

# 燃气热泵在夏热冬冷地区的经济性分析

□ 同济大学机械与能源工程学院 (201804) 秦朝葵 张扬

**摘要:** 使用能耗模拟软件计算了位于上海一养老院建筑的全年逐时空调负荷, 结合设备性能参数, 分别计算了燃气热泵系统(GHP)和电动空调系统(EHP)的全年能耗和运行费用。并进一步考察了气价对GHP经济性的影响。

**关键词:** 燃气热泵 运行能耗 经济性

## Economic Analysis of Gas Heat Pump in Hot-summer and Cold-winter area

School of Mechanical and Energy Engineering of Tongji University

Qin Chaokui, Zhang Yang

**Abstract:** Hourly heating and cooling demand of a nursing home located in Shanghai were calculated by means of simulation software. The annual operation costs of gas heat pump (GHP) and electricity-driven heat pump (EHP) were calculated according to related equipment performance data. The influence of gas price upon GHP economic benefits was discussed.

**Keywords:** Gas heat pump (GHP) Energy consumption Economic analysis

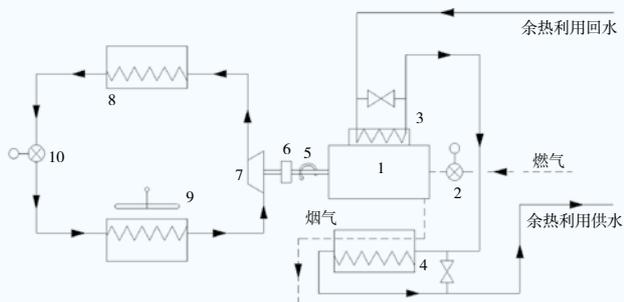
### 1 前言

建筑空调能耗日益提高, 由此引发的电力危机也越发严重。2014年上海电网夏季尖峰负荷已达3 100万kW。与电力负荷特性相反, 燃气负荷的最高峰出现在冬季, 夏季则处于全年低谷。以上海为例<sup>[1]</sup>, 用气量最低的8月份, 其天然气用量只有1月份(最高)的75%左右。“削电峰、填气谷”有两种技术措施: 一是增大夏季的天然气发电量, 二是推广使用燃气空调。前者受到天然气价格等因素制约, 发电企业的积极性不高; 同样地, 燃气空调的推广也受到经济性影响。

按照驱动原理的不同, 燃气空调主要有吸收式、发动机驱动式和除湿供冷三种。吸收式冷热水机组的

历史最长、也最成熟, 但自身技术有一些局限性, 加上国内大部分地区的天然气价格偏高, 逐步走向衰落。除湿供冷技术对气候较为敏感, 且设备系统较为复杂, 应用受到限制。

燃气热泵(Gas Engine-driven Heat Pump, 下简称GHP)与传统的电动热泵(Electricity-driven Heat Pump, 下简称EHP)基本一致, 用燃气发动机取代了电动机来驱动压缩机运转, 冬季供热、夏季供冷。冬季, 天然气在发动机中燃烧释放的热量转化为有用功, 驱动压缩机运转以实现热泵循环; 发动机缸套冷却热和烟气余热均可通过热交换器回收利用, 补充采暖或提供生活用热水, 也可用来除湿等。燃气热泵的工作原理图如图1所示。



1-燃气发动机；2-燃气供给控制阀门；3-缸套冷却板式换热器；4-排烟换热器节流阀；5-传动轴；6-离合器；7-压缩机；8-冷凝器；9-蒸发器；10-膨胀阀

图1 燃气热泵工作原理示意图

燃气热泵具有供热速度快、供热温度高、无需除霜、部分负荷性能好等特点。目前商用GHP机组的发动机余热，在夏季直接排放，不回收利用；冬季用于快速启动、补充采暖，防止蒸发器结霜<sup>[2]</sup>。近年来一些厂家也尝试推出了带有热回收功能的GHP机组<sup>[3]</sup>。与传统的EHP相比，GHP在冬季的优势更为明显。而在夏热冬冷地区，冬季空调热负荷较小，仅为夏季空调冷负荷的60%~70%，且供热时间较短；但热泵机组选型时多以夏季冷负荷作为选型依据，导致机组在冬季绝大多数时间均处于部分负荷运行状态。因此，GHP在夏热冬冷地区的经济性有待进一步考察。

