

# 居住建筑能效评价指标及权重的确定\*

重庆大学 杨玉兰\* 李百战<sup>△</sup>  
英国雷丁大学 姚润明

**摘要** 通过文献阅读、社会调查和分析,确定了一套夏热冬冷地区居住建筑能效评价指标体系。通过对多位建筑节能专家的问卷调查,并应用群体决策环境下层次分析法权重模型确定了该指标的权重。群体层次分析权重模型的数据一致性分析结果表明,本次调研的专家人数合适,权重结果稳定。

**关键词** 建筑能效 评价指标 权重 层次分析法

## Determination of evaluating indicator and its weighting index of residential building energy efficiency

By Yang Yulan\*, Li Baizhan and Yao Runming

**Abstract** Proposes an indicator list of energy efficiency assessment in residential buildings in the hot summer and cold winter zone in China through a broad literature review and survey. Based on a questionnaire survey carried out among experts in the field of building energy efficiency, deduces the weighting index for the indicators by applying the analytic hierarchy process (AHP) method. The consistency estimation demonstrates that the number of experts involved in the survey is acceptable and the weighting results are stable.

**Keywords** energy efficiency, evaluating indicator, weight, analytic hierarchy process

★ Chongqing University, Chongqing, China

①

### 0 引言

建筑能效评价指标及权重的确定是建筑能效评价的关键内容之一。当前国际上与建筑能效相关的评价方法有许多,知名度比较大的有:美国的能源与环境设计先导 LEED(Leadership in Energy and Environmental Design)<sup>[1]</sup>,英国的建筑环境评价方法 BREEAM (British Research Establishment Environmental Assessment Method)<sup>[2]</sup>,日本的建筑物综合环境性能评价体系 CASBEE (Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency)<sup>[3]</sup>,试图建立国际化建筑环境评价标准的绿色建筑挑战项目 GBC (Green Building Challenge)<sup>[4]</sup>, Arup 公司开发的可持续建设项目评价工具 SpeAR(r) (Sustainable Project

appraisal routine)<sup>[5]</sup>,近年来广受关注的澳大利亚绿色建筑委员会(The Green Building Council of Australia, GBCA)发起的绿之星(Green Star)<sup>[6]</sup>,加拿大 EnerGuide 建筑能耗标识体系<sup>[7]</sup>等。以上评价方法均包含各自的评价指标和权重。

节能减排是我国可持续发展战略的重要课题。建筑能效评价在建筑节能中将扮演越来越重要的角色。目前,我国除了温和地区之外,其余 4 个气候分区都有各自的居住建筑节能设计标准,分别是《民用建筑节能设计标准(采暖居住建筑部分)》(JGJ 26—95)<sup>[8]</sup>,主要针对严寒和寒冷地区;《夏热

①\* 杨玉兰,女,1974 年 9 月生,在读博士研究生,讲师

△ 400030 重庆市重庆大学城市建设与环境学院  
(023) 65127531

E-mail: baizhanli@cqu.edu.cn

收稿日期:2009-01-21

修回日期:2009-03-06

\* 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”资助项目(编号:2006BAJ0113-02)

冬冷地区居住建筑节能设计标准》(JGJ 134—2001)<sup>[9]</sup>，《夏热冬暖地区居住建筑节能设计标准》(JGJ 75—2003)<sup>[10]</sup>。然而，上述节能标准体系主要针对居住建筑节能设计方面的最低要求。对于超出节能标准建造的更低能耗建筑，目前还没有国家认可的评价标准。因而，对居住建筑能效评价指标体系及权重的确定进行研究对我国建筑节能评价具有重要参考意义。

