

分布式发电与智能电网

艾 芊 郑志宇 编著



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

013027372

TM61
21

分布式发电与智能电网

艾 芊 郑志宇 编著



北航

C1635215

上海交通大学出版社

TM61
21

0000000000

内 容 提 要

本书在对分布式发电技术进行研究的基础上,将智能电网与分布式发电有机结合,分析两者协同应用的情况,并重点介绍了分布式电源的原理和模型;智能电网的组成和功能。鉴于目前国家正大力促进发展节能减排的电动汽车,对电动汽车充电站也进行了详细的讲解。

本书可供电力行业的高级管理人员、相关专业的大学生和科研工作人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

分布式发电与智能电网/艾芊,郑志宇编著. —上海:
上海交通大学出版社,2012
ISBN 978-7-313-08813-0

I. 分... II. ①艾... ②郑... III. ①发电 ②智能
控制—电力系统 IV. ①TM61 ②TM76

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 165901 号

分布式发电与智能电网

艾 芊 郑志宇 编著

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 951 号 邮政编码 200030)

电话:64071208 出版人:韩建民

常熟市华通印刷有限公司 印刷 全国新华书店经销

开本:787mm×960mm 1/16 印张:17.5 字数:329 千字

2013 年 1 月第 1 版 2013 年 1 月第 1 次印刷

印数:1~2 030

ISBN 978-7-313-08813-0/TM 定价:68.00 元

版权所有 侵权必究

告读者:如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系
联系电话:0512-52391383

前 言

中国是一个能源生产和消费大国,经济的快速发展导致能源需求的快速增长。从长远来看,可能面临着能源资源不足;供应压力增加;环境保护矛盾突出;能源技术落后和农村能源亟待改善等问题。实现能源的多样化和可持续发展,增加可循环利用能源的开发,是满足我国能源需求的重要途径。

在这种社会大背景下,传统的“大机组、大电网、高电压”供电模式显示出了一定的局限性。分布式发电是一种新兴的能源利用方式,其定义可概括为:直接布置在配电网或分布在负荷附近的发电设施,经济、高效、可靠地发电。分布式发电系统中的发电设施称为分布式电源,主要包括风力发电、太阳能发电、燃料电池、微型燃气轮机等。这些电源通常发电规模较小(一般 50MW 以下)且靠近用户,一般可以直接向其附近的负荷供电或根据需要向电网输出电能。与传统的集中式能源相比,分布式发电具有投资小;发电方式灵活;损耗低;利于环保等优点,对于高峰期电力负荷比集中供电更经济、有效,因此已成为现代电力系统规划中重要的研究方向。分布式发电与大电网联合运营,更被国内外许多专家学者认为是降低能耗、提高电力系统可靠性和灵活性的主要方式,同时也是我国电力工业未来的发展方向。

分布式电源接入电网后,将给配电网乃至输电网的电压稳定、电能质量、系统保护和调度运行等带来一系列的影响,并联模式下电网的监控和管理面临很多技术上的难题。智能电网技术的发展为分布式电源的无缝并网提供了契机。智能电网在国际上尚未给出明确的定义。一般认为,智能电网以高级传感装置为核心,集合各种最先进的信息技术形成高效的自动化信息网络,实时监控每个用户和节点,并通过电子终端保证了传感器和发电厂之间、用户和电网公司之间的双向通信与即时连接。智能电网通过广泛应用的分布式智能和通信系统及自动控制系统的集成,自动监控电网,保证市场交易的实时进行和动态议价、电网上各成员之间的无缝连接及实时互动。

智能电网技术有机融合了高级传感、通信、自动控制等技术,具有自我管理、自我恢复、兼容性强等特点。通过合理的应用智能电网技术,能在分布式电源接入电网后,实现实时互动和协调运行。智能电网与传统电网的重要区别之一为智能电网能够使分布式能源、可再生能源与现有电力系统有机融合;支持分布式发电方式友好接入以及可再生能源的大规模应用,并推动实现“即插即用”的标准化;根据分

布式电源的不同类型,采取不同的对应控制措施,实现分布式能源管理。同时,智能电网中的虚拟电厂技术,能将分布式电源有效整合接入现有电力系统。利用该技术能提高分布式电源的渗透率,吸引分布式电源参与电力交易和需求侧响应,实现有效调度管理。

因此,在对分布式发电进行研究的基础之上,将智能电网与分布式发电有机结合,分析两者协同应用的情况是未来的研究重点。然而同时介绍分布式发电和智能电网的书籍目前还十分鲜见,这也是我们编写本书的目的。

