

中原城市群高速公路通达性及空间格局变化研究

李红<sup>1</sup>, 李晓燕<sup>1</sup>, 吴春国<sup>2</sup>

(1. 吉林大学 地球科学学院, 长春 130061; 2. 吉林大学  
计算机科学与技术学院 符号计算与知识工程教育部重点实验室, 长春 130012)

**摘要:** 基于中原城市群 2000, 2003, 2006, 2009 年高速公路网络建设情况, 分别构建 4 个年份高速公路拓扑网络分析图和最短路径矩阵, 对中原城市群高速公路 10 年来网络发育程度进行动态分析和空间格局变化的研究。结果表明: 2000—2009 年中原城市群高速公路网络发育程度明显改善, 入网城市和线路数增加迅速, 经历了由树状网络—回路网络—网络拓展阶段; 区域交通中心形成 6 路回路网络连接; 网络伸展程度逐年提高, 区域网络直径变化虽然不明显, 但是网络直径对应的城市却发生明显的空间位移; 城市群高速公路网络发育在空间上已经开始打破“核心—边缘”的特点, 呈现均衡化发展的趋势。

**关键词:** 高速公路; 通达性; 空间格局; 中原城市群

**中图分类号:** F127.61

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1003-2363(2011)01-0055-04

1 问题的提出

高速公路是交通运输现代化的重要标志, 在运输能力、速度 and 安全性方面具有突出优势, 对实现国土均衡发展、缩小地区差距、提高现代物流效率、促进区域经济一体化发展等方面具有重要作用。对高速公路的研究已经成为我国地理学的热点问题之一, 朱英明运用最短路径矩阵得出沪宁杭城市群高等级公路的网络通达性和趋中性 2 个指标, 指出沪宁杭城市群区域的网络通达性不够完善并有待加强的结论<sup>[1]</sup>。刘承良等引入时间、空间通达性模型, 建立高等级公路网发育评价指标体系, 定量分析武汉都市圈城际通达性变化及其空间格局<sup>[2]</sup>。李九全对陕西省 10 个地级市的城市竞争力与通达性进行比较研究, 指出城市竞争力和通达性的空间格局基本一致, 呈现以关中地区为中心的“核心—外围”格局<sup>[3]</sup>。牛树海研究了河南省 18 个地级城市高速公路网络化及由此引起的时空收敛性进行了评价<sup>[4]</sup>。周恺研究了长江三角洲高速公路网通达性与城镇空间结构发展之间的作用关系<sup>[5]</sup>。

中原城市群处于全国经济联系、技术交流的中心位置, 对全国经济活动中的承东启西、通南达北的重要作用 是其他地区不可比拟的。作者将采用不同指标对中原城市群地区高速公路的网络发育程度进行动态评价,

研究其通达性的空间格局变化特征, 以期能够对区域高速公路空间格局优化提供参考借鉴。

2 研究方法、数据来源与指标选择

2.1 高等级公路拓扑网络分析图

中原城市群以郑州为中心, 包括洛阳、开封、新乡、焦作、许昌、平顶山、漯河、济源共 9 个省辖(管)市、14 个 县级市、33 个县、340 个建制镇。区域土地面积为 5.87 万 km<sup>2</sup>, 占河南全省的 35.1%; 总人口 4 012.5 万人, 占 全省的 41%<sup>[6]</sup>。研究将首先对城市群内不同时间段的高速公路网络交通图进行拓扑变换, 将有至少一条高速公路通过的城市作为入网城市, 并且在连接入网城市时 不考虑它们之间的线路长短和方向, 只考虑彼此间的连接 顺序, 这种只反映“点对”之间的连接关系, 不考虑连 线长度和方向的网络图, 即将普通的城市间的高速公路 图转变为拓扑网络图(图 1)。

2.2 最短径道矩阵的构建

根据中原城市群高速公路拓扑网络图, 城市群中任 意两城市之间如果直接由高速公路相连接记为 1, 两城 市间没有高速公路直接相连则计为 0, 相应地做出城市 群区域城市间不同时间(2000, 2003, 2006, 2009 年)的连 接性矩阵。而连接性矩阵经过  $N$  次方后得到矩阵中没 有 0 出现的矩阵, 称为最短路径矩阵。具体的求法如下: 连接性矩阵的平方, 即  $T^2 = \{C_{ij}^2\}$  表示从城市  $i$  到城市  $j$  虽然 不直接连接但通过 1 个城市则可以连接, 即城市  $i$  到城 市  $j$  之间的最短路径为 2,  $T^3$  则表示城市  $i$  到城市  $j$  虽然 不直接连接但通过 2 个城市则可以连接, 即城市  $i$  到城市  $j$  之间的最短路径为 3; 以此类推, 直到  $T^n$ , 城市群内所有 节点通过直接或间接都相连, 即矩阵中没有 0 出现, 此时 的最短路径数为  $N$ , 得到的矩阵即为最短路径矩阵<sup>[1]</sup>。

