■ 文章编号:1672-5328(2010)06-0079-06

基于熵权物元模型的公交综合评价指标体系

A Comprehensive Evaluation Index System for Public Transportation Based on Entropy Weight Matter-element Model

刘　铮[1]，余一村[1]，程　申[2]
(1.广州市交通运输研究所,广东 广州 510030；2.西安经济技术开发区规划局,陕西 西安 710018)
LIU Zheng[1], YU Yi-cun[1], CHENG Shen[2]
(1. Guangzhou Transports Research Institute, Guangzhou Guangdong 510030, China; 2. Xi'an Economy & Technology Development Zone Planning Sub-bureau, Xi'an Shanxi 710018, China)

摘要：为了综合评价快速城镇化背景下城市公共交通发展状况,通过分析城市公共交通发展特征,给出公共交通综合评价指标体系。分析利用可拓论对模糊性和不相容性进行定量评价的适用性,建立基于物元模型的可拓方法并应用于公共交通综合评价。同时,将信息熵与相离度相融合的不确定语言多属性决策方法运用于权值计算,提高了评价体系的客观性和准确性。最后通过实例证明了指标体系的合理性,以及模型方法的有效性和实用性。

Abstract: To comprehensively evaluate transit development under the rapid urbanization, this paper presents an evaluation index system for public transportation through analyzing the characteristics of transit development. By discussing the applicability of extenics theory in quantitative evaluation of fuzziness and incompatibility, the paper develops a matter-element model based on entropy weight and applies the model to comprehensive evaluation of public transportation. Then the paper applies the uncertain language multi-attribute decision-making method combined with the information entropy and deviation degree to weight coefficient calculation, which improves the objectivity and accuracy of the evaluation system. The results from a case study validate the practicability of the evaluation index system and the model.

关键词:城市公共交通;评价指标;物元法;可拓方法;信息熵
Keywords: urban public transportation; evaluation index; matter-element analysis; extension method; information entropy
中图分类号：U491.1+7　　文献标识码：A

收稿日期：2009－06－15
作者简介:刘铮(1985—),男,江西赣州人,硕士,主要研究方向:公共交通规划、交通安全。
E-mail:liuzheng19851105@yahoo.com.cn

0 引言

公共交通是否适应城镇化建设带来的变化、能否不失时机地适度超前发展，对城镇经济和居民出行有巨大影响。当前在我国城镇化建设全面推进、各大中城市公交快速发展的形势下，建立健全科学、系统的城市公交发展状况综合评价体系，对城镇和谐发展及实施TOD策略有重要意义。

目前较为成熟的公交综合评价方法主要有层次分析法(AHP)、模糊综合评价法和灰色聚类法。前两种方法简单易行但具有较强的主观性，灰色聚类法虽能实现量化分析，但算法本身存在部分指标参与聚类的作用微弱、聚类系数无显著性差异等局限性[1]。因此，现有方法难以满足目前复杂条件下的公交系统评价需求。鉴于公交系统评价的模糊性及多指标决策各指标间的不相容性[2]，本文将物元概念和信息熵引入公交系统评价，合理选取评价指标，最大限度地消除评价的主观性，建立基于熵权的物元分析综合评价模型，并进行实例分析。

1 快速城镇化背景下公交发展特征

20世纪90年代至今，我国城镇化率年均提高1.4%，处于持续加速阶段[3]，由此带动城镇人口、经济和空间布局等发生巨大变

化，直接影响城镇交通发展和空间形态演变。同时，城镇经济快速攀升和居民出行突增引发了众多交通问题。合理规划发展公共交通解决城镇交通问题，已成为各地决策部门的共识。各级城市特别是新兴城市公交状况参差不齐，必须对公交发展特征和趋势进行全面分析。

1) 公交基建。城镇化建设导致市域范围扩大，跟进公交线路、加大线网密度、提高线网覆盖率是完善公交建设的首要任务。在中小城市特别是交通系统底子相对薄弱的新兴城市，资金和公交资源有限，需科学规划公交车站、降低复线系数，而非盲目贪大求全，从而保证公共交通快速成型、健康发展。

