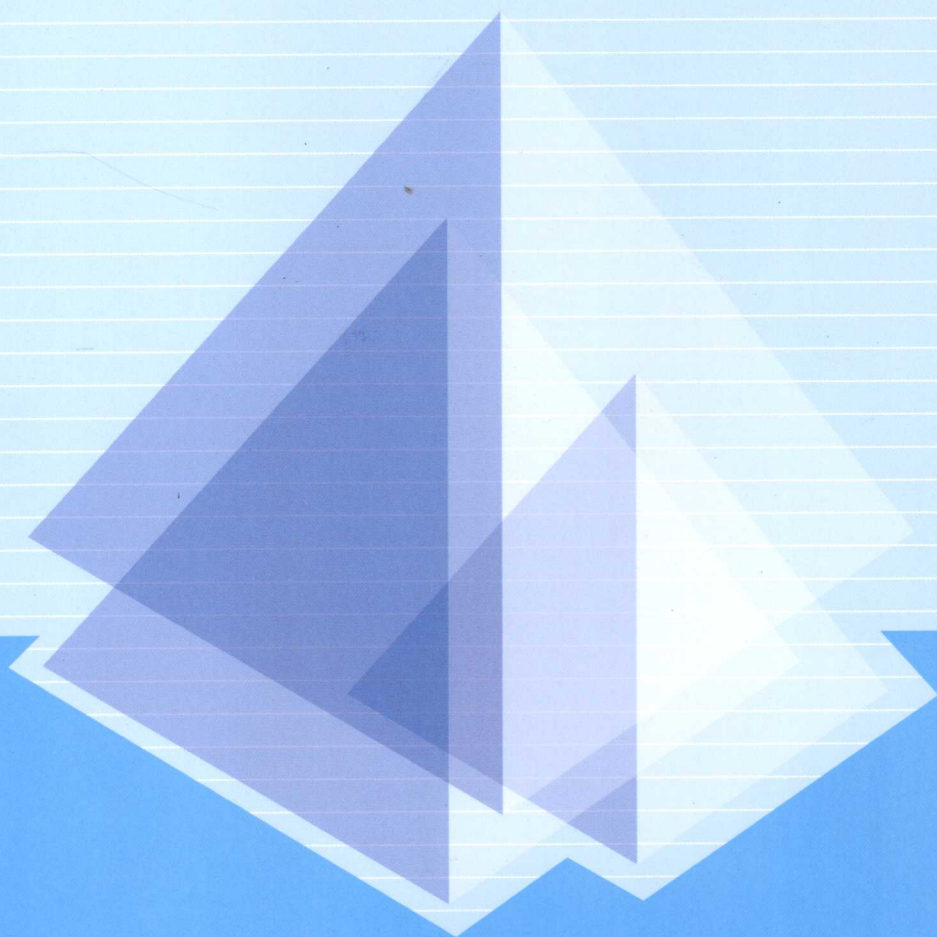


全国大学生数学建模竞赛 湖南赛区优秀论文集 (2013)

全国大学生数学建模竞赛湖南赛区组委会 编
吴孟达 主编



清华大学出版社

全国大学生数学建模竞赛 湖南赛区优秀论文集 (2013)

全国大学生数学建模竞赛湖南赛区组委会 编
吴孟达 主编



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书收录了2013年全国大学生数学建模竞赛湖南赛区获得全国一等奖的部分优秀论文。这些论文分别围绕“车道被占用对城市道路通行能力的影响”、“碎纸片的拼接复原”和“古塔的变形”这三个实际问题展开研究,从不同的角度出发,综合运用多种数学方法,建立了各具特色的数学模型。为了保持论文原貌,本书只做了符号和文字上的订正,没有进行大的改动。同时,每篇论文都附有指导教师点评。

本书可作为高等院校数学建模课程的参考用书,也可作为数学建模竞赛的培训资料。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

全国大学生数学建模竞赛湖南赛区优秀论文集. 2013/
全国大学生数学建模竞赛湖南赛区组委会编.--北京:清华大学出版社,2014
ISBN 978-7-302-35700-1

