

# 基于GIS的甘肃省道路网密度分布特征 及空间依赖度分析

魏 伟<sup>1</sup>,石培基<sup>1</sup>,脱敏雍<sup>1</sup>,王雪平<sup>2</sup>,王旭峰<sup>3</sup>

(1.西北师范大学地理与环境科学学院,甘肃 兰州 730070;2.兰州理工大学土木工程学院,甘肃 兰州 730050;  
3.中国科学院寒区旱区环境与工程研究所,甘肃 兰州 730000)

**摘要:**以甘肃省为研究对象,从道路网出发,结合甘肃省社会经济因素,以县(区)为单元,运用GIS理论方法计算甘肃省道路网密度,并分析了道路网密度与人口密度、GDP密度之间的相关性,考虑到道路网建设还受资源、产业结构、道路网建设政策及其它运输方式的影响,提出了道路网依赖—偏好指数。在此基础上,分析了甘肃省道路网密度和依赖—偏好指数分布及空间特征。结果表明:①甘肃省道路网密度以兰州市、嘉峪关市为中心向外衰减,道路网密度整体分布东南比西北高,东南比西北均匀;②道路网密度与人口、生产总值等社会经济因素相关性很高,受经济发展水平和道路建设政策影响很大;③5.75%的县区属于超强依赖或超强偏好型,20.68%的县区属于强依赖或强偏好型,62.7%的县区属于中等依赖或中等偏好型,8.05%的县区属于较弱依赖或较弱偏好型,3.45%的县区属于弱依赖或弱偏好型。以兰州为中心及河西走廊地区的道路网依赖—偏好指数高于东部和南部山区。可为甘肃省道路网与人口、经济协调发展提供基础理论和参考依据。

**关键词:**道路网密度;空间依赖性;GIS;甘肃省

**中图分类号:**F542 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-0690(2012)11-1297-07

道路密度是道路发展水平的重要标志,也是衡量道路作为社会经济发展中重要基础设施并满足交通需求的直观指标<sup>[1-4]</sup>。因此,在研究道路建设发展问题时,必须对道路密度这一指标进行深入研究,以求得符合各省实际的道路密度。目前,在应用GIS研究道路网密度时,大多数学者采用可达性指标进行实证分析,并且以道路网密指标体系研究<sup>[5-6]</sup>、道路网密度计算<sup>[7]</sup>、道路网络评价<sup>[8]</sup>和道路网络通达度<sup>[9-11]</sup>等研究为主,且研究主要集中于经济发达的大中尺度地域<sup>[12-14]</sup>,以省级行政区等小尺度为研究对象的则较少。本研究试图从道路网空间依赖度的角度入手,探讨甘肃省交通网及空间依赖程度。

近年来,甘肃的交通运输发展迅速,但地区之间的差距也在进一步拉大,地区之间的发展不平衡不仅会影响经济的进一步发展,还会带来社会的不稳定等一系列问题。研究道路网的分布情况

和道路网与社会经济的空间相关性,对交通运输的发展提供相关决策支持,使道路网趋于合理,对缩小地区之间的经济差距具有非常积极的意义。因此,研究道路网的分布情况,对交通运输的发展提供相关决策支持,使道路网趋于优化和合理,对缩小地区之间的经济差距具有非常积极的意义。

## 1 研究区概况

甘肃省位于中国西部,地处黄河上游,地域辽阔,介于 $92^{\circ}13'E\sim 108^{\circ}46'E$ 、 $32^{\circ}31'N\sim 42^{\circ}57'N$ 之间,大部分位于中国地势二级阶梯上。东接陕西,南邻四川,西连青海、新疆,北靠内蒙古、宁夏,并与蒙古人民共和国接壤。甘肃地貌复杂多样,山地、高原、平川、河谷、沙漠、戈壁交错分布。地势自西南向东北倾斜,地形狭长,东西蜿蜒1600 km左右,南北宽530 km,人口 $2\ 628.12\times 10^4$ 。古丝绸之路在甘肃境内绵延数千公里,新亚欧大陆桥在

