

【交通物流 / Transportation Logistics】

基于云模型的地铁站点与常规公交衔接换乘评价

杜光远¹, 谭桂菲¹, 夏齐², 赵向宇¹

1) 交通运输部科学研究院, 北京 100029; 2) 青岛市运输事业发展中心, 山东青岛 266061

摘要: 为了识别地铁站点与常规公交线路衔接换乘存在的换乘效率低等问题, 提高城市公共交通系统运行效率和服务水平, 促进城市公共交通可持续发展以及响应公众需求和监督, 需要对地铁站点与常规公交衔接换乘进行全面系统评价。基于便利性、可靠性、可达性、通畅性及舒适度等5个维度15个指标, 建立地铁站点与常规公交的衔接换乘评价指标体系; 选取CRITIC(criteria importance through inter-criteria correlation)方法对指标进行客观赋权, 采用云模型生成基于基本算法的评价标准云和结果云, 评价结果通过云的数字特征和云图直观展现, 进而对识别出的问题和不足采取相应改进措施。以中国青岛市主城区45个地铁站点与常规公交衔接换乘为案例进行评价, 结果表明, 衔接换乘综合评价等级为“中等”, 准则层(便利性、可靠性、可达性、通畅性和舒适度)的衔接换乘评价等级均为“中等”以上, 基本符合青岛市主城区地铁站点与常规公交衔接换乘的特点, 验证了评价模型的有效性和合理性。评价结果有助于优化公共交通资源配置, 提高城市交通系统的整体运行效率, 缓解城市交通拥堵。

关键词: 城市交通; 衔接换乘; 评价指标体系; CRITIC法; 云模型; 交通运行效率

中图分类号: U239.5 文献标志码: A DOI: 10.3724/SP.J.1249.2025.01113

Evaluation of subway station and conventional bus transfer connectivity based on cloud model

DU Guangyuan¹, TAN Guifei¹, XIA Qi², and ZHAO Xiangyu¹

1) China Academy of Transportation Sciences, Beijing 100029, P. R. China

2) Qingdao Transportation Development Center, Qingdao 266061, Shandong Province, P. R. China

Abstract: In order to identify issues such as low transfer efficiency between subway stations and conventional bus lines, improve the operational efficiency and service quality of urban public transportation systems, promote sustainable development of urban transportation, and respond to public demand and supervision, it is necessary to conduct a comprehensive and systematic evaluation of the transfer connectivity between subway stations and conventional bus routes. Based on five dimensions (convenience, reliability, accessibility, smoothness, and comfort) and 15 indicators, we establish an evaluation index system for subway station and regular bus transfer connections. The CRITIC (criterion importance through inter-criteria correlation) method is used to assign objective weight to the indicators, and a cloud model is employed to generate evaluation criteria cloud and result clouds based on basic algorithms. The evaluation results are visually presented through the numerical features and cloud maps of the clouds, which then serve to identify issues and areas for improvement. A case study of 45 subway stations in the main urban area of Qingdao is conducted to evaluate their transfer connectivity with conventional public

Received: 2024-01-02; Accepted: 2024-06-30; Online (CNKI): 2024-11-25

Foundation: Fundamental Scientific Research Foundation for Central-level Public Welfare Scientific Research Institutes (20176401)

Corresponding author: Engineer TAN Guifei (guifei2024@126.com)

Citation: DU Guangyuan, TAN Guifei, XIA Qi, et al. Evaluation of subway station and conventional bus transfer connectivity based on cloud model [J]. Journal of Shenzhen University Science and Engineering, 2025, 42(1): 113-121. (in Chinese)



transportation. The results show that the overall evaluation level of the transfer connectivity between the 45 subway stations and conventional buses in the main urban area of Qingdao is "medium", and the evaluation level for the criteria (convenience, reliability, accessibility, smoothness, and comfort) all rated above "medium". These findings align with the characteristics of the transfer connectivity between subway stations and conventional buses in the main urban area of Qingdao, verifying the effectiveness and rationality of the evaluation model. The evaluation results can help optimize the allocation of public transportation resources, improve the overall operational efficiency of the urban transportation system, and alleviate urban traffic congestion.

Key words: urban traffic; connection transfer; evaluation index system; CRITIC (criteria importance through inter-criteria correlation) method; cloud model; operational efficiency of traffic

近年来,随着城市轨道交通线网的不断开通运营,常规公交线网的功能已发生较大变化,其在作为公共交通主体的同时,也承担了轨道交通客流喂给功能,使公交与轨道之间的衔接换乘愈发密切.合理、便捷的衔接换乘,能够减少出行时间,提升公共交通竞争力,充分满足出行者的选择需求.而对地铁站点与常规公交衔接换乘的有效评价,是协调城市轨道交通和常规公交之间关系的前提与依据,可为后续动态优化常规公交网络布局提供参考.

在指标体系构建方面,ZHONG等^[1]侧重于地铁站点的衔接效率研究,强调其连通性和便利性,忽略了衔接常规公交的可靠性及配套公交站台环境舒适性等问题.何嘉辉^[2]通过围绕轨道站点和周边接驳交通建设综合交通枢纽,构建可持续发展的城市公共交通出行体系,但未建立一体化衔接的指标体系,没有进行定量分析和评估.郝倩倩等^[3]提出针对不同类型的城市轨道交通车站交通连接方式,建立城市轨道交通连接建设规模的评价方法,但其中仅针对接驳规模一个方面,没有考虑便利性和可靠性等因素.在标准体系构建方面,团体标准主要对城市地铁衔接设施空间、车站及附属设施空间、客流驻留设施空间等领域给出具体设计标准^[4];重庆市地方标准^[5]提出轨道交通与公交线路运营衔接的优化原则,但两者均未设置常规公交线路衔接换乘相应的指标体系和量化标准,仅包含定性的优化衔接原则等内容.

