



交通运输行业高层次人才培养项目著作书系

刘子剑 著

互通式立体交叉

Interchange Design
Principle and Application

设计原理与应用



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.



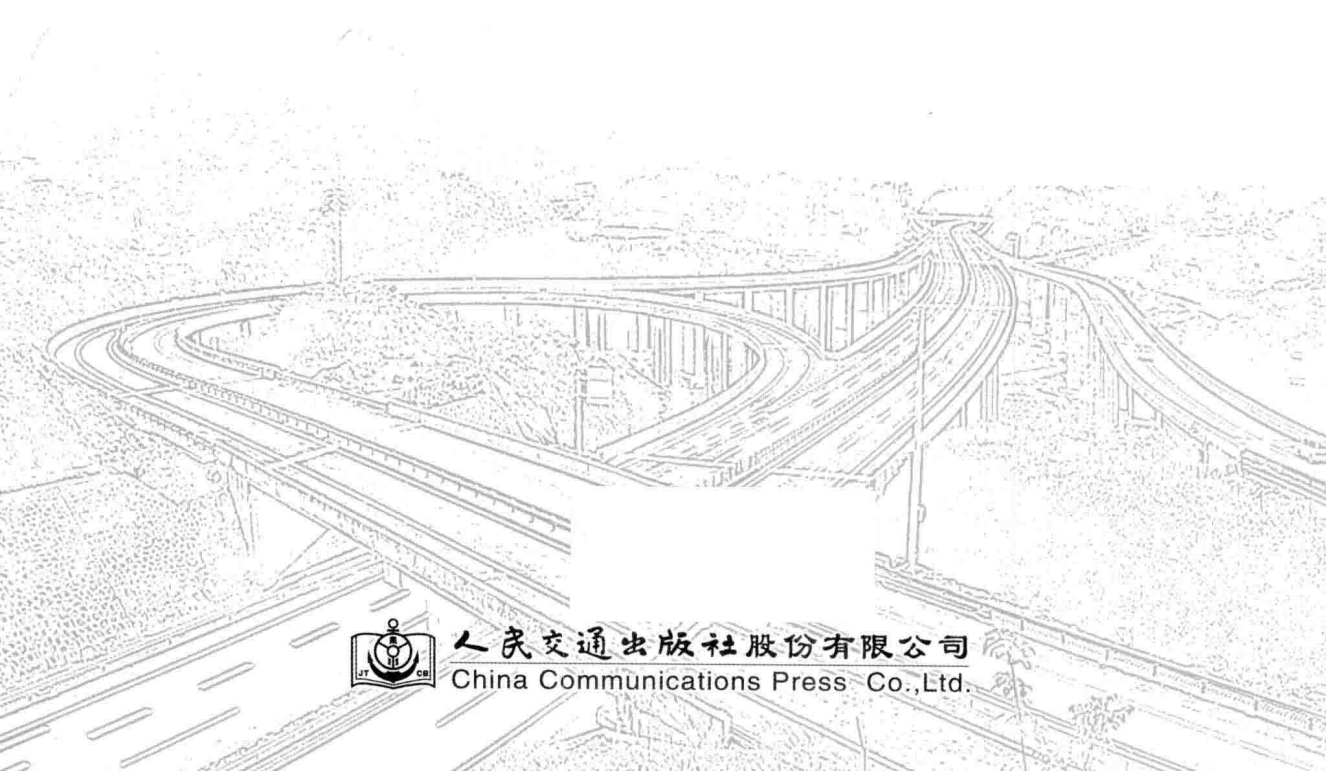
交通运输行业高层次人才培养项目著作书系

刘子剑 著

互通式立体交叉

Interchange Design
Principle and Application

设计原理与应用



人民交通出版社股份有限公司

China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书集笔者近三十年的设计实践与研究所得,依据相关规范、科研成果和现代设计理念,结合国内外工程案例,阐述了互通式立体交叉从控制要素、工程选址、立交构形、方案评价、几何设计到技术指标的制定等的原理与方法,构建了较为系统的互通式立体交叉设计理论体系,对于读者掌握互通式立体交叉的设计要领,理解相关规范的精神实质具有较高的实用价值。

本书适合从事公路规划、设计、管理和科研工作的相关人员使用。

Informative Abstract

This book is the collection of author's thirty-year design experience and research results. Based on relevant specifications, research results and modern design ideas, with referring to project cases home and abroad, the book presents the principles and methods of interchange design from the aspects of control elements, site selection, interchange configuration, project evaluation, geometric design and establishment of technical indicators. The book constructs a systematic interchange design approach, which has highly practical value for the readers to master the essentials of interchange design and better understand the spirit of relevant specifications.

