

交通流理论

(美国运输科学研究所专题报告 165 号)

丹尼尔 L. 鸠洛夫 著
马 休 J. 休 伯
蒋 璜 等 译

人 民 交 通 出 版 社

交 通 流 理 论

(美国运输科学研究所专题报告 165 号)

丹尼尔L. 鸠洛夫 著
马 休J. 休 伯

蒋 璜 任福田 肖秋生 安永溪 徐吉谦 译

人 民 交 通 出 版 社

内 容 简 介

本书系统地介绍近代交通流理论。内容包括交通流量测方法、交通流的概率与统计分布、交通流模型、驾驶员信息处理特性、车辆跟驰理论和加速度干扰、交通流流体理论、车辆排队理论和交通流的计算机模拟等共十章。

本书介绍简明扼要。正文中编列有关参考书和有关文献目录，如需进一步了解所引用的资料来源，可参见资料的原文。至于与书中有关公式的必要说明，可参见本书附录有关各章的补充材料。

本书可供道路与交通工程技术人员、科研人员以及有关院校师生参考。

交 通 流 理 论

(美国运输科学研究所专题报告 165 号)

丹尼尔L. 鳩洛夫

马休J. 休伯

蒋璜 任福田 肖秋生 安永溪 徐吉谦 译

人民交通出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本：850×1168 $\frac{1}{32}$ 印张：12.375 字数：274千

1983年7月 第1版

1983年7月 第1版 第1次印刷

印数：0001—2,000册 定价：2.55元

译者的话

本书是根据美国运输研究委员会 D.L. 鸠洛夫博士和 M.J. 休伯于 1975 年所编写的《交通流理论》(Traffic Flow Theory) 专题论著翻译过来的。这本书是目前交通流理论方面的名著，内容共分十章。第十章概略说明交通流理论的现况、本书内容和期望。

本书第一、三两章由北京工业大学蒋璜译，第二、四两章由北工大任福田译，第五、六两章由北工大肖秋生译，第七章由北工大安永溪译，第八、九、十叁章由南京工学院徐吉谦译。第一、二、四叁章和序言部分请西安公路学院彭树德同志校核，第三章请北京工业大学应用数学系白玉和杨振海两同志从数学的角度上进行校核。在此对以上三位同志表示衷心的感谢。

北工大任福田、肖秋生、安永溪和蒋璜对全书各部分又作了全面的校核。由于我们的水平低，而本书包括的知识面广，翻译不恰当，甚至有错误在所难免，希望广大读者提出批评指正。

定义与符号

符 号	专 业 名 词	定 义
a	加速度	速度对时间的变化率, $\frac{d^2x}{dt^2}$ 。
a_n		第 n 辆车的加速度。
c	车流波速度	交通流中不同密度车流波的传播速度。见 u_w 。
D	交通密度	见行车集中度 (k)。
h	车间时距	行驶在同一车道上相邻两车之间的时间间隔 (按相邻两车上的对应点量测)。
h_n		第 $n-1$ 辆车与第 n 辆车之间的车间时距。
H_n	总车间时距	行驶在同一车道上的第一辆车与第 n 辆车之间经过的总时间间隔。
k	行车集中度	在单位长度的车道上于已知瞬间内拥有的行驶车辆数; 当用每英里长度上的行驶车辆数表示时, 通常叫“交通密度”。
k_i	阻塞集中度	阻塞行车时的最大行车集中度。
k_m	最佳集中度	交通流量为最大值时的行车集中度。
L	车 长	车辆的长度。
n		车辆号数。
N		总车辆数。
$p(x), P(x)$	概 率	偶然事件发生的可能性。
q	交通流量	在某一特定时间内通过某一定点的行驶车辆数; 当用在一小时内测量的每小时车辆数表示时, 通常叫“交通

