型的一部分是极具争议的话题，尤其是对于会受影响的州。因此，德国联邦政府在2018年6月成立了针对经济发展、结构调整和就业委员会（“退煤委员会”）。参与该委员会的利益相关方包含来自德国联邦政府和德国议会的代表、受影响的联邦州及产煤地区的代表、工会、环保非政府组织和研究机构代表等，这些利益相关方旨在共同达成关于退煤的整体共识。退煤委员会制定了31项任务，并附有具体的退煤技术、立法、经济和社会影响分析（见表8）。

表 8: 退煤委员会的任务

发展能源转型计划和具体的德国褐煤矿区经济的展望。
明确平衡经济发展与气候行动的战略。
根据《气候行动计划》和德国在《巴黎协定》框架下的国际承诺，达成最终退煤路线图和时间表。
提出措施建议，确保德国在2030年实现能源部门温室气体排放比1990年减少61-62%的气候目标。
提出达成德国2020年气候目标的建议。

退煤委员会在2019年初形成了一份由独立的研究机构、咨询机构和非政府组织撰写报告，研究了退煤对能源系统、气候目标和社会的影响。这份报告在退煤的决策制定过程中起到了重要的辅助作用。退煤委员会最主要的成果包括：

- 确定德国在2038年前淘汰全部火电的时限，且分为2022年和2030年两个节点；
- 联邦政府向产煤州提供400亿欧元财政支持，以通过投资科技和教育实现对结构转型的支撑，并实现

当地经济的多元化、推动交通基础设施建设和当地的能源转型；

- 专项补贴，以保证电力价格维持在较低水平及退煤成本不会转嫁给消费者；
- 为火电厂运营商提供补贴。

2019 年至 2020 年间，退煤委员会的多项工作成果都被直接写入德国联邦层面的法律。在此期间，针对产煤地区经济结构转型的财政支持细则和补贴火电厂运营商的拍卖都得到了实施。

由于明确的要求、目标和独立性，退煤委员会实现了气候与发展的平衡，并被社会接受。这一机制将德国的能源转型目标和国际气候目标通过实际行动达成一致。同时，这一多利益相关方的协商机制将与火电相关的多元及两极化的诉求整合在同一具体的目标下，进而促成各方形成了都可以接受的结果<sup>18</sup>。

---

<sup>18</sup> 世界资源研究所 (WRI), 2021, 德国煤炭委员会: 指导包容性的煤炭淘汰 (Germany's "Coal Commission": Guiding an Inclusive Coal Phase-Out)

# 3 德国能源转型的具体实施：三个支柱

德国能源转型有三个支柱：能效提升、发展可再生能源和推进部门耦合。三个支柱虽各有特点，但需齐头并进以达成能源及气候目标<sup>19</sup>。

能效提升和发展可再生能源对德国达成其温室气体减排目标至关重要。能效提升主要通过降低化石能源在供热、交通及发电领域的占比，直接减少了温室气体排放量。其额外贡献在于能够通过限制化石能源，使整个能源系统向可再生能源主导转型，同时将增加相关地区对可再生能源设施或氢能及其他类似燃料的需求，从而减少能源供给的成本。

部门耦合主要指供热、交通及工业等不同部门之间的耦合和协作，通过电气化进程，部门之间的效率大大提升，也有助于降低一次能源和终端能源的消费。随着能源供给结构向当可再生能源为主转变，其他部门也可以更有效地利用零碳能源资源，从而实现整个经济体的气候中和。

## 3.1 化繁为简：能效作为能源转型的关键

### 能效提升的政策框架

本节的基础素材基于一份有关能效提升的深度报告，该报告由德国国际合作机构中国办公室<sup>20</sup>发布。在欧洲能源转型和气候政策框架下，能效提升扮演了非常重要的角色。德国国家层面的能效框架贯彻并补充了欧盟层面的战略和政策（图8）。电力系统通过从化石能源发电主导向可再生能源主导转型，该转型将有助于达成50%的一次能源消费降低目标值。与此同时，需求侧也需要持续降低能源消费，以便达成长期目标。



图 8: 欧盟及德国能效政策框架<sup>21</sup>，作者总结

19 德国联邦经济和能源部 (BMWi), 2019a, 能效战略 2050

20 德国弗劳恩霍夫系统与创新研究所和环境与社会综合研究中心 (Fraunhofer ISI and IREES GmbH), 2021, 德国的能效政策

21 德国联邦经济和气候保护部 (BMWK), 2022b, 德国能源转型的国际交流

德国政府致力于将德国塑造为“全球能效最高的经济体”，“通过不断提升能效，以更加有效和较低成本的方式达成能源转型和气候保护目标”<sup>22</sup>。整个政策框架包含以下几个方面：首先，能源方案和能效战略 2050 涵盖了国家层面的目标和针对能效的长期战略<sup>23</sup>。其次，总体的战略和目标通过第二版《国家能效行动方案》（NAPE 2.0）、能效路线图 2045 和针对各部门的战略，例如建筑能效战略等来实现。第三，相关实施方案也包涵了对相关政策和目标实施情况的监测和评估。

2019 年颁布的第二版《国家能效行动方案》是能效战略 2050 的重要部分<sup>24</sup>。该行动方案聚焦能源系统的需求侧，涵盖了建筑、工业、商业用户、交通和农业等所有相关部门。方案中的措施分为四个层次：向用户提供关于节约能源的信息和建议；通过税收鼓励能效方面的投资；强制大型企业开展能源审计；为新建设和建筑制定标准。第二版《国家能效行动方案》的目标是，到 2030 年，德国一次能源需求减少 300 太瓦时。

能效路线图 2045<sup>25</sup> 是德国联邦政府推进能效提升的核心对话平台。其目标是，通过邀请了来自工业、商业、社会、科学家及联邦政府的代表等利益相关方共同参与，制定出达成 2045 年降低一次能源需求的实施路径和具体措施。该平台的主要工作方式为全体会议、工作组会议和研讨会，以及针对某一专项或特定部门的会议。2021 年初，德国经济与能源部在能效路线图 2045 的对话平台基础上，发起了第二个对话机制：供热气候中和 2045。该对话机制将作为能效路线图 2045 的补充。

目前，德国也在对其能效框架进行审议修改。修改工作主要基于两个方面：一是欧盟相关政策的更新，特别是参考《欧洲绿色新政》及“减碳 55”中的内容；二是德国最新的能源与气候目标。随着能源系统中可再生能源比例的上升，政府需要提出更有针对性的能效指标。尤其是将能源需求降低的目标对象从一次能源变为终端能源。因此，能效路线图 2045 也将讨论是否将实现目标的首要指标从降低一次能源需求转变为降低终端能源需求<sup>26</sup>。

### 支持性专项、政策和工具

针对家庭、企业和政府等不同主体，德国出台了多项针对能效措施的财政支持专项。这些专项主要提供用于投

资的专项拨款或者低息贷款，总体来说可以分为四类：咨询支持、引导性支持、系统性支持和专项基金。

联邦能源和资源效率专项基金<sup>27</sup> 为工业部门和商业提供了拨款和优惠条件的贷款。专项基金的核心是协助公司提升其能源和资源效率，同时支持可再生能源供热的应用。该项基金主要支持 5 个领域的措施：（1）跨部门技术，例如热泵和电机；（2）可再生能源用于工艺供热；（3）测量和控制技术、传感器和能源管理软件；（4）工厂和工艺的能效提升；（5）转型与低碳方案。

2000 年以来，政府推出了市场激励专项计划用于支持供热系统的改造，该项资金规模每年超过 3 亿欧元。财政支持首先用于对现有建筑进行可再生能源技术利用相关改造。随着 2020 年《建筑能源法》（GEG）生效，市场激励专项计划被节能建筑联邦资助计划<sup>28</sup> 取代。该资助计划进一步支持建筑能效提升及可再生能源在建筑领域中应用，支持对象包含居住建筑、非居住建筑、新建筑和既有建筑改造，支持的措施包含建筑保温隔墙及可再生供热系统改造。这两个专项基金效果十分显著，不仅推动了能效提升措施的落地，同时也推动建立了高质量市场标准、最低能效要求技术标准 and 全面的高能效建筑建设标准。

居住建筑节能建议联邦资助用于支持向居住建筑的业主、业主委员会以及租户提供基于能效提升的建筑翻修建议和方案。该建议和方案由指定机构认证的能源顾问提供<sup>29</sup>，该计划的资助资金以补贴的形式发放给为房龄十年及以上的居住建筑提供节能咨询服务服务商，所提出的能效提升建议可作为投资决策依据。

早在 1992 年，《欧盟标签指令》强制要求，在销售某些家用电器时必须提供对比性能效标签。该标签是告知消费者，售价较低的家电可能由于高能耗而导致总费用更高。现行欧盟能效标签制度是基于能效指数制定的，该能效指数为单个产品相对于标准能耗的相对值。此后，于 1999 年生效的《欧盟生态设计指令》针对一系列电器规定了“强制性最低能效标准”。根据该标准，如果产品能效等级过低，通常将被禁止出售。每种商品允许出售的最低能效等级不尽相同，通常由产品本身的技术、经济和生态分析而决定。这两项计划都属于市场拉动措施，目的是在促进节能产品销售的同时，降低能效低下产品的市场份额。

22 德国联邦经济和能源部（BMWi），2019a，能效战略 2050  
23 德国联邦经济和能源部（BMWi），2019a，能效战略 2050  
24 德国联邦经济和能源部（BMWi），2019a，能效战略 2050  
25 德国联邦经济和气候保护部（BMWK），2022c，2045 年能源效率路线图  
26 德国联邦经济和能源部（BMWi），为 2045 年气候中和的未来提高能效——中期报告

27 德国联邦经济与出口管制局（BaFa），2022a，联邦资金用于提高经济中的能源和资源效率  
28 德国联邦经济与出口管制局（BaFa），2022b，为高效建筑提供联邦资金  
29 德国弗劳恩霍夫系统与创新研究所和环境与社会综合研究中心（Fraunhofer ISI and IREES GmbH），2021，德国的能效政策



能源审计是提升企业能效意识的最重要和有效的工具。根据 DIN EN 16247, 能效审计是“一个系统性检查和分析某一设施、建筑、系统或组织能源输入和消费情况的工具, 通过能效审计可以明晰能量流动和潜在能效提升点并作出报告”<sup>30</sup>。能效审计师对能效的评估能使被审计公司了解到他们的节能潜力和相应的潜在收益。被审计公司一般都是大中型公司, 且对其开展的能源审计一般是强制性的, 除非他们已经在运行能源或环保管理系统。被审计公司必须每 4 年进行一次能源审计。强制开展能源审计的公司如果没能在指定期限内完成能源审计, 将面临 50,000 欧元以下的罚款。对于《欧洲能效指令》中界定的中小企业, 德国政府将为他们的能源审计提供财政支持。德国中小企业可以在每两年申请一次能源审计的资金支持。

德国能源审计政策的实施卓有成效, 成功经验主要有以下几点: 能源审计工作列入了国家层面的能源保护法当中, 对大型企业开展强制能源审计(并辅以行政处罚的政策), 对中小型企业进行财政支持并推动企业主或高管将能源审计作为一项提升企业竞争力和减少能源成本的方式等。德国国际合作机构中国办公室拥有组织相关能源审计工作的经验, 同时在德国也发布过能源审计相关的专项报告。

能源管理系统(EMS)是一项旨在提升能效的工具, 能够对能效提升措施进行分析并且解决实施中可能出现的阻碍。能源管理系统通过在企业内部设立了一个系统组织并分配提升能效的职责, 以设定企业的能源消耗和能效提升目标。能源管理系统的基础, 是测量和分析企业正常运行情况下能源载体和能量流的情况(通过能源审计获得数据)。能源审计师将继续根据所掌握的数据确定能效提升的潜力。为成功引入能源管理系统并发挥其最大功能, 需要引入专业人才或寻求外部的专家指导。目前已有充分的措施来鼓励企业来引入能源管理系统, 这些激励措施包括持续性的针对能源和电税的返还机制和一项在《可再生能源法》下的税收补贴机制, 在此机制之下, 符合要求的能耗集中型企业可以减少电费中的部分附加税费。

企业能源数据获取及整合将带来两方面的收益。第一, 公司可以更及时完整地追踪企业的能耗数据并掌握整体能耗情况, 以便进一步提升能效并降低用能成本, 从而提升企业的竞争力。第二, 在政策层面上, 有建立全国、全行业或公司层面数据库以及数据基准标杆的潜在需求, 能源数据系统恰好能够满足其需求。成功建立能效标杆数据库可以帮助有关政策分析专家从行业和能耗的结构性变化层面分析, 从而制定出例如标准或支持方案等政策工具。

生态激励税是一项将外部性内生化的工具。在能源消费场景下, 外部性通常指由于燃烧化石能源所带来的环境污染及温室气体排放。能源使用税使得能源价格提升并且为节约能源和理性使用能源提供了经济激励。在德国, 能源税和电税相关法律根据能源载体和使用方式不同而设定了不同的税率。一些能够降低税率的案例包含降低工业或消费者不作为的行为或者推动使用污染少的能源载体或交通方式。可再生能源和特定的能耗强度高工艺也可免除部分特定税种。

### 能效提升成果: 仍需继续努力

自 1990 年以来, 德国终端能源需求降低了 12%, 而同期 GDP 提升了 46%。终端能源生产率在过去 30 年提升了 66%, 图 9 追踪了长期能源需求和能源生产率的发展状况。德国通过增加服务业在国民经济中的比重, 实现了经济结构优化, 进一步实现了 GDP 的增长。节能和能效提升在所有经济部门和私人家庭中推广, 也对经济增长有所贡献。德国的经济增长逐渐摆脱了对能源使用的依赖, 具体表现为 GDP 增长而能源消费降低。

但是, 现实中很多能效目标仍无法达成(对照图 2 和附录 2)。尽管能源消费在 2020 年新冠疫情期间有所下降, 但是一次能源消费与 2008 年相比只降低了 17.3%, 也就是说, 原有一次能源降低 20% 的目标并没有达成。在 2021 年, 一次能源消费增加, 与 2020 年设定的目标仍有 5% 的差距。终端能源生产率在过去十年中, 每年仅提高 1.4%, 也没有达成 2.1% 的目标值。尽管经济结构通过从原有的能耗集中型工业向服务业转型实现了优化, 且带来了稳定的增长, 但是通过能效措施实现的节能在整个经济体中仍低于预期。

基于前述实现 2020 年能效目标的挑战, 为了实现更具雄心的 2030 年和 2050 年中长期目标仍需更多努力。德国最新《气候保护法》当中更新了温室气体减排的目标, 同时能效的目标也需要相应更新<sup>32</sup>。

30 德国联邦经济与出口管理局(BaFa), 2020, 能源审计报告编制指南

31 德国联邦经济和气候保护部(BMWK), 2021, 能效数据

32 德国联邦经济和能源部(BMWi), 2021b, 2045 年实现气候中和的能源效率 — 中期报告

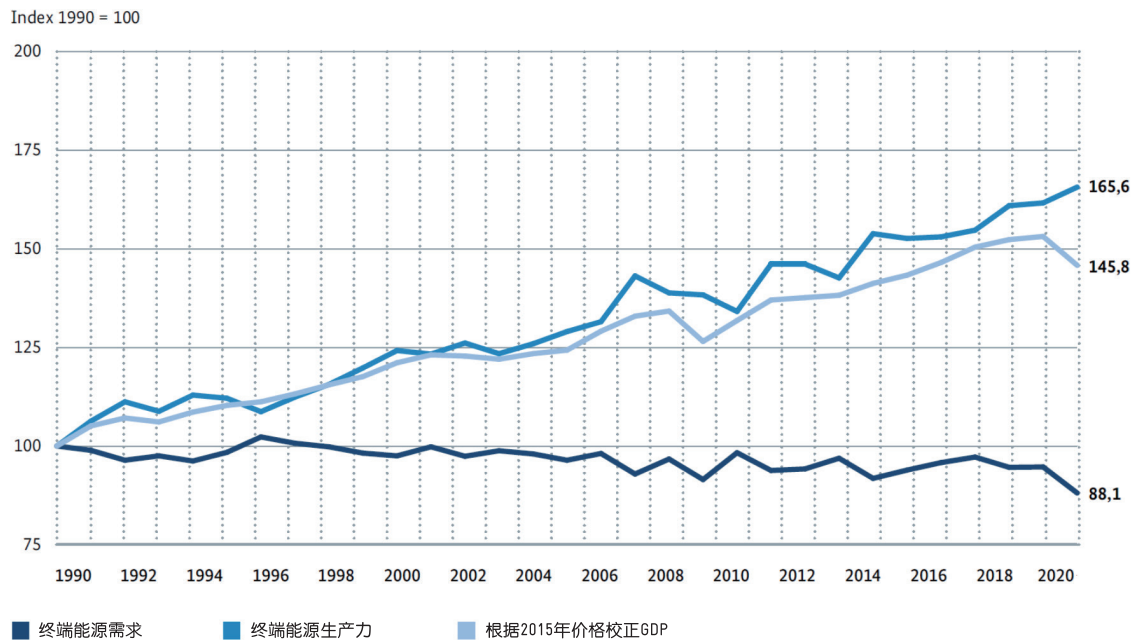


图 9: 德国终端能源需求及生产率<sup>31</sup>

## 3.2 供给转型：所有领域都需要发展可再生能源替代

### 可再生能源框架和政策

预计到本世纪中叶，可再生能源应该占据德国能源供给的多数份额。发展可再生能源是能源转型战略实施之初的焦点，尤其是对于电力部门。除了考虑欧盟层面战略，德国可再生能源政策框架是由其自身长期能源与气候目标所决定的（图 10）。

可再生能源的重要法规主要有针对电力部门的《可再生能源法》（EEG）、针对供热部门的《建筑能源法》（GEG）和针对交通部门的《温室气体减排配额体系》。

《可再生能源法》（EEG）于 2000 年正式生效，是德国进一步发展可再生能源的重要驱动力之一。该法案经过了多次修订，重点在于价格机制、市场环境及可再生能源发电融入电力市场的支持细则。一方面，通过维持电价及大幅价格补贴政策，推动了可再生能源供给（以风能、太阳能和生物质能为主）的发展，另一方面，通过对终端用户的补贴，也推动了可再生能源的需求。作为对逐步退坡的价格补贴的补充，优先上网权和采购保证作为替代措施继续推动可再生能源的使用。

对《可再生能源法》的历次修订中，以 2014 年、2017 年及 2022 年三次最为重要。2014 年的修订是为鼓励更多太阳能与风能所发电能接入电力市场，同时也启动了针对可再生能源示范拍卖的财政支持政策。2017 年，又通过补充条例对《可再生能源法》进行了再次更新，同时出台了大型光伏电站和风能机组的定期公开拍卖政策。根据该政策，新增小型可再生能源发电站（装机容量 750 千瓦以下）无需参与公开拍卖，仍会获得价格补贴。通过拍卖竞价，促使新的可再生能源设施成本降低且获得一定程度的财政补贴。2022 年，出于新一届德国联邦政府更具雄心的目标和减少对化石能源进口依赖的需求，《可再生能源法》进行了新一轮修订。

2017 年以来，海上风能不再作为《可再生能源法》中规定的可再生能源适用范围，而是由联邦政府单独制定了《海上风力发电法》管辖。这一法案规定，海上风能的项目应通过拍卖方式，保持在合理的成本收益区间，同时需考虑电网容量及向输配电转化的问题。海上风能设施的发展需要与海上输电线路协同发展。发电和输电设施的规划、建设和投入使用必须协同。

另一项德国国家层面的重要法律是《建筑能源法》。供热和供冷基本占到德国能源需求的一半，因而建筑领域的能效提升及可再生能源发展对德国整体能源转型有重要作用。该法案兼顾了建筑能效和建筑领域的可再生能源发展。在鼓励建筑可再生能源发展方面，该法案规定新建建

