

广东省公路交通网络分形空间特征研究

冯永玖, 刘妙龙, 童小华

(同济大学 测量与国土信息工程系, 上海 200092)

摘要: 基于分形理论, 以 GIS 技术为支撑, 利用回转半径法测算了广东省全域及其所辖 21 个地级市公路交通网络半径维数 D_L 、分枝维数 D_b 和对应相关系数 R^2 。依据广东省公路交通网络的特点, 将其辖区分为四个子区域: 珠三角、东部沿海、西部沿海和粤北地区, 分析其半径维数和分枝维数的空间分布特征。研究表明, 珠三角地区为广东省公路交通网络密度最大、结构最复杂、功能最完善、连通性最优的区域; 以珠三角为中心, 广东省公路交通网络分形半径维数和分枝维数随距离增大而衰减, 沿海衰减程度微弱, 粤北衰减程度较大。结果显示, 半径维数和分枝维数结合能够更为合理系统地分析交通网络分形特征的时空差异特性。

关键词: 分形理论; 交通网络; 半径维数; 分枝维数; 广东省

1 引言

运用分形理论研究空间分布不规则的实体, 已经成为分形应用研究领域的重要方面, 如人口分布^[1]、地形分形^[2]等。交通网络的结构与形态其空间不规则性, 表现在地图上, 是一系列分布不均匀的线实体集合。20 世纪 90 年代初, Frankhouser 对德国斯图加特城市郊区铁路网络研究中, 发现了铁路网络长度 $L(r)$ 与研究区域半径之间的幂指数关系, 并由此测算出斯图加特铁路网络的半径维数^[3,4]。刘继生等 (1999) 引入交通网络分形理论, 研究了河南省 17 个城市之间的交通网络通达性^[5]。刘妙龙等 (2002, 2004) 利用半径维数指标, 研究了上海大都市交通网络分形特征的时空演化, 并指出 1.7 可以作为判定交通网络结构与功能完善度的指标^[6,7]。

分枝维数作为交通网络分形的另一种重要测度, 表征交通网络的连通性和空间复杂度。本文结合半径维数和分枝维数两种分形测度指标, 从新的视角研究了广东公路交通网络的分形特征与区域空间差异。

2 交通网络分形理论基础

2.1 交通网络的分形测度

(1) 半径维数。设长度为 L , 面积为 S , 体积

为 V , 则有:

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

若具有某种测度的量为 M , 上式的广义化形式为:

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

考虑一个面积为 S 的区域, 如果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:

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

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 为区域半径, $L(r)$ 为半径 r 的区域范围内的网络总长度, L_1 为常系数, 幂指数 D_L 即为分维数, 通常称为半径维数 (radial dimension)。

(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:

$$N(r) = \sum_{k=1}^r N_{(k)} \quad (5)$$

式 (5) 中, $N_{(k)}$ 为 r 范围内第 k 节点路网分枝数。由式 (3) 可知, 存在关系:

$$N(r) \propto r^{D_b} \quad (6)$$

进而将式 (6) 可化为:

$$N(r) = ar^{D_b} \quad (7)$$

式中, a 为常系数, 幂指数 D_b 即为分维数, 通常

收稿日期: ; 修回日期: 2007-07-16

基金项目: 教育部新世纪优秀人才支持计划资助项目 (编号: NCET-06-0381); 上海市科技启明星计划资助项目 (编号: 05QMX1456); 现代工程测量国家测绘局重点实验室地理空间信息工程资助项目 (编号: 200618)。

作者简介: 冯永玖 (1981-), 男, 云南镇雄人, 博士生, 研究方向为 GIS 理论与方法, 发表论文 10 余篇。

称为分枝维数 (ramification dimension)。

2.2 交通网络分维数的地理意义

(1) 半径维数的地理意义。半径维数 D_L 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:

$$\rho(r) \propto r^{D_L-d} \quad (8)$$

$d=2$ 即为欧氏维数, 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, 尤其在外缘地区尚有较大的发展空间; 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, 交通网络密度从测算中心向周边递增, 若测算中心为网络交通枢纽, 显然这种维数当属非正常维数。研究表明, 半径维数与交通网络密度正相关, 即半径维数越大, 网络密度越大; 反之, 网络密度越小。