I. ①全… II. ①全… III. ①数学模型—文集 IV. ①022-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第056698号

责任编辑:陈明洪英

封面设计:傅瑞学

责任校对:王淑云

责任印制:刘海龙

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:14 字 数:336千字

版 次:2014年5月第1版 印 次:2014年5月第1次印刷

印 数:1~2500

定 价:32.00元

产品编号:057828-01

编 委 会

主编：吴孟达 国防科技大学教授

编委：（以姓氏笔画排序）

刘仲云 长沙理工大学教授

刘勉声 中南林业科技大学副教授

李成福 湘潭大学教授

张 卫 湖南师范大学副教授

张鸿雁 中南大学教授

易昆南 中南大学教授

罗 汉 湖南大学教授

周铁军 湖南农业大学教授

侯进军 湖南科技大学教授

度 清 吉首大学教授

廖基定 南华大学教授



数学建模是连接数学与实际问题的桥梁。数学建模在应用数学方法解决各类实际问题的过程中起到的作用越来越重要,已经成为现代应用数学的一个重要领域。培养大学生数学建模这一必备的技能 and 素质,对于培养高质量、高层次人才具有重要意义。

由教育部高教司和中国工业与应用数学学会主办的全国大学生数学建模竞赛提供了一个实战平台,参赛同学有机会亲身体验用数学方法解决一个具体实际问题的全过程。在这个过程中,像实际的科研活动一样,不但要发挥个人的主观能动性和创造力,还要全队密切配合、分工明确、协同工作,这样才有可能高质量地完成解答。该项竞赛已有二十多年的历史,一直受到广大同学的欢迎,不断向前发展,目前是全国高校中规模最大的课外科技活动,有力地推动了大学数学教育改革。

根据《关于组织举办 2013 年全省普通高校大学生学科竞赛活动的通知》(湘教通〔2013〕167 号)和全国大学生数学建模竞赛组委会的有关要求,湖南省教育厅于 2013 年 9 月 13 日至 16 日组织举办了湖南省大学生数学建模竞赛暨全国大学生数学建模竞赛湖南赛区的比赛。全省共有 40 所普通高校的 693 个代表队参赛。参赛同学围绕“车道被占用对城市道路通行能力的影响”、“碎纸片的拼接复原”、“古塔的变形”和“公共自行车服务系统”四个实际问题展开研究。在竞赛过程中,同学们的聪明才智和创新精神得到了充分的发挥,提交了不少出色的答卷,涌现出一批优秀的参赛队。经竞赛组委会组织专家评审并报送全国组委会评审,共获得全国一等奖 18 项,二等奖 48 项,其中一组一等奖参赛论文获得本科组 MATLAB 创新奖。

本书收录了湖南赛区本科组获全国一等奖论文 12 篇,专科组获全国一等奖论文 2 篇(排名不分先后)。这些论文分别从不同角度出发,综合运用多种数学方法,建立了各具特色的数学模型,很好地完成了题目中提出的各项要求。本书既可以作为高等院校数学建模课程参考用书,也可以作为数学建模竞赛培训资料。希望本书的出版,能够让更多的大学生、教师以及关心数学建模竞赛的人们了解这项赛事,并给准备参加竞赛的同学们以适当的启发。同时,对于有意继续研究这些问题的师生,本书也是一本很好的参考书。为保持论文原貌,本书只做了符号和文字上的订正,没有进行大的改动。同时,每篇论文都附有指导教师点评。

本书在编辑出版过程中,得到了各参赛院校和清华大学出版社的大力支持,在此表示衷心感谢。

全国大学生数学建模竞赛
湖南赛区组委会
2013 年 12 月

2013 年全国大学生数学建模竞赛 A 题：车道被占用对城市道路通行能力的影响	1
车道被占用对城市道路通行能力的影响 黄琛,刘子豪,谢卓瞻	3
车道被占用对城市道路通行能力的影响 吴启亮,刘勉立,宋东兴	22
车道被占用对城市道路通行能力的影响 曾玉,宋一凡,吴文博	37
车道被占用对城市道路通行能力的影响 赵云彪,邢振江,柳群玲	55
关于车道被占用对城市道路通行能力的影响问题研究 许丹丹,段智强,刘彩虹 ..	68
车道被占用对城市道路通行能力的影响 刘星,肖军,黄奇卉	82
车道被占用对城市道路通行能力的影响 冯添富,林丽玲,赵根根	96
2013 年全国大学生数学建模竞赛 B 题：碎纸片的拼接复原	113
基于旅行商规划模型的碎纸片拼接复原问题研究 向航,王帆,郭树璇	115
基于边缘信息挖掘和人机交互的碎纸片拼接复原方法研究 张胜,程然,赵丹玲	130
碎纸片的拼接复原 赵然,苗富,罗迎迎	149
碎纸片的拼接复原 黄冠文,蒋傅礼,陈磊	162
碎纸片的拼接复原 赵成舵,陈少华,黄峥	173
2013 年全国大学生数学建模竞赛 C 题：古塔的变形	187
对古塔在自然环境中变形研究 龙湘月,颜学镇,伍白芬	189
古塔的变形分析 张鹏,王莎,吴佳慧	203

