

基于可拓学的城市综合交通系统评价体系研究

黄瑞锦

【摘要】为改善城市交通现状，更科学全面的解决城市交通问题，本文基于可拓学理论建立了城市综合交通系统评价体系。首先以服务指标作为结果指标，构建了评价指标体系。然后利用可拓学的物元理论和可拓集合理论结合锦州市交通状况对其综合交通系统进行了评价，为城市交通管理和优化提供了有效的工具和合理的依据，为更宏观、系统的规划和完善城市交通提供了保障。

【关键词】城市综合交通系统；评价指标；可拓学；物元分析

1 引言

随着中国经济的快速发展，城市中机动车数量持续增加，导致了城市道路超负荷、拥堵现象严重，出行效率较低，并带来了严重的环境问题。面对这些问题，改善城市综合交通系统的任务迫在眉睫。本文旨在摒弃传统的评价方法，建立一个切合实际、科学有效的城市综合交通系统评价体系，对城市的交通状况进行全面的描述和评价，发现交通问题，寻求相应解决办法，为改善交通系统提供合理化建议。

常用的综合评价方法有很多，如专家评价法、Delphi法、层次分析法、聚类分析法、模糊评价法等等^[1]。前两种方法是定性的评价法，主观性太强；而层次分析法要求评价对象的因素不能太多（一般不超过9个）；模糊评价法目前对于指标体系中一些相关指标的关联重复问题还不能很好的解决，如何来确定评价中隶属函数也还有待商榷。综上，本文采用基于可拓学的物元分析模型^{[2][3]}。物元分析模型可定量的计算指标考察值，评价过程合理客观，评价结果真实可信。