收稿日期: 2010-06-01; 修回日期: 2010-12-20  
基金项目: 国家自然科学基金青年基金资助项目(60803052, 40801208); 高等学校博士学科点专项科研项目(20070183055); 吉林大学科学前沿与交叉学科创新项目(200903173)  
作者简介: 李红(1979-), 女, 吉林镇赉人, 讲师, 博士, 主要从事城市与区域发展研究, (E-mail) h\_li@jlu.edu.cn。  
通讯作者: 吴春国(1976-), 男, 黑龙江鹤岗人, 副教授, 博士, 主要从事智能计算与复杂网络研究, (E-mail) wucg@jlu.edu.cn。

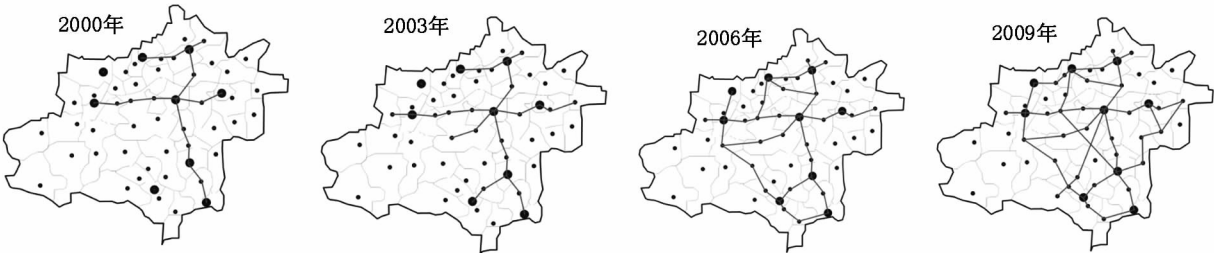


图 1 中原城市群高速公路拓扑网络分析图

Fig.1 Graph of highway topological analysis of Central China urban agglomeration

2.3 数据来源说明

分析使用国家基础地理信息系统网河南省 1 : 500 万境界图、高速公路网络交通图中的连接线路取自《中国分省公路地图册》(2001, 2004, 2007, 2010 年)<sup>[7]</sup>和《中国高速公路及城乡公路地图全集》(2007, 2010 年)<sup>[8-9]</sup>, 并且各年份交通地图中的节点和线路数量分别作为前一年分析数据来源。因为每个县都有高速公路出入口, 因此, 高速公路网络节点主要是以县为单位, 某些市与县共用出入口, 按一个节点计。

2.4 指标选取

2.4.1 区域网络发育程度的指标。主要有连接率  $\beta$ 、环路指数  $h$ 、实际成环率  $a$  和实际结合度  $y$  4 个指标, 分别表示为

$$\beta = e/n, \quad 0 \leq \beta \leq (n-1)/2. \quad (1)$$

$$h = e - n - q, \quad 0 \leq h \leq (n-1)(n-2)/2. \quad (2)$$

$$a = h/(2n - q), \quad 0 \leq a \leq 1. \quad (3)$$

$$y = e/3(n-2), \quad 0 \leq y \leq 1. \quad (4)$$

式中: 连接率  $\beta$  区域中线路数  $e$  与城市数  $n$  的比值<sup>[10]</sup>, 从路网布局方面反映公路网的结构特点, 反映每个城市平均连接的线路数,  $\beta < 1$  表示线路数目小于点的数目, 城市群交通网络为树状网络;  $\beta = 1$  表示城市群区域形成了单一回路连接的网络, 为回路网络; 当区域中包含若干回路时,  $\beta$  指数必然大于 1, 表示出高度通达性; 当  $\beta = 2$  时, 表明区域高速公路网络进入成熟状态。 $q$  表示网络个数;  $h$  则表示城市网络有多少环路数,  $h$  愈大, 环路愈多, 网络愈发达。实际成环率  $a$  和实际结合度  $y$  分别反映了网络的实际成环水平和线路的实际结合水平;  $a$  越大, 说明现阶段网络回路越多, 网络愈发达;  $y$  相反, 其值越小, 说明网络结合潜力越大,  $(1-y)$  和  $(1-a)$  则可表示网络连接发展潜力和环路发展潜力<sup>[4]</sup>。