2) 公交服务。出行方式多样化是现代城市的重要特点。增加公交吸引力、提高公交分担率是发展公交事业的核心，而提升公交服务质量则是发展的重点。只有确保公交运行的周期性特色，保证其安全、方便、快捷、舒适，才能使公共交通持续发展。

3) 技术支撑。大城市交通组织的复杂性决定了单纯依靠提升公交服务质量难以满足居民公交出行需求，还必须将先进的导航和信息发布系统纳入公交系统。鉴于信息化设施投入及维护费用较高，目前国内仅有少数大城市使用，但信息化公交终将是建立健全公交系统的必由之路。

4) 政策倾斜。政策的导向性对城市公交发展发挥着越来越重要的作用。优先发展公共交通得到了各地政府的认同，因此保证公交路权优先、保障公交有足够的资金投入和补贴等倾斜政策纷纷出台。

2 公共交通综合评价指标体系

全面的公交综合评价应基本涵盖规划设计(运营前)、管理实施(运营中)和实际成效(运营后)三方面内容，结合快速城镇化背景下公共交通发展特征，对应提出线网结构、设施水平和服务水平三项评价准则。其中，线网结构对前期规划依赖性强，也较为稳定，能宏观反映公交基建水平；设施水平主要包括站台和车辆，二者虽同属规划设计阶段的内容，但在实际运营中具有更高的灵活性，此外，设施水平也是城市公交技术和政策的重要反映；服务水平是公交运营成效的最终体现，反映了安全性、利用率、便捷性、准时性、舒适性和可达性等多方面的内容[4]。本文以整体完备性、科学性、可比性、简明性和实用性为原则，提出公交综合评价递阶层次体系，如图1所示。

3 公共交通综合评价物元分析模型

3.1 可拓论

经典数学仅将客体的量与形抽象出来，一旦涉及质的变换的矛盾问题时，就会暴露其局限

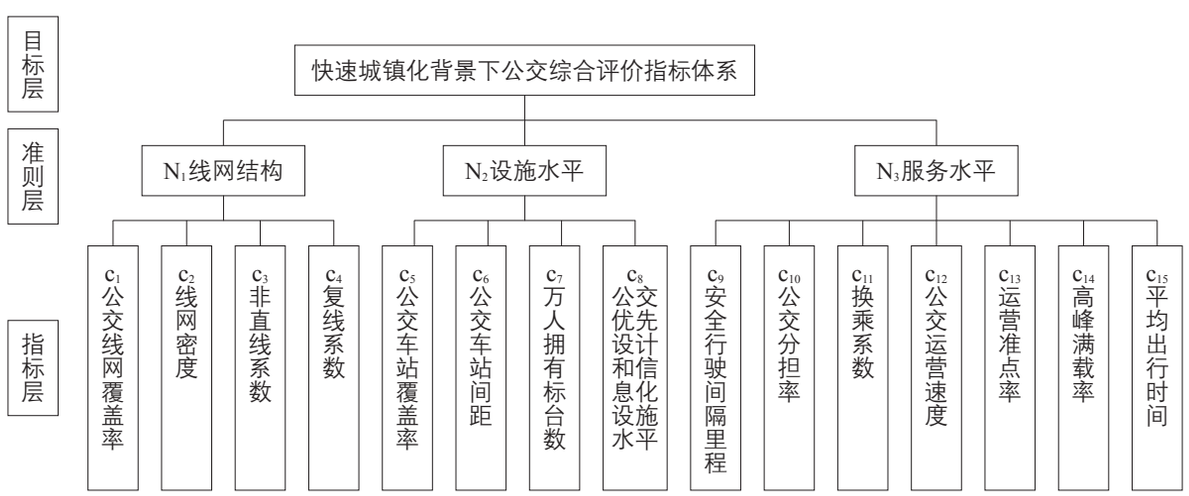

图1 快速城镇化背景下公共交通综合评价指标体系

Fig.1 Comprehensive evaluation index system for public transportation in the rapid urbanization