2 评价指标的选取

2.1 指标选取原则

评级指标体系应遵循科学性、可比性、可操作性、系统性以及代表性等原则，并能充分表述城市综合交通系统的内涵和特征。

科学性：指标要有可靠的数据来源并且具有准确性，数据处理方法要合理，指标表达的目的和内涵要明确并且能够量化处理。

可比性：选取指标时要尽量使用交通领域通用的指标名称及计算处理方法等，形成必要的可比性，还要注意形成不同城市间的比较，以便对城市综合交通系统进行动态的分析和评

价。

可操作性：指标的选取一定要考虑指标数据能否获得、可否量化等因素。并且整个体系结构要简单、容易理解，做到应用方便，易于接受。

系统性：城市综合交通系统是一个复杂巨系统，要时刻把握其系统性，全面考虑系统设计的发展、社会环境、设施管理等方面，最后形成一个整体统一的综合评价指标系统。

代表性：虽然城市综合交通系统十分复杂，包括很多方面，但是评价时不可能面面俱到，要着重选择影响大的因素，根据实际情况和可操作性等原则选取一些有代表性的重要指标。

需要注意的是，在一级指标建立的过程中，还需遵循指标自身可量化和一级指标之间相互独立、无直接数据交织的两个基本原则。

2.2 指标体系的确立

根据以上原则和本课题要求，对已有指标进行筛选，最终建立本文的城市综合交通系统指标体系结构如下图所示。

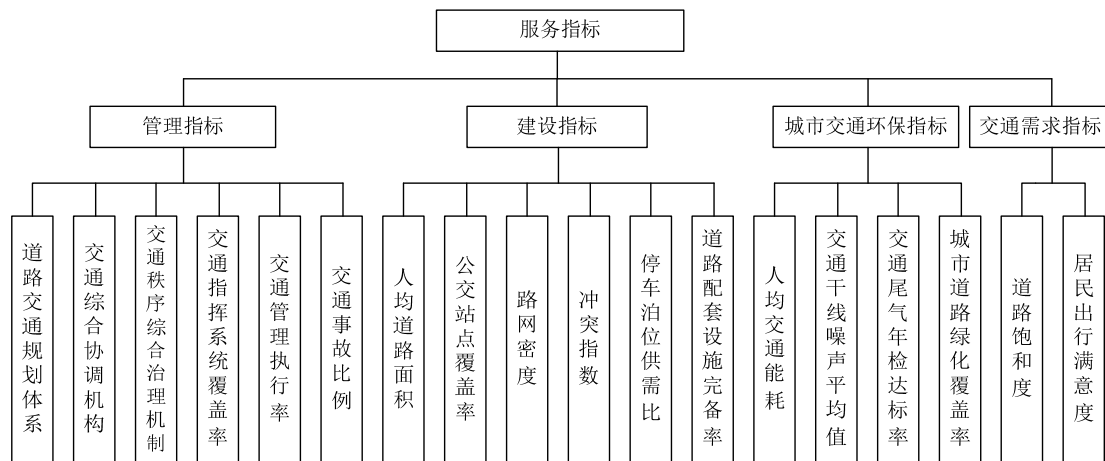


图 3-1 城市综合交通系统评价指标体系

如图 2-1 所示，本评价系统的结果指标为服务指标，它可以表征整个交通系统优劣。指标体系主要分为交通供给和交通需求两大类基础指标。交通供给指标的三个一级指标有管理指标、建设指标以及城市交通环保指标，与之等级别的另一个一级指标是交通需求指标。二级指标包括道路交通规划体系、人均道路面积、道路饱和度等共 18 项指标。其中，交通供给指标的计算和处理方法在课题题目中已给出。对于交通需求指标，本文选取了道路饱和度和居民出行满意度两项指标。

道路饱和度：是指出行时空消耗（需根据调查和需求预测得到）与道路时空消耗的比值，它能反映居民出行需求和道路设施的供给的关系。

居民出行满意度：根据居民出行调查，得到居民不同出行方式的出行比例、时间、距离

等要素，然后综合分析得出居民对出行的总体满意程度。

结合居民的交通需求情况，及城市综合交通系统的供给状况，对整个城市的综合交通系统进行评价。最后在大量实际数据的基础上，通过调查结果与基础指标计算结果的不断拟合调整，最终得出优化的城市综合交通系统评价体系。

3 基于可拓学的评价系统构建

3.1 可拓学基本理论

可拓学是用形式化模型研究事物拓展的可能性和开拓创新的规律与方法，并用于解决矛盾问题的科学^[4]。可拓学的基本理论包括研究物元及其变换的物元理论和可拓集合理论。物元分析是处理一种不相容问题的方法，在某些条件下，用常规的方法（如经典数学、模糊数学等）有时难以达到预期目标，此时应用物元分析会有较好的效果。物元分析方法可将评价体系中的多参数因子的目标评价归结为单目标决策，不仅能客观全面地反映城市综合交通系统的现状，还能以定量的数值来表示评定结果，比其他方法能更准确有效的反映城市交通系统的综合水平，具有明确的实际意义和良好的应用前景。

在分析过程中，以有序三元组 $R = (M, C, X)$ 来表达物元。式中 M 表示事物， C 表示特征的名称， X 表示 M 关于 C 的取值。这三者称为物元的三要素。本文将城市综合交通系统看作一个复杂的、相互联系的物元网。

3.2 评价指标的评定标准建议值

在进行评价之前，首先要建立评价指标的评定标准建议值，根据《城市道路交通管理评价指标体系》中的规定和相关指标的调查数据^[5]。给出各评价指标评价等级标准建议值。本文以锦州市为例，建立符合锦州市交通情况的评价系统。

根据《城市道路交通管理评价指标体系说明》可知，锦州市为 C 类城市，参照《城市道路交通管理评价指标体系》中的 C 类城市指标分级表，将城市综合交通系统中的各指标评价结果分为优秀（一级）、良好（二级）、中等（三级）、一般（四级）、差（五级）共五个级别。由于锦州市综合交通系统的部分指标基础数据难以获得，所以选取指标体系中可获得数据的 15 项指标对锦州市综合交通系统进行评价。各评价指标与对应等级之间的情况如下表所示。

表 3-1 锦州市（C 级）城市综合交通系统的评级指标测试区间建议值

评级指标	一级	二级	三级	四级	五级
道路规划体系	[95,100]	[90,95)	[80,90)	[60,80)	[0,60)
交通综合协调机构	[90,100]	[80,90)	[70,80)	[60,70)	[0,60)

