

摘 要

高速公路建设初期,由于对未来交通量预测偏小,或是缺乏资金、土地紧张等原因,很多高速公路远未达到设计年限就已需要大修或改扩建。高速公路的养护施工作业变得越来越频繁,成为交通拥挤以及造成各类交通事故的重要原因。因此,对高速公路养护工区交通组织研究显得十分迫切。在养护施工期间,保持畅通和交通安全是关键问题。

养护工区交通组织仿真系统与其他交通分析技术,如通行能力分析、交通冲突分析、排队理论等结合在一起,可以用来对不同的交通组织方案进行对比分析与评价,提出科学合理的交通控制和管理的建议,作为保通方案选取和执行的参考依据。

本文运用微观交通仿真系统,从具体路段角度和整体路网两个角度,分别提出了基于连续流理论的养护工区服务水平分级、具体路段控制区长度推荐值和整体路网评价体系。首先从具体路段角度,对铜黄和西宝高速公路施工期间养护工区进行微观仿真,以警告区、作业区和中分带开口处的调查数据作为模型可靠度的检验依据,进行模型测试与标定。以该方法得到具体施工路段的控制区长度以及限速值与最大可能通行能力的关系后,对课题依托工程东港高速公路进行例证,得到适合东港高速养护工区参数的推荐值。然后从整体路网角度,运用微观交通仿真系统建立了东港高速公路及周边路网的道路信息系统和交通仿真系统模型。对全线保持原有正常交通、全线封闭施工和部分路段封闭三种整体路网交通组织方案进行了对比和评价。

关键词: 养护工区、交通组织、仿真、通行能力、服务水平分级

Abstract

The expressway construction, due to the volume of traffic forecast for the future too small, or the lack of capital, land tensions and other factors, many of the highway need to be repaired or expanded although the design life is far from now. Maintenance and construction of expressway are becoming more and more frequent, and it has been one of the most important reasons for the traffic congestions and many traffic accidents on the expressways. So, it is urgent to study traffic organization of expressway works sections. During the construction period, maintain the normal flow and traffic safety is a key issue.

Traffic organizations simulation system for work zones, together with the other traffic analysis techniques, such as capacity analysis, traffic conflict analysis, combination of queuing theory, can be used to transport different organizations with a comparative analysis of program evaluation, the scientific and reasonable traffic control and management, as a program and implementation of selected frame of reference.

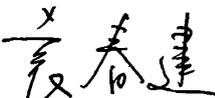
The paper use microscopic traffic simulation system, from the two angles of the specific sections and the overall road network, invent the Standard of service grading of work zones based on the continuous flow theory, the recommend value of the length of control area in specific sections and the recommended road network evaluation system. First of all, from the perspective of specific sections, micro-simulation is made for Tonghuang and Xibao freeway conservation work zones during construction. With the survey data at warn area, operating area and Central authority divides belt as a model of reliability of the test based on model testing and calibration. With the approach getting the length of control area in specific sections and the relationship between the greatest possible capacity & the limit speed, we can take Donggang Highway for example, to get the suitable result for the recommended parameters of Donggang Highway work zone. And then from the perspective of the overall road network, we use microscopic traffic simulation system to establish the Donggang Freeway and the surrounding road network and traffic information system simulation model. The overall network traffic comparison and evaluation of programs is made to the three organizations: maintain the original of all the normal traffic, construction of all closed and closed sections.

Key words: work zone; traffic organization ; simulate ; traffic capacity ;standard of service classify

论文独创性声明

本人声明：本人所呈交的学位论文是在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除论文中已经注明引用的内容外，对论文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本论文中不包含任何未加明确注明的其他个人或集体已经公开发表的成果。

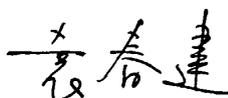
本声明的法律责任由本人承担。

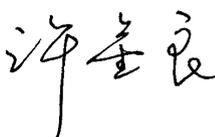
论文作者签名：  2009年4月28日

论文知识产权权属声明

本人在导师指导下所完成的论文及相关的职务作品，知识产权归属学校。学校享有以任何方式发表、复制、公开阅览、借阅以及申请专利等权利。本人离校后发表或使用学位论文或与该论文直接相关的学术论文或成果时，署名单位仍然为长安大学。

(保密的论文在解密后应遵守此规定)

论文作者签名：  2009年4月28日

导师签名：  2009年4月28日

第一章 绪论

1.1 研究背景

高速公路建设初期,由于对未来交通量预测偏小,或是缺乏资金、土地紧张等原因,很多高速公路远未达到设计年限就已需要大修或改扩建。高速公路的养护施工作业变得越来越频繁,成为交通拥挤以及造成各类交通事故的重要原因。

在这些大修作业的实施过程中,由于受到各种因素的综合影响,道路交通事故频发、交通安全形势十分严峻,已引起社会各界的普遍关注。随着我国公路建设的发展,公路维修工程的增加,若不采取有效的措施,事故率必然会上升,给社会及人民的生命财产带来巨大损失。在养护施工期间,保持畅通和交通安全是关键问题。因此,对高速公路养护工区交通组织研究显得十分迫切。

国外对高速公路大修改造工程的研究由来已久,高速公路大修改造施工和组织的理论和方法渐渐的形成,并仍在不断的发展和成熟中^[5]。我国在高速公路大修改造方面还处于摸索和理论形成阶段。通过对国外一些高速公路大修改造过程的探索和实践,我国的工程技术人员在沈大和沪宁等高速公路大修改造的实践中,积累了许多经验和教训,攻克了很多技术难题,不断取得突破和创新,而对一些待改建的高速公路课题的研究,使得高速公路的大修改造变得更加经济、科学和适用^[2]。

国内施工区交通组织方案,主要按照交通部颁发的《公路养护技术规范》(JTJ073-90)、《公路养护安全作业规程》(JTJG H30-2004)以及各省区制定的施工路段管理办法。《公路交通标志设置规范》(征求意见稿)也对施工区安全标志的设置作了相应的规定和施工交通组织方案。但该内容基本沿袭了原有标志系统,交通组织方案也主要是参考国外标准制定的^[1]。

1.2 研究现状

1.2.1 国外

最早开展对公路施工区交通安全、交通组织和通行能力研究的地区是美国的德克萨斯州。1979年, Richards, S.H 与 Dudek, C.L. 就开展了对高速公路养护施工管理策略的研究,随后,两人继续对高速公路施工区的通行能力进行了研究。他们采用交通调查结合数理统计的分析方法,由于调查样本的不足或地区的差异性,研究成果都缺乏代

表性。

1999年, James Migletz, Jerry L. Graham 等人从交通安全的角度出发对公路施工区的限速标准进行了研究, 建立了交通安全水平与车速限制之间的关系。同年, Virginia P. Sisiopiku, Richard W. Lyles 与 Ma' in Krunz 等人对高速公路施工区的速度控制的影响因素及标准进行了标定。

1999年, Yi Jiang 则在四车道的 Indiana 高速公路上获取了大量的实测数据之后分别对拥挤和非拥挤状态下施工区的通行能力、行车速度以及车队疏散率进行了研究。这项研究成果可以用于定量预测施工区的交通拥挤, 评估交通延误以及分析出行费用。美国州立大学的交通研究及教育中心(CTRE)开展了对乡村州际公路施工区合流区域的交通管理战略的研究, 作为研究手段及重要的研究成果之一, 他们专门开发了施工区的交通仿真模型。

2000年, Ahmed Al-Kaisy, Miao Zhou, Fred Hall 等人在对 Toronto 南部的 Gardiner 高速公路进行了为期四天, 总计 53 小时的施工区拥挤交通调查, 调查基本显示了施工区的通行能力与 HCM 基本一致, 同时也明确了施工区通行能力与驾驶员的性格、分布、星期几以及天气状况等因素密切相关。

2002年, Operator Performance Laboratory (OPL)的 Thomas Schnell 与 National Advanced Driving Simulator (NADS)的 Jeffrey S. Mohror, M. S 对多车道高速公路的四个施工区进行了数据采集、分析, 并且运用 Highway Capacity Software (HCS), Synchro, Corsim (under ITRAF and RAFVU), NetSim 和 QueWZ92 等软件对高速公路施工区的排队长度与延误进行了模拟。

同年, Steven I. Chien 和 Himanshu C. Patel 对主要服务于通勤出行的双车道公路施工区各控制区的长度进行了研究, 该研究是以双向总费用最低为约束条件的。

同年, Ahmed Al-Kaisy 与 Fred Hall 继续对加拿大安大略省一些高速公路施工区进行了深入调查后, 提出了高速公路长期施工区域通行能力的评估技术。研究主要分两个方面, 其一是高速公路施工区的基本通行能力及主要的影响因素, 如大车影响、天气状况、施工区的布设、施工作业强度以及照明情况。其二, 采用不同的分析技术手段和不同的具有代表性施工区域的观测数据开发了两个不同的“特定施工区域”通行能力模型。最后, 综合上述两方面的研究, 给出了一般施工区域的基本通行能力参考值。

2004年, Sarasua, Davis, Clarke, Kottapally 与 Mulukutla 等人利用从 2001 年 9 月到 2002 年 8 月所观测的流量数据对施工区不同封闭车道条件下的通行能力进行了研

究,提出了施工区通行能力的修正模型,并且在模型开发过程中,对施工区数据的采集和分析方法进行了总结。Benekohal, Kaja-Mohideen 与 Chitturi 等人在考虑了施工区道路、交通条件以及施工密度等因素的情况下,通过大量的现场调查数据,开发了施工区的速度-流量曲线来估算通行能力,这种方法为道路的设计者和规划者提供了有力的依据。

美国的 MUTCD 和 HCM 道路施工区通行能力进行了集成研究。HCM 近期的多个版本都对高速公路施工区的通行能力进行了较为全面的研究。道路通行能力手册专题研究报告 209 号(1991 版)对现场有作业时的通行能力、用可移动混凝土路栏与交通隔离的长期施工现场作业区通行能力、利用路肩作为一个临时车道以及车道变窄等情况下的通行能力进行了研究,并给出了相应的通行能力经验统计值。HCM2000 根据施工期间施工作业区隔离设施的种类,将施工分为短期养护施工与长期建设施工。对于前者给出了通行道路的单车道的基本通行能力,并用施工强度影响、大车的影响、匝道影响予以修正。对于后者则分别给出了单向 2 车道、3 车道在不同施工情形下各车道的通行能力范围及平均每车道的通行能力。此外,二者每车道的通行能力都要进行车道宽度修正。

1.2.2 国内

东南大学过秀成对高速公路施工区的控制区进行了划分,明确了施工区各控制区的主要功能及特征。施工区车辆运行特性表现为合流车辆会造成施工区交通流重分布、超车道车辆优先通行以及合流的强制性等。在大量交通调查的基础上,对施工区行车道、超车道、合流车道的车头时距分布,各控制区的地点车速的频率分布、空间分布,车道占有率以及车辆汇入特征进行了深入分析。

湖南大学李硕通过分析影响高速公路交通安全的两大主要因素车速和大货车,对车速与事故率关系模型进行比较分析,给出了车速与驾驶员视觉和判断力的变化关系以及车速与车辆制动距离的关系,对两种安全间距进行了理论推导与计算。提出交通安全保障主要是速度控制措施和大货车分流控制措施,对各种限速措施和速度监控措施及其有效性进行了分析研究,为高速公路大修改造工程中根据不同情况选用提供依据^[9]。

哈尔滨工业大学裴玉龙对养护工区的交通设施和交通安全作了研究。提出了改扩建作业区交通标志设置的位置条件,给出了确定公路改扩建警告区长度要素 L_v 和 L_s 的建议值;建立了公路改扩建作业区交通冲突模型;建立了公路改扩建路段不同类型车辆运行速度模型;分析确定了公路改扩建过程中道路交通事故的主要影响因素,揭示了公路

改扩建作业区交通安全状况严重的现象和规律；针对公路改扩建工程，提出了保证车辆安全运行的护栏套管增高法、采用蓝派冲击压实技术减少沥青面层反射裂缝、调整沥青混合料级配提高路面抗滑性能及采用桥梁顶升技术保证桥下净空等工程措施。

冯超铭从高速公路养护作业施工区交通安全的角度，分析施工区的区域组成，阐述施工区交通标志的设置，并引用比较了国外文献资料介绍的设置参数，介绍了流动作业车辆的施工安全防护。吴新开，吴兵分析了施工区各种速度控制方法，并对其中某些方法进行了综合和改进。

1984年，北京工业大学就开始了交通仿真的研究工作，为了解直行汽车车队通过灯控路口的运行状态，用 BASIC 语言编制了一个仿真程序，来求解头车运动方程和跟驰方程；近年来，又开展了高速公路基本路段通行能力和道路交织区交通行为的仿真研究。开发了高速公路基本路段仿真软件 BESS，建立了高速公路基本路段的仿真模型。讨论了高速公路基本路段理想条件下的通行能力和大中型车的 SVE 值。从交通流统计分析模型、理论分析模型和仿真模型三个方面综合分析，得出了理想条件下，我国现阶段高速公路基本路段的通行能力值^[4]。

同济大学是在 20 世纪 90 年代后期，运用软件工程思想、对象建模技术和真实化程序设计概念，在需求分析的基础上，段进宇等开发了 Microsim 车流微观仿真系统，系统主要面向高速道路交通流的模拟，系统仿真的主要目的是评价 ITS 中 AHS 系统对交通安全和通行能力的影响，建立了名为 Microsim 的高速公路入口匝道交通仿真软件的对象模型。Microsim 建立了车辆生成模型和基于驾驶员心理反应 PIEV 模式的车辆行驶模型，评价了影响道路入口匝道范围内交通流运行状况各因素的作用。

东南大学在 90 年代中后期进行的城市交通网络研究、城市交通实时模糊控制研究，提出了单路口交通实时模糊控制方法；另外，还采用动态微观仿真方法研究了路段通行能力，考虑驾驶员、车辆、道路、环境和交通规则相互关系及对通行能力的影响，从微观的角度出发建立了仿真模型。

清华大学于 90 年代末期，在 Windows 平台以面向对象的设计思想开发了名为 Trasimul 的仿真软件，用以模拟城市平面交叉口的拥挤特性，为缓解城市平交路口的交通拥挤提供了有力的工具。

北京交通大学杨肇夏等人开发了大规模城市交通仿真系统，系统包含微观车流仿真系统和交通管制仿真系统，可以对车流运行和交通管理中心进行微观仿真，系统还提出了在分布内存环境下基于数据备份的分布式交通仿真体系。

总体而言,我国交通仿真研究还属于对单一路段或单一交叉口的微观模拟,仿真模型往往局限与某个问题的一个方面。还没有形成成熟的商业软件还没有一个经过验证和使用的仿真平台开发出来,与网络化、集成化、并行化、动态化的国际先进水平相比仍有较大的差距。

我国交通仿真所用的软件大多是国外开发的产品,会出现许多“水土不服”的情况。国外的仿真模型大都根据其国家的道路交通状况开发的,与我国不同,例如国内小客车普及程度低,道路上货车比例相对较大,车道宽度与国外不同,驾驶员的特性不同(比如反应时间等),换车道行为有明显区别等。国内仿真模型是根据我国的交通特点开发的,在这方面要好于国外模型。大部分是对特定交通设施进行描述,许多是单独的模型,能够较好的解决单一的、局部的问题。因此吸取国内外仿真研究的经验,进行有效性验证和重新标定,十分必要。

1.3 研究意义

养护工区交通组织仿真模型与其他交通分析技术,如通行能力分析、交通冲突分析、排队理论等结合在一起,可以用来对多种因素相互作用的交通设施或交通系统进行分析和评估。

运用交通仿真技术建立了东港高速公路及相关路段的道路网信息系统和交通仿真系统模型,根据交通仿真系统模型和输出成果对不同的保通方案及其相应的交通组织方案进行对比分析与研究及其评价,提出科学合理的交通控制和管理的建议,作为保通方案选取和执行的参考依据。

对于施工区某一时间和路段下的运行状态,如交通分流的道路网系统、道路交通事故的控制等,现实当中难以预测和定量分析。可以通过研究施工区的交通流特性和主要参数,将仿真系统置于该特定条件下,对交通状况作完整的运行^[33]。

1.4 研究内容

1.4.1 交通组织方案类型的划分

(1) 从整体路网的角度,养护工区交通组织方案有:

- ① 全线保持原有正常交通:大修过程中,不实施分流,车辆按原方向行驶。
- ② 部分路段封闭:大修过程中,部分路段实施交通分流,部分路段维持原有交通。
- ③ 全线封闭施工:大修过程中,禁止车辆在大修改造道路上通行,实施交通分流,

原来通行于该公路的车辆绕行其他平行道路。

(2) 从具体路段的角度, 养护工区保通方案有:

①双向全封闭模式: 采用这种模式一般与改扩建相结合, 且有相应的平行道路、铁路或航线分流交通, 这种模式对业主财务效益和国民经济效益影响很大, 也会对社会交通造成极大的不便, 虽然这种模式便于控制大修质量, 但一般较大交通量的高等级公路大修工程不宜采用。

②单幅封闭单幅通车模式: 该模式采取半幅封闭交通, 车辆借道对向车道的组织方法, 适用于道路出入口相隔距离较大(10公里左右), 交通量不是很大, 服务水平 C 级以上。该大修模式的组织管理和质量控制相当也较容易, 对大修期间公路业主的财务收益和社会影响较小, 需要与交通分流、交通管制相配合, 半封闭路段不宜过长, 也可能需要进行较多的夜间施工。