The book could be used by technical people who engaged in highway planning, designing, managing and scientific research.

图书在版编目(CIP)数据

互通式立体交叉设计原理与应用 / 刘子剑著. — 北京:人民交通出版社股份有限公司, 2015.6

(交通运输行业高层次人才培养项目著作书系)

ISBN 978-7-114-12364-1

I. ①互… II. ①刘… III. ①道路工程—交叉路口—立体交叉—设计 IV. ①U412.35

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 144226 号

交通运输行业高层次人才培养项目著作书系

书 名: 互通式立体交叉设计原理与应用

著 作 者: 刘子剑

责任编辑: 周 宇 牛家鸣

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpress.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 中国电影出版社印刷厂

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 24.75

字 数: 586 千

版 次: 2015 年 8 月 第 1 版

印 次: 2015 年 8 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-12364-1

定 价: 85.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

作者简介

Author Introduction



刘子剑,教授级高工,享受国务院政府特殊津贴,交通运输部“新世纪十百千人才工程”第一层次人选。现任中国公路工程咨询集团有限公司副总经理、技术委员会主任委员,交通运输部专家委员会委员,中国工程建设标准化协会公路分会常务理事,中国公路建设行业协会专家委员会专家等。长期从事公路勘察设计和研究工作,主要从事专业和研究方向为路线、互通式立交、运行安全和环境保护等,尤其在互通式立交设计领域在国内享有较高的知名度。主持完成了苏嘉杭高速公路江苏段等十余个大型公路项目和大量高速公路互通式立交的勘察设计;参与起草了《公路工程技术标准》《公路建设项目用地指标》等部颁标准;主编了《公路立体交叉设计细则》等部颁规范;主持完成了“公路与公路交叉技术指标”等部科研项目,参与主持完成了“一级公路控制出入标准”“基于节地的公路横断面和互通式立交设计指标研究”等多项省部级科研项目。发表论文和报告 20 多篇,所主持或参与的项目分别获得交通运输部科学技术进步特等奖、交通运输部优秀勘察设计一等奖、中国公路学会科学技术进步一等奖、中国公路勘察设计协会优秀设计一等奖等。

交通运输行业高层次人才培养项目著作书系 编审委员会

主 任：杨传堂

副主任：戴东昌 周海涛 徐 光 王金付
陈瑞生(常务)

委 员：李良生 李作敏 韩 敏 王先进
石宝林 关昌余 沙爱民 吴 澎
杨万枫 张劲泉 张喜刚 郑健龙
唐伯明 蒋树屏 潘新祥 魏庆朝
孙 海

书系前言

Preface of Series

进入 21 世纪以来,党中央、国务院高度重视人才工作,提出人才资源是第一资源的战略思想,先后两次召开全国人才工作会议,围绕人才强国战略实施做出一系列重大决策部署。党的十八大着眼于全面建成小康社会的奋斗目标,提出要进一步深入实践人才强国战略,加快推动我国由人才大国迈向人才强国,将人才工作作为“全面提高党的建设科学化水平”八项任务之一。十八届三中全会强调指出,全面深化改革,需要有力的组织保证和人才支撑。要建立集聚人才体制机制,择天下英才而用之。这些都充分体现了党中央、国务院对人才工作的高度重视,为人才成长发展进一步营造良好的政策和舆论环境,极大激发了人才干事创业的积极性。

国以才立,业以才兴。面对风云变幻的国际形势,综合国力竞争日趋激烈,我国在全面建成小康社会的历史进程中机遇和挑战并存,人才作为第一资源的特征和作用日益凸显。只有深入实施人才强国战略,确立国家人才竞争优势,充分发挥人才对国民经济和社会发展的重要支撑作用,才能在国际形势、国内条件深刻变化中赢得主动、赢得优势、赢得未来。

