

经管类虚拟仿真实验系统学习效果分析 ——基于AHP-结构熵权法

柯奕群*, 张殿儒, 刘露瑶

北京交通大学经济管理学院, 北京

收稿日期: 2023年4月29日; 录用日期: 2023年5月24日; 发布日期: 2023年5月31日

摘要

本文针对已有虚拟仿真系统评价指标体系指标权重确定方法单一的问题, 采用层次分析法和结构熵权法分别计算学生和专家的权重, 并进行组合赋权。将学生体验与专家意见相结合, 给出了更为客观、准确的经管类虚拟仿真实验系统学习效果评价体系及指标权重。通过S大学经济管理学院市场营销虚拟仿真实验平台进行实例检验。研究成果为虚拟仿真实验系统的进一步开发提供了科学参考。

关键词

虚拟仿真实验系统, AHP-结构熵权法, 经济管理学院

Analysis of the Learning Effect of Virtual Simulation Experiment System in Management Education: Based on AHP-Structural Entropy Weight Method

Yiqun Ke*, Dianru Zhang, Luyao Liu

School of Economics and Management, Beijing Jiaotong University, Beijing

Received: Apr. 29th, 2023; accepted: May 24th, 2023; published: May 31st, 2023

Abstract

Addressing the issue of the single method for determining the weight of the evaluation index sys-

*通讯作者。

tem for existing virtual simulation systems, the Analytic Hierarchy Process (AHP) and Structural Entropy Weight (SEW) methods are used to calculate the weights of students and experts, separately, which are then combined for weighting in this paper. By combining student experiences with expert opinions, a more objective and accurate evaluation system and index weight for learning outcomes of virtual simulation experiments in business management have been proposed. Using the above-mentioned method, an evaluation was conducted on the learning outcomes of the market marketing virtual simulation experimental platform of the School of Economics and Management of S University. The results provide a scientific reference for the further development of virtual simulation experimental systems.

Keywords

Virtual Simulation Experiment System, AHP-Structural Entropy Weight Method, School of Economics and Management

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

随着国家政策主导与现代化数字技术飞速发展,虚拟仿真实验学习技术已被广泛应用于国内的高校教学[1]。在教育部大力推动下,各高校积极响应国家政策,大力发展虚拟仿真实验课程[2]。建立客观、准确的虚拟仿真实验系统学习作用评价体系,是提高虚拟仿真实验系统教学效果,建设我国信息化高等教育的重要基础[3]。

我国对虚拟仿真学习评价体系的研究尚处初级阶段[3]。2011年,杨雪等[4]基于反馈理论提出“以学习者为中心”的虚拟仿真实验设计理念,从感官、行为、交流三个层面对学习者表现进行评定。此后,李丽等[5]针对汽车电路虚拟仿真实验系统构建评价指标体系,并利用模糊层次分析法确定指标权重。2018年,何聚厚[6]采用问卷调查法、文献分析法等建立起全面、完善的虚拟仿真系统学习效果三级评价指标体系,合理解答“如何评价学生在虚拟仿真系统中的学习效果”问题。随后,蒿丽萍[7]系统地总结归纳了虚拟仿真实验评价机制。在此基础上,张咪[8]着重考虑仿真实验学习中动作技能的考评,基于多元智能理论、学习结果分类理论建立起新的评价指标体系,并利用层次分析法确定权重。

以上研究虽已建立起较为全面、完善的虚拟仿真系统评价指标体系,但确定指标权重方法单一,结果易受主观因素影响。研究表明,虚拟仿真实验系统负责教师大多具有行政职务,年龄较大,开发虚拟仿真实验系统时缺乏对一线年轻教师经验与学生自身体验的考虑[8]。

本文总结前人研究成果,提出AHP-结构熵权法进行指标组合赋权。分别对虚拟仿真系统使用学生和开发专家进行问卷发放,利用层次分析法计算使用学生角度权重,利用结构熵权法计算开发专家角度权重,并将两套权重进行组合,得到综合赋权。该方法将领域内专家的优势经验与学生参与虚拟仿真实验的真实体验结合,给出了更为客观、准确的经管类虚拟仿真实验系统学习效果评价体系,为虚拟仿真实验系统的进一步开发提供了科学参考。

