

城市客运交通方式生态指数及其计算方法

Ecological Index and Its Calculation Method for Urban Passenger Transportation Modes

隽海民^{1,2}, 裴玉龙¹

(1. 哈尔滨工业大学交通科学与工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090; 2. 大连市城市规划设计研究院, 辽宁 大连 116011)

Jun Haimin^{1,2}, Pei Yulong¹

(1. School of Transportation Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin Heilongjiang 150090, China; 2. Dalian Urban Planning & Design Institute, Dalian Liaoning 116011, China)

摘要: 定量分析城市各种交通方式的生态水平, 可以为城市交通规划和设施建设提供参考依据。引入生态指数概念衡量各种交通方式的生态水平, 借鉴各种交通方式在土地占用、能源消耗和环境污染指标方面较成熟的计算模型, 选择恰当的标准化方法, 将原始数据转化成生态指数定义中通用的数据格式进行计算分析。以大连市为例进行分析, 得到私人小汽车、出租汽车、常规公交、快速公交、轨道交通、步行和自行车交通方式的生态指数分别为0.26, 0.24, 0.18, 0.15, 0.12, 0.02和0.03, 直观地反映了不同交通方式的生态化水平。

Abstract: Quantitatively analyzing ecological level of the various travel modes in cities can provide a reference for urban transportation planning and infrastructure construction. To measure the ecological level of the various travel modes, this paper introduces the concept of ecological index. Then, the paper learns from the mature indicators formula and selects appropriate standard method of land use, energy consumption and environmental pollution, in order to draw raw data into common data form in ecological index definition. Therefore, the calculation for the eco-index defined style could be carried on. In case study of Dalian City, the ecological index of rail, private car, taxi, regular bus, bus rapid transit, walking and cycling is 0.12, 0.26, 0.24, 0.18, 0.15, 0.02 and 0.03, respectively. The quantified indicators for ecological index can directly reflect the ecological level of the different travel modes.

关键词: 客运交通方式; 生态水平; 生态指数; 计算方法; 大连市
Keywords: passenger travel modes; ecological level; ecological index; calculation method; Dalian city

中图分类号: U491 文献标识码: A

收稿日期: 2012-01-19

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划重点项目“城市综合交通系统规划与评价关键技术研究(2006BAJ18B01-03)”

作者简介: 隽海民(1973—), 男, 吉林镇赉人, 博士研究生, 教授级高级工程师, 主要研究方向: 交通规划、生态交通。

E-mail: junhaimin@163.com

0 引言

20世纪70年代, 联合国教科文组织进行的“人与生物圈(Man and Biosphere, MAB)”计划中首次出现了生态城市的概念^[1]。生态城市追求的目标是构建人与自然健康发展、用地布局紧凑、充满活力、节能环保的人类聚居地^[2-3]。

目前, 城市交通规划理念主要致力于解决城市交通供需矛盾, 即日益增长的交通需求与相对紧张的设施供给之间的矛盾; 重视整体交通系统的运营效率、运营成本与各种交通方式的舒适性; 主要研究目的是缓解城市交通拥挤程度、改善交通安全运行条件^[4]。该理念对日益突出的交通能源消耗与交通环境污染等问题的考虑不够充分。因此, 有必要从生态角度展开城市交通规划研究, 其中不可或缺的部分是对各种交通方式生态水平的量化。

1 客运交通方式生态指数定义

指数是一种传统、直观的社会经济分析方法, 已被广泛应用于各个领域。在经济学中, 广义上任何两个数值对比形成的相对数都可以称为指数; 狭义上的指数则是用于测定多个项目在不同情

境下综合变化的一种特殊相对数^[5-6]。本文定义的客运交通方式生态指数是对某种客运交通方式的土地资源占用量、能源消耗量和环境污染量分别进行标准化和去量纲化后，进行线性求和得到的介于0~1的数值，其结果反映某种交通方式对生态环境影响的程度，数值越小表明对环境的影响越小。

生态指数作为客运交通方式生态水平的定量指标，其模型表述和计算方法是本文研究的关键所在。借鉴金融市场股票指数的计算方法，同时基于交通工程专业知识，改进后的客运交通方式生态指数计算流程见图1。

2 客运交通方式生态指数计算方法

根据生态指数的定义及构成，生态指数 I_E 的定义式为

$$I_E^j = \alpha E_s^j + \beta E_n^j + \sigma E_h^j, \quad (1)$$

式中： I_E^j 为交通方式 j 的生态指数； E_s^j 为交通方式 j 的土地资源指数； E_n^j 为交通方式 j 的能源消耗指数； E_h^j 为交通方式 j 的环境污染指数； α 为交通方式 j 的土地资源重要度； β 为交通方式 j 的能源消耗重要度； σ 为交通方式 j 的环境污染重要度。

