

文章编号: 1671-1637(2010)04-0097-06

基于DEA的公路建设有效性纵向评价

张春梅¹, 马占新²

(1. 内蒙古大学 交通学院, 内蒙古 呼和浩特 010023; 2. 内蒙古大学 经济管理学院, 内蒙古 呼和浩特 010023)

摘要:应用DEA方法中的 C^2R 模型和 C^2GS^2 模型, 以内蒙古地区2000~2008年9个年度作为决策单元, 提出了适合DEA方法的公路建设输入输出指标, 对内蒙古地区9年的公路建设情况进行了整体有效性、技术有效性和投影测度分析, 并提出了相关改善措施。分析结果表明: 内蒙古地区在2004年和2008年两年整体有效, 达到投入产出的最佳组合; 其他年份规模收益递增, 继续增加投入可得到更大的产出; 9年内仍有2003、2006、2007年技术无效, 内蒙古地区在加大公路建设投入的同时要加强管理, 注重技术引进和应用。

关键词:公路建设; 数据包络分析; 纵向评价; 决策单元; 评价指标体系

中图分类号: U491.12

文献标志码: A

Longitudinal evaluation of highway construction effectiveness based on DEA

ZHANG Chun-mei¹, MA Zhan-xin²

(1. School of Transportation, Inner Mongolia University, Huhhot 010023, Inner Mongolia, China;

2. School of Economics and Management, Inner Mongolia University, Huhhot 010023, Inner Mongolia, China)

Abstract: The C^2R and C^2GS^2 models of DEA method were used, the decision-making units of evaluation were 9 years from 2000 to 2008 in Inner Mongolia, and the input and output indicators of highway construction were put forward. The overall effectiveness, technical efficiency and projection measure of highway construction were evaluated by appropriate DEA method, and efficiency improvement measure was proposed. Analysis result shows that the inputs and outputs of highway construction in Inner Mongolia are best in 2004 and 2008, and their overall effectivenesses are valid. In other years, there are increasing returns to scale, and increasing investments can get better output. Technical efficiencies are invalid in 2003, 2006 and 2007, highway construction management need be enhanced while the investment is increasing, and the introduction and application of new technology should be emphasized in Inner Mongolia. 4 tabs, 10 refs.

Key words: highway construction; data envelopment analysis; longitudinal evaluation; decision-making unit; evaluation index system

Author resume: ZHANG Chun-mei(1970-), female, associate professor, +86-471-3336971, zhangchunm@sina.com.

0 引言

公路是国民经济的重要组成部分, 对国民经济

具有举足轻重的促进和制约作用。公路建设不仅可以拉动地区经济增长, 还可以加强地区文化交流, 促进社会进步。在经济迅速发展、社会飞速进步的今

收稿日期: 2010-02-14

基金项目: 国家自然科学基金项目(70961005); 内蒙古自治区自然科学基金项目(20080404MS1005)

作者简介: 张春梅(1970-), 女, 内蒙古呼和浩特人, 内蒙古大学副教授, 从事交通运输规划与管理研究。

天,公路对于现代社会的作用愈来愈重要。改革开放以来,中国公路建设得到了持续、快速、健康的发展,取得了举世瞩目的成就。

目前,关于公路建设评价的研究主要有:定性评价,如德尔菲法、比较法、分析法等,李卫东等对比研究了中国公路交通与经济适应性的适应性,定性评价了中国公路建设对经济的促进作用^[1];定量评价,如 AHP 法、模糊综合评价等,李冠峰等采用层次分析法建立公路建设的评价指标体系,并对河南省的公路运输进行了可持续发展评价^[2],陈斌等用多级关联灰度模型评价公路建设的社会经济环境影响^[3];定性与定量相结合的评价,如张霖波等将模糊综合评价与定性分析相结合,对新疆的 3 条公路线路进行了选择^[4]。以上评价方法均存在诸如评价指标体系难以建立、主观性强等特点,对于事物缺乏客观整体的评价,所以需要引入一种实用的、易于客观评价、操作简便的评价方法。

