

道路通行能力

Highway Capacity

| 张亚平 程国柱 主 编
| 徐慧智 别一鸣 副主编

中国建筑工业出版社

道路通行能力

张亚平 程国柱 主 编
徐慧智 别一鸣 副主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

道路通行能力/张亚平,程国柱主编. —北京:中国建筑工业出版社, 2016.6

ISBN 978-7-112-19380-6

I. ①道… II. ①张… ②程… III. ①公路运输-交通通过能力-研究 IV. ①TU491.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 086999 号

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,并纳入了新的技术标准与规范。主要内容包括:公路路段、匝道及匝道与主线连接点、交织区、收费站、城市道路路段、公共交通线路、行人交通设施与自行车道、无信号交叉口、信号交叉口、环形交叉口、立体交叉口的通行能力计算与服务水平评价方法及交通仿真技术在道路通行能力分析中的应用。

本书可作为高等学校交通工程、交通设备与控制工程、交通运输等专业的本科生教材,也可供交通运输工程专业研究生及从事交通规划、设计、建设和管理等工程领域的有关科技人员参考。

责任编辑:石枫华 王 磊

责任设计:王国羽

责任校对:陈晶晶 张 颖

道路通行能力

张亚平 程国柱 主 编

徐慧智 别一鸣 副主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京市密东印刷有限公司印刷

*

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:15¼ 字数:379 千字

2016 年 7 月第一版 2016 年 7 月第一次印刷

定价:48.00 元

ISBN 978-7-112-19380-6
(28608)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

道路通行能力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依据,也是交通工程专业的主干课程。随着我国经济的高速发展,交通基础设施建设可谓日新月异。截至2014年底,全国公路总里程达到446.39万公里,拥有高速公路11.19万公里,位居世界第一,以高速公路为主的全国干线公路网络初具规模;我国城市道路长度达35.2万公里,道路面积68.3亿平方米,其中人行道面积15.0亿平方米,人均城市道路面积 15.34m^2 。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。

随着现代数学分支的迅猛发展,以及计算机技术的日新月异,道路通行能力研究的不断深入。我国对相关设计标准、规范也做了多次修订,新的标准和规范中对于道路通行能力与服务水平给出了新的规定,以适应新时期对交通运输发展的需要。对道路通行能力教材融入全新的知识结构和最新研究成果的重要性已经变得愈加突出,新编《道路通行能力》本科生教材变得十分必要。本书采用或参考的最新设计标准和规范有:《公路工程技术标准》(JTGB01—2014)、公路路线设计规范(征求意见稿2014)、城市道路工程设计规范(CJJ37—2012)等。

本书全面系统地介绍了道路通行能力与服务水平的基本概念、计算原理和方法。同时,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:公路路段、匝道及匝道与主线连接点、交织区、收费站、城市道路路段、公共交通线路、行人交通设施、自行车道、无信号交叉口、信号交叉口、环形交叉口和立体交叉口等设施通行能力计算与服务水平评价,以及交通仿真在道路通行能力分析中的应用等。为便于学生自主学习、思考及应用,本书各章均附有思考题和习题,可作为交通工程、交通运输等专业的本科生和研究生教材,也可作为交通工程、交通运输、交通管理和城市规划等专业工程领域技术人员的参考书。

全书共13章,由张亚平(哈尔滨工业大学)、程国柱(哈尔滨工业大学)任主编,徐慧智(东北林业大学)别一鸣(哈尔滨工业大学)、任副主编,全书由张亚平、程国柱统稿。各章编者为:张亚平编写第1章、第3章、第8章、第9章、第10章、第11章、第12章,程国柱编写第1章、第2章、第3章、第4章、第6章、第8章、第9章、第10章,徐慧智编写第5章、第7章,别一鸣编写第13章。本书得到了中国建筑工业出版社石枫华编辑的大力支持和帮助,在此一并表示感谢。

本书参阅了国内外大量有关文献,引用和理解上不免存在偏颇之处,敬请原著者见谅!