2013 年全国大学生数学建模竞赛 A 题： 车道被占用对城市道路通行能力的影响

车道被占用是指因交通事故、路边停车、占道施工等因素，导致车道或道路横断面通行能力在单位时间内降低的现象。由于城市道路具有交通流密度大、连续性强等特点，一条车道被占用，也可能降低路段所有车道的通行能力，即使时间短，也可能引起车辆排队，出现交通阻塞。若处理不当，甚至可能出现区域性拥堵。

车道被占用的情况种类繁多、复杂，正确估算车道被占用对城市道路通行能力的影响程度，将为交通管理部门正确引导车辆行驶、审批占道施工、设计道路渠化方案、设置路边停车位和设置非港湾式公交车站等提供理论依据。

视频 1(附件 1)和视频 2(附件 2)中的两个交通事故处于同一路段的同一横断面，且完全占用两条车道，请研究以下问题。

问题 1: 根据视频 1(附件 1)，描述视频中交通事故发生至撤离期间，事故所处横断面实际通行能力的变化过程。

问题 2: 根据问题 1 所得的结论，结合视频 2(附件 2)，分析说明同一横断面交通事故所占车道不同对该横断面实际通行能力影响的差异。

问题 3: 构建数学模型，分析视频 1(附件 1)中交通事故所影响的路段车辆排队长度与事故横断面实际通行能力、事故持续时间、路段上游车流量间的关系。

问题 4: 假如视频 1(附件 1)中的交通事故所处横断面距离上游路口变为 140m，路段下游方向需求不变，路段上游车流量为 1500pcu/h，事故发生时车辆初始排队长度为零，且事故持续不撤离。请估算，从事故发生开始，经过多长时间，车辆排队长度到达上游路口。

(附件略，请到 <http://www.shumo.com> 下载。)

车道被占用对城市道路通行能力的影响

黄琛, 刘子豪, 谢卓瞻

指导教师: 秦宣云

(中南大学 湖南长沙 410083)

摘要

针对问题 1, 首先分别统计视频 1 单位时间流入流出的车辆数, 对于部分时间间隔缺失的数据, 采用拉格朗日插值法估算出缺失值。根据统计数据计算出事故横断面处的实际通行能力, 再做出实际通行能力随时间变化的图像。最后用进一步优化的模型分析车辆经过事故横断面的速度变化, 可直观地反映通行能力的变化, 得出了视频 1 通行能力先下降后回升的大体趋势的结论。

针对问题 2, 从事故开始, 在固定时间段内比较视频 1 和视频 2 排队长度达到 120m 的次数及排队持续时间、各个时间间隔的实际通行能力的平均值、归一化速度值和速度减少的百分比这三方面的差异, 得到了视频 1 中堵塞靠近中央分隔带的两条车道的情况下的通行能力要小于视频 2 中堵塞靠近人行道的两条车道的情况, 且视频 1 中车辆通行能力下降水平大于视频 2 中的车辆通行能力。

对于问题 3, 考虑到车辆排队的流动性, 本文用车流波动理论分析路段发生交通事故后的车辆排队现象, 根据实际车流集结波和消散波的传播过程建立了发生交通事故后的车辆排队长度与事故横断面的通行能力、事故持续时间、路段上游车流量间关系的周期递推模型。考虑到红绿灯具有周期性相位, 对于不同的周期, 上游车流量不同, 因此把一个红绿灯周期作为车辆排队的周期过程。根据每一周期内红绿灯的相位时间分布, 求出周期内车流集结波和消散波传播距离的差值即为排队长度, 上一周期的排队长度对下一周期的排队长度累积, 形成递推。求出第 $n+1$ 个周期内, 在事故持续时间 t 时刻的车辆排队长度与横断面的实际通行能力、事故持续时间、上游车流量间的关系表达式(见式(15))。从事故发生点开始, 以 1min 为间隔采集 13 次视频 1 中对应时刻的实际排队长度, 并与模型所求解出的理论排队长度序列进行显著性检验, 双侧概率为 $0.652 > \alpha = 0.05$, 说明实际排队长度序列与理论排队长度序列无显著性差异, 验证了模型的正确性。

