

文章编号:1671-1637(2013)02-0080-06

公路网节点层次划分方法

劳潮惠, 吴群琪, 王芳

(长安大学 经济与管理学院, 陕西 西安 710064)

摘要:针对公路网节点层次划分问题,基于运输需求理论选取有效人口数量、有效人均收入、有效运输需求量、公路通行能力作为公路网节点层次划分的影响因素。应用灰色理论,通过计算聚类系数,建立了一种新的公路网节点层次划分方法,并基于山东省17个公路网节点进行实证分析。分析结果表明:应用提出的方法,根据节点重要程度可以将山东省17个公路网节点划分为3个灰类层次,第1灰类层次为公路网关键节点,包含济南、青岛、烟台、潍坊、济宁、临沂、德州、菏泽;第2灰类层次为公路网重要节点,包含淄博、泰安、聊城、滨州;第3灰类层次为公路网一般节点,包括枣庄、东营、威海、日照、莱芜。与既有划分结果相比,提出方法的划分结果更优,与山东省实际情况相符。

关键词:公路网;运输需求;节点层次;有效人口数量;有效人均收入;公路通行能力;灰色理论;聚类分析

中图分类号:U491.14

文献标志码:A

Division method of node level for highway network

LAO Chao-hui, WU Qun-qi, WANG Fang

(School of Economics and Management, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: Aiming at the division problem of node level for highway network, the effective population number, effective per capita income, effective transportation demand and highway capacity were taken as the influence factors of node level division for highway network based on transportation demand theory. The gray theory was used, the clustering coefficient was calculated, a new division method of node level for highway network was set up, and example verification was carried out by using 17 highway network nodes in Shandong Province. Analysis result indicates that by using the proposed method, the 17 highway network nodes can be divided into 3 gray class levels according to the importance degrees. The first gray class level is constituted by the key nodes of highway network, including Jinan, Qingdao, Yantai, Weifang, Jining, Linyi, Dezhou and Heze. The second gray class level is constituted by the important nodes of highway network, including Zibo, Tai'an, Liaocheng and Binzhou. The third gray class level includes the general nodes of highway network, such as Zaozhuang, Dongying, Weihai, Rizhao and Laiwu. Compared with the existing division result, the division result by using the proposed method is more excellent, and is accord with the actual situation in Shandong Province. 6 tabs, 1 fig, 18 refs.

Key words: highway network; transportation demand; node level; effective population number; effective per capita income; highway capacity; gray theory; clustering analysis

Author resumes: LAO Chao-hui(1966-), male, doctoral student, +86-29-82334898, 139012438@

收稿日期:2012-11-17

基金项目:国家自然科学基金项目(50808022);国家社会科学基金项目(11XJY027);教育部人文社会科学研究项目(11YJA630155)

作者简介:劳潮惠(1966-),男,广东开平人,长安大学工学博士研究生,从事道路运输规划研究。

导师简介:吴群琪(1956-),男,广东大埔人,长安大学教授,工学博士。

qq.com; WU Qun-qi(1956-), male, professor, PhD, +86-29-82334528, wqq@chd.edu.cn.

0 引言

公路网节点层次划分是公路网布局规划的重要内容和基础性工作,既是对各等级公路功能的深化分析,又是公路网线路优化的基础^[1],直接关系到公路网布局规划层次的深度及公路网布局方案的合理性与可靠性^[2]。为了科学划分公路网节点层次,国内外学者展开了大量相关研究。在影响节点层次划分的因素选取方面,Brown研究了公路网规划质量评价方法,提出在公路网节点选取时应重点考虑交通量与节点经济发展水平^[3];Levinson等研究了公路网宏观层次扩展模型,提出节点层次划分应考虑节点经济与人口规模^[4];Geisberger提出了依据线路等级与使用率指标划分公路网节点层次的方法^[5];邓亚娟等研究了公路网节点的重要程度问题,选取连通性、中间性、中心性、可靠性等指标对节点重要程度进行评价,并给出求解的对偶拓扑方法^[6]。在公路网节点层次划分方法方面,Paiva等研究了公路网节点的可达性问题,认为在公路网规划时仅依靠定量方法可能导致资源配置的不公平现象^[7];James等基于改进的动态聚类思想与最短路径思想构建了公路网节点动态规划方法,并给出求解的遗传算法^[8];胡启洲等研究了公路网线路与节点层次划分与布局问题,构建出节点层次划分的双层模型,并利用微分进化算法进行求解^[9];刘世铎等研究了公路网节点的可达性问题,提出不同层次节点的可达性程度不同,并构建出评价指标体系^[10]。以上研究主要选取人口总量、GDP规模、机动车保有量、交通量等因素,采用专家经验法、动态聚类分析等方法划分公路网节点层次,无论是节点影响因素的选取,还是节点层次划分方法的构建,都没有体现公路网最大限度满足运输需求的本质功能。这也是目前一些公路少车问津,一些公路则拥挤不堪等现象普遍存在的原因,如日东高速拥挤度为0.16,京沪高速拥挤度为0.25,京福高速拥挤度为1.36。

