

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2013.S1.042

基于灰色多层次综合评价法的户式中央空调系统优化

李 丽¹, 杨华翼²

(1. 中国地质大学 长城学院, 河北 保定 071000; 2. 保定天威薄膜光伏有限公司, 河北 保定 071000)

摘 要:户式中央空调系统可供选择的方案较多,而反映空调系统方案优劣的指标是多方面的,评价指标的合理选择是保证优选结果正确的关键因素。为了综合评价整个系统性能的优劣,文中采用灰色多层次综合评价法建立空调方案优化选择的数学模型,以北京某户式建筑为例,在综合考虑经济性、节能性、环保性和可靠性等指标的基础上,对空气源热泵系统、户式燃气空调系统、风冷冷水机组+燃气锅炉系统、水环热泵系统、土壤源热泵系统和太阳能热泵系统 6 种方案进行了优化选择。优选结果表明,水环热泵系统为最优的户式中央空调系统方案。

关键词:户式中央空调系统;灰色综合评价法;评价指标;优化

中图分类号:TU831.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2013)S1-0190-05

Gray Multi-level Comprehensive Evaluation of Household Central Air Conditioning Systems

Li Li¹, Yang Huayi²

(1. Department of Engineering and Technology, China University of Geosciences Great Wall College, Baoding 071000, Hebei, P. R. China;

2. Baoding Tianwei SolarFilms Co., Ltd., Baoding 071000, Hebei, P. R. China)

Abstract: There are many schemes of residential central air conditioning systems for selection, the selection is affected by many factors, the reasonable selection of evaluation indexes is the key factor for the proper option. In this paper, in order to evaluate the performance of the whole system synthetically, the gray comprehensive evaluation method is introduced and used, the mathematical model for optimization and selection of air conditioning schemes is established, and with an example of residential building in Beijing the index values of chosen six air conditioning systems are calculated and optimized. The schemes are the air-source heat pump system, household gas-fired air conditioning system, air-cooled chiller unit/gas-fired boiler system, water loop heat pump system, ground-source heat pump system and solar heat pump system. In the process of optimization calculation, the aspects of economics benefits, energy saving, environment protection and system reliability are taken into account. According to the calculation results, the water loop heat pump system is proposed to be optimal option under the given conditions.

Key words: residential central air conditioning system, gray comprehensive evaluation method, evaluation index, optimization

目前,建筑节能已成为全球关注的热点问题,根据欧美几个国家的综合统计,用于建筑物采暖、通风和空调的能耗在建筑能耗中占有相当大的比重。不同的空调系统对建筑能耗、空调系统造价及环境都有重要影响,因此合理的选择空调系统方案是暖通空调设计的一个重要环节。然而对于一项具体的空调工程而言,涉及到对多种方案的初投资费用、运行费用、技术的先进性、系统的可靠性和对环境的影响等多种指标的技术经济分析、节能分析和环境效益分析,其中既有定量指标的比较,又有定性指标的描述,是一个典型的多目标决策问题。因此,为了使空调系统方案的优选建立在科学的基础上,有必要探求一种客观、定量的综合评价方法^[1]。文中采用灰色多层次综合评价法^[2],综合考虑方案的经济性、节能性和环保性等指标,建立户式中央空调系统的分析评价模型,对空调系统方案进行优化,选择最优方案。文中

将灰色综合评价法应用到空调系统方案评价中,可以减少评判过程中的片面性和盲目性,使得评价结果更客观、更全面。

1 灰色多层次综合评价法

1.1 层次分析法

层次分析法(AHP)是美国运筹学家 Saaty^[3]教授于 20 世纪 70 年代提出的一种多目标决策分析方法。它把数学处理与人的经验和主观判断相结合,能够有效地分析目标准则体系层次间的非序列关系,综合测度评价决策者的判断和比较。由于它系统、简洁、灵活,在中国社会经济各个领域内,如能源系统分析、城市规划、科研成果评价、经济管理等,得到了广泛的应用。

