

高速公路互通立交安全性设计研究

江晓霞¹, 袁宏伟²

(1. 广东省公路勘察规划设计院 广州市 510507; 2. 长安大学公路学院 西安市 710064)

摘 要: 实现立交线形指标与交通流量、车辆行驶速度及司乘人员自然舒适感受三者之间的协调统一, 是立交安全性设计的 3 大评价指标。以广州市北三环高速公路石滩立交的设计为例, 研究分析了立交安全性设计应注意的若干问题。

关键词: 立交安全性设计; 立交线形指标; 交通流量; 车辆行驶速度; 司乘人员

立交设计的安全性分析是从使用者行车安全的角度对立交设计进行评价, 并通过优化设计以达到减少交通事故、降低事故危害程度的目标。目前, 随着设计理念中人文意识的不断加强, 优秀的立交设计已不再简单满足于达到规范要求, 而是在此基础上结合具体项目的具体要求, 对立交线形进一步优化, 力求在设计阶段即消除或减少事故多发点, 提高立交设计的优越性及安全性, 实现立交行驶中安全、方便、舒适、愉悦的和谐统一。

1 高速公路互通立交的安全评价指标

高速公路行车稳定性的 3 大主要因素是人、车、路, 互通立交作为连接高速公路与高速公路或高速公路与地方公路之间交通流转换的枢纽, 是车辆集中与分散的汇合点, 立交设计的安全性评价即以路(立交)的设计为重点及出发点, 实现人、车、路之间的和谐统一。

1.1 立交线形指标与交通流量的协调统一

立交的主要功能是实现 2 条或多条相交道路之间车辆快速、迅捷、安全的交通转换, 立交线形指标的确定以满足上述交通转换的需要为前提及基础。各匝道线形指标不应拘泥于某一固定形式, 而是根

据匝道实际功能需要分别选用, 确保实现立交线形指标与转向交通流量的协调, 避免出现: (1) 立交设计指标过高, 造成资源上的浪费, 以及车辆转向速度过快, 导致行车安全隐患; (2) 立交设计指标偏低, 产生车流拥堵、交织或冲突等现象, 影响立交功能的发挥。

1.2 立交线形指标与车辆行驶速度的协调统一

以驶出匝道为例, 车辆在立交匝道上的行驶轨迹如图 1 所示。

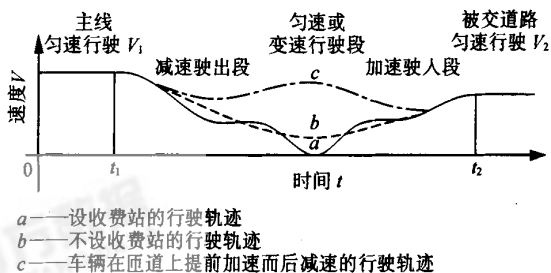


图 1 车辆在立交匝道行驶的 $V \sim t$ 曲线

因此, 立交设计应注意保持以下 2 种概念的速度协调性: (1) 匝道与主线之间运行速度的协调, 车辆由主线分离至立交匝道或由匝道合流至高速公路主线时, 其速度在短距离内有较大变化, 有必要重点

收稿日期: 2005-10-24

合考虑施工、造价优选方案。

参考文献:

- [1] 彭小云, 张婷, 秦龙. 高陡边坡稳定性的影响因素分析[J]. 西北建筑工程学院学报(自然科学版), 2002, 19(3).

- [2] 倪恒, 刘佑荣, 龙治国. 正交设计在滑坡敏感性分析中的应用[J]. 岩石力学工程学报, 2002, 21(7).
- [3] 方开泰, 马长兴. 正交与均匀试验设计[M]. 北京: 科学技术出版社, 2001.
- [4] JTG D30-2004, 公路路基设计规范[S].

