

ZHINENG DIANWANG
DIANNENGJILIANG JI GUANLI

智能电网

电能计量及管理

国网湖南省电力有限公司电力科学研究院 组编
徐先勇 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

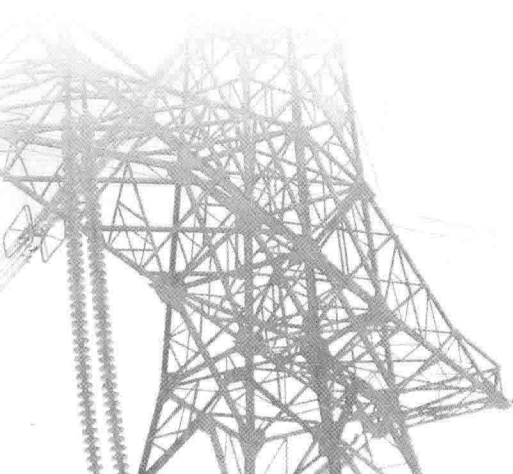
ZHINENG DIANWANG
DIANNENGJILIANG JI GUANLI

智能电网

电能计量及管理

国网湖南省电力有限公司电力科学研究院 组编

徐先勇 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书分为风光分布式能源高渗透率下电能计量、智能变电站混合混杂电能计量、智能电能表故障预警及舆情应对机制、电能计量箱质量评价体系及监督管控、电能计量管理系统六部分内容。全书由浅入深地结合具体现场操作步骤,并配以丰富的图表资料,让读者更容易理解书中内容。

本书可供电能计量领域相关人员学习,也可作为大中专院校电能计量专业的师生参考书。

图书在版编目(CIP)数据

智能电网电能计量及管理 / 徐先勇主编; 国网湖南省电力有限公司电力科学研究院组编. —北京: 中国电力出版社, 2018.3

ISBN 978-7-5198-1740-4

I. ①智… II. ①徐… ②国… III. ①智能控制—电网—电能计量 IV. ①TM933.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 027081 号

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市东城区北京站西街 19 号 (邮政编码 100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑: 袁 娟

责任校对: 李 楠

装帧设计: 郝晓燕 赵姗姗

责任印制: 邹树群

印 刷: 三河市百盛印装有限公司

版 次: 2018 年 3 月第一版

印 次: 2018 年 3 月北京第一次印刷

开 本: 710 毫米×980 毫米 16 开本

印 张: 8.5

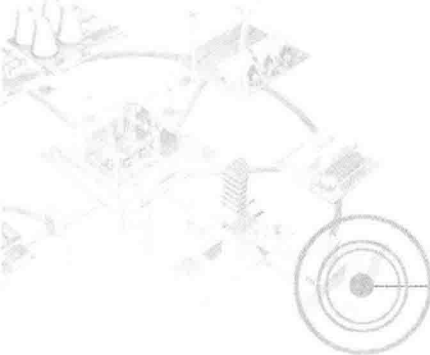
字 数: 140 千字

印 数: 0001—1000 册

定 价: 40.00 元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换



前言

随着全球能源互联网的提出与实施,电力系统中出现了越来越多的新元素,分布式能源发电和智能用电技术在现代电网中所占比例日益增多,电网多元化的特性日益凸现。此外,不同类型智能电能表和电能计量箱的大规模应用,不仅使得智能电能表应用出现新的舆情局面,也迫切要求加强电能计量箱的质量管控、规范安全用电。为了实现营销的精益化管理,迫切需要结合不同种类客户、不同类别的电能计量系统,对电网电能计量系统进行信用、价值和风险等方面的评价。因此,加强对计量工作的重视程度,开展智能电网新元素下电能计量领域新技术的研究,对提高电能计量的准确性、可靠性及管理水平,为电力消费者更好地提供优质服务具有重要意义。

