

Research on the Prediction Model of Shrinking Cities Based on Data Envelopment Analysis

Chunshuai Li, Fangxin Li, Xu Wang

School of Civil Engineering, Northeast Forestry University, Harbin Heilongjiang
Email: 1529763307@qq.com

Received: May 1st, 2020; accepted: May 14th, 2020; published: May 21st, 2020

Abstract

In this paper, based on data envelopment analysis, we establish shrinkage prediction model of the city. First of all, from the perspective of urban development, we analyze evaluation index of prediction model. Secondly, we put forward the concept of urban efficiency and determine the input and output metrics premised on the major problems of shrinking urban. Then, we establish and solve shrinkage prediction model by Deap2.1, and use linear regression analysis to predict the future urban shrinkage. In the last step, we demonstrate the effectiveness of the model by case analysis and provide reasonable planning suggestions for urban development.

Keywords

Urban Shrinkage, Urban Efficiency, Data Envelopment Analysis, Linear Regression

基于数据包络分析的收缩城市预测模型研究

李纯帅, 李芳馨, 王 旭

东北林业大学, 土木工程学院, 黑龙江 哈尔滨
Email: 1529763307@qq.com

收稿日期: 2020年5月1日; 录用日期: 2020年5月14日; 发布日期: 2020年5月21日

摘 要

本文以数据包络分析为基础, 建立收缩城市预测模型。首先从城市发展角度分析预测模型的评价指标, 以收缩城市面临的主要问题为前提, 提出城市效率概念, 确定输入和输出指标。其次建立预测模型, 运

用Deap2.1进行求解,再应用线性回归分析对城市未来的收缩情况进行预测。最后通过案例分析,对该模型的有效性进行论证,为城市的发展提供合理的规划建议。

关键词

收缩城市, 城市效率, 数据包络分析, 线性回归

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

改革开放以来,我国城市化比例逐渐提高,居民生活水平发生较大改善,越来越多的城市呈现出繁华的状态,但其中一些城市出现了明显的人口流失、就业率下滑、房屋空置增多等现象,起初许多研究者认为该现象只是暂时的,并没有对此进行过多的关注;在1988年,德国研究者Häußermann正式提出收缩城市的概念[1],到20世纪末和本世纪初,出现了大量人口持续流失现象之后,收缩城市的用法逐渐获得了学界和政策界的认可[2]。如何预测城市未来的发展情况,在应对城市收缩方面至关重要。

目前对于收缩城市,学术界没有严格的定义,但其基本的共识是,收缩城市并不代表城市的占地面积减少,版图收缩,而是意味着城市的人口发生了持续地流失现象。相比于欧洲国家,我国学者正式关注收缩城市起步较晚,但学者们针对收缩城市进行了大量的研究。匡贞胜[3]提出将西方城市的精明收缩和城市更新与中国的城市规划相结合,考虑从追求增量至上转向小而美等五个方面进行城市规划;吴康、龙瀛[4]等通过构建测度指数对京津冀和长三角两个城市群区域的收缩状况进行考察,并对影响收缩的因素进行分析;杨建龙、崔丽[5]定量分析了资源枯竭型城市人口收缩与经济的关系;孙青[6]等以中国208个地级市为研究对象,对城市的收缩数量、速度和轨迹进行了分析。

以上研究论证了我国收缩城市的情况,并且在一定程度上描述了收缩表现特征,提出了针对收缩城市的应对策略,但是在城市的未来发展是否会呈现收缩状态的方面缺少科学的方法,导致了往往在城市的收缩后,才采取应对措施,与在城市有发生收缩趋势时就合理应对相比,不仅会浪费时间、财力,而且效果往往会大打折扣。

