

高速公路改扩建道路设计的安全问题

李德慧¹, 孙小端^{1,2}, 刘小明¹, William Fitzgerald³

(1.北京工业大学 北京市交通工程重点实验室, 北京 100022; 2.路易斯安那大学 土木工程系, 拉斐特 70504, 美国;
3.美国联邦公路局, 华盛顿 20590, 美国)

摘要: 由于受到客观条件的限制, 中国 20 世纪 80 年代末至 90 年代初期修建的高速公路存在一些设计上的问题和事故隐患, 而且普遍存在着交通量过大、事故频发等情况, 产生了很大的扩建需求. 从中央分隔带、路肩、路侧、横坡、路缘石、互通式立交的加减速车道长度等方面, 对影响高速公路安全的因素进行分析, 并结合国外设计上的理念, 对目前中国高速公路存在的问题进行了剖析, 对高速公路的扩建提出了建议.

关键词: 高速公路; 扩建; 路侧设计; 中央分隔带; 护栏

中图分类号: U 491.5

文献标识码: A

文章编号: 0254-0037(2006)10-0913-06

一条路要建多宽, 修几个车道, 基本上是由交通需求决定的. 中国在不到 20 年时间内修建了 3.4 万多公里的高速公路, 其中绝大部分为 4 车道, 主要出于对当时交通量的调查和预测. 随着经济的快速发展, 发达地区交通量的增长速度几乎都在 2 位数以上, 而且早期兴建的高速公路网的交通战略地位突出, 因此扩建问题格外突出. 2004 年 8 月 29 日, 沈阳—大连高速公路顺利完成 4 改 8 扩建, 沪宁、沪杭甬、京津塘、成渝、济青高速公路也正在分期扩建或进行扩建前期准备. 扩建工程的基本原则是最大限度地利用既有资源, 与新建复线相比, 节约土地 50% 以上. 因此, 高速公路扩建将成为未来十几年中国新的建设热点.

高速公路改扩建是一个弥补以前设计不足良机, 除了应该考虑道路设计标准、审美、环境、经济发展、能源消耗和可持续发展等因素外, 还应该把“宽恕道路”的理念融入其中. 下面结合美国的公路设计标准和运营实践经验, 分别从中央分隔带、路肩、路侧、交通工程设施等方面, 对中国高速公路的改扩建提出一些思考和建议.

1 中央分隔带

从安全角度讲, 中央分隔带的目的是把 2 个方向的交通流分隔开, 防止对向车的穿越造成二次事故, 各个国家对其宽度的规定不尽相同. 如果不能使用较宽的中央分隔带, 那么就必须要设置中央分隔带的护栏. 根据 5a 的实际研究, 美国确定了高速公路设置中央分隔带护栏的要求, 图 1 是美国中央分隔带设计标准的规定, 图 2 是美国马里兰州的超前设计标准^[1]. 从图中可以看到, 是否设置中央分隔带护栏主要取决于平均日交通量和中央分隔带的宽度.

中国的国情决定了必须设置中央分隔带护栏, 设置什么样的护栏取决于道路运营、公路景观和经济等因素. 中央分隔带的护栏有 2 种形式, 一种是波形梁护栏, 一种是混凝土护栏. 波形梁护栏是中国目前普遍采用的护栏形式, 具有美观、安全的特点. 波形梁护栏可用来防止小汽车或者小货车的撞击, 而混凝土护栏可以用来防止大货车的撞击. 在美国, 波形梁护栏的初期安装造价较低, 但是如果发生事故, 波形梁护栏容易损坏, 且维护费用较高. 与此相反, 初期安装混凝土护栏的造价较高, 但使用年限较长, 经得住大车的撞击. 相对于不断维护被破坏的波形梁护栏, 从经济的角度看, 混凝土护栏更具优势. 在美国, 常用的混凝土护栏有 2 种, 一种是新泽西护栏^[2], 一种是低变坡点的 F 形护栏. 混凝土护栏的底部坡度是为了

收稿日期: 2005-08-24.

基金项目: 交通部科技项目(2005353H02010).

作者简介: 李德慧(1977-), 男, 山东德州人, 博士生.