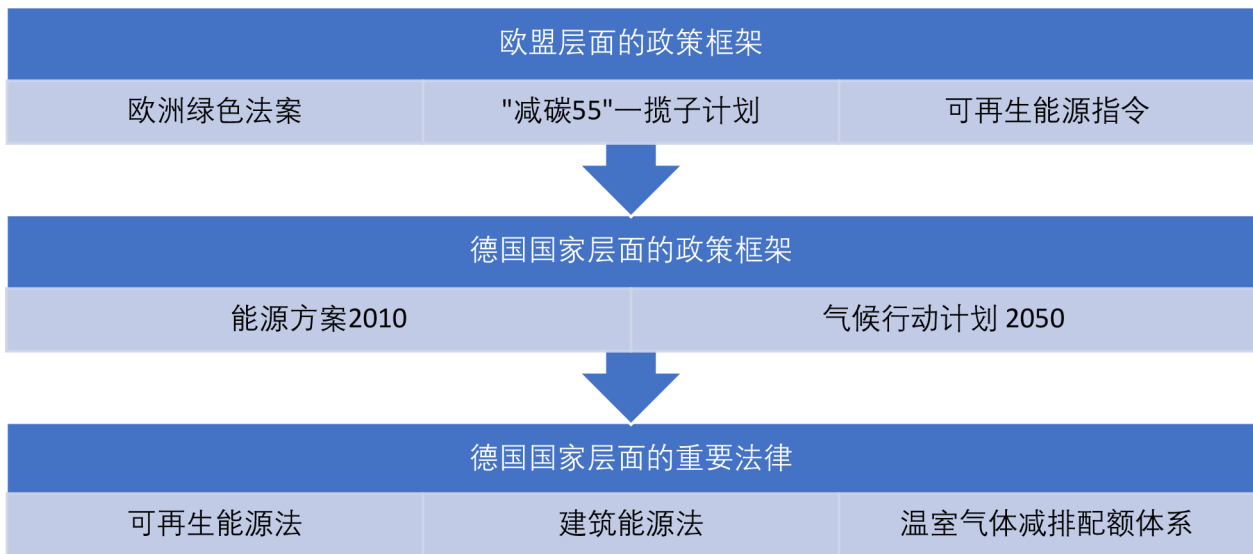


图 10: 德国可再生能源政策框架

建筑业主必须使用一定比例的可再生能源用于供热，但对业主选取的技术及设备不做硬性规定，例如既可以采用太阳能集热器，也可以使用热泵或燃木锅炉。在建筑能效提升方面，法案鼓励使用高质量的保温隔墙、集中供热系统或共发电系统技术。既有建筑业主也需要进行节能改造，并可申请相关财政支持。《建筑能源法》中还提到了对建筑能耗表现的要求，并规定了颁发用能等级证书<sup>33</sup>。新一届联邦政府的联合执政协议强调，2025年以后，所有新设供热系统中，可再生能源占至少应为65%。

德国交通部门可再生能源发展目标及法规都来自欧盟的《可再生能源指令》。为达到2020年交通部门能源消费10%为可再生能源的目标，德国政府在2015年推出了“温室气体减排配额计划”，该计划是一项基于市场的政策工具，规定了每年温室气体减排的百分比。除此之外，还规定了降低燃料温室气体的排放强度并要求交通部门提供燃料的公司被强制要求在他们的产品中降低温室气体的排放，但对解决方案不做硬性规定，例如将生物质或类似燃料投入市场、使用绿氢燃料或增加电动汽车使用者购买限额。

### 截止 2020 年以来可再生能源目标及成果

在2010年《能源方案》当中，德国政府设立了多个可再生能源目标，其中一些目标随着欧盟层面或德国国家层面能源转型总体目标的变动而持续更新。新一届联邦政府在联合执政协议中明确了德国政府再次提升了其发展可再生能源的宏伟计划，并再次修订了《可再生能源法》。新的国家层面目标，是2030年将可再生能源在电力部门中的比例提升至80%，同时在煤电完全退出后，实现温室气体中和的电力系统。新一届政府同时也为供热部门提出了清晰且富有雄心的可再生能源目标，该目标与欧盟《可再生能源指令》保持一致，即2030年在供热能源中，50%为可再生能源，并为实现气候中和实现提供基础<sup>34</sup>。

针对交通部门，德国可再生能源目标主要引用2012年欧盟的《可再生能源指令》，即在2020年，欧盟成员国可再生能源在交通部门能源消费中应占到10%，到2030年，该占比应达到14%。德国自身通过温室气体减排配额体系，将交通部门可再生能源占比目标设定为2026年到达14%，2030年达到32%<sup>35</sup>。表9总结了德国截止2020年的可再生能源目标及成果，结论是2020年，上述4项可再生能源目标完成了3项。

33 德国联邦内政和国土局 (BMI), 2020, 建筑能源法

34 德国联邦经济和气候保护部 (BMWK), 2022a, 德国气候行动现状

35 联邦政府, 2021, 减少燃料产生的二氧化碳排放

表 9: 德国可再生能源目标及成果概览

	2020	目标 2020	目标 2030	目标 2040	目标 2050
可再生能源在全社会终端能源消费中的占比	19.7 %	18 %	30 %	45 %	60 %
可再生能源在全社会电力消费中的占比	45.2 %	35 %	80 %*	气候中和 *	气候中和 *
可再生能源在供热和供冷部门终端能源消费中的占比	15.3 %	14 %	50 %*		
可再生能源在交通部门终端能源消费中的占比	7.6 %	10 %	32 %**		

\* 2022 年 7 月修订版《可再生能源法》及联合执政协议中的目标  
\*\* 交通及其他部门电力表示为了满足温室气体排放配额而部分计入 32% 的目标当中

尽管在新冠疫情之后，能源消费持续上升，同时风力发电发展放缓，但如下图 11 所示，2021 年多数可再生能源目标也达成了。图 11 也展示了过去几十年中，不同部门可再生能源的发展非常不平衡。电力部门可再生能源发展最快，其可再生能源占比从 2000 年的 6% 提升到了 2021 年的超过 40%，其中约一半为风能，太阳能和生物质能各贡献约 20%，剩余部分为水电。可再生能源在供热部门中的占比从 2000 年的 4% 提升到 2021 年的 16%，这一提升主要通过生物能，例如供热用的木料，贡献了超过 80%。

德国可再生能源领域最大的挑战来自于交通部门。交通部门可再生能源占比多年来一直低于 7%，主要原因是其推动可再生能源的两项主要措施成果低于预期：一是电动汽车推广速度较慢。二是生物燃料的推广不如预期。其中生物燃料的推广因为要求同时避免对粮食产量和国内耕地使用产生影响，实现难度较大。因而目前的主要措施是增加电动汽车比例（其充电用电需要来自于可再生能源发电）和更严格的温室气体减排限额措施。

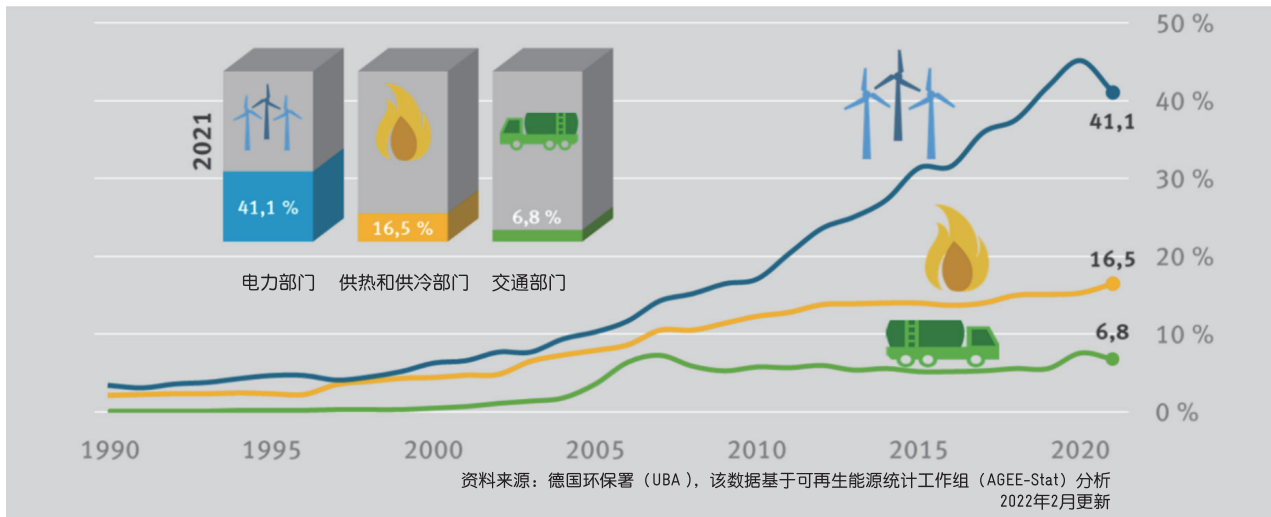


图 11: 截止 2021 年不同部门可再生能源占比<sup>36</sup>

36 联邦环境保护局 (UBA), 2022a, 可再生能源数据



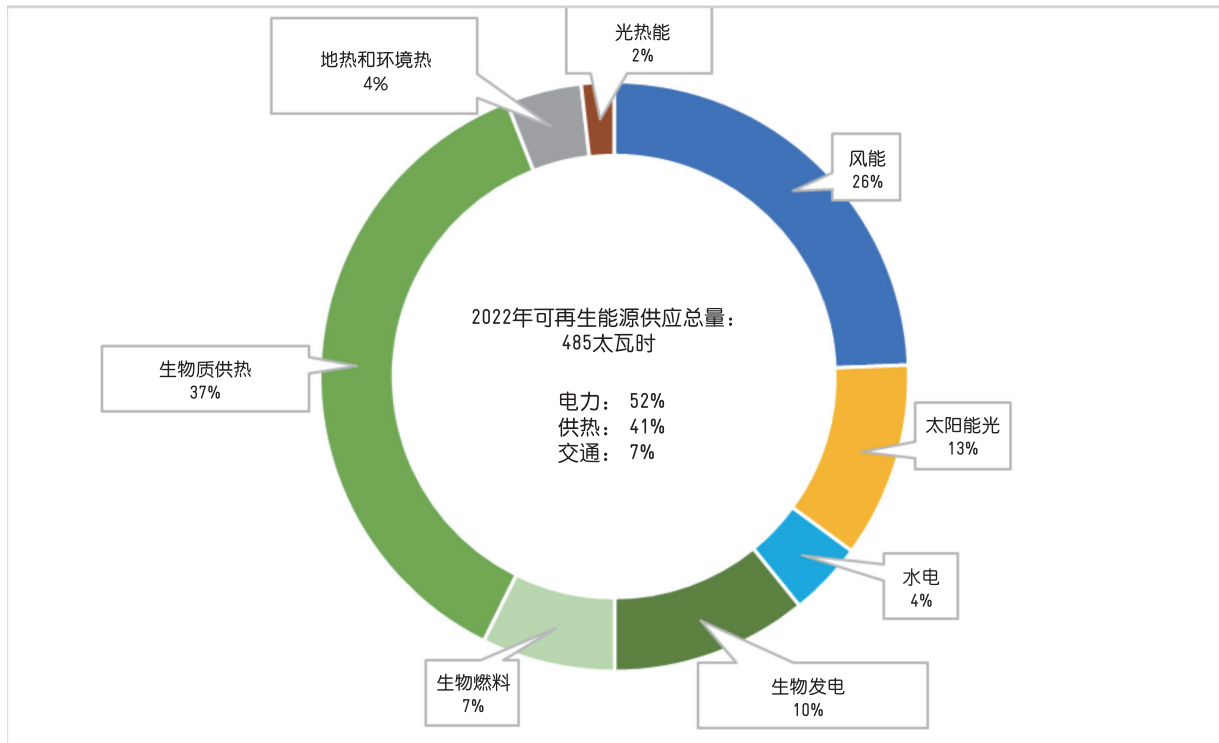


图 12: 2021 年德国可再生能源供应总量及构成分析

可再生能源的构成也值得注意。2021 年，德国可再生能源折合发电共计 467 太瓦时（图 12），其中，一半的可再生能源用于电力部门，43% 用于供热部门，只有 7% 用可再生能源的构成也值得注意。2021 年，德国可再生能源折合发电共计 467 太瓦时（图 12），其中，一半的可再生能源的构成也值得注意。2021 年，德国可再生能源折合发电共计 467 太瓦时（图 12），其中，一半的可再生能源用于电力部门，43% 用于供热部门，只有 7% 用于交通部门<sup>37</sup>。德国可再生能源构成的特殊之处，在于生物质能的广泛应用。2021 年，生物质能占德国可再生能源供应比重超过 50%，在电力部门和供热部门都有广泛应用。

### 3.3 灵活性及互联性：部门耦合助力低碳化

#### 部门耦合与能源转型

在能效提升和大力发展可再生能源之后，剩余的能源需求可由可再生能源发电来满足，这就需要综合性及更灵活的能源系统。在此系统之中，更多能源需求由电力满足，同时不同部门（例如供热和交通）可以通过部门之间的耦合，使得整体能源系统以更加可持续、经济性更强以及更智能的方式发展<sup>38</sup>。部门耦合需要将新的和现有的功能技术服务相结合，同时通过新建或改善能源基础设施、出台相关政策政策和运用市场机制，来推动不同部门之间的系统性连接。图 13 给出了在一个部门耦合的能源系统中技术和互联的案例。

37 德国联邦经济和气候保护部 (BMWK), 2022d, 2021 年德国可再生能源发展情况

38 德国联邦经济和能源部 (BMWi), 2021a, 未来的能源：第八次能源转型监测报告—2018 和 2019 报告年度

39 ENTSO-E (欧洲输电系统运营商网络), 2020, 面向 2030 年的市场设计和系统运行愿景

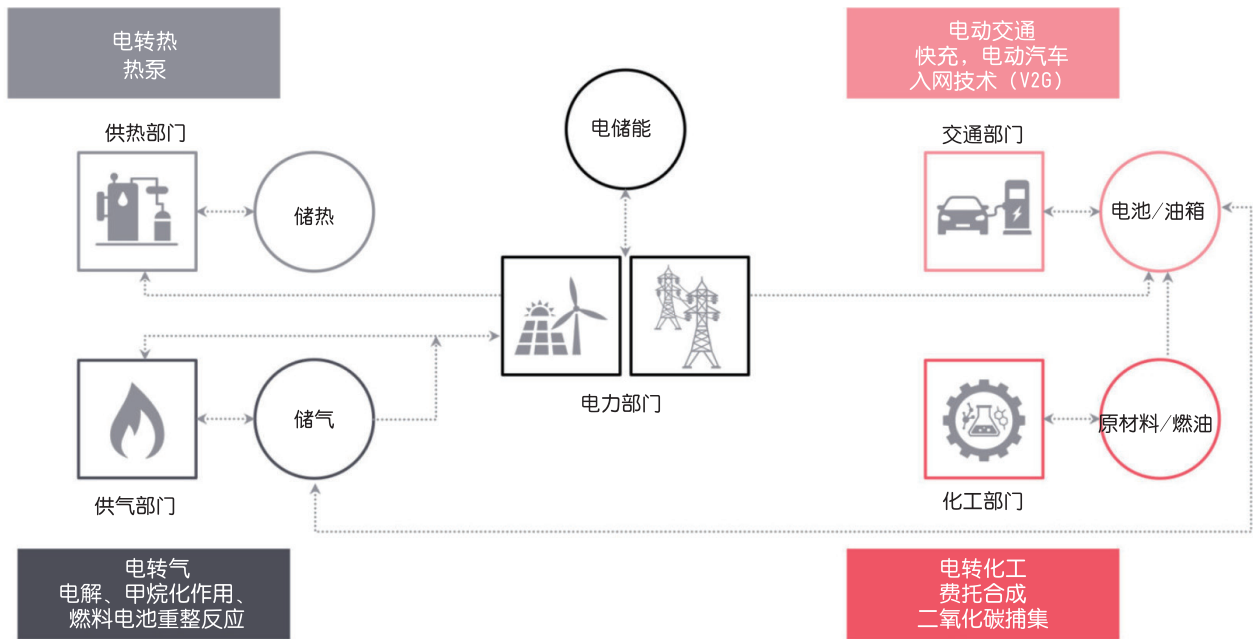


图 13: 电力和其他能源消费部门的部门耦合<sup>39</sup>

该案例显示了电力部门与交通、电力等其他部门的耦合。在建筑部门和供热部门，通过热泵满足室内供热及工业中低温工艺的热量需求。在交通部门，通过电动化以及更多融入由可再生能源的发电，能源使用变得更加高效，同时碳强度也会降低。部门耦合也允许富余可再生能源电力的综合利用。例如，电力-供热应用可以通过储能设施，用于后续的建筑供热。电动汽车电池可以作为临时储能系统，同时也可以通过智能充电算法实现削峰填谷。

生产氢能和其他类似燃料，并通过电力转天然气或 P-X 技术，也可将电储存到化学性质稳定的介质当中。这些绿色燃料可以被转回为电，并且保持电力系统平衡或用于工业工艺流程的去碳化或为电动汽车充电。然而，可再生能源生产的液态或其他燃料目前可能价格昂贵且供应短缺。其应用场景可能局限于难以直接转换的部门，如航空、航运等重型运输或生产基础材料如钢铁、水泥和化工行业（这些行业需要依赖高温加热，大量消耗能源强度高的燃料或较依赖原材料）。来自可再生能源中的氢和相似燃料用在其他部门显得过于浪费，同时需要更多去碳化应用。

在各个部门进行电气化的优势明显。首先，在工业部门和交通部门，电力相较于传统化石能源来说，其解决方案较为高效。其次，电气化同时减少了一次能源和终端能源消费。但是，电力需求将由于集中的部门耦合需求和现有工艺电气化度提升而增加。德国政府预计，2030 年，电力消费将从 2021 年的 550 太瓦时增加至 680 到 750 太瓦时之间<sup>40</sup>。

2015 年以来，为促进更多经济部门的电气化并推动电力部门与供热、交通或工业部门更好地耦合，更多电气化解决方案和技术加速涌现。由于部门耦合是整体能源转型的重要支柱之一，相关目标和政策法规在很多文件中都可以看到。表 10 总结了部门耦合的现状、部门耦合的最重要目标及一系列部门耦合解决方案的预期。

40 德国联邦经济和气候保护部 (BMWK), 2022a, 德国气候行动现状

41 联邦网络监管局 (BNetzA), 2022a, 2021 年监测报告

42 德国联邦经济与出口管制局 (BaFa), 2022b, 为高效建筑提供联邦资金

43 德国联邦经济和气候保护部 (BMWK), 2022d, 2021 年德国可再生能源的发展。

表 10: 部分德国部门耦合目标及成果概览

	2020	目标 2020	目标 2030
德国电动汽车上牌数 (百万辆) *	0.59**	1	15
公共充电桩数	36,500	50,000	100 万
建成热泵 (百万个)	1.3	没有目标	400-600 万 ***
建成电解器容量用于绿色电力	60 MW****	没有目标	10 吉瓦 *****
绿氢发电量 *****	3 兆瓦时 ****	没有目标	28 太瓦时 *****
<p>* 2020 年的目标将包括所有新能源汽车 (其中包含混动汽车), 2030 年的新目标只包含纯电动汽车。  ** 2020 年数据详解: 30.9 万辆纯电动汽车, 28 万辆插电混动式电动汽车和 100 辆燃料电池车。  *** 并不是官方正式的目标但是现政府的估计  **** 数据来自德国联邦网络署的监控报告<sup>41</sup>  ***** 联邦政府新设了一个 2030 年目标, 该目标值为之前目标值的两倍</p>			

### 建筑部门的部门耦合

正如之前在 [第 3 章](#) 前几节中所述, 部门耦合框架的大部分是关于建筑部门的, 尤其是针对供热和制冷的, 这也是能效战略 2050、能效路线图 2.0 和《建筑能源法》中的一部分。《建筑能源法》中提到通过热泵技术支持部门耦合的相关规定。热泵相关的财政支持由联邦能效建筑专项基金<sup>42</sup>提供, 另外, 其他的一些新的支持计划也正在制定当中。

2008 年以来, 德国热泵使用逐步增长, 这也得益于政府相应的财政支持。到 2021 年, 德国热泵使用增长了 30%, 约 150 万个热泵系统已投入使用, 通过热电联产的供热容量达到了 13.8 吉瓦, 同时满足了供热部门 18 太瓦时终端能源消费<sup>43</sup>。另外, 热泵同样被用于新建建筑中替代天然气或其他供热系统 (图 14)。新建居住建筑所使用的热泵将占到 2021 年热泵系统的 60%<sup>44</sup>。

