

# 城市共享单车停放点选址研究 ——以深圳市高新园区为例

黄伊萍, 杨雯  
(深圳大学管理学院, 广东 深圳 518060)

**摘要:** 针对共享单车乱停乱放问题, 以总体服务质量最大化和选址数量最小为目标, 建立基于渐进覆盖的多目标选址模型。通过对深圳市南山区高新园区的共享单车停放点选址的实例分析, 采用LINGO软件求解得到该区域最佳共享单车停放点以及需求点与停放点之间的对应关系。最后, 对选址数量上限的敏感性分析显示了共享单车停放点选址对用户满意度和管理成本的影响, 从而为政府 and 企业的决策提供依据。

**关键词:** 交通管理; 共享单车; 选址; 渐进覆盖; 数学规划; 深圳市

Urban Bike Sharing Parking Sites Planning: Taking High-Tech Park in Shenzhen as an Example

Huang Yiping, Yang Wen

(College of Management, Shenzhen University, Shenzhen Guangdong 518060, China)

**Abstract:** In order to solve the disordered parking of bike sharing, this paper develops a multi-objective site selection model based on gradual coverage, to maximize the overall service quality and minimize the site quantity. Based on the case analysis of site selecting of bike sharing parking sites in Shenzhen High-Tech Park, the paper uses LINGO to calculate the optimal locations for parking sites and the corresponding relation between demand points and parking sites. Finally, the sensitivity analysis of the upper limit of the location number reveals the impact of bike sharing parking points on customers' satisfaction and administration cost, which can provide a basis for government and enterprise decision making.

**Keywords:** traffic management; bike sharing; site selection; gradual covering; mathematical programming; Shenzhen

收稿日期: 2017-06-12

基金项目: 国家自然科学基金“供需不确定下制造企业订单承诺决策研究”(71402102)

作者简介: 黄依萍(1995—), 女, 硕士, 广东深圳人, 主要研究方向: 物流管理。

E-mail: huangypszu@163.com

通信作者: 杨雯(1981—), 女, 博士, 湖南怀化人, 讲师, 主要研究方向: 供应链与物流系统仿真与优化。E-mail: wenyang@szu.edu.cn

## 0 引言

2016年, 共享单车迅速普及, 大量出现在城市街头。截至2017年1月22日, 共有四家互联网自行车企业(摩拜、ofo、小蓝、小鸣)在深圳市运营, 累积投放自行车约30万辆<sup>[1]</sup>。相对于传统的有桩公共自行车系统, 共享单车因随借随还、随停随走、自由方便的特点更受大众喜爱。无桩共享单车的面世打通了城市公共交通出行的最后一公里, 极大地便利了市民的出行。但共享单车随意停放的优势, 也成了运维管理的一大

症结。

随着使用人数的增加, 乱停放的问题日益凸显, 给城市运营、社会治理带来了新的挑战<sup>[2]</sup>。乱停放的共享单车不仅影响市容, 还阻碍行人和非机动车的正常通行。调度成本也成为共享单车运营中的最大成本。为了规范共享单车的停放, 需要推进道路两侧共享单车停放区域的规划和建设<sup>[3]</sup>。对共享单车停放点进行合理选址, 有利于引导市民规范有序地停放自行车, 解决共享单车乱停放、调度成本高的问题。

共享单车停放点选址跟一般设施选址问

题一样,其目的是确定一个或多个设施点能够满足一定的标准和需求。文献[4]针对工厂选址问题建立多目标规划模型,以最小化总成本及未被覆盖的需求点。除了成本和覆盖范围,文献[5]在海啸多发地带的公共设施选址问题里还考虑风险因素。文献[6]以成本、客户服务水平及客户响应水平为目标,对分销网络的选址问题进行了研究。

有关自行车停放点的研究多数聚焦于有桩公共自行车。文献[7]以巴黎市的公共自行车租赁系统为例,通过预测出行需求量来确定租赁点的规模,并且阐述了设置租赁点的影响因素、定位方法以及布设原则。一些学者采用定性定量相结合的方法(如层次分析法、模糊综合评价模型等)评估选择公共自行车租赁点<sup>[8-10]</sup>。由于公共自行车租赁点的选址具有较多的量化指标,如步行距离、建设成本等,因此很多学者采用定量方法进行研究。文献[11]通过建立双层规划模型以使出行成本和设施建设成本最小化,并用遗传算法求解模型,得到公共自行车租赁点的最优布局。文献[12]针对柳州市公共自行车租赁点选址现状、影响因素及主要问题进行分析,提出相应的解决办法,并运用基于集合覆盖方法的公共自行车租赁点选址模型进行案例分析。