优化立交分、合流的端口设计,结合必要的清晰的交通标识,引导转向汽车完成立交与主线的顺利过渡,保持运行过程中速度渐变的协调及平顺;(2)匝道设计指标与实际运行速度的协调,不同于主线的匀速行驶理论,立交匝道应采用变速行驶理论。通常,司机在行驶过程中采用的车速是根据其对路况或沿线障碍物(如收费站等)的判断,综合其对安全及速度等要求后确定的。图1中a、b均为良好的行驶轨迹,而c则出现匝道线形指标偏高,诱导司机提前加速后又被迫减速的行驶状况。因此,提供合适的线形指标,及早明示障碍物的存在,对司机调整速度而言是非常重要的。这一方面需完善道路交通指示系统,及时提醒司机;另一方面,更重要的是通过匝道线形设计上的变化,透露给司机需调整车速的信号,或以线形上的约束强制司机改变车速。

1.3 立交线形指标与司乘人员舒适感受的协调统一

作为立交的另一服务对象,司机可能的行为及心理感受在立交设计中应得到充分考虑。由于立交线形布设复杂、车流交汇分合频繁,司机需做出思索、判断的要求较一般路段多且高。安全的立交设计应确保司机在通行立交时保持视觉上的畅通、对行驶方向的正确判断以及行驶轨迹的顺畅自然。避免出现:(1)司机思索而放慢车速;(2)司机茫然而停滞不前;(3)司机误入车道等现象引发的交通拥堵、夹塞、甚至车祸等不安全事故。

实现司乘人员在行驶中的自然和谐,可通过优化交通组织及立交线形设计来实现,尽量减少司机面对突变情况或有违其习惯性思维的可能,即便受客观条件限制可能难以避免时,亦应给予司机足够的判断时间,或提前给出提示,引导司机做出正确的行车判断。

2 高速公路互通立交的安全性设计

实现人、车、路之间的协调,尽可能消除道路行驶的不安全隐患,是现代人们对立交设计人员提出的更高要求。本文以广州市北三环高速公路石滩立交的初步设计为例,分析立交安全性设计中应重视的若干问题。

2.1 工程概况

石滩互通立交是连接广州增城沙庄~花都北兴公路一期工程增城沙庄~荔城段与广惠(广州~惠州)高速公路的大型枢纽性立交,位于广东省增城市石滩镇附近。该立交为十字型相交,经多方案比

选,确定采用形式简洁的定向涡轮型(图2),以实现广州市、惠州市、深圳市、增城市之间车流的快速转换。



图2 石滩立交推荐方案效果

2.2 准确预测交通量

立交交通量预测及分析是确定立交形式及线形指标的先决条件和重要的基础资料。本项目交通量分布结果如图3所示。

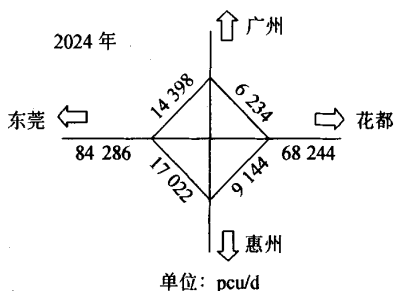


图3 石滩立交交通量预测分布示意

根据交通量预测结果,确定立交主次匝道分布。主匝道相应采用较高标准,以确保主方向车流行驶顺畅、快捷;次匝道因其交通量偏小,可适当采用低标准,以减少投资。

本立交各匝道设计指标采用标准如下:(1)东莞~惠州及东莞~广州方向,为主交通流方向,拟采用定向匝道,计算行车速度为70 km/h,断面形式为单向双车道;(2)广州~花都方向为次交通流方向,设置为内环匝道,计算行车速度为40 km/h,断面形式为单向单车道;(3)花都~惠州方向亦为次交通流方向,但由于线位布设及避让电塔等需要,设置为定向匝道,计算行车速度为40 km/h,同时,考虑到匝道较长,设置单向双车道以备超车或故障车临时停用。

在满足立交线形指标与转向交通流量协调匹配的同时,还应注意保持相邻匝道线形指标的均衡性。由于车辆的方向转换是依赖一条或几条匝道得以实现的,对于多条匝道共同完成某一方向车流转换的

