

# 利用熵权-非整秩次加权秩和比法的铁路规划评价

李子木, 唐慧漪, 刘晓佳

(集美大学航海学院, 福建 厦门 361021)

**[摘要]** 为了加快区域经济一体化协调发展, 更好地评价长三角地区铁路线路发展, 选择重要度较高的铁路线路。基于加权秩和比法和熵权法, 提出熵权-非整秩次加权秩和比法铁路规划优选模型。运用熵值法确定线路规划评价指标, 利用非整秩次加权秩和比法对规划线路评价指标进行处理, 再利用 SPSS 软件拟合曲线, 最后进行重要度排序与分档, 得到评价结果。通过分析得到, 铁路规划重要度高低次序为  $Y_4$ 、 $Y_1$ 、 $Y_6$ 、 $Y_2$ 、 $Y_3$ 、 $Y_5$ 、 $Y_8$ 、 $Y_7$ 、 $Y_9$ 。对比非整秩次加权秩和比法、传统加权秩和比法与熵权优劣解距离法 (technique for order preference by similarity to ideal solution, TOPSIS) 评价结果, 非整秩次加权秩和比法体现了原始数据顺位间的差距, 比传统加权秩和比法与熵权 TOPSIS 法评价结果更客观。

**[关键词]** 铁路规划; 非整秩次加权秩和比法; 熵值法; 综合决策

**[中图分类号]** O 29

## Study on Railway Planning Evaluation Based on Entropy Weight-Non-Integral Rank Weighted Rank Sum Ratio Model

LI Zimu, TANG Huiyi, LIU Xiaojia

(Navigation College, Jimei University, Xiamen 361021, China)

**Abstract:** In order to deepen the research on coordinated development of regional economic integration, better evaluate the development of railway lines in Yangtze River Delta, and the railway lines with high importance were selected. Based on the weighted rank sum ratio model and the entropy weight model, an entropy weight-non-integral rank weighted rank sum ratio railway planning optimum selection model was put forward. Firstly, the evaluation indexes of line planning were determined by using the method of entropy, then the evaluation indexes of line planning were processed by non-integral rank weighted rank sum ratio model, and the curves were fitted by SPSS software. Finally, the importance degree was ranked and classified to get the evaluation results. It was obtained that the order of importance of railway planning is  $Y_4$ ,  $Y_1$ ,  $Y_6$ ,  $Y_2$ ,  $Y_3$ ,  $Y_5$ ,  $Y_8$ ,  $Y_7$  and  $Y_9$ . Comparing with the evaluation results of non-integral rank weighted rank sum ratio model, traditional weighted rank sum ratio model and entropy weighted technique for order preference by similarity to ideal solution (TOPSIS) model, the non-integral rank weighted rank sum ratio method reflects the difference between the ranks of original data, and is more objective than traditional weighted rank sum ratio model and entropy weighted TOPSIS model.

**Keywords:** railway planning; non-integral rank weighted rank sum ratio; entropy method; comprehensive decision-making

**[收稿日期]** 2021-10-29

**[基金项目]** 福建省自然科学基金项目 (2021J01291)

**[作者简介]** 李子木 (1997—), 男, 硕士生, 从事交通运输规划与管理研究。通信作者: 刘晓佳 (1978—), 女, 副教授, 博士, 硕导, 从事交通运输规划与管理、海上交通安全保障技术研究。E-mail: happylxj1314@163.com

0 引言

铁路线网规划对于提升城市经济发展水平有重要意义, 为构建多地区之间路网完整与城市协同发展提供了强大的支撑。但是, 由于相关城市的发展、客运量与政策支持度等因素影响, 铁路网中各线路的重要度不尽相同。因此, 针对各地区的相关影响因素, 对铁路的规划先后顺序进行评估, 可以最大化利用建设资源, 提高铁路网运行效益。

