

云南省城市公交发展水平测度

戢晓峰 姜莉 陈方

摘要 从服务水平、政策支持、运营效率三方面选取了 11 个指标,构建了公交发展水平评价体系,对 2014 年云南省 16 个城市的公交发展水平进行了评价。在运用主成分分析法测算城市公交发展水平的基础上,从投入产出角度构建了面板数据 DEA 模型,分析了影响城市公交运营效率的主要因素,并对运营效率进行了评估。结果显示,云南省 16 城市公交发展水平差异显著,呈现出昆明及其毗邻城市公交发展水平较高,且向外围城市递减的圈层状空间格局;在公交运营效率方面,仅有昭通和丽江达到了 DEA 总体有效,其余城市均处于总体无效状态。

关键词 城市交通; 公交发展水平; DEA 模型; PCA 模型; 云南省

中图分类号 F572.887.4 **文献标识码** A

一 引言

城市公共交通是综合运输服务体系的重要组成部分,是实现城乡客运一体化、群众出行基本公共服务均等化的主要内容。大力发展公共交通是解决城市交通拥堵的有效办法,同时能够带来环境、社会等综合收益^[1]。当前,公交优先已经成为政策制定者与出行者的共识,但由于交通供需矛盾的加剧,公交运营效率和服务水平的提升仍然面临诸多困难。如何评估城市公交发展水平,并促进公共交通的良性发展,已经成为城市规划与城市地理的重要交叉研究方向。默罕默德等从用户、运营商、服务提供商三方面构建评价指标体系,应用多维度的评价方法对

阿布扎比的城市公共交通服务水平进行评估^[2]。杨涛等提出了衡量公交优先发展绩效的公交服务质量指标体系和公共交通服务品质指数,并初步进行了评价模型探讨^[3]。乔欢等从建设投入水平、运营服务水平及综合效益水平三方面构建了评价指标体系,对大城市公共交通发展水平进行了模糊综合评价^[4]。邹志云等用灰色聚类分析法初步评价了公交的整体发展水平^[5]。谢晓林等基于改进的 TOPSIS 法对城市公共交通发展水平进行了评价^[6]。

关于城市公交发展水平测度的相关研究主要探讨了不同类型的评价指标,但是限于数据的可获得性与评价目标的动态性,目前还缺乏系统的测度理论体系,未能统筹考虑公交发展的政策支持、服务水

作者简介 戢晓峰(1982—),男,湖北随州人,昆明理工大学交通工程学院教授,硕士研究生导师,研究方向为城市交通、交通运输地理;姜莉(1991—),女,安徽砀山人,昆明理工大学交通工程学院硕士研究生,研究方向为城市交通;陈方(1980—),女,湖北随州人,昆明理工大学社会科学学院讲师,研究方向为城市地理。

基金项目 国家自然科学基金项目(41501174)。

收稿日期 2015-09-15

修回日期 2015-11-24

平与运营效率,更未能针对多个城市进行同步定量测度,以期检验测度模型的有效性。本研究综合考虑城市公交服务水平、政策支持与运营效率,基于主成分分析与数据包络分析构建了城市公交发展水平的测度方法,从不同城市间动态比较的视角,测度了云南省 16 个城市的公交发展水平,并尝试提出针对性的发展对策。

二 指标体系及模型的构建

1. 指标体系框架

针对城市公交发展的政策支持、服务水平、运营效率三个方面,构建城市公交发展水平的测度指标体系(表 1)。

表 1 城市公交发展水平测度指标体系

目标层	子目标层	指标层	指标含义和计算方法
服务水平及政策支持指标	服务水平指标	公共汽车责任事故死亡率(%)	统计期间,公共汽车每行驶相应的里程发生的交通事故死亡人数
		公交车辆 GPS 安装率(%)	安装 GPS 的公交车辆数占公交车辆总数的比例
		公交乘车 IC 卡使用率(%)	使用一卡通的城市公共汽车客运量与公共交通客运总量的比例
		空调车数(辆)	城市公交车辆中安装空调的车辆数
	政策性指标	财政投资(万元)	统计期内,城市公共汽车获得的实际补贴补偿总额
		公共汽车车均场站面积(平方米)	公交首末站、中途站、停车场、保养场、修理厂各类场站用地面积
运营效率指标	投入性指标	从业人员数(万人)	城市公交在岗职工数
		运营线路总长度(公里)	城市公共汽车的运营线路总长度
		客车数(辆)	城市拥有公交车辆的总数
	产出性指标	客运量(万人次)	公共汽车一年实际运送的旅客数量
		运营收入(万元)	公共交通的运输收入

