



“十二五”高等学校专业教材建设工程

# 交通流分析

JIAOTONG LIU FENXI

主 编 唐阳山

副主编 陈学文 徐兆华



東北大學出版社  
Northeastern University Press



“十二五”高等学校专业教材建设工程

# 交 通 流 分 析

主 编 唐阳山

副主编 陈学文 徐兆华

东北大学出版社

· 沈 阳 ·

© 唐阳山 2014

图书在版编目 (CIP) 数据

交通流分析 / 唐阳山主编. — 沈阳: 东北大学出版社, 2014. 4  
ISBN 978-7-5517-0571-4

I. ①交… II. ①唐… III. ①交通流—分析 IV. ①U491.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 067200 号

---

出 版 者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号 110004

电话: 024—83687331 (市场部) 83680267 (社务室)

传真: 024—83680180 (市场部) 83680265 (社务室)

E-mail: neuph@neupress.com

Web: <http://www.neupress.com>

印 刷 者: 沈阳市第二市政建设工程公司印刷厂

发 行 者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 185mm × 260mm

印 张: 10

字 数: 243 千字

出版时间: 2014 年 4 月第 1 版

印刷时间: 2014 年 4 月第 1 次印刷

策划编辑: 王兆元

责任编辑: 刘乃义

责任校对: 叶 子

封面设计: 刘江旸

责任出版: 唐敏志

---

ISBN 978-7-5517-0571-4

定 价: 20.00 元

# 前 言

交通流分析是进行交通规划、设施设计和交通管理的基础性工作，具有十分重要的实践意义。随着交通运输工程的发展，通过广大学者以及工程技术人员长期的理论研究和实践探索，对于交通流的分析理论和应用研究取得了丰硕的成果，国内也出版了一些相关的专著和教材。本书在吸收前辈和同仁论著和研究成果的基础上，经过总结提炼，并融入了一些作者的体会和积累的实例，形成了理论与实践相结合、方法与实例相结合、学习和思考相结合的教材内容，以帮助读者更好地学习交通流分析的方法。

全书共分 10 章，第 1 章、第 8 章、第 9 章由唐阳山编写，第 4 章、第 5 章、第 6、第 10 章由陈学文编写，第 2 章、第 3 章、第 7 章由徐兆华编写；锦州市交警支队信息中心的贾涛参加了第 1 章的编写；徐晓峰、杨培菲、张贵洋等参与了本书的部分文字工作。

本书是在总结既有理论和研究成果的基础上完成的。本书的完成，离不开交通流分析理论的广大研究者和实践者，离不开已有相关著作和教材的编著者，没有他们的卓越工作，本书也无法顺利完成。在此，对本书涉及的所有论著作者表示衷心的感谢。

感谢东北大学出版社对本教材的出版工作做出了大量工作，感谢辽宁工业大学教务处的有关领导对教材的出版付出了辛勤的劳动。

由于编者水平有限，错误和不当之处在所难免，望读者谅解并提出宝贵意见。

编 者

2013 年 12 月

# 目 录

|                             |           |
|-----------------------------|-----------|
| <b>第1章 绪 论 .....</b>        | <b>1</b>  |
| 1.1 交通流分析理论的作用和发展 .....     | 1         |
| 1.1.1 交通流分析的作用 .....        | 1         |
| 1.1.2 交通流分析理论的产生和发展 .....   | 2         |
| 1.2 交通流分析的内容 .....          | 2         |
| 1.2.1 交通流分析理论的分类 .....      | 2         |
| 1.2.2 交通流分析的内容 .....        | 3         |
| 1.3 交通流分析的基本思想 .....        | 4         |
| 思考题 .....                   | 5         |
| <b>第2章 交通流基本特性的分析 .....</b> | <b>6</b>  |
| 2.1 交通流的基本描述 .....          | 6         |
| 2.1.1 流 量 .....             | 6         |
| 2.1.2 速 度 .....             | 7         |
| 2.1.3 密集度 .....             | 8         |
| 2.2 交通流参数的统计分析 .....        | 9         |
| 2.2.1 离散型交通流参数分布分析 .....    | 10        |
| 2.2.2 连续型交通流参数的分布分析 .....   | 13        |
| 2.3 交通流的分类及基本特性 .....       | 17        |
| 2.3.1 连续流的特性 .....          | 17        |
| 2.3.2 间断流的特性 .....          | 20        |
| 2.4 小 结 .....               | 20        |
| 思考题 .....                   | 21        |
| <b>第3章 跟驰行驶车流的分析 .....</b>  | <b>22</b> |
| 3.1 驾驶任务及驾驶员的作用 .....       | 22        |
| 3.1.1 驾驶任务及其分类 .....        | 22        |
| 3.1.2 驾驶员的作用 .....          | 23        |
| 3.2 驾驶员的交通特性 .....          | 24        |
| 3.2.1 驾驶员的信息处理过程分析 .....    | 24        |
| 3.2.2 驾驶员的交通特性分析 .....      | 25        |
| 3.3 跟驰驾驶现象及原理 .....         | 26        |
| 3.3.1 跟驰现象分析 .....          | 26        |
| 3.3.2 车辆跟驰特性分析 .....        | 26        |

