

C HENGSHI DAOLU HUNHE JIAOTONGLIU
FENXI MOXING YU FANGFA

城市道路混合交通流 分析模型与方法

陆化普 隋亚刚 郭敏 朱茵 著



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

城市道路混合交通流 分析模型与方法

陆化普 隋亚刚 著
郭 敏 朱 茵

中 国 铁 道 出 版 社

2 0 0 9 年 · 北 京

内 容 简 介

本书是围绕城市道路混合交通流特性研究展开的,是作者在承担北京市科委项目“北京市道路交通流仿真预测预报系统开发研究”过程中针对混合交通流特性所展开的大规模研究的成果。

本书的核心内容主要包括:城市混合交通流流密速关系特性分析,路段、路口与网络的通行能力分析与模型开发,道路交通拥挤模型及其分析方法,基于非参数回归和组合模型的道路交通流预测预报模型及其应用。

本书可作为从事智能交通系统研究开发、交通规划及交通工程设计人员的参考用书及大中专院校相关专业的教材或教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

城市道路混合交通流分析模型与方法/陆化普等著.
北京:中国铁道出版社,2009.6
ISBN 978-7-113-09989-3

I. 城… II. 陆… III. 城市道路—混合交通—交通流—研究 IV. U491

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 075030 号

书 名:城市道路混合交通流分析模型与方法
作 者:陆化普 隋亚刚 郭 敏 朱 茵

策划编辑:殷小燕 电话:51873147
责任编辑:殷小燕
封面设计:崔丽芳
责任校对:张玉华
责任印制:陆 宁

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)
网 址:www.tdpress.com
印 刷:北京铭成印刷有限公司
开 本:787 mm×960 mm 1/16 印张:21.25 字数:381 千
版 本:2009年12月第1版 2009年12月第1次印刷
印 数:1~2 000 册
书 号:ISBN 978-7-113-09989-3/U·2502
定 价:130.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

电 话:市电(010)51873170 路电(021)73170(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)63549504 路电(021)73187

作者简介



陆化普博士 (Dr. Huapu LU), 清华大学教授, 博士生导师, 清华大学交通研究所所长。1987 年留学日本, 1993 年获名古屋大学交通工程博士学位。先后主持了国家自然科学基金, 国家“九五”、“十

五”、“十一五”攻关课题, 国家“十一五”科技支撑课题、国家发改委、公安部、交通部等有关部委的各类研究课题以及兰州、大连、三亚、济宁、杭州、沈阳、北京、温州等城市的交通规划、智能交通等各类项目 100 余项, 在清华大学学报、中国公路学报等各类刊物和国际会议论文集上发表论文 200 余篇, 其中 SCI/EI 检索论文 90 篇。著有《交通规划理论与方法》、《城市交通现代化管理》、《综合交通枢纽规划》、《城市轨道交通的研究与实践》、《解析城市交通》、《智能交通系统概论》和《城市交通管理评价体系》等多部学术著作。主要研究领域为: 交通规划理论、智能交通系统、可持续发展的交通运输系统、交通安全、交通经济学。部分学术兼职有: 公安部、建设部“畅通工程”专家组副组长, 建设部城市交通专家组专家, 北京交通工程学会副理事长, 中国交通运输协会运输与物流研究分会常务理事等。1994 年获日本地域学会杰出论文奖; 2001 年获清华大学学术新人奖; 2002 年获辽宁省科技进步三等奖; 2004 年获云南省科技进步二等奖。



郭敏博士 (Dr. Min GUO), 北京市公安局公安交通管理局高级工程师。2001 年 7 月毕业于北京理工大学。主要研究领域为: 动态交通信息在交通管理中的应用、道路交通流预测预报、道路交通仿真和道路交通仿真平台。



