

Long Downhill Road Safety Support Facilities System Design

Liang Zhao¹, Guanglei Li²

¹CCCC First Highway Consultants Co. Ltd., Xi'an Shaanxi

²China Highway Engineering Consulting Group Co. Ltd., Beijing

Email: zjzhao@chd.edu.cn

Received: Jul. 4th, 2019; accepted: Jul. 18th, 2019; published: Jul. 25th, 2019

Abstract

There are some potential safety hazards in long and steep downhill sections of expressways. In order to improve traffic safety and reduce accidents in this section, it has practical significance for carrying out necessary research on the setting and design of safety facilities. Based on the analysis of the causes of long and steep downhill accidents, a technical route for setting up and designing safety facilities in continuous long and steep downhill sections of expressways is proposed from two aspects of active protection and passive protection. The method of setting up a complete safety guarantee system is analyzed. The simulation analysis is carried out by taking heavy-duty vehicles passing through rubber cavity deceleration ridges as an example, and the results show that the deceleration effect is good.

Keywords

Freeway, Long Downhill Road, Safety Facilities, Escape Lane, Simulation

高速公路长大下坡路段安全设施系统设计

赵亮¹, 李光磊²

¹中交第一公路勘察设计研究院有限公司, 陕西 西安

²中国公路工程咨询集团有限公司, 北京

Email: zjzhao@chd.edu.cn

收稿日期: 2019年7月4日; 录用日期: 2019年7月18日; 发布日期: 2019年7月25日

摘要

高速公路长大下坡路段存在一定的安全隐患, 为改善这一路段的行车安全并减少事故, 对其安全设施的

文章引用: 赵亮, 李光磊. 高速公路长大下坡路段安全设施系统设计[J]. 交通技术, 2019, 8(4): 262-270.

DOI: 10.12677/ojtt.2019.84032

设置与设计进行必要的研究具有现实意义。通过对长大下坡路事故成因分析, 从主动型防护和被动型防护两个方面提出了一种高速公路连续长大下坡路段安全设施设置与设计技术路线, 分析了设置完整的安全保障体系的方法, 并以重型载重车辆通过橡胶空腔减速垄为例做了仿真分析, 结果表明减速效果良好。

关键词

高速公路, 长大下坡, 安全设施, 避险车道, 仿真

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着国内宏观经济快速发展, 我国的西部山区的长大下坡路段越来越多, 重载车辆在长下坡路段的刹车失灵事故的概率也不断升高, 从而引发公路长大下坡路段恶性的交通事故[1]。所以, 公路长大下坡路段安全设施设置与研究成为近年来研究热点[2] [3] [4] [5]。

国外对于长大下坡路段上交通安全有许多研究。例如美国 Abdelwahab, W 等人提出的结合汽车总重 (GVW) 和制动器衰退温度确定避险车道的选择方式[6]。国内的研究包括: 孟志豪给出的山区高速公路长下坡路段避险车道的设置位置及其他附属设施的设计原则[7]。付小红从多个角度做的理论分析和计算机仿真研究工作[8]。

这些研究中, 罕有从整体角度对公路长大下坡路段安全设施设置进行的设计, 所以为了解这一问题, 本文从主动型防护和被动型防护两个方面设计了适合于我国高速公路长大下坡路段的完整的安全保障体系。

2. 长大下坡路段事故成因分析

2.1. 制动器失灵

驾驶员在连续长大下坡路段的驾驶行为如图 1 所示。在连续长大下坡路段行驶时, 为防止自身超速或者被他人追尾, 需要经常连续的采用刹车制动器保证车辆不失速, 频繁地使用制动器会造成制动器温度升高。

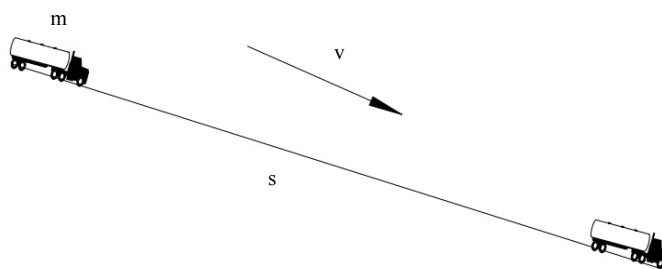


Figure 1. Schematic diagram of vehicle driving in continuous long downhill road

图 1. 连续长大下坡路段车辆行驶示意图

所以采用从主动和被动两个方面进行制动失灵的预防, 主动方面应包括提醒的道路交通标志和标线的设置。而被动型应有物理阻挡和减速装置设置。

2.2. 驾驶员视距不足原因分析

当重载车辆通过连续长大下坡中的弯道路段时, 如果驾驶员视距空间受限, 重载车辆可能会导致出现冲撞护栏、坠崖等道路交通事故。此时, 重载车辆驾驶员的视距空间如图 2 所示。

