

基于数据包络分析和托宾模型的城市轨道交通运输效率

张 浩, 尤建新

(同济大学 经济与管理学院, 上海 200092)

摘要: 基于数据包络分析(DEA)和托宾模型(Tobit)两阶段法对中国城市轨道交通的运输效率进行评价,并对其影响因素进行分析.研究采用 20 个城市的 2015 年数据.研究结果表明,我国城市轨道交通运输整体效率较低;新开线路的二、三线城市的纯技术效率较高,但规模效率较低;大多数城市的轨道交通都处于规模收益递增阶段.城市轨道交通的运输效率与路网密度、换乘车站数量和车站数量等因素有关,其中路网密度对运输效率的影响程度较大.

关键词: 城市轨道交通; 运输效率; 数据包络分析; 托宾模型

中图分类号: U121

文献标志码: A

An Empirical Study of Transport Efficiency of Urban Rail Transit Based on Data Envelopment Analysis and Tobit Model

ZHANG Hao, YOU Jianxin

(School of Economics and Management, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: This paper constructs a data envelopment analysis (DEA) model to analyze the transport efficiency urban rail transit of 20 cities in China by using the data of 2015, and then uses the Tobit regression model to evaluate the correlation between the transport efficiency and various factors. The results show that the overall efficiency of urban rail transit in China is low. The pure technical efficiencies of the cities that began to operate urban rail transit systems in last three years are higher, while their scale efficiencies are lower. The rail transit systems in most cities are in the increasing stage of scale revenue. The transport efficiency of urban rail transit is related to the density of railway network, quantities of stations, and transfer stations. The density of railway network has more influence on transport efficiency.

Key words: urban rail transit; transport efficiency; data envelopment analysis; Tobit model

近年来,我国许多城市的机动车保有量逐年递增,道路资源变得十分紧缺,交通拥堵经常发生.城市轨道交通运量大、速度快,逐渐成为大中型城市优先发展的交通方式.截至 2016 年底,中国大陆地区共有 30 个城市开通运营了 133 条轨道交通线路,运营线路里程达到 4 152.8 km^[1].仅在 2016 年,就有超过 7 000 km 的城市轨道交通线路建设规划获得政府批复,轨道交通已经成为城市公共交通系统的重要组成部分.但是城市轨道交通建设项目一般投资巨大,回报周期漫长.如何使轨道交通系统的运输效率最大化,发挥其公共交通的运输优势,是运营方面面临的难题.因此,研究城市轨道交通运输的效率评价问题具有重要的现实意义.

关于城市轨道交通运输效率,国内外至今还没有一个公认的定义.Álvaro 等^[2]认为运输效率是指运输活动中有效产出与资源投入的比率.该定义也是由经济学领域的效率派生而来,与经济学家樊刚等^[3]关于资源利用效率的论述相同.同理,城市轨道交通运输效率可以认为是城市轨道交通有效产出与资源投入之比.

在城市轨道交通运输效率方面,国内外学者已有相关研究,但大多集中在换乘效率上,包括轨道交通的内部换乘以及轨道交通和其他交通系统的外部换乘.余李艳^[4],张学尽^[5],陈力华等^[6]分别研究了城市轨道交通与自行车、公交、机场等系统的换乘效率.Guihaire 等^[7]从整个轨道交通系统的运营角度出发,认为调整线路时刻表能够使得换乘效率达到最优.郭谦等^[8]设计了换乘效率指数,并利用该指数

收稿日期: 2018-01-24

基金项目: 国家自然科学基金(71671125)

第一作者: 张 浩(1990-),男,博士生,主要研究方向为管理理论与工业工程. E-mail:zhhao1248@sina.com

对北京的城市轨道交通的换乘效率进行研究. Navarrete 等^[9]以智利圣地亚哥的地铁系统为例,分析了影响换乘效率的因素. 诸葛恒英^[10]认为换乘时间、换乘距离、候车时间、换乘设施面积等因素会影响轨道交通的换乘效率. 汪明艳等^[11]从运营方角度出发,采用数据包络分析(DEA)方法对上海市换乘车站的效率进行了评价.

