

# 长江三角洲公路网络的可达性空间格局及其演化

吴 威<sup>1,2</sup>, 曹有挥<sup>1</sup>, 曹卫东<sup>1,2</sup>, 徐 建<sup>1,2</sup>, 王 玥<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘要:** 以加权平均旅行时间为指标, 1986 年、1994 年、2005 年为时间断面, 探讨了长江三角洲地区公路网络中主要节点城市可达性空间格局及其演化规律, 并结合公路货运特征 (货运量区位商) 分析了各节点可达性水平对其发展的影响。结果显示: 研究期内, 可达性空间格局总体变动不大, 其值以上海、苏州、嘉兴为中心向外围呈不规则环状增高; 公路网络的逐步完善极大地提高了区域内主要城市间的可达性, 但不同阶段可达性演化特征不同, 第二阶段 (1994~2005 年) 可达性提升较之第一阶段 (1986~1994 年) 更为显著; 可达性值变化幅度与初始值有关, 可达性值变率在第一阶段由北往南逐渐降低, 而在第二阶段呈多极格局; 随路网的不断完善, 可达性水平由中心向外围呈圈层式优化; 多数城市可达性状况优于平均水平, 各节点城市相对可达性在第二阶段变化不大, 但分布趋向于不均衡, 第二阶段改变较大并趋于均衡分布; 各节点城市可达性对其发展的影响可分为良好支撑、相对制约和基本适应三种类型。

**关键词:** 可达性; 加权平均旅行时间; 公路货运量区位商; 公路网络; 长江三角洲

## 1 前言

交通网络是空间运输联系赖以实现的基础<sup>[1]</sup>。交通网络的评价方法很多, 其中可达性被认为是一项有效的综合性指标<sup>[2]</sup>。简言之, 可达性是指利用特定的交通系统从某一区位到达指定活动区位的便捷程度<sup>[3-5]</sup>, 这一概念已广泛应用于交通地理学相关研究中。欧洲学者 Guti é rrez Javier 等采用多项定量指标, 针对不同尺度、不同交通系统建设所引起的区域可达性格局变化进行了研究<sup>[6-9]</sup>; Dupuy Gabriel 等对欧洲城市公路可达性及其等级体系进行了探讨<sup>[10]</sup>。在国内, Li Siming 等研究了我国国家高等级干线公路网建设对可达性的影响<sup>[11]</sup>; 罗鹏飞等以沪宁沿线为例, 探讨了高速铁路影响下沿线地区可达性的变化<sup>[12]</sup>; 金凤君、王姣娥分析了 100 年来我国铁路交通网络的发展及可达性空间格局的演化, 并从时间节省角度评价了铁路提速引起的我国客运网络系统演进及不同城市在网络优化中的获益<sup>[13, 14]</sup>; 曹小曙等, 徐昀等分别以东莞市和江苏省为实证, 对交通网络及可达性空间格局演化进行了研究<sup>[15, 16]</sup>; 曹小曙等研究了我国国家干线公路网联结城市的可达性, 重点探讨了速度指标对可达性的影响<sup>[17]</sup>。魏立华等则以京津唐大都市区为例, 分析了城际快速列车对大都市区可达性空间格局的影响机制<sup>[18]</sup>。

可达性的高低取决于人的移动性, 即人的移动机会、移动能力和移动意愿。因此, 一地的可达性不仅与空间区位及交通基础设施水平有关, 同时与该地的社会经济水平有关, 因为社会经济水平的高低影响着人们的移动能力和移动意愿。随着可达性研究的不断深入, 其量算方法日益丰富<sup>[3-5]</sup>, 国外学者常采用多指标或加权平均旅行时间指标<sup>[6-9]</sup>;

收稿日期: 2006-02-20; 修订日期: 2006-08-16

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40471030) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.40471030]

作者简介: 吴威 (1976-), 男, 安徽歙县人, 博士生, 主要从事区域经济与运输地理研究。E-mail: wudp1976@163.com

通讯作者: 曹有挥 (1959-), 男, 江苏扬州人, 博士, 博士生导师, 主要研究方向为运输地理和区域城市研究。

E-mail: yhc@niglas.ac.cn

(C)1995-2006, Geographical Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.gj.ehp.com

国内罗鹏飞等以多项指标进行了预测研究<sup>[12]</sup>，但大部分学者的研究基于最短旅行时间或距离指标。加权平均旅行时间指标数学表达式为：

$$A_i = \sum_{j=1}^n (T_{ij} \times M_j) / \sum_{j=1}^n M_j \tag{1}$$

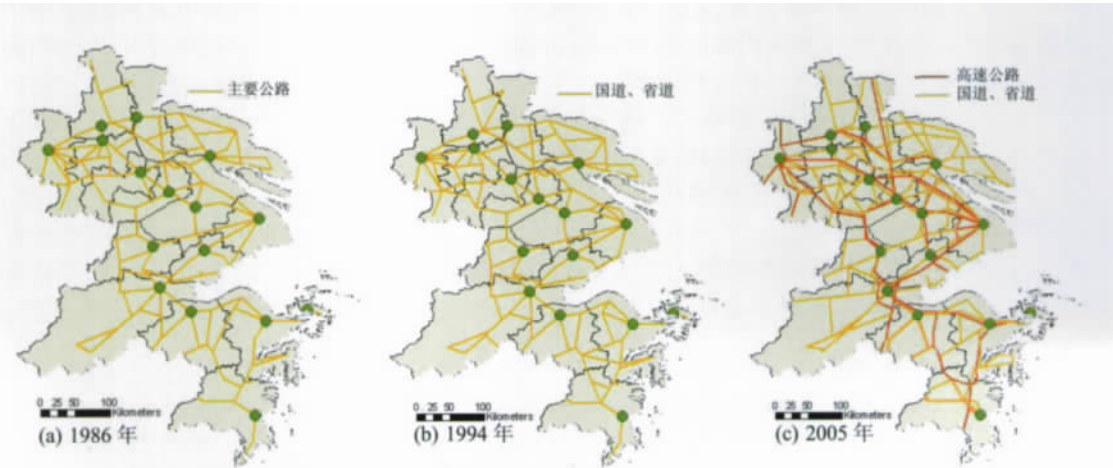
式中： $A_i$  为  $i$  节点在交通网络中的加权平均旅行时间， $T_{ij}$  为节点  $i$  到节点  $j$  的最短距离，采用时间衡量， $M_j$  为节点  $j$  的质量，可以是节点  $j$  的人口或地区生产总值 (GDP)。