1.2 灰色关联分析法

灰色关联分析^[4]是一种多因素统计分析方法,它是

收稿日期:2013-05-25

作者简介:李丽(1981-),女,主要从事暖通空调研究,(E-mail)lily_305@163.com。

因素的样本数据为依据用灰色关联度来描述因素间关系的强弱、大小和次序的。如果样本数据列反映出两因素变化的态势(大小、方向、速度等)基本一致,则它们之间的关联度较大,反之,关联度较小。其基本步骤为,设有 M 个待选方案,每种方案有 N 个技术经济指标,则可将被评价方案的各项指标值构成的序列视为比较序列,从此序列中选择最优样本数据为参考序列,然后应用灰色关联分析的数学模型将各比较序列同参考序列进行量化分析,计算出与参考序列的关联度。与其关联度最大的,则该方案在所有方案中最优。

2 灰色多层次综合评价法的空调系统优化算法

2.1 评价模型的建立

为取得多目标综合的最优方案就需要考虑多个因素,只有对定性的指标量化才能得出更加接近实际情况的结论。为了对户式中央空调系统有更全面和更科学的分析,从以下几方面进行综合评价:

- 1)经济性:考虑系统的初投资费用、年运行费用、费用年值和折合火用成本。
- 2)节能性:考虑系统的能源利用系数。
- 3)环保性:主要指二氧化碳、二氧化硫、氮氧化物及粉尘的排放量。
- 4)可靠性:主要考虑系统的安装方便性、维护管理的难易程度以及冬季采暖效果。

根据以上 4 种评价指标,户式中央空调系统的评价模型可以表示为

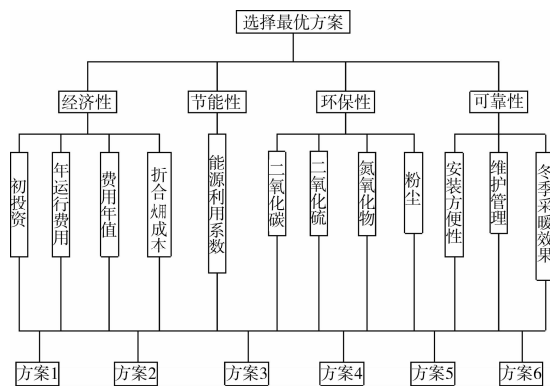


图 1 户式中央空调系统评价模型

2.2 优化算法的步骤与分析

1)确定评价指标。评价指标也称为因素,就是评价对象的各种属性或性能,它们综合反映出评价对象的质量,是对评价对象进行评价的依据。

2)确定最优指标集 X_0' 。最优指标是从各评价对象的同一指标中选取最优的一个,各评价指标的最优值组成的集合称为最优指标集,记为

$$X_0' = (x'_{01}, x'_{02}, \dots, x'_{0n})$$

最优指标集和各评价对象的指标组成原始值矩阵

$$(X'_1, X'_2, \dots, X'_n) = \begin{bmatrix} x'_{01} & x'_{02} & \dots & x'_{0n} \\ x'_{11} & x'_{12} & \dots & x'_{1n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x'_{m1} & x'_{m2} & \dots & x'_{mn} \end{bmatrix}$$

上式中, x_{ij}' 为第 i 个评价对象的第 j 个指标的值得($i = 1, 2, 3, \dots, m; j = 1, 2, 3, \dots, n$)。

3)数据的无量纲化处理。在灰色优化过程中,各因素组成的序列,一般来说,取值单位不尽相同,而单位不同的数据是无法进行比较的,因此必须把原始数据进行无量纲化处理。对非时间序列,一般采用均值化处理,即:

$$X_i(j) = X \frac{x'_i(j)}{\text{aver}(j)}, (j = 1, 2, 3, \dots, n), \quad (1)$$

其中, $\text{aver}(j) = \frac{1}{m+1} \sum_{i=0}^m X'_i(j)$ 。

式(1)中 $X_i(j)$ 为均值化处理后的无量纲数据序列,处理后得:

$$(X_1, X_2, \dots, X_n) = \begin{bmatrix} x_{01} & x_{02} & \dots & x_{0n} \\ x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}.$$

4)求差序列。经量纲归一化处理后,计算 (X_1, X_2, \dots, X_n) 中的第一行(参考样本)与其余各行(待选方案样本)对应的绝对差值,形成如下绝对差值矩阵

$$\begin{bmatrix} \Delta_{11} & \Delta_{12} & \dots & \Delta_{1n} \\ \Delta_{21} & \Delta_{22} & \dots & \Delta_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Delta_{m1} & \Delta_{m2} & \dots & \Delta_{mn} \end{bmatrix}$$

