

能 可再生能源研究成果系列

STUDY ON RENEWABLE POWER PRICING MECHANISM
WITH POWER SECTOR REFORM

电力体制改革形势下的 可再生能源电价机制研究

时璟丽◎著



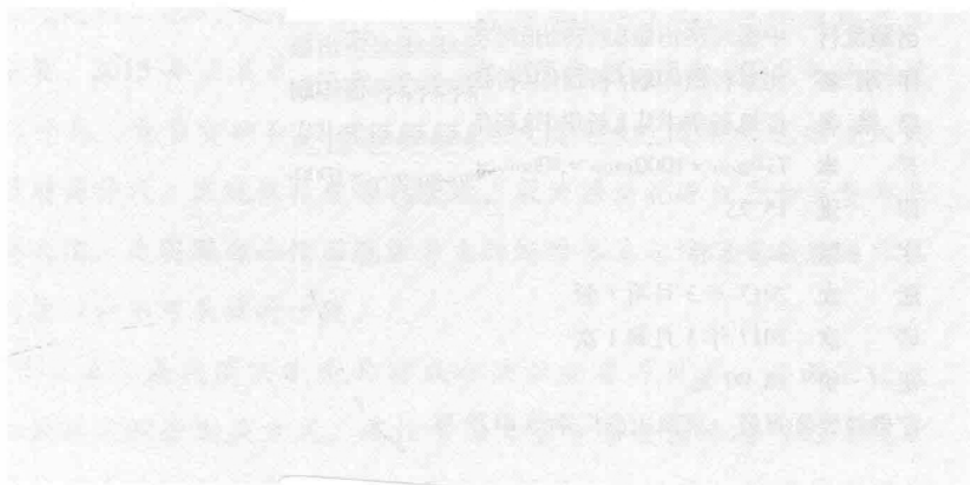
中国经济出版社
CHINA ECONOMIC PUBLISHING HOUSE



STUDY ON RENEWABLE POWER PRICING MECHANISM
WITH POWER SECTOR REFORM

电力体制改革形势下的 可再生能源电价机制研究

时璟丽◎著



中国经济出版社

CHINA ECONOMIC PUBLISHING HOUSE

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

电力体制改革形势下的可再生能源电价机制研究 / 时璟丽著.

北京: 中国经济出版社, 2017. 3

ISBN 978 - 7 - 5136 - 4656 - 7

I. ①电… II. ①时… III. ①电力体制改革—研究—中国②再生能源—发电—价格—研究—中国 IV. ①F426. 61

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 064305 号

责任编辑 姜 静

责任印制 马小宾

封面设计 金刚设计

出版发行 中国经济出版社

印 刷 者 北京科信印刷有限公司

经 销 者 各地新华书店

开 本 710mm × 1000mm 1/16

印 张 15.25

字 数 212 千字

版 次 2017 年 3 月第 1 版

印 次 2017 年 3 月第 1 次

定 价 58.00 元

广告经营许可证 京西工商广字第 8179 号

中国经济出版社 网址 www.economyph.com 社址 北京市西城区百万庄北街 3 号 邮编 100037

本版图书如存在印装质量问题, 请与本社发行中心联系调换 (联系电话: 010 - 68330607)

版权所有 盗版必究 (举报电话: 010 - 68355416 010 - 68319282)

国家版权局反盗版举报中心 (举报电话: 12390)

服务热线: 010 - 88386794

前 言

2006年《可再生能源法》实施后，我国可再生能源在系统性的法规政策支持下快速发展，“十二五”时期可再生能源进入规模化发展阶段，为实现2015年、2020年和2030年非化石能源在一次能源中的占比目标和今后更大规模发展打下了良好基础。尤其是以风电、光伏发电为代表的可再生能源电力表现突出，得益于有效的电价和费用分摊政策，我国风电、光伏发电市场和产业规模均已位居世界第一。风电累计装机容量从2010年的3131万千瓦增加到2015年的1.29亿千瓦，装机容量占比从3.3%增加到8.6%，预期2016年底达到1.49亿千瓦；光伏发电累计装机容量从2010年的30万千瓦增加到2015年的4318万千瓦，装机占比达到2.8%，预期2016年底超过7700万千瓦；生物质能发电平稳发展，2015年底装机容量达到1031万千瓦，预期2016年底超过1200万千瓦，电量贡献和占比不断提升。可再生能源电力已经进入到大规模增量替代、区域性存量替代阶段，成为推动能源生产和消费革命的重要途径，是实现由以化石能源为主的能源体系向清洁低碳能源体系转变的核心和不可或缺的手段。

