

文章编号:1671-8879(2015)02-0138-07

基于 DEA 方法的农村公路建设后评价模型

袁春毅¹, 赵乐易², 王朝辉³

(1. 交通运输部规划研究院, 北京 100029; 2. 国家开发银行股份有限公司北京分行, 北京 100031;
3. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064)

摘要:为全面了解中国农村公路建设及后期运营状况,分析了 DEA 方法原理及农村公路建设特点,选取农村公路未铺装率、路网密度、乡镇通达率及农村公路养护指数为评价指标,采用 DEA 方法建立了以农村公路未铺装率为输入指标,以公路密度、乡镇通达率、行政村通达率为输出指标的农村公路建设后评价模型,并对中国 31 个省(直辖市)的农村公路建设状况进行评价分析。研究结果表明:通过对各省农村公路建设综合有效系数进行分类,上海、山东、浙江、四川、新疆、辽宁、甘肃、北京的综合有效系数为优或良,农村公路建设成绩突出;其他省份应根据各自特点有针对性的改善不足;从评价过程可以看出里程大小不足以表明农村公路的建设优劣,而应该提高农村公路的铺装率及通达程度,该模型不仅可以显示被评价单元的水平,而且以数值的形式直观地体现出落后单元的落后原因以及差距,可以有效指导农村公路的建设和管理。

关键词:交通工程;DEA;农村公路;后评价

中图分类号:U411

文献标志码:A

Post-evaluate model for rural highway construction based on DEA

YUAN Chun-yi¹, ZHAO Le-yi², WANG Chao-hui³

(1. Transport Planning and Research Institute Ministry of Communications, Beijing100029, China;
2. China Development Bank Beijing Branch, Beijing100031, China; 3 Key Laboratory of Special Area Highway Engineering of the Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: In order to understand the construction and operation of rural highway in Chinese countryside, this paper analyzed the principle of DEA method and the characteristics of rural highway, and selected no pavement rate, road network density, town access rate, rural highway PCI(pavement condition index) as the evaluation indexes of rural highway. A comprehensive post-evaluation model of the road network was established by using DEA and applied to the construction and operation evaluation on the rural highway of 31 provinces. The results show that the classification of comprehensive effective indexes of rural highway construction in different provinces indicates that the comprehensive indexes of Shanghai, Shandong, Zhejiang, Sichuan, Xinjiang, Liaoning, Gansu, and Beijing are excellent or good and rural highway construction is achieved; other provinces should improve their deficiencies according to their own characteristics; the evaluation process indicates that the range of mileage cannot fully display the rural highway construction is good or bad, and thus the pavement rate and access degree of rural highway

收稿日期:2014-10-15

基金项目:交通运输部项目

作者简介:袁春毅(1980-),男,北京人,高级工程师,工学博士,E-mail:yuanycy@tpi.gov.cn。

should be improved; the DEA method can not only display the evaluated unit level, but also reflect the reasons and the gap of the backward unit in the form of numerical values. This model can effectively guide the construction and management of rural highway. 4 tabs, 18 refs.

Key words: traffic engineering; DEA; rural highway; post-evaluate

0 引言

随着中国农村公路历经“十五”与“十一五”近 10 年的建设,截至 2011 年底,中国农村公路通车总里程达到 353.7 万 km,极大地改善了农村地区的交通状况,方便了村镇居民的出行,为中国加快城镇化建设提供了坚实的基础保障。

虽然中国农村公路在数量上取得了显著效果,但农村公路在效用、后续运营及养护上是否达到了预期效果或是否存在问题,却很难从一个地区的绝对数量上得出结论,因此可通过对农村公路建设的后评价,总结农村公路建设的经验。由于中国公路后评价研究相对滞后,还未对农村公路后评价体系进行系统深入的探讨,笔者结合自己对农村公路指标体系的研究^[1-2],以建设状况后评价最能够体现农村公路建设目标的完成效果,通过实际的农村公路建设成果,直观地评价其对发展农村经济,方便农民出行方面的效率及后续农村公路的养护情况。

