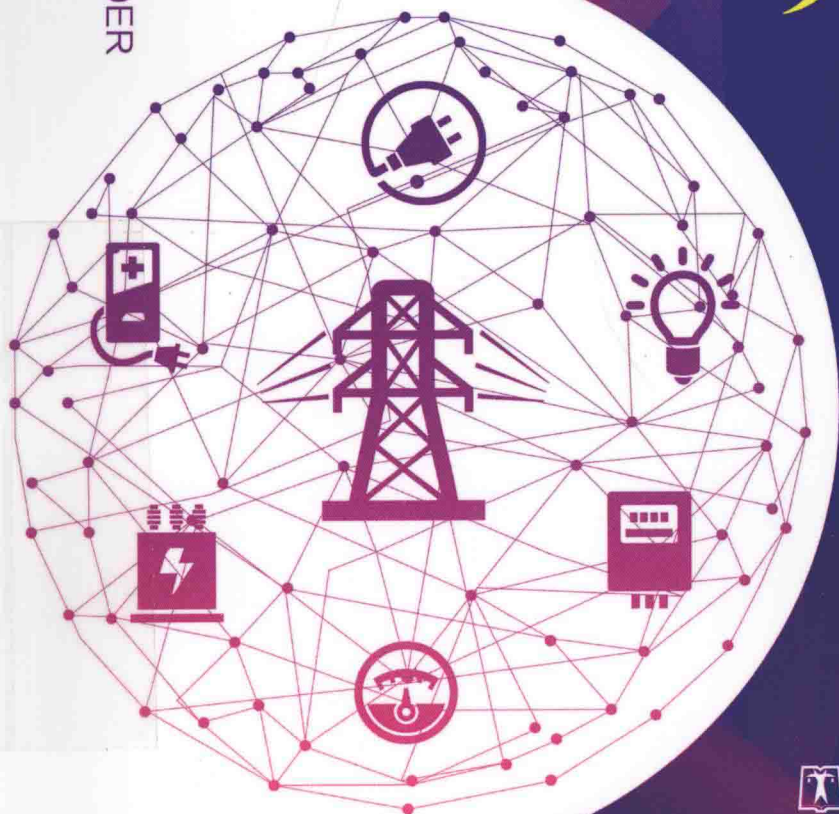


微电网接入下

电力市场研究

高冲 黄元生 著

RESEARCH ON POWER MARKET UNDER
MICRO-GRID CONNECTION



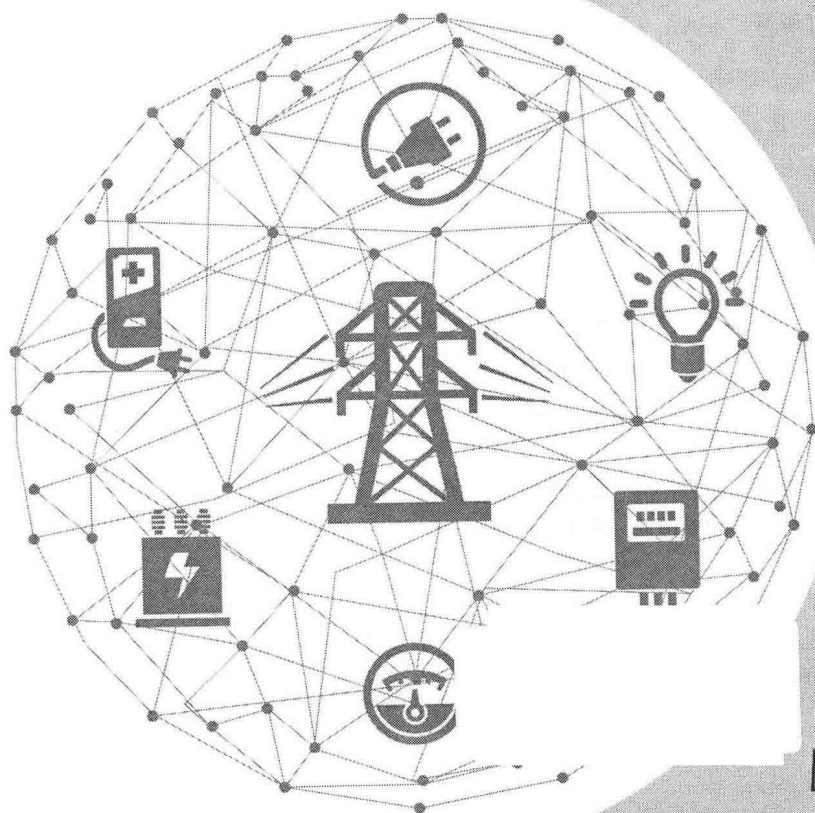
中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

