

北京南站冷热电三联供系统探讨

铁道第三勘察设计院集团有限公司 黄保民[☆] 朱建章

摘要 介绍了北京南站冷热电三联供系统设计,包括方案选择、负荷计算、系统配置、运行策略、节能分析等。认为使用燃气内燃机比燃气轮机更具优势,建议在电力并网前提下采用“以电定热”原则确定系统设备容量配置。

关键词 冷热电三联供 燃气内燃机 以电定热 北京南站 空调系统

Discussion of CCHP system in Beijing South Railway Station

By Huang Baomin[★] and Zhu Jianzhang

Abstract Presents the design of combined cooling, heating and power(CCHP)system in the project, including scheme selection, load calculation, system configuration, operation strategy, energy saving analysis and economic evaluation. Considers that using gas engine is more advantageous than gas turbine. Suggests using the “electrical demand first” rule for determining the equipment capacities of the CCHP system in the condition of electricity interconnection.

Keywords CCHP, gas engine, based electrical demand calculating heat demand, Beijing South Railway Station, air conditioning system

★ The Third Railway Survey and Design Institute Group Corporation, Tianjin, China



黄保民

主要设计项目

- 北京南站改扩建工程
- 石家庄至太原客运专线
- 北京至石家庄客运专线
- 石家庄至郑州客运专线

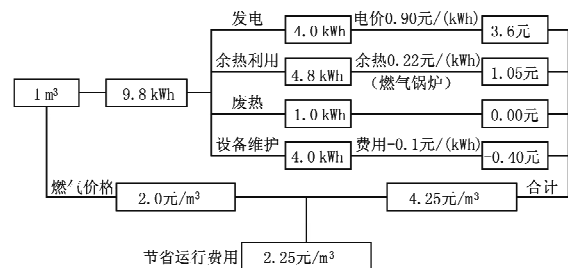


图2 运行费用简图

本文结合北京南站工程设计实践,就能源的高效梯级利用、可再生能源的利用进行探讨,旨在为广大同行提供设计参考,期望得到广大同行指正。

1 冷热电三联供系统

冷热电三联供系统是城市合理、高效使用天然气的最佳途径之一,可实现能量的梯级利用,较目前通常采用的直燃供冷、供热具有很好的节能性和经济性。图1,2定性给出其节能节费的效果。

由于三联供在能源转换效率方面具有突出的优势,使得其在世界各国的能源领域大都具有显著

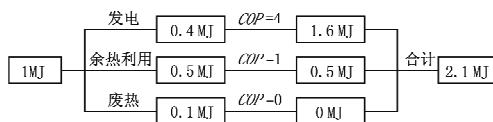


图1 节能性简图

地位。丹麦1980年后主要发展分布式能源。美国能源部CCHP发展计划中,分布式能源比例逐年提高,2010年前再增加4600万kW装机容量的小型冷热电联产的能力,2020年达到发电总装机容量的29%。日本制定了相关的法令和优惠政策,保证21世纪CCHP系统发展。国内冷热电三联供系统在上海浦东国际机场和北京燃气集团调度指挥中心等项目中得到了应用。

2 北京南站能源系统

☆ 黄保民,男,1975年10月生,工学硕士,高级工程师,设备所所长

300251 天津市河北区金沙江路33号增1号建筑分院

(0) 13516210830

E-mail: huangbaomin@tsdig.com

收稿日期:2010-03-08

北京南站位于北京市南二环右安门东滨河路以南,南三环西路以北,马家堡东路以西,马家堡西路以东,崇文区西南角与丰台区右安门地域的交界处。北京南站主要功能建筑面积约为 22 万 m²,其中高架候车厅建筑面积约为 4.8 万 m²,地下 1 层转乘厅建筑面积约为 6 万 m²,办公楼建筑面积约为 2.2 万 m²,车库建筑面积约为 9 万 m²。其中高架候车厅室内最大高度约 30 m。能源站独立设置在主站房西侧,距站房约 300 m。北京南站站房及站区示意图见图 3。



图 3 北京南站站房及站区示意图

2.1 空调方案

根据铁道部要充分体现节能、环保政策的要求,设计时经过对能源站多种总体方案的综合比较,结合北京南站地区的冷、热、气、电、水源等的实际情况,重点考虑能源系统的节能性和可靠性,提出了“冷热电三联供系统+电制冷机组+燃气锅炉”的整体设计方案;并遵照铁道部要求对水源热泵与冰蓄冷相结合方案进行比较。在方案深化的过程中,笔者注意到北京南站能源站与新的市政污水提升泵站相邻。调查显示,污水泵站设计流量 10 800 t/h,最小流量 1 800 t/h,在认真研究污水源热泵技术的基础上,笔者认为有如此得天独厚的外部条件,因地制宜采用污水源热泵代替水源热泵更加合理。最终方案确定为“冷热电三联供+污水源热泵”。本文不对污水源热泵系统作过多讨论,重点讨论冷热电三联供系统。

