

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2023.12.022

区县综合交通数字化水平评估方法

崔优凯, 毛思捷*, 洪盛, 丁剑, 周义程

(浙江数智交院科技股份有限公司 综合交通运输理论交通运输行业重点实验室, 浙江 杭州 310030)

摘要: 为加快推动区县综合交通数字化建设, 提升区县交通数字化水平, 通过开展区县综合交通数字化水平评估方法研究, 解决区县综合交通数字化水平评估缺乏量化依据的问题。在分析交通数字化试点任务要求、总结交通数字化试点领域的基础上, 结合区县综合交通运输业务特点, 围绕基础设施数字化、载运装备数字化、行业治理数字化和运输服务数字化4个领域, 构建了涵盖14项指标的三级区县综合交通数字化评估指标体系, 并给出各项指标的定义。通过对比分析多种多指标评价方法的优缺点及适用性, 采用优劣解距离法(TOPSIS), 结合提出的区县综合交通数字化评估指标体系, 建立了区县综合交通数字化水平评估模型, 并基于该模型提出了数字化水平等级划分原则。以浙江省北部地区5个区县为例, 分别对5个区县的综合交通数字化水平进行评估和等级划分。结果表明: 该评估模型具备较高的准确性、客观性, 评估结果可作为评判区县综合交通数字化水平的依据。基于评估模型进一步对5个区县在4个数字化领域的数字化水平进行评估, 并针对评估结果分别提出数字化建设建议, 为指明区县交通数字化建设方向、指导区县交通数字化发展提供了理论参考。

关键词: 智能交通; 评估模型; TOPSIS; 数字化水平; 指标体系

中图分类号: U491.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268(2023)12-0189-08

Evaluation Method for Digitalization Level of Comprehensive Transportation in Districts

CUI You-kai, MAO Si-jie*, HONG Sheng, DING Jian, ZHOU Yi-cheng

(Key Laboratory of Transport Industry of Comprehensive Transportation Theory, Zhejiang Institute of Communications Co., Ltd., Hangzhou Zhejiang 310030, China)

Abstract: In order to accelerate the digitalization construction and improve the digitalization level of comprehensive transportation in districts, the study is conducted on the evaluation method of digitalization level of comprehensive transportation in districts to solve the problem of lacking quantitative basis. Based on a summary of the requirements of transportation digitization and characteristics of comprehensive transportation in districts, 14 evaluation indicators are constructed around 4 aspects, including infrastructure digitalization, transportation equipment digitalization, industry governance digitalization and transportation service digitalization. By comparing and analyzing the advantages, disadvantages and applicability of various multi-indicator evaluation methods, an evaluation model of digitalization level of comprehensive transportation in districts is established based on TOPSIS. Based on the comprehensive transportation digitalization evaluation indicator system in districts, the digitalization level evaluation model of district is set up, with which the division principle of digitalization level is put forward. Taking 5 districts in Zhejiang province as examples, the digitalization level of these districts is evaluated and graded. The result shows that the model has high

收稿日期: 2023-07-11

基金项目: 浙江省交通运输重大研发项目(ZJXL-JTT-202223)

作者简介: 崔优凯(1970-), 女, 浙江嘉兴人, 正高级工程师.(34575086@qq.com)

* 通讯作者: 毛思捷(1994-), 女, 浙江丽水人, 硕士.(2458258982@qq.com)

accuracy and objectivity, and the evaluation result can be used as a basis to judge the digitalization level of comprehensive transportation in districts. Based on the evaluation model, the digitization level of 5 districts in 4 digitization fields is further evaluated, and the digitization construction suggestions according to the evaluation results are put forward respectively. It provides a theoretical reference for indicating the direction of transportation digitization construction and guiding the digitalization development of transportation in districts.

Key words: ITS; evaluation model; TOPSIS; digitalization level; indicator system

0 引言

经历了多年的大建设、大发展,我国的综合交通基础设施规模和运输能力已经稳居世界前列,综合交通体制改革已深度覆盖至区县一级。数字化作为实现交通高质量发展的重要特征和驱动行业质量变革、效率变革、动力变革的关键要素,国家层面对其高度重视并积极推动交通数字化发展。在《数字交通发展规划纲要》《交通强国建设纲要》等系列政策加持下,交通数字化建设迎来关键发展期。