目前, 针对常规铁路相关评价主要通过层次分析法<sup>[1]</sup>、模糊综合评价法<sup>[2-4]</sup>、熵权 TOPSIS 法<sup>[5-6]</sup>等。但是, 层次分析法与模糊综合评价法在建模评价上主观性太强, 熵权 TOPSIS (优劣解距离法) 计算过程较为繁琐, 且评价结果较为单一。而本文采用的加权秩和比法 (weighted rank sum ratio, WRSR) 具有计算过程简单、无量纲要求、综合评估效果优等特点, 被广泛应用到医疗卫生领域的质量综合评估及方案选择中<sup>[7]</sup>。如今, 该方法在铁路规划领域研究较少, 还未见涉及运用加权秩和比法进行铁路相关评价的研究。因此, 本文使用非整秩次加权秩和比方法对铁路线路进行评价。非整秩次秩和比法对编秩方法进行改进, 所得指标秩次与原指标值之间存在定量的线性对应关系, 避免了指标与秩次转化中原指标值信息的缺失, 其结果比秩和比方法更客观。

本文综合考虑规划铁路路网的宏观与微观层面的影响, 结合规划铁路路网的影响因素选取评价指标, 采用熵权-非整秩次加权秩和比模型对规划路网中的铁路线路进行定量分析与评价, 得出铁路线路的建设先后次序及相应的分档情况, 并对比分析非整秩次加权秩和比法、传统加权秩和比法与熵权 TOPSIS 法的评价结果差异, 为决策者优化配置建设资源、合理安排建设周期提供参考。

1 非整秩次加权秩和比法

秩和比法是一种具有实际应用价值的综合评价方法, 它可以对众多的复杂因素进行定量化分析, 对多个研究对象进行评价, 并排出优劣顺序, 为决策提供依据。本研究选取长三角地区规划中的 9 条铁路的 7 项指标, 应用秩和比法中的非整秩次秩和比法<sup>[8]</sup>, 科学地评估铁路线路规划的重要度。

1.1 基本原理

首先, 根据  $n$  个评价对象与  $m$  个评价指标构建一个  $n \times m$  的评价矩阵, 将各评价指标得值进行非整秩次转换, 获得无量纲统计量; 其次, 根据各指标的权重, 计算 WRSR 值; 最后, 运用参数统计分析的概念与方法, 计算 WRSR 值分布, 并对研究对象进行排序及分档<sup>[9]</sup>。

1.2 评级步骤

1.2.1 评价指标矩阵与编秩

1) 构建评价矩阵。假设有  $n$  条铁路线路, 每条线路有  $m$  个指标, 各指标值记为  $a_{ij} (i = 1, 2, \cdots, n; j = 1, 2, \cdots, m)$ ,  $a_{ij}$  构成矩阵  $A$ , 即

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1m} \\ \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nm} \end{pmatrix}。$$

(1)

2) 编秩方法。通过判断各评价指标对于评价结果的影响, 确定每个指标属于高优秩指标还是低优秩指标。所编秩次除最小值和最大值为正数外, 其余大都为非整数。

传统编秩方法。首先判断指标是高优秩指标还是低优秩指标。对于高优秩指标按照  $1, 2, \cdots, m$  顺序编秩, 若两条线路指标值相同, 则取均值作为其秩。而低优秩指标编制顺序与高优秩指标相反。

非整次编秩方法。高优秩指标为

$$R = 1 + (N - 1) \times (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}),$$

(2)

而低优秩指标为

$$R = 1 + (N - 1) \times (X_{\max} - X) / (X_{\max} - X_{\min}).$$

(3)

式 (2) ~ 式 (3) 中:  $R$  为秩次;  $N$  为评价对象数量;  $X$  为指标的原始数据, 将最大、最小的原始指

标值分别记为  $X_{\max}$ 、 $X_{\min}$ 。

### 1.2.2 计算 WRSR 值

记  $\text{WRSR}_i$  为加权秩和比, 其计算公式为

$$\text{WRSR}_i = (1/m) \times \sum_{j=1}^n W_j R_{ij}, \quad (4)$$

式 (4) 中:  $i = 1, 2, \dots, n$ ;  $j = 1, 2, \dots, m$ ;  $R_{ij}$  为评价对象  $i$  的评价指标  $j$  的秩次值;  $W_j$  为指标的权重值。