|                         |           |
|-------------------------|-----------|
| 3.4 跟驰基本模型              | 27        |
| 3.4.1 线性跟驰模型的描述         | 27        |
| 3.4.2 模型的稳定性分析          | 28        |
| 3.5 非线性跟驰模型及一般跟驰模型      | 32        |
| 3.5.1 线性跟驰模型的缺陷         | 32        |
| 3.5.2 非线性跟驰模型           | 32        |
| 3.5.3 跟驰模型的基本形式         | 34        |
| 3.6 跟驰模型的应用             | 36        |
| 思考题                     | 37        |
| <b>第4章 交通流体分析</b>       | <b>39</b> |
| 4.1 交通流量守恒方程            | 39        |
| 4.1.1 守恒方程的建立           | 39        |
| 4.1.2 守恒方程的解析求解         | 40        |
| 4.1.3 守恒方程的数值解法         | 41        |
| 4.1.4 多车道流体力学模型         | 43        |
| 4.2 交通流加速与速度独立动态分析      | 44        |
| 4.2.1 交通流加速动态分析         | 44        |
| 4.2.2 交通流速度动态模型         | 45        |
| 4.3 小结                  | 46        |
| 思考题                     | 47        |
| <b>第5章 交通波分析</b>        | <b>48</b> |
| 5.1 交通波的现象及本质           | 48        |
| 5.2 交通波波速方程             | 48        |
| 5.2.1 交通波模型的建立          | 48        |
| 5.2.2 交通波模型的意义          | 49        |
| 5.3 各种交通波及特性            | 51        |
| 5.3.1 停车波和启动波           | 51        |
| 5.3.2 交叉口的交通波分析         | 52        |
| 5.4 交通波的解析解法            | 55        |
| 5.5 交通波分析实例             | 58        |
| 5.6 小结                  | 61        |
| 思考题                     | 61        |
| <b>第6章 可插车间隙理论与超车分析</b> | <b>63</b> |
| 6.1 超车行为及可插车间隙理论        | 63        |
| 6.1.1 可插车间隙理论           | 63        |
| 6.1.2 临界间隙参数的估计         | 64        |
| 6.2 车头时距分布模型及参数标定       | 65        |
| 6.2.1 二分车头时距分布          | 65        |