纵观目前的建设项目评价方法,层次分析法、模糊评价等较为常见^[3-5],这些方法必须要事先确定各评价指标的优先权重,且对每一个方案或评价对象采用相同的权重分配,为均一(uniform)评价。由于均一评价方法中的权重较难确定,且具有很大的主观性,没有充分考虑不同评价对象指标之间的重要性。为此,本文引入了 DEA(数据包络分析)方法^[6-8],它能够避免这些缺陷,排除了很多主观因素的影响,不用事先确定权重,也不需要一个预先已知的带有参数的生产函数形式,因而具有很强的客观性。利用 DEA 原理与方法,建立适宜的农村公路建设评价模型,并通过实例评价与分析,验证 DEA 方法应用于农村公路建设后评价的可行性^[9-18]。

1 农村公路网整体评价的 DEA 方法

1.1 DEA 方法

DEA 是使用数学规划模型评价具有多个输入、输出单位间的相对有效性。根据对各 DMU 观察的数据判断 DMU 是否位于生产可能集的前沿面上,从而确定 DMU 是否为 DEA 有效。DEA 方法可以有效避免许多主观因素的影响,各输入、输出变量总

是从最有利于决策单元的角度进行,有效地避免了确定权重带来的问题,也不需要一个已知的带有参数的生产函数形式,同时,DEA 方法对处理多输入,尤其是多输出问题的能力具有绝对优势。

DEA 有效性分析一般步骤为:首先确定适当的输入、输出指标;确立明确的目标函数,通过线性变换将模型转换成 P 问题,进而转换成 P 问题的对偶问题 D;求解对偶问题 D 中的各个参数;决策单元综合指数排序,分析决策单元的优劣性;通过参数判断各有效决策单元的 DEA 有效性。

1.2 农村公路网 DEA 评价模型建立

1.2.1 农村公路网评价指标

农村公路强调的是能够最大限度地满足农民日常出行以及农用车辆行驶的要求,而不是诸如高速公路服务水平、重载车辆、渠化交通的问题,同时由于农村公路技术等级低、布局分散,农村公路建设状况评价不同于一般建设项目,不宜对单一项目评价,而应该对地区路网进行整体评价,再对各地区进行横向对比,确定其效果的优良。为了保证评价结果尽可能客观、科学,评价指标应具有代表性、可比性和可操作性,因此选取农村公路建设状况的指标为:公路密度、路面未铺装率、乡镇通达率、农村公路养护指数等。

1.2.2 模型建立

以农村公路未铺装率为输入指标,以公路密度、乡镇通达率、行政村通达率为输出指标,共有 31 个被评价省(直辖市)的农村公路网,用 x_{ij} 表示第 j 个公路网的第 i 个输入指标值, y_{rj} 表示第 j 个公路网的第 r 个输出指标值($j=1,2,\dots,31; r=1,2,3$),从而推出第 j 条公路网的评价指数由以下 C^2R 模型决定,也就是求 P 问题以及其对偶问题。对 DMU_0 进行效率评价,总可以选择权系数向量 U, V 。在各个 DMU 的效率评价指数不超过 1 的条件下使 h_0 最大,于是有如下最优化模型

$$(C^2R) \begin{cases} \max h_0 = \frac{U^T Y_0}{V^T X_0} \\ h_j = \frac{U^T Y_j}{V^T X_j} \leq 1, j=1,2,\dots,31 \\ U \geq 0, V \geq 0 \end{cases} \quad (1)$$

式中: h_0 为效率指数; h_j 为第 j 个决策单元 DMU $_j$ 的绩效评价指数; \mathbf{V} 为输入指标的权系数向量; \mathbf{U} 为输出指标的权系数向量; $\mathbf{X}_j = (x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj})^\top$; $\mathbf{Y}_j = (y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{sj})^\top, j = 1, 2, \dots, 31$; $X_0 = x_{ij0}$; $Y_0 = y_{sj0}$ 。

令 $t = \frac{1}{\mathbf{V}^\top \mathbf{X}}, \omega = t\mathbf{V}, \mu = t\mathbf{U}$, 则 C²R 模型转换为 P 模型

(P)

$$\begin{cases} \max \mu^\top Y_0 \\ \omega^\top X_j - \mu^\top Y_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, 31 \\ \omega^\top X_0 = 1 \\ \omega \geq 0, \mu \geq 0 \end{cases}$$

(2)

