

文章编号:1003-2398(2010)04-0041-04

## 北京应急避难场所的区位优化配置分析

武文杰<sup>1,2</sup>, 朱思源<sup>1,2</sup>, 张文忠<sup>1</sup>

(1.中国科学院 地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2.中国科学院 研究生院, 北京 100039)

## OPTIMAL ALLOCATION OF EMERGENCY SHELTER FACILITIES IN BEIJING

WU Wen-jie<sup>1,2</sup>, ZHU Si-yuan<sup>1,2</sup>, ZHANG Wen-zhong<sup>1</sup>

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

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

**Abstract:** In contemporary China, how to achieve equity and efficiency for public service facilities' spatial distribution and rearrangement is one hot issue in the context of rapid urbanization process. Meanwhile, in order to avoid earthquakes, fires, explosions and other major natural disasters, emergency shelters play increasingly important roles in urban security. Nonetheless, researches on this issue are limited by the lack of systematic data, especially spatial data as well as other related data, and by the limitation of the traditional statistical model in establishing the complex causal relationship between the locations of public service facilities and their scale. This paper aims to explore general evaluation and actual description of the spatial distribution optimization of the urban emergency shelter facilities in Beijing, based on the Voronoi model and GIS analyzing methods. The results show that, firstly, Beijing is a large metropolis with a high population density, the capacity of emergency shelters could not meet the demand of the large population, and the spatial distribution of the emergency shelter facilities which have been built shows "uneven-distribution pattern"; secondly, as the public service infrastructure network reaches the stage of "universal" and "equalization", it is estimated that the city governments need construct at least 42 new large-scale emergency shelter facilities in the downtown area, and these emergency shelter facilities will form a reasonable facilities' service-area network, covering the whole spatial area in the downtown place of Beijing; thirdly, as a public service facilities, the emergency shelter facilities play an important role in the construction of the safety city, so the further development of it will concentrate on how to make the best integration of the fairness and efficiency allocation for the public need, which will include not only the increase in the number and the expansion of the size of the emergency shelter facility, but also attach great importance to building a multi-level spatial arrangement structure, so as to achieve the greatest social benefits. The authors point out that this research can provide information for further urban construction and planning policy making.

**Key words:** emergency shelter facility; location; Optimal Allocation; Beijing

**提 要:** 在中国城市快速增长的背景下, 城市公共服务设施的空间配置成为社会各界关注的热点问题。本文以北京市中心城区的应急避难场所为例, 利用Voronoi多边形算法, 研究应急避难场所的空间优化和配置。结论显示, 北京市作为人口密集的国际大都市, 其应急避难场所的建设存在一定的缺口, 在空间上分布也不均衡; 根据公共服务设施“均等化”的原则,

北京市中心城区至少需要新建40多个大型应急避难场所; 从公共服务设施配置的公平和效率原则出发, 未来应急避难场所的建设重点不仅要增加数量和扩大规模, 还应调整空间配置。

**关键词:** 应急避难场所; 区位; 优化配置; 北京市

**中图分类号:** F291 **文献标识码:** A

基金项目: 国家自然科学基金项目(40971077), 国家自然科学基金重点项目(40635026)

作者简介: 武文杰(1985—) 男, 安徽淮北人, 研究生, 主要研究方向为城市发展和房地产。

通讯作者: 张文忠(1966—) 男, 内蒙古呼和浩特人, 研究员, 博士, 研究方向为城市和区域发展。Email: zhangwz@igsrr.ac.cn。

收稿日期: 2009-09-23; 修订日期: 2010-03-15

## 1 引言

应急避难场所是用于民众躲避地震、火灾、爆炸等重大灾害的最重要的安全避难场所,应成为保障城市安全<sup>[1,2]</sup>的一项重要公共服务设施。如何建设和布局应急避难场所,构筑城市安全空间已成为学术界关注的热点问题。北京市中心城区地形平坦、交通便捷,但人口密度过高,远远超过原有大型应急避难场所的设计容量,构成了城市安全的隐患。