③单幅部分车道封闭模式: 即部分车道封闭模式。该模式适用于大交通量或特大交通量服务水平在 C 级、D 级以下, 附近也没有合适的分流道路, 一般来说道路出入口相隔较近(2-5公里)。该大修模式交通组织、施工组织与质量控制均较困难, 一般情况下要严格限制作业区长度。该模式可能需要与交通分流、交通管制(如采取限制中型重型货车通行、入口限制车流或暂时封闭入口)以及利用夜间或周末交通量较小时段施工等措施相结合。

④修建临时通行便道模式: 某些路段大修或大修改造施工需要封闭作业时, 又无合适分流手段的情况下要提前修建临时通行车道, 并要进行硬化处理保证必要强度和通行条件, 以及设置基本交通安全设施标志。

⑤只采取限速措施

这种模式只适用于改扩建工程, 不适用于养护维修工程。改扩建工程中, 如道路加宽, 不实施分流, 不实施车道合并, 车辆按原来的车道正常行驶, 只是通过限速来减轻对两侧加宽区域施工的安全影响。

这五种交通组织模式特别是第二种和第三种交通组织模式常常综合运用, 根据不同路段不同季节不同时段不同的交通环境选择并调整交通组织模式。

1.4.2 具体路段方案

(1) 建立养护工区具体路段的道路信息系统;

(2) 建立养护工区具体路段的交通仿真系统模型;

(3) 为不同的保通方案及其相应的交通组织方案建立交通仿真系统模型;

(4) 对不同的保通方案进行应对交通状况敏感性分析与研究;

(5) 从具体路段角度, 根据交通仿真系统模型和输出成果, 提出基于连续流理论的养护工区服务水平分级, 进行交通组织方案评价, 作为具体路段控制区长度值选取和执行的参考依据。

1.4.3 整体路网方案

(1) 研究分析高速公路大修改造工程保通方案的科学方法, 并以东港高速公路为依托工程进行实证;

(2) 针对东港高速公路大修工程影响区域内主要道路的分布情况, 实际调查影响区域内所有主要道路的交通特性与交通状况, 包括车流量、车速、路况等;

(3) 运用微观交通仿真软件 VISSIM 对东港高速公路大修工程保通研究中的限速方案和分流方案进行研究。

(4) 从整体路网角度, 根据交通仿真结果, 建立整体路网评价体系, 进行方案比选。

第二章 养护工区交通组织仿真系统分析

2.1 宏观仿真与微观仿真

2.1.1 交通仿真的优点

(1) 不需要真实系统的参与, 所以具有经济方便的特点, 特别适用于尚不存在的, 如规划中的交通系统行为进行研究;

(2) 通过交通仿真, 能清楚地了解交通流中哪些变量重要, 以及它们是如何相互作用的;

(4) 系统动态交通模型的时间标尺可以与实际交通系统的时间标尺不同, 因此既可以进行实时交通仿真, 也可以进行超前交通仿真或滞后交通仿真;

(5) 对于交通系统中的某些危险情况或灾难性后果, 交通仿真是有效的研究手段;

(6) 能够重复提供同样的道路交通条件, 从而可以针对不同的交通规划设计方案进行公正的比选分析与研究;

(7) 能够不断改变系统运行条件, 从而可预测道路交通系统在各种情况下的行为;

(8) 能够随时间和空间改变交通需求, 从而对道路交通拥堵做出预测;

(9) 能够处理相互影响、相互作用的车辆排队交通现象;

(10) 当交通到达和离去方式不符合传统的数学分布时, 可以用交通仿真来解决;

(11) 当其它交通分析技术不适应时, 交通仿真往往能有效地解决问题;

(12) 交通仿真研究问题的系统性便于发现交通问题的根本之所在;

(13) 交通仿真系统由于能够进行动画演示, 故形象, 直观;

2.1.2 宏观与微观仿真的适用性

交通系统仿真, 根据仿真对象和仿真目的不同, 分为微观仿真和宏观仿真。微观仿真以微观模型为基础, 而宏观仿真则以宏观模型为基础。另外, 还有一类更大尺度的宏观仿真, 如基于四阶段模型的区域交通规划仿真^[6]。

微观仿真通过考察单个驾驶员和车辆及其相互作用特征来描述系统的状态, 而宏观仿真则是通过考察交通流特征, 即车队的“平均”行为来描述系统的状态。微观仿真和宏观仿真都可用来研究交通流的特征, 如交通流量、交通密度、平均车速等等。除此之外, 微观仿真还可以用来研究每辆车的运动状态, 这是宏观仿真所不能办到的。

与微观仿真相比, 宏观仿真所需的计算机存贮空间和计算时间较少, 仿真结果易于

理解。然而，一些情况下，如道路瓶颈处的交通状态变化的动态过程，得不到清晰的描述。由于宏观仿真中采用平均值描述交通流参数，因此，各个车辆的随机性影响得不到考虑，计算不出各个车辆的交通参数。为了克服上述缺点，近年来，越来越多的研究者在宏观仿真中引进了微观仿真模型，因而出现了混合交通仿真模型。

一般说来，各种类型的交通系统仿真适用的情况为：

(1) 微观仿真通常适用于动态交通现象，如交通波动分析、可接受空档分析、交织影响分析等，这些分析通常是在非稳定交通状态下进行的，使用宏观仿真不可能或很难获得结果。

(2) 当交通流中的人-车单元为主要考察对象时，就需要进行非常详细的微观仿真。例如对不同交通规则影响效果的估计或某一地点交通控制方案的设计等。

(3) 对瓶颈路段进行研究时，如果交通量变化非常大，或交通组成中大型车的比例较高，需要进行非常详细的微观仿真。

(4) 对交叉口交通状况的研究，宏观仿真相微观仿真都适用。基于排队理论的宏观仿真适用于信号灯前排队长度的研究，而微观仿真更适合于研究信号设置对车辆油耗和交通噪音的影响。

(5) 宏观仿真通常适用于道路网交通状态的研究，也可以加入微观的仿真子模型去跟踪显示各个车辆以及它们在网络中的运行情况。

2.2 微观仿真软件的选择

目前交通仿真软件主要有加拿大蒙特利尔大学交通研究中心研制开发的 EMME/2，美国 Caliper 公司研制开发的 TransCAD，英国 Quadstone 公司研制开发的 Paramics，德国 PTV 公司研制开发的 Vissim，美国联邦公路局组织研究开发的 Tsis 等。其中，Paramics, Vissim, Tsis 适用于小汽车的微观交通仿真，无法满足中观交通仿真的要求；TransCAD 集成了交通地理信息系统，可以直观地观察整个路网，但无法提供各路口的交通量和饱和度；EMME/2 是目前功能最强大的交通规划和仿真软件之一，在世界上得到广泛的应用，能够满足中观交通模型的所有功能要求^[10]。

近些年来，交通仿真系统在我国发展很快，许多单位开始使用交通仿真作为交通分析的工具。然而从目前看来，中国交通仿真所用的软件大多是国外开发的，在国外，VISSIM 已经大量地应用到工程实践中，渐渐成为交通模拟仿真和交通组织管理的重要分析工具。在应用中，VISSIM 也不断得到完善，功能越来越强大。由于我国的交通情

况与国外相比存在很大的不同，因而国内用户使用国外开发的微观交通仿真软件还会遇到一个模型适用性的问题。对模拟高速公路，国内和国外的交通流特性差别可能不大，如果所用的软件设计合理，采用的是一个开放的系统，大多问题应该都可以通过修正模型参数来解决；但对城市路网，由于混合交通的影响，差别可能很大。所以，在我国应用 VISSIM 时，就必须预先对其可行性进行分析，进行软件的二次开发，对其参数进行标定。

上述几种微观交通仿真系统都是西方发达国家业界针对实际交通运输状况而开发的，基本上未考虑混合交通模式相互影响问题，如人流、自行车流和机动车流的相互影响，不能很好地反映中国交通现状。因此，需要研究适合我国混合交通状况的微观交通仿真模型，并将仿真模型与 GIS 无缝集成，从而建立适合我国国情并具有自主知识产权的微观交通仿真系统。下面是 7 种常用软件的性能比较。

表 2.1 微观仿真系统在交通设施描述及通信能力的比较

比较项目	仿真模型						
	SimTraffic	CORSIM	VISSIM	Paramics	AIMSUN	MITSIM	TransModeler
路网描述	粗糙	较精细	精细	精细	精细	精细	精细
信号控制	精细	较精细	精细	精细	精细	较精细	精细
专用车道	无	较精细	精细	精细	较精细	较精细	精细
公交汽车 停车点	无	较精细	精细	精细	精细	较精细	精细
车辆产生、 吸收点	无	较精细	精细	精细	精细	精细	精细
检测器	粗糙	精细	精细	精细	精细	精细	精细
检测器通 信	无	无	有	有（灵活 但有开发 难度）	有	无	无

表 2.2 微观仿真系统的车辆行为模型比较

比较项目	仿真模型						
	SimTraffic	CORSIM	VISSIM	Paramics	AIMSUN	MITSIM	TransModeler
车辆跟驰、换道及间距接受模型	有	有	有	有	有	有	有
交叉口转弯运动模型	有	弱	有	有	有	有	有
车辆排队以及排队消散模型	有	有	有	有	有	有	有
交叉口左转影响模型	有	有	有	有	有	无	不详
路口车辆行人相互影响模型	有	有	有	有	有	无	有
转弯速度影响模型	有	无	有	无	无	有	有
停车影响模型	无	有	有	有	无	有	有
车辆转弯灯信号影响模型	无	无	无	无	无	无	不详
友好让车汇流模型	无	有	有	只存在于匝道控制	只存在于匝道控制	有	有
黄灯反应模型	依据驾驶员和车辆类型	依据驾驶员和车辆类型	依据驾驶员和信号控制	依据驾驶员	有	无	有
可变的驾驶员反应时间	无	无	无	有	有	无	不详

表 2.3 微观仿真系统扩展功能比较

比较项目	仿真模型						
	SimTraffic	CORSIM	VISSIM	Paramics	AIMSUN	MITSIM	TransModeler
匝道控制	无	有	有	有	有	有	有
交通事件管理	无	有	有	有	有	有	有
VMS	无	实际困难	实际困难	有	有	有	有
公交优先	无	实际困难	有	有	有	无	有
动态交通分配	无	实际困难	有	有	有	有	有
动态路线导行	无	无	实际困难	有	有	有	有
交通堵塞影响模型	无	无	有	有	有	无	有
天气影响模型	无	无	有	有	有	无	有
车辆引擎模拟	无	无	有	无	无	无	无

经过分析,本课题拟采用微观仿真软件 VISSIM。VISSIM 是德国 PTV 公司的产品,它是一个离散的、随机的、以 0.1 秒为时间步长的微观模型。车辆的纵向运动采用了心理——生理跟车模型,横向运动(车道变换)采用了基于规则的算法。不同驾驶员行为的模拟分为保守型和冒险型。VISSIM 提供了图形化的界面,用 2D 和 3D 动画向用户直观显示车辆运动,运用动态交通分配进行路径选择。VISSIM 能够模拟许多城市内和非城市内的交通状况,特别适合模拟各种城市交通控制系统。主要应用有:由车辆激发的信号控制的设计、检验、评价;公交优先方案的通行能力分析和检验;收费设施的分析;匝道控制运营分析;路径诱导和可变信息标志的影响分析等。

2.3 交通冲突的仿真分析

在公路大修施工区内, 由于车辆行驶方向比较单一, 车辆间的行驶状态比较简单, 车辆之间的交通冲突主要是因为变换车道和分合流引起的。

可以从冲突角 θ 或碰撞角对交通冲突进行分类, 分为以下 4 类^[14]:

(1) 追尾冲突: $\theta \in [0,45)$, 主要表现为冲突车辆以相同的方向逼近, 是车头与车尾之间的冲突碰撞。

(2) 横穿冲突: $\theta \in [45,135)$, 主要表现在冲突车辆以交错的方式相互逼近, 是车头与车辆中部之间的冲突碰撞。

(3) 正向冲突: $\theta \in [135,180]$, 主要表现为冲突车辆以相反的方向相互逼近, 是车头与车头之间的冲突碰撞。

(4) 撞固定物冲突: $\theta \in [0,90]$, 主要表现在冲突车辆以一定的角度逼近道路构造物, 是车头与道路构造物之间的冲突碰撞。

在建立仿真模型时, 从其成因上主要研究以下 3 种冲突:

(1) 正常冲突

在道路交通管理与控制中, 我们不可能消除所有的冲突, 只能尽可能的减少主要冲突, 降低其发生的频率。例如右转不受灯控的平面交叉口上, 右转车辆和另一方向的直行自行车及行人之间的冲突, 这是不可避免的。这种冲突的存在, 不仅降低了车辆及行人的通行能力, 仿真模型必须很好的体现这一点。

(2) 潜在冲突

潜在冲突是指由信号灯隔离的冲突。在正常情况下, 这些冲突是不可能发生的。但如果发生意外事故或车辆违章行驶, 例如交叉口出口被堵, 路口车辆没有及时疏散, 而冲突相位的车辆已经驶入路口。在我国城市道路交叉口上, 这种现象会经常发生。因此, 在建立仿真模型时, 这部分冲突也应该设置优先规则。

(3) 仿真冲突

仿真冲突是指仿真系统在处理车辆位置关系时, 由于行驶路径引起的车辆变换车道而导致的非正常车辆冲突。VISSIM 定义了车辆在紧急停车位置等待车道变换空档出现的最大时间。达到该值时, 车辆将从路网中消失, 错误文件中将记录车辆消失的时间和位置。在建立仿真模型时, 根据路网实际, 应该尽可能的减少仿真冲突, 使模型真正反映路口的实际情况。交通冲突会导致路网能力下降, 因此在建立仿真模型的时候, 我们

必须重视这些冲突，将其对路网的影响效果仿真出来，仿真结果才会跟实际更相符。VISSIM 对信号控制交叉的处理已相当成熟，但对无信号交叉的仿真，只能依靠设置优先规则的方式来解决，因此冲突分析对于仿真至关重要。

2.4 交通仿真系统流程

交通组织仿真系统流程由以下六个子流程所组成：

(1) 本研究课题定位流程：包括确定具体仿真研究目标、交通仿真研究区域界定、交通仿真精度选择；

(2) 交通数据采集流程：包括采集道路几何线形平、纵、横断面相关数据、收集交通量、交通密度、车头时距、车辆速度、交通管制等数据、交通数据整理与绘图；

(3) 静态道路网模块：包括道路路段计算机模块、道路交叉口计算机模块、以及其他静态交通计算机模块；

(4) 动态交通模块：包括交通流量计算机模块、车辆速度计算机模块、交通控制计算机模块、交通管理计算机模块、以及其他动态交通计算机模块；

(5) 交通仿真系统模型标定：包括交通仿真系统模型标定、交通仿真系统错误检查、交通仿真系统模型调整与校准；

(6) 交通仿真系统运行与保通方案分析研究：包括道路网信息系统、交通仿真系统演示、保通与交通组织方案分析研究。

本课题交通仿真系统流程详见图 2.1。

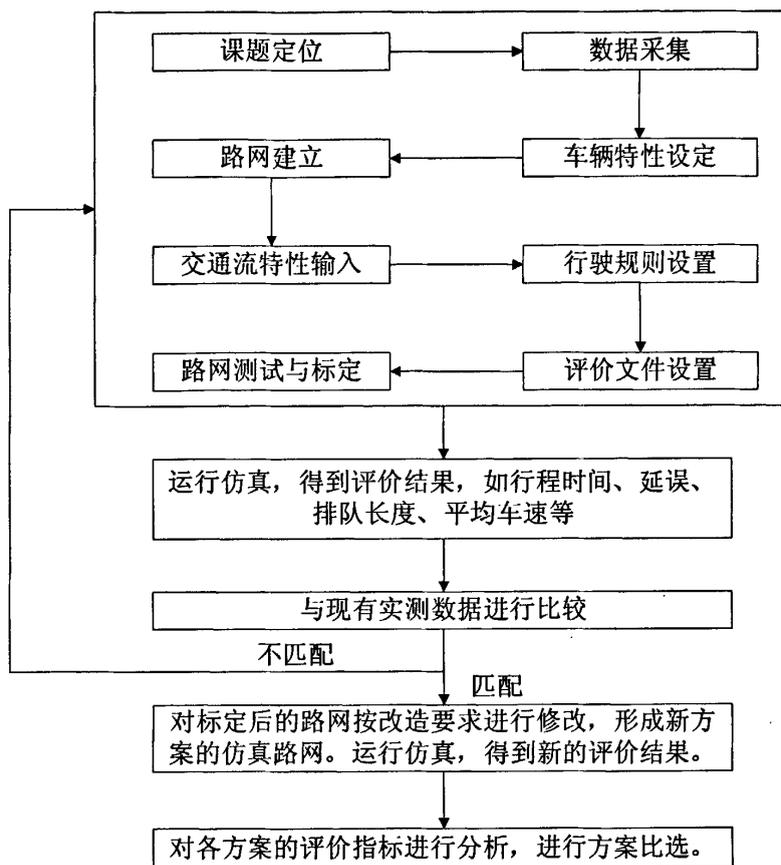


图 2.1 VISSIM 交通仿真系统流程图

2.5 交通仿真系统方案确定

本研究课题的依托工程为山东省东营市东港高速公路大修改造工程。

本课题要求对东港高速公路大修工程施工期间的保通方案及其相应的交通组织方案进行具体的交通仿真分析与研究。交通仿真的范围不仅包括东港高速公路，还包括交通分流时车辆可能通行的周边路网公路。路网组成见图 3.9。

