



DESIGN AND OPTIMIZATION ON BUILDING DISTRIBUTED ENERGY SYSTEM

建筑分布式能源系统设计与优化

王 健 阮应君 编著

建筑分布式能源系统设计与优化

王 健 阮应君 编著



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书主要介绍了国内外建筑分布式能源系统发展现状、相关政策、建筑负荷、设备和系统、设计与优化,同时也尽可能涵盖最新的工程案例。重点介绍了建筑分布式能源系统冷、热、电负荷计算方法,系统设计与经济性评价,设备配置和运行策略的协同优化。

本书以建筑分布式能源系统设计与优化为主线,不仅希望读者对建筑分布式能源系统有所了解,更希望同行对建筑分布式能源系统设计与优化的实施有所借鉴。本书既适用于建筑分布式能源系统设计与运营管理等工程技术人员,也可供从事相关专业教学与研究的学者参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑分布式能源系统设计与优化/王健,阮应君编
著. —上海:同济大学出版社,2018.12

ISBN 978-7-5608-6343-6

I. ①建… II. ①王… ②阮… III. ①建筑—能源—系统设计—研究 IV. ①TU111.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 119179 号

建筑分布式能源系统设计与优化

Design and Optimization on Building Distributed Energy System

王健 阮应君 编著

策划编辑 杨宁霞 责任编辑 李杰 责任校对 徐春莲 封面设计 潘向葵

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn
(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店、建筑书店、网络书店

印 刷 浙江广育爱多印务有限公司

开 本 787 mm×1092 mm 1/16

印 张 15.5

字 数 387 000

版 次 2018 年 12 月第 1 版 2018 年 12 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-6343-6

定 价 128.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

建筑作为与工业、交通并列的三大用能主体之一,其运行能耗大约为全社会商品用能的30%,随着城镇化进程的不断推进以及人们对居住条件和室内环境舒适、健康、品位等方面的追求,这一比例会增长到40%左右,成为用能第一大户。建筑节能问题得到各级政府和社会各界高度重视,成为节能工作的重点。近年来,建筑分布式能源系统因其高效、环保、经济、可靠和灵活等优点受到全世界的广泛关注。许多专家指出,在严峻的能源紧张和环境污染的形势下,建筑分布式能源系统将是我国未来20年能源技术发展的主要方向之一,是构建未来新一代能源系统的关键技术。

然而,通过对国内外200多个分布式能源系统的调查发现,多数系统因缺少有效的设计和运行手段,片面强调单个设备效率,而忽视系统综合效率,多数系统未达到预期效果,有的甚至停止运行。主要表现:在设计阶段,未充分考虑负荷变化特征,设计本身就存在能源供应与建筑物需求严重不匹配的情况;在运行阶段,由于系统运行策略及运行模式未及时调整,供需平衡被打破,系统长期处在偏离设计基准的变工况下运行,导致效率下降,节能性、经济性和环保性差,甚者影响供能的安全性和稳定性。因此,建筑分布式能源系统的设计和运行优化是目前亟须解决的两大问题。

本书以建筑分布式能源系统设计与优化为主线,介绍了国内外建筑分布式能源系统发展现状和相关政策、建筑负荷、设备和系统、设计与优化等内容,同时也尽可能涵盖最新工程案例。重点介绍了建筑分布式能源系统冷、热、电负荷计算方法,系统设计与经济性评价,设备配置和运行策略的协同优化。

本书第1章介绍了建筑分布式能源系统概念、国内外发展现状和政策。第2章详细介绍了建筑冷、热、电负荷指标,动态负荷计算方法以及各负荷影响因素的分析。第3章介绍了建筑分布式能源系统涉及的常用技术,如燃气轮机、内燃机等技术,余热利用技术和吸收式制冷技术等。第4章主要介绍了建筑分布式能源系统的设计流程和步骤、评价指标、原动机容量确定方法以及系统运行模式的确定方法,并进行案例分析。第5章介绍

了建筑分布式能源系统优化的思路、步骤和方法,对某超高层建筑和某大学校园的分布式能源系统进行详细建模、求解和敏感性分析,提出了建筑分布式能源系统适合建筑特点的运行方法。第6章将上述优化方法应用于全国各省区的四类典型公共建筑,进行经济适用性研究和系统运行模式选择,并分析了建筑分布式能源系统的适用性。第7章详细介绍了国内外多个建筑分布式能源系统的工程实例。此外还列举了建筑分布式能源系统设计与优化中常用的设备技术信息。