### 1 居住建筑能效评价指标体系构建

居住建筑能效评价指标体系的构建方法可用图 1 表示。居住建筑能效评价指标的来源有许多，本文主要从三方面获得评价指标的输入：1) 参照国际上流行的既有建筑环境及建筑环境评价方法；2) 结合我国现行建筑节能技术标准规范；3) 阅读建筑节能评价体系学术论文。建筑节能技术标准是当前建筑节能技术水平的集中体现，建筑能效评价并非空中楼阁，建筑能效评价指标的选取和确定需与现行建筑节能政策法规和技术标准结合才能保证其实践性和可操作性。我国建筑节能研究提出了一些建筑节能评价指标体系，比如：刘爱芳等人从过程性指标和结果性指标两方面提出了一套建筑节能评价体系，该套建筑节能指标体系偏重评价建筑节能的经济性能<sup>[11]</sup>；丁力行等人以夏热冬冷地区建筑节能设计标准为主要参考，构建了一个包含 17 个指标的居住建筑节能评价指标体系<sup>[12]</sup>，然而该指标体系主要依据《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》(JGJ 134—2001)的内容，所以，指标体系涵盖范围比较小。丛娜等人提出了一套 19 个指标的建筑节能综合评价指标体系<sup>[13]</sup>，然而该指标体系未包含运行管理和室内热舒适这两项重要内容。王建华所建立的一套 19 个指标的 3 层建筑综合节能评价指标偏重于建筑围护结构<sup>[14]</sup>。

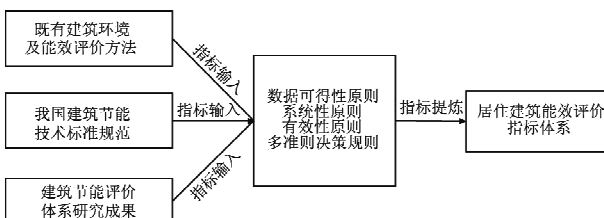


图 1 居住建筑能效评价指标体系构建方法

在以上 3 个指标来源的基础上，按照以下几个原则进行指标的筛选和提炼：1) 数据可得性原则。在指标的选择过程中，有些指标虽然很有意义，但

在现有条件下无法获取，或者即便能获取，时间和经济成本却很高，或者在现有条件下无法为该指标的评价提供客观的参照数据。2) 系统性原则。即希望所建立的指标体系是一个相对完备的整体，以便在现阶段尽量全面、准确地反映建筑能效的实际情况。3) 有效性原则。即剔除无关或无效信息，把握住建筑能效评价的主要指标。4) 多准则决策的规则。比如，评价指标之间应当相互独立，以免引起重复评价等。笔者对一些专家进行访谈后，形成了一套针对夏热冬冷地区居住建筑设计和运行阶段的能效评价体系，如表 1 所示。从表 1 可知，该指标体系未包含建筑建造和建材生产运输的能效评价，因为这部分能耗完全取决于建筑业的发展，与建筑运行能耗属于完全不同的范畴<sup>[15]</sup>。

表 1 夏热冬冷地区居住建筑能效评价指标体系

一级指标	二级指标
建筑设计	A1 建筑朝向
	A2 建筑体形系数
	A3 建筑室外环境
围护结构性能	B1 围护结构保温隔热性能
	B2 围护结构气密性能
	B3 内外遮阳
建筑设备能效	C1 暖通空调系统设备能效
	C2 电气与照明设施能效
	C3 给水排水系统设备能效
	C4 电梯设备效率
建筑运行和管理	D1 主要建筑设备运行管理制度
	D2 物业管理人员资质
	D3 建筑节能知识培训与宣传
	D4 能耗统计与公示
室内舒适与健康	E1 室内热湿环境
	E2 室内声光环境
	E3 室内空气质量

## 2 在群体决策环境下应用层次分析法确定评价指标权重模型

### 2.1 评价指标权重确定方法概述

确定评价指标权重的方法大致可分为两大类。第一类是客观赋权法，主要包括因子分析法、熵值法、秩和比法(RSR)、关系数法等<sup>[16-17]</sup>。在客观赋权法中，权重完全取决于客观存在的数据，决策者或者专家的意向在评价中得不到充分的体现，失去了决策者或者专家对建筑能效评价的导向作用。然而，Edwards 指出，权重应当反应评价的目的，权重本身应表明决策者或者评价者在评价中的态度<sup>[18]</sup>。所以，不宜采用客观赋权法进行建筑能效评价指标权重的确定。另一类确定指标权重的方

