

# 基于 GIS 的重庆市道路密度的空间分异

范科红<sup>1,2</sup>, 李阳兵<sup>2</sup>, 冯永丽<sup>1,2</sup>

(1. 重庆师范大学地理与旅游学院, 重庆 400047; 2. 重庆师范大学地理信息系统应用研究重点实验室, 重庆 400047)

**摘要:**以重庆市县域为研究单元,选取 2006 年重庆市 1:166 万基础地理信息数据中的道路网络数据为参考底图,利用 ArcGIS 的叠加分析和空间分析功能,研究了重庆市县域道路密度的空间分布差异。在道路密度研究的基础上,对各县(片)区的路网密度分布差异从社会经济和地形等方面,进行了相关分析和讨论。结果表明,2006 年重庆市各区县道路密度的空间分布具有明显的集聚特征和地带性,重庆西部渝中区、沙坪坝区、九龙坡区等道路网密度较高,东北部的城口、东南部的丰都等区县道路网密度较低,揭示出重庆市道路密度空间分布的不均衡性;部分区县的道路网密度较高,与周边地区的差异相对显著,但尚未连接成面或完全均质化,主要包括西部铜梁片区、东南的丰都等区县;各区县不同等级道路密度空间分异也不尽相同;与地形、经济、人口、城镇用地的相关性研究中发现,重庆市道路密度分布格局与重庆的地势走向和地貌组成的地区分异大体吻合,与各区县 GDP 发展的空间水平基本耦合,与人口的相关性密切,并且道路网络的不断完善加速了城镇建设用地的外扩。

**关 键 词:** 道路密度; 空间分异; GIS; 重庆

**中图分类号:** F572      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-0690(2011)03-0365-07

一个地区道路数量或路网便捷与否的常用量度指标之一为道路网密度<sup>[1]</sup>,它是指导城市道路交通规则、衡量城市道路建设水平的重要指标。因此,分析和研究城市道路网的合理密度,对于把握城市交通与经济适应程度,制订科学合理的城市道路网规划,具有十分重要的意义。近年来,不少学者致力于 GIS 空间分析在区域差异问题中应用的研究,但这些研究多集中在区域经济发展<sup>[2~4]</sup>、人口分布<sup>[5]</sup>、土壤养分<sup>[6]</sup>等方面,很少涉及到道路网络。道路网络是空间运输得以实现的基础<sup>[7]</sup>,对区域经济发展具有巨大的推动作用<sup>[8,9]</sup>。目前,对道路网络的研究中,大多学者采用可达性指标进行实证分析<sup>[10~14]</sup>,对于道路密度指标的研究则较少;且研究主要集中于经济发达的大中尺度地域<sup>[15]</sup>,而以省级行政区等小尺度为研究对象的则较少。

重庆市山地较多,而近年道路建设发展较快,因此,研究其道路密度的空间分布,可更好地为区域发展政策、区域交通规划提供依据。道路密度是道路生态影响的主要测度指数,也是表征道路网络

特征的重要参数<sup>[16,17]</sup>。本文选取道路密度为指标研究重庆市道路网络的空间特征,以县域为研究单元探讨区域道路密度空间差异。在评价指标体系构建上,按道路等级通行能力的比例,结合专家打分,采用模糊综合评价方法,对不同等级的道路赋予不同的通行权重系数,得到的道路加权密度,能够更真实地反映区域间的密度状况。

## 1 研究区概况

重庆简称渝,位于四川盆地东部边缘。2005 年底辖 40 个区、县(包括自治县,县级市)。总面积约  $8.24 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,是中国面积最大的直辖市。重庆地势东高西低,其中山地丘陵占土地面积的 89.8%,平坝地区所占比重小。特有的山城环境给重庆市的道路基础设施建设带来一定的困难。自 1933 年成渝公路建成,1942 年汉(汉中)渝公路通车后,一个以重庆为枢纽,西连成都、东接湖南、北达陕西、南通贵州的公路交通网络框架已基本形成。但至 1949 年重庆解放时止,全市公路通车里程仍不到 600 km,不少路段还是晴通雨阻、交通时

