

# 上海轨道交通施行弹性票制促进网络 高峰时段客流均衡的可行性研究

代剑楠 黄家骏 洪玲 徐瑞华

(同济大学交通运输工程学院道路与交通工程教育部重点实验室, 201804, 上海//第一作者, 硕士研究生)

**摘 要** 乘客出行决策是影响地铁网络客流均衡的重要因素之一。以上海轨道交通网络为例, 分析了现行票制下的客流时空特性; 基于问卷调查数据, 分析了弹性票制下乘客的出行决策行为, 提出了 3 种高峰时段弹性票制方案。在高峰时段施行弹性票制, 以此实现地铁网络客流均衡是可行的。

**关键词** 城市轨道交通; 客流均衡; 弹性票制

**中图分类号** U239.5; U293.13

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2020.01.027

## Feasibility Study of Passenger Flow Equilibrium in Network Peak Times Promoted by the Implementation of Flexible Ticket System in Shanghai Metro

DAI Jiannan, HUANG Jiajun, HONG Ling, XU Ruihua

**Abstract** Passenger travel decision is one of the crucial factors that influence the passenger flow equilibrium in urban metro networks. Taking Shanghai rail transit network as an example, the time-space characteristics of passenger flow under current ticket system is analyzed. Then, based on the questionnaire survey data, the decision-making patterns of passenger travel under flexible ticket system are analyzed, three flexible ticket system plans in rush hours are proposed. To realize passenger flow equilibrium in metro network, it is feasible to implement the flexible ticket system in rush hours.

**Key words** urban rail transit; passenger flow equilibrium; flexible ticket system

**Author's address** College of Transportation Engineering, Tongji University, 201804, Shanghai, China

随着地铁在城市公共交通中的分担率越来越高, 高峰期间地铁网络的拥堵现象日益严重。以上海轨道交通为例, 2017 年上海轨道交通多条线路、多个区段的高峰期满载率都超过 100%, 车站乘客留乘现象严重, 且网络内客流的时空分布不均衡。

本文采用问卷调查的方式, 分析弹性票制对乘客出行的影响, 以通过票价杠杆对乘客出行选择进行干预和引导, 得出缓解现有网络客流时空分布不均衡问题的有效措施。

## 1 上海轨道交通现行票制下的客流时空特性分析

自 2005 年改革以来, 上海轨道交通现行票价已实行 10 年以上。其间, 上海轨道交通线网不断完善, 客流量逐年增加, 目前已趋于稳定。通过对现行票制下上海轨道交通客流特的分析, 挖掘现有线网客流不均衡的现状, 剖析现行票制在均衡客流方面存在的不足。

### 1.1 上海轨道交通现行票制

上海轨道交通实行按里程计价的多级票价制, 0~6 km 内, 票价为 3 元; 6 km 之后, 每增加 10 km 票价增加 1 元。票价计算采用最短路径法, 选取里程最短的一条路径作为两站间票价计算依据。上海轨道交通现有单程最长距离约为 115 km, 是从 11 号线花桥站至 16 号线滴水湖站, 票价为 14 元。

### 1.2 上海轨道交通客流时空特性分析

上海轨道交通现日均客流量约为 1 044 万人次。在大客流冲击下, 高峰时段线网多个区段满载率都突破 100%, 有的区段甚至达到 150%。为研究上海轨道交通客流不均衡的时空特性, 本文选取 2018 年 5 月上海轨道交通线网中 OD 客流量排名前 20 的数据进行分析, 由此得到 OD(起始点)客流量排名前 20 的对应区段及满载率(如表 1 所示), 对所对应区段内的车站及线路客流量进行统计, 结果如表 2 所示。

由表 1、表 2 中可知, 上海轨道交通网络客流不均衡现象在时间、空间两方面均有体现, 时间方面

主要体现在早、晚高峰客流量的差异,而空间方面则体现在不同车站客流量、不同线路满载率的差异。

表 1 上海轨道交通 OD 客流量排名前 20 的对应区段		
线路名称	OD 客流量排名前 20 的区段	早、晚高峰满载率/%
1 号线	莘庄站—人民广场站	84.70
2 号线	陆家嘴站—唐镇站	120.90
9 号线	松江大学城站—宜山路站	105.90
13 号线	金运路站—大渡河路站	88.74

