

# 关于分布式能源系统的思考

## On Distributed Energy System

蔡睿贤/CAI Rui-xian, 张娜/ZHANG Na

中国科学院工程热物理研究所, 北京 100080

Institute of Engineering Thermophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China

**[摘要]** 简要地综述与分析了分布式能源系统和它的主要优、缺点,其适用的设备与热力循环以及这种系统适用的地区。得出的主要结论是:这种系统特别适用于电、热(冷)联产;为保证变工况下任意电、热(冷)负荷的需求,宜用加补燃的程循环(蒸汽循环);在我国,目前这种系统适用于经济发达地区。

**[关键词]** 分布式能源系统,程循环,STIG循环

**[中图分类号]** TK123, TM924.1

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 1000-7857(2005)09-0007-02

**Abstract :** A brief survey and analysis is given to the distributed energy system: what is this system; its main advantages and drawbacks; suitable prime movers and thermal cycles of this system and where are the regions in China suitable to develop such system. The main conclusions are: the distributed energy system is good for cogeneration and trigeneration with electricity, heat and/or cold; for proving arbitrary demand of electricity, heat and/or cold in off-design condition, it is better to use Cheng cycle (steam inject cycle)with supplemental firing; recently, it is better to develop such system in the developed regions in China.

**Key Words :** distributed energy system, Cheng cycle, STIG cycle

**CLC Numbers :** TK123, TM924.1

**Document Code :** A

**Article ID :** 1000-7857(2005)09-0007-02

关于分布式能源系统,近年来在国际上开始应用较多,研究文章亦不少;在国内也有相应的趋势,宣传者日多,具体建设项目纷纷筹备上马。在此对分布式能源系统进行一些思索,以供领导、工程师、动力与经济学方面的学者、厂家们参考。

### 1 什么是分布式能源系统

分布式能源系统,是相对于能源集中生产(主要代表形式是大电厂加大电网)而言的。

电在已知的二次能源中最为有用,且占有绝对优势。如果没有电,就没有了绝大多数的先进生产力。一切高新技术的研发、应用都要在电力运行的基础上进行。所以,保证充足、安全、有效的电力供应是非常重要的事情。然而,在目前,我国只有大电厂加大电网才能够比较好地完成此任务。估计这种状态在较长一段时间内不会改变。

分布式能源与上述比较集中的大电厂加大电网正好相反,它是把二次能源供能点分散到很多企业、社区、大厦、医院、学校、写字楼……,甚至到个别家庭住宅中去。由于分散,所以每个系统的出力都不会

太大,需根据用户的具体要求而定,一般在成百上千 kW 以下。正如上述,电是最主要的二次能源,所以目前通称的分布式能源系统都至少有电力输出;而只出热、出冷的简单小型供能系统,如仅供热的小锅炉装置、仅供冷的独立空调设备,是极少有人称之为分布式能源系统的。但是,最大多数的分布式能源系统,是除了供电之外,还同时供热及/或供冷,是多联产系统。当然,也许还可能是多功能系统(意指除多联产输出外,输入的能源也是多种的,例如可以同时有化石能源与可再生能源输入)。

### 2 分布式能源系统的优点和缺点

由于大电厂加大电网将会长期存在,因此有必要将其与分布式能源系统作一比较;而对分布式能源系统优缺点的分析,可以帮助我们更好地理解集中与分散式能源系统各自的优劣势和适用范围。

#### 2.1 分布式能源系统的优点

我们认为,分布式能源系统的最主要的优点是用在冷热电联产中。联产符合吴仲华先生提出的总能系统的“温度对口、梯级利用”的准则,会得到很好的能源利用

率,具有很大的发展前景。但是热,尤其是冷,不像电能那样可以较长距离有效地输送。所以,除非事先特殊设计、安排好,否则,难以达到输送冷、热能的目的。因为大电厂设址有其自身的要求,一般来说,附近难以有足够大量的、合适的冷、热能用户,无法进行有效的联产。分布式能源系统却正好相反,按需就近设置,可以尽可能与用户配合好,也没有远距离输送冷、热能的问题,大电网的输电损失问题也不存在了。所以,虽然分布式能源系统纯动力装置本身效率低、价钱贵,但可以充分发挥其联产的优点,体现出它的优越之处。

