

# 居住建筑节能评价与能效标识理论模型

杨玉兰<sup>1,2</sup>, 李百战<sup>2</sup>, 姚润明<sup>3</sup>, 康宁<sup>4</sup>

(1. 浙江工业大学建筑工程学院 杭州 310014; 2. 重庆大学城市建设与环境工程学院, 重庆 400045;  
3. 英国雷丁大学建筑管理与工程学院 雷丁 RG6 6AW; 4. 中国建筑西南设计研究院, 成都 610081)

**摘要:**针对当前中国建筑节能评价研究主要集中在计算机能耗模拟,尚缺乏能处理不确定和不完全信息的综合评价模型这一现状,以证据理论和国家及地方建筑节能技术标准为基础,提出了一个建筑节能评价与能效标识理论模型。将该模型应用到夏热冬冷地区居住建筑节能评价,形成了一套夏热冬冷地区居住建筑节能评价与能效标识方法。以该方法为基础,开发了一套夏热冬冷地区居住建筑节能评价及能效标识计算机软件。将所开发的软件应用于重庆地区一建筑进行建筑节能评价和能效标识,评价结果与中国《节能建筑评价标准(征求意见稿)》的评价结果基本一致,说明提出方法是基本正确的。实例演示也显示了提出的模型是一种能获取和处理不确定信息的综合评价模型。

**关键词:**节能评价;能效;证据理论;理论模型

**中图分类号:**TU111.19 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2010)03-0105-08

## A Method for Energy Efficient Assessment and Labeling of Residential Buildings

YANG Yu-lan<sup>1,2</sup>, LI Bai-zhan<sup>2</sup>, YAO Run-ming<sup>3</sup>, KANG Ning<sup>4</sup>

(1. College of Civil Engine Engineering and Architecture, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014;  
2. The Faculty of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China;  
3. The School of Construction Management and Engineering, University of Reading, Reading RG6 6AW ;  
4. China Southwest Architectural Design and Research Institute, Chengdu 610081, China)

**Abstract:** There exists the shortage of holistic building energy efficiency assessment models which consider the uncertain or incomplete information, whereas most previous studies focus on building energy consumption via computer simulation. To tackle the above deficiency, an energy assessment and labeling model of residential buildings was proposed based on the theory of evidence and the national and local building energy efficiency standards. A method has been achieved by applying the model in residential buildings in hot summer and cold winter area. A computer software toolkit was developed based on the above method. To demonstrated and validated the proposed method, a case study was addressed with the software toolkit. Meanwhile, the same project was assessed with the 'Assessment standard for energy efficient buildings'. It is found that the two methods are in good agreement and the proposed method can deal with the uncertain information.

**Key words:** energy efficiency assessment; energy efficiency; D-S theory; theory model

随着中国经济的不断发展,建筑能耗在总能耗中所占的比例也在逐年上升。能源消耗不但加剧能源危机,而且造成环境污染。建筑节能评价和能效标识是提高中国建筑能效的最重要和最有效的措施

收稿日期:2009-08-14

基金项目:国家科技支撑计划(2006BAJ01A13-02)

作者简介:杨玉兰(1974-),女,博士,主要从事建筑节能评价及建筑节能技术研究,(E-mail)gzyl@126.com。

之一。当前,以中国《建筑能效测评与标识技术导则》<sup>[1]</sup>为模板,一些地区结合自身特点,也制定了适宜本地区的建筑能效测评与标识方法,比如重庆市建设委员会颁布了《重庆市建筑能效测评与标识管理办法(渝文审[2008]4)》<sup>[2]</sup>和《重庆市建筑能效测评与标识技术导则》。

以某种建筑运行能耗计算方法或者建筑运行能耗计算机模拟软件为基础的建筑能效评价方法是当前建筑节能评价的主要方法。欧盟建筑能效指导 EPBD 2002/91/EC (Energy Performance of Buildings Directive)<sup>[3]</sup>框架下的建筑能耗证书制度以及中国的《建筑能效测评与标识技术导则》都属于该类建筑能效评价方法。该类方法最大的优点是能为建筑能耗提供定量的比较和评价,不足之处则是评价依赖于某一建筑能耗计算方法或计算机模拟软件。任何一种建筑能耗计算方法或模拟软件都是在一定的假定条件下对建筑能耗进行计算或模拟,一方面建筑能耗计算方法和模拟的结果经常与实际数据出现较大出入,另一方面任何一种建筑能耗计算方法和模拟软件都不能将影响建筑能效的各方面都包含进去,并建立定量的能耗计算。

当前中国尚缺乏具有说服力的建筑节能综合评价模型及方法;其次,建筑节能评价是比较复杂的课题,评价中存在主观判断与客观判断,主观判断中必然存在不确定信息和不完全信息,然而,尚未发现处理建筑节能评价中的不确定信息和不完全信息的文献资料。

该文以证据理论和建筑节能技术标准为基础,提出了一个建筑节能评价与能效标识理论模型。将该模型应用到夏热冬冷地区居住建筑节能评价,形成了一套夏热冬冷地区居住建筑节能评价与能效标识方法。在所提出方法的基础上,开发了一套夏热冬冷地区居住建筑节能评价及能效标识计算机软件。为了验证夏热冬冷地区居住建筑节能评价及能效标识方法和软件,应用开发的软件对重庆一实例建筑进行节能评价及能效标识,评价结果与即将颁布的《节能建筑评价标准(征求意见稿)》评价结果趋于一致。