法是主观赋权法,由专家根据经验或者决策者根据自己的意志确定各评价指标相对于评价目的而言的相对重要程度,然后经过综合处理获得指标权重的方法。该类方法大致包括德尔菲法(Delphi)、层次分析法(AHP)、简单排序编码法、倍数环比法、优序环比法等。运用主观赋权法确定各指标权重反映了决策者的意向,将专家的专业知识运用其中,得到的指标权重具有比较大的参考意义,但是,该方法的缺点是判断具有较大的主观随意性。故本文采用群体层次分析权重模型求指标权重,既能发挥多名专家的作用,集思广益,有效地改善主观赋权法的主观随意性,而且还能克服德尔菲法花费时间多,所需经费高的缺点。

## 2.2 群体层次分析权重模型

层次分析法 AHP(analytic hierarchy process) 是美国运筹学家 Satty 教授于上世纪 70 年代中期提出的一种多层次权重分析决策方法<sup>[19]</sup>。层次分析法在建筑能效及建筑环境评价领域内有较为广泛深入的应用。李百战将层次分析法用于建筑室内环境评价<sup>[20]</sup>,杨玉兰等人将层次分析法用于暖通空调工程方案选择中<sup>[21]</sup>,Johnny 等人将层次分析法应用到智能建筑设备系统的选择中<sup>[22]</sup>,Chang 等人将层次分析法应用到绿色建筑评价方法 GBTOOL 2005 评价指标的权重确定中<sup>[23]</sup>,其他的应用参考文献<sup>[24-25]</sup>。

群体决策是多人协同决策、依靠集体的智慧来解决复杂的问题。一个特定的专家所拥有的知识和经验往往是有限的、片面的,因而需要将多个专家的意见综合起来。层次分析法能有效地抑制群体决策的消极副反应,并能兼容合理的副效应。沈锦涛<sup>[26]</sup>和 Dyer 等人<sup>[27]</sup>分别列出了不同情况下构造群体决策层次分析法模型的方法。杨善林等人把群体推理理论与方法及群体层次分析决策思想集成到了智能决策系统中<sup>[28]</sup>。

Saaty 在将层次分析法应用于群体决策及评价方面一直不断研究。1983 年,Aczel 和 Saaty 证明将层次分析法运用于群体决策时,把判断矩阵元素的几何平均值作为群体判断矩阵是正确的方法<sup>[29]</sup>。2005 年,Saaty 和 Vargas 阐述了至少有两种方式可以将层次分析法用于将群体中个人的判断构造出群体的判断<sup>[30]</sup>。2007 年,Saaty 和 Shang 将层次分析法应用于投票系统这一群体决策,构造

出群体层次分析法群体投票系统的完整方法<sup>[31]</sup>。

将群体层次分析权重模型应用到本文的居住建筑能效评价指标权重的确定主要包括以下 4 个步骤。

### 步骤 1: 问卷调查设计

问卷调查是社会调查中收集信息最常用的方法。问卷调查具有功能多样、获取信息快速以及获取信息量大等特点<sup>[32]</sup>。本次问卷调查的目的是获取建筑能效评价专家对本文提出的夏热冬冷地区居住建筑能效评价指标权重的判断,要求被调查对象应具备本领域的专业知识,并具有一定的工作经验。问卷设计按照层次分析法两两判断的要求,在已确定的评价指标体系基础上,用 Saaty 推荐的 9 点法。采用非概率的方便抽样和雪球抽样选取调查对象,小范围的调查采用非概率抽样方法一般是可以接受的。

