

# 蒸汽溴化锂机组用于 热电厂的效益分析

苏州大学 张晓辉<sup>☆</sup>

上海电力设计院 陈效孺

**摘要** 为便于比较电动压缩式制冷机与蒸汽溴化锂吸收式制冷机的性能,在对现有制冷机性能评价指标分析基础上,提出了修正后的电动压缩式制冷机的性能系数——等效性能系数。结合某热电厂制冷空调系统改造工程实例进行了效益计算,结果表明利用热电厂抽汽驱动蒸汽溴化锂吸收式制冷机制冷具有节电效益。

**关键词** 等效性能系数 蒸汽溴化锂吸收式制冷机 热电厂 节电

## Economic benefit analysis of lithium bromide absorption refrigeration units applied to cogeneration plants

By Zhang Xiaohui<sup>★</sup> and Chen Xiaoru

**Abstract** In order to compare the performance of electric-driven compression type refrigerating machine and steam-driven lithium bromide absorption machine, defines a modified performance coefficient—equivalent performance coefficient based on the analysis of existing indices for electric-driven compression type refrigerating machines. With an example, analyses the economic benefit of applying lithium bromide absorption refrigerating machine to cogeneration plant. The results show that it can save electricity.

**Keywords** equivalent performance coefficient, steam-driven lithium bromide absorption refrigerating machine, cogeneration plant, electrical power saving

★ Suzhou University, Suzhou, Jiangsu Province, China

①

在热电联产电动制冷和热电冷(溴化锂制冷)联产中,制冷装置的选取除与制冷负荷有关外还与其性能系数有关,现有评价制冷机能量指标方法各有优缺点,文献[1-5]从不同角度探讨了热电冷联产和热电联产电动制冷的节能效果,由于研究对象及方法的不同,各有其合理性和局限性。

本文在分析比较现有制冷机组性能评价方法的基础上,提出了针对压缩式制冷机的修正后的性能系数,使溴化锂吸收式制冷机与压缩式制冷机性能具有可比性。并结合某热电厂实际空调系统改

造工程具体情况进行了效益分析。

### 1 压缩式制冷机性能系数的修正

目前,分析比较溴化锂吸收式制冷机与压缩式制冷机性能的指标主要有以下几个。

①<sup>☆</sup> 张晓辉,男,1969年5月生,工学博士,讲师  
215006 苏州大学物理科学与应用技术学院 155#  
(0512) 61080967  
E-mail: xhzhang@suda.edu.cn  
收稿日期:2004-06-25  
修回日期:2005-11-18

### 1.1 制冷系数和热力系数

这是评价制冷机性能最常用的指标,对于压缩式制冷机称为制冷系数,对于吸收制冷机称为热力系数,统称为性能系数  $COP$ 。

对于压缩式制冷机:

$$COP_c = \frac{Q_l}{W} \quad (1)$$

对于吸收式制冷机:

$$COP_a = \frac{Q_l}{Q_h} \quad (2)$$

式(1),(2)中  $COP_c$  为压缩式制冷机性能系数; $Q_l$  为制冷量; $W$  为耗功量; $COP_a$  为吸收式制冷机性能系数; $Q_h$  为耗热量。

### 1.2 效率

对制冷系统来说,效率定义为

$$\eta_{ex} = \frac{E_g}{E_p} \quad (3)$$

式中  $E_g, E_p$  分别为系统中收益的 ■ 和消耗的 ■。在相同制冷量情况下,电动压缩式制冷机与蒸汽溴化锂吸收式制冷机的 ■ 效率几乎相等。

### 1.3 当量热力系数

对吸收式制冷机来说,热力系数仅表明产生一定的冷量需要消耗的热量,并没有反映出这些热量的产生过程及效率。效率考虑了能量的品位,因而可以判断系统或设备内部有效能利用的程度和不可逆程度,但也没有反映出所耗热量的来源和经历及其已经利用的程度,所以用作评价不同类型的制冷机都存在缺陷。电能大都由火力发电厂燃料燃烧产生,文献[1]将消耗一定量的燃料所产生的冷量作为能量指标,称作当量热力系数或折合热力系数,以  $\zeta$  表示。