近年来,交通运输行业深入贯彻落实人才强交战略,围绕建设综合交通、智慧交通、绿色交通、平安交通的战略部署和中心任务,加大人才发展体制机制改革与政策创新力度,行业人才工作不断取得新进展,逐步形成了一支专业结构日趋合理、整体素质基本适应的人才队伍,为交通运输事业全面、协调、可持续发展提供了有力的人才保障与智力支持。

“交通青年科技英才”是交通运输行业优秀青年科技人才的代表群体,培养选拔“交通青年科技英才”是交通运输行业实施人才强交战略的“品牌工程”之一,1999 年至今已培养选拔 283 人。他们活跃在科研、生产、教学一线,奋发有为、锐意进取,取得了突出业绩,创造了显著效益,形成了一系列较高水平的科研成果。为加大行业高层次人才培养力度,“十二五”期间,交通运输部设立人才培养专项经费,重点资助包含“交通青年科技英才”在内的高层次人才。

人民交通出版社以服务交通运输行业改革创新、促进交通科技成果推广应用、支持交通行业高端人才发展为目的,配合人才强交战略设立“交通运输行业



高层次人才培养项目著作书系(以下简称“著作书系”)。该书系面向包括“交通青年科技英才”在内的交通运输行业高层次人才,旨在为行业人才培养搭建一个学术交流、成果展示和技术积累的平台,是推动加强交通运输人才队伍建设的重要载体,在推动科技创新、技术交流、加强高层次人才培养力度等方面均将起到积极作用。凡在“交通青年科技英才培养项目”和“交通运输部新世纪十百千人才培养项目”申请中获得资助的出版项目,均可列入“著作书系”。对于虽然未列入培养项目,但同样能代表行业水平的著作,经申请、评审后,也可酌情纳入“著作书系”。

高层次人才是创新驱动的核心要素,创新驱动是推动科学发展的不懈动力。希望“著作书系”能够充分发挥服务行业、服务社会、服务国家的积极作用,助力科技创新步伐,促进行业高层次人才特别是中青年人才健康快速成长,为建设综合交通、智慧交通、绿色交通、平安交通做出不懈努力和突出贡献。

交通运输行业高层次人才培养项目

著作书系编审委员会

2014年3月

前言

Foreword

互通式立体交叉自诞生以来到后来相当长的一段时期内,以“互通”为主要目标,通过匝道的巧妙布局,用最少的交叉层数和跨线桥数量实现各方向的互通,一度成为道路设计工作的重点。

随着道路交通量的不断增大,早期建成的部分互通式立体交叉通行能力不足和交通事故频发等问题不断显现并日趋严重,因此互通式立体交叉的设计重点逐渐转向通行能力、运行安全和环境适应性等。如今,多要素控制设计已得到国内外互通式立体交叉设计界的广泛共识,相关科研成果层出不穷。在此基础上,互通式立体交叉的设计标准不断完善,设计理论和方法不断成熟。

然而,目前国内外有关互通式立体交叉的设计标准主要集中于常用形式和几何指标的选择等方面,相关著述也尚未建立起系统的设计原理和方法体系,尤其涉及交叉形态复杂、出入交通量大的工程项目时,设计者可学习借鉴的资料竟告阙如,设计工作难度增加,缺憾工程屡见不鲜。

笔者从事互通式立体交叉设计和研究近三十年,早就萌生了建立互通式立体交叉设计方法体系的想法。在主笔起草了《公路工程技术标准》(JTG B01—2003)和《新理念·公路设计指南》中的路线交叉内容、主编了《公路立体交叉设计细则》(JTG/T D21—2014)等部颁规范,以及主持了“公路与公路交叉技术指标”和“互通式立体交叉关键技术的研究”等相关课题之后,此体系架构逐渐明晰起来。2012年,借助于交通运输部“交通运输行业高层次科技人才培养项目”和人民交通出版社股份有限公司的大力支持,并依据《公路立体交叉设计细则》(JTG/T D21—2014)等部颁规范、相关规范的支撑课题成果,及国内外大量文献资料和工程实例等,本书的写作工作得以正式启动。