式中, $\Delta_{ij} = |x_{0j} - x_{ij}|, i = 1, 2, 3, \dots, m; j = 1, 2, 3, \dots, n$ 。

5)确定评价矩阵。对绝对差值矩阵中的数据作如下变换:

$$\epsilon_{ij} = \frac{\min_i \min_j \Delta_{ij} + \rho \max_i \max_j \Delta_{ij}}{\Delta_{ij} + \rho \max_i \max_j \Delta_{ij}} = \frac{\Delta(\min) + \rho \Delta(\max)}{\Delta_{ij} + \rho \Delta(\max)}, \quad (2)$$

式中,分辨系数 ρ 在 $(0, 1)$ 内取值,一般取 $\rho = 0.5$ 。

各评价对象与最优指标的关联系数 ϵ_{ij} 组成评价矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} \epsilon_{11} & \epsilon_{12} & \dots & \epsilon_{1n} \\ \epsilon_{21} & \epsilon_{22} & \dots & \epsilon_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \epsilon_{m1} & \epsilon_{m2} & \dots & \epsilon_{mn} \end{bmatrix}.$$

6)确定各评价指标的权重矩阵。由于各指标的重要程度不同,因此,需要对各个指标赋予不同的权重 $w_i (i = 1, 2, \dots, m)$, 权重矩阵 $W = (w_i)_{1 \times m}$ 。通常各权重数应满足归一性和非负性条件,即:

$$\sum_{i=1}^m w_i = 1, w_i \geq 0.$$

依据图 1 中的层次结构模型,通过构建三标度 $(-1, 0, 1)$ 矩阵和最优传递矩阵^[9]方法确定各指标的权重值,基本步骤如下。

①确定每一层次上的各因素之间的重要性程度的三标度比较矩阵:

$$C = (c_{ij})_{n \times n}, \quad (3)$$

式中, $c_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{表示 } i \text{ 比 } j \text{ 重要} \\ 0, & \text{表示 } i \text{ 与 } j \text{ 同等重要} \\ -1, & \text{表示 } i \text{ 不如 } j \text{ 重要} \end{cases}$

②计算比较矩阵 C 的最优传递矩阵:

$$O = (o_{ij})_{n \times n}, \text{ 其中 } o_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^m (c_{ik} + c_{kj}). \quad (4)$$

③一致性矩阵也称为判断矩阵,把最优传递矩阵 O 转化为一致矩阵:

$$A = (a_{ij})_{n \times n}, \text{ 其中 } a_{ij} = \exp\{o_{ij}\}. \quad (5)$$

矩阵 A 中最大特征值对应的特征向量即为该层各元素的相对权重值,即 $AX = \lambda_{\max} X$, 其中, λ_{\max} 为 A 的特征值, X 为 A 的特征向量。最大特征值 λ_{\max} 对应的特征向量经归一化后即为一层次相应因素对于上一层次某因素相对重要性的排序权值,记作权向量 W ; 其分量 W_i 表示各因素的相对重要性。文中采用乘积方根法计算特征向量的近似值,即:

$$W_i = \frac{(\prod_{k=1}^n a_{ik})^{\frac{1}{n}}}{\sum_{k=1}^n (\prod_{k=1}^n a_{ik})^{\frac{1}{n}}}. \quad (6)$$

7) 灰色综合评价。由评价矩阵 R 和权重矩阵 W , 可求出用灰色关联度表示的评价结果:

$$B = W \times R, b_i = \sum_{j=1}^m w_j \cdot \epsilon_{ij} (i = 1, 2, \dots, m). \quad (7)$$

3 实例分析

以为北京市某别墅为例,建筑面积为 292.1 m², 空调面积为 178.26 m², 3 层, 层高 3.3 m。北京市冬季空调室外计算温度为 -12℃, 夏季空调室外计算温度为 33.2℃。建筑物室内温度冬季设定为 20℃, 夏季设定为 26℃。夏季空调冷负荷为 26.36 kW, 冬季空调热负荷为 13.34 kW。空调全年累计热负荷为 12 904.39 kW·h, 全年累计冷负荷为 10 853.68 kW·h。