微电网接入下

电力市场研究

冲 黄元生 著

RESEARCH ON POWER MARKET UNDER
MICRO-GRID CONNECTION



RFID



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

作为新型电力系统结构形式的微电网,因可以解决大规模的分布式发电系统并网、充分发挥分布式电源的能源效能而受到国内外专家的广泛关注。微电网中包含受外界环境影响严重的光伏发电、风力发电等,因此具有生产者和消费者双重身份。作为生产者,要参与电力市场,与其他形式的发电企业竞争上网,就必须考虑自身的经济效益和生产成本。因此,研究微电网的若干市场新问题尤为必要。

全书主要内容包括绪论、微电网参与市场竞争条件分析与模型、微电网接入下的电网负荷预测分析、微电网接入下的电力市场竞价分析、微电网接入下的电力市场电价预测、微电网接入下的电网运营调度分析。

本书可作为普通高等院校经济管理类研究生教材,还可作为其他在职人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

微电网接入下电力市场研究/高冲,黄元生著. —北京:
中国电力出版社, 2016. 7

ISBN 978 - 7 - 5123 - 9662 - 3

I. ①微… II. ①高… ②黄… III. ①电力市场—研究—
中国 IV. ①F426. 61

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 192616 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)

北京教图印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2016 年 7 月第一版 2016 年 7 月北京第一次印刷
710 毫米×980 毫米 16 开本 14.5 印张 246 千字

定价 40.00 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

社会的发展带动了电力需求的迅速增长，却引发了一系列能源和
环境问题。电力市场化改革本质上是将电力工业纳入全社会资源优化
配置链，以市场机制全面提高电力工业的投资和运行效率，全面提高
电力资源优化配置的效率。微电网在分布式发电系统的高效应用以及
灵活、智能控制方面表现出极大的潜能和优势，成为很多国家发展电
力行业、解决能源问题的主要战略之一。

随着微电网数目增多和容量的增大，微电网出力功率将大于自身
负荷需求，为了充分利用能源，同时合理地配置资源，提高资源利用
率，促进微电网与社会、经济、环境的协调发展，有必要研究微电网
高渗透率接入下电力市场产生的若干新问题。

本书绪论部分回顾了电力体制改革的历程，介绍微电网的产生与发
展，微电网接入下电力市场产生的新问题及本书研究的主要内容；第一
章根据微电网的结构和特点，分析了微电网参与市场竞争的条件及多代
理系统的微电网市场交易模型；第二章针对微电网接入对电网负荷的影
响进行研究；第三章研究了微电网接入下的电力市场竞价策略模型；第
四章对微电网接入下的电力市场电价预测进行了研究；第五章研究了微
电网与大电网联合运营优化调度问题。

本书的研究工作得到了中央高校基本科研业务费专项资金
(NO. 13MS112)、国家自然科学基金 (NSFC) (71471061)、河北省软科
学研究基地等的资助。本书由华北电力大学高冲、黄元生著。王伟、
李树林、苏杨、牛静杰、黄沈海、刘洋、尚月、胡银萍等人参与了部

