

基于层次分析法与 TOPSIS 的新能源科普水平评估

臧天磊 钱清泉

(西南交通大学电气工程学院, 成都 610031)

[摘要] 本文提出了一种基于层次分析法与 TOPSIS 的新能源科普水平评估方法, 选取了科普人员、科普场地、科普经费、科普媒体、科普活动和科普影响 6 个一级评估指标, 构筑了包含 22 个二级指标的科普水平评估指标体系, 采用层次分析法确定各评估指标的权重, 并采用 TOPSIS 法进行评估计算, 依据相对接近度的大小给出评估结果。为验证本文方法的有效性, 采集了 5 家新能源科普基地的运行数据, 给出了新能源科普水平的排序结果。

[关键词] 新能源技术 科普水平 综合评估 层次分析法 逼近理想解排序法

[中图分类号] N4 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1673-8357 (2015) 01-0034-08

An Evaluation Method to Science Popularization Level of New Energy Using Analytic Hierarchy Process and TOPSIS

Zang Tianlei Qian Qingquan

(School of Electrical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031)

Abstract: An evaluation method of science popularization level of new energy based on AHP (Analytic Hierarchy Process) and TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution) is proposed in this paper. 6 first-level evaluation indexes including science popularization personnel, science popularization space, science popularization venues, science popularization media, science popularization activities and science popularization influence are selected to construct an evaluation index system for science popularization level which includes 22 second-level indexes. AHP is used to confirm the weight of each evaluation index, TOPSIS is applied for assessment and calculation, and the evaluation results are given in accordance with relative closeness. To verify effectiveness of this method, the operation data of 5 new energy science popularization bases are collected, and the sorting result of science popularization level of new energy is provided.

收稿日期: 2014-12-30

基金项目: 中国科协研究生科普研究能力提升类项目 (2014KPYJD41)。

作者简介: 臧天磊, 西南交通大学电气工程学院博士研究生, 主要研究方向为智能信息处理在能源系统中的应用,

Email: zangtianlei@126.com;

钱清泉, 中国工程院院士, 西南交通大学电气工程学院教授, 主要研究方向为交通能源系统自动化与智能化,

Email: qq@swjtu.edu.cn。

Keywords: new energy technology; science popularization level; comprehensive evaluation; AHP; TOPSIS**CLC Numbers:** N4 **Document Code:** A **Article ID:** 1673-8357 (2015) 01-0034-08

新能源科学普及关系到公众对新能源的认识和需求,对推进能源政策实施和新能源产业的市场化进程具有重要意义。鉴于此,以传播新能源科学技术为驱动,世界各国依托新能源产学研基地开展了新能源技术的科学普及工作,让公众了解新能源在生活中的应用,增强公众购买新能源产品的意愿。随着新能源科普力度的加大,测度其新能源科普实施的效果、发现其中存在的问题,已成为组织方和管理方的迫切需要。这一问题的解决,强烈依赖于对新能源技术科普水平的有效评估。

20 世纪末,国内外学者开始了科普评估的理论与实践工作。随着各国对科普重视程度的不断提高,科普评估研究的需求也在日益增长。本世纪以来,国际上报道了一些科普评估研究成果,如德国的爱因斯坦年评估^[1],荷兰的科学聚会活动评估^[2]和英国的曼彻斯特科学与工业博物馆巡展评估等,这些研究多为实际操作方法的总结,是对具体案例的定性分析,评估方法主要是现场访谈、问卷调查和网络反馈,评估的指标一般是活动的覆盖面以及对公众态度、行为的影响等^[3]。在我国,中国科普研究所、中国科学技术信息研究所以及各高等院校和社会化的科普研究机构,已经在科普评估研究上取得了丰硕的成果。郑念等以人、地区和科普事业发展为中心,建立了由科普投入、科普环境、科普活动效果、科普综合产出效果 4 个方面构成的评估指标体系^[4-5],同时,对科技馆常设展品的功能和效果表现、评估的维度和类型、评估指标体系的构成进行了研究^[6]。戚敏等对不同科普类评估指标体系各层次及其评估因子进行比较,研究了评估设计、因子个数、检验修正 3 个方面的科普评估要点^[7]。佟贺丰等构筑了包括 17 个指标的地区科普力度评估指标体系,并给出了指标权重的确定方法和评估方法^[8]。史路平等将科普投入、产出、效果、满意度和影响力 5 个指标作为评估指标框架的基本内容,给出了科普项目评估实施的方法和流程^[9]。李朝晖

