

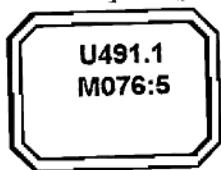


21世纪警官高等教育系列教材

交通流理论基础

马 骏 编著

中国人民公安大学出版社



高等教育系列教材

交通流理论基础

马 骏 编著

中国人民公安大学出版社

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

交通流理论基础/马骏编著. —北京:中国人民公安大学出版社,
2004.5

21 世纪警官高等教育系列教材

ISBN 7-81087-751-8

I. 交… II. 马… III. 交通流—高等教育—教材
IV. U491.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 044329 号

交通流理论基础

JIAOTONGLIU LILUN JICHU

马 骏 编著

出版发行: 中国人民公安大学出版社

地 址: 北京市西城区木樨地南里

邮政编码: 100038

印 刷: 河北省抚宁县印刷厂

版 次: 2004 年 5 月第 1 版

印 次: 2004 年 5 月第 1 次印刷

印 张: 6

开 本: 850 毫米 × 1168 毫米 1/32

字 数: 151 千字

书 号: ISBN 7-81087-751-8/D·577

定 价: 13.00 元

本社图书出现印装质量问题, 由发行部负责调换

联系电话: (010) 83903254

版权所有 翻印必究

E-mail: cpep@public. bta. net. cn

前 言

在如火如荼的高等教育改革中，教学改革是核心，而教学内容和课程体系改革又是难点。作为教学内容改革的组成部分，教材内容的整合与更新的重要性不言而喻。

公安大学本科专业现行公安业务教材基本上是 20 世纪 90 年代初编写的。这些教材在确立公安学科的地位、培养合格人才以及指导公安工作实践等方面曾发挥过重要作用。然而，形势的发展使得对这些教材进行修订或重新编写势在必行。其一，在 1999 年 6 月召开的第三次全国教育工作会议上，党中央和国务院作出了《关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》；1999 年 11 月第二次全国公安教育工作会议就深化公安教育改革、全面实施素质教育作出了新的部署，我们的教材建设必须在此基础上重新定位。其二，我校许多课程的教材涉及到法律问题，而目前我国法律体系正处于不断完善中，近 10 年来颁布和修订的法律比较多，教材的编写和修订必须与新的法律相一致。其三，由于近些年我国正处于计划经济向市场经济转型时期，社会生活变化迅猛，公安机关面临的斗争形势非常严峻，而我们的理论却跟不上形势发展，有些理论严重滞后于公安工作实践，无法指导公安工作实践，必须予以修正。鉴此，公安大学党委适时作出决定，编写了这套“21 世纪警官高等教育系列教材”。

此次教材编写与修订，将贯彻以下指导思想：从注重知识传授向重视能力培养转化；既充分反映当前公安工作和队伍建设的实际，贴近警务实践，又要具有前瞻性、预见性；从实践中来，

又高于实践,形成比较科学、完整的体系,做到理论性、科学性与较强的针对性、实用性的统一。

本套教材将注重“高水平”与“适用性”的有机结合,突出编写质量和社会效益。首先,编写工作将以我校在全国公安系统具有影响力的学科带头人领衔,邀请各级公安部门业务领导、专家和骨干参加,组成实力强大的编写阵容。其次,在教材编写过程中,将注意吸收改革开放以来我国公安理论研究的最新学术成果,关注国际学术发展最新动向,使教材内容站在 21 世纪初的学术前沿。再次,针对本科教学和新时期本科学生的特点,将学术性、新颖性、可读性有机结合起来,注意运用比较生动的案例、简明流畅的语言阐释理论。最后,按照“编审分离”原则,聘请学术造诣高、实践经验丰富的学者、专家审稿,严把教材编写质量关。

我们期望并相信,经过编写者、审稿者、出版者的共同努力,这套 21 世纪公安业务新教材将以其质量和特色,成为新世纪奉献给读者们的精品。

中国人民公安大学
教材编审委员会
2001 年 12 月

编者的话

本书是为交通管理工程专业的本科生和交通运输与管理方向的研究生编写的教材。编者结合教学和科研经验，查阅了国内外有关资料，并在前人工作的基础上融入了自己的一些观点，编写了这本教材。

交通流理论难度大，涉及范围广。本书选择了交通流理论中的基础内容和比较成熟的理论部分，未包括交通流理论的全部内容，对难度大的内容作了适当的取舍。在编排顺序和详略处理上充分考虑了学生的接受能力。书中举例侧重于交通管理方面的应用，力求例题完整、符合实际。考虑到与相关课程的衔接，本书纳入了通行能力分析部分。全书由中国人民公安大学马骏副教授编写，由清华大学史其信教授主审。

