

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

李京涛,周生路*,吴绍华

(南京大学地理与海洋科学学院,江苏 南京 210046)

摘 要: 城市的扩张与道路交通的发展是相辅相成的。道路建设造成了城市景观的破碎化,使城市景观呈现不同的空间格局和空间异质性特征,并且这种空间异质性随着时间的变化而发生改变。在 RS 和 GIS 技术的支持下,利用 1989、1999 和 2008 年的 Landsat TM/ETM+ 数据,以南京市为例对道路交通网络与城市土地利用之间关系进行了不同层次和尺度的空间分析。结果表明:1989~2008 年近 20 a 来,南京市城市空间形态扩展迅速,建设用地面积从 1989 年的 100.3 km² 增加到 2008 年的 684.7 km²;在不同时期,南京市城市化过程表现出不同的道路交通网络结构和城市空间扩展模式;由道路交通建设造成的局部区域的景观破碎度在一定程度上能够反映周边区域的土地利用强度;土地利用强度和由道路交通建设造成的景观破碎度均表现出显著的空间自相关性,随时间推移,这种特征愈加明显,并且二者在表征城市空间拓展方面具有较高的耦合度;受其他辐射中心的作用,交通干线周边地区土地利用强度并未表现出距离指数衰减效应。

关键词: 道路交通网络;城市土地利用;空间分析;时空耦合异质性;南京市

中图分类号: K901 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-8227(2014)01-0018-08

DOI: 10.11870/cjlyzyyhj201401003

土地利用/覆被与景观本质上是同一事物的不同侧面,城市景观类型的转换和空间格局的改变都是伴随着土地利用/覆被变化发生的^[1]。在城市化过程中,城市景观的变化既表现为城市空间的扩展和形态的变化,同时也表现为城市土地利用类型的改变和土地利用强度的提高。城市是典型的人工景观,也包括基质、斑块、廊道三大要素^[2]。其中,城市廊道既是物质流、能量流的通道,又是分割景观造成城市景观破碎的原因和前提,并决定了城市景观的格网化空间格局^[1]。道路交通网络作为城市景观中的人工廊道,是城市发展的骨架,是城市空间扩展的主要内在适应性因素^[3]。

中国正处在城市化快速发展的时期,道路交通等基础设施不断完善和扩展,因此道路交通网络与城市化过程中的土地利用关系研究也引起了很多中国学者的关注。该领域的研究主要分为两个方面:一是将道路交通网络作为一个独立影响因子来衡量和测度城市土地利用^[4,5],二是纯粹研究二者之间

的关系。大部分学者主要定性描述交通系统对城市空间形态的影响^[6~9],而定量研究却将整个研究区的交通网络视为均质整体并指标化,忽视了城市景观的尺度效应和时空异质性^[10,11]。为此,本文以南京市的主要中心城镇为研究对象,运用空间分析方法,从多尺度研究道路交通网络与城市土地利用在不同城市发展时期下的空间结构关系。

1 研究区概况、数据来源及处理

研究区包括南京市的市区、浦口区、栖霞区、江宁区六合区,土地总面积约 4 700 km²。研究区南北长、东西窄,成正南北向。南部主要为低山、岗地、河谷平原、滨湖平原和沿江河地等,地貌区域为宁镇扬丘陵的一部分,低山丘陵占全市总面积的 65%。一直以来,作为南京市中心,鼓楼区北接下关区,东邻玄武区,西南依秦淮河与建邺区相邻,是南京市的交通枢纽。根据南京市 3 个阶段城市总体规

收稿日期:2012-10-10;修回日期:2013-02-19

基金项目:江苏省国土科技项目“跨江通道建设对滨江城区土地利用影响研究(2009012)”资助。

作者简介:李京涛(1987~),男,硕士研究生,主要研究方向为土壤与土地利用。E-mail:kingtor007@163.com

* 通讯作者 E-mail:zhouisl@nju.edu.cn

划(1991~2000年、2000~2010年和2007~2030年),南京市首先重点发展河西新城区和仙林、东山、浦口3个新市区,使其分别成为城镇空间扩展向南、向东、跨江发展的3个增长极(南京市城市总体规划(1991~2000));规划大厂、板桥、龙潭等7个新城区,栖霞、汤山等4个重点镇,形成“主城区-新市区-新城区-重点镇”的城市空间发展格局(南京市城市总体规划(2001~2010));在前期规划基础上,南京