对于覆盖选址问题,许多学者提出了不同的覆盖模型。传统的覆盖选址模型中需求点的覆盖只分为两种情况,要么在设施点服务半径内被视为完全覆盖,要么在设施点服务半径外被视为完全不覆盖。然而,设置严格覆盖半径并不切合实际情况,假设覆盖半径为100 m,在99.9~100.1 m之间不一定会出现完全不同的覆盖情况。基于此,文献[13]最早提出了逐渐覆盖模型的概念,并描述了需求线性递减的逐渐覆盖模型。文献[14]提出非凸非凹的渐进覆盖模型来描述距离和覆盖水平之间的变化关系。文献[15]最早建立了基于服务质量的渐进覆盖模型,提出可接受的最小服务水平的概念和不同的覆盖函数。文献[16]从服务质量的视角出发,建立了最大化总覆盖、最大化最小覆盖和最小化未覆盖的服务需求水平的多目标逐渐覆盖模型。文献[17]建立了以总需求服务质量最大化为目标的体验店选址模型。基于渐进覆盖和服务质量的多目标选址模型中,使用者在覆盖距离内完全覆盖,服务质量可以得到保证,中间部分服务质量随着距离的增大

而不断下降,当距离值超过某个范围以后完全不覆盖,服务质量变为零。因此渐进覆盖模型更贴近共享单车停放点选址的实际情况。

共享单车停放点选址问题与公共自行车租赁点选址问题不同,其特点是可以任意地点无桩停放,即不用考虑建桩数量。本文将基于渐进覆盖方法建立共享单车选址问题的0-1混合整数规划选址模型,并以深圳市南山区高新园区为例,在实地调查的基础上,利用该模型为该区域共享单车停放点的布局提供科学依据。

## 1 共享单车停放点选址模型

在共享单车停放点布局优化问题中,一方面,要考虑用户满意度。共享单车作为公共交通的补充以及短距离出行的代步工具,其特点是可以任意地点无桩停放。如果设置固定的共享单车集中停放点,其服务质量的高低主要取决于用户出发地或目的地与停放点之间的距离,即用户获得服务需要消耗的时间。将用户出发地或目的地与停放点的距离转化反映为用户时间满意度,采用余弦分布时间满意度函数作为服务质量水平函数,建立基于服务质量的渐进覆盖模型,并以停放点的总体服务质量最大化为目标。另一方面,需要考虑设置停放点给运营部门带来的管理成本。随着停放点选址数量的增加,相应的管理成本(如调度成本)也随之提高,而运营部门是以成本最小化为目标。该问题包含了两种不同的目标,为多目标决策问题。因此,建立如下共享单车选址模型:

$$\max Q = \sum_{i \in N} \sum_{j \in M} w_i q_j y_{ij}, \quad (1)$$

$$\min A = \sum_{j \in M} x_j, \quad (2)$$

$$\text{约束条件} \sum_{j \in M} y_{ij} \geq 1, \quad \forall i \quad (3)$$

$$y_{ij} \leq x_j, \quad \forall i, j \quad (4)$$

$$\sum_{j \in M} Cap_j y_{ij} \geq w_i, \quad \forall i \quad (5)$$

$$\sum_{j \in M} Cap_j x_j \geq \sum_{i \in N} w_i, \quad (6)$$

$$x_j \in \{0, 1\}, \quad \forall j \quad (7)$$

$$y_{ij} \in \{0, 1\}, \quad \forall i, j \quad (8)$$

式中:  $Q$  为共享单车停放点的总体服务质量;  $A$  为共享单车停放点的选址数量/个;  $N$  为需求点集合;  $M$  为共享单车停放点集合;  $w_i$  为需求点  $i$  的需求量/个;  $d_{ij}$  为需求点  $i$  到停放点  $j$  的距离/m;  $q_j$  为停放点  $j$  对

需求点  $i$  的服务质量； $Cap_j$  为停放点  $j$  的规模容量/个； $x_j$  表示当在  $j \in M$  设停放点时为 1，否则为 0； $y_{ij}$  表示当需求点  $i \in N$  由停放点  $j \in M$  提供服务时为 1，否则为 0。

