

文章编号:1005-0523(2018)05-0067-12

# 多时窗下公共自行车租赁点选址布局模型研究

覃 鹏<sup>1</sup>,赵祖菊<sup>2</sup>,桂 翔<sup>1</sup>

(1. 贵州省建筑设计研究院有限责任公司,贵州 贵阳 550081;2. 贵州财经大学工商管理学院,贵州 贵阳 550025)

**摘要:**作为城市准公共交通,公共自行车对促进完善公共交通系统、助力城市发展具有重要意义。在提出租赁点需求集对效应、还车滞后效应以及考虑生命周期的基础上,建立了多时窗下以用户和供给方双边成本最低、同时满足租还需求、周转率以及加权平均步行距离等约束的混合整数规划选址布局模型。通过对模型求解,可以得到空间中实际将要修建租赁点的位置以及修建租赁点处所需布置的自行车数和锁桩数。

**关键词:**租赁点选址布局;集对效应;滞后效应;生命周期;加权平均步行距离;双边成本

**中图分类号:**U491

**文献标志码:**A

随着城市化的不断推进和城市尺度的不断扩大,仅仅将支撑城市发展的标准公交作为维持城市生命的中流砥柱明显已经显得捉襟见肘。由于标准公交本身存在不可克服的缺点,需要寻找一种新的方式作为标准公交的补集,与标准公交形成完善公交系统。作为城市准公共交通,公共自行车具有服务短距出行、接驳公共交通、支持绿色发展等优势特征,对促进完善公共交通系统、助力城市发展具有重要意义。

半个世纪以来全球五大洲 730 多个城市已经相继开展了公共自行车项目<sup>[1]</sup>。然而,公共自行车的发展受到系统租赁点选址布局的严重影响。

## 1 文献综述

纵观国内外需求预测和站点选址布局的研究文献浩如烟海,取得了很高研究成果。不少学者和相关研究人员对公共自行车需求和站点选址布局进行了深入研究并进行了综述<sup>[2-4]</sup>,研究主要包括定性研究和定量研究两部分,其中基于数学建模的定量研究占据了绝大部分<sup>[5-11]</sup>。

在定量研究方面,诸多文献以里昂、巴黎等著名的自行车系统进行研究<sup>[5-11]</sup>,如 Borgnat<sup>[5]</sup>在其一篇针对里昂自行车系统的研究的文章中提出,可以通过对里昂每天和每周的租、还数量模式进行分析归纳,以预测每小时的自行车租借需求。该方法仅仅是对需求进行预测和站点的规模确定,并没有对站点的选址问题进行研究。事实上将需求预测和站点选址布局结合起来更加有实际意义,如罗海星等<sup>[6]</sup>则在此方面进行了研究,其建立了以建设运营费用最小、用户走行成本最小和未覆盖需求的惩罚最小为优化目标的自行车站点选址优化模型。不少文献建立了上层制约、下层服从的双层规划模型,对公共自行车的需求和站点选址及布局进行研究,如李婷婷<sup>[9]</sup>,何流<sup>[10]</sup>等从决策者和用户的角度,在满足出行需求的基础上,建立了以区域用户出行费用最低和决策者总成本最小为目标的双层规划布局模型,以求解出站点位置和小区借还需求在各站点的分配。此外,Chen Jingxu 等<sup>[11]</sup>的研究则是针对轨道交通站点影响范围内的公共自行车站点的布局问题。其研究方法是根据用地性质和居住人口将租赁点分为三个等级,根据每个等级的公共自行车分担率确定租赁点的个数(选址问题)以及各租赁点车辆数量(布局问题)。

收稿日期:2018-03-15

作者简介:覃鹏(1992—),男,工程师,硕士,主要研究方向为交通运输系统规划设计与控制。

在定性研究文献方面,李黎辉等<sup>[12]</sup>提出“总量控制,分类分块,平衡规模,灵活调整”的总体布局思路。同时,在耿雪等<sup>[13]</sup>,朱玮等<sup>[14]</sup>和蔡丹等<sup>[15]</sup>在介绍和分析国外如巴黎和里昂的公共自行车需求预测和布局研究中,虽然看似定量研究,其实更像是定性研究。

