

# 港区道路出入口交通组织形式和分离距离

王 奋<sup>1</sup>, 崔 扬<sup>2</sup>, 黄志荣<sup>3</sup>, 唐克双<sup>1</sup>

(1. 同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804;

2. 天津市城市规划设计研究院, 天津 300201; 3. 深圳市龙岗区城市建设投资有限公司, 广东 深圳 518172)

**摘要:** 针对大型车为主的道路交通状况,对港区货车和集装箱卡车等大型车的交通特性进行了调查研究,并在此基础上对港区常见的出入口交通组织形式进行了理论分析和仿真评价.研究表明,当主路单车道流量大于  $400 \text{ veh} \cdot \text{h}^{-1}$  或支路左转车流大于  $250 \text{ veh} \cdot \text{h}^{-1}$  时,冲突车流间干扰大大增加,此时建议采用 C 型信号控制形式的出入口.提出了出入口分离距离的理论计算公式,并对分离距离的安全和效率进行了仿真验证.

**关键词:** 港区道路; 大型车; 出入口管理; 分离距离

**中图分类号:** TP1

**文献标志码:** A

## Access Management and Separation Distance on Port Roads

WANG Fen<sup>1</sup>, CUI Yang<sup>2</sup>, HUANG Zhirong<sup>3</sup>, TANG Keshuang<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China; 2. Tianjin Urban Planning & Design Institute, Tianjin 300051, China; 3. City Construction Investment Co. Ltd. of Longgang District, Shenzhen 518172, China)

**Abstract:** A research was made of the heavy vehicle traffic in port area to investigate its traffic characteristics. Based on the theoretical analysis and simulation, the type of traffic organization, Type C, was recommended for the access when the traffic volume of main roads is over  $400 \text{ veh} \cdot \text{h}^{-1}$  or the left-turn volume of minor road more than  $250 \text{ veh} \cdot \text{h}^{-1}$ . In addition, a theoretical calculation method of separation distance was also proposed, which was verified by a VISSIM simulation model for its safety and efficiency.

**Key words:** port road; heavy vehicle; access management; separation distance

形式和分离距离对路网交通效率和安全的影响重大.港区道路的主要功能是承担集疏港的货物运输,交通组成以大型货车和集装箱卡车为主.这些大型车辆与城市道路上的小客车相比,在速度、转弯半径、临界间隙等交通特性参数上存在明显的差异.这些差异决定了港区道路出入口的交通组织形式和分离距离的确定不能简单地套用城市道路的标准,而需要开展有针对性的研究.

国外对于道路出入口的研究已有几十年历史,形成了完整的出入口管理理论体系和方法,其中最著名的是美国运输委员会下属的出入口管理委员会于 2003 年出版的《出入口管理手册》<sup>[1]</sup>.2006 年,美国德克萨斯运输研究所出版了《德克萨斯州出入口管理指南》,对出入口间距、转角净空、辅助车道、分离距离等进行了系统的研究<sup>[2]</sup>.国内对于出入口的研究起步相对较晚.近 10 年以来,杨晓光、陆荣杰、曹荣青、张宁等学者在美国和日本等发达国家出入口管理研究成果和经验的基础上,对我国城市道路出入口的管理策略和设计方法开展了较多的研究<sup>[3-7]</sup>,形成了比较全面的城市道路出入口管理的理论和方法.但是,国内学者对港区道路的研究才刚刚起步,和城市道路相比,相关研究成果还相当缺乏.2011 年,康迪在其博士论文中运用仿真的方法对港区道路出入口分离距离进行了研究<sup>[8]</sup>,并给出了仿真计算方法;蒋宏伟、段绪斌和李明剑等则对港区道路的大型车交通特性和出入口间距等进行了一些实证分析<sup>[9-11]</sup>.

综上所述,虽然国外对出入口管理的研究已经比较成熟,但是由于国内外在交通状态和车辆特性等方面均存在一定的差异,因此国外的相关技术规范很难拿来直接应用.另外,国内在港区道路出入口管理方面的研究还很不足,没有给出标准的设计方

出入口是路网的重要节点,出入口的交通组织

收稿日期: 2014-02-10

基金项目: 国家自然科学基金(51208380);上海市浦江人才计划(12PJ1408500)

第一作者: 王 奋(1986—),女,博士生,主要研究方向为交通控制和交通安全. E-mail: 0112wangfen@tongji.edu.cn

通讯作者: 唐克双(1980—),男,副教授,工学博士,主要研究方向为交通控制和智能交通. E-mail: tang@tongji.edu.cn

法和参数。

在此背景下,本文从港区大型车的交通特性研究入手,针对我国港区道路的交通状态,通过实证研究、理论分析和仿真评价相结合的方法,深入研究适应我国港区道路交通特征的出入口交通组织形式和分离距离,并给出设计方法和标准参数表,为今后相关管理和设计工作的开展提供有力参考。