等从规模、结构、效果 3 方面对科普基础设施发展进行了评估,采用德尔菲打分法确定了指标的权重^[10]。张艳等以“十二五”期间全国科普示范县(市、区)为样本,设计评估指标,采用因子分析和聚类分析进行了科普实力分析^[11]。张志敏等研究提出,要从扩大科普活动受益面、优化科普活动设计等方面,发挥科普活动的社会教育价值与作用^[12];在此基础上,构建了一个大型科普活动评估的理论框架^[13]。何丹等建立了科普工作社会化格局评估指标体系,从科普工作有效形式、科普人员与机构规模、科普经费配置规模、科普活动组织规模、外部环境因素 5 个方面对北京市科普工作社会化格局进行了评估^[14]。陈珂珂等从体系构建、数据获得、指标权重、数据处理、发展指数计算 5 个方面,对比了 2009 版、2012 版《中国科普基础设施发展报告》的差异,并分析了差异产生的原因^[15]。

从科普评估的现状来看,科普评估的实践经验缺乏科学性和系统性,目前尚无普适的评估指标体系和评估方法,科普评估需结合具体的评估对象深入研究。鉴于此,本文以新能源技术科普水平评估为研究对象,构筑了包含 22 项指标的新能源科普水平评估指标体系,在此基础上,研究了基于层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, 简称 AHP) 和逼近理想解排序法 (Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution, 简称 TOPSIS) 的新能源科普评估方法。

1 构筑新能源科普水平评估指标体系

科普水平评估包括评估指标体系的建立、有效科普信息的获取、评估方法的实施和评估结果的形成,其中建立一套科学的科普评估指标体系是第一步。评估指标是科普水平评估内容的定量表示,其选择和体系构建必须反映科普活动的核心内容。同时,为保证构建的新能源科普水平评估指标体系内涵准确、体系完整、

逻辑严密，应采取分模块、分层次的方式加以设计，并遵循以下原则：

(1) 科学性。新能源科普水平评估指标的科学性直接关系到评估结果的准确性，指标体系必须能够科学地反映新能源科普工作的实际水平，与科普工作的内容形成映射关系，保证评估结果的可信度。

(2) 系统性。新能源科普水平评估指标体系是一个计及多因素的复杂多维度（多层次）系统，应全面考量指标之间的内在联系，将其分为若干个子系统，以系统的观点全面认识其内在规律。

(3) 效用性。事无巨细的科普评估指标体系不仅增加了数据采集的成本，还引入了非必要因素对评估的影响，降低了评估的灵敏度和区分度。因此，新能源科普水平评估指标体系应注重效用性，把握核心要素，以尽量少的指标表征尽量多的信息量。

(4) 可取性。构筑的指标体系应充分考虑数据的可取性，所需的数据应在现有的技术方法和经费允许的情况下能够较容易地获取。

(5) 可比性。定量评估的目的是通过比较判别优劣，因此，选取的评估指标所代表的优劣程度应有明显的度量性，具有明确的概念和公认的含义，便于进行不同的新能源技术科普基地之间的比较。

依据上述指标选取原则，参考中华人民共和国科学技术部制作的《科普统计调查表》，本文选取的主要科普水平评估指标（一级指标）包括科普人员、科普场地、科普经费、科普传媒、科普活动和科普影响6个，细分为22个二级指标，建立新能源科普评估指标体系。在科普人力资源方面，选取科普专职人员、兼职人员和志愿者作为评估指标；在科普场地方面，选取展厅面积、常设科普展品和多媒体、影视等科普设备作为评估指标；在科普经费方面，选取年度科普经费筹集额、使用额和科普活动周专项经费作为评估指标；在科普传媒方面，选取科普图书、科普期刊、科普网站、其他科普读物和资料作为评估指标；在科普活动方面，选取科普讲座和培训、科普展览、科普竞赛、科普国际交流、青少年科普和科技活动周作为