(2) 分枝维数的地理意义。道路的交叉产生分枝是交通网络的必然现象, 尤其在城市化水平高的区域非常频繁, 而分枝维数是由分枝数目的变化率确定的, 因此可描述交通网络的连通情况及其空间结构的复杂程度。分枝维数越高, 表明交通网络结构越复杂, 网络在区域覆盖面较大, 连通指数较高。反之, 则交通网络结构简单, 网络在区域覆盖面较小, 连通指数较低。

2.3 分维数测算方法

以交通枢纽为测算中心, 选取半径为 r , 量算该半径范围内即 πr^2 面积中的交通网络总长度 $L(r)$; 改变 r , 可得不同的 $L(r)$, 将点列 $(r, L(r))$ 标绘在双对数坐标图上, 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, 拟合直线的斜率即是交通网络的半径维数。这种广为使用的分维数测算方法称为回转半径法。

分枝维数测算方法与半径维数类似, 所不同的, 是在半径为 r 的圆形区域内测算交通网络分枝数 $N(r)$; 改变 r , 得到不同的 $N(r)$ 。在双对数坐标图上绘出点列 $(r, N(r))$, 其拟合直线的斜率即为分枝维数。

本文研究的广东省市所辖面积差异较大, 因

此在研究过程中, 不同区域所取步长 (即相邻两次 r 之间的差值) 有所差异, 辖区面积较小的区域采用较小的步长, 而面积较大的区域采用较大的步长, 实际测算中地级市步长控制在 8 公里以内, 保证了分维数测算过程中回归分析所需数据的充分性。本研究以广东省公路工程智能地理信息平台^[9]为支撑, 根据不同步长动态测算公路交通网络总长度和节点数, 将所得点列利用 Matlab 进行标绘^[10], 并将半径维数、分枝维数及相应点列对数线性回归的相关系数 R^2 测算出来。

3 广东省公路交通网络的分形特征

本文以 2004 年广东省公路 (不包括城市道路) 交通网络为研究对象 (如图 1)。根据广东省区域发展的特点和公路交通网络的特征, 将其所属 21 个地级市, 分为四个研究子区域, 分别为: 珠三角地区 (广州、深圳、佛山、东莞、珠海、中山、江门、惠州)、东部沿海地区 (汕头、潮州、揭阳、汕尾)、西部沿海地区 (湛江、茂名、阳江) 和粤北地区 (肇庆、云浮、清远、韶关、河源、梅州)。

3.1 省域交通网络分形空间特征

以广州为测算中心, 以近似 18 公里的步长, 测得广东省全域公路交通网络半径维数 1.4866, 拟合优度 (相关系数 R^2 , 下同) 0.9915; 分枝维数 1.5173, 拟合优度 0.9782; 拟合双对数坐标图如图 2。

以上分析了知, 广东省公路交通网络的分形特征明显, 但与交通网络半径维数 1.6 ~ 1.8 的成熟度尚有距离, 与同属发达地区的上海市 1.5625 的半径维数存在较大差距, 表明其网络强度和密度皆远不及上海。2004 年底, 广东省公路密度为 $62\text{km}/100\text{km}^2$, 而上海为 $123\text{km}/100\text{km}^2$, 是广东省的两倍, 这与半径维数所示情况一致。广东省全域分枝维数稍高于半径维数, 但是其拟合优度不及半径维数, 表明该省在交通网络发育方面, 结构和连通性优于密度。虽然珠三角地区以及东西两翼城市发展已经较为成熟, 但是由于粤北广大山区发展仍滞后于全省平均水平, 因此降低了广东省全域公路交通网络总体密度, 导致其分形半径维数偏低; 同时由于粤北地区交通网络强度