### 1.2.3 确定 WRSR 分布

WRSR 的分布是指用概率单位 Probit 表达的值特定的累计频率。编制 WRSR 频数分布表, 列出各组频数  $f$ , 计算各组累计频数  $\Sigma f$ ; 确定各组 WRSR 的秩次范围  $R$  及平均秩次  $\hat{R}$ ; 通过公式  $(\hat{R}/n) \times 100\%$  计算累计频率, 最后累积按照  $(1 - 1/(kn))$  校正; 将百分率换算为概率单位 Probit, 具体换算公式为

$$\text{Probit} = u(p_i) + 5. \quad (5)$$

其中:  $u(p_i)$  为离差函数;  $p(i)$  为向下累计频率。

### 1.2.4 计算直线回归方程与分档排序

以 Probit 为自变量, WRSR 值为因变量, 利用 SPSS 软件求回归方程。依据各分档情况下概率单位 Probit 值, 按照回归方程推算所对应的 WRSR 估计值对评价对象进行分档排序。

## 2 权重确定

熵权法是一种客观赋权方法<sup>[10]</sup>, 它弥补了传统专家打分法主观性太强的不足。

### 2.1 初始矩阵构建

设有  $n$  个评价对象,  $m$  个评价指标, 构建初始矩阵为

$$Y = (y_{ij})_{m \times n} = \begin{pmatrix} y_{11} & \cdots & y_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ y_{m1} & \cdots & y_{mn} \end{pmatrix}. \quad (6)$$

其中:  $i = 1, 2, \dots, n$ ;  $j = 1, 2, \dots, m$ ;  $y_{ij}$  为第  $i$  个评价线路中第  $j$  个指标的数值。

### 2.2 初始矩阵归一化处理

本文采用极差法对数据进行归一化处理, 正向指标的具体计算公式为

$$u_{ij} = (\max(y_j) - y_{ij}) / (\max(y_j) - \min(y_j)). \quad (7)$$

而负向指标的具体计算公式为

$$u_{ij} = (y_{ij} - \max(y_j)) / (\max(y_j) - \min(y_j)). \quad (8)$$

归一化处理后的标准判断矩阵为

$$U = (u_{ij})_{m \times n} = \begin{pmatrix} u_{11} & \cdots & u_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ u_{m1} & \cdots & u_{mn} \end{pmatrix}. \quad (9)$$

### 2.3 权重-熵权确定

第  $i$  个评价对象中第  $j$  个评价指标的特征比重  $p_{ij}$  为

$$p_{ij} = y_{ij} / \sum_{i=1}^m y_{ij}. \quad (10)$$

第  $j$  个评价指标的熵值  $E_j$  为

$$E_j = 1/\ln m \times \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij}. \quad (11)$$

熵值是不确定性的一种度量, 信息量越大, 不确定性就越小, 熵也就越小; 信息量越小, 不确定性越大, 熵也越大。

第  $j$  个评价指标的冗余度  $F_j$  为

$$F_j = 1 - E_j。$$

(12)

第  $j$  个评价指标的熵权  $W_j$  为

$$W_j = F_j / \sum_{j=1}^n F_j。$$

(13)

信息量越大, 不确定性就越小, 熵也就越小,  $W_j$ 在评价体系中所占的比例越大; 信息量越小, 不确定性越大, 熵也越大,  $W_j$ 在评价体系中所占的比例越小。

3 实例结果及分析

常规铁路线路规划多侧重于路网经济评价、社会评价及环境评价等方面, 每个方面又具有不同的影响因素。在查询大量文献与咨询相关专家的基础上, 本文最终选取 7 个评价指标对长三角地区选定的 9 条铁路 (沪乍杭铁路  $Y_1$ 、沪甬跨海铁路  $Y_2$ 、宁宣黄高速铁路  $Y_3$ 、北沿江高速铁路  $Y_4$ 、杭临绩高速铁路  $Y_5$ 、沪甬舟铁路 I 段  $Y_6$ 、沪甬舟铁路 II 段  $Y_7$ 、沪甬舟铁路 III 段  $Y_8$ 、亳蚌城际铁路  $Y_9$ ) 进行评价, 这 7 个评价指标分别是铁路连接度  $C_1$ 、高速公路连接度  $C_2$ 、客运量  $C_3$ 、货运量  $C_4$ 、地区生产总值  $C_5$ 、人均可支配收入  $C_6$ 、政策支持度  $C_7$ , 具体如图 1 所示。运用本文所提的方法处理参考文献 [6] 中的数据, 确定铁路建设先后的次序与等级, 其铁路线路与相关指标信息如表 1 所示。

