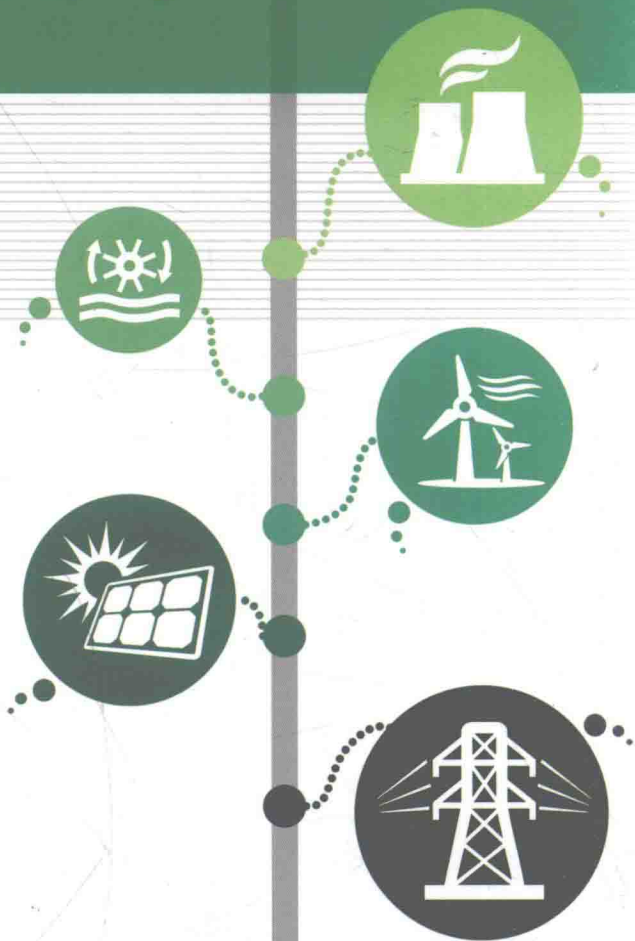


# 分布式电源并网 与运行技术

FENBUSHI DIANYUAN BINGWANG  
YU YUNXING JISHU

刘远龙 刘 虎 王 萍 编著



FENBUSHI DIANYUAN BINGWANG  
YU YUNXING JISHU

# 分布式电源并网 与运行技术

刘远龙 刘 虎 王 萍 编著



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

基于可再生能源发电的分布式电源适应了环保和可持续发展的要求,得益于自身优势和政策的扶持,近年来得到了快速的发展。本书紧密结合科研成果,全面系统,实用性强,旨在推广和应用分布式电源并网及运行技术,提高相关人员对分布式电源并网及运行技术的理解和认知。

本书是一本系统论述分布式电源并网及运行技术的著作,在借鉴国内外优秀科研成果的基础上,对分布式电源并网与运行技术进行全面而深入的阐述。本书共分六章,包括分布式电源现状与规划、分布式电源并网、分布式电源系统储能技术、分布式电源建模及仿真分析、分布式电源调度运行、分布式电源运行及控制技术。

本书适合从事分布式发电规划、建设、设计和运行的专业人员,以及相关电厂/电网的工作人员、研究人员、高校师生和兴趣爱好者参考使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

分布式电源并网与运行技术 / 刘远龙, 刘虎, 王萍编著. —北京: 中国电力出版社, 2016.7  
ISBN 978-7-5123-9529-9

I. ①分… II. ①刘…②刘…③王… III. ①电源—研究 IV. ①TM91

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 147546 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: 陈 雷 (lei-chen@sgcc.com.cn) 盛兆亮

责任校对: 王开云

装帧设计: 王英磊 张 娟

责任印制: 邹树群

---

印 刷: 三河市万龙印装有限公司

版 次: 2017 年 7 月第一版

印 次: 2017 年 7 月北京第一次印刷

开 本: 710 毫米×980 毫米 16 开本

印 张: 15.25

字 数: 260 千字

印 数: 0001—1500 册

定 价: 76.00 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

近年来,以可再生能源为主的分布式发电技术得到了快速发展,成为大系统电能供应不可缺少的有益补充,集中式与分布式电源的有机结合是21世纪电力工业和能源产业的重要发展方向,言虽如此,有关介绍分布式电源协调集中式电源并网及运行技术方面的书籍却并不多。本书围绕着“分布式电源与电网协调发展”的主题,展开分布式电源并网及运行关键技术研究与实践,旨在为关注和从事分布式发电工作的相关人员提供理论指导和技术借鉴,提高从事分布式电源规划、设计和运行工作人员的技术水平,在确保电网安全稳定运行的同时,期待分布式电源更大规模的普及与发展。