|                             |           |
|-----------------------------|-----------|
| 6.2.2 不同车头时距模型的数据拟合 .....   | 66        |
| 6.3 无信号交叉口的通行能力分析 .....     | 68        |
| 6.3.1 间隙分析法 .....           | 68        |
| 6.3.2 车队分析法 .....           | 70        |
| 6.4 超车模型 .....              | 71        |
| 6.5 小 结 .....               | 72        |
| 思考题 .....                   | 72        |
| <b>第7章 交通流排队和延误分析 .....</b> | <b>73</b> |
| 7.1 车辆排队阻滞过程 .....          | 73        |
| 7.2 排队论及应用 .....            | 75        |
| 7.2.1 基本概念 .....            | 75        |
| 7.2.2 M/M/1 系统 .....        | 77        |
| 7.2.3 M/M/N 系统 .....        | 77        |
| 7.2.4 例 题 .....             | 78        |
| 7.3 无信号交叉口的延误分析 .....       | 79        |
| 7.3.1 通行能力 .....            | 80        |
| 7.3.2 交通运行质量 .....          | 81        |
| 7.3.3 储备通行能力 .....          | 83        |
| 7.4 信号交叉口的延误分析 .....        | 84        |
| 7.4.1 信号交叉口车流的运动特性 .....    | 84        |
| 7.4.2 减-加速过程与减-加速延误 .....   | 87        |
| 7.4.3 稳态延误模型 .....          | 88        |
| <b>第8章 网络交通流分析 .....</b>    | <b>90</b> |
| 8.1 网络交通流的特性及描述 .....       | 90        |
| 8.1.1 交通强度 .....            | 90        |
| 8.1.2 运行速度 .....            | 90        |
| 8.1.3 网络平均速度和平均流量 .....     | 91        |
| 8.2 网络通行能力及运行质量分析 .....     | 91        |
| 8.2.1 网络通行能力 .....          | 91        |
| 8.2.2 网络交通流速度和流量的关系 .....   | 92        |
| 8.3 网络服务水平的评价 .....         | 93        |
| 8.3.1 阿尔法模型 .....           | 93        |
| 8.3.2 二流理论模型 .....          | 93        |
| 8.4 交通流分配 .....             | 96        |
| 8.4.1 基本概念 .....            | 97        |
| 8.4.2 交通网络的表示 .....         | 100       |
| 8.4.3 最短路径的算法 .....         | 102       |
| 8.4.4 交通分配的基本原理 .....       | 105       |

|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| 8.4.5 交通分配的方法 .....            | 106        |
| 8.4.6 动态交通分配 .....             | 109        |
| 8.5 小 结 .....                  | 112        |
| 思考题 .....                      | 112        |
| <b>第9章 交通流影响分析 .....</b>       | <b>113</b> |
| 9.1 交通流对交通安全的影响分析 .....        | 113        |
| 9.1.1 交通安全与交通事故 .....          | 113        |
| 9.1.2 交通流对交通安全的影响 .....        | 114        |
| 9.1.3 流量法预测交通事故 .....          | 115        |
| 9.2 交通流中车辆燃料消耗分析 .....         | 117        |
| 9.2.1 交通流中机动车燃料消耗的影响因素 .....   | 117        |
| 9.2.2 城市交通车辆燃料消耗分析 .....       | 117        |
| 9.2.3 公路交通流车辆燃料消耗分析 .....      | 118        |
| 9.3 道路交通废气污染 .....             | 119        |
| 9.3.1 交通废气污染 .....             | 119        |
| 9.3.2 尾气排放水平的检测和分析 .....       | 119        |
| 9.3.3 城市机动车排放污染物的扩散 .....      | 122        |
| 9.4 道路交通噪声污染 .....             | 124        |
| 9.4.1 交通噪声的特性 .....            | 124        |
| 9.4.2 交通噪声的计量指标 .....          | 124        |
| 9.4.3 道路交通噪声的评价指标 .....        | 125        |
| 思考题 .....                      | 126        |
| <b>第10章 交通流模拟分析 .....</b>      | <b>127</b> |
| 10.1 交通模拟技术概述 .....            | 127        |
| 10.1.1 道路交通系统模拟的概念 .....       | 127        |
| 10.1.2 道路交通系统模拟的目的、意义和特点 ..... | 128        |
| 10.1.3 道路交通系统模拟的内容及发展趋势 .....  | 129        |
| 10.2 模拟方法 .....                | 130        |
| 10.2.1 系统模拟的过程 .....           | 130        |
| 10.2.2 连续系统的模拟 .....           | 132        |
| 10.2.3 离散系统的模拟 .....           | 134        |
| 10.2.4 交通模拟模型 .....            | 136        |
| 10.3 模拟软件 .....                | 141        |
| 10.3.1 交通模拟软件概述 .....          | 141        |
| 10.3.2 常用交通模拟软件介绍 .....        | 143        |
| 10.4 小 结 .....                 | 149        |
| 思考题 .....                      | 149        |
| <b>参考文献 .....</b>              | <b>150</b> |



