

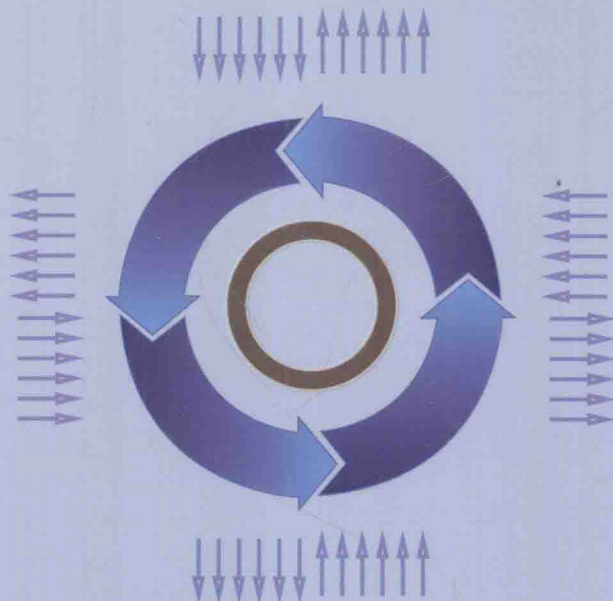



● 郭瑞军 著

环形交叉口 通行能力分析方法



Methods for Capacity
Analysis of Roundabouts



 辽宁科学技术出版社
LIAONING SCIENCE AND TECHNOLOGY PUBLISHING HOUSE

辽宁省优秀自然科学著作

环形交叉口通行能力 分析方法

郭瑞军 著

辽宁科学技术出版社

沈阳

© 2013 郭瑞军

图书在版编目 (CIP) 数据

环形交叉口通行能力分析方法 / 郭瑞军著. — 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2013.12

(辽宁省优秀自然科学著作)

ISBN 978-7-5381-8345-0

I. ①环… II. ①郭… III. ①环形交叉—交通通过能力—分析方法 IV. ①U412.35

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第259197号

出版发行: 辽宁科学技术出版社

(地址: 沈阳市和平区十一纬路29号 邮编: 110003)

印刷者: 沈阳新华印刷厂

经销者: 各地新华书店

幅面尺寸: 185mm × 260mm

印 张: 11

字 数: 225千字

印 数: 1~2000

出版时间: 2013年12月第1版

印刷时间: 2013年12月第1次印刷

责任编辑: 李伟民 韩延本

特邀编辑: 王奉安

封面设计: 嵘 嵘 唐雨乔

责任校对: 栗 勇

书 号: ISBN 978-7-5381-8345-0

定 价: 30.00元

联系电话: 024-23284360

邮购热线: 024-23284502

<http://www.lnkj.com.cn>

《辽宁省优秀自然科学著作》评审委员会

主任：

康捷 辽宁省科学技术协会党组书记 副主席

执行副主任：

黄其励 东北电网有限公司名誉总工程师
中国工程院院士
辽宁省科学技术协会副主席

副主任：

金太元 辽宁省科学技术协会副主席
宋纯智 辽宁科学技术出版社社长兼总编辑 编审

委员：

郭永新 辽宁大学副校长
陈宝智 东北大学安全工程研究所所长
刘文民 大连船舶重工集团有限公司副总工程师
李天来 沈阳农业大学副校长
刘明国 沈阳农业大学林学院院长
邢兆凯 辽宁省林业科学研究院院长
辽宁省科学技术协会委员
吴春福 沈阳药科大学校长
辽宁省科学技术协会常委
张兰 辽宁中医药大学附属医院副院长
王恩华 中国医科大学基础医学院副院长
李伟民 辽宁科学技术出版社总编室主任 编审

前 言

环形交叉口是许多城市交通网络的重要节点,为了改善城市交通现状,必须对环形交叉口的车流运行规律及服务性能有清晰准确的认识,通行能力是环形交叉口的一个重要性能参数,对其深入研究有利于采取有效的交通管理与控制措施。