近年来,国内外学者对交通数字化水平综合评估展开了相关研究,包括综合评估方法研究、数字化水平评估研究等。在交通综合评估方法研究方面,王学军等^[1]综合运用层次分析法和模糊综合评价法构建了施工组织方案评估模型,实现对高速公路改扩建施工组织方案的评估;朱晓东等^[2]采用灰色关联分析方法对路侧感知设备布设方案进行评估;赵晓华等^[3]在用优劣解距离法(TOPSIS)实现单目标评估的基础上结合交叉口配套设施设置特性,运用灰色局势决策的方式对交叉口配套设施进行多目标的综合评估;郑凌焱等^[4]基于三阶段DEA-Bootstrap模型对区域交通资源配置效率进行综合评估。目前多数研究在开展交通综合评估时所应用的评估方法仍以常见的模糊综合评判法、层次分析法、TOPSIS法、数据包络法等为主,但考虑到方法的局限性,部分研究会根据需求对2种方法进行融合应用。

在数字化水平评估研究方面,各行业在数字化政策驱动下都进行了相关探索,例如项肖等^[5]基于信息化、网络化、智能化和绿色化4个维度构建了中国工业数字化水平评价指标体系,并结合熵权法进行工业数字化发展水平系统评价;苏锦旗等^[6]基于数字基础设施、产业数字化和数字产业化3个维度构建农业数字化发展评价指标体系,利用熵值法测度农业数字化发展综合指数;王绍峰等^[7]通过构建浙江各市域数字化程度测度指标体系,基于熵权法的TOPSIS模型对浙江省内各城市以及6类分项指

标进行评估。在交通行业的数字化水平评估方面,Muhammad Akram等^[8]提出了基于球形模糊层次分析法的交通数字化技术综合评价方法,通过设置阈值对评价内容优先关系进行决策。但总体上交通数字化水平评估的相关研究较少,主要集中在对交通数字化的理论分析和技术应用研究,例如Polina Kartsan等^[9]重点分析了交通数字化技术应用方向、案例,提出交通数字化目标的实现需要大规模集成各项数字技术,提高运输质量并降低成本。

交通数字化是通过数据联通实现各交通运输方式高效融合、各交通参与主体有序联动的最有效技术路线,但其基础在于把区县作为交通数字化的基本单元,从经济社会和综合交通运输高质量发展的角度,做好目标统筹和建设引导。本研究重点围绕区县综合交通数字化建设,在总结交通数字化试点任务要求的基础上,建立区县综合交通数字化评估指标体系和数字化水平评估模型,并选取浙江省部分区县作为案例展开分析,验证评估模型的准确性,为区县综合交通数字化水平的评估与发展建设提供理论参考。

1 数字化评估指标体系

1.1 交通强国建设试点数字化领域要求

自2019年10月交通运输部公布第1批交通强国建设试点单位名单以来,截至目前已批复3批次、75份交通强国建设试点任务,共涉及335项试点任务、912项具体试点内容^[10],其中交通数字化相关试点任务主要涉及基础设施数字化、载运装备数字化、行业治理数字化和运输服务数字化等领域。

(1) 基础设施数字化领域试点内容共171项,占比18.75%,主要通过基础设施与信息技术的深度融合,提升信息感知能力、信息传输能力,并将物理基础设施进行电子化、实景化,为交通基础设施全生命周期管理、交通安全网络高效运行、高质量交通服务等提供基础支撑。

(2) 载运装备数字化领域试点内容共50项,占比5.48%,主要通过驾驶辅助系统、视频监控、定

位设施等软件技术和硬件设备的辅助, 提升载运装备自身的自动化、智能化水平, 结合路侧基础设施数字化提供车辆出行辅助、车辆驾驶管理等服务。

(3) 行业治理数字化领域试点内容共 225 项, 占比 24.67%, 主要从交通行业数字化建设的宏观角度出发, 通过构建业务管理系统、行业监管平台等技术手段, 对数字化应用场景的部署、实施及其质量进行监督, 为数字化应用场景落地提供保障。

(4) 运输服务数字化领域试点内容共 97 项, 占比 10.64%, 主要围绕提升运输服务质量水平目标, 通过新一代信息技术手段的应用, 覆盖客货运输信

息服务、通行服务等方面, 加强运输服务数字化带来的获得感、便捷性。

1.2 指标体系构建

在总结交通数字化试点任务要求的基础上, 结合区县综合交通运输业务特点, 针对基础设施数字化、载运装备数字化、行业治理数字化、运输服务数字化 4 个领域, 进一步细化区县综合交通数字化评估指标, 构建区县综合交通数字化评估指标体系。如图 1 所示, 所构建的区县交通数字化评估指标体系涵盖 4 个领域 (1 级指标), 共包含 8 项 2 级指标, 并进一步细化为 14 项 3 级指标。

