

道路 交通 规划 与 管理

# 公路交叉口通行能力分析方法

道 路

交

通

规

划

与

管

理

王炜 高海龙 李文权 / 等著

U491.2<sup>+3</sup>  
408W



科学出版社

道路交通规划与管理

# 公路交叉口通行能力分析方法

王 炜 高海龙 李文权 等著

国家自然科学基金资助项目

科学出版社

2001

## 内 容 简 介

本书系两项国家自然科学基金项目及一项国家“九五”科技攻关项目的研究成果总结。主要内容包括:公路交叉口通行能力研究现状、公路交叉口交通特性、公路交叉口交通特性参数采集方法、无信号交叉口理论通行能力分析、无信号交叉口的延误分析方法、无信号交叉口实用通行能力分析、交叉口车辆换算系数、环形交叉口通行能力分析、交叉口车辆运行行为分析、无信号控制平面交叉口通行能力的数字模拟方法、无信号控制交叉口车辆延误与服务水平的数字模拟方法及交叉口车流运行状况的图像模拟方法等。

本书可作为交通运输领域的教学、科研、管理人员的参考用书以及交通工程、交通运输、土木工程专业高年级本科生、研究生的教学用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

公路交叉口通行能力分析/王炜等著. - 北京:科学出版社,2001  
(道路交通规划与管理)

ISBN 7-03-009115-9

I. 公… II. 王… III. 公路交叉-交叉点-交通-分析 IV. U491.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 87593 号

**科学出版社** 出版

北京东黄城根北街 16 号  
邮政编码:100717

**新蕾印刷厂** 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2001 年 5 月第 一 版 开本: 710×1000 B5

2001 年 5 月第一次印刷 印张: 19

印数: 1—3 000 字数: 350 000

**定价: 42.00 元**

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

# 前 言

在公路网络规划、建设及管理过程中,如何确定公路建设的合理规模及建设时间,如何科学地进行公路网规划、项目可行性研究、公路设计以及公路建设项目后评估,如何制定公路网的最优管理模式,都需要以道路通行能力的研究成果为依据。国外十分重视道路通行能力研究,并在该领域取得了一系列研究成果,如美国从20世纪40年代起投入大量经费进行公路通行能力的研究,相继出版了《道路通行能力手册》(Highway Capacity Manual,简称HCM)第一、二、三版,并即将出版《HCM 2000》。由于我国交通组成复杂,车辆动力性能差异较大,驾驶行为也不够规范,且机动车与非机动车混合行驶,相互干扰严重,因此,不能直接引用国外的研究成果来分析我国的道路通行能力。

根据交通部“九五”计划和2010年长远规划,在最近的10多年间,我国的公路里程将大幅度增加(新增公路15万公里以上),尤其是高速公路的建设将跨上一个新台阶。高等级公路与一般公路的建设造价每公里相差近千万元,在公路建设的标准与规模和设计总体方案上如有决策失误,将给国家带来巨大的经济损失。因此,合理确定公路建设的规模和标准,将是我们公路建设中成本控制的关键,而确定公路建设规模与标准及设计总体方案的重要依据之一是公路通行能力。

公路通行能力是指在规定的交通条件、道路条件及人为度量标准下单位时间内能通过的最大交通量。作为公路建设的一项基础性工作,通过公路通行能力分析 with 交通量的适应性分析,不仅可以确定公路建设的合理规模及合理建设模式,为公路网规划、公路工程项目可行性研究、公路设计、公路建设后评估等各个方面提供更为科学的理论根据。但长期以来,由于我国对公路通行能力的研究尚未形成统一的、系统的方法,缺少适合国情的参数、模式和通行能力分析体系,我国通行能力的研究一直是个薄弱环节。现行《公路

工程技术标准》中所采用的通行能力,基本上沿用了国外的一些研究成果,不能反映我国公路交通的实际运行特性,因此,制定一套适合我国国情的公路通行能力指标体系已刻不容缓。

