

基于 AHP 和模糊综合评价方法的儿童早教机设计

李静, 祖江颖, 王依晨, 朱子源

(燕山大学, 秦皇岛 066000)

摘要: **目的** 针对产品进行创新设计及方案选定, 提高产品设计过程中的合理性和科学性。**方法** 运用 AHP (层次分析法) 与模糊综合评价法, 形成儿童早教机的综合性评价。首先, 通过层次分析法进行层次划分, 构建指标评价体系; 其次, 建立判断矩阵计算各要素权重值, 对结果进行一致性检验并排序; 最后, 结合模糊综合评价法对三种设计方案进行决策, 解决多方案优化排序问题。**结论** 通过运用层次分析法与模糊综合评价法, 有效地为设计方案提供客观的决策依据, 并对其他同类别产品设计研究提供一定的参考价值。

关键词: 儿童早教机; 层次分析法; 模糊综合评价; 工业设计

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)02-0118-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.02.018

Design of Early Childhood Instructor Based on AHP and Fuzzy Comprehensive Evaluation Method

LI Jing, ZU Jiang-ying, WANG Yi-chen, ZHU Zi-yuan

(Yanshan University, Qinhuangdao 066000, China)

ABSTRACT: The work aims to carry out innovative design and scheme selection for products to improve the rationality and scientificity in the process of product design. AHP (analytic hierarchy process) and fuzzy comprehensive evaluation were used to form a comprehensive evaluation of early childhood instructor. First of all, through the analytic hierarchy process for hierarchical division, the index evaluation system was constructed. Secondly, the judgment matrix was established to calculate the weight value of each element, and the results were checked and sorted. Finally, the fuzzy comprehensive evaluation method was used to make decisions on three design schemes, so as to solve the problem of multi scheme optimization. Through the use of AHP and fuzzy comprehensive evaluation method, objective decision-making basis can be provided for the design scheme, and provide certain reference value for the design research of other similar products.

KEY WORDS: early childhood instructor; AHP method; fuzzy comprehensive evaluation; industrial design

儿童时期的启蒙教育在人的一生中具有重要作用, 幼儿时期适宜的潜能开发, 有助于大脑体验丰富的刺激, 促进大脑发育, 为儿童在以后的学习和生活活动奠定基础。然而, 教育资源区域间的发展不均衡正成为影响儿童启蒙教育水平的一大障碍, 儿童早教机正是应这样的市场需求而出现, 旨在为孩子早期启蒙教育提供跨区域的资源共享。目前, 市面上儿童早教机产品丰富, 但又良莠不齐, 同质化严重。对于企业而言, 如何提高市场竞争力, 进行产品创新的需求

正日益高涨。

1 儿童早教机设计

儿童早教机作为一种新兴的启蒙教育产品, 历经了十余年的发展, 迭代更替四次, 随着功能的扩展, 外观设计已随之发生了很大的变化。目前国内大多数厂家的创新力还存在不足, 盲目模仿与复制国外现有产品的做法依旧常见, 导致国产早教机在功能属性方

收稿日期: 2020-09-19

作者简介: 李静 (1975—), 女, 河北人, 硕士, 燕山大学副教授, 主要研究方向为工业设计、服务设计。

面相对薄弱，产品优势特征不突出。对于传统生产型企业而言，技术创新主要体现在产品设计和生产制造环节，国内早教机企业在产品设计阶段的研究方法上仍然具有较大的改进空间，尤其是如何有目的性的对儿童早教机进行方案设计与评价。

近几年来，AHP 在机械结构设计、产品改良设计、方案筛选、公司治理等方面，有较为广泛的应用^[1]。康辉等人^[2]采用 AHP 构建了汽车设计方案评价模型，杨冬梅等人^[3]运用数学模糊评价方法阐述了老年购物车设计方案的评价优先度，赵春荣等人^[4]应用 FAHP 对亲子健身器材的可用性进行综合评价。相较之下，该方法在儿童早教机设计方面运用不多。本文从注重人机交互与用户体验方面入手，倡导孩子从玩耍中获取知识的角度出发，结合层次分析法和模糊评价法完成对早教机设计阶段的方案评价与优选，丰富企业系统化的创新工作方法，进而提高产品竞争力。

