

教育部人文社会科学研究规划基金项目 (12YJAZH205) 资助
河北省自然科学基金项目 (G2012502065)

Study of Development on the
China Wind Power Industry Chain

中国风电产业链发展 研究



赵振宇 朱 茈 著

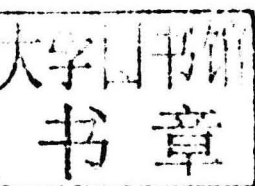
 中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

教育部人文社会科学研究规划基金项目 (12YJAZH205) 资助
河北省自然科学基金项目 (G2012502065)

Study of Development on the
China Wind Power Industry Chain

中国风电产业链发展 研究

赵振宇 朱 茈 著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书是中国风电产业链发展研究成果, 主要内容包括: 探究世界典型国家风电产业发展趋势及经验, 分析我国风电产业发展现状及问题, 建立我国风电产业链模型。书中提出风电产业链柔性问题, 进行风电产业链柔性和环境动荡性维度划分及影响因素分析、风电产业链发展问卷调查和柔性特性分析。建立风电产业链柔性评价体系, 分析风电产业链柔性动态演化机制及柔性运行机制, 构建风电产业链柔性与环境动荡性匹配模型。书中还对中国风电产业链发展进行 SWOT 分析, 提出我国风电产业链柔性战略体系构架及柔性建设实施策略。本书视角新颖, 观点前瞻, 数据翔实, 模型丰富。

本书可供风电及可再生能源管理相关研究领域高等院校师生阅读, 也可供风电研发、设计、生产、投资、建设、运行维护及政府主管部门管理人员和技术人员参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

中国风电产业链发展研究 / 赵振宇, 朱茫著. —北京: 中国电力出版社, 2015.6

ISBN 978-7-5123-7776-9

I. ①中… II. ①赵… ②朱… III. ①风力发电—电力工业—产业链—研究—中国 IV. ①F426.61

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 102616 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2015 年 6 月第一版 2015 年 6 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 9 印张 194 千字

定价 28.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签, 刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



风电是具有大规模商业开发价值且技术较为成熟的新能源利用方式，是我国构建清洁、高效、低碳现代能源体系的重要组成，国家有关部门及相关省市正在加大风电等新能源领域产业布局规划、资金投入和项目建设，已形成集咨询、研发、设计、投资、生产、运行维护于一体的风电产业链。研究风电产业的实际问题，对我国新能源发展有着重要意义。本书是研究并提出中国风电产业链柔性战略的成果。

本书在考虑世界典型国家风电产业发展趋势及经验基础上，分析我国风电产业发展现状及存在问题，建立我国风电产业链模型及其供应链维、技术链维和价值链维结构。提出风电产业链柔性问题，进行风电产业链柔性和环境动荡性维度划分、柔性和环境影响因素识别及分析，风电产业链发展问卷调查和柔性特性分析。在风电产业链柔性优化方面，建立风电产业链柔性评价体系，分析风电产业链柔性动态演化机制及柔性运行机制，构建风电产业链柔性与环境动荡性匹配模型。进行中国风电产业链发展 SWOT 战略分析，提出我国风电产业链柔性战略体系构架及柔性建设实施策略。

本书是华北电力大学赵振宇教授主持的教育部人文社会科学研究规划基金项目（12YJAZH205）、河北省自然科学基金项目（G2012502065）和北京市哲学社会科学规划项目（12JGB067）课题三年研究的最新成果，研究工作得到了基金项目的资助。鉴于目前国内尚缺少系统深入研究中国风电产业链发展的著作，本书在形成过程中，紧扣我国风电发展实际问题研究的迫切需要，力求做到理论联系实际、视角新颖，观点前瞻、数据可靠、方法先进、图文并茂。

赵振宇教授指导的华北电力大学博士硕士研究生朱蒞、田玉喜、甘景双、孙光政、李志伟、侯丽颖、苏中莹、陈玉龙、吴攀昊、王永青、闫红、宋婧、令文君及阿德莱德大学博士生常瑞东等多位同学参加了课题的研究，本书是项目团队共同努力集体工作的成果。

在研究过程中，南澳大利亚大学左剑博士、澳大利亚阿德莱德大学 George Zillante 教授、昆士兰科技大学夏波博士提供了重要支持，国网能源研究院新能源与统计研究所所长李琼慧高级工程师提供了宝贵的数据资料。

