

# 分布式能量系统浅析

宋之平

(华北电力大学动力系, 北京 102206)

**[摘要]** 现代分布式能量系统的出现是能源领域涉及可持续发展战略的一件大事。讨论了有关这一系统的一些基本概念, 把它定义为“位于或临近用户中心、不以大规模、远距离输送电力为目的并具有环境相容性的电力总能系统”。分布式能量系统为热电联产和多联产的有效实施提供了最有利的系统形式, 以分布式能量系统的方式耗用天然气可提高其经济性和与环境的相容性。认为, 从长远的观点应把洁净煤也视为分布式能量系统的重要一次能源。微型透平是近年能源技术的一大成就, 但在小型原动机领域中, 内燃机仍具有旺盛的生命力。选择在发展大型集中式能量系统过程的同时不失时机、因地制宜地发展分布式能量系统, 把它放在与之并行不悖且相辅相成的地位, 以促进我国能源事业的可持续化发展。

**[关键词]** 分布式能量系统; 可持续发展战略; 热电联产; 多联产

**[中图分类号]** TK, TM **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2004)12-0078-07

## 1 前言

现代分布式能量系统作为一个方兴未艾的能源系统形式, 正越来越受到人们的重视。不论在我国还是在世界上, 有关分布式能量系统的实践、研究异常活跃。诚然, 分布式能量系统的出现是能源界的一件大事, 涉及到能量系统的经济性、安全性、与环境的相容性, 一句话, 涉及到在能源领域中可持续发展战略的实施。然而时至今日, 对分布式能量系统一些基本问题的认识在业内还很不一致, 比如它产生的背景是什么? 它对今后的社会和经济发展的意义, 它的特征是什么? 甚至确切地说, 到底什么是分布式能量系统, 它的定义是什么? 所有这些问题在世界上还没有定论<sup>[1]</sup>。由于在基本概念上含混不清, 常导致对这一重大课题认识上的重大差异: 或对它的过高估价和过高期望, 或对它漠然视之, 这些对这一新事物的发展极为不利。因此, 作者企图提出一些看法, 与该领域的专

家学者们商榷。

## 2 分布式能量系统产生的背景

分布式能量系统出现的大背景就是新世纪能量系统应具有的最本质的特征: 可持续性。任何能量系统如能顺应这个要求就有发展空间, 如能对这一要求有促进作用, 就有大的发展前途。分布式能量系统就是在这一大背景下产生的。

然而单独的分布式能量系统并不能完全满足新世纪对能量系统的要求。人类用能经历了一个从分布式能量系统到集中式能量系统又到分布式能量系统的过程。现代分布式能量系统的出现, 不是对集中式能量系统的否定, 相反, 只有在集中式能量系统发展到一定的成熟阶段, 才能为现代分布式能量系统提供有利的发展环境, 使两类系统起到相辅相成, 并行不悖的作用。这是分布式能量系统出现的第二个背景。

第三个背景是能源转化与利用技术的进步, 如

**[收稿日期]** 2004-02-04

**[基金项目]** 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20040079007)

**[作者简介]** 宋之平(1933-), 男, 北京市人, 华北电力大学教授, 博士生导师

微型透平机械的出现，燃料电池等技术的进步，使得人们在分布式能量系统中可能达到这样一种指标：即使机组和系统不够大，仍具有技术上的可行性与经济上的合理性，并对环境的相容性做出贡献。

最后一个背景就是能源与电力市场的出现，如在西方，能源行业由国家的集中垄断走向自由化和对它们的放松管制，使得人们不仅仅是从能源的生产方考虑问题，而是把能源的转换、生产、输配与能源的终端利用看成一个整体，把能源技术与能源的经营管理结合起来，从总系统的观点考虑问题，从而出现了诸如储能、蓄冷、需求侧管理等能量系统方面的重大变革。这也为分布式能量系统的发展提供了机遇。

