

武汉城市圈城乡道路网拓扑通达性的时空演化

刘承良^{1,2}, 余瑞林^{1,2}, 段德忠¹, 张红³

(1.华中师范大学城市与环境科学学院,湖北武汉430079; 2.湖北大学中国旅游案例教学与研究中心,
湖北武汉430062; 3.西南交通大学地球科学与环境工程学院,四川成都610031)

摘要:以武汉城市圈为例,基于1989~2010年加权城乡道路网拓扑空间数据库和网络发育评价模型,对武汉城市圈20多年来城乡道路网发育程度进行动态分析和空间演化的研究。结果表明:20多年来武汉城市圈高速城乡道路网发育程度明显改善,经历了由树状网络—回路网络—网络拓展阶段,但路网空间生长尚未饱和,外向拓展和内部充填的潜力较大;通达性重心和中心的空间迁移变化不明显,囿于武汉市城区,宏观上保持高度的稳定性,但其微观格局存在跳跃性和突变性;圈域城乡节点拓扑通达性指数空间分布呈现“不均衡→相对均衡”的动态变化,但整体上仍存在明显的空间分异和集聚;武汉城市圈城乡道路网通达性分布与城乡节点发育、城乡社会经济发展水平密切相关,在空间上已开始打破“核心—边缘”的特点,呈现等级圈层发展的趋势。

关键词: 拓扑通达性; 时空演化; 城乡道路网; 武汉城市圈

中图分类号: F294.3 文献标识码: A 文章编号: 1004-8227(2014)02-0170-10

DOI: 10.11870/cjlyzyyhj201402003

21世纪,中国城市化进入快速发展时期,已成为影响人类发展进程的两大关键因素之一^[1]。都市圈经济发展模式与运行体制处于深刻大转型期,都市圈运行的结构性问题日益突出。2007年12月,武汉城市圈获批“全国资源节约型和环境友好型社会建设综合配套改革试验区”,并获得“先试先行”的体制和机制改革权,成为国家继上海浦东新区、天津滨海新区、成渝城市群之后的又一综合配套改革试验区,都市圈空间协调发展研究提上议程,受到广泛关注。都市圈的演化与区域交通网络的发展是一种空间互动过程,交通运输网络是形成都市圈网络系统的物质条件和必要前提,是城市与区域之间物质流、能量流和信息流的主要通道^[2],在城市体系和都市圈的社会经济发展中扮演着重要的角色和地位。

通达性是一种评价路网发育水平及其伺服功效的有效综合性指标^[3],体现出的是交通网络中各节点相互作用的机会大小,反映区域间社会经济交往的便利程度。国外交通网络通达性研究始于20世纪50年代末^[4],先后经历了理论探索阶段(20世纪60年代~80年代,集中于通达性认知与方法论研究^[5,6])和深化创新阶段(20世纪90年代以来,融合

GIS技术^[7]、空间句法^[8]等理论,多度量评估城市一区域运输联系的空间形式(航空^[9]、高速^[10]、铁路^[11])及其影响效应^[12]和影响机制^[13]。国内现有的交通网络通达性研究集中在铁路^[14,15]与航空^[16,17]两种交通运输方式上,对于公路运输网络相对薄弱,且既有的公路研究也集中于高等级道路(高速和国道)^[18~20],忽视低等级、城乡连接通道(省道、县道);交通运输方式的偏向研究导致研究角度多集中在国家(区域)层面,城镇体系空间尺度研究较少;研究方法主要基于图论思想,融合GIS技术构建时空距离矩阵模型^[18,21,22],基于拓扑连接法分析交通网络的拓扑通达性较少^[23]。

时空距离通达性模型是基于最短时间、空间距离或有利平均出行时间而构建的通达性模型,计算的是两点之间的通达性指数,由此而上升为整个网络的通达性水平。但是,在计算时间距离中所涉及的行车速度测定颇具主观性(两个城市间可能存在着多条不同等级的公路相连,人们出行也可考虑多种不同的交通方式)。而拓扑通达性从客观角度揭示网络的连接水平及其由此决定的节点间联系的便捷程度(直接反应区域城镇节点的分布密度和连接

收稿日期:2012-12-24;修回日期:2013-03-12

基金项目:国家自然科学基金项目(41201130,41101361);国家社会科学基金项目(11CJL048)

作者简介:刘承良(1979~),男,副教授,博士,主要从事交通地理、空间复杂性研究。E-mail:chenglianglew@163.com

程度)。鉴于此,本文以武汉城市圈为例,基于拓扑算法通达性模型和网络发育评价模型,运用 GIS 空间分析技术,多角度系统度量武汉城市圈城乡道路网拓扑通达性时间发育与空间演化规律,以期为充实和完善交通网络通达性理论和方法研究,优化当前城乡道路网结构提供借鉴和理论指导。

1 研究方法

采用数学图论来描述,将整个城市圈域城乡实体路网抽象成图,只考虑节点与节点间的连接特征,不考察其实际距离,即可将整个圈域城乡道路网抽象地描述为一个由点集 V 和边集 E 构成的连通图 $G=(V,E)$,其中 $n=|V|$ 为网络节点数, $m=|E|$ 为网络边数。不考虑节点间的线路长短和方向,只考虑“点对”间的连接顺序和关系,通过构建最短径连接数矩阵,引入系列拓扑网络连接和发育指标,以度量城乡道路网的拓扑通达性结构。

1.1 节点相对通达性

定义连接两节点的具有最少的线段数的路径为最短路径,所包含的线段数为这两点之间的拓扑距离^[24],即相对通达性:

$$\bar{a}_{ij} = \min\{S_{ij}\} \quad (1)$$

1.2 节点总体通达性

定义一个节点的总体通达性为该节点到所有其他节点的相对通达性的总和:

$$\bar{a}_i = \sum_{j=1}^{n-1} \bar{a}_{ij} \quad i \neq j \quad (2)$$

式(1)、(2)中: \bar{a}_{ij} 为节点 $i、j$ 间的相对通达性指

数; S_{ij} 为节点 $i、j$ 可能连接路径包含的线段数,是节点连接的最短路径矩阵; n 为网络节点数。

1.3 拓扑通达性指数

定义一个节点到所有其它节点的相对通达性的平均值为该节点通达性指数,以衡量网络节点间的联通程度:

$$\bar{a}_i = \sum_{j=1}^{n-1} \bar{a}_{ij} / (n-1) \quad (3)$$

将网络中各个节点的通达性指数取平均值,得到整个网络的通达性指数:

$$\bar{A} = \sum_{i=1}^{n-1} \bar{a}_i / (n-1) = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1}^{n-1} \bar{a}_{ij} / (n-1)^2 \quad (4)$$