目前针对我国城市轨道交通运输效率的研究相对较少. 刘旭^[12]从运营成本和效益出发,对我国 8 个城市的轨道交通的运营效率进行了评价. 刘志钢等^[13]采用数据包络分析方法对世界上 11 个城市轨道交通的经营效率进行了分析,找出了上海城市轨道交通系统存在的问题,并提出改善建议. 李磊等^[14]利用数据包络分析和 Malmquist 指数对我国 10 个城市的轨道交通运行效率进行了评价分析,并提出合理的政策建议. Qin 等^[15]采用网络 DEA 方法测量了组织模式对我国城市轨道交通效率的影响. 毕湘利等^[16]认为,城市轨道交通效率可以从多角度来测量,既可以从规划、建设、运营的全过程来测算,也可以从车辆的周转速度,客运效率和成本等角度来测量. 上述文献大多从运营、成本等不同角度测算了城市轨道交通的运作效率,而对运输效率的研究较少. 基于上述分析,本文从客运周转视角出发,单纯测算我国城市轨道交通的运输效率,而不考虑运营效率. 本研究的创新点主要有以下两点:一是构建城市轨道交通运输效率评价指标体系,选择合适的投入产出指标,建立 DEA 模型对 20 个城市 2015 年的轨道交通运输效率进行了评价;二是根据各城市轨道交通运输效率的实证结果,采用 Tobit 回归模型对城市轨道交通运输效率的影响因素进行了探索分析,并提出了相关建议.

1 研究方法

1.1 数据包络分析法(DEA)

数据包络分析方法是美国运筹学家 Charnes, Cooper 和 Rhodes 在 20 世纪 70 年代提出的一种效率评价方法^[17]. 其核心思想是把每一个被评价的单位或部门作为一个决策单元 DMU(decision making units),每个决策单元具有相同的投入产出指标,采用多目标规划模型对投入和产出进行综合分析,计算出效率值,从而判断决策单元之间的相对有效性. CCR(Charnes Cooper Rhodes)模型是 DEA 方法的基础模型,其假设决策单元的规模收益不变. 而 BCC

(Banker Charnes Cooper)模型是在 CCR 模型基础上的一种扩展,其假设决策单元的规模收益可变.

CCR 模型假设有 n 个决策单元,每个 DMU 都有 m 种类型的投入以及 s 种类型的产出. x_{ij} 为第 j 个 DMU 对第 i 种类型的投入量; y_{rj} 表示第 j 个 DMU 对第 r 种类型的产出量; $X_j = (x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj})^T$; $Y_j = (y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{sj})^T$; $i = 1, 2, \dots, m$; $r = 1, 2, \dots, s$; $j = 1, 2, \dots, n$; (X_j, Y_j) 表示第 j 个 DMU. 投入的权重表示为 $v_i (i = 1, 2, \dots, m)$, 产出的权重表示为 $u_r (r = 1, 2, \dots, s)$, 则每个 DMU 都有以下相应的效率评价指数:

$$h_j = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}}, \quad v \geq 0, u \geq 0 \quad (1)$$

总可以适当选择权重 v 和 u , 使其满足 $h_j \leq 1$.

设第 k 个 DMU 为被评价的 DMU, 则 CCR 模型为

$$\begin{aligned} \max \quad & \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} / \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} \\ \text{s. t.} \quad & \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} / \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 1 \\ & v \geq 0, u \geq 0 \\ & i = 1, 2, \dots, m; r = 1, 2, \dots, s; j = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (2)$$

再利用 Charnes - Cooper 变换, 令 $t = 1 /$

$$\begin{aligned} \max \quad & \sum_{r=1}^s \mu_r y_{rk} \\ \text{s. t.} \quad & \sum_{r=1}^s \mu_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m w_i x_{ij} \leq 0 \\ & \sum_{i=1}^m w_i x_{ik} = 1 \\ & w \geq 0, \mu \geq 0 \\ & i = 1, 2, \dots, m; r = 1, 2, \dots, s; j = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (3)$$

上述模型的对偶模型为

$$\begin{aligned} \min \quad & \theta \\ \text{s. t.} \quad & \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \leq \theta x_{ik} \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \geq y_{rk} \\ & \lambda \geq 0 \\ & i = 1, 2, \dots, m; r = 1, 2, \dots, s; j = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (4)$$

式中: λ 为 DMU 的线性组合系数; 最优解 θ^* 代表效率值. θ^* 的取值范围为 $[0, 1]$.

