

文章编号: 1000-4416(2003)06-0337-05

楼宇式天然气热电冷联供技术及应用*

段洁仪, 冯继蓓, 梁永建

(北京市煤气热力工程设计院, 北京 100032)

摘要: 通过对楼宇式热电冷联供技术的研究, 提出了 4 种分类方法, 归纳总结了常见的系统形式, 并根据工程实践, 分析总结了热电冷联供系统核心设备(燃气发电机)的技术性能特点, 指出了热电冷联供系统设计时必须注意的问题、设计流程以及目前工程实践中。

关键词: 天然气; 热电冷联供; 能源利用率

中图分类号: TU995 **文献标识码:** A

Technology and Applications of Natural Gas-fired Co-operation of Heating, Power and Cooling

DUAN Jie-yi, FENG Ji-pei, LIANG Yong-jian

(Beijing Gas and Heating Engineering Design Institute, Beijing 100032, China)

Abstract: This paper puts forward four classify methods and sums up more than ten system types according to the technology study of the natural gas-fired co-operation of heating, power and cooling. By engineering practice, the technical performance and characteristics for core equipment of co-generation system, such as gas turbines and engines, has been analyzed. Design process and requirements and difficulties faced in practices for co-generation system have been pointed out.

Key words: natural gas; co-operation of heating, power and cooling; energy utilizing efficiency

1 引言

对于建筑物热、电、冷能源的供应, 传统解决方式是: 电力由市电供应, 供热由城市供热、燃气锅炉房、电动热泵或直燃机提供, 供冷由电制冷机、吸收式制冷机、电动热泵或直燃机解决。这些传统能源供应方式中, 有的直接燃用天然气, 而天然气是高品质能源, 价格较高, 能源供应成本高。为了降低能源供应成本, 提高天然气综合能源利用率, 开发了楼宇式天然气热电冷联供系统, 为经济、合理地解决公共建筑能源供应提供途径^[1-12]。公共建筑热电冷供应方案的比较见表 1。

表 1 公共建筑热电冷供应的方案比较

| | 传统方案 | | | | | 新方案 |
|----|------|------|------|-----|------|-------------|
| | 方案一 | 方案二 | 方案三 | 方案四 | 方案五 | |
| 供电 | 市电 | 市电 | 市电 | 市电 | 市电 | 热电冷 联供机组 |
| 供热 | 城市供热 | 燃气锅炉 | 燃气锅炉 | 直燃机 | 电动热泵 | |
| 供冷 | 电制冷 | 电制冷 | 吸收制冷 | 直燃机 | 电动热泵 | |

用楼宇式天然气热电冷联供系统, 还可部分解决天然气负荷冬夏季的不平衡问题, 提高管网输送的经济性; 建立分布式供电系统, 以弥补大电网在安全稳定性方面的不足; 还具有第二代能源系统的特点: ① 燃料的多元化; ② 设备的小型、微型化; ③ 热

* 收稿日期: 2002-11-08; 修回日期: 2003-01-14
作者简介: 段洁仪(1964-), 女, 重庆人, 高级工程师, 硕士, 从事燃气热力工程的设计、咨询与研究。

电冷联产化;④ 网络化;⑤ 智能化控制和信息化管理;⑥ 高标准的环保水平。因此,楼宇式天然气热电冷联供系统受到了能源界的关注。

2 楼宇式天然气热电冷联供技术

楼宇式天然气热电冷联供技术是以小型燃气发电机组为核心,并配以余热锅炉及吸收式制冷装置的系统。它首先利用天然气燃烧产生的高温烟气在燃气机中做功,将一部分热能转变为高品质的电能,再利用发电机排出废热供热和制冷,从而实现了能源的高效梯级利用,降低燃气供热制冷的成本。

热电冷联产在国外应用较多,特别是 20 世纪 90 年代以来,随着燃气发电技术的发展和机组性能的提高,以燃气发电机为核心的小区和楼宇热电冷联产联供系统迅速发展。到 2000 年底,日本全国热电总装机容量为 2 212 MW,共 1 413 项,其中民用燃气热电总装机容量为 478 MW,共 1 002 项,平均每项目装机容量为 477 kW。

2000 年,我国重申了鼓励发展热电联产的政策,支持发展以天然气为燃料的燃气轮机热电冷联产项目,特别强调鼓励发展小型燃气发电机组组成的热电冷联产全能量系统。热电冷联供系统的优点为:

- (1) 实现天然气的梯级利用;
- (2) 能源综合利用率达 75%~85%;
- (3) 增加了建筑物的供电可靠性;
- (4) 为市电起削峰填谷作用;
- (5) 缓解供气系统的冬夏季节负荷差,增强天然气管线输送的经济性;
- (6) 仅要求与市电并网,比区域热电冷联供要求上网售电容易被供电部门接受;
- (7) 适用性广,可选设备多,系统形式多,可适应多种类型建筑的需求。

3 热电冷联供系统形式及特点

3.1 热电冷联供系统形式

楼宇式天然气热电冷联供的系统形式很多,根据燃气发电机种类、余热利用设备种类、发电机与市电的关系和系统运行时间不同来划分。

3.1.1 根据燃气发电机种类划分

(1) 燃气轮机热电冷联供(见图 1)

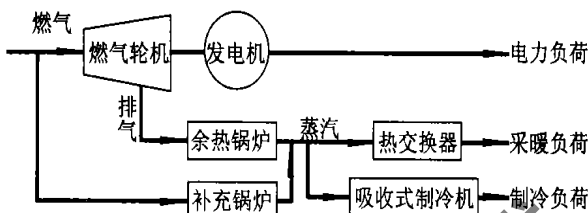


图 1 燃气轮机热电冷联供系统

(2) 燃气内燃机热电冷联供(见图 2)

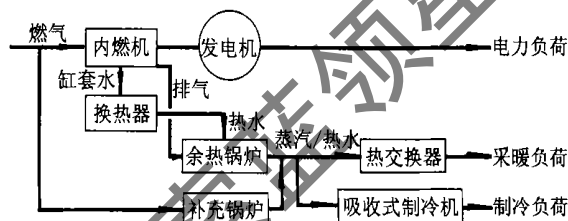


图 2 燃气内燃机热电冷联供系统

(3) 微燃机热电冷联供(见图 3)

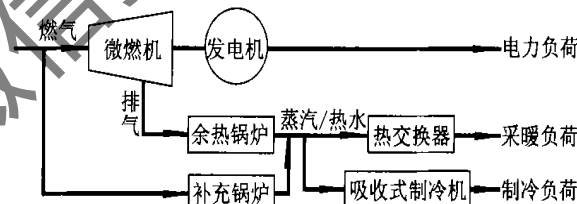


图 3 燃气微燃机热电冷联供系统

3.1.2 根据余热利用设备种类划分

(1) 传统余热锅炉+吸收式制冷机

根据供热介质(热水或蒸汽)的不同可进一步分为:

- ① 热水型余热锅炉+热水吸收式制冷机;
 - ② 蒸汽型余热锅炉+蒸汽吸收式制冷机。
- (2) 补燃型余热锅炉+吸收式制冷机(见图 4)

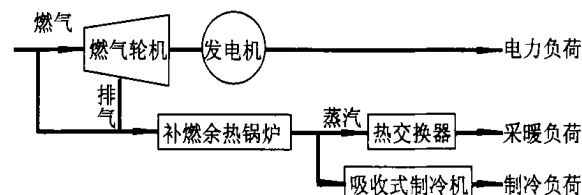


图 4 补燃型余热锅炉+吸收式制冷机形式

(3) 新型的余热直燃机形式

- ① 余热利用和补燃在直燃机高发端(见图 5)

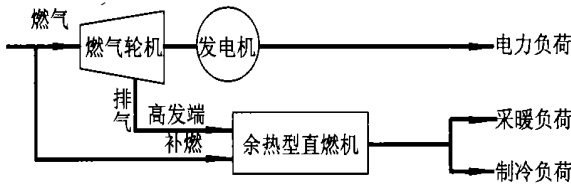


图 5 余热利用和补燃在直燃机高发端系统

② 直燃机低发端利用余热(见图 6)

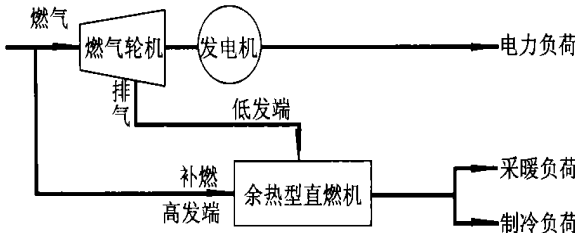


图 6 直燃机低发端利用余热系统

③ 排气高发利用、冷却水低发利用(见图 7)