3.1 空调系统方案的选择

根据所选建筑的特点以及建筑的冷热负荷, 选择了 6 种适合该建筑的户式中央空调系统方案及各方案的主要设备。

方案 1: 空气源热泵系统

方案 2: 户式燃气空调系统

方案 3: 风冷冷水机组+燃气锅炉系统

方案 4: 水环热泵系统

方案 5: 土壤源热泵系统

方案 6: 太阳能热泵系统

各方案的主要设备, 如见表 1 所示。

表 1 各方案的主要设备

	主机	数量	辅助设备
方案 1	空气/水热泵机组	1	辅助电加热器
方案 2	户式燃气空调机组	1	—
方案 3	风冷冷水机组、燃气锅炉	1	冷冻水泵
方案 4	水环热泵机组	5	冷却塔、冷却水泵、冷冻水泵、辅助电加热器
方案 5	水/水热泵机组	1	冷冻水泵
方案 6	水/水热泵机组	1	冷却塔、冷却水泵、冷冻水泵

各方案的主要设备参数如表 2 所示。

表 2 各方案的主要设备参数

设备	性能参数
空气/水热泵机组	制冷/热量 15/16.5 kW, 制冷/热功率 5.6/6 kW
户式燃气空调机组	制冷/热量 16/16 kW, 制冷/热耗电量 1/0.54 kW, 制冷/热燃料耗量 1.5/1.8 m ³ /h
风冷冷水机组	制冷量 15 kW, 制冷功率 5.6 kW
燃气锅炉	制热量 20 kW, 天然气耗气量 2.73 m ³ /h
水环热泵机组 SHZ40	制冷/热量 4.0/4.3 kW, 制冷/热功率 0.86/0.84 kW
水环热泵机组 SHZ27	制冷/热量 2.7/3.0 kW, 制冷/热功率 0.59/0.57 kW
水/水热泵机组	制冷/热量 15.3/16 kW, 制冷/热功率 3.1/4.1 kW
辅助电加热器	额定功率 6 kW
冷却塔	流量 5 m ³ /h, 风机功率 0.37 kW
冷冻水泵	流量 7.4 m ³ /h, 扬程 9 m, 功率 0.37 kW
冷却水泵	流量 8.3 m ³ /h, 扬程 11.3 m, 功率 0.55 kW

注: 方案 1、方案 2、方案 3、方案 5 和方案 6 的末端设备均为风机盘管, FP-7.1(2 台)电机功率 55 W; FP-6.3(2 台)电机功率 32 W; FP-5(4 台)电机功率 29 W; FP-3.5(2 台)电机功率 25 W; FP-2.5(2 台)电机功率 23 W。

通过计算各方案全年的耗电量、耗气量、耗水量和一次能耗量, 如表 3 所示。

表 3 各方案全年能耗量

能耗	单位	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	方案 5	方案 6
耗电量	kWh/a	12 400.86	2 091.2	6 964.9	10 004.89	10 306.59	10 185.6
耗气量	m ³	—	2 538.6	1 614.0	—	—	—
耗水量	m ³ /a	—	14.7	—	139.2	—	139.2
一次能耗	MJ/a	141 724.1	109 611.7	134 108.2	114 341.6	117 789.6	116 406.8

3.2 初投资的计算

初投资是空调方案选择的主要因素之一。各系统方案

的初投资主要从以下几项费用考虑。

表 4 各方案的初投资费用 万元

	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	方案 5	方案 6
设备费	5.18	5.56	5.24	5.62	3.89	8.19
安装费	0.79	0.84	0.78	0.84	2.99	1.24
材料费	0.68	0.73	0.68	0.32	0.52	1.07
钻孔费	6.65	7.10	6.70	6.78	7.40	10.50
初投资	0.78	0.94	0.79	0.80	0.87	1.23
年度化初投资	5.18	5.56	5.24	5.62	3.89	8.19

注:年度化初投资 $= K_0 \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$, i 为基准折现率,一般取 10%; n 为使用寿命。

