

# 风机盘管特性预估 GM(1, N)模型

潘湘高, 李晓峰, 陈曼玲, 王思琪

湖南文理学院电气与信息工程学院, 湖南常德 415000

**摘要** 为解决在风机盘管机组(FCU)供冷性能测试过程中变工况实验次数非常多, 非常费时和能耗大的问题, 该文研究了运用灰色系统理论建立 FCU 供冷量与冷冻水温、进水量和进风温度变工况条件参数之间关系的 GM(1, N)灰色模型, 并利用该建模方法预测 FCU 变工况时供冷量估计值。结果表明, 其建模拟合精度和预测估计精度都较高, 能为生产 FCU 的企业和测试部门在做 FCU 变工况特性实验时, 利用 5~6 个具有代表性典型工况的实验数据和以往同规格 FCU 更多工况的历史数据预测估计新批次或新产品变工况特性提供了科学有效的方法。该方法能使实验次数和实验能源消耗都减少为传统方法的 5% 以下, 从而使 FCU 特性测试工作效率提高 20 倍以上。

**关键词** 风机盘管; 变工况; 特性预测; 灰色模型

**中图分类号** TS101.921

**文献标志码** A

**doi** 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.01.011

## Prediction of FCU Characteristics Based on GM(1, N) Model

PAN Xianggao, LI Xiaofeng, CHEN Manling, WANG Siqi

Department of Electrical Information Engineering, Hunan University of Arts and Science, Changde 415000, Hunan Province, China

**Abstract** To test the cooling performance of a Fan Coil Unit (FCU), a large amount of experiment has to be carried out, which is both time-consuming and energy-consuming. To solve this problem, in this paper, the grey system theory is used to establish a GM(1, N) grey model representing the relationship between the FCU volume and such parameters as the frozen water temperature, the cooling water volume and the wind temperature, to predict the FCU cooling performance under various working conditions. The results show that both the simulation and the estimation are satisfactory, and the method provides a scientific and effective way for FCU enterprises and testing departments to estimate the working condition characteristics of new batches of FCU with only a few (5 to 6) typical experimental data and with the historical data of working conditions, thus to reduce the test time and the energy consumption to less than 5% of those by using the traditional method, and to enhance the FCU characteristics testing work efficiency by 20 times.

**Keywords** FCU; changing working conditions; characteristics forecasting; grey model

### 0 引言

实践证明, 风机盘管机组(Fan Coil Unit, FCU)半集中式空调系统比集中式全空气系统可节省运行费用约 20%~30%<sup>[1]</sup>, FCU 是其末端装置, 具有许多优点<sup>[2]</sup>, 由厂家定型生产, 选用方便, 因此它的应用日益广泛。

FCU 的供冷性能数据是其选型的重要依据, 但产品样本

上所标示的供冷量称为名义值, 它是在特定工况下测得的, GB/T 19232—2003 风机盘管机组<sup>[3]</sup>规定的名义供冷工况为: 进风干球温度为 27℃, 进风湿球温度为 19.5℃, 进口水温为 7℃, 进出口水温差为 5℃, 高档转速。

FCU 变工况的供冷性能数据对 FCU 空调设备的研制开发及空调工程的设计、运行工作都具有十分重要的意义。因

收稿日期: 2012-03-27; 修回日期: 2012-09-11

基金项目: 湖南省教育厅教学质量工程项目; 湖南省科技计划(基础研究)项目(2007FJ3046)

