

分类号：U49；F5

10710-2011121148



长安大学

硕士学位论文

高速公路事故条件下
交通诱导关键技术研究

李炼恒

导师姓名职称	马荣国 教授		
申请学位级别	硕士	学科专业名称	交通运输规划与管理
论文提交日期	2014 年 06 月 03 日	论文答辩日期	2014 年 06 月 07 日
学位授予单位	长安大学		

**Key Technology Research of Traffic
Guidance under Freeway Traffic Accident Condition**

A Dissertation Submitted for the Degree of Master

Candidate: Li Lianheng

Supervisor: Prof. Ma Rongguo

Chang'an University, Xi'an, China

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：李博恒

2014年6月9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：李博恒

2014年6月9日

导师签名：马毅

2014年6月9日

摘要

我国高速公路运输事业的快速发展给人们的出行带来很大的便利，同时不断推动着各地区经济的发展。另一方面，高速公路的事故发生率也呈现居高不下的形势。由于高速公路上行车速度较快，一旦发生交通事故，所带来的财产损失、人员伤亡不可估量，而由交通事故引发的交通拥堵也屡见不鲜。高速公路事故引发的交通拥堵，不仅会对高速公路上的出行者造成极大的出行延误，严重时其影响会蔓延至高速公路所处路网的其他道路上，从而降低整个路网的通行能力。

交通诱导作为疏散交通的重要措施，能够有效地降低交通事故拥堵造成的损失，提高路网的整体运行效率。本文首先分析了高速公路事故容易引发拥堵、难于救援的特点，进而提出了不同服务水平、事故形态下交通诱导的适用性，并分析了对于不同的出行者而言其主要的交通诱导需求。

通过问卷调查获得驾驶员对交通诱导心理认知的数据，分析驾驶员个人属性对其接受交通诱导意愿的影响，确定驾驶员接受交通诱导的时间忍耐度、节约时间界限及绕行距离界限。将调查分析的结果应用到分流点、分流路径的确定当中，并根据所确定的分流路径剩余通行能力，判断高速公路可以分流的交通量。

运用统计软件 SPSS 拟合出诱导分流的 logit 离散选择模型。基于一系列的理论分析，以京昆高速公路某处发生事故为例，制定适宜的交通诱导方案。通过拟合的 logit 模型确定每条分流路径的分流量，一定程度上符合驾驶员接受交通诱导的意愿，后续还需进一步地改善调查方案及模型的构建方法。

关键词：高速公路、交通事故、交通诱导、分流量

Abstract

The rapid development of freeway transportation industry to bring people a lot of travel convenience, while continuing to promote economic development of different regions. On the other side, the highway accident rate also shows high situation. As the fast driving speed in freeway, once traffic accidents happened, the property damage and personal injury or death are immeasurable, also the traffic jams caused by the accident are not uncommon. Traffic congestion caused by freeway accident, may not only causes great travel delays for travelers of the freeway, but also severe impact will spread to other roads which locate on the same network as the accident freeway.

As an important measure of evacuating traffic, traffic guidance can effectively reduce the loss caused by traffic congestion of accidents, and improve operational efficiency of the road network. This paper analyzes the features of freeway accidents as be apt to cause congestion and be difficult to organize rescue, and then put forward the applicability of traffic guidance in different level of service and form of traffic accidents, and analyzes the main transport induced demand for different travelers.

Obtaining data of the drivers' psychology cognitive on traffic guidance through the questionnaires survey, this paper analyzes the influence of the driver's individual attributes to willingness of traffic guidance, determines the degree of driver's time tolerance, boundaries of saving time and detour distance of accepting traffic guidance. The analysis results of the survey will be applied to determining the diversion points and the shunt paths and according to the remaining capacity of the determined shunt paths to calculate flow diversion.

This paper uses statistical software SPSS to fit the logit model for induced diversion. Based on a series of theoretical analysis, to Jingkun freeway accident happens somewhere, for example, to develop appropriate traffic guidance program. With the logit model fitted, the traffic flow diversion on each path is determined, which is in line with the willingness of the drivers for traffic guidance. In the follow, the survey programs and the construction method of the diversion model need to be further improved.

Keywords: Freeway, Accidents, Traffic guidance, Fractional flow

目录

第一章 绪论	1
1.1 研究背景及意义	1
1.1.1 研究背景	1
1.1.2 研究意义	3
1.2 研究现状	4
1.2.1 国外研究现状	4
1.2.2 国内研究现状	5
1.3 研究内容及思路	6
1.3.1 研究内容	6
1.3.2 研究思路	8
第二章 事故条件下交通诱导适用性及需求分析	9
2.1 高速公路交通事故特性分析	9
2.2 交通事故条件下诱导的适用性分析	10
2.2.1 不同服务水平下的交通诱导措施	10
2.2.2 不同事故情形下的交通诱导	12
2.3 交通诱导需求分析	13
第三章 引导性交通诱导形式下驾驶员意愿调查与分析	15
3.1 调查问卷设计及实施	15
3.1.1 问卷设计	16
3.1.2 调查实施	17
3.2 调查结果统计	18
3.2.1 驾驶员个人属性统计	18
3.2.2 交通诱导情景假设统计	18
3.3 调查结果分析	20
3.3.1 交通诱导情景假设选择意愿分析	20
3.3.2 驾驶员个人属性对其意愿影响分析	24
3.4 调查结果在交通诱导中的应用	26
第四章 交通诱导方法研究	28
4.1 分流点确定	28
4.2 分流路径确定	29

4.3 分流量确定	31
4.3.1 事故路段分出流量确定	31
4.3.2 可分流路径分流量确定	32
第五章 实例分析	36
5.1 京昆高速成绵段路网环境	36
5.2 交通诱导背景分析	38
5.3 交通诱导分流	40
第六章 结论与展望	44
6.1 结论	44
6.2 展望	45
参考文献	47
附录	50
攻读学位期间取得的研究成果	51
致谢	52

第一章 绪论

1.1 研究背景及意义

1.1.1 研究背景

国家高速公路运输的快速发展，极大的提高了我国公路运输系统的整体水平，优化了交通系统结构，并且促进我国经济的快速发展及社会的进步。然而，随着全国高速公路出行需求的急剧增长，高速公路的建设也不能很好的满足其总体的交通需求，高速公路交通拥堵越发频繁，而其影响地路网范围之广，持续时间之长，也让我们不得不对其更加重视，尤其是在高速公路发生交通事故的情况下，其后果更加严重。

由于高速公路车流量增加，车辆超载、超速、驾驶员疲劳驾驶等违规行为，导致交通事故数居高不下，而交通事故引发的交通拥堵也屡见不鲜。2012 年 5 月 7 日沪宁高速苏州段一桥梁处，由于此前一辆运输危险化学品的车辆翻车，致泄露的化学药品于上午 9:24 起火。截至 15:30，拥堵车辆开始实行分流，至此，该起事故已造成沪宁高速苏州段拥堵长达 6 个小时。尽管事发路段已恢复通车，由于火灾可能对桥梁牢固度产生影响，需要对桥梁牢固度进行检测，在结果出来之前，50 吨以上货车全部禁止通行。沪宁高速交警方面表示，这意味着大型货车可能要一个半月或两个月后才能通行。



图 1.1 沪宁高速苏州段交通拥堵

2013 年 12 月 1 日上午 7 时 30 分许，南宁机场高速去往机场方向两辆大货车相撞。事故发生后，交警迅速赶往现场处理，但因大货车难以快速移动，车辆排队长度一度达到三四公里。直至当日中午 12 时许，排队的车辆大致疏散，排队长度不到一公里，而

此次交通堵塞造成 113 人未赶上航班。



图 1.2 南宁机场高速交通拥堵

高速公路事故引发的交通拥堵，会给人民的出行带来极大的不便。受交通事故影响地出行者并不仅仅是那些想要通过事故瓶颈路段的人。如果拥堵排队蔓延至上游出口匝道，那么交通事故同样也会影响到目的地是事故瓶颈路段上游的出行者，也就是这些出行者即使并不经过事发路段，其出行仍然会被延迟^[1]。并且，在交通拥堵的状况下，事故紧急救援车辆也无法顺利到达，这就进一步延长了拥堵的时间，拥堵范围也随之扩大。在此种混乱的交通环境中行车，驾驶员也可能由于判断情况不准确，引发二次交通事故，造成更多的人员伤亡和财产损失。可见，高速公路事故引发的交通拥堵，影响之深远，危害之大。

如果高速公路发生交通事故，必须采取相关的诱导措施，使其与当前的路网环境、行车环境相适应，改善拥塞状况，尽可能的减少事故所带来的影响。结合相关交通组织、控制措施，利用已有的一些高速公路沿线交通设施、设备，快速实现事故的救援与交通疏导，保证高速公路及周围路网的正常交通运行。针对交通诱导，各国学者做了大量的研究，但大多数的研究仅从管理者的角度来研究路径分配算法，为出行者提供某条绕行路径信息。交通诱导作为一项引导性为主的疏散措施，更需要满足驾驶员的心理需求，从而使其能够达到预期的效果，提高驾驶员对于诱导系统的信任度。所以本文将从出行者的角度去考虑如何制定相关的交通诱导策略。

1.1.2 研究意义

高速公路行车速度快、全封闭等特点决定其发生事故的严重性。对于如何缓解高速公路事故带来的影响，尤其是事故拥堵带来的影响，存在着一系列的交通组织措施，其中包括交通诱导。在以往研究的基础上，本文更加注重对驾驶员即交通诱导方案使用者的心理认知研究，企图制定出更为广大出行者所接受的交通诱导方案。如此使制定的交通诱导方案更加符合现实的交通状况和驾驶员的心理预期，提高制定的诱导方案的可靠性及可信度，使得在非强制的情况下驾驶员能够尽可能地按照显示的诱导信息来选择分流路径。更多的站在交通诱导方案使用者而并非制定者的角度去考虑具体的分流方案中所涉及到的问题。从而使得交通诱导方案能否发挥其实际作用，解决交通事故条件下交通拥堵的问题，迅速分流车辆，避免造成大范围的延误及严重的经济损失或人员伤亡。

根据发达国家的相关统计资料表明，有效的救援措施及合理的交通诱导方案可以起到快速疏散拥堵的车辆的作用，将交通事故灾害的损失降低为完全无应急措施的 6%^[2]。当高速公路主线发生交通事故时，交通诱导主要可以起到如下几方面作用。

1、保障交通安全

一切的交通组织措施的实施都必须把保证车辆的行车安全作为基础，通过有效的交通诱导策略，可及时疏导事故路段行驶车辆，避免因过度混乱的交通运行状况导致二次事故的发生。采取交通诱导措施分流车辆，有利于保证一定的安全可靠度^[3]。

2、控制交通事故的影响范围

如果任由高速公路交通事故发展，那么其事态必将一发不可收拾，由事故引发的交通拥堵不仅会影响到事故现场上下游主线及相关出入口匝道，还会扩散到事故高速公路所处路网。制定引导性的交通诱导策略，引导车辆由其他路径绕行或分流，从而减轻事故高速公路的交通压力，避免事故影响范围的进一步扩大。

3、减少车辆行车延误

严重的高速公路交通事故将造成极大的出行延误，造成严重的经济损失。而通常选择由其他的合理线路绕行，则可以在一定程度保证绕行时间小于事故道路的总体行程时间^[30]，从而减少交通事故带来的损失，保证道路交通运行效率。

4、保障系统最优

事故诱导信息主要是面向道路使用群体发布的，制定的交通诱导策略不仅应该考虑如何缓解事故高速公路的交通拥堵，更应该有助于保证和提高整个道路系统的运行，实现全局最优的目标。

1.2 研究现状

交通诱导分流与动态交通分配有很大程度的相似性,针对于交通分配,国内外研究者提出了多种分配算法,并且仍处于不断的发展更新当中。对于交通诱导的研究,学者们主要集中在对于城市道路大范围的交通导控策略上,也有针对于交通拥堵状况下区域路网的交通诱导疏散研究。对于高速公路,则研究拥堵状况下的交通管理、控制措施和诱导方案。有针对于灾害条件下、交通事件条件下的交通控制、诱导及应急救援方面的研究。不管是微观方面的关键技术还是宏观方面的诱导策略研究,都在不断推动着交通诱导方案的制定与实施的进一步发展。

1.2.1 国外研究现状

Looze (1980 年)将交通诱导问题定义为分散的线性二次型问题,并通过将其进一步转化为非线性参数问题进行求解^[4]。Gartner 和 Gershwin (1983 年)模拟高速公路发生事故的情况,将驾驶员出行选择行为与交通网络控制相结合,建立了 mixed 最优规划模型^[5]。该模型与二层规划相似,高层规划主要是如何利用交通控制设备对交通流进行速度控制和分流,而低层规划则主要是如何利用出行者路径选择来疏散交通流,从而避免发生交通拥堵。Yorgos J 和 Stephanedes (1990 年)提出了控制高速公路综合网络和响应在线控制变化的新方法。克服了现有方法的特点,更加适合在线最优控制^[6]。Thanavat (1994 年)在《集成路线分配和交通仿真系统大规模并行计算架构》一文中提出了几个分析 ATMS 的模型,主要包括以下内容:交通运营环境分析;存在交通资源竞争或交通运行状态不稳定时的有效分流方案;在有或者无出行信息系统的条件下不同的出行者路径选择行为模型^[7]。

David E. Boyce 和 Der-Horng Lee (1997 年)提出了一种动态用户最优路径选择模型预测的实时交通流的先进交通管理系统。模型可以用来模拟因车辆熄火、物体散落、交通事故而引发的换道行为。虽然还没有充分验证,这种模式是能够预测的时间依赖性交通这是合理的特性大规模交通网络和内部一致的。动态路径选择模型应纳入交通控制和管理中心,以支持对动脉信号配时,匝道,事故管理,以及未来的路线指导策略调整的决定^[8]。Markos 提出了针对复杂路网的一种基于当前旅行时间的分散反馈交通诱导技术。他在文中提到,将每条分流路径的行程时间确定为相同时间的情况下,运用动态分配算法计算出每条路径的分流量,并不一定能够使每条路径的实际行车时间相同。但在实际的交通运行情况中,这不失为使各路径行程时间最靠近真实值的有效手段^[9]。

Dither M (1999 年)认为, 只有将驾驶员信息系统与交通管理系统相结合, 才能起到缓解交通拥堵的作用。突发状况下, 系统需要采取行动及诱导策略, 并且调整相应的控制参数。作者通过相关研究提出了交通事故条件下新的交通管控策略:通过可变信息办告知出行者不同绕行路径的行车时间, 同时应用信号控制措施, 让驾驶员了解行车路线延误情况及建议分流路线^[10]。Younes 等 (2004 年)在假设驾驶员绝对接受制定的交通诱导方案来选择行车路径的动态分配模型。在能确定路网容量的前提下, 以离散的时间序列模式来描述交通流的变化状态。该模型考虑出行者的个人偏好, 按照先进先出的规定, 在每一对 OD 点上, 只要行车时间延误最小, 交通量就可均衡分配^[11]。Y. Shiftan 将 RP 和 SP 两个实验中收集到的数据用于构建组合的 RP-SP 路由选择模型。该模型还包括描述驾驶员的个人特征因素, 当驾驶员有较多的个人经验时, 更不容易受到发布信息的影响。在一个简化的路网中, 坏的经验与信息的影响似乎对路由选择行为的确比最初的偏好影响更小^[12]。Alessan 提出了高速公路交通事故条件下限速策略与交通诱导策略相互结合的管控方案, 在考虑限速策略对交通流速度、密度影响地条件下, 提出了空间时间离散后的控制模型^[13]。