公共服务设施的区位空间配置一直是城市地理学研究关注的热点问题<sup>[1-4]</sup>。随着1960年代以来运筹学方法在城市公共服务设施区位布局中的广泛应用,为相关研究提供了更为科学合理的计量分析基础。目前,关于公共服务设施区位优化配置的研究主要有三类。一类是基于经济地理学的区位分析模型<sup>[3-9]</sup>;第二类是基于运筹学规划技术的区位模型<sup>[10-12]</sup>;第三类是应用GIS分析技术对公共服务设施空间布局进行研究<sup>[13-18]</sup>,这类研究主要集中在运用Voronoi多边形一次性生成优化后的新建公共服务设施。

随着GIS技术应用领域的不断深化,GIS技术与城市地理学有关理论模型的结合应用,可以为公共服务设施空间配置分析提供必要的空间数据支持和研究结论的空间表达。本文以地图学与地理信息系统理论中的Voronoi多边形算法为基础,运用多次迭代的方法进行应急避难场所区位选择及其服务区的划分,并将这一方法应用于北京市中心城区市级应急避难场所的区位优化配置的实例研究中,为政府决策者提供了科学依据和建议。

## 2 模型与方法

### 2.1 成本距离函数

为了反映人口因子在确定应急避难场所服务区范围上的影响,本文引入成本距离函数<sup>[19]</sup>以人口密度作为成本来对应应急避难场所服务区的几何形状进行修正。

成本距离函数的计算公式为:

$$Accum_{cost} = a_i + ((cost_a + cost_b) \div 2) \times D$$

其中:  $Accum_{cost}$  为某一单元  $b$  的累积通行成本;  $a_i$  为上一相邻单元  $a$  的累积通行成本;  $cost_a$  为单元  $a$  的成本;  $cost_b$  为单元  $b$  的成本;  $D$  表示单元  $a$  与单元  $b$  的直线距离。

### 2.2 Jenk 优化分级法

本文引入的Jenk优化分级法<sup>[20]</sup>是减少组内数据之间的差异范围,并且扩大组别之间差额的分级方法。

Jenk优化分级法的计算标准利用方差拟合(GVF)来进行。它通过检验每个级别的平均值来使总平方差之和最小。

其主要步骤如下:

(1) 计算每个观测量的均值与平方差(SDAM);

$$SDAM = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_j} (x_{ij} - \bar{z}_j)^2$$

其中,  $x_{ij}$  为每个观察量,  $\bar{z}_j$  为观测量的均值。

(2) 确定分级边界,计算分级平均值,并计算所有分级平均值的平方差(SDCM)

其中  $i$  是类  $j$  的观测变量数

$$SDMC = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} (x_{ij} - \bar{z}_j)^2$$

其中,  $x_{ij}$  是第  $j$  级中的每个观测值,  $\bar{z}_j$  是分级平均值。

(3) 计算方差拟合系数(GVF)

$$GVF = \frac{SDAM - SDCM}{SDAM}$$

最后,将观测量从一个分级移动到另一个分级来降低所有分级平均值的方差(SDCM),从而增加方差拟合系数,使得该系数一直达到最大。

## 3 实证研究

### 3.1 研究区域与数据获取

本文重点研究东城区、西城区、宣武区、崇文区、石景山区、海淀区、朝阳区、丰台区等中心城区,该区域土地面积仅占全市的8.3%,常住人口数占北京市常住人口总数的62.0%,人口密度远超过963人/km<sup>2</sup>的全市平均水平<sup>①</sup>。

本文采用2005年北京市人口普查数据,并根据市政府有关规定确定了应急避难场所的人口容积率<sup>②</sup>。同时,采用2005年出版的《北京市行政区划地图集》,结合市政府公布的最新街道调整信息,通过数字化手段得到北京市行政区划GIS,并将原有应急避难场所的空间分布与其对应(图3)。

特别需要指出的是,根据《北京中心城地震及应急避难场所(室外)规划纲要》的规定,应急避难场所按照容纳的人口数量分为两级,其中,人口容量大于等于1.2万人的应急避难场所属于大型应急避难场所,人口容量小于1.2万人的应急避难场所属于小型应急避难场所。本文仅对大型应急避难场所进行区位选择和空间布局优化。

