

基于 GIS 的河南省公路交通网络分形空间特征研究

李亚婷^{a,b}, 潘少奇^b, 苗长虹^a

(河南大学 a. 黄河文明与可持续发展研究中心; b. 环境与规划学院, 河南 开封 475001)

摘要: 以分形理论为基础,借助 GIS 技术,分别测算了河南省全域公路交通网络的长度-半径维数、分枝维数以及其所辖 18 个省辖市各等级公路的相似维数及权值。研究表明:河南省公路交通网络具有分形特征,长度-半径维数与分枝维数存在一定差异;各地市权值存在较大差异,表明河南省公路交通网络分布不均衡,差异较大,中原城市群和江淮的部分地区公路交通较好,而豫北、豫西、豫西南及豫东南部分地区交通覆盖度较差。为进一步探讨各地市公路建设规模和经济发展之间的协调关系,通过公路规模与经济产出的分形模型测算出 18 个省辖市的分维值,发现郑州等 10 个城市经济发展超前于公路规模、开封等 3 个城市基本一致、平顶山等 5 个城市经济发展滞后于公路建设规模。

关键词: 长度-半径维数;分枝维数;分形;河南省
中图分类号: K902 **文献标志码:** A

文章编号: 1003-2363(2012)06-0148-06

0 引言

分形理论作为描述复杂、非线性空间形态的有力工具,已被广泛应用于自然科学和社会科学的几乎所有领域,如海岸线地貌^[1]、土地利用^[2]、城市形态^[3]、人口分布^[4]等。公路交通网络是城镇体系形成和演化的支持系统,是城市之间物质流、能量流和信息流的主要通道,城镇体系与公路交通网络密不可分。在以往的公路网评价中,人们通常用 α 指数、 β 指数、回路数 k 、 γ 指数等来表征公路网络的分布特征,这些指标能够在一定程度上反映网络的连通性、可靠性及复杂程度,易于进行不同地区间的横向比较,但对于路网的空间形态分布特征则未能进行准确的描述。相关学者^[5-13]的研究表明:区域公路交通网络布局具有明显的自相似特征,基于分形理论的路网覆盖评价指标对于路网规划的合理性评价具有重要的意义。

近年来,河南省公路建设取得了快速发展。高速公路的发展尤为迅速,通车里程连续五年全国第一。河南省基本形成了一个以高速公路为主骨架,以国道、省道干线公路为依托,以县乡公路为支脉的中原大路网^[14](图 1)。2011 年 9 月 29 日国务院下发了《关于支持河南省加快建设中原经济区的指导意见》,明确提出了以河南为主体的中原经济区的重要战略定位:“全国区域协调发展的战略支点和重要的现代综合交通枢纽”。

本研究借助于 ArcGIS 软件,结合分形测度指标,对河南省及其各省辖市的公路交通网络的分形特征及其与经济发展的关系进行测算,揭示其整体与局部的分形特征,以期河南省交通发展战略制定提供有力支撑。

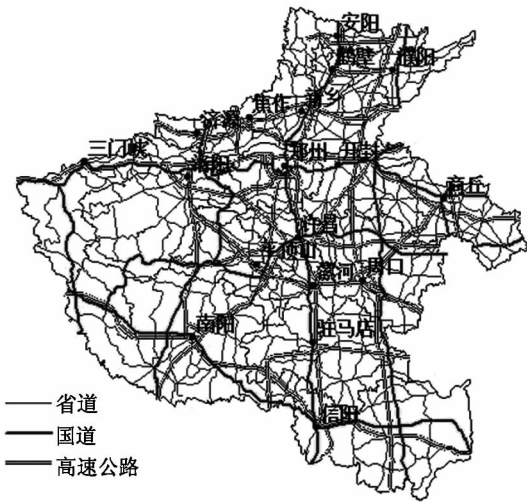


图 1 河南省公路网络
Fig. 1 The highway network of Henan Province

1 研究方法

1.1 长度-半径维数

设长度为 L , 面积为 S , 体积为 V , 则有:

$$L^{1/1} \propto S^{1/2} \propto V^{1/3} \quad (1)$$

若测度的量为 M , 上式即可广义化形式为:

$$L^{1/1} \propto S^{1/2} \propto V^{1/3} \propto M^{1/D} \quad (2)$$

如果一个面积为 S 的区域内的交通网络具有分形特征,则根据式(2),交通网络的总长 $L(S)$ 与区域面积之间应有以下关系:

$$L(S)^{1/D} \propto S^{1/2} \quad (3)$$

收稿日期: 2012-09-02; 修回日期: 2012-09-15
基金项目: 国家自然科学基金青年项目(41001359); 教育部人文社科青年基金项目(12YJC790280); 河南省政府决策研究招标课题(2012B122); 河南省政府决策研究招标课题(2012B149)
作者简介: 李亚婷(1981-),女,河南周口市人,讲师,博士研究生,主要从事地理信息系统应用研究, (E-mail) ytli81@ yahoo.com.cn。

当区域取圆形时,因 $S \propto r^2$,式(3)可化为:

$$L(r) = L_1 r^{D_L} \quad (4)$$

式中: r 为回转半径; $L(r)$ 指半径为 r 的区域范围内的网络总长度; L_1 为常系数; 幂指数 D_L 即为分维, 即长度 - 半径维数。

长度 - 半径维数反映了区域交通网络的分布密度由测算中心(一般是交通枢纽)向周边地区变化的动态特征^[8], D_L 值越高, 表明网络密度由测算中心向周边地区下降的速度越慢。对(4)式求导变换, 可得交通网络密度的空间衰减表达式:

$$\rho(r) \propto r^{D_L-d} \quad (5)$$

式中: $d = 2$ 即为欧式维数; D_L 为半径维数。由密度空间衰减式可见: 当 $D_L < 2$ 时, 交通网络密度从测算中心向周边递减, 交通网络强度尚未饱和; 当 $D_L = 2$ 时, 交通网络密度从测算中心向周边变化均匀, 交通网络强度饱和; 当 $D_L > 2$ 时, 交通网络从测算中心向周边递增, 若测算中心为网络交通枢纽, 这种维数是非正常维数。通过对 D_L 的计算, 可探讨区域内交通网络的空间布局变化及复杂性特征。

1.2 分枝维数

设半径为 r 的区域范围内, 交通网络分枝数为 $N(r)$, 则:

$$N(r) \propto r^{D_b}, \quad N(r) = \sum_{k=1}^r N(k) \quad (6)$$

式中: r 为回转半径, 改变 r 可将区域分化为若干等宽的同心环带, 环带以 k 编号; $N(k)$ 为第 k 个同心环带中的交通网络分枝数目。式(6)中的系数若用 N_1 表示, 则有 $N(r) = N_1 r^{D_b}$; D_b 即为分枝维数。

分枝维数由交通网络的分枝数目变化率确定, 因此可揭示交通网络的通达情况及其复杂性的空间变化。分枝维数越高, 表明网络分叉数从测算中心向周围地区变化递增越快, 交通网络结构越复杂, 网络的覆盖能力越强, 通达性越好, 反之, 通达性较差。

1.3 相似维数

用网格边长为 r 的方格网覆盖所分析的区域, 设其中有公路线通过的网格数为 $N(r)$, 当 r 变化时, $N(r)$ 也随之变化, 这样就形成 $r - N(r)$ 曲线。根据分形理论有下式成立:

$$N_i(r_i) \propto r_i^{-D} \quad (7)$$

采用 $[r, N(r)]$ 曲线的变化率来定义分维, 因此式(7)变为:

$$D(r) = \frac{d \lg N(r)}{d \lg r} \quad (8)$$

根据式(8)标绘出的 $[r, N(r)]$ 的双对数坐标图, 若数据点呈直线分布, 则可用一元线性回归法拟合出一条直线:

$$\lg N(r) = A - D \lg r \quad (9)$$

式中: D 实际上就是上述对数坐标系中直线斜率的大

小, D 值越大, 则 $N(r)$ 变化得越快, D 值即为研究区域的公路网分维数值; A 为拟合直线的截距。这种计算分维的方法称为 Hausdorff 简化算法。

