

采用增量法的 BCHP 系统经济性分析

付 林, 江 亿

(清华大学建筑技术科学系, 北京 100084)

摘 要: 在与传统能源系统方案比较基础上, 提出冷热电联供(BCHP)系统经济性的增量评价法, 从而避免了热价、冷价等人为因素干扰, 使 BCHP 系统经济性的评价更加客观, 并针对大学的 BCHP 系统进行经济性案例分析。分析认为, 最大利用小时数、运行效率、能源价格乃至系统容量等因素对冷热电联供系统经济性影响很大, 进而认为体育场馆、会馆等设备利用小时数少, 住宅电价低, 这类用户不宜采用 BCHP 系统。合适的容量利于提高 BCHP 系统的经济性。

关 键 词: 冷热电联供; 增量评价; 经济性

中图分类号: TM611. 3 F407. 2 文献标识码: A

引 言

经济性评价是一个复杂问题。现行的工程经济学方法评价冷热电联供(BCHP)系统经济性, 通常采用投资回收年限或内部收益率等方法<sup>[1~3]</sup>, 该评价方法存在一个缺陷就是计算中用到的热价、冷价有一定的随意性, 一个项目的经济性好不能确定是热电联产带来的好处, 还是由于冷热价格过高带来的好处。另外一种比较方法是最小费用法<sup>[4~9]</sup>, 即满足冷热电负荷的条件下, 分别统计各方案的总费用, 总费用最小的方案认为是经济性最优的方案。这种方法在对不同方案之间进行经济比较时, 仍然不能回避诸如投资中的市场因素, 管理与维护费中的人为因素等的干扰, 不能揭示造成冷热电联供与传统方案之间经济差别的原因, 往往使经济分析的结果不客观。

1 增量评价法

所谓增量评价法就是在满足同样的冷热电负荷的条件下, 将冷热电联供系统与常规方案的投入产出进行比较, 对投入产出增量进行经济分析的方法。一般地, 常规系统可以选定为: 供热采取燃气锅炉,

供冷由电动制冷机承担, 供电由电网提供。可以发现: 由于发电的原因, 冷热电联产系统比常规系统多投资(称为投资增量) $\Delta C$ , 主要是内燃机、燃气轮机等动力设备和发电设备的投资, 其它部分的投资, 与常规方案中的相应部分投资额度相当, 基本上相互抵消。如果在方案经济性评价中, 投资方面的只考虑系统投资增量, 避免了冷热电联供系统与传统系统之间共性设备之间的人为因素的干扰, 使方案的投资评价更加客观。

同样由于发电的原因, 冷热电联供系统相比传统方案要多耗燃气(称为燃料增量) $\Delta G$ , 并且多增加维护费(称为维护费增量, 包括运行管理、维修和人员工资等除能源外的其它费用) $\Delta W$ 。与其它项相比, 维护费较小, 比较后的增加维护管理费就更小, 往往在计算分析中忽略不计。从一定程度上这种维护费差值的处理方法也降低了经济性分析中人为因素的影响。

与传统系统相比, 采用 BCHP 系统的用户减少从电网买电量(或称为发电增量) $\Delta E$ , 如图 1 所示。 $\Delta E$ 这部分电量实际上包括两部分, 一是冷热电联供系统的实际发电量; 二是与作为比较对象的常规电制冷机耗电量。

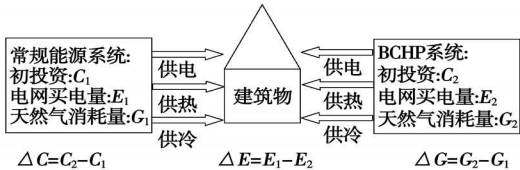


图 1 常规能源系统与 BCHP 系统的对比分析

为评价一个冷热电联供系统的经济性, 引出增量投资回收年限  $Y$  这一评价指标。它是 BCHP 系统增量投资  $\Delta C$  与年运行费减量  $\Delta R$  之比。年运行费减量  $\Delta R$  是指, 与采用传统燃气锅炉供热和电制冷

方式相比, 用户在包括能源和运行维护在内的每年能源运行费减少量。在发电不上网模式下, 它是发电增量的电费与燃料增量的燃料费和维护费增量之差, 即:

$$\Delta R=f_e\cdot\Delta E-f_g\cdot\Delta G-\Delta W$$

(1)

$$Y=\Delta C/\Delta R$$

(2)

