

基于数据融合技术的室内环境品质评价

李明海, 薛栋泽, 王天豪

(西安建筑科技大学 信息与控制工程学院, 陕西 西安 710055)

摘要: 学校不仅是老师教书育人的地方, 也是学生成长的重要场所。室内环境品质对学生的学习以及师生的身心健康有着不可预估的影响, 还间接的体现出高等院校教学质量的差别。为了对室内的环境品质进行评价, 文章以高校阶梯教室为研究对象, 首先通过层次分析法结合 1~9 标度法得到各指标权值, 并进行一致性检验得到指标权重, 其次利用无线传感器技术对数据进行采集, 由于现场采集数据存在误差, 故利用自适应加权融合算法得到其融合值, 最后通过模糊综合评价方法得出模糊评价综合结果。研究表明: 基于上述算法得出的室内环境品质的评测结果为良好。

关键词: 室内环境; 层次分析法; 自适应加权算法; 模糊综合评价

中图分类号: TU 831

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2017)04-0611-06

Indoor environment quality evaluation based on data fusion

LI Minghai, XUE Dongze, WANG Tianhao

(School of Information and Control Engineering, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China)

Abstract: The university classrooms are not only the places that teachers have lessons, but also the places for students to grow. The quality of classrooms' indoor environment has an direct effect on students' efficiency and the health of the body and mind. Moreover, it indirectly reflects the differences of each teaching level. In order to evaluate the indoor environment quality, the passage takes the ferrace classroom as the research object, and first obtains each index weight value by the analytic hierarchy process and the 1~9 scale method, and carries on the consistency inspection to obtain the target weight by the use of then uses the wireless sensor technology. Because of the error of data collection in the field, the adaptive fusion algorithm is used to get the fusion value. Finally, the fuzzy comprehensive evaluation result is obtained by the fuzzy comprehensive evaluation method. The results show that the evaluation results of the indoor environment quality based on the above algorithm are great.

Key words: indoor environment; the analytic hierarchy process; adaptive weighted algorithm; fuzzy comprehensive evaluation

近年来, 随着经济的不断发展, 我国的环境污染问题每况愈下, 室内作为人们日常生活的重要场所, 其环境品质越来越引起人们的密切关注。特别是在学校, 其建筑施工速度快, 建筑体量较大, 每年都有大量的教学楼竣工使用, 但由于缺乏对其室内热环境的系统研究, 大部分新建的教学建筑存在能耗较高、室内环境品质差的现象^[1]。随着传感器、嵌入式和无线通信技术的迅猛发展, 为环境监测提供了更为有效的途径和方法^[2]。认真分析我国环境品质监测及现阶段的问题, 对改善人类的居住环境和教学建筑的可持续发展都起到了积极的作用。

AMELIKOV 等人利用呼吸的热人体模型对室内空气品质进行优劣评价, 这种方法是通过模拟

人与环境接触途径的呼吸系统, 并用一些仪器对人体所感知、所呼吸的空气品质进行综合评价^[3]。李念平等人选取一些典型的环境指标作为评价因子, 利用灰色系统理论的灰色关联分析方法, 根据灰色关联矩阵提供的丰富信息对室内空气品质进行综合评价^[4]。

当前对于室内环境品质评价的方法多为层次分析法, 虽然此方法能够将评测人的主观思维做定量处理, 然则考虑到被评估对象的复杂程度, 其得出的结论在很大程度上存在主观臆断性^[5]。而本文中所使用的模糊综合评价方法具有结果清晰以及较强的系统性, 能很好地处理模糊评价问题并完成对其的定量分析, 这种方式适合各种非确定性问题的解决, 故利用其得到的结果更为精确。

1 空气品质参数及权重的确定

1.1 空气品质参数

从室内空气环境主要包括二氧化碳(CO₂)、二氧化硫(SO₂)、一氧化碳(CO)、可吸入颗粒物(PM_{2.5})、甲醛、苯、总挥发性有机物(TVOC)等方面^[6]. 其中 CO₂ 是空气组成的成分之一, 大气中的 CO₂ 的含量为 0.03%~0.04%, 其次 CO₂ 的浓度也可以体现出室内通风换气的成效, 因此将其作为室内环境评价的标准之一. 而甲醛是一种有刺激性气味的无色气体, 室内甲醛主要来自于建材、烟草、洁剂等, 对人的嗅觉、视觉以及呼吸系统都会产生极大的损害, 还会侵害人体的免疫功能, 故在室内环境评价体系中占有重要地位^[7]. TVOC 是这三种指标中所占影响比重较大的一种. 它是指室温下饱和蒸气压^[8]超过了 133.2 Pa 的有机化合物, 会对人体产生急性和慢性的健康影响. 另外, 温、湿度也是重要的品质参数.

