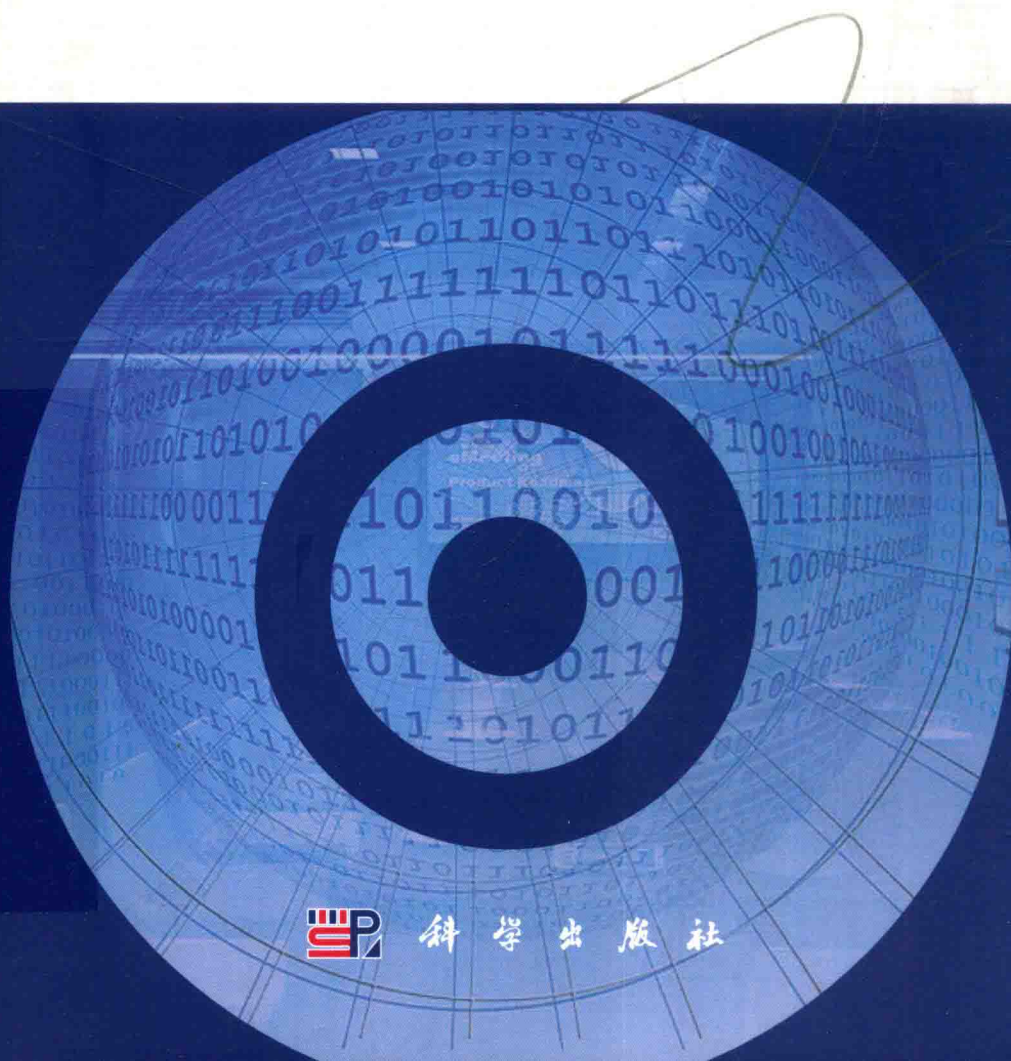


交通流时间序列的分析与应用

张玉梅 著



科学出版社

交通流时间序列的分析与应用

张玉梅 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书旨在介绍作者及其研究团队在非线性时间序列预测方面的最新研究成果。全书共 10 章,第 1、2 章为绪论和相关数学基础;第 3 章为交通流混沌特性分析及其改进的判别方法;第 4 章为交通流混沌现象产生和转化的机理;第 5 章为交通流混沌时间序列的建模及预测;第 6 章为基于混沌理论的高速公路匝道控制;第 7~10 章分别基于 DUPSO 算法、AGABC 算法和 DFP 算法求解 Volterra 模型核系数,并将其应用于语音信号时间序列的预测中。本书主要关注交通系统中混沌现象的产生、转化以及控制方面的问题,相关研究结论可以为解决语音信号、脑电信号等时间序列预测问题提供借鉴和指导。

