

不同路面条件下山区公路景观对停车视距的影响^{*}袁玲薇¹, 熊坚¹, 陈瑶², 贾现广¹

(1.昆明理工大学, 云南 昆明 650500; 2.云南省交通科学研究院, 云南 昆明 650000)

摘要: 为分析不同路面条件下山区公路景观对停车视距的影响, 改善以往对停车视距研究较少基于公路景观、很少将驾驶员制动反应时间作为变量考虑的问题, 考虑基于公路景观的驾驶人反应时间, 细化停车制动过程, 确立了基于山区公路景观的停车视距模型, 进而分析采用不同制动系的大众轿车和轻型货车在山区公路景观下的停车视距, 并与中国现有停车视距进行对比。结果表明, 不同路面条件下山区公路景观停车视距不同, 全封闭景观、垂直景观优于其他种类景观; 山区公路景观对不同制动系的大众轿车和轻型货车的停车视距的影响趋势相同; 直线全开敞、弯道全封闭景观空间下的停车视距分别与中国规范值和改进值接近。

关键词: 公路交通; 山区公路景观; 停车视距; 制动反应时间; 路面条件

中图分类号: U491.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2017)01-0052-05

公路景观与交通安全有着密切的关系, 景观空间构成会影响驾驶人的心理和生理特性, 必然会影响驾驶人反应时间, 进而影响驾驶人面对突发情况时的停车视距。而停车视距是公路安全性评价中较重要的指标, 可对公路景观的安全性进行度量。国内外研究发现, 公路景观能改善公路交通环境, 提高驾驶人注意力, 进而减少交通事故的发生。因此, 基于公路景观对停车视距进行研究, 分析合理的公路景观设置, 探索公路景观对公路交通安全的影响, 对预防和减少事故的发生具有重要作用。

20 世纪 40 年代开始对停车视距进行研究, 美国国家公路和运输协会(AASHTO)于 1940 年建立了停车视距基本模型。但 20 世纪 80 年代后, 停车视距参数研究才广泛受到重视。Bogdevicius M. 分析了驾驶人反应速度、制动器、轮胎质量及道路表面特性对车辆制动性能的影响, 计算了不同路面粗糙度和车速下的制动距离。袁浩和姜虹等从运动学原理出发, 对停车视距模型进行了修正: 袁浩将制动过程分为制动反应、制动力上升和全制动 3 个阶段, 分析了弯道、纵坡和空气阻力条件下的停车视距公式; 姜虹等将制动过程分为驾驶员反应、车辆制动系协调和全制动 3 个阶段, 分析了不同路面状况下的停车视距。二者均将驾驶人反应时间设为定值(2.5 s)。这些分析和方法为停车视距及其影响因素研究提供了新思路, 并在驾驶实践中起到了一定作用。

但存在两个问题: 1) 较少基于公路景观研究停车视距; 2) 几乎都将停车视距模型中驾驶人制动反应时间作为定值。为此, 该文考虑基于公路景观的驾驶人反应时间细化停车制动过程, 确立基于山区公路景观的停车视距模型, 分析不同制动系的大众轿车和轻型货车在山区公路景观下的停车视距, 并与中国现有停车视距进行对比。

1 停车视距模型及修正

1.1 规范中的停车视距模型

JTG D20-2006《公路路线设计规范》将停车视距分为制动反应距离和制动距离。在驾驶员制动反应时间 t 内以初始速度行驶的距离为制动反应距离; 制动距离是汽车从制动生效到完全停住这段时间内行驶的距离, 在这个阶段, 认为制动力恒定, 不考虑制动力上升过程。其停车视距模型为:

$$S = S_1 + S_2 = \frac{vt}{3.6} + \frac{v^2}{254 \varphi_s} \quad (1)$$

式中: S 为停车视距(m); S_1 制动反应距离; S_2 为制动距离; v 为速度的计算值(km/h), 取设计速度的 85%~90%; t 为制动反应时间(s), $t=2.5$ s; φ_s 为路面滑动附着系数。