作者简介: 潘湘高, 教授, 研究方向为灰色系统理论在空调工程中的应用, 电子邮箱: pxg987654321@163.com

为在空调工程设计中的设计工况往往与名义工况有所不同,空调系统的实际运行工况更是常常偏离名义工况,如果只是简单地根据 FCU 名义供冷量选型则会造成 FCU 的实际供冷量与名义值有很大差别,影响空调的运行效果,可能造成增大投资和能耗的不良后果<sup>[3]</sup>。所以 FCU 生产厂家除提供名义供冷量外还要提供变工况性能数据或曲线。然而,影响 FCU 性能的因素很多,需要的数据量非常大,并且为使实验数据准确,每个工况的性能数据的测试必须在实验系统运行工况稳定后才能进行,稳定时间平均需要约 2h;另外,还需要一定时间测量该工况下各种传感器和仪表的数据,最后,利用一系列复杂公式计算后才能得到一个工况下的供冷量值<sup>[4]</sup>,有时还需要测试多次再求平均值。所以 FCU 供冷性能参数的测试是一件非常费时的的工作,还会消耗大量的能源。为大幅减少测试次数,提高效率 and 节省测试能耗,本文利用灰色系统理论研究建立 FCU 供冷特性预估 GM(1,N)模型。

### 1 风机盘管供冷特性

上海理工大学的陈剑波、徐小军<sup>[5]</sup>研究了变冷冻水温/水量对 FCU 性能的影响,得出的实验研究结果如图 1 和图 2 所示。从图 1 可以看出,制冷量随进水温度上升而减小;从图 2 可以看出,制冷量随水流量的上升而增大。

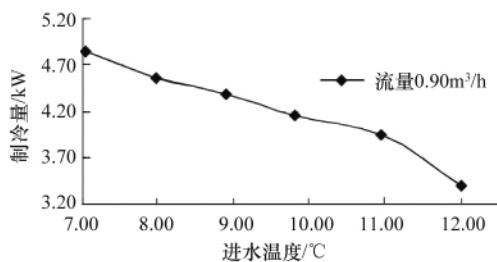


图 1 进水温度变化对于制冷量的影响

Fig. 1 Influence of changing water temperature on cooling volume

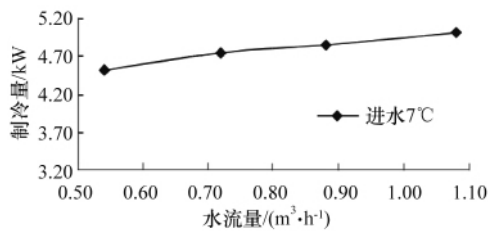


图 2 水流量变化对于制冷量的影响

Fig. 2 Influence of changing water volume on cooling volume

由 FCU 原理分析可知,制冷量还会随进风温度的上升而增大,在实际工作过程中,开机后由于室内空风温度是逐步

下降的,所以在其他条件不变时,开机后 FCU 制冷量一般是逐步减小的。

## 2 风机盘管供冷量灰色 GM(1,N)模型

### 2.1 灰色建模原理

一个部分信息已知,部分信息未知的系统可视为灰色系统<sup>[6-11]</sup>。FCU 制冷量与制冷工况的条件因素的关系中含有许多未知信息,当对其抽样测试后又有一部分已知信息,故可认为其为一个灰色系统。

灰色系统建模的主要任务就是根据系统的行为特征数据,通过建立相关灰微分方程或差分方程,寻找因素之间或因素本身的数学关系。根据这一原理,对 FCU 在各种稳定工况分别进行供冷量值  $Q$  测试,可分别获得  $Q$  值的数据向量  $X_1$  和工况条件重要参数值的数据向量  $X_i(i=2,3,\dots,N)$ 。  $X_1$  和  $X_i$  组成的系统符合灰色系统的特征,记为  $G(X_1-X_i)$  系统。通过对这一系统建立灰微分方程或灰分差方程,可建立向量间的数学关系模型,即 GM(1,N)模型。利用这一模型,可以定量预测估计 FCU 在各种实际工况下的  $Q$  值,为 FCU 变工况设计选型和变工况运行供冷性能分析和控制提供依据。

### 2.2 灰色建模方法

定义  $Q$  测试值为  $X_1=(x_1^{(0)}(1),x_1^{(0)}(2),\dots,x_1^{(0)}(n))$ ;变工况条件因素值为  $X_i=(x_i^{(0)}(1),x_i^{(0)}(2),\dots,x_i^{(0)}(n))(i=2,3,\dots,N)$ 。则  $X_1$  和  $X_i$  的关系可视为一个  $N$  因素灰色系统,记为  $G(X_1-X_i)$  系统, $X_1$  为主行为特征值, $X_i$  为影响因素特征值。由此建立  $X_1$  和  $X_i$  之间的数学关系模型,即 GM(1,N)模型,其灰微分方程形式为<sup>[9]</sup>

$$X_1^{(0)}(k)+aZ_1^{(1)}(k)=\sum_{i=2}^N b_i X_i^{(1)}(k) \quad k=1,2,\dots,n,\dots \quad (1)$$