为帮助电能计量领域相关人员学习、掌握相关知识,提高业务、技术水平和解决生产生活中的实际问题,国网湖南省电力有限公司电力科学研究院组织编写了本书。全书共分6章:第1章为概述,主要介绍了智能电网、分布式电源和智能用电技术。第2章为风光分布式能源高渗透率下电能计量,主要介绍了风光分布式电源接入电网方式及计量配置方法,分析了分布式电源特性及其对计量的影响,并提出了相应的管理策略。第3章为智能变电站混合混杂电能计量,在分析智能电网中智能变电站现状的基础上,介绍了不同电压等级智能变电站的计量系统和计量模式,并进行了误差分析,对其电能计量装置运维管理提出了相应策略。第4章为智能电能表故障预警及舆情应对机制,分析了智能电能表的结构与工作原理,在此基础上分析了智能电能表故障和质量舆情情况,对故障预警和舆情应对提出了相应的应对机制。第5章为电能计量箱质量评价体系及监督管控,系统调研了湖南省运行的电能计量箱现状,统计和分析了电能计量箱主要质量故障和隐患,建立了电能计量箱性能评估体系,提出了全生命周期质量监督管控流程 and 实施办法,最后对电能计量箱全性能质量监督管控实施提出了相关建议。第6章为电能计量管理系统,分别介绍了计量系统和业务体系管理的相关理论,以及湖南电网电能计量系统现状,从信用、价值、风险等方面建立了电能计量系统的评

价体系。

本书在编写过程中得到了国家电网湖南省电力有限公司的支持、关心和帮助，在此表示衷心感谢。由于作者水平有限，加之时间紧促，书中难免有差错和疏漏之处，恳请各位专家和读者提出宝贵意见，使本书不断完善。

编 者

2017 年 8 月

前言

1	概述	1
1.1	智能电网	1
1.2	分布式电源	5
1.3	智能用电技术	11
2	风光分布式能源高渗透率下电能计量	15
2.1	风光资源概况	15
2.2	风光分布式电源接入电网方式及计量配置	19
2.3	分布式电源特性	28
2.4	分布式电源对计量的影响	29
2.5	风光分布式电源计量装置的管理	41
2.6	分布式电源电能计量管理策略	44
3	智能变电站混合混杂电能计量	46
3.1	智能变电站现状及电能计量模式	46
3.2	智能变电站电能计量模式误差分析	61
3.3	智能变电站电能计量装置运维管理	63
4	智能电能表故障预警及舆情应对机制	66
4.1	智能电能表的结构与工作原理	66

4.2	智能电能表故障分析	68
4.3	智能电能表故障预警措施	85
4.4	智能电能表舆情分析	91
4.5	智能电能表舆情应对机制	93

5 电能计量箱质量评价体系及监督管控 96

5.1	电能计量箱运行现状及质量分析	96
5.2	电能计量箱质量评价	99
5.3	电能计量箱质量监督和管控	108
5.4	电能计量箱质量管控实施	108

6 电能计量管理系统 114

6.1	概述	114
6.2	计量系统管理	115
6.3	业务体系管理	116
6.4	电能计量系统评价	119

概 述

1.1 智 能 电 网

智能电网就是将先进的传感测量技术、信息技术、通信技术、计算机技术、自动控制技术和原有的发、输、变、配、用电基础设施高度集成而形成的新型电网，它具有提高能源效率、减小对环境的影响、提高供电的安全性和可靠性、减少电网的电能损耗、实现与用户间的互动和为用户提供增值服务等多个优点。

1.1.1 智能电网的概念

(1) 美国智能电网。美国智能电网是以高性价比的电子设备和可控电力元器件等为基础，利用网络通信、自动控制和信息技术，将这些技术和原有的输、配电基础设施高度结合而形成的新型电网，从而实现对电力网络的变革与改造，达到电力网络更加可靠、安全、经济、高效、灵活、环保的目标。

(2) 欧洲智能电网。欧洲智能电网是将电力与通信和计算机控制连接在一起，以获取在供电可靠性、传输容量和客户服务等方面的巨大效益。在这个完全自动化的供电网络中，每一个用户和节点都得到了实时的监控，并保证了从发电厂到用户端电器之间的每一点上的电流和信息的双向流动。通过广泛应用宽带通信技术、信息整合技术及现代自动控制技术将分布式能源（Distributed Energy Resources, DER）与可再生能源和大电网高度集成起来，保证电力市场交易的实时进行和电网上各成员之间的无缝连接和实时互动。欧洲智能电网局部示意图如图 1-1、图 1-2 所示。