东港高速公路(东营海港至胜利黄河大桥)全长 64.65km，全封闭、全立交，路基宽度为 24.5m，设计速度为 100km/h，为国家重点公路东红高速公路(东营港至临沂红花埠)的起点。工程于 1993 年 8 月 8 日开工建设，于 1995 年 10 月正式建成通车。该路的建成为东营港的建设及东青高速公路和环渤海高速公路以及东营黄河公路大桥立项建设起到了有力的促进作用，是东营高速公路建设事业的良好开端。

运行 10 多年来，受海风、海潮等因素影响，路面平整度较差，抗滑能力大大降低，严重影响了行车舒适性和安全性。大修改造工程于 2006 年 9 月份开工，包含路基路面

和桥涵工程，大修改造工程全长 64.65km，其中高速公路 60.00km，一级公路 4.65km。由于交通压力较大，如果整个施工期间禁止车辆通行对其完全封闭施工，将对周边平行道路带来交通压力，扰乱原本正常的交通状况，给东营市甚至山东省社会经济状况带来负面影响。要保证大修改造期间的交通分流顺畅，养护工区交通组织研究就显得尤为重要。

东港高速公路原设计的依据是《公路工程技术标准》(JTJ001-88)，计算行车速度 100km/h，路基宽度 24.5m。其中行车道 $2 \times 2 \times 3.75\text{m}$ ，中央分隔带 2m，左侧路缘带 $2 \times 0.75\text{m}$ ，硬路肩 $2 \times 2.5\text{m}$ ，土路肩 $2 \times 0.50\text{m}$ 。

2.5.1 具体路段角度

从具体路段角度，研究单幅封闭单幅通车、单幅部分车道封闭两种交通组织模式。交通调查数据来源于包茂高速（铜黄段）和西宝高速公路。

(1) 交通组织方案一：单幅封闭单幅通车

(2) 交通组织方案二：单幅部分车道封闭

2.5.2 整体路网角度

从整体路网角度，研究全线保持原有正常交通、全线封闭施工、部分路段封闭三种保通方案。交通调查数据来源于东港高速公路及周边路网。

(1) 整体路网方案一：全线保持原有正常交通

大修过程中，不实施分流，车辆按原方向行驶。根据大修路段所处整体式路基或分离式路基不同，同时考虑到专项工程作业段，保通方案宜采用单幅封闭单幅通车（A 型）和单幅部分车道封闭（B 型）相结合的方法。

起点到仙河立交路段设置 A 型 2 处和 B 型 1 处，仙河立交到孤滨立交设置 A 型 2 处和 B 型 1 处，孤滨立交到东滨立交设置 A 型 1 处，孤滨立交到东滨立交设置 A 型 2 处和 B 型 1 处，东港路立交到集贤立交设置 A 型 1 处。

(2) 整体路网方案二：全线封闭施工

大修过程中，禁止车辆在大修改造道路上通行，实施交通分流，原来通行于该公路的车辆绕行其他平行道路。

当东港高速公路大修改造工程施工期间全线均要求分流时，港-东方向采用以下交通分流路线，连接线起点→S310 东滨路→S231 河辛路→莱乌高速→东港路立交→无名路→集贤立交，东-港方向则反向。

(3) 整体路网方案三：部分路段封闭

大修过程中，部分路段实施交通分流，部分路段维持原有交通。

①分流路段 1：起点到仙河立交封闭

该段封闭时，港-东方向采用以下交通分流路线，连接线起点→S310 东滨路→S231 河辛路→仙河立交，东-港方向则反向。

②分流路段 2：仙河立交到孤滨立交封闭

该段封闭时，港-东方向采用以下交通分流路线，仙河立交→S310 东滨路→无名路→S312 孤滨路→孤滨立交，东-港方向则反向。

③分流路段 3：孤滨立交到东滨立交封闭

该段封闭时，港-东方向采用以下交通分流路线，孤滨立交→S312 孤滨路→S310 东滨路→东滨立交，东-港方向则反向。

④分流路段 4：东滨立交到东港路立交封闭

该段封闭时，港-东方向采用以下交通分流路线，东滨立交→S310 东滨路→S231 河辛路→莱乌高速→东港路立交，东-港方向则反向。

⑤分流路段 5：东港路立交到集贤立交封闭

该段封闭时，港-东方向采用以下交通分流路线，东港路立交→无名路→集贤立交，东-港方向则反向。

2.6 本章小结

本章首先介绍了交通仿真运用于养护工区交通组织仿真研究的优点，讨论了宏观仿真和微观仿真的适用性；然后对各种微观仿真软件的性能做了比较，并决定选用 VISSIM 仿真软件；最后基于该软件对养护工区交通冲突的仿真实现进行了分析，确定了仿真流程。

第三章 交通仿真模型的建立

3.1 数据采集与分析

3.1.1 数据采集内容

施工区交通仿真系统的模型建立需要采集大量数据，应包括两个时间段，一是大修改造之前的现状交通调查与分析，二是大修改造施工期间的交通组织调查，具体包括以下几个方面：

- (1) 道路几何线形资料：包括道路的转弯角度、半径等；
- (2) 道路条件资料：路段的车道数、车道宽度、路面类型、干湿情况、纵坡等；
- (3) 道路交叉口资料：道路交叉口型式、规模、具体尺寸；道路交叉口控制方式，如果是信号控制的，要搜集其信号配时方案；对道路交叉口车辆通行的横向和纵向干扰因素，如行人和非机动车等；
- (4) 交通流量：各道路路段的当前交通流量情况、车型比例、各道路交叉口的转向比例、车流量的年增长率等；
- (5) 车辆速度：各路段的平均行驶速度，有没有限速，限速多少等。
- (6) 交通标志：如下高速公路的匝道警示标志等；
- (7) 其他，如交通管理和控制措施等。

3.1.2 数据样本量的确定

(1) 交通量调查

根据交通量调查目的不同，样本量可以从几分钟到 24 小时，甚至到 365 天。通常 ADT 取样时间为 24h 或 48 小时。养护工区交通量调查时段采用 12 小时，7:00~19:00^[34]。

(2) 地点车速调查

从百分位车速的要求考虑，需要观测车速的最小样本量由下式确定：

$$n = \left(\frac{\sigma \times c}{E} \right)^2 \left(1 + \frac{r^2}{2} \right) \quad (3.1)$$

n ：最少观测的样本量

σ ：计算观测车速样本数量标准差，四车道 $\sigma = 6.8 \text{ km/h}$

c ：满足期望的置信水平对应常数，置信水平 95.0 对应常数取 1.96

E: 计算车速允许误差, 取决于平均车速的精度要求, 取 1.75km/h

r: 常数, 平均车速取 0.00; 15%位车速或 85%车速取 1.04; 5%位或 95%位车速取 1.64。

经计算: 按平均车速 $n=60$, 按 85%车速 $n=90$, 按 95%车速 $n=135$ 。

(3) 平均行程时间调查

① 试验车法

试验车至少需要重复通过施工区 6 次。

② 观测车辆法

由于调查方法简便、易行且成本低, 因此至少要观测 30 辆车通过施工区。

3.1.3 数据处理与分析

(1) 统计单车信息: 主要包括通过观测断面车辆的车道号、地点速度、车型、轴数和各轴间的轴距。

(2) 统计速度信息: 根据单车信息中的地点速度, 分别计算各车型以及车辆总体的时间平均速度和区间平均速度。

(3) 统计流量信息: 按照固定的统计时间间隔(分别按照 5 分钟、15 分钟、60 分钟), 统计各时间段内各车型的数量、平均速度、平均密度(包括空间占有率和时间占有率)。

(4) 行车道、超车道车流的车头时距: 当连续的车队中混有各种车型时, 应分别调查各种车型的车头数据。

(5) 车辆通过施工区的行程时间。

对于试验车法, 获得车辆通过施工区的平均行程速度的范围, 进而可以确定在一定置信水平下(通常为 95%)的车辆行程时间范围值^[10]。

对于观测车辆法, 至少 30 辆车的样本量能够避免小样本量带来的不准确性, 在置信水平为 95%的情况下, 能够提供 2 mph 的行程速度范围。

3.1.4 数据采集结果

在项目施工期间, 随着经济的发展, 交通量必会逐年增加, 所以为了使保通方案在大修改造工程施工期间始终能顺利实施, 很有必要对保通方案在未来交通量增加以后是否可行进行预测。

大修改造项目结束年份的交通量将是施工期间保通方案所面临的最不利交通量, 同

时由于在大修改造项目施工期间，主线和匝道行车均必须限速行驶，因此应以汽车在完工年份的预测交通量及限速的条件下的行车状况，作为考验本保通方案是否可行的标准。关于施工末年的远景交通量，按年平均增长率累计计算确定。交通量年平均增长率则根据东港高速公路大修工程可行性研究中的分析结果^[34]。

基于具体路段角度，交通调查数据来源于包茂高速（铜黄段）和西宝高速公路。基于整体路网角度，交通调查数据来源于东港高速公路及周边路网。

（1）道路条件资料：

铜黄高速公路设计行车速度 80km/h，路基宽度 21.5m：行车道 $2 \times 2 \times 3.5\text{m}$ ，中央分隔带 1.5m，左侧路缘带 $2 \times 0.5\text{m}$ ，硬路肩 $2 \times 2.0\text{m}$ ，土路肩 $2 \times 0.5\text{m}$ 。

东港高速公路设计行车速度 100km/h，路基宽度 24.5m：行车道 $2 \times 2 \times 3.75\text{m}$ ，中央分隔带 2m，左侧路缘带 $2 \times 0.75\text{m}$ ，硬路肩 $2 \times 2.5\text{m}$ ，土路肩 $2 \times 0.5\text{m}$ 。

（2）交通量

大修改造前现状交通量数据可由高速公路运营管理部门提供。施工期间交通量数据可以通过采集获得。

养护工区具体路段调查时，通过观测 12 小时（7:00~19:00）的正常行驶路段及交织段交通量，得到相交各道路的交通量资料，同时对各条相关道路路段进行车速调查。对于有关的高速公路互通式立交，按车型分成小型客车、大型客车、重型货车、中型货车分别调查主线和各出入口匝道的交通量。所需 12 小时交通量见表 3.1。

基于路网角度调查时，东港高速公路大修改造工程保通方案交通仿真所需高峰小时交通量见表 3.2。对于周围路网的道路和交叉口，应增加轻货和二轮摩托车两种车型调查各入口车道交通量。

表 3.1 铜黄高速 12 小时交通量调查表

时间段	黄铜方向					铜黄方向				
	重货	中货	大客	小客	合计	重货	中货	大客	小客	合计
7:00~8:00	97	31	18	110	256	58	11	7	62	138
8:00~9:00	152	32	20	100	303	76	18	7	98	199
9:00~10:00	167	50	32	153	402	91	22	19	108	240
10:00~11:00	177	40	35	190	443	128	11	17	128	285
11:00~12:00	142	28	12	138	320	131	8	21	131	290
12:00~13:00	162	30	25	133	350	127	10	15	153	305
13:00~14:00	123	29	16	89	257	157	19	23	158	357
14:00~15:00	148	18	16	138	320	131	18	15	126	290
15:00~16:00	138	14	21	173	346	126	22	12	120	280
16:00~17:00	146	25	36	157	364	143	15	22	138	318
17:00~18:00	138	19	21	178	356	76	18	11	75	180
18:00~19:00	149	22	27	150	348	78	15	12	68	173
合计	1739	338	280	1708	4064	1321	187	181	1364	3053
平均	145	28	23	142	339	110	16	15	114	254

表 3.2 东港高速高峰小时交通量调查表

路段	港-东方向					东-港方向				
	重货	中货	大客	小客	合计	重货	中货	大客	小客	合计
连接线起点 →仙河立交	185	67	23	173	448	177	76	17	184	454
仙河立交 →孤滨立交	193	78	25	201	497	183	67	19	196	465
孤滨立交 →东滨立交	204	86	31	215	536	208	86	25	206	525
东滨立交 →东港路立交	216	98	25	214	553	195	78	18	188	479
东港路立交 →集贤立交	205	88	19	226	538	216	81	33	218	548

(2) 地点车速

道路路段地点车速观测方法基本原理为测量车辆驶过已知距离的时间，然后通过已知距离除以行驶时间来获得地点车速。现场测量方法采用人工测量法。调查所得资料需要做科学的计算处理，才可以用于分析研究。随后，由交通量调查资料换算得高峰小时交通量，而地点车速需计算出平均值。

测速地点的选择，一般为交通事故多发点、交通标志与信号设置点、交叉冲突点、交通流数据观测点等。地点速度观测，一般常用雷达测速直接读取车速并做相应统计。也可以用现代化的交通统计仪直接测取并打印结果。在没有现代化仪器设备情况下，常用国际通用的路面标线法进行测量统计。

①正常行驶路段车速特性

采用路旁单元仪器，对包茂高速公路铜黄段的地点车速进行了调查，以期掌握包茂高速公路铜黄段地点车速分布规律及车速变化趋势，确定大修工程养护工区道路限制车速标准，调查结果见表 3.3 及图 3.1。从表中可以看出，车速在 70~80 的最多，占 23.3%，其次为 80~90，60~70，分别占 17.9%，17.7%。

表 3.3 正常路段车速调查表

Speed	Bin	Below	Above	Energy	vMult	n * vMult
0 - 10	0 0.0%	0 0.0%	5951 100.0%	0.00	0.00	0.00
10 - 20	14 0.2%	14 0.2%	5937 99.8%	0.00	0.00	0.00
20 - 30	27 0.5%	41 0.7%	5910 99.3%	0.00	0.00	0.00
30 - 40	171 2.9%	212 3.6%	5739 96.4%	0.00	0.00	0.00
40 - 50	611 10.3%	823 13.8%	5128 86.2%	0.00	0.00	0.00
50 - 60	900 15.1%	1723 29.0%	4228 71.0%	0.00	0.00	0.00
60 - 70	1052 17.7%	2775 46.6%	3176 53.4%	0.00	0.00	0.00
70 - 80	1385 23.3%	4160 69.9%	1791 30.1%	0.00	0.00	0.00
80 - 90	1063 17.9%	5223 87.8%	728 12.2%	0.00	0.00	0.00
90 - 100	475 8.0%	5698 95.7%	253 4.3%	0.00	0.00	0.00
100 - 110	188 3.2%	5886 98.9%	65 1.1%	0.00	0.00	0.00
110 - 120	51 0.9%	5937 99.8%	14 0.2%	0.00	0.00	0.00
120 - 130	10 0.2%	5947 99.9%	4 0.1%	0.00	0.00	0.00
130 - 140	4 0.1%	5951 100.0%	0 0.0%	0.00	0.00	0.00
140 - 150	0 0.0%	5951 100.0%	0 0.0%	0.00	0.00	0.00
150 - 160	0 0.0%	5951 100.0%	0 0.0%	0.00	0.00	0.00
160 - 170	0 0.0%	5951 100.0%	0 0.0%	0.00	0.00	0.00
170 - 180	0 0.0%	5951 100.0%	0 0.0%	0.00	0.00	0.00
180 - 190	0 0.0%	5951 100.0%	0 0.0%	0.00	0.00	0.00
190 - 200	0 0.0%	5951 100.0%	0 0.0%	0.00	0.00	0.00

Speed Bin Chart

SpeedBin-70 (Metric) Site: 99999.1S 99999.1S 99999.1S 99999.1S 99999.1S 99999.1S 99999.1S 99999.1S
Description: Multiple sites - See Header sheet for site descriptions.
Filter time: 7:28 2007年7月24日 => 15:49 2007年7月26日
Filter: Cls(1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11) Dir(NESW) Sp(10,160) Sep(>0)
Scheme: Vehicle classification (Scheme Axle)
Total: 5951

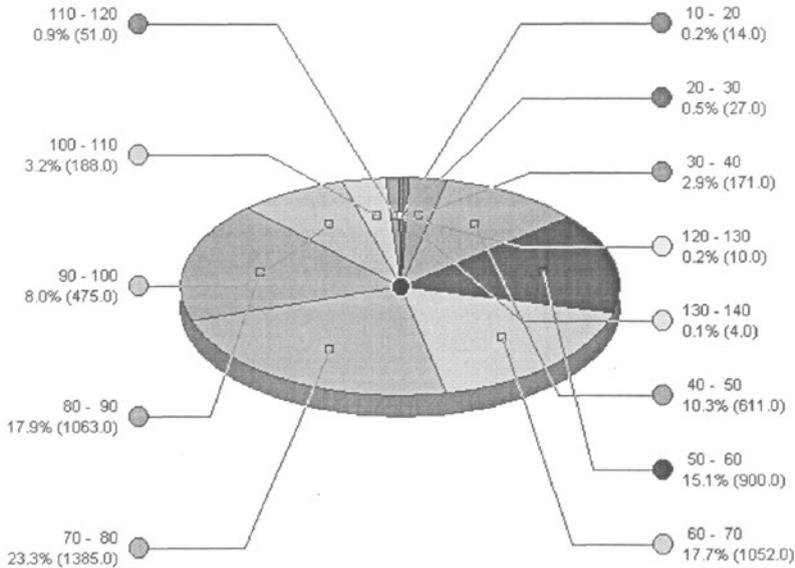


图 3.1 正常路段车速分布图

②作业区车速特性

通过对作业区的车速调查可见，重货的车速最低，中货和客车的车速相差不大，这是因为只有一条车道开放，无法超车，车辆处于跟驰状态。

Statistics

		重货	中货	大客	中客	小客	工程车
N	Valid	88	34	24	13	150	13
	Missing	62	116	126	137	0	137
Mean		32.2841	45.6471	36.8750	43.4615	38.6400	51.9231
Std. Error of Mean		.75619	1.89327	2.59411	5.39303	.94461	3.96533
Median		30.5000	48.0000	30.5000	45.0000	36.0000	52.0000
Mode		28.00	52.00	27.00 ^a	27.00 ^a	28.00	49.00
Std. Deviation		7.09371	11.03955	12.70848	19.44486	11.56904	14.29721
Variance		50.321	121.872	161.505	378.103	133.843	204.410
Percentiles	85	39.0000	56.7500	53.2500	67.0000	51.0000	62.8000

a. Multiple modes exist. The smallest value is shown

图 3.2 作业区车速统计

(3) 单车信息数据及其它统计数据

数据的准确和“正常”与否直接关系到分析结果的偏差程度，为了能客观地获得高速公路的施工区的各种交通流特性参数，观测地点的选择必须以数据后期分析要求为依据。这样既可以减少观测时间，又可以降低由于调查点选择不当而导致分析重复和失败的可能性。结合数据采集的内容和可使用的调查设备，提出高速公路施工区数据采集布设方法。

