

doi:10.3969/j.issn.1671-5152.2016.09.007

上海地区应用直燃型溴化锂吸收式机组的 天然气定价探讨

□ 上海燃气(集团)有限公司 (200131) 孔庆芳
□ 同济大学机械与能源工程学院 (201804) 罗煦斌 秦朝葵

摘 要: 简要介绍了直燃型溴化锂吸收式机组和风冷热泵机组的性能; 利用负荷计算软件确定了上海几种典型建筑逐时负荷, 在配置溴化锂机组的情况下, 确定全年天然气耗量; 作为对比, 同样在配置风冷热泵机组的情况下, 确定全年耗电量; 结合现行的电价和天然气价格, 分析溴化锂机组的经济性并提出建议的分季节天然气价格。

关键词: 直燃型溴化锂 风冷热泵 经济性

Natural Gas Pricing of Direct-Fired LiBr Absorber Application in Shanghai

Kong Qingfang Shanghai Gas Group Ltd

Luo Xubin, Qin Chaokui School of Mechanical Engineering, Tongji University

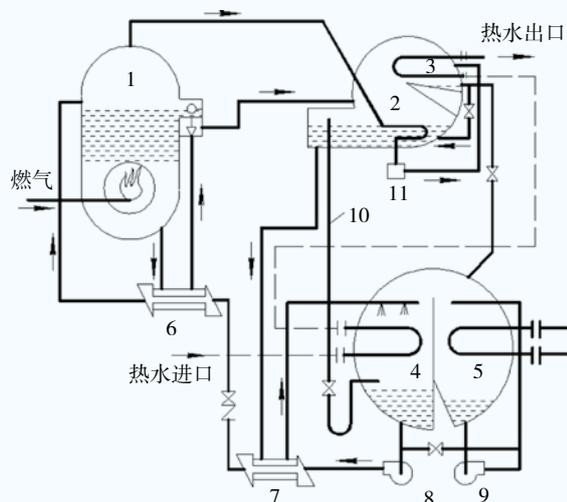
Abstract: Performance of direct-fired lithium-bromide (LiBr) absorption chiller and air-cooled heat pump were briefly introduced. Hourly heating/cooling demand of several typical buildings in Shanghai were calculated. Annual gas consumption for LiBr absorber and electricity-driven heat pump were determined based upon hourly demand and corresponding performance data, respectively. The economic benefits of direct-fired LiBr absorption chiller versus air-cooled heat pump was analyzed for existing gas and electricity prices. The seasonal pricing for direct-fired LiBr absorber applications was proposed.

Keywords: direct-fired LiBr absorber air-cooled heat-pump economic benefits

1 前言

随着对生活和居住环境要求的不断提高, 中央空调的使用日益增多, 导致城市电网尖峰负荷问题凸出。同时, 天然气出现了供需不平衡问题。直燃型溴

化锂机组(下简称溴冷机)是利用天然气为热源, 以水和溴化锂为工质(高沸点的溴化锂为吸收剂、低沸点的水为制冷剂), 整个制冷循环主要由蒸发器、吸收器、发生器、冷凝器、溶液泵等组成, 其工作原理如图1所示^[1]。



1-高压发生器；2-低压发生器；3-冷凝器；4-吸收器；5-蒸发器；6-高温热交换器；7-低温热交换器；8-溶液泵；9-蒸发器；10-J形管；11-疏水器；

图1 溴冷机原理图

直燃型溴冷机具有以下特点^[2]：

(1) 以溴化锂/水作为工质对，无臭、无毒，对人体和大气环境安全无害。

(2) 整套装置基本上是热交换器的组合体，除了泵以外几乎没有运动部件，运行平稳。

(3) 安装灵活，操作简单，能在较大工况变化范围内实现自动调节。

(4) 可对城市能源进行季节平衡，起到能源均衡利用的作用。

美国是最早生产溴冷机的国家，主要生产厂家有Carrier、Trane、York等公司。而日本是发展最快的国家，由于气价低，且政府制定了燃气制冷的能源政策和优惠气价，推动了技术的改善和机组的应用^[3]。国内溴冷机的研制起步较晚，1966年研制成功我国第一台用于纺织工业空调的蒸汽型单效溴冷机，但发展比较快目前国内生产溴冷机的厂家有十多家。

