

山区长大下坡路段避险车道安全评价研究

徐孝辉¹ 徐修婷² 高谦³

1 贵州省贵阳公路管理局 贵州 贵阳 550000; 2 重庆交通大学 经济管理学院 重庆 400074;
3 贵州省贵阳公路管理局 贵州 贵阳 550000;

【摘要】为评价山区公路长大下坡路段避险车道的安全性, 本文从实际应用的角度出发, 选取了引道长度、避险车道与主线交角大小、视距条件、制动坡床长度、坡度、集料类型、深度、端头防护级别等九个指标, 构建避险车道安全评价指标。采用集计统计法, 建立了避险车道安全评价体系模型。以贵州某省道的避险车道为例, 对其安全性进行了评价, 结果表明, K117+500处避险车道安全性一般, 可根据指标的综合权重, 逐步优化避险车道设计参数。

【关键词】山区公路; 长大下坡; 避险车道; 安全性评价

通过对山区长大下坡路段交通安全的实践证明, 设置避险车道是保障此类路段交通安全最行之有效的工程措施之一。避险车道设置的合理性是其保障安全效果的关键, 山区长大下坡避险车道的安全评价研究, 对解决避险车道设置的问题具有重要的意义。本文提出了一种针对避险车道设置安全性的评价模型, 依托贵州某省道的避险车道, 评价其设计参数的安全性。

1 避险车道安全评价体系及评价指标的确定

1.1 避险车道安全评价体系

参考国内外相关研究与设计规范, 本文选取了引道长度、避险车道与主线交角大小、视距条件、制动坡床长度、坡度、集料类型、深度、端头防护级别等评价内容, 并构建评价结构层如图 1 所示。

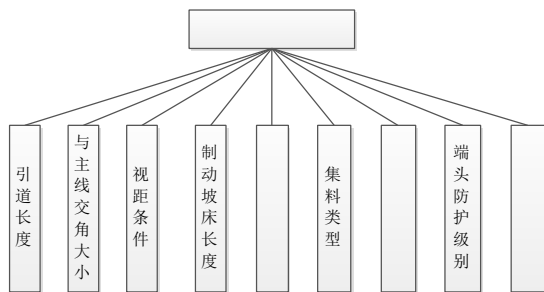


图 1 层次分析结构图

1.2 避险车道安全评价指标

1.2.1 引道长度

引道的长度以大于 3s 行程为宜。在对避险车道的安全性进行分析评价时, 根据引道的实际长度与避险车道驶入速度的 3s 行程之间的差值进行打分确定单指标分值, 评判标准见表 1。

表 1 引道长度分值评判标准

差值范围	> 0	(-5, 0]	(-10, -5]	(-15, -10]	≤ -15
评价分值	95 ~ 100	90 ~ 95	80 ~ 85	65 ~ 75	≤ 50

1.2.2 制动坡床长度

避险车道制动坡床长度的指标分值, 应同时考虑制动坡床最低使用长度和满足制动减速率条件的需要坡床长度。根据美国 AASHTO 的研究, 避险车道设计驶入速度以 128.7km/h 或 144.8km/h 为宜, 结合制动坡床集料类型和坡度, 可计算得货车以合适的减速率减速停止所需要的单一坡度的制动坡床长度。再根据避险车道的实际长度确定单一指标分值, 具体评判标准见表 2。

表 2 制动坡床长度评判标准

差值范围	> 0	(-5, 0]	(-10, -5]	(-15, -10]	≤ -15
评价分值	95 ~ 100	80 ~ 90	70 ~ 80	60 ~ 70	≤ 50