交通秩序综合治理机制水平	[90,100]	[80,90)	[70,80)	[60,70)	[0,60)
交通指挥系统覆盖率 (%)	[90,100]	[80,90)	[70,80)	[60,70)	[0,60)
交通管理执行率 (%)	[90,100]	[80,90)	[70,80)	[60,70)	[0,60)
交通事故比例 (%)	[0,6)	[6,9)	[9,12)	[12,15)	[15,100]
人均道路面积 (m ² /人)	[13,18]	[10,3)	[7,10)	[4,7)	[0,4)
公交站点覆盖率 (300m 半径)(%)	[40,100]	[35,40)	[30,35)	[25,30)	[0,25)
路网密度 (km/km ²)	≥8	[7.0,8.0)	[6.0,7.0)	[5.0,6.0)	[1.0,5.0)
停车泊位供需比	[0,1.15)	[1.15,2.0)	[2.0,3.5)	[3.5,4.75)	≥4.75
道路配套设施完备率 (%)	[90,100]	[80,90)	[70,80)	[60,70)	[0,60)
人均交通能耗(吨标煤/人)	[0,0.05)	[0.05,0.12)	[0.12,0.15)	[0.15,0.18)	≥0.18
城市道路绿化覆盖率 (%)	[40,100]	[30,40)	[25,30)	[15,20)	[15, 0)
道路饱和度	[0,0.6)	[0.6,0.75)	[0.75,0.9)	[0.9,1.0)	≥1.0
居民出行满意度 (%)	[90,100]	[80,90)	[70,80)	[60,70)	[0,60)

参照国内外有关研究成果,结合有关专家的意见,本文设计了五个等级标准来描述城市综合交通系统的现状水平,如下表所示。

表 3-2 评定等级标准

综合评价值	一级	二级	三级	四级	五级
	(优秀)	(良好)	(中等)	(一般)	(较差)
k(M)	≥0.8	[0.6,0.8)	[0.4,0.6)	[0.3,0.4)	<0.3

3.3 城市综合交通系统评价的物元分析模型

根据可拓学理论和物元分析法,要探讨城市综合交通系统的发展状况,首先要分析系统的影响指标,再依据有关国家标准和相应的统计数据,给出各指标的标准值,然后建立该系统的等级评价物元分析模型,并以定量的数值表示评价结果。基本步骤如下:

步骤一:确定物元。

将 M 定义为要评价的城市综合交通系统的等级;把反映城市综合交通系统的 15 个指标看作是特征 $C = (c_1, c_2, \dots, c_{15})^T$, 关于特征 C 的量值,记为 $X = (x_1, x_2, \dots, x_{15})^T$, 以有序三元 $R = (M, C, X)$ 组成物元,即

$$R = \begin{bmatrix} M & c_1 & x_1 \\ & c_2 & x_2 \\ & \dots & \dots \\ & c_{15} & x_{15} \end{bmatrix} \quad (3-1)$$

步骤二:确定经典域、节域。

标准事件 M_{oj} 的特征值 c_i 的量值范围 $x_{oji} = [a_{oji}, b_{oji}]$ 称为经典域(其中 $i=1\sim 15, j=1\sim 5, j$ 为评价等级)。经典域的物元矩阵为

$$R_{oj} = \begin{bmatrix} M_{oj} & c_1 & x_{oj1} \\ & c_2 & x_{oj2} \\ & \dots & \dots \\ & c_{15} & x_{oj15} \end{bmatrix} \quad (3-2)$$

节域就是 $x_{p1} \sim x_{p15}$ ，即事物关于 $c_1 \sim c_{15}$ 的取值范围，显然， $x_{oji} \subset x_{pi}$ 。节域对象物元矩阵为

$$R_p = \begin{bmatrix} M_p & c_1 & x_{p1} \\ & c_2 & x_{p2} \\ & \dots & \dots \\ & c_{15} & x_{p15} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_p & c_1 & [a_{p1}, b_{p1}] \\ & c_2 & [a_{p2}, b_{p2}] \\ & \dots & \dots \\ & c_{15} & [a_{p15}, b_{p15}] \end{bmatrix} \quad (3-3)$$

步骤三：确定关联函数。

关联函数表示物元量值为实轴上的一点时，物元符合要求的范围程度^[6]。令某一点 x_i 到区间 $x_{oji} = [a_{oji}, b_{oji}]$ 的距离为

$$\rho(x_i, x_{oji}) = \left| x_i - \frac{a_{oji} + b_{oji}}{2} \right| - \frac{b_{oji} - a_{oji}}{2} \quad (3-4)$$

