

基于灰色-BP神经网络模型的多情景交通用地需求预测 ——以长江中游城市群为例

史云扬^{1,2} 李牧^{1,2} 付野³ 王立威⁴ 孙敏轩^{1,2} 郝晋珉^{1,2*}

(1. 中国农业大学 土地科学与技术学院, 北京 100193;

2. 自然资源部 农用地质量与监控重点实验室, 北京 100193;

3. 北京市规划和自然资源委员会通州分局, 北京 101100;

4. 自然资源部 国土整治中心, 北京 100035)

摘要 为探索科学预测区域交通用地需求的合理途径,指导国土空间规划编制中交通用地规模的划定,拟通过灰色-BP神经网络模型识别主要社会经济影响因素,以长江中游城市群为例,在预测其远景交通用地需求规模的同时,基于城市群发展的阶段特征选取典型城市群样本设置3类情景,对不同情景下的交通用地需求分别进行预测。结果表明:1)城镇化水平、产业结构高度化程度和劳动力资源禀赋是当前影响长江中游城市群交通用地需求的主要社会经济因素。2)通过系统仿真试验对比不同方法的交通用地需求预测结果,可以发现基于灰色-BP神经网络模型的预测方法精度较高,误差较小,该预测方法对于区域交通用地规模的预测具有一定的适用性。预测得到的长江中游城市群2020和2030年交通用地需求分别为31.22万和49.07万 hm^2 。3)不同情景下长江中游城市群交通用地需求预测结果存在明显差异,底线情景可作为划定交通用地规模的底限,一般情景可作为基准,极限情景可作为红线,长江中游城市群交通用地合理规模应以基准为参考,介于底线和红线之间。

关键词 灰色-BP神经网络模型; 多情景; 交通用地; 预测

中图分类号 F301.23

文章编号 1007-4333(2020)06-0142-12

文献标志码 A

Multi-scenario traffic land demand forecasting based on grey system-BP neural network model: A case study of urban agglomeration in the middle reaches of the Yangtze River

SHI Yunyang^{1,2}, LI Mu^{1,2}, FU Ye³, WANG Liwei⁴, SUN Minxuan^{1,2}, HAO Jinmin^{1,2*}

(1. College of Land Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. Key Laboratory for Farmland Quality and Monitoring, National Ministry of Natural Resources, Beijing 100193, China;

3. Tongzhou branch of Beijing Municipal Commission of planning and natural resources, Beijing 101100, China;

4. Land Consolidation Center, National Ministry of Natural Resources, Beijing 100035, China)

Abstract In order to explore a reasonable way to scientifically predict the demand for regional traffic land and guide the delimitation of the scale of traffic land in the compilation of territorial spatial planning, a grey-BP neural network model is proposed to identify the main socio-economic factors. Taking the urban agglomeration in the middle reaches of the Yangtze River as study case, the typical cities are selected based on the stage characteristics of urban agglomeration development while forecasting their future demand scales for traffic land are forecasted. Three scenarios were set up to forecast the demand of traffic land. The results show that: 1) The level of urbanization, degree of

收稿日期: 2019-08-25

基金项目: 国家科技支撑计划(2015BAD06B01)

第一作者: 史云扬, 博士研究生, E-mail: yunyangshi@cau.edu.cn

通讯作者: 郝晋珉, 教授, 主要从事土地利用规划和土地可持续利用研究, E-mail: jmhao@cau.edu.cn

industrial structure and endowment of labor resources are the main social and economic factors affecting the demand of traffic land in the middle reaches of the Yangtze River. 2) By comparing the results of different methods of traffic land demand prediction through system simulation experiments, it is found that the prediction method based on grey-BP neural network model has higher accuracy and less error, and this prediction method has certain applicability to the prediction of regional traffic land scale. The forecasted demand for traffic land in the middle reaches of the Yangtze River in 2020 and 2030 are 312 200 and 490 700 hectares, respectively. 3) Under different scenarios, the results of traffic land demand forecasting in the middle reaches of the Yangtze River are obviously different. The baseline scenario can be used as the bottom line for delineating the scale of traffic land, the general scenario can be used as the benchmark, and the ultimate scenario can be used as the red line. The reasonable scale of traffic land in the middle reaches of the Yangtze River should be based on the benchmark, which is between the bottom line and the red line.

Keywords grey system-BP neural network model; multi-scenario; traffic land use; prediction

交通用地,是指居民点以外的包括公路、铁路、机场和港口码头等用地方式的土地利用类型^[1-2],作为建设用地的的重要组成部分,承载着沟通和传递区域间物质、能量和信息的主要功能,对于推动我国城市化进程具有重要的意义。但是交通用地在促进区域社会经济高速发展的同时,会占用大量的土地资源,带来不同用地类型之间的矛盾和冲突,若不加限制的扩大交通用地规模势必会对发展造成不利的影响^[3]。根据自然资源部统计数据显示,2009—2016年全国交通用地总计供应了105.41万hm²,占国有建设用地供应总量的23.06%,年均供给量维持在13万hm²以上,规模和增速均高于住宅、商服等用地类型。可以预见到未来随着新型城镇化进程的不断推进,交通用地与耕地、林地等农用地以及与建设用地内部其他用地间的冲突将会更加剧烈。因此,通过科学方法合理预测交通用地需求并确定其用地规模对于区域土地资源节约集约利用和可持续发展具有重要的指导意义^[3]。

在相关国内外研究中,学者们基于不同的研究视角对交通用地预测所采取的研究思路和研究方法均存在着差异。李京涛等^[4]和张宁等^[5]从城市土地利用与交通用地的相互关系出发,证明了城市用地规模与交通体系间存在着极强的耦合作用;俞洁等^[6]则通过分析成长型城市交通发展需求,提出将TOD理念引入城市交通规划之中;李双成等^[7]采用统计分析方法,得出了我国道路影响生态系统面积占全国国土面积的18.37%的研究结论,以底线思维的视角提醒人们交通用地规模应与生态安全的目标相协调。在预测的方法上,格根哈达等^[2]通过灰色-马尔科夫模型,克服了传统历史数据平稳性较差的难题,对锡林郭勒盟交通用地需求量进行了预测;卞凤兰等^[3]则构建了BP神经网络预测模型,以城

镇占地比和城市化率为输入元,公路占地比为输出元,预测了2020年安徽省公路用地的规模;杨戈^[8]以河南省作为研究对象,采用项目法和交通指数法进行综合分析,得出了其2020和2030年交通用地的远景需求;另外,也有学者采用遗传算法^[9]、生长曲线法^[10]、系统动力学模型^[11]、多目标规划模型^[12]、国土系数法^[13-14]等方法进行了相应的研究。