性。可拓论引进了物元概念，描述既考虑量变又考虑质变的思维过程，把客观世界的矛盾问题转换为处理物元之间的矛盾问题。它以物元理论和可拓集合理论为基础，以物元为逻辑细胞，将质与量有机结合，对于定量描述事物的可变性，特别是解决评价问题显示出较强的适用性[5]。从1983年可拓集合提出至今，可拓论已初步完成其理论体系建设，并逐步向应用领域发展，但目前在交通领域可拓论并未得到广泛应用，大多应用于交通影响评价方面。

公共交通综合评价体系是一个模糊概念，对其评价是一个多指标决策过程，指标间存在不相容问题[6]，而物元分析理论正是以促进事物转化、解决不相容问题为核心[7]。因此，本文将基于物元模型的可拓方法应用于公共交通综合评价。

3.2 物元分析模型

3.2.1 物元

对给定事物N，其关于特征c的量值为v，以有序三元$R(N, c, v)$作为描述事物的基本元，简称物元。若事物N以n个特征c_1，c_2，…，c_n和相应的量值v_1，v_2，…，v_n描述，则称为R的n维物元，表示为

$$\boldsymbol{R}=\begin{bmatrix} N & c_1 & v_1 \\ & c_2 & v_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & v_n \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_n \end{bmatrix}. \tag{1}$$

3.2.2 确定评价等级的物元集合

1) 确定经典域与节域。

根据《城市道路交通规划设计规范》(GB 50220－95)等技术标准，并参考当前国内外公交线网、设施及服务的平均水平[8]，将评价等级由高到低划分为A，B，C，D，E五个等级(见表1)，确定本指标体系的评价分级标准即经典域R_{0j}，依据经典域最大和最小量值范围，以<量值下限，量值上限>表示，即可确定节域物元矩阵R_p，如表2所示。

2) 确定待评物元。

$$\boldsymbol{R}_0=\begin{bmatrix} \mathrm{p}_0 & c_1 & x_1 \\ & c_2 & x_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & x_n \end{bmatrix}, \tag{2}$$

式中：p_0为待评对象；x_i为p_0关于评价指标c_i的量值。

3.2.3 确定融合相离度与熵的指标权重

在综合评价中，应根据各因素对目标层的影响程度赋予其权值。由于综合评价概念的模糊性，引入相离度概念，建立基于区间数的模糊判断矩阵[9]，同时考虑专家评判的主观性，引入信息熵，尽量消除各权重计算的人为干扰[10]。采用二者相融合的不确定语言多属性决策方法确定指标权值。

设区间数$\bar{a}=[a^L, a^U]$，$\bar{b}=[b^L, b^U]$，则范数$\|\bar{a}-\bar{b}\|=|b^L-a^L|+|b^U-a^U|=d(\bar{a}, \bar{b})$称为区间数$\bar{a}$和$\bar{b}$的相离度，表征各属性在决策间的偏差，$a^L$，$a^U$，$b^L$，$b^U$分别为区间数$\bar{a}$和$\bar{b}$的上、下限。为保证各方案具有明显的区分度，权重向量$\boldsymbol{w}$的选择应使所有决策总偏差最大。各指标真实权值是随机变量，具有不确定性，故可将权系数理解为对应指标在指标集中的概率，从而可引入Shannon信息熵，通过实现熵的最大化来确定属性权值。

表1 公共交通发展水平的评价等级划分

Tab.1 Classified evaluation on levels of transit development

等级	基本特征
A	公交系统完全适应并能充分带动城镇化发展，二者相互促进并处于良性循环状态；公交线网和设施容量足够，服务水平很高
B	公交系统适应城镇化发展，现有线网和设施水平允许交通需求进一步扩大，服务水平良好，对城镇化发展有一定的推动作用
C	公交系统基本适应城镇化发展，但现有线网结构和设施水平难以满足发展需求的大幅度增长，服务水平一般
D	公交系统不适应城镇化发展，公交基建难以维持城镇的正常运行，拥堵等交通异常状况增多，服务水平差并持续降低
E	公交系统很不适应城镇化发展，现有公交线网、设施和服务水平如不及时改善将导致城镇交通急剧恶化