BCC 模型是在上述模型的约束条件中增加 $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 (\lambda \geq 0)$, 目的是使投影点的生产规模与被

评价决策单元的生产规模处于同一水平,即

$\min \theta$

$$\text{s. t. } \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \leq \theta x_k$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \geq y_{rk}$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$$

$$\lambda \geq 0$$

$$i = 1, 2, \dots, m; r = 1, 2, \dots, s; j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

1.2 Tobit 回归模型

Tobin 在 1958 年提出了一种采用极大似然估计的截断回归模型,又被称为 Tobit 回归模型^[18]. 在该模型中,因变量是受到限制的. 采用 DEA 方法评价得出的效率值处于 0~1 的区间范围内,而且是间断的. 这种情况下,如果用最小二乘法进行回归分析,采用估计值很可能会出现偏差. 而采用 Tobit 回归模型则可以有效避免这种情况的发生. 因此,本文采用 Tobit 回归模型来分析城市轨道交通效率的影响因素.

Tobit 回归模型如下:

$$Y = \begin{cases} Y^* = \beta X + \mu & Y^* > 0 \\ 0 & Y^* \leq 0 \end{cases} \quad (6)$$

式中: Y^* 为截断因变量向量; Y 为效率值向量; X 为自变量向量; β 为回归参数向量; μ 为误差项,且 $\mu \sim (0, \sigma^2)$.

2 变量选取与数据说明

2.1 城市轨道交通运输效率评价指标

采用 DEA 方法评价城市轨道交通的运输效率必须选择合适的投入与产出变量. 考虑到对城市轨道交通运输效率的定义,DEA 方法应用时决策单元数量与变量数量的关系,以及数据的可得性,本文主要选择了城市轨道交通运营线路长度,城市轨道交通车辆数量作为固定资产投入,城市轨道交通总能耗作为能源投入,以城市轨道交通的客运周转量作为产出指标,如表 1 所示. 文献[11-13]均将运营线路长度和车辆数量作为资源投入指标. 而对于能源投入,文献[10]将动力消耗的经济价格作为投入指标,本文则是直接采用城市轨道交通所消耗的电力总量作为投入,消除了价格因素的影响. 在产出方面,许多文献都将客运量作为产出指标,而忽略了客运周转量. 从运输的角度来看,这样设置不是很合理. 因为乘客乘坐轨道交通,实现的是空间上的位

移,不考虑乘客周转里程而仅仅依据进出站次数来计算运输效率是不合适的. 本文旨在测算城市轨道交通的运输效率,因此选择客运周转量作为唯一有效产出.

表 1 城市轨道交通的投入与产出指标

Tab. 1 Input and output indicators of urban rail transit

指标类型	指标含义	单位
投入指标	运营线路长度	km
	轨道交通车辆数量	标台
	总能耗	$10^4 \text{ kW} \cdot \text{h}$
产出指标	客运周转量	万人·km

由于数据的可得性,本文选择了 2015 年中国 20 个城市作为决策单元,对城市轨道交通的运输效率进行评价. 其中,各城市的城市轨道交通的运营线路长度、总能耗、客运量和客运周转量等数据来源于《城市轨道交通 2015 年度统计和分析报告》,轨道交通车辆数量来自《中国第三产业统计年鉴 2016》. 需要特别说明的是,青岛和南昌两地的城市轨道交通分别从 2015 年 12 月 16 日和 2015 年 12 月 26 日才开始运营,为保持数据一致性,本文对两城市轨道交通的总能耗、客运周转量进行了年度处理. 经过数据收集和整理,中国 20 个城市的轨道交通投入产出数据如表 2 所示.

2.2 影响城市轨道交通运输效率的因素

影响城市轨道交通运输效率的因素较多,参考已有的研究成果和轨道交通系统的实际情况,本文选择城市轨道交通的车站数量、换乘车站数量、平均站间距和路网密度 4 种因素,采用 Tobit 回归模型分析各因素对城市轨道交通运输效率的影响.