1.2.2 国内研究现状

我国的高速公路网络正在不断的发展假设中, 业内研究人员、专家也在对高速公路管理控制、交通诱导等方面进行不断的研究, 企图构建适宜不同地区、不同气候、不同交通状况下的交通管控策略, 从而提高高速公路网络的通行能力, 满足出行者的需求。

1999 年, 杨兆升将交通诱导系统分为可变信息标志和单车诱导。可变信息标志诱导系统由管理这操纵, 能够在合适的位置发布实时的交通信息, 包括事故信息、道路信息、诱导信息等。而单车诱导则主要是通过车内导航设备接收相关的交通信息。根据我国现阶段的情况, 可以配备使用这两种系统^[14]。

2004 年, 姜紫峰等人根据已有的交通流动态模型, 提出了一种如何消除交通流高密度区因突发事件引发的交通拥堵的方法^[15]。2005 年朱军功等提出可以借助高速公路已有的标志来建立高速公路信息发布系统, 通过发布相应的交通信息以引导出行者选择连续、平稳的方式更改出行路线^[16]。2008 年, 李春元提出了大规模交通路网环境下求解多路径分配的改进算法, 即改进的遗传算法, 针对城市道路网的情况, 通过改进染色体编码的具体方式, 引入多种群并行的遗传算法, 运用仿真软件进行仿真运行, 克服其易陷入局部最小值、前期收敛较快的问题, 得到较为满意的结果^[17]。

2009 年, 靳引利提出了高速公路突发事件下发布诱导信息地点确定及绕行路径信息预测的动态方法。提出负荷水平的概念, 以此作为确定个分流路径分流量的依据。提出了高速公路交通流高密度状态下的交通控制策略, 根据诱导分流的需要, 将控制不同绕行路径的信息显示周期作为流量控制目标, 以此形成柔性的控制系统^[18]。2010 年, 于悦在分析出行者选择路径的特点基础上, 将最短绕行路径的复杂程度作为目标, 构建了基于路径复杂程度及交通疏散时间的救援疏散双目标模型; 构建了以道路安全、道路连通性、绕行时间为目标的应急多目标路径优化模型^[19]。

天津大学的刘建美提出可用于单车导航的动态路径分流计算方法, 在分析过程中同时考虑驾驶员的超车行为和路径行程时间的动态变化。基于多博弈的虚拟行动规则和收益矩阵的特点, 分析了不同参数的收敛性特征及其相对应的结果, 不管是对于管理者还是出行者而言, 这些结果都对具体策略的选择有一定的指导意义^[20]。2012 年, 聂伟分析了在高速公路隧道发生火灾情况下, 不同流量和拥堵时间影响区和控制区的交通诱导和控制方案。影响区, 主要可运用限速设施及可变信息板来导控进入的车辆; 而控制区则需同时加强诱导并且禁止事故点与其上游互通立交之间的车辆进入隧道, 从而有效控制隧道火情, 避免拥堵的进一步扩大, 以隧道发生事故情况为例, 分析其可行的交通控制与诱导措施^[21]。

1.3 研究内容及思路

1.3.1 研究内容

本文主要是针对正常天气下高速公路事故中的交通诱导选择意愿、交通诱导关键技术进行研究, 主要涉及以下几方面内容:

1、高速公路事故特点及交通诱导适用性、需求分析

分析我国高速公路事故的典型特征, 从而提出事故条件下交通诱导的重要性。以双向四车道、设计速度 100km/h 的高速公路为例, 分析交通诱导的适用性, 即在不同的服务水平和事故情形下所需要采取的不同的交通诱导方式来疏散交通。分析在不同的事故形态、事故发生时间等情况下不同交通诱导措施。提出基于出行距离长短和出行车辆所处位置两种不同分类情况下出行者具体的交通诱导信息需求, 为制定交通诱导的发布信息提供参考。

2、驾驶员接受交通诱导意愿研究

对于引导性交通诱导措施而言, 了解驾驶员是否愿意接受交通诱导、愿意在怎样的

情况下接受交通诱导,显得至关重要。通过分析事故条件下驾驶员交通诱导意愿调查数据,得到驾驶员对事故条件下的时间容忍度、排队距离容忍度、绕行路径行程时间、绕行距离等值的界限,分析驾驶员个人属性对于其接受交通诱导意愿的影响。将调查分析结果应用到具体的交通诱导策略制定中,从而为制订更为符合出行者意愿的交通诱导策略提供依据,使得交通诱导措施能够充分发挥其疏导交通的作用,提高驾驶员对交通诱导系统的信任程度。

3、交通诱导方案具体制定步骤研究

结合确定的驾驶员接受交通诱导意愿限制条件重点对高速公路事故条件下交通诱导的分流点的选择、分流路径的确定、高速公路需分流流量、每条绕行路径的分流量进行研究。运用 SPSS18.0 软件,对调查所获得的数据进行拟合,得到离散选择模型,即 logit 概率选择模型。由此计算出每条分流路径的分流量,使得交通诱导流量的分配更加合理,避免引发绕行路径及其周围路网的交通拥堵,同时起到减缓事故路段拥堵的作用,提高路网的运行效率。

4、实例分析

以京昆高速成都至绵阳段某处发生交通事故为背景,分析其所处路网整体的交通运行状况,结合驾驶员交通诱导意愿及路径分流概率的理论研究,制订合理的交通诱导方案,确定每条分流路径的分流量,从而起到对交通诱导关键技术研究的评价作用。

1.3.2 研究思路

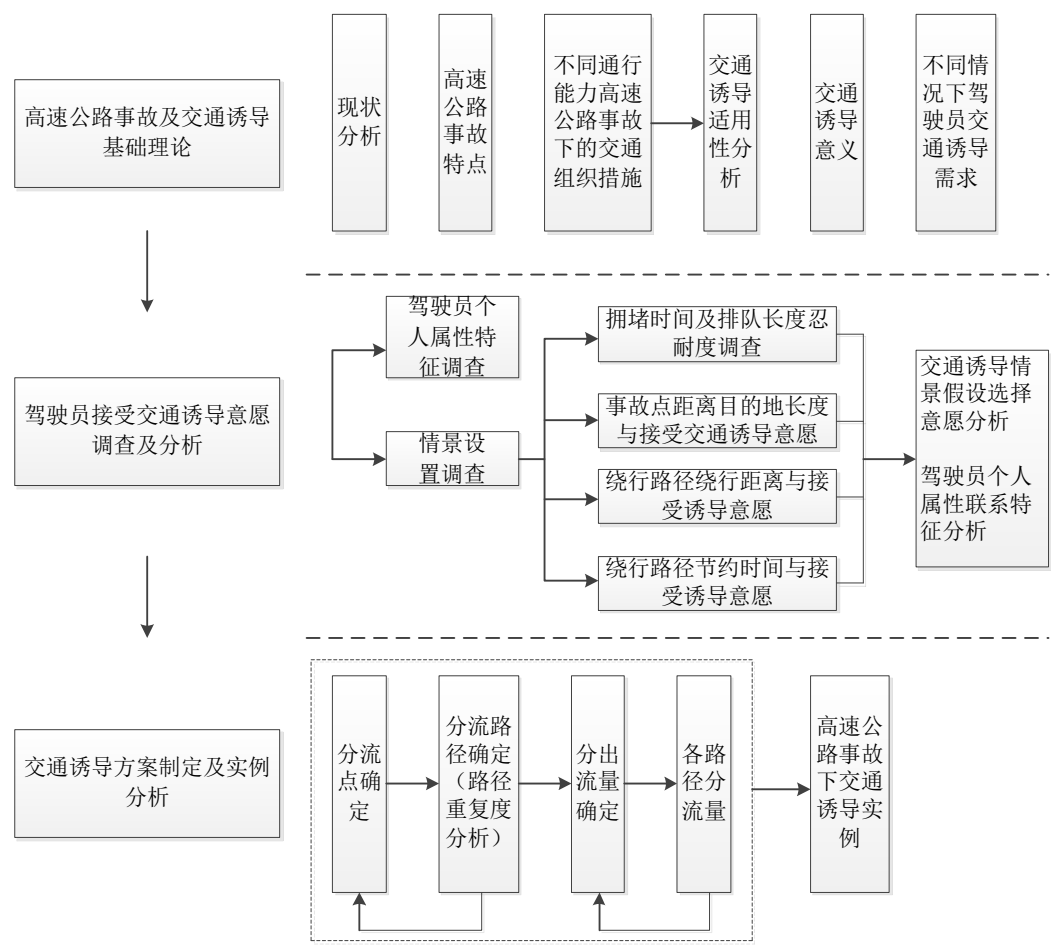


图 1.3 技术路线图

第二章 事故条件下交通诱导适用性及需求分析

引发高速公路交通事故的原因可能是单一的,也可能是多种因素相互结合产生的结果。高速公路行车系统同其他道路系统一样,包括人、车、路及环境等子系统,而这些子系统也成为了引发高速公路事故的主要因素。其中大多数事故主要是由于驾驶员的主观操作行为引发的,而天气对高速公路行车安全的影响要比普通公路大很多^[22]。由于在雨、冰雪、雾等异常天气情况下或者对于隧道、互通立交等高速公路特殊路段,发生交通事故后其具体的交通诱导方式较正常天气下一般路段有所不同,本文主要研究的是正常天气下高速公路一般路段发生交通事故时具体的交通诱导方案制定。

2.1 高速公路交通事故特性分析

由于高速公路采用完全控制出入口、全线护栏形式,仅通过互通立交和出入口匝道与其他等级的道路相连,当高速公路发生事故后,则可能由于其通达性限制导致救援工作无法快速开展,从而引发严重的交通拥堵。高速公路本身的道路特性,决定了高速公路交通事故的特殊性,经总结,高速公路交通事故存在以下几方面特点:

1、随机性

高速公路系统是一个复杂的系统,本身由多种要素构成,并且其中任何一个要素都会影响到高速公路系统的运营。当其中的某一个子系统发生故障或者造成失误,都极有可能引发一系列的连锁反应。而这些失误绝大多数是随机的,即是纯粹的随机事件^[23]。

高速公路事故的随机性多反映在事故发生的时间、地点、形态的不确定性上,当然,这也加大的高速公路事故后处理的难度,并且想要在事故后尽可能迅速的恢复交通,则需要强而有力的交通组织措施,而有效的交通诱导策略的制定则显得尤为重要。

2、持续时间长

由于高速公路在路网中所处位置的特殊性,高速事故的响应时间、救援时间及交通恢复时间等较一般的城市道路或公路均会长一些。而在各种事故形态中,以翻车事故的平均持续时间为最长,也就是说翻车事故对高速公路交通运行影响会比较大。根据成渝高速 2012 年 3 月份的统计资料显示,成渝高速 3 月份共发生翻车事故约 180 次,而事故持续时间超过 200min 的事故占事故总数的 53%^[21]。

如果是大型车发生翻车事故,则极有可能占用两条及以上的车道,就目前我国大多数的高速公路车道数的设置而言,这就会导致某一行车方向的过半车道甚至全部车道封

闭，而发生严重交通拥堵的情况也就在所难免。

如果能够尽可能的缩短高速公路事故的持续时间，这无疑会对减少交通事故所带来的经济损失及缓解交通拥堵起到很重要的作用。通过完善高速公路监控设施、提高救援人员的业务处理水平等可以在一定程度上缩短事故持续时间，当然，更重要的是采取有效的交通诱导措施疏散、恢复交通，避免其影响范围的扩大。

3、信息发布延迟性

行驶在高速路上，驾驶员主要依靠交通广播、服务热线及可变信息情报板等方式接收道路交通信息。目前我国高速公路信息发布设施存在着诸多问题：交通广播信息难以具体化；服务热线语音服务功能有限，人工服务无法接通；情报板配置不合理，发布信息混乱，实时性差^[24]。

由于一系列的信息发布缺陷，发布事故信息及其他的路况信息不具有实时性和广泛性，道路使用者不能在第一时间获得高速公路事故信息、行车信息，这也就导致驾驶员无法根据实时的路况信息来调整其行车路线，造成事故区域乃至事故路段所处的整个路网交通运行状况异常。

4、救援困难，易导致二次事故发生

高速公路事故确认时间及其响应时间的长短是判断道路安全管理水平的重要指标^[25]，并且直接影响到事故救援时间。我国的高速公路均采用全封闭式设计，发生事故后，事故路段所处路网容易发生交通拥堵，救援车辆及人员也因道路交通状况异常及时到达现场。到达现场后，往往又因地形条件、道路环境的局限，大型救援设备没有足够的施展空间，不能充分发挥作用^[26]。由于事故现场的混乱，所处路网的交通异常，事故现场的车辆、抛洒物、人员等与极易于过往的车辆发生碰撞，从而导致二次事故的发生^[27]，使得交通事故的情况更加严重。

2.2 交通事故条件下诱导的适用性分析

2.2.1 不同服务水平下的交通诱导措施

当高速公路发生交通事故时，可采取多种交通组织方案来缓解事故所带来的交通压力或者是防止交通拥堵，通常有限速限距、封闭车道、利用对向车道行驶、匝道控制及交通诱导等。当交通事故严重程度较低时，采用某种或两种交通组织方式即可解决问题，有些情况下则需多种交通组织方式相结合的形式。并不是在每次发生交通事故时都要采用交通诱导的方式，同样，交通诱导也并不适用每一种高速公路事故情况。

根据《公路工程技术标准》，高速公路服务水平可划分为四级，在不同的设计速度下，不同等级服务水平所需满足的运行速度、 v/c 及最大服务交通量的值各有不同。在不同的服务水平下，高速公路发生事故的概率及事故严重程度有所不同。图 1 显示的随着高速公路 v/c 的变化，事故率的变化规律。

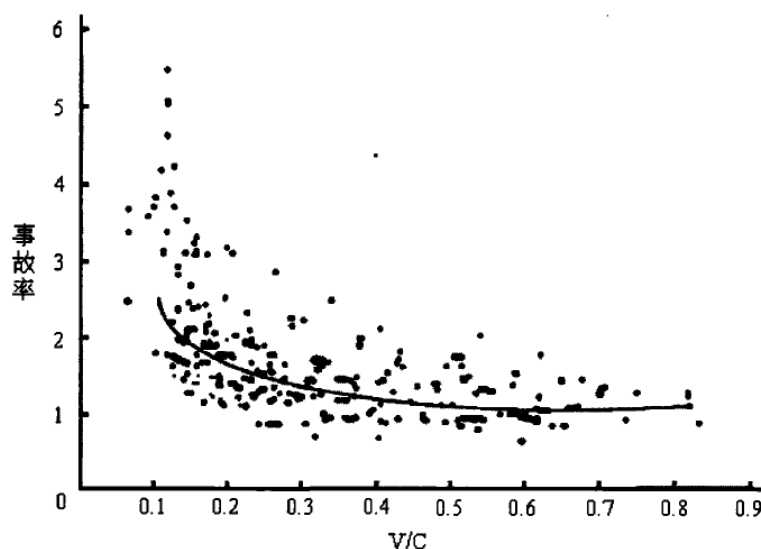


图 2.1 v/c 与事故率关系^[28]

而一定程度上， v/c 可以直接显示出道路的服务水平。服务水平等级越高，实时交通量就越小，驾驶自由度越大，车辆之间的相互干扰越小，驾驶员所选择的驾驶速度就越高。而相对来说，行车速度越高，紧急情况下，车辆就越难以控制，并且由于车辆发生事故时所释放的能量较大，直接导致交通事故后果严重^[29]。也就是说，服务水平越好，发生交通事故的后果越严重。

