

摘 要

单喇叭型互通立交是我国互通式立交的最基本型式。单喇叭型互通立交因为路线结构简单,仅有一座隧道或路跨桥,行车安全,方便管理等原因在国内工程中被大量采用。但由于我国缺乏深入的研究和经验积累,没有详尽的理论基础,在规划或设计时,往往是凭借设计人员的经验,因此造成了一些遗憾。

本文在对单喇叭型互通立交的几何特性的分析基础上,结合大量的调查数据,运用交通流三参数之间的关系如 Greenshields 模型、Underwood 模型,以及车头时距分别对立交的匝道、分流区、合流区的通行能力进行分析,并得出其通行能力推荐值;通过分析单喇叭型互通立交系统内各部分的交通流特性,得出系统的通行能力。并运用 VISSIM 软件对单喇叭型互通立交进行微观仿真研究,以验证单喇叭型互通立交通行能力值的合理性。最后应用研究结果对 A 型或 B 单喇叭的选用进行了分析,并得出结论,为 A 型或 B 型单喇叭的选用提供了理论依据。相信本文的分析结果在互通立交的规划、设计、建设和管理过程中有一定参考价值。

【关键词】

高速公路,互通立交,单喇叭,匝道,分流区,合流区,通行能力,交通仿真,车辆折算系数

Abstract

The single-trumpet interchange is the most basic pattern of our country. Owing to the simple structure, safe driving, convenient management and only one tunnel or road to cross bridge, this kind of interchange is adopted in a great deal of domestic engineering. Although the lack of embedded research, experience accumulation and detailed theory basis in the domestic. During the programming or designing, it is usually adopts the designer's experience. Therefore, this resulted in some regrets.

Based on the analysis on geometrical characteristic of the single-trumpet interchange, and combined a lot of investigating data, this paper analyzes the traffic flow of the single-trumpet interchange, including ramp, diverging area, and merging area. On the other hand, the paper gives recommendation value of its capacity; by means of the analysis on the traffic flow characteristic of all parts of the interchange system, the paper kicks off the system's traffic capacity. In order to validate the rationality of the interchange system's capacity, the paper has also proceeded on microcosmic simulation research with a traffic simulation software named VISSIM. Last but not least, the paper apply the research result to carry on analysis the A type or the B type the single-trumpet chose to use, and get a conclusion to provide the theories basis. It is believed that the research result can provide interrelated reference in the programming, design, construction and management process.

【Key words】

freeway, interchange, single-trumpet, ramp, diverging area, merging area, capacity, traffic simulation, passenger-car equivalents

东南大学学位论文独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得东南大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

研究生签名： 刘文清 日期： 2007.1.15

东南大学学位论文使用授权声明

东南大学、中国科学技术信息研究所、国家图书馆有权保留本人所送交学位论文的复印件和电子文档，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文。本人电子文档的内容和纸质论文的内容相一致。除在保密期内的保密论文外，允许论文被查阅和借阅，可以公布（包括刊登）论文的全部或部分内容。论文的公布（包括刊登）授权东南大学研究生院办理。

研究生签名： 刘文清 导师签名： 李友 日期： 2007.1.15

第一章 绪 论

1.1 立题的背景和意义

随着我国经济的持续发展,人们对高等级道路和高速度行车的要求愈加迫切。为提高车辆运行速度,迫切需提高道路的通行能力和行车安全,于是全封闭、全立交的高速公路网应运而生。同时,由于互通立交系统对于道路通行能力的提高,对于确保行车的安全有重要意义,这些都为互通立交的迅速发展提供了前提。然而,互通立交的造价昂贵,于是互通立交的数量、规模、造型和运行质量越来越多的受到人们的关注。而决定互通立交在路网中的布局、规模、型式的重要依据之一为其能够提供的通行能力。因此,对互通立交系统通行能力进行全面、系统的分析在我国目前的交通建设中显得尤为迫切和重要。

截止 2005 年底,全国高速公路总里程达 3.5 万公里(不包括港、澳、台),位居世界第二位,有力地促进了我国现代化建设,互通立交作为高速公路的重要组成部分在其中起着重要作用;互通立交同样是城市快速道路系统不可或缺的部分,是实现快速道路系统车辆转向的重要设施。国内已经兴建起了许多互通立交,由于当初是借鉴国外发达国家的技术标准,建成后出现了一些不够符合国情之处,留下了缺憾^[1]。为此,国内许多高校和科研机构开始对互通立交实际工程中出现的通行能力与服务交通量不匹配问题进行研究,希望制定出符合我国互通立交系统特点的通行能力标准。但是这方面的研究还不太深入和系统,许多更深入,更系统的通行能力问题亟待解决。

互通立交的型式多样,结构复杂,且不同类型的互通立交在行车速度、通行能力、占地面积等方面各有不同,因此不同类型的互通立交的使用范围也不尽相同。在欧美,由于用地不太紧张,且大多数道路不收费等原因,多采用菱形和苜蓿叶型。在日本,为方便收费、管理和节约用地,在交通量允许的情况下,互通立交的型式大量地采用单喇叭型^[2]。我国的高等级公路一般采用收费制,考虑到方便收费、管理以及节约用地的因素,在常见的菱形、苜蓿叶型、喇叭型等几种互通立交基本型式中,较多地采用了单喇叭型。例如在京珠国道主干线某段的 28 座互通式立交中(包括已建、规划和拟建),其中采用单喇叭型互通立交 23 座,占 82%;连霍国道主干线某段的 26 座互通式立交中(包括已建、规划和拟建),其中采用单喇叭型互通立交 20 座,占 77%,双喇叭型互通立交 1 座^[1]。在城市快速道路中,单喇叭型互通立交也有广泛的应用,例如 2002 年通车的北京六环东段的 7 座互通立交中,单喇叭型互通立交有 4 座,占 57%。这些数据可以说明,单喇叭型互通立交是我国互通式立交的最基本型式。

单喇叭型互通立交是三路立交的代表形式,单喇叭型互通立交因为路线结构简单,只设一个立体交叉构造物(一座隧道或路跨桥),行车安全,方便管理等原因在国内工程中被大量采用。但由于互通立交这种只有在高等级道路才会出现的交叉型式,在我国缺乏深入研究和经验积累,没有详尽的理论基础,在规划或设计时,往往是凭借设计人员的经验,因此造成了一些遗憾^[1]。

本论文依托于国家自然科学基金资助项目《道路互通立交系统通行能力的分析方法》^[3](编号:50478071)和江苏省交通厅项目《江苏省高速公路车道数适应性研究》开展研究工作。希望通过研究国内外的已有资料,总结已有的研究成果和经验,结合对互通立交的交通调查数据,对单喇叭型互通立交系统的通行能力进行分析研究。以期在互通立交的规划、设计、建设和管理过程中提供相关参考,这对于保证互通立交系统的安全、经济和高效运行有着十分重要的意义。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 国外研究现状

国外对道路通行能力的研究始于美国,1950年美国交通工程师协会(AASHTO)出版了《道路通行能力手册》(Highway Capacity Manual)第一版,随后于1965年修订出版了第二版HCM,1985年第三版HCM问世。与前两版相比,第三版除详细论述了公路与城市道路的通行能力外,又增加分析了高速公路和无信号交叉口等交通设施通行能力的内容。1994年又出版了对第三版《道路通行能力手册》的最新修订本,它着重对信号交叉口和无信号交叉口通行能力的研究方法进行了修正,采用了许多新思想、新方法。后来又出现了名为《HCM2000》的新手册^[4],它对在不同交通条件下现有道路、交叉口的通行能力进行了新的修订,并增加了车辆安全设施、ITS的内容。

美国对互通立交系统的研究起步最早,通过近五十年的研究,美国对互通立交系统交通行为特征等方面有了较深入的研究。现在,美国仍然在继续进行进一步的研究工作,并重点研究互通立交分、合流区的通行能力。2004年,AASHTO就设专项研究互通立交的合流区、分流区的通行能力。

此外,国外许多学者也对高速公路匝道、分合流区通行能力进行了广泛的研究,取得了较为深入的研究成果:G F Newell对匝道分流区不同拥挤程度的车流排队延误进行研究^[5];Robert Bertini^[6]等通过微观模拟自由流及排队状况的车流运行特征,对出口匝道通行能力进行了研究;Kyte M, Tian Z^[7]等用离散型与连续型2种方法计算加速区车辆通行能力的差别不大;Bunker和Troutbeck^[8]、Daganzo^[9]等对高速公路合流区车辆延误、通行能力等理论进行了研究;Alexander Skabardonis^[10]应用CORSIM模型对交织区8个调查点的模拟情况进行了研究;Michael J. Cassidy^[11]对高速公路下匝道进行了研究;Kou与Machemehl对高速公路合流区驾驶员的合流行为进行了专门研究^[12],Evans、Elefteriadou、Gautam等运用Markov链对合流失败而停车的概率进行了研究^[13],Hall与Agyemang对合流区通行能力进行了研究^[14]。

1.2.2 国内研究现状

国内对道路的通行能力进行了大量的研究工作,并取得了一系列研究成果。从80年代开始,交通部公路研究所^[15]、公路规划研究院、东南大学^[16]、同济大学、北京工业大学等有关科研单位在学习国外有关通行能力研究方法及内容的同时,对其相应的成果也做了适合国情的引进,对相应问题也作了深入的研究。

我国对互通立交的合流区通行能力的研究也取得了一定的研究成果。东南大学的李文权、王伟、邓卫等对合流区匝道车辆的汇入模型进行了研究^[17-122];同济大学的覃煜、晏克非对高架道路上匝道连接区交通运行特性进行了分析,并利用交通流特性分布及相交车流间隙的认定技术,建立了上匝道通行能力计算的“间隙—接受”理论模型,为高架道路匝道定位设计提供理论依据^[23];同济大学的吴兵、杨佩昆分析高速道路入口匝道的通行能力主要受3个因素的制约,并运用平面优先交叉口通行能力的研究成果,根据高速道路入口匝道与干道结合部的交通流特性以及我国交通的混合交通流特点,建立了高速道路入口匝道通行能力模型^[24]。西南交通大学的罗震对合流区车辆的运行模式进行了研究^[25];通过收集和总结大量研究经验、资料,许多专家、学者对互通立交的分流区^[26]、合流区^[27-135]的研究也取得了一定的成果。

综述国内外这些研究都是将互通立交系统分为匝道、分合流区、主路路段部分的通行能力研究。对于单喇叭型互通立交系统来说,整个互通立交是由主路、匝道、分合流区组成的小型交通网络,车流在互通立交系统内是相互作用、彼此协同的动态关系。因此有必要对单喇叭型互通立交系统的通行能力进行系统化和完整化的研究。

1.3 研究内容

在已有的研究成果基础上, 本论文将对单喇叭型互通立交系统的通行能力进行分析, 突出理论与实用性相结合, 具体包括以下几方面内容:

1. 单喇叭型互通立交系统车辆运行数据的调查与处理

互通立交通行能力研究中, 所需要的观测数据是后期分析工作的第一手资料, 数据的准确与否直接关系到分析结果的偏差程度。因此, 正确的数据采集与处理方法将给后面的分析建模工作在质量上提供可靠的保证。主要调查两个方面内容:

(1) 几何参数: 主路平、纵、横设计标准、车道数、车道宽度; 匝道平、纵、横设计标准、车道数、车道宽度、加减速车道车道数、车道宽度、车道长度、渐变段长度等;

(2) 交通参数: 交通量、车型比例、车头时距、车头间距、车辆速度、车辆加速度等。

2. 单喇叭型互通立交系统几何特性分析

单喇叭型互通立交是三路立交的代表形式, 本论文将研究的内容包括:

(1) 常见的互通立交型式比较;

(2) 单喇叭型互通立交的优缺点;

(3) A型与B型的比较;

3. 匝道通行能力分析

匝道的通行能力是互通立交系统通行能力的关键部分, 本文研究的内容包括:

(1) 右转匝道通行能力分析;

(2) 半定向型左转匝道通行能力分析;

(3) 环圈型左转匝道通行能力分析;

4. 分合流区通行能力分析

分合流区的通行能力是制约互通立交系统通行能力的瓶颈, 本文研究的内容包括:

(1) 分流区通行能力分析;

(2) 合流区通行能力分析;

5. 单喇叭型互通立交系统通行能力分析

分析了单喇叭型互通立交系统各组成部分的通行能力之后, 本文将对系统的通行能力进行分析, 内容包括:

(1) 主要影响因素分析;

(2) 单喇叭型互通立交系统通行能力计算分析。

6. 单喇叭型互通立交系统通行能力交通仿真分析

运用计算机仿真模拟技术对单喇叭型互通立交系统通行能力模型的合理性以及计算分析的正确性进行验证。

1.4 研究难点与重点

本文在对大量的调查数据和资料的分析研究基础上, 对单喇叭型互通立交系统的几何特性和车流运行特性进行分析, 得出单喇叭型互通立交系统通行能力值; 并运用交通仿真软件对单喇叭型互通立交系统进行微观模拟研究, 验证通行能力值的合理性与正确性。

研究难点有:

对单喇叭型互通立交系统通行能力进行分析需要大量的调查数据, 若人工采集调查数据, 调查时可能会影响道路交通的正常运行, 同时人工调查的安全性和连续性也难以保证。自动采集数据就对观测设备的要求比较高, 要按照调查的要求采集数据。另外选取的调查点要有代表性, 能够正确反映道路交通流特性。这些要求使得数据的采集工作难度较大。

本文在调查时，选择了苏嘉杭高速公路上 3 座交通量较大喇叭型互通立交（其中单喇叭型互通立交 2 座，双喇叭型互通立交 1 座）进行调查，并直接运用苏嘉杭高速公路的监控系统获取视频源，确保了调查数据的连续性和准确性。

研究重点有：

(1) 通过对单喇叭型互通立交系统的车流运行特性分析，得出单喇叭型互通立交系统通行能力值。

由于我国交通构成的特殊性和车辆性能的复杂性，因此，在研究过程中要充分考虑道路几何条件、车辆类型等情况，分析国内外交通的差异，将理论分析与我国交通特色紧密结合，找出符合我国交通流特性的交通流特性与行为特征参数，分析系统各部分的通行能力，得出符合我国交通流特性的单喇叭型互通立交系统通行能力值。

(2) 对单喇叭型互通立交系统进行微观模拟，验证通行能力值。

运用交通仿真软件对单喇叭型互通立交系统进行微观模拟研究，以验证前面分析的单喇叭型互通立交系统通行能力值得合理性。

1.5 研究技术路线与研究方法

1.5.1 研究技术路线

本论文按照“以系统理论为指导、以大量观测数据为基础、以计算机模拟为手段”的指导思想，结合我国互通立交的交通流特性，对单喇叭型互通立交的匝道、分流区、合流区的通行能力进行分析，建立单喇叭型互通立交系统通行能力模型；应用 VISSIM 仿真软件对单喇叭型互通立交进行微观仿真研究，验证通行能力值的正确性。

图 1-5-1 为论文研究技术路线流程图：

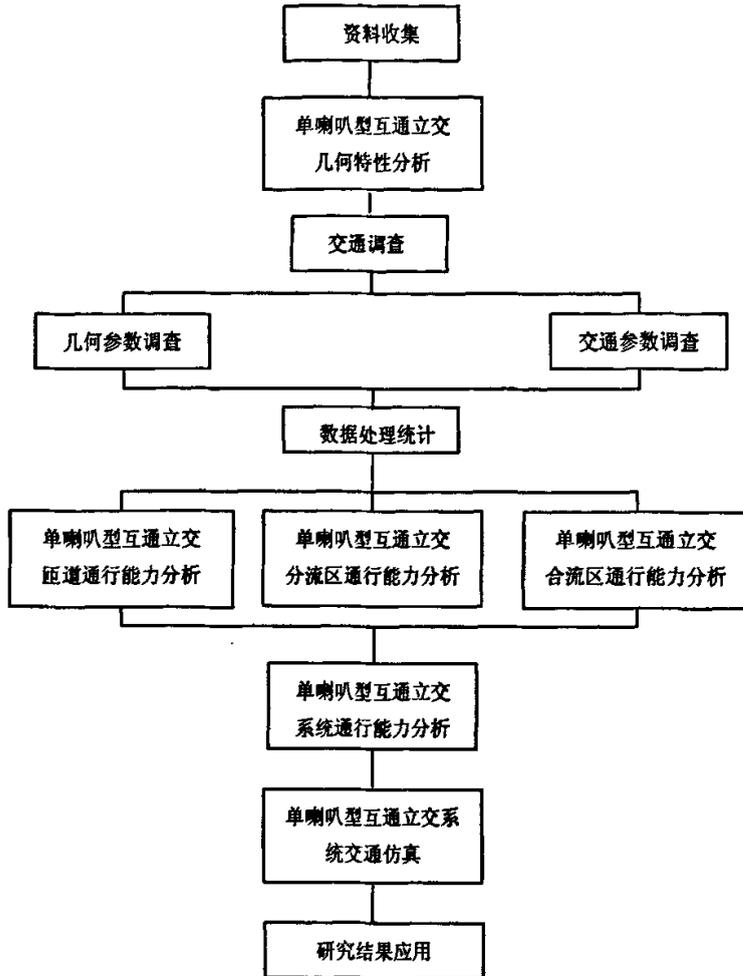


图 1-5-1 研究技术路线流程图

1.5.2 研究方法

单喇叭型互通立交通行能力分析涉及到数学模型、统计学以及交通规划与管理等多学科知识。鉴于其诸多特点，本文将在系统的分析方法基础上，理论与实践相结合，着重采用数理统计、模型法和计算机模拟的方法来进行研究。

1. 统计方法

统计方法是研究交通问题的最传统，也是最普遍使用的方法。交通规律一般都是隐藏在大的杂乱无章的现场数据里。只有通过同方法，才能把握交通运行的深层次的内核。

2. 模型法

采用实测数据对经典的交通流模型进行标定，以得到单喇叭型互通立交系统各部分的通行能力值。

3. 计算机辅助方法

数学模型的求解对于人工计算不仅耗时，准确性也存在问题，采用计算机编程语言，将模型的求解程序化，则可以准确快捷的获得模型的最优解。

采用上述研究方法, 本论文将理论研究与实际工程应用相结合, 具体的研究方法如下:

1. 对调查采集得来的数据采用统计方法进行处理和统计, 为下一步的研究分析做好准备。
2. 对单喇叭型互通立交系统的几何特性和车流运行特性进行分析, 并在分析调查数据的基础上, 运用交通流三参数之间的关系、Greenshields 模型、Underwood 模型以及车头时距分别对单喇叭型互通立交的匝道、分流区、合流区的通行能力进行分析, 得出各部分的基本通行能力推荐值。
3. 分析计算出单喇叭型互通立交系统的通行能力, 并进行交通仿真予以验证。

1.6 主要研究结果

本论文依托于国家自然科学基金资助项目《道路互通立交系统通行能力的分析方法》(编号: 50478071) 和江苏省交通厅项目《多车道高速公路车道数适应性研究》, 在 2006 年 4 月 12 日和 13 日对苏嘉杭高速公路进行了调查, 并应用美国 AutoScope 2004 视频处理软件和人工方法对调查数据进行了处理与分析。运用数理统计方法和回归技术得出了单喇叭型互通立交大型车和中型车的车辆折算系数。在分析调查数据的基础上, 运用交通流三参数之间的关系、Greenshields 模型、Underwood 模型以及车头时距分别对单喇叭型互通立交的右转匝道、半定向型左转匝道、环圈型左转匝道、分流区、合流区的通行能力进行分析, 并给出其基本通行能力推荐值。通过分析单喇叭型互通立交系统中车辆运行的瓶颈区域, 得出系统通行能力的计算公式。并以主线双向 4 车道, 匝道 1 车道的单喇叭型互通立交系统为例计算给出系统通行能力值。运用仿真软件 VISSIM, 对单喇叭型互通立交系统进行了交通仿真研究。最后应用研究结果对 A 型或 B 单喇叭的选用进行了分析, 并得出结论, 为 A 型或 B 型单喇叭的选用提供了理论依据。

1.7 本章小结

通过对单喇叭型互通立交研究的现状分析, 论述了本论文研究的意义, 系统而深入地分析了国内外与本论文研究内容相关的研究现状。确定了论文研究的研究内容及重难点, 并介绍本论文拟定的技术路线和研究方法, 为本论文奠定了理论基础。

第二章 单喇叭型互通立交几何特性分析

我国的高速公路一般采用收费制，考虑到方便收费、管理以及节约用地的因素，在常见的菱型、苜蓿叶型、喇叭型等几种互通立交基本型式中，较多地采用了单喇叭型。大量的数据可以说明，单喇叭型互通立交是我国互通式立交的最基本型式。

2.1 常见的互通立交型式比较

互通立交根据交叉处车流轨迹线的交错和几何形状的不同可分为部分互通式、完全互通式和环行立交三种类型。其中部分互通式中常用的是菱型；完全互通式中代表型式有喇叭型、定向型、半定向和型苜蓿叶型^[36]。各种立交的示意图如图 2-1-1：

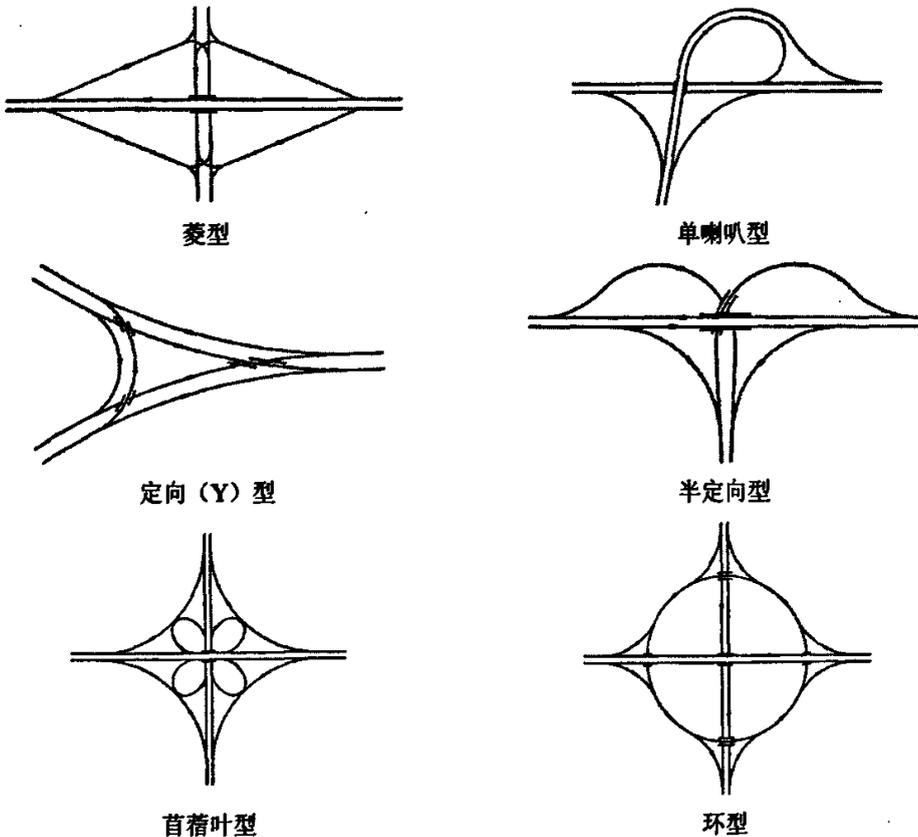


图 2-1-1 各类型互通立交示意图

以上是几种实用性较高的互通立交，现将它们的优缺点列出，如表 2-1-1 所示：

表 2-1-1 各类型互通立交优缺点

名称	优点	缺点
菱形	型式简单、清晰易辨、线形标准高、占地省、构造物少、造价低	在次要道路会产生平面交叉，交通能力变小；出入口多，不适用于收费道路
单喇叭型	连接交通的方向性强；工程经济合理；无交织，行车安全；视距好，行车方向容易辨别；适用于收费道路	绕行距离较长；环形匝道上车速较低
定向（Y）型	线形标准高；完全没有平面交叉；方向性强；适用于高速道路间的连接	占地面积大；分离式立交桥多，工程造价高；
半定向型	行车道不需拉开，占地省	线形受纵断面影响，纵坡较大
苜蓿叶型	几何对称，形式美观；只有一座构造物，无任何交叉点；适用于高速道路的交叉	占地面积大；内环匝道上通行能力低；相邻两环道间产生交通混杂，影响通行能力
环型	型式简单；适用于多路交叉口	结构物规模大；交通混杂，有交织，通行能力有限

从表 2-1-1 可知，菱形、定向（Y）型、半定向型、苜蓿叶型和环型不适宜设置收费站，而我国的高速公路一般采用收费制，考虑到方便收费、管理以及节约用地的因素，在交通量允许的情况下，互通立交的型式大量地采用喇叭型（包括单喇叭和双喇叭）。通过对全国 10 个省 19 条高等级公路中的 80 余处互通立交型式的资料调查，发现其中 70% 以上的互通立交采用喇叭型，特别是单喇叭型^[2]。

2.2 单喇叭型互通立交的优缺点

单喇叭型互通立交主要用于高等级公路与次要公路相交，它是三路立交的代表形式。它只设一个立体交叉构造物，由一条环型匝道，一条半定向型匝道和两条右转匝道共三类匝道组成。

单喇叭型互通立交可分为 A 和 B 型：匝道交通流经环圈型左转匝道驶入主线（或正线）为 A 型，如图 2-2-1；主线交通流经环圈型左转匝道驶出主线（或正线）为 B 型，如图 2-2-2。