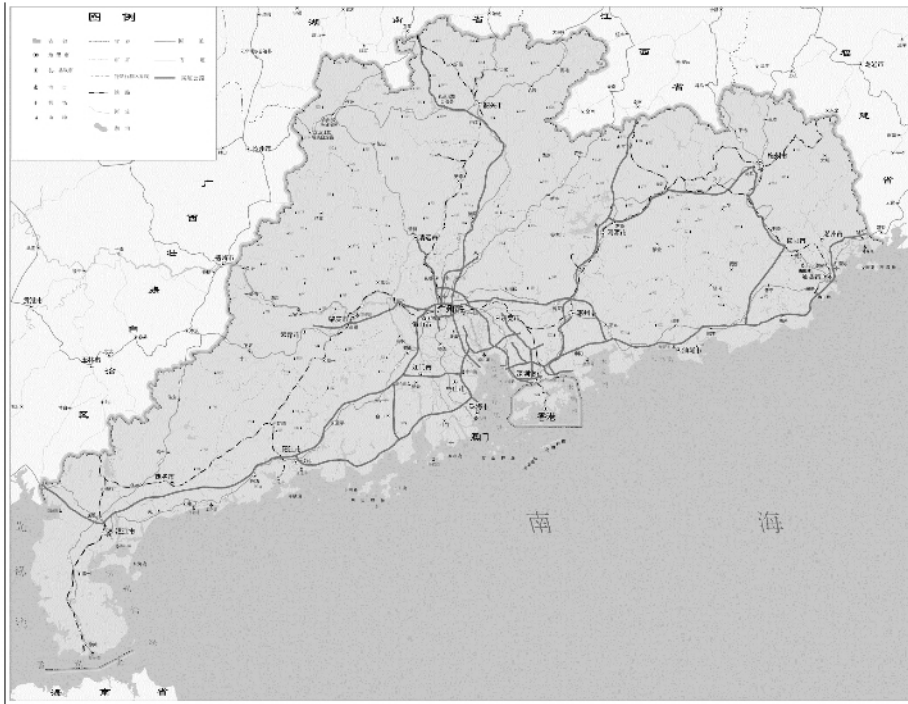


图1 广东省公路交通网络（2004年）

Fig.1 The highway transportation networks of Guangdong province (2004)

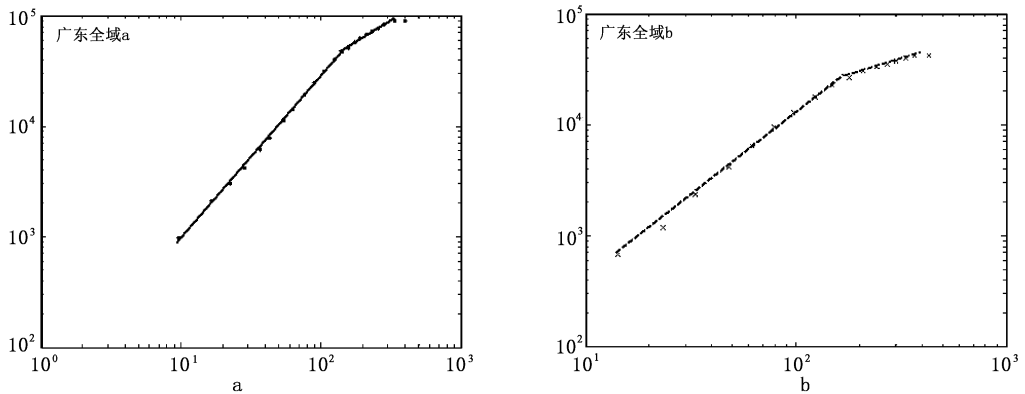


图2 广东省全域公路交通网络分形双对数坐标图

(a, 半径维数拟合图; b, 分枝维数拟合图。)

Fig.2 The log-log plots of fractals for highway transportation networks in Guangdong province

(a, linear fitting of radial dimension; b, linear fitting of ramification dimension.)

低、结构简单且连通性较差，降低了全省交通网络整体结构复杂性和连通性。

截至2004年，广东全省一、二、三级公路和高速公路总里程已越10万km，但是二级以上公路占公路总里程比例仅为24%；公路交通网络布局严重不均，珠三角和东西两翼公路交通网络密度大，而粤北地区由于经济社会发展层次不高和自身地理环境较差等因素，致使公路交通网络密度较小、连通性差；另一方面，广东省高速公路比重较小，且尚未成网，通行能力仍显不足。因此，

为改善和提高广东省综合交通运输体系，必须加强公路交通网络（尤其是粤北地区）的建设。在“广东省综合运输体系“十一五”规划”中，以建成通往邻省区的主要高速公路通道，基本形成以广州、深圳为中心向外辐射的高速公路网络，珠江三角洲形成较为完善的高速公路网络，加快粤北山区和东西两翼农村公路建设为广东省公路交通网络发展的目标。可以相信，在未来5~10广东省公路交通网络强度和密度将会有较大提高，结构、功能和连通性也会有较大改善。

