

可视化交通可达性时空压缩格局的新方法 以京津冀城市群为例

周 晓, 刘 冲*

(湖南大学 建筑学院, 中国湖南 长沙 410082)

摘要 构建了一个利用“时间—空间图”来分析区域时空压缩的方法框架, 并以京津冀城市群为对象, 运用该技术研究由路网建设带来的交通可达空间变化。首先, 分析通过网络抓取技术获取的各县市在公路网上的通行距离和时间数据。然后, 再利用多维尺度分析算法将节点之间的邻近关系转化成几何关系, 生成拟合可达关系的时空图, 并检验拟合误差。最后, 利用分层聚类划分区域城镇体系内部层级结构, 利用空间统计方法来分析各聚类的水平位移平均方向、平均距离和圆方差。最后, 以区域可达性均衡发展为出发点, 给未来京津冀城市群交通网络建设公平发展提出政策建议, 并给京津冀城市群未来的一体化发展提供分析基础。

关键词 时空压缩; 时空图; 京津冀城市群; 交通可达空间;

中图分类号 F511.99; K902 文献标志码 A 文章编号 1000-8462(2016)07-0062-08

DOI: 10.15957/j.cnki.jjdl.2016.07.008

A New Method to Visualise the Time-space Compression Effect in Road Network: A Case Study of Beijing-Tianjin-Hebei Region

ZHOU Kai, LIU Chong

(School of Architecture, Hunan University, Changsha 410082, Hunan, China)

Abstract: Using time-space mapping analysis, this paper managed to visualise the time-space-compression effects caused by road network development in Beijing City Region. First, this research obtained travel-miles and travel-time OD (Origin-Destination) data by querying from online map navigation server. Second, it produced time-space maps in 3D MDS (Multidimensional Scaling) which transforms metric-relationships into 3D geometric space. Third, by observing time-space maps, this paper summarised three types of time-space-compression effect that caused by uneven transportation improvement in city region: the gathering effect, stretching effect and wrinkling effect. At last, some suggestions are provided to build more balanced road network accessibility between regions in the future.

Key words: time-space compression; time-space map; Beijing-Tianjin-Hebei Region; accessible space

机动化和公路网建设是城市群协同发展的基础, 区域交通网络的一体化建设在普遍提高空间联系便捷度的同时, 也在不断重新定义城市群各节点的交通区位条件。城市群中交通联络方便的地区之间趋向彼此邻近, 地理空间出现沿交通联系方向的“时空压缩(time-space compression)”。如何展示由距离阻抗变小引起的时空关系变化, 并度量时空压缩的强度和方向一直是地理研究者关注的问

题。当前, 交通可达性研究^[1]一直从两种思路来分析时空压缩问题。一方面, “等时圈图(isochrones map)”选取某城市为中心, 以某距离、时间或费用为通行成本阈值划定等时圈, 以其外轮廓形状、面积或涵盖的机会潜能大小作为时空压缩方向和强度的体现, 并通过比较不同时期等时圈变化来反映可达范围的演化^[2-5]。但是, “等时圈图”是立足于对单个节点的评价, 虽然能很好地体现以某节点为中

收稿时间 2016-01-06; 修回时间 2016-03-24

基金项目: 国家自然科学基金项目(51508173); 国家教育部博士点基金项目(20130161120047); 留学回国人员科研启动基金项目(20141685); 中央高校基本科研业务费专项资金

作者简介: 周晓(1981—), 男, 湖南长沙人, 博士, 助理教授, 硕士生导师。主要研究方向为城市与区域分析和城市规划新技术应用。E-mail: zhukai_nju@hotmail.com

*通讯作者: 刘冲(1993—), 男, 湖南岳阳人, 硕士研究生。主要研究方向为城市与区域分析和规划新技术应用。E-mail: choongl@foxmail.com

心的各方向时空压缩趋势,但无法完整展现区域多节点时空压缩的整体格局。另一方面,“可达性格局图(accessibility pattern map)”使用距离、时间或潜能可达性模型来计算节点的全局可达性水平,利用空间插值获得反映区域整体趋势的可达性格局图,通过区域等值线的形状和密度判断时空压缩的方向和强弱^[6-14],并通过比较可达性数值的变化或等值线形状的演变,来分析交通网络建设所产生的时空压缩效果^[15-22]。然而,该方法以全局可达性(例如全网空间距离/时间之和)作为节点值进行插值,大部分可达性格局图的中心都呈现高数值区域,但这并不能说明网络中心一定是时空压缩最强烈的地区。并且,全局可达性的数值差异也不能体现节点之间交通邻近关系,格局图中等值线形状演变只能表示网络整体效率的变化趋势,而不能具体说明节点之间的联系距离和时间的大小和方向。

实际上,Bunge 和 Tobler早在1960年代年就阐述了利用“时间一空间图(时空图,time-space map)”来可视化时空压缩现象的分析构想^[23-24],提出以路网上的网络距离(或时间距离)替代地图上的空间距离来绘制新的空间拟合图,以此直观图示由于区域交通条件变化产生的时空压缩态势。Vickerman^[25]和Spiekermann^[26]用时空图来示意高速铁路网建设对欧洲大陆产生的时空压缩影响。周恺^[27-28]通过绘制时空图揭示长三角地区北翼和南翼不同的压缩特征和湖南省时空压缩特性。Ahmed^[29]较系统地讨论了时空图可视化分析方法,并在美国盐湖城进行了城区尺度的应用。近年来,数据获取的方法和渠道得到继续拓展, GIS可视化技术也有进步,这给时空图分析应用创造了条件。本研究以时空图分析为工具,对京津冀城市群因公路网发展产生的时空收缩现象进行研究,并利用新的时空关系,对京津冀地区的城镇体系中层域关系进行划分。