本书主要做了以下几个方面的工作。

(1) 环形交叉口交织区车流运行特性的研究。

通过摄像调查并多次回放以获取不同类型数据,测算出在实际交叉口交织区的分流及合流运行行为的速度、换道位置,合流车与环道上前后车的车头时距,以及拒绝和接受间隙。从而分析其数据统计规律并总结出环形交叉口交织区运行行为的一般特性。

(2) 新的临界间隙模型的提出及对比分析。

提出临界间隙计算模型即定义公式(3-7),Raff方法修正公式(3-17)。定义法和Raff修正方法均使用了总拒绝系数 β_r 。相对于极大似然法和Hewitt的方法,利用定义法更为简单。Raff修正方法完善了Raff方法理论上的不足,其计算模型更具有普遍性,计算值也较Raff方法更为准确。通过多车道和单车道环形交叉口临界间隙的计算及对比分析,Raff修正方法均保证了较好的计算结果。

(3) 指数型拒绝比例函数的假设及初步验证。

提出了指数型的拒绝比例函数公式 $f(t)=e^{-r(t-t_0)}$ (3-19)。经初步的数据调查及统计分析,表明在一定的交通条件下,单车道环形交叉口的拒绝比例系数 r 值可认为是定值,拒绝比例函数为指数函数的假设成立。在实际应用过程中,可以针对不同类型的交叉口计算其拒绝比例系数 r 值,并得到相应的拒绝比例函数。指数型的拒绝比例函数为拒绝间隙分布和接受间隙分布的求解提供了理论依据。

(4) 通行能力模型的改进及对比分析。

在间隙接受理论的基础上,改进了经典的通行能力计算公式,并进行了对比分析。改进公式(5-14)在参数减少的基础上,能取得和原有公式(5-9)相一致的计算结果。相对于固定临界间隙时的公式(5-9)计算值,改进模型计算值更符合实际交通状况。在仿真数据和实际交叉口调查数据分析的基础上,均表明改进模型能合理地反映环形交叉口的通行能力。由于改进方法使用了总拒绝系数 β_r 和拒绝比例系数 r ,因此,3.3.1中的基本假设和指数型拒绝比例函数的假设在实际应用中均须得到验证。

(5) 双车道环形交叉口入口通行能力模型的改进及验证。

双车道环形交叉口通行能力的计算方法通常有Hagring公式和Xiang公式,在Xiang公式的基础上作了改进。由于改进后的公式与原有计算公式在不同的环行流量条件下的

计算值均只有较小的差异，同时，改进公式是在合理减少了 Xiang 公式的假设条件后得到的，因此，其适用性更好。

(6) 多车道环交的入口通行能力及环交总通行能力的计算。

利用 Hagring 的多车道环形交叉口通行能力的计算公式，对实际环形交叉口的入口作了计算及分析，结论显示计算结果良好。并基于计算入口通行能力的间隙接受理论，通过计算机迭代的方法，考虑四个入口均达到饱和，计算了环形交叉口的总通行能力并进行实例验证。

另外，通过对该单车道环形交叉口的数据调查及统计分析，依据有限优先权的分析过程，将理论分析及调查计算值进行了对比分析，部分验证了有限优先权理论在单车道环形交叉口的入口车辆合流行为的有效性。并将环形交叉口的延误分为交通延误和几何延误，通过实际交通参数的调查，统计出实测延误并计算出环形交叉口的理论延误，分析了理论公式的预测效果和适用范围。本书还作了基于不同分布情况下的环形交叉口通行能力推导。

综上，以经典的间隙接受理论为基础，基于一定的假设条件，提出了拒绝间隙和接受间隙的调查方法，推导了新的临界间隙计算模型，利用指数型拒绝比例函数，求出拒绝间隙和接受间隙的概率分布函数，得到函数中各个参数的关系，从而得出了支路通行能力的改进公式。阐述了环交的交通流特性、有限优先权条件下的环交车流时距变化及其通行能力的推导，并针对不同的主路分布下的环交通行能力作了理论推导。