在评价模型方面,传统综合评价模型中的模糊分析法、德尔菲法和层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)的主观性较强,如LIN等^[6]采用专家打分方法计算指标权重,选取层次分析法评估城市轨道交通与常规公交的换乘等级,但无法充分利用已有定量信息,且易忽略样本的随机性.数据包络分析法、系统动力学^[7]、物元分析法、主成分分析法及熵权法等相对比较客观^[8],如唐银青^[9]提出一

种城市轨道交通与常规公交换乘综合评价模型,其主要分析方法采用了熵权-TOPSIS(technique for order preference by similarity to an ideal solution)模型;窦慧丽等^[10]采用主成分分析法构建城市地铁和常规公交之间的换乘连接评价模型,两者选取的评价模型客观性均比较强,由于地铁与常规公交衔接换乘情况复杂且广泛,使得相关评价指标及标准之间的差异很大,导致传统评价方式很难得到满足,从而影响最终评价结论的可靠性.

目前针对地铁站点与常规公交衔接换乘的研究中,尚未建立不同层次的综合评价指标体系和方法,难以对两者的衔接换乘程度进行准确评价和分析^[2].本研究从便利性、可靠性、可达性、顺畅性及舒适性5个维度,建立地铁站点与常规公交衔接换乘指标体系,采用CRITIC(criteria importance through inter-criteria correlation)^[11]对指标赋权,考虑到指标评判的随机性和模糊性,选取云模型评价法进行指标评价,并以中国青岛市主城区45个地铁站点与常规公交衔接换乘为例对所建方法的合理性和适用性进行验证和分析.

1 评价指标体系构建与数据获取

1.1 指标体系构建

地铁站点与常规公交衔接换乘指标体系建设,应当坚持把目标导向性视为首要准则,在导向确定的情况下,针对城市公共交通换乘体系当前的发展情况,将地铁衔接换乘体系评价的重点放在当前地铁与公交换乘效率和服务水平目标上^[12].因此,建立基于便利性、可靠性、可达性、顺畅性和舒适性5方面的准则层,以地铁出入口数量、衔接公交站点数量及平均换乘距离等15个指标为指标层的地铁站点与常规公交衔接换乘指标体系,见表1.

对表1中部分指标说明如下:

表 1 地铁站点与常规公交衔接换乘指标体系

Table 1 Subway station and conventional bus connection and transfer index system

目标层 A	准则层	指标层	指标性质
地铁站点与常规公交衔接换乘情况	便利性 C_1	地铁出入口数量 D_1	定量
		衔接公交站点数量 D_2	定量
		平均换乘距离 D_3	定量
	可靠性 C_2	衔接公交线路数量 D_4	定量
		衔接公交线路高峰发班数量 D_5	定量
		衔接公交线路每班次换乘客运量 D_6	定量
		换乘时间 D_7	定量
	可达性 C_3	衔接公交线路可达性 D_8	定量
	顺畅性 C_4	公交线路引导情况 D_9	定性
		无障碍设施情况 D_{10}	定性
		道路设施情况 D_{11}	定性
		道路管理情况 D_{12}	定性
	舒适性 C_5	公交站台面积 D_{13}	定量
		公交站台硬件配置情况 D_{14}	定性
		换乘环境情况 D_{15}	定性

1) 衔接公交站点数量 D_2 指地铁站所有出口 500 m 范围内的公共汽车站点数量.

2) 平均换乘距离 D_3 指地铁站每个出站口采用公共交通方式换乘的乘客, 步行至最近换乘常规公交站点距离的平均值, 即

$$D_3 = \frac{\sum_{i_3=1}^{n'} \min(l_{i_3})}{n'} \quad (1)$$

其中, n' 为单个地铁站点拥有的地铁出入口数量; l_{i_3} 为轨道站点内第 i_3 个出入口换乘至公交站点的步行距离, 单位: m; $\min(l_{i_3})$ 为采集每个地铁出入口衔接所有常规公交站点中最短的步行距离长度.

3) 衔接公交线路高峰发班数量 D_5 指地铁站所有出口 500 m 范围内, 公共汽车站点停靠的公交线路在高峰小时内的发班数量.

4) 衔接公交线路每班次换乘客运量 D_6 指地铁站高峰小时内换乘客运量与公交线路发班数量的比例, 即

$$D_6 = \frac{N}{P} \quad (2)$$

其中, N 为高峰小时内从地铁站出入口出来换乘公共汽电车的客流数量, 单位: 人次; P 为地铁站所有出口 500 m 范围内衔接的所有公交线路在高峰小时内的发班数量, 单位: 班次.

5) 衔接公交线路可达性 D_8 指地铁站所有出口 500 m 范围内公共汽车站点停靠的所有公交线路长度, 单位: m.

6) 无障碍设施情况 D_{10} 指地铁站各个出入口的换乘通道是否具有无障碍设施的综合评价, 即

$$D_{10} = \frac{\sum_{i_{10}=1}^w u_{i_{10}}}{w} \quad (3)$$

其中, w 为单个地铁站点衔接各个公交站点的通道数量; $u_{i_{10}}$ 为地铁站点衔接的第 i_{10} 个换乘通道中无障碍情况, 评分标准为: $u_{i_{10}} \in [8, 10]$, 优秀; $u_{i_{10}} \in [6, 8)$, 良好; $u_{i_{10}} \in [4, 6)$, 中等; $u_{i_{10}} \in [2, 4)$, 较差; $u_{i_{10}} \in [0, 2)$, 差.