**收稿日期:**2012-03-06; **修订日期:**2012-07-23

**基金项目:**国家自然科学基金项目(40971078)、甘肃省青年科技基金计划项目(1107RJYA077)、西北师范大学青年教师科研能力提升计划项目(SKQNYB10034)资助。

**作者简介:**魏 伟(1982-),男,甘肃庄浪人,讲师,主要从事GIS和RS应用研究。E-mail:weiweigis2006@126.com

甘肃境内全长近 1 600 km, 占国内总长的 35%。特殊的地理位置, 决定了甘肃高速道路网在西部地区、全国及至国际范围内均具有重要的地位。因此, 甘肃高速道路网定位为: 国家的物流节点, 西部的运输枢纽, 甘肃的经济通道, 民族团结、边疆稳定的保障和新亚欧大陆桥的咽喉。结合地形、经济发展及路网特性, 甘肃省初步确定甘肃省高速道路网布局方案采用“放射线为主、纵横线为辅”的布局模式, 形成由省会兰州向外呈放射状、东西横贯、南北纵跨的道路运输大通道, 大致由 8 条省会放射线、4 条南北纵向线、2 条东西横向线和 1 条地区环线组成, 简称“8421 网”, 总规模 5 200 km 左右, 其中包括国家高速道路网规划路线 3 700 km 左右, 地方高速道路 1 500 km 左右<sup>[15]</sup>。

## 2 研究方法及数据准备

### 2.1 数据资料及预处理

利用 ArcGIS 将甘肃省道路网络和甘肃省行政区划图做预处理, 再从 Google Earth 上提取甘肃省高速道路, 用 Global Mapper 软件转成 shp 文件, 并与甘肃省道路网络合并, 得到甘肃道路网络图。人口数据和 GDP 数据均来自甘肃省 2000 年和 2009 年各类年鉴<sup>[16-19]</sup>。在分析道路网密度空间相关性时将所获取的统计数据和行政区划数据均以县(区)为单位在 ArcGIS 环境下做叠置分析, 然后将道路网密度和人口密度、GDP 密度数据进行空间化, 然后利用 SPSS 软件做相关分析。

### 2.2 研究方法

#### 2.2.1 道路网密度

道路网密度计算时忽略道路等级和车道数差异, 用各类道路总里程除以土地面积。将甘肃省道路网与甘肃省行政区做叠置, 对结果按行政区统计道路密度, 将统计结果与甘肃省行政区做表链接, 计算各县(区)道路网密度。为更直观表达不同县区在道路密度上的地域和空间分布的差异性, 在 GIS 平台上对计算出的道路网密度采用反距离加权法(IDW)进行插值, 得到甘肃省道路网密度分布图(图 1)。

从图 1a 可以看出甘肃省的道路网密度以兰州市、嘉峪关市为中心向外衰减, 尤以兰州市最为明显。此外张掖的甘州区、金昌市、武威的凉州区以及天水 and 庆阳的局部道路网密度也比较高; 在

酒泉大部分地区、甘南西南和陇南西部出现大面积低密度值区。根据道路网密度计算结果, 甘肃省以兰州市的城关区最高, 密度值达到 0.936 km/km<sup>2</sup>, 而位于酒泉市的阿克塞县最低, 仅为 0.09 km/km<sup>2</sup>。从地域分布上看, 各地级市政府所在地道路网密度较高, 此外, 甘肃中部、南部和东部部分地区密度较高, 而在甘肃西北部如酒泉西部、敦煌、金塔以及甘南的玛曲等地道路网密度较低, 平均约为 0.16 km/km<sup>2</sup>, 远低于甘肃省的平均水平(0.42 km/km<sup>2</sup>)。

点密度主要反映道路网络的连通情况。为进一步研究甘肃省的道路网密度, 将连接 4 条或 4 条以上的道路网节点提取出来, 并对其做点密度(Point Density)分析。从图 1b 可以看出甘肃省道路网节点的高密度值区主要在兰州市、白银市、武威市、张掖市和嘉峪关市, 这些点地处河西走廊和陇中黄土高原, 地势比较平坦, 经济相对比较发达, 也是内地入疆的重要节点。在陇东的平凉和庆阳的道路网节点密度相对较低, 连通性不好。主要是因为陇东处于黄土高原, 虽然地形起伏不是很剧烈, 但地表由于水土流失, 支离破碎, 严重影响着道路网的节点密度。道路网密度和路网节点比较低的地区如甘肃西北部的肃南、肃北、金塔、阿克塞, 西南部的玛曲、迭部等处于甘南高原和陇南山地的边缘地带, 这些地带自然环境相对恶劣, 地形复杂, 人口稀少, 经济比较落后, 成为制约道路网密度水平的主要因素。