本书可作为高等院校智能交通、计算机、机器学习、数据处理等专业高年级本科生和研究生的学习资料,同时对从事相关领域科技研究的工作人员以及工程技术人员也具有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

交通流时间序列的分析与应用/张玉梅著. —北京:科学出版社,2019.6
ISBN 978-7-03-061377-6

I. ①交… II. ①张… III. ①交通流—时间序列分析 IV. ①U495

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 107836 号

责任编辑:李 萍/责任校对:郭瑞芝
责任印制:张 伟/封面设计:陈 敬

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>

北京九州迅驰传媒文化有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2019 年 6 月第 一 版 开本:720×1000 B5

2019 年 6 月第一次印刷 印张:15

字数:302 000

定价:98.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

交通系统是一个非常复杂的巨系统，组成系统的各元素之间不仅存在着复杂的非线性关系，而且受到各种不确定性因素的干扰，这就可能导致混沌问题的产生。要解决交通系统的混沌问题，仅靠传统的理论和方法很难取得令人满意的效果。混沌理论是解决非线性问题的一种重要的、行之有效的理论，并相应地延伸出一些急需解决的新的基础理论应用问题，这正是本书研究的出发点。

交通系统混沌特性的研究是交通控制与诱导的基础，而交通系统的控制和诱导又需要对道路网交通流进行准确、快速地短时预测和判别。因此，判断交通流中存在的混沌现象，研究有效的短时交通流分析和预测的理论与方法，以快速准确地判断和预测交通流状态，是当前智能交通系统研究的重点和难点。本书以混沌理论为基础，对交通流中混沌现象的识别、混沌存在的机理和转化及基于混沌理论和自适应技术在短时交通流预测与控制中的应用进行了深入系统的研究，并将研究成果应用于其他相关应用领域。

本书的出版得到了国家自然科学基金面上项目 (11872036, 11772178)、国家重点研发计划项目 (2017YFB1402102) 和陕西省重点研发计划项目 (2019GY-217) 的支持，在此表示感谢！感谢团队老师吴晓军、路纲、杨红红在统稿等方面所做的大量工作，感谢硕士生杨战中、杨磊、刘江山、张其进在相关内容的研究方面所做的工作，感谢硕士生戎宇莹、李丛、高金巍在书稿整理方面所做的贡献！

本书作者长期从事非线性动力学理论和复杂系统领域的研究工作，本书是作者及团队成员多年来在这一领域相关研究成果的工作总结和提炼。由于作者水平有限，书中难免存在不足之处，恳请广大读者批评指正。

作 者

2019 年 6 月于西安

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 背景与意义	1
1.1.1 交通系统中的混沌现象	1
1.1.2 混沌理论	2
1.1.3 交通领域中混沌理论的应用前景	3
1.1.4 研究意义	3
1.2 交通混沌研究概况	4
1.2.1 基于交通流模型的混沌研究	5
1.2.2 基于实测交通流的混沌研究	6
1.2.3 混沌理论在交通系统预测中的应用	6
1.2.4 混沌理论在交通系统控制中的应用	7
1.3 本书研究内容	8
1.3.1 交通系统混沌研究存在的问题	8
1.3.2 章节安排	8
第 2 章 混沌动力学	11
2.1 引言	11
2.2 基本概念	11
2.2.1 混沌的定义及其基本特征	12
2.2.2 吸引子的定义	12
2.2.3 混沌现象的特征量	13
2.3 相空间重构理论	14
2.3.1 嵌入的概念	14
2.3.2 嵌入定理	15
2.3.3 导数重构法	15
2.3.4 延迟重构法	16
2.3.5 嵌入维数的选择	17
2.3.6 延迟时间的选择	22
2.4 混沌对初始值的敏感性和 Lyapunov 指数	25
2.4.1 混沌对初始值的敏感性	25

