

德国能源转型的经验、挑战及其启示

郭基伟, 汪晓露

(国网能源研究院, 北京 100052)

摘 要: 大力发展可再生能源, 是世界各国应对气候变化、提高能源供应安全的共同选择。近年来, 德国通过建设高度灵活的电力系统、推动电力与热力行业的深度融合、大力提高能效等方式, 向低碳能源结构的转型取得了显著的成效。与此同时, 德国能源转型也面临着成本高昂、市场体制机制不适应、整体政策不协调等挑战。我国正在实施从以煤为主到多元发展的能源结构调整, 借鉴德国的经验和教训, 在大力发展可再生能源过程中, 应充分考虑社会承受能力, 处理好清洁、经济、可靠三者的关系; 加强制度设计, 提升电力系统灵活性; 在未来电力市场建设中, 在保存能源市场的同时增添容量市场, 为保证电力系统安全稳定运行提供必要的支撑服务。

关键词: 德国; 能源转型; 可再生能源; 能源效率; 容量市场; 能源政策

中图分类号: F451.662 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2014.01.014

能源是人类经济社会发展的重要物质基础。从历史发展看, 人类文明的发展和进步, 总是伴随着能源利用技术的革命和能源消费结构的转变。从农业经济时代到工业经济时代, 再到当今信息经济时代, 世界能源消费结构也经历了从薪柴为主到煤炭为主, 再到石油为主的转变。到21世纪初, 石油、煤炭、天然气三大化石能源成为世界能源供应的主力能源, 占全球能源消费总量的比重达到80%, 并提供了几乎全部运输能源和65%的发电用一次能源^[1]。

化石能源的大规模开发使用, 在推动人类社会发展的同时, 也带来了两大问题: 一是气候变化问题——化石能源燃烧排放的温室气体占全球温室气体排放总量的56.6%^[2], 被认为是造成全球气候异常变化的重要因素; 二是能源供应安全问题——化石能源资源的稀缺性使得能源价格整体上升, 能源的可持续供应引发了人们的普遍担忧。这两大问题的出现, 使得能源开始成为世界经济社会发展的主要制约因素之一。

为应对气候变化带来的挑战, 提高能源供应安全, 世界主要国家正纷纷调整能源战略, 强调依靠制度创新和技术创新, 积极发展可再生能源等替代能源, 减少化石能源消费比重。从化石能源向非化石能源转型, 已经成为能源发展趋势。

德国是世界上最早提出从高碳能源结构向低碳能源结构转型的国家, 在发展可再生能源替代化石能源方面取得了显著的成绩, 积累了丰富的经验。本文主要介绍德国能源转型的背景及目标, 总结德国能源转型的经验及面临的挑战, 并对我国能源结构调整提出相关建议。

1 德国能源转型的背景与目标

德国是世界第七大能源消费国, 能源消费结构以油气为主。2012年, 德国一次能源消费总量约4.39亿t标准煤^[3], 其中, 煤炭占25.3%, 石油占32.9%, 天然气占22.1%。同时, 德国自身的油气资源较为缺乏, 对进口能源的依赖程度很大。2012年, 德国原油净进口量占到其国内原油供应

第一作者简介: 郭基伟(1979—), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事新能源技术经济、管理与政策等方面的研究。

收稿日期: 2013-10-23

的 97.7%，天然气占 86.0%。由于缺少对国际市场油气价格的话语权，德国燃油价格明显高于周边国家，应对石油危机的能力较弱^[4]。

严峻的能源形势使德国从 20 世纪 90 年代开始就一直将摆脱对进口能源依赖作为其能源战略的重点任务。1991 年，德国制定了《电力入网法》，从法律层面启动了可再生能源发电市场^[5]；2000 年，德国颁布《可再生能源法》，奠定了发展可再生能源的法律基础^[6]；2010 年 9 月，德国联邦经济和技