44 联邦热泵协会, 2022, 数字和数据

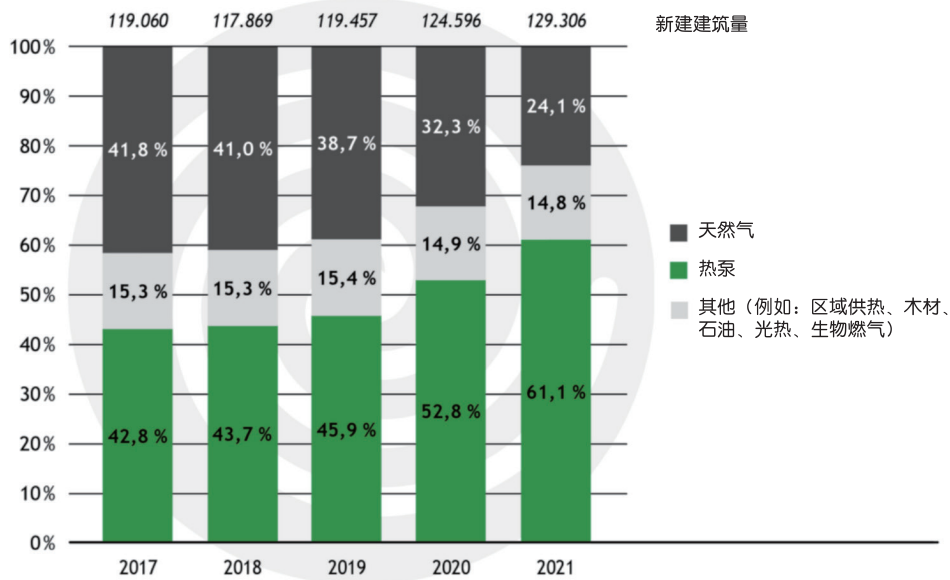


图 14: 德国用于新建居民建筑的供热系统市场份额<sup>45</sup>, 作者总结

### 交通部门的电气化和去碳化

2009 年实施的国家电动汽车发展计划与 2011 年实施的政府电动汽车专项计划共同构成了德国 2022 年成为电动汽车领域的领先市场的政策框架。2018 年，德国联邦政府推出了国家平台“出行未来”，该平台 6 个工作组撰写了出行特定领域的行动的推荐目录，如交通领域的气候保护、可持续出行规则、电芯生产、部门融合和标准化、命名和证书<sup>46</sup>。

为了保证电网基础设施满足电动汽车的增长，2019 年底颁布实施了充电设施总体规划。其中包含针对全国快速发展的充电桩设施建设的措施，目前的预计规划是满足 1000 万台电动汽车充电需求的充电桩及提升其用户体验<sup>47</sup>，另外特别涉及到目标基金、改善法律框架条件和积极协同联邦政府、联邦州、地方政府和产业之间机制等。德国联邦政府承诺将提供针对充电站的公共基金，以加速充电基础设施的扩展并以此增加消费者购买电动汽车的兴趣和促进购买意愿。

为了支持电动出行，德国政府在 2012 年修改了汽车购置税法案：在 2015 年底之前上牌的纯电动汽车，将在十年之内免除购置税，这一免税政策目前已拓展至 2025 年底前上牌的纯电动汽车范围。2015 年以来，通过《电动汽车法》，

德国建立了更加结构化的支持政策，该方案允许地方政府给予电动汽车支持，尤其优先支持公共交通领域的电动汽车，例如可以免费使用公共停车位。

能源奖励计划对于个人和企业电动汽车用户来说特别重要，该计划于 2016 年推出，包含对个人用户购买电动汽车的财政支持。自推出之后，该计划针对支持的范围和金额进行了多次修改。自新冠疫情爆发后，一项额外的支持项目创新奖励计划出台了。采购不同类型的电动汽车，合并两项奖励计划最多将获得汽车购置成本的 8 折优惠。

德国电动汽车进入快速增长阶段的进程较慢，但随着政府大力支持，越来越多的品牌推出了多款电动汽车，从而也引发了 2018 年以来电动汽车的强劲增长（图 15）。

45 德国联邦热泵协会 (Bundesverband Wärmepumpe e.V.), 2022, 数字和数据

46 国家未来移动平台 (NPM National Platform Future of Mobility), 2022, 国家未来移动平台

47 联邦政府, 2019, 充电基础设施总体规划

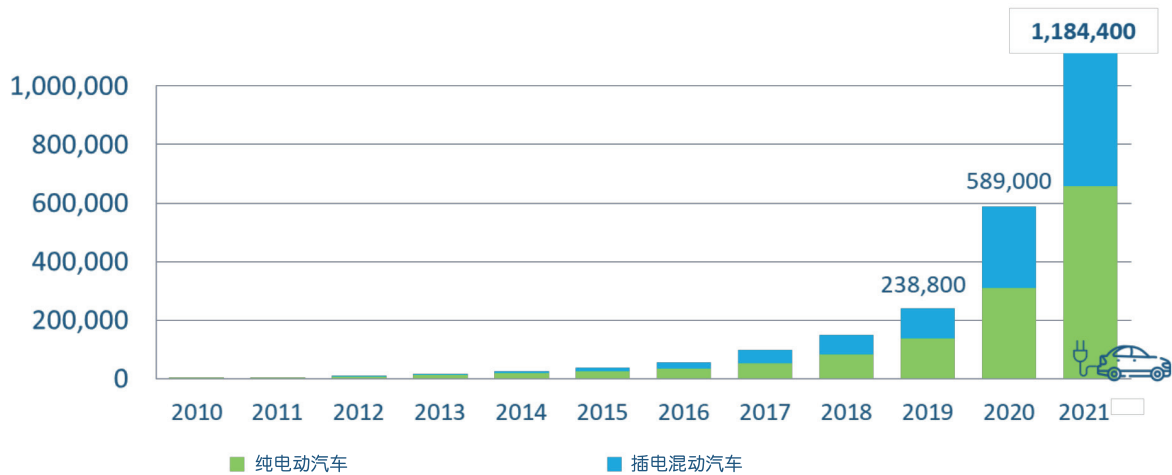


图 15: 德国各年电动汽车上牌数 (统计截止当年年底)<sup>48</sup>, 作者总结

2021 年底德国电动汽车的数量增长到 62 万辆, 占到德国乘用车总量的 2.6%。自 2020 年以来, 插电混动汽车和纯电动汽车月度上牌增长都达到了 25%<sup>49</sup>。2020 年达到 100 万辆电动汽车的目标在 2021 年 7 月底实现, 略晚于目标时间。到 2022 年 4 月, 超过 6 万个公共充电站已经在德国联邦网络局<sup>50</sup>注册。

### 通过部门耦合实现工业去碳化

工业工艺过程和价值链企业排放的温室气体占到了德国温室气体排放总量的 20%, 是德国温室气体排放最多的部门。由于许多行业部门其工艺本身特性决定了能源强度高、工艺相关的排放较多, 那些以向气候中和转型为目标的工业部门正在面临更多挑战, 尽管德国 75% 的工业温室气体排放都可以追溯到由于生产能源所使用化石能源, 但工艺相关的温室气体排放仍占 1/4。工业脱碳的关键在于通过部门耦合实现电气化, 提升工艺效率和化石能源替代。能源相关的排放可以通过在低、中、高三种不同温度应用场景下使用可再生能源发电或相似能源发电替代化石能源发电减少, 从而实现脱碳。而在金属冶炼、矿业及基础化工工艺中的排放就很难解决了。绿氢及其衍生物可能替代化石氢或焦煤和替代性生产过程, 新技术及碳捕集利用和存储解决方案可以降低工艺相关的排放。

作为对欧盟碳排放体系的补充, 针对欧盟及德国国家层面的工业退出专项计划陆续出台, 这些计划主要考虑如何激励工业企业实施低碳强度的生产工艺, 其中有德国经

济与气候部支持的“工业去碳化”项目, 主要支持能源强度高的工业企业大幅度或永久性减少工艺相关的温室气体排放, 为了降低这部分的温室气体排放, 现有的措施还不够, 因此该计划是针对新的研发、测试和示范进行资金支持以及对创新性气候保护技术进行投资。该专项基金不仅针对钢铁、化工、水泥、石灰和有色金属行业, 还有其他能源强度高的部门。由于在基础原材料加工工业, 生产设备的使用寿命周期较长, 因此在投资初期就需要考虑去碳化方案。高能耗部门气候减缓计划能力中心 (KEI) 向德国工业企业提供减缓温室气体排放的支持<sup>51</sup>。

### 补充: 前沿的绿氢市场及基础设施

部门耦合的一项重要基石是绿氢。自 2020 年以来, 德国批准了国家氢能战略 (比对表 11), 标志着关于氢能的框架的全面形成。绿氢生产及基础设施的发展由不同的政府专项计划支持, 涵盖了从基础研究资金支持到大规模工业应用的财政支持<sup>52</sup>。

48 德国联邦经济和气候保护部 (BMWK), 2022b, 德国能源转型的国际交流

49 Electrive, 2022, 2021 年德国电动汽车保有量翻一番

50 联邦网络监管局 (BnetzA), 2022b, 电动汽车: 公共充电基础设施

51 知识生态国际组织 (KEI), 2022, 工业领域的气候行动

52 联邦政府, 2020, 国家氢能战略

表 11: 国家氢能计划概要

氢能需求	2030 年预计需求将达到 90 至 110 太瓦时 2050 年预计需求将达到 110 至 380 太瓦时
绿氢发电	2030 年电解槽装机容量达到 10 吉瓦 2030 年绿氢发电将达到 28 太瓦时
国内发电及进口	截止 2030 年，绿氢需求主要用于国内发电及建成围绕绿氢的工业生态系统 长期需求主要通过从其他国家进口绿氢及其衍生物满足

绿氢增长的主要阻碍来自于前期投资和培育市场的巨大投资。为了加速国内绿氢及 P-X 市场尽快达到工业级别，2021 年推出了 H2 全球计划用于支持该领域的创新。该计划包含供给侧的长期购买合约及需求侧的短期销售合约。供给及需求合约间的差额由德国政府承担。通过这一拍卖机制，可以推动 P-X 市场尽快高效发展<sup>53</sup>。

目前，德国有 35 家绿氢和相似燃料生产厂<sup>54</sup>，另有总计 2 吉瓦电解器装机容量的 60 多个项目正在规划当中<sup>55</sup>。天然气网络运营商在考虑未来的天然气基础设施时，不断将氢能的需求和供给纳入考量。他们制定了一项氢能输送管线计划，将在德国国内建成超过 1700 公里的氢能管线，该管线将用于输送化工和钢铁行业所进口的氢能和用于德国国内发电的氢能（见附录 5）。

53 基金 (H2Global), 2022, H2 全球机制

54 德国燃气与供水工业技术和科学协会 (DVGW), 2022, 电转燃气

55 化学技术, 2022, 德国最重要的氢能项目



# 4 实现成功的能源转型： 供应安全、可负担性和可持续性

能源转型的三大目标为：为社会提供高度安全的能源供给、保证能源供给的经济性和可负担性以及保证能源供给与环境、可持续发展和气候中和目标相符。这三个目标是指导德国用可再生能源替代能源系统中的化石能源，及提升能效实现能源转型的原则，也是形成能源转型战略和政策框架的基础，还是能源转型诸多具体措施的前提。这三个目标的实现也决定了能源转型的成功与否。

## 4.1 通过能源转型提升供应安全

高水平的能源供应安全是指德国在彻底淘汰核能和火电之后，仍可以有效并全天候安全地满足其能源需求。德国针对能源安全采取的具体措施包括：减少对化石能源进口的依赖，提升可再生能源在能源系统中的占比，以及拓展欧盟成员国之间的电力互联及未来的天然气供应互联。

### 能源安全及进口依赖

能源供给的安全性对于任何经济体都至关重要，它为工业、企业及家庭提供了稳定性和信心，并将能源的价格保持在具有竞争力的水平上。俄乌战争凸显了能源部门在地缘政治事件发生时的脆弱性，对进口依赖的负面影响可能覆盖能源转型的各个方面：能源变得不可负担、不再可持续及供给安全性低。由于国际能源市场的天然属性，这些影响都是全球性的。

对于少数几个供应商的高度依赖可能给一国能源安全带来威胁。通过俄乌战争的教训，欧盟和德国的首要任务之一是多元化其能源供应来源并彻底切断对俄罗斯的能源进口依赖。俄乌战争爆发后，欧洲立即启动了十几个液化天然气进口终端项目<sup>56</sup>。

德国多数的石油、天然气和硬煤需求依赖于进口。自2022年3月至5月以来，德国大幅减少了对俄罗斯能源进口的依赖（表12）。为了尽快多元化其天然气进口渠道，液态天然气进口终端——4个漂浮储存和重注气装置和3个陆地终端都投入了建设。2022年底至2025年，德国天然气进口量将等同于俄罗斯天然气的供应<sup>57</sup>。

表 12: 德国进口俄罗斯化石能源的比重：过去、现在及未来目标

	2020/2021	2022年5月	2024年目标
硬煤	50 %	8 %	0 %
石油	35 %	12 %	0 %
天然气	55 %	35 %	10 %

除了尽早停止从俄罗斯进口化石能源，德国还决定加速能源转型并推进相关目标（对比第3章和附录2的目标）。长期来看，德国国内可再生能源和从不同供应国进口的绿氢将完全替代化石能源进口。更重要的是，德国和欧盟层面面向可再生能源占主导的能源系统转型，能够缓解对化石能源进口依赖减少和能源安全挑战加剧所带来的压力。

### 电力系统的能源供应安全

能源安全供应的第二个方面是当电力系统中可再生能源占比提高后，仍可保持电力系统平衡。可再生能源波动较大，如风能和太阳能发电量并不稳定，但合理的电力市场机制和政策框架的设计能使这种波动变得可预测并让可再生能源合理接入电力系统。将可再生能源安装在更大的区域内，也会减小发电的波动性，从而降低整个电力系统的风险。目前在确保系统安全的前提下，德国电力系统中已融入超过40%的波动性可再生能源。德国国际合作机构(GIZ)专门发布过德国电力系统在可再生能源高占比情况下的供应安全分析报告。德国的电力系统兼顾市场机制和政策引导，成功实现了可再生能源接入，例如：

- 自由电力市场中的平衡机组机制；
- 领先的和持续优化的天气和可再生能源发电预测模型；
- 通过在电力现货市场出售可再生能源发电量达到市场融合；
- 将可再生能源融入重新调配机制，以缓解电网拥堵
- 保留火电厂在特定需要的条件下可以重启。

<sup>56</sup> 国际燃气联盟 (IGU), 2022, 2022 年全球天然气报告

<sup>57</sup> 德国联邦经济和气候保护部 (BMWK), 2022e, 第二次能源安全进展报告

衡量能源供需安全的一项基本指标是系统平均停电持续时间指数（SAIDI），该指数计算了在一个自然年内，平均每次在终端用户端断电的持续时间。即便是将不稳定可再生能源的发电比例提升到电力系统的40%以上，德国

的系统平均停电持续时间指数在相当长的一段时间内依然维持在国际最领先水平（表16）。德国平均终端用户断电时长在过去十年中持续下降，目前该指数仅为2006年的一半<sup>58</sup>。

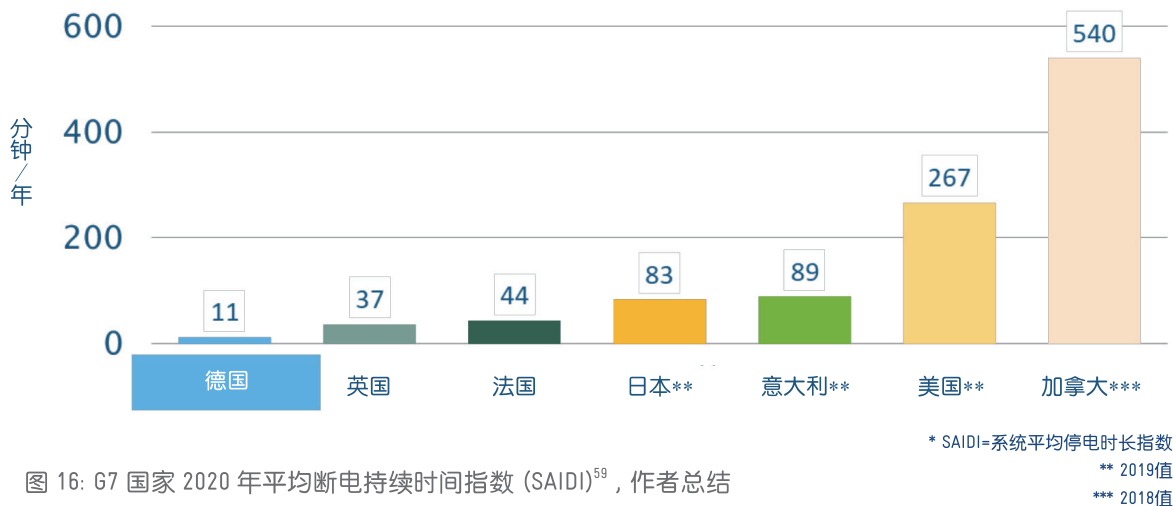


图 16: G7 国家 2020 年平均断电持续时间指数 (SAIDI)<sup>59</sup>，作者总结

### 延伸阅读：德国电力系统如何在能源转型中仍能保持高度安全？

根据《能源经济法》（EnWG），德国经济和气候保护部每两年都必须提交电力供应系统安全现状及发展报告。该报告以电力需求能通过发电和配电被满足为保障能源供应安全的标准，并以此衡量能源供应安全。电力系统的能源供应安全主要由以下因素决定：

- 现有的发电（以及储电）容量，包含可变和可以调节的；
- 国家电网现状及其扩容可能性；
- 德国电网与欧洲其他国家电网的互联性。

可调节的发电容量（化石能源和核能）在过去几年中只是略有减少，2021 年达到了 100 吉瓦，同时来自可再生能源的发电容量提升到约 140 吉瓦。由于德国在 2023 年已经全面退出了核电，因而可调节的容量在未来几年会继续减少。未来 15 年，火电也将以一种可预期的、保持社会平稳和经济性的方式全面退出。当核电和煤电完全退出后，应优先考虑建新的燃气电厂以弥补发电容量的损失。燃气发电厂的建设要为未来使用氢能做准备。除此之外，德国还采取了一些措施用来保证可调节发电厂在特定情况下的启用。这些电厂的发电容量在 8-10 吉瓦并可以随时上网，并在容量短缺时候发电。德国经济与气候保护部最近一期

的监测报告显示，德国电力供应安全已经达标，并且在未来也会达标<sup>60</sup>。

为了适应更多可再生能源上网，德国对输电及配电网都进行了扩建（图 17），这也使德国南部的能源消费中心与德国北部的可再生能源发电中心之间能够更好地互联。除了将现有的交流电网升级并延长了几千公里，5 个高压直流输电线也在规划和建设中。这些输电线从德国北部贯穿至南部，同时也将北海和波罗的海的海上风电设施发电接入其中。这些高压直流输电线将从 2027 至 2030 年开始运行，总输电容量将达到 10 吉瓦，主要输电线路均为地下输电线。

58 联邦网络监管局 (BnetzA), 2022a, 2021 年监测报告

59 德国联邦经济和气候保护部 (BMWK), 2022b, 德国能源转型的国际交流

60 德国联邦经济和能源部 (BMWi), 2019b, 电网供电安全监测报告





图 17: 德国的电网扩展项目<sup>61</sup>

德国是欧洲电网互联的中心枢纽，欧盟内多数国家都与德国通过物理输电网和欧洲电力市场连接。电力的跨境交易降低了欧洲电力成本，实现了多数国家和地区之间的电力平衡和间歇性的风能和太阳能发电在邻国之间的持续交换。德国与其他国家的跨境交易容量达到了 20 吉瓦以上。当可再生能源发电量多的时候，德国出口电；当可再生能源发电低的时候，德国进口电。在过去 10 年中，德国每年出口的电量约占德国电力消费的 5%-10%。为了引导政策制定者更好地融入欧洲电力市场，欧洲输电网系统运营组织（ENTSO-E）在每十年开始发布“十年网络发展计划”（TYNDP），在最近发布的计划中，该组织声明欧盟国家之间的跨境输电容量缺口为 50 吉瓦，其中 10 吉瓦的输电容量缺口将在 2030 年前由德国和其他国家之间新建的输电线满足，国家间互联性的增加也保证了电网功能和电力供应安全<sup>62</sup>。

德国电力供应安全程度较高，且计划在未来仍然保持高水平。尽管更多现有的火电调节容量将消失，但是来自于使用氢的燃气电厂将弥补这一容量缺失。且德国国内的电网扩建和增加与欧洲其他国家电网互联是保证未来电力供应安全的重要前提。