7) 道路设施情况 D_{11} 指地铁站各个出入口的换乘通道是否具有良好的道路设施, 即

$$D_{11} = \frac{\sum_{i_{11}=1}^w u_{i_{11}}}{w} \quad (4)$$

其中, $u_{i_{11}}$ 为地铁站点衔接的第 i_{11} 个换乘通道中道路设施建设情况, 评分标准为: $u_{i_{11}} \in [8, 10]$, 优秀; $u_{i_{11}} \in [6, 8)$, 良好; $u_{i_{11}} \in [4, 6)$, 中等; $u_{i_{11}} \in [2, 4)$, 较差; $u_{i_{11}} \in [0, 2)$, 差.

7) 道路管理情况 D_{12} 指地铁站各个出入口的换乘通道的道路是否管理良好, 即

$$D_{12} = \frac{\sum_{i_{12}=1}^w u_{i_{12}}}{w} \quad (5)$$

其中, $u_{i_{12}}$ 为地铁站点衔接的第 i_{12} 个换乘通道中道路停车管理情况, 评分标准为: $u_{i_{12}} \in [8, 10]$, 优秀; $u_{i_{12}} \in [6, 8)$, 良好; $u_{i_{12}} \in [4, 6)$, 中等; $u_{i_{12}} \in [2, 4)$, 较差; $u_{i_{12}} \in [0, 2)$, 差.

8) 公交站台面积 D_{13} 指地铁站所有出口 500 m 范围内的公共汽车站点所能提供的公交候车面积, 即

$$D_{13} = \sum_{i_{13}=1}^{n''} (s_{1i_{13}} + 0.3s_{2i_{13}}) \quad (6)$$

其中, n'' 为单个地铁站点衔接的公交站点数量, 单位: 个; $s_{1i_{13}}$ 和 $s_{2i_{13}}$ 分别为地铁站点衔接的第 i_{13} 个公

交线路站台的前侧和后侧候车面积, 单位: m^2 .

9) 公交站台硬件配置情况 D_{14} 指地铁站点所有出口 500 m 范围内的公共汽电站点具备遮雨棚和座椅等候车设施情况, 即

$$D_{14} = \frac{\sum_{i_{14}=1}^w u_{i_{14}}}{w} \quad (7)$$

其中, $u_{i_{14}}$ 为地铁站点衔接的第 i_{14} 个公交站点的硬件配置情况, 评分标准为: $u_{i_{14}} \in [8, 10]$, 优秀; $u_{i_{14}} \in [6, 8)$, 良好; $u_{i_{14}} \in [4, 6)$, 中等; $u_{i_{14}} \in [2, 4)$, 较差; $u_{i_{14}} \in [0, 2)$, 差.

10) 换乘环境情况 D_{15} 指地铁站点各个出入口的换乘通道是否具有良好的换乘环境, 即

$$D_{15} = \frac{\sum_{i_{15}=1}^w u_{i_{15}}}{w} \quad (8)$$

其中, $u_{i_{15}}$ 为地铁站点衔接的第 i_{15} 个公交换乘通道的换乘环境情况, 评分标准为: $u_{i_{15}} \in [8, 10]$, 优秀; $u_{i_{15}} \in [6, 8)$, 良好; $u_{i_{15}} \in [4, 6)$, 中等; $u_{i_{15}} \in [2, 4)$, 较差; $u_{i_{15}} \in [0, 2)$, 差.

1.2 指标数据获取

定量指标通过实地调研或资料调研的方式获取; 定性指标通过实地调研与问卷调查等方式获取. 各项指标的数据获取方式可扫描文末右下角二维码查看补充材料表 S1.

2 评价模型

2.1 评价模型选取

评价模型的选取应综合考虑评价对象、指标性质、数据特征及时间等因素, 结合具体情况选取具有信度和效度的评价方法. 在对地铁站点与常规公交衔接换乘的评价中, 多数指标为定性属性, 依赖主观判断, 且对指标数据所反映的衔接换乘进行评定也存在一定随机性和模糊性. 云模型评价法适用于指标边界模糊和不易量化的情况, 能够避免评价的强主观性, 且结果以期望、熵及超熵 3 个数字特征或散点分布的形式展现, 相比单一数值更可信. CRITIC 方法还考虑了指标间数据的相关性, 利用各指标间的对比强度和冲突性来确定权重, 避免了评价组织者主观因素的影响, 更适合地铁站点与常规公交衔接换乘评价中动态性和全面性的特点. 本研究采用 CRITIC-云模型的组合评价方法. 通过

<http://journal.szu.edu.cn>

CRITIC 法确定指标权重, 再结合云模型评价法进行联合评价, 能较客观且全面地呈现评价结果^[11].

2.2 评价流程

基于云模型的衔接换乘评价流程如图 1. 其中, 权重的确定和云模型的建立为关键步骤.