#### 2.2.2 道路网密度与人口密度关系

为研究道路网密度与社会经济水平之间的关系, 选取甘肃省 2009 年末的常住人口为社会因素指标, 计算年末常住人口密度, 并利用 IDW 法对其进行空间化(图 2)。对道路网密度和年末常住人口密度做散点图, 观察点的分布情况。然后对路网密度和年末常住人口密度数据导入 SPSS 软件做相关分析。结果如图 3 所示, 在 SPSS 相关分析中  $r$  为 0.834, 在  $A=0.01$ 、自由度为 100、约束条件为 2 时, 相关系数临界值  $r_{\alpha}=0.41$ , 说明二者间有显著相关性。

#### 2.2.3 道路网密度与 GDP 密度相关性

首先计算出生产总值密度, 然后利用 IDW 法进行插值, 得到 GDP 密度图(图 4), 并对道路网密度和 GDP 密度做相关性散点图, 观察点的分布情况。

结果如图 5 所示, 在 SPSS 相关分析中  $r$  为 0.881, 在  $A=0.01$ 、自由度为 100、约束条件为 2 时,

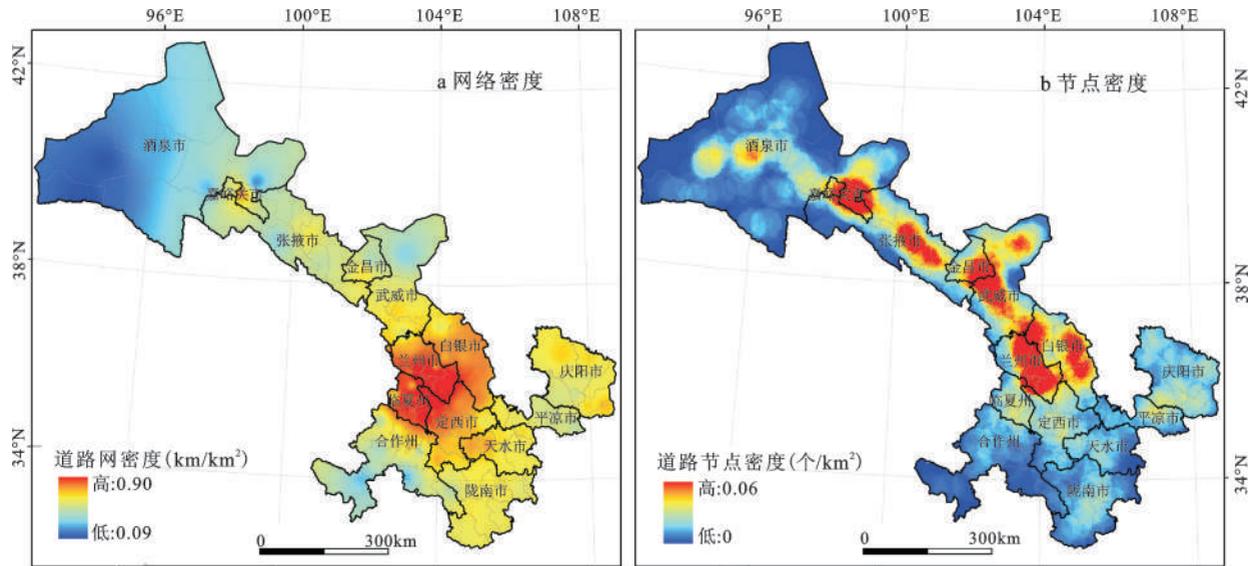


图1 甘肃省道路网密度图和道路节点密度  
 Fig.1 The road network density and nodes density in Gansu Province