2.4.2	Lyapunov 指数	26
2.5	混沌判别方法	29
2.5.1	功率谱分析	30
2.5.2	Poincaré 截面法	31
2.5.3	G-P 算法	31
2.5.4	替代数据	33
2.5.5	分数维数	33
2.6	混沌时间序列的预测	34
2.6.1	基于 Lyapunov 指数的时间序列预测方法	35
2.6.2	基于神经网络的时间序列预测方法	36
2.7	本章小结	39
第 3 章	交通流混沌特性分析及其改进的判别方法	40
3.1	引言	40
3.2	交通流混沌特性分析的基础	41
3.2.1	交通流时间序列的相空间重构	41
3.2.2	两个参数对重构空间的影响	42
3.3	改进的交通流混沌判别方法	43
3.3.1	改进的小数据量法	44
3.3.2	改进的 G-P 算法	46
3.3.3	组合方法	46
3.4	数值仿真	48
3.4.1	交通状态轨道分析	48
3.4.2	计算交通流时间序列的混沌特性值	52
3.4.3	混沌判别的组合方法验证	55
3.5	本章小结	59
第 4 章	交通流混沌现象产生和转化的机理	60
4.1	引言	60
4.2	交通流混沌产生的机理	61
4.2.1	运行规则	61
4.2.2	交通流延滞关系式	62
4.3	交通流离散动态模型	63
4.3.1	Logistic 映射	63
4.3.2	建立离散动态模型	64
4.3.3	交通流离散动态模型的混沌动力学分析	68
4.4	交通流混沌转化机理	69

4.4.1	交通流中的自组织现象	69
4.4.2	交通系统具有形成自组织的条件	69
4.4.3	基于自组织理论的交通流混沌转化机理	70
4.5	数值仿真	71
4.6	本章小结	72
第 5 章	交通流混沌时间序列的建模及预测	73
5.1	引言	73
5.2	短时交通流预测框架	74
5.2.1	短时交通流预测的特征	74
5.2.2	预测框架	75
5.3	径向基神经网络预测模型	77
5.3.1	RBF 神经网络的结构	77
5.3.2	神经元数目的选择	78
5.3.3	交通流的 CTSNN 预测步骤	79
5.3.4	数值仿真	80
5.4	二阶 Volterra 自适应预测模型	87
5.4.1	预测模型	87
5.4.2	数值仿真	89
5.5	三阶乘积耦合 Volterra 自适应预测模型	94
5.5.1	三阶 Volterra 预测模型	95
5.5.2	乘积耦合实现结构	96
5.5.3	改进的非线性 NLMS 算法	97
5.5.4	数值仿真	98
5.6	QN 自适应算法	99
5.6.1	LMS 算法	100
5.6.2	QN 算法的原理	101
5.6.3	QN 算法的特性	105
5.6.4	QN 算法的计算复杂度分析	108
5.6.5	数值仿真	108
5.7	本章小结	122
第 6 章	基于混沌理论的高速公路匝道控制	124
6.1	引言	124
6.2	高速公路动态交通流的 BP 神经网络建模	125
6.2.1	宏观动态交通流模型	125
6.2.2	BP 神经网络模型	125

6.2.3	数值仿真	127
6.3	基于 BP 神经网络的入口匝道控制算法	129
6.3.1	入口匝道控制原理	129
6.3.2	入口匝道模型	131
6.3.3	BP 神经网络建模过程	131
6.3.4	数值仿真	133
6.4	交通流混沌的反馈控制	136
6.4.1	交通流混沌控制分析	136
6.4.2	控制车辆的常值速度	136
6.5	基于分段线性控制器的入口匝道控制	137
6.5.1	混沌控制的新定义	137
6.5.2	PLC 法	138
6.5.3	PLC 法控制入口匝道	139
6.5.4	数值仿真	141
6.6	本章小结	142
第 7 章	语音信号处理基础	144
7.1	引言	144
7.2	语音生成系统	144
7.3	语音生成数学模型	145
7.4	语音信号短时分析	147
7.4.1	加窗与分帧	147
7.4.2	短时能量	149
7.5	线性预测分析	150
7.5.1	基本原理	150
7.5.2	最佳预测系数求解	153
7.6	语音信号非线性处理	154
7.6.1	混沌和分形几何	154
7.6.2	人工神经网络	155
7.7	本章小结	155
第 8 章	隐相空间 DUPSO-SOVF 预测模型及其应用	157
8.1	引言	157
8.2	经典粒子群算法	157
8.3	PSO 算法分析	158
8.3.1	粒子搜索中心	158
8.3.2	粒子搜索概率分析	159

