

# 城市空间相互作用理论模型的演进与机理

闫卫阳<sup>1,2</sup>, 王发曾<sup>1</sup>, 秦耀辰<sup>1</sup>

(1. 河南大学 环境与规划学院, 开封 475004; 2. 河南大学 中澳地理信息分析与应用研究所, 开封 475004)

**摘 要:**城市空间相互作用理论是城市地理学的重要基础理论。由于城市空间相互作用模型发端于西方,我国这方面的研究相对较晚,主要是引进和实证,在理论研究上还有待深入。本文分析了几种主要城市空间相互作用理论模型的机制和原理,考虑到断裂点模型应用较广,经过了较多的实践验证,重点探讨了该模型的缺陷、演进和扩展形式,从理论上论证了将空间分割原理和断裂点模型结合的扩展模型的科学性和合理性。对城市空间相互作用理论模型的研究,不仅可以为城市规划、城市影响空间和城市经济区的划分以及行政区划调整提供理论基础,而且对物流分析、设施选址、市场影响力的分析等也具有重要的指导作用。从分析城市空间相互作用理论模型演进的过程中还可以得到深刻的启发:地理学以复杂的自然、人文现象为研究对象,是一门边缘学科,又是一门实践性很强的学科。地理学应积极借鉴其他学科最新的理论、技术与方法是十分必要的,是推动其自身发展的关键所在。

**关 键 词:**城市;空间相互作用;Voronoi图;理论模型

城市空间相互作用理论是城市地理学的重要基础理论。正是由于城市之间的相互作用,才把空间上彼此分离的城市结合为具有一定结构和功能的城镇体系<sup>[1]</sup>。空间相互作用是极其复杂的,在作用的主体上,包括城市和区域,也应当包括城市与区域内部的商业网点、文化设施、园林绿地及其他服务设施;在作用的内容上,包括物质、能量、人员和信息的交换,或者说,包括生产、生活的各个方面;在作用的形式上,表现为一种交换、联系和互动,可用一个作用量来表达;在地域空间上则综合表现为地理实体作用空间的分割,可用吸引范围来表达。由于现实世界的复杂性,人们往往用一种理论模型来刻画和描述。模型是现实世界的本质的反映或科学的抽象,反映事物固有特征及其相互联系或运动规律<sup>[2-3]</sup>。对城市空间相互作用理论模型的研究,不仅可以为城市规划、城市影响空间和城市经济区的划分以及行政区划调整提供理论基础<sup>[4-6]</sup>,而且对物流分析、设施选址、市场影响力的分析等也具有重要的指导作用<sup>[7-9]</sup>。由于城市空间相互作用模型主要发端于西方,我国这方面的研究相对较晚,主要是引进和实证,对其理论研究还有待深入。因此,本文重点分析和探讨城市之间空间相互作用理论的若干问题,试图解析城市空间相互作用模型的机制、发

展和演进的脉络,探索其科学内涵,寻求其进一步发展的趋向。

## 1 传统空间相互作用理论模型及评述

城市空间相互作用理论模型众多,影响较大、应用较多的主要是赖利模型、康弗斯模型、引力模型和潜力模型。

### 1.1 赖利—康弗斯模型

在长期研究中,人们发现空间相互作用具有随距离衰减的形式,试图用牛顿万有引力公式表达:

$$F_{ij} = G \frac{m_i m_j}{r_{ij}^2} \quad (1)$$

式中: $F_{ij}$ 是物体*i*、*j*的相互作用, $m_i$ 、 $m_j$ 分别是物体*i*、*j*的质量, $r_{ij}$ 是物体*i*、*j*的距离, $G$ 是引力常数。在对地理空间的相互作用研究中,由于参数的类似性,人们重新解释 $m_i$ 、 $m_j$ 为城市(或区域)的规模, $G$ 是介质常数。规模因为研究问题的不同可以采取人口规模、工作机会等,习惯上用*P*代替*m*,写作:

$$F_{ij} = G \frac{P_i P_j}{r_{ij}^2} \quad (2)$$

1929年赖利(Reilly W.J.)对德克萨斯州的225

收稿日期:2008-11;修订日期:2009-02。

基金项目:国家自然科学基金项目(40771065);国家科技支撑计划项目(2006BAJ05A14)。

作者简介:闫卫阳(1968-),男,博士后,副教授,中国地理学会会员。研究方向为城市地理学、地理信息系统理论与应用。

E-mail: yanwy9991@163.com

个城市的贸易市场进行了考察,发现一个城市从周围某个城镇吸引到的零售顾客数量与该城市人口规模成正比,与两地间的距离成反比。据此,赖利提出了识别地理空间中零售商控制市场范围界限的零售引力模型<sup>[10]</sup>。

$$\frac{T_a}{T_b} = \frac{P_a}{P_b} \left( \frac{d_b}{d_a} \right)^2$$

(3)

