引文格式：弓婷, 李建松, 罗名海, 等. 城市建成区土地承载压力与潜力分析评价方法[J]. 地理空间信息, 2023, 21(10): 18-22. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2023.10.005

城市建成区土地承载压力与潜力分析评价方法

弓　婷[1]，李建松[2]，罗名海[3]，何丽华[4*]，卢宾宾[2]，秦思娴[3]，
史祎琳[2]，杨娜娜[5]，肖　锐[2]，邢　文[1]
（1. 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司，陕西 西安 710065；
2. 武汉大学遥感信息工程学院，湖北 武汉 430079；
3. 武汉测绘研究院，湖北 武汉 430022；
4. 湖北省地理国情监测中心，湖北 武汉 430071；
5. 武汉新芯集成电路制造有限公司，湖北　武汉 430000）

摘　要：土地是城市发展建设的主要承载体。对城市土地承载压力与潜力的分析评价，可以获知其压力与潜力的空间差异和分布，挖掘土地潜在存量和价值，优化土地资源配置，进而为土地的集约节约利用提供管理和决策信息。选择城市人口、经济、建设和交通4个方面作为建成区土地的主要承载对象，基于对城市生活空间和生产空间的功能划分，分别构建土地承载压力与潜力评价指标体系，基于GIS空间分析方法进行精细的指标计算和测算，利用地理加权主成分模型开展了土地资源承载压力综合评价，获得分析评价的有关数据信息。利用武汉市地理国情普查数据和社会经济数据，对该方法进行了验证。研究表明，该方法可以有效揭示压力和潜力的差异和分布，对建设平衡稳定的自然生态空间体系，引导城市有序发展和土地资源的合理配置，具有重要的现实意义。

关键词：土地承载对象；城市功能空间；承载压力；承载潜力；地理加权主成分分析
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2023）10-0018-05

Analysis and Evaluation Method of Land Bearing Pressure and Potential in Urban Built-up Areas

GONG Ting[1], LI Jiansong[2], LUO Minghai[3], HE Lihua[4], LU Binbin[2],
QIN Sixian[3], SHI Yilin[2], YANG Nana[5], XIAO Rui[2], XING Wen[1]
(1. Northwest Engineering Corporation Limited, Power China Group, Xi'an 710065, China;
2. School of Remote Sensing Information Engineering, Wuhan University, Wuhan 430079, China;
3. Wuhan Institute of Surveying and Mapping, Wuhan 430022, China;
4. Hubei Provincial Geographic National Conditions Monitoring Center, Wuhan 430071, China;
5. Wuhan Xinxin Integrated Circuit Manufacturing Co., Ltd., Wuhan 430000, China)

Abstract: Land is the main carrier of urban development and construction. Analyzing and evaluating urban land bearing pressure and potential can obtain spatial difference and distribution, which is conducive to tapping land potential stock and value, optimizing the allocation of land resources, so as to provide management and decision-making information for land intensive and economical use. We chose urban population, economy, construction and transportation as the main bearing objects of land in built-up areas. Based on the functional division of urban living space and production space, we constructed the land bearing pressure and potential evaluation index system. We carried out detailed index calculation and measurement on the basis of GIS spatial analysis method. Then, we had comprehensive evaluation of the bearing pressure of land resources by using geographical weighted principal component model, and obtained the relevant data information. We used geographical conditions census data in Wuhan and its social economy to verify the method. Research shows that this method can effectively reveal the difference and distribution of pressure and potential, and has an important practical significance for constructing a balanced and stable natural ecological space system, guiding the orderly development of cities and the rational allocation of land resource.

Key words: land bearing object, urban functional space, bearing pressure, bearing potential, geographical weighted principal components analysis

收稿日期：2022-06-17。
项目来源：自然资源部地理国情监测重点实验室项目（2022NGCM03）。
第一作者简介：弓婷（1996—），硕士研究生，工程师，主要研究方向为地理国情研究，E-mail: 1242549002@qq.com。
通信作者：何丽华（1968—），高级工程师，主要从事地理国情监测、地理信息工程生产及管理等工作，E-mail: 574382604@qq.com。

近年来，随着城市建设、工业化进程的快速推进，人口、产业不断向城市集聚，有限的土地资源需要面对规模更大、强度更高的经济社会活动，人地关系之间的矛盾愈演愈烈[1-2]。面对城市用地紧张的问题，挖掘现有建设用地潜在存量，优化配置土地资源，提高土地集约节约利用水平，是解决该问题的有效途径之一。