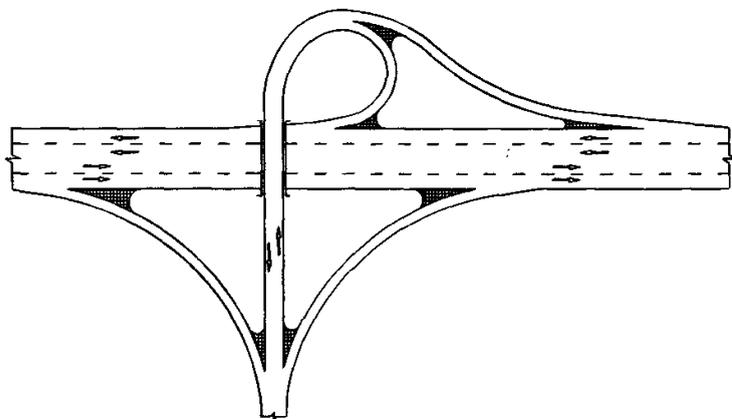


图 2-2-1 单喇叭型互通立交（A 型）

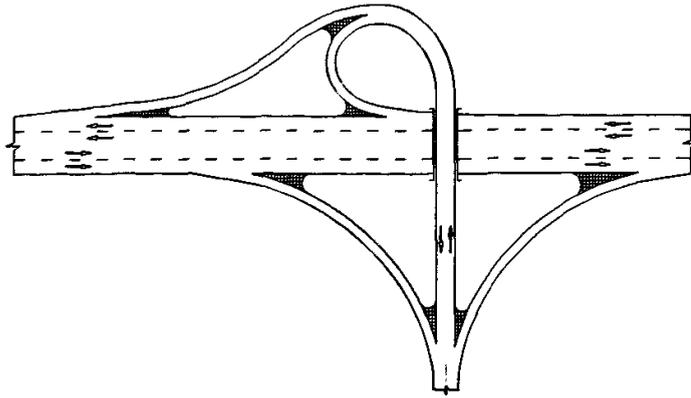


图 2-2-2 单喇叭型互通立交 (B 型)

单喇叭型互通立交的优点：用于收费道路可只设置一个收费口；连接交通的方向性强；只需要一座构造物，工程经济合理，投资较少；无交织，通行能力大，行车安全；造型美观，视距好，行车方向容易辨别。

单喇叭型互通立交的缺点：车辆在互通立交上运行时，绕行距离较长；在环形车道上运行的车辆由于受到线形的影响，车速较低。

2.3 A 型与 B 型的比较

只要有良好的线型和必要的视距，A 型与 B 型在几何构造上都可以创造出安全和优美的线型。采用 A 或 B 型，一般都是根据交通量的分布来确定，当然，地形、地物、被交道路等限制对于类型的选择也有一定影响。

布设时，通常在较小的交通量方向上使用内环匝道，以此来选用 A 型或 B 型，传统的经验做法是：当驶入主线的交通量小于驶出主线的交通量时，优先考虑采用 A 型；当驶入主线的交通量大于驶出主线的交通量时，如果驶入主线的远景年平均日交通量与驶出主线交通量相差悬殊(2000 辆/日)以上，可以考虑采用 B 型单喇叭的类型，否则应慎重采用。

选用 A 型或 B 型，问题的关键在于服务交通量和通行能力的大小。而由于缺少匝道的通行能力值，在规划和设计时，设计人员往往凭借经验，缺乏理论依据。要克服这一问题，就必须研究其通行能力，这也是本文的主要写作动机。

2.4 本章小结

本章对常见的几种互通立交的几何特性进行了分析比较。并对单喇叭型的几何特性进行了分析，阐述了单喇叭型互通立交的优缺点，得出喇叭型互通立交因其方便收费、管理以及节约用地等原因，大量应用于我国的收费道路。对单喇叭型互通立交的几何特性分析也为接下来的即将进行的交通调查做好了准备。

第三章 喇叭型互通立交系统车辆运行数据的调查与处理

交通调查是一种用客观的手段,测定道路交通流以及与其有关现象的数据,并进行分析,从而了解与掌握交通流的规律。交通调查是交通工程学科中的一个重要组成部分,交通工程学的发展在一定程度上依靠交通调查工作的开展和数据资料的积累与利用。

交通调查必须依据一定的调查方案合理有效地进行,调查的方案的设计直接关系到调查数据的准确性,而调查数据的准确与否又直接关系到分析结果的偏差程度。因此,正确的数据采集与处理方法将给后面的研究工作在质量上提供可靠的保证。

3.1 调查目的

观测数据是后期分析工作的第一手资料,数据的准确与否直接关系到分析结果的偏差程度。因此,正确的数据采集与处理方法将给后面的分析工作在质量上提供可靠的保证。

调查取得的数据要实现以下目的:

(1) 确定高速公路上交通量的空间变化特性,主要包括车辆在各车道上的分布、交通流的方向分布特性等;

(2) 确定高速公路上车辆运行的速度的特性,包括不同交通量条件下的速度,不同车道上车辆运行速度的差别及交通组成对整个交通的影响。

(3) 确定合流区内主线和加速车道上的流量变化情况、主线车流的车头时距在不同交通量水平下的分布规律、合流点的分布特性、匝道车辆在加速车道上的行驶特性

(4) 确定分流区内主线和减速车道上的流量变化情况、主线车流的车头时距在不同交通量水平下的分布规律、分流点的分布特性、车辆在减速车道上的行驶特性

(5) 确定车辆在匝道上的行驶特性,包括不同交通量条件下,车辆运行速度的差别及交通组成对整个交通的影响。

3.2 调查内容

交通调查参数主要分为两种:几何参数和交通参数。参数列表如下:

(1) 几何参数:主路车道数、车道宽度、平面线形;匝道车道数、车道宽度、平面线形;加速车道车道数、车道宽度、车道长度、渐变段长度等。

(2) 交通参数:

本次调查主要包两个部分:即左(右)转匝道、分(合)流区。

匝道的主要调查内容是交通量、行车速度、车种类型、不同车辆间车头时距、临界间隙等。

分、合流区交通调查的主要内容是交通量、车型比例、车头时距、车头间距、车辆速度、车辆加速度等。

3.3 调查方案

交通调查必须依据一定的调查方案合理有效地进行。观测设备选用、观测点的选取、观测方法等构成整个调查方案。

3.3.1 设备的选用

通过实验采集数据有两大类方法可供选择,即自动采集与人工采集,它们各自的优点和缺点都非常明显:前者能够以较少的人力花费获得大量的资料,但是对于复杂交通状况(比如机非混行、横向干扰严重、车流频繁更换车道的情况)的适应性不太理想;后者人力花费比较大,而且难以胜任长时间的连续观测,但是可以处理比较复杂的交通状况。

鉴于互通立交是机动车专行,横向干扰小,交通状况比较简单,本次调查采用自动采集。

处理数据的主要仪器为美国 AutoScope2004 视频处理系统,由美国的 Image Sensing Systems, Inc 研制。该系统对交通运行状况的视频图像(实时的视频信号或者资料录像带等)进行处理,以设置“虚拟检测器”的方法,可同时获取交通量、车型、速度、密度、车头时距、服务水平等资料。该系统的硬件部分由以下 5 个部分组成:

- (1) 图像传感器或视频源 (Image Sensor(s) or Video Source);
- (2) 照相机接触面板 (Camera Interface Panel);
- (3) Auto Scope 视频处理器 (Auto Scope Machine Vision Processor);
- (4) 视频卡 (Win/TV Prism or Cinema Pro Board);
- (5) PC 机 (IBM-compatible PC)。

3.3.2 调查点的选择

1、调查点的选点原则

正确选择观测点的主要目的在于能够得到正确反映道路交通流特性的数据。观测点的选择必须以数据后期分析要求为依据,选点应具有代表性。

调查点的选择主要有以下几个原则:

- (1) 一般情况下,应选择有较好视野,有利于观测,并适合于架设摄像机;
- (2) 选点应有较少的外界干扰,即保证不受意外事件影响;
- (3) 交通量应足够大。

2、确定调查点

根据调查内容和观测设备,并结合实际的情况,最终决定选择苏嘉杭高速公路进行调查,并直接运用苏嘉杭高速公路的监控系统获取视频源。

本次调查的苏嘉杭高速公路路段路基宽度全线均为 28.0 米,其中,中间带 4.5 米,行车道为双向 4 车道,车行道宽度为 3.75 米,右侧硬路肩宽为 3.5 米,右侧土路肩为 0.75 米。调查路段统计各种交叉特大桥 7 座,中桥 11 座,小桥 18 座,共计 7461m;互通式立体交叉 4 处,匝道长 14.438km,匝道为 1 车道,车道宽度为 3.5 米,左侧硬路肩宽为 1 米,右侧硬路肩宽为 2.5 米,左右土路肩各为 0.75 米。匝道桥 8 座,计 1652m;分离式立体交叉 2 处。

根据单喇叭型的几何特性,对单喇叭左(右)转匝道、分(合)流区进行调查,如图 3-3-1 所示。本次调查选取了苏嘉杭高速公路上的 3 个喇叭型互通立交,其中单喇叭型互通立交 2 座,双喇叭型互通立交 1 座,根据单喇叭型互通立交的几何特性设置摄像机采集实地交通数据,统计分析基本路段的交通流特性。调查点列表见表 3-3-1:

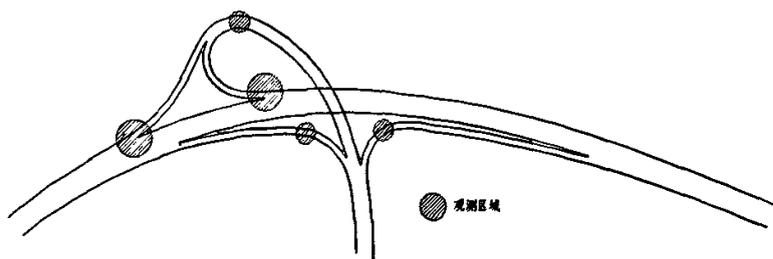


图 3-3-1 单喇叭型互通立交调查点示意图

表 3-3-1 苏嘉杭高速公路调查点列表

序号	调查对象	调查时间	调查点描述
1	右转匝道	2006-4-12 (6: 00~17: 00)	见图 3-3-2
2	右转匝道	2006-4-12 (6: 00~12: 00)	见图 3-3-3
3	环圈型左转匝道	2006-4-12 (12: 00~18: 00)	见图 3-3-4
4	半定向型左转匝道	2006-4-12 (12: 00~18: 00)	见图 3-3-4
5	分流区	2006-4-13 (6: 00~12: 00)	见图 3-3-5
6	合流区	2006-4-12 (11: 00~18: 00) 2006-4-13 (6: 00~18: 00)	见图 3-3-6



图 3-3-2 苏嘉杭高速公路右转匝道调查点



图 3-3-3 苏嘉杭高速公路右转匝道调查点



图 3-3-4 苏嘉杭高速公路左转匝道调查点



图 3-3-5 苏嘉杭高速公路分流区调查点



图 3-3-6 苏嘉杭高速公路合流区调查点

3.4 调查数据的处理

运用美国 AutoScope2004 视频处理系统分析处理摄像机在野外拍摄的交通画面，自动判别车辆的车型、车速、车头时距等，获得所需的交通参数。车型长度划分，虚拟检测器布设位置，统计间隔三个方面直接影响视频的处理结果。

1. 车型长度划分

为了方便数据统计，以及后期对流量、速度、密度等交通流参数进行分析，根据 (JGJ100-98)^[37]中汽车设计车型外廓尺寸和《公路路线设计规范》(JTG D20-2006)^[38]中设计车辆外廓尺寸把本次的观测车辆分为了大、中、小三类型，大型车：11米以上，中型车：5~11米，小型车：5米以下。

2. 虚拟检测器布设

AutoScope 2004 视频处理系统，需要在固定的视频画面上设置不同类型的检测器，从而达到数据采集的目的。检测器设置的位置和组合方式的不同直接决定了交通流数据的采集效果。

常用的检测器为计数检测器、速度检测器和站检测器。设置计数检测器时不要画得太长，否则会重复计入相邻车道车辆。速度检测器是与计数检测器有关联的，设置时需要一定的检测器长度。所有检测器的数据都是通过站检测器输出的，站检测器只需与计数检测器相连，就能输出该计数检测器以及与之关联的速度检测器的数据。

3. 统计间隔

Autoscope 2004 视频处理系统输出的数据分为间隔数据和事件数据。间隔数据与统计间隔有关，它是统计统计间隔内所有车辆的平均车头时距、时间平均车速和空间平均车速(由于路段距离较短，二者差异不大)、车型组成、密度等。事件数据与统计间隔无关，有一车辆通过检测器即视为一个事件。事件数据主要包括车辆到达时刻、车速、车长的全部信息，当然由此也可推出相应的分车型流量(可补充间隔数据中只有三种车型的不足)。但是从实际检测效果上看，有些车长数据明显不合理，建议在使用事件数据时应结合具体情况对不合理事件进行剔除。

在建立流量、速度、密度关系等交通流统计模型或标定模型参数时，首先需要确定统计间隔。统计间隔的确定非常重要，它直接影响到交通流模型曲线的形状，特别是在接近通行能力和拥挤区附近曲线的形状^[39]。

根据一般的经验，当统计间隔增加时，观测点分布的离散性将降低，此时能较好地确定一个适合于这些数据的平顺而连续的曲线。统计间隔越短，个别特殊车辆及交通流的随机因素的影响就越明显。

早期的国内外学者在研究交通流模型时，经常把 15 分钟作为分析交通流统计模型的统计间隔。在近年的关于交通流流量、速度、密度的关系研究中，有些学者认为 15 分钟的统计间隔可能会使不同状态下的交通流数据混合，不便于研究接近通行能力时的交通流运行状况。许多研究成果表明，当流率接近通行能力时，交通流处于极度不稳定状态，交通流从一种状态向另一种状态的转化

仅发生在一分钟之内，因而大流量的状态不可能持续到 15 分钟。

考虑到在交通流达到通行能力以上，交通流呈现不稳定性和非连续性，采用 15 分钟的统计间隔往往得不到某一交通状态附近的稳定值，这会给统计分析交通流的整个变化状态、建立交通流统计分析模型造成困难。因此，我们希望在保证反映交通特性的前提下缩小统计间隔，以 5 分钟为统计间隔。

限于篇幅，本文只给分流区调查点部分数据，如图 3-4-1 为分流区“虚拟检测器”设置图；表 3-4-1 为数据处理结果：

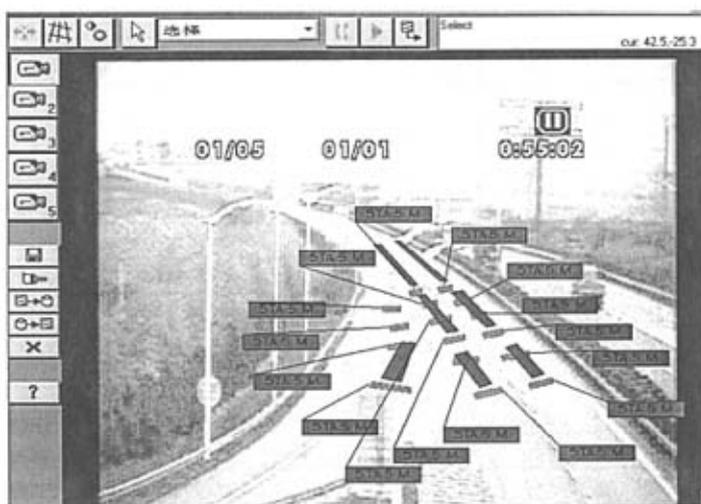


图 3-4-1 分流区“虚拟检测器”设置图

表 3-4-1 分流区数据处理结果

Time	Detector	On Time	Speed (km/h)	Length (m)	Vehicle Class
10:09:10	114	640	83	7.5	1
10:09:12	114	999	106	25	2
10:09:13	114	800	92	18.3	2
10:09:17	114	881	79	12.1	2
10:09:37	114	920	79	14.8	2
10:09:45	114	680	89	14.6	2
10:09:50	114	360	134	11.6	2
10:09:52	114	920	51	6.9	1
10:09:53	114	1200	51	11.8	2
10:10:02	114	360	111	6.6	1
10:10:31	114	560	103	8.7	1
10:10:36	114	1360	59	15.5	2
10:10:45	114	1280	65	16.3	2
10:10:47	114	520	71	8.3	1
10:10:58	114	1199	72	16.6	2
10:11:06	114	1200	90	22.1	2
10:11:21	114	320	102	2.5	0
10:11:23	114	800	103	21.6	2

10:11:25	114	480	101	7.5	1
10:11:33	114	400	134	16	2
10:11:37	114	320	105	4	0
10:11:42	114	600	104	9.8	1
10:11:44	114	1240	93	24.9	2
10:12:16	114	800	103	19.3	2
10:12:21	114	480	93	10.7	1
10:12:22	114	600	61	9.3	1
10:12:42	114	840	92	13.4	2
10:12:45	114	1120	94	22.3	2
10:12:48	114	2120	32	10.8	1
10:12:56	114	1360	69	18	2
10:13:01	114	200	83	5.2	1
10:13:07	114	960	100	18.6	2
10:13:14	114	400	115	6	1
10:13:17	114	280	134	4.1	0
10:13:33	114	440	82	3.4	0
10:13:34	114	960	82	13.7	2
10:13:36	114	280	99	2.3	0
10:13:37	114	720	115	16.3	2
10:13:40	114	1281	72	17.5	2
10:14:10	114	320	38	6.2	1

3.5 调查数据的统计

3.5.1 车头时距统计

本文运用 VBA 在 Microsoft Excel 的基础上编写了统计程序,以便对车头时距和不同的跟车类型进行统计,统计程序见附录 1 车头时距统计程序 (VBA),其循环统计步骤如图 3-5-1,统计演示如图 3-5-2:

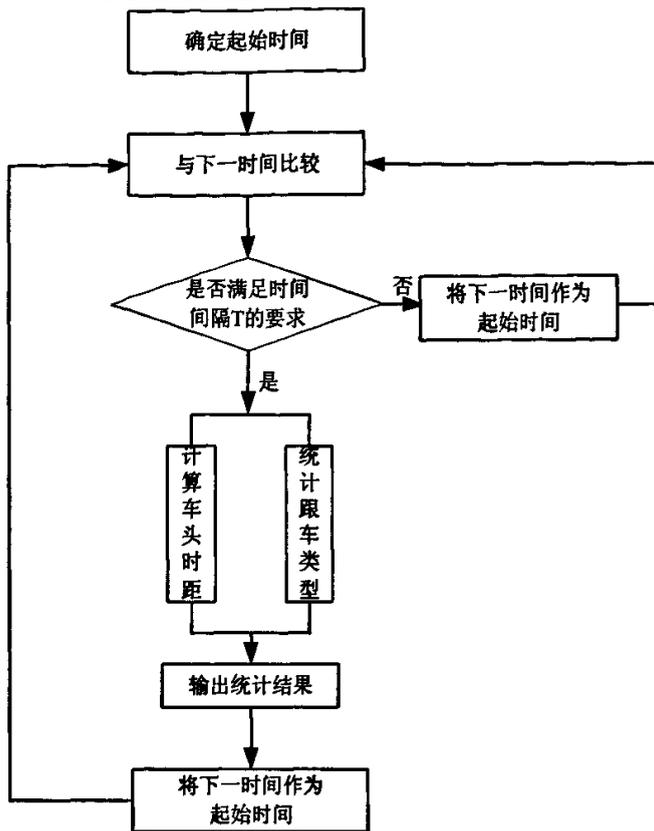


图 3-5-1 车头时距循环统计步骤图

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10			从第11行开始进行数据处理				车头时距	跟车类型	
11	10:09:10	114	640	83	7.5	1			
12	10:09:12	114	999	106	2.5	2	0:00:02	大一中	
13	10:09:13	114	800	92	18.3	2	0:00:02	大一 大	
14	10:09:17	114	881	79	12.1	2	0:00:04	大一 大	
15	10:09:37	114	920	79	14.8	2	0:00:20	大一 大	
16	10:09:45	114	680	89	14.6	2	0:00:07	大一 大	
17	10:09:50	114	360	134	11.6	2	0:00:06	大一 大	
18	10:09:52	114	920	51	6.9	1	0:00:01	中 大	
19	10:09:53	114	1200	51	11.8	2	0:00:01	大一 中	
20	10:10:02	114	360	111	6.6	1	0:00:09	中 大	
21	10:10:31	114	560	103	8.7	1	0:00:30	中 中	
22	10:10:36	114	1360	59	15.5	2	0:00:05	大一 中	
23	10:10:45	114	1280	65	16.3	2	0:00:09	大一 大	
24	10:10:47	114	520	71	8.3	1	0:00:02	中 大	
25	10:10:58	114	1199	72	16.6	2	0:00:11	大一 中	
26	10:11:06	114	1200	90	22.1	2	0:00:08	大一 大	
27	10:11:21	114	320	102	2.5	0	0:00:15	小 大	
28	10:11:23	114	800	103	21.6	2	0:00:02	大一 小	
29	10:11:25	114	480	101	7.5	1	0:00:02	中 大	
30	10:11:33	114	400	134	16	2	0:00:08	大一 中	
31	10:11:37	114	320	105	4	0	0:00:03	小 大	
32	10:11:42	114	600	104	9.8	1	0:00:06	中 小	

图 3-5-2 分流区车头时距统计演示图

3.5.2 车辆折算系数 (PCE) 的确定

为了便于进一步地研究,需将各种车型换算成同一标准车型。在国外的研究中因国外车种组成相对比较单一,通常在混行车道中大型车的比例在 15%以下,所以可仅单一考虑小汽车。这种方法在我国显然是行不通的,我国交通的一大特征就是车型混杂,且大型车的比例较高,因此在我国公路规划设计中,一般取中型车为标准车型,在城市交通规划中,一般取小型车为标准车型。

交通流中一辆载重汽车相当于若干辆小汽车,这个相当于小汽车的数目,就称之为 PCE (Passenger-car equivalents),也叫小汽车当量系数或车辆折算系数^[40]。

高速公路交通流组成复杂,车种较多,并且考虑到大型货车、铰链车和集装箱车等特大型车辆对交通流的影响较为严重,所以对本次按长度划分的三类车型进行车辆折算系数的确定很有必要。

当混合车流中有三种车型混合时,存在如下关系:

$$Q = Q_{混} * (PCE_{大} * p_{大} + PCE_{中} * p_{中} + p_{小})$$

式中: Q 为标准小型车流量 (pcu/h);

$Q_{混}$ 为混合交通流流量 (veh/h);

P 为混合流中各型车所占比例 (%);

PCE 为相应各车型折算系数。

由于交通量与车头时距成反比,所以上式可划为:

$$H_{混} = H * (p_{大} * PCE_{大} + p_{中} * PCE_{中} + p_{小}) \quad (3-5-1)$$

式中: $H_{混}$ 为混合车流的平均车头时距 (s);

H 为小汽车流的平均车头时距 (s)。

此时,共存在 9 种车头时距,其矩阵如下:

$$\begin{pmatrix} H_{大小} & H_{大中} & H_{大大} \\ H_{中小} & H_{中中} & H_{中大} \\ H_{小小} & H_{小中} & H_{小大} \end{pmatrix}$$

式中: H_{ab} 为 a 类车跟 b 类车的平均车头时距 (s),其中 $H_{小小}$ 等于式 3-5-1 中的 H ;

在实际情况中,一般大型车速度低于中型车,中型车速度低于小型车,所以大型车跟小型车、中型车跟小型车、大型车跟中型车的车头时距不能稳定,应使用 $H_{小小}$ 替代 $H_{大小}$ 和 $H_{中中}$, $H_{中中}$ 替代 $H_{大中}$, 得到如下优化后的车头时距矩阵:

$$\begin{pmatrix} H_{小小} & H_{中中} & H_{大大} \\ H_{小小} & H_{中中} & H_{中大} \\ H_{小小} & H_{小中} & H_{小大} \end{pmatrix}$$

所以此时:

$$\begin{aligned}
 H_{\text{混}} = & p_{\text{大}} * p_{\text{小}} * H_{\text{小小}} + p_{\text{大}} * p_{\text{中}} * H_{\text{中中}} + p_{\text{大}} * p_{\text{大}} * H_{\text{大大}} \\
 & + p_{\text{中}} * p_{\text{小}} * H_{\text{小小}} + p_{\text{中}} * p_{\text{中}} * H_{\text{中中}} + p_{\text{中}} * p_{\text{大}} * H_{\text{中大}} \\
 & + p_{\text{小}} * p_{\text{小}} * H_{\text{小小}} + p_{\text{小}} * p_{\text{中}} * H_{\text{小中}} + p_{\text{小}} * p_{\text{大}} * H_{\text{小大}}
 \end{aligned}
 \tag{3-5-2}$$

根据本次调查的苏嘉杭高速公路上匝道、分流区、合流区的数据，以每个检测器为单位分析饱和和流量情况下的各类平均车头时距及各车型的比例，得和 3-5-2:

表 3-5-1 和 3-5-2:

表 3-5-1 各检测器饱和和流量下的平均车头时距

位置	车头时距 (s)								
	大跟			中跟			小跟		
	大	中	小	大	中	小	大	中	小
右转匝道	4.5	1	4	4	1.4	2	1.5	1.2	1
半定向型左转匝道	2	2	2	2	2.5	2	1.5	1.2	1
环圈型左转匝道	1.5	4	2	2.2	1.8	1	2	3	1
分流末端前 120 米处外车道	5	1	1	2	1.5	2	2	2	1
分流末端前 120 米处内车道	3	1.5	1	2	2	1.5	2.5	1	1
分流末端前 30 米处外车道	3.5	1	1	2	1	1	3	2	1
分流末端前 30 米处内车道	3	1	1	2.5	1.5	1	2	2	1
分流末端外车道	3	1	1.5	2	2	1	2	2	1
分流末端内车道	3	1.6	1.9	2	2	2	2	2	1
减速车道	6	1.5	4	2	4	5	2	1	2
合流区初始端内侧车道	3	1	1	4	3	1	2	1	1
合流区初始端外侧车道	4	1.5	1	2	2	1	3	3	1
合流区初始端后 60 米内侧车道	4	1	1	2.5	2	1	3	1	1
合流区初始端后 60 米外侧车道	5.5	5.5	4	2	2	1	2	2	1
合流区初始端后 120 米内侧车道	3	2	1	2.5	2.5	2	3	2	1
合流区初始端后 120 米外侧车道	6	5.5	6	4	2.5	1	4	1	1
合流区末端内侧车道	3	3	1	2	3	2	2	1.5	1
合流区末端外侧车道	4	2	1.5	2	3	1	5	2.5	1
加速车道鼻端	2	1	1	1.5	1.5	1	3	1	1
加速车道鼻端后 60 米	5	1	4.5	2	1.5	1	6.5	2	1.5
加速车道鼻端后 120 米	4	7	5	5	6.5	7.5	2	1	1.5

注: 表头表示某车跟某车的车头时距, 如第二列为大车跟大车, 第三列为大车跟中车。

表 3-5-2 各检测器车型组成比例

位置	车型比例 (%)		
	大型车	中型车	小型车
右转匝道	33	38	29
半定向型左转匝道	34	42	24
环圈型左转匝道	15	50	35
分流区末端外侧车道	15	20	65
分流区末端内侧车道	18	22	60
分流区末端前 30 米外侧车道	12	18	70
分流区末端前 30 米内侧车道	12	25	63

分流区末端前 120 米外侧车道	13	19	68
分流区末端前 120 米内侧车道	13	24	63
减速车道	13	13	74
合流区始端内侧车道	29	49	22
合流区始端外侧车道	30	49	21
合流区始端后 60 米内侧车道	31	48	21
合流区始端后 60 米外侧车道	33	43	24
合流区始端后 120 米内侧车道	33	48	19
合流区始端后 120 米外侧车道	28	50	22
合流区末端内侧车道	37	43	20
合流区末端外侧车道	31	50	19
加速车道鼻端	17	13	70
加速车道鼻端后 60 米	23	22	55
加速车道鼻端后 120 米	27	33	40

根据表 3-5-1 和表 3-5-2 两个表的数据，我们可以利用公式 3-5-2 计算出各检测器的混合车流平均车头时距 H_m ，见表 3-5-3：

表 3-5-3 各检测器混合车流平均车头时距 单位 (s)

位置	H_m	位置	H_m
右转匝道	1.80	合流区始端内侧车道	1.71
半定向型左转匝道	1.80	合流区始端外侧车道	1.65
环圈型左转匝道	1.76	合流区始端后 60 米内侧车道	1.56
分流区末端外侧车道	2.28	合流区始端后 60 米外侧车道	1.78
分流区末端内侧车道	2.23	合流区始端后 120 米内侧车道	1.76
分流区末端前 30 米外侧车道	2.36	合流区始端后 120 米外侧车道	1.96
分流区末端前 30 米内侧车道	2.26	合流区末端内侧车道	1.77
分流区末端前 120 米外侧车道	3.22	合流区末端外侧车道	1.90
分流区末端前 120 米内侧车道	2.32	加速车道鼻端	1.27
减速车道	4.42	加速车道鼻端后 60 米	2.28
		加速车道鼻端后 120 米	3.06

将各参数带入公式 3-5-1，并运用最小二乘法标定 $PCE_{大}$ 和 $PCE_{中}$ ，得车辆折算系数 (PCE) 推荐值为：

表 3-5-4 车辆折算系数 (PCE) 推荐值

位置	小型车 (≤ 5.00)	中型车 (< 11.00)	大型车 (≥ 11.00)
匝道	1	1.8	2.6
分流区	1	1.8	2.9
合流区	1	1.5	2.7

3.5.3 速度、流量统计

在建立流量、速度、密度关系等交通流统计模型或标定模型参数时，首先需要确定统计间隔。统计间隔的确定非常重要，它直接影响到交通流模型曲线的形状，特别是在接近通行能力和拥挤区附近曲线的形状。因此，我们希望在保证反映交通特性的前提下，尽量缩小统计间隔，为在本次调

查的现有道路、交通条件下建立交通流统计分析模型创造条件。所以我们将分别用 15 分钟、10 分钟、5 分钟、4 分钟、3 分钟、2 分钟为统计间隔进行统计。

在进行流量统计时，采用表 3-5-4 推荐的车辆折算系数 (PCE) 进行统计，速度为加权平均车速。本文运用 VBA 在 Microsoft Excel 的基础上编写了统计程序，以便对速度和流量进行统计，统计程序见附录 2 速度、流量统计程序 (VBA)，其循环统计步骤如图 3-5-3，计算演示如图 3-5-4：

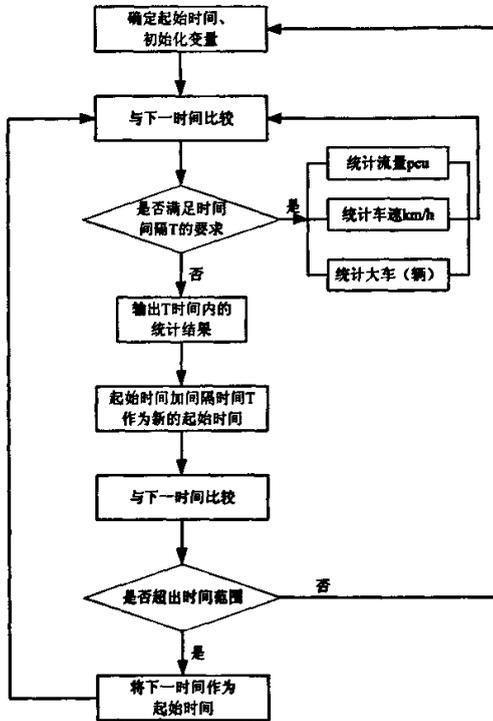


图 3-5-3 速度、流量循环统计步骤图

Time	Detector	On Time	Speed	Length	Vehicle	流量	加权平均车速	检测时间	截止时间	大车驶入率 (%)
10:09:10	114	640	83	7.5	1	1290	83.40	10:09:10	10:11:06	68.76
10:09:12	114	999	106	25	2	1140	92.61	10:11:22	10:13:07	50.00
10:09:13	114	800	92	18.3	2	1230	86.07	10:13:14	10:15:07	25.00
10:09:17	114	881	79	12.1	2	760	90.38	10:15:13	10:16:46	30.77
10:09:37	114	920	79	14.8	2	810	84.93	10:17:34	10:19:09	33.33
10:09:45	114	680	89	14.6	2	1470	94.28	10:19:16	10:21:00	52.38
10:09:50	114	360	134	11.6	2	450	103.07	10:21:11	10:22:31	42.86
10:09:52	114	920	51	6.9	1	300	94.70	10:23:13	10:23:38	76.00
10:09:53	114	1200	51	11.8	2	720	61.38	16:11:56	16:13:42	26.26
10:10:02	114	360	111	6.6	1	570	50.79	16:14:04	16:15:32	71.43
10:10:31	114	560	103	8.7	1	510	63.12	16:16:12	16:17:47	25.00
10:10:36	114	1360	59	15.5	2	1500	54.92	16:17:56	16:19:40	30.43
10:10:45	114	1280	65	16.3	2	660	56.73	16:19:59	16:21:55	40.00
10:10:47	114	520	71	8.3	1	900	56.97	16:21:58	16:23:49	58.33
10:10:58	114	1199	72	16.6	2	720	56.04	16:24:12	16:25:45	16.67
10:11:06	114	1200	90	22.1	2	720	57.83	16:26:24	16:27:49	45.45
10:11:21	114	320	102	2.5	0	1080	55.06	16:27:59	16:29:36	25.29
10:11:23	114	800	103	21.6	2	750	56.00	16:29:57	16:31:55	33.33
10:11:25	114	480	101	7.5	1	1230	59.76	16:32:11	16:33:37	52.94
10:11:33	114	400	134	16	2	810	69.70	16:34:05	16:35:45	45.45
10:11:37	114	320	105	4	0	900	72.47	16:36:07	16:37:55	29.43

图 3-5-4 分流区速度、流量统计演示图 (2 分钟时间间隔)

3.6 本章小结

本章介绍了本次交通调查的目的和内容,为达到交通调查的目的,制定了详细的交通调查方案:调查前对观测仪器的选用,调查点的选取。调查时根据苏嘉杭高速公路的实际情况选取了3座喇叭形互通立交作为观测点,并对其分流区、合流区以及匝道的车辆运行情况进行了观测。

在获得观测录像以后,运用美国 AutoScope2004 视频处理系统分析处理摄像机在观测点拍摄的交通画面,自动判别车辆的车型、车速等,获得所需的交通参数。

本文根据需要在 Microsoft Excel 的基础上运用 VBA 编写了统计程序,以便对处理后的数据进行统计。对各种类型的车头时距进行统计,并分析计算出匝道、分流区、合流区的车辆折算系数(PCE),利用计算出的 PCE 统计得出匝道、分流区、合流区的交通流量。为后期对单喇叭型互通立交的通行能力进行分析奠定了基础。

第四章 单喇叭型互通立交系统通行能力分析

国内对通行能力的分析研究较多^[41-44]，对于单喇叭型互通立交，由于其结构的特殊性（由主线和匝道共同组成），可以认为单喇叭型互通立交的通行能力应从以下四个方面考虑：（1）匝道的通行能力；（2）分流区的通行能力；（3）合流区的通行能力；（4）单喇叭型互通立交总的通行能力。

上述四个方面的通行能力是相辅相成、相互制约、相互协调的。本文将对这四个方面的通行能力一一进行分析。

4.1 匝道通行能力分析

本节将借鉴以往建立交通流模型的经验和方法，运用调查的统计数据，建立符合我国高速公路匝道上交通流特性的统计分析模型。

交通量 Q 、行车速度 V 、车流密度 K 是表征交通特性的三个基本参数。下面我们运用这三个基本参数对调查得来的不同型式下的匝道车辆运行数据进行分析：

4.1.1 匝道交通流基本特性分析

匝道是单喇叭型互通立交的重要组成部分，包括两条右转匝道、一条半定向型左转匝道和一条环圈型左转匝道。各匝道的示意图如图 4-1-1 所示：

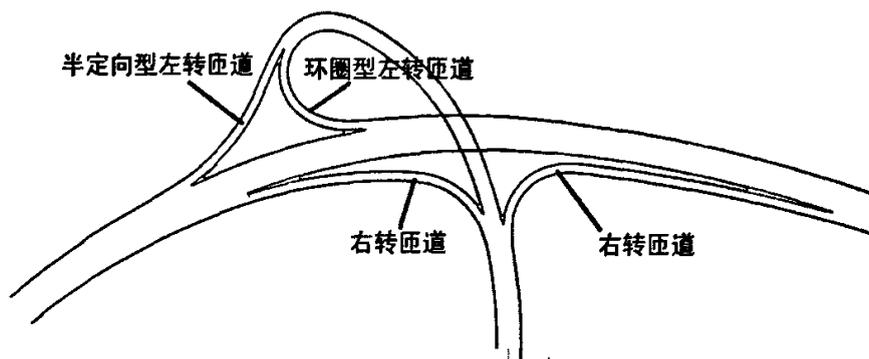


图 4-1-1 单喇叭型互通立交匝道示意图

1. 速度与流量的关系

速度、流量都是可以从实际观测直接得到的参数，也常用来衡量道路的运行情况，速度与流量关系图可以清楚的表现速度随流量的变化关系，估算通行能力，所以速度与流量的关系成为通行能力分析中经常使用的交通流关系。

由表 3-5-4 推荐的匝道车辆折算系数取 $PCE_{大}=2.6$ 和 $PCE_{中}=1.8$ ，采用 3.5.3 介绍的速度、流量统计方法分别用 15 分钟、10 分钟、5 分钟、4 分钟、3 分钟、2 分钟为统计间隔对匝道的速度和流量进行统计，统计结果见附录 3 实测数据统计结果。

下面我们以后右转匝道、半定向型左转匝道和环圈型匝道的速度与流量关系图来讨论交通流统计分析模型：

(1) 右转匝道速度与流量的关系

由附录 3 表 1 得出右转匝道速度与流量关系图, 如图 4-1-2 所示:

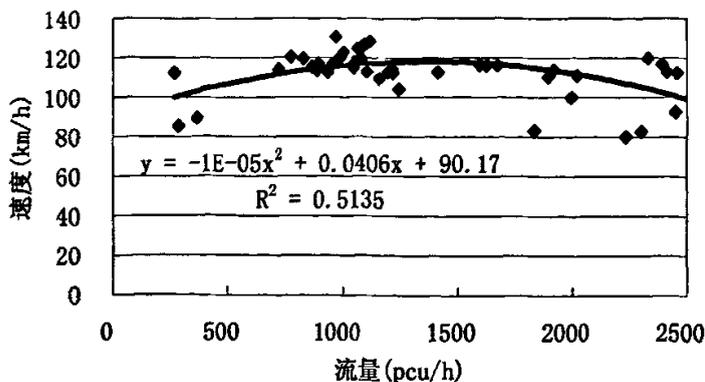


图 4-1-2 右转匝道速度与流量关系图 (10 分钟统计间隔)

从上图可以看到: 在流量的很大范围内, 速度变化并不明显。在 200~1500pcu/小时/车道的流量范围内, 速度的变化范围仅为 5~15km/h, 速度变化梯度为较小。当流量在 1500~2500pcu/小时/车道的流量范围内, 速度有较大幅度的下降。根据上述速度与流量之间关系的散点图, 并通过适当外延, 我们可以确定该匝道通行能力可达 2000pcu/h/车道。

(2) 半定向型左转匝道速度与流量的关系

由附录 3 表 2 得出半定向型左转匝道的实测数据速度与流量关系图, 如图 4-1-3 所示:

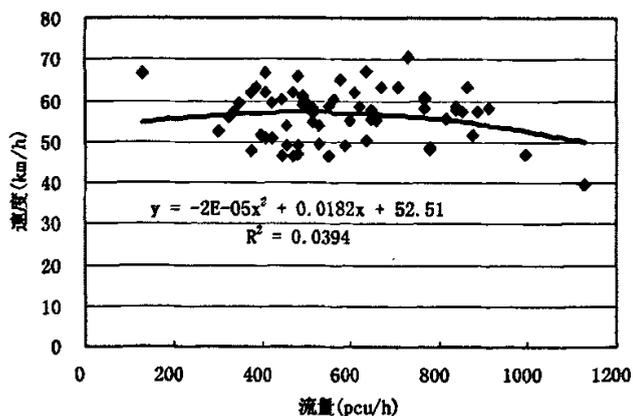


图 4-1-3 半定向型左转匝道速度与流量关系图 (以 5 分钟统计间隔)

从上图可以看到: 在流量很小的时候, 车辆在该匝道内可以达到近 75km/h 的较高速度。随着流量的增加, 速度下降比较明显。在 0~500 辆/h 的流量范围内, 速度仅下降了 5~6km/h, 速度下降梯度为 10~12/1000 (每 1000 辆/h 下降 10~12km/h)。随着流量的逐渐增加, 速度下降幅度加剧。在 500~850 辆/h 的流量范围内, 速度下降了 10~12km/h, 速度下降梯度为 28.6~34.3/1000, 在 850~1100 辆/h 的流量范围内, 速度下降了 14~15km/h, 速度下降梯度为 56~60/1000。该匝道通过的最大流量接近 1100pcu/h/车道, 对应的速度大概为 45km/h。根据上述速度与流量之间关系的散点图, 并通过适当外延, 我们可以确定该匝道的通行能力 1100pcu/h/车道。

(3) 环圈型左转匝道速度与流量的关系

由附录 3 表 3 得出环圈型左转匝道实测数据速度与流量关系图, 如图 4-1-4 所示:

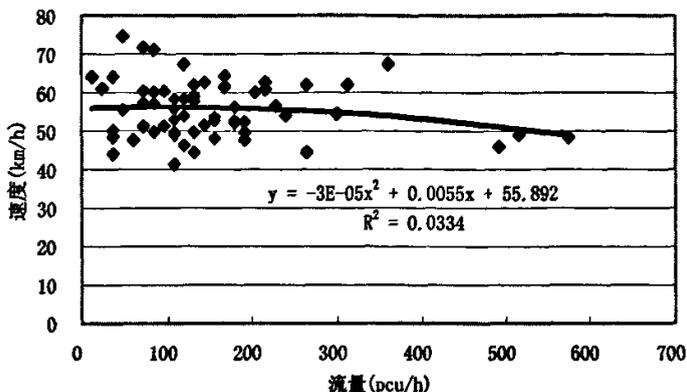


图 4-1-4 环圈型左转匝道速度与流量关系图 (以 5 分钟统计间隔)

从上图可以看到: 当流量较小时, 数据点分布比较分散, 这是因为在这种情况下, 车辆行驶自由度大, 司机可自由选择其车速, 以其期望车速行驶。在这种情况下, 车辆的机动性能的差异就显现出来, 表现出车辆速度离散性较大。当流量较大后, 速度下降幅度加大, 在 300-500pcu/h 的流量范围内, 速度下降了 10km/h, 速度下降的梯度为 14-20/1000 (每 1000pcu/h 下降 14-20km/h)。可以看出该匝道通过的最大流量大致为 750pcu/h/车道。

2. 密度与流量的关系

虽然车流密度不能直接测量, 但从 $Q=K \cdot V$ 的关系, 可以按照 $K=Q/V$ 来计算各流量下对应的车流密度值, 而且以前的研究成果也证明了流量—密度关系具有离散性小, 变化趋势明显等优点, 因此, 通过密度与流量关系来建立交通流统计分析模型是可行的。

(1) 右转匝道密度与流量的关系

由附录 3 表 1 得出右转匝道实测数据密度与流量关系图, 如图 4-1-5 所示:

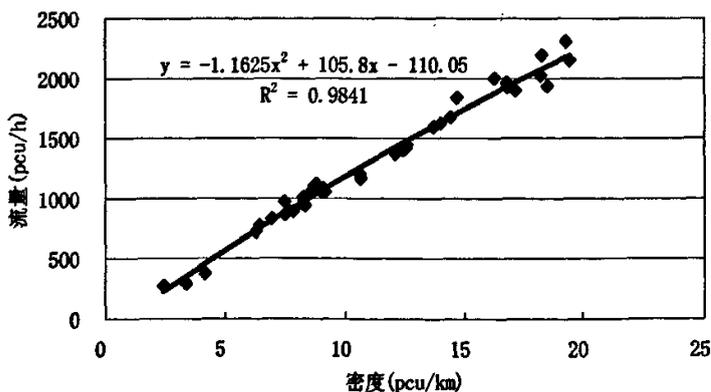


图 4-1-5 右转匝道密度与流量关系图 (以 10 分钟统计间隔)

从上图可以看到: 密度与流量关系图成抛物线形式, 对回归曲线进行延伸, 得右转匝道通行能力为 2297pcu/h。

(2) 半定向型左转匝道密度与流量的关系

由附录 3 表 2 得出半定向型左转匝道的实测数据密度与流量关系图，如图 4-1-6 所示：

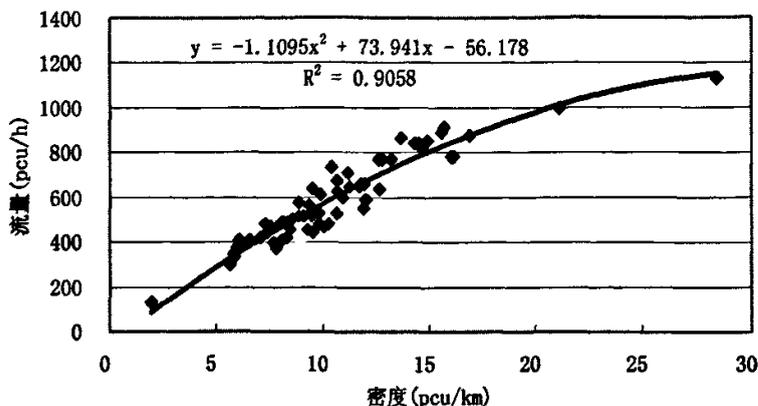


图 4-1-6 半定向型左转匝道密度与流量关系图（以 5 分钟统计间隔）

从上图可以看到：密度与流量关系图成抛物线形式，对回归曲线进行延伸，得半定向型左转匝道通行能力为 1176pcu/h。

(3) 环圈型左转匝道密度与流量的关系

由附录 3 表 3 环圈型左转匝道实测数据密度与流量关系图，如图 4-1-7 所示：

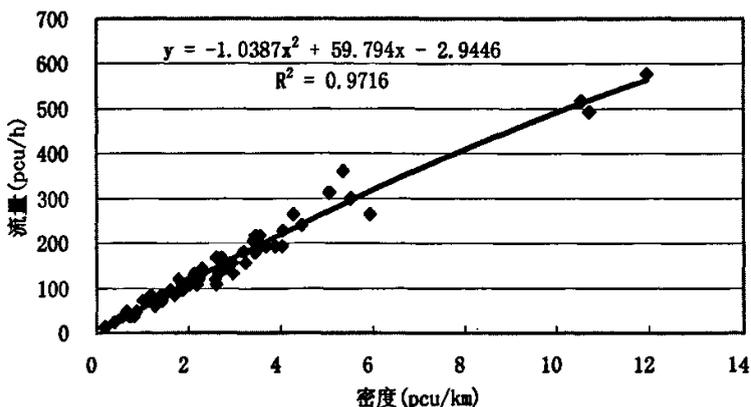


图 4-1-7 环圈型左转匝道密度与流量关系图（以 5 分钟统计间隔）

从上图可以看到：密度与流量关系图成抛物线形式，对回归曲线进行延伸，得右转匝道通行能力为 858pcu/h。

4.1.2 交通流模型标定

上面运用表征交通流特性的三个基本参数，结合实测数据对流量与速度关系、密度与流量关系进行了分析，得到了单喇叭型互通立交不同型式的匝道通行能力值。这里我们采用实测数据对经典的交通流模型进行标定，以得到单喇叭型互通立交匝道上的通行能力值。

1. Greenshields 模型

$$V = V_f \left(1 - \frac{K}{K_j}\right) \quad \text{公式 4-1-1}$$

式中 V_f : 自由流速度 (km/h);

K_j : 阻塞密度 (pcu/km)。

1963 年, Greenshields 提出的这一模型简单直观, 如图 4-1-8, 研究表明, 该模型与实测数据拟合良好。

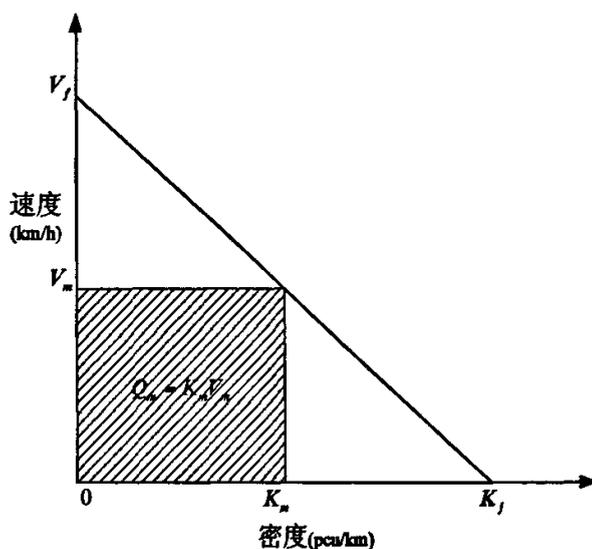


图 4-1-8 密度与速度关系图

如图可知, 流量等于图中矩形面积, 即 $Q_m = V_m K_m = \frac{V_f K_j}{4}$ 。则利用单喇叭互通立交的右转匝

道、半定向左转匝道和环圈型左转匝道分别对模型进行标定:

(1) 标定右转匝道的 Greenshields 模型

由附录 3 表 1 的实测数据得到右转匝道的密度与速度关系图, 如图 4-1-9 所示, 标定结果如表 4-1-1 中所示:

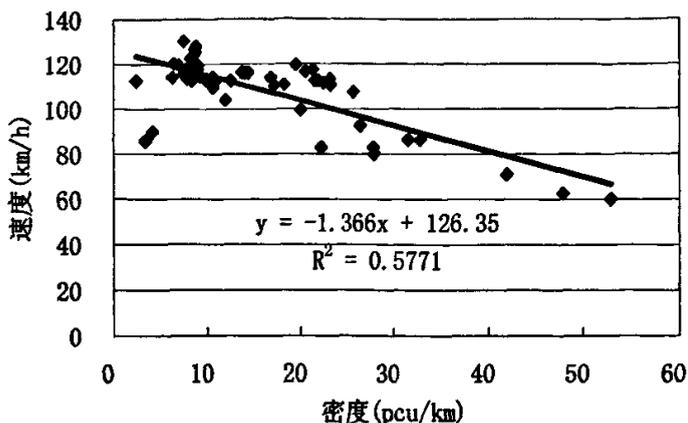


图 4-1-9 右转匝道密度与速度关系图（以 10 分钟统计间隔）

表 4-1-1 右转匝道 Greenshields 模型的标定结果

统计地点	自由流速度 V_f (km/h)	阻塞密度 K_j (pcu/km)	临界速度 V_m (km/h)	临界密度 K_m (pcu/km)	最大流量 Q_m (pcu/h)
右转匝道	126.35	86.19	63.18	43.09	2722