城市的经济规模影响着人们的移动意愿进而影响到城市的可达性，因此本文采用地区生产总值为权重 ( $M_j$ )，以加权平均旅行时间为指标，从公路网络演化入手，探讨 1980 年代中期以来长江三角洲地区主要城市可达性空间格局及其演化，并初步分析可达性对城市发展的影响。

2 研究区域与方法

2.1 研究区域选择

本文以我国区域经济最为发达的地区之一——长江三角洲地区为研究区域，包括 1 个直辖市及 15 个地市级行政单元，分别为上海市、江苏省的南京市、镇江市、常州市、无锡市、苏州市、扬州市、泰州市和南通市以及浙江省的杭州市、湖州市、嘉兴市、绍兴市、宁波市、舟山市和台州市。目前区内货运以水运、公路为主，客运以公路、铁路为主的综合交通运输体系已初步形成，公路在其运输体系中占有重要地位。随着经济全球化及生产柔性化的不断深入，传统交通运输方式逐渐为现代物流方式所取代。在此背景下，公路运输的优势将会进一步凸现<sup>[19]</sup>，其在运输结构中的地位还会继续加强。1980 年代中期以来，长江三角洲地区公路交通快速发展，公路网络在不同时期呈现出不同的发展特征 (图 1)：1986~1994 年间，网络发展主要以提高公路等级为重点，网络格局基本没有发生大的变化；但在 1994~2005 年间，国道省道等级提升和高速公路大规模兴建同时进行，公路网络格局发生了很大变化。这一时期我国政府开始实施国家高等级干线公路项目，大大增加了交通基础设施投入，高速公路建设突飞猛进<sup>[20]</sup>。至 2005 年，除海岛城市舟山外，区域内其他主要城市皆由高速公路相连，以高速公路为主干的长江三角洲地区高等级公路网络已初步形成，高速公路成为区内城际公路交通的首选方式。



(C)1994-2020 China Academic Electronic Journal All rights reserved. http://www.cnki.net

Fig. 1 The evolution of major highway system in the Yangtze River Delta (YRD), 1986-2005

## 2.2 资料和技术路线

以 2004 年为基准年, 将研究区域内的主要城市抽象为空间节点并假定这些地域单元不随时间而变化, 由此, 研究区域内共包含 16 个节点。根据 1986 年地图出版社的“中国分省公路交通地图册”、1994 年成都地图出版社的“中国交通图册”和 2005 年人民交通出版社的“中国交通营运里程图集”三个时间断面交通图为资料来源, 利用 ARCVIEW 的网络分析功能求出不同时间断面各节点城市与其他节点城市之间的最短路径 (最短旅行时间), 随后由公式 1 计算各城市与其他城市间的加权平均旅行时间, 以此作为原始数据进行后续分析评价。因为测度的是时间距离, 首先需要设定不同时间断面不同类型公路的行车速度。根据《中华人民共和国公路工程技术标准 (JTGB01-2003)》规定的公路设计速度, 结合不同时期区域实际, 我们设定各时间断面各类公路平均行车速度如下: 1986 年公路网络由油面干线公路、普通干线公路和油面普通公路、普通公路组成, 平均行车速度分别设为 50 km/h、40 km/h、30 km/h; 1994 年公路网络由国道及省道组成, 由于长江三角洲地区总体经济发展程度较高, 省道和国道等级差别不大, 两者速度皆设为 60 km/h; 2005 年, 高速公路 100 km/h, 国道和省道 70 km/h。另外, 1986 年和 1994 年公路交通网络中过江通道除南京长江大桥外, 考虑了扬州—镇江、高港—扬中、靖江—江阴、南通—常熟四处汽渡, 2005 年过江通道包括南京长江大桥、二桥、润扬大桥及江阴长江大桥, 以及高港—扬中、南通—常熟两处汽渡。考虑等候时间, 汽渡平均过江时间设定为 0.7 h。舟山市路网与大陆路网目前依旧依靠汽渡连接, 考虑等候时间, 设定汽渡平均过海时间为 1.2 h。

## 3 公路网络的可达性空间格局及其演化

利用公式 (1) 计算长江三角洲地区主要城市不同时间断面可达性值, 其空间格局如图 2 所示。为了突出交通网络演化对可达性的影响, 本文所研究的三个时间断面权重皆取 2003 年各城市地区生产总值 (数据来源为 2004 年上海市、江苏省和浙江省统计年鉴)。

### 3.1 可达性空间格局

(1) 可达性值形成以上海、苏州、嘉兴等城市为核心, 向外围地区逐渐增高, 大致呈不规则环状分布格局 (图 2)。三个时间断面上可达性值低的城市 (可达性水平高) 均为上海和区域的几何中心——环太湖地区城市, 而区域的南北部边缘城市可达性差。从区域整体来看, 主要受区域轮廓南部延伸较长, 城市分布较为稀疏的影响, 北部边缘城市可达性要优于南部边缘城市。