因此，求解权重向量即等价于式(3)的最优化问题。

$$\begin{aligned} &\max \quad u\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{m}\sum_{k=1}^{m}d(\overline{r_{ij}},\ \overline{r_{kj}})w_j-(1-u)\sum_{j=1}^{n}w_j\ln w_j \\ &s.t. \quad \sum_{j=1}^{n}w_j=1,\ w_j\geqslant 0,\ j=1,\ 2,\ \cdots,\ n \end{aligned} \quad , \quad (3)$$

式中：u为目标平衡系数；$\overline{r_{ij}}$为决策矩阵$(\overline{a_{ij}})_{n\times m}$规范化后的矩阵元素，$\overline{a_{ij}}$为评价等级$i$关于指标$j$的模糊量值，$n$和$m$为矩阵行列数，其中效益型$\overline{r_{ij}}=\overline{a_{ij}}/\|\overline{a_j}\|$，成本型$\overline{r_{ij}}=(1/\overline{a_{ij}})/\|1/\overline{a_j}\|$，$\overline{a_j}$为待评对象关于特征$j$的模糊量值；$w_j$为第$j$项指标的权值。

据式(3)，构建关于权值w_j的Lagrange函数，得到

$$w_j=\frac{\exp[-1+u\sum_{i=1}^{m}\sum_{k=1}^{m}d(\overline{r_{ij}},\ \overline{r_{kj}})/(1-u)]}{\sum_{j=1}^{n}\exp[-1+u\sum_{i=1}^{m}\sum_{k=1}^{m}d(\overline{r_{ij}},\ \overline{r_{kj}})/(1-u)]} , \quad (4)$$

$j=1,\ 2,\ \cdots,\ n.$

3.2.4 确定待评对象关于各等级的关联度

可拓集合内各元素相关关系由关联函数刻化，物元分析通过将关联度由常见的闭区间[0，1]连续取值拓展至$(-\infty,\ +\infty)$整个实数轴，使研究问题定量化。关联函数

$$k_j(x_i)=\begin{cases} -\dfrac{\rho(x_i,\ x_{0ji})}{|x_{0ji}|} & x_i\in x_{0ji} \\ \dfrac{\rho(x_i,\ x_{0ji})}{\rho(x_i,\ x_{p_0^{\prime}i})-\rho(x_i,\ x_{0ji})} & x_i\notin x_{0ji} \end{cases} , \quad (5)$$

$$\rho(x_i,\ x_{\mathrm{p}_0^{\prime}i})=\left|x_i-\frac{1}{2}(a_{\mathrm{p}_0^{\prime}i}+b_{\mathrm{p}_0^{\prime}i})\right|-\frac{1}{2}(b_{\mathrm{p}_0^{\prime}i}-a_{\mathrm{p}_0^{\prime}i}) \quad (i=1,\ 2,\ \cdots,\ n) , \quad (6)$$

$$\rho(x_i,\ x_{0ji})=\left|x_i-\frac{1}{2}(a_{0ji}+b_{0ji})\right|-\frac{1}{2}(b_{0ji}-a_{0ji}) \quad (i=1,\ 2,\ \cdots,\ n) , \quad (7)$$

式中：$b_{\mathrm{p}_0^{\prime}i}$，$a_{\mathrm{p}_0^{\prime}i}$分别为评价等级全体关于待评对象$\mathrm{p}_0$的特征$c_i$所取量值$x_{p_0^{\prime}i}$的上下限；$b_{0ji}$，$a_{0ji}$分别为评价等级$j$关于$\mathrm{p}_0$的特征$c_i$所取量值$x_{0ji}$的上下限；$\rho(x_i,\ x_{\mathrm{p}_0^{\prime}i})$和$\rho(x_i,\ x_{0ji})$分别表征在实变函数中，实轴上的量值点$x_i$到区间$x_{\mathrm{p}_0^{\prime}i}$和区间$x_{0ji}$之间的距离。对每个特征$c_i$取权系数$\omega_i$即得待评对象$\mathrm{p}_0$关于等级$j$的关联度

$$K_j(\mathrm{p}_0)=\sum_{i=1}^{n}\omega_i k_j(x_i). \quad (8)$$

3.2.5 等级评定

对于关联度$K_j(\mathrm{p}_0)$，其值越大即与对应等级集合的符合程度越好。因此，若某关联度K_{j_0}满足$K_{j_0}=\max K_j(\mathrm{p}_0)$，$j\in(1,\ 2,\ \cdots,\ m)$，则评定$\mathrm{p}_0$属于等级$j_0$。若对一切$j$有$K_j(\mathrm{p}_0)\leqslant 0$，则表示$\mathrm{p}_0$已不在所划定的等级之内。