本书有三大特点:首先,结构清晰,以分布式发电技术纵向研究为主线,将分布式发电的现状与规划、并网、储能技术、建模与仿真分析、调度运行、控制技术等基本内容有机地结合在一起,深入浅出,具有较高的可读性;其次,贴合实际,部分内容是基于某电网实际应用的模型和参数,有利于提高仿真分析的可信度;同时,更具权威性,本书关于分布式电源并网及运行的关键技术,参考了目前执行的分布式电源相关文件和标准,并借鉴发表在国内外优秀期刊上的学术论文,故具有较高的技术水准和学术水平。

本书共有六章。第一章论述了分布式电源的现状、分布式电源规划的主要问题。第二章内容包括分布式电源接入电网分析及异常情况分析、分布式电源并网继电保护配置和分布式电源并网标准与测试等。第三章主要论述了储能相关技术,包括与分布式电源的协调、优势应用、方式选择和容量配置、优化控制与展望。第四章应用仿真分析软件,搭建比较准确的分布式发电机组数学模型,并对含多种分布式电源的广义负荷模型进行辨识,应用此成果对接入大规模分布式电源的电网进行安全稳定分析,并提出安全稳定的控制措施。第五章讨论了分布式电源及电动汽车的工作特性、分布式发电功率预测、分布式电源协同调度与优化技术和基于虚拟发电厂的电网新型调度技术等内容。第六章介绍分布式电源电能质量控制技术、分布式电源孤岛运行控制技术、微电网技术

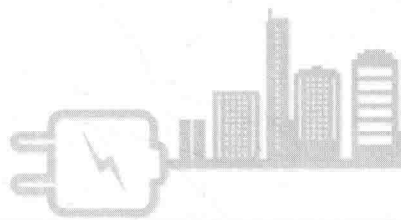
应用、主动配电网协调控制技术和分布式电源接入配电网监控系统技术等方面的技术发展。

本书由刘远龙、刘虎、王萍共同编著，此外魏杰也参与本书的编写和校正工作。本书在编写过程中，得到国网山东电力调度控制中心、山东大学、青岛大学等单位的领导专家的热忱帮助，冯新凯、刘鹏辉等研究生在搜集资料、案例分析等方面也做出了贡献，在此一并表示衷心感谢。

限于编者水平，书中不妥或疏漏之处，敬请读者批评指正。

编 者

2016年12月

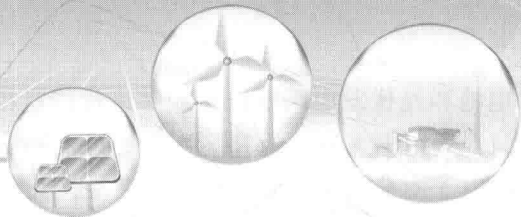


# 目 录

## 前言

第一章 分布式电源现状与规划	1
第一节 分布式电源现状	1
第二节 分布式电源规划	9
第二章 分布式电源并网	40
第一节 分布式电源接入电网分析	40
第二节 分布式电源并网运行异常情况分析	50
第三节 分布式电源继电保护配置	54
第四节 分布式电源并网标准与测试	66
第三章 分布式电源系统的储能技术	90
第一节 储能技术概述	90
第二节 储能技术与分布式电源的协调	94
第三节 储能技术的优势应用	100
第四节 储能方式选择和容量配置	103
第五节 储能技术的优化控制与展望	108
第四章 分布式电源建模及仿真分析	114
第一节 分布式电源系统的数学模型	114
第二节 含多种分布式电源的广义负荷模型辨识	136
第三节 大规模分布式电源接入后电网安全稳定分析	145
第五章 分布式电源调度运行	154
第一节 分布式发电及电动汽车储能工作特性	154
第二节 分布式发电功率预测	158

