

【引用格式】野理聪, 赵申东, 张飞飞. 一种浮标式航空自导深弹设计方案的评估方法[J]. 数字海洋与水下攻防, 2024, 7(6): 665-669.

# 一种浮标式航空自导深弹设计方案的评估方法

野理聪<sup>1, 2</sup>, 赵申东<sup>2, \*</sup>, 张飞飞<sup>2</sup>

(1. 中国人民解放军91566部队, 辽宁 大连 116043;  
2. 海军航空大学青岛校区, 山东 青岛 266041)

**摘要** 浮标式航空自导深弹的设计是以普通航空自导深弹的一般结构为基础, 增加漂浮气囊、释放线缆、无线电发射接收装置等部件, 使其可在悬浮状态下搜索和攻击潜艇。提出一种基于层次分析法(AHP)的浮标式航空自导深弹设计方案的评估方法, 详细阐述了该方法的分析计算及构建指标体系的过程, 进行了实例验证, 可以有效帮助评估浮标式航空自导深弹的设计方案。

**关键词** 浮标式航空自导深弹; 层次分析法; 评估

中图分类号 TJ650

文献标识码 A

文章编号 2096-5753(2024)06-0665-05

DOI 10.19838/j.issn.2096-5753.2024.06.012

## A Method for Evaluating Design Scheme of Buoy-type Aerial Homing Depth Charges

YE Licong<sup>1, 2</sup>, ZHAO Shendong<sup>2, \*</sup>, ZHANG Feifei<sup>2</sup>

(1. No. 91566 Unit of PLA, Dalian 116043, China;  
2. Qingdao Campus of Naval Aviation University, Qingdao 266041, China)

**Abstract** The design of buoy-type aerial homing depth charges is based on the general structure of ordinary aerial homing depth charges, adding floating air bags, release cables, radio transmitting and receiving devices and other components, so that it can search and attack submarines in suspension state. In this paper, an evaluation method for the design scheme of buoy-type aerial homing depth charges based on analytic hierarchy process (AHP) is proposed. Its analyzing and calculating process and index system constructing process are described in detail. The method is verified by an example. It contributes greatly to evaluating the design scheme of buoy-type aerial homing depth charges.

**Key words** buoy-type aerial homing depth charge; analytic hierarchy process; evaluation

## 0 引言

航空深弹作为传统反潜武器, 具有价格低廉、制造简单、使用方便和装药填充系数高等特点<sup>[1-2]</sup>。当前世界各国对廉价反潜武器愈加重视<sup>[3-4]</sup>, 研制

出了多种新型航空反潜自导深弹<sup>[5-7]</sup>, 反潜机也随着反潜技术的革新有了较大的发展<sup>[8-9]</sup>, 这使得深弹的攻潜效能得到了很大提升。浮标式航空自导深弹概念, 是在传统的航空自导深弹的基础上, 增加漂浮气囊、释放线缆、无线电发射接收装置等部件,

收稿日期: 2024-07-24

作者简介: 野理聪(1990-), 男, 硕士, 主要从事航空综合保障研究。

\*通信作者: 赵申东(1978-), 男, 博士, 副教授, 主要从事航空设备保障与运用研究。

使其可以在悬浮状态下进行攻击,实时与反潜机进行通讯,传输水下状态和动作指令,能够丰富作战训练模式,提高作战效能。

层次分析法 (AHP) 是匹兹堡大学 SAATY 教授于 20 世纪 70 年代中期提出的一种实用的多准则决策方法<sup>[10]</sup>,它把一个复杂的决策问题表示为一个有序的递解层次结构,并通过人们的主观判断和科学计算给出备选方案的优劣顺序。其原理是将评估体系的各种要素分解成层次结构,并进行定性和定量分析决策<sup>[11]</sup>,步骤如图 1 所示。