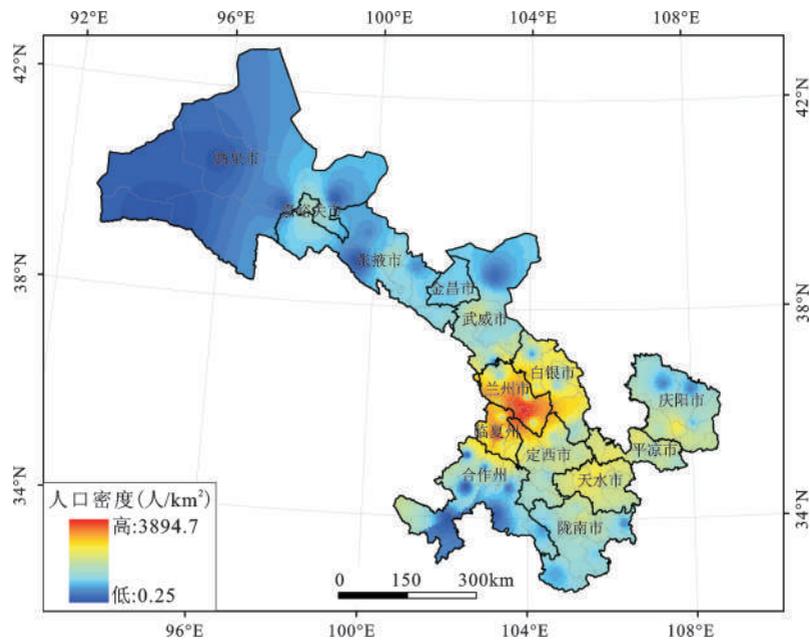


图2 甘肃省人口密度  
 Fig.2 The population density in Gansu Province

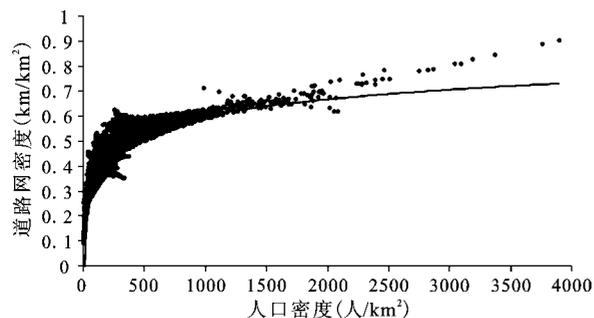


图3 道路网密度和人口密度散点  
 Fig.3 The scatter diagram of road network density and population density

相关系数临界值  $r_{\alpha}=0.23$ , 说明二者间有高度相关性。由图可知, 随着人口和GDP密度提高, 道路网密度迅速提高, 达到一定程度后趋于稳定。因此, 道路网密度与人口密度和GDP密度有密切关系, 道路对经济发展的支撑作用相当明显。

### 2.3 理论模型

如果不考虑各国资源—产业结构对道路运输的依赖性, 道路建设政策偏好, 甘肃道路网建设主要受人口密度、GDP密度两大因素控制, 并随社会进步而变化。这是因为人口密度越大就需要更