其中，式(1)、式(2)是目标函数，表示停放点的总体服务质量最大化和选址数量最小；式(3)确保每个需求点都能被停放点满足；式(4)表明只有设立的停放点才能为需求点提供服务；式(5)保证每个需求点对应的停放点的规模容量之和能够满足其需求量；式(6)保证设立的所有共享单车停放点的总规模

容量能够满足所有需求点的总需求量；式(7)、式(8)是 0-1 约束。

式(1)中的服务质量函数  $q_{ij}$  选取余弦分布时间满意度函数，见式(9)。该函数曲线是截取余弦函数曲线的  $\pi/2$  到  $3\pi/2$  的部分。该曲线在阈值  $\bar{D}_1$  和  $\bar{D}_2$  附近的服务质量变化较小，曲线中间部分的斜率较大，也说明了这个范围的服务质量变化较大。但距离值一旦超过某个范围以后，服务质量变为 0，即该停放点不为需求点提供服务。

$$q_{ij} = \begin{cases} 1, & d_{ij} < \bar{D}_1 \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos\left(\frac{\pi}{\bar{D}_2 - \bar{D}_1} \left(d_{ij} - \frac{\bar{D}_2 + \bar{D}_1}{2}\right) + \frac{\pi}{2}\right), & d_{ij} \in [\bar{D}_1, \bar{D}_2] \\ 0, & d_{ij} > \bar{D}_2 \end{cases} \quad (9)$$

## 2 实例分析

以深圳市南山区高新园区为例，规划区域北至深南大道，南接白石路，西临科技南路，东抵沙河西路，面积约为 0.56 km<sup>2</sup>。轨道交通 1 号线在深南大道设有高新园站。该规划区主要为办公功能区，高新园区内共享单车的使用者多为上班族，用途主要是短距离通勤或者换乘公共汽车与地铁。

图 1a 是高新园区内共享单车集中停放需求点的分布情况。上班族由于赶时间，一般

会选择将单车就近停放在人行道边和绿化带旁，影响到行人的通行和路面交通的安全。

通过实地收集、整理高峰期高新园区连续一周五个工作日共享单车的需求数量(见增强出版网络文件附表 1<sup>①</sup>)，将需求数量的均值作为每个需求点的需求量  $w_i$  (见表 1)。

高新园区是开发比较成熟的区域，并不能在任意位置进行停放点选址。因此，该案例属于离散型选址问题。需要先结合实际情况，按照一定的原则方法选取备选停放点，然后再根据所选的停放点能否满足需求量以

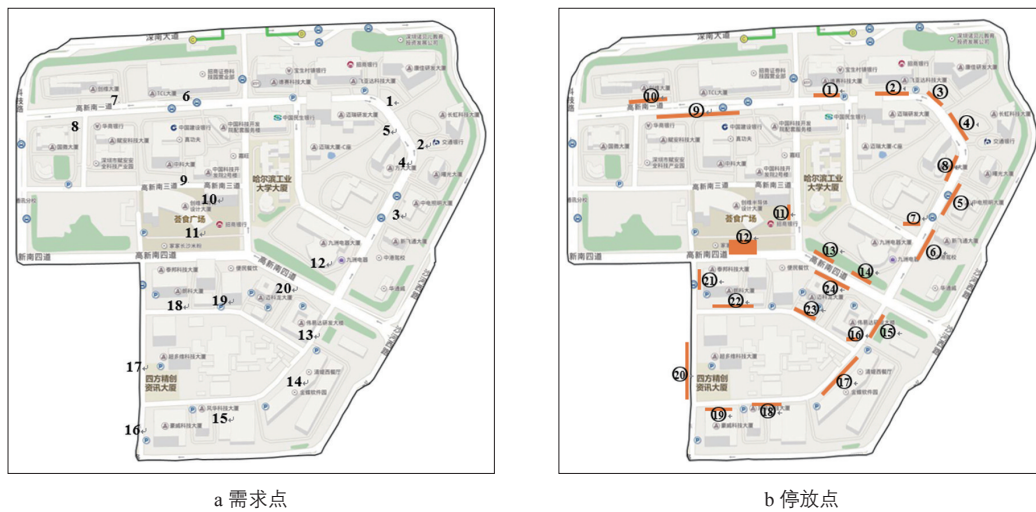


图 1 高新园区共享单车需求点及停放点位置分布

Fig.1 Distribution of bike sharing demand points and parking sites in High-Tech Park