已有成果为本研究奠定了良好基础,目前对于交通用地需求量的预测主要形成了2种思路:一种是基于历史规模数据,通过不同的算法结构和统计方法进行系统仿真,进而推导出未来的需求值;另一种则是以现行规划控制目标为基础,通过预测人口和GDP等相关影响因素的需求来得到交通用地的规模。而在城镇化进程中人们对于交通用地的需求具有阶段性特征,以历史数据和规划目标为参考会掩盖社会发展的风险性及不确定性特征,使得交通用地预测结果失真^[15]。改革开放以来,中国城镇化进程加速,出现了具有中国特色的城市群空间组织模式。城市群是支撑全国经济增长、促进区域协调发展的重要平台,同时也是面向新时代要求打破行政区划限制,划分我国经济社会发展空间格局的基本单元^[16]。基于此,本研究以处于城市集聚发展中期的长江中游城市群作为研究对象,探索以城镇化工业化为导向的城市群建设中交通用地规模的合理性特征,采用灰色-BP神经网络耦合模型,并设置不同研究情景对交通用地需求进行预测,旨在为长江中游城市群土地合理利用提供科学依据,为区域国土空间规划的编制提供借鉴。

1 研究区概况及数据来源

1.1 研究区概况

长江中游城市群是围绕武汉为中心,以武汉城

市圈、环长株潭城市群和环鄱阳湖城市群为主体形成的特大型国家级城市群,规划范围包括:湖北省武汉、黄石、鄂州、黄冈、孝感、咸宁、仙桃、潜江、天门、襄阳、宜昌、荆州和荆门市;湖南省长沙、株洲、湘潭、岳阳、益阳、常德、衡阳和娄底市;江西省南昌、九江、景德镇、鹰潭、新余、宜春、萍乡、上饶、抚州市和吉安市新干县。共31个地市^[17](图1)。2017年,长江中游城市群土地面积约32.61万km²,总人口1.25亿,地区生产总值达7.90万亿元。长江中游城市群以全国3.4%的土地面积和9.0%的人口数量创造

了9.6%的经济总量。长江中游城市群承东启西,连通南北,是长江经济带的重要枢纽和节点,也是继长三角城市群、珠三角城市群和京津冀城市群后第四大核心发展区域,被定位为未来中国经济“新增长极”。

2016年,长江中游城市群交通用地规模为26.12万hm²,较2009年增加了7.77万hm²,增速为42.31%,略低于城镇用地增加速率而高于其他建设用地类型。其中,公路用地由2009年的15.26万增加到2016年21.6万hm²,增加总量占交通用

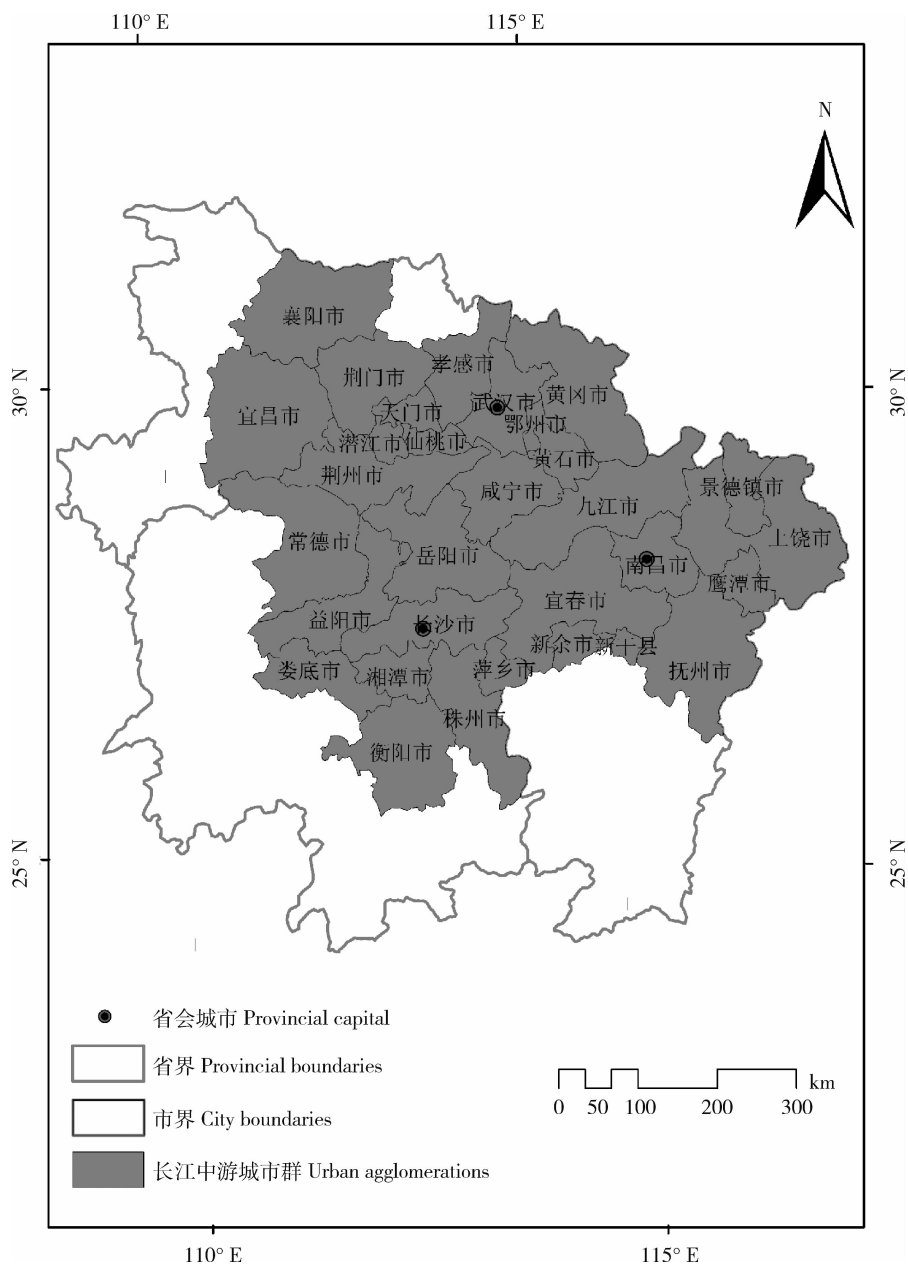


图1 长江中游城市群区位示意图

Fig. 1 Location sketch map of urban agglomeration in the middle reaches of the Yangtze River