2. 模型构建

(1) 公交发展水平的 PCA 模型

按照累计贡献率大于 85% 选取 j 个主成分,并根据累计贡献率归一化原则,分别计算出服务水平指标、政策支持指标两个子系统中每个主成分 $X = (X_1, X_2, \dots, X_j)$ 的权重 $W = (W_1, W_2, \dots, W_j)$ 。根据主成分得分及主成分权重计算各子系统得分: $F = \sum_{j=1} X_j A_j$ 其中, A_j 为特征根, X_j 为原数据标准值。

然后,计算公交发展水平综合得分: $F = \sum_{j=1} W_j F_j = W_1 F_1 + W_2 F_2 + \dots + W_j F_j$ 。式中, F 为城市公交发展水平综合得分;权重满足 $W_1 + W_2 + \dots + W_j = 1$ 。

(2) 公交运营效率评价的 DEA 模型

设有 n 个决策单元,每个决策单元都有 m 种类型的投入指标 X 和 t 种类型的产出指标 Y ,其效率评估 CCR 模型为:

$$\min[\theta - \varepsilon(\sum_{r=1}^t s_r^+ + \sum_{i=1}^m s_i^-)]$$

$$s. t. \begin{cases} \sum_{j=1}^n \lambda_j X_{ij} + s_i^- = \theta x_{i0} \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j X_{rj} - s_r^+ = y_{r0} \\ s_r^+ \geq 0, s_i^- \geq 0 \\ \lambda_j \geq 0; j = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (1)$$

综合绩效分析如下:

式(1)中,为模型的最优解,若 $\theta^* = 1$,且 $s_i^{*-} = s_i^{*+} = 0$ 时,决策单元(DMU)DEA 有效,即其形成的有效前沿面为规模收益不变,且 DMU 为规模且技术有效;

若 $\theta^* = 1$,并且 $s_i^{*-} \neq 0$ 或 $s_i^{*+} \neq 0$ 时,决策单元 DEA 弱有效,即在这 n 个决策单元中,投入量 x_0 可减少 s_i^{*-} 而保持产出不变,或是在投入量不变的情况下可以使产出 y_0 增加 s_i^{*+} ;

若 $\theta^* < 1$,且 $s_i^{*-} \neq 0$ 或 $s_i^{*+} \neq 0$ 时,则认为决策单元 DEA 无效。

规模绩效分析如下:

规模收益可用 $k = \sum \lambda_j^* / \theta^*$,当 $k = 1$ 时,DMU 规模有效, $k > 1$ 时,规模收益递增,反之递减。

技术绩效分析如下:

若 $s_i^{*-} \neq 0$ 或 $s_i^{*+} \neq 0$,则认为决策单元技术无效,或是规模无效;若 $s_i^{*-} = s_i^{*+} = 0$,则技术有效。

投影分析如下:

如果 DMU 为 DEA 总体无效,通过 DMU 在相对有效平面上的投影来改进 DEA 总体无效决策单元,即在不减少输出的前提下,使原来的输入有所减少;或在不增加输入的前提下,使原来的输出有所增加,所以其调整量为:

$$\begin{cases} \Delta x_0 = (1 - \theta^*)x_0 + s^{-*} \geq 0 \\ \Delta y_0 = s^{+*} \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