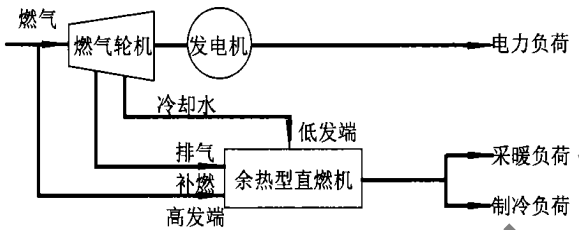


图 7 排气高发利用、冷却水低发利用系统

④ 排气直接进入直燃机的燃烧器在高发中燃烧(见图 8)

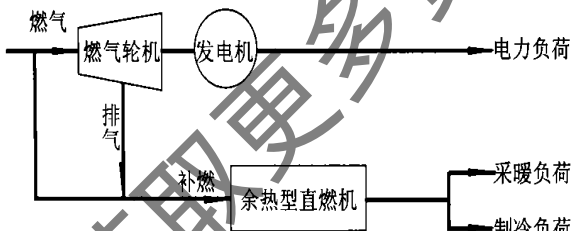


图 8 排气直接进入直燃机的燃烧器在高发中燃烧系统

3.1.3 根据发电机与市电的关系划分

- (1) 发电机与市电并网运行: 发电机供基本电负荷或始终控制一定的购买电量;
- (2) 发电机与市电切网运行: 发电机供全部最大电负荷或部分最大电负荷。

3.1.4 根据系统运行时间不同划分

- (1) 全年连续运行: 发电机组全年不关机;
- (2) 季节性间歇运行: 一般采暖季和制冷季运

行, 过渡季不运行;

(3) 每天间歇运行: 后夜电负荷低时, 发电机组关机。

3.2 系统主要参

目前, 国内的可用于楼宇热电冷联供系统的发电机类型很多, 常用的主流类型是燃气轮机、内燃机和微燃机。发电设备系统主要参数见表 2。

表 2 燃气轮机、内燃机和微燃机的参数

| | 燃气轮机 | 内燃机 | 微燃机 |
|------------|---------|------------|---------|
| 发电效率/% | 20~33 | 25~40 | 26~30 |
| 系统总效率/% | 75~85 | 75~85 | 75~85 |
| 废气温度/°C | 450~650 | 400~550 | 200~300 |
| 换热器后温度/°C | 160~200 | 150~200 | 100~140 |
| 燃气进气压力/MPa | ≥1.0 | ≤0.2 | 0.5~0.6 |
| 发电机功率/kW | ≥1 000 | ≤6 000 | ≤200 |
| 价格/(元/kW) | 6 000 | 4 000 | 8 000 |
| 噪声/dB | 罩外 80 | 裸机 100~110 | 罩外 80 |

主要特点:

(1) 燃气轮机: 废气余热回收为蒸汽; 振动小, 没有必要设置特殊的防振设施; 采用水喷射、蒸汽喷射、预混合稀薄燃烧; 废气用氨、尿素脱硫; 发电效率低、余热量大; 排气温度高, 余热容易回收; 罩外噪声小; 不用冷却水或需少量冷却水; 输出功率受环境温度影响。

(2) 内燃机: 废气余热回收为热水或蒸汽, 冷却水余热回收为热水; 振动大, 需要设置防振设施; 采用稀薄燃烧; 废气用三元催化处理; 发电效率高, 余热利用复杂; 裸机噪声大; 输出功率的变化小; 发电机功率范围广; 可选生产厂家多。

(3) 微燃机: 废气余热回收为热水; 振动小, 没有必要设置特殊的防振设施; 输出功率受环境温度影响; 罩外噪声小; 发电效率低、发电功率小; 100 kW 以下可切网运行。

4 工程应用注意事项

4.1 设计要求

楼宇热电冷联供系统在系统设置、负荷匹配合理的情况下, 热电冷联供系统的优越性才能真正体现

现出来。根据国内外楼宇热电冷联供系统应用的经验,设计时必须注意的问题为:

- (1) 严格按设计流程先进行方案设计;
- (2) 准确预测热电冷负荷及负荷变化规律;
- (3) 根据负荷规律合理确定运行方式;
- (4) 合理选择发电机组类型和容量;
- (5) 最终优化设计热电冷系统。