以双向四车道、设计速度 100km/h 的高速公路为例，分析其在不同的服务水平下发生交通事故所采取的交通组织措施。其中，表 2.1 为高速公路发生事故时单方向行车道通行能力与正常情况向单方向行车道通行能力的比例，利用该通行能力比例即可计算出不同事故情况下高速公路事故路段的剩余通行能力。

表 2.1 发生事故时高速公路路段可利用的通行能力比例^[30]

单向车道数	阻塞一条车道	阻塞两条车道	阻塞三条车道
2	0.35	0.00	—
3	0.49	0.17	0.00
4	0.58	0.25	0.13
5	0.65	0.40	0.20

1、一级服务水平

在该服务水平下，最大服务交通量为 700pcu/h，根据其 v/c ，可计算出基本通行能

力为 2121pcu/h。

1) 占用一条车道

当发生交通事故占用一条车道时,单向剩余通行能力为 $0.35 \times 2121 \times 2 = 1485 \text{pcu/h}$ 。而单向最大服务交通量为 1400pcu/h, 则剩余通行能力大于最大服务交通量, 只需封闭事故车道即可。

2) 占用两条车道

当发生交通事故单向两车道均堵塞时, 单向剩余通行能力为 0。若利用对向车道行驶, 则对向车道剩余通行能力为 1485pcu/h。则此时剩余通行能力大于最大服务交通量, 可利用对向车道行驶。

2、二级服务水平

该服务水平下, 最大服务交通量为 1400pcu/h, 其基本通行能力为 2090pcu/h。

1) 占用一条车道

当发生交通事故占用一条车道时, 单向剩余通行能力为 $0.35 \times 2090 \times 2 = 1463 \text{pcu/h}$ 。单向最大服务交通量为 2800pcu/h, 则剩余通行能力小于最大服务交通量。此时需对车辆进行分流, 诱导其由其他路径绕行。

2) 占用两条车道

当发生交通事故单向两车道均堵塞时, 单向剩余通行能力为 0。若利用对向车道行驶, 则对向车道剩余通行能力为 1463pcu/h。单向最大服务交通量为 2800pcu/h, 则剩余通行能力小于最大服务交通量。此时需对车辆进行分流, 诱导其由其他路径绕行。

3、三、四级服务水平

在三、四级服务水平下, 高速公路实时交通量较大, 交通事故的发生对交通流的干扰很大。此时无法利用剩余车道或对向车道行驶, 只能引导车辆由较近的出口驶出高速公路, 并由其他路径绕行, 从而缓解事故状态下的交通拥堵状况。

如果高速公路的交通事故持续时间较短、影响范围较小, 则不管是在哪一级服务水平下, 占用几条车道, 都无需进行交通诱导, 只需组织车辆排队等待直至恢复正常通车即可。

2.2.2 不同事故情形下的交通诱导

在夜间高速公路事故率更高, 文献[31]显示, 凌晨 0 时~7 时, 高速公路事故比率为全天的 33%。由于夜间高速公路上交通量较小, 车辆行车环境较好, 并且夜间行车驾

驶员容易疲劳，导致夜间事故高发，并且事故后果较为严重。但由于夜间车辆较少，其引发的交通拥堵状况相对于白天事故下拥堵状况会比较轻微。并且，在良好的行车环境下，车辆更容易疏散，事故的影响范围或者诱导范围会较小。而在行车高峰期或者实时交通量较大的时段发生交通事故，本身较低的服务水平加上事故制造的瓶颈路段，导致交通的疏散比较困难，则其交通诱导的范围较大。

我国高速公路事故形态以碰撞为主，公安部数据显示，2013 年一季度汽车追尾碰撞事故占事故总数的 71.1%，其中肇事车辆主要为货运车辆和私家车。一般而言，行驶在高速公路上的车辆类型越多，车辆之间的速度差就越大，交通流的运行就越不稳定。此时，如果驾驶员对超车条件判断不准确，或是前车因车流影响突然加减速或变换车道，则极易发生超车事故。

因高速公路事故中所涉及到的车辆类型、事故形态、运行速度、交通量、救援条件等一系列因素的不同，每一起事故的持续时间也就有所不同。文献[21]中对重庆区域内几条主要高速公路的事故持续时间进行统计。其中追尾类交通事故持续时间范围是 15min~300min，持续时间平均值为 67min；翻车类事故持续时间为 15min~400min，持续时间平均值为 140min；车辆碰壁类事故持续时间为 10min~300min，持续时间平均值为 91min；火灾类事故持续时间平均值为 104min。

因事故持续时间、交通量大小不同，每一起交通事故引发的交通拥堵排队长度也就不同。此时，交通事故的影响范围也就不同。如果事故较轻微，可能只是影响到高速公路事故路段及上下游行驶的车辆，此时仅需要对高速公路车辆进行分流；但如果说事故较严重，其影响范围扩散至高速公路所处路网的其他道路上，则不仅需要对高速公路上的车辆、还需要对高速公路入口匝道上游连接的道路车辆及其相关路径车辆进行诱导分流，此时，交通诱导所涉及的范围也随之扩大。诱导范围的扩大必然导致诱导难度的加大，需要保证所涉及道路的进出交通量平衡，而诱导的目的在于尽快的疏散高速公路事故排队车辆，避免其拥堵扩散到其他道路上。

2.3 交通诱导需求分析

对于不同的出行者而言，其所需求的交通诱导信息因其出行情况的变化而不同，主要可以从两方面进行分类，一是出行距离长短；二是出行车辆所处位置。

1、基于出行距离的需求分析

对于高速公路上的出行而言，由于其出行距离的不同，其所需要的诱导相关信息也

就不同。如果高速公路某处发生交通事故，对于目的地在该区域范围内的出行者（短距离出行）而言，其所需要的诱导信息主要是前方出口匝道及高速公路主线的交通运行情况，合适的出口匝道所在位置以及驶出高速公路后的大体行车路线。对他们而言，长距离的绕行路线会削弱其遵循交通诱导的意愿，降低其对所制定诱导方案的信任度。

对于中长距离的高速公路出行而言，他们需要快速的避开因事故引发的交通拥堵，缩短事故路段的行车时间。中长距离出行者主要需要获得交通事故有关的信息，前方事故路段交通运行信息，前方关键出口匝道交通运行信息，多条绕行路径行车距离、行程时间等信息^[32]。依据以上一些信息，驾驶员会选择其绕行路径或是改变其出行计划。

2、基于出行车辆位置的需求分析

根据车辆所处位置，可以归纳为已进入高速公路车辆和未进入高速公路车辆两类。对于行驶在高速公路上的车辆，需要提供其交通事故信息、事故路段交通运行信息。当然，更重要的则是前方出口匝道、绕行路径及再次驶入高速公路的入口匝道位置信息、交通运行信息。

对于未进入高速公路的车辆，若高速公路主线发生交通事故，则需要提供其交通事故有关的信息，寻找下一个入口匝道的绕行路径信息及合适的入口匝道位置信息、交通运行状况等信息。必要时，结合相关的交通控制措施，如关闭入口匝道，避免高速公路主线交通拥堵的进一步扩散。

当然，在发布交通诱导信息时，不仅需要考虑驾驶员的不同交通诱导需求，还需要考虑怎样的周期内来实时检测交通运行情况、制定实时的诱导策略并且将这些信息发布出去。如果发布的诱导信息变化过于频繁，会导致驾驶员无所适从甚至反感；而信息变化太慢，则不能及时将实时的交通状况发布出去，同样会降低诱导方案的可信度^[33]。相对于满足驾驶员交通诱导需求而言，在合理的周期内发布可靠信息也显得至关重要。

第三章 引导性交通诱导形式下驾驶员意愿调查与分析

与传统的强制性交通管控措施不同,目前交通诱导多采用引导性的形式。而在这种引导性的交通诱导形式下,则可能出现两种结果,一种是出行者大多按照发布的交通诱导信息来调整其行车路线,交通诱导能够达到预期的效果;另一种则是大多数出行者仍按照自身的意愿或原先制定的出行方案行车,致使交通诱导失去其作用^[35],不能缓解交通拥堵问题。

保证交通诱导信息的实时性及可靠度,在很大程度上能够促进出行者对诱导信息的依赖,提高其接受交通诱导的概率。如果所选择的分流路径总体的交通运行状况或行程时间较事故高速公路并不具备明显的优势,或者是诱导分流虽然能够缓解事故高速公路的交通压力,却引发了分流路径的拥堵,引起拥塞漂移,这都将降低驾驶员对诱导方案的信任程度,不利于交通诱导策略的实施。

出行途中,如果发生交通事故,驾驶员通常会结合相关的事故信息、道路交通信息、自身出行情况等自我判断,选择维持或更改原来的出行方案。在制定交通诱导策略时,不仅应该考虑实时的道路交通状况,也应该考虑驾驶员的心理认知,使得制定的诱导方案与驾驶员的心理预期相符,从而充分发挥交通诱导的作用。通过获取出行者对交通诱导的心理认知及路径选择意愿等相关信息,将其融入到交通诱导方案的制定中^[36],使得所确定的诱导方案及发布的信息更为有效。当然,每位出行者在遇到交通事故后选择是否接受交通诱导的标准不同,其具体的信息需求、对于绕行分流的要求也不同。通过相关调查,可以筛选确定出一些驾驶员普遍关心的因素,从而为更好的制定交通诱导策略提供依据,分析不同事故情况下交通诱导的必要性。基于以上分析,对高速公路事故条件下驾驶员对交通诱导的心理认知及意愿进行调查,并对其结果进行相关的分析。

3.1 调查问卷设计及实施

此次问卷调查是基于高速公路交通事故条件下驾驶员均会关注高速公路交通诱导信息这样一个假设来进行的。驾驶员在关注交通诱导信息的情况下,由于其对交通诱导策略的心理认知不同,会选择按照发布的诱导指示信息由分流路径绕行或是在事故道路上排队等待直至交通恢复正常。

3.1.1 问卷设计

本次主要对驾驶员的个人属性及对交通诱导的心理认知情况进行调查。驾驶员个人属性涉及多个方面,考虑到某些属性对于接受交通诱导的意愿影响较小,本次调查仅选择性别、年龄、驾龄三项比较有代表意义的属性进行调查。而驾驶员对于交通诱导的心理认知主要为出行目的、交通事故拥堵时间、交通事故排队长度、距离目的长度、绕行路径节约时间、绕行路径绕行距离各方面与交通诱导意愿关系调查。

1、驾驶员个人属性

1) 性别

一定程度上,性别会影响驾驶员对交通诱导的心理感知。国外学者通过有关调查,分析了性别对改变行车路径意愿的影响^[37],结果证实女性或者是经常乘车上下班的人更不容易被信息影响,而男性则更倾向于购买动态导航信息。女性通常更习惯与在熟悉的道路环境中行车,而男性则可能会根据发布的实时诱导信息来更改其行车路线。

2) 年龄

不同年龄段的驾驶员,在遭遇高速公路交通事故及拥堵等情况时,由于其生理、心理因素的不同,是否选择分流路径绕行的意愿也就不相同。通常,年轻的驾驶员面对交通拥堵的状况会比较急躁,而年长的驾驶员则相对沉稳。因此,将驾驶员的年龄列为影响交通诱导分流路径选择行为的个人属性因素^[38]。

3) 驾龄

驾龄是驾驶员必定具备的重要特征^[36],一定程度上驾驶员的驾驶技术和驾龄有关。而由于驾驶员的驾龄不同,遭遇的道路交通事故状况不同,会影响其在交通事故状态下对道路交通运行情况的判断,从而影响其接受交通诱导的心理认知及意愿。

2、交通事故情景假设

在三项基本属性基础上,问卷设置了高速公路发生交通事故的情景假设调查,设置的问题主要是关于发生交通事故时不同条件下驾驶员对于交通诱导的选择意愿。

1) 出行目的与交通诱导意愿

高速公路出行中,出行者主要的出行目的有出差、回家、休闲旅游、运输货物等。对于不同的出行目的地的出行者而言,发生事故情况下其排队等待地心情也就有所不同。如果说出行者必须在约定时间赶到目的地,如出差参加会议,此时驾驶员会更愿意接受交通诱导;而如果说驾驶员只是外出旅行,心情则会比较坦然,如果交通拥堵时间在其心理承受范围内,则一般会选择排队等待。

2) 交通事故拥堵时间与交通诱导意愿

交通事故引发的拥堵时长会因事故类型、行车环境等因素的不同而发生变化。而驾驶员对于交通拥堵时间存在着一个可以接受的界限,对于不同的驾驶员而言,其交通拥堵时间忍耐度不同。根据调查,可以得出大部分驾驶员的时间忍耐度,以此作为是否需要制定交通诱导措施的界限。

3) 交通事故排队长度与交通诱导意愿

交通事故拥堵排队长度不仅会受到事故持续时间的影响,也会受到高速公路实时交通量的影响。根据参考文献[21]中对不同事故情况下交通拥堵排队长度的预测可知,当事故拥堵持续时间在 1h~5h 范围变化时,车辆排队长度会在 400m~4000m 范围内变化。

4) 距离目的长度与交通诱导意愿

因出行目的地的不同,则高速公路事故点距驾驶员出行目的地距离不同。出行目的地距离一定程度上会成为影响驾驶员交通拥堵时间忍耐度和排队长度忍耐度的前提。出行距离较远,驾驶员更愿意接受交通诱导,当然,这也与驾驶员对周围路网环境的熟悉情况有关。高速公路出行不同于城市道路出行,其出行距离通常属于中长距离,所以将事故点距目的地距离设置在 50km~100km 范围内。

5) 绕行路径节约时间与交通诱导意愿

对于驾驶员而言,当高速公路发生事故时,分流绕行路径能节约的时间越长越好,此时,驾驶员更愿意选择由绕行路径行驶。对于高速公路出行者而言,行程时间相差 10 分钟或 15 分钟影响不大,所以将选择中时间间隔设置为 30min。

6) 绕行路径绕行距离与交通诱导意愿

分流路径绕行距离直接影响到驾驶员的出行成本,如果绕行距离太长,诱导方案很难被驾驶员接受,并且,长距离的绕行也不利于交通诱导分流的具体实施和控制。通过调查,可以获得驾驶员可以接受的绕行路径绕行距离的一个界限值,并以此作为选择可行的绕行路径的一项标准。

3.1.2 调查实施

此次问卷调查主要是通过互联网络完成。主要包括网络转发的方式、调查网站点击的方式、其他网站链接的方式,调查对象主要是针对取得驾驶证并且经常性驾车的人员。调查总共回收问卷 131 份,其中有效问卷为 122 份,无效问卷主要有各题选择相同、无个人属性选择等情况,以下将对回收的有效问卷进行简单的结果统计及相关的分析说明。

3.2 调查结果统计

3.2.1 驾驶员个人属性统计

本次调查涉及驾驶员个人属性的部分结果见表 3.1。本次调查中男性人数过半，男性人数为 68 人，占调查总人数的 56%，女性人数为 54 人。驾驶员年龄多分布在 18~25 岁年龄段，占总人数的 54%；其次是 25~35 岁年龄段，占总人数的 32%；年龄最大不超过 55 岁，其中 45~55 岁年龄段，仅占 2%。参与调查驾驶员的驾龄则多小于 5 年，占总人数的 87%。由于驾龄分布的极不均匀，本次调查不再把驾龄作为影响驾驶员交通诱导意愿的个人因素进行分析。