式(3)、(4)中: \bar{a}_i 为节点 i 的总体通达性指数; \bar{A} 为整个网络通达性指数; n 为网络节点数。

1.4 网络发育评价

引入网络发育指标^[24~26],构建路网拓扑网络发育评价指标体系,可以较好地由拓扑连接视角评价城乡道路网的通达性特征(表 1)。

2 武汉城市圈城乡道路网的拓扑通达性发育

2.1 城乡道路网连接程度不断提高,网络发育日益成熟化

1989~2010 年城乡道路网网络发育日益完善,节点规模不断增加,网络连接增长迅猛,路网发育经历树状网络→低等级回路网络→网络扩展三大阶段:

(1)树状网络阶段(1989 年以前) 1989 年城乡

表 1 路网通达性发育水平评价指标体系

Tab.1 Evaluation Index System of Road Network Accessibility Development

| 评价指标 | 公式 | 内涵解释 | |
|------|-------------------|---|--|
| 连接程度 | 连接率(β) | $\beta = e/v, 0 \leq \beta \leq (n-1)/2$ | e —线路数, v —节点数, $\beta \geq 1$ 为回路网络, $\beta < 1$ 为树状网络; β 值越大,路网通达性越高, $\beta=2$ 时,达到成熟 |
| | 环路指数(μ) | $\mu = e - v + p, 0 \leq \mu \leq (n-1)(n-2)/2$ | p —子图个数,若网络是连通的,则 $p=1$,否则等于连通块个数 ^[27] ; μ 值越大,环路越多,网络越发达 |
| | 网络直径(δ) | $\delta = \max\{S_{ij}\}, 1 \leq \delta \leq (n-1)$ | 表示网络最短路径矩阵 S_{ij} 中的最大值,反映了最远两节点间的最短路径连接数 |
| | 中心指数(η) | $\eta = \min\{C_{ij}\}, 1 \leq \eta \leq (n-1)$ | 表示网络中所有节点到最远点的最短路径连接矩阵 C_{ij} 中的最小值,最小值点即为中心 |
| 伸展程度 | 趋中指数(Z) | $Z_i = (\max\{a_k\} - a_i) / (\max\{a_k\} - \min\{a_k\}) \quad 0 \leq Z_i \leq 1$ | 等于网络中最大通达指数与该节点通达指数之差,除以网络中最大与最小通达指数之差的比值,其值越大,表明愈接近网络中心;所有节点的趋中指数平均值,即为网络整体的趋中指数 |
| | 伸展指数(D) | $D = \sum_i \sum_j S_{ij} / ((n-1) \leq D \leq n^2(n-1)/2)$ | 表示网络最短路径矩阵 S_{ij} 之和,反映网络的扩展规模,是衡量网络总的通达程度与联系水平的指标 |
| | 点对平均径数(A) | $A = D/n(n-1), 1 \leq A \leq n/2$ | 表示网络最短路径矩阵元素的总和与城市“点对”数的比值,反映了对偶节点间的平均线路数 |
| 扩展潜力 | 实际成环率(α) | $\alpha = \mu / (2v - 5p), 0 \leq \alpha \leq 1$ | 环路指数与最大可能环路数比值,值越小,环路发展潜力越大 |
| | 实际结合度(γ) | $\gamma = e / 3(v-2), 0 \leq \gamma \leq 1$ | 线路实际结合水平,值越小,结合潜力越大 |

道路网的连接率仅 1.136, 刚超过 1, 环路指数不到 10, 城乡道路网发育为少回路网络(仅在局部形成少量的回路)(表 2), 可以预见, 1989 年以前(譬如

1985 年)整个城乡道路网连接率很可能不到 1, 城乡道路网呈线状结构组织, 整个城乡道路网处于树状网络→少回路网络的路网演化阶段;

表 2 武汉城市圈城乡道路网发育变化(1989~2010 年)

Tab.2 Development of Urban-rural Road Network in Wuhan Metropolitan Area (1989-2010)

| 年份 | 基本属性 | | | 连接程度 | | | | 伸展程度 | | | 扩展潜力 | | |
|------|-------|-------|-----|---------|-------|----------|-----------|--------|-----------|-------|---------|----------|----------|
| | v | e | p | β | μ | δ | δ' | η | D | A | Z | α | γ |
| 1989 | 59 | 67 | 1 | 1.136 | 9 | 14 | 360.8 | 0.74 | 14 664 | 9.89 | 0.675 6 | 0.079 6 | 0.392 |
| 1995 | 169 | 205 | 1 | 1.213 | 37 | 22 | 382.5 | 0.66 | 280 610 | 14.02 | 0.514 2 | 0.111 1 | 0.409 |
| 2000 | 267 | 345 | 1 | 1.292 | 80 | 28 | 388.2 | 0.71 | 582 426 | 17.11 | 0.591 2 | 0.152 7 | 0.434 |
| 2005 | 488 | 830 | 1 | 1.701 | 345 | 38 | 393.6 | 0.69 | 963 342 | 22.16 | 0.597 4 | 0.359 0 | 0.569 |
| 2010 | 1 211 | 2 158 | 1 | 1.782 | 948 | 84 | 401.5 | 0.75 | 2 856 524 | 35.29 | 0.731 0 | 0.392 2 | 0.595 |

注: δ 为网络直径所包含连接数, δ' 为网络直径的长度, 单位为 km.