(2) 研究期内可达性空间格局总体上没有大的改变。根据可达性值的大小, 大体可以将区域内的主要城市分为三个层次: 可达性好的城市, 包括上海、苏州、嘉兴、湖州、无锡、常州和杭州; 可达性一般的城市, 包括南通、绍兴、镇江、扬州、南京和泰州; 可达性差的城市, 包括宁波、台州和舟山。

上海和苏州、嘉兴一直为区域内可达性最好的城市 (图 2)。本文讨论的可达性指标是以地区生产总值为加权因子的加权平均旅行时间, 因此我们认为这一结果除了受区位因素、交通基础设施状况的影响外, 还受到城市本身的经济总量及与区域经济中心城市的时间距离的影响。上海虽略偏于区域东部, 但交通发达, 不同时间断面皆由多条主干公路构成辐射型公路网络; 同时在 16 个节点城市中, 上海的经济地位举足轻重, 根据 2004 年上海市、江苏省和浙江省统计年鉴数据整理分析, 2003 年上海市地区生产总值占 16 个节点城市地区生产总值比重达 40% 左右; 上述三个因素的共同作用使上海可达性值在三个时间断面皆最低, 可达性最优。环太湖地区大致处于区域的几何中心, 苏州、嘉兴、无锡和湖州位于这一地区, 具有区位优势, 主要由于距离上海的时间距离不同, 苏

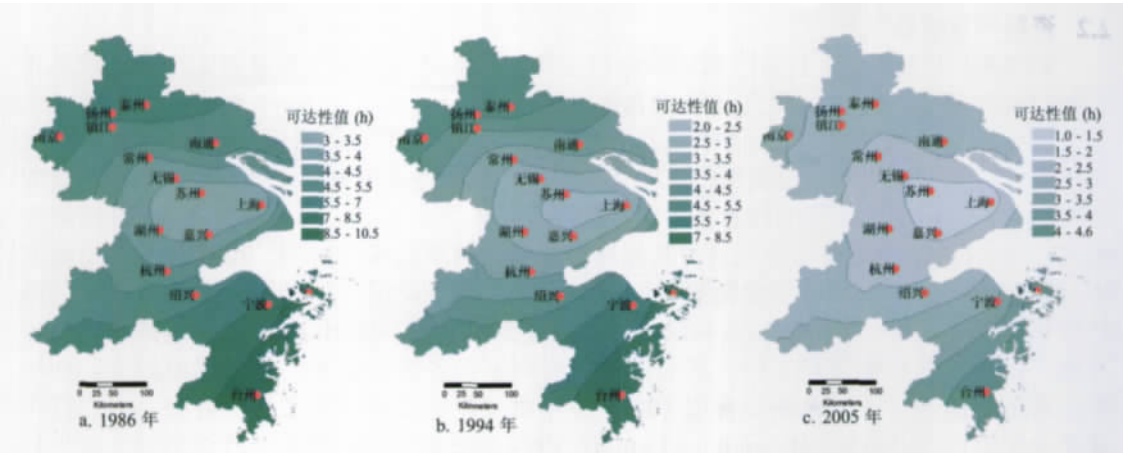


图 2 1986~2005 年长江三角洲地区公路网络可达性格局演化

Fig. 2 The evolution of spatial structure of highway accessibility in the YRD, 1986-2005

州、嘉兴两城市可达性水平在三个时间断面中分列第二和第三，无锡和湖州则稍次。常州和杭州位于环太湖地区的外围，可达性也一直维持较高水平。

处于南部边缘的城市可达性差(图 2)。在三个时间断面中，南部和东南部边缘城市台州、舟山、宁波是区域内可达性最差的城市。这同样受区位、交通基础设施和距区域经济中心城市的时间距离三因素的共同影响。由于杭州湾的阻隔，这些城市与上海的联系均需绕道杭州，这对这些城市可达性的提高有很大的制约作用；而舟山的海岛地形，使之与大陆路网的交通联系依赖于汽渡，可达性水平更低。

其他 6 个城市可达性居于上述两者之间，从地理位置看，也居于两者之间。从上述三个层次的角度分析，研究期内，公路网络可达性由上海及环太湖地区城市向外围逐渐降低的空间格局基本没有变动。

(3) 三个时间断面可达性空间分布都呈现一定的区域交通主干道指向性，即可达性的分布有沿沪宁线和沪杭线外突的特征，由于高速公路的建设，这在 2005 年时间断面上表现更为明显。

### 3.2 可达性动态演化

(1) 随着不同时间断面区域公路网络的发展与完善，各城市的可达性均有大幅提高(图2, 3, 4)。1986 至 2005 年间，除湖州可达性值变化率为 47.4%，低于 50%外，其余 15 个节点城市变化率均高于 50%。区域内节点城市可达性均值从 5.35 h 减至 2.28 h，减少 3.07 h (57.38%)，年均减少 0.16 h；最高减少 5.52 h (舟山)，减少率最高达 66.03% (泰州)。但在不同阶段减少幅度差别较大(图 3)，其中 1986~1994 年间各城市均值减少 1.09h (20.44%)，年均减少 0.136 h；1994~2005 年减少 1.98 h (44.44%)，年均减少 0.180 h。第二阶段可达性值降低更为显著。这与不同阶段区域公路网络发展演化的特征有关。第一阶段区域公路路网结构没有大的改变(图 1)，可达性的提高主要由公路路况改善、等级提升，平均行车速度提高而获得，因而较为缓和；1994 年后，随着高速公路的大规模兴建，区域路网结构发生了很大变化(图 1)，同时高速公路的修建使平均行车速度大为提高。2005 年，长江三角洲地区高等级公路网初步形成，这一阶段由于高速公路的兴建使可达性提高更为迅速。