本书分为两部分共 10 章:第一部分主要介绍分布式发电技术,其中第 1 章概述分布式发电技术,第 2 章重点分析了各种分布式电源的原理和模型,第 3 章介绍了分布式电源的入网机制以及微电网;第二部分主要介绍智能电网,其中第 4 章介绍智能电网在国内外的的发展情况,第 5 章讨论了智能电网的目标、特征、主要技术组成和功能,第 6 章~第 9 章分别详细讨论了智能电网中的高级量测体系、高级配电运行、高级输电运行和高级资产管理。鉴于国家目前正大力促进节能减排的电动汽车发展,本书第 10 章对电动汽车充电站进行了详细的讲解。

分布式发电技术和智能电网都是快速发展的热点科研领域,由于作者学识有限,本书编写时间又很仓促,书中难免有疏漏及错误,殷切希望广大读者批评指正。

目 录

1 分布式发电简介	1
1.1 分布式发电及发展现状	1
1.1.1 分布式能源系统内涵及特点	1
1.1.2 分布式能源系统应用现状	3
1.1.3 分布式能源系统发展趋势	6
1.2 分布式电源入网对现有电力系统的影响	7
1.2.1 分布式发电对电能质量的影响	7
1.2.2 分布式发电对系统安全和可靠性的影响	7
1.2.3 分布式发电对系统保护的影响	8
1.2.4 分布式发电对电力市场的影响	9
1.2.5 其他影响	9
2 分布式发电的原理及模型	10
2.1 风力发电	10
2.1.1 风能资源的特点	10
2.1.2 风能资源评价指标	14
2.1.3 风轮的空气动力学原理	17
2.1.4 风机原理和数学模型	23
2.1.5 恒速主动失速型风机原理	37
2.1.6 变速双馈异步风机原理	41
2.1.7 变速直驱永磁同步风机原理	51
2.2 光伏发电	54
2.2.1 太阳能的特点及其优势	54
2.2.2 光伏电池的分类及研究进展	56
2.2.3 光伏太阳能电池的基本原理	60

2 分布式发电与智能电网

2.2.4	光伏电池的等效电路	63
2.2.5	光伏电池的主要特性	65
2.2.6	影响光伏电池转换效率的因素	67
2.2.7	提高光伏电池转换效率的方法	68
2.2.8	最大功率点跟踪方法	70
2.2.9	最大功率点跟踪的控制	72
2.2.10	光伏并网	73
2.3	燃料电池	74
2.3.1	燃料电池的分类	74
2.3.2	燃料电池研究现状	76
2.3.3	燃料电池的基本原理及数学模型	79
2.3.4	燃料电池各种发电技术的对比	81
2.3.5	燃料电池发电系统	82
2.3.6	燃料电池发电对我国电力系统的影响	83
2.4	微型燃气轮机	85
2.4.1	微型燃气轮机的发展过程与现状	85
2.4.2	微型燃气轮机的主要应用形式	87
2.4.3	微型燃气轮机的原理及模型	90
2.5	蓄电池	92
2.5.1	蓄电池的起源与发展	92
2.5.2	蓄电池在分布式发电系统中的作用	93
2.5.3	蓄电池的工作原理	94
2.5.4	蓄电池模型	94
2.5.5	蓄电池的特性	95
2.5.6	蓄电池 SOC 的含义	97
2.5.7	影响蓄电池荷电状态的因素	98
2.5.8	其他储能技术简介	99
2.6	本章小结	102
3	分布式发电并网及微电网	103
3.1	分布式发电并网概述	103
3.1.1	异步发电机接口模型	103

3.1.2 同步发电机模型接口	104
3.1.3 电力电子变换器接口	105
3.2 并网逆变器系统	105
3.2.1 并网逆变器的拓扑	105
3.2.2 并网逆变器的控制技术	106
3.2.3 并网逆变器应用举例	108
3.3 分布式电源的互连标准简介	111
3.3.1 国际标准	111
3.3.2 分布式发电互连的标准和技术要求比较	112
3.4 微电网	115
3.4.1 微电网的基本概念	116
3.4.2 国内外研究现状及前景	118
3.4.3 微电网研究中的关键技术和问题	121
3.5 孤岛效应与反孤岛效应	126
3.5.1 孤岛效应简介	126
3.5.2 孤岛效应的检测	128
3.5.3 反孤岛效应的策略	129
3.6 本章小结	133
4 国内外智能电网的研究	134
4.1 概述	134
4.2 美国智能电网研究现状与发展	136
4.3 欧洲智能电网研究现状与发展	137
4.4 日本与韩国的智能电网研究现状与发展	139
4.5 我国的研究现状	140
参考文献	141
5 理解智能电网	143
5.1 智能电网的目标	143
5.2 智能电网的主要特征	143
5.3 智能电网的结构组成	146
5.4 智能电网的主要技术组成与功能	148