市城市总体规划(2007~2030)又制定了“中心城-新城-新市镇”的市域城镇空间结构,着重建设外围重点乡镇。因此,本文选择1989、1999和2008年3个年份将南京市近20a来的发展大致划分为3个阶段,即1989~1999年、1999~2008年和2008年至今,并且这3个年份基本上处于不同阶段城市总体规划的初期或末期,在研究城市不同发展时期空间结构时具有一定的代表性。

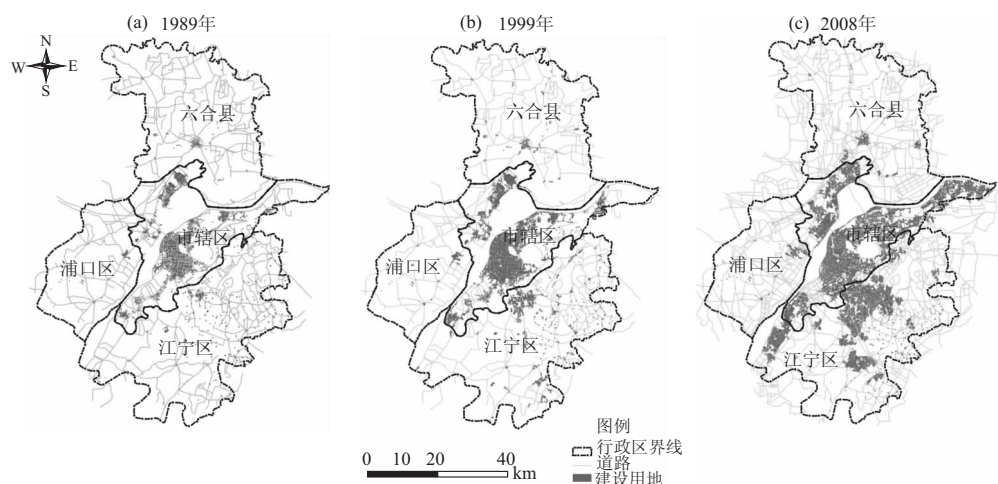


图1 1989、1999和2008年南京建设用地与道路交通示意图

Fig.1 Built Areas and Roads of Nanjing City in 1989,1999 and 2008

本文数据主要来源于1989年、1999年和2008年的Landsat TM/ETM+的遥感影像,并对其进行几何纠正。运用监督分类方法,分别解译出上述年份的建设用地区域,并勾绘出建设用地区域的外围轮廓;采用可调滤波器算法^[12]提取道路信息,并利用南京市多年来的交通地图对其进行修正。

2 研究方法

道路交通是城市景观的廊道,城市用地则是城市景观的斑块,城市景观存在普遍的空间异质性。本文从宏观-局部-典型的角度对城市景观中的廊道和斑块关系进行分析。城市的空间形态和道路交通的网络结构是城市景观在较大尺度上的体现,本文分别选择城市空间形态的边界分维和紧凑度来表征城市的空间形态,交通网络的半径长度分维反映道路交通网络的空间结构;使用局部空间自相关性指数揭示土地利用强度与城市景观破碎度之间的空间依赖关系;最后,根据景观廊道效益梯度指数递减效应理论,分析典型交通干线的效益梯度。

2.1 空间形态

(1)城市空间形态的边界分维。边界分维的大

小表征了城市外围轮廓线的曲折复杂程度,边界维越大,城市边界线的非线性越强,城市形态越复杂。本文采用格网计数法进行边界分维的估值^[13],其公式如下:

$$\ln N(r_i) = C + D \ln \sqrt{M(r_i)} \quad (1)$$

式中: C 为待定常数; D 为城市空间形态的边界分维; $N(r_i)$ 和 $M(r_i)$ 分别为边长为 r_i 的正方形格网覆盖城市化区域边界和覆盖城市化区域的格网数。

(2)城市空间形态的紧凑度。紧凑城市是针对城市蔓延而提出的一种精明增长理念^[14]。城市外围轮廓形态的变化是城市空间扩展的结果,其紧凑度是衡量一个城市土地利用效率、土地利用集约程度的重要指标^[15]。紧凑度值越大,其形状越紧凑,说明城市用地越集中;反之,形状的紧凑性越差,城市具有向外扩张的趋势。紧凑度的计算公式如下:

$$c = 2\sqrt{\pi A} / P \quad (2)$$

式中: c 为城市空间形态的紧凑度; A 为城市建成区面积; P 为城市建成区外围轮廓周长。

(3)交通网络的半径长度分维 D_L 。半径长度

维数 D_L 反映了区域交通网络分布密度由测算中心(一般是交通枢纽)向周边区域的演化情况, D_L 值越高, 表明网络密度与复杂度由测算中心向周边下降得越慢乃至上升。交通网络的分形特性是大城市空间形态分形的共性表现, 可以用交通网络的分形特征描述城市的形态^[16]。 D_L 的计算方法如下: 以交通枢纽或交通枢纽城市为圆心, 取适当的半径 r , 计算每个半径范围内即 πr^2 面积中的交通网络总长度 $L(r)$ 。改变 r , 可得不同的 $L(r)$, 将坐标 $(r, L(r))$ 标绘在双对数坐标图上, 如果这些点呈对数线性分布, 或者曲线上存在无标度区, 则交通网络的密度分布是分形的, 直线的斜率便是其半径长度分维^[17]。