本书是由东南大学承担的两项国家自然科学基金项目——“环形交叉口通行能力研究”、“平面交叉口通行能力研究”及国家“九五”重点科技攻关项目——“公路交叉口通行能力研究”的研究成果的总结。本书第一次较全面系统地建立了我国典型的代表性地区公路交叉口的几何条件、交通状况、车辆运行参数的数据库;确定了我国公路交叉口进口道车辆到达的车头时距分布模式;第一次较全面地完成了临界间隙与随车时距等重要参数确定的国外先进经验的本地化移植,保证了其他应用理论及方法的准确性和实用性;首次提出了当量车计算的动力学模型;首次提出了交叉口通行能力计算的车队分析法;首次提出了应用延误确定交叉口通行能力的方案——延误分析法;比较了不同计算通行能力方法的特点,验证了不同延误模型的准确度与适用性;首次引入有序度的概念,提出了交叉口通行能力的综合算法及折减系数算法;用 C++ 语言开发了适合中国道路交通状况的十字形交叉口、T 形交叉口及环岛形交叉口通行能力及车辆延误的交通模拟模型,以及用于无信号交叉口通行能力计算的分析计算软件。

该研究成果已经通过了江苏省科学技术委员会组织的鉴定,鉴定委员会认为“该项目立项意义重大,有独创性、先进性和实用性,总体水平达到了国际先进水平,填补了我国在该领域的空白”,“具有实用价值和广阔的推广前景”。该成果已经获 1999 年度江苏省科技进步一等奖。

本书主要根据上述两个国家自然科学基金项目及一个国家“九五”重点科技攻关项目的研究报告修改而成,参加该研究项目的成员除了本书三位主要作者外,还有邓卫博士、项乔君博士(撰写第 9 章)、徐吉谦教授、常华、陆建、陈学武等同志。

在本书出版之际,衷心感谢对该研究项目一直给予支持的邢惠臣研究员、张元方研究员、周荣贵副研究员以及诸位国际咨询专家:德国波鸿鲁尔大学交通工程研究所的 W. Brilon 教授、巫宁博士,英国南安普顿大学交通工程研究所的 M. McDonld 教授、吴建平博士,

---

美国佛罗里达大学软件研究中心的 C. E. Wallace 博士及瑞典公路局国际咨询专家 K. Bang 博士。

王 炜

2000年12月12日于南京

# 目 录

## 前言

## 上篇 公路交叉口通行能力理论分析方法

<b>第 1 章 公路交叉口通行能力研究概述</b> .....	3
1.1 研究背景 .....	3
1.2 研究目的 .....	4
1.3 研究方法 .....	4
1.4 研究成果 .....	5
1.5 主要结论 .....	6
<b>第 2 章 无信号交叉口通行能力研究现状</b> .....	7
2.1 国外无信号交叉口通行能力研究现状 .....	7
2.2 我国无信号交叉口通行能力研究现状 .....	8
2.3 我国道路交叉口交通情况简介 .....	9
2.4 国内外文献回顾 .....	11
<b>第 3 章 无信号交叉口交通特性分析</b> .....	13
3.1 车头时距及其分布 .....	13
3.1.1 车头时距分布形式、分类 .....	13
3.1.2 车头时距数据的采集与模型验证 .....	15
3.1.3 主路不同车头时距分布模型的支路通行能力 .....	20
3.2 临界穿越间隙与随车时距的确定 .....	22
3.2.1 临界穿越间隙与随车时距的基本概念 .....	22
3.2.2 临界间隙与随车时距的计算方法 .....	23
3.2.3 临界穿越间隙与随车时距的观测 .....	25
3.2.4 临界间隙与随车时距的关系 .....	28
3.2.5 影响临界穿越间隙与随车时距的因素 .....	28
3.2.6 临界穿越间隙与随车时距的建议值 .....	29
3.3 车辆在交叉口的延误 .....	30
3.3.1 交叉口延误的基本概念 .....	30
3.3.2 全部车辆延误的分析计算 .....	31
3.3.3 主路优先条件下的支路车辆延误 .....	32