以往研究对推进公共自行车租赁点选址布局理论方法的发展具有一定作用。在需求预测的基础上,考虑空间站点数量和位置的选择、各站点的自行车和车桩数量的确定以及经济合理性等约束,建立起单边(只考虑用户或者投资者一方广义成本)或者双边成本(同时考虑用户和投资者双方广义成本)的选址布局模型。不可否认的是,以往研究中确实存在着不足之处,其中最大缺点在于,选址布局模型中往往没有考虑租赁点处的租借需求会因为多个小区共同使用一个租赁点而比预测阶段所需需求要减少的情况(即集对效应),以及没有发现因为从每一次完整周期的开始时的还车需求发生时间要晚于租借自行车需求发生的时间而导致实际需求较预测阶段需求要增加的现象(即滞后效应)。如何将这些现象情况考虑进来,构建合理的模型方法有待研究。此外,一些模型<sup>[8-9]</sup>(尤其是大多数考虑了用户成本和建设方成本的双层模型)提出考虑双方成本,但是却没有给出一个切实可行的计算方法,如何将用户无形的时间成本转化为有形的资本成本以实现时间成本和建设成本等的量纲一致和双方成本的权重平衡的方法有待研究。本研究着重在这方面进行研究,以建立各加合理的选址布局模型。

## 2 研究创新论点及假设

### 2.1 研究创新论点

正如上面所言,以往的研究存在着一些不足之处。为弥补以往研究不足,本研究对公共自行车系统的租赁点选址布局方法进行了研究。研究提出的主要创新论点如下:

1) 研究提出选址布局需要考虑租赁点集对效应。本研究提出了集对效应,并对集对效应及对其进行表征的集对系数进行了定义。所谓集对效应,就是指:在规划阶段原本存在出行交换的某几个小区因为实际建设情况,这几个小区需共同使用一个租赁点,从而导致该几个小区两两之间使用公共自行车的出行转化为其他方式的出行,最终导致租赁点处的实际租、还需求少于预测需求的现象。集对系数则是用于描述小区之间的集对关系的参数,是指:当某几个小区之间发生共用租赁点现象时,则这几个小区中两两小区之间的集对系数为1,否则为0。

2) 研究提出选址布局需要考虑租赁点还车滞后效应。本研究提出了还车滞后效应,并对还车滞后效应及对其进行表征的滞后系数进行了定义。所谓还车滞后效应,就是指:即从每完成一次完整的租、还周期以后的开始时刻,总是先发生租借自行车的需求,一段时间后才相继发生归还自行车的需求,从而导致租赁点处的实际租、还需求多于预测需求的现象。还车滞后系数是指还车需求发生时刻晚于租车需求发生时刻的时段长度与研究子时段的比值。

3) 研究提出双边成本计算应该基于生命周期。本研究提出使用基于最小生命周期作为计算双边成本的整体研究时段,同时提出时间需求方单位时间价值并给出时间价值计算式。研究还提出了加权平均步行距离和成本直线折旧算法,作为计算步行时间求解需求方成本的基础。通过将需求方的时间成本转化为实在货币成本,既可以实现需求方时间成本与供给方成本的量纲统一,又可以实现供需双方在双边成本中的平等权重,并最终使得双边成本具有科学性。

### 2.2 研究假设与说明

由于现实和理论之间总是或多或少存在一些差距,因此一个好的模型不是没有假设条件,而是假设条件应当合理、有可能达成或者对结果影响甚微。为了降低建模的复杂程度,本研究特在此详述假设:

假设1 规划区域所有出行者租、还需求都能得到满足,否则需求预测意义不大;

假设2 规划区域总能根据行政区划、地理条件等原则完成分区,且所有分区的土地使用都支持修建租赁点,否则需求无法满足;

假设3 任意一个分区内的所有出行者的出行起、讫点到租赁点的距离相等;

假设4 出行者总是在距出行起(讫)点最近的租赁点租(还)车;

假设5 每个租赁点的服务区域不存在重叠,故所有分区之间出行者的租、还需求不发生转移,且每个分区最多修建一个租赁点,即为二值函数(0或者1);

假设6 在足够长的统计时间内,任意一个租赁点处或者系统总的租借需求与还车需求相等;

假设7 高峰期交通拥堵会导致调度在高峰期无法实现,所以不考虑调度;

假设8 当小区的出行需求不低于某个阈值时,该小区才能成为备选点小区;

假设9 每个小区锁桩与自行车数量受到上限约束。

说明:

假设1,假设2,假设4都是很容易理解的;

假设3要求出行者从某个小区的任一空间坐标到该小区租赁点的步行距离都相等,或者从某小区的租赁点到该小区的任一空间坐标的距离都相等,因而对同一个租赁点而言,其租车步行距离与还车步行距离也是相等的;

