

Method of Intelligent Selection of Building Materials Based on Analytic Hierarchy Process

Jie Zeng¹, Haiyong Yu², Dedong Zhang¹, Chao Liu¹, Hui Yang³

¹Shanghai Jianke Technical Assessment of Construction Co., Ltd., Shanghai

²Shanghai Research Institute of Building Sciences (Group) Co., Ltd., Shanghai

³Shanghai Key Laboratory of Engineering Structure Safety, SRIBS, Shanghai

Email: zengjie05@126.com

Received: Nov. 18th, 2017; accepted: Nov. 27th, 2017; published: Dec. 7th, 2017

Abstract

Based on analytic hierarchy process, evaluation model and material optimization method of building materials products were established through index carding, expert judgment, weight calculation, consistency test. And then, the modeling of specific acrylic bath was completed; meanwhile optimization method of appearance and size, mechanical index, pollution resistance index was realized. The method is simple and reproducible, which is conducive to the intelligent selection of materials.

Keywords

Analytic Hierarchy Process, Intelligence, Material Selection

基于层次分析法的智能选材方法初探

曾 杰¹, 俞海勇², 张德东¹, 刘 朝¹, 杨 辉³

¹上海建科检验有限公司, 上海

²上海市建筑科学研究院(集团)有限公司, 上海

³上海市建筑科学研究院上海市工程结构安全重点实验室, 上海

Email: zengjie05@126.com

收稿日期: 2017年11月18日; 录用日期: 2017年11月27日; 发布日期: 2017年12月7日

摘 要

以层次分析法为基础, 通过指标梳理、专家评判、权重计算、一致性检验等步骤, 建立了建材产品质量

评价模型框架和材料优选方法。并将模型应用于浴缸评价，完成了亚克力浴缸的质量评价建模，实现了亚克力浴缸外观与尺寸、力学指数、耐污染指数等3类不同性能优选。该方法简单且可复制，有利于推进选材的智能化。

关键词

层次分析法，智能，选材

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

建筑材料和建筑有着紧密联系，建筑材料的选择对建筑的设计、施工、质量、寿命等方面都有很大影响。然而，建筑材料种类繁多，而且质量参数(指标)复杂多样，不同工程项目对同一种建材产品质量要求各不相同。因此，如何结合工程的特殊需要，同时兼顾建材质量的各方面，从而实现科学选材意义重大。随着建材评价技术、数学分析技术，及云计算技术的发展，国内外一些高校和研究院所在如何选材方向开展过基础性研究[1] [2] [3]，取得了一些阶段性成果和宝贵的经验，但大多停留在理论分析阶段，与具体材料没有实现很好的结合。

本文采用层次分析法，对建材指标进行梳理与分类，建立建材评价指标体系结构，组织建材研究、应用及评价领域的资深专家，对评价指标的相对重要性展开评价。通过对不同领域专家的评价结果进行分析与整合，初步建立建材产品不同类别(如力学类、耐久性类等)性能的评价模型与优选方法，为实现以材料功能要求为指向的智能化材料解决方案提供技术基础。

2. 基于层次分析法的建材优选模型研究

2.1. 建材产品质量评价指标体系

不同建材产品的质量因子(指标)各不相同，有几个到几十个不等。根据建材品种的特点，对质量因子(指标)进行分析、筛选与整合，按照质量因子之间的相互关系建立一个有序递阶层次结构关系，即建材产品质量评价指标体系，见图1所示。从图1可见，建材质量评价指标体系涵盖产品方方面面的性能，由至少三个层次组成。第一层为是目标层，表示有待解决的问题，需要做出的决策等，在本文中即为建材品种；中间层为准则层，或者叫主因素层，是判断上下层影响的标准，在本文中，具体指力学性能、健康性能等；最后一层为指标层，即为具体的质量参数。

