

Research on Safety Evaluation Method for Long Slopes and Tunnel Sections of Mountainous Freeway

Ying Zhou, Chen Chen

CCCC Second expressway Consultant Co. Ltd., Wuhan Hubei
Email: 363126932@qq.com

Received: Apr. 25th, 2019; accepted: May 7th, 2019; published: May 14th, 2019

Abstract

The traffic accident data in long slopes and tunnel sections of mountain freeway is collected and analyzed, and the traffic safety features of long slopes and tunnel sections are extracted. By quantifying the impact factors, a safety evaluation index system of long slopes and tunnel sections of mountain freeway is established. Using analytic hierarchy process to determine index weight and using fuzzy evaluation method to determine evaluation grade, a safety evaluation method for long slopes and tunnel sections of mountainous freeway is established.

Keywords

Mountainous Freeway, Long Slopes, Tunnel Sections, Traffic Accident, Safety Evaluation

山区高速公路长下坡与隧道路段安全评价方法研究

周 颖, 陈 晨

中交第二公路勘察设计研究院有限公司, 湖北 武汉
Email: 363126932@qq.com

收稿日期: 2019年4月25日; 录用日期: 2019年5月7日; 发布日期: 2019年5月14日

摘 要

通过搜集国内高速公路长下坡和隧道段交通事故并进行相应事故分析, 提取长下坡和隧道路段的交通安

全特性, 并将各影响因素进行量化处理, 建立高速公路长下坡和隧道段安全评价指标体系, 利用层次分析法和模糊评价法确定指标权重及评价等级, 形成山区高速公路长下坡与隧道路段安全评价方法。

关键词

山区高速公路, 长下坡, 隧道路段, 交通事故, 安全性评价

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

至 2016 年末, 我国公路通车里程达到 469.6 万公里, 高速公路里程达到 13.1 万公里[1]。随着我国公路建设的飞速发展, 人口较密集的东部地区公路路网逐渐成熟, 路的建设逐步向西部山岭、重丘地区发展, 由于受到地形限制, 山区公路不可避免出现连续下坡路段, 同时为了降低坡度、改善线形、缩短里程、减少冰冻积雪等灾害气候, 隧道也更多出现在公路的建设中, 但山区高速公路长下坡和隧道群路段受车辆性能、驾驶员的视觉特性影响, 运营安全问题凸出。

根据《2016 年道路交通事故统计年报》, 2016 年底, 全国山区公路共发生交通事故 34,678 起, 死亡人数 12,561 人; 连续下坡发生事故 404 起, 造成 191 人死亡, 576 人受伤; 避险车道发生事故 147 起, 造成 44 人死亡, 146 人受伤; 隧道段发生事故 592 起, 造成 296 人死亡, 769 人受伤[2]。2017 年 8·10 西汉高速秦岭 1 号隧道发生一起大客车碰撞隧道洞口端墙的特别重大道路交通事故, 造成 36 人死亡、13 人受伤[3]。2018 年 11·3 兰海高速 17 km 长下坡坡底收费站前发生一起重大道路交通事故, 造成 15 人死亡, 44 人受伤[4]。这接连两起交通事故引起全国人民关注, 2018 年全国高速公路隧道洞口和长下坡路段开始整改或者排查。

针对山区高速公路长下坡与隧道路段, 在设计阶段加强安全性评估, 虽无法从根本上消除安全隐患, 但可以从设计和运营管理角度, 采取相应技术手段, 提高运营安全水平。

2. 长下坡与隧道段交通事故特征分析

公路交通事故的发生有一定的特点和规律, 为了对长大下坡及隧道群的安全影响因素进行分析, 笔者通过调研搜集国内贵州、广州部分高速公路的交通事故数据进行分析, 旨在找出长下坡和隧道交通事故的特殊路段和时段以及事故多发的主要原因。

2.1. 事故时间特性

从长大下坡路段的事故时间统计情况来看, 事故多发生于 15:00~18:00、18:00~21:00 两个时间段, 见图 1。这两个时间段是驾驶员出现驾驶疲劳的集中路段, 午后驾驶员易产生疲倦, 在行驶中遇到突发事件反应迟缓, 操作不及时, 有些驾驶员存在天黑前到达目的地的心理, 开快车, 在长下大坡路段不控制车速, 一旦遇到险情紧急连续踩刹车容易造成刹车灵, 车辆失控。

