

TECHNOLOGY AND APPLICATION
FOR HIGHWAY BARRIERS RECONSTRUCTION



高速公路护栏改造 关键技术与应用

赛志毅 主编



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

高速公路护栏改造关键技术与应用

主编 赛志毅



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书共5章,具体内容包括绪论、波形梁护栏改造关键技术、桥梁组合式护栏改造关键技术、跨铁路桥梁护栏改造关键技术、中分带开口活动护栏改造关键技术等内容。

本书的编写丰富了我国高速公路运营期交通安全防护体系,服务于公路护栏研究、工程设计和施工技术人员,尚可作为高速公路运营期护栏设计、安全性能提升的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

高速公路护栏改造关键技术与应用/赛志毅主编.

—北京:人民交通出版社股份有限公司,2018.9

ISBN 978-7-114-14882-8

I. ①高… II. ①赛… III. ①高速公路—防护结构—栏杆—道路施工 IV. ①U417.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 158680 号

书 名: 高速公路护栏改造关键技术与应用

著 作 者: 赛志毅

责任编辑: 张江成 李 娜

责任校对: 董 昊

责任印制: 张 凯

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpress.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 10.75

字 数: 240 千

版 次: 2018 年 9 月 第 1 版

印 次: 2018 年 9 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-14882-8

定 价: 50.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

本书编委会

主 编 赛志毅

副 主 编 孙正甫 刘甲荣 张晓冰 闫书明 高德忠 郭 洪 刘 航

编写人员 龚 帅 苏建明 亢寒晶 杨伟刚 杨福宇 王 娜 鲍 钢

余长春 苏 敏 吴桂胜 罗爱道 马 晴 高建雨 刘思源

陈兰波 周召伟 潘兴国 边兆军 王 琳 田 隽 陈艳君

李 宁 孙建华 闫 晨 李阿雷 牛 健 张忠田 刘彦涛

杨 杰 万年太 李兴锋 张军华 陈凤鸣 孔晨光 李 勇

赵庆水 蒋 洁 韩兆友 邓 宝

前 言

高速公路的建设和运营,极大提高了我国公路网的整体技术水平,改善了人们的出行条件,优化了交通运输结构,促进了交通运输业的发展,沟通了沿线地区与大城市、交通枢纽、工业中心的联系,由此创造了巨大的经济效益和社会效益。高速公路不仅是国民经济的命脉,而且是经济建设不可缺少的基础设施。截至2017年年底,我国已经建成运营的高速公路突破13.65万km,总里程数位居世界第一位。然而在高速公路蓬勃发展的同时,我们也应该注意到,近几年,在运营期高速公路上的事故呈多发态势,国家及相关部门对此高度重视。因此,如何提高高速公路安全运营水平,为人民群众提供更安全的公路交通环境,是值得我们探讨的课题。

防撞护栏作为高速公路安全运营的重要设施,在保障道路运营交通安全方面至关重要,其防撞性能应与高速公路线形、设计速度、运行速度、交通量和车辆构成等因素相匹配,但是目前我国不少早期建造的高速公路护栏已不能满足当前安全防护需求,如果护栏安全性能不能得到及时提升,将无法对高速公路通行车辆形成有效防护,极有可能造成严重交通事故,甚至恶性重特大事故,对人民生命和财产安全造成巨大威胁。与新建和改扩建公路不同,运营期高速公路护栏升级改造具有其特殊性,若将原有护栏进行拆除重建,不仅建设周期长,施工人员车辆及相应设施也会严重影响公路正常运营;而且建设费用高,需要拆除和新建两笔费用;同时原有护栏结构得不到有效利用,不符合“资源节约与环境友好”的建设理念。因此,针对高速公路运营期护栏安全性能不足的问题进行系统研究,对于保障高速公路运营安全、提升高速公路交通安全水平、降低工程造价、推动“平安交通”“绿色交通”发展具有重要意义。

高速公路运营期不同路段对护栏的安全防护性能具有不同的特殊要求,如何遵循“安全、环保、舒适、和谐”的理念,对护栏升级改造提出了巨大的挑战。在对运营期高速公路护栏进行升级改造研究过程中,山东高速股份有限公司、北京华路安交通科技有限公司联合开展技术攻关,旨在形成我国运营期高速公路护栏改造关键技术体系。本书就是在运营期高速公路护栏改造关键技术研究成果的基础上,综合国内外相关发展情况,立足我国国情进行编写的。本书的编写丰富了我国高速公路运营期交通安全防护体系,服务于护栏研究、工程设计和施工技术人员,可作为高速公路运营期护栏优化设计改造的参考用书。