1.2 确定权重向量

1.2.1 权重概述

权重: 也称为权数或加权系数, 指的是在一个评价体系中, 其中一个指标相对于其他的指标的重要程度. 权重的组成对于评价结果的精确性和科学性有着重要的影响^[9]. 我们通常所使用的权重确定方法有德尔菲法、模糊分析法、层次分析法(AHP)、问卷调查法等.

1.2.2 权重的确定

应用层次分析法确定权重, 首先就是要将系统划分为多个层次, 计算出合适的隶属度函数, 根据上下层的隶属度函数关系, 对各层次间的元素进行两两比对, 利用所得比较值构造出相应判定矩阵, 最后将数学方法和定性分析相结合, 确定各指标所占权重.

本次研究中, 五种类型室内环境品质因素指标权值的确定, 主要结合 1~9 标度法^[10], 先计算出各个指标的权值, 再进行一致性检验, 最终获得指标权重.

例如, 将 B_1 与 B_2 相比较, 所得到的判断值为 3, 则表示 B_1 比 B_2 稍微重要; 同理, B_5 与 B_6 比较值为 1/5, 表示 B_5 比 B_6 明显重要. 继而就可以得到如下判断矩阵:

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \cdots & b_{nn} \end{bmatrix}$$

在判断矩阵中, 元素应满足以下条件:

$$b_{ij} > 0, b_{ij} = \frac{1}{b_{ji}}, \sum b_{ij} = 1$$

最后建立本次研究评判矩阵:

$$B = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 & 7 & 9 \\ 1/3 & 1 & 3 & 5 & 7 \\ 1/5 & 1/3 & 1 & 3 & 5 \\ 1/7 & 1/5 & 1/3 & 1 & 3 \\ 1/9 & 1/7 & 1/5 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

层次单排序及一致性检验:

层次单排序表示的是, 对于上一层的给定指标, 在这一层中指标相互间的重要程度^[11]. 层次单排序的本质, 就是根据元素相互比较所得的判断矩阵, 通过适当的方法, 求出其相应的特征值和特征向量. 具体计算步骤为:

① 计算判断矩阵 B 每一行元素的积

$$M_i = \prod_{j=1}^n b_{ij}, i = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (1)$$

② 计算各行 M_i 的 n 次方根值 \overline{W}_i

③ 将向量 W_i 归一化处理, 如下所示.

$$W_i = \overline{W}_i / \sum_{i=1}^n \overline{W}_i \quad (2)$$

④ 计算判断矩阵 B 的最大特征值 λ_{\max}

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(BW)_i}{nW_i} \quad (3)$$

⑤ 一致性检验

在现实情况下, 考虑到被评测的对象错综复杂, 即便层次分析法可以定量地处理人的主观意识, 但因此而带来的主观片面性无法完全避免. 故为了消除基于上述方式得到的指标权重, 所产生违背总体规定的现象, 我们有必要进行一致性检验. 计算过程如下:

首先确定一致性指标

$$C_I = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \quad (4)$$

然后查平均随机一致性指标 R_I , 接着计算一致性比率 C_R

$$C_R = \frac{C_I}{R_I} \quad (5)$$

根据相关算法, 其一致性可以接受的范围为 $C_R < 0.1$, 然则需对其进行合理的修正, 再进行判定.

根据以上算法及步骤, 我们得出的是单层次排序, 即在一层中, 指标间的相互重要程度. 而在整个评价体系中, 系统被划分成多个层次, 因此我们需要的结果是在一层中, 各个指标相对于总目标层的重要性程度. 由高到低逐层进行分析, 将

较高层与目标层比较, 相对于目标层的权重为 $a_i (i = 1, 2, \dots, m)$, 同理, 记较低层中的指标 B 相对于较高层的权重为 $b_{1i}, b_{2i}, b_{3i}, \dots, b_m$, 则 B 层指标相对于目标层的总排序权重为

$$W = \sum_{i=1}^m a_{ij} b_{ij} (j = 1, 2, \dots, n)$$

(6)

最后, 再对其进行总的一致性检验.