“十三五”是我国实现全面建成小康社会奋斗目标、全面深化改革、加快转变经济发展方式、建设生态文明和推进能源转型的关键时期。虽然可再生能源发展在过去十年内取得了长足进步，但随着应用规模的不断扩大，可再生能源电力在发展空间、电力系统融入、技术创新、政策保障等方面面临愈加严峻的挑战。

在价格和补贴政策方面，新形势下我国可再生能源电价补贴机制面

临多重问题和挑战。2006 年我国建立了支持可再生能源电力发展的固定电价和费用分摊制度，其后，陆续颁布了陆上风电、光伏发电、生物质发电（农林剩余物发电、垃圾发电、沼气发电）、海上风电、光热发电上网标杆电价以及分布式光伏发电的度电补贴政策，并依据各类可再生能源技术发展形势进行相应的调整。此外，2011 年底设立了可再生能源发展基金，在全国范围内征收可再生能源电价附加，用于可再生能源电价补贴和接网费用以及独立可再生能源运行费用补贴。电价和费用分摊政策的实施，一方面，有效推动了风电、光伏发电等可再生能源发电成本的下降；另一方面，随着风电、光伏发电等可再生能源装机容量和发电量的迅速增加，可再生能源电价补贴资金需求不断增高，根据初步测算，按照可再生能源相关规划中提出的风电、光伏发电、生物质发电发展规模，考虑目前的煤电和可再生能源标杆电价水平不变，2020 年当年可再生能源电价补贴需求将达到 1800 亿元以上。由于电价补贴来源目前仅有可再生能源电价附加这一唯一渠道，虽然电价附加标准已经在 2015 年底调整到 1.9 分/千瓦时，但仍存在较大缺口。财政部预期到 2016 年底，可再生能源发展基金收入与电价补贴需求之间累计存在约 520 亿元的资金缺口，如保持现有政策不变，未来缺口还将增大。

当前我国实行的标杆电价定价机制仅仅反映了煤电、风光等各类电源的直接成本，未能考虑化石能源的外部成本或者可再生能源的外部资源环境生态效益，这就导致风电、光伏发电的直接表观成本显著高于煤电，在经营期价格模式下，可再生能源标杆电价水平也显著高于煤电。尤其是 2014—2015 年，由于国内外化石能源价格持续走低，我国连续几次调低了煤电标杆电价，虽然风电、光伏发电等可再生能源发电成本和电价有不同程度的下降，但由于煤电价格的显著下降，光伏发电的度电补贴水平下降有限，风电的度电补贴水平不降反升，煤电价格不反映其外部成本，显著降低了可再生能源的经济性和竞争力，同时也造成可

再生能源电价补贴资金需求飙升。从促进可再生能源长期持续健康发展角度看，需要在价格方面为其发展提供保障，或是通过将化石能源外部性成本以资源、环境、碳等税费形式外部化，提升化石能源的成本，或是将可再生能源的外部效益反映出来，对可再生能源予以持续的、合适的经济政策支持。

2015年3月，我国政府颁布了《关于进一步深化电力体制改革的若干意见》，同年11月又颁布了6个电改配套文件。2016年，全国在多个地区陆续成立了电力交易中心，电改的重点之一是推进电价改革，理顺电价形成机制，主要包括输配独立和单独电价核算、公益性以外的发售价格由市场形成、推进发用电计划改革、电量逐步转向市场化交易（发售直接交易、长期交易、跨区交易）并形成市场化交易电价等。电力体制改革对可再生能源和电价补贴机制创新又提出了新要求，从改革方向看，未来可再生能源需要全部参与电力市场，可再生能源价格形成机制一方面可以以市场化为目标进行相应的调整、变革，另一方面也可以成为电价改革的先头示范。因此，以电力体制改革框架为平台，借鉴国际经验，研究促进我国可再生能源电力发展的、以市场化为基础的、可再生能源电价和补贴新机制，既有长远意义，也是现实迫切需要。