(1)平均站间距. 平均站间距指轨道交通车站与车站之间的平均距离. 理论上,平均站间距应在一个合理范围内. 平均站间距过长,增加了乘客出行的困难程度. 平均站间距过短,又会造成资源浪费.

(2)车站数量. 通常一个城市轨道交通车站,能够满足周围数万人乃至几十万人的日常出行需求. 车站数量越多,乘客数量越多,运输效率则可能越高.

(3)换乘车站数量. 换乘车站数量越多,乘客的出行距离则可能会缩短,出行时间也会相应减少,从而提高乘客乘坐轨道交通的意愿. 因此,换乘车站数量可能会对运输效率产生影响.

(4)路网密度. 路网密度是指城市建成区单位面积所拥有的轨道交通线路里程. 路网密度越大,客运量和客运周转量则有可能越多,进而影响轨道交通

的运输效率.

表 2 中国 20 城市的轨道交通投入产出数据

Tab. 2 Input and output data of rail transit of 20 cities in China

城市	投入		产出	
	运营线路长度/km	轨道交通车辆/标台	总能耗/(10 ⁴ kW·h)	客运周转量/(万人·km)
北京	631	5 024	158 585	2 802 586
上海	683	3 797	172 509	2 700 005
天津	147	626	26 475	345 906
重庆	202	918	42 834	602 453
深圳	179	1 284	60 950	855 463
南京	232	1 120	42 888	587 128
沈阳	121	300	11 275	218 417
长春	60	395	4 200	65 207
大连	167	500	6 539	118 693
成都	180	732	24 784	303 976
西安	51	324	15 848	111 296
苏州	70	219	6 660	95 497
昆明	59	240	11 308	87 698
杭州	81	468	22 191	201 523
佛山	27	108	6 488	60 953
长沙	46	162	9 760	33 690
宁波	49	276	10 192	20 546
无锡	56	276	13 252	50 448
南昌	29	138	135 780	61 198
青岛	11	48	4 015	5 886
最大值	683	5 024	172 509	2 802 586
最小值	11	48	4 015	5 886
平均值	154.05	847.75	39 326.65	466 428.45
标准差	184.06	1 279.29	52 642.58	814 099.30

车站数量、换乘车站数量来源于《城市轨道交通 2015 年度统计和分析报告》. 平均站间距是根据运营线路长度和车站数量计算得到的. 路网密度的计算公式为: 路网密度=轨道交通线路里程/城市建成区面积. 其中, 城市建成区面积数据来源于《中国城市建设统计年鉴 2016》. 具体数据见表 3.

3 实证结果

3.1 城市轨道交通运输效率评价

基于上述数据, 本文采用 CCR 模型和 BCC 模型分别对 2015 年中国大陆地区 20 个城市的轨道交通运输效率进行了计算. CCR 模型用于计算城市轨道交通的综合效率, BCC 模型则用于计算轨道交通的纯技术效率、规模效率和规模收益的情况. 具体结果如表 4 所示.

从综合效率来看, 20 个城市中北京、上海、深圳、沈阳 4 个城市的轨道交通运输的综合效率值最高, 均为 1.000, 而且他们的纯技术效率值和规模效率值也为 1.000, 达到了 DEA 有效, 说明上述 4 城市

的城市轨道交通投入被有效利用, 产出了最大化的客运周转量. 其余 16 个城市的轨道交通运输的综合效率没有达到 DEA 有效, 说明应该合理配置资源, 采取一些吸引客流措施, 提高城市轨道交通的运输效率.

表 3 城市轨道交通影响因素数据表

Tab. 3 Influencing factors of urban rail transit

城市	车站/座	换乘站/座	平均站间距/km	路网密度/(km·km ⁻²)
北京	348	109	1.813 2	0.450 4
上海	375	118	1.821 3	0.683 9
天津	87	4	1.689 7	0.166 0
重庆	119	16	1.697 5	0.151 9
深圳	131	26	1.366 4	0.198 9
南京	121	15	1.917 4	0.307 2
沈阳	113	3	1.070 8	0.260 2
长春	65	2	0.923 1	0.118 5
大连	95	3	1.757 9	0.422 3
成都	91	6	1.978 0	0.292 3
西安	40	2	1.275 0	0.101 9
苏州	70	2	1.000 0	0.152 7
昆明	35	0	1.685 7	0.140 3
杭州	57	8	1.421 1	0.160 1
佛山	17	2	1.588 2	0.170 8
长沙	23	0	2.000 0	0.147 3
宁波	41	11	1.195 1	0.152 2
无锡	45	2	1.244 4	0.170 0
南昌	24	5	1.208 3	0.094 4
青岛	10	2	1.100 0	0.019 4

