

DEA 视角下基于主成分分析的城市 轨道交通建设水平研究

郭建民^{1a}, 韩林飞^{1b}, 马莉莉²

(1. 北京交通大学 a. 土木建筑工程学院, b. 建筑与艺术学院, 北京 100044; 2. 北京交科公路勘察设计研究院, 北京 100191)

摘要:为解决日益严重的交通拥堵问题,轨道交通建设正在我国各大、中城市快速兴起.本文以北京市为例,在合理确定评价指标的同时,借用DEA(Data Envelopment Analysis)模型为各指标分配了权重,利用主成分分析法构建了轨道交通及经济社会发展评价指数,揭示了轨道交通建设与经济社会发展之间的关系,进而预测未来北京市轨道交通建设的合理水平.研究结果表明:目前北京轨道交通建设水平及轨道交通规划相对于经济社会发展而言处于合理超前的状态.

关键词:轨道交通;数据包络分析模型;主成分分析;评价指数

中图分类号:U239.5 **文献标志码:**A

Research of urban rail transit construction level based on the principal component analysis from the perspective of DEA

GUO Jianmin^{1a}, HAN Linfei^{1b}, MA Lili²

(1a. School of Civil Engineering, 1b. School of Architecture and Design, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China; 2. Beijing Jiaoke Transport Consultants Ltd., Beijing 100191, China)

Abstract: Nowadays, traffic jam is becoming serious. More and more cities in China begin construction rail transit in order to solve this problem. Taking Beijing as an example, this paper ascertains the evaluation index reasonably, allocates the weights for each index using the DEA model, and conforms the rail transit and economic & social development evaluation index based on the principal component analysis. It reveals the numerical relationship between rail transit construction and economic & social. The calculation results show that, compared with the economic and social development, Beijing's rail transit construction level is in the advanced state at present. According to the Beijing's goals for economic and social development in future, this paper forecasts Beijing rail transit construction's reasonable level.

Key words: rail transit; DEA model; principal component analysis; evaluating indicator

国外发达国家的发展经验表明,当经济发展到一定阶段、人们的收入达到一定水平时,特别是当城市面积、人口数量、经济水平、生产力布局等达到一定规模之后,解决城市拥堵的基本框架是发展以轨道交通为主体的公共交通^[1-2].

在我国,轨道交通也被公认为是缓解城市交通拥堵的有效措施,于是国内各大城市争相大力发展轨道交通^[3].目前,国内已有36个城市的轨道交通项目获批,我国已经成为世界上最大的城市轨道交通市场^[4].按照规划,到2020年,我国投入运营的城

收稿日期:2014-06-11

基金项目:教育部“新世纪优秀人才支持计划”项目资助(NCET-10-0217)

作者简介:郭建民(1982—),男,山东聊城市人,博士生.研究方向为地下空间规划. email: benniu163@163.com.

市轨道交通线路总里程将达到 6 000 km,轨道交通投资总额将达人民币 4 万亿元.轨道交通投资的多少很大程度取决于其建设标准,建设标准的高低影响到建设规模和各种设施的性能.建设标准可通过对客运量、旅行速度、舒适度、可靠性等指标的综合评价来确定.有观点认为,如果我国轨道交通建设采用国外 20 世纪 80 年代的标准,投资就会超出我国目前的经济承受能力,因此建议目前轨道交通建设采用稍低一些的建设标准,以解决人们“有车乘”的基本需要为目的,同时还要为今后过渡到高标准留有足够的余地^[5].

目前对轨道交通建设的研究主要是轨道交通线网的比选^[6-7]、轨道交通与沿线的土地利用关系^[8-9]、轨道交通客流预测^[10]等方面,轨道交通建设规模一般根据城市总体规划而定,所以对轨道交通建设规模的研究相对较少.根据我国城市总体规划的实施情况,对中小城市,城市总体规划设定的城市面积、人口规模等指标均偏高,很难实现;而对大城市及特大城市,城市总体规划设定的指标一般提前数年被突破^[11].因此,仅依据城市总体规划确定轨道交通线网规模存在一定的局限性.表 1 为国内部分城市轨道线网规划规模,其中:人口为 2012 年数据,GDP 为 2013 年数据.