本书通过部分城市多个环形交叉口的交通调查，并结合环形交叉口的交通流仿真，对各种通行能力及临界间隙的计算模型进行了对比分析。

目 录

1 绪论	001
1.1 研究背景及意义	001
1.1.1 环形交叉口的的发展历史	001
1.1.2 现代环形交叉口的的基本特征	002
1.1.3 课题研究的意义	003
1.2 国内外研究现状	004
1.2.1 通行能力的基本概念	004
1.2.2 通行能力的影响因素	005
1.2.3 环形交叉口通行能力的研究进展	006
1.2.4 方法综述及对比分析	007
2 环形交叉口交通流特性研究	010
2.1 调查对象及方法概述	010
2.1.1 调查对象	010
2.1.2 调查及数据处理方法	012
2.2 环行车流的车头时距分布	013
2.2.1 各种分布模型简介	013
2.2.2 M3分布的拟合及检验	017
2.3 车流运行行为特性	019
2.3.1 概述	019
2.3.2 合流车与环道车的速度分布	020
2.3.3 合流行为的速度及车头时距分布	021
2.3.4 车道变更的分布规律	022
2.3.5 结论	024
3 环形交叉口的间隙接受理论	025
3.1 概述	025
3.1.1 间隙接受的基本过程	025
3.1.2 间隙接受的影响因素	026

3.2	临界间隙及其计算模型	027
3.2.1	研究综述	027
3.2.2	临界间隙的计算模型	029
3.2.3	临界间隙及相关参数	030
3.2.4	间隙接受的基本假设	031
3.3	临界间隙的推导	032
3.3.1	假设条件	032
3.3.2	变量的定义	032
3.3.3	第一种情况	033
3.3.4	第二种情况	033
3.4	接受间隙和拒绝间隙的分布	035
3.4.1	基本理论	035
3.4.2	临界间隙的计算公式	037
3.5	特定分布条件下的间隙接受理论	038
3.5.1	分布函数的各参数分析	038
3.5.2	各概率函数特性	040
3.5.3	取临界间隙时各概率函数值的确定	043
3.6	间隙接受理论模型的验证	044
3.6.1	数据调查	044
3.6.2	数码广场临界间隙的计算	045
3.6.3	单车道环形交叉口临界间隙的计算	051
3.6.4	指数型时拒绝比例函数的验证	053
4	有限优先权理论及其例证	057
4.1	有限优先权理论概述	057
4.2	数据调查及统计	059
4.3	有限优先权理论的例证	061
5	环形交叉口的入口通行能力研究	066
5.1	概述	066
5.1.1	理论基础	066
5.1.2	环形交叉口入口通行能力的公式	068
5.2	通行能力模型的推导	071
5.2.1	模型推导的思路	071
5.2.2	进车数为连续函数时	071
5.2.3	进车数为分段函数时	072

5.2.4	环行车流为有限优先权时	074
5.2.5	几种通行能力的对比分析	074
5.3	数据调查及分析	076
5.3.1	各交通参数的调查及计算	076
5.3.2	通行能力计算及对比分析	077
5.4	交通仿真及计算	081
5.4.1	仿真过程及M3分布的检验	081
5.4.2	临界间隙的计算及对比分析	083
5.4.3	各通行能力的仿真计算	085
5.4.4	分段函数通行能力的仿真及对比分析	088
6	典型环形交叉口通行能力	095
6.1	双车道环形交叉口的通行能力	095
6.1.1	计算模型概述	095
6.1.2	模型的改进	096
6.1.3	各公式的对比分析	097
6.1.4	通行能力方法的应用	098
6.1.5	小结	102
6.2	多车道环形交叉口的通行能力	103
6.2.1	计算模型	103
6.2.2	实例分析	104
6.2.3	小结	105
6.3	环形交叉口的总通行能力	106
6.3.1	引言	106
6.3.2	迭代思想及方法	106
6.3.3	相关参数的确定	107
6.3.4	计算实例	108
6.3.5	小结	110
6.4	环形交叉口的储备通行能力	111
6.4.1	方法概述	111
6.4.2	环形交叉口入口通行能力的线性回归模型	111
6.4.3	环形交叉口流量的矩阵形式	112
6.4.4	环形交叉口储备通行能力的推导	112
6.4.5	计算实例	114
6.4.6	小结	115
6.5	基于Erlang分布的通行能力推导	116

