



冷热电三联供系统研究(5): 磁悬浮离心式冷水机组的应用

湖南大学 殷 平[☆]

摘要 提出了冷热电三联供(CCHP)系统的一种新的设计方法,将集中设置在能源站中的普通离心式冷水机组采用磁悬浮离心式冷水机组替代,并分散设置在园区多个制冷站内,室外冷热水管网按供暖负荷或部分冷负荷设计。工程实例的经济分析结果表明:CCHP系统的初始投资和运行费用降低,多项经济指标均高于国家有关部门CCHP系统的规定,经济效益明显。

关键词 冷热电三联供系统 磁悬浮离心式冷水机组 室外冷热水管网 经济分析 节能

Research of combined cooling heating and power systems (5): The application of centrifugal magnetic suspension water chillers

By Yin Ping[★]

Abstract Puts forward a new design method of CCHP system, which replaces the conventional centrifugal water chillers grouped on the energy stations by the centrifugal magnetic suspension water chillers dispersed on multiple refrigerating stations in the garden district and designs the outdoor hot and cold water pipe network based on the heating load or part of the cooling load. Project economic analysis shows that the CCHP system reduces the initial investment and operating costs and a number of economic indicators are higher than the requirements on CCHP systems stipulated by the relevant national authorities, and the economic benefit is obvious.

Keywords CCHP system, centrifugal magnetic suspension water chiller, outdoor hot and cold water pipe network, economic analysis, energy saving

★ Hunan University, Changsha, China

①

0 引言

冷热电三联供(CCHP)系统的室外冷热水管网一般均采用冷热水共网方式,由于冷水温差小于热水温差,考虑到运行的经济性,因此室外管网的设计一般都按照冷水管网的设计原则和方法进行。国内对推广区域供冷持否定态度的一方,其主要论据之一是输送同样的冷量要比输送同样的热量需要更大的管道、水泵,因此经济性甚差;论据之二是冬季热负荷波动不大,而夏季冷负荷变化十分明显,供冷的效率明显低于供热;论据之三是长距离输送冷水,能量损失很大。CCHP系统与单纯的区域供冷不同,其经济性受多方面因素的综合影响,近年来消除雾霾天气、保护空气环境的呼声甚高,减少煤电的比例,甚至在部分大城市取消燃煤发

电,发展燃气CCHP已是大势所趋,区域供冷已无法回避。在这种形势下,国内空调学术界应该深入探讨和研究改善上述弊病的有效途径,不但应提高区域供冷的经济性,更应改善CCHP系统的性能。笔者提出了一种新的CCHP系统设计方法,冀图在这方面有所突破。

1 工程实例

某CCHP工程地处南昌市,规划总用地面积约154.7 hm²,总建筑面积353.5万m²,空调面积195万m²,是华中地区重大物流项目。园区内主

①[☆] 殷平,男,1944年3月生,大学,教授
510655 广州市天河区员村西街2号大院45号139C
(0) 13902250756
E-mail: pingyin@vip.sina.com
收稿日期:2013-11-28

要建筑为大型商业建筑,其余为办公建筑、旅馆及商业街。空调设计负荷为 177.81 MW,供暖设计负荷为 88.82 MW,全年供冷时间为 2 040 h,全年供暖时间为 1 120 h。表 1 和表 2 列出了 CCHP 系统的主要设备及性能。

表 1 CCHP 系统主要电力设备及性能

	燃气轮机	余热锅炉	汽轮机	冷却水泵	冷却塔
发电量/MW	65.66		22.16		
用电量/MW	1.87			0.264	0.088
产汽量/(t/h)		94.39			
可抽蒸汽/(t/h)		17.86	60		

表 2 CCHP 制冷系统主要设备及性能

	溴化锂机组	离心式机组	一次冷水泵	冷却水泵	冷却塔	二次冷水泵	二次热水泵
冷量/MW	69.84	105.48					
功率/MW	0.167	18.52	3.32	3.38	1.33	5.6	1.6
蒸汽用量/(t/h)	77.86						
冷水量/(t/h)	12 010	18 139	30 150			30 150	7 620
冷却水量/(t/h)	18 136	21 876		40 012			

2 新方法诠释

CCHP 的主要目的是通过能源的梯级利用来提高一次能源的利用率,国内已颁布执行的相关标准和规定均将 CCHP 的年平均能源综合利用率的下限定在 70%,因此国内推行的区域性 CCHP 系统的原动机一般都是由燃气轮机、余热锅炉和汽轮机组成。由于 CCHP 系统的负荷特点,余热锅炉通常采用双压锅炉,汽轮机为抽凝式汽轮机。为保证年平均能源综合利用率达标,可供给蒸汽溴化锂冷水机组的蒸汽一是来源于抽凝式汽轮机,二是来源于双压锅炉的低压端,可用的最大蒸汽量是一定的,所以制冷系统除了采用利用余热的溴化锂冷水机组外,还需要配套一定数量的电制冷冷水机组,例如离心式冷水机组。由表 2 可以看出,对于本工程实例,由于每台蒸汽轮机可抽最大蒸汽量为 30 t/h,每台双压锅炉可供低压蒸汽 8.93 t/h,合计 77.86 t/h,可满足 12 台制冷量 5 820 kW/台的蒸汽溴化锂冷水机组的蒸汽需求,总供冷量为 69.84 MW,供冷量不足部分,即剩余的 108 MW 冷量需由电制冷机组承担,原设计采用 10 台制冷量为 10 548 kW/台的离心式冷水机组。溴化锂机组和离心式机组的供冷量之比为 0.65 : 1。