4 分布式发电与智能电网

5.4.1 高级量测体系	149
5.4.2 高级配电运行	149
5.4.3 高级输电运行的技术与功能	150
5.4.4 高级资产管理	151
5.5 本章小结	151
参考文献	152
6 高级量测体系	153
6.1 智能电表与高级传感器	154
6.2 开放、标准、集成的通信系统	155
6.2.1 电网信息的标准化与规范化	156
6.2.2 基于变电站的基础信息平台	158
6.2.3 用户户内网络	158
6.3 计量数据管理系统	159
6.4 电网模型参数与仿真决策	160
6.4.1 电网模型参数	160
6.4.2 仿真技术	161
6.4.3 电网模型的现状与趋势	162
6.4.4 仿真的现状与趋势	164
6.4.5 电网模型参数与仿真决策的关键技术和科学问题	168
6.5 广域测量系统	169
6.5.1 广域测量系统在国外的研究与应用	169
6.5.2 广域测量系统在国内的研究与应用	169
6.5.3 广域测量系统的功能	170
6.5.4 广域测量系统的科学问题	172
6.6 本章小结	173
参考文献	174
7 高级配电运行	176
7.1 高级配电自动化	176
7.2 高级配电自动化关键技术	177
7.2.1 IP 通信网络	177

7.2.2 配电网广域测控体系	177
7.2.3 配电网广域测控体系	178
7.2.4 分布式电源控制与调度技术	178
7.3 配电快速仿真与模拟	179
7.4 新型电力电子装置	180
7.4.1 可控电抗器	180
7.4.2 短路电流限制器	183
7.4.3 静止同步串联补偿器	184
7.4.4 统一潮流控制器	185
7.5 清洁能源与分布式能源的接入	186
7.5.1 清洁能源	187
7.5.2 清洁能源应用现状	189
7.6 虚拟发电厂	190
7.6.1 虚拟发电站的概念	191
7.6.2 虚拟发电站的研究现状	192
7.6.3 虚拟发电站的控制方式	192
7.6.4 实际运用虚拟发电站所需技术	193
7.7 本章小结	196
8 高级输电运行	197
8.1 变电站自动化	197
8.1.1 信息的统一采集和标准化	198
8.1.2 智能化现场测控装置	199
8.1.3 以太网和数据管理器	200
8.1.4 同步时钟模块	200
8.1.5 基础信息平台的级联	200
8.2 输电的地理信息系统	201
8.2.1 GIS 静态数据库	201
8.2.2 智能电网空间数据库	202
8.2.3 CIM 与配电企业 GIS 数据模型	202
8.3 先进的输电技术	203
8.3.1 灵活交流输电技术	203

6 分布式发电与智能电网

8.3.2 柔性直流输电技术	205
8.3.3 特高压输电技术	206
8.3.4 高温超导输电技术	207
8.4 输变电在线安全运行控制技术	208
8.4.1 高级保护与控制	208
8.4.2 电网运行状态认知	212
8.4.3 交直流系统协调控制技术	216
8.4.4 适应新能源接入的输变电系统无功电压控制技术	221
8.4.5 一体化智能电网调度与控制系统	223
8.5 本章小结	227
参考文献	227
9 高级资产管理	229
9.1 输、配电网规划	229
9.2 资产管理	230
9.2.1 影响资产管理的因素	230
9.2.2 智能电网下的有效资产管理	232
9.3 工程管理	234
9.4 电力市场和顾客服务	234
9.5 本章小结	236
10 电动汽车充电站	237
10.1 电动汽车充电站发展背景	237
10.2 电动汽车充电站发展现状	240
10.2.1 国外电动汽车充电站建设现状	240
10.2.2 国内电动汽车充电站建设现状	243
10.3 电动汽车充电站结构简介	246
10.4 电动汽车充电站原理	247
10.4.1 电动汽车充电站	247
10.4.2 电动汽车充电站的连接方式	248
10.4.3 电动汽车充电站的充电等级	248
10.4.4 电动汽车充电方式	250