其中, $X_1^{(0)},X_i^{(0)}$ 分别为  $X_1,X_i$  的规格化(初值化)数据列, $X_1^{(1)},X_i^{(1)}$ 分别为  $X_1^{(0)},X_i^{(0)}$ 一次累加 AGO 生成的数据列; $a$ 和  $b_i$ 为模型参数; $Z_1^{(1)}$ 为  $X_1^{(1)}$ 的紧临均值生成数据列,即

$$Z_1^{(1)}(k)=0.5[X_1^{(1)}(k)+X_1^{(1)}(k-1)] \quad k=1,2,\dots,n,\dots \quad (2)$$

### 2.3 灰色建模过程

灰色建模过程可用如图 3 所示多变量灰色建模流程图

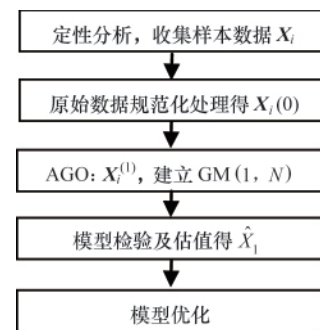


图 3 多变量灰色建模流程

Fig. 3 Multi variable grey modeling

表示,其过程大体可分为以下 5 个步骤。

(1) 定性分析。收集有关历史资料数据并进行定性分析,利用历史数据或实验数据作为建立灰色模型的样本。根据有关资料,已知影响 FCU 制冷量的因素有很多,较主要的有运行工况条件的冷媒水进水初温,进水流量和进风干球温度,但其具体影响数学关系尚不明确,另外还有许多不确定和不清楚的影响因素,故将其视为一个灰色系统。

(2) 原始数据处理。将已得样本数据  $X_i$  进行规范化(初值化)处理得到规范化的原数据列  $X_i^{(0)}$ ,再进行一次或多次(一般用一次)累加生成 AGO: $X_i^{(1)}$ 和紧临均值生成得  $Z_i^{(1)}(k)$ 。

(3) 建立模型。由(2)所得的这些数据列用最小二乘法估计模型  $a$  参数和  $b$  参数列后,建立灰色微分方程或灰色差分方程模型。

(4) 模型估值和检验。利用(3)所建模型的解式和累减还原式求系统的数值解,即估计值,并进行模型检验。

(5) 模型优化。分析(4)的估值误差大小,调整建模数据重新建模,并进行比较。

多次重复步骤(2)~(5),直到最终得到满意的结果。

#### 2.4 建模实例

对山东贝洲州通风空调设备有限公司提供的 FP-34 型 FCU(三排管)制冷性能数据表(如表 1 所示,100 个数据,实

表 1 FP-34 型 FCU(三排管)制冷量数据  
Table 1 FP-34 FCU cooling volume data

进水温 度/°C	进水流量 /(kg·min <sup>-1</sup> )	制冷量/W				
		24/°C	25/°C	26/°C	27/°C	28/°C
5	5	1849*	2029	2209	2358	2536
	6.2	1954	2143	2334	2538	2728
	7.9	2157	2366	2576	2801	3012
	9.5	2314	2550	2777	3019	3246*
6	5	1567	1719	1872	2035	2188
	6.2	1822	1999*	2177	2367	2545
	7.9	2007	2201	2397	2606	2802
	9.5	2139	2347	2555	2778	2987
7	5	1444	1584	1725	1875	2016
	6.2	1690	1854	2019	2195	2360
	7.9	1866	2047	2230*	2424	2606
	9.5	1989	2182	2376	2583	2778
8	5	1329	1458	1588	1726	1856
	6.2	1558	1709	1861	2023	2175
	7.9	1708	1873	2040	2218	2385
	9.5	1822	1999	2177	2367	2545
9	5	1215*	1332	1451	1578	1696
	6.2	1426	1565	1704	1852	1992
	7.9	1567	1719	1872	2035*	2188
	9.5	1672	1835	1998	2172	2335