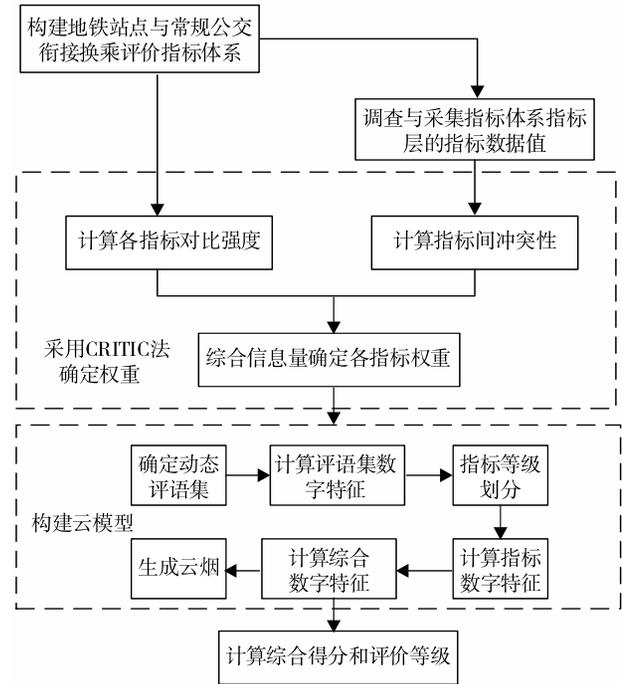


图 1 基于 CRITIC-云模型的衔接换乘评价流程

Fig. 1 Process of connection and transfer evaluation based on CRITIC cloud model.

2.2.1 权重的确定

根据 CRITIC 法原理, 并结合地铁站点与常规公交衔接换乘评价特点, 设计指标赋权具体步骤如下.

步骤 1 构建指标数据矩阵^[11]. 根据所构建的地铁站点与常规公交衔接换乘评价指标体系调查获得 n 个地铁站点的 m 个评价指标的衔接换乘评价数据, 组成初始评价指标数据矩阵 R ,

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1j} & \cdots & r_{1m} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ r_{i1} & \cdots & r_{ij} & \cdots & r_{im} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ r_{n1} & \cdots & r_{nj} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (9)$$

其中, r_{ij} 为第 i 个地铁站点对第 j 项指标的衔接换乘评价, $i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m$.

步骤 2 计算指标对比强度. 根据指标评价数据计算评价体系中第 j 项指标的对比强度, 即标准差 σ_j ,

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (r_{ij} - \mu)^2}, \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (10)$$

其中, μ 为该指标数据的算术平均值.

步骤3 计算指标间冲突性. 通过指标评价数据间的相关性系数来计算评价体系中第 j 项指标与其他指标间的冲突性 y_j ,

$$y_j = \sum_{l=1}^n \left(1 - \frac{\text{cov}(j, l)}{\sigma_j \sigma_l} \right), \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (11)$$

其中, $\text{cov}(j, l)$ 为指标 j 和 l 之间评价数据的协方差; σ_l 为指标 l 评价数据的标准差.

步骤4 计算综合信息量. 结合指标的对比强度和冲突性来计算指标的综合信息量 C_j ,

$$C_j = \sigma_j y_j, \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (12)$$

步骤5 计算各指标权重. 根据指标所含的综合信息量来赋予权重 W_j ,

$$W_j = \frac{C_j}{\sum_{j=1}^m C_j}, \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (13)$$

2.2.2 云模型的建立

步骤1 确定动态评语集, 让云图更清晰直观. 本研究采用十分制进行指标等级划分^[8], 其中, 差为 $[0, 2)$; 较差为 $[2, 4)$; 中等为 $[4, 6)$; 良好为 $[6, 8)$; 优秀为 $[8, 10]$. 评价值的论域 U 为 $[0, 10]$.

步骤2 通过逆向云发生器计算评语集等级数字特征. 根据评语集双边约束 $[C_{\min}, C_{\max}]$ 近似计算评语集数字特征. 其中,

$$E_x = \frac{C_{\min} + C_{\max}}{2} \quad (14)$$

$$E_n = \frac{C_{\min} + C_{\max}}{6} \quad (15)$$

$$H_e = i' \quad (16)$$

其中, E_x 、 E_n 及 H_e 分别为期望、熵及超熵; E_x 最能代表指标结果的特征, 是论域空间的中间值; E_n 表示指标的离散程度和取值范围, 云模型中的云滴(散点)主要分布在 $[E_x - 3E_n, E_x + 3E_n]$; H_e 体现 E_n 的不确定度, 直接表现为云的厚度; i' 可根据评语集模糊程度进行调节^[13]. 评语集数字特征计算结果如表2, 概念云图如图2.

步骤3 指标等级划分. 通过总结、分析地铁站点与常规公交衔接换乘的参数值, 确定各指标的等级建议标准, 如表3.

步骤4 计算指标数字特征. 定性指标根据问卷打分结果直接计算数字特征; 定量指标根据表3确定其等级后得到数字特征.

表2 评价等级数字特征

Table 2 Numerical characteristics of evaluation grades

评价等级	云模型
差	(1.00, 0.33, 0.10)
较差	(3.00, 1.00, 0.10)
中等	(5.00, 1.67, 0.10)
良好	(7.00, 2.33, 0.10)
优秀	(9.00, 3.00, 0.10)

注: 括号内的3个数字分别为期望、熵及超熵.

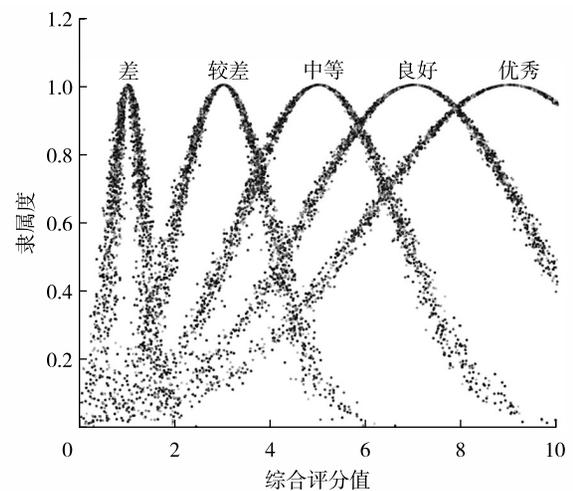


图2 标准衔接换乘评价概念云图

Fig. 2 Standard connection transfer evaluation concept cloud map.