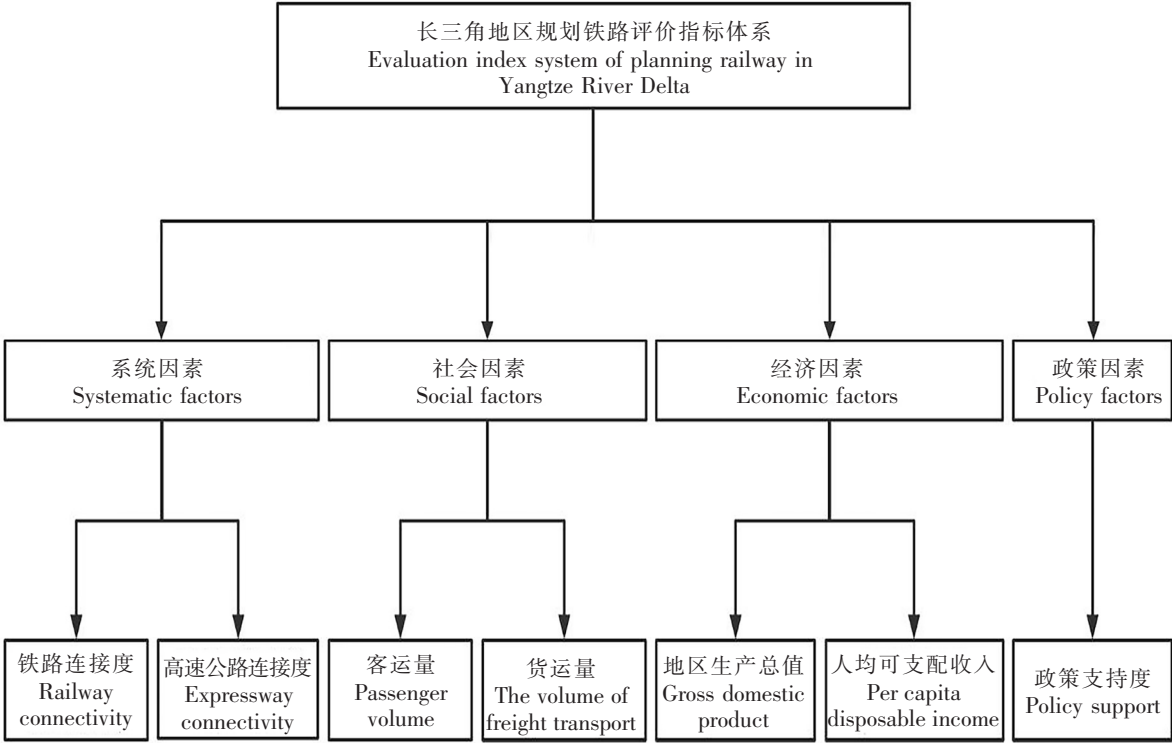


图 1 铁路线路规划评价指标体系

Fig.1 The railway line planning evaluation index system

表 1 2019 年铁路相关指标数据  
Tab. 1 Data on railway-related indicators for 2019

线路 Railway line	$C_1$ /条	$C_2$ /条	$C_3$ /万人	$C_4$ /万 t	$C_5$ /亿元	$C_6$ /元	$C_7$ /分
$Y_1$	12	9	23 467	1 051	58 898	180 318	3
$Y_2$	7	3	19 032	0	50 140	126 424	3
$Y_3$	15	14	6 546	0	16 409	112 612	1
$Y_4$	14	12	24 498	0	81 960	281 005	4
$Y_5$	12	7	9 090	0	16 934	88 095	2
$Y_6$	5	6	6 198	2 385	13 357	110 550	4
$Y_7$	0	0	12 834	472	39 527	123 010	1
$Y_8$	3	1	12 834	472	38 155	69 442	1
$Y_9$	6	4	2 222	0	3 806	48 086	1

依据图 1 的指标，利用熵权法原理求得各项评价指标的权重为  $W = (0.148, 0.145, 0.147, 0.119, 0.145, 0.145, 0.151)$ 。就指标权重而言，政策支持度、铁路连接度、客运量权重较高，对评价结果影响较大，货运量指标对应权重较小，对评价结果影响较小。利用秩和比法对规划线路进行编秩及加权秩和比的计算结果见表 2。