际数据要多许多,\*为样本数据)分析发现,供冷量与运行工况进水流量、进水温度、进风干球温度(24~28°C)都有关系,其中冷媒水进水温度影响最大,其次是循环水量和进风温度,但具体关系不太明确,将供冷量与工况条件参量视为一个系统。由于这一系统的部分信息已知,但还有部分信息又未知,如冷媒水杂质含量,设备制造工艺和材料品质<sup>[12,13]</sup>等。对其进行灰色分析并建立灰色模型。信息不完全是灰色系统的基本特征,从而可用“少数据”建模<sup>[6-11]</sup>。灰色系统建模适用于样本数据只有 4~7 个数据的“贫信息系统”。因此,从表 1 抽取 6 组样本数据完成相应的建模,如表 2 所示。

表 2 FP-34 型 FCU 供冷特性样本数据表  
Table 2 Sample of FP-34 FCU cooling characteristics

实验(工况) 序号	$k$	1	2	3	4	5	6
供冷量/W	$X_1$	1849	1999	2330	2035	3246	1215
进水流量 /(kg·min <sup>-1</sup> )	$X_2$	5	6.2	7.9	7.9	9.5	5
冷媒水 初温/°C	$X_3$	5	6	7	9	5	9
进风干球 温度/°C	$X_4$	24	25	26	27	28	24

由表 2 数据进行 GM(1,N)建模。假设:供冷量为  $X_1$ ,进水流量为  $X_2$ ,进水温度为  $X_3$ ,进风(干球)温度为  $X_4$ ,将系统记为  $G(X_1, X_i), (i=2,3,4)$ 。用表 2 的 6 个样本数据建立 GM(1,4)模型,使用表 1 其他数据进行预测和检验。

$$X_i^{(0)}(k) = X_i(k) / X_i(1) \quad i=1,2,3,4; k=1,2,\dots,6 \quad (3)$$

用式(3)对  $X_i$  做初值化处理得  $X_i^{(0)}$ 为

$k$	1	2	3	4	5	6
$X_1^{(0)}$	1.0000	1.0811	1.2601	1.1006	1.7555	0.6571
$X_2^{(0)}$	1.0000	1.2400	1.5800	1.5800	1.9000	1.0000
$X_3^{(0)}$	1.0000	1.2000	1.4000	1.8000	1.0000	1.8000
$X_4^{(0)}$	1.0000	1.0417	1.0833	1.1250	1.1667	1.0000

对  $X_i^{(0)}$  做 1-AGO 累加生成,得  $X_i^{(1)}$ 为

$k$	1	2	3	4	5	6
$X_1^{(1)}$	1.0000	2.0811	3.3413	4.4419	6.1974	6.8545
$X_2^{(1)}$	1.0000	2.2400	3.8200	5.4000	7.3000	8.3000
$X_3^{(1)}$	1.0000	2.2000	3.6000	5.4000	6.4000	8.2000
$X_4^{(1)}$	1.0000	2.0417	3.1250	4.2500	5.4167	6.4167

为了求得式(1)的辨识系数  $a, b_i$ ,按文献[8]构建数据矩阵和数列如下。

(1) 按式(2)计算  $Z_i^{(1)}$ 得

$$Z_i^{(1)} = (Z_i^{(1)}(2), Z_i^{(1)}(3), Z_i^{(1)}(4), Z_i^{(1)}(5)) \\ = (1.5406, 2.7112, 3.8916, 5.3196, 6.5260)$$