利用式(1)可将某种交通方式生态指数的计算，转化为求解其土地资源指数、能源消耗指数和环境污染指数的线性和。具体计算时，可由式(2)~(4)计算土地资源指数、能源消耗指数和环境污染指数，然后将其代入式(1)计算某种交通方式的生态指数。

1) 交通方式 j 的土地资源指数 E_s^j 的计算模型为

$$E_s^j = A^j E_s^{\text{静}} + B^j E_s^{\text{动}}, \quad (2)$$

式中： $E_s^{\text{静}}$ 为交通方式 j 的静态占地； $E_s^{\text{动}}$ 为交

通方式 j 的动态占地； A^j ， B^j 为交通方式 j 的占地系数。

2) 交通方式 j 的能源消耗指数 E_n^j 的计算模型为

$$E_n^j = C^j E_n^{\text{油}} + D^j E_n^{\text{汽}} + E^j E_n^{\text{电}}, \quad (3)$$

式中： $E_n^{\text{油}}$ 为交通方式 j 的燃油消耗； $E_n^{\text{汽}}$ 为交通方式 j 的燃气消耗； $E_n^{\text{电}}$ 为交通方式 j 的电力消耗。 C^j ， D^j 和 E^j 为交通方式的能源消耗系数。

3) 交通方式 j 的环境污染指数 E_h^j 的计算模型为

$$E_h^j = F^j E_h^{\text{CO}} + G^j E_h^{\text{NO}_x} + H^j E_h^{\text{HC}}, \quad (4)$$

式中： E_h^{CO} 为交通方式 j 排放的CO； $E_h^{\text{NO}_x}$ 为交通方式 j 排放的NO_x； E_h^{HC} 为交通方式 j 排放的HC； F^j ， G^j 和 H^j 为交通方式 j 的环境污染系数。

3 生态指标的计算及标准化

3.1 生态指标的计算

土地资源指数、能源消耗指数和环境污染指数由实际统计数据经过标准化得到，其中有些指标无法直接检测，而是通过公认的模型计算得到。

1) 土地占用指标。

车辆静态土地占用指标可结合城市停车规划中关于停车场指标的计算方法来取值，见式(5)

$$S_j^{\text{静}} = S_j^n \theta, \quad (5)$$

式中： $S_j^{\text{静}}$ 为 j 类交通方式(或车辆类型)静态占用设施面积/m²； S_j^n 为 j 类交通方式的停车泊位面积/m²； θ 为 j 类交通方式的停车场需求系数。

车辆动态土地占用指标可按照车辆运动状态下某一瞬间对道路资源的合理需要进行取值，见式(6)。

$$S_j^{\text{动}} = h_j b, \quad (6)$$

$$h_j = l_{j\text{车}} + l_0 + \frac{v_j^2}{254(\varphi + f + i)} + \frac{v_j t_0}{3.6},$$

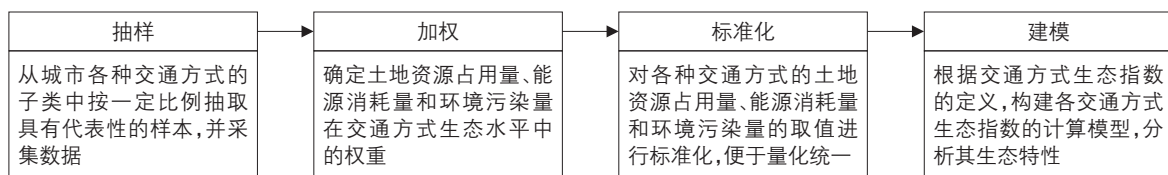


图1 客运交通方式生态指数的计算流程

Fig.1 Calculation process of eco-index for travel modes

式中: $S_j^{\text{动}}$ 为 j 类交通方式动态占用道路面积/ m^2 ; h_j 为 j 类交通方式的最小车头间距/ m ; b 为车道宽度/ m ; $l_{j\text{车}}$ 为 j 类型车辆车身长度/ m ; l_0 为停车时的安全距离, 一般取 2 m ; v_j 为 j 类型车辆的平均车速/ $(\text{km}\cdot\text{h}^{-1})$; φ 为汽车轮胎与路面的纵向附着系数, $\varphi \in (0.29, 0.44)$; f 为滚动阻力系数, 一般取 0.02 ; i 为道路纵坡, 上坡取正, 下坡取负, 可根据城市具体情况选取; t_0 为驾驶人反应时间, 一般取 2.5 s 。

