

交通控制系统导论

史忠科 黄辉先 著
曲仕茹 陈小峰



 科学出版社
www.sciencep.com

交通控制系统导论

史忠科 黄辉先 著
曲仕茹 陈小锋

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统总结了作者和国内外有关学者在交通控制理论方面的研究成果。本书共分两部分。第一部分(第1章至第4章)为高速公路控制理论,包括高速公路交通建模、密度控制理论与方法;第二部分(第5章至第10章)为城市交通控制理论,包括城市交叉路口、交通干线、交通网络的有关信号优化控制和智能控制方法,并根据我国国情,给出经济实用的智能交通信号机的设计方法和城市交通智能控制的有效方法。

本书可供从事交通控制、城市规划、航空运输、自动控制、系统工程等研究的科技人员及高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

交通控制系统导论/史忠科等著. —北京:科学出版社, 2003
ISBN 7-03-011177-X

I. 交… II. 史… III. 公路运输—交通控制 IV. U491.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 011103 号

责任编辑: 童安齐 / 责任校对: 柏连海
责任印制: 刘士平 / 封面设计: 张 放

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2003年6月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2003年6月第一次印刷 印张: 11 1/2

印数: 1—2 000 字数: 223 000

定价: 25.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈新欣〉)

前 言

交通对国民经济的发展极其重要,一直作为国家的重点建设内容。近年来,我国高速公路、铁路、水运、城市交通和民航事业都得到了突飞猛进的发展,初步形成了铁路、公路、水运、空运和管道运输等五种运输方式组成的初具规模的运输网络框架。铺设了许多高等级公路和高速公路,初步构成了由国道、高等级公路、高速公路、地方公路等不同级别的公路组成的辐射全国的公路网。与此同时,城市道路建设也有了较大的发展,城市干道的建设、交通管理设备的更新和增加,使得城市交通条件有所改善。然而,近年来各种交通工具数量大大增加,现有的设施、道路,特别是交通管理系统已经很难适应这种发展速度,城市交通管理已经成为我国交通运输中需要迫切解决的问题。

为了从根本上解决我国城市交通的拥挤问题,除了改善城市建筑群的合理分布、拓宽城市交通要道、增强人民的交通意识以外,更重要的是要加强城市交通尤其是交通路口的管理,从而进一步提高城市道路的利用率。因此,交通控制研究就成为非常重要的问题。20世纪60年代以来,发达国家开展了城市交通规划研究和交通控制研究。其中交通规划是道路设施建设的重要前期步骤之一,是解决交通拥挤的外延式途径。而城市交通控制的主要作用在于,通过有规律的控制和运用交通信号使得车辆有秩序地驶离冲突区域,这是解决交通拥挤的一种强制性手段。到目前为止,世界上已有300多个大城市采用了这种先进的区域自适应式交通信号控制系统,我国的沈阳、北京、西安、上海、南京、广州、深圳、长春、哈尔滨、大连等十几个城市也采用了这种先进的交通控制系统。因为交通网络问题是一个复杂的大系统问题,所以单独从车辆方面考虑或单独从道路方面考虑都很难完美地解决这一问题。20世纪80年代以来,发达国家的运输领域进入了一个崭新的研究系统,即美国、日本、加拿大、英国、德国等国家正在全力研究的“智能运输系统”(ITS, Intelligent Transportation Systems)。1994年以前,发达国家称ITS为“智能车辆道路系统(IVHS, Intelligent Vehicle Highway Systems)”,后因研究内容的发展和扩大,改称为智能运输系统。它是目前国际公认的解决城市以及高速公路交通拥挤和提高行车安全的最佳运输措施,也是全世界交通运输领域研究的前沿课题。

本书总结了作者和国内外有关学者对交通控制理论的研究成果,提出了高速公路交通建模,密度控制理论与方法,城市交叉路口、交通干线、交通网络的有关信号优化控制和智能控制方法,并根据中国国情,给出了经济实用的智能交通

信号机的设计方法和城市交通智能控制的有效方法。

本书第1章至第4章由曲仕茹执笔；第5章至第10章由史忠科、黄辉先、陈小锋执笔。全书由史忠科统稿。在本书写作过程中，王青、刘建锋、赵凯、王莉莉等做了一定的工作，在此表示感谢。