表 3.1 驾驶员属性列表

项目		比例
性别	男	56%
	女	44%
年龄（岁）	18~25	54%
	25~35	32%
	35~45	12%
	45~55	2%
驾龄（年）	<5	87%
	5~10	10%
	>10	3%

3.2.2 交通诱导情景假设统计

在假设高速公路发生事故的情况下，由于出行者的出行目的、交通事故拥堵时间、交通事故拥堵排队长度、发生事故路段与出行目的地之间的距离、分流路径节约的行程时间、分流路径的绕行距离等各因素的不同，驾驶员是否选择接受交通诱导的意愿也会不同。分别对各因素不同情况下的驾驶员愿意或不愿意接受交通诱导的比例进行统计，具体统计结果见表 3.2，愿意/不愿意选择绕行的比例均是每个选项的选择次数与该题目总的选择次数的比值。

表 3.2 交通诱导意愿统计

项目		愿意选择绕行比例
出行目的与交通诱导意愿	上班	23%
	上学	16%
	出差	17%
	休闲旅游	19%
	回家	21%
	其他	4%
交通事故拥堵时间与交通诱导意愿 (h)	<1	28%
	1~2	39%
	2~3	20%
	3~4	8%
	4~5	2%
	>5	3%
交通事故排队长度与交通诱导意愿 (km)	<0.5	16%
	0.5~1.0	24%
	1.0~1.5	37%
	1.5~2.0	11%
	2.0~2.5	8%
	2.5~3.0	1%
	>3.0	3%
距离目的的长度与交通诱导意愿 (km)	<50	33%
	50~100	29%
	100~150	20%
	150~200	7%
	200~250	7%
	250~300	0%
	>300	4%
绕行路径节约时间与交通诱导意愿 (h)	<0.5	29%
	0.5~1	52%
	1~2	12%
	2~3	5%
	3~4	2%
项目		不愿意选择绕行比例
绕行路径绕行距离与交通诱导意愿 (km)	<30	19%
	30~60	39%
	60~90	20%
	90~120	11%
	120~150	5%
	>150	6%

3.3 调查结果分析

3.3.1 交通诱导情景假设选择意愿分析

1、出行目的与选择交通诱导意愿关系

对于高速公路发生交通事故，不同出行目的下是否愿意选择交通诱导的调查共有 312 次选择。由表 3.2 可知，不同出行目的下驾驶员愿意选择交通诱导所占比例均分布在 16%~23% 之间，差异并不大，由此可以看出出行目的并不是影响是否选择交通诱导的一个主要因素。出行者并不是为了出行而出行，不管出于何种出行目的，驾驶员都希望可以顺利的完成出行，尽快的到达目的地。当高速公路发生交通事故进而引发交通拥堵时，只要交通诱导分流的绕行路径符合驾驶员的心理认知，驾驶员多会愿意接受交通诱导。

2、拥堵时间与选择交通诱导意愿关系

当高速公路发生交通事故时，87% 的驾驶员对交通拥堵的忍耐时间在 3 小时以内，也就是当交通拥堵时间长达三小时 87% 的驾驶员均愿意选择由其他路径绕行，而交通拥堵时间达到 5 小时之后则几乎所有的驾驶员均愿意接受交通诱导。图 3.1 为交通拥堵时间与选择交通诱导意愿关系的趋势线图，随着拥堵时间的延长，愿意选择交通诱导的驾驶员也随之增多，这是符合常理的。

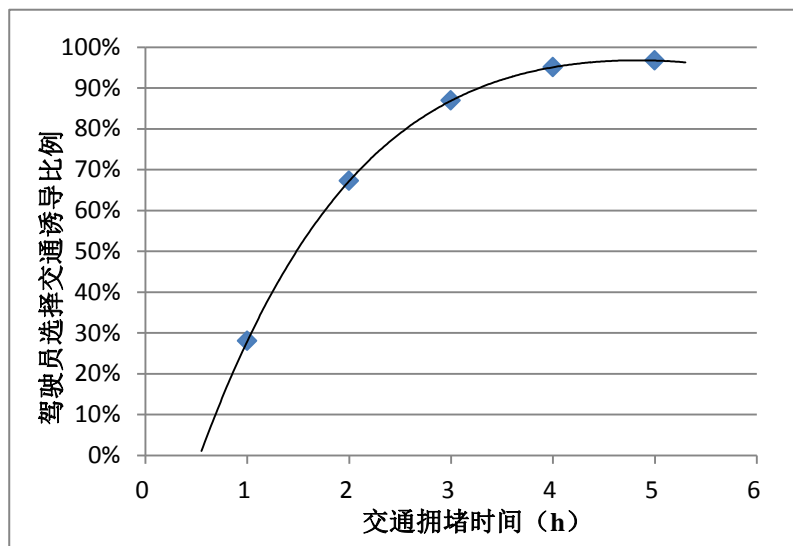


图 3.1 交通拥堵时间与选择交通诱导意愿关系

拥堵时间约为 0.9h 时，20% 的驾驶员愿意接受交通诱导；拥堵时间达到 2.6h 时，80% 的驾驶员愿意接受交通诱导。因此，可以把拥堵时长 0.9h 和 2.6h 分别作为可以采取交通诱导措施的最低和最高界限。当预计交通拥堵时间可能超过 2.6h 以后，可以主

要依靠诱导分流的交通组织方式来缓解交通拥堵,此时,交通诱导措施的接受程度应该会比较高,能够实现预期的效果。

3、拥堵排队长度与选择交通诱导意愿关系

当交通事故引发拥堵导致排队长度达 2km 时,88%的驾驶员愿意接受交通诱导,而排队长度达 3km 时,几乎 100%的驾驶员均愿意接受交通诱导。由图 3.2 事故排队长度与选择交通诱导意愿关系拟合曲线可看出,曲线的斜率较大,也就是说随着排队长度加长,愿意接受交通诱导的驾驶员人数也在快速增加。排队长度为 0.6km 时,约 20%的驾驶员愿意接受交通诱导;排队长度达 1.8km 时,80%的驾驶员愿意交通诱导。

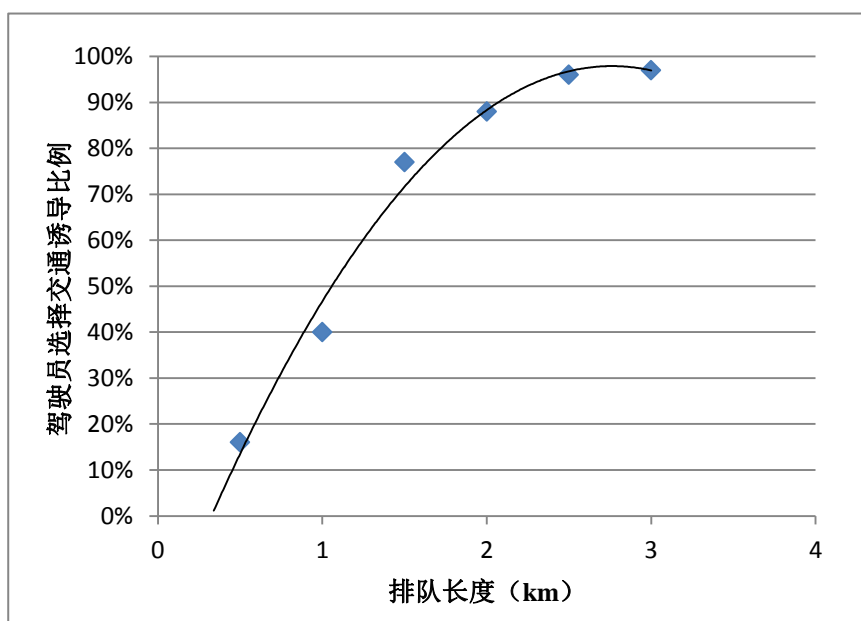


图 3.2 拥堵排队长度与选择交通诱导意愿关系

一般情况下,相同交通事故持续时间下,如果路段的交通量越大,则事故道路的排队长度越长^[16]。而事故持续时间与拥堵排队长度存在一定的正相关关系。在考虑是否制定有关的交通诱导策略时,一般情况下主要根据预测的交通事故持续时间来确定。如果同时参考预测的拥堵排队长度因素,则可能导致制定诱导策略的标准不一致。而当高速公路实时交通量较大时,排队长度会急剧增加,由于道路通行能力的限制,对于拥堵车辆的疏散难度也就更大,此时,应该考虑将拥堵排队长度作为是否制定交通诱导策略的主要参考因素。

4、事故点距离目的地长度与选择交通诱导意愿关系

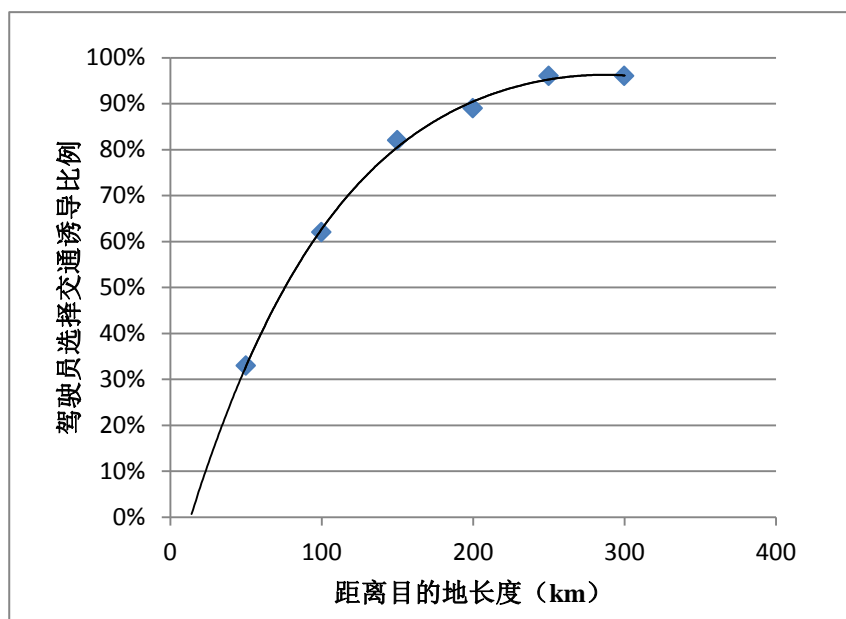


图 3.3 事故点距离目的地长度与选择交通诱导意愿关系

通常情况下,如果交通事故发生地点或者排队等待地点距离出行者出行目的地较近,驾驶员可能更倾向于选择排队等待;当距离其目的地比较远时,则更愿意接受交通诱导。调查结果显示,当距离出行目的地约为 50km 时,仅有 33% 的驾驶员愿意接受交通诱导;当距离目的地长度约为 150km 时,则有超过 80% 的驾驶员均愿意接受交通诱导。对于短距离出行者或者事故点距目的地较近的出行者而言,如果说对事故路段周围路网不太熟悉,则会选择较为保险的方式,即排队等待。当然,如果说交通拥堵的时长确定会超过某个界限,短距离出行者也会考虑由绕行路径绕行。

对于不同去向、不同目的地的出行者,可以采取不同的交通组织方式来疏散。对于去往地点距离事故点较远的出行者而言,一定程度上的绕行会大大的缩短事故情况下的行程时间。此时,远距离出行的驾驶员很愿意接受交通诱导。对于远距离出行者,可以诱导其由事故路段上游出口匝道驶出高速,通过高速公路相关的并行路线绕行,然后再由合适的入口匝道驶回高速。对于事故点距离出行目的地较近的出行者而言,可诱导其由事故点上游出口匝道提前驶出高速,再由其他的连通道路驶往目的地。在制定交通诱导策略时,可选择对去往不同方向、不同目的地的出行者采取不同的分流路径进行分流,必要时将交通诱导方式与其他的交通组织措施结合使用,以达到尽快疏散交通,减少损失的目的。

5、绕行路径节约时间与选择诱导意愿关系

根据调查情况可知,通过分流路径绕行的行程时间较排队等待时间节约达 3h 时,几乎 100% 的驾驶员愿意选择绕行。图 3.4 显示,当节约时间处在 0.5h~1.5h 区间段时,

愿意接受交通诱导的出行者比例急剧上升。

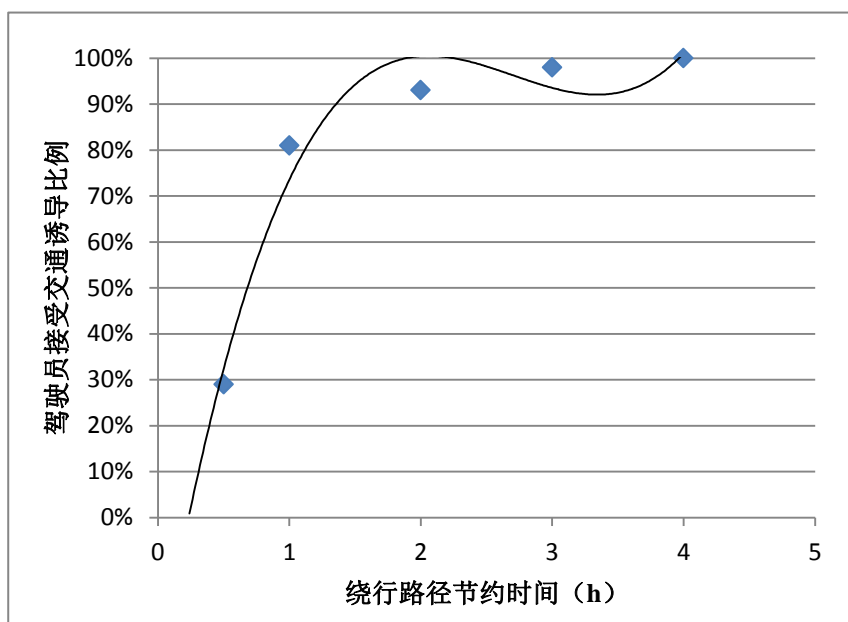


图 3.4 绕行路径节约时间与选择诱导意愿关系

一定程度上，绕行路径节约时间成为驾驶员考虑是否接受交通诱导的一个重要因素。如果说通过其他路径绕行并不能大大缩短行程时间，那么大多数驾驶员更倾向于选择排队等待，此时则没必要制定交通诱导方案。虽然调查结果显示，当节约时间超过 1h 时，超过 80%的驾驶员愿意接受交通诱导。但如果说事故引发的交通拥堵非常严重，拥堵时间超过 20h，那么节约的 1h 就不再明显。此时，驾驶员更倾向于选择排队等待。一是由其他路径绕行会大大的增加出行成本；二是如果选择由不熟悉的道路绕行，会有其他的潜在危险。

6、绕行路径绕行距离与选择诱导意愿关系

在绕行距离长为 30km 时，19%的出行者不愿意选择绕行；绕行距离为 60km 时，58%的出行者不愿意选择绕行。在制定交通诱导策略时，既要考虑分流路径的实时交通状况，更要考虑绕行路径的绕行距离，如果绕行距离太长，会增加出行者的出行费用，这也会成为影响出行者是否选择交通诱导的一个重要原因。