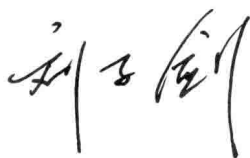
本书力图贯穿两条主线,体现一个系统,即通过设计全过程的纵线和影响设计的多要素横线之间的相互交叉,构成系统的互通式立体交叉设计原理和方法体系。在此基本架构下,阐述了互通式立体交叉从控制要素、工程选址、立交构

形、方案评价、几何设计到技术指标的制订等的原理与方法。其中,以交通流线为系统单元的多要素构形理论与方法,为设计者解决复杂互通式立体交叉的构形提供有益的帮助;几何技术指标的制订原理等相关内容,也使本书在一定程度上成为对《公路立体交叉设计细则》等相关规范进行解读与运用的工具书。

全书共分17章,其中第2章和第3章属于控制性要素内容;第4章有关运行安全的论述,为设计理论和方法的建立提供了基础;第5章至第7章,构成了总体设计的基本内容;第8章在构形理论和方法等方面进行了探索,结合第9章和第10章,形成了较为系统的互通式立体交叉方案设计的原理与方法;第11章至第16章,为互通式立体交叉及具有接入要求的其他设施的几何设计内容。

本书部分内容来自笔者研究心得,尤其构形理论的大部分内容尚属首次提出,不成熟及谬误之处在所难免,唯望读者不吝批评指正。倘若本书能为广大同仁在互通式立体交叉设计、研究或者领会相关规范精神实质等方面有所裨益,则达编写此书的目的。

值此书即将出版之际,谨向交通运输部、人民交通出版社股份有限公司、书中被引用文献的作者以及在本书编写过程中给予支持和帮助的同仁、朋友及家人表示最衷心的感谢!



2015年7月于北京



目 录

Contents

1 概论	1
1.1 发展历程	1
1.2 组成与特征	5
1.3 设计原则与内容	7
2 功能与分类	9
2.1 概述	9
2.2 路网系统与运行	9
2.3 节点分类	10
2.4 接入控制与立体交叉	11
2.5 互通式立体交叉的分类	12
3 设计控制要素	17
3.1 概述	17
3.2 要素的构成及影响	17
3.3 设计车辆	20
3.4 设计速度与运行速度	22
3.5 视距	28
3.6 交通量与服务水平	35
3.7 建筑限界	46
3.8 基础资料	48
3.9 设计的灵活性	49
4 运行安全	51
4.1 概述	51
4.2 运行安全的影响因素	51
4.3 驾驶人特征与运行安全	53
4.4 几何要素与运行安全	58

4.5	事故类型与主要成因	66
4.6	运行安全设计要点	68
5	一致性设计	75
5.1	概述	75
5.2	出口的一致性	75
5.3	车道的连续性	78
5.4	车道平衡	83
5.5	工程案例	85
6	互通式立体交叉的设置	91
6.1	概述	91
6.2	规范中关于设置条件的规定	91
6.3	设置互通式立体交叉的影响因素	93
6.4	设置条件定量化的研究	96
6.5	交叉道路线形条件	96
7	间距控制	102
7.1	概述	102
7.2	互通式立体交叉平均间距	102
7.3	互通式立体交叉最大间距	104
7.4	互通式立体交叉最小间距	106
7.5	互通式立体交叉最小净距	109
7.6	互通式立体交叉与隧道最小净距	114
7.7	互通式立体交叉与收费站最小净距	120
8	基于交通流线的构形理论	123
8.1	概述	123
8.2	基本概念	123
8.3	基于几何要素的交通流线形式	132
8.4	基于运行安全的交通流线形式	140
8.5	基于交通需求的交通流线形式	143
8.6	互通式立体交叉构形要点	152
8.7	工程案例	165
9	常用形式	173
9.1	概述	173
9.2	互通式立体交叉的常用形式	173
9.3	一般互通式立体交叉	181