### 步骤 2: 获取专家对建筑能效评价指标权重的个体判断

按照 Saaty 推荐的 9 点法,获取每个专家个体对建筑能效指标权重的判断,构造判断矩阵。根据表 1,每个专家的问卷可构造出 6 个判断矩阵,分别是一级指标权重的判断矩阵(矩阵 1)、“建筑设计”二级指标判断矩阵(矩阵 2)、“围护结构性能”二级指标判断矩阵(矩阵 3)、“建筑设备能效”二级指标判断矩阵(矩阵 4)、“建筑运行和管理”二级指标判断矩阵(矩阵 5)、“室内舒适与健康”二级指标判断矩阵(矩阵 6)。

### 步骤 3: 将专家个体的建筑能效评价指标权重判断综合成为群体综合判断

群体层次分析权重模型至少有两种方式可以将个体成员的判断综合成群体判断。第一种方式是专家组成员开会协商得到一致的判断,构造出群体判断矩阵,然后计算出各指标的权重。该种方式所花费的时间和经济成本是很高的,有时甚至是不可能实现的。第二种方式是笔者分别与专家单独联系,通过问卷调查获取各专家的个体判断,然后通过群体层次分析权重模型将个体判断矩阵综合成为专家组的判断矩阵,最后计算出评价指标权重。这种方式时间和经济成本均比第一种少很多,而且,将个体判断矩阵元素的几何平均值作为综合判断矩阵值的正确性已经被 Saaty 等人所证明,详见文献<sup>[32]</sup>。所以,本文采用第二种方式。

步骤 4:一致性校验。

一致性校验包括个体成员判断矩阵的一致性校验和专家组判断矩阵的一致性校验。按照 Saaty 在文献[19]中的说明,层次分析法中判断矩阵的一致性率 consistent ratio (CR)小于 0.10 是可以接受的,一致性率越小说明判断的一致性越高,结果的可信度也越高。

### 3 夏热冬冷地区居住建筑能效评价指标权重的确定

按照上述步骤,对建筑节能领域内的多名专家进行了问卷调查。共发出问卷 54 份,收回问卷 32 份,其中 2 份为不符合要求的废卷,有效问卷共计 30 份。该 30 个专家所从事行业和从事当前行业的累计时间分别见图 1 和图 2。可见,专家累计从事当前工作的时间至少是 3~5 a,大部分专家的从业时间为 10 a 以上。在对 30 个建筑节能专家的问卷调查结果进行计算,并应用群体层次分析权重模型综合各专家的判断后,得出的夏热冬冷地区居住建筑能效评价指标权重如图 3 所示。

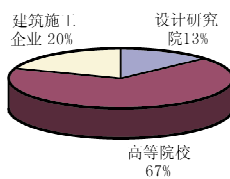


图 1 专家从事行业

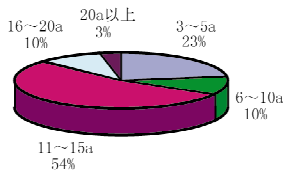


图 2 专家从事当前行业累计时间

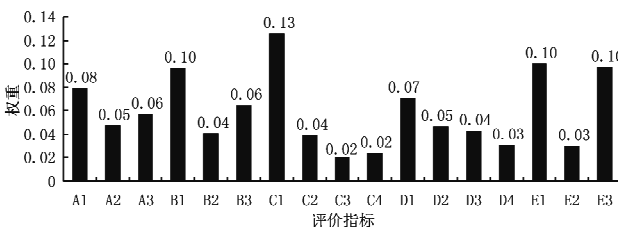


图 3 夏热冬冷地区居住建筑能效评价指标权重

图 3 表明,在“建筑设计”这一范畴内,所涉及的 3 个评价指标在居住建筑能效评价中均处于比较重要的地位,其中建筑朝向的重要性大于其他两项。B1 围护结构保温隔热性能在整个能效评价