无论是过度畅通,还是过度拥挤,都会严重影响公路网的运行效率与资源的配置效果。这就要求在进行公路网节点层次划分时,充分体现公路网最大限度满足运输需求的本质功能,以提高公路网的运行效率,实现资源的高效配置。基于此,本文以运输需求为主导变量,选取有效人口数量、有效人均收入、有效运输需求量及公路通行能力作为主要影响

因素,建立基于灰色理论的公路网节点层次划分方法,并以山东省17个公路网节点为研究对象进行实证研究。

1 影响因素选取

在公路网节点层次划分时主要考虑节点运输需求,因此,在节点层次影响因素选取上主要考虑影响运输需求的因素。根据系统理论,事物的特性由许多因素联合作用决定,但起支配作用的因素只有一个或者少数几个^[11],支配要素的量变、异化引起经济特性的趋势变化,所以运输需求的发展趋势应由几个变量共同作用决定。

1.1 有效人口数量

人是客运需求的主体,人口数量对客运需求有重要影响,出行需求特征因收入水平、年龄不同会存在较大差异,中国城市人口日均出行次数为2.3次,农村人口日均出行次数为1.8次^[12-15]。有效人口数量是以城市人口为基准计算出的人口数量,即按出行消费关系,把农村人口转化为相应比例的城市人口。由于不同年龄段的人具有不同的出行需求强度,本文以年龄段作为统计对象,有效人口数量 Q 为

$$Q = \alpha_1 Q_1 + \frac{A_2}{A_1} \alpha_2 Q_2$$

式中: Q_1 为城市人口数量; Q_2 为农村人口数量; α_1 为城市15~65岁的人口数量占总数的比例; α_2 为农村15~65岁的人口数量占总数的比例; A_1 为城市人口年人均交通出行费用; A_2 为农村人口年人均交通出行费用。

1.2 有效人均收入

随着人均收入水平不断提高,在不断追求更高品质和品位享受的驱动下,居民出行需求不断增加,如旅行、游览等活动兴起,收入水平提高是产生这些需求的内在动因^[16-17]。对于交通支出占收入的比例,城市居民约为10%,农村居民约为7%,而且随着居民收入水平提高,该比例也不断提高,这说明人均收入水平是影响运输需求的主要因素。城市与农村居民人均收入相差较大,因此,用有效人均收入进行衡量,即以城市人口人均收入为基准,将农村人口人均收入按一定比例转换为城市人口人均收入。有效人均收入 E 为

$$E = (\alpha_1 Q_1 M_1 + \alpha_2 Q_2 M_2) / Q$$

式中: M_1 为城市人口人均收入; M_2 为农村人口人

均收入。

1.3 有效运输需求量

有效运输需求量是指能对公路网节点层次划分产生直接影响的产品运输需求量,受产品产量与外运系数影响。有效运输需求量 F 为

$$F = \sum_{i=1}^n b_i K_i$$

式中: b_i 为第 i 种产品的外运系数; K_i 为第 i 种产品的生产量; n 为统计的产品种类。

1.4 公路通行能力

由于经济发展能促使旅客与货物运输需求增加,供给条件改善和品质提升,不但能更好地满足现有运输需求,还能诱导潜在运输需求向现实运输需求转化^[18],而公路通行能力是衡量现有供给条件的主要因素,为更准确划分公路网节点层次,本文对高等级公路与低等级公路的通行能力分别进行计量。公路通行能力分别为