6.6 基于均匀分布的通行能力推导	117
6.6.1 基本公式	117
6.6.2 模型分析及改进	118
6.6.3 参数确定方法	120
7 环形交叉口的延误	122
7.1 延误的概念、分类及影响因素	122
7.2 延误数据调查方法	123
7.2.1 牌照法	123
7.2.2 驶入驶出法	123
7.2.3 点样本法	124
7.3 环形交叉口的进口延误模型	124
7.4 交通调查及延误计算	125
7.4.1 数据调查及统计	125
7.4.2 相关参数计算	126
7.4.3 理论延误计算	126
7.5 理论延误与实测延误的对比分析	126
7.5.1 各进口延误的对比分析	126
7.5.2 总延误对比分析及服务水平	127
7.5.3 小结	127
8 结论及展望	129
参考文献	134
附录	140
A 富民广场环行车流车头时距调查	140
B 富民广场环行车流车头时距调查 (有入口车辆时)	143
C 锻压厂环形交叉口环流车头时距调查 (有入口车辆时)	144
D 姚家广场双车道环行车流车头时距调查表	148
E 数码广场交织段车流调查表	151
F 数码广场三环形车道的车头时距调查表	154
G 代号含义	160
后记	162

1 绪论

1.1 研究背景及意义

1.1.1 环形交叉口的发展历史

在几条道路相交的交叉口中央，设置圆岛或带圆形状的岛，使进入交叉口的所有车辆均以同一方向绕岛行驶，这种类型的交叉口是环形交叉口（图1-1）。其冲突车流的运行过程一般为先在不同方向会合（合流），接着于同一车道先后通过，最后分向驶出（分流），即将车流交叉转变为车流交织，避免直接交叉、冲突和大角度碰撞，其实质为自行调节的渠化交通形式。环形交叉口消除了相交道路的交叉冲突，避免了因信号控制交叉口通行时段的路权分配而引起的停车延误，是一种很好的平面交叉口控制方式。

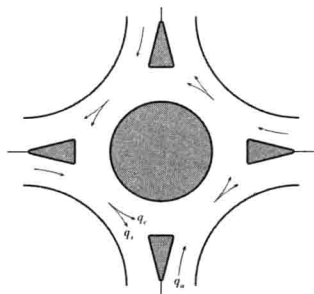


图1-1 环形交叉口示例

1905年美国纽约的哥伦布环形交叉口和1907年法国巴黎的凯旋门环形交叉口被认为是世界上最早的环形交叉口。

早期的交通工程师用交织理论解释环形交叉口的运行原理。即交织段通行能力是环形交叉口的运行瓶颈，交织段通行能力取决于交织段长度且与之呈正相关关系。因此，当时的环形交叉口环岛直径一般都很大，且入口车流具有优先权。当交通流量较大时，交织段的环行车辆不能有效地变换车道或驶出交叉口，而入口车流又不断进入环交，则会造成交叉口严重堵塞的现象，常称为锁死现象。

20世纪50年代，由于交通需求量的大量增加，环形交叉口时常发生的锁死现象已成为英国的严重问题。由此人们提出了入环让行的交通规则，即环行车流具有先行权，进入环道的车辆让路给环道上行驶的车辆，等待间隙驶入环道。因此疏散了交织段的流量，消除了锁死现象，且有效地增加了环形交叉口的通行能力。1966年英国全面推行

入环让行的交通规则。之后的20多年里，环形交叉口设计理论取得了一系列进展，各种类型的环形交叉口在欧洲和澳大利亚大量涌现。

20世纪90年代初期，环形交叉口在美国获得了新的发展，在引入欧洲和澳大利亚环形交叉口的设计理念之后，又开始了新型环形交叉口的尝试，并称之为现代环形交叉口，其设计理念主要有小直径、入口让行、入环车辆偏移、出入口间设置隔离岛等。美国于2000年6月出版了《现代环形交叉口信息指南》，展开了大规模环形交叉口的建设。

由于现代环形交叉口得到了广泛的研究及应用，本书仅讨论现代环形交叉口，对于调查的环形交叉口，有些并无明确的入口让行标志，在实际运行过程中也有部分车辆不按照环形优先的规则行驶，在此均作简化处理，将调查对象均看作现代环形交叉口。