2 基于层次分析法的早教机设计评价要素体系

2.1 AHP 理论

目前，多属性和多因素的综合评价方法已经成为评价方式的主要发展方向^[5-6]。AHP 是由美国匹兹堡大学运筹学家 Saaty 于 20 世纪 70 年代提出的一种定性和定量相结合的、系统的、层次化的评价方法^[7-8]。层次分析法是将问题分解，找到各个组成因素并按级别展开，形成多级的层次结构。

AHP 在工业分析与决策领域广泛应用，多用于对有限方案进行多目标、多属性的决策分析，计算出各目标与属性对于整体方案的权重值，最后再通过综合运算得出各方案的总数值，进而帮助决策者做出判断^[9-10]，提供了一种在解决复杂问题方面的决策分析方法^[11]。在儿童早教机的设计评价中，应对涉及的几大要素进行划分层次，计算每个层次中的元素权重值，最后结合多方面评价要素进行综合评价，找到最优解决方案，层次分析法构建见图 1。

2.2 设计层次分析模型

1) 目标层。通常只有一个要素，并对设计要素

进行设计评价。

2) 准则层。早教机的设计首先被感知到的是外观，即产品的外观造型、材质及色彩等。其次，早教机作为儿童使用的产品，应具有一定的抗磨损和抗摔打性；在使用方面，可以一键启动，长时间未使用时可以智能关机便于管理。在功能方面，应具有丰富的早教资源满足儿童不断探索的好奇心；语音交互功能方便儿童学习与模仿，加快语言学习；APP 远程监控可以让家长便于观察，更好的参与孩子的成长。因此，以典型儿童早教机的设计方法作为基本参考，根据专家提供的意见，分析得到儿童早教机设计准则层包含功能性、体验性、外观性。

3) 子准则层。根据层次分析法的基本思想，将准则层进行细分，产生子准则层。针对外观性，提出产品材质、色彩搭配、外观造型三个要素；针对体验性，提出结实耐用、按键唤醒、智能关机三个要素；针对功能性，提出语音交互、早教资源、APP 远程监控三个要素。因此，基于 AHP 的儿童早教机设计分析模型里的目标层、准则层、子准则层全部建立，见图 2。

2.3 判断矩阵与权重

层次分析法中的重要步骤是建造判断矩阵，关于前一层某个要素，可对比当前层次各要素间两两相对重要性程度^[12]在目标层的设计元素 X 和准则层的设计元素之间创建内部关系，构建判断矩阵见表 1。

其中： y_{ij} 表示某要素与前一层次要素 X 做对比时，要素 Y_i 相对于要素 Y_j 的重要性，若相反则取到数为 $1/y_{ij}$ ，因此在判断矩阵中， $y_{ij} = 1, y_{ij} = 1/y_{ji}$ 。判断矩阵的标度运用模糊数值定义为 1~9 的整数^[13]，即用数字 1~9 及其倒数来表示 y_{ij} ，见表 2。