其对偶规划模型为

(D)

$$\begin{cases} \min \theta = V_D \\ \sum_{j=1}^{31} Y_j \lambda_j \leq \theta X_0 \\ \sum_{j=1}^{31} Y_j \lambda_j \geq Y_0 \\ \lambda_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, 31 \end{cases}$$

(3)

对输入指标引入非负偏差变量 $S_1^- \geq 0$, 对 3 种输出指标引入非负偏差变量 $S_1^+, S_2^+, S_3^+ \geq 0$, 记 $S^- = (S_1^-)^\top, S^+ = (S_1^+, S_2^+, S_3^+)^\top$, 可将上式表示为如下形式

(D)

$$\begin{cases} \min [\theta - \epsilon(e_m^\top S^- + e_s^\top S^+)] = V_D \\ \sum_{j=1}^{31} X_j \lambda_j + S^- = \theta X_0 \\ \sum_{j=1}^{31} Y_j \lambda_j - S^+ = Y_0 \\ \lambda_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, 31 \end{cases}$$

(4)

式中: ω, t, μ 为中间变量; S^- 与 S^+ 为松弛变量; ϵ 为一非阿基米德无穷小量; λ, θ 为待估计参量; e 为单位向量; m 为输入指标个数; s 为输出指标个数; x_{ij0}, y_{sj0} 为第 j_0 个 DMU 第 i 项输入和第 s 项输出。

对于模型 D, 若 D 的最优值 $V = 0$, 则第 j 个省(市)的农村公路网为弱 DEA 有效; 若在上述条件下, 它的每个最优解 $\lambda^0 = (\lambda_1^0, \lambda_2^0, \dots, \lambda_{31}^0)^\top, S^{0+} = 0, S^{0-} = 0$, 则第 j 个省(市)的农村公路网为 DEA 有效; 否则为无效。

2 基于 DEA 的农村公路建设状况评价

2.1 农村公路建设状况基础数据

“十五”期间, 中国各省加大农村公路的建设力度, 农村公路通车里程增加, 技术等级逐步提高, 通

达深度不断提高, 具体农村公路密度及通达情况见表 1。

表 1 “十五”末中国各省农村公路通达情况
Tab. 1 Rural highway access situation of all provinces at the end of “the 10th five year plan”

序号	区划	农村公路 未铺装率/%	公路密度/km· (100 km ²) ⁻¹	乡镇通 达率/%	农村公路养 护 PCI 指数
1	天津	5.2	107.00	100.00	96.74
2	河北	39.2	78.50	100.00	98.90
3	上海	2.3	149.00	100.00	98.16
4	海南	83.1	51.90	100.00	83.28
5	宁夏	52.9	31.00	100.00	77.21
6	辽宁	68.0	36.32	99.74	92.39
7	广东	56.7	61.90	100.00	59.27
8	北京	14.3	126.20	99.34	99.70
9	浙江	21.5	46.10	99.30	95.29
10	山东	27.8	49.50	99.27	97.85
11	江苏	33.0	76.28	98.77	96.63
12	湖北	72.7	97.80	98.51	87.86
13	福建	52.6	71.30	98.31	89.29
14	陕西	72.4	58.90	84.35	55.48
15	山西	48.1	76.90	97.87	84.77
16	湖南	84.6	81.90	97.26	68.04
17	安徽	77.2	100.30	95.90	88.57
18	广西	79.0	38.20	95.58	74.30
19	江西	62.3	78.36	95.54	80.44
20	黑龙江	89.5	30.30	95.40	60.05
21	贵州	81.1	64.50	94.85	48.46
22	吉林	58.5	37.90	93.79	84.06
23	重庆	87.5	127.10	93.70	61.02
24	河南	59.5	47.60	100.00	97.61
25	甘肃	81.2	21.10	93.39	72.76
26	云南	89.8	50.60	92.26	65.90
27	新疆	76.1	8.90	90.49	69.86
28	内蒙古	86.2	7.20	88.98	55.32
29	西藏	98.7	4.10	57.66	36.54
30	青海	86.5	6.70	87.62	42.63
31	四川	74.4	39.00	83.22	47.73

注: 农村公路养护 PCI 指数为“十五末”——2005 年底统计的中国各省(直辖市)农村公路养护路段 PCI 加权平均值, 非地区路网全部农村公路统计, 可表征地区平均养护路况。