符 号	专 业 名 词	定 义
		量”。
		车辆计数的变化率。
q_m	最大交通流量	可能达到的最大交通流量。
r	相关系数	统计学上数据与回归线之间关联程度的量度。
s	间距	行驶在同一车道上相邻两车辆之间的距离（按相邻两车上对应点之间的距离量测）。
s_n	间距	第 $n-1$ 辆车与第 n 辆车之间的距离。
t	时间	时间的某一间隔或指某一时间。
T	时间	总时间。
u	车速	距离对时间的变化率， $\frac{dx}{dt}$ 。
u_t	畅行车流的车速	交通流在道路上自由畅通时的行驶速度。
u_m	最佳车速	交通流量为最大值时的行驶速度。
$\bar{u}_s$	区段平均车速	在某一瞬间沿车道行驶一定长度内各车辆速度的算术平均值。
$\bar{u}_t$	时间平均车速	在一定时间内，通过某定点的各车辆车速的算术平均值。
u_w	车流波速	交通流中，不同密度车流波的传播速度（见 c ）。
$\bar{V}$	交 通 量	见交通流量（ q ）。
$\left. \begin{matrix} x, y, z \\ X, Y, Z \end{matrix} \right\}$	位 置	位置的指标；座标。
Δ	增 量	
η	标准化行车集中度	比值 k/k_1
σ	标 准 差	统计学上数据偏离平均值情况的度量。
$\dot{x}$	一阶导数 (速度)	x 对某自变量的一次微分。即 $\frac{dx}{dt}$ 。

符 号	专 业 名 词	定 义
$\ddot{x}$	二阶导数 (加速度)	x 对某自变量的二次微分。即 $\frac{d^2x}{dt^2}$ 。
$Var(\cdot)$		统计学上的方差。
$E(\cdot)$		数学期望或均值。
e^{x-y}		$e^{(x-y)}$ 。
$p(x a, b)$	条件概率	在事件 a 和 b 已发生的条件下, 事件 x 发生的概率。
	力学	力对运动着的或静止的物体的作用 (包括动力学, 运动学和静力学)。
	运 动 学	研究抽象的运动, 不考虑力或者质量。
	动 力 学	研究物质在力作用下的运动。
	现 象 学	只描绘现象, 不予说明。
	静 力 学	研究处于静止状态的 (或处于平衡状态的) 物体、质量或力。

前 言

这本专题论著是公路研究委员会1964年出版的第79号专题报告《交通流理论入门》的修订与补充。这是公路研究委员会(HRB)的交通流理论委员会在第79号专题报告初版印刷本用完之后,在1969年建议修订的。联邦公路管理局(FHWA)为此项计划拨出经费,并于1970年6月与明尼苏达大学签订改写这本论著的合同。此项改写计划系在一个包括下列主要成员的顾问委员会的指导下完成的:

纽约与新泽西州港务局权威罗伯特 S. 佛特;

加利福尼亚大学小阿多夫 D. 梅博士;

通用汽车研究室理查德 W. 罗瑟瑞;

运输研究委员会(TRB)联络代表 K.B. 约翰。

此外,联邦公路管理局的西德尼·维纳担任委员会秘书,一直到改写计划的最后阶段。联邦公路管理局的巴里·伯宁欧夫于1973年中期也曾担任过委员会秘书的职务。

我们对写这本论著的作者、明尼苏达大学丹尼尔 L. 玛洛夫博士与马休 J. 休伯在写作中的勤奋努力,以及贯彻计划的合作态度表示赞赏。我们对顾问委员会成员在最后的定稿体制上提出的指导,以及对专题报告的初版本进行广泛审查所化的时间,表示感谢。此外,还要对由运输研究委员会交通与营运工程师 K.B. 约翰所提供的建议表示感谢。

真诚地希望这本现行论著单行本能满足交通流理论知识现况综合报导的目的。

顾问委员会联合主席：

联邦公路管理局研究司交通系统

处处长威廉 W. 沃尔曼

研究所副所长唐纳德 G. 卡庇尔

艾伦 M. 沃希斯和其他参加人员

-
- 1974年3月9日公路研究委员会（HRB）为了反映工作活动的实际范围，改称为运输研究委员。

目 录

定义与符号	1
第一章 序论	1
1.1 背景	1
1.2 沿革	1
1.3 专题论著的准备过程	3
1.4 专题论著的内容	4
1.5 参考书	10
第二章 交通流量、速度和密度的量测	11
2.1 概述	11
2.2 定点量测	11
2.3 沿路段长度的量测	20
2.4 流动观测车量测交通流的方法	22
2.5 交通观测一览表	23
2.6 参考书	24
2.7 有关文献	26
2.8 习题	28
第三章 交通特性的统计分布	30
3.1 概述	30
3.2 离散型分布	30
3.3 连续型分布	38
3.4 指数分布对间隔的不适应性	41
3.5 改进的车间时距分布	43
3.6 复合车间时距模型	50
3.7 车间时距分布的选择	54
3.8 改进的离散型分布	55