$$Z_1 = \sum_{k=1}^3 \sum_{j=1}^4 A_{kj} B_{kj}$$

$$Z_2 = \sum_{k=4}^6 \sum_{j=1}^4 A_{kj} B_{kj}$$

式中: Z_1 为高等级公路通行能力; Z_2 为低等级公路通行能力; A_{kj} 为 k 等级 j 规模公路的里程; B_{kj} 为 k 等级 j 规模公路的单位里程通行能力; k 取 1~6 分别代表高速、一级、二级、三级、四级、等外级公路, j 取 1~4 分别代表双向二、四、六、八车道。

2 公路网节点层次划分方法

运输需求是公路网节点层次划分的主要依据,但由于成本等因素的制约,全面准确掌握运输需求相关数据并不现实,因此,本文在分析有效人口数量、有效人均收入、有效运输需求量、公路通行能力等运输需求主要影响因素相关数据的基础上,引入灰色理论研究公路网节点层次的划分方法。

灰色理论主要用于研究部分信息已知与部分信息未知的不确定性问题,灰色聚类适用于公路网节点层次划分,其依据指标数值确定聚类权,要求各项指标具有相同的意义与量纲。而公路网节点层次影响因素并不满足意义和量纲相同的条件,直接使用灰色聚类进行层次划分具有一定局限性,需要对聚类方法进行相应的改进,主要体现在 2 个方面,一是在确定各项指标聚类权时将指标数量值大小进行量纲为 1 处理,使得指标的作用程度与子类无关,结合专家经验对聚类权进行修正;二是在计算灰色聚类

系数时使用改进后的聚类权,融入专家经验。

2.1 确定观测值矩阵

本文以山东省公路网 17 个节点为研究对象,影响因素包括有效人口数量(10^4 人)、有效人均收入(10^2 元·年⁻¹)、有效运输需求量(10^9 t)、高等级公路通行能力(10^4 pcu·d⁻¹)、低等级公路通行能力(10^4 pcu·d⁻¹),根据这 5 个影响因素对 17 个公路网节点的作用程度不同,将公路网节点划分为 3 个灰类层次。根据实地调研测算得出第 p 个对象关于第 q 指标的观测值 x_{pq} , $p=1\sim 17$, $q=1\sim 5$,将第 p 个对象归入第 t 个灰类, $t=1\sim 3$,由此得出观测值矩阵 B 为

$$B = (x_{pq})_{17 \times 5}$$

观测值矩阵 B 中 x_{pq} 对应的影响因素见表 1。

表 1 影响因素

Tab. 1 Influence factors

节点	有效人口 数量/ 10 ⁴ 人	有效人均 收入/ (10 ² 元·年 ⁻¹)	高等级公路 通行能力/ (10 ⁴ pcu·d ⁻¹)	低等级公路 通行能力/ (10 ⁴ pcu·d ⁻¹)	有效运输 需求量/ 10 ⁹ t
济南	357.89	128.76	558.80	1 170.19	173.05
青岛	419.54	121.76	1 233.71	1 596.28	283.15
淄博	198.65	107.10	424.86	1 107.72	153.38
枣庄	159.65	97.31	283.46	714.90	99.94
东营	86.10	106.52	356.81	816.33	117.43
烟台	315.30	109.03	777.78	1 246.50	202.56
潍坊	404.89	106.71	896.45	2 396.09	329.39
济宁	320.41	92.12	531.30	1 604.06	213.65
泰安	224.25	94.73	384.38	1 486.06	187.16
威海	123.03	110.15	341.61	767.75	111.06
日照	123.12	99.97	247.89	714.25	96.32
莱芜	56.50	102.95	176.02	32.29	20.94
临沂	378.53	87.87	726.63	2 387.10	311.49
德州	227.09	94.45	428.29	2 149.42	257.89
聊城	256.44	101.27	357.77	1 784.69	214.37
滨州	146.32	91.96	364.02	1 572.26	193.74
菏泽	332.26	86.96	369.50	2 041.21	241.18