2.2 系统配置

2.2.1 全年冷热电负荷

该工程最大冷、热负荷分别为 12.5 MW 和 12 MW,相关变压器总容量为 18.4 MW,夏、冬典

型月冷热日负荷变化见图 4,5,图 6 为全年用电负荷变化曲线。

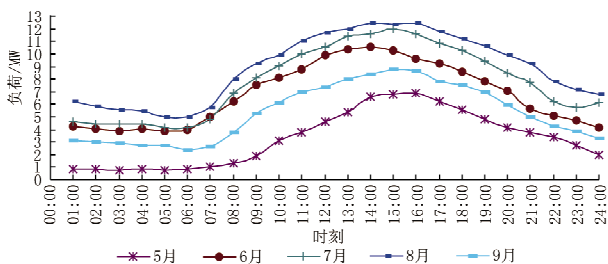


图 4 夏季各典型月日负荷变化曲线

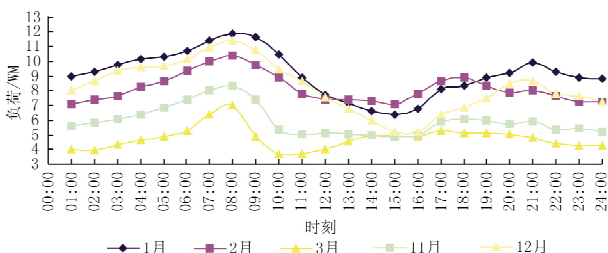


图 5 冬季各典型月日负荷变化曲线

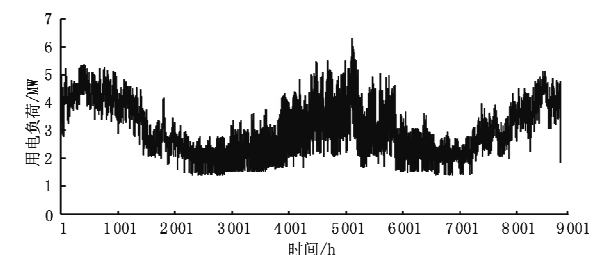


图 6 用电负荷变化曲线

2.2.2 系统设置

用于三联供系统的发电机形式主要有燃气轮机和燃气内燃机,大容量发电机组燃气轮机占有优势,小容量发电机组燃气内燃机占有优势。燃气轮机的主要缺点是发电效率低,小容量时发电效率衰减很大,在夏季环境温度高时又有衰减,主要优点是 NO_x 排放量低。燃气内燃机的主要优点是发电效率高,对节能和经济运行十分有利,主要缺点是 NO_x 排放量高。由于发电效率高是最关键的数据,综合比较后得出结论,冷热电三联供采用燃气内燃发电机组更具有优势。

内燃发电机的余热主要有两部分,烟气余热和缸套水余热。烟气余热可以有 2 种利用方式。一种是发电机的高温排气进入余热锅炉(可带补燃),产生蒸汽,通过蒸汽吸收式制冷机,产生冷热水供冷或供暖。这种系统是典型系统,特别适用于有蒸汽需求的场合。另一种是发电机的高温排气直接进入烟气型(可带补燃)溴化锂吸收式冷热水机组,

产生冷热水供冷或供暖。这种系统是新型系统,中间省去了余热锅炉,使系统更加紧凑、简单,目前国内有若干应用实例。

经综合比较,北京南站采用直联烟气型溴化锂吸收式机组余热利用方式。

烟气余热设备利用后排出的烟气温度仍然较高,在 150~170℃ 左右,损失约 10% 的能量。北京南站利用烟气型溴化锂吸收式机组冬季按热泵工况运行,以 150~170℃ 烟气作为热源,提取其中的显热和潜热,从而进一步利用烟气废热,提高能源利用率约 7%。

2.2.3 设备容量

一般情况下,利用三联供系统满足整个建筑的冷热电负荷是不合理的,因此发电机容量的确定是整个三联供系统的核心问题。不同于常规空调系统设备容量确定(只需要确定最大设计负荷),需要准确模拟计算全年逐时冷、热、电负荷,确定在各种不同负荷情况下的运行策略,通过类似循环逼近的

