

道路通行能力理论



张亚平 主编

冯桂炎 主审



哈尔滨工业大学出版社

道路通行能力理论

张亚平 主编

冯桂炎 主审

哈尔滨工业大学出版社

内 容 简 介

本书系统地介绍了道路通行能力的基本概念、原理和方法,同时融合了国内外最新研究成果,纳入了新的技术标准,主要内容包括路段、匝道、交织区、收费站、交叉口、公共交通设施、自行车道、行人设施的通行能力以及交通仿真技术在通行能力分析中的应用。

本书可作为有关高等院校交通工程、交通运输等专业的本科生和研究生参考教材,也可供从事交通规则、设计、建设和管理等工程领域的有关科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

道路通行能力理论/张亚平主编. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2007.3

ISBN 978-7-5603-2487-6

I. 道… II. 张… III. 交通通行能力-理论 IV. U491.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 029754 号

策划编辑 贾学斌 刘瑞峰

责任编辑 翟新烨 张 瑞

封面设计 卞秉利

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 哈尔滨市工大节能印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 17.5 字数 404 千字

版 次 2007 年 4 月第 1 版 2007 年 4 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-2487-6

印 数 1~3 000 册

定 价 32.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

前 言

道路通行能力理论广泛应用于交通运输工程的诸多领域,如交通规划、交通管理、交通控制、交通工程设施设计等,是道路交通基础设施建设的重要基础理论,也是高等学校交通工程专业的主干课程。

本书全面系统地介绍了道路通行能力的基本概念、原理和方法,涉及大量的数理统计和运筹学知识以及交通工程学的基本理论,又涵盖控制理论、管理学等学科的思想、理论和方法。同时,结合国家“九五”攻关课题以及国家自然科学基金资助项目部分研究成果,介绍国内外在道路通行能力领域的研究进展、最新动态及其发展趋势。主要内容包括路段、匝道、交织区、收费站、立体交叉、信号交叉口和无信号交叉口、公共交通设施、行人交通设施、自行车道等的通行能力,以及交通仿真在道路通行能力中的应用等。为便于学生自主学习、思考及应用,本书各章均附有思考题或习题,可作为交通工程、交通运输等专业的本科生和研究生教材,也可供交通工程、交通运输、交通管理和城市规划等领域工程技术人员参考。

全书共12章,由张亚平(哈尔滨工业大学)任主编,高月娥(中国交通运输协会)、冯雨芹(黑龙江工程学院)、胡永举(东北林业大学)任副主编。其中,张亚平编写第1、2、12章,高月娥编写第3、5章,冯雨芹编写第4、9章,胡永举编写第6章,王晓宁(哈尔滨工业大学)编写第7、11章,赵雨旻(黑龙江工程学院)编写第8章,马艳丽(哈尔滨工业大学)编写第10章,刘丽华、刘延展、刘建荣、李斌、汪卓、崔跃鹏、张永利、张新泰参与了部分章节的编写、录入和校稿工作。全书由张亚平教授统稿,湖南大学冯桂炎教授主审。

本书的编写完成得到了长沙理工大学郑健龙教授、袁剑波教授,哈尔滨工业大学裴玉龙教授、安实教授的大力支持和帮助。长沙理工大学陈文胜教授为本书的审定提出了宝贵意见和建议。此外,哈尔滨工业大学出版社贾学斌编辑、刘瑞峰编辑为本书的顺利出版也做了许多工作,在此一并表示感谢。

鉴于道路通行能力研究尚在不断发展和完善之中,且编写人员水平和手中资料有限,谬误和不当之处在所难免,恳请读者批评斧正,以便再版时进行修订。

张亚平
2007年2月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 通行能力的基本概念	2
1.2 道路通行能力研究进展与发展趋势	5
1.3 有关道路通行能力的基本知识	8
思考题	20
第 2 章 路段通行能力	21
2.1 基本路段的界定	21
2.2 高速公路基本路段通行能力	21
2.3 一级公路基本路段通行能力	31
2.4 双车道公路路段通行能力	39
思考题	47
习题	47
第 3 章 匝道及匝道与主线连接点通行能力	48
3.1 概述	48
3.2 匝道车行道通行能力	52
3.3 匝道与主线连接点通行能力	58
3.4 匝道服务水平	64
思考题	69
习题	69
第 4 章 交织区通行能力	71
4.1 概述	71
4.2 交织区交通运行特性	75
4.3 通行能力分析	78
4.4 服务水平分析	88
思考题	93
习题	93

