

道路互通立交系统 通行能力分析方法

李文权 张云颜 王 莉 ©著



科学出版社

www.sciencep.com

道路互通立交系统通行 能力分析方法

李文权 张云颜 王 莉 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书主要研究道路互通立交系统通行能力的分析方法。主要内容包括:道路互通立交系统匝道、匝道结合部、交织区、分合流影响区等不同组成设施的交通运行特征分析及交通运行特征参数采集方法;道路互通立交系统匝道、匝道结合部、交织区、分合流影响区等不同组成设施的通行能力与服务水平分析方法;道路互通立交系统不同组成设施通行能力的协调分析方法;道路互通立交匝道与周边道路的通行能力协调分析方法;互通立交间距计算及其通行能力的仿真分析方法;互通立交系统通行能力分析示例等。这些研究成果可以为有关部门进行互通立交系统的规划、设计、建设、管理提供理论参考依据。

本书可以作为交通运输工程领域的教学、科研、管理人员参考用书,也可以作为交通工程、交通运输、土木工程、市政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

道路互通立交系统通行能力分析/李文权,张云颜,王莉著. —北京:科学出版社,2009

ISBN 978-7-03-025409-2

I. 道… II. ①李…②张…③王… III. 立体交叉-公路桥-交通通过能力-分析 IV. U412.35

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 152460 号

责任编辑:周 炜 王志欣 / 责任校对:钟 洋

责任印制:赵 博 / 封面设计:耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双 青 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 8 月 第 一 版 开本:B5 (720×1000)

2009 年 8 月第一次印刷 印张:13 1/2

印数:1—2 000 字数:260 000

定价:48.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(双青))

前 言

互通立交系统是高等级道路网络的重要组成部分,其对高等级道路网络的通行能力和交通质量起关键作用。如何科学合理地规划、设计、建设、管理互通立交系统已经引起人们的极大关注,而决定互通立交系统建设规模、设计标准、设计总体方案和建设时机、控制管理策略等的重要依据是互通立交系统的通行能力。国外十分重视对道路通行能力的研究,并取得了一系列研究成果。例如,美国从 20 世纪 40 年代起对道路通行能力进行大量研究,相继在 1950 年、1965 年、1985 年及 2000 年出版了《道路通行能力手册》(*Highway Capacity Manual*)第一、二、三、四版。现在,美国仍然在进行深入地研究,例如,美国交通工程师协会于 2004 年在通行能力研究方面设专项研究互通立交系统合流区、分流区的通行能力,计划于 2010 年出版新的道路通行能力手册 HCM2010。但是,有关互通立交系统通行能力的研究成果还不是很多。

互通立交系统是高等级道路不可缺少的组成部分,是实现快速道路系统车辆转向的重要设施。要转向的匝道车辆在实施转向过程中和主路车辆的相互作用引起主路车辆车道变换、不稳定跟驰、加速、减速等行为特征,如主路车辆会根据加速车道上匝道车辆的行为而采取减速或变换车道行为允许匝道车辆汇入,或采取加速行为阻止匝道车辆汇入。同时,匝道车辆在加速车道上会因接受或拒绝主路车辆间隙而采取加速或减速甚至停留在加速车道末端等交通行为。互通立交系统上车流的这种相互作用、彼此协同的交通行为特点要求必须用系统论观点、协同的方法分析研究互通立交系统的通行能力。然而,传统的通行能力研究中却少有这种深入研究。

互通立交系统投资多、占地面积大,主路、匝道、变速车道的连接形式多样、结构复杂、空间起伏、高低交错,为快速路网中的一种交通枢纽。随着我国经济的不断发展,人们生活水平日益提高,生活节奏逐渐加快,对互通立交系统等高等级道路交通设施的需求越来越强烈。互通立交系统数量、式样和运行质量越来越引起人们的重视。然而,修建互通立交系统的投入很大。例如,建造一个匝道交通量调节信号机需要投资几十万元,而建造一座互通立交系统需要投资数亿元。如果路网中互通立交系统规划建设时机不合理,互通立交系统通行能力利用不充分;或者互通立交系统设计不合理,如有些互通立交系统匝道与主路设计不协调,造成上匝道车辆汇不进主路,主路驶出车辆进不了下匝道,而发生拥堵,甚至发生交通事故,这都无疑会给国民带来严重的负担。研究互通立交系统的通行能力已刻不容缓。