10.4.5 电动汽车充电站充电时间的特点	250
10.4.6 电动汽车充电机工作原理	251
10.5 充电站并网的影响因素	253
10.6 电动汽车充电站对电网影响	254
10.6.1 正面影响——峰谷平衡	254
10.6.2 负面影响——注入谐波	255
10.7 充电站规划原则	256
10.8 电动汽车充电站容量选择及建设方案	258
10.8.1 电动汽车充电站容量选择	258
10.8.2 电动汽车充电站建设方案	258
10.9 电动汽车充电方式选择	260
10.9.1 电动汽车种类及发展趋势	260
10.9.2 电动汽车种类的发展趋势	262
10.9.3 电动汽车充电方式介绍	264
10.9.4 电动汽车充电方式选择	266
10.10 电动汽车充电站运行方式选择	266
10.10.1 电动汽车充电站和常规电站的配合运行	267
10.10.2 电动汽车充电站和分布式电源的配合运行	267
10.10.3 多个充电站配合运行	267
10.11 本章小结	268

1 分布式发电简介

1.1 分布式发电及发展现状

目前,电力系统已经发展成为以大机组、大电网、高电压为主要特征的集中式单一供电系统。然而,随着电网规模的不断扩大,当今社会对电力能源供应的质量、安全可靠要求越来越高,超大规模电力系统的运行难度大;投入成本高;环境污染严重等弊端也日益凸显。与此同时,全球范围的能源危机和环境危机使得新兴能源的开发和利用成为一种迫切的需求。于是,分布式电源的兴起成为了 21 世纪一个引人注目的动向。为了弥补和完善大规模集中式电力系统发电输电的不足,直接安装在用户近旁的分布式发电(Distributed Generation, DG)近年来越来越受到人们的重视。目前,大电网与分布式电源相结合被世界许多能源、电力专家公认为是能够节省投资、降低能耗、提高电力系统可靠性和灵活性的主要方式,是 21 世纪电力工业的发展方向。

1.1.1 分布式能源系统内涵及特点

分布式能源系统(Distributed Energy Resources, DER)是世界能源工业发展中的一个重要方向,在发达国家技术已较成熟并得到了大力推广应用。根据 WADE(World Association of Decentralized Energy)的 2004 年度统计报告,美国分布式能源系统的总发电容量达到 67 GW,分布式能源系统发电量占国内总发电量 7%左右,与世界平均水平持平;在欧洲,尤其是丹麦、荷兰、芬兰等国,分布式能源系统发展水平居世界领先水平,分布式能源系统发电量分别占国内总发电量的 52%, 38%和 36%。在世界其他地区,分布式能源系统也正在蓬勃发展。日本主要发展以燃气空调为主的区域供热和供冷;在我国最普及的是工业企业内的热电联产;在印度和东南亚以及南美等蔗糖产地,生物残渣为原料的生物能发电技术正在获得积极推广。但涉及分布式能源系统的概念时,主要引用美国或欧洲机构的定义,在国际上还没有统一。

分布式能源系统在英语中对应的专有缩略名词有以下几个:DG, DP, DER。其详细的定义为:①DG。存在于传统公共电网以外,任何能发电的系统,原动机包

括内燃机、燃气轮机、微型燃气轮机、燃料电池、小型水力发电系统以及太阳能(风能、垃圾及生物能)等的发电系统。②DP。包含所有 DG 的技术,并且能将电能通过蓄电池、飞轮、再生型燃料电池、超导磁力储存设备、水电储能设备等储存下来的系统。③DER。涵盖更加广泛的概念:在用户当地或靠近用户的地点生产电或热能,提供给用户使用。它包含了 DG 与 DP 所有的技术,并且包含那些与公共电网相连接的系统,用户可将本地的多余电能通过连接线路,出售给公共电力公司。从上述关于 DG, DP, DER 定义可以看出它们三者之间的关系, DP 包含 DG, 而 DER 包含 DP, 即它们的概念是由狭义趋于广义。

在现今能源短缺、环境污染严重的时代,分布式能源系统得到越来越广泛的应用,对其研究也越来越广泛。《DER Benefits Analysis studies: Final Report》对 31 份有关分布式能源系统研究报告进行深刻评论,总结分布式能源系统的特点和评价准则,这些研究报告被认为在量化分布式能源系统特点方面是最好的。在我国关于分布式能源系统特点的研究也很多,总结有以下几个方面:

(1) 实现能源综合梯级利用,能源利用率高,具有非常好的节能效应。常规的集中供能方式相对单一,当用户不仅仅需要电力,还需要其他形式的能量供应,如供热,尤其是供冷和生活热水时,仅通过电力来满足上述需要时难以实现能量的综合梯级利用。而分布式能源系统以其规模小、灵活性强等特点,通过不同循环的有机整合,可以在满足用户需求的同时,克服冷、热无法远距离传输的困难,实现能量的综合梯级利用。大型发电厂的发电效率一般为 35%~55%,扣除厂用电和线损率,终端的利用效率只能达到 30%~47%。而分布式能源系统的能源利用率可达到 80%以上,没有输电损耗。

(2) 弥补大电网安全稳定性的不足。近年来世界上发生的几次大的停电事故,特别是美国加州东部发生的大停电事故,每天的经济损失达 300 亿美元,充分反映了以集中供电模式为主的现代电力系统脆弱的一面。同时,美国“9. 11”事件后,供电安全已上升至国家安全的层面,各国高度重视,而电网的急速膨胀对供电安全性也带来很大威胁。在用户近旁直接安置分布式能源系统,与大电网配合,可以大大提高供电可靠性,在电网崩溃和意外灾害(例如地震、暴风雪、人为破坏、战争)情况下,维持重要用户的供电。

(3) 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。分布式能源系统是按需就近设置,尽可能与用户配合。与集中能源系统相比,没有能源远距离输送引起的输配损失以及相应的输配系统投资,经济性好,为终端用户提供了灵活、节能型的综合能源型服务。对于不适宜铺设电网的西部等偏远地区或散布的用户,可以发展分布式能源系统。此外,在废弃资源现场,因地制宜地就地利用转换余热、余压以及可燃性废

弃气体,也有重要意义。

(4) 环境友好,燃料多元化,为可再生能源利用开辟了新方向。分布式能源系统一般采用清洁燃料做能源,同时以其高效率可以实现环保效益。按照美国能源部 CCHP2020 纲领的描述,部分新建建筑采用 CCHP 后,美国 CO_2 可以减排 19%。相对化石能源而言,可再生能源如太阳能、地热、风能等的能量密度较低、分散,而且目前的可再生能源利用系统规模小、能源利用率低,作为集中供电手段难度很大。分布式能源系统规模小,适合与可再生能源相结合。

分布式能源系统形式根据燃料不同,主要可分为燃用化石能源、利用可再生能源和燃用二次能源及垃圾燃料等几种。燃用化石能源的动力装置有:微型燃气轮机、燃气轮机、内燃机、常规的柴油发电机、燃料电池;利用可再生能源有太阳能、风能、水能、生物质等可再生能源综合利用系统;燃用二次能源如氢能。根据用户侧需求不同,则可分为电力单供、热电联产方式(CHP)和热电冷三联产(CCHP)等方式。DER 的组成:发电设备(汽轮机、燃气轮机、微型涡轮机、内燃机或燃料电池)、供热或制冷设备(吸收式冷/热水机组、电制冷机组)、锅炉或蓄热系统、汽-水换热器、调节装置(使蒸汽参数符合用户要求)以及建筑控制系统等。

1.1.2 分布式能源系统应用现状

在欧美随着能源市场放松管制,竞争机制的引入以及可持续发展战略的实施,分布式能源系统得到迅猛的发展。在欧盟,分布式能源系统的目标是:到 2010 年使可再生能源能够提供 22% 的电能。欧洲委员会正在进行一个 SAVEH 的能效行动计划,包含许多不同的能效措施,来推动分布式能源系统的发展。多年来,英国政府一直试图通过能源效率最佳方案计划(EEBPP)促进分布式能源系统的发展。在过去 20 年中,已超过 1 000 个分布式能源系统被安装,遍布英国的各大饭店、休闲中心、医院、综合性大学和学院、园艺、机场、公共建筑、商业建筑、购物商城及其他相应场所。丹麦是世界上能源利用效率最高的国家之一。丹麦政府鼓励发展分布式能源(其中包括热电联产和可再生能源)的态度最为积极,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。自 1990 年以来,丹麦大型凝汽发电厂容量没有增加,新增电力主要依靠安装在用户侧的、特别是工业用户和小型区域化的分布式能源电站(热电站)和可再生能源项目,热电发电量占总发电量的 61.6%。丹麦新的目标是在 2008~2012 年期间,将二氧化碳的排放量比 1990 年降低 21%。在 2005 年,分布式能源系统发电量约占丹麦全国发电总量的一半,而碳排放量比 20 世纪 90 年代的水平减少了约一半。2005 年 7 月份,丹麦政府宣布计划铺设全球最长的智能化电网基础设施,这将可以使分布式能源系统在不久之后成为丹麦主要的供电渠道。欧洲的另一个样板是荷兰。该国 2000 年底的能源