复杂计算过程,确定最经济合理的容量。

通过多次模拟计算及分析,并调查了北京西站、上海南站实际用电量情况,对模拟计算结果进行修正,同时考虑到并网点的数量和难易程度,确定采用 1 600 kW 左右容量的内燃发电机 2 台。

系统配置为:设计采用容量为 1 570 kW 内燃发电机 2 台,发电余热来自 510℃ 高温烟气、110℃ 高温缸套水、60℃ 低温中冷水。烟气流量 2.45 kg/s,缸套水热量 508 kW/台,中冷水热量 446 kW/台。与发电机组对应设置 2 台烟气热水型溴化锂制冷机组,制冷量 1 622 kW,制热量 2 221 kW。

2.2.4 发电并网

发电机所发电并非只用于能源站的制冷空调,而是升压接至 10 kV 变电所供站房和能源站所有用电设备使用。只有这样才能充分利用自发电,在用电最低负荷附近基本只用自发电,当自发电不足时由并网的市政电网自动补充,因此与市政电网并网是三联供系统合理运行的前提。并网接线原理图见图 7。

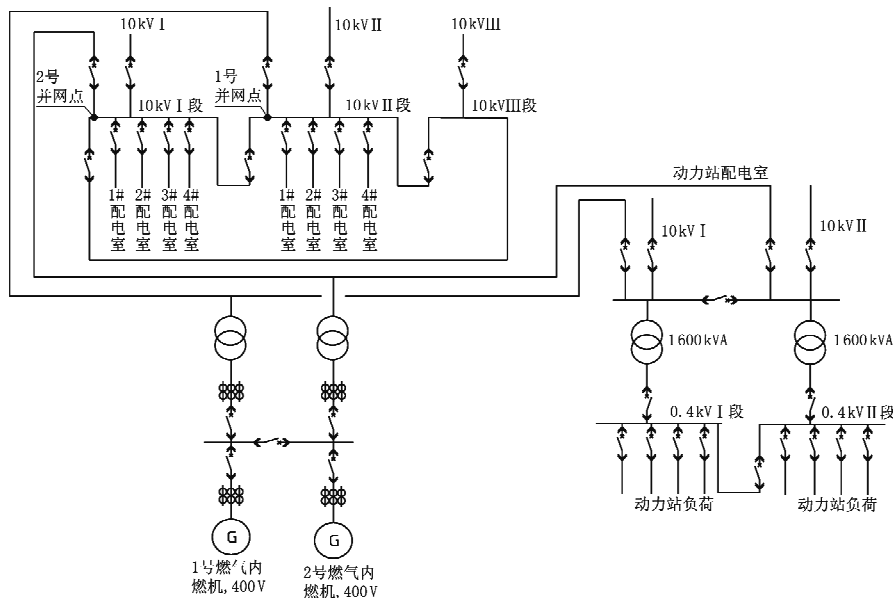


图 7 并网接线原理图

2.3 运行策略

北京南站能源系统的整体运行策略是:冷热基础负荷时,三联供系统运行;高于基础负荷时,三联供加污水源热泵系统运行;特殊情况下,如发电机故障,溴化锂制冷机补燃运行。

图 8~12 分别是以实行峰谷电价,谷价时发电机停止运行的典型日运行模拟结果。

2.4 系统配置比例

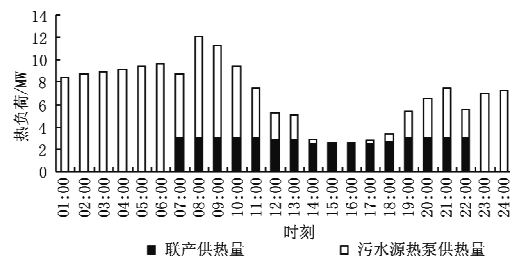


图 8 1 月典型日热负荷

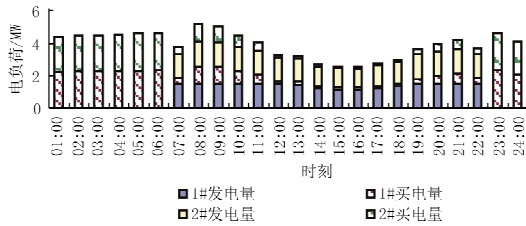


图 9 1月典型日电负荷(1#,2#指发电机)