三 云南省 16 城市公交发展水平评估

本研究选取云南省 16 个城市 2014 年的公交发展水平为研究样本,数据主要来源于云南省城市客运年报、中国统计出版社出版的《云南省统计年鉴》

和《中国城市统计年鉴》。主成分分析计算使用 SPSS22.0 软件,数据包络分析运用 DEA 专用软件 DEAP 软件求解。

1. 服务水平和政策支持指标测算

根据主成分分析法测算了云南省 16 城市的公交发展水平。首先,进行数据标准化处理^[12]。由于原始指标数据的单位不一致,需对原始数据进行标准化处理(表 2)。

表 2 标准化数据

城市	公共汽车责任事故死亡率	公交车辆 GPS 安装率	公交乘车 IC 卡使用率	空调车数	财政投资	公共汽车车均场站面积
昆明	0.10	1.39	1.33	3.75	3.74	-0.42
曲靖	-0.41	-0.29	0.80	-0.24	-0.06	-0.40
玉溪	0.10	-0.14	-0.26	-0.28	-0.15	-0.04
保山	-0.41	-0.44	-1.01	-0.28	-0.28	-0.59
昭通	-0.41	1.36	1.84	-0.21	-0.28	2.27
丽江	-0.41	1.55	1.24	-0.28	-0.29	-0.63
普洱	-0.41	-1.00	-1.02	-0.28	-0.28	0.93
临沧	-0.41	-1.09	-0.70	-0.25	-0.28	0.79
楚雄	3.64	0.80	0.77	-0.21	-0.19	-0.95
红河	0.10	-0.82	0.21	-0.21	-0.23	0.54
文山	0.10	0.22	-0.10	-0.28	-0.27	1.05
西双版纳	-0.41	-0.54	-1.03	-0.17	-0.28	-1.92
大理	0.10	-0.42	0.78	-0.28	-0.26	0.68
德宏	-0.41	1.50	-1.02	-0.25	-0.31	-0.32
怒江	-0.41	-1.30	-0.80	-0.27	-0.29	-0.83
迪庆	-0.41	-0.76	-1.03	-0.28	-0.30	-0.18

表 3 为初始因子载荷矩阵,每一个载荷量表示主成分与对应变量的相关系数。通过表 3 和表 4 的

数据计算,可得 3 个主成分中每个指标所对应的系数,即特征向量 A1、A2、A3。

表 3 初始因子载荷矩阵

指标	因子 1(F1)	因子 2(F2)	因子 3(F3)	特征向量 A1	特征向量 A2	特征向量 A3
财政投资	0.88	-0.40	-0.21	0.58	-0.55	-0.43
空调车数	0.87	-0.41	-0.22	0.58	-0.55	-0.43
公交乘车 IC 卡使用率	0.71	0.57	0.04	0.52	0.65	0.17
公交车辆 GPS 安装率	0.71	0.36	0.17	0.52	0.52	0.38
公共汽车车均场站面积	0.00	0.72	-0.57	0.00	0.73	-0.70
公共汽车责任事故死亡率	0.26	0.19	0.85	0.32	0.37	0.85

其次,计算主成分矩阵。进行主成分分析得到因子的特征值及累计贡献率,如表 4 所示。

根据累积贡献率 ≥ 85% 的原则提取 3 个主成分,由表 4 可以发现,第 1 主成分对于总方差的贡献率是 43.54%,第 2 主成分的贡献率是 65.92%,第 3 主成分的贡献率是 85.38%,三者之和达到 85.38%,即前 3 个主成分可将服务水平及政策支持全部指标信息的 85.38% 反映出来。因此,利用主成分分析城市公交发展水平是可靠的。

表 4 因子特征值和累计贡献率

因子	特征值	贡献率(%)	累计贡献率(%)
因子 1	2.61	43.54	43.54
因子 2	1.34	22.38	65.92
因子 3	1.17	19.46	85.38
因子 4	0.59	9.75	95.13
因子 5	0.29	4.84	99.97
因子 6	0.02	0.03	100.00

得到 3 个主成分与原 6 项指标的线性组合如下:

$$F1 = 0.58X_1 + 0.58X_2 + 0.52X_3 + 0.52X_4 +$$

$$0.000X_5 + 0.32X_6$$

$$F_2 = -0.55X_1 - 0.55X_2 + 0.65X_3 + 0.52X_4 + 0.73X_5 + 0.37X_6 \quad (3)$$

$$F_3 = -0.43X_1 - 0.43X_2 + 0.17X_3 + 0.38X_4 - 0.70X_5 + 0.85X_6$$

第三,计算主成分得分及综合得分。将标准化数据代入式(3),可得到 16 个城市 3 个主成分得分;再根据 $F = \sum_{j=1}^3 W_j F_j = W_1 F_1 + W_2 F_2 + \dots + W_j F_j$ 得 $F = 0.4354F_1 + 0.2237F_2 + 0.1945F_3$,从而求得公交发展水平综合得分 F (表 5)。

