

DOI:10.11830/ISSN.1000-5013.201711044



# 轨道交通与常规公交共线关系下的 常规公交优化方法

徐泽达<sup>1,2</sup>, 姚敏峰<sup>1,2</sup>

(1. 华侨大学 建筑学院, 福建 厦门 361021;

2. 华侨大学 东南沿海生态人居环境福建省高校重点实验室, 福建 厦门 361021)

**摘要:** 针对轨道交通与常规公交同时运营时造成交通供应不平衡的问题,提出二者竞争与合作关系下的空间拓扑关系分类方法,并基于“减少无序竞争、加强协同合作”的目标,进行常规公交线路优化.通过对现有常规公交线路优化策略的可行性分析,提出常规公交线路的优化方法及其适用情况.

**关键词:** 轨道交通; 常规公交; 空间拓扑; 线路优化策略

**中图分类号:** TU 984.191; U 492.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5013(2018)04-0562-07

## Bus Optimization Method Based on Collinear Relation of Rail Transit and Bus

XU Zeda<sup>1,2</sup>, YAO Minfeng<sup>1,2</sup>

(1. College of Architecture, Huaqiao University, Xiamen 361021, China;

2. Key Laboratory of Ecological Environment of Southeast Fujian Province, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

**Abstract:** Aiming at the problem of unbalanced traffic supply caused by the simultaneous operation of rail transit and bus, a classification method of spatial topological relations under the competition and cooperation between two parts is proposed. Based on the target of "reducing the disorder competition and strengthening the cooperation", the optimization of conventional bus routes is carried out. By the feasibility analysis of the bus route optimization strategy, the bus route optimization method and its application are presented.

**Keywords:** rail transit; regular bus; spatial topology; route optimization strategy

随着居民对交通需求的日益增大,国内大城市开始兴建轨道交通,以解决城市交通拥堵问题.由于轨道交通的建设周期较长,且建设初期线网密度的不均匀,造成交通供应与交通需求的不匹配,进而导致交通运输资源供给不足或浪费<sup>[1]</sup>.在轨道交通建设之前,大部分城市内部的公共交通运输主要依靠常规公交,但在轨道交通投入使用后,其与常规公交的矛盾最为突出.因此,科学处理轨道交通与常规公交的关系变得越发重要.在城市规划的视角下,以交通供应调控交通需求,引导交通方式结构优化,不一味地满足交通需求,是实现城市交通供需平衡的重要手段<sup>[2]</sup>.因此,本文从轨道交通与常规公交的竞争与合作入手,通过分析二者的空间拓扑关系,从调整交通供应范围与交通方式结构的角度,提出常规公交线路的优化策略;在居民 1 次完整出行的视角下,给出轨道交通与常规公交在共线关系下优化策轨道

**收稿日期:** 2017-11-15

**通信作者:** 姚敏峰(1978-),男,副教授,博士,主要从事城市交通设计及其理论的研究. E-mail: flyboot@hqu.edu.cn.

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(51478198); 华侨大学研究生科研创新能力培育计划资助项目(1611405032)

略的适用情况.

# 1 轨道交通与常规公交的竞争与合作

## 1.1 竞争与合作的原因

交通与常规公交的主要服务区域均为城市的主要交通廊道,且二者在线路选择与设计上考虑的因素相近,这使二者的发展与运营过程始终伴随着竞争与合作<sup>[3]</sup>.当二者的 1 次吸引范围存在至少 2 处重合时,便会形成轨道交通与常规公交的竞争区间,重合区域内的居民可以选择二者中的任何一个作为出行方式,即二者间产生竞争关系,如图 1 所示.

在乘客的 1 次出行过程中,仅通过常规公交或轨道交通都无法到达目的地时,便会产生换乘行为,即常规公交与轨道交通之间的合作关系,如图 2 所示.当二者站点间距在 1 次吸引范围内,会大大增加换乘行为的发生,即二者产生直接合作关系;当二者站点间距在 1 次吸引范围外,乘客需要通过步行较远距离或再增加 1 次换乘行为,以衔接常规公交站点与轨道交通站点,即二者产生间接合作关系.