谨向参加研究及给予帮助的所有老师和同学表示感谢。

本书在正文和参考文献中已尽可能详细列出数据来源和相关研究论文、报告、书籍、网址等的出处（如有疏漏敬请谅解），感谢对本书研究工作带来启迪和参考的所有作者。还要感谢许继风电科技公司、北京电力行业协会、深能北方（通辽）能源开发有限公司、河北大唐国际风电开发有限公司、辽宁大唐国际风电开发有限公司、福建大唐国际风电开发有限公司、山西大唐风电公司、中广核工程公司、中国水电建设集团新能源公司等单位对课题调研工作提供的帮助。感谢在本书面世过程中中国电力出版社编辑的鼓励和精心编整。

本书可供风电及可再生能源管理相关研究领域高等院校师生，风电研发、设计、生产、投资、建设、运营及政府主管部门管理人员和技术人员参考使用。

在我国，风电产业链是一个新兴的产业链，风电产业链研究这一全新的领域有许多理论和实践问题亟待探索。有关的理论还将通过实践加以完善并证实其效果和价值。期待本书能抛砖引玉，吸引更多的同行和读者进一步研究或者讨论本书中的问题。书中不妥之处，敬请读者批评指正。

著 者

2015 年 5 月



前言

绪论	1
第一章 国内外风电产业发展状况	5
第一节 世界风电产业发展整体概况	6
第二节 典型国家风电产业发展及经验	7
第三节 我国风电产业发展状况分析	13
第二章 我国风电产业链结构模型	21
第一节 风电产业链模型构建	22
第二节 风电产业链功能分析	24
第三章 风电产业链柔性理论体系	29
第一节 风电产业链柔性理论	30
第二节 风电产业链环境及柔性影响因素	35
第四章 风电产业链发展调查问卷分析	43
第一节 调查问卷基本情况分析	44
第二节 问卷调查统计结果检验分析	46
第三节 风电产业链柔性特性分析	48
第四节 风电产业链环境和柔性影响因素主成分分析	59
第五章 风电产业链柔性优化模型分析	63
第一节 风电产业链柔性评价指标体系	64
第二节 风电产业链柔性运行机制分析	76
第三节 风电产业链柔性同环境动荡性匹配模型研究	83
第六章 中国风电产业链发展 SWOT 分析	95
第一节 风电产业链 SWOT 因素分析	96
第二节 我国风电产业链 SWOT 组合战略	106

第七章 我国风电产业链柔性战略体系	111
第一节 我国风电产业链柔性战略总体设计思路	112
第二节 我国风电产业链柔性战略体系构架	115
第三节 风电产业链柔性建设初级阶段实施策略	119
第四节 风电产业链柔性建设发展和成熟阶段实施策略	124

参考文献	132
------------	-----

绪 论





一、研究背景

当前,我国能源发展面临着对传统能源依赖度高、消耗量大、环境污染等问题。因此,调整能源结构、发展可再生能源、减少温室气体排放、缓解环境污染已成为实现能源可持续发展的重要方向。

风能是具有大规模开发价值及潜力的可再生能源,我国风能资源丰富,据统计,10m高陆地可开发风能总量达2.5亿kW,海上风能储量达7.5亿kW,其中,较丰富的地区主要集中在西北、华北和东北地区以及东南沿海及附近岛屿。近年来我国风电产业发展迅速,截至2014年初,我国风电累计装机容量达92GW,约占全球风电累计装机容量的29%。

目前,我国政府和相关部门鼓励社会资本投入到风电等新能源领域,加强产业合理布局,积极引导产业聚集。我国已初步实现风电产业的规模发展,在产业发展的技术、人才、组织及市场培育方面具备了一定优势,拥有包括国电、大唐、华能、华电、中电投等五大发电集团及中广核、京能、国华、华润、三峡、中节能等一批风场建设和风电投资企业和以金风、联合动力、明阳、华锐、湘电、上海电气等为代表的风电装备制造企业,以及一批风电设计、咨询、维护、检测等技术服务机构,建立了国家能源风电研发中心、国家海上风电技术装备研发中心、国家能源风电叶片研发中心等一批国家级研发中心,逐步形成了集咨询、研发、设计、投资、生产、运行维护于一体的风电产业链。