由于资料收集有限，加之编著者水平所限，书中难免存在不足之处，诚望读者批评指正。

编著者

2004年1月

目 录

1 绪论	1
1.1 交通流理论发展简史.....	1
1.2 交通流理论的研究内容.....	3
1.3 本书结构和学习方法.....	5
2 交通量特性	7
2.1 概述.....	7
2.2 交通量.....	8
2.2.1 交通量的基本概念.....	8
2.2.2 交通量的时间统计特性.....	9
2.2.3 交通量的空间变化.....	11
2.2.4 交通量的方式分布.....	13
2.2.5 交通量的数学分布.....	16
2.2.6 交通量的换算.....	17
2.2.7 交叉口交通量调查.....	18
2.2.8 交通量应用.....	19
2.3 车头时距.....	20
2.3.1 车头时距概念及组成.....	20
2.3.2 车头时距分布的实测统计分析.....	21
2.3.3 车头时距分布分类.....	24
2.3.4 车头时距分布的随机状态.....	24
2.3.5 车头时距的常态分布.....	26
2.3.6 车头时距分布的中间状态.....	26
2.3.7 模型选择与检验.....	28

2.3.8 车头时距应用	29
3 速度特性	31
3.1 概述	31
3.2 地点车速	31
3.2.1 地点车速及其特点	31
3.2.2 地点车速调查与统计分析方法	33
3.3 平均车速	36
3.3.1 平均车速的基本概念	36
3.3.2 平均车速的变化特性	37
3.3.3 时间平均车速与空间平均车速	40
3.3.4 交通流基本模型	40
3.3.5 交通调查方法分类	41
3.3.6 平均车速调查	43
3.4 延误	44
3.4.1 延误的基本概念	44
3.4.2 交叉口停车延误调查 (点样本法)	45
4 密集度特性	47
4.1 概述	47
4.2 车头间距	48
4.2.1 车头间距概念及作用	48
4.2.2 车头间距构成及其与其他变量之间的关系	49
4.3 密度和占有率	50
4.3.1 密度的基本概念	50
4.3.2 密度、占有率与服务水平	50
4.3.3 密度和占有率调查方法	51
4.3.4 存在型检测器	53
4.3.5 密度应用	57

5 交通流模型	62
5.1 概述	62
5.2 交通流宏观变量之间的关系	62
5.3 速度 - 密度模型	64
5.3.1 Greenshields 模型	64
5.3.2 其他模型	66
5.3.3 几种模型特征值比较	69
5.4 流量 - 密度模型	71
5.4.1 Greenshields 模型	73
5.4.2 Greenberg 模型	73
5.4.3 Underwood 模型	74
5.4.4 Edie 模型	74
5.4.5 瓶颈地点的交通流	75
5.5 速度 - 流量模型	76
5.6 调查地点的作用	78
6 跟车理论	83
6.1 概述	83
6.2 车辆跟驶特性	83
6.3 线性跟车模型	85
6.4 线性跟车模型举例	87
6.5 交通稳定性	91
6.6 跟车模型的一般形式	92
6.7 跟车理论与交通流模型	93
6.8 加速度干扰	96
7 连续流理论与冲击波分析	98
7.1 概述	98
7.2 守恒方程的推导	98

7.3 解的存在性	100
7.4 守恒方程的求解和冲击波	102
7.5 冲击波波速公式	105
7.6 信号交叉口的冲击波分析	106
7.7 公路的冲击波分析	111
8 排队分析	115
8.1 排队过程	115
8.2 确定型排队分析	116
8.2.1 信号交叉口的排队分析	116
8.2.2 交通事件的排队分析	120
8.2.3 确定型排队问题图示	123
8.3 随机型排队分析	124
8.4 信号交叉口的延误模型	126
8.4.1 均匀延误模型	127
8.4.2 稳态延误模型	128
8.4.3 随时间增加的延误模型	129
8.4.4 上游信号的影响	130
8.4.5 《美国道路通行能力手册》(HCM) 采用的延误模型	132
9 道路通行能力分析	135
9.1 概述	135
9.2 道路通行能力与服务水平	136
9.2.1 道路通行能力	136
9.2.2 服务水平	137
9.3 高速公路路段通行能力分析	138
9.3.1 高速公路的基本概念	138
9.3.2 高速公路交通流的理想条件	139