本文在现有的研究基础上,通过数据包络分析(DEA)中的CCR模型对是否可能出现收缩城市进行预测。首先分析收缩城市的原始评价指标;其次确定城市的输入指标和输出指标;再通过DEA建立预测模型,利用Deap2.1对数据进行计算并使用最小二乘法求解线性回归方程,对未来的输出值进行预测;最后通过案例分析,对城市未来的收缩情况进行预测。

2. 收缩城市评价指标体系的确定

城市是否有发生收缩的可能很难直观地从城市规模、城市基础设施建设情况等方面看出,每个城市所处地理位置不同,对其经济发展情况有着不同的影响,因此各个城市用于城市建设的资金不同,投入资金多的城市,其城市建设相对完善,但不能代表其收缩的可能性较低,投入资金少的城市也可能由于其规划好,资金的利用程度高,未来发生收缩的概率低,因此引入城市效率一词来描述城市的产出与投入之间的比例,它是一种多方面指标共同作用的结果。收缩城市的输入输出评价指标体系主要从城市效率方面入手。

1) 收缩城市面临的主要问题有人力资源匮乏、房屋空置、财政危机[7]。随着中国城市化进程的推进,一线城市对人才的需求量越来越大,往往用高薪高酬聘请人才,人口的总数是一定的,人才逐渐流入综合能力强的城市,就会伴随着一些小城市的人口流失,导致小城市可能出现人力资源匮乏的现象,这些小城市的经济发展在人才流失的影响下逐渐衰落,衰落就要采取措施复苏经济,但是竞争力与一线城市相比依旧存在较大差距,许多小城市通过扩大规模,以此吸引人才流入,往往忽视了人口流失的本质原因,导致人口流出量越来越大,因而房屋会产生空置,导致房价下跌,为了描述收缩城市面临的主要问题,提出原始评价输出的指标为: a) 就业率、b) 地区 GDP、c) 房价。

2) 城市的发展需要资金作为保障,居住条件、就业情况、交通网络、教育方面往往是资金投入的主要对象。居住条件通常是人们普遍考虑的因素,居住条件差,很难吸引人员在城市定居。因此,评价居住的主要指标为 d) 公共安全、e) 住房保障、f) 环境保护、g) 医疗卫生;就业是在城市中定居的保障,它不仅是居民的收入来源,就业水平还影响着城市的经济状况。因此,评价就业的输入指标为 h) 社会保障和就业;交通便利是城市运转情况的关键,交通情况差的城市往往很难吸引人才,由此确定输入指标 i) 交通运输。

3. 收缩城市预测的 DEA 模型

DEA 是一种用于比较决策单元(DMU)之间相对效率的方法,适用于评价有多个输入以及输出指标的决策单元的相对效率,其基本的原则是:就其耗费的资源和生产的产品来说,每个 DMU 都可以看作是相同的实体[8]。在实际应用的过程中,即使不同输入输出指标之间关系复杂,而且量纲不同,但 DEA 在评价各个决策单元时能够避免不同量纲的影响。传统的评价模型往往由于权重而具有主观性,运用 DEA 能够在不假设权重的前提下,寻找相对效率最高的决策单元,并且可以对各决策单元的规模进行判断。所以,采用 DEA 的方法对收缩城市进行预测可以很大程度上减少由于主观因素导致的错误,保证了较大的客观性。

3.1. 原始输入输出指标

在数据处理的过程中,将城市各方面建设所投入的资金作为原始输入指标 $x_i (i=1, \dots, 6)$, 分别代表公共安全、住房保障、环境保护、医疗卫生、社会保障和就业、交通运输, $x_{ij} (j=1, \dots, m)$ 表示第 j 年在 i 方面的原始投入资金;将政府期望在城市建设过程中获得的产出作为原始输出指标 $y_z (z=1, 2, 3)$, 分别代表就业率、房价、地区生产总值, $y_{zj} (j=1, \dots, m)$ 表示第 j 年在 z 方面的原始产出值,除就业率以外,其余指标均以货币形式表示。