## 1 港区大型车交通特性

### 1.1 调查概要

为研究大型车的交通特性,作者所在团队对天津港区的大型车进行了调查.调查时间为 2011 年 11 月 19 日上午 9:00—11:00,下午 15:00—17:00.其中,针对典型交叉口采用视频录像的方法,之后再对视频进行人工处理;针对主要路段采用浮动车法和录像法相结合进行流量和车速调查.调查范围包括天津港北疆区和南疆区,主要交叉口为临海路-四号路交叉口、跃进路-七号路交叉口、临海路-京门大道交叉口;主要路段为临海路、跃进路、四号路、京门大道、南疆路。

### 1.2 交通组成

通过对天津港大范围的交通调查,分析调查数据及进行视频处理得知:港区车辆构成具体包括小客车、短集装箱车、加长集装箱车、中型货车、大型货车及少量的油罐车.以天津港北疆区和南疆区的交通构成为例,各种车辆的比例如图 1 所示。

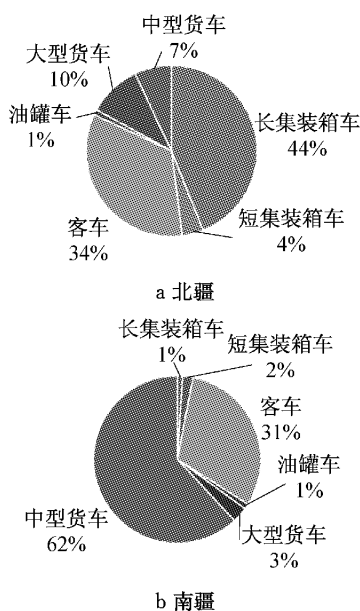


图 1 天津港南疆和北疆车型比例

Fig.1 Different vehicle types in Nanjiang and Beijiang of Tianjin Port

从图 1 可以看出,南疆区以中型货车为主,北疆区以长集装箱车辆为主,这与南疆区散货码头和北疆区集装箱码头有关;与城市道路小客车为主的交通形成明显差异。

### 1.3 行驶特性

#### 1.3.1 港区车辆速度特性

表 1 是对天津港区临海路的车速调查统计。

表 1 港区各种车型的速度基本统计量  
Tab.1 Basic statistics of speeds of different vehicle types

| 车型     | 车速/(km·h <sup>-1</sup> ) |       |       |       |       | 样本量 |
|--------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-----|
|        | 均值                       | 标准差   | 均方差   | 最小值   | 最大值   |     |
| 小客车    | 45.71                    | 9.77  | 3.09  | 32.72 | 67.48 | 40  |
| 短集装箱车  | 42.20                    | 7.27  | 1.30  | 29.87 | 54.22 | 52  |
| 加长集装箱车 | 32.37                    | 7.53  | 1.22  | 13.64 | 49.82 | 38  |
| 中型货车   | 45.13                    | 11.01 | 2.89  | 31.45 | 63.60 | 40  |
| 大型货车   | 31.43                    | 12.44 | 3.32  | 12.66 | 46.35 | 35  |
| 总计     | 33.98                    | 1.25  | 10.32 | 12.66 | 67.48 | 205 |

临海路的设计速度为 60 km·h<sup>-1</sup>,调查时段的交通处于自由流或者接近自由流的状态.由表 1 可知,港区的短集装箱车和中型货车与小客车的速度接近,但是加长集装箱车和大型货车的速度却明显小于小客车速度,平均速度主要分布在 30~35 km·h<sup>-1</sup>范围内。

#### 1.3.2 车头时距

通过对天津港临海路的车辆调查分析,得到港区不同车辆间的车头时距如表 2 所示.从表 2 可以看出,大型车辆跟驰的车头时距要远大于小客车跟驰的情况。

表 2 不同类型车辆组合情况下的车头时距值  
Tab.2 Headway values of different vehicle type combinations

| 引头车-跟驰车     | 车头时距/s |      |      |       |     |
|-------------|--------|------|------|-------|-----|
|             | 均值     | 标准差  | 最小值  | 最大值   | 样本量 |
| 小客车-小客车     | 2.63   | 0.41 | 1.45 | 2.81  | 25  |
| 长集装箱车-小客车   | 3.82   | 0.55 | 2.66 | 5.23  | 25  |
| 小客车-长集装箱车   | 4.86   | 1.41 | 3.12 | 8.56  | 25  |
| 长集装箱车-长集装箱车 | 5.31   | 1.78 | 3.38 | 10.07 | 25  |

#### 1.3.3 间隙选择

当支路车辆将要汇入主路时,需要根据主路车辆间隙来决定汇入还是继续等待更大间隙.利用视频录像采集调查数据,调查地点为跃进路-新港七号路交叉口,调查时间为 2011 年 11 月 19 日 14:55—16:50,选择穿越车辆类型为集装箱的有效样本数为 20.通过对调查录像处理,穿越概率结果如图 2 所示。

从图 2 可以看出,集装箱车辆的最小穿越间隙为 5 s,随着间隙的增大,选择穿越的频率增大.当穿越间隙大于等于 9 s 时,调查车辆均选择穿越.