我国风电产业的大规模发展始于2006年,起步晚、发展时间较短,受法规、政策、技术、地区、财政、市场、电价、电网设施等诸多因素的影响,风电产业链上相关企业多处于发展阶段,所面临内外部环境的不确定性高、动态变化快,其联系和互动关系复杂,风电产业链的成熟度、整合度、集成度有待进一步提高,产业链价值增值能力需要进一步加强。因此,急需在复杂市场环境下,探讨我国风电产业链结构、产业运营机制、产业发展战略,研究风电产业链面临的环境动荡性和产业链柔性问题,将产业发展所面临的各种不确定性因素所带来的风险进行有效控制,并努力将其转化成我国风电产业发展的机遇,以实现我国风电产业的协调可持续发展。

二、研究思路

依据我国风电产业链相关问题的研究背景和目的,确定研究的技术路线如图0-1所示。

三、研究内容

按照风电产业链发展研究所制定的技术路线图,本书各章节具体内容安排如下。

绪论。介绍本书研究背景、研究目标和研究意义,提出本书的研究内容及技术路线。

第一章:国内外风电产业发展状况。本章首先介绍世界风电产业的总体发展现状;其次,选取典型国家风电产业进行具体分析,梳理其发展过程,总结典型国家风电产业发展经验;最后,从装机容量、海上风电、装备制造、风电并网等多个角度分析我国风

电发展情况，探讨我国风电产业发展中存在的主要问题。

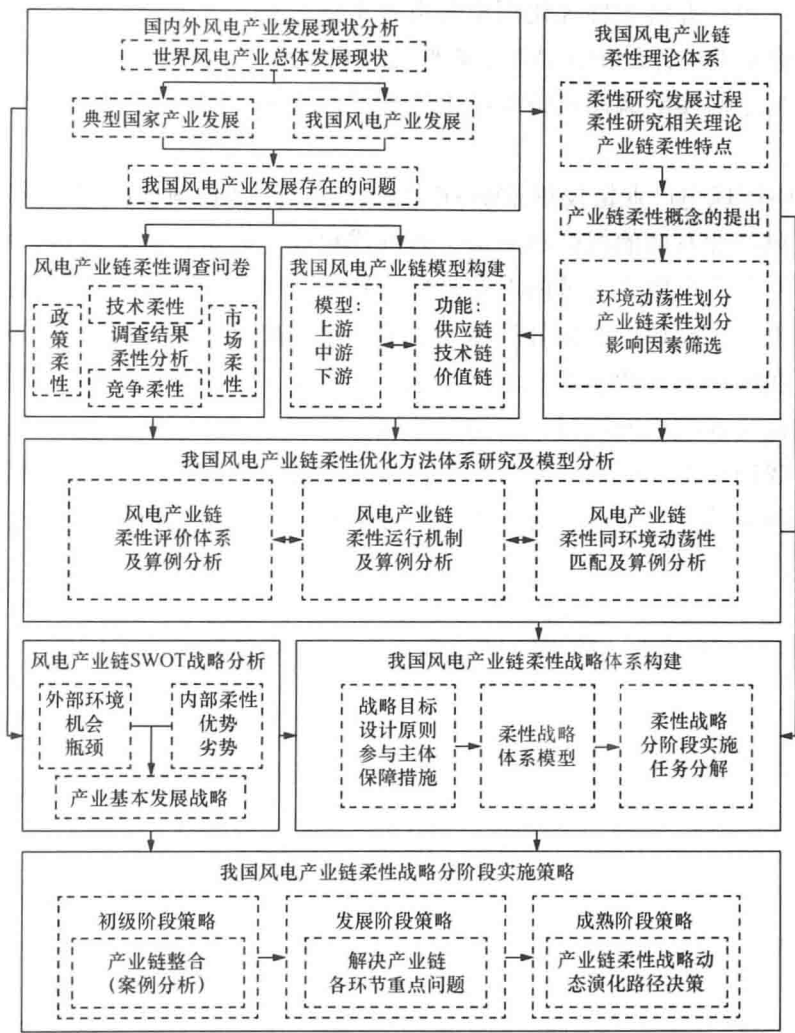


图 0-1 研究的技术路线

第二章：我国风电产业链结构模型。本章从风电产业链业务环节入手，构建风电产业链结构模型，分析其构成要素及其相互之间的关系，以把握当前我国风电产业的基本结构，并明确风电产业链各维度的系统功能。