本书由同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司王健、同济大学阮应君共同主编,编写组成员还包括任洪波、刘青荣、杨涌文、吴琼等,王健负责全书统稿,阮应君负责审核。

限于作者理论水平和实践经验,本书不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

王 健 阮应君

2018年8月于上海

前言

第1章 绪论 1

- 1.1 概述 / 1
- 1.2 建筑分布式能源系统的定义 / 1
- 1.3 国外建筑分布式能源系统发展现状及相关政策 / 3
- 1.4 我国建筑分布式能源系统发展现状及政策 / 12

第2章 建筑冷热电负荷计算 24

- 2.1 概述 / 24
- 2.2 负荷指标法 / 24
- 2.3 负荷动态计算 / 28
- 2.4 不同动态负荷计算方法结果对比分析 / 49

第3章 系统形式与设备 62

- 3.1 概述 / 62
- 3.2 系统简介 / 62
- 3.3 燃气轮机 / 71
- 3.4 燃气内燃机 / 80
- 3.5 余热锅炉 / 91

3.6 吸收式制冷机 / 96

第4章 建筑分布式能源系统设计

106

- 4.1 概述 / 106
- 4.2 系统设计流程 / 106
- 4.3 原动机设备设计 / 108
- 4.4 余热利用设计 / 113
- 4.5 系统运行模式设计 / 115
- 4.6 系统评价指标 / 118
- 4.7 设计案例 / 125

第5章 建筑分布式能源系统优化

133

- 5.1 概述 / 133
- 5.2 系统优化的基本内容与方法 / 133
- 5.3 列举模拟法 / 134
- 5.4 数学规划法 / 143

第6章 建筑分布式能源系统适用性分析

177

- 6.1 概述 / 177
- 6.2 建筑规模和容积率对分布式能源系统的影响 / 177
- 6.3 运行模式对分布式能源系统的影响 / 182
- 6.4 建筑类型对分布式能源系统的影响 / 185
- 6.5 原动机对分布式能源系统的影响 / 192
- 6.6 能源价格对分布式能源系统的影响 / 194

第7章 建筑分布式能源系统典型案例

204

- 7.1 上海花园饭店分布式能源系统 / 204

- 7.2 上海闵行区中心医院分布式能源系统 / 208
- 7.3 上海国际旅游度假区分布式能源中心 / 211
- 7.4 国家会展中心综合体分布式能源中心 / 215
- 7.5 日本北九州大学城分布式能源中心 / 216
- 7.6 南京凤凰数据中心分布式能源站 / 220
- 7.7 长沙黄花国际机场分布式能源站 / 223
- 7.8 广州大学城天然气分布式能源站 / 225
- 7.9 上海中心大厦天然气分布式能源站 / 228
- 7.10 泰州医药城天然气分布式能源站 / 230

参考文献

233

附录 天然气分布式能源技术支援数据库

237

第 1 章 绪 论

1.1 概述

建筑作为与工业、交通并列的三大用能主体之一,其运行能耗大约为全社会商品用能的 30%,随着城镇化进程的不断推进以及人们对居住条件和室内环境舒适、健康、品位等的方面的追求,这一比例会增长到 40%左右,成为用能第一大户。建筑节能问题得到各级政府和全社会高度重视,成为节能工作的重点。

近年来,建筑分布式能源系统已广泛应用于各类建筑中,成为各国建筑节能和改善环境的重要措施。2013 年,美国已有 6 000 多个建筑分布式能源系统,并计划到 2020 年,50%以上新建办公或商用建筑采用建筑分布式能源系统,同时将 15%的现有建筑供能系统改为建筑分布式能源系统。日本建筑分布式能源系统是仅次于燃气、电力的第三大公用事业,截至 2013 年,约 150 个区域、7 152 栋建筑采用了分布式能源系统。丹麦、芬兰和荷兰等国分布式能源系统发电量已超过其总发电量的 30%。