式中: $T_a$ 和 $T_b$ 为一个中间城市被吸引到 $a$ 城和 $b$ 城的交易额, $d_a$ 和 $d_b$ 为 $a$ 城和 $b$ 城到那个中间城市的距离, $P_a$ 和 $P_b$ 为 $a$ 城和 $b$ 城的人口。

康弗斯(Converse P.D.)发展了赖利模型,提出断裂点(breaking point)概念。两个城市间的分界点(即断裂点)可以用下列公式求出<sup>[11]</sup>:

$$d_A = D_{AB} / (1 + \sqrt{P_B / P_A}) \text{ 或 } d_B = D_{AB} / (1 + \sqrt{P_A / P_B})$$

(4)

式中: $d_A, d_B$ 分别为断裂点到两城的距离, $D_{AB}$ 为两城的直线距离, $P_B, P_A$ 分别为两城的人口。

赖利模型从大量的实证研究出发,解决了中间城市吸引相邻两城市零售交易量的比例关系,指标明确,参数容易确定,对于商业网点的分析与布局有重要指导意义。康弗斯的断裂点模型是一个最重要的发现,它从大量的实例中得出,又在更多的实例中得到了验证,被认为是应用最为广泛,也更符合客观实际的理论模型<sup>[1]</sup>,常用来确定城市的空间影响范围和城市经济区的划分<sup>[5-6]</sup>。

1.2 引力模型

引力模型也是由牛顿万有引力推导出来的,其一般形式为<sup>[1]</sup>:

$$I_{ij} = \frac{(W_i P_i)(W_j P_j)}{D_{ij}^b}$$

(5)

式中: $I_{ij}$ 为 $i, j$ 两个城市的相互作用量, $W_i, W_j$ 为经验确定的权数, $P_i, P_j$ 为两个城市的人口规模, $D_{ij}$ 为

两个城市间的距离, $b$ 为测量距离摩擦作用的指数。这个模型简单明了,但要用于实际却比较复杂,其中难度较大的问题是参数确定的问题。

1.3 潜力模型

如果计算一个城市与城市体系内所有城市的相互作用量时,那么,只需要应用式(5)分别求出这个城市与其他每一个城市的相互作用量,然后再求和即可。公式为:

$$I_i = \sum_{j=1}^n I_{ij} = \sum_{j=1}^n \frac{P_i P_j}{D_{ij}^b} + \frac{P_i P_i}{D_{ii}^b}$$

(6)

式中: $I_i$ 表示 $i$ 城总的相互作用量,其他符号的意义与式(5)相同。 $D_{ii}$ 有时采用 $i$ 城与离它最近城市间距离的一半,也可以用 $i$ 城面积的平均半径<sup>[1]</sup>。

潜力模型从引力模型引申而来,因此二者存在同样的问题,即式中摩擦系数 $b$ 很难确定,应用起来比较困难。

可以看出,以上模型均来自牛顿万有引力定律,只是在表达形式、变量定义、参数取值上有所不同,几种城市相互作用模型的特点见表1。实际上,空间相互作用的理论模型还有很多。1964年美国心理学家胡夫(Huff)基于引力模型,以大型零售店而不是以城市为研究对象,提出了测算特定地点的某个消费者到某个零售店购物的可能性的胡夫模型。1967年威尔逊(A.G.Wilson)从最大熵原理出发导出一个引力模型,定量分析一个封闭系统中两个局域之间的相互作用强度。他认为,在充分的约束条件下,最大熵解与引力模型解是一致的<sup>[12]</sup>。1991年王铮等把空间相互作用解释为人口、资金等在二维空间作布朗运动的宏观表现。认为人口等粒子是有寿命的,并把这种有寿命粒子称为口粒子(Population-particle),其扩散服从布朗运动,由此提出了描述空