对于问题 4, 本文先根据模型 3 的反向思维, 在已知排队长度为 140m 的情况下, 建立了基于固定排队长度, 预测事故持续时间的预测模型, 最后求得需经过 8min 28s 车辆排队长度才到达上游路口。为了验证模型的正确性及合理性, 本文使用仿真软件 PTV-VISSIM 4.0 对理论模型进行了验证, 最后得到的结果为 8min 50s, 两者的误差仅为 4.22%, 证明模型的精度较高。

关键词: 通行能力 排队长度 车流波动 周期递推 VISSIM 交通仿真

1. 问题的重述

日常的道路交通与我们的生活息息相关,然而由于交通事故、路边停车、占道施工等因素所导致车道被占用的现象,已经成为阻碍日常交通顺畅的主要因素之一。因为城市道路具有交通流密度大、连续性强等特点,一条车道被占用,也可能降低路段所有车道的通行能力,即使时间短,也可能引起车辆排队,出现交通阻塞,甚至出现区域性拥堵。并且,考虑到车道被占用的情况种类繁多、复杂,如何正确估算车道被占用对城市道路通行能力的影响程度,将为交通管理部门正确引导车辆行驶、审批占道施工、设计道路渠化方案、设置路边停车位和设置非港湾式公交车站等提供理论依据。

现考虑,某路段单向共有三车道通行,结合附件的两段视频中发生的交通事故,我们需讨论以下几个问题。

(1) 分析交通事故发生至撤离期间,事故所处横断面实际通行能力的变化过程;

(2) 分析并说明同一横断面交通事故所占车道不同对该横断面实际通行能力影响的差异;

(3) 构建数学模型,分析视频 1 中交通事故所影响的路段车辆排队长度与事故横断面实际通行能力、事故持续时间、路段上游车流量间的关系;

(4) 根据假定的交通事故所处横断面距离上游路口的长度和路段上游车流量,估算事故发生开始,经过多长时间,车辆排队长度到达上游路口。

2. 问题的简单分析

问题 1: 题目要求根据视频 1,分析交通事故发生至撤离期间事故所处横断面的实际通行能力的变化过程。我们需要统计从绿灯开始时单位时间进入该路段的车辆数及流出的车辆数,根据统计数据算出事故横断面处的实际通行能力,描述并分析通行能力随时间变化的情况。

问题 2: 为了分析同一横断面交通事故所占车道的不同对该横断面实际通行能力的影响的差异,我们需要结合视频 1 和视频 2 中的统计结果进行分析,比较视频 1 与视频 2 中,事故导致排队长度达到 120m 的次数,排队持续时间、各个时间间隔实际通行能力平均值的差异以及归一化速度值和速度下降百分比的差异,从而综合评价同一横断面交通事故所占车道不同对该横断面实际通行能力影响的差异。

问题 3: 为了分析出交通事故所影响的车辆排队长度与事故横断面实际通行能力、事故持续时间、路段上游车流量之间的关系,首先要确定求解车辆排队长度的方法。考虑到实际车辆排队的流动性,本文以车辆进入排队时的集结波和车辆离开排队时的消散波的传播距离的差值作为车辆排队长度。

问题 4: 问题 4 是问题 3 的逆过程,给出固定的排队长度,要求对应于固定排队长度的事故持续时间。

3. 基本假设

- (1) 假设同一类型车型不存在大小和形状的差异。
- (2) 假设上游路口所有来车都遵守交通规则,无闯红灯现象。
- (3) 假设交通事故完全占用两条车道,且视频 1 和视频 2 事故占用横断面宽度相同。
- (4) 假设人工采集视频数据的误差在允许的范围内。
- (5) 假设下游堵车不会对上游车流量产生客观影响。

4. 符号说明和名词解释

1) 符号说明

符号	含义
$l_i(x)$	拉格朗日插值多项式
SF_i	i 级服务水平对应的单方向 N 条车道的服务交通量
MSF_i	i 级服务水平对应的单车道最大服务交通量
f_f	横向干扰对通行能力的修正系数
f_d	平交路口密度修正系数
f_{HV}	交通组成影响对通行能力的修正系数
f_p	驾驶员总体特性影响对通行能力的修正系数
N	多车道公路单向车道数
v_i	第 i 个时间段的一个车道的平均速度
V_{\max}	该车道的最大平均速度
V_{\min}	该车道的最小平均速度
$W_{x,y}$	车流集散波的波速
V_f	畅行速度,即车流密度为零时,车辆的最高速度
$W_{n,(I,II)}$	第 n 段时间间隔内的集结波波速
$W_{n,(II,III)}$	第 n 段时间间隔内的消散波波速
x_n	第 n 个事故周期末,车辆排队的队长
$S_{1,n}$	路段通行能力
$Q_{1,n}$	上游车流量
t_0	平均车头时距