## 2 参照建筑物及空调冷热负荷

受发动机功率的制约，GHP产品的单机功率较大；在日本的GHP用户中，公共建筑比例较大，学校和办公占50.7%，商场占14.9%，娱乐、宾馆、医院和家庭占20.1%，工业占10.4%，其他占3.9%<sup>[4]</sup>。因此本文选取了一栋位于上海的养老院综合建筑作为目标建筑，分别为其配置GHP和EHP系统，计算空调能耗及运行费用。

参照建筑物占地864m<sup>2</sup>，总建筑面积4 608m<sup>2</sup>，体型系数0.2，地上共6层（如图2）。1层为餐厅、超市、洗衣房等生活用房，2层为医疗诊室、棋牌室及活动室（1层~2层每层建筑面积864m<sup>2</sup>），3层为行政办公、会议室及阅览室，4层~6层为标准间（老人卧室）、护士值班室等（3层~6层每层建筑面积720m<sup>2</sup>）。1层、2层每层层高4.2m，3层~6层每层层高3.9m。建筑围

护结构相关参数均符合《公共建筑节能设计标准》GB50189-2005中夏热冬冷地区的规定值。

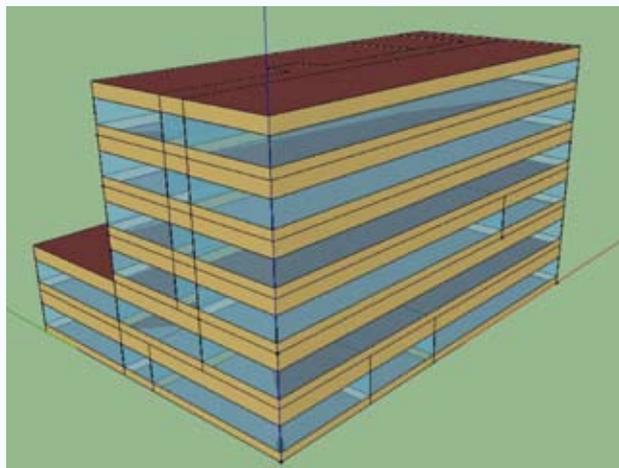


图2 建筑外形示意图

室内空调设计参数如表1所示。

表1 室内设计参数

主要房间名称	夏季		冬季	
	温度℃	相对湿度%	温度℃	相对湿度%
行政用房	26	50~60	18	45~55
医疗用房	25	50~60	20	45~55
门厅、走廊	27	50~60	18	45~55
活动室	25	50~60	20	45~55
卧室	26	50~60	20	45~55
餐厅	24	50~60	20	45~55

由于参照建筑各层使用功能不同，其空调负荷特点及空调机组运行机制也各不相同，因此以房间功能和空调运行时间为依据，来设置各层、各区域的空调系统。其中，考虑到厨房功能的特殊性，需设置独立的专用空调系统，因此1层大厅、餐厅、超市、洗衣房作为一个系统，系统编号为AC-01-1；2层医疗用房及1层4间行政用房，其使用时间较为统一，设为一个系统，系统编号为AC-02-1，棋牌室、活动室使用时间比较集中，设为一个系统，系统编号为AC-02-2，3层~6层各层分别设置空调系统，系统编号为AC-03~06-1。空调系统划分具体如图3所示。