(3) 中国智能电网。中国智能电网是以特高压电网为骨干网架、各级电网协调发展的坚强电网为基础，利用先进的通信、信息和控制技术，构建以信息化、自动化、互动化为特征的统一的坚强智能化电网。

(4) 传统电网与智能电网的区别。传统电网与智能电网区别如图 1-3 所示。

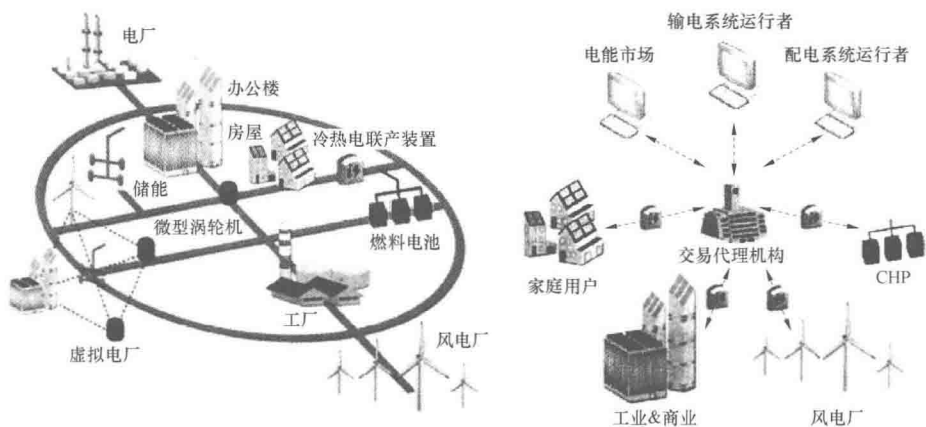


图 1-1 欧洲智能电网局部示意图

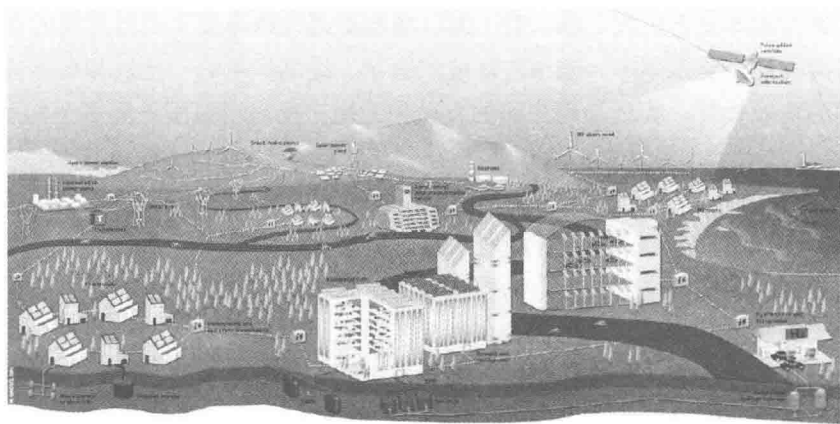


图 1-2 欧洲智能电网的全貌概况

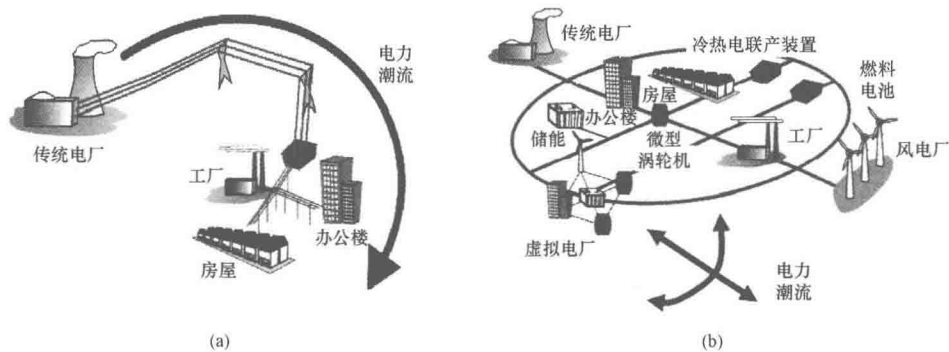


图 1-3 传统电网与智能电网区别
(a) 传统电网; (b) 智能电网

表 1-1 提供了传统电网与智能电网的比较。

表 1-1 传统电网与智能电网的比较

	传统电网	智能电网
通信	没有或单向	双向
与用户交互	很少	很多
仪表型式	机电	数字
运行与管理	人工的设备校核	远方监视
功能的提供与支持	集中发电	集中和分布式发电并存
潮流控制	有限	普遍
可靠性	倾向于故障和电力中断	自适应保护和孤岛化
供电恢复	人工	自愈
网络拓扑	辐射状	网状

1.1.2 国外智能电网发展状况

目前,美国、加拿大、澳大利亚以及欧洲各国都相继开展了智能电网的相关研究,而其中最具有代表性的是美国与欧洲各国。