表 4 中国 20 城市的轨道交通运输效率计算结果

Tab. 4 Rail transit efficiencies of 20 cities in China

城市	综合效率	纯技术效率	规模效率	规模收益	按照综合效率排序
北京	1.000	1.000	1.000	不变	1
上海	1.000	1.000	1.000	不变	1
天津	0.785	0.822	0.956	递增	10
重庆	0.919	0.928	0.990	递增	6
深圳	1.000	1.000	1.000	不变	1
南京	0.801	0.809	0.989	递增	7
沈阳	1.000	1.000	1.000	不变	1
长春	0.801	1.000	0.801	递增	7
大连	0.937	1.000	0.937	递增	5
成都	0.663	0.688	0.963	递增	12
西安	0.501	0.657	0.762	递增	16
苏州	0.742	0.998	0.744	递增	11
昆明	0.510	0.666	0.766	递增	15
杭州	0.612	0.697	0.878	递增	14
佛山	0.788	1.000	0.788	递增	9
长沙	0.289	0.516	0.561	递增	17
宁波	0.118	0.418	0.283	递增	20
无锡	0.256	0.447	0.573	递增	18
南昌	0.622	0.852	0.730	递增	13
青岛	0.172	1.000	0.172	递增	19
平均值	0.676	0.825	0.795		

20 个城市中有 11 个城市的综合效率值高于平均值 0.676, 9 个城市的综合效率值低于平均值。中国的城市轨道交通效率还处于一个较低的水平, 未来还有很大的提升空间。其中, 长沙、宁波、无锡、青岛等城市的综合效率值较低, 很大可能是因为上述城市都是新开通的线路, 轨道交通网络尚未形成, 而新开通线路的客流量又较少, 人们采用轨道交通出行的习惯还未养成所造成的。

从纯技术效率来看, 20 个城市中有 8 个城市的纯技术效率值为 1.000, 12 个城市低于 1.000。纯技术效率的平均值为 0.825, 有 10 个城市高于平均值, 10 个城市低于平均值, 说明天津等 10 城市的城市轨道交通纯技术效率需要提高, 特别是长沙、宁波、无锡、佛山、青岛的纯技术效率值为 1.000, 南昌的纯技术效率值为 0.852, 可能是因为这些城市的城市轨道交通线路建设年代较近, 采用的列车技术先进, 能耗较低, 因此有着很高的技术效率值。

从规模效率来看, 20 个城市中北京、上海、深圳、沈阳的规模效率值为 1.000, 其余 16 个城市低于 1.000。规模效率的平均值为 0.795, 有 11 个城市高于平均值, 9 个城市低于平均值。说明大多数城市的轨道交通处于一个规模报酬递增的阶段, 特别是对于新开通轨道交通线路的二、三线城市, 如佛山、长沙、宁波、无锡、青岛等, 如何吸引客流是轨道交通运营面临的问题。

综上, 中国城市轨道交通效率整体处于较低水平, 还有很大的提升空间。20 个城市中, 只有北京、上海、深圳、沈阳的轨道交通效率达到了 DEA 有效。长沙、宁波、无锡、青岛等城市的运输效率较低, 可能与上述城市的轨道交通骨干网络尚未形成有关。除北京、上海、深圳、沈阳以外, 其他城市的轨道交通均处于规模报酬递增阶段, 说明城市轨道交通的运营方应采取合理措施吸引客流, 扩大运输规模, 提升运输效率。

3.2 影响城市轨道交通效率的因素分析

由于样本数量较少, 本文采用 Eviews9.0 软件逐一对车站数量、换乘车站数量、平均站间距、路网密度 4 种影响因素进行 Tobit 回归分析。Tobit 模型回归结果如表 5 所示。