表 1 国内部分城市轨道线网规划规模

Tab.1 Network scale of the urban rail transit in some cities

城市	常住人口/万人	GDP/亿元	地方财政收入/亿元	轨道线网规划总长度/km
深圳	1 068	14 500	1 731	585
苏州	1 300	13 000	1 331	517
济南	695	5 230	482	262
西安	847	4 884	501	600
沈阳	826	7 224	801	400
徐州	950	4 500	422	152

面对轨道交通建设的巨额投资,盲目建设不仅会使政府或企业债台高筑,也会造成巨大的资源浪费.从 1965 年北京地铁 1 号线开始建设到 2003 年 13 号线开始建设,期间的 37 年北京轨道交通建设发展速度缓慢,总运营里程仅为 54 km,很重要的一个原因就是缺乏资金.从国内城市已经规划的轨道交通线网规模看,线网规模规划较为随意,没有与当地的环境、经济社会发展等保持协调,造成规划编制完成后,因资金问题项目迟迟不能开工建设,使得规划只能停留在“纸”上.如何合理确定轨道交通的建设标准和建设规模,使轨道交通建设适度发展,即能满足城市发展需要,又不过度超前,是值得从理论和方法上探索的问题^[12].

1 研究方法 with 数据处理

以北京市为例,主要研究包括:①轨道交通建设与运行(数据来源于历年《北京交通发展年报》);②经济发展(数据来源于 2013 年《北京统计年鉴》);③社会发展(数据来源于 2013 年《北京统计年鉴》).

1.1 数据处理

首先,建立评价指标体系.选取能够表征轨道交通、经济、社会发展情况的数据,并考虑数据的科学合理和连续性,确定 3 方面的评价指标共计 32 个.

1) 轨道类指标包括:轨道交通建设完成投资额,亿元;轨道交通运营车辆,辆;运营线路条数,条;运营线路长度,km;年客运量,万人次;线路站点数,个;全年开行列车数,列.

2) 经济类指标包括:地区生产总值,亿元;人均地区生产总值,元;社会消费品零售总额,亿元;全社会固定资产投资,亿元;农林牧渔总产值,亿元;二次能源生产量,万吨标准煤;能源消费量,万吨标准煤;地方财政收入,亿元;金融机构(含外资)存款余额,亿元;金融机构(含外资)贷款余额,亿元;建筑施工企业总产值,亿元;外贸进出口总值,万美元;旅游外汇收入总额,万美元;邮电业务总量,万元.

3) 社会发展情况指标包括:常住人口,万人;从业人员年末人数,万人;普通高等学校在校学生数,人;群众艺术馆、文化馆,个;公共图书馆,个;城镇居民人均住房面积, m^2 ;每千人拥有职业(助理)医师数,人;城镇居民人均可支配收入,元;农村居民人均纯收入,元;研发与试验发展经费内部支出,亿元;城镇登记失业率, %.

其次,对各指标数据进行量纲一处理.由于各指标单位不同,为使各指标可以比较或汇总,应先对所有指标进行量纲一处理,其表达式为

$$M_i = \frac{D_i}{D_0} \quad (1)$$

式中: M_i 为第 i 个指标的无量纲化数值; D_i 为第 i 个指标的原始数值; D_0 为第 i 个指标的基年数值.本研究以 2001 年为基年, D_0 即为各指标 2001 年的数值.

最后,根据各指标项在指标类中的重要程度,计算各指标的权重 W_i .依据指标特点,借助 DEA 模型(数据包络分析)求解所构建指标的权重因子^[13].把各指标作为评价单元,各指标在不同年份的数值作为评价单元的产出值,假设各指标的投入值均相等,然后借助 DEA 模型对各评价单元进行效率评价,效率越高,其权重越大;反之越小.经计算,各指标权重

值基本相等.结合主观判断,确定所有指标具有相同的权重.

1.2 数理模型

主成分分析法主要用来研究多指标(变量)问题.它把众多的指标通过数学模型重新组合成一组新的互相无关的几个综合指标来代替原来指标,并能根据需要从中取几个较少的综合指标尽可能多地反映原来指标的信息.其核心思想是:在尽量保持信息不丢失的情况下,对高维空间进行降维,将多指标问题变换为少指标问题,减少问题的复杂性.

根据主成分分析原理,对于有 m 个数据序列、每个数据序列有 n 个变量的一组指标,其评价指数的构建流程如下:

1)利用标准化后的数据构造矩阵 Z .

2)求矩阵 Z 的相关系数矩阵 $R = (r_{jk})_{m \times n}$,其

中: $r_{jk} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n x_{jk}x_{ik}$, $i = 1, 2, 3, \dots, n; j = 1, 2, 3, \dots, n; k = 1, 2, 3, \dots, m$.