2.2 城市景观破碎化

道路修建一般会造成景观的破碎化^[18], 这种现象在城市化程度较高的地区尤其明显。以往方法在计算景观破碎度(本文的景观破碎度均指由道路交通网络分割所造成的城市景观破碎化程度)时, 一般只考虑景观中面状要素的数量或线状要素的长度, 而忽视了景观要素内部的结构关系^[19]; 此外, 以往方法会将研究区边界作为造成景观破碎化的线状要素, 从而人为地加剧破碎程度^[20]。为解决或避免以上问题, 本文采用改进的有效格网尺寸(Effective Mesh Size of Cross-Boundary Connection, 简称 M_{eff}^{CBC})方法^[18]计算由交通网络造成的城市景观破碎度, 该方法的数学公式如下:

$$M_{eff}^{CBC}(j) = \frac{1}{A_{ij}} \sum_{i=1}^n A_{ij} A_{ij}^{cmpl} \quad (3)$$

式中: $M_{eff}^{CBC}(j)$ 为格网 j 的破碎化指数值(以下简称为 M_{eff}); n 为与格网 j 相交的斑块数; A_{ij} 为格网 j 的总面积; A_{ij} 为与格网 j 相交的第 i 个斑块位于格网 j 内部部分的面积; A_{ij}^{cmpl} 为与格网 j 相交的第 i 个斑块的总面积, 既包括位于格网 j 边界内的部分面积(A_{ij}), 又包括位于格网 j 边界外的部分面积(如图 2)。 M_{eff} 越小, 表示道路交通网络越密集, 城市景观破碎化程度越高; 反之, 景观破碎化程度越低。

2.3 空间自相关

Moran's I 指数用于反映整个研究区域的空间模式, 即用单个值来表征研究区域内空间邻接或邻近的单元属性值的相似程度; 局部指标计算每一个空间单元与邻近单元就某一属性的相关程度, 体现了研究区域的空间异质性特征。其公式分别为:

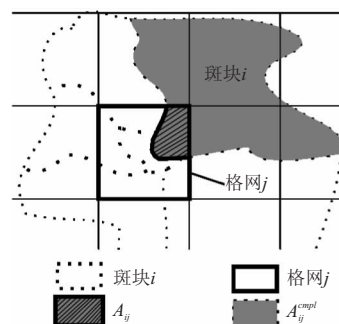


图 2 跨边界有效格网尺寸法(M_{eff}^{CBC})的解释

Fig.2 Interpretation of the M_{eff}^{CBC} Method

$$I = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \times \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2};$$

$$I_i = z_i \sum_j W_{ij} z_j \quad (4)$$

式中: x_i 和 x_j 分别表示相邻格网的属性值; \bar{x} 为平均值; n 为格网总数; W_{ij} 为空间邻接权重矩阵; I_i 为格网 i 的 LISA 指数; z_i 、 z_j 分别是格网 i 对于均值和标准差的标准化变量; W_{ij} 为邻接权重矩阵; $z_i = (x_i - \bar{x})/\delta$, 其中 δ 为 x_i 的标准差。

2.4 典型交通干线的效益梯度分析

宗跃光^[21]提出景观廊道存在效益梯度指数递减效应。根据该理论, 作为城市廊道的交通干线也存在这种效应, 表现为交通干线周边地区的城市土地利用强度 T 随着与交通干线距离 R 的增大而递减, 因而可以用下式表示:

$$T(R) = \alpha e^{-\beta R} \quad (5)$$

式中: $T(R)$ 表示与交通干线距离为 R 的小区域的土地利用强度; α 、 β 为大于零的常数, 其中 β 为衰减率。显然, 城市化区域面积 A 与距离 R 存在以下关系:

$$A = \int_0^R LT(x) dx = -\frac{\alpha}{\beta} (e^{-\beta R} - 1) = -pe^{-\beta R} + q \quad (6)$$