假设5要求不同小区的租赁点只对其所在小区进行服务,且每个小区只能建设一个租赁点,当某个小区没有修建租赁点时,宜将该小区与其最邻近的小区整合或者将该小区的需求分配给附近分区的租赁点(注意:这并不是需求转移);

假设6表明在足够长的统计时间周期内,整体上租借需求与还车需求相同;

假设7表明在高峰期调度是无法完成的,且调度原本会产生过多费用,故不考虑调度;

假设8要求建设租赁点小区的需求必须大于某个下限约束值,否则将会导致其他小区的步行距离增大或者导致租赁点建设成本增加;

假设9是基于土地有限性和小区尺度合理性的,其要求每个租赁点的锁桩数量不大于某个规定的上限值。

### 3 选址布局模型建立

公共自行车租赁点选址布局的目标是:得到最优的租赁点位置、租赁点数量以及各租赁点自行车和锁桩的配置数量<sup>[8-9]</sup>。选址布局的主要影响因素是:租赁点建设成本、运营维护成本、用户出行成本和满意度、用地性质以及行政区划等。

#### 3.1 模型目标函数及约束条件分析

系统由供给方提供,需求方使用。研究同时考虑参与者双方的成本,在符合一定的服务水平(可以利用租、还车步行距离作为单一评价指标)规范和满足一定的周转率为约束、以及不考虑系统调度的基础上建立以双方出行成本最小为目标的选址布局模型。用户的广义成本可以认为是租、还步行距离的函数。用户的租、还步行距离用区域内所有用户的租、还步行距离的平均值表示,则用户广义成本可以由平均租、还距离与时间成本系数相乘得到,则区域内总的用户广义成本为所有用户的广义成本之和。投资者的成本则认为是租赁点数量、各租赁点自行车和车桩的数量的函数。投资者区域内的总成本还与自行车单价、锁桩建设单价以及每个站点固定建设成本等系数有关,故投资者的区域内的总成本由自行车购买成本、锁桩修建成本、站点建设固定成本、以及车辆和锁桩的维护成本组成,可由区域自行车总量、锁桩总量及站点数量表示。

为满足一定的周转率约束,则规划区域的实际总需求量与配置自行车总量之比可以表示为系统自行车的周转率,而锁桩的周转率可以表示为总需求量与锁桩总量之比(由假设6可得)。实际总需求量的推算需要结合预测所得各小区之间公共自行车出行矩阵,根据上面所提及的创新论点进行集对转换和去除滞后性计算而得。为满足一定的服务水平约束,可以使用规划区域所有出行需求总量的加权平均步行距离表示。

#### 3.2 模型建立及解释

于是,为获得科学、合理、可行的租赁点选址布局模型,本研究基于以上所提出新论点与假设分析,在同时考虑供给方和需求方双方成本和满足需求的前提下,建立多时窗下以自行车周转率、锁桩周转率、系统加权平

均步行距离、单个租赁点步行距离以及站点容量等因素为约束,供需双方双边成本最小的选址布局模型

$$\text{Min} = \sum_{i=1}^n \{ [DRTT(I) + DRTN(I)] \times D(I) + 2 \times 0.8 \times \sum_{j=1}^n DW(I, J) \times L(I, J) \} \times DT \times VT/V(I) \quad (1)$$

$$\text{Min} = \sum_{i=1}^n F(I, I) \times [CF(I) + CM(I)] + XB(I) \times [CBF(I)] + CBM(I) + [XB(I) + XS(I)] \times [CSF(I) + CSM(I)] \quad (2)$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \sum_{j=1}^N F(I, I) = 1, \forall I \in I \end{cases} \quad (3)$$

$$\sum_{I=1}^N F(I, J) \leq NU \times F(J, J), \forall I \in I \quad (4)$$

$$\sum_{I=1}^N \sum_{J=1}^N F(I, J) \geq M \quad (5)$$

$$\sum_{I=1}^N \sum_{J=1}^N F(I, J) \leq N \quad (6)$$

$$F(I, J) \times L(I, J) \leq LS, \forall I, J \quad (7)$$

$$LX \leq LAU \quad (8)$$

$$LX \geq LAD \quad (9)$$

$$XB(I) \geq COE \times \sum_{T=1}^{TS} DRVT(I, T), \forall I \in I \quad (10)$$

$$XS(I) \geq COE \times \sum_{T=1}^{TS} DRVT(I, T), \forall I \in I \quad (11)$$

$$TSR \geq TRS \quad (12)$$

$$\text{s.t.} \quad TBR \geq TRB \quad (13)$$

$$XB(I) \geq COE \times \sum_{T=1}^{TS} DRVT(I, T), \forall I \in I \quad (14)$$

$$XB(I) \geq CMI, \forall I \in I \quad (15)$$

$$\sum_{T=1}^{TS} DNT(I, T) = \sum_{T=1}^{TS} DNN(I, T), \forall I \in I \quad (16)$$