1.2 改进的停车视距模型

规范中的停车视距模型只考虑了制动反应距离和制动距离。姜虹等认为不良天气会影响驾驶员视线和路面附着系数, 基于运动学原理考虑制动力上

^{*} 基金项目: 云南省交通厅重点项目(云交科 2010(A)16-a); 国家自然科学基金资助项目(71261012)

升过程,将车辆制动过程分为驾驶员反应、车辆制动系协调和全制动 3 个阶段,对汽车制动距离进行重新推导,得到不同路面条件下停车视距计算模型:

$$S = \frac{v_0(t_1 + t_3)}{3.6} + \frac{v_0 t_4}{7.2} + \frac{v_0}{25.92a_{\max}} - \frac{a_{\max} t_4^2}{24} \quad (2)$$

式中: v_0 为初始车速; t_1 为驾驶员反应时间,取为 2.5 s; t_3 为制动踏板自由行程时间,取为 0.05 s; t_4 为制动力上升时间,取为 0.2 s; a_{\max} 为最大制动减速度 (m/s^2), $a_{\max} = g\varphi$ 。

1.3 基于山区公路景观的停车视距模型

改进的停车视距模型考虑了制动力上升过程,将制动力上升时间取定值 0.2 s,而不同车辆类型其制动力上升时间不同;制动反应时间取定值 2.5 s,没有考虑公路景观及其他因素对驾驶人反应时间的影响。结合制动力学和运动学,考虑山区公路景观对驾驶人反应时间的影响,将停车制动过程分为驾驶人制动反应、车辆制动反应、车辆制动力上升和全制动 4 个阶段,以此得到基于山区公路景观的停车视距计算模型。

(1) 驾驶人制动反应。驾驶人从发现道路前方危险物体需要采取制动行为到作出反应动作的瞬间为止所经过的时间为驾驶人制动反应时间。在这段时间,车辆制动系没有开始工作,制动反应距离 S_1 由驾驶人制动反应时间 t_1 和初始速度 v_0 决定:

$$S_1 = v_0 t_1 \quad (3)$$

(2) 车辆制动反应。驾驶人从踩下制动踏板到车辆制动系开始工作之前所经过的时间为车辆制动反应时间 t_2 。在这段时间内,汽车仍以初速度 v_0 行驶的距离就是车辆制动反应距离 S_2 :

$$S_2 = v_0 t_2 \quad (4)$$

(3) 车辆制动力上升。在车辆制动力上升时间 t_3 内,汽车行驶的距离就是车辆制动力上升距离 S_3 ,其计算公式见式(5)。 t_3 内任一时刻 t 的汽车行驶速度可按式(6)、式(7)计算。

$$S_3 = \int_{t_2}^{t_3} v dt \quad (5)$$

$$\int_{v_0}^v dv = - \int_{t_1+t_2}^t \frac{a_{\max}}{t_3} (t - t_1 - t_2) dt \quad (6)$$

$$v = v_0 - \frac{a_{\max}}{2t_3} (t - t_1 - t_2)^2 \quad (7)$$

将式(7)代入式(5),得到车辆制动力上升距离 S_3 为:

$$S_3 = v_0 t_3 - \frac{a_{\max}}{6} t_3^2 \quad (8)$$

(4) 全制动阶段。全制动阶段制动减速度恒定,以最大制动减速度 a_{\max} 停住车辆,所花时间为 v/a_{\max} ,则全制动距离 S_4 为:

$$S_4 = \int_{t_3}^{t_4} v dt = \frac{v_0^2}{2a_{\max}} - \frac{v_0 t_3}{2} + \frac{a_{\max}}{8} t_3^2 \quad (9)$$

由式(3)、式(4)、式(8)、式(9)可得停车制动距离 S 为:

$$S = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 = \frac{v_0}{2} t_3 + v_0(t_1 + t_2) + \frac{v_0^2}{2a_{\max}} - \frac{a_{\max}}{24} t_3^2 \quad (10)$$