### 3 关于名称

“分布式能量系统”只是这种能量系统的一种称呼，国外常用的称呼还有：Distributed Generation, Decentralized Generation, Distributed Power Generation, Distributed Power, Distributed Energy Resources 等等。与此相应，国内的称呼也不一致，如分散能源，分布式电源，分布式供能技术，爱能岛，分布式能量系统等<sup>[1]</sup>。经过作者的分析比较，这些称呼所谈论的是同一或大同小异的事物，有些叫法贴切，有的则不太贴切。比如“能量系统”和“能源”、“电源”、“供能”等不是一回事，我们指的不是能源转换或电力生产这一环节，而是包含了转换、生产、输配和终端使用中的各环节及其相互关系的整个系统。另外，“分布”和“分散”涵义也不完全一样。按问题的原意，所论系统不是分散式（disperse）而是分布式（distributed, decentralized），后者体现着分散性与相关性的统一。据此，作者建议统一地称为分布式能量系统。

如前所述，人类使用自然界能源，经历了一个从分布式能量系统到集中式能量系统又到分布式能量系统的过程。造成这种演变，反映了能源与环境关系的需求，同时也反映了单独集中式能量系统的固有缺陷。分布式能量系统确切地说应称为“现代分布式能量系统”，以区别于原始的分布式能量系统，出于简练的需要不妨仍称为分布式能量系统，但我们应理解为“现代”分布式能量系统。

### 4 关于定义

迄今有关分布式能量系统的文献中，多数或多

或少地触及了分布式能量系统的定义，但它是不是就是文献作者给它下的定义，多未明确说明。如：

1) 美国能源部对分布式能量系统的说法<sup>[3]</sup>是“各式各样的小型模块化的电力生产技术，结合能量管理与储能系统，与电网联结与否均有可能，用于改善用能系统的运行。”为了消除因翻译带来语意上的误差，特把这一说法的原文写在下面：A variety of small, modular power generating technologies that can be combined with energy management and storage systems and used to improve the operation of the electricity delivery system, whether or not those technologies are connected to an electricity grid.

2) 加利福尼亚能源委员会（CEC）说它是<sup>[3]</sup>“临近或位于终端用户处联于配电系统的或独立的发电机组，如实施得当能使电力用户和能源公用事业一起受益。”（Parallel and stand - alone electric generation units located within the electric distribution system at or near the end user. DER can be beneficial to both electricity consumers and, if the integration is properly engineered, the energy utility.）

3) EPRI 和 IEEE 分别说它是<sup>[3]</sup>“小于 50 MW 的小型发电、储能和需求侧管理的技术。”（Small (Less than 50 MW) electricity generation, storage, or demand side management technologies.），“不直接与大电网相联结的电力源”（Sources of electric power that are not directly connected to a bulk power transmission system.）。

4) 美国先进能源市场研究中心说它是<sup>[4]</sup>“一种能量系统，其发电装置位于能量用户附近，可能伴有能量储存、能量管理和热电联产，并可能与电网紧密结合，给公用事业的供需双方带来多种利益。”（A system composed of generation located near the energy customer's site, possibly incorporating energy storage, energy management and combined heat and power, potentially highly - integrated with the electric grid to provide multiple benefits on both sides of the utility meter.）

5) 我国徐建中院士在《分布式供电和冷热电联产的前景》一文中说它是<sup>[5]</sup>“将发电系统以小规模（数千瓦至 50 MW 的小型模块式）、分散式的方式布置在用户附近，可独立地输出电、热或

(和)冷能的系统。”

作者经过分析比较,分别摄取了上述说法中的精华并加上作者本人的体会提出,是否可以把分布式能量系统定义为:“位于或临近用户中心、不以大规模、远距离输送电力为目的并具有环境相容性的电力总能系统。”

在作者建议的分布式能量系统定义中,把全然不含电力的系统排除在外了。比如星罗棋布的纯供热式分散锅炉,似乎不应在分布式能量系统的范畴内讨论。即使是单纯为了供热的分散地热井、太阳能热水器、太阳能暖房等也不属于这个范畴。小轿车通常是个兼动力和冷暖空调的系统,但没有必要归属在分布式能量系统之下。粗陋的小火电虽然含有电力,但与环境相容性差,不是我们所讨论的对象。相反,太阳能光电、风电、热电、小水电等一般应按分布式能量系统看待。

