

文章编号:1005-0523(2013)04-0040-06

因子分析在城市轨道交通发展评价中的应用

卞兆洋

(西南交通大学交通运输与物流学院,四川 成都 610031)

摘要:轨道交通作为解决城市交通问题的有效手段之一,已经受到了各界学者的广泛关注,但由于各地区经济发展的不平衡导致轨道交通发展建设的内在动力千差万别。综合考虑轨道交通系统内部和外部影响因素,选取我国17个热点城市的截面数据建立轨道交通发展潜力评价指标体系,通过因子分析的方法对各大城市做出定量排序,给出3个公共因子即城市综合发展水平、人均经济水平以及市区人口分布,这在一定程度上可以对我国未来轨道交通的规划和建设提供指导。

关键词:轨道交通;发展潜力;因子分析;评价

中图分类号:U121

文献标志码:A

从20世纪50年代我国开始筹备地铁建设,到20世纪90年代一批城市包括沈阳、天津、南京、重庆、武汉、深圳、成都、青岛等开始计划建设轨道交通项目,再到1999年国家陆续批准一批城市轨道交通项目建设开工,我国轨道交通大致经历了起步、建设、建设高潮开始、调整以及建设高潮5个阶段^[1]。而且当谈论到如何解决目前中国大城市交通拥堵问题时,国内学者往往会以东京、纽约、巴黎、伦敦以及香港等大都市的轨道交通系统为例进行实证分析,然而尽管城市轨道交通网络系统的外在形式具有很大的相似性,但是在这种表面形式下由于各国自身的经济、政治、文化、地理位置、历史条件等多方面的差异便造成了各自轨道交通建设与发展的内在动力的巨大差异性。目前虽然对于我国城市轨道交通发展前景以及规划方案的研究很多,但是基本上都是从定性的角度来研究发展对策^[2-3],或者从国家宏观政策以及经济背景出发,研究可持续发展条件下轨道交通的线网规划的评价指标体系^[4],当然近年来也有相关学者采用了许多定量分析的方法对城市轨道交通的发展做出评价,例如将DEA应用到某个具体城市的轨道交通发展评价中^[5]。本文通过因子分析对我国17个热点大城市的轨道交通发展条件进行评价比较,通过多元分析的方法对我国城市轨道交通的发展潜力做出定量排序,以期对我国未来轨道交通的规划建设提供指导。

1 我国发展城市轨道交通的必要性

轨道交通具有运量大、能耗低、运效高以及污染少等显著优势,大力发展轨道交通,建立一个功能明晰的轨道交通线网结构体系,提升轨道交通在城市公共交通中的分担率和竞争力,在我国这个城市结构紧密,人均城市用地稀少,人口密度大,建设资金不足的国家,显得尤为紧迫。然而即便是目前我国轨道交通发展最好的两大城市北京和上海,它们的轨道交通占据公共客运交通的比重也只有50%左右,而在另外几个国际大都市例如纽约、巴黎和东京,它们相应的比重都达到了70%甚至80%。虽然目前我国轨道交通的发展还不够成熟,但是为了避免建设规模和速度的失控,国务院2003年颁布了相关文件规定了申报轨道交通项目的门槛,以便更加冷静的思考轨道交通建设的时机与运作方式。表1是我国近期规划建设快速轨道交通的情况。

收稿日期:2013-03-15

作者简介:卞兆洋(1990—),男,硕士研究生,研究方向为交通运输规划与管理。

表1 近期规划轨道交通建设
Tab.1 Recent rail transit plan and construction

第一批			第二批		
城市	规划年份	规模/km	城市	规划年份	规模/km
北京	2015	56.30	宁波	2015	72.10
大连	2016	58.10	无锡	2015	56.11
广州	2012	53.40	长沙	2015	45.92
深圳	2011	27.83	郑州	2015	45.39
成都	2015	104.10	福州	2016	55.30
重庆	2014	83.85	昆明	2016	62.60
西安	2020	42.60	南昌	2016	50.60
上海	2020	310.00	青岛	2016	54.70
沈阳	2020	80.00	东莞	2015	37.37
武汉	2020	215.3			