表 1 高新园共享单车各需求点的需求量

Tab.1 Amount of bike sharing demand points in High-Tech Park

需求点编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$w_i$	27	63	50	41	26	17	26	24	23	32	41	26	64	184	38	62	97	39	68	40

及停放点与需求点之间的距离远近，对共享单车停放点进行优化调整。

共享单车停放点的选址主要考虑以下原则<sup>[18]</sup>：1)停放点在办公楼、公共汽车站等区域内的出行起终点附近进行选取，尽可能减少停放点与自行车使用者出行OD点(出发地和目的地)之间的距离；2)停放点不能对附近的交通环境以及行人出行造成影响，尽量避免主干路、办公楼停车场入口与空闲面积较小的绿化带旁；3)停放点选址时还需要考虑土地的经济适用性，应该充分利用空闲的土地，尽量减少开发新土地的费用，节约土地资源；4)停放点应该根据规划区域的规模形态特点，以均匀分布的模式进行选择。

根据该备选停放点的选址原则，在高新园区内初选的共享单车停放点的分布情况如图1b所示。

共享单车停放点的规模和可容纳的自行车数量  $Cap_j$  如表2所示。对于有桩停放的公共自行车租赁点，使用者可以接受的步行距离上限一般为500 m，但是因为共享单车无桩停放的特点，使用者可容忍的距离范围有所减小。根据问卷调查统计，超过65%的使用者可以接受的停放点与出发地或目的地的距离仅为200 m。因此，在渐进覆盖模型中取  $D_1=0$  m， $D_2=200$  m，此时， $q_{ij}$  的计算值表现为0~1之间的值，并且测得共享单车停放需求点  $i$  与停放点  $j$  之间的步行距离  $d_{ij}$  (见表3)。

表2 共享单车停放点规模与容量

Tab.2 Scale and capacity of bike sharing parking sites

停放点	规模/m	$Cap_j$ /辆	停放点	规模/m	$Cap_j$ /辆
①	20	66	⑬	5	16
②	20	66	⑭	5	16
③	9.5	31	⑮	15	50
④	13.5	45	⑯	7	23
⑤	45	150	⑰	53	176
⑥	35	116	⑱	20	66
⑦	8	26	⑲	10	33
⑧	26	86	⑳	88	293
⑨	20	66	㉑	5.5	18
⑩	15	50	㉒	30.5	101
⑪	10	33	㉓	10	33
⑫	2×4.5	30	㉔	30	100

注：可容纳自行车数量根据测量的自行车之间合理的间隔距离为30 cm计算。

### 3 问题求解及结果分析

为求解该多目标模型，将选址数量的目标函数式(2)转化为约束条件  $\sum_{j \in M} x_j \leq A$ ，即改变最大停放点数量  $A$ ，分析服务质量的变化。将上述调查得来的数据代入建立的选址模型，并利用LINGO软件进行求解。当设定的选址数量上限  $A$  变化时，得到选择的停放点  $j$  (见表4)、目标函数值  $Q$  (见图2)，以及需求点与停放点之间的对应关系  $(i, j)$  都有所变化。

当选址数量上限  $A < 10$  时，该模型无解，即当共享单车停放点小于10个时，无法满足该区域内的出行需求。因此，求解结果中，将选址数量上限  $A$  从10个依次增加到24个，依次增加较优的选址停放点  $x_j$ ，当  $A=24$  时，所有停放点都被选上。其中，需求点2与停放点②，⑧，需求点12与停放点⑥，⑦，需求点17与停放点⑳，需求点18与停放点㉑，需求点20与停放点⑬之间的距离都接近200 m的上限，即  $q_{ij}$  的值趋近于0。因此，需求点与停放点没有形成对应关系。

在目标函数中需求点的需求量作为权重影响着总体服务质量，因此用来满足需求量较少需求点的停放点不太容易被选上。由于高新园区的自行车使用者多数目的地是高新园地铁站，其中需求点6离高新园地铁站步行距离仅350 m，这个需求点的需求量较少，因此停放点9在选址数量上限到达20个时才会被选上。同样，由于停放点1和2距离高新园地铁站约300 m，因此对应的需求数量为0，因此停放点1和2的增加对用户满意度几乎没有影响。该模型建议的选址结果与实际情况较为接近，具有现实意义。