表 2 上海轨道交通 OD 客流量排名前 20 对应区段内 高峰时客流量			
统计时段	统计对象		客流量/人次
早高峰	车站	九亭站	8 078
		泗泾站	9 065
		佘山站	3 691
	线路	1 号线	2 658
		2 号线	6 886
		9 号线	23 902
		13 号线	3 317
	晚高峰	车站	漕河泾站
陆家嘴站			4 110
桂林路站			2 709
线路		1 号线	2 319
		2 号线	7 224
		9 号线	15 630
		13 号线	2 400

注:早高峰时段为 7:30—10:30;晚高峰时段为 16:30—20:00

在现行票制下,票价与乘客出行的起终点相关,时间、路径等因素均没有考虑在内。票价无法影响乘客的现有出行决策,也就起不到均衡客流的作用。

## 2 上海轨道交通施行弹性票价制可行性分析

### 2.1 地铁弹性票价制

利用票价杠杆来引导人们错峰出行是均衡城市轨道交通网络客流的一种方法,国内外已经存在很多案例。国外城市如伦敦地铁票价分高峰期和非高峰期,如果在非高峰期买单日票会较便宜,不同区域的单程票高峰票价和非高峰票价价差超过一倍;新加坡地铁在客流量比较大的 16 座车站实行早高峰前出站免费;美国华盛顿地铁将车票分为常规票和折价票<sup>[1]</sup>。国内部分城市目前也开始实行

票价弹性政策,如北京地铁在工作日早 7 点前从八通线、昌平线的 16 座大客流车站刷卡进站享受 7 折优惠等。

为探究弹性票制对上海市乘客出行决策带来的影响,本文采用乘客实地问卷的形式进行调查,通过对乘客反馈数据的分析,形成适用于上海轨道交通客流不均衡现状的票价弹性方案。

### 2.2 问卷调查

为了更详细地探究乘客出行决策的不同影响因素及其关联性,本文将结合上海轨道交通网络客流不均衡情况,采用乘客实地问卷的形式进行调查。在问卷设计中,围绕客流均衡的目标综合考察乘客对出行时间<sup>[2]</sup>、票价、换乘次数等因素的敏感程度<sup>[3]</sup>。在问卷调查过程中,结合乘客的反馈对调查问卷内容进行了 3 次修改。共进行 3 次问卷调查,第一次为网络调查,后两次为实地调查。

#### 2.2.1 网络问卷调查

网络问卷调查的项目主要包括乘客社会经济特性(性别、年龄、收入)、乘客出行特征(周乘坐次数、起终点、换乘次数、换乘站)、乘客出行敏感因素(乘客对均衡措施的接受程度以及期望的票价浮动程度)3 个方面。使用网络问卷工具进行调查,问卷投放时间为 7 d,共回收问卷 100 份。网上问卷调查结果显示,票价上涨 20%(约 1 元)会让 40% 乘客改变出行时间,但在降价幅度上乘客意见并不统一。乘客的性别、年龄等基本属性对出行选择影响较小。

#### 2.2.2 实地预调查

网络问卷不能很好地覆盖不同线路、类型的乘客,存在扩散与传播的局限性。实地预调查是在网络问卷调查的基础上重点调查乘客对车票涨价、降价的敏感程度,同时加入对乘客月支出地铁乘车费的调查,由此得到乘客出行对地铁的依赖程度。选择上海轨道交通曹杨路站(换乘站)、南翔站(大小交路换乘站)进行实地预调查,在高峰时段投放问卷,共回收问卷 100 份,数据的相关性分析如表 3 所示。

由表 4 可以看出,乘客地铁成车费月支出与周乘坐次数呈正相关,乘车次数越多花费越高;乘客地铁乘车费月支出与月收入两者的相关性极低,即不同收入水平的乘客都可能选择地铁作为主要出行工具;乘客的月收入与票价涨价和降价敏感程度均

表 3 实地预调查数据相关性分析表

	地铁乘车费月支出	周乘数	月收入	涨价	避峰
地铁乘车费月支出	1				
周乘数	0.561	1			
月收入	0.017	-0.036	1		
涨价	0.071	0.039	-0.1	1	
避峰	-0.095	-0.131	-0.1	-0.1	1

注：“-”表示两者负相关

呈现负相关,乘客收入越低,越愿意接受涨价,越不愿意接受降价,这点是十分反常。如果地铁票价涨价过高,乘客只可能选择其他交通工具而不是继续乘坐地铁;反之地铁票降价能降低乘客出行成本,还会吸引更多低收入乘客。据此可判断,在调查中得到的月收入数据并不能反应乘客的真实情况。