(2) 构造数据  $B$  矩阵为

$$B = \begin{bmatrix} -1.5406 & 2.2400 & 2.2000 & 2.0417 \\ -2.7112 & 3.8200 & 3.6000 & 3.1250 \\ -3.8916 & 5.4000 & 5.4000 & 4.2500 \\ -5.3196 & 7.3000 & 6.4000 & 5.4167 \\ -6.5260 & 8.3000 & 8.2000 & 6.4167 \end{bmatrix}$$

(3) 确定输出数据列  $y_N$

$$y_N = (X_1^{(0)}(2) \ X_1^{(0)}(3) \ X_1^{(0)}(4) \ X_1^{(0)}(5) \ X_1^{(0)}(6))^T = (1.0811 \ 1.2601 \ 1.1006 \ 1.7555 \ 0.6571)^T$$

(4) 按最小二乘法辨识建模参数得参数列

$$\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T y_N = (1.7368 \ 1.1797 \ -1.0053 \ 1.6275)^T$$

由此,构造的 GM(1, N, x) 模型为

$$\hat{X}_1^{(0)}(k) = \sum_{i=2}^k b_i X_1^{(1)}(k) - a Z_1^{(1)}(k) \\ = 1.1797 X_2^{(1)}(k) - 1.0053 X_3^{(1)}(k) - 1.7368 Z_1^{(1)}(k) \quad (4)$$

其中,  $a=1.7368, b_2=1.1797, b_3=-1.0053, b_4=1.6275$ 。式(4)即为 FCU 变工况供冷特性预测模型。FCU 变工况时供冷量与工况条件进水流量,冷媒水初温,进风温度所组成的系统  $G(X_1-X_4)$  可视为灰色系统。对这一系统采用灰色系统建模的理论和方法可建立灰色 GM(1,4) 模型。用 6 个样本数据所建模型计算值拟合 FCU 变工况时供冷量的实际值。利用所建模型式

(4) 对  $X_1^{(0)}$  进行估值计算,得模型估计值  $\hat{X}_1^{(0)}(k)$ ,再乘以  $X_1^{(1)}$  即得供冷量估计值  $\hat{X}_1(k)$ ,并按式(5)计算相对残差  $\Delta$ :

$$\Delta = \frac{\text{估计值} - \text{实际值}}{\text{实际值}} \times 100\% \quad (5)$$

结果如表 3 所示。由表 3 可见,采用模型计算值拟合 FCU 变工况时供冷量实际值,其绝对值相对残差的平均值小于 0.36%,拟合效果较佳。

表 3 模型拟合结果和残差  
Table 3 Simulation results

供冷量模型预测估值/kW	实际值/kW	相对残差/%
$\hat{X}_1(2)=1.9934$	$X_1(2)=1.999$	-0.28
$\hat{X}_1(3)=2.3383$	$X_1(3)=2.330$	0.36
$\hat{X}_1(4)=2.0338$	$X_1(4)=2.035$	-0.6
$\hat{X}_1(5)=3.2442$	$X_1(5)=3.246$	-0.5
$\hat{X}_1(6)=1.2151$	$X_1(6)=1.215$	0.01

式(4)的运用过程中,  $Z_1$  是一个与该企业的生产管理水、设备状况及同规格 FCU 历史测试结果相关的参数。根据灰色系统理论中信息优先原理,在实际运用中,  $Z_1$  的计算可由企业生产的历史测试数据获得,而本次实验结果又可以作为下一批次同规格产品性能预测计算的依据<sup>[10]</sup>。

本方法建模和预测利用 Matlab 工具软件编程实现,软件运行后,只需将少数几个本样数据和需要预测的工况条件参数及对应的历史数据输入计算机即可自动完成建模和估计计算的全过程。

需要说明的是,用第 2 节的预测方法计算估计值时,需用到参数列  $X_1^{(0)}(k)$  计算  $Z_1^{(1)}(k)$ ,如果已有同规格产品的历史数据可用当然就没有问题,但如果如果没有相关的历史数据可用则如何预测还值得有待进一步研究。