第 5 章 收费站通行能力	94
5.1 概述	94
5.2 收费站车辆排队理论	100
5.3 收费站交通特征	105
5.4 收费站的通行能力计算	109
5.5 规划和设计阶段通行能力分析	110
思考题	113
第 6 章 公共交通线路通行能力	114
6.1 概述	114
6.2 公共交通线路的通行能力	116
6.3 轨道交通客运能力	125
思考题	129
第 7 章 行人交通设施和自行车道通行能力	130
7.1 行人交通流特性	130
7.2 行人交通设施通行能力与服务水平	135
7.3 自行车道的设置标准	141
7.4 自行车交通特性	143
7.5 自行车道通行能力和服务水平	146
思考题	156
习题	156
第 8 章 无信号交叉口通行能力	157
8.1 概述	157
8.2 无信号交叉口交通特性	158
8.3 无信号交叉口通行能力计算方法	170
8.4 无信号交叉口服务水平	174
8.5 无信号交叉口通行能力及影响因素分析	176
思考题	181
习题	181
第 9 章 信号交叉口通行能力	183
9.1 交通信号	183
9.2 信号交叉口的交通特性	191
9.3 信号交叉口通行能力计算	199
9.4 信号交叉口的服务水平	216

思考题	217
习题	218
第 10 章 环形交叉口通行能力	219
10.1 概述	219
10.2 无信号环形交叉口通行能力	220
10.3 信号控制环形交叉口的通行能力	230
10.4 两种环形交叉口通行能力的比较	232
思考题	234
习题	235
第 11 章 立体交叉口通行能力	236
11.1 概述	236
11.2 立交车辆运行特性	241
11.3 立交通行能力分析	244
11.4 立交服务水平	248
思考题	248
第 12 章 交通仿真在道路通行能力分析中的应用	249
12.1 概述	249
12.2 高速公路系统交通仿真	249
12.3 双车道公路交通仿真	260
12.4 城市道路交通仿真	262
12.5 有关交通仿真软件介绍	268
思考题	270
参考文献	271

第1章 绪 论

交通运输行业作为国民经济的基石,伴随着社会的发展而发展,可以说它具备着永久的社会需要。我国目前正处于改革开放、快速发展的关键时期,交通基础设施建设成就举世瞩目。截至2005年年底,全国公路总里程达到193万km,拥有高速公路4.1万km,居世界第二位,以高速公路为主的全国干线公路网络初具规模。“十一五”期间,交通部将着手组织实施国家高速公路网规划。预计到2010年,中国公路网总里程将达到230万km,新建高速公路2.4万km,全国高速公路总里程达到6.5万km,县乡公路达到180万km。东部地区基本形成高速公路网,长江三角洲、珠江三角洲和京津冀地区形成较完善的城际高速公路网,国家高速公路网骨架基本形成。规划到2020年,将全面建成国家高速公路“7918”网,即7条北京放射线、9条纵向路线和18条横向路线,总长度约8.5万km,其中主线6.8万km,地区环线、联络线等其他路线约1.7万km。公路交通快速发展的同时,城市交通发展也十分迅速。2003年,全国城市拥有公共交通工具25.9万标台,运营线网长度达到12万多km,客运总量为381亿人次。轨道交通和出租汽车的发展更快,1995~2005年间,我国城市轨道交通由49km增加到200km,年均增长15.1%;出租汽车从19万辆猛增到88.4万辆,年均增长达到了16.6%。截至2005年年底,北京、上海、广州、天津、大连等国内20多个城市在建或准备建设和规划中新的轨道交通线,线路总长度超过了4000km,预计到2050年中国城市轨道交通线路总长度将超过4500km。公共交通在规模和结构方面都发生了质的飞跃,为城市社会经济发展作出了巨大的贡献。

在交通运输业蓬勃发展的同时,也暴露出我国交通行业仍存在诸如基础理论不足、过分依赖国外经验等问题。在通行能力研究方面,目前还没有形成真正适合我国道路特色的完整的道路通行能力分析指标体系,尤其在城市快速干道通行能力研究方面仍很薄弱。而作为道路基础设施建设主要依据之一的道路通行能力,如果对其分析不科学,则会导致决策失误,而由此引发道路资源分配不平衡——有的地方建设标准过高,造成资源浪费;有的地方建设标准过低,造成交通拥堵。这将严重束缚我国交通运输行业自身的发展,影响国民经济的总体提高。因此,合理确定道路交通基础设施建设的规模 and 标准,将是道路交通基础设施建设中成本控制的关键,而确定道路交通基础设施建设规模和总体设计方案的重要依据之一便是道路通行能力。

作为道路交通建设的一项基础性工作,道路通行能力与交通量适应性分析,不仅可以确定道路建设的合理规模及合理建设模式,还可为道路网规划、公路工程可行性研究、道路设计、建设后评估等提供科学的理论依据(见图1.1)。