4.2 楼宇热电冷联供的设计流程

楼宇热电冷联供系统设计流程见图 9。

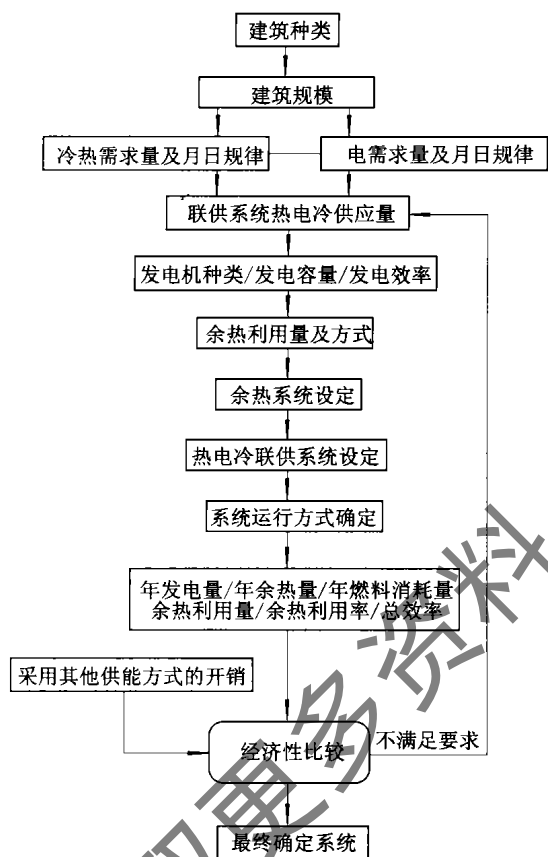


图9 燃气轮机热电冷联供系统设计流程

4.3 热电冷负荷的准确预测

(1) 根据建筑类型、使用规律、建筑围护结构、窗墙比、当地气象条件等预测冬季热负荷和夏季冷负荷及其月日规律;

(2) 分析建筑物各种用电负荷的特点,分别预测电负荷在冬季、夏季和过渡季的月日规律;

(3) 详细分析冷热电负荷在一年四季的匹配规律,以便确定合理的发电机容量及系统的运行方式。

4.4 根据负荷规律确定运行方式

(1) 根据建筑物冷热电负荷规律及数量和发电机组的最低运行负荷,确定后夜是否运行、过渡季是否运行、不同情况下的运行机组等。低负荷运行时效率降低,负荷低到一定程度甚至造成一些类型的发电机无法运行,因此需综合分析。

(2) 根据建筑物冷热电负荷规律及数量,确定发电机是否与市电并网。一般情况下,热电冷联供系统发电机与市电并网运行所带来的优势很多,如:发电机可在额定功率下运行,发电效率高,系统经济性优,可利用的余热稳定,余热利用简便,建筑物供电稳定等。

4.5 发电机组类型和容量的合理选择

(1) 若发电机与市电并网运行,则应根据基本用电负荷初选发电机组容量;若发电机与市电切网运行,则应根据全部或部分高峰用电负荷选择发电机组容量。

(2) 根据确定的发电机容量选择发电机类型。若单台发电机容量 ≥ 1000 kW,可选择燃气轮机或内燃机;若单台发电机容量 < 1000 kW,可选择内燃机;若单台发电机容量 < 200 kW,可选择微燃机。

(3) 根据初选的发电机容量和冷、热负荷情况,重新核定发电机类型和容量,尽量多地利用发电的余热,冷热尖峰负荷部分应补燃解决。根据冷热负荷衡量余热利用率后再次确定发电机组容量。

(4) 由于不同类型的发电机进气压力要求不同,因此还应根据建筑物所在地的燃气供应压力确定发电机类型。若建筑物附近有高压燃气管道,则可直接选用燃气轮机或微燃机,而不必加压或少加压;若建筑物附近仅有中压燃气管道,则可选用燃气内燃机。

4.6 热电冷系统优化设计目标

(1) 年运行成本最低

年运行成本包括:燃料费、折旧费、水费、人工工资、维修费、管理费等。由于不同类型发电机的大修年限不同、寿命不同,因此优化设计目标应为折现后的年运行成本。热电冷联供系统的年运行成本应与按传统热电冷解决方式设计的运行成本比较。

(2) 年平均综合能源利用率最高

年平均综合能源利用率应根据系统运行方式及运行规律实时计算后平均而得。综合能源利用率应为包括发电效率和余热利用效率在内的总效率。设备选择时不能仅仅追求高效的发电机,而忽略余热