3.3.4 交叉口延误的观测 .....	33
<b>第4章 公路交叉口交通特性参数采集 .....</b>	<b>41</b>
4.1 交通调查的种类与目的 .....	41
4.2 交通调查参数 .....	41
4.3 观测点的选取、观测设备及其布置、观测方法 .....	42
4.3.1 选点原则 .....	42
4.3.2 调查内容 .....	43
4.3.3 调查方案 .....	44
4.4 观测数据的整理 .....	47
4.5 数据分析方法 .....	47
<b>第5章 无信号交叉口理论通行能力分析方法 .....</b>	<b>49</b>
5.1 无信号交叉口车流运行特性 .....	49
5.1.1 无信号交叉口特点 .....	49
5.1.2 无信号交叉口车辆运行特性 .....	50
5.2 主路优先交叉口的通行能力分析方法:间隙分析法 .....	53
5.2.1 交叉口通行能力的概念 .....	53
5.2.2 间隙接受模型 .....	54
5.2.3 影响通行能力的因素 .....	65
5.3 自由通行交叉口通行能力的分析方法:车队分析法 .....	65
5.3.1 车流运行特征分析 .....	66
5.3.2 不同交通量水平下的通行能力分析 .....	66
5.3.3 车队特性参数的确定 .....	71
5.3.4 车流不同交叉方式的通行能力分析 .....	71
5.3.5 极限通行能力 .....	72
<b>第6章 无信号交叉口的延误分析方法 .....</b>	<b>74</b>
6.1 交叉口延误的基本概念 .....	74
6.2 延误与车流量的关系 .....	74
6.3 主路优先交叉口车辆的延误 .....	76
6.4 自由通行交叉口车辆的延误 .....	79
6.5 交叉口车流延误模型的校验 .....	81
<b>第7章 无信号交叉口实用通行能力分析方法 .....</b>	<b>84</b>
7.1 交叉口通行能力计算的延误分析法 .....	84
7.2 服务水平与延误的关系 .....	85
7.2.1 公路交叉口服务水平的划分标准 .....	86
7.2.2 公路交叉口服务通行能力的确定 .....	87
7.3 交叉口适应交通量 .....	87



7.4 交叉口实际通行能力及影响因素分析 .....	88
7.4.1 交叉口类型及几何特征 .....	88
7.4.2 交叉口基本通行能力 .....	88
7.4.3 主支路流量不平衡影响系数 .....	89
7.4.4 大型车混入率修正系数 .....	90
7.4.5 左转修正系数 .....	91
7.4.6 右转修正系数 .....	91
7.4.7 横向干扰修正系数 .....	92
7.4.8 实际通行能力 .....	92
7.5 交叉口通行能力的宏观综合计算法 .....	92
7.5.1 交叉口的最大通行能力 .....	93
7.5.2 有序度的概念 .....	96
7.5.3 实际通行能力 .....	97
7.5.4 参数确定 .....	98
7.5.5 实用通行能力的确定 .....	98
7.6 几种方法的比较 .....	99
7.7 交叉口实用延误曲线 .....	100
<b>第8章 车辆换算系数(PCE)的确定</b> .....	<b>102</b>
8.1 车辆换算系数的概念 .....	102
8.2 交叉口车辆换算系数的特点 .....	103
8.3 车辆换算系数的确定方法 .....	103
8.3.1 车辆换算系数的计算方法 .....	103
8.3.2 PCE 计算的动力学方法 .....	105
8.3.3 无控交叉口 PCE 的车头时距计算模型 .....	108
8.4 坡度对车辆换算系数的影响 .....	112
<b>第9章 环形交叉口通行能力分析</b> .....	<b>114</b>
9.1 概述 .....	114
9.1.1 国内外研究现状 .....	115
9.1.2 我国公路环形交叉口的道路与交通特征 .....	116
9.1.3 环形交叉口通行能力研究的一般方法 .....	116
9.2 环形交叉口交通流运行模式及参数分析 .....	117
9.2.1 环形交叉口交通流运行模式 .....	117
9.2.2 车头时距分布 .....	118
9.2.3 临界间隙及随车时距 .....	118
9.3 环形交叉口通行能力分析的交织理论简介 .....	119
9.4 环形交叉口通行能力分析的间隙接受理论模型 .....	121
9.4.1 单一环行车道时通行能力的理论模型 .....	121

