

Research Progress of Interchange

Yufeng Yuan, Jianming Yang, Zhiwu Li

School of Civil Engineering, University of South China, Hengyang, China

Abstract: In order to design and research personnel to interchange deeper understanding, on the diamond interchange, trumpet interchange, clover leaf interchange and combination type interchange and applicability analysis. This paper analyzes the current research status of interchange at home and abroad, such as the minimum spacing of interchange, the layout of distributing lanes, and the exploration of New Interchange. It points out its advantages and analyzes the shortcomings in the field of interchanges and the direction to be improved. It provides a theoretical basis for the researchers and engineering designers.

Keywords: Interchange; trumpet interchange; clover leaf interchange; distributed lane; minimum distance

互通式立体交叉研究进展

袁愈锋, 杨建明, 李智武

南华大学土木工程学院, 湖南衡阳, 中国, 421001

摘要: 为了设计和研究人员对互通立交更深层次理解, 对菱形互通立交、喇叭形互通立交、苜蓿叶形互通立交和组合形互通立交优缺点和适用条件进行剖析。分析国内外立交研究现状, 如互通立交最小间距研究、集散车道设置、新型立交探索等, 指出其中可取之处, 分析现今在互通立交领域研究的缺陷和可待提升的方向, 从而为研究者和工程设计人员提供理论基础。

关键词: 互通立交; 喇叭型立交; 苜蓿叶型立交; 集散车道; 最小间距

1 引言

互通立体交叉成功解决了平面交叉中交通冲突问题, 提高了车辆运行效率和保证了交通安全。互通式立交的种类较多, 按其交叉的形状可以分为喇叭形、苜蓿叶形、菱形、T形、Y形和子叶形等互通立体交叉[1]。近年来, 关于立交几何设计的研究主要集中在变速车道长度、互通立交最小间距及连续匝道口之间的交织长度、车辆运行情况等方面, 这些研究成果对规范起到了解释和扩展的作用。随着山区高速公路立交的增长, 有研究者对山区互通立交的主要技术指标进行了研究, 并对山区互通立交的最小间距长度取值提出方案, 丰富了立交设计的内涵。然而互通立交研究也有很大提升空间, 例如三维立交设计, 立交质量评价方法、指标及其标准, 立交的安全性评价等。通过本文对立体交叉的全面介绍, 能给设计人员和科研人员一些实质性的参考和给规范提供理论基础。

2 互通立交的分类

2.1 菱形互通立交

菱形互通是指主线出入口匝道采用对称设置于四

个象限的直连式匝道, 并在被交叉公路侧采用平面交叉的一种形式[2]。菱形互通属于部分立体交叉的范畴, 在主线上是立体交叉, 而在被交路上一般是平面交叉。菱形立交按其应用类型可分为: 普通菱形、分离菱形、三层菱形立交, 相应的改进类型为压缩菱形、单点菱形、三层重叠菱形立交, 在这当中, 单点菱形又叫单向菱形立交[3], 部分菱形示意图, 如图 2 所示。

当被交线平面交叉满足交通能力需求时, 可选用普通菱形; 当普通菱形的平面交叉不能满足交通需求时, 一般选用分离菱形, 当被交线左转交通量更大时, 可以选用三层菱形立交。压缩菱形在道路占地、交通量、服务水平 and 工程费用等基本条件相同的条件下, 具有普通菱形不可比拟的优点。单点菱形因为其信号灯集中设置于被交路交叉点中心而得名, 在被交叉道路上集中一点设置交通信号灯, 对左转弯交通流车辆可以同时通过; 适用于高速公路与城市干道或城市快速路与城市干道相交并要求设信号控制的互通立体交叉。三层重叠菱形立交结构相对复杂, 施工难度大, 通行能力高, 且占地比普通菱形还小。一般三层重叠菱形立交会在被交线交叉口设置交通控制系统,

从而提高转弯车辆的通行能力，其适应于高速公路与城市干道或与交通量大的二级公路相交，由于其造价高且施工困难等方面的原因，在同等情况下，可以设计出更加优化的立交设计方案，所以目前在我国并不多见。

