

基于效用函数与 TFAHP 科技馆科普效果分析

林宝聚¹, 荣佑民^{2,3}

(1. 大连科技馆, 辽宁 大连 116011; 2. 华中科技大学 机械科学与工程学院, 武汉 430074;
3. 东莞华中科技大学 制造工程研究院, 广东 东莞 523808)

摘要:以中国科学技术馆“挑战与未来”中的四个展区为研究对象,对科技馆科普效果进行了分析研究。首先,基于“挑战与未来”展项群展示内容的差异性,建立了递阶层次结构模型,将其划分为目标层、展区层和展项层;其次,针对递阶层次模型的展项层展项,运用效用函数进行游客停留时间的效用函数模型建立与分析;最后,采取三角模糊层次分析法(Triangle Fuzzy Analytic Hierarchy Process, TFAHP)对展项、展项群进行了科普效果分析。

关键词:科普效果;科技馆;TFAHP;效用函数

中图分类号:N949 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2013)12-0070-04

当今世界,世界各国都十分重视科技博物馆的建设,特别注重科技馆的科普教育^[1]。科技馆的发展主要可以分为三个阶段^[2-4]:第一阶段,科技馆源于19世纪20年代前后的欧洲,展示的内容为自然发现的成果和部分技术发明的成果,主要展示方式是自然标本、工业产品、科学仪器实物与模型的陈列,教育理念是自然的猎奇、科技的探索;第二阶段,19世纪50年代,科学工业博物馆出现,例如德意志博物馆、伦敦博物馆等,展示的内容为工业革命的成果,主要展示方式是工业产品、科学仪器实物与部分动态演示,教育理念是科技的作用、历史的记忆;第三阶段,20世纪60年代,科技馆的出现(国外称之为科技中心),如旧金山探索馆等,展示的内容为基础科学和技术原理,主要展示方式是互动展品的动态演示,教育理念是激发公众兴趣的探究性学习法。

而我国科技馆建设起步于1984年中国科学技术馆的建设;自1996年《中国科协“九五”科普工作规划》下发后,我国的科技馆才逐步走向健康有序的发展;自2003年,联合中国科协、发展改革委员会、科技部、财政部及建设部等共同发布《关于加强科技馆等科普设施建设的若干意见》后,科技馆的建设与运营逐步走向科学化、规划化^[5]。

当今世界科学技术发展日新月异,提高国民素质成为众多国家21世纪基本战略方针,而科技馆逐步成为科普教育的主要阵地^[6]。因此,有必要对科技馆

展项的科普效果进行分析研究,为科技馆展项的设计与优化提供理论支撑。

1 科普效果分析模型的建立

众所周知,展项是科技馆必不可少的重要组成部分,是科技馆进行科普教育的重要手段之一。为了达到科普教育的预期效果,对科技馆的展项群进行科普效果分析是必要的。通过分析,发现科技馆展项群存在的问题,以便作出响应,以达到更好的科普效果。王可炜等^[7]针对展项设计问题采取Fuzzy理论建立数学模型对设计指标进行了综合评估。但基于展项群角度对科技馆展项科普效果分析的研究缺乏,结合展项科普效果统计数据少、数据模糊性,本文以大连科技馆常设展项为研究对象,采取模糊层次分析法对展项科普效果进行分析研究。

1.1 模糊层次分析法简介

层次分析法是由美国匹兹堡大学A. L. Saaty教授于上世纪70年代提出的一种定性分析与定量分析相结合的系统分析方法^[8]。针对层次分析法存在判断矩阵一致性检验困难、一致性检验标准缺乏科学依据及判断矩阵与人类思维一致性有显著差异等问题,通过将模糊理论引入到层次分析法中,采取建立的模糊一致矩阵代替判断矩阵进行权重计算,因此称之为模糊层次分析法,其具体分析步骤将在后面描述。

1.2 科技馆科普教育效果分析建模

在科技馆中,各展项对青少年的科普教育效果受

收稿日期:2013-09-10

基金项目:国家自然科学基金(50905065);广东省产学研项目(2011B90400381);广东省科技计划项目(2011B010100037);东莞科技计划项目(2011108102058,2011108102051)