地总增量的 81.55%；铁路用地由 2009 年的 2.68 万增至 2016 年的 3.91 万 hm^2 ，增量占交通用地总增量的 15.88%；而机场用地和港口码头用地共计增加了 0.23 万 hm^2 ，合计增量不足总增量的 1%。可见未来长江中游城市群交通用地规划中公路和铁路的需求需重点考虑。

1.2 数据来源

本研究主要采用了长江中游城市群各市 2009—2016 年土地利用现状数据、人口、工业和服务业等相关部门的经济社会核算数据和行政区划空间数据等 3 方面的基础数据。1) 2009—2016 年土地利用现状数据来自自然资源部土地调查成果共享应用服务平台，各地类面积规模严格按照《全国第二次土地调查分类规范》进行统计。2) 人口和国民经济各部门的相关核算数据来自 2009—2016 年《中国统计年鉴》、《中国城市统计年鉴》、《中国人口和就业统计年鉴》和相关各市国民经济和社会发展统计公报等。3) 行政区划空间数据来自国家基础地理信息中心提供的 1:400 万矢量数据，并根据实际情况对行政区名称及界线进行了相应的修正。值得注意的是，基于数据的可获得性，本研究所针对的长江中游

城市群地区仅包括《长江中游城市群发展规划》中的 27 个地级市（不包含湖北省仙桃、潜江、天门市以及江西省新干县）。

2 研究方法

2.1 长江中游城市群交通用地主要影响因素分析

2.1.1 交通用地需求影响因子评价指标体系的构建

交通用地作为沟通和传输区域间各种能流交换的载体和通道，对于区域社会经济发展具有重要的支撑和保障功能，区域交通用地需求在一定时空内表现出同社会经济生产力发展相协调的特征。因此，参阅学者们的已有研究成果^[10,16,18-20]，本着指标选取范围合理和指标体系符合研究区实际的原则，结合数据来源的可靠性和数据的可获取性，从可以指代经济社会发展特征的劳动力资源禀赋、城镇化水平和产业结构高度化程度等 9 个评价维度选取总人口、城镇用地规模、城市化率和二三产业从业人员数等 11 项因子指标构建起长江中游城市群交通用地需求的影响因子指标体系（表 1）。

表 1 交通用地需求影响因子评价指标体系

Table 1 Evaluation index system of influencing factors of transportation land demand

评价层 Evaluation layer	因子层 Factor layer	单位 Unit	变量设置 Variable Settings
城镇化水平	城镇用地规模	hm^2	X_1
	城市化率	%	X_2
劳动资源禀赋	总人口	万	X_3
经济发展水平	国内生产总值(GDP)	亿元	X_4
区域财政能力	地方财政一般预算内收入	亿元	X_5
区域投资水平	全社会固定资产投资总额	亿元	X_6
区域消费能力	社会消费品零售总额	亿元	X_7
工业发展水平	工业总产值	亿元	X_8
人民收入水平	职工平均工资	元	X_9
产业结构高度化程度	二三产业产值占 GDP 比例	%	X_{10}
	二三产从业人员数	万	X_{11}

2.1.2 长江中游城市群交通用地主要影响因素识别

灰色系统理论是控制理论的一个新领域。是控制论的观点和方法应用于社会经济系统的产物。它以灰色系统为研究对象，以灰色系统的白化、淡化、

量化、模型化和最优化为核心，通过对有限的已知信息进行生成和开发，获取有价值的信息，弱化原始数据的随机性，从无规律的原始数据中找出规律，应用微分拟合法，将时间序列转化为微分方程，进而建立

模型,特别适合于少样本、贫信息的社会经济指标的分析和预测^[21]。本研究在此主要采用灰色因素关联分析法对长江中游城市群交通用地主要影响因素进行识别,灰色关联分析法是一种多因素的统计方法,它根据因素之间发展趋势的相似或相异程度来衡量因素间的相关程度,并以“灰色关联度”的高低来加以表征,其计算过程如下:

1) 确定参考序列和比较序列。

根据研究所需,以2009—2016年长江中游城市群交通用地规模量作为因变量组(Y)并设定为参考序列 $Y = \{Y(k) | k = 1, 2, \dots, n\}$,城镇用地规模、城市化率、总人口、国内生产总值、地方财政一般预算内收入、全社会固定资产投资总额、社会消费品零售总额、工业总产值、职工平均工资、二三产业产值占GDP比例和二三产从业人员数分别作为自变量组设定为8组比较序列 $X_i = \{X_i(k) | k = 1, 2, \dots, n\}$, $i = 1, 2, \dots, m$ 。

2) 对指标进行无量纲化处理。

由于各原始数据的量纲不同导致数据间无法进行分析比较,所以在对数据进行关联关系前需要进行无量纲化处理以消除不同数据间的量纲差异,灰色关联分析方法中常用的无量纲化方法包括初值转换法、均值转换法以及标准化转换法。在此采用初值转换法以参考序列为准对原始数据求取初值像,计算公式为:

$$X'_i = \frac{X_i}{x_i(1)} =$$

$$(x'_i(1), x'_i(2), \dots, x'_i(n)), i = 0, 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

3) 计算各因素与交通用地需求量的关系系数。

$$\epsilon_i(k) =$$

$$\frac{\min_i \min_k |y(k) - x_i(k)| + \rho \max_i \max_k |y(k) - x_i(k)|}{|y(k) - x_i(k)| + \rho \max_i \max_k |y(k) - x_i(k)|} \quad (2)$$

其中, $y(k)$ 为参考序列中的对应数值, $x_i(k)$ 为经初值转化后的比较序列对应值, ρ 为分辨系数一般取0~1。

3) 计算各因素与交通用地需求的关联度。

$$r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \epsilon_i(k), k = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

将上述过程基于Matlab 2014a操作平台编写计算程序,分辨系数 ρ 设定为0.5,则灰色关联分析结果如表2所示。

表2 长江中游城市群各影响因子与交通用地需求灰色关联度表

Table 2 Gray relation degree table of influencing factors and transportation land demand

因子类别 Factors classification	灰色关联度 Gray relation degree
城镇用地规模(X_1)	0.970 4
城市化率(X_2)	0.935 7
总人口(X_3)	0.870 8
国内生产总值(X_4)	0.707 3
地方财政一般预算内收入(X_5)	0.562 8
全社会固定资产投资总额(X_6)	0.636 3
社会消费品零售总额(X_7)	0.651 9
工业总产值(X_8)	0.609 2
职工平均工资(X_9)	0.760 7
二三产业产值占GDP比例(X_{10})	0.872 5
二三产从业人员数(X_{11})	0.959 6