数据包络分析(Data Envelopment Analysis, DEA)法是一种强调客观数据、易于操作的评价方法,已有学者利用其对公路建设进行了评价研究。王丽等应用引进虚拟决策单元的 DEA 模型与 AHP 方法结合,对山西公路网规划方案进行了有效性评价^[5];有对于公路选线方案的评价,如李翠芳等应用 DEA 方法对公路线路方案进行效率评价,从而确定最优的线路方案^[6];也有对公路建设与经济发展的协调性评价,如崔莹研究了 DEA 与 AHP 相结合的方法,对公路建设和经济发展协调性关系进行评价,验证了 DEA 方法的实用性^[7];还有对于农村公路建设的评价,如陈希梅等建立农村公路建设的评价指标体系,应用 DEA 法对农村公路建设进行了评价^[8]。国外应用 DEA 方法对于公路建设的评价也屡见不鲜,如 Rouse 等将 DEA 用于公路维护的评价^[9]。DEA 方法在公路建设中的评价应用十分广泛,在轨道交通建设上也有应用^[10],但以上评价都是对于横向决策单元 DMU (Decision Making Unit) 的评价,并未对公路建设的纵向发展情况进行评价。无论是公路网规划方案的确定,还是公路线路的选择,它们的决策必须考虑原有公路的情况,即在过去的的基础上确定现在的发展状况,因此,有必要对公路建设的发展过程进行评价,发现过去存在的问题,为后期规划决策提供借鉴。故本文采用 DEA 方法对公路建设进行纵向评价,并以 2000~2008 年内蒙古公路建设作为实例分析,对 DEA 用于公路建设纵向评价的实用性进行验证,为内蒙古公路建设提供

决策依据。

1 DEA 模型介绍

1.1 DEA 概述

数据包络分析方法是美国著名运筹学家 Charnes 等于 1978 年在相对效率评价的基础上发展起来的一种新的效率评价方法,1985 年由中国人民大学魏权龄教授引入中国。自第 1 个 DEA 模型——C²R 模型(也称 CCR 模型)发表以来,有关的理论研究不断深入,应用领域日益广泛。DEA 方法主要采用数学规划方法,利用观察到的数据样本资料数据,对决策单元生产有效性评价或处理其他多目标问题,一个 DMU 在某种程度上是一种约定。DEA 方法主要是把每个 DMU 看作相同的实体,即每个决策单元有相同的输入和输出,通过对输入输出数据的综合分析,确定有效的(即相对效率较高的)DMU,并指出其他 DMU 非有效的原因和程度,给主管部门提供管理信息。

1.2 评价整体有效性的 C²R 模型

假设有 n 个 DMU,每个 DMU 都具有 m 种类型输入和 s 种类型输出,分别用

$$X_j = (x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj})^T$$

$$Y_j = (y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{sj})^T$$

表示被评价系统的第 j 个 DMU 的输入向量和输出向量(X_j, Y_j)为第 j 个决策单元。其中 x_{ij} 为第 j 个决策单元对第 i 种类型输入的投入量, y_{rj} 为第 j 个决策单元对第 r 种类型输出的产出量, v_i 为对第 i 种类型输入的一种度量或称权重, u_r 为对第 r 种类型输出的度量或称权重, $i=1, 2, \dots, m, r=1, 2, \dots, s, j=1, 2, \dots, n$ 。第 j 个 DMU 的效率评价指数定义为

$$h_j = U^T Y_j / V^T X_j$$

$$V = (v_1, v_2, \dots, v_m)^T$$

$$U = (u_1, u_2, \dots, u_s)^T$$

对 h_j 总可以适当地选择权重系数向量 V 和 U ,使 $h_j \leq 1$ 。现在对 j_0 个决策单元进行效率评价, $1 \leq j_0 \leq n$ 。在各决策单元的效率评价指标均不超过 1 的条件下,选择 V 及 U ,使 h_{j_0} 最大,于是构成最优化模型为

$$\begin{cases} \max h_{j_0} = \frac{U^T Y_{j_0}}{V^T X_{j_0}} \\ \text{s.t. } h_j = \frac{U^T Y_j}{V^T X_j} \leq 1 \\ V \geq 0, U \geq 0 \end{cases} \quad (1)$$

