

Jiaotongliu Lilun Xiti Jieji

许伦辉 罗 强 编著

交通流理论习题解集



人民交通出版社
China Communications Press

交通流理论习题解集

© 许伦辉 罗 强 编著



人民交通出版社
China Communications Press

内 容 提 要

本书是目前国内第一本系统、全面、详细向读者提供交通流理论习题及其解答的教学参考书,作为交通流理论的配套用书,能够弥补交通流理论教学中缺乏课外习题训练的不足,对提高交通流理论课程教学效果有积极意义和推进作用。

本书可作为高等院校交通工程、交通运输、道路交通管理、交通规划及相关专业的教师、本科生、研究生,以及从事相关工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

交通流理论习题解集/许伦辉,罗强编著. —北京:
人民交通出版社,2010.9
ISBN 978-7-114-08545-1

I. ①交… II. ①许… ②罗… III. ①交通流—高等学校—解题 IV. ①U491.1-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 141157 号

书 名:交通流理论习题解集

著 作 者:许伦辉 罗 强

责任编辑:张征宇 郭红蕊

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010)59757969、59757973

总 经 销:人民交通出版社发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京交通印务实业公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:11.5

字 数:284千

版 次:2010年9月 - 第1版

印 次:2010年9月 第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-08545-1

印 数:0001-3000册

定 价:25.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前 言

交通流理论是应用数学、物理学、概率论、排队论、数理统计、智能理论、计算机以及交通工程学等知识,研究交通流随时间和空间变化规律的理论和方法体系,是描述交通特征、解释交通现象、解决交通问题的理论工具,是交通运输工程学科最重要的专业基础课程之一。经过近 100 年的发展,交通流理论已经形成了由传统交通流理论、现代交通流理论、微观交通流理论、宏观交通流理论等分支组成的完整的理论与方法体系;进入新世纪以来,智能交通系统的发展对交通流理论提出了新的需求,人工智能、现代控制、虚拟现实等理论和方法在交通系统建模、交通特征描述、交通现象分析中应用日趋广泛,成为了交通流理论发展的新方向。

关于交通流理论的教材,目前国内只有人民交通出版社 2002 年出版的《交通流理论》,该书已成为目前高校研究生使用的主流学习和参考教科书,但该书没有提供必要的例题和练习,给读者完整系统掌握交通流理论及应用带来一定困难。因此,作者结合多年来从事交通流理论课程教学和交通工程科研中的体会和积累,收集和整理了散布在《交通工程学》、《交通管理与控制》、《交通规划理论》等通用教材中的有关交通流理论的习题,同时设计和编写了近 200 道新的习题,并对所有习题给出了详细的解答过程。此外,在交通流理论应用案例分析部分,提供了 10 个实际工作中的典型交通问题的解决方案,给读者展示了如何在实际工作中应用交通流理论解决交通问题的思路 and 过程,具有启发性和举一反三的作用。作者认为要掌握好交通流的理论体系、思想方法和工程应用,通过一定量的习题训练和案例分析是必要的。因此,《交通流理论习题解集》作为交通流理论学习的配套用书,它的出版能够弥补交通流理论教学中缺乏课外习题训练的不足,将有助于读者加深对交通流理论知识的理解和提高运用交通流理论解决实际交通问题的能力,对提高交通流理论课程教学效果有积极意义和推进作用。

本书共分 10 章,其中第 1 章为交通流理论基本概念;第 2 章、第 3 章为交通流特性部分的内容,分别对交通流三参数和交通流统计特性等方面设计了相关习题;第 4 章~第 9 章为交通流理论中的各种模型部分的内容,分别通过习题解答对交通流排队论模型、跟驰理论及加速度干扰模型、连续交通流模型、宏观交通流模型、交通影响分析模型和交通分配模型等进行详细说明;第 10 章为交通流中应用案例分析。

本书在编写过程中,广泛参考了有关文献,在此谨向这些著作和文献资料的原作者表示衷心的感谢!在读研究生倪艳明同学对本书进行了认真的审查,许伦辉教授指导的其他研究生也为本书的出版做了大量的工作,人民交通出版社作为交通领域的专业出版社,对本书的出版给予了充分重视和大力支持,在此也一并表示感谢!