(1) 美国智能电网发展状况。

美国智能电网发展历程如图 1-4 所示。

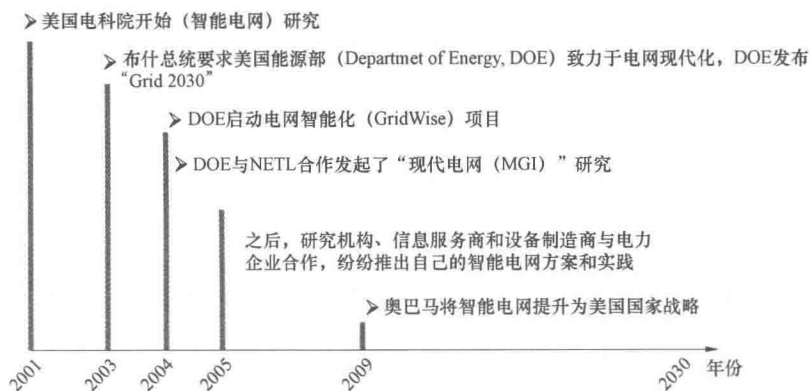


图 1-4 美国智能电网发展历程

2008 年,美国科罗拉多州的波尔得已建成了全美第一个智能电网城市。每户

家庭都安装了智能电表，人们可以很直观地了解当时的电价。不仅如此，智能电表还可以帮助人们优先使用风电和太阳能等清洁能源。同时，变电站可以收集每家每户的用电情况，一旦出现问题，可以重新配备电力。

(2) 欧洲智能电网发展状况。

欧洲智能电网技术研究起步于 2005 年，到 2006 年发布了“智能电网”计划的技术实现方略，作为欧洲 2020 年及后续的电力发展目标。该计划指出未来欧洲电网应满足灵活性、可接入性、可靠性和经济性等需求。欧洲智能电网发展里程如图 1-5 所示。

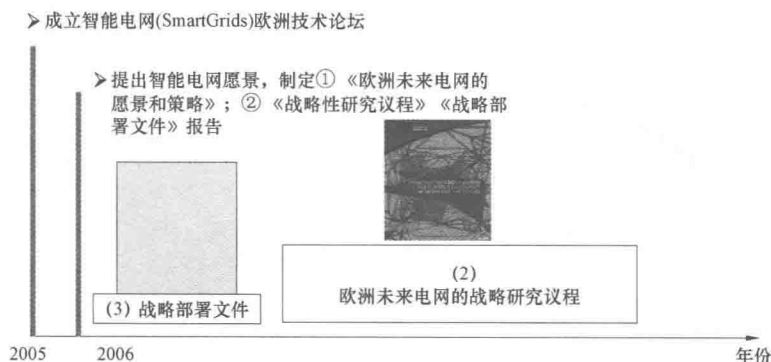


图 1-5 欧洲智能电网发展里程

(3) 其他国家智能电网发展状况。

日本政府计划与电力公司协商后，再开始于孤岛进行大规模的构建智能电网试验，主要验证在大规模利用太阳能发电的情况下，如何统一控制剩余电力和频率波动以及蓄电池等课题。日本政府期待智能电网试验获得成功并大规模实施，这样可以通过增加电力设备投资拉动内需，创造更多就业机会。