1 研究方法

本研究构建的时空图分析方法包括4个步骤^[29]:“数据获取”、“拟合空间生成”、“有效性检验”和“结果可视化分析”(图1)。

1.1 数据获取

时空图分析需要获取包含任意两点间OD距离的完整数据矩阵,数据需求量巨大。传统可达性分析中的OD数据矩阵通过ArcGIS中的网络分析生成,但该操作要求获取大量的路网数据,并需保证

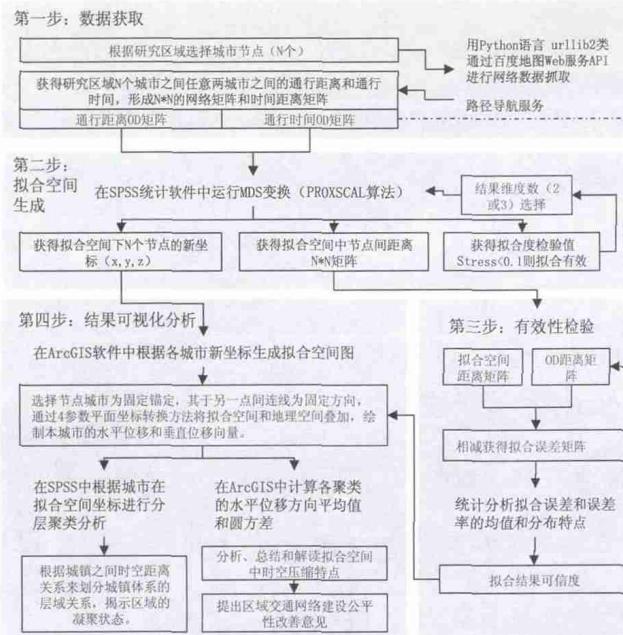


图1 时空图分析方法

Fig.1 Time-space mapping method

数据完备和更新及时,这在大尺度分析中难度较大。为减少数据获取难度和成本,研究者编写Python程序利用百度地图导航API接口进行数据抓取,以各县市人民政府为起点(或终点),以驾车最短时间模式查询最佳路径,并保存路径通行距离和通行时间,数据获取时间为2014年6月,OD数据量巨大,本文无篇幅展示。百度地图路网数据完备且更新及时,因此,研究采用的通行距离和通行时间可以有效反映当前道路通行的实际里程和时间消耗。

1.2 拟合空间生成

时空图分析的核心是将节点之间的数量关系转换为几何关系,以距离OD矩阵中邻近关系数据生成能与相对位置关系吻合的拟合空间(图2)。早期研究仅能以制图方法,用连接线段长度代表通行时间来构建拟合网络,来表达交通上的疏离和邻近^[23-24, 30-32]。GIS制图工具出现以后,Vickerman^[25]、Spiekermann^[26]曾尝试利用地图投影算法来生成拟合空间。这些方法均误差较大且无法检验。

时空图常用“多维尺度变换(Multidimensional Scaling, MDS)”来求取最佳拟合空间,度量化MDS算法常用ALSCAL算法和PROXSCAL算法。ALSCAL算法适用于非对称距离矩阵的MDS拟合。本研究通过用PROXSCAL算法利用坐标移动进行多次递归运算,使拟合空间上的各点之间距离与OD邻近矩阵距离差值平方和趋于最小(最小二乘原则)^[33]。

	A	B	C	D	E	F
A	-	2	13	4	3	8
B		-	12	6	5	7
C			-	9	10	11
D				-	1	14
E					-	15
F						-

距离OD矩阵

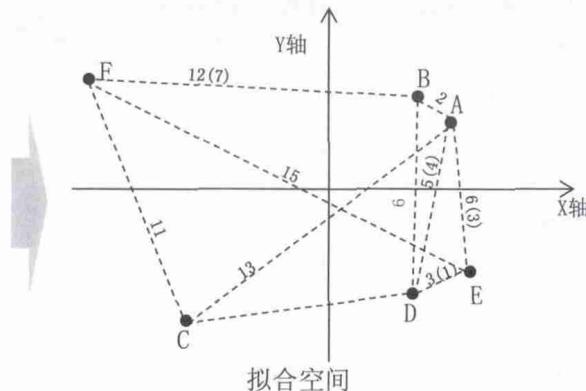


图2 拟合空间生成示意

Fig.2 Time-space transformation

$$\sigma^2 \equiv \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \sum_{i < j}^n [\hat{d}_{ijk} - d_{ij}(X_k)]^2 \quad (1)$$

$$STRESS - I = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^m \sum_{i < j}^n [\hat{d}_{ijk} - d_{ij}(X_k)]^2}{\sum_{k=1}^m \sum_{i < j}^n [\hat{d}_{ijk}]^2}} \quad (2)$$

$$\tau = \frac{\hat{d}_{ijk} - d_{ij}(X_k)}{\hat{d}_{ijk}} \times 100\% \quad (3)$$