交通流理论涉及的内容广泛,体系复杂,有的概念和公式有其特定的语境和适应条件,书中内容难免存在一些错误和不当之处,恳请广大读者给予批评指正。

作者

2010年6月

目 录

第 1 章 基本概念	1
1.1 交通流理论的研究内容和理论体系	1
1.2 交通流理论中的基本概念	3
第 2 章 交通流三参数及其特性	15
2.1 交通调查	15
2.2 交通流三参数	20
2.3 交通流三参数的关系模型	26
第 3 章 交通流统计分析特性	30
3.1 泊松分布	30
3.2 二项分布	36
3.3 负二项分布	39
3.4 负指数分布	42
3.5 移位负指数分布	44
3.6 韦布尔分布	45
3.7 爱尔朗分布	46
第 4 章 排队论模型及其应用	48
4.1 M/M/1 系统及应用举例	48
4.2 M/M/N 系统及应用举例	55
4.3 排队延误分析	61
第 5 章 跟驰理论与加速度干扰模型	68
5.1 线性跟驰模型	68
5.2 非线性跟驰模型	71
5.3 加速度干扰	75
第 6 章 连续交通流模型	85
6.1 守恒方程	85
6.2 交通波理论	86
6.3 交通波理论的扩展应用	103

第 7 章 宏观交通流模型 111

7.1 以 CBD 为中心的交通特性 111

7.2 二流理论 113

7.3 二流模型与网络交通模型 117

第 8 章 交通影响分析模型 121

8.1 交通安全 121

8.2 燃料消耗 124

8.3 道路交通污染 125

第 9 章 交通分配模型 134

9.1 交通分配方法 134

9.2 平衡分配方法 141

9.3 系统最优化的交通分配 143

第 10 章 应用案例分析 145

案例 1:城市干道交通特性评价 145

案例 2:汇流交叉口控制方式的选取 148

案例 3:无左转相位信号控制交叉口左转车道通行能力计算 153

案例 4:安全跟驰距离的确定 155

案例 5:加速度干扰模型研究 158

案例 6:行车安全舒适评价 162

案例 7:公交车站的安全舒适评价 165

案例 8:瓶颈路段交通运行特性分析 167

案例 9:高速公路收费站车辆排队能耗研究 170

案例 10:交通事故引起的环境污染分析 173

参考文献 177

第1章 基本概念

交通流理论是研究在一定环境下交通流随时间和空间变化规律的模型和方法体系。多年来,交通流理论被广泛地应用于交通运输工程的多个研究领域,如交通控制、交通规划、道路与交通工程设施设计等,应该说交通流理论是这些研究领域的基础理论。近些年来,尤其是随着智能运输系统的快速发展,交通流理论所涉及的范围和内容在不断地发展和变化,如控制理论、人工智能等新兴科学的思想、方法和理论已经用于解决交通运输研究中遇到的复杂问题。

本章主要是介绍交通流理论中的基本概念,对其中重要的概念进行了详细的解释说明,重点掌握这些概念对于理解交通流理论有较大的帮助。

1.1 交通流理论的研究内容和理论体系

习题 1.1 什么叫交通流理论?按照研究手段和方法,交通流理论可以分为哪几类?它们的研究手段和特点分别是什么?按照时间顺序,交通流理论可以划分为哪几个阶段?

解答:交通流理论是研究在一定环境下交通流随时间和空间变化规律的模型和方法体系。

按照研究手段和方法,交通流理论可划分为以下两类。

一类是传统交通流理论。所谓的传统交通流理论是指以数理统计和微积分等传统数学和物理方法为基础的交通流理论,其明显特点是交通流模型的限制条件比较苛刻,模型推导过程比较严谨,模型的物理意义明确,如交通流分布的统计特性模型、车辆跟驰模型、交通波模型、车辆排队模型等。传统交通流理论在目前的交通流理论体系中仍居主导地位,并且在应用中相对成熟。

另一类是现代交通流理论。现代交通流理论是指以现代科学技术和方法(如模拟技术、神经网络、模糊控制等)为主要研究手段而形成的交通流理论,其特点是所采用的模型和方法不追求严格意义上的数学推导和明确的物理意义,而更重视模型或方法对真实交通流的拟合效果。这类模型主要用于对复杂交通流现象的模拟、解释和预测,而使用传统交通流理论要达到这些目的就显得很困难。

另外,按照时间顺序,交通流理论可以划分为三个阶段。

创始阶段:此阶段被界定为 20 世纪 30 年代至第二次世界大战结束。在此期间,由于发达国家汽车工业和道路建设的发展,需要摸索道路交通的基本规律,以便对其进行科学管理,道路交通产生了对交通流理论的初步需求,需要有人对其进行研究。

快速发展阶段:此阶段被界定为第二次世界大战结束至 20 世纪 50 年代末。在这一阶段,发达国家的公路和城市道路里程迅猛增长,汽车拥有量大幅度增加,此时交通规划和交通控制已经提到日程,如何科学地进行交通规划和控制,需要交通流理论提供支持。