3)求相关系数矩阵 R 的特征值 λ_j 、特征向量和

贡献率 $\eta_j = \frac{\lambda_j}{\sum_{j=1}^n \lambda_j}$.

4)以累计贡献率达到 85% 为原则,确定主成分

$S_{jl} = \sum_{i=1}^n c_{ji}x_{il}$, 其中: S_{jl} 为第 l 主成分在某序列中的第 i 个数据; c_{ji} 为正交变换的系数, 即当 $j = l$ 时, $c_{jl} = 1$; 当 $j \neq l$ 时, $c_{jl} = 0$.

5)将计算出来的历年主成分数值除以各自对应的基年值,即可得到该年的发展指数 $p_t = \frac{S_t}{S_0}$, 其中: S_0 为基年主成分值; S_t 为 t 年主成分值.

主成分分析作为一种重要的指标综合评价方法,广泛应用在系统分析、统计分析、证券投资、医院事物管理、经济评价、教学质量评价、财务管理与分析等众多领域.它要求所选择的指标应具有代表性、客观性、独立性、全面性和宏观性,且各指标的原始数据之间应有较强的线性相关关系.主成分分析在综合评价中可以消除各指标不同量纲的影响,也可以消除由各指标之间相关性所带来的信息重叠,具有较好的优越性.本研究评价中所选指标数量多,且具有一定的相关性,满足主成分分析对指标和数据的要求.

2 轨道交通与社会发展内在联系

2.1 评价指数构建

按照上述主成分分析原理,以 2001 年为基年,得出北京轨道交通建设发展指数和经济社会综合发展指数.二者近年来的发展趋势如图 1 所示.

由图 1 可知,总体来看,北京轨道交通建设发展指数曲线一直在经济社会综合发展指数曲线之上,这说明北京轨道交通建设一直超前于经济社会发展.2001—2007 年,北京轨道交通建设发展指数与经济社会综合发展指数比较接近,说明二者发展的平均增长速度基本一致,呈平衡发展状态.

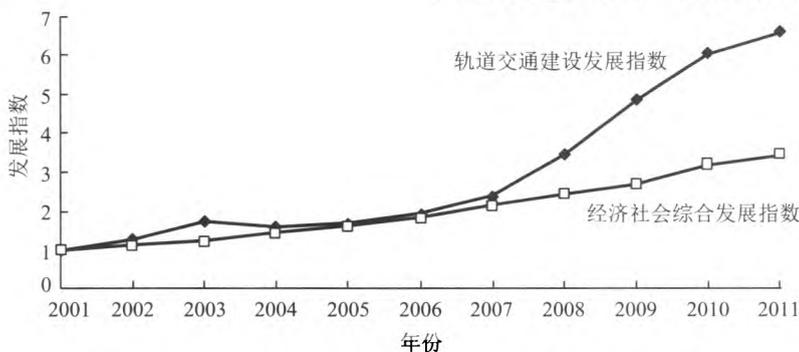


图 1 北京轨道交通建设发展指数与经济社会综合发展指数关系图

Fig. 1 Relationship between rail transit construction development index and socio-economic development index in Beijing

从图 2 可以看出,经济社会综合发展指数的增长速度曲线较为平缓,说明北京经济社会一直呈现稳定发展态势.而轨道交通建设发展指数的增长速度波动较大,说明轨道交通建设的发展具有一定的周期性.2002 年、2003 年、2008 年和 2009 年这 4 年轨道交通建设的增长速度最快,说明这几年对轨道交通建设的投入也非常大.2004 年和 2005 年轨道

交通建设发展指数的增长速度低于经济社会综合发展指数的增长速度,说明这两年对轨道交通的投入相对不足.2006 年和 2011 年,二者的增长速度基本相同.2008 年,轨道交通建设增长速度达到了高峰,此后,增长速度逐年下降,但仍高于经济社会的发展速度.