## 5 总能系统、小型化与模块化

总能系统是分布式能量系统的一个本质性特征。总能系统是指从一次能源的输入直至用户终端,包括能量系统各个环节的总体。能量系统在物理本质上,生产、输配和终端用户本是结成总体的,系统中的各个环节也是结成总体的,任一环节在设计、运行和管理上的变化对其他环节都会产生影响。但传统的集中式能量系统由于过于庞大,在运行和管理上常人为地把生产、输配和终端用户割裂开来。分布式能量系统为体现能量系统原来的物理本质提供了条件,方便了诸如能量的梯级利用、储能和需求侧管理等技术性与管理性措施的实施,从而使能量系统更好地适应可持续发展战略。

在分布式能量系统的许多说法中都涉及到了系统的规模,有的说是小规模,有的则具体规定了系统的规模范围。在作者提出的定义中,强调了这种系统是在用户中心或在用户中心附近为用户服务,又不以大规模远距离输送电力为目的。这两点是本质性的特征,实际上也限制了这种系统的规模,其大小有别于以大机组为主要组成部分的大电网,大系统。这种定义,在规模上具有弹性,其大小视负荷中心的大小而定。比如,所供应的中心可能是一座大楼、一个社区,也可能是一个城镇,相应的分布式能量系统的规模就有可能有很大的差别,特别是后者,系统的规模,从绝对的角度也可能不算太小。在今后的发展中,分布式能量系统的

形式在许多情况下可能是燃气蒸汽联合循环一类的方案,也可能是洁净煤技术的某种方案,甚至有可能是目前初露头角但有着光辉前景的多联产动力化工系统<sup>[6]</sup>,规模太小了在经济上常不具有合理性,但仍具有分布式能量系统的主要特征。所以作者考虑以不把规模大小直接放入定义为好。

相对于大电网大系统来说,分布式能量系统毕竟较小。传统的概念是机组越大,效率越高;单位容量的造价越低,越有利于装置更完善的自动化与环保设施。只要设计正确、运行正常,大系统的可靠性与可用率应比小系统为高。常被问及的一个问题是规模小了会不会影响经济效益、环境的相容性与可靠性,实质上就是问会不会影响其生命力。

事实上当代的分布式能量系统不简单地是小型分散,而是能量系统和技术与管理上的当代成果的结合,把当代技术成就以工厂化生产的方式凝聚在机组中,使分布式能量系统除了自身的一系列优越性外,在机组的完善性、可靠性和性价比上也能与大容量高效机组相抗衡,同时在能量的梯级利用上、蓄冷和储能等与需求侧管理的结合上又有自己的特殊优势。模块化就是体现这一思想的技术实施。所以不少研究者都把模块化与分布式能量系统联系起来。作者认为模块化确是一种先进的技术措施,但它是不是分布式能量系统的固有特征还值得进一步商榷,特别是针对系统规模不那么小的场合是否一定要模块化尚待讨论。所以未把模块化列入分布式能量系统的定义之中。

## 6 一次能源

自然界中赋存有各种资源,其中有的可用来获取人们所需要的各种能量,这类自然资源称为一次能源,简称能源。由一次能源加工转换而成的能源产品,如电力、焦炭、汽油柴油等石油制品以及供给用户的热水、蒸汽等称为二次能源。

在实施可持续发展战略的今天,可再生的或天然清洁的一次能源,如水能、生物质能、太阳能、地热能、风能、海洋能的重要性日益引起人们的关注。为了使能量系统具有良好的环境相容性,发展方向就是要优先地使用这类清洁或可再生能源,但由于这类能源中许多是密度小而分散,使得集中式大机组无用武之地。分布式能量系统是这类可再生或清洁一次能源最合理的利用方式。估计,在今后的50年中,不论在我国还是在世界上,可再生能