第三节	分布式电源协同调度与优化系统	166
第四节	基于虚拟发电厂的电网新型调度模式	173
<b>第六章</b>	<b>分布式电源运行控制技术</b>	<b>182</b>
第一节	分布式电源电能质量控制技术	182
第二节	分布式电源孤岛运行控制技术	188
第三节	微电网技术	193
第四节	主动配电网协调控制技术	205
第五节	分布式电源监控系统技术	224
<b>参考文献</b>		<b>236</b>



# 分布式电源现状与规划

随着常规能源的逐渐衰竭和环境污染的日益加重，世界各国纷纷开始关注环保、高效和灵活的发电方式——分布式发电（distributed generation/generator, DG）。分布式发电技术的发展不仅能减少能源短缺，降低环境污染，还能提高现有电力系统的效率、可靠性和电能质量，并拥有减轻系统约束和减少输电成本的潜力。与此同时，分布式发电技术的推广也将对配电网中的节点电压、线路潮流、短路电流、可靠性等带来影响，必然给传统的配电网规划带来实质性的挑战。因此，寻求一个合理的分布式电源规划方案，对提高今后电网的可靠性、经济性和电能质量及改善电力网络结构等具有非常重要的作用。

本章将从分布式电源现状和分布式电源规划两方面展开论述。

## 第一节 分布式电源现状

随着世界范围内能源危机、电力危机的加剧以及大面积停电事故暴露的不足，集中式发电系统已经不能完全满足对电力供应质量与日益提高的安全可靠性的要求。为了弥补和完善大规模集中式电力系统发电输电的不足，分布式电源日益成为人们研究的热点，大电网和分布式电源相结合的供电模式能够节省投资、降低能耗、提高电力系统可靠性和灵活性，是 21 世纪世界电力工业的新兴发展方向。

### 一、分布式电源的定义及特点

由于各国政策不同，不同国家和组织、甚至是同一国家的不同地区对分布式电源的理解和定义都不尽相同，因此到目前为止，分布式电源并没有一个统一的、严格的定义。关于分布式电源的最大容量、接入方式、电压等级、电源性质等相关界定标准方面，国际上还没有通用权威定义。

国际能源署（international energy agency, IEA）对分布式电源的定义为服务于当地用户或当地电网的发电站，包括内燃机、小型或微型燃气轮机、燃料



电池和光伏发电系统以及能够进行能量控制及需求侧管理的能源综合利用系统。美国电气和电子工程师协会（institute of electrical and electronics engineers, IEEE）对分布式电源的定义为接入当地配电网的发电设备或储能装置。德国对分布式电源的定义为位于用户附近，接入中低压配电网的电源，主要为光伏发电和风电。本书归纳了 18 个典型国家（组织）关于分布式电源的界定标准，具有如下 4 个基本特征。

(1) 直接向用户供电，电流一般不穿越上一级变压器。这是分布式电源的最本质特征，适应分散式能源资源的就近利用，实现电能就地消纳，各国定义均提及该特征。分布式电源供电模式见图 1-1。

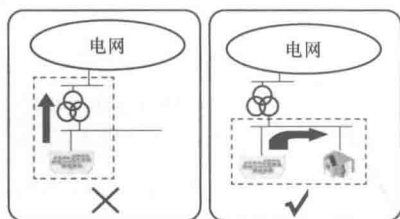


图 1-1 分布式电源供电模式

(2) 装机规模小，一般为 10MW 及以下。在 18 个典型国家（组织）中，13 个为 10MW 及以下，3 个为数 10MW 级，2 个为 100MW 级。美国、法国、丹麦、比利时等国家均将

分布式电源的接入容量限制为 10MW 左右，瑞典的接入容量限制为 1.5MW，新西兰为 5MW。由于英国允许分布式电源的接入电压等级较高，相应的允许接入容量也较大，可达 100MW，但从实际并网情况来看，接入 66kV 电压等级的大容量分布式电源所占比例很少。