情况,应注意维持相邻匝道之间线形指标的协调,保持车辆行驶的延续性。

2.3 优化线形设计

线形设计是立交设计工作中的重点及难点,也是影响立交安全性能的最重要因素。石滩立交的线形设计从安全性角度出发,进行了以下优化设计。

2.3.1 优化匝道端口设计

匝道端口是立交与主线衔接的出入口,是立交行车事故的多发地段(图4),优化端口设计对保证立交与主线车流速度的协调及车辆分合流渐变行驶的顺畅有重大影响。

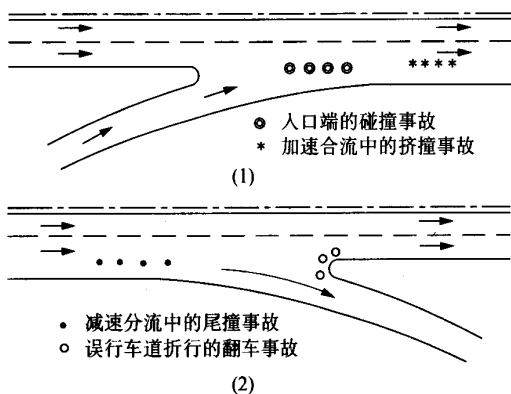


图4 端口事故类型示意

优化匝道端口设计需注意以下几点。

(1) 车道数平衡。

保证匝道端口的车道数平衡,是确保车流由双车道匝道安全驶出/驶入主线的一个重要措施,石滩立交双车道匝道的设置及其车道数平衡措施有以下2种情况。

①因应交通量的需求设置双车道匝道,如东莞~惠州及东莞~广州方向,远景交通量分别高达17 022 pcu/d、14 398 pcu/d,故匝道断面设置为 $0.75\text{ m}+1.0\text{ m}+2\times 3.5\text{ m}+2.5\text{ m}+0.75\text{ m}=12\text{ m}$ 。按照规范要求,应分别在分流点前(减速车道)/合流点后(加速车道)增设辅助车道,确保其车道数平衡(图5)。

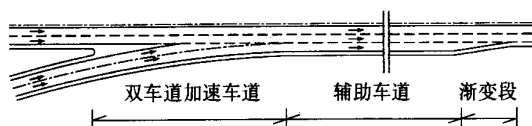


图5 双车道匝道分流端辅助车道设置断面

②超长匝道因匝道偏长,设置双车道以备超车或故障车临时停留需要,如花都~惠州匝道,断面设

置为 $0.75\text{ m}+1.0\text{ m}+2\times 3.5\text{ m}+1.0\text{ m}+0.75\text{ m}=10.5\text{ m}$ 。此种情况下,因其双车道设置并非是基于交通量的需要,为避免造价增加过多,可采用分段渐变以保证车道数平衡(图6),即匝道至分合流鼻端前实施第一级渐变,进出主线后实施第二级渐变。

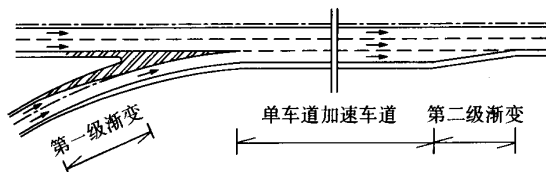


图6 超长匝道合流端的二级渐变断面

(2) 变速车道长度设置。

匝道变速车道长度的设定是设计者权衡立交安全性与工程造价后,预留给司机以调整速度的空间。对于立交匝道加(减)速车道长度及分合流角度的规定,各国规范根据国情的不同取值各不相同,美国规范对变速车道长度的规定远远大于我国和日本。这些数据在一定程度上反映了各国对立交安全性设计的重视程度。国内道路设计行业发展至今也逐步加大了立交安全性因素所占的权重,安全意识日益凸显,这一点已在我国路线规范修订稿对变速车道长度均普遍有所加大的修改中得以体现。

石滩立交变速车道长度均根据规范修订稿的设计要求,进行了合理设置,尤其是内环匝道,因其直接连接2条高速公路主线,短距离内速度变化最大,设计中一方面根据速度变化需要进行长度验算,另一方面适当考虑了车辆进出主线时必须的交织长度。

