

# 谈如何从宽容性设计角度提高公路安全

龚华凤, 周约珥, 赵聪霄, 肖洁, 刘庆

(林同棣国际工程咨询(中国)有限公司, 重庆 401121)

**摘要:** 高速公路的飞速发展与其设计及运营安全情况的不匹配导致交通事故成为一个日益突出的社会问题。为预防高速公路交通事故、降低事故恶劣程度及对使用者的伤害程度,文中从宽容性设计角度对高速公路设计的国内外发展进行解读,并根据中国高速公路设计现状,基于宽容性理念,分别针对设计速度、路侧净区及防撞护栏等提出设计建议。

**关键词:** 交通安全;公路;宽容性设计;设计速度;路侧净区;防撞护栏

中图分类号:U412.3

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2020)05-0037-04

中国高速公路规模急剧增长,截至 2018 年末,高速公路里程已达 14.25 万 km。与此同时,高速公路交通事故数量巨大,致死率偏高,恶性事故多发。其产生原因,除驾驶者导致的错误、车辆故障及天气原因等不可抗力因素外,很多是由设计人员的失误所致,如平纵线形指标、平纵组合、标志标线及路侧设施等设计不合理。不良设计往往很难从图纸上或日常观察中显现,却能对特定条件下驾驶员造成影响。如果设计之初便意识到整个系统应从设计上包容人类的错误,并在设计时使高速公路修得更“宽容”一点,按人性化设计理念对高速公路进行规划和设计,满足人的需求,使高速公路为驾驶员提供一个安全的行车环境,那么交通事故发生概率和严重程度将大大降低。该文基于宽容性理念,对设计速度、

路侧净区及防撞护栏等高速公路路侧设计提出符合中国实际情况的建议。

## 1 宽容性设计的定义

宽容性设计是一种以人为本的设计理念。设计人员在设计之初就充分考虑道路及其附属设施的设计要能有效避免交通事故的发生,并在事故中保证车内人员的人身安全,降低因驾驶员犯错而造成重大损失的概率。宽容性设计起源于美国,于 20 世纪 70 年代开始逐渐作为高速公路设计的一部分。其经历的理论萌芽、技术整合、理念成型、技术革新几乎与美国高速公路交通安全的发展同步。在该理念的支撑下,虽然美国汽车保有量随经济平稳增长,道路交通安全却呈惊人的下降趋势(见图 1)。

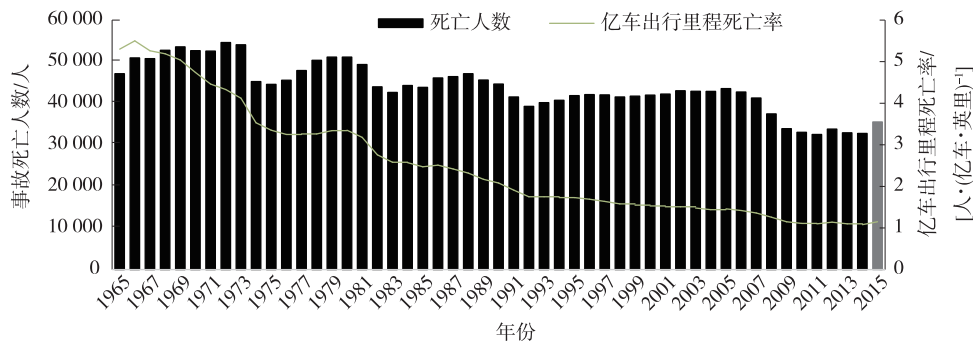


图 1 历年美国交通事故致死率与事故率

## 2 高速公路宽容性设计现状

### 2.1 国外宽容性设计

国外对高速公路宽容性设计的研究和实践主要从两方面开展:一是运行速度代替设计速度优化高速公路设计;二是对高速公路路侧安全的研究和优

化设计。

美国国家公路与运输协会(AASHTO)在《路侧设计指南》中首次提出路侧净区(clear zone)的概念,认为路侧净区的宽度取决于设计速度、日交通量、道路曲率和边坡坡度,对于交通事故高发区域,应基于建议值适当拓宽。但欧洲多个国家认为美国

AASHTO 要求的高速公路 9 m 路侧净区太过宽泛,会造成浪费。相关欧洲设计规范规定应根据不同高速公路类型、交通量及平面线形确定净区宽度,并将路侧净区作为标准纳入规范强制执行。