回归结果表明: 车站数量与城市轨道交通的运输效率呈高度正相关, 系数为 0.001 8, 说明车站数量是影响城市轨道交通效率的一个重要原因, 车站数量能带来运输效率的提高。每提高 1 个单位的车站数量, 城市轨道交通的运输效率将提高

0.001 8 个单位。

表 5 影响因素的 Tobit 模型回归结果
Tab. 5 Tobit regression result of influencing factors

变量	系数	标准差	Z 统计量	显著水平
车站数量	0.001 8	0.000 5	3.525 2	0.000 4***
常数	0.503 7	0.069 3	7.272 7	0
换乘车站数量	0.003 8	0.001 7	2.207 8	0.027 3**
常数	0.612 5	0.063 0	9.728 4	0
平均站间距	0.186 3	0.180 5	1.032 5	0.301 8
常数	0.398 6	0.275 3	1.448 0	0.147 6
路网密度	1.091 5	0.343 1	3.180 8	0.001 5***
常数	0.437 8	0.090 5	4.836 8	0

注: ** 表示 5% 的显著水平; *** 表示 1% 的显著水平。

换乘车站数量与城市轨道交通的运输效率呈正相关, 系数为 0.003 8, 说明换乘车站数量越多, 运输效率越高。每提高 1 个单位的车站数量, 城市轨道交通的运输效率将提高 0.003 8 个单位。

平均站间距的系数为正, 但统计性不显著, 说明城市轨道交通的平均站间距与运输效率没有直接关系。平均站间距的大小并不能影响城市轨道交通的运输效率。

路网密度与城市轨道交通的运输效率呈高度正相关, 系数为 1.091 5, 说明路网密度是影响城市轨道交通效率的一个非常重要的因素。路网密度每提高 1 个单位, 城市轨道交通的运输效率将提高 1.091 5 个单位。

4 结论

本文选用 DEA 模型对中国 20 个城市 2015 年的轨道交通效率进行了评价, 结果表明中国城市轨道交通总体综合效率较低, 但纯技术效率较高, 整体规模报酬递增。城市轨道交通运营方在扩大运输规模方面可以采取有效措施, 合理地配置资源, 以期尽早达到产出最大化状态。基于搜集到的数据, 采用 Tobit 模型对中国城市轨道交通 2015 年运输效率的影响因素进行相关性分析, 发现对城市轨道交通效率影响较大的因素是路网密度、换乘车站数量和车站数量。

通过上述分析, 可以得到以下建议:

(1) 2015 年, 北京、上海、深圳和沈阳 4 市的轨道交通效率最高, 其他城市可以参考这 4 座城市的运营经验合理地调配资源, 调整列车开行次数和开行时间。由于其他城市不具有北上深千万级的人口基数, 沈阳的轨道交通运营经验可能更值得参考

借鉴.特别是长沙、无锡、宁波、青岛这4座城市,急需提高轨道交通运输效率.

(2)根据规模效率分析可知,相对无效城市的轨道交通都处于规模收益递增阶段.因此城市轨道交通运营方应想方设法增加扩大生产规模,在提高规模效率的同时提升综合效率.例如在轨道交通的线路终点站免费开通短驳车辆,方便周边乘客出行;在轨道交通的规划设计阶段,考虑轨道交通与公交系统、自行车、小汽车的换乘,在车站附近修建停车场,吸引乘客乘坐轨道交通出行.

(3)路网密度、换乘车站数量和车站数量是影响城市轨道交通运输效率的重要因素.其中,路网密度对运输效率的影响最大.路网密度越大,城市轨道交通的运输效率越高.因此,城市在进行轨道交通规划设计时,应重点考虑提高建成区的轨道交通线路里程,其次是修建较多的换乘车站和普通车站.