式中: σ 为拟合误差(标准化的原始 STRESS 值); n 为城市数量; m 为距离数量; \hat{d}_{ijk} 为拟合空间距离; $d_{ij}(X_k)$ 为 OD 邻近矩阵距离; τ 为拟合误差率。

1.3 有效性检验方法

MDS 分析通过计算误差系数(STRESS 值)来检验转换得到的新空间与 OD 矩阵的拟合效果。公式(1)中 σ 是标准化的原始 STRESS 值, σ 值越小, 拟合程度越好。公式(2)计算的 STRESS-I 值时检验有效性的指标, 根据 Kruskal^[34]的研究, STRESS-I=0 表示完美拟合, STRESS-I $\in(0, 0.025)$ 表示拟合非常好, STRESS-I $\in(0.025, 0.05)$ 表示拟合好, STRESS-I $\in(0.05, 0.1)$ 表示拟合可以接受, STRESS-I >0.1 表示拟合不成立。为进一步分析拟合误差大小和可信度, 需要对所有拟合误差数值进行统计分析, 描述误差均值和统计分布特征, 并分析拟合误差率 τ (公式3)及其统计分布特征。

1.4 结果可视化分析方法

本研究利用 ArcGIS 软件的 ArcScene 模块将节点新坐标生成三维拟合空间点, 通过 Natural Neighbor 空间插值方法生成拟合空间连续曲面, 还原成连续的拟合空间, 以便与地理空间进行对比分析。利用四参数平面转换计算, 将拟合空间和地理空间进行叠加。连接节点在地理空间和拟合空间里的位置, 体现其时空压缩位移。为进一步分析空间位

移特点, 研究根据节点的拟合空间坐标进行分层聚类分析, 描述区域凝聚状态, 并利用位移方向平均值(公式4)和圆方差(公式5)来描述每一个聚类的空间位移特点。

$$LDM = \arctan \frac{\sum_{i=1}^n \sin \theta_i}{\sum_{i=1}^n \cos \theta_i} \quad (4)$$

$$CV = 1 - \sqrt{\frac{\left(\sum_{i=1}^n \sin \theta_i\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^n \cos \theta_i\right)^2}{n}} \quad (5)$$

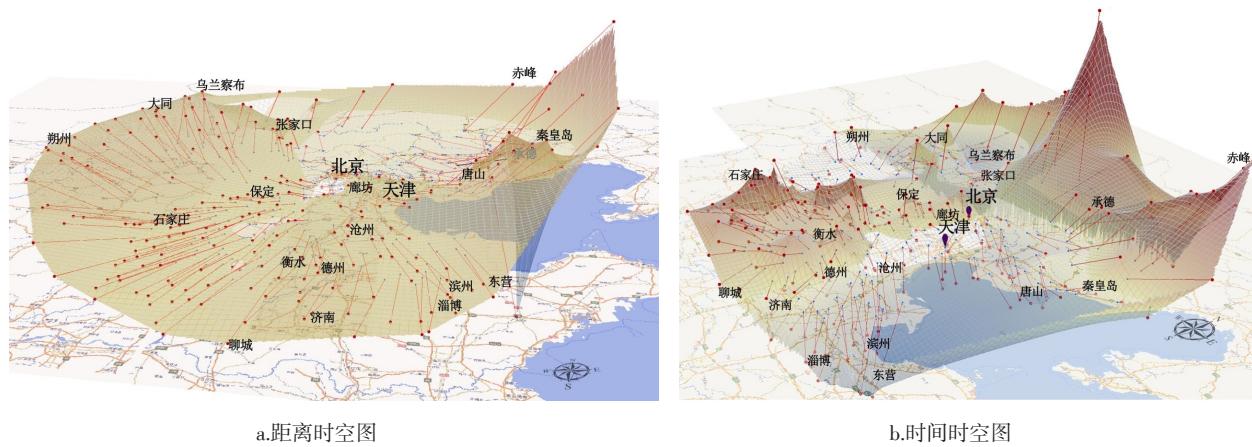
式中: LDM (Linear Directional Mean) 为位移方向平均值; CV (Circular Variance) 为圆方差; θ_i 为位移方向向量。

2 实证研究: 京津冀城市群

本文以京津冀地区作为研究区域, 将北京周边 500km 范围内 260 个县市纳入分析(图3)。

2.1 京津冀时空图

利用京津冀城市群公路网上各县市间通行 OD 数据, 分别生成各自基于通行距离的时空图(以下称“距离时空图”, 图 4a)和基于通行时间的时空图(以下称“时间时空图”, 图 4b), 并选取北京为固定锚点, 北京—天津方向为固定压缩方向, 将时空图与地图进行叠合, 比较空间压缩差异。经检验(表 1), 两个时空图拟合结果均有效, STRESS-I $\in(0.05, 0.1)$, 拟合效果均可以接受。并且, 拟合误差和误差率均呈钟形分布(图 5), 根据均值和标准方差的统计分析, 距离时空图中 95% 的误差在 $\pm 100\text{km}$ 之内, 95% 的误差率不超过 $\pm 30\%$; 时间时空图中 95% 的误差在 $\pm 1.5\text{h}$ 之内, 95% 的误差率不超过 $\pm 45\%$ 。可见, 结果中拟合误差较小, 时空图较为准确地拟合出了交通邻近关系。