评估指标；在科普影响方面，选取认定命名（各级科普基地等）、科普奖励和媒体报道作为评估指标。构筑的新能源科普水平评估指标体系具体如表1所示。

表1 新能源科普水平评估指标体系

一级指标	二级指标
科普人员 N_1	科普专职人员 P_1
	科普兼职人员 P_2
	科普志愿者 P_3
科普场地 N_2	展厅面积 P_4
	常设科普展品 P_5
	多媒体、影视等科普设备 P_6
科普经费 N_3	年度科普经费筹集额 P_7
	年度科普经费使用额 P_8
	科普活动周专项经费 P_9
科普传媒 N_4	科普图书年出版总册数 P_{10}
	科普期刊年出版总册数 P_{11}
	科普网站年总访问量 P_{12}
	其他科普读物和资料 P_{13}
科普活动 N_5	科普讲座和培训参加人次 P_{14}
	科普展览参观人次 P_{15}
	科普竞赛参加人次 P_{16}
	科普国际交流参加人次 P_{17}
	青少年科普参加人次 P_{18}
	科技活动周参加人次 P_{19}
科普影响 N_6	认定命名(各级科普基地等) P_{20}
	科普奖励 P_{21}
	媒体报道 P_{22}

2 基于层次分析法和 TOPSIS 的新能源科普水平评估模型

2.1 基于层次分析法确定评估指标权重

设有 k 个待评估的新能源科普基地，形成评估事件集 $E(k)$ ；有 s 个评估指标，形成评估指标集 $V(s)$ 。对 $V(s)$ 集的 s 个指标之间的关系进行分析，构建指标间的层次关系。针对指标之间的层次关系，构造各层次、各部分的指标判断矩阵，对判断矩阵计算，得到各层次指标的权重。设一级指标（系统层）的权重集为： $W_N = (W_{N_1}, W_{N_2}, \dots, W_{N_i}), i=1, 2, \dots, 6$ ；二级指标（指标层）的权重为： $W_p = (W_{p_1}, W_{p_2}, \dots, W_{p_j}), j=1, 2, \dots, 22$ 。具体步骤如下：

① 建立层次结构

根据第2节构筑的新能源科普水平评估指

标的一级指标和对应的二级指标建立三级层次结构,即目标层、系统层、指标层,分别记为 G、N 和 P,具体的层次结构如图 1 所示。

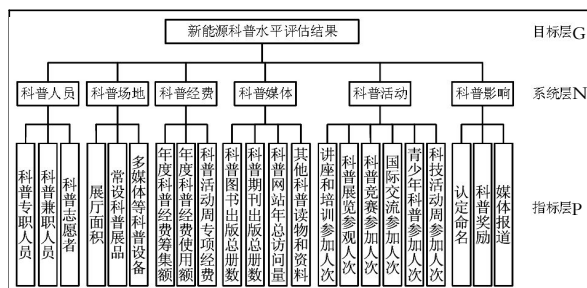


图 1 新能源科普水平评估层次结构

② 建立量化判断矩阵

对同一层次的 n 个指标两两比较,将比较结果按照 1-9 标度法表示,得到两两判断矩阵 $A=(a_{ij})_{n \times n}$ 。判断矩阵中的 a_{ij} 表示评估指标 i 相对于评估指标 j 的重要程度,并满足如下条件: $a_{ij}>0$, $a_{ij}=1/a_{ji}$, $a_{ii}=1$ 。

指标的相对重要度评估见表 2。

表 2 指标的相对重要度

相对重要度值	标度意义
1	P_i 与 P_j 同样重要 $w_i=w_j$
3	P_i 比 P_j 稍微重要 $w_i=3w_j$
5	P_i 比 P_j 明显重要 $w_i=5w_j$
7	P_i 比 P_j 非常重要 $w_i=7w_j$
9	P_i 比 P_j 极端重要 $w_i=9w_j$
2,4,6,8	标度中间值

按相对重要度写出判断矩阵 B

$$B = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \cdots & b_{nn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \cdots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \cdots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \cdots & w_n/w_n \end{pmatrix} \quad (1)$$

其中, $b_{ij}=w_i/w_j$ 为指标 i 对 j 的重要度。

③ 计算评估指标权重

记 $BW=\lambda_{\max}W$, 计算出各判断矩阵的最大特征值 $\lambda_{\max}$ 和相对应的归一化特征向量 $W=(w_1, w_2, \cdots, w_n)$ 若 B 满足一致性检验, 则 W 为各评估指标的单排序权重向量。其中, 单排序一致性的检验方法如下:

采用 CR 检验 B 的一致性

$$CR=CI/RI \quad (2)$$

其中, $CI=(\lambda_{\max}-n)/(n-1)$, n 为矩阵阶

数, RI 是矩阵的随机指标, 详见表 3。

表 3 10 阶矩阵的随机指标

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

若 $CR \geq 0.1$, 说明 B 中各元素 b_{ij} 的估计一致性较差, 应对 B 加以调整, 重新估计; 若 $CR < 0.1$, 说明 B 中元素估计一致。