表 5 公交发展水平综合得分

城市	F1	F2	F3	F	排名
昆明	3.50	6.35	4.66	3.85	1
曲靖	-0.11	-0.05	-0.54	-0.17	10
玉溪	-0.18	1.61	1.76	0.63	5
保山	-1.21	-1.56	-1.24	-1.12	13
昭通	2.23	2.37	2.47	1.98	2
丽江	1.11	0.99	-0.03	0.70	4
普洱	-1.06	-1.30	-0.18	-0.79	12
临沧	-0.99	-1.19	-0.29	-0.75	11
楚雄	2.67	2.43	1.08	1.92	3
红河	-0.14	-0.23	0.03	-0.11	8
文山	0.46	0.30	0.82	0.43	6
西双版纳	-1.69	-2.11	-2.41	-1.68	16
大理	0.44	0.40	0.40	0.36	7
德宏	-0.01	-0.41	-0.19	-0.13	9
怒江	-1.67	-1.99	-1.79	-1.52	15
迪庆	-1.27	-1.60	-1.05	-1.12	14

根据自然断裂法将得分数据分为 3 个等级,通过计算每个指标对应级别的隶属度,求解公交发展

表 8 公交运营效率评价指标

城市	投入指标			产出指标	
	从业人员数 X_1 (万人)	运营线路总长度 X_2 (公里)	客车数 X_3 (辆)	客运量 Y_1 (万人次)	运营收入 Y_2 (万元)
昆明	15780.00	30218.20	8164.00	94287.80	120931.30
曲靖	2057.00	1040.10	778.00	14985.70	12004.90
玉溪	1684.00	1368.00	794.00	6360.10	8127.60
保山	549.00	699.50	308.00	2891.70	3178.00
昭通	595.00	528.20	255.00	6588.40	6479.10
丽江	521.00	389.90	280.00	6602.70	4725.40
普洱	343.00	350.30	254.00	3211.50	2580.50
临沧	217.00	589.90	147.00	1613.60	1274.20
楚雄	880.00	2162.10	566.00	7030.00	4677.20
红河	1234.00	1799.30	774.00	11657.50	8268.10
文山	562.00	1318.40	319.00	5267.70	5361.90
西双版纳	521.00	330.00	257.00	2006.90	2435.50
大理	1399.00	1197.30	684.00	10979.20	10424.40
德宏	599.00	889.40	310.00	1642.00	3511.30
怒江	161.00	349.00	110.00	1212.00	1187.00
迪庆	106.00	207.00	90.00	852.10	852.10

水平综合得分,结果以得分区间表示。评分标准以公交发展水平的综合得分确定(表 6)。

表 6 公交发展水平等级划分

公交发展水平等级	城市	公交发展水平 F
一级	昆明	2.5 - 5
二级	楚雄、昭通、玉溪、丽江、大理、文山	0 - 2.5
三级	普洱、临沧、曲靖、德宏、红河、西双版纳、怒江、迪庆、保山	-2.5 - 0

通过 16 个城市的公交发展水平计算可以得知,一、二级公交发展水平的城市主要分布在滇中地区,如昆明、楚雄、玉溪的公交发展水平较高,其毗邻和外围城市的公交发展水平都较低,呈现出以昆明、楚雄为中心的公交高水平发展城市向外围城市递减的圈层状空间分布格局。

2. 运营效率测算结果

在相关文献基础上^[13-14],根据云南省 16 个城市公交发展水平特征,选择适合公交运营的投入、产出指标(表 7)。

表 7 运营效率 DMU 指标

投入性指标	从业人员数 (X_1)	运营线路总长度(X_2)	客车数(X_3)
产出性指标	客运量(Y_1)	运营收入(Y_2)	

选取 2014 年云南省 16 个城市公交发展水平的运营效率为决策单元 $DMU_1, DMU_2, \dots, DMU_{16}$,分析城市公交运营效率投入产出的相对有效性(表 8)。