2 多传感器数据采集

2.1 参数的无线采集

ZigBee 技术是基于 IEEE802.15.4/ZigBee 协议进行无线传输通讯. 它是一种短距离、低功率、低速率无线通信技术. ZigBee 根据自己的协议标准, 在众多无线传感器节点间完成通信^[12].

本次测量的传感器采用多功能传感器板, 该板上集成有较多种类的传感器, 方便使用. 在 ZigBee 的协议栈中, 我们将嵌入式网关连接 ZigBee 协调器并且加入 GPRS 模块, 共同构成其网络层^[13]. 在整个系统中, ZigBee 协调器主要担当室内与室外之间网络通信的桥梁, 而与外网的通信主要通过 GPRS 模块完成. 在整个测量过程中, 数据冗杂, 我们利用嵌入式网关对其处理, 并且将所得数据进行保存, 以及完成与网络之间的传输.

2.2 参数的采集

我们选择了一间顶棚有吊扇, 门窗为塑钢的阶梯教室, 在测量时, 将所有门窗开启, 并在课下进行测量.

测试时间选定为上午 10 点到 12 点, 最高温度为 21.0 ℃. 在教室室内选取 5 个测试点(东北、西北、东南、西南、中间), 每个测试点距地 1.2 米(该高度为学生自习时头部与地面间的距离), 并且以十五分钟为一个时间间隔, 测量室内的温湿度, 在此同时, 每隔 20 min 测试了甲醛、挥发性有机物、PM2.5. 如表 1 所示.

3 多传感器数据融合

3.1 多传感器数据融合的原理

多传感器数据融合这一方式有效降低了单一传感器检测数据时所带来的局限性, 并且系统的时间和空间覆盖能力, 以及系统的决策和容错能力都得到了较大的改善^[14]. 从室内环境品质监控角度来讲, 即是通过室内多个环境品质参数的检测, 并且结合此算法, 对所检测的多种数据进行分析处理, 最终得到室内环境品质, 完成对其的品质评价^[15], 使人们更清楚地认识到所处的环境状况, 以便在必要时采取改善措施.

3.2 自适应加权融合算法

由于现场检测到的数据繁多, 误差在所难免, 因此获得的估计值也存在相应误差. 在检测系统中, 我们使用自适应加权算法, 该算法只需要利用传感器所采集到的数据, 便能够自适应的得到其相对应的权数, 从而预估出最小的均方误差.

通过运用 Matlab 程序的运算, 得到融合值如下表 2 所示:

表 1 实验数据
Tab. 1 Experimental data

次数		1	2	3	4
温度传感器	1	20.5 ℃	20.8 ℃	20.9 ℃	20.4 ℃
	2	20.7 ℃	20.6 ℃	20.8 ℃	20.9 ℃
湿度传感器	1	69.1% RH	69.6% RH	69.8% RH	69.0% RH
	2	69.6% RH	69.5% RH	69.6% RH	69.7% RH
甲醛传感器	1	0.04 mg/m ³	0.04 mg/m ³	0.05 mg/m ³	0.03 mg/m ³
	2	0.04 mg/m ³	0.05 mg/m ³	0.04 mg/m ³	0.04 mg/m ³
TVOC 传感器	1	0.07 mg/m ³	0.09 mg/m ³	0.08 mg/m ³	0.08 mg/m ³
	2	0.07 mg/m ³	0.08 mg/m ³	0.07 mg/m ³	0.09 mg/m ³
PM2.5 传感器	1	95 μg/m ³	92 μg/m ³	97 μg/m ³	93 μg/m ³
	2	91 μg/m ³	95 μg/m ³	94 μg/m ³	96 μg/m ³