(4) 车头时距

①正常行驶路段车头时距

由路旁单元调查所出的车头时距与频数分布图可知，车辆的车头时距主要分布在0-10s。其中3s为高峰期，这说明普通路段车流顺畅。

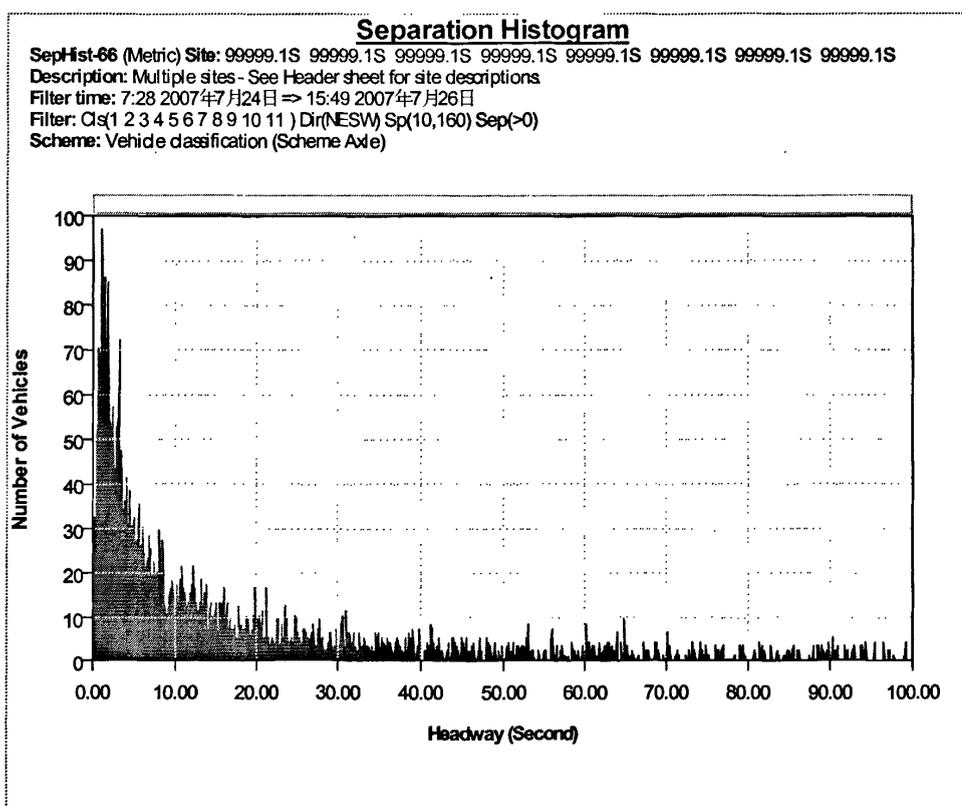


图 3.3 正常路段车头时距分布图

②作业区车头时距

通过对工作区的录像分析，车头时距为5s（详见图3.4）的车辆频数最多，车辆在工作区平稳的呈跟驰状态。

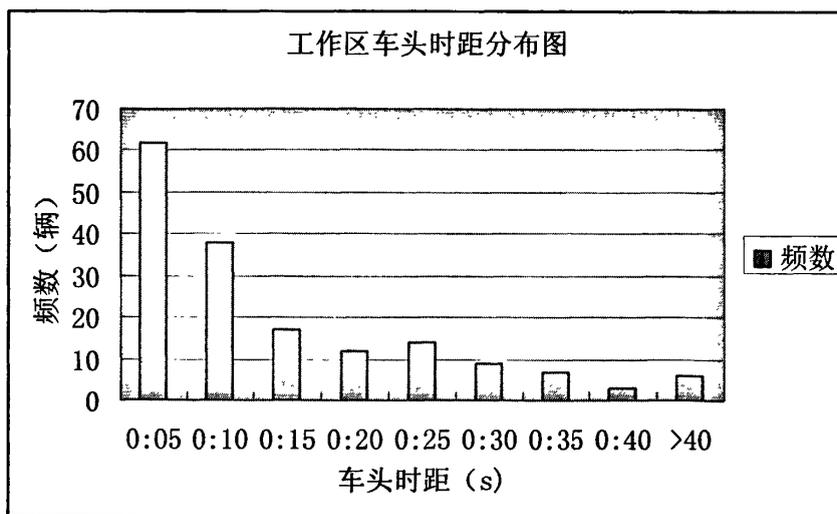


图 3.4 作业区车头时距分布图

3.2 仿真路网的建立

要建立一个与实际更加相符的交通仿真模型，需要对仿真目标的交通流特点进行充分地分析，提炼出建模过程中要着重模拟的因素，这样建立的模型才能正确反映现实情况，其仿真结果才有利用价值。对于建立 VISSIM 微观仿真模型，主要做好能力分析和冲突分析^[16]。

建立一个精确 VISSIM 模型的必要条件是：至少具有一张具有比例尺的反映现实路网的背景图片。在 VISSIM 路网窗口中可以显示、移动、缩放背景图片。通过背景图片可以追踪 VISSIM 路段和连接器的轨迹。

VISSIM 使用两个基本的组件(Link 和 Connector)来描述描述一条连续的路径，也可以描述整个路网。在用 Link 和 Connector 建立交叉口和路网时，是用一个 Link 表示一条车道还是多条车道、Connector 如何连接等问题都要结合实际的道路情况而定。在建立路网模型过程中需要处理好进口道 Link、Connector 的设置、车道展宽/缩减渐变段的处理、进口道和出口道的连接三个关键部分。

建立交通仿真系统模型的工作量很大，为了保证研究质量，本课题采取“循序渐进，分段建模，逐段检验”的建模思路，统筹规划，从全局的角度确定交通仿真系统建模顺序，在保证研究质量的前提下确定交通仿真系统建模步骤^[21]。

3.2.1 具体路段方案一：单幅封闭单幅通车

(1) 仿真模型简图

本文采用最为常见的双向四车道高速公路施工路段作为 VISSIM 仿真的对象。模型如图 3.5、图 3.6、图 3.7 所示。单幅封闭单幅通车模式如图 3.5。包含警告段、上游渐变段、上游缓冲段、作业区、下游缓冲段、下游渐变段、终止段，上游开口和下游开口、上游合流点和下游合流点，另外，还包括未施工半幅车道开放缓冲段和渐变段。

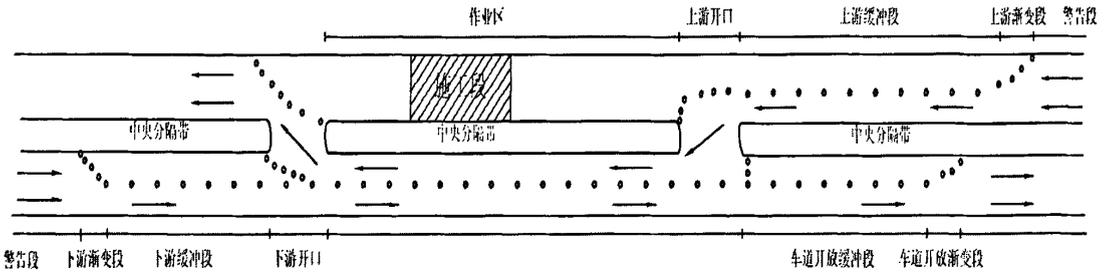


图 3.5 模型 1-单施工段（单幅封闭单幅通车模式）

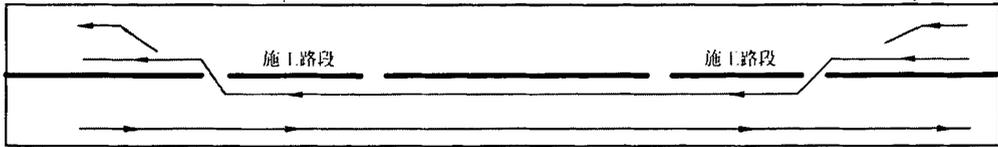


图 3.6 模型 2-两施工段合并（单幅封闭单幅通车模式）

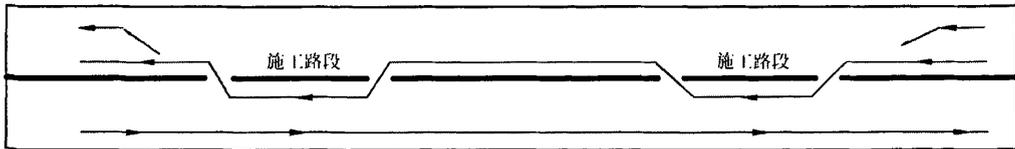


图 3.7 模型 3-两施工段独立（单幅封闭单幅通车模式）

(2) 仿真模型参数

① 施工路段交通组织相关参数

限速标志设置于作业区之前路段和作业区路段。作业区之前路段设置限速 50km/h，进入作业区设置限速 40km/h。解除限速标志设置在养护工区分流点结束后 200m。

依据《公路养护安全作业规程》和铜黄高速公路交通组织方案，各交通控制区长度的基准取值为：警告段=1km、上游渐变段=20m、上游缓冲段=350m、作业区=3km、下

游缓冲段=350m、下游渐变段=20m、终止段=200m，上游开口和下游开口=60m，另外，未施工半幅车道开放缓冲段和渐变段分别为 50m 和 20m。

②施工路段交通信息相关参数

铜黄高速公路设计行车速度 80km/h，路基宽度 21.5m：行车道 2×2×3.5m，中央分隔带 1.5m，左侧路缘带 2×0.5m，硬路肩 2×2.0m，土路肩 2×0.5m。交通量与交通组成见上节，车型、车辆几何尺寸、车辆特性选用 VISSIM 软件中 2D 或 3D 模型中的类似车型，并根据国内高速公路上车辆的具体情况进行调整。

3.2.2 具体路段方案二：单幅部分车道封闭

(1) 仿真模型简图

本文采用双向四车道高速公路施工路段作为 VISSIM 仿真的对象。模型如图 3.8 所示。单幅部分车道封闭模式如图 3.8。图中 1 为警告段，2 为车道封闭上游渐变段，3 为上游缓冲段，4 为作业区，5 为下游缓冲段，6 为车道开放下游渐变段，7 为终止段。

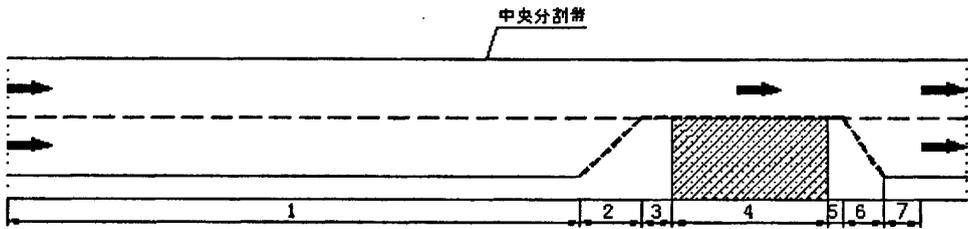


图 3.8 模型 4-单幅部分车道封闭模式（封闭行车道）

(2) 仿真模型参数

①施工路段交通组织相关参数

限速标志设置于作业区之前路段和作业区路段。作业区之前路段设置限速 50km/h，进入作业区设置限速 40km/h。解除限速标志设置在养护工区分流点结束后 200m。

依据《公路养护安全作业规程》和铜黄高速公路交通组织方案，各交通控制区长度的基准取值为：警告段=1km、上游渐变段=20m、上游缓冲段=100m、作业区=1.5km、下游缓冲段=50m、下游渐变段=20m、终止段=200m。

②施工路段交通信息相关参数

铜黄高速公路设计行车速度 80km/h，路基宽度 21.5m：行车道 2×2×3.5m，中央分隔带 1.5m，左侧路缘带 2×0.5m，硬路肩 2×2.0m，土路肩 2×0.5m。交通量与交通组成见上节，车型、车辆几何尺寸、车辆特性选用 VISSIM 软件中 2D 或 3D 模型中的

类似车型，并根据国内高速公路上车辆的具体情况进行调整。

3.2.3 整体路网的三种方案

整体路网适用于三种交通组织方案。整体路网方案一：全线保持原有正常交通；整体路网方案二：全线封闭施工；整体路网方案三：部分路段封闭。

全线保持原有正常交通和部分路段封闭两种方案当中，起点到仙河立交路段设置 A 型 2 处和 B 型 1 处，仙河立交到孤滨立交设置 A 型 2 处和 B 型 1 处，孤滨立交到东滨立交设置 A 型 1 处，孤滨立交到东滨立交设置 A 型 2 处和 B 型 1 处，东港路立交到集贤立交设置 A 型 1 处。

(1) 建立道路网信息系统

顺序为：建立东港高速公路及其互通立交模型，质量检验→建立莱乌高速公路及互通立交模型，质量检验→建立省道 S310 东滨路、S231 河辛路、S312 孤滨路及其与两条高速公路连接线的模型，质量检验→建立无名路及其平面交叉口模型，质量检验→整体路网检查及完善。

(2) 养护工区交通组织相关参数

对于东港高速公路各具体施工段，其各控制区长度、限速值和限速位置来源于第四章中东港高速公路推荐值。该推荐值是按照第四章的仿真评价方法，基于连续流理论的施工路段服务水平分级，通过东港高速公路实例验证并调整道路条件和交通流参数而得到的。

单幅封闭单幅通车模式下，各控制区长度推荐值为：警告段=1km、上游渐变段=30m、上游缓冲段=400m、下游缓冲段=100m、下游渐变段=30m、终止段=200m，上游开口和下游开口=80m。

单幅部分车道封闭模式下，各控制区长度推荐值为：警告段=1km、上游渐变段=30m、上游缓冲段=80m、下游缓冲段=50m、下游渐变段=30m、终止段=200m。

限速标志设置于作业区之前路段和作业区路段。作业区之前路段设置限速 70km/h，进入作业区设置限速 50km/h。解除限速标志设置位置在养护工区分流点结束后 200m。

限速方案有 70km/h 和 50km/h 两种，对大车和小车的影响不同。实际行车中小车和大车的车速相差很大，限速 70km/h 对于小车而言是限速了，但对大车其实影响不大，大车仍能以相对较高的速度行驶。限速 50km/h 虽然使行程时间增加了很多，但是很大程度上提高了行车和施工的安全性。

(3) 养护工区交通信息相关参数

东港高速公路原设计的依据是交通部《公路工程技术标准》(JTJ001-88), 计算行车速度 100km/h, 路基宽度 24.5m; 行车道 $2 \times 2 \times 3.75\text{m}$, 中央分隔带 2m, 左侧路缘带 $2 \times 0.75\text{m}$, 硬路肩 $2 \times 2.5\text{m}$, 土路肩 $2 \times 0.50\text{m}$ 。

车辆特性选用 VISSIM 软件自带车型, 并根据国内车辆具体情况进行调整。道路交叉口交通流量按照各方向转向比例输入。东港高速、莱乌高速、S310 东滨路、S231 河辛路、S312 孤滨路以及两条无名路的交通量与交通组成数据按照上节数据采集与分析的方法获得。

最后确立的交通仿真系统路网图详见图 3.9。



图 3.9 模型 5-东港高速整体路网图

3.3 交通流特性及行驶规则的设置

在建立了仿真路网后, 需要进行交通流特性参数及行驶规则的设置, 以便真实地模拟实际车流在路网中的运行。交通流特性参数可分为微观和宏观交通流特性; 行驶规则应与实际路网上的标志标线等交通控制和管理措施对应。

3.3.1 微观交通流特性参数

微观交通流特性参数包括各种车辆的期望车速分布曲线、车辆的加/减速特性、车辆的几何尺寸、驾驶员行为参数设置等。

VISSIM 的交通流模型是一个时间驱动、离散、随机的微观模型，它以驾驶员-车辆-单元为基本实体。该模型由建模车辆纵向运行行为的生理-心理跟车模型和建模车辆横向运行行为的规则算法组成。

