

# 分时通勤缓解高峰拥堵的作用机理及效用

李浩, 宁煦棋, 鹿畅, 涂辉招

(同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804)

**摘要:** 通勤者的出行意愿和路网的交通状态直接影响了交通需求管理措施的实施效果. 在对比分析错时上班制和弹性工作时间制优缺点的基础上, 提出了根据通勤个体上班意愿, 统筹制定分时段上班制度的“分时通勤”新措施, 进而提出了“三阶段两步骤”的分时通勤政策制定方法. 通过收集上海市异质的通勤者意愿上班时段及出行信息, 分析了通勤者对分时通勤政策的接受程度, 利用两步骤的调节方法对不同企业性质的通勤者上班时段分布进行了优化, 验证了分时通勤政策的可行性和有效性.

**关键词:** 交通需求管理; 分时通勤; 通勤拥堵缓解

**中图分类号:** U491

**文献标志码:** A

## Mechanism and Effect of Time Segmenting Commuting on Congestion Alleviation

LI Hao, NING Xuqi, LU Chang, TU Hui Zhao

(Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China)

**Abstract:** Commuters' travel preferences and road network traffic states synthetically have direct impact on the efficiency of travel demand management measures. On the basis and analysis of the deficiencies and merits of staggered work hours and flexible work arrangement, a new demand management named time segmenting commuting was proposed which includes three periods and two adjustments. The new management allows traffic managers arrange work start time distribution for all companies with the consideration of commuter's preferred work start time. With collected preferred work start time and commute information of representative commuters in Shanghai, the acceptability of time segmenting commuting has been investigated. Then the work start time distribution was adjusted and analyzed according to the proposed adjustment which improved its efficiency and feasibility.

**Key words:** travel demand management; time segmenting

commuting; commute traffic congestion alleviation

弹性工作时间制和错时上班制是目前从时间维度上分散交通出行以缓解高峰交通拥堵的典型交通需求管理措施. 在弹性工作时间制下, 通勤者可灵活选择上班时间, 经过长时间的出行经验和不断调整, 路网交通状态可达到近似的用户均衡, 但交通系统并未达到最优状态. 在错时上班制下, 不同企业以单位为个体, 采取不同的上班时间段, 但未细化考虑通勤者个体的出行意愿异质性, 容易造成新拥堵点, 实施效果不佳. 综合考虑 2 种制度的优缺点, 研究既可以满足通勤个体需求又能充分发挥交通管理者调控管理能力且操作性强的需求管理措施, 即“分时通勤”的新措施, 从时间维度上引导、调节和优化出行分布, 以期有效缓解高峰拥堵.

## 1 问题的提出

### 1.1 弹性工作时间制的研究与应用

弹性工作制细分为弹性工作时间制和弹性工作地点制. 弹性工作时间制指通勤个体可以灵活安排上下班时间和工作时长, 其形式多达上百种. 在欧美、亚洲部分国家得到了广泛的应用, 如表 1 所示. 我国虽早在 1994 年就颁布了相关弹性工作时间制推行的法律条文, 但实施规模不大, 效果不显著, 主要原因在于缺乏有效的管理方法.

弹性工作时间制从提出开始就得到了诸多学者的关注. 研究表明弹性工作时间制影响通勤者出行时间选择<sup>[1-2]</sup>, 可达到缓解拥堵的效果<sup>[3-5]</sup>. 由于弹性工作时间制赋予通勤者较大的时间选择灵活性, 交通系统状态不受管理人员的控制, 其缓解拥堵的效果依赖于弹性工作时间制的实施规模及通勤者的出

收稿日期: 2018-04-04

基金项目: 国家自然科学基金(71571138, 51578414); 中央高校基本科研业务费专项资金(22120180240, 22120180528)

第一作者: 李浩(1982—), 女, 教授, 博士生导师, 工学博士, 主要研究方向为交通行为、交通管理. E-mail: haolijt@tongji.edu.cn

行行为.通过研究集中 4 d 工作 40 h 的弹性工作时间制形式对交通状态的影响<sup>[6]</sup>,得出这种制度虽然在非工作日减少了交通出行需求,但会加剧工作日高峰时段的交通拥堵.利用 2009 年美国的国家家庭出行调查(National Household Travel Survey, NHTS)数据<sup>[2]</sup>,分析弹性工作时间制对洛杉矶和旧金山的通勤者出行行为的影响,发现采用弹性工作制的通勤者倾向于晚出发,虽削弱了原有的通勤高峰,但却容易造成新的集中出行.弹性工作时间制实施后较难进行以系统最优为目的的出行管控.实践也表明,制定需求管理措施时考虑通勤者的出行异质性,将有利于管理措施的实施并能发挥更好的效果.