从目前上海的天然气价格来看，溴冷机在大型建筑中应用的经济性尚不如电动水冷机组。对用户的最大吸引力仅在于“一机两用”，即使用一套设备实现夏季的供冷与冬季的采暖，设备间占地较少。

本文计算出典型建筑的逐时负荷，在配置溴冷机和风冷热泵机组的条件下，对比两者全年运行费用；建议调整现有天然气价格来鼓励使用溴冷机，以维持天然气市场份额，同时缓解电力高峰危机。

2 直燃型溴冷机与风冷热泵机组性能分析

2.1 溴冷机组的性能描述

在预测设备的实际能耗时，某一时刻溴冷机的天然气耗量采用如下的简化公式：

$$L_g = L_g^0 f(\text{Part}) f(t_w) \quad (1)$$

其中：

L_g^0 ——额定负荷下的天然气耗量（ m^3/h ），来自产品样本； $f(\text{Part})$ ——对应于该时刻部分负荷率的燃气耗量修正系数，见图2； $f(t_w)$ ——对应于该时刻的环境空气温度修正系数，见图3；

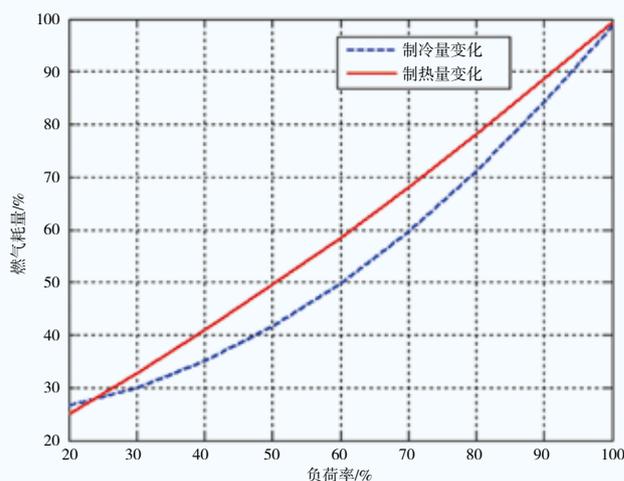


图2 不同负荷率下燃气耗量变化

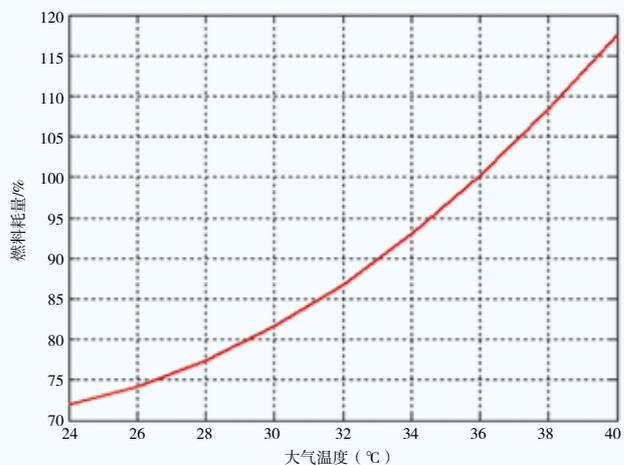


图3 燃气耗量随大气温度变化

以某品牌溴冷机为例，其额定制冷量872kW，对应的天然气耗量63.4 m^3/h ；额定制热量672kW，对应

的天然耗量为71.9m³/h；图4为该机型制冷和供热状况下的COP随部分负荷变化关系。图中可看出制冷COP和制热COP随着负荷率的变化均呈现抛物线的分布关系，在某个负荷率区间有一个最佳COP值。