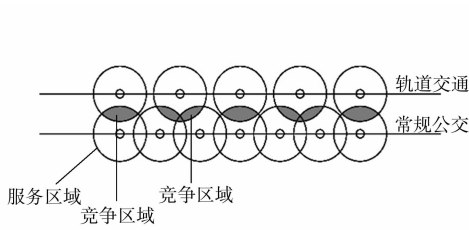


图 1 竞争关系分析

Fig. 1 Analysis of competitive relation

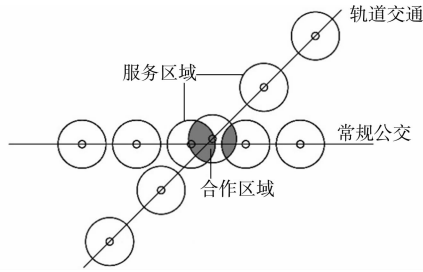


图 2 合作关系分析

Fig. 2 Analysis of cooperative relation

## 1.2 常规公交的优化目标

轨道交通与常规公交之间的竞争与合作是二者协同发展的根本动力,只有通过优化调整二者间的竞争与合作关系,才能形成轨道交通与常规公交之间的联动运输<sup>[4-5]</sup>.由于轨道交通的物理特性,其新线建成后不易改变走向,相比之下,常规公交较为灵活,故在优化调整二者关系时,应以轨道交通新线为外部环境,针对常规公交进行系统性的调整.

不同区位、功能定位及类型的轨道交通站点,其 1 次吸引范围和站间距都将呈现出由市区到市郊逐渐扩大的趋势.其中,1 次吸引范围增幅较小,站间距的增幅则较大.所以,在由市区到市郊的过程中,轨道交通的 1 次吸引范围逐渐由带状转变为点状,如图 3 所示.图 3 中:1 次吸引范围保持 660 m,随着轨道交通站点间距的增大,轨道交通服务区域呈现带状到散点的变化<sup>[6]</sup>.

常规公交站点所服务的乘客大部分来自其 1 次吸引范围内,优化常规公交线路实际上是在轨道交通线路投入运营后,对既有常规公交线路 1 次吸引范围内的乘客再分配<sup>[7]</sup>,以达到缩短乘客出行时间,并降低常规公交不必要的支出成本.

轨道交通与常规公交竞争与合作关系产生的关键在于二者 1 次吸引范围之间的关系<sup>[8]</sup>.在市区,二者的 1 次吸引范围高度重合,使部分常规公交线路在轨道交通新线运营后,陷入空跑的状态;在市郊,轨道交通新线站点间距增大,自身的可达性下降,需要常规公交线路对轨道交通站点进行喂给,扩大其 2 次吸引范围,使轨道交通站点客流达到预期水平.

从乘客出行距离来看,轨道交通新线适合取代原有中长距离的常规公交线路.但在短途出行时,单从出行时间来看,轨道交通并无优势<sup>[9]</sup>.因此,在优化市区内常规公交线路时,也不可一味地取消线路,应选择性地保留出行量较大的常规公交站点,形成一种轨道交通与常规公交在短长途出行上的合作.

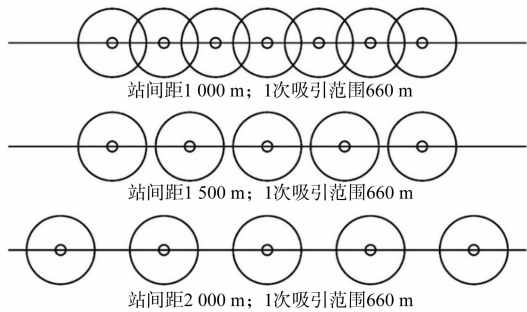


图 3 轨道交通站点 1 次吸引范围变化

Fig. 3 Variation of once attraction range of rail transit station

常规公交线路的优化目标为:1) 在市区,保留常规公交短途运输的便利性,弥补轨道交通在短途出行上的短板;2) 在市区和市郊,发挥轨道交通中长途运输的高效性,减少其与常规公交之间的无序竞争;3) 在市郊,完善二者的协同合作,扩大轨道交通站点服务范围。