2.2. 事故天气特征

雨雾冰雪对长下坡路段的安全影响较大。因长大下坡交通事故多为紧急制动不及导致, 雨雪路面湿

滑, 摩擦力减小, 使车辆的制动需要更长的距离, 且部分路段坡底排水缓慢, 容易导致车辆打滑失控。雨雪天气隧道群洞内外的路面潮湿程度不同, 导致车辆进出隧道时路面环境频繁转换, 车辆制动转向性能下降, 驾驶员操作不当引发交通事故。山区高速公路多雾, 能见度低也是影响长下坡和隧道运营安全的一个重要因素[5]。广东某高速公路 2015 年底至 2017 年底连续坡和隧道段交通事故天气分布见图 2。

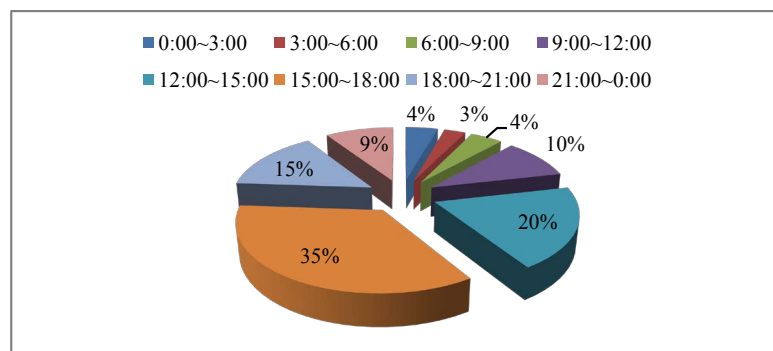


Figure 1. Distribution of traffic accidents time in long slopes and tunnel sections in a freeway in Guangdong from the end of 2015 to 2017

图 1. 广东某高速公路 2015 年底至 2017 年底连续坡和隧道段交通事故时间段分布

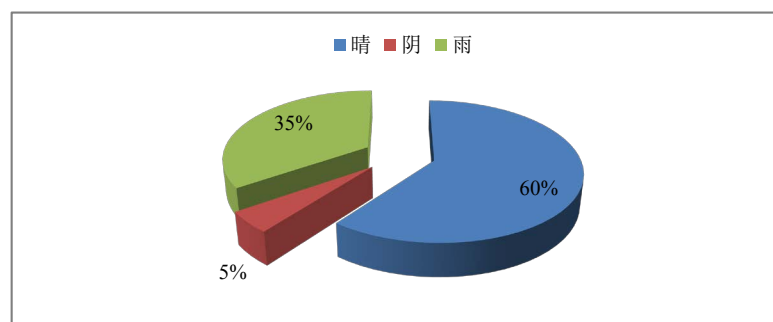


Figure 2. Distribution of traffic accidents weather in long slopes and tunnel sections in a freeway in Guangdong from the end of 2015 to 2017

图 2. 广东某高速公路 2015 年底至 2017 年底连续坡和隧道段交通事故天气分布

2.3. 事故形态特征

从长大下坡路段的事故形态统计情况来看, 事故形态以碰撞护栏、碰撞车辆(追尾)为主。综合事故原因分析, 由于驾驶员避让不当、未保持安全车距等操作不当是引发事故的主要原因, 尤其是大货车在连续下坡路段容易车辆速度过快, 导致出现紧急情况时避让不及, 引发交通事故。广东某高速公路 2015 年底至 2017 年底连续坡和隧道段交通事故形态分布见图 3。

2.4. 事故位置特征

根据国内其他学者对云南地区典型长大下坡路段的研究, 距坡顶 0~3 km 路段内的交通事故只占到总交通事故的 5%, 距坡顶 6 km 之后的路段发生交通事故的占到了 75%, 故长大下坡路段交通事故主要集中在下坡的后半段, 且有随坡长增加而累积的趋势[6]。且平均纵坡越大, 首发事故黑点距坡顶的距离越近, 且对于长大下坡路段, 首发事故黑点频区一般在距坡顶距离 6 km 的区域[7]。

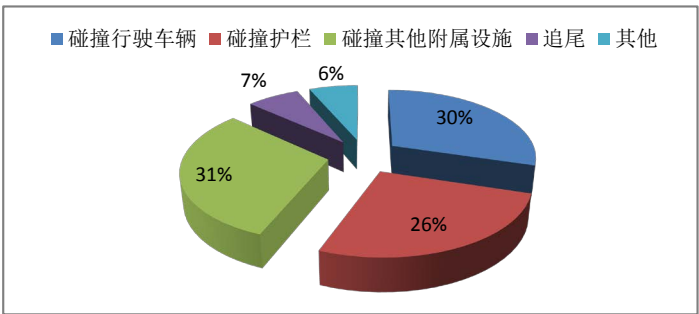


Figure 3. Distribution of traffic accidents pattern in long slopes and tunnel sections in a freeway in Guangdong from the end of 2015 to 2017