目 录

1 绪论	1
1.1 高速公路的交通控制问题	2
1.2 城市交通的控制问题	3
2 交通流理论	7
2.1 交通流的基本特性	7
2.2 交通流的统计分布特性	10
2.3 交通流理论中的排队理论	14
2.4 跟驰(车)理论	16
2.5 流体动力学模拟理论	18
3 高速公路交通流建模	22
3.1 高速公路交通流模型的相关知识	22
3.2 高速公路交通流模型的建立	23
3.3 高速公路宏观动态交通模型小结	28
4 高速公路交通中的控制问题	30
4.1 控制系统的性能指标	30
4.2 高速公路匝道控制	32
4.3 高速公路交通流密度控制	41
5 交通枢纽控制问题	65
5.1 城市交通信号控制的研究意义	65
5.2 交通信号基本控制方式	65
5.3 信号灯的含义及灯色控制方案	69
5.4 交通控制信号模式	72
5.5 交叉口交通信号控制程序	73
6 交通枢纽控制模型和常用性能指标	75
6.1 基本概念和术语	75
6.2 交通数据的采集和处理	78
6.3 交通信号控制的性能函数	79
7 交通枢纽系统控制方法	85
7.1 单交叉路口交通信号优化控制	85
7.2 利用遗传算法搜索全局最优的一种改进算法	91

7.3	交通控制信号的全局优化·····	95
8	交通干道控制和区域控制方法 ·····	113
8.1	城市交通联网控制及其多目标优化实现·····	113
8.2	交通干道模糊控制方法的研究·····	118
8.3	基于细胞模型的交通信号优化·····	130
9	智能交通信号控制系统 ·····	146
9.1	基于 PLC 的智能交通信号机系统·····	146
9.2	基于单片机的智能交通信号机系统·····	151
9.3	上位机控制软件·····	155
10	未来交通控制系统展望 ·····	166
10.1	ITS 简介·····	166
10.2	典型的城市道路交通控制系统·····	168
10.3	我国交通控制系统及未来模式·····	169
10.4	未来的交通信号控制的研究·····	171
	参考文献 ·····	174

1 绪 论

交通是人类生存和社会发展所必须进行的活动,衣、食、住、行的行就是最基本的交通活动。交通的发展,促进了人类社会的不断进步。社会的进步,又促进了交通设施的建设、交通工具的改进。目前,很多国家已经形成了铁路、公路、水运、空运和管道运输五位一体的交通网络。与此同时,城间高速公路、城市道路建设也有了较大的发展,城市干道的建设、交通管理设备的更新、增加,使道路交通条件有所改善。

然而,随着机动车辆的迅速增加,人们在赚取由机动车辆所带来的巨额利润以及充分享受汽车巨大便利的同时,也越来越受到交通拥堵、交通事故频发、环境污染加剧和燃油损耗上升所带来的困扰。世界上一些大城市如纽约、巴黎的市中心高峰时车速在 16 公里/小时左右,公共汽车速度则更低。在日本东京市内,早晚高峰时车速仅为 9 公里/小时,最低时只有 4 公里/小时,出现了乘车比步行还慢的情况。日本全国每年由于交通拥挤所造成的经济损失高达 12 兆 3 千亿日元(合人民币 9000 多亿元),我国国内百万人以上的大城市,每年由于交通拥挤带来的直接和间接经济损失达 1600 亿元,相当于国内生产总值的 3.2%。作为经济和科技都很发达的美国,每年因为交通问题导致的经济损失也高达 2370 亿美元。表 1.1 是 1993 年美国 8 城市道路交通拥塞状况。

表 1.1 美国 8 城市道路交通拥塞状况(1993)

城 区	日均延误时间 (千人/小时)		因拥塞造成的 经济损失	拥塞指数(>1,表示超过了 令人难以承受的水平)
	1982 年	1993 年	/(美元/人)	
亚特兰大	145	388	590	1.16
芝加哥	405	788	370	1.26
休斯顿	369	537	660	1.13
堪萨斯	21	60	160	0.78
密尔沃基	32	62	180	1.00
纽 约	1310	2128	450	1.15
华盛顿	368	789	820	1.41
奥克兰地区	420	828	780	1.33