表 1 传统城市相互作用理论模型特点对比

Tab.1 Contrast the features of some conventional theoretic models of urban spatial interaction			
模型	形式	优点	缺点
赖利模型	$\frac{T_a}{T_b} = \frac{P_a}{P_b} \left( \frac{d_b}{d_a} \right)^2$	从大量的实证研究出发,指标明确,参数容易确定,对于商业网点的分析与布局具有指导作用	没有解决相邻城市吸引范围的界限
康弗斯模型	$d_A = D_{AB} / (1 + \sqrt{P_B / P_A})$	从赖利模型发展而来又经过大量实际验证,基本符合实际情况,适合城市影响空间划分	利用人口表达城市实力,指标单一;仅给出了相邻两个城市的一个断裂点,在划分城市影响空间时出现多解情况
引力模型	$I_{ij} = \frac{(W_i P_i)(W_j P_j)}{D_{ij}^b}$	从牛顿万有引力得出,用作用量表达两个城市的相互作用,简单明了	参数难以确定,不宜应用
潜力模型	$I_i = \sum_{j=1}^n I_{ij} = \sum_{j=1}^n \frac{P_i P_j}{D_{ij}^b} + \frac{P_i P_i}{D_{ii}^b}$	从引力模型引申得出,用作用量表达一个城市与其他所有城市总的相互作用,简单明了	参数难以确定,不宜应用

间相互作用的口粒子模型<sup>[13]</sup>。显然,这些理论在没有得到验证之前,只能算是假说,因为城市并不是物理学中的物质,而是包含复杂的人文和自然要素的地域综合体。因此,所有理论模型都应该接受实践的检验,才能确定其科学性和合理性。

2 基于空间分割原理的城市空间相互作用描述

如前所述,城市之间的相互作用可以用作用量来表达,也可以用每个城市的吸引范围来描述。显然,在地图上把每个城市的吸引范围标示出来更为直观,在地理学中的应用也更为广泛。这也是康弗斯断裂点模型备受关注的的原因之一。但是,由于该模型仅给出了计算相邻两个城市之间吸引范围的一个平衡点,而其吸引范围实际上是一条界线,使得在具体划分时就出现了多种方法,如过每个断裂点作垂线,用平滑曲线连接断裂点等<sup>[5]</sup>,具有很大的主观性和不确定性。为了在理论上更为客观、准确,人们试图用空间分割原理来描述。

2.1 空间分割原理

严格讲,每个城市都具有不同的影响力。如果根据其影响力大小向地域空间四周扩张,那么会形成什么样的空间格局? 其实,这就是空间分割问题,涉及到计算几何中的 Voronoi 图<sup>[14]</sup>。

(1)常规 Voronoi 图

假设平面上的一个控制点集  $P=\{p_1,p_2,\cdots,p_n\}$ , 其中任意两点都不共位, 且任意四点都不共圆, 并设  $x$  为平面上的点,  $d(p_i,p_j)$  表示欧氏距离, 则区域:

$$T_i=\{x:d(x,p_i)<d(x,p_j)/p_i\neq p_j\} \quad (7)$$

称  $T_i$  为点  $P_i$  的 Voronoi 多边形, 简称 V-多边形。各

点的 Voronoi 多边形共同组成 Voronoi 图, 简称 V-图<sup>[15]</sup>。因此,平面上的 V-图 可以看作是点集  $P$  中每个点的生长核, 以相同的速度向外扩张, 直到彼此相遇为止而在平面上形成的图形。V-图可以理解为对空间的一种分割方式。在任意一个凸 V-多边形中, 任一个内点到该凸多边形的发生点  $P_i$  的距离都小于该点到其他任何发生点  $P_j$  的距离(图 1(a))。

(2)加权 Voronoi 图

随着应用和研究的深入, 人们又发现 Voronoi 图的更多的扩展形式<sup>[16]</sup>。下面是基于平面点集的加权 Voronoi 图的定义<sup>[17]</sup>: 设  $P_i(i=1,2,\cdots,n)$  为二维欧氏空间上的  $n$  个点,  $\lambda_i(i=1,2,\cdots,n)$  是给定的  $n$  个正实数。

$$V_n(P_i,\lambda_i)=\bigcap_{j\neq i}\left\{P\left|\frac{d(P,P_i)}{\lambda_i}<\frac{d(P,P_j)}{\lambda_j}\right.\right\}(i=1,2,\cdots,n)(8)$$

将平面分成  $n$  部分, 由  $V_n(P_i,\lambda_i)$  ( $i=1,2,\cdots,n$ ) 确定的对平面的分割称为点上加权的 Voronoi 图, 称  $\lambda_i$  为  $P_i$  的权重。当  $\lambda_1=\lambda_2=\cdots=\lambda_n$  时, 式(7)等价于式(8), 即常规 Voronoi 图是点上加权的 Voronoi 在所有权重相等时的特例。加权 Voronoi 图可用于各中心点权重有较明显差别的情况下的空间分割。在加权 Voronoi 图所划分出的每个区域内的所有点受该区域中心点的影响最大(图 1(b))。

