

基于客流场的客运空间联系及空间效应研究

王林, 李翔新, 余昊, 廖云鹏
(武汉理工大学交通学院, 湖北 武汉 430072)

摘要: 基于物理场和运输通道场理论, 综合经济、政策、运输成本等因素, 分析区域内各节点的客运空间联系以及整个区域的客运空间效应。构建客运空间联系模型和客运空间效应模型, 并进行案例分析。研究表明, 利用客运空间联系模型能够分析各节点客运空间联系的规模与影响, 识别具有客运中转潜力的地区; 客运空间效应模型能够较好地反映区域客运集聚与扩散效应, 分析得到具有客流集聚潜力的地区。通过两个模型的叠加对比分析, 可得出区域最具发展潜力地区, 为区域规划发展提供技术支持。

关键词: 交通规划; 区域交通; 客流场; 客运空间联系; 客运空间效应

Spatial Linkage and Effect of Passenger Traffic Based on Passenger Flow Field

Wang Lin, Li Xiangxin, Yu Hao, Liao Yunpeng

(School of Transportation, Wuhan University of technology, Wuhan Hubei 430072, China)

Abstract: Based on the theories of physics field and transportation corridor field, this paper analyzes the spatial linkage of passenger traffic among different nodes in the region and the spatial effect of the whole region, with taking full account of such factors as economy, policy and transportation cost. The spatial linkage model and spatial effect model for passenger traffic are developed along with case studies. The results show that the spatial linkage model can be used to analyze the size and effect of spatial linkage of passenger traffic among different nodes and identify areas enjoying the potential of passenger transfer. The spatial effect model is an ideal demonstration of regional passenger agglomeration and diffusing effect, indicating those areas with the potential of passenger agglomeration. Through comprehensive analysis of both models, the most promising areas within the region are presented. The results can provide technical support for regional planning and development.

Keywords: transportation planning; regional transportation; passenger flow field; spatial linkage of passenger traffic; spatial effect of passenger traffic

收稿日期: 2016-08-15

作者简介: 王林(1966—), 女, 河北石家庄人, 硕士, 副教授, 硕士生导师, 主要研究领域: 交通运输规划与管理、交通信息管理。E-mail: wanglin_whut@sina.com

0 引言

客运空间联系是指在自然、经济、社会等诸多要素综合作用下, 区域内各节点进行旅客交流产生的空间上的联系与作用^[1]。客运空间效应是指区域节点在进行客运空间联系的基础上对区域产生的影响, 主要表现为扩散效应和集聚效应。

关于客运空间联系和空间效应的研究主要包括: 文献[2]借助引力模型测算各地区联系强度, 以此确定各地区的主要联系方向, 引力模型适用于距离较大的城市之间的空间联系, 对于连绵发展的城市群地区或者关系

紧密的城市内节点, 难以全面综合分析各节点之间或整个区域之间的相互联系和作用; 文献[3]提出客流分布熵的概念, 利用集中度、空间断裂点和运输联系强度等方法, 分析空间运输联系的分布特征, 此方法主要用于描述已有的客运联系强度, 缺少对整个区域客运潜力的分析; 文献[4]提出了运输通道场概念, 运用运输通道场论对运输通道的聚散效应进行理论分析; 文献[5]初步提出了客流场概念, 运用客流场理论研究客运空间联系的内在特性和运行机理, 但考虑的因素较为简单, 未考虑运输成本、经济、政策等因素对客运的影响, 且缺乏对空间效应的分

析。综上所述,传统的客运联系分析方法只能从已有的客运量单独分析各节点之间的联系,不能对整个区域客运空间联系进行分析;而此前运用客流场理论探索客运空间联系的研究,局限于距离对客流的影响因素,没有全面、综合地考虑经济社会等多方面因素,且缺少对区域客运联系程度、中转潜力和空间效应的分析。

为了定量、全面、系统地分析区域内各节点的客运空间联系以及整个区域的客运空间效应,在物理场和运输通道场理论的基础上,综合经济、政策、运输成本等多方面因素丰富客流场理论,创新性地建立客运空间联系模型和客运空间效应模型。利用模型分析区域节点客运空间联系规模及区域扩散和集聚效应,并综合其比对关系,得出区域内客运空间联系程度、客运中转潜力以及区位空间效应趋势皆较强的地区,为未来区域发展规划提供参考依据。