式中: A 为距交通干线 R 的一侧范围内城市化区域面积; L 为交通干线长度; p 、 q 为大于零的常数, α 、 β 含义同(5)式。因此, 根据廊道效应指数衰减理论, 城市化面积 A 同 R 之间也应存在指数关系。对(6)式求导得:

$$k = \alpha \beta e^{-\beta R} = \beta T(R) \quad (7)$$

式中: k 为城市化区域面积 A 对距离 R 的变化率。可见随着 R 的增大, A 减小得越慢。

3 结果分析

3.1 空间形态分析

1989~2008 年,南京市空间形态扩展迅速。1989~1999 年建设用地总面积由 100.3 km² 增至 161.4 km²,年均增长率为 4.87%;1999~2008 年建设用地总面积由 161.4 km² 增至 684.7 km²,年增长率达 15.5%。城市空间形态的紧凑度与交通网络分形维数先下降后上升,而城市空间形态边界分维数呈相反的变化趋势(图 3)。这说明 1989~1999 年南京城市空间扩展处于较为无序的阶段,城市空间的无序扩展导致城市外围边界破碎,空间形态不规则;虽然道路网络向城市空间扩展的方向延伸和发展,但新扩展地区的道路网络相对于旧道路网络并不完善。1999~2008 年南京城市空间扩展表现出城市外围轮廓更加规整和边界复杂性减小的特征,这可能由于在城市总体规划和土地利用总体规划的控制和扩展边界的约束下,南京市更加注重城市土地的集约和紧凑利用;道路网络在城镇化过程中不断完善,尤其是新扩展地区道路网络更加成熟,其密度和通达性都得到提高。

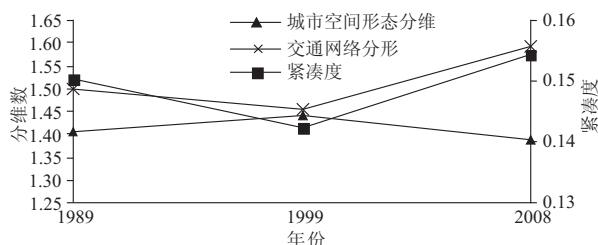


图 3 城市空间形态、交通网络分维及城市空间形态紧凑度

Fig.3 Fractal Dimension of City Spatial Form and

Transportation Network, Compactness of City Spatial Form

3.2 城市景观破碎度与城市土地利用强度关系

3.2.1 散点图统计分析

以 2 km×2 km 网格分割研究区,共得到 1 301 个有效网格。由图 4 可知,1989 年有 134 个网格内包含建设用地,1999 年增加至 214 个,而到 2008 年则增至 631 个;计算每个网格的土地利用强度 T ,其公式为 $T_i = S_i / A_i$,其中 T_i 为网格 i 的城市土地利用强度, S_i 为网格 i 内建设用地面积, A_i 为网格 i 的面积。土地利用强度平均值 Mean 呈不断增大趋势(图 4),表明近 20 年来南京市城市化程度越来越高。选择 $T = 0.2$ 和 $T = 0.6$ 作为低、中和高土地

利用强度的分界点,发现低土地利用强度的网格比例呈减少趋势,特别是 1999~2008 年减幅较大;中土地利用强度的网格比例先小幅下降后较大幅度上升,而高土地利用强度的网格比例呈增加趋势(图 5)。这说明 1989~1999 年南京城市扩展比较缓慢,存在较大比例的低土地利用强度的区域,城市土地利用不够集约和紧凑;1999~2008 年南京城市扩展速度加快,在外延式扩展的同时提高已建成区的土地利用强度,城市内部空隙得到充分利用。