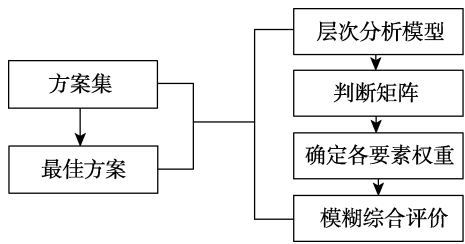


图 1 层次分析法
Fig.1 Analytic hierarchy process

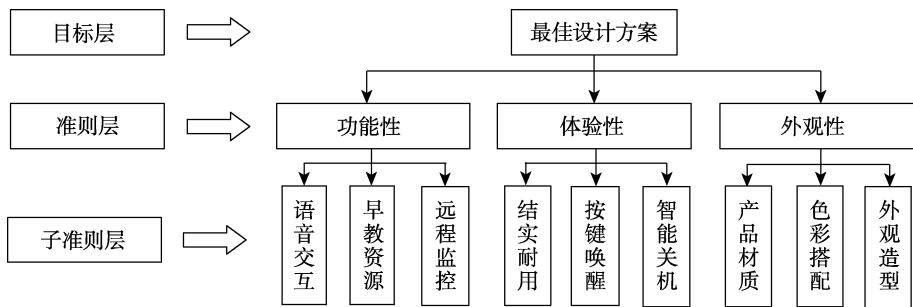


图 2 层次结构模型
Fig.2 Hierarchy model

表 1 判断矩阵构建方式
Tab.1 Construction of judgment matrix

X	Y_1	Y_2	$\cdots$	Y_n
Y_1	y_{11}	y_{12}	$\cdots$	y_{1n}
Y_2	y_{21}	y_{22}	$\cdots$	y_{2n}
$\cdots$	$\cdots$	$\cdots$	$\cdots$	y_{3n}
Y_n	y_{n1}	y_{n2}	$\cdots$	y_{nn}

表 2 判断矩阵标度
Tab.2 Judgment matrix scale

标度	重要性	含义
1	同样重要	两因素对指定属性重要程度一样
3	略微重要	前者因素比后者略微重要
5	明显重要	前者因素比后者明显重要
7	强烈重要	前者因素比后者强烈重要
9	绝对重要	前者因素比后者绝对重要
2, 4, 6, 8	中间值	两相邻判断的中间值
标度倒数	反向比较	因素 i 对因素 j 的重要性之比为 a_{ij} , 反向则因素 j 对因素 i 的重要性之比为 $1/a_{ij}$

表 3 最佳方案目标判断矩阵及权重
Tab.3 Judgment matrix and weight of the optimum plan objectives

A	B_1	B_2	B_3	权重 w
B_1	1/3	2	1/2	0.148
B_2	3	1	3	0.639
B_3	1/3	3	1	0.213

表 4 功能性准则判断矩阵及权重
Tab.4 Functional criteria judgment matrix and weight

B_1	B_{11}	B_{12}	B_{13}	权重 w
B_{11}	1	1	2	0.384
B_{12}	1/3	1	2	0.267
B_{13}	1/2	3	1	0.349

通过文中构造的早教机设计递阶层次模型可知,最佳设计方案为目标层,用 A 表示。功能性、体验性和外观性组成准则层,分别表示为 B_1, B_2, B_3 。子准则层中,属于功能性的语音交互、早教资源、APP 远程监控分别表示为 B_{11}, B_{12}, B_{13} ;属于体验性中的结实耐用、按键唤醒、智能关机分别表示为 B_{21}, B_{22}, B_{23} ;属于外观性中的产品材质、色彩搭配、外观造型分别表示为 B_{31}, B_{32}, B_{33} 。选取调查对象三十名,包括 3~6 岁儿童五名,儿童家长八名,儿童早教机企业生产管理人员四名,幼儿园教师五名,理工科专业研究生八名,对目标层、准则层、子准则层共三个层次的不同要素进行评分。调查对象按照规则进行打分,判断矩阵,见表 3—6。

表 5 易用性准则判断矩阵及权重
Tab.5 Usability criteria judgment matrix and weight

B_2	B_{21}	B_{22}	B_{23}	权重 w
B_{21}	1	3	2	0.622
B_{22}	1/3	1	1/2	0.189
B_{23}	1/2	1/3	1	0.189

表 6 材质准则判断矩阵及权重
Tab.6 Matrix and weight of material criteria

B_3	B_{31}	B_{32}	B_{33}	权重 w
B_{31}	1/3	1	2	0.34
B_{32}	1/3	1	1/2	0.214
B_{33}	1/2	3	1	0.446

表 7 平均随机一致性指标表
Tab.7 Average random consistency index

矩阵阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
RI	0	0	0.41	0.73	0.96	1.13	1.24	1.31	1.37	1.43	1.53	1.55