(3) 通常接入中低压配电网。由于各国中低压配电网的定义存在差异，因此，具体的接入电压等级也略有不同，一般为 10（35）kV 及以下。18 个典型国家（组织）中，8 个为 10kV 及以下，7 个为 35kV 级，3 个为 110（66）kV 级。德国、法国、澳大利亚等国家均将分布式电源接入电压等级限制在中低压配电网，国外的中低压配电网上限一般不超过 30kV。英国允许分布式电源接入 66kV 电压等级，这是由于 66kV 在英国仍属于中压配电网范畴。

(4) 发电类型主要为可再生能源发电、资源综合利用发电、高效天然气多联供（能效一般达到 70% 以上）。

分布式发电能源类型见表 1-1。

表 1-1 分布式发电能源类型

序号	能源类型	发电技术
1	太阳能	光伏发电、碟式光热发电
2	风能	定桨距异步风机，双馈异步风机，永磁直驱风机

续表

序号	能源类型	发电技术
3	资源综合利用	煤层气、转炉煤气、高炉煤气、工业余热余压
4	天然气	天然气发电
5	生物质能	农林废弃物直燃发电、农林废弃物气化发电、垃圾焚烧发电、垃圾填埋气发电、沼气发电
6	地热能	地热能发电
7	海洋能	潮汐发电、波浪发电
8	燃料电池	燃料电池发电

分布式电源的概念常常与可再生能源发电、热电联产的概念发生混淆，大型可再生能源发电、大型燃气—蒸汽联合循环机组不属于分布式电源。综合国际上典型国家及组织界定标准和我国电网特点，分布式电源一般可定义为：利用分散式资源，装机规模小（发电功率为数千瓦至 50MW 小型模块式），位于用户附近，通过 10（35）kV 及以下电压等级接入的可再生能源、资源综合利用和能量梯级利用多联供发电设施，可独立输出电能，这些电源由电力部门、电力用户或第三方所有，用以满足电力系统和用户特定的需求。主要包括风能、太阳能、生物质能、水能、潮汐能、海洋能等可再生能源发电，以及利用余热、余压、可燃性废气发电和小型天然气冷热电多联供等。

在当今能源短缺、环境污染严重的时代，分布式电源得到越来越广泛的应用，对其研究也越来越广泛。国内外对分布式电源的研究报告有很多，这些报告总结了分布式电源的特点和评价准则，在量化分布式电源系统特点方面日臻完善，具体包括以下几个方面：

（1）规模不大，装置容量小，占地面积小，初始投资少，降低了远距离输送损失和相应的输配系统投资，可以满足特殊场合的需求。分布式电源按需就近设置，尽可能与用户配合，与集中式发电相比，没有远距离输电引起的输配损失问题，节省输配系统投资，为终端用户提供灵活、节能、经济的送电服务。对不适宜铺设电网的西部偏远地区、散布的用户或可利用余压、余热、可燃性废气发电的废弃资源场所，发展分布式发电具有非常重要的意义。

（2）可提高用户供电可靠性，弥补大电网安全稳定性的不足。美国“9·11”事件发生后，供电安全引起各国高度重视，而电网的急速膨胀严重威胁供电安全性。同时，近几年世界范围内发生的几次大停电事故，造成的重大经济损失，也充分反映了以集中供电模式为主的供电系统不完全可靠。在

用户近旁安装分布式电源，与大电网配合进行发电，在电网崩溃和发生意外灾害（如地震、暴风雪、人为破坏、战争）的情况下，可维持重要用户供电，大大提高了供电可靠性。

(3) 能源利用效率高，利用可再生能源发电，具有非常好的节能效应。常规集中供电方式相对单一，仅通过供电难以满足能量的梯级利用，如供热、供冷等。分布式电源规模小、灵活性强，通过不同循环的有机整合，可实现在满足用户需求的同时，克服冷、热无法远距离输送的困难，实现能量的梯级利用，大大提高发电厂的发电效率。

(4) 环境友好，为可再生能源利用开辟了新方向。分布式电源一般采用清洁燃料作能源，同时以其高效率能够提高环保效益。按照美国能源部 CCHP 2020 纲领的描述，部分新建建筑采用冷热电三联产（CCHP）后，美国 CO<sub>2</sub> 可以减排 19%。相对化石能源，可再生能源能量密度较低、分散，且目前利用规模小、能源利用率低，无法实现集中供电手段，分布式电源适合与可再生能源相结合。