## 1 建筑节能评价与能效标识理论模型

构建的建筑节能评价及能效标识理论模型如图 1 所示。

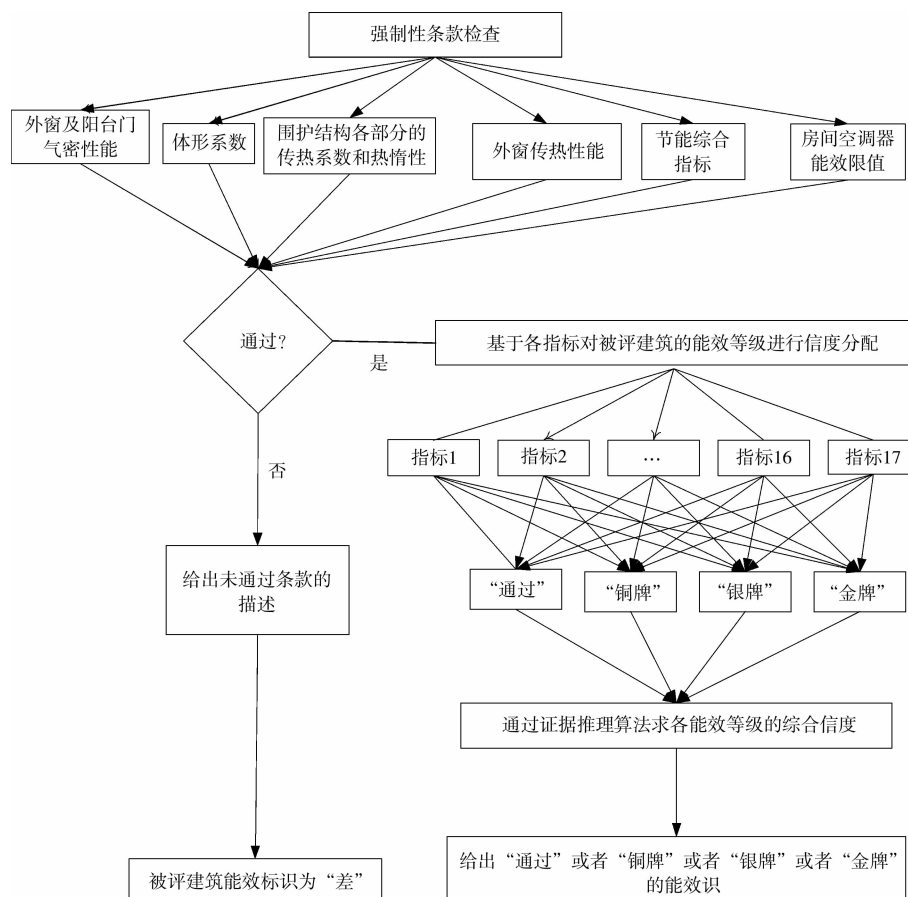


图 1 夏热冬冷地区居住建筑节能评价与能效标识方法

首先对被评建筑进行建筑节能强制性条款检查。如果被评建筑未通过强制性条款检查,其能效等级被标识为“差”。如果被评建筑通过强制性条款检查,则进入下一阶段的能效标识。能效标识采用在证据理论和证据推理方法基础上构建的建筑能效标识模型进行。建筑能效标识有2个主要步骤:首先,从各建筑节能评价指标出发,依据已经建立的一套夏热冬冷地区居住建筑评价指标建筑能效等级信度分配原则,对被评建筑进行建筑能效等级信度分配;然后,应用结合能效标识模型的证据合成算法将

分项指标信度综合成为最后的建筑能效等级信度,最后根据综合能效等级信度对被评建筑进行能效标识。

建筑节能评价指标体系构建及权重分配是很重要的内容,通过结合理论分析及专家问卷调查构建出一套评价指标,并按照群体层次分析权重模型进行专家问卷调查,为各指标分配了权重。建筑节能评价指标的构建及权重分配详见参考文献[4]。已经构建好的建筑节能评价指标及权重如图2所示:

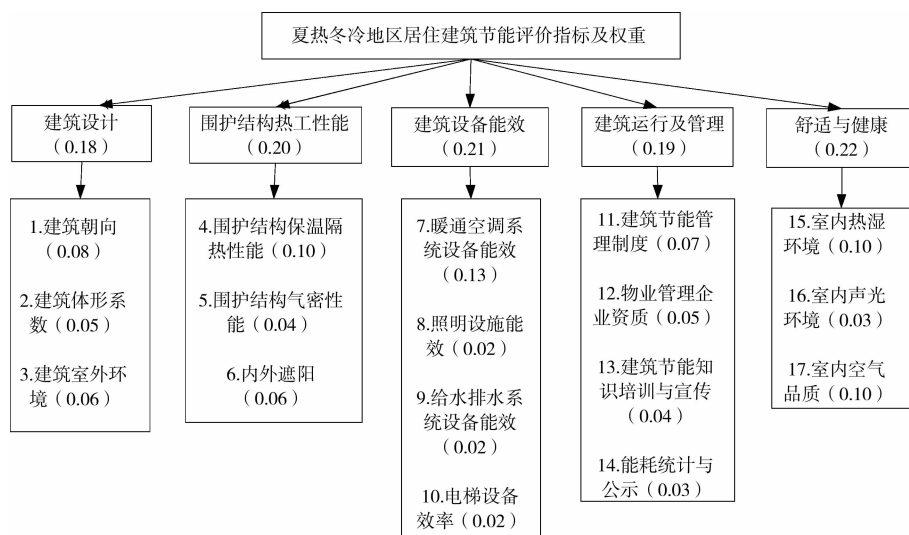


图2 夏热冬冷地区居住建筑节能评价指标及权重<sup>[5]</sup>

建筑能效等级数量和名称确定也是该模型的重要步骤之一。虽然所提出的建筑节能评价模型能处理多个建筑能效等级,但是,过多过细的建筑能效评价等级也是不必要的。为了避免采用星级和数字等级带来理解上的混淆,采用文字等级:“差”、“通过”、“铜牌”、“银牌”和“金牌”。这5个等级具有含义清楚,等级数量合适、容易理解的特点。