由于选址数量越多，用户的时间满意度越高，但是会相应增加管理成本。据统计，每辆共享单车的调度成本为  $3 \text{元} \cdot \text{辆}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ ，约300元可建设一个可以停放30辆共享单车的用于确定停车位置的电子围栏。根据以上成本信息，可以分析选址数量上限对时间满意度及管理成本的影响。

从图2可以看出，随着选址数量上限的不断放松，用户的时间满意度随之增加，即共享单车停放点的总体服务水平不断增大。选址数量上限  $A$  从10个依次增长到15个时，满意度增加的速度较快；中间部分选址

数量上限  $A$  大于 15 个小于 21 个时，满意度增加的速度放缓；当选址数量上限  $A$  增长到 21 个及以上时，满意度增加的幅度极小。管理费用则随着停放点数量的增加成比

例增加。因此，政府和企业可以根据实际情况，综合考虑总体服务质量与共享单车停放点的管理成本，设置一个合理的选址数量上限值，选取合适的停放点，以获取长久的

表3 共享单车停放需求点与备选停放点之间的距离  
Tab.3 Distance between demand points and parking sites

距离/m	备选停放点											
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
1	214	102	10	60	211	318	286	162	507	557	516	668
2	305	196	91	39	121	239	254	194	602	652	611	665
3	449	358	252	185	36	74	88	122	748	798	467	521
4	399	290	202	141	96	208	143	10	533	649	524	564
5	255	186	84	43	212	312	218	93	458	574	599	639
6	176	321	414	476	624	741	818	615	100	159	353	510
7	298	443	536	598	746	863	940	737	100	10	475	632
8	390	535	628	690	838	955	676	815	133	92	493	650
9	323	468	561	623	771	888	965	762	181	317	174	331
10	342	458	551	613	606	489	474	613	254	374	114	262
11	442	558	651	713	563	446	431	570	354	474	120	28
12	770	616	523	461	313	196	190	330	586	701	244	283
13	766	643	550	488	340	223	225	365	906	1 096	359	396
14	839	716	623	561	413	296	331	471	1 012	1 169	465	502
15	996	873	780	718	570	453	488	628	689	771	668	512
16	1 162	1 039	946	884	736	619	654	794	523	605	502	346
17	1 260	1 137	1 044	982	834	717	752	892	425	507	404	248
18	695	818	821	759	611	494	493	632	777	908	397	240
19	772	895	744	682	534	417	416	555	854	985	474	317
20	432	555	600	530	390	273	261	402	512	631	171	217

距离/m	备选停放点											
	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	⑲	⑳	㉑	㉒	㉓	㉔
1	600	499	507	571	627	781	872	998	929	822	675	605
2	505	404	412	476	532	686	777	903	834	727	580	510
3	361	256	268	332	388	542	633	759	690	583	436	366
4	408	298	393	380	513	667	758	884	731	624	479	411
5	483	373	468	455	588	742	833	959	806	699	554	486
6	468	583	734	793	844	1 001	1 095	1 216	1 149	1 049	906	758
7	590	705	856	915	966	1 123	1 217	1 338	1 271	1 171	1 028	880
8	608	723	874	931	984	1 141	1 235	1 356	1 289	1 189	1 046	892
9	289	404	555	612	665	822	916	1 037	970	870	727	579
10	224	339	490	513	600	619	525	404	222	322	661	513
11	185	300	447	470	557	576	482	361	179	279	451	384
12	110	50	173	203	283	394	488	609	549	449	306	218
13	251	136	53	15	117	274	368	489	369	269	126	175
14	357	242	110	106	15	158	252	373	475	375	232	281
15	514	399	267	263	155	10	96	215	374	381	524	698
16	680	565	433	429	321	177	88	116	280	295	438	612
17	582	467	482	478	370	215	127	10	179	199	342	516
18	526	411	318	257	362	519	289	198	91	7	154	321
19	450	335	247	179	270	427	419	283	178	63	75	245
20	190	305	172	169	282	439	533	664	405	305	140	36

效益。

#### 4 结语

本文在对深圳市高新园区出行调查数据分析的基础上,对城市共享单车停放点的选址进行了研究。考虑到需求点到停放点的距离对服务质量的影响,及停放点数目增多带来的管理成本增加,结合更贴近实际情况的部分覆盖模型和余弦分布时间满意度函