第三章：风电产业链柔性理论体系。本章针对柔性研究的发展过程，总结产业链柔性特点，首次提出“风电产业链柔性”的概念，并对其发展内涵、动态演化机制、相关环境动荡性等概念进行解释说明；同时，对风电产业链柔性和环境动荡性维度进行具体划分，通过文献分析的方法，确定各维度所包含的相关影响因素。

第四章：风电产业链发展调查问卷分析。本章首先基于风电产业链柔性调查问卷，对问卷设计思路、发放及回收、被调查对象以及问卷初步统计情况进行概述；其次，应用统计学方法对问卷调查结果的平稳性、信度、效度等进行检验；最后，根据问卷调查对影响我国风电产业链柔性的技术、市场、竞争、政策四类主要因素进行统计分析，用



于把握不同地区、不同环节产业链的发展问题，通过主成分分析归纳影响柔性的因素。

第五章：风电产业链柔性优化模型分析。本章是对我国风电产业链柔性发展的进一步探讨，通过构建柔性评价指标体系、柔性运行机制模型、柔性同环境动荡性匹配模型，利用多种模型方法对实际调研及访谈结果进行算例分析，明晰我国风电产业链柔性方面存在的问题。

第六章：中国风电产业链发展 SWOT 分析。本章结合我国风电产业链发展现状及存在问题，对风电产业发展的机会和瓶颈、内部优势和劣势等影响要素进行识别和分析，在此基础上制定我国风电产业链的增长战略、转型战略、多元战略和防御战略，帮助风电产业及其相关企业把握产业所处战略发展的基本方向，明确具体发展策略。

第七章：我国风电产业链柔性战略体系。本章在上述各章研究成果的基础上，明确我国风电产业链柔性战略发展目标、构建原则、参与主体及保障措施，从产业链整体发展角度，提出我国风电产业链“3421”柔性战略发展体系建议；同时，将发展过程划分为初级、发展和成熟三个阶段，对各阶段柔性战略实施任务进行分析。



第一章

国内外风电产业发展状况

进入 21 世纪以来，世界风电产业发展迅速，风电在能源消费结构中的比例不断提升。近十年，我国风电产业也进入了快速发展的阶段，产业规模化、产业效益不断加强。本章以世界风电产业发展为背景，研究分析典型国家风电产业的发展趋势，总结其发展经验；同时，对我国风电产业发展状况进行全面分析，总结风电产业发展存在的主要问题。





第一节 世界风电产业发展整体概况

一、世界能源消费结构

全球范围内，作为最具技术成熟性和经济竞争力的新能源发电类型，风电不仅在能源安全和能源供应的多元化方面扮演着重要角色，也在经济增长、大气污染防治和温室气体减排中发挥了重要作用，风电已经成为国际可再生能源发电的主要拉动因素。2012、2013 年世界能源消费结构如图 1-1 和图 1-2 所示。

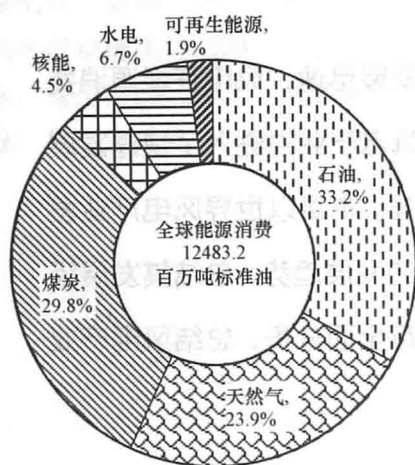


图 1-1 2012 年世界能源消费结构

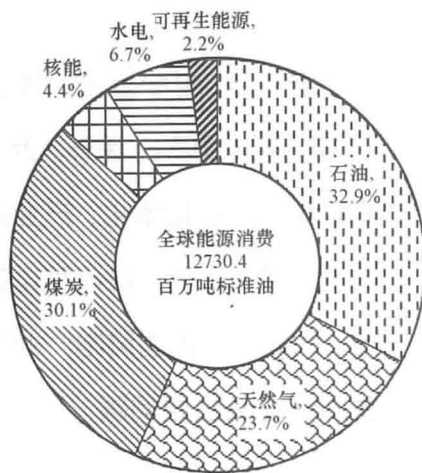


图 1-2 2013 年世界能源消费结构

从图 1-1 和图 1-2 可以看出，近年世界能源消费以石油、煤炭、天然气为主，水电和可再生能源消费比例尚不到 10%，但可再生能源消费从 2012 年的 1.9% 增长到了 2013 年的 2.2%，成为增长最快的能源消费种类之一，其中，风能消费的增长高达 20.7%^[1]。虽然，目前全球风能消费比例偏低，但发展潜力巨大，新增风力发电在以美国和欧洲为传统主力风电市场的背景下，亚洲（以中国为代表）、拉丁美洲、非洲及中东地区同时呈现出了多极点发展的良好态势。