本书共五章,较为系统地介绍了护栏改造关键技术及其在高速公路运营期的系统应用。第1章简要介绍了运营期高速公路交通安全防护现状、国家政策对公路护栏的新要求、运营期高速公路护栏升级改造的特点及核心方法。第2章介绍了波形梁护栏改造关键技术,针对早期建造的波形梁护栏进行升级改造,在充分利用原护栏结构的基础上,提出波形梁护栏改造方案,防撞等级达到《公路交通安全设施设计规范》(JTG D81—2006)要求的A级(160kJ)。第3章介绍了桥梁组合式护栏改造关键技术,针对早期建造的一种旧桥梁组合式护栏存在的设计缺陷,对其进行升级改造,所提出的改造设计优化方案充分利用旧组合式桥梁护栏结构,满足“资源节约、环境友好”的需求。第4章介绍了跨铁路桥梁护栏改造关键技术,针对跨铁路桥梁路段特殊防护需求(高防护等级与减小车辆侧倾功能)及施工方便性特殊要求,对原有跨铁路桥梁路段护栏进行升级改造,使其达到安全、经济、施工方便的综合效果。第5章介绍了中分带开口活动护栏改造关键技术,结合现阶段公路中分带开口护栏的防护需求和《公路护栏安全性能评价标准》(JTG B05-01—2013)规定,以现有钢管预应力索活动护栏结构为基础,进行一体化设计,得到新型钢管预应力索活动护栏结构。

由于编者水平有限,书中疏漏与不当之处在所难免,恳请读者和专家予以指正。

编 者

2018年1月29日

目 录

第1章 绪论	1
1.1 高速公路交通安全防护现状	1
1.2 国家政策对公路护栏提出新要求	5
1.3 运营期高速公路护栏升级改造的特点及核心评价方法	7
第2章 波形梁护栏改造关键技术	9
2.1 概述	9
2.2 波形梁护栏改造设计与优化	11
2.3 波形梁护栏改造方案实车碰撞试验	16
2.4 基于波形梁护栏改造方案的基础性研究	22
2.5 基于波形梁护栏改造方案的其他加强方式	39
2.6 实际工程应用	41
第3章 桥梁组合式护栏改造关键技术	42
3.1 概述	42
3.2 桥梁组合式护栏的安全防护目标	43
3.3 原有桥梁组合式护栏安全性能分析	46
3.4 基于原有桥梁组合式护栏的升级改造方案	56
3.5 实际工程应用	68
第4章 跨铁路桥梁护栏改造关键技术	72
4.1 概述	72
4.2 跨铁路桥梁护栏的安全防护目标	74
4.3 原有跨铁路桥梁护栏安全性能分析	75
4.4 跨铁路桥梁护栏改造方案	79
4.5 跨铁路桥梁护栏基础研究	90
4.6 跨铁路桥梁护栏端部过渡结构研究	96
4.7 配套设施协调性设计	103
4.8 效益分析	107
第5章 中分带开口活动护栏改造关键技术	108
5.1 概述	108
5.2 中分带开口活动护栏的安全防护目标	113

5.3 现有活动护栏结构分析 114

5.4 新型钢管预应力索活动护栏一体化设计 125

5.5 新型一体化设计钢管预应力索活动护栏安全性能评估 133

5.6 新型钢管预应力索活动护栏安全性能评价 150

5.7 效益分析 159

参考文献..... 160

第1章 绪 论

1.1 高速公路交通安全防护现状

近年来,我国高速公路建设发展迅速,高速公路总里程由 2005 年年底的 4.1 万 km 增至 2017 年年底的 13.65 万 km。高速公路的建成和运营极大方便了群众的出行,并带动沿途各地的经济发展,但随着我国经济的快速增长和公路运输事业的蓬勃发展,高速公路交通量迅速增长,随之而来的道路交通安全问题成为一个严重的社会问题,受到广泛关注。