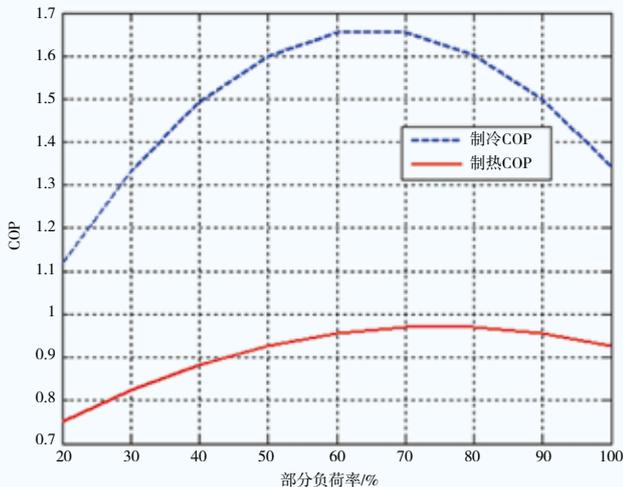


图4 某机型溴冷机制冷/制热COP变化曲线

2.2 风冷热泵机组性能描述

风冷热泵机组又称为空气源冷热水热泵机组，系统已高度集成、实现自动控制、运行管理简单；同时能提供制冷和供热以适应不同建筑物的使用要求；夏季制冷时采用空气侧换热器，无需安装冷却塔及冷却水系统，冬季制热运行省去锅炉及锅炉房投资，可放置在屋顶，安装方便^[4]。因其与直燃型溴冷机功效类似，故本文分析直燃型溴冷机能耗时选取风冷热泵机组来进行对比。

在预测设备的实际能耗时，风冷热泵系统在某时刻的耗电量采用如下的简化计算公式：

$$E = \frac{E(t)}{Q(t)} Q(i) \quad (2)$$

其中：

$E(t)$ —— 某一环境温度下的耗电量(kW)，来自产品样本，如图5、图6中虚线所示； $Q(t)$ —— 某一环境温度下的制冷/制热量(kW)，来自产品样本，如图5、图6中实线所示； $Q(i)$ —— 空调逐时冷/热负荷。

选取某品牌螺杆式风冷热泵机组样本参数，其额定制冷量840kW（电耗239kW），制热量882kW（电耗251kW），图5和图6分别为该机型制冷/制热量以及相应状态下的耗电量随环境温度变化曲线。

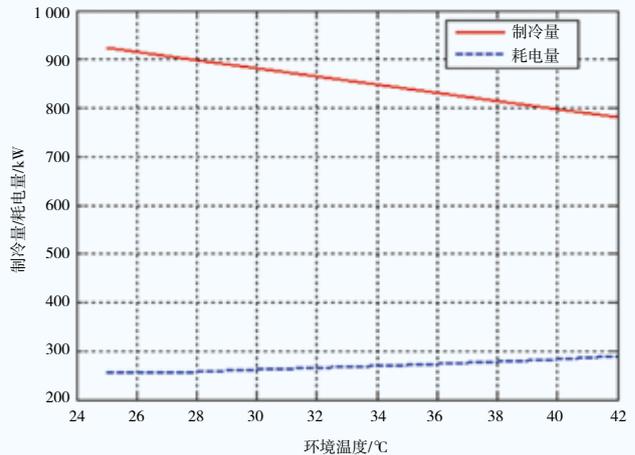


图5 制冷量/耗电量随环境温度变化

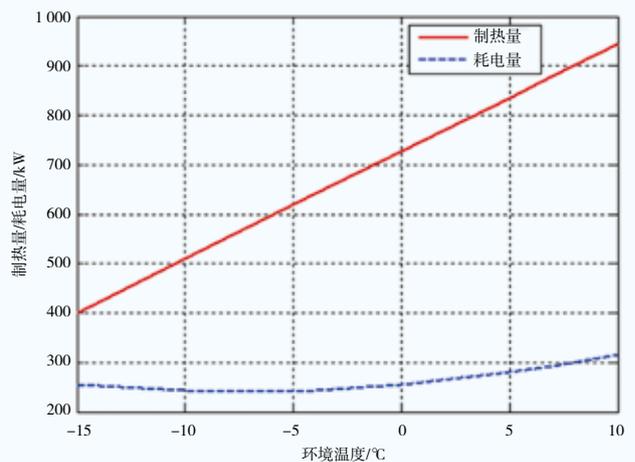


图6 制热量/耗电量随环境温度变化

3 建筑能耗计算

3.1 医院建筑

该建筑占地面积1 760m²，总共5层，层高3.9m，建筑总面积8 800m²，房间类型大部分为病房，全天候使用空调。图7为该建筑一层平面图，其他层结构和用途与第一层类似。