收稿日期:2010-05-18; 修订日期:2010-10-14

基金项目:重庆市自然科学基金项目(CSTC,2010BB0322)、重庆师范大学校级基金项目(08XLZ12)和国家自然科学基金项目(40361004)资助。

作者简介:范科红(1983-),女,陕西宝鸡人,硕士研究生,主要从事水土保持、土地利用研究。E-mail: kehong0510@163.com

通讯作者:李阳兵,教授。E-mail: li-yapin@sohu.com

断时续。经过新中国成立以来的 60 多年的建设,重庆市现已形成国道为主打,高速为骨干,包括省道、县道等多道构成的陆上公路交通网络。截至 2006 年底,重庆市公路通车总里程达到  $3.695 \times 10^4$  km(不含村道),四级及以上等级公路  $2.820 \times 10^4$  km,占总里程比重 75.8%。其中高速公路里程已达到 778 km,比直辖初期增加了 664 km<sup>[18]</sup>,为“畅通重庆”的实现打下坚实的基础。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源与处理

文中的社会经济数据来源于 2008 年重庆市统计年鉴<sup>[18]</sup>,本研究采用的道路矢量数据是以 2009 年山东省地图出版社的 1:166 万的重庆市道路网络数据为参考底图,参考遥感影像及地形图进行了修正,其中道路网络数据包括公路网数据和铁路网数据两部分。对其采用圆锥投影进行配准校正,再进行矢量化。空间数据包括研究区域 1:5 万地形图,利用重庆地形图在 ArcGIS 中矢量化等高线,转换为 TIN,再插值为 DEM,基于 Zonal Statistics 工具统计各县域的平均海拔高度。

2.2 研究方法

2.2.1 道路密度

道路密度是指一定区域内道路总长度与该地区面积之比<sup>[19]</sup>,是评价某一地区的交通状况的常用指标之一<sup>[20]</sup>。计算公式为:

$$D_i = L_i/A_i, i \in (1,2,3,\cdots,n)$$
 (1)

式(1)中, $D_i$ 为区域*i*的道路设施网络密度(km/km<sup>2</sup>), $L_i$ 为区域*i*的道路长度或节点数量, $A_i$ 为区域*i*的用地面积。

一般认为,道路网密度越大,交通联系越便捷,但密度过大,会造成城市用地不经济,增加城市道路建设投资,并且造成交叉口过多,反而影响车辆行驶速度和干道通行能力;道路网密度过小,会使车辆绕行,增加居民出行时间,造成道路交通拥挤。

2.2.2 叠加分析

叠加分析是将两层或多层地图要素进行叠加产生一个新要素层的操作。在 ArcGIS 环境中,先将重庆市的公路网络数据层和铁路网数据叠加在一起,生成道路网络数据图层(线状图层)。其次把重庆市行政区划数据图层(面状图层)和生成的道路网络数据图层进行叠加,得到重庆市道路网分布图(图 1)。

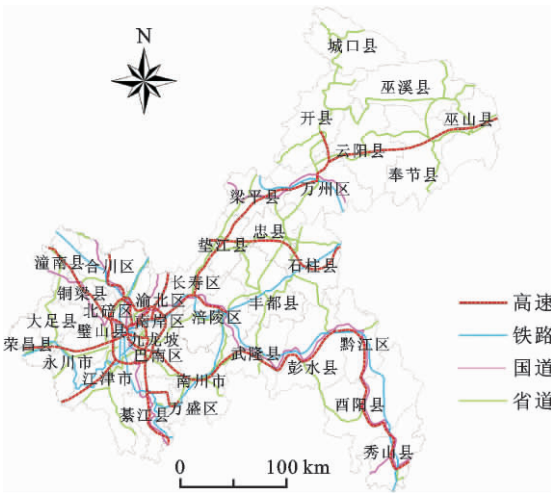


图 1 重庆市高等级道路网分布  
Fig. 1 Distribution of high-grade transport network

2.2.3 交通道路权重

在重庆市的交通网络内,主要包括公路交通和铁路交通,在公路交通中道路类型比较多,有高速公路、国道、省级道路和县乡道路 4 种,铁路没有再进一步分类。考虑到不同类型运输线路的等级通行能力不同,给不同类别的道路赋予不同的权重<sup>[21,22]</sup>。按照道路等级通行能力的比例,结合专家打分<sup>[23]</sup>,采用模糊综合评价方法折中后就可得到通行能力权重系数,从而最大程度上避免专家的主观和偏好性。针对重庆市各级道路通行能力和对道路影响权重值的确定问题,计算出的不同等级道路因子的权重值(表 1)。