1.3 常规公交的优化方法

从“减少无序竞争、加强协同合作”的优化目标来看,常规公交的优化方法为:1) 缩短与轨道交通高度重合线路的长度,保留部分连续高出行量的常规公交站点,以满足乘客短途出行的需求;2) 取消部分与轨道交通高度重合的线路,以达到减少二者在中长距离出行的无序竞争<sup>[10]</sup>;3) 在市郊,形成以轨道交通为骨干,常规公交为分支的交通运输网,合理分配交通运输资源。

轨道交通与常规公交的拓扑属性由二者的行车路径与站点位置构成。轨道交通线路建设完成后,二者的空间属性产生叠加效应,形成二者的空间拓扑关系。准确把握二者的空间拓扑关系是优化常规公交线路的基础<sup>[11]</sup>。单条公共交通线路的拓扑结构决定其所能提供的服务范围,多条复合公共交通网络的拓扑结构则影响公共交通所提供的出行服务质量,主要表现在换乘系数与平均出行时耗<sup>[12]</sup>。从复合公共交通网络的角度来看,二者的空间拓扑关系影响二者间的合作与竞争。因此,通过对轨道交通与常规公交的空间拓扑关系的调整(如行车路径、站点设置、服务区域、二者路线重合情况等),可以从二者竞争与合作关系产生的原因出发,科学合理地优化常规公交线路。

2 轨道交通新线与常规公交线路的空间拓扑关系

2.1 空间拓扑关系分类

轨道交通新线与常规公交线路的行车路径和站点位置构成二者各自的拓扑结构。在轨道交通新线投入使用后,其拓扑结构与原有常规公交线路的拓扑结构产生相互影响,如线路交汇、服务区域重叠、服务区重复等,进而形成轨道交通新线与常规公交线路的空间拓扑关系<sup>[13]</sup>。这种空间拓扑关系可以从二者的行车路径关系和站点相对位置划分为共线关系、平行关系、相交关系及无关系,如图 4 所示。其中,共线关系可分为完全共线关系、中间共线关系及终端共线关系。

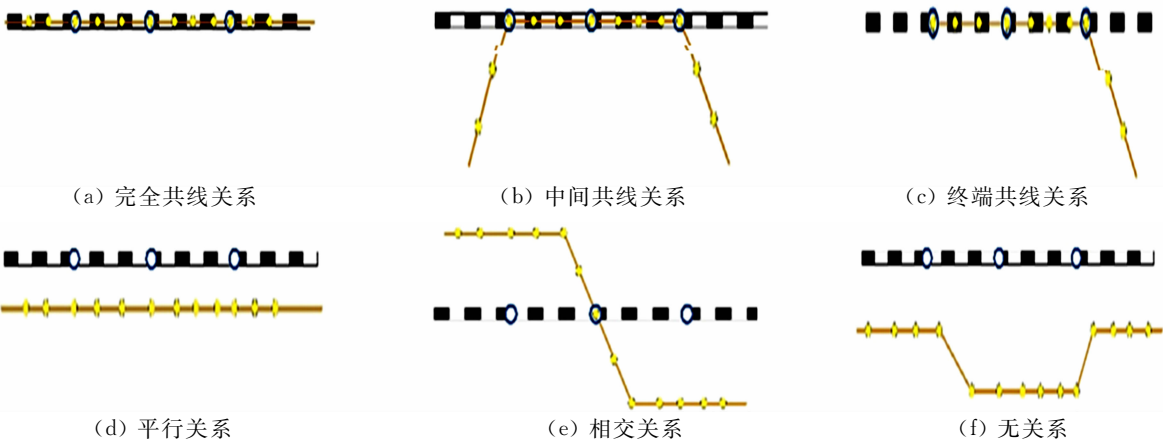


图 4 空间拓扑关系分类

Fig. 4 Classification of spatial topological relations

2.2 空间拓扑关系分析

1) 共线关系. 常规公交线路和轨道交通新线行车路径完全一致,有重叠的服务区域,各自站点均在对方服务区域内. 轨道交通新线的设置可以为城市主要交通廊道提供大量的运输能力,从而使该区域内部分既有常规公交线路的客流量大大减少,甚至形成常规公交空跑的情况. 故二者共线关系下的常规公交线路是优化过程中的主要问题。