使用DeST建筑能耗模拟软件^[5]对该建筑内空调系统8 760h的空调冷热负荷进行模拟计算，其中各项参数设置参照《公共建筑节能设计标准》GB50189-2005^[6]中相关规定要求，具体如表1所示，空调24h开启，表2为负荷计算统计结果。

以冷负荷选择机组为原则，选取某品牌直燃型吸收式机组1台，额定制冷量872kW（天然气耗量

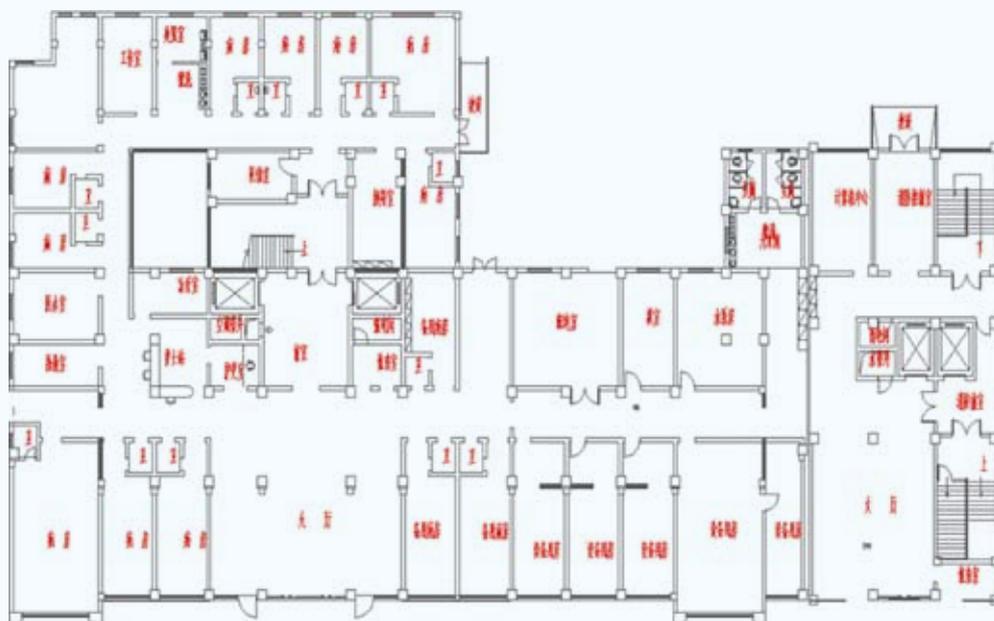


图7 医院一层平面图

表1 负荷计算参数设置

围护结构设计参数			室内设计参数			
构件	类型	传热系数W/(m ² .K)	夏季		冬季	
外窗	标准外墙	2.8	干球温度℃	相对湿度%	干球温度℃	相对湿度%
外墙	24砖墙	2.005				
内墙	混凝土	1.778	24~26	50~60	20~22	40~50
屋顶	钢筋混凝土	0.812				

表2 医院负荷计算结果

全年最大热负荷指标 (W/m ²)	全年最大冷负荷指标 (W/m ²)	全年最大热负荷 (kW)	全年最大冷负荷 (kW)
66.29	118.16	484.24	863.09

63.4m³/h), 额定制热量672kW(天然气耗量71.9m³/h); 作为对比, 选取某品牌螺杆式风冷热泵机组, 额定制冷量840kW(电耗239kW), 制热量882kW(电耗251kW), 按照前述公式并参照产品样本, 分别计算出逐时、全年的耗气量和耗电量, 计算结果见表3。

3.2 办公建筑

该建筑面积12 790m², 共6层, 1层为展示厅、零部件销售、培训室, 2层~6层为各部门办公室和会议室, 各层层高为3.9m。图8为该建筑1层平面图和模型示意图, 其他楼层结构类似。

同样进行逐时负荷计算, 具体参数设置与医院类似, 其中办公室空调开启时间为7:00~18:00, 会

议室空调开启时间为7:00~20:00, 培训室空调开启时间为7:00~22:00。计算得出全年最大冷负荷为1 488kW, 最大热负荷797kW; 选取直燃型溴冷机额定制冷量1 454kW(天然气耗量106m³/h)、额定制热量1 121kW(天然气耗量120m³/h)。作为对比, 选取螺杆式风冷热泵机组1台, 额定制冷量1 370kW(电耗359kW), 额定制热量1 439kW(电耗377kW)。按照前述公式和产品样本, 最终得出全年耗气量和耗电量如表4。其中分时电价时段与医院注释一样。