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,谬误和不当之处恳请读者批评斧正。

目 录

第1章 绪论	1
1.1 通行能力的研究意义	1
1.2 基本概念	2
1.3 道路通行能力研究进展与发展趋势	5
1.4 有关道路通行能力的基本知识	8
1.5 课程主要内容及安排	17
思考题	17
第2章 公路路段通行能力	18
2.1 基本路段的界定	18
2.2 高速公路基本路段通行能力与服务水平	18
2.3 一级公路基本路段通行能力与服务水平	24
2.4 双车道公路路段通行能力与服务水平	28
思考题	35
习题	36
第3章 匝道及匝道与主线连接点通行能力	37
3.1 概述	37
3.2 匝道车行道通行能力与服务水平	41
3.3 匝道与主线连接点通行能力与服务水平	47
思考题	56
习题	56
第4章 交织区通行能力	57
4.1 概述	57
4.2 交织区交通运行特性	61
4.3 交织区通行能力分析	65
4.4 交织区服务水平分析	72
思考题	74
习题	74
第5章 收费站通行能力	75
5.1 概述	75
5.2 收费站车辆排队理论	79



5.3 收费站交通特征与服务水平	85
5.4 收费站的通行能力计算	90
5.5 规划和设计阶段通行能力分析	91
思考题	93
习题	93
第6章 城市道路路段通行能力	94
6.1 概述	94
6.2 快速路基本路段通行能力与服务水平	95
6.3 其他等级城市道路路段通行能力与服务水平	97
思考题	99
第7章 公共交通线路通行能力	100
7.1 概述	100
7.2 公共交通线路的通行能力	104
7.3 轨道交通通行能力	113
思考题	114
习题	115
第8章 行人交通设施和自行车道通行能力	116
8.1 行人交通特性	116
8.2 行人交通设施通行能力与服务水平	121
8.3 自行车道设置	125
8.4 自行车交通特性	127
8.5 自行车道通行能力和服务水平	130
思考题	136
习题	136
第9章 无信号交叉口通行能力	137
9.1 概述	137
9.2 无信号交叉口交通特性	138
9.3 无信号交叉口通行能力计算方法	150
9.4 无信号交叉口服务水平	154
9.5 无信号交叉口实际通行能力及影响因素	156
思考题	159
习题	160
第10章 信号交叉口通行能力	161
10.1 交通信号	161
10.2 信号交叉口交通特性	168
10.3 信号交叉口通行能力计算	176



10.4 信号交叉口服务水平.....	188
思考题.....	189
习题.....	189
第 11 章 环形交叉口通行能力	190
11.1 概述.....	190
11.2 无信号环形交叉口通行能力与服务水平.....	191
11.3 信号控制环形交叉口通行能力.....	198
11.4 两种环形交叉口通行能力的比较.....	199
思考题.....	201
习题.....	202
第 12 章 立体交叉口通行能力	203
12.1 概述.....	203
12.2 立体交叉车辆运行特性.....	208
12.3 立体交叉通行能力分析.....	210
12.4 立体交叉服务水平.....	213
思考题.....	214
习题.....	214
第 13 章 交通仿真在道路通行能力分析中的应用	215
13.1 概述.....	215
13.2 高速公路系统交通仿真.....	215
13.3 双车道公路交通仿真.....	225
13.4 城市道路交通仿真.....	227
13.5 有关交通仿真软件介绍.....	232
思考题.....	235
参考文献	236

第 1 章 绪 论

道路通行能力 (Highway 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 1h) 和正常的道路、交通、管制及运行质量要求下, 道路设施能通过交通流质点的能力。

1.1 通行能力的研究意义

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求。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 2014 年底, 全国公路总里程达到 446.39 万公里, 拥有高速公路 11.19 万公里, 位居世界第一, 以高速公路为主的全国干线公路网络初具规模。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, 总规模约 8.5 万公里, 其中主线 6.8 万公里, 地区环线、联络线等其他路线约 1.7 万公里。