3.2 四个子区域交通网络分形的空间格局

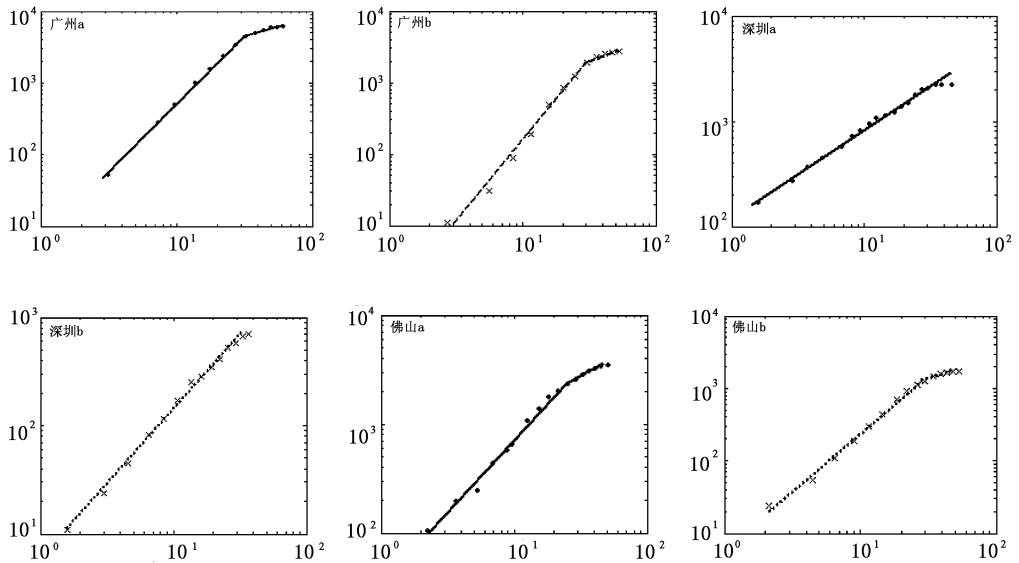
依次对四个子区域公路交通网络半径维数和分枝维数进行测算, 结果如表 1, 点列线性回归拟

合双对数坐标图如图 3 (略去部分区域的拟合图形)。

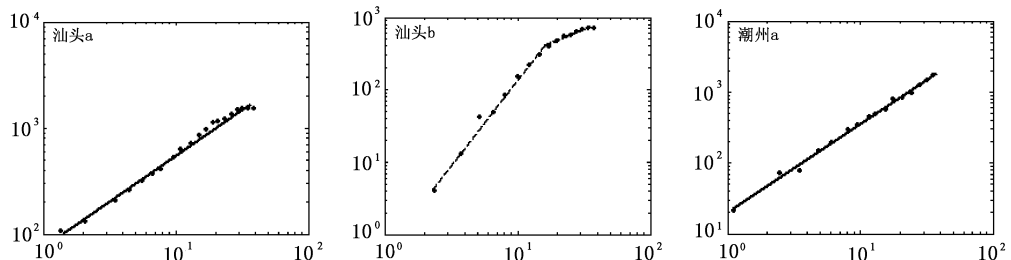
表 1 广东省公路交通网络半径维数和分枝维数

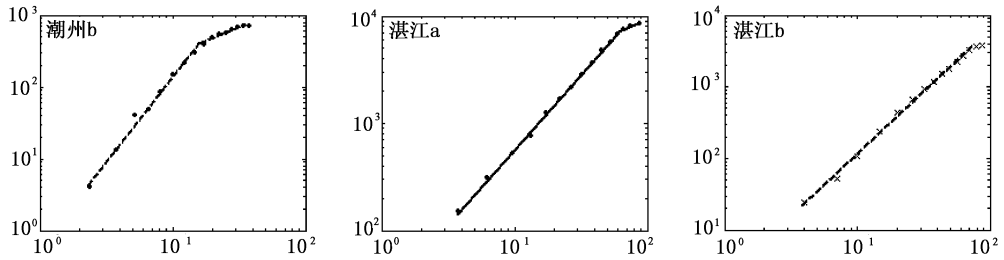
Tab. 1 The radial dimensions and ramification dimensions of highway transportation networks in Guangdong province

