

基于熵权法的TOPSIS综合评价法在城市公共交通中的应用

王 欣¹, 牟唯嫣¹, 贾晓芳¹, 李泽好²

¹北京建筑大学理学院, 北京

²北京工商大学嘉华学院, 北京

收稿日期: 2021年11月13日; 录用日期: 2021年12月10日; 发布日期: 2021年12月17日

摘 要

为了客观评价我国各地区的城市公共交通情况, 本文将依据2020年全国31个省市自治区的城市公共交通数据, 采取基于熵权法的TOPSIS综合评价方法, 对31个省市自治区的公共交通情况进行分析。运用R语言软件实现, 并给出相应的排名结果。结果显示, 广东、上海、北京排名前三, 城市公共交通比较完善; 海南、青海、西藏排名靠后, 城市公共交通极其不便。因此, 公共交通发展与经济发展往往呈现正相关关系。通过进一步的研究可以发现, 我国东西中部地区的公共交通发展极不平衡, 应采取相应的措施来促进我国区域的协调发展。

关键词

熵权法, TOPSIS综合评价法, 城市公共交通

Application of TOPSIS Comprehensive Evaluation Method Based on Entropy Weight Method in Urban Public Transportation

Xin Wang¹, Weiyan Mu¹, Xiaofang Jia¹, Zeyu Li²

¹School of Science, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing

²Canvard College Beijing Technology and Business University, Beijing

Received: Nov. 13th, 2021; accepted: Dec. 10th, 2021; published: Dec. 17th, 2021

Abstract

In order to objectively evaluate the situation of urban public transportation in China, this paper will adopt TOPSIS comprehensive evaluation method based on entropy weight method according to the urban public transportation data of 31 provinces, cities and autonomous regions in China in 2020. This paper analyzes the situation of public transportation in 31 provinces, cities and autonomous regions, and uses R language software to achieve and give the corresponding ranking results. The results show that Guangdong, Shanghai and Beijing rank in the top three, and the urban public transportation is relatively perfect, while Hainan, Qinghai and Tibet rank in the bottom, and the urban public transportation is extremely inconvenient. Therefore, public transportation development and economic development tend to show a positive correlation. Through further study, it can be found that the development of public transport in the East and west central areas of China is extremely unbalanced, and corresponding measures should be taken to promote the coordinated development of China's regions.

Keywords

Entropy Weight Method, TOPSIS Comprehensive Evaluation Method, Urban Public Transportation

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来,随着世界人口的不断增多,人们对交通条件的需求急剧上升。城市公共交通是为社会群众提供基本出行服务的公益性事业。在现有科技水平下,如何才能客观地评价各城市的公共交通状况,并较大程度地提升人们对城市公共交通的满意度已成为我国亟待解决的一大难题。首先,受我国各省市的经济与科技水平差异的影响,我国城市公共交通的发展状况不尽相同;其次,我国某些城市的地理环境也同样是制约城市公共交通发展的重要因素,如地处山区的省市常以公路运输为主,而临近港口的省市常以水路运输为主。目前,我国的城市公共交通主要可分为公共电汽车客运、城市轨道交通、出租车、其他城市公共交通四类。

本文将 以 2020 年全国 31 个省市的城市公共交通为例,将公共电汽车(运营车辆数、运营里程、客运总量)、轨道交通(运营车辆数、运营里程、客运总量)及出租汽车运营车辆数这 7 个变量视为影响我国城市公共交通的重要变量。运用基于熵权法的 TOPSIS 综合评价方法对 31 个省市自治区的公共交通状况进行排序。基于熵权法的 TOPSIS 综合评价法,即在对样本进行 TOPSIS 综合评价之前,首先运用熵权法给出各变量在所研究问题中的权重,并将其代替专家意见进行 TOPSIS 综合分析。通常情况下, TOPSIS 综合评价法的专家意见受主观因素影响较大,而熵权法则是通过严格的数学计算来给各个变量赋予权重[1]。将熵权法运用于 TOPSIS 综合评价法中,将避免专家人为因素的干扰,极大程度地提高分析结果的可信度。