制动力上升时间一般 ≤ 0.5 s, t_3^2 趋近于零,故舍掉式(10)中第四项。车轮在抱死状态时,最大制动减速度 $a_{\max} = g\varphi_s$,将该式代入式(10),同时将 v_0 (m/s) 转为 V_0 (km/h),得到基于山区公路景观的停车视距计算公式:

$$S = \frac{V_0}{3.6} \left(t_1 + t_2 + \frac{t_3}{2} \right) + \frac{V_0^2}{25.92g\varphi_s} \quad (11)$$

2 基于公路景观的停车视距模型参数设定

2.1 制动时间

驾驶人反应时间一般为 0.3~1 s,但在危险情况下,尤其在驾驶人注意力分散时,制动反应时间会显著增加,而公路景观的不同颜色、种类及封闭程度等都会影响驾驶人的注意力,进而影响驾驶人制动反应时间。依据陈瑶通过模拟实验测得的弯道和直线全开敞、半开敞、垂直和全封闭 8 种景观下车速为 80 km/h 时驾驶员的制动反应时间(见表 1),探索不同路面条件下山区公路景观对停车视距的影响。

表 1 车速为 80 km/h 时山区公路景观下

驾驶员的制动反应时间 s

公路景观	反应时间均值	99%置信区间	
		下限	上限
弯道景观空间	全封闭	0.595	0.751
	垂直	0.862	1.012
	半开敞	1.074	1.230
	全开敞	1.425	1.581
直线景观空间	全封闭	0.831	0.984
	垂直	1.211	1.364
	半开敞	1.494	1.647
	全开敞	1.921	2.077

车辆制动反应时间 t_2 就是车辆间隙消除时间。

不同的车辆类型及采用不同制动器都会导致车辆间隙消除时间不同。依据《中华人民共和国机动车制动检验规范》,结合普遍情况,液压制动系下的大众轿车 $t_2 = 0.1$ s,真空助力制动系和气压制动系的轻型货车 $t_2 = 0.3 \sim 0.9$ s。

车辆制动力上升时间 t_3 就是车辆制动器起作用的时间。其一方面与驾驶员踩动踏板的速度有关,另一方面取决于车辆的制动系统结构。根据 GB 7258—2012《机动车运行安全技术条件》,驾驶员快速踩下汽车制动踏板时,液压制动系起作用时间不大于 0.35 s 甚至更短,气压制动系起作用时间不大于 0.6 s,真空助力制动系为 0.3~0.9 s。

2.2 道路附着系数

道路附着系数是影响车辆制动距离的关键因素,不同路面和路面状况下道路附着系数不同,一般来说,道路附着系数的大小取决于路面材料、路面状况及车辆的轮胎结构、材料等。表 2 为几种典型路面条件下的路面附着系数。

表 2 典型路面条件下路面附着系数

路面状况	路面附着系数 φ_s	路面状况	路面附着系数 φ_s
冰	0.075	砾石	0.450
雪(紧实)	0.150	砟(湿)	0.600
雪(松软)	0.350	沥青(湿)	0.525
土路(干)	0.510	沥青或砟(干)	0.675
土路(湿)	0.413		

3 实例分析及应用

下面以采用不同制动系的大众轿车和轻型货车为例对停车视距模型进行实例分析。

3.1 大众轿车停车视距计算及分析

大众轿车停车视距相关参数如下:驾驶人制动反应时间 t_1 见表 1, $V_0 = 80$ km/h,车辆制动系统液压制动系 $t_2 = 0.1$ s, $t_3 = 0.3$ s, $g = 9.8$ m/s²,道路附着系数 φ_s 见表 2。将相关数据代入式(11),得到采用液压制动系的大众轿车在不同路面条件和山区公路景观下的停车视距(见表 3)。