3.9	车速的分布模型	60
3.10	可插车间隙(滞延)分布	63
3.11	小结	65
3.12	参考书	67
3.13	有关文献	74
3.14	习题	84
第四章	交通流模型	86
4.1	概述	86
4.2	速度-密度模型	87
4.3	流量-密度关系	95
4.4	速度-流量模型	101
4.5	行程时间关系	104
4.6	小结	107
4.7	参考书	108
4.8	有关文献	113
4.9	习题	115
第五章	驾驶员信息处理特性	116
5.1	概述	116
5.2	驾驶员工作的性质	116
5.3	人对刺激的反应	119
5.4	测定车辆跟驰的速度差	127
5.5	有关驾驶员工作的其他资料	132
5.6	小结	133
5.7	参考书	133
5.8	有关文献	139
5.9	习题	142
第六章	车辆跟驰与加速度干扰	143
6.1	概述	143
6.2	车辆跟驰模型的研究	144
6.3	交通的稳定性	150

6.4	非线性的车辆跟驰模型	154
6.5	从车辆跟驰到交通流模型	155
6.6	车辆跟驰模型的一般表示式	158
6.7	车辆跟驰模型的发展和修改	162
6.8	车辆跟驰模型的进一步应用	165
6.9	加速度干扰	169
6.10	参考书	176
6.11	有关文献	181
6.12	习题	183
第七章	交通的流体力学与运动学模型	184
7.1	概述	184
7.2	连续方程	184
7.3	交通中的波	185
7.4	交通流体状态的研究	198
7.5	定量分析 (有交通信号的交叉口)	200
7.6	车队离散	205
7.7	似波尔兹曼的交通特性	212
7.8	小结	219
7.9	参考书	219
7.10	有关文献	222
7.11	习题	224
第八章	排队模型	226
8.1	概述	226
8.2	排队理论的基本原理	227
8.3	具有指数到达和指数服务次数的多通道情形 (M/M/N)	235
8.4	系统 M/D/1 工作周期	240
8.5	在交叉口的延滞	242
8.6	道路的排队模型	269
8.7	参考书	280

8.8	有关文献	286
8.9	习题	290
第九章	交通流模拟	291
9.1	概述	291
9.2	模拟的性质	291
9.3	交通流模拟的历史记载	292
9.4	随机输入的产生	293
9.5	模型的公式化	297
9.6	计算机程序	310
9.7	程序检查	310
9.8	实验的规划和方案	311
9.9	实验结果说明	313
9.10	结束语	313
9.11	参考书	313
9.12	有关文献	319
第十章	后记	321
附录A	第二章的补充材料	328
A.1	时间速度和区段速度之间的统计关系	328
A.2	流动观测车量测方法的公式推导	332
附录B	第三章的补充材料	334
B.1	泊松分布的推导	334
B.2	皮尔森 III 型分布	340
B.3	指数和移位指数分布的参数	341
B.4	对数正态分布	343
B.5	概率单位分析	345
B.6	使用不完全 γ 函数表拟合广义泊松分布	346
B.7	拟合适度检验	348
B.8	试验观测的方差	350
附录C	第七章的补充材料	355
C.1	派西的车队离散	355

附录D 第九章的补充材料	356
D.1 关于 SIMSCRIPT 和 GPSS 的讨论	356
D.2 模拟程序一览	359
附录1: 作者英汉译名对照	366
附录2: 英中名词对照	372

第一章 序 论

1.1 背 景

在美国登记的汽车大约有11,000万辆,预期此数还要增加,城市道路与公路的交通依然是社会上的和经济上的重大问题。交通事故率仍然很高。尽管对公共运输系统的重视日益增长,预料未来多年内机动车仍是城市交通的主要工具。一个理由是“由于大量的居民居住在一个郊区,而工作在另一郊区,郊区之间的往来日益成为在所有大城市交通中占有稳定的较大比重……”¹

因而,能使城市道路与公路的设计和营运管理具有最大可能的功效是重要的。交通流理论是达到此项目的的一种工具,它为帮助熟悉交通特性并预测将来的交通功能这样双重目的而服务。

1.2 沿 革

“运用物理学与数学的定律来描述交通特性”,可用作交通流理论的工作定义。当前,如定义所指出的,还没有统一的交通流理论;更确切地说,只有几种假定的探讨;用来描述各种交通流现象。希望随着我们交通流理论知识的增长,将逐渐发展成为统一的理论。