源在一次能源中的比重将会有较快的提高。

不过在相当长的时期内，除了水力外，其他的天然清洁和可再生能源在一次能源结构中不会占显著的比例，化石燃料仍将是一次能源的主角。在化石燃料中天然气是最清洁的。天然气主要成分中 85%~95% 为甲烷 ( $\text{CH}_4$ )。与煤炭、石油等黑色能源相比，天然气燃烧过程中，所产生的影响人类健康的氮氧化物、一氧化碳、可吸入悬浮微粒极少，几乎不产生导致酸雨的二氧化硫，而产生导致地球温室效应的二氧化碳的排放为煤的 40% 左右，燃烧之后也没有废渣、废水。由于天然气的转换效率高，环境代价低，投资省和建设周期短等优势，近年来世界上天然气的消费总量和相对量均有大幅度增长。天然气资源的用途主要在两个方面：一是能源行业，主要有 3 种用途，即发电、生活燃料（采暖和做饭）和工业燃料；二是化工行业原料，以生产化肥及合成纤维类为主。将天然气单纯作为燃料供热，不仅是资源的严重浪费，同时也使热量成本过高，同时管网用气冬夏季峰谷差也过大，迫使增加管网的调峰配套投资，从而陷入进一步增大供气成本的恶性循环。特别是在我国，当前的年消费量不到  $300 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，在我国的能源结构中的比例仅为 2% 左右，占世界的 1.2%。预计到 2010 年，把陆上和海上的生产能力以及从周边国家进口管道的和液化天然气统统计算在内，也只能达到  $650 \times 10^8 \sim 800 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，使天然气在我国的能源结构中占到 6% 左右。因此，在我国不宜大量建设以天然气为燃料的集中式大型能量系统。但发展燃用天然气以燃气蒸汽联合循环为基础的分布式能量系统，热电联产，或热电冷联供，使能量得到充分的梯级利用，则是天然气利用的理想方案之一。

作者认为，从战略的角度，不应把煤完全排除在分布式能量系统之外。在现有的技术下，以煤为主的能源利用，是环境污染的主要根源。然而随着洁净煤技术的迅速进展，这种局面终将会得到根本的扭转，以煤为一次能源的分布式能量系统不但不是不可能的，而且还可能有广阔的发展前途。

## 7 文明用能与绿色供热系统

能源，特别是涉及到化石燃料，文明用能应是可持续发展用能战略的基本原则。文明用能的内涵，一是对一次能源的高效利用，二是有效抑制耗用一次能源引起的对环境的负面影响。

能源的损失与浪费原因五花八门，但从本质的高度原因只有一个，那就是不可逆性。不可逆性的定量表示就是熵产，俗称熵增。熵产降低了在给定环境下能源的可用性，其所降低的值称为熵耗损。因此，在技术、经济与环境的客观制约下，与不可逆性斗争，减少熵产、减少熵耗损，是文明用能的一个重要指南。

文明用能的最重要方面就是对热能的文明生产和利用。一次能源的利用无非是热利用、电利用、动力利用和物质转换方面的利用，其中，近 2/3 的一次能源在终端利用中是以热能的形式被消耗的。热能属于低品位能量，又常以高品位的化石燃料来供应，由于品位的严重失配，不可逆性极高，是社会能源利用效率低下的主要根源。如所周知，目前供热的一次能源消费指标（以煤当量计）大致是  $40 \sim 60 \text{ kg/GJ}$ ，供热成本中的燃料费按当前的煤炭市场价约为  $12 \sim 18 \text{ 元/GJ}$ ，但是分析表明，理论单耗与供热的温度水平有关，如果全然可逆，在供暖的温度水平下，最低煤耗约为  $3.2 \text{ kg/GJ}$ ，最低成本为  $0.96 \text{ 元/GJ}$ <sup>[7-9]</sup>。可见挖掘这一潜力具有何等重大的意义！

要挖掘这一潜力，就必须发展“可逆型供热系统”。如果一个供热系统同时具备以下两个特点，则称为可逆型供热系统，其一，非热的能源在能量转换中除热能外还有非热的形式（如电，功等）出现；其二，以此非热能量为驱动，按热泵原理汲取环境热供给用户。可逆型供热系统与一般供热系统有原则的区别，但又不是全然可逆的供热系统，它的本质是在技术、经济条件制约下向可逆逼近的一类可实施的供热系统。