9.4.2	双环行车道时通行能力的理论模型	122
9.4.3	环行车流量的确定	123
9.4.4	模型的验证与模型的效应分析	123
9.4.5	环形交叉口总的理论通行能力	125
9.4.6	环形交叉口延误模型	126
9.5	环形交叉口运行质量分析	128
9.5.1	环形交叉口服务交通量	128
9.5.2	环形交叉口实际通行能力	129
<b>第 10 章</b>	<b>交叉口车辆运行行为分析</b>	<b>131</b>
10.1	人的特性	131
10.1.1	驾驶员特性	131
10.1.2	驾驶员的气质与驾驶特性	132
10.2	驾驶员的信息处理过程	134
10.2.1	信息处理过程	134
10.2.2	驾驶员的反应特性	134
10.3	交叉口车辆运行行为分类	136
10.4	运行行为的观测与分析	137
10.4.1	交叉口驾驶行为观测	137
10.4.2	交叉口驾驶行为分析	137
10.5	不同驾驶行为对交叉口通行能力的影响	138
<b>参考文献</b>		<b>140</b>

## 下篇 公路交叉口通行能力模拟分析方法

<b>第 11 章</b>	<b>计算机模拟方法概述</b>	<b>145</b>
11.1	计算机模拟研究的意义	145
11.2	计算机模拟研究的方法	146
11.3	计算机模拟的形式	148
11.4	模拟技术在交通工程学科的发展情况	149
11.5	交叉口通行能力计算机模拟研究的综述	150
<b>第 12 章</b>	<b>无信号控制平面交叉口通行能力的数字模拟</b>	<b>153</b>
12.1	十字形交叉口通行能力的数字模拟	153
12.1.1	十字形交叉口交通流运行分析	153
12.1.2	十字交叉口系统模拟的数据描述	156
12.1.3	十字交叉口模拟系统交通流数据的产生	157
12.1.4	十字形交叉口通行能力数字模拟模型	158

12.1.5	十字路口不同规模下的车流运行规则	161
12.1.6	实现模拟模型的编程方法	165
12.1.7	模型参数( $t_c, t_f$ )值的标定	166
12.1.8	应用模拟程序计算结果分析	167
12.2	T形交叉口通行能力的数字模拟	204
12.2.1	T形交叉口交通流运行分析	204
12.2.2	T形交叉口通行能力模拟系统的数据描述	205
12.2.3	T形交叉口模拟系统交通数据的产生	205
12.2.4	T形交叉口通行能力数字模拟模型	206
12.2.5	T形交叉口的车流运行规则	206
12.2.6	实现模拟模型的编程方法	207
12.2.7	模型参数( $t_c, t_f$ )值的标定	207
12.2.8	应用模拟程序计算结果分析	208
12.3	环形交叉口通行能力的数字模拟	227
12.3.1	环形交叉口交通流运行分析	228
12.3.2	环形交叉口通行能力模拟系统的数据描述	230
12.3.3	环形交叉口通行能力模拟系统交通流的产生	230
12.3.4	环形交叉口通行能力数字模拟模型	230
12.3.5	环形交叉口车流的运行规则	232
12.3.6	实现模拟模型的编程方法	233
12.3.7	模型参数( $t_c, t_f$ )值的标定	233
12.3.8	应用模拟程序计算结果分析	233
<b>第 13 章</b>	<b>无信号控制交叉口车辆延误与服务水平的数字模拟</b>	<b>248</b>
13.1	车辆在交叉口上的延误及其产生机理分析	248
13.2	车辆延误的模拟计算模型	250
13.2.1	车辆理想通过时间的计算法	250
13.2.2	车辆延误的模拟计算法	250
13.3	交叉口延误的计算机模拟方法	251
13.3.1	交叉口交通模拟数据的描述与产生	251
13.3.2	交叉口延误数据监测点选取方法	251
13.4	服务水平的数字模拟方法	252
13.5	实现延误模拟的编程方法	253
13.6	车辆延误模拟结果分析	255
13.6.1	交叉口交通量与平均延误的关系	255
13.6.2	车道宽度对平均延误的影响	256
13.6.3	大型车混入率对平均延误的影响	257
13.6.4	左转车混入率对平均延误的影响	259

