

文章编号:1671-8879(2012)05-0039-06

公路避险车道灰色定位评估模型

李 超¹,王玉兰²,王长中³

(1. 山东交通学院 土木工程系,山东 济南,250023; 2. 山东省交通规划设计院,
山东 济南 250031; 3. 山东省昌乐县交通工程有限公司,山东 昌乐 262400)

摘 要:为了提高避险车道定位精度,从交通事故统计数据 and 道路条件与车辆状态 2 个方面深入分析了避险车道定位的影响因素,阐述了中心点三角白化权函数的原理,提出了基于中心点三角白化权函数的避险车道定位灰色评估模型,利用此模型对依托工程长下坡路段各单位路段的行车安全性进行综合评估与安全等级分类,并在分析评估结果的基础上确定设置避险车道的候选位置与设置次序。利用此模型对依托工程长下坡路段各单位路段的行车安全性进行综合评估与安全等级分类,将评定等级为“差”类路段确定为设置避险车道的候选路段;通过比较相邻候选路段的灰色综合聚类系数,确定在路段 9 和路段 20 末端设置避险车道。依托工程避险车道设置效果表明,通过本模型确定的避险车道位置合理。

关键词:道路工程;避险车道;定位;三角白化权函数;评估模型

中图分类号:U416

文献标志码:A

Grey evaluation model of highway emergency lane location

LI Chao¹,WANG Yu-lan²,WANG Chang-zhong³

(1. Department of Civil Engineering, Shandong Jiaotong University, Jinan 250023, Shandong, China;
2. Shandong Provincial Communications Planning and Design Institute, Jinan 250031, Shandong, China;
3. Changle County Traffic Engineering Co Ltd, Changle 262400, Shandong, China)

Abstract: In order to improve the precision of emergency lane location, this paper thoroughly analyzed influence factors of the emergency lane location from the view of traffic accident statistical data, road conditions and vehicle status, expounded the theory of center-point triangular whitenization weight function, and put forward the grey evaluation model of the emergency lane location. The running safety of the unit section on the long-steep downgrade was evaluated with the model. The unit section of “poor” class was used as the candidate section for setting emergency lane. The accurate positions of the emergency lanes at the end of section 9 and section 20 were determined based on comparison with the gray comprehensive clustering coefficients of adjacent candidate sections. Setting effect of emergency lanes shows that the emergency lane positions determined by the model are scientific and rational. 5 tabs, 2 figs, 10 refs.

Key words: road engineering; emergency lane; location; triangular whitenization weight function; evaluation model

收稿日期:2011-12-10

基金项目:山东省自然科学基金项目(ZR2012EELZ9);山东省高校科研发展计划项目(J12LG04)

作者简介:李 超(1979-),男,山东济南人,讲师,工学博士,E-mail:lic211@163.com。

0 引言

随着中国山区高等级公路的快速发展,连续长下坡路段逐年增多,载重车辆在连续长下坡路段上行驶,因为长时间制动而使制动失灵,以致重特重大事故经常发生。应用经验表明,避险车道是预防此类事故、减轻损失的有效设施^[1-3]。中国《公路工程技术标准》(JTG B01-2003)也明确提出,在山岭区连续长下坡路段应设置避险车道。对此,中国一些专家、学者也展开了相关的研究,目前,研究主要集中在避险车道的制动车道几何尺寸、制动车道摩阻系数等方面,尚缺乏对避险车道定位技术系统的研究;设计规范和标准目前还未提出关于避险车道定位技术的具体指标要求,导致设计时随意性较大,使避险车道定位不合理,发挥不了应有的作用,致使某些长下坡路段重大交通事故频发,因此,提高避险车道定位精度已成为亟待解决的问题。为此,本文在分析长下坡路段安全影响因素的基础上,根据灰色聚类原理,基于中心点三角白化权函数的避险车道的定位评估模型,综合评价长下坡路段安全状况,从而提高避险车道定位精度。