分布式电源一般采取与配电系统并联运行或采用独立小电网的运行方式，其本身并非是一种全新的发电形式。实际上，一些工厂和大型电力用户，其自身的一些发电机组在系统电源停供时，作为一种临时电源可提高自身供电可靠性，视为分布式电源发展的初期阶段。类似作为紧急备用电源使用的小型柴油发电机组以及我国早期的燃煤自备小热电厂，虽属分布式发电的范畴，但由于技术性能差、效率低和污染环境，被逐渐淘汰或取代。目前所谓的分布式电源更多的是指微型燃气轮机、燃料电池，或是包括风力、太阳能、生物质能等在内的可再生能源发电系统，实际应用时，往往还加入各种储能装置，如蓄电池储能、超导储能、超级电容器储能、飞轮储能和压缩空气储能等。

基于系统稳定性和经济性考虑，分布式发电系统要存储一定数量的电能，用以应付突发事件和负荷变化，因此分布式发电总是与储能装置紧密联系在一起的。概括而言，储能装置在分布式发电中的作用主要有以下几个方面：

- (1) 平衡发电量和用电量。
- (2) 充当备用或应急电源。
- (3) 改善电能质量，维持系统稳定。
- (4) 改善分布式系统的可控性。

## 二、分布式电源的应用现状

分布式发电是集中供电方式不可缺少的重要补充，将成为未来能源领域的一个重要发展方向，在能源需求与环境保护的双重压力下，国际能源界已将更

多目光投向了既可提高传统能源利用率又能充分利用各种可再生能源的分布式发电技术研究领域。我国分布式电源发展重点是风电、光伏发电、小水电和小型天然气多联供等技术类型。

分布式电源之所以在世界各国得到如此多的重视，所产生的有益影响起决定性作用，主要体现在：

(1) 解决偏远地区供电问题。部分农牧地区和偏远山区，要形成规模化、集中式供电网需要巨额投资，而分布式发电技术则可弥补集中式供电在这些地区的局限性。

(2) 提高重要用户供电可靠性。对于一些可靠性要求较高的工业和商业用户，分布式发电可作为备用机组，提高供电可靠性，减少停电损失，并在发生电网意外事故（如战争、地震、暴风、雨雪冰冻等）情况下维持向重要用户供电。

(3) 促进节能减排。分布式电源通过能源的梯级利用，可以提高能源综合利用效率，采用天然气燃料或可再生能源的分布式发电，可减少有害物质排放，减轻环保压力。

(4) 降低系统损耗。分布式电源生产的电力大多就地消纳，通过优化电源布局，合理设计电源容量，可以减少配电网的功率输送，降低输送线路的损耗。

欧洲最早应用分布式发电技术，丹麦、芬兰、挪威等国家现有的分布式电源装机容量已接近或超过其总装机容量的 50%，为保持在可再生能源和分布式发电技术上的优势地位，欧盟正在进行一个 SAVEH 的能效行动计划，包含许多不同的能效措施，来推动分布式发电技术的发展。丹麦自 1990 年以来就没有增加大型凝气发电厂的发电容量，而积极鼓励发展分布式发电技术，制定了一系列行之有效的法律、政策和税制，并坚决贯彻执行。丹麦新增电力主要依靠安装在工业用户、小型区域化的分布式能源电站和可再生能源项目，热电发电量占总发电量的 61.6%。在 2008~2012 年期间，丹麦实现 CO<sub>2</sub> 排放量比 1990 年降低 21%，如今分布式发电在丹麦成为主要的供电渠道。荷兰自 1988 年启动了一个热电联产激励计划，制定了重点鼓励发展小型热电机组的优惠政策。实践证明，荷兰的分布式发电技术为电力增长做出了巨大贡献，热电联产装机容量迅猛增长。荷兰颁布了新的《电力法》，赋予了分布式发电（热电联产）特别的地位，电力部门必须接受此类电力项目，政府对其售电仅征收最低税率。由荷兰能源分配部门起草的《环境行动计划》中，电力部门将积极使用清洁高效能源技术以承担其对环境的责任，其中分布式发电（热电联产）是最重要的手段，将担负 40% 的二氧化碳减排任务。