澳大利亚由国家电力委员会从 2007 年开始在全国范围内推行高级量测体系(Advanced Metering Infrastructure, AMI)项目，引入分时电价(基于时间间隔计量)，使用户能够更好地管理电能消耗。澳大利亚政府推行电力市场的改革不仅仅是为了提高供电效率，而且还为了通过改善电价制度，提高对能耗的控制以及减少温室气体排放。

1.1.3 国内智能电网发展状况

2009 年 6 月 15 日，国家电网公司智能电网工作部成立，随后成立智能电网

研究中心,计划以国家电网公司特高压直流试验基地、特高压杆塔试验基地、西藏高海拔基地及刚刚建成投运的国家电网仿真中心等先进试验场所为依托,在特高压直流、高海拔输电工程的设计和建设,以及输电线路工程力学、大规模交流互联系统仿真和大电网运行控制技术等开展试验研究。正在建设的国家电网计量中心将在电能质量及节能领域开展研究及检测。同时,在开发风电机组仿真模型的基础上,掌握风电场并网关键技术;研制开发我国首套风电功率预测系统,并获得我国第一个风电机组功率特性和电能质量测试的国际互认可资质。

中国提出的统一坚强智能电网是以统一规划、统一标准、统一建设为原则,以特高压电网为骨干网架,各级电网协调发展,具有信息化、自动化、互动化特征的国家电网。它包括“三华”同步电网、西北和东北电网,涵盖各电压等级,由发电、输电、变电、配电、用电、调度等环节有机组成,是坚强可靠、经济高效、清洁环保、透明开放、友好互动的电网。其中,“统一”是前提,“坚强”是基础,“智能”是关键。

1.2 分布式电源

1.2.1 光伏发电发展的现状

1.2.1.1 我国光伏发电发展现状

2014年1月,国家能源局公布了全国第一批创建新能源示范城市81个、产业园区8个,确定2014年度光伏发电新增备案规模1400万kW,其中分布式800万kW,地面光伏电站600万kW。随后,国家能源局又对分布式能源项目6MW以下的太阳能风电项目等豁免发电许可。2014年9月,国家能源局先后印发了关于进一步落实分布式光伏发电有关政策的通知、关于加快培育分布式光伏发电示范区有关通知,对屋顶使用、贷款融资、售电收益、并网等有关问题进行了研究和推进;10月份,印发了关于进一步加强光伏电站建设与运行管理工作的通知。2014年12月,国家能源局印发《关于做好2014年光伏发电项目接网工作的通知》,要求加快推进光伏发电建设,实现光伏发电及时并网和高效利用;要求有关方做好光伏发电接网及并网运行工作。

2015年3月,国家能源局下达了《2015年光伏发电建设实施方案的通知》:2015年计划全国新增光伏电站建设规模1780万kW,对屋顶分布式光伏发电项目及全部自发自用的地面分布式光伏发电项目不限制建设规模,北京、天津、上

海、重庆及西藏在不发生弃光现象的前提下不设建设规模上限。

2015年6月1日,国家能源局等三部委联合印发《关于促进先进光伏技术产品应用和产业升级的意见》,通过采取综合性政策措施,支持先进光伏技术产品扩大应用市场,深入加强光伏行业管理。

2010年以来,我国光伏发电发展逐年加速,装机容量和发电量都在快速增加,在新能源发电市场中迅速占据了一席之地,具体情况见表1-2。

表 1-2 近年我国光伏发电发展情况

年份	年装机(万 kW)	累计装机(万 kW)	年发电量(亿 kWh)	发电量增速(%)
2010	10	26	1.2	
2011	196	222	6.8	467
2012	428	650	36	429
2013	1095	1745	85	136
2014	1060	2805	250	194
2015	1282	4087	383	53.2

