

doi:10.11918/j.issn.0367-6234.2015.09.017

菱形立交分流区主线线形指标分析

沈强儒^{1,2}, 杨少伟¹, 赵一飞¹, 曹 慧^{1,2}

(1. 长安大学 公路学院, 710064 西安; 2. 南通大学 建筑工程学院, 226019 江苏 南通)

摘 要: 为确定菱形互通式立交分流区域主线线形指标, 分析了菱形互通式立交分流处的交通事故特征, 运用汽车理论、交通心理学及人机工程学获取菱形立交分流区的识别视距, 运用 VB 程序开发软件及高速公路横净距设置条件建立菱形立交区域主线平面及纵断面指标和识别视距关系模型, 提出菱形立交分流区满足识别视距要求的主线圆曲线半径及凸形竖曲线半径值。结果表明: 对待建菱形立交分流区应分析识别视距, 并用识别视距对主线线形指标验算; 对已建成菱形立交分流区, 应加强安全保障措施, 保证主线及驶离主线车辆行车安全。

关键词: 高速公路; 菱形立交; 分流区; 识别视距; 线形

中图分类号: U491 **文献标志码:** A **文章编号:** 0367-6234(2015)09-0090-05

Analysis on mainline alignment index in diamond interchange diverging areas

SHEN Qiangru^{1,2}, YANG Shaowei¹, ZHAO Yifei¹, CAO Hui^{1,2}

(1. School of Highway, Chang'an University, 710064 Xi'an, China;
2. School of Architecture Engineering, Nantong University, 226019 Nantong, Jiangsu, China)

Abstract: The characteristics of traffic accidents is analysed in order to determine the mainline alignment index in the diamond interchange diverging areas. The recognition sight distance of the diamond interchange diverging areas by combining the automobile theory, traffic psychology and ergonomics, and simultaneously are acquired. Based on the VB software and the setting conditions of the lateral clear distance of the expressway, the relation model between the indicators of the mainline plane and vertical section and the recognition sight distance in the diamond interchange diverging areas is set up. The values of the circular curve radius and the convex vertical curve radius of the mainline which meets the requirements of the recognition sight distance in the diamond interchange diverging areas is obtained. The analysis results show that it is necessary to analysis to the recognition sight distance of the diamond interchange diverging areas to be constructed and check the alignment index of the mainline with the recognition sight distance, for the constructed diamond interchange diverging areas, it is necessary to strengthen the safety precautions so as to guarantee the traffic safety of vehicles driving on the mainline and off the mainline.

Keywords: expressway; diamond interchange; diverging areas; recognition sight distance; alignment

随着高速公路网不断完善, 互通式立交数量增加, 型式趋于多样化, 菱形立交凭借其占地少、结构简单、跨线桥少等优点应运而生。菱形互通式立交(下称菱形立交)的设置一般都是在规划、设计时受地形地物、路线走廊等条件限制的情况下使用的, 其分流区域主线线形指标较低, 不容易被车辆识别, 交通事故频发。国外对相关方面研究较少, 如加拿大相关研究人员提出 PVSD 设计方法, 即针对平纵曲

线上视距不同, 把驾驶员在曲线上行驶分为 3 个部分, 这 3 个部分组成即为汽车进入曲线的最小视距值(PVSD)^[1-2], Newell 等针对城市道路菱形立交出口匝道车辆排队及延迟情况作了分析^[3], 文献[4]通过分析佛罗里达州 343 起分流区事故, 指出立交分流区主线安全性和速度、减速车道长度等有关。这些方面的研究促进了国外立交分流区主线安全体系的建立, 提高了菱形立交范围内的安全运营水平。我国关于菱形立交分流区主线线形研究较少, 文献[5-8]对小间距互通式立交及分流区安全问题进行了仿真分析, 文献[9]通过分析凸形竖曲线视距的变化建立凸形竖曲线与平曲线组合设计方法, 并通过交通事故指标对分析结果评价。通过调查海南环岛高速公路墩茶菱形立交分流区统计期间

收稿日期: 2014-02-21.

基金项目: 南通大学自然科学基金(11Z037);
南通大学交通专项(11ZJ007).

作者简介: 沈强儒(1985—), 男, 博士研究生;
杨少伟(1956—), 男, 教授, 博士生导师.

通信作者: 沈强儒, shenqr@ntu.edu.cn.

183 起交通事故, 其中有 145 起事故为碰撞分流鼻端头及侧面碰撞, 与其他型式立交分流区事故相比, 其事故特性具有聚集现象, 通过对驾驶员调查分析, 发现其主要原因是分流点位置选择不合理, 不利于主线驶出车辆识别. 鉴于此, 本文拟对菱形立交分流区识别视距分析, 建立分流区主线识别视距模型, 计算菱形立交分流区域主线平面、凸形竖曲线指标, 为菱形立交分流区交通安全设计提供理论依据.