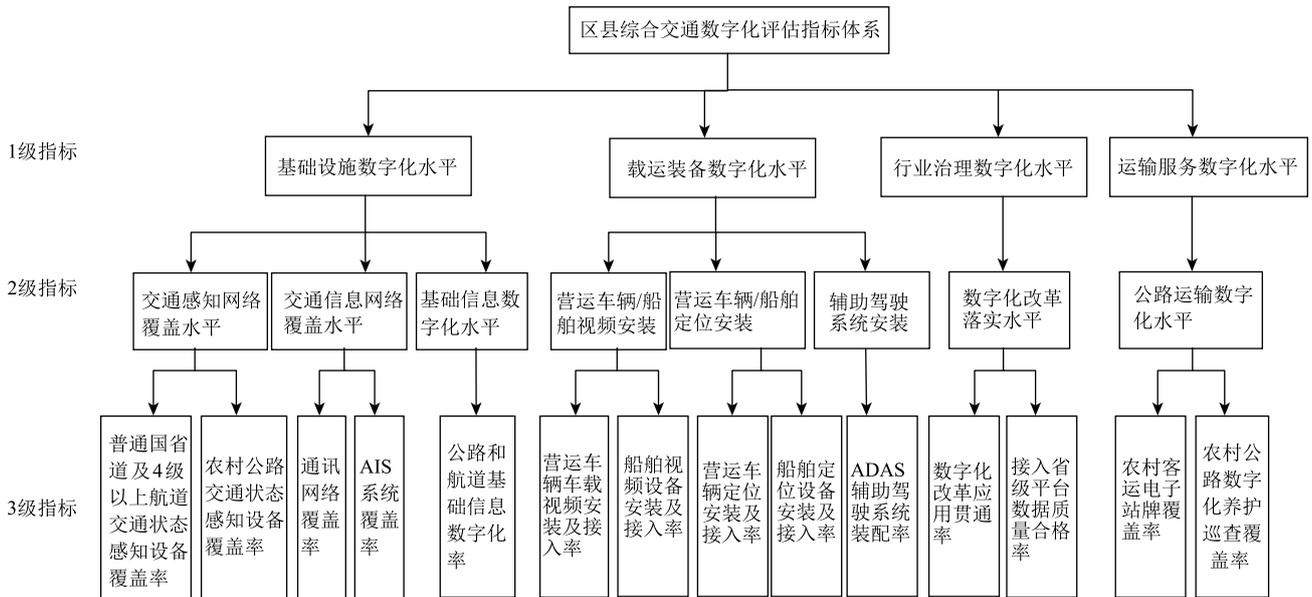


图 1 区县交通数字化指标体系

Fig. 1 Indicator system of transportation digitalization in districts

(1) 基础设施数字化指标

基础设施数字化建设旨在提升普通国省道和 4 级以上内河航道交通状态感知网络覆盖水平, 有序向农村公路延伸, 加强交通信息网络建设。因

此重点考虑交通感知网络覆盖水平、交通信息网络覆盖水平及公路和航道基础信息数字化水平方向, 针对研究方向提出 5 个指标及其定义, 如表 1 所示。

表 1 基础设施数字化指标

Tab. 1 Digitalization indicators of infrastructure

评估指标	指标定义
交通感知网络覆盖水平	普通国省道及 4 级以上航道交通状态感知设备覆盖率 经省级部门认定, 安装交通状态感知设备的普通国省道和 4 级以上航道里程占县域全部普通国省道和 4 级以上航道里程比例 农村公路交通状态感知设备覆盖率 经省级部门认定, 安装交通状态感知设备的农村公路占县域全部农村公路比例
交通信息网络覆盖水平	通讯网络覆盖率 实现通讯网络覆盖的公路、航道里程占县域公路航道里程比例 AIS 系统覆盖率 覆盖 AIS 系统的 4 级以上航道里程占县域 4 级以上航道里程比例
基础信息数字化水平	公路和航道基础信息数字化率 实现基础信息数字化的公路和航道占县域公路和航道里程比例

(2) 载运装备数字化指标

载运装备数字化建设旨在将公交、农村客运、

出租车、危化品运输车、重载货车、班车、包车等重点车辆和船舶纳入统一监管, 同时提升县域

客货运输安全水平。因此重点研究营运车辆、船舶辅助驾驶系统装配,提出5个指标及其定义如表2所示。

表2 载运装备数字化指标

Tab. 2 Digitization indicators of carrying equipment

评估指标	指标定义	
营运车辆/船舶 视频安装	营运车辆车载视频安装及接入率	公交、出租车、危化运输、重载货车、班车包车车载视频设备安装在的车辆占县域该类车辆比例
	船舶视频设备安装及接入率	安装视频设备船舶占县域船舶总数比例 实时接入视频数据船舶占县域船舶总数比例
定位安装	营运车辆定位安装及接入率	公交、出租车、危化运输、重载货车、班车包车定位设备安装在的车辆占县域该类车辆比例
	船舶定位设备安装及接入率	安装定位设备船舶占县域船舶总数比例 实时回传定位数据船舶占县域船舶总数比例
辅助驾驶系统 安装	ADAS 辅助驾驶系统 装配率	装配 ADAS 辅助驾驶系统的公交、危化运输车辆和农村客运车辆占县域该类车辆总数比例