依据表2的计算结果,对因变量和自变量间的灰色关联度进行排序为: $X_1 > X_{11} > X_2 > X_{10} > X_3 > X_9 > X_4 > X_7 > X_6 > X_8 > X_5$,即交通用地需求量(Y)与城镇用地规模、二三产从业人员数、城市化率、二三产业占GDP比重、总人口、职工平均工资、国内生产总值、社会消费品零售总额、全社会固定资产投资总额、工业总产值以及地方财政一般预算内收入之间的关联程度依此下降。一般而言,自变量与因变量二者关联度在0.8以上即可认为其关联性很大,0.5~0.8则被认为有一定的关联性,但当关联度在0.5以下时即可认为两者无关联^[22]。依据结果,选取的11个自变量与因变量的关联度均 > 0.5 ,自变量的选取具有一定的科学性。同时,城镇用地规模、城市化率、二三产业从业人数、总人口和二三产业占GDP比重的灰色关联度均 > 0.8 ,因此,可认为长江中游城市群当前阶段交通用地需求主要影响因素为区域城镇化水平、劳动力资源禀赋和产业结构高度化程度。

2.2 灰色-BP神经网络预测模型

BP神经网络模型(Back Propagation Neural Network)是一种按照误差逆向传播算法训练的多层前馈神经网络,是目前应用最广泛的神经网络模型之一^[23]。其由输入层、隐含层和输出层3个神经

元层次共同组成,通过信号正逆向传播调节误差信息。BP 神经网络模型由于可以通过样本训练进行重复学习以及限定误差大小的输出机制,使得其在非线性预测方面具有较强的适用性和较高的精度。但是用地需求预测作为复杂的社会经济问题,缺乏解释力的非线性预测结果难以满足人们对于用地需求影响因素、驱动机制和作用机理等探究,而将灰色系统理论中的研究方法与 BP 神经网络模型相耦合可以很好的解决这个问题,同时,灰色系统理论对于少样本、贫信息的适用性也使其对于社会经济快速发展带来的需求急剧变化具有一定的可适性。

以预测交通用地需求量为例,灰色-BP 神经网络预测模型的运行结构如图 2 所示,首先通过灰色关联分析法识别出影响交通用地需求量变化的主要社会经济因素,然后以识别的主要社会经济因素作为输入层单元,交通用地需求量作为输出层单元构建起 BP 神经网络系统,同时以相关历史数据对系统进行仿真训练,不断调整隐含层神经元数量等参数使得仿真结果达到最优。最后,通过灰色预测模型预测所需年期主要社会经济因素的期望值,并以此作为输入层单元代入模型中最终得到所需交通用地需求量的结果。

灰色关联分析的计算流程在以上分析中已有阐释,在此不再赘述,BP 神经网络模型及灰色预测模型的主要计算公式如下。

BP 神经网络模型:

1)网络初始化:给各连接权值分别赋予(-1,1)间的随机数,设定误差函数 e ,给定计算精度 ϵ 和最大学习次数 M 。

$$e = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n (y_j - y'_j)^2 \tag{4}$$

式中:输出节点为 n ,实际输出值为 y_j ,目标输出值

为 y'_j 。

2)由给定的输入样本和输出期望计算隐含层和输出层各单元输出,并利用实际输出、期望输出值以及误差函数修正各层连接权值,每个权值的修正值为 $\Delta\omega$ 。

$$\Delta\omega_{ij} = -\eta * \frac{\partial \epsilon}{\partial \omega_{ij}} = -\eta * \frac{\partial \epsilon}{\partial I_j} * \frac{\partial I_j}{\partial \omega_{ij}} \tag{5}$$

式中: ω_{ij} 为输出层 i 节点到 j 节点的连接权值; η 为学习效率值, I_j 是第 j 个隐含层的传输函数。输出层到隐含层为 tansig 型函数,隐含层到输出层为 trainlm 型函数。

3)选取下一个输入模式返回第二步反复训练直到模型输出误差达到精度需求后退出训练。

本研究采用的灰色预测模型为灰色 GM(1,1)模型,其计算公式为:

1)对预测数列进行累加处理形成新数列 $x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(M)$ 。

2)构建数据矩阵 B 。

$$B = \begin{Bmatrix} -\frac{1}{2}[x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2)] & 1 \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(2) + x^{(1)}(3)] & 1 \\ \dots & \dots \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(M-1) + x^{(1)}(M)] & 1 \end{Bmatrix} \tag{6}$$

3)用累加数列建立微分方程。

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = u \tag{7}$$

其中: a, u 为辨识函数,可用最小二乘法进行计算,

$$\begin{bmatrix} a \\ u \end{bmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T Y_M, Y_M \text{为列向量}, Y_M = [x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), \dots, x^{(0)}(M)]^T$$

4)得到预测方程。

$$x^{(1)}(t+1) = \left[x^{(0)}(1) - \frac{a}{u} \right] x(1)e^{at} + \frac{u}{a} \tag{8}$$

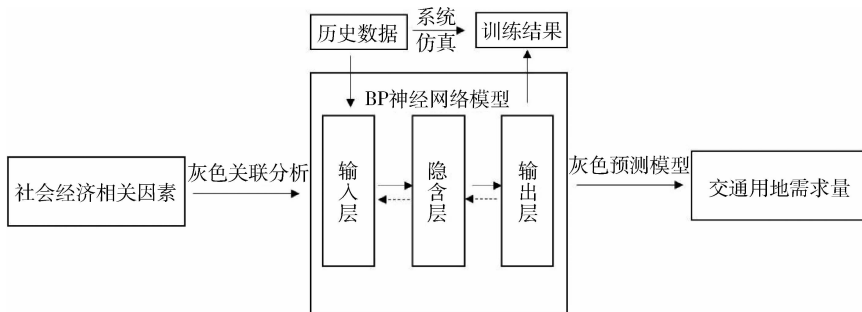


图 2 灰色-BP 神经网络模型运行结构图

Fig. 2 Gray-BP neural network model structure diagram

5)模型的检验。

灰色预测模型主要通过残差检验以及后验差检验验证其可靠性,具体公式由于研究内容限制在此不再赘述,预测结果可通过方差比 C 以及小误差概率 P 判断其精度等级,一般情况下 $C < 0.5, P > 0.80$ 则预测精度达到了二级标准,表明预测结果具有一定的可信度。

2.3 长江中游城市群交通用地需求预测情景设置

交通用地是社会生产力发展到一定程度后人们为了满足交换劳动产品、获得生产资料等目的而产生的一种土地利用类型,交通用地需求属于引致需求,交通用地需求发展遵循如同生物生长过程一样的生命周期^[16],但作为一种“生产要素”不论其发育的起步期、发展期或是成熟期都应同“最终产品”——城市群发展阶段水平相一致,否则可被视为不合理的需求。2018年11月,中共中央、国务院发布了《中共中央国务院关于建立更加有效的区域协