由此可见,交通的不畅带来了巨大的经济损失。为了解决上述交通问题,修建更多的道路是最直接和最有效的方法。然而,修建新路的巨额资金和城市有限空间

的严格限制,使这一方法的有效性大打折扣。近年来,世界各国都非常重视日益严重的交通问题,投入大量人力物力对道路交通运输系统的管理与控制技术进行开发,相继出现了许多不同的交通控制手段和系统,为缓解交通拥挤发挥了巨大的作用。我国现有的设施、道路和交通管理系统已经很难适应目前交通的发展速度,对现有交通进行有效的管理和控制已成为我国交通运输中迫切需要解决的问题。如何采用先进的科学技术手段对道路交通进行控制和管理,从而有效地利用现有交通资源,是本书主要讨论的问题。

交通是一个复杂的网络系统,大、中城市的交通问题则尤其复杂,因此,人们无法得到交通系统完整、准确的数学模型。在考虑交通问题时,一般要根据实际情况对所研究的问题进行合理的简化。当具备较完备的测试设备时,城市交通枢纽和高速公路匝口控制可以简化成一个基本的闭环系统,在这个系统内应包括输入量、输出量、控制量、反馈量和误差、噪声等要素。通过各种先进的检测装置,将实时交通情况反馈回来,采用控制理论和各种优化算法对数据进行处理,给出控制量,使控制对象按照希望的轨迹运动,从而达到控制目的。交通控制的对象是交通流;反馈量一般是指速度、密度、占有率、流量、排队长度;控制量一般是指红、绿灯信号,主线限速标志,可变信息板,以及车载无线装置等。控制的性能指标一般是指总行程时间最小、总服务流量最大、入口匝道平均等待时间最短、总延误最小及流量与速度乘积最大等。对于交通干线和交通网络控制,可以采用优化控制、分散控制、分层控制、递阶控制、智能控制等方法进行研究。

为了便于说明交通控制问题,本书将重点介绍高速公路和城市交通控制两部分内容。

1.1 高速公路的交通控制问题

研究高速公路中的交通控制问题主要有以下几个方面:

1) 高速公路的交通流模型。交通流模型是进行交通最优控制,交通状况仿真,事件的检测,拥堵预防的基础。虽然高速公路交通流的建模研究取得了一定的研究成果,但还很不完善,对于超车、换道这一类现象还不能很好地描述。对交通流模型的研究仍然是今后高速公路交通控制研究重点之一,该方面的研究内容包括交通流模型的建立、模型参数的辨识、交通流状态的最优估计等。

2) 高速公路的出入匝口控制问题。出于安全考虑,出口匝口控制很少使用。通过对入口匝道进入高速路的车辆数控制,使进入高速路的车流量在道路最大容量允许范围内运行,从而有效地预防常发性的拥挤。结合道路检测器形成闭环控制,可有效地减轻偶发性拥挤。入口匝道控制是高速公路控制方法中最常用的方法之一。

3) 高速公路汇合控制。汇合控制是以安全为控制原则,其基本目标是通过使

入口匝道车辆最佳地利用高速公路间隙来改善高速公路交通流的分布及运行。出、入口匝道控制主要是确定单位时间内放入高速公路的车辆数量,汇合控制主要是确定何时放行最佳。

4) 高速公路的密度控制。通过与限速标志或自动驾驶系统相结合,控制车辆在高速公路上的分配,使交通流在道路上的分配更为均匀,从而有效地预防拥堵的产生。

5) 高速公路的主道控制和通道控制。主道控制的对象是高速公路本身即路段上的交通流,而通道控制的对象是由高速公路、侧道和其他平行干道所组成的通道系统上的交通流。主道控制采用的主要方法有车道使用控制、可变速度控制、驾驶员信息系统、公共汽车优先控制等。通道控制的基本原理是,监测通道系统中所有道路及交叉口,将超载道路上的车流转移到通行能力尚有剩余的道路上去。分为限流和分流两种方式。限流是控制各道路上的交通需求使其低于通行能力。分流则是把车辆从超负荷的道路上引到尚有剩余通行能力的道路上去。

6) 对高速公路事件和拥挤的监测。监测系统是根据实时采集的数据或图像信息,由算法自动判断是否发生交通事件或交通拥挤。通过对事件和拥挤发生的自动监测,减少事件处理的反应时间,迅速疏导交通流,降低损失,预防继发性事故。