常规 Voronoi 图生成算法自 1970 年代开始研究, 相对比较成熟, 而加权 Vornoi 图的算法十分复杂。胡鹏等提出了基于栅格数据的点、线、面的常规和加权 Vornoi 图的生成方法, 但对发生元的数量也有限制<sup>[18]</sup>。图 1(c)为发生元为点、线、面的 Voronoi 图。由于 Voronoi 图生成的复杂性, 很大程度上限制了它的应用。尤其将 Voronoi 图应用于城市地理学, 国内外的研究更少。

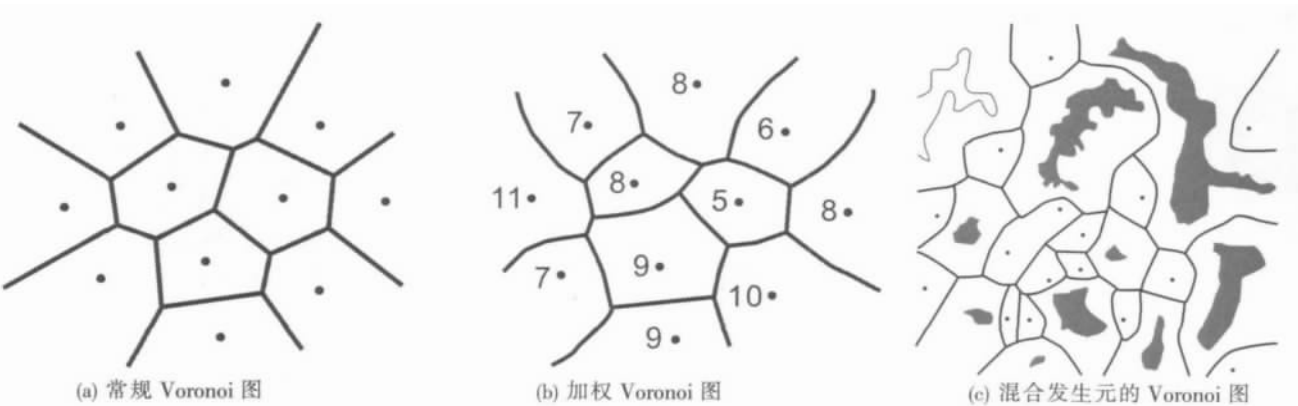


图 1 常规 Voronoi 图、加权 Voronoi 图和混合发生元的 Voronoi 图

Fig.1 Ordinary Voronoi diagram, weighted Voronoi diagram and mixed Voronoi diagram



## 2.2 基于 Voronoi 图的城市空间相互作用描述

根据 Voronoi 图的空间分割原理,王新生等提出用常规 Voronoi 图和加权 Voronoi 图来表示区域内每个城市的影响空间或吸引范围,进而反映城市之间空间相互作用的特征<sup>[19-20]</sup>。其基本思想是:

(1)假设在一个匀质平面区域内有若干个城市,如果每个城市的影响力(或者吸引力)相同,那么断裂点必是相邻两个城市连线的中点,每个城市的影响范围必然构成一个常规 Voronoi 图。

(2)在一般情况下,每个城市的影响力是不完全相同的,或者说每个城市的中心性强度大小不完全相同,在这种情况下,每个城市按照自己影响力的大小(即空间目标的权重)为速度向周围扩张,最终形成各自的影响范围,构成加权 Voronoi 图。

但是有两点值得注意: 常规 Voronoi 图仅考虑距离远近这个唯一的因素,并没有体现城市中心性强度大小这一重要特征,与实际情况也相差太远。因此,用常规 Voronoi 图界定中心城市的空间影响范围是不合适的。图 2 为河南省 17 个中心城市的常规 Voronoi 图,其中每个城市点的权重是相同的<sup>[21]</sup>。用加权 Voronoi 图来刻画城市的影响空间是一大进步。但应该考虑到,城市作为自然社会的产物,有其独特的运动规律,除了考虑制图的科学性外,还应该考虑结合城市地理学的基本理论,合理的确定每个城市影响力扩张的权重。图 3 为河南省 17 个中心城市的加权 Voronoi 图,其每个城市点的权重是其中心性强度值<sup>[22]</sup>。

## 3 城市断裂点模型的扩展与分析

以上分析表明,把每个城市的影响力设为相同,运用常规 Voronoi 图表示城市的吸引范围有明显的缺陷;而把每个城市的影响力设为不尽相同,用加权 Voronoi 图表示似乎比较合理,但是否符合地理学的规律则值得探讨。我们考虑到,既然断裂点理论计算了有限个断裂点的位置,并且在实践中进行了验证,大体是符合实际的。那么其他分界点的位置是否是唯一确定的? 是否也符合加权 Voronoi 图的几何特征? 每个城市点的权重又是多少呢?