从上述可再生能源持续健康发展对电价长效支持机制需求分析、为解决和应对可再生能源电价补贴资金问题和挑战提出可行的方案，以及顺应电力体制改革方向设计可再生能源电价创新机制等关键点出发，笔者在2016年先后主持和参与了相关系列课题和任务的研究，主要有国家能源局新能源司委托的“风电、太阳能发电平价上网路线图研究”，国家发展改革委价格司、国网公司财务部和国网北京公司委托的“可再生能源附加电价补贴政策研究”，能源基金会委托的“电力体制改革框架下可再生能源电价及补贴形成机制研究”，中国长江三峡集团委托的“海上风电价格形成机制研究”等。本书是笔者承担这些课题的个

人研究成果的整理和汇总。

研究过程中得到了来自上述政府部门、企业、基金会和国内有关协会、企业，以及笔者所在单位国家发展改革委能源研究所的领导和专家的指导和支持。国家可再生能源中心的王红芳、袁婧婷、刘建东、樊丽娟、杭宇、郭晓雄等在研究过程中提供了协助，书中部分内容来自国家发展改革委能源研究所陶冶、高虎撰写的研究报告（第一章“补贴资金需求、补贴资金平衡和资金缺口”部分以及第三章“成本影响因素和变化趋势”部分为陶冶撰写，第二章“英国”部分以及第四章“与其他机制衔接”部分为高虎撰写）。在此对以上部门、单位、领导、专家和同事表示衷心的感谢！同时感谢中国经济出版社的姜静编辑对本书出版给予的帮助和支持！

书中不妥之处敬请读者批评指正。

时璟丽

2016年12月于北京

目 录

第一章 现行可再生能源电价和补贴政策分析 / 1

第一节 标杆电价政策	3
第二节 费用分摊政策	6
第三节 政策作用和实施效果	8
一、风电	9
二、光伏发电	11
三、生物质发电	13
第四节 电价政策面临的挑战	14
一、标杆电价水平调整	14
二、电力体制改革与电价机制调整	19
第五节 补贴政策面临的挑战	25
一、补贴资金需求	26
二、补贴资金平衡和资金缺口	30
三、补贴资金管理模式	32

第二章 国际可再生能源电价和补贴政策趋势分析 / 35

第一节 电价和补贴机制特点和应用	37
------------------------	----

一、固定电价机制	38
二、固定补贴机制	39
三、净电表制	40
四、招标电价机制	41
五、配额和绿色证书机制	42
第二节 典型国家电价和补贴机制及趋势	44
一、德国	44
二、英国	53
三、美国	61
第三节 电价和补贴机制趋势分析和启示	65
一、趋势分析	65
二、启示	66
第四节 可再生能源成本和电价水平变化和趋势	68
一、总体水平和趋势	68
二、陆上风电	70
三、海上风电	72
四、光伏发电	73
五、光热发电	76

第三章 可再生能源电价水平机制研究 / 81

第一节 完善电价政策总体思路建议	83
一、目的和原则	83
二、目标和预期	83
三、方式和路径	84
第二节 电价测算方法	89
第三节 陆上风电	91

一、成本影响因素和变化趋势	91
二、电价下降潜力	103
三、电价水平建议方案	106
四、对补贴资金需求的影响	107
第四节 海上风电	108
一、成本影响因素和变化趋势	108
二、电价下降潜力	115
三、电价水平建议方案	118
第五节 光伏发电	121
一、成本影响因素和变化趋势	121
二、电价下降潜力	127
三、“光伏领跑技术基地” 电价分析	130
四、电价水平建议方案	132
五、对补贴资金需求的影响	138
第六节 光热发电	139
一、电价水平考虑因素	139
二、电价水平建议方案	141
第七节 生物质直燃发电	142
一、电价需求测算和分析	142
二、电价水平建议方案	144
第八节 垃圾焚烧发电	146
一、电价需求测算和分析	146
二、电价水平建议方案	147
第九节 生物质沼气发电	149
一、电价需求测算和分析	149
二、电价水平建议方案	152