## 4.2 能源转型的经济性和可负担性

保证德国的全球竞争力和终端用户对能源的可负担性的能源转型才能得到社会面的支持。能源转型的成本计算

非常复杂，要从多个角度考虑并进行综合分析。比如，在成本 - 收益分析中需要考虑到由于化石能源价格上涨所导致的投资成本的增加，还要考虑包括对经济和就业增长、化石能源进口成本、补贴、及可再生能源成本的下降等能源转型相关的宏观经济影响并进行全面的经济性分析。

### 能源转型的宏观经济收益

拉动投资、促进经济增长和就业也是可负担的能源转型的目标。能源转型相关技术出口是德国服务贸易（出口）的重要组成部分。德国的多个工业产品如内燃机汽车、机械工程、电子电器和化工产品都可以满足国际市场对可再生能源和能效提升解决方案的需求。德国能源相关的出口在 2018 年提升了近 10%，约 1200 亿欧元。

2022 年，德国用于可再生能源发电设施建设的投资约 200 亿欧元。该投资额继 2018 年和 2019 年回落后再度增长，但目前的投资额与 2008-2012 年间（图 18）相比仍有所减少，原因是可再生能源的成本持续下降和 2018-2020 年间新增可再生能源额外性降低。除了投资可再生能源设施，德国每年仍有 100 亿欧元投资用于电网的扩建和现代化改造<sup>63</sup>。除了电力部门的投资，能源转型的其他投资领域也在持续增长，包括建筑能效提升、供热和交通领域的投资等。自 2010 年以来，用于既有建筑能效提升的改建投资提升了 25%，在 2019 年达到了 460 亿欧元。

61 德国联邦经济和气候保护部 (BMWK), 2022b, 德国能源转型的国际交流

62 欧洲互联电网 (ENTSO-E), 2021, 完成地图: 2030 年和 2040 年的电力系统需求

63 联邦网络监管局 (BnetzA), 2022a, 2021 年监测报告

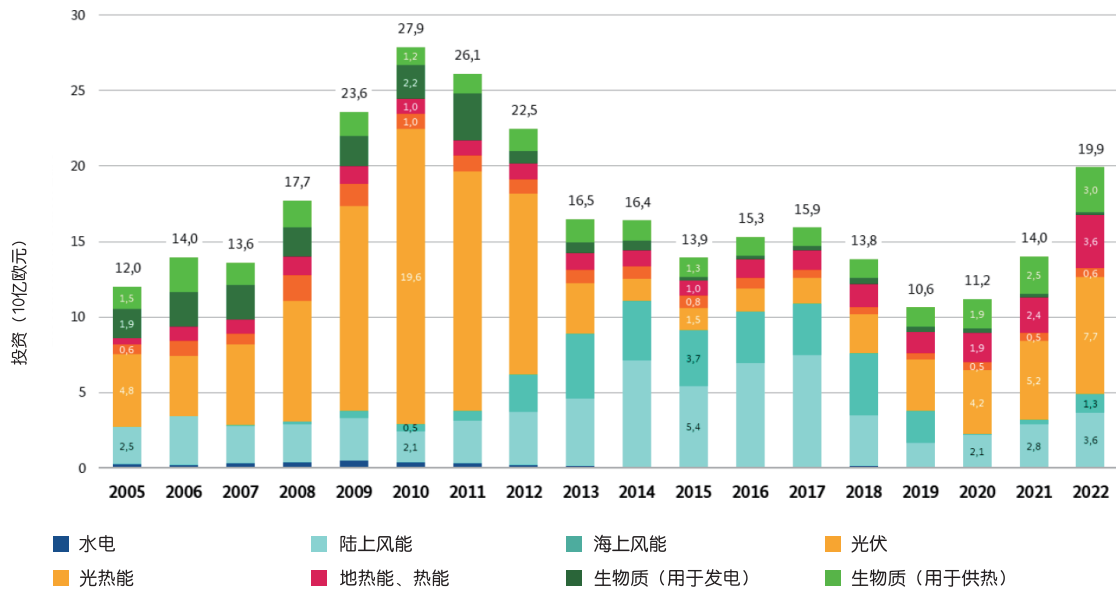


图 18: 德国可再生能源设施投资发展<sup>64</sup>

64

能源转型带来的其他宏观经济影响还包括保障现有就业和新增大量就业岗位。2018年，德国传统能源行业（发电、输电、配电、交易、矿业和炼油行业）从业人数大约为27万人，相比之下，目前有30万人在可再生能源相关行业工作，另外在能源转型领域还新增了54万个岗位<sup>65</sup>。

仅2018年一年，受益于化石能源的进口量减少，可再生能源和能效提升的相应措施就为德国节约了246亿欧元，金额相当于《可再生能源法》项下对可再生能源的价格补贴或市场溢价的财政支持。若全球化石能源价格持续增高，节约的金额将更高。

### 可再生能源成本的降低

全球可再生能源的快速发展引发了对可再生能源技术需求的增长，同时可再生能源设备的生产成本和风电光伏项目开发周期的成本都有所降低，对发电设施的价格补贴也逐步减少。同时，随着2014年到2017年《可再生能源法》中拍卖机制的推出，可再生能源电厂项目开发者之间的良性竞争也使得成本进一步降低。

以大规模地面光伏系统为例，平均的资金支持降低了近50%，也就是说，在近三年之内，资金支持从2015年的每千瓦时9欧分降低到了不足每千瓦时5欧分。在2022年上半年，地面光伏系统的平均资金支持回升到了每千瓦时5欧分以上。对于风能来说，最大的资金支持也由于引

入公共拍卖制度而降低了。对于陆地风能来说，2021年和2022年近期的公共竞拍价格都在每千瓦时6欧分以下，而海上风能竞价为每千瓦时0至4.6欧分<sup>66</sup>。

### 能源和电力价格的发展趋势

与其他欧盟国家相比，德国家庭能源消费占家庭总消费比重较低。在欧盟国家由低到高的排序中，排在前三分之一<sup>67</sup>。德国家庭平均年度能源消费在过去10年中基本保持稳定。能源消费在家庭总消费的占比一直在10%以下<sup>68</sup>。

从2007年至2020年，德国家庭电价从约20欧分/度增长到了30欧分/度。这主要是因为电网费用和《可再生能源法》规定的附加费。《可再生能源法》的附加费用覆盖了对可再生能源发电的价格补贴和市场溢价的财政支出。由于德国电网中的可再生能源不断增加，附加费也随之增加。随着可再生能源价格降低，且将不再补贴之前成本较高的可再生能源发电，相应价格补贴和市场溢价也会逐渐降低。

特定高能耗的工业和企业将获得电价构成中部分或全额的减免优惠，例如减免电价税、电网税或者可再生能源附加费。根据不同的行业及实际的减免额度，此类用户的用电价格会不同程度地低于家庭用电价格（图19）。这也使得德国的工业在全球市场上保持了竞争力。

64 德国联邦经济和气候保护部 (BMWK), 2022d, 2021年德国可再生能源发展情况

65 德国联邦经济和气候保护部 (BMWK), 2021, 能效数据

66 联邦网络监管局 (BNetzA), 2022c, 能源效率路线图 2045

67 欧盟委员会, 委员会工作人员工作文件: 欧洲的能源价格和成本

68 德国联邦经济和能源部 (BMWi), 2021a, 未来的能源: 第八次能源转型监测报告—2018和2019报告年度

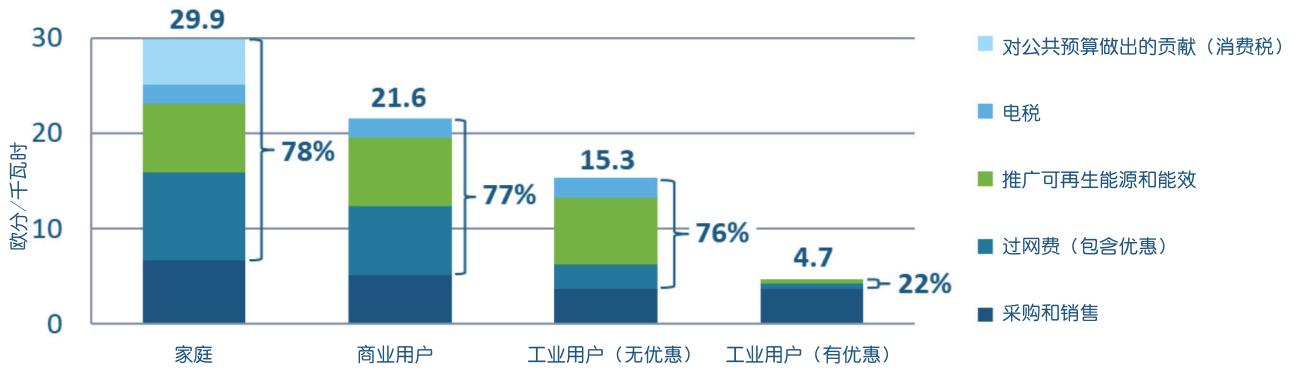


图 19: 2018 年德国不同用户电力价格构成<sup>69</sup>

可再生能源附加费增加了部分终端用户的电价成本，但是随着可再生能源发电比重的增加，电力市场现货价格有所回落。因此，在过去十年中，电力市场现货价格加上可再生能源附加费的总额基本保持稳定。但是，自 2021 年化石能源的价格快速上升后，电力现货市场价格也随之上升（图 20）。为了减少电力消费者的负担，政府决定通过

能源与气候专项资金和 2022 年 7 月后的政府预算来由负担全部可再生能源附加费，该费用的规模约为 200 至 250 亿欧元每年。电力消费者每度电能够节省 6.5 欧分，减少 20%。能源与气候专项资金每年从欧盟及国家碳排放交易中获得 120 亿欧元资金。

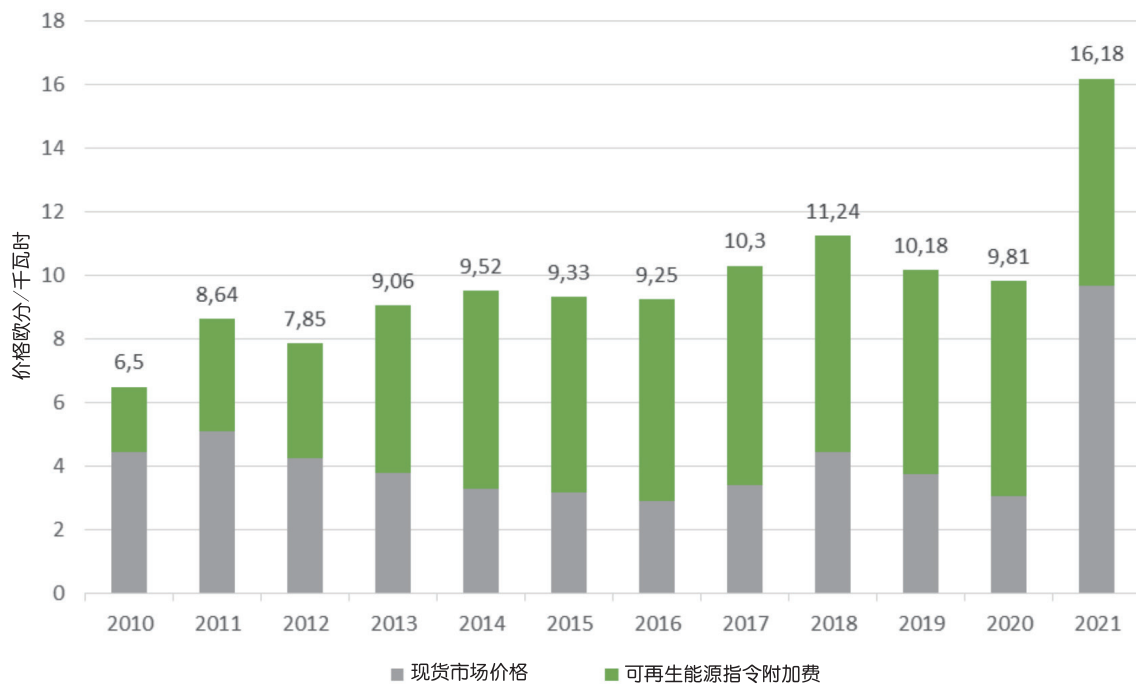


图 20: 德国电力市场现货价格与可再生能源附加费之和的发展

69 德国联邦经济和气候保护部 (BMWK), 2022b, 德国能源转型的国际交流

化石能源价格增长导致的电力市场现货价格增长对可再生能源发展起着促进作用。可再生能源的发电企业可以通过在现货市场出售电量获得更多的受益，以此来收回投资的绝大部分或全部。因此现货电价的增长能在政府不提供额外补贴的情况下激励光伏风电设施的建设。

### 4.3 降低碳排放

能源供应必须与环境、气候及自然相协调，这一原则应贯穿到所有技术、应用及其相应基础设施的全生命周期当中。能源转型能降低温室气体及其他空气污染物的排放。能源转型的成功与否和达成环境和气候目标息息相关（参考附录2）。

#### 避免温室气体排放

截至2022年德国的温室气体与1990年相比减少了40%，约5亿吨排放，这主要是通过发展可再生能源、提升能效和改变德国的经济结构。在总的温室气体减排中，一半的减排来自能效提升和向服务业导向的经济结构转型，而另一半来自可再生能源发展。自1990年以来，通过发展可再生能源，减少了约2亿吨温室气体排放（图21）。

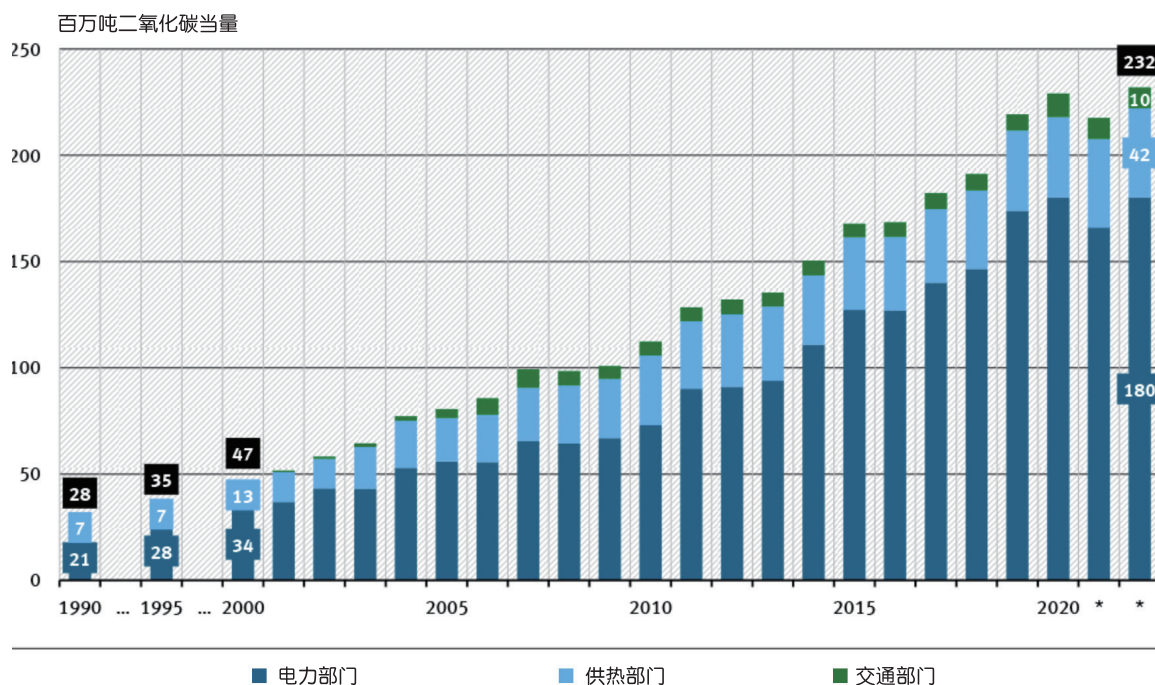


图 21: 德国通过可再生能源降低温室气体排放<sup>70</sup>

电力、供热和交通是使用可再生能源的主要领域，电力是使用可再生能源的主力。电力行业使用可再生能源实现的温室气体减排占使用可再生能源总减排量的75%，供热使用可再生能源产生的减排占可再生能源产生的总减排的20%，剩余的比例来自于交通部门对于生物质能和电力的使用。2020年，德国的风能在可再生能源中占比最高为43%，随后是生物质能，占33%。在供热部门直接使用可再生能源的比重增加，同时通过部门耦合的可再生能源电力也降低了化石能源的一次能源消费。

#### 减少空气污染

能源转型旨在减少温室气体排放，但会因减少化石能源的燃烧产生降低其他空气污染物的协同效应。化石燃料燃烧产生的氧化亚氮、二氧化硫、汞或颗粒物的排放都由于能源转型而显著减少。此外，德国本就严格的环境保护规定和措施，让其传统污染物的排放比1990年有了明显下降，如图22所示。

70 联邦环境保护局 (UBA), 2022b, 指标: 可再生能源避免的温室气体排放



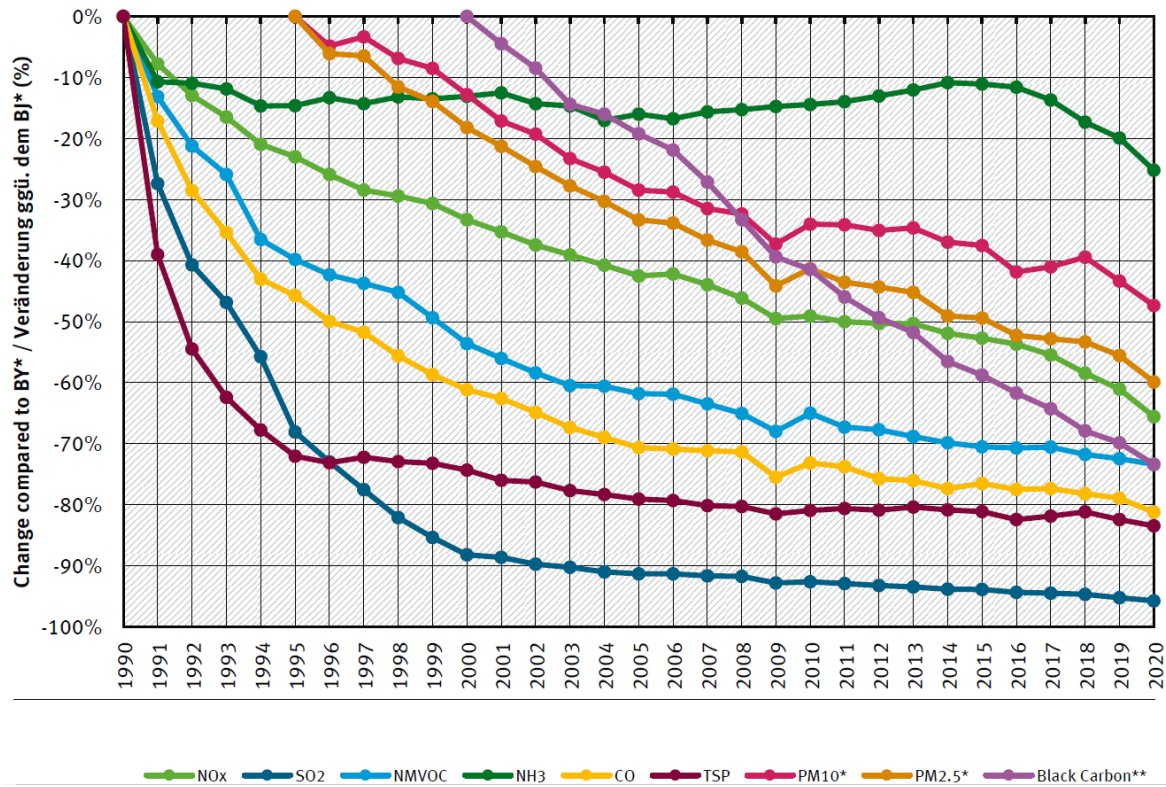


图 22: 德国空气污染物的减少<sup>71</sup>

火电厂发电使用化石燃料排放的传统污染物已经成为德国传统污染物排放的最主要的来源。淘汰火电不仅能减少温室气体排放，还能减少其他空气污染物，改善空气质量和人类健康水平。通过热泵和电动汽车的使用，使得供热和交通部门分别实现了电气化，这也将有利于空气污染物的减少，尤其是对于污染浓度较重地区。

71 联邦环境保护局 (UBA), 2021, 空气污染物排放趋势



# 5 更大的雄心：德国能源系统的未来

德国能源转型已经步入正轨：电力系统可再生能源的发展取得了突飞猛进的成果，能效提升和部门耦合也在过去5年加速发展。然而，实现未来的能源发展和气候目标需要更具雄心和更多的行动，这样从长远的角度看，德国的能源转型之路才能成功。