中有比较重要影响,而且,在“围护结构性能”这一范畴内,B1 围护结构保温隔热性能和 B3 内外遮阳的重要程度大于 B2 围护结构气密性能,这与《民用建筑热工设计规范》(GB 50176—93)<sup>[32]</sup>提出的夏热冬冷地区“必须满足夏季防热要求,适当兼顾冬季保温”是一致的。C1 暖通空调系统设备能效在整个夏热冬冷地区居住建筑能效评价中有重要影响,其重要程度也远远大于 C2 电气与照明设施能效、C3 给水排水系统设备能效以及 C4 电梯设备效率,事实上建筑能耗中很大一部分的确来自暖通空调设备。在“建筑运行和管理”中,D1 主要建筑设备运行管理制度对建筑能效评价的重要程度大于其他几项。“室内舒适与健康”中 E1 室内热湿环境和 E3 室内空气质量的重要程度大于 E2 室内声光环境。在该权重结果中,虽然 C3 和 C4 的权重最小,均为 0.02,但未小于 0.01,所以也不应该忽略。上述权重分析也表明笔者所构建的夏热冬冷地区居住建筑能效评价指标具有合理性。

本次调研的数据一致性见图 4。根据层次分析法的原理可知,在表 1 基础上的群体层次分析权重模型涉及到矩阵 1~6 的一致性校验。从图 4 可知,当专家人数较少时,尤其是少于 7 人时,虽然个体专家判断矩阵的一致性率小于所要求的一致性率 0.10,但是按照群体层次权重模型计算后的结果出现数据一致性的强烈波动。然而,当专家人数大于 13 人以后,随着专家人数的增加,群体层次权重模型计算得到的判断矩阵的一致性率下降的趋势很明显,各判断矩阵的一致性率均小于 0.05。如前所述,判断矩阵的一致性率越小,其结果的可信度越高。可以认为,本文所调研的专家人数是可以接受的,所得的权重结果也是可信并且稳定的。