(2) 可达性值变化幅度与其初始值有关。一般来说，可达性值越大的城市，其变化绝对值也越大。可达性值变化幅度与可达性值呈现较为一致的分布特征(图 2, 3)：由区域中心向外围可达性值变化幅度逐渐增加。但在研究期内，不同时间段变化幅度的分布呈现不同特点，第一阶段可达性值变化幅度格局略向南突出，第二阶段略向北突出，表明



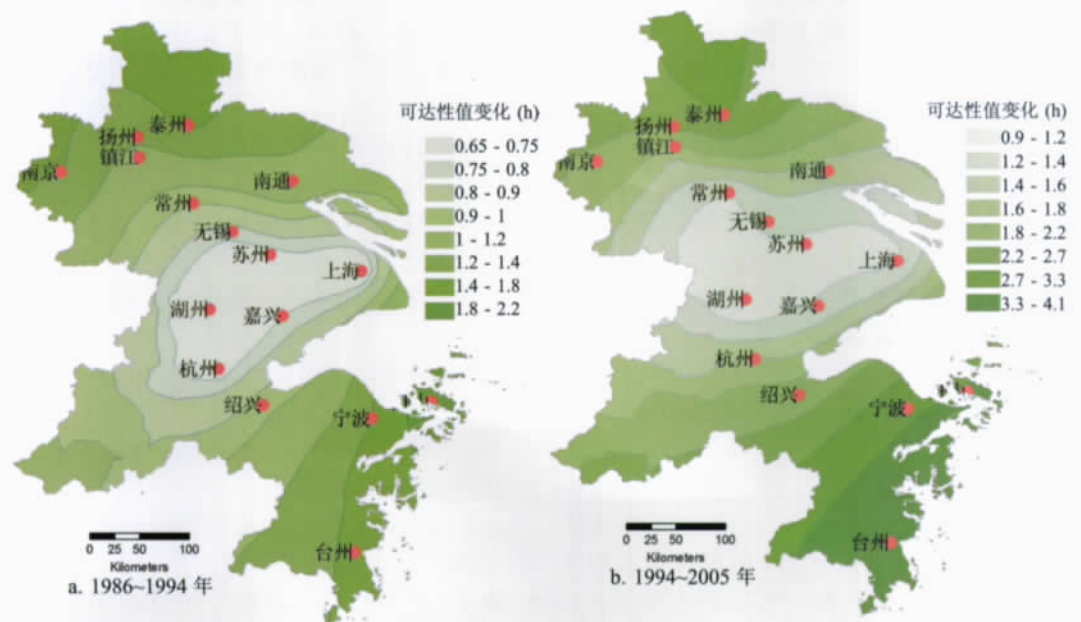


图3 1986~2005年长江三角洲地区公路网络可达性值变化  
Fig. 3 The changes of highway accessibility value in the YRD, 1986-2005

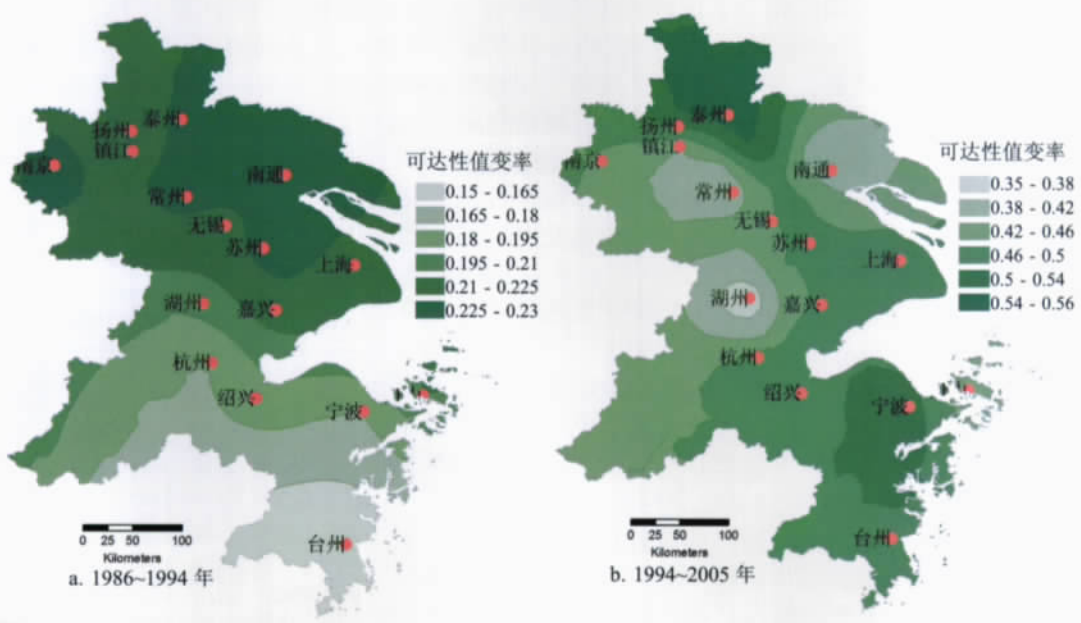


图4 1986~2005年长江三角洲地区公路网络可达性值变率  
Fig. 4 The changing rate of highway accessibility value in the YRD, 1986-2005

总体上第一阶段北部城市可达性值变化幅度略高于南部，第二阶段则相反。

可达性值变率格局在研究期内不同阶段差别很大(图4)。1986~1994年间，可达性值变率大致呈由北往南逐渐降低态势，江苏各市变化率均在21%以上，除嘉兴外，浙江各市均低于21%，最南部的台州变率最小。总体而言，区域内北部城市可达性要优于南部