表 8 一致性检验结果
Tab.8 Conformity test results

	A	B_1	B_2	B_3
$\lambda_{\max}$	3.245	3.134	3.56	3.945
CI	0.003	0.037	0.039	0.043
RI	0.41	0.41	0.41	0.41
CR	0.007	0.009	0.01	0.01

对判断矩阵权重进行计算采用的方法有几何平均法、算数平均法、本征向量法、最小平方法^[14]。上述权重的结果采用几何平均法而来,共 3 步:

1) 取每行标度之乘积:

$$M_i = \prod_{j=1}^m b_{ij} \quad (i = 1, 2, \cdots, m) \tag{1}$$

其中: b_{ij} 表示第 i 行第 j 列元素, m 表示因素的数量。

2) 每行标度乘积取几何平均值:

$$a_i = \sqrt[m]{M_i} \quad (i = 1, 2, \cdots, m) \tag{2}$$

3) 计算相对权重:

$$w_i = \frac{a_i}{\sum_{i=1}^m a_i} \tag{3}$$

在计算完权重后,需要进行一致性检验,来保证调查人员前后判断的一致性。用 CI 表示判断矩阵的一致性指标: $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$ 。 $\lambda_{\max}$ 表示最大特征值,

$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{B_{wi}}{w_i}$, B_{wi} 表示向量 B_w 的第 i 个分量, n 表示矩阵的阶数。

通常,在进行一致性检验时,采用一致性比值 CR 的大小来进行判断。若 $CR \leq 0.1$,认为此判断矩阵在一致性方面满足条件。其中, $CR = CI / RI$, RI 根据平均随机一致性指标得到,见表 7—8。

表 9 目标权重计算排序
Tab.9 Target weight computation sorting

	B_{11}	B_{12}	B_{13}	B_{21}	B_{22}	B_{23}	B_{31}	B_{32}	B_{33}
B_1	0.214	0.373	0.246	—	—	—	—	—	—
B_2	—	—	—	0.348	0.227	0.108	—	—	—
B_3	—	—	—	—	—	—	0.561	0.325	0.431
目标权重	0.393	0.365	0.146	0.178	0.534	0.489	0.147	0.265	0.192
排序	3	4	9	7	1	2	8	5	6

在对一致性检验完成后,对所有影响因素的目标权重进行排序,形成方案评价总体参考标准,见表 9。

3 应用实例

3.1 方案设计

依据上文的权重排序结果对儿童早教机设计方案进行模糊综合评价。首先初步提出三种设计方案。方案 1: 智能机器人早教机。使用环境一般在家里,外观圆滑流畅,设有 LCD 显示屏显示节目内容,丰富儿童的视觉体验。方案 2: 磁悬浮音响式儿童早教机。通过点读笔控制来进行儿童早教,手机 APP 与产品进行蓝牙连接使产品播放早教儿歌、早教故事等音频内容。另外,在音频播放时,屏幕会进行灯光的变换和闪烁,为整体设计增添炫酷色彩。方案 3: 投影型儿童早教机。采用柔和的投影光代替屏幕化保护孩子的视力;支持语音交互,并针对孩子进行童声识别;支持手机蓝牙连接,让家长时刻掌控孩子的学习状态;同时两侧轮胎的设计让孩子们不仅在室内在户外也可以尽情探索来实行早教活动。上述三种方案见图 3—5。依据准则层、子准则层的目标权重为基础,选择五名早教专家对三种早教机设计方案进行评价。

3.2 模糊综合评价方法

1965 年由美国自动控制专家查德提出模糊集合概念,用来表示事物的不确定性。模糊综合评价是一种基于模糊数学的综合评价方法,该方法能够清晰、系统地解决无法具体量化的问题,用以解决非确定性问题的。模糊评价过程如下:

1) 将五名专家的评审意见作为评估要素。用 $\partial=\{\partial_1,\partial_2,\partial_3\}$ 表示,分别代表功能性、体验性、外观性,确定评估要素的子集为 $\beta_i=\{\beta_{ij}\}(i,j=1,2,3,4)$ 。