7) 不停车收费。研究不停车收费系统,即车辆可以以相当高的速度通过收费口,无需在收费站前减速并停车交费,一切均由电子设备完成。不停车收费系统可以大大减少车辆在出口处的延误,防止收费人员的作弊贪污,以及由于不断的停车、启动造成环境污染和能源浪费。

GPS(车载定位系统)与可变信息板、无线通信设施相结合,对车辆的行驶路线进行引导,提高交通管理和服务水平。

8) 高速公路交通安全研究。该方面的研究包括对制度、法规的研究,对事故数据的分析方法研究,对事故的预防方法及如何减轻损失的研究,从而尽量减少事故的发生,减轻事故的损害。

9) 高速公路交通管理、监控系统。系统的主要功能是分析、处理高速公路警情、超速行驶和其他违章情况,实现其可视自动化实时监控管理,其中包括指挥调度分系统、信息管理分系统和监控分系统三部分。

1.2 城市交通的控制问题

1.2.1 城市交通控制的起源及发展

城市交通控制研究的起源较早。1868年英国伦敦燃汽信号灯的问世,标志着城市交通信号使用的开始。1913年,在美国俄亥俄州的Cleveland市出现了世界上

最早的交通信号控制。1926 年美国的芝加哥市采用了交通灯控制方案,每个交叉路口设有惟一的交通灯,适应于单一的交通流。从此,交通控制技术和相关控制算法得到发展和改善,提高了交通控制的安全性、有效性并减少了对环境的影响。交通信号机由手动到自动,由固定周期到可变周期,系统控制方式由点控到线控和面控,从无车辆检测器到有车辆检测器,交通信号控制经历了近百年发展历史。1963 年,加拿大的多伦多市建立了一套使用 IBM650 型计算机进行集中协调感应控制的交通信号控制系统,从而使城市道路交通信号控制系统的发展进入了一个新的阶段。进入 20 世纪 70 年代,随着计算机技术和自动控制技术的发展,以及交通流理论不断完善,交通运输组织与优化理论和技术水平的不断提高,交通管制中心的功能得到增强,控制手段越来越先进,形成了一批高水平有实效的城市道路交通控制系统。当前世界各国广泛使用的最具代表性且有实效的城市交通控制系统有英国 TRANSYT(Traffic Network Study Tools)交通控制系统、英国的 SCOOT(Split Cycle and Offset Optimization Technique)和澳大利亚的 SCAT 系统。这些系统已经在发达国家的城市网络交通控制中获得了成功的应用。TRANSYT 是由英国道路研究所花费近 10 年时间研制成功的控制系统,经过不断改进,已发展到 TRANSYT-8 型,被世界 400 多个城市采用,是最成功的静态系统。SCAT(Sydney Co-ordinated Adaptive Traffic Method)系统是澳大利亚于 20 世纪 70 年代末开发的。SCAT 系统呈分层递阶形式,充分体现了计算机网络技术的突出优点,结构易于更改,控制方案较为容易变换。SCOOT 系统也是由英国道路研究所在 TRANSYT 系统的基础上采用自适应控制方式,经过 8 年的研究于 1980 年提出的动态交通控制系统。SCOOT 仍采用了 TRANSYT 的交通模型,吸收了 TRANSYT 各方面的优点,并因 SCOOT 的实时控制,获得了明显优于静态系统的效果,后被很多国家所采用。城市交通信号控制的发展状况,如表 1.2 所示。

我国城市交通控制系统方面的工作起步较晚,在 20 世纪 70 年代后期北京开始采用 DJS-130 型计算机对干道协调控制问题进行了研究。80 年代以来,城市道路交通问题越来越严重。国家一方面进行以改善城市市中心交通为核心的 UTSM 技术研究;另一方面采取引进与开发相结合的方针,建立了一些城市道路交通控制系统。如:北京引进了 SCOOT 系统,上海引进了 SCAT 系统,深圳市引进了日本的控制系统。经国家计委、国家科委批准,交通部、公安部、南京市完成了“七五”攻关项目南京城市交通控制系统(代号 2443),该项目的目标是研究和建立适合于中国国情的机动车与非机动车混合交通的城市控制系统。南京城市交通控制系统结构分为区域控制级和路口控制级两级,系统使用 PASCAL 高级语言在 MVAX/VMX 操作系统上开发了系统优化软件、系统控制软件。该系统设置了实时自适应控制、固定配时和无电缆联动控制三种模式,能在特殊情况下设置 70 条绿波路线,并配备了交通疏导广播、可变情报板,为车辆提供道路交通信息。但是该系统在运