调发展新机制的意见》提出以长三角城市群、哈长城市群、长江中游城市群、中原城市群和关中平原城市群等城市群推动国家重大区域战略融合发展^[24]。我国城市群发展呈现出异质性特征,城市群间发展阶段差异显著,东部沿海地区城市群发展要领先于中西部地区^[25]。因此,可以根据研究区城市群所处的发展阶段特征,参考其他城市群发展阶段交通用地的需求水平变化,将交通用地需求生命周期同城市群发育程度相匹配,以此来分析未来研究区城市群交通用地需求变化。

根据长江中游城市群的政策环境和发展定位,选取已批复的包括长江三角洲城市群、中原城市群、北部湾城市群等10个国家级城市群作为参考,其基本情况如表3所示。同时,采用文献调研法,基于中国知网数据库(CNKI),以“城市群发展质量”、“城市群发展水平”、“城市群竞争力”和“城市群协调度”等为关键词进行检索,设定文献时间为2000—

表3 10大国家级城市群基本情况表

Table 3 Basic situation table of the national urban agglomerations

城市群名称 City cluster name	批复时间 Reply time	资料文件 Information document	战略定位 Strategic positioning
长江中游城市群	2015-03-26	《国务院关于长江中游城市群发展规划的批复》	中国经济新增长极,中西部新型城镇化先行区,内陆开放合作示范区
哈长城市群	2016-02-23	《国务院关于哈长城市群发展规划的批复》	东北老工业基地振兴发展重要增长极,北方开放重要门户,老工业基地体制机制创新先行区
成渝城市群	2016-04-12	《国务院关于成渝城市群发展规划的批复》	全国重要的现代产业基地,西部创新驱动先导区,内陆开放型经济战略高地
长江三角洲城市群	2016-05-22	《国务院关于长江三角洲城市群发展规划的批复》	最具经济活力的资源配置中心,具有全球影响力的科技创新高地,全球重要的现代服务业和先进制造业中心
中原城市群	2016-12-28	《国务院关于中原城市群发展规划的批复》	中国经济发展新增长极,中西部地区创新创业先行区,内陆地区双向开放新高地
北部湾城市群	2017-01-20	《国务院关于北部湾城市群发展规划的批复》	面向东盟国际大通道重要枢纽,21世纪海上丝绸之路与丝绸之路经济带有机衔接的重要门户
关中平原城市群	2018-01-09	《国务院关于关中平原城市群发展规划的批复》	引领西北地区发展的重要增长极,以军民融合为特色的国家创新高地,传承中华文化的世界级旅游目的地,内陆生态文明建设先行区
呼包鄂榆城市群	2018-02-05	《国务院关于呼包鄂榆城市群发展规划的批复》	全国高端能源化工基地,向北向西开放战略支点,西北地区生态文明合作共建区
兰西城市群	2018-02-22	《国务院关于兰州—西宁城市群发展规划的批复》	维护国家生态安全的战略支撑,优化国土开发格局重要平台,促进我国向西开放的重要支点
珠江三角洲城市群 (粤港澳大湾区)	2019-02-18	《国务院印发〈粤港澳大湾区发展规划纲要〉》	中国城市群中经济最有活力、城市化率最高的地区,粤港澳大湾区是中国乃至亚太地区最具活力的经济区之一

2019年,共检索出核心期刊以上文献44篇。通过文献分析结果并结合咨询相关领域专家,可将我国城市群发展分为培育期,发展期和成熟期3个阶段,培育期的城市群包括北部湾城市群、呼包鄂榆城市群、兰西城市群、哈长城市群、关中平原城市群,发展期的城市群包括长江中游城市群、中原城市群和成渝城市群,成熟期的城市群包括珠三角城市群(粤港澳大湾区)以及长江三角洲城市群。因此,根据城市群划分阶段成果,在培育期选择哈长城市群、呼包鄂

榆城市群和关中平原城市群,发展期选择长江中游城市群和中原城市群,成熟期选择珠三角城市群和长江三角洲城市群作为典型案例进行深入研究,通过灰色关联分析法对典型城市群交通用地需求的主要影响因素进行识别,其识别结果与长江中游城市群结果一致,也可以看出我国城市群发展一定相似性,通过极值标准化对典型城市群主要影响因素进行无量纲化处理以对比,其差异情况如图3所示。

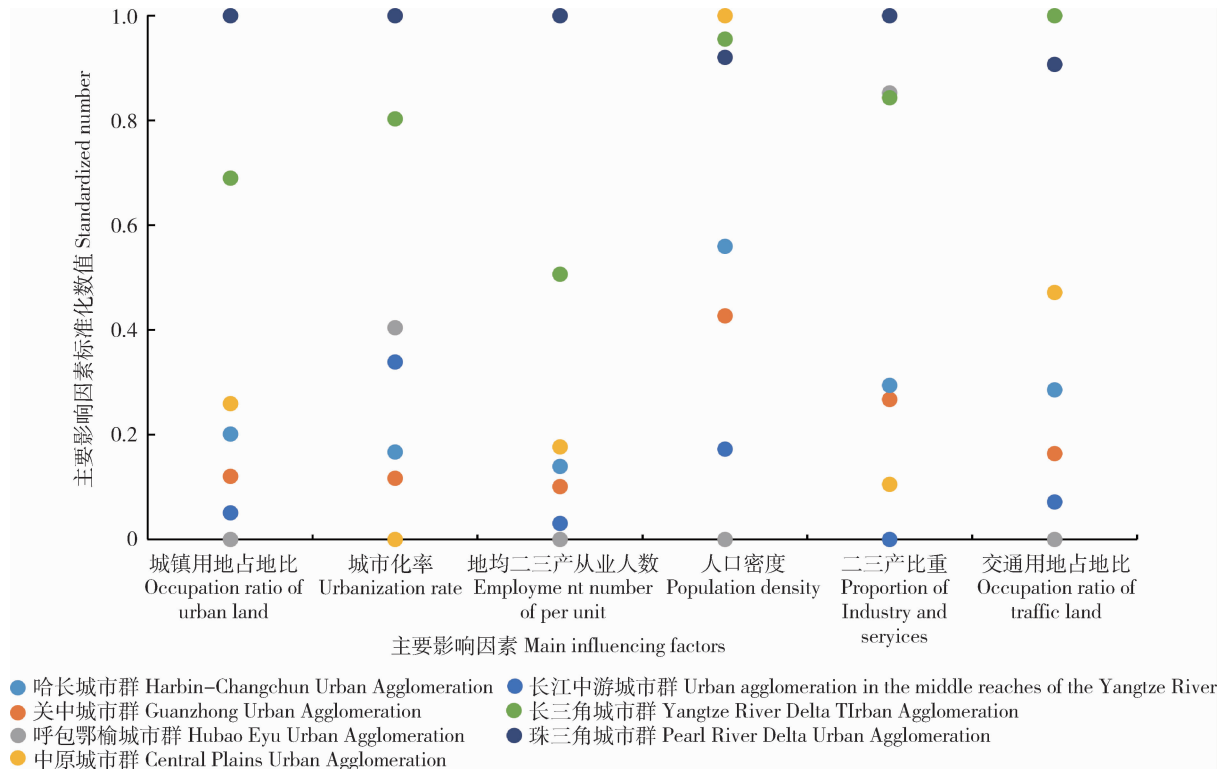


图3 典型城市群交通用地需求主要影响因素差异情况表

Fig. 3 Main influencing factors of traffic land demand in typical Urban Agglomerations