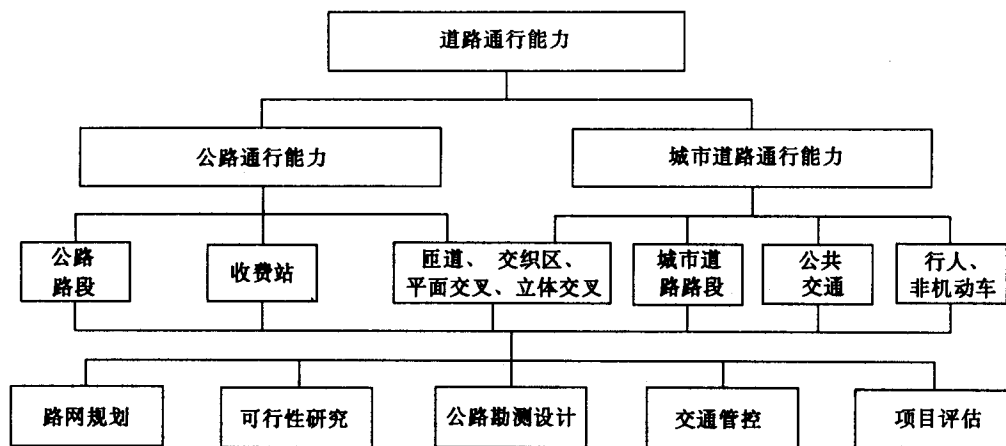


图 1.1 道路通行能力分析结构及意义

1.1 通行能力的基本概念

1.1.1 通行能力

通行能力(Capacity)是指道路设施所能疏导交通流的能力。即在一定的时段(通常取 15 min 或 1 h)和正常的道路、交通、管制以及运行质量要求下,道路设施通过交通流质点的能力。

确定道路通行能力的种类主要考虑两点:一是通行能力分析必须与运行质量相联系;二是需要有一种能与之进行参照对比的基本通行能力。因此,通行能力分为 3 种:

(1)基本通行能力。基本通行能力是指道路组成部分在理想的道路、交通、控制及环境条件下,该组成部分一条车道或一车行道的某一断面或均匀路段,不论服务水平如何,1 h 所能通过标准车的最大辆数。

(2)可能通行能力。可能通行能力是指已知道路组成部分在实际或预计的道路、交通、控制及环境条件下,该组成部分一条车道或一车行道的某一断面或均匀路段,不论服务水平如何,1 h 所能通过标准车的最大辆数。

(3)设计通行能力。设计通行能力是指设计道路组成部分在预计的道路、交通、控制及环境条件下,该组成部分一条车道或一车行道的某一断面或均匀路段,在所选用的设计服务水平下,1 h 所能通过标准车的最大辆数。

通行能力被规定为在通常的道路、交通和管制条件下,被分析设施的人和断面都是不变的,通常条件的任何变化,都会引起设施通行能力的变化。道路通行能力与交通量不尽相同,交通量是指道路在某一定时段内实际通过的车辆数。一般道路的交通量均小于道路的通行能力,当道路上的交通量比其通行能力小得多时,则司机驾驶操作的自由度就越大,既可以随意变更车速,变换车道,又可以方便地实现超车。当交通量等于或接近道路通行能力时,车辆行驶的自由度就逐渐降低,一般只能以同一速度循序行进,如稍有意外,

就会发生降速、拥挤,甚至阻滞。因此,道路通行能力是在一定条件下道路所能通过的车辆极限数值。条件不同、要求不同,其通行能力也就不同。

通行能力的定义还假定要具有良好的气候条件和路面条件:

道路条件。道路条件是指街道或公路的几何特征,包括交通设施的种类及其形成的环境、每个方向的车道数、车道和路肩宽度、侧向净空、设计速度以及平面和纵断面线形。

交通条件。交通条件涉及使用该道路的交通流特性。它是由交通流中车辆种类的分布、设施的可用车道中交通量和交通分布以及交通流的方向性分布共同确定的。

管制条件。管制条件是指针对已知设施提出的管制设备和具体设计的种类,以及交通规则。交通信号的位置、种类和配时是影响通行能力的关键性管制条件。其他重要管制包括停车和让路标志、车道使用限制、转弯限制以及类似的措施。

气候条件。气候条件是指风、雨、雪、雾、沙尘暴等恶劣天气对通行能力的影响。

环境条件。环境条件是指街道化程度、商业化程度、横向干扰、非交通占道、公交车站和停车位置等因素。

规定运行条件。规定运行条件主要是指计算通行能力的限制条件,这些限制条件通常根据速度和行程时间、驾驶自由度、交通间断、舒适和方便性以及安全等因素来规定。其运行标准是针对不同的交通设施用服务水平来定义的。