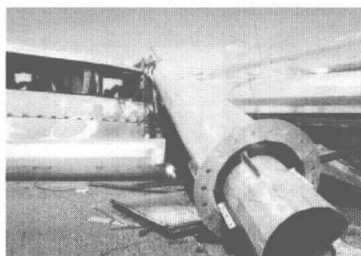
根据我国高速公路多年的运营管理及实践经验,交通安全防护设施作为高速公路的重要组成部分,是道路通车运营后的防护与形象大使,在高速公路运营期间作用突出,尤其是防撞护栏在保障道路运营期间交通安全方面至关重要。通过设置安全可靠的护栏能够有效降低交通事故的严重程度,达到挽救生命的效果。目前我国已通车运营的高速公路上,尽管防撞护栏按照相关规范进行设计,但在使用过程中仍出现了“落伍”现象,存在部分路段防护效果不佳、特殊危险路段易发生严重交通事故的问题,例如部分路段既有的波形梁护栏、桥梁组合式护栏、跨铁路特殊路段桥梁护栏以及中分带开口活动护栏等,均存在一些不足。

(1) 波形梁护栏

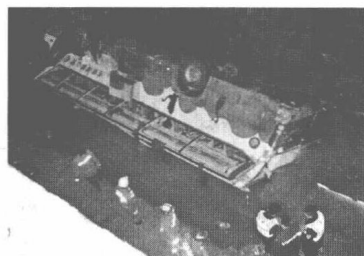
波形梁护栏是半刚性护栏的代表形式,目前波形梁护栏在我国高速公路中应用最为广泛。通过对高速公路事故的统计和调查发现,高速公路失控车辆因撞断波形梁护栏冲出路外而造成重大人员伤亡的事故已经发生多起,大量事故统计数据表明:大(中)型车辆碰撞波形梁护栏后极易发生车辆侧翻、穿越中分带护栏进入对向车道、穿越路侧护栏冲出路外的事故(图 1-1-1、图 1-1-2),且一旦涉事车辆为大客车,往往导致群死群伤的恶性事故,造成极其恶劣的社会影响;小型车碰撞波形梁护栏后易发生车辆掉头、横转现象,一些事故中不乏出现车辆下穿护栏,甚至是护栏刺穿车体的情况,对驾乘人员生命安全造成严重伤害(图 1-1-3)。由此可见,波形梁护栏安全防护性能存在不足,无法为运营期公路安全提供有效防护,具有较大的安全隐患,有必要针对既有波形梁护栏进行升级改造。



a) 侧翻



b) 穿越中分带护栏进入对向车道



c) 穿越路侧护栏驶出路外

图 1-1-1 大客车碰撞波形梁护栏事故



图 1-1-2 大货车碰撞波形梁护栏事故



图 1-1-3 小客车碰撞波形梁护栏事故

(2) 桥梁组合式护栏

桥梁路段一般处于高位,如果其护栏的安全性能存在不足,则很容易发生车辆穿越或翻越护栏坠落桥下的事故,根据资料表明,这类事故的死伤率在 95% 以上。通过调查,车辆穿越桥梁护栏的事故多数与早期建造的一种旧桥梁组合式护栏结构有关(图 1-1-4、图 1-1-5)。该组合式桥梁护栏根据 1994 年颁布(现已废止)的《高速公路交通安全设施设计及施工技术规范》(JTJ 074—1994)(以下简称《074 规范》)设计。由于这种结构未进行过碰撞分析,其能否达到设计防护能量未曾可知,但是从实践防护效果来看,这种护栏结构防护能力有所不足,无法为运营期公路安全提供有效防护,有必要针对这种旧桥梁组合式护栏进行升级改造。