表 1 重庆市道路通行能力权重

Table 1 Weights of road communication capacity in Chongqing City

| 道路类型 | 铁路  | 高速公路 | 国道   | 省道   | 县道  |
|------|-----|------|------|------|-----|
| 权重   | 0.3 | 0.3  | 0.16 | 0.14 | 0.1 |

由叠加结果图层的属性表算出的每个区县的不同等级道路的长度,分别除以各个区县的面积,就可以得到区县的道路密度。若此长度乘以对应的道路通行能力权重系数,就可以算出每个县的加权密度,这样的密度考虑了不同等级道路实际的通行能力的高低,能更真实地反映区域间的路网分布状况。通过 ArcGIS 软件提供的自然断点法(Nature breaks),把相似性最大的数据分在同一级,差异性最大的数据分在不同级,将重庆市县域道路密度水平划分为 5 种不同的类型,可以以地图的形式

表达出来(图2)。

2.2.4 空间自相关分析

空间自相关是测试空间某点的观测值是否与其相邻点的值存在相关性的一种分析方法<sup>[24,25]</sup>。Moran 指数是用来度量空间自相关的全局指标<sup>[26]</sup>,反映空间邻接或邻近的区域单元观测值的相似程度。Moran 指数计算公式如下:

$$I(d) = \frac{\sum_i^n \sum_{j \neq i}^n W_{ij} (x_i - \bar{x}) (x_j - \bar{x})}{S^2 \sum_i^n \sum_{j \neq i}^n W_{ij}} \quad (2)$$

式(2)中,  $S^2 = \frac{1}{n} \sum_i^n (x_i - \bar{x})^2$ ,  $x_i$  表示在  $i$  处的属性值,是空间权重值。Moran  $I$  的取值一般在  $[-1, 1]$  之间,小于 0 表示负相关,等于 0 表示不相关,大于 0 表示正相关。其中全局 Moran's  $I$  统计量是一种总体统计指标,仅说明所有区域与周边地区之间空间差异的平均程度。为了全面反映区域空间差异的变化趋势,还需采用局部空间自相关分析(包括 LISA、G 统计、Moran 散点图)方法进行分析。

本文选全局 Moran's  $I$  和局部 Moran 散点图来分析道路密度的空间自相关性。其中 Moran 散点图的 4 个象限,分别对应区域与其相邻区域之间的 4 种类型的局部空间联系形式:第 1 象限“高高”关联,高观测值的区域单元被高值区域包围的空间联系形式;第 2 象限“低高”关联;第 3 象限“低低”关

联;第 4 象限“高低”关联,高观测值的区域单元被低值区域包围的空间联系形式。

3 结果与分析

3.1 区域道路密度叠加分析

由图 2 及叠加分析数据可看出,重庆市多数县区的道路密度低于全国平均水平  $0.2 \text{ km/km}^2$ <sup>[27]</sup>,部分县区的公路里程较大,其密度较高。重庆市 40 个区县的道路密度中,有 3 个县处于  $0 \sim 0.1 \text{ km/km}^2$  间,24 个县处于  $0.1 \sim 0.2 \text{ km/km}^2$  间;部分区县的网络密度高于全国平均水平:其中 8 个县(20%)处于  $0.2 \sim 0.3 \text{ km/km}^2$  间,1 个县处于  $0.3 \sim 0.4 \text{ km/km}^2$  间;还有 10% 的区县远远高于全国平均水平,道路交通对这些地区的发展有很高的支撑能力和保障水平。由道路密度和加权密度的空间分布可以看出:重庆市西部的主城区为道路密度高值集聚区,东北部城口、巫溪及东南部丰都、彭水等县是道路密度低值区,这从总体上揭示了重庆市道路网络在空间分布上具有不均衡性,道路网络发达的地区集聚于西部,道路网络稀疏的地区则聚集在东北、东南部;且部分区县的公路网密度较高,与周边地区的差异相对显著,主要包括渝西荣昌县片区、渝东南的酉阳县片区,但这些地区尚未连接成面,内部未能完全均质化,并且覆盖面积小(表 2)。