注:图中地名标注点为拟合空间位置,下同。

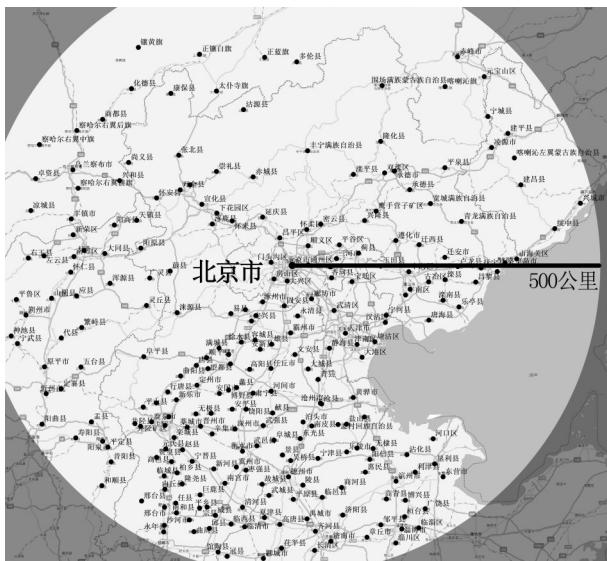
图4 三维时空图
Fig.4 3D time-space map

图3 研究区域京津冀城市群

Fig.3 Analysis areas: Beijing-Tianjin-Hebei Region

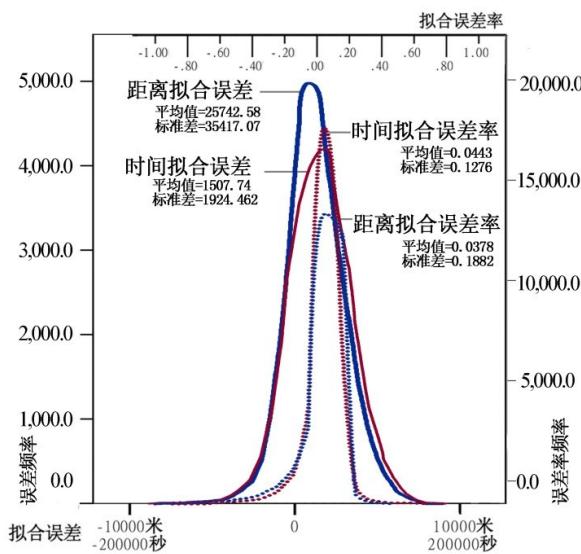


图5 拟合误差和拟合误差率统计分布图

Fig.5 Histogram diagrams of errors and τ 表1 京津冀时空图分析拟合检验
Tab.1 Time-space analysis results

分析参数	城市样本数		通行距离	通行时间
	有效OD数据a	33 670		
	叠加锚点	北京、天津		
	距离数据			
有效性检验	标准拟合误差 σ 值	0.00439	0.00493	
	拟合误差系数STRESS-I	0.06626	0.07022	
	拟合误差平均值	+25.8km	+0.4h	
	拟合误差标准差	35.4km	0.5h	
误差分析a	95%误差范围b	-45.0km~+96.7km	-0.7h~+1.4h	
	误差率 τ 平均值	+4.43%	+3.78%	
	误差率 τ 标准差	12.77%	18.82%	
	95% τ 值范围b	-21.11%~+29.97%	-33.86%~41.42%	