2) 平行关系. 常规公交线路与轨道交通新线行车路径平行,有重叠的服务区域,但各自站点不在对方服务区域内. 区别于共线关系,平行关系下的常规公交线路与轨道交通新线的竞争没有二者共线关系下的竞争强烈,且在优化过程中,原有常规公交线路上的客流无法直接换乘到轨道交通新线上,需要适当延长线路、增设站点等。

3) 相交关系. 常规公交线路与轨道交通新线的行车路径有交汇, 且无重叠的行车路径. 二者线路的交汇处, 若同时有轨道交通站点和常规公交站点, 二者为直接合作关系; 反之, 则可以优化调整常规公交线路和站点, 建立换乘站点, 形成二者间的合作关系.

4) 无关系. 常规公交线路与轨道交通新线的行车路径既无重合, 也无交汇, 且没有重叠的服务区域, 则常规公交线路与轨道交通新线相互影响很小, 甚至没有影响. 这种情况下, 可以通过筛选, 选择部分具有与轨道交通新线合作潜质的常规公交线路进行优化.

### 3 共线或平行关系下的常规公交线路的优化调整策略

轨道交通新线与常规公交线路存在 1 对以上的换乘车站时, 二者存在竞争区间. 此时的共线或平行线路才具有优化调整的可能性. 基于常规公交线路与轨道交通新线共线或平行关系下的单一线路情况, 提出基于常规公交站点位置与常规公交线路调整的策略.

#### 3.1 常规公交站点位置的调整策略

将既有常规公交线路的车站分为竞争车站和非竞争车站. 在优化调整过程中, 非竞争车站的位置保持不变, 通过调整竞争车站的位置, 降低共线或平行常规公交线路与轨道交通新线的竞争站点区间数量, 从而减少二者的竞争, 充分发挥轨道交通新线的干线作用.

在给定竞争车站、非竞争车站定义的基础上, 与轨道交通新线共线或平行的常规公交线路站点位置有以下 3 种调整方式. 1) 根据常规公交车站与轨道交通车站的相对位置, 确定竞争车站与非竞争车站. 2) 根据 2 种线路的竞争区间及竞争强度, 对竞争公交站点位置移动调整(图 5)、删除调整(图 6)或保持现状不变. 3) 调整后的常规公交线路由 3 部分组成. 一为原相邻的非竞争车站之间的线路保持不变, 若因删除竞争车站而形成新的相邻非竞争车站, 则二者间线路由其间最短路确定; 二为相邻的非竞争车站与竞争车站之间的线路由其间最短路确定; 三为相邻的竞争车站之间的线路由其间最短路确定.

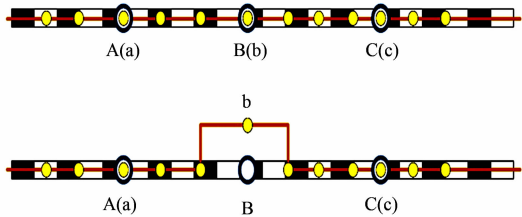


图 5 单个常规公交站点位置移动调整图示

Fig. 5 Movement adjustment of single regular bus station location

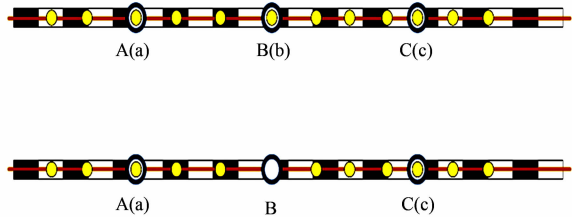


图 6 单个常规公交站点删除调整图示

Fig. 6 Deletion adjustment of single regular bus station location

#### 3.2 常规公交线路的调整策略

在实际情况下, 轨道交通站点间距普遍大于常规公交站点间距, 如果对共线或平行线路上每一个竞争车站都进行调整, 则常规公交线路在调整后将变得过于复杂曲折, 运营成本和乘客出行时间将大大增加. 常规公交竞争车站逐个调整图示, 如图 7 所示. 图 7 中: 将重叠站点 A(a), B(b), C(c) 分离后, 虽然避免了区间 A-B, B-C, A-C 与区间 a-b, b-c, a-c 的直接竞争, 却使原有常规公交线路增长许多, 且割裂了轨道交通站点与共线或平行线路上其他非竞争车站的联系. 故常规公交站点位置调整策略只适用于个别轨道交通与常规公交竞争区间的优化调整.