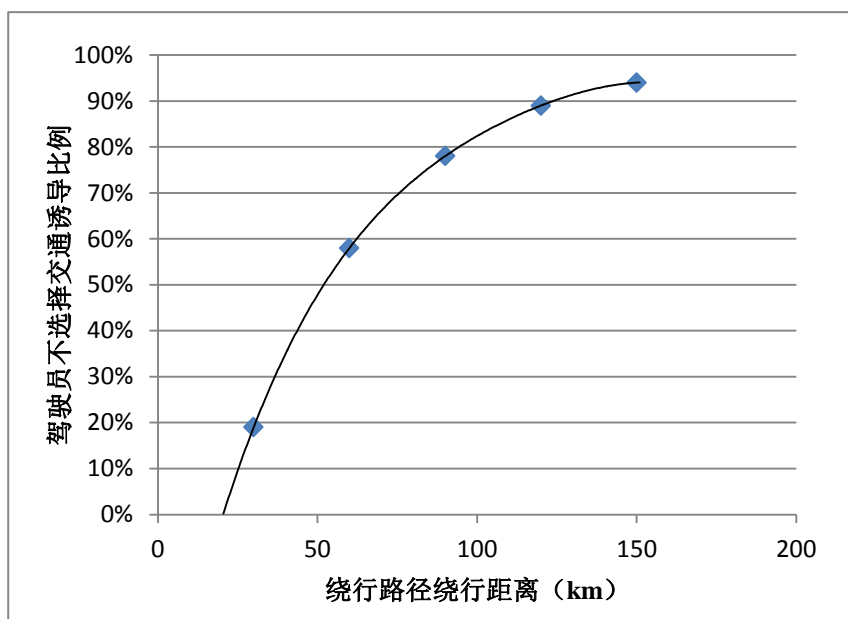


图 3.5 绕行路径绕行距离与选择诱导意愿关系

绕行路径绕行距离和绕行路径节约行程时间存在一定的负相关关系。当然，如果说所选择的分流路径自身的实时交通流量较大，即使绕行距离较短，由绕行路径绕行节约的行程时间也不会太长。所以，选择分流路径时，应首要考虑其可能节约的行程时间，其次再考虑绕行距离不太长则将该路径确定为分流路径。

3.3.2 驾驶员个人属性对其意愿影响分析

交通拥堵时间忍耐度，即驾驶员对于交通拥堵时间的忍耐限度，当拥堵时间低于某一个界限时，驾驶员选择等待，当拥堵时间高于该界限时，驾驶员选择接受交通诱导。对于性别、年龄不同驾驶员而言，其交通拥堵时间忍耐度也存在着差异，以下将根据调查结果分析驾驶员性别、年龄与交通拥堵时间忍耐度的关系。

1、驾驶员性别与交通拥堵时间忍耐度关系分析

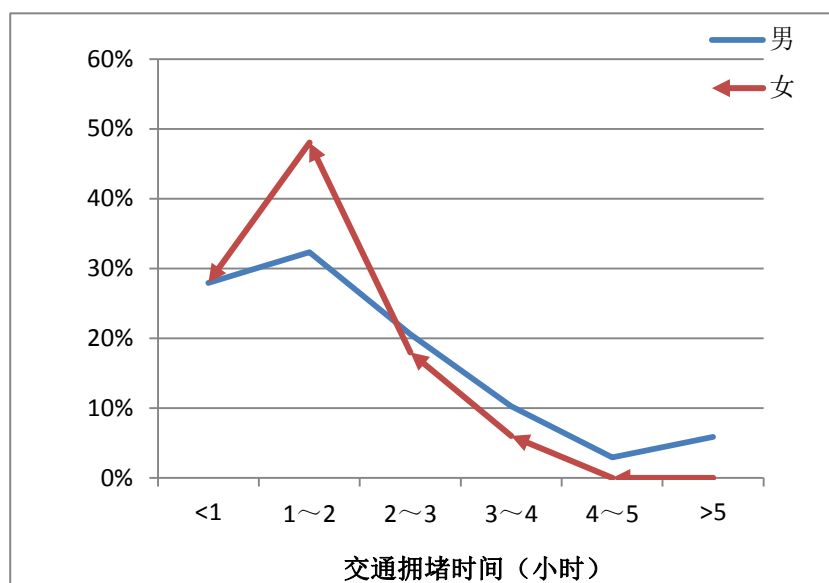


图 3.6 性别与拥堵时间忍耐度关系

从图 3.6 可看出,当交通拥堵时间不超过 1h 时,约有 28%的女性愿意接受交通诱导,约有 27%的男性愿意接受交通诱导;当交通拥堵时间为 1~2h 之间时,约有 48%的女性愿意接受交通诱导,约有 32%的男性愿意接受交通诱导。则当交通拥堵时间不超过 2h 时,约为 80%的女性均愿意接受交通诱导,而愿意接受交通诱导的男性则为 60%,显然,女性的交通拥堵时间忍耐度低于男性;拥堵时间长达 4h 时,则 100%的女性调查者均愿意接受交通诱导。

2、驾驶员年龄与交通拥堵时间忍耐度关系分析

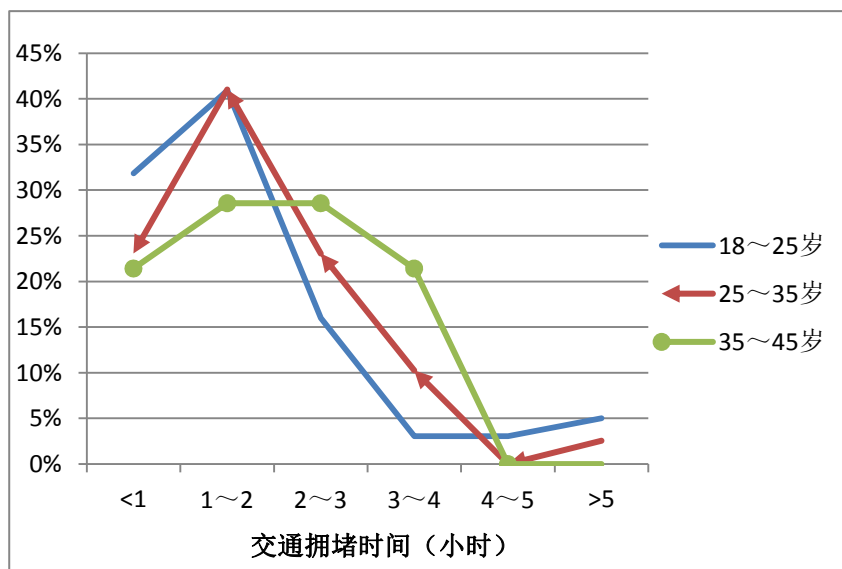


图 3.7 年龄与拥堵时间忍耐度关系

由图 3.7 可以看出,当交通拥堵时间不超过 1h 时,年龄为 18~25 岁的驾驶员约有 32%愿意接受交通诱导,年龄为 25~35 岁的驾驶员约有 24%愿意接受交通诱导,年龄为 35~45 岁的驾驶员约有 21%愿意接受交通诱导;当交通拥堵时间为 1~2h 之间时,年龄

为 18~25 岁的驾驶员约有 41%愿意接受交通诱导, 年龄为 25~35 岁的驾驶员约有 40%愿意接受交通诱导, 年龄为 35~45 岁的驾驶员约有 28%愿意接受交通诱导。

则当交通拥堵时间在 2 小时以内时, 年龄为 18~25 岁的驾驶员约有超过 70%愿意接受交通诱导, 年龄为 25~35 岁的驾驶员约有超过 60%愿意接受交通诱导, 年龄为 35~45 岁的驾驶员约有 50%愿意接受交通诱导。由此可以看出, 青年驾驶员相对于中年驾驶员的交通拥堵时间忍耐度更低, 随着年龄的增长, 驾驶员的交通拥堵时间忍耐度也逐步增大。

3.4 调查结果在交通诱导中的应用

对于上述调查分析所获得的结果, 一般可以将其应用到具体的交通诱导方案制定的以下几方面。

1、诱导决策

如果说某种情况下大多数驾驶员不愿意接受交通诱导, 则没必要制定相关的诱导方案, 因为即使制定出诱导方案, 与驾驶员的心理认知相差太远, 引导性交通诱导的执行力度也会很低, 这反倒是会增加交通管理者的工作量。

当预测的事故交通拥堵时间在 50min 以下, 不必制定交通诱导方案, 因为此时约有 80%的驾驶员不会接受交通诱导; 当交通拥堵时间达到 50min 以上时, 可以制定交通诱导方案; 当拥堵时间超过 2.5h 时, 必须制定交通诱导方案。同样, 当事故拥堵排队长度小于 600m 时, 不必制定交通诱导方案; 当事故拥堵排队长度达到 600m 以上时, 可以制定交通诱导方案; 当事故拥堵排队长度超过 1.8km 时, 必须制定交通诱导方案。高速公路事故路段交通量比较大时, 车辆排队长度可能比较长, 此时, 首先根据预测的交通拥堵时间来判定是否需要采取交通诱导。

对于不同出行目的地的驾驶员, 可以进行分类交通诱导。对于目的地与事故点距离小于 40km 的出行者, 可以采用交通诱导以外的其他交通组织方式进行疏导或建议其排队等待; 对于目的地与事故点距离超过 40km 的出行者, 可以诱导其由不同的分流路径分流。

2、选择分流路径

对于分流路径的确定主要涉及到分流路径的行程时间及其相对于事故高速公路而言的绕行距离两个因素。

当绕行路径节约时间在 30min 以内时, 不将其作为分流路径; 当绕行路径节约时间

在 30min 以上时，可以将其作为分流路径；当绕行路径节约时间超过 1h 时，该路径为较优的分流路径。当绕行路径绕行距离在 30km 以内时，该路径为较优的分流路径；当绕行路径绕行距离在 100km 以内时，可以将其作为分流路径；当绕行路径绕行距离超过 100km 时，不将其作为分流路径。具体的分流路径确定步骤及方法将在 4.2 中详述。

3、确定分流路径的分流量

调查中获得的数据显示出驾驶员对于接受交通诱导的心理意愿及其相关的影响因素，运用数据统计软件对获得的数据进行拟合，建立基于驾驶员心理认知的分流模型，从而确定每条分流路径的分流量。具体的 logit 离散选择模型建立及其应用将在 4.3.2 小节中详述。

第四章 交通诱导方法研究

高速公路某路段发生事故后,首先需要对其所处路网环境及交通运行状况有所把握。在制定具体的交通诱导方案时,首先是确定具体的分流点,然后在路网中寻找可分流的路段。根据事故的严重程度、道路通行能力等确定高速公路需分流的流量,最后是将这些流量分配到每一条分流路径上。确定每一条绕行路径分流量之后,需要判定在加载分流量的情况下分流路径某路段的交通量是否超过其通行能力,分流点的交通量是否超过其通行能力。如果任意路段或分流点流量超过其通行能力,则需要重新确定分流路径、分流及分流量。也就是说,诱导分流的每一个周期都是一个循环反复的过程,确定分流点、分流路径以及分流量这一系列步骤,需要反复进行,直到分流点、分流路径的交通量不超过其通行能力,直到所制定的交通诱导方案可行并且能达到一定的效果。

4.1 分流点确定

对于不同的出行者,其所需获得的交通诱导信息不同,即诱导需求不同。第二章中,针对车辆所处的位置,分别分析了驾驶员的诱导需求。在确定具体的交通诱导分流点时,对于行驶在高速公路上的车辆和欲进入高速公路的车辆,其诱导分流点的位置也就有所不同。对于高速公路上车辆,其分流点主要集中在高速公路主线上及其绕行路径相关节点,而对于未进入高速公路的车辆,则主要集中在高速公路外围道路节点上^[38]。当高速公路事故拥堵比较严重时,则同时需要行驶在高速公路上及欲进入高速公路的车辆进行分流。

1、高速公路上车辆分流点

对于行驶在高速公路上的车辆,当前方路段发生交通事故引发拥堵排队时,最重要的是考虑交通拥堵的排队长度,即交通事故的影响范围。由车流波动理论可知,事故条件下车辆的最大排队长度为:

$$L = \frac{v_1 \cdot t}{\left(\frac{1}{k_1} - \frac{1}{k_j}\right) \cdot k_j} \quad (4.1)$$

式中:

L : 事故发生后拥堵车辆的最大排队长度;

v_1 : 事故发生前高速公路车流速度;

k_l : 事故发生前高速公路车流密度;

k_j : 事故发生后交通拥堵阻塞密度;

t : 事故交通拥堵持续时间。

把计算出的拥堵排队长度与事故点距上游出口匝道的距离进行比较。当拥堵排队蔓延至事故路段上游某些出口匝道时, 首先将队末上游的一个或几个出口匝道作为诱导分流点。并且, 更重要的是进一步确定队末上游出口匝道的实时交通量、通行能力以及匝道所连接路径的可达性、通行能力等。确定由事故路段上游哪些出口匝道分流需要同时考虑事故本身的特性、分流匝道及路径的交通运行状况。需要重点防止高速公路事故路段交通拥堵的蔓延。

除去主线上出口匝道等一级分流点之外, 还涉及到相关的分流绕行路径上的二级分流点。因交通诱导分流路径中某些路径间存在有重合路段, 则在确定的分流路径重合路段末端进行分流。二级分流点的确定主要是由分流路径的走向决定的, 确定具体的分流路径后, 则可确定二级分流点的具体位置。

2、未进入高速公路车辆分流点

对于未进入高速公路的车辆, 必要情况下会结合关闭事故路段上游入口匝道等交通控制措施, 并提供给其可以绕行的路径信息。此时, 需要通过相关信息发布手段提前告知驾驶员高速公路事故情况及入口匝道通行情况, 避免因入口匝道排队引发匝道相连路径的交通拥堵。则其分流点主要集中在高速公路的并行道路上。这些分流点可以是并行线与高速公路的连接线节点, 未进入高速公路的绕行车辆可以通过这些连接线节点驶入高速; 也可以是并行线与其他道路的连接点, 车辆可以通过这些分流点继续由绕行路径绕行或直接到达目的地。结合以上分析, 则可知高速公路交通诱导分流点通常包括以下几类:

- 1) 高速公路沿线出口匝道、互通立交;
- 2) 高速公路分流路径连接点或连接线^[39];
- 3) 高速公路入口匝道上游节点;
- 4) 高速公路并行线与其他道路的连接点。

4.2 分流路径确定

当高速公路发生交通事故发生后, 事故区域至出行者目的地可能存在多条路径, 但是某些路径不会被纳入交通诱导分流的备选绕行路径当中。当绕行路径的绕行距离过长

时, 驾驶员遵循交通诱导的意愿就会减弱, 因过长的绕行会使耗油量增加, 从而大大的增加出行成本, 多数驾驶员会在这种情况下做一个出行成本与出行等待时间的权衡。如果说所选择的绕行路径绕行距离太长, 那么会降低交通诱导策略的实用性及可靠性。由 3.2.1 中数据分析结果可知, 当绕行距离超过 120km 以后, 85% 的驾驶员不愿意进行绕行。如果事故引发的交通拥堵状况不太严重, 此时最好将绕行距离控制在 30km 范围内, 此时约有 80% 的驾驶员愿意进行绕行。而当交通拥堵非常严重的情况下, 则选择的绕行路径时则只需考虑其行程时间不超过事故路段的行程时间即可。而绕行路径节约的时间最好是可以达到 1 个半小时以上, 这样约有 90% 的驾驶员愿意进行绕行, 如此, 也大大提高了诱导措施的实际作用。

高速公路事故点至出行者目的地必然存在 n 条绕行路径。如何确定这 n 条路径, 通常可以按照以下的步骤进行: 假设两点间存在路径集, 以 P_{od} 表示, 首先在该路径集中确定一条节约行程时间多且绕行距离短的道路, 编号为 1, 再与其他 $n-1$ 条路径逐一进行比较, 最终确定可行的分流路径。以 R 表示重复度^[40], 即为备选路径与已确定的分流路径共有路段长度与备选路径长度的比值。

$$R_{ij} = \frac{l_{ij}}{l_j} \quad (4.2)$$

式中:

R_{ij} : i 、 j 两条路径的重复度;

I : O 到 D 之间已确定的分流路径集;

J : O 到 D 之间备选的分流路径集;

$i \in I, j \in J$;

l_{ij} : i 与 j 共有路段长度;

l_j : j 路径总长度;

因事故点至出行者目的地存在 n 条路径, 则有路径集 L 和 a 中路径总数为 n 。如果已确定 k 条分流路径, 则还有 $n-k$ 条备选路径需要与前 k 条分流路径进行比选。每一次比较中, 均要分别求 k 条已确定分流路径与 $n-k$ 条备选路径的重复度, 然后再将 $k \times (n-k)$ 个重复度中值最小的路径确定为分流路径。确定的分流路径越多, 则后面的比较当中备选路径的重复度越来越大, 但最好不要超过 0.5, 因为如此确定的分流路径则会有较长的重复路段, 易导致这些路段在诱导分流的情况下实时交通量超过其通行能力, 引发新

的交通拥堵。

当分流路径确定以后,必然存在着某些绕行路径绕行距离更长的情况。一定程度上,驾驶员因出行距离的不同会成为影响其判断绕行路径的优劣的因素。如果说出行距离较远,那么相对来说可接受的绕行距离也较长。因次,根据驾驶员的出行目的不同,可以考虑诱导远距离出行者由绕行距离较长的路径分流。对于出行目的地较近的出行者,则适宜诱导其由事故路段上游出口匝道分流,由出口匝道连接道路行驶至目的地或由事故路段下游入口匝道重新驶回高速公路。在发布相关的诱导信息时,可根据实际情况发布引导性或提示性的信息,如“去往××方向,请由××道路绕行”。

4.3 分流量确定

4.3.1 事故路段分出流量确定

当事故高速公路所处路网交通量趋于饱和时,若将事故路段的车辆诱导至其它路径绕行,并不能缓解事故路段的交通拥堵状况,反而会扩大事故的影响范围,致使“拥塞漂移”现象的发生。此种情况下,只能对事故路段上游的入口匝道进行流量控制,方能缓解事故路段的交通拥堵状况。当事故高速公路所处的路网实时交通流量较小时,宜将高速公路上的车辆诱导至其它路径进行分流。

如果事故道路需分流的交通量与所有的备选分流路径之间满足下述条件^[41],则可选择一些相对较优的路径进行分流。

$$N_0 \leq \sum_{i=1}^m (C_i - N_i) \quad (4.3)$$

N_0 : 事故高速公路需分流的交通量;

C_i : 分流路径 i 的通行能力;

N_i : 分流路径 i 的实时交通量;

i : 第 i 条分流路径, $i=1,2,\dots,m$ 。

当高速公路发生交通事故时,事故路段的可利用通行能力见表 2.1。选择双向四车道高速公路进行研究。

1、当双向四车道高速公路单向发生交通事故,并阻塞两条车道时,则事故路段的通行能力 $C_0 = 0$ 。

1) 在满足式 (4.3) 的情况下,将事故路段上游的车辆全部由出口匝道诱导至分流路径分流。则此时诱导分流的交通量为 N_0 。

2) 在不满足式 (4.3) 的情况下, 即 $N_0 > \sum_{i=1}^m (C_i - N_i)$, 则事故路段能分流的交通量为 $\sum_{i=1}^m (C_i - N_i)$ 。对于剩余的交通量 $N_0 - \sum_{i=1}^m (C_i - N_i)$ 则只能排队等待, 或者是结合入口匝道的流量控制来减少排队等待的车辆数。

2、当高速公路单向发生交通事故, 并且阻塞一条道路时, 则事故路段的剩余通行能力为 $0.35C_0$ 。

1) 当事故路段的交通量 $N_0 \leq 0.35C_0$, 事故路段车辆缓慢通行, 不会造成交通拥堵, 无需进行诱导分流。

2) 当事故路段的交通量 $N_0 > 0.35C_0$, 需对上游路段部分车辆进行分流。

(1) 当 $N_0 - 0.35C_0 \leq \sum_{i=1}^m (C_i - N_i)$ 时, 则需进行诱导分流的交通量为 $N_0 - 0.35C_0$, 在备选分流路径选择一些较优的路径作为实际分流路径。

(2) 当 $N_0 - 0.35C_0 > \sum_{i=1}^m (C_i - N_i)$ 时, 则能够进行分流的交通量为 $\sum_{i=1}^m (C_i - N_i)$, 对于剩余的交通量 $N_0 - \sum_{i=1}^m (C_i - N_i)$ 则只能排队等待, 或者是结合入口匝道的流量控制来减少排队等待的车辆数。

在高速公路事故路段不会发生交通拥堵的情况下, 应当尽可能减少进行分流的车流量。因为车辆由分流路径绕行会增加个体的出行费用, 进而增加整个路网范围交通系统的运行费用, 降低交通系统的运行效率。当交通诱导未能进行较好的组织与协调时, 会使发布的诱导信息冲突或有误, 产生交通集聚的现象, 甚至产生“拥塞漂移”等问题, 取得适得其反的效果。

4.3.2 可分流路径分流量确定

1、模型因变量与自变量处理

基于本次调查问卷的设置及其调查结果, 对交通拥堵时间与选择交通诱导意愿一题中的选择结果进行归类。因该题中设置有六个选项, 后三个选项表示拥堵时间超过三小时接受交通诱导的意愿。选择前三个选项的出行者相对于选择后三项出行者而言接受交通诱导意愿更加强烈。由此可以近似的将选择前三个选项的出行者看作是愿意接受交通诱导, 选择后三个选项的出行者不愿意接受交通诱导, 即不愿意由诱导路径绕行。将是

否接受交通诱导作为模型的因变量，则为二元离散选择模型，选择肢为 1：愿意接受交通诱导；2：不愿意接受交通诱导。表 4.1 为调查所得是否愿意接受诱导的数据。

表 4.1 选择肢比例

选项	数量	比例
愿意接受诱导	106	87%
不愿意接受诱导	16	13%

因考虑到在实际的交通运行过程中无法确定高速公路出行者的性别、年龄、驾龄等个人属性，则不将出行者个人属性作为自变量。事故地点距离目的地的距离，会因驾驶员出行目的地的不同而不同。通过高速公路交通流监测，我们可以确定某高速公路上出行者主要的出行目的地及其所占的比例。所以考虑将事故点至目的地距离作为一个自变量，简单定义为目的地距离。从而根据其拟合的 logit 模型确定不同目的地出行者的路径选择概率，并且根据不同出行目的地所占比例来进行合理的分流。

此外，也将绕行路径节约时间与选择诱导意愿、绕行路径绕行距离与选择诱导意愿两项作为模型自变量，简单定义为节约时间和绕行距离。本文将拟合两个 logit 模型，其中一个模型变量为目的地距离、节约时间、绕行距离；另一个模型变量为节约时间和绕行距离。考虑到在实际的交通运行中比较难确定驾驶员的出行目的及不同出行目的驾驶员所占比例，在制定交通诱导方案时可以考虑第二个模型进行计算。具体在后续的实例分析当中运用包含节约时间和绕行距离两个变量的 logit 模型来计算分流量。

表 4.2 模型自变量转化表

变量	模型参数	变量取值		
节约时间 (x)	α	1: 0~30min	2: 30min~1h	3: 1h~2h
		4: 2h~3h	5: 3h~4h	6: >4h
绕行距离 (y)	β	5: 0~30km	4: 30km~60km	3: 60km~90km
		2: 90km~120km	1: 120km~150km	0: >150km
目的地距离 (z)	γ	1: 0~50km	2: 50km~100km	3: 100km~150km
		4: 150km~200km	5: >200km	

2、模型建立

1) 三个变量

当选择节约时间、绕行距离、目的地距离三个变量时，建立 logit 离散选择模型，

其效用函数采用常用的线性函数形式，根据以上参数的设定，则效用函数为

$$V_i = C + \alpha x + \beta y + \gamma z \quad (4.4)$$

其中：

i: 第 i 条分流绕行路径；

C: 方程中常量。

采用数据统计软件 SPSS18.0 对调查结果进行 logit 回归分析，其参数标定结果见表 4.3。

表4.3 方程中的变量

		B	S.E.	Wals	df	Sig.	Exp (B)	EXP(B) 的 95% C.I.	
								下限	上限
步骤 1	节约时间	.206	.344	.359	1	.549	1.229	.626	2.412
	绕行距离	-.706	.222	10.150	1	.001	.494	.320	.762
	目的地距离	.250	.212	1.381	1	.240	1.284	.846	1.947
	常量	-.993	1.249	.632	1	.427	.371		

表 4.3 中，B 表示各参数值，即 C、 α 、 β 、 γ 的值分别为-0.993、0.206、-0.706、0.25，S.E 为标准差，Wals=(B/S.E)²，df 为自由度，B 和 Exp(B) 是对数关系，Sig.即我们常说的显著性。

则 logit 离散选择模型的效用函数为：

$$V_i = -0.993 + 0.206x - 0.706y + 0.25z \quad (4.5)$$

选择路径 i 的概率为 P_i ，其 logit 离散选择模型为：

$$P_i = \frac{\exp(-0.993 + 0.206x - 0.706y + 0.25z)}{1 + \exp(-0.993 + 0.206x - 0.706y + 0.25z)} \quad (4.6)$$

2) 两个变量

当仅包含节约时间、绕行距离两个变量时，其效用函数为

$$V_i = C + \alpha x + \beta y \quad (4.7)$$

根据调查结果，采用数据统计软件 SPSS18.0 对调查结果进行 logit 回归分析，其参数标定结果见表 4.4。

表4.4 方程中的变量

	B	S.E.	Wals	df	Sig.	Exp (B)	EXP(B) 的 95% C.I.	
							下限	上限
步骤 1 ^a 节约时间	.280	.337	.687	1	.407	1.323	.683	2.562
绕行距离	-.741	.219	11.491	1	.001	.477	.311	.732
常量	-.379	1.123	.114	1	.736	.684		

则 C、 α 、 β 的值分别为-0.379、0.28 和-0.741。

则 logit 离散选择模型的效用函数为：

$$V_i = -0.379 + 0.28x - 0.741y \quad (4.8)$$

选择路径 i 的概率为 P_i ，其 logit 离散选择模型为：

$$P_i = \frac{\exp(-0.379 + 0.28x - 0.741y)}{1 + \exp(-0.379 + 0.28x - 0.741y)} \quad (4.9)$$

3、路径分流计算

当高速公路发生交通事故，事故点至目的地有 n 条绕行路径，需要分流流量为 Q 时，结合驾驶员选择每条路径的概率，依据下式则可计算出每条绕行路径的分流量。

$$Q_i = \frac{P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} * Q \quad (4.10)$$

式中：

Q_i ：第 i 条分流路径分流量；

P_i ：选择第 i 条路径绕行的概率。

第五章 实例分析

基于上文中对高速公路事故与交通诱导相关基础知识、驾驶员接受交通意愿的研究、高速公路事故条件下制定具体的交通诱导方案时涉及到具体方法的研究，现以京昆高速成都至绵阳段某处发生交通事故为例，制定其在所处的道路网中可以采取的合适的交通诱导措施。首先对京昆高速成绵段所处路网的大致情况进行介绍。

5.1 京昆高速成绵段路网环境

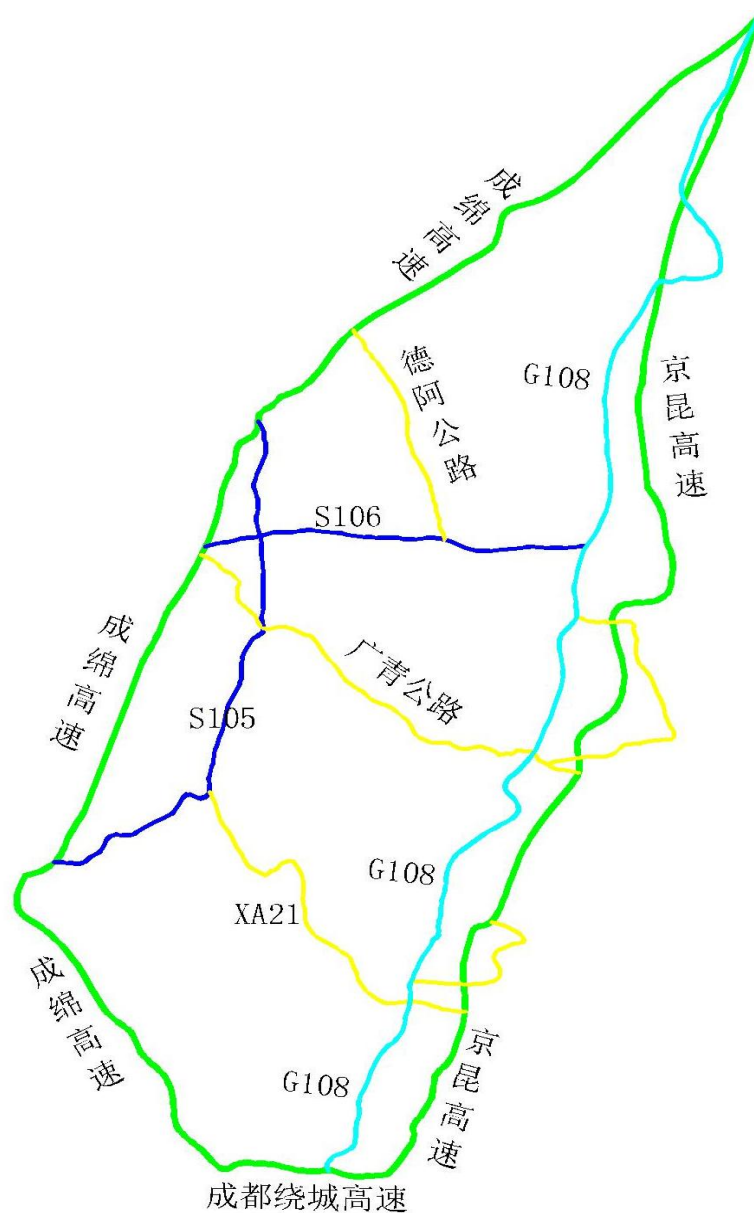


图5.1 京昆高速所处路网图

京昆高速成绵段所处路网见图 5.1，现对路网中各道路大致情况介绍如下。

京昆高速成都至绵阳段：京昆高速成绵段长约 142 公里（K1529~K1671），双向四

车道，设计车速为 100km/h，路面宽度为 24.5m。成都至绵阳段主要有互通立交一座：白鹤林立交；服务区一处：八角井服务区；出入口匝道 11 处：新都、川陕干道/成青快速路、青白江、广汉、广汉北/什邡、德阳南/G108、德阳/S106、黄许/ G108、白马/万佛寺、罗江、金山出入口匝道。年平均日交通量为 28539 辆/d。其中，上行方向年平均日交通量为 13852 辆/d，下行方向年平均日交通量为 14687 辆/d。

成绵复线高速：全长 86.191 公里，起点接成彭高速公路，止点接成绵高速，为双向四车道高速公路，沥青混凝土路面，设计时速 100km/h，路基宽 24.5m，中央分隔带宽 3m。收费站 9 座，分别为彭州、马木河、什邡西、什邡北、新市、绵竹、什地、宝林、金山收费站；设有 2 个服务区：彭州服务区和安县服务区；同时设有 1 个停车区：绵竹停车区。年平均日交通量为 16964 辆/d。上行方向年平均日交通量为 8668 辆/d，下行方向年平均日交通量为 8296 辆/d。