回收部分的效率,应根据冷、热、电负荷的实际情况和发电机组、余热设备的技术特性匹配出年平均综合能源利用率最高的系统。

(3) 投资回收年限最短

投资回收年限的长短主要取决于投资和收益额的大小。系统发电所减少的外购电费用作为项目的收入进行分析,因此市电价格高的地区或部门,热电冷系统的收益大。对于一些重要的公共建筑,建筑物除多路供电以外,还另外设置备用发电机组应急,若考虑将备用发电机组配备余热利用设备解决部分冷热电需求,在进行经济分析时,原有备用发电机组投资应不计入三联供系统投资之列。

(4) 对环境影响最小

热电冷联供是环保型能源供应系统,天然气燃烧设备的排放指标本来就很小,再加上一些低氮处理技术,可使氮氧化物的排放值降得很低。但发电机噪声和振动的危害应在系统设计时合理解决。

(5) 发电机组优化配置宁小勿大

当建筑物的冷热电负荷预测有难度时,应本着宁小勿大的原则确定发电机发电能力和余热利用能力,电力不足部分由市电补充,热、冷不足部分由直燃机或锅炉+吸收式制冷机补充,以保证三联供系统的经济性。以避免出现由于设备选择过大、系统长期低效运行的不利情况。

(6) 发电系统稳定供电与市电并网

热电冷联供系统的稳定经济运行取决于发电机与市电的并网运行,对于 $>100\text{ kW}$ 的发电机应争取与市电并网,以提高供电的稳定性、连续性和系统运行的经济性。从发电机设备看,发电机的控制系统能够保证发电电压、频率与并联在一起的市电侧完全相同,且不对市电构成危害,市电侧及发电机侧均可采取措施保证相互的安全。

4.7 目前工程实施过程中所面临的问题

(1) 电并网

电并网是制约热电冷联供发展的重要因素。应允许楼宇热电冷联供系统并网,甚至上网。

(2) 发电机设备价格

目前热电冷联供系统的核心设备(发电机)为进口,设备价格较高,一般为 $4\ 000\sim 8\ 000\text{元/kW}$,影响系统的经济性。

4.8 楼宇热电冷联供系统的适用领域

根据国内外已实施的三联供系统情况和工程实践,认为在下列建筑物的适用性较好:

(1) 除多路供市电以外还另外设置备用发电机组应急的一些重要公共建筑物;

(2) 按本文所示设计流程进行优化设计后确实经济可行的建筑物;

(3) 天然气供应充足、稳定的地区;

(4) 有热电冷负荷供应要求,且热电冷负荷匹配合理的建筑物。

参考文献:

- [1] Sweetser R. S. The fundamentals of natural gas cooling[M]. USA: Fannont Press Inc., 1999.
- [2] Bunn K, Kurz R. Introduction to gas turbine theory[M]. USA: Solar Turbines, 2000.
- [3] 郑国耀. 黄浦区中心医院热电冷三联供工程设计与实践[J]. 动力工程, 1999(6): 1-2.
- [4] 徐士鸣, 崔 峨. 热电联产系统机组型式选择的热力学准则[J]. 煤气与热力, 1988(1): 47-49.
- [5] 徐士鸣, 崔 峨. 热电联产与分产系统分析法[J]. 煤气与热力, 1988(2): 52-59.
- [6] 曾志诚. 城市冷、暖、汽三联产系统及其经济性分析[J]. 煤气与热力, 1995(3): 49-50, 48.
- [7] 王慧颖, 黎九安, 康凤雷. 关于热电联产优惠政策的探讨[J]. 煤气与热力, 1999(5): 57-59.
- [8] 林承方, 鲁德宏. 吐鲁番市热电冷联产联供方案的探讨[J]. 煤气与热力, 2000(4): 303-304.
- [9] 侯根富, 王 威, 穆春峰. 燃气热泵式冷热水机组运行特性分析[J]. 煤气与热力, 2001(2): 133-135.
- [10] 胡文斌, 华 贲. 建筑物小型热电联供技术的研究展望[J]. 煤气与热力, 2002(2): 147-150.
- [11] 张炳文, 周振起, 胡思科, 等. 热电联产采暖的经济效益分析[J]. 煤气与热力, 2002(5): 391-395.
- [12] 盛凯夫, 饶如麟. 燃气机驱动冷热电联供系统的发展前景[J]. 煤气与热力, 2002(6): 510-514.