1 客流场

借助物流场的定义^[6],客流场是用来描述某区域内,客流生成源受经济、自然、政策、资源、交通等因素的影响,对周边地区产生客流的能力、规模、强度等时空关系的总和。客流场主要由4个要素构成:场源、目的点、场介质和场界。场源是客流场的核心,即客流生成源,以客流场核心地位向周边区域提供客流,决定客流场的规模和强度,区域中的城镇、居民区、商业区、工业区等都可以视为客流场源。目的点为客流场中的任意一点,通过提供服务或者实现需求功能来吸引客流,并决定客流的流向、流量和分布等特点。区域中场介质是指区域所处的经济社会环境,通常影响客流场的分布和强度,常见的场介质有交通环境、区域经济、自然环境、资源、政策等^[7]。场界的定义分为两种,一种是由距离所致的出行成本差距,使场源影响集中于某个范围内,以作用效果为度量标准定义场界;另一种是人为确定研究范围的场界。此外,空间客流的形成是场源与目的点在场介质中相互作用的结果,因此客流场的形成有一定的时间与空间进程,并随自身发展以及环境变化而不断变化。

2 模型建立

利用客流场理论,建立客运空间联系模

型和客运空间效应模型,来描述和分析各节点之间客运空间联系和区域客运空间效应。

2.1 客运空间联系模型

场源提供客源,决定客流场的规模,目的点吸引客流,决定客流的的方向和大小,二者相互作用形成客流场的客运空间联系。在客流场中,由于场力 F 由场源特性和目的点客流需求量共同决定,因此通常由场力 F 表示客运空间联系。其中,场力 F 的方向表示两者间客运空间联系方向,场力 F 的大小表示两者间客运空间联系强度。

$$F = Eq, \quad (1)$$

式中: F 为场源和目的点之间的场力/(人 $^2 \cdot d^2 \cdot km^2$),即两点间客运空间联系程度; E 为该客流场中目的点处的场强/(人 $\cdot d^1 \cdot km^2$); q 为目的点需求量/(人 $\cdot d^1$)。

在物理场中,场强 E 通常表示某点在物理场中受到作用力的大小和方向,与物理场场源的强弱及该点与场源的位置关系有关。在客流场中,场强 E 同样表示某点在客流场受到作用力的大小和方向,即场源对某点提供客流能力的大小和方向。区域客流的形成与该区域的客流生成总量、经济情况和政策环境等因素正相关,同时与空间距离和运输成本负相关。

$$E = k \frac{oe^\alpha m^\beta}{f^\gamma R^\delta} n, \quad (2)$$

式中: k 为各种因素影响下的综合系数, $k > 0$; o 为生成源客流生成量/(人 $\cdot d^1$); e 为经济发展因子,为场源所在地区的GDP/元; α 为经济发展因子对客流场影响的弹性系数; m 为媒介影响因子,指城市区位、政策等间接影响客流的因素; β 为媒介对客流场影响的弹性系数; n 为方向矢量,大小为1,方向为客流方向; f 为距生成源的运输成本/元,即广义运输成本; γ 为运输成本对客流场影响的弹性系数; R 为距生成源的空间距离/km; δ 为空间距离对客流场影响的弹性系数。

其中,各影响因素的弹性系数的取值方法如下:当某因素对客流场场强增长贡献强于其他因素,该因素的弹性系数取值大于1;当贡献弱于其他因素,该因素的弹性系数取值介于0和1之间;当贡献与其他因素相同,则该因素的弹性系数取1。特别地,由于该模型属于二维模型,参考物理场模型,空间距离的弹性系数 δ 取2。

广义运输成本用来表示从场源到达目的

点的难易程度，计算公式如下^[4]：

$$f_{AB} = \left| \theta_1 T_{AB} + \theta_2 C_{AB} + \theta_3 \epsilon_{AB} + \theta_4 g_{AB} + \frac{1}{s_{AB}} \right|, \quad (3)$$