2. 经管类虚拟仿真实验系统学习效果评价指标体系建立

本文以现有虚拟仿真(下文简称“虚仿”)实验评价体系为依据[6],根据学生实际使用情况和教师建议进行拓展,共设3个一级指标,9个二级指标,25个三级指标,构建评价体系如图1所示。

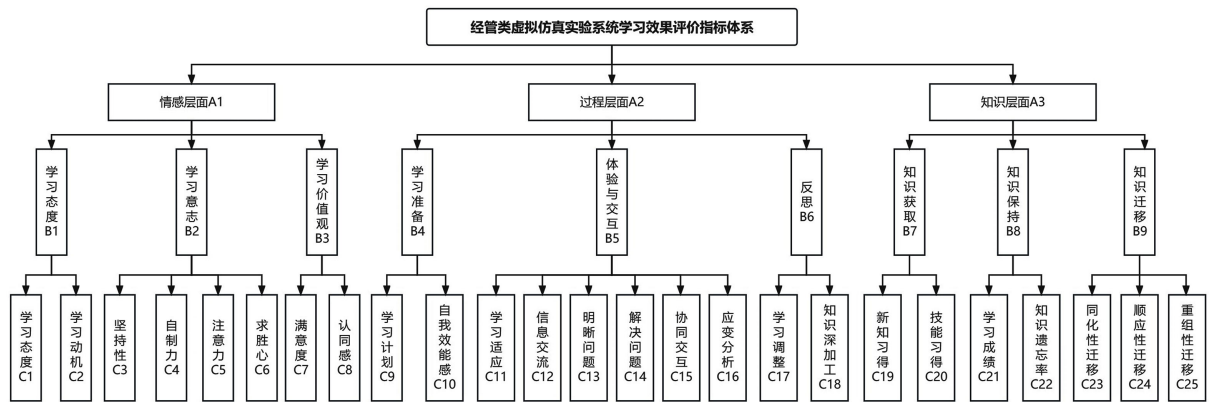


Figure 1. Evaluation Index of learning effect of virtual simulation system for students of economics and management
图 1. 经管类学生虚仿系统学习效果评价指标体系

部分指标说明如下。

- 1) 协同交互：虚仿实验中与其他成员的沟通协作能力；
- 2) 应变分析：对虚仿实验设计的突发情况处理与分析的能力。

除上述 2 个指标外，其余指标在文献[7]中均有详细说明。

3. AHP-结构熵权法组合赋权

3.1. AHP 评价模型

层次分析法将同一层次的指标两两比较的重要性进行定量描述，能够快速梳理复杂的多指标问题。层次分析法步骤如下[9]：

- 1) 建立层次结构模型，包含目标层、准则层和方案层；
- 2) 采用“1 至 9 相对重要性标度法”，两两比较各指标之间的重要性，构建比较判断矩阵 A；
- 3) 计算判断矩阵的最大特征值、特征向量和各指标权重。计算步骤如下：

第一步，计算判断矩阵每行因子的乘积 M_i ：

$$M_i = \prod_{j=1}^n a_{ij} \tag{1}$$

式中， a_{ij} 为判断矩阵 A 中的元素。

第二步，由上得到的 M_i 值，计算其 n 次方根，其中 n 为判断矩阵维数：

$$\bar{w}_i = \sqrt[n]{M_i} \tag{2}$$

第三步，按式(3)得到各指标归一化权重：

$$w_i = \frac{\bar{w}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{w}_i} \tag{3}$$

4) 进行一致性检验，首先计算判断矩阵的一般一致性指标 CI (式(4))，再计算随机一致性指标 CR (式(5))，CR 值小于 0.1 说明通过一致性检验，反之则未通过一致性检验。

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \tag{4}$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (5)$$