传统的速度设计是以公路线形、车辆动力性能及地形条件为基础确定某一路段的行驶速度,是一固定值,不能客观地体现实际行驶速度。文献[6]指出平均自由流速度和车辆之间的速度差是决定限速的重要安全指标。文献[7]认为应使用运行速度来评价线形的一致性,优良的道路线形应具备以下条件:小客车在整个路段上的平均运行速度变化不大于 16 km/h;设计速度在相邻路段的变化值不大于 16 km/h;普通路段小客车和大货车的平均速度差不大于 16 km/h。文献[8]提出高速路弯道处的设计速度和标志设计应根据实际运行速度确定。文献[9]提出公路的宽容性设计对护栏端部、减速振动带、路侧外结构物及路肩宽度的考量应有别于一般道路。

## 2.2 国内宽容性设计

中国高速公路建设起步比国外发达国家晚很多,随着国内高速公路建设进入突飞猛进的阶段,逐渐显现出越来越多的矛盾和问题,尤其是交通安全形势日益严峻。新形势下高速公路设计不仅要解决“到”和“达”的问题,更要满足出行过程中的安全性和舒适性。

文献[10]概述了国内高速公路的宽容性设计理念,提出在条件满足的情况下,可在高速公路上设置缓边坡、取消路侧护栏。文献[11]研究了宽容性设计思路在高速公路线形设计及互通立交设计中的应用,提出将线形设计、路侧设计和交通安全设计三方面内容作为宽容性设计的控制因素。文献[12]提出了高速公路长陡下坡路段宽容性设计理念的应用方法,并研究了如何通过对避险车道进行优化设计来提高高速公路运行的安全性。

重庆市就高速公路工程提出“生命保障工程”和“数字化工程”建设方案,并采用护栏、减速带、凸面镜、防撞墩、防撞墙、警示桩和标志标牌等安全防护措施综合治理危险路段,将人性化和安全性设计理念融入高速公路建设中。北京 110 国道改造项目基于宽容性设计理念,探索并实施了以交通安全、舒适为核心的高速公路设计新方法。

宽容性设计理念已被行业设计和评价标准逐渐接受,但多应用于普通公路,且有很多细节尚待完

善。鉴于中国人多地少,高速公路设计应遵循减少占地的原则,美国等西方国家的宽容性设计理念不能完全与中国实际情况接轨。下面就如何将宽容性理念转变成实用性设计、除传统意义上的路侧带设计外还有哪些高速公路要素可使用宽容性设计、如何针对国内具体情况进行宽容性设计等展开研究。

## 3 高速公路宽容性设计建议

### 3.1 设计速度的选择

如图 2 所示,运行速度与事故率大体成抛物线关系。但在本质上,运行速度对事故率的影响是通过平均速度差与事故率之间的关系体现出来的。文献[13]指出,车辆之间的平均运行速度差越大,发生事故的可能性越大。

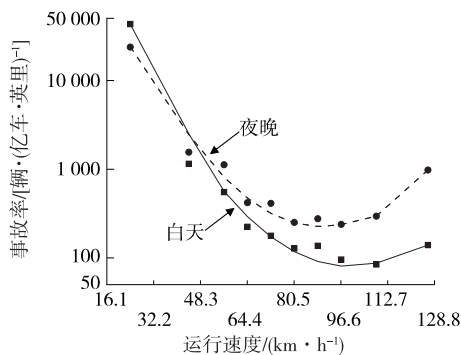


图2 运行速度与事故率的关系

相对事故率为:

$$A_2/A_1 = (v_2/v_1)^n$$

式中:  $A_1$  为速度变化前事故率;  $A_2$  为速度变化后事故率;  $v_1$  为变化前速度;  $v_2$  为变化后速度;  $n$  为模型参数,由事故类型或伤亡程度决定。

目前,中国高速公路的行驶速度普遍设置为 80 ~ 100 km/h。建议针对不同道路情况,高速公路设计速度秉承弹性理念。弹性理念考虑的范围包括如何使用地方及国家设计标准、如何识别设计异常值并提出调整方案、了解各类道路设计特征的安全性和运营特性及在情况允许时使用较低的设计速度等。弹性理念的优势,一是在道路安全得到保证的条件下,能着重改善高速公路与周边环境的相融性,进而实现高速公路品质提升与高速公路安全、周边自然与人文环境的整合;二是可根据实际运行速度确定设计速度,以达到减小车辆运行速度差的目的,降低以车辆追尾为典型代表的碰撞事故率。

### 3.2 高速公路侧方区域布局

高速公路侧方区域(路侧净区)是指从车行道边

缘起向高速公路以外的延伸区域,主要由路肩、应急停车带、非机动车道、辅道、路侧放坡组成(见图3)。该区域原则上不设置任何障碍物(如乔木、过高的灌木)且边坡保持在控制值以下,以便于游离、事故车辆能平稳停车或在路侧调整行驶状态后返回行车道继续行车。路侧区域布局的宽容性设计包括:

(1) 路侧净区的宽度。包括前坡和后坡,根据功能不同,路侧净区宽度取决于其坡度、高速公路类型、运行速度、设计交通量及平曲线等因素。

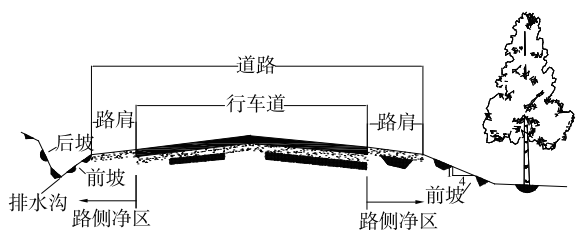


图3 公路路侧净区示意图

(2) 排水。横向和纵向排水设施不仅考虑路面,还需考虑两侧排水管廊的连通,必要时还需连通中央分隔带。排水设施的宽容性主要从设施的穿越设计、延伸设计、防护措施三方面考虑,尽量减少不必要的结构,从根本上降低车辆与设施发生碰撞的概率。

(3) 路缘石设计。高速路段应避免使用任何形式的路缘石。不可避免时,应使用斜坡型路缘石而不应使用垂直型路缘石,且路缘石高度不得大于100 mm,使高速行驶车辆与路缘石发生碰撞时可以穿越而不至于翻车。

(4) 立交匝道的宽容性设计。主要考虑平曲线的实际设计半径及衔接位置,并由此确定净区宽度(一般在曲线外侧)及设计速度。

由于目前中国对净区布局尚无统一规范,加之公路用地的限制,等级公路的净区布局很难理想化。建议在设计净区时,除根据实际情况合理考虑以上几点外,对净区内的障碍物以移除—移位—解体消能装置—引导的优先级进行设置,以降低其对驾驶者的危险性,必要时对危险物进行标识和防护。

### 3.3 高速公路侧方设施设计指引

高速公路侧方设施包括交通标志标牌、照明设施、交通控制设备。在条件允许的情况下,应尽可能使用消能解体结构。从撞击后的破坏形式来看,消能解体结构大致可分为屈服变形、整体破坏、支座分离三类。从车辆撞击受力特点、解体性能来看,消能解体结构设计应遵循以下原则:

(1) 消能解体结构的受撞击高度应为0.5 m,保持与常见车型(保险杠)撞击高度基本一致。实际预估撞击高度还应考虑高速公路超高、横坡、偏移、事故车辆撞击角度等因素。

(2) 消能解体结构设置在前坡时,前坡坡比不大于 $1V:6H$ ( $V$ 为坡高, $H$ 为坡宽)。若坡度大于 $1V:6H$ 且小于 $1V:4H$ ,消能解体设施应距离高速公路边缘600 mm以内。

(3) 消能解体结构的基础埋深必须得到保证,避免受力时整个结构连根拔起。应根据实际工程土壤条件确定其埋深,对于屈服变形和整体破坏的消能解体结构,埋深通常大于1 m。

(4) 解体后的设施杆件根部高度应小于100 mm(沿坡度方向)。

(5) 设置在防撞护栏后方的消能解体设施,其设置位置应在防撞护栏受撞击后的最大侧向位移范围以外。

### 3.4 防撞护栏设计

高速公路防撞护栏为沿车辆行驶方向布设的路侧防护屏障,确保事故车辆不会冲出高速公路范围而与路侧障碍物撞击造成人身、财产损失。宽容性设计着重考虑防撞护栏的基本设置要求及常见路侧和中央防撞护栏的性能指标、适用条件、过渡区布局、高速公路施工区安全设计。

一般防撞护栏的设置与安装需考虑护栏本身的性能指标、防撞等级需求、安装影响因素。高速路段工作性能和防护等级较高,应在中央分隔带处设置以砼为主的防撞护栏。砼护栏在受到冲击后的位移和变形较小,可最大程度保护中央分隔带另一侧的行驶车辆。设置路侧障碍物护栏的主要依据包括事故的可能性及严重性、事故历史和路侧净空等,路侧净区内所有固定障碍物均应考虑设置护栏防护。

合理设置防撞护栏端部渐变率,可实现防撞护栏的外侧偏移,有助于降低相应位置的事故风险及损失。而防撞护栏末端的防护性能主要受结构(是否为解体消能结构)、类型(偏移式或直线式)及长度等因素的影响。

根据宽容性设计原则,建议在条件允许的情况下使用解体消能的防撞护栏端点及防撞墩;条件不允许时,根据防护等级针对护栏薄弱段进行人性化设计和锚固,并考虑设置引导性设施,使事故车辆发生碰撞时可被引导到相对安全的地方。