稳步发展阶段:此阶段被界定为 1959 年以后,此阶段由于汽车的普及,交通问题已经成为世界各国大中城市越来越严重的问题,需要发展交通流理论来加以解决。

习题 1.2 根据《交通工程手册》(1998 年版)道路通行能力又称为道路容量(Highway Capacity),是指在道路某一点、某一车道、某一断面处,单位时间内可能通过的最大交通实体(车辆或者行人)数。它是道路的一项重要指标,是道路规划设计必需的基础数据,同时也是交通管理的具体指标,其大小主要取决于道路条件、交通条件、管制条件及度量标准。

根据已学的交通工程知识,速度与流量模型取格林希尔治线性模型,试画出城市道路网中道路通行能力与车速的基本关系。坐标已列出,请在图 1-1 中完成两者的大致关系曲线,并附上必要的文字说明。

解答:在城市交通中,车辆行驶速度在 40km/h 之下,认为交通处于拥挤状态;行驶速度在 40km/h 以上,则认为处于不拥挤状态,这是一种衡量标准。曲线如图 1-2 所示。

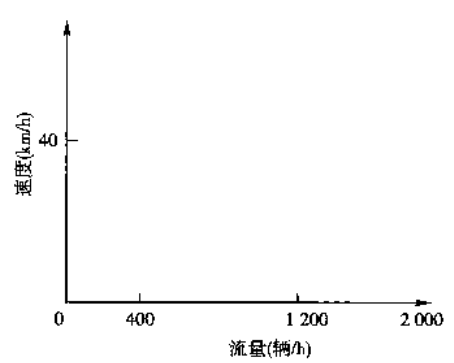


图 1-1 速度—流量图

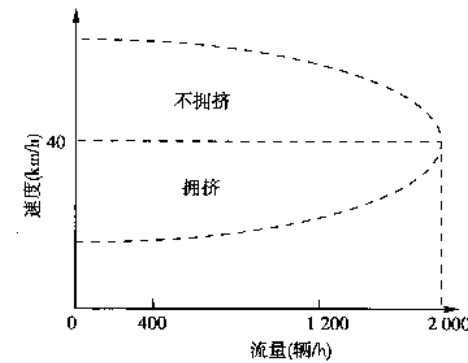


图 1-2 速度—流量图

从图 1-2 中可以看到,速度与流量呈抛物线关系。通过最大流量点作一条水平线,直线上方为不拥挤区域,下方则为拥挤区域。在流量达到最大值之前,速度随流量的增加而下降;达到最大流量之后,速度和流量则同时下降。

从目前的研究来看,格林希尔治抛物线模型至少存在三个问题。首先,该模型并非是利用高速公路的数据来进行研究的。其次,该模型将观测数据组相互交叠和分类,经研究表明这是不合理的。第三,该模型所做的交通调查是在假期进行的,不具备广泛的代表性。正是由于这三个原因,通过速度—密度的线性关系推导出的速度—流量关系与直接利用实际数据得出的速度—流量关系存在一定的偏差。

尽管如此,格林希尔治抛物线模型还是具有开创性意义的,多年来一直被广泛采用。

习题 1.3 目前,对交通流理论的定义不尽相同,但归纳各种定义的主要思想,可以给交通流理论下这样一个定义,交通流理论是研究在一定环境下交通流随时间和空间变化规律的模型和方法体系。根据上述定义,交通流理论涉及的范围非常广泛,其研究内容很难一言以蔽之。根据美国的《交通流理论专著》(1975 年版),交通流理论研究内容可分成哪几部分?

解答:交通流理论的研究内容可分为以下 10 个部分。

(1)交通流特性(Traffic Stream Characteristics)。研究表示交通流特性的三个参数:流

量、速度、密度的调查方法、分布特性及三者之间关系的模型。

(2)人的因素(Human Factors)。研究驾驶员在人、车、路、环境中的反应及其对交通行为的影响。

(3)车辆跟驰模型(Car Following Models)。研究车辆的跟驰行为、交通的稳定性和加速度干扰等数学模型。

(4)连续流模型(Continuous Flow Models)。利用流体力学理论研究交通流三个参数之间的定量关系,并根据流量守恒原理重点研究交通波理论。

(5)宏观交通流模型(Macroscopic Flow Models)。在宏观上(即在网络尺度上)研究流量、速度和密度的关系,重点研究路网不同位置(相对城市中心而言)的交通流特性[《交通流理论专著》(1996年版)]。