9.4 枢纽互通式立体交叉	186
9.5 复合式互通式立体交叉	191
9.6 特殊条件下的互通式立体交叉	194
9.7 工程案例	195
10 方案评价	198
10.1 概述	198
10.2 评价指标体系	198
10.3 方案排队法	200
10.4 技术经济比较法	205
10.5 效益/成本比评价法	205
11 匝道横断面	212
11.1 概述	212
11.2 匝道横断面类型	212
11.3 匝道横断面类型的选择	215
11.4 通行能力对车道数的影响	216
11.5 其他因素对车道数的影响	223
12 匝道线形	228
12.1 概述	228
12.2 匝道平面	228
12.3 匝道纵断面	238
12.4 出、入口匝道	241
12.5 匝道线形设计要点	250
12.6 匝道收费广场	253
13 超高与加宽	257
13.1 概述	257
13.2 横坡与超高	257
13.3 超高过渡	262
13.4 加宽	270
14 附加车道及连接部	280
14.1 概述	280
14.2 变速车道	280
14.3 主线相互分、合流	293
14.4 匝道相互分、合流	298
14.5 连续分、合流	302



14.6	辅助车道	308
14.7	集散道	313
14.8	鼻端构造	318
15	匝道端部平面交叉	322
15.1	概述	322
15.2	技术标准	322
15.3	被交叉道路侧平面交叉	330
15.4	匝道平面交叉	341
15.5	交通岛	343
16	其他设施接入	346
16.1	概述	346
16.2	服务区	346
16.3	客运汽车停靠站	356
16.4	停车区与观景台	362
16.5	U形转弯设施	363
17	景观设计	366
17.1	概述	366
17.2	景观要素及设计原则	367
17.3	基于美学的构形原理	369
17.4	内部景观	373
	索引	379
	参考文献	380

1 概 论

1.1 发展历程

1.1.1 互通式立体交叉的产生

自汽车问世以来,公路发展的重点在不断变化。早期关注的是公路里程的增加,以满足城市之间、城市与农村之间的公路交通运输需要。自 20 世纪 20 年代以后,随着汽车保有量的日益增长,公路发展的重点则转移到了怎样实现“全天候服务”的问题,在出现干线公路的同时,控制接入的概念应运而生,互通式立体交叉呼之欲出^[1]。

初期的控制接入仅仅是将交叉公路相互分离,即公路之间的交叉采用分离式立体交叉,至 1928 年才出现了世界上第一座具有交通转换功能的立体交叉——互通式立体交叉,即建于美国新泽西州 Woodbridge 的完全苜蓿叶形互通式立体交叉,其环形匝道最小平曲线半径为 18m(图 1-1)。