④ 指标权重合成

在满足层次总排序一致性的条件下, 计算最低层次各指标相对目标层的相对重要性, 利用各层次的评估指标权重向量计算出评估指标的总权重向量 $W=(W_1, W_2, \cdots, W_j)$, $j=1, 2, \cdots, 22$, 例如求 W_i 的公式为: $W_i=W_{N_i} \times W_{P_i}$ 。其中, 层次总排序一致性的检验方法如下:

若某层若干指标对于上一层单排序一致性检验指标为 CI_i , 相应的平均随机一致性检验指标为 RI_i , 则上一层总排序的一致性比率为:

$$CR_i = \sum_{i=1}^n (W_{N_i} \times CI_i) / \sum_{i=1}^n (W_{N_i} \times RI_i) \quad (3)$$

当 $CR_i < 0.1$ 时, 认为排序结果具有满意的一致性; 否则, 需要重新调整各判断矩阵的元素值。

2.2 基于 TOPSIS 的新能源科普水平评估

① 规范化评估指标值

利用评估对象集 E 中的 k 个对象元素的 s 个评估指标值构造决策矩阵 X

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1s} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2s} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{k1} & x_{k2} & \cdots & x_{ks} \end{pmatrix} \quad (4)$$

其中, x_{ks} 为第 k 个评估对象的第 s 项指标的值。

由于问卷统计采集的新能源科普水平评估指标数据是具有量纲的原始数据, 量纲的差异性将影响评估的科学性。因此, 需对决策矩阵 X 进行无量纲化处理, 形成规范化决策矩阵 Z

$$Z = \begin{pmatrix} z_{11} & z_{12} & \cdots & z_{1s} \\ z_{21} & z_{22} & \cdots & z_{2s} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{k1} & z_{k2} & \cdots & z_{ks} \end{pmatrix} \quad (5)$$

本文中所有新能源科普评估指标均为越大越好的效益型指标, 故可用 $z_{ks} = x_{ks} / x_s^{\max}$, $x_s^{\max} = \max_k(x_{ks})$ 进行规范化处理。

② 构造加权规范化矩阵

利用 AHP 法确定的指标权重向量 W 和规范化决策矩阵 Z , 构造加权规范化矩阵。

$$V = WZ = \begin{pmatrix} v_{11} & v_{12} & \cdots & v_{1s} \\ v_{21} & v_{22} & \cdots & v_{2s} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{k1} & v_{k2} & \cdots & v_{ks} \end{pmatrix} \quad (6)$$

其中, W 是由 AHP 法确定的 j 个指标的权重所构成的对角矩阵。

③ 确定评估指标理想解

根据加权规范化矩阵 V , 确定评估对象集 E 各指标的理想解 F^+ 和负理想解 F^- 。把加权规范化矩阵中相对同一个指标各个评估对象中的最大值作为该指标的理想解, 最小值作为该指标的负理想解。理想解记为 $F^+ = \{v_1^+, v_2^+, \cdots, v_j^+\}$, 负理想解记为 $F^- = \{v_1^-, v_2^-, \cdots, v_j^-\}$, 其中, $v_j^+ = \max\{v_{ij} | i=1, 2, \cdots, k\}$, $v_j^- = \min\{v_{ij} | i=1, 2, \cdots, k\}$ 。

④ 计算与理想解的距离

计算每个方案与理想解和负理想解的距离, 记评估对象 E_i 与理想解 F^+ 的距离为 D_j^+ , 与负理想解 F^- 的距离为 D_j^- , 则有

$$D_j^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^k (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad (7)$$

$$D_j^- = \sqrt{\sum_{j=1}^k (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (8)$$

其中, $i=1, 2, \cdots, k$ 。

⑤ 根据相对接近度排序

根据评估对象集 E 中各元素指标值与理想解的相对接近度 C_i 对各元素进行排序, 其中: $C_i = D_j^- / (D_j^+ + D_j^-)$, $i=1, 2, \cdots, k$ 。