区域	珠三角地区		东部沿海地区		西部沿海地区		粤北地区	
D_L, R^2	1.5776	0.9883	1.5536	0.9889	1.4880	0.9978	1.4257	0.9965
D_b, R^2	1.5820	0.9789	1.5660	0.9814	1.5090	0.9977	1.4230	0.9948
D_L, R^2	1.5822	0.9862	1.4159	0.9839	1.5291	0.9974	1.4833	0.9956
D_b, R^2	1.5657	0.9977	1.4171	0.9797	1.5278	0.9971	1.4713	0.9916
D_L, R^2	1.5924	0.9897	1.5018	0.9888	1.4819	0.9952	1.3957	0.9951
D_b, R^2	1.5942	0.9904	1.4887	0.9945	1.4972	0.9948	1.3887	0.9914
D_L, R^2	1.6287	0.9805	1.4052	0.9865	-	-	1.3519	0.9944
D_b, R^2	1.6621	0.9895	1.4242	0.9817	-	-	1.3585	0.9951
D_L, R^2	1.4895	0.9849	-	-	-	-	1.4489	0.9937
D_b, R^2	1.4954	0.9713	-	-	-	-	1.4517	0.9873
D_L, R^2	1.5908	0.9959	-	-	-	-	1.4548	0.9921
D_b, R^2	1.5876	0.9753	-	-	-	-	1.4481	0.9928
D_L, R^2	1.5165	0.9972	-	-	-	-	-	-
D_b, R^2	1.5206	0.9917	-	-	-	-	-	-
D_L, R^2	1.5015	0.9930	-	-	-	-	-	-
D_b, R^2	1.4905	0.9779	-	-	-	-	-	-

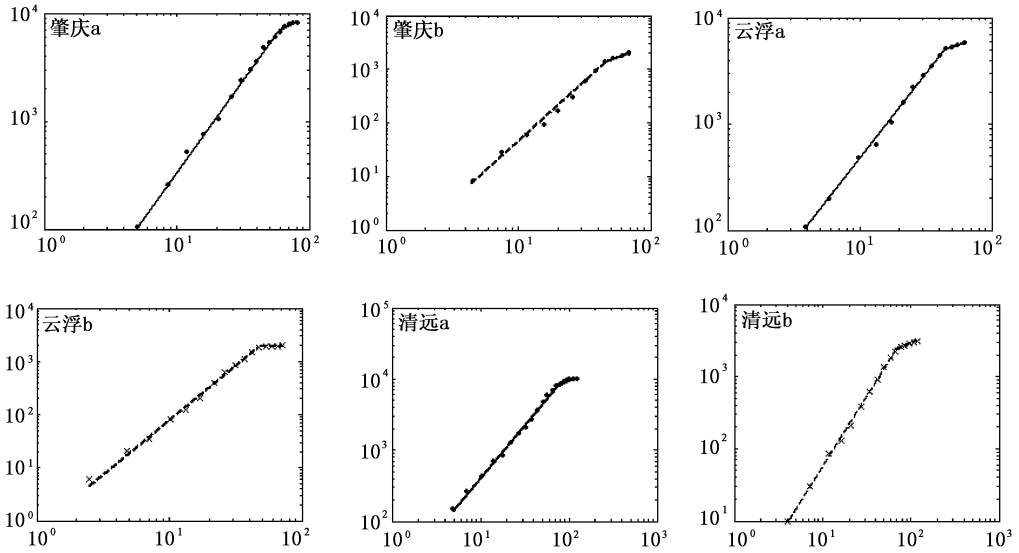


(1) 珠三角地区 (广州、深圳、佛山)





(2) 东西部沿海地区 (东部：汕头、潮州；西部：湛江)



(3) 粤北地区 (肇庆、云浮、清远)

图3 广东省四个子区域公路交通网络分形双对数坐标图

(a, 半径维数拟合图; b, 分枝维数拟合图。)

Fig. 3 The log-log plots of fractals for highway transportation networks of four sub-areas in Guangdong province

(a, linear fitting of radial dimension; b, linear fitting of ramification dimension.)