<b>第 14 章 交叉口车流运行状况的图像模拟</b> .....	262
14.1 无信号交叉口车流运行的动画模拟 .....	262
14.2 交叉口上车流实时运行系统分析 .....	263
14.3 随机交通量的产生及运行规则 .....	265
14.4 动画模拟模型 .....	266
14.4.1 车辆状态确定模型 .....	266
14.4.2 车辆跟车模型 .....	267
14.4.3 车辆的停车模型 .....	267
14.4.4 车辆的排队-消散模型 .....	267
14.4.5 车辆通过交叉口模型 .....	268
14.4.6 车辆转换车道模型 .....	269
14.5 动画模拟流程框图 .....	270
14.6 实现动画模拟的编程方法及运行结果 .....	271
14.6.1 实现动画模拟的编程方法 .....	271
14.6.2 实现动画模拟的运行结果 .....	274
14.7 交叉口模拟系统——TranSim 软件使用说明 .....	275
14.7.1 TranSim 软件简介 .....	275
14.7.2 如何安装交叉口模拟系统 .....	276
14.7.3 交叉口模拟系统软件使用说明 .....	276
<b>参考文献</b> .....	285
<b>作者简介</b> .....	286

上 篇

公路交叉口通行能力  
理论分析方法



# 第 1 章 公路交叉口通行能力研究概述

## 1.1 研究背景

改革、开放 20 多年来,我国的国民经济实力不断增强,国民生产总值和人均国民收入都有很大的提高,交通运输业也得到空前迅猛的发展。在高速发展的经济带动下,公路需求迅猛增加,这就要求作为国家基础设施的公路交通有更快的发展,但由于国家对公路建设投入的严重滞后,车多路少的矛盾日益突出。因此,如何充分有效地利用有限的资源加快公路建设;如何改善交通管理,挖掘现有交通设施潜力,以缓解失衡的交通供求关系,是各级公路、交通管理部门亟待解决的问题。

现代交通运输,主要有公路、铁路、水运、航空和管道运输五种方式,它们各有优势,相辅相成,组成综合运输体系。在国家经济参与国际市场竞争的今天,公路运输占有越来越重要的地位。它机动灵活,方便快捷,服务面广,特别适合于中短途、从门到门的运输。因此,道路的再建设和现有道路通行能力的大小、其运行效率的高低都对国民经济有着重要的影响。

在公路建设和管理过程中,如何确定公路建设的合理规模及建设时间,如何科学地进行公路网规划、项目可行性研究、公路设计以及公路建设项目后评估,如何制订公路网的最优管理模式,都需要以道路通行能力系统研究的成果为依据。国外十分重视道路通行能力研究,并在该领域取得了一系列研究成果,但由于我国交通组成复杂,车辆动力性能差异较大,驾驶行为随意性大,且机动车与拖拉机、自行车、畜力车等慢车混合行驶,相互干扰严重,因此,不能直接引用国外的研究成果来分析我国的道路通行能力。

根据交通部“九五”计划和 2010 年长远规划,在最近的 10 多年间,我国的公路里程将大幅度增加(新增公路 15 万公里以上),尤其是高速公路的建设将跨上一个新台阶。高等级公路与一般公路的建设造价每公里相差近千万元,在公路建设的标准与规模和设计总体方案上决策失误,将给国家带来巨大的经济损失。因此,合理确定公路建设的规模和标准,将是我们公路建设中成本控制的关键,而确定公路建设规模与标准和设计总体方案的重要依据之一是公路通行能力。

公路通行能力是指在特定的交通条件、道路条件及人为度量标准下单位时间内能通过的最大交通量。作为公路建设的一项基础性工作,通过公路通

行能力分析与服务量的适应性分析,不仅可以确定公路建设的合理规模及合理建设模式,为公路网规划、公路工程项目可行性研究、公路设计、公路建设后评估等各个方面提供更为科学的理论根据。但长期以来,由于我国对公路通行能力的研究尚未形成统一系统的方法,缺少适合国情的参数、模式和通行能力分析体系,我国通行能力的研究一直是一个薄弱环节。现行《公路工程技术标准》中所采用的通行能力,基本上沿用了国外的一些研究成果,不能反映我国公路交通的实际运行特性,制定一套适合我国国情的公路通行能力指标体系已刻不容缓。