因此,研究互通立交系统通行能力的分析方法具有重要的理论意义和巨大的实用价值。

本书主要研究道路互通立交系统通行能力的分析方法,分四篇共计 12 章。第一篇为互通立交系统交通特征,分两章。第 1 章介绍互通立交系统,包括互通立交系统的基本组成及各个组成部分的功能;互通立交系统在路网中的作用及设计依据;互通立交系统的通行能力及其研究概况。第 2 章介绍互通立交系统交通运行特征参数调查方法及特性分析。第二篇为互通立交系统具体设施的通行能力分析,分四章。第 3 章介绍互通立交系统匝道通行能力分析,包括互通立交系统的左转、右转匝道通行能力的分析方法。第 4 章介绍互通立交系统匝道结合部通行能力的分析方法,包括合流区上匝道结合部、分流区下匝道结合部通行能力的分析方法。第 5 章介绍互通立交系统交织区通行能力的分析方法。第 6 章介绍互通立交系统分合流影响区通行能力的分析方法。第三篇为互通立交系统通行能力的协调分析方法,分四章。第 7 章介绍互通立交系统匝道与匝道结合部的协调。第 8 章介绍互通立交系统匝道与周边路网的协调。第 9 章介绍互通立交间距分析方法,在此间距之内的两个或多个互通立交设施作为一个互通立交系统分析。第 10 章为互通立交系统通行能力的分析示例,以单喇叭形互通立交系统通行能力分析为例介绍互通立交系统通行能力的分析方法。第四篇为互通立交系统通行能力仿真分析,分两章。第 11 章介绍互通立交系统仿真模型。第 12 章介绍互通立交系统通行能力仿真软件实现方法。

除本书作者外,参加研究撰写工作的还有丁建明副教授、李铁柱副教授、杨绍峰高级工程师、王欣老师、陈茜老师及研究生李爱增、王莹、邱荣华、孟祥燕、任锐、张旭旻、刘文清、颜艳霞、孙山、陈吉发、程晓明、张慧芳、肖忠斌等。

在本书出版之际,衷心感谢对该研究项目一直给予支持的德国波鸿鲁尔大学巫宁教授及东南大学交通学院徐吉谦教授、王炜教授、陆键教授、过秀成教授、邓卫教授、陈学武教授、陆建教授、陈峻教授、项乔君教授、程琳教授。

由于作者水平有限,书中难免有疏漏及不足之处,敬请读者批评指正。

作 者

2009 年 4 月

目 录

前言

第一篇 互通立交系统交通特征

第 1 章 基本概念	3
1.1 互通立交系统的概念及其作用	3
1.2 互通立交系统的基本组成及功能	4
1.3 互通立交系统设计的资料、步骤及关键问题	9
1.3.1 互通立交系统设计的资料	9
1.3.2 互通立交系统设计的步骤	10
1.3.3 互通立交系统设计的关键问题	10
1.4 通行能力的基本概念	11
1.5 通行能力的研究进展	11
1.5.1 国外研究概况	11
1.5.2 国内研究概况	12
1.6 互通立交系统的通行能力及其研究意义	13
第 2 章 互通立交系统交通运行特征参数调查方法及特性分析	14
2.1 交通运行特征参数	14
2.1.1 交通量	14
2.1.2 速度	15
2.1.3 加速度	16
2.1.4 密度	16
2.1.5 车头时距与车头间距	17
2.2 互通立交系统交通运行特征参数调查	17
2.2.1 调查目的	17
2.2.2 互通立交系统交通调查内容	18
2.2.3 互通立交系统交通调查方案设计	19
2.2.4 交通调查数据处理	21
2.2.5 交通调查数据统计	22
2.3 匝道交通流特性分析	23
2.3.1 左转匝道中间路段交通流特性	23