(6)交通影响模型(Traffic Impact Models)。研究不同管制下的交通影响,包括交通安全、燃料消耗和空气质量等。

(7)无信号交叉口理论(Unsignalized Intersection Theory)。主要利用数理统计和排队论研究无信号交叉口车流的可插车间隙和竞争车流之间的相互作用。

(8)信号交叉口交通流理论(The Theory of Traffic Flow at Signalized Intersections)。研究信号交叉口对车流的阻滞理论,包括交通状态分析、稳态理论、定数理论和过渡函数曲线等。

(9)交通模拟(Traffic Simulation)。研究模拟技术在交通流分析中的应用,介绍交通模拟模型的种类和建模步骤。

(10)交通分配(Traffic Assignment)。研究交通分配的基本理论和方法以及这些理论和方法的应用。

习题 1.4 根据交通流理论的定义,应该从时间和空间两个变量来认识交通流的量测尺度问题。从时间上和空间上都可以把交通流划分为宏观、中观和微观,试比较论述它们之间的区别。

解答:微观交通流:从空间角度,把研究某一点或断面交通特性的交通流理论定义为微观交通流理论;从时间角度,把研究较短时间范围内交通流规律的交通流理论定义为微观交通流理论。

中观交通流:从空间角度,把研究某一路段交通特性的交通流理论定义为中观交通流理论;从时间角度把研究较长时间范围内交通流规律的交通流理论定义为中观交通流理论。

宏观交通流:从空间角度,把研究路网交通流特性的交通流理论定义为宏观交通流理论;从时间角度,把研究长时间范围内交通流规律的交通流理论定义为宏观交通流理论。

1.2 交通流理论中的基本概念

习题 1.5 交通流的基本参数有三个:交通流量、速度和密集度,也称为交通流三要素。试分别给出它们的概念和计算公式。

解答:(1)交通流量

单位时间内,通过道路某一地点或某一断面的实际交通参与者(含车辆、行人、自行车等)的数量,又称交通流量或称流量。交通流量不是一个静止的量,它是随时间变化的,在表

达式上通常取某一时段内的平均值作为该时段的代表交通量。如,年平均日交通量就是将一年内的交通量总数除以当年的总天数所得出的平均值。常用的有平均日交通量,还有月平均日交通量、周平均日交通量以及任意期间(依特定分析目的而定)的平均日交通量等。它们的计算公式如下。

平均日交通量:

$$ADT = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i \quad (1-1)$$

式中: Q_i ——计算期内各单位时间的交通量;

n ——计算期内的单位时间总数。

如果计算年平均日交通量(AADT)时, n 为365或366,则年平均日交通量为:

$$AADT = \frac{1}{365} \sum_{i=1}^{365} Q_i \quad (1-2)$$

由此类推,月平均日交通量和周平均日交通量只需将365改成相应的天数。

(2) 速度

速度大致可分为地点速度、时间平均速度、区间平均速度等。

地点速度(v),也称为即时速度、瞬时速度,指车辆通过道路某一点时的速度,其计算公式为:

$$v = \frac{dx}{dt} = \lim_{t_2 \rightarrow t_1 \rightarrow 0} \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} \quad (1-3)$$

式中: x_1, x_2 ——分别为 t_1, t_2 时刻的车辆位置。

时间平均速度($\bar{v}_t$),就是观测时间内通过道路某断面所有车辆地点速度的算术平均值,其计算公式为:

$$\bar{v}_t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i \quad (1-4)$$

式中: v_i ——第 i 辆车的地点速度;

N ——观测的车辆数。

区间平均速度($\bar{v}_s$)有两种定义。一种定义为车辆行驶一定距离与该距离对应的平均行驶时间的商,其计算公式为:

$$\bar{v}_s = \frac{D}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i} \quad (1-5)$$

式中: t_i ——车辆 i 行驶距离 D 所用的行驶时间。

区间平均车速的另一种定义为某一时刻路段上所有车辆地点速度的平均值。可通过沿路段长度调查法得到:以很短时间间隔 Δt 对路段进行两次(或多次)航空摄像,据此得到所有车辆的地点速度(近似值)和区间平均速度,其计算公式为:

$$\begin{aligned} v_i &= \frac{s_i}{\Delta t} \\ \bar{v}_s &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{s_i}{\Delta t} = \frac{1}{N \Delta t} \sum_{i=1}^N s_i \end{aligned} \quad (1-6)$$

式中: v_i ——第 i 辆车的平均速度;