2.2 构造白化权函数

白化权函数用于定量描述对象隶属于灰类的程度,函数形式为分段函数。根据函数分段点位置,可将白化权函数分为典型白化权函数、上限测度白化权函数、适中测度白化权函数、下限测度白化权函数,其中后 3 类白化权函数是典型白化权函数的特例。本文结合公路网节点层次与影响因素特征,将 17 个对象关于影响因素 q 的取值分为 3 个灰类,称之为 q 影响因素子类,而 q 影响因素 t 子类的白化权函数可以记为 $f_q(\cdot)$,由此构造出典型白化权函

数为

$$f_q(x) = \begin{cases} 0 & x \notin [x_q(1), x_q(4)] \\ \frac{x - x_q(1)}{x_q(2) - x_q(1)} & x \in [x_q(1), x_q(2)) \\ 1 & x \in [x_q(2), x_q(3)) \\ \frac{x_q(4) - x}{x_q(4) - x_q(3)} & x \in [x_q(3), x_q(4)] \end{cases}$$

式中: $x_q(1)$ 、 $x_q(2)$ 、 $x_q(3)$ 、 $x_q(4)$ 分别为白化权函数的分段点; x 为影响因素的取值。

根据遗传算法测算出 q 影响因素 t 灰类分段点的具体取值, 为实现影响因素对灰类的作用程度测算标准化, 将每类影响因素隶属于不同灰类的分段点进行统一, 由此分段点取值表现为 $x_q(1)$ 、 $x_q(2)$ 、 $x_q(3)$ 、 $x_q(4)$ 。各影响因素分段点统计量见表 2。

表 2 分段点统计量

Tab. 2 Statistics of piecewise points

分段点	有效人口 数量/ 10 ⁴ 人	有效人均 收入/ (10 ² 元·年 ⁻¹)	高等级公路 通行能力/ (10 ⁴ pcu·d ⁻¹)	低等级公路 通行能力/ (10 ⁴ pcu·d ⁻¹)	有效运输 需求量/ 10 ⁹ t
$x_q(1)$	90.53	85.07	184.30	736.00	103.65
$x_q(2)$	181.65	95.20	411.09	1 348.27	195.21
$x_q(3)$	338.11	109.29	693.42	1 804.97	279.01
$x_q(4)$	397.94	127.02	980.71	2 414.59	323.80

2.3 确定灰类临界值

由于不同的白化权函数临界值不同, 主要依据白化权函数的转折点, 结合专家经验确定, 设 h_q 为 q 影响因素 t 灰类的典型白化权函数临界值, 则有

$$h_q = \frac{1}{2}[x_q(2) + x_q(3)]$$

2.4 确定指标聚类权

聚类权主要是根据指标数量值所占比确定, 如果某一指标所占比重大, 则该指标的作用程度较大, 设 δ_q 为 q 影响因素 t 灰类的聚类权, 具体计算方法为

$$\delta_q = \frac{h_q}{\sum_{q=1}^5 h_q}$$

改进后, 聚类权与灰类无关, 即某一影响因素对任意 2 个灰类的作用方式相同, 由此可以将聚类权在原先基础上, 结合专家调查进行修正, 修正后的聚类权 δ_q 为

$$\delta_q = \frac{\omega}{10} \sum_{g=1}^{10} \delta_{qg} + (1 - \omega) \delta_q$$

式中: δ_{qg} 为通过第 g 位专家调查所得影响因素聚类权; ω 为调整系数。

影响因素的聚类权见表 3。

表 3 聚类权

Tab. 3 Clustering weights

影响 因素	有效人口 数量	有效人均 收入	高等级公路 通行能力	低等级公路 通行能力	有效运输 需求量
聚类权	0.18	0.24	0.09	0.11	0.38

2.5 计算聚类系数

改进前, 聚类系数的计算使用改进前的聚类权, 设 u_{pt} 为节点 p 属于 t 灰类的聚类系数, 则有

$$u_{pt} = \sum_{q=1}^5 f_q(x_{pq}) \delta_q$$

节点 p 的聚类系数向量 U_p 为

$$U_p = (u_{p1}, u_{p2}, u_{p3}) = \left(\sum_{q=1}^5 f_{q1}(x_{pq}) \delta_{q1}, \sum_{q=1}^5 f_{q2}(x_{pq}) \delta_{q2}, \sum_{q=1}^5 f_{q3}(x_{pq}) \delta_{q3} \right)$$