3.3 餐饮建筑

该建筑总面积1 370m², 共3层。其中第1层为面馆, 第2层为火锅城, 第3层为海鲜馆, 各层建筑层高

4.2m。图9为该建筑1、2层平面图，第3层结构与第2层类似。

在负荷软件中室内参数设置与医院类似，其中：面馆空调开启时间为7:00-20:30，火锅城和海鲜馆空调开启时间为上午10:30-13:00，下午16:00-23:00。计算得出全年最大冷负荷276kW，最大热负荷131kW，选取直燃型吸收式机组额定制冷量233kW（天然气耗量16.9m³/h），额定制热量179kW（天然气耗量19.2m³/h）；同样选取螺杆式风冷热泵机组1台，其额定制冷量232kW（电耗75kW），额定制热量243kW（电耗79kW）。按照公式计算得到全年耗气量和耗电量

如表5所示。其中分时电价时段与医院注释一样。

4 能耗与定价分析

基于现行的天然气价格、电力价格，计算出直燃型吸收式机组与风冷热泵机组在运行费用方面的差别，选取的天然气热值为36 000kJ/Nm³。表6为上海地区现行天然气价格和不同季节分时电价。

根据计算出来的耗电量、耗气量以及表6的电价和气价，可确定典型建筑分别配置直燃型机组和风冷热泵机组的全年运行费用，结果对比如表7。

表3 医院能耗计算结果

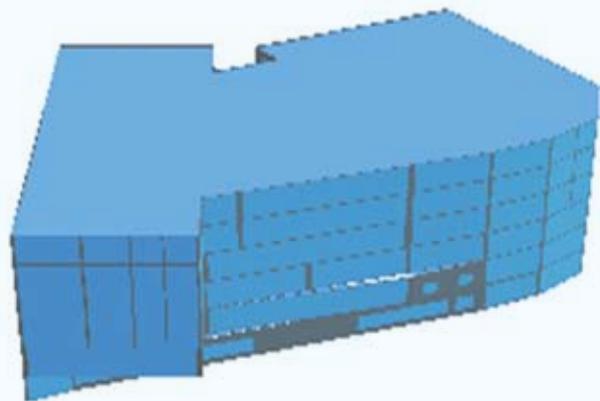
吸收式机组耗气量 (m ³)			风冷热泵机组耗电量 (kWh)						
夏季 (4月~10月)	非夏季 (11月~3月)	合计	夏季			冬季			合计
			峰时段	平时段	谷时段	峰时段	平时段	谷时段	
49 739	85 251	134 990	60 766	63 683	53 967	70 022	105 640	93 650	447 728

注：分时电价的时段分为：

1. 非夏季：峰时段（8-11时、18-21时），平时段（6-8时、11-18时、21-22时），谷时段（22时-次日6时）；
2. 夏季：峰时段（8-11时、13-15时、18-21时），平时段（6-8时、11-13时、15-18时、21-22时），谷时段（22时-次日6时）。



(a) 1层平面图



(b) 模型示意图

图8 办公建筑一层平面图和模型示意图

表4 办公建筑能耗计算结果

吸收式机组耗气量 (m ³)			风冷热泵机组耗电量 (kWh)						
夏季 (4月~10月)	非夏季 (11月~3月)	合计	夏季			冬季			合计
			峰时段	平时段	谷时段	峰时段	平时段	谷时段	
109 206	94 445	203 651	169 450	180 620	3 481	76 519	123 950	4 985	559 005