8.4	均匀搜索粒子群优化算法	161
8.5	UPSO 性能分析	161
8.5.1	参数设置及 Benchmark 函数选择	161
8.5.2	实验结果分析	163
8.6	基于隐相空间的 DUPSO-RPSOVF 语音预测模型研究	164
8.6.1	语音信号数据采集与预处理	166
8.6.2	DUPSO 算法优化模型参数	168
8.6.3	隐相空间 DUPSO-SOVF 语音预测模型	170
8.6.4	模型评价	172
8.7	本章小结	177
第 9 章	AGABC-SOVF 预测模型及其应用	178
9.1	引言	178
9.2	人工蜂群算法理论基础	178
9.2.1	人工蜂群算法的原理	178
9.2.2	人工蜂群算法的性能分析	181
9.3	AGABC 算法	182
9.3.1	基于全局最优的自适应算法	183
9.3.2	混沌系统初始化	184
9.4	AGABC-SOVF 预测模型	187
9.4.1	基本流程	187
9.4.2	模型算法	187
9.4.3	模型求解与分析	188
9.5	仿真实验	191
9.5.1	单帧信号预测	192
9.5.2	Lorenz 混沌时间序列预测	194
9.5.3	音标和短语的多帧预测	196
9.6	本章小结	198
第 10 章	语音信号序列的 DFP-SOVF 预测模型研究	199
10.1	引言	199
10.2	语料库	199
10.3	语音数据预处理	200
10.4	语音信号数据采集与预处理	202
10.4.1	语音信号数据采集	202
10.4.2	语音信号数据预处理	203
10.5	语音信号序列相空间重构	203

10.5.1 互信息法选取延迟时间	204
10.5.2 Cao 方法选取嵌入维数	206
10.5.3 相空间重构	208
10.6 语音信号序列混沌特性识别	208
10.7 DFP-SOVF 模型	210
10.8 模型评价	211
10.8.1 语音信号序列的 DFP-SOVF 预测	211
10.8.2 单帧语音信号预测	214
10.8.3 多帧语音信号预测	215
10.9 本章小结	218
参考文献	219

第1章 绪 论

本章首先从交通实际出发,阐明本书研究工作的必要性和意义。然后,介绍交通系统中相关的混沌研究内容和国内外的研究概况,并对交通系统中混沌特性识别、预测和控制的发展以及研究概况进行分析,指出交通系统中混沌研究的发展远未完善,有待进一步深入研究。

1.1 背景与意义

交通系统是由人群使用各种交通工具不断在道路网上运动构成的一个非常复杂的巨系统,具有随机性、动态性和自适应性,存在着复杂的非线性关系,必然会存在混沌。因此,用混沌理论来分析和研究交通中存在的问题,有助于把握交通系统的规律性,为解决交通问题开辟新的途径。交通系统中混沌的研究,对于进行交通规划、交通诱导、交通管理、交通控制与安全等,均具有重要的意义,已经成为交通工程领域重点研究课题与智能运输系统的核心研究内容之一。因此,有必要系统地运用混沌理论来研究交通流的混沌特性,寻求其规律,进而利用其规律为交通管理服务。

1.1.1 交通系统中的混沌现象

交通系统是一个由人、车、路、环境(包含交通控制设备)组成的整体。从交通系统各基本要素的自身特性可以看出,影响交通流的每一个因素都存在着不确定性,而决定一辆车在道路上的运动状态往往是以上多种因素相互作用的结果:什么时间、哪位司机驾驶着什么样的车辆以什么样的运动状态进入路网是不可预知的;进入路网后,车辆的运行状态又将受到前车的运动状况以及道路拥挤程度等因素的影响,而这些因素如何变化同样是不可预知的;同时,人们的出行目的也可能临时变化,司机的喜好及个体心理状态、道路特性、天气因素、突发事件等都会影响交通流的变化。从以上描述可以看出,交通流中存在着不确定性,这种不确定性不仅受到客观条件与环境的影响,还受到人的影响,根本无规律可循,因此属于本质不确定性。而这些不确定性,形成了交通流的内部机制,这种内部机制构成了交通流混沌现象形成的主要因素。