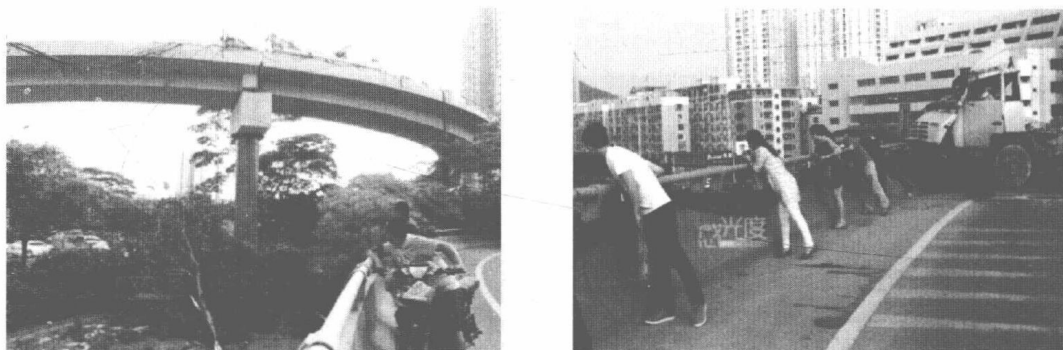


图 1-1-4 深圳红岭泥岗高架桥事故现场

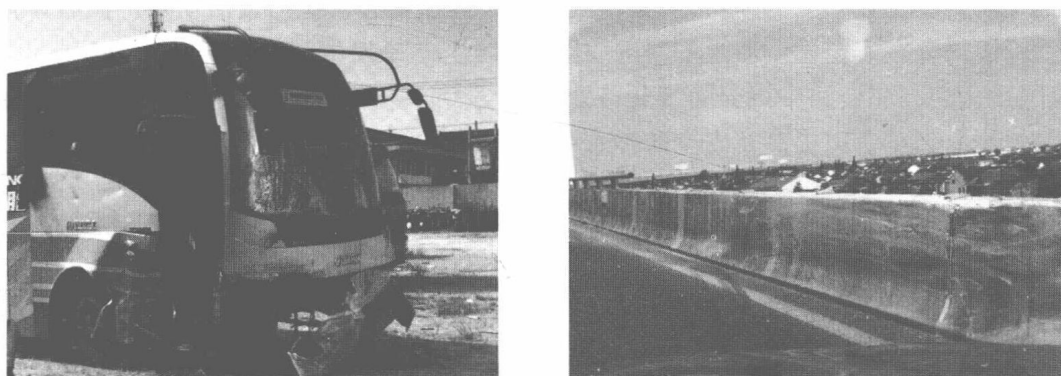


图 1-1-5 上海浦东机场中环高架桥事故

(3) 跨铁路特殊路段桥梁护栏

在高速公路建设中存在一些跨越铁路的特殊路段,在该路段一旦发生车辆穿越或翻越护栏坠落桥下的事故,不仅会造成事故车辆自身损毁,还会导致铁路运营的中断,更有甚者会引起火车与事故车辆相撞的二次事故,由此造成的损失难以估量,因此,跨铁路路段需设置安全可靠的高防撞等级的桥梁护栏。同时跨铁路桥梁路段对其护栏还提出特殊要求,即需要对其背部防落物网、交通标志、照明灯设施等(图 1-1-6)进行保护,因为如果车辆碰撞护栏后发生较大侧倾,将直接碰撞防落物网等设施,且一旦破损物坠落桥下将严重影响公路及铁路安全运营,在以往事故调查中,发生过车辆碰撞护栏后侧翻并撞毁防抛设施的事故(图 1-1-7),可见原有跨铁路桥梁护栏结构防护能力有所不足,无法为运营期公路安全提供有效防护,有必要针对跨铁路桥梁路段护栏特殊需求进行升级改造。