### 1.1 强制性条款检查

模型中的强制性条款检查主要基于《JGJ 134—2001 夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》<sup>[5]</sup>和《GB 12021.3—2004 房间空气调节器能效限定值及能源效率等级》这2个标准进行。《JGJ 134—2001 夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》中3.0.3, 4.0.3, 4.0.4, 4.0.7, 4.0.8, 5.0.5, 6.0.2为强制性条文,必须严格执行。然而,考虑到第6.0.2条一般情况下不适用,所以未纳入强制性条款检查范围。第3.0.3条评价的可操作性较差,所以,也未将该条款纳入模型的强制性条款检查。第3.0.3条是关于

“采暖、空调能耗节能50%”的条款,正如《居住建筑节能设计标准(征求意见稿)》<sup>[6]</sup>中指出:“这种全年采暖和空调的能耗计算,只可能采用典型建筑按典型模式运算,而实际建筑是多种多样、相当复杂的,运行情况也是千差万别的,因此,设计时按照标准的规定去做就可以满足要求,如果再花时间去计算分析所设计建筑物的节能率究竟是多少,可能就不值得了”。除了以上2条之外其余5条均纳入评价方法的强制性条款检查内容。

### 1.2 指标信度分配

为模型中的17个建筑节能评价指标的能效等级分配信度,是本模型的关键内容之一。结合中国现行标准规范、考虑到各指标的当前技术发展水平、并参照某些发达国家的标准规范的基础上,构建了一套为17个指标分配信度的原则。以房间空调设备能效指标为例,针对该指标的信度分配方法如表1所示。其余指标的信度分配原则可参见文献[7]。

表 1 房间空调器能效指标信度分配原则

评价等级	信度分配原则
通过	房间空调器能满足《GB 12021.3-2004 房间空气调节器能效限定值及能源效率等级》中最低能效限值要求。
铜牌	1) 房间空调器能满足《GB 12021.3-2004 房间空气调节器能效限定值及能源效率等级》标准中能效第 4 级要求 2) 未采用电直接加热方式采暖
银牌	1) 房间空调器能满足《GB 12021.3-2004 房间空气调节器能效限定值及能源效率等级》标准中第 3 级要求 2) 建筑设计统一的分体空调器室外机安放搁板及预留凝结水排放孔洞,且空调安装位置充分考虑有利于空调器夏季排放热量 3) 满足“铜牌”要求。
金牌	1) 房间空调器能效达到国家标准《GB 12021.3-2004 房间空气调节器能效限定值及能源效率等级》中的 1 级要求 2) 建筑自然通风良好,有穿堂风,充分利用自然通风带走部分热量,尤其是夜间散热 3) 空调设备带热量回收装置 4) 满足“银牌”要求

### 1.3 证据理论(DS 理论)与证据推理方法(ER 方法)

证据理论由 Dempster<sup>[8-10]</sup> 在 20 世纪的 60 年代年提出,由 Shafer 于 20 世纪 70 年代年推广提炼形成证据理论,并于 1976 年发表著作“数学的证据理论(A Mathematical Theory of Evidence)”<sup>[11]</sup>,因此证据理论又称 D-S 证据理论。该方法具有较完善的数学基础,能充分地利用冗余信息及信息之间的互补性,获得更可靠的信息,改善决策等优点<sup>[12]</sup>。DS 理论最大的局限和争议在于:在使用证据理论进行证据合成时,当证据具有较强的冲突时将导致合成结果有悖常理,Zadeh<sup>[13]</sup> 引用 2 个医生看病的例子是最好的例证。

证据推理方法(Evidential Reasoning Approach),简称 ER 方法,由 Yang Jian-bo 和 Madan G Singh 于 1994 年提出<sup>[14]</sup>。ER 方法通过组合信度和权重以及归一化组合后的基本信度函数,获得基本信度分配,从而改善了证据理论在证据冲突时的合成<sup>[15]</sup>。与 DS 理论的指数级计算复杂度相比,ER 算法为线性复杂度,不但计算复杂度较低,并且易于编程。

### 1.4 基于证据理论与证据推理方法的建筑节能标识理论模型

构建的建筑节能评价理论模型如图 3 所示。建模过程中,将评价等级视为证据理论中的辨识框  $\Theta = H = \{H_1, H_2, \dots, H_N\}$ ,辨识框中的命题(即能效等级)为互斥的和穷尽的。所谓互斥,即某一个能效等级完全确定后,则该能效等级的信任度为 1,其它的能效等级的信任度必为 0,所有能效等级的信度之和必须小于或等于 1。所谓穷尽的,即辨识框包含所有的可能的能效等级,不允许评价者用辨识框之外的能效等级来评价对象。

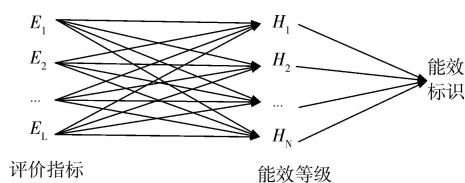


图 3 建筑节能评价理论模型

假定有  $L$  个评价指标,构成了  $L$  个证据信息源。从各指标出发,对建筑的能效评价将以信任度  $\beta_{n,j}$  ( $n = 1, \dots, N; j = 1, \dots, L$ ) 的方式表达, $\beta_{n,j}$  表示从指标  $E_j$  的角度提供的证据,将建筑能效指派到能效等级  $H_n$  的程度,即从指标  $E_j$  提供的信息,评价者以信度  $\beta_{n,j}$  认为建筑的能效属于等级  $H_n$  的程度。信度  $\beta_{n,j}$  满足下式:

$$\beta_{n,j} \geq 0 \text{ 并且 } \sum_{n=1}^N \beta_{n,j} \leq 1 \quad (j = 1, \dots, L)$$