### 3.2 基于GIS的算法分析

应急避难场所作为一项由政府提供的保障居民人身安全的大型公共服务设施,是不可替代的公共服务设施。因此,本文暂不考虑土地的可获得性等因素对新建应急避难场所的影响,仅将新建应急避难场所至人口密度最大地区的最近距离和建设最少的应急避难场所,满足最多人口需要作为应急避难场所空间布局优化的指导原则,以实现建设成本和社会效益的综合最优。

为了便于分析,我们首先在ArcGIS9.2软件平台的支持下产生研究区域的规则网格,将其与人口分布图层叠加获得网格上的人口分布,然后将模型和方法模块化,从而构建出完整的技术路线(图1)。

需要特别说明的是:人口普查单元产生的服务区与行政边界一致,虽然具有管理上的实践意义,但在实际应用中,矢量数据在人口密度统计上无法体现密度的空间分布不均匀性,因而将其最小化到单元能使一个行政区域内的人口密度分布得到最大程度的体现。同时,由于受到数据空间分辨率的限制,本文中单元格的取样定为1km\*1km,从而得到人口密度栅格图(图2)。

### 3.3 应急避难场所的服务区划分及其区位特征

应急避难场所的空间布局优化主要包括原有应急避难场所人口配置缺口的分析和新建应急避难场所的最优区位选择以及其服务区的划分。根据就近原则和以人为本原则,首先

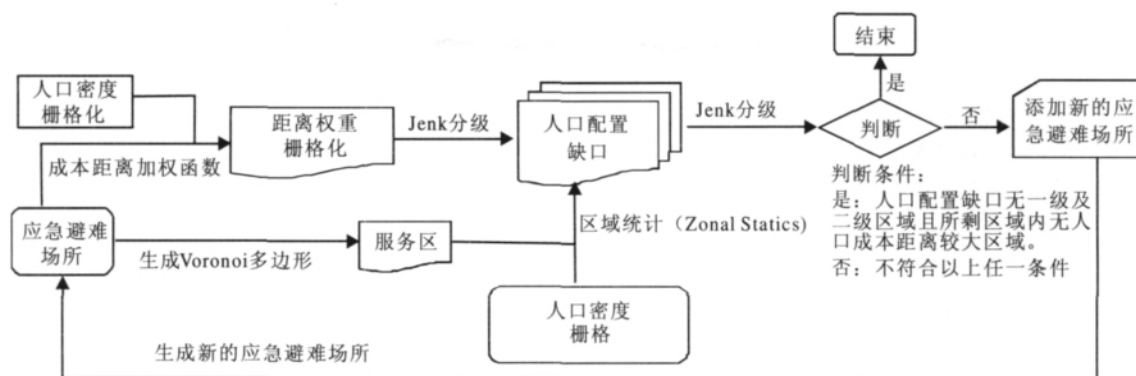


图1 技术路线

Fig.1 Technological Route Map

对原有应急避难场所人口配置缺口进行了评价, 然后根据模型和算法对应该新建的应急避难场所进行了最优区位选择, 并对新建应急避难场所进行了服务区划分, 从而使每个应急避难场所能够满足该区域内的人口避难需要。最后, 作者在应急避难场所空间布局的优化过程中归纳了北京市中心城区所有应急避难场所的区位分布特征。

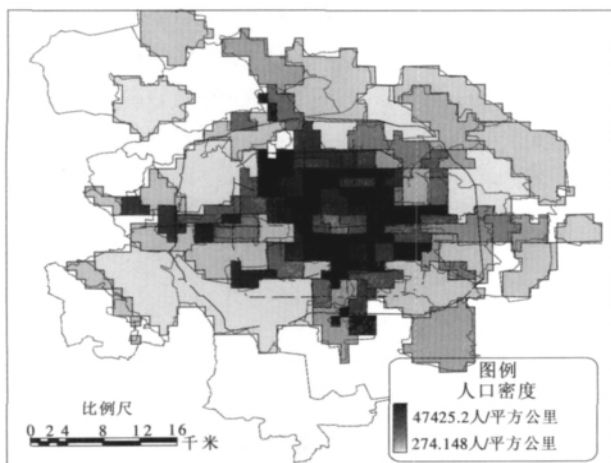


图2 人口密度栅格图

Fig.2 The Population Density Raster Map

### 3.3.1 原有应急避难场所人口配置缺口的分析

根据规定<sup>③</sup>, 北京市原有大型应急避难场所作为社会公共服务设施都有其设计人口容量, 但随着城市人口数量的快速增加, 其设计人口容量不足以满足现有人口避难需要。