2) 名词解释

通行能力:指的是在一定的道路和交通条件下,道路上某一路段单位时间内通过某一断面的最大车辆数,可分为基本通行能力、可能通行能力和设计通行能力三种。

基本(理论)通行能力:指的是在理想的道路和交通条件下,单位时间一个车道或一条道路某一路段通过小客车的最大数,是计算各种通行能力的基础。

可能(实际)通行能力:以理论通行能力为基础,考虑实际的地形、道路和交通状况,确

定其修正系数,再以此修正系数乘以前述的理论通行能力,即得实际道路、交通在一定环境条件下的可能通行能力。

设计(规划)通行能力:指的是道路交通的运行状态保持在某一设计的服务水平时,道路上某一路段的通行能力。

5. 模型的建立与求解

5.1 问题 1 模型的建立与求解

5.1.1 问题 1 的分析

对于问题 1,题目要求根据视频 1 中交通事故发生至撤离期间,事故所处横断面的实际通行能力的变化过程。本文根据视频提供的信息,以一个信号周期(60s)为时间间隔,从绿灯开始时统计进入该路段的车辆数及流出的车辆数,然后算出事故横断面处的实际通行能力,再做出通行能力随时间变化的图像。特别地,由于视频数据有部分时间间隔的缺失,为了弥补缺失的数据,本文采用拉格朗日插值法估算出缺失值。

5.1.2 数据的采集与处理

1) 大型车的换算

根据《城市道路交通规划设计规范》(GB 50220—1995)及视频 1 中的观察,城市公交车属于大型车,换算成标准车当量数的折算系数为 2.0。故本文在统计数据时,将大型车和小型车分开统计,最后经过换算得到最终结果。

2) 数据的采集

从绿灯开始时以一个信号周期(60s)为时间间隔统计进入该路段的车辆数及流出的车辆数,统计该路段 4 个节点处(见图 1)的车流量,具体数据见表 1。

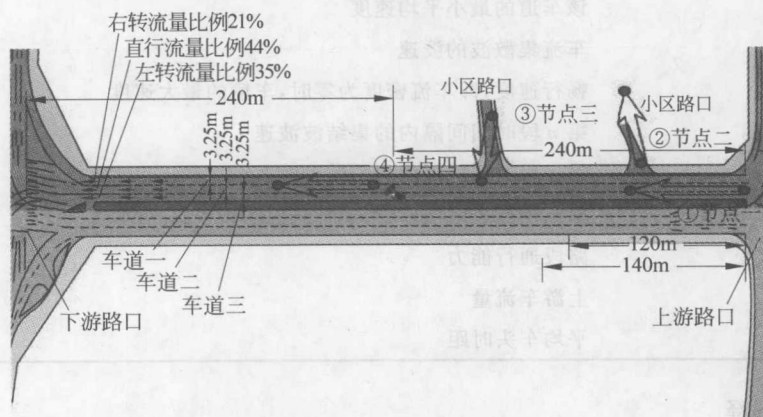


图 1 视频 1 中各节点分布图

3) 数据的处理

先根据统计出来的车辆换算后按周期流出数据,计算出各个时间间隔的单位时间通行量,得出数据如表 1 所示。

表 1 各时间间隔内单位时间通行量

时间段	1	2	3	4	5	6	7	8	9
单位时间通行量/(pcu/h)	720	1200	1020	720	1380	780	900	840	1020
时间段	10	11	12	13	14	15	16	17	
单位时间通行量/(pcu/h)	1200	1500	1020	1080	1080	缺失	1200	1200	

注：时间段 1~17 表示从事故发生前 16:39:03 绿灯开始，以一个信号周期(60s)为时间段的标号，同时每一个时间段对应这一个周期的单位时间实际通行量的值。

4) 缺失数据的补偿

由于第 15 组数据存在缺失，为了修正缺失数据，本文采用拉格朗日插值法，求出拉格朗日多项式。拉格朗日插值法是基于基函数的插值法，插值多项式可以表示为

$$L(x) = \sum_{i=0}^n y_i l_i(x) \tag{1}$$

其中， y_i 表示第 i 个时间段的实际通行能力值， $l_i(x)$ 表示拉格朗日插值多项式。

$$l_i(x) = \frac{(x-x_0)\cdots(x-x_{i-1})(x-x_{i+1})\cdots(x-x_n)}{(x_i-x_0)\cdots(x_i-x_{i-1})(x_i-x_{i+1})\cdots(x_i-x_n)}$$