反应了 ER 方法获取不确定信息和不完全信息的特点。如果  $\sum_{n=1}^N \beta_{n,j} = 1$ ,我们说在指标  $E_j$  下的建筑节能评价是完全确定的;当  $\sum_{n=1}^N \beta_{n,j} = 0$ ,表示从指标  $E_j$  出发,无法提供任何证据对建筑能效进行评价。 $0 < \sum_{n=1}^N \beta_{n,j} < 1$  表示从指标  $E_j$  的角度,建筑能效评价是不完全的。

此外, $L$  个评价指标的权重各不相同,设  $E_i$  的权重为  $\omega_i$  ( $i = 1, \dots, L$ ),满足  $\sum_{i=1}^L \omega_i = 1, (\omega_1, \dots, \omega_L \geq 0)$ 。

以 ER 算法为基础,结合构建的建筑节能评价模型,将各评价指标信度合成为综合信度的算法如式(1)~(14)所示:

首先,通过结合评价指标权重和信度矩阵,建立证据理论中的基本信度分配函数。

$$m_{n,i} = m_i(H_n) = \omega_i \beta_{n,i} \quad (n = 1, \dots, N; i = 1, \dots, L) \quad (1)$$

$$m_{H,i} = m_i(H) = 1 - \sum_{n=1}^N m_{n,i} =$$

$$1 - \omega_i \sum_{n=1}^N \beta_{n,i} \quad (i = 1, \dots, L) \quad (2)$$

$$\bar{m}_{H,i} = \bar{m}_i(H) = 1 - \omega_i \quad (i = 1, \dots, L) \quad (3)$$

$$\tilde{m}_{H,i} = \tilde{m}_i(H) = \omega_i \left( 1 - \sum_{n=1}^N \beta_{n,i} \right) \quad (i = 1, \dots, L) \quad (4)$$



并且

$$m_{H,i} = \bar{m}_{H,i} + \tilde{m}_{H,i} \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^L \omega_i = 1$$

式中:  $m_{n,i}$  为从评价指标  $E_i$  的角度提供的证据,将建筑评价到能效等级  $H_n$  的基本信度分配;  $m_{H,i}$  为分配到等级的信度之外的信度,由  $\bar{m}_{H,i}$  和  $\tilde{m}_{H,i}$  2 部分组成;  $\bar{m}_{H,i}$  为  $E_i$  这个指标之外的其它指标对评价的作用,实质上它是 ER 方法解决证据冲突的重要措施;  $\tilde{m}_{H,i}$  为  $E_i$  这个指标的证据进行评价的不完全的程度。如果从  $E_i$  这个指标的证据进行评价是完全的,则  $\tilde{m}_{H,i} = 0$ 。

根据 ER 的迭代算法,将各评价因素的基本概率分布函数集结,用以下方法计算:

$$\{H_n\}: m_{n,I(i+1)} = K_{I(i+1)} \cdot [m_{n,I(i)} m_{n,i+1} + m_{n,I(i)} m_{H,i+1} + m_{H,I(i)} m_{n,i+1}]$$

$$m_{H,I(i)} = \bar{m}_{H,I(i)} + \tilde{m}_{H,I(i)} \quad (n = 1, \dots, N) \quad (6)$$

$$\{H\}: \tilde{m}_{H,I(i+1)} = K_{I(i+1)} \cdot [\bar{m}_{H,I(i)} \tilde{m}_{H,i+1} + \tilde{m}_{H,I(i)} \bar{m}_{H,i+1} + \bar{m}_{H,I(i)} \tilde{m}_{H,i+1}] \quad (7)$$

$$\{H\}: \bar{m}_{H,I(i+1)} = K_{I(i+1)} [\bar{m}_{H,I(i)} \bar{m}_{H,i+1}] \quad (8)$$

$$K_{I(i+1)} = \left[ 1 - \sum_{n=1}^N \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq n}}^N m_{n,I(i)} m_{i,i+1} \right]^{-1}$$

$$(i = 1, \dots, L-1) \quad (9)$$

$$\{H_n\}: \beta_n = \frac{m_{n,I(L)}}{1 - m_{H,I(L)}} \quad (n = 1, \dots, N) \quad (10)$$

$$\{H\}: \beta_H = \frac{\tilde{m}_{H,I(L)}}{1 - \bar{m}_{H,I(L)}} \quad (11)$$

式中迭代初始条件为

$$m_{n,I(1)} = m_{n,1} \quad (n = 1, \dots, N) \quad (12)$$

$$m_{H,I(1)} = m_{H,1} \quad (13)$$

$$\tilde{m}_{H,I(1)} = \tilde{m}_{H,1} \quad (14)$$

$\beta_n$  和  $\beta_H$  分别表示证据合并后的  $N$  个评价等级的信度和未分配的信度,

$$\sum_{n=1}^N \beta_n + \beta_H = 1.$$

## 2 实例研究

以所提出的理论模型为基础,采用 Delphi 作为开发工具,应用软件工程理论和方法指导,开发了一套基于 Windows 的夏热冬冷地区居住建筑节能评价和能效标识软件。采用软件对重庆龙湖·观山水住宅小区 6 号楼进行建筑节能评价及能效标识。

