

# 基于 AHP-熵复合物元的城市交通可持续发展评价

李晓伟<sup>1,2</sup>, 陈红<sup>1</sup>, 邵海鹏<sup>1</sup>, 马娟<sup>1</sup>, 周继彪<sup>1</sup>

(1. 长安大学公路学院, 陕西 西安 710064; 2. 公路大型结构安全教育部工程中心, 陕西 西安 710064)

**摘要:**在给出城市交通可持续发展评价指标体系的基础上,提出了一种基于 AHP-熵复合物元的城市交通可持续发展评价模型.该模型以可拓学、关联函数为基础,应用物元分析法将评价指标、量测值、评价等级等单元组成城市交通可持续发展评价物元,通过计算各评价指标量测值关于评价等级的隶属度以及所有评价指标关于各评价等级的关联度来求解评价等级的特征值,进而判断城市交通可持续发展水平并指出其未来发展趋势;其中权重的确定充分考虑了专家知识经验以及数据本身蕴涵的信息,由 AHP 权重与熵权重加权平均综合获得,能够同时反映评价分级的主观性和实测数据的客观性.最后将该模型应用于北京市交通可持续发展评价,验证了该模型的科学性与实用性.

**关键词:**交通工程;可持续发展;物元;熵;AHP

中图分类号:U491

文献标志码:A

文章编号:1006-7930(2011)06-0831-07

城市交通系统是城市道路系统、交通流系统和管理系统构成的有机整体,城市交通可持续发展的实质就是城市交通系统与经济、社会、资源和环境的协调发展.随着经济的快速发展,城市规模的不断扩大,城市交通需求迅猛增加,机动车总量和出行量远远超过道路等交通基础设施的增长,土地开发强度与交通最大允许容量的矛盾日益突出,引发的交通拥挤、环境污染等问题日益严重,迫切需要开展城市交通可持续发展的研究.目前国内外诸多学者已经在评价指标体系及评价方法等方面取得了许多研究成果<sup>[1-10]</sup>,这些研究推动了城市交通的可持续发展,但是在评价过程中,往往存在着重视评价的整体结果,对影响城市交通系统可持续发展的内部因素辨析并不深入等问题,直接影响了城市交通可持续发展改善的针对性.

鉴于此,本文以可拓学、关联函数<sup>[11-12]</sup>为基础,针对传统的评价方法重发展水平评价、轻发展能力解析等问题,通过计算各评价指标量测值关于评价等级的隶属度以及所有评价指标关于各评价等级的关联度来判断城市交通可持续发展水平并指出其未来发展趋势;其中权重的确定采用 AHP 与熵值法综合确定,以求同时反映评价分级的主观性和实测数据的客观性;并以北京市交通可持续发展评价为例,说明了该方法的实用性及可行性.

## 1 城市交通可持续发展能力评价指标

城市交通可持续发展就是要实现城市经济、社会、资源、环境与交通的协调发展,若想对其发展水平进行综合评价,首先应建立一个科学、合理的评价指标体系.本文基于完备性、客观性、科学性、动态性、可操作性等原则,在借鉴前人研究成果的基础上,从交通功能、经济财务、社会公平、生态影响、政府管理等五方面选取城市交通可持续发展评价的 18 个指标,见表 1.受篇幅限制指标属性值的计算方法及分级标准见参考文献 10.

收稿日期:2011-04-18 修改稿日期:2010-10-15

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金资助(CHD2011ZY006)

作者简介:李晓伟(1985-),男,河南信阳人,博士研究生,主要从事交通规划与设计.