表 5 各方案的年运行费用

	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	方案 5	方案 6
耗电量/(kW·h)	12 400.86	2 091.20	6 964.90	10 004.89	10 306.59	10 185.60
电费/万元	0.58	0.10	0.33	0.47	0.48	0.48
耗水量/m ³	—	28.96	—	182.70	—	182.70
水费/万元	—	0.01	—	0.07	—	0.07
燃料量/m ³	—	2 538.60	1 614.00	—	—	—
燃料费/万元	—	0.50	0.31	—	—	—
人工费/万元	0.30	0.43	0.30	0.31	0.34	0.48
设备折旧费/万元	0.20	0.21	0.20	0.21	0.23	0.32
维护管理费/万元	1.08	1.25	1.14	1.06	1.05	1.35
年运行费用/万元	12 400.86	2 091.20	6 964.90	10 004.89	10 306.59	10 185.60

注:(1)设备折旧费 $d = \frac{K_0 - K_L}{n}$; (2)方案 1、3、4、5、6 的使用寿命取 20 a, 方案 2 取 15 a。

3.4 动态费用年值的计算

通过计算各方案的费用年值,结果见表 6。

表 6 各方案的费用年值 万元

	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	方案 5	方案 6
初投资	6.65	7.10	6.70	6.78	7.40	10.50
残值	0.66	0.71	0.67	0.68	0.74	1.05
年运行费用	1.08	1.25	1.14	1.06	1.05	1.35
费用年值	1.85	2.16	1.92	1.83	1.89	2.55

注:设备残值取初投资的 10%。

3.5 折合火用成本的计算

采用黑箱模型分析,把空调机组、冷却塔、水泵划分为一个黑箱系统,则在黑箱的边界上进行的能量传递只有能源的火用输入、冷量火用(或热量火用)的输出以及整个过程的火用损失。以机组年制冷量的火用值为基准,通过计算,6 种方案的折合火用成本如表 7 所示。

表 7 各方案的折合冷量火用成本和折合热量火用成本

参数	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	方案 5	方案 6
折合冷量火用成本(元/MJ)	1 173	2 238	1 173	2 238	1 173	2 238
折合热量火用成本(元/MJ)	9.14	0.009 6	9.14	0.009 6	9.14	0.009 6

3.3 年运行费用的计算

年运行费用主要包括电费、水费、燃料费、维修费用、设备折旧费以及人工费用等。年维护管理费用取初投资费用的 3%^[4-5]。人工费用按人数×时间×月工资来计算,热泵系统需要 2 人,燃气空调系统和燃气锅炉系统均需要 3 人,月工资按 1 000 元计。据调查,北京地区峰时段为 6:00—22:00,电价标准为 0.488 3 元/kW·h;谷时段为 22:00—6:00,电价标准为 0.30 元/kW·h。根据空调冷热源运行时间的比例,电价取为 0.469 元/kW·h;燃气锅炉采用的燃料为天然气,其低位发热值为 8 600 kJ/Nm³,采暖用天然气的价格为 1.95 元/Nm³;水价为 3.7 元/吨。计算出各方案的年运行费用汇总于表 5 中。

3.6 能源利用系数的计算

评价各类空调系统的节能效益需要用到一次能源利用率的概念,即能源利用系数^[6]。能源利用系数指系统消耗单位一次能耗所能得到的能量,用 PER 表示。通过计算每年的制冷量与制热量所消耗的一次能源来计算如表 8 所示。

表 8 各方案的能源利用系数

	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	方案 5	方案 6
PER	0.60	0.74	0.62	0.75	0.72	0.73

3.7 各方案对环境的影响

户式空调方案对环境的影响分析主要从各种污染物的排放量来评价,其中主要的污染物有烟尘、CO₂、SO₂ 和 NO_x。表 9 为各种燃料的排放指标^[7]。

表 9 各种燃料的排放指标

排放指标	火力发电/(g·kWh ⁻¹)	天然气/(g·m ⁻³)
CO ₂	1 173	2 238
SO ₂	9.14	0.009 6
NO _x	3.32	1.28
粉尘	0.57	0.16

根据表 9 以及各方案所消耗的各种能源,可以计算出各方案每年向大气排放的污染物数量,如表 10 所示。

表 10 各方案产生的污染物数量

参数	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	方案 5	方案 6
CO ₂ /t	14.55	11.46	11.78	9.67	9.98	11.95
SO ₂ /kg	113.34	32.38	63.67	75.31	77.73	93.10
NO _x /kg	41.17	15.93	25.19	27.36	28.24	33.82
粉尘/kg	7.07	2.54	4.23	4.70	4.85	5.81