### 2.1 强制性条款检查

按照所构建的方法对该建筑进行强制性条款检

查,检查结果为“通过”。

被评建筑屋面采用憎水珍珠岩保温板保温,根据施工图中说明,并采用《实用供热空调设计手册》<sup>[16]</sup>的计算方法,经过计算,被评建筑屋顶总热阻为  $1.31 \text{ m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$ ,传热系数为  $0.76 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$ ,热惰性为 5.63;外墙总热阻为  $1.2 \text{ m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$ ,总传热系数为  $0.83 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$ ,热惰性为 2.95;内墙总热阻为  $1.27 \text{ m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$ ,传热系数为  $0.79 \text{ m}^2 \cdot \text{C}$ ;楼板总热阻为  $0.67 \text{ m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$ ,传热系数为  $1.49 \text{ m}^2 \cdot \text{C}$ 。可见,被评建筑屋面、外墙、分户墙和楼板完全满足《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》传热系数及热惰性要求。

虽然缺乏住户所安装的钢制防盗门的详细热工资料,然而目前市场上销售的普通保温钢制门的传热系数值在  $1.5 \sim 1.6 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{C}$  之间,保温性能优越的钢制门传热系数可达  $0.95 \text{ m}^2 \cdot \text{C}$ ,所以,该项也通过强制性条款检查。

被评建筑为一正南正北的住宅建筑,其东、南、西、北朝向的窗墙比分别为 0.24、0.29、0.24、0.24。按照施工图说明,并查阅了中国标准图集 92SJ713 和 02JZ603-1,并按照《GB 50176-93 民用建筑热工设计规范》第 4.1.1 条,将被评建筑外窗的传热系数确定为  $3.7 \text{ K}/(\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,可见,外窗传热系数满足《JGJ 134 - 2001 夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》表 4.0.4 的规定。

根据施工图说明,该住宅的外门窗的空气渗透性能小于  $1.5 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{h}$ 。查阅分析了《JGJ 134 - 2001 夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》第 4.0.7 条、《GB 7107 建筑外窗空气渗透性能分级及其检测方法》的有关条款。该住宅建筑空气渗透性能满足《JGJ 134 - 2001 夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》关于外门窗空气渗透条款的规定。

按照施工图进行计算,被评建筑体形系数为 0.30。达到《JGJ 134-2001 夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》4.0.3 关于建筑体形系数的规定。

由于被评建筑符合《JGJ 134-2001 夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》第 4.0.3 条、第 4.0.4 条和第 4.0.8 条的规定,所以,不需要进行节能综合指标的强制性条款检查。又因为《GB12021.3-2004 房间空气调节器能效限定值及能源效率等级》从 2009 年才开始实施,被评建筑的建成年代为 2007 年,所以,不宜对被评建筑的房间空调效率进行强制性条款检查。

### 2.2 基于各指标对实例建筑进行建筑能效等级信度分配

从 17 个指标出发,对被评建筑进行基于施工图

的分析及计算、现场测试及问卷调查,并根据已经构建的各指标信度分配原则,对被评建筑的 17 个指标进行信度分配。

“建筑朝向”:被评建筑其东、南、西、北朝向的外墙面积分别为 20%、30%、20%、30%。参照《JGJ 134—2001 夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》第 4.0.2 条的规定,以及《节能建筑评价标准(征求意见稿)》第 4.1.5 条的规定,将该条指标的的信度分配如下: $\beta_{1.1} = 0.00$ ;  $\beta_{2.1} = 0.00$ ;  $\beta_{3.1} = 0.00$ ;  $\beta_{4.1} = 1.00$ 。以上信度分配的含义为:从第 1 个指标(即:“建筑朝向”)出发,该建筑的 4 个能效等级(即:“通过”、“铜牌”、“银牌”、“金牌”)所获信度分别为 0.00、0.00、0.00、1.00。而且  $\sum_{n=1}^4 \beta_{n.1} = 1$  说明从该指标出发,对该建筑的节能评价是完全确定的, $\beta_{4.1} = 1.0$  的含义是指从该指标出发,该建筑的节能评价获得了“金牌”,说明该建筑的朝向对于建筑节能是很有利的。

“建筑体形系数”:被评建筑的体形系数为 0.30。参照《JGJ 134—2001 夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》第 4.0.3 条。将该条指标的信度分配如下: $\beta_{1.2} = 0.0$ ;  $\beta_{2.2} = 0.0$ ;  $\beta_{3.2} = 0.0$ ;  $\beta_{4.2} = 1.0$ 。

“建筑室外环境”:被评建筑东面距离另一高层住宅建筑的最小距离为 13.0 m,西面距离另一住宅建筑的最小距离为 13.0 m,南面距离另一高层住宅最小距离 31.0 m,北向临街,距离北向建筑的距离超过 30 m,根据该楼盘的销售宣传,该小区室外绿地率达 60%。参照《GB 50180 城市居住区规划设计规范》<sup>[20]</sup> 第 7.0.2.3 和第 5.0.2.3 条的内容,将该指标的信度分配如下: $\beta_{1.3} = 0.0$ ;  $\beta_{2.3} = 1.0$ ;  $\beta_{3.3} = 0.0$ ;  $\beta_{4.3} = 0.0$ 。

“围护结构保温隔热性能”:参照以下资料,《GB/T 8484—2008 建筑外门窗保温性能分级及检测方法》,《GB/T 8484—2002 建筑外窗保温性能分级及检测方法》分级指标,《GB/T 16729—1997 建筑外门保温性能分级及检测方法》,英国新建住宅建筑围护结构传热系数限值<sup>[17]</sup>,英国最佳能效住宅案例所推荐的围护结构传热系数<sup>[18]</sup>。综合考虑以上数据,外墙和屋顶获“银牌”,楼板获“铜牌”,内墙和户门获“金牌”,外窗则属于“通过”。再根据外墙、屋顶、户门、外窗占总建筑外表面积的比例。该指标的建筑能效等级信度分配下: $\beta_{1.4} = 0.24$ ,  $\beta_{2.4} = 0.05$ ,  $\beta_{3.4} = 0.36$ ,  $\beta_{4.4} = 0.05$ 。