2.3.2 右转匝道中间路段交通流特性	26
2.4 匝道结合部交通流特性分析	27
2.4.1 合流区交通流特性	27
2.4.2 分流区交通流特性	34
2.5 交织区交通流运行特性分析	41
2.5.1 交织区车流运行影响因素	41
2.5.2 交织区运行统计特性	45
2.5.3 交织区交通运行特性	47
参考文献	49

第二篇 互通立交系统具体设施的通行能力分析

第3章 匝道通行能力分析	53
3.1 匝道中间路段通行能力模型	54
3.1.1 匝道中间路段通行能力折减系数	54
3.1.2 累计转角的折减系数	55
3.1.3 圆曲线半径的折减系数	58
3.1.4 匝道中间路段通行能力模型的建立	59
3.2 匝道通行能力推荐值	59
第4章 匝道结合部通行能力分析	61
4.1 合流区上匝道结合部通行能力	61
4.1.1 双向6车道、单车道匝道结合部通行能力模型	61
4.1.2 双向6车道、双车道匝道结合部通行能力模型	64
4.1.3 双向4车道、单车道匝道结合部通行能力模型	65
4.2 分流区下匝道结合部通行能力	67
第5章 交织区通行能力分析	72
5.1 交织区车辆的换车道行为	72
5.1.1 换车道特性	72
5.1.2 换车道模型	73
5.1.3 换车道的车头间隙	74
5.2 交织车道可接受的换车道车辆数计算	77
5.2.1 间隙接受理论计算交织区极限流率	77
5.2.2 交织车道可接受的换车道车辆数	79
5.3 模型假设前提	79
5.4 交织区通行能力模型	80
5.4.1 交织区交织车道通行能力模型	80

5.4.2 交织区直行车道通行能力模型	82
5.4.3 高等级道路交织区通行能力模型	82
5.4.4 交织区通行能力模型算法与分析	82
第6章 分合流影响区通行能力分析	86
6.1 合流影响区通行能力分析	86
6.1.1 上匝道结合部通行能力模型	86
6.1.2 合流影响区内侧车道通行能力模型	88
6.1.3 合流影响区通行能力模型	88
6.1.4 上匝道结合部通行能力模型算法与分析	88
6.2 分流影响区通行能力分析	92
6.2.1 分流影响区通行能力常用分析方法	92
6.2.2 分流影响区车辆运行分析	93
6.2.3 分流影响区通行能力模型	96
参考文献	99

第三篇 互通立交系统通行能力的协调分析方法

第7章 匝道与匝道结合部的协调	103
7.1 匝道中间路段与分流区下匝道结合部的协调	103
7.1.1 车辆常规制动减速时的减速模型	103
7.1.2 减速车道车辆减速模型	104
7.1.3 减速车道长度推荐值	107
7.2 匝道中间路段与合流区上匝道结合部的协调	108
7.2.1 合流区主线外侧车道交通量模型	109
7.2.2 合流区车头时距分布模型	110
7.2.3 加速车道最大汇入交通量模型	112
7.2.4 匝道中间路段与合流区通行能力的协调	114
第8章 匝道与周边路网的协调	116
8.1 主干道基本路段通行能力 C_2	117
8.2 相邻交叉口进口道通行能力 C_4 分析	117
8.2.1 相邻交叉口的类型分析	117
8.2.2 相邻交叉口通行能力的分析	118
8.3 衔接段通行能力 C_{13} 分析	120
8.4 衔接道路最小长度的分析方法	121
8.4.1 交叉口进口道的排队长度 L_p 分析	122
8.4.2 最小变换车道(衔接段)长度 L_w	123