1 避险车道建设决策因素分析

1.1 交通事故统计数据分

交通事故统计数据定量指标通常包括单位路段事故数、伤亡人数、直接经济损失等^[4]。事故数是交通事故频率的最直观的评价指标,根据《中华人民共和国道路交通安全法》对交通事故的定义,即统计车辆在道路上因过错或者意外造成的人身伤亡或者财产损失的事件;伤亡人数从人身伤害角度反映了交通事故的严重程度,是中国交通事故严重程度分类的重要指标;直接经济损失从经济损失方面反映了交通事故的严重程度,其中,交通事故的直接经济损失包括两部分:财产直接经济损失和人员伤亡损失。财产损失的计量是没有争议的,但对人员伤亡程度的计量由于其内涵复杂,用经济损失计量会受到一个国家和地区当事人员的立场、经济价值观的不同所左右,结果受主观因素的影响差异很大,因此,在避险车道设置定位分析中,直接经济损失指标只包含财产直接经济损失。

在一般交通安全状况评价中,这些指标数据通常是以某一区域或某公路为统计单位,反映区域或

公路之间交通安全状况的差异性,而在避险车道定位决策分析中,这一统计方法对避险车道设置点位的确定失去意义。因此,在避险车道设置位置决策分析中,将某公路或长下坡路段划分为若干统计单位路段,并对各单位路段载重车辆事故数、伤亡人数和直接经济损失等交通事故指标分别进行统计。

1.2 道路条件与车辆状态分析

影响山区高等级公路行车安全的道路与车辆因素,包括制动器温度 T 、坡长 L 、平均纵坡 G 、车速 V 和汽车质量 M 等^[5]。长下坡路段载重车辆事故频发的最主要原因是,由于载重车辆在长下坡路段行驶时,制动使用频繁,制动器温度迅速上升导致制动失灵,制动器温度与各因素的量化关系为

$$T = 54.87 \ln(L) + 46.99 \ln(G) + 26.647 \ln(V_n) + 85.587 \ln(M) - 310.064 \quad (1)$$

由式(1)可知,制动器温度与坡长、平均纵坡、车速和车辆质量等指标的对数有较好的线性关系,因此,制动器温度可替代坡长、平均纵坡、车速和货车总质量等因素,作为避险车道定位决策模型的一个综合指标^[6]。

山区高速公路长下坡路段,载重车辆制动器温度与其行驶速度变化率密切相关。根据能量守恒,车辆动能和势能的改变量(ΔE_D)必然转变为其他形式的能量,数量关系为

$$\Delta E_D + \Delta E_s = E_k + E_z \quad (2)$$

式中: ΔE_s 为车辆势能改变量(J); E_k 为车辆与空摩擦消耗能量(J); E_z 为制动器消耗能量(J)。

在无辅助制动情况下,由载重车辆下坡受力情况分析可知,此部分能量主要转化为车辆与空气间的摩擦消耗能量和制动器消耗能量,即制动器摩擦产生的热量^[7]。

$$E_z = \frac{1}{2} M v_1^2 - \frac{1}{2} M v_2^2 + M g \Delta h - \frac{C_D A V^2}{21.15} L \quad (3)$$

式中: C_D 为空气阻力系数; A 为汽车迎风面积,即汽车行驶方向的投影面积(m^2); g 为重力加速度(m/s^2); Δh 为车辆高程变化值(m); v_1 、 v_2 分别为单位路段最高车速和最低车速(km/h); V 为相对速度,在无风时即为车辆的平均速度(km/h)。

制动器工作时摩擦片同制动鼓内表面摩擦产生的热量,一部分通过各种途径散发出去,剩余部分在制动鼓和摩擦片内部积累,使其所含热量增加,温度升高。由于热传导、热对流和热辐射 3 种热传递方式