### 3.1 断裂点模型的扩展形式

本文作者通过对断裂点公式的深入研究,得出 3 个重要推论<sup>[23]</sup>:

推论 1: 两个相邻城市之间的欧氏距离等于断裂点到两个城市欧氏距离的和。用公式表示为:

$$d_A + d_B = D_{AB} \quad (9)$$

推论 2: 断裂点到相邻两个城市的距离与这两个城市中心性强度值的平方根成正比。用公式表示为:

$$d_A / d_B = \sqrt{p_A / p_B} \quad (10)$$

推论 3: 在匀质平面区域中,以各个城市点为发生元,其影响力扩张的速度与相邻两个城市的中心性强度值的平方根成正比。用公式表示为:

$$a_1 / a_2 = \sqrt{p_A} / \sqrt{p_B} \quad (11)$$



图 2 基于常规 Voronoi 图的城市影响空间



图 3 基于加权 Voronoi 图的城市影响空间

以上述推论为基础,通过数学推理与证明,提出了扩展断裂点模型:在匀质平面区域内,如果两个城市点的权重相同,那么其吸引范围的分界线是这两个城市点连线的垂直平分线;如果它们的权重不同,那么其吸引范围的分界线是一个圆弧,平面内所有城市点的吸引范围分别构成常规 Voronoi 图和加权 Voronoi 图,并且每个城市点的权重分别等于其中心性强度值的平方根。其数学表达式为:

$$d_A/d_B=\sqrt{p_A/p_B}$$

(12)

式中: $d_A, d_B, d_{AB}$ 与式(4)中的含义相同, $P_B, P_A$ 分别为两城的中心性强度值。

该模型与单纯应用 Voronoi 图表示城市的作用空间有明显不同,它是断裂点模型与空间分割原理的有机结合,既体现了断裂点理论所反映的地理学规律,也体现了加权 Voronoi 图的空间分割的科学性。这里,发生元的扩张速度不再是每个城市的中心性强度值,而是中心性强度值的平方根。表 2 为几种空间相互作用理论模型的比较。

根据加权 Voronoi 图的性质和几何特征可知,每个城市的吸引范围的界线由一条或若干条弧段构成,而断裂点仅是这条弧段上的一个特殊的点,断裂点的概念应该由“断裂弧”来代替更为科学合

表 2 扩展后的城市空间相互作用理论模型与传统模型的特征对比

Tab.2 Contrast the features of some theoretic models of urban spatial interaction

特征	常规 Voronoi 图模型	加权 Voronoi 图模型	P.D.Converse 断裂点模型	扩展断裂点模型
理论基础	基于常规 Voronoi 图的空间分割原理	基于加权 Voronoi 图的空间分割原理	牛顿万有引力	同时遵守牛顿万有引力和加权 Voronoi 图空间分割原理
数学表达	$d_A/d_B=1$	$d_A/d_B=p_A/p_B$	$d_A=D_{AB}/(1+\sqrt{p_B/p_A})$ 或 $d_B=D_{AB}/(1+\sqrt{p_A/p_B})$	$d_A/d_B=\sqrt{p_A/p_B}$
断裂点特征	直线	若干条断裂弧	有限个断裂点	若干条断裂弧
城市影响空间划分	过相邻两个城市之间连线的中点作垂线	以每个城市的中心性强度值为权重向四周扩张形成 Voronoi 图	过断裂点作垂线或者用平滑曲线连接断裂点	以每个城市的中心性强度值的平方根为权重向四周扩张形成 Voronni 图
成图方法	计算机自动生成,结果唯一	计算机自动生成,结果唯一	手工操作,具有多种划分结果	计算机自动生成,结果唯一
主要缺陷	把每个城市的影响力设为相同	没有考虑地理学独特的规律	只计算了有限个断裂点,具体划分时具有任意性	无

理。为此,可以生成以各个城市的中心性强度值的平方根为权重的加权 Voronoi 图,从而更科学、更准确的描述城市的影响空间,克服了以往方法的任意性和盲目性。闫卫阳等选取 2001 年河南省 17 各地级城市的 4 类 16 个指标,计算出每个城市的中心性强度,然后取其平方根作为每个城市点的权重,运用扩展断裂点模型对其影响空间进行划分(图4)。对比图 3 和图 4,它们所表达的城市影响空间是明显不同的。