8.4.3	衔接道路最小长度分析	125
第9章	互通立交间距分析	126
9.1	互通立交最小间距的组成	126
9.2	互通立交基本路段最小距离	127
9.2.1	车辆等待可插入间隙时的行驶距离	128
9.2.2	为变换车道而调整车速等行驶的距离	129
9.2.3	变换车道车辆横移时行驶的距离	129
9.2.4	交通标志反应距离	129
9.2.5	车辆在进入出口匝道前确认安全距离	130
9.3	互通立交路段加减速车道长度	130
9.3.1	加速车道长度	130
9.3.2	减速车道长度	130
9.4	互通立交最小间距模型	131
9.5	单向2车道快速路互通立交最小间距计算	132
第10章	互通立交系统通行能力分析示例	133
10.1	匝道通行能力分析	133
10.1.1	匝道交通流基本特性分析	133
10.1.2	交通流模型标定	137
10.1.3	匝道车头时距分析	141
10.1.4	匝道通行能力推荐值	144
10.2	分流区通行能力分析	145
10.2.1	分流区交通流基本特性分析	146
10.2.2	交通流模型标定	148
10.2.3	分流区车头时距分析	150
10.2.4	分流区通行能力推荐值	153
10.3	合流区通行能力分析	153
10.3.1	合流区交通流基本特性分析	154
10.3.2	交通流模型标定	156
10.3.3	合流区车头时距分析	159
10.3.4	合流区通行能力推荐值	161
10.4	单喇叭形互通立交系统通行能力分析	162
10.4.1	系统通行能力影响分析	162
10.4.2	单喇叭形互通立交通行能力推荐值	163
	参考文献	165

第四篇 互通立交系统通行能力仿真分析

第 11 章 系统仿真分析	169
11.1 微观仿真模型综述	169
11.1.1 跟驰模型	169
11.1.2 换道模型	172
11.2 FRESIM 跟驰模型分析	174
11.2.1 算法流程	174
11.2.2 合理性分析	175
11.3 FRESIM 换道模型分析	176
11.3.1 强制型换道模型	176
11.3.2 任意型换道模型	176
11.3.3 预估型换道模型	177
11.3.4 合理性分析	177
第 12 章 仿真软件开发	178
12.1 软件编制目的及功能	178
12.2 软件结构	179
12.2.1 仿真引擎	179
12.2.2 用户图形界面	181
12.2.3 后台处理模块	190
12.2.4 命令通道模块	191
12.3 软件模块实现	191
12.3.1 界面实现	191
12.3.2 后台模块实现	192
参考文献	195
附录 实测数据统计结果	197

第一篇

互通立交系统交通特征

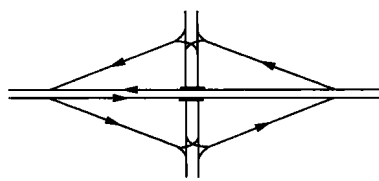
第1章 基本概念

1.1 互通立交系统的概念及其作用

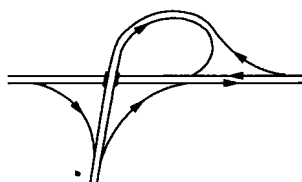
道路立体交叉是利用空间完成两条或两条以上道路的交叉。在交叉点中心,多条道路具有相同的平面位置和不同的空间位置。立交的产生是在道路平面交叉的基础上发展起来的,为满足较大交通量道路的交叉运行要求,解决平面交叉所带来的服务水平低下的问题而提出的。道路立体交叉分为分离式立体交叉、互通式立体交叉(简称互通立交)和半互通式立体交叉三大类。互通立交即相交道路在主交叉点以分离式立交跨越,而相交道路可以通过一定的连接道路实现各方向车辆转移的立交形式。

互通立交根据交叉处车流轨迹线的交错和几何形状的不同可分为部分互通式、完全互通式和环形立交三种类型。其中,部分互通式中常用的是菱形;完全互通式中的代表形式有喇叭形、定向式、半定向式和苜蓿叶形。几种常见立交的基本形式如图 1.1 所示。

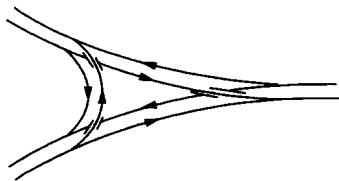
互通立交在道路交通中起着非常重要的作用。它取代了平面交叉路口上的信号灯管理,基本上消除了所有冲突点,使车辆能够连续不断地通过交叉路口,大大提高了道路的通行能力,同时也节省了时间、燃料等,带来了相当可观的经济效益,为高等级道路的快速、安全、经济、舒适提供了保障。