表 1 城市交通可持续发展综合评价指标体系

Tab. 1 Comprehensive evaluation indexes of urban traffic sustainable development

交通功能指标 $B_1$	[C1]居民 90%位出行时耗(min)	居民出行满意度
	[C2]万人公交车标台数(标台/万人)	
	[C3]公交站点 300 米覆盖率(%)	
	[C4]交通拥堵系数	
经济财务指标 $B_2$	[C5]道路网密度(km/km <sup>2</sup> )	交通功能适应度
	[C6]公共交通线路网密度(km/km <sup>2</sup> )	
	[C7]中心区停车泊位供需比	
	[C8]主干道平均车速(km/h)	
社会公平指标 $B_3$	[C9]交通投资协调系数(%)	经济支持度
	[C10]公交投资占交通基础设施比例(%)	
生态影响指标 $B_4$	[C11]人均道路面积(m <sup>2</sup> )	交通公平度
	[C12]公共交通分担率(%)	
	[C13]万车死亡率(人/万车)	交通安全度
	[C14]事故直接经济损失(万元/万车)	
政府管理指标 $B_5$	[C15]交通油耗协调系数	环境能源影响度
	[C16]空气污染指数 API	
	[C17]交通干线噪声平均值(dB(A))	
	[C18]城市交通系统管理能力	调控力度

## 2 基于 AHP-熵复合物元的城市可持续发展评价模型

物元分析方法的主要思想是把事物用“事物、特征、量值”3 个要素来描述,并组成有序三元组的基本元,即物元. 给定城市交通可持续发展能力指标参数的等级标准,根据各指标参数计算值来判断城市的可持续发展能力,其本质是识别问题. 本文将“评价指标、计算值、等级”组成物元,应用 AHP 和熵值法综合确定评价指标权重,应用物元分析法建立城市交通多指标参数的可持续发展评价模型.

### 2.1 基于物元分析与关联函数构建评价模型

定义 1 若  $R_0$  表示城市交通可持续发展评价物元,  $N_0$  表示级别的全体,  $N_{0j}$  表示划分的第  $j$  个等级,  $C_i$  表示第  $i$  个评价指标,  $(V_{0kj})_{n \times m}$  表示同征物元阵,为  $N_j$  关于指标  $C_i$  的量值范围. 则:

$$R_0 = \begin{bmatrix} N_0 & N_{01} & N_{02} & \cdots & N_{0m} \\ C_1 & V_{011} & V_{012} & \cdots & V_{01m} \\ C_2 & V_{021} & V_{022} & \cdots & V_{02m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ C_n & V_{0n1} & V_{0n2} & \cdots & V_{0nm} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_0 & N_{01} & N_{02} & \cdots & N_{0m} \\ C_1 & \langle a_{011}, b_{011} \rangle & \langle a_{012}, b_{012} \rangle & \cdots & \langle a_{01m}, b_{01m} \rangle \\ C_2 & \langle a_{021}, b_{021} \rangle & \langle a_{022}, b_{022} \rangle & \cdots & \langle a_{02m}, b_{02m} \rangle \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ C_n & \langle a_{0n1}, b_{0n1} \rangle & \langle a_{0n2}, b_{0n2} \rangle & \cdots & \langle a_{0nm}, b_{0nm} \rangle \end{bmatrix} \quad (1)$$

在建立了城市交通可持续发展评价物元后,需计算指标量测值与关于等级  $j$  的隶属度. 在实际工作中,隶属度需根据指标的特点选择不同的计算方法,本文选择可拓理论中的初等关联函数法.

定义 2 设  $\langle a_{pi}, b_{pi} \rangle$  为指标  $C_i$  的允许取值范围,则指标  $C_i$  关于评价等级  $j$  的隶属度为  $K_j(V_i)$ .

若  $V_i \in [a_{0ij}, b_{0ij}]$ , 则

$$K_j(V_i) = \frac{-\rho(V_i, V_{ij})}{|V_{ij}|} \quad (2)$$

若  $V_i \notin [a_{0ij}, b_{0ij}]$ , 则

$$K_j(V_i) = \begin{cases} \frac{\rho(V_i, V_{ij})}{\rho(V_i, V_{pi}) - \rho(V_i, V_{ij})}, \rho(V_i, V_{pi}) \neq \rho(V_i, V_{ij}) \\ -\rho(V_i, V_{ij}) - 1, \rho(V_i, V_{pi}) = \rho(V_i, V_{ij}) \end{cases} \quad (3)$$

$$\rho(V_i, V_{ij}) = \left| v_i - \frac{1}{2}(a_{ij} + b_{ij}) \right| - \frac{1}{2}(b_{ij} - a_{ij})$$