## 1.2 错时上班制的作用机理及研究应用

错时上班制是另一种被广泛使用的、通过改变企业通勤者集体上班时间来改善交通状况的制度.

该制度以企业为单位,实现企业之间上班时间的错开,企业内通勤者个体并不具备选择上班时间的自由.由于错时上班制具有操作性强等特点,近年来在我国多个城市得到了广泛的实施,如表 2 所示.

表 1 国外弹性工作时间制实施情况

Tab.1 Implementation of flexible work arrangement overseas

地区	弹性工作时间制在国外的实施状况(截至 2017 年)
美国	大部分美国的企业都已实行保证核心工作时长的弹性工作时间制度.
亚洲	日本已向全国公务员推广弹性工作制,很多大型企业都已实施了弹性时间、地点的上班制度. 韩国在 2011 年向全部公共机关单位推行弹性工作时间制,2014 年面向企业开始推行“5 小时弹性工作时间制”.
欧洲	弹性工作时间制已成为瑞士工商业的生活规范. 大多数在德国大城市工作的通勤者可以选择一部分时间在家工作,满足一周内固定工作时长在岗即可. 根据英国出台的法律规定,每位通勤者都有权向雇主提出灵活工时的要求.

表 2 国内城市错时上班制实施状况

Tab.2 Implementation of staggered work hours in China

城市	实行时间	单位/公司	具体方案	实施效果
杭州	2002 年 5 月	学校、事业单位、服务行业等	在 8:00,8:30,9:00 分批到达	缓解高峰期交通压力
河北	2003 年 12 月	省直机关和事业单位	早上 8:30,晚 17:00	一定程度缓解拥堵
深圳	2003 年 12 月	政府机关	朝九晚五	早、晚高峰流量有一定转移
济南	2016 年 1 月	党政机关及事业单位	朝九晚五	主要道路上的车流量减少约 30%以上
长春	2010 年 5 月	党政机关、事业单位、交通流较集中的学校	朝九晚六,学校时间错开 10~30 min	高峰的拥堵得到缓解

错时上班制对出行需求、出行距离和出行路径选择影响不明显<sup>[7]</sup>,但可以通过在时间维度上分散交通量,减少出行时间<sup>[8-10]</sup>.单从管理层面粗略地进行时间调整,不仅改善交通状况的作用有限<sup>[11]</sup>,还可能带来不利的后果<sup>[12]</sup>.通过对上海实施错时上班制的可行性进行分析<sup>[13]</sup>,表明大部分路段交通状况有明显改善,但同时有些路段的高峰交通量会增加,起因在于时间上错开的交通出行不一定在空间上完全错开.通过对北京通勤者的行为调查<sup>[14]</sup>,建立出发时间选择行为模型,比较 4 种错时上班策略在不同性质的单位实施下对交通状态的影响,建议错时上班制应与其他的需求管理措施相结合,以实现交通状况的改善.错时上班制虽然易于制定、实施和管控,但无法细化考虑通勤者的多样化出行距离和出行选择,难以实现交通出行在空间和时间上的充分分散.

综合弹性工作时间制和错时上班制的作用机理以及实施效果,研究考虑通勤个体出行意愿异质性以及易于实际操作的统筹安排相结合的交通管理措施,为缓解通勤拥堵提供思路.

## 2 分时通勤政策的制定

### 2.1 分时通勤定义

分时通勤政策,在考虑通勤个体对上班时间选择偏好的基础上,以交通管理者为决策者,通过优化路网交通状态,制定基于个体出行意愿的分时段出行政策,以企业单位为执行个体,进行实施.其形式为每个企业单位都具备不同时段出行的分配方案,以满足企业内部不同岗位性质的出行时间需求异质性,同时所有企业出行满足交通拥堵优化的分时段方案.分时通勤政策是一种介于弹性工作时间制和错时上班制的上班管理制度,可操作性强.