式中： f_{AB} 为A、B间的运输成本。 T_{AB} 为A、B间的平均运输时间； C_{AB} 为A、B间的平均经济成本； ϵ_{AB} 为A、B间的运输便捷性； g_{AB} 为A、B间的运输舒适程度； s_{AB} 为A、B间的运输安全性； $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ 为运输方式服务特性的权重系数，通过采集服务特性之间重要性关系的评价数据，运用层次分析法可以求得。

当目的点位于多个客流场中，受多个客流场作用时，由于客流一旦产生无法抵消，因此场力矢量和的方向代表该点客运空间联系方向，场力标量和表示该点客运空间联系强度。客流场符合保守场叠加原理^[5]，当目的点处于多个客流场中时，其所受场力

$$F = \sum_{i=1}^n E_i q = kq \sum_{i=1}^n \frac{o_i e_i^\alpha m_i^\beta}{f_i^\gamma R_i^\delta} n_i, \quad (4)$$

$$|F| = \sum_{i=1}^n |E_i q| = \sum_{i=1}^n \left| kq \frac{o_i e_i^\alpha m_i^\beta}{f_i^\gamma R_i^\delta} \right|, \quad (5)$$

式中： o_i 为第*i*个客流场的生成源客流生成量； e_i, m_i, f_i, R_i 分别为第*i*个客流场的经济发展因子、媒介影响因子以及目的点距第*i*个场源的运输成本、空间距离； n_i 为第*i*个客流场场源到目的点客流的方向。

当目的点 Q_1 受多个客流场作用不平衡，即目的点在外部有明显主导联系方向时，该合力方向是客运影响最大方向，即从该方向上提供运输成本代价最小；当目的点 Q_2 受多个客流场作用相对均衡即没有明显的主导联系方向时，该点为所在区域的断裂点，即多个客流场的作用效果在该节点叠加、竞争且彼此均衡^[8]。目的点受多个客流场作用示意图1。

2.2 客运空间效应模型

空间效应主要表现为扩散效应和集聚效应。扩散是指能量高的物体通过一定媒介向能量低的物体传递能量的过程。扩散效应指节点作为场源，通过扩散客流，使货流、资本、劳动力、技术、产业等要素向外围区域扩散、延展，带动周边区域经济发展。集聚效应是指节点作为目的点，接受周围区域客流扩散作用，集聚客流并吸引货流、资本、劳动力、技术、产业等要素向节点转移、集中。集聚效应使克服距离的成本和费用达到最低，并使生产效率和相互往来频率达到最大，从而产生集聚经济^[4]。

场势在物理场中是描述物理场做功能力的物理量，即物理场内物体相对位置改变而发生能量变化的特性。在客流场中，用场势来表示客流场中某点集聚客流的能力，即目的点集聚场源客流的能力。场势大小与目的点所处客流场的结构特征、场介质以及目的点距场源的距离有关，其表达式为

$$U = - \int E dR = - \int k \frac{o e^\alpha m^\beta}{f^\gamma R^\delta} dR = \begin{cases} k \frac{o e^\alpha m^\beta}{(\delta-1) f^\gamma R^{\delta-1}}, & \delta \neq 1 \\ -k \frac{o e^\alpha m^\beta}{f^\gamma} \ln R, & \delta = 1 \end{cases} \quad (6)$$

在实际客流场中，一个节点往往既是场源又是目的点，当其对周边扩散客流时，同时也在集聚周边的客流。“位”表示节点作为场源的扩散效应，与其客流生成规模有关，规模越大，扩散效应越强，其“位”越高，可用该节点对周边区域产生的场势之和表示，即

$$U_j = k \frac{o_j e_j^\alpha m_j^\beta}{\delta-1} \sum_{i=1}^n \frac{1}{f_{ji}^\gamma R_{ji}^{\delta-1}}, \quad (7)$$

式中： U_j 为第*j*个节点的“位”； e_j, m_j, f_{ji}, R_{ji} 分别为第*j*个节点的经济发展因子、媒介影响因子以及第*j*个节点作为场源距第*i*个目的点的运输成本、空间距离。