第四章 可再生能源电价创新机制研究 / 155

第一节 定额补贴机制 157

 一、与固定电价机制比较 157

 二、目的和原则 158

 三、方式和路径 158

 四、补贴水平确定 161

第二节 招标机制 166

 一、作用和可能效果 166

 二、定价机制路径 168

第三节 绿色证书交易机制 169

 一、概念和含义 169

 二、建立及实施的基础 170

 三、框架思路 170

 四、绿色证书价格测算 173

 五、实施经济性影响 177

 六、与其他机制的衔接 179

第五章 结 论 / 185

附录 主要可再生能源电价和补贴相关法规政策 / 191

参考文献 / 228

图目录

图 1-1	2016 年主要电源电价水平	4
图 1-2	可再生能源电价附加标准调整以及补贴发放情况	6
图 1-3	可再生能源发电发展情况和“十三五”预期	8
图 1-4	2007—2015 年风电新增和累计装机容量及其增速	9
图 1-5	2015 年部分省份风电累计装机	10
图 1-6	2007—2015 年风电上网电量及其增速	11
图 1-7	2011—2015 年光伏发电累计装机容量及其增速	12
图 1-8	2011—2015 年光伏发电年发电量及其增速	12
图 1-9	2011—2015 年生物质发电累计装机容量	13
图 1-10	2008—2016 年风电和光伏发电单位初始投资变化情况	15
图 1-11	分月度风电和光伏发电新增装机情况	17
图 1-12	2010—2015 年风电限电情况	19
图 1-13	2016—2020 年可再生能源发电补贴资金需求测算结果	29
图 2-1	2015 年全球可再生能源发电政策及分布	38
图 2-2	德国可再生能源电价机制演变	45
图 2-3	2001—2015 年德国光伏发电市场新增规模	47
图 2-4	2000—2015 年德国可再生能源电价附加水平及构成	49
图 2-5	英国绿色证书的流通图	57
图 2-6	英国差价合约机制电费结算示意图	59
图 2-7	2001—2015 年美国风电累计装机容量	62
图 2-8	2015 年不同贴现率水平下光伏发电和陆上风电平准化成本	69

图 2-9	2010 年和 2015 年贴现率 7% 情况下光伏发电和陆上风电 平准化成本	69
图 2-10	1983—2014 年全球陆上风电学习曲线分析	71
图 2-11	全球海上风电开发投资情况	72
图 2-12	2009—2025 年光伏发电全球加权平均成本下降趋势和比重 ...	74
图 2-13	2015 年各主要国家光伏发电 BoS 成本构成情况	75
图 3-1	2008—2015 年国内风电机组市场价格情况	92
图 3-2	2015—2020 年 2 兆瓦风电机组单位千瓦成本变化预期	93
图 3-3	2011—2015 年双馈发电机价格及 2017—2020 年价格预测 ...	94
图 3-4	2011—2015 年轮毂历史价格趋势	95
图 3-5	2015—2020 年风电场单位初始投资变化预期	97
图 3-6	五年及以上银行长期贷款利率调整 (1996—2015 年)	102
图 3-7	陆上风电电价水平方案建议	106
图 3-8	我国近海风电项目平均水深和离岸距离	109
图 3-9	海上风电初始投资水平变化预期	113
图 3-10	国内晶硅光伏组件价格变化情况	122
图 3-11	光伏组件成本影响因素敏感性分析	122
图 3-12	光伏发电系统投资变化预期	126
图 3-13	各地区分布式光伏发电年等效利用小时数以及 2016 年 电价情况	134
图 3-14	光伏发电标杆电价和分布式光伏度电补贴水平建议方案 ...	136
图 4-1	2005—2016 年煤电标杆电价变化情况	160
图 4-2	2005—2015 年秦皇岛港动力煤离岸价	160