二、世界风电发展概况

根据 2014 年全球风能理事会（GWEC）发布的《Global Wind Statistics 2013》全球风电统计数据显示^[2]：截止到 2013 年底，全球风电累计装机总量达到 318.137GW，在过去的五年中增长近 200GW，其中中国风电累计装机容量达到 91.4GW，位列世界第一。2004~2013 年十年间全球风电累计装机总容量及增长率变化趋势如图 1-3 所示。

从图 1-3 可以看出，2009 年前全球风电装机规模迅速扩大，然而受 2009 年全球金融危机及各国相关促进政策落实影响，全球风电装机容量增长放缓，但保持在相对平稳的增长水平上。目前，全球风电累计装机容量较多的国家分布在欧洲、中印和美加，其



中 2013 年排名前五位的国家分别为中国、美国、德国、西班牙和印度。2013 年全球新增风电装机容量排名前五位国家分别是中国、德国、英国、印度和加拿大。2013 年主要国家风电累计及新增规模^[2] 见表 1-1。

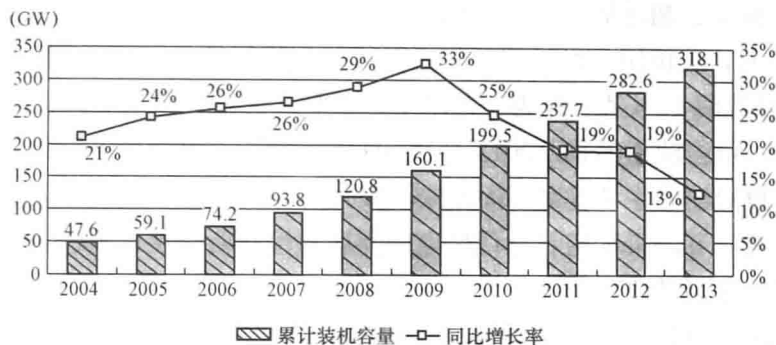


图 1-3 2004~2013 年全球风电累计装机容量及增长变化趋势

表 1-1 2013 年主要国家风电累计及新增规模

2013 年新增装机			2013 年累计装机		
排名	国家	容量 (GW)	排名	国家	容量 (GW)
1	中国	16.10	1	中国	91.42
2	德国	3.24	2	美国	61.09
3	英国	1.88	3	德国	34.25
4	印度	1.73	4	西班牙	22.96
5	加拿大	1.60	5	印度	20.15
6	美国	1.08	6	英国	10.53
7	巴西	0.95	7	意大利	8.55
8	波兰	0.89	8	法国	8.25
9	瑞典	0.72	9	加拿大	7.80
10	罗马尼亚	0.70	10	丹麦	4.77

此外，世界风电产业在保持装机容量平稳增长的同时，也呈现出了海上风电发展迅猛、产业发展多极化、相关扶持政策积极、国际合作不断加强的全球风电产业发展新特点。

第二节 典型国家风电产业发展及经验

各国根据自身风电产业发展特点及资源优势，发展重点不尽相同。本节针对各国风电产业发展现状，选取并研究典型国家风电产业，分析优势、总结经验，为中国风电产业未来发展提供借鉴参考。



一、美国

美国长期以来是全球风电产业发展中最具规模的大国,2013年美国风电累计装机容量 61.09GW,被中国超越居全球第二位。

2013年1月,美国国会经投票决定延长风能生产税抵免法案(PTC)和投资税抵免法案(ITC)有效期1年^[3]。作为美国风电产业享有的唯一政策支持,PTC的存废决定着行业的兴衰。值得注意的是,2013年的PTC出现了一个重要的政策调整,即允许开发商在项目建设启动时申请补贴,而原来政策规定,只有在风电机组安装完成并发电后才能申报。这意味着政策制定者已将风电的间歇特性和两年左右的建设周期纳入考量,相当于强化了风电刺激政策^[4]。