(2) 回路网络阶段(1989~2000 年) 城乡道路网连接率由 1989 年的 1.136 缓慢增加到 2000 年的 1.292, 仅提高了 13.7%, 环路指数由期初的 9 上升到 2000 年的 80, 扩大了 10 倍多(表 2), 城乡道路网连接水平和覆盖程度有了一定程度提高; 但 12 a 间连接率均不超过 1.3, 回路数量(尽管增长迅速)距离路网最大成环规模差距明显(成环率相当低, 不超过 16%), 路网基本以 2~3 路连通为主, 连接水平和覆盖程度增长缓慢, 城乡道路网呈现低级回路网络演化态势;

(3) 网络扩展阶段(2005~2010 年) 连接率由 2000 年的 1.292 急剧上升到 2005 年的 1.701, 并持续增长至 2010 年的 1.782, 环路指数则由期初的 80 跃迁到 2010 年的 948(表 2), 城乡道路网连接水平和覆盖深度有了显著的提高, 至 2010 年圈域中心城市武汉已经形成 4 路回路网络连接(连接率超过 2), 发育成为格状网络, 其它八市已基本形成了 3~4 路的回路网络连接, 环路指数较 2000 年增长了近 12 倍, 整个城乡道路网日益成熟化, 由 2000 年的低等级回路网络向 2010 年的高等级回路网络跃进, 处在逐渐接近更为成熟的格状网络发育水平的网络扩展阶段。

2.2 城乡道路网伸展强度持续加大, 路网伺服空间广域化

1989~2010 年城乡道路网空间格局发生重大变化, 整体呈现由核心向外围、由长江沿线向南北两翼伸展和蔓延, 路网伺服空间范围不断外扩, 总体侧重于广域推进。城乡道路网网络伸展指数 D 由期初的 14 664 增加到期末的 2 856 524, 增长了近 195 倍, 网络直径个数和长度也由期初的 14 个和 360.8 km 提高到期末的 84 个和 401.5 km, 路网覆盖广度

不断增加, 基本实现全域的“全覆盖”。

同时, 在局部年份, 城乡道路网的空间伸展方向和强度存在差异, 比较对偶“点对”连接数(A)和环路指数(μ)比值的变化率, 可以发现: 1989~2010 年网络伸展指数增长较快, 环路指数增长幅度和速率大大超过点对平均连接数, 说明此时城乡道路网建设侧重于新建大量线路, 城乡道路网伺服空间不断外向扩展, 其内部新节点的生长和新径道的分化幅度较慢, 路网处于急剧的外向扩展阶段, 呈现广域化发展态势。

2.3 城乡道路网直径和中心几乎保持稳定不变, 具有强空间惯性

路网直径 δ 是城乡道路网中最远两城乡节点之间的最短径线路数, 其大小同路网的通达性空间收敛和整个网络的稳定性紧密相关。从城乡道路网直径变化来看, 圈域网络直径变化不明显: 一是直径走向基本沿长江呈东西走向, 具有明显的“路径依赖”; 二是直径长度增加幅度很小, 由 1989 年的 360.8 km 持续而缓慢增长到 2010 年的 401.5 km, 20 多年间向东西两端伸展不到 41 km, 平均每年仅生长 1.85 km, 网络直径长度的生长速度和幅度不明显, 仅 1989~1995 年增长较显著, 向东西两侧生长距离(21.7 km)达到 22 a 间总体水平的一半(表 2)。但是, 网络直径在局部年份和地段出现明显的空间位移, 对应的部分节点发生跳跃, 如 1989~1995 年, 路网直径的东半段由江北地段(团风、黄冈城区、浠水、蕲春中部)迁移至沿长江岸线, 源于期间武黄高速的建设所致; 此外, 1995~2000 年, 穿过武汉中心的路网直径由“北凸”变成“南凸”, 主要是期间武汉外环干线的建设引起; 2005~2010 年网络直径的东缘(武穴、黄梅)由沿长江岸线向北迁移至武穴—黄梅中部,

可能是黄梅东端新增节点和连边导致(图 1)。

路网中心是指城乡道路网中由任一点至最远一点最短径线路数(η)的最小值所对应节点,往往表明该节点在整个圈域路网中具备最强的支配能力,与节点在路网的区位条件和对外连接水平有关。从城乡道路网中心变化来看,圈域网络中心稳定保持在武汉市中心城区范围内,位于于武昌区与江夏区交界处,整体空间位移微弱、不明显,期间整个空间迁移距离最大仅 10.5 km(2005~2010 年),距离起始点空间距离均在 9 km 半径范围内,整个城乡道

路网具有强初值(1989 年网络中心)指向性(图 2)。

2.4 城乡道路网支配能力不断提升,节点网络地位差异显著,形成 4 种类型

1989~2010 年城乡道路网平均节点趋中指数整体呈上升趋势,其中 1989~1995 年出现大幅下降,1995~2010 年则持续增加,城乡道路网对整个圈域空间的支配能力不断增强,但并未与自身的通达性水平保持高度的吻合,甚至呈现较强的“异配性”,城乡节点由于其区位条件和连接水平不同,趋中指数存在显著差异(表 2)。