图 3. 广东某高速公路 2015 年底至 2017 年底连续坡和隧道段交通事故形态分布

3. 长下坡与隧道路段安全评价方法研究

安全性评价是采用系统工程的方法, 对评估对象可能产生的危害及后果进行分析、对系统所存在的安全隐患进行预测。常用的安全性评价方法有层次分析法、灰色聚类评价法、回归分析法、主成分分析法、模糊综合评价法等[8]。本研究采用模糊综合评价法, 建立长下坡和隧道路段的安全性评价体系。

模糊综合评价法的最显著特点是[9]:

- 1) 相互比较。以最优的评价因素值为基准, 其评价价值 1; 其余欠优的评价因素依据欠优的程度得到相应的评价价值。
- 2) 可以依据各类评价因素的特征, 确定评价价值与评价因素值之间的函数关系(即: 隶属度函数)。确定这种函数关系(隶属度函数)有很多种方法, 例如: F 统计方法, 各种类型的 F 分布等。当然, 也可以请有经验的评标专家进行评价, 直接给出评价价值。

3.1. 评价指标

根据连续下坡和隧道群路段的交通事故特征分析、驾驶员特性分析等, 提取连续下坡和隧道路段的安全影响因素, 提出相应的安全评价指标体系见图 4。



Figure 4. The evaluation indicators of long slopes and tunnel sections in a highway

图 4. 连续下坡和隧道路段评价指标

为了便于对连续下坡和隧道路段评价的量化, 对以上各项指标进行量化处理, 经处理, 形成连续下坡和隧道路段评价指标体系见表 1。

Table 1. The evaluation indicator system of long slopes and tunnel sections in a highway
表 1. 连续下坡和隧道路段评价指标体系

一级指标	编号	二级指标	差	较差	一般	较好	好
交通条件 A	A1	大型车比例	大型比例大于 55%;	大型车比例大于 40%, 小于 55%;	大型车比例大于 25%, 小于 40%;	大型车比例大于 10%, 小于 25%;	大型车比例小于 10%;
			(80,100]	(60,80]	(30,60]	(10,30]	(0,10]
	A2	服务水平	服务水平五级以下	服务水平五级	服务水平四级	服务水平在三级	服务水平在二级以上
			(50,100]	(30,50]	(20,30]	(10,20]	(0,10]
路线指标 条件 B	B1	道路指标	三级公路, 双向双车道及以下指标	二级公路, 双向双车道以上指标	一级公路, 双向四车道以上设计指标	高速公路, 双向四车道以上设计指标	高速公路, 双向六车道以上设计指标
			(50,100]	(30,50]	(20,30]	(10,20]	(0,10]
	B2	坡度与坡长指标	坡度(%)的平方×距坡顶的距离(km)大于 100	坡度(%)的平方×距坡顶的距离(km)大于 80, 小于 100	坡度(%)的平方×距坡顶的距离(km)大于 60, 小于 80	坡度(%)的平方×距坡顶的距离(km)大于 40, 小于 60	坡度(%)的平方×距坡顶的距离(km)小于 40
			(50,100]	(30,50]	(20,30]	(10,20]	(0,10]
	B3	平面设计极限指标运用情况	平面设计存在 5 处以上接近极限指标, 极限指标前后连接路段指标均衡性差	平面设计存在 3~5 处接近极限指标, 极限指标前后连接路段指标均衡性较差	平面设计存在 2~3 处接近极限指标, 极限指标前后连接路段指标均衡性一般	平面设计存在 1~2 处接近极限指标, 极限指标前后连接路段指标均衡性较好	平面设计未使用极限指标, 平面指标运用合理
			(50,100]	(30,50]	(20,30]	(10,20]	(0,10]
	B4	纵断面设计极限指标运用情况	纵断面设计存在 5 处以上极限指标并与平面极限指标组合	纵断面设计存在 3~5 处以上极限指标并与平面极限指标组合	纵断面设计存在 2~3 处以上极限指标, 未与平面极限指标组合	纵断面设计存在 1~2 处以上极限指标, 未与平面极限指标组合	纵断面设计未使用极限指标, 指标运用合理
			(50,100]	(30,50]	(20,30]	(10,20]	(0,10]
隧道规模 C	C1	连续下坡段隧道比例	隧道长度比例大于 80%	隧道长度比例大于 50%, 小于 80%	隧道长度比例大于 30%, 小于 50%	隧道长度比例大于 10%, 小于 30%	隧道长度比例小于 10%
			(80,100]	(50,80]	(30,50]	(10,30]	(0,10]
	C2	隧道数量	隧道数量大于 5 座	隧道数量 5 座	隧道数量 4 座	隧道数量 3 座	隧道数量 2 座
			(80,100]	(50,80]	(30,50]	(5,30]	(0,5]
隧道群安全条件 D	D1	最大隧道长度	最大隧道长度 > 5000 m	3000 m < 最大隧道长度 ≤ 5000 m	1000 m < 最大隧道长度 ≤ 3000 m	500 m < 最大隧道长度 ≤ 1000 m	最大隧道长度 ≤ 500 m
			(80,100]	(40,80]	(20,40]	(10,20]	(0,10]
	D2	隧道间距	1 处以上隧道间间距不超过 10 s 行程长度	1 处隧道间间距超过 10 s 行程长度	隧道间间距均大于 10 s 行程长度	隧道间间距均大于 15 s 行程长度	隧道间间距均大于 20 s 行程长度
			(80,100]	(50,80]	(30,50]	(10,30]	(0,10]