2. 基于熵权法的 TOPSIS 综合评价法

目前,在《城市公共交通发展水平评价指标体系》行业标准中规定了城市公共交通发展水平的评价指标体系构成。除此之外,刘永学(2006)基于城市公共交通建设的重要意义,提出了构建城市公共交通发展综合评价指标体系的原则方法和分析依据[2];厉键(2020)运用层次分析法对辽宁省某市的公共交通发展水平进行了综合评价,并计算出综合得分,给予整改方向[3];李煜华等人(2006)年利用灰色聚类分析方法实

现对城市公共交通状况进行综合评价,并将其运用于青岛市公共交通发展状况的评价中去[4];田木生等人(2010)运用模糊综合评价法实现了从客观的角度评价城市公共交通的发展状况[5]。然而层次分析法构建综合指标往往需要专家意见,评价结果不具有客观性;灰色聚类法难以从宏观上给出不同地区公共交通发展水平的排序;模糊综合评价法计算复杂,且在指标权重的确定上具有较强的主观因素,实现起来比较困难。因此,针对上述问题,本文将采用基于熵权法的 TOPSIS 综合评价法来对城市公共交通状况进行综合评价。

2.1. 熵权法

熵是表征物质状态的一个参数,信息熵越大表示该指标在系统中提供的有用信息越多,离散程度越大,即指标在所研究问题中所占权重也越大。因此,可以通过研究变量的信息熵来客观确定各个变量所占的权重,为综合评价提供客观依据。熵权法是一种客观赋值方法,即通过严格的数学计算给予每个指标合理的权重,为构建综合指标提供客观依据。熵权法的基本步骤为:

(一) 指标同趋势化处理

记原始变量 $X_1, X_2, \dots, X_k$ 对应的数字矩阵为 $X = [x_{ij}]_{p \times k} = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1k} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{p1} & \cdots & x_{pk} \end{bmatrix}$ 。经过同趋势化处理后的变量为 $Z_1, Z_2, \dots, Z_k$, 其对应的数字矩阵为 $Z = [z_{ij}]_{p \times k} = \begin{bmatrix} z_{11} & \cdots & z_{1k} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{p1} & \cdots & z_{pk} \end{bmatrix}$, 即有如下关系式:

1. 若 X_i 为正向指标则有:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \min\{x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{pj}\}}{\max\{x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{pj}\} - \min\{x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{pj}\}} + 1 \quad i = 1, 2, \dots, p; j = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

2. 若 X_i 为负向指标则有:

$$z_{ij} = \frac{\max\{x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{pj}\} - x_{ij}}{\max\{x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{pj}\} - \min\{x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{pj}\}} + 1 \quad i = 1, 2, \dots, p; j = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

(二) 分别计算 Z_j 在第 i 个方案中的权重 p_{ij}

$$p_{ij} = \frac{z_{ij}}{\sum_{i=1}^p z_{ij}} \quad i = 1, 2, \dots, p; j = 1, 2, \dots, k \quad (3)$$

(三) 计算 Z_j 的熵值 e_j 及差异系数 g_j

$$e_j = -h \sum_{i=1}^p p_{ij} \cdot \ln(p_{ij}) \quad j = 1, 2, \dots, k \quad (4)$$

其中 $h = \frac{1}{\ln(p)}$ 。

$$g_j = 1 - e_j \quad j = 1, 2, \dots, k \quad (5)$$

g_j 值越大表示该指标在所研究问题中的重要程度越高。

(四) 计算 Z_j 的权重 w_j

即:

$$w_j = \frac{g_j}{\sum_{j=1}^k g_j} \quad j=1,2,\dots,k \quad (6)$$

并记 $W = \begin{bmatrix} w_1 & & \\ & \ddots & \\ & & w_k \end{bmatrix}$ 为赋权矩阵。

从上述步骤中可以看出熵权法最终得出的权重仅与原始变量的取值有关，是一种客观的变量赋权方法。

2.2. TOPSIS 综合评价法

TOPSIS 综合评价法是依据有限个方案与正理想解的接近程度，给出各方案的优劣排序，并从中选出接近程度最大的方案作为目标方案。基本步骤为：

(一) 指标标准化处理

记标准化处理后的标准化矩阵为 Y

$$Y = [y_{ij}]_{p \times k} = \begin{bmatrix} y_{11} & \cdots & y_{1k} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{p1} & \cdots & y_{pk} \end{bmatrix}$$

其中 $y_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^p x_{ij}^2}}$ ， $i=1,2,\dots,p$ ， $j=1,2,\dots,k$ 。