1.1.2 服务水平

服务水平(Level of Service,简称 LOS)。服务水平是交通流中车辆运行以及驾驶员和乘客所感受的质量量度,亦即道路在某种交通条件下所提供运行服务的质量水平。服务水平的定义一般用诸如速度、行驶时间、驾驶自由度、交通间断、舒适、方便和安全等因素来描述。

服务交通量。服务交通量是指在通常的道路条件、交通条件和管制条件下,保持规定的服务水平时,道路某一断面或均匀路段在单位时间内所能通过的最大小时交通量。在不同的服务水平下服务交通量是不同的,服务水平高的道路行车速度快,驾驶自由度高,舒适与安全性好,但是其相应的服务交通量就小;反之,服务交通量大,则服务水平低。值得注意的是,服务交通量不是一系列连续的值,而是不同的服务水平条件允许通过的最大值。服务交通量规定了不同服务水平之间的流量界限。

服务水平亦称服务等级,是用来衡量道路为驾驶员、乘客所提供的服务质量等级,其服务等级可以从自由运行、高速、舒适、方便、安全满意的最高水平直到拥挤、受阻、停停开开、难以忍受的最低水平。各国等级划分方法不一,一般均根据本国的道路交通的具体条件划分为3~6个服务等级,如日本分为3个等级,美国分为6个等级。

目前,我国对道路服务水平研究尚不够深入。公路方面,根据实际观测分析并综合考虑美国、日本的分级标准,从便于公路规划设计及使用方便、可操作性强的原则出发,以区分稳定流和不稳定流为基本条件,将服务水平划分为一、二、三、四级共4个等级。一级服务水平相当于美国公路服务水平的A级或B级;二级服务水平相当于美国公路服务水平的C级;三级服务水平相当于美国公路服务水平的D级;四级服务水平大致相当于美国公路服务水平的E级到F级。城市道路方面,则参照美国道路通行能力手册,将道路

服务水平分为 A、B、C、D、E、F 共 6 个等级。

美国各级服务水平的交通流状况描述如下：

服务水平 A。交通量很小，交通为自由流，使用者不受或基本不受交通流中其他车辆的影响，有非常高的自由度来选择所期望的速度，为驾驶员和乘客提供的舒适便利程度高。

服务水平 B。交通量较服务水平 A 增加，交通处于稳定流范围内的较好部分。在交通流中，开始易受其他车辆的影响，选择速度的自由度相对来说还受影响，但驾驶自由度比服务水平 A 稍有下降。由于其他车辆开始对少数驾驶员的驾驶行为产生影响，因此所提供的舒适和便利程度较服务水平 A 低一些。

服务水平 C。交通量大于服务水平 B，交通处在稳定流动范围的中间部分，但车辆之间的相互影响变得大起来，选择速度的自由度受到其他车辆的影响，驾驶时需当心其他车辆的干扰，舒适和便利程度有明显下降。

服务水平 D。交通量又增大，交通处在稳定交通流动范围的较差部分。速度和驾驶自由度受到严格约束，舒适和便利程度低下。当接近这一服务水平下限时，交通量稍有增加就会在运行方面出现问题。

服务水平 E。交通处于不稳定流动范围，接近或达到该水平相应的最大交通量时，交通量稍有增加，或交通流内部有小的扰动就将产生大的运行问题，甚至发生交通中断。所有车速降到一个很低但相对均匀的值，驾驶自由度极低，舒适和便利程度也非常低。此服务水平下限时最大交通量即为基本通行能力(理想条件下)或可能通行能力(实际条件下)。

服务水平 F。交通处于强制性流动状态，车辆经常形成排队现象，走走停停，极不稳定。在此服务水平下，交通量与速度同时由大变小时，直到零为止，而交通密度则随交通量的减少而增大。

我国各级公路服务水平的交通流状况描述如下：

一级。交通量小、行驶车辆速度高、驾驶员能自由或较自由地选择行车速度，行驶车辆不受或基本不受交通流中其他车辆的影响，交通流处于自由流状态，被动延误少，为驾驶员和乘客提供的舒适便利程度高。

二级。行驶车辆受别的车辆或行人的干扰较大，驾驶员选择速度的自由度受到一定限制，交通流状态处于稳定流的中间范围，有拥挤感。到二级下限时，车辆间的干扰较大，开始出现车队，被动延误增加，为使用者提供的舒适便利程度下降。

三级。驾驶员选择车辆运行速度的自由度受到很大限制，行驶车辆受到别的车辆或行人的干扰很大，交通流处于稳定流的下半部分，并已接近不稳定流范围，流量稍有增加，就会出现交通拥挤，服务水平显著下降。到三级下限时所受的限制已到驾驶员所允许的最低限度，但可通行的交通量尚未达到最大值。