在短时间内的散热所占的比例很小,在计算时忽略。因此,车辆制动器的热量增加值为

$$\Delta Q = cm\Delta T = E_z \tag{4}$$

从而得出制动系统的温度升高值为

$$\Delta T = \frac{E_z}{cm} \tag{5}$$

式中: c 为制动器比热容($\text{J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$); m 为制动器质量(kg)。

表 1 列出了由式(3)、式(5)计算得到路段车速差与相应的制动器温度升高值。

表 1 ΔV 与 ΔT 的关系
Tab. 1 ΔV and ΔT relation

路段车速差 $\Delta V/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$	5	10	20
制动器温度升高值 $\Delta T/^\circ\text{C}$	65	140	240

研究表明,大货车在山区高速公路行驶时,制动器温度长时间保持在 $100\text{ }^\circ\text{C}$ 以上,车辆制动器温度达到 $260\text{ }^\circ\text{C}$ 以上将出现失灵现象,而保证绝对安全时制动器温度应控制在 $200\text{ }^\circ\text{C}$ 以内^[8-9]。根据表 1 中的数据,车速差在 10 km/h 左右时,制动器性能良好,车速差在 15 km/h 以上时,制动器性能明显降低,当车速差大于 20 km/h 时,将出现失灵。

综上所述,事故数、伤亡人数、直接经济损失、单位路段最大车速差和制动鼓温度等指标各有侧重,相互补充。一方面,各指标描述角度单一,不能全面反映长下坡路段载重车辆行车安全状况;另一方面,各单一指标量纲不同,在各个单位路段的分布不统一,很难直接根据各单一指标对路段安全性做出综合评判。为使多个指标共同作用,全面反映路段整体安全状况,为避险车道定位决策提供科学依据,必须建立能够综合分析各指标的决策模型。

在确定避险车道具具体位置时,还应考虑线形和地形因素。由于本文只针对高等级公路,道路线形标准比较高,线形对避险车道定位影响可以忽略;地形对于避险车道设置十分重要,一般平曲线外侧山坡地形最适合设置避险车道,但是由于这一地形特点无法确定,故未将地形因素纳入分析模型,而在分析模型时,初步确定避险车道可选位置后,再结合地形因素确定避险车道具具体位置。

2 灰色评估模型

灰类白化权函数可根据预设类别对观测对象进行分类,是一种依据定量指标确定聚类对象间亲疏

关系的一种多元分析方法。此方法通过对指标的合理量化与综合,使评价结果更加客观准确。基于此,本文选择基于中心点三角白化权函数的灰色评估模型,进行单位路段危险性评估,从而确定避险车道设置位置。

2.1 中心点三角白化权函数的灰色评估原理

属于某灰类程度最大的点为该灰类的中心点。基于中心点三角白化权函数的灰色评估,具体通过如下步骤完成^[10]。

步骤 1:假设要将评估对象划分为 s 个灰类,据此将 $j(j = 1, 2, \dots, m)$ 指标的取值范围也相应地划分为 s 个灰类。设 $\lambda_k(k = 1, 2, \dots, s)$ 为 $k(k = 1, 2, \dots, s)$ 灰类的中心点,即最可能属于 $k(k = 1, 2, \dots, s)$ 灰类的点。由此可将 $j(j = 1, 2, \dots, m)$ 指标 $k(k = 1, 2, \dots, s)$ 灰类的取值范围确定为 $[\lambda_{k-1}, \lambda_{k+1}]$, $k = 1, 2, \dots, s$ 。对于第 1 个灰类的左端点 λ_0 和第 s 个灰类的右端点 λ_{s+1} ,可分别将 j 指标取数域向左、右延拓而得。

步骤 2:同时连接点 $(\lambda_k, 1)$ 与第 $k-1$ 个小区间的中心点 $(\lambda_{k-1}, 0)$ 以及 $(\lambda_k, 1)$ 与第 $k+1$ 个小区间的中心点 $(\lambda_{k+1}, 0)$,得到 j 指标关于 k 灰类的三角白化权函数 $f_j^k(\cdot)$, $j = 1, 2, \dots, m$; $k = 1, 2, \dots, s$ 对于 $f_j^1(\cdot)$ 和 $f_j^s(\cdot)$,可分别将 j 指标的取数范围向左、右延拓至 λ_0, λ_{s+1} ,可得 j 指标关于灰类 s 的三角白化权函数 $f_j^1(\cdot)$ 和 j 指标关于灰类 s 的三角白化权函数 $f_j^s(\cdot)$,如图 1 所示。