9.3.3 速度 - 流量关系	140
9.3.4 高速公路路段分析方法	141
9.4 双车道公路通行能力分析	149
9.4.1 双车道公路的交通特性	149
9.4.2 一般双车道公路运行分析	151
9.5 无信号交叉口通行能力分析	151
9.5.1 无信号交叉口的特点	151
9.5.2 无信号交叉口通行能力分析基本原理	151
9.5.3 无信号交叉口通行能力计算	153
9.5.4 无信号交叉口的服务水平评价	155
9.6 信号交叉口通行能力分析	156
9.6.1 交通信号控制的基本概念	156
9.6.2 信号交叉口的通行能力	157
9.6.3 信号交叉口的服务水平	158
9.6.4 信号交叉口的运行分析	158
9.7 干道交通分析与评价	173
9.7.1 干道的交通流特性	173
9.7.2 干道交通评价指标	173
9.7.3 干道的服务水平	174
9.7.4 干道分析与评价步骤	175
9.8 自行车道通行能力分析	176
9.8.1 自行车对交叉口通行能力的影响	176
9.8.2 自行车对路段通行能力的影响	177
9.8.3 自行车道通行能力	177

1 绪 论

交通流理论是研究交通流随时间和空间变化规律的模型和方法体系,是交通运输工程的基础理论支撑。多年来,交通流理论被广泛地运用于交通运输的众多应用领域,如交通规划、交通管理、控制、道路与交通工程设施设计等。近年来,随着交通运输的迅猛发展和智能交通系统(Intelligent Transport Systems,简称ITS)的研究、开发和利用,交通流理论的研究内容逐步深化,研究范围不断扩充,理论体系日臻完善,新技术、新方法不断涌现,理论支撑的作用愈加明显。

交通流理论的研究对象是交通流。交通流具有很强的随机性,因此早期的研究主要集中在交通流的统计特性上,研究交通流随时间、空间和交通方式的变化规律,从而建立交通流的统计分布模型。交通流特性的研究可以从宏观和微观两个角度进行。宏观研究是将一定范围的交通流作为一个整体,研究它随时间、空间和方式的变化规律;微观研究是对组成交通流的各车辆的运动规律及车辆之间相互关系的研究。

1.1 交通流理论发展简史

交通流的研究始于20世纪30年代,Adams(1936)运用概率论描述道路交通现象以及Greenshields(1935)对速度与密度关系的开创性研究。此外,还有Greenshields(1947)对交叉口交通

特性的调查研究。第二次世界大战以后,随着汽车拥有量和公路里程的快速增长,交通特性研究和交通流理论得到了飞跃发展。50年代出现了多种理论流派,如跟车理论(Car following theory)、交通波理论(Traffic wave theory)和排队论(Queueing theory)。这个时期做出奠基性研究的有 Reuschel (1950)、Wardrop (1952)、Pipes (1953)、Lighthill 和 Whitham (1955)、Newell (1955)、Webster (1957)、Edie 和 Foote (1958)、Chandler 等 (1958)、Herman 等 (1961) 等。

1959 年召开的第一次交通流理论国际会议 (First International Symposium on the Theory of Traffic Flow) 是交通流理论发展的一个里程碑,标志着交通流理论的正式确立。从此,这一系列国际会议每三年召开一次。每次会议都有大量的研究成果出现,促进了交通流理论的迅速发展。此外,多种有关学术会议都涉及了交通流理论的内容,表明交通流理论已经渗入交通运输的各个领域。

1964 年美国公路研究委员会 (Highway Research Board, 简称 HRB, 后改名为 TRB) 组织编写了第一版《交通流理论》(Gerlough, D. L. and D. G. Capelle, *An Introduction to Traffic Flow Theory*, HRB, Special Report 79, 1964), 对交通流理论作了初步介绍和理论总结。

1975 年美国交通运输研究委员会 (Transportation Research Board, 简称 TRB) 组织编写了第二版《交通流理论》(Gerlough, D. L. and M. J. Huber, *Traffic Flow Theory—A Monograph*, TRB, Special Report 165, 1975), 系统地总结了全世界各国学者的优秀研究成果,初步建立了交通流理论体系。该书也成为了交通流理论研究的指路标。

1996 年美国联邦公路署 (Federal Highway Administration, 简称 FHWA) 组织编写了第三版《交通流理论》(Gartner, N., Car-

roll J. Messer and Ajay K. Rath, *Monograph on Traffic Flow Theory*, FHWA, 1996), 对第二版本进行了理论体系的完善, 纳入了最新研究成果。可以说这本书就是交通流理论的范本和最新发展的代表。

近年来, 新思想、新观点、新技术和新方法的不断涌现使交通流理论充满了勃勃生机。表现在: 模型和方法日臻完善, 模型的适用范围越来越广, 如信号交叉口的延误模型已从原来只适用于稳态流扩展到过饱和流。理论体系逐步形成, 第三版《交通流理论》中新增的宏观交通流模型以及计划纳入的交通分配模型内容, 预示着交通流理论开始向宏观理论方向发展。