分章节编写与修改工作，本书的顺利完成得到了华北电力大学领导、老师和同事们的大力支持和帮助，也引用、借鉴了相关专家的著作，在此一并致谢！

限于作者水平，加之时间紧张，相关理论和技术还有待于进一步深入研究，书中难免存在疏漏和不足之处，恳请广大读者批评指正。

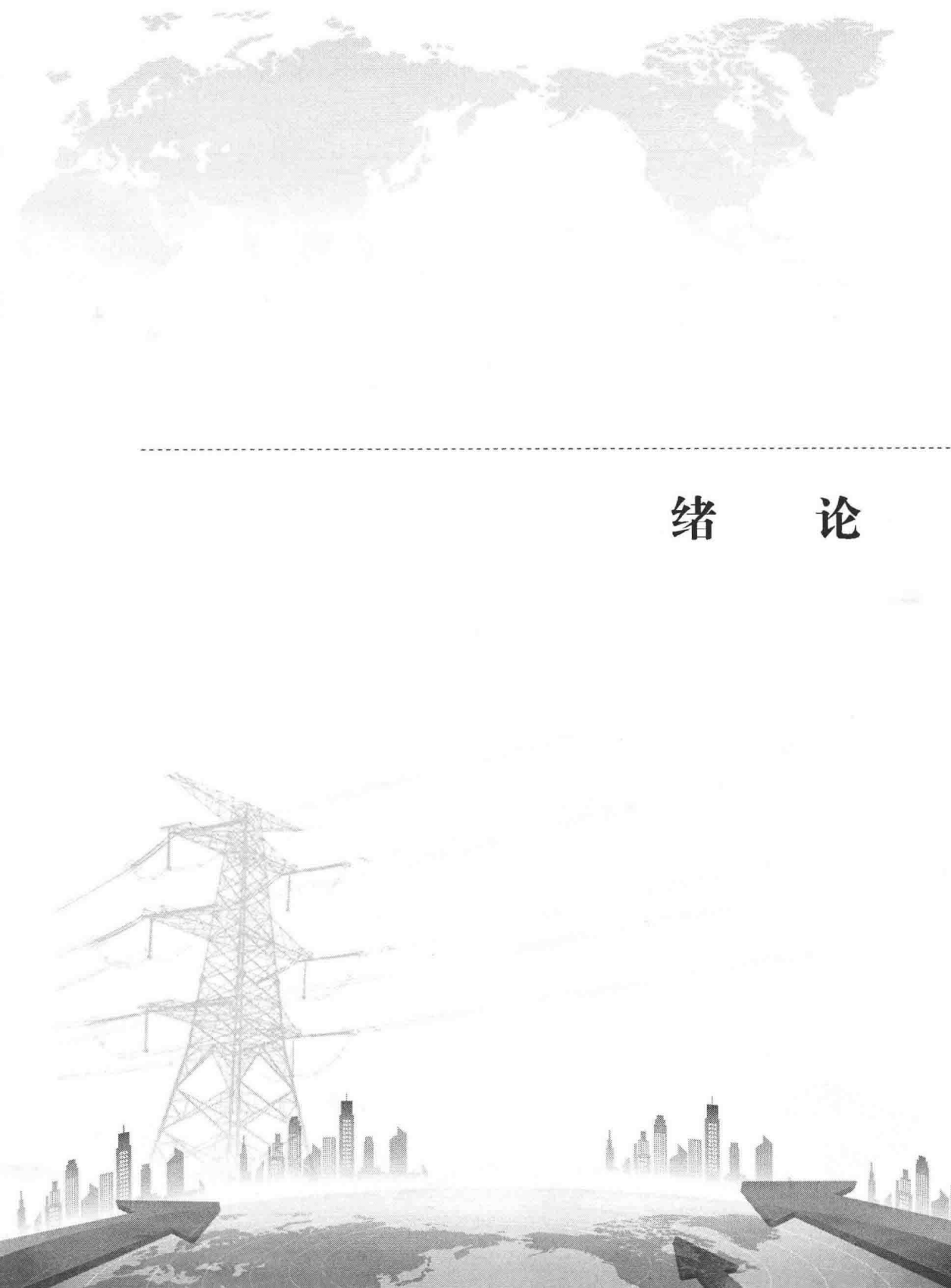
编 者

2016 年 5 月

前言

绪论	1
第一节 电力体制改革回顾与发展现状	3
第二节 微电网的产生与发展	10
第三节 微电网接入所带来的问题	22
第四节 本书主要研究内容	29
第一章 微电网参与市场竞争条件分析与模型	33
第一节 微电网的结构及特点	35
第二节 微电网参与市场条件分析	43
第三节 基于多代理系统的微电网市场模型	47
第二章 微电网接入下的电网负荷预测分析	57
第一节 电网负荷预测基本理论	59
第二节 电网负荷预测模型	69
第三节 微电网出力预测模型	84
第四节 微电网接入对负荷预测的影响	99
第三章 微电网接入下的电力市场竞价分析	103
第一节 电力市场竞价的基本理论	105

第二节	电力市场的竞价模型	111
第三节	微电网接入下电力市场竞价策略	119
第四节	基于博弈论的微电网竞价模型	124
第四章	微电网接入下的电力市场电价预测	145
第一节	电力市场机制与电价形成机制分析	147
第二节	电价影响因素分析	163
第三节	电价预测方法及其预测模型	168
第四节	微电网接入对电价的影响	186
第五章	微电网接入下的电网运营调度分析	189