2.4.2 区域网络伸展程度的指标。主要包括伸展指数  $D$ 、网络直径  $\delta$  和“点对点”间平均线路数  $A$  3 个指标。表达式分别为

$$D = \sum_i \sum_j \{S_{ij}\}, \quad (n-1) \leq D \leq n^2(n-1)/2. \quad (5)$$

$$\delta = \max \{S_{ij}\}, \quad 1 \leq \delta \leq (n-1). \quad (6)$$

$$A = D/n(n-1), \quad 1 \leq A \leq n/2. \quad (7)$$

式中: 伸展指数  $D$  是用来衡量网络中总的通达程度与联系水平的指标, 表示各城市最短路径矩阵元素之和, 反映城市群交通网络的扩展规模;  $\delta$  表示城市网络最短路径矩阵元素  $S_{ij}$  中的最大值, 反映城市网络中最远两城市间最短路径的线路数;  $A$  表示城市网络最短路径矩阵元素的总和与城市“点对点”数的比值, 反映对偶两城市间线路数的平均值。

2.4.3 各城市入网连接程度的指标。主要有通达性  $E_i$ 、趋中指数  $Z_i$  2 个指标, 分别表示为

$$E_i = \sum_j \{S_{ij}\}, \quad (i, j = 1, 2, \dots, n). \quad (8)$$

$$Z_i = \frac{\max_{1 \leq k \leq n} \{E_k\} - E_i}{\max_{1 \leq k \leq n} \{E_k\} - \min_{1 \leq k \leq n} \{E_k\}}, \quad (0 \leq Z_i \leq 1). \quad (9)$$

通达性是指网络中从一个城市到其他所有城市最短路径所经过的线路数目的总和, 反映两者之间的特定连接关系, 其值越小, 反映该城市到其他城市之间交通越便捷, 反之亦然。趋中指数是度量某一城市在网络中相应位置的指标, 其值等于网络中最大通达指数与该城市通达指数之差, 除以网络中最大通达性质属于最小通达指数只差的比值, 其值越大, 愈接近网络的交通中心<sup>[11]</sup>。

3 空间格局变化分析

根据中原城市群高速公路 4 个时间断面的拓扑网络图、入网城市及其连接状况, 分别给出 4 个最短径道矩阵, 以此作为分析城市网络功能变化的基础, 分别计算出各个时期的 7 个功能指标(表 1)。从中可以看出中原城市群的高速公路网络发育的空间格局变化。

表 1 中原城市群高速公路网络发育变化(2000—2009 年)  
Tab.1 Highway networks development  
of Central China urban agglomeration (2000—2009)

年份	$n$	$e$	$q$	$\beta$	$h$	$a$	$y$	$D$	$A$	$\delta$
2000	14	12	0	0.857	0	0	0.333	614	3.374	8
2003	20	17	0	0.850	0	0	0.315	1 532	3.840	9
2006	30	35	9	1.167	14	0.275	0.417	3 758	4.320	9
2009	47	58	20	1.250	28	0.467	0.421	6 830	4.378	9

3.1 高速公路通达性的变化

中原城市群地区入网城市逐年增多, 高速公路入网

城市(县级以上城市)由 2000 年的 14 个增至 2009 年的 47 个,增长 235%,公路网络中节点数目的增加会导致与节点相关的道路数量的增加,进而使整个区域的通达性得到提高。城市群高速公路道路数由 2000 年的 12 条增至 2009 年的 58 条,增长 383%,线路数增加的比例明显高于节点数的增加比例。区域城市群高速公路通达性连接率由 2000 年的 0.857 上升至 2009 年的 1.250,即由树状网络发展到回路网络阶段。随着网络覆盖面积和节点城市数量的逐年增加,再加上环路连接的进一步增强,环路指数和连接指数都有很大提高,高速公路建设现已进入“网络拓展”阶段。至 2009 年,中原城市群高速公路网络连接指数可达 42.1%,连接相对充分,环路指数达到 46.7%,仍有发展完善的潜力。