基于 AHP 和 TOPSIS 的新能源科普水平评估流程如图 2 所示。

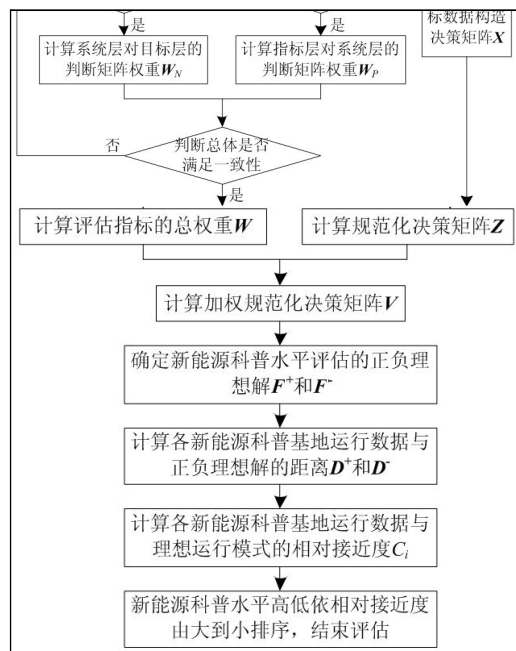
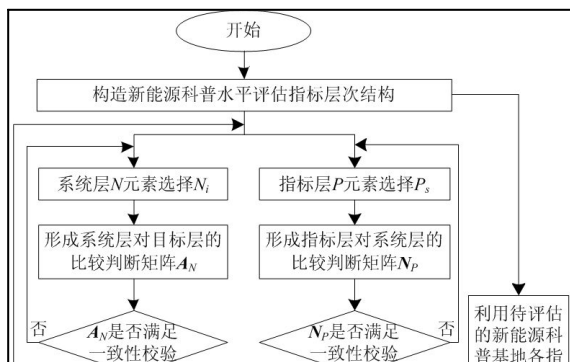


图 2 基于 AHP 和 TOPSIS 的新能源科普水平评估流程

3 案例分析

① 数据采集与预处理

本文通过发放新能源技术科普基地调查统计表, 采集了 2013 年度广州、北京、成都、盐城和廊坊的 5 家科普基地 (依次记为 $E_1 \sim E_5$) 的运行数据, 详见表 4, 其中认定命名和科普奖励两项指标中, 已按照国家级、省部级和地

表 4 新能源技术科普基地运行数据 (2013 年度)

评估指标	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5
P_1 (人)	2	1	5	2	2
P_2 (人)	16	15	7	45	0
P_3 (人)	0	80	28	60	0
P_4 (m ²)	450	1100	900	600	660
P_5 (件)	17	6	20	200	4
P_6 (台)	10	51	20	15	30
P_7 (万元)	28	21.5	80	20	800
P_8 (万元)	26	21.5	50	20	800
P_9 (万元)	0	0	20	10	20
P_{10} (册)	0	0	600	0	10000
P_{11} (册)	0	0	0	0	12000
P_{12} (次)	8000	0	0	4000	0
P_{13} (份)	1000	5847	500	5000	0
P_{14} (人次)	1000	0	400	200	6000
P_{15} (人次)	5000	5847	1200	5000	3099
P_{16} (人次)	200	0	0	0	300
P_{17} (人次)	0	503	0	20	576
P_{18} (人次)	2500	1671	400	300	500
P_{19} (人次)	2000	0	200	100	0

P_{20} (项)	3	6	2	1	2
P_{21} (项)	0	0	0	3	0
P_{22} (次)	3	23	18	27	100

市级采用 4:2:1 的权值归算项数, 如获 1 项省部级科普奖励则记为 2 项, 依此类推。

② 建立科普评估一级指标的量化判断矩阵, 进行一致性检验并计算权重

$$\begin{matrix} & N_1 & N_2 & N_3 & N_4 & N_5 & N_6 \\ \begin{matrix} N_1 \\ N_2 \\ N_3 \\ N_4 \\ N_5 \\ N_6 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 1/2 & 1/2 & 1/2 & 1/3 & 2 \\ 2 & 1 & 1 & 1 & 1/2 & 3 \\ 2 & 1 & 1 & 1 & 1/2 & 3 \\ 2 & 1 & 1 & 1 & 1/2 & 3 \\ 3 & 2 & 2 & 2 & 1 & 4 \\ 1/2 & 1/3 & 1/3 & 1/3 & 1/4 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

计算可得 $CI = 0.0065$, $CR = 0.0052 < 0.1$, 满足一致性。

因此, 一级指标的权重

$$W_{N_1} \sim W_{N_6} = (0.0972, 0.1757, 0.1757, 0.1757, 0.3154, 0.0602)$$

③ 建立科普评估二级指标的量化判断矩阵, 进行一致性检验并计算权重

对于指标 $P_1 \sim P_3$:

$$\begin{matrix} & P_1 & P_2 & P_3 \\ \begin{matrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 4 & 6 \\ 1/4 & 1 & 4 \\ 1/6 & 1/4 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