(2) 标定半定向型左转匝道的 Greenshields 模型

由附录 3 表 2 的实测数据得到半定向型左转匝道的密度与速度关系图，如图 4-1-10 所示，标定结果如表 4-1-2 中所示：

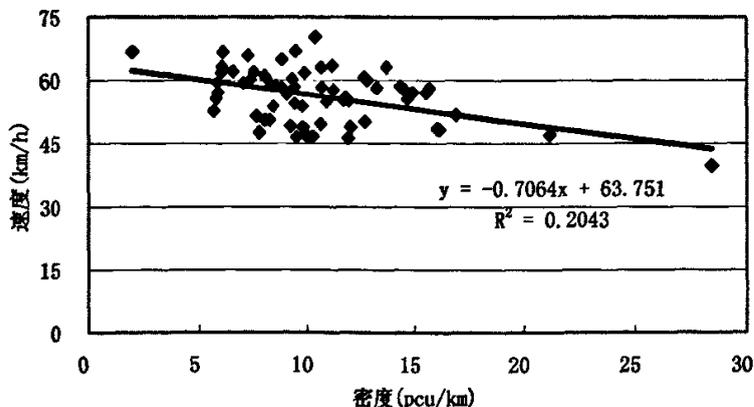


图 4-1-10 半定向型左转匝道密度与速度关系图（以 5 分钟统计间隔）

表 4-1-2 半定向型左转匝道 Greenshields 模型的标定结果

统计地点	自由流速度 V_f (km/h)	阻塞密度 K_j (pcu/km)	临界速度 V_m (km/h)	临界密度 K_m (pcu/km)	最大流量 Q_m (pcu/h)
左转匝道	63.75	90.25	31.87	45.12	1438

(3) 标定环圈型左转匝道的 Greenshields 模型

由附录 3 表 3 的实测数据得到环圈型左转匝道的密度与速度关系图，如图 4-1-11 所示，标定结果如表 4-1-3 中所示：

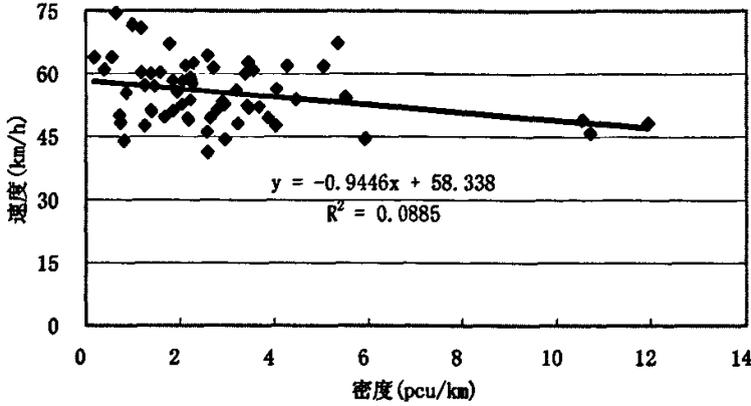


图 4-1-11 环圈型左转匝道密度与速度关系图（以 10 分钟统计间隔）

表 4-1-3 环圈型左转匝道 Greenshields 模型的标定结果

统计地点	自由流速度 V_f (km/h)	阻塞密度 K_j (pcu/km)	临界速度 V_m (km/h)	临界密度 K_m (pcu/km)	最大流量 Q_m (pcu/h)
左转匝道	58.34	61.76	29.17	30.88	901

2. Underwood 模型

$$V = V_f e^{-\frac{K}{K_m}} \tag{公式 4-1-2}$$

式中 V_f ：自由流速度；

K_m ：最大交通量时的密度。

通过对上面的公式运用数学方法进行处理，可得 $V_m = \frac{V_f}{e}$ ，则可知最大交通量

$$Q_m = V_m K_m = \frac{V_f K_m}{e}$$

对公式 4-1-2 进行变换得 $\ln V = \ln V_f - \frac{1}{K_m} K$ ，此时可运用 SPSS 软件将观测所得数据对公式进行参数标定，通过线性回归得出 V_f 和 K_m 的值，求出最大交通量 Q_m 。下面利用单喇叭互通立交的右转匝道、半定向左转匝道和环圈型左转匝道分别对模型进行标定：

(1) 标定右转匝道的 Underwood 模型

运用 SPSS 软件对附录 3 表 1 的观测数据进行回归，得出右转匝道的 V_f 和 K_m 的值，标定结果如表 4-1-4 中所示：

表 4-1-4 右转匝道 Underwood 模型的标定结果

统计地点	自由流速度 V_f (km/h)	临界速度 V_m (km/h)	临界密度 K_m (pcu/km)	最大流量 Q_m (pcu/h)
右转匝道	126.47	46.53	70.90	3299

(2) 标定半定向型左转匝道的 Underwood 模型

运用 SPSS 软件对附录 3 表 2 的观测数据进行回归, 得出半定向型左转匝道的 V_f 和 K_m 的值, 标定结果如表 4-1-5 中所示:

表 4-1-5 半定向型左转匝道 Underwood 模型的标定结果

统计地点	自由流速度 V_f (km/h)	临界速度 V_m (km/h)	临界密度 K_m (pcu/km)	最大流量 Q_m (pcu/h)
左转匝道	76.71	28.22	45.45	1283

(3) 标定环圈型左转匝道的 Underwood 模型

运用 SPSS 软件对附录 3 表 3 的观测数据进行回归, 得出环圈型左转匝道的 V_f 和 K_m 的值, 标定结果如表 4-1-6 中所示:

表 4-1-6 环圈型左转匝道 Underwood 模型的标定结果

统计地点	自由流速度 V_f (km/h)	临界速度 V_m (km/h)	临界密度 K_m (pcu/km)	最大流量 Q_m (pcu/h)
左转匝道	60.58	22.29	50.19	1119

4.1.3 匝道车头时距分析

$$C = \frac{3600}{t} \tag{公式 4-1-3}$$

式中 C: 匝道通行能力 (veh/h);

t: 平均最小车头时距 (s)。

通过统计匝道上成跟驰状态的一列车队中前后两辆车之间的饱和和车头时距, 应用上面的公式进行通行能力的计算。下面根据观测所得数据, 分别对右转匝道、半定向型左转匝道和环圈型左转匝道的混合车流车头时距和小型车的车头时距区间样本数和频率进行统计:

1. 右转匝道车头时距

运用 3.5.1 的方法对右转匝道的混合车流车头时距进行统计, 根据实测数据, 并剔除部分异常值 (以下类同), 车头时距区间样本数和频率等统计结果如表 4-1-7 所示:

表 4-1-7 右转匝道混合车流车头时距频数、频率分布

区间	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
频数	15	77	25	28	19	17	9	17	16	15	8	7
频率 (%)	5.9	30.4	9.9	11.1	7.5	6.7	3.6	6.7	6.3	5.9	3.2	2.8
累积频率	5.9	36.4	46.2	57.3	64.8	71.5	75.1	81.8	88.1	94.1	97.2	100.0

上表中可知: 车头时距分布在 0.5~5s 之内的样本数分别占总样本数的 94.0%。所以可认为该区间内的车头时距为饱和和车头时距, 用以计算通行能力。把该区间外的值(即车头时距<0.3s 和车头时

距>5s 的数据)作为异常值剔除,不进入数据分析中。以此求得单喇叭型立交右转匝道车头时距平均值为 2.197s,运用公式 4-1-3 计算出通行能力为 1638veh/h。

通过对右转匝道观测数据的分析得出各车型比例为:小型车 29%、中型车 38%、大型车 33%(见表 3-5-2),车流的平均车速为 113km/h(见附录 3 表 1)。此时采用按照公路路线设计规范 JTG D20—2006 推荐车辆折算系数(PCE),取大型车 $PCE_{大}=2$,中型车 $PCE_{中}=1.5$,利用下面的公式 4-1-4 得出右转匝道的通行能力为 2483pcu/h。

$$Q = Q_{混} * (PCE_{大} * P_{大} + PCE_{中} * P_{中} + P_{小}) \quad \text{公式 4-1-4}$$

式中: Q 为标准小型车流量(pcu/h);

$Q_{混}$ 为混合交通流流量(veh/h);

p 为混合流中各车型所占比例(%);

PCE 为相应各车型折算系数。

对右转匝道的小型车车头时距区间样本数和频率进行统计,如表 4-1-8 所示:

表 4-1-8 右转匝道小型车车头时距频数、频率分布

区间	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
频数	3	17	14	6	6	4	1	4	2	1	1	2
频率 (%)	4.9	27.9	23.0	9.8	9.8	6.6	1.6	6.6	3.3	1.6	1.6	3.3
累积频率	4.9	32.8	55.7	65.6	75.4	82.0	83.6	90.2	93.4	95.1	96.7	100.0

上表中可知:车头时距分布在 0.5~5s 之内的样本数分别占总样本数的 95.1%。所以可认为该区间内的车头时距为饱和车头时距,用以计算通行能力。把该区间外的值(即车头时距>5s 的数据)作为异常值剔除,不进入数据分析中。以此求得单喇叭型立交右转匝道车头时距平均值为 1.931s,运用公式 4-1-3 计算出通行能力为 1864pcu/h。

2. 半定向型左转匝道车头时距

对半定向型左转匝道的混合车流车头时距区间样本数和频率进行统计,如表 4-1-9 所示:

表 4-1-9 半定向型左转匝道混合车流车头时距频数、频率分布

区间	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5
频数	33	159	161	126	123	102	92	93	60	82	52
频率 (%)	2.1	10.1	10.2	8.0	7.8	6.5	5.8	5.9	3.8	5.2	3.3
累积频率	2.1	12.2	22.4	30.4	38.2	44.7	50.5	56.4	60.2	65.4	68.7
区间	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11
频数	66	52	50	36	64	43	44	41	40	27	30
频率 (%)	4.2	3.3	3.2	2.3	4.1	2.7	2.8	2.6	2.5	1.7	1.9
累积频率	72.9	76.2	79.4	81.7	85.7	88.5	91.2	93.8	96.4	98.1	100.0

上表中可知:车头时距分布在 1~8s 之内的样本数分别占总样本数的 94.3%,所以可认为该区间内的车头时距为饱和车头时距,用以计算通行能力,把该区间外的值(即车头时距<1s 和车头时距>8s 的数据)作为异常值剔除,不进入数据分析中。以此求得单喇叭型立交半定向型左转匝道车头时距平均值为 4.269s,通行能力为 843veh/h。

通过对半定向型左转匝道观测数据的分析得出各车型比例为:小型车 24%、中型车 42%、大型车 34%(见表 3-5-2),车流的平均车速为 56km/h(见附录 3 表 2)。此时采用按照公路路线设计规范 JTG D20—2006 推荐车辆折算系数(PCE),取大型车 $PCE_{大}=7$,中型车 $PCE_{中}=5$,利用公式 4-1-4

得出半定向型左转匝道的通行能力为 3978pcu/h。

对半定向型左转匝道的小型车车头时距区间样本数和频率进行统计，如表 4-1-10 所示：

表 4-1-10 半定向型左转匝道小型车车头时距频数、频率分布

区间	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4
频数	5	16	10	10	10	6	10	4
频率 (%)	5.6	18.0	11.2	11.2	11.2	6.7	11.2	4.5
累积频率	5.6	23.6	34.8	46.1	57.3	64.0	75.3	79.8
区间	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8
频数	2	3	3	3	3	1	1	2
频率 (%)	2.2	3.4	3.4	3.4	3.4	1.1	1.1	2.2
累积频率	82.0	85.4	88.8	92.1	95.5	96.6	97.8	100.0

上表中可知：车头时距分布在 1~6.5s 之内的样本数分别占总样本数的 90%。所以可认为该区间内的车头时距为饱和车头时距，用以计算通行能力。把该区间外的值(即车头时距<1s 和车头时距>6.5s 的数据)作为异常值剔除，不进入数据分析中。以此求得单喇叭型立交半定向型左转匝道车头时距平均值为 2.896s，运用公式 4-1-3 计算出通行能力为 1243pcu/h。

3. 环圈型左转匝道车头时距

对环圈型左转匝道的混合车流车头时距区间样本数和频率进行统计，如表 4-1-11 所示：

表 4-1-11 环圈型左转匝道混合车流车头时距频数、频率分布

区间	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5
频数	4	24	33	21	24	16	20	9	13	10	11
频率 (%)	1.6	9.7	13.4	8.5	9.7	6.5	8.1	3.6	5.3	4.0	4.5
累积频率	1.6	11.3	24.7	33.2	42.9	49.4	57.5	61.1	66.4	70.4	74.9
区间	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11
频数	7	6	10	5	5	8	8	5	3	3	2
频率 (%)	2.8	2.4	4.0	2.0	2.0	3.2	3.2	2.0	1.2	1.2	0.8
累积频率	77.7	80.2	84.2	86.2	88.3	91.5	94.7	96.8	98.0	99.2	100.0

上表中可知：车头时距分布在 1~10.5s 之内的样本数分别占总样本数的 97.6%，所以可认为该区间内的车头时距为饱和车头时距，用以计算通行能力，把该区间外的值(即车头时距<1s 和车头时距>10.5s 的数据)作为异常值剔除，不进入数据分析中。以此求得单喇叭型立交环圈型左转匝道车头时距平均值为 4.05s，通行能力为 889veh/h。

通过对半定向型左转匝道观测数据的分析得出各车型比例为：小型车 35%、中型车 50%、大型车 15% (见表 3-5-2)，车流的平均车速为 55km/h (见附录 3 表 3)。此时采用按照公路路线设计规范 JTJG D20—2006 推荐车辆折算系数 (PCE)，取大型车 $PCE_{大}=7$ ，中型车 $PCE_{中}=5$ ，利用公式 4-1-4 得出半定向型左转匝道的通行能力为 3467pcu/h。

对环圈型左转匝道的小型车车头时距区间样本数和频率进行统计，如表 4-1-12 所示：

表 4-1-12 环圈型左转匝道小型车车头时距频数、频率分布

区间	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5
频数	0	3	5	1	3	2	2	1	1	1	1
频率 (%)	0.0	12.5	20.8	4.2	12.5	8.3	8.3	4.2	4.2	4.2	4.2
累积频率	0.0	12.5	33.3	37.5	50.0	58.3	66.7	70.8	75.0	79.2	83.3
区间	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11
频数	0	0	0	0	0	2	1	0	0	1	0
频率 (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.3	4.2	0.0	0.0	4.2	0.0
累积频率	83.3	83.3	83.3	83.3	83.3	91.7	95.8	95.8	95.8	100.0	100.0

上表中可知：车头时距分布在 1~10.5s 之内的样本数分别占总样本数的 100%。所以可认为该区间内的车头时距为饱和车头时距，用以计算通行能力。把该区间外的值(即车头时距<1s 和车头时距>10.5s 的数据)作为异常值剔除，不进入数据分析中。以此求得单喇叭型立交半定向型左转匝道车头时距平均值为 3.688s，运用公式 4-1-3 计算出通行能力为 976pcu/h。

4.1.4 匝道通行能力推荐值

前面通过交通流三参数之间的关系、标定经典交通流模型以及车头时距分别对单喇叭型互通立交的右转匝道、半定向型左转匝道和环圈型左转匝道进行了通行能力分析，分析结果见表 4-1-13。

表 4-1-13 根据各种模型推算的匝道通行能力值

推荐通行能力 (pcu/h/lane)	分析方法	匝道		
		右转匝道	半定向型左转匝道	环圈型左转匝道
	速度流量关系	2000	1100	750
	密度流量关系	2297	1176	858
	Greenshields 模型	2722	1438	901
	Underwood 模型	3299	1283	1119
	混合车流车头时距计算	1638veh/2483pcu	843veh/3978pcu	905veh/3467pcu
	小型车车头时距计算	1864	1243	976

综合上述研究的结果，通过混合车流车头时距法折算后所得数值比其他方法分析所得数值明显偏大，因此最后分析时不予考虑。综合另外几种分析方法的研究结果并在表 4-1-14 中给出了单喇叭型互通立交匝道的基本通行能力推荐值：

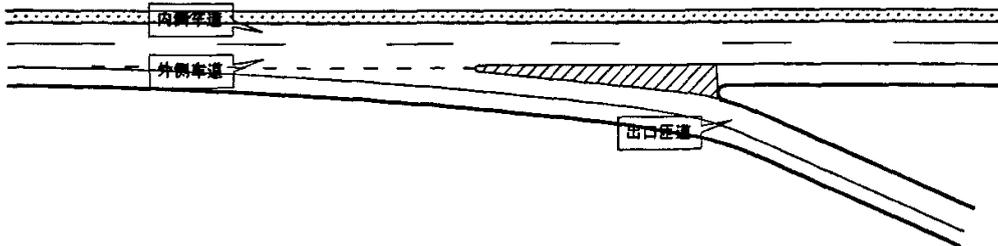
表 4-1-14 单喇叭型互通立交匝道通行能力推荐值

匝道	基本通行能力推荐值(pcu/h/lane)
右转匝道	1800
半定向型左转匝道	1200
环圈型左转匝道	950

4.2 分流区通行能力分析

在分流影响区，如图 4-2-1 所示，由于驶出车辆的干扰，使得一列相互跟驰的车队中的两辆车之间的车头时距增大(尤其在外侧车道上)，从而降低了道路通行能力。

本节将运用速度与流量关系曲线和统计通过分流区内成跟驰状态的车辆之间的饱和车头时距的方法分析分流区的通行能力。



4-2-1 单喇叭型互通立交分流区示意图

4.2.1 分流区交通流基本特性分析

1. 速度与流量的关系

由表 3-5-4 推荐的分流区车辆折算系数取 $PCE_{大}=2.9$ 和 $PCE_{中}=1.8$ ，采用 3.5.3 介绍的速度、流量统计方法分别用 15 分钟、10 分钟、5 分钟、4 分钟、3 分钟、2 分钟为统计间隔对分流区的速度和流量进行统计，统计结果见附录 3 实测数据统计结果。

根据附录 3 表 4、表 5 和表 6 的分流区观测数据做出分流区内侧车道、外侧车道以及整个分流区的速度与流量关系曲线，如图 4-2-2、图 4-2-3 和图 4-2-4 所示：

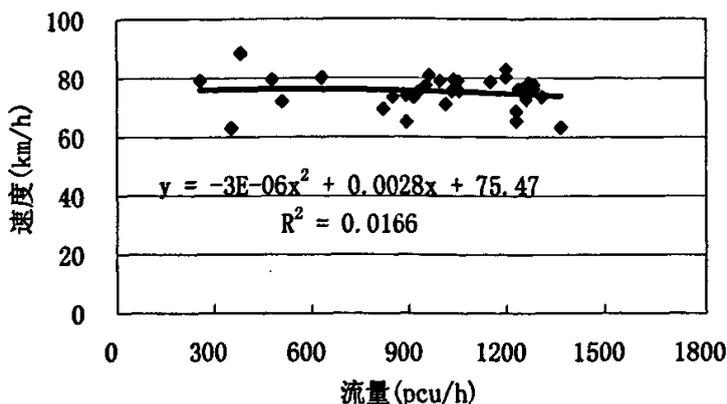


图4-2-2 分流区内侧车道的流量与速度关系曲线（以10分钟统计间隔）

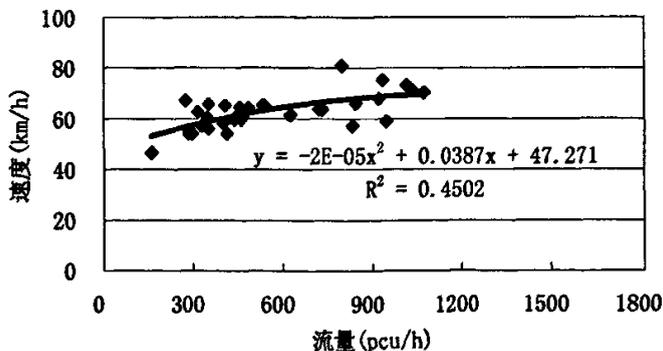


图4-2-3 分流区外侧车道的流量与速度关系曲线（以10分钟统计间隔）

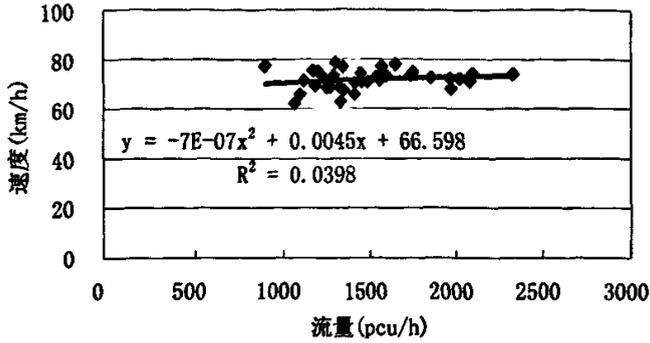


图4-2-4 整个分流区的流量与速度关系曲线（以10分钟统计间隔）

根据图 4-2-2、图 4-2-3 和图 4-2-4 的速度与流量之间关系散点图，通过适当外延，可以看到分流区内侧车道通行能力大约为 1700pcu/h，外侧车道通行能力大约为 1600pcu/h，而整个分流区的通行能力大约为 3200pcu/h。

2. 密度与流量的关系

由附录 3 表 4、表 5 和表 6 的分流区观测数据做出分流区内侧车道、外侧车道以及整个分流区的密度与流量关系曲线，如图 4-2-5、图 4-2-6 和图 4-2-7 所示：

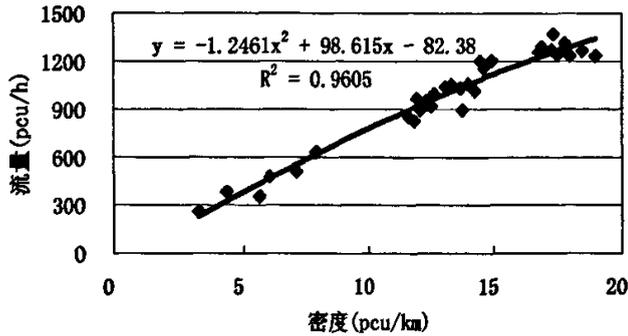


图 4-2-5 分流区内侧车道的密度与流量关系曲线（以 10 分钟统计间隔）

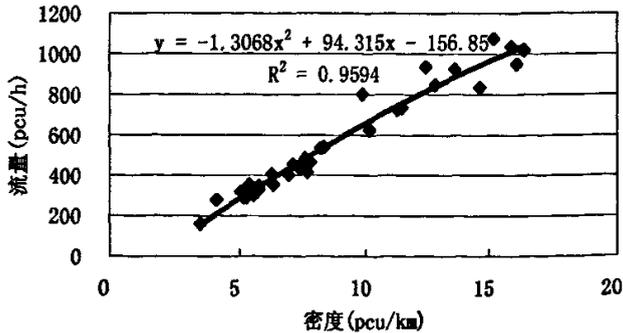


图 4-2-6 分流区外侧车道的密度与流量关系曲线（以 10 分钟统计间隔）

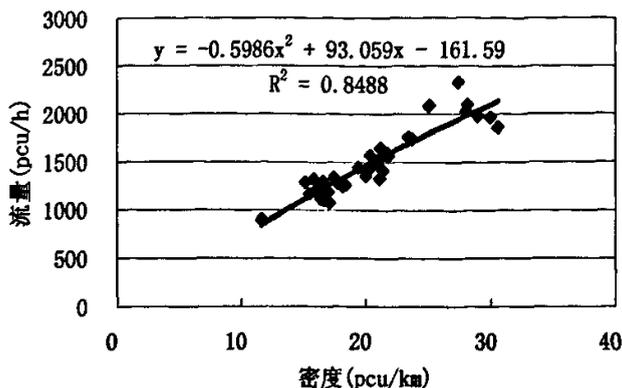


图 4-2-7 整个分流区的密度与流量关系曲线（以 10 分钟统计间隔）

如图 4-2-5、图 4-2-6 和图 4-2-7 的密度与流量之间关系所示：密度与流量关系图成抛物线形式，对回归曲线进行延伸，可以得到分流区内侧车道通行能力为 1868pcu/h，外侧车道通行能力为 1544pcu/h，而整个分流区的通行能力为 3455pcu/h。

4.2.2 交通流模型标定

上面运用流量与速度关系、密度与流量关系对分流区的通行能力进行了分析，得到了单喇叭型互通立交分流区的通行能力值。这里我们采用实测数据对经典的交通流模型进行标定，以得到单喇叭型互通立交分流区的通行能力值。