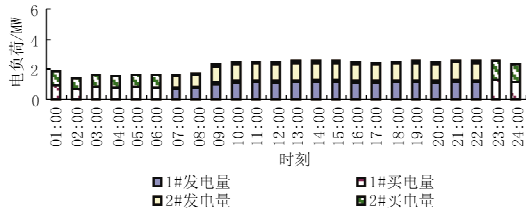
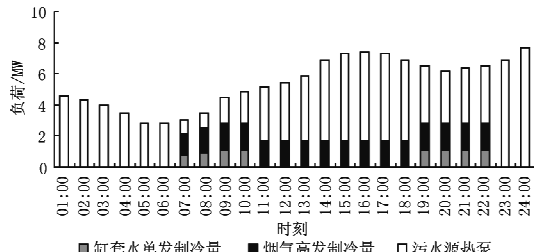


图 10 4月典型日电负荷(1#,2#指发电机)



注：缸套水单发制冷量指高温缸套水经过溴化锂制冷机低压发生器的制冷量，烟气高发制冷量指的是高温烟气经过溴化锂制冷机高压发生器的制冷量。

图 11 8月典型日冷负荷

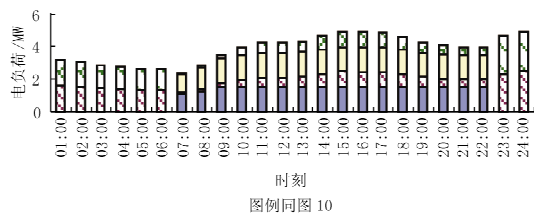


图 12 8月典型日电负荷

根据北京南站负荷和设备配置，模拟计算出冷热电三联供系统提供冷、热、电占各自全年能耗的比例，见表 1。

表 1 冷热电三联供系统提供冷、热、电所占各自全年能耗的比例

	能量/(万 kWh)	占全年能耗的比例/%
发电机废热制冷	332	37
发电机废热供热	503	27
发电机发电	1 263	34.06

2.5 节能性分析

对三联供系统节能率与两种对象进行比较，一是按照天然气大型联合循环系统发电效率 50% 进行比较^[1]，该比较对象目前节能性最高；二是按照北京用能的实际情况进行比较。

三联供系统的节能率定义为：在产生相同热量（冷量）与电量的条件下，三联供系统与常规系统的燃料节约率。

2.5.1 与对象一比较

1) 冬季

冷热电三联供系统冬季节能率按式(1)计算，不同发电效率下冬季的节能率见图 13。

$$x = \frac{\eta_e + \eta_k - 1}{\eta_{ce} + \frac{\eta_k}{\eta_b}} \quad (1)$$

式中 x 为三联供系统节能率，%； η_e 为三联供发电效率，%； η_{ce} 为联合循环电厂发电效率与电网输配效率的乘积，%； η_k 为三联供供热效率，%， $\eta_k = \eta - \eta_e$ ，其中 η 为三联供总效率，%； η_b 为燃气锅炉效率，%。

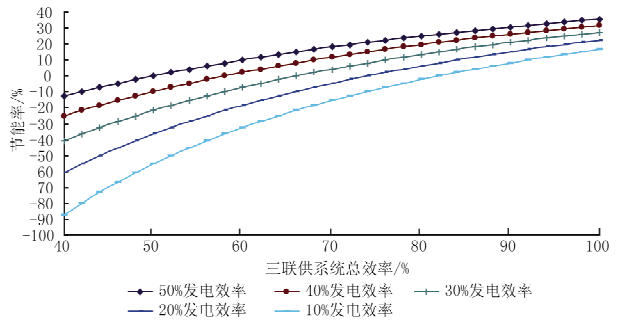


图 13 三联供系统冬季节能率

2) 夏季

冷热电三联供系统夏季节能率按式(2)计算，不同发电效率夏季的节能率见图 14。

$$x = \frac{\eta_e + \eta_k \frac{COP_a}{COP_c} - 1}{\eta_{ce} + \frac{\eta_k \frac{COP_a}{COP_c}}{\eta_b}} = \frac{\eta_e + \eta_k \frac{COP_a}{COP_c} - \eta_{ce}}{\eta_e + \eta_k \frac{COP_a}{COP_c}} \quad (2)$$