步骤5 计算综合数字特征. 综合云有多种算子, 考虑到权重影响, 宜采用加权平均算子计算综合数字特征 E_x 、 E_n 及 H_e , 即

$$E_x = \frac{\sum_{i=1}^m E_{xi} w_i}{\sum_{i=1}^m w_i} \quad (17)$$

$$E_n = \frac{\sum_{i=1}^m E_{ni} w_i}{\sum_{i=1}^m w_i} \quad (18)$$

$$H_e = \frac{\sum_{i=1}^m E_{ei} w_i}{\sum_{i=1}^m w_i} \quad (19)$$

其中, E_{xi} 、 E_{ni} 、 E_{ei} 及 w_i 分别为指标层的期望、熵、超熵及权重^[14].

步骤6 通过正向云发生器生成云图. 为使 E_x 的误差不大于设定的误差值 Δ , 云滴数应 $\geq 9S^2/\Delta^2$ (S^2 为方差). 根据综合数字特征生成评价结果的云图^[15], 获得评价结果.

表3 地铁站点与常规公交衔接换乘指标等级标准

Table 3 Subway station and conventional bus connection transfer and standard of index grades

指标	差	较差	中等	良好	优秀
D_1 / 个	1	2	3	4	5, 7
D_2 / 个	1	2	3	4	5, 6
D_3 / m	> 350	(250, 350]	(150, 250]	(50, 150]	(0, 50]
D_4 / 条	(0, 10]	(10, 15]	(15, 20]	(20, 25]	> 25
D_5 / 班次	(0, 150]	(150, 250]	(250, 350]	(350, 450]	> 450
D_6 / 万人次	(0, 0.3]	(0.3, 0.6]	(0.6, 1.0]	(1.0, 1.5]	> 1.5
D_7 / min	> 8	(6, 8]	(4, 6]	(2, 4]	(0, 2]
D_8 / m	(0, 150]	(150, 300]	(300, 400]	(400, 500]	> 500
D_9	[0, 2]	(2, 4]	(4, 6]	(6, 8]	(8, 10]
D_{10}	[0, 2]	(2, 4]	(4, 6]	(6, 8]	(8, 10]
D_{11}	[0, 2]	(2, 4]	(4, 6]	(6, 8]	(8, 10]
D_{12}	[0, 2]	(2, 4]	(4, 6]	(6, 8]	(8, 10]
D_{13} / m ²	> 250	(200, 250]	(150, 200]	(100, 150]	(0, 100]
D_{14}	[0, 2]	(2, 4]	(4, 6]	(6, 8]	(8, 10]
D_{15}	[0, 2]	(2, 4]	(4, 6]	(6, 8]	(8, 10]

3 青岛市主城区地铁站点与常规公交衔接换乘评价

3.1 青岛市主城区地铁站点案例选取及数据来源

本研究选取2020年青岛市主城区(市南区、市北区、李沧区及崂山区)45个地铁站点为研究对象, 站点具体分布可通过扫描文末右下角二维码查看补充材料图S1.

指标数据源于2020年在青岛市通过问卷调查、实地调研及公交卡等方式获得指标体系中各项指标数值. 其中, 通过实地和问卷调研获得地铁站点与常规公交衔接换乘6个定性指标等级的判定. 实地调研内容设计见表4, 调研时间为2020-01-06至2020-01-10(工作日), 地点为青岛市主城区的45个地铁站点及周边500 m范围内衔接的常规公交站点, 实地查看每个地铁站点、公交站点及换乘通道的基本信息, 并将相关信息输入调查问卷中, 共收到实地调研问卷约500份.

表4 实地调研主要内容

Table 4 The main content of the field research

调查内容	具体内容	题型	问题数量/个
调查点基本信息	地铁站名称、站点出口名称、公交站点名称及换乘通道照片等	填空题	4
换乘通道基本信息	每个公交站点距离最近换乘出口的换乘距离、换乘通道是否有盲道无障碍设施、换乘通道是否有公交线路明细指引、换乘通道道路设施设置情况、换乘通道道路管理设置情况及换乘通道卫生设置情况等	单选题	6
公交站点基本信息	衔接站点硬件设施是否齐全(是否在公交站点具备遮雨棚和座椅等信息)、公交站台长度、公交站台前侧宽度及公交站台后侧宽度等	单选题及填空题	5

3.2 评价过程

采用CRITIC法确定指标权重, 并根据调研获得数据, 计算青岛市主城区45个地铁站点与常规公交衔接换乘指标数字特征, 权重及评价云结果见表5. 将数字特征转化为云滴, 为使误差 < 0.01 , 本研究取2 000个云滴, 得到青岛市主城区45个地铁站点与常规公交衔接换乘的云图, 如图3.

3.3 评价结果分析

青岛市主城区45个地铁站点与公交衔接换乘决策层综合评价结果为(5.89, 1.96, 0.10), 由图3可见, 云滴在5.89聚集, 表明分数为5.89的概率最大, 属于“中等”, 分数主要落在[5.20, 6.58].