Continued

隧道群安全条件 D	D3	救援通道、紧急避险车道、避险车道的设置情况	路线方案进行应急救援极其不便, 设置应急救援通道非常困难, 且未设置紧急避险设施	路线方案进行应急救援不便, 设置应急救援通道较困难, 紧急避险设施设置不合理或数量不足	路线方案有条件设置应急救援通道, 但有一定难度, 设一定紧急避险设施	路线方案有较好条件设置应急救援通道, 合理路段设有避险车道和爬坡车道	路线方案可以方便地进行应急救援, 设有完善的爬坡、避险车道设施;
			(80,100]	(50,80]	(30,50]	(10,30]	(0,10]
环境因素 E	E1	恶劣天气条件	路线方案受不良气候或局部小气候影响严重, 路段长度比例大于 80%, 非常不利于交通安全	路线方案受不良气候或局部小气候影响路段长度比例大于 60%, 小于 80%, 对交通安全有较大影响	路线方案受不良气候或局部小气候影响路段长度比例大于 30%, 小于 60%, 对交通安全有一定影响	路线方案受不良气候或局部小气候影响路段长度比例大于 10%, 小于 30%, 对交通安全影响较小	路线方案受不良气候或局部小气候影响路段长度比例小于 10%, 对交通安全基本无影响
			(80,100]	(60,80]	(30,60]	(10,30]	(0,10]
	E2	隧道洞口光环境	隧道洞口朝向、洞门设计、洞口景观、环境等对隧道出入口光环境视觉过渡不利	隧道洞口朝向、洞门设计、洞口景观、环境等对隧道出入口光环境视觉过渡较不利	隧道洞口朝向、洞门设计、洞口景观、环境等对隧道出入口光环境视觉过渡影响一般	隧道洞口朝向、洞门设计、洞口景观、环境等对隧道出入口光环境视觉过渡较有利	隧道洞口朝向、洞门设计、洞口景观、环境等对隧道出入口光环境视觉过渡有利
			(80,100]	(50,80]	(30,50]	(10,30]	(0,10]

3.2. 指标权重

采用层次分析法(AHP)对以上各层指标的指标权重进行计算, 即确定每个具体指标相对于长下坡与隧道路段安全性的权重。

3.2.1. 目标层权重确定

1) 首先确定判断矩阵的特征向量, 对 A、B、C、D、E 的目标层风险因素进行两两评分比较, 得到目标层的比较判断矩阵为:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0.2 & 0.333 & 0.2 & 3 \\ 5 & 1 & 3 & 1 & 5 \\ 3 & 0.333 & 1 & 0.333 & 3 \\ 5 & 1 & 3 & 1 & 5 \\ 0.333 & 0.2 & 0.333 & 0.2 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

2) 将判断矩阵的每一列归一化 $b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} (i=1,2,\dots,n)$, 归一化以后结果如下:

$$B = \begin{bmatrix} 0.069 & 0.073 & 0.044 & 0.073 & 0.176 \\ 0.349 & 0.366 & 0.391 & 0.366 & 0.294 \\ 0.210 & 0.122 & 0.130 & 0.122 & 0.176 \\ 0.349 & 0.366 & 0.391 & 0.366 & 0.294 \\ 0.023 & 0.073 & 0.044 & 0.073 & 0.060 \end{bmatrix} \quad (2)$$