此模型对于求解十分不便,故利用 Charnes-

Cooper 变换,将分式规划化为等价的等式线性规划的 C^2R 模型,同时也可得到它的对偶规划模型,但这两种模型在最优解的判断上不方便。限于篇幅,下面给出对 j_0 个决策单元进行评价的带有非阿基米德无穷小量 ϵ 的 C^2R 模型的对偶规划为

$$\begin{cases} \min z = \theta - \epsilon[e^T S^- + (e^\wedge)^T S^+] \\ \text{s.t.} \sum_{j=1}^n X_j \lambda_j + S^- = \theta X_0 \\ \sum_{j=1}^n Y_j \lambda_j - S^+ = Y_0 \\ \lambda_j \geq 0, S^- \geq 0, S^+ \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中: z 为目标函数最优值; θ 为有效性程度; S^- 为与投入相对应的松弛向量; S^+ 为与产出相对应的剩余向量; λ_j 为输入输出指标系数; ϵ 为非阿基米德无穷小量,通常取 $10^{-5} \sim 10^{-6}$; $e = (1, \dots, 1)^T \in E_m$, $e^\wedge = (1, \dots, 1)^T \in E_s$ 。 X_0, Y_0 为决策单元 j_0 初始输入输出向量; E_m, E_s 分别为 m, s 维向量。

对式(2)线性规划,若最优解 $\theta^*, \lambda_j^*, S^{+*}, S^{-*}$ 满足 $\theta^* = 1, S^{+*} = 0, S^{-*} = 0$ 时,则决策单元 j_0 为 DEA 有效,即同时达到了技术有效和规模有效。否则,可以计算出其在有效前沿面上的投影为

$$\begin{aligned} X_0^* &= \theta^* X_0 - S^{-*} \\ Y_0^* &= Y_0 + S^{+*} \end{aligned}$$

式中: X_0^*, Y_0^* 为决策单元 j_0 调整后的输入输出向量,其提供了将决策单元 j_0 转变为 DEA 有效而在输入输出方面必须达到的目标。同时,利用式(2)的最优解还可以了解规模收益的变化情况,规模收益可以从产出增量的相对百分比与对应投入增量的相对

百分比的比值角度理解,具体如下:若 $\frac{1}{\theta^*} \sum_{j=1}^n \lambda_j^* = 1$, 则决策单元 j_0 规模收益不变;若 $\frac{1}{\theta^*} \sum_{j=1}^n \lambda_j^* < 1$, 则决策单元 j_0 规模收益递增;若 $\frac{1}{\theta^*} \sum_{j=1}^n \lambda_j^* > 1$, 则决策单元 j_0 规模收益递减。

1.3 评价技术有效性的 C^2GS^2 模型

下面给出对决策单元 j_0 进行纯技术评价的引入具有非阿基米德无穷小量 ϵ 的 C^2GS^2 模型为

$$\begin{cases} \min z = \theta - \epsilon[e^T S^- + (e^\wedge)^T S^+] \\ \text{s.t.} \sum_{j=1}^n \lambda_j X_j + S^- = \theta X_0 \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j Y_j - S^+ = Y_0 \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \lambda_j \geq 0 \\ S^- \geq 0, S^+ \geq 0 \end{cases} \quad (3)$$

该模型用来测算 DMU 纯技术有效,即在规模收益不变的情况下能否使资源充分利用,技术效率是否最高,判断结论如下:若式(3)的最优解 θ^* 为 1, 则决策单元 j_0 为 DEA 技术有效;若式(3)的最优解 θ^* 不为 1, 则决策单元 j_0 为 DEA 技术无效。

2 DEA 方法用于公路建设纵向评价可行性分析

DEA 方法自创立以来吸引了众多的研究者,应用范围不断扩大,取得了良好的效果,将 DEA 方法用于公路建设的纵向发展评价,其可行性及优越性如下。

(1)公路事业发展是一个多目标的、动态的复杂过程,而 DEA 方法具有对多输入、多输出结构复杂系统的适应性,可评价系统的规模是否有效,从而使系统优化。

(2)DEA 纵向评价与横向评价具有相同的应用能力和条件,可以动态连续地对某一系统跟踪评价,以获得发展过程中的有效信息,为长期发展规划提供管理决策依据。

(3)运用 DEA 方法对于系统进行效率评价无需考虑输入输出指标的量纲问题,即不需要统一量纲。公路事业发展的输入输出指标各不相同,量纲更难统一,所以 DEA 方法可以优先使用。