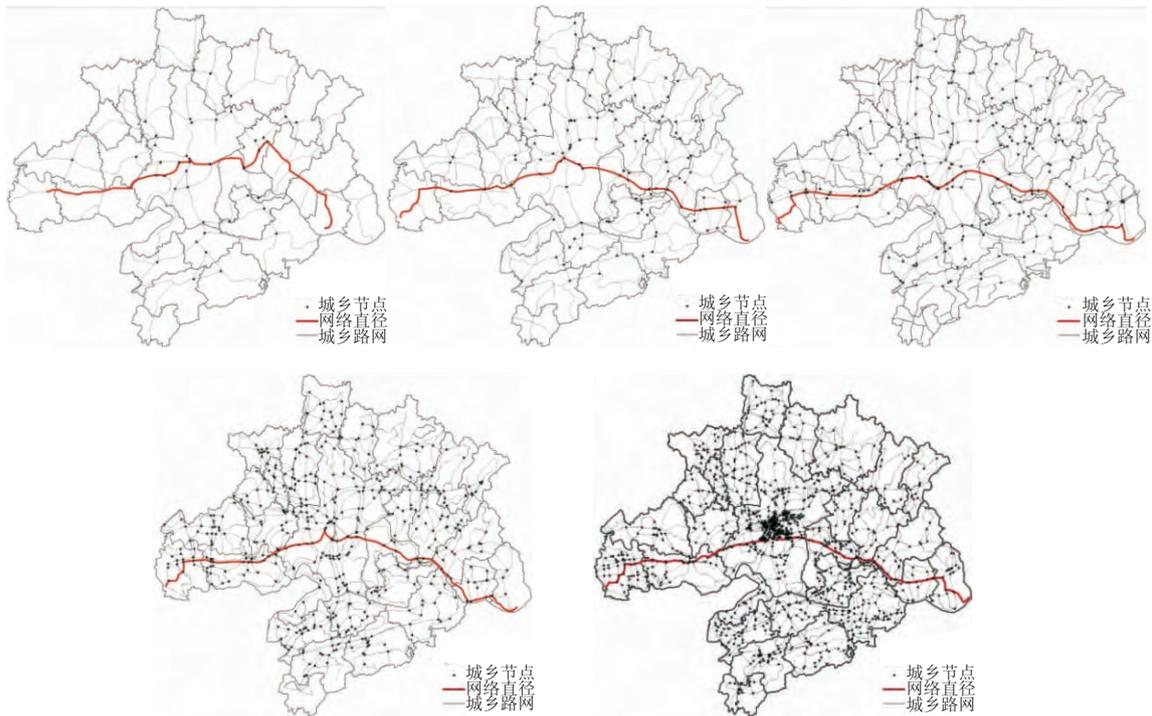


图 1 武汉城市圈城乡道路网网络直径变化(1989~2010 年)

Fig.1 Variation of Urban-rural Road Network Diameter in Wuhan Metropolitan Area (1989—2010)

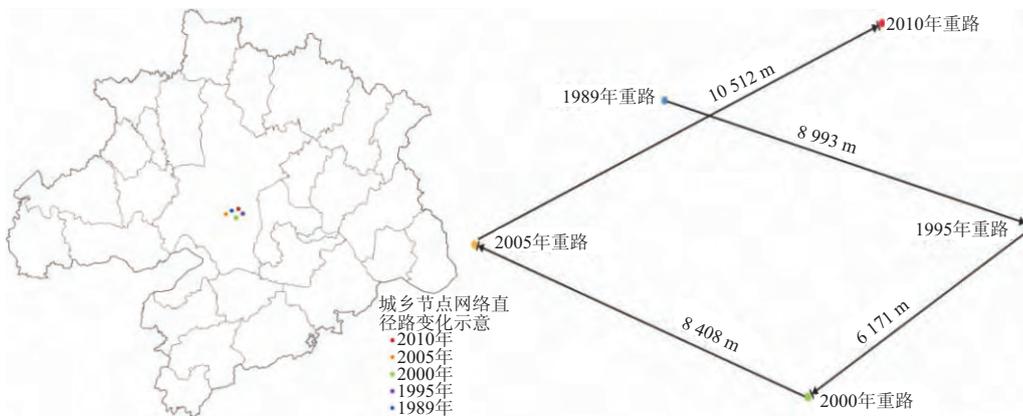


图 2 武汉城市圈城乡道路网中心迁移变化(1989~2010 年)

Fig.2 Migration of Urban-rural Road Network Center in Wuhan Metropolitan Area (1989—2010)

引入区位商公式,计算 2010 年各城乡节点的趋中指数和拓扑通达性指数区位商(各节点值与平均值之比),构造趋中区位商—通达区位商四分位图,相应城乡道路网节点可划分 4 种类型(图 3)。

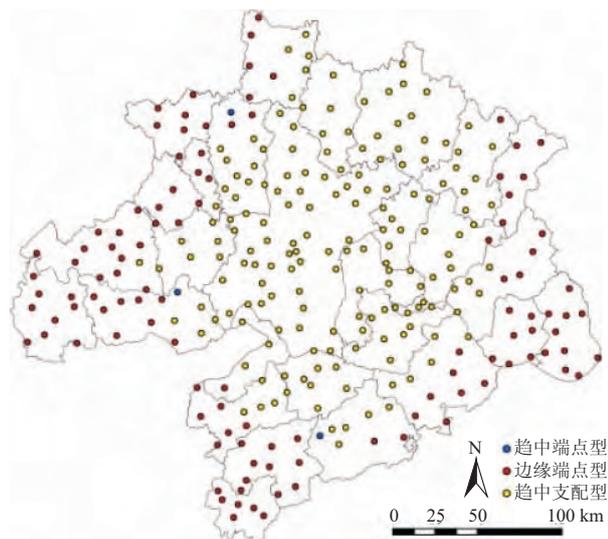


图 3 武汉城市圈城乡道路网趋中—通达类型(2010 年)
Fig.3 Centrotaxis-accessibility Type of Urban-rural Road Network in Wuhan Metropolitan Area (2010)

(1)中心支配型(趋中区位):趋中指数大于均值,拓扑通达性指数小于均值。既接近城乡道路网的交通中心,占据枢纽或邻近枢纽的位置,又具有良好的通达性水平,对整个网络有较大的支配作用,这类节点在圈域所点比例相当大,占据“大壁江山”,呈连片分布,集中于核心圈层(包括武汉市、鄂州市、黄石—黄冈—孝感—咸宁城区)及其周边邻近县域(黄石大冶、黄冈浠水、团风、咸宁赤壁、嘉鱼、孝感汉川等县域),以及外围圈层的东北部(包括红安、麻城、罗田等县域)。

(2)边缘支配型:趋中指数和拓扑通达性指数小于均值。虽然远离城乡道路网的中心,但位于或接近枢纽位置,具有较好的通达性水平,对城市网络具

有一定的支配作用,这类节点比例仅次于第一种类型,连绵展布于外围圈层,主要集中于黄冈英山、蕲春、武穴、罗田、黄石阳新、咸宁通山、通城、崇阳等大别—幕阜山区,孝感安陆、应城等大洪山缘以及仙桃、天门、潜江等江汉平原区。

(3)趋中端点型:趋中指数和拓扑通达性指数大于均值。虽然邻近网络交通中心,但地处圈域路网的端点位置,对外拓扑通达性较差,不具备良好的网络支配能力,这类节点比例相当小,主要呈点状散布于核心—外围圈交界处,主要有 3 个,分别位于潜江的西北、孝昌的北部、通山的北部。