2.2 DEA 评价计算

对基础数据进行 DEA 数据包络分析, 根据输入输出数据, 通过规划求解, 进行 DEA 数据包络计算, 结果见下页表 2。

2.3 评价结果分析

为了便于分析, 对这些省(市)按照综合有效系

表 2 “十五”末中国各省 DEA 有效性计算结果

Tab. 2 DEA effectiveness calculation results of all provinces at the end of “The 10th five year plan”

序号	区划	θ	S^{-}	S_1^{+}	S_2^{+}	S_3^{+}	$\sum \lambda/\theta$	min
1	天津	0.473 269 2	0	0	6.999 999 0	6.291 199 0	2.260 869 5	0.473 136 3
2	河北	0.147 300 1	0	0	0	0	1.414 993 5	0.147 300 1
3	上海	1.053 244 0	0	0	0	0	0.949 555 9	1.053 244 0
4	海南	0.027 676 3	0	97.100 081	0	14.880 020	36.131 949	0.026 556 5
5	宁夏	0.043 477 2	0	118.000 08	0	10.949 998	23.000 544	0.042 187 7
6	辽宁	0.999 998 3	0	0	0	0	1.000 002 6	0.999 998 3
7	广东	0.041 021 5	0	88.784 963	1.130 77	0	24.653 098	0.040 122 3
8	北京	0.698 672	0	0	0	0	0	0.698 672
9	浙江	1.000 011 4	0	0	0	0	0.999 988 5	1.000 011 4
10	山东	1.000 013 7	0	0	0	0	0.999 985 6	1.000 013 7
11	江苏	0.136 586 5	0	0	0	0	1.420 056 8	0.136 586 5
12	湖北	0.031 164 1	0	48.979 981	0	14.837 43	31.610 041	0.030 525 9
13	福建	0.042 987 4	0	75.181 880	0	7.211 097	22.869 458	0.042 163 5
14	陕西	0.026 794 9	0	66.781 581	0	27.317 98	31.479 825	0.025 853 9
15	山西	0.046 798 5	0	68.926 3	0	11.299 19	20.913 043	0.0459 962
16	湖南	0.026 440 6	0	63.017 481	0	27.430 43	36.784 194	0.025 536 2
17	安徽	0.028 571 2	0	42.591	0	5.565 44	33.565 217	0.028 089 6
18	广西	0.027 825 8	0	104.214 28	0	19.521 34	34.349 332	0.026 588 5
19	江西	0.035 271 5	0	63.994 6	0	13.342 06	27.086 957	0.034 498 2
20	黑龙江	0.163 345 9	0	25.138 044	2.228 83	0	6.218 019 2	0.163 072 2
21	贵州	0.026 898 3	0	76.826 581	0	44.644 78	35.262 428	0.025 683 5
22	吉林	0.036 873 2	0	101.847 11	0	8.004 294	25.435 787	0.035 774 7
23	重庆	0.024 628 6	0	12.513 081	0	30.955 94	38.045 18	0.024 193 9
24	河南	0.038 652 9	0	101.400 16	0	0.550 018	25.871 261	0.037 633 4
25	甘肃	0.999 894 1	0	0.007 636 5	0	0.004 905	1.000 098 4	0.999 894 0
26	云南	0.334 831 6	0	0	0	0	2.735 985 9	0.334 831 6
27	新疆	0.999 999 2	0	0	0	0	1.000 000 4	0.999 999 2
28	内蒙古	0.059 773 2	0	23.374 490	1.874 490 6	0	17.043 478	0.059 287 0
29	西藏	0.0134 344	0	81.813 672	0	20.059 11	42.919 613	0.012 415 6
30	青海	0.068 839 6	0	70.887 3	0	0.322 632	14.347 826	0.068 127 5
31	四川	1.000 000 3	0	0	0	0	0.999 998 8	1.000 000 3

数 θ 进行排序,“十五”末排序结果见下页表 3。

通过对“十五”末中国各省农村公路网 DEA 评价计算,分析结果如下:

(1) $\theta=1$,且 $S^{-}=S_1^{+}=S_2^{+}=S_3^{+}=0$ 的评价单元有 6 个,即上海、山东、浙江、四川、新疆、辽宁的农村公路网 DEA 有效,即这 6 个省农村公路建设成绩显著,农村公路的利用率、密度及通达率最优。