2 建设城市轨道交通的影响因素分析

城市轨道交通是一种综合性的开放式系统,在为解决城市交通拥堵问题做出巨大贡献的同时也会受各方面条件的制约,既包括城市交通系统内部因素的影响也包括来自交通系统以外其他因素的影响。本文从城市轨道交通可持续发展的要求出发,影响城市轨道交通发展的影响因素主要表现为以下几个方面^[6-7]:

2.1 交通需求

根据经济可持续发展的要求,在人口密度较高的大城市建设轨道交通,形成合理的轨道交通路网规划是当务之急。一般来说两个城市相距100~300 km、各自人口规模达到200万以上,就应考虑修建城际轨道;如果城市市区人口规模超过200万人,线路单向客运能力超过3万人次·h⁻¹,宜建设地铁;如果城市市区人口规模超过100万人,线路单向客运能力超过1~3万人次·h⁻¹,宜建设轻轨。而一般大城市的人口都在200万以上,年度客流总量都比较巨大,长距离出行者较多,某些重要城市干道上很容易出现非常拥堵的高峰客流现象,而一旦出现这种高客流现象相对于普通巴士公交,出租车以及私家小汽车等传统交通方式,轨道交通便具有更加明显的疏导客流优势。

2.2 城市经济发展水平

从目前各城市轨道交通建设运营状况来看,大多数城市轨道交通都处于政府补贴状态,盈利水平低,即使是在世界范围内只有香港、东京以及伦敦等少数几个城市的轨道交通运营盈利。另外城市轨道交通的建设需要长期性的大量资金投入,这就要求城市具有较好的经济能力来支撑轨道交通项目前期的巨大投资。人均国民收入原联邦德国大于2 500美元、原苏联达到1 300美元、日本超过3 000美元时才开始大规模建设城市(快速)轨道交通。而在我国上海和广州开始建设地铁时的人均国民收入(或GDP)分别达到了2 000美元左右,因此一个城市的人均国民收入直接决定了该城市是否可以建设城市快速轨道交通。而截止2012年我国武汉、苏州、上海、北京,广州等17个主要大城市的人均GDP都已经达到了5 000美元,因此都已经具备了初步建设城市快速轨道交通的经济实力。

2.3 城市交通结构

中国大城市交通具有复杂的机非混合出行的结构特点。虽然近年来私家小汽车的数量在不断增加,但是由于我国城市多为紧凑型,市民活动范围相对较小,平均出行距离较国外大城市的统计值也要低很

多,据统计北京等15座大城市的各方式平均出行距离仅为2.54~5.12 km,而美国芝加哥、华盛顿、布法罗、费城与明尼阿波利斯平均为5.8~8.2 km,约为我国的1.6~2.3倍;最后在我国交通系统中公共交通市场占有率仍然较低,公交线网密度较低,摩托车以及助动车在各大城市普遍盛行,而且我国城市轨道交通的主要客流一般还是集中在中等收入或者部分高收入者,它还难以大量吸引低收入阶层的近距离自行车交通者和高收入阶层的小汽车使用者,这也是城市轨道交通市场发育慢不可忽视的因素,因此城市交通结构的完善对于轨道交通的建设也有巨大促进作用。

2.4 城市轨道交通发展模式

城市轨道交通的发展显然也受城市交通规划管理人员对土地使用的导向作用以及对于交通建设规模的把握大体上有两类发展模式,TOD(transit-oriented development)和SOD(supply-oriented development)即“客流引导型”和“交通引导型”。

1) TOD模式:通过公交为主导的综合性土地使用规划,促进交通、道路系统和土地使用三位一体的综合开发,以实现各个城市组团紧凑型开发的有机协调模式。

2) SOD模式:以城市客流为先导,当城市轴向发展的客流量超过了城市道路和地面公交系统所能承受的范围时便开始考虑轨道交通建设。

3 热点城市轨道交通发展潜力比较

3.1 指标确定与数据来源

发展城市轨道交通影响条件错综复杂,因而各个城市的轨道交通发展条件与潜力也千差万别,综合以上影响因素的分析,根据评价指标的可比性和可操作性原则,结合城市建设环境,根据经济与社会可持续发展的要求,查阅中国经济发展统计数据库汇总了(2011年)北京、上海、南京等17个城市的11项指标分别为:市区人口、人口密度、公共交通客运量、城市GDP、人均GDP、人均可支配收入、外商直接投资额、房地产开发投资额、固定资产投资增长率以及轨道交通运行线路网长度和轨道交通拥有量。