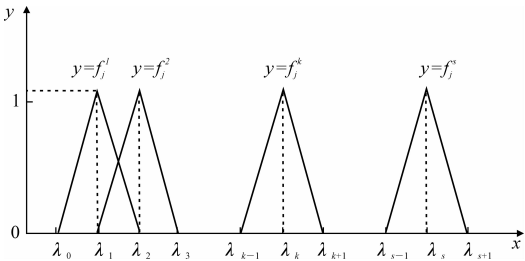


图 1 中心点三角白化权函数

Fig. 1 Centre triangular whitenization weight function

对于指标 j 的一个观测值 x ,可由式(6)计算出其属于灰类 $k(k = 1, 2, \dots, s)$ 的隶属度 $f_j^k(\cdot)$ 。

$$f_j^k(x) = \begin{cases} 0, & x \notin [\lambda_{k-1}, \lambda_{k+1}] \\ (x - \lambda_{k-1}) / (\lambda_k - \lambda_{k-1}), & x \in [\lambda_{k-1}, \lambda_k] \\ (\lambda_{k+1} - x) / (\lambda_{k+1} - \lambda_k), & x \in [\lambda_k, \lambda_{k+1}] \end{cases} \tag{6}$$

步骤 3:计算对象 $i(i = 1, 2, \dots, n)$ 关于灰类 $k(k = 1, 2, \dots, s)$ 的综合聚类系数 s_j^k 为

$$\sigma_i^k = \sum_{j=1}^m f_j^k(x_{ij})\eta_j \tag{7}$$

式中： f_j^k 为 j 指标 k 子类白化权函数； η_j 为指标 j 在综合聚类中的权重。

步骤 4:由 $\max_{1 \leq k \leq s}(\sigma_i^k) = \sigma_i^{k^*}$, 判断对象 i 属于灰类 k^* ; 当有多个对象同属于 k^* 灰类时, 还可以进一步根据综合聚类系数的大小确定同属于 k^* 灰类之各个对象的优劣或位次。

2.2 避险车道定位灰色评估模型

基于中心点三角白化权函数的灰色评估原理, 将长下坡路段划分为若干单位路段, 作为评估对象。确定分类目标: 拟将这些单位路段划为“优”、“良”、“中”、“差”4 类, 安全性由“优”向“差”依次降低; 将事故数、伤亡人数、直接经济损失、单位路段最大车速差和制动鼓温度作为评估指标, 并按照指标值分别将 5 个指标分为“优”、“良”、“中”、“差”4 类; 同时, 根据指标值的范围给出每个分类的代表值 λ_k ; 根据 λ_k 得到 j 指标关于 k 灰类的三角白化权函数 $f_j^k(\cdot)$, $j = 1, 2, \cdots, m$; $k = 1, 2, \cdots, s$, 利用各指标观测值 x_{ij} 计算出其属于灰类 $k(k = 1, 2, \cdots, s)$ 的隶属度 $f_j^k(\cdot)$; 通过专家调查问卷确定各评估指标权重 σ_i^k , 并计算综合聚类系数 σ_i^k ; 根据综合聚类系数将单位路段划为“优”、“良”、“中”、“差”4 类; 将属于差类的单位路段末端作为避险车道候选位置, 从而进行避险车道精确定位, 如图 2 所示。