参考文献:

- [1] 侯秀芳,左超,李楠.城市轨道交通2016年统计和分析[J].都市快轨交通,2017,30(3):1.
HOU Xiufang, ZUO Chao, LI Nan. Statistics and analysis of urban rail transit in 2016[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2017, 30(3):1.
- [2] ÁLVARO C, MARKELLOS R N. Evaluating public transport efficiency with neural network models [J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 1997, 5(5):301.
- [3] 樊纲,杨仲伟,张燕生,等.公有制宏观经济理论大纲[M].北京:经济管理出版社,2007.
FAN Gang, YANG Zhongwei, ZHANG Yansheng, et al. Outline of macroeconomic theory on public ownership [M]. Beijing: Economic Management Press, 2007.
- [4] 余李艳.自行车与轨道交通的协调换乘研究[D].西安:长安大学,2014.
YU Liyan. Research on bike-and-metro system [D]. Xi'an: Chang'an University, 2014.
- [5] 张学尽.城市轨道交通与常规公交换乘协调性研究[D].成都:西南交通大学,2004.
ZHANG Xuejin. The study on the transfer between urban rail transportation and conventional public transit [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2004.
- [6] 陈力华,李妍.上海城市地铁与航空港的换乘研究[J].上海工程技术大学学报,2002,16(2):136.
CHEN Lihua, LI Yan. Research on the transiting between Pudong airport and downtown in Shanghai [J]. Journal of Shanghai University of Engineering Technology, 2002, 16(2): 136.
- [7] GUIHAIRE V, HAO J K. Improving timetable quality in scheduled transit networks[C]//Trends in Applied Intelligent Systems. Berlin: Springer, 2010: 21-30.
- [8] 郭谦,吴殿廷,鲍捷.基于换乘效率指数的北京轨道交通网络通达性评价及其成因分析[J].经济地理,2012,32(11):38.
GUO Qian, WU Dianting, BAO Jie. Evaluation of accessibility in urban rail transit network of Beijing based on transfer efficiency index and the analyze of its cause [J]. Economic Geography, 2012, 32(11):38.
- [9] NAVARRETE F J, ORTUZAR J D D. Subjective valuation of the transit transfer experience: the case of Santiago de Chile [J]. Transport Policy, 2013, 25(1):138.
- [10] 诸葛恒英.北京城市轨道交通换乘效率研究[D].北京:北京交通大学,2007.
ZHUGE Hengying. Research of the transfer efficiency of Beijing city rail transit [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2007.
- [11] 汪明艳,汪泓,刘志钢,等.面向运营方的城市轨道交通换乘效率评价研究[J].上海管理科学,2014,36(2):87.
WANG Mingyan, WANG Hong, LIU Zhigang, et al. Evaluation of urban rail transit efficiency evaluation for operators [J]. Shanghai Management Science, 2014, 36(2):87.
- [12] 刘旭.基于数据包络分析(DEA)的城市轨道交通运营评价及改良[D].成都:西南交通大学,2008.
LIU Xu. Evaluation and improvement for the operation of urban rail transit based on DEA [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2008.
- [13] 刘志钢,吴强,何静,等.基于DEA方法的城市轨道交通综合效率研究[J].铁道运输与经济,2008,30(4):61.
LIU Zhigang, WU Qiang, HE Jing, et al. Research on the comprehensive efficiency of urban rail transit based on DEA method [J]. Railway Transport and Economy, 2008, 30(4):61.
- [14] 李磊,姚璇宇.基于DEA和Malmquist指数的城市轨道交通行业效率[J].江南大学学报(自然科学版),2015,14(1):10.
LI Lei, YAO Xuanyu. On urban rail transit efficiency based on the DEA and Malmquist TFP index [J]. Journal of Jiangnan University(Natural Science), 2015, 14(1):10.
- [15] QIN F, ZHANG X, ZHOU Q. Evaluating the impact of organizational patterns on the efficiency of urban rail transit systems in China [J]. Journal of Transport Geography, 2014, 40:89.
- [16] 毕湘利,宋键.从效率角度谈城市轨道交通的规划、建设和运营[J].城市轨道交通研究,2007,10(10):12.
BI Xiangli, SONG Jian. On efficient planning, construction and operation of urban rail transit [J]. Urban Mass Transit, 2007, 10(10):12.
- [17] CHARNES A, COOPER W W, RHODES E. Measuring the efficiency of decision making units [J]. European Journal of Operational Research, 1978, 2(6):429.
- [18] TOBIN J. Estimation of relationships for limited dependent variables[J]. Econometrica, 1958, 26(1):24.