### 3 模型的使用和检验

精选表 1 中最有代表性的 5~6 个样本数据(\*号标识)建立 GM(1, N) 模型,由其预测得到的 FP-34 FCU 制冷量估值如表 4 所示,其对应的相对残差如表 5 所示,其中大于 1% 的只有 4 个,大于 5% 的只有 3 个,如果将大于 1% 的残差定为大误差,则出现大误差的概率只有 4%,最大残差为 8.310%,绝对值平均残差只有 0.255%。由此可见模型使用效果良好,这也是对模型优劣的最好检验。

表 4 GM(1,4)FP-34 供冷量预测值  
Table 4 Estimation of FP-34 FCU cooling volume using GM(1, 4)

进水温度/°C	进水流量 / (kg·min <sup>-1</sup> )	供冷量预测值/kW				
		24°C	25°C	26°C	27°C	28°C
5	5.0	1.8491	2.0290	2.2090	2.3580	2.5360
	6.2	1.9541	2.1431	2.3341	2.5380	2.7280
	7.9	2.1573	2.3662	2.5761	2.8011	3.0121
	9.5	2.3309	2.5515	2.7775	3.0192	3.2461
6	5.0	1.5671	1.7191	1.8721	2.0350	2.1880
	6.2	1.8821	1.9991	2.1771	2.3671	2.5450
	7.9	2.0074	2.2012	2.3971	2.6061	2.8021
	9.5	2.1687	2.3541	2.5561	2.7784	2.9872
7	5.0	1.4441	1.5841	1.7251	1.8750	2.0160
	6.2	1.6901	1.8541	2.0191	2.1951	2.3600
	7.9	1.8665	2.0473	2.2302	2.4241	2.6061
	9.5	1.9918	2.3308	2.3795	2.5837	2.7783
8	5.0	1.3291	1.4581	1.5881	1.7260	1.8560
	6.2	1.5581	1.7091	1.8611	2.0231	2.1561
	7.9	1.7087	1.8734	2.0402	2.2181	2.3480
	9.5	1.8227	2.0017	2.3580	2.3695	2.5631
9	5.0	1.2151	1.3321	1.4511	1.5780	1.8095
	6.2	1.4261	1.5651	1.7041	1.8521	1.9617
	7.9	1.5683	1.7195	1.8723	2.0352	2.1792
	9.5	1.6723	1.8356	2.0002	2.3107	2.3633

### 4 结论

本文研究的风机盘管特性预估模型所需实验样本数据

表 5 FP-34 供冷量 GM(1,4) 预测值相对残差  
 Table 5 Relative residual of cooling volume estimation  
 using GM(1,4)

进水温 度/°C	进水流量 /(kg·min <sup>-1</sup> )	相对残差/%				
		24°C	25°C	26°C	27°C	28°C
5	5.0	0.003	0.002	0.002	0.002	0.001
	6.2	0.005	0.004	0.003	0.002	0.001
	7.9	0.010	0.010	0.000	0.000	0.000
	9.5	0.730	0.060	0.020	0.010	0.000
6	5.0	0.005	0.004	0.003	0.002	0.002
	6.2	0.005	0.004	0.003	0.002	0.002
	7.9	0.020	0.010	0.010	0.000	0.000
	9.5	1.390	0.300	0.040	0.010	0.010
7	5.0	0.005	0.004	0.003	0.002	0.002
	6.2	0.006	0.004	0.003	0.002	0.002
	7.9	0.030	0.010	0.010	0.000	0.000
	9.5	0.140	6.820	0.150	0.030	0.010
8	5.0	0.005	0.004	0.003	0.003	0.002
	6.2	0.007	0.005	0.004	0.003	0.002
	7.9	0.040	0.020	0.010	0.010	0.000
	9.5	0.040	0.130	8.310	0.100	0.020
9	5.0	0.006	0.005	0.004	0.003	0.002
	6.2	0.008	0.006	0.004	0.003	0.002
	7.9	0.080	0.030	0.010	0.010	0.010
	9.5	0.020	0.030	0.110	6.390	0.090

非常少,预测精度高,为 FCU 生产企业和测试部门求取 FCU 变工况特性提供了科学有效的新方法。该方法与对每一个工况逐个进行实验的传统方法相比,能使实验次数和实验能源消耗都减少为传统方法的 5% 以下,从而提高工作效率 20 倍以上。但是,如果没有同规格产品的相关历史数据则如何准确预测还有待进一步研究。

#### 参考文献 (References)

- [1] 胡凯, 胡桂秋, 李江鹏. 风机盘管空调系统应用中的若干问题探讨[J]. 制冷与空调, 2007(2): 77-79.  
 Hu Kai Hu Guiqiu Li Jiangpeng. Refrigeration & Air-Condition, 2007 (2): 77-79.