(3) 行业治理数字化指标
行业治理数字化建设旨在落实浙江省交通数字化改革各项要求,在试点县实现重点数字化改革应用全面贯通。结合县域交通运输行业发展特点,在行业治理数字化领域开展相关指标研究,具体指标及其定义如表3所示。

表3 行业治理数字化指标

Tab. 3 Digitalization indicators of industry governance

评估指标	指标定义
数字化改革应用贯通率	数字化改革重点应用*的推广贯通比例
数字化改革落实水平	在省级平台建设数据目录内且符合数据完整性、及时性、逻辑性要求的数据种类占省级部门要求提交的全部数据种类的比例

注: *为《浙江省交通数字化改革行动方案》提出的42个数字化应用改革场景。

(4) 运输服务数字化指标

运输服务数字化建设旨在大力推进农村客运电子站牌全覆盖,到2025年基本实现县域农村公路数字化巡查。结合运输服务数字化目标,主要针对农村公路运输服务情况提出指标,具体指标及其定义如表4所示。

表4 运输服务数字化指标

Tab. 4 Digitalization indicators of transport service

评估指标	指标定义	
公路运输 数字化水平	农村客运电子站牌覆盖率	设有电子站牌或 app 的农村客运站占县域农村客运站点比例
	农村公路数字化养护巡查覆盖率	农村公路数字化养护巡查设备布局及设备完好率

2 数字化水平评估模型

2.1 研究思路

目前普遍使用的多指标评价方法有因子分析法、层次分析法、灰色关联分析法、模糊综合评价法、TOPSIS 法等,各方法的优缺点如表5所示。

表5 评价方法优缺点

Tab. 5 Advantages and disadvantages of evaluation methods

方法名称	方法描述	方法优点	方法缺点
因子分析法	构造因子模型,将原始观察变量分解为因子(描述原始变量之间的相关关系)	降维和简化数据,提高数据可靠性	需预设因子数,分析结果难以解释,数据要求高
层次分析法	多指标两两对比构造判断矩阵,进而计算决策权重选出最优方案	可靠度较高,误差小	评价对象的因素有限(一般不多于9个)
灰色关联分析法	以各因素的样本数据为依据用灰色关联度来描述因素间关系的强弱、大小和次序	样本要求低,简单可靠	主观性强,最优值难以确定
模糊综合评价法	将难以量化的指标通过模糊数学进行评价	可根据不同可能性得出多个层次的问题解	无法解决指标间相关造成的信息重复问题
TOPSIS 法	根据评价对象与理想化目标的接近程度,对评价对象进行排序	避免主观性,反映多个指标的综合影响力,对样本要求低,适用场景多	指标需量化,须有两个以上研究对象,难以确定适宜的指标数量

经分析比选, TOPSIS 法是较为适合解决综合评价问题的方法, 适用于多目标决策分析^[11], 近年来被广泛应用于结构物风险评价^[12-13]、施工质量评价^[14]、交通组织评价^[15]、道路通行能力评价^[16]、内河港口竞争力评价^[17]等交通领域的不同方面。本研究拟基于 TOPSIS 法, 结合所提出的数字化评估指标体系建立综合交通数字化水平评估模型, 对区县综合交通数字化水平进行评估。

2.2 模型构建

TOPSIS 法是根据评估对象与理想化目标的接近程度, 对评估对象进行排序的方法。假设有 n 个评估对象及 m 个评估指标, 将该多指标决策问题视为 m 维空间中的 n 个点构成的几何系统, 构造正、负理想点, 即最优、最劣解, 分别计算各个评估对象与正、负理想点之间的距离, 从而得到接近正理想点和远离负理想点的相对贴近度, 以此作为评估优劣的依据^[18]。

(1) 理想解构建

正、负理想解的确定是 TOPSIS 法的关键, 通常是在原始矩阵中找出有限方案的最优和最劣解。假设评估对象为 n 个区县, 结合提出的 14 个指标, 指标的原始数据矩阵如下:

$$X = (x_{ij}) = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{114} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & \cdots & x_{n14} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

式中, x_{ij} 为第 i 个待评估区县的第 j 个指标值, 其中 $i=1, 2, \dots, n, j=1, 2, \dots, 14$ 。

在该指标体系中, 取值越高越好的指标称为正向指标, 反之称为负向指标。构建的 14 个指标均为正向指标, 即取值越大表示该方面的水平越高, 因此取每个指标的最大值构成正理想解, 取最小值构成负理想解, 即

$$x_j^+ = \max_i x_{ij}, \quad (2)$$

$$x_j^- = \min_i x_{ij}, \quad (3)$$

式中, x_j^+ 为正理想解; x_j^- 为负理想解。从而可构建综合交通数字化水平评估模型的最优解 $X^+ = (x_1^+, x_2^+, \dots, x_{14}^+)$ 和最劣解 $X^- = (x_1^-, x_2^-, \dots, x_{14}^-)$ 。