“势”表示节点作为目的点的集聚效应，与其所处位置有关，距场源越近，其“势”越高，可用周边区域对该节点产生的场势之和表示，即

$$U_j^* = \frac{k}{\delta-1} \sum_{i=1}^n \frac{o_i e_i^\alpha m_i^\beta}{f_{ij}^\gamma R_{ij}^{\delta-1}}, \quad (8)$$

式中： U_j^* 为第*j*个节点的“势”； e_i, m_i, f_{ij}, R_{ij} 分别为第*i*个场源的经济发展因子、媒介影响因子以及第*j*个节点作为目的点距第*i*个场源的运输成本、空间距离。

在区域中衡量某个节点的相对地位，若仅以客流规模大小或节点所处位置来判定，存在一定的片面性，应结合“位”和“势”两方面因素，采用节点客流位势，综合考虑节点的聚散效应来判断其相对地位的优劣程度。根据场势叠加原理，区域中节点的客流位势

$$A_j = U_j + U_j^*, \quad (9)$$

式中： A_j 为第*j*个节点的位势。

3 案例分析

3.1 基础数据

以某城市内部区域规划分析为例，探讨

客流场理论及模型的应用。城市内部存在4个经济发达的商业节点(见图2),其空间位置、客流生成、经济规模、政策环境、交通状况等数据见表1,公式(2)所需其他参数见表下方的注释。该区域中,D点在经济、人口、政策和交通等方面均较好,C,A,B依次递减,但4个节点在整体上差距较小。为保证在同一层面分析4个节点且结论不具有特殊性,相关数据在一定范围内随机选取。研究范围为4个商业节点围成的空间。

3.2 客运空间联系分析

根据公式(1)和(2)计算得到各节点之间客运空间联系强度(见表2)。

在空间地图上,用各点间连线表示其客运空间联系,连线方向表示联系方向,连线粗细程度表示联系强度(见图2)。可以看出,C,D两点间客运空间联系强度最大,A,C间最小;D点与A,B,C点的空间联系强度均较强,且较均衡。因此相对于其他三点而言,D点客运联系更加紧密且均衡,说明该节点周围的发展潜力较大,客运枢纽地位也较高。

将各节点与其他节点的客运空间联系矢量相加,得出该节点与周边区域之间客运影响最大方向,即在区域内从该方向提供客流,运输成本代价最小。将该节点与其他节点的客运空间联系标量相加,得到其客运影响最大方向的空间联系强度,并以连线粗细程度呈现。得到4个节点客运影响最大方向联系图(见图3)。可以看出在该范围内,各节点的客运影响最大方向分别相交于a,b,c,d四点。客运影响最大方向的交点汇聚多个方向的客流,表示该点客流中转需求程度

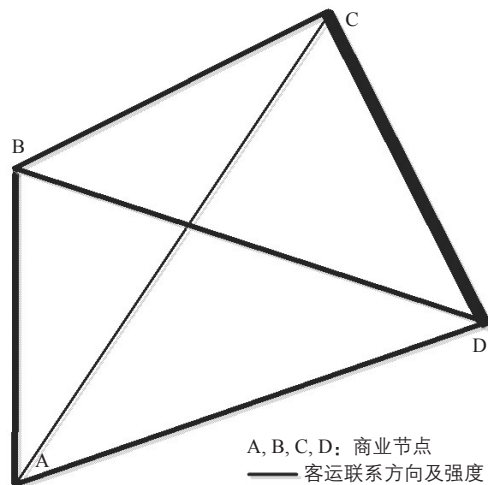


图2 4个节点客运空间联系强度

Fig.2 Spatial linkage of passenger traffic for the four nodes

较高,在多个方向上都具有较大的客运空间联系潜力。因此,在区域交通枢纽规划中,该点具有较强换乘功能或客流交换功能,可根据客运联系强度大小,建设不同规模、不同功能的换乘枢纽或客运中心。客运中心的建成不仅会大幅度吸引周边地区的客流,还会吸引货流、资本、劳动力、技术、产业等要素向节点转移、集中,产生集聚经济,带动区域发展,还可进一步演变为客流生成