(4)边缘端点型:趋中指数小于均值,拓扑通达性指数大于均值。节点位于城乡道路网的边缘和端点的位置,对外通达性水平低,对城市网络的支配作用很小,这类节点在圈域几乎缺失,2010 年缺少代表节点。

2.5 城乡道路网空间生长尚未饱和,城乡道路网发育仍处于较低水平

一方面,从 1989~2010 年的变化来看,随着节点规模的增加,城乡道路网的实际成环率和实际结合度(“成环”和“成线”的程度)持续上升,路网成环和成线潜力依次下降,其充填和扩展能力不断提升,但路网整体成环和连线的空间生长潜力仍然较大,2010 年“成环”潜力(1- α)和“成线”潜力(1- γ)达到最低水平,但分别超过 60%和 40%,表明在路网内部仍存在大量的“空隙”斑块,在网络边缘存在大面积的“空白”地带,呈现大量“结构空洞”。另外,与沿海、中部五大都市圈群比较,武汉城市圈城乡道路网的连接水平仍较低:与沿海三大都市圈(群)差距明显(长三角、珠三角、京津冀三大都市圈(群)连接率均超过 2,已经迈入相对高级的格网状—细胞状网络阶段);与中西部都市圈(群)相比,优势微弱,比中原城市群(略大于 1.5)和成渝城市群连接率(大于 1.6,进入高级回路网络阶段)略高(表 3),“天下之

表 3 武汉城市圈与其它都市圈(群)城乡道路网发育比较(2010 年)

Tab.3 Comparison of Urban-rural Road Network Development Between Wuhan Metropolitan Area and Other Metropolitan Area (2010)

| 都市圈(群) | 基本属性 | | | 连接程度 | | 扩展潜力 | |
|--------|-------|--------|-----|---------|-------|----------|----------|
| | v | e | p | β | μ | α | γ |
| 武汉城市圈 | 1 211 | 2 158 | 1 | 1.782 0 | 948 | 0.392 2 | 0.595 0 |
| 长三角城市群 | 6 928 | 13 888 | 1 | 2.004 6 | 6 961 | 0.250 7 | 0.668 4 |
| 京津冀城市群 | 5 952 | 11 913 | 1 | 2.001 5 | 5 962 | 0.250 3 | 0.667 4 |
| 珠三角城市群 | 3 530 | 7 072 | 1 | 2.003 4 | 3 543 | 0.250 6 | 0.668 2 |
| 中原城市群 | 2 351 | 3 654 | 1 | 1.554 2 | 1 304 | 0.178 6 | 0.518 5 |
| 长株潭城市群 | 963 | 1 166 | 1 | 1.210 8 | 204 | 0.087 7 | 0.404 4 |

注:为保证可比性,其它五大都市圈(群)数据与武汉城市圈交通网络数据来源相同。

中”的区位优势并未显现。随着未来几年内,圈际以武汉为中心的“高铁 4h 圈”的建设完成和圈内以武汉为中心的环放射状快速干道网的持续完善,武汉城市圈城乡道路网空间发育将迎来新的“突变”。

2.6 城乡节点拓扑连接位序-规模满足一定的幂律,表现出无标度性

1989~2010 年计算城乡节点实现全遍历的最小连接数,发现:城乡节点最小连接数位序-规模曲线呈较高拟合性态的幂律分布(幂指数拟合程度 R^2

普遍超过 0.8,个别年份达到 0.9 以上),满足一定的 Zipf 法则,形成明显的等级层次性和无标度性。同时,城乡节点最小连接数的“首位分布”整体趋于弱化,空间渐趋均衡,首位度(五节点指数)由期初的 0.278 缓慢下降到期末的 0.267,变异系数由 1989 年的 0.20 缓慢下降到 2010 年的 0.18,表明路网拓扑连接空间层次性不断减弱,空间分异程度有所下降(图 4)。

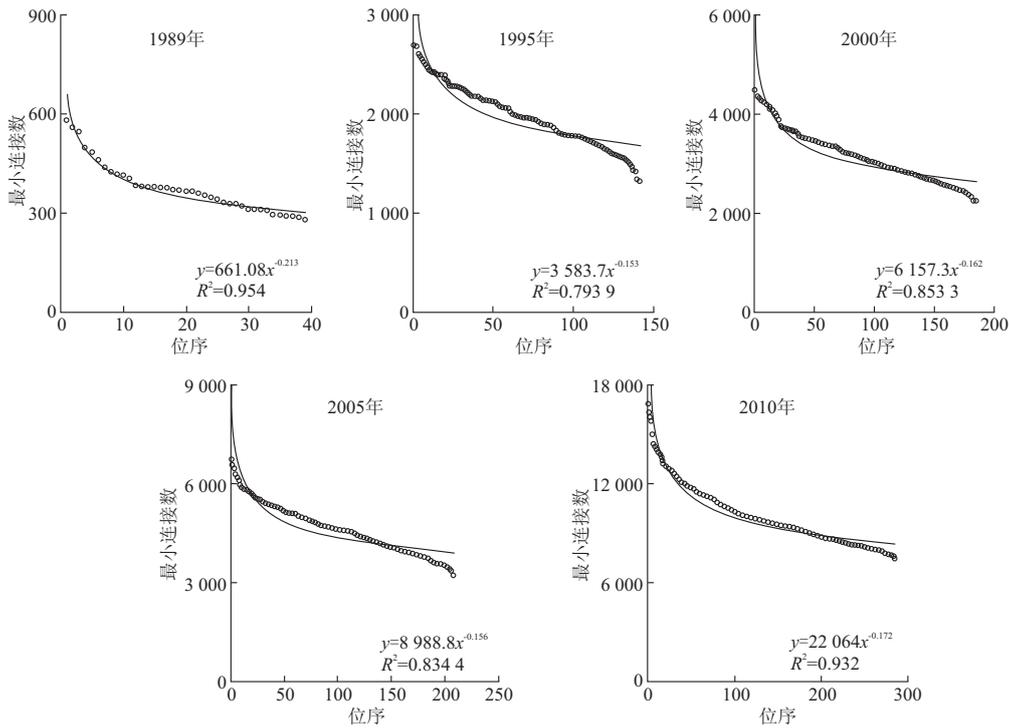


图 4 武汉城市圈城乡节点拓扑连接位序-规模分布

Fig.4 Rank-size Distribution of Urban-rural Nodes Topological Connection in Wuhan Metropolitan Area