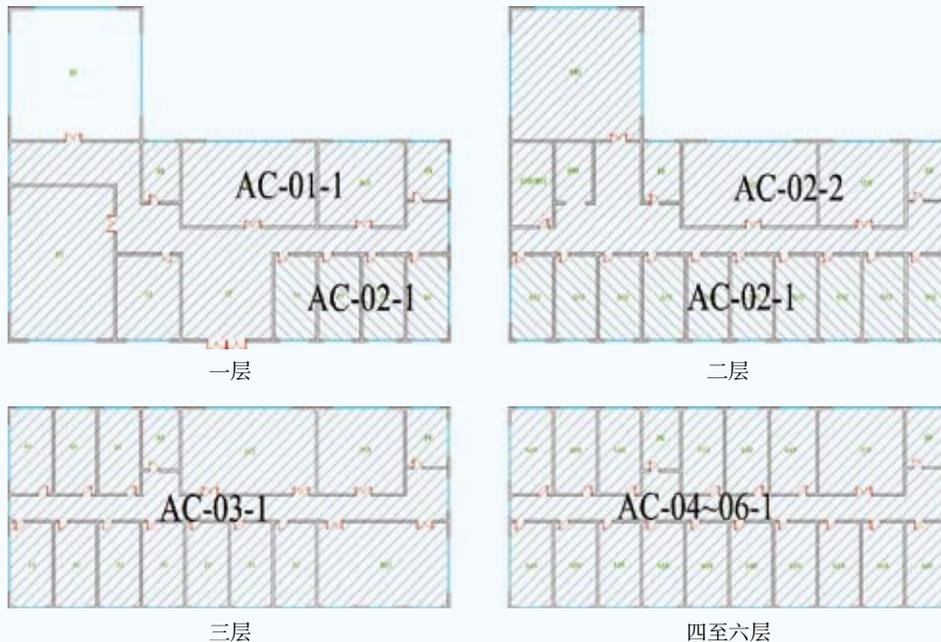


图3 空调系统分区示意图

使用Dest建筑能耗模拟软件<sup>[5]</sup>对目标建筑及建筑内各空调系统全年8 760h的空调冷热负荷进行计算, 计算结果如表2所示。

表2 各空调系统空调冷热负荷

编号	空调系统编号	房间功能	空调面积/m <sup>2</sup>	最大冷负荷/kW	最大热负荷/kW
1	AC-01-1	餐厅、大堂、超市、洗衣房	594	85.27	51.21
2	AC-02-1	办公、医疗用房	445	67.59	46.28
3	AC-02-2	活动室、棋牌室	466	70.02	46.98
4	AC-03-1	办公、会议	636	75.56	45.42
5	AC-04-1	卧室	636	80.71	24.60
6	AC-05-1	卧室	636	80.48	24.41
7	AC-06-1	卧室	636	80.88	31.25

以AC-03-1系统为例, 其全年8 760h动态负荷如图4所示。

### 3 空调系统全年运行能耗、费用计算

现对空调系统的启停作以下假设: 当室外空气干

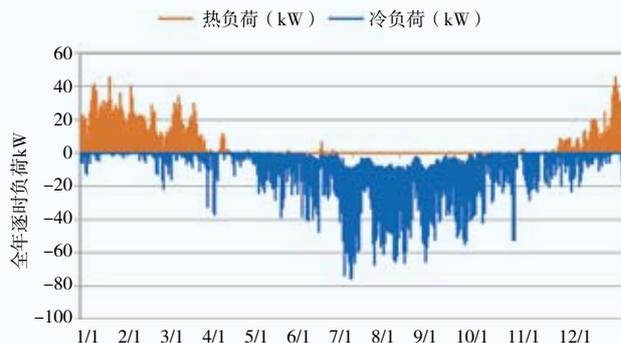


图4 全年逐时空调冷热负荷

球温度高于25℃, 机组开启制冷模式; 当室外空气干球温度低于13℃, 机组开启制热模式。

由于GHP与EHP在末端设备组成上基本一致, 本文能耗分析仅考虑冷热源侧。综合考虑房间功能、负荷特点及同时使用系数等因素, 现拟定每个空调系统配置一台机组, 为考查GHP机组与EHP运行的经济性, 拟选用额定值、制热参数基本相同的两种机组, 机组性能参数如表3所示。