隋亚刚 (Yagang SUI), 研究生学历, 教授级高级工程师, 北京市公安局公安交通管理局副局长, 总工程师。1975 年以来一直从事科学交通管理和智能交通系统技术研究工作, 曾先后主持过国家“八五”、“九五”、“十一五”重点科技支撑项目, 北京交通管理现代化工程建设和奥运智能交通管理系统建设项目, 获国家科技进步奖 3 次, 公安部、北京市科技进步奖 5 次, 并先后被授予“全国公安科技英才”、“北京市突出贡献专家”、“首都信息化先锋”等荣誉称号, 享受国务院特殊津贴。



朱茵博士 (Dr. Yin ZHU), 中国人民公安大学副教授, 硕士生导师。2004 年清华大学交通研究所博士后出站, 于中国人民公安大学交通管理工程系任教。先后参与或主持了国家自然科学基金, 国家“十五”攻关课题, 国家“十一五”科技支撑课题、公安部等有关部委的各类研究课题以及杭州、郑州、北京等城市的交通规划、智能交通等各类项目 20 余项, 在《中国公路学报》《系统工程理论与实践》等各类刊物和国际会议论文集上发表论文 60 余篇, 其中 SCI/EI/ISTP 检索论文 20 余篇。合作著有《智能交通系统概论》和《信号交叉口混合交通微观仿真理论与方法研究》等多部学术著作。主要研究领域为: 智能交通系统、交通管理与控制、交通安全。

前 言

本书是围绕城市道路混合交通流特性研究展开的，是作者在承担北京市科委和科技部国家科技支撑项目“北京市道路交通流仿真预测预报系统开发研究”过程中针对混合交通流特性所展开的大规模深入系统研究的成果。

面对迅速增长的机动车总量、日益加剧的交通拥堵和十分紧缺的城市用地资源，北京市把解决城市交通拥挤的策略转向了已有交通设施的有效利用。在科技奥运理念的推动下，作者所在的课题组集中力量，加快了北京市道路交通流预测预报系统的开发进程。而离开混合交通流模型研究，该系统的开发就无从谈起。

为此，在进行北京市道路交通流预测预报系统研究开发的过程中，作者以混合交通流模型研究和系统设计与软件开发两条主线全面展开，同时推进基础理论研究与系统开发，成功实现了系统在奥运之前投入应用的目标。

本书的核心内容主要包括混合交通流的流密速关系曲线，道路与网络的通行能力，道路交通拥挤模型及其分析方法，道路交通流预测预报模型等。

由于上述内容之间既有密切的相互联系又有一定的独立性，因此从内容组织上，作者采用了将上述内容分成4篇，然后在每一篇中再详细展开具体内容的结构。

本书的主要内容构成为：

第1篇：城市道路混合交通流特性、通行能力模型与分析方法

第2篇：城市道路交通拥挤模型与分析方法

第3篇：交通流预测预报模型与方法——非参数回归模型分析

第4篇：交通流预测预报模型与方法——组合模型分析

在本书撰写的过程中，清华大学交通研究所张晓利博士、孙立光博士、李悦博士生、蔚欣欣博士生和李明硕士生等参加了部分执笔工作，作者在此深表谢意。

作者

2009年6月

目 录

第 1 篇 城市道路通行能力分析模型与方法	1
第 1 章 概 述	1
1.1 研究意义	1
1.2 研究内容与方法	2
第 2 章 北京市道路交通流特性调查与数据提取	3
2.1 交通调查的目的与意义	3
2.2 调查范围	3
2.3 调查内容	4
2.4 调查方法	6
2.5 数据处理	7
第 3 章 交通量与车速关系国内外研究现状	8
3.1 概 述	8
3.2 统计分析模型	9
3.3 基于理论推导的模型	13
3.4 基于仿真的模型	14
第 4 章 北京市城市快速路交通量与车速关系研究	15
4.1 快速路典型道路交通流流量、速度分布特征	15
4.2 快速路典型路段交通流速度—流量曲线拟合	17
第 5 章 北京市城市主干道交通量与车速关系研究	21
5.1 城市主干道交通流速度—流量关系散点图	21
5.2 城市主干道速度、流量时间折线图	26
5.3 城市主干道交通流速度—流量关系曲线拟合	27
5.4 城市主干道交通流速度—流量关系分车道研究	30
5.5 城市主干道交通流流密速关系研究	38
第 6 章 北京市城市快速路交通流的流密速关系与西方理论曲线的 比较分析	41
6.1 基于经典模型的曲线拟合及比较	41
6.2 北京市城市快速路速度—流量散点图分析	43