3 城乡道路网的拓扑通达性结构空间演化

3.1 拓扑通达性基本呈不规则环状分异,形成中心-外围和三圈等级的复合结构

受城乡节点区位发育影响,拓扑通达性也基本遵循中心-外围距离衰减律,呈现以武汉市为核心的不规则环状结构分异,形成从高通达性中心向外围伸展的等通达性圈,其中武汉市域及周边节点成为整个圈域通达性圈的极值中心,而其外围地带整体拓扑通达性水平较低,处于“边缘”地位,宏观发育形成典型的中心-外围结构;整个时段,等通达性圈整体分布不均匀,外密内疏,拓扑通达性明显形成

高一中一低通达性 3 个等级层次,其通达性圈形态具有明显差别:0.6~0.9 的高通达性圈集中分布于核心圈层,等值线相当稀疏,边缘相对不规则;0.9~1.1 的中通达性圈相对密集、连绵展布于核心圈层周边,其外缘相对规则齐整,并未出现大的扭曲变形;1.1~1.6 的低通达性圈则主要集中于江汉平原河湖密集区和桐柏一大别一幕阜山地连绵带,等通达性圈整体出现间断,局部形成多个相对平滑的低通达性扇形圈,整个圈域等通达性圈外缘形态和分布密度存在典型的等级层次性,形成高一中一低三大等级圈层结构。

3.2 拓扑通达性空间格局受高速公路分布影响,等通达性圈出现圈层破碎化

拓扑连接关系反映了城际连接程度的优劣,这

种空间连接关系与高速公路布局具有高度的相关性和耦合性。当前高速公路建设明显提高了武汉城市圈域城乡节点关联的通达性水平,表明中尺度城镇群体空间,城乡交流和作用的便利性主要取决于快速陆路交通网络(尤其是高速公路)的发育水平。

分析通达性等值线走向,沿沪蓉高速公路形成了一个拓扑通达性水平较高的东西向交通走廊,集中了潜江、仙桃、武汉、鄂州、黄石等中心城市和汉川、东西湖等重要城镇,京珠高速沿线的孝感城区、

武汉城区、江夏、咸宁市区、赤壁等城镇,汉十高速沿线的孝感安陆、云梦、孝感城区也保持较高通达性水平,而高速公路尚未贯通的武汉城市圈东部及南部边缘山区(大别山和幕阜山区)、西部平原地区(天门等)通达性水平较差,拓扑连接通达性指数值超过 1,低于圈域平均水平;同时,这种拓扑通达性节点的“高速”指向性,也导致整个等通达性圈发生变形呈不规则化,局部年份(2000~2005 年)甚至出现圈层破碎化(长江沿线出现未闭合等值线)(图 5)。

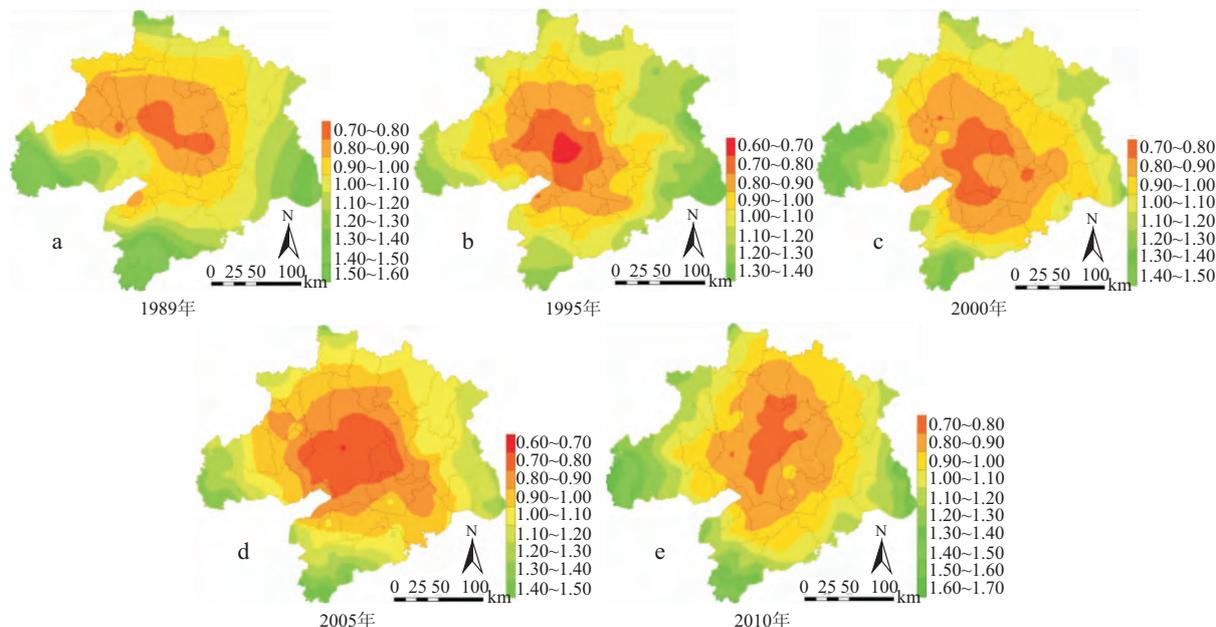


图 5 武汉城市圈城乡道路网的拓扑通达性等值线图(1989~2010 年)

Fig.5 Isoclines Map of Accessibility of Urban-rural Road Network in Wuhan Metropolitan Area (1989-2010)