计算可得 $CI = 0.0539$, $CR = 0.0930 < 0.1$, 满足一致性。

因此, 权重

$$W_{P_1} \sim W_{P_3} = (0.6817, 0.2363, 0.0819)$$

对于指标 $P_4 \sim P_6$:

$$\begin{matrix} & P_4 & P_5 & P_6 \\ \begin{matrix} P_4 \\ P_5 \\ P_6 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 1/4 & 2 \\ 4 & 1 & 5 \\ 1/2 & 1/5 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

计算可得 $CI = 0.0123$, $CR = 0.0212 < 0.1$, 满足一致性。

因此, 权重

$$W_{P_4} \sim W_{P_6} = (0.1998, 0.6833, 0.1168)$$

对于指标 $P_7 \sim P_9$:

$$\begin{matrix} & P_7 & P_8 & P_9 \\ \begin{matrix} P_7 \\ P_8 \\ P_9 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 1 & 3 \\ 1 & 1 & 3 \\ 1/3 & 1/3 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

计算可得 $CI = 0$, $CR = 0 < 0.1$, 满足一致性。因此, 权重

$$W_{P_7} \sim W_{P_9} = (0.1998, 0.6833, 0.1168)$$

对于指标 $P_{10} \sim P_{13}$:

$$\begin{matrix} & P_{10} & P_{11} & P_{12} & P_{13} \\ \begin{matrix} P_{10} \\ P_{11} \\ P_{12} \\ P_{13} \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 1 & 2 & 3 \\ 1 & 1 & 2 & 3 \\ 1/2 & 1/2 & 1 & 2 \\ 1/3 & 1/3 & 1/2 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

计算可得 $CI = 0.0035$, $CR = 0.0038 < 0.1$ 满足一致性。

因此, 权重

$$W_{P_{10}} \sim W_{P_{13}} = (0.3509, 0.3509, 0.1891, 0.1091)$$

对于指标 $P_{14} \sim P_{19}$:

$$\begin{matrix} & P_{14} & P_{15} & P_{16} & P_{17} & P_{18} & P_{19} \\ \begin{matrix} P_{14} \\ P_{15} \\ P_{16} \\ P_{17} \\ P_{18} \\ P_{19} \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 3 & 2 & 2 \\ 1/2 & 1 & 2 & 2 & 1 & 1 \\ 1/3 & 1/2 & 1 & 1 & 1/2 & 1/2 \\ 1/3 & 1/2 & 1 & 1 & 1/2 & 1/2 \\ 1/2 & 1 & 2 & 2 & 1 & 1 \\ 1/2 & 1 & 2 & 2 & 1 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

计算可得 $CI = 0.0028$, $CR = 0.0022 < 0.1$ 满足一致性。

因此, 权重

$$W_{P_{14}} \sim W_{P_{19}} = (0.3106, 0.1702, 0.0894, 0.0894, 0.1702, 0.1702)$$

对于指标 $P_{20} \sim P_{22}$:

$$\begin{matrix} & P_{20} & P_{21} & P_{22} \\ \begin{matrix} P_{20} \\ P_{21} \\ P_{22} \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 1 & 2 \\ 1 & 1 & 2 \\ 1/2 & 1/2 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

计算可得 $CI = 0$, $CR = 0 < 0.1$, 满足一致性。因此, 权重

$$W_{P_{20}} \sim W_{P_{22}} = (0.4000, 0.4000, 0.2000)$$

④ 进行层次总排序一致性检验, 并计算二级评估指标权重

$$CR_i = \sum_{i=1}^n (W_{N_i} \times CI_i) / \sum_{i=1}^n (W_{N_i} \times RI_i) \\ = 0.0089 / 1.24 = 0.0072 < 0.1$$

$CR_i < 0.1$ ，满足层次总排序一致性。

利用两个层次的评估指标权重向量计算出 22 个科普评估指标的总权重向量

$$W_1 \sim W_{22} = (0.0663, 0.0230, 0.0080, 0.0351, 0.1201, \\ 0.0205, 0.0753, 0.0753, 0.0251, 0.0617, \\ 0.0617, 0.0332, 0.0192, 0.0980, 0.0537, \\ 0.0282, 0.0282, 0.0537, 0.0537, 0.0241, \\ 0.0241, 0.0120)$$