公路交通快速发展的同时, 城市交通发展也十分迅速。1990 年, 我国城市道路总长度仅为 9.5 万公里, 道路面积 8.9 亿平方米; 截止至 2014 年末, 我国城市道路长度达 35.2 万公里, 道路面积 68.3 亿平方米, 其中人行道面积 15.0 亿平方米, 人均城市道路面积 15.34m^2 。1995 年, 我国城市轨道交通线路长度仅为 49km; 截止到 2014 年末, 我国已投入运营的轨道交通线路中, 地铁即达到 2418km, 占 85.86%。2015 年, 全国已经有 39 个城市建设或规划建设轨道交通, 每天投资超过 7.8 亿元。预计到 2020 年全国拥有轨道交通的城市将达到 50 个, 达到近 6000km 的规模, 在轨道交通方面的投资将达 4 万亿元。

在交通运输业蓬勃发展的同时, 也暴露出中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, 目前还没有真正形成适合我国道路交通特色的完整的道路通行能力分析指标体系, 尤其在城市道路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和标准, 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, 如图 1-1 所示。

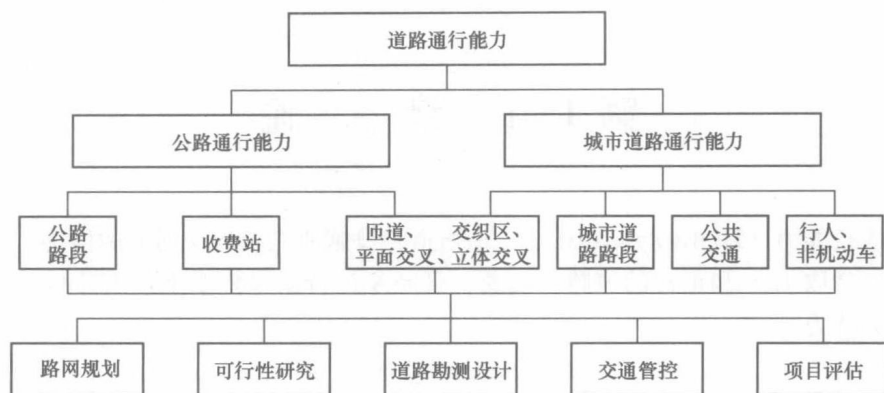


图 1-1 道路通行能力分析结构及意义

1.2 基本概念

1.2.1 通行能力

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参照对比的基本通行能力。据此，通行能力一般分为三种：

(1) 基本通行能力 (basic capacity) 是指道路组成部分在理想的道路、交通、管制及环境条件下，该组成部分一条车道或均匀路段，不考虑规定运行条件，1h 所能通过标准车的最大车辆数。

(2) 可能通行能力 (possible capacity) 是指已知道路组成部分在实际或预计的道路、交通、管制及环境条件下，该组成部分一条车道或均匀路段，不考虑规定运行条件，1h 所能通过标准车的最大车辆数。

(3) 设计通行能力 (design capacity) 是指设计道路组成部分在预计的道路、交通、管制及环境条件下，该组成部分一条车道或均匀路段，在规定运行条件下，1h 所能通过标准车的最大车辆数。

道路条件 道路条件是指道路的几何特征与路面条件，包括：道路等级、设计速度、车道数、车道和路肩宽度、侧向净空、平面和纵断面线形及路面平整度等。

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、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、转弯限制及类似的措施。

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及天气条件。

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。



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,还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。当交通量超过通行能力时,就会出现拥挤,甚至堵塞。因此,道路通行能力是在一定条件下道路所能通过的车辆的极限数值。条件不同,要求不同,其通行能力也就不同。故道路通行能力是一个变数。

1.2.2 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及驾驶人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 (service traffic volum) 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,道路一条车道或均匀路段在单位时间内所能通过的最大小时交通量,服务交通量通常取 1h 为一时段。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,驾驶自由度大,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。

服务流率 (service flow) 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,道路一条车道或均匀路段在单位时间内所能通过的最大小时交通量,服务流率通常取 15min 为一时段。

服务水平亦称服务等级,是用来衡量道路为驾驶人、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。各国等级划分不一,一般均根据本国的道路交通的具体条件划分 3~6 个服务等级,如日本分为 3 个等级,美国为 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,为驾驶人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人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 交通量继续增大,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,交通量有少数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,交通量有小的增加,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。所有车速降到一个低的但相对均匀的值,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,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少而增大。