## 2030年前转型加速

与1990年相比，到2030年德国的温室气体排放要减少65%，以达到4.38亿吨的既定排放目标。由于部门耦合增加，德国联邦政府预期电力消费在2030年前增长1/4达到750太瓦时。能源部门仍有很大温室气体减排潜力，同时其他部门也应该继续努力。

2030年德国的可再生能源发电占到全社会电力消费的80%即达到600太瓦时发电量的目标。光伏和陆上风电要以前所未有的水平增长（如图23）。2025年以后，为了达到每年超过30吉瓦的可再生能源的增长，德国联邦政府增加了公开竞价量，并对100千瓦以下的光伏电厂进行价格补贴。同时一项关于批准2%的陆地面积用于风电设施的提案也已经在联邦政府和联邦州之间展开了讨论，预计将顺利批准<sup>72</sup>。

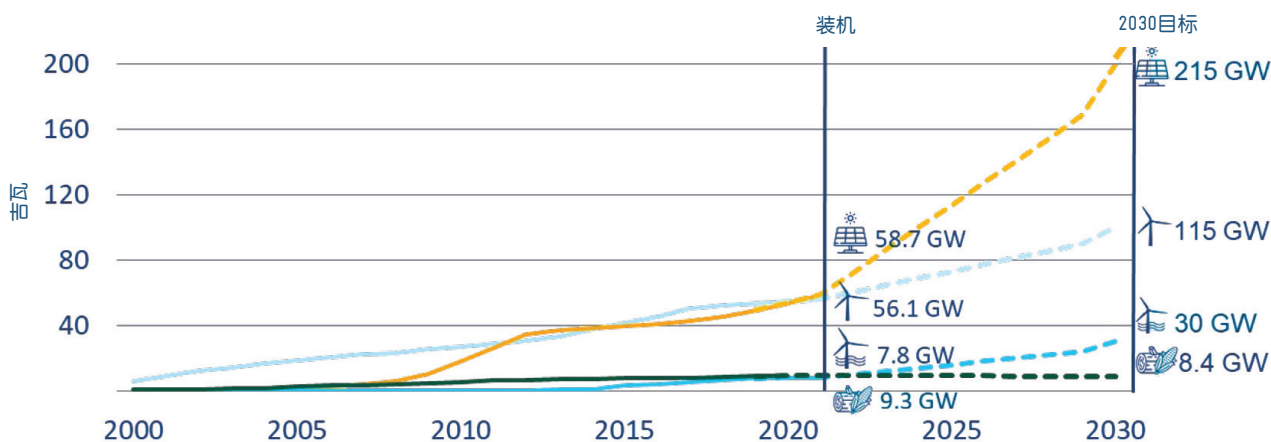


图 23: 德国可再生能源容量和新的 2030 年目标<sup>73</sup>，作者整理

72 德国联邦经济和气候保护部 (BMWK), 2022f, 复活节包装纸概述

73 德国联邦经济和气候保护部 (BMWK), 2022b, 德国能源转型的国际交流

为了达到 2030 年降低建筑部门温室气体排放的目标和以气候中和的形式满足一半的供热需求的目标，德国正在筹划和实施更多系统性措施。交通部门要大幅减少温室气体排放，这就需要通过实现交通部门的电气化。正在通过示范项目在氢能战略和 H2 全球机制下进行测试的差价合约计

划，能帮助工业部门实现温室气体减排，差价合约计划能弥补为实现气候中和所投入的工艺创新成本。表 13 总结了为了加速能源转型和达到各个部门（建筑、交通和工业）的温室气体减排所采取的重要措施。

表 13: 不同部门 2030 年前减排措施

建筑	交通	工业
地方政府供热计划	乘用车电动化	工艺电气化
拓展区域性供热网络	增加电动重卡	能效提升措施
遍布新建筑及既有建筑改造的新版能效标	增加公共充电桩	加大绿氢利用
推广热泵系统	增加铁路运输	实施差价合约
温室气体减排目标	温室气体减排目标	温室气体减排目标
较 2020 年减少 44%	较 2020 年减少 42%	较 2020 年减少 30%

在气候和能源政策领域不太活跃的部门也需要开展行动。农业部门的措施主要聚焦于提升生态农场的比例至 30% 和减少灌溉。另外，土地用途改变和森林的碳汇功能须在 2030 年翻番以达到 2500 万吨减排量。相应的措施包括对沼泽、湿地、森林和草原生态系统的保护和修复。

在 2030 年以前，德国将实施更多系统性和创新性的措施，加速温室气体减排，并为德国向碳中和和经济体转型之路做好准备。

### 面向碳中和的长期发展

能源供给预测以及情景分析提供了对未来能源供应发展的展望。预测可以提供可能的发展趋势，而情景分析基于假设描述了未来发展的可能。对能源和温室气体减排的预测和场景分析都基于长期人口、经济、技术和政治发展的假设。模型用于发展对未来能源供应的全面图景构建。预测和场景分析局限于他们反映客观复杂真实世界的可靠程度及其模型的简化程度。尽管如此，政府、组织和公司仍然将这些研究成果作为制定经济政策或企业战略的重要参考<sup>74</sup>。许多不同的研究和场景分析都聚焦于德国长期的气候和能源变化发展。未来能源转型的重要场景不仅由研究机构、智库和咨询公司进行发布，同时也由德国输电系统运营商（TSOs）发布。

在 2022 年初，德国输电系统运营商的场景分析框架已经发展成为德国国家电网规划计划<sup>75</sup>。这其中第一次做了 2045 年实现碳中和的情景分析，对不同研究之间做了比较分析。图 24 展示了德国全社会电力消费在未来几十年中的发展预期。不同研究的情景分析都预期 2045 年前将会实现电力消费增长到至少 1000 太瓦时，表明电力消费在未来的 20-25 年中将翻倍。根据德国输电系统运营商的情景分析，部门耦合将从 2030 年开始加速，由此引发的电动汽车、工艺电气化、绿氢制造电解槽和热泵的使用将会导致额外的电力需求增加，预计到 2045 年电力需求将增加 500 太瓦时，相当于目前德国每年的电力消费。

74 德国联邦经济和气候保护部 (BMWK), 2022g, 能源预测和情景

75 50 赫兹 (50 Hertz, Amprion, TenneT TSO, TransnetBW,) 2022, 2037 年电网发展计划情景框架及 2045 年展望, 2023 年版本



图 24: 不同能源转型情景分析比较<sup>76</sup>

大量的研究和分析表明，德国实现气候中和及以可再生能源为主的能源系统是可行的。能源供需系统的彻底转型任务艰巨，可再生能源需大力发展，新技术需要大规模投入使用，同时对于能效提升的投资需要提升，家庭、商业和工业中的部门耦合必须打通。政府通过政策制定和实施相应的专项支持的引导仍很必要。作为全球重要的经济体，德国能源转型的成功将为应对气候变化做出贡献。长期来看，能源转型会提升德国人民的生活质量和德国经济繁荣的稳定度，为全球其他国家做出重要表率。

76 50 赫兹 (50 Hertz), Amprion, TenneT TSO, TransnetBW, 2022, 2037 年电网发展计划情景框架及 2045 年展望, 2023 年版本

# 6 德国能源转型对中国的启示及政策建议

## 6.1 德国能源转型对中国的启示

能源转型是践行碳达峰、碳中和战略的重要内容。从化石能源向可再生能源转型可直接降低碳排放，也有助于协同技术及政策，促进能效提升、加速产业升级，实现低碳转型。

德国常规能源除煤炭储量相对丰富外，石油和天然气基本依赖进口。德国于上世纪九十年代酝酿向可再生能源转型，并于本世纪初正式启动能源转型，以有效对气候变化挑战。经过二十多年努力，德国能源转型取得显著效果：可再生能源发电比例已由2000年的6%上升到2020年50%；全国能效与1990年相比提升了近30%、温室气体排放减少了40%；德国还制定了2030年将可再生能源发电量提升至80%和2045年实现碳中和的中长期目标。

总体而言，德国能源转型是一项长期战略，这不仅是能源系统的转型，更是整个国民经济和社会运行方式的转变。本节着重从德国能源转型所取得成效及主要措施视角，分析德国能源转型对中国实现碳达峰碳中和目标的启示，并提出相应政策建议。

### 一、通过立法和政策保障强化顶层设计

#### 1、通过立法构建周密完备的顶层政策体系

德国重视通过立法构建能源转型战略的顶层政策体系。《能源方案》（2010年颁布、2011年修订）作为国家战略为能源转型提供了全面构架；《能效战略2050》（2019年）详细定义了国家气候目标、各部门温室气体减排总体目标及路径；《能源方案》更新了能效提升指引并聚焦部门耦合，安排了每5年进行评估与更新；《气候行动计划2050》及《气候行动细则2030》定义了法律层面的气候目标及部门间的分配，以及相应措施安排。

《可再生能源法》确立了可再生能源的优先调度地位；鉴于德国风电资源主要在北部地区、负荷中心集中在西部和南部，德国修订了《能源经济法》、出台了《加速电网扩建法》和《联邦需求规划法》，以缩短大规模输电通道建设规划和审批程序、加快进度；并力推发展智能电网。

#### 2、明确政策整体目标，并以此统筹各项措施

德国能源转型有三项总体政策目标：保持高水平的能源供应安全、保持能源的可负担性，以及创建一个与环境及气候保护目标相一致的可持续能源供应系统。为此，所有部门共同聚焦于“能效提升、可再生能源及部门耦合”这三个支柱，并在实施过程中相互支持、共同推进。

德国在《气候保护法》中明确了具有约束力的减排目标，即：到2030年德国二氧化碳排放量比1990年减少65%、到2040年减少88%、到2045年实现气候中和、以及自2050年起通过吸收天然碳汇实现温室气体负排放（负碳经济）；《可再生能源法》修正案设定：到2030年，电力系统可再生能源占比达到80%、可再生能源供热实现50%，交通部门可再生能源占比为2026年14%、2030年达到32%。

#### 3、监控实施过程，持续保持政策压力

德国通过年度监测和合规机制保证各项目标的达成。欧盟《国家能效行动方案》要求成员国应每年向欧盟委员会报告其能源消费、能效提升政策、长期行动战略和预期改进措施等信息，并每三年更新，以保持政策压力连续性（即适度的政策张力/紧张度）。

根据《能源方案》，一个4人独立能源权威专家小组负责撰写年度监测报告，对整个能源转型战略实施过程进行监控，内容包括监测概览、对相关过程的评估、对德国能源转型整体进展及现状的评价、以及对未来重要能源转型指标展望等。报告由德国联邦经济与气候部发布，并提交到德国议院和德国联邦参议院审议；评估结果及建议视情况可能上升为相关议案或政策措施。

例如，据评估结果，目前电力和供热部门可再生能源利用及占比进展顺利并超过预期，但交通部门进展缓慢；对此，德国专门提出了针对交通燃料供应的生物质燃料占比要求，以促使该部门赶上进度。

总体而言，德国的政策连续性相对较好，能够形成持续适度的政策压力，有效驱动各项工作顺利、有序开展。中国政府定期发布五年节能降碳规划或行动方案，以指导全国相关工作并督导监察。但在每个五年周期的初期，由于政策压力相对较轻，部分地区或部门有所松懈；多次出现一些地区在五年期末为确保完成任务而“冲刺”的波浪式政策周期，事实上部分抵消了节能减排政策的总体效果。

#### 4、以共性技术协同多部门提升能效与可再生能源应用

德国强调通过热泵、充电桩等电气化手段，以及绿氢等新一代能源技术，实现电力、供热、交通或工业等不同部门之间的耦合，以增加可再生能源利用、减少一次能源和终端能源需求，并可放大部门间的效率提升。

通过政策引导和专项支持，以达成大规模投入使用新技术、加速应用可再生能源、提升能效投资的政策目标，必须打通家庭、商业和工业中的部门耦合：工业脱碳的关键在于通过部门耦合实现电气化、提升工艺效率和化石能源替代；部门耦合同时需要对现有和新的技术服务进行利用，同时通过能源基础设施、政策和市场机制增加不同部门之间的系统性连接（特别是钢铁、化工等部门，以及与之相关联的产业生态系统）；在工业 4.0 场景下，通过数字赋能协同电力（能源）、工业、建筑、交通等相关部门及用户，将加速推动实现能效提升与化石能源替代等多重目标。

根据德国输电系统运营商的场景分析，部门耦合将从 2030 年开始加速，同时将会导致额外的电力需求增加，到 2045 年可能将增加 500 太瓦时（相当于目前德国每年的电力消费）。额外的需求来源于各类电动汽车以及工艺的电气化、绿氢制造的电解槽和热泵的应用等。

中国的节能、减排、可再生能源等政策分别由发展改革、生态环境、能源等多个部门分工负责，由于各部门政策目标存在差异，政策协同性亟待提高。德国以共性技术推动部门耦合经验具有非常重要的借鉴意义。

#### 5、为节能降碳咨询服务提供充足财政支持

德国拥有多项针对能效措施的财政支持专项，分别针对家庭、企业和政府。德国《国家能效行动方案》第二版（2019 年）聚焦能源需求侧（能源用户），其措施分为四个层次：1）向用户提供如何节约能源的信息和建议；2）通过税收激励推动能效方面的投资；3）强制大型企业开展能源审计；4）为新设施和建筑制定标准。

财政支持专项主要是提供投资拨款或者低息贷款，覆盖了能效 / 气候转型项目的四个阶段：咨询支持、初步（设

计）支持、（工程）系统性支持和专项基金。其中，节能咨询服务和节能信息服务包括信息服务、咨询服务、能源管理服务和合同能源管理服务等四类，主要针对中小企业和房屋业主。

面向业主的建筑能效咨询包括：1）消费者中心的首轮咨询；2）德国联邦经济和出口管制局深入的现场咨询；3）德国复兴信贷银行建设监理项目所涉及的节能改造措施。业主可以咨询消费者中心的能源咨询师，或询问节电检查（Strom-spar-Check PLUS）机构的意见，也可通过德国联邦经济和出口监督局（BAFA）的“现场咨询”能源咨询项目，得到量体裁衣式的个性化节能改造方案<sup>77</sup>。

据评估，上述咨询服务贡献了相当于 10% 的项目节能降碳份额<sup>78</sup>。相比而言，中国的节能咨询服务较少得到稳定的政府财政资金支持，一些服务机构及从业人员良莠不齐，间接导致相当数量能源咨询服务质量不佳，其审计或诊断报告流于形式：多以用能状况描述为主、对节能减碳机会挖掘不足，很难得到用户的真正认可，也无法对相关工作提供有效支持<sup>79</sup>。

## 二、坚持能效优先并采取多项务实有效举措

### 1、将“能效优先原则”纳入政策

德国遵循欧盟在《能效指令》中提出的“能效优先原则”，将其作为指导原则纳入到能源系统乃至包括金融业在内的所有行业政策中，即能效解决方案被视作规划和投资决策的首选方案。

根据《能效指令》，欧盟成员国应确保在规划、政策和重大投资决策中将能效纳入考量；推荐采用成本效益分析法，从社会角度对能效方案的更广泛效益进行适当评估；并向欧盟委员会提交报告，说明如何在规划、政策和重大投资决策中体现“能效优先原则”。

在中国的项目能评及规划评审等政策引导下，能效优先原则在大型重点用能单位能够得到较好体现，但在部分规模略小（如 200-300 万吨 / 年钢铁产能）的工业企业，则往往体现不充分。在“双碳”战略背景下，以低碳为导向的企业自主决策更需要得到更为有力的指导与推动。

### 2、在立法层面明确能源审计要求

能源审计或诊断通过系统识别节能降碳工作重点、

77 德国国际合作机构 (GIZ). 德国节能政策研究, 2019

78 德国国际合作机构 (GIZ). 碳中和背景下德国能效政策, 2022

79 张迪. 北京市节能监察制度创新研究, 2019



为相关决策提供科学基础。德国对大型企业提出了明确的能源审计要求：根据欧盟能效指令 2012/27/EU 第 8 条规定，大型企业应在 2015 年 12 月之前开展能源审计，之后至少每四年再开展一次。对已获得能源管理体系（DIN EN ISO50001）或 EMAS 环境管理体系认证的企业，德国政府将免除其能源审计义务。如果企业不在联邦经济和出口管制局豁免范围内、又未开展能源审计，将会受到最高 5 万欧元罚金的处罚。

同时，德国政府对中小企业开展能源审计给予资金支持（大型企业不享受）：中小企业可以每 24 个月申请一次能源审计资助，能源审计实施者必须为中小企业提供详尽的、经过核实的节能潜力分析和节能措施建议。在执行中，德国政府每年选择性实施 500 家左右中小企业实施审计，做到“以点带面，量力而行、适可而止”。据德国能源署调查，中小企业在空调、机电等通用设备方面有着巨大的节能潜力，一般可达 25%-70%<sup>80</sup>。

### 3、发布行动指南、技术清单等公共信息

信息公开是低碳能力建设的重要措施，与此相结合的办法指令往往具有更强的执行效果。为弥补部分国家专业能力不足、信息缺失等短板，欧盟委员会公开发布了《国家能源与气候计划推荐指南》等文件，供成员国规划参考、并将指南内容纳入相应措施及报告。各类专业机构定期发布研究报告、技术清单、应用指南、案例分析等文件。相关指南或规范对各种节能低碳技术的应用及技术组合（整体方案）给出了详细介绍，便于非专业人士（如居民）、建筑业主或企业在专家指导下自主选择。

如，《建筑能源法》强制新建筑供暖应使用规定比例的可再生能源，并提供如采用太阳能集热器、热泵或生物质锅炉、高质量保温隔墙、使用集中供热系统或热电联产系统等技术选择，以及对建筑能源绩效和发布及使用能效证书的规定。根据《欧盟建筑指令》（第 6 条），成员国应确保“在开始建造新建筑之前，考虑高效替代系统（如可用）的技术、环境和经济可行性”：包括基于可再生能源的分布式能源供应系统、热电联产、集中或街区供热或制冷，尤其是在完全或者部分基于可再生能源和热泵应用的情况下。

大量专业权威资料定期发布并可为公众方便获知，极大地方便了相关人士下载、研究，有助于提升（用户侧）能源管理者和节能服务机构的专业能力，进而提高了节能技改项目及管理措施的有效性。与此相比，中国相关技术资料（如政府部门发布的绿色节能低碳技术推广目录等）

渠道较为单一、内容过于简略，多为某一技术的概括性描述，缺少与相关系统技术集成和应用案例等深度研究；同时，受财政支持的研究成果多数仅公开摘要，详细全文很少对外公开，难以被公众顺利获得，在一定程度上限制了相关成果的推广应用。

### 4、通过认证能源顾问确保相关工作的专业性与权威性

德国有一支由欧洲工程教育协会 (SEFI)、欧洲工程师联合会 (FEANI)、德国纽伦堡工商会 (EUREM)、TUEV 等机构培养、认证的专业能源顾问，负责提供能源审计、能效提升项目咨询、节能效果评估、EMS 数据分析指导、专项基金 / 补贴发放建议等咨询工作。

如，《能效指令》第 21 条规定，经认证的住宅建筑能源顾问有权为现有住宅建筑颁发能源证书，EnEV 等计划规定了与建筑和能源技术相关的专业资格。此外，能源顾问应提供参加进一步培训和继续教育的证明；对从事建筑或中小企业能源咨询的从业人员，都有对其所应参加专业培训和范围的具体要求；特别结合其以往的知识或职业经历，精确定义了包含 70 至 210 个教学单元的培训设置；对该类能力保持的认可需通过最终审查<sup>81</sup>。再如，《联邦居住建筑能源建议专项基金》要求由经认证的专业顾问提供能效提升建议，建议应包含全面的信息并可作为投资决策及资金支持的依据。

德国认证能效顾问机制保障了节能服务从业人员的专业素质和所提供服务的权威性。比较而言，中国自“十二五”期间北京、山东等五省市能源管理师试点结束后，目前高水平能源专业培训、认证项目进展缓慢；部分现有培训项目过分迎合市场而放松质量要求导致口碑不佳；加之节能降碳技术发展迅速、对技术方案的整合要求不断提升，基本功扎实且有实践经验的高水平专业人才缺口巨大，事实上制约了相关工作的持续、有效、深入开展<sup>82</sup>。