3.3 拓扑通达性受区位条件影响较小,与城乡节点发育和连接程度密切正相关

比较城乡节点时间、空间距离通达性和拓扑通达性等值线图,发现拓扑通达性的圈层性发育更明显,等值线更平滑,等值地段空间收敛更显著,区位条件、空间距离对拓扑通达性的影响较小,拓扑通达性主要取决于城乡节点的分布密度和线路的连接程度。受城乡节点体系的“靶形”极化发育和线路成网程度的宏观格局影响,城乡节点拓扑通达性与城乡节点体系发育基本同步同形,复合形成“核心—外围”组织模式。即,通达性最好的城乡节点除武汉市区以外都集中在武汉市周边,这些城乡节点规模等级较高,构成圈域次一级中心地,通达性等值线分布稀疏,通达性指数高于圈域平均水平;而外围区域城乡节点通达性则低于平均水平,这些节点在整个城市圈中处于“竞争腹地”地位,其规模等级低于城市圈域核心圈中心城镇,通达性等值线相对密集,整个

圈域城乡节点拓扑通达性空间分布与自身城镇体系等级规模分布保持协同一致趋势,空间格局呈现“核心—外围”组织结构。

3.4 拓扑通达性空间差异存在阶段性变化,以城乡关联主方向为高值区

1989~2010 年圈域城乡节点拓扑通达性指数空间分布呈现不均衡→相对均衡的动态变化,整体上仍存在明显的空间分异和集聚,形成多个高-高关联集聚区和多个低-低关联集聚区,且其分布组合表现出时序动态性,根据高值集聚区形态可以划分为 3 个阶段:

(1)“Y”型阶段(1989~2000 年),以汉江—长江为中轴线,基本地处圈域核心地带,城乡关联作用强烈(尤其是沿线节点与武汉市之间),沿线城乡道路网络分布较密集,发育日趋成熟,尤其是 20 世纪 90 年代中期以来的武黄高速、宜黄高速和 316 国道等高等级路网建设,区域拓扑通达性圈相对密集,整体

通达性水平较高,而其南向的幕阜山区、北向—东北向的桐柏—大别山区拓扑通达性圈非常稀疏,形成一条呈西北—东南+东西走向(于武汉市交汇)的主要城乡关联方向,地域空间上表现出一条向左旋转 90° 左右的“Y”字型带状高通达性区,整个圈域通达性分布呈现核心地带—外缘地带差异(图5a—图5c)。

(2)“十”字型阶段(2000~2010年),城乡节点关联以南北向京珠高速和东西向沪蓉高速为中轴线(两条轴线于武汉市交汇),呈东西—南北两个方向伸展;其沿线区域城乡关联作用程度较强,通达性水平较高,高拓扑通达性区呈“十”字型带状伸展,成为圈域的核心地带,十字轴的东北缘(大别山区)、北端(桐柏山)和东南部(幕阜山)等周边地段拓扑通达性圈仍然比较稀疏,保持时间上的“劣者恒劣”态势,成为圈域的边缘地带,整个通达性分布仍然表现出不同于第一阶段的核心—边缘地带分异(图5c、图5d)。此外,城乡节点拓扑通达性的伸展幅度和形态略存在一定差别:2000~2005年城乡节点拓扑通达性圈基本呈不规则星状,东西、南北两个方向伸展幅度相对一致和统一;2005~2010年城乡节点拓扑通达性圈则变形为“纺锤”状,南北方向伸展幅度超过东西方向,圈层由圆形扭曲变形为竖向椭圆形(图5d、图5e)。

3.5 拓扑通达性空间差异明显,与自身社会经济发展水平相关

一般而言,社会经济发展水平较高的区域通常具有较高的拓扑通达性水平,其城乡节点既占据优越空间区位,又拥有良好经济效应,二者共轭协同,对整个圈域拓扑通达性格局起到强化和固化效应。

1989~2010年武汉城市圈城乡道路网拓扑通达性空间差异显著,其变异系数基本超过0.25,不同程度大于时空距离通达性,与整个圈域的社会经济地理结构密切相关,其分布基本与其社会经济发展地理格局保持一致和同构。一方面,拓扑通达性高值中心位于武汉市主城区,低值边缘区多位于整个圈域的边缘,拓扑通达性极值分布与圈域社会经济发展水平的极值分布格局保持同构。另一方面,拓扑通达性较高城乡节点空间集聚性显著,主要分布于圈域核心圈(武汉市、鄂州市、黄石市区、咸宁市区),而拓扑通达性指数较低的城乡节点主要分布于圈域外围圈,且表现出较强的集聚性,形成东北—西南半环状山地区和西缘块状江汉平原区两大集聚片区。整体上拓扑通达性的核心—外围圈层分布与区

域社会经济发展的核心—边缘强结构保持高度一致,但在局部年份和地域,拓扑通达性空间等级分布出现与城镇规模等级位序不一致的“突变”,即存在一定的社会经济发展水平相对较低的城市占据良好的交通区位条件,如1989~1995年的嘉鱼城区,同时也存在一定的社会经济发展水平较高区域而通达性水平不高的节点,如2010年的鄂州市。

4 结论

武汉城市圈作为全国“两型社会”和区域协调展示范区以及“中部崛起”的重要发展引擎,城乡道路网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,武汉城市圈城乡道路网发育日益成熟化,但相比同处中部的中原城市群,差距还很大,说明城乡道路网空间生长尚未饱和,外向拓展和内部充填的潜力较大。

武汉城市圈城乡道路网通达性时间演化和空间分异表现出微观动态性和宏观稳定性特征。一方面,通达性空间格局随着时间推移,表现为结构的均衡性和组合性变化:一是,通达性空间分布呈现不均衡—均衡的周期式动态性变化。20多年间,圈域通达性空间分布处于相对不均衡(集聚)→相对均衡(分散)→相对不均衡(集聚)的循环往复、螺旋上升演化过程。二是,通达性空间分布结构由核心—边缘向等级圈层结构的演进。20多年间,通达性空间分布上不断由极化(集聚且不均衡)向集散(集聚与扩散交互,相对均衡)演化,呈现核心—边缘极化式(“一极集中”)→核心—外围圈层式(“两圈并立”)→极核—中间—边缘圈层式(“三圈渐进”)的进化格局。另一方面,通达性空间分布并未随着时间变化而出现结构的剧变性,表现出时间稳定性和空间延续性,具有空间惰性和惯性。一是通达性重心变化相对固定性:20多年间,通达性重心和中心的空间迁移变化不明显,囿于武汉市城区,宏观上保持高度的稳定性,但其微观格局存在跳跃性和突变性。二是通达性分布指向保持统一性:20多年间,通达性空间指向性分布明显,时间上保持趋稳性,空间上具有趋中性(向心集聚性)和趋优性(轴向扩散性和向心集聚性)特征,即通达性水平较高地区主要集中于中心区位(接近于几何中心和经济中心)和核心圈层(集中于武汉、鄂州、黄冈、黄石、孝感和咸宁城区)等中心或优势区位,高度集聚于核心城市群成团块状,