对于溴化锂吸收式制冷机,如采用汽轮机抽汽作为热源,溴化锂吸收式制冷机当量热力系数可表示成

$$\zeta_s = \frac{Q_l}{Q_h} \eta_p = COP_a u \eta_p \quad (4)$$

式中  $\eta_p$  为管道输送效率; $u$  为燃料燃烧产生的单位高位热折算成抽汽口处的热量。

文献[1]给出了抽汽压力不超过 0.6 MPa 时三个不同蒸汽参数的  $u$  值,根据该值计算出的溴化锂吸收式制冷机当量热力系数远大于压缩式制冷机。从而说明以热电厂汽轮机抽汽为热源的溴冷

机是节能的。然而,由于许多双效溴化锂制冷机组热源蒸汽的设计压力为 0.6 MPa,低于 0.6 MPa 将会使制冷机出力及性能下降,考虑到热网的输送压力损失,双效溴化锂制冷机组运行需要的抽汽压力要高于 0.6 MPa,由此会使  $u$  值变小。

另外,从上述计算中可发现,抽汽制冷的蒸汽热能折算成燃煤量时,热电燃料分摊采用的是热量法。

事实上,汽轮机抽出的蒸汽或背压排汽是做过功的,所含热能品位低,而电能是高品质能,所以单纯把制冷系数和热力系数相比较是不恰当的,为克服分析法和当量热力系数的不足,考虑到压缩式制冷机中电能  $W$  通过电厂热耗量  $Q_s$  转换而来,其转换效率  $\eta$  为

$$\eta = \frac{W}{Q_s} \quad (5)$$

对压缩式制冷机性能系数进行修正,引入等效性能系数:

$$COP_{cd} = \frac{Q_l}{Q_s} = \frac{Q_l}{W} \cdot \frac{W}{Q_s} = COP_c \eta \quad (6)$$

式中  $COP_{cd}$  为等效性能系数。

这样,蒸汽压缩式制冷机与吸收式制冷机相比较时,由于用相同性质的驱动热源,就具有可比性。 $COP_{cd}, COP_s$  是分析和比较压缩式制冷机与吸收式制冷机的指标。对于燃煤热电联产系统,由式(6)可见, $COP_{cd}$  不仅与电动压缩式制冷机本身制冷系数有关,还与电厂机组性能(电厂初参数、供热负荷率、运行状况等)有关。

若电动压缩式制冷机在调节抽汽热电联产机组中运行,夏季由于热负荷极低或没有,热电机组处于低效率运行,电动压缩式制冷机的等效性能系数很低;若采用蒸汽吸收式制冷机,则可收到良好综合效益。若电动压缩式制冷机处于大型冷凝式供暖热电机组中运行,夏季机组在经济状态下,电动压缩式制冷机的等效性能系数很高,这时采用蒸汽吸收式制冷机其效益表现在节电上。

一般地,对于吸收式制冷机,其性能系数  $COP_s$  小于 2,采用压缩式制冷时,根据所在发电厂具体情况,效率  $\eta$  在 0.3~0.45 之间,未修正前的压缩式制冷机制冷系数在 1.5~6 之间,根据机组和运行情况电动压缩式制冷机等效性能系数  $COP_{cd}$  在 0.5~2.7 之间。

## 2 蒸汽溴化锂吸收式制冷机在热电厂应用的实例

### 2.1 制冷系统设计

某热电厂供热机组型号为 CC140/N200-130/535/535, 机组有 7 级非调整抽汽和 1 级调整抽汽, 回热系统为 2 个高压加热器, 5 个低压加热器和 1 个除氧器。冬季工业用汽量 50 t/h(抽汽参数 1.2 MPa, 420 °C), 供暖用汽量 350 t/h(抽汽参数 0.24 MPa, 210 °C), 夏季设计为凝汽工况运行。机组主要参数见表 1。