在可逆型供热系统的基础上就有可能在燃用化石燃料的条件下发展与环境相容的供热系统，或称绿色供热系统<sup>[10]</sup>，其特征是：

- 1) 作为绿色供热系统基础的可逆型供热系统，它的容量和用户负荷总需求量相对应，在运行中的供、需的能量与品位均具有较高的谐时性；
- 2) 在这样的供热系统中，必须有发供电环节，其供电效率较高，原则上应不低于大电网的平均供电效率；
- 3) 供热系统中，用户终端具有高熵效，力求供热温度水平接近用户需求的温度水平，以优化供热方与用热方良好的品位匹配；
- 4) 绿色供热系统的有害排放物的成分明显低

于常规供热系统，这有赖于结合先进的能源技术、燃料处理技术和优先利用清洁的或可再生的能源；

5) 为提高供热系统的环境相容性，尽可能地与多联产技术、海水淡化、垃圾处理 and 促进改善资源、环境及其他要素的技术相结合。

## 8 热电联产、多联产和多联供

绿色供热是燃用化石燃料的分布式能量系统的一个特征，其中热电联产、多联产和多联供又占特殊重要的地位。

绿色供热系统的基础是可逆型供热。可逆型供热可以有不同的实现方式。但只要是从非热的能源取得热能，则任何可逆型供热的实质必然是热电联产<sup>[10]</sup>。可见，热电联产对于实施可持续发展具有战略的重要性。

然而，热电联产在集中式大型能量系统中的实施受到了制约。热和电这两种能量形式在输配特性上有极大的差异。电的本性要求电网尽量地大，要求地区联网和全国联网，这些都体现在集中式大的能量系统中。而热的输配距离以小于5~10 km为合理，否则会使固定费和运行费急剧地上升。供热的规模也不宜太大，规模大了，热负荷难以预测落实，即使预测的完全准确，也很难保证生产、输配和耗用间的谐时性。经验反复证明，热电联产不成功多由于设计的生产容量和输配容量与实际负荷严重地不匹配所致，使热电联产系统长期在远离设计工况下运行，失去了其应有的经济性。系统越大，这个问题越突出。

把热和电放在一起实施热电联产，顾此失彼难以两全。所以，规模不大，输配距离不长的分布式能量系统，乃是实施热电联产这一具有战略重要性技术的必要前提。这种系统规模小，投资小，建设快，它本身就是个总能系统，要求着能量的梯级利用，热电联产就是梯级利用的最理想方式之一。加之分布式能量系统的模块化方式，可以随着负荷的增长，用渐进的方式扩大规模，削弱了难以准确长期负荷预测所造成的损失。

分布式能量系统也为多联产和多联供的实施提供了有利的条件。热电冷三联供，结合蓄冷和储能和需求侧管理等技术性与管理性措施，就是目前很流行的技术方案。“联产”和“联供”不是一个概念。在能量系统中的所谓联产，是指在“同一”热力学过程或在“密不可分”的几个热力学过程中产

出不同的产品。联供可以是一种产品和它进一步转化后的另一种产品的同时供出。我们习惯上常说的热电冷三“联产”，通常只是热电联产，至于冷，则是热（或电）的进一步转化，它通常并不是和电（或热）同时在一个热力学过程中产生的，所以称为热电冷三联供似更贴切。将来的发展可能是多联产，如IGCC热、电、甲醇三联产，热、电、甲醇、合成气四联产等，这些系统可以以煤为一次能源，而且也会有一定规模，目前还未提到分布式能量系统的日程上来，但从前景上，这些技术会加入到分布式能量系统这一行列中。