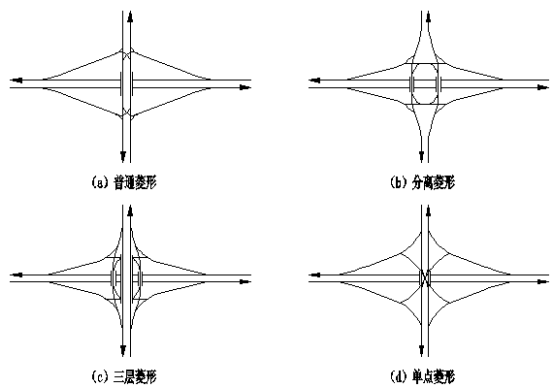


Figure 1. Chombus Interchange.
图 1. 菱形互通立交

菱形立交出入口明确、占地面积少，并且能够以较高的速度出入主线，当主线下穿被交线时有利于车辆加减速，其运行路程相对短捷，且无迂回。然而菱形立交并未彻底解决交通冲突问题，往往会在被交叉道路上存在交通冲突，就算设置信号灯控制系统，也会影响交通运行效率，在左转交通量较大的情况下，菱形立交往往满足不了交通要求。同时在驾驶员驾驶车辆高速转弯或疲劳驾驶的条件下，容易造成安全事故，一定程度上存在交通隐患。

2.2 喇叭形互通立交

喇叭形立交是由一个小环道和一个半直连式匝道来实现主线和被交线车辆左转，由于外形似喇叭，故由此得名。喇叭形立交包括单喇叭形立交和双喇叭形立交两种，单喇叭形立交属于 T 字形交叉的一种，主要用于高速公路与一级以下公路、一级公路与城市道路的立体交叉，被交道路的设计速度不应过大，一般小于或等于 60km/h。双喇叭型立交与单喇叭结构形式相同，只是将被交线平交口变成立体交叉形式，一般用于两条交通量比较大的公路，如高速公路与高速公路、一级公路、城市道路相交，一级公路与一级公路、城市道路相交等。

按主线左转弯出口匝道是否为环形匝道，喇叭互通立交可分为 A 型和 B 型两种。根据主线上穿形

式，将 A 型与 B 型喇叭立交划分为 A1、A2 型和 B1、B2 型。主线下穿匝道为 1 型，主线上跨匝道为 2 型。如图 2 所示，当主线左转弯出口匝道为半直连式时为 A 型，为环形匝道时为 B 型。



Figure 2. Trumpet Interchange.
图 2. 喇叭形互通立交

A2 型、B2 型为匝道下穿主线的布设方式，此时主线直行路段在上层，行驶车辆视野开阔，视距条件良好，容易观测到立交车辆出入情况，有利于行驶，在视距方面较 A1 型、B1 型有利；A1 型、B1 型为主线下穿匝道的布设方式，此时主线减速出口车辆在下层，被交线加速入口车辆在上层，有利于车辆加减速，在交通安全方面较 A2 型、B2 型有利。A1 型、A2 型小环道在第一象限，为主线的入口处，有利于控制车辆进入；而主线出口左转弯匝道为半定向型匝道，对左转弯交通量较多的主线而言，更有利于车辆的流出。由于小环道通行能力较小，布设时应该将左转弯交通量较小的转向匝道安排在小环道上，以适应交通，提高通行能力。

当各转弯交通量相当时，被交叉路侧的左转弯匝道宜采用直连式或半直连式，此时左转弯小环道变成直连式或半直连式匝道，喇叭形立交变成 Y 形立交。所谓直连式匝道是由道路左侧驶出，左转弯行驶后，直接从另一道路左侧驶入或者是由主线右侧驶出，右转弯行驶后，直接从另一条道路右侧驶入的匝道；半直连式匝道分为左出右进、右出左进、右出右进三种类型，三种类型匝道各有优缺点，根据实际情况进行选择。双喇叭与单喇叭设计方法一样，只是被交公路等级不一样，为了不影响交通，所以被交公路采用了立体交叉的形式，图 3 为一般双喇叭互通立交的示意图，左侧采用 B1 式喇叭，右边采用 A1 式喇叭，匝道全部上跨，中间设一收费站，线型条件好，经济性好。

从以上分析可以得出，在主线左转弯较大的情况下，考虑安全方面的因素，采取 A1 型喇叭立交是合适的。如果被交线左转弯交通量大于主线左转弯交通量，这时选择 B1 型喇叭立交较合理。选择 A 型还是

B型喇叭立交，关键在于主线与被交线的左转弯交通量大小。总之在优先考虑安全因素的前提下，之后在考虑经济和使用年限等因素，根据交通量、地形、地物等限制条件选用合适的喇叭互通立交，处理好主线出入口匝道的线形指标，是研究和工程人员应该认真研究、探讨的问题。

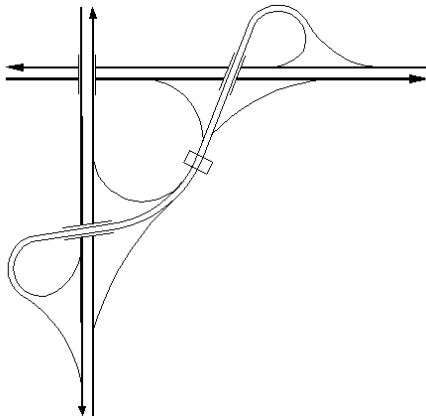


Figure 3. Double trumpet interchange.