我国分布式能源系统应用起步较晚,但发展迅速。我国分布式能源发展至今,与政府对分布式能源发展规划布局和产业政策的的支持引导密不可分。2007 年,《能源发展“十一五”规划》首次将分布式供能系统列为重点发展的前沿技术。2013 年,《能源发展“十二五”规划》提出大力发展分布式能源,统筹传统能源、新能源和可再生能源的综合利用,实现分布式能源与集中供能协调发展,并首次对分布式能源发展提出明确的建设目标。2016 年,《能源发展“十三五”规划》提出:坚持集中开发和分散利用并举,高度重视分布式能源发展;加快建设分布式能源项目和天然气调峰电站;优化太阳能开发格局,优先发展分布式光伏发电。到 2020 年,中国分布式天然气发电量和分布式光伏装机容量将分别达到 1 500 万 kW 和 6 000 万 kW。

建筑分布式能源系统的发展通常受到能源政策影响,本章首先给出了建筑分布式能源系统的定义,总结了国内外建筑分布式能源系统发展现状和相关政策,分析了目前我国建筑分布式能源发展所存在的问题。

1.2 建筑分布式能源系统的定义

对于分布式能源系统,世界各国研究组织或机构从不同的角度和方向给出了不同的理解和定义,主要指分布在用户端的能源综合利用系统,一次能源以气体或液体燃料为主、以可再生能源为辅的多能源输入,二次能源以直供用户端的电力、热(冷)力等多能源输出,实现以直接满足用户多种需求的能源梯级利用。

1.2.1 国际上有关分布式能源系统的定义

1882年,美国纽约出现了以工厂余热发电满足自身与周边建筑电、热负荷的需求,这种热电联产的模式成为分布式能源系统最早的雏形。随着热电联供(Combined Heat and Power, CHP)的不断发展,如今已成为世界普遍采用的一项成熟技术。随着余热进一步用于制冷,热电联供逐渐发展成冷热电联供(Combined Cooling, Heating and Power, CCHP)。

1998年成立的国际热电联产联盟(International Cogeneration Association, ICA),于2002年正式更名为世界分布式能源联盟(World Alliance Decentralized Energy, WADE)。

世界分布式能源联盟将分布式能源系统定义为:安装在用户端的高效冷热电联供系统,能够在消费地点(或附近)发电,高效利用发电产生的余热进行能源循环利用。

美国能源部认为,分布式能源系统(也叫作分布式生产、分布式能量或分布式动力系统)可在以下几个方面区别于集中式能源系统:①分布式能源系统是小型的、模块化的,规模在千瓦至兆瓦级;②分布式能源系统包含一系列供需双侧的技术,包括光电系统、燃料电池、燃气内燃机、高性能燃气轮机、微燃机、热力驱动的制冷系统、除湿装置、风力透平、需求侧管理装置、太阳能(发电)收集装置和地热能量转换系统;③分布式能源系统一般位于用户现场或附近,如分布式能源装置可以直接安装在用户建筑物里,或建在区域能源中心、能源园区或小型(微型)能源网络系统之中或附近。

1.2.2 国内有关分布式能源系统的定义

国家发展和改革委员会(以下简称“发改委”)2004年对分布式能源系统的定义是:分布式能源系统是近年来兴起的一种利用小型设备向用户提供能源的新型能源利用方式。与传统的集中式能源系统相比:①分布式能源系统接近负荷,不需要建设大电网进行远距离高压或超高压输电,可减少线损,节省输配电建设投资和运行费用;②由于分布式能源系统兼具发电、供热等多种能源服务功能,可以有效地实现能源的梯级利用,达到更高的能源综合利用效率;③分布式能源设备启停方便,负荷调节灵活,各系统相互独立,系统的可靠性和安全性较高;④分布式能源系统多采用天然气、可再生能源等清洁燃料,较传统的集中式能源系统更加环保。

国家能源局有关分布式能源系统的定义是:分布式能源系统是一种建在用户端的能源供应方式,可独立运行,也可并网运行,是以资源、环境效益最大化确定方式和容量的系统,将用户多种能源需求,以及资源配置状况进行系统整合优化,采用需求应对式设计和模块化配置的新型能源系统,是相对于集中供能的分散式供能方式。