式中:  $\Delta C$ —BCHP 系统的投资增量;  $\Delta E$ —BCHP 系统的发电增量, kWh/a;  $\Delta G$ —BCHP 系统的燃料增量, m<sup>3</sup>/a;  $f_e$ —电价, 元/(kWh);  $f_g$ —燃气价格, 元/m<sup>3</sup>;  $\Delta W$ —运行维护费等其它增量费用。

对于一个 BCHP 方案的评价, 可以通过动态负荷下的模拟计算结果, 直接获得冷热电联供系统全年燃气耗量、供热量和发电量, 进而计算出系统的年运行费减量以及增量投资回收年限, 用以评价其经济性。

实际上, 为了更直观地对冷热电进行评价, 可以将以上增量评价法中冷热电联供系统与常规系统比较后的增量, 等效地视为一个燃气发电厂,  $\Delta C$  为发电厂的投资,  $\Delta G$  为电厂的天然气耗量,  $\Delta E$  为电厂的发电量, 如图 2 所示。这样, 对冷热电的评价也就可以等效于对一个纯发电厂的评价。当评价冷热电联供系统的效率时, 可以引入等效电厂的发电效率  $\eta_{eq}$ , 即:

$$\eta_{eq}=\Delta E/\Delta G$$

(3)

将冷热电联供系统的等效发电效率与一般的燃气发电厂进行比较, 就可以评价该冷热电联供系统的能源利用效率。

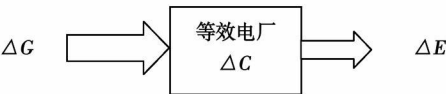


图 2 冷热电联供系统视为一个等效电厂

利用这种等效电厂, 同样可以评价冷热电联供系统的经济性。引入等效电厂的发电成本(等效发电成本)  $c_{eq}$ , 即:

$$c_{eq}=(f_g\cdot\Delta G+\Delta W+k\cdot\Delta C)/\Delta E$$

(4)

式中:  $k$ —增量投资年折旧系数, 静态折旧可以简单处理为使用年限的倒数。

评价一个冷热电联供系统经济性的好坏, 只需要比较一下这种等效电厂与一般燃气电厂的发电成本高低就可以, 进而避免了发电电价、热价和冷价等因素的干扰, 适合于政府部分客观认识一个冷热电联供项目在经济性上的优劣。

综上所述, 运用增量评价法来反映冷热电联产系统的经济性, 可以避免诸如热价、冷价等认为因素的干扰, 使对方案技术经济性的认识更加客观。同时, 增量法将系统等效成为纯发电电厂, 避免热和冷的干扰, 使冷热电联供系统这种复杂系统经济性问题变得更加简单和清晰。

2 经济性分析

2.1 案例

某大学规划期内, 供热面积将达到320 万m<sup>2</sup>, 电负荷 41 MW, 供冷面积达100 万m<sup>2</sup>, 全年冷热电逐时负荷通过 Dest 软件模拟<sup>[7]</sup>, 结果如表 1 和图 3 所示, 横坐标原点为一年的起始点。

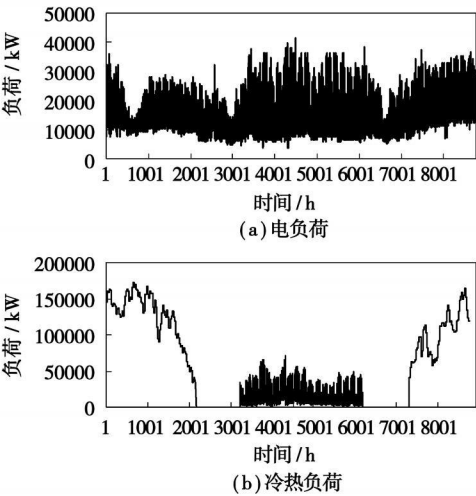


图 3 规划冷热电逐时动态负荷

为满足上述冷热电负荷, 选取两个能源方案。方案一采用燃气锅炉承担全校的采暖负荷, 总容量 250 t/h。用电由电网提供, 供冷负荷全部由用户采用分散电空调满足; 方案二采用以内燃机为动力装置的天然气冷热电联供方案。发电容量为 23 MW, 仅能满足部分电负荷要求, 其它由电网提供。内燃机产生的余热采暖和制冷也只能满足部分热冷负荷需求, 其余负荷分别由燃气锅炉和电制冷承担。