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,以区分自由流、稳定流和拥堵流为基本条件,《公路工程技术标准》(JTGB01—2014)将服务水平划分为一、二、三、四、五、六级共6个等级。中国各级公路服务水平的交通流状况描述如下:

一级服务水平:交通流处于完全自由流状态。交通量小、速度高、行车密度小,驾驶人能自由按照自己的意愿选择所需速度,行驶车辆不受或基本不受交通流中其他车辆的影响。在交通流内驾驶的自由度很大,为驾驶人、乘客或行人提供的舒适度和方便性非常优越。较小的交通事故或行车障碍的影响容易消除,在事故路段不会产生停滞排队现象,很快就能恢复到一级服务水平。

二级服务水平:交通流处于相对自由流的状态,驾驶人基本上可按照自己的意愿选择行驶速度,但是开始要注意到交通流内有其他使用者,驾驶人身心舒适水平很高,较小交通事故或行车障碍的影响容易消除,在事故路段的运行服务情况比一级差些。

三级服务水平:交通流状态处于稳定流的上半段,车辆间的相互影响变大,选择速度受到其他车辆的影响,变换车道时驾驶人要格外小心,较小交通事故仍能消除,但事故发生路段的服务质量大大降低,严重的阻塞后面形成排队车流,驾驶人心情紧张。

四级服务水平:交通流处于稳定流范围下限,但是车辆运行明显地受到交通流内其他车辆的影响,速度和驾驶的自由度受到明显限制。交通量稍有增加就会导致服务水平的显著降低,驾驶人身心舒适水平降低,即使较小的交通事故也难以消除,会形成很长的排队车流。

五级服务水平:为拥堵流的上半段,对于交通流的任何干扰,例如车流从匝道驶入或车辆变换车道,都会在交通流中产生一个干扰波,交通流不能消除它,任何交通事故都会形成很长的排队车流,车流行驶灵活性极端受限,驾驶人身心舒适水平很差。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(具体公路)。

六级服务水平:拥堵流的下半段,是通常意义上的强制流或阻塞流。这一服务水平下,交通设施的交通需求超过其允许的通过量,车辆排队行驶,队列中的车辆出现走走停停现象,运行状态极不稳定,可能在不同交通流状态间发生突变。

高速公路、一级公路设计服务水平不应低于三级,一级公路作为集散公路时,设计服务水平可降低一级。二级公路、三级公路设计服务水平不应低于四级;四级公路未作规

定。长隧道和特长隧道路段、非机动车及行人密集路段、互通式立体交叉的分合流区段，设计服务水平可降低一级。

城市道路方面，《城市道路工程设计规范》（CJJ 37—2012）将快速路服务水平分为一、二、三、四共 4 个等级，并规定新建快速路应按三级服务水平设计。关于其他等级城市道路通行能力和服务水平的分析、评价，由于目前国内尚未有成熟的研究成果，规范只给出了基本通行能力与设计通行能力取值，而未给出具体的服务水平评价标准。

效率度量（measure of effectiveness）为评价每种设施服务水平而选择的参数，表示能最好地描述该类设施运行质量的度量。表 1-1 列出了用于每种设施服务水平的效率度量。

确定服务水平的效率度量 表 1-1

设施类型		效率度量
高速公路 一级公路 快速路	高速、一级公路基本路段	饱和度 V/C 、小客车实际行驶速度与自由流速度之差
	快速路基本路段	密度 $[pcu/(h \cdot ln)]$ 、平均行程车速(km/h)、饱和度 V/C
	匝道及匝道与主线连接点	饱和度 V/C 、流率(pcu/h)
	交织区	密度(pcu/h/ln)
二、三、四级公路		延误率(%)、平均行程车速(km/h)、饱和度 V/C
收费站		平均延误(s/veh)
城市主干路、次干路、支路		平均行程车速(km/h)
人行道		人均占用面积(m^2)、人均纵向间距(m)、 人均横向间距(m)、步行速度(m/s)
自行车道		路段：骑行速度(km/h)、占用道路面积(m^2/veh)、负荷度 交叉口：停车延误时间(s)、通过交叉口的骑行速度(km/h)、负荷 度、路口停车率(%)、占用道路面积(m^2/veh)
无信号交叉口		流率(pcu/h)
信号交叉口		平均控制延误(s/veh)、负荷度、排队长度(m)