2.2 空间叠加分析和时空压缩特征描述

选择北京—天津作为“锚点”,以其为参考点将拟合空间和地理地图进行平面叠合。观察节点在

两个空间中的位置差异,比较节点在时空图上的位置(图6红点所示)与原始地图位置(图6蓝点所示),出现了“水平位移”(图6线段所示)和“垂直位

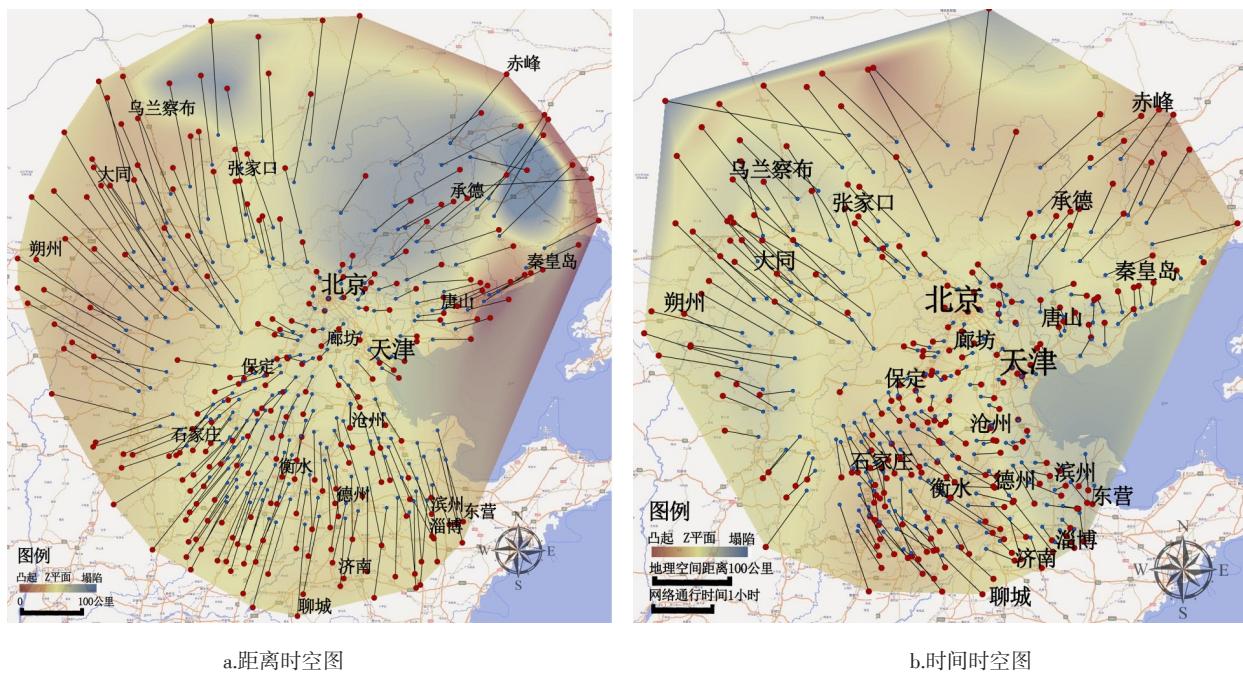


图6 时空图上的水平位移和垂直位移

Fig.6 Horizontal and vertical displacements on time-space maps

移”(图6蓝—黄—红色渐变色所示)。

京津冀的距离时空图(图4a)特征可大体划分为中南部、西北和东北三大板块描述。中南部片区包括北京以南河北、天津和山东沿京石高速、大广高速、京津高速、京沪高速的主要城市,时空压缩以聚集现象为主。华北平原便捷的公路网使得南部片区城镇聚类趋势明显,并向主要交通线聚集,可

达性水平整体均衡提升。西北部太行山脉以西片区受地形影响,城市联系通行距离整体拉长,城市整体向西北方向偏移,并出现略微垂直方向的皱起。山海关外的东北片区城市垂直方向位移较大,皱起现象明显。京津冀的时间时空图(图4b)体现出与距离时空图相同的空间特点。除此之外,时间时空图中表现出较大的垂直位移,其总体趋势规律

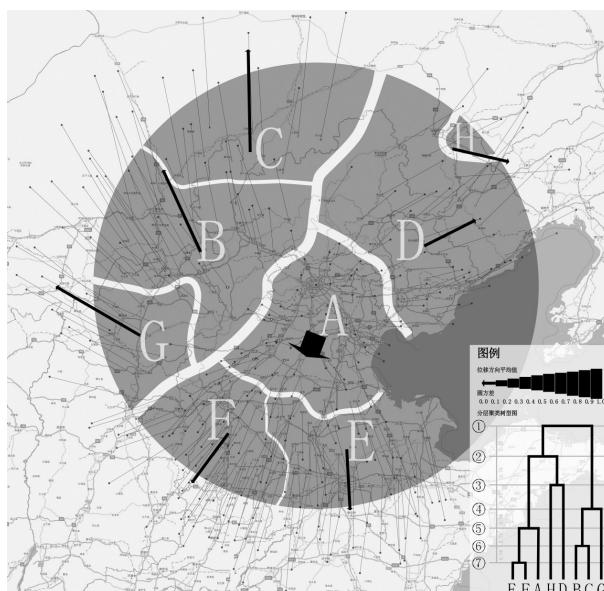


图7 距离时空图上城市的分层聚类分析
和水平位移空间统计

Fig.7 Hierarchical clustering and displacements spatial statistics of cities on distance time-space maps

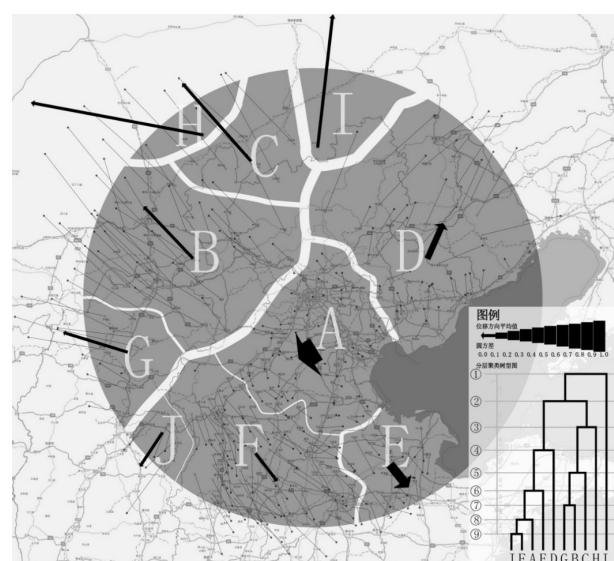


图8 时间时空图上城市的分层聚类分析
和水平位移空间统计

Fig.8 Hierarchical clustering and displacements spatial statistics of cities on duration time-space maps