根据厂商提供的设备部分负荷性能数据, 拟合出机组在不同室外温度条件下(夏季: 25℃~39℃; 冬季: -7℃~13℃)的部分负荷性能曲线, 如图6、7所示。

结合各空调系统的负荷计算结果和机组性能参数, 分别配置GHP和EHP, 对应全年各个小时机组的

运行工况点并计算能源消耗量, 最终得到全年能耗结果如表4所示。

虽然GHP的全年累计能源消耗量(kWh)高于EHP, 但由于GHP使用的燃气是一次能源, 而电能则属于二次能源, 因此其经济性需要根据天然气和电力价格进行折算后进行比较。

当前上海市采取分时电价政策, 养老院属于商业

建筑, 工商业用户不同季节以及不同时间段的电力价格如表5所示。

上海市天然气则采用均一制价格, 商业用户以3.02元/Nm<sup>3</sup>计算。根据计算得到的全年动态负荷、空调系统的启停设定以及机组能源消耗情况, 计算各空调系统及整栋建筑分别配置GHP和EHP时的全年运行费用, 结果如表6所示。

表3 GHP与EHP基本性能参数

机组名称	额定制冷量(kW)	额定燃料/电消耗量(kW)	辅助耗电量(kW)	额定制热量(kW)	额定燃料/电消耗量(kW)	辅助耗电量(kW)
GHP	71	54.4	1.33	80	47.9	0.83
EHP	73	24	—	81.5	20.9	—

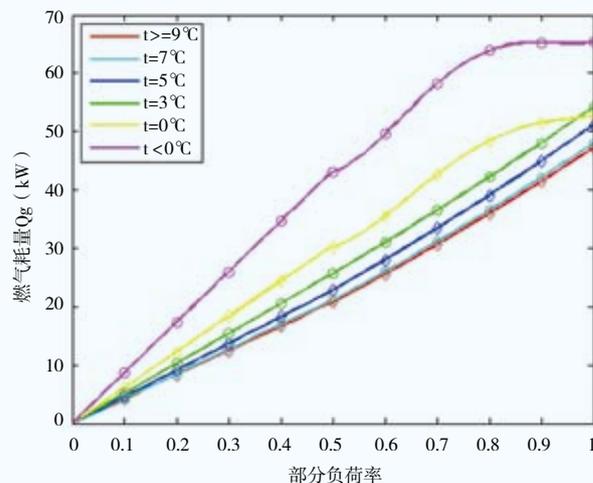
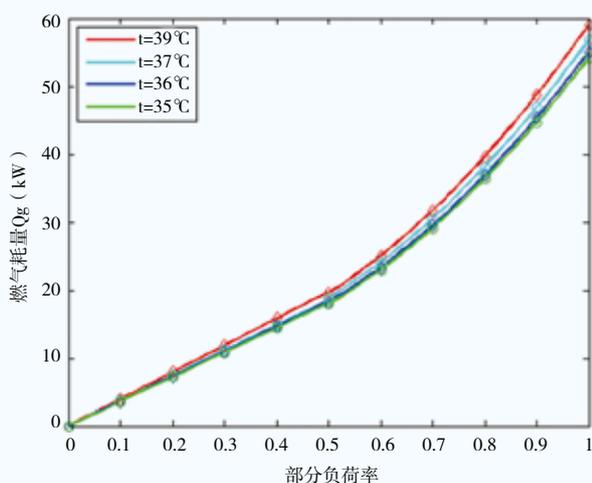