“围护结构的气密性能”:参照以下资料,《JGJ 134—2001 夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》

第 4.0.7 条,《GB 7107 建筑外窗空气渗透性能分级及其检测方法》,《GB/T 7106—2008 建筑外门窗气密、水密、抗风压性能分级及检测方法》,《GB/T 7107—2002 建筑外窗气密性能分级及检测方法》。将该指标信度分配如下: $\beta_{1.5} = 1.00$ ,  $\beta_{2.5} = 0.00$ ,  $\beta_{3.5} = 0.00$ ,  $\beta_{4.5} = 0.00$ 。

“建筑内外遮阳”:该建筑设有固定的外遮阳设施,被调查的住户家均设置内遮阳设施。参照《JGJ 134—2001 夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》第 4.0.6 条规定,该指标的信度分配如下: $\beta_{1.6} = 0.00$ ,  $\beta_{2.6} = 1.00$ ,  $\beta_{3.6} = 0.00$ ,  $\beta_{4.6} = 0.00$ 。

“暖通空调系统设备能效”:问卷调查和访谈结果显示,平均每户安装房间空调器的台数为 3.5 台。被调查住户安装的空调设备能效等级如图 4 所示。参照《GB 12021.3—2004 房间空气调节器能效限定值及能源效率等级》的等级划分,将该指标的信度分配如下: $\beta_{1.7} = 0.40$ ,  $\beta_{2.7} = 0.42$ ,  $\beta_{3.7} = 0.10$ ,  $\beta_{4.7} = 0.08$ 。

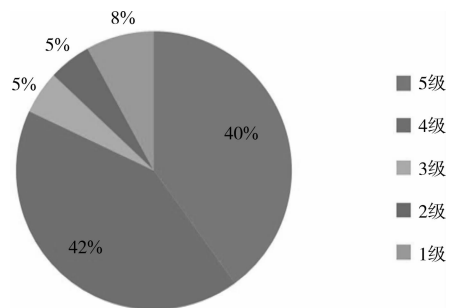


图 4 被调查住户所安装空调器能效等级

“电气与照明设备能效”:虽然缺乏用户详细的照明功率及灯具类型数据,但是通过与住户的访谈,有约 70% 的住户表示愿意采用 2 级节能灯,约 30% 的住户表示愿意采用 1 级节能灯。参照《GB 50034—2004 建筑照明设计标准》等资料,该指标的信度分配如下: $\beta_{1.8} = 0.00$ ,  $\beta_{2.8} = 0.70$ ,  $\beta_{3.8} = 0.30$ ,  $\beta_{4.8} = 0.00$ 。

“给水排水系统设备能效”:被评建筑给水系统共设 3 个给水分区,城市给水管网直接给水区和 2 个“低位水箱+水泵联合变频”供水区,给水系统采用钢塑复合管,丝扣链接。室内污废水合流,采用硬聚氯乙烯排水管,粘接,所选洁具符合国家节水标准。参照《GB 50368—2005 住宅建筑规范》第 6.3.3 条以及《GB 50015—2003 建筑给水排水设计规范》,该指标的信度分配如下: $\beta_{1.9} = 0.00$ ;  $\beta_{2.9} = 0.00$ ,  $\beta_{3.9} = 1.00$ ,  $\beta_{4.9} = 0.00$ 。

“电梯设备效率”:被评建筑共设电梯 3 部,全

部采用小机房。参照《GB 7588—2003 电梯制造与安装安全规范》等资料。该指标的信度分配如下： $\beta_{1,10} = 0.00; \beta_{2,10} = 0.00, \beta_{3,10} = 1.00, \beta_{4,10} = 0.00$ 。

“主要建筑设备运行管理制度”：该小区物业管理单位定期检查公用设施，妥善保管建设单位移交的资料，有业主维修上报制度。参照《物业管理条例（国务院第 504 号）》第二十七条，第二十八条及第二十九条内容，将该指标的信度分配如下： $\beta_{1,11} = 0.00, \beta_{2,11} = 0.00, \beta_{3,11} = 1.00, \beta_{4,11} = 0.00$ 。

“物业管理人员资质”：该小区物业管理公司的资质为二级。参照《物业管理企业资质管理办法》<sup>[19]</sup>的有关内容，该指标的信度分配如下： $\beta_{1,12} = 0.00, \beta_{2,12} = 0.00, \beta_{3,12} = 1.00, \beta_{4,12} = 0.00$ 。

“建筑节能知识培训与宣传”：该小区入住时间约为 2 a，入住以来没有进行过建筑节能相关的培训

和宣传。所以将该指标的信度分配如下： $\beta_{1,13} = 1.00; \beta_{2,12} = 0.00, \beta_{3,12} = 0.00, \beta_{4,12} = 0.00$ 。

“能耗统计与公示”：目前，由住宅和城乡建设部科学技术司研究起草的《建筑节能信息公示管理办法》处于公开征求意见阶段。所以，从该指标出发，对该建筑的节能评价是不确定的，或者说目前还不具备开展该项指标的评价条件。该指标的信度分配如下： $\beta_{1,14} = 0.00, \beta_{2,14} = 0.00, \beta_{3,14} = 0.00, \beta_{4,14} = 0.00$ 。