根据表8采用 C^2R 模型式(1),运用DEA软件DEAP,计算云南省16个城市的公交运营的综合效率、纯技术效率、规模效率、规模收益变化(表9)。

表9 公交发展水平DEA综合效率、技术效率和规模效率

城市	综合效率	技术效率	规模效率	规模收益变化
昆明	0.70	1.00	0.70	减少
曲靖	0.95	1.00	0.95	减少
玉溪	0.48	0.70	0.70	减少
保山	0.53	0.53	0.99	增加
昭通	1.00	1.00	1.00	不变
丽江	1.00	1.00	1.00	不变
普洱	0.77	0.80	0.96	增加
临沧	0.61	0.67	0.90	增加
楚雄	0.63	0.77	0.82	增加
红河	0.75	1.00	0.75	增加
文山	0.88	0.88	0.99	增加
西双版纳	0.60	0.71	0.85	增加
大理	0.71	1.00	0.71	减少
德宏	0.54	0.54	0.99	减少
怒江	0.68	0.80	0.84	增加
迪庆	0.74	1.00	0.74	增加
平均	0.72	0.84	0.87	

由表9可知,云南省16个城市的公交运营投入产出平均综合效率为0.72,平均纯技术效率为0.84,平均规模效率为0.87。这说明云南省16个城市公交运营效率偏低的主要原因是纯技术效率偏低,反映出公交运营的资源配置和管理还存在问题,效率

改善的空间较大。在资源配置方面,公交线网密度不足,运营准点率较低,需要进一步提高公交线网密度和站点覆盖率,应对运营车辆实施动态监控,从而提高运营准点率。

城市DMU的综合效率、技术效率、规模效益分析如下:昭通市、丽江市DEA综合效率均为1,两市的DEA综合有效,其余14个城市均处于DEA无效状态。

城市公交运营DEA投影结果分析如下:通过投入产出指标的投影结果,分别对各城市公交运营绩效作具体分析(表10)。

根据式(2),即DEA总体无效的投影调整方法,分别计算公交运营投入剩余额和公交运营产出亏空额(表10)。通过对DEA总体无效的决策单元进行公交运营投入值和公交运营产出值的调整,定量分析决策单元运营效率不高的原因。DEA投影后的结果显示,投入性指标的运营线路总长度和客车数剩余明显,平均剩余为1299.53公里、153.21万元,昆明和楚雄的剩余额达到最高值(可能得益于这两个城市位处滇中经济圈,政府投资力度较大)。在产出总量不变的前提下,要提高城市公交运营效率,需要政府加强公交运营管理,改善运营体系。产出性指标的客运量和运营收入亏损较大,特别是客运量平均亏损3120.11万人次,昆明、玉溪、德宏的亏损较高。经分析发现,这3个城市的从业人员和运营线路长度投入严重不足,要提高公交运营效率,必须加大对相应指标的投入力度。

表10 公交运营投入产出DEA投影结果

城市	投入 X_1 剩余(万人)	投入 X_2 剩余(公里)	投入 X_3 剩余(辆)	产出 Y_1 亏空(万人次)	产出 Y_2 亏空(万人)
昆明	0	16209.80	1401.14	40756.71	0
曲靖	751.99	0	126.24	0	0
玉溪	142.99	0	133.57	3932.29	0
保山	0	212.14	72.71	639.41	0
昭通	0	0	0	0	0
丽江	0	0	0	0	0
普洱	0	76.47	83.05	0	0
临沧	0	418.31	37.56	0	0
楚雄	0	1503.54	93.06	0	561.60
红河	0	875.81	110.81	0	100.48
文山	0	819.50	78.14	210.75	0
西双版纳	149.27	0	97.69	780.64	0
大理	26.01	0	78.75	0	0
德宏	0	357.65	53.29	3582.48	0
怒江	0	206.37	40.77	0	0
迪庆	0	112.90	44.57	19.47	0
平均值	66.892	1299.53	153.21	3120.11	41.38