3.8 方案优化

通过以上的计算和分析可得各方案的评价指标值,如表 11 所示。

根据灰色多层次综合评价法,运用公式(1)对原始数据进行均值化处理;利用公式(3)将均值化处理后的数据结合权重矩阵进行多层次灰色关联计算,得到各个层次的综合评价后的结果,如表 12 所示。

表 11 各方案的原始指标值

项目	评价指标	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	方案 5	方案 6	重视程度
经济性	初投资费用/万元	6.65	7.1	7.3	6.07	7.4	10.5	B
	年运行费用/万元	2.68	3.86	3.59	2.51	2.57	2.94	A
	费用年值/万元	3.45	4.77	4.43	3.21	3.41	4.15	C
	折合火用成本/万元	32.16	44.55	41.35	29.97	31.81	38.73	A
节能性	B	能源利用系数	0.6	0.54	0.62	0.91	0.88	0.73
	二氧化碳/t	14.55	11.46	11.78	9.67	9.98	11.95	D
	二氧化硫/kg	113.34	32.38	63.67	75.31	77.73	93.1	B
	氮氧化物/kg	41.17	15.93	25.19	27.36	28.24	33.82	B
环保性	粉尘/kg	7.07	2.54	4.23	4.7	4.85	5.81	C
	安装方便性	7	5	7	5	3	5	C
	维护管理	5	3	5	5	7	5	D
	冬季采暖效果	5	7	7	7	7	5	B

注:重视程度:A—很重视;B—比较重视;C—重视;D—一般重视。

由此可得最优指标集为{6.07,2.51,3.21,29.97,0.91, 9.67,32.38,15.93,2.54,7,7,7}。

表 12 各层评价结果

	评价指标	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	方案 5	方案 6
第 1 层	初投资费用	0.905	0.842	0.817	1.000	0.805	0.554
	年运行费用	0.925	0.623	0.671	1.000	0.978	0.838
	费用年值	0.923	0.648	0.702	1.000	0.935	0.753
	折合火用成本	0.924	0.647	0.701	1.000	0.936	0.754
	能源利用系数	0.643	0.602	0.658	1.000	0.949	0.756
	二氧化碳	0.636	0.826	0.801	1.000	0.965	0.789
	二氧化硫	0.394	1.000	0.627	0.550	0.537	0.464
	氮氧化物	0.445	1.000	0.686	0.639	0.621	0.530
	粉尘	0.430	1.000	0.669	0.613	0.597	0.511
	安装方便性	1.000	0.677	1.000	0.677	0.512	0.677
第 2 层	维护管理	0.666	0.499	0.666	0.666	1.000	0.666
	冬季采暖效果	0.708	1.000	1.000	1.000	1.000	0.708
	经济性	1.85	2.16	1.92	1.83	1.89	0.749
	节能性	0.60	0.74	0.62	0.75	0.72	0.756
第 3 层	环保性	0.344	0.999	0.514	0.418	0.407	0.537
	可靠性	0.894	0.569	0.894	0.615	0.596	0.690
综合评价结果	0.821	0.834	0.826	0.866	0.840	0.675	

(下转第 208 页)

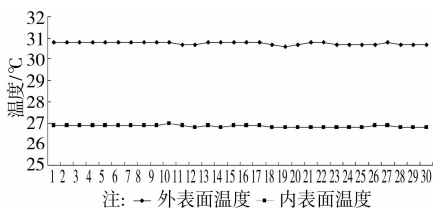


图 8 3 mm 透明玻璃内、外表面温度—组合体时百叶帘关闭状态

3 mm 透明玻璃自身测试时的温度分别降低 7.0 °C 和 5.7 °C, 加装遮阳金属百叶帘后的 3 mm 透明玻璃内表面温度接近室内侧空气设定的 25 °C, 能够明显地降低玻璃表面温度。