(2) $\theta=1$,但是甘肃省的 $S_1^{+}\neq 0$ 、 $S_3^{+}\neq 0$,因此其 DEA 弱有效。

(3)其余的评价单元 $\theta<1$,即这些省的农村公路网非 DEA 有效,不过规模收益值 $K=\sum \lambda/\theta>1$,规模收益递减,但是规模收益依然一直在增长,因此表明建设处于较佳状态。

(4)为了更详细地评价各省的农村公路建设状况,对各省的农村公路建设综合有效系数进行等级分类,具体等级见下页表 4。

根据综合有效系数等级,上海、山东、浙江、四川、新疆、辽宁、甘肃的农村公路综合有效系数为优,可以得出,这 7 个省在“十五”期间,农村公路建设成绩显著,农村公路的通达率、铺装率及养护最优。

北京市的农村公路综合有效系数为良,可以推断,北京市在“十五”期间,农村公路建设成绩突出,农村公路的通达率及养护较其他省优。

天津市、云南的农村公路综合有效系数为中,可以认为,这 2 个地区农村公路建设成绩较显著,发展相对比较缓慢;云南省的农村公路未铺装率高,从一

表 3 “十五”末中国各省农村公路网有效性按 θ 降序排列

Tab. 3 Rural highway network effectiveness of all provinces at the end of “the 10th five year plan” by θ in descending order								
序号	区划	θ	S^-	S_1^+	S_2^+	S_3^+	$\sum \lambda/\theta$	min
1	上海	1.00	0	0	0	0	0.95	1.00
2	山东	1.00	0	0	0	0	1.00	1.00
3	浙江	1.00	0	0	0	0	1.00	1.00
4	四川	1.00	0	0	0	0	1.00	1.00
5	新疆	1.00	0	0	0	0	1.00	1.00
6	辽宁	1.00	0	0	0	0	1.00	1.00
7	甘肃	1.00	0	0.007 636 515	0	0.004 905 426	1.00	1.00
8	北京	0.70	0	0	0	0	1.24	0.70
9	天津	0.47	0	0	6.999 999 004	6.291 199 022	2.26	0.47
10	云南	0.33	0	0	0	0	2.74	0.33
11	黑龙江	0.16	0	25.138 044 52	2.228 839 847	0	6.22	0.16
12	河北	0.15	0	0	0	0	1.41	0.15
13	江苏	0.14	0	0	0	0	1.42	0.14
14	内蒙古	0.07	0	70.887 3	0	0.322 632	14.34	0.07
15	青海	0.06	0	23.374 490 63	1.874 490 628	0	17.04	0.06
16	山西	0.05	0	68.926 3	0	11.299 192	20.91	0.05
17	宁夏	0.04	0	118.000 087 1	0	10.949 998 89	23.00	0.04
18	福建	0.04	0	75.181 880 78	0	7.211 097 928	22.87	0.04
19	广东	0.04	0	88.784 963 05	1.130 772 622	0	24.65	0.04
20	河南	0.04	0	101.400 168 9	0	0.550 018 949	25.87	0.04
21	吉林	0.04	0	101.847 112 5	0	8.004 294 956	25.44	0.04
22	江西	0.04	0	63.994 6	0	13.342 064	27.09	0.03
23	湖北	0.03	0	48.979 981 81	0	14.837 436 06	31.61	0.03
24	安徽	0.03	0	42.591	0	5.565 44	33.57	0.03
25	广西	0.03	0	104.214 281 8	0	19.521 348 06	34.35	0.03
26	海南	0.03	0	97.100 081 81	0	14.880 020 06	36.13	0.03
27	贵州	0.03	0	76.826 581 81	0	44.644 780 06	35.26	0.03
28	陕西	0.03	0	66.781 581 81	0	27.317 980 06	31.48	0.03
29	湖南	0.03	0	63.017 481 81	0	27.430 436 06	36.78	0.03
30	重庆	0.02	0	12.513 081 77	0	30.955 9401 1	38.05	0.02
31	西藏	0.01	0	81.813 672 84	0	20.059 110 84	42.92	0.01

表 4 农村公路综合有效系数

Tab. 4 Rural highway comprehensive effective coefficient				
等级	优	良	中	差
综合有效系数	1~0.8	0.6~0.8	0.3~0.6	0.3 以下