(二) 征求专家意见赋予变量权重 W

(三) 构造加权规范化矩阵 $R = Y \times W$

(四) 比较得出正理想解为 $L^* = (l_1^*, l_2^*, \dots, l_k^*)$ ，负理想解为 $L' = (l_1', l_2', \dots, l_k')$

(五) 分别计算各样品与正、负理想解之间的欧氏距离 D_i^+ 、 D_i^-

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^k (l_j^* - r_{ij})^2} \quad i=1,2,\dots,p \quad (7)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^k (l_j' - r_{ij})^2} \quad i=1,2,\dots,p \quad (8)$$

(六) 计算各样品与正理想解的接近程度 C_i 并排序

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^- + D_i^+} \quad i=1,2,\dots,p \quad (9)$$

$C_i \in (0,1)$ ，其值越接近于 1，表示该样品越接近于正理想解。按照 C_i 由大到小的顺序即可得出在 TOPSIS 综合评价法下各样品的排序，并作出相应的决策。

在此过程中，为了使得排序结果更具可信度，根据专家意见给予每个指标权重这一过程显得尤为重要。然而，鉴于不同专家看待问题的角度不同，所具备的专业知识水平参差不齐，其所给出的指标权重往往带有较强的主观因素，使得最终的排序结果不尽相同，难以选出最优决策方案[6]。为了克服 TOPSIS 综合评价法中主观因素的影响，本文将采用基于熵权法的 TOPSIS 综合评价法，即运用熵权法计算各指标的权重，代替专家意见用于 TOPSIS 综合评价法中[7]。根据此方法可以客观地给予各决策方案优劣排序，并进一步选出最优决策方案，为相关人员提供决策依据。

3. 实证分析

目前，城市公共交通主要可分为公共汽电车、轨道交通、出租车、其他城市公共交通四大类。其中，公共汽电车、轨道交通又可通过运营车辆数、运营里程、客运总量三个指标来进行定量刻画。因此，根据 2021 年《中国统计年鉴》所公布的分地区城市公共交通情况(2020 年)纳入本文综合指标构建的 7 个变量如表 1 所示：

Table 1. Urban Public Transport indicators
表 1. 城市公共交通指标

指标类别	指标名称	指标代码
公共电汽车	运营车辆数(万辆)	X_1
	运营里程(万公里)	X_2
	客运总量(千万人次)	X_3
轨道交通	运营车辆数(万辆)	X_4
	运营里程(万公里)	X_5
	客运总量(千万人次)	X_6
出租车	运营车辆数(万辆)	X_7

(一) 熵权法计算指标权重

结合实际可知，上述指标均为正向指标，即指标值越大，表示该地区的公共交通设施越完善。进一步，通过 R 语言计算可得各指标在城市公共交通中所占权重如表 2 所示。

由表 2 可以看出，在所选 7 个指标中对城市公共交通影响较大的指标为 X_4 (轨道交通客运量)，其次为 X_5 (轨道交通运营里程)。进一步观察可发现，隶属于轨道交通的三个指标所占权重均大于公共电汽车，即在城市公共交通中轨道交通占主导地位。当前，我国大多数地区的城市公共交通网都以轨道交通为主框架，常规公交为主体，其它公共交通工具为补充[8]。截止 2018 年末，中国内地已开通的城市轨道交通包括地铁、轻轨、单轨、磁浮交通等。其中地铁运营线路长度达 4354 公里，占比 76%，具有绝对的主导地位。相对于公共电汽车等传统交通方式，轨道交通快速、节能、运营辆大、无污染(或少污染)等优点，已成为人们出行的首选，轻量化也成为未来全球交通运输行业发展的必然趋势[9]。

Table 2. Determining the weight of each variable by entropy weight method
表 2. 熵权法确定各变量所占权重

变量	权重
X_1	0.1251
X_2	0.1462
X_3	0.1042
X_4	0.2007
X_5	0.1701
X_6	0.1381
X_7	0.1156

(二) TOPSIS 综合评价法构建综合指标

对原始数据进行标准化处理，并依据熵权法所得的各指标权重计算规范化矩阵。由于所选与城市公共交通相关的 7 个指标均为正向指标，故当各项指标均取最大值时构成正理想解，均取最小值时构成负理想解，比较得出我国 31 个省市自治区城市公共交通情况的正、负理想解如表 3 所示：