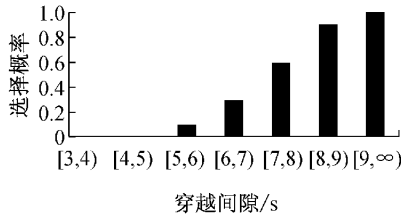


图 2 集装箱车不同穿越间隙的选择概率

Fig.2 Cumulative probability of gap acceptance of containers

## 2 港区道路出入口交通组织

### 2.1 交通组织形式理论分析

影响出入口处交通组织的各向交通流可以分为:主线直行车流、主线左转进入出入口的车流、出入口左转进入主路车流以及出入口右转车流.其中以左转交通流对出入口处交通影响最大,与其他各向车流间的冲突最多.因此,需要对不同流量条件下车流的延误状况进行研究.不仅需要考虑出入口交通车辆的运行效率,还必须考虑主线交通的运行效率.

图 3~5 分别表示港区常用的 3 种出入口交通组织形式.

A 型出入口是指机动车从外部道路进出港区地块时采取“右进右出”的交通组织管理,外部道路的中央分隔带不开口或者不允许左转的出入口形式.

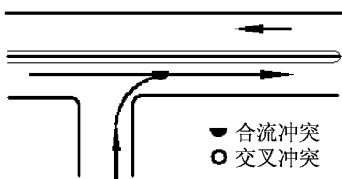


图 3 右进右出(A型)出入口

Fig.3 Right-in and right-out access (Type A)

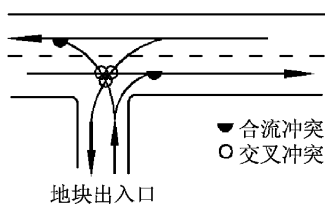


图 4 无信号控制可左转(B型)出入口

Fig.4 Left-turn permissible access without signal control (Type B)

B 型出入口是指机动车从外部道路进出地块时可在出入口处左转驶入和驶出,外部道路中央分隔带开口且不设置信号灯控制的出入口形式.

B 型出入口可以等效为小型的无信号控制的 T 型出入口.则次要道路(出入口进入主路)的通行能力  $Q$  可以由下式计算得出:

$$Q = \frac{Q_m e^{-qt_0}}{1 - e^{-qt}} \quad (1)$$

式中:  $Q_m$  为主路交通量;  $q$  为支路交通量,  $q = Q_m/3600$ ;  $t_0$  为次要道路穿越主路的临界间隙时间;  $t$  为次要道路上车辆的车头时距<sup>[12]</sup>.

设  $t_0 = 9$  s, 根据式(1), 对于无信号控制出入口, 在主路交通量不同的条件下, 出入口允许通过的最大交通流量如表 3 所示.

从表 3 中可以看出, 当出入口汇入需求大于等于 200  $\text{veh} \cdot \text{h}^{-1}$  时, 即便主路双向交通量只有 300  $\text{veh} \cdot \text{h}^{-1}$ , 依然无法满足通行需求. 因此, 当出入口交通量达到一定的数量水平时, 需采用信号控制的手段加以调整.

表 3 不同交通量条件下出入口通行能力

Tab.3 Access capacity in different traffic volume conditions

| 出入口通行需求/<br>(veh · h <sup>-1</sup> ) | 出入口通行能力/(veh · h <sup>-1</sup> ) |     |     |     |     |     |       |       |
|--------------------------------------|----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-------|
|                                      | 主路双向交通量/(veh · h <sup>-1</sup> ) |     |     |     |     |     |       |       |
|                                      | 0                                | 300 | 400 | 500 | 600 | 800 | 1 000 | 1 200 |
| 50                                   | 50                               | 142 | 147 | 143 | 134 | 108 | 82    | 60    |
| 100                                  | 100                              | 149 | 150 | 144 | 134 | 108 | 82    | 60    |
| 150                                  | 150                              | 164 | 158 | 149 | 136 | 109 | 82    | 60    |
| 200                                  | 200                              | 182 | 147 | 156 | 141 | 110 | 83    | 60    |

C 型出入口是指机动车从外部道路进出地块时可在出入口处左转驶入和驶出,外部道路中央分隔带开口且设置信号灯控制的出入口形式.