为减少共线或平行的常规公交线路与轨道交通新线的竞争, 采用缩短共线或平行线路的方法. 在常规公交线路调整策略下, 将共线或平行线路的车站分为竞争车站与非竞争车站. 在共线或平行线路上, 选择合适的站点, 对常规公交线路进行分割或转向, 从而缩短共线或平行线路的长度.

##### 方法 1 线路分割调整策略.

线路分割调整策略的关键在于分割点的选取及分割后线路长度. 共线或平行线路分割后, 分割点将成为新线路的 1 个终端, 且与轨道交通站点直接联系, 选择竞争车站作为分割点有利于二者形成喂给关系, 并打破原有的竞争区间. 分割点的选择应综合考虑竞争车站的客流量及与该站最近的轨道交通车站起终点间(OD)交通量. 竞争车站的客流量越小, 越适合作为分割点. 最近的轨道交通站点 OD 交通量越



大,越适宜作为分割点.

在给定竞争车站、非竞争车站定义的基础上,与轨道交通新线共线或平行的常规公交线路分割调整的方式为:1) 根据常规公交车站与轨道交通车站相对位置,确定竞争车站与非竞争车站;2) 根据竞争车站的客流量及与该站最近的轨道交通车站的 OD 交通量,选择若干分割点,将既有常规公交线路分为若干段;3) 在分割点设置常规公交终点站,保持既有行车路径不变的基础上,将共线或平行线路分割为若干条新的常规公交线路,如图 8 所示.

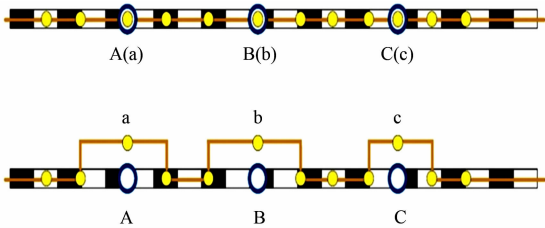


图 7 常规公交竞争车站逐个调整图示  
Fig. 7 One by one adjustment of regular bus competition stations

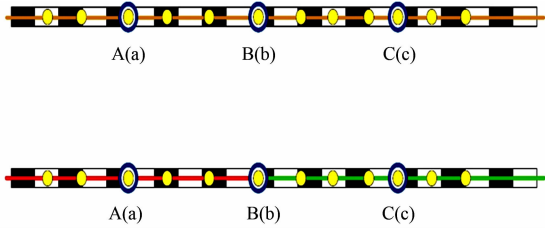


图 8 常规公交线路分割调整图示  
Fig. 8 Segmentation adjustment of regular bus route

方法 2 线路转向调整策略.

线路转向调整策略适用于终端共线关系下的常规公交线路调整,即既有常规公交线路有不同于轨道交通线路的服务范围.线路转向调整策略与线路分割调整策略都是为了缩短共线或平行线路的长度;不同点在于线路转向调整策略形成的是 1 条连续的常规公交线路,线路分割调整策略则是形成类似于接运公交的多条常规公交线路.转向点选择的关键在于转向后,原有常规公交线路上的客流是否能转移到轨道交通上,如图 9 所示.由图 9 可知:转向后,若 a-c 段常规公交客流可以转移到 A-C 轨道交通上,则 A 可以作为候选转向点.为了保证客流的顺利转移,选择竞争车站作为转向点可以明显地缩短换乘距离,所以线路转向调整的候选车站应在竞争车站中选择.