1.1.2 现代环形交叉口的基本特征

在一些国家或地区（如德国、澳大利亚、英国、荷兰、波兰和美国佛罗里达州等）的设计手册中提及了许多设计要素，为保证最大设计尺寸的车辆在弯曲路段和环形车道的低速运行，提出了四个准则（HCM，2000）：

- (1) 保持入口车辆在环形交叉口的顺利行驶；
- (2) 保持环形交叉口的环形车道的可见性，以使得停车安全；
- (3) 提供道路使用者清晰、简单的标志标线；
- (4) 允许最大尺寸的车辆通过。

现代环交有如下基本特征：

- (1) 入环让行。

传统环交的通行规则赋予入环车辆拥有优先权，这使得环形交叉口容易发生锁死现象。而现代环交遵循入环让行规则，在入口处设有“让行”标志，使入环车辆缓行。所有拟入环的车辆必须让环行车辆先行，等待环道车流的间隙入环。此规则的优点是环道上的交通始终能保持畅通，克服了传统环交在环线占满时即阻塞交通的弊端，在交通高峰期也能保持正常秩序。

- (2) 入环车辆偏移。

传统环交入口道线形与环岛相切，车辆以较高速度入环，交叉口的安全性较低。现代环交则不允许入环车辆沿环道切线进入。入口道一般对准环岛中心，这使得入环车辆行驶到交叉口时必须向右偏移，迫使车辆减速，从而降低了碰撞的可能性，提高了交叉口的安全性。

- (3) 进口道拓宽。

另一个区别于传统环形交叉口的设计特征是：现代环形交叉口的入环车道常设计成喇叭形，即在靠环道的入口处增设车道数目，形成远细近粗的平面喇叭形，在紧凑的空间内提供较大的交通容量，并允许在公路上两个交叉口之间只以双车道公路相连即可满足要求。拓宽进口道能显著提高环形交叉口的通行能力。

其他一些特征也较明显，现代环形交叉口在各路口通常都设有隔离岛，以降低车速

及阻止左转弯；良好的视距、光线及标志；环道区内无人行道；环形交叉口区域不准停车等。所有上述特征都使现代环形交叉口区别于传统环形交叉口，而成为高质量满足现代交通要求的设计及管理原则。

环形交叉口主要应用于以下情形：①交通流量较小，无须设置信号灯。仅仅通过标志标线控制或无控制又不安全时，通过环岛可以使冲突车流绕环行驶，避免了大角度交叉。②左转车流量较大时，如设置信号相位会造成损失时间较多。③对于一些非典型的交叉口，不宜设置信号灯（位置有限或视距不合理等），如许多的多支路交叉口（>4支）或错位交叉口等。

特别的，对于现代环交的安全性，许多国家的研究者作了调查研究：Giaever报道了挪威的环交使用情况，从1980年的15个到1992年的500多个，通过对59个环交和124个信号交叉口的对比，发现进入环交的每百万台车辆的事故率低于信号交叉口，对于三支路交叉口，环交的事故率为0.03，而信号交叉口的事故率为0.05。相似的结论对于四路交叉口也适用，分别为0.05和0.1。Schoon和Van Minnen也研究了荷兰的环交安全性，他们发现46个经改造的环形交叉口，平均年事故率降低了1.47起，对于自行车或摩托车的事故率也降低了52%或74%。同样，1994年对于法国12000个交叉口的研究，一年中仅有1339起事故发生。环形交叉口每百起事故的致命率或重伤率为38起，而其他交叉口为55起。环交的事故率大约为相近流量信号交叉口的1/4。同样，英国也有关于环交安全性能优于其他类型交叉口的报道。

1.1.3 课题研究的意义

随着经济的快速发展及人口的持续增长，大中型城市的机动车数量急剧增加，交通量也在快速增长，交通问题逐渐凸现出来并成为制约城市发展的一个主要问题。而环形交叉口是许多城市的重要交通节点，为了改善现状，必须对城市环形交叉口的车流运行规律及服务性能有清晰准确的认识。