人们可以观察到实际交通流现象。例如,拥挤的道路上车辆时走时停;交通事故导致的交通堵塞和交通拥堵的消散;城市中有的道路车水马龙,而有的道路人

车稀少；一条道路上的交通流存在着高峰期和低峰期，随时间在不断地变化，而且每天都遵循大致相同的变化规律；虽然不同的人选择的交通方式可能不同，但各种交通方式的交通量却遵循一定的变化规律；道路上交通流在车流稀少、密度加大、拥挤、饱和、堵塞这些状态之间不断变化，说明交通流不断地从有序到无序再到有序反复转化^[1]。已有一些学者通过定性或定量分析得出了在上述的实际交通流现象中确实存在着混沌现象。另外，实际交通现象也常表现出与某些混沌特性的相似性。例如，在某些临界时段，一些重大的交通拥阻可能是由车流中单个司机一刹那刹车而造成的。这种车流的不稳定性也正是混沌特性中初值极大敏感性的实际体现。交通系统内部由于人的因素存在，使其本身具有一定的自稳能力。同样，人-车作为交通主体，它的行为是一种理性驾驶行为，因而个体之间存在相互合作和协同，并在宏观上形成一种有序结构的可能性。交通系统本身属于开放系统，它可以从外部获得消除无序程度的“负熵流”，从而具有保持并恢复其有序状态的能力，因此交通系统具有非常明显的自组织特征。

以上分析可知，可以把交通系统视为混沌的复杂系统。从有序到混沌的出现，是由于系统受到内部时变与外部各种不确定因素扰动的结果。而从无序到有序则是由交通流的组织特性与正确的管控作用形成的，如果能及时发现交通流中的混沌现象并加以疏导，可避免系统本身进一步向无序方向发展。因此，把混沌理论应用于交通系统，就是将交通环境看作是具有高度复杂性和长期行为不可预测性的混沌系统，去发现隐含在复杂系统内普遍适用的简单决定性准则。这样，混沌理论就提供了一个全新的观念和手段，来揭示看似复杂、无序的交通流背后隐藏的规律性。可见运用混沌理论来研究交通流混沌，寻求其规律，进而为交通管理服务是完全可行与必要的。

1.1.2 混沌理论

混沌是非线性动态系统的一种可能的定态。从系统科学的角度看，混沌无处不在，物理运动中存在着可以用眼睛观察到的混沌，如物体从斜坡滚落、风中的旗帜飘动、袅袅上升的炊烟等。在人们不能直接观察到变化轨迹的复杂自然界现象中也普遍存在着混沌。例如，变化无常的天气存在着混沌，生物的繁衍中存在着混沌，天体、地球、地壳的运动变化存在着混沌等。在人类的社会经济活动中也存在着混沌。例如，令人琢磨不定的股市变幻中存在着混沌，音乐艺术中也存在着混沌等。实际上，一些看似杂乱无章的运动，都存在着规律性的混沌现象。显然，交通流的运动中也存在混沌现象。

现代系统理论研究表明，系统不确定性产生的原因可能是系统外部的随机输入引起的，也可能是系统内部的非线性结构引起的。混沌理论是研究系统内部非线性引起的不确定性的理论。混沌是指在确定性非线性系统中存在的一种貌似无规

则的、类似随机的现象。混沌不是简单的无序,而是没有明显的周期和对称,但具有丰富的内部层次的有序结构,是非线性系统中除了平衡解、周期解和拟周期解之外的一种新的存在形式。在确定性系统中,如果知道系统的初始值,根据系统的演化方程就可以确定系统的将来甚至其过去的状态。但是,在混沌系统中,系统对初始值的依赖性很强,即初始值有微小的变化,其长期状态会发生很大的变化。也就是说,系统对初始值非常敏感,即存在蝴蝶效应。对这种类型的系统进行观察,系统会表现出很大的随机系统的特点,但这种随机是一种假随机现象。对这类系统进行长期预测是不可能的,但可以对其进行准确的短期预测。

1.1.3 交通领域中混沌理论的应用前景

交通系统是一个复杂的巨型系统,它具有较强的随机性,即交通每天都有典型的不可重复的流量模式,这种随机性是由各种因素的作用引起的。虽然交通系统具有较强的随机性,但从宏观上可以观测到:流量的轨迹非常类似于一个典型工作日,即在往返的周期中具有上午和下午高峰期,到了午夜则具有平静的交通;从微观上可以观测到:每条车道的流量、路口总体流量和交通控制网络流量的变化具有丰富的内部层次有序结构,有很强的规律可循;从实际可以观测到:交通系统是一种介于随机和确定性之间的现象,这就是交通混沌现象^[2]。然而,许多文献把这种非重复的动态交通流看作为随机结构,用假定概率的不同随机过程去建模来模仿交通的运动。这种随机模型能满意地阐明较大时间间隔(如 30min 或 1h)内的不规则交通流,原因是在这样的间隔内交通流波动不是很明显。但是,如果在较短时间间隔(如 10min、5min、1min 或更短)内统计交通量,人们会发现随机模型则很难准确的捕获交通流的波动。