指标准则层评价结果为 $[C_1, C_2, C_3, C_4, C_5] = [(5.45, 1.82, 0.10), (4.54, 1.51, 0.10), (4.87, 1.62, 0.10), (7.48, 2.49, 0.10), (6.31, 2.10, 0.10)]$. 准则层评价结果见图4, 可见, 准则层中顺畅性 C_4 的评价结果最高, 云滴在7.48聚集, 表明分数为7.48的概率最大, 属于“良好”, 取值为[6.68, 8.28]. 离7.48越远, 云滴越分散, 云的厚度也逐渐增大, 表明误差也逐渐增大. 可靠性 C_2 的评价结果最低, 期望为4.54, 属于“中等”, 主要落在[3.79, 5.29].

指标评价概念云图如图5. 结合图5和表5可见, 在15个评价指标中, 公交站台硬件配置情况 D_{14} 和换乘环境情况 D_{15} 的评价结果均属于“优秀”,

表5 青岛市主城区地铁站点与公交衔接换乘权重和乘云评价结果

Table 5 The factor weight and evaluation results of transfer cloud between subway stations and buses in the main urban area of Qingdao

决策层	准则层权重	准则层数字特征	评价等级	指标层数字特征	指标层权重	评价等级
综合评价云结果: (5.89, 1.96, 0.10)	0.204	$C_1: (5.45, 1.82, 0.10)$	中等	$D_1: (3.07, 1.02, 0.10)$	0.044	较差
				$D_2: (4.44, 1.48, 0.10)$	0.065	中等
				$D_3: (7.25, 2.42, 0.10)$	0.095	良好
	0.271	$C_2: (4.54, 1.51, 0.10)$	中等	$D_4: (4.75, 1.58, 0.10)$	0.065	中等
				$D_5: (4.57, 1.52, 0.10)$	0.059	中等
				$D_6: (2.61, 0.72, 0.10)$	0.069	较差
	0.075	$C_3: (4.87, 1.62, 0.10)$	中等	$D_7: (6.43, 2.14, 0.10)$	0.078	良好
				$D_8: (4.87, 1.62, 0.10)$	0.075	中等
				$D_9: (7.95, 2.65, 0.10)$	0.065	良好
	0.289	$C_4: (7.48, 2.49, 0.10)$	良好	$D_{10}: (7.54, 2.51, 0.10)$	0.077	良好
				$D_{11}: (7.99, 2.66, 0.10)$	0.069	良好
				$D_{12}: (6.57, 2.19, 0.10)$	0.077	良好
	0.162	$C_5: (6.31, 2.10, 0.10)$	良好	$D_{13}: (1.48, 0.49, 0.10)$	0.066	差
				$D_{14}: (8.17, 2.72, 0.10)$	0.044	优秀
				$D_{15}: (8.09, 2.70, 0.10)$	0.052	优秀

注: 括号内的3个数字分别为期望、熵及超熵。

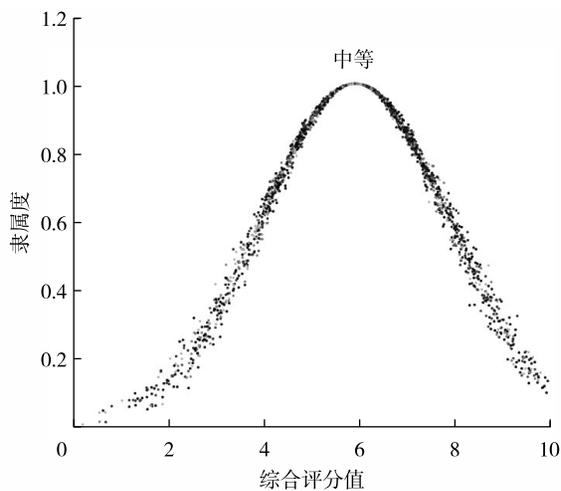


图3 决策层衔接换乘综合评价结果云图

Fig. 3 Cloud map of comprehensive evaluation results for decision-making level connection and transfer.

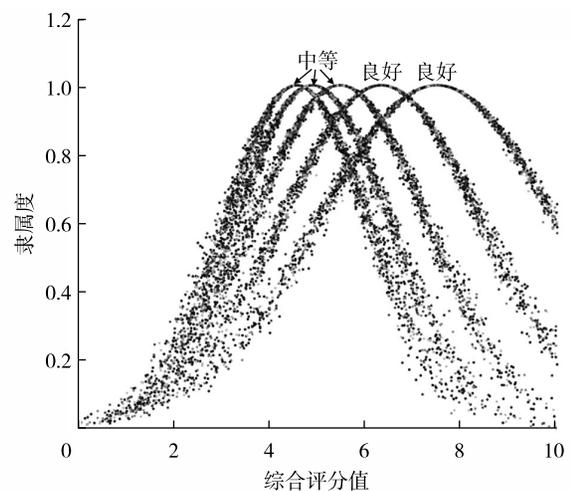


图4 准则层衔接换乘评价结果云图

Fig. 4 Cloud map of criteria layer connection transfer evaluation results.