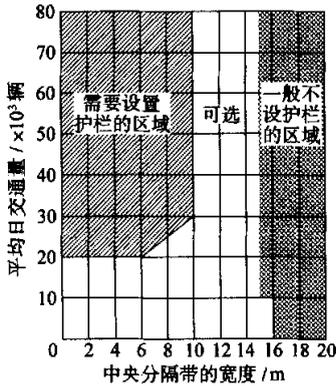


图1 美国中央分隔带护栏设置全国通用标准
Fig.1 Median barrier warrants for freeways in US

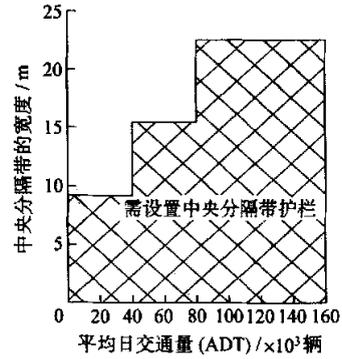


图2 美国马里兰州的超前设计标准
Fig.2 Specific median specifications of Maryland

起到消能导向的作用。经验表明,在造价基本相同时,低变坡点的F形混凝土护栏形状比新泽西护栏安全性能好;护栏安全性能测试表明,较高变坡点的新泽西混凝土护栏易引起翻车。

如果必须使用波形梁护栏,仍然有可选方案。目前,中国高速公路的中央分隔带护栏一般采用两侧对称布置,每侧都需要立柱支撑。如果去掉中央绿化带,把两侧的护栏改成背靠背的波形梁护栏(如图3所示),则只需要1列立柱就可同时支撑两侧护栏,但使用的立柱强度比单侧护栏立柱的高,且安装高度略高于路侧护栏。在美国,背靠背护栏主要用于中央分隔带相对较窄的路段,这样的设计不仅节约成本,而且节省出来的空间可以作为道路的左侧路肩,即使空间有限的左侧路肩也可大大减少事故隐患。波形梁护栏和混凝土护栏的主要特点对比见表1。

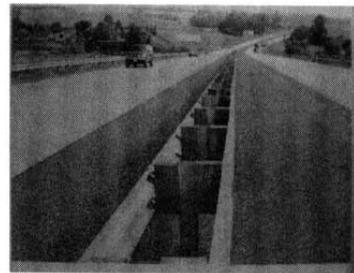


图3 背靠背式波形梁护栏
Fig.3 Back-to-back style W-beam barrier

表1 3种护栏的主要特点对比表
Tab.1 Comparison of three types of barriers

护栏类型	美观	是否可以提供左侧路肩	防护的主要对象	造价*	防大车穿越安全性
混凝土护栏	差	是	货车	初期造价高,维护费用低	最好
单柱波形梁护栏	好	否	小车	初期造价低,维护费用高	一般
背靠背式波形梁护栏	好	是	小车	初期造价低,维护费用高	较好

*:是美国的造价情况

因此选择哪种形式的护栏需要根据车型的情况进行选择,或者结合2种护栏的优点进行设置,即并不是全线使用同一种类型的护栏,而是根据道路的实际情况进行选择。比如,如果一段道路货车事故的比例明显较大,则可以采用混凝土护栏,甚至可以把中央分隔带向另一边偏移,给事故多的一侧更大的空间,而其余路段采用波形梁护栏。

2 路肩

《公路工程技术标准》JTJ01—88对右侧路肩的要求是2.5 m^[3],该值目前情况下已偏小。然而当时的

高速公路是按照该标准修建的,而且没有紧急停车带。对于小车来说,因紧急情况停靠在右侧路肩没有问题,但是由于大车本身宽度较宽,停在右侧硬路肩时通常会压线,甚至挤占相邻的行车道,不仅影响相邻行车道的通行能力,而且带来事故隐患。研究表明,小于3 m的路肩和事故有很大的相关性^[4]。在改扩建的过程中,右侧路肩的宽度必须保证3 m,这对于紧急停车、紧急疏散管理、救援等方面都有巨大的作用。路侧的护栏应该使用波形梁形式,其位置至少要在路肩的60 cm以外。

左侧路肩对于行车安全有着重要意义。然而在中国的标准中,仅提到“8车道高速公路宜设置左侧硬路肩,其宽度应为2.5 m^[5]”。与国外相比,有较大差距。如何解决驾驶员利用路肩行车的问题呢?方法很简单,就是在路肩上设置震动带,左右侧路肩均可设置。美国20 a的经验证明,震动带不仅对路面结构没有损害,而且造价便宜(造价仅0.5美元/m)、效果显著,能对路肩行车起到良好的控制作用,不仅解决了路肩行车问题,也增加了路侧净区。