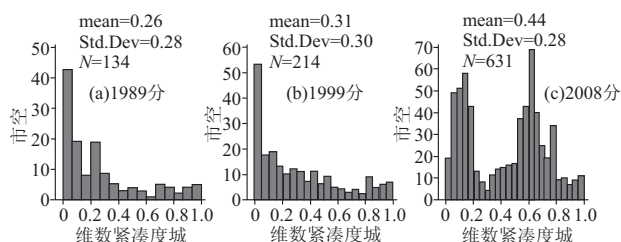


图 4 1989 年、1999 年和 2008 年土地利用强度频数直方图

Fig.4 Frequency Histogram of Urbanization Intensity

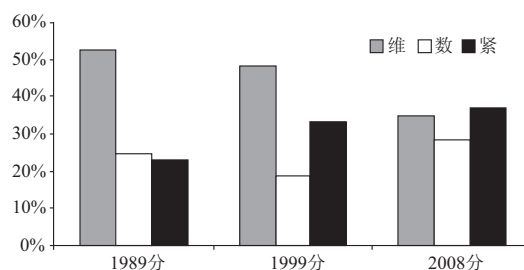


图 5 高、中、低城市土地利用强度网格比例

Fig.5 Proportion of Mesh for High, Moderate and Low Urbanization Intensity

在 ArcGIS Desktop 的组件式二次开发平台 Arcobjects 基础上,利用集成于 ArcMap 中 VBA 编程语言计算得到每个网格的 M_{eff} 。分别对 3 a 的 M_{eff} 进行最大-最小值标准化处理,建立标准化处理后的 M_{eff} 与土地利用强度 T_i (以下简称 T) 之间的散点图(图 6)。二维数据离散度 D 可以反映散点图中散点的集中程度,其公式为 $D = \frac{1}{2n(n-1)} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$,其中 D 为二维离散度, n 为散点个数, x_i 和 y_i 分别为散点 i 的横、纵坐标。离散度 D 越小表示散点分布越集中;反之,散点分布越分散。计算结果显示 $D_{1989} = 0.206$, $D_{1999} = 0.196$, $D_{2008} = 0.188$,说明 1989~2008 年散点图中散点分布趋于集中。1989 年散点主要集中在 $M_{eff} \in (0, 0.2)$ 且 $T \in (0, 0.3)$ 的区域,并且分布较为均匀(图 6(a));1999 年散点主要分布在 $M_{eff} \in$

(0,0.1)且 $T \in (0,0.5)$ 的区域(图 6(b));2008 年散点主要分布在 $M_{eff} \in (0,0.15)$ 且 $T \in (0.4,0.8)$ 的区域(图 6(c))。即随着 M_{eff} 减小,散点的分布趋于

T 增大的方向。因此由交通网络造成的景观破碎化指数 M_{eff} 在一定程度上能够指示城市土地利用强度。

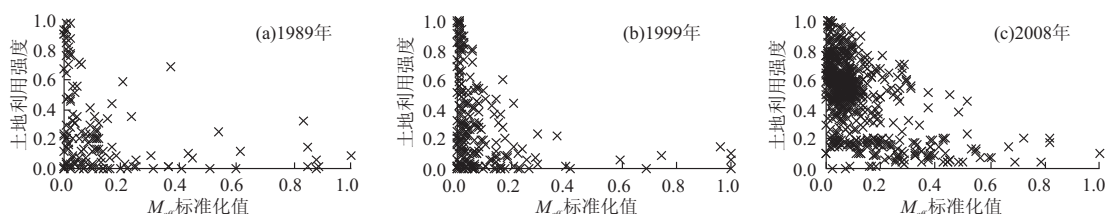


图 6 1989、1999 和 2008 年 M_{eff} 与 T 的散点图
Fig.6 Scatter Diagrams of M_{eff} and T in 1989,1999 and 2008

3.2.2 空间自相关分析

在 2 km 的粒度水平上,计算 M_{eff} 和 T 的 Moran's I 指数和局部空间自相关指数 LISA。结果显示 3 a 的 I 值均大于 0(图 7),土地利用强度和城市景观破碎化程度在所研究的尺度上均表现出显著的空间相关性特征,且随着时间增加,这种特征愈加明显。1989~1999 年 T 和 M_{eff} 的 I 值增幅均较小,说明相邻格网之间的相似性变化不大;同时, M_{eff} 的 I 值增幅要较 T 的大,表明道路交通网络相对于城市空间的超前发展。1999~2008 年 M_{eff} 的 I 值增幅减小,而 T 的 I 值增幅远远超过前者,这说明南京市交通网络结构已发展到较为成熟的阶段,局部地区的道路交通建设对于整个地区交通结构的影响并不明显;这个时期城市化过程主要表现为不断填充交通网络间的空隙,城市土地利用强度和紧凑度不断提高,导致格网间的土地利用强度越来越接近。

图 7 为局部空间自相关指数 LISA 的“高-高”(“低-低”)值集聚图。分别将上述 3 个年份的

T 和 M_{eff} 的“高-高”(“低-低”)值集聚图叠加在一起,统计重叠部分的格网数量及其比例(表 1)。重叠的格网表示土地利用强度和景观破碎度均较高区域,这些区域表现出空间集聚的特征(图 8)。1989~

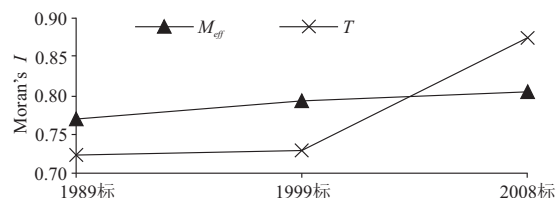


图 7 1989、1999 和 2008 年 M_{eff} 和 T 的全局自相关指数 I
Fig.7 Moran's I of M_{eff} and T in 1989,1999 and 2008