1. Greenshields 模型

结合实测数据，运用公式 4-1-1 分别对分流区内侧车道、外侧车道以及整个分流区的通行能力进行分析：

(1) 标定分流区内侧车道的 Greenshields 模型

由附录 3 表 4 的实测数据得到分流区内侧车道的密度与速度关系图，如图 4-2-8 所示，标定结果如表 4-2-1 中所示：

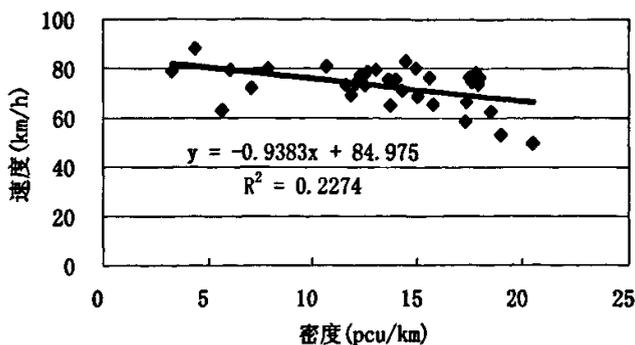


图 4-2-8 分流区内侧车道的密度与速度关系曲线（以 10 分钟统计间隔）

表 4-2-1 分流区内侧车道 Greenshields 模型的标定结果

统计地点	自由流速度 V_f (km/h)	阻塞密度 K_j (pcu/km)	临界速度 V_m (km/h)	临界密度 K_m (pcu/km)	最大流量 Q_m (pcu/h)
分流区内侧车道	84.98	90.28	42.49	45.14	1918

(2) 标定分流区外侧车道的 Greenshields 模型

由附录 3 表 5 的实测数据得到分流区外侧车道的密度与速度关系图, 如图 4-2-9 所示, 标定结果如表 4-2-2 中所示:

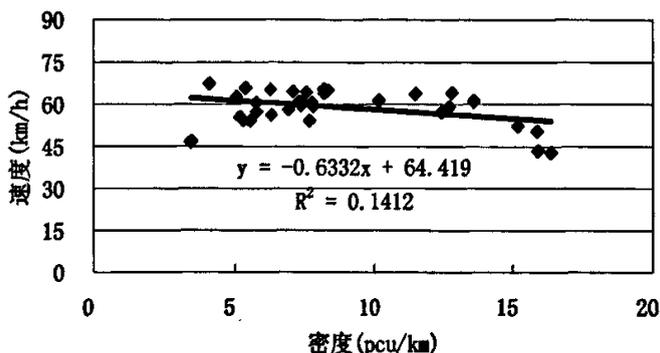


图 4-2-9 分流区外侧车道的密度与速度关系曲线 (以 10 分钟统计间隔)

表 4-2-2 分流区外侧车道 Greenshields 模型的标定结果

统计地点	自由流速度 V_f (km/h)	阻塞密度 K_j (pcu/km)	临界速度 V_m (km/h)	临界密度 K_m (pcu/km)	最大流量 Q_m (pcu/h)
分流区外侧车道	64.42	101.74	32.21	50.87	1638

(3) 标定整个分流区的 Greenshields 模型

由附录 3 表 6 的实测数据得到整个分流区的密度与速度关系图, 如图 4-2-10 所示, 标定结果如表 4-2-3 中所示:

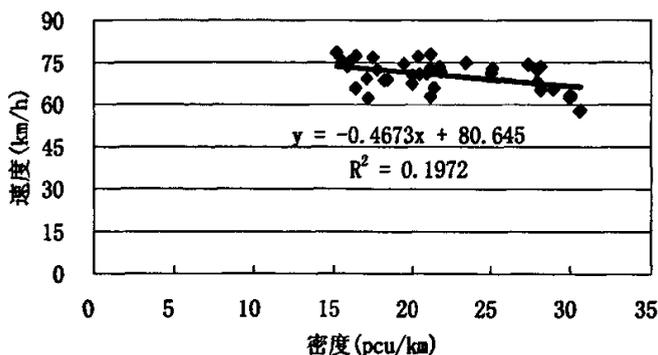


图 4-2-10 整个分流区的密度与速度关系曲线 (以 10 分钟统计间隔)

表 4-2-3 整个分流区 Greenshields 模型的标定结果

统计地点	自由流速度 V_f (km/h)	阻塞密度 K_j (pcu/km)	临界速度 V_m (km/h)	临界密度 K_m (pcu/km)	最大流量 Q_m (pcu/h)
整个分流区	80.65	172.58	40.32	86.29	3479

2. Underwood 模型

(1) 标定分流区内侧车道的 Underwood 模型

运用 SPSS 软件对附录 3 表 4 的观测数据进行回归, 得出分流区内侧车道的 V_f 和 K_m 的值, 标定结果如表 4-2-4 中所示:

表 4-2-4 分流区内侧车道 Underwood 模型的标定结果

统计地点	自由流速度 V_f (km/h)	临界速度 V_m (km/h)	临界密度 K_m (pcu/km)	最大流量 Q_m (pcu/h)
分流区内侧车道	74.74	27.49	63.69	1751

(2) 标定分流区外侧车道的 Underwood 模型

运用 SPSS 软件对附录 3 表 5 的观测数据进行回归, 得出分流区外侧车道的 V_f 和 K_m 的值, 标定结果如表 4-2-5 中所示:

表 4-2-5 分流区外侧车道 Underwood 模型的标定结果

统计地点	自由流速度 V_f (km/h)	临界速度 V_m (km/h)	临界密度 K_m (pcu/km)	最大流量 Q_m (pcu/h)
分流区外侧车道	54.54	20.07	67.20	1348

(3) 标定整个分流区的 Underwood 模型

运用 SPSS 软件对附录 3 表 6 的观测数据进行回归, 得出整个分流区的 V_f 和 K_m 的值, 标定结果如表 4-2-6 中所示:

表 4-2-6 整个分流区 Underwood 模型的标定结果

统计地点	自由流速度 V_f (km/h)	临界速度 V_m (km/h)	临界密度 K_m (pcu/km)	最大流量 Q_m (pcu/h)
整个分流区	81.78	30.08	128.87	3876

4.2.3 分流区车头时距分析

针对分流影响区内的两条车道, 统计内侧车道和外侧车道上成跟驰状态的一列车队中前后两辆车之间的饱和和车头时距, 应用公式 4-1-3 进行通行能力的计算。

1. 内侧车道车头时距

运用 3.5.1 的方法对分流区内侧车道的混合车流车头时距进行统计, 根据实测数据, 并剔除部分异常值 (以下类同), 车头时距区间样本数和频率等统计结果如表 4-2-7 所示:

表 4-2-7 内侧车道混合车流车头时距频数、频率分布

区间	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4
频数	5	112	170	178	184	113	113	111
频率 (%)	0.3	7.2	10.9	11.4	11.8	7.2	7.2	7.1
累积频率	0.3	7.5	18.4	29.8	41.5	48.8	56.0	63.1
区间	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8
频数	91	82	80	85	59	60	56	63
频率 (%)	5.8	5.2	5.1	5.4	3.8	3.8	3.6	4.0
累积频率	69.0	74.2	79.3	84.8	88.5	92.4	96.0	100.0

从上表中可知：车头时距分布在 1~7s 之内的样本数分别占总样本数的 92.1%，所以可认为该区间内的车头时距为饱和车头时距，用以计算通行能力，把该区间外的值(即车头时距<1s 和车头时距>7s 的数据)作为异常值剔除，不进入数据分析中。以此求得分流区内侧车道混合车流车头时距平均值为 3.432s，通行能力为 1049veh/h。

通过对分流区内侧车道观测数据的分析得出各车型比例为：小型车 13%、中型车 24%、大型车 63% (见表 3-5-2)，车流的平均车速为 73km/h (见附录 3 表 4)。此时采用按照公路路线设计规范 JTG D20—2006 推荐车辆折算系数 (PCE)，取大型车 $PCE_{\text{大}}=6$ ，中型车 $PCE_{\text{中}}=4$ ，利用公式 4-1-4 得出分流区内侧车道的通行能力为 5018pcu/h。

分流区内侧车道的小型车车头时距频数、频率分布如表 4-2-8：

表 4-2-8 内侧车道小型车车头时距频数、频率分布

区间	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5
频数	7	4	3	3	2	1	1
频率 (%)	26.9	15.4	11.5	11.5	7.7	3.8	3.8
累积频率	26.9	42.3	53.8	65.4	73.1	76.9	80.8
区间	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7
频数	0	0	0	2	1	1	1
频率 (%)	0.0	0.0	0.0	7.7	3.8	3.8	3.8
累积频率	80.8	80.8	80.8	88.5	92.3	96.2	100.0

上表中可知：车头时距分布在 0.5~5.5s 之内的样本数分别占总样本数的 88.5%。所以可认为该区间内的车头时距为饱和车头时距，用以计算通行能力。把该区间外的值(即车头时距>5.5s 的数据)作为异常值剔除，不进入数据分析中。分流区内侧车道小型车车头时距平均值为 1.938s，运用公式 4-1-3 计算出通行能力为 1858pcu/h。

2. 外侧车道车头时距

分流区外侧车道混合车流车头时距频数、频率分布如表 4-2-9：

表 4-2-9 外侧车道混合车流车头时距频数、频率分布

区间	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5
频数	4	59	51	78	41	38	44	45	34	39	26
频率 (%)	0.6	8.3	7.1	10.9	5.7	5.3	6.2	6.3	4.8	5.5	3.6
累积频率	0.6	8.8	15.9	26.9	32.6	37.9	44.1	50.3	55.1	60.6	64.2
区间	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11
频数	28	24	27	16	40	25	27	24	22	17	6
频率 (%)	3.9	3.4	3.8	2.2	5.6	3.5	3.8	3.4	3.1	2.4	0.8
累积频率	68.1	71.5	75.2	77.5	83.1	86.6	90.3	93.7	96.8	99.2	100.0

从上表中可知：车头时距分布在 1~10s 之内的样本数分别占总样本数的 96.2%，所以可认为该区间内的车头时距为饱和车头时距，用以计算通行能力，把该区间外的值(即车头时距<1s 和车头时

距>10s的数据)作为异常值剔除,不进入数据分析中。以此求得分流区外侧车道混合车流车头时距平均值为4.636s,通行能力为777veh/h。

通过对分流区外侧车道观测数据的分析得出各车型比例为:小型车13%、中型车19%、大型车68%(见表3-5-2),车流的平均车速为63km/h(见附录3表5)。此时采用按照公路路线设计规范JTG D20—2006推荐车辆折算系数(PCE),取大型车PCE_x=7,中型车PCE_y=5,利用公式4-1-4得出分流区外侧车道的通行能力为3861pcu/h。

分流区外侧车道的小型车车头时距频数、频率分布如表4-2-10:

表4-2-10 外侧车道小型车车头时距频数、频率分布

区间	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5
频数	1	2	4	2	2	1	1
频率(%)	5.6	11.1	22.2	11.1	11.1	5.6	5.6
累积频率	5.6	16.7	38.9	50.0	61.1	66.7	72.2
区间	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7
频数	1	2	1	0	0	1	0
频率(%)	5.6	11.1	5.6	0.0	0.0	5.6	0.0
累积频率	77.8	88.9	94.4	94.4	94.4	100.0	100.0

上表中可知:车头时距分布在0.5~5s之内的样本数分别占总样本数的94.4%。所以可认为该区间内的车头时距为饱和车头时距,用以计算通行能力。把该区间外的值(即车头时距>5s的数据)作为异常值剔除,不进入数据分析中。分流区外侧车道小型车车头时距平均值为2.471s,运用公式4-1-3计算出通行能力为1457pcu/h。

分析结果可知:分流区内侧车道利用混合车流车头时距计算得出通行能力为1049veh/h,折算后通行能力为5018pcu/h;外侧车道的通行能力为777veh/h,折算后通行能力为3861pcu/h。分流区内侧车道利用小型车车头时距计算得出通行能力为1858pcu/h;外侧车道的通行能力为1457pcu/h。综合两条车道的计算结果,可得到分流区的通行能力约为3400pcu/h。

4.2.4 分流区通行能力推荐值

前面通过交通流三参数之间的关系、标定经典交通流模型以及车头时距分别对分流区的内侧车道、外侧车道以及整个分流区进行了通行能力分析,分析结果见表4-2-11。

表4-2-11 根据各种模型推算的分流区通行能力值

推荐通行能力 (pcu/h/lane)	分析方法	分流区		
		内侧车道	外侧车道	整个分流区
	速度流量关系	1700	1600	3200
	密度流量关系	1868	1544	3455
	Greenshields模型	1918	1638	3479
	Underwood模型	1751	1348	3876
	混合车流车头时距计算	1049veh/5018pcu	777veh/3861pcu	—
	小型车车头时距计算	1858	1457	—

综合上述研究的结果,通过混合车流车头时距法折算后所得数值比其他方法分析所得数值明显偏大,因此最后分析时不予考虑。综合另外几种分析方法的研究结果并在表4-2-12给出了单喇叭型互通立交分流区的基本通行能力推荐值:

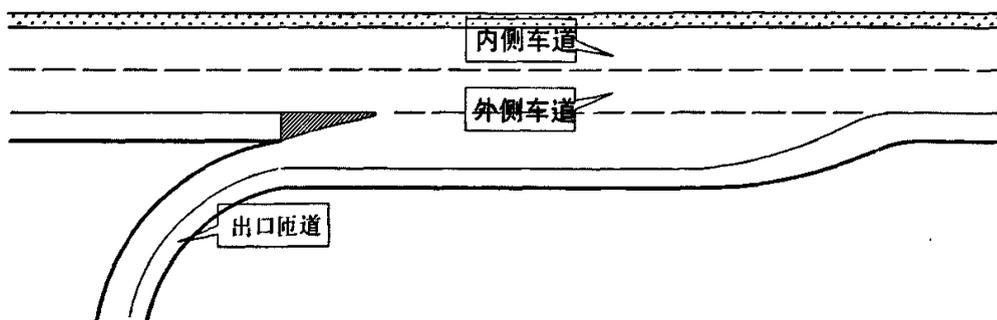
表4-2-12 单喇叭型互通立交分流区通行能力推荐值

分流区	基本通行能力推荐值
内侧车道	1800(pcu/h/lane)
外侧车道	1600(pcu/h/lane)
整个分流区	3400(pcu/h)

4.3 合流区通行能力分析

单喇叭型互通立交合流区,如图 4-3-1 所示,通行能力受到主线车流交通量、车头时距分布、匝道车辆的临界间隙、加速车道车辆加减速行为等交通行为特征参数的影响。因此合流区的车辆间车头时距较大,车速也比其它区域低,整个合流区的通行能力也因此降低。

参照分流区通行能力的分析方法,本节在对大量调查数据的处理与分析基础上,运用速度与流量关系曲线和车头时距的方法分析对合流区的通行能力进行分析。



4-3-1 单喇叭型互通立交合流区示意图

4.3.1 合流区交通流基本特性分析

1. 速度与流量的关系

由表 3-5-4 推荐的合流区车辆折算系数取 $PCE_{大}=2.7$ 和 $PCE_{中}=1.5$, 采用 3.5.3 介绍的速度、流量统计方法分别用 15 分钟、10 分钟、5 分钟、4 分钟、3 分钟、2 分钟为统计间隔对合流区的速度和流量进行统计, 统计结果见附录 3 实测数据统计结果。

根据附录 3 表 7、表 8 和表 9 的合流区观测数据做出合流区内侧车道、外侧车道以及整个合流区的速度与流量关系曲线, 如图 4-3-2、图 4-3-3 和图 4-3-4 所示:

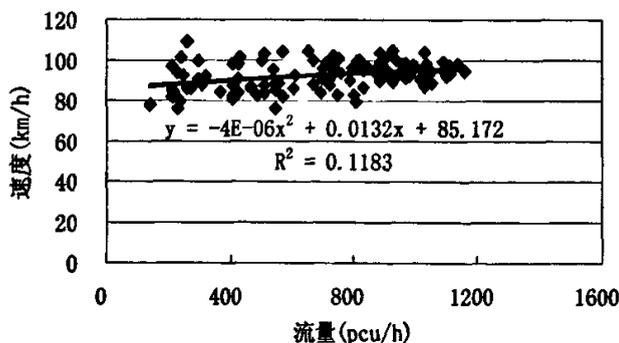


图4-3-2 合流区内侧车道流量与速度关系图(以10分钟统计间隔)

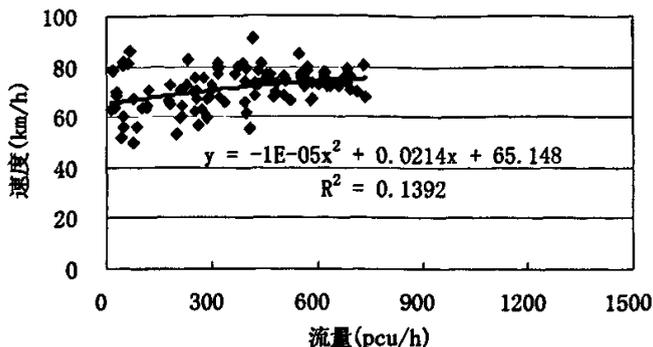


图4-3-3 合流区外侧车道流量与速度关系图（以10分钟统计间隔）

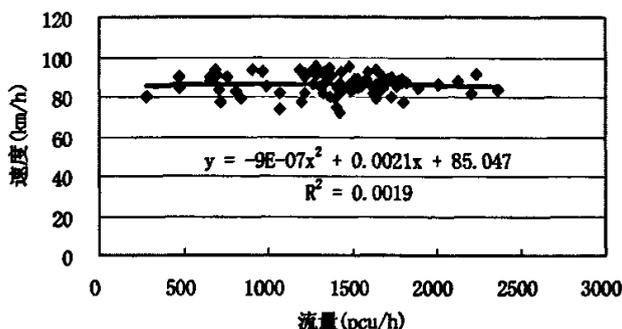


图4-3-4 整个合流区的流量与速度关系图（以10分钟统计间隔）

根据图 4-3-2、图 4-3-3 和图 4-3-4 速度与流量之间关系散点图，通过适当外延，可以看到合流区内侧车道通行能力大约为 1700 辆/h，外侧车道通行能力大约为 1400 辆/h，而整个合流区的通行能力大约为 3000 辆/h。

2. 密度与流量的关系

根据附录 3 表 7、表 8 和表 9 的合流区观测数据做出合流区内侧车道、外侧车道以及整个合流区的密度与流量关系曲线，如图 4-3-5、图 4-3-6 和图 4-3-7 所示：

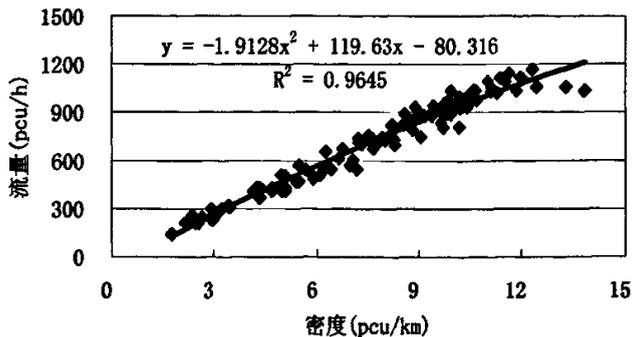


图 4-3-5 合流区内侧车道的密度与流量关系曲线（以 10 分钟统计间隔）

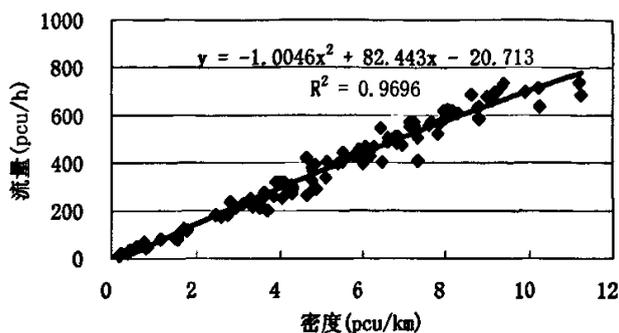


图 4-3-6 合流区外侧车道的密度与流量关系曲线（以 10 分钟统计间隔）

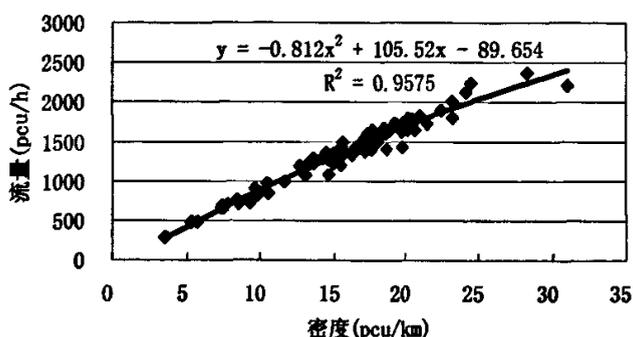


图 4-3-7 整个合流区的密度与流量关系曲线（以 10 分钟统计间隔）

如图 4-3-5、图 4-3-6 和图 4-3-7 的密度与流量之间关系所示：密度与流量关系图成抛物线形式，对回归曲线进行延伸，可以得到合流区内侧车道通行能力为 1790pcu/h，外侧车道通行能力为 1672pcu/h，而整个合流区的通行能力为 3338pcu/h。

4.3.2 交通流模型标定

上面运用流量与速度关系、密度与流量关系对合流区的通行能力进行了分析，得到了单喇叭型互通立交合流区的通行能力值。这里我们采用实测数据对经典的交通流模型进行标定，以得到单喇叭型互通立交合流区的通行能力值。

1. Greenshields 模型

结合实测数据，运用公式 4-1-1 分别对合流区内侧车道、外侧车道以及整个合流区的通行能力进行分析：

(1) 标定合流区内侧车道的 Greenshields 模型

由附录 3 表 7 的实测数据得到合流区内侧车道的密度与速度关系图，如图 4-3-8 所示，标定结果如表 4-3-1 中所示：

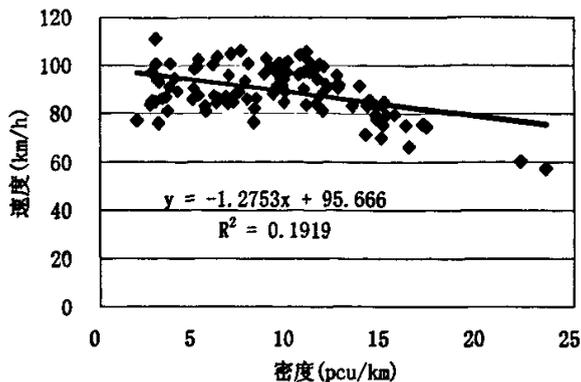


图 4-3-8 合流区内侧车道的密度与速度关系曲线（以 10 分钟统计间隔）

表 4-3-1 合流区内侧车道 Greenshields 模型的标定结果

统计地点	自由流速度 V_f (km/h)	阻塞密度 K_j (pcu/km)	临界速度 V_m (km/h)	临界密度 K_m (pcu/km)	最大流量 Q_m (pcu/h)
合流区内侧车道	95.66	75.01	47.83	37.50	1793

(2) 标定合流区外侧车道的 Greenshields 模型

由附录 3 表 8 的实测数据得到合流区外侧车道的密度与速度关系图，如图 4-3-9 所示，标定结果如表 4-3-2 中所示：

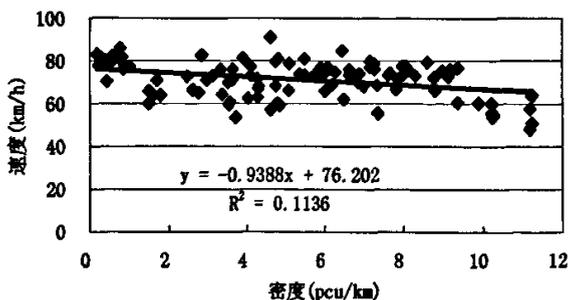


图 4-3-9 合流区外侧车道的密度与速度关系曲线（以 10 分钟统计间隔）

表 4-3-2 合流区外侧车道 Greenshields 模型的标定结果

统计地点	自由流速度 V_f (km/h)	阻塞密度 K_j (pcu/km)	临界速度 V_m (km/h)	临界密度 K_m (pcu/km)	最大流量 Q_m (pcu/h)
合流区外侧车道	76.02	38.01	32.21	40.58	1546

(3) 标定整个合流区的 Greenshields 模型

由附录 3 表 9 的实测数据得到整个合流区的密度与速度关系图，如图 4-3-10 所示，标定结果如表 4-3-3 中所示：

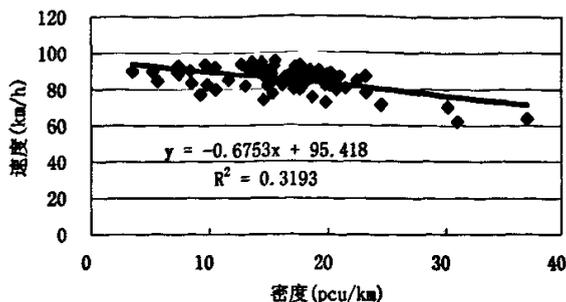


图 4-3-10 整个合流区的密度与速度关系曲线（以 10 分钟统计间隔）

表 4-3-3 整个合流区 Greenshields 模型的标定结果

统计地点	自由流速度 V_f (km/h)	阻塞密度 K_j (pcu/km)	临界速度 V_m (km/h)	临界密度 K_m (pcu/km)	最大流量 Q_m (pcu/h)
整个合流区	95.42	141.30	47.71	70.65	3371

2. Underwood 模型

(1) 标定合流区内侧车道的 Underwood 模型

运用 SPSS 软件对附录 3 表 7 的观测数据进行回归，得出合流区内侧车道的 V_f 和 K_m 的值，标定结果如表 4-3-4 中所示：

表 4-3-4 合流区内侧车道 Underwood 模型的标定结果

统计地点	自由流速度 V_f (km/h)	临界速度 V_m (km/h)	临界密度 K_m (pcu/km)	最大流量 Q_m (pcu/h)
合流区内侧车道	83.76	30.82	62.89	1938