(2) 评估模型建立

基于已构建的最优解 X^+ 和最劣解 X^- , 计算各个待评估区县分别与最优解和最劣解的距离, 即

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{14} (x_{ij} - x_j^+)^2}, \quad (4)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{14} (x_{ij} - x_j^-)^2}, \quad (5)$$

式中, D_i^+ , D_i^- 为各个待评估区县综合交通数字化水平分别与最优解和最劣解之间的距离。进一步计算各个待评估区县综合交通数字化水平与最优解的相对贴近度 C_i 如式 (6) 所示:

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-}. \quad (6)$$

C_i 值越大, 表示该待评估区县的综合交通数字化水平越接近最优解, 即该区县的综合交通数字化水平越高。根据相对贴近度的取值范围 $[0, 1]$ 对区县综合交通数字化水平进行等级划分 (如表 6 所示), 可初步判断待评估区县的综合交通数字化水平所处等级。

表 6 区县综合交通数字化水平等级划分

Tab. 6 Classification of comprehensive transportation digitalization levels in districts

相对贴近度取值	[0, 0.1]	(0.1, 0.4]	(0.4, 0.7]	(0.7, 1]
数字化水平等级	较差	一般	良好	优秀

3 实例分析

本研究构建的区县综合交通数字化评估指标体系主要涉及公路、水路领域指标, 考虑到浙北地区的综合交通数字化建设现状基础较好, 在 16 家浙江省交通强国建设试点申报县 (市、区) 中分别选取了浙北地区湖州市区县 A、区县 C、宁波市区县 B、杭州市区县 D、嘉兴市区县 E 共 5 个区县作为评估对象。根据表 1~4 各项指标的定义, 重点针对上述区县的行业管理部门、公路/航道运营单位等展开关于数字化建设情况、交通数字化改革重大应用工作进展等的调研, 根据调研单位的统计数据获取指标计算所需数据, 并分别计算所提出的 14 个指标值, 如表 7 所示。

根据基于 TOPSIS 法的区县综合交通数字化水平综合评估模型, 开展 5 个区县的综合交通数字化水平评估, 计算结果如表 8 所示。

在浙江省交通强国建设试点县 (市、区) 评选过程中, 专家遵循统筹基层和社会交通数字化改革实践, 深化省市县共建、政企社联动推进的原则, 围绕“基础设施数字化、载运装备数字化、行业治理数字化、运输服务数字化”四大重点, 综合考虑现状基础、交通数字化发展特色等, 对各申报县 (市、区) 进行投票, 该 5 个区县的得票结果如表 9 所示。

表7 各区县综合交通数字化评估指标值(单位:%)

Tab.7 Indicator values of comprehensive transportation digitalization in various districts (unit:%)

序号	指标	区县				
		A	B	C	D	E
1	普通国省道及4级以上航空交通状态感知设备覆盖率	80	80	85	90	90
2	农村公路交通状态感知设备覆盖率	20	15	18	20	12
3	通讯网络覆盖率	95	100	90	80	90
4	AIS系统覆盖率	100	100	100	100	100
5	公路和航道基础信息数字化率	55	65	75	100	80
6	营运车辆车载视频安装及接入率	85	90	95	90	85
7	船舶视频设备安装及接入率	80	80	75	0	70
8	营运车辆定位安装及接入率	70	75	72	100	85
9	船舶定位设备安装及接入率	80	100	60	50	75
10	ADAS辅助驾驶系统装配率	60	50	52	76	40
11	数字化改革应用贯通率	60	50	40	60	40
12	接入省级平台数据质量合格率	70	80	75	85	65
13	农村客运电子站牌覆盖率	5	10	6	10	8
14	农村公路数字化养护巡查覆盖率	15	12	8	10	9

表8 各区县综合交通数字化水平评估结果

Tab.8 Evaluation result of comprehensive transportation digitalization levels in various districts

区县编号	A	B	C	D	E
相对贴适度	0.591	0.653	0.554	0.428	0.570
数字化水平等级	良好	良好	良好	良好	良好
排名	2	1	4	5	3

表9 各区县交通数字化水平专家投票结果

Tab.9 Voting result of transportation digitalization levels in various districts

区县编号	A	B	C	D	E
专家投票数	6	7	4	3	4
排名	2	1	3	5	3

表8结果显示,相对贴适度从大到小排序为:区县B、区县A、区县E、区县C、区县D,5个区县的综合交通数字化水平接近且均处于良好水平。对比表9专家投票数的排名结果,二者评估结果一致。