3.2. 预测模型——CCR 模型

首先通过 CCR 模型对收缩城市预测过程进行建模。设 $X_j = (x_{1j}, \dots, x_{6j})^T$, $Y_j = (y_{1j}, \dots, y_{3j})^T$, 则可用 (X_j, Y_j) 表示第 j 个决策单元 DMU_j , 即第 j 年的投入和产出;赋予每个决策单元相应的效率评价指数,即 X_j 对应的权系数为 $V = (v_1, \dots, v_6)^T$, Y_j 对应的权系数为 $U = (u_1, \dots, u_3)^T$, X_j 和 Y_j 分别为输入、输出指标的值,现在对第 j_0 个决策单元 DMU_{j_0} 进行评价,根据 CCR 模型,建立下列预测模型:

$$\begin{aligned} \max h_0 &= \frac{U^T Y_0}{V^T X_0} = V_{h_0} \\ \text{s.t. } h_j &= \frac{U^T Y_j}{V^T X_j} \leq 1 \quad (j=1, 2, \dots, m) \\ V &\geq 0, U \geq 0 \end{aligned} \quad (1)$$

通过对该模型的求解,可以计算出该城市每年的城市效率值 h_0 ;这个原始规划模型是一个分式规划,

利用 Charnes-Cooper [9]变换即令 $t = \frac{1}{v^T \times x_0}$, $w = tV$, $\mu = Tu$ 可以将(7)转化为一个等价的线性规划问题, 其次加入非阿基米德无穷小量, 再利用对偶性质, 将转化后的规划问题再转化, 得到(2)。

$$\begin{aligned} \min & \left[\theta - \varepsilon \left([e^-]^T S^- + [e^+]^T S^+ \right) \right] = V_{h_0}^* \\ \text{s.t.} & \sum_{j=1}^m X_j \lambda_j + S^- = \theta X_0 \\ & \sum_{j=1}^m Y_j \lambda_j - S^+ = Y_0 \\ & \lambda_j \geq 0 \quad (j=1, \dots, m) \\ & S^+ \geq 0, S^- \geq 0 \end{aligned} \quad (2)$$

其中 S^+ 和 S^- 为加入的的松弛变量, ε 为非阿基米德无穷小量, $[e^-]^T = [11 \dots 1] \in E_i$, $[e^+]^T = [11 \dots 1] \in E_z$ 。

4. 线性回归方程

回归方程是根据计算数据、回归分析所得到的表述因变量与自变量之间的回归关系表达式; 利用 Deap2.1 软件求解预测模型, 计算出某城市 j 年的城市效率 V_{h_j} , 其中年份 j 为横坐标, 城市效率 V_{h_j} 为纵坐标, 通过最小二乘法计算出线性回归方程, 对今后的城市效率进行预测, 设城市效率和年份的关系为: $V_{h_j} = a + bj$, 计算公式如下:

$$\begin{aligned} \bar{V}_{h_j} &= \sum V_{h_j} / j_{\max} \\ \bar{j} &= \sum j / j_{\max} \\ V_{h_j} = a + bj \text{ 满足如下条件: } & \bar{V}_{h_j} = a + b\bar{j} \\ b &= \frac{\sum_{j=1}^j (j - \bar{j})(V_{h_j} - \bar{V}_{h_j})}{\sum_{j=1}^j (j - \bar{j})^2} \end{aligned} \quad (3)$$

需要注意的是 1) 为了保证预测的准确性, 该预测模型只能在现有 j 年的投入产出数据的基础上预测 $(j + 1)$ 年的数据, 若要对 $(j + 2)$ 年的城市效率进行预测, 即需要 $(j + 1)$ 年的投入产出数据。2) 城市建设具有时效性: 无论城市规模大小, 人口疏密, 各个城市都在发展建设, 今年的城市建设效率相对较高并不能代表下一年不会出现收缩的现象, 同一城市下一年的建设效率有所较低依旧可能引起人口流出现象, 因此暂忽略某年的城市建设对下一年的影响。3) 该预测模型应用于除不可抗力因素外的城市, 此处不可抗力指自然灾害, 具有不可预测, 不可控制的特单, 一旦发生会对城市的发展产生恶劣的影响。