某一点 x_i 到区间 $x_{pi} = [a_{pi}, b_{pi}]$ 的距离为

$$\rho(x_i, x_{pi}) = \left| x_i - \frac{a_{pi} + b_{pi}}{2} \right| - \frac{b_{pi} - a_{pi}}{2} \quad (3-5)$$

则关联函数为

$$k(x_i) = \begin{cases} \frac{-\rho(x_i, x_{oji})}{|x_{oji}|}, & x_i \notin x_{oji} \\ \frac{\rho(x_i, x_{oji})}{\rho(x_i, x_{pi}) - \rho(x_i, x_{oji})}, & x_i \in x_{oji} \end{cases} \quad (3-6)$$

步骤四：确定权系数。

确定各指标的权重，即赋给各指标合适的权系数。指标权系数值对综合评价的结果影响很大，该部分是综合评价的重要组成部分。确定权重的方法有很多，如对比打分法、最小方法、层次分析法等。本文为减少评价过程的主观性，采用下面的方法确定权重系数。对于每个评价指标 c_i 的量值 x_i ，令

$$d_{i\max} = \max \left\{ |x_i - a_{pi}|, |b_{pi} - x_i| \right\} \quad (3-7)$$

$$d_{i\min} = \min \left\{ |x_i - a_{pi}|, |b_{pi} - x_i| \right\} \quad (3-8)$$

则定义评价指标 c_i 的权重为

$$w_{i\min} = \frac{e^{-\mu(d_{i\max} - d_{i\min})}}{\sum_{i=1}^{15} e^{-\mu(d_{i\max} - d_{i\min})}} \quad (3-9)$$

式中， μ 为可调系数，一般取 $\mu \geq 1$ 。

步骤五：确定评价等级。

评价对象 M 关于等级 j 的关联度为

$$k(M) = \sum_{i=1}^{15} w_i k(x_i) \quad (3-10)$$

最终，根据关联度结合表 3-2 即可判定出城市综合交通系统的评价等级。

4 应用分析

4.1 锦州市综合交通系统概况

锦州地处辽宁省西南部，地理位置优越，区位优势独具特色，是沟通我国华北和东北地区的重要纽带。锦州市交通条件便利，贯穿境内的重要道路有京哈铁路、京哈公路、京沈高速公路、辽宁滨海公路等。锦州市区交通道路分布情况如图 4-1 所示。

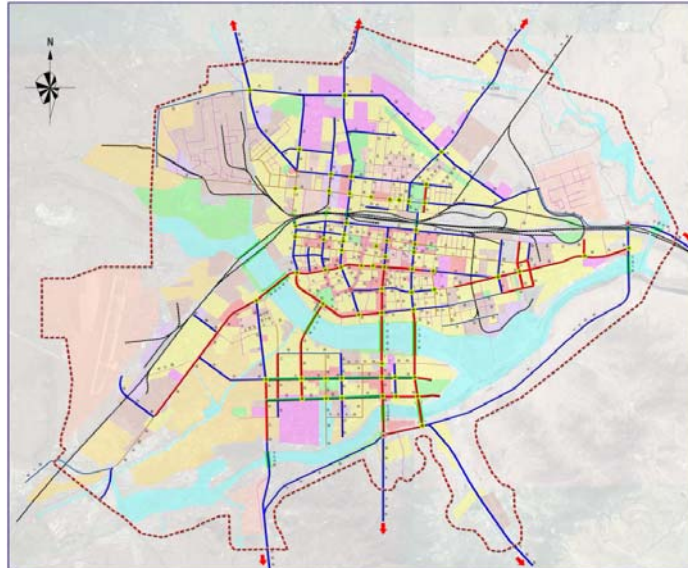


图 4-1 锦州市现状路网图

4.2 锦州市综合交通系统评价

本节以锦州市综合交通系统评价为例，来说明可拓学的物元分析模型在城市综合交通系统评价中的应用过程。结合《锦州市城市总体规划(2000-2020)》、《辽宁统计年鉴 2013》、《锦

州市城市综合交通体系规划(2012-2020)》、《城市道路交通管理评价指标体系 2012》、《中国统计年鉴 2013》^[7]及相关调查资料并以表 3-1 为依据进行综合评价。