国网能源研究院将分布式能源系统定义为:位于用户侧,优先满足用户自身需求,以热电联产、冷热电三联产和可再生能源发电利用技术为主,发电总装机容量小,独立运行或并网运行,包含能量产生、能量储存和能量控制的能源综合利用系统。

国家发改委在《关于发展天然气分布式能源的指导意见》中给出的天然气分布式能源系统的定义是:天然气分布式能源是指利用天然气为燃料,通过冷热电三联供等方式实现能源的梯级利用,综合能源利用效率在70%以上,并在负荷中心就近实现能源供应的现代能源供应方式,是天然气高效利用的重要方式。

综上,建筑分布式能源系统(Building Distributed Energy System, BDES)是指应用于建筑物中,基于传统天然气冷热电三联供,充分利用太阳能、风能、地热能、生物质能等可再生能源的分布式能源系统。

1.3 国外建筑分布式能源系统发展现状及相关政策

1.3.1 发展概况

分布式能源系统在美国、日本和欧洲的应用起步较早。

美国是全球新能源技术的先驱和倡导者,从1978年就已经开始推广小型分布式能源系统技术。1999年,美国能源部编制了《建筑冷热电三联供——2020愿景》的发展战略,计划到2010年,20%的新建商用或办公建筑使用分布式能源系统,使发电装机容量达到9 200万kW,发电量占全国总用电量的14%。到2020年,该比例将提高至50%,新增分布式能源系统的发电容量达9 500万kW,发电量占到全国总用电量的29%。在1980—2008年间,美国分布式能源系统发电装机容量从1 200万kW增加至5 600万kW,达到全美电力总装机容量的8.6%。目前,美国的分布式能源系统以楼宇式数量居多,区域性的较少,但二者装机容量相仿。

日本是一个资源极度缺乏的国家,同时它的经济规模又导致其具有非常高的能源需求,因此,提高能源效率是其至关重要的战略之一。目前,日本不仅是亚洲能源效率最高的国家,在全世界也位居前列。自1981年东京国立竞技场第一台分布式能源系统开始运行,日本天然气分布式三联供是仅次于燃气、电力的第三大公用事业。

欧洲的分布式能源系统发电量占其总发电量的9%(其中丹麦、芬兰和荷兰三国这一比例已超过30%)。图1-1显示了欧洲各国分布式能源系统装机容量占总发电装机容量的比重。

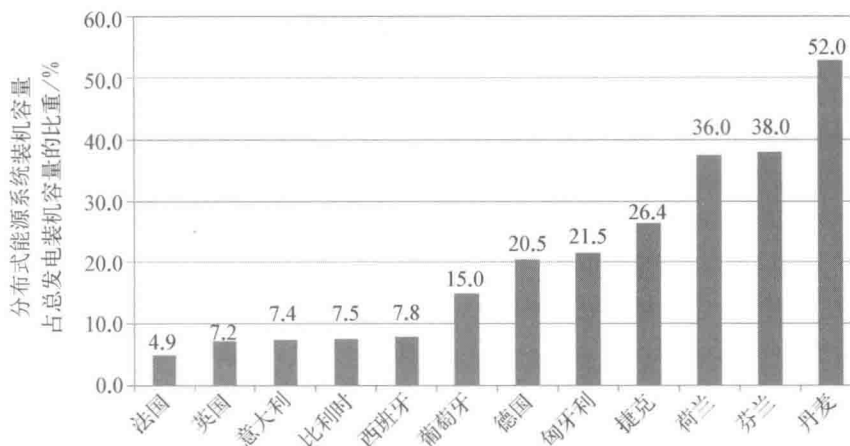


图 1-1 2014 年欧洲各国分布式能源系统装机容量所占比重

1. 丹麦

在20世纪70年代之前,丹麦全国的能源消费几乎都要依靠进口。丹麦政府及时调整了战略,大力调整能源供应结构,提高能源使用效率,并且积极地开发利用清洁能源和可再生能源。从80年代开始,丹麦颁布了建设混合电力系统的战略,旨在缓解之前丹麦国内集中式大型电站过多导致总体能源利用效率较低的问题,其核心内容就是推广分布式能源系统。截至2015年年底,丹麦分布式能源系统的装机容量已达569万kW,超过全国发电装机容量的50%。正是由于大力推广节能技术,所以在1980年至2005年,丹麦的GDP虽然增长了56%,