2.3.2 规避线形设计不良因素

2.3.2.1 绕避影响性地形地物

影响性地形地物因其拆迁困难成为立交布设的限制因素,迫使立交线形布设不畅。高速公路互通立交的布设应尽量避免影响性地形地物,选择视野开阔、拆迁量小的地段,以便充分结合交通流量的分布,选用合适的立交形式。

石滩立交选择在麻车村附近与广惠高速公路相交,该处离村落较远,且大都为山岭,征用良田不多,立交范围内拆迁工作相对较小。唯一影响较大的是区域内电塔、电缆分布较多,在线位布设时均得到了有效的避让,并保证了一定的安全距离,同时确保了整个立交线形舒展自然。

2.3.2.2 规避不良线元因素

为了在有限的距离内实现平面及高差上的显著

变化,高速公路互通立交线形通常具有下列不利因素:(1)平面转弯半径小,曲线渐变段偏短,给司机反应的时间有限;(2)匝道纵坡较大,且纵坡变化频繁,坡长较小;(3)平、纵组合难以得到保证等,并由此衍生出林林总总的不良线元组合。这些不利因素在石滩立交设计中均有体现,在此不一一表述,本文重点说明以下2点。

(1)内环匝道。

内环匝道素来坡陡弯急,且路面超高横坡可高达6%~8%。虽然,一般将匝道设计车速降至35~40 km/h,仍因其集中了平、纵、横不良线元的组合而成为立交安全设计的防范重点。石滩立交内环匝道设计的优化措施有以下2种。

首先,是从应用上加以控制。如花都~惠东方向的匝道,根据交通量预测,该方向远景交通量仅为9 144 pcu/d,布设为内环匝道对于满足交通需求及节约造价均非常有利。但考虑到内环匝道本身的不安全性,且设为内环后,该匝道将与同为内环匝道的广州~花都匝道位于主线的同一侧(图7),2条匝道的出入口距离很近,车辆的分离、汇合、交织作业多,交叉影响大,必须设置离散道,分隔不同方向的车流,以缓解交通安全问题。经综合考虑,最终选择了定向匝道作为推荐方案,规避了内环匝道的不安全性。

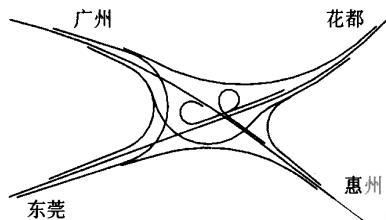


图7 花都~惠东匝道的内环布设方式

其次,是优化内环匝道线形设计。通常,单曲线因其设计简便而应用广泛,但事实上该曲线与匝道上行车速度的变化并不相符。采用曲率半径由大到小再到大的雨滴形或卵形曲线是优化内环匝道线形的有效措施。虽然设计较为复杂,但可满足车速变化的要求,使司机在行驶过程中逐步感受到线形的变化,以便在思想上及行动上及时采取措施。

(2)反弯匝道。

反弯匝道由于展线空间较大,一般线形指标较

高,多用于主交通流方向。但因匝道纵坡变化频繁,反弯匝道公切点(GQ点)与竖曲线顶、底部重合或交错是设计中经常出现的,当公切点(超高横坡渐变的零坡点)与竖曲线顶、底点(路线纵坡变化的零坡点)重合或交错时,则对该路段排水极为不利,尤其是在雨量充沛的南方,容易引起积水,造成行车隐患。及时检视及反复调整是规避该隐患的唯一有效途径,一般可通过:①平面线位局部调整,移动GQ点;②纵断面调整,移动竖曲线,但通常由于匝道在出入口受主线纵坡及高差约束,匝道在纵坡上调整空间有限;③在平面线位及竖曲线均无法调整,或调整后改观不大时,可加大超高渐变率,减少积水不畅区域,或是在GQ点采用半幅零坡、半幅自然坡的变化方式,以增强断面排水能力。