在给定竞争车站、非竞争车站定义的基础上,与轨道交通新线共线或平行的常规公交线路有以下 3 种转向调整方式.1) 根据常规公交车站与轨道交通车站相对位置,确定竞争车站与非竞争车站.2) 从常规公交与轨道交通走向分离前 1 个竞争车站  $A_1$  开始,若竞争车站  $A_1$  最近的轨道交通车站与后续的轨道交通车站可以形成连续的 1 次吸引范围,则对上 1 个竞争车站  $A_2$  进行相同判断,直至竞争车站  $A_n$  最近的轨道交通车站与后续的轨道交通车站无法形成连续的 1 次吸引范围,则竞争车站  $A_n$  为转向点.3) 线路转向调整后,常规公交线路由 3 个部分构成.一为保持竞争车站  $A_n$  之前的常规公交线路不变;二为保持竞争车站  $A_1$  后的第 1 个非竞争车站  $B_1$  之后的常规公交线路不变;三为在竞争车站  $A_n$  和非竞争车站  $B_1$  之间设置新的常规公交线路,并使其 1 次吸引区域不与轨道交通 1 次吸引区域重合.

方法 3 线路撤销调整策略.

线路撤销调整策略,即撤销既有完全共线常规公交线路的竞争区间路段.其同线路分割调整策略与线路转向调整策略一样,以缩短共线线路长度为目标.当完全共线线路的 1 次吸引范围与连续的多个轨道交通车站 1 次吸引范围重合时,则可以通过撤销 1 次吸引范围内有重合的车站,形成若干条新的常规公交线路,或撤销整条既有常规公交线路,如图 10 所示.

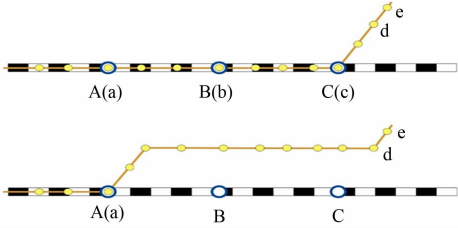


图 9 常规公交线路转向调整图示  
Fig. 9 Steering adjustment of regular bus route

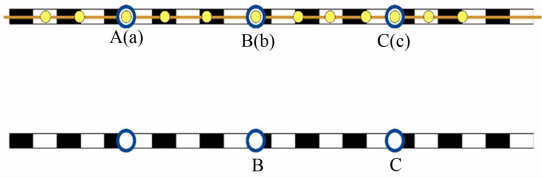


图 10 常规公交线路撤销调整图示  
Fig. 10 Cancellation adjustment of regular bus route

## 4 共线关系下的常规公交线路的优化策略可行性分析

### 4.1 临界距离的比较分析

常规公交和轨道交通的出行曲线,如图 11 所示.图 11 中:临界距离对应的临界时间,即为轨道交通和常规公交的等效出行时间.

一般情况下,当共线长度大于临界距离时,轨道交通出行时间将小于常规公交出行时间;同理,在 1 次换乘出行中(常规公交-轨道交通、轨道交通-常规公交)和 2 次换乘出行中(常规公交-轨道交通-常规公交),均可得到相应的临界距离,且临界距离随着换乘次数的增加而增长.

基于乘客 1 次完整出行时间,分别对完全共线关系、终端共线关系及中间共线关系进行计算.将 1 次常规公交出行时间分别与 1 次换乘出行时间(常规公交-轨道交通)、2 次换乘出行时间(常规公交-轨道交通-常规公交)进行对比,便可求得不同情况下的临界距离.

当共线长度大于临界距离时,可通过换乘轨道交通缩短出行时间,即共线长度大于临界距离时,常规公交线路的优化具备可行性<sup>[14]</sup>.

### 4.2 共线关系下的临界距离计算

4.2.1 完全共线关系下的出行时间与出行站点数的关系 乘客通过常规公交 1 次出行耗时  $T_B = 2 \times \frac{D_B/2}{V_{\text{步}}} + \frac{T_{\text{B间}}}{2} + \frac{(N_B - 1) \times D_B - D_B}{V_B}$ . 式中:  $D_B$  为常规公交的站间距, 500~800 m;  $V_{\text{步}}$  为步行速度, 4.4 km·h<sup>-1</sup>;  $T_{\text{B间}}$  为常规公交发车时间间隔, 5~10 min;  $V_B$  为常规公交行程车速, 上限取 25 km·h<sup>-1</sup>, 下限取 10 km·h<sup>-1</sup>;  $N_B$  为经过的常规公交站点个数.