表 1 CC140/N200-130/535/535 型机组主要热力参数

	参数		
锅炉	额定蒸发量/(t/h)	670	
	经济蒸发量/(t/h)	610	
	汽包压力/MPa	15.32	
	过热蒸汽压力/MPa	13.7	
	过热蒸汽温度/°C	540	
	排烟温度/°C	143	
	再热蒸汽入口/出口压力/MPa	2.63/2.38	
	再热蒸汽入口/出口温度/°C	312/540	
	给水温度/°C	244	
	给水压力/MPa	16.6	
	冷水温度/°C	39	
	热风温度/°C	322	
	汽轮机	额定功率/MW	200
		凝汽工况功率/MW	220
额定最大供热功率/MW		160	
主蒸汽温度/°C		535	
主蒸汽压力/MPa		12.7	
额定主蒸汽流量/(t/h)		610	
最大主蒸汽流量/(t/h)		670	
再热蒸汽压力/MPa		2.26	
再热蒸汽温度/°C		535	
额定再热蒸汽流量/(t/h)		535	
最大再热蒸汽流量/(t/h)		586	
额定供热蒸汽流量/(t/h)		203	
最大供热蒸汽流量/(t/h)		356	
供热压力/kPa		588	
背压/kPa		5	
冷却水温度/°C		20	
给水泵出口压力/MPa		16.82	
低压缸流量/(t/h)	>100		
给水温度/°C	243		
厂用电率/%	8.79(发电)		
	2.49(供热)		
机组机电效率/%	98		

为了解决夏季空调问题, 对空调系统进行改造。空调区域分为为满足控制设备环境要求的工

艺性空调区域和满足人员办公工作环境要求的舒适性空调区域。

空调区域包括单控室、厂房辅助间、化学楼、厂房网控楼及办公室, 空调总面积为 10 950 m<sup>2</sup>, 总冷负荷约为 1 600 kW。

若选用 30HR-250 电动压缩式制冷机, 单机制冷量 880 kW, 耗电功率 233 kW, 耗电取自厂用电, COP 为 3.77, 考虑到热电机组夏季运行行为凝汽工况, 相应热电机组发电效率为 0.34, 由式(6)可求得电动压缩式制冷机等效性能系数为 1.28。

若选用 SG-22M 蒸汽型溴化锂吸收式制冷机, 额定制冷量 777 kW, 蒸汽额定压力 0.6 MPa, 制冷用蒸汽取自第 4 级抽汽, 参数为 0.8 MPa, 240 °C, 抽汽量 0.972 × 2 t/h, 制冷机性能系数为 1.307。

经比较, 蒸汽型溴化锂吸收式制冷机性能系数大于修正后的电动压缩式制冷机性能系数。因此实际工程中选取蒸汽型溴化锂吸收式制冷机作为热电厂空调用制冷机形式, 设计两台主机, 正常情况下 1 台机组运行可满足 1, 2 号单控室、网控室及现场检修班组的制冷需求, 两台机组运行还可满足厂前生产楼、行政楼的制冷需求。

### 2.2 热电厂应用蒸汽溴化锂吸收式制冷机的节电效益

获得 1 600 kW 制冷量, 溴化锂吸收式制冷机较电动压缩式制冷机少耗电约 466 kW, 而多耗饱和蒸汽 1.944 t/h, 由等效焓降理论<sup>[6]</sup>计算的抽汽做功能力为

$$H_j = (h_j + \sigma - h_n) - \sum_{r=1}^{j-1} \frac{A_r}{q_r} H_r \quad (7)$$

式中  $H_j$  为 1 kg 抽汽从第  $j$  抽汽口返回汽轮机的真实做功量;  $h_j$  为 1 kg 抽汽比焓;  $h_n$  为排汽比焓;  $\sigma$  为再热吸热量;  $A_r$  为给水比焓升或疏水比焓升, 由加热器型式而定;  $r$  为加热器  $j$  后抽汽口;  $q_r$  为 1 kg 抽汽在加热器中的放热量。

将热力参数代入式(7)后得  $H_1 = 751.6$  kJ/kg, 这样抽汽量为 1.944 t/h 时抽汽做功能力为 405.9 kW。

取机电效率为 0.95, 则实际抽汽做功能力为 385.6 kW, 蒸汽溴化锂制冷机净节电 (466 kW - 405.9 kW) 60.1 kW, 按夏季运行 5 个月即 3 600 h 计, 节约能量 60.1 kW × 3 600 h = 216 360 kWh。

按电价 0.66 元/kWh 计,节约费用 142 797.6 元,两台 SG-22M 蒸汽型溴化锂机组投资 100 万元,假设系统投运后各年净收益相同,则静态回收期为 7 年。