但是其能源消耗总量仅仅增长了3%。丹麦可以说是全球推广分布式能源系统的典范。

2. 英国

自1990年以来,英国分布式能源系统装机容量增长超过100%。截至2015年年底,英国分布式能源系统装机容量达到626万kW,发电量达到英国总发电量的8%。英国政府大力倡导使用分布式能源系统作为楼宇能源解决方案,白金汉宫、唐宁街10号等官方机构均设有分布式能源系统。

3. 德国

德国是欧洲第一大经济体,也是世界上最为关注新能源技术应用的国家。在2005年,德国的分布式能源系统装机容量已达2100万kW,发电量占德国总发电量的12.5%。德国政府计划在2020年之前将这一比例翻一番。

4. 芬兰

芬兰地处北欧,冬季严寒,对于供暖的需求相当大,这为分布式能源系统的应用创造了良好的条件。截至2015年,分布式能源系统的发电量占芬兰总发电量的30%以上,其供热面积达到全国供热区域的73%。

1.3.2 典型国家分布式能源发展相关政策

日本、德国及美国早在20世纪七八十年代起就开始发展燃气分布式能源系统,其发展政策对我国分布式能源系统的发展具有借鉴意义。

1. 日本的燃气分布式发展激励政策

作为一个资源极度匮乏的国家,日本整个能源政策框架中,低品位未利用能源的回收是节能战略的重点。特别是20世纪70年代的两次石油危机更将日本的节能战略提升至前所未有的高度。在这样的背景下,基于能源梯级利用的分布式热电联产系统逐渐得到重视与发展。此外,2011年的东日本大地震促使日本对现有集中型能源供给体系进行了全面、深刻的反思,抗灾性较强的分布式能源系统再次成为日本能源战略的热门话题。特别是近年来,随着技术的进步,分布式热电联产系统的发电效率已经可以匹敌大型集中电站的平均需求侧效率,因此被公认为是应对短、中期能源问题的一项有力措施。

截至2012年年底,日本热电联产系统累计装机容量达到9850MW(约占总电力装机容量的3.4%),其中,民用系统2060MW,工业用系统7790MW;总装机台数为14423台,其中,民用为10098台,工业用为4325台。在日本分布式热电联产市场中,燃气内燃机、燃气轮机、柴油发动机和燃料电池是四种最主要技术类型。在民用领域,中小型燃气内燃机是近年来发展的重点,燃气轮机则是工业用分布式热电联产系统的主要机型。由于城市中心区控制污染的原因,柴油机现大多应用于郊区工业地带。燃料电池作为新兴分布式热电联产技术,主要应用于家庭领域。

总体而言,日本民用和工业用热电联产系统近年来均得到一定程度的发展,但还远远不能满足日本低碳社会建设的战略需求。为此,日本在2010年6月修订的《能源基本规划》中提出,到2020年,燃气分布式能源装机容量达到8000MW,2030年达到11000MW。2011年,东日本大地震后,能源资源厅提出要修订《能源基本规划》,加快分布式能源的推广与普及力度,到2030年,分布式热电联产的发电量要达到总发电量的15%(约1500亿kWh,2010年该数值为314亿kWh)。同时,家用燃料电池的应用要达到500万台。2012年9月的“能源

环境会议”中,再次提出了要推动包括燃料电池在内的热电联产系统的普及应用,到2030年,民用与工业用热电联产总装机量要达到22000MW,家用燃料电池应用达到530万台。

由于分布式热电联产潜在的节能减排效果显著,故在日本中长期能源战略中被寄予厚望。然而,分布式热电联产系统的应用一般涵盖多个终端用能部门,还可能涉及多个行政主管部门及不同行业,因此需要进行有效的顶层设计,构建跨行业、跨部门的综合管理体制,并出台相应的政策和法规。日本自20世纪90年代开始,就陆续出台了一系列促进分布式热电联产应用与推广的相关政策和制度,并取得了一定成效。具体而言,日本分布式热电联产的导入促进主要是从投资补助、税收减免、优惠气价、余电上网四个角度进行。