4 应用案例

宝鸡是陕西省第二大城市，近年来随着经济

表2 经典域和节域

Tab.2 Classical field and controlled field

指标	评价等级(经典域R_{0j})					节域
	A	B	C	D	E	
c_1/%	<80,100>	<70,80>	<60,70>	<50,60>	<0,50>	<0,100>
c_2/(km·km^{-2})	<4.5,6>	<3.5,4.5>	<2.5,3.5>	<1.2,2.5>	<0,1.2>	<0,6>
c_3	<1,1.2>	<1.2,1.4>	<1.4,1.6>	<1.6,1.8>	<1.8,2.5>	<1,3>
c_4	<1,1.25>	<1.25,1.5>	<1.5,1.75>	<1.75,2.25>	<2.25,2.75>	<1,3>
c_5/%	<60,100>	<55,60>	<48,55>	<43,48>	<0,43>	<0,100>
c_6/m	<300,450>	<450,550>	<550,700>	<700,850>	<850,1 000>	<50,1 200>
c_7/辆	<15,20>	<12,15>	<9,12>	<6,9>	<0,6>	<0,20>
c_8	<90,100>	<80,90>	<70,80>	<60,70>	<0,60>	<0,100>
c_9/(104 km·次$^{-1}$)	<125,150>	<100,125>	<75,100>	<50,75>	<0,50>	<0,200>
c_{10}/%	<22,30>	<17,22>	<14,17>	<10,14>	<0,10>	<0,30>
c_{11}	<1,1.15>	<1.15,1.35>	<1.35,1.48>	<1.48,1.6>	<1.6,2>	<1,3>
c_{12}/(km·h^{-1})	<25,35>	<16,25>	<13,16>	<10,13>	<0,10>	<0,40>
c_{13}/%	<85,100>	<80,85>	<70,80>	<65,70>	<0,65>	<0,100>
c_{14}/%	<80,95>	<95,105>	<105,110>	<110,115>	<115,130>	<70,140>
c_{15}/min	<0,20>	<20,25>	<25,45>	<45,55>	<55,65>	<0,80>

的增长交通需求大幅提升，需要大力发展公共交通为城市可持续发展提供坚实后盾。以宝鸡市公共交通发展现状为例，说明物元分析模型的应用。

1) 关联度计算。

根据2007年宝鸡市公交专项规划调查获得相关指标数据，见表3。根据3.2.3，定义指标评价意义的语言评估标度：S＝{s_1＝极小，s_2＝很小，s_3=小，s_4=较小，s_5=一般，s_6=较大，s_7=大，s_8=很大，s_9=极大}，得到决策矩阵