表 3 车速 80 km/h 时大众小轿车在不同公路景观下的停车视距

公路景观		不同附着系数路面条件下的停车视距/m								
		0.075	0.150	0.350	0.413	0.450	0.510	0.525	0.600	0.675
弯道	全封闭	354.71	186.75	90.76	79.78	74.77	68.18	66.77	60.77	56.10
	垂直	360.65	192.68	96.70	85.72	80.70	74.11	72.70	66.70	62.04
	半开敞	365.36	197.39	101.41	90.43	85.41	78.82	77.41	71.41	66.75
	全开敞	373.16	205.19	109.21	98.23	93.21	86.62	85.21	79.21	74.55
直线	全封闭	359.96	191.99	96.01	85.03	80.01	73.42	72.01	66.01	61.35
	垂直	368.40	200.44	104.45	93.47	88.46	81.87	80.46	74.46	69.79
	半开敞	374.69	206.72	110.74	99.76	94.75	88.16	86.75	80.75	76.08
	全开敞	384.18	216.21	120.23	109.25	104.23	97.66	96.24	90.24	85.57

由表 3 可知:在不同路面状况和公路景观下,驾驶人停车视距有较大区别。在结冰路面、直线全开敞景观下,驾驶人停车视距最大,达 384.18 m;在干燥的沥青或砟路面、弯道全封闭景观下,停车视距最小。同种景观空间中,干燥的沥青或砟路面的停车视距只有 85.57 m,而结冰路面达 384.18 m。可见,道路附着系数对驾驶人停车视距有较大影响。在相同路面条件下,景观空间对停车视距也有明显影响,以潮湿土路为例,道路附着系数为 0.4 时,弯道全封闭景观空间下的停车视距最小,直线全开敞下最大,二者相差近 30 m;直线全封闭景观空间下的停车视距与弯道垂直景观下的停车视距值较接近,相差约

1 m(见图 1)。

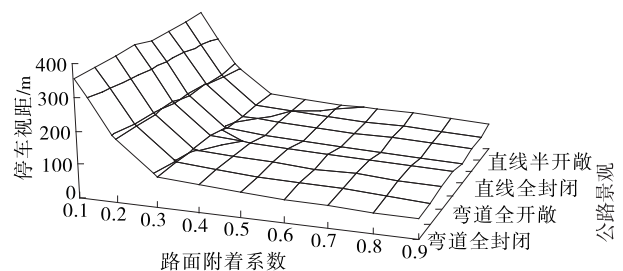


图 1 小轿车在不同路面条件和公路景观下的停车视距

综上所述,不同路面条件和山区公路景观下的停车视距不同,全封闭景观、垂直景观优于其他种类

景观。

3.2 轻型货车停车视距计算及分析

轻型货车停车视距相关参数如下:驾驶员应急制动反应时间 t_1 见表 1, $V_0=80$ km/h,气压制动系和真空助力制动系 $t_2=0.5$ s, $t_3=0.5$ s, $g=9.8$ m/s²,路面附着系数 φ_s 见表 2。将数据代入式(11),得到采用气压和真空助力制动系的轻型货车在不同公路景观下的停车视距(见表 4)。

表 4 车速 80 km/h 时轻型货车在不同公路景观下的停车视距

公路景观		不同附着系数路面条件下的停车视距/m								
		0.075	0.150	0.350	0.413	0.450	0.510	0.525	0.600	0.675
弯道	全封闭	365.83	197.86	101.88	90.89	85.88	79.29	77.88	71.88	67.22
	垂直	371.76	203.79	107.81	96.83	91.81	85.22	83.81	77.81	73.15
	半开敞	376.47	208.50	112.52	101.54	96.52	89.94	88.52	82.53	77.86
	全开敞	384.27	216.30	120.32	109.34	104.32	97.74	96.32	90.33	85.66
直线	全封闭	371.07	203.10	107.12	96.14	91.12	84.54	83.12	77.13	72.46
	垂直	379.51	211.55	115.56	104.58	99.57	92.98	91.57	85.57	80.90
	半开敞	385.80	217.84	121.85	110.87	105.86	99.27	97.86	91.86	87.19
	全开敞	395.29	227.32	131.34	120.36	115.35	108.76	107.35	101.35	96.68

由表 4 可知:整体上,轻型货车在结冰路面、直线全开敞景观空间下的停车视距最大,沥青或砼路面、弯道全封闭景观下的停车视距最小;在同种公路景观下,结冰路面的停车视距最大,沥青或砼路面的最小;相同路面条件下,弯道全封闭景观空间的停车视距最小,直线全开敞的最大(见图 2)。