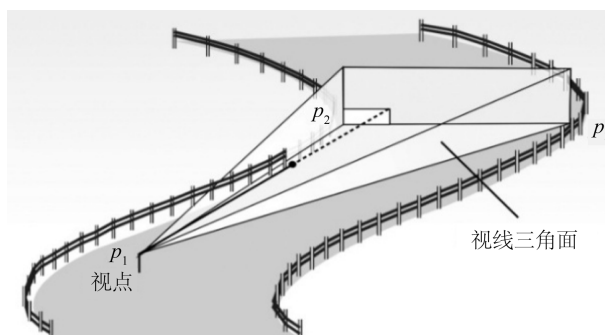


Figure 2. Schematic diagram of driver visual space in continuous long downhill road

图 2. 长大下坡弯道路段驾驶员视距空间示意图

道路视距的改造应属于主动安全, 设计方面, 应起到警示驾驶员按照规则行驶下坡路段的作用, 这也是本文研究内容之一。

2.3. 道路条件不佳原因分析

当重载车辆通过连续长大下坡路段时, 该路段的道路条件对车辆行驶有一定的影响。如图 3 所示, 主要是道路的纵断面和平曲线。

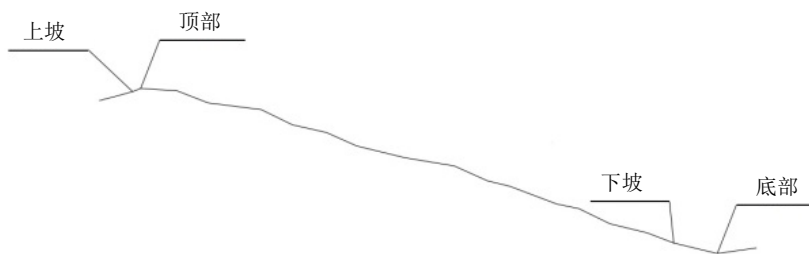


Figure 3. Schematic diagram of linear profile

图 3. 纵断面线形示意图

作为被动型的安全保障, 避险车道是重点研究内容, 一般的研究也是针对重载车辆设计的, 所以本文也给出了避险车道的设置研究并以重载车辆通过橡胶空腔减速垄为例进行仿真实验。

3. 长大下坡路段安全设施设置

通过对长大下坡路段事故成因分析并为了减少上述问题。本文针对我国公路连续长大下坡路段(尤其是高速公路)存在的安全隐患, 通过对驾驶员驾驶特性、道路平纵线形条件、车辆行驶特征和交通环境之间

相互关系的分析与研究, 从主动型防护和被动型防护两个方面着手研究适合于我国高速公路长大下坡路段的安全设施设计中的总体实施方案, 从而使各个系统之间形成一套完整的安全保障体系。下面具体说明设计方法。

3.1. 主动型安全设施设计

主动型防护包括交通标志、道路交通标线以及部分机电设施, 主要用于告知驾驶员道路情况, 使其做到心中有数、不慌不忙以及做好心理准备, 从而起到警示作用, 预防交通事故。

3.1.1. 道路交通标志

道路交通标志主要用于为重载车辆驾驶员提供及时、醒目、安全的长大下坡路段信息。因此, 如图 4 所示, 对于重要程度高的大型交通标志采用在中央带和路侧同时设置单悬臂结构的方式或采用门架结构的方式, 保证驾驶员对交通标志的识认效果。