下表 1 为 RI 取值。

Table 1. Ri Table of random concordance

表 1. 随机一致性 RI 表

阶数 n	3	4	5	6	7	8	9
RI 值	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46

3.2. 结构熵权法模型

结构熵权法将定性与定量分析相结合，能较大程度避免由专家主观意志带来的局限性，其主要步骤如下[10]：

1) 采集专家意见，进行“典型排序”：

首先根据“德尔斐法”对专家意见进行调查，将各指标按照重要程度进行排序，调查形式如表 2 所示。

Table 2. Structure entropy weight method expert survey sketch

表 2. 结构熵权法专家调查示意

	指标 1	指标 2	指标 3	指标 4
专家 1	1	2	3	4
专家 2	1	3	2	4
专家 3	1	4	2	3

注：表中每位专家的指标排序均按照重要程度由高到底依次排列，即排序为“1”的指标在 4 个指标中重要程度最高，排序为“4”则代表该指标重要程度最低。

2) 对“典型排序”进行“盲度”分析：

由 h 位专家对 n 个指标的排序矩阵记为 $A (A = (a_{ij})_{h \times n}, i = 1, 2, \dots, h, j = 1, 2, \dots, n)$ ，称为指标的“典型排序”矩阵，其中 a_{ij} 表示第 i 个专家对第 j 个指标 μ_j 的评价。定义隶属函数为

$$\mu(I) = \frac{-\ln(q-I)}{-\ln(q-1)} \quad (6)$$

其中 I 代表专家给出的排名序号。假设有 4 个指标 A, B, C, D，如果指标 A 最重要，对应的 $I = 1$ ，如果 A 第二重要，那么 $I = 2$ ，以此类推。 μ 是定义在 $[0, 1]$ 上的变量， $\mu(I)$ 为 I 对应的隶属函数值， $I = 1, 2, \dots, j, j+1, j$ 为实际最大顺序号，表示一共有 j 个指标参与排序。 q 为转化参数量，这里取 $q = j + 2$ 。将 $I = a_{ij}$ 代入式(7)，得到定量转化值 b_{ij} ，它是 I 的隶属度。假设每位专家对于指标 μ_j 有相同的“话语权”，我们得到专家对于第 j 个指标的平均认识度：

$$b_j = \frac{b_{1j} + b_{2j} + \dots + b_{kj}}{k} \quad (7)$$

定义 Q_j 为专家对第 j 个指标的认知的不确定性，称为“认知盲度”：

$$Q_j = \left| \frac{[\max(b_{1j}, b_{2j}, \dots, b_{kj}) - b_j] + [\min(b_{1j}, b_{2j}, \dots, b_{kj}) - b_j]}{2} \right| \quad (8)$$

于是对于每一个指标 μ_j ，全体专家对它的总体认识度，记为 m_j ，得到

$$m_j = b_j(1 - Q_j) \quad (9)$$

3) 归一化处理:

通过归一化处理得到各指标权重

$$\alpha_j = \frac{m_j}{\sum_{j=1}^n m_j} \quad (10)$$

其中 α_j 为各个指标权重

3.3. 综合评价模型建立

为使得该评价体系能够兼顾专家的教学经验与学生的真实体验，依据式(11)进行综合权重的计算。

$$\beta_i = \frac{\sqrt{\alpha_i w_i}}{\sum_{i=1}^n \sqrt{\alpha_i w_i}} \quad (11)$$

其中， α_i 为结构熵权法确定的指标权重， w_i 为层次分析法确定的指标权重。

4. 实例分析——S 大学虚仿实验系统学习效果评价

以 S 大学经济管理学院市场营销虚仿实验平台为例。本文以图 1 所示评价体系为基础，对使用学生共发放 110 份问卷，回收有效问卷 102 份问卷，问卷有效率 92.7%；对教学专家共发放 10 份问卷，回收有效问卷 10 份问卷，回收率 100%。

4.1. AHP 确定权重

1) 对来自学生的 102 份问卷进行均值统计，构造一级指标层的判断矩阵，按照前述层次分析法步骤进行计算。判断矩阵及所得各指标权重如表 3 所示。

Table 3. The weights of the first-level indicators based on AHP

表 3. 基于 AHP 的一级指标层权重

指标	过程层面	知识层面	情感层面
过程层面	1	3	6
知识层面	1/3	1	3
情感层面	1/6	1/3	1
权重	0.6548	0.2499	0.0953

经计算，该判断矩阵最大特征根为 3.094，CR 值为 0.09，通过一致性检验。

2) 构造各一级指标下设的二级指标层判断矩阵，以过程层面为例，权重结果如表 4 所示。

经计算，该判断矩阵最大特征根为 3.065，CR 值为 0.062，通过一致性检验。

依次计算其它二级指标相对其所属一级指标的权重，二级指标层计算结果如下表 5，所构造各判断矩阵均通过一致性检验。

3) 计算各三级指标相对其所属二级指标的权重，所构造各判断矩阵均通过一致性检验，结果如下表 6 所示。

Table 4. The weight of the two-level index layer based on AHP**表 4.** 基于 AHP 的二级指标层权重