行中也表现出很多不足,如机动车与非机动车控制模式不完善及其车流的相互影响限制了系统效果;优化目标仅考虑了行车延误、停车次数、阻塞度,未把提高道路能力作为系统目标加以充分考虑。

表 1.2 城市交通信号控制的发展状况

形式	年份	国别	城 市	名 称	控 制 路口数	信号 周期	检测器	控制 方式
点 控	1868	英国	伦 敦	燃汽色灯	单	—	—	—
	1913	美国	克利夫兰	电力色灯	单	—	—	—
	1926	英国	各城市	单点定周期 自动信号机	单	定	—	自 动
	1928	美国	各城市	感应式自动信号机	单	定	气压式	自 动
线 控	1917	美国	盐湖城	手控干道协调控制	6	定	—	人 工
	1922	美国	休斯敦	电子计时干道 协调控制	12	定	—	电 动
	1928	美国	各城市	步进式定时 干道协调控制	多个	变	—	电 动
面 控	1952	美国	丹 佛	模拟计算机 交通信号控制系统	多个 (网)	变	气压式	计算机
	1963	加拿大	多伦多	数字计算机集中协调 感应控制信号系统	多个 (网)	变	电磁式	计算机
	1968	英国	各城市	TRANSYT 系统	路 网	变	—	计算机
	20 世纪 70 年代末	澳大利亚	悉 尼	SCAT 系统	路 网	变	电磁式	计算机
	1980	英国	各城市	SCOOT 系统	路 网	—	电磁式	计算机

国内把交通管理和控制问题作为一个系统研究还是近 10 年的事。静态交通分配问题的建模和求解较为成熟,而动态配流问题的提出和研究才刚刚起步。进入 20 世纪 90 年代后,有关院校、研究所开展了有关智能化运输系统 ITS(Intelligent Transportation System)的理论和应用的研究,取得了一系列成果,并且研制了智能交通系统的有关设备和子系统,很多产品已经在实际的交通管理和控制中得到应用,取得了明显的效益。

由于城市交通控制问题的复杂性,上述成果并不是很完善,还有待于进一步研究和改进。

1.2.2 目前城市交通控制急需解决的问题

为了有效解决城市交通拥挤并减少交通事故,目前需要开展以下研究工作:

- 1) 以交通信号控制为基础的城市交通控制网络体系结构。
- 2) 研制功能完整的智能交通信号控制系统,为理论研究与方法检验提供条件。
- 3) 交通枢纽车流量估计方法、交通模型结构辨识的优选判据和优选算法。
- 4) 交通控制混合大系统的智能控制和规划的方法。
- 5) 交叉路口、干线、区域和整个城市交通控制方法。
- 6) 交通信息融合、抗干扰通信方法。
- 7) 多级交通控制的演示验证系统。

2 交通流理论

交通流理论是运用物理学和数学的方法来描述交通特性的一门边缘科学,它用分析的方法阐述交通现象及其机理,使人们能更好地理解交通现象及其本质,并使城市道路与公路的规划设计和营运管理发挥最大的功效。

交通流理论在 20 世纪 30 年代才开始得到发展,最早采用的是概率论方法。1933 年, Kinzer 论述了泊松分布应用于交通分析的可能性; 1936 年, Adams 发表了数值例题。在 20 世纪 40 年代, 由于第二次世界大战的影响, 有关交通流理论的发展缓慢。50 年代, 随着汽车工业和交通运输业的迅速发展, 交通量、交通事故和交通阻塞的剧增, 交通流中车辆的独立性越来越小, 已经采用的概率论方法越来越难以适应, 于是出现了新的模型和理论, 诸如跟驰(车)理论、交通波理论(流体动力学模拟)和车辆排队理论。1975 年 Danie 和 Marthow 汇集了各方面的研究成果, 较全面、系统地总结了交通流理论的内容及其发展。