3.2 因子分析模型介绍

因子分析是一种通过显在变量找出和测评潜在变量,通过具体的指标测评抽象因子的统计分析方法,其思想最早由英国心理学家斯皮尔曼(Charles Spearman)提出,其最终的目的就是用公共因子 F 代替 X ,从而达到简化变量位数的愿望,并且在实用中一般采用样本相关系数矩阵 R 来估计总体 X 的相关系数成为 R 型因子分析^[8-9]。而为了更好的解释每个公共因子在实际问题中的意义通常还要进行因子旋转,从而简化因子载荷阵的结构。

因子分析的数学模型:设 m 个可能存在相关关系的变量 $X_1, X_2, \dots, X_m$,有 p 个独立的公共因子 $F_1, F_2, \dots, F_p (m \geq p)$ 和一个特殊因子 ε_i ,每个 X_i 可由 p 个公共因子和自身对应的特殊因子 ε_i 线性表示

$$\begin{cases} X_1 = a_{11}F_1 + a_{12}F_2 + \dots + a_{1p}F_p + \varepsilon_1 \\ X_2 = a_{21}F_1 + a_{22}F_2 + \dots + a_{2p}F_p + \varepsilon_2 \\ \vdots \\ X_m = a_{m1}F_1 + a_{m2}F_2 + \dots + a_{mp}F_p + \varepsilon_m \end{cases}$$

这里必须满足

1) $m \geq p$;

2) $\text{Cov}(F, \varepsilon) = 0$,即两者不相关;

3) $D(F) = I_m$,即 $F_1, F_2, \dots, F_m$ 不相关且方差都为1,且 $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_m$ 不相关、方差不同。

该模型的矩阵形式即

$$X = AF + \varepsilon$$

其中: A 为因子载荷矩阵; $F = (F_1, F_2, \dots, F_p)'$ 是不可观测的向量,通常称为 X 公共因子; a_{ij} 为指标变量 X_i

在因子 F_j 上的载荷,数值越大相关程度越高。另外为了突出对公共因子实际背景的解释,往往会对因子载荷阵进行旋转,使得 X_i 与 F_j 中的某些因子相关性更强而与其他因子相关性更弱。最后结合因子得分回归估计方程: $F=A'R^{-1}X$, 计算各因子的因子得分,其中: R 表示 X 的相关系数矩阵。

因子总结因子分析在城市轨道交通发展评价中的应用步骤如下:

- 1) 将原始数据标准化, $x'_{ij} = x_{ij} - \bar{x}_j / s_j$, 这里 $\bar{x}_j$ 和 s_j 分别为样本均值和方差;
- 2) 进行模型检验即相关性检验,这里本文采用KMO检验法^[9];
- 3) 计算特征值和方差贡献率选出 p 个因子,使得前 p 个因子的累计方差贡献率不小于某一个特定的值;
- 4) 计算因子载荷阵 A , $A=(\sqrt{\lambda_1}\mu_1, \sqrt{\lambda_2}\mu_2, \cdots, \sqrt{\lambda_p}\mu_p)$, 并利用方差最大正交旋转法进行因子旋转,得到旋转后的因子载荷阵 B ^[4];
- 5) 计算各因子 F_j 的因子得分 Y_j , 并以各因子方差贡献率占所选的前 p 个公共因子的累计方差贡献率的比重 $c_k = \lambda_k / \sum_{j=1}^p \lambda_j$ 作为权重汇总得出各个城市的轨道交通发展潜力综合得分,即: $Z = \sum_{k=1}^p C_k Y_k$, 这样就能够从系统的角度避免的确定权重的主观性使得评判更加合理。