$$\sum_{I=1}^N \sum_{T=1}^{TS} DNT(I, T) = \sum_{I=1}^N \sum_{T=1}^{TS} DNN(I, T) \quad (17)$$

$$F(I, J) = 0 \text{ OR } 1, \forall I, J; XB(I), XS(I) \in INT \quad (18)$$

模型目标函数和约束式子解释:

式(1)和式(2)分别表示区域内用户总的广义成本和投资者在规划区域内的总成本最小;式(3)表示每个小区都有可用的租赁点,满足租、还需求;式(4)表示第每个租赁点的自行车数量受到可得土地使用的限制;式(5)和式(6)表示系统的租赁点数量应该介于某个上下限值之间;式(7)表示每个小区为租、还自行车的步行距离应该小于某个上限值;式(8)和式(9)表示加权平均步行距离应该介于某个上下限值之间;式(10)表示任意时段每个租赁点的自行车数量都应该满足租借需求量;式(11)表示任意时段每个租赁点的额外锁桩数应该满足还车需求量;式(12)和式(13)分别表示区域系统的自行车周转率和锁桩的周转率应该大于某个下限值,旨在提高系统自行车和锁桩的利用率和减少供给方的成本;式(14)和式(15)分别表示每个租赁点的自行车数量应该介于某个上下限值之间,一方面因为受到用地的约束,另一方面也约束了加权平均步行距离;式(16)表示在一天之中每个租赁点的还车需求应该等于借车需求;式(17)表示一天之中所有

租赁点的还车需求总量应该等于借车需求总量;式(18)表示  $F(I, J)$  为 0-1 变量,及每个租赁点自行车数量和额外锁桩数量都为正整数。

模型参数解释:

$DT$  为根据自行车寿命期为 3 年以及法定节假日天数  $HN$  所确定的租、还天数,由下式计算

$$DT=3 \times (365-52 \times 2-HN) \tag{19}$$

$VT$  为单位时间价值系数:根据区域内居民的平均月收入  $MI$ (元)、平均每月工作时间  $WT$ (min) 计算,计算式如下

$$VT=AI/WT \tag{20}$$

$V$  为平均步行速度,单位:米/分钟; $D$  为租、还自行车所需要的步行距离。

$DRTT, DRTN$  分别表示每个小区经过集对效应后的租、还自行车的需求,由下式计算

$$DRTT(T)=\sum_{I=1}^N [1-EF(I, J)] \times [DA(I, J)+DB(I, J)+\dots] \tag{21}$$

$$DRTN(T)=\sum_{I=1}^N [1-EF(J, I)] \times [DA(J, I)+DB(J, I)+\dots] \tag{22}$$

式中: $F(I, J)$  为决定  $I$  小区是否到  $J$  小区租、还自行车的 0-1 决策变量,  $DA(I, J), DB(I, J), \dots$ , 为将一天划分的每个时段各小区之间的出行量。 $EF(I, J)$  为集对效应系数,表明  $I$  小区和  $J$  小区之间的出行关系,若  $EF(I, J)=1$ ,则小区  $I$  和小区  $J$  之间的出行受到集对效应影响,采用步行方式。 $EF(I, J)$  可由下式计算

$$EF(I, J)=\sum_{K=1}^N F(I, K) \times F(J, K), \forall I, J, I, J, K \in N \tag{23}$$