- [2] 倪美琴, 左滨, 谢治祥. 风机盘管机组变工况特性的实验研究[J]. 节能, 2006(12): 15-17.  
 Ni Meiqin, Zuo Bin, Xie Zhixiang. Energy Saving, 2006(12): 15-17.
- [3] 林小闹, 曾冬琪. 风机盘管机组选型问题的探讨 [J]. 暖通空调, 2011, 41(11): 59-62.  
 Lin Xiaonao, Zeng Dongqi. Heating, Ventilating and Air Conditioning, 2011, 41(11): 59-62.
- [4] 裴清清, 周智明, 陈煜健, 等. 干工况风机盘管机组性能实验研究[J]. 暖通空调, 2009, 39(7): 1-4.  
 Pei Qingqing, Zhou Zhiming, Chen Yujian, et al. Heating, Ventilating and Air Conditioning, 2009, 39(7): 1-4.
- [5] 陈剑波, 徐小军. 变冷冻水温/水量对风机盘管性能的影响的实验研究 [J]. 制冷与空调, 2007(2): 1-5, 20.  
 Chen Jianbo, Xu Xiaojun. Refrigeration & Air-Condition, 2007(2): 1-5, 20.
- [6] 邓聚龙. 灰色系统基本方法[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2005.  
 Deng Julong. The Basic Method of Gray System [M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2005.
- [7] 邓聚龙. 灰色控制系统[M]. 2 版. 武汉: 华中理工大学出版社, 1993.  
 Deng Julong. Grey control system [M]. 2nd ed. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 1993.
- [8] Tsaura R C. Forecasting analysis by fuzzy grey model GM (1,1) [J]. Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers, 2006, 23 (5): 415-422.
- [9] 罗佑新. 灰色系统理论及其中机械工程中的应用[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 2001.  
 Luo Youxin. The grey system theory and its application in mechanical engineering [M]. Changsha: National Defense Science and Technology University Press, 2001.
- [10] 韩莉. 灰色系统理论招生预测中的应用[J]. 科技广场, 2008(1): 201-203.  
 Han Li. Science Mosaic, 2008(1): 201-203.
- [11] 李晓峰, 罗佑新. 苎麻纤维回潮率 GM(1, 2) 模型的研究[J]. 纺织学报, 2001, 22(6): 28-30.  
 Li Xiaofeng, Luo Youxin. Journal of Textile Research, 2001, 22(6): 28-30.
- [12] 刘赞, 李俊梅, 刘叶, 等. 风机盘管节能控制的实验研究与分析[J]. 建筑热能通风空调, 2010, 29(5): 16-19.  
 Liu Yun, Li Junmei, Liu Ye, et al. Building Energy & Environment, 2010, 29(5): 16-19.
- [13] 毕明华. 影响风机盘管换热器传热性能的因素分析 [J]. 低温与超导, 2009, 37(6): 53-55.  
 Bi Minghua. Cryogenics and Superconductivity, 2009, 37(6): 53-55.

(责任编辑 刘志远)

“书评”栏目发表图书评论文章,被评论的图书以高级科普、学术专著及科学文化图书为主,兼顾科学精神、科学方法、科技哲学、科学人文、科学家传记、经典科学著作、科学通俗读物、科学道德等内容。欢迎投稿,择优刊登。每篇书评以 2100 字左右为宜,需配书影,并含书名、作者、出版单位、出版年份、定价等信息。栏目责任编辑:陈广仁,投稿邮箱:chenguangren@cast.org.cn。