

# 城市高架道路出口匝道 衔接路段交通组织方法研究

杨晓光 狄 姗

同济大学，交通工程系，上海 200092

摘 要：本文对大城市高架道路出口匝道衔接路段的交通组织方法进行了研究，分析了不同的交通组织方式对交通运行的影响，提出了各种衔接路段交通组织方式的适用情况，为出口匝道衔接路段及其关联交叉口的交通设计提供理论依据。

关键词：高架道路；出口匝道；交通组织；交通设计

中图分类号：U491

文献标识码：A

文章编号：1672-4747(2003)02-0049-05

## Research of Traffic Organizing Models of Urban Expressway with Off-Ramp Joint

YANG Xiao-guang DI Shan

Department of Transportation Engineering,  
Tongji University, Shanghai 200092, China

Abstract: This paper researches different traffic organizing methods of urban expressway with off-ramp-street joint, then analyzes how they influence the traffic flows. Finally, this paper presents the standards of how to choose organizing methods under different traffic circumstances.

Key words: Urban expressway, off-ramp, traffic organizing, transportation design

收稿日期：2003-06-09.

基金项目：国家自然科学基金 - 通用“中国科学研究基金”资助项目(70122201/G0114)。

作者简介：杨晓光(1959-),男,江苏宿迁人,同济大学交通工程系教授,工学博士,博士生导师。

## 0 引言

随着城市的发展和交通需求的急剧增长,越来越多的城市修建快速路系统以缓解城区的交通压力。高架道路是城市快速路的主要形式。与高速公路相比,城市高架路匝道间距小,与平面道路网关系密切。与出口匝道紧密相连的交叉口同时承担着高架道路和地面道路的交通压力,在交通压力大或交通组织方法不合适时,极易成为城市交通连续流和间断流转换的瓶颈。城市高架路构造上的特点,决定了其交通受限于出入口匝道。几乎在所有修建高架路的城市都不例外地、不同程度地存在着因出口匝道的通行能力受限于与之衔接的平面道路所能承受的服务能力。当流出需求大于此通行能力时,出口匝道内将出现排队,甚至延伸至主线上,造成城市高架路交通阻塞,同时也严重影响了地面道路的运行质量<sup>[1]</sup>。

解决高架路出口匝道拥堵和排队的措施主要分为交通控制和交通组织两个方面。通过城市高架道路交通控制系统或收费口而实施的流入控制手法,被认为是最为有效且可行的控制措施<sup>[1]</sup>。交通控制手段是着眼于高架路本身的从宏观角度采取的措施,对于衔接路段微观考虑不足。由于目前我国交通信息实时采集技术尚需进一步完善,通过交通控制手段避免匝道区域阻塞和排队的有效性受到限制。针对各出口匝道衔接路段及交通流特征,交通管理者采取了不同的交通组织手段,包括车道功能划分、禁行等方法,对拥堵和排队的改善效果较为及时显著。但是针对不同的出口匝道衔接路段,如何采用不同的交通组织方式,目前尚无系统的理论分析和研究。如何使连续流与间断流能够有机的衔接,充分利用时空资源,使系统达到最优,对于高架路和地面道路系统的建设和运行有着特别重要的意义。

## 1 出口匝道衔接段交通组织形式相关因素

城市高架路出口衔接路段指高架出口匝道接地

点至前方交叉口停车线的一段距离。出口匝道衔接路段的交通组织形式主要与交通流特征、几何参数以及交通管理者采取的组织方法有关。本文将主要研究交通组织方法这一影响衔接路段交通运行的主动因素。衔接路段交通流特征指地面与匝道到达的车流量以及车流组成。衔接路段的几何参数包括地面机动车道数、匝道落地点在道路横断面的相对位置。在实际设计施工过程中,平行式匝道往往统一设计为外侧式横向位置。为简化车流运行,提高有序度,在匝道外侧常布设有1~2条右转车道,地面车流在衔接路段之前被引入此车道,以避免右转车与直行车和左转车的交织。因此绝大多数平行式匝道采取的是中间式横向位置。为方便起见,本文以四车道中间式匝道为例,不考虑右转车的情形。

## 2 出口匝道衔接段交通组织方法类

车流相互之间的交织是衔接段的核心交通问题,我国大城市路网密度高,车流量大,交织段的通行能力难以满足交通需求,目前采取的交通组织方式多为避免或减少交织。管理者在进行交通组织时主要任务是协调左转车流和直行车流,常用做法是:使两股车流充分交织后通过交叉口;物理分隔这两股车流;禁止某流向车流在该交叉口的通行权或实施交通控制手段。本文主要从交通流理论和交通设计角度分析和两种组织方式。