### 2.3 环保效益

传统的空调系统多采用电能驱动的氯氟烃类制冷剂,制冷剂的泄漏会破坏大气臭氧层;另外电动压缩式制冷机在夏季制冷时,向室外排出热量并产生较大噪声,给周围环境带来热污染和噪声污染,而以热电厂的蒸汽为热源的蒸汽溴化锂制冷机具有运转部件少、噪声低、振动小、无爆炸危险、无公害等特点,不使用破坏大气臭氧层的制冷工质,属环保型空调,而且热电厂的锅炉效率高,可以减少锅炉烟气对大气的污染。

### 3 讨论

上述分析是针对 CC140/N200-130/535/535 型机组进行的,由于这种机组设计特点是在夏季为凝汽工况,即机组在不供热凝汽工况运行时,其热经济性与同档次的凝汽机组热经济性基本相同。冬季设计为双抽运行,承担工业负荷和供暖负荷。冬季和夏季都处于经济运行状态,对于这种冷凝式供热汽轮机不存在平衡冬季和夏季热负荷的问题。夏季采用蒸汽溴化锂制冷机组所带来的节电效益如上述计算。由于采用的是高参数大容量供热机组,在此基础上的联产制冷也节能,节能条件分析论证在此不赘述。

对于一般调节抽汽热电机组,夏季当供热量减少时,即使抽汽压力调节器性能很好,由于调速级

和高压部分蒸汽流量的变化,使汽轮机相对内效率下降很多,再加上总进汽阀的节流损失,使抽凝式热电机组发电煤耗增大,若在夏季采用蒸汽溴化锂吸收式制冷机,则可平衡冬季和夏季热负荷,填补电厂供热负荷的低谷区,相对于压缩式制冷不仅带来节电效益,削减了电网的高峰负荷,而且热电厂燃料利用系数提高,机组处于经济运行状态。在这种情况下采用蒸汽溴化锂制冷机组所带来的综合效益会更大。

### 4 结论

本文提出了电动压缩式制冷机的等效性能系数,可作为制冷机能量利用合理性选取的依据,便于与蒸汽驱动的溴化锂吸收式制冷机比较。

对某热电厂实际制冷系统工程效益计算表明,溴化锂吸收式制冷机应用于热电厂具有节电和环保双重效益。

### 参考文献

- [1] 杨思文. 大力推广吸收式制冷机,发展热电冷联合生产系统[J]. 能源研究与利用,1993,5:3-7
- [2] 严德隆,张维君. 热电冷三联产综合节能条件[J]. 中国能源,1996(4):29-33
- [3] 韩学廷,郁刚,阎秀春,等. 热电冷联产与分产能耗比较分析[J]. 暖通空调,2003,33(6):87-90
- [4] 付林,江亿. 几种溴化锂机组应用型式的能耗分析[J]. 制冷学报,1998(1):47-53
- [5] 严德隆,张维君. 空调制冷及热电冷联产系统的能耗分析[J]. 暖通空调,1998,28(6):18-22
- [6] 林万超. 火电厂热系统节能理论[M]. 西安:西安交通大学出版社,1994

### · 简讯 ·

## 2005 年度《暖通空调》优秀通讯员暨 2006 年度特约通讯员名单

在过去的一年里,本刊特约通讯员吴延鹏、黄翔、王立峰、林波荣、张杰、李永安同志认真履行职责,及时提供行业信息,丰富了刊物的报道内容,受到了读者的欢迎。本刊经研究决定,评选上述同志为 2005 年度优秀特约通讯员,并予公开表彰。

2006 年本刊聘请的特约通讯员名单如下:

吴延鹏 北京工业大学  
李永安 山东建筑工程学院  
李兆坚 总装备部工程设计研究院  
黄翔 西安工程科技学院  
徐稳龙 中国建筑建筑设计研究院  
叶大法 上海现代建筑设计集团

莘亮 河北省建筑设计研究院  
王立峰 中国建筑西北设计研究院  
张杰 北京市建筑设计研究院  
林波荣 清华大学  
裴清清 广州大学  
潘毅群 同济大学  
于晓明 山东省建筑设计研究院  
林其昌 福建省建筑设计研究院  
周传辉 武汉科技大学  
黄世山 安徽省建筑设计研究院  
夏卓平 江苏省建筑设计研究院