交通流理论已经成为了各种交通运输应用的理论支撑, 广泛应用于交通运输系统的规划、设计和管理领域。当然, 由于交通流现象的复杂性, 交通流理论还很年轻, 还有很多问题需要深入研究, 例如, Daganzo (1999) 提出的交通流研究中的两大课题, 即瓶颈问题和排队问题, 至今还没有得到圆满解决。

1.2 交通流理论的研究内容

交通流理论作为交通运输各应用领域的理论支撑, 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。研究内容涵盖了描述交通流现象的各种理论思想、模型和方法。

在交通流理论体系的形成过程当中, 不同时期其研究内容和体系框架也不同。第一版《交通流理论》是由选自《交通科学》(Traffic Science) 的文章组成的, 包括流体力学方法和运动波理论、跟车和加速度干扰、排队论方法、交通流模拟、实验和应用等五个部分。

第二版《交通流理论》的研究内容包括交通量与速度及密集度调查、交通流特性的统计分布、交通流模型、驾驶员信息处理特性、跟车理论和加速度干扰、交通流动力学和运动学模型、排队论模型、交通流模拟等内容,是按照各理论流派的分类编排的。

第三版《交通流理论》内容分为九部分,分别是:交通流特性 (Traffic stream characteristics)、人的因素 (Human factors)、跟车模型 (Car following models)、连续流模型 (Continuum flow models)、宏观交通流模型 (Macroscopic flow models)、交通影响模型 (Traffic impact models)、无信号交叉口理论 (Unsignalized intersection theory)、信号交叉口的交通流 (Traffic flow at signalized intersections)、交通模拟 (Traffic simulation)。主要是按交通流状态(如连续流、间断流)的分类编排的。

从三个版本的交通流理论权威著作中不难看出,交通流理论的研究内容不断被丰富,理论体系框架正在逐步形成,不再满足于对各种学术流派的介绍,而是向着理论体系的完整性和对应用的支撑方向发展。

交通流理论的核心内容是描述各种交通流现象的模型。模型有微观与宏观之分,研究局部一个路段或交叉口的模型称为微观模型,描述整个道路网交通流的模型称为宏观模型。按照交通流所处的位置,模型可以分为连续流和间断流模型;根据交通流状态模型还可分为稳态流模型和非稳态流模型;此外从模型形式上又分为数学模型和模拟模型。第三版《交通流理论》的内容被认为是交通流理论的核心部分,但还不是全部。正在考虑的还有道路网交通分配模型,因为内容很多,第三版中没有纳入。随着交通流理论不断发展,内容会逐渐得到扩充和完善。

1.3 本书结构和学习方法

本书在编写过程中主要参考了第二版和第三版《交通流理论》(1975, 1996)、Adolf D. May 的《交通流理论基础》(1990)和《美国道路通行能力手册》(HCM, 1997), 在编排方式和内容取舍上主要基于以下几点考虑:

(1) 介绍主要模型的来源, 力求理论通俗易懂。

(2) 对难度大的内容作了适当的取舍, 略去了可能与相关课程重复的内容。

(3) 理论主线反映成熟的研究成果, 同时介绍最新研究动态。

(4) 举例完整, 并结合交通管理实际。

全书分为九章。

第一章是绪论, 简要介绍交通流理论的发展历史和研究内容。

第二章至第四章分别介绍了描述交通流特性的三类变量(交通量、速度和密集度)的基本概念、调查和统计分析方法及用途。这三章是后面各章的基础, 学习时应弄清基本概念, 掌握交通流特性的统计分析方法。

第五章讨论交通流变量之间的关系, 即交通流模型。有选择地介绍了有代表性的交通流模型, 对其来源、适用范围以及模型之间关系进行了介绍。学习时要充分体会交通流建模思想和方法, 正确理解各种模型的适用性, 能熟练运用交通流模型进行公式推演和计算。

第六章至第八章分别介绍了支撑交通流理论三个主要理论, 即跟车理论、连续流理论和排队论。对各理论的思想、分析方法进行了较详尽的阐述, 并举例介绍了各理论的典型应用。学

习时要了解各理论思想的来源以及所描述的交通流现象，正确掌握这些理论的应用。

第九章介绍了道路通行能力分析方法。道路通行能力分析实际是交通流理论的应用，三个版本的《交通流理论》中都没有包含这部分内容。由于没有专门的课程讲述，这部分内容丰富而且非常重要，因此本书将其作为一章简要介绍 HCM1997 的部分内容。学习时重点掌握通行能力分析思路和方法，要注意数据的适用性。