(2) 标定合流区外侧车道的 Underwood 模型

运用 SPSS 软件对附录 3 表 8 的观测数据进行回归，得出合流区外侧车道的 V_f 和 K_m 的值，标定结果如表 4-3-5 中所示：

表 4-3-5 合流区外侧车道 Underwood 模型的标定结果

统计地点	自由流速度 V_f (km/h)	临界速度 V_m (km/h)	临界密度 K_m (pcu/km)	最大流量 Q_m (pcu/h)
合流区外侧车道	60.28	22.18	64.94	1440

(3) 标定整个合流区的 Underwood 模型

运用 SPSS 软件对附录 3 表 9 的观测数据进行回归，得出整个合流区的 V_f 和 K_m 的值，标定结果如表 4-3-6 中所示：

表 4-3-6 整个合流区 Underwood 模型的标定结果

统计地点	自由流速度 V_f (km/h)	临界速度 V_m (km/h)	临界密度 K_m (pcu/km)	最大流量 Q_m (pcu/h)
整个合流区	79.92	29.40	114.04	3353

4.3.3 合流区车头时距分析

针对合流区内的两条车道，统计内侧车道和外侧车道上成跟驰状态的一列车队中前后两辆车之间的饱和和车头时距，应用公式 4-1-3 进行通行能力的计算。

1. 内侧车道车头时距

运用 3.5.1 的方法对合流区内侧车道的混合车流车头时距进行统计，根据实测数据，并剔除部分异常值（以下类同），车头时距区间样本数和频率等统计结果如表 4-3-7 所示：

表 4-3-7 内侧车道混合车流车头时距频数、频率分布

区间	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4
频数	105	199	347	253	274	227	193	200
频率 (%)	3.7	6.9	12.1	8.8	9.5	7.9	6.7	7.0
累积频率	3.7	10.6	22.7	31.5	41.0	48.9	55.6	62.6
区间	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8
频数	141	199	125	152	139	121	120	79
频率 (%)	4.9	6.9	4.3	5.3	4.8	4.2	4.2	2.7
累积频率	67.5	74.4	78.7	84.0	88.9	93.1	97.3	100.0

从上表中可知：车头时距分布在 1~7s 之内的样本数分别占总样本数的 89.4%，所以可认为该区间内的车头时距为饱和和车头时距，用以计算通行能力，把该区间外的值(即车头时距<1s 和车头时距>7s 的数据)作为异常值剔除，不进入数据分析中。以此求得合流区内侧车道混合车流车头时距平均值为 3.520s，通行能力为 1022veh/h。

通过对合流区内侧车道观测数据的分析得出各车型比例为：小型车 20%、中型车 43%、大型车 37% (见表 3-5-2)，车流的平均车速为 92km/h (见附录 3 表 7)。此时采用按照公路路线设计规范 JTG D20—2006 推荐车辆折算系数 (PCE)，取大型车 $PCE_{大}=6$ ，中型车 $PCE_{中}=4$ ，利用公式 4-1-4 得出合流区内侧车道的通行能力为 4231pcu/h。

合流区内侧车道的小型车车头时距频数、频率分布如表 4-3-8：

表 4-3-8 内侧车道小型车车头时距频数、频率分布

区间	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5
频数	10	22	11	5	6	3	4
频率 (%)	12.5	27.5	13.8	6.3	7.5	3.8	5.0
累积频率	12.5	40.0	53.8	60.0	67.5	71.3	76.3
区间	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7
频数	3	1	5	3	4	2	1
频率 (%)	3.8	1.3	6.3	3.8	5.0	2.5	1.3
累积频率	80.0	81.3	87.5	91.3	96.3	98.8	100.0

上表中可知：车头时距分布在 0.5~5.5s 之内的样本数分别占总样本数的 91.3%。所以可认为该区间内的车头时距为饱和和车头时距，用以计算通行能力。把该区间外的值(即车头时距>5.5s 的数据)作为异常值剔除，不进入数据分析中。合流区内侧车道小型车车头时距平均值为 2.048s，运用公式 4-1-3 计算出通行能力为 1758pcu/h。

2. 外侧车道车头时距

合流区外侧车道混合车流车头时距频数、频率分布如表 4-3-9

表 4-3-9 外侧车道车头时距频数、频率分布

区间	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5
频数	10	83	85	76	58	58	57	49	58	66	66
频率 (%)	0.8	6.7	6.8	6.1	4.7	4.7	4.6	3.9	4.7	5.3	5.3
累积频率	0.8	7.5	14.3	20.5	25.1	29.8	34.4	38.3	43.0	48.3	53.6
区间	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11
频数	57	66	56	64	53	55	47	58	48	45	27
频率 (%)	4.6	5.3	4.5	5.2	4.3	4.4	3.8	4.7	3.9	3.6	2.2
累积频率	58.2	63.5	68.0	73.2	77.5	81.9	85.7	90.3	94.2	97.8	100.0

从上表中可知：车头时距分布在 1~10s 之内的样本数分别占总样本数的 93.4%，所以可认为该区间内的车头时距为饱和车头时距，用以计算通行能力，把该区间外的值(即车头时距<1s 和车头时距>10s 的数据)作为异常值剔除，不进入数据分析中。以此求得合流区外侧车道混合车流车头时距平均值为 5.189s，通行能力为 694veh/h。

通过对合流区外侧车道观测数据的分析得出各车型比例为：小型车 19%、中型车 50%、大型车 31% (见表 3-5-2)，车流的平均车速为 71km/h (见附录 3 表 8)。此时采用按照公路路线设计规范 JTG D20—2006 推荐车辆折算系数 (PCE)，取大型车 $PCE_{\text{大}}=6$ ，中型车 $PCE_{\text{中}}=4$ ，利用公式 4-1-4 得出分流区外侧车道的通行能力为 2810pcu/h。

合流区外侧车道的小型车车头时距频数、频率分布如表 4-3-10：

表 4-3-10 内侧车道小型车车头时距频数、频率分布

区间	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5
频数	2	2	4	2	1	1	1
频率 (%)	11.1	11.1	22.2	11.1	5.6	5.6	5.6
累积频率	11.1	22.2	44.4	55.6	61.1	66.7	72.2
区间	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7
频数	1	1	1	1	0	0	1
频率 (%)	5.6	5.6	5.6	5.6	0.0	0.0	5.6
累积频率	77.8	83.3	88.9	94.4	94.4	94.4	100.0

上表中可知：车头时距分布在 0.5~5s 之内的样本数分别占总样本数的 94.4%。所以可认为该区间内的车头时距为饱和车头时距，用以计算通行能力。把该区间外的值(即车头时距>5s 的数据)作为异常值剔除，不进入数据分析中。合流区内侧车道小型车车头时距平均值为 2.536s，运用公式 4-1-3 计算出通行能力为 1420pcu/h。

分析结果可知：合流区内侧车道利用混合车流车头时距计算得出通行能力为 1022 辆/h，折算后通行能力为 4231pcu/h；外侧车道的通行能力为 694 辆/h，折算后通行能力为 2810pcu/h。合流区内侧车道利用小型车车头时距计算得出通行能力为 1758pcu/h；外侧车道的通行能力为 1420pcu/h。综合两条车道的计算结果，可得到合流区的通行能力约为 3100pcu/h。

4.3.4 合流区通行能力推荐值

前面通过交通流三参数之间的关系、标定经典交通流模型以及车头时距分别对合流区的内侧车道、外侧车道以及整个合流区进行了通行能力分析，分析结果见表 4-3-11。

表 4-3-11 根据各种模型推算的合流区通行能力值

推荐通行能力 (pcu/h/lane)	分析方法	合流区		
		内侧车道	外侧车道	整个分流区
	速度流量关系	1700	1400	3000
	密度流量关系	1790	1672	3338
	Greenshields 模型	1793	1546	3371
	Underwood 模型	1938	1440	3353
	混合车流车头时距计算	1022veh/4231pcu	694veh/2810pcu	—
	小型车车头时距计算	1758	1420	—

综合上述研究的结果,通过混合车流车头时距法折算后所得数值比其他方法分析所得数值明显偏大,因此最后分析时不予考虑。综合另外几种分析方法的研究结果并在表 4-3-12 中给出了单喇叭型互通立交合流区的基本通行能力推荐值:

表 4-3-12 单喇叭型互通立交合流区通行能力推荐值

合流区	基本通行能力推荐值
内侧车道	1700(pcu/h/lane)
外侧车道	1500(pcu/h/lane)
整个合流区	3200(pcu/h)

4.4 单喇叭型互通立交系统通行能力分析

前面分别对单喇叭型互通立交的匝道、分流区和合流区进行了通行能力分析,本节将结合前面的分析结果,对单喇叭型互通立交整个系统进行通行能力分析,以期得出系统的通行能力值。

4.4.1 系统通行能力影响分析

单喇叭型互通立交系统通行能力主要受匝道的通行能力、分流区的通行能力以及合流区的通行能力影响,系统的通行能力与这三个通行能力是整体与部分的关系,他们相互制约、相互协调。

匝道是单喇叭型互通立交的重要组成部分,包括两条右转匝道、一条半定向型左转弯道和一条环圈型左转弯道。匝道是单喇叭型互通立交系统中车辆通行的瓶颈地段。匝道的通行能力取决于匝道本身的通行能力和匝道与道路结合部(分合流区),匝道本身的通行能力与道路路段的通行能力类似,但由于受到线形的影响,其通行能力与路段相比较小。当选取适当的设计标准时,匝道结合部的通行能力与匝道本身的通行能力相比是较小的。匝道结合部的通行能力制约着匝道的通行能力。一旦匝道结合部的通行能力不能满足车辆通行的要求,会直接影响匝道上的车辆正常运行,严重时会影响外侧车道甚至内侧各车道交通流的正常运行;出现排队时,排队车辆会延伸到匝道外的道路上,影响其它方向上的车辆运行。

分流区由于驶出车辆的干扰,使得一列相互跟驰的车队中的两辆车之间的车头时距增大(尤其在外侧车道上),从而影响道路通行能力。分流区的通行能力可以为匝道的设计提供设计依据,以确定匝道的设计技术标准,进而确定匝道减速车道的最大长度。

合流区通行能力与分流区的不同之处在于合流区的车辆行驶受到匝道上汇入车辆的严重干扰,从而导致车辆之间的车头时距增大,车速下降,通行能力降低。因此合流区也是单喇叭型互通立交系统中车辆通行的瓶颈地段。特别是合流区主线交通流最大可接受间隙的通行能力小于匝道的通行能力时,匝道将会出现排队现象,严重时可能导致整个系统瘫痪。

一般情况下,单喇叭型互通立交系统总的通行能力最多与各进口道的通行能力之和相等,而上面分析得出的系统瓶颈地段也制约着系统的通行能力,这里我们对这两种情况进行分析比较,以求

得系统的通行能力。单喇叭型互通立交系统各部分通行能力如图 4-4-1 所示：

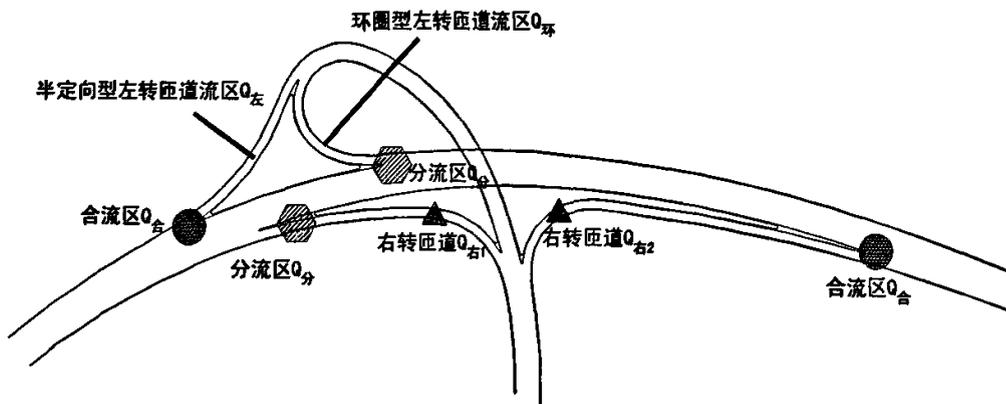


图 4-4-1 单喇叭型互通立交各部分通行能力示意图

设从各进口道通行能力的角度分析时，系统通行能力之和为 Q_1 ，从瓶颈地段通行能力的角度分析时，系统通行能力之和为 Q_2 。对于 Q_1 ，其值应等于各进口道通行之和，即

$$Q_1 = Q_{分} + Q_{右2} + Q_{分} + Q_{左}$$

对于 Q_2 ，其值为 $Q_2 = Q_{合} + Q_{右1} + Q_{合} + Q_{环}$ 。

此时可知：单喇叭型互通立交系统总的通行能力 Q 为：

$$Q = \min(Q_1, Q_2) = \min(2 \times Q_{分} + Q_{右2} + Q_{左}, 2 \times Q_{合} + Q_{右1} + Q_{环})$$

利用前面推荐的匝道、分流区和合流区的通行能力值，代入计算可得：

$$Q = \min(9150, 9800) = 9150 \text{ pcu/h}$$

4.4.2 单喇叭互通立交通行能力推荐值

前面对主线双向 4 车道，匝道车道数为 1 车道的单喇叭型互通立交系统通行能力进行了分析，我国早期修建的单喇叭型互通立交多为主线双向 4 车道，匝道车道数为 1 车道的型式，近年来逐渐修建或扩建了一些主线双向 6 车道的单喇叭型互通立交。

根据本文的研究成果，推荐给出主线双向 4 车道、双向 6 车道的单喇叭型互通立交通行能力值，如表 4-4-1，这些推荐值将在第五章通过交通仿真予以验证。

表 4-4-1 单喇叭型互通立交系统通行能力推荐值

主线双向车道数	匝道车道数	基本通行能力推荐值(pcu/h)
4	1	9150
6	1	12750

4.5 本章小结

本章通过交通流三参数之间的关系、标定经典交通流模型以及车头时距分别对单喇叭型互通立交的右转匝道、半定向型左转匝道和环圈型左转匝道进行了通行能力分析,给出这三种匝道的基本通行能力推荐值分别为:1800 pcu/h/lane、1200 pcu/h/lane 和 950 pcu/h/lane。

运用分流区交通流三参数之间的关系、标定经典交通流模型以及车头时距分别分流区的内侧车道和外侧车道进行了通行能力分析,综合两条车道的分析结果,给出了单喇叭型互通立交分流区的基本通行能力推荐值为:3400pcu/h。

运用合流区交通流三参数之间的关系、标定经典交通流模型以及车头时距分别合流区的内侧车道和外侧车道进行了通行能力分析,综合两条车道的分析结果,给出了单喇叭型互通立交合流区的基本通行能力推荐值为:3200pcu/h。

通过分析单喇叭型互通立交系统中车辆运行的瓶颈区域,结合匝道、分流区和合流区的分析结果,计算出主线双向4车道,匝道1车道的单喇叭型互通立交系统的通行能力为9150pcu/h。

相信以上分析结果在互通立交的规划、设计、建设和管理过程中有一定参考价值。

第五章 单喇叭型互通立交系统交通仿真

5.1 交通仿真的目的和作用

交通仿真是指用系统仿真技术来研究交通问题,它是一门对交通运动和空间的变化进行跟踪描述的技术。交通仿真的目的在于对现有交通系统或未来交通系统进行再现或预先把握。当我们需要了解某一道路交通系统在特定条件或环境下的运行状态时,我们可以通过交通调查以获得系统的交通流特性和主要参数,但是,这往往要付出较多的人力和物力。而对于某些正在处于规划设计阶段的道路交通系统,我们则根本无法进行实际调查。于是,对道路交通系统进行仿真,在不需要现有道路交通系统或未来道路交通系统存在的情况下,利用仿真模型进行仿真试验,通过仿真所得结果进行分析、对比和评估,这无疑是一种经济可行的方法。

从交通仿真所采用的技术手段以及所具有的本质特征来看,交通仿真是一门在计算机上进行交通实验的技术,它含有随机特性,可以是微观的,也可以是宏观的,并且涉及到描述交通运输系统在一定期间实时运动的数学模型。通过对交通系统的仿真研究,可以得到交通流状态随时间和空间的变化、分布规律及其与交通控制变量间的关系。因此,交通仿真在道路交通系统及其各组成部分的分析和评价中发挥着重要作用

5.2 交通仿真与其他交通问题分析方法的比较

目前,交通问题研究主要有三种方法:现场实测方法、理论分析方法以及计算机交通仿真。

现场实测法的最大优点是基本数据都来源于现场,可信度高,不需要什么假设条件。但是,现场实测法也存在一定的局限性:(1)现场实测需要付出较多的人力物力,消耗较多的时间;(2)可准确观测的交通流参数有限;(3)受到观测数据量大小的影响,数据扩展应用的空间有限。

理论分析法是以流体力学为基础描述交通流状态,采用传统的数学模型公式描述系统的总体特性。其优点是对于个别因素的影响可以用明确的数量关系表示。然而,交通系统是一个复杂的系统,系统内要素的状态及其相互作用规律受多种随机因素的影响,有些随机因素可用数学规律表示,有些则难以表示。

计算机交通仿真是在交通系统模型的基础上,运用软件来模拟交通系统环境,可对交通系统环境进行高度再现或预先把握。如交通流车速、流量、延误时间等。交通仿真技术具有非常明显的优势:(1)仿真模型可以不断重复某种特定道路交通条件下的交通流随机状态。(2)交通仿真可以根据系统内部的逻辑关系和数学关系,面向系统的实际过程和系统行为来构造模型,从而得到复杂随机系统的解;(3)交通分析的开放性,借助于计算机技术,通过良好的用户输入输出界面,模型的运算结果可方便地与用户交互,增强了模型应用的实用性和方便性;(4)配合交通仿真过程的动画演示,可直观地感受各交通影响因素对交通流的影响。

5.3 交通仿真软件

利用微观仿真交通分析方法对不同道路基础设施的交通运行特性进行研究,在国外进行了较长时间,并且应用很广,根据对不同交通仿真软件(VISSIM、Cube、TSIS等)的学习和比较,本文运用VISSIM对单喇叭型互通立交进行了模拟。

VISSIM为德国PTV公司开发的微观交通流仿真软件系统,它是建立在微观驾驶行为模型基础上的交通流的仿真,其核心是一个微观、按时间步长模拟、并且基于行为的仿真模型,用于交通系统的各种运行分析。该软件系统能分析在车道类型、交通组成、交通信号控制、停让控制等众多条件

约束下的交通运行情况，来评价各种基于交通工程与交通规划措施不同选择的方案，是分析许多交通问题的有效工具。

我国部分城市(北京、上海、南京等)的科研单位或院所也已经引进了 VISSIM 软件,分别应用于高速公路、公路及城市立交系统、城市道路及交叉口综合改善方案的设计、评价与优化和城市交通带来的环境污染研究等方面,应用结果表明,用 VISSIM 进行交通模拟,模拟结果具有较好的有效性和精确性,比较符合实际情况。

VISSIM 可以用于解决许多的交通问题,下面列出了曾经应用过 VISSIM 一些研究领域:

- (1) 公共交通信号优先逻辑的发展、评价和调整。
- (2) 可以使用不同类型的信号控制逻辑。
- (3) 评价和优化具有协调自适应交通信号网络的交通运营状况。
- (4) 应用于城市轻轨交通建设的可行性研究。
- (5) 分析低速的交织和合流区。
- (6) 可选设计方案的简单对比,包括信号交叉口、有停车标志的交叉口、环岛和立体交叉的交换。
- (7) 分析轻轨和公交系统中布局复杂的车站的能力和运营。
- (8) 评价公交优先方案(例如队列跳跃、路边延伸、公交专用道)。
- (9) 通过内置的动态分配模型,可以解决路径选择子问题,例如,不同信息标志的影响、交通转移到路网相邻的中等大小城市的可能。

5.4 单喇叭型互通立交系统交通仿真

VISSIM 的功能强大,归纳其操作使用步骤,主要有:网络模型的构建、交通仿真参数设置和交通仿真结果输出三项最基本的内容。基于这三个步骤,VISSIM 向用户提供了操作方便的网络元素编辑和参数输入功能,以及用于定义输出结果和动态屏幕动画显示的设置。比如路段和连接段、车辆组成、车速分布以及车辆检测器的位置和车辆路径选择信息等均可通过系统所提供的各种工具箱进行定义。

这里将运用 VISSIM 的模拟实验功能对主线双向 4 车道,匝道 1 车道的单喇叭型互通立交进行仿真再现,以验证其推荐通行能力值的正确性。

5.4.1 主线双向 4 车道匝道 1 车道型单喇叭交通仿真

选取本次调查的苏嘉杭高速公路的吴江互通立交为仿真对象:吴江互通为 B 型单喇叭互通立交,该互通立交的部分数据如表 5-4-1 所示:

表 5-4-1 吴江互通部分数据

主线	车道数: 双向 4 车道		车道宽度: 3.75 米
分流区	直接式减速车道 (单车道)	由东往西方向	渐变段: 100 米, 变速车道: 101 米
		由西往东方向	渐变段: 100 米, 变速车道: 100 米
合流区	平行式加速车道 (单车道)	由东往西方向	变速车道: 213 米, 渐变段: 70 米
		由西往东方向	变速车道: 221 米, 渐变段: 70 米
匝道	车道数: 1 车道		车道宽度: 3.5 米

运用以上数据，结合吴江互通的几何线形对路网进行构建，如图 5-4-1 所示：

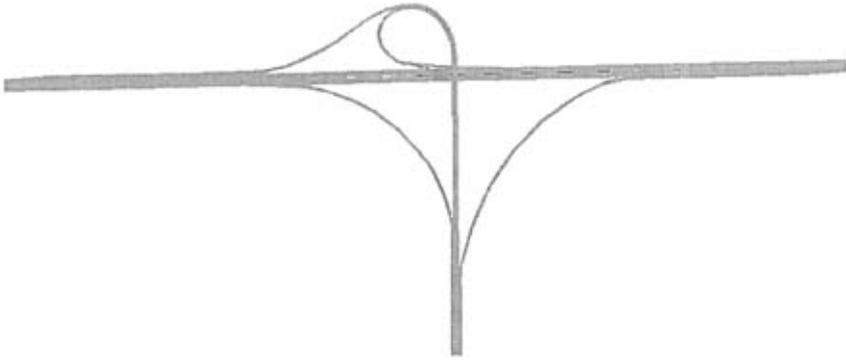


图5-4-1 单喇叭型互通立交路网图

构建好路网之后，结合本次调查的结果对该互通立交的交通流参数设置，下面列出主要参数的设置情况，最后通过模拟求解通行能力。

1. 速度分布

速度分布是一个重要的参数，它对车辆可以达到的旅行速度具有很重要的影响。本文采用速度累积频率曲线分别对本次调查的右转匝道、半定向型左转匝道、环圈型左转匝道、分流区、合流区的车速分布特性进行分析图5-4-2 ~5-4-6：

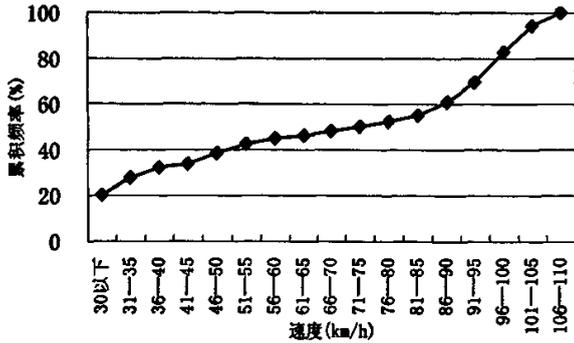


图 5-4-2 右转匝道速度累积频率曲线图

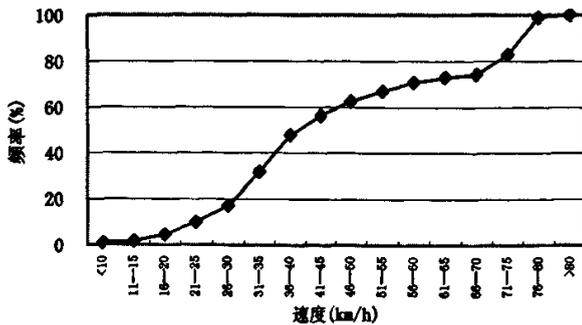


图5-4-3 半定向型左转匝道速度累积频率曲线图

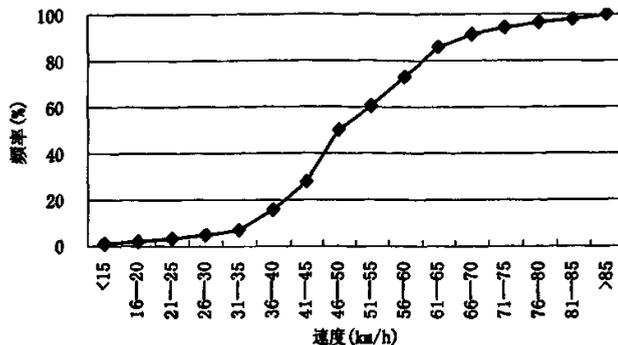


图5-4-4 环圈型左转速度累积频率曲线图

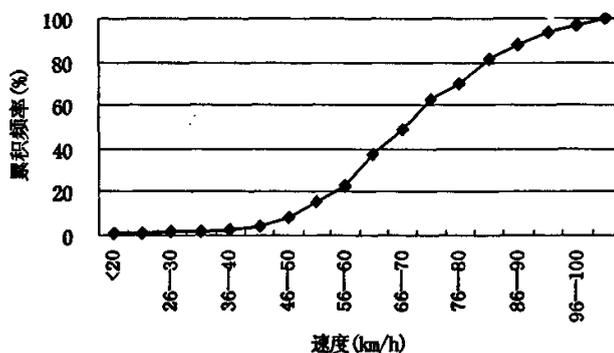


图5-4-5 分流区速度累积频率曲线图

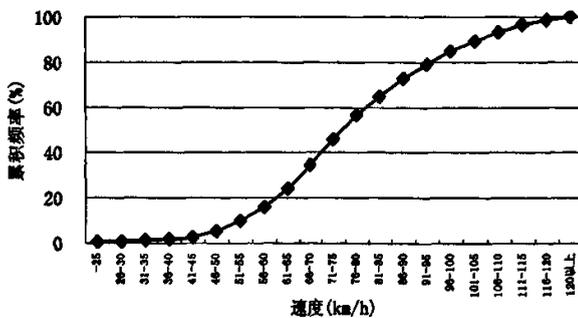


图5-4-6 合流区速度累积频率曲线图

从上面的图可以看出，车速分布比较集中在40—120km/h，综合考虑各部分得车速分布，取15%位车速为60km/h，85%位车速为90km/h。由此得到VISSIM中的Desired Speed Distribution（期望速度分布）如图5-4-7：