作者简介:林宝聚(1956—),男,辽宁大连人,大连科技馆馆长,高级工程师,研究方向:科技馆管理。

青少年自身状态、展项布局、展示手段及外在环境等因素相关。以中国科技馆“挑战与未来”为主题的地球述说、能源世界、新型材料、基因生命等四个展区中相关展项为研究对象,进行科普效果的分析研究。依据空间规划布局关系,将“挑战与未来”划分为三个层次,其层次化结构模型如图 2 所示。目标层,为“挑战与未来”主题展厅科普效果分析的任务目标;展区层,为目标层相关的地球述说、能源世界、新型材料、基因生命等四个相关展区;展项层,为展区层各展区相对应的展项,包括会说话的大树、温室气体与全球变暖、冰川融合、全球水资源、海藻发电、细菌发电、太阳能热发电蝶式系统、光伏发电、超导电技术、会发电的衣服、告别白色污染、认识纳米、材料新创意、双向记忆合金、我来克隆多莉羊、餐桌革命、它们有多大、中国人的贡献——揭秘 1%、基因竖琴等 19 个展项。

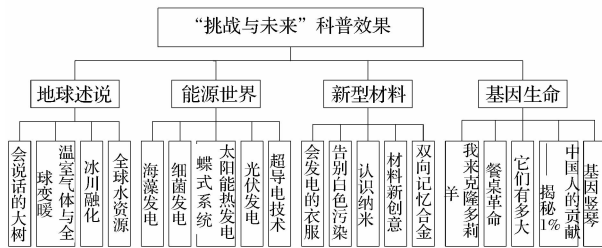


图 1 “挑战与未来”科普效果分析递阶层次模型

设 E 为目标层“挑战与未来”科普效果分析的任务,其对应的权重为 ω ; E_i 为与目标层相关的展区层第 i 个展区科普效果,其对应的权重为 ω_i ; E_{ij} 为与目标层相关的展区层第 i 个展区的展项层第 j 个科普效果,其对应的权重为 ω_{ij} 。建立其科普效果评估数学模型,如式(1):

$$\left. \begin{aligned} E &= \sum_{i=1}^n \omega_i E_i \quad i = 1, 2, \dots, n \\ E_i &= \sum_{j=1}^m \omega_{ij} E_{ij} \quad j = 1, 2, \dots, m \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

2 矩阵建立

由于科技馆科普效果的影响因素诸多,本文以展项滞留时间为指标进行分析。首先,通过效用函数对采样的展项滞留时间进行量化处理;然后建立三角模糊数互补判断矩阵;最后,计算单层权重,构建模糊一致性矩阵,实现最终权重的计算。

2.1 基于效用函数展项层量化

针对展项滞留时间与科普教育效果,忽略其他因素的影响,采取效用函数进行量化处理,建立适应于

科普效果分析的效用函数模型,如式(2):

$$E_{ij} = \begin{cases} 1 & t \leq t_{sati} \\ \frac{1}{2} \left[1 + \sin \left(\frac{t_j - (t_{sati} + t_{non})/2}{t_{sati} - t_{non}} \pi \right) \right] & t_{sati} < t < t_{non} \\ 0 & t \geq t_{non} \end{cases} \quad (2)$$

式(2)中, t_{sati} 为性能指标的满意点(区间),取 (αt_{max}) , t_{non} 为性能指标的无效点,取 (t_{min}/α) ,其中 $\alpha (\geq 1)$ 为修正系数。

通过对 100 名青少年对相关展项参观滞留时间的统计,对展项层的 19 个展项滞留时间平均值统计,结合公式(2)进行展项层量化,如表 1 所示。

表 1 展项层滞留时间及效用值(α 取 1.2)

展项层	滞留时间(s)	效用值	展项层	滞留时间(s)	效用值
会说话的 大树	83	0.696 6	告别白 色污染	74	0.426 1
温室气体与 全球变暖	69	0.280 1	认识纳米	76	0.487 2
冰川融化	64	0.154 7	材料新 创意	68	0.253 0
全球水 资源	73	0.395 9	双向记 忆合金	79	0.579 0
海藻发电	76	0.487 2	我来克 隆多莉 羊	83	0.696 6
细菌发电	61	0.094 3	餐桌革 命	75	0.456 6
太阳能热 发电蝶 式系统	81	0.638 9	它们有 多大	80	0.609 1
光伏发电	78	0.548 5	中国人 的贡献 —— 揭秘 1%	72	0.366 1
超导电 技术	65	0.177 5	基因竖 琴	85	0.751 5
会发光的 衣服	82	0.668 1			

2.2 基于 TFAHP 权重计算

针对传统层次分析法存在专家打分偏好、矩阵一致性相异、一致性检验困难及缺乏科学性等问题^[9]。为确保专家打分的合理性及矩阵一致性判断与调整的易操作性,引入三角模糊数层次分析法^[10]。具体算法实现步骤如下:

1) 构建三角模糊数互补判断矩阵。图 2 递阶层次结构模型,其三角模糊互补判断矩阵 A 表达如下:

$$A = (a_{ij})_{n \times n} \quad (3)$$

其中

$$\left. \begin{aligned} s.t. (a_{ij}) &= (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij}) \\ 0 \leq l_{ij} \leq m_{ij} \leq u_{ij} \leq 1 \\ l_{ij} + u_{ji} &= 1 \\ l_{ji} + u_{ij} &= 1 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

其中 a_{ij} 代表第 i 个因素与第 j 个因素重要程度之比。 l_{ij} 和 u_{ij} 分别代表三角模糊数的下界值和上界值,且 $l_{ii} = u_{ii} = 0.5$ (当 $i = j$ 时), m_{ij} 为三角模糊数的中值,依据表 2 取值。

表 2 m_{ij} 取值细则表

相对权重	评价语言变量	标度(m_{ij})
M_1	i 因素较 j 因素,非常没有 j 重要	0.100
M_2		0.138
M_3	i 因素较 j 因素,没有 j 重要	0.325
M_4		0.439
M_5	i 因素较 j 因素,同等重要	0.500
M_6	i 因素较 j 因素,明显重要	0.561
M_7		0.675
M_8	i 因素较 j 因素,非常重要	0.862
M_9		0.900

2)层次单排序。即同一层次的因素相对于上一层的某因素重要性的排序。设相对于上一层某个因素的同层次因素数为 n ,则第 i ($i = 1, 2, 3, \cdots, n$) 因素相对于上一层因素的三角模糊权重 $\overset{\wedge}{\omega}_i$ 为:

$$\begin{aligned} \overset{\wedge}{\omega}_i &= \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij}} = \\ &= \left(\frac{\sum_{j=1}^n l_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n l_{ij}}, \frac{\sum_{j=1}^n m_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n m_{ij}}, \frac{\sum_{j=1}^n u_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n u_{ij}} \right) \end{aligned} \quad (5)$$

3)建立互补一致可能度矩阵。通过采取可能度方法处理三角模糊权重 $\overset{\wedge}{\omega}_i$,实现指标权重的完全确知状态。设 $\overset{\wedge}{\omega}_i = (l_i, m_i, u_i)$, $\overset{\wedge}{\omega}_j = (l_j, m_j, u_j)$, 则 $\overset{\wedge}{\omega}_i \geq \overset{\wedge}{\omega}_j$ 的可能度 p_{ij} 为:

$$\begin{aligned} p_{ij} &= \lambda \max \left\{ 1 - \max \left(\frac{m_j - l_i}{m_i - l_i + m_j - l_j}, 0 \right), 0 \right\} \\ &+ (1 - \lambda) \max \left\{ 1 - \max \left(\frac{u_j - m_i}{u_i - m_i + u_j - m_j}, 0 \right), 0 \right\} \end{aligned} \quad (6)$$

其中 $\lambda \in [0, 1]$, 当 $\lambda > 0.5$, 表示决策者追求风险; 当 $\lambda < 0.5$, 表示决策者厌恶风险; $\lambda = 0.5$, 表示决策者中立。取 $\lambda = 0.5$, 可得到初步的互补可能度

矩阵 $P = (p_{ij})_{n \times n}$, 然后将其转换为模糊一致性矩阵 $R = (r_{ij})_{n \times n}$ 其中 r_{ij} 为:

$$\left. \begin{aligned} r_{ij} &= \frac{r_i - r_j}{2(n-1)} + 0.5 \quad (i = 1, 2, \cdots, n) \\ r_i &= \sum_{a=1}^n p_{ia} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

4) 计算权重。基于求得的模糊一致性矩阵,对三角模糊数进行排序转化为可能度矩阵的排序向量(指标最终权重 ω_i)的求解,即为:

$$\omega_i = \frac{\sum_{j=1}^n r_{ij} + \frac{n}{2} - 1}{n(n-1)} \quad (8)$$

3 权重计算

通过 Matlab 编程实现,挑选若干名专家对同一层两两相对科普效果进行打分,获得三角模糊判断矩阵,表 3 为对目标层科普效果的展区层三角模糊矩阵。依次类推,通过展项层的 19 个展项分别相应展区层展区的两两比较结果,构成 4 个三角模糊矩阵。依据所建立的 5 个三角模糊判断矩阵,经过层次单排序及一致可能度矩阵建立,实现最终权重的计算,表 4 为展区层权重计算结果。最后,通过科普效果与权重成正比关系,分析知,作为研究对象的 4 个展区,新型材料的科普效果最好,地球述说的科普效果最差,能源世界和基因生命的科普效果居中。