本文根据原有应急避难场所的空间分布生成 Voronoi 图, 并以此构建了原有应急避难场所的服务区 (图3)。然后, 在考虑距离权重的影响下求得成本距离较大的区域, 并利用 ArcGIS9.2 软件中的区域统计方法计算每个栅格单元所表示的人口密度大小, 从而得到该栅格单元服务的人口数量。在此基础上通过对原有设计人口容量求差得到目前人口配置缺口, 最后通过对配置缺口判断并进行 Jenks 优化分级。这里, 我们将所有不满足需要的区域按照人口配置缺口程度的大小分为三级 (图4)。可以看到, 原有应急避难场所服务区内人口配置缺口最大的区域, 主要集中在人口稠密的中关村、西直门和国贸 CBD 地区; 人口配置缺口较小的地区分布在北京市南部、西北部和东北部的东外城。特别需要指

出, 目前奥运村地区的人口配置不存在明显缺口, 这表明该地区的应急避难设施配置能够基本满足该地区的人口需要。

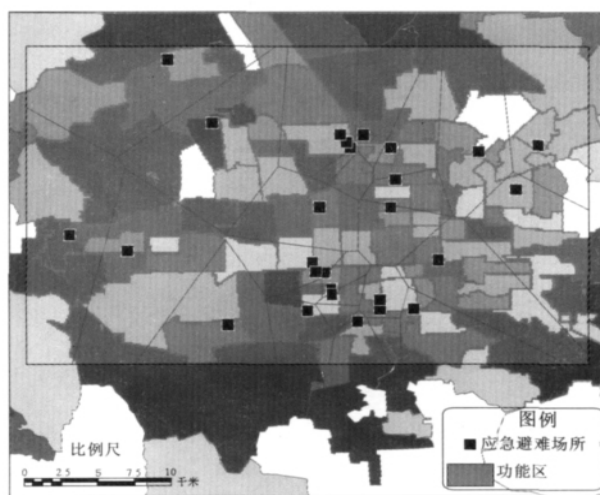


图3 原有应急避难场所服务区分布状况

Fig.3 Distribution of the Existing Emergency Shelters' Service Areas

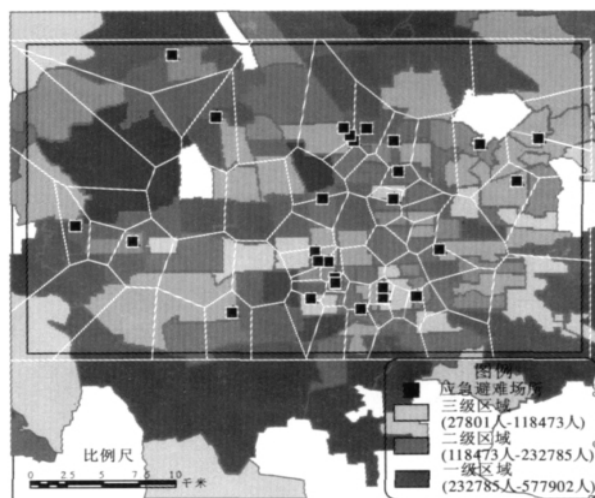


图4 原有应急避难场所人口配置缺口分级图

Fig.4 Classification Population Gap of the Emergency Shelters

研究表明, 绝大多数应急避难场所服务区所覆盖的人口数量都远远大于设计人口容量, 因此需要对每个服务区的布



局进行调整,并计算新建的应急避难场所的设计人口容量。

### 3.3.2 新建应急避难场所的区位选择及服务区划分

依据技术流程(图1),我们首先对处在最高优先级<sup>④</sup>并且成本距离最大的区域添加新的应急避难场所,然后利用新生成的服务区计算人口配置缺口,直至新生成的服务区人口配置缺口低于既定标准<sup>⑤</sup>为止。

根据以上算法的测算,使得研究区域内所有的应急避难场所人口配置缺口降至既定标准以下,从而根据设计人口容量得到在北京市中心城区范围内最少应建设的应急避难场所的个数、区位布局及其服务区范围(图5)。如图5,在对应应急避难场所进行优化空间配置以后,原有的应急避难场所的服务人口缺口数降至既定标准以下,从而使得各应急避难场所的服务区人口配置功能更为均匀,达到空间合理配置。