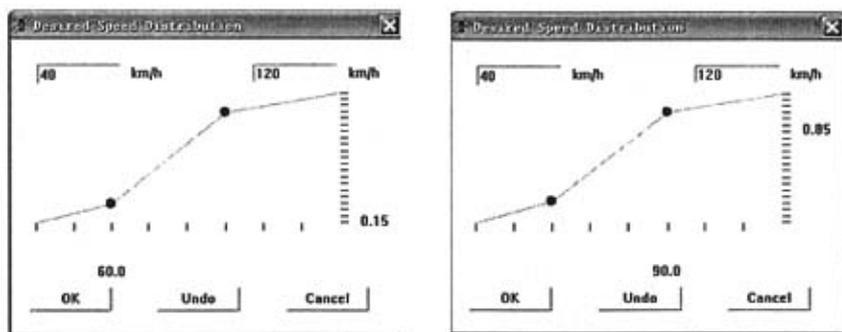


图5-4-7 期望速度分布图

2. 车辆组成

车辆组成指在交通流中各类型号车辆的数量及其相互间的比例关系。本次观测数据根据车辆的长度不同把车辆分为了大、中、小三类型，大型车：11米以上，中型车：5~11米，小型车：5米以下。通过对观测数据的统计，得到车辆组成如表5-4-2：

表 5-4-2 车型比例表

地点	车型比例 (%)		
	大型车	中型车	小型车
分流区	65	22	13
合流区	34	46	20
右转匝道	33	38	29
半定向型左转匝道	34	42	24
环圈型左转匝道	15	50	35

统计结果表明，大型车和中型车较多，这也符合现阶段高速公路上的车辆运行状况。通过分析各部分的车辆组成，取其平均值，设置交通流由30%的大型车、40%的中型车和30%的小型车组成。

3. 求解通行能力

在VISSIM中，当被定义的交通流量大于了道路通行能力，使车辆不能在定义的时间间隔内进入网络，系统将会提醒用户。因此对主线双向4车道匝道1车道的单喇叭立交分别定义交通量为6000pcu/h (3733veh/h)、6500pcu/h (4404veh/h)……11500pcu/h (7156veh/h)等12个值。

通过不断增加主线和匝道流入量，当主线流量 $Q_B = 9500 \text{ pcu/h}$ (5700veh/h)时，系统流量达到最大，模拟运行如图5-4-8所示。则系统基本通行能力为 $C = 9500 \text{ pcu/h}$ ，这与前面计算得到单喇叭型互通立交基本通行能力为9150pcu/h基本一致。

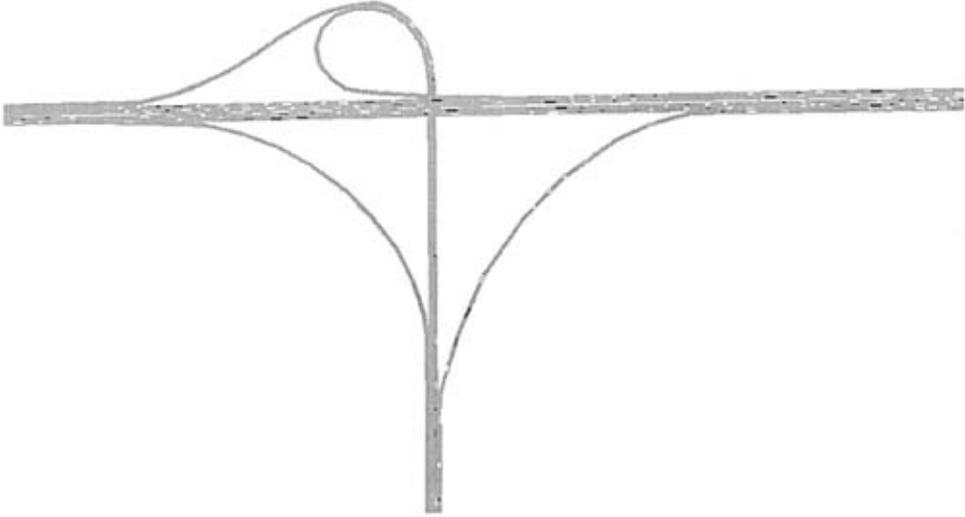


图5-4-8 仿真模拟运行图

5.4.2 主线双向6车道匝道1车道型单喇叭交通仿真

按照公路路线设计规范 JTG D20—2006，设置本次交通仿真的单喇叭型互通立交的几何参数；选取本次仿真对象为 A 型单喇叭互通立交，并设置该互通立交的部分数据如表 5-4-3 所示：

表 5-4-3 单喇叭型互通立交（A 型）部分数据

主线	车道数：双向 6 车道		车道宽度：3.75 米
分流区	直接式减速车道 (单车道)	由东往西方向	渐变段：80 米，变速车道：110 米
		由西往东方向	渐变段：80 米，变速车道：110 米
合流区	平行式加速车道 (单车道)	由东往西方向	变速车道：210 米，渐变段：90 米
		由西往东方向	变速车道：230 米，渐变段：90 米
匝道	车道数：1 车道		车道宽度：3.5 米

运用以上数据，对该单喇叭型互通立交的路网进行构建，如图 5-4-9 所示：

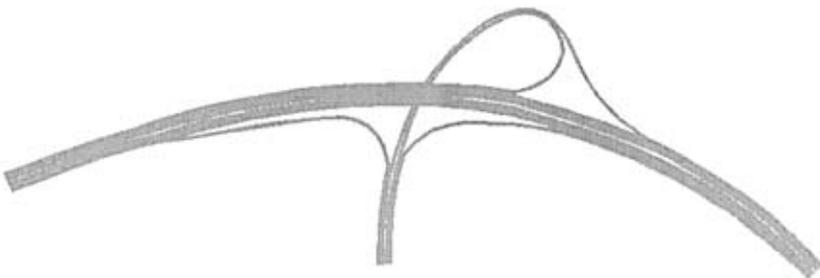


图5-4-9 单喇叭型互通立交路网图

构建好路网之后，接着对该互通立交的交通流参数进行设置，最后通过模拟求解通行能力。

1. 速度分布:

速度分布是一个重要的参数,它对车辆可以达到的旅行速度具有很重要的影响。本次模拟设定车速分布为40—120km/h,综合考虑各部分得车速分布,取15%位车速为60km/h,85%位车速为80km/h。

2. 车辆组成:

车辆组成指在交通流中各类型号车辆的数量及其相互间的比例关系。根据车辆的长度不同把车辆分为了大、中、小三类型,大型车:11米以上,中型车:5~11米,小型车:5米以下。设置本次模拟的交通流由30%的大型车、40%的中型车和30%的小型车组成。

3. 求解通行能力:

在VISSIM中,当被定义的交通流量大于了道路通行能力,使车辆不能在定义的时间间隔内进入网络,系统将会提醒用户。因此对主线双向6车道匝道1车道的单喇叭立交分别定义交通量为6000pcu/h(3733veh/h)、6500pcu/h(4404veh/h)……13000pcu/h(7800veh/h)等12个值。

通过不断增加主线和匝道流入量,当主线流量 $Q_{\text{主}} = 13000 \text{pcu/h}$ (7800veh/h)时,系统流量达到最大,模拟运行如图5-4-10所示。则系统基本通行能力为 $C = 13000 \text{pcu/h}$,这与前面计算得到单喇叭型互通立交基本通行能力为12750pcu/基本一致。

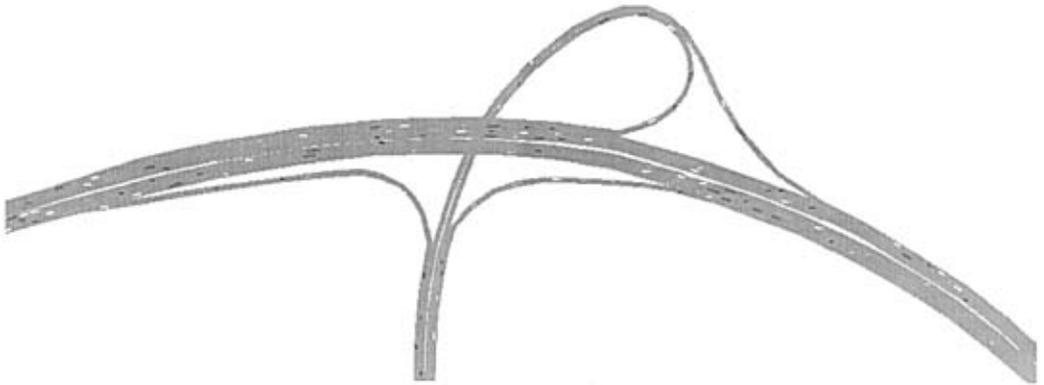


图5-4-10 仿真模拟运行图

5.5 本章小结

本章介绍了交通仿真的目的和作用,交通仿真与其他交通问题分析方法相比有其特有的优势,并选用VISSIM软件对主线双向4车道匝道1车道和主线双向6车道匝道1车道的单喇叭型互通立交进行了交通仿真。

在对主线双向4车道匝道1车道的单喇叭型互通立交进行模拟时的得到系统基本通行能力为9500pcu/h,这个结果与4.4计算得出的结果基本一致,证明了前面的分析结果的正确性。

在对主线双向6车道匝道1车道的单喇叭型互通立交进行模拟时的得到系统基本通行能力为13000pcu/h。这个结果与4.4推荐的数值基本一致,证明了推荐值的合理性。

第六章 单喇叭型互通立交通行能力研究结果及应用

6.1 研究结果

本文在分析调查数据的基础上,运用交通流三参数之间的关系、Greenshields模型、Underwood模型以及车头时距分别对单喇叭型互通立交的右转匝道、半定向型左转匝道、环圈型左转匝道、分流区、合流区的通行能力进行分析,得到基本通行能力推荐值,如表 6-1-1 所示:

表 6-1-1 单喇叭型互通立交通行能力推荐值

说明		基本通行能力推荐值(pcu/h)
右转匝道 (1 车道)		1800
半定向型左转匝道 (1 车道)		1200
环圈型左转匝道 (1 车道)		950
分流区 (主线 2 车道)		3400
合流区 (主线 2 车道)		3200
单喇叭型 互通立交	主线双向 4 车道匝道 1 车道	9150
	主线双向 6 车道匝道 1 车道	12750

6.2 研究结果应用

6.2.1 A 型与 B 型的选用

只要有良好的线型和必要的视距, A 型单喇叭(以下简称 A 型)与 B 型单喇叭(以下简称 B 型)在几何构造上都可以创造出安全和优美的线型。采用 A 或 B 型,一般都是根据交通量的分布来确定,在较小的交通量方向上使用内环匝道。当然,地形、地物、被交道路等限制对于型式的选择也有一定影响。

上面说到根据交通量的分布来确定采用 A 型或 B 型,问题的关键在于如何根据交通量的多少来把握这个度:

当驶入主线的交通量小于驶出主线的交通量时,优先考虑采用 A 型;

当驶入主线的交通量与驶出主线的交通量相差不大时,考虑到如果在主线驶出端采用内环匝道,车辆从高速公路上以较高速刹车进入较小半径的内环匝道,如果平面线型设计不够完善,则会使曲率变化过快,易导致车辆失控,冲出匝道或产生尾撞。而此时若采用 A 型喇叭,环形匝道用作慢速行驶的车辆驶入主线,而半定向匝道用作车辆快速驶出主线,对保证交通安全是有利的。特别当驶入匝道设计为上跨时,车辆有良好的视距,对行车极为有利;

当驶入主线的交通量大于驶出主线的交通量时,主次方向交通量究竟相差到什么程度时应考虑采用 B 型,迄今仍未为这一问题找到权威性的结论。根据经验,一般认为首先应对 B 型内环匝道出口的通行能力进行验算,在相应的平面技术标准能够满足通行能力的情况下,如果驶入主线的远景年平均日交通量与驶出主线交通量相差悬殊(2000 辆/日)以上,可以考虑采用 B 型单喇叭的型式,否则应慎重采用。

此时,应用本文表 6-1-1 的研究结果,通过对半定向型左转匝道和环圈型左转匝道的通行能力进行分析得出:当驶入主线的交通量与驶出主线的交通量之比大于 1.26 时(即半定向型左转匝道与环圈型通行能力之比:1200/950),应采用 B 型喇叭。根据经验当驶入主线的交通量小于 10000 辆/日时,优先采用单喇叭型。这种情况下,运用本文得出的结论计算,得出驶入主线交通量与驶出主线

交通量相差 2083 辆/日, 这个计算结果与经验结果 2000 辆/日相差不大。

另外采用 A 型时, 原则上应采用入口匝道上跨主线, 此时驶入匝道和主线上的车辆有良好的视野, 有利于行车安全; 从工程经济方面考虑, 驶入匝道上跨主线比主线上跨匝道投资要少。

采用 B 型时, 按照公路路线设计规范 JTG D20—2006, 要求出口匝道宜为上坡匝道。应采用匝道上跨主线的型式, 此时出口匝道在跨线桥后, 驾驶员的视线会受到一定影响, 应按照规范要求, 匝道出口离跨线桥距离不小于 150 米; 从工程经济方面考虑, 出口匝道上跨主线比主线上跨匝道投资要少。

6.2.2 车头时距法计算 PCE

在第四章对单喇叭型互通立交的匝道、分流区、合流区的通行能力分析时看出: 通过混合车流车头时距计算得出道路的流量, 然后采用公路路线设计规范 JTG D20—2006 推荐的高速公路车辆折算系数 (PCE) 折算出道路的通行能力, 最后得出的通行能力值偏大, 因此, 本文认为互通立交的匝道、分流区、合流区不宜采用高速公路车辆折算系数 (PCE) 计算其通行能力, 应根据匝道因其本身特有的特点计算其车辆折算系数。

车头时距法计算车辆折算系数 (PCE) 详见 3.5.2, 这里不再赘述。

6.3 本章小结

本章总结了前面的分析结果, 给出了单喇叭型互通立交系统各部分的基本通行能力推荐值。并运用匝道的研究成果, 对 A 型和 B 型单喇叭进行了比较分析, 得出当驶入主线的交通量与驶出主线的交通量之比不大于 1.26 时, 应优先采用 A 型单喇叭, 反之则采用 B 型, 并与传统经验比较, 结果趋于一致, 为 A 型或 B 型单喇叭的选用提供了理论依据

在运用混合车流车头时距分析单喇叭型互通立交的通行能力时, 得出互通立交的匝道、分流区、合流区不宜采用高速公路车辆折算系数 (PCE) 计算其通行能力, 应根据匝道因其本身特有的特点, 利用本文的研究成果计算其车辆折算系数。

第七章 结论与展望

6.1 主要结论

单喇叭型互通立交是我国互通式立交的最基本型式。单喇叭型互通立交因为路线结构简单,只设一个立体交叉构造物(一座隧道或路跨桥),行车安全,方便管理等原因在国内工程中被大量采用。但由于互通立交这种只有在高等级道路才会出现的交叉型式,在我国缺乏深入研究和经验积累,没有详尽的理论基础。因此有必要对单喇叭型互通立交系统的通行能力进行系统化和完整化的分析。

本文在分析大量调查数据的基础上,对单喇叭型互通立交系统的通行能力进行分析,并得到以下结论:

(1) 运用车头时距法计算车辆折算系数(PCE)

通过处理调查数据得到单喇叭型互通立交各组成部分的交通流车头时距,分析计算出车辆折算系数(PCE),并给出匝道、分流区、合流区的车辆折算系数(PCE)推荐值。

(2) 分析了单喇叭型互通立交的匝道通行能力

在分析调查数据的基础上,运用交通流三参数之间的关系、Greenshields模型、Underwood模型以及车头时距分别对单喇叭型互通立交的右转匝道、半定向型左转匝道和环圈型左转匝道的通行能力进行分析,得出这三种匝道的基本通行能力推荐值分别为:1800 pcu/h/lane、1200 pcu/h/lane 和 950 pcu/h/lane。

(3) 分析了单喇叭型互通立交的分流区通行能力

在分析调查数据的基础上,运用交通流三参数之间的关系、Greenshields模型、Underwood模型以及车头时距分别对分流区内侧车道和外侧车道的通行能力进行分析,得出内侧车道的通行能力为1800pcu/h,外侧车道的通行能力为1600pcu/h,综合两条车道的分析结果,得到分流区的基本通行能力推荐值为3400pcu/h。

(4) 分析了单喇叭型互通立交的合流区通行能力

在分析调查数据的基础上,运用交通流三参数之间的关系、Greenshields模型、Underwood模型以及车头时距分别对合流区内侧车道和外侧车道的通行能力进行分析,得出内侧车道的通行能力为1700pcu/h,外侧车道的通行能力为1500pcu/h,综合两条车道的分析结果,得到合流区的基本通行能力推荐值为3200pcu/h。

(5) 分析了单喇叭型互通立交系统的通行能力

通过分析单喇叭型互通立交系统中车辆运行的瓶颈区域,得出系统通行能力的计算公式。并结合匝道、分流区和合流区的通行能力分析结果计算出主线双向4车道,匝道1车道的单喇叭型互通立交系统的通行能力为:9150pcu/h

(6) 进行了单喇叭型互通立交系统交通仿真研究

应用VISSIM软件对单喇叭型互通立交系统进行了交通仿真研究。结合调查数据对主线双向4车道匝道1车道型单喇叭互通立交进行了模拟,得到系统基本通行能力为9500pcu/h,这个结果与第四章的分析结果基本一致,证明了前面的分析结果的正确性。同时对主线双向6车道匝道1车道的单喇叭型互通立交进行了模拟,得出系统基本通行能力为13000pcu/h,

(7) 应用研究结果对A型或B单喇叭的选用进行了分析

对A型和B型单喇叭进行了比较分析,得出当驶入主线的交通量与驶出主线的交通量之比不大于1.26时,应优先采用A型单喇叭,反之则采用B型,并与传统经验比较,结果趋于一致,为A型或B型单喇叭的选用提供了理论依据。

6.2 进一步研究问题

本文对单喇叭型互通立交各部分的通行能力进行了分析, 得出了各部分的基本通行能力推荐值和系统基本通行能力推荐值。由于研究条件、时间和作者知识水平等方面的限制, 文中还存在很多不足, 对许多问题未能进行更深入的探讨。主要有以下几点:

(1) 匝道通行能力主要受到匝道设计时采用设计标准的影响, 不同设计标准下也应有所不同, 本文所采集的样本数据有限, 对匝道通行能力的分析有待进一步完善和补充。

(2) 本文仅对匝道车道数为 1 的单喇叭型互通立交通行能力进行分析, 对于匝道为 2 车道的单喇叭型互通立交, 其匝道通行能力, 分流区、合流区通行能力还有待进一步分析研究。

(3) 本文在分析分流区时, 不考虑受到周边道路环境的影响。即认为分流区驶出匝道不受到与其连接的次要道路的影响。当次要道路的交通环境足以对分流区的驶出匝道造成影响时, 就应重新考虑分流区的通行能力。

(4) 匝道、分流区、合流区的车辆折算系数 (PCE) 受交通量、速度等因素的影响, 通过回归得出车辆折算系数 (PCE) 需要大量的数据, 要得出适用性较广的车辆折算系数 (PCE), 还需进一步收集数据。

这些问题在今后的学习和工作中有待于进一步深入地研究和拓展, 恳请各位老师、读者批评指正, 提出宝贵意见。

致 谢

值此论文完成之际，谨向众多给我指导、帮助、关心和鼓励的老师、同学、朋友和亲人们表示衷心的感谢！

首先我要感谢我的导师李文权教授，在两年半的研究生学习期间，导师对我的谆谆教诲，令我终身难忘。他渊博的学识、敏捷的思维、独到的学术见解和严谨的治学态度，使我在学习期间和论文撰写期间受益匪浅。在论文完成之际，向尊敬的导师表示最真诚的感谢！

感谢王伟教授、邓卫教授、李旭宏教授、过秀成教授、陈学武教授、程琳副教授、陈峻副教授、陆建老师、李铁柱老师、陈茜老师，是他们帮助我克服了很多困难，顺利完成了学业。

感谢郭忠华老师在我的论文写作期间提供的帮助，指导了我论文数据的处理。感谢马俊来博士、徐良杰博士、李海峰博士、李爱增博士、肖忠斌博士、孟祥燕、王莹、邱荣华等师兄师姐对我的关心和鼓励！

感谢任锐、颜艳霞、张旭旻、吴建、刘涛、顾志兵、黎东平、葛妹，和他们在一起共同学习生活的日子充满了欢乐和感动，它将成为我人生中一段美好的回忆！感谢孙山、张惠芳、陈吉发、程晓明等师弟师妹们，感谢他们在学习和生活交流以及项目中的合作！感谢周玉梅、朱铭在我的论文写作期间提供的帮助！

最后还要特别感谢我的家人。感谢我的父母给予我的关心和爱护，感谢我的哥哥给予我的关爱与支持，还要感谢我的女朋友，无论何时何地，你们总是默默的站在我身后，支持着我，鼓励着我。你们的关爱和支持一直是我不断探索的动力和源泉。

谨以此文献给关心、支持、鼓励和帮助过我的所有人！

参考文献

- [1] 王伯惠. 道路立交工程[M].北京: 人民交通出版社, 2000
- [2] 王永强. 单喇叭型互通式立体交叉的设计及优化[D]: [硕士学位论文]. 南京: 东南大学交通学院, 2000
- [3] 李文权. 道路互通立交系统通行能力的分析方法(国家自然科学基金执行计划书)[G].东南大学,2003
- [4] Transportation Research Board.Highway Capacity Manual 2000[R].Washington: Transportation Research Board publications, 2000
- [5] G F Newell. Delays caused by a queue at a freeway exit ramp[J]. Transportation Research Part B.1999(33):337-350
- [6] Robert L, Bertini, Steven Hansen, Klaus Bogenberger. Empirical Analysis of Traffic Sensor Data Surrounding a Bottleneck on a German Autobahn[J]. Submitted for Presentation and Publication to the 84th Annual Meeting of the Transportation Research Board. January 2005
- [7] Kye M, TIAN Zong-zhong, Rod T, et al. Capacity and level of service at unsignalized intersection[R].Washington:National Cooperative Highway Research Program, Project 3-46, 1996.
- [8] Bunker J M, Tronbeck R J. The probability of delay to minor stream drivers at a limited priority freeway merge [J].Road and Transport Research, 1996, 5(1):16-25
- [9] Daganzo C F. A behavioral theory of multi-lane traffic flow, part II merges and the onset of congestion [J].Transport Research part B, 2002, 36(2):159-169
- [10] Alexander Skabardonis. Simulation of Freeway Weaving Areas[R]. Transportation Research Board 81th Annual Meeting January 13-17, 2002
- [11] Michael J. Cassidy, Shadi B. Anani, John M. Haigwood. Study of freeway traffic near an off -ramp[J]. Transportation Research Part A, 2002
- [12] Kou C C, Machemehl R.Modeling driver behavior during merge maneuvers[R].Austin: Southwest Region University Transportation Research, The University of Texas at Austin, 1997
- [13] Evans J L, Elefteriadou L, Gautam.Probability of breakdown at freeway merges using Markov chains[J].Transportation Research Part B, 2001, 35(3): 237-254
- [14] Hall F L, Agyemang D K.Freeway capacity drop and the definition of capacity[J].Transportation Research Record, 1991(1320): 91-98
- [15] 交通部公路科学研究所.高速公路通行能力研究分报告[R].2000.6
- [16] 国家“九五”重点科技攻关项目组.《国道主干线道路通行能力》研究总报告[R].南京: 东南大学交通学院, 2000年10月
- [17] 李文权, 王炜, 李铁柱等. 高速公路加速车道上车辆的汇入特征分析[J]. 东南大学学报, 2002, 32(2): 252-255
- [18] 李文权, 王炜, 邓卫等.高速公路加速车道上车辆的汇入模型[J].中国公路学报, 2002, 15 (2): 95-98
- [19] 李文权, 王莉, 王炜.高速公路上匝道合流区通行能力经验模型[J].交通运输工程学报, 2003, 4 (2): 80-84
- [20] 李文权, 王炜, 周荣贵. 高速公路合流区 1 车道车头时距分布特征[J]. 公路交通科技, 2003, 20(1): 114-117
- [21] 李文权, 周荣贵. 高速公路合流区 1 车道交通量分布特征[J]. 公路交通科技, 2004, 21(12): 76-79
- [22] 李铁柱, 李文权, 周荣贵等.高速公路加速车道合流分流特征分析[J].公路交通科技, 2001,18(4):89-91
- [23] 覃煜, 晏克非.高架道路上匝道通行能力理论模型研究[J].武汉交通科技大学学报, 2000, 24(6):611-614