交通流理论是发展中的科学, 虽然现在还没有形成完整的体系, 但已有许多理论在探讨各种交通现象, 如:

- 1) 交通流量、速度和密度的相互关系及量测方法。
- 2) 交通流的统计分布特性。
- 3) 排队论的应用。
- 4) 跟驰理论。
- 5) 驾驶员处理信息的特性。
- 6) 交通流的流体力学模拟理论。
- 7) 交通流模拟。

2.1 交通流的基本特性

2.1.1 交通流的基本参数

(1) 基本参数

表征交通流特性的三个基本参数分别是: 交通量 q 、行车速度 v 和车流密度 k 。

1) 交通量 q 。

交通量 q 是指在选定时间段内, 通过道路某一地点、某一断面或某一条车道的交通实体数。交通量是一个随机数, 不同时间、不同地点的交通量都是变化的。交通量随时间和空间而变化的现象, 称之为交通量的时空分布特性。通常取某一时间

段内的平均值作为该时间段的代表交通量。其公式表示如下：

$$q = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i \quad (2.1)$$

式中, q_i 为各规定时间段内的交通量, n 为规定时间段的段数。

2) 车流密度 k 。

车流密度 k 是指某一瞬间内单位道路长度上的车辆数目。

$$k = \frac{N}{L} \quad (2.2)$$

式中, k 为车流密度(辆/公里), N 为路段内的车辆数(辆), L 为路段长度(公里)。

车流密度大小反映一条道路上的交通密集程度。为使车流密度具有可比性, 车流密度应按单车道来定义, 单位为辆/公里/车道。

3) 行车速度 v 。

行车速度 v 指区间平均速度。所谓区间平均速度, 是指在某一特定瞬间, 行驶于道路某一特定长度内全部车辆车速分布的平均值。当观测长度一定时, 其数值为地点车速观测值的调和平均值。

$$v = \frac{1}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{v_i}} = \frac{nL}{\sum_{i=1}^n t_i} \quad (2.3)$$

式中, L 为路段长度, t_i 为第 i 辆车的行驶时间, n 为车辆行驶于路段长度 L 的次数, v_i 为第 i 辆车行驶速度, v 为区间平均车速。

(2) 三参数基本关系

交通流三参数之间的基本关系式为

$$q = vk \quad (2.4)$$

式中, q 为平均流量(辆/小时), v 为区间平均车速(公里/小时), k 为平均密度(辆/公里)。流量、密度、速度三者之间的关系可由图 2.1 表示。

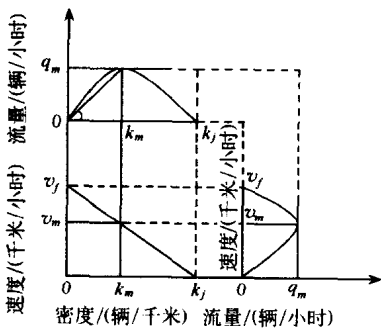


图 2.1 $q-k, v-q, v-k$ 关系曲线

从图中可以得出反映交通流特性的一些特征变量：

- 1) 极大流量 q_m : $q-v$ 曲线的峰值。
- 2) 临界速度 v_m : 流量达到极大时的速度。
- 3) 最佳密度 k_m : 流量达到极大时的密度。
- 4) 阻塞密度 k_j : 车流密集到所有车辆无法移动($v=0$)时的密度。

5) 畅行速度 v_f : 也叫自由流速度, 指车流密度趋于零, 车辆可以畅行无阻时的平均速度。

2.1.2 速度与密度关系

常用的速度-密度线性关系模型为

$$q_m = v_m k_m$$

$$v = v_f \left(1 - \frac{k}{k_j} \right) \quad (2.5)$$

如图 2.2 所示,当 $k=0$ 时, $v=v_f$,即在交通量很小的情况下,车辆可以以畅行速度行驶。当 $k=k_j$ 时, $v=0$,即在交通密度很大时,车辆速度趋近于零。由于 $q=vk$,所以流量等于图中所示阴影部分面积。