# 第1章 绪论

## 1.1 交通流分析理论的作用和发展

### 1.1.1 交通流分析的作用

#### 1. 交通流的定义

交通是一种人或载人(货)工具在道路上移动的现象,这种现象从宏观上看有点儿类似于水流在河道上的流动,因此有了车流和行人流这种称呼。这种行人流和车流统称为交通流。由于机动车流是道路上交通行为的主要成分,对于道路交通系统的影响是决定性的,因此,除非特别指明,交通流一般指机动车流。

#### 2. 交通流分析的作用

交通流是交通系统的主要对象和基本组成部分,是交通系统功能实现的物质基础,也是交通系统变化的集中体现。分析交通系统的特性和变化规律,从某种意义上说,就是分析交通流的特性和变化规律。对交通流这种特定对象进行内涵和外延的界定、状态的描述和判断、交通流的分类和特性研究以及分析各种交通流在各种条件下的时空变化规律的行为,称为交通流分析。进行交通流分析的理论和方法称为交通流分析理论,即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,包括描述交通流的方法、反映交通流特性和变化规律的理论方法和模型。

交通流分析不仅是研究交通流本身特性的基本手段和核心内容,对于掌握交通流的特性和变化规律十分必要,也是进行交通规划、交通控制、道路与交通工程设计等工作的基础工作和关键环节。交通流是道路交通的主体,对于其变化规律的把握,既是对道路交通当前状况全面认识的基础,也是预测道路交通未来需要的重要依据。交通流分析理论是交通工程学这门科学的核心理论,是这个领域的理论根基,尤其是随着智能运输系统的蓬勃发展,交通流分析理论所涉及的范围和内容也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中的复杂问题,又如随着计算机技术的发展,模拟技术越来越多地被用来描述和分析交通运输工程的某些过程或现象。

### 1.1.2 交通流分析理论的产生和发展

交通流分析理论的发展与道路交通运输业的发展和科学技术的发展密切相关,在交通运输业发展的不同时期和科学技术发展的不同阶段,形成了交通流分析理论的不同发展阶段。按照时间顺序,交通流分析理论可以划分为以下四个阶段。

#### (1) 创始阶段。

20 世纪 30 年代,由于世界汽车工业和道路建设的发展,道路交通达到了一定的规模,在运行中产生了冲突、安全和阻滞等现象,需要摸索道路交通的基本规律,以便对其进行科学的管理,于是便产生了对交通流分析理论的初步需求。著名的研究者是格林希尔治 (Bruce D. Greenshields),其代表性成果是用概率论和数理统计的方法建立数学模型,用以描述交通流量和速度的关系,并对交叉口的交通状态进行调查。由于其对交通流分析理论的奠基性工作,后人把他称为交通流分析理论的鼻祖。

#### (2) 快速发展阶段。

20 世纪 40—50 年代,发达国家的公路和城市道路里程迅猛增长,汽车拥有量大幅度上升,如何进行道路规划以及对现有的交通进行科学的控制已经势在必行,这需要有一套科学的理论体系作为指导,交通流分析理论伴随着交通规划和交通管理的需要迅速发展起来。这期间产生了多个分支和学术上的多个代表人物。在理论分支上,包括车辆跟驰理论 (car following theory)、交通波理论 (traffic wave theory) 和排队理论 (queuing theory) 等。越来越多的学者开始从事交通流理论的研究,如沃德洛尔 (Wardrop)、鲁契尔 (Reuschel)、派普斯 (Pipes)、莱特希尔 (Lighthill)、惠特汉 (Whitham)、纽厄尔 (Newell)、韦伯斯特 (Webster)、伊迪 (Edie)、佛特 (Foote)、张德勒 (Chandler)、赫尔曼 (Herman) 等。

#### (3) 经典理论成熟阶段

由于交通流分析理论出现了较多分支,为了统一思想,也为了使其沿着正确的发展方向进行发展并逐步成熟,1959 年举行了第一次交通流理论国际研讨会。此后,这种会议形成了系列并定期举行,使交通流分析理论研究者能够及时地交流最新的研究成果,从而使交通流分析理论成为交通运输工程领域一个重要的理论研究方向。现在,经典的交通流分析理论已趋于成熟。

#### (4) 现代发展阶段

随着人们对交通流认识的深入,在实践上,交通系统的复杂性不断加强,特别是智能交通的产生和发展,对于交通流分析的要求和手段也不断更新和丰富,传统的交通流分析的理论和方法有时难以满足实践的需要,这催生人们探究更多的研究方法,特别是一些新的解决问题的技术和方法被引入到交通流分析中,逐渐产生了现代交通流分析理论。