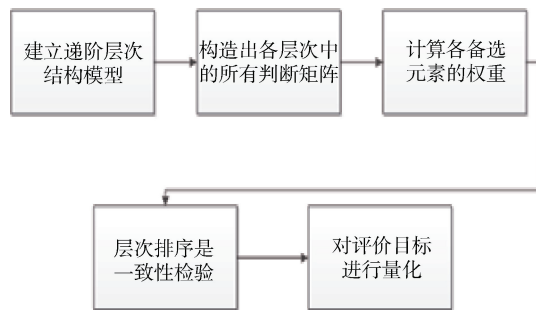


图 1 层级分析法运行步骤

Fig. 1 Operational procedures of analytic hierarchy process

本文使用层次分析法对浮标式航空自导深弹的设计方案进行评估,能在一定程度促进浮标式航空自导深弹的研究工作。

### 1 浮标式航空自导深弹设计方案简介

浮标式航空自导深弹的组成是以航空深弹的一般结构为基础,增加了相应的漂浮气囊、释放线缆、无线电发射接收装置等部件<sup>[12]</sup>。总体来说,可分为水下弹体和空投附件 2 大部分,如图 2 所示。水下弹体包括弹头、战斗部、控制部件、连接分离机构、释放线缆和气囊浮标装置等。空投附件作用为实现弹体稳定减速降落,以规定的速度和角度入水。

其中弹头、战斗部、控制部件的结构和功能与普通航空深弹相同,主要实现对水下目标的探测、追击和杀伤。

连接分离机构实现弹体与气囊的连接与分离。在深弹入水探测阶段,将弹体和气囊连接为一体,使弹体处于悬浮于水中的状态。当深弹发现目标后,该机构实现弹体和气囊的分离,使深弹下沉追击目标。

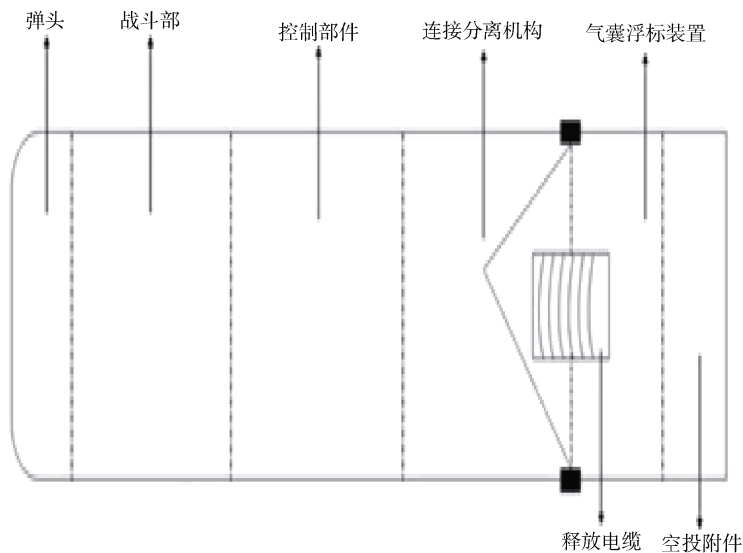


图 2 浮标式航空自导深弹的结构示意图

Fig. 2 Structure of buoy-type aerial homing depth charges

释放线缆的作用是保证水下弹体在悬浮阶段和下沉追击目标阶段与气囊中的无线电发射接收装置保持数据传输。

气囊浮标装置通过压缩气瓶给气囊快速充气,

使气囊漂浮于水面,将弹体悬浮于水中。同时,还通过置于气囊内的无线电发射接收装置与反潜机进行通信。

经过仿真计算,初步证明浮标式航空自导深弹

“总体上有利于提高深弹的命中概率”<sup>[13]</sup>, 能够提高水下攻潜作战效能。

## 2 建立评估指标层次体系

性能评估前, 应对深弹的各项指标进行分析, 确定哪些指标能够直接或间接影响深弹的战绩效果、命中精度、作战训练等, 进而将其定为关键指标<sup>[14]</sup>。另

外, 为了更清晰地对关键指标进行描述, 指标体系可以包含多层, 用下层指标对上层进一步分解描述。

设计该独立性结构为 2 层, 即目标层、指标层<sup>[15]</sup>。第 1 层为目标层, 即“浮标式航空自导深弹设计方案的综合评价”; 第 2 层为指标层, 是影响浮标式航空自导深弹综合测评的具体因素。所建立的指标层次体系, 如图 3 所示。