$DW$  为由于集对效应导致的步行需求数量,可由下式计算

$$DW(I, J)=EF(I, J) \times [DA(I, J)+DB(I, J)+\dots], \forall I, J \tag{24}$$

$CF, CM$  为分别表示每个站点的规定成本和维护成本; $CBF, CBM$  为分别表示一辆自行车的固定成本和维护成本; $CSF, CSM$  为分别表示一个锁桩的固定成本和维护成本; $NU$  为共用一个租赁点的小区数上限值,受用地约束并同时约束步行距离; $M, N$  为分别表示规划区域修建租赁点数的下限和上限值,约束步行距离; $LS$  为单次出行步行距离上限值; $LX$  为规划区域平均每次出行的租、还步行距离,由于部分需求因为集对效应而出现使用步行方式完成出行的现象,因此本研究提出考虑所有出行的加权平均距离计算式

$$LX=\left\{ \sum_{i=1}^n [DRTT(I)+DRTN(I)] \times D(I)+2 \times 0.8 \times \sum_{j=1}^n DW(I, J) \times L(I, J) \right\} / \left[ \sum_{i=1}^n DRTT(I)+DRTN(I) \right]+2 \times 0.8 \times \sum_{j=1}^n DW(I, J) \tag{25}$$

$LAU, LAD$  为分别表示  $LX$  的上、下限值,约束步行距离; $XB$  为每个租赁点所配置的自行车数量; $XS$  为每个租赁点配置的大于  $XB$  的额外锁桩数量; $COE$  为自行车和锁桩的扩大系数,为保证满足当需求波动时租、还需求; $DRV T, DRV N$  为分别表示在集对效应基础上由滞后效应说计算得到每个租赁点在每个时段的实际租借需求和额外还车需求。

$DRV T$  分以 4 种情况进行计算:

1) 当式(26)成立时,  $DRV T$  使用式(27)计算

$$\begin{cases} DNT(I, T) > DNN(I, T) \\ DNT(I, T) - RB(I, T) - [1 - TB(I) / TN(T)] + 1 > 0 \end{cases} \tag{26}$$

$$DRV T(I, T) = DNT(I, T) - RB(I, T) - [1 - TB(I) / TN(T)] + 1 \tag{27}$$

2) 当式(28)成立时,  $DRV T=0$

$$\begin{cases} DNT(I, T) > DNN(I, T) \\ DNT(I, T) - RB(I, T) - [1 - TB(I) / TN(T)] + 1 \leq 0 \end{cases} \tag{28}$$

3) 当式(29)成立时,  $DRV T$  使用式(30)计算

$$\begin{cases} DNT(I, T) \leq DNN(I, T) \\ DNT(I, T) \times TB(I) / TN(I) - RB(I, T) > 0 \end{cases} \quad (29)$$

$$DRV T(I, T) = DNT(I, T) \times TB(I) / TN(T) - RB(I, T) \quad (30)$$

4) 当式(31)成立时,  $DRV T = 0$

$$\begin{cases} DNT(I, T) \leq DNN(I, T) \\ DNT(I, T) \times TB(I) / TN(I) - RB(I, T) \leq 0 \end{cases} \quad (31)$$

$DRV N$  分两种情况计算:

1) 当式(32)成立时,  $DRV N = 0$

$$RS(I, T) + DRV T(I, T) - RB(I, T) > 0 \quad (32)$$

2) 当式(33)成立时,  $DRV T$  使用式(34)计算

$$RS(I, T) + DRV T(I, T) - RB(I, T) \leq 0 \quad (33)$$

$$RB(I, T) - RS(I, T) - DRV T(I, T) \quad (34)$$

在以上各式中:  $RB(I, T)$  和  $RS(I, T)$  分别  $T$  时刻第  $I$  租赁点可以供租借的自行车数量和可以供还车的空闲锁桩数量;  $TB(I)$  为每个租赁点处初始还车需求相对于初始借车需求的滞后时间(假设同一个租赁点在每个时间段的滞后时间相同),  $TN(T)$  表示每个子时间段的长度(研究考虑五个子时间段, 各子时间段长度通常不一样, 需根据各城市实际出行需求值和出行时段确定;  $NB(I, T) = TB(I) / TN(T)$  即为滞后系数)。

$RB$  使用式(35)计算

$$RB(I, T) = DNN(I, T) \times TB(I) / TN(T) \quad (35)$$

对  $RS$ , 当式(36)成立时, 使用式(37)计算, 否则  $RS = 0$

$$RS(I, T) + DRV T(I, T) - RB(I, T) > 0 \quad (36)$$

$$RS(I, T) + DRV T(I, T) - RB(I, T) \quad (37)$$

$TSR, TBR$  分别表示系统自行车和锁桩的周转率, 使用下式计算

$$\begin{aligned} TBR &= \left[ \sum_{I=1}^N DRTT(I) \right] / \left[ \sum_{I=1}^N XB(I) \right] \\ TSR &= \left[ \sum_{I=1}^N DRTT(I) + DRTN(I) \right] / \left[ \sum_{I=1}^N XB(I) + XS(I) \right] \end{aligned} \quad (38)$$