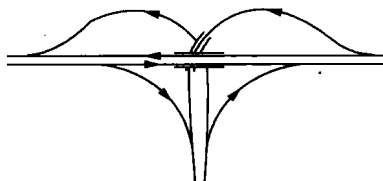
(a) 菱形



(b) 单喇叭形



(c) 定向式(Y形)



(d) 半定向式

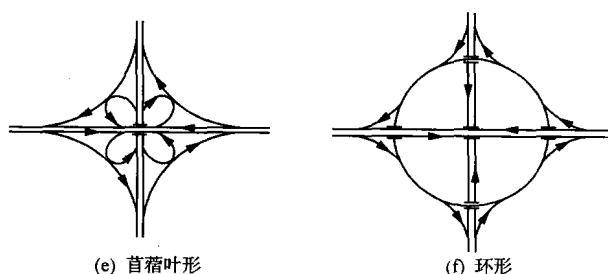


图 1.1 不同类型互通立交示意图

1.2 互通立交系统的基本组成及功能

互通立交系统简单来说是由三个部分组成的,即主线、被交道、匝道。主线是对互通立交所依附路段的统称,一般情况,主线的等级较高;被交道是指与主线相交的道路,是设计的第二服务对象;匝道用于连接两条相交道路,是供左、右转弯车辆行驶的连接道路。

1. 匝道

匝道是互通立交系统重要的组成部分,其作用是供跨线构造物上、下相交道路的转弯车辆行驶。匝道一般分为三个部分,即驶出道口部分、匝道中间路段部分和驶入道口部分。驶出道口由减速车道、出口和楔形端三部分组成。当不设减速车道时,出口是指由主线驶出进入匝道的道口;当设减速车道时,出口是指主线与匝道的分岔口。匝道中间路段是匝道的主体,其组成单一,有时是用土方填筑的路堤道路,有时又可能是路堑或高架桥道路。驶入道口由入口端、入口和加速车道三部分组成。当不设加速车道时,入口是指匝道进入主线的道口;当设加速车道时,入口特指匝道与主线的汇合口。

匝道的形式多种多样,按照匝道的功能及其与相交道路的关系,可分为右转匝道和左转匝道两大类。右转匝道是从正线右侧驶出后直接右转 90° ,到相交道路的右侧驶入,一般不设跨线构造物。左转匝道车辆需转约 $90^\circ \sim 270^\circ$ 过对向车道,除环圈式匝道外,在匝道上至少需要一座跨线构造物^[1]。