表2 基于京津冀距离时空图的城镇体系层域划分
Tab.2 Urban system hierarchy in distance time-space

分层聚类树图							次区域编码
2	3	4	5	6	7	8	
东南体系	华北平原体系			冀南—鲁北体系		鲁北体系	E
				冀南—鲁北体系		石家庄体系	F
	东北体系	京—津体系			京—津体系		A
		内蒙古元宝山区			内蒙古元宝山区		H
西北体系	唐山—秦皇岛—承德—赤峰体系			唐山—秦皇岛—承德—赤峰体系		D	
	西北体系	冀西北体系		张家口—乌兰察布—大同体系		B	
		冀西北体系		察哈尔盟体系		C	
		朔州—忻州体系			朔州—忻州体系		G

表3 基于京津冀距离时空图的次区域划分
Tab.3 Sub-regions based on distance time-space maps

次区域编码	区县范围
E	山东省:济南市(市区,长清区,济阳县,商河县,章丘市),淄博市(市区,临淄区,淄川区,桓台县,高青县),东营市(市区,河口区,垦利县,利津县,广饶县),德州市(市区,陵县,宁津县,庆云县,临邑县,齐河县,平原县,夏津县,武城县,乐陵市,禹城市),聊城市(市区,茌平县,高唐县),滨州市(市区,惠民县,阳信县,无棣县,沾化县,博兴县,邹平县);河北省:沧州市(吴桥县),衡水市(市区,枣强县,武邑县,武强县,故城县,景县,阜城县,冀州市,深州市)
F	山东省:聊城市(冠县,临清市);山西省:阳泉市(市区,平定县,盂县),晋中市(和顺县,昔阳县,寿阳县);河北省:石家庄市(市区,井陉矿区,栾城县,井陉县,正定县,行唐县,灵寿县,高邑县,深泽县,赞皇县,无极县,平山县,元氏县,赵县,辛集市,藁城市,晋州市,新乐市,鹿泉市),邯郸市(永年县,邱县,鸡泽县,馆陶县,曲周县,邢台市),邢台市(邢台县,临城县,内丘县,柏乡县,隆尧县,任县,南和县,宁晋县,巨鹿县,新河县,广宗县,平乡县,威县,清河县,临西县,南宫市,沙河市)
A	河北省:唐山市(玉田县),保定市(市区,满城县,清苑县,涞水县,徐水县,定兴县,唐县,高阳县,容城县,望都县,安新县,易县,曲阳县,蠡县,顺平县,博野县,雄县,涿州市,定州市,安国市,高碑店市),沧州市(市区,沧县,青县,东光县,海兴县,盐山县,肃宁县,南皮县,献县,孟村回族自治县,泊头市,任丘市,黄骅市,河间市),廊坊市(市区,大厂回族自治县,固安县,永清县,香河县,大城县,文安县,霸州市,三河市),衡水市(饶阳县,安平县);北京市各区县(除延庆县外);天津市各区县
H	内蒙古:元宝山区
D	辽宁省:朝阳市(建平县,喀喇沁左翼蒙古族自治县,凌源市),葫芦岛市(绥中县,建昌县,兴城市);内蒙古:赤峰市(市区,喀喇沁旗,宁城县);河北省:唐山市(古冶区,丰南区,丰润区,滦县,滦南县,乐亭县,迁西县,唐海县,遵化市,迁安市),秦皇岛市(市区,山海关区,北戴河区,青龙满族自治县,昌黎县,抚宁县,卢龙县),承德市(市区,双滦区,鹰手营子矿区,承德县,兴隆县,平泉县,滦平县,隆化县,丰宁满族自治县,宽城满族自治县,围场满族蒙古族自治县)
B	内蒙古:乌兰察布市(市区,卓资县,兴和县,凉城县,察哈尔右翼前旗,察哈尔右翼中旗,察哈尔右翼后旗,丰镇市);山西省:大同市(市区,南郊区,新荣区,阳高县,天镇县,广灵县,灵丘县,左云县,大同县),朔州市(右玉县,怀仁县);河北省:保定市(阜平县,涞源县),张家口市(市区,下花园区,宣化县,张北县,尚义县,蔚县,阳原县,怀安县,万全县,怀来县,涿鹿县,赤城县,崇礼县);北京市延庆县
C	内蒙古:乌兰察布市(化德县,商都县),锡林郭勒盟(太仆寺旗,镶黄旗,正镶白旗,正蓝旗,多伦县);河北省:张家口市(康保县,沽源县)
G	山西省:太原市(阳曲县),大同市(浑源县),朔州市(市区,平鲁区,山阴县,应县),忻州市(市区,五台县,定襄县,代县,繁峙县,宁武县,神池县,原平市)

是,从沿渤海地区向内陆形成塌陷和凸起交替出现的皱起,这可能是由于内陆到沿海方向的路网连接不足,导致城镇间通行时间拉长。从交通建设公平性检验角度考虑^[35],基于以上时空图可视化,京津冀公路网公平性改善方向为:加强北京向西、向北的交通联系,以减弱西北片区的偏移现象;西北片区和南部片区之间可以补充交通通道,减少西北和南部城镇之间的彼此疏离的现状;在内陆—沿海方向补充交通通道,或者提高现有路网的通行速度,以减少通行时间。