表2 数据融合结果
Tab.2 The data fusion results

特征	平均值	方差	最优加权因子	总均方差	自适应加权融合值	
温度	1	20.650 0	0.042 5	0.227 3	0.009 7	20.7
	2	20.750 0	0.012 5	0.772 7		
湿度	1	69.375 0	0.111 9	0.042 8	0.048	69.6
	2	69.600 0	0.005 0	0.957 2		
甲醛	1	0.040 0	0.500×10^{-4}	0.272 7	$1.363 6 \times 10^{-5}$	0.04
	2	0.042 5	$0.187 5 \times 10^{-4}$	0.727 3		
TVOC	1	0.080 0	$0.500 0 \times 10^{-4}$	0.578 9	$2.894 7 \times 10^{-6}$	0.08
	2	0.077 5	$0.687 5 \times 10^{-4}$	0.421 1		
PM2.5	1	0.094 3	$0.368 8 \times 10^{-5}$	0.487 0	$1.795 7 \times 10^{-6}$	0.09
	2	0.094 0	$0.350 0 \times 10^{-5}$	0.513 0		

4 模糊综合评价方法

4.1 概述

模糊综合评价法是在模糊数学中,一种综合评价各指标的方法.它依据隶属度理论,将定性评价与定量评价进行转换^[16].其基本原理是:先明确被评判对象的因素(指标)集和评价(等级)集;之后通过层次分析法计算出各个指标在总体中所占权重,确定隶属函数,得到隶属度向量,进而得到模糊评价矩阵;最终将评判矩阵中的元素与指标的权向量进行模糊计算,并归一化处理,获得综合评价结果.

4.2 确定隶属函数

在模糊综合评价中,确定隶属函数往往是极其重要的环节,它的选取合适与否,在很大程度上决定了数据融合的精确程度.在本研究中,我们采用柯西分布来确定隶属度^[17].

r_{ij} 表示的是传感器 u_i 相对于评语集 V 中的第 j 个元素的隶属度,则有:

$$r_{ij} = \begin{cases} 1, & x_i \leq a_{ij} \\ 1 / (1 + a(x_i - a_{ij})^\beta), & x_i > a_{ij} \end{cases} \quad (a > 0, \beta > 0) \quad (7)$$

4.3 确定因素集

在因素集中,各元素的模糊程度不同,取其中的5种气体传感器测量值为因素集,即 $U = (u_1, u_2, u_3, u_4, u_5) = (\text{甲醛传感器数值}, \text{PM2.5粉尘传感器数值}, \text{TVOC传感器数值}, \text{温度传感器数值}, \text{湿度传感器数值})$.

4.4 建立评语集

评价者对各个测评对象进行评判,所得的评判结果组成的集合称为评语集,根据GB/T18883-2002及室内空气污染对人体健康的危害程度,将室内环境的评判指标划分成为5类,即很好、好、差、较差、很差这五种状态,集合的表示为: $V = (v_1, v_2, v_3, v_4, v_5) = (\text{很好}, \text{好}, \text{差}, \text{较差}, \text{很差})$.

4.5 隶属度计算

在上式中,取 $\alpha = 1, \beta = 2, x_i$ 为对应传感器的自适应加权数据融合值, $a_{i1}, a_{i2}, a_{i3}, a_{i4}, a_{i5}$ 为对应传感器处于很好、好、差、较差、很差时的标准值,结合相关标准,取温度传感器: $a_{11} = 25.0, a_{12} = 28.0, a_{13} = 31.0, a_{14} = 35.0, a_{15} = 38.0$;湿度传感器: $a_{21} = 45.0, a_{22} = 55.0, a_{23} = 65.0, a_{24} = 75.0, a_{25} = 85.0$;甲醛传感器: $a_{31} = 0.011, a_{32} = 0.06, a_{33} = 0.50, a_{34} = 1.00, a_{35} = 1.50$;总挥发性有机物(TVOC)传感器: $a_{41} = 0.30, a_{42} = 0.50, a_{43} = 0.80, a_{44} = 1.20, a_{45} = 1.50$;可吸入颗粒PM2.5传感器 $a_{51} = 0.025, a_{52} = 0.035, a_{53} = 0.045, a_{54} = 0.055, a_{55} = 0.065$;

根据所得结果,当温度传感器数据 x_1 时,

$$r_{11} = 1 \quad r_{12} = 1 \quad r_{13} = 0.009 \quad r_{14} = 0 \quad r_{15} = 0$$