相似维数反映交通网络分布的均匀情况, 分维数 D 越大, 方格中有公路通过的网络数目越多, 交通网络的自相似程度越高, 网络的覆盖形态越好。

1.4 公路规模与经济产出的分形模型^[15]

定义一个基于要素关联思想的公路规模与经济产出的动力系统:

$$\frac{dx_i}{dt} = a_i x_i; \quad \frac{dx_j}{dt} = a_j x_j \quad (10)$$

式中: a_i, a_j 为相对增长系数。由式(10)可得系统的异速增长方程:

$$\frac{1}{x_i} \times \frac{dx_i}{dt} = b \frac{1}{x_j} \times \frac{dx_j}{dt} \quad (11)$$

式中: b 为异速增长系数, $b = a_i/a_j$ 。经积分变换可得:

$$x_i = \beta_j x_j^b \quad (12)$$

式中: β_j 为比例系数, $\beta_j = e^c$; c 为积分常数; b 为标度因子, 即式(11)中的异速增长系数。假定相应于测度 x_i 在广义空间的维数为 D_i , 则由几何测度关系可得:

$$x_i \propto x_j^{D_i/D_j} \quad (13)$$

比较式(12)和式(13)可知:

$$b = a_i/a_j = D_i/D_j \quad (14)$$

式(14)即是关于公路与经济系数异速增长的维数方程, 可以认为 b 具有广义分维性质。根据异速增长规律, b 太大或太小都预示着相关的要素之一趋于退化, 从而系统结构将失去多样性和稳定性。

另一方面, 设定运输系统要素 $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 与经济产出 y 具有以下响应形式:

$$y = kf(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (15)$$

式中: k 为常数。经全微分变换可得:

$$y = \mu \Pi x_i^{\sigma_i} \quad (16)$$

式中: μ 为系数, σ_i 为参数, 可表示为:

$$\sigma_i = \frac{d \ln y}{d \ln x_i}$$

式(16)便是 Cobb-Douglas 生产函数的一般形式, 可见其从系统的角度反映了基于分形结构的运输与经济系统的功能特征。

将式(12)带入式(16), 可以得到运输系统要素 x_i 与经济产出 y 的幂指数关系 $y \propto x_i^{\sigma_i}$, 令 $x_i = s$ 为运输系统规模, 并以公路长度为测度, 则有:

$$y = as^b \quad (17)$$

式中: a 为系数; $b = \sigma_i, \sigma_i$ 为广义空间具有分维的的性质。假定 y 为 D_1 维, s 为 D_2 维, 则由式(17)可知 $b = D_1/D_2$, 只要 b 不为整数, 系统就具有分维性质。若视公路规模 b 为尺度, 视经济产出 y 为相应的测度, 则 b 可被看作广义的分维。根据 b 的弹性系数性质可知 b 值大小的经济含义。当 $b = 1$ 时, 表明经济产出 y 与公路规模 s 同速

率增长;当 $b > 1$ 时,表明经济产出 y 的相对增长速率较公路规模 s 快;当 $0 < b < 1$ 时,表明经济产出 y 的相对增长速率较公路规模 s 慢;特别地,当 $b < 0$ 时,表明经济产出 y 的相对增长速率随公路规模 s 的扩大而降低,这种情况一般不会发生。

2 河南省公路交通网络的分形特征

本研究以 2010 年河南省公路交通网络为研究对象,根据《河南省全面建设小康社会规划纲要》将河南省划分为 4 个研究子区域,分别为:中原城市群(郑州、开封、洛阳、新乡、焦作、许昌、漯河、平顶山)、豫北地区(安阳、濮阳、鹤壁)、豫西豫西南地区(三门峡、南阳)和黄淮地区(周口、商丘、驻马店、信阳)。