1.2.3 交角、坡度、集料类型和深度

避险车道与主线的交角以 3° ~ 5° 为宜, 根据避险车道与主线的夹角对该指标进行打分。

避险车道的平面线形益采用直线线形, 纵坡采用 8% ~ 20%。但纵坡过大易使驾驶员产生心理压力, 因此以小于 15% 的纵坡为宜。

制动坡床集料以圆形卵石所提供的滚动阻力最大, 制动效果最好, 相应的评价分值最大。

避险车道与主线交角、坡度、集料类型和深度的指标分值判定标准如表 3 所示。

表 3 交角、坡度、集料的分值标准

交角大小	3° ~ 5°	6° ~ 9°	10° ~ 12°	13° ~ 15°	> 15° 或 < 3°
评价分值	95 ~ 100	85 ~ 90	75 ~ 80	60 ~ 70	≤ 50
坡度大小	8% ~ 15%	< 8%	15% ~ 18%	18% ~ 20%	> 20%
评价分值	95 ~ 100	85 ~ 90	75 ~ 80	60 ~ 70	≤ 50
集料类型	圆形砾石	砂子	松散的砂砾	松散的碎料	其他
评价分值	95 ~ 100	85 ~ 90	75 ~ 80	65 ~ 70	40 ~ 60
集料深度	≥ 1.1m	1.0 ~ 1.1m	0.9 ~ 1.0m	0.8 ~ 0.9m	≤ 0.8m
评价分值	95 ~ 100	80 ~ 85	65 ~ 70	50 ~ 60	≤ 50

1.2.4 视距、端头防护及其他

对于避险车道所在区域的视距条件、避险车道端头的防护、照明、救险锚栓、诱导设施等等，应根据现场实际的调研资料进行分值的判定。

2 基于集值统计法的安全评价模型

本文采用集值统计法对避险车道的安全性进行评价，该方法能在一定程度上减少人的主观性带来的随机误差。

2.1 评价指标权重的确定

假设专家评审因素集为 X ，指标集为 C ，评审专家集为 S ，对任意评审因素 $x (x \in X)$ 的任一指标 $c (c \in C)$ ，评审专家 $s (s \in S)$ 给出了一个区间估计值，则对于任一因素 x 的某一指标值 $c_i (i=1, 2, \dots, m)$ 的评审，对应评价范围记作 ξ_i ，若有 n 位专家，则第 $k(k=1, 2, \dots, n)$ 个专家给出的评价区间记为 $[u_{i1}^k, u_{i2}^k]$ ，且 $[u_{i1}^k, u_{i2}^k] \in \xi_i$ ，则 n 位专家的评价区间形成了一个集值统计序列 $[u_{i1}^1, u_{i2}^1], [u_{i1}^2, u_{i2}^2], [u_{i1}^3, u_{i2}^3], \dots, [u_{i1}^n, u_{i2}^n]$ ，该序列叠加起来则可用数轴上的样本落影函数来表示，记为 $\bar{\chi}_{\xi_i}(u)$ [9-10]。

$$\bar{\chi}_{\xi_i}(u) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \chi_{[u_{i1}^k, u_{i2}^k]}(u) \quad (1)$$

$$\text{其中, } \chi_{[u_{i1}^k, u_{i2}^k]}(u) = \begin{cases} 1, & u_{i1}^k \leq u \leq u_{i2}^k \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

因素集 x 的指标 c_i 的相对权重为：

$$\bar{u}_i = \frac{\int_{u_i}^{u_i'} \bar{\chi}_{\xi_i}(u) du}{\int_{u_i}^{u_i'} \chi_{\xi_i}(u) du} \quad (2)$$

式中： $u_i = \min(u_{i1}^1, u_{i1}^2, u_{i1}^3, \dots, u_{i1}^n)$ ， $u_i' = \min(u_{i2}^1, u_{i2}^2, u_{i2}^3, \dots, u_{i2}^n)$
($i=1, 2, \dots, m$)

对 (2) 式的积分进行求解，得：

$$\bar{u}_i = \frac{\frac{1}{2} \sum_{k=1}^n [(u_{i2}^k)^2 - (u_{i1}^k)^2]}{\sum_{k=1}^n [u_{i2}^k - u_{i1}^k]} \quad (3)$$