其中:

$$\rho(V_i, V_{pi}) = \left| v_i - \frac{1}{2}(a_{pi} + b_{pi}) \right| - \frac{1}{2}(b_{pi} - a_{pi})$$

定义 3 若  $w_i$  为指标  $i$  的权重系数,则所有评价指标关于等级  $j$  的关联度为:

$$K_j(p) = \sum_{i=1}^n w_i K_j(V_i) \quad (4)$$

根据最大关联度原则,求解评价等级的特征值:

$$\overline{K_j(p)} = \frac{K_j(p) - \min_j K_j(p)}{\max_j K_j(p) - \min_j K_j(p)} \quad (5)$$

$$j^* = \frac{\sum_{j=1}^m j^* \overline{K_j(p)}}{\sum_{j=1}^m \overline{K_j(p)}} \quad (6)$$

$j^*$  为级别变量特征值,从而可知城市交通可持续发展水平偏向某一级别的程度.

## 2.2 应用 AHP 及熵值法确定指标权重

权系数是以某种数量形式对比、权衡被评价事务总体中诸因素相对重要程度的量值<sup>[13]</sup>,针对同一组指标数值,不同的权重系数会导致截然不同的评价结论.考虑到城市可持续发展评价中既包含专家群体的知识、经验和价值的判断等主观因素,也有实际调查数据的客观信息特征,因此本文将主观赋权法(层次分析法 -AHP<sup>[14]</sup>)和客观赋权法(熵值法<sup>[15]</sup>)结合起来确定评价指标的权重,以求更客观全面地反映各评价指标的重要性的问题的实际情况.

设 AHP 法给出的主观权重为  $w'_i$ ,熵值法给出的客观权重为  $w''_i$ ,则最终确定的权重  $w_i$  为:

$$w_i = \frac{w'_i w''_i}{\sum_{i=1}^n w'_i w''_i} \quad (7)$$

## 2.3 城市交通可持续发展评价的具体步骤

(1) 基于城市交通可持续发展水平各评价指标的量测值以及相应的评价等级,根据公式(1),确定城市交通可持续发展评价物元.

(2) 根据公式(2)、(3),计算  $n$  个评价指标  $C_1, C_2, \dots, C_n$  对应的  $m$  个评价等级的隶属度  $K_j(V_i)$ .

(3) 应用 AHP 及熵值法根据公式(7) 确定指标权重  $C_1, C_2, \dots, C_n$  的权重  $w_i$ .

(4) 根据公式(4) 计算各评价指标关于等级  $j$  的关联度  $K_j(p)$ .

(5) 基于最大关联度原则,根据公式(5)、(6) 求解评价等级  $j$  的特征值以及级别变量特征值,判定城市交通可持续发展水平.

## 3 实证研究

本文以北京为例,说明该方法的有效性 with 实用性.

### 3.1 构建城市交通可持续发展物元

本文以北京市社会经济发展的现实状况为基础,以北京市城市交通可持续发展的空间范围资料和历史资料为依据,以《城市道路交通规划设计规范 GB50220-95》、《城市道路交通管理评价指标体系》(2007 年版)对相关指标的规定以及专家研究结果作为评价标准,构建了城市交通可持续发展评价物元,如表 2 所示<sup>[10]</sup>.