交通系统中存在着混沌现象,研究复杂的动态交通系统的一个替代方法是应用混沌理论研究交通中混沌存在的问题,即通过状态空间重构来利用其固有的确定性,有助于人们把握交通系统的规律性,为解决交通问题开辟新的途径。作为非线性科学的一个重要分支,混沌理论为动力系统的研究提供了一种全新的视角,吸引着众多研究领域的关注。近年来,交通领域内对交通流中混沌现象的研究也越来越多。混沌时间序列分析能从表征复杂系统的“简单现象”中提取出复杂系统的内在动力学行为。因此,它为短时交通流的分析、预测以及控制提供了一种全新的途径,即着眼于从非线性动力学系统的本质去解决问题。混沌理论的混沌吸引子原理、分形原理、相空间重构技术等,都可以用来改进传统的预测模型,构造出新的综合性的预测及控制技术。

1.1.4 研究意义

本书针对交通流常常表现为不规则的复杂行为,对交通系统中的混沌现象进

行观察,通过分析短时交通流数据来探讨准确判别交通系统中混沌特性的方法。并研究交通流混沌现象的产生机理、交通状态之间的转化过程,寻找影响该过程的影响因素,希望借助混沌理论,将混沌预测技术和混沌控制等混沌理论应用到交通模型和实测交通流数据上,为实时的交通控制和交通诱导提供参考,为加快形成交通流有序运动提供定量分析的理论依据,为解决实际交通问题提供有益的方法和途径。

从理论意义上讲,运用混沌理论可以对交通流进行深层次的剖析,从崭新的角度解释各种交通流现象的形成和转化,为完善和提高交通流理论提供新的手段和途径,从而建立能够验证、解释、判别和利用混沌现象的理论和方法。混沌理论可以完善传统的交通流理论,进一步阐释交通系统各种现象的诱因和机理,为交通系统中各种问题的解决提供新的手段和方法。因此,有必要研究交通流产生混沌的机理以及交通混沌转化的影响因素等相关知识,来丰富传统交通流理论。

从应用角度上讲,尽管交通流混沌的研究还处于萌芽阶段,但交通流所体现出的各种非线性动力学行为,以及国内外前期的研究成果都表明混沌理论在交通系统中有着良好的应用前景。很明显的的应用前景体现在:交通管理的目的是希望交通流尽可能持续地处于有序通畅状态。既然交通流总是呈现简单有序-混沌-无序交替出现的运动形式,那么如果能够及时判别出交通流的混沌现象,实时准确地进行短时交通流预测,就可能及时地采用交通控制措施,按照混沌控制的原理使交通流从混沌状态向简单有序运动转化,这样就可以减少甚至在某些条件下某些地方避免交通流无序状态的出现。因此,交通流的混沌判别、交通流短时预测和交通流混沌控制的理论方法研究将为交通系统提供新的理论基础和实用方法,这使交通流混沌研究更具有实用价值。

1.2 交通混沌研究概况

近年来,混沌理论已被广泛应用于许多领域。目前,国内外已经开始对交通系统混沌现象进行研究,并取得了初步的成果。交通流混沌研究主要是对于交通流混沌的判别研究,具体又分为交通流理论模型和实测交通流数据的混沌判别研究,而基于混沌理论研究交通系统其他方面的文献很少。早在1989年,Disbro和Frame^[3]把混沌理论引入交通领域。他们利用混沌理论,采用一个非周期确定的非线性系统描述交通流现象。1993年,Johanns和Roozemond^[4]采用混沌概念来支持其全方位的交通管理策略,但未研究交通混沌问题本身。用混沌理论对交通问题的深入研究是近年来的热点问题。

1.2.1 基于交通流模型的混沌研究

传统交通流理论是用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,模型的物理意义明确。这些模型主要有交通流分布的统计特性模型、车辆跟驰模型、车辆排队模型等,在实际中的应用比较成熟。现代交通流理论是指以现代科学技术和方法,如神经网络、模糊理论、混沌分形等为主要研究手段,所采用模型注重与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。