通过 MATLAB 2009 编程可以计算出 15 号时间间隔的结果为 1020pcu/h，以这个结果替换表格中的数据即可。

5.1.3 模型的建立与求解

实际通行能力的计算为

$$SF_i = MSF_i \times f_t \times f_d \times f_{HV} \times f_p \times N \tag{2}$$

式中， SF_i 为在实际道路、交通条件下， i 级服务水平对应的单方向 N 条车道的服务交通量，单位为辆/时。

MSF_i 为在理想条件下， i 级服务水平对应的单车道最大服务交通量，一辆小客车每小时车道四级的最大服务交通量就是通行能力。

f_t 为横向干扰对通行能力的修正系数，由于本文不考虑行人及四轮以下非机动车的影响，故横向干扰很小，参照《公路通行能力手册》^[1] 表 7-7，取 1.0。

f_d 为平交路口密度修正系数，参照《公路通行能力手册》^[1] 表 7-8，取 0.48。

f_{HV} 为交通组成影响对通行能力的修正系数， $f_{HV} = \frac{1}{1 + \sum p_i (E_i - 1)}$ 。其中， p_i 为车型 i 的交通量占总交通量的百分比； E_i 为车型 i 的车辆折算系数；车型 i 的分类说明以及各车型的折算系数取值分别见《公路通行能力手册》^[1] 的表 7-9 和表 7-10。

f_p 为驾驶员总体特性影响对通行能力的修正系数，取为 1.0。

N 为多车道公路单向车道数，由于堵塞了两个车道，故取为 1。

从事故发生到撤离期间，由原来的三车道变为了单车道，几乎所有的车辆在事故横断面都以最小的间距连续行驶，在这样的情形下，我们可以近似地认为这一段时间内单位时间的通行量即为单车道的基本通行能力。同时在这一段时间内，各项系数变化不大，我们同样可以把式(2)中的各项系数乘积作为一个小于 1 的常数 μ ，通过分析可以得到以下式子。

$$SF_i = MSF_i \times \mu \tag{3}$$

式中, $\mu = f_t \times f_d \times f_{HV} \times f_p \times N = 1.0 \times 0.48 \times 0.625 \times 1.0 \times 1 = 0.3$ 。

通过 MATLAB 2009 编程处理完缺失数据后,画出单位时间实际通行量随时间的变化图,由于实际通行能力与单位时间通行量值相差一个倍数,所以从图 2 及图 3 中即可分析出实际通行能力的变化过程。

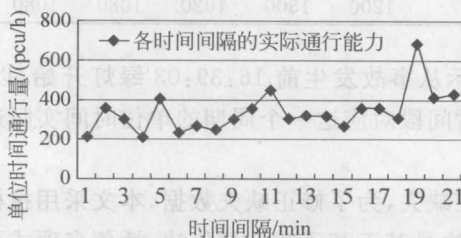


图 2 各时间间隔内的实际通行能力

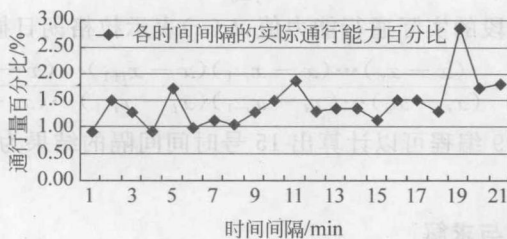


图 3 各时间间隔内的实际通行能力百分比

5.1.4 结论

由视频 1 可知,事故发生的时间为 16:42:32,也即发生在第 4 个时间间隔内,事故发生地点为靠中央分隔带的二车道和三车道,恰好距离上下游交叉路口都为 240m 处。由图 2 分析可知,事故发生后的第 1 个时间间隔内,由于交通流量缓慢地增加,还不至于引起堵车,从而造成实际通行量的增加,在接下来的一段时间内由于车流量的不断增加,当车流量达到某个水平时,拥堵的情况越来越严重,从而造成了通行能力的降低,在事故未解除前,实际通行能力一直维持在较低水平(除了极个别的点以外),随着车流量的继续增加,拥堵状况一直维持在一定的范围。当事故在 17:01:09 解除时,也即发生在第 17 个时间间隔内,三条车道开始恢复通行,排队长度慢慢缩减,通行能力逐渐提高,当排队车长消除时,通行能力恢复到初始水平,实际通行能力略有提高,因为车流量相比刚开始时有提高。