为了进一步分析评估各个区县在不同领域的交通数字化建设情况,本TOPSIS评估模型分别开展各个区县在基础设施数字化、载运装备数字化、行业治理数字化、运输服务数字化4个领域的数字化水平评估,计算结果如表10所示。

表10 各区县不同领域交通数字化水平评估结果

Tab.10 Evaluation result of transportation digitalization levels of different fields in various districts

评估领域		区县				
		A	B	C	D	E
基础设施数字化	相对贴适度	0.268	0.380	0.463	0.701	0.547
	数字化水平等级	一般	一般	良好	优秀	良好
载运装备数字化	相对贴适度	0.683	0.723	0.586	0.333	0.610
	数字化水平等级	良好	优秀	良好	一般	良好
行业治理数字化	相对贴适度	0.579	0.617	0.309	1.000	0.000
	数字化水平等级	良好	良好	一般	优秀	较差
运输服务数字化	相对贴适度	0.583	1.000	0.059	1.000	0.692
	数字化水平等级	良好	优秀	较差	优秀	良好

由于最优解和最劣解均从指标原始矩阵中所得,因此评估结果仅表示待评估区县间的相对情况。根据表10,区县A、区县B在基础设施数字化领域的建设水平相对较低,建议其加强基础设施数字化的建设;区县C在行业治理数字化、运输服务数字化两个领域的建设水平有待加强,尤其需重点关注运输服务数字化建设;区县D在载运装备数字化领域落后较多,导致其综合交通数字化水平排名靠后,建议其在载运装备数字化建设上向其他领域看齐;区县E在行业治理数字化领域的建设水平较差,建议其进一步加强数字化改革应用的落实。

表8和表9的结果一致,表明本方法对于区县综合交通数字化水平评估具备一定的准确性,可作为评判区县综合交通数字化水平的依据。相对于专家评分或投票的方式,本方法以定量指标为基础,结果更具客观性和可量化性。同时,基于本方法还可对区县在其他各个领域的数字化建设水平分别展开评估,直观表明各个领域的建设情况,对于科学指导区县的交通数字化建设、推动综合交通数字化发展具有参考价值。

4 结论

以区县综合交通数字化水平评估为目标,在总结交通数字化试点任务要求的基础上,结合区县综合交通业务特点,围绕基础设施数字化、载运装备数字化、行业治理数字化、运输服务数字化4个领域提出14项综合交通数字化评估指标,并基于TOPSIS法进一步建立综合交通数字化水平评估模型,最后以浙江省5个区县为例计算综合交通数字化水平相对贴适度,从而得出各个区县的综合交通

数字化水平排名与等级。结果表明, 通过本方法对 5 个区县的评估与专家投票结果一致, 证明了运用本方法对区县综合交通数字化水平进行评估的科学性和准确性。同时还对 5 个区县在 4 个领域数字化建设水平进行评估, 并根据评估结果提出发展建议, 可为加快推动区县综合交通数字化发展建设提供理论参考。

参考文献:

References:

- [1] 王学军, 刘健斌, 代萱, 等. 基于模糊综合模型的高速公路改扩建施工组织方案评价研究 [J]. 公路, 2023, 68 (7): 10-15.
WANG Xue-jun, LIU Jian-bin, DAI Xuan, et al. Research on Evaluation of Construction Organization Plan for Expressway Reconstruction and Expansion Based on Fuzzy Comprehensive Model [J]. Highway, 2023, 68 (7): 10-15.
- [2] 朱晓东, 姚翔林, 李思宇. 高速公路路侧感知设备布设方案评估方法研究 [J]. 交通工程, 2022, 22 (6): 21-27.
ZHU Xiao-dong, YAO Xiang-lin, LI Si-yu. Research on Evaluation Method of Freeway Roadside Sensing Equipment Placement Schemes [J]. Journal of Transportation Engineering, 2022, 22 (6): 21-27.
- [3] 赵晓华, 樊兆董, 张常奋, 等. 基于 TOPSIS 与灰色局势决策的无信号交叉口交通安全设施综合评估 [J]. 北京工业大学学报, 2019, 45 (7): 671-678.
ZHAO Xiao-hua, FAN Zhao-dong, ZHANG Chang-fen, et al. Effectiveness Evaluation of Traffic Safety Facilities at Non-signalized Crossing Based on TOPSIS and Grey Situation Decision [J]. Journal of Beijing University of Technology, 2019, 45 (7): 671-678.
- [4] 郑凌垚, 王海燕. 区域交通资源配置效率综合评估 [J]. 科学技术与工程, 2021, 21 (31): 13484-13490.
ZHENG Ling-yao, WANG Hai-yan. Comprehensive Evaluation of Regional Traffic Resource Allocation Efficiency [J]. Science Technology and Engineering, 2021, 21 (31): 13484-13490.
- [5] 项肖, 范巧, 黄依洁. 中国工业数字化水平测度及其时空演变研究 [J]. 工业技术经济, 2023, 42 (7): 14-22.
XIANG Xiao, FAN Qiao, HUANG Yi-jie. Calculating China's Industrial Digitalization Level and Analyzing Its Spatiotemporal Evolution [J]. Journal of Industrial Technological Economics, 2023, 42 (7): 14-22.
- [6] 苏锦旗, 潘婷, 董长宏. 中国农业数字化发展及区域差异评价 [J]. 西北农林科技大学学报 (社会科学版), 2023, 23 (4): 135-144.
SU Jin-qi, PAN Ting, DONG Chang-hong. Study on the Development of Agricultural Digitalization and the Evaluation of Regional Differences in China [J]. Journal of Northwest A&F University (Social Science Edition), 2023, 23 (4): 135-144.
- [7] 王绍峰, 尉晓丹, 孙庆彪, 等. 市域数字化水平测度与指标体系构建——以浙江省为例 [J]. 浙江工商职业技术学院学报, 2023, 22 (2): 1-7.
WANG Shao-feng, WEI Xiao-dan, SUN Qing-biao, et al. Measurement and Indicator System Construction of Digital Level in Urban Areas: Taking Zhejiang Province as an Example [J]. Journal of Zhejiang Business Technology Institute, 2023, 22 (2): 1-7.
- [8] AKRAM M, ZAHID K, KAHRAMAN C. Integrated Outranking Techniques Based on Spherical Fuzzy Information for the Digitalization of Transportation System [J]. Applied Soft Computing, 2023, 134: 109992.
- [9] KARTSAN P, MAVRIN Sy. The Digital Revolution of the Transportation Industry [J]. Transportation Research Procedia, 2023, 68: 116-119.
- [10] 同济大学中国交通研究院课题组. 交通强国建设试点任务解构分析与优化提升 [EB/OL]. (2023-02-14) [2023-07-11]. <https://ctit.tongji.edu.cn/info/1131/1648.htm>.
China Transportation Institute at Tongji. Deconstruction Analysis and Optimization Improvement of Pilot Tasks for Building A Country with Strong Transportation Network [EB/OL]. (2023-02-14) [2023-07-11]. <https://ctit.tongji.edu.cn/info/1131/1648.htm>.
- [11] 孙超, 陈小鸿, 张俊峰, 等. 基于熵权 TOPSIS 法的交通需求管理多维综合评价 [J]. 城市交通, 2021, 19 (4): 112-119, 129.
SUN Chao, CHEN Xiao-hong, ZHANG Jun-feng, et al. Multidimensional Comprehensive Evaluation of Travel Demand Management Based on Entropy Weight TOPSIS [J]. Urban Transport of China, 2021, 19 (4): 112-119, 129.
- [12] 吴波, 周路, 刘聪. 基于博弈组合赋权-TOPSIS 法的富水软岩山岭隧道塌方风险评价 [J]. 科学技术与工程, 2023, 23 (4): 1726-1733.
WU Bo, ZHOU Lu, LIU Cong. Evaluation of Water-rich Soft Rock Mountain Ridge Tunnel Collapse Risk Based on Game-combination Empowerment-TOPSIS Method [J]. Science Technology and Engineering, 2023, 23 (4): 1726-1733.
- [13] 陈仁朋, 王志腾, 吴怀娜, 等. 基于 FAHP 法和区间数改进 TOPSIS 法的盾构隧道下穿建筑物风险评估 [J]. 上海交通大学学报, 2022, 56 (12): 1710-1719.