交通流理论中对驾驶员的跟车行为和变换车道行为都建立了相关的模型，VISSIM 中所依据的跟车模型为德国卡尔斯鲁厄大学的 Wiedemann 教授于 1974 年和 1997 年分别建立的城市道路跟车模型和高速公路跟车模型。

(1) 车辆的期望车速

对于任何车辆，期望车速特性是一个极为重要的参数，对于车辆之间的跟车和变换车道有重要的影响，并间接影响通行能力和行车速度。车辆期望车速设定后，每一类车辆进入仿真系统时如果没有其它车辆干扰或其它交通规则限制，车辆将以该速度行驶(仅有一个较小的随机变化量)。

一般，在确定输入流量的车种组成时，定义每种车辆类型的期望车速，同时可以定义分布曲线。

(2) 车辆的加、减速特性

车辆的加减速性能对于车辆的行驶性能有重要影响，并且车辆的加、减速特性会随着个体车辆的不同而变化，车辆的期望加、减速与当前车辆速度以及司机的行为有关，而最大加、减速度特性往往反映车辆自身的动力性能。

VISSIM 在描述车辆加、减速特性时，是结合车辆类型进行定义的。共有四个参数，期望加、减速度，最大加、减速度。

(3) 车辆的几何尺寸

车辆的车身长度直接影响车辆的跟车行为和超车行为，对变换车道也有影响。对车辆的几何尺寸的描述包括长度和宽度，以及前后轴距等。

VISSIM 的 2D 模型中没有对车辆高度进行描述，在 3D 模型中车辆的高度是随长度和宽度按比例自动确定的。仿真模型中的车道宽度对车辆的行驶没有影响，这点是与实际情况不相符的。

(4) 驾驶员行为参数设置

驾驶行为通过路段类型链接到每条路段上。针对每种车辆类别，可以定义不同的驾

驶行为参数集合。默认情况下, VISSIM 预先定义了 5 个不同的参数集合。

Wiedemann 模型的基本观点是根据驾驶模式的不同, 将驾驶员分为四种类型, Freediving、Approaching、Following、Braking。

对于每一种驾驶模式, 后车的加速度由前后车的车速和速度差, 前后车间的距离以及驾驶员和车辆的个性特征所决定。当驾驶员达到了某个以速度差和距离表达的阈值时, 他将从一种驾驶模式转换到另一种驾驶模式。例如, 近距离车辆间的速度差较小, 而当前后车的速度差较大时, 后车驾驶员必须在接近前车时更早的采取行动。不同驾驶员群体感知速度差和估计距离的能力不尽相同, 他们的目标车速和安全距离也存在差异。

3.3.2 宏观交通流特性参数

宏观交通流特性参数包括车型分类、交通量组成、流量输入、路径选择。

(1) 车型分类

VISSIM 采用分级体系来定义车型分类, 即车辆分级-车辆类别-车辆类型。

车辆类型是分级体系中最低层。指具有相似的技术特性和物理驾驶行为的一组车。例如 car1、car2、LGV、HGV、Bus、Pedestrian 等。本课题当中, 选用小客 car1、中客 car2、大客 Bus、中货 LGV、重货 HGV 五种。

车辆类别是具有相似驾驶行为(但有不同的车辆特性)的一种或多种车辆类型。本课题当中, 选用 car、Bus、HGV 三种。速度评价、路径选择和一些其它的路网单元都是以车辆类别来分类的。

车辆分级是具有相似车辆行为的预设的、静态的分级。例如, 分级 Tram 不允许在多车道的 Link 上变换车道, 也不会偏离它的期望车速。每一个车辆类型都被分配到一个车辆分级。

(2) 交通组成

实际道路的交通流常常是大、小客货车种混行。由于车辆自身的物理特性(如长度等)和动力性能(如加减速性能等)不同, 它们在道路中的行驶特性, 如各期望车速、车辆之间的跟车和超车条件将不同。在微观仿真系统中, 交通组成主要是反映车流中车型的特性。

对于车型的划分, 根据车辆物理特性和技术性能加以区分, 如大、小客货车、公交车、拖挂车等。车流中各类车型的比例, 应符合实际交通流特点, 反映时间和空间上的

变化。例如，路网中不同的节点和断面、不同的时段，交通流中车种比例都可能不同。

(3) 输入流量

流量是交通仿真系统中最基本、最重要的参数之一。输入时注意以下三方面：

①确定交通流产生地点。交通产生点的选取要设在研究区域以外，以免对研究区域产生影响。建议建立仿真路网的范围比研究范围略大些。

②由于交通量在时间和空间上都是变化的，因此，对于不同交通流的产生点，应根据实际情况来确定合理的起始时间和间隔。在仿真的全过程中，可以设置多个时间段，每个时间段的输入流量各不相同。

③仿真初始阶段，路网中车流是从无到有的，与实际路网上的情况不同。因此流量输入的时间应该比要仿真的时段长些。具体时间视路网大小和仿真研究时段而定。

(4) 路径选择

道路设施中实际运行的车辆均有自己的出行目的地，为了反映交通流运行情况，进入仿真系统的模拟车辆必须确定各自目的地。受标志标线的约束，不同车辆会选择不同的路径，且这个过程较为复杂。

在 VISSIM 中，有两种方式可以实现车辆的路径选择。一种是动态路径选择的方式，由驾驶员根据某种模式对路径进行选择，这种模式适用于网络分析；第二种是静态路径选择模式，车辆最初在某一地点确定了行驶方向后，在行驶过程中，无论发生什么情况，都不会改变路径，这种模式适用于“点”和“线”交通设施的交通分析。静态路径选择是通过(Route decision)来定义的，右侧为相应的对话框。在定义路径时需要首先确定路径选择生效的路段起迄断面，然后确定该路径作用车辆的类型和时间间隔，时间间隔可有多段，但彼此之间不能重叠。

每个路径选择都有一个起始端，但可以有多个终点端。路径选择只在这两条线之间的路段间起作用。路径对应有多个终点端时，需要考虑流量的分配，可以输入各条路径的流量比，也可以输入各条路径的绝对流量值，建议输入绝对值。

车辆的行驶路由从路径决策起点(红线)到路径决策终点(绿线)的一个固定的路段和连接器序列组成。路径决策起点与路径决策终点是一对多的关系。

车辆行驶路径的长度不是一个固定值。行驶路径决策功能仅对经过定义的车辆和没有任何路径信息的车辆起作用，这些车辆只有在通过路径决策终点后才能够接收新的路径信息。

仿真运行期间，没有行驶路径信息的车辆在通过行驶路径决策点时将被分配到一条

行驶路径上,也就是说,每条行驶路径上分配的流量比直接对应于用户定义的相对流量。被分配到某一行驶路径上的车辆独立进行车道选择,以保证其沿着行驶路径到达下一个连接器。VISSIM 不允许车辆为了超车而变换车道到一条不能到达行驶路径下游连接器的车道上,但超越进站停靠的公交车辆时除外。为了避免发生异常排队,对于分配到特定行驶路径、等待可穿越空档的车辆,在其等待时间大于一定时间(60秒,可定义)时将会从路网中消失,即认为这些车辆已经强行汇入车流当中了。

在路径设置时需要注意下述问题:对于单个交叉口而言,只需确定每个进口道车流的转向流量。对于有多个交叉口的长路段,原则上可以用路径选择确定每个进入主线车流的所有出口,但由于车流 OD(起迄点)信息很难得到,通常采用在每个交叉口进口道前使用路径选择分配转向车流,保证每个进口道转向流量正确。对于有多个交叉口的路网,使用静态的路径选择难以描述路网中复杂的车流运动情况,通常都采用动态路径选择来解决。

3.3.3 车辆行驶规则

道路设施运行的交通流,往往受道路交通设施物理条件的约束、受相邻车辆的行驶约束、以及交通规则和标志标线的约束^[15]。由于交通规则随时间和地点的不同会发生变化,因此,在对仿真分析之前,必须对各种交通规则进行设定和描述。

基本的车辆行驶规则包括:速度控制规则、超车规则、停让规则、优先规则和信号灯控制规则。

(1) 速度控制规则

在没有其它车辆及交通规则约束的情形下,车辆在道路设施上按照期望车速行驶。事实上,随着流量的增加,道路行车条件的变化,往往在一定路段范围内对车辆的速度进行限制。待经过这些限制路段后,车辆的车速又恢复到正常值。

通常,在道路等级有变化的主线上,相同的车辆在不同的主线路段上会有不同的期望车速。因此,在道路等级变化点应改变各种类型车流的期望车速。在 VISSIM 中,对速度的控制有两种描述方式:区段限速和改变期望速度。

① 区段限速设置

适用于在某些特殊的路段和特殊的时间内对车辆进行速度限制,如匝道合流点。区段限速标志的设置属性为:需要限速的基本路段单元或基本连接单元的起点位置,限速区域的长度,限速有效时间,速度限制的有效车辆,改变期望车速设置。

②改变期望速度

适用于道路等级变化点附近,例如从高架道路进入地面道路时,车辆的期望车速会改变。VISSIM 软件是根据车辆类型而不是根据道路等级来设置期望车速的,因此仿真过程中车辆不会随着道路等级的改变而自动改变期望车速。在这些情况下,必须实行强制改变车辆的期望车速。

(2) 超车规则

对于单向多车道高等级道路,由于行车速度较高,为防止车辆随意变换车道而引起交通意外,一般规定右侧车道为行车道,左侧车道为超车道。车辆在试图超越前面车辆时,总是从前面车辆的左侧超车,完成超车后,重新变换车道返回到原车道行车。

在等级较低的路段,只要单方向是多车道,完成超车后,规定车辆可以在车道之间随意变换车道和超车。根据仿真对象涉及的不同道路等级,需要对超车规则作不同的设置。

(3) 优先规则

VISSIM 使用优先规则指定冲突车流的通行权。优先规则包括一条停车线(红线)和一个或多个与该停车线关联的冲突标志(绿线)。根据冲突标志处的当前路况,由停车线控制车辆的通过与否。冲突标志处的路况检验内容包括:最小车头间距和最小车头时距。

一般将冲突区的长度定义为最小车头间距。仿真运行中,当前车头间距取决于第一辆接近冲突标志的车辆与冲突标志之间的距离。当车辆的任何部位处于冲突标志之上时,当前的车头间距即为 0 米。如果当前车头间距小于最小车头间距,所有接近冲突区的车辆必须在停车线处停车(相当于红灯)。

当前空档时间(仿真运行中)取决于接近冲突区的车辆到达冲突标志所需的时间(以仿真步长计),假设车辆保持当前车速行驶。位于冲突标志上的车辆的当前空档时间不予以考虑。如果当前空档时间小于最小空档时间,所有接近冲突区的车辆必须在停车线处停车(相当于红灯)。

当冲突标志处的所有相关条件都满足要求时,车辆可以不停车通过冲突区(逻辑“AND”条件)。停车线和冲突标志可以仅针对特定的车辆类别定义。此外,还可以定义主路的最大车速,优先规则的车头间距仅针对低于最大车速接近冲突标志的车辆加以考虑。

在建立路网过程中,特别是在设置不同车流路径(例如公交线路)时,经常会出项路段重叠的情况。由于软件不能自动识别这种情况,因此在这里的机动车会穿越其他车辆,

这与实际是不相符的。为了减小这种现象的发生，在建立模型的过程中，我们必须在这些点设置优先规则。

(4) 停让规则

停让规则是指车辆在交叉口停车让路。当次要交通流车辆到达交叉口时，无论主要交通流车辆之间的车头时距是否允许穿越或合流，次要交通车流都必须先停车，然后再根据优先规则来判断主要车流的车头时距和车头空距是否允许穿越或合流。

3.4 仿真路网的测试与标定

美国的 MUTCD 对路网可靠性进行了研究。交通仿真软件的有效性和仿“真”性，主要取决于车辆模型的质量，尤其在微观交通仿真系统中，对道路几何条件的准确描述是交通仿真的重要边界条件。仿真模型所起的作用跟实际路网中车辆的驾驶员是相似的，在仿真软件中正是仿真模型“驾驶”着车辆在路网上行驶。交通仿真模型模拟的是驾驶员在各种不同情况下的驾驶行为。

目前国外对车辆的跟驰模型有较多的研究，而换道模型研究较少。要建立一个能尽可能反映真实状况的仿真系统，必须有一个与之匹配的仿真模型，逼真地模拟现实路网中的实际交通行为，如车辆的跟驰行驶、换道、超车行驶、道路交叉口信号灯的控制以及车辆的事件反应等。

应用 VISSIM 仿真软件对车道封闭形式、大车率、坡度、作业区长度等几个影响因素进行了微观仿真分析，得出上述影响因素对作业区通行能力影响的程度从大到小为：车道封闭型式、和封闭车道的侧向距离、一定大车率情况下的坡度、大车率、作业区长度。但由于该研究在 VISSIM 中设定的施工区道路交通条件与实际的相差较大（如仿真时 VISSIM 中没有设置锥形区以及禁止超车等标志），模拟的精度因此受到了影响。

VISSIM 软件系统是一种随机交通仿真系统模型，对交通系统进行仿真时，车辆进入道路网的时间、车辆在道路网中运行的速度、车辆的排队、车辆的跟随和变换车道行驶等均是随机的。因此，要得到符合现实的交通参数，就要多次运行交通仿真系统模型，统计模型输出的参数，取其平均值进行分析和研究。根据国外应用 VISSIM 系统的经验，运行次数可以取 5~12 次为佳，本课题取 8 次。

对于庞大的道路网，在交通仿真中，从车辆开始进入道路网至交通仿真模型达到符合实际的平衡状态是需要一定时间的，这段时间称为初始化时间。考虑到本课题道路网较大，取初始化时间为 60min。

在交通组织中,技术上最关心的是车辆通行的平均速度和行驶时间,分析它们就可以得到交通运营的效率。另外,燃油消耗也是一个很重要的方面,在经济分析中起重要作用。所以,交通仿真系统输出的数据主要为以下三个指标:平均车速、行驶时间和燃油消耗。交通仿真系统模型对高峰小时的交通情况进行仿真,所有交通量均采用高峰小时的值。对具体路段而言,可以采用12h(7:00~19:00)交通量,精度更高地模拟各控制区长度等指标。

准确的、符合实际情况的交通仿真才对制定保通方案决策有指导意义,所以交通仿真系统模型在应用之前一定要经过标定。本课题就当前交通情况对交通仿真系统模型进行标定。标定的方法是将交通仿真系统输出的数据与实际调查的数据进行对比,发现其中不符合实际情况的地方,然后不断调整输入的交通参数,将误差缩小到可接受的范围内。交通仿真准确与否,可以通过两个关键指标体现:交通流量和车辆速度,本课题从这两个方面对交通仿真系统模型进行了标定。另外,交通仿真系统的动画演示很形象,可以直观地发现交通仿真模型与现实不符的地方,尤其是道路交叉口处车辆排队长度等情况。所以,直观检查也是本课题标定交通仿真系统模型的一个方法。

标定内容误差范围及要求交通流量对单个调查点,交通仿真流量与实际调查交通流量偏差小于20%为合格,否则为不合格。对整个模型,要求合格率大于等于80%,否则应继续标定或重新建立模型。车辆速度对单个调查点,交通仿真系统得到的平均车速与实际调查平均车速偏差小于10为合格,否则为不合格。对整个模型,要求合格率大于或等于80%,否则应继续标定或重新建立模型。

直观检查交通仿真动画演示与实际情况应大致相符,如果出现不符实际的交通拥堵,或道路交叉口处排队长度过长等情况,应分析出现的原因,继续标定模型或重新建立模型。

3.4.1 车速

仿真车速的与实际车速之间的校核主要是通过修改车辆的期望车速分布曲线实现的。如果对于要仿真的路段能够准确地调查车辆实地的期望车速,经研究证明仿真车速与实际车速吻合比较好。但是,由于全面调查需要仿真路段的期望车速工作量过大,因此可将城市道路路段形式分类(如主干道、次干道等),分别调查不同类型道路典型断面的期望车速,以备仿真时选用。下图是某一类型道路断面的各车型实测期望车速累计频率曲线图。

对单个调查点，交通仿真系统得到的平均车速与实际调查平均车速偏差小于 10 为合格，否则为不合格。对整个模型，要求合格率大于或等于 80%，否则应继续标定或重新建立模型。经测试，仿真系统达到合格水平。