3 路侧

美国30%的事故和路侧有关,可见路侧设计对安全的影响之大。在路侧的设计中,最重要的是路侧净区。路侧净区指从行车道边缘起始,可以让车辆在冲出车道后可返回或者横穿的区域。通用公司曾在试验场对此进行了研究,总结出路侧净区对道路安全的影响曲线,见图4。

从图4中看出,20%的事故发生在路侧9 m以外(即80%的事故发生在路侧9 m以内),可见路侧净区对行车安全有着十分重要的意义。Kennedy-Hutchinson^[6]在州际公路上的研究证实了通用公司的结论是正确的。因此在设计过程中,应尽可能获得最大的、有效的路侧净区。中国在1988年才有了第1个高速公路的标准,当时把更多的注意力放在了道路线形上,缺乏对路侧的研究和规定。所以在高速公路改扩建的过程中,可以针对原来路侧设计的不足进行改进,路侧安全设计主要包括

1) 尽量使用可返回式的边坡。大量的研究和试验表明,4:1或更缓的边坡是可返回的边坡,即当车辆由于某种原因离开行车道而驶上边坡时,可以再次驶回行车道;当边坡的坡度介于3:1~4:1时,驶离车道的车辆将无法返回车道,但是可以穿过边坡到达另一边,被称为可穿越式的边坡;如果边坡的坡度是3:1或者更陡,那么驶离车道的车辆就会翻车。可见边坡坡度的选择是很重要的,在美国,已经有使用6:1坡度的公路了。在中国大多数区域,由于土地资源的限制,没有使用可返回式边坡的条件。个别地区可做到可穿越式的边坡。

2) 对于必须设置在路侧的标志等交通设施,可选择解体消能式的设计以减轻车辆撞击受到的伤害程度。解体消能装置的底座一般由水泥构成,其最大高度约为102 mm,通过螺栓和标志杆相连,标志和标志杆之间也通过螺栓相连。当车辆撞到交通控制设施时,解体消能装置可以缓解碰撞产生的巨大能量对车辆的伤害。靠近道路的交通设施,如标志杆、紧急电话、消防栓等都应该采用解体消能式设计。而中国目前鲜有此类设计,一旦车辆撞上,就会对车体产生巨大的破坏作用。除此之外,安装时还应尽量远离行车道,增大标志杆的间距(美国采用的标志杆间距和高度均为2.13 m),减少车辆碰撞的可能性。

3) 路侧护栏。有时候在路侧有一些无法移除的障碍物无法采用解体消能式的设计,或者因为路基很高而存在危险,这种情况下,应该使用路侧护栏进行防护。当车辆撞到路侧护栏时,护栏能承受一定的碰撞力,同时,对车辆起导向作用,不会拱起伤害车辆。必须说明的是,路侧护栏本身也是一种障碍物,因此护栏的基本原则就是安装护栏之后能减轻碰撞的严重程度。这是设计人员基于路侧因素和条件的主观分析,有时很难判断究竟是撞路侧固定物或驶离道路的车辆多还是撞护栏的多。

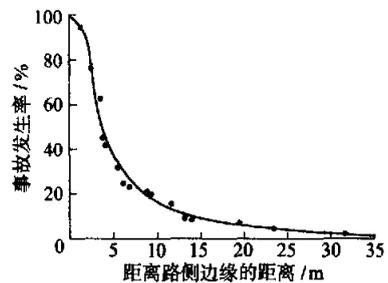


图4 路侧净区对道路安全的影响曲线
Fig. 4 Effect of roadside clear zone to road safety

设置护栏的第2个原则是分析效益费用比,即从经济的角度考虑,花钱安装护栏与带来的安全效果之比是否值得.安装护栏引起的费用主要包括安装费用、养护费用和碰撞损坏之后的更换费用等.

路堤高度和边坡的共同影响也是设置护栏时的一个基本考虑因素.如图5所示,横坐标为填方高度,纵坐标为坡度,位于曲线上方需要设置护栏,而位于下方通常不必设置护栏,但如果路侧还有其他障碍物需要另行考虑.不论哪种原则,在确定安装护栏之后,其安装位置应该尽可能远离行车道,尽量避免护栏成为一种危险物.