$TSR, TBR$  为分别表示系统自行车和锁桩周转率的下限值, 保证系统的使用效率;  $CMX, CMI$  为分别表示每个租赁点配置自行车数量的上、下限值;  $DNT, DNN$  为分别表示每个小区受集对效应之后的实际租、还量, 使用以下式计算

$$\begin{aligned} DNT(I, T) &= \sum_{J=1}^N F(J, I) \times DRNT(J, T) \\ DNN(I, T) &= \sum_{J=1}^N F(J, I) \times DRNN(J, T) \end{aligned} \quad (39)$$

式中:  $DRNT$  和  $DRNN$  分步使用下式计算

$$\begin{aligned} DRNT(I, T) &= \sum_{J=1}^N [1 - F(J, I)] \times D_T(I, J) \\ DRNN(I, T) &= \sum_{J=1}^N [1 - F(J, I)] \times D_T(J, I) \end{aligned} \quad (40)$$

式(40)中,  $DT(I, J)$  的下标  $T$  表示所代替的时间段, 当  $T=1, 2, 3, \dots$ , 分别有  $DT(I, J) = DA(I, J), DB(I, J), DC(I, J), \dots$ , 其意义与式(21)中所表示完全相同。

根据式(1)~式(40), 可以对模型进行求解。模型求解出, 得到最小的双边成本, 同时给出  $F(I, J)$  矩阵结

果以及每个租赁点的所需配置的自行车数量和锁桩数量。由于同等考虑用户成本和投资者成本,因此可以将式(1)和式(2)两式合在一起,组成一个单目标式。对其他所有约束式,可以根据实际计算或者给出约束式中的非决策变量值,同时可以根据求解需要和约束的强弱性对约束式的个数进行增减。

## 4 算例分析

模型的提出不是为了提出,而是为了应用以发挥应用价值。然而,鉴于实际中和国内的数据资料等环境原因,很难获得某个城市或者区域的规划资料,故本研究以一个假定出行分布矩阵作为模型算例分析的基础。以下皆假定规划的该公共自行车系统是在中国南方某个小城市(下简称甲市)进行的,相关基础数据也是根据甲市社会经济发展水平进行假定。

### 4.1 基础数据设定

甲市地处华南地区,城市地形平坦、气候温和,适宜推广自行车交通。现根据相关资料和经验有甲市6个交通小区的公共自行车出行分布矩阵如表1所示。表中每一列表示吸引量,每一行表示发生量,因此最右边一列为加总后的借车数量,最后一行为加总后的还车数量。

由于本研究提出了分时段考虑出行需求问题,根据国内外相关统计资料总结的出行规律,按照出行量可以将一天的出行划分为5个连续时段,早高峰时段(7:00-8:30),上午低谷时段(8:30-11:00),中午平峰时段(11:00-12:30),下午低谷时段(12:30-16:00)和晚高峰时段(16:00-17:30)。故将出行分布矩阵划分为5个子出行分布矩阵,每个矩阵代表某个连续时段的出行分布量。

表1 南市公共自行车出行分布矩阵

Tab.1 The matrix of trip distribution

辆

RENT	TIME1	TIME2	TIME3	TIME4	TIME5	Sum
ZONE1	43	14	24	13	13	107
ZONE2	39	14	18	14	20	105
ZONE3	37	15	22	15	16	105
ZONE4	26	15	22	14	32	109
ZONE5	15	10	21	13	51	110
ZONE6	17	13	25	11	52	118
Sum	177	81	132	80	184	654

同时,6个小区之间的欧氏距离所组成的距离矩阵如表2所示。

表2 小区间距离矩阵

Tab.2 The matrix of distance between zones

m

$L(i,j)$	ZONE1	ZONE2	ZONE3	ZONE4	ZONE5	ZONE6
ZONE1	100	250	1 100	600	1 200	950
ZONE2	250	100	850	900	550	1 100
ZONE3	1 100	850	100	600	750	500
ZONE4	600	900	600	100	250	700
ZONE5	1 200	550	750	250	100	650
ZONE6	950	1 100	500	700	650	100