Table 3. Positive and negative ideal solutions of urban public transportation in 31 provinces and autonomous regions of China
表 3. 全国 31 个省市自治区城市公共交通正、负理想解

	正理想解	负理想解
X_1	0.0624	6.6742e-04
X_2	0.0729	1.5560e-03
X_3	0.0485	9.3383e-04
X_4	0.0987	1.3965e-05
X_5	0.0875	8.5075e-05
X_6	0.0939	2.3040e-07
X_7	0.0419	8.6516e-04

分别计算各省市自治区与正、负理想解的欧氏距离，及与正理想解的接近程度 C_i 。 C_i 值越接近 1，表示该地区的公共交通状况与“正理想解”的距离越近； C_i 值越接近 0，表示该地区的公共交通状况与“正理想解”的距离越远[10]。由 C_i 值可得我国 31 个省市自治区的公共交通状况排名。具体情况如表 4 所示：

Table 4. Ranking results of urban public transport in 31 provinces and cities in China
表 4. 全国 31 个省市城市公共交通排名结果

	与正理想解距离	与负理想解距离	与正理想解接近程度	排名
广东	0.0145	0.1903	0.9291	1
上海	0.0924	0.1372	0.5976	2
北京	0.0994	0.1328	0.5719	3
江苏	0.0900	0.1182	0.5679	4
四川	0.1083	0.0968	0.4718	5
浙江	0.1149	0.0976	0.4593	6
山东	0.1393	0.1016	0.4217	7
湖北	0.1404	0.0617	0.3053	8
辽宁	0.1497	0.0647	0.3017	9
重庆	0.1458	0.0540	0.2702	10
河南	0.1599	0.0476	0.2295	11
陕西	0.1580	0.0418	0.2090	12
湖南	0.1626	0.0412	0.2023	13
河北	0.1723	0.0424	0.1974	14
天津	0.1635	0.0370	0.1844	15
黑龙江	0.1780	0.0402	0.1841	16

Continued

安徽	0.1702	0.0347	0.1696	18
吉林	0.1721	0.0362	0.1738	17
福建	0.1689	0.0333	0.1646	19
云南	0.1734	0.0272	0.1355	20
内蒙古	0.1831	0.0240	0.1161	21
山西	0.1849	0.0230	0.1107	22
贵州	0.1846	0.0224	0.1083	23
广西	0.1778	0.0212	0.1066	24
新疆	0.1860	0.0220	0.1059	25
江西	0.1803	0.0210	0.1042	26
甘肃	0.1862	0.0191	0.0929	27
宁夏	0.1946	0.0069	0.0345	28
海南	0.1943	0.0055	0.0275	29
青海	0.1957	0.0047	0.0237	30
西藏	0.1976	0.0000	0.0000	31

由表 4 可知,在我国 31 个省市自治区中,城市公共交通比较完善的前三名分别是:广东、北京、上海;后三名分别是:海南、青海、西藏。在经济获得快速发展的同时也必须有强大的公共交通进行支撑,北上广深作为中国的四大一线城市,其城市公共交通具有客流量大、轨道交通运营线路长、从业人员众多等特点[11]。相比之下,海南省作为一个封闭式岛屿,四面环海,运输以船运为主,在公共汽电车和轨道交通方面不占有优势;青海西藏地处偏远,海拔较高,具有较少的人员流动,对公共交通的需求并不强烈。除此之外,这三省都具有人口较少、占地面积较大的特点,因此城市公共交通建设将面临着建造成本较高但使用率较低的问题。综上所述,排名靠前的省市自治区的公共交通发展往往来源于其经济发展的需求,而排名靠后的省市自治区的公共交通发展主要受制于地形、人口和占地面积等因素,这些同样也是限制地区经济发展的主要因素。

为了深入探讨城市公共交通发展在我国的分布情况,进一步将我国的 31 个省市自治区划分为东、西、中三部分。东部地区包含北京、天津、河北、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东、海南 11 个省市自治区;西部地区包含四川、重庆、贵州、云南、西藏、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆 10 个省市自治区;中部地区包含山西、内蒙古、吉林、黑龙江、安徽、江西、河南、湖北、湖南、广西 10 个省市自治区。进一步,运用基于熵权法的 TOPSIS 综合评价法进行分析,所得结果如表 5、表 6 所示:

Table 5. Positive and negative ideal solution of urban public transport in east, west and central China

表 5. 全国东、西、中部城市公共交通正、负理想解

	正理想解	负理想解
X_1	0.1056	0.0323
X_2	0.1221	0.0315
X_3	0.1317	0.0701
X_4	0.1443	0.0343
X_5	0.1540	0.0390
X_6	0.1441	0.0247
X_7	0.0836	0.0319

Table 6. Ranking results of public transport in east, west and central China
表 6. 全国东、西、中三部城市公共交通排名结果

	与正理想解距离	与负理想解距离	与正理想解接近程度	排名
东部地区	0.0000	0.2442	1.0000	1
中部地区	0.2280	0.0394	0.1473	2
西部地区	0.2342	0.0137	0.0552	3

表 5 即为由基于熵权法的 TOPSIS 综合评价法得出的我国东、西、中三部公共交通状况的正、负理想解。进一步,从表 6 中可以看出,东部地区的城市公共交通最发达,其次为中部地区、西部地区。除此之外,东部地区恰为所选的正理想解,而西部地区虽排名第二,但其与正理想解的接近程度仅有 0.1473,即中部地区的公共交通条件与东部地区相比还是有较大的差异。造成上述排名结果的主要原因为:东部地区多为沿海城市,进出口贸易便利,经济发达,且地势平坦较适宜铁路的修建;西部地区总体海拔较高,地处偏远,要想通过修建轨道的方式实现与东、中部的沟通衔接,有较大困难。综上,地区的公共交通发展与经济发展相辅相成,交通带动经济,经济促进交通。

4. 总结

首先,本文通过基于熵权法的 TOPSIS 综合评价法对 2020 年全国 31 个省市自治区的公共交通状况进行了排序。从排序结果中可以发现:排名靠前的均为经济较发达地区,排名靠后的均为经济不发达地区。其次,本文又将我国 31 个省市自治区划分为东、西、中三部分,并运用同样的方法对其进行分析。结果显示:东部地区的城市公共交通最发达,其次为中、西部地区,进一步验证了上述结论。因此,促进城市公共交通建设是提高城市经济竞争力不可避免的一个重要环节。从宏观上来看,东中西部的公共交通建设则是阻碍我国一体化建设,区域经济协同发展的关键因素。只有真正实现东中西部的交流畅通,才能让东部地区的人才、资金、信息向中西部辐射扩散,真正实现“先富带动后富”,区域协同发展的目的。然而,经济不发达地区往往具有较差的地理条件,要想提高经济不发达地区的城市公共交通状况,还需因地制宜,找到适宜当地地理条件的公共交通方式。

基金项目

特别感谢北京建筑大学 2021 年度研究生创新项目(项目编号: PG2021018)对本文的资助。

参考文献

- [1] 杨宇. 多指标综合评价中赋权方法评析[J]. 统计与决策, 2006(13): 17-19.
- [2] 刘永学. 城市常规公共交通发展水平综合评价指标体系研究[J]. 内蒙古科技与经济, 2006(13): 29-30.
- [3] 厉健. 基于 AHP 的城市公共交通发展水平考核评价研究[J]. 公路与汽运, 2020(3): 32-36.
- [4] 李煜华, 胡运权. 灰色聚类法在城市公共交通发展水平评价中的应用[J]. 数学的实践与认识, 2006(2): 125-132.
- [5] 田木生, 吴振远. 城市公共交通发展水平的模糊综合评判[J]. 城市公共交通, 2010(7): 35-37.
- [6] 祁洪全. 综合评价的多元统计分析方法[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 湖南大学, 2001.
- [7] 郭磊. 基于熵权法和改进 TOPSIS 模型的水资源配置综合评价[J]. 水资源开发与管理, 2017(5): 70-73.
- [8] 李伟. 我国城市公共交通发展模式探析[J]. 黑龙江交通科技, 2020, 43(9): 205-206.
- [9] 张立魁. 城市轨道交通公共安全防范对策研究[J]. 时代汽车, 2021(21): 179-180.

-
- [10] 赵恒勤. 基于多种赋权 TOPSIS 方法的矿业上市公司业绩综合评价研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国地质大学(北京), 2016.
- [11] 李京. 从数据看北上广深城市公交之发展[J]. 人民公交, 2016(4): 50-53.