3.3.1 交通网络分形的空间特征

(1) 从拟合优度分析, 21 市半径维数的相关系数 R^2 均大于 0.98, 分枝维数的相关系数 R^2 总体上比半径维数相关系数低, 但均大于 0.97; 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, 全省公路交通网络分形性态强。

(2) 如表 1 和图 3 所示, 四个子区域半径维数呈现明显的区域差异, 表明广东省公路交通网络强度分部不均衡, 密度差异较大, 珠三角和沿海地区密度大, 北部地区密度小。珠三角地区半径维数总体维持在 1.5 ~ 1.6 之间, 其中珠海低于 1.5, 而东莞超过 1.6; 沿海地区半径维数除汕尾和潮州, 皆在 1.48 以上, 其中汕头半径维数远高于其他地区, 东部沿海地区各市之间差异较大,

而西部沿海地区则较为均衡; 粤北地区除云浮, 其余 7 市半径维数维均在 1.48 以下, 韶关半径维数最低。

总体上, 分枝维数的空间格局与半径维数一致。珠三角地区除珠海均维持在 1.5 以上, 其中东莞分枝维数最高, 为 1.6621; 沿海地区除汕尾和潮州, 其余地区分枝维数维持在 1.5 左右, 汕头具有明显优势; 粤北地区整体低于 1.48, 除云浮外其余均在广东省平均水平之下, 其中韶关为最低区域。

显而易见, 在四个子区域中珠三角地区交通网络半径维数和分枝维数均最大, 表明该区域公路网络强度和密度最大, 结构最复杂, 连通性最优; 东部沿海地区和西部沿海地区次之, 其公路网络密度不及珠三角, 结构也相对简单, 连通性

也较差；粤北地区交通网络半径维数最小，仍不及全省平均水平，是四个子区域中公路交通网络密度最小、结构最简单、连通性最差的区域。

(3) 四个子区域由于经济、社会以及地理位置等因素各异，公路交通基础设施发展水呈现明显的区域空间差异。

①珠三角地区，东莞、佛山、中山、深圳、广州交通网络半径维数居前列，其余江门、惠州和珠海三市半径维数则较低；其中东莞半径维数远高于其他地区，甚至超过上海 1.5625 的半径维数，结合表 2 可知，东莞公路密度为 103 km/100km²，是全国公路密度最高的地级市。对于分枝维数，东莞 1.6621 居榜首，表明其交通网络发育接近成熟。佛山、中山、深圳和广州四市半径维数和分枝维数在相同水平上，是构成珠三角公路交通网络的主体，其中广州发挥着珠三角地区交通网络枢纽的作用。从半径维数和分枝维数可知，东莞、佛山、中山、深圳、广州属珠三角地区公路交通网络强度优、结构复杂、连通性较好的区域；而江门、惠州和珠海三市，无论半径维数还是分枝维数皆低于其余 5 市，属珠三角地区交通网络密度和连通性较差的区域。从公路密度方面分析，东莞等五市平均密度为 88 km/100km²，而江门等三市平均密度仅为 66 km/100km²，与分形维数所示结果完全一致。

表 2 2004 年广东省各市公路密度
(单位: km/100km²)

Tab. 2 Highway densities of the municipalities in Guangdong province at 2004 (Unit: km/100km²)

区域	广东省	广州	深圳	佛山	东莞	珠海	中山	江门	惠州
公路密度	62	82	83	89	103	62	85	70	68
区域	-	汕头	潮州	揭阳	汕尾	-	湛江	茂名	阳江
公路密度	-	78	57	66	56	-	62	69	61
区域	-	肇庆	云浮	清远	韶关	河源	梅州	-	-
公路密度	-	55	62	52	49	58	59	-	-

珠三角地区是广东省交通运输最繁忙、最发达的区域，初步形成了以广州为中心，铁路、公路、水路、民航等多种运输方式相配合，衔接港澳、沟通全省和全国的较为发达的综合交通网络。随着深圳的崛起，珠三角地区已从原单极（广州）模式成功转向两极模式；而近年来，随着东莞、佛山等区域的发展，珠江三角洲城市功能逐渐多

样化，城市交流更加密切，已发展成一个城乡一体、类型完备的多层次城镇体系，两极模式正逐渐向网络化模式演化。

②东部沿海地区四市交通网络强度、密度和结构等方面发展不均衡，其中汕头半径维数 1.5536 和分枝维数 1.5660 都远高于其他三市，表明其公路密度 (78 km/100km²) 和连通性在东部沿海地区皆具有一定优势；揭阳交通网络分维数和公路密度比全省平均水平稍高，而汕尾和潮州交通网络分维数和公路密度皆比全省平均水平低。