左转匝道按匝道与相交道路的关系又可分为直接式、半直接式和环圈式三种类型。

(1) 直接式。又称定向式或左出左进式。左转弯车辆直接从行车道左侧驶出,左转约 90° ,到相交道路行车道的左侧驶入,如图 1.2 所示。

(2) 半直接式。又称半定向式。按车辆由相交道路的进出方式可分为左出右

进式、右出左进式和右出右进式,如图 1.3~图 1.5 所示。

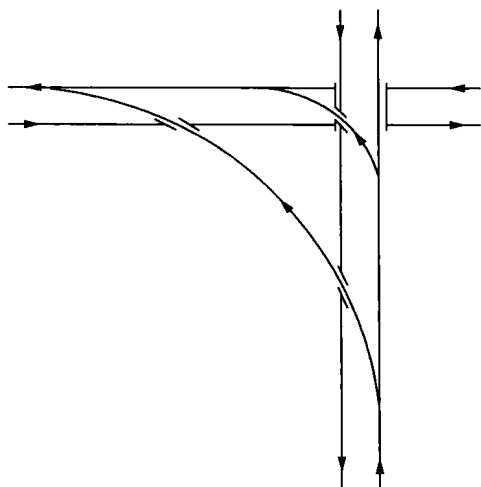


图 1.2 直接式左转匝道

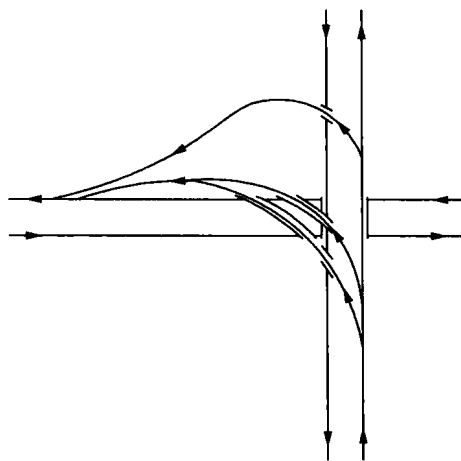


图 1.3 左出右进式半直接左转匝道

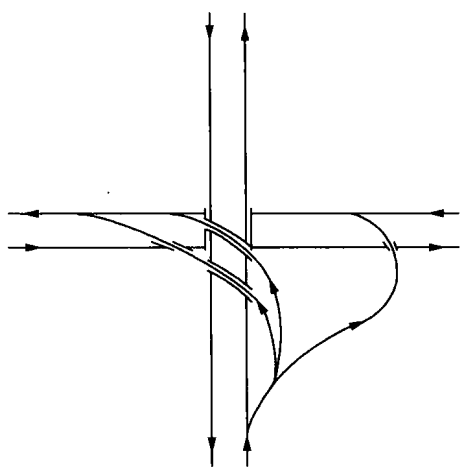


图 1.4 右出左进式半直接左转匝道

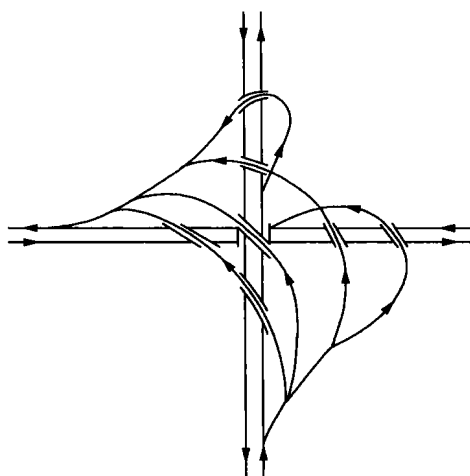


图 1.5 右出右进式半直接左转匝道

(3) 环圈式。又称间接式或环形式。左转车辆驶过正线跨线构造物后向右回转约 270° 达到左转的目的,在相交道路的右侧驶入,如图 1.6 所示。

传统的单喇叭形互通立交就是由两条右转匝道、一条半直接式左转匝道、一条环圈式左转匝道组成的,如图 1.7 所示。

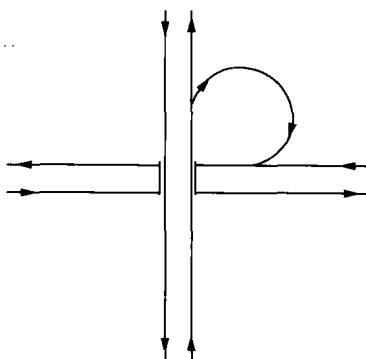


图 1.6 环圈式左转匝道

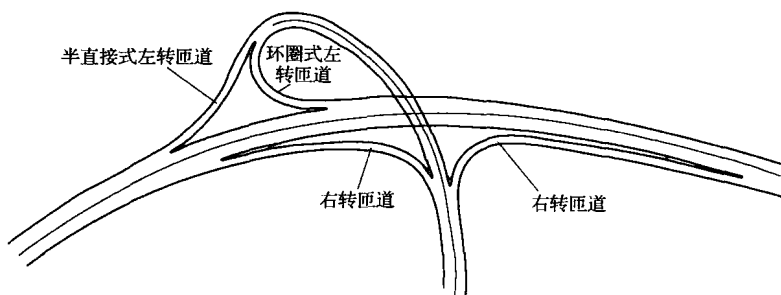


图 1.7 单喇叭形互通立交匝道示意图

2. 合流区与分流区

合流区与分流区通常统称为匝道结合部。合流区包括匝道、加速车道及与之相联系的主线部分,如图 1.8 所示。加速车道是为保证驶入主线车道的车辆,在进

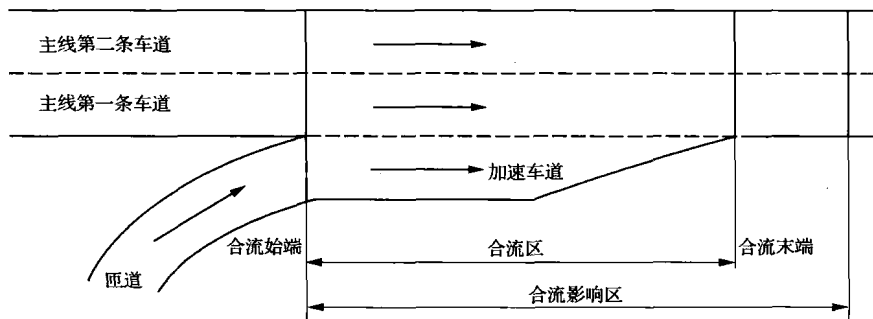


图 1.8 互通立交合流区基本形式示意图