(4)应用 DEA 方法评价公路事业综合效益的效果好坏很大程度上取决于指标体系的建立。公路事业发展系统的评价指标体系易于建立,数据收集成本较低,所以 DEA 方法用于公路事业发展系统效率评价具有良好的评价效果,有利于管理决策。

3 DEA 方法用于公路建设有效性评价的目的及意义

公路建设对于国民经济发展起基础性推进作用,同时还可以促进文化交流,促进社会发展。用 DEA 方法对公路建设进行评价,其目的就是为了衡量公路建设的效率,评估资源的利用情况,为后期的发展规划提供决策依据。

DEA 的 2 个传统模型—— C^2R 模型和 C^2GS^2 模型分别是评价 DMU 的整体有效性和技术有效性的。整体有效性即在投入一定的情况下其产出是否达到相对最大,继续增加投入是否能够达到更高的产出,即所谓的规模经济效应。评价公路建设的整体有效性即确定其在过去的发展历程中是否将投入转化为有效的产出,继续增加投入能否产生更大的

经济、社会效益。技术有效性表示在规模收益不变(继续增加投入不会产生更多的产出)的情况下,能否将现有资源充分利用,衡量投入资源的技术利用程度。评价公路建设的技术有效性即在其规模收益不变的情况下,现有技术水平能否充分利用现有资源,使投入产出的效率达到最高。通过模型的投影分析还可确定公路建设发展过程中投入的过剩或产出的不足,发现发展中的资源浪费问题。公路建设发展的纵向评价对于公路网规划、公路事业的发展有重要借鉴意义。

4 实例分析

4.1 决策单元和评价指标的选取

选择 DMU 就是确定参考集。公路建设发展是一个动态的复杂变化过程,需要研究其动态发展情况,因此,本文中选取 2000~2008 年连续 9 个年度作为 DMU。从公路评价的常用指标体系中,遵循 DEA 方法对指标体系的要求,选取以下 4 项作为评价指标,即输入指标为公路网总里程,民用汽车拥有量;输出指标为客运周转量、货运周转量。

4.2 用 DEA 模型对内蒙古公路建设进行纵向评价

以 2000~2008 年的《内蒙古统计年鉴》数据为

表 2 C²R 模型评价结果

Tab-2 Evaluation results of C²R model

DMU	年份	θ^*	S_1^-	S_2^-	S_1^+	S_2^+	$\sum \lambda_j^*$	整体有效性	规模收益
1	2000	0.916 274	0.000	0	0	40.291 200	0.583 86	无效	递增
2	2001	0.922 896	0.000	0	0	47.060 180	0.601 65	无效	递增
3	2002	0.944 071	0.000	0	0	44.219 870	0.681 49	无效	递增
4	2003	0.858 908	0.000	0	0	10.871 000	0.653 41	无效	递增
5	2004	1.000 000	0.000	0	0	0.000 000	1.000 00	有效	不变
6	2005	0.885 584	1 040.982	0	0	128.502 700	0.687 93	无效	递增
7	2006	0.872 538	0.000	0	0	115.992 200	0.778 47	无效	递增
8	2007	0.974 701	0.000	0	0	1.050 789	0.991 96	无效	递增
9	2008	1.000 000	0.000	0	0	0.000 000	1.000 00	有效	不变

公路建设过去 9 年的发展历程中,只有 2 年是总体有效的,即只有 2004 年和 2008 年为 DEA 有效,处在 DEA 有效生产前沿面上,说明在这 2 年中,内蒙古公路建设的投入产出要素达到了最佳的组合,并得到了最大的产出,其他年份则存在着不同程度的资源冗余或产出不足问题。在过去的 9 年发展历程中,有 7 年为 DEA 无效,说明内蒙古地区对于公路事业的总体规模没有把握好,浪费了资源。而事实上,在过去 9 年的发展历程中,内蒙古对于公路建设的投资持续增加,公路网里程及民用汽车拥有量增