本文通过将建成区用地空间划分为生活空间和生产空间[3]，选择人口、经济、建设和交通四类主要土地承载对象[4]，分别在2个空间构建压力和潜力指标体系，采用地理加权主成分分析模型进行土地资源承载压力和潜力综合评价，获得压力和潜力的空间分布和差异信息。利用武汉市地理国情普查数据和社会经济数据，对本文方法进行了验证。

1　城市建成区土地承载压力与潜力指标体系

1.1　城市功能空间划分

考虑到土地承载对象的差异性，参照三生空间[5]的划分标准，将城市建成区划分为生态用地、生活用地和生产用地3种空间类型，划分标准见表1。

表1　城市功能空间划分依据

空间类型		空间构成
生态用地	林草	由国情普查地表覆盖中林草（03）构成
	水域	由国情普查地表覆盖中水域（10）和用地现状调查水域（E1）构成
生产用地	农业生产用地	由国情普查地表覆盖中种植土地（01）构成
	工业生产用地	由用地现状调查中工业用地（M）和国情普查城镇功能单元中工矿企业（1142）构成
	商业生产用地	商业服务业设施用地（B）
	三产生产用地	由用地现状调查中公共管理与公共服务用地（A）、物流仓储用地（W）、商业服务业设施用地（B）、公共设施用地（U）和地理国情普查地表覆盖中房屋建筑工地（0832）构成
生活用地		全市除生态用地、水、农业生产用地、工业生产用地和商业生产用地以外的区域

1.2　土地承载压力与潜力评价指标体系

本文从人口、经济、建设和交通4个主要土地承载对象，分别在生产和生活2个空间，从承载压力与潜力2个维度，遴选出26项指标构建了评价指标体系（见表2）。其中承载压力指标反映的是土地所能提供的供需关系下表现的状态；承载潜力反映的是土地紧约束条件下4类承载对象发展的潜力因素，通过与国内一线城市的比较，挖掘土地潜在的存量和价值。

1.2.1　人　口

土地人口承载压力是指在一定生活条件下，土地的生产能力及在一定生活水平下承载的人口数量[6]。承载压力指标考虑常住人口密度[7]、就业人口密度和活动人口等指标，表示评价空间承载人口的空间密集程度，反映人口增长对土地需求的压力。承载潜力指标考虑存量建设用地、三旧改造用地等后备及可优化的土地资源，以未建地和低效用地为对象，经过对其盘活和改造利用，释放存量土地资源反映可容纳人口的潜力。

1.2.2　经　济

土地经济承载压力是指在一定的社会经济技术和城市的区位下，城市土地的经济价值产出能力。它从土地资源的角度反映了城市经济规模和增值潜力[8]。承载压力指标从土地经济产出效益和土地投入水平角度选取地均GDP[9]、地均财政收入和地均固定资产投资额等指标。承载潜力指标考虑商业服务业集聚水平、高新技术产业产值占比等指标，反映区域经济、产业结构水平，以地均GDP指标对标国内一线城市，以差值反映土地经济承载潜力。

1.2.3　建　设

土地建设规模承载压力是指在一定的经济社会发展需求和城市基础设施条件下，建设用地所承载的适宜建筑规模和强度界限[10]。承载压力指标从土地资源的空间开发强度及利用效益角度选取容积率、建筑密度、高层建筑占比等指标，其值越高土地集约利用水平越高，反之会减弱土地的使用价值，降低土地的集约利用水平。潜力指标通过将现状容积率和建筑密度与城市用地建设强度指标控制标准进行对标，以差值反映土地建设承载潜力。

1.2.4　交　通

土地交通承载压力是指在一定的时期、区域内，由于土地开发和利用引发经济社会活动而产生的交通出行需求，与交通设施所能提供的交通供给之间的协调关系，其本质所反映的就是交通需求和交通供给间的协调关系[11]。承载压力指标从道路交通资源供给和需求角度选取人均道路面积、路网密度、交通流量等指标，交通需求超过交通设施的供给时，就会引发交通拥堵，造成土地资源的高度承压。承载潜力指标考