采用增量法分析两个方案的经济性, 结果如表 2 所示, 一些基本参数选取如表 3 所示。

表 1 规划冷热电负荷

	供热	供电	供冷
最大负荷/MW	173	41	72
全年负荷	120×10 <sup>4</sup> GJ	2.3×10 <sup>8</sup> kW·h	19×10 <sup>4</sup> GJ

在投资方面, 由于最终需要的是增量投资, 二者相同的部分, 如电力部分, 在方案一中不予考虑, 只在方案二中考虑电力增加部分的投资即可。考虑供热锅炉和制冷系统投资基础上, 根据确定的系统配置, 可以分别获得两个方案的投资, 进而得出增量投资。投资增量 1.2 亿元主要指内燃发电设备和余热回收装置等相对于方案一增加的投资。

确定了运行方案基础上, 求得两个方案全年燃气耗量, 进而获得方案二的燃气增量。运行维护增量系统增加了发电而带来的, 可由单位电量维护费与发电量的乘积获得。

发电增量包括了两部分, 一是系统发电量; 二是内燃机余热驱动吸收式制冷机而代替电动制冷机所节省的电量。

于是, 由式(1)可获得方案二的年运行费节省量, 由式(2)得出 BCHP 系统的经济性, 即方案二相对于方案一所增加的投资, 在 3.5a 内可以回收。

可以看出, 在计算回收年限来评价系统 BCHP 经济性时, 避免了热价、冷价等人为因素的干扰, 使评价更加客观。另外, 根据表 2 和表 3 的有关数据, 还可以获得该 BCHP 系统的等效电厂的发电效率为 87%, 发电成本为 0.44 元/(kWh)(取折旧年限为 20), 该 BCHP 系统具有很好的能源利用效率和经济性。

表 2 方案经济性比较

	方案一	方案二
BCHP 发电容量/MW	—	23
发电量/亿 kWh·a <sup>-1</sup>	—	1.36
供热量/万 GJ·a <sup>-1</sup>	120	120
燃气耗量/亿 m <sup>3</sup> ·a <sup>-1</sup>	0.371	0.545
投资/亿元	1.9	3.1
燃气增量/亿 m <sup>3</sup> ·a <sup>-1</sup>	—	0.174
发电增量/亿 kWh·a <sup>-1</sup>	—	1.48
运行维护费增量/亿元·a <sup>-1</sup>	—	0.204
年运行费节省量/亿元·a <sup>-1</sup>	—	0.345
增量投资/亿元	—	1.2
增量投资回收年限/a	—	3.5

2.2 BCHP 系统的经济性分析

冷热电联供系统的运行成本包括两部分, 即初投资折旧和运行费。初投资对 BCHP 系统经济性的影响取决于机组型式(内燃机、燃气轮机还是燃料电池等)、容量和年运行时间等因素。燃料电池明显投资高于其它形式, 在小容量下燃气轮机比内燃机昂贵, 而大容量下燃气轮机在投资上更具有优势。年

运行时间影响系统折旧成本。当其它参数如表 3 所示, 则增量回收年限随最大利用小时数的变化关系如图 4 所示, 设定冬夏最大利用小时数之比为 2:1。可以看出, 随着最大利用小时数的增加, 系统的经济性提高非常明显。对于一些体育场馆、会堂等类建筑, 其全年运行的最大小时数一般不高于 1 500, 增量回收年限都在 8a 以上, 这是不经济的。因此, 建筑物的使用功能, 会影响系统运行时间, 进而对冷热电联供系统经济性产生重要影响。

表 3 经济性分析基础数据

数值	
内燃机发电效率	0.40
BCHP 系统总效率	0.85(供热) 0.80(制冷)
BCHP 系统设备利用小时数/h	3500(供热) 2400(制冷)
燃气锅炉效率 $\eta_b$	0.9
吸收式制冷 COP	1.0
电制冷 COP	5.0
天然气热值/kJ·m <sup>-3</sup>	35 000
燃气价格 $f_g$ /元·m <sup>-3</sup>	1.95
电价 $f_e$ /元·(kWh) <sup>-1</sup>	0.60
运行维护等其他费 $f_w$ /元·(kWh) <sup>-1</sup>	0.15

燃料费是运行费的主要构成部分, 燃料费的大小取决于系统发电效率和余热利用效率等。显然, 发电效率和余热利用效率越高, 系统运行成本越低, 增量回收年限就会越少, 如图 5 所示。因此, 对系统进行合理配置, 选取发电效率高的动力设备, 从运行方式上和系统配置上, 充分回收燃气轮机等动力设备排出余热以提高系统总效率, 是提高经济性的有效手段。