城市，因此可达性值变率由北往南渐减的分布特征加剧了可达性分布的不均衡性。而1994~2005年可达性值变率呈多极格局，形成湖州、常州、南通三个低值中心和泰州、扬州和宁波等高值中心，总体上边缘城市(除南通)变率较高，这种分布缩小了可达性的分布不均衡。可达性分布均衡性将在3.4节中进一步阐述。

(3) 可达性值小于3.5 h的节点城市范围随公路网络的不断完善由可达性低值中心向周边呈不规则环状扩展(图2)。1986年可达性值小于3.5 h的城市仅有4个，包括上海和环太湖地区的嘉兴、苏州、湖州；1994年该范围向外略有扩展，包括了无锡、常州和杭州，城市总数为7个；至2005年，除舟山、台州外，全区域所有城市的可达性值均小于3.5 h。不同时间断面可达性值小于3.5 h的城市范围大致构成了半径不同的圈层结构。

3.3 相对可达性及其演化

可达性系数指各节点可达性值与网络内各节点平均可达性值的比值(公式2)<sup>[13]</sup>，反映了节点城市相对可达性水平的高低。

$$A_{di} = A_i / \sum A_i / n$$

(2)

式中： $A_d$ 、 $A_i$ 分别为节点*i*的可达性系数及可达性值，*n*为网络中节点的数目。本文引入该指标以分析各城市相对可达性水平及其演化(表1)。

(1) 1986年和1994年可达性水平高于平均水平(可达性系数<1)的城市均为10个，2005年为9个。这说明在三个时间断面大部分城市的可达性都优于平均水平，同时也从另一个方面反映出处于区域边缘位置的城市可达性状况较差。

(2) 如上所述，研究期间，区域内主要城市可达性的总体格局没有大的变化，反映在表1上，可达性好、一般和差三个层次的城市可达性系数范围分别为小于0.9，0.9~1.2，大于1.2，以此为基准，各节点城市所属的可达性层次在三个时间断面上没有发生变化。

根据可达性系数及其排序，我们对各城市相对可达性的演化进行进一步分析。比较1994和1986两个时间断面，各城市可达性排序变化不大，只有相邻的绍兴和镇江、台州和舟山位置进行了互换，且变动绝对值都很小。这是因为这一时期公路路网结构基本没有发生变化，节点城市可达性的提升比较和缓，相对可达性没有发生大的改变。2005年结果和1994年相比较，大部分城市可达性排序都发生了变化，相对可达性有较大的变动，这是高速公路和跨江大桥建设综合影响的结果。1994年以后，长江三角洲地区高速公路建设突飞猛进，公路路网格局发生了很大的变化，同时高等级公路建设使城市间时间距离大大缩短，长江阻隔对可达性的影响相对更为突出。

可达性好的城市中，湖州的优势地位逐渐丧失，而杭州日益突出，2005年杭州排序由1994年的第七升为第五，湖州则由第四降为第六。湖州虽占有区域几何中心地区的优越区位，但至2005年仍缺乏东向和上海直接相连的高速公路(图1)，这对其可达性水平产生了较大影响；杭州则基本形成放射型的高速公路网络，与区域内大部分节点城市间都有高速公路直接相连。

相对可达性变动最为显著的城市为可达性处于中等水平的南通和泰州。前者排名从第八位降到了第十三位，后者则由第十三位升至第八位。南通可达性水平的剧降

表 1 1986~2005 年长江三角洲地区  
节点城市可达性系数

Tab. 1 Accessibility coefficient of  
major cities in the YRD, 1986~2005

1986		1994		2005	
上海	0.574	上海	0.566	上海	0.554
苏州	0.601	苏州	0.585	苏州	0.584
嘉兴	0.638	嘉兴	0.625	嘉兴	0.617
湖州	0.646	湖州	0.652	无锡	0.663
无锡	0.670	无锡	0.660	杭州	0.756
常州	0.735	常州	0.712	湖州	0.797
杭州	0.759	杭州	0.787	常州	0.807
南通	0.937	南通	0.909	泰州	0.954
绍兴	0.953	镇江	0.939	绍兴	0.974
镇江	0.958	绍兴	0.973	镇江	1.014
扬州	1.111	扬州	1.102	扬州	1.015
南京	1.147	南京	1.107	南通	1.042
泰州	1.197	泰州	1.163	南京	1.132
宁波	1.398	宁波	1.436	宁波	1.293
台州	1.798	舟山	1.865	台州	1.818
舟山	1.878	台州	1.918	舟山	1.982

主要是长江阻隔的原因, 截至 2005 年 5 月, 区域内已建成跨江大桥四座, 在区域分布上江北三市中唯有南通没有大桥与苏南沟通, 过江需绕道江阴长江大桥或通过汽渡, 导致南通在区域主干公路网络中有边缘化趋势。泰州位于苏中的几何中心, 随着江苏省对沿江地区交通基础设施投入的增加和润扬大桥、江阴大桥等的贯通, 可达性水平提高明显。

可达性差的几个城市相对可达性变动较少, 在研究的三个时间断面中, 舟山 1986 年和 2005 年可达性均位于最后。1994 年因为长江三角洲地区大规模的高速公路建设还没有开始, 而宁波的交通状况及舟山汽渡连接线较之 1986 年有所改善, 因此使得舟山可达性暂时位于台州之前。

3.4 可达性分布的均衡性

统计学中常用样本的标准方差来衡量对象分布的均衡程度。由于可达性系数已经消除了不同年份可达性值水平的影响, 因此依据可达性系数计算的标准方差就可以反映出不同时间断面可达性分布的均衡性。