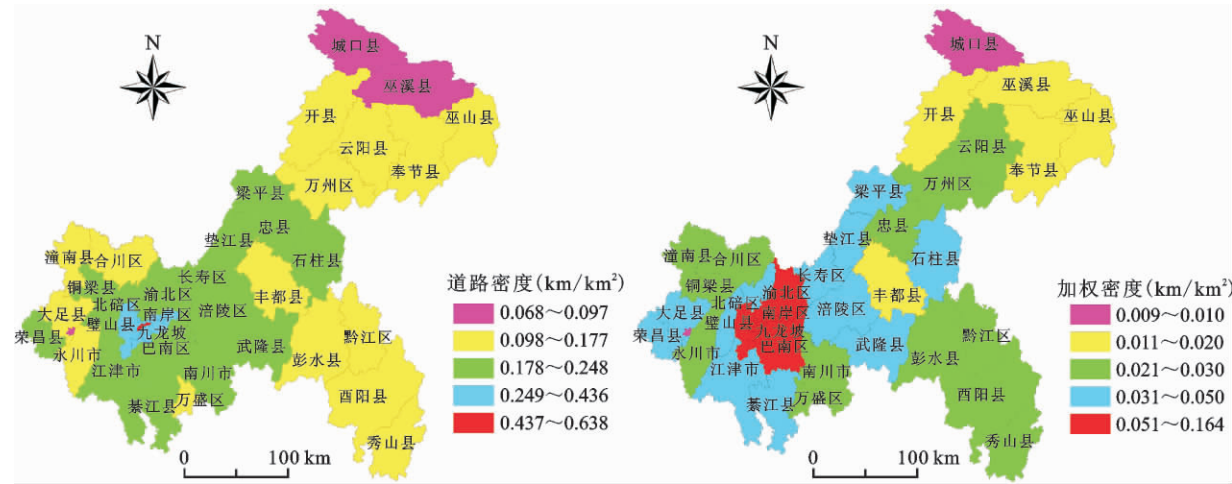


图2 重庆道路网道路密度(a)和加权密度(b)  
Fig.2 Road density and weighed density of transport network in Chongqing

3.2 区域道路密度空间自相关分析

采用 Moran's  $I$  指数,在 ArcGIS 中调用空间自

相关分析中的 Global Moran's  $I$ ,空间关系判别准则选取多边形一阶邻接关系,得到道路密度的全

表2 重庆市道路密度的分区差异

Table 2 Road density of different areas in Chongqing

| 区县名称                       |                                                                                             | 平均道路密度<br>( km/km <sup>2</sup> ) |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| 渝东北                        | 城口县、巫溪县、开县、巫山县、云阳县、奉节县、万州区、梁平县、垫江县、丰都县、忠县                                                   | 0.151                            |
|                            |                                                                                             |                                  |
| 渝东南                        | 酉阳县、秀山县、石柱县、黔江区、武隆县、彭水县                                                                     | 0.155                            |
|                            |                                                                                             |                                  |
| 渝西                         | 江北区、南岸区、渝中区、渝北区、北碚区、沙坪坝、九龙坡、大渡口、巴南区、万盛区、江津区、合川区、永川区、南川区、潼南县、长寿区、双桥区、铜梁县、荣昌县、涪陵区、璧山县、大足县、綦江县 | 0.245                            |
|                            |                                                                                             |                                  |
| 中国西部<br>地区 <sup>[27]</sup> |                                                                                             | 0.197                            |

局 Moran's  $I = 0.709$ 。道路密度较大的空间正相关特性表明,重庆道路密度的空间分布具有明显的集聚特征,即道路密度高的县,其周边区域的道路密度也较高;道路密度低的县,其周边道路密度也低。