过程层面	体验与交互	反思	学习准备
体验与交互	1	3	7
反思	1/3	1	2
学习准备	1/7	1/2	1
权重	0.6817	0.2158	0.1025

Table 5. The relative weights of the secondary indicators based on AHP**表 5.** 基于 AHP 的二级指标相对上级权重

指标	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
权重	0.6144	0.2684	0.1172	0.1025	0.2158	0.6817	0.5816	0.3090	0.1095

Table 6. The relative weights of the three-level indicators based on the analytic hierarchy proces**表 6.** 基于层析分析法的三级指标相对上级权重

指标	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
权重	0.8333	0.1667	0.1545	0.0664	0.5260	0.2531	0.8750	0.1250	0.7500
指标	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18
权重	0.2500	0.0366	0.0238	0.4282	0.2961	0.1135	0.0929	0.6667	0.3333
指标	C19	C20	C21	C22	C23	C24	C25		
权重	0.6667	0.3333	0.8333	0.1667	0.6370	0.2583	0.1047		

4) 各三级指标相对于目标层的最终权重可由其相对上一级权重与所隶属的一级、二级指标权重依次相乘获得。基于层次分析法的三级指标最终权重如表 11 所示。

4.2. 结构熵权法确定权重

1) 回收问卷, 统计 10 位专家对各级指标的排序意见。表 7 所示为 10 位专家对三个一级指标的“典型排序”。

Table 7. Typical ranking of Tier 1 indicators**表 7.** 一级指标的典型排序

	过程层面	知识层面	情感层面
专家 1	1	2	3
专家 2	1	3	2
专家 3	2	1	3
专家 4	1	2	3
专家 5	1	2	3
专家 6	1	3	2
专家 7	2	1	3
专家 8	1	2	3
专家 9	2	3	1
专家 10	1	2	3

2) 依次计算各指标平均认知度、认知盲度、总体认知度和归一化权重, 计算结果如下表 8 所示。

Table 8. The weights of the first-level indicators based on the method of structural entropy
表 8. 基于结构熵权法的一级指标层权重

	过程层面	知识层面	情感层面
平均认知度	-0.9377	-0.7462	-0.6085
认知盲度	0.0415	0.00376	0.1415
总体认知度	-0.8988	-0.7434	-0.5224
归一化权重	0.41523	0.34344	0.24133

3) 重复上述步骤, 依次计算各二级、三级指标相对其上一级指标的权重。表 9 为二级指标权重计算结果, 表 10 为三级指标权重计算结果。

Table 9. Relative superior weight of two-level index based on structure entropy weight method
表 9. 基于结构熵权法的二级指标相对上级权重

指标	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
权重	0.4165	0.2837	0.2998	0.2778	0.4165	0.3056	0.3579	0.2819	0.3602

Table 10. The relative superior weight of three-level indexes based on structure entropy weight method
表 10. 基于结构熵权法的三级指标相对上级权重

指标	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
权重	0.4774	0.5226	0.3033	0.2192	0.3053	0.1722	0.4321	0.5679	0.4774
指标	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18
权重	0.5226	0.1375	0.0893	0.2164	0.2044	0.2192	0.1332	0.4547	0.5453
指标	C19	C20	C21	C22	C23	C24	C25		
权重	0.5	0.5	0.5679	0.4321	0.3753	0.3746	0.2501		

4) 各三级指标相对于目标层的最终权重可由其相对上一级权重与所隶属的一级、二级指标权重依次相乘获得。基于结构熵权法的三级指标最终权重如表 11 所示。

Table 11. Evaluation index system and weight of virtual learning system for students of Economics and management
表 11. 经管类学生虚拟系统学习效果评价指标体系及权重