需求管理措施通常以规划域内路网总延误最小为目标.措施的制定和完善需要以大量的通勤者出行信息(包括出行起讫点、出行方式等)和路网信息作为基础.在不具备大规模信息采集的条件下,可以进而调整优化目标,缓解交通量较为集中的 CBD (central business district) 区域.通过调整 CBD 地区内的企业单位的上班时间,从时间维度上分散到达 CBD 的交通量,使得出行密度高的 CBD 地区及其辐

射区域的路网延误得以缓解。

提出分时通勤政策,采用抽样调查的方法收集数据以验证分时通勤政策的可行性和效用。由于调查样本的规模较小,因此以最大程度分散规划域内的企业单位上班时间为调节目标。基于此宏观目标,充分考虑通勤者的意愿、满意程度等,达到既能缓解通勤拥堵,又能最大程度满足通勤者出行意愿的政策制定效果。在制定调整方案中,为了简化其复杂度,做出以下假设:

(1)在对通勤者的上班时间分布进行调整时,暂不细化考虑通勤者路径选择的变化。

(2)假设分时通勤实施后出行结构不变,不考虑分时通勤政策对出行方式的影响。

(3)通勤者选择上班时间时会同时考虑早上及晚上的活动安排,鉴于晚上的活动通常具有较大的弹性,假设通勤者依据早上的活动进行上班选择。

(4)交通管理者在制定调整方案后,需要企业管理者进行配合实施,假设单位可以完全按照交通管理部门的要求实施。

## 2.2 分时通勤政策的制定以及实施流程

根据分时通勤定义及假设,提出 3 个阶段 2 个步骤的分时通勤政策制定方法,如图 1 所示。

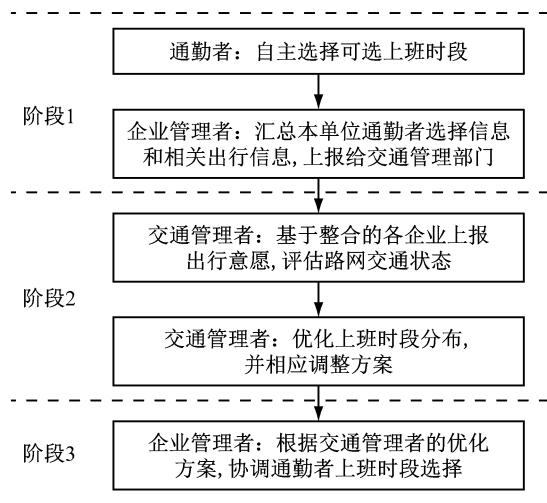


图 1 分时通勤政策实施流程

Fig. 1 Flowchart of time segmenting commute policy making

阶段 1,通勤者根据个人意愿,结合个人生活和工作约束,选择给定的上班时段。企业汇总本单位通勤者选择信息和相关出行信息,并上报给交通管理部门。

阶段 2,交通管理者基于整合的各企业上报出行意愿,评估路网交通状态。以路网延误最小或上班时

段分散最大化为调整目标,同时考虑通勤者满意度最大化,对各个企业的上班时段分配方案进行调整和优化。在统筹调整后,交通管理者依照规划域内的各企业性质、所具有的岗位性质、企业中通勤者数量等进行按比例分配。

阶段 3,企业根据交通管理者的优化方案,依据企业性质和通勤者出行特征再进行出行时段分配方案的精细调控,实现面向个体出行意愿的分时段出行管控。

在实施中,分时通勤政策的统筹安排可以动态调整。经过一段时间的实施后,可根据运行情况和企业要求进行动态调整,逐步消除政策实施中所引起的问题。

## 2.3 阶段 2 的两步骤方案调整方法

影响通勤者时段选择的因素可划分为刚性因素和弹性因素<sup>[2]</sup>。刚性因素(如接送子女等)对通勤时间的影响大,使得通勤者选择上班时段的自由度较小。弹性因素(如通勤的交通状态等)的影响较小,受弹性因素影响的通勤者对改变上班时间的敏感度较低,可供调整的上班时段范围较大。

因此,基于阶段 1 采集的通勤个体出行意愿、主要影响因素和个人属性特征建立阶段 2 的两步骤分时通勤方案的调整和优化方法。步骤 1 首先将受弹性因素影响的通勤者作为调整对象。步骤 2 则以全体通勤者为调整对象,根据个人属性进行分类,对每类通勤者分别做进一步调整。