2.3 基于时空图聚类的城镇体系层域划分

根据各节点城市在时空图上的位置坐标,利用

SPSS统计分析进行分层聚类,根据时空邻近关系将京津冀地区城市逐步聚合成团,这一分层聚类的过程反映的正是节点城市的聚类特点,即城镇体系的层域特征。

从距离时空图上的分层聚类树图特征可见(表2、表3),如根据交通距离来划分,京津冀城市群可首先被划分为西北体系(图7中BCG)和东南体系(ADEFH)两大板块。在下一步聚类过程中,东南体系继续被划分为东北体系(DH)和华北平原体系(AEF)两大板块。华北体系又进一步划分为京津冀体系(A)和冀南—鲁北体系(EF);同时,西北体系被划分为朔州—忻州体系(G)和冀西北体系(BC)。

表4 基于京津冀时间时空图的城镇体系层域划分
Tab.4 Urban system hierarchy in duration time-space

分层聚类树图										地区编码
2	3	4	5	6	7	8	9	10		
东南体系	华北平原体系	华北平原体系	黄河三角洲体系	华北平原南部体系	阳泉市	J				
					京—津体系	F				
西北体系	西北体系	西北体系	东营—淄博—滨州体系	东营—淄博—滨州体系	E	A				
					唐山—秦皇岛—承德—赤峰体系	D				
西北体系	西北体系	西北体系	朔州—忻州地区	朔州—忻州地区	G	B				
					张家口—乌兰察布—大同体系	C				
西北体系	西北体系	西北体系	冀蒙边界体系	冀蒙边界体系	H	I				
内蒙古多伦县										

表5 基于京津冀时间时空图的次区域划分
Tab.5 Sub-regions based on duration time-space maps

地区编码	区县范围
J	山西省:阳泉市(市区,平定县,盂县),晋中市(和顺县,昔阳县,寿阳县) 山东省:济南市(市区,长清区,济阳县),德州市(市区,陵县,宁津县,临邑县,齐河县,平原县,夏津县,武城县,禹城市),聊城市(市区,茌平县,冠县,高唐县,临清市);河北省:石家庄市(市区,井陉矿区,栾城县,井陉县,正定县,行唐县,灵寿县,高邑县,深泽县,赞皇县,无极县,平山县,元氏县,赵县,辛集市,藁城市,晋州市,新乐市,鹿泉市),邯郸市(永年县,邱县,鸡泽县,馆陶县,曲周县),邢台市(市区,邢台县,临城县,内丘县,柏乡县,隆尧县,任县,南和县,宁晋县,巨鹿县,新河县,广宗县,平乡县,威县,清河县,临西县,南宫市,沙河市),保定市(阜平县,曲阳县,定州市),沧州市(吴桥县,献县),衡水市(市区,枣强县,武邑县,武强县,故城县,景县,阜城县,冀州市,深州市) 河北省:保定市(市区,满城县,清苑县,涞水县,徐水县,定兴县,唐县,高阳县,容城县,望都县,安新县,易县,蠡县,顺平县,博野县,雄县,涿州市,安国市,高碑店市),沧州市(市区,沧县,青县,东光县,海兴县,盐山县,肃宁县,南皮县,孟村回族自治县,泊头市,任丘市,黄骅市,河间市),廊坊市(市区,大厂回族自治县,固安县,永清县,香河县,大城县,文安县,霸州市,三河市),衡水市(饶阳县,安平县);北京市:各区县(除延庆县外);天津市各区县
F	
A	
E	
D	
G	
B	
C	
H	
I	

如根据交通时间来划分(表4、表5),除去内蒙古多伦县外(图8中I)城市群仍然首先被划分为西北体系(BCGH)和东南体系(ADEFJ)两大板块。东北体系可再划分出华北平原体系(AFJ)和唐山—秦皇岛—承德—赤峰体系(D),其中,华北平原体系进一步划分出黄河三角洲体系(AFJ)和东营—淄博—滨州体系(E)。西北体系的聚类过程主要以朔州—忻州体系(G)和张家口—乌兰察布—大同体系(B)为主体,边缘地区逐渐并入的过程。

研究在ArcGIS中计算了各聚类片区的位移方向平均值(LDM)和圆方差(CV)。图7、图8中箭头方向和长度分别代表片区内城市水平位移的方向平均值和距离平均值,箭头越长水平位移平均值越大;箭头的宽度代表圆方差大小,箭头越宽位移方向一致性越弱。京津冀城市群中,由于地形导致交通通道不足,西北部各片区向西偏移现象明显,特别是在时间时空图上(图8)西北部和西南部有明显疏离趋势,其间的通行时间有待改善。

3 讨论

本研究在“等时圈图”和“可达性格局图”之外提供了一种更直观分析时空压缩现象的“时空图”技术路线。研究建立了一个以网络抓取作为OD数据获取新方法、MDS变换为空间拟合技术、GIS为可视化技术的分析模型,并以京津冀城市群为分析案例,应用时空图方法分析了区域交通时空压缩的整体特征。研究成功地绘制出了京津冀基于通行距离和通行时间的三维时空图,并检验了拟合误差大小。研究证实了时空图分析是一种可视化时空压缩效应的有效技术方法,同时也揭示了京津冀城市群的时空压缩特征。分析揭示了京津冀城市群的南部聚集、西北偏移和东部皱起的时空压缩趋势,并对京津冀城市体系的层级特征进行划分,描述了其在不同层级尺度下的城市聚合结构。研究建议未来的区域交通发展中,应当加强西北—东南、内陆—沿海方向上的交通通道建设和网络通行效率提升,以获得更加均衡的区域交通通达水平。