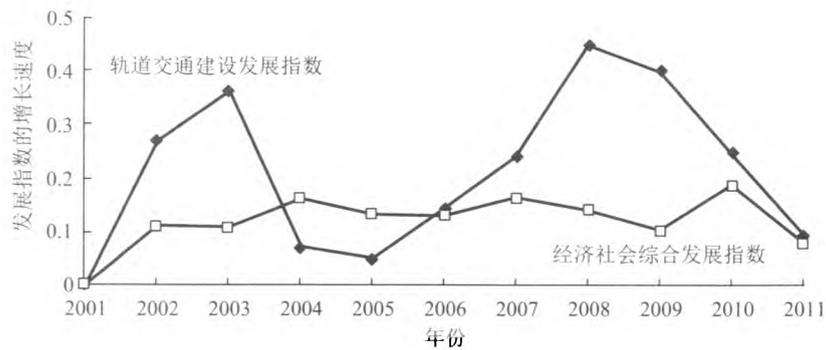


图 2 北京轨道交通建设发展指数与经济社会综合发展指数增长速度

Fig. 2 Growth rate of rail transit construction development index and socio-economic development index in Beijing

对构建的北京轨道交通建设发展指数与经济社会综合发展指数进行相关性分析,可得二者的相关系数为 0.968,说明北京轨道交通建设与经济社会发展高度正相关。

2.2 回归分析

对北京轨道交通建设发展指数与经济社会综合发展指数进行回归分析,可得二者间的函数关系为

$$T = 4.395 - 5.925S + 3.238S^2 - 0.383S^3$$

$$(R^2 = 0.982, F = 125.011) \quad (2)$$

式中: T 表示轨道交通建设发展指数; S 表示经济社会综合发展指数。

对北京轨道交通发展指数与轨道交通评价指标间的关系、经济社会综合发展指数与经济社会评价指标间的关系进行分析,得到相应的函数关系为

$$S = 0.228 + 0.743G (R^2 = 0.996, F = 2397.091) \quad (3)$$

$$T = -0.324 + 1.033L (R^2 = 0.976, F = 372.031) \quad (4)$$

式中: G 表示标准化处理后的地区生产总值; L 表示标准化处理后的轨道交通运营里程。

可以看出,北京轨道交通建设发展指数、经济社会综合发展指数及各主要指标之间均高度正相关。

3 未来轨道交通建设水平预测

为便于对未来轨道交通建设水平预测,需要对北京轨道交通建设发展指数及经济社会综合发展指数与时间序列的关系回归分析,得到如下函数关系

$$T = 0.75t - 0.125t^2 + 0.01t^3 \quad (5)$$

$$S = 0.646t - 0.085t^2 + 0.005t^3 \quad (6)$$

式中 t 表示年序列,即年份数减 2 000。

由式(5)和式(6)可知,2020 年轨道交通建设发展指数 $T = 45$,经济社会综合发展指数 $S = 19$ 。说明如果按照 2001—2011 年间轨道交通建设的平均发展速度,未来轨道交通建设超前经济社会发展的趋

势更加明显。对北京经济社会综合发展指数与轨道交通运营里程回归分析可知,按照 2001—2011 年间经济社会平均发展速度,2020 年与之相匹配的北京轨道交通运营里程约为 620 km。

4 结论

根据《北京市城市轨道交通建设规划方案(2014—2020)》,至 2020 年,北京轨道线网规划按照高方案总里程将达到 1 010 km,按低方案为 825 km,按中方案为 890 km。不难看出,规划方案的线网规模远高于本研究确定的规模,即北京轨道交通规划处于过度超前状态。

1)北京申奥成功以后,先后制定出台了《北京交通发展纲要(2004—2020)》和《北京轨道交通建设规划(2004—2015)》等促进轨道交通发展的重要文件,轨道交通建设成为改善交通出行结构、引导城市空间结构布局的重要举措^[14]。此后,北京举全国之力,对轨道交通的投入大幅增加,轨道交通运营里程快速增长。

2)北京人口增长速度远高于规划预期,2020 年规划全市常住人口总量为 1 800 万,而 2010 年已达到 1 960 万,规划中心城人口 850 万人,到 2010 年已达 1 200 万,快速增长的人口带动了轨道交通的巨大需求。

3)2010 年北京市提出建设“世界城市”的发展目标,就公共交通而言,北京与国外发达城市尚有不小差距,伦敦、巴黎、纽约公交出行比例均在 70% 左右,东京这一比例已超过 85%,2012 年北京的公共交通出行比例仅为 44%,大力发展公共交通特别是轨道交通成为北京建设世界城市的重要内容。

北京轨道交通规划的过度超前预示着未来轨道交通建设需要巨额的资金支持。作为首都,北京有能力解决资金问题,但对一般城市而言,过度超前规划会带来资金难以承受之巨,建议各地轨道交通建设