2.2.3 实地问卷调查

根据预调查反馈的数据,在实地问卷调查中不再调查乘客月收入,改为乘客地铁乘车费月支出占乘客月收入的比例。调整后的实地问卷调查内容为地铁乘车费月支出、地铁乘车费月支出占月收入比重、周地铁乘坐次数、避开拥堵降价幅度、拥堵时涨价接受幅度、选择备用线路涨价幅度。

实地调查问卷的实施站点在实地预调查站点(曹杨路站、南翔站)基础上,增加大客流站点(漕河泾开发区站、虹桥火车站)、大型换乘站点(徐家汇站、人民广场站、世纪大道站),共 7 个实地调查站点。综合考虑各站点客流量,每个站点发放 100 ~ 150 份问卷,最终回收问卷共 1 018 份。

2.3 问卷基础数据分析

2.3.1 地铁乘车费月支出、占比与乘坐频率

表 4 为乘客基础乘车数据调查结果。由表 4 可知:乘客地铁乘车费月支出多为 100 ~ 300 元,地铁乘车费月支出 300 元以下的乘客数占总调查人数的 80% 以上;地铁乘车费月支出占月收入比重 4% (极低)的乘客占到 45%,由此可见,现行地铁票价并没有成为大多数乘客的负担,这一点从预调查中月支出与月收入两者的相关性极低也可以得到佐证;乘客周乘车次数的分布较为平均,周乘 15 次以上的乘客占 29%,说明乘客对地铁的依赖度较高。

2.3.2 不同弹性票价方案下的乘客选择

表 5 为乘客乘车弹性数据调查结果。由表 5 的可知,早高峰前票价降 1 ~ 2 元能吸引约 40% 的乘

客提前出行;高峰时涨价 2 元会使约 40% 的乘客选择错峰出行;原线路涨价,且假定存在备用线路供乘客选择时,约有 47% 的被调查者会选择备用线路出行;对弹性票价不敏感的乘客约占 45%。

表 4 乘客基础乘车数据调查表

地铁乘车费月支出	乘客数量占比	地铁乘车费月支出占月收入比重/乘客数量占比	周乘次数/乘客数量占比
100 元以下	30%	4% 以下/45%	4 次以下/24%
100 ~ 300 元	51%	5% ~ 9% /31%	5 ~ 9 次/25%
300 ~ 500 元	16%	10% ~ 14% /17%	10 ~ 14 次/22%
500 元以上	3%	15% 以上/7%	15 次以上/29%

表 5 乘客乘车弹性数据调查表

早高峰前降价/吸引乘客量	高峰时涨价/接受涨价乘客量	原线路涨价/选备用线路乘客量
提前 10 min 降 1 元/19%	涨价 1 元/18%	涨价 1 元/16%
提前 20 min 降 2 元/21%	涨价 2 元/18%	涨价 2 元/18%
提前 30 min 降 4 元/15%	涨价 3 元/9%	涨价 3 元/13%
不提前/44%	涨价 4 元/8%	涨价 4 元/10%
	不限制/47%	不限制/43%

3 不同票价策略对乘客选择的影响分析

3.1 早高峰前降价策略

在 3 种不同的早高峰前降价方案中,多数乘客倾向于选择“提前 20 min 出行降价 2 元”的方案,占比为 21%。地铁乘车费支出 300 元以下的乘客选择“提前 20 min 出行降价 2 元”方案的比例明显偏高;地铁乘车费支出占比在一般(10% ~ 14%)和较少(5% ~ 9%)的情况下,选择“提前 20 min 出行降价 2 元”和“提前 30 min 出行降价 4 元”的比例明显升高,由 37% 上升为 46%,说明低收入乘客更加倾向于因更大的优惠力度而提早出行;周乘坐次数越少的人群越倾向于接受避开早高峰提前出行,说明高峰前降价对于长期通勤人群的影响较小。地铁出行单次票价较高的乘客对降价更加敏感,多数选择提前 10 min 出行,可能的原因是长距离出行时间容错性更低,不愿牺牲睡眠时间。