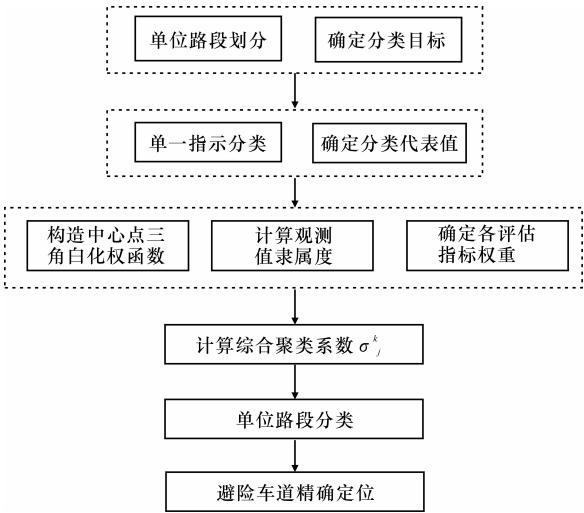


图 2 避险车道定位灰色评估模型

Fig. 2 Emergency lane location gray evaluation model

3 工程实例

利用避险车道定位灰色评估模型, 对依托工程长下坡路段的避险车道设置位置进行评估。

3.1 基础数据

(1)对依托工程长下坡路段某年的道路交通统计观测数据按照设计纵坡段进行分段, 由于每一观测坡段坡长不同, 为了准确反映交通安全状况, 采用单位路段的相关指标来表示。对原始指标数据进行单位化处理后, 结果见表 2。

表 2 长下坡路段交通数据统计

Tab. 2 Statistics of traffic on long-steep downgrade

路段编号	路段桩号	伤亡人数/ (人 · km ⁻¹)	经济损失/ (万元 · 起 ⁻¹)	事故数/ (起 · km ⁻¹)	制动器温度/℃	最大车速差/ (km · h ⁻¹)
1	K82+690~K81+720	7.22	0.97	7.22	140	3.8
2	K81+720~K81+320	3.86	0.86	5.00	156	9.0
3	K81+320~K80+400	6.27	0.58	8.70	182	1.0
4	K80+400~K79+520	7.32	1.25	6.82	201	1.0
5	K79+520~K79+040	8.33	0.86	6.25	210	2.0
6	K79+040~K78+060	3.06	0.87	5.10	220	11.5
7	K78+060~K77+520	7.56	1.31	7.41	225	5.0
8	K77+520~K76+540	12.14	0.22	15.31	241	28.0
9	K76+540~K75+360	10.47	3.15	10.17	245	26.0
10	K75+360~K74+840	4.62	1.00	5.77	251	10.0
11	K74+840~K74+120	8.33	1.53	6.94	255	14.0
12	K74+120~K73+320	11.25	3.71	7.50	252	9.7
13	K73+320~K72+800	5.77	1.11	5.77	258	10.0
14	K72+800~K72+300	12.00	3.82	4.00	265	6.0
15	K72+300~K71+060	6.61	1.21	5.65	266	1.0
16	K71+060~K70+440	7.29	0.84	6.45	266	13.0
17	K70+440~K70+040	22.50	2.43	12.50	255	16.5
18	K70+040~K69+440	3.36	0.85	3.33	273	26.0
19	K69+440~K68+720	4.17	1.10	4.17	276	2.0
20	K68+720~K68+100	4.87	1.10	117.23	281	20.0

路段 20 位于长下坡的底端,并设置了收费站,载重车辆在整个长下坡路段频繁制动,制动器温度已相当高,加之收费站前制动强度大,易出现制动失灵。因此,此路段交通事故数远大于其他路段的事故数,事故数达 117.23 起/km,事故造成直接经济损失 47.1 万元/km,但伤亡人数只有 4.87 人/km,这与表 2 中常规记录差异较大。由于收费站的影响,造成此路段事故数据变异,因此,在分析时不计入本记录,而作为异常点重点分析。