G108：108 国道经过北京、河北、山西、陕西、四川、和云南 6 个省市，其中四川省成绵段长约 208 公里，车道数为双向两车道，设计时速为 60 km/h，德阳段路面宽度为 11m。年平均日交通量为 6594 辆/d。

S105：即成青路，起点为成都，终点为青川，四川境内全长 367 公里。其中德阳段长为 55 公里，道路等级为二级，双向两车道，路面宽度为 9m，设计时速 40 km/h 或 60 km/h。年平均日交通量为 10473 辆/d。

S106：即川西环线，起点为成都市蒲江县，终点为眉山市丹棱县，全长 571 公里，其中德阳段长为 165 公里，双向两车道或四车道，路面宽度为 9m，设计时速 60 km/h。年平均日交通量为 7361 辆/d。

成都绕城高速：全长 84.6 公里，双向六车道，共有大件、成绵、成金（青）、成南、成渝、成龙、天府、成雅、机场、接待寺、文家场、犀浦、成彭、北新十四座立交。年平均日交通量为 4101 辆/d。

可以看出，京昆高速成都至绵阳段所处路网中几条主要道路的实时交通量都不是太大，道路的服务水平较高，当京昆高速发生事故引发交通拥堵时，很适合诱导高速公路事故路段车辆由其他路径绕行，充分利用道路资源。根据 2012 年 1 月份至 7 月份的统计的交通事故数据可知，该时间段内，京昆高速成绵段共发生事故 17 起，包括追尾事故、单车事故、货车侧翻等事故类型。2012 年 1~7 月份，京昆高速成绵段发生的事故主要集中在成都至广汉路段及德阳至绵阳路段，德阳至绵阳段为事故多发路段。

5.2 交通诱导背景分析

根据 2012 年事故数据资料，可以确定大致事故多发段，一般来说，假设交通事故发生在事故多发段的某处，所做实例会比较真实。但由于路网结构的限制，为便于清楚的表现交通诱导方案的过程及具体的分流方案，将事故的发生点设在京昆高速什邡至德阳段。假设事故点位于京昆高速上行方向什邡至德阳南段距什邡出口匝道 5km 处，事故占用全部车道，交通拥堵排队长度达 2km，交通持续时间为 2 小时。根据 2012 年四川省公路交通情况调查统计年报资料可计算出京昆高速上行交通量为 898 辆/h，每条实际车道通行能力为 1452 辆/h。因事故路段上游不存在中央分隔带开口，则考虑诱导上行方向所有车辆进行绕行分流，从而降低事故带来的影响，避免发生交通拥堵。

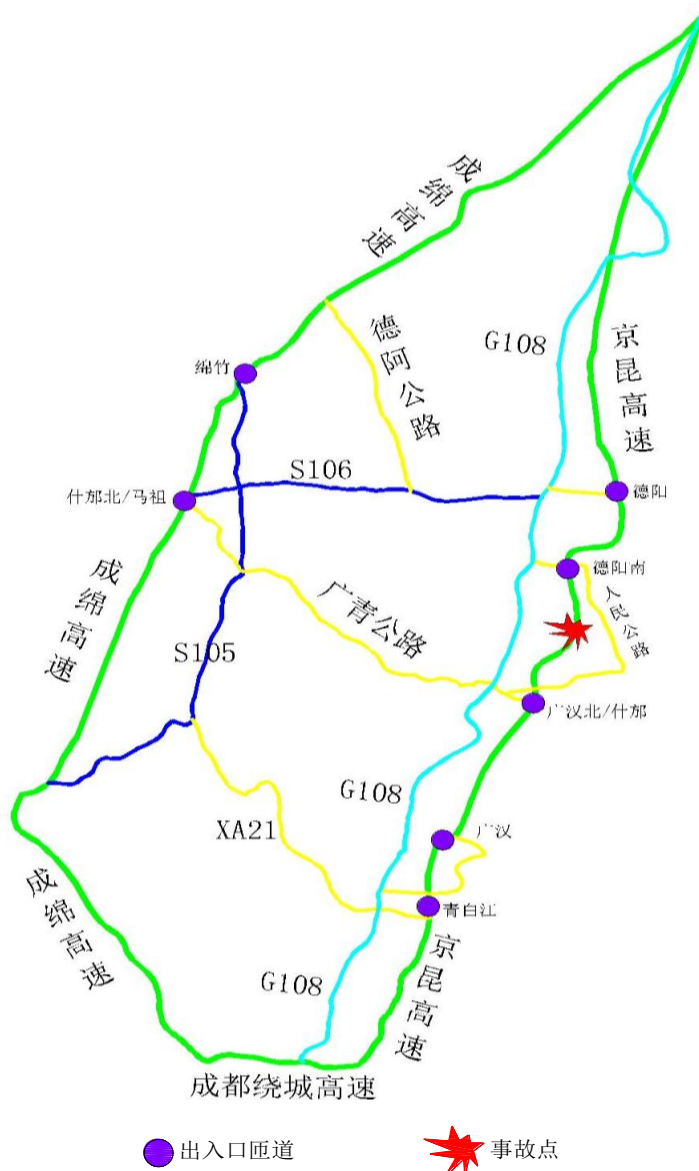


图5.2 事故点及出入口匝道位置

事故发生在什邡出口下游路段距其 5km 处，且事故引发的交通拥堵排队长度仅为 2km，拥堵并未蔓延至事故路段上游约 12.3km 处广汉出口匝道，而只需将什邡出口作为分流点。但根据 2012 年四川省高速公路结算中心资料推算可知，什邡出口匝道交通量为 123 辆/h，而该匝道通行能力为 787 辆/h，则其剩余通行能力为 664 辆/h，事故路段需要分流交通量为 898 辆/h，超过什邡出口匝道剩余通行能力。则需提前在广汉出口匝道同时进行分流，其中，广汉出口匝道交通量为 72 辆/h，剩余通行能力为 715 辆/h。则将广汉出口匝道、什邡出口匝道定为分流点，满足对出口匝道剩余通行能力的要求。

事故点上游路段车辆分别由广汉出口、什邡出口两处分流点分流，由于京昆高速成绵段所处路网网络较为简单，可以清晰的寻找到以下六条分流路径。

路径 1：京昆高速-广汉出口-G108-德阳南入口-京昆高速；

路径 2：京昆高速-广汉出口\什邡出口-广青公路-S105-绵竹入口-成绵复线高速；

路径 3：京昆高速-广汉出口\什邡出口-广青公路-什邡北入口-成绵复线高速；

路径 4：京昆高速-什邡出口-人民公路-德阳南入口-京昆高速；

路径 5：京昆高速-什邡出口-G108-德阳南入口-京昆高速；

路径 6：京昆高速-什邡出口-G108-德阳入口-京昆高速。

其中，路径 2 的绕行距离最长，约为 40km，但仍在驾驶员的可接受范围内。由示意图可知，路径 5 绕行距离较短，绕行行程时间较短，且由事故路段上游临近出口匝道分流，由事故路段下游临近入口匝道重新驶回高速公路，可以看作是 6 条分流路径中的最优路径。运用 4.2 小节中介绍的重复度概念，一一确定其他的绕行路径。

由计算可知，路径 3 相对于路径 2 的重复度 R 为 0.63，超过 0.5，且路径 2 中路段（S105）较路径 3 中路段行车条件更优，遂将路径 3 排除，将路径 2 确定为分流路径。路径 2 中车辆可由广汉出口匝道或者什邡出口匝道分流，但考虑到什邡出口匝道的剩余通行能力问题，遂确定为由广汉出口匝道分流。路径 5 相对于路径 4 的重复度 R 为 0.52，但考虑到德阳南入口匝道和德阳入口匝道的剩余通行能力问题，遂将两条路径均纳入确定的可分流路径中。其中，各出入口匝道通行能力及交通量情况见表 5.1。

表 5.1 出入口匝道通行能力（上行）

出入口匝道	实际通行能力 (辆/h)	交通量 (辆/h)	剩余通行能力 (辆/h)
广汉出口	787	72	715
什邡出口	787	123	664
德阳南入口	787	430	357
德阳入口	787	222	565

根据以上分析，最终确定如下五条交通诱导分流路径。

路径 1：京昆高速-广汉出口-G108-德阳南入口-京昆高速；

路径 2：京昆高速-广汉出口-G108-广青公路-S105-绵竹入口-成绵复线高速；

路径 3：京昆高速-什邡出口-人民公路-德阳南入口-京昆高速；

路径 4：京昆高速-什邡出口-G108-德阳南入口-京昆高速；

路径 5：京昆高速-什邡出口-G108-德阳入口-京昆高速。

5.3 交通诱导分流

根据相关的统计数据，最终确定每条分流路径的里程，并且依据每条路径各路段里程及其行车速度，计算出各路径具体的行程时间，具体数据见表 5.3。

表 5.2 路径里程及行程时间

路径编号	路径里程 (km)	行程时间 (min)
1	28.4	30
2	62.5	91
3	21.6	42
4	17.1	23
5	25.7	33

由于拥堵时间为两小时，则分别由路径 1、路径 2、路径 3、路径 4、路径 5 绕行可节约的行程时间依次为：90min、29 min、78 min、107 min、97 min。将每条分流路径的节约时间、绕行距离两参数代入 4.3 小节中回归的 logit 离散选择模型，可分别求得选择每条路径的概率为 0.265、0.089、0.364、0.5、0.323。因京昆高速事故路段需分出流

量为 898 辆，则计算出每条分流路径分得流量为 174 辆、54 辆、138 辆、323 辆、209 辆。由于每条分流路径均包括不同的组成路段，为避免因过分加载交通量引发新的交通拥堵，需将每条路段分得的流量相加，以观察是否超过其剩余通行能力，对于不同的出口匝道、入口匝道也需要进行分析。

表 5.3 路段通行能力（上行）

路段	实际通行能力 (辆/h)	交通量 (辆/h)	剩余通行能力 (辆/h)
G108	900	214	763
成绵复线高速	2904	562	2342
S105	700	339	582

经过相关计算，结合表 5.1、表 5.3 中显示的出入口匝道和主要道路交通量及通行能力状况，发现什邡出口匝道需分流交通量为 670 辆/h，而其剩余通行能力仅为 664 辆/h；德阳南入口匝道需加载交通量为 635 辆/h，而其剩余通行能力仅为 357 辆/h；G108 什邡至德阳南路段加载总流量为 706 辆/h，将要达到其剩余通行能力。

因分流量的加载致使交通量什邡出口匝道、德阳南入口匝道的通行能力，需要在 logit 模型确定出分流方案的基础上适当调整分流方案，避免因匝道交通回流引发新的交通拥堵，使交通拥堵范围扩大。

根据出入口匝道、分流路径各路段实时交通量、通行能力情况及选择每条分流路径的概率大小，对交通诱导方案进行进一步调整，最终确定每条分流路径的分流量。

路径 1：京昆高速-广汉出口-g108-德阳南入口-京昆高速，其分流量为 180 辆/h。

路径 2：京昆高速-广汉出口-广青公路-s105-绵竹入口-成绵高速，其分流量为 60 辆/h。

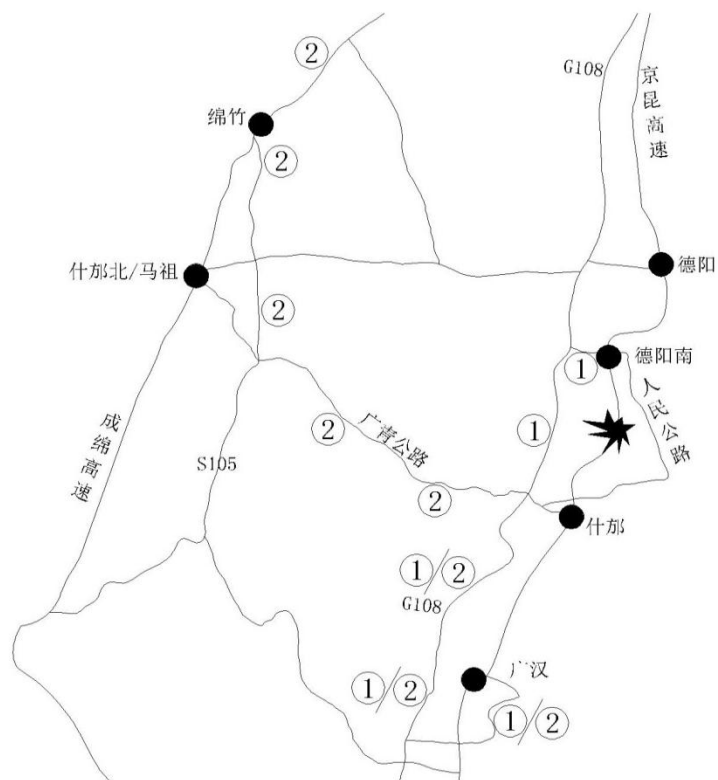


图 5.3 分流路径 1、2 示意图

路径 3: 京昆高速-什加出口-人民公路-德阳南入口-京昆高速, 其分流量为 69 辆/h。

路径 4: 京昆高速-什加出口-g108-德阳南入口-京昆高速, 其分流量为 102 辆/h。

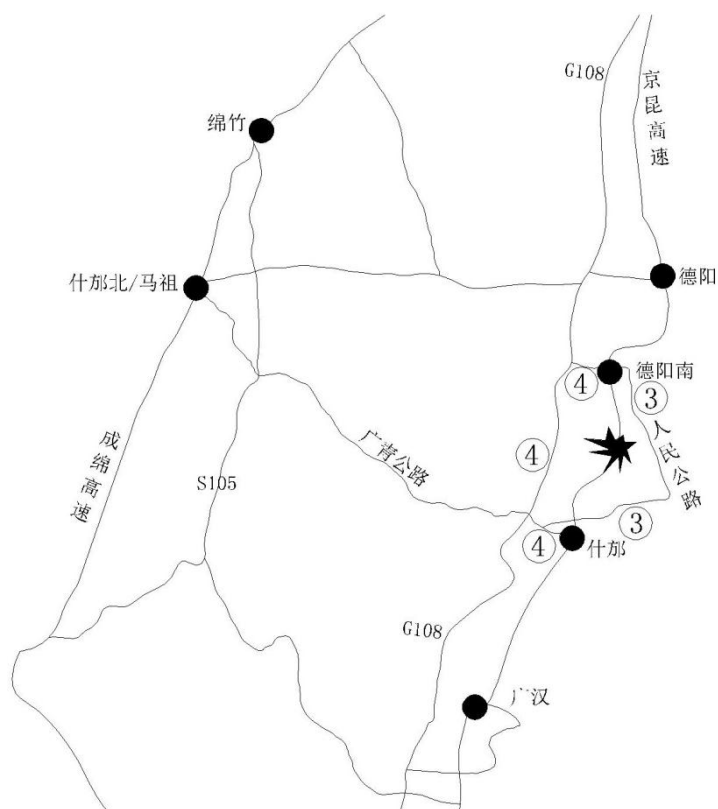


图 5.4 分流路径 3、4 示意图

路径 5：京昆高速-什邡出口-g108-德阳入口-京昆高速，其分流量为 487 辆/h。

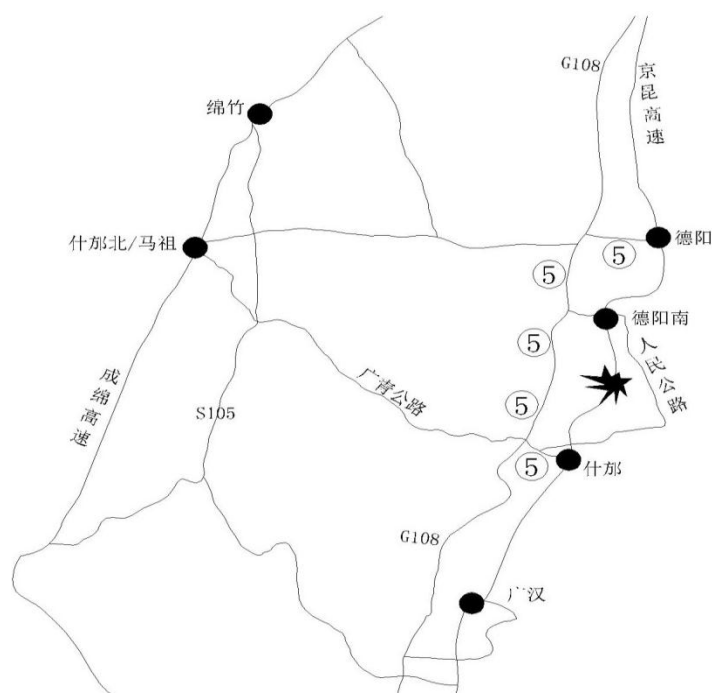


图 5.5 分流路径 5 示意图

在调整分流方案的情况下，广汉出口匝道分流量为 234 辆/h，什邡出口匝道分流量为 664 辆/h，G108 广汉至什邡段分流量为 240 辆/h，广青公路分流量为 60 辆/h，S105 分流量为 60 辆/h，人民公路分流量为 69 辆/h，G108 什邡至德阳南段分流量为 763 辆/h，G108 德阳南至德阳段分流量为 487 辆/h，德阳南入口匝道加载流量为 357 辆/h，德阳入口匝道加载流量为 487 辆/h。与表格 5.1、5.3 中数据相比较，均未超过其剩余通行能力，则该分流方案可行。