1 分流区识别视距计算

菱形立交分流区识别视距存在问题主要是分流点位于主线线形不良, 驾驶员不容易识别分流点位置, 容易发生侧面碰撞、横向刮擦等事故.

1.1 识别视距分析

识别视距是指驾驶员从发现交通标志到完成相应减速措施, 车辆安全行驶经过的安全距离 (I), 如图 1 所示. 菱形立交分流驾驶员判断是否分流需经以下过程: 交通标志识别、标志信息读取、标志信息判断、操作^[10]. 标志位于 E 点, 驾驶员行驶至 A 点 (发现点) 发现位于主线外侧 E 点交通标志, 从 B 点 (读取点) 开始识别交通标志信息; 到 C 点 (读完点) 识别完交通标志信息, 此段时间车辆经过距离即认读距离 l' ; 认读完毕, 车辆行驶至 D 点 (行动点), 该段时间内车辆经过的距离称为判断距离 j ; 从行动点

D 至行动完成点 F (分流鼻) 车辆安全行驶经过的距离称为行动距离 l ^[11-12], 为满足驾驶员安全行驶, 保证车辆不与前车碰撞需一定的安全距离 d .

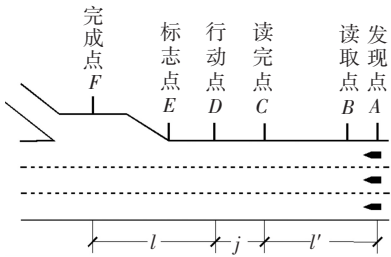


图 1 识别视距示意图

1.2 识别视距计算

驾驶员对菱形立交分流区交通标志识别主要包括认读、判断、行动, 在此过程中车辆经过的距离和驾驶员对标志的识别时间、操作时间及车辆动力性能等因素有关, 在此期间分别经过认读距离、判断距离、行动距离及安全距离. 认读距离是指驾驶员从看到交通标志至识别出交通标志经过的距离, 即

$$l' = v \cdot t_1. \tag{1}$$

式中: l' 为认读距离, 由主线设计速度计算出认读距离, 见表 1; v 为运行速度, 通常以主线的速度计算; t_1 为认读时间, 取决于驾驶员视觉特性及交通标志特性, 通常取 3 s^[13].

表 1 识别视距计算

主线速度/ ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	l'/m	j/m	匝道设计速度/ ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	l/m	识别视距/ m	
					最小值	一般值
120	100	70~90	60	200	470	490
			40	220	490	510
100	90	60~70	60	130	380	390
			40	150	400	410
80	70	50~60	60	90	310	320
			40	110	330	340
60	50	40~50	60	40	230	240
			40	60	250	260

判断距离指的是驾驶员在分流区处接受交通标志信息, 对信息处理、加工及传递给运动神经系统车辆经过的距离. 在此段时间内, 车辆仍然按照主线的速度行驶, 判断距离为

$$j = v \cdot t_2. \tag{2}$$

式中: j 为判断距离, 取值见表 1; v 为立交区域主线范围内的设计速度; t_2 为判断时间, 一般取 2.0 ~ 2.5 s^[14].

行动距离是指驾驶员从操作到车辆减速至匝道运行车速经过的距离, 即图 1 中的 l . 驾驶员发现标志到采取行动所需时间 τ_1 , 包括发现、识别标志所需决策时间 τ_1' , 驾驶员把脚从油门转到制动踏板的

反应时间为 τ_1' . 制动踏板消除空隙所需时间为 τ_2' , 制动力一般都需要增加一段时间才能生效, 此段时间为 τ_2'' , $\tau_2' + \tau_2''$ 为作用时间 τ_2 , 如图 2 所示.

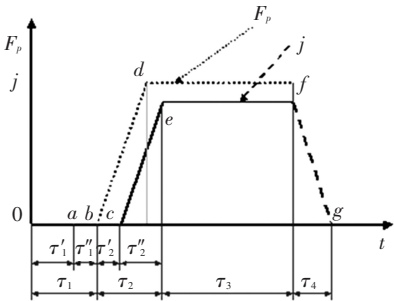


图 2 行动距离时间图

方向,视点位于坐标原点,路线(图中 AC) 设置在第一象限内, OD 指车辆与中央分隔带边缘距离. 如图 4 所示, L_s 为识别视距(采用直线长度作为识别视距), R 为高速公路平面线形中圆曲线的半径值, OB 与圆弧相切于 C 点, A 点为中央分隔带边缘, B 点为土路肩边缘, H' 为标志位置与土路肩的横净距.