2) 能源消耗指标。

本文只考虑各种交通方式的直接能耗, 不考虑能源转化部分, 如不考虑电力是水电、热电或核电的不同。虽然各种交通方式的能源驱动形式不同, 但电力、燃油等消耗都可以转化为通用的国际单位 MJ , 以达到能源消耗的量化统一。

轨道交通包括地铁、轻轨和有轨电车等形式, 目前中国建成运营和规划中的轨道交通都采用电力驱动。利用上海市轨道交通运营统计数据进行线性回归, 得到轨道交通的基本能耗因子模型^[7]:

$$en_{\text{rail}} = 0.3453S_{\text{rail}} + 0.4078T_{\text{rail}} + 5.7592, \quad (7)$$

式中: en_{rail} 为轨道交通的基本能耗因子/ $(10^4\text{MJ}\cdot\text{辆}^{-1})$; S_{rail} 为轨道交通的月均行驶里程/ (10^4 km) ; T_{rail} 为统计时间内的月平均气温/ $^{\circ}\text{C}$ 。

常规公交多是燃油驱动, 其油耗因子国内外

研究较多。本文采用文献[8]构建的油耗—车速模型, 其基本表达式见式(8)。

$$en_{\text{bus}} = 0.003046v_{\text{bus}}^2 - 0.374005v_{\text{bus}} + 19.41933, \quad (8)$$

式中: en_{bus} 为常规公交的基本能耗因子/ $(\text{MJ}\cdot\text{车公里}^{-1})$; v_{bus} 为常规公交的行驶速度/ $(\text{km}\cdot\text{h}^{-1})$ 。

私人小汽车和出租汽车一般也是燃油驱动, 本文同样采用文献[8]构建的油耗—车速模型, 其基本表达式见式(9)。

$$en_{\text{car, tax}} = 0.001193v_{\text{car, tax}} - 0.158727v_{\text{car, tax}} + 9.101384, \quad (9)$$

式中: $en_{\text{car, tax}}$ 为私人小汽车、出租汽车的基本能耗因子/ $(\text{MJ}\cdot\text{车公里}^{-1})$; $v_{\text{car, tax}}$ 为私人小汽车、出租汽车的行驶速度/ $(\text{km}\cdot\text{h}^{-1})$ 。

3) 环境污染指标。

文献[9]研究得出, 当车速低于 $32\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 时, 机动车排放因子对车速的变化非常敏感, 排放因子与车速间存在函数关系。因此, 很多学者以机动车排放因子和平均运行速度作为因变量和自变量, 基于调查和实测数据, 拟合得到各交通工具的综合排放因子计算模型。本文利用文献[10]研究得到的机动车综合排放因子, 用 car, tax, bus 分别表示私人小汽车、出租汽车和常规公交, 得到三类客运交通方式三种污染物(CO , NO_x , HC)排放因子的计算公式:

$$eh_{\text{car}}^{\text{CO}} = 167.154 - 5.2911v_{\text{car}} + 0.0622v_{\text{car}}^2 - 0.0003v_{\text{car}}^3, \quad (10)$$

$$eh_{\text{tax}}^{\text{CO}} = 167.154 - 5.2911v_{\text{tax}} + 0.0622v_{\text{tax}}^2 - 0.0003v_{\text{tax}}^3, \quad (11)$$

$$eh_{\text{bus}}^{\text{CO}} = 542.930 - 20.249v_{\text{bus}} + 0.28812v_{\text{bus}}^2 - 0.0013v_{\text{bus}}^3, \quad (12)$$

$$eh_{\text{car}}^{\text{NO}_x} = 2.0164 - 0.0142v_{\text{car}} + 0.0001v_{\text{car}}^2 + 5.3 \times 10^{-7}v_{\text{car}}^3, \quad (13)$$

$$eh_{\text{tax}}^{\text{NO}_x} = 2.0164 - 0.0142v_{\text{tax}} + 0.0001v_{\text{tax}}^2 + 5.3 \times 10^{-7}v_{\text{tax}}^3, \quad (14)$$

$$eh_{\text{bus}}^{\text{NO}_x} = 3.5570 - 0.0244v_{\text{bus}} - 1 \times 10^{-5}v_{\text{bus}}^2 + 6.7 \times 10^{-8}v_{\text{bus}}^3, \quad (15)$$

$$eh_{\text{car}}^{\text{HC}} = 68.7252v_{\text{car}}^{-0.7760}, \quad (16)$$

$$eh_{\text{tax}}^{\text{HC}} = 68.7252v_{\text{tax}}^{-0.7760}, \quad (17)$$

$$eh_{\text{bus}}^{\text{HC}} = 15.2935 - 0.4129v_{\text{bus}} - 0.0050v_{\text{bus}}^2 - 2 \times 10^{-5}v_{\text{bus}}^3, \quad (18)$$