5.1.5 模型的进一步验证

从上面的分析可以看出,虽然图 2 大致准确地反映了交通事故发生至撤离期间道路通行能力的变化,但是光用实际通行能力反映道路发生交通事故时的服务水平不是很精确,为了进一步验证及精确地反映道路的服务水平,本文提出了用该段时间内的车速来反映道路的实际通行能力,可以很容易地理解这一指标,如果道路上各车道车辆的速度快,则其实际通行能力必然高,相反,若存在交通事故、路边停车等情况,则必然会造成行车速度的减慢。

1) 数据预处理

为了估算出各车道行车的平均速度,可根据视频中标出的 120m 的距离位置,通过统

计每一车道 2~4 辆典型车辆(未变道)通过这段距离的时间,进而算出每一车道的平均车速。为了消除车道数据变化巨大对结果造成的影响,本文采用归一化处理。

$$V_i = |v_i - v_{\min}| / (v_{\max} - v_{\min}) \quad (4)$$

式中, v_i 表示第 i 个时间段一个车道的平均速度, v_{\max} 表示这一车道的最大平均速度, v_{\min} 表示这一车道的最小平均速度。

本文截取视频 1 中 16:39:00—17:05:00 这一相对完整的时间段,由于实际距离在视频中无法精确测出,而考虑到题目给出了 120m 这个距离的标记,进一步考虑在交通拥堵时,有些车辆在 1min 内无法通过这 120m 的距离,故把这个时间段分割成以 2min 为时间间隔,每 2min 的时间内,在每个车道上随机选取 2~4 辆小型车,求出其通过固定距离 120m 的时间(注:因为任何一辆正常行驶的车经过 120m 时都小于 2min),用 120m 除以通过这段距离的时间即为该车的速度,最后按照上文的式(4)求出其平均值后的结果见表 2。

2) 图像分析

根据表 3 做出各个车道的归一化后的速度随时间的变化图,如图 4 所示。

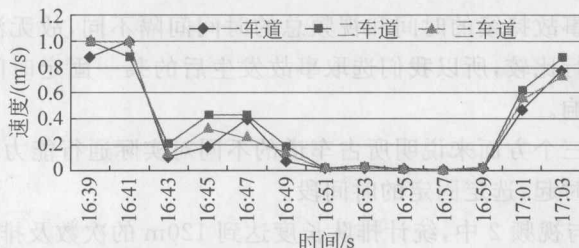


图 4 各车道行车的归一化速度

表 2 视频 1 中排队次数和排队持续时间表

视频 1 中排队长达 120m 的时段		
事故发生	16:42:32	排队时间间隔长度
第一次	16:51:40—16:51:44	0:00:04
第二次	16:52:44—16:52:46	0:00:02
第三次	16:53:29—16:53:52	0:00:23
第四次	16:54:30—16:54:50	0:00:20
第五次	16:57:54—16:57:58	0:00:04
第六次	16:59:31—17:01:09	0:01:38
累计排队长达 120m 的时长为 0:02:31		

表 3 视频 2 中排队次数和排队持续时间表

视频 2 中排队长达 120m 的时段		
事故发生	17:34:17	时间间隔长度
第一次	17:51:34—17:51:50	0:00:16
第二次	17:54:46—17:54:51	0:00:05
累计排队长达 120m 的时长为 0:00:21		

从图 4 中不难发现,从事故发生开始(16:42:32),通行速度就有一个显著的下降,然后有一个缓慢的回升,这主要是由于上游车流量的变化引起的,然后随着车流量的增多,各车

道的通行速度又缓慢下降,并在较长时间维持这一水平。事故于 17:01:09 解除,可以看出随后各车道的通行平均速度缓慢回升,直到最后恢复到堵塞前的水平。

上面的结果是对前面结果的验证,同时也是一个升华,归一化速度这个指标间接地反映出事故所处横断面的实际通行能力的变化过程。

5.2 问题 2 模型的建立与求解

5.2.1 问题 2 的分析

对于问题 2,为了说明同一横断面交通事故所占车道的不同对该横断面实际通行能力影响的差异,首先得明确影响横断面实际通行能力的因素,通过研究发现其影响因素众多,主要有道路条件、交通条件、控制条件和环境条件等,这些影响因素不仅决定了路段的容量,同时也决定了路网的交通流模式,实时影响着路段及路网的通行能力。