受益于PTC和ITC政策影响所带来的风电价格优势^[5],2013年美国至少有60个风电电力购买协议(PPAs)已经签署或者公布,总容量接近8GW。这些项目分布在美國的18个州。国际商业巨头如谷歌和微软这样的企业购电商都签订了长期的电力购买协议,计划在其得克萨斯州的数据中心使用风电。美国国内的公共事业单位也寻求利用风电的低价格优势,使其能源组合更加多样化并避免因未来能源波动带来的风险,纷纷签订了大量的长期风电购电合同。

此外,美国近年开始动工的项目增多,迎来了史上最大的风电机组订单潮,美国风电机组制造业产能急剧提升,并给美国的整个风电产业链带来了利好。从整机商来看,美国市场各风电机组设备厂商所占市场份额,通用电气以85%的份额居首位,接下来是维斯塔斯(8%)和西门子(7%)。据统计,由于风电研发投入和技术提升以及政策支持,美国风电成本在过去四年时间里下降了43%^[6]。

综合上述分析,风电产业政策、长期购买协议、装备技术提升是刺激美国风电产业发展的有力保障。

但从长期发展的角度考虑,美国风电产业未来发展仍面临着挑战^[7],主要问题如下:

(1) PTC和ITC等相关产业政策实施不稳定,是否可以继续延期不能确定。

(2) 部分州及地区可再生能源标准(RESs)实施遇到困难,标准的普遍适用性有待进一步提高。

(3) 得益于开发技术上的突破,大幅下降的天然气价格对风电产业及电力价格形成冲击。

(4) 风电的地域劣势及不稳定性仍是阻碍风电消费的主要原因,大规模输电线路配套建设需要加强。

(5) 风电场及输电线路建设产生的噪声污染所带来的民众阻力,延缓了建设征地及优惠法案的通过。

二、欧洲国家

2013年,欧洲风电新增装机容量为12.03GW,其中,德国2013年风电新增装机容量



量为 3.23GW，位列欧洲首位；英国 2013 年风电新增装机容量为 1.88GW，位列欧洲第二。在累计装机容量方面，德国风电累计装机容量为 34.25GW，同样占据欧洲榜首；西班牙紧随其后，累计装机容量达到 22.96GW^[2]。

针对欧洲各国风电发展情况，从以下几个方面对欧洲风电产业发展特点进行概述：

(1) 海上风电发展。

2013 年，全球海上风电获得了历史上最快的发展。受陆地风能资源禀赋影响，在欧洲，英国、德国、比利时、丹麦和瑞典等国都安装了新的海上风电机组。根据相关统计，2013 年，全球海上风电新增装机容量为 1.721GW，在全球风电新增总装机 36.13GW 中占比为 4.8%，成为海上风电发展以来新增装机最多的一年^[8]。2013 年，欧洲典型国家海上风电装机情况见表 1-2^[9]。

表 1-2 欧洲典型国家海上风电装机情况 单位：MW

国家	2012 年新增	2012 年累计	2013 年新增	2013 年累计
英国	756	2861	805	3666
丹麦	0	832.9	400	1232.9
比利时	184.5	379.5	186	565.5
德国	80	278	230	508

从表 1-2 可以看出，英国依然是全球海上风电市场的最大贡献者，但考虑到风电场对周围环境带来的生态影响及地理因素等技术难题，海上风电开发成本一直难以下降。受成本过高限制，海上风电发展开始变得缓慢，自 2013 年以来，英国共有高达 5.76GW 的海上风电项目被推迟或取消，其中莱茵集团宣布取消位于英国大西洋沿岸的 Atlantic Array 项目，引发了极大关注^[10]，该项目建设规模为 1.2GW，投资额达 65 亿美元。

为了确保海上风电项目的顺利实施，丹麦政府正在积极促进相关法律框架以确保风电成本的持续下降；作为仅次于英国和丹麦的全球第三大海上风电市场，德国也下调了 2020 年海上风电发展目标，从 10GW 下调至 6.5GW。除了成本问题外，德国海上风电开发商还受风电并网速度缓慢以及其他可再生能源政策的影响。

(2) 并网政策及技术标准。

虽然欧洲风电产业已步入成熟，风力发电能力大幅提升，但并网政策、电网建设和技术标准构建的不完善，使风电消纳问题依然成为产业发展的主要困难，“弃风”现象仍普遍存在。针对这一现象，欧洲各国也在进行积极探索，如制定风电保障性收购政策、新建配套电网、近电源侧建立工业园区或港口等。