本工程原设计空调冷水初温为 7℃,温差为 5℃,供热热水初温为 60℃,冷(热)水管网按冷水管网设计。本工程占地面积较大(154.7 万 m²),冷(热)水管网的初投资达 1.8 亿元,占总投资的 20.6%。

冷(热)水管网设计是目前国内 CCHP 系统设计中的一大难题:1) 冷水温差小,水量大,本工程冷水量达 30 150 t/h,管网初投资超高;2) 长距离输送,冷(热)水最远输送距离达 2.16 km,水泵扬

程高,运行费用居高不下;3) 当冷负荷很小时,也需要通过庞大的室外管网长距离输送冷水;4) 一个能源站通过枝状管网向各个建筑物提供冷(热)水,由于距离差异明显,所以需要采用切实可行的平衡手段。

磁悬浮离心式冷水机组具有以下特点:1) 名义工况下的 COP 可达 6.1,已经达到 GB/T 19577—2004《冷水机组能效限定及能源效率等级》规定的冷水机组能源效率等级指标的 1 级,而 IPLV 可达 8.5 以上,全年能耗明显低于常规的离心式或螺杆式冷水机组;2) 多机头配置,即使是空调负荷低至 10%,也可高效运行;3) 体积小,质量轻;4) 振动极小,噪声低;5) 寿命长,维护简单。

考虑上述因素,笔者提出一种 CCHP 系统新的设计方法。能源站除了原动机外,只设置溴化锂冷水机组和换热装置,电制冷机组在园区内分散设置,将原设计的普通离心式冷水机组更换为磁悬浮离心式冷水机组。下面通过上述工程实例加以说明。

1) 能源站只设置原动机、蒸汽溴化锂冷水机组和换热装置,由于园区供热量为 88.82 MW,大于溴化锂机组的供冷量(69.84 MW),如果冷(热)水管网根据供热工况设计,热水温差为 10℃,冷水温差可按 8℃(7.86℃)运行;

2) 根据建筑物规模、功能和位置设置 15 个制冷站,能源站提供的冷水与制冷站制备的冷水混合,向各个建筑物供冷;

3) 在部分负荷时,可以少开或停开溴化锂冷水机组和二次冷水泵,多余的蒸汽用于发电,CCHP 系统的年平均能源综合利用率可以进一步提高。

3 经济分析

如上所述,将集中在能源站布置的普通离心式冷水机组更换为分散布置的磁悬浮离心式冷水机组的设计方案,将明显提高 CCHP 系统的经济性。表 3 为传统方案与新方案的初投资比较,表 4 为传统方案与新方案的部分运行费用比较。表 5 为传统方案和新方案的经济比较。

表 3 传统方案与新方案的初投资比较

	传统方案	新方案
冷水机组/万元	4 740	7 710
二次冷水泵/万元	462	105
外网/万元	17 990	6 296
合计/万元	23 192	14 111
比较	1	0.61

表 4 传统方案与新方案的运行费用比较

	传统方案	新方案
冷水机组/万元	1 151.6	688.5
二次冷水泵/万元	314.3	89.2
合计/万元	1 465.9	777.7
比较	1	0.53

注:1) 本工程的普通离心式冷水机组的 IPLV 为 5.14,磁悬浮离心式冷水机组的 IPLV 为 8.68;2) 本工程空调负荷率为 0.582;3) 本工程发电成本传统方案为 0.521 元/(kW·h),新方案为 0.526 元/(kW·h)(按照现行的财务规定算法,新方案磁悬浮离心式冷水机组的折旧费、维修费和其他费用高于传统方案,实际上磁悬浮离心式冷水机组的使用寿命高于普通离心式机组,维修费则更低,因此新方案的发电成本更低,本表仍采用现行的财务算法)。

4 讨论

1) 虽然少数厂家的普通离心式冷水机组名义工况下的 COP 已高达 6.4,但是与磁悬浮离心式冷水机组相比,其综合部分负荷性能系数(IPLV)却明显偏低。本工程由于大部分建筑为物流交易中心,平时的客流量远远低于交易大会时的客流量,而设计人数系按交易大会期间考虑的,所以部分空调负荷远小于一般公共建筑,如表 4 所示,采用磁悬浮离心式冷水机组后,仅冷水机组一项就减少运行费用 40%,节能效果十分明显。