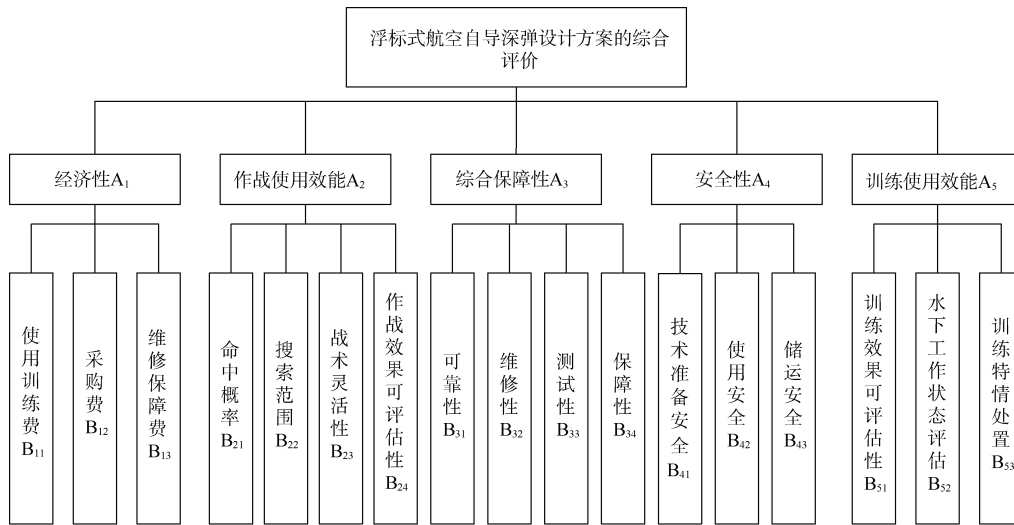


图 3 浮标式航空自导深弹综合指标体系

Fig. 3 Performance index system of buoy-type aerial homing depth charges

## 3 评估指标权重计算

### 3.1 构建判断矩阵

所谓判断矩阵是以矩阵的形式来表述每一层次中各要素相对其上层要素的相对重要程度。为了使各因素之间进行两两比较得到量化的判断矩阵, 使用 1-9 标度法<sup>[16]</sup>, 如表 1 所示。

表 1 标度及描述

Table 1 Scale and description

| 指标度 $a_{ij}$    | 比较指标含义 | 比值                |
|-----------------|--------|-------------------|
| 9               | 绝对重要   | 因素 $i$ 与因素 $j$ 相比 |
| 7               | 非常重要   | 因素 $i$ 与因素 $j$ 相比 |
| 5               | 很重要    | 因素 $i$ 与因素 $j$ 相比 |
| 3               | 较重要    | 因素 $i$ 与因素 $j$ 相比 |
| 1               | 同等重要   | 因素 $i$ 与因素 $j$ 相比 |
| 2、4、6、8         | 相邻标度中值 | 因素 $i$ 与因素 $j$ 相比 |
| 1/3             | 较不重要   | 因素 $i$ 与因素 $j$ 相比 |
| 1/5             | 很不重要   | 因素 $i$ 与因素 $j$ 相比 |
| 1/7             | 非常不重要  | 因素 $i$ 与因素 $j$ 相比 |
| 1/9             | 绝对不重要  | 因素 $i$ 与因素 $j$ 相比 |
| 1/2、1/4、1/6、1/8 | 相邻标度中值 | 因素 $i$ 与因素 $j$ 相比 |

采用层次分析法 (AHP) 进行权重的计算: 对同一层次的两两指标间的重要性进行专家打分, 然后进行定量比较, 构造判断矩阵, 最终采用特征向量法确定指标权重, 并对其进行一致性校验。

### 3.2 计算公式

用几何平均法可以计算特征值的近似值。

将判断矩阵各行连乘:

$$a_i = \prod_{j=1}^n a_{ij} \quad (1)$$

将各行连乘结果开  $n$  次方, 得到特征向量

$$b_i = \left( \prod_{j=1}^n a_{ij} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (2)$$