一级指标	二级指标	三级指标	层次分析法权重	结构熵权法权重	组合权重
情感 层面	学习 态度	学习兴趣	0.0488	0.0480	0.0557
		学习动机	0.0098	0.0525	0.0260
	学习 意志	坚持性	0.0040	0.0208	0.0104
		自制力	0.0017	0.0150	0.0058
		注意力	0.0135	0.0209	0.0193
		求胜心	0.0065	0.0118	0.0100
	学习 价值观	满意度	0.0098	0.0313	0.0201
		认同感	0.0014	0.0411	0.0087

Continued

过程 层面	学习 准备	学习计划	0.0503	0.0551	0.0606
		自我效能感	0.0168	0.0603	0.0366
	体验与 交互	学习适应	0.0052	0.0238	0.0128
		信息交流	0.0034	0.0154	0.0083
		明晰问题	0.0605	0.0374	0.0547
		解决问题	0.0418	0.0353	0.0442
		协同交互	0.0160	0.0379	0.0284
		应变分析	0.0131	0.0230	0.0200
	反思	学习调整	0.2976	0.0577	0.1507
		知识深加工	0.1488	0.0692	0.1167
知识 层面	知识 获取	新知习得	0.0969	0.0615	0.0888
		技能习得	0.0484	0.0615	0.0628
	知识 保持	学习成绩	0.0643	0.0550	0.0684
		知识遗忘率	0.0129	0.0418	0.0267
	知识 迁移	同化性迁移	0.0174	0.0464	0.0327
		重组性迁移	0.0071	0.0463	0.0208
		重组性迁移	0.0029	0.0309	0.0108

4.3. 组合权重确定及权重对比

按照式(11)计算最终的组合权重, 计算结果如下表 11。

由表 11 可以得出, 在三级指标层面, 学生意见与专家意见形成较大分歧。在虚仿实验过程中, 学生明显更加重视“明晰问题”“学习调整”“同化性迁移”等能衡量短时间内学习成果的指标; 而“认同感”“自我效能感”“学习适应”等衡量长时间内学习思维、情感的指标则被忽略。

由图 2 可知, 在虚仿学习过程中, 学生高度关注“体验与交互”的感受; 在“情感层面”, 学生认为“学习价值观”重要程度低于“学习意志”, 专家意见反之; 与专家意见相比, 学生意见下的“情感层面”重要程度更低, 而“知识层面”双方意见相仿。

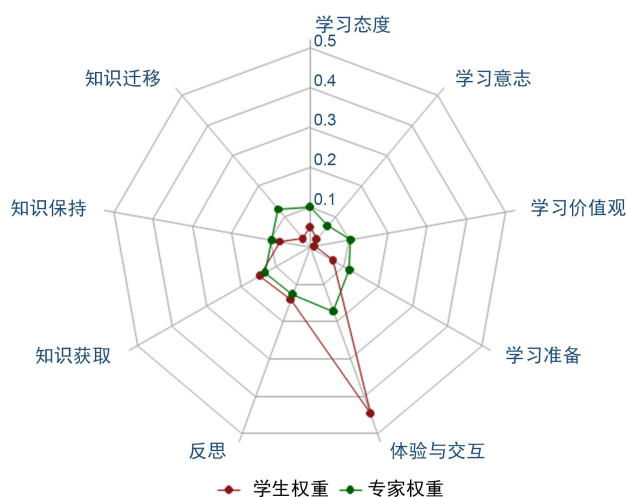


Figure 2. Comparison of the weights of the two-level indicators from students and experts perspectives

图 2. 学生角度与专家角度二级指标权重对比

由图3可知,组合后的权重大体上与专家意见下的权重相近,在“学习调整”和“知识深加工”指标上,组合权重要显著高于专家角度权重,因为学生力图更好地完成下次虚拟学习,故更加重视每次虚拟实验后的反思与调整。“知识迁移”的三个指标的组合权重均低于专家角度权重,这与学生在实际学习中更注重学习成绩和知识掌握程度、轻视知识应用与迁移的特点相符,说明将两者意见相结合的权重更加客观,贴合实际学习情况。