### 2.1 组织方式

组织方式指没有采取禁行和分隔措施的衔接路段,如图1所示。在这种情况下,匝道和地面车流都需要进行变换车道到达进口道停车段,衔接路段划分为车辆因前方交叉口红灯控制的停车段 $L_p$ 和交织段 $L_j$ ,即 $L_j=L-L_p$ 。

与一般交叉口进口道相比,出口匝道衔接路段的运行与交织段关系密不可分。所谓交织就是行驶方向相同的两股或多股交通流沿着相对长的路段,不借助交通控制设施进行车道变换的过程。产生交织的相对长的路段就成为交织区或交织段。

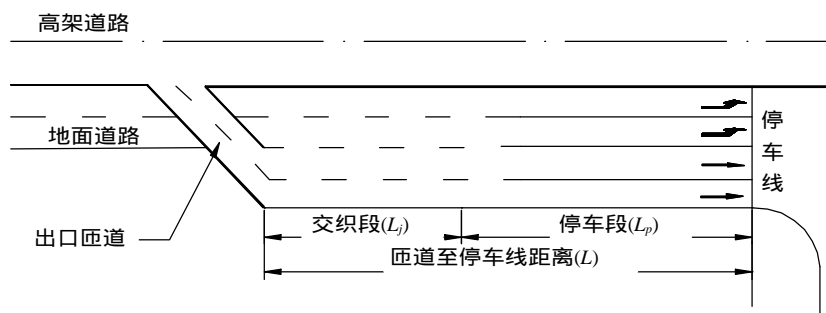


图1 没有禁行和分隔措施的衔接路段

## 2.2 组织方式

组织方式 指以实线或栅栏分隔出口匝道地面的左转车流及直行车流,如图2所示。

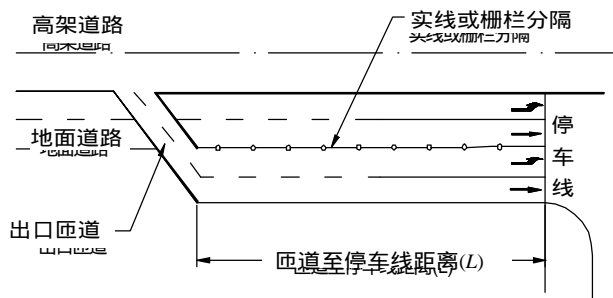


图2 分隔出口匝道地面的左转车流及直行车流

这种组织方式没有交织段的存在,避免了交织对衔接路段的影响;在交织段不能满足交通需求的情况下,有利于维护系统有序,提高服务水平。从上海市出口匝道衔接路段情况来看,是一种普遍采取的交通组织方法。

## 3 出口匝道衔接路段车流特性分析

匝道的存在成为限制衔接路段进口道运行的重要因素,根据交通供需平衡原理,应保证出口匝道衔接路段的通行能力与匝道和地面到达车流量相匹配,使到达流量能够及时的排放,系统维持在相对稳定的状态。对于禁行的衔接路段,交通运行方式与一般平面交叉口相似,在此处不做专门分析。

### 3.1 交通组织方式 车流特性分析

组织方式 与一般交叉口车流运行主要区别存在于交织段。为保证衔接路段能够容纳地面和出口匝

道的到达车流量,交织段与进口道的通行能力都应与之相匹配。

设:地面到达流量为  $Q_g$ ;下匝道流量为  $Q_r$ ;  $C_w$  为交织段通行能力;  $C_A$  为进口道通行能力。他们应满足

$$\begin{cases} a_1 C_w \geq Q_g + Q_r \\ a_2 C_A \geq Q_g + Q_r \end{cases} \quad (1)$$

式中,  $a_1, a_2$  ( $a_1, a_2 < 1$ ) 为经验系数。随着其取值的减小,交织段饱和度降低,服务水平增加。

### 3.2 交通组织方式 车流特性分析

交通组织方式 ,即“无交织”设计的进口道衔接路段,分离了下匝道车流和地面车流。衔接段无交织区存在,可缓解由于交织造成的交通无序和阻塞。由于分离了下匝道车流和地面车流,与一般进口道相比,进口道受到同向车流在各车道分布不均衡性的影响。在此引入流量不均衡系数  $s$  ( $s > 0$ ), 令

$$s = \frac{\text{下匝道流量 } Q_r}{\text{地面流量 } Q_g}。$$

#### 3.2.1 进口道饱和度

在图2出口匝道衔接段中,设进口道左转(或直行)车总流量为  $Q$  ( $Q = Q_r + Q_g$ ),对应的单车道饱和流量为  $S$ ,绿信比为  $I$ ,  $q$  为单位绿灯时间通过车流量(为简化计算,明确目标函数,不考虑车流以到达流量驶出交叉口的绿灯时间)则有

$$\begin{cases} Q_r = \frac{sQ}{1+s} \\ Q_g = \frac{Q}{1+s} \end{cases}$$

当以图1方式进行交通组织时,则  $q_1 = 2S$ 。

为保证系统的稳定,应满足饱和度  $X_i \leq 0.9$ , 即

$$\begin{cases} [sQ/(1+s)]/I \cdot S \leq 0.9 & s > 1 \\ [Q/(1+s)]/I \cdot S \leq 0.9 & 0 < s < 1 \end{cases}$$