图 3. 双喇叭形立交

2.3 苜蓿叶型互通立交

苜蓿叶立交右转车辆通过外侧四条直连式匝道出入主线，而由四个小环道来实现车辆左转，匝道数目等于转弯方向数，为全互通式立体交叉。苜蓿叶立交分为一般苜蓿叶立交和带集散车道的苜蓿叶立交。苜蓿叶形立交存在一座跨线桥，其造价合理，有利于分期修建，早期多用于高等级公路相交的互通立体交叉；但是由于对称设置的环形匝道之间存在交织区，不可避免对通行能力和运行安全造成明显影响，且环形匝道交通通行能力有限，因而当左转弯交通量较大时不宜选用。为了解决主线交织，出现了带集散车道的苜蓿叶立交，把出入口匝道转移到集散车道上，交织车辆成功转移到集散车道来，提高了主线车道车辆运行速度和交通安全，同时通过增加环道半径，可以提高小环道的运行效率。

2.4 组合式互通立交

组合式立交是根据实际交通量并结合地形、地貌等限制条件，在一座立交中采用一种以上的不同形式的左转匝道组合而成的互通立交[5]。例如苜蓿叶与半定向型的组合式立交方案，解决了部分左转弯车辆

较多，环形匝道无法满足交通需求的问题，提高了运行效率，缩短了行车时间，解决了全苜蓿叶立交交织和匝道车速的问题。组合立交形式多种多样，它解决了菱形立交、喇叭型立交、苜蓿叶立交部分匝道不能满足交通量需求的缺陷，根据实际情况，匝道设置与交通量相适应，并且能够充分利用周边地形、地物，做到因地制宜，造型美观；但其修建难度大、造价高、维护困难，且占地较广，一般不适用于城市互通立交，适用于转弯交通量较大的高速公路互通立交。

3 互通立交的研究现状

近年来，国内外学者在互通立交领域做了大量研究和探讨。冯玉荣[5]通过统计全国百余处互通式立交的线形资料，分析我国不同互通式立交的构造长度，并用模型进行验证，从而确定出不同类型互通立交的构造长度范围，然后以交通冲突技术为根据，利用微观交通仿真软件 VISSIM 建立模型，从而计算出互通立交的最小间距，结果如下表 1。

Table 1. Minimum Spacing of Interchange (unit: km)

表 1. 互通式立交最小间距 (单位: km)

连接方式	车道数	单向双车道	单向三车道	单向四车道
	净距	0.97	1.53	2.06
一般互通与一般互通	下限	1.77	2.33	2.86
	上限	2.37	2.93	3.46
一般互通与枢纽互通	下限	2.32	2.88	3.41
	上限	3.12	3.68	4.21
枢纽互通与枢纽互通	下限	2.98	3.43	3.96
	上限	3.87	4.43	4.96

檀军[6]对互通立交匝道特征点上的车辆运行速度进行了实地测量，建立起互通立交匝道减速段、匀速段、加速段的大小车辆运行速度模型。其中小车减速段的运行速度模型为：

$$V_{85} = 72.828 - 4.890 \cdot CCRS - 2.085 \cdot i \quad (R^2 = 0.864) \quad (1)$$

大车减速段运行速度模型为：

$$V_{85} = 63.975 - 5.042 \cdot CCRS - 1.832 \cdot i \quad (R^2 = 0.868) \quad (2)$$

式中 V_{85} 代表车辆第 85 位运行速度，单位 km/h；CCRS 为曲率变化率，单位 rad/km； i 为坡度，上坡取正值，下坡取负值。

互通立交交织段一直是科研人员和工程技术人员研究的热点，当交通流较大时，交织段的交通状态呈现紊乱状态，往往容易造成交通事故，交织强度系数

是衡量交织行为与非交织平均车速的影响指标，其计算公式为：

$$W_i = a \cdot (1 + Q_R)^b \cdot \left(\frac{Q}{N}\right)^c / (3.28L)^d \quad (3)$$

式中 W_i 为交织强度系数； Q_R 为流量比； Q 为交织区总流率，单位 pcu/h； N 为交织区车道数； L 为交织区长度； a 、 b 、 c 、 d 为常熟。

陆子文等[7]介绍了一种自由流半苜蓿叶立交，它是一种消除交织的新型立交结构，这种立交解决了一般互通立交匝道段缓和曲线长度不够和跨线桥纵坡坡度过大的问题，对新型立交的线形设计进行了深入的探讨。Beberry 等[8]提出了一种适用于窄桥处的 FRE 立交，并用仿真验证了该立交并未降低驾驶人的驾驶体验水平在提高车辆通行能力的情况下。张谦等[9]提出了一种无交织环形立交的设计的新方法。金树法等[10]对互通式立体交叉中集散车道的设计方法进行探讨与研究，为集散车道的工程设计提供了有力的理论依据。在立体交叉领域，这些成果的提出，为科学研究和工程设计做出了重大贡献。