为了保证使用单位的各种二次能源能够充分供应,分布式能源系统还可以让使用单位本身有较大的调节、控制与保证能力。这也是一个很重要的优点。

#### 2.2 分布式能源系统的缺点

分布式能源系统的主要不足在于,由于它是分散供能,单机功率很小,比起最大电厂单机功率有百万 kW 以上、单厂功率近千万 kW 而言,发电效率显然比不上后者。这是因为现有动力设备都是机组越大,效率越高。40 万 kW 的、以燃气轮机为主的

收稿日期:2005-05-18

基金项目:国家自然科学基金(50176049,90210032)、国家 863 项目(2002AA503020)资助

作者简介:蔡睿贤,男,北京海淀区中关村路乙 12 号中国科学院工程热物理研究所,研究员,中国科学院院士,研究方向为动力工程与工程热物理;E-mail: crx@mail.etp.ac.cn

联合循环装置效率比 40 kW 回热燃气轮机的效率要高 1 倍。“麻雀虽小,五脏俱全”,因此大机组单位功率的售价相比小机组要低得多,相差近几倍。大机组集中在一起,有专门高级技工运行维护,安全性、工作寿命都应该更有保证。所以,要对纯发电成本和单位 kW 初投资作比较,分布式能源系统的经费投入肯定要大大高于现在的大电力系统。另外,分布式能源系统对当地使用单位的技术要求要比简单使用大电网供电来得高,要有相应的技术人员与适合的文化环境。

### 3 分布式能源系统适用的设备与系统

正如前述,分布式能源系统首先得有一台动力设备。经典蒸汽动力装置不适合用于出力较小的情况,所以一般不用。现在文献上提到的有燃气轮机、活塞式内燃机、燃料电池与斯特林发动机等。其中燃料电池与斯特林发动机在工程应用上严格说都还不够成熟,未达到广泛商业实用的程度,只可作为示范中试装置。燃料电池适合用于小机组,且变工况性能也好。但比较成熟的技术对燃料要求较高,正在研制中的高温燃料电池则要与热机联合才能获得较高效率。目前,实际广泛应用的是广义的内燃机—叶轮机机械式(燃气轮机)与活塞式的,尤其是回热燃气轮机。应该说,燃气轮机与活塞式内燃机相比,前者较适宜于功率较大的情况,后者则正相反。在适用于分布式能源系统的功率范围内,目前二者能达到的发电效率均在 30% 以上。从价格上来看,活塞式内燃机造价会便宜一些。但实际应用还是以燃气轮机为多,原因可能是使用分布式能源的地方都是经济比较发达的地区,能够承受昂贵的费用。而燃气轮机在减振、消音、降低排放污染、重量轻、占地小等方面都有潜在的优势。另外,它的供热能力也比活塞式内燃机大。

分布式能源系统的优势在于冷热电联产,所以除了动力设备外,还得有一个系统。例如,最常规的办法是利用广义的内燃机的排气余热通过余热锅炉产生蒸汽供热,同时通过吸收式制冷设备供冷。通常是简单或回热循环燃气轮机的冷热电联产。但要保证联产系统能满足很大范围变工况下的任意冷、热、电输出需求(这是联产系

统的关键科技课题之一),上述系统是难以做到的。这时可用程循环(回注蒸汽循环,有时也称 STIG 循环)加上补燃,就可以使热电联产系统能够在电为设计点的 5/3 倍到 0、热为设计点的近 3 倍到 0 的任意热、电数值的匹配要求下,高效安全运行<sup>[1]</sup>。对冷、热、电联产的情况,为达到广阔范围的冷、热、电输出,上述程循环加补燃在原则上也是合适的,但可用范围的具体数字尚待研究。我国目前已有人正在进行此项工作。