表 2 标志距离中央分割带边缘距离

设计速度/ ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	路肩宽度/ m	标志距离/ m	车道数	横净距 /m
120	3.75	0.25	4	20.25
			3	16.50
			2	12.75
100	3.75	0.25	4	20.25
			3	16.50
			2	12.75
80	3.25	0.25	3	16.50
			2	12.25
60	3.00	0.25	2	11.75

注:设计速度为 60 km/h 时采用 3.5 m 车道宽度,否则采用 3.75 m.

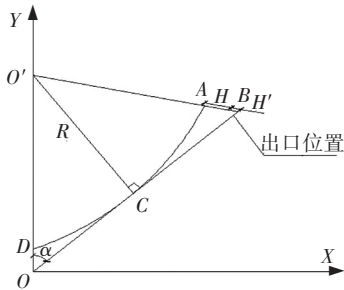


图 4 菱形立交分流区计算模型

2.2 平面设计计算

采用 Visual Basic 软件编辑曲线计算程序,计算菱形立交分流点位于主线圆曲线后半段平曲线半径值. 计算原理:通过几何关系及识别视距值可计算出曲线半径值 R , 计算曲线半径时通常取 5 的倍数以便运用. 通过借助 VB 计算程序计算对应的曲线半径值,如表 3 所示.

表 3 菱形立交分流区域主线圆曲线半径

主线设计速度/ ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	车道数	圆曲线半径/m	
		一般值	最小值
120	4	3 700	3 100
	3	4 300	3 600
	2	5 200	4 400
100	4	2 400	2 000
	3	2 750	2 400
	2	3 350	2 900
80	3	2 050	1 700
	2	2 500	2 050
60	2	1 500	1 150

通过调查墩茶菱形互通式立交分流区范围内的交通事故形态,发现碰撞分流端头与侧面碰撞是由于分流点位于圆曲线后半段,分流点位置容易被外

侧车辆或分隔带等遮挡,当驾驶员识别分流点时会急转方向,导致此类事故. 已运营的墩茶菱形立交分流区处平曲线后半段,其半径值为 2 100 m,大于设计规范一般值,但小于表 3 所示的平曲线一般值 2 750 m,即为调查分流区所在主线半径满足规定要求仍事故频发的原因之一.

2.3 竖曲线线形计算

当菱形立交分流点位于凸形竖曲线变坡点之后时,容易导致驾驶员不能识别分流区域地面标识而错过出口. 菱形立交分流区事故主要集中在凸形竖曲线变坡点之后,文中通过识别视距计算凸形竖曲线半径.

2.3.1 计算模型

按照竖曲线长度 L 与菱形立交分流区识别视距 L_s 之间长度的关系分为 $L < L_s$ 和 $L > L_s$ 两种模型.

$L < L_s$ 时, $h_1 = \frac{d_1^2}{2R} - \frac{t_1^2}{2R}, h_2 = \frac{d_2^2}{2R} - \frac{t_2^2}{2R}$. 则 $d_2 = \sqrt{2Rh_2 + t_2^2}$, 如图 5 所示, 其中 R 为凸形竖曲线半径值, m ; h_1 为驾驶员视线高度,取 $h_1 = 1.2 \text{ m}$; h_2 为分流点地面标志,取 $h_2 = 0 \text{ m}$.

由 $t_1 = d_1 - l = \sqrt{2Rh_1 + t_1^2} - l$, 得 $t_1 = \frac{Rh_1}{l} - \frac{l}{2}$, $t_2 = 0$. 则 $L_s = t_1 + L + t_2 = t_1 + L = \frac{Rh_1}{l} + \frac{L}{2}, \frac{dL_s}{dl} = 0$, 得 $L_s = \frac{R}{L}(h_1 + h_2)^2 + \frac{L}{2}$, 即 $L_s = \frac{R}{L}h_1 + \frac{L}{2}$. 则 $d_1 = \sqrt{2Rh_1 + t_1^2}$.

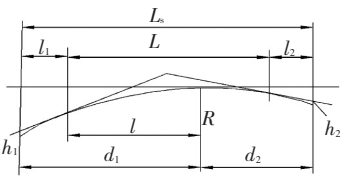


图 5 $L < L_s$ 时主线凸形竖曲线计算图

$L > L_s$ 时,如图 6 所示,由图可知: $h_1 = \frac{d_1^2}{2R}$, 则 $d_1 = \sqrt{2Rh_1}, h_2 = \frac{d^2}{2R}$. 由于 $h_2 = 0$, 因此 h_2 不用计算. $L_s = d_1 + d_2 = \sqrt{2Rh_1}$, 因此, $R = L_s^2/2h_1$.

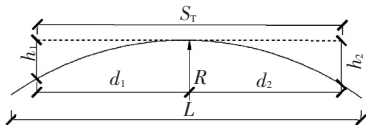


图 6 $L > L_s$ 时凸型竖曲线计算图

2.3.2 凸形竖曲线计算

根据识别视距值及计算方法,可得到不同设计速度相对应的凸形竖曲线半径值,如表 4 所示.