参考文献:

- [1] Hansen W G. How accessibility shapes land-use[J]. *Journal of the American Institute of Planners*, 1959, 25(2): 73–76.
- [2] 吴旗韬,张虹鸥,叶玉瑶,等. 基于交通可达性的港珠澳大桥时空压缩效应[J]. *地理学报*, 2012, 67(6): 723–732.
- [3] 陈洁,陆锋. 京津冀都市圈城市区位与交通可达性评价[J]. *地理与地理信息科学*, 2008, 24(2): 53–56.
- [4] 陆锋,陈洁. 武汉城市圈城市区位与可达性分析[J]. *地理科学进展*, 2008, 27(4): 68–74.
- [5] 蒋海兵,徐建刚,祁毅. 京沪高铁对区域中心城市陆路可达性影响[J]. *地理学报*, 2010, 65(10): 1 287–1 298.
- [6] 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[J]. *经济地理*, 2004, 24(3): 407–411.
- [7] 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[J]. *经济地理*, 2004, 24(6): 830–833.
- [8] 张兵,金凤君,于良. 湖南公路网络演变的可达性评价[J]. *经济地理*, 2006, 26(5): 776–779.
- [9] 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): 471–477.
- [10] 吴威,曹有挥,曹卫东,等. 区域综合运输成本的空间格局研究:以江苏省为例[J]. *地理科学*, 2009, 29(4): 487–492.
- [11] 吴威,曹有挥,梁双波,等. 中国铁路客运网络可达性空间格局[J]. *地理研究*, 2009, 28(5): 1 389–1 399.
- [12] 钟业喜,陆玉麒,卢晓旭. 江苏省城镇间可达性及其格局演变研究[J]. *经济地理*, 2011, 31(11): 1 817–1 821.
- [13] 贾鹏,刘瑞菊,杨忠振. 基于陆域和空域运输系统的空港可达性评价方法研究[J]. *经济地理*, 2013, 33(6): 91–97.
- [14] 嵇昊威,赵媛. 中国煤炭铁路运输网络可达性空间格局研究[J]. *地域研究与开发*, 2014, 33(1): 6–11.
- [15] 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[J]. *地理研究*, 2003, 22(3): 305–312.
- [16] 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.
- [17] 刘海隆,包安明,陈曦,等. 新疆交通可达性对区域经济的影响分析[J]. *地理学报*, 2008, 63(4): 428–436.
- [18] 孟德友,范况生,陆玉麒,等. 铁路客运提速前后省际可达性及空间格局分析[J]. *地理科学进展*, 2010, 29(6): 709–715.
- [19] 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.
- [20] 朱兵,张小雷,桂东伟,等. 新疆城镇发展与交通可达性相互影响[J]. *地理科学进展*, 2010, 29(10): 1 239–1 248.
- [21] 冯长春,丰学兵,刘思君. 高速铁路对中国省际可达性的影响[J]. *地理科学进展*, 2013, 32(8): 1 187–1 194.
- [22] 钟少颖,郭叶波. 中国高速铁路建设对城市通达性影响分析[J]. *地域研究与开发*, 2013, 32(2): 46–51.
- [23] Bunge W. *Theoretical Geography*[D]. Washington D. C.: University of Washington, 1960.
- [24] Tobler W. *Map Transformation of Geographic Space*[D]. Washington D. C.: University of Washington, 1961.
- [25] Vickerman R, Spiekermann K, Wegener M. Accessibility and economic development in Europe[J]. *Regional Studies*, 1999, 33(1): 1–15.
- [26] Spiekermann K, Wegener M. The shrinking continent: New time-space maps of Europe[J]. *Environment and Planning B*, 1994, 21(6): 653–673.
- [27] 周恺. 长江三角洲高速公路交通网络通达性分析[D]. 南京:南京大学, 2007.
- [28] 周恺,钱芳芳,邹宇. 湖南省城镇空间时空压缩特征及其可视化表达:基于时空图分析模型[J]. *地理科学进展*, 2014, 33(12): 1 666–1 675.
- [29] Ahmed N, Miller H J. Time-space transformations of geographic space for exploring, analyzing and visualizing transportation systems[J]. *Journal of Transport Geography*, 2007, 15(1): 2–17.
- [30] Marchand B. Deformation of a transportation surface[J]. *Annals of the Association of American Geographers*, 1973, 63(4): 507–521.
- [31] Muller J C. The mapping of travel time in Edmonton, Alberta [J]. *Canadian Geographer*, 1978, 22(3): 195–209.
- [32] Murayama Y. The impact of railways on accessibility in the Japanese urban system[J]. *Journal of Transport Geography*, 1994, 2(2): 87–100.
- [33] 张文彤. 高等学校教材:SPSS统计分析高级教程(第2版)[M]. 北京:高等教育出版社, 2013.
- [34] Kruskal J B. Multidimensional scaling by optimizing goodness of fit to a nonmetric hypothesis[J]. *Psychometrika*, 1964, 29(1): 1–27.
- [35] 蒋海兵,张文忠,祁毅,等. 区域交通基础设施可达性研究进展[J]. *地理科学进展*, 2013, 32(5): 807–817.