四级。行驶车辆受到别的车辆或行人的干扰非常大，交通流处于不稳定状态，靠近下限时每小时可通行的交通量达到最大值，驾驶员已无自由选择速度的余地，车速降到一个较低但是相对均匀的数值。这时交通量稍有增加或交通流出现小的波动，就会出现交通拥挤，服务水平显著下降。交通流变成强制状态，能通过的交通量很不稳定，交通量与速

度同时由大变小,直到零为止,而交通密度则随交通量的减小而增大。

服务流率(Service Flow Rate)。服务流率是在通常的道路条件、交通条件和管制条件下,在给定的时间周期内保持规定的服务水平,所期望的人或车辆通过一条连续车道或道路的一点或均匀断面,所能达到的最大小时交通量。关于通行能力,服务流率通常取15min为一时段。应该注意到服务流率是离散值,而服务水平则表示条件的范围。服务流率规定为每一种服务水平的最大值,这就有效地规定了不同服务水平之间的流量界限。

效率度量(Measure of Effectiveness)。对于每种交通设施,是用最能说明其运行质量的一项或几项运行参数来确定服务水平。尽管服务水平的概念试图对运行条件提出一个较大的范围,但是因受到数据收集和有效性的限制,所以把对每种设施类型看作是运行参数的整个范围是不切实际的。为确定每种设施服务水平而选择的参数就成为效率度量,表示能最好地描述该类设施运行质量的合用度量。表 1.1 列出了用于每种设施服务水平的效率度量。

表 1.1 确定服务水平的效率度量

设 施 类 型		效 率 度 量
高速公路 快速路	基本路段	密度($\text{pcu}/(\text{h} \cdot \text{ln})$)、平均行程车速(km/h)、 V/C (饱和度)
	交织区	密度($\text{pcu}/(\text{h} \cdot \text{ln})$)、 V/C (饱和度)
	匝道连接点	流率(pcu/h)、 V/C (饱和度)
一级公路等多车道公路		密度($\text{pcu}/(\text{h} \cdot \text{ln})$)、平均行程车速(km/h)、 V/C (饱和度)
双车道公路		时间延误百分率(%)、平均行程车速(km/h)、 V/C (饱和度)
收费站		平均延误(s/pcu)
无信号交叉口		平均延误(s/pcu)
信号交叉口		平均每辆车停车延误(s/pcu)
城市干道		平均行程车速(km/h)
公共交通		负载系数(客/座、人/h、 pcu/h)
行人交通		空间($\text{m}^2/\text{行人}$)

1.2 道路通行能力研究进展与发展趋势

1.2.1 国外研究概况

道路通行能力研究始于 20 世纪 40 年代。随着二战的结束,美国掀起了新一轮的经济发展热潮,伴之而来的服务于军事及民用的全国高速公路网建设迫切需要通过通行能力分析确定道路建设规模、模式及建设后评估。1950 年,美国交通研究委员会(Transportation Research Board, TRB)出版了《道路通行能力手册》(Highway Capacity Manual, 简称 HCM)第 1 版,这是世界上第一本系统地分析道路通行能力的出版物,为从事交通行业的工程技

术人员提供了有据可查、有章可循的标准,从而也奠定了日后它在交通理论发展中的重要地位。1965年 HCM 第2版得以修订,1985年 HCM 第3版问世。HCM 第3版与前两版相比作了较大的改动,增加了高速公路、自行车道、人行道和无信号交叉口等交通设施的分析内容。之后,经过1994年和1997年两次修订改版,HCM 第4版——HCM2000出炉。从历年修订改版的时间我们可以看出,通行能力的理论在不断充实和完善,并且这种完善随着时代的更迭,正以前所未有的速度加快。新的 HCM2000 以车流密度作为评定道路服务水平等级的主要因素,高速公路通行能力界定为 $2\,200 \sim 2\,300 \text{ pcu}/(\text{h} \cdot \text{ln})$,而 HCM 早期的版本对于高速公路通行能力的标定为 $1\,400 \text{ pcu}/(\text{h} \cdot \text{ln})$,1985年版本中为 $2\,000 \text{ pcu}/(\text{h} \cdot \text{ln})$ 。

欧美的发达国家以及日本也不甘落后,在充分借鉴美国经验的基础上进行了本土化的实际研究,先后出版发行了适合各自国情的通行能力手册或规程,如1977年瑞典的《瑞典通行能力手册》;1984年加拿大的《加拿大信号交叉口通行能力规程》;1986年日本的《道路通行能力》;1994年德国的《道路通行能力手册》(HBS)等。