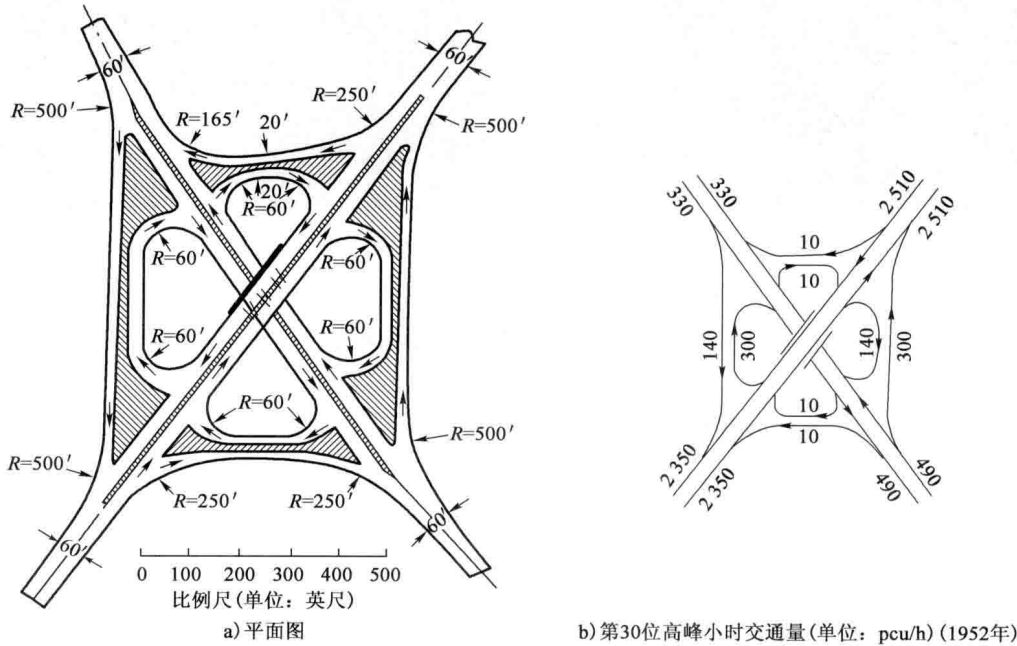


图 1-1 世界上第一座互通式立体交叉

注:1 英尺(ft)=0.304 8m

到了 20 世纪 30 年代,分离式立体交叉和互通式立体交叉才正式成为高速公路或专用公路的交叉体系。由于当时的高速公路或专用公路里程都较短,尚未构成干线公路网络,互通式立体交叉形式基本为单一的苜蓿叶形,匝道平纵横技术指标和设计方法与一般低等级

公路无异。

1938年,美国开通了全长257km的世界上第一条收费高速公路——宾夕法尼亚高速公路。随着高速公路里程的增长,在从20世纪30年代末到40年代初短短的数年时间里,互通式立体交叉逐渐形成独立的设计专业,各种形式大量出现,主要有全苜蓿叶形、部分苜蓿叶形、菱形和喇叭形等。第一座四岔交叉直连式枢纽互通式立体交叉也在美国洛杉矶诞生。

与此同时,其他一些欧美国家也相继建成一批互通式立体交叉。德国于1935年开始修建本国第一座互通式立体交叉——部分苜蓿叶形立体交叉;瑞典于1935年建成著名的带3个环道的苜蓿叶形互通式立体交叉;加拿大于1939年建成本国第一座完全苜蓿叶形互通式立体交叉。

我国互通式立体交叉的建设起步于城市道路,发展于高速公路。

1955年,我国第一座互通式立体交叉建成于武汉,即江汉一桥汉阳岸与汉南路相交叉的半苜蓿叶形互通式立体交叉(图1-2)。

1964年,我国建成第一座城市道路环形互通式立体交叉,即位于广州市环市西路与解放北路交叉处的大北立交,为双层环形立交,1986年改建为三层环形立交(图1-3)。



图1-2 我国第一座互通式立体交叉



图1-3 我国第一座环形互通式立体交叉

1988年,我国建成第一条高速公路——沪嘉高速公路。自此以后,我国高速公路建设事业快速发展,建设成就举世瞩目。随着高速公路的大量建成,互通式立体交叉如雨后春笋般不断涌现。

1.1.2 互通式立体交叉的发展

互通式立体交叉的出现,有效地解决了控制接入公路的运行功能与出入需求之间的矛盾,极大地提高了道路交叉的通行能力和安全度,极大地提高了控制接入公路的运行效益、社会效益、经济效益及道路运输网络的整体效能。

在互通式立体交叉的发展过程中,其设计理念和设计重点也在不断变化和提高。概括起来可大致分为三个阶段。

1) 早期——以“互通”为原则

在20世纪50年代及以前,互通式立体交叉以将交叉道路相互连通为基本原则,以将互通式立体交叉的跨线桥减少到最低作为设计思想。尤其对于枢纽互通式立体交叉,注重匝道的布局技巧,想方设法减少交叉层数和跨线桥,以达到节省投资的目的。在这样的设计思

想指导下,从主线左侧流入或流出、改变主线运行线路或匝道与主线交织等不良设计,在美国早期建设的互通式立体交叉中大量出现,而且至今仍大量存在。

图 1-4 是建成于 20 世纪 50 年代的美国巴尔的摩枢纽互通式立体交叉,位于 I-95 与 I-695 高速公路的交叉处。为达到减少跨线桥和节省投资的目的,该互通式立体交叉的交通流线布局匠心独运:通过将交叉公路的上下行线交错布置,使所有左转弯匝道均能以无须交叉的直连方式与交叉公路相接,从而使交叉层数不超过两层,虽然跨线桥有 8 座,但均为中小桥。