定程度上影响了农村公路的整体状况。以上 2 地区有针对性的改善不足之处,农村公路整体水平就会得到显著提高。

其余省的农村公路综合有效系数为差,小于 0.3,说明在“十五”期间,农村公路建设相对普通。因此,应该加大农村公路的建设力度,尤其在农村公路的通达率、铺装率及养护上应加大力度。

通过上述分析,对于中国待评价的 31 个省(直

辖市),其输入指标的非负偏差变量 $S^-=0$,可见,中国各省行政村的未铺装率应该尽量趋近于 0,这样才能使每个市的农村公路网达到最优化。从整体偏差量上看,乡镇通达率也是重要指标,中国各省农村公路中的乡镇通达情况,除西藏外均达到 80%以上,但是发展不平衡,存在一些公路通达但是未进行路面铺装,且后期养护未跟上,严重影响了农村公路的整体通畅水平。因此,在后续农村公路的建设和评价中,未铺装率和通达率是两项最重要的评价指标,要加强对未铺装的农村公路进行铺面,改善农村公路的行车条件,不仅要提高农村公路的通达率,而且要提高路面的铺装率,保证路面等级。

3 结 语

(1)农村公路应采用地区路网对其建设状况进行评价,通过农村公路网在该地区的通达、路面状况及养护情况判断农村公路的建设效果。

(2)选取未铺装率为输入指标,路网密度、乡镇通达率和养护 PCI 指数为输出指标,建立 DEA 分析模型,并对中国 31 个省市农村公路进行评价。

(3)通过对各省农村公路建设综合有效系数进行分类,结果表明:上海、山东、浙江、四川、新疆、辽宁、甘肃、北京的综合有效系数为优或良,农村公路建设成绩突出;其他省份应根据各自特点有针对性的改善不足,提高农村公路整体水平。里程大小不足以表明农村公路的建设优劣,而应该提高农村公路的铺装率及通达程度。

(4)DEA 方法不仅可以显示被评价单元的水平,而且以数值的形式直观地体现出落后单元的落后原因以及差距,因此这种模型的建立是成功的。

参考文献:

References:

- [1] 袁春毅,王朝辉,陈希梅.农村公路建设后评价体系研究[J].公路,2009(7):242-246.
YUAN Chun-yi, WANG Chao-hui, CHEN Xi-mei. Study on the evaluation system of rural highway construction[J]. Highway, 2009(7): 242-246. (in Chinese)
- [2] 袁春毅.我国公路后评价若干拓展问题研究[D].西安:长安大学,2009.
YUAN Chun-yi. Study on some development problems of highway post-evaluation in China[D]. Xi'an: Chang'an University, 2009. (in Chinese)
- [3] Passos, Carlos A S, et al. Improving university-industry partnership-The Brazilian experience through the scientific and technological development support program(PADCT III)[J]. JTM, 2004, 27(5): 475-487.
- [4] 王建军,王参军.公路建设项目后评价理论与方法研究[M].北京:人民交通出版社,2005.
WANG Jian-jun, WANG Can-jun. Study on post-evaluation theory and methods of highway construction [M]. Beijing: China Communications Press, 2005. (in Chinese)
- [5] Wen Y, Zhang L, Huang Z T, et al. Incorporating transportation network modeling tools within transportation economic impact studies of disasters [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering; English Edition, 2014, 1(4): 247-260.
- [6] Ardila A, Salvucci F. Planning Large Transportation Projects-Six Stage Model[J]. Transportation Research Record 1777, 2001(3): 116-122.
- [7] 曾兆庚,颜泽贤.基于 DEA 的高速公路建设对社会经济发展的时间效应研究[J].商场现代化, 2007, 33(1): 57-60.
ZEN Zhao-geng, YAN Ze-xian. DEA-based highway construction on time effect of socio-economic development[J]. Market Modernization, 2007, 33(1): 57-60. (in Chinese)
- [8] 陈敬武,李雅,李立.基于 DEA 的天津公路网规划综合评价模型研究[J].中外公路, 2007(2): 174-178.
CHEN Jing-wu, LI Ya, LI Li. Planning comprehensive evaluation model of Tianjin highway network based on DEA[J]. Journal of China Foreign Highway, 2007(2): 174-178. (in Chinese)
- [9] 朱辉,李沛才,陈绍莹.公路网现状综合评价[J].长安大学学报:自然科学版, 2005, 25(5): 79-82.
ZHU Hui, LI Pei-cai, CHEN Shao-ying. Synthetic evaluation of highway network actuality[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2005, 25(5): 79-82. (in Chinese)
- [10] 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)
- [11] 鄢勇飞,蒋乐,周俊,等.基于 DEA 法的小城镇道路网综合水平评价模型—以武汉市远城区为例[J].交通标准化, 2011(21): 44-46.
YAN Yong-fei, JIANG Le, ZHOU Jun, et al. Comprehensive evaluation model of road network in small town based on DEA method-a case study of Wuhan suburb [J]. Transportation Standardization, 2011(21): 44-46. (in Chinese)
- [12] 丁小东,徐菱,姚志刚.基于 DEA 方法中国交通运输行业绩效评价[J].武汉理工大学学报, 2011(3): 77-81.
DING Xiao-dong, XU Ling, YAO Zhi-gang. Performance evaluation of Chinese transportation industry based on DEA method[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2011(3): 77-81. (in Chinese)
- [13] 朱俊,张玮,余劲.基于 DEA 法的航道网规划综合评价与决策模型[J].交通运输工程学报, 2007, 7(4): 34-38.
ZHU Jun, ZHANG Wei, YU Jin. Evaluation and deci-