3.3 结果分析

这里借助统计软件SPSS进行分析,根据上述步骤得到如下结果(见表2)。

表2 特征值和贡献率
Tab.2 Eigen values and the contribution rate

公共因子	特征值	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%
1	5.763	46.539	46.539
2	2.486	27.353	73.892
3	1.124	10.015	83.907

根据模型的相关性检验得出该统计模型的KMO值为0.627>0.500表明各指标间存在较强的线性关系^[8],可以进行因子分析。另外表2显示有3个因子的特征值大于1,累计方差贡献率达到83.907%,所以可以提取3个公共因子,而且很明显旋转后相对缩小了前两个因子的贡献率差距,见表3。

表3 因子载荷阵
Tab.4 Component matrix

指标	旋转前			旋转后		
	1	2	3	1	2	3
市区人口	0.632	0.613	-0.235	0.873	-0.313	-0.121
市区人口密度	-0.135	0.293	0.912	-0.008	-0.128	0.973
公共交通客运量	0.815	0.211	0.079	0.921	0.179	0.081
GDP	0.948	-0.047	-0.027	0.828	0.415	-0.078
人均GDP	0.379	-0.839	0.006	-0.004	0.922	-0.156
人均可支配收入	0.584	-0.719	0.079	0.226	0.913	-0.071
外商直接投资额	0.668	-0.021	-0.222	0.603	0.258	-0.256
房地产开发投资额	0.783	0.471	-0.088	0.895	-0.050	-0.048
固定资产投资增长率	-0.498	0.594	-0.149	-0.186	-0.792	0.007
轨道交通运行线路网长度	0.975	0.079	0.137	0.901	0.301	0.114
轨道交通拥有量	0.963	0.157	0.201	0.921	0.311	0.130

由上表3可以看出,旋转后每个变量的因子载荷的差距都拉大,呈现出“两级分化”的趋势,效果比未旋转时要好,并且可以看出因子1通过高载荷变量“市区人口”、“公交客运量”、“GDP”、“外商直接投资额”、“房地产开发投资额”、“轨道交通运行线路网长度”以及“轨道交通拥有量”表明,且载荷都为正,因此可以将这些变量解释为一个公共因子“城市综合发展水平”;类似的因子2通过“人均GDP”、“人均可支配收入”以及“固定资产投资增长率”表明,且最后一个变量在因子上的载荷为负,可以解释为对于“人均GDP”、“人均可支配收入”与“固定资产投资增长率”处于相反的关系因此可以定义为第二个公共因子“人均经济水平”;同样最后一个因子只通过一个高载荷变量“人口密度”来表明,可以简单的阐释为“城市人口分布”因子,综上提出了三个公共因子即城市综合发展水平、人均经济水平以及城市人口分布,因此在今后的发展中需要提高城市人均经济实力,注重城市综合竞争力的提升,缓解市区人口压力,调整市区人口分布结构以便最大程度发挥轨道交通的客运功能。

接下来根据旋转后的得分系数矩阵,计算各热点城市轨道交通发展潜力综合评价得分,得到热点城市轨道交通发展条件排序,即

$$Z=0.5546Y_1+0.3260Y_2+0.1194Y_3$$

对综合得分结果进行汇总排序,结果见表4。

表4 热点城市综合得分及排序
Tab.4 Factor scores and sorting of hot cities

排名	城市	综合得分	综合竞争力排名	排名	城市	综合得分	综合竞争力排名
1	上海	1.58	2	10	大连	-0.26	8
2	北京	1.03	3	11	郑州	-0.24	—
3	广州	0.45	6	12	武汉	-0.27	20
4	深圳	0.12	4	13	重庆	-0.31	—
5	苏州	-0.03	15	14	成都	-0.35	—
6	天津	-0.07	7	15	沈阳	-0.35	—
7	杭州	-0.11	10	16	济南	-0.41	—
8	南京	-0.12	19	17	西安	-0.50	—
9	青岛	-0.26	11				