## 1.2 交通流分析的内容

### 1.2.1 交通流分析理论的分类

交通流分析理论是不断发展的,因此进行严格分类是不合适的,但是为了学习和应用

的方便,可以进行一定的划分。划分的方式主要有按照研究方法和手段的不同以及按照交通流的时空范围大小的不同这两种。

### 1. 按照研究方法和手段的不同进行分类

按照研究方法和手段的不同,交通流分析理论可划分为传统和现代两类。

(1) 传统交通流分析理论。所谓传统的交通流分析理论,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分析理论,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。传统交通流分析理论在目前的交通流分析理论体系中仍居主导地位,并且在应用中相对成熟。

(2) 现代交通流分析理论。现代交通流分析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。

传统交通流分析理论和现代交通流分析理论并不是截然分开的两种交通流分析理论体系,只不过是它们所采用的主要研究手段有所区别,在研究不同的问题时它们各有优缺点。在实际研究中,常常是两种模型同时使用效果更好。

### 2. 按照研究对象的时空范围大小的不同进行分类

交通流分析理论另一种分类方法是根据研究对象的时间和空间范围来分。一般地,根据研究的交通流对象的时间长短,可以简单地划分为三种:时间较长的“宏观”、时间较短的“微观”以及介于二者之间的“中观”。这种时间上的划分,目前还没有标准的时间长短的界定,而且有时仅仅划分为宏观和微观两种,时间的长短从根本上是相对的概念。一般地,从空间范围的大小也可以分成三种:可以把道路上一点或一个断面理解成微观研究范围,对于一个路段和一条道路理解为中观,而宏观主要指一个网络或城市区域的范围。当然,同时间上的划分一样,空间的划分也是相对的,有时把一个车队的交通流当作宏观的,而单个车辆的跟驰行为认定为微观的交通流行为。可见,依据时空范围对交通流分析理论的划分不是绝对的。

## 1.2.2 交通流分析的内容

交通流分析的内容主要包括交通流的基本状态的描述、基本单元流的分析和网络交通流的分析。从目的和用途上,可划分为交通流的演变分析以及生成需求分析。从手段上,可分为交通流的调查分析、数值建模和交通流的模拟。根据交通流分析的内容以及手段的不同,归纳交通流分析的内容如下。

(1) 交通流基本特性分析:研究表示交通流特性的参数及其获取,分析参数的分布特性及参数之间的关系。

(2) 驾驶员对交通流的影响分析:分析驾驶员在人、车、路、环境中的反应及其对交通行为的影响。

(3) 跟驰驾驶现象及跟驰车流的分析:运用车辆跟驰模型分析车辆的跟驰行为、交通的稳定性和跟驰行驶车队的变化。

(4) 连续流分析: 利用交通流量守恒方程分析连续流的上空瞬变状态, 运用交通波理论分析交通流的特点和变化。

(5) 网络交通流的分析: 运用宏观交通流模型对区域网络上的交通流进行定量的评价分析, 并通过流量分配理论分析网络交通流量分配和变化趋势。

(6) 交通流的交通影响分析: 分析交通流的状态和特性对交通安全、燃料排放、废气污染和交通噪声环境的影响, 并进行定量的测定和评价分析。

(7) 无信号交叉口交通流分析: 利用可插车理论和排队论等分析无信号交叉口车流的通行能力和评价运行质量。

(8) 信号交叉口交通流分析: 分析信号交叉口车流的排队和消散过程, 分析信号交叉口的通行能力和延误大小, 分析信号配时的合理性以及更好的配时方法和配时方案。

(9) 交通流模拟分析: 通过计算机进行交通流数值建模, 利用电算化手段进行交通流模型的数值求解, 分析交通流的时间和空间变化, 对交通流进行动态仿真, 进行实时跟踪模拟和效果分析。