则  $s$  应满足

$$\left. \begin{cases} s \leq \frac{0.9I}{y-0.9I} & s > 1 \\ s \leq \frac{0.9I-y}{0.9I} & 0 < s < 1 \end{cases} \right\} \quad (2)$$

式中:  $y = \frac{Q}{S}$ 。

### 3.2.2 车道利用率

图2采取分离下匝道和地面车流的措施时,两条车道到达车辆数不均衡。为考察这种组织方式与道路资源利用率的关系,现以同向车流的单位绿灯时间流量  $q$  为目标函数,分析在相同流量情况下,  $s$  对  $q$  的影响。

图3所示为车流到达与排放的曲线图。横坐标为时间,纵坐标为累计到达(排放)的车辆数。

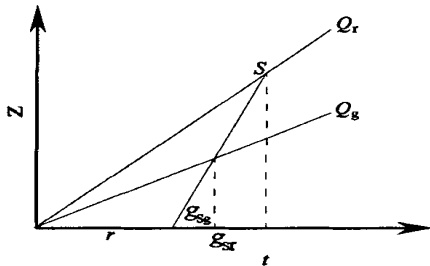


图3 车流到达与排放曲线

图3中:  $Q_r$  曲线为匝道到达车流;  $Q_g$  曲线为地面到达车流;  $S$  曲线表示进口道排放车流。时间段  $r$  表示有效红灯时间; 时间段  $g_{sr}$  表示下匝道车流的饱和绿灯时间; 时间段  $g_{sg}$  表示地面车流的饱和绿灯时间。

由一个周期时间内到达车辆总数与排放车辆总数相等, 即

$$Q_{到达} = Q_{排放}$$

考察  $s$  的取值, 可得

$$\left. \begin{cases} q_{II} g_{sr} = S g_{sr} + S g_{sg} + Q_g (g_{sr} - g_{sg}) & s \geq 1 \\ q_{II} g_{sg} = S g_{sg} + Q_r (g_{sg} - g_{sr}) + S g_{sg} & 0 < s \leq 1 \end{cases} \right\} \quad (3)$$

式中:  $g_{sr}$  和  $g_{sg}$  分别为下匝道车流和地面车流的饱和绿灯时间,

$$g_{sr} = \frac{r Q_r}{S - Q_r} \quad g_{sg} = \frac{r Q_g}{S - Q_g} \quad [2]$$

通过对式(3)的整理可得,

$$\begin{cases} q_{II} / q_I = 0.5 (1 + 1/\delta) & s \geq 1 \\ q_{II} / q_I = 0.5 (1 + \delta) & 0 < \delta \leq 1 \end{cases} \quad (4)$$

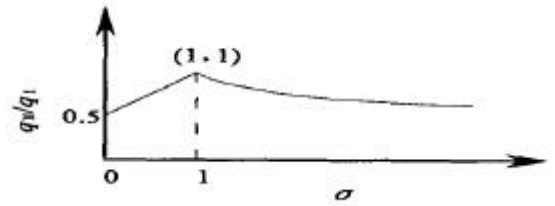


图4  $q_{II}/q_I$  与  $\delta$  的关系曲线

$q_{II}/q_I$  与  $\delta$  的关系曲线如图4所示, 从图4可见, 当  $\delta = 1$  时,  $q_{II} = q_I$ , 其余时候总是  $q_{II} < q_I$ 。