依据,给出了内蒙古地区公路建设投入与产出情况,见表 1。

表 1 内蒙古地区公路建设投入与产出

Tab-1 Inputs and outputs of Inner Mongolia highway

DMU	年份	公路网总里程/km	公路运输汽车拥有辆(10^4 veh)	客运周转量(10^8 人·km)	货运周转量(10^8 t·km)
1	2000	67 346	20.87	116.3	211.8
2	2001	70 408	21.24	121.9	220.3
3	2002	72 673	23.91	130.7	231.4
4	2003	74 135	25.38	122.2	241.9
5	2004	75 976	34.95	155.3	269.8
6	2005	124 465	22.80	179.0	323.4
7	2006	128 762	26.67	199.5	384.1
8	2007	138 610	26.86	219.5	492.0
9	2008	147 000	29.70	260.2	656.9

4.2.1 运用 C²R 模型进行 DEA 有效性分析

选取引进非阿基米德无穷小(取 ϵ 为 10^{-6})的 C²R 模型进行 DEA 有效性评价,并利用 Excel 的规划求解功能计算,结果见表 2。表 2 中, S_1^- 、 S_2^- 分别为公路网总里程、公路运输汽车拥有量的松弛变量, S_1^+ 、 S_2^+ 分别为客运、货运周转量的松弛变量。

根据表 2 的计算结果可以看出,在内蒙古地区

长幅度很大,而相应的客运周转量和货运周转量增长幅度并不是很大,建成的公路利用程度不是很高,主要原因也与内蒙古区域广袤,公路通达程度有限有关。

4.2.2 运用 C²GS² 模型进行 DEA 有效性分析

选取引入非阿基米德无穷小的 C²GS² 模型对内蒙古地区公路建设发展技术有效性进行评价,同样运用 Excel 进行计算,结果见表 3。

从表 3 结果及其理论分析可知,在过去的 9 年中有 6 年达到了技术有效,说明内蒙古对于公路事

表 3 C²GS² 模型计算结果Tab.3 Calculation results of C²GS² model

DMU	年份	θ^*	s_1^-	s_2^-	s_1^+	s_2^+	技术有效性
1	2000	1.000 000	0	0	0.000 00	0.000 00	有效
2	2001	1.000 000	0	0	0.000 00	0.000 00	有效
3	2002	1.000 000	0	0	0.000 00	0.000 00	有效
4	2003	0.975 086	0	0	8.969 31	0.000 00	无效
5	2004	1.000 000	0	0	0.000 00	0.000 00	有效
6	2005	1.000 000	0	0	0.000 00	0.000 00	有效
7	2006	0.946 694	0	0	0.000 00	53.827 91	无效
8	2007	0.978 768	0	0	0.414 02	0.000 00	无效
9	2008	1.000 000	0	0	0.000 00	0.000 00	有效

业的投资在技术上能够充分利用,效率较高。过去 9 年中,内蒙古公路建设有了长足的进步,不仅表现在有能力建设高水平、高等级公路上,还表现在公路运输管理体制机制水平的提高上。但 2003、2006、2007 年这 3 个年度未达到技术有效,因此,内蒙古地区在加大公路建设投入的同时仍要加强管理,注重技术引进和应用。

4.2.3 投影分析

对于非 DEA 有效的 DMU,结合表 2,用公式

$$X_0^* = \theta^* X_0 - S^-$$

$$Y_0^* = Y_0 + S^{+*}$$

可调整非 DEA 有效的 DMU 为有效的 DMU,调整情况见表 4。

表 4 非 DEA 有效的 DMU 投影结果

Tab.4 Projective results of non-efficiency DMUs in DEA

DMU	年份	公路网总里程/km	公路运输汽车拥有量(10^4 veh)	客运周转量(10^8 人·km)	货运周转量(10^8 t·km)
1	2000	61 707	19.12	116.3	252.0
2	2001	64 979	19.60	121.9	267.3
3	2002	68 608	22.57	130.7	275.6
4	2003	63 675	21.80	122.2	252.7
6	2005	99 815	20.19	179.0	451.9
7	2006	112 349	23.27	199.5	500.0
8	2007	135 103	26.18	219.5	493.1

通过表 4 的投影测度分析可知,投入冗余度最大的是 2003 年,公路网总里程冗余为 10 460 km,公路运输汽车拥有量冗余为 3.58×10^4 veh;产出冗余度最大的是 2005 年,货运周转量冗余为 $1.285 027 \times 10^{10}$ t·km,说明投入产出均有较大冗余度。上述表格中表明(以 2003 年为例);原有的投入公路网总里程为 74 135 km,公路运输汽车拥有量为 2.538×10^5 veh,过大,需调整到公路网总里程为 63 675 km,