同时,根据式(1)至式(40)知,欲求解选址布局模型还需要其他基础数据。结合甲市社会经济发展水平,本研究对相关基础数据进行设定。

表 3 模型所需基础数据  
Tab.3 The basic data for the model

参数	取值	解释	单位
$NU=$	3	$NU$ 取值为 3, 作为对容量和步行距离的约束	-
$M=$	3	对租赁点个数的下限约束	-
$N=$	6	对租赁点个数的上限约束	-
$LM=$	120	对加权平均步行距离的下限约束	m
$LA=$	400	对加权平均步行距离的上限约束	m
$LS=$	600	对每次出行步行距离的上限约束	m
$CMX=$	100	对每个租赁点自行车数量上限约束	辆
$CMI=$	10	对每个租赁点自行车数量下限约束	辆
$TRB=$	3	对系统自行车周转率的下限约束	-
$TRS=$	2	对系统车锁桩周转率的下限约束	-
$DT=$	750	为考虑的一般自行车生命周期	天
$VT=$	0.673	根据月薪计算出的用户的时间价值	元/min
$COE=$	1	自行车和车锁桩的扩大系数	-
$MOD$	1	需求方相对于供给方的出行成本权重	-
$TN=$	-	每个时段持续时间, 分别为: 90, 150, 90, 210, 90	min
$TB$	20	还车滞后时间(以每天早晨 7:00 为起始点)	min
$V=$	72	用户平均步行速度(1.2m/s)化为分钟	m/min
$CF=$	30 000	直线折旧所得一个租赁点的固定成本	元
$HN=$	11	每年法定节假日天数	天
$AI=$	8 000	用户平均月收入	元
$WT$	11 880	每月工作 22 天, 每天工作 9 小时, 一小时 60 分钟	min
$CM=$	216 000	以三年为计算期的每个租赁点的员工工资成本	元
$CBF=$	1 400	一辆自行车的购置成本(购买+运输+安装)	元
$CBM=$	550	以三年为计算期的一辆自行车的维护成本	元
$CSF=$	3 000	直线折旧所得一个锁桩的固定成本	元

在表 3 中, 直线折旧表明设备的价值与时间呈现反相关的直线函数关系。

#### 4.2 模型求解

根据表 2 及表 3 的数据资料, 结合式(19)~式(40), 可以对研究建立模型进行求解。使用 Lingo 进行编程求解, 可得到如下图所示的结果。

同时, 可得到选址布局方案如图 2~图 4 所示。

由图 2 知, 应该在小区 1, 小区 3, 小区 5 和小区 6 修建租赁点。同时小区 2 的租、还需求和小区 4 的租、还需求分别由小区 1 和小区 5 的租赁点满足, 即  $F(2,1)=1$ , 和  $F(4,5)=1$ , 小区 1 和小区 2 共用一个租赁点, 小区 4 和小区 5 共用一个租赁点。



由图4知,模型所得的自行车周转率为3.27,大于下限约束值3;锁桩周转率为2.43,大于下限约束值2;租赁点修建格数为4,介于上限6和下限3之间;加权平均步行距离为158,介于上限约束值400和下限约束值120之间;每个小区的租、还步行距离 $D$ 都小于约束上限值 $LS(=600)$ 。

同时,根据传统选址布局的方法<sup>[7-10]</sup>,同样可以求得传统方法所得最优方案的 $F(I,J)$ 矩阵与本研究所提出模型方法所得相同。其对应的目标函数、周转率和加权平均步行距离以及自行车数量和锁桩数量分别见表5~表7。

表5 传统方法最优方案最优目标值

Tab.5 The optimal target value of the best traditional method

成本组成	值	单位
需求方成本	1 367 031.25	元
供给方成本	2 448 900	元
双边成本	3 815 931.25	元

表6 传统方法最优方案周转率和加权平均步行距离

Tab.6 The value of the turnover rate and the weighted mean of walking distance of the best traditional method

项目	值	单位
自行车周转率( $TRB$ )	3.674	次/(辆·d)
锁桩周转率( $TRS$ )	2.691	次/(桩·d)
加权平均步行距离( $LX$ )	149	m

表7 传统方法最优方案各租赁点自行车和锁桩数

Tab.7 The number of bicycles and locking piles at each rental point of the best traditional method