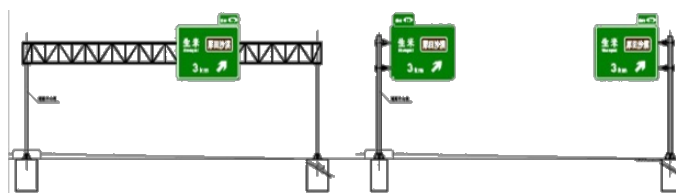


Figure 4. Schematic diagram of support mode of traffic signs
图 4. 交通标志的支撑方式示意图

根据《道路交通反光膜》GB/T 18833-2012 和《道路交通标志和标线》(GB5768-2009)标准要求, 本文在道路交通标志反光膜材料的选择上, 对于禁令标志、警告标志及悬臂式标志、门架式标志底膜及字膜均采用国标中的 V 类微棱镜型大角度反光膜。同时要采用新型的反光标志, 长大下坡路段推荐的汉字高度为 60 cm-70 cm, 新设计的避险车道标识的汉字提醒可以更大、更醒目、更便于驾驶员发现。

在设计重点路段的针对性安全措施时, 道路交通标志的设计往往需要与其它安全措施在一起综合考虑、共同使用。例如: 设置了全桥设施主动发光 LED 诱导灯、透雾摄像机以及按照一定间距设置太阳能爆闪警示灯, 并设置线广播系统。

3.1.2. 道路交通标线

道路交通标线对于避险车道也十分重要, 设计时要重点引入新材料, 例如: 彩色沥青混凝土、沥青混合料 SEAM、马蹄脂沥青碎石混合料 SMA、聚苯乙烯 EPS、夜间发光材料、突起型闪光雨线等, 实际的道路交通标线如图 5 所示。在高速公路连续长大下坡路段道路交通标线设计过程中不仅要与交通标志相互配合, 还要与高清摄像头等机电设备组合使用。



Figure 5. Road traffic marking
图 5. 道路交通标线

在工程上应该根据山区高速公路画标线路段的自然环境引进新型标线涂料, 重点考虑标线涂料的耐磨性、耐久性。例如: 某高速公路连续长大下坡路段中标线类型有车行道边缘线、震荡标线、车道划分线、单黄线、减速标线、禁止越线标线、行车道分隔线、车距确认线、直行标记、强制服务区地面标线、错视觉标线以及地面文字标记等。如图 6 所示, 彩色路面被设置在曲线半径较小的平曲线路段和避险车道入口前。

所有标线均应掺有玻璃珠, 其材料及配比应符合 JT/T280-2004《路面标线涂料》的规定。



Figure 6. Colored roads
图 6. 彩色路面

3.1.3. 视距改造

在山区高速公路连续长大下坡路段造成视距不足的原因主要包括: 道路条件不好有急弯或者路旁有大树等障碍物、道路两侧有陡坡或者邻水邻崖等。视距改造是指针对某一路段影响驾驶员视距的现实原因进行针对性的改造。常用的改造方式包括: 1) 对连续长大下坡路段上的可能引发道路安全事故的急转弯道、陡坡路段进行道路改造和安全设施改造, 达到调整路线平纵面线形的目的。2) 在实施过程中, 拔掉弯道内侧容易产生驾驶员视线遮挡的高大乔木, 并对弯道两侧陡坡进行削坡处理、新建碎落台或者加宽路基等增大视距距离改造可能性的处理方案。3) 如图 7 所示, 可在设置凸面镜、鸣喇叭标志和禁止超车标线。4) 在实施过程中, 根据路侧危险程度结合历史事故资料设置护栏。



Figure 7. Improvement of visibility
图 7. 改善视距

3.2. 被动型安全设施设计

被动型防护体系主要包括消能减速装置、防撞护栏、避险车道以及强制服务区等, 主要负责在不同

情况下保护重载车辆及其驾驶员, 例如: 假设没有采用其它措施, 但在道路选线时为右侧傍山, 可以令失控的重载车辆通过与右侧山体刮擦减速的方式控制重载车辆车速。

3.2.1. 避险车道

避险车道是一种专用车道, 负责提供在山区高速公路连续长大下坡路段的进行紧急避险的安全设施。往往在下坡路中下段建设或者改造出一个或几个与当前拖头车行驶道路坡度方向相反的供速度失控(制动系统失灵)拖头车驶离正线安全减速的专用车道。避险车道通常由引道、制动坡床、服务车道和辅助设施(线圈车辆探测器、路侧护栏、防撞设施、施救锚栓、呼救电话、交通信号灯、报警灯以及照明灯)等系统及设施组成, 如图 8 所示。