## 9 原动机

原动机是分布式能量系统的驱动装置，主要有往复活塞机驱动、透平机驱动、燃料电池驱动和新能源原动机驱动。下面仅就前二者谈些看法。

往复活塞机具有最悠久的历史，是热机的始祖。起初是蒸汽机，后来是内燃机。随着人类对能源动力的不断增长需求，往复活塞机呈现了其固有的不足。首先是单机容量不能满足大规模生产的需要，其次，特别是对于水蒸汽为工质的往复活塞机，由于工质得不到充分的膨胀，影响了能量转换的效率。因此，往复活塞机只是在小型，最多是中偏小容量范围内被广泛使用，大容量的原动机几乎全被透平机占领。分布式能量系统的规模一般不大，内燃机依然是迄今最有竞争力原动机，其占有率目前达4/5以上<sup>[11]</sup>。内燃机的优点很多：功率范围很宽，从几千瓦到上万千瓦；相当高的能源转换效率，可达40%以上；有针对不同燃料的设计，适应于汽油、柴油、重油、天然气、合成气和纯氢等多种燃料；它久经考验、技术成熟、制造成本低、维护简单，是依然在改进过程中且具有旺盛生命力的一类原动机。不过作为分布式能量系统的原动机，它需要更清洁的排放，更低的噪音，更小的振动，特别要更便于余热利用。目前在余热利用上已有内燃机的燃气蒸汽联合循环的实施案例。

透平机是建立在工质连续流动的机理上，所以允许极大的工质容积流量，其单机容量可以适应集中式大型能量系统的需要。目前蒸汽轮机的单机容量可达1 200~1 300 MW，燃气轮机的单机容量也可达到300 MW以上，转速多在1 500~3 600 r/min。按物理机理，为了保证高水平的能量转换效率，要求透平机叶轮的圆周速度应达到气流速度的

某一比例，透平机的工质在膨胀始端有尽量高的参数，在其末端有尽量低的参数，使工质的末端容积流量远大于始端，特别是对于蒸汽轮机，要相差达 1 200 倍之多。只有透平机能够允许在如此大的差异下保证工质的充分膨胀。透平机本是大容量领域的原动机，用于小容量就不那么容易，因为容量小了不仅叶片短小，而且叶轮直径也小，为了保证圆周速度达到气流速度的某一比例，就不得不采用极高的转速，这些都是制造上的难题。微型透平机械的出现是当代技术的一项巨大成就，人们竟然成功地把微型燃气轮机的功率降到了几十千瓦的范畴，转速可高达 70 000~120 000 r/min。使用空气轴承，带回热器 (recuperator) 的微型燃气轮机效率可达 25%~30%。这些成就使得微型燃气轮机在分布式能量系统中成了往复活塞机的有力竞争对手。当然，微型透平机能否在分布式能量系统领域中夺魁尚待今后由历史作出判断。

## 10 展望

在发达国家，分布式能量系统是在主体电力供应系统已经形成规模的条件下发展起来的。我国是发展中国家，能源的生产与消费水平与发达国家相比还有较大的差距，按照目前的发展规模和速度，所面临的能源问题还是相当严峻的。然而，我们不必重复发达国家所走过的道路，完全可以根据发达国家的发展历史和经验，明智地选择在发展大型集中式能量系统过程的同时不失时机、因地制宜地发展分布式能量系统，把它放在与之并行不悖且相辅相成的地位。事实上，以大电网大机组为标志的大型集中式能量系统与分布式能量系统的合理结合可以大大提高能源利用效率，减轻能源对环境的不利影响，减小兴建或改建发、输、配、供装置与设备的规模和费用，是提高能量系统的经济性、安全性与环境相容性的重要途径。

随着可持续发展战略的推进，太阳能等天然清洁能源和可再生能源在能源结构中占的比重会持续提高。比如风力资源（不包括海上风场和高空风力）我国占有的可经济开发量就有  $2.5 \times 10^8$  kW 以上。太阳能也将成为新世纪人类的主要能源之一。目前全世界太阳能发电容量已达  $80 \times 10^4$  kW，随着太阳能电池转换效率的提高（比如从现在的 17%~20% 提高到 30% 以上）和单位千瓦造价的降低，其发展前景十分光明。生物质能潜力也极为

巨大，据联合国统计，每年产生的生物质相当于全世界能源消耗总量的 8~10 倍。生物质能发电，包括垃圾发电在新世纪中将对能源与环境同时起到积极的作用。分布式能量系统是太阳能、风能、海洋能、生物质能、地热能以及小水电最适用的能量系统形式，它为实现一次能源多元化创造了条件。