乘客通过轨道交通 1 次出行耗时  $T_R = 2 \times \frac{D_R/2}{V_{\text{步}}} + \frac{T_{\text{R间}}}{2} + \frac{(N_R - 1) \times D_R - D_R}{V_R}$ . 式中:  $D_R$  为轨道交通的站间距, 1 200~2 000 m;  $T_{\text{R间}}$  为轨道交通发车时间间隔, 2~8 min;  $V_R$  为轨道交通行程车速, 其上限取 60 km·h<sup>-1</sup>, 下限取 40 km·h<sup>-1</sup>;  $N_R$  为经过的轨道交通站点个数.

完全共线关系下的常规公交出行和轨道交通出行路径,如图 12 所示.

4.2.2 终端共线关系下的出行时间与出行站点数的关系 乘客通过常规公交-轨道交通 1 次换乘<sup>[15]</sup>的出行耗时  $T_{R1} = \frac{D_B/2 + D_R/2 + D_{BR}}{V_{\text{步}}} + \frac{T_{\text{B间}} + T_{\text{R间}}}{2} + \frac{(N_B - 1) \times D_B - D_B}{V_B} + \frac{(N_R - 1) \times D_R - D_R}{V_R}$ . 式中:  $D_{BR}$  为常规公交与轨道交通的换乘距离, 50~200 m.

终端共线关系下的常规公交出行和 1 次换乘出行路径,如图 13 所示.

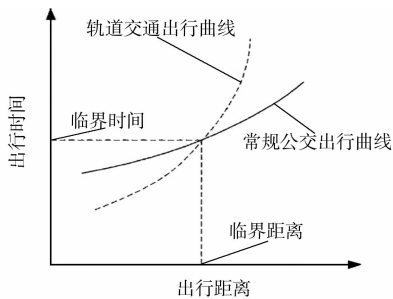


图 11 常规公交和轨道交通出行曲线  
Fig. 11 Trip curve of regular bus and rail transit

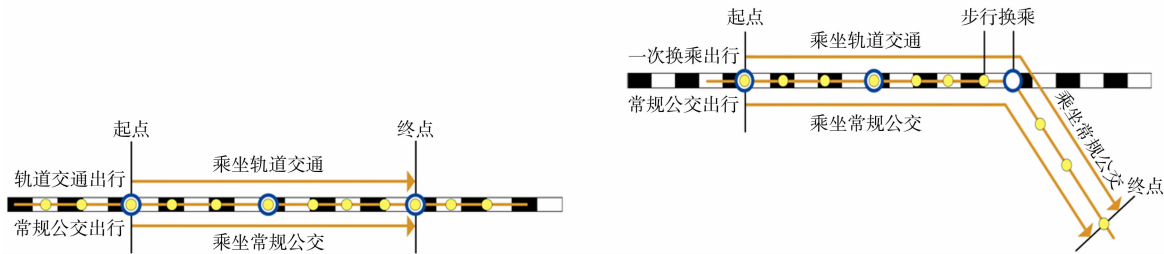


图 12 完全共线关系下的出行路径图示

Fig. 12 Trip path under complete collinear relationship

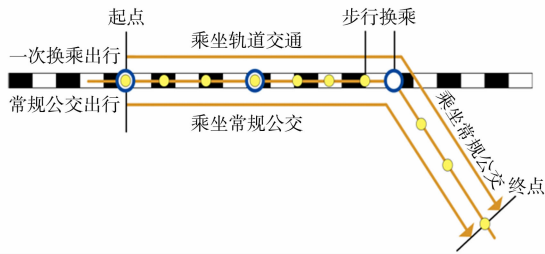


图 13 终端共线关系下的出行路径图示

Fig. 13 Trip path under terminal collinear relationship

4.2.3 中间共线关系下的出行时间与出行站点数的关系 乘客通过常规公交-轨道交通-常规交通 2 次换乘的出行耗时  $T_{R2} = \frac{2 \times D_B/2 + 2D_{BR}}{V_{\text{步}}} + \frac{2T_{\text{B间}} + T_{\text{R间}}}{2} + \frac{(N_B - 1) \times D_B - D_B}{V_B} + \frac{(N_R - 1) \times D_R - D_R}{V_R}$ .