步骤 1——确定物元矩阵 R。

$$R = \begin{bmatrix} M & c_1 & 78.3 \\ & c_2 & 71.6 \\ & c_3 & 75.4 \\ & c_4 & 81.2 \\ & \dots & \dots \\ & c_{14} & 0.82 \\ & c_{15} & 65.8 \end{bmatrix}$$

步骤 2——确定经典域 R_{oj} 、节域 R_p 。

$$R_{oj} = \begin{bmatrix} M_{oi} & c_1 & [60,80] \\ & c_2 & [70,80] \\ & c_3 & [70,80] \\ & c_4 & [80,90] \\ & \dots & \dots \\ & c_{17} & [0.75,0.9] \\ & c_{18} & [60,70] \end{bmatrix}, \quad R_p = \begin{bmatrix} M_p & c_1 & [0.0,100] \\ & c_2 & [0.0,100] \\ & c_3 & [0.0,100] \\ & c_4 & [0.0,100] \\ & \dots & \dots \\ & c_{17} & [0.0,3.0] \\ & c_{18} & [0.0,100] \end{bmatrix}$$

步骤 3——确定关联函数。

依据公式 (3-6) 可得到个评价指标的关联函数, 见表 4-1。

步骤 4——确定权系数。

依据公式 (3-9) 可得到各评价指标权系数 (可调系数 $\mu = 1$) 见表 4-1。

表 4-1 指标考察值

序号	指标层	现状值 x_i	权系数 w_i	关联函数 $k(x_i)$
c1	道路交通规划体系	78.3	0.0865	0.317
c2	交通综合协调机构	71.6	0.0318	0.2897
c3	交通秩序综合治理机制水平	75.4	0.0213	0.27022
c4	交通指挥系统覆盖率 (%)	81.2	0.0288	0.3682
c5	交通管理执行率 (%)	83.5	0.0129	0.2692
c6	交通事故比例 (%)	9.12	0.0429	0.433
c7	人均道路面积 (m ² /人)	16.8	0.0782	0.241
c8	公交站点覆盖率 (以 300m 半径)(%)	51.86	0.0694	0.4269
c9	路网密度 (km/km ²)	3.92	0.1099	0.587
c10	停车泊位供需比	4.57	0.0546	0.142
c11	道路配套设施完备率 (%)	61.2	0.0956	0.2319

c12	人均交通能耗 (吨标煤/人)	0.131	0.1373	0.7916
c13	城市道路绿化覆盖率 (%)	39.5	0.0524	0.2928
c14	道路饱和度	0.82	0.0918	0.59258
c15	居民出行满意度 (%)	65.8	0.0865	0.714

步骤 5——确定综合评价值。

由表 4-1 中的有关数据，依据公式 (3-10) 可得到该城市综合交通系统评价的关联度 $k(M) = 0.458$ 。

4.3 模型验证及评价结果分析

经计算得到锦州市综合交通系统评价值，关联度 $k(M) = 0.458$ ，即结果指标交通服务指标的值为 0.458，由表 3-2 可知，该值在 $0.4 \leq k(M) < 0.6$ 的范围内，评价等级为三级。

不过，要证明评价结果是否正确，首先需验证模型的可靠性，在大量实际数据的基础上，通过调查结果与基础指标计算结果的对比，确定模型及方法的正确性。本文在实际调查数据的基础上，用交通出行效率、出行舒适度、出行安全来表征交通服务指标与计算结果对比进行验证。