对典型城市群交通用地占地比以及城市化率、二三产占GDP比重等主要影响因素差异情况进行分析,可知交通用地需求具有3级较为明显的分布层次即长三角、珠三角城市群为高级,长江中游城市群、中原城市群为中级和哈长、关中和呼包鄂榆城市群为低级,长江中游城市群需求处于中级区,这样的分析结果正好同城市群划分的阶段成果相吻合。基于此,可以设置长江中游城市群交通用地需求的3个情景即底线情景(城市群培育期)、一般情景(城市群发展期)和极限情景(城市群成熟期),情景的变量

指标取各城市群相关指标均值,长江中游城市群交通用地合理需求应高于底线情景而低于极限情景。

3 研究结果

3.1 基于灰色-BP神经网络模型的长江中游城市群交通用地需求仿真与预测

基于对交通用地需求主要影响因素的分析,同时为了消除区域土地资源的制约效应,使得研究结果具有可比性,以城镇用地占地比^①、城市化率、地均二三产业从业人数、人口密度和二三产业占GDP比重5项

① 城镇用地占地比为根据第二次全国土地利用调查中城镇用地二级地类面积与区域土地总面积的比值, %。

指标作为输入层神经元,交通用地占地比^①作为输出层神经元,以长江中游城市群研究区数据作为训练样本,基于 Matlab 2014 年操作平台编写计算程序,最大

训练次数设为 6 000,最小训练速率为 0.1,动态参数为 0.6,经过反复调试,隐含层数为 2 时模型的拟合残差最小为 0.000 65,样本的仿真结果如表 4。

表 4 神经网络样本仿真预测结果表

Table 4 Neural network sample simulation prediction results table

年份 Year	城镇用地占地 面积比/% Occupation ratio of urban land	城市化 率/% Urbanization rate	地均二三产 从业人数/ km ⁻² Employment Number of per unit	人口密度/ km ⁻² Population density	二三产 比重/% Proportion of Industry and Services	交通用地 占地比/% Occupation ratio of traffic land	训练输出 Training output	相对误差 Relative error
2009	0.016 6	44.28	32.329 3	379.787 9	87.65	0.005 8	0.005 9	0.017 2
2010	0.017 5	45.97	34.949 9	383.740 8	88.61	0.006 2	0.006 1	0.016 1
2011	0.018 8	47.85	37.599 1	385.888 0	89.37	0.006 5	0.006 5	0.000 0
2012	0.020 1	49.50	36.695 3	387.905 1	89.47	0.006 7	0.006 7	0.000 0
2013	0.021 2	50.72	44.340 4	386.945 2	89.82	0.007 1	0.007 1	0.000 0
2014	0.022 9	51.97	46.406 5	389.414 0	90.28	0.007 6	0.007 6	0.000 0
2015	0.023 6	53.35	46.557 0	389.244 6	90.50	0.007 9	0.007 9	0.000 0
2016	0.024 4	54.87	46.504 4	391.493 8	90.60	0.008 2	0.008 1	0.012 2

根据训练的 BP 神经网络模型结果可知,样本的误差较小,各年份仿真值的相对误差均 <0.02 ,平均误差为 0.004 7%,标准误差为 0.006 5%,表明基于灰色-BP 神经网络模型的预测方法具有较高的精度,可以进行交通用地需求的预测。同时为了与传

统方法相对照,表 5 也给出了基于国土系数法、多元线性回归法、灰色预测法以及指数函数法的仿真结果,结果显示,灰色-BP 神经网络模型在其中具有很强的可信度(表 5)。

基于此,可以对长江中游城市群交通用地 2020

表 5 不同方法的仿真预测结果对比表

Table 5 Comparisons of simulation and prediction results of different methods

计算方法 Computing method	平均误差/% Average error	标准误差/% Standard error
灰色-BP 神经网络模型	0.004 7	0.006 5
多元线性回归法 ($Y=0.193X_1+0.000\ 086X_2+0.000\ 09X_3-0.000\ 013X_4-0.000\ 031X_5+0.006$)	0.008 0	0.010 0
灰色预测法 ($X_{(k+1)}=0.124\ 507e^{-0.048\ 383k-0.118\ 707}$)	0.005 4	0.006 9
国土系数法 ($Y=(0.002P_{GDP}+0.14)\times\sqrt{A\times P}$)	0.006 1	0.013 1
指数平滑拟合法 ($Y=0.005\ 6e^{0.049\ 2\times\text{年}}$)	0.004 8	0.007 2

① 交通用地占地比为根据第二次全国土地利用调查中交通运输用地一级地类面积(不包括农村道路面积)与区域土地总面积的比值, %。

和 2030 年的需求量进行预测。首先通过灰色 GM(1,1) 预测模型对相应年份的 5 项主要影响因素进行预测,其结果显示预测精度均达到了一级和二级标准,随后将预测结果输入 BP 神经网络模型中进行深度学习,由于有效年份的数据量较少,因此采用逐步进入方法将拟合值作为有效值进行递进运算,并对模型进行不断调试以保证精度,最终得到长江中游城市群 2020 年交通用地占地比为 0.009 8, 2030 年为 0.015 4,对应的交通用地需求规模为 31.22 万和 49.07 万 hm^2 。

3.2 基于不同情景的长江中游城市群交通用地需求预测

将 3 类典型城市群的交通用地需求主要影响因素数据分别代入灰色-BP 神经网络模型中,通过历史数据对模型进行样本学习和仿真检验,不断调试模型的相关参数以使得模型输出结果更接近仿真期望值,最后将通过灰色 GM(1,1) 预测法得到的期望年份的因素预测值分别代入调试好的模型中,所得的不同情景下的预测结果如表 6 所示。

表 6 不同情景下交通用地需求及相关影响因素结果表

Table 6 Result table of demand for transportation land and influencing factors under different scenarios