- [24] 吴兵, 杨佩昆. 高速道路入口匝道通行能力研究[J]. 同济大学学报, 1999, Vol.1.27 No.4
- [25] 罗霞. 混合车流合流运行模式研究[J]. 西南交通大学学报, 2000, 35(1):36-39.
- [26] 邱荣华. 互通立交分流区交通流特性研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 东南大学交通学院, 2006
- [27] 马海峰, 王伟, 李文权. 高速公路流量与入口匝道流量间的相互关系. 交通运输工程与信息学报, 2003, 1 (2): 87-90
- [28] 王莉. 高速公路入口匝道结合部通行能力研究 [D]: [硕士学位论文]. 南京: 东南大学交通学院, 2005
- [29] 常华. 高速公路互通式立交分、合流区辅助车道设置长度的研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 东南大学交通学院, 2000
- [30] 李硕, 张样. 高速公路主线流量对加速车道设计影响分析[J]. 中国公路学报, 2000, 13 (2)108-111.
- [31] 陈金川等. 道路交织区运行分析研究进展[J]. 公路交通科技, 2000, Vol.17 No.1: 46-50
- [32] 徐建闽, 撒元功. 高速公路入口匝道汇合控制下的道路通行能力[J]. 华南理工大学学报, 2002, Vol.30 No.7
- [33] 吴瑞麟, 沈建武. 单点立交(SPI)的通行能力研究[J]. 华中科技大学学报, 2002, Vol.30 No.10
- [34] 常成利, 周刚. 高速公路路段通行能力分析方法的探索与实践 [J]. 公路交通科技, 2003, Vol.1.20 No.2
- [35] 刘小生. 深圳市南坪快速路交织区段通行能力和服务水平的计算分析[J]. 公路交通技术, 2005 年第一期
- [36] 张雨化. 道路勘测设计[M]. 北京: 人民交通出版社, 1999
- [37] 中华人民共和国建设部. JGJ 100-98 汽车库建筑设计规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 1999
- [38] 中华人民共和国交通部. JTG D20-2006 公路路线设计规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2006
- [39] 荣建, 常成利, 刘小明, 任福田. 标定交通流模型时最小统计间隔的选择[J]. 北京工业大学学报, 1999, Vol.25(4)
- [40] Huber, M.J. Estimation of passenger-car equivalents of trucks in traffic stream. US Transportation Research Board, Transportation Research Record 869. 60-70
- [41] 徐吉谦. 交通工程总论[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003
- [42] 王伟, 过秀成. 交通工程学[M]. 南京: 东南大学出版社, 2000
- [43] 陈宽民, 严宝杰. 道路通行能力分析[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003
- [44] 张起森, 张亚平. 道路通行能力分析[M]. 北京: 人民交通出版社, 2002

附录 1 车头时距统计程序 (VBA)

```

'定义最大间隔
Dim ii, T As Integer
T = 10
'定义从 11 行开始进行统计
ii = 12
Dim leixing As String
Dim tt As Date
Do While Worksheets("sheet1").Cells(ii, 1).Value <> ""
' 计算车头时距
    tt = Abs(Worksheets("sheet1").Cells(ii, 1).Value - Worksheets("sheet1").Cells(ii - 1, 1).Value)
    If TimeSerial(0, T, 0) <= tt Then
        GoTo nextii
    End If
' 判断跟车类型
    If Worksheets("sheet1").Cells(ii, 6).Value = "0" Then
        Select Case Worksheets("sheet1").Cells(ii - 1, 6).Value
            Case 0
                leixing = "小一小"
            Case 1
                leixing = "小一中"
            Case 2
                leixing = "小一大"
        End Select
    ElseIf Worksheets("sheet1").Cells(ii, 6).Value = "1" Then
        Select Case Worksheets("sheet1").Cells(ii - 1, 6).Value
            Case 0
                leixing = "中一小"
            Case 1
                leixing = "中一中"
            Case 2
                leixing = "中一大"
        End Select
    ElseIf Worksheets("sheet1").Cells(ii, 6).Value = "2" Then
        Select Case Worksheets("sheet1").Cells(ii - 1, 6).Value
            Case 0
                leixing = "大一小"
            Case 1
                leixing = "大一中"
            Case 2
                leixing = "大一大"
        End Select
    End If
nextii

```

```
' 输出结果
Worksheets("sheet1").Cells(ii, 7).Value = tt
Worksheets("sheet1").Cells(ii, 8).Value = leixing
' 循环
nextii:
    ii = ii + 1
Loop
```

附录 2 速度、流量统计程序 (VBA)

```

Dim flow, speed As Double
'读取数据作为统计间隔时间
Dim T As Integer
T = Val(TextBox1.Text)
Dim car0, car1, car2, f, n As Single
Dim bigVec As Integer
'读取车辆折算系数
car0 = Val(TextBox2.Text)
car1 = Val(TextBox3.Text)
car2 = Val(TextBox4.Text)
'记录输入参数
Worksheets("sheet1").Cells(3, 2).Value = T
Worksheets("sheet1").Cells(5, 2).Value = car0
Worksheets("sheet1").Cells(6, 2).Value = car1
Worksheets("sheet1").Cells(7, 2).Value = car2

'确定起始行
Dim ii, jj, kk As Long
ii = 11
jj = 11
kk = 11
Dim begin As Variant
begin = Worksheets("sheet1").Cells(ii, 1).Value
Do While Worksheets("sheet1").Cells(ii, 1).Value <> ""
    Select Case Worksheets("sheet1").Cells(ii, 6).Value
        Case 0
            flow = car0
            bigVec = 0
        Case 1
            flow = car1
            bigVec = 0
        Case 2
            flow = car2
            bigVec = 1
    End Select
    speed = Worksheets("sheet1").Cells(ii, 4).Value * flow
    If Worksheets("sheet1").Cells(ii + 1, 1).Value = "" Then
        End
    Else
        Do While TimeSerial(0, T, 0) >= _
            Abs(Worksheets("sheet1").Cells(jj + 1, 1).Value - begin)
            If Worksheets("sheet1").Cells(jj + 1, 1).Value = "" Then
                End
            End
    End

```

```

End If
jj = jj + 1
Select Case Worksheets("sheet1").Cells(jj, 6).Value
Case 0
    flow = flow + car0
Case 1
    flow = flow + car1
Case 2
    flow = flow + car2
    bigVec = bigVec + 1
End Select
Select Case Worksheets("sheet1").Cells(jj, 6).Value
Case 0
    f = car0
Case 1
    f = car1
Case 2
    f = car2
End Select
speed = speed + Worksheets("sheet1").Cells(jj, 4).Value * f
Loop
End If
'流量速度输出
speed = speed / flow
Worksheets("sheet1").Cells(kk, 8).Value = speed
flow = flow * (60 / T)
Worksheets("sheet1").Cells(kk, 7).Value = flow
n = 100 * bigVec / (jj - ii + 1)
Worksheets("sheet1").Cells(kk, 11).Value = n
'校验数据输出
Worksheets("sheet1").Cells(kk, 9).Value = Worksheets("sheet1").Cells(ii, 1).Value
Worksheets("sheet1").Cells(kk, 10).Value = Worksheets("sheet1").Cells(jj, 1).Value
    jj = jj + 1
    kk = kk + 1
    ii = jj
begin = begin + TimeSerial(0, T, 0)
If TimeSerial(0, T, 0) <= _
    Abs(Worksheets("sheet1").Cells(ii, 1).Value - begin) Then

    begin = Worksheets("sheet1").Cells(ii, 1).Value

End If
Loop

```

附录3 实测数据统计结果

表1 实测右转匝道交通流参数表(10分钟统计间隔)

流量(pcu/h)	速度(km/h)	密度(pcu/km)	流量(pcu/h)	速度(km/h)	密度(pcu/km)
1164	109.39	10.64	372	89.45	4.16
1416	112.57	12.58	288	85.54	3.37
1248	104.05	11.99	864	115.39	7.49
2622	113.21	23.16	954	116.31	8.20
2508	111.49	22.50	774	120.33	6.43
2022	110.76	18.26	972	130.23	7.46
2418	112.53	21.49	1068	124.33	8.59
2394	116.53	20.54	1008	122.49	8.23
1596	116.21	13.73	1122	127.88	8.77
1896	110.24	17.20	1098	126.70	8.67
1674	116.03	14.43	1092	125.26	8.72
1626	115.94	14.02	894	116.72	7.66
1224	112.22	10.91	936	112.58	8.31
1836	82.80	22.17	1086	119.56	9.08
1998	99.60	20.06	828	119.38	6.94
2334	119.62	19.51	1050	114.46	9.17
2460	112.38	21.89	720	114.12	6.31
2304	82.80	27.83	888	113.46	7.83
1920	113.78	16.87	990	120.10	8.24
2502	117.17	21.35	1056	117.50	8.99
1218	114.26	10.66	1200	113.00	10.62
270	112.38	2.40	1110	112.86	9.84

表2 实测半定向型左转匝道交通流参数表(5分钟统计间隔)

流量(pcu/h)	速度(km/h)	密度(pcu/km)	流量(pcu/h)	速度(km/h)	密度(pcu/km)
492	58.98	8.34	672	63.04	10.66
816	55.51	14.70	708	63.37	11.17
516	54.49	9.47	552	46.33	11.92
468	61.92	7.56	372	47.65	7.81
372	61.81	6.02	480	65.83	7.29
300	52.68	5.69	480	48.85	9.83
624	58.33	10.70	456	49.11	9.29
660	55.13	11.97	396	51.55	7.68
876	51.82	16.90	408	50.56	8.07
780	48.28	16.16	420	59.31	7.08
504	58.79	8.57	528	53.82	9.81
480	46.70	10.28	444	60.11	7.39
732	70.34	10.41	600	54.96	10.92
636	66.89	9.51	888	57.04	15.57
996	47.05	21.17	384	63.09	6.09

附录 3 实测数据统计结果

408	62.00	6.58	528	49.64	10.64
648	57.65	11.24	336	57.04	5.89
516	56.72	9.10	840	58.50	14.36
1128	39.67	28.43	348	59.48	5.85
492	60.56	8.12	420	50.54	8.31
648	55.33	11.71	864	63.13	13.69
852	57.06	14.93	780	48.58	16.05
468	46.51	10.06	492	61.05	8.06
564	60.36	9.34	612	61.80	9.90
516	58.28	8.85	636	50.15	12.68
324	55.70	5.82	660	55.95	11.80
588	48.86	12.04	552	58.35	9.46
408	66.65	6.12	444	46.51	9.55
456	53.87	8.47	576	64.90	8.88
840	57.81	14.53	588	48.96	12.01
912	58.07	15.71	768	58.08	13.22
768	60.69	12.65	132	66.82	1.98
768	60.03	12.79			

表 3 实测环圈型左转匝道交通流参数表 (5 分钟统计间隔)

流量(pcu/h)	速度(km/h)	密度(pcu/km)	流量(pcu/h)	速度(km/h)	密度(pcu/km)
168	61.57	2.73	216	62.67	3.45
108	58.22	1.85	132	59.18	2.23
72	57.17	1.26	204	60.00	3.40
132	57.64	2.29	84	71.00	1.18
108	55.78	1.94	132	61.91	2.13
36	50.00	0.72	60	47.60	1.26
72	60.33	1.19	180	56.13	3.21
48	55.50	0.86	144	62.58	2.30
12	64.00	0.19	120	53.80	2.23
36	64.00	0.56	168	64.29	2.61
36	44.00	0.82	132	58.55	2.25
96	51.25	1.87	180	52.00	3.46
156	53.46	2.92	132	49.55	2.66
240	53.95	4.45	72	51.33	1.40
192	49.56	3.87	48	74.50	0.64
108	55.56	1.94	108	49.56	2.18
156	52.69	2.96	132	44.36	2.98
84	57.00	1.47	144	51.42	2.80
120	58.20	2.06	192	52.19	3.68
120	67.20	1.79	180	52.47	3.43
84	49.71	1.69	216	60.78	3.55
120	46.20	2.60	156	48.15	3.24
108	52.78	2.05	192	47.63	4.03
84	60.00	1.40	36	48.33	0.74

附录3 实测数据统计结果

300	54.44	5.51	108	49.00	2.20
264	61.86	4.27	264	44.45	5.94
168	61.36	2.74	228	56.42	4.04
312	61.85	5.04	24	61.00	0.39
360	67.30	5.35	72	51.00	1.41
300	54.28	5.53	108	41.33	2.61
516	48.93	10.55	96	60.25	1.59
492	45.90	10.72	72	71.67	1.00
576	48.19	11.95			

表4 实测分流区内侧车道交通流参数表(10分钟统计间隔)

流量(pcu/h)	速度(km/h)	密度(pcu/km)	流量(pcu/h)	速度(km/h)	密度(pcu/km)
258	78.95	3.27	894	64.95	13.77
384	88.23	4.35	1056	75.39	14.01
354	62.85	5.63	1014	71.01	14.28
480	79.43	6.04	1200	82.89	14.48
510	71.98	7.09	1152	78.59	14.66
630	79.96	7.88	1200	80.21	14.96
852	73.30	11.62	1254	74.65	16.80
822	69.26	11.87	1288	76.24	16.89
964	80.72	11.94	1269	78.33	16.20
894	73.87	12.10	1369	76.29	17.94
954	77.40	12.33	1239	76.13	16.27
930	75.22	12.36	1252	76.43	16.38
918	73.25	12.53	1312	73.51	17.85
996	78.77	12.64	1288	77.54	16.61
1038	79.34	13.08	1232	68.73	17.92
1052	78.92	13.33	1263	72.47	17.43
1032	75.51	13.67	1232	65.46	18.82
1032	75.29	13.71			

表5 实测分流区外侧车道交通流参数表(10分钟统计间隔)

流量(pcu/h)	速度(km/h)	密度(pcu/km)	流量(pcu/h)	速度(km/h)	密度(pcu/km)
162	46.59	3.48	468	60.32	7.76
276	67.17	4.11	462	59.21	7.80
318	62.66	5.07	534	65.24	8.19
288	55.42	5.20	722	63.76	11.32
288	54.25	5.31	534	65.01	8.21
354	65.66	5.39	540	64.84	8.33
300	53.92	5.56	834	56.99	14.63
348	60.38	5.76	798	80.69	9.89
330	57.15	5.77	624	61.26	10.19
408	65.01	6.28	732	63.58	11.51
354	55.98	6.32	936	75.15	12.45
402	58.03	6.93	950	58.94	16.12
456	64.41	7.08	846	65.97	12.82

附录 3 实测数据统计结果

444	60.91	7.29	924	67.84	13.62
438	59.38	7.38	1074	70.33	15.27
450	60.80	7.40	1034	71.13	14.54
486	64.21	7.57	1016	73.23	13.87
414	53.96	7.67			

表 6 实测整个分流区交通流参数表 (10 分钟统计间隔)

流量(pcu/h)	速度(km/h)	密度(pcu/km)	流量(pcu/h)	速度(km/h)	密度(pcu/km)
900	77.08	11.68	1572	76.98	20.42
1290	73.32	17.59	1452	70.75	20.52
1170	75.14	15.57	1488	70.85	21.00
1322	68.42	19.32	1332	62.86	21.19
1200	74.99	16.00	1542	72.73	21.20
1235	72.45	17.05	1650	77.74	21.22
1118	71.25	15.69	1410	65.86	21.41
1302	78.30	16.63	1596	73.32	21.77
1098	65.66	16.72	1560	71.39	21.85
1182	69.09	17.11	1752	74.69	23.46
1068	62.19	17.17	1740	73.40	23.70
1344	76.69	17.53	2082	71.11	29.28
1284	72.19	17.79	2330	74.04	31.47
1248	68.53	18.21	2022	72.20	28.00
1266	68.57	18.46	2094	74.28	28.19
1446	74.20	19.49	1974	68.13	28.97
1410	70.32	20.05	1966	72.15	27.25
1350	67.30	20.06	1856	72.63	25.56

表 7 实测合流区内侧车道交通流参数表 (10 分钟统计间隔)

流量(pcu/h)	速度(km/h)	密度(pcu/km)	流量(pcu/h)	速度(km/h)	密度(pcu/km)
138	77.87	1.77	762	93.37	8.16
210	96.77	2.17	816	99.71	8.18
258	109.12	2.36	822	100.06	8.22
240	101.25	2.37	726	87.68	8.28
228	93.68	2.43	696	83.96	8.29
210	85.14	2.47	798	96.03	8.31
210	81.71	2.57	822	96.06	8.56
216	83.83	2.58	888	103.39	8.59
246	92.34	2.66	846	96.49	8.77
234	79.64	2.94	834	94.95	8.78
294	99.45	2.96	792	89.87	8.81
228	75.95	3.00	930	104.49	8.90
258	85.86	3.00	906	100.81	8.99
270	85.89	3.14	888	98.73	8.99
294	90.67	3.24	750	82.74	9.06
318	91.92	3.46	882	96.46	9.14
306	87.67	3.49	894	95.34	9.38

附录 3 实测数据统计结果

408	97.84	4.17	876	93.27	9.39
432	101.35	4.26	942	99.82	9.44
366	84.26	4.34	912	94.74	9.63
426	97.90	4.35	834	86.42	9.65
408	87.15	4.68	804	82.75	9.72
426	90.58	4.70	960	98.18	9.78
510	102.92	4.96	894	90.93	9.83
408	82.01	4.97	972	98.37	9.88
504	99.55	5.06	888	89.42	9.93
408	80.46	5.07	1032	103.65	9.96
426	83.90	5.08	924	92.58	9.98
468	86.81	5.39	960	94.88	10.12
468	85.60	5.47	810	79.50	10.19
570	104.16	5.47	996	97.63	10.20
540	95.11	5.68	924	90.40	10.22
510	87.16	5.85	936	90.87	10.30
486	82.59	5.88	930	89.28	10.42
510	83.72	6.09	996	95.51	10.43
546	87.98	6.21	1038	97.90	10.60
654	104.38	6.27	1032	96.88	10.65
558	88.37	6.31	972	90.98	10.68
546	84.93	6.43	984	92.01	10.69
612	92.21	6.64	1092	98.94	11.04
672	99.63	6.74	1026	92.29	11.12
570	81.86	6.96	1050	94.31	11.13
606	85.86	7.06	1020	90.14	11.32
546	76.04	7.18	1110	97.36	11.40
738	102.15	7.22	1092	94.80	11.52
714	98.61	7.24	1140	97.87	11.65
702	95.77	7.33	1032	86.91	11.87
756	100.58	7.52	1116	93.15	11.98
738	96.95	7.61	1104	91.67	12.04
732	96.12	7.62	1164	94.37	12.33
672	87.85	7.65	1056	88.60	11.92
702	90.62	7.75	1054	94.31	11.18
744	93.90	7.92	1030	91.04	11.31
726	90.74	8.00			

表 8 实测合流区外侧车道交通流参数表 (10 分钟统计间隔)

流量(pcu/h)	速度(km/h)	密度(pcu/km)	流量(pcu/h)	速度(km/h)	密度(pcu/km)
12	63.00	0.19	396	73.83	5.36
18	78.00	0.23	444	80.84	5.49
24	63.50	0.38	402	73.15	5.50
30	70.20	0.43	432	78.01	5.54
30	68.40	0.44	426	73.68	5.78

附录3 实测数据统计结果

48	82.13	0.58	426	72.87	5.85
48	80.50	0.60	456	77.05	5.92
60	81.30	0.74	432	72.72	5.94
66	85.91	0.77	396	65.77	6.02
48	59.88	0.80	450	74.65	6.03
42	51.71	0.81	468	76.92	6.08
48	56.00	0.86	426	68.75	6.20
78	67.23	1.16	468	74.50	6.28
84	55.86	1.50	546	84.57	6.46
78	50.00	1.56	402	61.87	6.50
102	63.71	1.60	486	73.27	6.63
120	70.75	1.70	504	75.95	6.64
114	64.05	1.78	510	74.94	6.81
114	63.63	1.79	480	70.03	6.85
180	72.67	2.48	510	74.06	6.89
174	66.34	2.62	474	67.78	6.99
180	64.87	2.77	552	77.04	7.16
234	82.49	2.84	570	79.54	7.17
210	70.77	2.97	570	78.42	7.27
228	72.89	3.13	552	75.75	7.29
252	75.79	3.33	504	68.50	7.36
216	64.11	3.37	408	55.43	7.36
246	69.76	3.53	558	73.14	7.63
210	59.31	3.54	570	74.24	7.68
216	60.39	3.58	522	66.63	7.83
276	75.85	3.64	564	71.69	7.87
258	70.74	3.65	618	77.48	7.98
198	53.24	3.72	588	73.40	8.01
258	66.91	3.86	624	77.33	8.07
318	81.26	3.91	618	75.96	8.14
318	79.57	4.00	618	75.60	8.17
318	79.36	4.01	606	72.88	8.31
252	62.24	4.05	684	79.33	8.62
318	77.26	4.12	630	71.80	8.77
300	72.84	4.12	588	66.88	8.79
306	71.55	4.28	636	72.32	8.79
270	62.91	4.29	582	66.12	8.80
288	66.79	4.31	678	75.46	8.98
294	68.10	4.32	672	74.00	9.08
420	90.86	4.62	660	72.28	9.13
264	56.98	4.63	696	75.89	9.17
378	79.52	4.75	696	75.46	9.22
324	68.07	4.76	732	80.60	9.08
366	76.72	4.77	696	70.30	9.90
288	60.04	4.80	714	69.85	10.22

附录 3 实测数据统计结果

390	80.78	4.83	636	73.76	8.62
288	59.21	4.86	736	67.56	10.89
336	66.02	5.09	684	73.67	9.28
402	78.73	5.11			

表 9 实测整个合流区交通流参数表 (10 分钟统计间隔)

流量(pcu/h)	速度(km/h)	密度(pcu/km)	流量(pcu/h)	速度(km/h)	密度(pcu/km)
282	79.91	3.53	1530	88.48	17.29
474	89.91	5.27	1596	92.17	17.32
480	84.60	5.67	1536	88.45	17.37
660	89.67	7.36	1428	82.05	17.40
690	93.03	7.42	1440	82.26	17.51
660	88.28	7.48	1482	84.04	17.63
702	90.52	7.76	1398	79.15	17.66
762	90.05	8.46	1644	92.91	17.70
714	83.28	8.57	1494	84.24	17.73
720	77.18	9.33	1500	83.91	17.88
906	93.64	9.68	1584	88.50	17.90
816	82.79	9.86	1530	84.78	18.05
966	92.16	10.48	1494	82.64	18.08
840	79.47	10.57	1554	85.43	18.19
990	85.02	11.64	1674	90.34	18.53
1188	93.74	12.67	1602	85.82	18.67
1068	81.87	13.04	1404	75.11	18.69
1206	91.76	13.14	1644	86.62	18.98
1218	91.29	13.34	1674	87.39	19.16
1284	94.68	13.56	1734	90.15	19.23
1218	89.47	13.61	1716	88.54	19.38
1272	93.28	13.64	1620	81.77	19.81
1284	90.52	14.18	1428	71.98	19.84
1332	92.74	14.36	1746	87.57	19.94
1362	94.41	14.43	1680	84.23	19.95
1074	73.54	14.60	1674	83.87	19.96
1266	86.51	14.63	1776	88.06	20.17
1218	81.52	14.94	1644	81.39	20.20
1344	89.82	14.96	1794	88.61	20.25
1374	90.29	15.22	1788	87.20	20.50
1350	88.20	15.31	1644	79.36	20.71
1308	85.11	15.37	1764	84.97	20.76
1194	77.49	15.41	1824	86.75	21.03
1434	92.56	15.49	1728	80.22	21.54
1314	84.78	15.50	1896	84.28	22.50
1488	95.50	15.58	2010	86.58	23.21
1326	81.77	16.22	1806	77.67	23.25
1428	86.81	16.45	2124	87.89	24.17

附录3 实测数据统计结果

1410	84.50	16.69	2238	91.29	24.52
1512	88.94	17.00	2364	83.70	28.24
1482	86.63	17.11	2210	82.15	26.90
1368	79.64	17.18			

攻读硕士学位期间所参加项目及发表论文

一、参加项目情况

1	2004.4-2004.12	晋城市道路交通管理规划	参加人员之一
2	2004.9-2004.11	张家港市道路交通安全规划	主要参加人员
3	2004.10-2004.12	晋城市道路交通安全规划	参加人员之一
4	2005.2-2005.8	启东市道路交通安全规划	主要参加人员
5	2005.3-2005.8	启东市道路交通管理规划	主要参加人员
6	2005.03-2005.10	太仓市道路交通安全管理规划	参加人员之一
7	2005.6-2005.10	温岭市城市交通问题分析研究	主要参加人员
8	2005.09-2006.03	长治市道路交通安全管理规划	参加人员之一
9	2005.12-2006.06	张家港市市域道路交通安全管理规划	主要参加人员
10	2005.12-2006.06	张家港市公共停车场规划	主要参加人员
11	2005.12-2006.06	张家港市市民中心建设项目交通影响分析	主要参加人员
12	2006.4-至今	多车道高速公路车道适应性研究	参加人员之一

二、发表论文情况

刘文清, 李文权. 改进的道路交通安全灰色聚类评价方法 [J]. 城市交通, 2006, 4(3): 58-61