### 2.3.1 步骤 1

假设在规划区域内,共有  $N$  名通勤者。将该规划域内最早的上班时间段至最晚的上班时间段所组成的时段以一定间隔划分为连续的  $I$  个时段。在阶段 1 自主选择上班时段后,在  $i$  时段上班的总人数为  $N_{0i}, i \in I$ 。

步骤 1 根据出行时段选择的影响因素,对受弹性因素影响的通勤者进行调整。设共有  $M$  个弹性影响因素。可调控的通勤者总数为  $\sum_{m=1}^M N_m$ ,  $N_m$  为受到第  $m$  个弹性因素影响的通勤者人数。以上班时间分布最均衡为目标函数,建立步骤 1 的调整方法如下:

$$\min \sum_{i=1}^I \left( \left( N_{1i} - \sum_{i=1}^I N_{1i} / I \right)^2 / I \right) \quad (1)$$

$$\text{s. t. } N_{1i} = N_{0i} + N_{cli}, N_{1i} \in \mathbf{N}^*, N_{cli} \in \mathbf{Z} \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^I N_{cli} = 0, N_{cli} \in \mathbf{Z} \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^I |N_{1i}|/2 \leq \sum_{m=1}^M N_m, N_{1i} \in \mathbf{Z} \quad (4)$$

式中:  $N_{1i}$  表示经过步骤 1 的调整后在第  $i$  时段上班的总人数, 为正整数. 目标函数(1)为调整后每时段  $i$  人数方差最小.

式(2)~(4)为约束条件, 其中  $N_{c1i}$  表示在步骤 1 调整过程中第  $i$  时段上班人数的变化总数, 变量为整数, 正数表示调整后第  $i$  时段上班人数增加, 负数表示调整后第  $i$  时段人数减小. 总的通勤者人数守恒, 如约束(3)所示. 另外, 被调整的通勤者总数不超过受弹性因素影响的通勤者总数, 如约束(4)所示.

由于步骤 1 仅调控受弹性因素影响的通勤者, 当通勤者刚性需求较为集中时, 调整人数受限. 因此, 进一步根据企业性质、岗位性质、个人属性深度挖掘可调控的通勤者, 对全体通勤者进行进一步通勤时段分布的调整, 即步骤 2.

### 2.3.2 步骤 2

步骤 2 根据个人属性及单位性质进行分时方案调整. 假设具有相同个人属性、单位及岗位性质的通勤者具有相似的上班时间选择偏好.

首先依照单位和岗位性质对通勤者进行划分. 设在规划域内, 单位共可划分  $P$  类, 岗位共可划分为  $O$  类. 设在所有分类中, 有较大比例希望提前上班时段的通勤者属于第  $p$  类单位、第  $o$  类岗位, 用  $\gamma_{po}$  表示; 有较大比例延后上班的通勤者则表示为  $r_{po}$ , 其中,  $p \in P, o \in O$ .

其次, 依照个人属性对通勤者进行分类. 由于个人属性分类较多, 且随着规划域的经济情况、交通运营状况等不同, 各因素对上班时段选择的影响程度也会不同, 难以列举说明. 因此, 在规划域内, 选择影响显著的因素, 其中, 第  $k$  类影响因素可细分为  $u$  小类,  $k \in K, u \in \mathbf{N}^*$ . 定义有较大比例提前上班时段的通勤者属于第  $k$  大类第  $u$  小类, 比例为  $\varphi_{ku}$ , 希望延后上班的比例为  $\phi_{ku}$ .

依据分类情况, 可进一步提前或延后上班时间的通勤者总数分别记为  $n_e$  和  $n_l$ , 如式(5)和式(6)所示:

$$n_e = \sum_{i=1}^I (\text{int}((1-\delta) \times (\sum_{p=1}^{P^*} \sum_{o=1}^{O^*} N_{1i} \gamma_{po} + \sum_{k=1}^{K^*} \sum_u N_{1i} \varphi_{ku}))) \quad (5)$$

$$n_l = \sum_{i=1}^I (\text{int}((1-\delta) \cdot (\sum_{p=1}^{P^-} \sum_{o=1}^{O^-} N_{1i} r_{po} + \sum_{k=1}^{K^-} \sum_u N_{1i} \phi_{ku}))) \quad (6)$$

式中: 函数  $\text{int}(x)$  表示对  $x$  四舍五入取整; 上标  $*$  表示使通勤者提前上班时段的显著因素; 上标  $-$  表示使通勤者延后上班时段的显著因素. 考虑到通勤者的异质性, 每类通勤者中均有一定比例受到刚性活动安排的限制, 无法改变上班时间. 设每类属性中受刚性活动限制的通勤者占比相同, 表示为  $\delta$ .