变量指标 Variable Indicators	2020 年			2030 年		
	底线情景	一般情景	极限情景	底线情景	一般情景	极限情景
	Baseline scenario	General scenario	Ultimate scenario	Baseline scenario	General scenario	Ultimate scenario
城镇用地占地比/%	0.014 4	0.031 0	0.095 1	0.018 4	0.053 9	0.122 2
城市化率/%	59.040 0	61.570 0	72.280 0	63.890 0	72.960 0	76.780 0
地均二三产从业人数/ km^{-2}	19.261 6	59.972 1	223.537 4	23.696 1	100.997 5	492.508 8
人口密度/ km^{-2}	314.801 9	395.745 5	642.121 2	322.592 2	407.383 1	753.155 9
二三产占 GDP 比重/%	86.721 2	92.092 2	98.524 5	87.413 7	95.451 1	99.213 2
交通用地占地比/%	0.005 5	0.009 5	0.019 2	0.006 5	0.015 1	0.026 3
交通用地需求量/ hm^2	261 749.430 0	302 840.150 0	612 053.640 0	297 102.030 0	481 353.570 0	838 387.090 0

从结果可以看出,不同情景下的相关的主要因素指标以及交通用地需求量预测结果存在着较大差距,2020 年长江中游城市群交通用地需求一般情景下达到 30.28 万 hm^2 ,低于极限情景 30.92 万 hm^2 ,而较底线情景高出 4.11 万 hm^2 ;2030 年各情景下交通用地需求量差距进一步扩大,一般情景下的需求量为 48.14 万 hm^2 ,低于极限情景 35.69 万 hm^2 ,较底线情景高出 18.43 万 hm^2 。极限情景的各指标值显著高于其他情景,说明该情景设置可以达到限制约束长江中游城市群交通用地需求无序扩张的不合理趋势;底线情景的各项指标均低于其他情景,该情景下的交通用地规模也是保障和支撑长江中游城市群经济社会发展的基础需求。前文通过灰色-BP 神经网络模型预测的长江中游城市群交通用地需求量与一般情景下的需求量相似,也体现出该预测方法具有一定的科学性及其合理性。

4 结论与讨论

4.1 结论

本研究基于灰色-BP 神经网络模型,通过灰色关联分析法及灰色 GM(1,1) 预测模型筛选影响交通用地需求的主要社会经济影响因素并进行远景预测,继而以此为输入元构建区域交通用地需求量的 BP 神经网络模型,以长江中游城市群为例,通过城市群发展的差异性设置了不同情景对区域交通用地需求量进行预测,得到的主要研究结论如下:

1) 交通用地作为一种重要的土地利用类型,其未来需求量与社会经济发展的诸多因素密不可分,通过选取与之相关的经济发展水平、工业发展水平、劳动力资源禀赋等 9 个维度 11 项社会经济影响因素进行灰色关联分析得出,当前长江中游城市群交通用地需求主要与城镇化水平、产业结构高度化程

度和劳动力资源禀赋关联性较强。

2)以长江中游城市群为例,基于灰色-BP神经网络模型对其2009—2016年交通用地需求量进行仿真模拟的结果显示,灰色-BP神经网络模型的仿真效果良好,误差较小,结果明显优于国土系数法、多元线性回归法和指数函数平滑法等常规方法,该模型具有一定的可信度。因此对长江中游城市群2020和2030年交通用地需求量进行预测,结果分别为31.22万和49.07万 hm^2 。

3)基于交通用地需求同城市群经济社会发展的协同理论,可以设置不同的情景对交通用地需求进行预测。本研究选取了我国东北、东部、中部和西部4个地区的7大城市群作为典型样本,根据其发展程度差异设置了底线情景、一般情景和极限情景3个情景,并对不同情景的2020和2030年交通用地需求进行了预测,其结果为26.17万、30.28万、61.21万、29.71万、48.14万和83.84万 hm^2 。

4.2 讨论

1)交通用地是一种以沟通和连接为主要功能的用地类型,因此其需求量不仅与区域内的社会经济因素联系紧密,而且还应具有一定的域外效应,本研究的研究范围仅限长江中游城市群内部,在交通用地需求主要影响因素的识别过程中也仅考虑城市群内部要素,未考虑周边地区环境对其交通用地需求的影响,这将是未来研究主要改进的出发点。

2)基于历史数据的演化趋势对未来进行展望是预测的一种常用方法,但是由于我国社会生产力的快速发展以及世界政治经济格局的诡谲多变,我国正处于一个“不确定性时代”和“风险社会”,根据历史数据进行的预测具有很大的局限性。本研究基于城市群发展阶段特征设置了底线、一般、极限3种情景在一定程度上减轻了这种局限性,但在工作中可能面对变化更为剧烈,需要设置的情景更特殊更复杂,因此如何在空间规划中科学地划定区域的用地控制规模是一个值得深入探索的命题。

3)交通用地作为土地利用分类的一级类别,还可以具体细化为公路用地、铁路用地和机场用地等不同类型,不同的亚类型对于人类社会经济活动的承载能力和承载功能均存在着差异性,其需求的驱动因素、作用机理、调控机制等也不同,本研究仅证明了灰色-BP神经网络模型对于预测交通用地需求具有一定的适用性,但如何采用适宜的方法对交通用地内部不同类型土地需求进行预测将是本研究下