西部沿海地区湛江、茂名和阳江三市交通网络发展较为均衡，半径维数和分枝维数均稍高于全省平均水平，其中茂名作为连接湛江和江门的通道，交通网络微优于该两市。

③粤北地区除云浮，其余地区交通网络半径维数和分枝维数均在全省平均水平之下；韶关交通网络半径维数 1.3519，分枝维数 1.3585，均为粤北地区最低，也是全省最低区域。2004 年韶关公路密度为 49 km/100km²，远低于全省平均密度。粤北地区远离广东省交通枢纽中心和经济中心，发展滞后，但是交通网络的发展相对均衡，维持在较低的水平。综观粤北地区，各市半径维数和分枝维数差异不大，稳定在一致水平，整个区域公路交通网络密度较低，网络结构简单，连通性较差，滞后于全省平均水平。因此，为使广东省公路网络趋向布局合理、结构功能完善，必须加强粤北地区公路交通网络的建设，以此促进粤北地区城市和社会经济协调发展。

3.3.2 交通网络分形的空间变化趋势

广州作为全省交通枢纽中心，发挥着不可替代的作用。以广州为中心，按照珠三角、东部沿海、西部沿海和粤北地区的顺序排列（顺序如表 2），将 21 个区域半径维数和分枝维数绘制成点阵图，并进行二次曲线拟合，如图 4，拟合曲线分别为：半径维数 $y = 0.0002x^2 - 0.0139x + 1.6192$ ，分枝维数 $y = 0.0003x^2 - 0.0152x + 1.6198$ ，可见两种分维数的衰减速率差异并不明显。同理对公路密度点阵图进行二次曲线拟合，拟合曲线为 $y = 0.0725x^2 - 3.3466x + 93.2797$ ，结果如图 5。

图 4 和图 5 表明，以广州为测算中心，随向外距离增大，各地区半径维数和分枝维数均呈衰减态势，即不但公路密度衰减，结构复杂性和网络连通性同时衰减。从广东省公路密度变化曲线

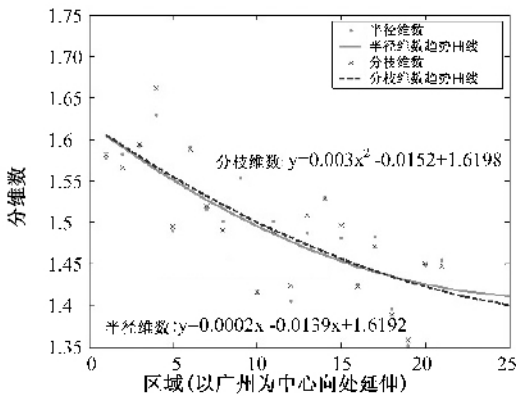


图4 交通网络分维数变化曲线

Fig. 4 Curve of transportation networks fractal dimensions

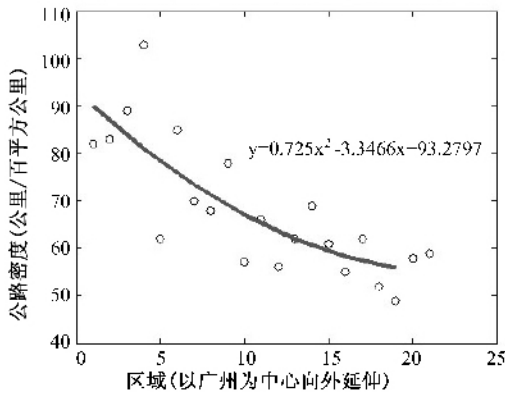


图5 广东省公路密度变化曲线

Fig. 5 Curve of highway density in Guangdong province

图可知，以广州为中心，随向外距离增大，公路密度减小，这与半径维数表征的特性一致。

4 结语

通过广东省公路交通网络分形特征的研究，结合国外进展和国内相关研究成果，得出如下结论：

(1) 分形半径维数和分枝维数是衡量交通网络优劣的两个重要指标，可以通过两者描述交通网络的强度、密度、结构和连通性等，它们均是城市形态分形的一种直接表现形式。两种分维数的结合，能够更为系统和合理地解释不同区域交通网络（包括公路、铁路和水路等）的空间差异和时间演化。

(2) 相关研究表明，分维数 1.7 可以作为判定空间不规则实体结构与形态成熟度的指标。对于公路交通网络，在不考虑公路类型差异的情况下，1.7 左右的分维数应是判定网络形态与结构、