交叉口通行能力是在一段时间内和正常的道路、交通、管制以及运行质量要求下，交叉口能通过的最大流量，一般以pcu/h（标准小汽车/小时）来表示。当交叉口上的交通量比其通行能力小得越多，则驾驶员驾车行进时操作的自由度就越大，即可以随意变更车速，转换车道，车辆可以自由行驶。当交通量接近其通行能力时，车辆行驶的自由度就逐渐降低，一般只能以同一速度列队循序进行，稍有意外，就会发生降速、拥挤，甚至阻塞，延误现象逐渐明显。当交通量稍微超过通行能力时，车辆就会出现拥挤，超过得越多则越拥挤，甚至完全瘫痪。交通条件不同，运行质量的要求不同，交叉口通行能力也不同。因此，交叉口通行能力是在一定客观条件和主观要求下的一个相应范围，交叉口通行能力研究一直是道路交通研究的重点及难点。

与一般平面交叉口相比，环形交叉口通过交织方式消除了车辆运行的冲突点。在流量不大的情况下，环形交叉口能安全、畅通地有序运行，但随着流量的增大，环道内的交织行为大大限制了环形交叉口的通行能力。此时，可通过设置信控方式提高通行能

力,且环形交叉口所占面积越大,这种方式提高通行能力的效果越明显。但当环形车道数少于3条时,一般不推荐信控方式。

近些年,由于城市道路交通流量的急剧增长,环形交叉口出现了拥堵甚至锁死的现象。城市交通管理部门常采取拆除环岛,改建成普通平交加信号或者立交桥等的方式,但工程量较大,资金投入多,并不完全可取。可以先通过对环形交叉口设置信号灯,以期提高通行能力,保证其有效运行。

由于通行能力对于交叉口的其他性能参数,如延误、排队长度、服务水平等的计算至关重要,尤其在高饱和度的情况下,延误计算与通行能力直接相关。研究不同条件下的环形交叉口通行能力在路网规划与评价、城市交通规划、交叉口类型选择、规划与设计占有重要的地位。

以间隙接受理论来分析在各种道路和交通条件下的入口通行能力是目前国内外普遍采用的方法。因此,基于间隙接受理论的环形交叉口通行能力的研究就具有了一定的现实意义及应用价值。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 通行能力的基本概念

道路通行能力又称道路容量,是在一段时间内和正常的道路、交通、管制以及运行质量要求下,人或车辆能通过车道或均匀断面上的最大流量。假定条件是没有来自下游交通行为的影响,例如堵塞交通对于分析点的影响。本书仅讨论车辆通行能力。

通行能力可分为基本通行能力、可能通行能力和设计通行能力。基本通行能力也称理论通行能力,是在道路和交通条件都处于理想状态下通过道路断面的最大车辆数。可能通行能力是对基本通行能力进行道路和交通条件的修正后得到的通行能力。设计通行能力是道路规划和设计的标准,也称实用通行能力。

非信号交叉口的车道或车流的通行能力总是被定义为停车线的通行能力。它受到主路车辆和行人的排队和到达,以及支路车队的最小车头时距所影响。对于环形交叉口,转弯车道的有限长度可能也限制了其上游的通行能力,交织区也有通行能力的限制(Lertworawanich, 2007),尤其对于重型车辆。在退出点,通行能力也可能受到过街行人的限制。也就是说,通行能力的限制在环形交叉口的入环、出环以及环形车道处都会发生。

环形交叉口通行能力是度量环形交叉口在单位时间内可能通过车辆的能力,可以通过统计在饱和状态下的入口流量之和或出口流量之和得到。由于现代环形交叉口采取“入环让行”的规则,因此,理论研究主要集中在入口或停车线的通行能力,相应的,本书对于通行能力的理论推导也主要集中在入口通行能力方面。

整个环形交叉口的通行能力的研究较少,有文献定义为当车道上饱和度为1时的到

达流率的总和，这要求每种人口车流的到达流量均达到通行能力，这在实际中较难发生。本书在第6部分对环形交叉口总通行能力（Full capacity）的计算方法进行了研究。