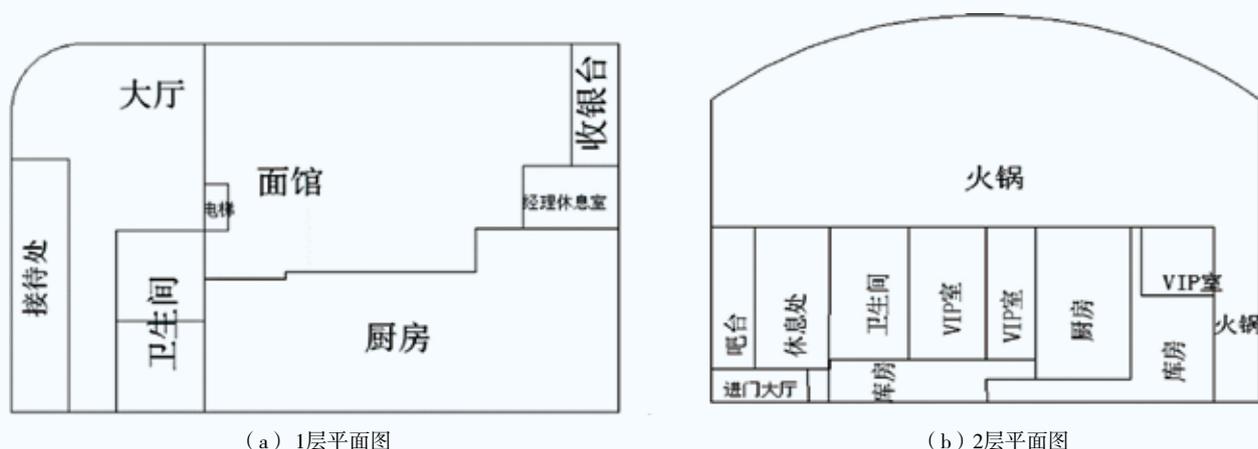


图9 餐饮建筑模型图

表5 医院能耗计算结果

吸收式机组耗气量 (m ³)			风冷热泵机组耗电量 (kWh)						
夏季 (4月~10月)	非夏季 (11月~3月)	合计	夏季			冬季			合计
			峰时段	平时段	谷时段	峰时段	平时段	谷时段	
13 471	13 852	27 323	22 889	24 181	1 297	12 253	20 860	1 931	83 411

表6 上海地区天然气价格和分时电价

季节	天然气价格 (元/m ³)			电力价格 (元/kWh)		
	月耗气量	≤4万m ³	4万m ³ ~10万m ³			
夏季 (4月~10月)	非全天候用户	3.22	3.17	峰时段 (8-11时、13-15时、18-21时)		1.287
				平时段 (6-8时、11-13时、15-18时、21-22时)		0.817
	全天候用户	3.02	2.97	谷时段 (22时-次日6时)		0.305
非夏季 (11月~3月)	非全天候用户	3.42	3.37	峰时段 (8-11时、18-21时)		1.252
				平时段 (6-8时、11-18时、21-22时)		0.782
	全天候用户	3.22	3.17	谷时段 (22时-次日6时)		0.370

表7 直燃型机组与风冷热泵机组全年运行费用对比

建筑类型	直燃型机组 天然气费用 (元)	风冷热泵机组 耗电费用 (元)
医院建筑	419 655	359 630
办公建筑	680 157	570 156
餐饮建筑	91 009	83 298

显然,在现行的天然气与电力价格下,溴冷机的运行费用均高于风冷热泵机组。对于医院建筑,空调全天候开启,涵盖了电力供应的峰、谷、平等各时段,溴冷机运行费用比风冷热泵机组高出17%左右;

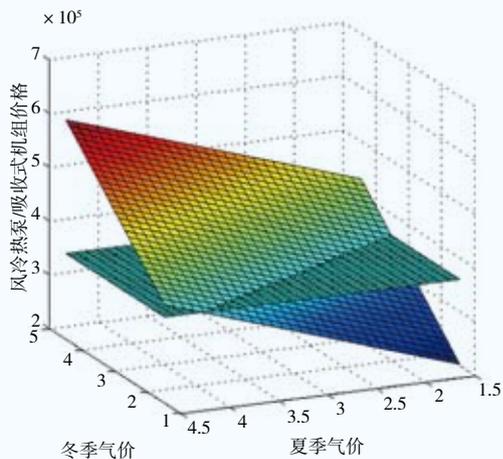
对于办公建筑,电力供应主要涉及峰时段和平时段,不涉及谷时段,直燃型机组运行费用比风冷热泵机组高出19%左右;对于餐饮建筑,溴冷机运行费用比风冷热泵机组高出9%左右。显然,在目前的天然气价格基础之上,溴冷机很难与风冷热泵机组进行竞争,这也是其市场占有率较小的主要原因。