第一节	我国电网调度发展背景	191
第二节	微电网接入对电网调度的影响	196
第三节	微电网接入对电网运营优化调度的意义	199
第四节	微电网接入下电网调度模型建立	201
参考文献		223



绪 论



第一节 电力体制改革回顾与发展现状

一、电力体制改革回顾

从1978年党的十一届三中全会以后，我国电力体制改革进入探索时期，至今，我国电力体制已历经数次改革，并取得阶段性成果。

图0-1为中国电力体制改革发展进程。

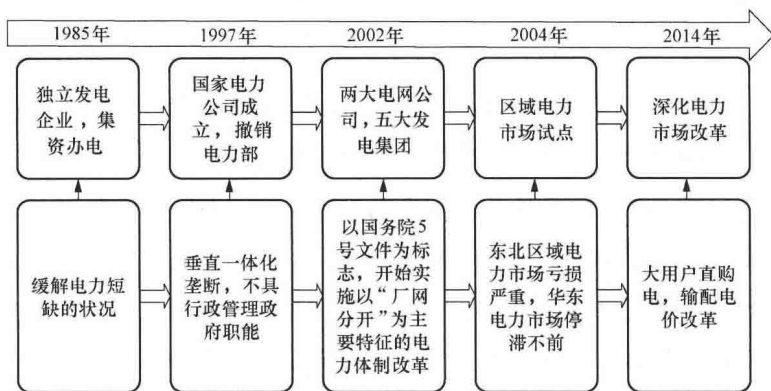


图0-1 中国电力体制改革发展进程

健康市场的共同特征应该是：价格随需求变化，价格变化影响需求量；买卖双方机制，买方或卖方无垄断行为。我国电力市场的发展应循序渐进，稳步发展。按照电力市场发展的程度，可将其划分为初级电力市场和发达电力市场两大类。初级电力市场往往只限于发电侧竞争，输电、配电和用电仍将实行垄断经营。其基本内涵是，调度和交易中心将只采用那些生产成本或报价低于市场价格的发电商所提供的充足和可靠的电力，满足系统的负荷需求。显然，那种“只要建成

发电厂，就要安排发电出力”的传统观念已经过时。

传统经济理论认为，电力产业是关系国计民生的重要基础产业，政府加强管理和控制，有利于社会的发展与稳定。电力产业又是公用事业，资本高度密集、投资额巨大，并具有网络产业特征，采用垂直垄断经营体制有利于发挥规模效益，解决电力供给问题。因此，为了提高政府控制力，弥补市场缺陷，世界各国从 20 世纪 40 年代以来，都对电力工业推行垂直垄断的经营体制。