2.1 省域公路交通网络分形特征

以河南省省会城市郑州市为测算中心,选取半径 r , r 的取值范围为 20 ~ 360 km(图 2),量算半径范围内交通网络总长度 $L(r)$;改变 r ,可得不同的 $L(r)$,将点 $[r, L(r)]$ 标绘在双对数坐标图上(图 3),若点列呈对数线性分布,则该区域内交通网络密度具有分形特征表现,拟合直线的斜率即为交通网络的半径维数。

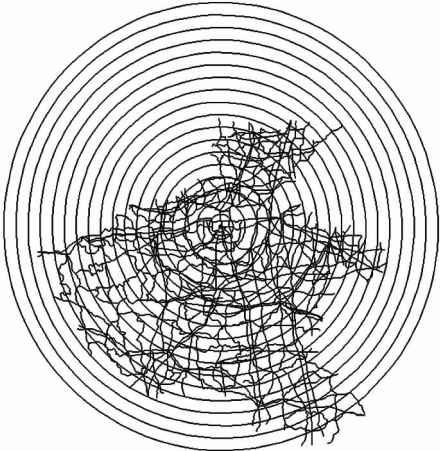


图 2 河南省全域公路交通网络与回转半径
Fig. 2 The highway transportation network of Henan Province and radial distances

用基本类似的方法,在 20 ~ 360 km 范围内,以郑州为圆心作回转半径 r ,改变 r ,可将区域划分成若干个等宽的同心环带,计算出每个环带中的网络分枝数目 $N(k)$,将点列 $[r, N(r)]$ 标绘在双对数坐标图上(图 4),其拟合直线的斜率即为分枝维数。

根据上述方法所测得的具体结果见表 1,图 3 和图 4。可以看出,河南省的公路交通网络在以郑州市为中心的 20 ~ 360 km 半径范围内,其总长度与半径、分枝数与半径都呈明显的对数线性关系,半径维数和分枝维数分别为 1.528 8, 1.410 1,相关系数 R^2 均在 0.97 以上,能够通过显著性水平 $\alpha = 0.05$ 下的检验。

从以上分析可知,长度-半径维数及分枝维数的测算

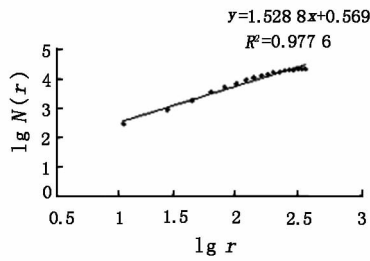


图 3 河南省公路交通网络长度 - 半径双对数
Fig. 3 The lg-lg plot on the length and radial distance of the highway transportation network of Henan Province

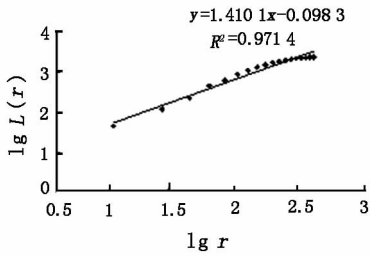


图 4 河南省公路交通网络分枝数 - 半径双对数
Fig. 4 The lg-lg plot on the number of branches and radial distance of the highway transportation network of Henan Province

都表明河南省公路交通网络具有明显的分形特征,即总体体现了河南省的交通网络分布从郑州向四周由密到疏的分布状况。然而,河南省全域半径维数高于分枝维数,表明该省公路交通网络长度与通达性之间的差别,同时也在一定程度上反映了河南省的公路交通网络密度优于结构和连通性,河南省的公路交通网络在连通性上具有更大的发展空间。虽然河南省公路交通取得了跨越式发展,但区域之间、城乡之间公路交通网络布局不平衡,尤其是高速公路区域差异较大,南部和西部地区由于经济社会发展和自然地理环境等因素影响,公路交通发展相对滞后,公路交通网络密度和连通性较差。