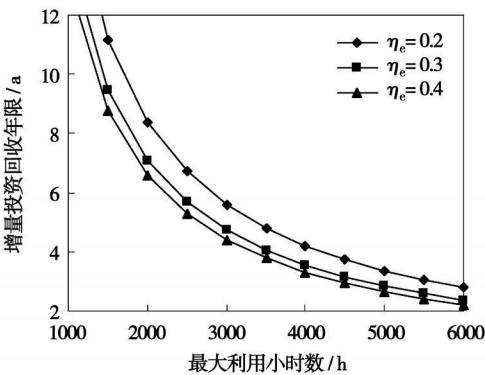


图 4 经济性随最大利用小时数的变化

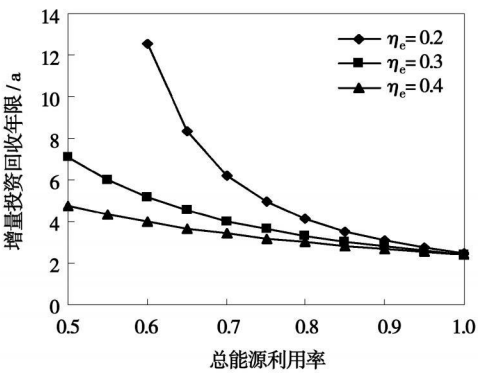


图 5 经济性随效率的变化

电价、燃气价等能源价格对冷热电联供系统的经济性也是非常明显的。在一些电价高的场合,如商场、办公建筑等,是利用冷热电联供的理想场合,而对于电价相对低廉的住宅等,往往是不适合采用这种系统的。

设备容量对系统经济性的影响是综合的。设备容量越大,发电效率越高,单位容量的投资也会相应降低,这对提高系统经济性是有益的。但是对于某个用户而言,系统容量越大,设备年最大利用小时数越低,或者说设备利用率越低,会导致增量投资回收年限的增加。因此,存在着一个合理的容量配置,冷热电联供系统的经济性最好。

3 结 论

通过上述针对 B CHP 系统经济性分析,得出如

- 下结论:
- (1) 提出评价 B CHP 系统经济性的增量投资法,可以避免价格等人为因素的影响,使经济性评价更为客观。
  - (2) 对于不同用户特点、不同的配置和运行方式, B CHP 系统的经济性是不同的,它受效率、设备利用率(最大利用小时数)和能源价格诸多因素影响。
  - (3) 体育场馆、会馆等设备利用小时数少,住宅电价低,这类用户不宜采用 B CHP 系统。合适的容量利于提高 B CHP 系统的经济性。

参考文献:

[ 1 ] 程一步,何祚云.天然气联合循环发电供热特点和经济性[ J ]. 当代石油化工, 2006 14(11): 26—29.

[ 2 ] 汪海贵,薛 飞.天然气热气机的小型冷热电联供系统研究和经济性分析[ J ]. 柴油机, 2004(4): 4—9.

[ 3 ] 冯 志,金红光.燃气轮机冷热电联产系统技术与经济性分析[ J ]. 热能动力工程, 2005 20(4): 425—429.

[ 4 ] 杨 昭,张世钢,童春荣.燃气机冷热电联供系统技术经济分析[ J ]. 热能动力工程, 2002 17(5): 502—505.

[ 5 ] 苏 生,寿青云.区域供热供冷系统冷热源方案经济性分析与比较[ J ]. 建筑热能通风空调, 2003(3): 43—45.

[ 6 ] COLELLA W G, NIEMOTH C R. Evaluation of the financial and environmental feasibility of a network of distributed 200 kWe combined heat and power fuel cell systems on the stanford university campus[ J ]. Fuel Cells, 2005, 5(1): 148—166.

[ 7 ] 燕 达.建筑模拟技术与 DeST 发展简介[ J ]. 暖通空调, 2004, 34 (7): 48—56.