表2 城市土地资源承载力评价指标体系

承载对象		城市生活空间	生产空间
人口	压力	常住人口密度	常住人口密度
		就业（三产）人口密度	就业（二产）人口密度
		活动人口（局部峰值–商业中心、交通枢纽）	活动人口
	潜力	存量建设用地面积	存量建设用地面积
		三旧改造面积	三旧改造面积
		人均居住面积（常住人口）	人均工业用地面积（就业人口）
		以对标方式表现潜力（常住人口密度）	以对标方式表现潜力（就业人口密度）
经济	压力	地均GDP（三产为主）	地均GDP（二产为主）
		地均财政收入	地均财政收入
		地均固定资产投资额	地均固定资产投资额
	潜力	用地集约利用程度（《建设用地节约集约利用评价规程》居住和商业功能区评价指标）	用地集约利用程度（《建设用地节约集约利用评价规程》居住和商业功能区评价指标）
		商业服务业集聚水平（高端服务业占比）	高新技术产业产值占比
		以对标方式表现潜力（地均GDP）	以对标方式表现潜力（地均GDP）
建筑	压力	容积率	容积率
		建筑密度	建筑密度
		高层建筑占比	--
		地下空间开发程度	--
		人均建设用地面积（常住人口，生活用地为主）	人均建设用地面积（就业人口，工业用地为主）
	潜力	人均公园和绿地面积	单位工业用地二产增加值
		以对标方式表现潜力（容积率）	以对标方式表现潜力（容积率）
交通	压力	人均道路面积（常住人口、活动人口）	人均道路面积（就业人口）
		路网密度	路网密度
		交通流量	--
		停车位缺口	--
		拥堵程度（拥堵里程占比、频次）	拥堵程度（拥堵里程占比、频次）
	潜力	路网密度变化率	路网密度变化率
		公共交通出行量及占比（公交站线服务能力，线路重复度）	公共交通出行量及占比（公交站线服务能力，线路重复度）
		轨道交通长度及出行占比（地铁站点服务能力，换乘站）	轨道交通长度及出行占比（地铁站点服务能力，线路覆盖）
		共享单车骑行量（慢行设施数量）	--
		以对标方式表现潜力	以对标方式表现潜力
综合承载评价		土地综合承载压力评价，成因分析	

虑路网密度变化率、公共站线和轨道交通服务能力等指标。

1.3 土地承载压力与潜力评价方法

1.3.1 土地承载压力计算方法

土地承载压力计算方法是以街道为评价单元，对人口、经济、建设和交通4个方面压力指标进行加权计算，得到综合承载压力指数，反映每个评价单元土地承载的总体状况。本文采取地理加权主成分分析方法，综合考虑空间异质性特征影响，采用局部的主成分分析进行土地承载压力集成评价，增强对社会经济地理分异现象的分析和解释。地理加权主成分是通过不同地点的地理加权均值、地理加权方差及协方差的计算得到的[12-15]。计算公式如下。

地理加权协方差矩阵：

$$\sum(u,v)=X_T W(u,v)X \tag{1}$$

在位置 (u_i, v_i) 处，地理加权主成分求解为：

$$L(u_i,v_i)V(u_i,v_i)L(u_i,v_i)^T=\sum(u_i,v_i) \tag{2}$$

式中，$L(u_i,v_i)$ 为地理加权特征向量矩阵，$V(u_i,v_i)$ 为地理加权特征值的对角矩阵。

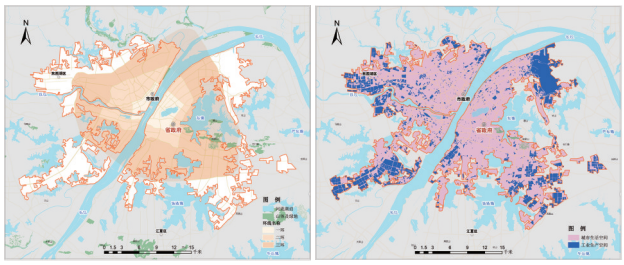
1.3.2　土地承载潜力计算方法

综合承载潜力评价分别在城市生活空间和生产空间中选取典型区域，采用与国内一线城市对标关键指标的方法，以差距反映典型区域的承载潜力。

2　验证分析

2.1　范围与数据来源

1）评价范围：2018年武汉市主建成区总面积为723.75 km²，所辖13个行政区，108个街道（图1a所示）。生活和生产空间划分结果如图1b所示。



a 主建成区范围　　b 生活和生产空间

图1　评价范围及空间划分结果

2）数据来源：地理国情基础性监测数据（时点2018年6月）；武汉市“实有房屋、实有人口”数据、武汉市人力资源和社会保障局就业人口数据、《武汉市统计年鉴》及13区《统计年鉴》、城市用地现状数据、房屋建筑数据、三旧改造数据（时点2017年年末）；新兴大数据（时点2018年6月）；主建成区界线根据历年地形图、遥感影像判读获取。