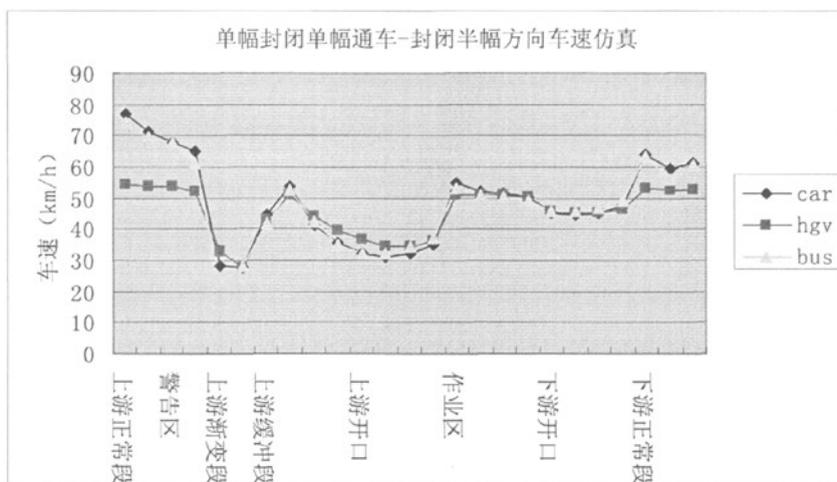


图 3.10 单幅封闭单幅通车车速仿真图（封闭半幅方向-黄铜方向）

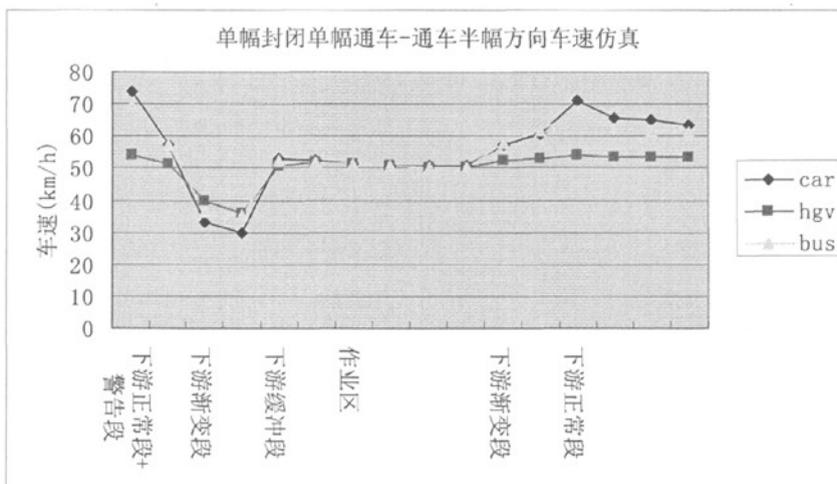


图 3.11 单幅封闭单幅通车车速仿真图（通车半幅方向-铜黄方向）

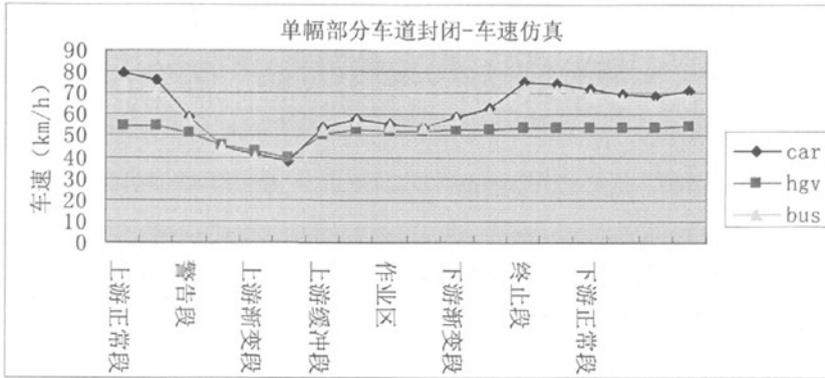


图 3.12 单幅部分车道封闭车速仿真图 (铜黄方向)

3.4.2 流量检测

如果模拟单个交叉口，一般不需要对仿真路网上的流量进行检测。如果模拟多个交叉口的长路段或路网时，有必要在一些关键路段设置数据采集器检测流量。因为，一条干线或一个路网车流运行比“单点”复杂^[18]，在定义进入长路段或路网车流的路径和流量时极有可能出错。通过对流量检测，保证干线或路网中各个交叉口进口道的流量和转向比例正确，这是仿真分析之本。

对于有信号控制的交叉口，对仿真路网上各进口方向的流量进行检测，是验证路口交通流参数、通行规则等设置正确与否的重要指标。信号控制交叉口一般有固定的信号周期，流量检测的设置以信号周期为时间间隔。

对单个调查点，交通仿真流量与实际调查交通流量偏差小于 20% 为合格，否则为不合格。对整个模型，要求合格率大于等于 80%，否则应继续标定或重新建立模型。经测试，仿真系统达到合格水平。

3.4.3 饱和和流率

VISSIM 有默认的饱和和流率，但与中国的实际情况不太符合，必须进行饱和和流率的标定。VISSIM 的车道饱和和流率定义为单位时间能自由通过每车道断面的车辆数。在跟车模型中，主要由以下两个参数决定：

一是距离的累加部分，二是期望安全距离的乘积部分。这两个参数在驾驶行为参数设置中可以修改。经测试，仿真系统达到合格水平。

3.4.4 优先规则

设置优先规则是为了让两股有冲突的车流在冲突地区能够正常有序地通过。

例如一条主要道路和一条次要道路相交的交叉口,采用主路优先控制方式,即次要道路上进入交叉口的车流必须放慢车速、了望观察,让主路车辆优先通行,并在主路车流间寻找可插入的空档(车头时距或车头空距)通过交叉口。优先规则就是对这种可插入空档大小的规定^[13]。

优先规则在 VISSIM 中的应用范围很广,原则上凡是两股车流产生冲突的地方(冲突点、合流点)都应使用优先规则定义。

(1) 优先级别

道路上有两股(或以上)的冲突车流,以一条“主要道路”和一条“次要道路”相交,其优先关系主要有三种:

①主路有绝对的优先权。

次要道路上的车辆必须等待主路上的所有的车流通过后方可通行。例如,在信号控制交叉口,若放行方式为先放对向直行,再放左转。为确保交叉口的通行安全和畅通,直行车即使已经得到绿灯显示,也必须等待对向左转车完全脱离交叉口后,方可通行。

这种主路上的车流拥有绝对的优先权的情形,一般不会有主路车避让次要道路上车辆情况发生,只需设置一组优先规则,如图所示。

次要道路上的车辆必须在停车线处停车,在观察到一定的空间或时间范围内,优先道路上不会有车辆通过冲突区域。体现了主路的绝对优先性。这种对主路车辆的绝对保护,防止主路车辆的等待避让对其他方向车辆通行权的影响。

②主路有优先权,次要道路上的车流寻找可插入的空档通过。

例如在交叉口处,右转机动车须避让同方向的行人和非机动车,但进入冲突区域的机动车有优先通过的权力,在空间的竞争上机动车要强于非机动车和行人。这样可以保证机动车快速通过冲突区域,减少其对非机动车通行的影响,而实际中也是这样的。这种情况需要设置两组优先规则。机动车避让行人和非机动车,行人和非机动车避让已经进入路口的机动车。

③主路无优先。

主路和次要道路上的车辆都寻找可插入的空档通过。例如不受信号保护的左转车辆和对向直行车辆之间就没有谁优先于谁,两者都寻找可插入的机会通过。在这种情形下,优先规则的设置只要保证不发生车辆重叠的情形,对应于实际路网上车辆不相撞。

(2) 参数选择

在优先规则的设置中,除了停止线和检测区域的位置之外,两个重要的参数就是最

小车头时距和最小车头空距。这两个参数从时间和空间两个不同的方面定义了次要道路上的车辆在多大的范围(时间和空间)内等待优先道路上的车辆通过。两个参数的不同设置,对车辆的通行特征影响很大。在我国城市道路上,由于是各种车辆混行,参数的选择更为复杂。影响参数选择的主要因素有:冲突车道的方向、冲突车道上车辆的类别、冲突车道的优先关系。

在模型建立的过程中,应单独对优先规则的设置进行校验,确保其能正确反映道路上实际车辆的关系。标准确定之后,可在其后的模型中参考标准。

另外在模型中车辆(或者行人)只是在固定的位置判断其是应该通过还是停车等待,而实际中车辆时时刻刻在做这种判断,所以这样的仿真结果跟实际肯定是有差异的,但只要能正确反映冲突车辆(或者行人)相互之间的影响关系,仿真处理就是成功的^[21]。

3.5 本章小结

本章对交通仿真模型的建立进行了研究。对数据采集与分析进行了研究,确定了数据采集内容和样本量以及处理分析的方法;分别从具体路段和整体路网两个角度建立了仿真路网,包括仿真模型图和道路条件及交通流参数的输入;分析了交通流特性和行驶规则的设置,按照车速、流量检测、饱和流率和优先规则的要求对仿真路网进行测试和标定。

第四章 仿真结果分析与方案评价体系

4.1 具体路段方案一：单幅封闭单幅通车

4.1.1 最小施工路段间隔

大修工程一般全线分标段施工，各施工路段之间应保持多少间距，对高速公路行车的安全性、快速性影响最小，同时也保证施工正常进行。仿真数据分析见表 4.1。

(1) 仿真模型图一：

两施工路段合并成一个施工路段处理，作为一个整体，中间保持两车道运行。则只存在两个交织路段，容易引起交通流紊乱的区段仅为两段，且两侧分别为正常行驶路段，一旦引起局部交通阻塞，两侧有足够的路段空间逐渐消解，管理上易于集中。但该方案单车道运行距离较长^[8]。

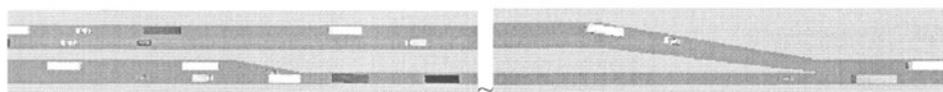


图 4.1 下游警告段→下游渐变段→下游缓冲段→作业区



图 4.2 作业区

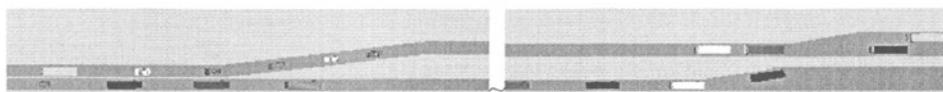


图 4.3 作业区←上游缓冲段←上游渐变段←上游警告段

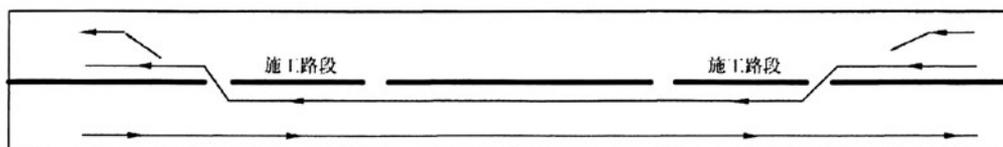


图 4.4 两施工路段合并

(2) 仿真模型图二：

两施工路段分别处理，将中间直线行车路段开放，局部 4 车道运行。对充分利用空间有利，但其存在 4 个交织路段，容易引起交通流紊乱的区段为四段，由于直线段不足

2 km，一旦有局部交通阻塞，仍然很快影响到两个施工路段，车辆频繁的变换车道对安全也无益处，管理上工作量较大，在交通流量较小的情况下较为实用。

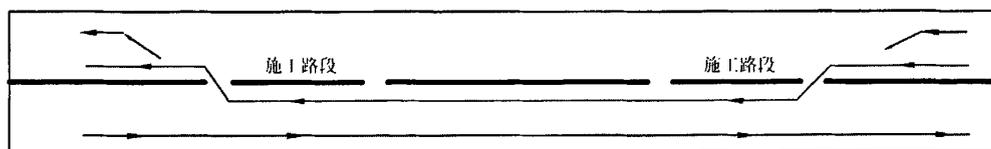


图 4.5 两施工路段独立

表 4.1 施工路段间隔仿真分析表

指标	施工路段间隔 (km)											
	3		4		5		6		7		8	
	合 并	独 立	合 并	独 立	合 并	独 立	合 并	独 立	合 并	独 立	合 并	独 立
行程时间(h)	440.6	541.4	540.4	637.8	642.8	668.9	748.3	749.5	871.3	833.2	990.6	856.7
行程延误(h)	52.1	60.5	63.2	68.6	71.3	74.2	72.5	73.8	76.2	68.8	80.6	64.4
平均车速(km/h)	55.6	47.3	53.5	47.2	52.2	50.9	49.1	49.7	45.7	48.3	43.2	50.4
1#开口处 排队长度(m)	0	27	0	0	0	0	0	0	0	18	0	0
2#开口处 排队长度(m)	0	124	0	95	20	48	25	15	47	0	36	0
3#开口处 排队长度(m)		176		155		77		33		18		0
4#开口处 排队长度(m)		15		20		0		17		17		0

在作业区路段的起止端设置区间行程时间的测量器，使用行程时间和行程延误平均车速、排队长度分别评价两种方案。

从行程延误角度而言，当施工路段间隔小于 6 km 时，合并时行程延误相对于运行时间大于 10%，且比独立时造成的行程延误要少，因此合并方案较优；当施工路段间隔大于 6 km 时，合并时行程延误相对于运行时间小于 10%，且比独立时造成的行程延误要多，因此独立方案较优。

从排队长度而言,当施工路段间隔小于6 km 时,独立方案造成 2#和 3#开口的排队现象很突出,故施工间隔 6km 可作为临界点。

经分析,认为相邻两个施工路段之间最小间隔应大于 6 km,否则宜将两个施工路段合并成一个路段考虑。

4.1.2 各控制区长度

(1) 上游渐变段+缓冲段长度

仿真数据分析表见表 4.2。

表 4.2 上游渐变段+缓冲段长度仿真分析表

评价指标	上游缓冲段长度 (m)				
	200	300	400	500	600
行程时间(h)	451.8	451.6	437.8	447.3	447.5
行程延误(h)	55.6	53.1	50.3	48.7	50.5
平均车速(km/h)	49.6	50.4	52.8	51.3	50.9

在施工路段,当车流穿越中分带至对向车道时,将会在穿越之前形成交织路段。这一过程既有交织汇流,又有变换车道,为避免交通流紊乱,可以将交织汇流和变换车道两过程分离,即先将两条车道交通流交织、汇流为一股车流,再通过中分带开口变换到对向车道。通过仿真计算可以得出,在变换车道前设置单车道合流路段,将交织路段提前,避免在开口段交织,可以大大提高运行效率。

一般施工中所采用的渐变段长度为 20~30m,仿真结果表明,该长度应至少为 30m。

单幅封闭单幅通车模式下,一般施工中所采用的上游缓冲段长度为 300~400m,仿真结果表明,随缓冲段长度增加,平均车速呈非线性增加,在 400m 附近时平均车速基本达到最高值。缓冲段长度大于 400m 时,平均车速逐渐降低,行程延误相对于运行时间大于 10%。经分析,原因是单车道合流路段长度增加,造成小客车无法超车,只能随货车跟驰,影响车速较为严重。因此该路段仿真模型推荐长度为 400m。

若仿真时改变限速值,会发现随着限速的提高,上游缓冲段的适宜长度应呈现非线性递增。上游缓冲段长度可设置为 300~500m。

(2) 中分带开口长度

高速公路开口示意图见图 4.6,仿真数据分析表见表 4.3。

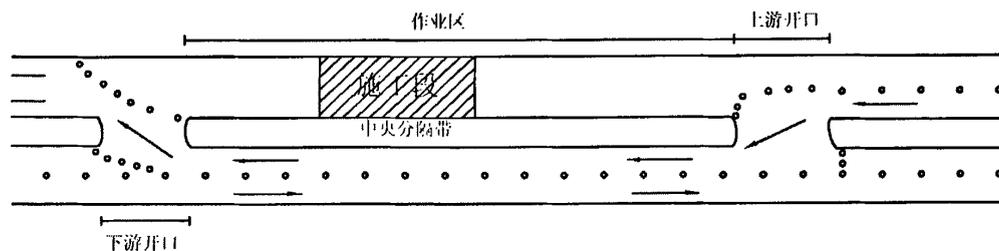


图 4.6 高速公路开口

表 4.3 中分带开口长度仿真分析表

评价指标	中分带开口长度 (m)				
	40	60	80	100	120
行程时间(h)	553.3	465.4	443.6	408.3	363.3
行程延误(h)	65.4	48.7	46.6	48.6	42.3
平均车速(km/h)	40.5	48.9	52.1	56.2	62.7
开口处地点车速(km/h)	32.4	38.6	39.5	46.5	54.7

目前中分带开口长度一般采用 40m 或 60m，车辆利用开口段变换车道至对向，对于被分流方向交通流交织、汇流至对向车道上较为不利，易引起交通阻塞。

在 VISSIM 路段评价文件中，通过设置 20m 评价间距，发现 40m 或 60m 开口长度时，车辆变换车道至对向的变换车速仅为 20~35km/h，若将中分带开口增大至 80 m，则小客车变换车速可提高至 25~50 km/h，可明显改善车流运行速度，提高通行能力。行程时间和行程延误也有明显较小。

同时，通过研究 VISSIM 车辆记录文件，追踪车道变换车辆，发现随着开口段长度的增加，开口处小客车超车的机会逐渐增加，这与现实中开口处横断面宽度增加是相吻合的，这也是行程时间和行车延误降低的一个重要原因。

当开口长度大于 100m 时，地点车速继续增加，但增幅逐渐减小。考虑到施工现状和交通设施的利用状况，开口长度也不适宜继续增大。因此仿真推荐开口长度为 80~100m。

(3) 下游渐变段+缓冲段长度

仿真数据分析表见表 4.4。

表 4.4 下游渐变段+缓冲段长度仿真分析

评价指标	下游缓冲段长度 (m)				
	50	100	200	300	400
行程时间(h)	360.8	389.1	417.2	443.8	449.3
行程延误(h)	38.5	41.2	47.2	53.0	59.6
非施工半幅平均车速(km/h)	62.1	58.5	55.4	51.7	50.7

下游渐变段在施工中也是采用 20~30m，仿真结果表明，该长度应至少为 30m。

实际施工中，下游缓冲段长度只影响非施工半幅的车辆，因此把单向平均车速(km/h)作为评价指标。单幅封闭单幅通车模式下，为了施工方便，下游缓冲段长度通常和上游长度一致，为 300~400m。由仿真结果知，这是不合理的。