随着概率论以及有关交通流量和车速的第一批模型的应用,交通流理论在二十世纪三十年代才开始发展起来。在四十年代期间,大概是由于第二次世界大战所引起阻碍,有关交通流理论的发展不多。五十年代早期,交通流理论上的研究根据各种探讨,主要是车辆跟驰、交通波理论(流体动力学模拟)和车辆排队理

论。研究人员来自各种学科,包括理论物理学、应用数学、管制理论、心理学、经济学,当然还有工程学。尽管许多研究人员是大学的工作人员,但其他的研究人员则来自各种研究单位以及各级管理部门。

到1959年交通流理论已经发展到看来需要举行一次国际会议的关键时刻。因此,1959年12月7~8日在美国通用汽车研究所

关于交通流理论的国际专题讨论会

表1.1

专 题 讨 论 会	会 刊
1959年12月7~8日在美国密执安州底特律市关于交通流理论的专题讨论会	"Theory of Traffic Flow" (R.Herman编) Elsevier Publishing Co.发行, 1961
1963年6月25~27日在英国伦敦,关于道路交通流理论上的第二次国际专题讨论会	"Proceedings of the Second International Symposium on the Theory of Traffic Flow" (J.Almond 编), OECD, Paris, 1965 引用自OECD Publications Office, 1750 Pennsylvania Avenue, N.W. Washington, D.C.2000b.
1965年6月在美国纽约市,关于道路交通流理论的第三次国际专题讨论会	"Vehicular Traffic Science" (L.C.Edie, R.Herman, R.Rothery编) American Elsevier Publishing Co. 1967
1968年6月18~20日在西德Karlsruhe 关于道路交通流理论的第四次国际专题讨论会	"Beitrage Zur Theorie des Verkehrsflusses" (W.Leutzbach和P.Baron编) Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, n.86, Bundesanstalt für Strassenwesen, 5 Köln Raderthal, Bruhler Strasse 324, West Germany
1971年6月16~18日在美国加利福尼亚州伯克利市,关于道路交通流和运输理论的第五次国际专题讨论会	"Traffic and Transportation" (G.F. Newell 编), American Elsevier Publishing Co, 1972
1974年8月26~28日在澳大利亚悉尼市,关于运输和交通流理论的第六次国际专题讨论会	"Transportation and Traffic Theory" (D.J.Buckley 编), American Elsevier Publishing Co., 1974

的邀请下，在密执安州的底特律市举行了一次专题讨论会。有100多人出席，提出了15篇学术论文，并多次生动地进行了讨论。普遍赞许这次专题讨论会是很有收获的，将来还应多次召集这样的讨论会。到写本文时为止，业已举行了六次专题讨论会，兹扼要列举于表1.1。

在底特律专题讨论会期间，多次讨论中指明这样的情况，即在各种期刊上发表的有关交通流理论的论文中，有许多并不是很快地能为交通工程师所采纳应用。因此，决议汇编总结交通流理论当时水平的论文，准备刊行，并建议由美国公路研究委员会承担出版。公路研究委员会（属于美国全国科学院工程与工业研究分院）联合全国科学院数学分院共同组成一个联合委员会来汇编这本出版物。1964年公路研究委员会出版了第79号专题报告“交通流理论入门”²。

最近这几年里在交通流理论的各个方面曾出版了几本书（见表1.2），还有几种期刊也已开始刊登关于交通流理论的文章以及有关专题（见表1.3）。美国公路局（即现在的美国联邦公路管理局）前几年曾委托几种期刊对交通流理论方面的出版物进行审编，主要项目列于表1.4。

1.3 专题论著的准备过程

到1968年秋季，79号专题报告的原始刊印本用完了。美国公路研究委员会的交通流理论委员会在1969年1月开会时，讨论了应该采取什么措施。尽管已有一些图书出版，公路研究委员会还是认为值得将“交通流理论入门”一书修订改写。美国公路研究委员会授权交通流理论委员会筹划经费并物色写作人员进行改写工作。经委员会努力的结果，联邦公路管理局同意提供经费，并于1970年6月与明尼苏达大学签订合同。在该合同内商定由鸠洛夫和休伯担任修订改写关于交通流理论的专题文章。又同意部分经费由明尼苏达大学提供。