4 结论

(1) 研究表明，菱形互通结构相对简单，工程经济性良好，占地面积小，如果被交线配以合理的信号控制系统，其通行能力就可以进一步提升。喇叭形互通立交线形较美观，只需要一座收费站，工程投资省，若主线左转弯交通量较大，采用 A1 型较安全；若被交线左转弯交通量较大，采用 B2 型较好。苜蓿叶形互通立交造型美观，主线通行能力强，然而当左转弯交通量较大时，环形匝道不能满足车辆通行要求。组合立交，利用直连式或半直连式匝道代替小环道，成功的解决了苜蓿叶立交车辆左转弯交通的问题。

(2) 立交几何设计的研究在变速车道长度、集散车道设置、互通立交最小间距及连续匝道口之间的交织长度、车辆运行情况等方面，取得了不错的进展，这些研究成果对规范起到了补充和扩展的作用。

(3) 随着山区公路立交的增长，研究者对山区互通立交的技术指标进行了研究，对立交的最小间距长度取值提出合理值，在山区特殊条件下提出了群布型立交、展线型立交和约束型立交的概念，并对这几

种互通式立交设计的关键技术进行了探讨，丰富了立交设计的内容。

(4) 在平面交叉口、立交匝道加宽、立交出入口间距、加减速车道长度、视距、非机动车道、人行道等设计方面，仍有进一步研究的空间。同时在新型立交研究、立交三维设计、事故预测模型、质量评价方法、苜蓿叶附加车道长度、附加车道与最外侧间分隔带宽度、小环道半径确定、立交交织段长度等领域，研究有待提升

References (参考文献)

- [1] China Highway Engineering Consulting Corporation. JTG/T D21-2014 Guidelines for Design of Highway Grade-separated Intersections[S]. Beijing: China Communications Press, 2014. 中国公路工程咨询集团有限公司. JTG/T D21-2014, 公路立体交叉设计细则[S]. 北京:人民交通出版社, 2014.
- [2] Zijian LIU. Interchange Design Principle and Application[M]. Beijing: China communication Press Co., Ltd., 2015. 刘子健. 互通式立体交叉设计原理与应用[M]. 北京: 人民交通出版社, 2015.
- [3] Piao Zhang. Rhombus Interchange[J]. Urban Roads Bridges and Flood Control, 2000, 2(2): 5-7. 张飘. 菱形互通式立交[J]. 城市道桥与防洪, 2000, 2(2): 5-7.
- [4] Jingxiang Hu, Haitao Lv. Comparison of two Types of Rhombus Overpasses in Urban Area[J]. Northeastern Highway, 1999, 22(2): 70-74. 胡景祥, 吕海涛. 城区内两种菱形立交桥型式的比较[J]. 东北公路, 1999, 22(2): 70-74.
- [5] Yurong Fen. Study on the Minimum of interchange on Freeway[D]. Xi'an: Chang'an University, 2009. 冯玉荣. 高速公路互通立交最小间距研究[D]. 西安: 长安大学, 2009.
- [6] Jun Tan. Study on the Design Method of interchange Alignment based on Operating Speed. Xi'an: Chang'an University, 2015. 檀军. 基于运行速度的立交线型设计方法研究[D]. 西安: 长安大学, 2015.
- [7] Ziwen Lu, Jianchuan Cheng. Research on the Line Design of Free Flow Half Alfalfa Leaf Interchange[J]. Urban Roads Bridges and Flood Control, 2013, 4(4): 10-12. 陆子文, 程建川. 自由流半苜蓿叶立交线型设计探索[J]. 城市道桥与防洪, 2013, 4(4): 10-12.
- [8] BERRY C, CLICK S M. New Interchange Design: FRE Interchange Releasing Control and Enhancing Performance [C]//TRB. Proceeding of the 89th Annual Meeting of Transportation Research Board. Washington DC: TRB, 2010: 1-17.
- [9] Qian Zhang, Jingyuan Wang. Conceptual Design of an Interlaced ring-shaped Interchange. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2012, 29(6): 122-126, 143. 张谦, 王京元. 一种无交织的环形立交的概念设计[J]. 公路交通科技, 2012, 29(6): 122-126, 143.
- [10] Shufa Jin, Haibo Li. Design of Distributed Lane in Interworking Interchange[J]. Planning and Design, 2012, 13(1): 55-56. 金树法, 李海波. 互通立体交叉中集散车道的设计[J]. 规划设计, 2012, 13(1): 55-56.