1.3 道路通行能力研究进展与发展趋势

1.3.1 国外研究概况

道路通行能力研究始于美国 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、模式及建后评估。1950 年，美国交通运输研究委员会（Transportation Research Board, TRB）出版了《道路通行能力手册》（Highway Capacity Manual，简称 HCM）第一版，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 第二版得以完成，首次正式提出服务水平的概念。1985 年第三版 HCM 问世，其中 HCM 第三版与前两版相比做了较大的改动，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 第四版——HCM2000 出炉。2010 年推出第五版——HCM2010。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。

欧洲及日本等发达国家也不甘落后, 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。如瑞典 1977 年的《瑞典通行能力手册》; 加拿大 1984 年的《加拿大信号交叉口通行能力规程》; 日本 1986 年的《道路通行能力》; 德国 1994 年的《道路通行能力手册》(HBS) 等。

另外, 发展中国家如印度、巴西、马来西亚等国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, 国际学术交流也在不断加强。1990 年美国运输研究委员会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) 在德国卡尔斯鲁厄召开了第 1 届公路通行能力与服务水平国际研讨会; 其后, 于 1994 年在澳大利亚悉尼, 1998 年在丹麦哥本哈根, 2002 年在美国夏威夷, 2006 年在日本横滨先后举办了第 2、3、4、5 届公路通行能力与服务水平国际研讨会。此外, TRB 年会是美国交通运输界的年度盛事, 每年约有一万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的有关问题进行专题讨论。

1.3.2 国内研究现状

我国交通基础设施建设和交通工程理论研究起步较晚, 经过半个多世纪的发展, 已经获得长足的发展, 各部委相继出台了《公路工程技术标准》、《公路路线设计规范》、《城市道路工程设计规范》、《交通工程手册》等, 为道路通行能力理论在实践中应用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, 国内交通学者经过长期不懈的努力, 取得了不少标志性的研究成果, 其中部分成果如表 1-2 所示。

国内道路通行能力研究部分成果

表 1-2

时 间	科研单位	研究成果
1983~1987 年	交通部公路科学研究所等 8 家单位	混合交通双车道公路路段设计通行能力
1992~1994 年	交通部公路科学研究所	等级公路适应交通量和折算系数标准的研究
1996 年	交通部公路科学研究所、中交公路规划设计院、东南大学、北京工业大学联合 6 个省市科研设计单位	公路通行能力专题研究
1997 年	辽宁省公路勘测设计院、哈尔滨工业大学	寒冷地区公路路段交通运行特性和通行能力研究
1998~2000 年	吉林省交通科学研究所、哈尔滨工业大学	高等级公路通行能力与运营管理研究
2001~2005 年	交通部公路科研所联合北京工业大学	“十五”攻关项目智能运输系统子项目“城市快速路通行能力研究”
2003~2005 年	哈尔滨工业大学	国家自然科学基金项目“城市快速路系统交通流理论及其应用研究”

续表

时 间	科研单位	研究成果
2004~2006 年	哈尔滨工业大学	高等学校博士学科点专项科研基金“城市快速路系统通行能力计算与服务水平评价研究”
2007~2010 年	北京工业大学联合哈尔滨工业大学等 高校	“十一五”国家科技支撑计划“城市综合交通系统功能提升与设施建设关键技术研究”之课题三“城市道路通行能力与交通实验系统研究”

1.3.3 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三个方面：

- (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 ITS (Intelligent Transportation System) 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 是将先进的信息技术、数据通信传输技术、控制技术以及人工智能技术等有效地综合运用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，驾驶人信息系统，车辆控制系统，车辆自动导航和控制，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应。

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四套模拟软件分别是：美国 HCS 系统，它与 HCM 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 HCS 系统应用最为普及，也最具权威性。美国交通运输研究局（TRB）研制开发的道路通行能力系统软件 HCS（Highway Capacity Software）可与 HCM 配套使用。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，发挥着巨大的效用。