护栏的端部必须进行处理,以防止车辆高速行驶时撞到护栏端部时刺入车辆而伤害驾驶员.护栏还必须保持一定的张力,因此,尽可能使用连续护栏以保持护栏张力,如在遇到紧急电话的地方也不要断开.护栏的端部有利于保持张力,如果发生碰撞,可以安全地吸收能量.

4) 路侧排水沟的设计.图6是美国路侧设计指南中推荐的V形排水沟的前坡和后坡,如果前坡和后坡的坡度增加到10:1或更多,这样的设计通常比较安全,是可返回式的边坡设计(图6中阴影部分),落在白色区域范围内的不推荐使用,除非条件所限.

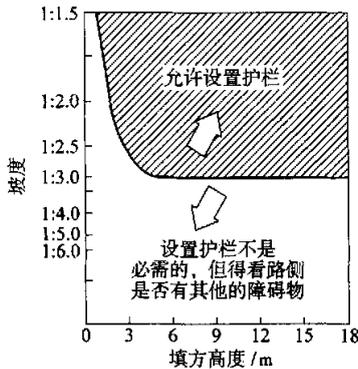


图5 边坡坡度和填方高度与护栏设置原则

Fig.5 Design principle for side slope and embankment

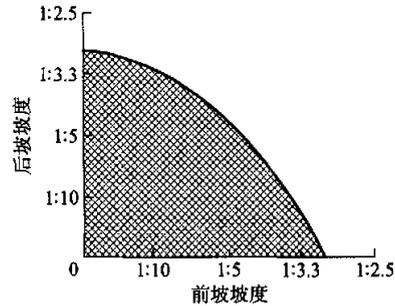


图6 路侧排水沟的设计原则

Fig.6 Design principle for roadside ditch

另一个重要方面是涵洞的端部处理.应配合路堤前坡的坡度倾斜,并用铁箅子或石块覆盖,避免管涵突起,减少路侧障碍物,对于实在无法改建的涵洞,应使用护栏防护.

4 横坡

为了便于排水,高速公路的一侧一般采用2%的横坡度.在双向4车道时,没有任何问题.当扩建成8车道后,每侧的雨水都会汇集到最右侧车道,在雨量较大时可能形成积水,对于右侧大型车的行车安全极为不利.为了解决这一问题,可以考虑把每侧都做成拱形,使每侧的雨水都以2%的坡度向中央带和路侧2个方向排水,如图7所示.

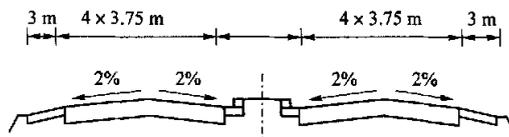


图7 考虑排水的横坡度设计

Fig.7 Cross section design with consideration of drainage

5 路缘石

中国的标准中有路缘石, 目的主要用来收集雨水, 尤其在北方的高速公路中一般采用集中式排水, 所以多使用路缘石. 但是使用路缘石有事故隐患. 因为在设计车速大于 80 km/h 的高速公路上, 路缘石不具有防止车辆越出路外的功能, 反而高缘石(20 cm 以上) 会使车辆弹起而减弱波形梁护栏的功能, 起到助长翻车等的相反效果. 因此, 对于设置波形梁护栏的高速公路, 应尽量采用低的路缘石(露出路面不高于 12 cm), 平缘石或不设路缘石. 推荐使用 Cape Cod 路缘石, 其坡度很缓, 其形式如图 8 所示.

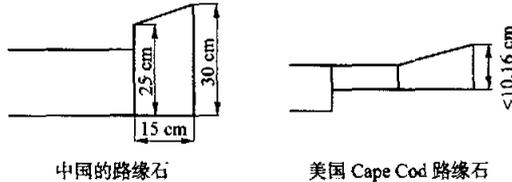


图 8 路缘石的形式对比图

Fig. 8 Curb comparison used in China and US

6 加减速车道的长度

车辆从主线以较高的速度 $v_1/(\text{km}\cdot\text{h}^{-1})$ 驶出到较低速度 $v_2/(\text{km}\cdot\text{h}^{-1})$ 的匝道上必须有一定长度的减速车道, 反之应有一定长度的加速车道, 长度 L 必须使驾驶员能安全而舒适地汇入或离开主线. L 可由

$$L = \left[\left(\frac{v_1}{3.6} \right)^2 - \left(\frac{v_2}{3.6} \right)^2 \right] / (2a)$$

计算得出. 式中, a 为加(减)速度(m/s^2), 通常加速度取 $0.8\sim 1.2 \text{ m}/\text{s}^2$ 时, 减速度取 $2\sim 3 \text{ m}/\text{s}^2$, 感觉较舒适^[3]. 计算时采用的车速是略低于设计车速的平均行驶车速, 设计车速 80 km/h 以上时, 取其值的 84%~88%, 70 km/h 以下时取其值的 90%~94%^[7].