第7章 道路通行能力研究现状分析	45
7.1 国外通行能力研究状况	45
7.2 国内通行能力研究状况	46
第8章 北京市快速路通行能力研究	47
8.1 HCM 通行能力计算公式	47
8.2 北京市的特殊情况	47
8.3 快速路交通流的伽马分布、双伽马分布和多元伽马分布	48
8.4 北京市快速路通行能力	51
第9章 北京市主干道通行能力研究	53
9.1 主干道交通流的伽马分布、双伽马分布和多元伽马分布	53
9.2 通行能力	54
9.3 不同车道的通行能力修正系数	55
第10章 道路网交通容量研究现状	71
10.1 路网容量的概念	71
10.2 路网容量计算方法	72
10.3 路网容量可靠度	75
第11章 已有路网容量计算方法评述	77
11.1 时空消耗法	77
11.2 线性规划法	77
11.3 割集法	79
11.4 交通分配模拟法	79
11.5 已有路网容量计算方法存在的问题	79
第12章 道路网通行能力计算方法	81
12.1 路网容量的影响因素	81
12.2 路网容量的概念	82
12.3 路网容量计算模型	82
12.4 模型求解算法	83
第2篇 城市道路交通拥挤模型与分析系统开发	91
第13章 概 述	91
13.1 北京市交通拥挤现状分析	91
13.2 交通拥挤的研究现状	98
第14章 交通拥挤相关的基本概念研究	103
14.1 交通拥挤的概念	103
14.2 交通拥挤的分类	104

14.3 交通拥挤的属性	105
第 15 章 交通拥挤演化机理研究	106
15.1 交通拥挤的交通流特性	106
15.2 交通拥挤的形成原因	109
15.3 交通拥挤的扩散机理	111
第 16 章 交通状态评价指标体系与方法研究	116
16.1 交通状态评价指标研究	116
16.2 北京市交通状态综合评价方法研究	132
16.3 交通状况评价的功能实现	134
第 17 章 交通拥挤识别评价与对策功能分解	142
17.1 功能描述	142
17.2 北京市异常交通状态的识别分析	143
17.3 北京市交通突发警情的预测分析	164
17.4 交通拥挤识别与评价模块	167
17.5 交通拥挤评价信息输出模块	177
17.6 交通拥挤对策预案模块	180
17.7 交通拥挤验证模块	181
第 18 章 交通拥挤预警功能的系统实现	182
18.1 功能描述	182
18.2 交通事件与事故预警指标模块	182
18.3 预警模型模块	182
18.4 交通拥挤预测结果输出模块	184
18.5 交通拥挤预测信息验证模块	185
第 19 章 交通拥挤扩散功能的软件实现	186
19.1 交通拥挤扩散空间分析	186
19.2 交通拥挤扩散分析与发布功能的实现	191
第 3 篇 交通流预测预报模型与方法——非参数回归模型与系统实现	203
第 20 章 概 述	203
20.1 短时交通流预测研究的意义	203
20.2 短时交通流预测需求	204
20.3 短时交通流预测的特性分析	205
20.4 各种预测方法研究综述	207
20.5 基于非参数回归的短时交通流预测过程	209
第 21 章 系统设计和各部分主要功能	212