## 4 出口匝道交通组织形式适用性分析

为了保证出口匝道衔接段的通畅, 交通管理者根据道路实际情况选取衔接路段组织方式。合理的交通组织方式的选取是实施有效的交通控制方案的前提。

### 4.1 组织方式 的适用情况

#### (1) 衔接段进口道通行能力

如果允许出口匝道衔接段车流交织运行, 当式(1)不能满足时, 交织区通行能力不足以容纳地面和匝道的车流量, 系统平衡的临界状态被打破, 开始出现排队和阻塞。式(1)中, 进口道通行能力的计算公式为

$$C_A = \sum_i S_i \cdot (g/c)$$

式中,  $S_i$  为进口道饱和流量;  $g/c$  为绿信比。

#### (2) 交织区的服务水平

地面衔接段交织区的通行能力需在 HCM 关于高速公路交织段的通行能力基础上进行修正。由于修正系数不仅受交织段长度和交织流量的影响, 而且与交

织形式和重车比例有关。因此,单纯考虑部分因素计算所得的通行能力已无太大的意义,可用于交织段的规划与设计的是交织段的服务水平<sup>[3]</sup>。根据最小平均法变换车道车速,可将服务水平分为 A~F 级,其中 A、B 级服务水平满足足够的交织段长度,驾驶能够顺利进行;C、D、E 级不能满足自由交织,车速逐渐降低,但是,车流基本稳定运行;F 级不能满足正常车流运行。为了保证系统的稳定性,交织段服务水平不宜低于 C 级。变换车速的计算公式如下:

$$V_{\text{变换}} = K_{\text{重车}}(60/(1+\exp(a-b\ln(L_j))) - cQ_{\text{非变}} - dQ_{\text{变换}} + e)^{[4]}$$

式中:  $a, b, c, d, e$  均为常正数,取值随交织形式不同变化;  $K_{\text{重车}}$  为重车系数;  $L_j$  为交织段长度,  $Q_{\text{非变}}$  和  $Q_{\text{变}}$  分别为交织段不变换及变换车道的车流量。

对于新建或改建交叉口,进行交通设计时应同时满足上述通行能力和服务水平的要求,则交织段的存在仍能使进口道保持较好的运行秩序,连续流和间断流能够顺利转换。

#### 4.2 组织形式 的适用情况分析

出口匝道交叉口衔接段的无交织设计隔离了需进行交织的两股车流,交叉口设计时可以不计交织段的要求。这样解决了由交通压力大而  $L_j$  不足的矛盾。但是,由于不平衡系数  $s$  的存在,单位绿灯时间内能够通过的车流数却降低了。在不平衡系数偏离 1 较大时候,折减了现有设施的利用率。在总流量相等的情况下,该方向的车流需要更长的绿灯时间来通过交叉口,变相增加了交叉口的交通压力。当  $s = 0$  或  $s = +\infty$ , 相当于浪费了一条车道的通行能力。如果以折减 30% 作为限制条件,由式(2)可得,当  $s < 0.4$  或  $s > 2.5$  时,此种交通组织方式的适用性受到限制。上述分析针对于交织段不能满足交通需求的情况。若交织段能

够满足车流交织需求且能保证一定的服务水平,是否选择无交织设计的交通组织形式对车流运行不会产生大的影响。同时,  $s$  不可能总是等于 1。因此,在交织段长度满足要求时,无交织设计的衔接段模式总是浪费部分道路资源。

#### 4.3 其他组织方式和控制方法的选取

对于组织形式 和 都不能满足的情况,可以考虑对禁行或实施交通控制方案。对于禁行的左转车的出路,可以考虑让其在前方路段调头,或者在下游交叉口左转。目前我国有相当多的出口匝道衔接路段采取禁左或禁右的交通组织方式,有利于简化复杂的交通状况,提高该点的通行能力和服务水平。这种交通组织方式牺牲了一个方向的车流通行权利,将矛盾分散转移至周边的道路。此外,对于过饱和交叉口,应对衔接交叉口上游实施流入控制,对地面道路系统进行信息引导。

## 5 结 论

本文分析研究了出口匝道衔接段交通组织的重要方法,着重分析了交通组织方式 (交织设计) 和交通组织方式 (无交织设计) 的车流运行特性,考察了其通行能力、饱和流量以及服务水平等重要参数。针对无交织设计的下匝道衔接段引入了匝道与地面到达车流的不平衡系数,建立了不平衡系数  $s$  与单位绿灯时间平均通过车流量的数学关系模型,作为量化计算无交织设计折减车道利用率的重要指标,同时根据关系模型得到无交织设计时的车道利用率总是小于等于允许交通组织方式。最后,在文中还比较了各种交通组织形式,对其适用性和局限性进行了分析。

#### 参考文献

- [1] 杨晓光. 考虑进出口匝道排队约束的城市高架道路系统动态控制方法. 西安公路交通大学学报, 1999. 19(2)
- [2] 郭冠英等. 交通工程. 上海: 同济大学出版社, 55-56

- [3] 於昊. 城市高架系统地面匝道路口通行能力研究. [硕士学位论文]东南大学: 1997. 32-33
- [4] 陈峻等. 城市高架道路下匝道地面联接段交通分析与评价. 中国公路学报, 2000. 13(3)