“室内热湿环境”：住户室内温湿度现场测试值如表 2 所示。参照《JGJ 134—2001 夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》第 3.0.2 条及《GB/T 18883—2002 室内空气质量标准》相关内容。该指标的信度分配如下： $\beta_{1,15} = 1.00, \beta_{2,15} = 0.00, \beta_{3,15} = 0.00, \beta_{4,15} = 0.00$ 。

表 2 住户室内温湿度测试值

住户编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	冬季采暖标准值
空调开启	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	开	
温度/℃	14.1	13.8	13.1	13.4	13.7	13.9	14.0	13.7	20.2	13.2	22.4	16~24
相对湿度/%	51.2	51.2	51.2	50.5	51.3	53.1	50.0	51.2	50.0	52.1	47.1	30~60

“室内声光环境”：虽然《GB 50034—2004 建筑照明设计标准》第 5.1.1 条对居室不同位置的照明标准值等做了规定，但是，考虑到在居民家中开展各位置的测试对居民生活影响较大，所以，我们采用问卷调查的方式获得住户对居室声光环境的评价，被调查住户室内声光环境满意度如图 5 所示。根据调查结果，该指标的信度分配如下： $\beta_{1,16} = 0.43, \beta_{2,15} = 0.42, \beta_{3,15} = 0.05, \beta_{4,15} = 0.05$ 。

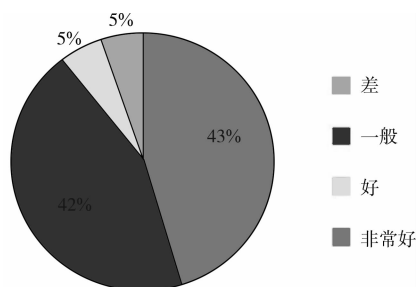


图 5 被调查住户室内声光满意度

“室内空气质量”：《GB/T 18883—2002 室内空气质量标准》对室内 16 种物质的标准值及测试方法做了详细的规定，考虑到研究经费有限，选择了 CO<sub>2</sub> 浓度和 CO 浓度这 2 个值进行测试。为了弥补测试参数不完全这一不足，还在住户中开展了问卷调查。住户室内 CO<sub>2</sub> 和 CO 浓度测试值如表 3 所示。被调查住户室内空气质量满意度如图 6 所示。可见，住户 CO<sub>2</sub> 和 CO 浓度测试结果均在《GB/T 18883—2002 室内空气质量标准》允许范围内。该指标的信度分配如下： $\beta_{1,16} = 0.00, \beta_{2,15} = 0.00, \beta_{3,15} = 0.00, \beta_{4,15} = 1.00$ 。

按照建立的能效评价理论模型，以上指标的权重及信度值确定后，应用式(1)~(14)的迭代算法，可以算出被评建筑能效的综合信度。由于手工计算量较大，采用开发的软件进行计算，经软件计算，得出被评建筑能效综合信度为图 7 所示，根据综合信度最大值，将被评建筑能效等级确定为“通过”。评

表 3 住户室内 CO<sub>2</sub> 和 CO 浓度测试值

住户编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	标准值
空调开启	关	关	关	关	关	关	关	关	关	关	开	
CO <sub>2</sub> 浓度/ppm	583	567	579	542	548	553	551	547	812	591	717	≤1 000
CO 浓度/ppm	1.6	1.8	1.7	1.7	1.9	1.8	1.7	1.8	2.1	2.0	2.0	≤7.7

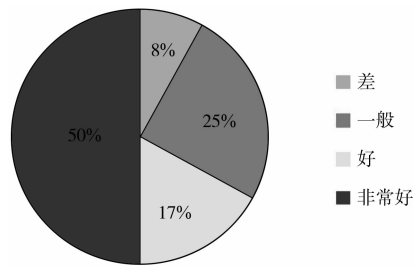


图 6 被调查住户室内空气品质满意度

价过程中出现了 0.08 的不确定信度,从以上信度分配过程可知,该不确定信度的产生主要来源于“能耗统计与公示”这一指标的评价。

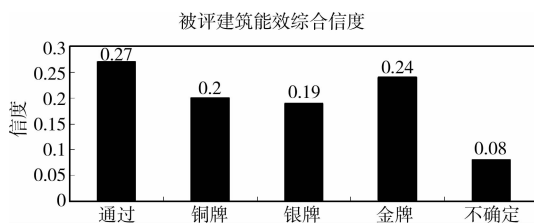


图 7 被评建筑的建筑能效等级综合信度

为了验证提出的夏热冬冷地区建筑节能评价及能效标识方法,采用《节能建筑评价标准(征求意见稿)》对实例建筑进行评价,评价结果为“B”。可见 2 种方法对同一栋建筑的评价结果趋于一致。说明提出的建筑节能评价模型基本正确。

### 3 结论

以证据理论、证据推理方法、建筑节能技术标准为基础,提出了居住建筑节能评价与能效标识理论模型。将该模型应用到夏热冬冷地区居住建筑节能评价,形成了一套夏热冬冷地区居住建筑节能评价与能效标识方法。所构建的建筑节能评价模型为多指标建筑节能综合评价模型,相对于基于计算机建筑能耗模拟的建筑节能评价方法来说,考虑的因素更加全面,而且还能获取及处理评价中的不确定信息。为了便于该方法的使用和推广,以提出的夏热冬冷地区居住建筑节能评价方法为基础,开发出了一套夏热冬冷地区居住建筑节能评价及能效标识计算机软件。通过对重庆地区实例建筑的评价和标识,评价结果与中国《节能建筑评价标准(征求意见稿)》的评价结果趋于一致,从而验证了提出的方法的正确性。

(致谢 该文相关研究得到国家科技支撑计划子课题“建筑节能技术评价指标体系与评价方法研究”(子课题任务书编号 2006BAJ0113-02)以及浙

江工业大学高层次人才科研启动专项基金“减少暖通空调系统使用造成的二氧化碳排放量研究”(项目编号:106004329)资助,作者在此一并表示衷心的感谢。)