Figure 8. Truck escape road
图 8. 避险车道

完整的避险车道必须包括引道、避险车道和附属设施。引道主要起到给驾驶员了解避险车道全部线形的作用, 车道线形包括平面线形和纵面线形, 驾驶员了解车道线形后可以消除畏惧心理, 能够安全地驶入避险车道。

3.2.2. 防撞护栏

防撞护栏是一种提供给山区高速公路上行驶车辆发生意外碰撞后防护的安全装置, 其往往通过自身产生形变或者被保护的载重车辆碰撞来吸收相互之间的作用力从而改变其行驶方向, 防止车辆驶出公路, 阻止道路交通事故的发生。在设计防撞护栏时首先需要遵循《波形梁钢护栏第一部分》(GB T 31439.1-2015)、《波形梁钢护栏第二部分》(GB T 31439.2-2015)、《公路交通安全设施设计规范》(JTG D81-2017)等标准, 其次应该考虑使用新产品, 例如: 旋转式防撞护栏、自恢复型防撞护栏、弧形鳞片式防撞护栏以及聚能防撞护栏。如图 9 所示, 防撞护栏可以分为柔性护栏(缆索护栏为典型代表)、半刚性护栏(波形梁钢护栏为典型代表)、刚性护栏(混凝土护栏为典型代表)。

柔性护栏往往采取缆索护栏形式, 需要在刚性立柱之间横向链接多个高强度钢丝绳子并利用其弹性力来防止拖头车受伤害。



Figure 9. Crash barrier
图 9. 防撞护栏

半刚性护栏是典型的高速公路护栏, 采用连续梁式护栏结构, 波形钢梁护栏为主流的半刚性护栏产品, 通过土基、立柱、波形梁的变形来吸收碰撞能量, 可以有效地防止车辆冲出路外坠崖、冲入对向车道等交通事故的发生。混凝土护栏是典型的刚性护栏, 汽车碰撞混凝土护栏过程中产生的能量主要依靠汽车沿着护栏面爬高和转向来吸收。

3.2.3. 消能减速装置

在高速公路连续长大下坡路段, 针对重载车辆制动失效而提出的消能减速装置, 可以有效避免重载车辆追尾、坠崖、翻车等交通事故的发生。如图 10、图 11 所示, 常用消能减速装置包括橡胶空腔减速垄和消能减速护栏。



Figure 10. Rubber cavity reduction ridges
图 10. 橡胶空腔减速垄



Figure 11. Energy dissipation and deceleration barrier
图 11. 消能减速护栏



4. 仿真实验

本文采用重型载重车辆通过橡胶空腔减速垄为例进行仿真实验, 橡胶空腔减速垄在具体设计时都有一定的横断面轮廓, 假设橡胶空腔减速垄横断面轮廓函数为

$$y = f(x) \quad (1)$$

假设重载车辆轮胎与橡胶空腔减速垄的接触点为 (x, y) , 过曲线 $y = f(x)$ 上的点 (x, y) 做 $f(x)$ 的切线, 则有

$$\tan \theta = -f'(x) \quad (2)$$

$$\cos \theta = \left[\frac{1}{1 + [f'(x)]^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

根据物理上的力学原理 $F = mg \cos \theta$, 则有

$$F = mg \left[\frac{1}{1+[f'(x)]^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

然后根据匀速曲线运动的规律, 不发生重载车辆失速现象的临界状态应满足 $F = m \frac{v^2}{\rho}$, 其中 ρ 为曲线 $y = f(x)$ 的曲率半径, v 为汽车通过橡胶空腔减速垄的最大速度。

已知

$$\rho = \frac{[1+(f')^2]^{\frac{3}{2}}}{|f''|} \quad (5)$$

所以重载车辆通过高速公路长大下坡路面橡胶空腔减速垄的最大速度 v 的函数模型如下

$$v = \sqrt{\rho g \left[\frac{1}{1+[f'(x)]^2} \right]^{\frac{1}{2}}} = \sqrt{g \left\{ \frac{[1+(f')^2]^{\frac{3}{2}}}{|f''|} \right\} \left[\frac{1}{1+[f'(x)]^2} \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (6)$$