表 3 展区层三角模糊矩阵

展区层	地球述说	能源世界	新型材料	基因生命
地球述说	[0.5	[0.138	[0.138	[0.325
	0.5	0.325	0.325	0.439
	0.5]	0.500]	0.439]	0.561]
能源世界	[0.500	[0.5	[0.325	[0.561
	0.675	0.5	0.439	0.675
	0.862]	0.5]	0.561]	0.862]
新型材料	[0.561	[0.439	[0.5	[0.561
	0.675	0.561	0.5	0.675
	0.862]	0.675]	0.5]	0.862]
基因生命	[0.439	[0.138	[0.138	[0.5
	0.561	0.325	0.325	0.5
	0.675]	0.439]	0.439]	0.5]

表 4 展区层权重结果

展区层名称	权重
地球述说	0.204 5
能源世界	0.277 6
新型材料	0.305 9
基因生命	0.212 0

4 结论

结合展区科普权重计算过程,通过对比四个展区的展项特点可以归纳如下结论:

1)通过采取 TAHP 法,解决了科普效果分析过程中专家打分偏好、矩阵一致性相异、一致性检验困难及缺乏科学性等问题,使得评估具有易操作性、可扩展性;

2)在保持展项内容不变前提下,人机交互的展项能增强与游客的互动性及展示手段新颖程度都增加了展项滞留时间,提高了科普教育质量;

3)通过科普效果分析,可以为科技馆展项升级改造提供理论基础支撑。

参考文献

[1] 胥彦玲,何丹,吴晨生. 国外科技馆建设对我国的启示[J]. 科普研究,2010,5(24):57-60.
[2] 梁兆正. 对科技馆建设理念和建馆模式的探讨[J]. 科普研

究,2010,5(24):53-55.
[3] 张明生. 国内外科技馆的发展历史与现状[J]. 今日科技,1998(11):3-4.
[4] 黄体茂. 世界科技馆的现状和发展趋势[J]. 科技馆,2005(2):3-11.
[5] 张杰. 新时期我国科技馆发展对策研究——以江西科技馆为例[D]. 南昌:南昌大学,2010.
[6] 甘海鸥. 科技馆事业发展与科普教育作用浅谈[J]. 科技资讯,2007(27):225-227.
[7] 王可炜,陈曦. 基于 Fuzzy 的科技馆展项设计评价的数学模型[J]. 科技管理研究,2011(11):44-47.
[8] 张吉军. 模糊层次分析法(FAHP)[J]. 模糊系统与数学,2000,14(2):80-88.
[9] 吕跃进. 基于模糊一致矩阵的模糊层次分析法的排序[J]. 模糊系统与数学,2002,12(2):79-85.
[10] 吴军,董星,方强,等. 基于三角模糊数层次分析法的武器系统效能评估研究[J]. 中国机械工程,2013,24(11):1442-1446.

The Analysis of Science Popularization Result About Science and Technology Museum Based on Utility Function and TFAHP

LIN Bao-ju¹, RONG You-min^{2,3}

(1. Dalian Science and Technology Museum, Dalian Liaoning 116011, China;
2. School of Mechanical Science and Engineering, Huazhong University of Science and Engineering, Wuhan 430074, China;
3. DG-HUST Manufacturing Engineering Institute, Dongguan Guangdong 523808, China)

Abstract: The effect of science popularization was analyzed by selecting “Challenge and Future” theme of the China Science and Technology Museum as object. First, the hierarchical structure model was established based on displayed content difference of exhibitions, and it also divided into target layer, zone layer of exhibition and exhibition layer; Second, orienting to exhibition of hierarchical structure model, utility function model of tourist residence time was built and analyzed according to utility function theory; Third, exhibition and its groups were researched about the effect of science popularization based on TFAHP.
Key words: science popularization; science and technology museum; TFAHP; utility function

(上接第 26 页)

Research the Wind Power Industry in Hexi Corridor’s Development Strategy by the Technology Roadmap

JIANG Ling, ZHANG Ai-ning

(Gansu Science and Technology Information Institute, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Analyzed the wind power industry in Hexi Corridor by the SWOT methods, made clear the industry facing the internal and external environment, and the possible development way, and predicted wind power industry’s technology level, development environment and the market. Introduced the technology roadmap method in the wind power industry in Hexi Corridor’s development strategy research, and contacted this industry’s development goals, the current barriers, research and development node, in key areas of development plan and the support conditions, etc. drew a technology roadmap of the wind power industry in Hexi Corridor’s. This provided a constructive framework for the development of wind power industry in Hexi Corridor.
Key words: wind power industry; technology roadmap; development strategy; the Hexi Corridor