效率比 1989 年提高 223%。1988 年,荷兰启动了一个热电联产激励计划,制定了重点鼓励发展小型的热电机组的优惠政策。实践显示,荷兰的分布式能源为电力增长做出了巨大贡献,热电联产装机容量由 1987 年的 2700MWe 电力猛增到 1998 年的 7000MWe 电力,占总发电量的 48.2%。荷兰颁布了新的《电力法》,赋予分布式能源(热电联产)特别的地位,电力部门必须接受此类项目电力,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。其中分布式能源(热电联产)是最重要的手段,将负担 40%的二氧化碳减排任务。

美国是最早发展分布式能源系统的国家之一,自 20 世纪 70 年代开始开发以来,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供能。美国分布式发电的市场已达 10 多亿美元,全球大多数商用分布式发电设备是由美国提供的。美国在 2001 年颁布了 IEEE P1547/D08“关于分布式电源与电力系统互联的标准草案”,并通过了有关的法令让分布式发电系统并网运行和向电网售电。2003 年 1 月,美国能源部(DOE)在 Virginia 召开了分布式能源系统的研讨会,DTE 能源技术公司总裁 MarkFallek 在会上指出:“分布式能源系统应用的重要一步是:从小规模的提供紧急与临时动力发展到为家庭、商业、工业提供连续、高可靠、低品质的能源,以保护自然资源与环境。据美国分布式电力联盟(DPCA)的研究估计,未来 20 年中分布式能源系统发电量将占未来新增发电容量的 20%,总量为几十千兆瓦(GW),美国的电力研究院(EPR)估计,2010 年分布式能源的市场可达 2.5~5GW/年。美国能源部也制订了相应的发展目标,1999 年美国能源部提出 CCHP 创意和 CCHP2020 年纲领 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。2010 年的中期目标: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%。2005 年的近期目标: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、准许以及与电网连接方面的障碍。

日本不仅是亚洲能源利用效率最高的国家,在全世界也位居前列。由于日本缺乏能源资源,政府高度重视提高能源利用效率,颁布了不少优惠政策,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热电机组运行起,截至 2000 年,分布式能源项目共 1413 个,总容量 2212 MW。其中工业自备项目 411 个,容量 1734 MW,平均每个装机规模仅为 4217 kW;民用项目 1002 个,容量 478MW,平均每个项目装机仅 477 kW。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。

我国面临的重大挑战依然是人口、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一定程度的缓解。分布式能源系统是保证我国能源可持续发展战略实施的有效途径之一，发展潜力巨大。《中华人民共和国节约能源法》第三十九条明确，国家鼓励发展下列通用节能技术：推广热电联产、集中供热；提高热电机组的利用率；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，提高热能综合利用率。原国家计委、原国家经贸委、建设部、国家环保总局《关于发展热电联产的规定》文件中明确了“统一规划、分步实施、以热定电和适度规模”的发展原则。对分布式能源系统有明文规定，其中第十一条：凡利用余热、余气、城市垃圾、煤岩石、煤泥和煤层气等作为燃料的热电厂，按《国务院批转国家经贸委等部门关于进一步开展综合利用意见的通知》文件执行。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组成的小型热电联产系统，适用于厂矿企业、写字楼、宾馆、商场、医院、银行、学校等较分散的公用建筑。它具有效率高、占地小、保护环境、减少供电线损失和应急突发事件等综合功能，在有条件的地区应逐步推广，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。十届全国人大常委会第十四次会议于2005年2月28日通过了《可再生能源法》。国家主席胡锦涛签署第三十三号主席令，公布了《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。并声明通过低效率炉灶直接燃烧方式利用秸秆、薪柴、粪便等不适用本法。但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都有明确规定，为分布式能源系统的发展，扫清了一些大的障碍。

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。能源中心实现热、电、冷三联产的主要设备为：1台额定功率4000kW的燃气轮机发电机组，1台额定负荷为9.7吨、利用燃气轮机排出的高温烟气产生0.9MPa饱和蒸汽的余热锅炉和在蒸汽供应量不足时使用的燃气/油锅炉；溴化锂制冷机组和离心式制冷机组。燃料以天然气为主，0号柴油作为备用。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