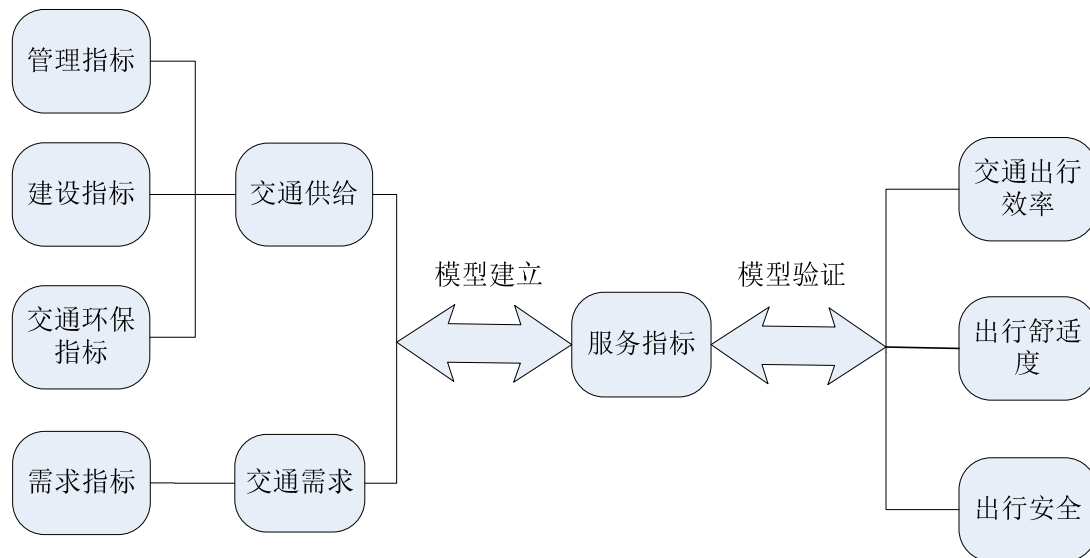


图 4-2 评价验证流程图

在该验证体系中，交通出行效率是指交通出行者选择路径和交通方式的方便程度，以及交通适应经济发展需求和综合交通发展程度，用平均单位公里时耗表征，计算方式：出行时长/出行距离。出行舒适度是表示各行业各阶层对公共交通系统提供服务的主观舒适程度的指标，可用换乘方便度、乘车环境、拥挤度等来表征。交通出行效率、出行舒适度这两个指标可以通过实际的居民出行调查得到。

出行安全可用事故次数、受伤人数、死亡人数、直接经济损失款额等指标的综合水平来

表征,这些数据可通过交通部门提供资料获得。此外,本文还根据一些现有的历史调查数据进行对比分析,通过数据处理及对比得到锦州市的交通出行效率、出行舒适度和出行安全指标水平,再进行综合分析,最终得出锦州市综合交通系统现状服务水平为中等,与本文建立的物元分析模型评价得到的结果大致吻合,证明了模型的可靠性和评价的正确性。

由此可知,锦州市综合交通系统现状情况中等,道路网密度较低,管理指标相对较高,交通组织管理较科学,道路交通管理机制水平一般,仍需加强,其道路建设情况仍需完善。近年来的机动车保有量持续增长,为了满足居民出行需求,交通供给系统也需加强建设和管理,特别是锦州市的停车泊位供需比较高,表示现有的停车泊位数不能满足机动车的停车需求,应进一步完善。

5 结语

本文通过严格筛选,得到一组合理的指标体系,并基于可拓学物元分析模型,建立了城市综合交通系统评价体系,最后结合锦州市交通状况,进行了实例分析,通过对大量调查数据和统计结果进行对比研究,验证了模型的可靠性。对城市综合交通系统进行切实的评价,可以清楚地了解城市的交通发展水平及存在问题,还可以通过协调改变一些指标来调节综合服务指标,寻求优化城市综合交通系统的策略。城市综合交通系统评价体系的建立,为城市交通的完善和城市经济水平的提高提供了决策性依据。

【参考文献】

- [1] 肖红波. 城市综合交通系统评价指标体系及评价方法. 交通科技. 2009,3:87-90.
- [2] 傅新平, 胡伶俐. 基于物元分析法的综合交通系统服务水平评价. 武汉理工大学学报. 2007, 31(4):580-583.
- [3] Hu QZ, Lu HP, Deng W. Evaluating the urban public transit network based on the attribute recognition model, Transport 2010,25(3):300-306.
- [4] 蔡文,杨春燕. 可拓学的应用研究、普及与推广(综述)[J]. 数学的实践与认识. 2010, 40(07):214-220.
- [5] 公安部,建设部. 关于印发《城市道路交通管理评价指标体系》(2012年版)的通知[Z]. 北京:公安部、建设部, 2012.
- [6] 胡启洲,邓卫. 城市常规公共交通系统的优化模型与评价方法[M]. 北京: 科学出版社,2009.
- [7] 中华人民共和国统计局. 中国统计年鉴(2013)[M]. 北京:北京数通电子出版社, 2013.

【作者简介】

黄瑞锦,女,硕士,中国建筑科学研究院,助理工程师。电子信箱:ruijin0209@126.com