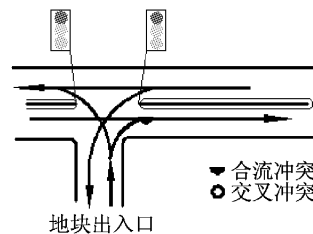


图 5 设置信号灯可左转(C型)出入口

Fig.5 Left-turn permissible access with signal control (Type C)

从出入口交通组织形式上来看,右进右出型出入口有着最高的安全性,且对主线交通的影响最小.但对于从出入口驶出的车辆而言,仅能右转驶出,若

目的地在左侧则需绕行,无疑阻碍了支路交通的便捷性.与之相比,左转无信号控制交叉口则能够保证支路交通的便捷和灵活,但会对主线交通产生一定的干扰.

从图 3~5 中可以直观地看出,A 型出入口仅存在合流冲突,进入车流对主路车辆干扰不大.但 B 型出入口则不然,从出入口左转进入主线的车辆和从主线左转离开的车辆会与主线其他车道的直行车产生冲突,对主线车流产生干扰.C 型出入口可以通过信号灯控制,在时间上分离冲突车流,降低主线交通流所受的干扰,提高交通系统运行的安全性.

## 2.2 安全与效率的仿真分析

为定量地研究不同形式的出入口对各向交通流的影响,本研究建立 VISSIM 仿真模型进行效率评价,并结合 SSAM (Surrogate Safety Assessment Model) 进行安全评价.

### 2.2.1 模型建立

根据天津港区道路交通组成,大型车的比例设置为 60%,车速分布范围为  $0\sim 35\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ,并假设:

(1) 主路直行通过的车流量.根据调查数据,每车道设置 3 个单向小时流量水平 300, 400, 500  $\text{veh}\cdot\text{h}^{-1}$ ;主线为双向六车道设计.

(2) 支路驶出的车流量.出入口驶出车辆可分为两个部分,一部分是需要左转的车辆,通过直接左转或者远引掉头实现左转;另外一部分为仅仅是右转汇入主路无需掉头的车辆.由于支路右转后直行的车辆对主路的运行效率也有一定的影响,为简化仿真实验,假设右转车辆所占比例为 50%,出入口为双向两车道,每车道交通量水平分别为 100, 150, 200, 250  $\text{veh}\cdot\text{h}^{-1}$ .

(3) 主路左转进入出入口的车流量.主路左转车辆同支路驶出的左转车辆一样都会给主路造成干扰.同时,主路左转车辆和支路左转车辆之间也存在着相互干扰.为简化实验,将左转流量设置为主路流量的 10%.

上述车速和交通量,构成了基本的交通条件;通过仿真实验可以分析主路和支路在各种交通条件下对交叉口延误的影响.根据上述条件,建立如表 4 所示的 12 种交通量场景.

### 2.2.2 评价指标选取

选择延误作为最终的评价指标.主要考虑出入口进出车流对主线交通的干扰,所以以主线延误作为主要评价指标,以出入口交通流延误作为辅助指

表 4 仿真模型中的交通量场景编号

Tab.4 Traffic volumes scene in simulation model

| 支路车道流量/<br>(veh·h <sup>-1</sup> ) | 场景编号                          |      |     |
|-----------------------------------|-------------------------------|------|-----|
|                                   | 主路车道流量/(veh·h <sup>-1</sup> ) |      |     |
|                                   | 300                           | 400  | 500 |
| 100                               | I                             | II   | III |
| 150                               | IV                            | V    | VI  |
| 200                               | VII                           | VIII | IX  |
| 250                               | X                             | XI   | XII |

标.进行安全评价时,将 VISSIM 输出的车辆轨迹数据导入 SSAM 中进行分析计算,得出冲突的个数,作为安全评价的指标.

### 2.2.3 仿真结果分析

#### 2.2.3.1 延误对比分析

表 5 中分别表示了右进右出型出入口、无信号控制出入口和信号控制出入口延误随流量的变化关系.由于篇幅所限,主路流量只列举了每车道 300, 400, 500  $\text{veh}\cdot\text{h}^{-1}$  3 种流量水平.

可以看出,由于 A 型出入口不存在交叉冲突,车辆仅需汇入主线即可,交通流的相互干扰较小. B 型出入口为无控制出入口,主线车辆具有较高的优先权,因此主路车流延误增加不大.由于支路车辆在进入主线时必须等待对向车流间出现穿越间隙,当主线车流大于每车道 400  $\text{veh}\cdot\text{h}^{-1}$  或支路车流大于每车道 250  $\text{veh}\cdot\text{h}^{-1}$  时,支路车流延误有了很大的增长.当主线车辆达到每车道 500  $\text{veh}\cdot\text{h}^{-1}$  时,支路车辆延误已经大于采用 C 类信号控制出入口时所产生的延误.