截至 2010 年底,河南省公路里程为 245 089 km,其中,等级公路 182 560 km,高速公路 5 016 km,分别占全国的 6.1%, 5.5%, 6.8%,公路交通网络密度为 146.8 km/100km²,为全国平均水平的 3.5 倍。但在河南省内部,等级公路占公路总里程的 74.5%,低于全国 82.4% 的平均水平,居全国 25 位,一级公路仅占公路总里程的 0.23%,位于全国 28 位,远低于全国平均水平 1.61%,公路级别较低,普通国省干线公路和县乡公路发展较为缓慢。因此,在《河南省公路水路交通运输“十二五”发展规划》中提出完善公路网络结构,强化高速、干线、农村公路之间的衔接,加快高速公路内联外通网络建设,重点加快西部山区通道建设,完善普通干线公路规划,增加国省干线公路规模,加强新升级国省道改造,提升国省道技术等级,积极推进城际快速通道建设,构建“两

表1 河南省交通网络的道路总长 $L(r)$ 和分枝数 $N(r)$

Tab.1 The number of branches and the total length of the highway transportation network of Henan Province									
半径/km	20	40	60	80	100	120	140	160	180
道路总长/km	282.5	878.2	1 797.4	3 387.9	4 957.9	6 880.9	8 820.4	10 794.3	12 535.5
分枝数	45	115	223	444	614	849	1 068	1 297	1 472
半径/km	200	220	240	260	280	300	320	340	360
道路总长/km	14 167.5	15 738.2	17 176.8	18 506.9	19 676.6	20 422.7	20 714.9	21 030.3	21 245.7
分枝数	1 647	1 793	1 942	2 050	2 143	2 209	2 233	2 260	2 278

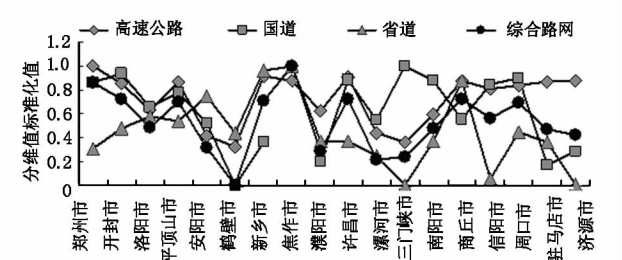


图5 不同公路的分形维数标准化值

Fig.5 The fractal dimensions of the different roads

干三城”快速交通网。

2.2 不同区域交通网络分形特征的空间差异

在获悉河南省公路交通网络分布总体具有分形性质的基础上,进一步探讨了河南省 18 个地级市不同等级公路交通网络的分形特征。采用相似维数算法,运用 ArcGIS,对河南省 18 个省辖市高速公路、国道、省道交通网络分别进行相似维数的测算。根据《中华人民共和国公路工程技术标准(JTGB01-2003)》中的设计交通量相关规定,把高速、国道、省道的通行能力比值定位 12 : 5 : 3,然后采用加权平均^[16],其值定位综合路网的权维数,具体的分维值见图 5。

计算得知,在 1 ~ 10 km 的区间范围内,河南省 18 个省辖市各级别公路交通网络的 $r,N(r)$ 在双对数图上表现出很好的相关性,相关系数 R^2 均大于 0.99,总体而言,分形测算的拟合优度较高,区域间拟合优度没有明显空间差异,即交通网络的分布具有明显的分形性质。

图 5 表明,河南省的分形维数呈现明显的区域差异,表明河南省公路交通网络分布不均衡,差异较大,焦作、郑州、许昌、开封、商丘、平顶山、新乡、周口等中原城市群内部及周边部分地区的交通覆盖度较好,其中,郑州的高速公路分维值最高。这些地区地势平坦,公路网布局基本不受地形条件因素的限制,且区内有重要的交通路线通过,在公路的数量、质量和布局均匀度都优于其他地区;而豫北、豫西豫西南及豫东南部分地区交通覆盖度较差,这些地区地形条件复杂,在地势平坦或中心城市附近的地方,公路分布较密集,反之公路网分布稀疏,结果造成区域整体公路网分布的不均匀特征。