从数学建模角度分析, 步骤 2 可归为指派问题. 因此, 构建基于指派问题的优化模型, 以上班时间分布最均衡和调整的上班时间跨度总和最小为双目标, 模型如下:

$$\min \sum_{i=1}^I \left( N_{c2i} + N_{1i} - \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I (N_{c2i} + N_{1i}) \right)^2 / I \quad (7)$$

$$\min \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I |W_3(n, i) \cdot i - W_1(n, i) \cdot i| \quad (8)$$

$$\text{s. t.} \quad \sum_{i=1}^I W_3(n, i) = 1, \forall n \in \mathbf{N} \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^I W_2(n, i) \times W_3(n, i) = 1, \forall n \in \mathbf{N} \quad (10)$$

$$N_{1i} = \sum_{n=1}^N W_1(n, i), \forall i \in I \quad (11)$$

$$N_{2i} = \sum_{n=1}^N W_3(n, i), \forall i \in I, N_{2i} \in \mathbf{N}^* \quad (12)$$

$$\sum_{i=1}^I |N_{c2i}|/2 \leq n_e + n_l, N_{c2i} \in \mathbf{Z} \quad (13)$$

定义  $W_1, W_2, W_3$  为  $N$  行  $I$  列的矩阵.  $W_1$  表示步骤 1 调整后通勤者的上班时间分布情况.  $W_1(n, i)=1$  表示第  $n$  个通勤者在  $i$  时段上班.  $W_2$  表示通勤者可调整的上班时段,  $W_2(n, i)=1$  表示该通勤者可以在  $i$  时段上班. 任意通勤者可有 1 个或多个可协调的上班时段.  $W_3$  表示经过步骤 2 的调整, 通勤者的上班时间分布情况,  $W_3(n, i)=1$  表示经过优化后第  $n$  个通勤者在  $i$  时段上班.

式(7)表示上班时间分布最均衡的目标函数 1. 式(8)表示被调整的上班时间跨度总和最小, 即满意度最高的目标函数 2.

式(9)~(13)为约束条件.  $N_{2i}$  表示经过步骤 2 调整后在第  $i$  时段上班的总人数, 为正整数.  $N_{c2i}$  表示在步骤 2 的调整中, 第  $i$  时段上班人数的变化总数, 为整数, 正数表示调整后人数增加, 负数表示调整后人数减小, 调节的人数总量不应超过式(5)和(6)计算的人数和, 如约束(13)所示. 约束(9)表示经调整后, 每个通勤者有且只有一个上班时段. 式(10)描述了上班时段调整的可行性, 即调整后的上班时段必须在可协调的上班时段中选择. 式(11)和式(12)分别定义了优化前和优化后每个上班时段的通

勤者数量。

根据以上2个步骤调整后的方案,交通管理者依照阶段1企业上报的出行时段分布信息,对各个企业的上班时段分布做出统筹安排。阶段3,企业管理者根据统筹安排方案,协调本企业通勤者的上班时间,完成分时通勤的实施。

### 3 数据采集及案例分析

为了深入了解通勤者对分时通勤政策的需求和接受程度,同时检验分时通勤方案制定方法的可行性和实施效果,采用了SP(stated preference)调查方法对上海地区的通勤者进行了抽样调查。在调查中,共收集有效样本699份。问卷设计将早通勤划分为7:00之前、7:00—8:00、8:00—9:00、9:00—10:00和10:00以后5个时段,调查内容关注上海市通勤者目前的上班制度及形式、固定上班制的通勤者对分时通勤的需求程度、分时通勤实施后上班时间的选择情况等。

#### 3.1 数据采集及分析

调查问卷的第一部分收集了当前上班制度及通勤者的出行状态(通勤时间、出行方式等)等信息。

调查结果显示,当前固定上班时间的通勤者约占76.11%,弹性工作制的通勤者仅为18.31%。上海地区仍有较多通勤者集中出行,分时通勤政策有很大的实施空间。外资企业、民营企业及中外合资企业采用弹性工作制的比例较大。交通管理者在调控上班分布时,可以有计划地选择此类性质的单位率先推行分时通勤政策。