另外,印度、巴西、马来西亚等发展中国家也在各自政府的支持下开始研究适合各自国情的通行能力分析理论和方法。

随着通行能力研究的深入开展,国际间的学术交流也在不断加强。1990年美国交通研究委员会(TRB)所属的道路通行能力和服务水平分委员会(Committee on Highway Capacity and Quality of Service)在德国召开了第1届公路通行能力国际研讨会。1994年又在澳大利亚举办了第2届公路通行能力国际研讨会。1998年10月,我国交通部公路科学研究所和东南大学在南京联合举办了公路通行能力国际研讨会。此外,美国交通研究委员会(TRB)年会是美国交通运输界的年度盛事,每年约有1万名来自世界各地的交通运输业人士聚集华盛顿,讨论交流交通运输领域的有关研究成果。其中道路通行能力和服务水平分委员会针对通行能力和服务水平有关问题进行专题讨论。最近一次年会是在2006年召开的第85届年会。

1.2.2 国内研究现状

20世纪中叶,从半殖民地半封建社会的战火中走出来的新中国百废待兴,交通基础设施建设远远落后于西方发达国家,交通工程理论研究更是一片空白。经过半个多世纪的发展,我国在交通工程研究领域获得长足的进步,各部委相继出台了《公路工程技术标准》、《城市道路设计规范》、《交通工程手册》、《公路通行能力手册》等,为交通工程实践提供了行业指导标准和规范。在道路通行能力有关课题研究中,国内交通学者师夷长技,而又立足本土,经过长期不懈的努力,取得了不少标志性的研究成果。例如,国家计划委员会1996年批准立项国家“九五”科技攻关项目“国道主干线设计集成系统开发与研究”,由交通部公路科学研究所、交通部规划研究院、东南大学和北京工业大学4家单位牵头,联合河北、河南、北京、新疆、辽宁和广东等6省市科研设计单位组成联合攻关课题组进行“公路通行能力研究的装备与技术”专题研究。经过4年攻关,在采集了大量典型路段、交叉口的实际数据的基础上,通过理论分析和计算机仿真等手段,在国内首次建立了反映我国代表性地区公路交通实际运行特征的数据库、各类分析模型,开发了适合我国交通特点

的高速公路、双车道公路路段、平面交叉口交通运行仿真模型及相应的仿真软件,并在此基础上提出了适合我国国情的公路通行能力分析体系,开发了通行能力分析软件。2003年11月由交通部公路科学研究院——道路结构与材料交通行业重点实验室与多所高校合作编制完成了《公路通行能力手册》。《公路通行能力手册》主要包括了高速公路基本路段、交织区、匝道、多车道、双车道、交叉口及通行能力仿真的技术内容,覆盖了道路通行能力的大部分研究领域,提供了各种公路设施的通行能力分析方法,在我国公路建设领域各有关部门和各层次人员中得到了广泛的应用,为公路规划、设计及工程可行性研究、交通控制与管理提供了依据。作为该课题的支撑项目,广东省交通科学研究所联合长沙理工大学(原长沙交通学院)进行“经济发达地区公路交通运行特性和通行能力研究”;辽宁省勘测设计院联合哈尔滨工业大学交通科学与工程学院开展“寒冷地区公路路段交通运行特性和通行能力研究”。由河北省交通规划设计院、河南省交通科学技术研究所共同承担,瑞典公路局作为国际咨询专家单位参与的世界银行贷款项目“双车道公路通行能力研究”,则主要针对除高速公路以外的公路路段和交叉口进行通行能力研究。与此同时,吉林省交通科学研究所也联合哈尔滨工业大学交通科学与工程学院开展“高等级公路通行能力与运营管理研究”,其研究成果已部分应用于交通运营与管理实践中,成效显著。随着21世纪我国城市规模的快速发展,如何解决城市交通拥挤,缓解交通压力,已成为城市发展迫切需要解决的首要问题。国家也开始在这方面予以重视,政策上给予倾斜和扶持。2001年底,由科技部组织在全国范围内进行招投标,将“快速路系统通行能力研究”作为“十五”科技攻关项目智能交通运输系统的一项子课题开展研究。国内一些研究院所如交通部公路科学研究所、北京工业大学、同济大学、哈尔滨工业大学等也纷纷开展快速路通行能力有关课题研究。

1.2.3 道路通行能力研究的发展趋势

关于道路通行能力目前研究的热点主要集中在下列3个方面:

1)传统的流量、速度、密度关系需要重新研究。由于智能交通系统(Intelligent Transportation Systems, ITS)的应用,使得交通流的稳定速度区间扩大,车流变化规律受更多的外部条件影响,传统的流量-速度、速度-密度和流量-密度关系将有所变化。