四 结论

本研究建立了城市公交发展水平的测度指标体系,采用主成分分析和数据包络分析方法测度了云南省16个城市的公交发展水平,并对各城市公交发展水平的差异性进行了分析。结果表明:首先,云南省16个城市的公交发展水平差异显著,为滇中地区公交发展水平较高,而向外围城市递减的圈层状空间格局;公交运营绩效仅有昭通和丽江总体有效,其余城市均处于总体无效状态;其次,DEA投影结果显示,云南省城市公交运营线路长度和客车数投入有剩余,而客运量和运营收入产出量则呈现亏损,公交运营效率不高,严重制约了云南省的城市公交发展。

根据以上分析,本研究提出以下建议。第一,云南省城市公交运营效率和服务水平总体较低,导致公交发展整体水平偏低,因此必须加大对产出亏损的运营投入、缩小投入剩余,加快转变公交发展模式。如丽江、大理、西双版纳等市应利用自身的旅游业优势,借助旅游客流量,大力发展公共交通。第二,公交发展水平较高的城市主要分布在滇中地区,且有向外围递减的圈层状空间格局。昆明应利用公交都市的建设机遇,稳步提升城市公交发展水平,发挥其城市辐射和公交示范作用。

【Abstract】 In order to measure the development level of urban public transportation of Yunnan Province, this essay sets up eleven indexes from the level of service, policy support and operation efficiency in three aspects. Then the public transport development level of 16 cities of Yunnan Province in 2014 is evaluated. The level of urban public transport development is measured based on principal component analysis (PCA), and the panel data DEA model is also proposed from the angle of input and output. Then the main affect factors of urban transport operation efficiency are analyzed, and the operating efficiency is evaluated. The results show that the significant difference of urban public transport development is found between 16 cities of Yunnan Province, and the development level of urban public transport of Kunming and its adjacent cities are higher and the peripheral cities is decreasing; the public transport operating efficiency is only Zhaotong and Lijiang achieve overall effective DEA, and other cities are invalid as a whole.

【Key words】 urban transport; the development level of public transport; DEA model; PCA model; Yunnan Province

参考文献

- [1] 戢晓峰等. 基于熵权物元可拓模型的城市公共交通优先发展度评估模型[J]. 昆明理工大学学报(自然科学版), 2013(4): 32-38
- [2] Mohammad N H, Yaser E H, Ahmed A K. Multi-dimensional Framework for Evaluating the Transit Service Performance [J]. Transportation Research Part A, 2013(3): 47-61
- [3] 杨涛, 陈阳. 城市公共交通优先发展的目标与指标体系研究[J]. 城市规划, 2013(2): 57-61
- [4] 乔欢, 张鹤. 城市公共交通发展评价指标体系研究[J]. 交通与运输, 2009(2): 62-65
- [5] 邹志云, 李硕. 公交综合发展水平评价的灰色聚类分析法[J]. 武汉交通科技大学学报, 2000(1): 38-41
- [6] 谢晓琳等. 基于改进TOPSIS法的城市公交发展水平评价方法[J]. 交通科学与工程, 2014(2): 79-83
- [7] 何晓群. 多元统计分析[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2012: 335
- [8] Charnes A, Cooper W W, Rhodes E. Measuring the Efficiency of Decision Making Units [J]. European Journal of Operational Research, 1987(6): 429-444
- [9] 邓超, 袁倩. 基于动态DEA模型的证券投资基金绩效评价[J]. 系统工程, 2007(1): 111-117
- [10] 魏权龄. 数据包络分析[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 15-18
- [11] Muren, Zhanxin Ma. Fuzzy Data Envelopment Analysis Approach Based on Sample Decision Making Units [J]. Journal of Systems Engineering and Electronics, 2012(3): 399-407
- [12] 卢扬帆, 郑方辉. 区域一体化视域下城市综合基础设施发展水平评价——基于珠三角9市的实证分析[J]. 城市问题, 2014(10): 2-9
- [13] De Borger B, Kerstens K C. A. Public Transit Performance: What does One Learn from Frontier Studies? [J]. Transport Reviews, 2002(1): 1-38
- [14] 李学文, 徐丽群. 中国城市公共交通行业运营效率评价——基于改进的SE-DEA-Gini方法的研究[J]. 管理现代化, 2014(2): 90-92

(责任编辑: 李小敏)