中原城市群是河南省最发达的区域,除了洛阳、济源和漯河权维数较低之外,其余各市的公路交通网络的权维数均在平均值以上。该区域是河南省发展和中部

地区崛起的重要支撑点,三次产业比重和城镇化水平平均高于全省平均水平^[17],是河南省经济最发达的城市密集区。中原城市群又处于我国交通枢纽的交汇点,高速公路网络发育较完善,网络连接相对充分,网络覆盖程度较高^[18]。截至 2010 年底,高等级公路(高速公路、一级公路和二级公路)通车里程 14 424.1 km,占该区公路总里程的 16.2%,高速公路通车里程 2 279.9 km,高速公路网密度为 3.9 km/100 km²,远高于豫北、豫西豫西南和黄淮地区。漯河位于河南省中部,地形平坦,公路建设的自然条件和经济条件都很优越,且区域内公路网密度很高,但公路网分形维数较低,主要是公路网分布不均匀,多数公路集中在漯河市区的外围区域,另外,漯河地区面积比较小,为了比较方便,采取的特征尺度与其他地区相同,也可能会使计算结果有所偏差。

黄淮地区 4 市交通网络强度和密度等方面发展不均衡,其中,商丘和周口地处平原,区域内交通网建设的自然条件优越,公路网分布较均匀,覆盖度较高,但高等级公路比重较低,仅 9.8%,低于全省 12.1% 的平均水平。驻马店发展水平相对较低,经济实力较弱,区域内公路数量和里程都相对较少,降低了该区的公路网覆盖度。信阳地处淮河上游,大别山北麓,境内多山地和丘陵,且远离省会郑州,经济发展相对滞后,区域内公路覆盖度较差,权维值较低。

豫北、豫西豫西南地区交通权维数最小,该地区地形复杂,山地、丘陵、平原、盆地交错分布,公路交通网络相对较差,该区域各地市的公路交通网络的权维数均在平均值以下且分布不均衡。安阳和南阳权维数高于其他地市,在一定程度上表明其公路覆盖度相对较好,鹤壁市面积较小,用同样步长测出的权维值存在一定误差,而三门峡公路交通网络权维值远低于其他地市。

2.3 公路交通网络分维值与经济发展的相关关系

结合相关研究^[16],在同样的比例尺和投影方法下,把无标度区间作为定值,把同面积区类的路网进行分维值比较可以近似测度到路网分维值。根据河南省 18 个地级市的面积大小将其分为三类:第一类包括济源、鹤壁、漯河、焦作、濮阳;第二类包括许昌、开封、安阳、郑州、新乡、平顶山;第三类包括三门峡、商丘、周口、驻马店、洛阳、信阳、南阳。选取人均 GDP 作为经济发展水平的衡量指标,将其作为经济指标与交通网络分维值的差

异进行对比。结果见表 2。

表 2 分维值与经济指标相关性

Tab.2 The correlation between the fractal dimensions and the economic indicators			
类别	第一类	第二类	第三类
相关系数	0.393	0.449	-0.725
P	0.513	0.371	0.066

由表 2 可知,第一类和第二类地级市相关系数在中度正相关范围内,说明公路分维数在一定程度上能与该地区经济指标相对应,公路网络布局好有利于国民经济发展,国民经济发展可以加快公路交通网络建设;第三类公路分维数与经济发展水平呈负相关。尽管第三类在面积上属于一类,但地形,差别较大,豫西的洛阳、三门峡以山地、丘陵为主,交通不便,但林、矿、旅游资源丰富,开发潜力大,利于西部地区的工业和旅游业的发展,经济实力高于比较利益较低的农业平原省辖市。

为了进一步分析公路建设规模与经济发展速度之间的协调关系,本研究采用公路规模与经济产出的分形模型,分析研究公路与经济产出的对应特征。

由于各等级公路存在通行能力、行车速度的差异及其对经济增长的贡献大小之别,为使计算结果客观,具有可比性,本研究将各级公路采用设计交通量进行换算,根据《中华人民共和国公路工程技术指标(JTGBO1-2003)》,以二等级公路的换算系数为 1,其他各级公路当量换算系数则分别为:高速 5.95,一级公路 2.14,三级公路 0.48,四级公路 0.29,等外公路 0.04,经济产出选取人均国内生产总值。