表 2 城市交通可持续发展评价物元

Tab. 2 Matter element of urban traffic sustainable development evaluation

指标	现状值	优秀	良好	一般	较差	差	节域
C1	42.72	<0,20>	<20,30>	<30,40>	<40,50>	<50,100>	<0,100>
C2	21.56	<20,30>	<17,20>	<14,17>	<11,14>	<0,11>	<0,30>
C3	75	<90,100>	<80,90>	<70,80>	<50,70>	<0,50>	<0,100>
C4	7.73	<0,2>	<2,4>	<4,6>	<6,8>	<8,10>	<0,10>
C5	5.5	<7,9>	<6,7>	<5,6>	<4,5>	<1,4>	<1,9>
C6	4.1	<6,7>	<5,6>	<3,5>	<2,3>	<1,2>	<1,7>
C7	0.71	<0.8,1>	<0.7,0.8>	<0.6,0.7>	<0.5,0.6>	<0,0.5>	<0,1>
C8	19.4	<28,33>	<25,28>	<22,25>	<19,22>	<0,19>	<0,33>
C9	3.68	<5,8>	<4,5>	<3,4>	<1.5,3>	<0,1.5>	<0,8>
C10	43.6	<25,60>	<18,25>	<14,18>	<5,14>	<1.5,5>	<1.5,60>
C11	5.6	<10,15>	<7,10>	<5,7>	<3,5>	<0,3>	<0,15>
C12	34.5	<35,60>	<30,35>	<25,30>	<20,25>	<0,20>	<0,60>
C13	3.78	<0,3>	<3,8>	<8,12>	<12,16>	<16,20>	<0,20>
C14	7.3	<0,9>	<9,15>	<15,25>	<25,35>	<35,50>	<0,50>
C15	1.45	<0,1>	<1,1.5>	<1.5,2>	<2,2.5>	<2.5,10>	<0,10>
C16	147	<0,50>	<50,100>	<100,200>	<200,300>	<300,500>	<0,500>
C17	69.9	<0,60>	<60,65>	<65,70>	<70,75>	<75,110>	<0,110>
C18	5	<5,6>	<4,5>	<3,4>	<2,3>	<1,2>	<1,6>

3.2 计算隶属度

根据公式(2)、(3)可计算出城市交通可持续发展各指标  $C_i$  关于评价等级  $j$  的隶属度  $K_j(V_i)$ , 计算结果如表 3 所示。

3.3 确定权重

(1) AHP 确定权重

表 3 各指标关于评价等级的隶属度

Tab. 3 Degrees of membership of evaluation indexes

	$k_j(v_i)$				
	$j=1$	$j=2$	$j=3$	$j=4$	$j=5$
C1	-0.347	-0.229	-0.060	0.272	-0.146
C2	0.156	-0.156	-0.351	-0.473	-0.556
C3	-0.375	-0.167	0.500	-0.167	-0.500
C4	-0.716	-0.622	-0.433	0.135	-0.106
C5	-0.300	-0.125	0.500	-0.125	-0.300
C6	-0.396	-0.237	0.450	-0.275	-0.420
C7	-0.237	0.100	-0.033	-0.275	-0.420
C8	-0.387	-0.292	-0.160	0.133	-0.029
C9	-0.264	-0.080	0.320	-0.156	-0.372
C10	0.256	-0.531	-0.610	-0.643	-0.702
C11	-0.440	-0.200	0.300	-0.097	-0.317
C12	-0.014	0.100	-0.115	-0.216	-0.296
C13	-0.171	0.156	-0.528	-0.685	-0.764
C14	0.189	-0.189	-0.513	-0.708	-0.791
C15	-0.237	0.100	-0.033	-0.275	-0.420
C16	-0.398	-0.242	0.470	-0.265	-0.510
C17	-0.330	-0.196	0.020	-0.005	-0.202
C18	0.000	0.000	-0.500	-0.667	-0.750

表 4 应用 AHP 确定的权重

Tab. 4 AHP weights of evaluation indexes

指标	权重	子指标	相对权重	$w_i^j$
$B_1$	0.374 96	C1	0.026 848	0.010 067
		C2	0.064 711	0.024 264
		C3	0.064 711	0.024 264
		C4	0.010 398	0.003 899
		C5	0.468 511	0.175 676
		C6	0.215 117	0.080 661
		C7	0.091 916	0.034 466
		C8	0.057 789	0.021 669
$B_2$	0.073 498	C9	0.666 667	0.048 999
		C10	0.333 333	0.024 499
$B_3$	0.215 36	C11	0.250 000	0.053 840
		C12	0.500 000	0.107 681
		C13	0.214 286	0.046 149
		C14	0.035 714	0.007 691
$B_4$	0.215 36	C15	0.136 500	0.029 397
		C16	0.625 013	0.134 603
		C17	0.238 487	0.051 361
$B_5$	0.120 813	C18	1.000 000	0.120 813

(2)熵值法确定权重

对表 3 中各评价指标关于评价等级隶属度  $K_j(V_i)$  做标准化处理得到  $y_{ij}$ , 计算结果见表 5.