⑤ 规范化各评估指标值

根据各新能源科普基地的指标数据（表 4）形成决策矩阵 X ，对决策矩阵 X 进行规范化处理，得到规范化决策矩阵 Z 。（见下表）

Z	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5
P_1	0.4000	0.2000	1.0000	0.4000	0.4000
P_2	0.3556	0.3333	0.1556	1.0000	0.0000
P_3	0.0000	1.0000	0.3500	0.7500	0.0000
P_4	0.4091	1.0000	0.8182	0.5455	0.6000
P_5	0.0850	0.0300	0.1000	1.0000	0.0200
P_6	0.1961	1.0000	0.3922	0.2941	0.5882
P_7	0.0350	0.0269	0.1000	0.0250	1.0000
P_8	0.0325	0.0269	0.0625	0.0250	1.0000
P_9	0.0000	0.0000	1.0000	0.5000	1.0000
P_{10}	0.0000	0.0000	0.0600	0.0000	1.0000
P_{11}	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000
P_{12}	1.0000	0.0000	0.0000	0.5000	0.0000
P_{13}	0.1710	1.0000	0.0855	0.8551	0.0000
P_{14}	0.1667	0.0000	0.0667	0.0333	1.0000
P_{15}	0.8551	1.0000	0.2052	0.8551	0.5300
P_{16}	0.6667	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000
P_{17}	0.0000	0.8733	0.0000	0.0347	1.0000
P_{18}	1.0000	0.6684	0.1600	0.1200	0.2000
P_{19}	1.0000	0.0000	0.1000	0.0500	0.0000
P_{20}	0.5000	1.0000	0.3333	0.1667	0.3333
P_{21}	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000
P_{22}	0.0300	0.2300	0.1800	0.2700	1.0000

⑥ 构造加权规范化矩阵

利用 AHP 法确定的指标的权重向量 W 和规范化决策矩阵 Z ，构造加权规范化矩阵 $V=WZ$ 。

V	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5
P_1	0.0265	0.0133	0.0663	0.0265	0.0265
P_2	0.0082	0.0077	0.0036	0.0230	0.0000
P_3	0.0000	0.0080	0.0028	0.0060	0.0000
P_4	0.0144	0.0351	0.0287	0.0192	0.0211

P_5	0.0102	0.0036	0.0120	0.1201	0.0024
P_6	0.0040	0.0205	0.0081	0.0060	0.0121
P_7	0.0026	0.0020	0.0075	0.0019	0.0753
P_8	0.0024	0.0020	0.0047	0.0019	0.0753
P_9	0.0000	0.0000	0.0251	0.0126	0.0251
P_{10}	0.0000	0.0000	0.0037	0.0000	0.0617
P_{11}	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0617
P_{12}	0.0332	0.0000	0.0000	0.0166	0.0000
P_{13}	0.0033	0.0192	0.0016	0.0164	0.0000
P_{14}	0.0163	0.0000	0.0065	0.0033	0.0980
P_{15}	0.0459	0.0537	0.0110	0.0459	0.0284
P_{16}	0.0188	0.0000	0.0000	0.0000	0.0282
P_{17}	0.0000	0.0246	0.0000	0.0010	0.0282
P_{18}	0.0537	0.0359	0.0086	0.0064	0.0107
P_{19}	0.0537	0.0000	0.0054	0.0027	0.0000
P_{20}	0.0120	0.0241	0.0080	0.0040	0.0080
P_{21}	0.0000	0.0000	0.0000	0.0241	0.0000
P_{22}	0.0004	0.0028	0.0022	0.0033	0.0120

⑦ 确定评估指标理想解

根据加权规范化矩阵 V ，分别算出各评估指标的理想解和负理想解：

$$F^+ = (0.0663, 0.0230, 0.0080, 0.0351, 0.1201, 0.0205, \\ 0.0753, 0.0753, 0.0251, 0.0617, 0.0617, 0.0332, \\ 0.0192, 0.0980, 0.0537, 0.0282, 0.0282, 0.0537, \\ 0.0537, 0.0241, 0.241, 0.0120)$$

$$F^- = (0.0113, 0, 0, 0.0144, 0.0024, 0.0040, 0.0019, \\ 0.0019, 0, 0, 0, 0, 0, 0.0110, 0, 0, 0.0064, \\ 0, 0.0040, 0, 0.0004)$$