调查问卷第二部分为出行时段意愿调查,收集固定上班时间的通勤者对改变上班时间的意愿、考虑因素、期望调整的上班时段和出行状态(出行方式等)以及对分时通勤政策的态度等信息。

在固定时间上班的通勤者中,60.9%的通勤者希望改变上班时间。图2描述了当前通勤者的上班时段分布和期望的上班时段分布。可以看出,当前的上班时间集中在8:00—9:00,极易造成该时段内CBD地区的严重拥堵。从通勤者自主选择的上班时段分布可以看出,虽然在8:00—9:00时段内上班人数有所减少,但仍集中于8:00—10:00时段内。调查表明,如果完全依照通勤者个人意愿进行出行调节,缓解高峰拥堵的效果较弱。

在调查通勤者对分时通勤政策的态度时,超过80%的通勤者认为分时通勤政策更有利于平衡工作

与家庭生活、提高工作效率、节省出行时间、减少缺勤或迟到次数、增强对公司和工作的满意度等,普遍支持分时通勤政策的实施。

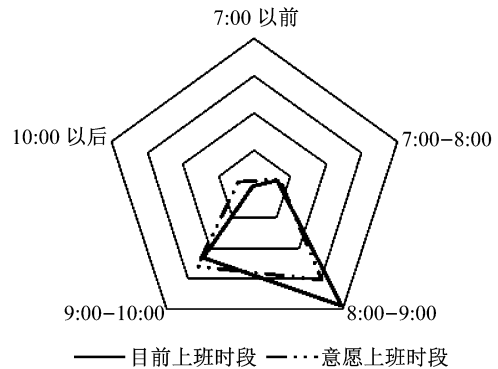


图2 通勤者意愿上班时段与当前上班时段的分布  
Fig.2 Willing and current work start time distributions

问卷第三部分对通勤者的单位、岗位性质、个人属性等信息进行了采集,用于细化分析每种属性对通勤者上班时间选择(提前、延后或不改变)的影响。问卷设计中将工作属性因素细化为4类:单位性质、岗位性质、行业性质及单位所在地。将个人属性因素细化为5类:年龄、性别、婚姻状况、学历和私家车数量。分析了不同属性通勤者对改变上班(提前或延后)时间的意愿,结果表明单位性质、岗位性质和年龄对通勤者上班时段选择具有显著的影响。

表3、表4和表5分别给出了不同年龄、不同岗位性质和单位性质的通勤者选择上班时间的情况。从表中可以看出,有提前上班时间意愿的通勤者大部分在中外合资企业、工勤技能岗位工作。在个人属性的影响因素中,有提前上班意愿的通勤者,较大部分属于国有企业和中外合资企业、专业技术岗,或处于36~40岁年龄段。有延后上班时间意愿的通勤者较多属于国有企业和中外合资企业、专业技术岗位,或处于21~35岁年龄段。

表3 不同年龄段通勤者选择上班时间的意愿情况

Tab.3 Willingness to change work start time for different ages

年龄/岁	意愿提前比例/%	意愿不变比例/%	意愿延后比例/%
21~25	20.00	30.00	50.00
26~30	20.00	32.94	47.06
31~35	17.39	36.96	45.65
36~40	27.08	45.83	27.08
40~45	21.31	37.70	40.98
46~50	23.08	30.77	46.15
>51	7.14	57.14	35.71

表 4 不同岗位性质通勤者选择上班时间的意愿情况

岗位性质	意愿提前比例/%	意愿不变比例/%	意愿延后比例/%
工勤技能岗位	35.29	35.29	29.41
管理岗位	19.30	42.98	37.72
专业技术岗位	18.40	33.74	47.85

表 5 不同单位性质的通勤者选择上班时间的意愿情况

员工所属单位性质	国有企业员工比例/%	中外合资企业员工比例/%	政府机关单位员工比例/%	事业单位员工比例/%	外资企业员工比例/%	民营企业员工比例/%
提前上班时段	16.67	30.00	13.33	21.15	21.62	23.61
上班时段不变	29.41	20.00	40.00	40.38	40.54	50.00
延后上班时段	53.92	50.00	46.67	38.46	37.84	26.39

息,发现影响通勤者选择的主要因素有 3 种:接送家庭成员、符合作息时间和避免交通拥挤.其中,接送家庭成员是非弹性的,此类通勤者的上班时段相对固定,可调控性小.分时通勤政策的实施会影响高峰时段的交通状态,受交通拥堵影响的通勤者可选择的上班时段具有较大的弹性.依据阶段 2 步骤 1 的调整方法,对此类通勤者进行重新分配,调节后的上班时段分布情况如图 3 所示.