优秀比例达到13%;评价结果为“良好”的指标有6个,良好率达到40%;评价结果为“中等”的指标有4个,中等率为27%;地铁出入口数量 D_1 和衔接公交线路每班次换乘客运量 D_6 评价结果为“较差”;公交站台面积 D_{13} 的评价结果为“差”。

地铁出入口数量 D_1 评价结果为“较差”的原因在于在45个地铁站点中,有1个和2个地铁出入口的站点占比为38%,1、2和3个地铁出入口占比达到82%,4个及以上地铁口的站点占比较少。衔接公交线路每班次换乘客运量 D_6 评价结果为“较差”

的原因有发班间隔的差异性和换乘便利性,如青岛地铁的班次间隔时间约为3~5 min,对乘客来说意味着到站即出行;而青岛市主城区地铁站点周边衔接公交线路高峰平均发班时间间隔为7.2 min,平峰发车间隔为12.3 min,常规公交发班间隔长,乘客等待时间长,导致换乘客运量平均水平较低。公交站台面积 D_{13} 的评价结果为“差”的主要原因在于,45个地铁站点周围衔接的公交站台面积较小,除青岛北站为集铁路、公路、地铁、公交及出租车等多种交通方式为一体的综合客运枢纽(换乘客流

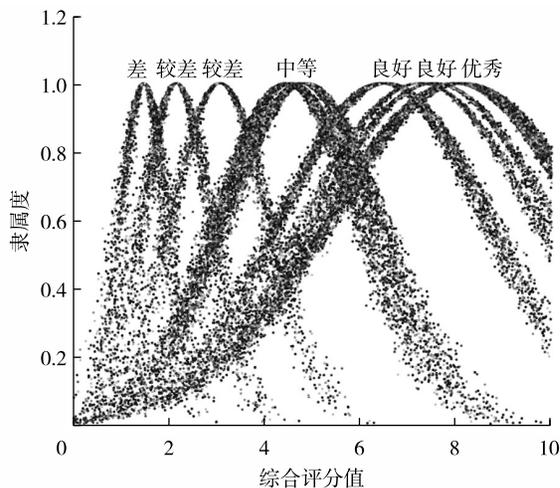


图5 指标层衔接换乘评价结果云图

Fig. 5 Cloud map of indicator layer connection transfer evaluation results.

候车面积为 700.7 m^2), 其余地铁站点换乘乘客流的候车面积均低于 300 m^2 。

综上所述, 研究所得青岛主城区 2020 年 45 个地铁站点与公交衔接换乘的特征评价结果, 决策层、准则层和指标层的得分和综合得分符合青岛主城区地铁站点与公交衔接换乘评价的实际情况, 模型有效。

3.4 衔接换乘建议

在指标层方面主要存在衔接公交候车面积低、地铁出入口数量较少和衔接公交线路每班次换乘客运量较低的问题。对于第 1 个问题, 通过进一步提高基础设施水平, 完善换乘设施, 通过改扩建优化公交站台候车面积; 对于第 2 个问题, 在地铁出入口较少或客流集散量较大枢纽站, 设置大型公交换乘站, 以快速疏导客流, 满足乘客换乘需求; 对于第 3 个问题, 通过优化公交线路布局, 增加与地铁站点衔接的公交线路, 特别是提高地铁站点周边人口密集和商业繁华区域的公交覆盖率和便捷性。

对于准则层中可靠性 C_2 的评价结果分数最低的改进措施, 一方面可通过提高换乘效率, 通过实行地铁与公交的联动调度, 确保两者之间的发车时间和班次间隔相协调, 减少乘客等待时间。同时, 推广使用一卡通等电子支付方式, 方便乘客进行地铁和公交的换乘支付。在换乘区域设置志愿者或工作人员, 为乘客提供咨询和引导等服务, 提高换乘效率。

另一方面可通过加强信息发布与宣传, 通过地铁、公交的官方网站、手机应用程序等渠道发布换

乘信息, 方便乘客查询和了解。在地铁站点和常规公交站点设置宣传栏或广告牌, 宣传换乘优惠政策和线路调整等信息。定期开展换乘宣传活动, 提高市民对地铁与常规公交衔接换乘的认识和参与度。

结 语

针对中国国内城市轨道交通与常规公交衔接换乘不顺畅和分布不均匀等问题, 本研究构建城市地铁站点与常规公交衔接换乘评价模型, 设计 CRITIC 法与云模型组合的评估方法, 采用评价云量化定性指标, 以期望、熵及超熵呈现评价结果。以青岛市主城区 45 个地铁站点与公交衔接换乘为案例评价其衔接换乘水平, 结果表明, 决策层综合评价结果为 $(5.89, 1.96, 0.10)$, 评价等级属于“中等”。指标准则层中的便利性 C_1 、可靠性 C_2 、可达性 C_3 、顺畅性 C_4 及舒适性 C_5 的评价结果分别为 $[(5.45, 1.82, 0.10), (4.54, 1.51, 0.10), (4.87, 1.62, 0.10), (7.48, 2.49, 0.10), (6.31, 2.10, 0.10)]$, 期望所对应的等级分别为“中等”、“中等”、“中等”、“良好”和“良好”。结合现状调查数据分析认为, 评价结果总体符合青岛主城区地铁站点与公交衔接换乘水平。

鉴于本研究仅针对地铁站点与常规公交衔接换乘进行评估, 在未来公共交通一体化融合发展研究中, 可以在完善公共交通融合发展评估指标体系和评价模型对比分析方面进行深入研究。

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费资助项目 (20176401)

作者简介: 杜光远(178315211@qq.com), 交通运输部科学研究院副研究员。研究方向: 交通运输规划与管理。

引 文: 杜光远, 谭桂菲, 夏齐, 等. 基于云模型的地铁站点与常规公交衔接换乘评价[J]. 深圳大学学报理工版, 2025, 42(1): 113-121.