Δt ——两张照片的时间间隔;

s_i ——在间隔 Δt 内,第 i 辆车行驶的距离。

另外,对于速度还有 85%位速度、50%位速度和 15%位速度的定义。85%位速度表示在该路段上行驶的车辆中有 85%的车辆低于该速度。在交通管理工作中应以 85%位速度作为制订最大限制车辆速度标准的参考值。50%位速度表示在该路段上行驶的车辆,快车与慢车出现数量相等的车速,又称为中位速度,或中值车速。必须注意,中位速度不一定是平均速度。15%位速度表示在该路段上行驶的车辆中有 15%的车辆低于该速度。15%位速度是用来确定最小限制车速的,低于该速度的车辆将成为其他车辆的行驶障碍,尤其在等级较高的公路上不应当允许低于 15%位速度的车辆行驶。

(3) 密集度

密集度包括占有率和密度两种定义。其中占有率包括空间占有率和时间占有率两种。

空间占有率为某一瞬间测得已知路段上所有车辆占用的总长度与路段总长度的百分比。其计算公式为:

$$R_s = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{L} \times 100 \quad (1-7)$$

式中: R_s ——空间占有率;

L_i ——第 i 辆车的长度, m;

L ——观测路段的总长度, m;

n ——该路段内的车辆数, 辆。

时间占有率即车辆的时间密集度,是指检测区域内车辆通过检测器的时间占观测时间的百分比。其计算公式为:

$$R_t = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n t_i \quad (1-8)$$

式中: R_t ——时间占有率;

t_i ——第 i 辆车的占用时间, s;

T ——总观测时间, s;

n ——观测时间内通过的车辆数, 辆。

由于占有率与检测区域的大小、检测器的性质和结构有关,因此同样的交通状态下,不同位置测得的占有率可能不同。可以通过小距离调查获得占有率的数据。

密度是指一条车道上车辆的密集程度,即在某一瞬时内单位长度一条车道的车辆数,又称车流密度,常以 k 表示,其单位为辆/km(如为多车道,则应除以车道数换算成单车道的车辆数然后再计算)。其计算公式为:

$$k = \frac{N}{L} \quad (1-9)$$

式中: k ——车流密度, 辆/km;

N ——单车道路段内的车辆数, 辆;

L ——路段长度, km。

习题 1.6 请简单给出车头时距和车头间距的定义和计算式,并进一步说明它们与交通三参数之间的关系,写出相应的关系表达式。

解答: 车头时距指的是在同一车道上同一方向行驶的车辆队列中,相邻两辆车的车头通过某一断面的时间间隔,以 h_t 表示。车头时距与交通量之间的关系为:

$$h_t = \frac{3600}{Q} \quad (1-10)$$

式中: Q ——道路的交通量, 辆/h;

h_t ——平均车头时距, s/辆。

车头间距是指在同向行驶的车队中, 相邻两辆车的车头之间的距离。路段中所有车头间距的平均值称为平均车头间距(h_s)。道路上车流的车头间距也反映交通密度。车头间距 h_s 和密度之间的关系为:

$$h_s = \frac{1000}{k} \quad (1-11)$$

式中: h_s ——车头间距, m/辆;

k ——车流密度, 辆/km。

从车头时距公式可知, 车头时距与交通量有关, 使车辆安全行驶的最短车头时距, 称为极限车头时距或临界车头时距, 此时距一般采用 2s。根据美国资料, 最小车头时距的允许值为: 支路来车不停右转驶入主干道, 最小车头时距为 3.0s; 支路停车而后再右转进入主干道, 最小车头时距为 4.5~8.0s; 左转弯进入则为 3.75~4.75s。

习题 1.7 简述负指数分布的特性, 给出其计算表达式并说明其中各参数的意义, 最后写出它的均值、方差及适用条件。

解答: 若车辆到达符合泊松分布, 则车头时距就是负指数分布。其表达式为:

$$P(h \geq t) = e^{-\lambda t} \quad (1-12)$$

式中: λ ——单位间隔的平均到达率;

t ——每个计数间隔时间(或路段长度);

e ——自然对数的底, 取 2.718 28。

从上述表达式可知, 负指数分布的概率密度函数曲线是随车头时距单调递减的, 这说明车头时距越小, 其出现的概率就越大。其均值和方差为:

$$M = \frac{1}{\lambda}, D = \frac{1}{\lambda^2} \quad (1-13)$$

适用条件为: 车辆到达是随机的、有充分超车机会的单列车流和密度不大的多列车流的情况。通常认为当每小时每车道的不间断车流量等于或小于 500 辆, 用负指数分布描述车头时距是符合实际的。