如表 2 所示, 1994 年与 1986 年相比较, 可达性系数的标准方差略有上升, 而 2005 年与 1994 年相比, 其值有所下降。与此相对应, 可达性分布在 1986-1994 年间趋向于不均衡, 但 1994 年以后又趋向于均衡, 这与上述分析是一致的。可以认为, 1986 年公路总体等级不高, 平均行车速度不快, 可达性处于低级相对均衡分布状态; 1986~1994 年间, 区域公路路网结构没有大的变化, 但由于区域内公路等级的非均衡性提高导致可达性分布趋向于不均衡; 至 2005 年, 高速公路的规划建设和路网格局趋于成熟完善, 可达性向高级相对均衡阶段发展, 出现时间—空间收敛趋势, 这将不断改变区位决策条件, 提高区位决策的灵活性<sup>[15]</sup>。还需指出, 进一步分析可达性系数的最高值和最低值, 对比三个时间断面, 其差值呈现变大趋势, 由 1986 年的 1.304 增为 2005 年的 1.428, 尤其是可达性最差的舟山可达性系数由 1.878 增为 1.972, 这说明在整体均衡化趋势下还存在“优者更优”现象, 舟山由于海岛地形所带来的阻隔, 其边缘化程度正日益加深。

4 可达性格局对城市发展的影响

运输联系对经济联系具有促进作用, 是不同空间经济形态形成发展的重要条件<sup>[1]</sup>, 区域可达性格局及其变化对区域发展及地域经济形态的形成与发展产生着深刻的影响。本文所探讨的节点城市公路网络可达性格局与城市发展的关系还深受公路运输特征的影响。鉴于此, 我们在可达性分析的基础上计算了反映公路货运特征的公路货运量区位商, 并通过两者的对应关系来阐述各城市可达性现状对城市发展的影响。

根据区位商的涵义, 我们定义公路货运量区位商为某节点城市单位地区生产总值产生的公路货运量 (公路货运生成密度) 与区域所有节点城市单位地区生产总值所产生的公路货运量的比值:

$$Q_i = d_i / D \tag{3}$$

式中:  $Q_i$  为城市  $i$  的公路货运量区位商,  $d_i$  为该城市公路货运生成密度,  $D$  为区域所有节点城市的公路货运生成密度。公路货运量区位商的高低与多种因素有关, 比如城市的发展水平、产业结构以及货运结构等。公路货运量区位商在一定程度上反映了城市发展对公路交通的依赖程度, 其值越高, 表明城市发展对公路交通的依赖性越大。而公路网络可达性系数则反映了区域内节点城市间通过公路互相联系的方便程度, 系数越低, 表明节点城市公路交通越方便。因此对上述两指标进行综合分析便能较为客观地确定各节点

表 2 1986~2005 年长江三角洲地区节点城市可达性系数分布  
Tab. 2 The distribution of major cities' accessibility coefficient in the YRD, 1986~2005

年份	1986	1994	2005
标准方差	0.394	0.411	0.396
最低值	0.574 (上海)	0.566 (上海)	0.554 (上海)
最高值	1.878 (舟山)	1.918 (台州)	1.982 (舟山)
极值差	1.304	1.362	1.428

表 3 长江三角洲地区节点城市公路货运量区位商 (2003) 及可达性系数 (2005)  
Tab. 3 Highway freight local quotient (2003) and accessibility coefficient (2005) of major cities in the YRD

	南京	扬州	泰州	南通	镇江	常州	无锡	苏州	上海	嘉兴	湖州	杭州	绍兴	宁波	舟山	台州
$Q_i$ (2003)	1.190	1.120	0.559	1.328	1.560	0.851	0.654	0.534	1.029	0.723	1.266	1.074	0.655	1.048	2.006	1.121
$A_{di}$ (2005)	1.132	1.015	0.954	1.042	1.014	0.807	0.663	0.584	0.554	0.617	0.797	0.756	0.974	1.293	1.982	1.818

城市公路网络可达性对城市发展的影响。

由表 3, 综合考虑公路货运量区位商和可达性系数, 我们将长江三角洲地区公路网络可达性对 16 个节点城市发展的影响划分为以下三种类型。

(1) 良好支撑型。这类城市包括区位商低且可达性优越的城市, 如苏州、泰州、无锡、绍兴、嘉兴、常州等, 这六个城市区位商和可达性系数均小于 1, 即城市发展对公路交通的依赖并不突出, 但公路交通便捷; 此外, 还包括区位商略高或高于平均水平但可达性优势突出的城市, 如杭州、上海和湖州。这类城市的共同特征是可达性水平较高, 与其他城市的公路交通联系便捷, 这就为城市发展产生的货运需求提供了较好的实现条件, 促进了经济联系的扩散和加强, 为城市的发展提供了良好的支撑。

(2) 相对制约型。这类城市区位商大且可达性差, 如舟山和台州, 一方面运输联系和城市发展对公路交通的依赖性较大, 另一方面公路交通与区域内其他节点城市联系不便, 影响着经济联系的空间范围和强度, 因此, 城市发展产生的公路货运需求与公路交通可达性之间存在着较大的矛盾, 较差的可达性水平对城市的发展产生着一定的制约作用。

(3) 基本适应型。这类城市或者是区位商和可达性中一者偏高, 另一者接近平均, 或者是两者都略高于平均水平。如镇江和南通区位商较高, 但其可达性系数接近于平均水平; 宁波可达性系数较高, 但区位商接近区域平均水平; 南京和扬州两节点城市区位商和可达性系数皆仅略高于平均水平。这类城市可达性基本适应或支撑了城市的发展。