(编辑 单丽华)

新技术、新工艺

热电站锅炉机组的无重油点火系统

本系统在热电站锅炉机组点火时可用煤粉替代昂贵的重油。这首先是指康斯克—阿钦斯基煤田出产的褐煤,以及其它挥发物产量高的褐煤和石炭。用煤粉取代昂贵重油(通常为高硫重油)可以大大地提高热电站工作的经济性和降低含氧化硫的烟气的喷出。

无重油点火装置的特点是制造简单,并能保证设备在锅炉机组点火时的安全工作。设计的投资回收期不超过一年。

应用领域:用于挥发物产量高的固体烯料工作的热电站

(辉 供稿)

fact that the thermal efficiency of the polygeneration system will increase with a decrease of the electric load. **Key words:** polygeneration system, load variation, methanol synthesis, four-quadrant chart, leading factor

采用增量法的 B CHP 系统经济性分析 = **Cost-effectiveness Analysis of a B CHP (Building Cooling, Heating and Power) System by Using an Incremental Method** [刊, 汉] / FU Lin, JIANG Yi (Building Technology and Science Department, Tsinghua University, Beijing, China, Post Code: 100084) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2008, 23(5). — 490 ~ 493

On the basis of a comparison with the traditional energy source system versions, proposed was an incremental method for evaluating the cost-effectiveness of a B CHP (building cooling, heating and power) system. As a result, man-made interference factors, such as the heat and cooling energy prices etc. can be avoided, making the evaluation of the cost-effectiveness of the B CHP system more objective. In addition, the authors have also conducted a case analysis of the cost-effectiveness of the B CHP system employed on campuses. The results of the analysis indicate that a host of factors, such as the maximum utilization hours, operation efficiency, energy price and system capacity etc., exercise a major influence on the cost-effectiveness of a “cooling, heating power supply” cogeneration system. One is further led to believe that because such facilities, as stadiums and assembly halls etc. are characterized by few utilization hours and residential housings feature a low kilowatt-hour price, it is inappropriate for users of this category to employ the B CHP system. A proper capacity is favorable for enhancing the cost-effectiveness of the B CHP system. **Key words:** building cooling, heating and power (B CHP) supply, incremental evaluation, cost-effectiveness

循环流化床提升段径向气体混合的试验研究 = **Experimental Study of Radial Gas Mixing at the Riser Section of a Circulating Fluidized Bed** [刊, 汉] / YANG Jian-hua, YANG Hai-rui, YUE Guang-xi (Education Ministry Key Laboratory on Thermal Sciences and Power Engineering, Thermal Energy Engineering Department, Tsinghua University, Beijing, China, Post Code: 100084) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2008, 23(5). — 494 ~ 499

On CFB (circulating fluidized bed) cold-state test rigs of three sizes, an experimental study has been performed of the law governing the radial gas mixing in the dilute-phase zone of a riser section. The above-mentioned three test rigs all have a riser section with a net height of 4.0 m and the section dimensions are respectively: a round tube with an inner diameter of 0.19 m, a square section of 0.3 m × 0.3 m and a rectangular section of 0.25 m × 0.5 m. With the sand of  $d_p = 120 \mu\text{m}$  and  $\rho = 2400 \text{ kg/m}^3$  serving as test bed material and  $\text{CO}_2$  as a tracer gas, an experimental study was performed of such factors as visual fluidization speed  $U_g$ , particle concentration and dimensions of the riser section etc. which may influence gas mixing. It has been found that the presence of the particles could reduce the gas lateral-mixing speed. However, such an influence of the particles on the gas lateral-mixing is not unidirectional. For a given wind speed, there exists a particle concentration turning point. In case of a concentration less than the one at the turning point,  $D_r$  will decrease with an increase of the particle concentration. When the particle concentration is greater than the one at the turning point,  $D_r$  will increase with an increase of the particle concentration. During the present tests, the concentration at the turning point was  $8 \sim 10 \text{ kg/m}^3$  and such a turning point should be one of a gas-solid flow pattern. The diameter of the riser section  $D_t$  exercises a major influence on  $D_r$ . According to the research findings of academics-predecessors,  $D_r$  will assume a linear increase with an increase of  $D_t$ . However, a more precise relationship can be determined only when further data have been accumulated. Compared with the particle concentration and the diameter of the riser section, the gas fluidization speed exercises a very small influence on  $D_t$ . **Key words:** circulating fluidized bed, riser section, radial gas mixing, experimental study

烟气脱硫塔内气固流动耦合特性探讨 = **An Exploratory Study of Gas-solid Flow Coupling Characteristics in a Desulfuration Tower** [刊, 汉] / PENG Zheng-biao, YUAN Zhu-lin (Education Ministry Key Laboratory on Clean Coal Power Generation and Combustion Technology, Southeast University, Nanjing, China, Post Code: 210096) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2008, 23(5). — 500 ~ 506

By adopting a numerical calculation method combining direct simulation Monte Carlo Method (DSMC) with Euler