利用局部 Moran 指数公式,计算重庆各县域道路密度的局部 Moran's  $I$  值,得到县域道路密度空间分异状态的 Moran 散点图(图3)。重庆道路网络空间异质性,通过 Moran 散点图上高高、低低两类明显的空间分异区域体现出来,并且位于第一象限内的高-高集聚类型的区县比位于第三象限内的低-低集聚类型的区县多。其中属“高高”区的区县分布在重庆市西部的主城区及周边,主要包括渝中区、九龙坡区、大渡口区、沙坪坝区、巴南区、南岸区和江北区等共 19 个区县。位于“低低”象限的区县市共 16 个,其中包括东北部的城口、巫溪,及东南部的丰都、彭水等县的周边地区。其余区县位于“低高”象限。

表3 重庆市不同等级道路之间的相关性

Table 3 Correlation coefficient of different grade road in Chongqing

| 相关系数 | 铁路       | 高速公路     | 国道    | 省道        | 县道     | 所有道路     |
|------|----------|----------|-------|-----------|--------|----------|
| 铁路   | 0.702 ** | 0.442    | 0.563 | -0.366    | -0.304 | 0.564 ** |
| 高速公路 | 0.589 ** | 0.705 ** | 0.640 | 0.160     | -0.113 | 0.889 ** |
| 国道   | 0.507    | 0.432    | 0.537 | -0.305 ** | -0.461 | 0.474 ** |
| 省道   | 0.370    | 0.147    | 0.361 | 0.582     | 0.162  | 0.101    |
| 县道   | 0.214    | -0.113   | 0.704 | -0.258    | 0.369  | -0.373   |
| 所有道路 | 0.371    | 0.603 ** | 0.460 | 0.799     | 0.274  | 0.709 ** |

注: \*\* 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

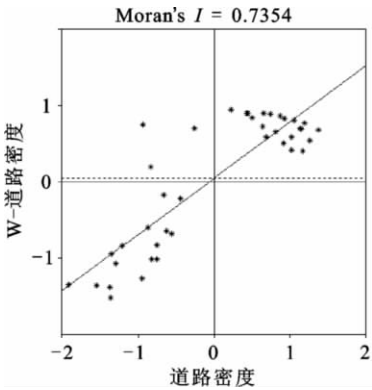


图3 重庆市道路密度的局部 Moran 散点图

Fig. 3 Moran scatter plots for road density in Chongqing

3.3 不同等级道路密度的空间相关性分析

由表3可知,铁路、高速公路和国道具有显著的空间自相关性。同时,铁路、高速公路和国道均与道路密度显著相关,即在道路密度呈现空间集聚效应的同时,铁路、高速公路和国道也呈现出空间上的集聚效应。但各类型道路密度集聚的区域不尽相同,铁路发达的地区集中于重庆主城区的沙坪坝区、江北区、九龙坡区、大渡口区,渝中区个别县区,稀疏的主要集中在北部城口、巫溪、开县、巫山的个别区县;高速公路分别在沙坪坝区,九龙坡区、渝北区(发达),以及城口、巫溪、开县3个地区邻接处(稀疏)聚集。等外路集中于沙坪坝区,江北区和渝中区。

4 讨论

4.1 道路密度与地势分异的关系

采用 ArcGIS 提供的属性统计工具分析各县域道路密度与平均海拔高度之间的关系,分析表明,重庆市路网密度分布特征(图2)与地形地貌的地区分异(图4)大体吻合。重庆华蓥山-巴岳山以西的丘陵地貌区,为路网密度高值区;华蓥山至方斗