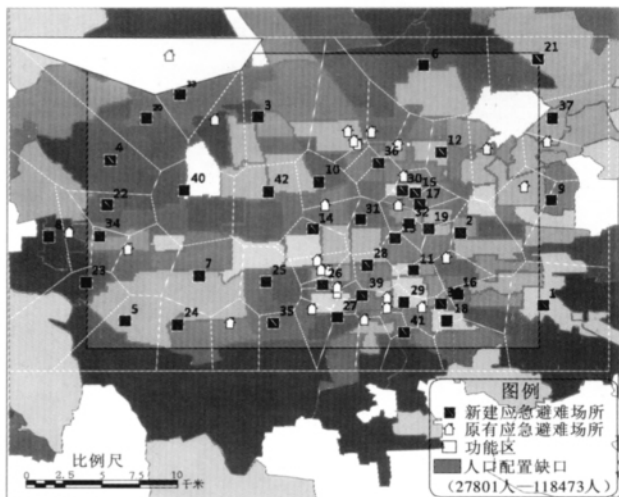


图5 全部应急避难场所的服务区分布

Fig.5 Distribution of all Emergency Shelters' Service Areas

### 3.3.3 应急避难场所的区位分布特征

新建应急避难场所与原有应急避难场所共同构成了北京市中心城区的大型应急避难场所空间服务网络,并在空间上表现出一定的分布特征:

(1) 内城区人口高度密集,特别是天坛、大栅栏、椿树、前门和广内街道的人口密度最高,因而在新建大型应急避难场所后这些地区仍然无法满足人口避难需要(图5),同时,内城区适宜作为应急避难场所的土地资源紧张,已经不具备再建设大型应急避难场所的条件,因此,应加强小型应急避难场所的规划建设,仅靠单一的大型应急避难场所建设不能有效解决居民应急避难的安全问题。

(2) 外城区在重新配置应急避难场所后基本能够满足人口需要,但在空间上呈现分布不均衡的态势,这与北京市人口分布不均衡的空间格局相一致。其中,人口密度较高的朝阳区和海淀区分布的应急避难场所在新建数量和规模上均远远超过丰台区和石景山区。

## 4 总结与讨论

本文以经济地理学区位分析理论为基础,利用了 Jenk 分级模型与栅格化空间分析方法,综合考虑了设施规模、成

本距离这两个关键因素对应急避难设施区位选择和空间布局的影响,通过多重迭代的分析对不同阶段的人口缺口进行计算,得出北京市应急避难场所的区位空间配置优化方案。主要结论如下:

(1) 北京市中心城区的应急避难场所不能满足人口避难需要,且存在空间分布不合理的态势,在对原有 27 个应急避难场所的服务区评价中,奥运村地区和北京市南部城区的应急避难场所设施不存在明显的人口配置缺口,而中心城区的大多数地区由于人口稠密存在明显的应急避难场所设施人口配置缺口,其中以中关村和 CBD 地区最为显著。

(2) 按照就近原则和以人为本原则,应急避难场所的区位选择、规模设计和服务区范围均根据不同街道人口密度进行了相应的优化,使得居民能够就近到达应急避难场所。研究表明,北京市中心城区至少需要新增 42 个大型应急避难场所,从而使北京市中心城区应急避难场所的空间布局在优化后与人口密度的空间分布态势保持了相对一致。

(3) 基于 GIS 空间分析技术的空间布局优化作为一种重要的公共服务设施现状布局合理性评价及空间再布局优化方法,能有效揭示公共服务设施配置的合理覆盖性等空间特征,为建设新的公共服务设施提供合理的空间布局参考。

城市应急避难场所的空间布局优化对于解决由高人口密度带来的城市安全隐患和可能出现的突发性城市灾害性事件均具有重要意义。作者认为,北京市中心城区未来建设应急避难场所的重点不仅是数量的增加和规模的扩大,还应包括空间布局的持续性和合理性,即如何制定和完善应急避难设施的空间配置和等级结构,构建合理的、有层次性的应急避难设施网络。

注释:

①数据来源:《北京市统计年鉴 2007》。

②数据来源:《北京中心城地震及应急避难场所(室外)规划纲要》。

③《北京中心城地震及应急避难场所(室外)规划纲要》。

④最高优先级是指处于设计人口承载量与实际人口承载量差值最大的区域。

⑤既定标准是指人口规模为 1.2 万人的应急避难场所。

### 参考文献

- [1] Aday L, Anderson R. Equity of Access to Medical Care: A Conceptual and Empirical Overview[J]. Medical Care, 1981, 19(Suppl.):4-27.
- [2] 万艳化.城市防灾学[M].北京:中国建筑工业出版社,2003.33-41.
- [3] 李彪.城市安全规划的可视化技术研究[J].中国安全科学学报, 2003,13(11):28-31.
- [4] 王铮,丁金宏.区域科学原理[M].北京:科学出版社,1994.101-104.
- [5] 周一星.城市地理学[M].北京:商务印书馆,1997.45-56.
- [6] 陆大道.区位论及区域研究方法[M].北京:科学出版社,1988.78-89.
- [7] 胡志毅,张兆干.城市饭店的空间布局分析——以南京市为例[J].经理地理,2002,22(1):106-110.
- [8] 陈忠暖,阎小培.区位模型在公共设施布局中的应用[J].经济地理, 2006,26(1):23-26.

(下转第 35 页)

- [8] Lew A A, McKercher B. Trip Destinations, Gateways and Itineraries: The Example of Hong Kong [J]. *Tourism Management*, 2002, 23 (6): 609-621.
- [9] Beaman J, Jeng J M, Fesenmaier D R. Clarification of Cumulative Attractivity as a Concept and Its Measurement: Comments on Lue, Crompton, and Stewart [J]. *Journal of Travel Research*, 1997, 36 (Fall): 74-77.
- [10] Mings R C, McHugh K E. The Spatial Configuration of Travel to Yellowstone National Park [J]. *Journal of Travel Research*, 1992, 30: 38-46.
- [11] Oppermann M. Length of Stay and Spatial Distribution [J]. *Annals of Tourism Research*, 1994, 21 (4): 834-836.
- [12] Lew A, McKercher B. Modeling Tourist Movements: A Local Destination Analysis [J]. *Annals of Tourism Research*, 2006, 33 (2): 403-423.
- [13] Connell J, Page S J. Exploring the Spatial Patterns of Car-based Tourist Travel in Loch Lomond and Trossachs National Park, Scotland [J]. *Tourism Management*, 2008, 29: 561-580.
- [14] Pearce D G. Tourism, the Regions and Restructuring in New Zealand [J]. *Journal of Tourism Studies*, 1990, 1(2):33-42.
- [15] McKercher B. A Comparison of Main Destination Visitors and Through Travelers at a Dual-purpose Destination [J]. *Journal of Travel Research*, 2001, 39: 433-441.
- [16] Hwang Y H, Gretzel U, Fesenmaier D R. Multicity Trip Patterns: Tourists to the United States [J]. *Annals of Tourism Research*, 2006, 33(4):1057-1078.
- [17] Zilinger M. Tourist Routes: A Time-Geographical Approach on German Car-Tourists in Sweden [J]. *Tourism Geographies*, 2007, 9(1): 64-83.
- [18] Kim S, Fesenmaier D. Evaluating Spatial Structure Effects in Recreational Travel [J]. *Leisure Sciences*, 1990, 12:367-381.
- [19] Dredge D. Destination Place Planning and Design [J]. *Annals of Tourism Research*, 1999, 26(4):772-791.
- [20] Lue C, Crompton J L, Stewart W P. Evidence of Cumulative Attraction in Multidestination Recreational Trip Decisions [J]. *Journal of Travel Research*, 1996, 35 (Summer): 41-49.
- [21] 陈健昌,保继刚.旅游者行为研究及其意义[J].*地理研究*,1988, 7(3): 44-51.
- [22] 楚义芳.关于旅游线路设计的初步研究[J].*旅游学刊*,1992,7(2) : 9-13.
- [23] 吴必虎.上海城市游憩者流动行为研究[J].*地理学报*,1994, 49(2): 117-127.
- [24] 陆林.山岳风景区旅游者空间行为研究—兼论黄山与美国黄石公园之比较[J].*地理学报*,1996,51(4) : 315-321.
- [25] 宣国富,等.三亚市旅游客流空间特性研究[J].*地理研究*,2004,23 (1):115-124.
- [26] 马晓龙.基于游客行为的旅游线路组织研究[J].*地理与地理信息科学*,2005,21(2):98-111.
- [27] 周尚意,李淑方,张江雪.行为地理与城市旅游线路设计[J].*旅游学刊*,2002,17(5):66-71.
- [28] 卢天玲.塔尔寺旅游者旅行模式及其对地方旅游经济的影响[J].*旅游学刊*,2008,23(12):29-33.
- [29] 马耀峰,李旭.中国入境游客旅游选择模式研究[J].*西北大学学报(自然科学版)*,2003,33(5):575-581.
- [30] 马耀峰.中国入境后旅游流的空间分布研究[J].*人文地理*,2001,16 (6):44-46.
- [31] 张红.我国旅游热点城市境外游客旅游流空间分布特征[J].*人文地理*,2000,15(2):56-57.
- [32] 叶红.区域旅游线路节点选择对目的地的影响[J].*经济地理*,2007, 27(4):672-675.
- [33] 朱站,封丹,韩亚林.中国国际级旅游目的地建设的重新审视—基于国外旅行商视角[J].*旅游学刊*,2007,22(6): 14-19.
- [34] 杨振之,陈顺明.论“旅游目的地”与“旅游过境地”[J].*旅游学刊*, 2007,22(2):27-32.
- [35] 刘法建,章锦河,陈冬冬.旅游线路中旅游地角色分析—以黄山市屯溪区为例[J].*人文地理*,2009,24(2):116-120.
- [36] 张捷,都金康,周寅康,等.自然观光旅游地客源市场的空间结构研究[J].*地理学报*,1999,54(4):357-364.
- [37] 李山,王慧,王铮.中国国内观光旅游线路设计中的游时研究[J].*人文地理*,2005,20(2):51-56.