从交通流理论的发展过程可以发现,从最初的利用统计规律,到使用确定性微观模型和带有统计性质的宏观模型,确定性和随机性似乎永远要分开来讨论。将混沌引入交通流理论,就有可能统一各种交通流理论,使人们对交通流规律的认识更加接近实际,从而促进交通流理论的空前发展,使以前不能解决的交通难题得以解决。因此,不难看出混沌理论在交通流应用中的广阔前景。

Addison 和 Low 研究了 GM 跟驰模型,通过采样车头间距来考察车队首辆车的变化是否会导致后续车辆的混沌运动^[5-9],其中最有价值的研究成果是文献^[9]。该文献基于改进的跟驰模型来研究交通流混沌,即如果给第一辆车加一个正弦干扰,则后续车辆车间距就会随时间出现震荡,越靠后的车辆震荡越剧烈。同时,在给定参数条件下的 Poincaré 截面显示,前三辆车存在周期运动,第四辆车存在准周期运动,第五辆车产生混沌。对于耦合差分方程的跟驰模型^[10,11],Jarrett 等没有发现存在混沌现象^[12,13]。文献^[14]通过给耦合差分方程的跟驰模型增加车与车之间的空间距离后发现存在混沌,而 Mark 通过简化耦合差分方程的跟驰模型,建立了具有多控制参数值的 Logistic 映射形式,说明了混沌存在^[15]。Safonov 等^[16]分析了在刺激反应模型中,由于延迟时间过长和车流密度的变化在中密度交通流中引发混沌现象,且发现混沌呈多分形吸引子结构。另有学者针对多车道元胞自动机模型^[17]和估计交通出行量分布的重力模型^[18],说明在一定参数条件下会产生混沌。

国内学者对交通系统混沌特征也进行了大量的研究。其中,贺国光等针对三种车辆跟驰模型^[19-25]:伽赛斯-赫尔曼-伯兹模型、皮埃莱模型和洛克威尔-特莱德勒模型,通过对头车附加正弦干扰,在一定的参数组合下,仿真研究了交通流车队中前后车辆之间车头间距的变化过程,并通过分析这种车头间距的变化曲线,判断出基于跟驰模型产生的交通流存在着混沌现象^[26-28]。陈永海等^[29]研究了一种新的速度优化模型(optimal velocity model, OVM),即 OVM 模型的交通混沌问题,并在一定的参数组合下,仿真研究了交通流车队中不同序号的前后车辆之间的车头间距变化过程,证明了基于 OVM 模型产生的交通流存在混沌现象。祁小卿等^[30]提出采用元胞自动机模型来分析混沌现象,通过仿真模型的交通数据分析,研究

了车队中随着车辆间的间距变化混沌的存在问题。文献 [31] 分别基于 Greenshields 模型和 Greenberg 模型研究了交通流混沌, 通过系统仿真技术对车队的平均速度、车头间距、车头时距进行采样, 采用 Lyapunov 指数法定量地讨论跟驰车辆的混沌特性, 得出交通流存在混沌现象。文献 [32] 采用 Lotka-Volterra 模型就运输市场需求层次和政策导向等因素对交通运输结合部的管理系统进行分析, 表明该系统存在混沌, 并提出了建立交通运输混沌管理模式的设计思想。

1.2.2 基于实测交通流的混沌研究

近年来, 许多学者通过分析交通流数据, 计算交通流序列的 Lyapunov 指数、相关维数、Hurst 指数等混沌特性指标, 证实了高速公路及市区道路交通量变化均具有混沌特性 [33-40]。Nair 等 [41] 实测了 San Antonio 高速公路 11km 长的某路段在高峰期的交通数据。在测量中, 每 0.8km 设置一个采样点, 采样周期为 20s, 实测车速、车流量和占有率, 并对采样数据进行相关分析和非线性时间序列分析, 计算得到正值的 Lyapunov 指数, 表明实测交通流存在混沌特性。