中间共线关系下的常规公交出行和 2 次换乘出行路径,如图 14 所示.

5 结 论

在共线关系下,对常规公交线路的优化策略进行可行性分析,对比单一行人视角下的一次共线关系出行时间,可以得出以下 3 点结论.

- 1) 在完全共线关系下,当常规公交共线站点达到 3 个时,可考虑优化.
- 2) 在终端共线关系下,当常规公交共线站点达到 5 个时,可考虑优化.
- 3) 在中间共线关系下,当常规公交共线站点达到 8 个时,可考虑优化.

在实际情况下,常规公交优化为接运公交后,其与轨道交通站点的换乘距离和发车间隔将有所下降<sup>[16]</sup>. 故在终端共线关系和中间共线关系下,可以被优化的常规公交线路的共线站点数将有所减少.

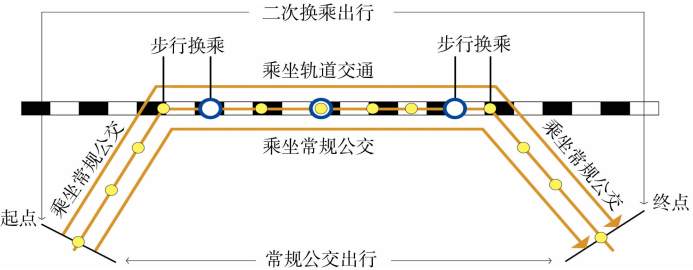


图 14 中间共线关系下的出行路径图示

Fig. 14 Trip path under middle collinear relationship

参考文献:

[1] 李丽群. 城市轨道交通客流竞争理论与方法研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2012.

[2] 曹国华, 黄富民. “交通引导发展”理念下城市交通规划研究: 以江苏省为例[J]. 城市规划, 2008(10): 80-83. DOI: 10.3321/j.issn:1002-1329.2008.10.016.

[3] 孙杨. 城市轨道交通新线投入运营下常规公交线网优化调整方法研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2012.

[4] 石慧钰. 新建城市轨道交通沿线公交线路调整方法研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2014.

[5] 陈彦瑾. 常规公交与城市轨道交通并线决策问题研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2014.

[6] 许俊萍. 美国洛杉矶大都市影响居民步行到轨道交通站点的多因素分析[J]. 华侨大学学报(自然科学版), 2017, 38(4): 489-496. DOI: 10.11830/ISSN.1000-5013.201704009.

[7] 张杰林. 城市快速轨道交通与常规公交网络一体化协调方法及评价研究[D]. 南京: 东南大学, 2014.

[8] 王良琴. 城市轨道交通一体化衔接规划研究[J]. 交通企业管理, 2017, 32(3): 69-71. DOI: 10.3963/j.issn.1006-8864.2017.03.022.

[9] 秦莉. 轨道交通走廊常规公交线路调整方法研究[D]. 西安: 长安大学, 2012.

[10] 马超群, 王玉萍, 陈宽民. 城市轨道交通与常规公交之竞争模型[J]. 交通运输系统工程与信息, 2007(3): 140-143. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6744.2007.03.025.

[11] 周昌标, 王婷静, 赖友兵. 基于道路公交与轨道交通布局模式的公交线网调整方法[J]. 城市轨道交通研究, 2008(4): 44-47. DOI: 10.3969/j.issn.1007-869X.2008.04.013.

[12] 许俊萍. 公共交通导向型城市发展模式的多层次测量评估方法[J]. 华侨大学学报(自然科学版), 2016, 37(3): 369-374. DOI: 10.11830/ISSN.1000-5013.2016.03.0369.

[13] 常星. 基于轨道交通的常规公交系统调整研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2013.

[14] 魏华. 轨道交通与常规公交衔接优化关键问题研究[D]. 西安: 长安大学, 2014.

[15] 郭淑霞, 陈旭梅, 于雷, 等. 轨道交通换乘常规公交平均候车时间模型[J]. 交通运输系统工程与信息, 2010, 10(2): 143-147. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6744.2010.02.023.

[16] 方晓丽. 城市轨道交通接驳公交线路布设及优化方法研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2013.

(责任编辑: 钱筠 英文审校: 方德平)