(1) 投资补助

日本经济产业省、环境省、国土交通省均出台了一系列促进分布式热电联产系统应用与推广的补助政策,如表1-1—表1-4所示。就补助对象而言,一般分为三类:热力发动机(燃气内燃机、燃气轮机和柴油发动机)、余热锅炉和燃料电池。作为制定日本能源政策的最高权力机构,经济产业省是一系列补助政策的主要发布者;环境省则将分布式热电联产系统作为促进CO₂减排的有力手段;国土交通省的关注重点则是分布式热电联产系统在建筑领域的应用。

表1-1 日本经济产业省出台的相关投资补助政策

补助金名称	补助率	对象设备			2013年 预算 /亿日元
		热力 发电机	余热 锅炉	燃料 电池	
分布式电源导入促进事业费补助金(10~10000kW CGS)	地方政府: 1/2; 民间: 1/3; 上限: 5亿日元/(年·件)	○	○	○	249.70
分布式电源导入促进事业费补助金(10000kW以上CGS)	管网沿线: 1/4; 其他: 1/6; 上限: 无	○	○	×	
分布式电源导入促进事业费补助金(自家发电)	中小企业: 1/2; 其他: 1/3; 上限: 5亿日元/(年·件)	○	×	○	
能源合理化使用支援事业	多用户合作节能: 1/2; 其他: 1/3; 上限: 5亿日元/(年·件)	○	○	○	110.00
能源合理化使用支援事业(民间团体)	1/3; 上限: 1.8亿日元/(年·件)	○	○	×	4.90
民用燃料电池导入紧急对策费	(设备安装费-23)/2; 上限: 45万日元/台	×	×	○	250.50
可再生能源热利用支援对策事业	1/2; 上限: 10亿日元/(年·件)	○	○	×	40.00
加快可再生能源热利用支援对策事业	1/3; 上限: 10亿日元/(年·件)	○	○	×	40.00
建筑革新型节能技术导入促进事业	原则1/3,最高2/3; 上限: 10亿日元/件	○	○	—	40.00
智能社区导入促进事业	2/3	○	○	—	80.60

注: ○表示该项适用; ×表示该项不适用; —表示无相关说明。下同。

表 1-2 日本环境省出台的相关投资补助政策

补助金名称	补助率	对象设备			2013年 预算 /亿日元
		热力 发电机	余热 锅炉	燃料 电池	
面向低碳价值提升的 CO ₂ 减排事业(医院热电联产紧急应对事业)	1/2	○	○	—	76.00
基于先进对策高效实施的 CO ₂ 大幅减排补助事业	1/3; 上限: 0.5 亿日元/件	○	○	—	11.20
废弃物能源低碳导入促进事业	1/3	○	○	×	7.75
CO ₂ 控制对策事业(温泉能源活用推进事业)	热泵: 1/3; 热电联产: 1/2	○	○	×	3.70

表 1-3 日本国土交通省出台的相关投资补助政策

补助金名称	补助率	对象设备			2013年 预算 /亿日元
		热力 发电机	余热 锅炉	燃料 电池	
建筑 CO ₂ 减排先导事业	1/2; 上限: 总费用的 5% 和 10 亿日元 较少者	○	○	—	171.00
建筑节能改造推进事业	1/3; 上限: 建筑物 5 000 万日元/件 (设备 2 000 万日元)	○	○	—	

表 1-4 东京都出台的相关投资补助政策

补助金名称	补助率	对象设备			2013年 预算 /亿日元
		热力 发电机	余热 锅炉	燃料 电池	
家用燃料电池、蓄电池补助金	1/4; 上限: 22.5 万日元/件	×	×	○	100.00
办公楼等热电联产补助金	1/2; 上限: 3 亿日元/件	○	○	×	
自家发电设备导入补助	1/2; 上限: 1 500 万日元/件	○	×	—	—

(2) 税收减免

分布式热电联产系统的税收减免政策均由经济产业省推出, 主要从投资税和固定资产税两方面实施, 见表 1-5, 但均不适用于燃料电池系统。

表 1-5 分布式热电联产相关税收减免政策

政策名称	对象设备			概要
	热力发电机	余热锅炉	燃料电池	
绿色投资减税	○	○	×	返还 30%, 对中小企业, 还可再追加 7% 返还额度
固定资产税特别措施	○	○	×	最初 3 年, 纳税标准按 5/6 算