公路运输汽车拥有量为 2.180×10^5 veh;输出指标客运周转量不变,货运周转量由原来的 2.419×10^{10} t·km 变为 2.527×10^{10} t·km,即可将非 DEA 有效的决策单元³调整至 DEA 有效,此时投入产出达到最佳组合。同理可从表 4 中评测出其余各年度的资源利用情况。

5 结果分析及相关改善建议

(1)内蒙古地区公路建设过程中未达到规模经济。在过去 9 年的发展历程中,内蒙古地区公路建设只有 2 年是规模收益不变,而另外 7 年属规模收益递增,说明其发展过程投资的余地很大,增大公路建设投资,可使其达到规模经济状态。

(2)内蒙古地区公路建设存在产出不足的问题,且额度较大。由投影测度分析结果(表 4)可以看出,对于非 DEA 有效的 DMU 调整至 DEA 有效,其投入冗余度或产出不足度数值较大,说明内蒙古地区公路建设地投入并未有效的转化为相应的产出,加强公路建设的管理,有助于提高资源利用效率,增加其产出。

(3)内蒙古地区公路建设技术效率仍可提高。尽管过去 9 年中内蒙古公路建设技术有效年度占 2/3,但其纯技术效率仍有提高的余地,加强公路建设的技术引进与应用,对于公路建设的发展会起到极大促进作用。

6 结 语

本文通过运用 DEA 方法对内蒙古地区公路建设发展进行有效性分析评价,主要结论如下:通过实例应用 DEA 方法对公路建设发展纵向评价,证明了 DEA 方法用于对公路事业纵向评价的可行性;将 DEA 方法用于内蒙古地区公路建设发展相对有效性纵向评价,为内蒙古地区的道路运输发展提供了管理决策依据。

公路建设是一个动态、复杂的系统,对公路建设评价指标的选取须能够客观反映公路建设的发展水平,因此,如何根据地区的不同特点全面、科学地选取评价指标需要进一步探讨研究。

参 考 文 献 :

References :

[1] 李卫东,王稼琼.我国公路交通与社会经济发展的适应性刍议[J].交通运输系统工程与信息,2005,5(3):9-12,50.

LI Wei-dong, WANG Jia-qiong. Research on the adaptive relationship between highway transportation and social and

- economic development in China[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2005, 5(3): 9-12, 50. (in Chinese)
- [2] 李冠峰, 蒋定福, 梁爱琴, 等. 公路运输系统可持续发展的评价研究[J]. 河南农业大学学报, 2004, 38(3): 355-360.
LI Guan-feng, JIANG Ding-fu, LIANG Ai-qin, et al. Study on the evaluation of the sustainable development of highway transportation system [J]. Journal of Henan Agricultural University, 2004, 38(3): 355-360. (in Chinese)
- [3] 陈 斌, 魏庆曜, 高 利, 等. 基于多级关联灰度模型的公路建设社会经济环境影响评价[J]. 中国公路学报, 2003, 16(1): 77-81.
CHEN Bin, WEI Qing-yao, GAO Li, et al. Assessment of social and economic environment of highway construction on multi-step associated gray model [J]. China Journal of Highway and Transport, 2003, 16(1): 77-81. (in Chinese)
- [4] 张霖波, 冯长林, 刘志强. 公路路线方案比选的模糊综合评价法[J]. 武汉理工大学学报: 信息与管理工程版, 2009, 31(2): 347-350.
ZHANG Lin-bo, FENG Chang-lin, LIU Zhi-qiang. Fuzzy comprehensive evaluation of the selection of highway routes' plan[J]. Journal of Wuhan University Technology: Information and Management Engineering, 2009, 31(2): 347-350. (in Chinese)
- [5] 王 丽, 贾晓敏. DEA 改进模型在公路网规划综合评价中的应用[J]. 交通标准化, 2008(7): 9-13.
WANG Li, JIA Xiao-min. Application of improved DEA model in comprehensive evaluation for highway network planning [J]. Communications Standardization, 2008 (7): 9-13. (in Chinese)
- [6] 李翠芳, 刘清君. DEA 算法在公路路线方案评选中的应用[J]. 交通科技与经济, 2008, 10(4): 114-115.
LI Cui-fang, LIU Qing-jun. The DEA algorithm application of the route planning comparison[J]. Technology and Economy in Areas of Communications, 2008, 10(4): 114-115. (in Chinese)
- [7] 崔 莹. 基于 DEA/AHP 模型的公路建设与社会经济协调性评价[J]. 交通标准化, 2008(6): 14-18.
CUI Ying. Evaluation of harmony between highway construction and social economy based on DEA/AHP model[J]. Communications Standardization, 2008(6): 14-18. (in Chinese)
- [8] 陈希梅, 刘 昆, 王选仓. 基于 DEA 方法的农村公路建设评价[J]. 华东公路, 2008(4): 74-76.
CHEN Xi-mei, LIU Kun, WANG Xuan-cang. Evaluation of rural highway construction based on DEA [J]. East China Highway, 2008(4): 74-76. (in Chinese)
- [9] ROUSE P, PUTTERILL M, RYAN D. Towards a general managerial framework for performance measurement: a comprehensive highway maintenance application [J]. Journal of Productivity Analysis, 1997, 8(2): 127-149.
- [10] 覃 煜, 晏克非. 轨道交通枢纽换乘效率 DEA 非均一评价模型[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2002, 22(4): 48-51, 54.
QIN Yu, YAN Ke-fei. Non-uniform evaluation model of mass transit hub transfer efficiency in data envelopment analysis[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2002, 22(4): 48-51, 54. (in Chinese)