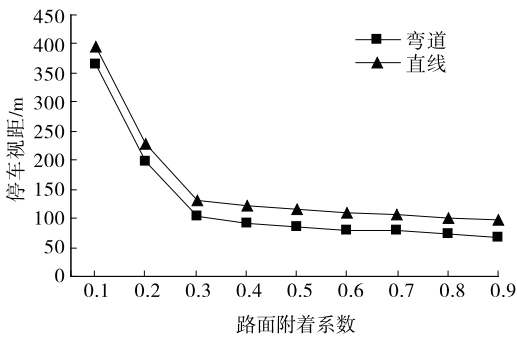


图 2 轻型货车在不同路面条件和公路景观下的停车视距

比较表 4 和表 3,在相同条件下,采用液压制动的大众轿车的停车视距比气压制动的轻型货车小 10 m 左右。根据表 3、图 1 和表 4、图 2,对于采用不同制动系的大众轿车和轻型货车,在不同路面状况下,公路景观对停车视距的影响趋势相同。

3.3 停车视距修正对比

以采用液压制动系的大众轿车为例,选取潮湿的砼路面进行分析,比较中国目前停车视距计算值和基于公路景观的停车视距值。路面附着系数为 0.6,车速为 80 km/h 时液压制动系大众轿车的停车

视距与中国目前停车视距的对比见图 3。

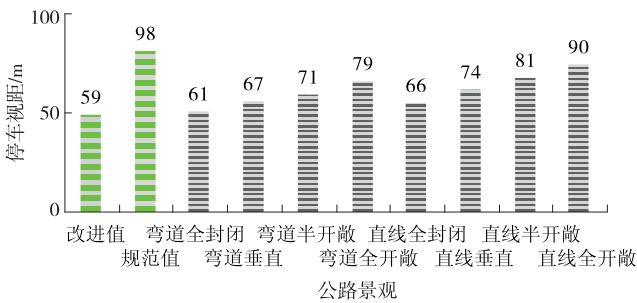


图 3 停车视距修正对比

由图 5 可看出:停车视距改进值与弯道全封闭景观下停车视距较为接近,直线全开敞景观空间下的停车视距较接近规范计算值,其余公路景观下停车视距均小于改进值和规范值。直线全开敞景观下的停车视距上限已接近规范值,不利于行车安全。

4 结论

该文考虑公路景观对驾驶人反应时间的影响细化停车制动过程,确立了基于山区公路景观的停车视距模型;分析了采用不同制动系的大众轿车和轻型货车在山区公路景观下的停车视距,并与中国现阶段停车视距进行了对比。主要结论如下:1) 对于采用液压制动的大众轿车,整体上,结冰路面、直线全开敞景观空间下的停车视距最大,干燥的沥青或砼路面、弯道全封闭景观下的停车视距最小;同一路面条件下,山区公路景观对停车视距的影响显著,其

中弯道全封闭景观空间下的停车视距最小,直线全开敞下的最大;直线全封闭景观与弯道垂直景观下的停车视距值较为接近,相差约 1 m。对于采用气压和真空助力制动系的轻型货车,不同路面条件下山区公路景观对停车视距的影响趋势与采用液压制动的大众轿车相同;在相同条件下,采用液压制动的大众轿车的停车视距比采用气压制动的轻型货车小 10 m 左右。2) 直线全开敞景观空间下的停车视距值与中国规范值较为接近,弯道全封闭景观空间下的停车视距值与改进值接近,其余公路景观下的停车视距均小于改进值和规范值。在公路景观设计时,对于因停车视距而事故多发的路段,可适当设置全封闭、垂直景观以减少交通事故。

未来研究中有待进一步细化公路景观分类规则并考虑不同半径、不同坡度和弯坡组合等情况下的景观形态。另外,汽车速度不是固定值,不同驾驶人的适宜性水平也会有所不同,在未来研究中均应予以考虑。

参考文献:

- [1] 刘玮.基于动力定型理论的驾驶员应激训练场景构建与评价[D].西安:长安大学,2012.
 - [2] Bogdevicius M, Vladimirov O. Efficiency of a braking process evaluating the roughness of road surface [J]. Transport, 2006, 21(1).
 - [3] 袁浩.停车视距模型与参数研究[D].南京:东南大学,2009.
 - [4] 姜虹,李峰.不同路面条件下高速公路的停车视距建模与安全车速分析[J].西安工业大学学报,2012,32(1).
 - [5] 余志生.汽车理论[M].北京:机械工业出版社,2000.
 - [6] 陈瑶.公路景观对停车视距的影响研究[D].昆明:昆明理工大学,2015.
 - [7] 雷同飞.基于路面状况的汽车制动性能仿真研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2007.
 - [8] JTJG D20—2006,公路路线设计规范[S].
 - [9] 交公路字 259 号,中华人民共和国机动车制动检验规范(试行)[S].
 - [10] GB 7258—2012,机动车运行安全技术条件[S].
 - [11] 陈瑶,郭凤香.基于公路环境的停车视距模型分析[J].价值工程,2014(34).
 - [12] 王永平,赵胜林,周磊.高速公路停车视距研究[J].交通标准化,2010(17).
 - [13] 袁浩,史桂芳,黄晓明,等.停车视距制动模型[J].东南大学学报:自然科学版,2009,39(4).
 - [14] 魏嘉.高速公路一般最小半径条件下的停车视距研究[J].淮北职业技术学院学报,2014,13(3).
 - [15] 刘建锁,惠彬永.高速公路小半径圆曲线停车视距分析[J].山西建筑,2010,36(10).
 - [16] 刘向阳,周森,郭腾峰.公路行车视距分析与验证[J].中国公路学报,2010,23(增刊 2).
 - [17] 王洁.山区公路行车视距分析[J].青海交通科技,2010(增刊).
- 收稿日期:2016—08—01
-
- *****
- (上接第 43 页)
- [5] Li Xiaobai, Wu Qingsong, Jiang Rui. Cellular automaton model considering the velocity effect of a car on the successive car[J]. Physical Review E: Statistical, Non-linear, and Soft Matter Physics, 2001, 64(6).
 - [6] 董力耘,薛郁,戴世强.基于跟车思想的一维元胞自动机交通流模型[J].应用数学与力学,2002,23(4).
 - [7] 孔宪娟.基于元胞自动机的交通流建模及其特性分析研究[D].北京:京交通大学,2007.
 - [8] D Chowdhury, D E Wolf, M Schreckenberg. Particle hopping models for two-lane traffic with two kinds of vehicles: effects of lane changing rules[J]. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 1997, 235(3—4).
 - [9] B Jia, R Jiang, Q S Wu, et al. Honk effect in the two-lane cellular automaton model for traffic flow[J]. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 2005, 348.
 - [10] 王永明,周磊山,吕永波.基于元胞自动机交通流模型的车辆换道规则[J].中国公路学报,2008,21(1).
 - [11] 华学东,王伟,王昊.考虑驾驶心理的城市双车道交通流元胞自动机模型[J].物理学报,2011,60(8).
 - [12] 贾斌,高自友.基于元胞自动机的交通系统建模与模拟[M].北京:科学出版社,2007.
 - [13] 朱昶胜,马玉婷,王庆荣.入匝道系统元胞自动机模型的换道规则研究[J].计算机工程与应用,2013,49(13).
 - [14] 徐尚义.双车道混合交通流时间序列复杂性分析[D].北京:北京交通大学,2010.
 - [15] 华雪东,王伟,王昊.考虑驾驶心理的城市双车道交通流元胞自动机模型[J].物理学报,2011,60(8).
 - [16] 刘立英.多车种混合条件下的交织区车流仿真建模与特性分析[D].北京:北京交通大学,2014.
 - [17] 袁亮.元胞自动机双向交通流模型的研究[D].兰州:兰州理工大学,2012.
- 收稿日期:2016—05—21