(3) 优惠气价

日本各大燃气公司均设定了适用于分布式热电联产系统的优惠气价。以东京燃气公司为例,具体阐述其优惠气价构成。

一般燃气设备用气价如表 1-6 所示,是由每月固定的基本价格和与用气量关联的单价所构成的两部制气价。根据每月燃气用量有 6 种定价组合,用量越大,基本价格越高,但单价越低,平均燃气价格也越低。

表 1-6 通用燃气价格表

价格表	月使用量/ m^3	户基本价格/(日元·月 $^{-1}$)	单价/(日元· m^{-3})
A	0~20	745.2	165.78
B	20~80	1 026	151.74
C	80~200	1 198.8	149.58
D	200~500	2 062.8	145.26
E	500~800	6 382.8	136.62
F	>800	12 430.8	129.06

适用于家用分布式热电联产系统(燃气内燃机和燃料电池)的燃气价格如表 1-7 所示。当月使用量超过 20 m^3 时,由于单价的降低使得平均燃气价格低于通用气价,但燃气内燃机(Eco-will)在 5~11 月份不能享受优惠气价。另外,燃料电池系统(Ene-farm)所对应的气价优惠力度明显大于燃气内燃机系统,这再次显现出日本政府对家用燃料电池的推广力度之大。

表 1-7 家用分布式热电联产用燃气价格

类型	适用月份	价格表	月使用量/ m^3	户基本价格/(日元·月 $^{-1}$)	单价/(日元· m^{-3})
燃气内燃机	12~4	A	0~20	745.2	165.78
		B	20~80	1 242	140.94
		C	>80	2 192.4	129.06
	5~11	A~F	参照通用气价	参照通用气价	参照通用气价
燃料电池	12~4	A	0~20	745.2	165.78
		B	20~80	1 458	130.14
		C	>80	1 890	124.74
	5~11	A	0~20	745.2	165.78
		B	>20	1 458	130.14

适用于工商业分布式热电联产系统的气价如表 1-8 所示。与表 1-6 和表 1-7 相比,其结构较为复杂,包括月基本价格、流量基本费(取决于当月逐时用量的最大值)、最大需要月基本费(取决于最大月用量)和单价。虽然单价只有通用气价的一半左右,但其基本价格相对较高。另外,热电联产系统容量越大,其单价也越低,但基本价格不变。

表 1-8 工商业用分布式热电联产系统用燃气价格

类型	CGS 容量/kW	户基本价格 /(日元·月 ⁻¹)	月流量基本费 /(日元·m ⁻³)	最大需要月基本费 /(日元·m ⁻³)	单价 /(日元·m ⁻³)
1	25	14 256	432.73	5.95	80.81
2	15~25	14 256	432.73	5.95	82.38
3	3~15	14 256	432.73	5.95	85.90

(4) 余电上网

日本经济产业省就分布式热电联产系统的并网与上网出台了一系列政策与技术规范。以此为基础,日本十大电力公司也出台了各自的上网电价,如表 1-9 所示。整体而言,除东京电力价格稍高、北海道电力价格偏低外,其他电力公司推出的上网电价差别较小。同时可以看到,所有电力公司推出的上网电价均显著低于同时段购电电价,这也保证了“分布式热电联产系统发电量自用为主、余电上网”的使用原则。

表 1-9 分布式热电联产系统发电上网电价

电力公司	夏季平日昼间/ (日元·kWh ⁻¹)	他季平日昼间/ (日元·kWh ⁻¹)	夜间、休日/ (日元·kWh ⁻¹)
北海道	3.50	3.50	3.50
东北	7.55	7.55	7.55
东京	12.64	11.45	8.42
中部	8.70	6.50	3.10
北陆	4.33	4.33	4.33
关西	5.09	5.09	5.09
中国地区*	6.93	6.93	6.93
四国	6.80	6.00	3.40
九州	7.50	6.60	3.60
冲绳	8.85	8.85	8.85
平均	7.19	6.68	5.48