在经济欠发达的边远地区，要形成一定规模的大电网需要巨额投资和时日，而分布式能量系统可以投资小、建设快的优势为之提供有利的解决方案。东南沿海地区出现了类似发达国家的能源形式多样化的需求，这是分布式能量系统的又一用武之地。在化石燃料为主的条件下，绿色供热系统是国民经济建设中的重大课题，也是在能源领域实施可持续发展战略的重要环节，分布式能量系统为绿色供热和多联产技术的实施提供了最有利的形式。

## 参考文献

- [1] 徐二树. 分散能源的研究与应用 [D]. 北京: 华北电力大学, 2004
- [2] 刘道平, 马 博, 李瑞阳, 陈之航. 分布式供能技术的发展现状与展望 [J]. 能源研究与信息, 2002, 18 (1): 1~9
- [3] D G Acronym Anagrams [EB/OL]. D G Monitor. www.distributedgeneration.com, 2002. 10
- [4] Bluestein J, Horgan S M, Eldridge M. The Impact of Air Quality Regulations on Distributed Generation [M]. London: National Renewable Energy Laboratory, IEEE, 2002. 523~530
- [5] 徐建中. 分布式供电和冷热电联产的前景 [J]. 节能与环保, 2002, (3): 10~14
- [6] 倪维斗, 李 政, 薛 元. 以煤气化为核心的多联产能源系统 [J]. 清华大学发展研究通讯, 2000, (21): 1~16
- [7] Song Zhi Ping. Total energy system analysis of heating [J]. Energy, 2000, (25): 807~822
- [8] 宋之平. 试论联产电厂热电单耗分摊中的人为规定性与客观实在性 [J]. 电机工程学报, 1998, 16 (4): 217~220
- [9] 宋之平. 绿色供热系统——经济建设中的重大课题. 中国工程科学, 2001, 3 (6): 9~14
- [10] 宋之平. 从可持续发展的战略高度重新审视热电联产 [J]. 中国电机工程学报, 1998, 18, (4): 225~230
- [11] Willis H L et al. Distributed Power Generation [M]. New York: Marcel Dekker Inc 2000

## Remarks on Distributed Energy System

Song Zhiping

(*Department of Thermal Power Engineering, North China Electric  
Power University, Beijing 102206, China*)

[**Abstract**] The emergence of distributed energy system is a matter of great significance relating to implementation of sustainable strategy. As proposed by the author, distributed energy system(DES) is defined as an electric power total system compatible with environment, sited in or in the vicinity of the consumer center area without bulk and/or remote power transmission. The DES concept allows people to build and operate energy system on total energy basis and thus facilitates demand side management as well as a more intelligent use of energy. It is considered essential for fossil fueled DES that energy is utilized in a cascade way matching the energy quality supplied and needed. DES also opens the most effective way of implementation of Combined Heat & Power as well as multi-generation. While the preferable choice of primary energy might be the clean fuel such as natural gas, but from the long-term point of view, the clean coal technology should not be excluded from the DES category. Although there is a great deal of interest in micro-turbines at the moment, combustion engines still have their tremendous potential for DES application.

[**Key words**] distributed energy system; sustainable strategy; Combined Heat & Power; multi-generation

---

(cont. from p. 68)

## A Novel Approach to Solve Complex Packing Problems

Wang Tao, Wei Feng

(*Center of Logistics Engineering and Technology, MOC, Beijing 100088, China*)

[**Abstract**] A novel approach which can solve complex packing problems is proposed. It solves the complex packing problems in two steps: Firstly, the volume-maximizing loading is carried out according to some heuristic rules, and the loading space is divided into many layers according to the cargo in depth direction, and each layer will then be decomposed. Secondly, the position of the center of gravity is adjusted optimally by genetic algorithm, so as to make the packing result more fit for practice. The practical result shows that it is better than other packing approaches in terms of the usage rate of space, the center of gravity and the calculating efficiency.

[**Key words**] packing problems; heuristic; center of gravity; genetic algorithm