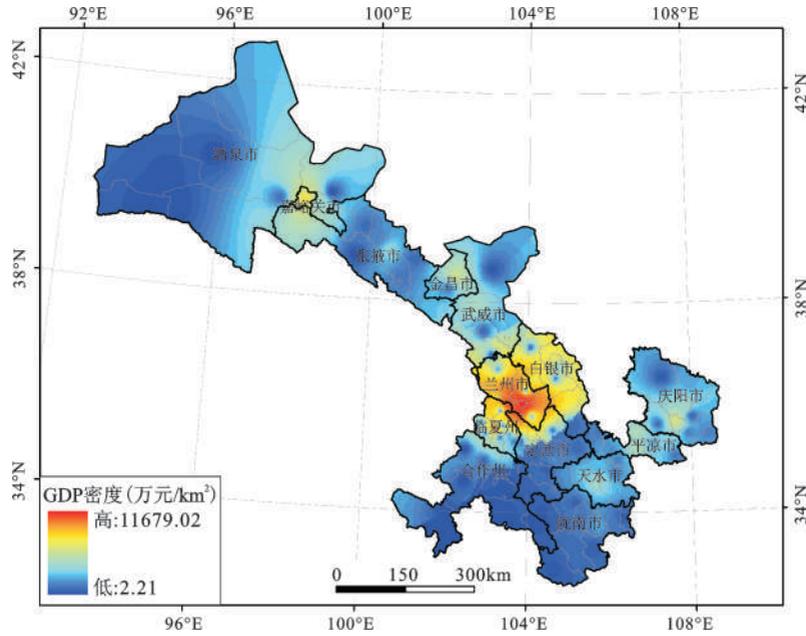


图4 甘肃省GDP密度

Fig.4 The GDP density in Gansu Province

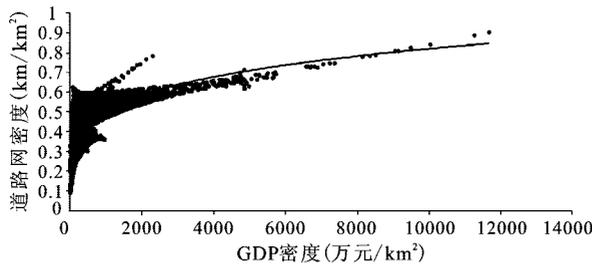


图5 甘肃省道路网密度和GDP密度散点

Fig.5 The scatter diagram of road network density and GDP density

密集的道路网来实现人们在地域空间流动,经济发展水平越高亦需要越发达的道路网以适应商品货物在国内的运输交换。为研究人口与GDP对道路网密度的综合影响,根据Cobb-Douglas生产函数理论<sup>[20]</sup>,假定甘肃省道路网需求函数为:

$$Dr=KPaG^b \quad (1)$$

式中,  $Dr$  为国家区域道路网密度;  $P$  为人口密度;  $G$  为GDP密度;  $K$ ,  $a$  和  $b$  分别为道路网需求函数中的社会进步、人口密度和经济发展水平弹性系数。其中  $Dr$ ,  $P$  和  $G$  可通过统计资料获取,而  $K$ ,  $a$  和  $b$  需从对应的统计分析中进行参数估计。为了估计参数  $K$ ,  $a$  和  $b$ , 确定道路网需求模型, 对公式(1)两边取自然对数, 得

$$\ln Dr = \ln K + a \ln P + b \ln G \quad (2)$$

令  $Y = \ln Dr$ ,  $A_0 = \ln K$ ,  $X_1 = \ln P$ ,  $X_2 = \ln G$ , 则上式可写为:

$$Y = A_0 + aX_1 + bX_2 \quad (3)$$

## 2.4 统计模型

为求取理论模型中的统计参数,以甘肃省2000年道路网密度( $Dr$ )、人口密度( $P$ )和GDP密度( $G$ )的统计资料各自取自然对数得到  $\ln Dr$ 、 $\ln P$  和  $\ln G$ , 同样在SPSS软件中运用多元回归分析计算出相应参数,并将所求参数代入公式(3)得

$$\ln Dr = 0.094 + 0.711 \ln P + 0.119 \ln G \quad (4)$$

相关系数  $r = 0.718$ 。在  $A = 0.01$ 、自由度为100、约束条件为3时,相关系数临界值  $ra = 0.329$ ,可知回归方程高度相关,符合模拟要求。给公式(4)两边脱去自然对数,得道路网密度与人口密度、GDP密度的函数关系式:

$$Dr = 0.002687 P^{0.711} G^{0.119} \quad (5)$$

## 2.5 还原计算及推论

将2000年甘肃省人口密度、GDP密度统计值代入公式(5),计算道路网的密度值,并将此模拟计算值与统计资料上的真实值做比较(图6),可看出方程(5)的模拟结果与实际统计值具有极高的相关性。

上述结果表明,人口密度和GDP密度越高的县区,其道路网密度越高,相反人口密度和GDP密度越低的县区,道路网密度也应越低。根据经济社会发展基本规律可得到这样的推论,即对于一个人口-道路网-经济社会协调发展的地区来说,随着人口增长、经济发展、社会进步,其道路网的建设也应随之增大加密。为进一步验证上述统计模

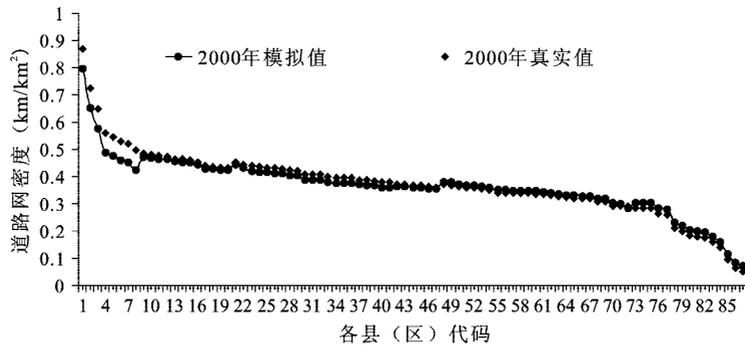


图6 甘肃省2000年道路网密度真实统计值与模拟值

Fig.6 The real statistical value and simulated value of road network density in Gansu Province