截至2014年底,我国全口径发电设备容量136 019万kW,其中光伏发电累计装机容量2805万kW,同比2013年的1745万kW的总装机容量,增长达60%,太阳能发电量达到250亿kWh,同比增长近200%。在太阳能发电系统的总装机容量之中,其中光伏地面电站装机量为2338万kW,分布式装机为467万kW。

截至2015年底,全国发电装机容量150 673万kW,其中并网太阳能发电总装机达4158万kW;2015年,新增并网太阳能装机1282万kW,当年发电量为383亿kWh,同比增长53.2%。

2014年我国新增并网光伏发电容量1060万kW,占世界新增容量的四分之一。其中,光伏电站新增855万kW,分布式新增205万kW,消化了国内光伏电池组件产量的三分之一,顺利达成了《关于促进光伏产业健康发展的若干意见》中设置的年增1000万kW的目标。

2014年,全国东部、西部的光伏发电推进的力度都很大,产业发展迅速,效果显著,东部新增装机为560万kW,占总新增量的53%,其中新增装机量最大的省份为江苏省和河北省。截至2014年底,我国建成大型地面电站855万kW,这些项目主要分布在西北电网管辖地区内,其中大部分集中在青海、甘肃和宁夏,这三个地区集中我国一半多的光伏装机量,累计装机容量占全国总量的70%以上。

同时，我国在光伏发电应用模式方面的探索也取得了一定成果，在国家能源局公布 30 个国家首批基础设施等领域鼓励社会投资分布式光伏发电应用示范区的引领示范下，分布式光伏发电项目新增 50 万 kW，在建规模 60 万 kW，同时，带动社会投资超过 100 亿元，其中以河南、浙江、江苏、广东、湖南等省份分布式的发展走在了全国的前列。另外，生态改善类项目逐渐成为光伏发电的新方向，其中，青海龙羊峡水光互补项目实现累积并网 60 万 kW，探索了水电和光伏电站互补协调运行、联合调度的新模式；与农业相结合的光伏农业大棚、渔光互补电站也渐渐成为业内热点之一，采用光伏发电的现代化农场，可以实现自发自用，余量上网，既能满足农场的种植、养殖需要和生活用电，又可实现节能减排，余电并网更可带来一定利润；集合荒山荒坡治理、煤矿采空区治理和沙漠化治理的生态恢复与光伏发电建设相结合的项目也在尝试和建设之中。

1.2.1.2 国际光伏发电发展现状及趋势

自 2000 年起，全球光伏新增装机容量呈现上升态势，光伏发电行业目前整体处于健康稳定发展阶段。2007~2015 年全球新增和累计装机总量如图 1-6 所示。



图 1-6 全球太阳能年装机量及 2017 年预测图

2014 年全球光伏年装机量稳步增长达 44 000MW，其中，中、日、美三国市场表现强劲，装机量大致分别为 10 600MW、9000MW 和 6500MW，一举超过欧洲的一些传统光电优势地区。根据 BNEF 的数据，全球光伏增长主要受到中日两国市场迅速腾飞的驱动，2014 年中日两国新增光伏装机量分别达到 13 000~14 000MW 及 9000~11 000MW。2014 年第四季度，中国光伏市场迅猛增长，新

增装机跃升至 8000~9000MW，装机量连续两年世界第一。

从光伏产业情况来看，光伏组件价格回升，主要光伏企业盈利向好；然而，2014 年日美作为中国产品出口量最大的两个国家，日本的地域特点和即将到期的国内政策、美国发起的双反，导致未来日美市场存在很大的不确定性。具体从国家来看，中国 2014 年以来出台了一系列措施鼓励光伏发电的发展，尤其从机制性问题入手，有针对性的予以解决，如标准不完善、电源电网不配套、倒卖“路条”等问题得到了一定程度上的解决，完善了光伏发电的机制问题，为光电行业的长期发展提供了保障。