$$
\begin{array}{c}
 & c_1 & c_2 & c_3 & c_4 & c_5 & c_6 & c_7 & c_8 & c_9 & c_{10} & c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} & c_{15} \\
Z_1 & [s_5, s_7] & [s_4, s_5] & [s_5, s_6] & [s_4, s_7] & [s_4, s_6] & [s_3, s_5] & [s_5, s_7] & [s_6, s_8] & [s_5, s_6] & [s_4, s_6] & [s_3, s_5] & [s_5, s_6] & [s_4, s_6] & [s_4, s_5] & [s_3, s_5] \\
Z_2 & [s_6, s_8] & [s_7, s_9] & [s_5, s_7] & [s_5, s_6] & [s_4, s_5] & [s_4, s_6] & [s_4, s_6] & [s_5, s_7] & [s_6, s_7] & [s_4, s_5] & [s_4, s_6] & [s_7, s_8] & [s_6, s_7] & [s_5, s_6] & [s_4, s_6] \\
Z_3 & [s_5, s_6] & [s_6, s_8] & [s_4, s_6] & [s_4, s_6] & [s_5, s_6] & [s_3, s_4] & [s_4, s_7] & [s_4, s_6] & [s_4, s_7] & [s_5, s_8] & [s_3, s_6] & [s_4, s_7] & [s_4, s_5] & [s_4, s_7] & [s_5, s_6] \\
Z_4 & [s_7, s_8] & [s_4, s_7] & [s_4, s_5] & [s_6, s_8] & [s_5, s_7] & [s_5, s_6] & [s_5, s_6] & [s_3, s_5] & [s_5, s_7] & [s_5, s_6] & [s_5, s_6] & [s_6, s_8] & [s_5, s_6] & [s_5, s_7] & [s_3, s_4] \\
Z_5 & [s_4, s_5] & [s_7, s_8] & [s_3, s_5] & [s_6, s_7] & [s_3, s_4] & [s_4, s_5] & [s_5, s_8] & [s_5, s_6] & [s_4, s_5] & [s_6, s_7] & [s_4, s_5] & [s_4, s_6] & [s_5, s_7] & [s_3, s_5] & [s_4, s_5]
\end{array}
$$

其中$Z_l(l=1，2，3，4，5)$是对应专家l对15项指标的模糊语言评估结果。

本例中相离度和信息熵对权值计算具有同等重要度，故取平衡系数$u=0.5$，据式(4)计算得到权重向量w = (0.076，0.098，0.070，0.058，0.079，0.076，0.032，0.083，0.042，0.060，0.065，0.063，0.043，0.079，0.076)。然后依据式(5)－(8)通过编程计算关联度，结果见表4。

2) 评价结果确定及分析。

由表4知$\max K_j(p_0)=K_2=0.060$，根据3.2.5的结论，宝鸡市公共交通综合发展水平评估等级为B级。参见表1，表2关于B级标准的设定可知，宝鸡市公共交通的设施水平和服务水平基本处于B级标准范围内，能够适应城镇化发展带来的交通需求增长，但线网结构处于B级以下水平。因此，宝鸡市近期公交发展应以公交线网结构调整为主，提高原有公交线网密度和覆盖率，整合公交线路，降低复线系数，同时在以高新东区为代表的外围区增设公交线路，提升城市新区的公交可达性。此外，增加公交车辆是宝鸡市当前提高公交设施水平的关键内容。

表3 宝鸡公交发展状况相关指标数据

Tab.3 Related indicators of transit development in Baoji

指标	数据
公交线网覆盖率/%	62
线网密度/(km·km^{-2})	2.65
非直线系数	1.37
复线系数	1.86
公交车站300 m半径覆盖率/%	54
平均站距/m	550
万人拥有标台数/辆	8.53
公交优先设计和信息化设施水平评分	85
安全行驶间隔里程/(万km·次$^{-1}$)	118
公交分担率/%	16
换乘系数	1.25
公交运营速度/(km·h^{-1})	31.18
运营准点率/%	81.7
高峰满载率/%	104
平均出行时间/min	31

表4 各评价指标的关联度

Tab.4 Correlation of various indices

$k_j(x_i)$	A	B	C	D	E
x_1	－0.321	－0.174	0.2	－0.05	－0.24
x_2	－0.338	－0.117	0.3	－0.054	－0.354
x_3	－0.315	0.15	－0.075	－0.383	－0.538
x_4	－0.415	－0.295	－0.113	0.22	－0.312
x_5	－0.25	－0.182	－0.063	0.4	－0.043
x_6	－0.267	－0.154	0.333 3	－0.083	－0.267
x_7	－0.431	－0.289	－0.052	0.157	－0.229
x_8	－0.25	0.5	－0.25	－0.5	－0.625
x_9	－0.079	0.28	－0.18	－0.344	－0.453
x_{10}	－0.3	－0.067	0.333 3	－0.125	－0.3
x_{11}	－0.286	0.5	－0.286	－0.479	－0.583
x_{12}	0.236	－0.118	－0.559	－0.647	－0.706
x_{13}	－0.153	0.34	－0.085	－0.39	－0.477
x_{14}	－0.209	0.1	－0.029	－0.15	－0.244
x_{15}	－0.162	0.4	－0.114	－0.311	－0.436
$K_j(p_0)$	－0.239	0.060	－0.025	－0.180	－0.383