表 3 指标分类中心三角白化权函数

Tab. 3 Centre triangular whitenization weight function of index classification

指标	优	良	中	差
伤亡人数/(人·km ⁻¹)	$f_1^1(0,5,-,10)$	$f_1^2(5,10,-,15)$	$f_1^3(10,15,-,20)$	$f_1^4(15,20,-,30)$
经济损失/(万元·起 ⁻¹)	$f_2^1(0,0.1,-,3)$	$f_2^2(0.1,3,-,6)$	$f_2^3(3,6,-,8)$	$f_2^4(6,8,-,10)$
事故数/(起·km ⁻¹)	$f_3^1(0,3,-,6)$	$f_3^2(3,6,-,10)$	$f_3^3(0,3,-,6)$	$f_3^4(10,15,-,20)$
制动器温度/℃	$f_4^1(100,150,-,200)$	$f_4^2(150,200,-,230)$	$f_4^3(200,230,-,260)$	$f_4^4(230,260,-,285)$
最大车速差/(km·h ⁻¹)	$f_5^1(0,5,-,10)$	$f_5^2(5,10,-,15)$	$f_5^3(10,15,-,20)$	$f_5^4(15,20,-,30)$

注:表中函数 $f(\cdot)$ 中的“-”表示缺失项。

表 4 指标分析权重

Tab. 4 Index analysis weights

指标	伤亡人数/ (人·km ⁻¹)	经济损失/ (万元·起 ⁻¹)	事故数/ (起·km ⁻¹)	制动器 温度/℃	最大车速差/ (km·h ⁻¹)
权重	0.25	0.15	0.3	0.15	0.15

3.3 评价结果

根据各指标的统计观测数据、中心三角白化权

3.2 构建指标分类中心白化权函数

各指标分类中心三角白化权函数根据各指标的数据范围和相关标准构建。其中,伤亡人数和经济损失的分类代表值根据中国交通事故等级分类标准以及本路段统计数据确定;制动器温度分类代表值根据相关研究结论以及本路段实测数据确定;单位路段最大车速差分类代表值根据实测断面运行车速数据确定;事故数根据本路段统计数据范围确定,见表 3;指标分析权重采用 Delphi 函询的方式确定,见表 4。

函数和分析权重,计算得到各单位路段的综合聚类系数,见表 5。根据综合聚类系数,将各单位路段安全度分为“优”、“良”、“中”、“差”4 类路段,并考虑在“差”类单位路段段末处设置避险车道。

由表 5 可知,路段 8、9、17、20 行车安全状况较差,应考虑在路段段尾处设置避险车道。但是,分析这 4 个路段的相对位置时发现,路段 8、9 相邻,路段

表 5 单位路段综合聚类评价结果

Tab. 5 Comprehensive clustering evaluation results of unit section

路段	优	良	中	差	最大值	评价结果
1	0.68	0.26	0.18	0.32	0.68	优
2	0.65	0.16	0.24	0.31	0.65	优
3	0.66	0.21	0.33	0.16	0.66	优
4	0.57	0.35	0.16	0.21	0.57	优
5	0.53	0.26	0.14	0.22	0.53	优
6	0.41	0.56	0.23	0.12	0.56	良
7	0.54	0.31	0.14	0.11	0.54	优
8	0.15	0.21	0.51	0.79	0.69	差
9	0.13	0.25	0.63	0.72	0.72	差
10	0.37	0.56	0.26	0.18	0.56	良
11	0.16	0.27	0.59	0.44	0.59	中
12	0.13	0.60	0.39	0.17	0.60	良
13	0.15	0.57	0.37	0.23	0.57	良
14	0.12	0.66	0.52	0.24	0.66	良
15	0.14	0.53	0.34	0.16	0.53	良
16	0.11	0.27	0.73	0.53	0.73	中
17	0.07	0.15	0.34	0.71	0.71	差
18	0.16	0.27	0.57	0.33	0.57	中
19	0.08	0.61	0.43	0.22	0.61	良
20	0.05	0.33	0.48	0.75	0.75	差