数,以停放点的总体服务质量最大化和选址数量最小为目标,建立基于渐进覆盖的多目标选址模型,采用LINGO软件求解,得到建议的共享单车停放点。结果显示,采用文中所述模型建议的停放点选址结果与实际情况较为接近,具有一定的现实意义。对模型选址数量上限的敏感度分析,显示了最大选址数量对服务质量和管理成本的影响,可以帮助决策者根据实际情况在停放点管理成本和总体服务质量之间权衡,为共享单车选址提供参考。

本文对于共享单车选址仍然有一些问题尚未解决,需要更全面深入的研究。如本文考虑的是确定需求,但在实际情况中,需求往往存在不确定性,需建立随机规划模型,模型求解变得更为复杂,但更有实际应用价值。

注释:

Notes:

① 增强出版网络文件可在中国知网在线阅读。

参考文献:

References:

- [1] 肖晗. 深圳共享单车已达30万辆[N]. 深圳商报, 2017-01-23(A6).
- [2] 王慧峰. 共享单车的喜与忧[N]. 人民政协报, 2017-02-07(3).
- [3] 潘未末. 我市将规划共享单车停车区域[N]. 深圳特区报, 2017-01-07(A4).
- [4] Brimberg J, ReVelle C. A Biobjective Plant Location Problem: Cost vs. Demand Served [J]. Location Science, 1998, 6(1-4): 121-135.
- [5] Doerner K F, Gutjahr W J, Nolz P C. Multi-Criteria Location Planning for Public Facilities in Tsunami-Prone Coastal Areas[J]. OR Spectrum, 2009, 31(3): 651-678.
- [6] Liao S H, Hsieh C L, Lai P J. An Evolutionary Approach for Multi-Objective Optimization of the Integrated Location-Inventory Distribution Network Problem in Vendor-Managed Inventory[J]. Expert Systems with Applications, 2011, 38(6): 6768-6776.
- [7] 耿雪, 田凯, 张宇, 等. 巴黎公共自行车租赁点规划设计[J]. 城市交通, 2009, 7(4): 21-29+77.

Geng Xue, Tian Kai, Zhang Yu, et al. Bike Rental Station Planning and Design in Paris [J]. Urban Transport of China, 2009, 7(4): 21-29+77.

表4 共享单车停放点  $j$  随选址数量上限  $A$  的变化

Tab.4 Change of bike sharing parking sites  $j$  with the upper limit of the location number  $A$

选址数量上限 $A$ / 个	设置的停放点 $j$
10	⑤⑧⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲
11	④⑤⑧⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲
12	④⑤⑧⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳
13	③④⑤⑧⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳
14	③④⑤⑧⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑
15	③④⑤⑧⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑
16	③④⑤⑧⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒
17	③④⑤⑦⑧⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒
18	③④⑤⑦⑧⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒
19	③④⑤⑥⑦⑧⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒
20	③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒
21	③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒
22	②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒
23	②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒
24	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒

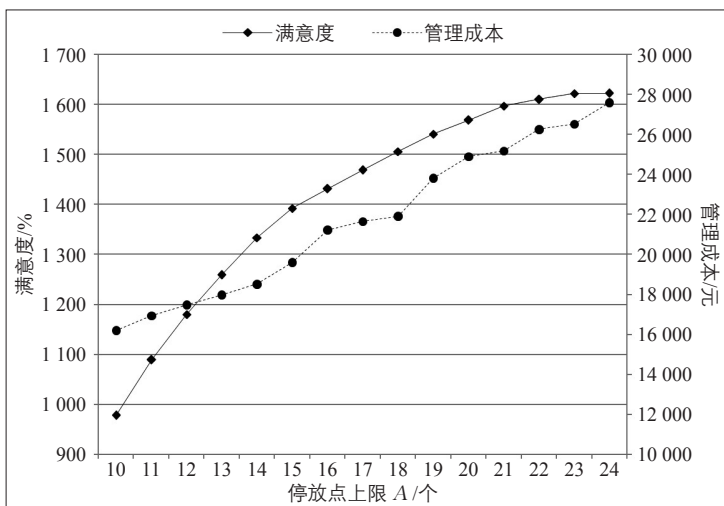


图2 选址数量上限变化对满意度和管理成本的影响

Fig.2 Influence of different upper limit of the location number on the customers' satisfaction and administration cost