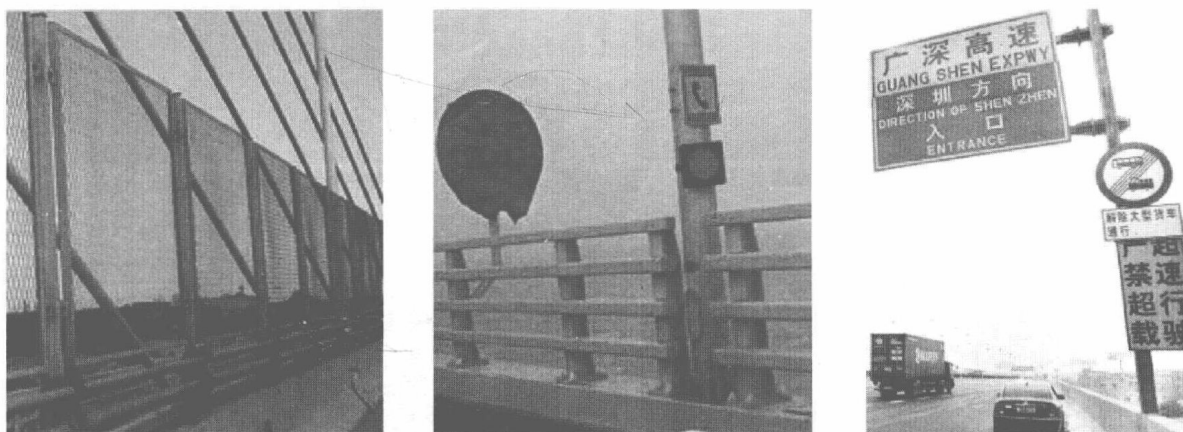


图 1-1-6 桥梁防抛网、照明、标志设施

(4) 中分带开口处活动护栏

活动护栏是设置在公路中央分隔带开口处,为方便特种车辆(如交通事故处理车辆、急救车辆)在紧急情况下通行和一侧道路施工封闭时临时开启放行的活动设施。目前我国中分带开口处主要采用的护栏形式包括插拔式活动护栏、伸缩式活动护栏、梁柱式活动护栏以及钢管预应力索活动护栏。其中插拔式活动护栏与伸缩式活动护栏仅能起到警示诱导作用,不具备

安全防护能力(图 1-1-8、图 1-1-9),而梁柱式活动护栏与钢管预应力索活动护栏虽然具有一定防撞能力,但仍存在安全性能不足的问题,相关事故也常有发生,如图 1-1-10、图 1-1-11 所示。可见我国运营期高速公路中央分隔带开口处存在巨大防护漏洞,有必要针对中分带开口处活动护栏进行升级改造,以提高其安全防护水平。