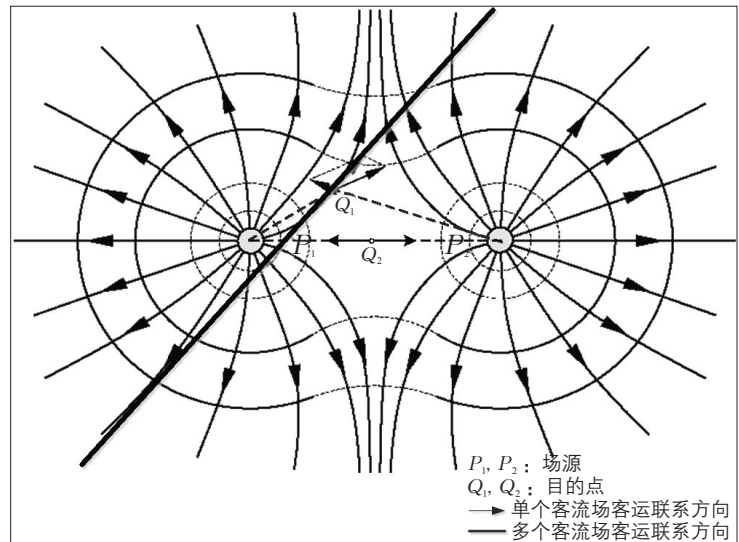


图1 目的点受多个客流场作用示意

Fig.1 Destination point subject to the impact of multiple passenger flow fields

表1 区域节点情况及客流生成规模

Tab.1 Regional nodes and passenger flow size

节点	坐标	客流生成量 (o)/(万人·d ¹)	经济发展因子 (e)万元	媒介影响 因子(m)	距生成源的运输 成本(f)/元
A	(1, 1)	25	3.0	1.2	1.1R
B	(1, 3)	20	3.7	1.0	0.8R
C	(3, 4)	30	4.2	2.0	1.2R
D	(4, 2)	40	5.0	1.5	0.9R

注: $k=0.005$; f 简化为与 R 相关的函数, R 为距生成源的空间距离/100 km; 节点作为目的点的需求量 q 等同于作为场源时的客流生成量 o ; 设定经济、运输成本、媒介等因素对客流场影响效果均等,弹性系数 α, β, γ 均取1。

表2 各节点间客运空间联系

Tab.2 Spatial linkage of passenger traffic among nodes

客运空间联系强度 F	节点A	节点B	节点C	节点D	总量 1 ¹⁾
节点A		102 273	26 183	51 746	180 202
节点B	144 531		124 102	58 502	327 135
节点C	56 003	187 830		375 659	619 492
节点D	131 762	105 409	447 214		684 385
总量 2 ²⁾	332 296	395 512	597 499	485 907	

注: 1)为节点作为场源与其他节点间客运空间联系之和; 2)为节点作为目的点与其他节点间客运空间联系之和。

源,成为新一阶段的商业或居住中心,从而带动周边地区发展,产生扩散效应。例如,c点由最强的两个客运影响最大方向相交,说明该点具有极强的客运中转需求,建议在此处建设较大、较健全的综合客运枢纽,服务较大规模客流;b点和d点由较大强度和较小强度的两个客运影响最大方向相交,中转潜力较c点弱,可建设成为区域性客运枢纽,功能和规模稍低于c点枢纽。相比较而

言,相交于a点的两个客运影响最大方向的空间联系强度都较小,即可按其所需的交通方式建设成相应的客运中心或换乘站,服务较小规模客流。

3.3 客运空间效应分析

该城市内的4个商业节点通过客运空间联系产生空间效应。由公式(6)~(9)计算得到各节点场势(见表3)。从“位”的计算结果来看,各节点的位序与客流生成规模一致,由此可见影响节点扩散效应的主要因素是自身客流生成强度;从“势”的计算结果来看,D节点虽然位序第一,但势序却是第二,而势序第一的节点是距B和D都较近的C节点,由此可说明节点的集聚效应与自身客流生成规模无关,而与周边节点客流生成强度以及距周边节点的距离有关。衡量一个节点在区域中相对地位的优劣,应综合考虑其集聚效应和扩散效应,因此采用节点客流“位”“势”之和的位势来表示。从位势序看来,该区域最具区位优势节点为C点。