展布于快速干道沿线成指状、带状或十字状。

随着经济全球化背景下区域之间的竞争日趋激烈,武汉城市圈各个城市必须联合起来,夯实一体化发展的基础,共同构筑具有国际竞争力的区域交通运输系统,形成以武汉为中心、以发达的交通网络为依托的城乡一体化格局。

参考文献:

- [1] 刘承良.武汉都市圈空间发展机理与调控战略[M].北京:科学出版社,2009.
- [2] 陈彦光,罗静.河南省城市交通网络的分形特征[J].信阳师范学院学报(自然科学版),1998,11(2):172-177.
- [3] 杨涛,过秀成.城市交通可达性新概念及其应用研究[J].中国公路学报,1995(2):25-30.
- [4] HANSEN W G. How accessibility shape land use[J]. Journal of American Institute of Planners, 1959, 25: 73-76.
- [5] VICKERMAN R W. Accessibility attraction and potential: A review of concepts and their use in determining mobility[J]. Environment and Planning A, 1974(6): 675-691.
- [6] MORRIS J M, DUMBLE P L, WIGAN M R. Accessibility indicators for transport planning[J]. Transportation Research A, 1978, 13: 91-109.
- [7] O'SULLIVAN D, MORRISON A, SHEARER J. Using desktop GIS for the investigation of accessibility by public transport: An isochrones approach[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2000, 14(1): 85-104.
- [8] JIANG B, CLARAMUNT C. Integration of space syntax into GIS: New perspectives for urban morphology[J]. Transaction in GIS, 2002, 6(3): 295-309.
- [9] BOWEN J. Airline hubs in Southeast Asia: Nation economic development and modal accessibility[J]. Journal of Transport Geography, 2000(8): 25-41.
- [10] DUPUY G, STRANSKY V. Cities and highway networks in Europe[J]. Journal of Transport Geography, 1996, 4(2): 107-121.
- [11] GUTIERREZ J, GONZALEZ R, GOMEZ G. The European high speed train network: Predicted effects on accessibility [J]. Journal of Transport Geography, 1996, 4(4): 227-238.
- [12] GUTIERREZ J. Location, economic potential and daily accessibility: An analysis of the accessibility impact of the high-speed line Madrid-Barcelona-French border [J]. Journal of Transport Geography, 2001(9): 229-242.
- [13] FRANCISCO J, MARTINEZ C. Access: the transport-land use economic link[J]. Transport Research, 1995, 9(6): 457-470.
- [14] 金凤君,王姣娥.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.
- [15] 王姣娥,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.
- [16] 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.
- [17] 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,2003,23(5):519-525.
- [18] 曹小曙,薛得升,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.
- [19] 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.
- [20] 李玉森,王利.辽宁省干线公路网络通达性研究[J].资源开发与市场,2012,28(2):122-125.
- [21] 李平,曹小曙,徐旭.穗港走廊通达性及其空间格局分析[J].中山大学学报(自然科学版),2006,45(3):100-104.
- [22] 刘望保,周永杰.基于干线公路和铁路网的中国省会城市的交通通达性研究[J].华南师范大学学报(自然科学版),2012,44(1):124-128.
- [23] 李涛,曹小曙,黄晓燕.珠江三角洲交通通达性空间格局与人口变化关系[J].地理研究,2012,31(9):1661-1672.
- [24] 曹小曙.穗深港巨型城市走廊空间演化研究[M].北京:商务印书馆,2006:38.
- [25] 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.
- [26] 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.
- [27] 陈赞.城镇体系与公路交通适应性研究[D].长沙:长沙理工大学硕士学位论文,2005.

SPATIAL-TEMPORAL EVOLUTION OF TOPOLOGICAL ACCESSIBILITY OF URBAN-RURAL ROAD NETWORK IN WUHAN METROPOLITAN AREA

LIU Cheng-liang^{1,2}, YU Rui-lin^{1,2}, DUAN De-zhong¹, ZHANG Hong³

(1.School of Urban and Environment Sciences, Huazhong Normal University, Wuhan 430079, China;

2.Case Study Center for Tourism, Hubei University, Wuhan 430062, China;

3.Faculty of Geosciences and Environmental Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: Based on the urban-rural road network construction data in 1989, 1995, 2000, 2005 and 2010, the weighted road topology network graphs and evaluation model were built, and then the dynamic analysis of the network development and the study were performed on spatial layout alterations of the urban-rural road network within the last 20 years in the Wuhan metropolitan area. The study revealed that urban-rural road network development level of Wuhan metropolitan area had been improved significantly since 1989 and the development of Wuhan metropolitan area experienced the stages of tree net, loop net and net expansion. However, the spatial growth of road network was yet saturated, outward expansion and internal filling of urban-rural road network also had high potential. The gravity and center of accessibility was confined to the city of Wuhan with inconspicuous spatial displacement, macroscopically maintained the high stability, but its microscopic pattern had the unevenness and discontinuity. The spatial distribution of urban-rural nodes topological accessibility presented a dynamic change of “imbalanced-relatively balanced”, but overall it still had the obvious spatial differentiation and agglomeration. Closely related to the level of urban-rural nodes growth and socio-economic development, the accessibility distribution of urban-rural road network in Wuhan metropolitan area had started to break the characteristics of core-periphery, presenting rank-circle development trends. With increasingly fierce competition among areas under the background of economic globalization, cities of Wuhan metropolitan area must join forces, laying a solid foundation for integrated development and work together to build a globally competitive region transport system, so as to form the urban-rural integration development relying on a well-developed transportation network.

Key words: topological accessibility; spatial-temporal evolution; urban-rural road network; Wuhan metropolitan area