2.2.3 组合体—遮阳金属百叶帘百叶帘水平结果分析

3 mm 透明玻璃与遮阳金属百叶帘组合体时, 遮阳金属百叶帘安装于 3 mm 透明玻璃外侧, 利用模拟太阳光源的遮阳系数测试平台测得百叶帘水平状态时, 遮阳金属百叶帘的遮阳系数约为 0.57, 可以遮挡近 43% 的太阳辐射热量。遮阳金属百叶帘后侧 3 mm 透明玻璃的外表面温度 T_1 约 35.9 °C, 内表面温度 T_2 约 30.1 °C, 见图 9。玻璃外表面与内表面温度差值可达 5.8 °C。加装遮阳金属百叶帘后(百叶帘水平状态时)的 3 mm 透明玻璃内表面温度与 3 mm 透明玻璃自身状态时的玻璃表面温度比较接近。

3 结 论

利用模拟太阳光源的遮阳系数测试平台, 在相同工况下可以比较准确地测试出 3 mm 透明玻璃的得热系数、遮阳金属百叶帘百叶帘关闭和水平状态时的遮阳系数; 能够准确地

测出 3 mm 透明玻璃、组合体时百叶帘关闭和水平 2 种状态下 3 mm 透明玻璃的内、外表面温度。

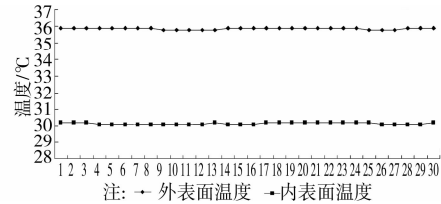


图 9 3 mm 透明玻璃内、外表面温度—组合体时百叶帘水平状态

遮阳金属百叶帘对建筑外窗的隔热性能作用明显, 在百叶帘关闭状态时能阻挡约 87% 的太阳辐射热量, 百叶帘水平状态时能阻挡约 43% 的太阳辐射热量。

参考文献:

- [1] JG/T 251—2009 建筑用遮阳金属百叶帘[S].
- [2] 李磊, 姜美琴, 张纬. 内置百叶中空玻璃遮阳系数的计算[J]. 门窗, 2012(8): 57-58.
- [3] 宋海盟, 陈福霞, 李磊. 内置百叶中空玻璃节能性能实验研究[J]. 新型建筑材料, 2013(4): 87-89.
- [4] 张新生, 许锦峰, 杨玥. 铝合金百叶外遮阳在建筑中的应用推广[J]. 建设科技, 2012, 15: 47-49.
- [5] 透光围护结构太阳得热系数检测方法(征求意见稿)[S].
- [6] JGJ/T 151—2008 建筑门窗玻璃幕墙热工计算规程[S].

(编辑 侯 湘)

(上接第 194 页)

由此可见, 综合考虑经济、节能、环保和可靠性等方面的影响, 各方案的综合评价结果为: 方案 4 > 方案 5 > 方案 1 > 方案 3 > 方案 6 > 方案 2, 即水环热泵系统最优, 其在经济性和节能性方面具有明显的优势, 在环境和可靠性方面也有较好的性能。户式燃气空调系统最差。户式燃气空调系统在环保性方面有良好的性能, 风冷冷水机组+燃气锅炉系统在可靠性方面有良好的性能, 但 2 个方案在其他方面的性能较差。太阳能热泵的应用范围非常广泛, 虽然太阳能热泵技术的研究工作大多处于实验阶段, 要实现商品化生产, 还有许多问题需要进一步解决, 例如, 其投资费用较高、性能不稳定等; 但是, 随着技术的革新以及人们节能与环保观念的增强, 户式太阳能热泵系统必将有更广阔的发展空间。

参考文献:

- [1] 冯小平. 系统灰色优化方法及在空调工程中的应用[J]. 青岛建筑工程学院学报, 1999, 20(3): 46-50.
- [2] 蒋华, 张淑君. 基于改进的 AHP 方法进行空调冷热源方案优选[J]. 流体机械, 2005, 33(5): 67-69.
- [3] Saaty T L. Multi-criteria Decision Making: The analytic Hierarchy Process [J]. Pittsburgh, 1998, 44-57.
- [4] 邓聚龙. 灰色系统基本方法[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1987, 19-41.
- [5] 裴秀英, 林立. 户式中央空调系统的经济性分析[J]. 能源与环境, 2008(1): 19-20.
- [6] 刘东. 水源热泵的经济性分析及应用[D]. 天津: 天津大学, 2004.
- [7] 张挺. 中国美术馆空调改造工程冷热源方案比较[J]. 暖通空调, 2003, 33(5): 74-76.

(编辑 陈移峰)