通过对河南省 18 个地级市 1999—2009 年的统计数据分,发现道路规模与经济产出的幂指数关系模型拟合较理想,各行政区的经济产出与公路规模在双对数模式下高度相关,在双对数坐标图中呈线性分布,这意味着经济产出与公路规模之间的关系具有分维性质。

从表 3 可知,经济发展速度超越公路规模的地级市有郑州、洛阳、安阳、鹤壁、濮阳、焦作、许昌、漯河、三门峡、济源,其中郑州市的发展速度最快。10 个城市中郑州、焦作、许昌无论从经济发展还是公路交通权维值来看都属于较好类型;洛阳、三门峡和济源经济发展较好,但权维值较低,说明目前的交通设施落后并可能阻碍经鹤壁经济发展水平较高,公路交通网络也较发达,济发展,应加快这些地区的交通基础设施规划和建设;安阳和濮阳经济发展和分维值均较低,可能是因为经济能力所限,相对经济增速而言公路规模增速偏小;漯河和但由于面积较小,用上述方法测得的权维值存在一定误差;两者发展速度基本吻合的有开封、商丘和信阳,进一步科学合理地规划这些地区的交通会促进这些地区的经济发展;经济发展落后于公路规模的有平顶山、新乡、

表 3 公路规模—经济产出相似系数

Tab.3 Similarity coefficients between economic output and highway size Scale					
省辖市	分维数	R ²	省辖市	分维数	R ²
郑州	1.907	0.937	许昌	1.124	0.986
开封	0.922	0.928	漯河	1.297	0.932
洛阳	1.380	0.965	三门峡	1.138	0.716
平顶山	0.796	0.963	南阳	0.670	0.948
安阳	1.300	0.949	商丘	0.951	0.911
鹤壁	1.232	0.936	信阳	0.921	0.976
新乡	0.864	0.966	周口	0.727	0.934
焦作	1.071	0.884	驻马店	0.779	0.956
濮阳	1.302	0.955	济源	1.133	0.942

南阳、周口和驻马店,这些地区经济发展比较落后,20 世纪末公路建设缓慢,而 21 世纪以来公路规模增长速度明显快于其他地区,经济发展速度落后于公路发展速度,今后应加大力度提高经济发展水平。

3 结论与讨论

长度-半径维数及分枝维数的测算都显示河南省的公路交通网络在以郑州为中心的 20~360 km 的半径范围内具有分形特征,即总体体现了河南省的交通网络分布从省会郑州向四周由密到疏的分布状况。然而,河南省公路交通网络的长度-半径维数为 1.528 8,分枝维数为 1.410 1,距离分维数 1.7 的成熟度指标^[19]还有一定差距,且两者在数值上存在差异,说明河南省公路交通网络长度与具体的联通状况之间的差别,同时也在一定程度上反映了河南省的公路交通网络在联通性上具有更大的发展空间。

用相似维数算法对河南省 18 个省辖市不同等级的公路交通网络进行测算,发现各省辖市权维值存在较大差异,公路交通网络分布不均衡。中原城市群位于河南省中部,是该省经济最发达的城市密集区,并处于全国交通枢纽的交汇处,是河南省公路交通网络最发达的区域,尤其是高速公路网络发育较完善,网络覆盖程度较高;黄淮的部分地区公路交通较好,但经济相对落后,高等级公路比重较低;豫北、豫西豫西南地区受地形条件和社会经济条件的影响,交通通达性相对较差,应进行公路网的补充和完善,加快建设新的等级公路、提高公路等级、合理布局公路网。加强区间性高速公路建设,使河南省的区间高速公路分布更加均匀。利用公路规模与经济产出分形模型,测算出公路建设的规模 and 经济发展速度之间的高度相关性。

在进行分维值计算时,由于各地市所辖面积大小不同,在研究过程中,不同区域所取步长相同,会对测算结果产生一定影响。如何更准确地测算出不同地区道路分维数,需要做进一步的探讨。

参考文献:

- [1] 朱晓华,王建,陈霞. 海岸线空间分形性质的探讨——以江苏省为例[J]. 地理科学,2001,21(1):70-74.
- [2] 贾文臣,贾香云,李福印,等. 威海市土地利用分形特征动态变化[J]. 地理科学进展,2009,28(2):193-198.
- [3] 姜世国,周一星. 北京城市形态的分形集聚特征及其实践意义[J]. 地理研究,2006,25(2):204-303.
- [4] 刘继生,陈彦光. 人口的区位过程与城市的分形形态——关于城市生长的一个理论探讨[J]. 人文地理,2002,17(4):24-28.
- [5] Thibault S, Marchand A. *Reseaux Topologie*, Institut National Des Sciences Appliquees De Lyon [M]. Paris: Billeurbanne,1987.
- [6] Benguigui L, Daoud M. Is the Suburban Railway System A Fractal [J]. *Geographical Analysis*, 1991, 23: 362-368.
- [7] Frankhouser P. *Aspects Fractals des Structures Urbanes* [J]. *L'Espace Géographique*, 1990, 19(1):45-69.
- [8] 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研究[J]. 地理学报,1999,54(5):471-477.
- [9] 柏春广,蔡先华. 南京市交通网络的分形研究[J]. 地理研究,2008,27(6):1419-1426.
- [10] 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.
- [11] 刘妙龙,黄佩蓓. 上海大都市交通网络分形的时空特征演变研究[J]. 地理科学,2004,24(2):144-149.
- [12] 冯永玖,刘妙龙,童小华. 广东省公路交通网络空间分形特征研究[J]. 地球信息科学,2008,10(1):26-33.
- [13] 王秋平,张琦,刘茂. 基于分形方法的城市路网交通形态分析[J]. 城市问题,2007(6):52-62.
- [14] 秦耀辰,苗长虹. 中原经济区发展战略研究[M]. 北京:科学出版社,2011:2.
- [15] 张小民,吴群琪. 公路规模——经济产出的分形理论模型[J]. 中国公路学报,2008,21(1):106-110.
- [16] 沈惊宏,陆玉麒,兰小机. 基于分形理论的公路交通网络与区域经济发展关系的研究[J]. 地理科学,2012,32(6):659-665.
- [17] 王发曾,吕金嵘. 中原城市群城市竞争力的评价与时空演变[J]. 地理研究,2011,30(1):49-60.
- [18] 李红,李晓燕,吴春国. 中原城市群高速公路通达性及空间格局变化研究[J]. 地域研究与开发,2011,30(1):55-58.
- [19] 刘妙龙,黄蓓蓓. 上海大都市交通网络分形的时空特征演变研究[J]. 地理科学,2004,24(2):144-149.

Study on Fractal Properties of Highway Transportation Networks in Henan Province Based on GIS

Li Yating^{a,b}, Pan Shaoqi^b, Miao Changhong^{a,b}

(a. Key Research Institute of Yellow River Civilization and Sustainable Development;

b. College of Environment & Planning, Henan University, Kaifeng 475001, China)

Abstract: There are several different calculation methods of fractal dimension value. Length-radius dimension, dendrite-radius dimension and similarity dimension of highway transportation network of Henan Province are calculated with the help of the software ArcGIS in this paper. Zhengzhou, the transportation hinge of Henan Province is chosen as the calculation center for fractal characteristics analysis, and the radius value changes between 20 and 360 km. The results show that the higher transportation network of Henan Province has fractal characteristics. It shows that the connectivity of the highway transportation of Henan Province should be strengthened. The similarity dimension of different districts of the main cities has also been calculated at the scale of 2 to 20 km in this research and the results show that the highway transportation network distributes uneven. The highway transportation of the Central Plains City Clusters and the Yellow and Huai River areas is better, but the highway traffic coverage in the north western and the southeast of Henan Province is poorer. To further seek coordination relations between highway construction and the economic development in various cities, the authors calculate the fractal of 18 cities by introducing the fractal model of road construction scale-economic output. And discover that economic development exceeds the road scale in 10 cities, basically consistent in 3 cities, and economic development lags behind highway construction scale in 5 cities.

Key words: length-radius dimension; ramification dimension; fractal; Henan Province