进入 20 世纪 80 年代，随着电力工业规模的扩大，电力企业的巨额债务成了政府财政的沉重负担，政府无力继续满足电力工业大规模的投资需求。

美国经济学家鲍莫尔 (Baumol) 在 1977 年提出的自然垄断的现代理论认为，自然垄断应建立在成本的部分可加性 (Subadditivity) 而不是规模经济的基础上。成本的部分可加性是指一起生产各种不同产品比分别地生产它们所花成本更低。鲍莫尔、潘则和威利格在 1982 年根据这一思想，用部分可加性重新定义了自然垄断。在这个自然垄断定义下，研究分析电力市场的自然垄断特征，发现电力产业内部发电、输电、配电 3 个环节的自然垄断程度存在较大差异，形成自然垄断的原因也不相同。结果表明输电、配电环节存在着较强的自然垄断性，应继续保持垄断经营；而在发电环节由于自然垄断特征的弱化，垄断经营的基础已不复存在，已经具备打破垄断、引入竞争的条件。研究和实践还表明，在电网设施开放的条件下，电力销售业务也是可以独立运作的，不拥有电力设施的经营者，如果精通电力业务并具有相当经济实力，依据市场规则，也能够经营电力销售业务，所以销售领域也不存在自然垄断特征。因此，应当在发电和售电领域引入竞争，其中发电市场的改革在已经实行电力改革的国家中通常是作为电力解除管制的第一步。

伴随着理论的突破、电力自动化和计量水平的提高以及社会要求打破电力垄断的呼声,从20世纪80年代末开始,欧美一些国家纷纷掀起了打破垄断、引入竞争的电力改革之风。在我国吴敬琏等经济学家对中国电力市场化改革进行了探讨,指出中国电力工业的发展起点基本是计划经济模式,“政企不分”,“厂网不分”;同时具有行业性垄断特征,“集中、垂直、一体化垄断”(指发电、输电、配电和售电垂直一体化);又有地方保护特征,各大区、省电网各自为政,各自平衡,大上小火电,形成高的市场壁垒,国际上电力交易或交换很少。此外,电力工业投资配置不当,价格扭曲,管理不善,效率低下(8000亿资产存量每年只有80多亿利润),忽视用户,忽视环境。因此中国的电力工业必须适应世界电力改革的发展趋势,竞价上网,引入竞争机制,提高产业经营效率。

应该说在100多年的垄断经营过程中,电力工业的发展为人类社会提供了有力的能源支持,并发展了一套电力系统运行和管理的方法。目前正在世界各地开展的电力工业放松管制(deregulation),以发电领域按照市场竞争的模式组织生产为主要标志的电力市场建设是电力工业有史以来最重要的革命。

但是,电力工业的市场化改革还没有形成也很难形成“唯一的”、“最优的”电力市场运营机制。不同国家的电力市场实践提出了不同的概念和市场组织形式。这种看似纷乱的现象后面其实有着其内在的联系。无论电力市场的形式有这样那样的变化,它都要首先保证电力系统运行的安全,所以从电力系统运行特征出发了解电力市场的任务是非常重要的一个角度;另一方面,电力市场化的一个根本的目的是促进生产效率的提高,优化资源配置。

我国电力产业的改革方面主要包括电力产业投融资体制改革、电力产业的战略性重组以及电力产业的进入规制政策。

（一）中国电力产业投融资体制改革

中国对电力产业放松进入管制以电力产业投融资体制改革为主要形式，大致经历了以下三个发展阶段：

第一阶段（1979—1984）起步阶段：

出现了中央和地方政府两级利益主体；中央财政预算内电力基建拨款实行“拨改贷”；地方财政利用机动财力和预算外资金投入电力项目；电力企业实行承包制后也拥有了一些积累资金投入；积极使用国际金融组织贷款和外国政府贷款；开始直接融资：发行电力建设债券。