习题 1.8 试分别写出三种经典的速度—密度模型, 并标明它们各自的适用条件。

解答: (1) 格林希尔治(Greenshields)1934 年提出的速度—密度线性关系模型如下:

$$v = v_f \left(1 - \frac{k}{k_j} \right) \quad (1-14)$$

式中: v_f ——畅行速度, km/h;

k_j ——阻塞密度, 辆/km。

格林希尔治(Greenshields)模型适用于交通流密度适中的情况。

(2) 格林柏(Greenberg)1959 年提出的速度—密度对数模型如下:

$$v = v_m \ln \left(\frac{k_j}{k} \right) \quad (1-15)$$

式中: k_j ——阻塞密度, 辆/km;

v_m ——最佳速度, km/h。

格林柏(Greenberg)模型适用于交通流的交通密度很大的情况。

(3) 安德伍德(Underwood)1961年提出的速度—密度指数模型如下:

$$v = v_f e^{-\left(\frac{k}{k_m}\right)} \quad (1-16)$$

式中: v_f ——畅行速度, km/h;

k_m ——最佳密度, 辆/km。

安德伍德(Underwood)模型适用于交通流的交通密度很小的情况。

习题 1.9 请分别解释什么叫视觉敏锐度、视认距离、眩目和可插车间隙。

解答: 视觉敏锐度是指分辨细小的或遥远的物体或物体局部的能力。在一定条件下, 眼睛能分辨的物体越小, 视觉的敏锐度越大。敏锐度的大小是用视角表示的, 所以更恰当的定义是能分辨或看见视角越小的物体, 视觉的敏锐度就越大。

视认距离是指能清楚地识别标志上的图案、符号和文字, 故图案、符号及文字的大小应该满足距标志牌一定距离的条件。

眩目是刺目光源引起的眼球中角膜与视网膜介质的散乱现象。眩光会使人的视力下降, 下降的程度取决于光源的强度、视线与影响光间的夹角、光源周围的亮度、眼的适应性等多因素。

可插车间隙是指要穿越另一道路上连续车流的车辆, 能够从车流中相邻两辆车之间穿越所需要的时间。

习题 1.10 试简述跟驰理论的研究内容。在跟驰状态下, 车辆的行驶特性有哪些? 跟驰车辆的驾驶员的反应过程又可分为哪三个阶段?

解答: 跟驰理论是运用动力学方法研究在限制超车的单车道上, 行驶车队中前车速度的变化引起的后车反应。单车道车辆跟驰理论认为, 车头间距在 100~125m 以内时车辆间存在相互影响。

跟驰状态下车辆的行驶具有以下特性: 制约性、延迟性、传递性。

制约性: 紧随性条件、车速条件和间距条件构成了车辆跟驰的制约性。紧随性条件, 在后车跟随前车运行的车队中, 出于对行程时间的考虑, 后车会紧随前车行进; 车速条件, 后车的车速不可能长时间大于前车, 总会在前车车速上下小范围浮动; 间距条件, 车与车之间必须保持一定的安全距离。

延迟性: 从跟驰车队的制约性可知, 前车改变运行状态后, 后车也要改变运行状态。但前后车改变状态不是同步的, 后车总会滞后于前车。因为驾驶员对前车运行状态的改变要有一个反应过程, 需要反应时间。假设反应时间为 T , 那么前车在 t 时刻的动作, 后车在 $(T+t)$ 时刻才能做出相应的动作, 这就是延迟性。

传递性: 由制约性可知, 第一辆车的运行状态制约着第二辆车的运行状态, 第二辆车又制约着第三辆车的运行状态, 以此类推, 这种效应会像波一样传递下去。一旦第一辆车改变运行状态, 它的效应将会一辆接着一辆地向后传递, 直至车队的最后一辆, 这就是传递性。

车辆驾驶员的反应过程可分为三个阶段: 感知阶段、决策阶段、控制阶段。

感知阶段: 驾驶员通过视觉搜集相关信息, 包括前车的速度及加速度、车间距离(前车车

尾与后车车头之间的距离,不同于车头间距)、相对速度等。

决策阶段:驾驶员对所获取信息进行分析,决定驾驶策略。

控制阶段:驾驶员根据自己的决策和头车及道路的状况,对车辆进行操纵控制。

习题 1.11 简单给出加速度干扰的定义和计算公式,并说明影响加速度干扰的主要因素,根据实际情况列出几种加速度干扰的变化趋势。

解答:分析驾驶员在道路上的行车过程,任何人都不会始终维持某一速度恒定不变,而在一定速度范围内变化或摆动。加速度干扰就是对车辆速度摆动的描述,车速摆动涉及乘车的舒适性问题,加速度干扰可以作为一个定量评价指标。我们称车辆的加速度对平均加速度的标准差 σ 为加速度干扰,单位与加速度的单位一致。其计算公式如下:

$$\sigma = \left\{ \frac{1}{T} \int_0^T [a(t) - \bar{a}]^2 dt \right\}^{1/2} \quad (1-17)$$