2.2　土地承载压力评价分析

根据地理加权主成分模型，计算武汉市建成区土地资源综合承载压力指数，结果显示，武汉市建成区土地承载压力呈现出由中心向外递减的趋势。压力较高的地区集中在江汉区、江岸区、武昌区和硚口区，黄陂区、东湖高新区、青山区等压力普遍较小。通过对街道尺度各评价指标的载荷进行空间可视化，不同指标变量对土地承载压力指数的影响存在明显的空间异质性特征，其中常住人口密度指标对土地综合承载压力的贡献均高于其他指标，而除常住人口密度以外的指标对土地综合承载压力的贡献度无显著差异，即土地综合承载压力主要表现为人口聚集所带来的压力。

2.3　土地承载潜力评价分析

1）对标城市选择。选定北京、上海、深圳、广州、天津5个城市，确定武汉市建成区土地资源承载潜力所处的阶段，形成武汉市建成区土地资源承载潜力评价指标对标一览表（表3）。

表3　指标对标一览表

城市	城区人口/（千人）	城区人口密度/（千人/ km²）	GDP/（亿元）	地均GDP/（百万/km²）
北京市	1 8766	1.14	25 669.13	156.41
天津市	6 848	2.65	17 885.39	150.08
上海市	24 183.3	3.81	28 178.65	444.39
广州市	6 448.9	3.07	19 547.442	262.95
深圳市	12 528.3	6.27	19 492.601 2	976.09

2）《武汉市城市总体规划（2010—2020）》。2020年，主城区城市建设用地控制在450 km²内，人均城市建设用地89.6 m²。

3）《武汉市主城区用地建设强度管理规定》。具体控制指标如表4、5所示。

表4　武汉市主城区居住用地建设强度指标控制表

用地类型	指标类型	强度一区	强度二区	强度三区	强度四区
居住用地	基准容积率	3.2	2.9	2.5	1.5
	建筑密度	$D\leqslant 20\%$		$D\leqslant 25\%$	

表5　武汉市主城区公共服务设施用地建设强度指标控制表

用地类型	指标类型	强度一区	强度二区	强度三区	强度四区	强度五区
商业、商务服务设施用地	建筑容积率	4.5 零售商业、批发、餐饮用地3.2）	4.0 零售商业、批发、餐饮用地3.2	3.2 零售商业、批发、餐饮用地2.8	2.4	1.7
	建筑密度	零售商业、批发、餐饮用地 $D\leqslant 45\%$ 旅馆、商务设施用地 $D\leqslant 35\%$	零售商业、批发、餐饮用地 $D\leqslant 50\%$	零售商业、批发、餐饮用地 $D\leqslant 55\%$ 旅馆、商务设施用地 $D\leqslant 30\%$		零售商业、批发、餐饮用地 $D\leqslant 40\%$ 旅馆、商务设施用地 $D\leqslant 25\%$
其他公共服务设施用地	基准容积率	2.8	2.5	2.1	1.8	1.5
	建筑密度	$D\leqslant 35\%$		$D\leqslant 30\%$		$D\leqslant 25\%$

2.3.1　土地利用的经济效益

武汉市建成区生产总值达到9 539.69亿元，每平方公里GDP产出达到601.85百万元，远远高于北京，与位居第三的上海也拉开了较大差距，但与深圳市的976.09百万/km²，仍有较大差距。

2.3.2　建设用地资源的人均分配

武汉市建成区范围内人均城市建设用地78.57m²/人，城市生活空间人均城市建设用地面积63.18m²/人，均

低于《武汉市城市总体规划(2010—2020)》人均城市建设用地89.6 m²/人。

2.3.3 土地资源利用潜力

1）新增建设用地潜力。将建成区居住、公服用地现状容积率、建筑密度与武汉市用地建设强度指标控制标准进行对比。现状建设密度、容积率与规划值相差不大。其中，居住用地建筑密度达标面积占比84.65%，公服用地建筑密度达标面积占比77.01%。现状建筑密度高于规划值的区域在汉口和武昌沿江地带形成2个空间集聚中心，低于规划值的区域集中分布在二环至三环范围内；居住用地的容积率达标面积占比93.94%，公服用地容积率达标面积占比86.38%，现状容积率明显高于规划容积率的地块主要集中在汉口片区，低于规划容积率的地块较为分散。