在我国早期的互通式立体交叉设计中,这样的设计指导思想也体现得十分突出。在我国高速公路建设初期,控制投资成为当时的一个重要因素,尤其对于现场用地受限或交叉形态复杂的互通式立体交叉,设计者往往关注于如何通过匝道的巧妙布局达到“互通”和节省投资的目的,但对于运行条件和通行能力等方面则缺乏足够的重视和认识,从而留下了一批带有缺憾的工程。

图 1-5 是我国建于 20 世纪 80 年代的某城市道路互通式立体交叉,由于受现场条件的限制,该立交将四个左转弯环形匝道巧妙地集中布置在两个对称的象限里,有效减少了占地面积和造价,其结构紧凑,造型美观。但以今天的观点来看,主线侧左右交错布置的出口,无疑与驾驶人期望相违背,且会对主线直行交通流产生不可忽视的影响。



图 1-4 建成时的巴尔的摩互通式立体交叉



图 1-5 我国某城市互通式立体交叉

图 1-6 是重建于 1999 年的我国某城市道路互通式立体交叉,实质为五岔交叉,交叉形态十分复杂。除因路段交通量过分集中等原因外,重连通、轻连接的设计也造成了在部分方向出口不清和方向不明的问题。

在互通式立体交叉设计技术日臻成熟的今天,我国仍有类似的缺憾工程出现。其根本原因在于设计者尚未全面掌握互通式立体交叉的交通运行规律、设计原理和方法。因此,在我国建立系统的互通式立体交叉的设计技术体系就显得十分重要。

2) 中期——以提高通行能力为重点

到 20 世纪 50 年代,早期建成的部分互通式立体交叉日益显露通行能力不足等问题,



图 1-6 我国某城市多岔交叉互通式立体交叉

从而通行能力受到了广泛关注,满足大交通量的通行需求成为这一时期关注的重点。

以美国为代表的发达国家在对实体工程做了大量观测的基础上,对互通式立体交叉的通行能力进行了研究,并于1950年出版了世界上第一部《道路通行能力手册》,对匝道基本路段和连接部提出了通行能力的验算方法。

图1-7是美国I-95高速公路与RT.644城市道路相交的互通式立体交叉,在运行若干年后,由于通行能力的不足,迫使政府对该立交进行了改建,重点增加了三条左转弯半直连式匝道以及交叉道路与其他道路的立体交叉。



图1-7 美国I-95高速公路与城市道路相交的互通式立体交叉

3) 现代——以安全为主线,提倡多因素考虑

从20世纪70年代起,部分运营中的互通式立体交叉的安全隐患不断显露。在经历了数十年对公路运行系统的现场观测和研究后,人们越来越意识到互通式立体交叉的构造应符合驾驶人行为的重要性。提供一致性的运行条件比按预测交通量定身打造一座互通式立体交叉更为重要,逐渐成为人们的共识。现代互通式立体交叉的设计不再仅仅停留于满足“互通”和通行能力要求等方面,而应以运行安全为主线,同时考虑功能、环境、用地和全寿命周期成本等各方面因素。

在运行安全方面,一致性设计是最重要的原则,即设计提供的运行条件应以对路况陌生的驾驶人为对象,并应与驾驶人期望相一致。在互通式立体交叉的形式上,不再追求巧妙的构思和独出心裁的形式,强调的是形式的单一性、运行的一致性和造型的规则性。体现在车辆的运行过程中,则是与驾驶人期望相一致的出口形式、可预知的运行方向和连续的运行速度^[2]。

在总结经验的基础上,美国于20世纪70年代即开始了对部分互通式立体交叉的大规模改造。

图1-4所示的巴尔的摩互通式立体交叉形式显然就是一个与驾驶人期望相悖的典型实例。不断增长的事故率迫使政府于20世纪80年代对该立交进行了改建,消除了所有左出左进的左转弯匝道,交叉层数由两层增减到了四层,尽管大大增加了跨线桥长度,但对提高