表 2 编秩结果和加权秩和比  
Tab. 2 Rank results and weighted rank and ratio

线路 Railway line	编秩结果 Rank results							WRSR 值 WRSR value	WRSR 排名 WRSR ranking
	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$		
$Y_1$	7.4	6.1	8.6	4.5	6.6	5.5	6.3	0.724	2
$Y_2$	4.7	2.7	7.0	1.0	5.7	3.7	6.3	0.508	4
$Y_3$	9.0	9.0	2.6	1.0	2.3	3.2	1.0	0.453	5
$Y_4$	8.5	7.9	9.0	1.0	9.0	9.0	9.0	0.867	1
$Y_5$	7.4	5	3.5	1.0	2.3	2.4	3.7	0.410	6
$Y_6$	3.7	4.4	2.4	9.0	2.0	3.1	9.0	0.524	3
$Y_7$	1.0	1.0	4.8	2.6	4.7	3.6	1.0	0.295	8
$Y_8$	2.6	1.6	4.8	2.6	4.5	1.7	1.0	0.298	7
$Y_9$	4.2	3.3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.201	9

将 9 条线路各指标的加权秩和比从小到大排序，计算频数、累计频数、平均秩次，WRSR 值所对应的向下累计频率  $p = 1/n \times \widehat{R} \times 100\%$ ，查对照表求其所对应的概率单位 Probit 值。通过 SPSS 软件求得回归方程为： $WRSR = 0.212 \times \text{Probit} - 0.632$ ，相关系数  $R^2 = 0.971$ ，回归方程检验结果为统计量  $F = 237.744$ ， $T$  检验的结果为  $P < 0.001$ ，回归方程具有统计意义。按照回归方程推算所对应的 WRSR 估计值对评价对象进行分档排序。由表 3 可知，上述铁路规划高低次序为  $Y_4$ 、 $Y_1$ 、 $Y_6$ 、 $Y_2$ 、 $Y_3$ 、 $Y_5$ 、 $Y_8$ 、 $Y_7$ 、 $Y_9$ 。将铁路规划顺序按照 5 个等级进行分类，分类标准如表 4 所示。

表 3 加权秩和比分布  
Tab. 3 Weighted rank and ratio distribution

线路 Railway line	WRSR 分布值 WRSR distribution value	$f$	$\Sigma f$	平均秩次 Mean rank	(平均秩次/ $n)/\%$	Probit 值 Probit value	WRSR 排名 WRSR ranking	WRSR 拟合值 WRSR fitted value
$Y_9$	0.200 6	1	1	1	11.1	3.779	9	0.171
$Y_7$	0.294 7	1	2	2	22.2	4.235	8	0.268
$Y_8$	0.298 3	1	3	3	33.3	4.569	7	0.339
$Y_5$	0.409 6	1	4	4	44.4	4.860	6	0.401
$Y_3$	0.453 4	1	5	5	55.6	5.140	5	0.460
$Y_2$	0.508 0	1	6	6	66.7	5.431	4	0.522
$Y_6$	0.523 8	1	7	7	77.8	5.765	3	0.593
$Y_1$	0.724 0	1	8	8	88.9	6.221	2	0.690
$Y_4$	0.867 0	1	9	9	<b>97.2</b>	6.915	1	0.837

说明: 黑体数据按  $(1 - 1/4 \times n)$  进行估计。  
Note: The bold data was estimated according to  $(1 - 1/4 \times n)$ .

表 4 分档数及临界值标准  
Tab. 4 Number of grades and threshold criteria

档次 Grade	百分位数临界值 Percentile threshold	Probit 临界值 Probit critical value	WRSR 临界值(拟合值) WRSR critical value (fitted value)	评价结果排序 Classification of evaluation results
第 1 档 Grade 1	<3.593	<3	<0.048	—
第 2 档 Grade 2	3.593 ~ 27.425	3 ~ 4	0.048 ~ 0.303	$Y_7$ 、 $Y_9$
第 3 档 Grade 3	27.425 ~ 72.575	4 ~ 6	0.303 ~ 0.559	$Y_2$ 、 $Y_3$ 、 $Y_5$ 、 $Y_8$
第 4 档 Grade 4	72.575 ~ 96.407	6 ~ 7	0.558 ~ 0.813	$Y_1$ 、 $Y_6$
第 5 档 Grade 5	>96.407	>7	>0.813	$Y_4$