从视频中可以发现,视频 1 事故发生于 16:42:32,撤离于 17:01:09,历时 18min 37s,视频 2 事故发生于 17:34:17,撤离于 18:03:24,历时 29min 7s。由于视频 1 与视频 2 事故发生的时间点不同以及事故持续的时间和视频总的时间间隔不同,故无法直接将两者的通行能力在每一时间段进行比较,所以我们选取事故发生后的某一固定时间段来比较占用不同车道对通行能力的影响。

本文主要从以下三个方面来说明所占车道的不同对实际通行能力影响的差异。

从交通事故发生时起,选定固定的时间段。

- (1) 比较视频 1 与视频 2 中,统计排队长度达到 120m 的次数及排队持续时间;
- (2) 比较视频 1 与视频 2 中,各个时间间隔实际通行能力平均值的差异;
- (3) 比较视频 1 与视频 2 中,车辆归一化速度值和速度减少百分比的差异。

通过比较以上三种差异,可以很清楚地得出两者之间的差异。

5.2.2 数据的采集

分别统计视频 1、视频 2 中排队长度达到 120m 的次数及排队持续时间。

分别统计视频 1、视频 2 从绿灯开始时以一个信号周期(60s)为时间间隔统计进入该路段的车辆数及流出的车辆数,统计该路段 4 个节点处(见图 1)的车流量,具体数据见表 2、表 3。

5.2.3 问题 2 的求解

1) 120m 排队时段数据差异的比较

从事故发生起 20min 内,统计视频 1 和视频 2 中的排队长度达到 120m 的次数及持续时间,可以直观地反映同一横断面的交通事故所占车道不同而引起的实际通行能力的差异。

通过表 2、表 3 中的数据可以看出,从事故发生开始 20min 内,视频 1 中的排队长度达到 120m 的排队次数明显多于视频 2 中的排队次数。

这主要是由于各个车道的通行能力不同以及各车道的实际流量不同造成的,根据城市道路的设计原理,靠近中央分隔带的一条车道的通行能力最大,中间的车道次之,靠近人行道的车道的通行能力最小。视频 1 中堵塞的是通行能力较大的二车道和三车道,根据视频和实际情况,可以知道二车道和三车道通行的车辆多于一车道通行的车辆,也就是说更多的车辆会减速换到一车道,导致通行能力的损失;相反,视频 2 中堵塞的是通行能力相对较慢

的一车道和二车道,通行能力损失将会比前者小。综合两者,当事故占据靠近中央分隔带的两条车道时,其实际通行能力会小于事故占据靠近人行道的两条车道时的实际通行能力。

2) 实际通行能力平均值的差异

为了精确地比较由于交通事故所占车道不同而引起的同一横断面的实际通行能力的差异,本文通过视频分别统计从事故发生开始起 15min 内单位时间车辆流出的数据,计算出单位实际通行能力结果见表 4,并做出折线图如图 5 所示。



图 5 视频 1 和视频 2 通行能力变化图

表 4 通行能力均值表

视频 1 车辆通行能力均值	视频 2 车辆通行能力均值
316.8pcu/h	372pcu/h

从图 5 可以相当直观地看出视频 2 中车辆通行能力基本上大于视频 1 中的车辆通行能力。同时从表 4 可以看出视频 1 中车辆通行能力均值为 316.8pcu/h,小于视频 2 车辆通行能力的均值 372pcu/h,再一次验证了事故占据靠近中央分隔带的两条车道时,实际通行能力会大于事故占据靠近人行道的两条车道时的实际通行能力。

3) 归一化速度值及速度减少百分比的比较

根据问题 1 处理归一化速度值的方法,按照同样的理论,可以算出视频中的速度归一值,得到结果见表 5。

根据问题 1 已得出的速度归一值和刚刚得到的视频 2 的数据(见表 6),将两者画在一张图中,如图 6 所示。

表 5 视频 1 事故发生前后的速度减小对比

	一车道 1	二车道 1	三车道 1
事故前平均速度	14.17	14.17	20.00
事故中平均速度	2.97	4.71	3.39
速度减小百分比	79.06%	66.75%	83.03%

表 6 视频 2 事故发生前后的速度减小对比

	一车道 2	二车道 2	三车道 2
事故前平均速度	13.333	12.000	15.000
事故中平均速度	3.717	4.616	5.275
速度减小百分比	72.1%	61.5%	64.8%