型及数学结构的稳定性,进而分析社会进步、人口增长和经济发展在道路网需求模型中弹性系数的变化趋势,通过2009年甘肃省统计数据对2009年道路网需求模型进行了计算,结果如下:

$$Dr = 0.00402P^{0.643}G^{0.350} \quad (6)$$

统计模型的相关系数 $r=0.689$ 。查相关系数检验表,在 $A=0.01$ 、自由度为40、约束条件为3时,相关系数临界值 $r=0.404$ ,比较相关系数可知此模型符合模拟要求。根据上述分析也可看出,甘肃省道路网密度确实与人口密度、GDP密度之间具有良好的统计关系,研究中提出的甘肃省省域道路网需求模型具有相对稳定的数学结构形式。随着甘肃社会的进步,其公路网密度亦将随之增大,这是道路网、人口、经济、社会作为一个相互联系的复杂系统,在动态进化过程中保持其协调性的基本要求<sup>[21]</sup>。通过研究发现,甘肃省道路网需求模型中,弹性系数 $K$ , $a$ 和 $b$ 并不是一个固定的常数,而是随着时间变化的变量,它反应了不同时段道路网建设与社会进步、人口增长、经济发展的动态弹性关系。

### 3 依赖—偏好指数

在统计学中,实际统计值与模型估计值之间的偏差在经济地理学中往往有新的含义。由于各地区资源与产业结构、道路建设政策和交通运输结构等的差异,使道路网密度的统计值与模型估计值之间出现一些小偏差,这种偏差正好反应了道路网建设地域差异规律。为分析甘肃各地区资源与产业结构对道路网的依赖性和道路网建设的政策偏好,在上述道路网需求模型的基础上,提出了甘肃省公路网建设的依赖—偏好指数,计算公式如下:

$$W = (Ds/De) \times 100\% \quad (7)$$

式中, $W$ 为道路网依赖—偏好指数; $Ds$ 为实际统计值, $De$ 为模型估计值。

此研究中道路网依赖—偏好指数的大小,综合反应了各地区资源、产业结构对道路网的依赖性和道路网建设的政策偏好和走势。结合相关研究结果<sup>[22-25]</sup>,根据甘肃各县区计算出的道路网依赖—偏好指数,统计出5种依赖—偏好类型及各县区的归属,分别为:超强依赖或超强偏好( $W > 150\%$ );强依赖或强偏好( $110\% < W \leq 150\%$ );中等依赖或中等偏好( $70\% < W \leq 110\%$ );较弱依赖或较弱偏好( $50\% < W \leq 70\%$ );弱依赖或弱偏好( $W < 50\%$ )(图7)。

在所统计的87个县区中,资源与产业结构对道路网的依赖性及道路网建设政策偏好所引起的统计值与模型估计值的偏差呈偏正态分布:超强依赖或超强偏好的县区有5个,占甘肃省所有县区的5.75%;强依赖或强偏好的县区有18个,占甘肃省所有县区的20.68%;中等依赖或中等偏好的县区有54个,占甘肃省所有县区的62.7%;较弱依赖或较弱偏好的县区有7个,占甘肃省所有县区的8.05%;弱依赖或弱偏好的县区只有3个,占甘肃省所有县区的3.45%。按照地域分布来看,兰州市各区及各地级市政府所在地对道路网依赖程度很高,基本属于超强依赖或强依赖类型,绝大多数县处于中等依赖或中等偏好类型,而甘南州和临夏州的少数民族分布地区对道路网的依赖或偏好程度相对较弱,尤其以酒泉市的肃北蒙古族自治县、阿克塞哈萨克族自治县和瓜州县依赖或偏好程度最低,其指数分别为38.8%、44.25%和48.47%。通过比较发现甘肃省各县区道路网具有如下特点:省会城市及发展较快的地级市大都十分重视道路