式中 COP_a 为吸收式制冷机的 COP ； COP_c 为压缩式制冷机的 COP 。

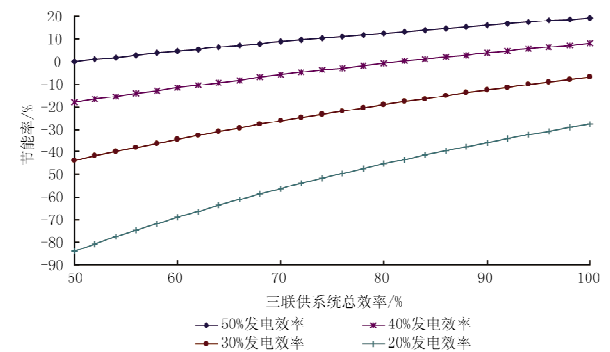


图 14 三联供系统夏季节能率

模拟计算结果表明,北京南站能源系统全年运行节能率为 12%。

2.5.2 与对象二比较

目前,发电效率 50% 的燃气发电站在我国尚未发展起来,实际情况是天然气在供暖空调中基本直接用于燃气锅炉或直燃机。北京南站与常规系统能源利用比较详见表 2。

表 2 北京南站能源系统与常规系统能源利用比较

转化结果/MJ	1 MJ 天然气利用率			
	锅炉	直燃机	北京南站能源系统	
	冬季(COP=0.95)	夏季(COP=1.3)	冬季(COP=2.8)	夏季(COP=3.47)
节能率/%	0.95	1.3	1.62	1.89
			67	59

因此不难看出,三联供系统的实际节能意义非常巨大。

2.6 节水、环保性分析

采用污水源热泵系统,取消冷却塔可减少冷却塔的飘水和蒸发补水量,每年节水约 7 万 t。

三联供系统以天然气为燃料,天然气是优质、高效、清洁的理想能源,天然气燃烧后产生的温室气体只有煤炭的 1/2,石油的 2/3;同时利用吸收式冷热水机组承担部分冷热负荷,减少含氯氟制冷剂排放量。欧洲委员会在“大气改变对策的能源框架”中,将热电联产放在非常重要的位置。三联供系统被认为是对实现排放目标贡献最大的一项技术,其减少 CO₂ 排放量占总目标的 1/4。

北京南站能源站三联供系统与常规系统相比,节电约 420 万 kWh/a。节能量折合标准煤约为 1 600 t/a,减排 CO₂ 约 4 000 t/a,减排 SO₂ 37 t/a。

2.7 经济性分析

初投资及运行费用计算结果见表 3。

表 3 北京南站能源系统与常规系统经济比较

	常规系统	北京南站能源系统
设备初投资/万元	3 227	6 044
电网预备费/万元	0	64.8
运行维护费增加/万元	0	145
节水费/万元	0	21.6
运行费年节省/万元	0	586.8
回收期/a		4.8

(上接第 93 页)

达到 1.2 MPa,但高区系统最低散热器在地上 50 m 以上,其工作压力至少应减去与系统最低点的高差 57.5 m,最大工作压力只有 0.625 MPa。而铸铁散热器的允许工作压力有 0.8 MPa 和 0.5 MPa 两个级别,可以采用允许工作压力为 0.8 MPa

从表 3 中可以看出,北京南站能源系统方案的初投资在 5 a 内可以回收。

2.8 结论和建议

冷热电三联供系统实现了对能量的梯级利用,是节能、经济、环境友好的用能方式,铁路客运专线站房的冷、热、电负荷比较稳定,在其他条件具备的情况下,可积极推广采用。

在电力并网不上网的前提下“以电定热”的设计方式确定系统的设备容量及配置是科学的,但这里的“以电定热”中的电指的是项目全年模拟用电曲线上最小用电量值。

从节能的角度考虑,发电效率是最关键的数据,燃气内燃机发电效率高于燃气轮机,冷热电三联供采用燃气内燃发电机组更具有优势。

冷热电三联供系统设计、调试和科学运行具有一定复杂性,需要进行大量细致的工作,尤其要重视与电力专业的配合,否则将与目标相差甚远。

3 结语

北京南站在冷热电三联供技术应用方面进行了有意义的尝试,同时以此为基础,笔者所在单位与清华大学共同完成了 2007 年国家 863 课题的立项工作,题目为《高效天然气热电冷联供技术集成及示范研究》。目前由于并网工作开展缓慢,我们将根据现场情况进行单机调试和孤岛运行,这将影响系统的整体运行效率,但并网是大趋势,各方也在不断努力,力争实现并网,在随后的调试、运行、数据分析过程中,我们会密切跟踪,总结出更多的经验和教训,使工程拥有良好的经济性的同时,能源利用完善程度争取达到国际领先水平。

参考文献:

- [1] Martens A. The energetic feasibility of CHP compared to the separate production of heat and power [J]. Applied Thermal Engineering, 1998, 18 : 935-946

的铸铁散热器,例如 TZ4-6-8,代号中的 4 表示四柱,6 表示进出水口中心距为 600 mm,8 表示允许工作压力为 0.8 MPa。额定工作压力 1.0 MPa 的散热器调节阀当然更无问题了。选用其他材料(例如塑料管)或构件时对工作压力的考虑,同样也适用以上方法。