- sion-making model of waterway net planning based on DEA method[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2007, 7(4): 34-38. (in Chinese)
- [14] 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]. Transportation Standardization, 2008(7): 9-13. (in Chinese)
- [15] Donald W B. Complex topology in the highway network of hungary, 1990 and 1998[J]. Journal of Transport Geography, 2001(9): 125-135.
- [16] Charnels A, Cooper W W, Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units[J]. European Journal of Operational Research, 1978(2): 429-444.
- [17] 朱 辉, 隗志才. DEA 方法在公路网规划方案综合评价中的应用[J]. 公路, 2005(6): 111-115.
ZHU Hui, JUAN Zhi-cai. Application of DEA method to synthetic evaluation of highway network plan schemes[J]. Highway, 2005(6): 111-115. (in Chinese)
- [18] 张春梅, 马占新. 基于 DEA 的公路建设有效性纵向评价[J]. 交通运输工程学报, 2010, 10(4): 97-102.
ZHANG Chun-mei, MA Zhan-xin. Longitudinal evaluation of highway construction effectiveness based on DEA[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2010, 10(4): 97-102. (in Chinese)
- ~~~~~
- (上接第 137 页)
- work [J]. Journal of Wuhan University of Technology: Transportation Science & Engineering, 2007, 31(6): 973-975. (in Chinese)
- [11] Budge S, Ingolfsson A. Empirical analysis of ambulance travel times: the case of calgary emergency medical services [J]. Management Science, 2010, 56(4): 716-723.
- [12] 袁耀明. 交通流元胞自动机模型的解析和模拟研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2009.
YUAN Yao-ming. Analytical and simulation study on the cellular automaton models for traffic flow [D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2009. (in Chinese)
- [13] 李新刚. 基于元胞自动机模型的交通系统微观建模与特性研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2009.
LI Xin-gang. Microscopic modeling and properties analyzing of transportation system based on cellular automata model [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2009. (in Chinese)
- [14] 贾 斌, 高自友, 李克平, 等. 基于元胞自动机的交通系统建模与模拟[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
JIA Bin, GAO Zi-you, LI Ke-ping et al. Models and simulations of traffic system based on the theory of cellular automata [M]. Beijing: Science Press, 2007. (in Chinese)
- [15] Jiang R, Wu Q S. Study on the dynamic properties of traffic flow from the micro and macro modelling [J]. Journal of the Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, 2006, 23(6): 848-854.
- [16] 祁宏生, 宋现敏, 王殿海, 等. 基于元胞自动机的基本路段行程时间研究[J]. 北京工业大学学报, 2011, 37(10): 1517-1523.
QI Hong-sheng, SONG Xian-min, WANG Dian-hai, et al. Research on travel time of basic road based on cellular automata [J]. Journal of Beijing University of Technology, 2011, 37(10): 1517-1523. (in Chinese)