针对以上对载重车辆通过橡胶空腔减速垄的数学分析, 采用 Matlab7.1 做了计算机方针, 仿真结果如图 12 所示。

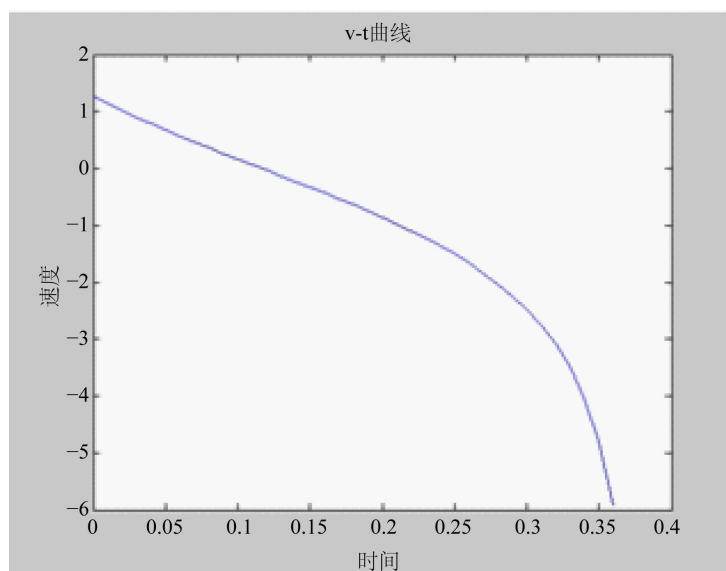


Figure 12. Computer simulation results of rubber cavity reduction ridge
图 12. 橡胶空腔减速垄的计算机仿真结果

图 12 是按照长大下坡路段安全设施设置方法后的模拟数据进行的仿真实验。选用单轴载重 10 吨, 曲率半径取 60 米参数, 初始速度选择为 3 米/秒。从结果可以看出, 按照本文的安全设施设计方法, 重型载重车辆通过橡胶空腔减速垄时, 车辆行驶速度平滑, 可以有效做到减速效果, 达到长大下坡路段的安全要求。

5. 结论

通过对驾驶员驾驶特性、道路平纵线形条件、车辆行驶特征和交通环境之间相互关系的分析与研究,

提出了一种公路连续长大下坡路段安全设施设置技术路线, 用于进行公路长大下坡路段的交通安全设施的设计和实施, 从主动型防护和被动型防护两个方面着手研究建立一套完整的安全保障体系的方法, 并以载重车辆通过橡胶空腔减速垄为例做了完整的数学建模和计算机仿真, 仿真结果对于安全保障体系的建立方法研究具有现实意义。

参考文献

- [1] 陈富坚, 郑峰, 徐培培. 基于货车制动安全的公路长大下坡可靠性设计方法[J]. 北京工业大学学报, 2017, 43(7): 1100-1107.
- [2] 王俊骅. 高速公路特大交通事故预防技术研究及示范: 长大下坡路段事故预防技术[M]. 上海: 同济大学出版社, 2011.
- [3] Lee, C.E., Borchardt, D.W. and Fei, Q. (1999) Truck Monitoring and Warning Systems for Freeway-to-Freeway Connections. Flashing Traffic Signals.
- [4] Galbus, M.T., Valentini, S.C., Zou, H., et al. (2015) Energy Absorbing System for Arresting a Vehicle. WO 2015017617 A1.
- [5] Al-Madani, H. and Al-Janahi, A.R. (2002) Assessment of Drivers' Comprehension of Traffic Signs Based on Their Traffic, Personal and Social Characteristics. *Transportation Research Part F Psychology & Behaviour*, 5, 63-76. [https://doi.org/10.1016/S1369-8478\(02\)00006-2](https://doi.org/10.1016/S1369-8478(02)00006-2)
- [6] Abdelwahab, W. (1996) Determination of the Need for and Location of Truck Escape Ramps. *Journal of Japanese Society of Grassland Science*, 42, 13-19.
- [7] 李宝成. 高速公路连续长大下坡路段安全设施设置技术研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆交通大学, 2014.
- [8] 王佐, 刘建蓓, 郭腾峰. 公路空间视距计算方法与检测技术[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2007, 27(6): 44-47.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网首页: <http://cnki.net/>, 点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”, 跳转至: <http://scholar.cnki.net/new>, 搜索框内直接输入文章标题, 即可查询; 或点击“高级检索”, 下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3431, 即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/>顶部“旧版入口”进入知网旧版: <http://www.cnki.net/old/>, 左侧选择“国际文献总库”进入, 搜索框直接输入文章标题, 即可查询。

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ojtt@hanspub.org