1.4 有关道路通行能力的基本知识

1.4.1 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，并绘制出交通流量分布图。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，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 和 x_2 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：

$$\bar{s}_t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N s_i \quad (1-2)$$

式中 s_i ——第 i 辆车的地点速度；

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：

$$\bar{s}_s = \frac{L}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i} \quad (1-3)$$

式中 t_i ——车辆 i 行驶距离 D 所用的行驶时间。

$$t_i = \frac{L}{s_i} \quad (1-4)$$

式中 s_i ——车辆 i 行驶距离 D 的行驶速度。

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) 进行如下变形可得到：



$$\bar{s}_s = \frac{L}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i} = \frac{L}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{L}{s_i}} = \frac{1}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{1}{s_i}} \quad (1-5)$$

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，公式如下：

$$s_i = \frac{l_i}{\Delta t} \quad (1-6)$$

$$\bar{s}_s = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{l_i}{\Delta t} = \frac{1}{N \Delta t} \sum_{i=1}^N l_i \quad (1-7)$$

式中 s_i ——第 i 辆车的平均速度；

Δt ——两张照片的时间间隔；

l_i ——在 Δt 间隔内，第 i 辆车行驶的距离。

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如下：

$$\begin{cases} \bar{s}_t - \bar{s}_s = \frac{\sigma_s^2}{\bar{s}_s} \\ \sigma_s^2 = \sum D_i (s_i - \bar{s}_s)^2 / D \end{cases} \quad (1-8)$$

式中 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如下线性关系：

$$\bar{s}_s = 1.026 \bar{s}_t - 1.890 \quad (1-9)$$

3. 流率

流率是指在给定不足 1h 的时间间隔（通常为 15min）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 1h 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 1h 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 15min 内观测到的交通量为 100 辆，表示流率为 100veh/0.25h 或 400veh/h。

表 1-3 中的例子进一步说明两种度量之间的区别（交通计数是在 1h 调查周期内得到的）。



交通量调查表

表 1-3

时间段	交通量 (辆)	流率 (辆/h)
5:00~5:15	1000	4000
5:15~5:30	1200	4800
5:30~5:45	1100	4400
5:45~6:00	1000	4000
5:00~6:00	4300	

表 1-2 中的交通量是在 4 个连续 15min 时段内观察到的。1h 的总交通量是这些数量之和,即 4300veh/h (因为测量时间为 1h),然而流率在每个 15min 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 4500veh/h,当车辆以 4800veh/h 的流率到达,在峰值 15min 的流量时段内,交通就会出现阻塞。尽管整个小时内,交通量少于通行能力。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 PHF 定义为整个小时交通量与该小时内最大 15min 流率之比。

因此,如果采用 15min 为观测时段, PHF 可以如下计算:

$$PHF = V / (4 \times V_{15}) \quad (1-10)$$

式中 PHF ——高峰 15min 时段的流率, veh/h;

V ——1h 交通量, veh/h;

V_{15} ——在高峰小时内高峰 15min 期间的交通量, veh/15min。

多数情况下是分析高峰 15min 时段或其他有关的 15min 时段的流率。如果已知高峰小时系数,就可以用它将高峰小时交通最换算成高峰流率。

$$v = \frac{V}{PHF} \quad (1-11)$$

式中 v ——高峰 15min 时段的流率, veh/h;

V ——高峰小时交通量, veh/h;

PHF ——高峰小时系数。

4. 密度

密度是指在已知长度的车道或道路上的车辆数,按时间取平均值。通常表示为 veh/km。在现场直接测定密度是困难的,需要一处有利的位置,在那里能对较长一段公路进行摄影、录像或观测。然而,密度可以由更容易测定的平均行程速度和流率计算。

$$V = S \times D \quad (1-12)$$

式中 V ——流率, veh/h;

S ——平均行程速度, km/h;

D ——密度, veh/km。

因此某一公路段,其交通流率为 1000veh/h,平均行程速度 50km/h,则其密度为:

$$D = 1000 / 50 = 20 \text{ (veh/km)}$$

密度是一个描述交通运行的重要参数。它表示车辆之间相互接近的程度,反映在交通