将  $b_i$  归一化, 得到指标权重向量

$$w_i = \frac{b_i}{\sum_{i=1}^n b_i} = (w_0, w_1, w_2, \dots, w_n)^T \quad (3)$$

式中,  $w$  即为  $B$  的特征向量的近似值。

求指标权重向量  $w$  对应的最大特征值

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_i \frac{Aw_i}{w_i} \quad (4)$$

用一致性指标进行检验:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (5)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (6)$$

一致性指标 RI 与 N 阶矩阵对应表如表 2 所示。

表 2 一致性指标 RI 与 N 阶矩阵对应表

Table 2 Correspondence table between consistency index RI and N-order matrix

| 项目 | 数值 |   |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----|----|---|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 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 |

### 3.3 构造目标层与指标层判断矩阵

根据专家讨论分析, 建立判断矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 1/9 & 1/3 & 1/5 & 1/7 \\ 9 & 1 & 3 & 2 & 2 \\ 3 & 1/3 & 1 & 1 & 1/2 \\ 5 & 1/2 & 1 & 1 & 1/2 \\ 7 & 1/2 & 2 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

对于该判断矩阵,  $n=5$ ,  $RI=1.12$ ,  $CI=(5.0541-5)/4=0.0135$ ,  $CR=0.0135/1.12=0.0121<0.1$ 。故判断矩阵通过一致性检验<sup>[17-18]</sup>。

式 (8) - (12) 为指标层 A<sub>1</sub>-A<sub>5</sub> 的判断矩阵:

$$R_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1/7 & 3 \\ 7 & 1 & 9 \\ 1/3 & 1/9 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 3 & 3 \\ 1/3 & 1 & 2 & 2 \\ 1/3 & 1/2 & 1 & 1 \\ 1/3 & 1/2 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 4 & 3 \\ 1/3 & 1 & 2 & 1/2 \\ 1/4 & 1/2 & 1 & 1/2 \\ 1/3 & 2 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$R_4 = \begin{bmatrix} 1 & 1/5 & 1/3 \\ 5 & 1 & 2 \\ 3 & 1/2 & 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$R_5 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 3 \\ 1/3 & 1 & 1 \\ 1/3 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (12)$$

经检验, 式 (8) - (12) 中各判断矩阵 CR 值 <0.1, 说明矩阵一致性检验通过, 表示一致性偏离程度可接受, 判断矩阵效果可行。

为了更好地比较各指标层的重要度大小, 需要计算其全局权重, 方法为各指标层乘以其对应的指标层权重, 其中  $W_{C_{ij}}$  为全局权重,  $W_{A_i}$  为指标层 A 权重,  $W_{B_{ij}}$  为指标层 B 权重, 公式如下。