### 1.3 交通流分析的基本思想

交通流实际上是随时间和空间而变化的, 并且受随机因素的影响。时间和空间是连续变化的, 随机因素也很难预测, 因此, 交通流状态在任意时间和空间条件下是不确定的, 变化的规律相当复杂。描述交通流真实状态的模型应该具备如下特点: ① 微分方程; ② 与时间和空间两个变量有关; ③ 非线性; ④ 随机性; ⑤ 无穷维。在实际研究中, 人们不得不根据实际需要建立抽象的模型, 即把真实交通流模型抽象成有穷维、时不变、确定性、线性的实用模型。至于抽象的程度, 主要取决于应用的目的。

建立交通流模型是为了解释交通现象和解决交通问题, 因此, 在建立交通流模型时, 不能脱离实际而追求形式上的完整和数学上的严谨。在建模过程中, 主要有两个环节: 一是模型构造; 二是模型标定。对于模型的构造, 应建立在对道路交通系统认识和识别的基础上, 应研究使模型对交通流现象能很好地描述; 在参数标定上, 应重点研究如何确定模型中的参数使模型得以具体应用。参数的标定直接决定了模型的应用效果, 要重视简单和适用的原则。即便是推导过程比较复杂的模型, 其应用模型形式也应比较简单, 这样的形式有利于模型的推广。当然, 对于复杂现象和问题, 借助于计算机模拟技术, 可以采用更为精确的复杂模型。

虽然基于数理统计和微积分等经典数学、物理方法的微观交通流分析理论已经基本成熟, 但是仍然有一些交通现象用经典理论难以解释, 交通流分析理论需要不断地发展, 这与交通运输工程的需求和科学技术的发展水平相对应。例如, 由于有了计算机, 才创造并发展了交通模拟技术; 由于有了计算机, 人们才能用人工智能理论、现代控制理论等科学技术理论和方法去认识和解决复杂的交通问题。今后交通流分析理论的发展将具有如下几个方面的特点。

(1) 从研究内容看, 宏观的网络交通流分析理论是未来的研究重点。

(2) 从研究手段和方法来看, 有两个趋势非常明显: 一是利用计算机模拟技术, 二是

现代理论和方法（如人工智能、神经网络、模糊控制）的应用。利用计算机模拟技术研究交通流理论，不仅可以使研究对象和结果更加形象生动，而且可以避免严格数学推导中的许多困难和问题。而应用人工智能、神经网络、模糊控制等理论，可以把那些用数学模型难于精确表达的复杂交通流现象进行快速处理和归纳，为交通控制和实时动态交通分配提供依据。

交通流分析理论作为交通运输工程的重要理论根基，仍然处于发展阶段，不仅经典理论存在一定的缺陷并尚待完善，而且随着交通运输系统中问题的日益复杂，需要不断探索新的方法来解决那些经典理论无力解决的问题。因此，对于本书的学习，不仅仅要学习和掌握交通流分析理论，更重要的是以一种研究的态度去思考所学理论、方法的合理性和存在的缺陷。探索新的研究方法是学习这门课程的更高要求，这是责任，也是挑战和机遇。

## 思考题

1. 讨论交通流分析理论的发展方向。
2. 如何学好本门课程？
3. 如何进行交通流建模？
4. 结合实际交通，谈谈交通流的现象和特点。

## 第2章 交通流基本特性的分析

### 2.1 交通流的基本描述

交通流运行状态的定性、定量特征称为交通流特性,用以描述交通流特性的一些物理量称为交通流参数,参数的变化规律即反映了交通流的基本性质。交通流的基本参数有交通流量、速度和密集度三个,也称为交通流三要素,微观参数有车头时距、车头间距等。

#### 2.1.1 流量

流量是指在单位时间内,通过道路某一点、某一断面或某一条车道的交通实体数。对于机动车流而言,就是机动车辆数。通过定点观测,流量可由下式得到:

$$Q = \frac{N}{T} \quad (2-1)$$

式中:  $Q$ ——流量, veh/h;

$T$ ——观测时段长度, h;

$N$ ——观测时段内的车辆数。

一般地,观测时间至少要1个时间单元。当观测任务较多、人力有限时,也可以采用少于1h的观测数据获得换算流量,将不足1h的观测时间内(如5min、15min)观测到的车辆数换算为1h的交通量称为当量小时流率,简称流率。对于粗略的描述,上述经观测后计算的流量已经能够基本反映所观测位置的交通流量的大小。要更加精确地反映道路交通流量的大小,特别是要反映不同车型对交通的影响大小,需要按照一定的机动车换算系数,分车型观测并折算到标准车辆得到当量交通量,如下式所示:

$$Q_{\text{当}} = \frac{\sum_i N_i \alpha_i}{T} \quad (2-2)$$

式中:  $Q_{\text{当}}$ ——当量流量, veh/h;