为了体现评价方法的差异性, 整理非整秩次加权秩和比法、传统加权秩和比法、文献 [6] 中熵权 TOPSIS 法对于铁路线路的评价结果见表 5。

表 5 评价方法结果对比  
Tab. 5 Comparison of evaluation results

评价方法 Evaluation method	排名 Rank								
	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_4$	$Y_5$	$Y_6$	$Y_7$	$Y_8$	$Y_9$
传统加权秩和比法 Traditional weighted rank sum ratio method	2	3	4	1	6	5	7	8	9
熵权-TOPSIS 法 Entropy weight-TOPSIS method	2	3	4	1	6	5	7	8	9
非整秩次加权秩和比法 Non-integral weighted rank sum ratio method	2	4	5	1	6	3	8	7	9



由表5可知,重要度评级最高的铁路线路为线路 $Y_4$ 北沿江高速铁路,重要度评级最低的铁路线路为线路 $Y_9$ 毫蚌城际铁路。

传统加权秩和比法与熵权-TOPSIS法对铁路线路的重要度排序一致,因为在本文传统加权秩和比法与熵权-TOPSIS法中权重计算方法一致,均采用熵权法。重要度次序一致也验证了评价结果的有效性与合理性。但是传统加权秩和比法对评价铁路线路进行了重要度分级,更好地获得各线路的重要度等级,相比熵权-TOPSIS法评价优效更充分。

在熵权-TOPSIS法与非整秩次加权秩和比法中,线路 $Y_2$ 、 $Y_3$ 、 $Y_6$ 、 $Y_7$ 、 $Y_8$ 的评价结果前后次序略有不同,主要是因为在熵权法求取权重时,本文是在归一化之后对评价指标求取特征比重,避免了原始数据信息缺失对于权重确定的影响,得到的评价结果更加合理。

由于传统加权秩和比法与非整秩次加权秩和比法对指标的编秩方式存在区别,导致各项指标秩次的位次虽然相同,但秩次值不同,所以RSR值也不同。非整秩次计算方法体现了原始数据顺位间的差距,所以比传统加权秩和比法的评价结果更客观。

综合对比,本文提出的熵权-非整秩次加权秩和比法铁路规划优选模型,其计算过程更加合理、科学,该模型不仅能够简化确定铁路线路规划先后顺序的过程,还能对评估对象进行分层评级,更加直观有效地表现评价结果,可以为决策者统筹规划、合理安排建设顺序提供决策参考。

## 4 结论

本文运用熵权法确定各指标权重,利用非整秩次加权秩和比法对目标铁路路线进行评价,求得铁路线路施工顺序与重要度等级,以合理配置铁路建设资源。熵权-非整秩次加权秩和比法既能避免主观因素的影响,简便、快速量化各影响指标的权重,又能客观、准确地反映出规划铁路各方面特性,有较强的适应性。另外,后续研究还应进一步考虑相关地区因素对于铁路规划线路的影响。

## [参考文献]

- [1]王强,王丹竹.高速铁路运营质量评价指标体系构建及实施[J].铁道运输与经济,2021,43(6):58-62.
- [2]杨文昕,余磊,周铤,等.基于AHP-模糊综合评价法的兴泉铁路宁化至泉州段线路方案对比研究[J].铁道标准设计,2019,63(2):49-54.
- [3]李科宏,张亚东,郭进,等.高速铁路运营安全管理成熟度模型及评价[J].中国铁道科学,2019,40(5):138-144.
- [4]胡必松.新时代陕西省铁路网规划方案研究[J].铁道标准设计,2020,64(9):15-21.
- [5]肖霖川,邢颖.基于熵权-TOPSIS模型的地铁车站运营脆弱性评价方法[J].交通运输工程与信息学报,2020,18(2):163-169.
- [6]尹传忠,张祥栋,曲思源,等.基于熵权-TOPSIS模型的长三角地区规划铁路评价探讨[J].铁道运输与经济,2021,43(1):77-82.
- [7]黎有文.秩和比法在医学领域中的应用[J].微创医学,2004,23(6):792-795.
- [8]戈早川,徐春华.非整秩次秩和比法初探[J].数理医药学杂志,1999,12(3):244-245.
- [9]周琴.非整秩次秩和比法综合评价医院工作效率[J].中国卫生统计,2016,33(1):146-147.
- [10]刘晓佳,张可.基于加权秩和比法的桥梁施工方案优选研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2018,37(10):21-25.

(责任编辑 马建华 英文审校 黄振坤)