1.2.2 通行能力的影响因素

(1) 基本条件。

计算通行能力时，需要符合一些基本条件，包括天气状况良好、人行道条件良好、用户对路况熟悉、无交通流干扰等。对于交叉口入口处的基本条件如下所示：

- ①车道宽度为12英尺（约3.66m）；
- ②路面无坡度；
- ③在入口处不能路边停车；
- ④交通流中仅有客车；
- ⑤无公交车在车道上停靠；
- ⑥交叉口远离中心商业区；
- ⑦无行人。

(2) 道路条件。

道路条件包括几何及其他要素：如车道数量、车道宽度、路肩宽度和侧隙（横向间距）、设计速度、水平及竖向定线、设施类型及其周边环境、专用转向车道的适用性等。

例如，入口坡度对通行能力有较大的影响，比较水平入口，下坡增加了通行能力而上坡减少了通行能力。在支路上的入口道扩展允许更多车辆同时进入，因此会增加通行能力。通常，较差的地形会减少通行能力，对于两车道的农村公路更为明显，恶劣的地形不仅能影响私家车的运行性能，而且能限制超车的机会。许多国家的研究表明：通过增加入口及环形车道的个数可以增加通行能力，但是通行能力的增加是有限的，也就是说，双倍的车道数并不能带来双倍的通行能力。另外，多车道环形交叉口的性能受交叉口几何条件和驾驶员特性的影响较大，每一个入口车道的间隙接受特性可能会有很大不同。

(3) 交通条件。

交通条件的影响包括车辆类型、车道及转向的分布。

货车、公交车以及旅行车是三种重型车辆，重型车辆对交通的影响体现在如下两个方面：

- ①体积较大，占用路面更多空间；
- ②比小汽车的操作性能差，尤其在加速、减速和上坡时的匀速行驶时。

转向及车道分布影响通行能力、服务流率及服务水平。转向比例对于双车道的农村公路性能有一个重要的影响，当每个方向上的流量大致相等时，运行性能会取得最优。

车道分布对于多车道设施的影响也很突出，一般外侧车道比其他车道的交通量要少。

(4) 控制条件。

对于非阻断流，时间的分流对通行能力的影响是关键。最重要的方式是交通信

号,为各种车流分配了运行时间。停车标志和让行标志也影响通行能力,对于两路停车交叉口来说,停车标志则仅仅分配了路权。次路车流必须停车,并等待主路车流的较大间隙以进入交叉口。因此,次路通行能力取决于主路的交通条件。车道标线的渠化能为不同转向的车流提供适合的车道,转向的限制能够消除交叉口的冲突并增大通行能力,单向交通能消除左转和对向车流的冲突。

(5) 技术。

快速发展的交通技术,例如ITS(智能交通系统),能改善道路系统中车辆运行的安全和效能。

1.2.3 环形交叉口通行能力的研究进展

无信号控制的环形交叉口通行能力是道路交通研究的一个重要内容。同时,由于环形交叉口存在着合流、交织和分流等运行行为,其交通流特性比较复杂,通行能力的确定比较困难,因此环形交叉口通行能力的研究也是道路通行能力研究的一个难点。

早期的经验模型建议在某一点的通行能力约为3000 veh/h(辆/小时)。中心岛最小半径为50 m,环形车道的宽度是8~11 m。Shrope给出了对于纽约环形交叉口的经验分析。Clayton提出的通行能力模型是最早的模型之一,这个模型后来由英国环境部门推荐。早期通行能力计算最重要的当属的Wardrop模型,是在英国运输与道路实验研究所的支持下完成的。

1960年的英国环形交叉口,既无关环交的实际流量,也未给出优先权。车流运行利用交织理论描述而非合流或间隙接受理论,从而可能使退出车流运行困难,锁死现象限制了环交通行能力。当环行车流具有了优先权,锁死现象避免了。1966年英国首先推行了环行优先权,这要求入口车辆要为环行车辆让行。用来吸收排队车辆的长交织区不再需要,能够设计较小的环形交叉口。如今,这种环行先行的规则在全世界广泛应用。20世纪70年代,Wardrop的公式不再适用于英国,回归模型和基于Tanner公式的间隙接受理论发展起来。