图6 GHP部分负荷性能曲线

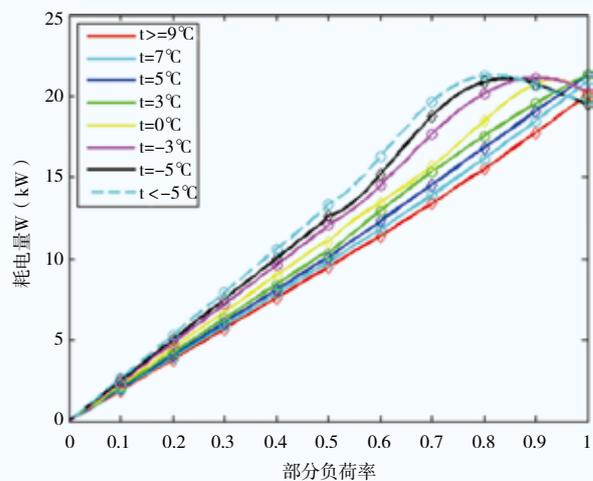
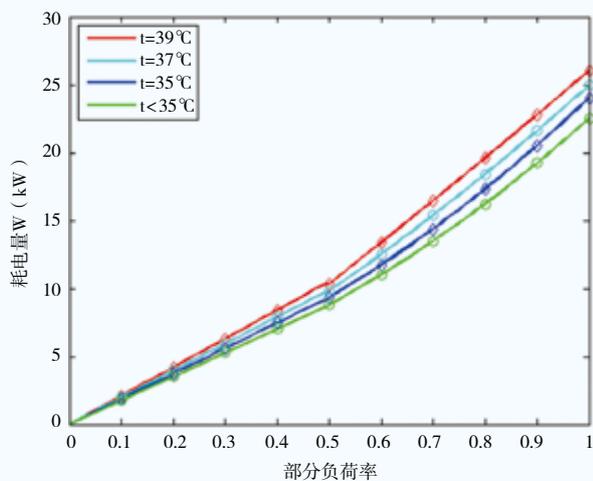


图7 EHP部分负荷性能曲线

表4 GHP与EHP全年累计能源消耗量

编号	1	2	3	4	5	6	7	合计	
空调系统编号	AC-01-1	AC-02-1	AC-02-2	AC-03-1	AC-04-1	AC-05-1	AC-06-1	—	
GHP	燃气耗量 (kWh)	46 582	71 737	37 706	40 967	41 117	40 797	46 078	324 984
	耗电量 (kWh)	3 585	5 105	3 234	4 246	4 199	4 195	4 521	29 083
	合计 (kWh)	50 166	76 841	40 940	45 213	45 316	44 992	50 599	35 4067
EHP耗电量 (kWh)	18 672	29 116	15 346	16 767	15 873	15 790	17 782	129 346	

表5 上海市工商业用户电力价格 (元/kWh)

用电分类	非夏季				夏季			
	不满1kV	10kV	35kV	110kV及以上	不满1kV	10kV	35kV	110kV及以上
峰时段	1.110	1.080	1.050	—	1.145	1.115	1.085	—
谷时段	0.527	0.497	0.467	—	0.562	0.532	0.502	—

表6 GHP与EHP全年运行费用比较

编号	1	2	3	4	5	6	7	总计	
空调系统编号	AC-01-1	AC-02-1	AC-02-2	AC-03-1	AC-04-1	AC-05-1	AC-06-1	—	
GHP	燃气费用 (元)	14 068	19 351	11 387	12 372	12 418	12 321	13 915	95 832
	辅助电费 (元)	3 910	4 758	3 636	4 246	3 965	3 960	4 266	28 740
	合计 (元)	17 978	24 109	15 023	16 644	16 382.	16 281	18 181	124 572
EHP运行费用 (元)	20 733	24 720	17 341	18 368	15 005	14 890	16 493	127 550	

#### 4 GHP系统应用分析

在上海现行电价和气价条件下，对参考建筑而言，GHP并没有比EHP表现出明显的经济性优势，分别配置GHP和EHP的情况下，整栋建筑的全年空调运行费用基本持平。针对各层空调系统，由于房间朝向不同导致的不同负荷特性、空调系统运行机制等不同因素，GHP和EHP都没有表现出绝对的优势或劣势。例如超市、餐厅、办公用房、棋牌活动室等房间，其空调运行时间主要集中在白天，夏季空调冷负荷较大且平均电价相对较高，因此与EHP相比，GHP系统具有一定的经济性优势，但优势并不明显；医疗诊室近似于全天候24h运行，GHP与EHP的运行费用基本持平；对于客房、卧室等空调运行时间主要集中在夜间的房间，