($i=1, 2, \dots, m; k=1, 2, \dots, n$)

此外，考虑各专家的学历，从事行业的时间以及经历等，给每位专家定义了权重系数 $h_k (k=1, 2, \dots, n)$ ，则各评价指标相对权重为：

$$u_i' = \frac{\frac{1}{2} \sum_{k=1}^n h_k \cdot [(u_{i2}^k)^2 - (u_{i1}^k)^2]}{\sum_{k=1}^n h_k \cdot [u_{i2}^k - u_{i1}^k]} \quad (4)$$

对其进行归一化处理，即可得每一个指标的综合权重为：

$$t_i = \frac{u_i'}{\sum_{i=1}^m u_i'} \quad (5)$$

这种评价方法可进行较模糊的指标评价，而且集中了多种不同意见，减少了评价中的随机误差。

2.2 评价指标可靠度的确定

集值统计法能够充分利用评价过程的信息，不仅可获得指标权重 u_i ，还可以通过分析 $\bar{\chi}_{\xi_i}(u)$ 获得评价者对指标的把握程度，从而得到指标可靠程度。文中采用区间方差表征专家对指标的把握程度，定义分歧度为 g_i 。

$$g_i = \frac{1}{3} \frac{\sum_{k=1}^n [(u_{i2}^k - u_i')^3 - (u_{i1}^k - u_i')^3]}{\sum_{k=1}^n [u_{i2}^k - u_{i1}^k]} \quad (6)$$

显然，专家意见分歧度 g_i 越大，专家整体对指标 c_i 的把握程度越小，也反映了该指标的综合评价可靠程度越小。

2.3 避险车道安全性综合评价指标的确定

结合各指标的平均分值和权重，根据式 (7) 计算得到该避险车道的综合评价分值 S ，即可评价该避险车道的安全性。避险车道安全性分级见表 4。

$$S = \sum K_i \cdot u_i \quad (7)$$

表 4 避险车道安全评价分级

评价分值	(90,100]	(80,90]	(70,80]	(50,70]	≤ 50
安全性	十分安全	较安全	基本安全	安全性差	事故多发

3 实例验证

3.1 工程概况

以贵州省某省道中 K117+500 处避险车道为工程实例，利用基于集值统计法的安全评价模型，为该处避险车道的安全性进行评价。

该省道道路等级为二级路，设计车速为 40km/h，全线 (K114+170 ~ K164+900) 里程约 50.73 公里，其中 K115+744 ~ K121+744 段为 6km 长大下坡段。根据对该路段的交通量分析，其中，特大货车在交通量中的比例为 5.3%，大型货车比例为 10.1%，中型货车比例为 9.3%，中型以上货车共占 24.7%，道路上的大车比例多，行驶条件差，大货车极易发生制动失效事故，从而引发重大的道路交通事故。通过对该处避险车道的勘测，获得其参数的详细信息，如表 5 所示。

表 5 K117+500 处避险车道详细信息

避险车道与主线交角 (°)	10	制动床坡度 (%)	11
引道长度 (m)	45	制动床集料类型	碎石和卵石
制动床长度 (m)	100	碎石集料尺寸 (cm)	1.8 ~ 7.6
制动床宽度 (m)	7.0	卵石集料尺寸 (cm)	0.8 ~ 5.9

3.2 评价指标的确定

在目标层中,邀请相关方面专家甲、乙、丙、丁、戊共五位专家对各指标进行区间分值的判定,判断矩阵见表 6。由于各专家在学历、经验上的不同,专家的权重分值为 [0.3, 0.25, 0.2, 0.15, 0.1]。