(上接第 44 页)

- [9] 陶伟,林敏慧,刘开萌.城市大型连锁超市的空间布局模式探析—以广州“好又多”连锁超市为例[J].*中山大学学报(自然科学版)*, 2006,45(2):97-100.
- [10] Nakanishi M, Cooper L G. Parameter Estimate for Multiplicative Interactive Choice Model: Least Squares Approach[J]. *Journal of Marketing Research*, 1974, 11: 303-311.
- [11] Clarke G. Applied Spatial Modeling for Business and Service Planning [J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 1977, 21: 373-376.
- [12] Brimberg J, Wesolowsky G O. Locating Facilities by Minimax Relative to Closest Points of Demand Areas[J]. *Computers & Operations Research*, 2002,29:625-636.
- [13] Church R L. Geographical Information Systems and Location Science[J]. *Computers & Operations Research*, 2002,29:541-562.
- [14] 朱枫,宋小冬.基于 GIS 的大型百货零售商业设施布局分析—以上海浦东新区为例. *武汉大学学报(工学版)*,2003,36(3):46-52.
- [15] 张龙,周海燕. GIS 中基于 Voronoi 图的公共设施选址研究[J].*计算机工程与应用*,2004,9:223-224.
- [16] Anthony Gar-On Yeh and Man Hong Chow. An Integrated GIS and Location-allocation Approach to Public Facilities Planning—an Example of Open Space Planning[J]. *Computer, Environment, and Urban System*, 1996, 20:339-350.
- [17] 朱华华,闫浩文,李玉龙.基于 Voronoi 图的公共服务设施布局优化方法[J].*测绘科学*,2008,33(2):72-74.
- [18] Ng, E. Wilkins R, Perras A. How Far Is It to the Nearest Hospital? Calculating Distances Using the Statistics Canada Postal Code Conversion File[J]. *Health Rep*, 1993, 5:79-88.
- [19] Clarke G. Applied Spatial Modeling for Business and Service Planning [J]. *Computers, Environment and Urban Systems*,1977,21: 373-376.
- [20] Jenks, George F. The Data Model Concept in Statistical Mapping[J]. *International Yearbook of Cartography*, 1967,7:186-190.