改进后, 聚类系数的计算使用修正的聚类权, 设 c_{pt} 为节点 p 属于 t 灰类的聚类系数, 则有

$$c_{pt} = \sum_{q=1}^5 f_q(x_{pq}) \delta_q$$

改进后的聚类系数向量 C_p 为

$$C_p = (c_{p1}, c_{p2}, c_{p3}) = \left(\sum_{q=1}^5 f_{q1}(x_{pq}) \delta_q, \sum_{q=1}^5 f_{q2}(x_{pq}) \delta_q, \sum_{q=1}^5 f_{q3}(x_{pq}) \delta_q \right)$$

2.6 灰类层次划分

通过对比节点 p 属于 t 灰类的聚类系数, 选取聚类系数最大值所属灰类确定为节点所属灰类。将公路网节点层次划分过程中聚类权与聚类系数修正以后, 公路网节点层次划分方法的算法流程见图 1。

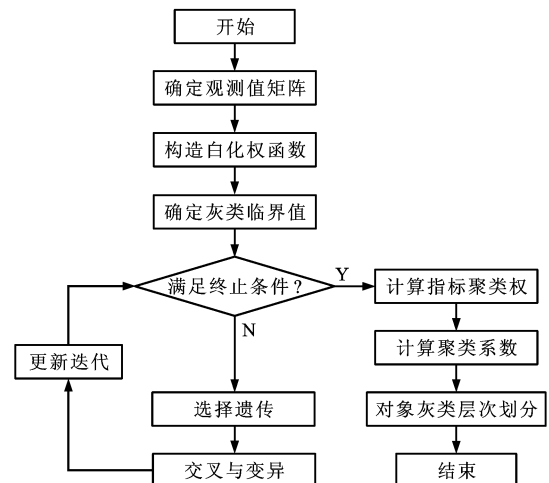


图 1 算法流程

Fig. 1 Algorithm flow

3 计算结果分析

依据本文建立的公路网节点层次划分方法,各个节点隶属于3个灰类的聚类系数见表4,并通过对比聚类系数的大小对节点层次进行划分,结果见表5。

表4 聚类系数

Tab. 4 Clustering coefficients

节点	第1灰类	第2灰类	第3灰类
济南	0.487	0.413	0.115
青岛	0.915	0.114	0.000
淄博	0.200	0.680	0.239
枣庄	0.058	0.330	0.671
东营	0.100	0.323	0.600
烟台	0.489	0.393	0.010
潍坊	0.879	0.134	0.033
济宁	0.410	0.368	0.179
泰安	0.243	0.785	0.204
威海	0.142	0.304	0.461
日照	0.055	0.314	0.668
莱芜	0.064	0.171	0.871
临沂	0.747	0.035	0.200
德州	0.491	0.413	0.156
聊城	0.413	0.568	0.087
滨州	0.214	0.705	0.205
菏泽	0.508	0.202	0.200

表5 节点层次划分结果

Tab. 5 Division result of node levels

灰类	节点
1	济南、青岛、烟台、潍坊、济宁、临沂、德州、菏泽
2	淄博、泰安、聊城、滨州
3	枣庄、东营、威海、日照、莱芜

根据公路网节点隶属于不同灰类的聚类系数,济南、青岛、烟台、潍坊、济宁、临沂、德州、菏泽隶属于第1灰类的聚类系数分别为0.487、0.915、0.489、0.879、0.410、0.747、0.491、0.508,大于隶属于第2灰类与第3灰类的聚类系数;淄博、泰安、聊城、滨州隶属于第2灰类的聚类系数分别为0.680、0.785、0.568、0.705,大于隶属于第1灰类与第3灰类的聚类系数;枣庄、东营、威海、日照、莱芜隶属于第3灰类的聚类系数分别为0.671、0.600、0.461、0.668、0.871,大于隶属于第1灰类与第2灰类的聚类系数。由此得出不同灰类层次包含的公路网节点,其中第1灰类层次为公路网关键节点,其主要位于区域公路网主干线之上,并且有效人口数量与有效运输需求量大,有效人均收入水平与公路通行能力水平高。第2灰类层次为公路网重要节点,其主