因为评价量值为 5 级, 即  $m = 5$ , 所以

$$k = \frac{1}{\ln(m)} = 0.621\ 335$$

根据  $k$  值和表 5 中数据  $y_{ij}$ , 得到 C1 - C18 的

信息熵值  $e_i = -k \sum_{j=1}^m y_{ij} \ln(y_{ij})$  及差值  $h_i = 1 - e_i$ ,

最后计算各评价因素的权重  $w''_i = \frac{h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}$ , 结果如

表 6 所示.

(3) 综合权重

根据 AHP 法和熵值法确定的权重, 应用公式

(7) 确定各评价指标的综合权重  $w_i$ , 计算结果如表 7 所示.

3.4 确定关联度

根据公式(4) 计算等级关联度, 如表 8 所示.

3.5 判定评价等级

根据公式(5) 求得评价等级特征值如表 9 所示.

表 5 评价指标隶属度标准化值

Tab. 5 Standardized values of Degrees about the evaluation indexes

	$y_{ij}$				
	$j=1$	$j=2$	$j=3$	$j=4$	$j=5$
C1	0.000	0.191	0.464	1.000	0.325
C2	1.000	0.562	0.288	0.117	0.000
C3	0.125	0.333	1.000	0.333	0.000
C4	0.000	0.110	0.333	1.000	0.717
C5	0.533	1.000	0.000	1.000	0.533
C6	0.028	0.210	1.000	0.167	0.000
C7	0.352	1.000	0.744	0.279	0.000
C8	0.000	0.183	0.437	1.000	0.688
C9	0.156	0.422	1.000	0.312	0.000
C10	1.000	0.178	0.096	0.062	0.000
C11	0.000	0.324	1.000	0.464	0.166
C12	0.712	1.000	0.457	0.202	0.000
C13	0.645	1.000	0.257	0.086	0.000
C14	1.000	0.614	0.284	0.085	0.000
C15	0.352	1.000	0.744	0.279	0.000
C16	0.114	0.273	1.000	0.250	0.000
C17	0.000	0.383	1.000	0.929	0.366
C18	1.000	1.000	0.333	0.111	0.000

表 6 熵值法确定的评价指标权重

Tab. 6 Entropy weights of evaluation indexes

评价指标	$e_i$	$h_i$	$w''_i$	评价指标	$e_i$	$h_i$	$w''_i$
C1	0.644 678	0.355 322	0.043 289	C10	0.437 579	0.562 421	0.068 521
C2	0.579 684	0.420 316	0.051 208	C11	0.633 679	0.366 321	0.044 629
C3	0.616 534	0.383 466	0.046 718	C12	0.573 323	0.426 677	0.051 983
C4	0.526 979	0.473 021	0.057 629	C13	0.523 718	0.476 282	0.058 026
C5	0.416 615	0.583 385	0.071 075	C14	0.537 972	0.462 028	0.056 29
C6	0.450 842	0.549 158	0.066 905	C15	0.586 223	0.413 777	0.050 411
C7	0.586 223	0.413 777	0.050 411	C16	0.589 67	0.410 33	0.049 991
C8	0.577 472	0.422 528	0.051 477	C17	0.499 719	0.500 281	0.060 95
C9	0.632 148	0.367 852	0.044 816	C18	0.378 895	0.621 105	0.075 67