2)如何在ITS条件下定义通行能力。ITS的目的之一是提高通行能力。ITS技术的应用将引起交通流的分布和运动状态发生很大变化。一旦各种ITS控制技术应用到交通系统,交通流中运动车辆间间距会进一步缩小,而交通流仍能以一定的稳定速度运动。这将导致传统的通行能力饱和概念发生改变。

3)交通间断流条件下通行能力模型的研究。由于交通的暂时中断(周期性或随机性的)引起交通流的突然压缩和停止,不同的路口控制方法和车流随机到达模式变化引起冲突点时间上的运动变化,给通行能力计算带来很大困难。

ITS是将先进的信息、数据通信传输、控制以及人工智能等技术有效地综合运用于整个交通管理体系而建立起来的一种在大范围内、全方位发挥作用,实用、准确、高效的运输综合管理系统。ITS与公路通行能力有关的主要方面包括交通管理自动化、驾驶员信息系统、车辆控制系统、车辆自动导航和控制以及交通信息实时跟踪与提供等。此外,研究

表明,收费站停车对高等级公路、大桥的通行能力影响很大,国外在 20 世纪 90 年代后期就大力发展电子不停车收费(ETC)系统,对提高收费道路通行能力具有显著效果。

随着计算机技术的迅猛发展,以计算机为辅助工具,利用其可重复性、可延续性模拟交通运行状况进行道路通行能力分析研究,对于再现复杂交通环境条件下的车流运行特征,弥补观测数据不足,解决交通流车速-流量关系曲线的外延问题等都有着其他方法和手段无可比拟的优势。因此,通过计算机集成和优化,采用模拟预测和实时仿真系统进行分析研究将是公路通行能力研究的未来发展方向。

目前国际上较为流行的有关道路通行能力分析的 4 套模拟软件分别是:美国 HCM 系统,它与 HCM2000 手册相配套,用于各种交通设施下的交通运行分析;澳大利亚 ARRB 开发的 SIDRA 系统,主要适用于各类交叉口的运行分析;瑞典公路局的 CAPCAL 系统和荷兰公路局的 PTDFSGN 软件,分别为交叉口和环岛的交通模拟模型。其中,以美国的 HCM 系统应用最为普遍,也最具权威。美国交通运输研究委员会(TRB)研制开发的与 HCM2000 配套使用的道路通行能力系统软件 HCS(Highway Capacity Software)应用最为广泛。该软件由交叉口、干道、公路网等模块组成。数据输入包括交通设施几何参数(车道数和车道宽度等)及交通和道路条件(交通流量、自由流速度、地形条件、道路等级、横向干扰、重车混入率等);输出结果为各种交通设施通行能力及其相应服务水平和相关图表。HCS 软件为美国公路运输与交通工程设计、规划与控制提供了良好的服务,并发挥着巨大的效用。

1.3 有关道路通行能力的基本知识

1.3.1 交通流基本参数

1. 交通量

交通量是指单位时间内通过道路某一地点或某一截面的实际车辆数,又称交通流量或流量。交通量本身不是一个静止不变的量,具有随时间和空间变化而变化的特征。度量城市交通特性的一种方法是在道路系统内一系列的位置上观察交通量在时间和空间上的变化规律,并绘制出交通流等值图。当交通量超过某一水平时,就认为发生拥挤。然而,这种判断存在的问题是同一流量水平可以对应两种截然不同的交通流状态,因此这种参数应该与其他方法相结合,而不是单独使用。

2. 速度

(1) 地点速度(也称为即时速度、瞬时速度)

地点速度 s 为车辆通过道路某一点时的速度,单位为 m/s ,公式为

$$s = \frac{dx}{dt} = \lim_{t_2 \rightarrow t_1 \rightarrow 0} \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} \quad (1.1)$$

式中 x_1, x_2 ——分别为时刻 t_1 和 t_2 的车辆位置。

雷达和微波调查的速度非常接近此定义。车辆地点速度的近似值也可以通过小时路段调查获得(通过间隔一定距离的感应线圈来调查)。

(2) 平均速度

① 时间平均速度 $\bar{s}_t$, 即观测时间内通过道路某断面所有车辆地点速度的算术平均值。公式为

$$\bar{s}_t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N s_i \quad (1.2)$$

式中 s_i ——第 i 辆车的地点速度, m/s;
 N ——观测的车辆数。

② 区间平均速度 $\bar{s}_s$, 有两种定义, 一种定义为车辆行驶一定距离 L 与该距离对应的平均行驶时间的商。公式为

$$\bar{s}_s = \frac{L}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i} \quad (1.3)$$