对其进行归一化:

$$R_{11} = 1 / (1 + 1 + 0.009 + 0 + 0) = 0.497 7$$

$$R_{12} = 1 / (1 + 1 + 0.009 + 0 + 9) = 0.497 7$$

$$R_{13} = 0.009 / (1 + 1 + 0.009 + 0 + 0) = 0.004$$

$$R_{14} = 0 / (1 + 1 + 0.009 + 0 + 0) = 0$$

$R_{15}=0/(1+1+0.009+0+0)=0$

得出模糊关系评判矩阵 R

$$R=\begin{bmatrix} 0.497\ 7 & 0.497\ 7 & 0.004\ 6 & 0 & 0 \\ 0.032\ 1 & 0.090\ 8 & 0.877\ 2 & 0 & 0 \\ 0.272\ 7 & 0.272\ 8 & 0.225\ 3 & 0.142\ 0 & 0.087\ 2 \\ 0.376\ 1 & 0.376\ 1 & 0.247\ 7 & 0 & 0 \\ 0.199\ 6 & 0.199\ 8 & 0.200\ 0 & 0.200\ 2 & 0.200\ 3 \end{bmatrix}$$

4.6 模糊综合评价

在我们确定了评价指标权重和单指标评判矩阵后，便可以完成可持续性综合评价^[18]。我们可以简单的将综合评判矩阵看成为一个模糊变换器，当有一个权重集被确定时，将其输入到模糊变换器中，经过相应的模糊运算，便可得到其综合评价结果。如图 1 所示，其中 * 为广义模糊算子。

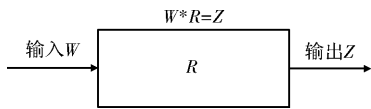


图 1 综合评判原理图

Fig. 1 The principle diagram of the comprehensive evaluation

例如，本次检测的评价体系结构为四层，则首先对上一级进行指标的综合评价，通常令

$$Z_i=W_i * R_i \tag{8}$$

逐级递减，根据相关模糊运算得出的结果对第二级指标进行相应评判，依此类推，其后对总体评价结果进行打分。找出合适的隶属度函数，通过计算及最大隶属度准则，建立评判矩阵，得出整体的评价结果，并确定其相应等级。所得权重集如下： $W=[0.512\ 8\ 0.261\ 5\ 0.129\ 0\ 0.063\ 4\ 0.033\ 3]$ 根据权重集及模糊关系评判矩阵，通过程序和运算得到表 3：

表 3 合成运算结果

Tab. 3 Synthetic operation results

参数	优秀	良好	中等	较差	很差	结果
结果	0.329	0.344	0.283	0.025	0.017	良好

总之，教室环境空气环境品质良好。

5 结论

本文通过相关数据采集以及数据融合技术，分析研究了室内环境品质，研究结论如下：

(1)单一的使用层次分析法所带来的主观臆断性很难消除，在研究中，通过引入模糊综合评判，将二者相结合，更好的对问题进行分析处理。

(2)由于物理层兼容了高可靠的无线通信协议，ZigBee 技术的使用可以精确、低功耗的完成

我们所需的采集工作。

(3)由于所测数据种类较多，多传感器数据融合方法不仅可以降低单一传感器检测时的局限性，还能够将信息精确化，有很强的容错能力，这对于多数据的分析处理具有积极的意义。

(4)利用自适应加权融合算法不仅能够自适应的得到参数对应的权数，还可以使检测到的数据误差最小化。

(5)在综合评价过程中，我们使用了模糊综合评价法，该方法易于掌握，并且可以很好的处理复杂的评判问题，用这种方法解决多层次的问题是其他数学思想无法替代的。

参考文献 References

[1] 戴萍. 室内空气品质评价方法的研究进展[J]. 中国环境监测, 2004(2): 64-66.
DAI Ping. Research progress of indoor air quality evaluation method[J]. China Environmental Monitoring, 2004(2): 64-66.

[2] 江燕涛, 杨昌智. 室内热环境和新风量对室内可感空气品质主观评价的影响[J]. 建筑科学, 2016, 32(10): 6-14.
JIANG Yantao, YANG Changzhi. The influence of indoor thermal environment and fresh air volume on subjective evaluation of indoor air quality[J]. Building Science, 2016, 32(10): 6-14.

[3] AMELIKOV, JKACZMARCZYK, L. CYGAN. Indoor air quality assessment by a “breathing” thermal manikin, air distribution in rooms[C] //Proceedings of the 7th International Conference. [s. n.]: Thermal Manikin Testingimm. 2002, 1: 101-106.