术部在《能源方案》报告中，阐述了德国中长期能源发展思路，明确了到 2050 年实现“能源转型”的发展目标^[7]；2011 年福岛核事故发生后，德国政府做出了永久放弃核电的决定，并正式提出将“能源转型”作为其能源政策的主导方针。德国能源转型的核心是：通过发展可再生能源和提高能效，建设可靠、清洁和经济的能源供应系统，确立可再生能源在能源供应中的主导地位，并逐步替代核能和传统化石能源。德国能源转型目标^[8]见表 1 所示。

表 1 德国能源转型目标

类 别		年度目标值/%			
		2020	2030	2040	2050
温室气体排放	温室气体（与 1990 年相比）	－40	－55	－70	－80～－95
效率	一次能源消费（与 2008 年相比）	－20	－	－	－50
	电力需求量（与 2008 年相比）	－10	－	－	－25
	住宅采暖	－20	－	－	－
	交通行业能源消费（与 2005 年相比）	－10	－	－	－40
可再生能源	占电力消费的比重	≥35	≥50	≥65	≥80
	占终端能源消费的比重	18	30	45	60

2 推动能源转型的主要经验

目前，德国能源转型已经取得了显著成效，可再生能源已经成为德国能源供应体系中的重要组成部分。截至 2012 年底，德国可再生能源发电所占比重已经接近 23%，可再生能源占终端能源消费的比重超过 12%，温室气体排放量比 1990 年下降了 25%。

2.1 高度灵活的电力系统是德国能源转型的重要基础

风电和光伏发电是德国未来低碳能源系统的基础。到 2020 年，以风电和光伏发电为主的可再生能源占德国终端能源消费和电力消费的比重将分别达到 18% 和 35% 以上。由于风电和光伏发电的波动性，对电力系统灵活性要求大大提高。德国从电力系统各个环节入手，提升电力系统运行的整体灵活性。

2.1.1 发电环节

在发电环节，德国通过技术改造等手段增加火

电机组的调峰深度，同时，通过增加储热设施等方式提高热电联产电厂的调峰能力。德国的研究和经验表明，在充分挖掘火电厂潜力的情况下，燃煤机组的最小出力可以从 40% 进一步下降到 20%，爬坡速度可以提升原来的 4 倍，冷启动时间缩短 50% 以上。

2.1.2 电网环节

在电网环节，德国通过加强电网建设，扩大电网互联范围，发挥互联电网“间接储能系统”的作用。电网互联的扩大，可以降低对灵活调节电源的需求，优化资源利用，减少系统总体成本。为保障可再生能源发展所需的电网基础设施及时到位，德国连续出台了一系列电网相关法案。2011 年 7 月，德国议会通过了《加速电网扩建法》，目的是缩短跨联邦州和跨国超高压输电线路的规划和审批时间；2013 年 4 月，德国议会批准了《联邦需求规划法》，确定了 36 个亟需新建和扩建的电网项目，并通过简化审批程序、将项目相关诉讼案件统一移交联邦法院受理等方式，将原来需要 10~

15 年的审批时间缩短至 4 年。德国政府还通过提高超高压电网的投资收益率、由可再生能源基金承担部分电网建设改造费用等方式，保护电网运营商的投资积极性。未来 10 年（2013—2023 年），德国将新建 3 800 km、扩建 4 400 km 高压输电线路，以满足可再生能源发展需求。

2.1.3 用电环节

在用电环节，德国综合运用储能、热泵、电动汽车、智能电表等技术手段，提高负荷的可调节性。在工业领域，通过调整生产流程或储热、蓄冷、压缩空气储能等方式，实现若干小时的负荷转移；在居民生活领域，通过发展热泵、电动汽车等，增加低谷时段负荷。未来，德国将通过智能电表，根据电力市场的价格信号，实时控制家用电器，提高家庭负荷的灵活度水平。