表目录

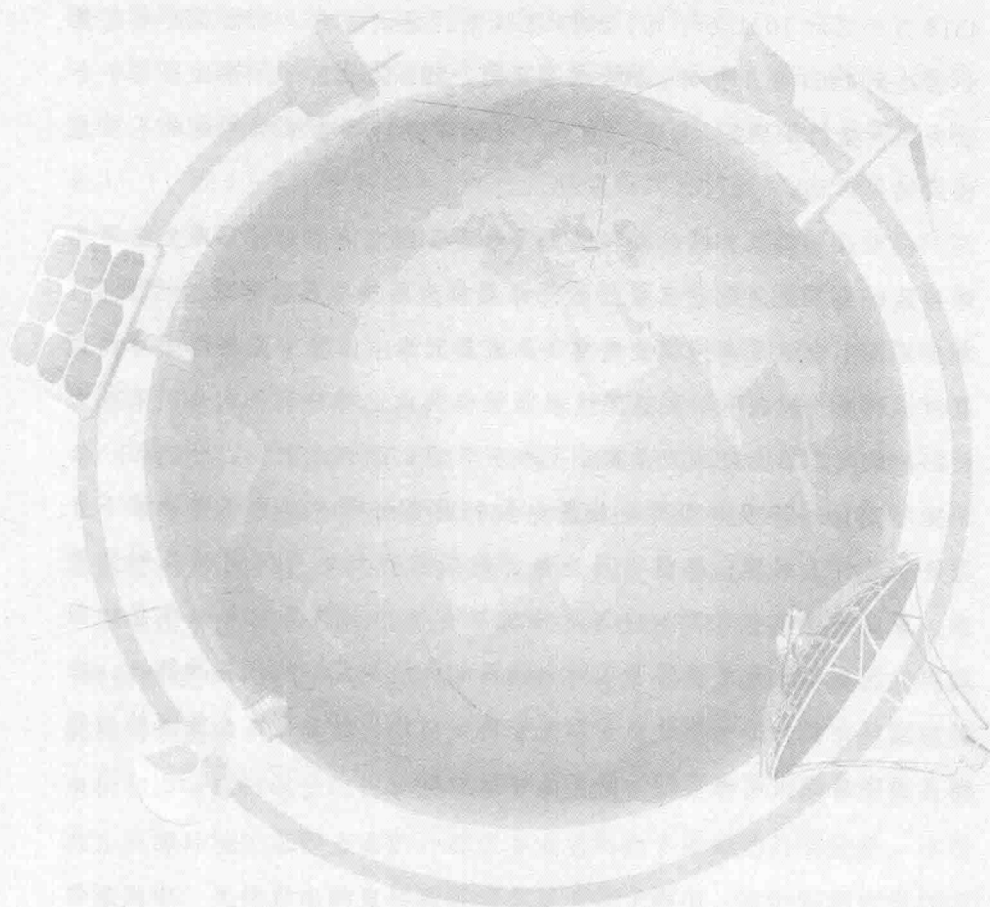
表 1-1	风电标杆电价	4
表 1-2	光伏发电标杆电价	5
表 1-3	生物质发电标杆电价	5
表 1-4	测算采用的可再生能源发电装机规模	26
表 1-5	测算采用的可再生能源发电量	27
表 1-6	陆上风电电价水平设定	28
表 1-7	集中式光伏电站电价水平设定	29
表 1-8	可再生能源发电补贴资金需求测算结果（不含税）	30
表 1-9	可再生能源补贴资金收支情景	31
表 2-1	2014 年德国《可再生能源法》规定的可再生能源发电技术 固定电价水平	46
表 2-2	德国各类可再生能源招标政策情况	50
表 2-3	近期德国大型光伏电站电价水平	52
表 2-4	英国可再生能源义务证书兑换计量	54
表 2-5	英国单位兆瓦时发电 ROC 义务及买断价格	55
表 2-6	英国 2014—2019 年行政差价合约固定电价水平	60
表 2-7	全球可再生能源投资水平和平准化度电成本现状和预测	70
表 2-8	2015 年全球逆变器价格（不含中国逆变器产品）	75
表 2-9	部分大型光热电站电价以及相关情况	77
表 3-1	风电重点地区最低保障收购年利用小时数	87
表 3-2	光伏发电重点地区最低保障收购年利用小时数	87