2.4 精细设计

司乘人员的身心感受是评判立交安全性设计的综合性指标,任何设计上的不当,均不可避免地影响到司机的感受,可归纳为:(1)直接引导司机做出行驶判断的设计因素,如立交交通组织设计、沿线标识标线等交通安全设施设计以及保证合理的视距要求等;(2)影响车辆行驶顺畅的设计因素,如立交平、纵、横线形设计;(3)影响司机视觉感官的设计因素,如沿线边坡防护、与自然的和谐统一等。以上均需通过设计人员精细设计,更多地考虑到司乘人员的心理及身理感受,不断优化、不断完善,才能保证司乘人员的舒适感受,在此不一一赘述。

3 结语

立交安全性设计是一个整体协调的过程,是各设计元素互相影响、综合平衡的结果。设计人员在设计过程中应更多地从以人为本的角度出发,不断优化线形指标,尽量规避不良线元因素,设计出更多优质、安全的互通立交,消除立交运行的安全隐患。

参考文献:

- [1] 杨少伟. 道路立体交叉规划与设计[M]. 北京:人民交通出版社,2004.
- [2] JTJ 011-94,公路路线设计规范[S].
- [3] JTG/T B05-2004,公路项目安全性评价指南[S].
- [4] 王伯惠. 道路立交工程[M]. 大连:大连理工大学出版社,1992.

文章编号: 0451-0712(2006)04-0171-06

中图分类号: U416.1

文献标识码: A

有限元强度折减法在 膨胀土路堑滑坡分析中的应用

谭 波^{1,2}, 杨和平²

(1. 桂林工学院 桂林市 541004; 2. 长沙理工大学 长沙市 410076)

摘 要: 膨胀土路堑滑坡机理复杂, 传统边坡分析方法无法对它进行分析并得出合理解释。而有限元强度折减法可采用岩土材料的非线性弹塑性本构关系, 能考虑膨胀力等因素的作用, 通过计算坡体的应力与应变, 合理分析土坡变形过程和潜在滑动面, 并采用安全系数评价边坡稳定性, 较好地解决了膨胀土边坡稳定性及滑坡处治效果分析问题。应用有限元强度折减法, 分析了南友路膨胀土滑坡规律, 以及柔性支挡的处治效果。

关键词: 膨胀土; 路堑滑坡; 有限元; 柔性支挡

传统的边坡分析方法, 如极限平衡法、极限分析法、滑移线场法等, 都建立在极限平衡理论基础之上, 不适用于膨胀土边坡的稳定性分析。这是因为: (1) 这些方法需在人为假定的滑裂面上进行力学平衡分析, 而膨胀土边坡的滑面往往呈现由圆弧和直线组合而成的不规则形状, 且具有浅层性, 坡体滑裂面难以人为假定; (2) 膨胀土边坡的下滑力不仅包括重力因素而且包括由于膨胀土的超固结性和吸水膨胀作用而产生的膨胀力, 传统方法无法合理地考虑

膨胀力的作用; (3) 传统方法无法计算膨胀土体内部的应力、应变, 无法分析膨胀土边坡特有的膨胀变形破坏过程。有限元方法则克服了上述缺陷, 20 世纪 80 年代国外推出有限元强度折减法, 并随着计算机技术和岩土力学的发展而逐渐成熟。该法可采用岩土材料的非线性弹塑性本构模型, 计算出土体内部的应力、应变, 自动分析滑裂面, 模拟边坡的破坏过程, 同时可模拟支挡体与边坡的变形协调, 能直接得出边坡稳定性安全系数。本文将有限元强度折减法

基金项目: 交通部交通建设科技项目(2002318000)

收稿日期: 2005-11-13

A Study on Design for Interchange Safety of Expressway

JIANG Xiao-xia¹, YUAN Hong-wei¹

(1. Guangdong Provincial Highway Design Institute, Guangzhou 510507, China;

2. School of Highway, Chang'an University, Xian 710064, China)

Abstract: Three key indexes for design on interchange safety are harmonious unity among interchange alignment signing with traffic volume, traffic velocity and the satisfaction of drivers and passengers. On the basis of the design of Shitan Interchange of Third Inner-Ring Expressway in the north of Guangzhou City, some aspects on interchange safety design that should be paid more attention to are analyzed.

Key words: design for interchange safety; interchange alignment signing; traffic volume; traffic velocity; drivers and passengers