- [6] 汪德根,陈 田,李 立,等.国外高速铁路对旅游影响研究及启示[J].地理科学,2012,32(3):322~328
- [7] 任 慧,周振红,周鑫鑫.基于RS与GIS的城市道路网密度计算[J].计算机与信息科学,2009,18(2):85~87.
- [8] 金凤君,王成金,李秀伟.中国区域交通优势的甄别方法及应用分析[J].地理学报, 2008, 63(8):787~798.
- [9] 王娇娥,金凤君.中国铁路客运网络组织与空间服务系统优化[J].地理学报, 2005,60(3):371~380.
- [10] 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.
- [11] 陆大道.关于避免中国交通建设过度超前的建议[J].地理科学, 2012,32(1):2~11.
- [12] 金凤君.我国航空客流网络发展及其地域系统研究[J].地理研究, 2001,20(1):31~39.
- [13] 曹有挥,李海建,陈 雯.中国集装箱港口体系的空间结构与竞争格局[J].地理学报,2004,59(6):1020~1027.
- [14] 徐 骅,金凤君,王成金.集装箱环球航线的枢纽区位优化[J].地理学报,2008,63(6):593~602.
- [15] 赵雪雁,刘 霜,赵海莉.基于能值分析理论的生态足迹在区域可持续发展评价中的应用——以甘肃省为例[J].干旱区研究, 2011,28(3):524~531.
- [16] 甘肃年鉴编委会.甘肃发展年鉴2001[M].北京:中国统计出版社,2002.
- [17] 甘肃年鉴编委会.甘肃发展年鉴2010[M].北京:中国统计出版社,2010.
- [18] 甘肃城市年鉴编委会.甘肃城市年鉴2010[M].北京:中国统计出版社,2010.
- [19] 中国城市统计年鉴编委会.中国城市统计年鉴2001·甘肃篇[M].北京:中国统计出版社,2001.
- [20] 李子奈.计量经济学方法与应用[M].北京:清华大学出版社,1992:170~187.
- [21] 刘承良,余瑞林,曾菊新,等.武汉城市圈城乡道路网的空间结构复杂性[J].地理科学,2012,32(4):426~433.
- [22] 刘 勇.空间结构演化协同的城市群交通运输发展:以长三角为例[J].世界经济与政治论坛,2009,28(6): 78~84.
- [23] 张文尝,金凤君,樊 杰.交通经济带[M].北京:科学出版社,2006.
- [24] 金凤君,王缉宪.中国交通通信基础设施的区域发展类型研究[J].地理科学,1998,18(4):335~341.
- [25] 韩增林,杨荫凯.交通经济带的基础理论及其生命周期模式研究[J].地理科学,2000,20(4):295~300.

## The Road Network Density and Its Spatial Dependence in Gansu Province based on GIS

WEI Wei<sup>1</sup>, SHI Pei-ji<sup>1</sup>, TUO Min-yong<sup>1</sup>, WANG Xue-ping<sup>2</sup>, WANG Xu-feng<sup>3</sup>

(1.College of Geographical and Environment Science, Northwest Normal University, Lanzhou, Gansu 730070, China;  
2. School of Civil Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou, Gansu 730070, China; 3. Cold and Arid Regions  
Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China)

**Abstract:** Taking Gansu Province as an study area, the article employs the technical processes and assessment to calculate the road network density based on the analysis of the social and economic development of Gansu Province using GIS technology. And the relationship of the network density with population and GDP is analyzed, it is found that there exists a stable mathematical relation and a statistics law among them. The study has the following results. 1) The density of road network in Gansu Province is outward decay along the center of Lanzhou and Jiayuguan. The distribution of network density is higher in the southeast than northwest of Gansu, and also more uniform in the southeast than northwest Gansu.2) Road network density and population density, GDP and other socio-economic factors are highly relevant, and it is obviously influenced by the level of economic development and policy construction.3) About 5.75% of county or district are in the super dependence or super favoritism situation, about 20.68% of county or district are in the strong dependence or strong favoritism situation, and 62.7% county or district are in the common dependence or common favoritism situation. Comparatively, about 8.05% of county or district are in the less dependent or weak favoritism, and 3.45% of county or district are in the weak dependent or weak favoritism situation. The dependence-favoritism index in Hexi Corridor region is higher than the eastern and south mountainous area in Gansu. This study can afford a fundamental theory for the harmony development of Gansu road network, population and economy.

**Key words:** road network density; spatial dependence; GIS; Gansu Province