从表 5 中能够明显地看出,无论采用哪一种出入口交通组织形式,随着交通量的增大,延误都处于增长态势.

#### 2.2.3.2 安全对比分析

表 6 给出了 3 种出入口组织形式在仿真时段内所发生的冲突数量.

通过前文分析可知,右进右出(A 型)出入口内部不存在交叉冲突,SSAM 分析结果与该结论一致.信号控制(C 型)出入口内的交叉冲突主要存在于信号相位切换阶段.而无控制出入口与停车让行交叉口运行模式类似,主路车流在通行权上有较高的优先级,支路车辆需要减速或者停车等待对向车流中存在可穿越间隙方可通行.因此,B 型无控制出入口在运行过程中产生的冲突数远远大于信号控制(C 型)出入口.当车速较低、流量较小时,冲突严重程度较轻,可以采用无信号控制方式.

表 5 流量变化对车流延误的影响

Tab.5 The impact on the value of the delay with flow changes

| 类型  | 支路流量/<br>(veh · h <sup>-1</sup> ) | 主路延误/s                            |      |      | 支路延误/s                            |      |      |
|-----|-----------------------------------|-----------------------------------|------|------|-----------------------------------|------|------|
|     |                                   | 主路流量/<br>(veh · h <sup>-1</sup> ) |      |      | 主路流量/<br>(veh · h <sup>-1</sup> ) |      |      |
|     |                                   | 300                               | 400  | 500  | 300                               | 400  | 500  |
| A 型 | 100                               | 0.3                               | 0.4  | 0.4  | 2.1                               | 3.1  | 3.3  |
|     | 150                               | 0.6                               | 0.5  | 0.7  | 3.1                               | 3.3  | 3.9  |
|     | 200                               | 0.7                               | 0.3  | 1.0  | 3.8                               | 4.1  | 4.6  |
|     | 250                               | 0.5                               | 0.6  | 1.2  | 3.3                               | 4.1  | 6.3  |
| B 型 | 100                               | 0.3                               | 0.4  | 0.4  | 9.1                               | 14.6 | 16.5 |
|     | 150                               | 0.6                               | 0.5  | 0.7  | 4.5                               | 11.9 | 44.1 |
|     | 200                               | 0.7                               | 0.3  | 1.0  | 4.0                               | 27.3 | 69.1 |
|     | 250                               | 0.5                               | 0.6  | 1.2  | 14.3                              | 36.7 | 84.5 |
| C 型 | 100                               | 15.1                              | 12.2 | 24.3 | 27.1                              | 35.3 | 75.3 |
|     | 150                               | 12.9                              | 19.1 | 25.2 | 27.5                              | 65.0 | 75.3 |
|     | 200                               | 13.4                              | 18.7 | 22.1 | 26.0                              | 59.4 | 72.7 |
|     | 250                               | 10.7                              | 21.3 | 17.6 | 24.1                              | 67.9 | 60.3 |

表 6 冲突数随流量的变化

Tab.6 The number of conflicts with the changes in the flow

| 类型  | 支路流量/<br>(veh · h <sup>-1</sup> ) | 冲突数/(个 · h <sup>-1</sup> )    |     |      |
|-----|-----------------------------------|-------------------------------|-----|------|
|     |                                   | 主路流量/(veh · h <sup>-1</sup> ) |     |      |
|     |                                   | 300                           | 400 | 500  |
| A 型 | 100                               | 0                             | 0   | 0    |
|     | 150                               | 0                             | 0   | 0    |
|     | 200                               | 0                             | 0   | 0    |
|     | 250                               | 0                             | 0   | 0    |
| B 型 | 100                               | 176                           | 596 | 912  |
|     | 150                               | 228                           | 432 | 972  |
|     | 200                               | 292                           | 348 | 1072 |
|     | 250                               | 332                           | 508 | 932  |
| C 型 | 100                               | 34                            | 45  | 49   |
|     | 150                               | 45                            | 56  | 70   |
|     | 200                               | 53                            | 61  | 72   |
|     | 250                               | 67                            | 75  | 87   |

注:本研究中,采用冲突进行安全评价时仅考虑交叉冲突。

从表 6 可以看出,当主路车流大于 400 veh · h<sup>-1</sup>或支路车流大于 250 veh · h<sup>-1</sup>时,出入口冲突数大幅度增加,接近 10 个 · min<sup>-1</sup>. 出入口安全性大大降低. 此时,建议设置信号灯,采用 C 型信号控制出入口。

综上所述,对于有中央分隔带的主干道路,建议采用 A 型右进右出的出入口组织形式. 对于其他较低等级的道路,需根据实际交通量状况进行选择. 当主路单车道流量大于 400 veh · h<sup>-1</sup>或支路左转车流大于 250 veh · h<sup>-1</sup>时,车流间冲突干扰大大增加,不