表 7 评价指标综合权重

Tab. 7 Complex weights of evaluation indexes

评价指标	$w_i$	评价指标	$w_i$
C1	0.007 356	C10	0.028 337
C2	0.020 974	C11	0.040 561
C3	0.019 135	C12	0.094 488
C4	0.003 793	C13	0.045 203
C5	0.210 768	C14	0.007 308
C6	0.091 096	C15	0.025 015
C7	0.029 329	C16	0.113 586
C8	0.018 829	C17	0.052 843
C9	0.037 068	C18	0.154 318

表 8 等级关联度值

Tab. 8 The interrelated values of levels

$K_1(p)$	$K_2(p)$	$K_3(p)$	$K_4(p)$	$K_5(p)$
-0.219 34	-0.111 34	-0.140 27	-0.296 2	-0.444 34

表 9 指标关联度值

Tab. 9 The interrelated values of indexes

$\overline{K_1(p)}$	$\overline{K_2(p)}$	$\overline{K_3(p)}$	$\overline{K_4(p)}$	$\overline{K_5(p)}$
0.675 684	1	0.913 118	0.444 863	0

根据公式(6)计算出城市交通可持续发展评价级别特征值如下:

$$j^* = \frac{\sum_{j=1}^m j^* K_j(p)}{\sum_{j=1}^m K_j(p)} = 2.37$$

通过对各指标  $C_i$  关于评价等级  $j$  的隶属度  $K_j(V_i)$  (见表 3) 最大值的筛选, 可以明确各指标的归属级别, 进而对城市交通可持续发展状况进行全面剖析, 分类结果见表 10.

表 10 各指标归属级别

Tab. 10 Development degrees of evaluation indexes

等级	评价指标
一级	C2 万人公交车标台数、C10 公交投资占交通基础设施比例、C14 事故直接经济损失
二级	C7 中心区停车泊位供需比、C12 公共交通分担率、C13 万车死亡率、C15 交通油耗协调系数、C18 城市交通系统管理能力
三级	C3 公交站 300 米覆盖率、C5 道路网密度、C6 公共交通线路网密度、C9 交通投资协调系数、C11 人均道路面积、C16 空气污染指数交通干线、C17 噪声平均值
四级	C1 居民平均出行时耗、C4 交通拥堵系数、C8 主干道平均车速

根据城市交通可持续发展评价级别特征值  $j^* = 2.37$ , 可判定北京城市交通可持续发展整体状况一般, 趋向良好. 根据表 10 可知: 北京市万人公交车标台数、公共交通投资和公共交通分担率隶属一、二级水平, 说明该市的公交改革成果显著, 取得了较大的进步; 交通事故直接经济损失、中心区停车泊位供需比、万车死亡率、城市交通系统管理能力也分别隶属一、二级水平, 可以看出北京市相关部门非常注重交通安全, 且静态交通管理规划得当、调控效果明显; 大气污染、噪声、道路网密度、人均道路面积等指标属于一般水平, 说明北京市在生态环境和交通公平方面仍需加大力度, 尤其是居民出行时耗、交通拥堵系数以及主干道平均车速均隶属四级水平, 说明北京市民的出行效率及满意度不高, 交通拥堵仍然严峻. 从交通系统的整体来看, 虽然北京市政府调控能力较强, 在交通投资、公共交通发展以及交通安全改善等方面取得了明显进步, 但在环境污染治理、居民出行满意度以及交通功能提升等方面仍需加强.

## 4 结 语

(1) 本文提出了一种基于 AHP-熵复合物元的城市交通可持续发展评价方法, 通过计算各评价指标量测值关于评价等级的隶属度以及所有评价指标关于评价等级的关联度来求解评价等级的特征值, 将多参数评价转换为单因素评价, 定量化的给出了城市交通可持续发展的整体水平; 而且通过分析城市交通系统各分项指标的归属级别, 可以清晰判断出城市交通可持续发展的优势与不足, 为促进城市交通的可持续发展提供了科学合理的依据.

(2) 权重系数确定的是否精确对于判定城市交通可持续发展有着重要的意义. 本文将主观赋权法-AHP 和客观赋权法-熵值法结合起来确定评价指标的权重, 充分考虑了专家知识经验以及数据本身蕴涵的信息, 能够更客观全面地反映各评价指标的重要性的问题的实际情况.