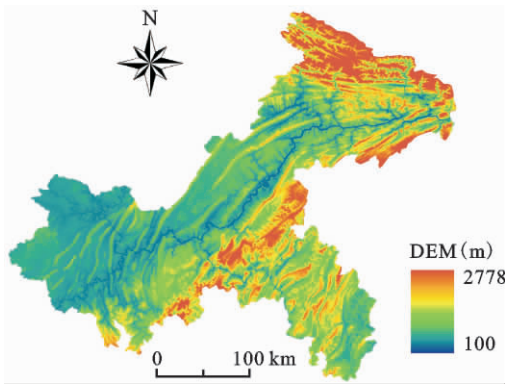


图 4 研究区数字高程分区模型  
Fig. 4 DEM distribution Model of Chongqing

山之间的平行岭谷区,路网密度较高;北部大巴山区中山山地,及东部、东南部和南部的巫山、大娄山和武陵山山区,为路网密度低值区。总体上,地势

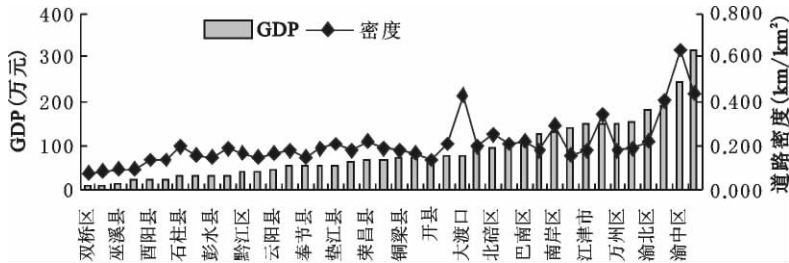


图 5 重庆市高道路密度区县道路密度与 GDP 的关系  
Fig. 5 Correlation between road density and GDP of districts with high road density of Chongqing City

4.3 道路密度与人口分布的关系

重庆市西部路网密度极高且由主城区向外围递减、渝东南和渝东北路网稀疏,这与各区县的人口空间分布特征具有较高的趋同性。以各区县道路网密度为自变量  $X$ ,人口密度为因变量  $Y$ ,建立回归方程。经量纲转化,消除单位不一致影响。所得回归方程:

$$Y = 2.9282X - 4795 \tag{3}$$

该线性回归方程的相关系数  $R$  为 0.730,表明道路网密度与人口分布具有较高的正相关性。重庆市人口密度以主城区为中心向四周逐渐减少,人口密度中心最高为渝中区,最低为城口县。可见,人口分布与道路基础设施的联系非常紧密,可达性、便捷性是人们考虑的主要因素。

4.4 道路密度与城镇建设用地的关系

道路与城市的发展是同步的,研究区在城市发展初期,长江和嘉陵江是主要交通线,城市建成区沿江呈带状分布;铁路的出现使车站周围逐步形成

较高的渝东北和渝东南地区道路密度较低,地势相对低平的渝西部道路密度较高。

4.2 道路密度与经济的相关分析

重庆市形成少数路网密集地区,主要包括渝中区、九龙坡、大渡口、沙坪坝区和江北区等。这些地区同经济集聚和城镇体系有较高的空间耦合性。利用 Excel 提供的数据分析工具 Correl,分析重庆市各区县道路密度 ( $\text{km}/\text{km}^2$ ) 与 GDP (万元) 之间的关系(图 5),显著性水平在 0.01 上的相关系数为 0.72,表明道路密度对于经济发展具有较强正相关性。这充分说明道路对重庆城镇密集区的社会经济发展有着很高的支撑能力。经济 GDP 较高的区县其道路密度值也大。说明经济发展也推动了交通建设,这是一个相辅相成的过程。

建成区,城市建成区呈定向扩展格局;随着公路网络不断完善,沿路伸展又成为主要方式。采用单一建设用地动态度<sup>[28]</sup>,来定量描述研究区 1997 ~ 2006 年城镇建设用地的动态变化:

$$K = \frac{(U_b - U_a)}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \tag{4}$$

式(4)中, $K$ 为动态度; $U_a$ 、 $U_b$ 分别为研究初期和末期城镇用地的数量; $T$ 为研究期时段长。当  $K$  为正值,表明在这段时间内城镇用地呈增长趋势,值越大,增长越快,反之亦然(表 4)。

表 4 1997 ~ 2006 年重庆市城镇建设用地动态变化

| Table 4 Dynamic change of land use for urban construction of Chongqing City |               |               |               |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
|                                                                             | 1997 ~ 2001 年 | 2001 ~ 2003 年 | 2003 ~ 2006 年 |
| 变化总量( $\text{hm}^2$ )                                                       | 8796          | 7304          | 15490         |
| 动态度( % )                                                                    | 6.34          | 8.12          | 10.53         |

由表 4 可以看出,1997 ~ 2006 年重庆市城镇用地处于不断扩张的状态,占建设用地的比重不断

上升,但增长速度不均匀,地区差异明显。其中城镇用地面积绝对量增加最多的区县是渝北区、合川区、沙坪坝区和巴南区;高于重庆市城镇用地增长平均水平的区县有双桥区、合川区、江北区、沙坪坝区、渝北区、巴南区、长寿县、潼南县、铜梁县、永川区、大足县、璧山县、秀山县和万州区。重庆市城镇用地扩展主要集中在一小时经济圈,这种地区差异与道路网密度的空间分布具有同向性。