2.2 电力和热力行业的深度融合，在能源转型中发挥了重要作用

2.2.1 发展可再生能源发电供热，是实现热力行业节能减排的必要手段

从能源消费总量看，到 2020 年，德国热力行业的能源消费，预计将达到电力行业的两倍，是实现能源转型目标的重点行业。德国计划通过“以电代气”、“以电代油”等措施，利用可再生能源发电逐步替代热力行业的油气等化石燃料。

2.2.2 发展可再生能源供热、增加储热装置可有效提高电力系统的灵活性

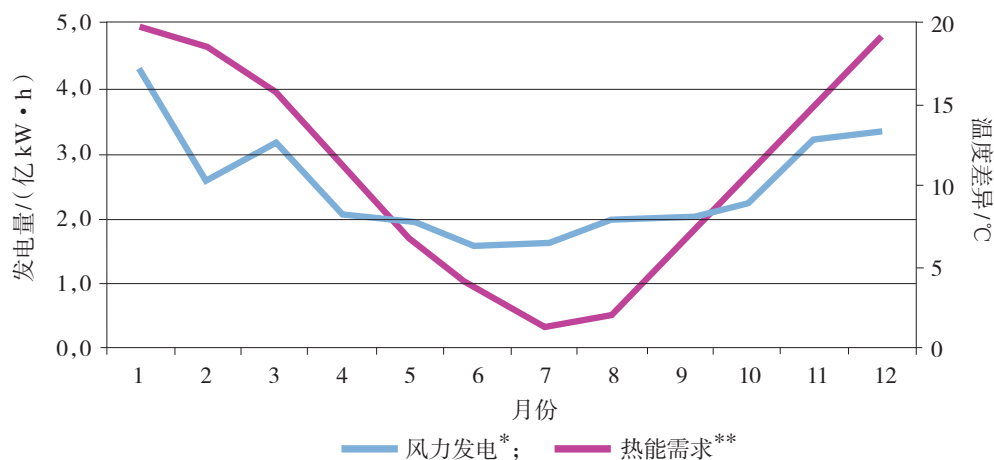
相对于储电，储热在技术上更加易于实现，成

本也相对要低廉得多。德国热能需求高峰期（10 月至次年 4 月）与风电大发期重叠（如图 1 所示），通过发展风电供热，增加了用电负荷，减少了弃风比例。德国部分地区的市政电力公司通过给热电联产电厂加装储热装置，扩大了这些电厂的出力调节范围，提高了可再生能源消纳能力。

2.3 合理的激励制度设计是提高能源效率的关键

德国节能技术处于世界领先地位。大力推动节能技术和设备的应用，不仅可以减少能源消费，还可以形成新的经济增长动力，因此，德国将提高能效作为除可再生能源发展外能源转型的另一大目标。德国节能的最大挑战不在于技术，而在于激励措施的设计。

为发挥表率作用，德国政府立法，要求在公共项目招标中将能源效率作为重要指标。在建筑领域，德国不断提高建筑物节能标准，由政府出资设立了 18 亿欧元的建筑物减排改造基金，为建筑物的节能改造和节能设备购置安装提供低息贷款，并采取颁发能效标识的手段鼓励建筑节能；在交通领域，德国大力发展电动汽车等新能源汽车，通过费税制度的调整，减少化石燃料在交通领域的使用（根据德国政府 2009 年发布的规划：到 2020 年，德国的电动汽车数量将达到 100 万辆以上；到 2030 年，达到 500 万辆以上^[9]）；在工业领域，德国通过完善能源管理体系以及为节能先进企业减税等方法，刺激企业为提高经济效益而主动采取节能措施。