日本光伏产业受 2012 年“PVOUTLOOK2030”修订版的激励，发展势头强劲，日本光伏发电产业 2030 年的愿景：累计容量将达到约 1 亿 kW，并实施了可再生能源固定价格收购制度。这些政策为日本光伏发电产业注入了一定活力，但日本即将开始新一轮的上网电价政策性调整，而且由于经济弱复苏、土地电网容量接近峰值和重启核电的趋势明显，日本光伏产业的发展前景并不明朗。

美国市场 2014 年发展稳定。自 2009 年起，美国光伏市场规模增长了近 10 倍，年均增长 30%以上。可以预测，如果有计划地发展太阳能，美国到 2050 年将不再依赖进口石油，届时，美国太阳能光伏发电量将占到总发电量的三分之一以上。

欧洲市场装机量已经连续三年下滑，2014 年英国市场备受关注，但由于短期未来“差价合约”机制将替代现行的可再生能源责任证书机制，2014 年引发了抢装导致光伏装机出现大规模增长的现象。但是英国光伏市场政策上存在变数，2015 年政府对现行的补贴政策进行修订，同时可再生能源义务法案也在 2017 年终止，英国是否能保持光伏发展的持续增长还很难确定。欧洲其他国家，德国已连续 9 年保持世界光伏发电第一大国的位置。德国的新能源发展以 2020 年碳排放降低 40%，2050 年碳排放降低 80%，2020 年新能源在用电量中占比提升至 35%，2050 年提升至 80%为目标。截至 2014 年底，其光伏发电装机容量约为 3820 万 kW；光伏发电量 328 亿 kWh，约占全部发电量的 6.3%。目前来看，光伏已成为德国装机容量最大的电源，约占总装机容量的 21.5%，占可再生能源装机的 43.5%。此外，值得一提的是，2014 年 6 月 9 日，德国光伏瞬时出力超过系统负荷 50%。但德国 2014 年 8 月 1 日出台了新版的《可再生能源法》，规定德国未来光伏发电的年度新增规模将在 240 万~260 万 kW 左右。2014 年，德国光伏新增装机约为 180 万 kW，稍低于政策目标，新增装机规模下降显著，光伏发展速度放缓。

另据欧洲通讯社消息,西班牙工业部计划在 2015~2020 年,新增可再生能源装机容量 8537MW。据西班牙电网运营商统计数据显示,2014 年西班牙新增太阳能装机容量仅 7MW,累计装机达到 4672MW。为了进一步促进可再生能源发展,西班牙工业部在未来 6 年将加大扶持力度。意大利市场持续下滑,整体装机规模约在 7000MW。新兴市场方面,印度的发展最为强劲。印度新能源和可再生能源部 2014 年起草了 20 000MW 建议草案,以利用庞大的太阳能潜力满足印度不断增长的人口和经济的能源需求。该草案提议未来五年将开发的二十五个超大型太阳能发电园区,所有园区的规模都在 500~1000MW,总计 20 000MW。但印度 2013 年新增光伏装机量仅为 3000MW,2014 年新增规模低于 1000MW。

1.2.2 风电发展现状

近年来,我国风电装机容量快速增长,截至 2014 年底,我国风电并网装机容量达到 9581 万 kW,如图 1-7 所示,全国 31 个省份均有并网风电场,15 个省(区)风电并网容量超过 100 万 kW,其中内蒙古并网容量 2070 万 kW,居全国之首,甘肃和河北分别以并网 1008 万 kW 和 963 万 kW 位居第二、三位。华北、东北、西北等“三北”地区风电并网容量约占全国风电并网容量的 82.8%。风电的快速发展为我国转变能源发展方式,调整优化能源结构,推进能源绿色发展做出了重要贡献。