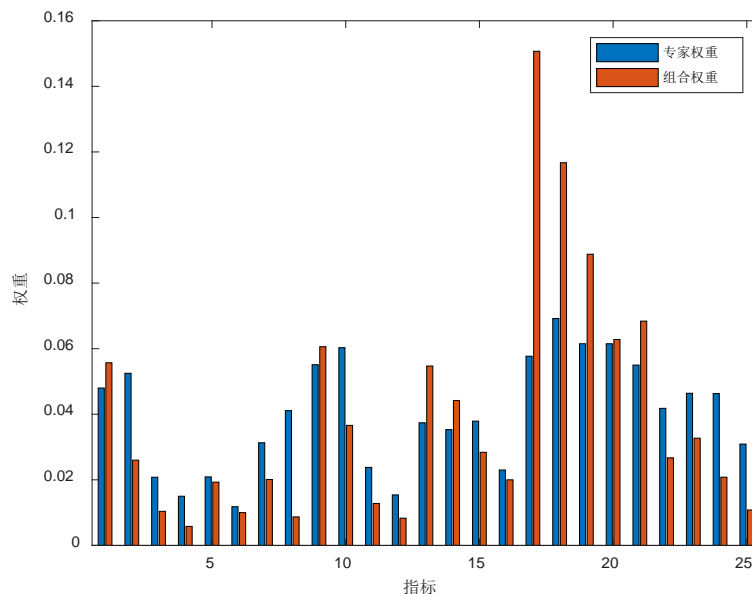


Figure 3. Comparison of three-level index combination weight and expert angle weight

图3. 三级指标组合权重与专家角度权重对比

5. 结语

本文提出 AHP-结构熵权法进行虚拟实验系统学习评价体系指标组合赋权,将领域内专家的优势经验与学生参与虚拟实验的真实体验结合,给出了更为客观、准确的经管类虚拟实验系统学习效果评价体系及指标权重,为虚拟实验系统的开发和维护提供了科学参考。

基金项目

北京市级大学生创新创业训练计划资助项目(批准号: 202310004147)

参考文献

- [1] 徐雪飞, 赵江东, 柳晨阳, 王会. 虚拟仿真实验发展及其技术应用探析[J]. 科技创业月刊, 2020, 33(9): 160-162.
- [2] 刘嘉南, 毛继泽, 何建, 胡今鸿, 井维亮. 虚拟仿真实验教学可持续发展体系构建研究[J]. 中国现代教育装备, 2022(23): 20-23.
- [3] 张咪, 孙力. 虚拟仿真实验学习评价体系研究[J]. 中国成人教育, 2020(8): 51-54.
- [4] 杨雪, 王倩, 黄海林, 李肖锋. 虚拟实验的反馈设计与实现[J]. 中国电化教育, 2011, 294(7): 136-140.
- [5] 李丽, 武照云. 汽车电路虚拟仿真实训教学评价系统设计[J]. 实验技术与管理, 2017, 34(7): 118-121.
- [6] 何聚厚, 梁瑞娜, 肖鑫, 梁玉帅, 韩广欣. 基于沉浸式虚拟现实系统的学习评价指标体系设计[J]. 电化教育研究, 2018, 39(3): 75-81.

-
- [7] 蒿丽萍. 虚拟仿真实训教学保障机制及评价机制研究[J]. 内蒙古电大学刊, 2018, 172(6): 88-92+102.
 - [8] 董桂伟, 赵国群, 王桂龙, 毕见强, 胡蔓. 高等工程教育虚拟仿真实验教学的分析与思考——基于 278 项国家级虚拟仿真实验教学项目的描述性研究[J]. 实验技术与管理, 2022, 39(12): 199-204.
 - [9] 罗宁, 贺墨琳, 高华, 姜志筠, 张天东, 赵佳伟, 吴国鼎, 李智, 胡钊. 基于改进的 AHP-CRITIC 组合赋权与可拓评估模型的配电网综合评价方法[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(16): 86-96.
 - [10] 程启月. 评测指标权重确定的结构熵权法[J]. 系统工程理论与实践, 2010, 30(7): 1225-1228.