Philbrick发展了线性回归模型。目前,英国的方法基于线性回归模型。对于其他的回归模型,如Stuwe,Brilon,Guichet和Aagaard等人提出了基于指数回归模型的通行能力公式。

间隙接受模型要求准确的主路车头时距分布,以及临界间隙和随车时距的确定,并随着交叉口几何条件的不同而调整。假如环形交叉口作为一系列T形交叉口来分析,通行能力的公式能得到应用,HCM(2000)就是假设了负指数分布和分段间隙接受函数而得出的通行能力公式。

澳大利亚模型及SIDRA软件包应用了M3分布,单车道环形交叉口时拥挤流的最小车头时距是2 s,多车道环形交叉口时最小车头时距为1 s。多车道交通流被看作是单车道交通流,有更小的最小车头时距,且流量等于所有环行流量的总和,后来的SIDRA软件定义最小车头时距为:单车道2 s,双车道1.2 s,多车道(>2) 1 s。

假如车道流量不相等,则最小车头时距算作是各车道最小车头时距的以流量为权重的平均值,忽略车辆退出的影响。也有研究认为退出车辆的比例对于支路通行能力有较大影响,影响大小取决于合流车辆驾驶员能否容易观测到退出点的位置。

由于环形交叉口涉及支路车辆右转进入交叉口,其间隙接受特性与两路停车控制交叉口的右转相类似,在两路停车控制交叉口的概念能够应用于单车道环形交叉口中,但在多车道环形交叉口中有更多的交通机制影响了驾驶员行为,并使得两路停车控制的相关技术不适用。

一些国家如美国、德国、澳大利亚、英国、日本、法国以及俄罗斯等均已建立了比较完善的适应于本国交通状况的环形交叉口通行能力计算模型。常见的有美国公路通行能力指南(HCM, 2000)和澳大利亚的aaSIDRA、AUSTROADS和NAASRA,瑞士的Swedish CAPCAL方法和英国的TRRL线性回归方法、德国的SETRA法和CETUR方法等。

环形交叉口的通行能力模型主要有三类:第一类以交织理论为基础,计算交织段通行能力,以交织段能通过的最大流量作为环形交叉口的通行能力,如英国环境部的DOE公式、Wardrop公式等。第二类是基于大量调查数据分析的经验公式,研究入口通行能力,将入口通行能力与冲突流量和几何尺寸作回归分析。第三类为解析模型,基于间隙接受理论,研究入口通行能力,入口车流利用环行车流的可插间隙进入交叉口,通行能力取决于环行流量及其分布特性。

在国内,对于环形交叉口的研究起步较晚,在20世纪70年代末和80年代初,一些科研机构和学者对环形交叉口通行能力进行了研究。北京市政设计研究院在20世纪70年代末,运用交织理论对环形交叉口通行能力进行了研究。以间隙接受理论分析在各种道路和交通条件下进环车辆的通行能力是目前普遍采用的方法。许多学者对主路车头时距的不同分布形式作了研究,项乔君等人建立了适于中国低渠化环形交叉口通行能力的理论模型。左转环行信控是近年来我国学术界研究比较多的一种环形交叉口控制方式,国内应用信号控制环形交叉口的曾有厦门市莲坂环形交叉口、贵阳市紫林庵环形交叉口等。

1.2.4 方法综述及对比分析

随着现代环形交叉口的发展,以交织理论为基础的模型不再适用。

线性回归模型简单实用,但要求从处于拥挤交通状态的交叉口得出观测值,实际应用中较难实现。英国的线性回归模型对环行流量的变化缺乏适应性,在低环行流量时会低估通行能力,而在高环行流量时会高估通行能力。这是由于环交叉口的扩展会促进入口车辆的合流,并且在高环行流量时引起优先权转换。像Brilon等人提到的,由于仅有一些测量点被观测,不可能保证线性回归模型能应用于流量-通行能力图形中。

间隙接受理论的参数能够通过非拥挤交通流的状态下得到,计算模型是建立在严谨理论基础上的,体现了环交的交通特性,适应性较强,而且各个参数具有实际物理意