2) 为评语赋予等级和标准。评语集用 $M=\{M_1,M_2,M_3,M_4\}=\{\text{优秀,良好,合格,不合格}\}$ 来表示。为各个评语集赋值,评语值为 $\theta=\{90,80,60,50\}^T$ 。确定等级评分标准,优秀为 90 分以上,良好为 80~90 分,合格为 60~80 分,不合格为 60 分以下。

3) 整理各个因素的权重向量。由表 3—6 权重计算数值整理可知,准则层权重向量 $w_A=\{0.148,0.639,0.213\}$,子准则层权重向量 $w_{B_1}=\{0.384,0.267,0.349\}$, $w_{B_2}=\{0.622,0.189,0.189\}$, $w_{B_3}=\{0.34,0.214,0.466\}$ 。



图 3 方案 1
Fig.3 Scheme 1

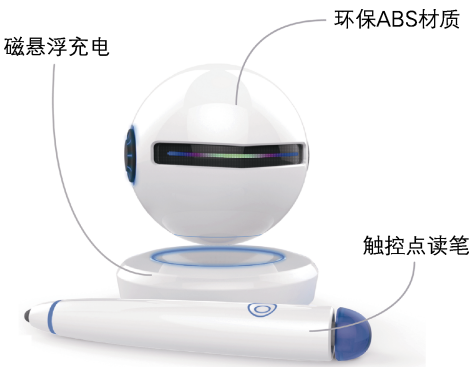


图 4 方案 2
Fig.4 Scheme 2



图 5 方案 3
Fig.5 Scheme 3

4) 基于子准则层,对上述三种方案创建模糊综合评价矩阵。以方案 1 为例,五名早教专家对于准则层的各个要素进行评定,以专家评分结果为参考,得到该设计要素相对于评语等级的从属程度,准则层中的功能性对方案 1 的评价矩阵用 D_1 表示,体验性对方案 1 的评价矩阵用 D_2 表示,外观性对方案 1 的评价矩阵用 D_3 表示,结果如下所示:

$$D_1 = \begin{bmatrix} 0.6 & 0.1 & 0.3 & 0 \\ 0.5 & 0.2 & 0.3 & 0 \\ 0.1 & 0.5 & 0.4 & 0 \end{bmatrix} \tag{4}$$

$$D_2 = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.2 & 0.6 & 0 \\ 0.3 & 0.2 & 0.5 & 0 \\ 0.4 & 0.4 & 0.2 & 0 \end{bmatrix} \tag{5}$$

$$D_3 = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.2 & 0.4 & 0 \\ 0.2 & 0.2 & 0.6 & 0 \\ 0.3 & 0.4 & 0.3 & 0 \end{bmatrix} \tag{6}$$

准则层三个因素对于方案 1 评价权重向量为:

$$P_1 = w_{B_1} \times D_1 = (0.3899, 0.2663, 0.3349, 0) \tag{7}$$



图6 方案3效果

Fig.6 Effect diagram of scheme 3



图7 APP界面

Fig.7 APP interface diagram

$$P_2 = w_{B_2} \times D_2 = (0.2567, 0.2378, 0.5055, 0) \quad (8)$$

$$P_3 = w_{B_3} \times D_3 = (0.3186, 0.2972, 0.4042, 0) \quad (9)$$

根据上述结果构建二级评价矩阵:

$$P = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.3899 & 0.2663 & 0.3349 & 0 \\ 0.2567 & 0.2378 & 0.5055 & 0 \\ 0.3186 & 0.2972 & 0.4042 & 0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

综合评价权重向量为: $w = w_A \times P = (0.29, 0.255, 0.459, 0)$

方案 1 评分为 $S = w \cdot \theta = 74.04$; 方案 2 评分为 $S = w \cdot \theta = 78.35$; 方案 3 评分为 $S = w \cdot \theta = 80.63$ 。因此方案 3 为最佳方案。