(3) 以北京市为例, 应用本文提出的方法对其交通可持续发展能力进行了深入系统的分析, 评价结果表明北京市政府调控能力较强, 在公共交通发展、交通安全、交通投资方面成绩显著, 但在交通环境治理、交通功能改善以及提升居民出行满意度等方面仍需加强, 符合北京市交通可持续发展的实际情况, 说明了该方法的有效性与实用性. 由于影响城市交通可持续发展的因素复杂多变, 不同城市可持续发展的侧重点不同, 因此在应用该方法时可结合城市发展的实际情况合理地选取指标, 以便科学地描述城市交通的可持续发展状况.

## 参考文献 References

- [1] 樊建林, 孙 章. 城市交通可持续发展评价指标体系的研究[J]. 上海铁道大学学报, 1999, 20(8): 57-59.

- FAN Jian-lin, SUN Zhang. Study on index system and assessment method for urban transit sustainable development [J]. Journal of Shanghai Tiedao University, 1999, 20(8): 57-59.
- [2] 杨浩, 赵鹏著. 交通运输可持续发展[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2001: 22-23.  
YANG Hao, ZHAO Peng. Transit sustainable development[M]. Beijing: China Railway Press, 2001: 22-23.
- [3] 王伟, 陈学武, 陆建. 城市交通系统可持续发展理论体系研究[M]. 北京: 科学出版社, 2004  
WANG Wei, CHEN Xue-wu, LU Jian. Study on urban transit system sustainable development [M]. Beijing: Science Press, 2004.
- [4] 吕兴宇. 沈阳城市交通可持续发展综合评价研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2003.  
LÜ Xing-yu. Comprehensive evaluation study on urban transit sustainable development in Shenyang [D]. Dalian University of Science and Technology, 2003.
- [5] 董立琼. 昆明城市交通可持续发展的综合评价[D]. 上海: 上海海事大学, 2006.  
DONG Li-qiong. Comprehensive evaluation on urban transit sustainable development in Kunming [D]. Shanghai: Shanghai Maritime University, 2006.
- [6] 赵建有, 俞礼军. 城市交通可持续发展状态量化评价方法[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2004, 24(4): 63-66.  
ZHAO Jian-you, YU Li-jun. Quantitative assessment method of sustainable development state for urban transport system[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2004, 24(4): 63-66.
- [7] 刘俊娟, 王伟, 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 development based on press-state-response and composite matter-element and extension method [J]. Journal of highway and transportation research and development, 2007, 24(10), 136-141.
- [8] 俞礼军, 徐建闽. 城市交通可持续发展状态模糊评价方法[J]. 交通计算机, 2008, 1(26): 1-4.  
YU Li-jun, XU Jian-min. Fuzzy assessment method of sustainable development for urban traffic system [J]. Computer and Science, 2008, 1(26): 1-4.
- [9] 徐文雅. 武汉城市交通可持续发展综合评价研究[D]. 武汉: 华中师范大学, 2009.  
XU Wen-ya. Study on comprehensive evaluation of Wuhan urban transport sustainable development[D]. Wuhan: College of urban and environmental science central china normal university, 2009.
- [10] 蔡文. 可拓集与可拓数据挖掘[M]. 北京: 科学出版社, 2008.  
CAI Wen. Extension set and extension data mining [M]. Beijing: Science Press, 2008.
- [11] 李聪攀. 基于可拓学的城市交通可持续发展评价研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2009.  
LI Cong-pan. Research on the evaluation of urban transportation sustainable development based on extension method [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2009.
- [12] 杨春燕, 蔡文. 可拓工程[M]. 北京: 科学出版社, 2007.  
YANG Chun-yan, CAI Wen. Extension engineering [M]. Beijing: Science Press, 2007.
- [13] 杜栋, 庞庆华. 现代综合评价方法与案例精选[D]. 北京: 清华大学出版社, 2006.  
DU Dong, PANG Qing-hua. Modern comprehensive evaluation methods and featured case [D]. Beijing: Tsinghua University Press, 2006.
- [14] 马振东, 梁钰锴. 改进 AHP-FCE 法在建设项目评价中的应用[J]. 西安建筑科技大学学报: 自然科学版, 2010, 42(3): 437-440.  
MA Zhen-dong, LIANG Yu-kun. Application of improved AHP-FCE method in construction project evaluation [J]. J. Xi'an Univ. of Arch. & Tech.: Natural Science Edition, 2010, 42(3): 437-440.
- [15] 周晓光. 基于熵权的模糊物元决策[J]. 系统管理学报, 2009, 18(4): 454-458.  
ZHOU Xiao-guang. Research on Method of Vague Matter-element Decision Making Based on Entropy Weight[J]. Journal of Systems & Management, 2009, 18(4): 454-458.