第二阶段（1985—1991）：

1985年，为解决电力严重短缺，实行“电厂大家办，电网一家管”的政策——集资办电；发电市场出现了众多不属于原电力部的独立电厂，对电力产业带来非常巨大的体制性影响；开征电力建设基金，每度电征收二分钱的电力建设金。

第三阶段（1992年后）：

投融资体制改革深化；按照建立社会主义市场经济体制的要求，实行项目法人责任制和固定资产投资项目资本金制度；开展“贷改投”；电力企业在国内国外资本市场发行了大量债券和股票，改变了原单一的中央投资电力格局。中央和地方政府、国有和集体企业、中国和外国投资者都参与电力产业投资，形成投资主体多元化格局效应十分明显，大大推动了电力产业的快速发展，到1995年，全国电力装机容量突破2亿千瓦，基本解决全国性电力短缺矛盾。

（二）中国电力产业的战略性重组

在深化改革中，为实现政企分开，1997年成立了国家电力公司经营管理原属电力部的全部电力集团公司、省级公司，是一个发、输、

配、售垂直一体化的巨型垄断企业。而各省级电力公司又拥有绝大多数的地区供电公司，在国家电力公司垂直一体化经营这种垄断性市场结构下，国家电力公司完全拥有电网，国家电力公司很难避免偏重本系统的发电单位，歧视本系统以外的独立发电企业，这必然使改革效果大打折扣，因此，为建立市场竞争机制，借鉴国外改革的成功经验，对电力产业的市场结构实行战略性重组。基本思路是把垂直一体化垄断性市场结构转变为竞争性市场结构。

国务院于2002年3月份正式批准了《国务院关于引发电力体制改革方案的通知》（国发〔2002〕5号文件），并决定由国家计委牵头，成立电力体制改革工作小组，明确了中国电力体制改革概括为“厂网分离、主多分离、主辅分离、输配分离”四个阶段。其总体目标是：“打破垄断，引入竞争，提高效率，降低成本，健全电价机制，优化资源配置，促进电力发展，推进全国联网，构建政府监督下的政企分开、公平竞争、开放有序、健康发展的电力市场体系”。标志着我国电力工业全面进入了市场化改革的新时期。

“厂网分开，竞价上网，主辅分离”：

将国家电力公司管理的电力资产按照发电和电网两类业务进行划分，原国家电力公司管理的发电资产被直接改组或重组为规模大致相当的5个资产规模、质量大致相当的全国性的独立发电公司，分别为中国华能集团公司、中国华电集团公司、中国国电集团公司、中国大唐集团公司和中国电力投资集团公司。在电网环节，分别设立国家电网公司和南方电网公司。国网公司下设华北、东北、华东、华中和西北5个区域电网公司，国网公司负责各区域电网之间的电力交易、跨区域电网的投资；培育区域电力市场，区域内的省级电力公司改组为区域电网公司的子公司，南网公司的经营范围为云南、贵州、广西、广东和海南，此外还成立了4家辅业公司，分别为中国电力工程顾问

集团公司、中国水电工程顾问集团公司、中国水利水电建设集团公司和中国葛洲坝集团公司；成立了国家电力监管委员会——中国垄断性产业中第一个具有专业性的政府管制机构。

二、电力体制改革发展现状

2014年12月31日，国务院常务会议正式通过《关于深化电力体制改革的若干意见》；2015年2月，中央政治局常委会再次对该方案进行了确认。该方案内容总计36条，主要精神可以概括为“四放开、一独立、一加强”，即输配以外的经营性电价放开、售电业务放开、增量配电业务放开，公益性和调节性以外的发供电计划放开，交易平台独立，加强规划。