在解决风电并网这一难题上，德国拥有相对完善的新能源并网政策和相关技术。德国在政府、各级行业协会、企业层面上制定了一系列法律法规和技术标准以满足风电并网的需求，对德国风电并网政策和技术支持体系进行构架归纳^[11]，如图 1-4 所示。

(3) 风电补贴及财政支持。

政府政策是推动风电产业发展的关键性因素，其中风电补贴政策是政策制定的重要方面，风电补贴水平往往对风电产业的发展水平以及市场化水平产生决定性影响。固定

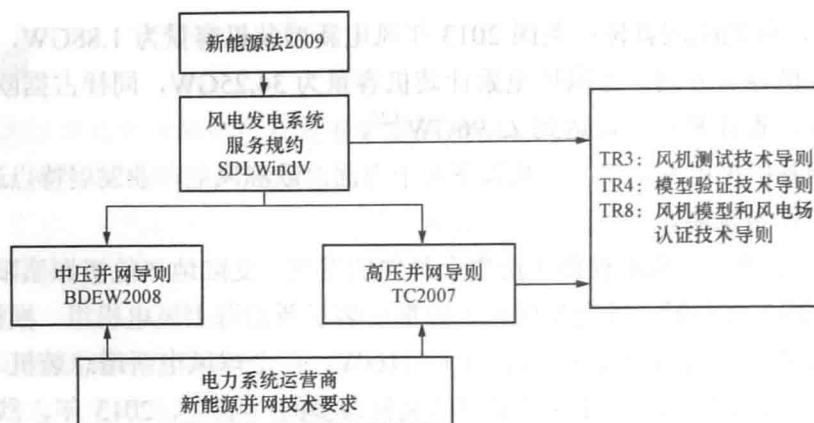


图 1-4 德国风电并网政策和技术支持体系

价格补贴（feed-in-tariffs, FIT）和可再生能源标准配额制（renewable portfolio standard, RPS）是当前两种主要的补贴政策，被广泛用于促进各国风电产业的发展。

如丹麦采用固定价格补贴机制（FIT）推广风电，自 20 世纪 90 年以来实行固定价格补贴政策，并不断完善，促进了丹麦风电产业的发展。丹麦环境部早在 1979 年要求风电强制上网，丹麦政府向风机购买者提供 30% 的补贴；1981 年，该补贴减少为 20%，而后减少为 10%，并最终随着风电成本的降低，完全取消对风机购买者的补贴。从 1992 年开始，丹麦电力公司要求以 85% 的零售价格购买风电。这一系列措施使得丹麦风电装机容量大幅增加，并成为世界上最大的风电技术开发和制造业中心。

1999 年丹麦电力改革，在陆上已有风电场中，2000 年前安装的风机在第一个 10 年运营期间获得固定价格补贴 8.05 欧分/千瓦时。2000 年到 2002 年间安装的风机在达到满负荷运转 22000 小时前的补贴为 5.8 欧分/千瓦时，之后 20 年为市场价格加上 1.6 欧分/千瓦时；陆上新风电场的补贴政策为市场价格加上 1.6 欧分/千瓦时，这一政策持续 20 年。如果实时价格加上补贴金大于 4.8 欧分/千瓦时，则补贴金减少，这个限制从 2005 年开始取消。新政策方案规定，最大的补贴为 6.4 欧分/千瓦时，如果总收益高于这一数值，则补贴优惠取消^[12]。

此外，丹麦的海上风电场建设主要是通过竞争投标决定投资者，风电场规模在竞标前已经决定，风机的具体容量和数量则由中标的投资者决定。其补贴政策与陆上风电场类似，20 年之后不再有补贴，售电价格将由市场决定。表 1-3 归纳了丹麦主要海上风电场具体补贴标准^[13]。

表 1-3 丹麦主要海上风电场价格补贴

风电场位置	阶段 1		阶段 2		阶段 3
	固定补贴 (€ /kWh)	时限	市场价格 (€ /kWh)	时限	
Horns Reef I	6.1	42000flhs ^①	市场价格+1.6	20 年	市场价格
Middelgrunden and Samsø	6.1	10 年	市场价格+1.6	20 年	市场价格