表 6 指标权值区间的判定

评价专家	专家权重	评价指标								
		引道长度	交角	视距	制动床长度	制动床坡度	集料类型	集料深度	端头防护	其他
甲	0.30	[8,10]	[7,9]	[14,18]	[18,23]	[11,16]	[9,12]	[13,18]	[9,13]	[6,9]
乙	0.25	[9,12]	[6,8]	[13,18]	[16,19]	[12,16]	[10,14]	[14,17]	[10,14]	[5,6]
丙	0.20	[4,8]	[9,12]	[12,16]	[17,22]	[11,14]	[13,16]	[14,20]	[10,15]	[5,8]
丁	0.15	[6,8]	[10,13]	[15,19]	[19,22]	[12,16]	[10,14]	[15,18]	[9,12]	[4,8]
戊	0.10	[5,9]	[6,9]	[14,18]	[19,24]	[9,13]	[11,12]	[14,17]	[8,10]	[4,7]

在确定了指标区间分值之后,根据式(1)一式(6)求得各指标的综合权重及分歧度,如表 7 所示。

表 7 各指标综合权重

评价指标	引道长度	交角	视距	制动床长度	制动床坡度	集料类型	集料深度	端头防护	其他
相对权重	8.06	8.69	15.62	19.88	13.30	12.45	16.04	11.29	6.52
综合权重	0.072	0.078	0.140	0.178	0.119	0.111	0.143	0.101	0.058
分歧度	3.84	4.04	2.43	3.32	2.80	2.78	2.23	2.56	1.45

根据表 6 可知,各参数对避险车道安全性的影响程度由大到小依次为:制动床长度>集料深度>视距>制动床坡度>集料类型>端头防护>交角>引道长度>其他。由表 6 的分歧度计算值可知,专家在进行分值区间判定时,对于指标“其他”的把握度最小,其次是集料深度、视距、端头防护、集料类型、制动床坡度、长度、引道长度和交角。

根据指标的综合权重,对避险车道进行参数优化时,应首先针对权重高的指标进行优化,从而最大限度提高避险车道的安全性。

3.3 避险车道安全性评价

根据该处避险车道的设计参数,得到五位专家对各评价指标的评价分值,经平均化处理,各指标评价分值情况如表 8 所示。

表 8 评价指标分值

评价指标	引道长度	交角	视距	制动床长度	制动床坡度	集料类型	集料深度	端头防护	其他
平均分	83	80	70	76	90	80	85	75	72

结合表 7 各评价指标权重和表 8 评价分值,带入式(7),求得该处避险车道的综合评价分值为 79.04,并得到其安全性等级为基本安全。

结论

本文从引道长度、避险车道与主线交角视距条件、制动床长度、坡度、集料类型、深度、端头防护及其他因素共九个方面建立了避险车道安全性评价指标体系。提出了基于集值统计法的安全评价模型,在模型中,应用集值统计法计算并确定了各评价指标的权重和可靠度。通过评价指标权重的计算,可确定避险车道的参数优化顺序。依托贵州某省道的避险车道实例,利用本文提出的评价方法,评价其设计参数的安全性,为该处避险车道安全性优化措施的制定提供了方向。

【参考文献】

- [1] David K Whiteford.NCHRP Synthesis 178:Truck Escape Ramps[R].Transportation Research Board,1992,5:2,17.
- [2] Yun W,Bin L I,Yanxian Y E.The Application of Truck Escape Ramps on the Long Down-slope Road[J].Highway Engineering,2007,42(1):159-181.
- [3] 郭鑫,徐阳,刘明.长大下坡路段避险车道安全评价研究[J].中国安全科学学报,2014,24(4):152-158.
- [4] 张弛,张宏,闫晓敏.复杂长大陡坡路段避险车道安全评价模型[J].公路,2018,4(4):159-168.
- [5] 袁志英.山区公路避险车道长度研究[D].西安:长安大学,2006:23-24.
- [6] JTG D20-2017 公路路线设计规范[S].
- [7] 交通部公路司.新理念公路设计指南[M].人民交通出版社,2005.