2014年11月4日，国家发改委下发《关于深圳市开展输配电价改革试点的通知》，通知指出，在深圳市开展输配电价改革试点，将现行电网企业依靠买电、卖电获取购销差价收入的盈利模式，改为对电网企业实行总收入监管。即政府以电网有效资产为基础，核定准许成本和准许收益，固定电网的总收入，并公布独立的输配电价。同时，明确了输配电准许成本核定办法，建立对电网企业的成本约束和激励机制。2015年1月1日，深圳输配电价改革正式实施，首个监管周期内输配电价水平分别为0.143 5、0.143 3、0.142 8元/(kW·h)，与2014年相比下降约0.01元/(kW·h)。表0-1为中国电力产业的进入规制政策。

表 0-1 中国电力产业的进入规制政策

主要业务类型	现有经营企业	进入管制政策的重点
发电	中国华能、大唐、华电、国电和中电投5家集团公司、多家独立发电企业	继续放松进入管制，水电和新能源发电企业优先进入

续表

主要业务类型	现有经营企业	进入管制政策的重点
输电	国家电网、南方电网、多家区域性和省级输电公司	通过电力大用户与发电企业直接购买,形成输电网外的电力批发市场
配电	各地区配电公司	区域间比较竞争管制方式
售电	配售电尚未分离,无独立电力零售企业	配售分离后,放松进入管制,形成多元化的竞争主体

2015年3月,中共中央国务院发布《关于进一步深化电力体制改革的若干意见》(中发〔2015〕9号),明确表明新一轮电改的重点和路径是:按照管住中间、放开两头的体制架构,有序放开输配以外的竞争性环节电价,有序向社会资本开放配售电业务,有序放开公益性和调节性以外的发用电计划;推进交易机构相对独立,规范运行。并强调开放电网公平接入,建立分布式电源发展新机制,积极发展分布式电源。分布式电源主要采用“自发自用、余量上网、电网调节”的运营模式,在确保安全的前提下,积极发展融合先进储能技术、信息技术的微电网和智能电网技术,提高系统消纳能力和能源利用效率。完善并网运行服务,加快修订和完善接入电网的技术标准、工程规范和相关管理办法,支持新能源、可再生能源、节能降耗和资源综合利用机组上网,积极推进新能源和可再生能源发电与其他电源、电网的有效衔接,依照规划认真落实可再生能源发电保障性收购制度,解决好无歧视、无障碍上网问题。加快制定完善新能源和可再生能源研发、制造、组装、并网、维护、改造等环节的国家技术标准。此次电力改革为解决电力市场缺失提供了解决的思路,同时也为微电网的市场化发展提供了政策支持。



第二节 微电网的产生与发展

一、微电网的产生

微电网由来已久，它的雏形产生于爱迪生拥有的通用电气公司建造电网初期，那时候纽约的一座发电厂只提供几十千瓦的电力，点亮几盏灯泡，几百伏特电压的直流线路，只能送几千米远，不过就微电网的基本定义来说，这也算微电网了。后来电力系统改为交流，由此带来的最大好处是变压方便了，电可以送得更远了，人类从此走上了大电网的道路。

近年来，分布式发电（Distributed Generation, DG）具有投资小、环保好以及灵活性高等优点，得到了快速的发展。但它对大电网的影响却是不得不考虑的一个问题，数量众多的分布式电源接入配电网后，传统辐射状的无源配电网将变成一个遍布中小型电源和负荷的有源网络，潮流也不再单向地由变电站母线流向负荷。从技术上来说，配电网根本性的变化使得电网各种保护定值和机理发生了深刻变化，同时分布式电源的并网运行可能会引起电网电压和频率的偏移，电压波动和闪变等电能质量问题给电网安全运行带来很大威胁，所以尽管分布式发电技术具有极大的应用潜力，但仍然无法被电力部门所接受。

IEEE P1547 对分布式能源的单独并网标准做了规定：当电力系统发生故障时，分布式电源必须马上退出运行，这大大限制了分布式能源的充分发挥，也间接限制了新能源的利用。为了协调大电网与分布式电源间的矛盾，充分挖掘分布式能源为电网和用户所带来的价值