3.2 高速公路网络发育程度的变化

中原城市群中心城市郑州已经形成 6 路回路网络连接,许昌、洛阳、平顶山、新乡、巩义等市也已经分别形成 4 路或 5 路回路网络连接,网络覆盖程度提高明显。2009 年,中原城市群中除由京港澳高速公路(河南段,下同)和连霍高速公路构成的区域内交通骨架外,还包括南北向的二广高速、兰南高速、大广高速、郑焦晋高速;东西向的晋新高速、范辉高速、长济高速、南洛高速等,形成郑州西南绕城、洛阳西南绕城 2 条城市环线和郑州机场高速公路,基本形成了连接区域性中心城市、地方中心城市和大部分县城的高速公路网络。

3.3 高速公路伸展程度的变化

中原城市群高速公路网络的伸展指数由 2000 年的 614 增长为 2009 年的 6 380;对偶两城市间线路数的平均值由 3.374 增长到 4.378,足以见证区域高速公路的发展速度。区域网络直径变化虽然不明显,但是网络直径对应的城市却发生明显空间位移。2000 年,区域高速公路网络直径两端城市为洛阳、漯河(二者之间最短径道为 8),为地级城市;2003 年为洛阳、平顶山(最短径道为 9),为地级城市;2006 年为兰考、宝丰(最短径道为 9),兰考、叶县(最短径道为 9),兰考、舞阳(最短径道为 9),均为县级城市;2009 年为卫辉、宝丰(最短径道为 9),卫辉、舞阳(最短径道为 9),均为县级城市。可见,随着中原城市群高速公路的逐步完善,各地级城市的通达性提高明显。2009 年,整个中原城市群中没有入网的城市仅有洛阳市辖的孟津县、嵩县、栾川县、洛宁县、宜阳县,新乡市辖的辉县市、获嘉县、延津县,焦作市辖的孟州市。

3.4 各城市入网连接程度的变化

2000—2006 年,城市群内各城市通达性呈现明显的“核心-外围”特点,前 6 位城市集中在郑州 70 km 范围内,并且几年内少有变化,而到 2009 年,通达性前 6 位中仅保留原来的郑州和荥阳,新增巩义、许昌、偃师、温县,表明城市群区域高速公路网络发育在空间上已经开始打破“核心-边缘”的特点,向区域均衡化方向扩展(表

2)。据通达性和趋中指数 2 个指标确定的区域交通中心,自 2000—2006 年均为郑州市,2009 年,巩义(通达性 119)和许昌(通达性 128)均低于郑州(通达性 129),成为区域高速公路新的交通中心。

表 2 中原城市群高速公路网络通达性均值及低于均值城市  
Tab.2 Average accessibility  
of highway networks of Central China  
urban agglomeration and the cities with lower accessibility

年份	通达性均值	低于均值城市
2000	44	郑州、新郑、荥阳、中牟、新乡、新密、巩义、长葛
2003	73	郑州、新郑、荥阳、新乡、中牟、新密、长葛、巩义
2006	125	郑州、新郑、新密、荥阳、登封、长葛、洛阳、新乡、武陟、巩义、中牟、偃师、许昌、伊川、焦作
2009	171	巩义、许昌、郑州、荥阳、偃师、温县、长葛、新郑、新密、原阳、焦作、襄城、洛阳、鄢陵、中牟、伊川、临颍、登封、武陟、郾县

4 结论

中原城市群作为河南省发展和中部崛起的重要发展引擎,高速公路网络的发育程度对该区域未来的社会经济发展以及区域经济一体化进程具有重要影响。目前,中原城市群高速公路网络发育较完善,网络连接相对充分,已经形成回路网络并逐步进入网络扩展阶段。城市群中心城市郑州已经形成 6 路回路网络连接,许昌、洛阳、平顶山、新乡、巩义等市已形成了 4 路或 5 路回路网络连接,网络覆盖程度提高明显。区域网络直径变化虽然不明显,但是网络直径对应的城市却发生明显空间位移。城市群区域高速公路网络发育在空间上已经开始打破“核心-边缘”的特点,向均衡化方向扩展。随着经济全球化背景下区域之间的竞争日趋激烈,中原城市群区域各个城市必须联合起来,夯实一体化发展的基础,共同构筑以高速公路为核心的具有国际竞争力的区域交通运输系统,形成以郑州为中心、以高速公路网为突破口的城市群一体化发展。