注:“中国地区”是日本所称的地域名,位于日本本州岛西部。

2. 德国燃气分布式激励政策

德国是欧洲最大的能源市场,构成欧洲大陆支柱的电力和燃气网络。德国传统能源的供应依赖煤炭和核能,发电量大部分依赖煤电和核电。随着能源危机的出现、温室气体减排的压力日益增加,特别是 2011 年东日本“3·11”大地震后,德国的能源方针发生了较大转变。主要是积极发展可再生能源,大力利用低碳能源,减少煤炭的消费和逐步压缩核电(计划 2020 年全部停用德国境内核电站)。在此背景下,德国的燃气分布式热电联产(下称“CHP”)得到长足发展。

德国的 CHP 重点用户是宾馆、医院和商业区域。此外,化工企业使用也比较普遍。而政府办公楼及其他公共建筑一般接入集中供热系统,单独安装 CHP 比较少。德国家庭用电占总用电量的 29%,其中供暖和热水用电占家庭用电的 89%。针对家庭需求,开发了微型 CHP,目前设计了 5 kW 的系统,已经安装了数千个,未来几年,将会有更大发展。德国政府对燃用沼气的 CHP 给予有力支持,至 2007 年,装机容量达到 1 271 MW,共计 3 700 个项目,平均每个项目为 0.34 MW。政府将在 2020 年之前投资 30 000 个项目,总装机容量 2 768 MW。德国燃料电池 CHP 的发展势头强劲,以每年增长 2 250 个的速度发展,预计到 2020 年建成 72 000 个。

德国国内在 CHP 方面的激励政策法规主要有(依照重要性排序):2002 版 CHP 法规、2008 版 CHP 法规、生态环境税收法(Ecotax)、可再生能源法、再生热能法、建筑节能规范、欧盟排放贸易法规等。

(1) 2002 版 CHP 法规

CHP 法规是德国热电联产政策的核心,目的在于通过奖金补贴推动 CHP 的发展和节能减排。2003—2010 年总预算为 45 亿欧元,其中 3.58 亿欧元专门用于燃料电池 CHP。该法规主要有以下几项重要规定:

① 电力销售价格:CHP 装置需强制接入管网运营商的系统(热和电),且必须以正常价格购买。正常价格以设在德国莱比锡的欧洲能源交易所定义的平均基本负载电价为准。

② 电价补贴:对于不同时期、不同规模的 CHP 装置,电价的补贴也有所不同。

③ 管网建设的补贴:CHP 安装在用户现场,降低了电网/管网的建设投资。依据不同的地点位置,电费补贴为 0.4~1.5 欧分/kWh。计算和支付依据德国电网电价规定。

(2) 2008 版 CHP 法规

2008 年 6 月,德国政府批准了新的 CHP 激励法规,并于 2009 年 1 月正式实施。该法规的实施主要是为了发展 CHP 项目以实现 2020 年的目标:CHP 的发电量占总发电量的 25%,基于 1990 年的水平减少 40% 温室气体排放。2008 版法规与 2002 版法规相比主要有以下变化:

① 规定电网/管网运营商优先购买和输送 CHP 的电力;

② 电价补贴政策(表 1-10)延伸到 2007—2016 年之间的改装机组和新安装机组,且机组的容量不限;

③ 业主自己消耗的电力也将享受电价补贴,上网电价的补贴不变;

④ 如果供热管网中超过 65% 的热来自 CHP,热管网的建设费用将得到补贴。项目投资商能够得到 1 欧元/[m(管长)·mm(管径)],最大补贴额为总投资的 20%,或者每个项目补贴 500 万欧元。

(3) 生态环境税收法

CHP 机组满足机组的负载系数 $>70\%$ ($>6\ 100\text{ h/年}$),可以免除政府收取的生态环境税。此项政策规定的目的是鼓励用户使用 CHP 机组代替使用燃油、燃气等锅炉。天然气用于 CHP 装置的免税额折合成电价约为 0.55 欧分/kWh。

(4) 再生能源法

再生能源法主要针对可再生能源,特别是小型生物沼气 CHP 项目获益较大。再生能源法规定,保证提供非常有利的上网电价(表 1-11),最高达 19.5 欧分/kWh,这确保了 CHP 机组的盈利和项目的经济性。电力公司经营该类项目时被强制优先并网,优先采购和输送