式中: T ——总观测时间;

$a(t)$ —— t 时刻的加速度;

$\bar{a}$ ——平均加速度。

加速度干扰主要受三个因素的影响:驾驶员、道路和交通状况。可以想象,一个鲁莽的驾驶员比一个稳重的驾驶员对车速变换的次数要多,其加速度干扰也就相对要大;一条狭窄弯曲的道路或一条有信号控制的城市街道肯定要比一条多车道的高速道路速度变化大而且频繁,自然加速度干扰也就大。

经对不同交通条件及不同驾驶员进行试验研究发现,加速度干扰有以下变化趋势:

(1)通过丘陵地区的两条道路,一条狭窄的双车道道路比另一条双向四车道的道路 σ 值要大得多。

(2)对于丘陵地区的同一条道路,下坡路段的 σ 值比上坡路段大。

(3)对于两个驾驶员以低于公路设计车速的不同速度行驶时, σ 值大致一样。

(4)驾驶员超过设计车速驾驶, σ 值会很大,而且速度越快的驾驶员其 σ 值越大。

(5)交通量增加, σ 值增大。

(6)由于停车、公共汽车靠站、横向交通、过街行人等产生的交通拥挤程度增大, σ 值增加。

(7)与行驶时间和停车时间相比, σ 值相对而言是交通拥挤更好的度量指标。

(8) σ 的高值出现表明有潜在的危险情况。

至于 σ 高值和低值,目前一般认为: $\sigma > 1.5$ 时为高值, $\sigma < 0.7$ 时为低值。当 σ 值为高值时,乘车舒适性很差。

习题 1.12 简单描述交通流的波动行为和停车波、起动车的产生过程,并分别写出交通波、停车波和起动车的计算公式。

解答:在实际的交通观测中,我们经常会发现交通流的某些行为非常类似于流体波的行为。如当车流由 4 车道的路段进入 3 车道的路段时,在过渡的路段会出现拥挤、紊乱,甚至阻塞的现象。这是因为车流在即将进入瓶颈时会产生一个与车流运行方向相反的波,类似声波碰到障碍物时的反向,或者管道内的水流突然受阻时的后涌那样。这个波导致在瓶颈之前的路段上车流出现紊流现象,这就是车流的波动行为。

交通波的波速(v_w)计算公式为:

$$v_w = \frac{q_2 - q_1}{k_2 - k_1} \quad (1-18)$$

式中: q_1, q_2 ——波阵面前、后的车流量;

k_1, k_2 ——波阵面前、后的车流密度。

交通波的波速 v_w 代表了两种交通状态转化的方向和进程。 $v_w > 0$, 表明波面的运动方向与交通流的运动方向相同; $v_w = 0$, 表明波面维持在原地不动; $v_w < 0$, 则说明波的传播方向与交通流的运动方向相反。

停车波: 一列驶近信号灯交叉口的车队, 当信号灯变为红灯时, 车队中的头车开始减速, 并逐渐在停车线处停下来, 于是便会产生一个从前向后在车队中传播的交通波, 即停车波。设车队初始密度为 k_1 , 将其标准化为 $\eta_1 = k_1/k_j$, 停车波经过后, 速度变为零, 密度变为 k_j , 也对其标准化, 于是根据线性 $v-k$ 模型下的交通波方程可得到:

$$v_w = -v_1\eta_1 \quad (1-19)$$

该式表明, 因红灯产生的交通波, 以 $v_1\eta_1$ 的速度沿车队从前向后传播, 负号表示波的传播方向与原车队行驶方向相反。由于 v_1 在一定的道路条件下为常数, 所以波的传播速度 v_w 大小主要取决于车队初始车流密度 k_1 。

起动车: 一列停在信号灯交叉口入口停车线后的车队, 当信号变为绿灯时, 车队中的头车开始起动, 于是会产生一个从前向后传播的交通波, 即起动车。车队初始速度为零, 密度为 k_1 , 起动车经过后, 速度变为 v_2 , 密度变为 k_2 , 标准化密度变为 $\eta_2 = k_2/k_j$, 根据 $v-k$ 线性模型下的交通波方程可得到:

$$v_w = -(v_1 - v_2) \quad (1-20)$$

发车产生的交通波为稀疏波, 稀疏波是弱扰动波, 因此 v_2 一般很小, 近似计算中可忽略不计。于是发车产生的交通波可近似认为以 v_1 的速度沿车队从前向后传播, 负号表示波的传播方向与车队行驶方向相反。