3.2 高峰时段涨价策略

在 4 种不同的高峰时涨价方案中,选择涨价 1 元和 2 元即避开地铁高峰出行的乘客比例最高,各占 18%。地铁乘车费月支出水平对高峰时涨价的

涨幅选择影响不大,各支出水平的三成以上的乘客都会选择高峰时涨价1元或2元;随着地铁乘车费月支出占比的不断增加,选择“高峰时涨价1元”选项的比例越大,地铁乘车费月支出占比从低到高对应的乘客占比分别是17%、18%、19%和30%,说明收入越低的乘客对较大涨幅的接受程度也越低;周乘坐次数较多的乘客不会因为价格的调整而改变出行时间;周乘坐次数较少的乘客对涨价就极其敏感,1~2元的调整就可以起到分流的作用;对于单次地铁票价较低的乘客来说,较小的涨价方案即可改变其的出行时间。

### 3.3 原线路涨价选择备用线路策略

在4种原线路不同的涨价方案中,选择涨价1元或2元即使用备用线路的乘客占比最高,各占约17%。当乘坐周次数在5~10次时,选择涨2元就换备用线路的比例明显升高,达到了24%,比其他不同乘坐周次数对应的比例高了近6%;随着地铁乘车费月支出的增加,选择涨价元或2元就选择备用线路出行的比例不断上升,分别为23%、29%、32%和42%;原线路涨价对地铁乘车费月支出占比较大(低收入)的乘客影响较大,而地铁乘车费月支出占比较小(高收入)的乘客更倾向于选择无论涨价多少都要按原线路出行;与整体数据相比,单次票价较低的乘客中更多选择原线路出行,而单次票价较高的乘客更能接受因原线路涨价而选择备用线路出行,且选择涨价幅度较少时就选择备用线路出行的乘客占比与整体相比也更大,说明单次乘坐距离较长乘客可以采用路径引导。

## 4 建议

根据对乘客实地调查数据的分析总结,本文对不同弹性票价方案建议如下:

1) 早高峰前降价方案。在早高峰前降价吸引乘客出行是各国地铁运营公司的常用方案。根据调查结果,约有50%的上海轨道交通乘客会因此更改自己的出行计划,且更愿意提前20 min左右出行以换取2元的乘车优惠。城市轨道交通乘车费支出占月收入比例较大的群体倾向于因更大的优惠力度而提早出行。但是对于长期通勤、已习惯该拥挤程度的乘客而言吸引力并不大。

2) 早晚高峰涨价方案。早高峰内涨价是对乘客征收“拥堵费”的行为。根据调查结果,上海轨道交通乘客对此忍受度较低,1元或2元的涨价足以影响35%乘客的出行选择。出行刚性需求大、乘车路径较远的乘客不会因为涨价更改出行时间,这部分乘客更为看重出行效率(是否准点等)而不是价格。涨价方案的弹性远比预想中的要大,是否实行还有待进行进一步社会性的研究。

3) 原线路涨价,诱导乘客改备用线路方案。乘客在高峰期选择备用线路是对轨道交通网络资源的重新分配与利用,是最为合理的网络客流不均衡解决方案。而在网络仍不健全的当下,备用线路存在乘车时间长、换乘多、等待时间长等诸多弊端,十分考验乘客对路网的熟悉程度,乘客自发选择机率较低。而对原线路实行涨价1元或2元能吸引35%的乘客选择备用线路,乘车距离较长的乘客选择备用线路的概率会更高。

## 5 结语

本文针对城市轨道交通网络客流不均衡问题,提出一个改变现有固定票价制度为弹性票价制度的解决方案。对3次问卷调查中所得到的乘客对弹性票价制度的反馈数据进行不断筛选分析,分析结果表明弹性票价方案在上海轨道交通是可行性的。在现有稳定的常态大客流基础上,在网络客流不均衡区段内实行本文所建议的3种弹性票价制度可以对区段内约30%~40%乘客出行决策产生影响,进而改善现有网络客流不均衡问题。

在改善城市轨道交通客流不均衡的问题方面,本文提出的3种策略可以以独立的形式存在,在实际运用中,可以综合城市轨道交通线网运营的实际情况将3策略组合应用。

## 参考文献

- [1] 周立新,祁品萃. 轨道交通余能利用的分时段票价制探讨[J]. 城市轨道交通研究,2004(4):51.
- [2] 宋庆梅. 基于时间差别定价的地铁票价相关问题研究[D]. 北京:北京工业大学,2006.
- [3] 易洪. 轨道交通需求随轨道交通票价变化的敏感性分析[D]. 北京:北京工业大学,2006.

(收稿日期:2018-06-06)