对于匝道设计速度 40 km/h, 主线设计速度 110 km/h, 坡度 $< 2\%$ 的高速公路的匝道来说, 美国规定减速车道至少 164 m, 加速车道至少 430 m; 与此相比, 中国的同等级高速公路标准中规定的减速车道至少 100 m(单车道)、200 m(双车道), 加速车道为 200 m(单车道)、300 m(双车道). 如果加减速车道过短, 驾驶员没有充足的时间把车速降到匝道的的设计速度内的话, 容易发生事故, 这也是在高速公路互通立交的改扩建过程中应该注意的问题.

7 其他

1) 如果车道数多于 6 条而货车又比较多的话, 可以考虑限制货车在左侧车道行驶, 以减少由于货车的速度低而影响道路的通行能力.

2) 对中国某高速的研究发现, 高速公路上大小车的速度差是极大的事故隐患, 极易造成追尾事故. 国外的长期研究和运营经验表明, 车速差和事故有着直接的相关性, 这也是国外高速公路设置最低限速的原因. 这样, 一方面可以减少事故隐患, 另一方面还可以提高道路通行能力.

8 结束语

目前中国很多高速公路面临交通量大、事故频发等客观情况, 急需扩建. 因此, 作者从道路设计因素

的中央分隔带、护栏、路侧、路缘石对交通安全影响的角度,分析了中国最早修建的一批高速公路存在的事 故隐患,并通过中国公路工程技术标准与国外发达国家技术标准的对比,找出中国与其他国家在道路设计 对安全影响考虑上的差距,并提出了切实可行的解决办法.在我国高速公路扩建的过程中,如果能引入国 外多年来的先进技术和宝贵经验,把道路设计对交通安全的负面影响降到最低,将会大大提高我国的高速 公路安全状况.

参考文献:

- [1] FHWA. Roadside design guide[M]. 3rd ed. Washington D C: AASHTO, 2002.
- [2] ROSS H E, JR, SICKING D L. Recommended procedures for the safety performance evaluation of highway features[M]. Washington D C: National Academy Press, 1993.
- [3] 交通部.《公路工程技术标准》JTG B01—2003[S]. 北京:人民交通出版社,2004.
- [4] LEE J, MANNERING F L. Analysis of roadside accident frequency and severity and roadside safety management[M/OL]. Washington D C: University of Washington, 1999, 12. <http://www.wsdot.wa.gov/Research/Reports/400/475.1.htm>
- [5] 交通部.公路工程技术标准 JTJ01—88[S]. 北京:人民交通出版社,1988.
- [6] HUTCHINSON J W, KENNEDY T W. Medians of divided highways—frequency and nature of vehicle encroachments[M]. Illinois: University of Illinois Press, 1966.
- [7] 王伯惠.道路立交工程[M]. 北京:人民交通出版社,2000.

Road Safety Design of Expressway Reconstruction and Expansion in China

LI De-hui¹, SUN Xiao-duan^{1,2}, LIU Xiao-ming¹, William Fitzgerald³

(1. Beijing Key Laboratory of Traffic Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China;

2. University of Louisiana, Lafayette 70504 USA; 3. FHWA, Washington D.C 20590, USA)

Abstract: The expressways which were built at the end of the 1980's and the beginning of 1990's exist some design deficiency due to the absence of national technical standard at that time, and this leads to safety hidden trouble. At the same time, almost all the expressways exist problems like volume over load, too many crash accidents. So, broadening is a good chance to improve. The paper analyzes the design factors which influence the traffic safety and evaluates the current Chinese design specification on median, shoulder, roadside, curb and the ramp's length of the interchange. Some suggestions which may be useful to improve the road safety are also put forward.

Key words: expressway; reconstruction and expansion; roadside design; median; guide rails