仿真结果表明，随着下游缓冲段长度增加，行程车速逐渐降低。缓冲段长度大于 100m 时，行程延误相对于运行时间大于 10%，且随着长度增加，该比值明显减小。所以，下游缓冲段没有必要和上游缓冲段设置相同长度。考虑到交通标志设置的最低距离要求，推荐下游缓冲段的长度为 100~200m。

若改变限速值，仿真结果说明，下游缓冲段长度对路网性能影响不大。

4.1.3 限速位置与可能通行能力

一般限速标志设置于接近作业区的路段和工作区路段。作业区之前路段设置限速 50km/h，进入作业区设置限速 40km/h。解除限速标志设置在养护工区分流点结束后 200m。下面根据限速标志与上游合流点的距离不同，进行仿真分析。

根据试验得到，与限速标志的单纯重复设置相比，道路连续设置渐变的限速标志时驾驶员更容易接受，遵章率更高。因此根据速度变化与行驶距离的关系，分析限速值变化量分别为 10km/h 和 20km/h 时限速标志的设置间距。可根据具体情况选择其中一种方式，也可两种方式组合选用(如前松后紧式)。进入作业区后限速标志 500m 设置一组，一组 2 个。

普通路段或交叉口的通行能力，也就是在饱和流量情况下的通行量，是受道路几何尺寸、交通构成及驾驶员行为等综合因素的影响，与车流到达的分布没有关系。路段或交叉口的最大通行能力，是进行参数标定的一个非常重要的指标^[32]。

在仿真目标现状调查的基础上，必须进行能力分析。在建立仿真路网模型时，对能力限制路段的处理非常重要。如果处理不当，会造成模型的严重失真。这样建立的模型，

其输出结果随输入数据的微小差异波动较大，有些仿真人员将这归咎于 VISSIM 的系统缺憾，不是完全正确的。

仿真数据分析表见表 4.5。

表 4.5 限速位置与可能通行能力仿真分析表

评价指标	限速标志与上游合流点的距离 (m)					
	200	400	600	800	1000	1200
行程时间(h)	580.5	499.1	573.5	428.1	427.4	452.2
行程延误(h)	65.2	59.5	58.6	55.6	48.3	50.3
平均车速(km/h)	38.6	45.6	40.3	53.6	53.3	50.0
可能通行能力(pcu/h/ln)	89	124	178	196	198	216

仿真结果表明，随着限速标志与上游合流点的距离增加，行程车速先是增加，然后逐渐降低，临界点在 800m 左右。因此，推荐位置可设在 800m。

虽然行程延误相对于运行时间大于 10%，但是该比值并未呈现出一定的规律，多次仿真运行产生的结果浮动较大。这与驾驶员的习惯有关，道路连续设置渐变的限速标志时驾驶员更容易接受，遵章率更高。而在仿真过程中，不存在遵守与不遵守的选择，严格服从限速设置，即目标车速区域设置。此问题也是以后的工作中，需要进一步研究的。

4.1.4 东港高速公路推荐值

东港高速公路各具体施工段的各控制区长度、限速值和限速位置，按照本方案的仿真评价方法，调整道路条件和交通流参数而得到。

单幅封闭单幅通车模式下，各控制区长度推荐值为：警告段=1km、上游渐变段=30m、上游缓冲段=400m、下游缓冲段=100m、下游渐变段=30m、终止段=200m，上游开口和下游开口=80m。

限速标志设置于作业区之前路段和作业区路段。作业区之前路段设置限速 70km/h，进入作业区设置限速 50km/h。解除限速标志设置位置在养护工区分流点结束后 200m。

4.2 具体路段方案二：单幅部分车道封闭

4.2.1 各控制区长度

单幅部分车道封闭模式下，封闭超车道的仿真运行截图，见图 4.7。

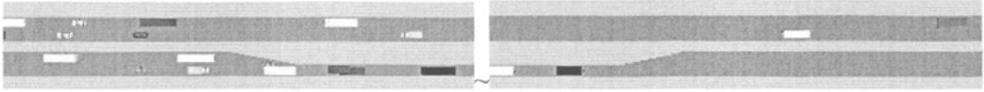


图 4.7 上游警告段→上游渐变段→上游缓冲段→作业区→下游缓冲段→下游渐变段→终止段

(1) 上游渐变段+缓冲段长度

仿真数据分析表见表 4.6。

表 4.6 上游渐变段+缓冲段长度仿真分析

评价指标	上游缓冲段长度 (m)					
	40	80	120	160	200	240
行程时间(h)	250.9	264.5	272.3	276.1	275.6	273.0
行程延误(h)	27.5	29.6	32.3	35.2	35.8	37.8
平均车速(km/h)	60.5	58.3	57.5	56.3	56.0	54.1

在施工路段，两车道合并为一车道时，会形成交织路段。锥形标志渐变段也可形象的称为渐变段，一般施工中所采用的渐变段长度为 20~30m，仿真结果表明，该长度应至少为 30m。

仿真结果表明，随着上游缓冲段长度增加，行程车速逐渐降低，行程延误与运行时间的比值逐渐增大，且大于 10%。所以，下游缓冲段没有必要设置过长。原因是单车道合流路段长度增加，造成小客车无法超车，只能随货车跟驰，影响车速较为严重^[19]。

缓冲段长度大于 80m 时，随着长度增加，行程延误与运行时间比值的變化率在增大。同时考虑到交通标志设置的最低距离要求，因此该路段仿真模型推荐长度为 80m。

若仿真时改变限速值，会发现随着限速的提高，上游缓冲段的适宜长度应呈现非线性递增。上游缓冲段长度可设置为 60~200m。

(2) 下游渐变段+缓冲段长度

下游渐变段在施工中也是采用 20~30m，仿真结果表明，该长度应至少为 30m。

下游缓冲段长度在施工中至少为 30m，仿真推荐该长度为 50m。

4.2.2 限速位置与可能通行能力

作业区之前路段设计行车速度为 60km/h，设置限速 50km/h，进入作业区设置限速 40km/h。解除限速标志设置在养护工区结束后 200m。下面根据限速标志与上游合流点的距离不同，进行仿真分析。

根据速度变化与行驶距离的关系,分析限速值变化量分别为 10km/h 和 20km/h 时限速标志的设置间距^[32]。可根据具体情况选择其中一种方式,也可两种方式组合选用(如前松后紧式)。进入作业区后限速标志 500m 设置一组,一组 2 个。

仿真数据分析表见表 4.7。

表 4.7 限速位置与可能通行能力仿真分析表

评价指标	限速标志与上游渐变点的距离					
	200	400	600	800	1000	1200
行程时间(h)	332.9	306.5	278.1	291.6	306.8	298.6
行程延误(h)	35.2	29.5	28.6	25.6	28.3	30.3
平均车速(km/h)	45.6	50.3	56.3	53.3	50.3	51.3
可能通行能力(pcu/h/ln)	116	158	235	284	289	296

仿真结果表明,随着限速标志与上游合流点的距离增加,行程车速先是增加,然后逐渐降低,临界点在 600m 左右。因此,推荐位置可设在 400~600m。

与交通组织方案一类似,该模型也存在仿真结果浮动较大的问题,需要进一步研究。

4.2.3 东港高速公路推荐值

东港高速公路各具体施工段的各控制区长度、限速值和限速位置,按照本方案的仿真评价方法,调整道路条件和交通流参数而得到。

单幅部分车道封闭模式下,各控制区长度推荐值为:警告段=1km、上游渐变段=30m、上游缓冲段=80m、下游缓冲段=50m、下游渐变段=30m、终止段=200m。

限速标志设置于作业区之前路段和作业区路段。作业区之前路段设置限速 70km/h,进入作业区设置限速 50km/h。解除限速标志设置位置在养护工区分流点结束后 200m。

4.3 基于连续流理论的施工路段服务水平分级

上面得到了作业区的可能通行能力,即作业区拥挤状态下能通过作业区的最大小时交通量。由连续流理论可知,当交通量达到最大时,如果车辆以临界速度通行,能更好地保证交通流的通行效率与安全。

根据三参数基本关系和格林希尔茨速度密度模型^[34],

$$Q = V \cdot K, \quad V = V_f \cdot \left(1 - \frac{K}{K_j}\right) \quad (4.1)$$

可得速度与流量的关系:

$$V = \frac{1}{2}(V_f + \sqrt{V_f^2 - 4V_f Q / K_f}) \quad (4.2)$$

该式有解的条件为:

$$Q \leq \frac{1}{4}V_f K_f \quad (4.3)$$

根据交通流理论可证明连续流时 $\frac{1}{4}V_f K_f = Q_m$, 因此可知在道路交通量小于或等于通行能力时, 式(4.3)恒有解。基于实际交通流量 Q , 可以得到临界速度 V_0 。

基于限速值-交通量-运行速度-临界速度的关系, 具体路段仿真过程中, 由给定限速值, 仿真运行获得平均车速 V , 得到速度比 V/V_0 。

经仿真分析, 得到基于限速值与交通量的速度比, 见表 4.8, 从而得到基于连续流理论的施工路段服务水平分级见表 4.9。

表 4.8 限速位置与可能通行能力仿真分析

评价指标	限速值 (km/h)						
	80	70	60	50	40	30	20
交通量	1500	1400	1000	800	600	500	400
(仿真) 平均速度	60	45	50	30	30	20	15
临界速度	75	65	55	45	35	25	15
速度比 V/V_0	0.80	0.69	0.91	0.67	0.86	0.80	1.00

表 4.9 基于限速值的施工路段服务水平分级

服务水平等级	限速值 (km/h)						
	80	70	60	50	40	30	20
	V/V_0						
一	≥ 1						
二	≥ 0.88	≥ 0.86	≥ 0.78	≥ 0.67	≥ 0.59	≥ 0.48	≥ 0.40
三	≥ 0.74	≥ 0.67	≥ 0.6	≥ 0.50	≥ 0.41	≥ 0.35	≥ 0.24
四	≥ 0.34	≥ 0.33	≥ 0.3	≥ 0.22	≥ 0.15	≥ 0.11	≥ 0.08

当作业区上游路段交通量小于或等于作业区通行能力时, 可以将此值作为车辆的推荐行驶速度, 以保证车辆安全高效地通过作业区路段。当作业区上游路段的交通量大于作业区通行能力时, 在作业区上游的各个入口就要对进入该路段的交通量进行控制, 以

避免车辆在作业区前方拥挤，造成堵塞。

4.4 整体路网方案一：全线保持原有正常交通

全线保持原有正常交通：大修改造过程中，不实施分流，车辆按原方向行驶。采用具体路段方案一和具体路段方案二相结合，即单幅封闭单幅通车和单幅部分车道封闭相结合的模式。

施工前与整体路网方案一的仿真数据，港-东方向详见表 4.10，东-港方向详见表 4.11。

表 4.10 整体路网方案一仿真分析（港-东方向）

路段位置	方案	路段长度(km)	平均车速(km/h)	平均行驶时间(min)
连接线起点→仙河立交	施工前	19.5	78.4	14.9
	整体路网方案一	19.5	57.2	20.5
仙河立交→孤滨立交	施工前	14	83.9	10.0
	整体路网方案一	14	62.1	13.5
孤滨立交→东滨立交	施工前	7.5	68.6	6.6
	整体路网方案一	7.5	48.9	9.2
东滨立交→东港路立交	施工前	20.5	77.6	15.9
	整体路网方案一	20.5	53.5	23.0
东港路立交→集贤立交	施工前	3.15	70.3	2.7
	整体路网方案一	3.15	50.3	3.8
总计	施工前	64.65	77.5	50.0
	整体路网方案一	64.65	55.5	69.9

表 4.11 整体路网方案一仿真分析（东-港方向）

路段位置	方案	路段长度(km)	平均车速(km/h)	平均行驶时间(min)
连接线起点←仙河立交	施工前	19.5	71.4	16.4
	整体路网方案一	19.5	62.1	18.8
仙河立交←孤滨立交	施工前	14	73.9	11.4
	整体路网方案一	14	56.3	14.9
孤滨立交←东滨立交	施工前	7.5	62.6	7.2
	整体路网方案一	7.5	42.1	10.7
东滨立交←东港路立交	施工前	20.5	72.6	16.9
	整体路网方案一	20.5	45.1	27.3
东港路立交←集贤立交	施工前	3.15	65.3	2.9
	整体路网方案一	3.15	45.1	4.2
总计	施工前	64.65	70.8	54.8
	整体路网方案一	64.65	51.1	75.9

从上述图表可以得出以下结论：

(1) 平均车速和平均行驶时间方面：在单幅封闭单幅通车和单幅部分车道封闭的交通组织方案下，港-东方向平均车速（55.5 km/h）比施工前（77.5 km/h）降低了 28.5%，东-港方向平均车速（51.1km/h）比施工前（70.8 km/h）降低了 27.8%。港-东方向平均行驶时间（69.9min）比施工前（50.0min）增加了 39.8%，东-港方向平均行驶时间（75.9min）比施工前（54.8min）增加了 38.6%。所以施工期间的交通延误对车辆速度和平均行驶时间影响较大。

(2) 沿线行驶速度方面：在单幅封闭单幅通车和单幅部分车道封闭的交通组织方案下，车辆在东港高速公路各路段上行驶速度变化较大，平均速度差达到了 15~20km/h。说明运行状况并不稳定，立交出入口或施工标段分界处都对车辆行驶影响较大。

4.5 整体路网方案二：全线封闭施工

全线封闭施工：大修改造过程中，禁止车辆在东港高速公路上通行，实施交通分流，原来通行于该公路的车辆绕行其他平行道路。

当东港高速公路大修改造工程施工期间全线均要求分流时，港-东方向采用以下交通分流路线，连接线起点→S310 东滨路→S231 河辛路→莱乌高速→东港路立交→无名路→集贤立交，东-港方向则反向。

整体路网方案二全线分流总长 88.2km。港-东方向平均车速为 64.6km/h，车辆经此分流路线的平均行驶时间为 81.9min，东-港方向平均车速为 63.5km/h，车辆经此分流路线的平均行驶时间为 83.3min。整体路网方案二、施工前与整体路网方案一的仿真数据，港-东方向详见表 4.12，东-港方向详见表 4.13。

表 4.12 整体路网方案二仿真分析（港-东方向）

路段位置	方案	路段长度(km)	平均车速(km/h)	平均行驶时间(min)
东港高速公路全线	施工前	64.65	77.5	50.0
	整体路网方案一	64.65	55.5	69.9
连接线起点→S310 东滨路	整体路网方案二	75.4	65.3	69.3
→S231 河辛路		3.3	50.5	3.9
→莱乌高速		5.3	75.3	4.2
→东港路立交→无名路→集贤立交		4.2	56.2	4.5
总计	整体路网方案二	88.2	64.6	81.9

表 4.13 整体路网方案二仿真分析（东-港方向）

路段位置	方案	路段长度(km)	平均车速(km/h)	平均行驶时间(min)
东港高速公路全线	施工前	64.65	70.8	54.8
	整体路网方案一	64.65	51.1	75.9
连接线起点←S310 东滨路	整体路网方案二	75.4	64.2	70.5
←S231 河辛路		3.3	48.6	4.1
←莱乌高速		5.3	72.3	4.4
←东港路立交←无名路←集贤立交		4.2	57.5	4.4
总计	整体路网方案二	88.2	63.5	83.3

从上述图表可以得出以下结论：

(1) 行驶时间方面：全线交通分流时，港-东方向车辆行程时间 81.9min 比施工前的 50.0min 增加了 64%，相比整体路网方案一全线均不分流时的 69.9min，增加了 17%。东-港方向车辆行程时间 83.3min 比施工前的 54.8min 增加了 52%，相比整体路网方案一全线均不分流时的 75.9min，增加了 10%。所以行程时间上整体路网方案一优于整体路网方案二。

(2) 平均车速方面：全线交通分流时，港-东方向平均车速 64.6km/h 比施工前的 77.5km/h 减少了 17%，相比全线均不分流时的 55.5km/h，增加了 16%。东-港方向平均车速 63.5km/h 比施工前的 70.8km/h 减少了 10%，但相比全线均不分流时的 51.1km/h，增加了 24%。

考虑到不分流时车辆平均行驶速度会受堵塞或交通事故影响而更低，所以仅就平均车速而言，整体路网方案一优于整体路网方案二，即全线分流优于全线均不分流。

从通行能力与交通安全和施工安全方面考虑，交通分流路线为省道和莱乌高速，通行能力较大，能保证车辆顺畅行驶，并且消除了对工程施工现场的干扰，施工安全能够得到最大的保障。因此，整体路网方案二略优于整体路网方案一，即全线分流略优于全线均不分流。

4.6 整体路网方案三：部分路段封闭

部分路段封闭：大修改造过程中，部分路段实施交通分流，部分路段维持原有交通。

划分为 5 个部分路段，研究局部交通分流方案以及对周边道路的影响。周边道路原状与整体路网方案一的仿真数据，港-东方向详见表 4.14，东-港方向详见表 4.15。