应结合自身实际,使轨道交通规划处于适度超前状态,与城市的社会经济发展相适应。

参考文献(References):

- [1] Banister D, Stead D, Akerman J, et al. European transport policy and sustainable mobility[M]. London: E&FN Spon, 2000.
- [2] Kidokoro T, Harata N, Subanu L P. Sustainable city regions: space, place and governance[M]. Japan: Springer, 2008.
- [3] 孙胜阳, 王江燕. 轨道交通沿线土地利用分析及建议——以北京地铁1号线为例[J]. 交通运输系统工程与信息, 2009, 9(6): 52-56.
SUN Shengyang, WANG Jiangyan. Analysis and suggestions of land use patterns along rail transit corridor—a case study of Beijing metro line 1[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2009, 9(6): 52-56. (in Chinese)
- [4] 王庆云. 我国轨道交通发展的战略思考[J]. 交通运输系统工程与信息, 2010, 10(2): 12-16.
WANG Qingyun. On urban rail transit development of China[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2010, 10(2): 12-16. (in Chinese)
- [5] 施仲衡. 建设符合我国国情的地下铁道[J]. 都市快轨交通, 2013, 26(2): 1-2.
SHI Zhongheng. Construction underground railway conforms to our country national condition[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2013, 26(2): 1-2. (in Chinese)
- [6] 刘玉增, 钱丙益. 轨道交通线网方案比选的多目标格序决策方法[J]. 交通运输工程学报, 2011, 11(5): 76-82.
LIU Yuzeng, QIAN Bingyi. Multi-objective lattice-order decision-making method of scheme selection for rail transit network[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2011, 11(5): 76-82. (in Chinese)
- [7] 冯红霞, 张健, 蔡英杰. 基于城市空间布局规划的西安市轨道交通线网研究[J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2012, 31(S1): 627-632.
FENG Hongxia, ZHANG Jian, CAI Yingjie. Study on urban rail traffic network in Xi'an based on urban spatial layout planning[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University: Natural Science, 2012, 31(S1): 627-632. (in Chinese)
- [8] 王治, 叶霞飞, 明瑞利. 城市轨道交通沿线土地合理开发规模研究[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2011, 39(3): 376-380.
WANG Zhi, YE Xiafei, MING Ruili. Reasonable scale of land development along urban rail transit[J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2011, 39(3): 376-380. (in Chinese)
- [9] 谢秉磊, 丁川. TOD下城市轨道交通与土地利用的协调关系评价[J]. 交通运输系统工程与信息, 2013, 13(2): 9-13.
XIE Binglei, DING Chuan. An evaluation on coordinated relationship between urban rail transit and land-use under TOD mode[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2013, 13(2): 9-13. (in Chinese)
- [10] 杨军, 侯忠生. 基于小波分析的最小二乘支持向量机轨道交通客流预测方法[J]. 中国铁道科学, 2013, 34(3): 122-127.
YANG Jun, HOU Zhongsheng. A wavelet analysis based LS-SVM rail transit passenger flow prediction method[J]. China Railway Science, 2013, 34(3): 122-127. (in Chinese)
- [11] 林家彬. 推进城镇化健康发展的城市规划[J]. 城市规划学刊, 2013(6): 4-9.
LIN Jiabin. Urban planning for healthy urbanization[J]. Urban Planning Forum, 2013(6): 4-9. (in Chinese)
- [12] 丁金学, 金凤君, 王成金, 等. 中国交通枢纽空间布局的评价、优化与模拟[J]. 地理学报, 2011, 66(4): 504-514.
DING Jinxue, JIN Fengjun, WANG Chengjin, et al. Evaluation, optimization and simulation of transport hubs' spatial distribution in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2011, 66(4): 504-514. (in Chinese)
- [13] 张跃松, 黄志焯, 谢宇宁. 基于DEA的建筑业上市公司绩效评价[J]. 土木工程学报, 2012, 45(S2): 331-336.
ZHANG Yuesong, HUANG Zhiye, XIE Yuning. A study of performance evaluation method for construction listed companies using DEA[J]. China Civil Engineering Journal, 2012, 45(S2): 331-336. (in Chinese)
- [14] 盛来芳, 王杨堃. 轨道交通快速网络化对城市空间发展的影响[J]. 综合运输, 2012(5): 12-17.
SHENG Laifang, WANG Yangkun. Effect of rapid rail transit network of city space development[J]. Comprehensive Transportation, 2012(5): 12-17. (in Chinese)