注：*基于 2003—2008 年每月平均；**月平均温度差异达 20℃。

图 1 德国的热能需求与风力发电曲线

3 能源转型面临的挑战

德国选择风能、太阳能作为其能源转型的基础性能源，使其进一步确立了在世界低碳能源领域的领导地位，但同时，也给德国未来能源发展提出了艰巨的挑战。

3.1 能源转型成本高昂

与传统能源相比，风能、太阳能等可再生能源发电成本高昂，必须依赖政府财政补贴才能发展。预计 2013 年，德国对可再生能源的财政直接补贴将达到 180 亿欧元，与之相关的各类政府支出占总财政支出的比例将达 6% 以上。为满足不断增加的补贴资金需求，2013 年初，德国政府从终端电价中征收的“绿色电力分摊费”提高至 5.277 欧分/(kW·h)，与 2012 年相比涨幅达到 47%，占终端电价的比重达到 20%。在欧洲经济整体不景气的背景下，可再生能源补贴已经成为政府和民众的沉重经济负担。

3.2 现有市场体制机制无法适应能源转型要求

风电和太阳能发电的特点是高投资成本、低运营成本 and 零燃料成本，其发电边际成本接近于零。在目前以边际成本为基础的现货市场上，大量的风电和太阳能发电进入市场，大幅拉低了市场交易电价。以 2012 年 5 月为例，由于天气晴朗，光伏大发，白天交易电价一直保持在 0.03 欧元/(kW·h) 左右，以往发生在中午用电高峰期的电价峰值不再出现。偏低的市场交易电价不仅使风电和太阳能发电厂无法通过市场回收投资资金，也大大打击了投资者对传统电源的投资积极性，最终将导致系统备用容量和辅助服务电源不足，运行风险增加。德国政府已经意识到这一风险，正在探索建立容量市场以保证系统安全稳定运行的可能性。

3.3 与欧洲整体能源政策不协调

(1) 核电政策不协调

德国已经宣布全面关闭核电站，并通过发展可再生能源填补核电关闭后产生的能源缺口。但欧盟在《欧洲 2050 能源发展路线图》^[10] 中，依然将核电定位为降低能源成本、减少温室气体排放的重要能源品种，德国周边的法国、荷兰、波兰等国家也在规划建设新的核电站。弃核政策并不能消除德国面临的核电事故风险。

(2) 补贴政策不协调

为避免由于发展可再生能源带来的高电价影响其工业竞争力，德国对一些工业用电大户提供电价补贴，此举与欧盟推动电力自由化和市场竞争的理念背道而驰，也引起了国内未享受补贴的企业和民众的不满。2012 年 11 月，德国能源消费者联盟向欧盟委员会就德国能源政策的不公平问题提出了投诉。与欧洲整体能源政策的不协调将给德国能源转型带来一定的政治和舆论压力。

4 对我国的启示

我国正在实施从以煤为主到多元发展的能源结构调整，着力提升清洁低碳化石能源和非化石能源比重。2009 年，我国先后提出了到 2020 年实现非化石能源占一次能源消费比重达到 15% 左右，单位国内生产总值 CO₂ 排放比 2005 年下降 40%~45% 的目标。大力发展可再生能源，成为我国未来能源战略转型的重点任务之一。德国能源转型取得的经验，可以为我国优化调整能源结构提供有益的启示。

4.1 发展可再生能源必须充分考虑社会承受能力，处理好清洁、经济、可靠三者的关系

可再生能源的发展是大势所趋，但不能以单纯追求装机容量为目标，盲目扩大规模。至少在 2020 年前，风电和太阳能发电的发展还不能离开国家财政补贴。因此，可再生能源的发展，必须考虑社会成本。即使是德国这样的发达国家，可再生能源发展带来的经济压力也已经让社会感觉有些不堪重负。近年来，我国可再生能源发展屡屡突破规划目标，一方面反映规划目标制定缺少科学性，另一方面也导致补贴资金压力增加，配套基础设施难以适应等问题。因此，有必要对超规划发展、超速发展的发展思路和发展方式进行调整，结合国家能源战略发展目标和经济社会发展水平，通过科学的方法确定合理的发展目标预期，并基于该目标预期配套相应的保障性政策措施，开展配套电网等基础设施建设。在外界条件没有发生重大变化的情况下，不应随意调整规划目标。