参考文献:

[1] 朱英明. 城市群经济空间分析[M]. 北京:科学出版社, 2005:86-96.  
[2] 刘承良,丁明军,张贞冰,等. 武汉都市圈城际联系通达性的测度与分析[J]. 地理科学进展,2007,26(6):96-107.  
[3] 李九全. 陕西省城市竞争力及其通达性比较研究[J]. 地理科学, 2008,28(4):471-476.  
[4] 牛树海. 高速公路网络化的时空收敛效应研究[J]. 人文地理, 2005,20(6):106-110.  
[5] 周恺. 长江三角洲高速公路网通达性与城镇空间结构发展[J]. 地理科学进展, 2010,29(2):241-248.  
[6] 苗长虹,王海江. 中国城市群发展态势分析[J]. 城市

发展研究, 2005, 12(4): 11 - 14.

[7] 西安地图出版社. 中国分省公路地图册[K]. 西安: 西安地图出版社, 2001, 2004, 2007, 2010.

[8] 交通运输部公路司, 人民交通出版社. 中国高速公路及城乡公路地图全集[K]. 北京: 人民交通出版社, 2007.

[9] 交通运输部公路司, 人民交通出版社. 中国高速公路及城乡公路地图全集[K]. 北京: 人民交通出版社, 2010.

[10] 杨家文, 周一星. 通达性: 概念, 度量及应用[J]. 地理学与国土研究, 1999, 15(2): 60 - 66.

[11] 程连生. 中国新城在城市网络中的地位分析[J]. 地理学报, 1998, 53(6): 481 - 491.

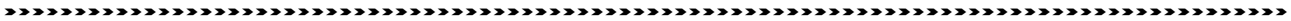
Study on Highway Accessibility and Spatial Layout Alteration of Central China Urban Agglomeration

Li Hong<sup>1</sup>, Li Xiaoyan<sup>1</sup>, Wu Chunguo<sup>2</sup>

(1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China;  
2. College of Computer Science and Technology, Jilin University, Changchun 130012, China)

**Abstract:** Based on the highway network construction data for 2000, 2003, 2006 and 2009, the highway topology network graphs and shortest-path matrixes are built, and then the dynamic analysis of the network development and the study on spatial layout alterations of the highways within the last 10 years in Central China urban agglomeration are performed. The study reveals that highway network development level of Central China urban agglomeration has been improved significantly since 2000 and the amount of both involved cities and roads increase. The development of Central China urban agglomeration experienced the stages of tree net, loop net and net expansion. The study also reveals that the traffic centre has generated six-loops network connections, the extending degree of network are increasing annually. The cities corresponding to the network diameter appear evidently spatial displacement in spite of inconspicuous regional network diameter alterations. The highway network development of urban agglomeration has broken the core-margin model spatially and shown a trend of equalization development.

**Key words:** highway; accessibility; spatial layout; Central China urban agglomeration



欢迎订阅《现代林业技术》

为满足广大林业科技工作者的需要,尽快把林业科学技术转变为生产力,更好地为现代林业和河南林业生态省建设服务,全面推进现代林业发展进程,由赵体顺、赵义民等主编的《现代林业技术》一书于 2010 年 7 月已由黄河水利出版社出版发行。该书站在可持续发展的高度,以建设现代林业和生态文明为宗旨,立足河南,面向全国,全面总结了近 10 年来的林业科研成果,并融入了林业新理论、新技术、新方法和新标准。

《现代林业技术》一书共分 20 章,资料翔实,内容丰富,涉及林木良种培育、苗圃的建立和育苗技术、主要林种营造技术、森林保护和自然保护区建设、森林经营和主伐更新、森林测量与森林资源调查、绿地规划设计与森林公园建设管理,以及林产品加工技术与森林多种经营等内容。该书理论先进,技术方法具体实用,基本反映了河南省林业科研工作的重点和主要研究领域的进展情况,具有较强的指导作用和实用参考价值,可供政府有关部门领导和专家,以及林业生产、教学、科研、管理等相关专业人员参考使用,欢迎广大读者购买订阅。

《现代林业技术》总字数 157 万,精装,16 开,定价 198 元,欲购买者请用下列方式联系。

联系人:赵义民; 联系电话:15038186009, 0371 - 65695382(0)

地址:郑州市花园北路 81 号 河南省林业调查规划院; 邮编:450045