式中 t_i ——第 i 辆车行驶距离 L 所用的行驶时间, s。

$$t_i = \frac{L}{s_i} \quad (1.4)$$

式中 s_i ——第 i 辆车行驶距离 L 的行驶速度, m/s。

式(1.3)适用于交通量较小的条件, 所观察的车辆应具有随机性。对于式(1.3)进行变形后可得到

$$\bar{s}_s = \frac{L}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i} = \frac{L}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{L}{s_i}} = \frac{1}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{1}{s_i}} \quad (1.5)$$

此式表明区间平均速度是观测路段内所有车辆行驶速度的调和平均值。区间平均速度也可以用行程时间和行程速度进行定义和计算。行驶时间与行程时间的区别在于: 行驶时间不包括车辆的停车延误时间, 而行程时间包括停车时间, 为车辆通过距离 L 的总时间。行驶速度和行程速度则分别为对应于行驶时间和行程时间的车速。

区间平均速度的另一种定义为某一时刻路段上所有车辆地点速度的平均值。可通过沿路段长度调查法得到: 以很短时间间隔 Δt 对路段进行两次(或多次)航空摄像, 据此得到所有车辆的地点速度(近似值)和区间平均速度, 公式为

$$s_i = \frac{l_i}{\Delta t} \quad (1.6)$$

$$\bar{s}_s = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{l_i}{\Delta t} = \frac{1}{N \Delta t} \sum_{i=1}^N l_i \quad (1.7)$$

式中 s_i ——第 i 辆车的平均速度, m/s;
 Δt ——两张照片的时间间隔, s;
 l_i ——在 Δt 间隔内, 第 i 辆车行驶的距离, m。

研究表明, 这种方法获得的速度观测值的统计分布与实际速度的分布是相同的。

③ 时间平均速度和区间平均速度的关系

对于非连续交通流, 例如含有信号控制交叉口的路段或严重拥挤的高速公路上, 区分这两种平均速度尤为重要, 而对于自由流, 区分这两种平均速度意义不大。当道路上车辆

的速度变化很大时这两种平均速度的差别非常大。时间平均速度和区间平均速度的关系为

$$\bar{s}_t - \bar{s}_s = \frac{\sigma_s^2}{\bar{s}_s} \quad (1.8)$$

式中 $\sigma_s^2 = \sum D_i (s_i - \bar{s}_s)^2 / D$;
 D_i ——第 i 股交通流的密度;
 D ——交通流的整体密度。

有关研究人员曾用实际数据对式(1.7)进行回归分析,得到两种平均速度的线性关系

$$\bar{s}_s = 1.026 \bar{s}_t - 1.890 \quad (1.9)$$

3. 流率

流率是指在给定不足 1 h 的时间间隔(通常为 15 min)内,车辆通过一条车道或道路的指定点或指定断面的当量小时流率。

交通量与流率之间的区别很重要,交通量是在一段时间间隔内,通过一点的观测或预测实际车辆数。流率则表示在不足 1 h 的间隔内通过一点的车辆数,但以当量小时流率表示。取不足 1 h 时段观测的车辆数,除以观测时间(单位为小时),即得到流率。因此,在 15 min 内观测到的交通量为 100 veh,表示流率为 100 veh/0.25 h 或 400 veh/h。

下面的例子进一步说明两种度量之间的区别(交通计数是在 1 h 调查周期内得到的)。

表 1.2 交通量调查表

时 间 段	交通量 /veh	流率 /(veh · h ⁻¹)
5:00 ~ 5:15	1 000	4 000
5:15 ~ 5:30	1 200	4 800
5:30 ~ 5:45	1 100	4 400
5:45 ~ 6:00	1 000	4 000
5:00 ~ 6:00	4 300	

表 1.2 中的交通量是在 4 个连续 15 min 时段内观察到的。1 h 的总交通量是这些数量之和,即 4 300 veh/h(因为测量时间为 1 h),然而流率在每个 15 min 时段内都不相同。

考虑高峰时间流率,在通行能力分析中是非常重要的。如果上例公路路段的通行能力是 4 500 veh/h,当车辆以 4 800 veh/h 的流率到达,在峰值 15 min 的流量时段内,交通就会出现阻塞,尽管整个小时内,交通量小于通行能力。这个情况是严重的,因为消散阻塞的动态过程会使拥挤延续到阻塞时间之后几个小时。

高峰流率通过使用高峰小时系数与小时交通量密切联系。高峰小时系数定义为整个小时交通量与该小时内最大 15 min 流率之比。

$$PHF = \frac{\text{小时交通量}}{\text{该小时内高峰流率}} \quad (1.10)$$

因此,如果采用 15 min 为观测时段,PHF 的计算式为