3.2 扩展断裂点模型的理论与应用价值

几乎所有的科学研究和一切理论的提出,都是首先假定一个较为理想的条件,在这个理想的条件下,研究事物发展变化的规律。Converse 经典断裂点模型如此,Chritherler 中心地理理论也是如此。但是,在理想条件下,这个规律表达得是否正确,是否完善,也是能否揭示事物规律的关键,也是是否具有重大理论和实践意义的关键。Converse 经典断裂点模型只能判断两个城市之间一个断裂点的位置。其他各点在实



图 4 基于扩展断裂点模型的城市相互作用描述

Fig.4 Description of urban spatial interaction based on expanded breaking point model

际应用中,往往是随主观判断,得出偏差很大,在扩展断裂点模型没有提出前,人们普遍认为,断裂点连接时“人为地勾画出各中心地的腹地范围。这难免主观性,但又是不得已而为之”<sup>[24]</sup>。而扩展断裂点模型从理论上证明了每个城市理论上的吸引范围(腹地范围)具有明确唯一的界线,并且是以城市中心性强度值开平方为权重的加权 Voronoi 图,使这种“不得已”的问题得以解决。

扩展断裂点模型的一个重要应用在于为城市经济区划分、城市群范围的界定乃至行政区划调整提供理论框架。通过构建不同时期的基于扩展断裂点模型的加权 Voronoi 图,来观察城市影响力的空间特征。当这个图形发生较大变化时,就是城市经济区需要调整之时。在以往的经济区调整中,这个时间是主观的、模糊的,而扩展断裂点模型则给出了一个明确的时间表。作者以此理论模型为基础,结合空间分析方法,对河南省城市经济区的划分进行了研究,表明是切实可行的<sup>[22]</sup>。针对不同问题,选取相应的指标作为研究目标的权重,还可以解决不同等级设施区位选址、城市功能区划分、城市开放空间的分析与设计等诸多城市规划中的问题。

### 3.3 扩展断裂点模型所隐藏的科学内涵

常规 Voronoi 图实际表达了其他城市点与中心城市的交通上的便捷程度,也就是说,在一定程度上反映了中心城市的交通影响范围<sup>[25]</sup>;扩展断裂点模型中的加权 Voronoi 图则反映了中心城市综合影响范围;行政区域的划分是长期自然、社会、历史、经济、交通等多种因素长期作用的结果,是在一个较长的历史时期不断调整进而逐步平衡的一种划分状态。图 2 和图 4 显示了河南省 17 个地级市的行政区划图、基于 17 个城市点的常规 Voronoi 图和扩展断裂点模型中的加权 Voronoi 图的叠加情况,可以看出,三者所表达的范围具有很大的相似性。三者的相似性隐含着深刻的科学内涵(图 5):

(1) 交通影响范围与其它两个综合影响范围的相似性,表明了交通因素在区域经济发展和联系中的重要作用。实际上,由于交通联系的便捷程度是其它各项活动的基础,在用经济中心法划分经济区时就是用交通联系的便捷程度代替经济联系的<sup>[24]</sup>;Golledge 的研究也表明基于欧氏距离的选择是人们空间行为选择的首要因素<sup>[26]</sup>。三图所表达范围的相似性则从另一个角度给予了很好的证明。

(2) Okabe 等曾用加权 Voronoi 图验证理论上

的行政区<sup>[27]</sup>,但是由于中心城市权重的确定缺乏理论依据,得出的结论与实际有较大的差距。而将地理学的规律与加权 Voronoi 图相结合,证明城市的影响力的权重就是每个城市中心性强度值的开平方。由于扩展断裂点模型和行政区域的划分所反映的都是一种综合因素的作用结果,二者的相似性说明扩展断裂点模型很好的反映了客观现实,进一步证明了该模型的正确性。

## 4 讨论与展望

地理学以复杂的自然、人文现象为研究对象,是一门边缘学科,又是一门实践性很强的学科。在众多的城市空间相互作用理论模型中,断裂点模型经受了更多的考验,证明是符合实际的。但是,我们不能指望 20 世纪 40 年代的 P.D.Converse 解决科学上的所有问题,因为 Voronoi 图的生成算法在 70 年代才开始研究,至今还没有完全解决。然而,地理学积极借鉴其他学科最新的理论、技术与方法却是十分必要的,是推动其自身发展的关键所在。将断裂点模型所反映的地学规律与 Voronoi 图的空间分割原理相结合,解决了城市之间所有断裂点的连续计算问题,并且通过数学证明与理论分析,是科学可行的。对于其他理论模型,还需要进一步的验证。对