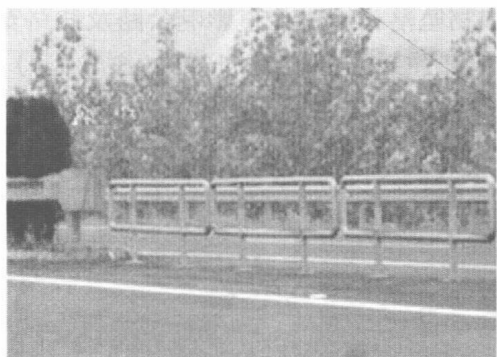


a) 车辆及防落物网坠落桥下



b) 护栏上部钢结构及防落物网损坏

图 1-1-7 某高速公路跨越铁路桥梁事故

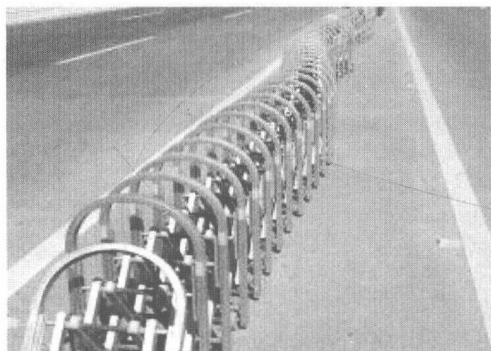


a) 插拔式活动护栏结构



b) 护栏无防护能力

图 1-1-8 插拔式活动护栏及其相关事故



a) 伸缩式活动护栏结构



b) 护栏无防护能力

图 1-1-9 伸缩式活动护栏及其相关事故

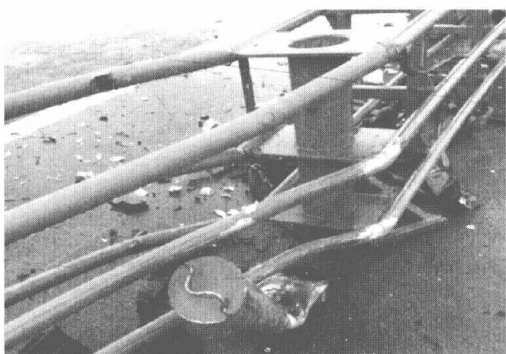


图 1-1-10 梁柱式活动护栏事故

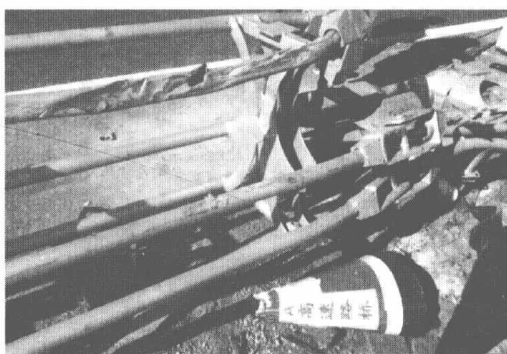


图 1-1-11 钢管预应力索活动护栏事故

需要指出的是,上述公路交通事故不仅是由于护栏防护能力不足引起,还包括其他多方面的综合因素,如人、车、路、环境条件多个方面,本书仅针对公路护栏进行了相关研究。护栏作为应对公路交通事故的最后一道防线,是提高公路安全保障能力的重要设施,针对上述既有的波形梁护栏、桥梁组合式护栏、跨铁路特殊路段桥梁护栏以及中分带开口活动护栏进行升级改造,将大大提高相应路段护栏安全防护性能,有效减少事故发生时的人员伤亡和财产损失,对于我国高速公路安全运营水平的提升具有重要意义。

1.2 国家政策对公路护栏提出新要求

为提高公路安全运营水平,交通运输部 2013 年 10 月 31 日发布了关于《公路护栏安全性能评价标准》(JTG B05-01—2013)的公告。根据公告,《公路护栏安全性能评价标准》(JTG B05-01—2013)(以下简称“新标准”)作为公路工程行业标准,自 2013 年 12 月 1 日起施行,原《高速公路护栏安全性能评价标准》(JTG/T F83-01—2004)(以下简称“老标准”)同时作废,如图 1-2-1 所示。相对于“老标准”,在行业地位方面,“新标准”由原来的行业推荐性 F 类标准上升为行业基础性强制 B 类标准;在碰撞车型方面,“老标准”要求采用小型车和大型车两种车型进行碰撞试验,“新标准”强调采用小客车、大中型客车和大中型货车三种车型对公路护栏进行碰撞试验;在碰撞参数误差方面,“老标准”规定碰撞参数的误差是正负值,“新标准”要求碰撞参数中的速度和质量误差为正值,同时要求试验碰撞能量大于设计防护能量;在评价指标方面,“新标准”进一步完善了护栏安全性能的指标要求(表 1-2-1 为新老标准中护栏安全性能评价指标的对比表,图 1-2-2 为车辆轨迹导向驶出框图)。可见“新标准”较“老标准”行业地位有了大幅度提升,碰撞车型更加完善,碰撞参数指标和评价指标更加严格,对公路防撞护栏的安全性能提出更高要求。

2014 年全国交通运输工作会议做出加快发展平安交通的指示,明确指出要防止目前阶段安全事故“不可避免论”,确保安全监管全覆盖,安全隐患零容忍,有效防范和坚决遏制重特大事故的发生。2014 年 11 月 28 日,国务院办公厅下发《关于实施公路安全生命防护工程的意见》(以下简称《意见》),以全面提升公路安全水平,切实维护人民群众生命财产安全。在根据“意见”精神编制的《公路安全生命防护工程实施技术指南》中,提出重点采用安全性能可靠的

防撞护栏来解决运营期高速公路上存在的安全防护漏洞(图 1-2-3)。



图 1-2-1 发布《公路护栏安全性能评价标准》(JTG B05-01—2013)的公告

新老标准中护栏安全性能评价指标对比表 表 1-2-1

指 标						
标准	阻 挡 功 能		缓 冲 功 能		导 向 功 能	
老标准	护栏应阻挡车辆并对其进行导向,禁止车辆穿越、翻越、骑跨、下穿护栏	脱离组件、护栏碎片或其他护栏上的碰撞物不能侵入驾驶室及阻挡驾驶员视线	对碰撞速度无要求	车体所受纵向、横向、铅直方向冲击加速度10ms 间隔平均值最大不超过20g	碰撞车辆应保持正常行驶姿态,不发生横转、掉头等现象	护栏应有良好的导向功能,车辆碰撞后的驶出角度应小于碰撞角度的60%
新标准	应能够阻挡车辆穿越、翻越和骑跨	护栏构件及其脱离件不得侵入车辆乘员舱	乘员碰撞速度纵向与横向分量均不大于12m/s	乘员碰撞后加速度的纵向与横向分量均不得大于200m/s ²	车辆碰撞后不得翻车	车辆驶出驶离点后轮迹经过图 1-2-2 所示导向驶出框时不得越出直线 F