### 参考文献:

- [1] 关于征求《建筑能效测评与标识管理办法》和《建筑能效测评与标识技术导则》意见的函[EB/OL]. 2006-10-25. [http://www.cin.gov.cn/zcfg/jswj/jskj/200611/t20061101\\_158522.htm](http://www.cin.gov.cn/zcfg/jswj/jskj/200611/t20061101_158522.htm).
- [2] 重庆市建筑能效测评与标识管理办法(渝文审[2008]4)[EB/OL]. 2008-02-13. <http://www.cq.gov.cn/zwgk/gfxwj/dengji/94009.htm>.
- [3] Directive 2002/91/EC of the European parliament and of the council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings[EB/OL]. [http://europa.eu.int/smartapi/cgi/sga\\_doc?smartapi!celexapi!prod!CELEXnumdoc&lg=EN&numdoc=32002L0091&model=guichett](http://europa.eu.int/smartapi/cgi/sga_doc?smartapi!celexapi!prod!CELEXnumdoc&lg=EN&numdoc=32002L0091&model=guichett).
- [4] 杨玉兰,李百战,姚润明. 居住建筑能效评价指标及权重的确定[J]. 暖通空调, 2009, 39(5): 48-52.
- [5] JGJ 134-2001 夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2001.
- [6] 关于征求《居住建筑节能设计标准(征求意见稿)》意见的函(建标标函[2006]46号)[EB/OL]. 2006-08-14. [http://www.mohurd.gov.cn/zcfg/jswj/bzde/200611/t20061101\\_156699.htm](http://www.mohurd.gov.cn/zcfg/jswj/bzde/200611/t20061101_156699.htm).
- [7] 杨玉兰. 居住建筑节能评价与建筑能效标识研究[D]. 重庆:重庆大学城市建设与环境工程学院, 2009.
- [8] DEMPSTER A P. Upper and lower probabilities induced by a multivalued mapping[J]. The Annals of Mathematical Statistics, 1967, 39(2): 325-339.
- [9] DEMPSTER A P. Upper and lower probabilities generated by a random closed interval[J]. The Annals of Mathematical Statistics, 1968, 39(3): 957-966.
- [10] DEMPSTER A P. Upper and lower probability inferences for families of hypotheses with monotone density ratios [J]. The Annals of Mathematical Statistics, 1969, 40(3): 953-969.
- [11] SHAFER G. A mathematical theory of evidence[M]. Princeton: Princeton University Press, 1976.
- [12] 吴强. 智能群体决策支持系统中若干关键理论与方法研究[D]. 合肥:中国科学技术大学计算机系, 2006.
- [13] ZADEH A L. Review of books: A mathematical theory of evidence[J]. The AI Magazine, 1984: 81-83.

(下转第 132 页)

- molding[J]. Die & Mould Industry, 2007,33(5):5-7.
- [13] QIU T R, YOU M, et al. A method of uncertainty measure based on rough set[C]//Proceedings of IEEE International Conference on Granular Computing, Hangzhou, August 26th-28th, 2008 :544-547. .
- [14] 郭小荟,马小平. 基于粗糙集的故障诊断特征提取[J]. 计算机工程与应用,2007,43(1):221-224.  
GUO XIAO-HUI, MA XIAO-PING. Fault diagnosis feature subset selection using rough set[J]. Computer Engineering and Applications, 2007,43(1):221-224.
- [15] GAU W L, BUCHRER D J. Vague sets[J]. IEEE Transactions on systems, Man, and Cybernetics, 1993, 23(2): 610-614.
- [16] 张东风,张金隆,窦亚玲. Vague 综合评判方法[J]. 计算机工程与应用, 2009,45(9):154-156.  
ZHANG DONG-FENG, ZHANG JIN-LONG, DOU YA-LING. Vague comprehensive evaluation approach [J]. Computer Engineering and Applications, 2009,45(9):154-156.
- [17] 李凡,徐章艳. Vague 集之间的相似度量[J]. 软件学报, 2001,1(26):922-927.  
LI FAN, XU ZHANG-YAN. Measures of similarity between vague sets[J]. Journal of Software, 2001,1(26):922-927.
- [18] 李志勤. 水库水动力学特性及污染物运动研究与应用[D]. 成都:四川大学水利水电学院,2005.
- [19] 成都市水务局. 2006 年成都市水资源公报[EB/OL]. (2007-12-25). <http://www.cdbwr.chengdu.gov.cn/uploadfiles/023503/20071225154900.doc>.
- (编辑 胡英奎)

.....

(上接第 112 页)

- [14] YANG JIAN-BO, MADAN G S. An evidential reasoning approach for multiple attribute decision making with uncertainty [ J ]. IEEE Transactions on System, Man and Cybernetic, 1994, 24(1):1-18.
- [15] WANG Y M, Y J B, XU D L. Environmental impact assessment using the evidential reasoning approach[J]. European Journal of Operational Research, 2006, 174: 1885-1913.
- [16] 陆耀庆. 实用供热空调设计手册[M]. 中国建筑工业出版社,1993
- [17] Office of the Deputy Prime Minister. The building regulations 2000: conservation of fuel and power L1A - Conservation of fuel and power in new dwellings[S]. 2006.
- [18] Energy Efficiency Best practice in Housing - Energy efficient domestic extensions. 2005[EB/OL]. <http://www.est.org.uk/bestpractice>
- [19] 中华人民共和国建设部. 物业管理企业资质管理办法 [M]. 北京:中华人民共和国建设部,2004
- (编辑 胡英奎)