## 1.2 研究目的

为使我国的公路规划、建设、评估有一套科学合理的依据,建立适合我国国情的交叉口通行能力分析和程序,本研究项目持续近10年,经过二个国家自然科学基金项目的资助支持以及一个国家“九五”重点科技攻关项目的研究,最终提出在我国的道路交通条件下公路交叉口通行能力的分析方法、交叉口通行能力分析指南及相关的计算机模拟和分析软件,期间的主要工作内容如下:

——提出我国公路网中交通流的运行特性,到达交叉口的车头时距分布模型;

——提出在不同的几何条件和交通条件下,无信号交叉口车辆运行的规律性,根据实际观测确定交叉口通行能力的分析方法和数学模型;

——应用计算机模拟的方法,再现公路网、交叉口车辆运行状态,并以此验证已建立的分析方法和数学模型;

——编制适合我国国情同时又与国际相接轨的《公路交叉口通行能力手册》。

此外,本项目在研究过程中得到了许多单位的大力支持与协作,研究期间,课题组通过定期举行研讨会,相互交流研究成果,讨论数据采集方法与处理技术、数据分析和建模方法、计算机模拟等应用方法,培养和提高了通行能力研究人员的素质,积累了工作经验,这将促进我国今后通行能力研究的不断发展。

## 1.3 研究方法

纵观世界各国交通工程的发展,在通行能力的研究中,基本都采用了三种方法:一是理论法,二是经验法,三是计算机模拟法。但三种方法并不完全相



互独立,因此我国交叉口通行能力的研究也宜将三种方法结合起来进行,其主要原因如下:

1) 鉴于我国道路交通条件与西方发达国家有明显的差异,在无信号控制交叉口处交通行为的一致性差,加上非机动车、行人的影响,因此,西方国家普遍采用的美国通行能力手册中提及的方法不能直接应用于我国的通行能力和交通运行分析,但其研究方法各项研究成果,仍对我们有启发和借鉴意义。

2) 交叉口通行能力研究有其特殊性,车辆在交叉口的四个入口方向有十二种运行方式,道路交叉口情况又分为明显主路优先与先到先服务的非优先情况,运行于交叉口的车辆类型一般分成四类;各种交通和几何条件,自行车的影响,不同情况的分类组合是一个非常庞大的数字,一一进行经验法研究是不可能的,因此,在进行交叉口通行能力的研究中,扬长避短,考虑各种影响,抓住主要问题,宜采用理论研究法为主,以实际观测和参数调查为辅。建立各种条件下交叉口的通行能力分析模型。

3) 研究过程中,相当的交通调查是必须的,这主要包括交叉口的延误调查,交叉口引道前车辆到达的车头时距调查,交叉口车辆运行行为调查,有明显主路优先交叉口支路车辆穿越交叉口的可穿越间隙和随车时距调查,这些调查为建立各种模型及模型参数标定都有着巨大的意义。

4) 研究中将宏观法与微观法相结合。车辆通过交叉口都会产生一定的延误,随着车辆的增多,延误会增大,利用延误与流量的这种关系建立起一系列的不同条件的流量-延误曲线,这样可以从整体上得到交叉口不同服务水平下的通行能力;此研究方法不考虑交叉口的许多微小差异,因此称为宏观法;通过穿越间隙理论进行的传统的通行能力研究,主要着眼点在于车辆的运行分析,因此称为微观法。两种方法各有所长,其着眼点不同,解决问题的方式不同。

## 1.4 研究成果

在三个国家级研究项目支持下,经过多年研究,现已取得如下研究成果:

- 评价了我国现行道路通行能力的研究方法;
- 建立了实际观测点的道路几何条件与交通运行状况数据库;
- 建立了车辆到达交叉口的车头时距分布;
- 确定了交叉口处车辆的换算系数,确定了不同交叉口类型的临界间隙和随车时距大小;
- 建立了交叉口通行能力的分析方法,得到了不同交叉口的通行能力;