21.1	整理模块	213
21.2	主成分分析	213
21.3	聚类分析	215
21.4	样本数据库的生成	216
21.5	数据结构	219
第 22 章	数据库匹配策略及实现	221
22.1	一维和多维数据库的映射关系	221
22.2	基于一维数据匹配的样本数据库的创建	222
第 23 章	影响非参数回归预测精度的因素分析	228
23.1	数据库的规模大小 (Database _ Size)	228
23.2	近邻点个数 K	229
23.3	数据相似度误差 (Similar _ Error)	230
23.4	流量时间间隔 (Time _ Interval)	230
第 24 章	预测结果及分析	232
24.1	检测器位置	232
24.2	5 min 预测结果及分析	233
24.3	15 min 预测结果及分析	236
24.4	30 min 预测结果及分析	238
第 4 篇	交通流预测预报模型与方法——组合模型分析	242
第 25 章	组合预测模型概述	242
25.1	组合预测模型主要研究内容	242
25.2	子模型的选择	243
25.3	组合预测模型基本形式	244
25.4	组合预测模型示例	245
第 26 章	组合预测模型详细分析	246
26.1	傅立叶模型	246
26.2	自回归模型	249
26.3	邻域回归模型	250
26.4	模型信息存储	250
26.5	模型更新策略	252
26.6	多步预测模式	254
26.7	权重更新方法	255
第 27 章	组合预测模型的系统实现框架设计	261
27.1	核心预测模块的开发	261

27.2	预测核心动态链接库的构成	264
27.3	上层框架逻辑设计	264
第 28 章	组合预测模型预测精度分析	267
28.1	误差计算方法概述	267
28.2	自回归模型的结构辨识	270
28.3	大规模自回归模型预测精度分析	278
28.4	大规模傅立叶模型预测精度分析	291
第 29 章	基础模型介绍	298
29.1	ARIMA 模型的应用说明	298
29.2	傅立叶变换的应用说明	304
29.3	Kalman 滤波	306
29.4	神经网络理论	308
29.5	支持向量机回归	311
29.6	非参数回归	315
第 30 章	非检测点交通参数估算方法	318
30.1	非检测点的交通参数估算实施方案	318
30.2	非检测点交通参数估算公式的确定方法	321

第 1 篇 城市道路通行能力分析模型与方法

第 1 章 概 述

1.1 研究意义

交通流理论是研究交通流随时间和空间变化规律的理论和方法体系。它是交通规划、道路与交通工程设计、交通控制与管理等科学技术工程领域的理论基础。由于交通问题直接关系到经济社会发展和人民生活质量,因此交通流理论研究一直是国内外交通领域的重要研究方向。

本篇对于交通流理论的研究集中在城市道路混合交通流的车速、密度与交通量的关系曲线以及道路通行能力模型与分析方法上,主要分为以下几个方面:交通流参数之间的关系研究,路段、路口与路网的通行能力研究,道路交通流统计分布特征研究以及仿真模型研究等。

在交通分配及交通流特性预测中,准确把握交通流三参数之间的关系有着十分重要的意义,尤其是速度—流量关系模型的建立,是预测路段平均车速、路段平均出行时间的基本模型,同时也是划分和确定道路服务水平的必要条件,是道路通行能力研究的基础,是进行道路网络交通分配、网络交通质量评价、网络经济评价的基础。

道路通行能力是道路的一种性能,是度量道路疏导车辆能力的指标。它既反映了道路疏通交通的最大能力,也反映了在规定特性前提下,道路所能承担车辆运行的极限值。通过对道路通行能力研究,可以确定某道路设施在保持与规定运行特性相适应的条件下所能容纳的最大交通量。

路网容量研究是一项基础性的研究工作,有了对道路通行能力的准确把握,才能做好交通的规划、设计、服务水平评价,才能优化交通管理、控制和运用。也就是说,它的研究不仅可以为道路规划设计及交通管理与控制提供基础数据,

而且对于完善交通工程理论也是不可或缺的核心部分。

1.2 研究内容与方法

本书的研究所采用的数据均是作者通过实施大规模的北京市道路交通流特性调查取得的实测数据,是以大量真实的交通流实测数据为基础的。为进行此项研究,作者对北京市五环路内所有道路的几何特性、有代表性的路段和路口的交通流特性采用人工、摄像和专用调查设备进行了全面调查。