## 5 结 论

本文综合运用 DEM 分析、叠加分析、空间自相关分析等 GIS 空间分析技术,采用道路密度指标、结合地形、GDP、人口密度等因素,科学、直观、深入地揭示了重庆市道路密度的空间分异特征:

1) GIS 叠加分析工具展示了道路密度的宏观分异特征:西部高、东南部和东北部低;中西部道路密度为  $0.245 \text{ km/km}^2$ ,已经超过全国平均水平,相对于西部道路密度过高,两翼的道路网密度约为  $0.15 \text{ km/km}^2$ ,仅为西部的 60%,且低于全国和西部地区的平均值。

2) DEM 分析揭示了重庆市道路密度总体空间分异与地势有一定的相关性,表现为浅山丘陵及平行岭谷区道路密度高,山区、中山及东南、东北高山山脉区道路密度普遍较低。

3) 全局空间自相关分析表明,重庆市道路密度的空间集聚特征显著,局部自相关分析的 Moran 散点图表明道路密度的空间差异性明显,且不同等级道路密度的空间相关性也不尽相同。

此外,文中研究了道路密度分布与 GDP、人口分布和城镇用地的关系,达到了定量、定性的描述道路密度分布规律的目的。由以上分析研究可知,道路与人口分布、GDP,尤其是与人口分布有较强的相关性。随着交通网络体系不断完善,各地区间的时空距离显著缩短,既为城市居民与企业间的经济活动联系提供了空间可达性条件,又为实现城镇空间扩张进程提供了必不可少的基础设施网络,加速了城市土地利用的空间形态演变,城镇用地沿路网向外扩展的速度明显加快。这一研究对于把握城市交通与经济适应程度,制订科学合理的城市道路网规划,具有科学指导的理论及现实意义。为了更全面的分析道路密度空间分异的原因,以后的研究还可以从其它变量,例如土地利用、交通设施现状、国家投资策略、时间等考虑。

## 参考文献:

- [1] Bureau of Transportation Statistics [M]. Publication BTS99 - 04. Washington, D. C.: U. S. Department of Transportation. 1999.
- [2] 马国霞,徐勇,田玉军.京津冀都市圈经济增长收敛机制的空间分析.地理研究[J]. 2007,26(3): 590 ~ 598.
- [3] 徐建刚,尹海伟,钟桂芬,等.基于空间自相关的非洲经济格局[J].经济地理,2006,26(5): 771 ~ 791.
- [4] 孟 斌,王劲峰,张文忠,等.基于空间分析方法的中国区域差异研究[J].地理科学,2005,25(4): 393 ~ 400.
- [5] 杜国明,张树文,张有全.城市人口分布的空间自相关分析——以沈阳市为例[J].地理研究,2007,26(2): 383 ~ 390.
- [6] 谢花林,李 波,刘黎明,等.基于空间统计学和 GIS 农牧交错带土壤养分空间特征分析——以内蒙古翁牛特旗为例[J].水土保持学报,2006,20(2): 73 ~ 76.
- [7] Forman R T T, Sperling D, Bissonette J A. Road Ecology: Science and Solutions [M]. Washington D C: Island Press, 2002: 34 ~ 39.
- [8] Forman R T T, Road ecology: our giant on the land [M]. A CTE Distinguished Speaker Series Lecture Presented at NC State University, 2002.
- [9] 周 俊.轨道交通的廊道效应与城市土地利用分析[J].城市轨道交通研究,2002,5(1): 38 ~ 45.
- [10] 金凤君,王娇娥.20 世纪中国铁路网扩展及其空间通达性[J].地理学报,2004,59(2): 293 ~ 302.
- [11] Li Siming, Shum Yiman. Impacts of the national trunk highway system on accessibility in China [J]. Journal of Transport Geography, 2001, 9(1): 39 ~ 48.
- [12] 曹小曙,薛德升,阎小培.中国干线公路网络联结的城市通达性[J].地理学报,2005,60(6): 903 ~ 910.
- [13] 吴 威,曹有挥.长江三角洲公路网络的可达性空间格局及其演化[J].地理学报,2006,61(10): 1 065 ~ 1 074.
- [14] 徐 旭,曹小曙.不同指标下的穗港城市走廊潜在通达性及其空间格局[J].地理研究,2007,26(1): 180 ~ 186.
- [15] 王法辉,金凤君,曾 光.中国航空客运网络的空间演化模式研究[J].地理科学,2003,5: 519 ~ 525.
- [16] Forman R T T, Alexander L E. Roads and their major ecological effects [J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 1998, 29: 207 ~ 231.
- [17] 李月辉,胡远满,李秀珍,等.道路生态研究进展[J].应用生态学报,2003,14(3): 447 ~ 452.
- [18] 重庆市统计局.重庆市统计年鉴(2008) [M].北京:中国统计出版社,2008.
- [19] 沈建武,吴瑞麟.城市道路与交通 [M].武汉:武汉大学出版社,2006: 104 ~ 105.
- [20] Yue Hong Chou. Exploring Spatial Analysis in Geographic Information System [M]. USA: On Word Press, 1997.
- [21] 乐 鹏,王艳东,龚健雅.基于对象关系数据库的扩展网络分析模型研究[J].地理与地理信息科学,2003,19(4): 33 ~ 36.