表 1 T 和 M_{eff} 局部空间自相关“高-高”(“低-低”)值重叠的格网数量及其占各自总数的比例

Tab.1 Numbers of Overlapping Meshes and Its Proportion for M_{eff} and T in 1989,1999 and 2008

	1989 年		1999 年		2008 年	
	格网数	格网比例	格网数	格网比例	格网数	格网比例
M_{eff}	71	91.03%	107	88.43%	160	91.95%
T		94.67%		94.69%		94.12%

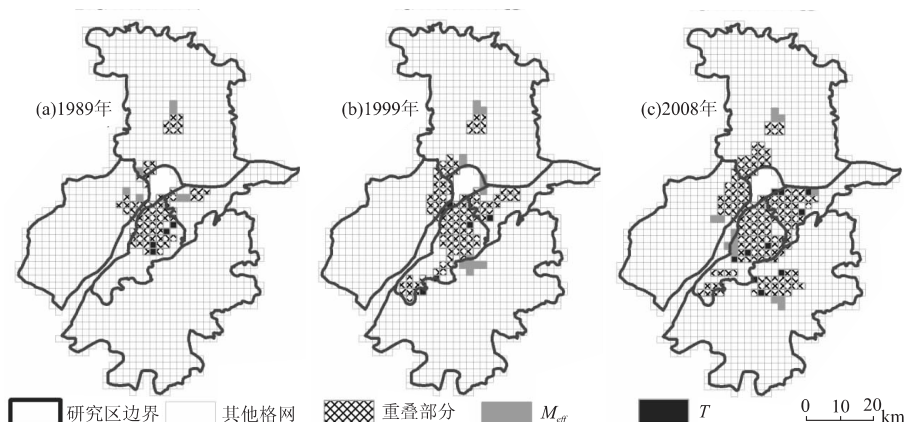


图 8 M_{eff} 和 T 的局部空间自相关“高-高”(“低-低”)值集聚图

Fig.8 Cluster Maps of High-high or Low-low Values of M_{eff} and T in 1989,1999 and 2008

1999 年,重叠部分向主城区西南部延伸;1999~2008 年,重叠部分主要向主城区东北部和南部发展,与这些地方相继兴建一系列的大学城和机场等基础设施项目,由此带动了周边的土地开发和利用的事实相符。由表 1,重叠部分的栅格占各自总数的比例均在 88% 以上,说明 M_{eff} 和 T 在表征城市土地利用或城市空间扩展方面具有较高的耦合度。

3.3 道路交通干线与城市土地利用强度关系

考虑到时间的连续性,本文以南京长江大桥为研究对象,分析交通干线与其周边的地区土地利用的关系。对南京长江大桥延线分别进行 0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0、3.5、4.0、4.5 和 5.0 km 的缓冲处理,利用 ArcGIS 的空间叠置分析功能,计算各缓冲区内城市化区域面积。城市化区域面积 A 与缓冲距离 R 之间存在显著的线性关系,且斜率 k 随时间不断增大(图 9),说明南京长江大桥延线周边地区的土地利用强度越来越高;但与(7)式得出的随 R 的增大而 A 的斜率逐渐变小的推论并不相符。

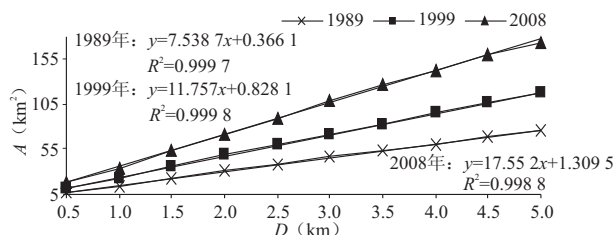


图 9 城市化区域面积 A 与缓冲距离 R 之间的线性关系(长江大桥沿线)

Fig.9 Linear Relation of Urbanization Area A and Buffer Distance R in 1989, 1999 and 2008

为了进一步探讨造成这种结果的原因,另外选择了江北浦口新城宁六路(G328 国道)作为研究对象,采用与南京长江大桥进行相同的处理方法,得到城市化区域面积 A 与缓冲距离 R 之间的关系,如图 10 所示。利用 MATLAB 软件分别对其进行非线性拟合,结果如表 2 所示。

由表 2 可知,3 个年份的城市化区域面积 A 与缓冲距离 R 之间存在较为显著的指数递减关系,说明在城市化程度较低的新建成区内的道路交通存在明显的指数递减效应,即随着与道路交通距离的增加,土地利用强度呈下降趋势,并且下降趋势逐渐减缓。