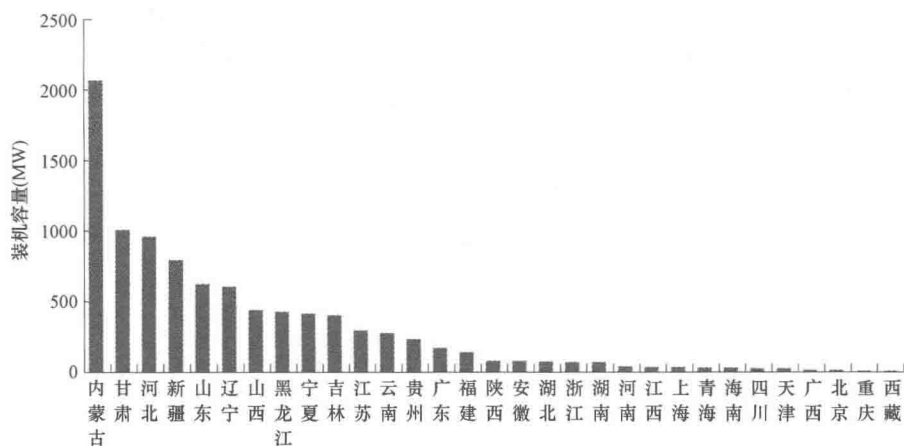


图 1-7 2014 年底全国各省区风电装机规模

(1) 风电在我国电力行业地位不断提高。发电装机比重大幅提高。2014 年底我国风电装机容量达到 9581 万 kW,成为煤电、水电之后的第三大电源。“十二

五”前四年平均增长 34.2%，4 年净增装机容量 6623 万 kW，平均每年新增装机容量超过 1600 万 kW。占全国装机容量比重由 2010 年 3.06% 提高到 2014 年的 7.04%。

发电量快速增长。自 2012 年以来一直稳居我国第三大发电类型，2014 年我国风电发电量达到 1563 亿 kWh，“十二五”前四年平均增长 33.4%，占全国发电量比重由 2010 年 1.17% 提高到 2014 年的 2.82%。

(2) 为全球清洁能源发展做出了重要贡献。风电装机容量持续保持世界第一。我国风电装机容量 2000 年仅排在世界第 9 位 (35 万 kW)，与世界第一的德国相差 575 万 kW；2008 年装机容量超过 1000 万 kW 世界排名上升到第 4 位 (1221 万 kW)，与世界第一的美国相差 1300 万 kW；自 2012 年 (7532 万 kW) 取代美国成为世界第一风电装机大国后，比世界第二的美国多装 1500 万 kW，风电装机容量一直保持世界第一。2014 年我国风电装机容量达到 11 500 万 kW，超过排名第二的美国 5000 万 kW。

有力推动全球风电快速发展。在世界统计的风电装机容量中，2013 年度全球风电新增装机容量为 3546.7 万 kW，其中中国新增装机容量达到 1610 万 kW，占 45.4%；2013 年底全球风电累计装机容量达到 3.18 亿 kW，中国占到 28.7%。2014 年全球风电新增装机容量达到 5147.7 万 kW，其中中国新增装机容量达到 2319.6 万 kW，占 45.1%；中国风电装机容量占世界的比重进一步提高到 31%，中国成为继续驱动全球风电增长的最重要力量。

(3) 促进了中国能源绿色发展。风电的快速发展既增强了电力供应保障能力，又有效减排了污染物。经测算，2014 年我国风电发电量相当于节省燃烧标煤约 4970 万 t，原煤 6958 万 t，相应减少烟尘排放 5.9 万 t，二氧化硫排放 34 万 t，氮氧化物排放 36 万 t，二氧化碳排放约 1.3 亿 t。

(4) 技术装备水平不断提高。风电设备制造能力显著增强。“十二五”以来，我国风电设备研发设计和制造能力与世界先进水平的差距逐渐缩小。我国已建立起内资企业为主导、外资和合资企业共同参与的风电设备制造体系，在开发适应国内风能资源特点的产品、满足国内市场需求的同时，我国风电设备已开始进入国际市场。我国风电制造业产能和产量位居世界首位，2013 年我国风电机制造能力超越 3000 万 kW，约占全球的 50%。2014 年，风电设备制造能力持续增强，风电产业制造能力和集中度进一步增强，8 家企业风机吊装装机容量超过 100 万 kW。风机单机功率显著提升，2MW 机型市场占有率同比增长 9 个百分点。风电机组可靠性持续提高，平均可利用率达到 97% 以上。