$T$ ——观测时段长度, h;

$N_i, \alpha_i$ ——各种车型的车辆数及折算系数。

有时为了简便,直接观测一定数量的车头时距数据并计算平均车头时距,通过车头时距获得大致的流量。其关系如下:

$$Q = \frac{1}{h} \quad (2-3)$$

式中： $\bar{h}$ ——平均车头时距。

## 2.1.2 速度

速度用来描述交通流运行的快慢，有地点速度和平均速度两种。

### 1. 地点速度

地点速度也称为即时速度或瞬时速度，为车辆通过道路某一点时的速度，即

$$u = \frac{dx}{dt} = \lim_{t_2 - t_1 \rightarrow 0} \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} \quad (2-4)$$

式中： $x_1$ 和 $x_2$ 分别为时刻 $t_1$ 和 $t_2$ 的车辆位置。

雷达和微波检测器测得的速度非常接近此定义。车辆地点速度的近似值也可以通过小路段调查获得，通过间隔一定距离的感应线圈来调查。运用车载GPS系统观测的速度也是地点速度。

### 2. 平均速度

平均速度包括时间平均速度和区间平均速度。

(1) 时间平均速度。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，即

$$\bar{u}_t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_i \quad (2-5)$$

式中： $u_i$ ——第 $i$ 辆车的地点速度；

$N$ ——观测的车辆数。

(2) 区间平均速度。一种定义为：车辆行驶一定距离 $D$ 时，所有车辆的平均行驶时间内的速度平均值，即

$$\bar{u}_s = \frac{D}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i} \quad (2-6)$$

式(2-6)可进行如下演变：

$$\bar{u}_s = \frac{D}{\frac{1}{N} \sum_i t_i} = \frac{D}{\frac{1}{N} \sum_i \frac{D}{u_i}} = \frac{1}{\frac{1}{N} \sum_i \frac{1}{u_i}} \quad (2-7)$$

式(2-7)中的右端称为所有车辆行驶速度的调和平均值。

这种区间平均速度适用于交通量较小的条件，所观察的车辆应具有随机性。

区间平均速度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。例如，以很短时间间隔 $\Delta t$ 对路段进行两次航拍，或者通过车载GPS同时观测某路段车辆的速度，可得到所有车辆的地点速度和区间平均速度，即

$$\bar{u}_s = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{s_i}{\Delta t} = \frac{1}{N \Delta t} \sum_{i=1}^N s_i \quad (2-8)$$

式中： $\Delta t$ ——两张照片的时间间隔；

$s_i$ ——在 $\Delta t$ 间隔内，第 $i$ 辆车行驶的距离。

对于自由流, 区分这两种平均速度的意义不大。对于非连续交通流, 区分这两种平均速度尤为重要, 特别是当道路上车辆的速度变化很大时, 这两种平均速度的差别也比较大。从统计角度讲, 时间平均速度和区间平均速度存在如下关系:

$$\bar{u}_t - \bar{u}_s = \frac{\sigma_s^2}{\bar{u}_s} \quad (2-9)$$

式中:  $\sigma_s^2 = \sum \frac{k_i(u_i - \bar{u}_s)^2}{K}$ , 其中,  $k_i$  为第  $i$  股交通流的密度;  $K$  为交通流的整体密度。

### 2.1.3 密集度

密集度包括占有率和密度两种含义。

#### 1. 占有率

占有率包括时间占有率和空间占有率两个概念。

时间占有率即车辆的时间密集度, 就是在一定的观测时间  $T$  内, 车辆通过一定区域 (检测器区域) 时所占用的时间与观测总时间的比值。对于单个车辆来说, 在检测器上花费的时间是由单个车辆的速度  $u_i$ 、车长  $l_i$  和检测器本身的长度  $d$  决定的, 占有率的计算如下:

$$o = \frac{\sum_i (l_i + d)/u_i}{T} = \frac{1}{T} \sum_i \frac{l_i}{u_i} + \frac{d}{T} \sum_i \frac{1}{u_i} \quad (2-10)$$