(上接第 70 页)

- 西南交通大学学报, 2000, 35(3): 288-292.
WANG Zhong-qiang, LI Qing-song, CHEN Xu-mei. Research on fundamental pattern of urban rail transit network [J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2000, 35 (3): 288-292. (in Chinese)
- [4] 王忠强. 城市轨道交通系统路网规划[D]. 成都: 西南交通大学, 1999.
WANG Zhong-qiang. System network planning of urban rail transit [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 1999. (in Chinese)
- [5] 孙壮志. 城市交通网络形态特征分形计量研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2007, 7(1): 29-38.
SUN Zhuang-zhi. The study of fractal approach to measure urban rail transit network morphology[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2007, 7(1): 29-38. (in Chinese)
- [6] 李 进, 马军海. 城市地铁网络复杂性研究[J]. 西安电子科技大学学报: 社会科学版, 2009, 19(2): 51-55.
LI Jin, MA Jun-hai. Research of complexity of urban subway network [J]. Journal of Xidian University: Social Science Edition, 2009, 19(2): 51-55. (in Chinese)
- [7] 刘 锐, 严宝杰, 黄志鹏. 城市公共交通网络的复杂性分析[J]. 交通运输系统工程与信息, 2009, 9(3): 17-22.
LIU Rui, YAN Bao-jie, HUANG Zhi-peng. Complexity analysis of urban public transit network [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2009, 9(3): 17-22. (in Chinese)
- [8] 何胜学, 范炳全. 从公交线网的生成机理看复杂网络的多样性[J]. 系统工程学报, 2007, 22(6): 599-606.
HE Sheng-xue, FAN Bing-quan. From urban transit networks to various complex networks [J]. Journal of Systems Engineering, 2007, 22(6): 599-606. (in Chinese)
- [9] 赵金山, 狄增如, 王大辉. 北京市公共汽车交通网络几何性质的实证研究[J]. 复杂系统与复杂性科学, 2005, 2(2): 45-48.
ZHAO Jin-shan, DI Zeng-ru, WANG Da-hui. Empirical research on public transport network of Beijing [J]. Complex Systems and Complexity Science, 2005, 2(2): 45-48. (in Chinese)
- [10] 管志忠, 刘永明. 图论中最短路问题的 MATLAB 程序实现[J]. 安庆师范学院学报: 自然科学版, 2007, 13(1): 26-29.
GUAN Zhi-zhong, LIU Yong-ming. MATLAB program of the shortest path problem of graph theory [J]. Journal of Anqing Teachers College: Natural Science Edition, 2007, 13(1): 26-29. (in Chinese)