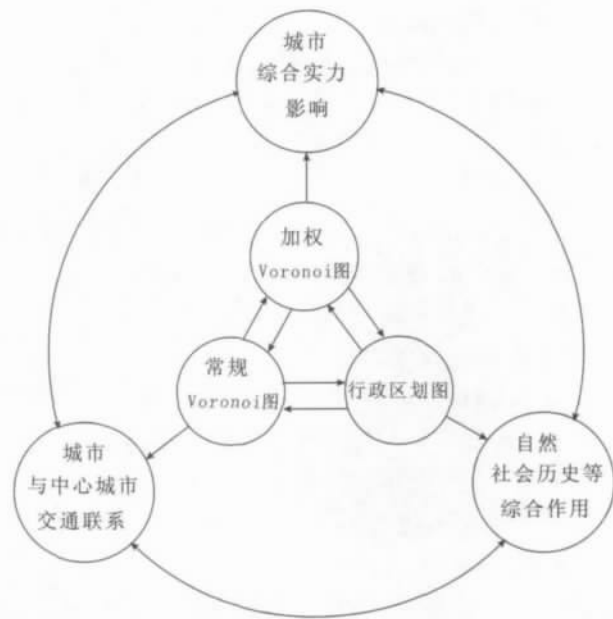


图 5 常规 Voronoi 图、加权 Voronoi 图与行政区划图表达空间范围的相似性

Fig.5 Comparability of spatial area of ordinary Voronoi diagram, weighted Voronoi diagram and regionalism



其科学性的评判,扩展断裂点模型应该说是一个很好的参照。

城市空间相互作用理论模型一般是将城市作为点状目标处理的,没有考虑城市的空间形态。这是因为城市规划学与城市地理学研究城市的视角是不同的:一是将城市看作一个面,研究个体的发展演变规律;二是将城市视作区域中的一个点,研究一定系统中的群体发展。但是,随着时间的发展和城市化进程的加快,城市的面貌必将发生较大的变化,特别是目前由于行政因素造成的城市市区内的庞大的农村地区会逐步与建成区融合,形成一体化发展的格局,进而形成即使在地理宏观尺度下具有完整意义的面状地域或带状地域。此种情况下,有必要考虑城市的空间形态因素,传统城市相互作用的理论框架和模式也应随之发生变化。例如,扩展断裂点模型中基于点集的加权 Voronoi 图,就会被基于面状目标或者点、线、面混合目标的加权 Voronoi 图所替代。