结合式 (2-1)、式 (2-7) 和式 (2-10) 可得

$$o = \frac{1}{T} \sum_i \frac{l_i}{u_i} + d \cdot \frac{N}{T} \cdot \frac{1}{N} \sum_i \frac{1}{u_i} = \frac{1}{T} \sum_i \frac{l_i}{u_i} + d \cdot \frac{q}{\bar{u}_s} \quad (2-11)$$

将基本公式

$$q = k\bar{u}_s \quad (2-12)$$

代入式 (2-11) 可得

$$o = \frac{1}{T} \sum_i \frac{l_i}{u_i} + d \cdot k \quad (2-13)$$

式中:  $T$ ——车头时距的总和;

$k$ ——车流密度。

将式 (2-13) 的分子、分母同时除以  $N$ , 得

$$o = \frac{\sum_i \frac{l_i}{u_i}}{T} + d \cdot k = \frac{\frac{1}{N} \sum_i \frac{l_i}{u_i}}{\frac{1}{N} \sum_i h_i} + d \cdot k = \frac{\frac{1}{N} \sum_i \frac{l_i}{u_i}}{\bar{h}} + d \cdot k \quad (2-14)$$

如果假定车身长度取定值  $l$ , 那么式 (2-14) 可简化为

$$o = \frac{\frac{1}{N} \sum_i \frac{l}{u_i}}{\bar{h}} + d \cdot k = \frac{1}{\bar{h}} \cdot l \cdot \frac{1}{N} \sum_i \frac{1}{u_i} + d \cdot k = l \cdot \frac{q}{\bar{u}_s} + d \cdot k = (l + d)k = c_k k \quad (2-15)$$



式中： $c_k$ ——车身长度与检测器长度之和。

由于单个检测器的长度  $d$  是恒定的，如果假定车辆的长度也相同，那么式(2-15)表明占有率与密度是成正比的，由此可得如下区间平均速度的计算公式：

$$\bar{u}_s = \frac{q \cdot c_k}{o} \quad (2-16)$$

交通工程中还引用了空间占有率的概念来表示交通流的状态。空间占有率是指一定路段上车辆总长度与路段总长度之比（取百分数）。

## 2. 密度

交通密度  $k$  代表车辆的空间密集度，就是某一瞬间单位道路长度上存在的车辆数，即

$$\text{交通密度 } k = \frac{\text{车辆数 } N}{\text{观测路段的长度 } L}$$

交通密度只能通过沿路段长度调查法即根据航拍照片来获得，根据图上量得的距离和车辆数计算得出。若记  $s_i$  为第  $i$  辆车与前车的车头间距，则

$$k_i = \frac{1}{s_i} = \frac{1}{h_i u_i} \quad (2-17)$$

式中： $h_i$ ——第  $i$  辆车与前车 [第  $(i-1)$  辆车] 的车头时距；

$u_i$ ——第  $i$  辆车的车速。

因此，平均密度的计算公式为

$$\bar{k} = \frac{1}{\frac{1}{N} \sum s_i} \quad (2-18)$$

或者

$$\bar{k} = \frac{1}{\frac{1}{N} \sum \frac{1}{k_i}} \quad (2-19)$$

式中： $\bar{k}$ ——平均交通密度；

$N$ ——记录的车头间距数。

式(2-19)说明，平均交通密度等于各股交通流密度的调和平均值。

## 2.2 交通流参数的统计分析

调查要消耗时间和资金，而且只能获取一段时间的部分数据。参数的统计分布模型可以根据少量的资料得出更多的预测结果。车辆的到达一般都具有一定的随机性，1933年，金泽 (Kinzer J P) 提出了用泊松分布进行交通流分析的可能性。交通流的参数大致包括两类：以整数为表现形式的离散型变量和在一定范围内任意取值的连续型变量，前者要分析数量分布情况，后者要研究车辆间隔时间、车速、可穿越的空当等交通流参数的统计分布特性。本节将详细讨论泊松 (Poisson) 分布、二项分布、负二项分布三种离散型分布以及负指数分布、移位负指数分布、二项分布、爱尔朗 (Erlang) 分布、韦布尔 (Weibull) 分布等连续型分布。