表 4.14 整体路网方案三仿真分析（港-东方向）

路段位置	方案	路段长度 (km)	平均车速 (km/h)	平均行驶时间 (min)
①分流路段 1: 起点到仙河立交封闭 连接线起点→S310 东滨路→S231 河辛路→仙河立交	周边道路原状	24.1	67.5	21.4
	整体路网方案三-1	24.1	60.3	24.0
②分流路段 2: 仙河立交到孤滨立交封闭 仙河立交→S310 东滨路→无名路→S312 孤滨路→孤滨立交	周边道路原状	16.3	56.5	17.3
	整体路网方案三-2	16.3	42.3	23.1
③分流路段 3: 孤滨立交到东滨立交封闭 孤滨立交→S312 孤滨路→S310 东滨路→东滨立交	周边道路原状	10.2	58.3	10.5
	整体路网方案三-3	10.2	45.6	13.4
④分流路段 4: 东滨立交到东港路立交封闭 东滨立交→S310 东滨路→S231 河辛路→莱乌高速→东港路立交	周边道路原状	35.5	64.2	33.2
	整体路网方案三-4	35.5	60.2	35.4
⑤分流路段 5: 东港路立交到集贤立交封闭 东港路立交→无名路→集贤立交	周边道路原状	4.2	65.3	3.9
	整体路网方案三-5	4.2	53.4	4.7

表 4.15 整体路网方案三仿真分析（东-港方向）

路段位置	方案	路段长度 (km)	平均车速 (km/h)	平均行驶时间 (min)
①分流路段 1: 起点到仙河立交封闭 连接线起点←S310 东滨路←S231 河辛路←仙河立交	周边道路原状	24.1	65.5	22.1
	整体路网方案三-1	24.1	58.3	24.8
②分流路段 2: 仙河立交到孤滨立交封闭 仙河立交←S310 东滨路←无名路←S312 孤滨路→孤滨立交	周边道路原状	16.3	51.5	19.0
	整体路网方案三-2	16.3	41.3	23.7
③分流路段 3: 孤滨立交到东滨立交封闭 孤滨立交←S312 孤滨路←S310 东滨路←东滨立交	周边道路原状	10.2	54.3	11.3
	整体路网方案三-3	10.2	43.6	14.0
④分流路段 4: 东滨立交到东港路立交封闭 东滨立交←S310 东滨路←S231 河辛路←莱乌高速←东港路立交	周边道路原状	35.5	63.2	33.7
	整体路网方案三-4	35.5	56.4	37.8
⑤分流路段 5: 东港路立交到集贤立交封闭 东港路立交←无名路←集贤立交	周边道路原状	4.2	65.0	3.9
	整体路网方案三-5	4.2	52.6	4.8

从上述图表可以得出以下结论:

(1) 沿线车速方面: 道路交叉口对分流交通量的影响很大, 车辆在交叉口处速度降低很多。例如, S312 孤滨路→S310 东滨路交叉口处, 平均路段速度一度降到 15~20km/h 以下, 且存在排队延误情况, 平均延误和排队长度都比不分流时增加了很大, 莱乌高速公路由于本身交通量较小, 车速很快, 分流车辆基本可以保持自由行驶。S312 孤滨路和 S310 东滨路上的车速与莱乌高速公路相比降低了一个档次, 但分流车辆对其车速造成的影响并不大, 体现在分流前和分流后车速的变化比较小。所以, 为了保证分流车辆的顺畅行驶, 主要的措施应当是提高相关道路交叉口的通行能力, 在高速公路分流的那段时间内, 多安排交警和交通协管人员到分流相关的各个拥挤路段和交叉口指挥、管理交通。

(2) 对分流道路的影响方面: 港-东方向分流路段 2 和分流路段 3 对原有道路影响

较大。分流路段 2 的行车时间 23.1min 比交通不分流时 17.3min 增加了 33%，分流路段 3 的行车时间 13.4min 比交通不分流时 10.5min 增加了 28%。行程时间的增加主要体现在分流路段 2 上。究其原因，主要是该段行车路线受左转行驶和交叉口的影响，且无名路的通行质量差。

仿真说明，互通立交型式极大地限制了左转交通通行能力，造成交通分流来的车辆排队延误。建议采用此方案对东港高速公路进行分流时，安排交警或交通协管人员指挥交通，采用适当的交通管制措施，以利于左转车辆的行驶，提高通行能力，保证交通分流车辆的顺利通行。

对于相关道路排队延误很长的交叉口或堵塞非常严重的路段，应多安排交警和交通协管人员到现场指挥、管理交通。若分流时间长，也可以考虑调整信号灯的周期和红绿灯时间，或者实行交通管制，另辟新路，或者与城市交通管理系统一起，统筹安排。

4.7 基于整体路网角度的方案评价

三个交通分流方案交通仿真数据汇总见表 4.16、表 4.17。

表 4.16 方案一与方案二对比汇总表（双向）

交通分流方案	路段长度 (km)	平均车速 (km/h)	平均行驶时间 (min)	对周边道路的影响	对施工的影响	推荐方案
施工前	64.65	74.0	52.4			整体路网方案一
整体路网方案一	64.65	53.2	72.9	无	中度	
整体路网方案二	88.2	64.1	82.6	较大	对孤滨、东滨、集贤立交处施工影响较大	

表 4.17 方案三与方案一对比汇总表（双向）

路段位置	方案	路段长度 (km)	平均车速 (km/h)	平均行驶时间 (min)	对周边道路的影响	对施工的影响	推荐方案
连接线 起点→ 仙河立交	整体路网方案一	19.5	59.5	19.7	无	中度	整体路网方案 三-1
	周边道路原状	24.1	66.5	21.8			
	整体路网方案三-1	24.1	59.3	24.4	较大	无	
仙河立交→孤 滨立交	整体路网方案一	14	59.2	14.2	无	中度	整体路网方案 一
	周边道路原状	16.3	53.9	18.2			
	整体路网方案三-2	16.3	41.8	23.4	较大	对孤滨立交处 施工影响较大	
孤滨立交→东 滨立交	整体路网方案一	7.5	45.2	10.0	无	中度	整体路网方案 一
	周边道路原状	10.2	56.1	10.9			
	整体路网方案三-3	10.2	44.7	13.7	较大	对孤滨和东滨 立交处施工影 响较大	
东滨立交→东 港路立交	整体路网方案一	20.5	48.9	25.2	无	中度	整体路网方案 一
	周边道路原状	35.5	63.7	33.5			
	整体路网方案三-4	35.5	58.2	36.6	较大	无	
东港路 立交→ 集贤立交	整体路网方案一	3.15	47.3	4.0	无	中度	整体路网方案 一
	周边道路原状	4.2	64.6	3.9			
	整体路网方案三-5	4.2	53.1	4.8	较大	对集贤立交处 施工影响较大	

在东港高速公路加宽大修改造工程期间，具备很好的交通分流条件，那就是三条省道和莱乌高速公路。对于整体路网方案一和整体路网方案二，即全线保持原有正常交通模式和全线封闭施工模式，仿真评价推荐整体路网方案一，即全线保持原有正常交通。

对于整体路网方案一和整体路网方案三的比较，单从仿真数据表明，整体路网方案三-1 分流的方案要优于不分流，即优于整体路网方案一的相应路段。但是局部路段分流在东港高速公路的具体施工中存在以下问题。

车辆通过城市道路分流，需要耗费大量的人力、物力和财力，加强分流所经城市道路的交通管理和管制，以提高道路和交叉口的通行能力和行车安全性。交通管理人员在经城市道路交通分流操作中稍有懈怠，便会使交通运行难以控制，造成长距离长时间的排队堵塞，交通事故频发。为了使过往车辆能够清楚了城市道路交通分流路线，需要设置大量的分流交通标志和交通设施，但并不能起到预期效果，因为当分流车辆进入市区后，与市区运行车辆融合，很难管理，熟悉道路环境的车辆可能会选择其它路径通过市区，而不熟悉环境又不遵从分流路线行驶的车辆，则很可能迷路，增加了计划分流路线以外的其它道路的通行压力，产生不可遇见的后果和恶劣影响。对此，负责交通分流工作的交通管理人员除了在分流前做好宣传教育工作，设置大量的引导分流行车的交通设施外，只能寄希望于驾驶员自觉配合与文明行车，毫无其他有效可行的办法。

综上所述，本课题推荐方案为整体路网方案一，即全线保持原有正常交通，不实施分流方案。

4.8 本章小结

本章从具体路段角度和整体路网两个角度，进行了仿真结果分析，建立了方案评价体系。从具体路段角度，对铜黄和西宝高速公路养护工区具体路段的各控制区长度以及限速值与最大可能通行能力的关系，进行了数据分析，提出了基于连续流理论的养护工区服务水平分级。并对东港高速公路进行例证，得到适合东港高速养护工区参数的推荐值。从整体路网角度，对全线保持原有正常交通、全线封闭施工、部分路段封闭三种整体路网方案，进行了数据分析，建立了整体路网评价体系。

结论和展望

1 结论

本文希望通过微观交通仿真系统对高速公路养护工区交通组织方案进行分析与研究,建立东港高速公路及相关路段的道路网信息系统和交通仿真系统模型。主要取得了以下研究成果:

(1) 具体路段交通仿真模型

基于具体路段角度,运用微观交通仿真软件 VISSIM,建立养护工区具体路段的道路信息系统,交通仿真系统模型,为不同的保通方案及其相应的交通组织方案建立交通仿真系统模型。

(2) 基于连续流理论的养护工区服务水平分级

对不同的保通方案进行应对交通状况敏感性分析与研究,基于养护工区具体路段角度,根据交通仿真系统模型和输出成果,进行交通组织方案评价,作为保通方案选取和执行的参考依据。

(3) 整体路网交通仿真模型

建立研究分析高速公路大修改造工程保通方案的科学方法,并以东港高速公路为依托工程进行实证,针对东港高速公路大修工程影响区域内主要道路的分布情况,实际调查影响区域内所有主要道路的交通特性与交通状况,包括车流量、车速、路况等。

(4) 整体路网交通组织方案评价方法

对东港高速公路大修工程保通方案中的限速方案和分流方案进行研究,以行程时间和平均车速作为研究指标,根据交通仿真结果,进行方案比选,建立整体路网交通组织方案评价体系。

2 展望

本文在交通仿真过程中,仍然存在缺陷和局限性,如:

(1) 仿真模型需要大量的输入数据,对于某些实际问题,如立交各匝道交通流量,这些数据很难或无法准确获得。

(2) 仿真模型需要验证、标定、进行有效性检验,如果忽视了这一点,仿真结果将会失实。

(3) 建立仿真模型不仅需要大量的知识,如交通流理论、计算机程序设计、概率论、决策论、统计分析等等,而且需要对所研究的道路交通系统有充分的了解。

(4) 若仿真软件使用者只局限于简单地套用其数据模型,而对于模型的限制条件和基本假设并不清楚,或将其视为“黑箱”。对其含义并不了解,将会可能导致错误的结论。

交通仿真技术对于系统模型有着极强的依赖性,而要建立系统模型,就必然要对真实系统进行简化抽象,这必然要引起某种程度的“失真”。事实上,这是系统仿真技术本身固有的缺陷。对于道路交通这样一个随机的、动态的、复杂的系统,这一问题显得尤为突出。正如美国研究者在“不相存定理”中所指出的,复杂性和精确性是互相矛盾的,随着系统复杂性的增加,人们对其进行精确描述的能力就会下降,直至达到这样一个界限,即精确的描述失去其意义。在这种情况下,人们只能寻求某种“折衷”的办法,在精确性和有效性之间达成某种“妥协”。

因此,当我们面临一个实际的交通问题需要解决时,首先要考虑选用其他的交通分析方法,而交通仿真技术只是最后的选择,也就是只有当确认其他方法不足以解决所论问题时,才需要进行仿真实验。对仿真输出,要采取审慎的态度,结合其他定性或定量的分析入法,对真实系统的行为做出正确的推断。

参考文献

- [1] 高速公路丛书编委会. 高速公路交通工程及沿线设施[M]. 北京: 人民交通出版社, 2005年2月
- [2] 马荣国, 杨立波编. 交通工程设计理论与方法[M]. 北京: 人民交通出版社, 2002年8月
- [3] 王建军、严宝杰编. 交通调查与分析[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004年
- [4] 毛保华. 道路交通仿真技术与系统研究[J]. 北方交通大学学报, 2002年10月
- [5] 翟忠民编. 道路交通组织优化[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004年
- [6] 裴玉龙, 张亚平, 等著. 道路交通系统仿真[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004
- [7] JTJ073—96. 公路养护技术规范[S]. 人民交通出版社. 1996: 47~52
- [8] 巴布可夫. 道路条件与交通安全[M]. 同济大学出版社. 1990: 285~291
- [9] 冯道祥. 连霍高速公路郑州段改建工程保通方案研究[D]. 东南大学硕士论文, 2006
- [10] 金双泉, 李硕, 杜攀峰. 交通仿真技术在道路信号线控中的研究[J]. 公路交通科技. 2003年8月
- [11] 中华人民共和国国标. 道路交通标志和标线 GB5768-1999[S]. 国家质量技术监督局, 1999
- [12] 冯超铭. 高速公路施工作业区的安全管理[J]. 广东交通职业技术学院学报. 2004(1): 40-42
- [13] 吴新开, 吴兵. 高速公路养护维修作业区行车速度控制方法探讨[J]. 公路, 2004(7): 132-137
- [14] 张丰焰, 周伟等. 高速公路改扩建工程交通组织设计探讨. 公路. 2006, (1)
- [15] 何小洲, 过秀成等. 高速公路施工区交通特性分析. 公路. 2005.(12) : 111~115
- [16] 王炜编. 公路工程施工安全生产指南[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003年10月
- [17] 周茂松, 吴兵, 盖松雪. 高速公路养护维修作业区通行能力影响因素的微观仿真研究. 交通与计算机[J]. 2004, 22(6)
- [18] 陈旭. 车道由四变八施工不断交通-沈大高速公路改扩建[J]. 现代高速, 第八期

- [19] 交通部公路科学研究所. 高速公路交通安全设施设计及施工技术规范. JTJ 074-94[S]. 北京: 人民交通出版社, 1994
- [20] 刘志明. 沈大高速公路改扩建工程施工中的技术关键[J]. 中国公路, 2004 年 20 期
- [21] 商蕾, 高孝宏, 孙峻. 微观交通仿真模型研究[J]. 交通科技. 2003 年第 1 期
- [22] 许峰. 沪宁路边改建边通车-高速公路不断交改扩建的交通组织[J]. 中国公路, 2005 年 01 期
- [23] 于凤河、张永明、宋金华编.道路改扩建工程设计与施工技术[M]. 北京:人民交通出版社, 2004 年
- [24] US Transportation Research Board.Highway Capacity Manual[M]. Washington, D.C., USA, 2000
- [25] Chun-Hung Chen,Paul Schonfeld. Work Zone Lengths for a Four-Lane Road with an Alternate Route[M/CD].Preprints of the Transportation Research Board 82th Annual Meeting, Washington, D.C., January 2003
- [26] Steven Chien, Paul Schonfeld. Optimal Work Zone Lengths for Four-Lane Highways. Journal of Transportation Engineering.2001,(3)
- [27] Steven Chien, Yimin Tang, Paul Schonfeld. Optimizing Work Zone for Two-Lane Highway Maintenance Projects. Journal of Transportation Engineering.2002,(3)
- [28] Paul Schonfeld, Steven Chien.Optimal Work Zone Lengths for Two-Lane Highways. Journal of Transportation Engineering.1999,(9)
- [29] Partrick S.Byrd, Geza Pesti, Daniel S.Jessen, Patrick T.McCoy. Traffic Flow Characteristics of The Late Merge Work Zone Control Strategy. The 78th Annual Meeting Transportation Research Board, Washington,D.C.,revised.1999
- [30] 钟连德, 荣建等. 仿真求解快速路交织区通行能力[J]. 公路交通科技. 2006, 23(4)
- [31] 何小洲. 高速公路施工区交通组织及行车仿真研究[D]. 东南大学硕士论文, 2005
- [32] 熊烈强. 路段通行能力及其服务水平指标的研究[J]. 武汉理工大学学报. 2004, 11 (4)
- [33] 张德和, 徐晓慧主编. 道路交通安全管理基础理论[M]. 北京: 中国人民公安大学

出版社, 2002: 210-215

[34] 王伟, 过秀成, 等编著. 交通工程学[M]. 南京: 东南大学出版社, 2000: 135-140

[35] 吴新开, 吴兵. 高速公路养护维修作业区行车速度控制方法探讨[J]. 公路. 2004, (7) : 132~137

[36] 孙剑, 杨晓光. 微观交通仿真模型系统参数校正研究-以 Vissim 的应用为例 [J]. 交通与计算机. 2004, 22(3)

致 谢

本文是在我的导师许金良教授和杨宏志副教授的悉心指导下完成的。三年来，两位导师在专业领域给予我明确而清晰的指导，许老师严谨求实的治学理念、睿智从容的工作方式，杨老师锐意进取的作风、乐观自信的态度，都为我树立了追求的坐标，将永远是激励我不断进取的一笔宝贵精神财富！同时，两位导师在工作生活等方面也给予了许多支持和关怀，在此表示由衷的谢意和深深的敬意。

感谢三年以来课题组给我提供的锻炼机会，在这个温暖的集体当中，我不断的成长、进步。感谢与我一同奋斗的所有课题组同学们，是你们在我学习和工作中不时的提出宝贵意见，和你们一起渡过的快乐时光，我永远难忘。

感谢读研期间给予我帮助和支持的其他老师、同学和朋友，是你们的关怀和鼓励给了我战胜困难的决心，同时在我的学习中给予了莫大的帮助。

回首多年求学之路，我感慨万千。是父母用农民的朴实教会我怎样做人，是家人用不懈的努力让我看到未来，你们的亲情将伴我一生，直到永远！