美国是最早发展分布式发电技术的国家之一，自 20 世纪 70 年代以来，美国已有 6000 多座分布式能源站，仅大学校园就有 200 多个能源站采用了分布式发电供能。在 2001 年，美国政府颁布了 IEEE P1547/D08 “关于分布式电源与电力系统互联的标准草案”，并通过了有关法令允许分布式发电系统并网运行和向电网售电。据美国分布式电力联盟（DPCA）的研究估计，未来 20 年分布式发电系统的发电量将占未来新增发电容量的 20%，总量为几十吉瓦（GW）。美国能源部提出并制定了分布式能源系统（CCHP）的发展目标：

（1）近期目标：开发下一代的分布式能源系统，消除制度、法规对分布式能源系统在选址、准许以及电网连接方面的障碍。

（2）中期目标：减少分布式能源系统的成本，提高分布式能源系统的效率和可靠性，使分布式能源系统占美国新增发电装机容量的 20%。

（3）2020 年的长期目标：通过最大限度地使用具有良好成本效益的分布式能源系统，使美国的电能生产和输送系统成为世界上最洁净、最有效、最可靠的系统。

日本是亚洲能源利用效率最高的国家，在世界上位居前列。由于日本缺乏能源资源，政府高度重视提高能源利用效率，颁布了许多优惠政策，如建立环境保护基金，制定允许分布式能源系统并网的政策。自 1981 年东京国立竞技场第一号发电机组运行起，分布式能源项目共有 1413 个，总容量为 2212MW。其中工业自备项目有 411 个，容量为 1743MW，平均每个装机规模仅为 4217kW；民用项目有 1002 个，容量为 478MW，平均每个项目装机容量仅为 477kW。分布式能源能够在日本快速发展，关键是政府的有效干预。1986 年 5 月日本通产省发布了《并网技术要求指导方针》，使分布式能源可以实现合法并网。1995 年 12 月又更改了《电力法》，并进一步修改了《并网技术要求指导方针》，使拥有分布式能源装置的业主，可以将多余的电能反卖给供电公司，并要求供电公司为分布式能源业主提供备用电力保障。此外，分布式能源业主不仅能够得到融资、政府补贴等优惠政策，还能享受减免税等鼓励。

中国在发展分布式电源技术上仍处于初级阶段。中国面临的最大挑战依然是人口、资源和环境问题，实现可持续发展的唯一选择就是全力提高资源的利用效率，最大限度地减少环境污染，而分布式能源系统将会使这一问题得到缓解。《中华人民共和国节约能源法》第三十九条规定，国家鼓励发展下列通用节能技术，推广热电联产、集中供热，提高发电机组的利用率；发展热能梯级利用技术，热、电、冷联产技术和热、电、煤气三联供技术，提高热能利用效率。

为促进热电联产事业的健康发展，原国家发展计划委员会、原国家经济贸易委员会、建设部和国家环保总局联合发布了《关于印发〈关于发展热电联产的规定〉的通知》，这是中国节能环保工作的一个里程碑式的文件。对分布式能源系统有明文规定，其中第八条：符合指标的新建热电厂或扩建热电厂的增容部分免交上网配套费，电网管理部门应允许并网。其中第十三条：鼓励使用清洁能源，鼓励发展热、电、冷联产技术和热、电煤气联供，以提高热能综合利用效率。其中第十四条：积极支持发展燃气—蒸汽联合循环热电联产。提出以小型燃气发电机组和余热锅炉等设备建成的小型热电联产系统，使用于厂矿企业、写字楼、宾馆、商场、医院、银行、学校等公用建筑。它具有效率高、占地小、保护环境、减少供电线损和应急突发事件等综合功能，在有条件的地方应逐步推广。这是中国政府部门首次在行政规章中列入了支持分布式能源的条款，具有重要的历史意义。2005年2月，公布的《可再生能源法》明确规定：所称可再生能源是指风能、太阳能、水能、生物质能、地热能、海洋能等非化石能源。对分布式能源系统的并网、上网和电价的确定以及法律责任等有明确规定，为分布式能源系统的发展扫清了很大障碍。