[4] 李念平, 朱赤晖, 文伟. 室内空气品质的灰色评价[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2002, 29(4): 85-90.
LI Nianping, ZHU Chihui, WEN Wei. Gray evaluation of indoor air quality[J]. Journal of Hunan University (Natural Science Edition), 2002, 29(4): 85-90.

[5] 王承霞, 李云龙, 米金玲, 等. 室内环境评价方法现状研究[J]. 环保节能, 2013(5): 30-31.
WANG Chengxia, LI Yunlong, MI Jinling, et al. Study on the current situation of indoor environment evaluation method[J]. Environmental Energy Conservation, 2013(5): 30-31.

[6] 叶海. 室内环境品质的综合评价指标[J]. 建筑热能通风空调, 2000(1): 31-34.
YE Hai. Comprehensive evaluation index of indoor environment quality[J]. Building Thermal Energy Ventilation and Air Conditioning, 2000(1): 31-34.

[7] 于乃云. 室内空气品质评价与污染物控制[D]. 青岛:

- 青岛科技大学,2014.
- YU Naiyun. Indoor air quality evaluation and pollutant control[D]. Qingdao: Qingdao University of Science and Technology, 2014.
- [8] 杨晓敏. 高校教室环境品质实测与评价[D]. 衡阳: 南华大学, 2013.
- YANG Xiaomin. Measurement and evaluation of environmental quality in university classrooms[D]. University of South China, 2013.
- [9] 资雪琴, 刘刚. 层次分析法在室内空气品质综合评价中的应用[J]. 陕西能源与节能, 2005(1): 33-34.
- ZI Xueqin, LIU Gang. Application of Analytic Hierarchy Process in indoor air quality comprehensive evaluation[J]. Shaanxi Energy and Energy Conservation, 2005(1): 33-34.
- [10] 王祖和, 周静. 基于 AHP 的绿色建筑评价体系研究[J]. 建筑节能, 2013(11): 79-82.
- WANG Zuhe, ZHOU Jing. Research on green building evaluation system based on AHP[J]. Building Energy Conservation, 2013 (11): 79-82.
- [11] 袁艳平, 程宝义, 姜云峰. 基于多层指标体系 AHP 的室内环境评价[J]. 石家庄铁道学院学报, 2004(3): 13-14.
- Evaluation of indoor environment based on multi-layer index AHP system[J]. Journal of Shijiazhuang Railway Institute, 2004 (3): 13-14.
- [12] 徐敬东, 赵文耀, 李森, 何亮. 基于 ZigBee 的无线传感器网络设计[J]. 计算机工程, 2010(10): 110-112.
- XU Jingdong, ZHAO Wenyao, LI Miao, et al. Design of wireless sensor networks based on ZigBee[J]. Computer Engineering, 2010 (10): 110-112.
- [13] 殷兴. 基于无线传感器网络的室内环境监测系统[D]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2009.
- YIN Xing. Based on the wireless sensor network of indoor environment monitoring system[D]. Shenyang: Shenyang University of Technology, 2009.
- [14] 杜加萍. 多传感器信息融合算法的研究及应用[D]. 无锡: 江南大学, 2011.
- DU Jiaping. Multi-sensor information fusion algorithm research and application[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2011.
- [15] 张晓亮, 罗文广. 多传感器数据融合技术在室内环境品质监控系统中的应用研究[J]. 仪表技术与传感器, 2012(2): 103-105.
- ZHANG Xiaoliang, Luo Wenguang. Application of multi-sensor data fusion technology in indoor environment quality monitoring system[J]. Instrument Technique and Sensor, 2012(2): 103-105.
- [16] 许雪燕. 模糊综合评价模型的研究及应用[D]. 成都: 西南石油大学, 2011.
- XU Xueyan. The research and application of fuzzy comprehensive evaluation model[D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2011.
- [17] 周勃. 基于粗糙集理论的室内环境模糊评价方法[J]. 暖通空调, 2006(4): 21-22.
- ZHOU Bo. Fuzzy evaluation method of indoor environment based on rough set theory[J]. HVAC, 2006(4): 21-22.
- [18] 王刚, 魏守智, 赵海. 基于模糊评判的决策级信息融合算法研究[J]. 计算机工程与应用, 2002(15): 18-19.
- WANG Gang, WEI Shouzhi, ZHAO Hai. Research on decision level information fusion algorithm based on fuzzy evaluation[J]. Computer Engineering and Application, 2002 (15): 18-19.

(编辑 桂智刚)