参考文献 / References:

- [1] 钟异莹, 陈坚, 邵毅明, 等. 基于 DEA 的轨道交通与常规公交换乘效率测评模型[J]. 计算机应用研究, 2018, 35(5): 1446-1449.
ZHONG Yiyong, CHEN Jian, SHAO Yiming, et al. Evaluation model of transfer efficiency between urban rail transit and bus transit based on DEA [J]. Application Research of Computers, 2018, 35(5): 1446-1449.
- [2] 何嘉辉. 轨道交通与接驳交通一体化衔接分析[J]. 交通与运输, 2022, 38(1): 11-15.
HE Jiahui. Integration of rail transit and connecting transit [J]. Traffic & Transportation, 2022, 38(1): 11-15. (in

- Chinese)
- [3] 郝倩倩, 袁倩倩, 潘京. 北京城市轨道交通车站交通接驳方式及规模研究[J]. 市政技术, 2019, 37(6): 162-165.
- HAO Qianqian, YUAN Qianqian, PAN Jing. Study on traffic connection mode and scale of urban rail transit station in Beijing [J]. Municipal Engineering Technology, 2019, 37(6): 162-165. (in Chinese)
- [4] 中国城市规划学会. 城市轨道交通站点周边地区设施空间规划设计导则: T/UPSC 0003-2021[S]. 北京: 中国城市规划学会, 2021.
- Urban Planning Society of China. Guidelines for facilities space planning and design around urban rail transit station: T/UPSC 0003-2021 [S]. Beijing: Urban Planning Society of China, 2021. (in Chinese)
- [5] 重庆市住房和城乡建设委员会. 重庆市轨道交通车站衔接导则(试行)[EB/OL]. (2019-06-24)[2023-11-20]. http://zfcxjw.cq.gov.cn/zwx_166/gsgg/201906/W020200108564377451826.pdf.
- Chongqing Housing and Urban Rural Construction Commission. Chongqing rail transit station connection guidelines (trial) [EB/OL]. (2019-06-24) [2023-11-20]. http://zfcxjw.cq.gov.cn/zwx_166/gsgg/201906/W020200108564377451826.pdf. (in Chinese)
- [6] LIN Li, MENG Xuelei, CUI Yuanding, et al. Evaluation of transfer efficiency between urban rail transit and conventional bus [C]// Proceedings of the 3rd International Conference on Public Management and Intelligent Society (PMIS 2023). Dordrecht, The Netherlands: Atlantis Press, 2023: 296-306.
- [7] SAYYADI R, AWASTHI A. An integrated approach based on system dynamics and ANP for evaluating sustainable transportation policies [J]. International Journal of Systems Science: Operations & Logistics, 2020, 7(2): 182-191.
- [8] 王艳丽, 金宇宁. 基于层次分析与云模型的TOD站点衔接设计评价[J]. 深圳大学学报理工版, 2022, 39(2): 193-200.
- WANG Yanli, JIN Yuning. Evaluation of TOD rail station connection design based on analytic hierarchy process and cloud model [J]. Journal of Shenzhen University Science and Engineering, 2022, 39(2): 193-200. (in Chinese)
- [9] 唐银青. 基于熵权-TOPSIS模型的城市轨道交通与常规公交换乘综合评价[J]. 西部交通科技, 2021(7): 139-142.
- TANG Yinqing. Comprehensive evaluation of urban rail transit and conventional bus transfer based on entropy weight TOPSIS model [J]. Western China Communication Science & Technology, 2021 (7): 139-142. (in Chinese)
- [10] 窦慧丽, 王国华. 城市轨道交通与常规公交衔接评价指标体系及方法研究[J]. 公路与汽运, 2016(1): 42-46.
- DOU Huili, WANG Guohua. Research on the evaluation index system and method for the connection between urban rail transit and conventional public transport [J]. Highways & Automotive Applications, 2016 (1): 42-46. (in Chinese)
- [11] 李林波, 郭晓凡, 傅佳楠, 等. 基于云模型的城市轨道交通乘客满意度评价[J]. 同济大学学报自然科学版, 2019, 47(3): 378-385.
- LI Linbo, GUO Xiaofan, FU Jianan, et al. Evaluation approach of passenger satisfaction for urban rail transit based on cloud model [J]. Journal of Tongji University Natural Science, 2019, 47(3): 378-385. (in Chinese)
- [12] 樊龙飞. 城市轨道交通与其它交通方式的衔接及评价研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2016.
- FAN Longfei. Research on urban rail transit and other traffic integration of cohesion and evaluation [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2016. (in Chinese)
- [13] 潘硕, 王伟, 吴忠广, 等. 基于改进云模型的交通运输标准国际化水平评估[J]. 交通运输研究, 2022, 8(2): 30-38.
- PAN Shuo, WANG Wei, WU Zhongguang, et al. Evaluation of transportation standards internationalization level based on improved cloud model [J]. Transport Research, 2022, 8(2): 30-38. (in Chinese)
- [14] 李琳琳, 路云飞, 张壮, 等. 基于云模型的指挥控制系统效能评估[J]. 系统工程与电子技术, 2018, 40(4): 815-822.
- LI Linlin, LU Yunfei, ZHANG Zhuang, et al. Effectiveness evaluation of command and control system based on cloud model [J]. Systems Engineering and Electronics, 2018, 40(4): 815-822. (in Chinese)
- [15] 高明生, 吴忠广, 张振虎, 等. 基于改进D-S的高速公路改扩建交通安全风险评估模型[J]. 交通运输研究, 2023, 9(1): 105-114.
- GAO Mingsheng, WU Zhongguang, ZHANG Zhenhu, et al. Traffic safety risk assessment model for expressway reconstruction and expansion based on improved D-S evidence theory [J]. Transport Research, 2023, 9(1): 105-114.

【中文责编: 方圆; 英文责编: 淡紫】



补充材料