表 3-3	我国风电机组核心零部件价格构成	92
表 3-4	2013—2014 年不同地区风电场单位初始投资	96
表 3-5	风电主要技术进步点以及预期带来的发电量提高情况	101
表 3-6	陆上风电电价需求测算基础参数	103
表 3-7	陆上风电电价需求测算结果（基本方案）	104
表 3-8	典型情景下陆上风电电价单一变化因素敏感性分析	105
表 3-9	主要省市海上风电初始投资水平	109
表 3-10	我国海上风电投资水平汇总	111
表 3-11	海上风电电价需求测算基础参数	115
表 3-12	海上风电电价测算结果（资本金内部收益率 8%）	116
表 3-13	典型海上风电电价测算结果	117
表 3-14	光伏发电电价需求测算基础参数	127
表 3-15	集中式光伏电站电价需求测算结果	128
表 3-16	分布式光伏系统电价需求测算结果	129
表 3-17	典型情景下光伏发电电价单一变化因素敏感性分析	130
表 3-18	2016 年“光伏领跑技术基地”招标电价情况	131
表 3-19	秸秆原料价格组成	143
表 3-20	不同电价水平下垃圾填埋气发电项目经济效益分析结果 ..	150
表 3-21	不同电价下工业有机废弃物沼气发电项目经济效益 分析结果	151
表 3-22	畜禽养殖场沼气发电项目经济效益分析结果	152
表 4-1	无缝衔接模式下标杆电价转为定额补贴的光伏电站度电 补贴水平	163
表 4-2	方案一绿色证书价格设定条件及测算结果	175
表 4-3	方案二绿色证书价格设定条件及测算结果	177
表 4-4	2013 年大型发电生产企业发电装机容量及发电量	178

第一章

现行可再生能源电价和补贴政策分析

STUDY ON RENEWABLE POWER PRICING MECHANISM
WITH POWER SECTOR REFORM



2006 年中国开始实施《可再生能源法》，确立以固定电价和费用分摊制度支持可再生能源发电发展的机制。其后，陆续颁布了陆上风电、光伏发电、生物质发电（农林剩余物发电、垃圾发电、沼气发电）、海上风电、光热发电标杆电价，确定了分布式光伏发电补贴标准，并依据各类可再生能源技术发展形势对电价和补贴标准进行了相应的调整，有效地促进了可再生能源发电市场的规模化发展。到 2015 年底，我国风电、光伏发电、生物质发电并网累计装机容量分别达到 1.29 亿千瓦、4318 万千瓦和 1031 万千瓦，2015 年风电、光伏发电、生物质发电电量分别达到 1863 亿千瓦时、392 亿千瓦时、527 亿千瓦时，合计占当年全社会用电量的 4.9%，可再生能源发电已成为新增电源和电量中不可忽视的组成部分。

在可再生能源装机规模和电量贡献不断提升的同时，可再生能源发电补贴资金不足问题也日益凸显，并且成为影响可再生能源全产业链、事关可再生能源未来持续健康发展的重要因素。本章首先总结了可再生能源标杆电价政策和补贴政策发展历程以及电价补贴水平，分析了电价补贴政策对可再生能源发展起到的积极作用；分技术类别、分地区、分年度对 2016—2020 年可再生能源电价补贴资金需求以及现有政策下资金缺口进行了测算；根据可再生能源发展情况和电力体制改革形势要求，着重剖析现有可再生能源电价机制在标杆水平调整方面存在的问题，以及在电价改革框架下可再生能源电价机制面临的任务和挑战；在补贴机制方面，除了补贴资金供需平衡分析外，对于可再生能源补贴管理方面存在的问题也进行了重点论述和分析。