2.2. 指标因子的重要性评价

为了有针对性的评估建材不同方面的性能，本文邀请在建材行业从事质量评估评判经验丰富的专家对其质量指标进行分类，并采用现场咨询与问卷调查相结合的方式，邀请不同领域的专家对其质量指标进行两两相互比较，利用打分的手段对其重要性进行评价，从而建立判断矩阵。本研究中采用1~9标准度进行打分(表1)。参与打分的专家来自工程质量评估、科研、检验检测等不同领域，保证了打分结果的合理性。

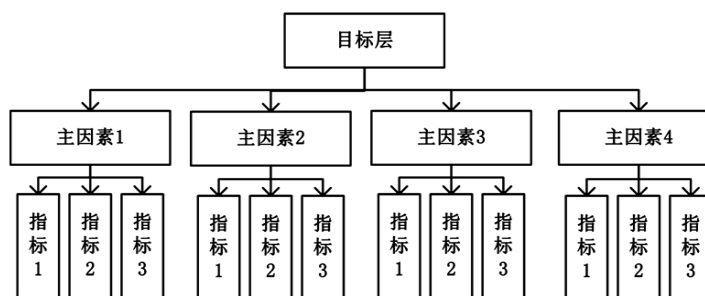


Figure 1. Building materials quality evaluation index system
图 1. 建材质量评价指标体系

Table 1. 1-9 scaling
表 1. 1~9 标度法

标度 a_{ij}	含义
1	i, j 两因素相比, 重要性同等重要
3	i, j 两因素相比, 前者比后者比较重要
5	i, j 两因素相比, 前者比后者重要
7	i, j 两因素相比, 前者比后者很重要
9	i, j 两因素相比, 前者比后者极度重要
2、4、6、8	i, j 两因素相比, 重要性在以上相邻标度程度之间
1~9 的倒数	i, j 两因素相比, 重要性前者为后者的 a_{ij}

2.3. 不同评价指标因子的权重计算

专家打分结束后, 需要对不同评价指标的权重进行计算, 即对建立的判断矩阵进行求解。常用的判断矩阵的特征向量和特征值的求解方法包括: 1) 幂法; 2) 和法; 3) 方根法; 4) MATLAB 求解法。在以上 4 种方法中, 利用和法和方根法得出的结果精度较差, 而幂法的计算过程相对复杂和繁琐, 因此, 本文采用 MATLAB [4] [5] 中 $\text{eig}(A)$ 指令, 使运算过程具有较好的操作性, 运算结果具有较好的精度。最后再对不同专家打分的求解结果取算术平均值, 得出最终的权重向量 W 。

2.4. 判断矩阵的一致性检验

判断矩阵求解完成后, 还需要检验判断矩阵的一致性程度, 来反映特征向量与真实权向量的贴切度, 即权重是否合理。一致性的计算方法为:

$$CR = CI/RI \quad (1)$$

式中, CR 为随机一致性比率, 如果 $CR < 0.1$, 则表示一致性具有满意的结果, 即权重具有合理性。 CI 表示一般一致性指标, RI 为平均随机一致性指标。 CI 的计算公式为(2)式所示, RI 的取值见表 2。