### 5、构建能效低碳网络小组，调动各方力量共同参与

德国的能效气候网络小组是在外部专家支持下的现场人员协作改善实践，小组一般由政府机构、行业组织或民间志愿者发起，为参与方之间交流能效提升和减碳经验和想法，是一种自愿性、定期的小组活动。其主要特点：1) 在自愿基础上建立能效气候网络小组；2) 邀请能源咨询师全程参与并主持；3) 帮助企业确定并落实节能目标。

德国的能效气候网络小组活动有效地激发了企业人员

81 德国能源和水行业协会 (BDEW). 向能源公司的合格顾问开放所需的能源咨询, 2017

82 张迪. 北京市能源管理师试点制度后评价, 2015

80 德国国际合作机构 (GIZ). 碳中和背景下德国能效政策, 2022

的改善意识并为其赋能，活动特点鲜明、效果斐然。据德国政府评估，2008-2014年期间，30个能效网络小组平均每组提出10项措施，平均实现节能量2700MWh/年、减排二氧化碳排放940吨/年<sup>83</sup>。与此相类似，日本的全员能效改善（TEM，Total Energy Management）与中国的全面质量管理（TQM）、合理化建议/能效提案改善等类似实践可互为借鉴、取长补短。

### 三、注重发挥市场和社会公众的积极作用

德国政府在制定能源和气候政策时，遵循“法律要求+激励政策+提供信息”的原则，被称为“胡萝卜+大棒+手鼓”模式，通过组合相关政策措施、引导企业自主行动。

德国政策措施更注重公众参与及自主行动，通过提供指导性政策（技术信息支持等），促进对可再生能源的投资建设、激发节能减排主体自主行动、切实提高节能减排措施的有效性。这也是当下中国持续开展可再生能源和节能降碳工作的困扰与难点所在。

法律要求 (如规定、规范)	激励政策 (如经济激励)	提供信息 (如信息宣传、认识提升等)
不形成激励	长期市场转型的主要手段	包含关键信息手段

图 25 德国能效政策的三大支柱<sup>84</sup>

#### 1、推进能源领域的市场机制

德国联邦网络局负责推动电网等能源基础设施领域的市场机制。包括：1）对阻止可再生能源项目和用户侧分布式发电合法上网行为进行取缔，2）对用户自主选择能源供应方等活动进行标准化，3）改善可再生能源发电上网的相关条件等。

根据《可再生能源法》的修正与补充，自2017年起，德国政府不再以指定价格收购绿色电能，而是采用拍卖竞价机制确定每年能享受补贴的可再生能源开发规模和投资者，由能够提供稳定能源供应且最低报价者中标。

市场机制建设及执行不仅推动了可再生能源技术进步、成本降低和效率提升，同时减轻消费者负担。比较而言，以电力改革为代表的中国能源资源市场化改革依旧任重道远。

#### 2、建立对话机制，引导公众有效参与

德国《能效路线图2045》及《供热气候中和2045》等政策共同构成了德国联邦政府推进能效提升的核心对话平台，即利益相关方参与机制。相关方包含来自工业、商业、市民社会、科学家及联邦政府的代表；对话形式包含全体会议、工作组会议和研讨会，内容包括电网扩容、火电退出、无功补偿、电力市场设计等相关议题；对话咨询过程一般有提前准备好的引导问题，并邀请公众进行评价，沟通进展可能反馈到对政策法规的修改。

例如，关于德国电网扩容计划的对话平台，旨在与公众沟通以增加电网扩容的接受度。该平台设立了10个公民办公室和一个网上办公室，收集各类地方信息和对话内容、提供网上信息和参与者平台、组织与本地利益相关方沟通网络，并对外定期发布相关进展。

利益相关方对话机制不仅有助于形成关于特定话题的广泛共识，也保证了能源转型对所有利益相关方的权益保护和信息透明，使公民及私人部门可对政府提出有效意见并参与到决策过程。中国政府正在大力推进“放管服”改革以优化营商环境，要求从政策设计环节考虑政策需求方即企业等能源用户的问题与需求。可借鉴德国的公众参与机制，构建更有助于倾听、了解政策受众的声音与意愿，吸引更广泛的公众参与和支持配合的政策安排。

#### 四、强化区域能源安全保障

##### 1、多元化保障能源供应渠道

德国认为，通过加速向可再生能源占主导的能源系统转型，可从根本上解决对天然气等化石能源的进口依赖，更为有效地应对能源安全的挑战。

为尽快实现天然气进口途径多元化，2022年德国应急启动了4个漂浮储存和重注气装置和3个陆地终端液态天然气进口终端建设等措施，该项目从2022年底至2025年将陆释放天然气进口能力。在中长期，可再生能源和多渠道进口绿氢将完全替代化石能源进口。

##### 2、提高电力系统灵活性，确保供电安全

电力供应安全旨在使德国彻底退出核能和火电之后，仍可有效并全天候安全满足其能源需求。主要措施包括通过能源技术（建设区域直流电网等基础设施）、发展电力现货市场，以及跨区域（国家）电力/能源调配、提高区域能源协同保障能力等。

83 德国国际合作机构(GIZ). 德国能效网络发展经验, 2021

84 德国国际合作机构(GIZ). 德国节能政策研究, 2019

由于风能和太阳能发电量的不稳定特性，可再生能源供应经常波动。相对于传统电能系统较为稳定的供应曲线，可再生能源占比的提高对德国电网安全性 / 电网稳定性提出更高要求。通过应用电力系统灵活性技术、电力市场机制和政策框架的调整，使得这种变化可以被预测并合理融入电力系统，可有效应对可再生能源发电的波动。

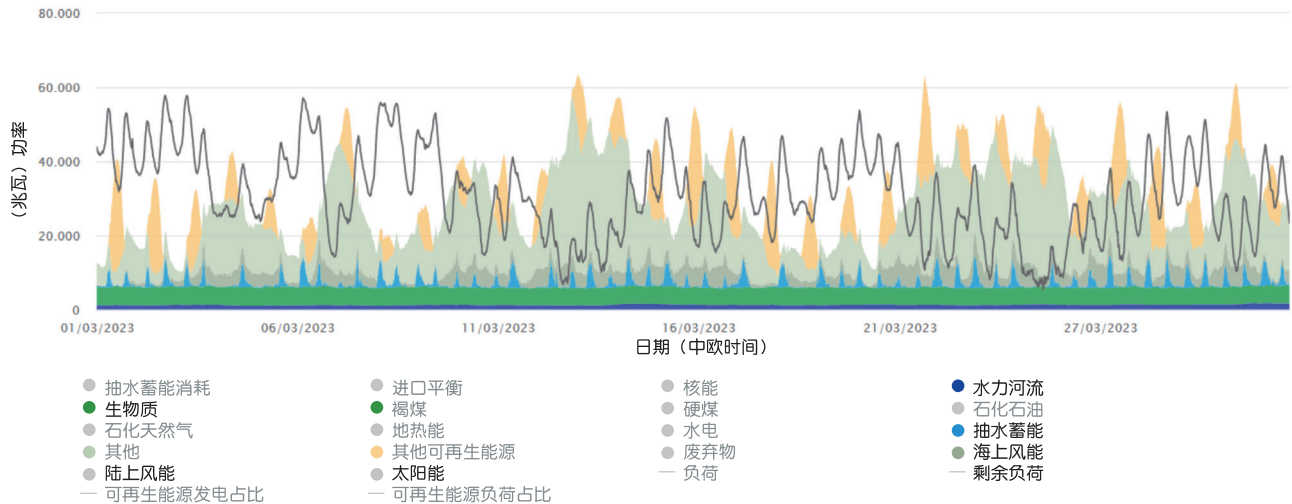


图 26 德国可再生能源与传统能源供应负荷曲线<sup>85</sup>

具体而言，可再生能源消纳问题体现在并网、调度、运行、电能质量等多个方面，关键是调峰能力。如下图所示，某日午后，可再生能源发电占到电网负荷的 100%，常规发电降为 0%，这就要求极为灵活迅速的调峰手段。

上述能源安全和应对机制对中国电力改革具有重要借鉴意义，特别是通过电力灵活性技术组合、现货市场和跨境容量实现可再生能源整合（如推动跨省电网容量调整，将有助于解决西北部可再生能源发电输出省份与电力短缺的东南部省份之间的电力资源调配）。同时，以燃气为主的德国火电调峰机组调控较为便捷；在以燃煤机组为主体的中国，在应建尽建抽水蓄能电站的同时，应大力推进火电灵活性改造、新型储能、负荷侧调节等其他调峰手段。

### 3、强化国际合作，促进能源转型技术扩散

国际间行动合作是德国气候和能源政策的基石。德国是欧洲电网的中心枢纽，欧盟内多数国家都与德国通过物理输电网和欧洲电力市场连接。电力跨境交易使欧洲电力使用成本降低，同时使多数国家和地区之间达到用电平衡；而且，波动的风能和太阳能发电量可在邻国之间持续交换。长期来看，更多氢燃气电厂将弥补淘汰火电所导致调配容

量消失的缺口，未来德国电网扩容和增进与欧洲其他国家电网互联性将保证电力供应安全。

同时，能源转型相关技术出口也是德国服务贸易（出口）的重要组成部分。德国优势工业部门如内燃机汽车、机械工程、电子电器和化工产品都致力于满足国际市场对可再生能源和能效提升解决方案的需求，这些技术的扩散也促进了相关国家的能源转型。

## 6.2 对中国的政策建议

在过去的十年里，中国经济的快速发展构成对能源资源的强劲需求，中国能源结构整体上依赖煤炭和进口石油天然气等化石能源；同时，中国通过大力发展水电、光伏和风力发电等，为能源结构的全面转型奠定了基础。

中国共产党在二十大报告中指出，要加快推动产业结构、能源结构、交通运输结构等调整优化。要立足中国能源资源禀赋，坚持先立后破，有计划分步骤实施碳达峰行动。完善能源消耗总量和强度调控，重点控制化石能源消费，逐步转向碳排放总量和强度“双控”制度。推动能源清洁低碳高效利用，推进工业、建筑、交通等领域清洁低碳转型。深入推进能源革命，加强煤炭清洁高效利用，加大油气资源勘探开发和增储上产力度，加快规划建设新型能源体系，

85 德国能源和水行业协会 (BDEW). 可再生能源覆盖 35% 的电力需求, 2017



统筹水电开发和生态保护，积极安全有序发展核电，加强能源产供储销体系建设，确保能源安全。

## 一、立足国情、统筹规划，保障国家能源顺利转型

### 1、加强油气供应与战略储备，确保能源总体安全

在中国经济总量将持续快速提升的发展预期下，首先应立足“双碳”目标，优先发展可再生能源，提升可再生能源装机规模，提升终端能源利用效率，加速能源转型；同时多方筹措，保障油气等常规能源自主供给能力，包括大力推动国内石油、天然气增储上产，调动各方投资积极性加大国内油气勘探开发，发展页岩气、煤层气等，加强油气储备；特别地，应前瞻产业转型，重视研究可再生能源体系（如储能）对关键矿物质的需求，强化锂、铂、镍、钛、锰、钒、稀土等战略资源产业链安全。

### 2、深化电力体制改革，全面保障供电安全

2020-2022年，中国连续出现若干省份大面积停电、限电，电力安全受到挑战，高峰时期能源保供成为阶段性重要任务。随着中国经济进入高质量发展阶段，电气化、智能化全面推广，预计在未来相当长周期内，国内电力需求将持续旺盛。为此，应超前部署、全力保障电力安全：包括协同电力供给侧与需求侧，构建智慧电能网络系统，提高负荷预测与调控能力，促进源网（氢）荷储一体化协同；着重加大科技创新和基础设施投入，加大电力输送通道和调峰电源建设，保障可再生能源消纳与电网安全，为构建以可再生能源为主体的新型电力系统打好坚实基础。

为实现上述目标，需要深化电力改革、加速建立全国统一电力市场体系，使电力资源在全国范围内得到进一步优化配置。包括：电力中长期、现货、辅助服务市场一体化运营，形成跨省跨区资源市场化配置，提高绿色电力交易规模，形成新能源、储能协同发展的市场交易和价格机制，充分发展电力辅助服务市场，促进新能源全面参与市场交易，市场主体平等竞争、自主选择。其中，电力现货市场能够发挥市场在电力资源配置中的决定性作用，实现电力资源优化和电网经济调度、促进可再生消纳等，是电力市场体系的重要组成部分。

### 3、立足国情与发展阶段，统筹能源务实转型

在相当长时期内，中国富煤、少气、贫油的基础能源结构较难改变，可再生能源总量有待提高。应立足中国国情，在大力发展可再生能源的同时，促进煤炭资源清洁高效利用、推动煤炭资源和可再生能源的优化组合，逐步实现化石能源的替代与消减；在充分发挥煤炭能源“压舱石”作用的同时，大力推进煤炭清洁高效利用、发展现代煤化工、优化煤炭产能布局；根据发展需要合理建设先进煤电、有序淘汰落后煤电，减少煤炭资源开发的生态环境影响。

特别地，要避免能源决策与工业企业等能源用户现实情况脱钩（如电煤紧张，电荒、气荒等），决策文件起草（政策供给侧）要重视企业等经济主体（政策需求侧）意见，充分了解、掌握能源用户的现状及所面临的问题，促进实现政府政策与市场主体的有效对接。

### 4、注重能源新技术研发，实现创新转型

当前，以新能源技术为代表的科技革命和产业变革正在兴起，在油气、储能、氢能、先进核能等领域，新的颠覆性技术不断涌现。如美国以小型核反应堆为代表的先进核能系统、欧盟的风能和氢能布局、英国基于天然气技术研究所（GTI）的SESR低碳制氢新工艺、日本的氢能与燃料电池技术等。这些技术的突破与应用，将对现有能源系统形成代际优势。

为此，中国首先应利用自身禀赋优势与创新动能，大力推动颠覆性科技创新，构建以电力为主、关键物质密集型的产业体系，通过国家科技创新体系推动基础研究、寻求重大突破，力求原始创新；其次，大力推广应用共性技术，以经济数字化转型、推进工艺电气化应用为抓手，强化绿色数字赋能节能降碳，促进多部门政策协同，形成特定领域的先发优势与绿色低碳国际竞争力；第三，同步推动制度创新，实现在改革中转型，加速构建电力、油气市场化体制，解决大型风光基地建设所涉及的配套设施，土地使用权、生态保护等问题。

### 5、强化国际合作，提高能源战略储备能力，实现共赢转型

在中国能源消费总量不断增长、进口依存度居高不下的形势下，充分利用国际市场的能源资源，加强与各区域能源机构的合作，促进能源供给来源地多样化；大力构建立体化陆上管道运输路径、布局沿海天然气存储设施，不断壮大海上运输能力，形成能源进口来源渠道与输送网络的立体化。

加大可再生能源领域国际合作，特别是与欧洲开展务实合作；学习借鉴先进国家能源转型、技术创新及产业进步成熟做法；提前布局储能、氢能等关键材料开发，推进与国际能源署、国际可再生能源署等机构开展关键矿物质产业链合作研究，积极参与该领域的全球治理。

## 二、聚焦节能工作，以能效提升促进碳排放削峰

### 1、适时修订《节约能源法》等上位法规政策，为相关工作提供法律保障

适时修订《节约能源法》等法规，明确能源审计（节能降碳诊断）、节能监察等具体要求，以法规形式为相关工作提供上位政策保障；特别应给出具体法定要求及可实

施事项清单，协调与《反不正当竞争法》等合规审查的政策衔接。

目前《节约能源法》及《重点用能单位节能管理办法》等上位法规对用能单位开展能源审计的要求不够详细，对大型企业、中小企业、工业园区、工商物业，以及服务机构等单位开展能源审计的责任与义务规定不够明确，对能源审计周期缺乏法律化的规范要求。建议在修订上述法规时，重点完善能源审计相关条款，增强其作为上位法律文件在能源审计方面的可操作性（可执行性），为各地规章、条例、细则及工作标准提供引导与支撑。

例如，应明确对大型企业或一定规模以上的用能单位实行法定审计，根据中国加速碳达峰、碳中和进程的现实，建议审计周期为每3年、重复进行；同时明确审计报告负责人的签字权限与责任要求；特别应针对能报/节能监察所发现的三种典型问题：制度不健全、能耗高、措施不落实等情况，责令其开展强制审计并纳入节能监察。审计报告结论及措施落实情况可与重大立项、新投资、科技创新、示范申报、绿色工厂/清洁生产等工作支持相结合，成为其先决要件（政策协同）。

建议定期遴选一定数量/比例优秀报告或案例给与奖励等声誉支持；对自愿开展节能降碳审计的中小企业或公共机构，可按改善规模或报告质量给与一定比例奖励等支持。

## 2、研究建立国家级能效数据库

与德国、美国、日本等发达国家相比，目前中国尚缺乏权威机构及稳定渠道定期发布能效数据，以利于使用者及时获取、使用。在节能降碳工作长期持续开展的国情下，节能低碳技术发展迅速，能效数据等公共信息资源供给在一定程度上制约了各项政策措施的顺利落实，这在专业能力相对不足的中小企业或园区/建筑物业管理等部门尤为明显。

建议由国家节能中心或国家发改委能源研究所等专业机构牵头，定期整理、发布、公开最佳诊断案例或高水平节能降碳技术、监测结果、通用设备能效数据等基础信息，以形成节能降碳专业知识库，便于使用者进行对标、参考、佐证。具体可比对能源基金会（EF）、工业生产力研究所（IIP）、中德能源与能效合作伙伴等机构网站，吸引专业人士定期浏览、研究学习。

## 3、完善能源审计规范，切实推动能效提升

周期性的能源审计或节能诊断是开展各项工作的基础，目前国内能源审计或节能诊断标准规范基本上以程序安排或项目管理为主，缺乏对关键环节（设施）的分析方法与测试要求，针对性不强；在执行层面，多数能源审计报告形式以现象描述及合规评价为主，对机会诊断、问题挖掘深度不足，

在一定程度上造成用能单位的抵触或消极印象<sup>86</sup>。

针对当前能源审计工作所暴露出的共性问题，建议组织国内外权威专家研究论证，采取下列措施提升能源审计工作的有效性与规范性：首先，应在《节能法》及《重点用能单位节能管理办法》等上位法规中明确能源审计相关内容，给出许可清单及要求，以便为相关工作开展提供法律依据；其次，研究完善、充实能源审计技术规范，以提高相关活动的专业性、规范性与有效性，可广泛听取国内外专家意见、吸收德国、日本、UNIDO等先进经验，研究细化能源审计或节能评估指南或实施细则，特别要明确对热能、机电、可再生能源利用、能源管控系统等关键环节的分析方法与测试要求，以指导相关活动工作深入、务实开展（如下图所示）；建议针对典型动能系统及用能工艺的诊断步骤、方法、工具、数据库/分析软件等关键内容，组织开发适合中国企业的节能诊断方法论，可吸取亚行/世行/GEF节能诊断项目经验及方法工具（前期已开展大量工作，有重要积累可挖掘），编制如水泥/钢铁/化工等行业各工序/环节/能源子系统的工作模板或测算/对标数据库，包括购买、开发行业/专业分析软件，以武装节能诊断团队，确保诊断质量。