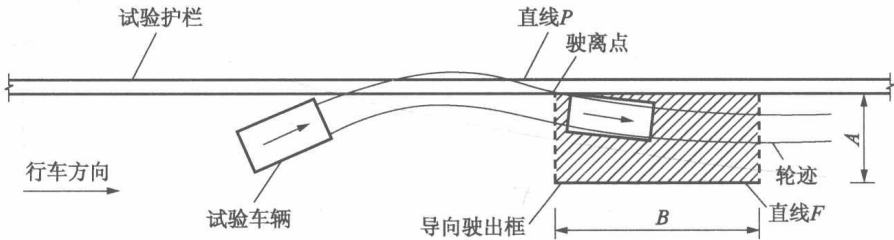


图 1-2-2 车辆轨迹导向驶出框
注:A 和 B 的取值见表 1-2-2。

参数 A 和 B 的取值 (m) 表 1-2-2

碰 撞 车 型	A	B
小 客 车	$2.2 + V_W + 0.16V_L$	10
大 中 型 客 车	$4.4 + V_W + 0.16V_L$	20

注: V_W 为车辆总宽 (m); V_L 为车辆总长 (m)。

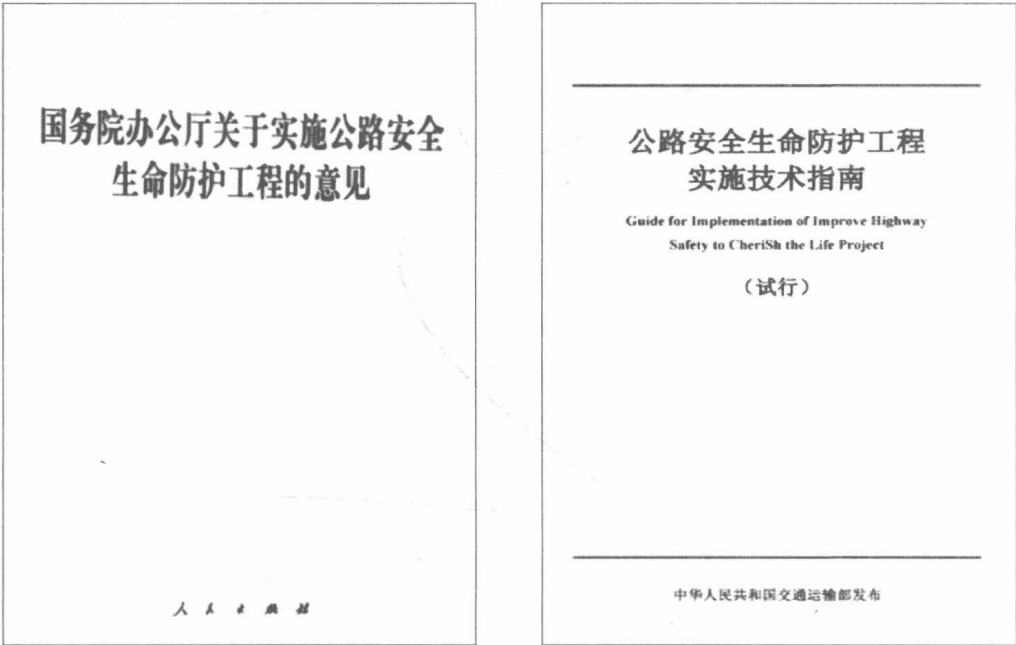


图 1-2-3 《意见》与《公路安全生命防护工程实施技术指南》

1.3 运营期高速公路护栏升级改造的特点及核心评价方法

与新建和改扩建公路不同,运营期高速公路护栏升级改造具有其自身特点,运营期公路护栏为既有结构,若将护栏完全拆除后新建,虽然可以有效提高护栏的安全防护性能,但是这种方案存在以下缺点:建设周期长,施工的人员车辆及相应设施对正常行车造成阻碍,严重影响高速公路的正常运营,并且存在安全隐患;建设费用高,需要拆除和新建两笔费用;既有护栏结构得不到重复利用,不符合“资源节约”与“环境保护”的工程理念。因此,运营期高速公路护栏升级改造应从施工方便性、经济性以及再利用的角度出发,对运营期高速公路各路段护栏进行优化设计改造。