- [22] ESRI. Network Analysis Guide Redlands [M]. C A: Environmental Systems Research Institute, 1995: 12 – 22.
- [23] 曾 文, 徐世文. 地理信息系统中的常规网络分析功能及相关算法 [J]. 中国地质大学学报, 1998, **23**(4): 355 ~ 35.
- [24] 陈小勇. 安徽黄山青冈种群遗传结构的时空自相关分析 [J]. 植物生态学报, 2001, **25**(1): 29 ~ 34.
- [25] Sanjeev S, Helena T, Richard L, et al. An exploratory spatial data analysis approach to understanding the relationship between deprivation and mortality in Scotland [J]. Social Science & Medicine, 2007, **65**: 1942 – 1952.
- [26] Cliff A D. Spatial Autocorrelation [R]. London: Pion, 1973: 7 – 17.
- [27] 应纪来, 徐伟峰, 刘新萍. 中国公路通车里程现状分析 [J]. 中国科技信息, 2006, **17**(9): 118 ~ 119.
- [28] 田光进, 庄大方. 近 10 年来中国农村居民点用地时空特征 [J]. 地理学报, 2003, **58**(5): 651 ~ 659.

## Spatial Distribution of Road Density in Chongqing Based on GIS

FAN Ke-Hong<sup>1,2</sup>, LI Yang-Bing<sup>2</sup>, FENG Yong-Li<sup>1,2</sup>

(1. College of Geographical Science, Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China; 2. The Key Laboratory of GIS Application Research, Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China)

**Abstract:** Transport is bonds and bridges of geo-spatial and socio-economic activities. Based on the road network of Chongqing, spatial discrepancy of regional road density distribution was investigated using the ArcGIS superposition analysis and exploratory spatial data analysis. Further more, correlation analyses and discussions on the distribution differences of the road density of each counties and districts was made from the economic, terrain, land use of urban construction and the density of population. The results showed that: the spatial distribution of road density in the counties and districts of Chongqing in 2006 has obvious clustering features, and showed two obvious areas features, the western area, Yuzhong, Sandbar, Jiulongpo's road density is high, while the north-east of the city in Chengkou, southeastern in Fengdu is low, which revealed the unbalanced nature of road density in Chongqing; the road density in partly counties is high, which was obviously different from the surrounding area, but they have not been connected as a network or completely homogenized, including the western Tongliang area, southeast of Fengdu and other counties; the spatial distribution of the different grades of road density is not the same; and through studies of correlation analyses between road density and terrain, economy, population density, the land use for urban construction, those are found that the distribution pattern of the road density in Chongqing generally is spatial co-relationship with its terrain and topography, agrees with the GDP development and population density of each county in Chongqing City, and accelerates the expansion of urban construction land outside.

**Key words:** road density; spatial distribution; GIS; Chongqing City