2）可挖潜的建设用地资源。在控制新增建设用地的同时，加快城市更新改造，挖潜可建设的土地资源。武汉市建成区范围内三旧改造和存量建设用地面积分别为20.82 km²和33.04 km²，在城市发展的关键时期，经过对三旧改造低效城市用地和存量建设未建地盘活和改造利用，挖掘土地存量和价值，优化土地资源的配置。

2.3.4 城市空间人口承载力估算

武汉市建成区人口密度为3.97千人/km²，仅为深圳的63%，参考深圳城区人口密度6.27千人/km²标准，以此为基础，估算武汉市建成区每平方公里可承载人口数量最高为2 300人，未来仍有一定的人口承载潜力空间。

3 结 论

本文选择城市人口、经济、建设和交通4个方面作为建成区土地的主要承载对象，基于GIS空间分析方法，分不同空间类型构建相异的土地承载压力与潜力评价指标体系。通过实证分析表明，评价指标体系有效的揭示了不同评价空间4种承载对象的压力和潜力的内部差异性；地理加权主成分模型有效的探索了土地承载压力局部地区的差异和分布特征，并找出土地综合承载压力有显著性影响的人口变量，证明了该方法的有效性和正确性。但这方面的研究仍需要进一步的深化，土地资源承载对象除了包括上述的4类，还应包括如土地的纳污能力，使人类、社会经济活动与相应的环境相协调，研究尺度为街道单元，土地资源单项评价载荷的空间分布差异较为不明显，应将尺度下推到格网单元，能更好地进行地理分异现象的分析和解释。

参考文献

[1] 贾克敬,张辉,徐小黎,等. 面向空间开发利用的土地资源承载力评价技术[J]. 地理科学进展,2017,36(3):335-341

[2] 张鑫,王家宝. 城镇化对城市土地资源承载力的影响[J]. 现代交际,2017(7): 60-63

[3] 黄敬军,姜素,张丽,等. 城市规划区资源环境承载力评价指标体系构建:以徐州市为例[J]. 中国人口·资源与环境,2015,25(增刊): 204-208

[4] 何尹杰,吴大放,刘艳艳,等. 珠海市土地资源承载力评价分析[J]. 国土与自然资源研究,2018(2):30-35

[5] 罗名海,蒋子龙,程琦,等. 地理国情在武汉市土地资源承载力评价中的应用[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2018,43(12): 2 317-2 324

[6] 中国土地资源生产能力及人口承载量[M]. 北京:中国人民大学出版社,1991

[7] 朱瑾,李建松,蒋子龙,等. 基于“实有人口、实有房屋”数据的精细化人口空间化处理方法及应用研究[J]. 东北师大学报(自然科学版),2018,50(3):133-140

[8] 孟旭光. 国土资源与环境承载力评价[M]. 北京:中国大地出版社,2010

[9] 程琦,秦思娴,李建松,等. 面向城市级资源环境承载力评价的要素尺度下推技术研究:以武汉市为例[J]. 测绘地理信息2022,47(5):69-72

[10] 孟旭光,吕宾,安翠娟. 应重视和加强土地承载力评价研究[J]. 中国国土资源经济,2006,19(2) : 38-40

[11] 张晓东,郑猛,张宇,等. 交通承载力分析方法及在详细规划中的应用[C]//2012中国城市规划年会论文集,2012

[12] Brunsdon C,Fotheringham A S,Charlton M E. Geographically Weighted Regression: A Method for Exploring Spatial Nonstationarity[J]. Geographical Analysis,1996,28(4): 281-298

[13] 卢宾宾,葛咏,秦昆,等. 地理加权回归分析技术综述[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2020,45(9):1 356-1 366

[14] Gollini I,Lu B,Charlton M,et al. Gwmodel: An R Package for Exploring Spatial Heterogeneity Using Geographically Weighted Models[J]. Jounal of Statistical Software,2015,63(17): 1-50

[15] Lu B,Harris P,Charlton M,et al. The Gwmodel R Package: Further Topics for Exploring Spatial Heterogeneity Using Geographically Weighted Models[J].Geo-Spatial Information Science,2014,17(2): 85-101