#### 4 结语

作为一种设计理念,高速公路宽容性设计具有以下优点:1)主动引导防患于未然。通过各种引导手段使车辆正常行驶,不至于冲出路外。如在路侧设置轮廓标,通过视线诱导;在路侧设置振动标线、减速标线或在危险路段设置错觉标线帮助驾驶者主动减速。2)路侧净区让事故车辆“软着陆”。如果引导手段不能完全避免路侧事故,当车冲出路外时,高速公路设计应尽可能提供路侧净区,使事故车辆“软着陆”。3)人性化护栏。科学合理设置护栏,实现最小的伤害、最大的保护。

人性化的高速公路设计理念已成为发展趋势和大众的共识。在标准、规范为高速公路设计指明大方向的同时,各地区应根据各自特点,结合实际道路情况进行宽容性设计,避免生搬硬套。人性化设计理念的实现建立在现有规范和传统道路设计的基础上,结合细节设计、体验感受,并引入动态设计及容错设计的系统化理念,只有结合实际情况的宽容性理念,才能提供行之有效、安全友好的高速公路设计。

#### 参考文献:

- [1] AASHTO. Roadside design guide (4th Edition) [S]. Washington D C, 2011.
- [2] FHWA. Manual on uniform traffic control devices (MUTCD) [S]. Federal Highway Administration, Washington D C, 2009.
- [3] AASHTO. A policy on geometric design of highways and streets (5th Edition) [S]. Washington D C, 2011.
- [4] AASHTO. Highway safety manual [S]. Washington D

C, 2010.

- [5] RISER. European best practice for roadside design: Guidelines for roadside infrastructure on new and existing roads [R]. Goteburg: Chalmers University of Technology, 2005.
- [6] FHWA. Reconciling speed limits with design speed [R]. Federal Highway Administration Report, FHWA/IN/JTRP-2004/26, 2004.
- [7] LEISCH J E, LEISCH J P. New concepts in design-speed application [R]. Transportation Research Board Report Issue Number 631, 1977: 4-14.
- [8] National Roads Authority. A guidance document for the implementation of the CEDR forgiving roadsides report [R]. National Roads Authority, Dublin, Ireland, 2009.
- [9] TORRE Francesca Lae, SALEH Peter, CESOLINI Eleonora, et al. Improving roadside design to forgive human errors [J]. Procedia-Social and Behaviour Sciences, 2012, 53: 235-244.
- [10] 吴美发. 宽容性设计理念在高速公路中的应用 [C]//中国公路学会. 第四届全国高速公路科技创新高层论坛论文集 [下卷]. 北京: 中国公路学会, 2008.
- [11] 马昊. 宽容性理念在高速公路设计中的运用 [J]. 公路交通科技 (应用技术版), 2010 (6): 60-63+66.
- [12] 张淑林, 何利佳. 宽容性设计在高速公路中的应用 [J]. 科技信息, 2011 (9): 352+358.
- [13] SOLOMOM D. Accidents on main rural highways related to speed, driver and vehicle [R]. Bureau of Public Roas, Washington D C, 1974.
- [14] 张帅. 基于宽容性理念的高速公路优化设计研究 [D]. 天津: 河北工业大学, 2013.

收稿日期: 2019-12-31

\*\*\*\*\*  
(上接第8页)

#### 4 结语

该文系统解析轿车风噪声的主要门类和影响因素, 为有效控制风噪声提供理论依据。根据后视镜的静、动态密封及设计要求, 将仿真和试验相结合, 分析存在的风噪声问题并提出整改优化措施, 降低后视镜处的风噪, 为解决轿车风噪声问题提供借鉴。

#### 参考文献:

- [1] 庞剑. 汽车车身噪声与振动控制 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2015.

- [2] 李彩芬, 旷明秋, 邓建军. 混合动力城市客车噪声与振动的性能优化 [J]. 客车技术与研究, 2012 (4): 20-22.
- [3] 文琪, 袁侠义, 汤柱良, 等. 汽车侧窗风振噪声分析与改进 [J]. 客车技术与研究, 2018 (4): 34-38.
- [4] 卓建明. 某客车行驶车内轰鸣声分析与改进 [J]. 客车技术与研究, 2016 (2): 56-58.
- [5] 庞剑, 湛刚, 何华. 汽车噪声与振动: 理论与应用 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2006.
- [6] 付年, 刘任权, 顾晓卓, 等. 某 SUV 车型防火墙过孔件隔声性能影响分析及优化 [J]. 公路与汽运, 2019 (4): 13-18.

收稿日期: 2020-04-18