86 张迪，2019，北京市节能监察制度创新研究



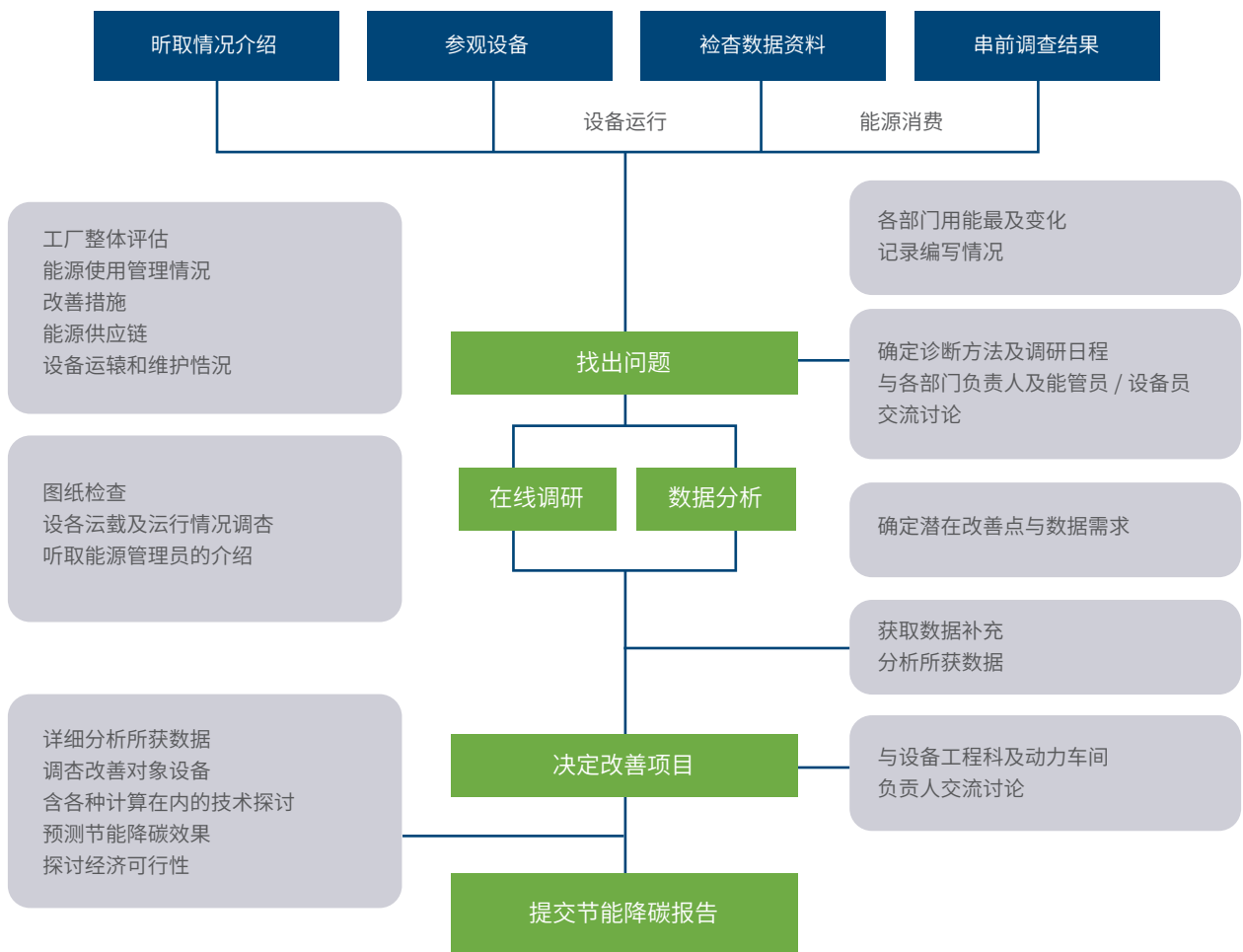


图 27 企业节能降碳诊断步骤<sup>87</sup>

#### 4、构建国家能效专家库，强力赋能各项工作

高素质的能源专家队伍是能效提升目标顺利达成的重要保障。建议借鉴德国能效顾问认证制度，由国家授权权威机构建立能源顾问专家数据库，并纳入公共资金支持范围，面向全国提供专业服务或指导把关。

遴选、培养专业能效顾问（个人及机构），可采用特聘或授权等形式，以 1-3 年为周期，并予以公开。可由主管机构按程序购买一定服务人天或小时，并合理分配项目，对节能降碳诊断、项目实施、规划方案等提供专业指导，包括对现场诊断或项目实施过程及结果进行观察、见证或验证；甚至可对大型 / 重点用户派驻能效总监（总顾问），直接给与指导、把关（调研发现，此类需求迫切旺盛且缺口巨大）。管理机构应做好专业管理（如热工 / 电气 / 自控等专业互补），做到专业覆盖、点石成金，直接增进能效提升 / 降碳活动质量。

专家服务内容可包括下列事项：

- 1) 对用能报告或分析总结给与指导，即报告评审，实际指导、提升相关工作的质量；
- 2) 接受地方政府或机构委托，对能管系统或能报等数据或进行分析、挖掘，指导其有效开展能效评价、目标设定、统计分析等相关工作；
- 3) 到现场或远程参与节能诊断、项目论证、技改实施等工作；
- 4) 完成主管部门所委托 / 预先设定的相关服务工作。

能源用户、服务机构、地方节能监察或主管部门，以及相关单位可提出问题或按需要申请若干人日专家支持。可深度应用互联网技术，建立线下实体与线上虚拟相结合的分布式服务网络，以热线电话、邮箱、社区、讨论组、视频会议等形式解答问题，提供专业辅导。

87 张迪：基于精益能效（TEM）理论的企业节能降碳诊断方法论，2022

可借鉴亚行或世行等国际机构模式，设立专家工作办公室，按专家资历及等级进行统筹管理；可预设专家工作程序与工具模板，便于其开展工作及资料留存。定期按照所提供数量、质量反馈及满意程度进行核算或考评。

## 5、提升能报质量、深化能管系统数据分析与应用

中国政府通过推进“两化融合（即信息化与工业化融合）”（工信厅信〔2011〕164号），发布钢铁、石化、建材等行业企业能源管理中心建设实施方案（工信部节〔2015〕13号），以及钢铁、电力、石化等重点用能单位能耗在线监测数据采集指南（发改环资〔2017〕1711号）等政策，从国家层面上倡导、推进重点用能单位的能源管控系统（EMS）建设，并已在一些经济发达省份及重大项目上得到应用，形成了“数字赋能节能降碳减排”的路径引领。

但目前国内多数能源监控或能管系统（EMS）仅能完成简单的数据收集、初步分析和上报等基础功能，对能源“管、控、协同”等更高层次要求预设不足，普遍存在数据分析能力薄弱、功能模块设计不完善、数据挖掘深度有限，以及对与多能互补的能源系统结合、对能源供给和消费的指导和智能控制逻辑不清晰等共性问题。

能管系统架构要满足管理功能的要求、能源数据分析口径与深度应体现管理意图。可由特聘专业能源顾问结合数据专家或分析软件给与指导，推动其提升能源数据利用水平、有效指导生产组织与能源管理。根据经验，能源大数据挖掘仅从用户高压配电端口，即可识别出主要用电设备负荷曲线等上百个数据；结合生产指挥系统（MES、APS等）、设备管理系统等多源异构数据，可分析各典型时间段能源供应与使用设备的状态异同，挖掘负荷优化、系统协同等多层次机会，这也是工业4.0所带来的信息优势（能源数字孪生）。

经过专家指导，对实时接入或上传数据给与把关、指导、反馈，可将主要结论或问题向主管部门反馈，对表现优异给与政策支持鼓励，以提高相关政策实施的效率效果。

## 6、为节能咨询服务提供专项资金支持

德国能源转型的一个重要经验是为社会各方有效参与提供信息服务（咨询）资金支持，即通过补贴等形式串连技术、项目、相关方，以及成功案例、商业模式等相关信息，为能效提升及低碳转型赋能，用很少的资金撬动行动实体，起到了四两拨千斤作用。

建议组织专项研究，针对中国现有节能降碳资金的政策缝隙，落实一定数量小额专项技术服务资金，并以此统合国家及地方各部门的相关政策安排，汇集力量、务实聚焦。

资金形式可包括政府采购、项目补贴、投资拨款或者低息贷款等；用途为向能效提升及科学降碳（可再生能源利用等）提供技术支持与诊断/方案服务补贴或奖励；对象可包括企业、园区、建筑和政府等单位；内容可包括能源审计、可行性研究、项目设计、工程测试、效果验收等项目管理全过程，以及信息服务、咨询服务、能源管理服务和合同能源管理服务等主要节能信息咨询类别；范围可面向全国，按照项目类别、规模及报告质量择优遴选，并避免按比例、大面积发放（“撒胡椒面”）。

特别地，建议为中小规模企业等用能单位自主开展能源审计提供政策支持，以引导中小企业进行节能降碳和提高能源资源利用效率决策，包括为中小企业开展能源审计提供资金与信息技术支持。可设置单个项目的能耗下限和资金支持比例/金额上限（事后评审发放），或提供一定数量经政府招标采购的专业顾问服务（事前申请）。

根据国内各地实践反馈，按照公平竞争审查等合规要求，只有列入法律规定的事项才可给与补贴等资金支持。此类安排应从顶层政策设计入手，自上而下理顺立法与执法流程，使之得到有效贯彻执行。

## 7、推广“能效低碳网络小组”等协作机制，广泛吸引公众参与

在行业、园区或大型企业/组织内部推广“能效低碳网络小组”等自愿性节能降碳协作机制，并与员工合理化建议、提案改善行动、品管圈（QCC）、精益改善周、废物最小化俱乐部、零碳产业联盟等现有活动模式有机结合，在专家团队支持下，可广泛吸引现场人员的等公众参与节能降碳。

在国家层面上，“能效低碳网络小组”机制可与“节能自愿协议、节能自愿声明和自我承诺等”等政策结合，由国家节能主管部门授权国家节能中心等单位统筹，并与本报告“国家能效专家库”、“国家能效数据库”等措施协同，以形成整合效果。可组织专家借鉴德国、日本等先进经验，研究制定《行动计划》、《指导意见》或《活动指南/工作手册》、《最佳案例》、《管理方法/技术清单》等工具，并将其纳入每五年的“节能减排综合工作方案”等政策。

为保证小组活动能够产生实际效果并得到持续开展，对成员企业高层的沟通交流至关重要。高层共识与领导承诺是网络小组活动顺利开展的基础，可将能效网络小组活动作为知识模块纳入对用能单位节能工作领导人培训。

### 三、完善配套措施，增进政策协同

#### 1、强化项目先期去碳化决策

加速落实《国务院关于加强建立健全绿色低碳循环发展经济体系的指导意见》等文件要求，大力推进低碳和适应气候变化试点工作，健全排放源统计调查、核算核查、监管制度，将温室气体管控纳入项目及规划环境影响评价，以及固定资产投资审查等相关工作，使之成为前置要素。同时结合应用《银行业保险业绿色金融指引》等规范，推动金融行业制定气候或低碳投融资分类方法，有效引导“绿色/低碳”金融，解决相关企业的融资障碍。

适时修订《投资项目可行性研究报告指南（试用版）》（2002），细化落实《政府投资项目可行性研究报告编制通用大纲（征求意见稿）》《企业投资项目可行性研究报告编制参考大纲（征求意见稿）》和《关于投资项目可行性研究报告编制大纲的说明》等规范中，关于政府投资项目要进行碳排放与“双碳”目标影响分析、论证符合性等安排。包括说明拟建项目碳排放量的核算依据，估算项目全生命周期碳排放总量和强度，提出项目降碳、碳捕集利用和封存及碳汇等措施，论证绿证交易、碳交易等市场化工具应用的可能性及实施路径，评价项目碳排放水平、固碳量与中和程度以及对当地“双碳”目标的影响。

研究按行业发布指导意见或文件，指导用能单位及投资主体树立低碳意识，强化内外部供应链碳管理，将能评/去碳化评估纳入其决策流程，促使其成为低碳创新的先行条件与重要依据；尤其应设法强化企业去碳化决策能力建设，避免综合性较强的节能降碳战略降格为个别部门的小范围行动（如仅局限在环保或能源/生产部门，与之相关的投资决策、技术研发、产品工艺，以及财务投资等部门很少参与或仅形式参与，认为低碳管理是“其他部门的事”，形成信息孤岛或部门壁垒）。

#### 2、消除部门及地方对发展可再生能源的限制

目前中国存在电力系统对大规模高比例可再生能源接入和消纳的适应性不足、土地资源约束明显等制约因素，导致一些地方政府或部门出台政策对可再生能源及项目进行限制。

建议研究指导、消除部分地方出台文件对风电、光伏等可再生能源项目及其碳指标的限制，包括对屋顶光伏及储能项目的限制、对项目收益归属的地方保护性主张、以电能质量等理由对新能源项目并网的限制，以及随意在法定备案程序上增加条件、或以开展试点为由暂停、暂缓备案或电网接入等其他在项目管理法定程序、捆绑配套产业等方面存在的越位行为；加强专项调研，设置专项举报/

沟通渠道等制度创新，消除个别部门及地方对发展可再生能源的限制，指导地方政府做好可再生能源产业规划，落实产业规范条件；既要遏制低水平项目盲目发展，又要及时纠正违反公平竞争的做法，破除地方保护主义。

可对标德国经验，由国家能源主管部门会同市场监督管理等部门，联手推动电网等能源基础设施领域的良性竞争。如：1）对阻止可再生能源项目和屋顶等用户侧分布式发电合法上网行为进行取缔，2）对用户自主选择能源供应方等活动进行标准化，3）改善可再生能源发电上网的相关条件等。

#### 3、强力赋能节能监察工作

总体而言，各地节能监察机构均较好地履行了法定职责：通过指导重点用能单位加强节能管理制度建设；引导重点用能企业对标采用先进节能工艺技术、推动开展能源管理体系建设、实施节能重点工程；劝导重点用能企业淘汰落后用能设备和工艺，自觉开展淘汰落后设备工艺的节能技术改造；督促和指导用能企业自觉开展节能行动，不断优化工艺流程，提高能源利用效率等，取得了积极效果。

但也暴露出若干共性问题，主要有：1）监察的范围与深度不够，多数地区对中小型用能企业（如年耗能5000吨标煤以下）尚未有效监察；2）监察服务能力有待提高，一些监察人员对节能降碳新技术、新方法、先进案例了解不够，部分人员对相关政策及节能降耗、碳减排形势掌握不准确，现场批评、处罚能力强，沟通及指导能力不足；3）部分用能单位节能管理水平低、部分领导节能意识不强、节能管理制度不健全；加之资金紧缺、市场环境等影响，淘汰落后机电设备及问题整改效果不明显。总之，以法律规范为基础的节能监察工作，需要在节能技术、相关应用、管理模式、最佳实践等专业能力方面进一步补充、提升<sup>88</sup>。

对策：节能监察需要在理解需求侧的基础上优化供给侧改革。建议利用节能信息库和专业顾问资源，由政府按专家工作时日批量采购专家服务，作为公共服务资源分配给节能监察部门。在每次开展行动之前、现场及事后，给予培训、诊断、评估、指导，为深入开展节能监察、有效指导重点用能单位节能降碳提供专业技术支持。

88 张迪，2019，北京市节能监察制度创新研究

## 6.3 中国的能源转型前景

中国要想在 2030 年达到碳达峰，并在 2060 年实现碳中和，就必须对整个国家的能源和工业系统进行根本性的调整，将能源结构调整为由可再生能源为主，并在各部门中提高能效。到 2030 年，25% 的一次能源应该由非化石能源提供。为了实现这些目标，需要可再生能源的进一步增长（比较图 28）。

通过适当的技术和市场机制来增加灵活性，应该是优先事项，而且自 2021 年以来，电力市场改革正在重新加速进行。仅在 2022 年就有大约 400 万辆新能源汽车售出，对

交通部门的电气化做出了重大贡献。同时，各部门的高效生产和节能也将通过降低能源成本，增加经济效益。在工业和建筑中严格执行较高的能效标准并鼓励相关节能技术的应用，可以减少能源消耗和温室气体排放。

中国要实现其“双碳”目标，需要在各个层面做出努力。从德国等领先国家的能源转型实施中得到的启示，以及政策制定者和实践者之间的交流，对于国际合作和将世界带入与巴黎相一致的气候轨道，都发挥着重要作用。

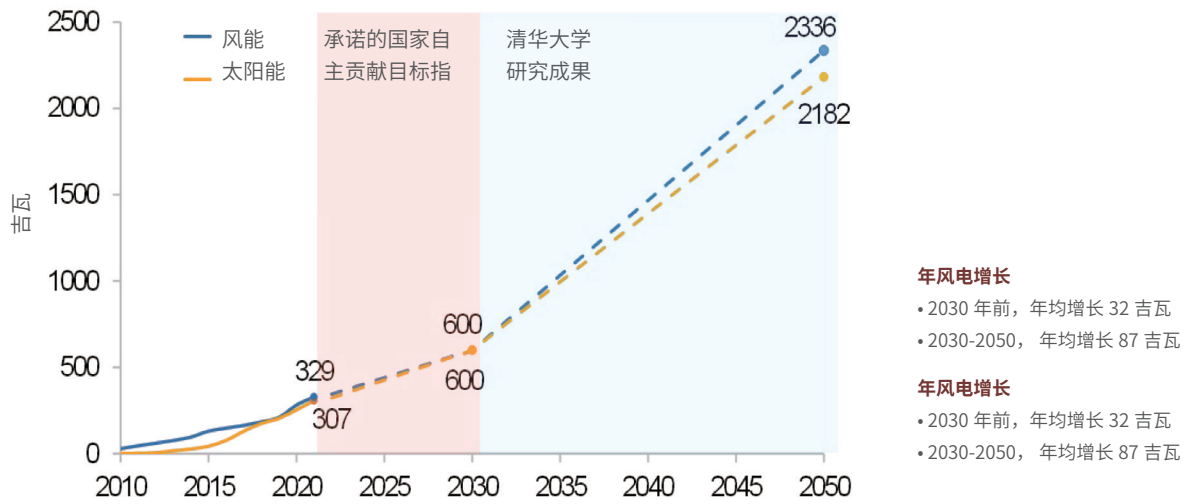


图 28: 到 2030 年可再生能源容量的目标增长和清华大学到 2050 年的方案<sup>89</sup>

89 德国国际合作机构 (GIZ), 2022 年, 中国能源转型现状 2022 年



## 附录 1: 能源转型的监控指标

主题	指标
欧洲及国际框架下的能源转型	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 欧盟目标 2020/2030</li> <li>· 欧洲碳排放交易体系下的排放交易</li> <li>· 非碳排放交易领域的贡献</li> <li>· 全球二氧化碳排放</li> <li>· 全球可再生能源装机容量</li> <li>· 可再生能源资源和能效方面的全球投资</li> </ul>
可再生能源	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 可再生能源资源 (RES) 在终端能源消费总量中的占比</li> <li>· 可再生能源资源在电力消费中的占比</li> <li>· 可再生能源发电技术</li> <li>· 按照能源来源区分的发电种类</li> <li>· 可再生能源在供热和制冷消费中的占比</li> <li>· 可再生能源在交通部门的占比</li> <li>· 可再生能源电力附加费</li> <li>· 可再生能源电力附加费叠加电费构成的交易电力价格</li> </ul>
能源消费与能效	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 一次能源消费</li> <li>· 一次和终端能源生产力</li> <li>· 电力消费总量</li> </ul>
建筑和供热部门	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 建筑能耗占能源消费总量的比例</li> <li>· 建筑 (供热) 能耗总量</li> <li>· 空间供热方面的终端能源消费</li> <li>· 建筑一次能源消费</li> </ul>
交通部门	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 交通部门的终端能源消费</li> <li>· 交通部门的特殊类型终端能源消费</li> <li>· 两轮以上电动车的数量</li> <li>· 两轮以上燃料电池或天然气驱动的车辆数量</li> <li>· 推广使用铁路运输</li> <li>· 推广使用本地公共交通</li> </ul>
温室气体排放	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 温室气体排放</li> <li>· 温室气体来源分类</li> <li>· 按部门统计能源相关的二氧化碳排放</li> <li>· 通过可再生能源进行减排</li> <li>· 与人口和经济发展相关的减排</li> </ul>
电厂及能源供应安全	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 发电厂装机容量</li> <li>· 德国各联邦州发电装机分布</li> <li>· 热电联产, 包括发电</li> <li>· 传统发电能力: 新建和退出</li> <li>· 泵式储电站装机</li> <li>· 退出核电路线图</li> <li>· SAIDI</li> <li>· 在建传统电厂</li> <li>· 国家间停电时长对比</li> </ul>



<p>可负担能源和公平竞争</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 终端消费者在能源上的消费及其在 GDP 中的占比</li> <li>· 宏观经济意义上的能源消费</li> <li>· 家庭能源消费</li> <li>· 民用电价</li> <li>· 工业用能成本</li> <li>· 电力市场交易价格</li> <li>· 非特权工业企业支付的电价</li> <li>· 石油和天然气价格</li> <li>· 与其他国家能源价格对比</li> </ul>
<p>环境适应性与能源供给</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 能源转型的环境监测</li> </ul>
<p>电网基础设施</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 电网扩容法案及联邦规划指导下的项目</li> <li>· 电网投资</li> <li>· 电网费用</li> <li>· 其他辅助服务成本</li> </ul>
<p>部门耦合和能源转型的数字化</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 热泵数量及相关电力消费</li> <li>· 电动汽车数量及其电力消费</li> <li>· 高效供热网络</li> <li>· 创新型热电联产（CHP）系统</li> <li>· 数字化表计，包含智能表计认证</li> </ul>
<p>能源研究和创新</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 工业部门研发的投入</li> <li>· 联邦层面在能源研究项目上的投入</li> <li>· 欧盟层面的项目资助</li> <li>· 专利</li> <li>· 能源消费领域创新技术的市场化</li> </ul>
<p>投资，增长和就业</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 可再生能源和能效的投资</li> <li>· 电网和电力供应的投资</li> <li>· 通过发展可再生能源降低一次化石能源消费</li> <li>· 通过发展可再生能源和提升能效降低能源进口</li> <li>· 能源领域就业人数</li> <li>· 可再生能源领域就业人数</li> </ul>