一步工作的重心。

参考文献 References

- [1] 格根哈达, 敖登高娃. 锡林郭勒盟交通用地需求量预测研究[J]. 内蒙古农业大学学报:自然科学版, 2017, 38(3): 44-48.
Gegenhada Waodenggaowa. Prediction of transportation uses in Xilinguole[J]. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University: Natural Science Edition*, 2017, 38(3): 44-48 (in Chinese)
- [2] 林和明. 广东省交通用地需求预测分析[J]. 广东农业科学, 2008(5): 44-46
Lin H M. Prediction of transportation uses in Guangdong[J]. *Agricultural Science in Guangdong Province*, 2008(5): 44-46 (in Chinese)
- [3] 卞凤兰, 黄晓明, 刘睿. 城镇化进程中公路网用地的BP神经网络预测模型[J]. 东南大学学报:自然科学版, 2010, 40(5): 1073-1076
Bian F L, Huang X M, Liu R. BP neural network prediction model of highway network land in urbanization process[J]. *Journal of Southeast University: Natural Science Edition*, 2010, 40(5): 1073-1076 (in Chinese)
- [4] 李京涛, 周生路, 吴绍华. 道路交通网络与城市土地利用时空耦合关系:以南京市为例[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(1): 18-25
Li J T, Zhou S L, Wu S H. Relationship between traffic network and urban land use in Nanjing with Landsat TM/E+IMAGES[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2014, 23(1): 18-25 (in Chinese)
- [5] 张宁. 城市规模与城市交通发展的系统分析方法[J]. 系统工程理论与实践, 2005(8): 136-139
Zhang N. The systemic analysis on metropolis area and traffic generation[J]. *System Engineering and Theory Practice*, 2005(8): 136-139 (in Chinese)
- [6] 俞洁, 杨晓光, 尹瑞, 夏胜国. 基于TOD模式的成长型城市公共交通规划[J]. 交通运输工程学报, 2007(3): 106-110
Yu J, Yang X G, Yin R, Xia S G. Public transport planning of developing city based on TOD model [J]. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 2007(3): 106-110 (in Chinese)
- [7] 李双成, 许月卿, 周巧富, 王磊. 中国道路网与生态系统破碎化关系统计分析[J]. 地理科学进展, 2004(5): 78-85
Li S C, Xu Y Q, Zhou Q F, Wang L. Statistical analysis on the relationship between road network and ecosystem fragmentation in China[J]. *Progress in Geography*, 2004(5): 78-85 (in Chinese)
- [8] 杨戈. 新形势下河南省土地资源保障能力研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2014
Yang G. Study on support capacity of land resources in Henan Province under the new situation [D]. Beijing: Chinese

- Academy of Agricultural Sciences, 2014 (in Chinese)
- [9] Basil J V. Patterns and grammars for transport network generation[J]. *10th Swiss Transport Research Conference*, 2010(9): 1-30
- [10] 董闻宇. 县域公路网合理规模测算与等级结构优化研究[D]. 长春: 吉林大学, 2016
- Dong W Y. Research on measurement of rational scale and optimization of grade structure in country highway network [D]. Changchun: Jilin University, 2016 (in Chinese)
- [11] 熊鹰, 陈云, 李静芝, 阎晓静. 基于土地集约利用的长株潭城市群建设用地供需仿真模拟[J]. *地理学报*, 2018, 73(3): 562-577
- Xiong Y, Chen Y, Li J Z, Yan X J. Analog simulation of urban construction land supply and demand based on land intensive use[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(3): 562-577 (in Chinese)
- [12] Ma C X, Ma C R, Ye Q, He R C, Song J Y. An improved genetic algorithm for the large-scale rural highway network layout[J]. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014
- [13] Magnanti T L, Wong R T. Network design and transportation planning: Models and algorithms[J]. *Transportation Science*, 1984, 18(2): 1-56
- [14] 郭晓峰. 国土系数法在公路网总里程预测中的应用[J]. *公路*, 2005(2): 77-80
- Guo X F. Application of land coefficient method in prediction of total mileage of highway network[J]. *Highway*, 2005(2): 77-80 (in Chinese)
- [15] 庄少勤. 新时代的空间规划逻辑[J]. *中国土地*, 2019(1): 4-8
- Zhuang S Q. Logic of spatial planning in the new era[J]. *China Land*, 2019(1): 4-8 (in Chinese)
- [16] 薛冰洁. 珠三角公路运输网络规模的合理性和发展规律研究[D]. 西安: 长安大学, 2011
- Xue B J. The network reasonable scale and the rule of development of The PRD road transport network[D]. Xi'an: Chang'an University, 2011 (in Chinese)
- [17] 中华人民共和国发展和改革委员会. 长江中游城市群发展规划 [EB/OL] (2015-04-13) [2019-04-30]. <http://zfxgk.ndrc.gov.cn/web/iteminfo.jsp?id=311>
- Development and Reform Commission of the People's Republic of China. Planning for the development of urban agglomerations in the Middle Reaches of the Yangtze River [EB/OL] (2015-04-13) [2019-04-30]. <http://zfxgk.ndrc.gov.cn/web/iteminfo.jsp?id=311> (in Chinese)
- [18] 陈保仓. 区域公路网合理发展规模研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2011
- Chen B C. The research on forecasting reasonable development scale of highway network[D]. Changsha: Changsha University of Science & Technology, 2011 (in Chinese)
- [19] 鲁春阳, 文枫, 杨庆媛, 张鹏飞. 地级以上城市土地利用结构特征及影响因素差异分析[J]. *地理科学*, 2011, 31(5): 600-607
- Lu C Y, Wen F, Yang Q Y, Zhang P F. Characteristics and driving factors of urban land use structure of cities at provincial level and above[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2011, 31(5): 600-607 (in Chinese)
- [20] 胡一琦, 金晓斌, 周寅康. 基于系统动力学的高速公路用地影响因素分析: 以江苏省为例[J]. *现代城市研究*, 2014(6): 83-88
- Hu Y Q, Jin X B, Zhou Y K. Analysis about influencing factors of Highway land occupation based on system dynamics: A case study of Jiangsu Province[J]. *Land and Real Estate*, 2014(6): 83-88 (in Chinese)
- [21] 刘思峰. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2010
- Liu S F. *Grey System Theory and its Application* [M]. Beijing: Science Press, 2010 (in Chinese)
- [22] 张建勇, 高冉, 胡骏, 郑扬. 灰色关联度和 Pearson 相关系数的应用比较[J]. *赤峰学院学报: 自然科学版*, 2014, 30(21): 1-2
- Zhang J Y, Gao R, Hu J, Zheng Y. Application comparison of grey correlation degree and Pearson correlation coefficient[J]. *Journal of Chifeng University: Natural Science Edition*, 2014, 30(21): 1-2 (in Chinese)
- [23] 朱大奇. 人工神经网络研究现状及其展望[J]. *江南大学学报*, 2004(1): 103-110
- Zhu D Q. The research progress and prospects of artificial neural networks[J]. *Journal of Southern Yangtze University: Natural Science Edition*, 2004(1): 103-110 (in Chinese)
- [24] 中共中央国务院. 关于建立更加有效的区域协调发展新机制的意见 [EB/OL] (2018-11-18) [2019-04-30]. http://www.gov.cn/zhengce/2018-11/29/content_5344537.htm
- The State Council of the Central Committee of the Communist Party of China. Opinions on Establishing a More Effective New Mechanism for Regional Harmonious Development [EB/OL] (2018-11-18) [2019-04-30]. http://www.gov.cn/zhengce/2018-11/29/content_5344537.htm (in Chinese)
- [25] 王青, 金春. 中国城市群经济发展水平不平衡的定量测度[J]. *数量经济技术经济研究*, 2018, 35(11): 77-94
- Wang Q, Jin C. Quantitative measurement of unbalanced economic development level of urban agglomerations in China [J]. *Quantitative Economic, Technological and Economic Research*, 2018, 35(11): 77-94 (in Chinese)