3) 每一列经过归一化的判断矩阵按行相加 $W_{ij} = \sum_{j=1}^n b_{ij} (i=1,2,\dots,n)$, 经计算, W_{ij} 结果如下:

$$W_i = \begin{bmatrix} 0.435 \\ 1.766 \\ 0.760 \\ 1.766 \\ 0.273 \end{bmatrix} \quad (3)$$

4) 将向量 W 归一化: $W_i = \frac{W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$ ($i=1,2,\dots,n$), 则 W 即为所求的特征向量, 目标层的特征向量结果为:

$$W = \begin{bmatrix} 0.087 \\ 0.353 \\ 0.152 \\ 0.353 \\ 0.055 \end{bmatrix} \quad (4)$$

5) 计算判断矩阵的最大特征值: $\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{nW_i}$, 经计算, 目标层的最大特征值为 5.2142。

6) 一致性判断: $C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1}$, 经计算目标层 $C.I. = 0.05356$ 。

对 $C.I.$ 值进行修正: $C.R. = \frac{C.I.}{R.I.}$, $R.I.$ 值可以查表得到[10], 见表 2。

Table 2. R.I. value

表 2. R.I. 值

维数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R.I.	0	0	0.58	0.96	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

经计算, 目标层 $C.R. = 0.0478 < 0.1$, 因此保持显著水平。因此目标层的权重计算结果见表 3。

Table 3. Target layer weight

表 3. 目标层权重

指标	ω_A	ω_B	ω_C	ω_D	ω_E
权重	0.087	0.353	0.152	0.353	0.055

3.2.2. 指标层权重确定

采用同样方法确定指标层权重, 各指标层选中结果见表 4。

Table 4. Indicator layer weight

表 4. 指标层权重

指标	i			
	1	2	3	4
ω_{Ai}	0.333	0.667	-	-
ω_{Bi}	0.454	0.264	0.141	0.141
ω_{Ci}	0.667	0.333	-	-
ω_{Di}	0.268	0.195	0.537	-
ω_{Ei}	0.667	0.333	-	-

4. 评价标准

用隶属函数确定模糊关系并获得模糊评价矩阵 R ，把模糊矩阵与权重向量相乘得到评价对象对各个评价等级的隶属程度， $S = W \times R$ 。令 E 为工程方案评分，则 $E = S \times F \wedge T$ 。评分值越小则风险越小，对交通安全的保障能力越强；相反，评分值越大则风险越大，对交通安全的保障能力越差。长下坡与隧道群路段的评价标准见表 5。

Table 5. Scoring standard table
表 5. 评分标准表

评价结果	好	较好	一般	较差	差
分数	[0,20)	[20,40)	[40,60)	[60,80)	[80,100)

5. 结语

本论文通过搜集和分析国内长下坡和隧道段高速公路交通事故，提取长下坡和隧道路段的交通安全影响特征，提取安全评估指标并将指标进行量化处理，采用层次分析法计算各层指标的评估权重，形成了山区高速公路长下坡与隧道路段的交通安全评价方法。在针对山区高速公路的安全性评价中，本方法是对长下坡和隧道路段评价的有效补充。

参考文献

- [1] 2017 年交通运输行业发展统计公报[R]. 交通运输部, 2018.
- [2] 中华人民共和国道路交通事故统计年报(2016 年度) [R]. 公安部交通管理局, 2017.
- [3] 陕西安康京昆高速“8·10”特别重大道路交通事故调查报告[R]. 国家安全监管总局, 2018.
- [4] 甘肃省公安厅关于兰州市“11·3”重大道路交通事故调查的情况的通报[R]. 甘肃省公安厅, 2018.
- [5] 钱若霖, 苏佩, 何启龙. 基于指标体系法的长大下坡安全风险评估[J]. 北方交通, 2017(2): 45-47, 51.
- [6] 喻正富. 普宣高速公路长大下坡制动效能分析与工程应用[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2015(7): 259-261.
- [7] 胡澄宇, 刘建蓓, 罗京, 等. 在运营高速公路长大下坡段交通安全风险水平评价研究[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2015(3): 304-306.
- [8] 李浩然, 彭理群, 吴超仲, 等. 基于聚类分析的重型载货车长大下坡路段交通事故分析[J]. 科技导报, 2016, 34(2): 71-75.
- [9] 林煌. 连续长大下坡路段安全保障系统研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆交通大学, 2012.
- [10] 肖烽. 基于历史事故数据的山区高速公路隧道交通安全评价研究[D]: [博士学位论文]. 南京: 东南大学, 2018.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3431, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 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: oijt@hanspub.org