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

(2)式中, λ_{\max} 是求解判断矩阵得出的最大特征根, n 是判断矩阵的阶数。

2.5. 建材产品评价优选模型

考虑到主因素层之间相互比较难于实现, 例如力学性能与健康性能哪个更重要, 很难说明, 因此本

Table 2. Average random consistency index
表 2. 平均随机一致性指标

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

文主要对层次结构中主因素层建立评价方法，计算方法为：

$$Q = \sum I \times W \quad (3)$$

式中， Q 表示建材某一性能(如：力学性能、健康性能)的评价结果， I 表示该性能涵盖的评价指标， W 表示该指标的权重。

通过计算比较，便可得出在同一性能下，哪个材料是更优的选择。

3. 建材评价优选模型在浴缸中的应用

浴缸广泛用于家装和酒店装修中，是重要的装修产品。本研究将上述模型应用于浴缸的评价与选材，来验证模型的可行性。

整理了浴缸质量评价常用的产品标准，包括 JC/T779-2010《玻璃纤维增强塑料浴缸》、QB2585-2007《喷水按摩浴缸》、QB/T2664-2004《搪瓷浴缸》等。鉴于目前亚克力浴缸居多，同时考虑到本次研究仅将模型应用于普通浴缸的质量评判，不对特定用途的浴缸进行评价，故本文仅选取亚克力浴缸为对象开展建模评价，因此指标因子以 JC/T 779-2010《玻璃纤维增强塑料浴缸》中的评价指标为基础，结合工程中的要求而确定。

通过咨询有关专家，结合亚克力浴缸的评价指标与功能要求，将亚克力浴缸质量评价分为外观与尺寸、力学指数、耐污染指数 3 大类，各大类涵盖的具体评价指标见图 2 所示。

根据图 2 中所示，外观与尺寸中包含外观、长度偏差、排水性能 3 个指标，力学指数中包含巴氏硬度、耐重荷性、耐冲击性、满水变形 4 个指标，耐污染指数包括耐污染性、耐日用化学品性 2 个指标。

邀请不同领域的亚克力浴缸检测、研究与应用专家 3 名，参与亚克力浴缸评价指标的两两比较。其中外观与尺寸中的各个指标比较结果如表 3 所示。

根据表 3，得到相应的判断矩阵为：

$$A1 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 1 \\ 1/3 & 1 & 1/3 \\ 1 & 3 & 1 \end{bmatrix}, \quad A2 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 1/2 & 1 & 1/2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}, \quad A3 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 2 \\ 1/2 & 1 & 1/2 \\ 1/2 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

利用 MATLAB7.0 的 eig(A)函数，通过计算可以得出 A1 对应的 $\lambda_{\max} = 3.0000$ 。特征值 λ_{\max} 对应了一组特征向量，将这组特征向量进行归一化处理，即可得出权重向量，其结果为：

$$W_{A1} = \{0.4286, 0.1428, 0.4286\}。$$

对结果进行一致性检验， $CR = \frac{(\lambda_{\max} - n)/(n-1)}{RI} = 0 < 0.1$ ，满足一致性要求，说明结果具有合理性。

同理，通过计算，得出 A2 对应的 $\lambda_{\max} = 3.0000$ ，将 λ_{\max} 对应的特征向量进行归一化处理，得权重向量： $W_{A2} = \{0.4000, 0.2000, 0.4000\}$

通过一致性检验， $CR = \frac{(\lambda_{\max} - n)/(n-1)}{RI} = 0 < 0.1$ ，可知，满足一致性要求。

A3 对应的 $\lambda_{\max} = 3.0536$ ，归一化处理后的权重向量为： $W_{A3} = \{0.4934, 0.1958, 0.3108\}$ 。