仅增加了车辆延误,而且也给出入口的安全带来威胁. 此时建议采用 C 型信号控制形式的出入口。

### 3 出入口分离距离

#### 3.1 出入口分离距离理论分析

出入口分离距离是指车辆从支路汇入主路到车辆离开主路路段的距离. 不同的主路板块形式和出入口组织形式对出入口的分离距离均有影响: A 型出入口车流运行只受到下游交叉口的影响; 而 B 型和 C 型交叉口的情况则较为复杂,除受到下游交叉口影响外,还会受到出入口主线车流、信号控制状况等因素的影响. 为了更好地分析出入口分离距离与支路交通量之间的关系,这里只讨论主路有中央分隔带出入口采用有进有出交通组织形式(A 型)的分离距离. 如图 6 所示,出入口分离距离主要由交织距离、过渡距离、蓄车距离以及 1/2 道路宽度构成. 具体各部分计算如下:

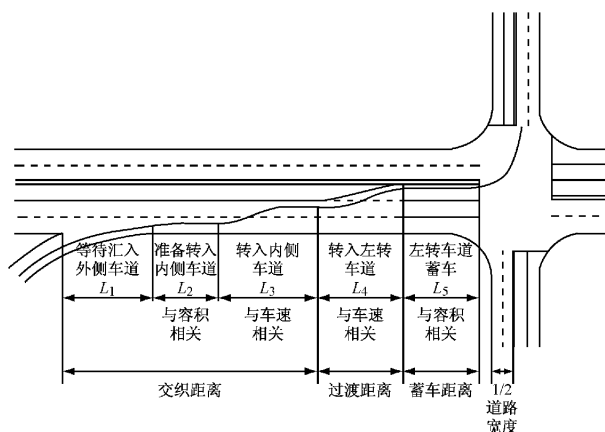


图 6 出入口分离距离各段长度

Fig.6 Length of each section of access separation distance

#### (1) 等待汇入段 L<sub>1</sub>

等待汇入长度 L<sub>1</sub> 至少应该容纳 1 辆大型拖挂车, 即 L<sub>1</sub> = d, d 为大型拖挂车的车长。

#### (2) 准备转入段 L<sub>2</sub>

设主路为两车道, 流量为 Q, 支路流量为 q. 由于车流中车头间隙的出现较符合负指数分布规律, 因而主路上产生间隙大于大型车可接受临界间隙 t<sub>0</sub> 的概率为

$$P(h > t_0) = e^{-qt_0} \tag{2}$$

平均等到一个可接受间隙需要的时间为

$$T_a = 3600 / (QP(h > t_0)) \tag{3}$$

在 T<sub>a</sub> 时间内支路车辆到达等待汇入段需要排

队,车流到达服从泊松分布,根据排队理论,  $T_a$  时间内到达车辆数小于  $N$  的概率大于 95% 为设置  $L_2$  的依据,  $L_2 = dN$ .

若主路为三车道,车辆需连续两次向左换道,同时产生两个可接受间隙的概率也减小很多,可接受间隙计算较为复杂,此处简化为一个临界间隙的两倍,即  $L'_2 = 2dN$ .

(3) 转入内侧段  $L_3$

由于在  $L_2$  准备转入阶段车辆已经等到了一个可接受间隙,则在  $L_3$  段上车辆直接实施换道,该过程中假设车辆换道为匀速  $v$ ,换道一次的最小距离应在临界可接受间隙时间内完成,即  $L_3 = vt_0$ . 若为三车道,需要连续换道两次,  $L'_3 = 2vt_0$ .

(4) 左转渐变段  $L_4$

左转渐变段长度与左转车速有关,根据规范,左转展宽渐变段长度计算公式为<sup>[13]</sup>

$$L_4 = v\Delta w/v' \tag{4}$$

式中:  $v$  为左转车辆行车速度,  $m \cdot s^{-1}$ ;  $\Delta w$  为横向偏移量,  $m$ ;  $v'$  为横向偏转速度,  $v' = 3 m \cdot s^{-1}$ .

左转渐变段长度还可以查阅表 7 中的建议值.

表 7 左转车道渐变段建议值

Tab.7 Recommended values of the transition section of the left turn lane

| 设计速度/<br>( $km \cdot h^{-1}$ ) | 左转速度/<br>( $km \cdot h^{-1}$ ) | 渐变段长度 <sup>1)</sup> /m |
|--------------------------------|--------------------------------|------------------------|
| 100                            | 70                             | 50                     |
| 80                             | 56                             | 40                     |
| 60                             | 42                             | 25                     |
| 40                             | 22                             | 15                     |

1) 发动机减速时间为 3 s,加速度  $a$  为  $-2.5 m \cdot s^{-2}$ .