$$W_{C_{ij}} = W_{A_i} \times W_{B_{ij}} \quad (13)$$

层次总排序结果如表 3 所示。

表 3 指标权重值及总排序

Table 3 Index weight value and total sort

| 指标层 A                 | 权重 $W_{A_i}$ | 指标层 B                    | 权重 $W_{B_{ij}}$ | 全局权重 $W_{C_{ij}}$ | 排序 |
|-----------------------|--------------|--------------------------|-----------------|-------------------|----|
| 经济性 A <sub>1</sub>    | 0.0396       | 使用训练费 B <sub>11</sub>    | 0.148 8         | 0.005 9           | 16 |
|                       |              | 采购费 B <sub>12</sub>      | 0.785 4         | 0.031 1           | 11 |
|                       |              | 维修保障费 B <sub>13</sub>    | 0.065 8         | 0.002 6           | 17 |
| 作战使用效能 A <sub>2</sub> | 0.3976       | 命中概率 B <sub>21</sub>     | 0.492 1         | 0.1956            | 1  |
|                       |              | 搜索范围 B <sub>22</sub>     | 0.232 0         | 0.092 2           | 4  |
|                       |              | 战术灵活性 B <sub>23</sub>    | 0.137 9         | 0.054 8           | 6  |
|                       |              | 作战效果可评估性 B <sub>24</sub> | 0.137 9         | 0.054 8           | 6  |
| 综合保障性 A <sub>3</sub>  | 0.1357       | 可靠性 B <sub>31</sub>      | 0.512 0         | 0.069 5           | 5  |
|                       |              | 维修性 B <sub>32</sub>      | 0.158 8         | 0.021 5           | 13 |
|                       |              | 测试性 B <sub>33</sub>      | 0.104 5         | 0.014 2           | 15 |
|                       |              | 保障性 B <sub>34</sub>      | 0.224 6         | 0.030 5           | 12 |
| 安全性 A <sub>4</sub>    | 0.1630       | 技术准备安全 B <sub>41</sub>   | 0.109 5         | 0.017 8           | 14 |
|                       |              | 使用安全 B <sub>42</sub>     | 0.581 6         | 0.094 8           | 3  |
|                       |              | 储运安全 B <sub>43</sub>     | 0.309 0         | 0.050 4           | 10 |
| 训练使用效能 A <sub>5</sub> | 0.2642       | 训练效果可评估性 B <sub>51</sub> | 0.600 0         | 0.158 5           | 2  |
|                       |              | 水下工作状态评估 B <sub>52</sub> | 0.200 0         | 0.052 8           | 8  |
|                       |              | 训练特情处置 B <sub>53</sub>   | 0.200 0         | 0.052 8           | 8  |

## 4 示例分析

为验证评估方法的可行性,可选择由院校专家和保障人员组成的专家组,对某型浮标式航空自导深弹设计方案进行评估,通过对各项指标进行打分,按照上述指标体系及其权重进行计算,得出该方案的综合评价得分,为后续研究提供参考。假定最终得分6~7分(不含7分)为及格,7~8分为良好(不含8分),8~10分为优秀。

选择5名专家进行打分,如表4所示。

表4 专家打分及平均值  
Table 4 Expert scores and averages

| 指标                       | 专家1 | 专家2 | 专家3 | 专家4 | 专家5 | 平均值  |
|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 使用训练费 B <sub>11</sub>    | 8.0 | 8.1 | 7.8 | 7.7 | 7.8 | 7.88 |
| 采购费 B <sub>12</sub>      | 7.4 | 7.8 | 7.3 | 8.1 | 8.0 | 7.72 |
| 维修保障费 B <sub>13</sub>    | 7.5 | 7.9 | 7.6 | 8.0 | 8.1 | 7.82 |
| 命中概率 B <sub>21</sub>     | 8.5 | 8.2 | 7.7 | 8.1 | 7.7 | 8.04 |
| 搜索范围 B <sub>22</sub>     | 7.5 | 7.9 | 8.3 | 8.2 | 8.0 | 7.98 |
| 战术灵活性 B <sub>23</sub>    | 9.0 | 8.8 | 8.5 | 8.7 | 9.2 | 8.84 |
| 作战效果可评估性 B <sub>24</sub> | 9.3 | 8.9 | 9.2 | 9.0 | 9.5 | 9.18 |
| 可靠性 B <sub>31</sub>      | 8.0 | 7.5 | 7.8 | 7.6 | 8.2 | 7.82 |
| 维修性 B <sub>32</sub>      | 8.5 | 8.5 | 8.7 | 8.2 | 8.5 | 8.48 |
| 测试性 B <sub>33</sub>      | 9.0 | 8.8 | 9.3 | 9.6 | 9.2 | 9.18 |
| 保障性 B <sub>34</sub>      | 8.7 | 8.9 | 9.0 | 9.2 | 9.1 | 8.98 |
| 技术准备安全 B <sub>41</sub>   | 8.0 | 8.1 | 8.1 | 8.3 | 8.0 | 8.10 |
| 使用安全 B <sub>42</sub>     | 7.8 | 7.6 | 8.2 | 8.1 | 8.1 | 7.96 |
| 储运安全 B <sub>43</sub>     | 8.7 | 8.9 | 7.8 | 8.5 | 8.7 | 8.68 |
| 训练效果可评估性 B <sub>51</sub> | 8.0 | 8.1 | 7.3 | 8.0 | 8.2 | 8.12 |
| 水下工作状态评估 B <sub>52</sub> | 7.8 | 8.1 | 7.6 | 7.9 | 8.0 | 7.98 |
| 训练特情处置 B <sub>53</sub>   | 8.3 | 8.4 | 7.7 | 8.3 | 8.0 | 8.28 |