对表4的两类排名进行简单相关性分析,可以很容易的得出城市轨道交通发展前8位城市的相关系数达到了0.913,具有很高的同构性。这表明我国城市轨道交通发展条件比较好的城市(比如上海、北京、广州、深圳、南京等)正是那些经济发展迅速,综合实力强的热点城市。尤其是苏州近年的经济发展势头迅猛,在2012年,与其他16个热点城市相比,苏州以相对很低的市区人口(远远低于这17个城市市区人口的平均值),创造出了10 716.99亿元的GDP。表明在未来的5到10年内苏州轨道交通将得到进一步的发展,达到国内领先水准,因此从宏观角度来说,当前我国城市轨道交通的建设范围,规模以及规划方案还是比较合理的^[1],充分考虑了多方面的因素在一部分总体实力较强城市先发展轨道交通。

4 结论与思考

根据因子分析的结果最终从11个所选指标中提取3个公共因子,累计方差贡献率达到84.128%。3个潜在公共因子分别可以解释为:城市综合发展水平、人均经济水平以及城市人口分布,应该紧抓人均经济的发展,调整人口布局引导郊区发展,注重城市整体综合实力的提升。而结合综合因子得分排序,很明显北京、上海、广州以及深圳这些国内一线城市引领着国内城市轨道交通的建设,正在努力成为国内其他各大城市建设轨道交通的榜样,而南京、苏州和杭州等大城市近年来也紧追不舍加紧轨道交通建设的步伐。

随着城市经济的发展,城市数量和规模的不断扩大,我国目前为止许多城市的郊区和城市中心仍然缺少大容量的快速轨道交通系统,因而为促进大城市职能,人口以及产业向郊区转移,缓解人口交通压力,大城市必须建立完善的快速轨道交通体系。而近年来在北京、上海等“龙头”城市的示范带领下,我国城市轨道交通的建设正由点及面的扩散开来,中国大陆东、中、西部各个符合建设条件的城市都将规划建设轨道交通,成为城市公共交通的骨干系统。

参考文献:

- [1] 赵有滨,张毅松. 轨道交通是城市公共交通发展方向[J]. 交通科技与经济,2000,2(3):49-51.
- [2] 朱军. 我国城市轨道交通发展现状与对策建议[J]. 城市轨道交通研究,2005(6):11-14.
- [3] 顾岷. 我国城市轨道交通发展现状与展望[J]. 中国铁路,2011,10(1):53-56.
- [4] 梁青槐. 城市轨道交通线网综合评价研究[D]. 北京:北京交通大学,2007:31-40.
- [5] 曲思源,徐行方. 基于DEA的城际铁路列车开行方案评价[J]. 华东交通大学学报,2012,29(1):79-93.
- [6] HUANG CHANG FU. XIA YUAN. Research on the role of urban rail transit in promoting economic development[C]//2011 International Conference on Green Buildings and Sustainable Cities, Shanghai: Science Press, 2011(21):520-525.
- [7] 毛保华. 城市轨道交通[M]. 北京:北京科学出版社,2001:4
- [8] 王煦逸,克劳斯·巴克豪斯. 多元统计分析方法[M]. 上海:上海人民出版社,2009:120-124.
- [9] 汪东华. 多元统计分析与SPSS应用[M]. 上海:华东理工大学出版社,2010:75-80.
- [10] 盛艳波. 我国大城市轨道交通发展前景分析[J]. 交通建设与管理,2007,2(3):42-46.
- [11] 刘坚,苏军. 因子分析在综合素质评价中的应用[J]. 华东交通大学学报,2004,21(5):146-149.

Application of Factor Analysis in Development Potential Evaluation of Urban Rail Transit

Bian Zhaoyang

(School of Transportation and Logistics, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: As one of the effective means to solve urban traffic problems, the rail transit has been paid much attention. However, the imbalance of economic development has led to the difference among the cities in terms of internal driving force of development and construction of rail transit. This paper takes internal and external influence factors of the rail transport system into consideration, and selects 17 hot cities' sectional data to establish rail transit development potential evaluation index system, making quantitative sorting through factor analysis. The paper concludes that the three common factors, such as city's comprehensive development level, per capita economic level and urban population distribution, are significant for our future rail transport plan and construction.

Key words: rail transport; development potential; factor analysis; evaluation