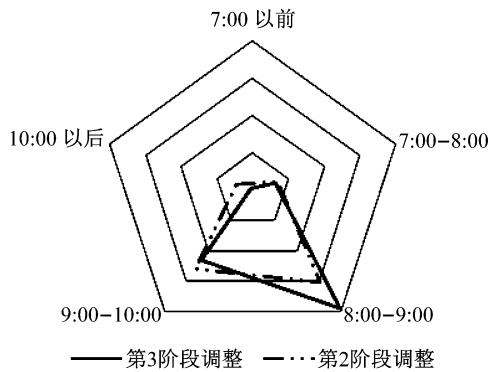


图 3 依据选择影响因素的调整方法及效果

Fig.3 Segmenting adjustment based on factors influencing commuters' preference

由图 3 可见,受弹性因素影响(即避开拥堵)的通勤者可被调控的范围较大,经过步骤 1 的调整,原本集中在 8:00—10:00 的上班群体将向更早或更晚的上班时段分散出行.

通过步骤 1 的调整,通勤者的上班时段有一定程度的分散,但在 8:00—9:00 的时段中,仍有较严重的集中出行.因此,需要依照步骤 2 的调整方法进行上班时段的进一步调整和优化.

### 3.2.2 步骤 2 方案调整及实施效果

根据表 3、表 4 和表 5,找出可以进一步提前或

## 3.2 案例分析

基于上海地区通勤者出行意愿的调查数据,依照两步骤调整方法进行上班时段分布的调整和优化,以检验调整方法的可行性,并评估分时通勤政策的实施效果.

### 3.2.1 步骤 1 方案调整及实施效果

根据采集的通勤者上班时段选择的影响因素信

延后上班时段的通勤者属性.由于接送家庭成员是刚性需求,因此参数  $\delta$  的取值设为需要接送家庭成员的通勤者比例,依据调查取  $\delta=36.43\%$ .基于本次调查收集的数据,由式(4)可以计算得出,可以进一步提前上班时段的通勤者人数为 14 人,可以进一步延后上班时段的通勤者人数为 103 人.

依照步骤 2 的调整方法进行进一步调整,调整后的上班时段分布情况如图 4 所示.从图 4 中可以看出,经过步骤 2 的调整所有时段的通勤者数量分布较为均衡,有显著的削峰效果.其中,有 82 人的调整间隔为 2 h,35 人的调整间隔为 1 h.

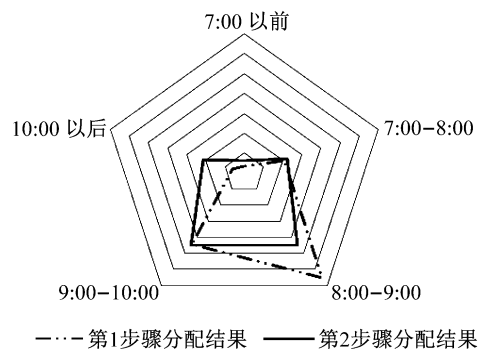


图 4 依据通勤者属性的调整方法及实施效果

Fig.4 Segmenting adjustment and effect based on commuters' characteristics

为了更直观地对比两步骤调整方案的效果,表 6 给出了调整的不同阶段不同上班时段通勤者数量的标准差(SD).标准差数值越小表明上班时段分布越均衡.

从表中可以直观地看出,随着步骤 1 和步骤 2 的调整,通勤者的上班时段得以有效分散,可以达到缓解交通拥堵的目的,验证了分时通勤政策制定方法的可行性及有效性.

表6 不同阶段所有上班时段通勤者数量的标准差

Tab.6 Standard deviation of the number of commuters in each period varying with segmenting adjustments

调整前通勤者意愿	步骤1	步骤2
151.034 9	118.948 4	74.378 5

## 4 结论与展望

综合利用弹性工作时间制和错时上班制的优点,提出了分时通勤政策及其制定方法.针对分时通勤政策,建立了三阶段的政策制定和实施方法,特点在于充分考虑通勤者出发时间意愿,根据弹性或非弹性出行特征以及通勤者工作及个人属性,由交通管理者以拥堵最小化为目的,对出行时段分布进行宏观管控和优化,既满足个体化出行需求,又具备较强的可操作性.