功能完善度的一个较为合宜的测度指标。东莞交通网络半径维数（1.6287）和分枝维数（1.6621）与此指标非常接近，可以判定东莞公路交通网络发育已较为成熟。佛山、中山、深圳、广州四市交通网络的发展呈现良好态势，而其余大部分地区仍需加强交通网络的建设以及结构和功能的调整。

(3) 广东省公路交通网络的分形特征，在不同的地域具有不同的空间形式：半径维数和分枝维数在珠三角地区较高，东西沿海地区次之，粤北地区最小，即以珠三角为中心，随距离增加向外衰减，沿海衰减程度较小，北部衰减程度较大。

研究表明，用分维数刻画交通网络特征是一种行之有效的定量方法。半径维数测算方法借鉴自 Frankhouser 对铁路网络的研究，但是铁路类型具有单一性，而公路类型具有多样性，不同类型等级的公路对于交通网络的贡献是不相同的，本文在测算过程中未予考虑。当考虑公路类型差异时，交通网络形态、结构与功能的成熟度的分形判定阈值应做相应调整。

参考文献

- [1] Edited by NICHOLAS J. TATE and PETER M. ATKINSON. Modelling Scale in Geographical Information Science. JO HNW ILEY&SONS, LTD, Chichester, 20 01: 69 ~ 86.
- [2] 栾元重, 范玉红等. 塌陷区地形分形生成方法与应用. 地球信息科学, 2006, 8, (4): 111 ~ 116.
- [3] Frankhouser P. Aspects fractals des structures urbaines. L' Espace Geographique, 1990, 19 (1): 45 ~ 69.
- [4] Benguigui L, Daoud M. Is the suburban railway system a fractal. Geographical Analysis, 1991, 23: 362 ~ 368.
- [5] 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. 地理学报, 1999, (54): 471 ~ 478.
- [6] 黄佩蓓, 刘妙龙. 基于 GIS 的城市交通网络分形特征研究. 同济大学学报, 2002, 30: 1370 ~ 1374.
- [7] 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. 地理科学, 2004, (24): 144 ~ 149.
- [8] Batty M, Longley P A. Fractal Cities. London: Academic Press, 1994, 78 ~ 84.
- [9] 冯永玖, 童小华, 汪超, 刘妙龙. 基于 GIS 的公路工程智能信息平台系统分析与设计. 交通与计算机, 2004, (22): 61 ~ 64.
- [10] 王沫然. Matlab 与科学计算 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2000, 139 ~ 140.

Fractal theory based study on highway transportation networks in Guangdong Province

FENG Yongjiu, LIU Miaolong, TONG Xiaohua

(*Department of Surveying and Geo-informatics, Tongji University, Shanghai 200092, China*)

Abstract: In the early 1990s Frankhouser has discovered the power-law relationship between the length $L(r)$ of railway networks and the radius (r) of an area, and calculated the radial dimension value when he investigated the sub-railway in Stuttgart. Because of the scale-invariance in a statistical sense, fractal theory is a suited method for the distribution of highway transportation networks. Based on GIS technology, radial dimensions (D_L), ramification dimensions (D_b) and correlation coefficient (R^2) of the distribution of highway transportation networks are measured and calculated in the 21 municipalities of Guangdong province. According to the spatial pattern of highway transportation networks and the development characters of infrastructure, the province is zoned to four sub-areas (Pearl River Delta Area, East Coast Area, West Coast Area and Northern Guangdong Area) for analyzing the fractal characteristics of highway transportation networks. Pearl River Delta Area is the region with the biggest density, most complex structure, best connectivity and most mature function of transportation networks in the whole province. The fractal dimensions of highway transportation networks decay with distance from Pearl River Delta Area to the fringe areas, while the decaying degree is lower in Coast Area and higher in North Guangdong Area. The fractal dimension value approximate 1.7 is likely a suitable indicator for the perfectness of transportation networks morphology, structure and function. The fractal dimension of Dongguan (1.6287) is greatly approaching the indicator; therefore, it can be determined that the transportation network is rather mature in this municipality. The results obtained show clearly, the combination of radial dimensions and ramification dimensions enables the comprehensive analysis of spatial pattern characteristics of density, structure, connectivity and function of transportation networks.

Key words: fractal theory; highway transportation network; radial dimension; ramification dimension; Guangdong province