2) 本工程采用空调末端设备供暖,根据空调机组国家标准,热水初温为 60℃,由于能源站输送的热水热量大于冷水冷量,根据投资方的要求,外网按 10℃温差的供暖管网设计。在长江流域当采用空调末端设备供暖,热水初温为 60℃时,供热量一般均明显高于达到供暖室内设计温度所需的热量,由于中国人的穿衣习惯,在这些地区,冬季商场过热现象十分明显,因此如果室外冷热水管网按 10℃冷水温差设计,热水温差将可提高到 14.82

表 5 CCHP 系统传统方案和新方案的经济比较

	新方案	传统方案
装机容量/MW	87.818 0	87.818 0
建设投资/万元	79 661	87 573
单位投资/(元/kW)	9 071	9 972
流动资金/万元	1 200	1 265
销售收入(平均)/万元	32 256	31 912
总成本费用(平均)/万元	26 961	27 839
销售税金(平均)/万元	3 041	2 785
增值税(平均)/万元	2 715	2 487
销售税金附加(平均)/万元	326	298
利润总额(平均)/万元	4 969	3 774
息税前利润(平均)/万元	6 104	5 019
净利润(平均)/万元	3 309	2 878
售电单价/(元/(MW·h))	734.62	734.62
售热、冷单价/(元/GJ)	76.21	103.25
单位发电成本(平均)/(元/(MW·h))	527.86	523.37
单位售电成本(平均)/(元/(MW·h))	551.32	544.70
单位供热、冷成本(平均)/(元/GJ)	68.91	79.15
单位售热、冷成本(平均)/(元/GJ)	73.29	85.02
项目投资净现值/万元	22 715.1	7 106.6
项目投资回收期/a	7.93	9.41
项目投资内部收益率/%	10.88	8.15
项目资本金净现值/万元	19 796.2	4 134.1
项目资本金投资回收期/a	25.81	12.25
项目资本金内部收益率/%	12.90	8.11
投资方内部收益率/%	10.08	8.73
投资方回收期/a	13.31	14.66
总投资收益率/%	7.55	5.65
资本金净利润率/%	20.31	16.08
投资利润率/%	6.15	4.25
投资利税率/%	9.91	7.38
贷款偿还期/a	9.41	9.41
盈亏平衡点(平均)/%	66.0	73.6

℃,在确保供暖效果的前提下,管网的初投资和运行费用可进一步减少。

3) 在上述经济分析中,还有三项额外的收益未计入:① 区域供冷规模大幅度缩小,原由用户承担的接入费(板式换热器间)明显降低;② 如果依然执行当地发改委有关 CCHP 系统的财务审核标准,投资方内部收益率不低于 10%即可核准建设,本工程新方案投资方内部收益率已达到 12.56%,如果投资方内部收益率依然保持在 10%,则冷热价可从 116.68 元/GJ(0.42 元/(kW·h))降低到 86.118 元/GJ(0.31 元/(kW·h)),已低于当地集中空调和供暖系统的冷价和热价;③ 空调部分负荷时,少开或停开溴化锂冷水机组和二次冷水泵,溴化锂冷水机组所用的一部分蒸汽可以转用于发电,CCHP 系统的收益将进一步增加。

4) 为进一步提高室外冷热水管网的经济性,

当管网按 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冷水温差设计时,为确保空调末端装置的冷量不减少,可以调低磁悬浮离心式冷水机组的冷水温度,由于磁悬浮离心式冷水机组在 $3\sim 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的出水温度下都有很高的 COP 值,所以系统效率变化甚微。

5) 国内在评价 CCHP 系统时,普遍认为冷、暖、电设备集中在一个能源站时机房占地空间将明显小于分散机房布置,这里往往忽略了一个冷却塔所占空间的问题,本工程原设计冷却水量达 $43\ 600\text{ t/h}$ (包括原动机用冷却水),如此巨大的冷却水量所需的冷却塔的占地面积在具体设计时极难处理,CCHP 能源站的占地面积往往大大超过计划面积。采用新设计方法后,突出的优势是:① 磁悬浮离心式冷水机组的占地面积一般只有普通离心式冷水机组的 50% 左右,在相同的冷量下,机房总面积明显减小;② 可以充分利用园区内建筑物的非有效面积设置制冷机房;③ 有更多的屋面可以布置冷却塔,确保获得理想的冷却效率。

5 结论

5.1 冷热电三联供(CCHP)系统的室外冷热水管网一般均采用冷热水共网方式,由于冷水温差小于热水温差,考虑到运行的经济性,因此室外管网的设计一般都是按照冷水管网的设计原则和方法进行,系统冷水量大,温差小,所以室外冷热水管网的初投资和运行费用居高不下,成为影响 CCHP 系统经济性的重要因素之一。

5.2 提出了一种 CCHP 系统新的设计方法:CCHP 能源站除了原动机外,只设置溴化锂冷水机组和换热装置,将能源站内集中设置的普通离心式冷水机组更换为在园区分散设置的磁悬浮离心式冷水机组。

5.3 采用新设计方法后,CCHP 系统的经济性明显提高,工程实例表明制冷系统(电制冷主机、二次冷水泵、室外冷热水管网)的初投资减少 39% ,运行费用减少 47% ,投资方内部收益率提高近 40% 。