(下转第 858 页)

- [24] ZHANG Bin, SUN Bao-sheng, et al. Extraction and analysis of extracellular polymeric substances in membrane fouling in submerged MBR[J]. *Desalination*, 2008, 227(1/2/3):286-294.
- [25] 王禄仕, 张亚宁, 朱维晃. 汤峪水源水库沉积物中重金属形态分布特征及潜在生态风险评价[J]. *西安建筑科技大学学报:自然科学版*, 2010, 42(4):567-572.
- WANG Lu-shi, ZHANG Ya-ning, ZHU Wei-huang, The speciation of heavy metals in the sediment of the Tangyu Reservoir and assessments of the potential ecological risk [J]. *J. Xi'an Univ. of Arch. & Tech. :Natural Science Edition*, 2010, 42(4):567-572.

## A review on extracellular polymeric substance in environmental engineering

WANG Yi<sup>1,2</sup>, ZHENG Shu-jian<sup>1</sup>, PENG Dang-cong<sup>1,2</sup>

- (1. School of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an Univ. of arch. & Tech., Xi'an 710055, China;  
2. State Key Laboratory of Architecture Science and Technology in West China)

**Abstract:** Extracellular polymeric substances (EPS) are organic compounds secreted by microbes, which are very important for such biological aggregates as activated sludge or biofilm. So more and more research were focused on this aspect recently. Based on the introduction of EPS component, extracting method, analytic method, adsorptive property and its impact, the paper signaled the direction of EPS research for the future work.

**Key words:** *extracellular polymeric substance; environmental engineering; applications*

---

**Biography:** WANG Yi, Associate Professor, Ph. D., Xi'an 710055, P. R. China, Tel:0086-15809285181, E-mail: wangyi1003@sina.com

~~~~~  
(上接第 837 页)

## Evaluation model of urban traffic sustainable development based on matter element with AHP and entropy

LI Xiao-wei<sup>1,2</sup>, CHEN hong<sup>1</sup>, SHAO Hai-peng<sup>1</sup>, MA Juan<sup>1</sup>, ZHOU Ji-biao<sup>1</sup>

- (1. Highway School, Chang'an University, Xi'an Shaanxi, 710064 China;  
2. Highway Large-scale Structure Safety Engineering Center of the Ministry of Education, Xi'an Shaanxi, 710064 China)

**Abstract:** On the basis of index system about urban traffic sustainable development, a matter element model with AHP and entropy is proposed, which is based on extension theory and correlation function. Firstly, matter element of urban traffic sustainable development is made up of evaluation index, value and classification by matter element analysis. By calculating degrees of membership of evaluation indexes and the interrelated value of levels, urban traffic sustainable development and its trend are judged. Secondly, the weight of each index was determined by AHP method and entropy method considering the data objectivity and classification subjectivity. Lastly, the method is applied to the evaluation of urban traffic sustainable development in Beijing, which shows that the model is effective and practical in the evaluation of urban traffic sustainable development.

**Key words:** *traffic engineering; sustainable development; matter element; entropy; AHP*

---

**Biography:** LI Xiao-wei, Candidate for Ph. D., Xi'an 710064, P. R. China, Tel:0086-29-82334834, E-mail: 185381729@qq.com