通过场势还可以衡量在4个商业节点作用下整个区域的空间效应,利用Matlab软件对4个商业节点在区域中产生的场势进行三维合成,形成场势连续变化的区域客流场(见图4a);用等势线表示该区域的客流场,能够更清晰地看到区域内客运空间效应的变化(见图4b)。可以看出,节点C,D连线区域和B,C,D围成区域等势线较密集,说明该区域拥有较大客流集聚潜力,具有较高交通区位优势。同时,在节点B,C中间以及节点C,D之间形成鞍形曲面,且鞍点存在于坐标(3.5,3),(2,3.2)附近。鞍点具有所

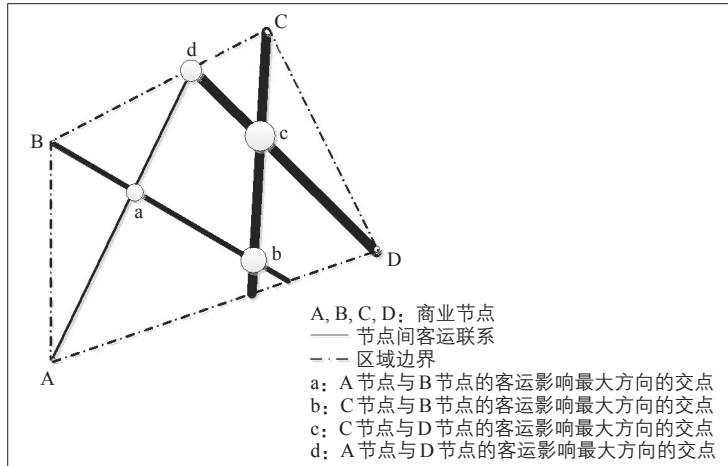


图3 4个节点客运影响最大方向联系

Fig.3 Linkage of directions with the largest passenger traffic capacity for the four nodes

表3 节点客流场势分析

Tab.3 Potential field of passenger flow of different nodes 万人·d⁻¹·km⁻¹

节点	U_j	位序	U_j'	势序	A_j	位势序
A	31.60	3	18.50	4	50.10	4
B	30.52	4	37.58	3	68.10	3
C	42.65	2	48.73	1	91.38	1
D	43.80	1	43.75	2	87.55	2

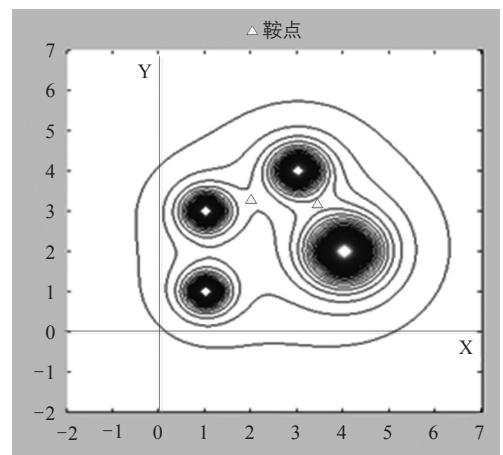
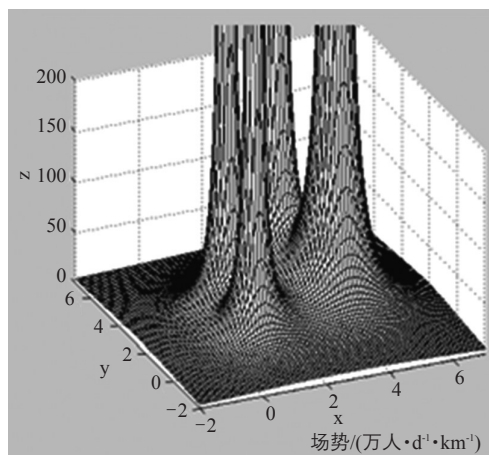


图4 区域场势分布

Fig.4 Distribution of potential field in the region

在节点连线场势最小、径向场势最大的特性，即与节点连线上的所有点相比，鞍点受节点影响程度最小；与周边地区相比，鞍点受节点影响程度最大。因此，鞍点在区域规划中具有较高集聚客流的潜力，可适宜发展成为区域综合体，成为下一个商业增长极发展对象。