入主线车道车流前能够安全加速以保证汇流所需的距离而设的变速车道。加速车道一般可以分为平行式和直接式两种。图 1.8 中所示即为平行式加速车道,即车道与高速公路主线外侧车道相平行,这种形式适用于匝道驶入主线交通流量比较大时。直接式加速车道的车道线形与主线及匝道平顺连接。

分流区包括匝道、减速车道及与之相联系的主线部分,如图 1.9 所示。减速车道一般可以分为平行式和直接式两种。图 1.9 中所示即为平行式减速车道,即车道与主线外侧车道相平行,这种形式适用于匝道驶出主线交通流量比较大时。直接式减速车道的车道线形与主线及匝道平顺连接。

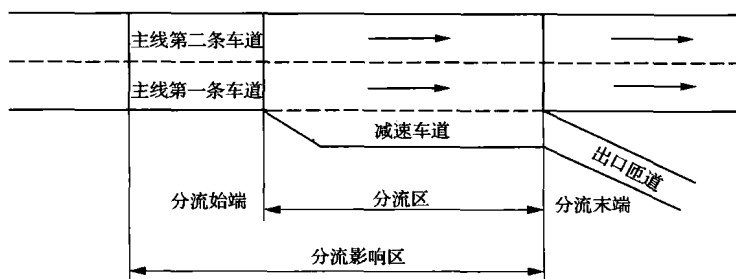


图 1.9 互通立交分流区基本形式示意图

与合流区、分流区相关的是合流影响区与分流影响区。根据 *Highway Capacity Manual 2000* (HCM2000)^[2] 中的定义,合流影响区是指从进口匝道开始到主线下游 450m 内包含加速车道及主线上第一、二条车道在内的区域,其实质是指从进口匝道开始到主线下游 450m 范围内包含所有车道的区域。分流影响区是指从出口匝道开始到主线上游 450m 内包含减速车道及主线上第一、二条车道在内的区域,其实质是指从出口匝道开始到主线上游 450m 范围内包含所有车道的区域。

3. 交织区

交织区是道路系统的组成部分。交织的定义为行驶方向大致相同的两股或多股车流,沿着相当长的路段,不借助于交通控制设施进行的交叉运行。因此,在高等级道路上同一方向的两股或多股交通流交叉运行时形成交织区。

交织是互通立交中常用的交通组织方式之一,如图 1.10 所示。环形立交、部分或全苜蓿叶形立交本身就存在交织运行。道路上,一个进口紧接着一个出口,或一个进口紧接着多个出口,或多个进口紧接着一个出口,或多个进口紧接着多个出口,且这两部分由辅助车道连接时,交织区多存在于进出口之间的路段上,图中的斜线阴影部分即为交织区。