该方案的综合评价计算公式为

$$F = \sum_{j=1}^3 W_{C_{1j}} E_{B_{1j}} + \sum_{j=1}^4 W_{C_{2j}} E_{B_{2j}} + \sum_{j=1}^4 W_{C_{3j}} E_{B_{3j}} + \sum_{j=1}^3 W_{C_{4j}} E_{B_{4j}} + \sum_{j=1}^3 W_{C_{5j}} E_{B_{5j}} \quad (14)$$

式中:  $F$  为综合得分;  $W_{C_{ij}}$  各指标的全局权重;  $E_{B_{ij}}$  为各指标专家打分的平均得分。

经计算,该设计方案最终得分为8.21,说明该设计方案较为理想。

## 5 结束语

本文采用层次分析法对浮标式航空自导深弹设计方案进行评估,通过定性与定量分析,建立评

估指标层次体系,通过示例验证,验证了该评估方法的可行性。结果表明:使用该方法对浮标式航空自导深弹的设计方案进行评估,结果直观清晰,可以为浮标式航空自导深弹的研究和设计工作提供一定的参考。

## 参考文献

- [1] 孙明太. 航空反潜概论[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998.
- [2] 李亚飞, 赵永涛. “深海雷霆”余音未绝——世界各国深水炸弹发展状况扫描[J]. 军事文摘, 2023(23): 44-47.
- [3] 金立峰, 邓歌明. 航空深弹在现代反潜战中的作用与发展[J]. 国防科技, 2009, 30(4): 22-25.
- [4] 江震, 徐先勇. 新概念深弹——现代技术让深弹更具威力[J]. 科教文汇(上旬刊), 2014(28): 108-109.
- [5] 谢力波, 赵申东, 李居伟. 挑战鱼雷的新型自导深弹[J]. 飞航导弹, 2018(10): 8-12.
- [6] 季良. 国外新型反潜深弹[J]. 水雷战与舰船防护, 2004, 7(3): 56.
- [7] 钱东, 高军保. 低成本反潜武器“海矛”[J]. 鱼雷技术, 2005(1): 49-51.
- [8] 刘海波, 马建毅. 反潜机技术的装备与发展[J]. 舰船电子工程, 2015, 35(2): 17-21.
- [9] 中国部署新型海上巡逻/反潜机[J]. 航空世界, 2015, (8): 79.
- [10] 许树柏. 层次分析法原理[M]. 天津: 天津大学出版社, 1988.
- [11] 董君. 层次分析法权重计算方法分析及其应用研究[J]. 科技资讯, 2015, 13(29): 218-220.
- [12] 野理聪, 赵申东, 张飞飞. 浮标式航空自导深弹设计与关键技术分析[J/OL]. 指挥控制与仿真.[2024-05-11]. <https://link.cnki.net/urlid/32.1759.TJ.20240513.0903.002>.
- [13] 赵申东, 野理聪, 曹骏泷, 等. 悬浮式航空自导深弹水下攻潜作战效能分析[J]. 水下无人系统学报, 2023, 31(5): 778-782.
- [14] 张炳江. 层次分析法及其应用案例[M]. 北京: 电子工业出版社, 2014.
- [15] 杨若辰, 孙亚琪, 李彧, 等. 基于层次分析法的导引头性能评估方法[J]. 弹箭与制导学报, 2020, 40(5): 138-141.
- [16] 刘莹昕, 刘飒, 王威尧. 层次分析法的权重计算及其应用[J]. 沈阳大学学报: 自然科学版, 2014, 26(5): 372-375.
- [17] 李继乾, 章志敏. 层次分析中的一致性[J]. 大学数学, 2004(4): 71-73.
- [18] 邓雪, 李家铭, 曾浩健, 等. 层次分析法权重计算方法分析及其应用研究[J]. 数学的实践与认识, 2012, 42(7): 93-100.

(责任编辑: 曹晓霖)