在国家发展改革委《能源发展“十一五”规划》中，电力工业发展重点包括推进热电联产、热电冷联产和热电煤气多联供。在工业热负荷为主的地区，因地制宜建设以热力为主的背压机组；在采暖负荷集中或发展潜力较大的地区，建设30万kW等级高效环保热电冷联产机组；在中小城市建设以循环流化床技术为主的热、电、煤气三联供和以洁净能源作燃料的分布式热电联产和热电冷联供，将分散式供热燃煤小锅炉改造为集中供热。目前，我国以天然气为燃料的分布式能源系统建设已逐步进入实质性开发实施阶段，在北京、上海、广州等大城市的居民小区、商城楼宇、大学城都有一批热、电、冷联产示范工程投运。例如：上海浦东国际机场能源中心4000kW燃气轮机热电联供项目，上海黄浦区中心医院1000kW燃气轮机热电联供项目，北京中关村软件园热、电、冷联产项目等各项的实施和投运等。

### 三、分布式电源的发展愿景

迈进21世纪，实现能源、环境和经济的协调发展已成为世界能源建设领域工作者所共同追求的目标。随着经济的发展和人们生活水平的提高，供电质量要求越来越高，热、电、冷负荷需求逐步普遍化，分布式电源技术的应用逐渐引起了人们的关注。分布式发电技术以其投资小、适用范围广的特点，已成为国家总体能源供应系统中一种最为灵活和有效的补充。在发达国家，如美国，

在进行能源结构调整进程中，将发展分布式发电技术摆在重要的战略地位，并广泛进行推广应用，前景看好。

随着经济建设的飞速发展，我国集中式供电电网的规模迅速膨胀。这种发展所带来的安全性问题（如大停电）是不容忽视的。为了及时抑制这种趋势的蔓延，只有合理地调整供电结构、有效地将分布式供电和集中式供电结合在一起，才能构架更加安全稳定的电力系统。纵观西方发达国家的能源产业的发展过程，可以发现能源供应系统经历了从分散供应（包括供电、供热、制冷），到大规模的集中供应（如超大规模发电厂），然后又到分布式供应系统的演变。造成这种现象不仅仅是由于生活水平提高的需求，而且也是集中式供能方式自身所固有的缺陷造成的。毋庸置疑，随着社会的发展，我国能源产业也将面临类似的问题。因此，虽然从目前能源产业的发展情况来看，集中式供能是我国能源系统发展的主要方向，但从长远看，构造一个集中式供能与分布式供能相结合的合理能源系统，提高电网的质量和可靠性，将为我国能源产业的发展打下坚实的基础。我国分布式电源的发展定位见图 1-2。

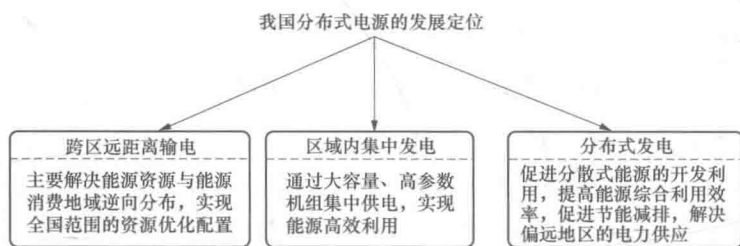


图 1-2 我国分布式电源的发展定位

我国是一个发展中国家，能源消费与发达国家相比存在较大的差距，按照目前的经济发展趋势，我国面临的能源问题仍然是相当严峻的。在我国经济和城市化发展的过程中，居民小区和工业园区的建设一直处于发展的前列，如何实现区域化的整体能源供应，是目前城市建设规划十分关注的问题，分布式能源系统具有广阔的发展空间，另外，发展中央商务区楼宇的分布式能源系统也是非常值得研究的重要课题。就我国能源情况来看，能源资源相对贫乏，而且各地区经济发展不平衡，对于西部等偏远、落后地区，由于远离经济发达地区，形成一定规模的、强大的集中式西北电网系统需要很长时间和巨额的投资，无法满足目前西部经济快速发展的需要。分布式能源系统可以借助西部天然气资源丰富、可再生能源多种多样的优势，在较短的时间内，以较小的投资为代价，