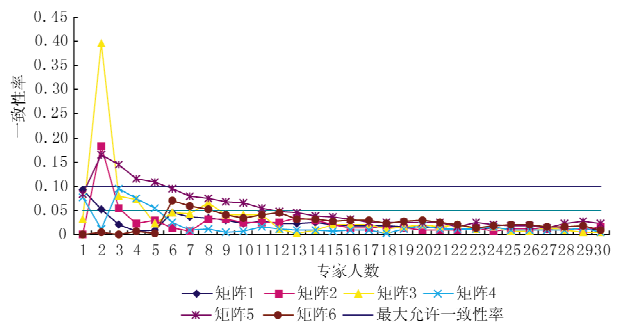


图 4 夏热冬冷地区居住建筑能效评价指标权重确定一致性分析

## 4 结语

希望本文研究所得的已经分配了权重的居住

建筑能效评价指标体系能对夏热冬冷地区居住建筑能效评价提供参考。文中建筑能效评价指标和权重的确定方法具有推广到其他气候分区乃至全国的可能性。

#### 参考文献:

- [1] USGBC. Green building rating system version 2.0 leadership in energy and environmental design[M]. Beijing, China Architecture & Building Press, 2000
- [2] Ecohomes 2006-The environmental rating for homes The Guidance-2006/Issue 1. 2[S/OL]. [2008-07-01]. <http://www.breem.org/>
- [3] 日本可持续建筑协会. CASBEE 建筑物综合环境性能评价体系—绿色设计工具[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005
- [4] Green building challenge, 2000 - 2002 [R/OL]. [2008-07-04]. <http://greenbuilding.ca/>
- [5] Planning application new court sustainability statement[R/OL]. [2008-07-01]. <http://www.arup.com/environment/feature.cfm?pageid=1685>
- [6] What is Green Star? [R/OL]. [2008-09-24]. <http://www.gbca.org.au/green-star/> cited 2008 9. 24
- [7] Saaty T L. The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation[M]. Pittsburgh: University of Pittsburgh, 1982
- [8] 中国建筑科学研究院. JG9 26—95 民用建筑节能设计标准(采暖居住建筑部分)[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995
- [9] 中国建筑科学研究院. 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
- [10] 中国建筑科学研究院. JGJ 75—2003 夏热冬暖地区居住建筑节能设计标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003
- [11] 刘爱芳, 张彰庆, 段铷. 建筑节能评价指标体系的构建[J]. 电力需求侧管理, 2006, 8(1): 39-42
- [12] 丁力行, 李越铭, 包劲松. 建筑节能综合评价指标体系的建立——以夏热冬冷地区为例[J]. 建筑, 2003(12): 19-22
- [13] 丛娜, 吴成东, 丁君德. 建筑节能综合评价指标体系[J]. 智能建筑, 2007(9): 1672-1640
- [14] 王建华. 建筑综合节能效果评价研究[J]. 工业建筑, 2006, 36(1): 4
- [15] 清华大学建筑节能研究中心. 中国建筑节能年度发展研究报告 2007 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007
- [16] 广东赛立信媒介研究有限公司. 关于广播节目评估指标权重问题的研究(上) [R/OL]. [2007-09-04]. [www.bpes.com.cn/jmpg/view.asp?id=48](http://www.bpes.com.cn/jmpg/view.asp?id=48)
- [17] 广东赛立信媒介研究有限公司. 关于广播节目评估指标权重问题的研究(下) [R/OL]. [2007-09-04]. [www.bpes.com.cn/jmpg/view.asp?id=61](http://www.bpes.com.cn/jmpg/view.asp?id=61)
- [18] Edwards W, Newman J R. Multiattribute evaluation [M]. London: Sage publications, 1982
- [19] Saaty T L. The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation [M]. 2nd ed. Pittsburgh: University of Pittsburgh, 1990
- [20] Li Baizhan. Assessing the influence of indoor environment on self-reported productivity in offices [D]. Reading: University of Reading, 1998
- [21] 杨玉兰, 刘俊. 层次分析法在选择最优暖通空调工程设计方案中的应用[C]//99 西南地区暖通制冷学术年会, 1999
- [22] Johnny K, Wong W, Li H. Application of the analytic hierarchy process(AHP) in multi-criteria analysis of the selection of intelligent building systems [J]. Building and Environment, 2008, 43: 108-125
- [23] Chang K, Chiang C M, Chou P C. Adapting aspects of GB Tool 2005—searching for suitability in Taiwan [J]. Building and Environment, 2007, 42: 310-316
- [24] Wang W S, Chien H T. Environmental behaviour analysis of high-rise building areas in Taiwan [J]. Building and Environment, 1999, 34: 85-93
- [25] Weding G C, Brown C. Measuring site-level success in brownfield redevelopments: a focus on sustainability and green building [J]. Journal of Environmental Management, 2007, 85: 483-495
- [26] 沈锦涛. 支持集体决策的一种较好组合 GDSS+AHP [J]. 系统工程理论与实践, 1995, 15(2): 12-17
- [27] Dyer R F, Forman E H. Group decision support with the analytic hierarchy process [J]. Decision support systems, 1992, 8(2): 99-124
- [28] 杨善林, 刘心报. GDSS 中判断矩阵的两种集结方法[J]. 计算机学报, 2001, 24(1): 106-111
- [29] Aczel J, Saaty T L. Procedures for synthesizing ratio judgments [J]. Journal of Mathematical Psychology, 1983, 27: 93-102
- [30] Saaty T L, Luis G V. The possibility of group welfare functions [J]. International Journal of Information Technology & Decision Making, 2005, 4(2): 167-176
- [31] Saaty T L, Shang J S. Group decision-making: head-count versus intensity of preference [J]. Socio-Economic Planning Sciences, 2007, 41: 22-37
- [32] Zoltan D. Questionnaires in second language research: construction, administration, and processing [M]. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 2002
- [33] 中国建筑科学研究院. GB 50176—93 民用建筑热工设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1993