为了对准则层要求进行合理满足, 对方案 3 化进行深入设计和细化, 见图 6—7。

4 结语

本文一方面通过针对三款儿童早教机进行方案综合评定, 尝试将层次分析法与模糊综合评价相结合引入整个评价体系中, 用以解决因素过多而无法正确分配权重的实际设计问题, 同时验证了该理论模型在早教产品领域的应用可行性。另一方面, 通过践行有序性系统化的设计思维, 如创建层次分析模型, 计算出各指标的权重, 根据权重结果对方案进行评价, 达成最佳方案的筛选从而进行设计深入, 可从系统性角度激发早教机生产企业的设计管理意识, 达到综合创新力的提升。

参考文献:

- [1] 龙泉. AHP 模糊综合评价法在绩效评估中的应用研究[J]. 冶金经济与管理, 2007(2): 45-48.

LONG Quan. Research on the Application of AHP Fuzzy Comprehensive Evaluation Method in Performance Evaluation[J]. Metallurgical Economics and Management, 2007(2): 45-48.

- [2] 康辉, 赵凯勋. 基于层次分析法的汽车设计方案评价模型[J]. 包装工程, 2014, 35(22): 53-57.
KANG Hui, ZHAO Kai-xun. Evaluation Model of Automobile Design Scheme Based on Analytic Hierarchy Process[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(22): 53-57.
- [3] 杨冬梅, 张健楠, 许晓云. 基于模糊综合评价法的老年购物车设计[J]. 机械设计, 2016, 33(9): 117-120.
YANG Dong-mei, ZHANG Jian-nan, XU Xiao-yun. Design of Elderly Shopping Cart Based on Fuzzy Comprehensive Evaluation Method[J]. Journal of Machine Design, 2016, 33(9): 117-120.
- [4] 赵春荣, 高喜银. 基于 FAHP 的亲子健身器材可用性评价方法[J]. 包装工程, 2019, 40(14): 253-263.
ZHAO Chun-rong, GAO Xi-yin. Usability Evaluation Method of Parent-child Fitness Equipment Based on FAHP[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(14): 253-263.
- [5] 冯青, 吴限, 耶虹菲, 等. 基于优度理论的产品设计知识评价方法研究[J]. 包装工程, 2015, 36(6): 100-104.
FENG Qing, WU Xian, YE Hong-fei, et al. The Evaluation Method of Product Design Knowledge Based on the Priority Degree Theory[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(6): 100-104.
- [6] VAIDYA O S, KUMAR S. Analytic Hierarchy Process: an Overview of Applications[J]. European Journal of Operational Research, 2006, 169(1): 1-29.
- [7] 杨珍, 牟占军. 基于层次分析法的高校教师教学质量评价研究[J]. 内蒙古工业大学学报, 2010(1): 12-15.
YANG Zhen, MU Zhan-jun. Teaching Quality Evaluation Based on Analytic Hierarchy Process[J]. Journal of Inner Mongolia University of Technology, 2010(1): 12-15.
- [8] 张剑峰, 彭安华. 基于层次分析法 FDM 工艺中分层方案的决策[J]. 南京航空航天大学学报, 2010(2): 17-19.
ZHANG Jian-feng, PENG An-hua. Decision-Making of Slicing Scheme in Fused Deposition Modeling Process Based on Analytical Hierarchical Process[J]. Transactions of Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2010(2): 17-19.
- [9] 吴大亲, 么文学. 基于层次分析法的应用型人才培养评价模式研究[J]. 长春师范学院学报, 2010(4): 29-32.
WU Da-qin, YAO Wen-xue. A Study of Assessment Model for the Cultivation of Applied Talents Based on AHP[J]. Journal of Changchun Normal University, 2010(4): 29-32.
- [10] 戴建华, 李军, 薛恒新. 基于模糊判断矩阵满意一致性的方案排序研究[J]. 运筹与管理, 2006, 15(6): 18-24.
DAI Jian-hua, LI Jun, XUE Heng-xin. Priority Method Based on Satisfying Consistency of Fuzzy Judgement Matrix[J]. Operations Research and Management Science, 2006, 15(6): 18-24.

(下转第 142 页)