(5) 左转蓄车段  $L_5$

左转蓄车段长度主要由每周期到达左转车辆数决定,左转蓄车段长度计算公式为

$$L_5 = 9n \tag{5}$$

式中:  $n$  为高峰时每一信号周期的左转车辆的平均排队车辆数.

左转蓄车段长度还可以查阅表 8 中的建议值.

表 8 左转专用车道蓄车长度

Tab.8 Storage length of the left turn lane

| 信号控制 | 左转专用车道蓄车长度/m                  |     |     |     |     |     |     |     |     |       |
|------|-------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
|      | 单车道交通量/( $veh \cdot h^{-1}$ ) |     |     |     |     |     |     |     |     |       |
|      | 100                           | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1 000 |
| 二相位  | 20                            | 25  | 35  | 45  | 50  | 60  | 70  | 75  | 85  | 95    |
| 三相位  | 30                            | 40  | 45  | 55  | 60  | 70  | 80  | 85  | 95  | 100   |
| 四相位  | 40                            | 50  | 55  | 65  | 70  | 80  | 85  | 95  | 105 | 110   |

(6) 1/2 道路宽度

由于出入口分离距离以交叉口中心线为准,因而需要加上道路宽度的一半,此处是指交叉方向上的道路总宽度.

将上述 6 部分长度相加即可确定出入口分离距离.

3.2 计算示例

3.2.1 主路为两车道

取大型车平均车长  $d=15 m$ ,则  $L_1=15 m$ . 设车流量为  $500 veh \cdot h^{-1}$ ,大型货车、拖挂车可接受最大临界间隙  $t_0=9 s$ . 则主路上产生的间隙大于 9 s 的概率为

$$P(h > 9) = e^{-(500 \times 9 / 3600)} = 0.287$$

平均等到一个可接受间隙( $\geq 9 s$ )需要的时间为

$$T_a = 3600 / (500 \times 0.287) = 25 s$$

设支路上的车流量为  $100 veh \cdot h^{-1}$ ,车流到达服从泊松分布,则 25 s 内以大于 95% 的概率到达车辆数小于 0,1,2 的概率分别为

$$P_0 = 0.497, P_1 = 0.7 \times 0.497 = 0.348, P_2 = 0.122$$

即 25 s 内到达车辆数大于 2 辆的概率不大于 5%,因此  $N=2, L_2=dN=30 m$ .

大型车在进口道左转时车速取  $v=10 km \cdot h^{-1}$ ,则  $L_3=rt_0=90 m; L_4 = v\Delta w/v' = 8 m$ ; 查阅规范得  $L_5=50 m$ . 交叉方向街道总宽度为 14 m,则出入口分离距离为

$$L = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 + 14 m / 2 = 200 m$$

3.2.2 主路为三车道

与主路为两车道时相比,主路为三车道时准备转入段和转入内侧段长度发生变化,  $L'_2 = 2 \times 30 = 60 m, L'_3 = 2 \times 90 = 180 m$ ,其他各段不发生明显变化,出入口分离距离为

$$L' = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 + 14 m / 2 = 320 m$$

3.3 仿真评价

为了验证出入口分离距离的计算结果,在仿真中进行建模. 其中主路大型车比例为 60%,支路为 50%,车速为  $35 km \cdot h^{-1}$ .

以两车道仿真分析结果为例,分别选取延误时间(表征效率)与交通冲突次数(表征安全)对模型进行仿真评价. 原始输入流量为在改变主路流量  $Q$  与支路流量  $q$  下得到了延误与冲突的变化如图 7 所示. 从图 7 中可以得出,延误和冲突随着主路与支路流量的增加而增大,且其受支路流量影响更大.

两车道下设定流量为每车道  $500, 100 veh \cdot h^{-1}$  时出入口分离距离的计算值为 200 m,改变  $L$  值得

到的冲突与延误的变化情况见图8,这里主要是指对 $L_2$ 与 $L_3$ 的增长或缩短。

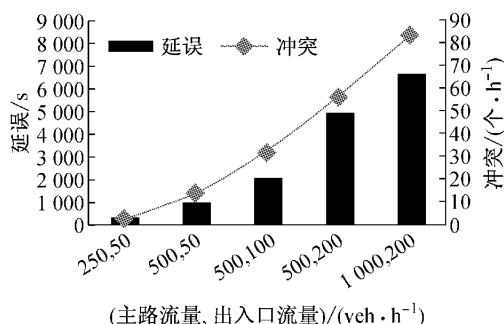


图7 不同 $Q, q$ 值条件下的延误与交通冲突

Fig.7 Delays and traffic conflicts in different  $Q/q$  value conditions

由图8可见,通过理论计算得到的出入口分离距离为200 m时,在5组仿真结果中延误最小,冲突较小. 而若出入口分离距离过短,由支路车辆的汇入和换道产生的冲突增多,这也会影响到车辆间的让行,从而导致延误增大;反之,交织段过长也会导致车辆相互干扰,延误反而也会增大. 因此,设定合适的出入口分离距离方可兼顾安全(冲突指标)和效率(延误指标)两个方面。