要位于区域公路网的次主干线之上,有效人口数量与有效运输需求量相对较大,有效人均收入水平与公路通行能力水平相对较高。第3灰类层次为公路网一般节点,其主要位于区域公路网次主干线与支线之上,有效人口数量与有效运输需求量相对较小,有效人均收入水平与公路通行能力水平相对较低。

与改进前的公路网节点层次划分方法相比,应用本文方法所得结果的差异主要体现在第1灰类与第2灰类包含的公路网节点不同,使用本文方法,青岛、潍坊、临沂、德州、菏泽隶属于第1灰类,使用改进前的划分方法,以上节点隶属于第2灰类;使用本文方法,淄博、泰安、聊城、滨州隶属于第2灰类,使用改进前划分方法,以上节点隶属于第1灰类,见表6。

表6 划分结果对比

Tab. 6 Comparison of division results

灰类	改进后的结果	改进前的结果
1	济南、青岛、烟台、潍坊、 济宁、临沂、德州、菏泽	济南、烟台、济宁、淄博、 滨州、泰安、聊城
2	淄博、泰安、聊城、滨州	青岛、潍坊、菏泽、德州、临沂
3	枣庄、东营、威海、日照、莱芜	枣庄、东营、威海、日照、莱芜

青岛、潍坊为区域公路网干线济青高速途经节点,工业相对发达,临沂、德州、菏泽分别位于区域公路网干线济青南线、京沪高速、日东高速之上,以农业或加工制造业为主导产业,但有效人口数量与有效运输需求量大,有效人均收入水平与公路通行能力高,符合第1灰类层次节点特征。淄博、泰安、聊城、滨州分别位于济青高速、京福高速、青兰高速、滨济高速之上,其中淄博以精细加工业为主,泰安以旅游业为主,聊城与滨州以传统农业为主,这些节点的区位优势、资源禀赋、经济结构共同决定其有效运输需求量与有效人口数量相对较大,公路通行能力水平与有效人均收入相对较高,与第2灰类层次的节点特征相符。可见,与改进前的公路网节点层次划分方法相比,本文基于灰色理论构建出的公路网节点层次划分方法所得结果更符合山东省公路网节点实际情况。

4 结 语

公路网节点层次划分作为公路网规划的重要内容,是线路规划布局的前提与基础,公路网节点层次划分的合理性直接关系到线路布局的科学性。本文从公路网为运输服务的本质功能出发,以最大程度满足运输需求作为公路网规划的出发点和归宿点,提出影响公路网节点层次划分的因素包括有效人口

数量、有效人均收入、有效运输需求量、高等级公路通行能力、低等级公路通行能力5个影响因素,并基于灰色理论构建公路网节点层次划分方法。根据山东省公路网17个节点的5个影响因素的调研,应用节点层次划分方法,将17个公路网节点划分为关键节点、重要节点、一般节点3个层次,其中关键节点层次包含8个节点,重要节点层次包含4个节点,一般节点层次包含5个节点,同时结合不同公路网节点的资源禀赋、区位优势、经济结构等因素对层次划分结果进行分析,改进后的划分结果更贴近山东省实际情况。

参考文献:

References:

- [1] 邹海波,吴群琪. 交通运输方式协调发展的状态评价[J]. 交通运输工程学报,2007,7(6):113-118.
ZOU Hai-bo, WU Qun-qi. Situation evaluation of coordinated development among transportation modes[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2007, 7(6): 113-118. (in Chinese)
- [2] 张生瑞,邵春福. 交通运输系统协调发展理论与模型研究[J]. 数学的实践与认识,2007,37(6):1-6.
ZHANG Sheng-rui, SHAO Chun-fu. Coordination theory and mode of transportation system[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2007, 37(6): 1-6. (in Chinese)
- [3] BROWN G. A method for assessing highway qualities to integrate values in highway planning[J]. Journal of Transport Geography, 2003, 11(1): 271-283.
- [4] LEVINSON D, KARAMALAPUTI R. A model of highway network expansion at the microscopic level[J]. Journal of Transport Economics and Policy, 2003, 37(3): 297-318.
- [5] GEISBERGER R. Contraction hierarchies: faster and simpler hierarchical routing in road networks [D]. Karlsruhe: Karlsruhe University, 2008.
- [6] 邓亚娟,杨云峰,马荣国. 基于复杂网络理论的公路网结构特征[J]. 中国公路学报,2010,23(1):98-104.
DENG Ya-juan, YANG Yun-feng, MA Rong-guo. Highway network structure characteristics based on complex network theory[J]. China Journal of Highway and Transport, 2010, 23(1): 98-104. (in Chinese)
- [7] PAIVA R P, DOURADO A. Interpretability and learning in neuro-fuzzy systems[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2004, 14(7): 17-38.
- [8] JAMES O, SVEIN B. On public attitudes toward implementation of toll roads—the case of Oslo toll ring[J]. Transport Policy, 1997, 4(2): 73-83.
- [9] 胡启洲,吴娟,袁长伟. 基于微分进化算法的经济圈公路网双层优化模型[J]. 中国公路学报,2012,25(2):100-105.
HU Qi-zhou, WU Juan, YUAN Chang-wei. Bi-level optimization model of highway network in economic circle based on differential evolution algorithm[J]. China Journal of Highway and Transport, 2012, 25(2): 100-105. (in Chinese)
- [10] 刘世铎,吴群琪. 基于运输需求的公路网可达性研究[J]. 长安大学学报:社会科学版,2010,12(1):40-45.
LIU Shi-duo, WU Qun-qi. Accessibility of highway network on the basis of transportation demand[J]. Journal of Chang'an University: Social Science Edition, 2010, 12(1): 40-45. (in Chinese)
- [11] 钟晓芳,刘思峰. 基于灰色聚类的多指标稳定性设计研究[J]. 数学的实践与认识,2011,41(18):24-30.
ZHONG Xiao-fang, LIU Si-feng. Multi-response robust design research based on gray cluster[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2011, 41(18): 24-30. (in Chinese)
- [12] 刘浩学,冯忠祥,赵伟华,等. 中国农村人口出行距离分布模型[J]. 长安大学学报:自然科学版,2010,30(6):68-71.
LIU Hao-xue, FENG Zhong-xiang, ZHAO Wei-hua, et al. Trip distance distribution mode of Chinese rural population[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2010, 30(6): 68-71. (in Chinese)
- [13] 吴薇. 农村居民的消费结构研究[D]. 长春:吉林大学,2009.
WU Wei. Study of countryside inhabitant consumption structure[J]. Changchun: Jilin University, 2009. (in Chinese)
- [14] 刘东皇. 中国居民消费的制约因素及增长绩效研究[D]. 南京:南京大学,2011.
LIU Dong-huang. An analysis on restricted factors and growth efficiency of residents consumption in China[J]. Nanjing: Nanjing University, 2011. (in Chinese)
- [15] 罗靓,云虹,徐星. 城市居民出行特征及交通需求管制对策[J]. 长安大学学报:社会科学版,2011,13(4):42-46.
LUO Liang, YUN Hong, XU Xing. Movement characteristics of city residents and management strategy for traffic demands[J]. Journal of Chang'an University: Social Science Edition, 2011, 13(4): 42-46. (in Chinese)
- [16] 汪传旭,蒋良奎. 基于混合轴-辐结构的区域运输网络优化模糊交互规划模型[J]. 中国公路学报,2010,23(2):84-91.
WANG Chuan-xu, JIANG Liang-kui. Interactive fuzz programming model for optimization of extended hub-and-spoke regional transportation networks[J]. China Journal of Highway and Transport, 2010, 23(2): 84-91. (in Chinese)
- [17] 杨小宝,张宁,关羽. 基于行为分析的道路通行能力中车道数因素研究[J]. 土木工程学报,2009,42(10):104-110.
YANG Xiao-bao, ZHANG Ning, GUAN Yu. Behavior-based analysis of the relationship between expressway capacity and number of lanes[J]. China Civil Engineering Journal, 2009, 42(10): 104-110. (in Chinese)
- [18] 孙启鹏,吴群琪. 基于路段通行能力的运输系统成本模型[J]. 长安大学学报:自然科学版,2007,27(5):94-97.
SUN Qi-peng, WU Qun-qi. Cost model of transportation system based on traffic capacity in corridor[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2007, 27(5): 94-97. (in Chinese)