一致性检验， $CR = \frac{(\lambda_{\max} - n)/(n-1)}{RI} = 0.0462 < 0.1$ ，满足一致性要求。

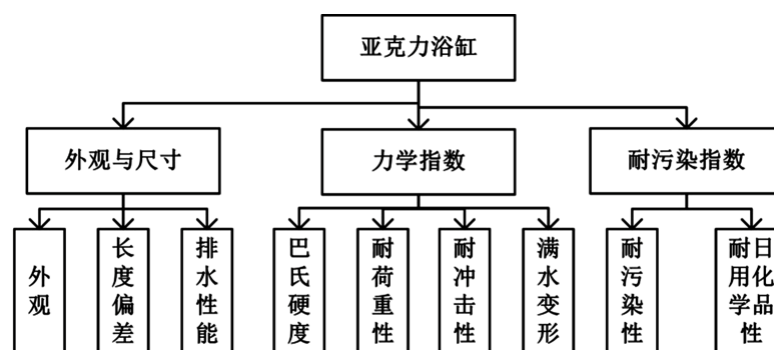


Figure 2. Acrylic bathtub quality evaluation index system

图 2. 亚克力浴缸质量评价指标体系

Table 3. Comparison of the importance of each indicator in appearance and size

表 3. 外观与尺寸中各指标的重要性比较结果

		外观	长度偏差	排水性能
专家 1	外观	1	3	1
	长度偏差	1/3	1	1/3
	排水性能	1	3	1
		外观	长度偏差	排水性能
专家 2	外观	1	2	1
	长度偏差	1/2	1	1/2
	排水性能	1	2	1
		外观	长度偏差	排水性能
专家 3	外观	1	2	2
	长度偏差	1/2	1	1/2
	排水性能	1/2	2	1

最终，通过求算术平均，得出权重向量 $W_A = \{0.4407, 0.1795, 0.3798\}$ 。

3 位专家对力学指数下的指标进行两两比较，给出的重要性程度见表 4。

根据表 4，可得相应的判断矩阵为：

$$B1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 2 & 1 \\ 1/2 & 1/2 & 1 & 1/2 \\ 1 & 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}, \quad B2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 3 & 1 \\ 1 & 1 & 3 & 1 \\ 1/3 & 1/3 & 1 & 1/2 \\ 1 & 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}, \quad B3 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 3 & 1 \\ 1 & 1 & 2 & 1 \\ 1/3 & 1/2 & 1 & 1/2 \\ 1 & 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

通过 MATLAB7.0 的 eig(A) 函数计算得出， $B1$ 对应的 $\lambda_{\max} = 4.0000$ 。特征值 λ_{\max} 对应的特征向量归一化的结果，即权重向量为： $W_{B1} = \{0.2857, 0.2857, 0.1429, 0.2857\}$ 。

对结果进行一致性检验， $CR = \frac{(\lambda_{\max} - n)/(n-1)}{RI} = 0 < 0.1$ ，满足一致性要求，说明结果具有合理性。

采用同样的方法计算，得出 $B2$ 对应的 $\lambda_{\max} = 4.026$ ，将 λ_{\max} 对应的特征向量进行归一化处理，得权重向量： $W_{B2} = \{0.3050, 0.3050, 0.1132, 0.2768\}$ 。

Table 4. Comparisons of indicators in a mechanical index
表 4. 力学指数中各指标的两两比较结果

		巴氏硬度	耐荷重性	耐冲击性	满水变形
专家 1	巴氏硬度	1	1	2	1
	耐荷重性	1	1	2	1
	耐冲击性	1/2	1/2	1	1/2
	满水变形	1	1	2	1
		巴氏硬度	耐荷重性	耐冲击性	满水变形
专家 2	巴氏硬度	1	1	3	1
	耐荷重性	1	1	3	1
	耐冲击性	1/3	1/3	1	1/2
	满水变形	1	1	2	1
		巴氏硬度	耐荷重性	耐冲击性	满水变形
专家 3	巴氏硬度	1	1	3	1
	耐荷重性	1	1	2	1
	耐冲击性	1/3	1/2	1	1/2
	满水变形	1	1	2	1

通过一致性检验, $CR = \frac{(\lambda_{\max} - n)/(n-1)}{RI} = 0.0096 < 0.1$, 符合一致性要求。

B_3 和 B_2 内容相同, 因此所对应的 λ_{\max} 为 4.026, 归一化处理后的权重向量为:

$W_{B_3} = \{0.3050, 0.3050, 0.1132, 0.2768\}$ 。且满足一致性要求。

通过求平均值, 得出平均向量权重为 $\{0.2986, 0.2985, 0.1231, 0.2798\}$ 。

在耐污染指数方面, 3 位专家对其所包含的指标进行两两比较, 得出两两比较结果, 见表 5。

从表 5 显而易见, 3 位专家都认为耐污染性与耐日用化学药品性相对于耐污染指数的重要性程度是相当的, 是同等重要的, 从而得出权重为 $\{0.5, 0.5\}$ 。