将区域客运空间联系和空间效应叠加，进行综合分析(见图5)。可以看出，客运影响最大方向的交点c, d位于C, D节点形成的鞍部附近，联系上文分析内容，说明其不但具有客运空间联系位置优势，还在一定程度上具有空间效应优势。即单独分析4个商业节点的客运空间联系时，c, d点具有较强客运中转功能；分析整个区域的客运空间效应时，c, d点具有较高客运集聚功能。综合看来，c, d两点的区位优势较强、发展潜力较大，建议优先规划集中发展，使之发展成为下一个区域增长极。

4 结语

本文通过丰富已有的客流场理论，更加细致和具体地量化区域客运空间联系和空间效应。建立客运空间联系模型分析各节点客运空间联系的规模与影响，并通过客运影响最大方向分析得出具有客运中转潜力地区；建立客运空间效应模型分析区域集聚与扩散效应，并通过整个区域空间效应分析得出具有客流集聚潜力的地区。通过两个模型的叠加对比分析，得出该区域内客运空间联系分布程度、客运中转潜力以及客流集聚潜力都较佳、最具区位优势的地区，为区域发展规划提供技术支持。

除了客运空间联系和空间效应研究，今后还可以更多地挖掘客流场的其他应用，例如在交通管制、线路优化和资源空间布局等领域进行进一步的研究与运用；此外还可以结合物流场进行客货运综合分析，实现区域客运和物流配套发展。

参考文献：

References:

[1] 金凤君. 我国空间运输联系的实验研究：以货流为例[J]. 地理学报, 1991, 46(1): 16-25.
Jin Fengjun. Experimental Research on Spatial Transportation Linkage in China[J]. Acta Geographica Sinica, 1991, 46(1): 16-25

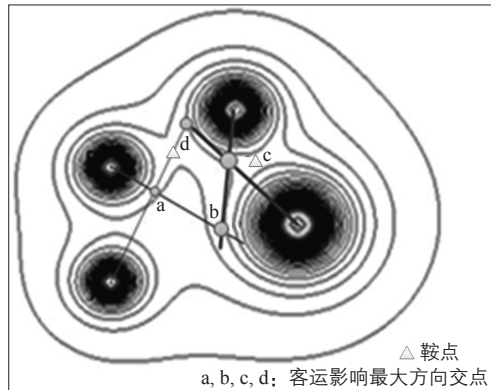


图5 区域客运空间联系和空间效应叠加

Fig.5 Combined spatial linkage and effect of passenger traffic in the region

[2] 孟德友, 陆玉麒. 基于引力模型的江苏区域经济联系强度与方向[J]. 地理科学进展, 2009, 28(5): 697-704.
Meng Deyou, Lu Yuqi. Strength and Direction of Regional Economic Linkage in Jiangsu Province Based on Gravity Model[J]. Progress in Geography, 2009, 28(5): 697-704.

[3] 邓润飞, 过秀成. 城市群城际客运空间联系分布特征研究：以苏南地区为例[J]. 交通运输工程与信息学报, 2012, 10(3): 8-12, 20.
Deng Runfei, Guo Xiucheng. Study on Distribution Character of Spatial Inter-City Passenger Transport Linkage in Southern Jiangsu: Taking Southern Jiangsu as an Example[J]. Journal of Transportation Engineering and Information, 2012, 10(3): 8-12, 20.

[4] 张银莹. 基于场论的运输通道聚散效应研究[D]. 成都：西南交通大学, 2010.

[5] 邓润飞, 过秀成. 基于场论的客运空间联系特性与建模分析[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2015, 45(1): 178-183.
Deng Runfei, Guo Xiucheng. Modeling and Characteristic Analysis of Spatial Passenger Linkage Based on Field Theory[J]. Journal of Southeast University (Natural Science Edition), 2015, 45(1): 178-183.

[6] 汤银英. 物流场理论及应用研究[D]. 成都：西南交通大学, 2007.

[7] 余沛. 中原城市群空间联系研究[D]. 成都：西南交通大学, 2011.

[8] 金凤花. 区域物流场的场效应测度研究[D]. 长春：吉林大学, 2011.
Jin Fenghua. Measurement Research on the Field-Effect of Regional Logistics Field[D]. Changchun: Jilin university, 2011.