5 结论与讨论

(1) 近 20 年来, 长江三角洲地区主要节点城市可达性的空间分布格局总体变动不大, 其值以上海、苏州、嘉兴为中心向外围呈不规则环状增高。公路网络的逐步完善极大地提高了主要城市间的可达性, 但在研究的不同阶段可达性演化特征不同, 1986~1994 年间可达性提升幅度较之 1994~2005 年间稍小; 各节点城市可达性值变化幅度与初始值有关, 可达性值变率在第一阶段由北往南逐渐降低, 而在第二阶段呈多极格局; 可达性水平随路网的完善由中心向外围呈圈层式优化。区域内多数节点城市可达性状况优于平均水平, 由此反映出区域边缘城市可达性状况相对更差; 相对可达性在 1986~1994 年间变化不大, 而 1994~2005 年间发生了较大的改变; 从可达性分布的均衡性角度分析, 第一阶段可达性分布趋于不均衡, 第二阶段则趋于均衡分布; 结合货运量区位商, 可达性对节点城市发展的影响可分为良好支撑、相对制约和基本适应三种类型。

(2) 根据 2004 年上海市、江苏省、浙江省及中国统计年鉴数据分析结果, 长江三角洲地区公路交通发达, 公路及高速公路密度不仅大大高于全国平均水平, 与珠江三角洲及京津冀地区相比, 优势也十分明显。鉴于研究区域公路网络可达性总体状况较好及空间格局现状, 加之这一地区水系密布, 人口众多, 环境容量有限等客观条件限制, 未来公路发展的重点不再是大规模的路网扩张, 而主要在于完善网络结构、加快过江 (海) 通道建设, 提高边缘城市可达性水平。基于本文的分析, 我们认为今后 10 年长江三角洲地区主要节点城市可达性总体格局将会保持相对稳定, 但从单个城市角度看, 部分可达性较差的节点城市的相对可达性将处于不断的变动之中。例如苏通大桥及舟山大陆连岛工程



的建成会大大提高南通及舟山的可达性, 杭州湾跨海大桥的建成对区域南部城市的可达性将会产生积极的影响, 南通洋口深水港及疏港通道的建设将有助于区域北部城市可达性的提升。城市体系的演化与交通网络的发展是一个空间互动过程, 交通运输网络是形成城市体系网络系统的物质条件和必要前提<sup>[17]</sup>。节点相对可达性的变化意味着城市竞争力的变动, 相对可达性提升的城市将能获得更多的发展机会, 反之亦然。但从区域整体来看, 目前长江三角洲地区已形成较为完善的现代城市体系<sup>[21]</sup>, 在未来可达性总体格局相对稳定的趋势下, 城市体系的总体结构不会有大的改变。

(3) 本文着重从区内节点之间相互联系的角度, 对长江三角洲地区 16 个节点城市间公路网络可达性格局的演化进行了比较系统的探讨, 而事实上节点城市运输联系所依赖的交通网络是由多种交通方式有机结合而成的综合交通网络, 并且区域是一个开放系统, 节点的可达性应为区内联系可达性和区外联系可达性的综合<sup>[22]</sup>, 故本文的结论只是长江三角洲地区综合交通可达性这一复杂研究课题的阶段性的成果。很显然, 要全面认识这一科学问题, 还需对该区域综合交通网络对内及对外可达性进行综合分析, 对此, 我们将另文探讨。

## 参考文献 (References)

- [1] Zhang Wenchang, Jin Fengjun, Rong Chaohe et al. On Spatial Transport Linkage: Theoretical Study, Empirical Analysis and Forecasting Methods. Beijing: China Railway Publishing House, 1992. [张文尝, 金凤君, 荣朝和等. 空间运输联系-理论研究·实证分析·预测方法. 北京: 中国铁道出版社, 1992.]
- [2] Yang Tao, Guo Xiucheng. New concept of urban travel accessibility and its application. China Journal of Highway and Transport, 1995, (2): 25-30. [杨涛, 过秀成. 城市交通可达性新概念及其应用研究. 中国公路学报, 1995, (2): 25-30.]
- [3] Lwan Mei-Po, Murray Alan T, O'Kelly Morton E et al. Recent advances in accessibility research: representation, methodology and applications. Journal of Geographical Systems, 2003 (5): 129-138.
- [4] Li Pinghua, Lu Yuqi. Review and prospectation of accessibility research. Progress in Geography, 2005, 24(3): 69-77. [李平华, 陆玉麒. 可达性研究的回顾与展望. 地理科学进展, 2005, 24(3): 69-77.]
- [5] Yang Jiawen, Zhou Yixing. Accessibility: concept, measure and application. Geography and Territorial Research, 1999, 15(2): 61-66. [杨家文, 周一星. 通达性: 概念、度量及应用. 地理学与国土研究, 1999, 15(2): 61-66.]
- [6] Guti érez Javier, G óñez Gabriel. The impact of orbital motorways on intra-metropolitan accessibility: the case of Madrid's M-40. Journal of Transport Geography, 1999, 7(1): 1-15.
- [7] Guti érez Javier. Location, economic potential and daily accessibility: an analysis of the accessibility impact of the high-speed line Madrid-Barcelona-French border. Journal of Transport Geography, 2001, 9(4): 229-242.
- [8] Guti érez Javier, Urbano Paloma. Accessibility in the European Union: the impact of the transeuropean road network. Journal of Transport Geography, 1996, 4(1): 15-25.
- [9] Guti érez Javier, Gonz ález Rafael, G óñez Gabriel. The European high-speed train network: predicted effects on accessibility patterns. Journal of Transport Geography, 1996, 4(4): 227-238.
- [10] Dupuy Gabriel, Stransky Vaclav. Cities and highway network in Europe. Journal of Transport Geography, 1996, 4(2): 107-121.
- [11] Li Siming, Shum Yiman. Impacts of the national truck highway system on accessibility in China. Journal of Transport Geography, 2001, 9(1): 39-48.
- [12] Luo Pengfei, Xu Yilun, Zhang Nannan. Study on the impacts of regional accessibility of high speed railway: a case study of Nanjing to Shanghai region. Economy Geography, 2004, 24(3): 407-411. [罗鹏飞, 徐逸伦, 张楠楠. 高速铁路对区域可达性的影响研究: 以沪宁地区为例. 经济地理, 2004, 24(3): 407-411.]
- [13] Jin Fengjun, Wang Jiao'e. Railway network expansion and spatial accessibility analysis in China: 1906-2000. Acta Geographica Sinica, 2004, 59(2): 293-302. [金凤君, 王姣娥. 二十世纪中国铁路网扩展及其空间通达性. 地理学报, 2004, 59(2): 293-302.]
- [14] Wang Jiao'e, Jin Fengjun. Railway network organization and spatial service system optimization in China. Acta Geographica Sinica, 2005, 60(3): 371-380. [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. 地理学报, 2005, 60(3): 371-380.]
- [15] Cao Xiaoshu, Yan Xiaopei. The impact of the evolution of land network on spatial structure of accessibility in the developed areas: the case of Dongguan city in Guangdong province. Geographical Research, 2003, 22(3): 305-312. [曹小曙, 阎小培. 经济发达地区交通网络演化对通达性空间格局的影响: 以广东省东莞市为例. 地理研究, 2003, 22(3): 305-312.]
- [16] Xu Di, Lu Yuqi. Impacts of the truck highway system on accessibility of the municipalities in Jiangsu. Economic