## 附录 2: 德国能源转型与气候目标

温室气体排放, 可再生能源和能效

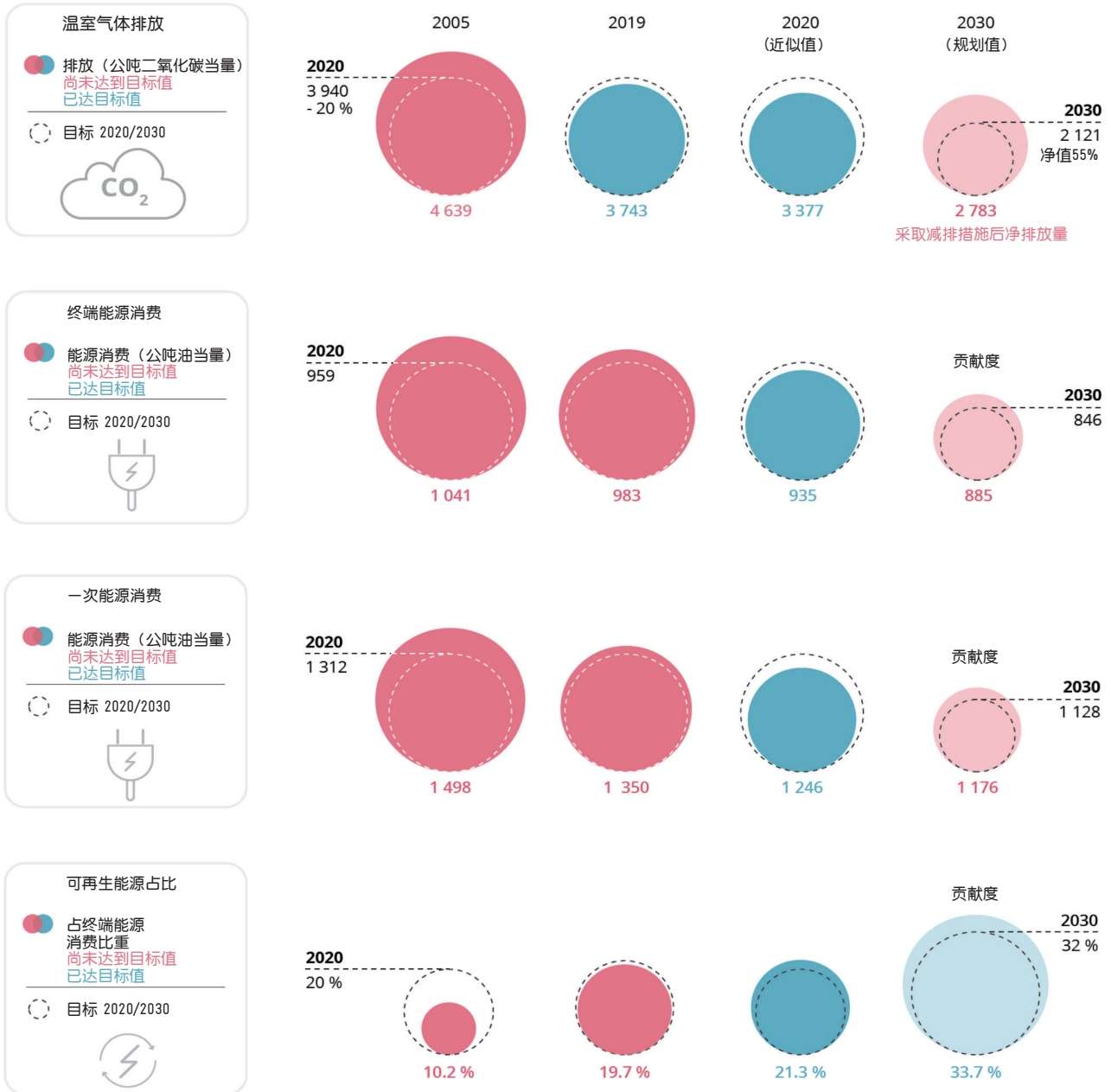
	现状	目标 2020	2030	2040	2050
温室气体排放 (对比 1990 年)	-40.4% (2022)	-40 %	-65 %	-88 %	GHG sink
可再生能源在能源消费总量中的占比	20.4 % (2022)	18 %	30 %	45 %	60 %
可再生能源在电力消费总量中的占比	46.2% (2022)	35 %	80 %*	Cli- mate-neu- tral*	Climate-neutral*
可再生能源在供热和制冷消费中的占比	15.3 % (2020)	14 %	50 %*		
可再生能源在交通部门能源消费总量中的占比	7.6 % (2020)	10 %	32 %**		
一次能源消费 (对比 2008 年)	-15.2 % (2021)	-20 %	-30 %		-50 %
终端能源生产率 (对比 2008)	1.4 % p.a. (2008-2020)	2.1 % p.a. (2008-2050)			
建筑部门一次能源需求 (对比 2008 年)	-23.6% (2019)				-80 %
交通部门能源消费总量 (对比 2005 年)	-11.4 % p.a. (2020)	-10 %			-40 %
建筑部门—建筑改造率	1 % p.a. (2017)	建筑改造率翻倍: 1.0 % to 2.0 % p.a.			
* 目标来源于 2022 年 7 月新修订的可再生能源法案及联合执政协议 ** 交通部门和其他部门电力消费指满足温室气体排放限额下, 部分满足 32 % 目标					

部门耦合

	2020	2020 目标	2030 目标
德国机动车上牌数 (百万辆) *	0.59**	1	15
公共充电桩	36,500	50,000	100 万
热泵 (百万)	1.3	无目标	400-600 万 ***
绿电电解槽 装机容量	60 MW****	无目标	10 吉瓦 ****
绿氢发电 *****	3 GWh****	无目标	28 太瓦时 *****
* 2020 年目标所含的电动汽车包含混合动力汽车, 为 2030 年设定的新目标仅包含纯电动汽车 **2020 年详细数据如下: 30.9 万辆纯电动汽车, 28 万辆插电式混合动力汽车和 100 辆燃料电池电动汽车 *** 不是官方目标, 但是其估算值来自于现执政政府 **** 数据来源: 联邦网络局 (BNetzA, 2022a) 监测报告 ***** 联邦政府的新目标是在 2030 年实现现有目标翻番			

### 附录 3:

### 2020 年前欧盟能源和气候目标及成果<sup>90</sup>

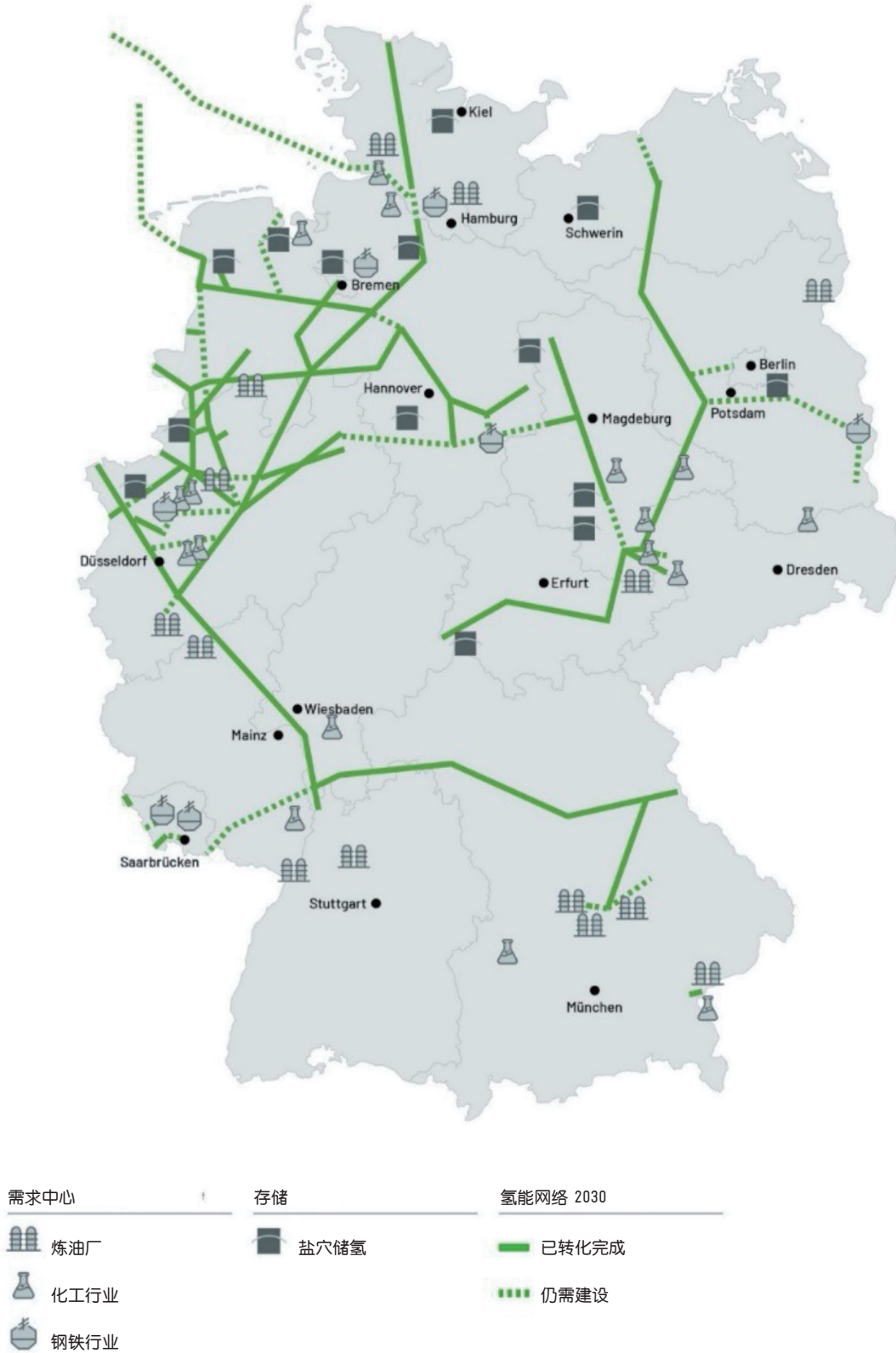


90 欧洲环境署, 2021年, 《2021年欧洲趋势与预测》



## 附录 5:

### 2030 年德国氢能网络潜力规划<sup>91</sup>



91 FNB Gas, 2021, Hydrogen network 2030: towards a climate-neutral Germany



## 参考文献

- 50 Hertz, Amprion, TenneT TSO, TransnetBW. (2022). Szenariorahmen zum Netzentwicklungsplan Strom 2037 mit Ausblick 2045, Berlin: 50 Hertz, Amprion, TenneT TSO, TransnetBW., Version 2023
- AGEB, AG Energiebilanzen, Von <https://ag-energiebilanzen.de/> abgerufen, 2022
- BaFa, Leitfaden zur Erstellung von Energieauditberichten, Eschborn: BaFa, 2020
- BaFa, Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft, Retrieved from [https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Energieeffizienz\\_und\\_Prozesswaerme/energieeffizienz\\_und\\_prozesswaerme\\_node.html](https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Energieeffizienz_und_Prozesswaerme/energieeffizienz_und_prozesswaerme_node.html), 2022a
- BaFa, Bundesförderung für effiziente Gebäude, Retrieved from [https://www.bafa.de/DE/Energie/Effiziente\\_Gebaeude/effiziente\\_gebaeude\\_node.html](https://www.bafa.de/DE/Energie/Effiziente_Gebaeude/effiziente_gebaeude_node.html), 2022b
- BDEW, Renewable energy covers 35% of electricity demand, 2017
- BDEW, Opening of the required Energy consultancy to qualified consultants de Energy companies, 2017
- BMI, Buildings Energy Act, Retrieved from <https://www.bmi.bund.de/EN/topics/building-housing/building/energy-efficient-construction-renovation/buildings-energy-act/buildings-energy-act-node.html>, 2020
- BMWi, Making a success of the energy transition, Berlin: BMWi, 2015
- BMWi, Energieeffizienzstrategie 2050, Berlin: BMWi, 2019a
- BMWi, Monitoringbericht zur Versorgungssicherheit im Bereich der leitungsgebundenen Versorgung mit Elektrizität, Berlin: BMWi, 2019b
- BMWi, The Energy of the Future: 8th Monitoring Report on the Energy Transition - Reporting Years 2018 and 2019. Berlin: BMWi, Retrieved from <https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Publikationen/8th-monitoring-report-the-energy-of-the-future.html>, 2021a
- BMWi, Energieeffizienz für eine klimaneutrale Zukunft 2045 - Zwischenbericht, Berlin: BMWi, 2021b
- BMWK, Energieeffizienz in Zahlen, Berlin: BMWK, 2021
- BMWK, Germany's current climate action status, Berlin: BMWK, Retrieved from <https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Pressemitteilungen/2022/20220111-habeck-presents-germanys-current-climate-action-status-need-to-triple-the-rate-of-emission-reductions.html>, 2022a
- BMWK, International communication of the German energy transition, Berlin: BMWK, 2022b
- BMWK, Roadmap Energieeffizienz 2045, Retrieved from <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/Energieeffizienz/roadmap-energieeffizienz-2045.html>, 2022c
- BMWK, Zweiter Fortschrittsbericht Energiesicherheit, Berlin: BMWK, 2022d
- BMWK, Überblickspapier Osterpaket, Berlin: BMWK, 2022e
- BMWK, Energy Forecasts and Scenarios, Retrieved from <https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Artikel/Energie/energy-forecasts-and-scenarios.html>, 2022f
- BMWK, Development of Renewable Energy Sources in Germany in the year 2022, Berlin: BMWK, Retrieved from [https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Service/Erneuerbare\\_Energien\\_in\\_Zahlen/Entwicklung/entwicklung-der-erneuerbaren-energien-in-deutschland.html](https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Service/Erneuerbare_Energien_in_Zahlen/Entwicklung/entwicklung-der-erneuerbaren-energien-in-deutschland.html), 2023

BNetzA, Monitoringbericht 2021, Bonn: BNetzA, 2022a

BNetzA, Elektromobilität: Öffentliche Ladeinfrastruktur, Retrieved from [https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen\\_Institutionen/E-Mobilitaet/Ladesaeulenkarte/start.html](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/E-Mobilitaet/Ladesaeulenkarte/start.html), 2022b

BNetzA, Ausschreibungen für EE- und KWK-Anlagen, Retrieved from <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/Ausschreibungen/start.html>, 2022c

Bundesregierung, Masterplan Ladeinfrastruktur, Retrieved from <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/ladeinfrastruktur-1692644>, 2019

Bundesregierung, The National Hydrogen Strategy, Berlin: BMWi, 2020

Bundesregierung, CO<sub>2</sub>-Ausstoß von Kraftstoffen senken, Retrieved from <https://www.bundesregierung.de/breg-de/suche/weniger-co2-in-kraftstoffen-1850472>, 2021

Bundesverband Wärmepumpe e.V., Zahlen und Daten, Retrieved from <https://www.waermepumpe.de/presse/zahlen-daten/>, 2022

CEC, China Electricity Council, Von <https://english.cec.org.cn/#/> abgerufen, 2022

Chemie Technik , Die wichtigsten Wasserstoff-Projekte in Deutschland, Retrieved from <https://www.chemietechnik.de/energie-utilities/wasserstoff/die-wichtigsten-wasserstoff-projekte-in-deutschland-114.html>, 2022

Clean Energy Wire , Germany' s coal exit commission, Retrieved from <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/germanys-coal-exit-commission>, 2018

DVGW , Power-to-Gas, Retrieved from <https://www.dvgw.de/themen/energiewende/power-to-gas>, 2022

ECCJ, TOTAL ENERGY MANAGEMENT HANDBOOK: New Approach to Energy Conservation in Thailand, 2005

electrive, Deutscher Elektroauto-Bestand hat sich 2021 verdoppelt, Retrieved from <https://www.electrive.net/2022/03/07/e-auto-bestand-in-2022-verdoppelt/>, 2022

ENTSO-E, Vision on Market Design and System Operation towards 2030, ENTSO-E, 2020

ENTSO-E, Completing the map: Power system needs in 2030 and 2040, Brussels: ENTSO-E, 2021

EU Commission , Commission Staff Working Document: Energy prices and costs in Europe, Brussels: European Commission, Retrieved from [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/swd\\_-\\_v5\\_text\\_6\\_-\\_part\\_1\\_of\\_4.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/swd_-_v5_text_6_-_part_1_of_4.pdf), 2018

European Council, Fit for 55, Retrieved from <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>, 2022

European Environment Agency, Trends and projections in Europe 2021, Copenhagen: EEA, Retrieved from <https://www.eea.europa.eu/publications/trends-and-projections-in-europe-2021>, 2021

FNB Gas, Hydrogen network 2030: towards a climate-neutral Germany Retrieved from <https://fnb-gas.de/en/hydrogen-network/hydrogen-network-2030-towards-a-climate-neutral-germany/>, 2021

Fraunhofer ISI and IREES GmbH, Energy Efficiency Policy in Germany, Karlsruhe: GIZ China, 2021

GIZ, 德国工业能效监管框架与手段, 2023

GIZ, 德国节能政策研究, 2019

GIZ, 德国能效网络发展经验, 2021

GIZ, China Energy Transition Status Report Print 2021

- H2Global Stiftung, The H2 Global Mechanism, Retrieved from <https://www.h2-global.de/project/h2g-mechanism>, 2022
- Heinrich Böll Foundation, Energy Transition, Retrieved from <https://wiki.energytransition.org/wiki/the-eu-energy-transition/history-of-the-eu-energy-union/>, 2018
- IGU, Global Gas Report 2022, IGU, 2022
- IPCC, IPCC Reports, Retrieved from <https://www.ipcc.ch/reports/>, 2022
- KEI, Climate action in industry, Retrieved from <https://www.klimaschutz-industrie.de/en/topics/climate-action-in-industry/>, 2022
- Löschel, A, Grimm, V., Lenz, B., & Staiss, F. , Stellungnahme zum achten Monitoring-Bericht der Bundesregierung für die Berichtsjahre 2018 und 2019. Expertenkommission zum Monitoring-Prozess „Energie der Zukunft“. Berlin: Energie der Zukunft: Kommission zum Monitoring-Prozess., 2021
- NPM, National Platform Future of Mobility, Retrieved from <https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/en/>, 2022
- OECD, OECD Inventory of Support Measures for Fossil Fuels: Country Notes, Retrieved from <https://doi.org/10.1787/5a3efe65-en>, 2022
- Our World in Data, Energy, Retrieved from <https://ourworldindata.org/energy#country-profiles>, 2022
- UBA, Trend der Luftschadstoff-Emissionen, Retrieved from <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/emissionen-von-luftschadstoffen/trend-der-luftschadstoff-emissionen>, 2021
- UBA, Renewable energies in figures, Retrieved from <https://www.umweltbundesamt.de/en/topics/climate-energy/renewable-energies/renewable-energies-in-figures>, 2023a
- UBA, Indicator: Greenhouse gas emissions avoided by renewable energies, Retrieved from <https://www.umweltbundesamt.de/en/data/environmental-indicators/indicator-ghg-emissions-avoided-through-the-use-of#environmental-importance>, 2023b
- WRI, Germany’ s “Coal Commission” : Guiding an Inclusive Coal Phase-Out, Retrieved from <https://www.wri.org/update/germanys-coal-commission-guiding-inclusive-coal-phase-out>, 2021
- 张迪, 北京市能源管理师试点制度后评价, 2015
- 张迪, 北京市节能监察制度创新研究, 2019
- 张迪, 基于精益能效 (TEM) 理论的企业节能降碳诊断方法论, 2022

## 联系我们

### 德国国际合作机构

北京市朝阳区亮马河南路 14 号塔园外交办公大楼 2-5  
邮编：100600

电话：+86 10 8527 5589

传真：+86 10 8527 5591

网站：[www.giz.de](http://www.giz.de)

微信



网站