通过调查,采集了上海市通勤者的通勤现状、对分时通勤政策的态度以及出行意愿等信息,并应用提出的两步骤调整方法,对分时通勤政策进行实证分析,结果表明:

(1)分时通勤政策在一定范围内考虑了通勤者出行时段意愿的异质性和偏好,超过80%的通勤者积极支持分时通勤政策的实施.

(2)分时通勤政策可将出行时段的均衡性提高近54.4%,发挥了交通管理者对交通状态的宏观管控能力.

(3)提出的两步骤调整方法,可调整的通勤者比例达24.4%,在满足通勤者出行意愿的基础上,最大程度地分散了出行,起到了缓解交通拥堵的积极效果.

提出的分时通勤的新政策以及制定和实施方法,通过调查数据示范了该政策的实施过程及效果,还未结合实际路网分析该政策对路网交通在时间、空间维度上分布的影响.未来研究将继续完善问卷设计并拓展调查样本,应用仿真的方法对分时通勤政策进行路网交通状态的影响评价.同时,可以进一步探究分时通勤对出行路径、出行方式选择的影响,并评估该政策对拥堵缓解的有效性.

### 参考文献:

[1] CHIN A T H. Influences on commuter trip departure time

decisions in Singapore[J]. Transportation Research Part A General, 1990,24(5):321.

- [2] HE S Y. Does flexitime affect choice of departure time for morning home-based commuting trips? Evidence from two regions in California[J]. Transport Policy, 2013,25(1):210.
- [3] HENDRICKSON C, PLANK E. The flexibility of departure times for work trips[J]. Transportation Research Part A: General, 1984,18(1):25.
- [4] SUCHAROV L J, BREBBIA C A, BENITEZ F, *et al.* Impact of telework and flexitime on reducing future urban travel demand: the case of Montreal and Quebec (Canada) 1996—2016[J]. Urban Transport VIII Urban Transport & the Environment in Century, 2002:279.
- [5] SHIRMOHAMMADI N, YIN Y. Tradable credit scheme to control bottleneck queue length[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2016, 2561:53.
- [6] FERGUSON E. The influence of employer ridesharing programs on employee mode choice[J]. Transportation, 1990, 17(2):179.
- [7] COHEN L B. Work staggering for traffic relief: Analysis of Manhattan's central business district [M]. New York: Frederick A Praeger, 1968.
- [8] D'ESTE G. The effect of staggered working hours on commuter trip durations[J]. Transportation Research Part A General, 1985,19(2):109.
- [9] MOSS R L, CURTIS T D. The economics of flexitime[J]. Journal of Behavioral Economics, 1985,14(2):95.
- [10] 谢留宏,路峰,张俊辉,等.北京实行错峰上下班解决交通拥堵问题的分析探讨[J].交通运输研究,2011(Z1):53.  
XIE Lihong, LU Feng, ZHANG Junhui, *et al.* Analysis and investigation on implementation of peak shifting to solve traffic congestion problem in Beijing [J]. Strategy & Planning of Transport Development, 2011(Z1):53.
- [11] 杜华兵,陈金川,郭继孚.北京市实施错峰上下班的可行性分析[J].城市交通,2004,2(4):64.  
DU Huabing, CHEN Jinchuan, GUO Jifu. Feasibility analysis on implementing different working hour of Beijing[J]. Urban Transport of China, 2004,2(4):64.
- [12] 刘天顺,谷江河,徐瑞华.国内外错峰上下班经验之所鉴[J].交通与运输:学术版,2005(2):29.  
LIU Tianshun, GU Jianghe, XU Ruihua. Domestic and overseas experiences about alternative work schedules [J]. Traffic & Transportation, 2005(2):29.
- [13] 杨晓光,褚浩然.错峰出行对城市交通的影响分析[J].同济大学学报(自然科学版),2006,34(7):899.  
YANG Xiaoguang, CHU Haoran. Study on macro-travel impact analysis of staggered shifts[J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2006,34(7):899.
- [14] FANG Zong, ZHICAI Juan, HONGFEI Jia. Examination of staggered shifts impacts on travel behavior: A case study of Beijing, China[J]. Transport, 2013,28(2):175.