因此,城市化程度存在较大差异的地区,道路交通对土地利用的增强效应并不完全相同。城市化程度较低的地区,廊道的指数递减效应仍然成立,土地利用强度随着与道路交通距离的增加而逐渐下降;

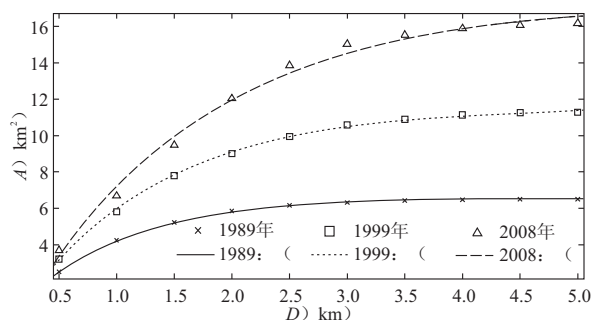


图 10 城市化区域面积 A 与缓冲距离 R 之间的线性关系(浦口新城宁六路沿线)

Fig.10 Linear Relation of Urbanization Area A and Buffer Distance R in 1989, 1999 and 2008

表 2 城市化区域面积 A 与缓冲距离 R 之间的关系
(浦口新城宁六路沿线)

Tab.2 Relation of Urbanization Area A and Buffer Distance R of Ningliu Road in 1989, 1999 and 2008

年份	拟合函数	p	B	q	r^2	SSE
1989*	$A = -pe^{-\beta R} + q$	7.16	1.13	6.55	0.971	1.254
1999*		12.63	0.80	11.63	0.979	0.053
2008*		19.37	0.65	17.32	0.983	0.006

注: * 表示拟合置信度为 0.95。

在城市化程度较高的地区,由于城市土地开发已经较为成熟,道路交通沿线较大范围内的土地均已经得到充分利用或未利用土地很少,城市土地的集约利用程度也较高,道路交通已不再是影响城市土地利用的最大因素,对城市土地利用的向心力降低,城市土地利用强度并不会随着远离道路交通而呈下降趋势。

4 结论与讨论

(1)1989~2008 年近 20 年来,南京经历了一个城市化快速发展的时期,建设用地总面积由 100.3 km² 增加到 684.7 km²;道路交通网络日益成熟和完善,城市空间形态趋于简单和紧凑,城市土地利用更加集约。在不同的时期,南京的城市化表现出不同的道路交通网络结构和城市空间扩展模式。1989~1999 年,南京市城市扩展呈现无序态势,城市外围边界比较破碎,形态并不规则;道路交通相对于城市扩展的速度相对滞后,导致新扩展地区的交通网络并不完善。1999~2008 年,南京市城市注重了合理规划和集约利用,城市外围边界愈加规整,边界复杂性减小;道路交通网络随着城市的建设而日益完善,形态结构也日趋合理。

(2) 道路交通与城市土地利用具有以下关系:

① 道路交通建设与城市空间扩展之间联系紧密,“交通先行”是城市扩展的前提。

② 由道路网络造成的局部区域的景观破碎度在一定程度上能够反映周边区域的城市土地利用状况,二者在所研究的尺度上均表现出显著的空间自相关特征,这种特征随时间的推移而愈加明显;同时二者在表征城市空间扩展上具有较高的契合度。

③ 由于受其他辐射中心的作用,道路交通干线对城市土地利用的影响并非随距离的增加而递减,城市土地利用受交通与其他多种因素的共同影响。

(3) 时间异质性和空间异质性是两个不可分割的概念。在不同的时期以及不同的空间尺度下,城市土地利用和道路网络的发展往往表现出不同的趋势或形态,因此在研究中考考虑时空耦合异质性是很有必要的。

参考文献:

- [1] 宋治清,王仰麟.城市景观及其格局的生态效应研究进展[J].地理科学进展,2004,23(2):97-106.
- [2] 李团胜,肖笃宁.沈阳市城市景观结构分析[J].地理科学,2002,22(6):717-723.
- [3] 何春阳,史培军,陈晋,等.北京地区城市化过程与机制研究[J].地理学报,2002,57(3):363-371.
- [4] 蒋芳,刘盛和,袁弘.北京城市蔓延的测度和分析[J].地理学报,2007,62(6):649-658.
- [5] 吴宏安,蒋建军,周杰,等.西安城市扩展及其驱动力分析[J].地理学报,2005,60(1):143-150.
- [6] 王立,邓梦.道路交通对城市空间形态的影响[J].城市问题,2003(1):25-28.
- [7] 王成新,梅青,姚士谋,等.交通模式对城市空间形态影响的实证分析[J].地理与地理信息科学,2004,20(3):74-77.
- [8] 李文翎.交通依附的广州城市空间演变[J].地域研究与开发,2007,26(4):16-20.
- [9] 毛蒋兴,闫小培.广州市交通系统与空间格局互动影响研究[J].地理与地理信息科学,2004,20(6):76-80.
- [10] 张宁.城市规模与城市交通发展的系统分析法[J].系统工程理论与实践,2005,25(8):136-139.
- [11] 沈体雁,冯等田,李讯,等.北京地区交通对城市空间扩展的影响研究[J].城市发展研究,2008,14(6):29-32.
- [12] 张荣,王勇,杨榕.TM 图像中道路目标识别方法的研究[J].遥感学报,2005,9(2):220-224.
- [13] LONGLEY P A, BATTY M. Fractal measurement and line generalization[J]. Computers & Geosciences, 1989, 15 (2): 167-183.
- [14] 陈明星,叶超,付承伟.国外城市蔓延研究进展[J].城市问题,2008(4):81-86.
- [15] 刘纪远,王新生,庄大方,等.凸壳原理用于城市用地空间扩展类型识别[J].地理学报,2003,58(6):885-892.
- [16] 黄佩蓓,刘妙龙.基于 GIS 的城市交通网络分形特征研究[J].同济大学学报,2002,30(11):1370-1374.
- [17] 刘继生,陈彦光.交通网络空间结构的分形维数及其测算方法探讨[J].地理学报,1999,54(05):471-478.
- [18] 李双成,许月卿,周巧富,等.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,2004,23(5):78-84.
- [19] JAEGER J A G. Landscape division, splitting index, and effective mesh size: New measures of landscape fragmentation[J]. Landscape Ecology, 2000, 15(2): 115-130.
- [20] MOSER B, JAEGER J A G, TAPPEINER U, et al. Modification of the effective mesh size for measuring landscape fragmentation to solve the boundary problem[J]. Landscape Ecology, 2007, 22(3): 447-459.
- [21] 宗跃光.廊道效应与城市景观结构[J].城市环境与城市生态, 1996, 9(3): 21-25.

RELATIONSHIP BETWEEN TRAFFIC NETWORK AND URBAN LAND USE IN NANJING WITH LANDSAT TM/ETM+ IMAGES

LI Jing-tao, ZHOU Sheng-lu, WU Shao-hua

(School of Geographic and Oceanographic Science of Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: China has been undergoing rapid urbanization in the past two decades. As the same time, drastic changes that highway length and density increased by several times has taken place in the road traffic. The development of road traffic plays a facilitative role in urbanization while urbanization will promote transportation construction in turn. However, road development also brings a series of problems such as landscape fragmentation. Landscape fragmentation caused by road construction is a phenomenon that roads divide the lands into isolated parcels. Generally, landscape fragmentation caused by road building will be aggravated with urban expansion. Therefore, it is important to understand the relationship between road traffic and urbanization. Based on RS and GIS technology, Landsat TM/ETM+ data were used to carry out multi-level spatial statistical analysis from 1989 to 2008 in Nanjing. The results showed that, the structures and spatial forms of traffic network and urban areas varied in different periods. From 1989 to 1999, a disordered construction took place as a result of rapid urban development. The boundaries of urban space became complex while fractal dimension of traffic network declined. On the other hand, from 1999 to 2008, subject to the increasingly stringent city planning, boundaries of urban space tended to be compact and regular, as well as structures of traffic network grew mature and stable. To some extent, fragmentation due to the road construction can reflect the intensity of urbanization. Degree of fragmentation and urbanization intensity showed significant spatial dependence, and this phenomenon appeared to be more obvious with time. Besides, as they both represented spatial expansion of the city, they showed a strong resemblance. In the area with a high degree of urbanization, the influences of artery traffic on the urban land use did not show the trend that power of influence diminishes with distance decreasing. Conversely, the urban land use intensity did not appear to be different with each other. Only in the new built areas such as New District of Pukou, the influences of artery traffic on the urban land use come to a character of power of influence diminishes with distance decreasing. Therefore, the relationship between road traffic and city land use showed a different character in the areas of different degree of urbanization. In addition, in view of different trend and pattern shown in different period, temporal heterogeneity is also required to be taken account in the research. The structure and pattern of transportation network, with which a city develops and expands as the framework, influence the spatial form and internal composition of the city. And it is so important to the sustainable development of a city that transportation construction planning should be carried out scientifically and reasonably.

Key words: traffic network; urban land use; spatial analysis; space-time coupling heterogeneity; Nanjing