⑧ 计算与理想解的距离

计算 5 家新能源科普基地的各项指标值与理想解、负理想解的距离 D^+ 和 D^-

$$D^+ = (0.2054, 0.2257, 0.2180, 0.1917, 0.1548)$$

$$D^- = (0.0918, 0.0700, 0.0627, 0.1309, 0.1760)$$

⑨ 计算相对接近度，给出排序结果

根据 $C_i = D_j^- / (D_j^+ + D_j^-)$ ，计算出 5 家新能源科普基地运行情况与理想运行情况的相对接近度

$$C_1 = 0.3089$$

$$C_2 = 0.2366$$

$$C_3 = 0.2233$$

$$C_4 = 0.4058$$

$$C_5 = 0.5320$$

由计算结果可知， $C_5 > C_4 > C_1 > C_2 > C_3$ ，即可对应给出 5 家新能源科普基地的科普水平排序。

4 结论

本文提出了一种新能源技术科普水平综合评估方法。建立了包含6个一级指标和22个二级指标的评估指标体系,较全面地涵盖了反映科普水平的因素;同时,将层次分析法和TOPSIS结合应用到新能源技术科普水平评估中,提高了评估方法的易操作性及评估结果的

可靠性,为新能源技术科普水平评估提供了一种科学的定量分析方法。研究评估指标对排序的灵敏度,以分析评估对象的优势和不足是进一步研究的方向。此外,随着科普评估工作的发展,应尽快引入群体评估(多方评估)机制,研究科普受众方的体验评估、科普管理方的绩效评估、科普组织方的自我评估或同行互相评估等。

参考文献

- [1] 马尔库斯·加布里尔,托马斯·夸斯特. 2005 爱因斯坦年评估总报告[M]. 王保华,译. 北京:科学普及出版社, 2008.
- [2] Koolstra C M. An example of a science communication evaluation study: Discovery 07, a Dutch science party [J]. Journal of Science Communication, 2008(6): 1-8.
- [3] European Science Events Association. Science communication events in Europe[M]. EUSCEA, 2005.
- [4] 郑念. 科普效果评估研究案例[M]. 北京:中国科学技术出版社, 2005: 2.
- [5] 郑念,张平淡. 科普项目的管理与评估[M]. 北京:科学普及出版社, 2008.
- [6] 郑念,廖红. 科技馆常设展览科普效果评估初探[J]. 科普研究, 2007, (1): 43-46, 65.
- [7] 戚敏,王宇良,徐惠琴. 企业科普资源评估与因子设计的初步研究[J]. 科普研究, 2007, 2(5): 42-46.
- [8] 佟贺丰,刘润生,张泽玉. 地区科普力度评价指标体系构建与分析[J]. 中国软科学, 2008, (12): 54-60.
- [9] 史路平,安文. 科普项目评估制度化探析[J]. 科普研究, 2010, 5(1): 48-52.
- [10] 李朝晖,任福君. 从规模、结构和效果评估中国科普基础设施发展[J]. 科技导报, 2011, 29(4): 64-68.
- [11] 张艳,石顺科. 基于因子和聚类分析的全国科普示范县(市、区)科普综合实力评价研究[J]. 科普研究, 2012, 7(38): 30-36.
- [12] 张志敏,任福君. 科普活动作为一种社会教育资源的价值探讨——基于科普活动效果评估案例的分析[J]. 科技导报, 2012, 30(28-29): 98-102.
- [13] 张志敏,郑念. 大型科普活动效果评估框架研究[J]. 科技管理研究, 2013, (24): 48-52.
- [14] 何丹,谭超,刘深. 北京市科普工作社会化评价指标体系研究[J]. 科普研究, 2014, 9(3): 29-33, 40.
- [15] 陈珂珂,任福君,李朝晖. 中国科普基础设施发展评估体系的比较[J]. 科技导报, 2014, 32(11): 77-83.

(编辑 李英)

论文写作指南 (一)

一般而言,论文的主要组成依次包括以下几部分内容:题名、作者署名、摘要、关键词、引言、正文、结论和参考文献。

1. 题名

题名是以最恰当、最简明的词语反映报告、论文中最重要的特定内容的逻辑组合,是一篇科技论文精华的凝练和体现。题名撰写要求主要有:

- (1) 题名应简洁明了。一般不宜超过20个汉字,所对应的外文(本刊为英文)题名不宜超过10个实词。题名语意未尽时,可采用副题名补充说明未尽之处。
- (2) 题名应尽可能多的包含关键词和实用信息。题名所用词语必须考虑到有助于选定关键词和编制题录、索引等二次文献可以提供检索的实用信息。
- (3) 题名应该避免使用不常见的缩略词、首字母缩写字、字符、代号和公式等。
- (4) 英文题名应与中文题名的内容一致,但并非要求所有词语均一一对应,主要应在准确表达中文题名意思的基础上,符合英文用法。