- Geography, 2004, 24(6): 830-833. [徐昀, 陆玉麒. 高等级公路网建设对区域可达性的影响: 以江苏省为例. 经济地理, 2004, 24(6): 830-833.]
- [17] Cao Xiaoshu, Xue Desheng, Yan Xiaopei. A study on the urban accessibility of national truck highway system in China. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(6): 903-910. [曹小曙, 薛德升, 阎小培. 中国干线公路网连接的城市通达性. 地理学报, 2005, 60(6): 903-910.]
- [18] Wei Lihua, Cong Yanguo. The influence of inter-cities express passenger train of spatial structure of metropolitan area: a case of Jingjintang. *Economic Geography*, 2004 (6): 834-837. [魏立华, 丛艳国. 城际快速列车对大都市区通达性空间格局的影响机制分析: 以京津塘大都市区为例. 经济地理, 2004 (6): 834-837.]
- [19] Janelle Donald G, Beuthe Michel. Globalization and research issues in transportation. *Journal of Transport Geography*, 1997, 5(3): 199-206.
- [20] Yearbook House of China Transportation and Communications. *Yearbook of China Transport and Communications* 1995. Beijing: Yearbook House of China Transportation and Communications, 1995. [中国交通年鉴社. 中国交通年鉴 1995. 北京: 中国交通年鉴出版社, 1995.]
- [21] Dong Bin. Study on the structure of city system in Yangtze River delta. *Modern Economic Research*, 2006, (4): 78-83. [董斌. 长江三角洲地区城市体系的结构研究. 现代经济探讨, 2006 (4): 78-83.]
- [22] Lu Yuqi, Yu Yongjun. The mathematical derivation of the model of regional dual-nuclei structure. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(3): 406-414. [陆玉麒, 俞勇军. 区域双核结构模式的数学推导. 地理学报, 2003, 58(3): 406-414.]

## Spatial Structure and Evolution of Highway Accessibility in the Yangtze River Delta

WU Wei<sup>1,2</sup>, CAO Youhui<sup>1</sup>, CAO Weidong<sup>1,2</sup>, XU Jian<sup>1,2</sup>, WANG Yue<sup>1,2</sup>

(1. Nanjing Institute of Geography and Limnology, CAS, Nanjing 210008, China;

2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract:** Based on the highway network map in 1986, 1994 and 2005, choosing weighted mean travel time as indicator, the spatial structure and evolution of major cities highway accessibility in the Yangtze River Delta (YRD) are elaborated in this paper. Considering the characteristics of highway transportation, the impact of accessibility level on city development is also analyzed preliminarily. Some conclusions are drawn as follows. In the 20 years, the spatial structure of accessibility in the YRD has little change; Shanghai, Suzhou and Jiaxing are the center with the lowest accessibility value, and the value increases from the center to the surrounding. The improvement of highway system upgrades the accessibility of major cities in this region, but the evolution takes on different characteristics in the two research stages, and the accessibility upgrade in the second stage (1994-2005) is greater than that in the first stage (1986-1994). The changing extent of accessibility value is related to the initial value, and changing rate of accessibility value decreases from the northern part to the southern at the first stage, but takes on multi-core pattern at the second stage. With the improvement of highway system, the accessibility optimizes from the center to the surrounding. Most cities in this region are above the average level in accessibility, and the city relative accessibility has changed less at the first stage but more at the second stage. Standard deviation analysis of accessibility coefficient shows that the equilibrium of the accessibility distribution descends at the first stage and ascends at the second stage. Considering the highway freight local quotient, the impact of accessibility level on the city development is classified into three categories: promotion, restriction and adaptation. With these results, some suggestions about the development of highway system in this region and some foci for further study are proposed.

**Key words:** accessibility; weighted mean travel time; accessibility coefficient; highway freight local quotient; highway network; Yangtze River Delta