下面在已制定的天然气价格基础上,保持分时电价不变,对天然气价格进行调整,即通过重新定义气价来使得直燃型机组的运行费用与风冷热泵机组的电费持平。表8为不同建筑在天然气价格调整后的运行费用对比。

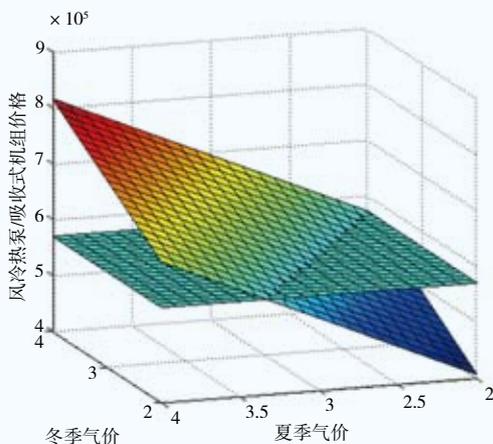
表8 天然气调整后运行费用对比

建筑类型	假设价格 (元/m ³)		直燃型机组 (元)	风冷热泵机组 (元)
	冬季 (12月~3月)	夏季 (4月~11月)		
医院建筑	2.75	2.55	359 237	359 630
办公建筑	2.91	2.71	568 223	570 156
餐饮建筑	3.12	2.92	82 219	83 298

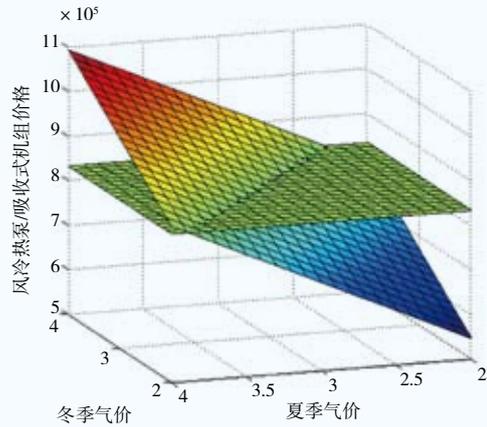
综上所述，对于医院等典型全天候建筑用户而言，冬季需把天然气价格定为2.75元/m³，夏季需把气价定为2.55元/m³左右，直燃型机组运行费用方可与风冷热泵机组运行费用相当。而对于办公、餐饮等非全天候建筑用户，冬季需把天然气价格定为2.91元/m³~3.12元/m³，夏季需定为2.71元/m³~2.92元/m³左右才能使溴冷机组全年运行费用略低于风冷热泵机组。图10为典型建筑直燃型机组运行费用与风冷热泵机组运行费用对比图。



(a) 医院建筑



(b) 办公建筑



(c) 餐饮建筑

图10 典型建筑运行费用对比图

5 结论

(1) 在上海地区现行的天然气和电力价格下，溴冷机组全年运行费用均高于风冷热泵机组全年运行费用，不利于直燃型机组更好的进行市场推广。

(2) 为了缓解夏季电力高峰危机、实现能源均衡利用，更好地推广使用燃气空调，对于医院等典型全天候建筑用户而言，冬季需把天然气价格定为2.75元/m³，夏季定为2.55元/m³左右，直燃型机组运行费用才能够与风冷热泵机组运行费用相当；而对于办公、餐饮等非全天候建筑用户，冬季需把天然气价格定为2.91元/m³~3.12元/m³，夏季需定为2.71元/m³~2.92元/m³左右才能使溴化锂机组全年运行费用略低于风冷热泵机组。

参考文献

- 1 同济大学等编. 燃气燃烧与应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011
- 2 吴小华, 曹晓林等. 双效直燃型溴化锂吸收式冷热水机组及其经济性分析[J]. 制冷与空调, 2003; 3(1): 48-49
- 3 熊丽红. 直燃式溴化锂冷热水机组的研究与发展[J]. 能源研究与信息, 1997; 13(3): 6-7
- 4 刘卫东, 谷波. 风冷热泵机组的应用及节能技术[J]. 制冷空调与电力机械, 2007
- 5 清华大学DeST开发组. 建筑环境系统模拟分析方法-DeST[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013
- 6 公共建筑节能设计标准[S] GB50189-2005