5. 收缩城市预测流程图

为更加清晰明了地表述收缩城市的预测过程, 将上述内容分为五个主要步骤, 根据逻辑关系, 采用流程图对其进行描述, 流程图如图 1 所示。

6. 案例分析

东北地区是我国重要的老工业基地之一, 我们以哈尔滨为例, 根据哈市政府的相关网站, 统计其 2011 年至 2016 年投入产出数据, 对本文提出的基于数据包络分析的收缩城市预测模型的可行性进行验证, 各项数据如表 1 所示:

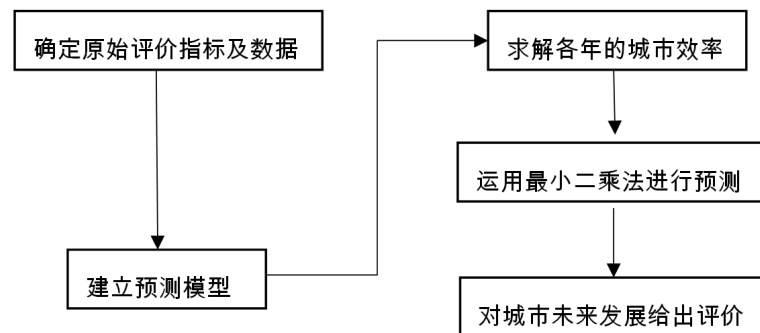


Figure 1. Flow chart of shrinking city prediction

图 1. 收缩城市预测流程图

Table 1. Input and output data of Harbin from 2011 to 2016

表 1. 哈尔滨市 2011 至 2016 年各项投入及产出数据

年份	公共安全	社保就业	医疗卫生	交通运输	住房保障	环境保护	就业率	地区 GDP	房价	人口
2016	2.23	6.94	1.72	2.25	1.50	0.62	0.28	6.102	7.624	962.1
2015	3.67	15.35	6.47	3.02	3.12	1.49	0.30	5.751	9.131	961.4
2014	3.08	11.76	5.25	2.41	2.12	1.10	0.29	5.341	8.289	987.3
2013	3.22	10.47	4.49	2.60	1.85	1.01	0.33	5.017	7.503	995.2
2012	4.33	8.75	4.26	2.52	2.07	1.04	0.32	4.551	7.000	993.5
2011	3.03	8.45	4.01	1.81	2.26	0.81	0.27	4.242	7.527	993.3

其中，公共安全、住房保障、环境保护、医疗卫生、社保就业、交通运输作为原始输入数据，以十亿为单位；就业率、地区 GDP、房价作为原始输出数据，地区 GDP 以千亿为单位，房价以千为单位，2010 年哈市的人口为 992.02 万，令 DMU_{2011} 为第 1 年，即 $j = 1$ ，根据式(2)建立 CCR 模型，令 $\varepsilon = 10^{-6}$ ，利用 Deap2.1 软件计算该城市各年的城市效率 E_{DMU_j} ，其结果为：

$$E_{DMU_1} = 1, E_{DMU_2} = 0.973, E_{DMU_3} = 1, E_{DMU_4} = 0.937, E_{DMU_5} = 0.83, E_{DMU_6} = 1.$$

根据计算结果，可以看出，2011 年、2013 年、2016 年的城市效率为 1，即城市效率相对最高，2015 年的城市效率最低，2012 年的城市效率略高于 2014 年；从关注的核心来看，大多数学者将人口流失作为评判收缩城市的标准；根据哈市政府网的统计，哈市的 10 年到 16 年的人口数出现波动，其中 2011 年、2013 年、2016 年的人口数较上一年有小幅度的增加，三者的城市效率也都为 1；2012 年较上一年相比，人口数基本无变化，2014 年、2015 年较上一年相比，人口出现明显的减少，而在此 3 年中，人口数基本无变化的 2012 年城市效率最高，人口数减少幅度最大的 2015 年城市效率最低，因此，通过基于 DEA 建立的收缩城市模型与城市实际人口变化量基本吻合。