## 参考文献

- [1] 许学强,周一星,宁越敏. 城市地理学. 北京:高等教育出版社,2003.
- [2] 毋河海. 地图数据库系统. 北京:测绘出版社,2000.
- [3] 秦耀辰. 区域系统模型原理及其应用. 北京:科学出版社,2005.
- [4] 戴特奇,金凤君,王娇娥. 空间相互作用与城市关联网络演进. 地理科学进展,2005,24(2):80-89.
- [5] 张伟,顾朝林. 城市与区域规划模型系统. 南京:东南大学出版社,2000.
- [6] 刘科伟. 城市空间影响范围与城市经济区划问题探讨:以山西省为例. 西北大学学报:自然科学版,1995,25(2):129-134.
- [7] 李红启. 基于 Wilson 模型的物流空间相互作用. 经济地理,2008,28(4):588-591.
- [8] 王新生,余瑞林,姜友华. 基于道路网络的商业网点市场域分析. 地理研究,2008,27(1):85-92.
- [9] 薛领,杨开忠. 基于空间相互作用模型的商业布局:以北京市海淀区为例. 地理研究,2005,24(2):265-272.
- [10] Reilly W J. Methods for the study of retail relationship. University of Texas Bulletin, 1929,(2944): 164.
- [11] Converse P D. New laws of retail gravitation. Journal of Marketing, 1949,(14): 379-384.
- [12] Wilson A G. A statistical theory of spatial distribution models. Transportation Res., 1967,1: 253-269.
- [13] 王铮,丁金宏. 理论地理学. 北京:科学出版社,2000.
- [14] 周培德. 计算几何:算法分析与设计. 北京:清华大学出版社,2000, 88-132.
- [15] 郭仁忠. 空间分析. 武汉:武汉大学出版社,2001.
- [16] Li C, Chen J, Li Z. A Raster-based method for computing voronoi diagrams of spatial objects using dynamic distance transformation. International Journal of Geographical Information Science,1999,13: 209-225.
- [17] 张有会. 线段加权的 Voronoi 图. 计算机学报, 1995,18(11):822-829.
- [18] 胡鹏,游涟,杨传勇,等. 地图代数. 武汉:武汉大学出版社,2002.
- [19] 王新生,郭庆胜,姜友华. 一种用于界定经济客体空间影响范围的方法:Voronoi 图. 地理研究,2000,19 (3):312-315.
- [20] 王新生,李全,郭庆胜,等. Voronoi 图的扩展、生成及其应用于界定城市空间影响范围. 华中师范大学学报(自然科学版),2002,36(1):107-111.
- [21] 郭庆胜,闫卫阳,李圣权. 中心城市影响范围的近似性划分. 武汉大学学报(信息科学版),2003,28(5):596-599.
- [22] 闫卫阳,郭庆胜,李圣权. 基于加权 Voronoi 图的城市经济区划分方法探讨. 华中师范大学学报(自然科学版),2003,37(4):567-571.
- [23] 闫卫阳,秦耀辰,郭庆胜,等. 城市断裂点理论的扩展、验证及应用. 人文地理,2004,(2):12-16.
- [24] 吴殿廷. 区域经济学. 北京:科学出版社,2003.
- [25] 闫卫阳. 城市体系空间布局的模型化与智能化方法研究. 武汉大学博士学位论文,2004.
- [26] Golledge R G. Path selection and route preference in human navigation: A progress report//Frank A U, Kuhn W. Spatial Information Theory. New York: Springer, 1995, 207-222.
- [27] Okabe A, et al. Spatial Tessellation: Concepts and Applications of Voronoi Diagrams. 2nd edn. Chichester: John Wiley, 2000, 1-671.

## Analysis of the Principle and Evolvment of the Theoretic Models of Urban Spatial Interaction

YAN Weiyang<sup>1,2</sup>, WANG Fazeng<sup>1</sup>, QIN Yaochen<sup>1</sup>

(1. College of Environment and Planning, Henan University, Kaifeng 475004, China;

2. Institute of Sino-Australia Geographic Information Analysis and Applications, Henan University, Kaifeng 475004, China)

**Abstract:** The theory of urban spatial interaction is an important basic theory in urban geography. For the theoretic models come from occident, our country correspondingly lags and research mainly on there demonstration, more research should be done in theory. This paper analyzes the principle of the noted theoretic models of urban spatial interaction. Considering breaking-point model has been applied widely and verified in practice. Its limitation, evolvement and expanded form were principally studied. Reilly put forward Law of Gravitation on Zero-Sale in 1931 according to Newton's Law of Gravitation. Converse expanded the theory, brought forward Breaking Point Theory and gave the computational formula in 1949. Because the theory just gives only one breaking point between two cities, many methods for partitioning space are used, for instance, making vertical line through the breaking point on the linked line between the two nearby cities and linking the nearby breaking points with smooth lines. In fact, , these are not feasible and not rigorous. Other conventional theoretic models of urban international action, including Gravitation Model and Potential Model, also have obvious limitations.

Although geographical boundary is usually fuzzy and uncertain, it is still valuable in theory and actual application if we can find an advantageous and correct method for delimiting the urban abstracted regions. Considering Voronoi diagram's geometric particularities, the rationality for dividing up space and the solvability by computer, some researchers tried to apply it in expanding and validating classical Breaking Point Theory. The method of compartmentalizing urban influential space based on ordinary Voronoi diagram ignores urban compositive strength, and the method based on weighted Voronoi diagram doesn't take the geographical principle into account. The scientific meaning and rationality is demonstrated in theory about integrating breaking-point model and Voronoi diagram. The expanded breaking points model shows that in a well-proportioned plane, the boundary between two city's abstracted regions is the vertical bisector of the connected line with them if the cities' weights are equal; the boundary is an arc if the weights are not equal; the orbit of all the breaking points in the plane forms ordinary Voronoi diagram and weighted Voronoi diagram accordingly; and each city's weight equals to the square root of its central strength value in the second situation.

Apocalypses can be received from analyzing the principle and evolvement of the theoretic models of urban spatial interaction, which geography is an intersecting and practicing subject which sets the complicated natural and human phenomenon as studying objects, it is necessary that geography should use the new theories, techniques and methods for reference, which is the keys for developing itself.

**Key words:** city; spatial interaction; Voronoi diagram; theoretic model