- CHEN Ren-peng, WANG Zhi-teng, WU Huai-na, et al. Risk Assessment for Shield Tunneling beneath Buildings Based on Interval Improved TOPSIS Method and FAHP Method [J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2022, 56 (12): 1710-1719.
- [14] 姚磊. 基于博弈论 TOPSIS 模型的城市桥梁施工质量综合评价 [J]. 科学技术创新, 2022 (7): 131-134.
YAO Lei. Comprehensive Evaluation of Urban Bridge Construction Quality Based on Improved TOPSIS Model Based on Game Theory [J]. Scientific and Technological Innovation, 2022 (7): 131-134.
- [15] 卓亚娟, 贾志绚, 韩智强, 等. 基于组合赋权-TOPSIS 法的城市平面立交交通组织评价研究 [J]. 公路交通科技, 2022, 39 (9): 140-148.
ZHUO Ya-juan, JIA Zhi-xuan, HAN Zhi-qiang, et al. Study on Evaluation of Urban Plane Interchange Traffic Organization Based on Combined Weighting-TOPSIS Method [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2022, 39 (9): 140-148.
- [16] 陈俊融, 俞奕辰, 邹又姣. 基于 TOPSIS 熵值法的道路通行能力探究 [J]. 中国高新科技, 2023 (3): 144-145, 151.
- CHEN Jun-rong, YU Yi-chen, ZOU You-jiao. Study on Road Capacity Based on TOPSIS Entropy Method [J]. China High and New Technology, 2023 (3): 144-145, 151.
- [17] 吴季钊. 基于 CRITIC-熵权法和 TOPSIS 法的内河港口竞争力研究 [D]. 重庆: 重庆交通大学, 2022.
WU Ji-zhao. Research on the Competitiveness of Inland Ports Based on CRITIC-entropy Weight Method and TOPSIS Method [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2022.
- [18] 闫欣欣, 袁振洲, 毛思捷, 等. 基于熵权-TOPSIS 模型的慢行交通与城市设计协调评价方法 [J]. 公路交通科技, 2018, 35 (9): 107-114.
YAN Xin-xin, YUAN Zhen-zhou, MAO Si-jie, et al. Coordination Evaluation of Non-motorized Traffic and Urban Design Based on Entropy Weight-ToPSIS Model [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2018, 35 (9): 107-114.
-
- (上接第 171 页)
- [9] 凌昌荣, 张子新. 偏压小间距隧道荷载结构计算模型研究 [J]. 地下空间与工程学报, 2007 (6): 1148-1153.
LING Chang-rong, ZHANG Zi-xin. A Study of Computation Model with Load-structure Method for Unsymmetrically Loaded Closely-spaced Tunnel [J]. Chinese Journal of underground Space and Engineering, 2007 (6): 1148-1153.
- [10] 陈秋南. 非对称连拱隧道动态施工力学模拟研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2005.
CHEN Qiu-nan. Study on Observation Construction Mechanics Simulation for Non-symmetry Arch Tunnel in Highway [D]. Chongqing: Chongqing University, 2005.
- [11] 何珺, 张成平, 杨公标, 等. 砂卵石地层非对称连拱隧道结构受力模型试验研究 [J]. 土木工程学报, 2017, 50 (4): 116-124.
HE Jun, ZHANG Cheng-ping, YANG Gong-biao, et al. Experimental Study on Mechanical Behavior of Nonsymmetric Multi-arch Tunnel in Sand-cobble Ground [J]. China Civil Engineering Journal, 2017, 50 (4): 116-124.
- [12] 张俊儒, 孙克国, 卢锋, 等. 不等跨连拱铁路隧道围岩压力分布及受力特征模型试验研究 [J]. 岩土力学, 2015, 36 (11): 3077-3084, 3093.
ZHANG Jun-ru, SUN Ke-guo, LU Feng, et al. Model Test Study of Surrounding Rock Pressure Distribution and Mechanical Characteristics of Unequal-span Double-arch Railway Tunnel [J]. Rock and Soil Mechanics, 2015, 36 (11): 3077-3084, 3093.
- [13] 王亚琼, 张少兵, 谢永利, 等. 浅埋偏压连拱隧道非对称支护结构受力性状分析 [J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29 (增 1): 3265-3272.
WANG Ya-qiong, ZHANG Shao-bing, XIE Yong-li, et al. Mechanical Characteristics of Unsymmetric Support Structure of Shallow-buried Bias Multi-arch Tunnel [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2010, 29 (S1): 3265-3272.
- [14] JTG D70—2018, 公路隧道设计规范 [S].
JTG D70—2018, Specification for Design of Highway Tunnels [S].
- [15] 李鹏飞, 周焯, 伍冬. 隧道围岩压力计算方法及其适用范围 [J]. 中国铁道科学, 2013, 34 (6): 55-60.
LI Peng-fei, ZHOU Ye, WU Dong. Calculation Methods for Surrounding Rock Pressure and Application Scopes [J]. China Railway Science, 2013, 34 (6): 55-60.
- [16] 林星涛. 砂土地层盾构掘进土拱效应及其应用 [D]. 长沙: 湖南大学, 2020.
LIN Xing-tao. Soil Arching Effect by Shield Tunneling in Sandy Ground and Its Application [D]. Changsha: Hunan University, 2020.
- [17] TERZAGHI K T. Theoretical Soil Mechanics [M]. New York: John Wiley and Sons, Inc., 1943.
- [18] 李然. 深埋三孔小净距隧道施工力学行为及其控制 [D]. 北京: 北京交通大学, 2021.
LI Ran. Construction Mechanical Behavior and Stability Control of Deeply Buried Closely Spaced Triple Tunnels [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2021.