表 4 菱形立交分流区凸形竖曲线计算值

主线速度/ ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	竖曲线长度/ m	匝道设计速度/ ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	识别视距/m		竖曲线半径/m	
			一般值	最小值	一般值	极限值
120	250	60	490	470	83 000	79 000
		40	510	490	88 000	84 000
100	210	60	390	380	55 000	53 000
		40	410	400	59 000	57 000
80	170	60	320	310	37 000	35 000
		40	340	330	40 000	38 000
60	120	60	240	230	20 000	19 000
		40	260	250	22 000	21 000

注:表中一般值为推荐采用值;极限值为不得以情况下使用。

菱形立交分流区主线凸形竖曲线半径是规范值补充,即当菱形立交分流区位于凸型竖曲线变坡点之后时,应调整分流点位置或增加竖曲线半径以满足识别视距要求。

3 结 论

1)应用汽车理论、人机工程学及交通心理学等研究车辆在分流区对标志标线的识别过程,计算获得不同主线设计速度及匝道设计速度组合对应的识别视距值。

2)通过识别视距计算的菱形立交分流区主线圆曲线半径及凸形竖曲线半径取值范围比其他互通式立交范围内主线的平、纵面指标高,这也验证了菱形立交分流区位于圆曲线或凸形竖曲线后半段侧面碰撞及碰撞分流鼻等事故高发的原因。

3)菱形立交分流区所在主线指标应满足一般值,新建高速公路菱形立交应该避免采用极限值,当受地形地物限制不得已采用此种设计时应在分流点加强行车诱导及分流预告标志,保证行车安全。

4)墩茶菱形立交平线形大于规定圆曲线半径最小值 1 000 m 要求,但由于其分流点处于圆曲线后半段,其曲线半径>2 750 m,易发生识别分流点问题,导致事故形态集中。通过对墩茶菱形立交分流区采取识别视距改善措施后的跟踪调查,其侧面碰撞及碰撞分流端事故率明显降低,这也说明该路段对识别视距的改善可以有效降低事故数量。

5)对识别视距计算时,是以小客车为标准,其他车型制动特性等有待进一步研究。

参考文献

[1] TAIGANIDIS I. Aspects of stopping-sight distance on crest vertical curves [J]. Journal of Transportation Engineering, 1998, 15(3): 88-92.

[2] HASSAN Y, EASA S M. Modelling of required preview-sight distance [J]. Journal of Transportation Engineering,

2000, 126(1): 13-20.

[3] NEWELL G F. Delays caused by a queue at a freeway exit ramp [J]. Transportation Research Part B, 1999, 33(5): 337-350.

[4] CHEN H, LIU P, LU J J, et al. Evaluating the safety impacts of the number and arrangement of lanes on freeway exit ramps[J]. Accident Analysis & Prevention, 2009, 41(3): 543-551.

[5] 高建平, 廖丽. 互通式立交匝道连续分流点最小间距研究[J]. 重庆交通大学学报:自然科学版, 2014, 33(2): 103-107.

[6] 赵一飞, 陈敏, 潘兵宏. 隧道与互通式立交出口最小间距需求分析[J]. 长安大学学报:自然科学版, 2011, 31(3): 68-71.

[7] 赵海娟, 陆键, 马永锋. 高速公路出口匝道与地面道路衔接部的几何安全设计研究综述[J]. 交通运输工程与信息学报, 2010(2): 48-55.

[8] 杨少伟, 王晓, 冯玉荣, 等. 基于交通冲突技术互通式立交最小净距研究[J]. 西南大学学报:自然科学版, 2011, 33(3): 133-138.

[9] 魏连雨, 朱敏清. 竖凸曲线与平曲线组合设计的新方法[J]. 中国公路学报, 2002, 15(1): 15-18.

[10] 冯浩, 席建锋, 矫成武, 基于前视距离的路侧交通标志设置方法[J]. 吉林大学学报:工学版, 2007, 37(4), 782-785.

[11] 王军雷, 孙小端, 徐婷, 等. 山区高速公路平曲线建议限速标志设置[J]. 长安大学学报:自然科学版, 2011, 31(4): 77-80.

[12] 陆建, 姜军, 叶海飞. 普通公路路侧限速标志设置位置的确定方法[J]. 长安大学学报:自然科学版, 2011, 31(1): 74-78.

[13] LU Jian, CHEN Weiwei, FAN Hongjing. Intersection capacity based on driver's visual characteristics [J]. Journal of Southeast University, 2009, 18(1): 117-122.

[14] 中国公路学会. 交通工程手册[M]. 北京:人民交通出版社, 1998.

[15] 余志生. 汽车理论[M]. 北京:机械工业出版社, 1999.

(编辑 魏希柱)