习题 1.13 什么叫交通强度? 写出它的模型表达式, 并标明其参数的意义。

解答: 交通强度是指单位面积上单位时间内通过的所有车辆(折合成标准车辆)的行驶距离总和。一般认为 CBD 是一个城市交通最为敏感的地区, 交通强度与距离 CBD 的距离有关。交通强度图形符合如下指数模型:

$$I = A \exp(-\sqrt{r/a}) \quad (1-21)$$

式中: A, a ——待定参数;

I ——交通强度, pcu/h/km;

r ——距 CBD 的距离, km。

式中的参数 A 和 a 在高峰时段和非高峰时段的标定值是不同的。交通强度的表达式表明, 离 CBD 越远, 交通强度就越小。

习题 1.14 给出网络通行能力的定义, 并写出它的模型表达式, 标明式中各参数的意义。

解答: 网络通行能力是指单位时间内有效进入城市中心区的车辆数。对于整个路网来说, 它的容量被整个路网最先到达饱和的路段的通行能力所限制, 因此 N 的值取决于路网形态, 包括道路宽度、交叉口控制类型、交通分布和车辆类型等。模型如下:

$$N = a / C \sqrt{A}$$

(1-22)

式中: N ——网络通行能力;

a ——常数, 取决于路网的结构形式;

f ——道路占用比率;

C ——单位时间单位道路宽度通过的车辆数, 即交通能力;

A ——城区面积。

习题 1.15 详细描述二流理论, 说明它有哪些特性、哪些前提条件和其划分的目的性。

解答: 二流理论: 交通流中的车辆可以分为两类, 即运动车辆和停止车辆。运动车辆是指在交通流中实际运动的车辆。停止车辆是指在交通流中停顿下来的车辆, 停车的原因包括信号、标志、临时装货卸货、临时上下客、拥挤等, 但是不包括车流以外的停车, 如停车场的停车、路旁停车位的长时间停车等。

将交通流划分为二流的目的, 就是要定量描述路网的服务水平。二流模型基于以下两条假设:

(1) 车辆在路网中的平均行驶速度与运行车辆所占的比重成比例。

(2) 路网中循环试验车辆(即交通观测车)的停车时间比例与路网中同期运行车辆的停车时间比例相等。

习题 1.16 试阐述交通事故的定义, 并列出构成交通事故所必须具备的要素。

解答: 交通事故是人、车、路及交通环境在交通过程中相互作用失败的表征, 是指车辆驾驶人员、行人、乘车人员以及其他在道路上进行与交通有关活动的人员, 因违反《中华人民共和国道路交通管理条例》和其他道路交通管理法规、规章的行为或过失造成人身伤亡或者财产损失的事故。

从以上定义中分析出, 构成交通事故必须具备六个要素, 即车辆、在道路上、在运动中、发生事态、发生事态的原因是过失和有后果。

(1) 车辆: 包括各种机动车和非机动车。这是交通事故的前提条件, 即指当事方中必须有一方使用车辆, 如无车辆则不认为是交通事故。

(2) 在道路上: 这是交通事故的特征, 指事故发生的空间处在《中华人民共和国道路交通管理条例》第二条规定的“公路、城市街道和胡同(里巷), 以及公共广场、公共停车场等供车辆、行人通行的地方”。应该指出, 判断事故是否发生在道路上, 应该以事故发生时车辆所在的位置而不是事故发生后车辆所在位置来判定。

(3) 在运动中: 指交通事故定义中所说的车辆通行过程中, 如车与路、车与人、车与车的相对运动。停车后溜滑发生事故, 在道路上属于交通事故, 不在道路上则不算交通事故; 停在路边的车辆被过往车辆碰撞、刮擦发生事故, 也是交通事故。因此, 关键是车辆是否在运动。

(4) 发生事态: 即发生与道路交通有关的现象, 如碰撞、碾压、刮擦、翻车、坠车、爆炸、失火等。若没有发生事态, 由于其他原因造成人、畜伤亡和车、物损失的不属交通事故。

(5) 发生事态的原因是过失: 指交通事故发生的事态是人为原因, 而且是行为人在主观上过失造成的。过失指的是应当预见自己的行为可能发生有害的结果, 但是没有预见, 或者已经预见而轻信能够避免, 以至发生了这种结果。在交通环境中, 有些事态是由于人力无法