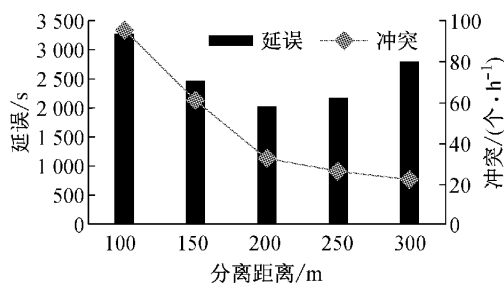


图8 不同分离距离条件下的延误与交通冲突

Fig.8 Delays and traffic conflicts at various separation distances

## 4 结语

通过对港区道路交通组成、行驶速度以及临界间隙的实证研究,明确了港区大型车的主要交通特性参数. 在此基础上,通过理论分析和仿真评价相结合的方法对港区道路出入口的交通组织形式和出入口分离距离进行了研究,并给出了一定道路交通条件下的出入口交通组织标准设计参数,可为港区道路相关管理和设计工作提供依据。

### 参考文献:

[1] Committee on Access Management. Access management

manual [R]. Washington D C: Transportation Research Board, 2003.

[2] Eisele L W, Frawley E W. Recommended access management guidelines for texas[R]. [S.l.]: Texas A & M Transportation Institute, 2006.

[3] 陆荣杰, 张宁, 陈恺, 等. 基于AM策略的道路出入口设计研究[J]. 公路, 2007(6): 131.

LU Rongjie, ZHANG Ning, CHEN Kai, *et al.* Research on access design based on access management politics [J]. Highway, 2007(6): 131.

[4] 张宁, 陈恺, 黄卫, 等. 公路出入口管理策略研究综述[J]. 公路, 2006(6): 28.

ZHANG Ning, CHEN Kai, HUANG Wei, *et al.* Summary of researches on access management of highway [J]. Highway, 2006(6): 28.

[5] 孙丽. 城市快速路出入口设置相关问题研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2010.

SUN Li. Research on the exit and entrance design of expressway [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2010.

[6] 杨晓光, 白玉, 马万经, 等. 交通设计 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2010.

YANG Xiaoguang, BAI Yu, MA Wanqing, *et al.* Traffic design [M]. Beijing: China Communications Press, 2010.

[7] 曹荣青. 城市道路出入口间距确定的理论方法研究[D]. 西安: 长安大学, 2007.

CAO Rongqing. Research on the urban road access spacing calculation [D]. Xi'an: Chang'an University, 2007.

[8] 康迪. 港区道路出入口设计的仿真研究[D]. 天津: 天津大学, 2011.

KANG Di. Simulation on the access spacing of port road [D]. Tianjin: Tianjin University, 2011.

[9] 蒋宏伟, 孙钦林, 刘润有, 等. 集疏港公路立交出入口设计[J]. 天津建设科技, 2010, 20(3): 50.

JIANG Hongwei, SUN Qinlin, LIU Runyou, *et al.* Highway interchange entrance design of Jishugang [J]. Tianjin Construction Science and Technology, 2010, 20(3): 50.

[10] 段绪斌, 白子建, 周骊巍, 等. 港区道路出入口间距控制研究[J]. 交通世界: 运输车辆, 2012(5): 115.

DUANG Xubin, BAI Zijian, ZHOU Liwei, *et al.* Port road access spacing design [J]. Transport World, 2012(5): 115.

[11] 李明剑, 段绪斌, 高立鑫, 等. 港口大型车辆制动和转弯特性研究[J]. 城市道桥与防洪, 2012(10): 161.

LI Mingjian, OUAN Xubin, GAO Lixin, *et al.* Braking and turning performances of large vehicles in port [J]. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2012(10): 161.

[12] 周商吾. 交通工程[M]. 上海: 同济大学出版社, 1993.

ZHOU Shangwu. Traffic engineering [M]. Shanghai: Tongji University Press, 1993.

[13] 杭州市综合交通研究中心. 浙江省城市道路平面交叉口规划设计标准[R]. 杭州: 杭州市综合交通研究中心, 2009.

Hangzhou Comprehensive Transportation Research Center. Planning and design criteria of at-grade intersections on urban streets [R]. Hangzhou: Hangzhou Comprehensive Transportation Research Center, 2009.