黄中祥等 [42] 研究了高速公路时间间隔为 5min 和 1min 的交通流时间序列的混沌特性。李作敏等 [43] 采用分形理论研究交通流的自相似性, 并采用 Grassberge 和 Procaccia 提出的 G-P 算法对实测的广佛高速公路 24h 交通流情况进行了分形特性分析。结果表明, 交通流在一定的区间内存在尺度不变性 [43,44]。文献 [45]~[47] 采用改进的 G-P 算法和替代数据法, 对采样时间间隔为 5min 的实测交通流时间序列进行了关联维数计算, 得出交通系统存在混沌吸引子。王正武等 [48] 采用 Hurst 指数识别高速公路短期交通流时间序列的混沌特性, 并通过 Hurst 指数分析了序列的长程相关性和长记忆性。李松等 [49] 提出了一种基于 Zuo Binwu 矩阵算法的判别交通流最大 Lyapunov 指数的改进算法, 并用这种改进算法和功率谱法研究了高速公路实测交通流的混沌问题。蒋海峰等 [50] 提出了一种快速计算短时交通流时间序列最大 Lyapunov 指数的小数据量方法, 并用于识别短时交通流中的混沌现象。Wang 等 [51] 使用主成分分析法识别交通流时间序列中的混沌特性。

1.2.3 混沌理论在交通系统预测中的应用

随着现代交通管理模式由被动管理向主动诱导的转变, 预测信息显得越来越重要。交通流预测是交通规划和交通控制的基础性工作。交通规划需要的是宏观的、粗略的数据, 而交通控制要求的是 5min 以下的短时交通流。准确地对下一段时间的交通流进行预测, 为交通控制提供依据, 对交通系统的通行能力大小有着重大的影响。迄今为止, 比较成熟的预测方法有: 基于解析数学模型的方法、基于知识的智能模型的预测方法和组合预测方法。一般地, 各种方法各有优缺点。但由于在短时交通流预测中, 预测周期不超过 15min, 并且随着预测周

期的减小, 实时性的逐步提高, 交通流表现出越来越强的不确定性。因此, 解析模型方法有着很大的局限性, 交通流短时预测方法逐渐向组合化和多元化方向发展。

近年来, 许多学者把其他领域的各种预测方法引入交通流预测领域, 主要包括: 历史平均法 [52]、时间序列法 [53]、人工神经网络 [54]、Kalman 滤波法 [55] 以及回归分析法 [56] 等。这些方法理论基础较成熟, 应用较多。但是, 这些传统的预测方法大多都是基于数理统计的方法, 共同特点是先建立数据序列的主观模型, 然后根据主观模型进行计算和预测。交通系统是一个有人参与的、时变的、开放的复杂巨系统, 具有高度的非线性和不确定性, 这种不确定性不仅有自然界的原因 (如天气、季节等), 还有人为因素 (如突发事件、司机个性特征等)。交通系统的复杂性使得很难精确地建立主观模型, 由此得到的预测结果精度也不高。理论上更精确的方法应该用符合短期交通流特性的非线性动力学理论进行预测。混沌理论就是研究非线性动力学系统随时间变化的规律。基于混沌理论, 可以不必事先建立主观模型, 而直接根据交通流序列本身计算出来的客观规律进行预测, 这样既可以避免预测的人为主观性, 又可以提高预测的精度和可信度。

1.2.4 混沌理论在交通系统控制中的应用

混沌控制是混沌理论中非常重要的一部分。按控制目标划分, 混沌控制的实现途径可分为两大类: 第一类控制是基于在奇异吸引子闭包内存在无穷多个不稳定周期轨道的思想, 控制目标是在这些轨道中选择一条满足要求的周期轨道并进行有效的稳定控制, 先由低周期轨道开始, 选定出奇异吸引子上所期望的一根不稳定周期轨道。这类控制可以把系统从混沌状态控制在任意指定的周期轨道上, 而且不改变系统的结构, 并具有良好的轨道跟踪能力和稳定性, 但实现起来比较困难。第二类控制则没有具体的控制目标, 也不关心被控系统的终态是否为周期运动, 只是通过合适的方法及途径, 有效抑制混沌行为, 使 Lyapunov 指数下降进而消除混沌。

目前国内外对于交通混沌控制的研究很少。文献 [57] 对二维交通流混沌进行了研究, 其中模型参数较符合实际, 并提出了混沌控制的思想。混沌理论在交通系统其他方面也得到应用。例如, 国外学者针对公交车周而复始行驶行为的一系列研究表明, 由于交通信号灯、客流以及司机反应等因素的影响, 混沌运动与周期运动交替出现, 而且对某些参数的变化非常敏感。Takashi [58-66] 通过改变与公交车运输有关的参数值, 得出公交运输中存在混沌现象, 并指出混沌运动依赖于承载参数、公交速度和公交数量等因素。Lan 等通过测试高速公路上事故发生前后交通流的一些混沌特性指标变化来判断是否有事故发生等 [67]。