为西部经济发展提供有力的支撑。对于东南沿海经济发达地区，由于生活水平的日益增加，已经出现了类似于西方发达国家的对于能源产品需求多样化的趋势。与集中式供电相比，分布式供电显现了突出的优点，为解决上述问题提供一个更加圆满的方案。

## 第二节 分布式电源规划

随着国家能源战略计划的逐步实施，未来我国电源的基本建设投资结构将呈现加快调整的态势，火电投资比例将大幅下降，核电、风电投资比例将大幅度增加。据不完全统计，2009年全国关停各类小火电机组2617万kW，同时，全国基建新增发电设备容量8971万kW，其中，水电1998万kW，火电6076万kW，风电897万kW。新建火电机组基本建设投资完成额同比下降11.11%，新建核电、风电机组基本建设投资完成额同比分别增长了74.91%和43.9%，电源结构不合理的问题将有望得到逐步改善。基于我国能源资源特点、经济发展阶段和节能环保要求，跨区远距离输电、区内集中式发电与积极推动分布式电源三者缺一不可、有机统一，大电网集中式供电是我国电力供应的主体方式，分布式电源是重要补充，到2020年，分布式电源装机占比约9%，是我国电力供应体系中的重要部分。分布式电源凭借其发电方式灵活、建设周期短、环境友好等优点，越来越多地被接入配电网。2020年电源结构见表1-2。

表 1-2 2020 年电源结构

电源类型	2020 年电源结构 (万 kW)	
	总规模	分布式发电
水电	34400	7500
抽蓄	5000	0
煤电	103400	0
燃气	5900	2000
核电	8000	0
风电	20000	3000
生物质能	3000	1500
太阳能	5000	2700
总计	184700	16700



分布式电源在对传统供电方式形成良好补充的同时，必然也给配电网的负荷预测、电源规划等带来了更大的不确定性，这也给传统的配电网规划方法带来了实质性的挑战。部分可再生能源（如风能、太阳能等）受自然气候条件制约，具有随机性、间歇性强的特点，使得这类分布式电源在对传统供电方式形成良好补充的同时，必然会对配电网的运行和规划带来不同程度的影响，且影响的程度与分布式电源的位置和容量密切相关。与传统的电源规划方法相比，分布式电源规划有很多不同特点，主要体现在以下几个方面：

（1）部分可再生能源随机性、间歇性强的特点将影响系统的发电可靠性，导致系统备用容量增加，使得常规机组需要启停的次数必然增加，从而导致其降额运行的时间增多。

（2）诸如风电等发电方式大都具有反调峰特性，其并网有可能使电网的等效负荷峰谷差增大，给电网调频、调峰带来不利影响。

（3）某些能源形式的 DG 输出功率可控性很差，不能像常规机组一样灵活地控制输出功率，所以，必须在规划方案中对各种不确定性所带来的影响建立有效的模型，并进行分析计算。

（4）大型 DG（如风电场）的并网可能会影响电网的电能质量，带来谐波污染、电压波动及闪变问题，还会影响到电力系统的静态稳定和暂态稳定。因此，在电源规划中需要考虑 DG 的最大穿透功率。

（5）多数 DG 的一次能源属于清洁的可再生能源，普遍具有较好的技术效益和环境效益，但其单位发电成本较高，在没有政策优惠和扶持的情况下，缺少与常规电源的竞争力，因此，有必要在电源规划中凸显 DG 的成本效益。

电源规划是电力工业发展中非常重要且必不可少的前期工作，是电力系统发展规划的重要组成部分。电源规划的目的是根据某一时期电力负荷需求预测，在满足一定可靠性水平的前提下寻求一个最经济的电源开发方案，主要解决在何时、何地投建什么类型的多大容量的机组，规划的合理性将直接影响到系统今后运行的经济性、可靠性、电能质量及网络结构等方面，下面将重点介绍基于成本效益、智能电网建设和主动配电网的分布式电源规划。

### 一、基于成本效益分析的分布式电源规划

电源规划以其成本和效益的综合评估为目标。结合分布式电源的特点，在对含有分布式电源的配电网可靠性评估的基础上，以成本效益理论为依据，分别对分布式电源的生产成本、环境成本及综合效益展开分析，并借助计算机工具和有效的数学方法将各种效益、成本量化为经济指标，完善分布式电源的规