4.2 提升电力系统灵活性，必须加强制度设计

电力系统的高度灵活性是实现可再生能源大规模发展的必要条件。增强系统灵活性在电源、电网、用电等各个环节都有许多技术手段可以选择，

如，在电源环节进行技术改造、增加储能储热装置，在电网环节加强电网互联、提高输电容量，在用电环节发展电采暖负荷、开展需求侧管理等。从德国发展经验看，大部分技术手段都可以通过相对低廉的成本实施。在我国，这些技术手段实施的最大阻碍并非技术层面，而在于缺少鼓励投资者和用户采取这些技术手段的激励制度。适应未来我国可再生能源持续快速发展的形势要求，有必要对电力系统可挖掘潜力进行深入分析，加强对各种技术手段的成本效益研究，通过有针对性的制度设计，提升系统灵活性，保障可再生能源的消纳。

4.3 未来电力市场设计，应充分考虑可再生能源大规模发展情况下的发电容量充裕度问题

保证充裕的发电容量，维持可靠的电力供应，是电力市场设计需要解决的核心问题之一。研究表明，单一的能量市场模式难以确保发电容量的充裕性^[11]。可再生能源的出力特性决定了需要更多的机组为其提供调峰、调频和备用服务。在可再生能源大规模发展的情况下，电力系统的发电容量充裕度问题显得更加突出。未来我国发电侧电力市场的建设过程中，应在保存能源市场的同时增添容量市场，使得传统能源电厂、可再生能源、需求侧资源以及储能系统可从两个市场获取利润，并提供辅助

服务，为保持系统稳定性起到必要作用。■

参考文献：

- [1] IEA. World Energy Outlook 2012[R]. London: IEA, 2012-11.
- [2] Climate Change 2007: Synthesis Report[R]. Geneva, Switzerland: IPCC, 2007.
- [3] Energy Balances of OECD Countries[R]. London: IEA, 2013-07.
- [4] 张琪. 德国“能源转型”进行时[N]. 中国能源报, 2013-07-15(008).
- [5] 黄碧斌, 李琼慧, 蒋莉萍. 德国分布式电源的发展经验及其启示[J]. 中外能源, 2013, 18(6): 26-30.
- [6] 罗涛. 德国新能源和可再生能源立法模式及其对我国的启示[J]. 中外能源, 2010, 15(1): 34-45.
- [7] BMWi. Energy Concept—For an Environmentally Sound, Reliable and Affordable Energy Supply[R]. BMWi, 2010.
- [8] Agora Energiewende. 12 Insights on Germany's Energiewende [R]. Berlin: Agora Energiewende, 2013.
- [9] 孙宁鸿, Schmitz T D. 德国实现能源转型的措施与挑战[J]. 中国能源, 2012, 34(3): 11-14.
- [10] Europe Commission. Energy Roadmap 2050 [R]. Brussels: Europe Commission, 2011.
- [11] 文福拴, 吴复立, 倪以信. 电力市场环境下的发电容量充裕性问题[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(19): 16-22.

Experiences and Challenges of Germany in Energy Transformation

GUO Ji-wei, WANG Xiao-lu

(State Grid Energy Research Institute, Beijing 100052)

Abstract: Developing the renewable energy is a popular option for all countries to deal with the climate change and energy supply safety. In recent years, Germany has made remarkable achievements in energy transformation by establishing highly flexible power system, deeply integrating power industry with heating system, and greatly improving the energy efficiency. At the same time, it also faces many challenges such as high cost, incommensurate market system, and inconsonant policy. China is diversifying its coal-based energy mix. Using the experiences and challenges of Germany for reference, China should fully consider the social bearing capacity when developing renewable energy, strengthen the system design to improve power system flexibility, and set up the capacity market besides the energy market in the future to ensure the safe operation of power system.

Key words: Germany; energy transformation; renewable energy; energy efficiency; capacity market; energy policy