运营期高速公路护栏升级改造设计与评价的核心方法包括计算机仿真分析与实车足尺碰撞试验。

(1)基于有限元方法的计算机仿真分析技术发展迅速,可求解车辆碰撞护栏的复杂动力学物理过程,是进行护栏设计优化的有力工具,但其准确性和可靠性需根据实车碰撞试验结果



进行校核验证。随着计算机仿真分析方法在护栏开发领域应用的日趋成熟,国外发达国家尝试将该方法作为护栏安全性能评价的一种手段,并通过实践取得了宝贵经验。欧洲标准委员会(CEN)起草了“道路安全防护系统计算机模拟的术语、方法、标准”草案,规定“经过实车碰撞检测的道路安全设施,如果计算机模拟结果与实车碰撞试验结果各项指标一致,对于护栏的某些非关键因素改进无须再进行实车碰撞试验,可用计算机仿真分析方法评价这种改进后的安全设施的防护性能”。欧盟于2006年完成Robust(Road barrier upgrade of standards)项目,在该项目开展过程中,运用经过碰撞试验校正的仿真模型对大量护栏进行安全评价,为EN1317修订提供依据。香港特别行政区路政署在桥梁护栏及路旁围栏车辆碰撞研究——可行性研究中,应用经过碰撞试验校核的计算机仿真模型对多种护栏结构进行了安全评价,并将研究成果应用于实际工程中。

(2)实车足尺碰撞试验具有客观可靠的优点,是进行护栏研究开发的重要技术手段,也是我国和世界发达国家进行护栏安全性能评价采用的唯一方法。实车足尺碰撞试验通过加速设备将满足一定质量、几何尺寸、重心位置等技术参数要求的试验车辆加速至规定的碰撞速度,以规定的碰撞角度与试验护栏碰撞,根据观测的车体重心处加速度、护栏损坏变形情况、车辆运行轨迹姿态等数据判断护栏安全性能指标是否满足要求。

第2章 波形梁护栏改造关键技术

2.1 概 述

早期修建的高速公路大部分路段根据《高速公路交通安全设施设计及施工技术规范》(JTJ 074—1994)(以下简称《074 规范》)要求设置波形梁护栏,而我国现阶段的护栏设计规范为《公路交通安全设施设计规范》(JTG D81—2006)(以下简称《D81—2006 规范》),与《074 规范》相比,《D81—2006 规范》提高了对护栏防撞等级的要求,将高速公路波形梁护栏的最低防撞等级(A级)的碰撞能量由 93kJ 提高至 160kJ(表 2-1-1)。

《074 规范》和《D81—2006 规范》对 A 级护栏碰撞条件与碰撞能量的规定 表 2-1-1

规范	防撞等级	碰撞条件				碰撞能量 (kJ)
		碰撞车型	碰撞速度 (km/h)	车辆总质量 (t)	碰撞角度 (°)	
《074 规范》	A	大型车	60	10	15	93
《D81—2006 规范》	A	小型车	100	1.5	20	—
		大型车	60	10	20	160

根据《074 规范》修建的波形梁护栏板厚度均为 3mm,立柱形式包括 Z 形柱(图 2-1-1)、 $\phi 114$ 钢管立柱和 $\phi 140$ 钢管立柱,根据以往对波形梁护栏防护能力的研究成果,采用 3mm 厚双波板和 $\phi 114$ 或 $\phi 140$ 钢管立柱的波形梁护栏防护能力均达不到 160kJ(表 2-1-2 和表 2-1-3),且 Z 形柱由于强度较弱,根据交通部公路管理司 1994 年 5 月发布的《关于停止使用波形梁护栏 Z 形柱的通知》(图 2-1-2),目前已禁止其在波形梁护栏结构中使用,可见早期建造的波形梁护栏已不满足现行《D81—2006 规范》对护栏防撞等级的要求,且运营过程中车辆骑跨或穿越这类

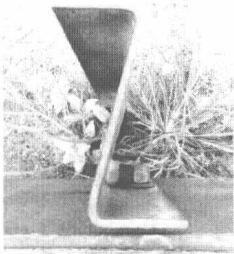


图 2-1-1 “Z”形柱

交通部公路管理司

关于停止使用波形梁护栏“Z”形柱的通知

公设字[1994] 67号

根据近几年来高速公路、一级公路的工程实践,“Z”形柱强度太弱,损坏严重,不利于行车安全。今后各单位在设计波形梁护栏时,不得再使用“Z”形柱,已经设计了“Z”形柱的,应及时修改为圆形柱。

一九九四年五月二十三日

图 2-1-2 《关于停止使用波形梁护栏 Z 形柱的通知》