5 结论

1) 快速城镇化建设带动经济攀升的同时给城市交通带来了巨大压力，使公共交通发展出现新的特征，针对这些特征建立了公交发展综合评价指标体系。

2) 物元分析模型符合公交综合评价的模糊性及指标不相容性特征，可拓方法易于理解、可定量评价，且计算简便；融合信息熵和相离度两者优势的权值计算法进一步提高了评价的准确性和客观性。应用实例证明了本评价指标体系以及物元分析模型的合理性和有效性。

参考文献：

References:

[1] 李煜华，孙凯，孙彩. 基于灰色聚类方法的城市公交发展水平综合评价[J]. 哈尔滨理工大学学报，2004，9(6)：76－82.
LI Yu-hua，SUN Kai，SUN Cai. On the Comprehensive Evaluation of Urban Public Transport Based on Gray Clustering Method[J]. Journal Harbin UNIV. SCI. & TECH., 2004, 9(6): 76－82.

[2] 蔡文. 物元模型及其应用[M]. 北京：科学技术文献出版社，1994.

[3] 肖慎，过秀成，明图章，杨海荣，邹勇军. 公路网络与城镇发展空间网络适应性分析评价[J]. 土木工程学报，2003，36(7)：7－13.
XIAO Shen, GUO Xiu-cheng, MING Tu-zhang, YANG Hai-rong, ZOU Yong-jun. Analysis and Evaluation on the Network Adaptability of Highway Network to the City Development Space [J]. China Civil Engineering Journal, 2003, 36 (7): 7－13.

[4] 武睿，陆建. 张家港市城乡公交一体化的线网规划研究[J]. 交通运输工程与信息学报，2008，6(1)：79－85.
WU Rui, LU Jian. Study of the Key Issues on the Integration of Zhangjiagang Public Transit Plan[J]. Journal of Transportation Engineering and Information, 2008, 6 (1): 79－85.

[5] 蔡文. 可拓论及其应用[J]. 科学通报，1999，44(7)：673－682.
CAI Wen. Matter-element and Its Application[J]. Chinese Sciences Bull, 1999, 44(7): 673－682.

[6] 王晓宁，盛洪飞，孟祥海. 基于物元分析的交通影响评价模型[J]. 公路交通科技，2007，24(3)：102－106.
WANG Xiao-ning, SHENG Hong-fei, MENG Xiang-hai. Traffic Impact Evaluation Model Based on Matter-element Analysis[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2007, 24 (3): 102－106.

[7] 刘俊娟，王炜，程琳. 基于PSR概念与复合物元可拓法的城市交通可持续发展评价[J]. 公路交通科技，2007，24(10)：136－141.
LIU Jun-juan, WANG Wei, CHENG Lin. Evaluation of Urban Traffic Sustainable Development Based on Pressure-state-response and Composite Matter-element and Extension Method[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2007, 24(10): 136－141.

[8] 丁舒平，张卫华，胡启洲. 城市公交线网评价方法研究[J]. 交通标准化，2008(7)：88－92.
DING Shu-ping, ZHANG Wei-hua, HU Qi-zhou. Study on Evaluation Method for Urban Public Transit Network[J]. Communications Standardization, 2008(7): 88－92.

[9] 徐泽水. 不确定多属性决策方法及应用[M]. 北京：清华大学出版社，2004.

[10] 尤天慧，樊治平，俞竹超. 不确定性多属性决策中确定属性熵权的一种方法[J]. 东北大学学报(自然科学版)，2004，25(6)：598－601.
YOU Tian-hui, FAN Zhi-ping, YU Zhu-chao. Method of Determining Entropy Weights on Attributes in Uncertain Multiple Attribute Decision Making[J]. Journal of Northeastern University(Science & Technology Edition), 2004, 25 (6): 598－601.