小区编号	1	2	3	4	5	6
自行车数/辆	57	0	34	0	47	40
锁桩数/个	62	0	39	0	80	62

### 4.3 对比分析

结合以上的求解结果,可以对本研究提出的方法(以下简称为P方法)所得方案与传统方法(以下简称为T方法)所得方案进行对比分析。

首先,根据图1和表5,可知P方法最优方案较T方法最优方案的双边成本低13 907元(值越小越好);其次,根据图4和表6,知T方法所得方案的自行车周转率和锁桩周转率稍高于P方法所得方案(值越大越好),T方法所得方案的加权平均步行距离则低于P方法所得方案(值越低越好);最后,根据表4和表7,知P方法所得方案的自行车和锁桩数量小于T方法所得方案(值越低越好),降低了供给方成本从而降低双边成本,这表明P方法可以降低原始的公共自行车出行分布矩阵值,从而减少对应的自行车和锁桩配置数量。因此,综合考虑认为P方法所得最优方案为适合南市的最优方案。

## 5 结论

本研究从考虑供给方的需求方双边成本的角度出发,在满足一定周转率约束和服务水平规范的基础上,提出了基于集对效应和滞后效应的以供需双方成本最小为目标的选址布局模型。通过算例分析,表明本研究所提出方法在多方面由于传统常用的选址布局模型,当然本研究所提出模型也存在一些不足之处(如周转率稍低于传统模型)。总体而言,算例分析表明本研究所提出方法在一定程度上要优于传统的选址布局方法。

### 参考文献:

- [1] MEDDIN DEMAIO P. The bike-sharing world map[EB/OL]. (2014-08-02). <http://bikesharingworld.com>.
- [2] 周杨. 公共自行车系统的研究进展与展望[J]. 城市发展研究, 2014(9):118-124.

- [3] FIS HMAN E. Bike share: A synthesis of the literature. *Transport Reviews: A transnational Transdisciplinary Journal*, 33.
- [4] SHAHEEN S. *Bike-sharing across the globe*[M]. MIT Press, 2012.
- [5] BORGNAT P. Studying Lyon's Velo'v: A statistical Cyclic Model[C]//In: European Conference on Complex Systems. Warwick University, UK. 21–25 September.
- [6] TIEN DUNG TRAN. *Comprendre et Prédire l'Usage de Vélo'v*[D]. Lyon, France; Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat, 2011.
- [7] 刘志广. 基于 Logit 模型的重需求性公共自行车租赁点配车模型[J]. *交通信息与安全* 2015(3):35–39.
- [8] 罗海星. 城市公共自行车租赁站点选址方法研究[D]. 北京:北京交通大学, 2013.
- [9] 李婷婷. 城市公共自行车租赁点选址规划研究[D]. 北京:北京交通大学, 2010.
- [10] 何流. 城市公共自行车租赁点布局优化模型[J]. *武汉理工大学学报:交通科学与工程版*, 2012(1):129–133.
- [11] CHEN JINGXU. Determining the optimal layout design for public bicycle system within the attractive scope of a metro station[J]. *Mathematical Problems in Engineering*, 2015(2314):1–8.
- [12] 李黎辉. 武汉市公共自行车租赁点布局规划[J]. *城市交通*, 2009, 7(4):38–44.
- [13] 耿雪. 巴黎公共自行车租赁点规划设计[J]. *城市交通*, 2009(4):21–29.
- [14] 朱玮. 法国公共自行车系统布局方法与实证研究——以巴黎和里昂为例[J]. *规划研究*, 2015, 130(51):64–70.
- [15] 蔡丹. 公共自行车站点布局及使用特征研究——以里昂为例[D]. 上海:同济大学, 2014.

## Research on Selection and Layout Model for Rental Station of Public Bike Based on Multiple Time–Window

Qin Peng<sup>1</sup>, Zhao Zuju<sup>2</sup>, Gui Xiang<sup>1</sup>

(1. Guizhou Provincial Architectural Design & Research Institute Co., Ltd., Guiyang 550081, China;

2. College of Business and Administration, Guizhou University of Finance and Economics, Guiyang 550025, China)

**Abstract:** Public bikes (PB), a kind of transport, play an important role in improving public transit system (PTS) and promoting city development. According to shortcomings in previous researches concerning the selection and layout of rental stations (RSSL) for urban public bike system (PBS), this paper conducted some researches on the model. Then, on the basis of proposing the Gather Effect (GE), the Lag Effect (LE) and the Life Circle (LC), it developed a mixed-integer programming model for RSSL problems so as to minimize the bilateral cost, which is subjected to the demand of renting and returning, turnover rate and weighted average walking of users. By solving the model, the spatial position of rental stations may be actually set up, and the number of bikes and lock-stakes can be calculated.

**Key words:** selection and layout of the rental station; gathering effect; lag effect; life circle; weighted average walking distance; bilateral cost