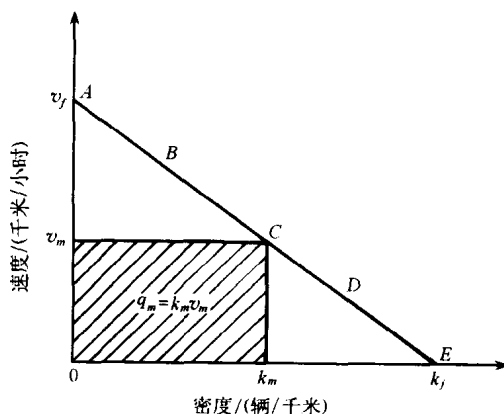


图 2.2 速度-密度关系图

当交通密度很大时 ($k > k_m$), 采用 Grenberg 的对数模型, 即

$$v = v_m \ln \left(\frac{k_j}{k} \right) \quad (2.6)$$

式中符号意义同上。

当交通密度很小时 ($k \leq k_m$), 采用安特伍德的指数模型, 即

$$v = v_f e^{-\frac{k}{k_m}} \quad (2.7)$$

式(2.5)~(2.7)所示模型,与实测数据拟合良好。

2.1.3 流量与密度关系

交通流的流量-密度关系是交通流的基本关系。

$$q = k v_f \left(1 - \frac{k}{k_j} \right) \quad (2.8)$$

图 2.3 为流量-密度关系曲线。图中点 C 代表通行能力或最大流量 q_m 。从这点起,流量随密度增加而减小,直至达到阻塞密度 k_j ,此时流量 $q=0$ 。以原点 A 起点,曲线上的点 B、C 和 D 为终点做矢径,这些矢径的斜率表示速度。通过点 A 与曲线

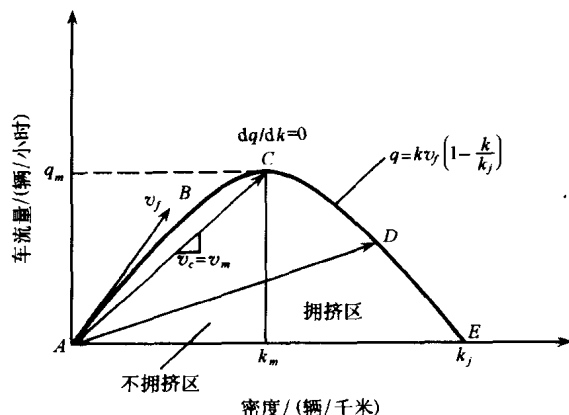


图 2.3 流量-密度关系曲线

相切的矢径,其斜率为畅行速度 v_f 。在流量-密度曲线上,位于 C 点左侧的点 ($k < k_m$) 表示交通不拥挤;位于 C 点右侧的点 ($k > k_m$) 表示交通拥挤。

2.1.4 流量与速度关系

流量与速度的关系为

$$q = k_j \left(v - \frac{v^2}{v_f} \right) \quad (2.9)$$

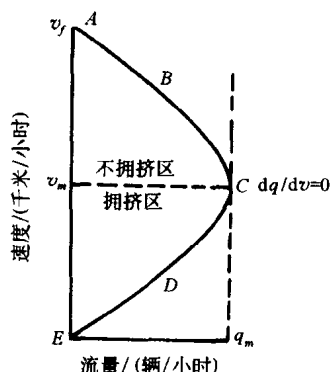


图 2.4 流量-速度关系曲线

流量与速度关系如图 2.4 所示。从图中可以看出,通常速度随流量增加而降低,直至达到最大流量 q_m 为止。曲线在拥挤区部分,流量和速度都降低。点 A 、 B 、 C 、 D 和 E 相当于流量-密度和速度-密度曲线上同样点。从原点 E 到曲线上各点的向量斜率表示该点的密度的倒数 $1/k$ 。点 C 上面的速度-流量曲线部分表示不拥挤的情况,而点 C 下面的曲线部分表示拥挤的情况。根据以上分析,可以看出, q_m 、 k_m 和 v_m 是划分交通是否拥挤的重要特征值。当 $q \leq q_m$, $k > k_m$, $v < v_m$ 任意满足两个条件时,则属于交通拥挤;当 $q \leq q_m$, $k \leq k_m$, $v \geq v_m$ 任意满足两个条件时,则属于交通不拥挤。

2.2 交通流的统计分布特性

在建设或改善新交通设施、确定新的交通管理方案时,均需要预测交通流的某些具体特性,并且希望用现有的数据做出预报。交通流的统计分布特性为解决这些