空调负荷相对较小，且电力价格主要处于低谷时段，GHP系统的全年运行费用反而稍高于EHP系统。

#### 5 天然气价格对GHP经济性的影响

近年来天然气价格持续走高，这也直接导致燃气空调的运行费用增加，削弱了GHP的经济性优势。日本、韩国等均制定了一系列政策以推动燃气空调的发展：如在日本，从所得税或设备折旧费方面予以一定税收优惠，燃气制冷气价约为普通民用气价的60%等；在韩国，从系统设计到设备购买费用根据设备容量给予一定补贴，从贷款利息、所得税方面给予一定优惠，燃气公司根据具体情况设定气价折扣<sup>[6]</sup>。

在夏热冬冷地区，冬季空调负荷较小，空调能耗

主要集中在夏季，而夏季又恰逢燃气用气低谷，如果像电力价格一样实行分季气价，对降低GHP系统的运行费用将起到促进作用。现对夏季天然气价格分别给予5%、10%、15%、20%的优惠，电力价格仍保持不变，计算参考建筑GHP全年运行费用，计算结果如表7所示。

表7 优惠气价条件下GHP全年运行费用结果

天然气价格优惠比例		5%	10%	15%	20%
GHP运行费用(元)	燃气费用	94 255.75	91 228.58	88 201.41	85 174.23
	辅助电费	28 766.09	28 766.09	28 766.09	28 766.09
	合计	123 021.84	119 994.67	116 967.50	113 940.33
EHP运行费用(元)		127 549.90			

## 6 结论

GHP可削减夏季电力高峰的作用，对于提高管网输气效率、降低供气成本、实现能源的均衡利用起到积极的作用。同时GHP具有较燃气锅炉、直燃机等供

热设备高得多的一次能源利用率，还可一机多用，回收发动机余热提供生活热水。带有热回收功能的GHP机组具有更高的能效比。

由于夏热冬冷地区冬季空调热负荷较小，GHP在制热方面的性能优势无法像在寒冷地区一样得到很好的发挥。因此若想进一步推广GHP机组，还需要一定的气价优惠政策或其他优惠措施予以推动，以使GHP获得较好的经济性。

### 参考文献

- 1 戴永庆, 耿惠彬, 蔡小荣. 燃气空调及其应用[J]. 机电设备, 003; 15-21
- 2 逯红梅, 秦朝葵, 方建平. 燃气热泵在夏热冬冷与寒冷地区的应用分析[J]. 天然气工业, 2008; 12: 98-100
- 3 糜华, 张文虎. 半热回收型GHP燃气热泵技术分析. 全国暖通空调制冷2010年学术年会论文集, 2010
- 4 YANMAR. 洋马热泵式燃气空调(GHP)[R]. 洋马热泵式燃气空调技术交流会. 同济大学, 2006
- 5 清华大学DeST开发组
- 6 李宏勋, 赵玺玉. 日本政府促进天然气消费的政策措施及其启示[J]. 天然气工业, 2002; 22(6): 109-111

## 工程信息

### 河南濮阳市南乐-寺庄天然气管道工程

2014年12月28日，河南省濮阳市南乐-寺庄输气管道工程获省发展改革委核准，这标志着濮阳市又一条干线天然气管道工程即将开工建设。

南乐-寺庄输气管道工程项目起于南乐县中开首站，终点位于南乐县寺庄乡北张村东，管道全长30.6km，设计压力6.3MPa，管径DN500，年输气量4.6亿m<sup>3</sup>，总投资9 199万元，气源为中石化榆济线天

然气，该项目由中石化中原天然气公司投资建设。

根据规划，该项目将与河北省邯郸市天然气管网进行对接，实现河南、河北两省天然气管网的互联互通。该项目的实施对于优化区域能源结构、改善大气环境、促进节能减排将发挥十分重要的作用。

(本刊通讯员供稿)