17、20 位置靠近,同时,比较综合聚类系数,发现路段 9 大于路段 8,路段 20 大于路段 17,另外,路段 9 和路段 20 处于平曲线外侧,路旁有内倾山坡可利用,便于修筑避险车道。因此,依托工程长下坡路段,在路段 9 和路段 20 末端设置避险车道最为合理。

5 结 语

(1)事故数、伤亡人数、直接经济损失、单位路段最大车速差和制动鼓温度等是影响避险车道设置位置的重要因素,并且相互间没有明显的线性关系,在评估避险车道设置位置时应综合考虑。

(2)基于中心点的三角白化权函数的评估模型,不仅能够根据载重车辆行车安全性对各单位路段进行合理分类,确定危险路段,并对避险车道进行准确定位,还可以通过比较各单位路段的综合聚类系数,对设置避险车道的紧迫程度做出决策。

参考文献:

References:

- [1] 李学峰. 山区高速公路避险车道设置技术研究[D]. 重庆:重庆交通大学,2009.
LI Xue-feng. Research on setting techniques of truck escape ramp for mountainous expressway [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University,2009. (in Chinese)
- [2] 张高强,孙传夏,程晓辉,等. 基于颗粒流模拟的避险车道制动床长度确定方法[J]. 公路交通科技,2011,28(10):118-124.
ZHANG Gao-qian, SUN Chuan-xia, CHENG Xiao-hui, et al. Determining method of length of arrested bed of truck escape ramp based on particle flow simulation[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development,2011,28(10):118-124. (in Chinese)
- [3] Liu S, Wang J H, Niu J F. The design for approach road of truck escape ramp[C]//ZCTE. Proceedings of the 3rd International Conference on Transportation Engineering. Reston: American Society of Civil Engineers,2011:2725-2730.
- [4] 周晓光. 青海省长下坡交通事故预测模型的建立[D]. 西安:长安大学,2007.

- ZHOU Xiao-guang. The establishment forecast model of traffic accidents on long and steep downgrades in qinghai province[D]. Xi'an: Chang'an University,2007. (in Chinese)
- [5] 贺玉龙,汪双杰,孙小端,等. 中美公路运行速度与交通安全相关性对比研究[J]. 中国公路学报,2010,23(增):73-78.
HE Yu-long, WANG Shuang-jie, SUN Xiao-duan, et al. Operating speed and highway safety in China and the United States[J]. China Journal of Highway and Transport,2010,23(S):73-78. (in Chinese)
- [6] 杨宏志,胡庆谊,许金良. 高速公路长下坡路段安全设计与评价方法[J]. 交通运输工程学报,2010,10(3):10-16.
YANG Hong-zhi, HU Qing-yi, XU Jin-liang. Safety design and evaluation method of long-sleep downgrade sections for expressway[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering,2010,10(3):10-16. (in Chinese)
- [7] 刘国富. 青海省长下坡安全改善对策与措施研究[D]. 西安:长安大学,2007.
LIU Guo-fu. Study on the countermeasure of safety improvement in the continuous long and steep downgrade of Qinghai [D]. Xi'an: Chang'an University,2007. (in Chinese)
- [8] 靳恩勇,杜博英. 长大下坡货车制动器温度模型[J]. 公路交通科技,2011,28(2):133-136.
JIN En-yong, DU Bo-ying. Prediction model of brake temperature of truck on long and steep downgrade [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development,2011,28(2):133-136. (in Chinese)
- [9] 韩跃杰,许金良,刘永福. 连续长下坡路段的安全坡长[J]. 长安大学学报:自然科学版,2010,30(5):35-39.
HAN Yue-jie, XU Jin-liang, LIU Yong-fu. Safety grade length for driving at long steep downgrade highway[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition,2010,30(5):35-39. (in Chinese)
- [10] 刘思峰,党耀国,方志耕,等. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京:科学出版社,2010.
LIU Si-feng, DANG Yao-guo, FANG Zhi-geng, et al. Grey system theory and its application [M]. Beijing: Science and Technology Press,2010. (in Chinese)