本篇研究在此基础上首先从交通流状况的实际出发,结合交通流特征的理论分析和多种统计模型的对比分析,建立了北京市快速道路和主干路的交通流统计分析模型,给出了快速路和主干路不同类型路段的速度—流量关系散点图、曲线及模型,以及不同车道位置通行能力的推荐值。

其次,通过对国内外交通流理论的研究现状分析,进行了国内外速度—流量关系曲线及通行能力研究的对比分析,这些成果对于揭示混合交通流特性,理解中国城市混合交通流与西方相对均匀的交通流特性之间的差异和导致差异的原因分析有着重要意义。

最后,在城市道路网容量计算方法方面,通过对现有计算方法的归纳总结,指出了现有方法的优缺点和需要改进之处,并且在此基础上提出了动态计算道路网通行能力的模型和方法。

第2章 北京市道路交通流特性 调查与数据提取

交通调查是指通过人工或交通调查专用仪器设备,观测和实测交通流现象和特性数据,掌握交通流状态及有关交通现象的工作过程,是城市交通规划、城市交通管理和控制相关研究过程中的重要环节。所调查的数据资料是进行道路交流特性研究的数据基础和前提,也是制定城市交通战略规划、中长期综合交通规划和近期交通治理规划与设计的主要数据依据。

2.1 交通调查的目的与意义

随着北京城区规模的不断扩大,城市化进程不断加快,城市交通越加凸现出它的重要性。交通调查的目的就是在城市发展进程中,准确掌握不同阶段城市不同性质道路、城市道路网不同类型交叉口的交通现状及其变化规律,为制定交通规划和进行交通管理提供重要的数据资料,使城市交通始终适应城市不断发展的需要。

为了更好地研究北京市道路混合交流特性,准确揭示城市道路交通流特征与规律,研究建立北京市道路混合交通流特性和通行能力分析计算模型,本研究对北京市的道路交通尤其是北京市主要道路的通行能力、混合交通流的流密速关系等进行了大规模的交通调查。

调查主要由两大部分组成:

- (1) 北京市不同类型快速路、主干道分车道通行能力调查;
- (2) 北京市不同类型快速路、主干道分车道交通流特性调查。

2.2 调查范围

本次调查对象范围为五环路内快速路、主干道系统。如图 2.1 所示,红色表示快速路系统,蓝色表示主干道系统。

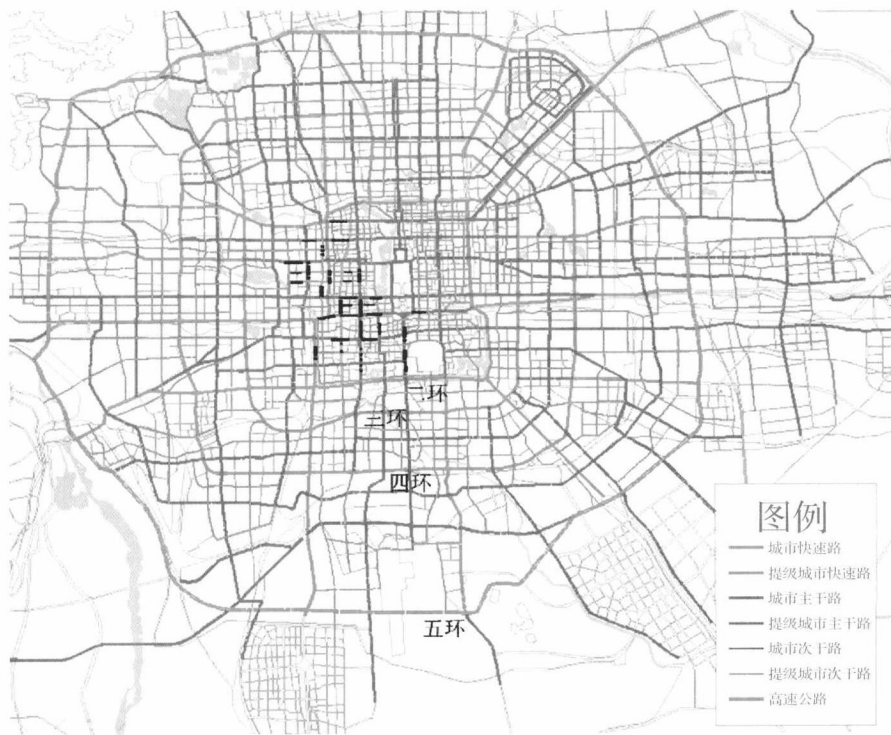


图 2.1 北京市五环内道路网系统

2.3 调查内容

2.3.1 道路类型

根据对北京市道路基本情况的分析，快速路调查主要集中在二环、三环、四环和放射线。

对北京市主干道调查根据道路断面形式分类，分类标准包括车道数、中央隔离、机非隔离方式、有无公交专用道等，将主干道的类型分为 10 类，对每一类道路选取一条或若干条典型路段进行调查，其中最为常见的双向四、六车道根据实际需要进行了适当增加。表 2.1 和表 2.2 是主干道的调查类型。

表 2.1 调查道路类型与数量表

主干道类型	路段数
10 种	10 条

经过分析, 主干道调查分为 10 种类型, 调查了 10 条路段。

表 2.2 主干道类型表

主干道类型	双向车道数	中央隔离	机非隔离	公交专用道	调查路段数
1	2	无	无	—	1
2		有	无	—	1
3	4	有	无	—	1
4			有	—	1
5	6	有	无	无	1
6			有	无	1
7	8	有	有	无	1
8	6	有	无	有	1
9			有	有	1
10	8	有	有	有	1
总计	10 类				

2.3.2 调查对象

本次调查得到了双向不同车道的车流量、单车速度、平均速度、车型分类、车头时距、车道占有率等交通数据。

2.3.3 统计间隔的确定

在以往国外的研究中, 通常采用 15 min 和 5 min 作为分析交通流统计分析模型的统计间隔, 也是最常用于标定交通流模型的统计间隔, 历年的研究包括最近的 HCM2000 版推荐的都是 15 min 间隔, 而国内针对我国城市道路交通的特点, 有关研究认为^[27]: 也可以取 5 min 为最佳统计间隔。

因此, 在对北京城市快速路采集数据进行数据融合时, 我们采用了 5 min 的统计间隔。

在城市主干道调查中, 由于北京城市道路中交通流变化情况较为复杂, 交通量有可能在短时间内剧增或剧减, 特别在交通流达到通行能力以上, 交通流呈现不稳定性、非连续性, 大的统计间隔往往得不到某一交通状态附近的稳定值, 这给统计分析交通流的整个变化状态、建立交通流统计分析模型造成了困难。另外, 采用的统计间隔越短, 得到拟合曲线的有效范围越大。因此, 我们在保证反映交通流特性的前提下, 尽量缩小统计间隔, 为在北京现有道路、交通条件下建立交通流统计分析模型创造条件。

国内有学者研究证明^[29], 采取 3 min 时间间隔, 获得数据的效果比较好, 本研究考虑到信号灯的影响, 分别采用了 5 min 和 2.5 min 时间间隔获取数据。

2.4 调查方法

2.4.1 调查器材

本研究的调查使用微波车辆检测器 (SS125 型号), 它可以自动检测双向 10 个车道的不同时间间隔的交通数据, 包括车流量、单车速度、平均速度、车型分类、车道占有率等交通数据, 并且可以实时传输到电脑中。如图 2.2 所示。