根据式 3，可得哈市 2011 年至 2016 年的线性回归方程，即： $E_{DMU_j} = -0.0141j + 1.0059$ ，当 $j = 7$ 时，对应哈市的 2017 年，其城市效率为 0.9072，因此，我们预测 2017 年哈市的城市效率在 0.9072 左右，城市人口会略有减少，根据哈市政府统计，2017 年哈市的人口数为 955 万，较 2016 年略有减少，预测结果与实际吻合。

7. 结论

近年来，城市的发展情况备受关注，各个城市之间的竞争愈加激烈，如何有效地应对收缩城市是促

进城市进步的关键,本文提出了城市效率用以描述城市建设投入与产出关系,以此来判断城市未来的走向。对于具有收缩倾向的城市来说,需要进行具体的实地考察,通过走访、统计、分析等方式寻找城市发展建设的不足。

本文经计算,得出哈市具有收缩的倾向,人口数量逐渐降低。哈市位于我国东三省,除发展较缓慢之外,由于地理位置及历史发展影响,哈市冬季气温过低、温差大、资源相对匮乏等一系列因素导致哈市发展缓慢;近年哈市进行了一定的扩张,虽然可以一定程度上遏制人口的流失,但不是长久之计,目前对于哈市来说,较有效的办法是精明收缩,即采用主动精明收缩来代替被动收缩,哈市冬季大量供暖外加交通流量大,导致哈市空气质量低,除此之外哈市目前普遍存在废弃空置房屋,可通过精明收缩,将废弃房屋进行清理、征收,腾出空间,进行绿化。

总体来说,计算城市效率,从而预测城市的发展趋势;对于有收缩倾向的城市,可以借鉴邻近城市的规划策略,也可以采用精明收缩,或者适度扩张等,在一定程度上减少城市收缩带来的影响。在今后的研究中,我们将对相近但收缩情况不同的城市进行比较研究,进一步应用 DEA 到收缩城市中,寻找各城市发展规划的精华,为政府部门的规划建设提供合理的建议和理论方法。

参考文献

- [1] Häußermann, H. and Siebel, W. (1988) Die Schrumpfende Stadt und die Stadtsoziologie. In: Friedrichs, J., Ed., *Soziologische Stadtforschung*, Westdeutscher Verlag, Opladen.
- [2] 吴康, 孙东琪. 城市收缩的研究进展与展望[J]. 经济地理, 2017, 37(11): 59-67.
- [3] 匡贞胜. 城市收缩背景下我国的规划理念变革探讨[J]. 城市学刊, 2019(3): 56-60.
- [4] 吴康, 龙瀛, 杨宇. 京津冀与长江三角洲的局部收缩: 格局、类型与影响因素识别[J]. 现代城市研究, 2015(9): 26-35.
- [5] 杨建龙, 崔丽. 黑龙江资源型城市人口收缩对经济的影响研究[J]. 学理论, 2019(9): 77-79.
- [6] 孙青, 张晓青, 路广. 中国城市收缩的数量、速度和轨迹[J]. 城市问题, 2019(8): 24-29.
- [7] 高舒琦. 收缩城市研究综述[J]. 城市规划学刊, 2015(3): 44-49.
- [8] 魏权龄, 岳明. DEA 概论与 C~2R 模型——数据包络分析(一) [J]. 系统工程理论与实践, 1989(1): 58-69.
- [9] 吴育华, 杜纲. 管理科学基础[M]. 第三版. 天津: 天津大学出版社, 2009.