根据上述研究, 得出各指标权重的汇总表, 见表 6。

结合表 6 和公示(3), 即可得出亚克力浴缸外观与尺寸、力学指数、耐污染指数的评价方法。

在目前的建材评价领域, 通常是以标准为依据, 对建材的每个指标逐一评价, 根据每个指标的评价结果得出产品合格或者不合格的结论。但这样会存在同样合格的产品之间难于比较, 到底哪个质量更好。通过以上方法, 便可对同类建材实现有效的比较, 推进选材的智能化。例如, 将 10 个同等条件的浴缸采用以上方法进行质量评价, 便可得出哪个浴缸的外观与尺寸是更好的, 哪个浴缸的力学指数是更好的, 哪个浴缸的耐污染指数是更好的, 实现了浴缸产品的某一性能的综合评价, 而不再是单一指标的评价。考虑到很难简单的比较外观与尺寸、力学、耐污染等不同类型性能哪个是更重要的, 所以可以考虑将三个指数的评价结果简单的相加求和, 从而实现产品整体的全方位评价, 不过这有待进一步深入研究。本文建立的建材优选方法不仅适用于浴缸产品, 还可以简单的复制到其他建材产品, 包括水泥、混凝土、墙材等结构材料, 也可以复制到涂料、防水、管材等装饰装修材料。从以上分析可知, 一旦建立起具体产品的评价模型, 便可实现建材的优选, 推进智能化选材的发展。

4. 结论

1) 以层次分析法为基础, 通过指标体系的分析与梳理、专家判断指标相对重要性、权重计算、一致

Table 5. Comparison results of each index in the pollution resistance index
表 5. 耐污染指数中各指标两两比较结果

		耐污染性	耐日用化学药品性
专家 1	耐污染性	1	1
	耐日用化学药品性	1	1
		耐污染性	耐日用化学药品性
专家 2	耐污染性	1	1
	耐日用化学药品性	1	1
		耐污染性	耐日用化学药品性
专家 3	耐污染性	1	1
	耐日用化学药品性	1	1

Table 6. Weight summary of each index
表 6. 各指标的权重汇总

目标层	准则层	具体指标	各指标相对于准则层的权重
亚克力浴缸	外观与尺寸	外观	0.4407
		长度偏差	0.1795
		排水性能	0.3798
	力学指数	巴氏硬度	0.2986
		耐荷重性	0.2985
		耐冲击性	0.1231
		满水变形	0.2798
	耐污染指数	耐污染性	0.5000
		耐日用化学药品性	0.5000

性验证等步骤，建立了建筑材料质量评价模型和优选方法，适用于建材产品的某一特定性能，比如力学性能、健康性能等的比较和优选。

2) 将评价模型应用于亚克力浴缸产品，实现了产品的外观与尺寸、力学指数、耐污染指数 3 类不同性能的评价与优选。该方法可简单复制到其他建材产品。

基金项目

上海市闵行区科委(2016MH194)、上海市国资委(2015027)、上海市科委(15DZ1204605)、上海市工程结构安全重点实验室(2016-KF04)资助项目。

参考文献 (References)

- [1] 郭启雯, 才鸿年, 王富耻, 程兴旺, 王舒迟, 范群波. 材料适用性评价指标体系构建研究[J]. 材料工程, 2009(9): 9-12.
- [2] 王珂. 智能选材系统的研究实现[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京交通大学, 2012.
- [3] 汤亮. 基于综合效益评价的陶瓷产品全生命周期理论研究及应用[D]: [博士学位论文]. 武汉: 武汉理工大学,

2010.

- [4] 龚庆五. 引入河口地区方案研究[J]. 山西建筑, 2010, 36(3): 306-307.
- [5] 周小川. 模糊层次分析法和灰色关联度在铁路方案决策中的应用[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南交通大学, 2009.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2163-1476, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>
期刊邮箱: orf@hanspub.org