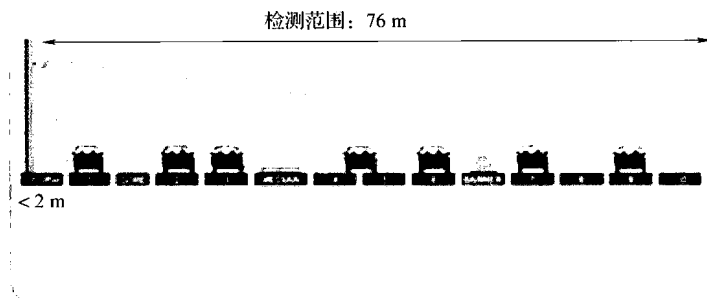


图 2.2 微波检测器检测方法示意图

仪器内部设有两个数字雷达, 在检测路面上投映两个微波带, 每当车辆经过时, 它会根据车辆通过两个雷达的时间精确地计算出每辆车的速度及其他所检测到的交通数据, 还可以在管理软件中看到实时的数据。另外, 还需两台笔记本电脑, 以便数据直接传入电脑。

同时利用摄像机同步拍摄主干道的交通流状况, 最终提取密度数据 (调查时在调查路段上取间隔 100 m 的有特征的两个点, 以便在实验室提取密度参数)。

2.4.2 调查实施

调查时间: 每条路段 6 h, 包括早高峰和晚高峰 (7:30~10:30, 16:30~17:30), 时间间隔 1 min, 以便于后期处理满足各种分析需要。

调查地点: 由于微波检测器的方便性, 利用支架可以在道路基本路段任意点进行调查。摄像机架设在天桥上, 进行拍摄。

2.5 数据处理

2.5.1 流量数据处理

流量数据处理主要是将获得的数据按车辆折算系数折算成当量交通量,然后计算当量小时流率。

混合交通是我国交通流的一个重要特性,在国道网交通量统计中,规定了3类11种车型,分别是汽车(小客车、大客车、小货车、中型货车和拖挂车),拖拉机(大、小型),以及非机动车(畜力车、人力车和自行车)。但是从本书研究内容角度看,这种以车辆外形尺寸和客货特征为分类标准的划分方法会导致车辆种类划分过多,且车辆运行特性划分不明显,并增加了交通数据统计的工作量。

对于通行能力分析而言,车辆分类的目的就是把混有多种车型交通流中运行特征相似的车归为一类,以便确定各种运行车辆对标准车交通量的不同影响。因此,应以车辆运行特征(平均运行速度和标准差)作为车辆分类的首要标准。因此,本书选取按小客车,中型车,大型车和拖挂车的分类方法。

车辆折算系数的定义是,在交通流中,某种车平均每增加或减少一辆对标准车小时平均运行速度(车流延误或密度)的影响值,与平均每增加或减小一辆标准车对标准车小时平均运行速度的影响值的比值。各汽车代表车型和车辆折算系数如表2.3。

表 2.3 车辆折算系数表

汽车代表车型	车辆折算系数	说 明
小客车	1.0	≤ 19 座的客车和载重量 ≤ 2 t 的货车
中型车	1.5	> 19 座的客车和 2 t $<$ 载重量 ≤ 7 t 的货车
大型车	2.0	≤ 50 座的客车和 7 t $<$ 载重量 ≤ 14 t 的货车
拖挂车	3.0	14 t $<$ 载重量的货车

调查中获得的数据是以 2.5 min 或 5 min 为时间间隔记录的数据,以 5 min 时间间隔测得的一组数据为例,将其转换为当量小时流率,处理过程如下表 2.4 所示。

表 2.4 流量计算表

时段	小型车	中型车	普通公交/卡车	铰接公交	流率 (pce/h)
00:00~00:05	52	2	5	2	$(52+2\times 1.5+5\times 2.0+2\times 2.5)\times 12=840$

2.5.2 速度数据处理

所获得的数据是每辆车经过某点时的地点速度值,需要把它转化为区间平均车速,即在某一特定瞬间,行驶于干道某一特定长度内的全部车辆的车速分布的平均值。