对以燃气轮机为核心的各种循环,实际上以联合循环最为成功。但是它只适合用在较大功率等级机组中。如前所述,分布式能源系统功率不会大,因此不宜用联合循环。近期被认为较有前途的 HAT 循环(湿空气透平循环),它的追求目标主要在以湿化空气来尽量利用未充分利用的低温热,也不适合同时供热、供冷的目标。而且它的冷、热、电变工况可控性也比不上程循环。所以,按目前所了解的情况,现有 HAT 循环也不宜用在分布式能源系统,除非将其加以改动,例如再与程循环结合起来<sup>[2]</sup>。程循环与 HAT 循环中都要消耗不少清洁的给水,会浪费水资源,原则上可以采取冷却排气回收。这项技术并不难,我国不少用户也已采用;但用户附近最好还是有可用的普通冷却用水。

对活塞式内燃机,还很少听到有关它在分布式能源系统中使用不同循环形式的研究报道,也许因为在分布式能源系统中用活塞式内燃机较少之故。不过活塞式内燃机可利用余热相对较少,采用补燃可能对它更为适用。与燃气轮机不同,对活塞式内燃机补燃一般还要补空气。

由于分布式的能源系统用广义的内燃机,所以一般只能燃用气、液燃料,而另一方面也使得它比较易于达到环保要求。

### 4 适合用分布式能源系统的地区

由于分布式能源系统的初投资大,要用好燃料;同时要有比较稳定的冷、热、电用户,主要是第三产业和住宅用户;要求具有环保性能较好的特点等等,所以,它在我国比较适合应用的地区显然是经济比较发达的地区。从地域分布来说,主要是珠江三角洲、长江三角洲、环渤海地区等等。这些

地方是我国现在经济高速发展的黄金宝地,也是应该“先环保起来”的地区,而且经济上也确是有可能适宜使用分布式能源系统的地方。另外,分布式能源系统既然是“分布”,也就是说与大电厂、大电网不一样,不是由一小批经验丰富的技术人员集中运行管理,而是分散式运行管理,这就要求使用区域的总体科技文化水平和素养较高。

上述看法并不是说其它地方就不能装配使用分布式能源系统,而只是对最先发展它的可能区域作了一个判断。其它地方,例如在天然气产地附近、天然气价格特别便宜的地方,分布式能源系统的应用可能也会是适合的。就如同经济上“先富起来”,应该带动其它地方“共同富裕”一样,分布式能源系统在“先富起来”的地区发展了,也会以其取得的成效与经验带动这种系统在其它地方发展起来。不过,以我们的看法,分布式能源系统是能源利用的一个新的发展方向,但在可预见的较长一段时间内,大电厂与大电网仍是我国电力供应的主流。

### 5 结论

1) 分布式能源系统是就近设在用户附近的较小出力的、供应二次能源的系统,尤其适用于冷、热、电多联产。

2) 目前分布式能源系统的主机通常用燃气轮机。为保证冷、热、电联产在各种变工况下都能满足供应,以用加补燃的程循环(蒸汽循环)为宜。

3) 我国最适宜发展应用分布式能源系统的地区是经济发展速度较快的地区。

(致谢:谨对在成文工作中苟晨华和赵丽同志给予的帮助表示感谢。)

### 参考文献(References)

- [1] 胡自勤,蔡睿贤.燃气轮机热电并供系统变工况性能[J].工程热物理学报,1990,11(4): 357~360
- [2] Magnus C, et al. An analysis of the efficiency and economy of humidified gas turbines in district heating applications[C]. In: Proc. of ECOS 2002, 2002. 695~703

(责任编辑 李慧政)

·读者·作者·编者·

## 《中国学术期刊文摘(英文版)》即将创刊

为了不断提高我国科技期刊在国际上的影响,促进国际科技界对我国科学技术研究整体水平的了解,推动我国科技工作者学术论文的国际交流,根据中国科协书记处的决定,我社将创办《中国学术期刊文

摘(英文版)》,并预计 2006 年 1 月出版创刊号。《中国学术期刊文摘(英文版)》是我国唯一的综合性英文版科技类学术检索刊物,将与《中国学术期刊文摘(中文版)》成为姊妹刊物。该刊由中国科学技术协会主

管,科技日报社主办,将以中国科协全国性学会主办的学术期刊为基础,选择一批我国优秀的中、英文科技期刊为来源刊物,收录其中重要的学术论文,以英文摘要形式登载。

(本刊编辑部)