可以看出，路径 2 绕行距离相对较长。对于去往绵阳、广元方向的车辆，可诱导其由路径 1、路径 2、路径 5 绕行；对于去往什邡方向的车辆，可诱导其由路径 3、路径 4 绕行；对于去往德阳方向的车辆，可诱导其由路径 1、路径 5 绕行。因采取引导性为主的交通诱导措施，则需在发布信息时显示如“去往广元方向，请由广青公路绕行”等信息，如此，才能更好的给驾驶员提供参考，使诱导方案的接受程度更高。

第六章 结论与展望

6.1 结论

高速公路的交通运行状况受道路环境、自然环境的影响较大。当高速公路发生交通事故后，涉及到人员救援、清理现场、疏散交通等多个方面的问题，由于高速公路本身的特点及其所处的路网环境特点，致使事故后的交通诱导实施较正常情况下更加复杂。本文仅针对正常天气状况下高速公路发生交通事故的交通诱导方案制定做了相关研究，通过上述研究，可以得到以下几方面结论：

1、不同通行能力情况下，高速公路发生事故所应采取的交通组织方案有所不同，需要将交通诱导与其他的方案相结合才能更好的起到缓解交通压力的作用。不同的事故形态下，其事故持续时间有所不同，导致事故的影响范围不同，从而具体的交通诱导范围不同，可能只是对高速公路上行驶的车辆进行诱导，也可能需要对高速公路连接道路上的车辆进行诱导。

2、对于不同出行目的地、处于不同道路上的出行者而言，当高速公路发生交通事故需要车辆绕行的情况下，出行者所需要的交通诱导信息也会有所不同。对于出行目的地不同的出行者，需提供给其合适的路径信息、道路交通信息，以便于提高交通诱导的接受程度。

3、驾驶员的性别、驾龄会影响到其事故交通拥堵时间忍耐度和拥堵排队长度忍耐度，同样会影响其对交通诱导方案的心理认知。绕行路径行程时间相对于事故路径节约超过两小时，100%的驾驶员均愿意接受交通诱导。然而，当分流路径绕行距离超过100km时，几乎所有的驾驶员都不愿意接受交通诱导。当然，这是一个相对的选择状况，如果说拥堵时长超过20h，那么绕行路径节约的1h~2h，就显得不足轻重。如果说事故点距离出行者目的地距离仅为30km，驾驶员自然不愿意多绕行30km；同样，如果说事故点距离出行者目的地距离长达300km，那么即使分流路径绕行距离长达50km，驾驶员也是可以接受的。驾驶员对于分流路径节约时间、绕行距离的界限选择标准主要还是随着事故拥堵持续时间及其出行目的地变化的。

4、事故条件下的交通诱导分流点主要包括高速公路互通立交、出口匝道等一级分流点和分流路径重合路段的二级分流点。分流点的确定主要取决于交通诱导的范围。而分流路径的确定主要需要根据路径重复复来判断，重复度太大，会影响分流路径的实际

分流效果。

5、高速公路事故路段需要分出流量的确定主要由分流路径的剩余通行能力决定的，不能超过所有分流路径总的剩余通行能力。依据调查所得的驾驶员交通诱导心理认知数据拟合的 logit 离散选择模型制定出的分流方案，会比依据传统的分流模型做出的分流方案更加符合驾驶员的意愿，更容易被出行者接受，使得引导性的交通诱导能够达到预期的效果，提高诱导的效率。

以上几方面的结论中，作者取得了以下突破：

1、分析不同服务水平下高速公路发生事故应采取的交通控制与诱导措施，提出不同事故形态下交通诱导的必要性及诱导策略的不同。改进重复度的概念，以此作为确定分流路径的基础。

2、调查分析驾驶员对于交通诱导的心理认知情况。依据数据分析得出驾驶员愿意接受交通诱导的各类界限值。构建基于交通诱导系统使用者或者说服从者意愿的路径分流模型，使得所制定的交通诱导方案更符合驾驶员的选择意愿，提高交通诱导方案的引导性作用。

6.2 展望

高速公路事故条件下的交通诱导是一项复杂的系统工程，由于理论知识的欠缺、实践经验的不足以及获得数据的不完善，本文存在以下几方面不足：

1、未能准确的说明分流点确定、分流路径确定及分流量确定三者之间的影响关系，交通诱导具体方案的制定步骤仍然不是很清晰。只是分析了高速公路一般路段发生事故时的交通诱导，未提出桥梁、隧道等特殊路段发生事故的诱导情况的不同点或者具体诱导方案。

2、对于调查问卷的设计不够严谨，未能在设置相应的事故拥堵持续时间、出行目的地距离限制的情况下来调查驾驶员对于分流绕行路径节约时间和绕行距离的接受界限。其次是一些题目中选项的设置不够规范，不能得到详细的趋势变化曲线及相关的比例。

3、对于如何在大范围内搜索可行的分流路径并未提及具体方法。通过调查数据拟合的 logit 离散选择模型置信水平较低，需要进一步的改进调查问卷的设置并且优化调查数据的处理方法。

对于以上研究的不足，为了制定出更优的交通诱导方案，推动交通诱导的快速发展，

尚可从以下一些方面作进一步的研究：

1、完善的设置驾驶员交通诱导心理认知调查的题目及选项，使其更加清晰，得出的结果更能够反映出驾驶员的心理认知或者说意愿。从而能够拟合出准确的基于驾驶员意愿的诱导分流模型。

2、将分流点、分流路径、分流量的确定更加定量化，使得在一个诱导周期范围内能够更好的融合三者的关系，优化所制定的交通诱导方案。

3、研究高速公路特殊路段、异常天气下或者其他重大灾害条件下的交通诱导。研究交通诱导与其他交通控制、组织措施的结合，保持高速公路的良好通行环境，减少重大灾害带来的经济损失、人员伤亡及交通延误。

参考文献

- [1]Victor L. Knoop, Serge P. Hoogendoorn, Henk van Zuylen. Rerouting Behaviour of Travellers under Exceptional Traffic Conditions – an Empirical Analysis of Route Choice. *Procedia Engineering* ,2010,3 : 113-128.
- [2]郭太生. 美国公共安全危机事件应急管理研究[J]. 中国公安大学学报, 1999, 12: 34-38.
- [3]王晓飞. 灾变条件下道路网运营安全管理及应急处理研究[D]. 上海: 同济大学, 2008: 30-127.
- [4] Looze D. Decentralized Control with Application to Freeway Ramp Metering [J]. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 1980, 23 (2):266-274.
- [5] Gershwin S. B. Optimal Static Traffic Control Constrained Route System by Choice Behavior, Laboratory for Information and Decision LIDS-P-870 [D]. Massachusetts Institute of Technology,1983.
- [6] Yorgos J, Stephanedes. On-Line Traffic Assignment for Optimal Freeway Corridor Control[J]. *Transp. Eng.*,1990,116:744-755
- [7]Thanavat. Integrated Route Assignment and Traffic Simulation with Computing Architecture[D]. The Maryland University, 1994.
- [8]David E. Boyce,Der-Horng Lee,Bruce N. Janson, Stanislaw Berka. Dynamic Route Choice Model of Large-ScaleTraffic Network[J]. *Transportation Engineering*,1997, 123: 276-282.
- [9]Yannis P, Markos P.Simple Decentralized Feedback Strategies for Route Guidance in Traffic Network[J].1998.
- [10]Dither M. Integrated Information and Traffic Control Strategies for Congested Freeway Corridors[D]. Texas University, Austin,1999.
- [11]Younes. Strategic Model for Dynamic Traffic Assignment [J] .*Networks and Spatial Economics*, 2004, 289-317.
- [12]Shiftan Y,Bekhor S, Albert G. Route Choice Behavior with Pre-trip Travel Time Information.The Institution of Engineering and Technology ,2011,5: 183–189.
- [13]Alessan. Control of Freeway with Speed Signaling and Ramp Metering. *Control Engineering Practice* ,1998,6:75-81.

- [14]杨兆升, 朱中. 交通诱导信息系统研究[J]. 公路交通科技, 1999, 12: 34-38.
- [15]姜紫峰, 韩锡令. 高速公路事故条件下交通流中等密度的可变速度和入口匝道控制[J]. 西安公路学报, 2004, 14 (4): 58-62.
- [16]朱军功, 柴干. 省域高速公路联网信息发布系统初探[J]. 公路, 2005, 11: 147-150.
- [17]李春元. 动态路径诱导系统的多路径诱导策略研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2008.
- [18]靳引利. 省域高速公路交通诱导系统关键技术研究[D]. 西安: 长安大学, 2009.
- [19]于悦. 灾害条件下城市交通诱导系统关键技术研究[D]. 长春: 吉林大学, 2010: 102-103.
- [20]刘建美. 诱导条件下的路径选择行为及协调方法研究[D]. 天津: 天津大学, 2010.
- [21]聂伟. 高速公路交通事故特性及诱导控制策略研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2012.
- [22]李玉龙, 宁乐然, 王德焱. 高速公路交通事故分析与对策[J]. 交通与运输, 2013, 1: 204.
- [23]缪和匠. 高速公路二次事故预防关键技术研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2009: 11.
- [24]刘轰, 王瑞, 杨正. 构建高速公路公共服务信息平台[J]. 中国交通信息化, 2013, 12: 34-38.
- [25]程振华. 高速公路交通事故紧急救援管理研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2006: 11-13.
- [26]姜红宇. 高速公路交通事故应急管理体系优化研究[D]. 西安: 长安大学, 2010: 19-22.
- [27]孙永俊. 预防高速公路二次交通事故策略研究[D]. 西安: 长安大学, 2008.
- [28]李明星. 高速公路交通安全服务水平评价研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2010: 17-19.
- [29]张杰. 高速公路安全服务水平分级量化标准及应用研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2011: 91-95.
- [30] HCM2000
- [31]曹建军. 我国高速公路交通事故分析及对策[J]. 中国交通信息化, 2013, 9: 121-124.
- [32]施莉娟, 朱健, 陈小鸿, 王晓鸣. 浦东新区道路网交通诱导方案研究[J]. 华东公路, 2010, 5: 3-6.
- [33]吴维. 动态路线诱导系统中诱导周期问题研究[D]. 天津: 天津大学, 2008: 16-25.
- [34]刘俊德. 灾害条件下高速公路行车安全管理技术研究[D]. 西安: 长安大学, 2012: 102-105.
- [35]黄裕乔. 动态交通诱导信息时空发布策略研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2012.
- [36]周元峰. 基于信息的驾驶员路径选择行为及动态诱导模型研究[D]. 北京: 北京交通大

学, 2007: 17-20.

[37]Richard H.M, Peter N, Piet R, Jos N. Variable Message Signs and Radio Traffic Information: an Integrated Empirical Analysis of Drivers' Route Choice Behaviour. Transportation Research,1996,30(2):135-153.

[38]张煜坤.交通事件持续期内的出行者路径选择行为研究[D].成都:西南交通大学,2012: 18-20.

[39]周伟. 节假日高速公路免费通行条件下交通流组织研究[D].广州: 华南理工大学, 2013: 24-26.

[40]常振文. 路网环境下高速公路交通事故紧急交通组织研究[D]. 西安: 长安大学, 2010: 14-17.

[41]王晓飞. 灾变条件下通道路网运营安全管理及应急处理研究[D]. 上海: 同济大学, 2008: 23-118.

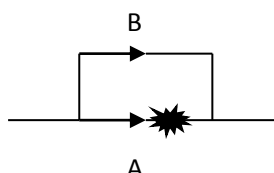
驾驶员路径选择行为调查

1、您的性别（）
a、男 b、女

2、您的年龄（）
a、18-25 岁 b、25-35 岁 c、35-45 岁 d、45-55 岁 e、55 岁以上

3、您的驾龄（）
a、5 年以内 b、5-10 年 c、10 年以上

4、A 是一条高速公路，当 A 发生交通事故，导致交通拥堵时，以下各题中您是否愿意选择由 B 道路绕道行驶：



- 50

攻读学位期间取得的研究成果

1、发表的论文

- [1] 李炼恒. 高速公路特殊路段可变信息标志布设研究[J]. 湖南交通科技, 2013, 39 (2): 217-219.

2、参与课题

- [1] 河北沿海高速（沧州段）灾害条件下安全运行管理研究
[2] 基于复杂路网环境下运营高速公路交通流影响分析的交通运行保障技术研究
[3] 经营性社会公共停车场投资效益评估

致谢

三年的研究生生活历历在目，一边感叹着时光匆匆，一边又对毕业充满了期待。在这三年的学习生活中，我深切感受到身边的老师、同学所给予的关心，也是在这样一个和谐的氛围里，得以给完成自己的学位论文积攒着理论上、实践上的经验。

感谢导师马荣国教授在学习上、生活上给予的关心。他的孜孜不倦、一丝不苟，带给我很深的影响；他对专业理论的深刻见解使我受益匪浅；他的鼓励带给我足够的信心。真心感谢马老师，因为他的帮助使我的论文完成过程更加顺利。

感谢梁国华副教授对于我论文写作结构、内容上所提出的修改意见，以及在课题讨论、研究过程中所给予的指导。感谢邓亚娟副教授对于论文中调查问卷设计所给予的意见，感谢邓老师在专业理论学习、课题研究过程中给予的鼓励。

感谢各参考资料中的作者及学者们，是你们提供的详细的数据资料、理论研究，才使得我的论文写作有了参考的基础，有了整体写作的思路。

感谢父母及家人在我学习生涯中所给予的无微不至的关怀，是他们的理解和鼓励让我能够顺利的完成毕业论文。

感谢课题组的同窗及同门的师兄师妹们给予的论文修改上、数据调查上的意见，感谢大家的帮助，是你们的存在让我度过了充实的研究生生活。

再次感谢所有给予我帮助的老师及同学们，谢谢你们！