式中: eh_i^j 为 j 类交通方式第 i 种污染物的排放因子/ $(\text{g}\cdot\text{车公里}^{-1})$ 。

轨道交通是电力驱动, 不向空气中排放污染物; 步行和自行车是生物能驱动, 也不向空气中排放污染物。

3.2 生态指标标准化模型

3.1 节将各种交通方式的生态性衡量指标计算至“车均”量级; 本节内容依据生态指数的定义, 探讨一种计算方法将各种交通方式的生态性衡量指标进行去量纲化, 从而得到生态指数定义

式的适用条件。常用的标准化模型如下：

$$\text{中心化处理, 令 } x' = \frac{x - \tilde{x}}{S}, \quad (19)$$

$$\text{极差化处理, 令 } x' = \frac{x - m}{M - m}, \quad (20)$$

$$\text{极大化处理, 令 } x' = \frac{x}{m} (m > 0), \quad (21)$$

$$\text{极小化处理, 令 } x' = \frac{x}{M} (M > 0), \quad (22)$$

$$\text{均值化处理, 令 } x' = \frac{x}{\bar{x}}, \quad (23)$$

式中： x' 为各种生态指标的标准化值； \tilde{x} 为各种生态指标计算值 x 的平均值； S 为各种生态指标计算值 x 的均方差； m 为各种生态指标计算值 x 的最小值； M 为各种生态指标计算值 x 的最大值。

交通方式生态指数主要体现各种交通方式间的相对生态水平。根据定义，各项指标标准化后的数值应介于 0~1，且应选择极小化处理模型(式(22))。

4 案例分析

土地占用指标、能源消耗指标、环境污染指标很大程度上受道路交通实际运行状态的影响，例如车辆构成、道路断面形式、车流畅通水平等。因此，不同城市或同一城市在不同时期应用上述模型时，得到的结果可能存在一定差异，即模型相关参数有理论静态与实际动态之分。本文以大连为例进行案例分析时，忽略各项参数的动态变化过程，对一定时期内的观测数据取均值作为原始数据代入模型。采用土地占用、能源消耗、大气污染三个指标计算各种交通方式的生态指数，计算时将三个指标分别进行标准化处理，以消除不同量纲的影响，从而便于进行比较计算。根据大连市目前各种交通方式的技术发展状况，确定私人小汽车、出租汽车、常规公交、快

速公交、轨道交通、步行和自行车 7 种交通方式的生态指数值如表 1 所示。

5 结论

通过对城市中各种交通方式生态水平的量化分析得到以下结论：1)影响城市客运交通方式生态水平的主要因素包含土地资源、能源消耗和环境污染等；2)生态指数能够很好地反映各种交通方式的生态水平高低。未来引入新的量化指标，进一步扩展生态指数的定义和组成，是今后研究的重点。

参考文献：

References:

[1] 彭海昀. 联合国人与生物圈计划(MAB)及其在中国的发展[J]. 资源与环境, 1990, 2(2): 89-92.

[2] Register R. Eco-city Berkeley [M]. Berkeley: North Atlantic Books, 1987.

[3] Timmerman P. Vulnerability, Resilience and the Collapse of Society: A Review of Models and Possible Climatic Applications Environment Monograph [M]. Toronto: Institute for Environmental Studies, University of Toronto, 1981.

[4] 魏军, 李利. 交通供需平衡机理模型[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2010, 30(6): 86-89.

Wei Jun, Li Li. Model of Dynamic Relationship between Traffic Supply and Demand[J]. Journal of Chang'an University(Natural Science Edition), 2010, 30(6): 86-89.

[5] Ang B W. Monitoring Changes in Economy-wide Energy Efficiency: From Energy-GDP Ratio to Composite Efficiency Index[J]. Energy Policy, 2006, 34(5): 574-582.

表 1 大连市 7 种交通方式的生态指数
Tab.1 The eco-indexes of 7 travel modes in Dalian

交通结构	小汽车交通		公共交通		非机动车交通		
	私人小汽车	出租汽车	常规公交	快速公交	轨道交通	步行	自行车
生态指数	0.26	0.24	0.18	0.15	0.12	0.02	0.03