

纵向摩擦系数在路面抗滑性能评价中的应用

郑木莲¹, 陈拴发¹, 王选仓¹, 王秉纲¹, 冯治安², 高建立³

(1. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064;

2. 河南交通科学研究院, 河南 郑州 450052; 3. 中原高速公路股份有限公司, 河南 郑州 450052)

摘 要:为分析纵向摩擦系数在路面抗滑性能评价中的应用, 首先研究了 SAFEGATE 摩擦系数测试车的组成及工作原理。通过选取高等级公路典型断面结构作为测试路段, 采用摆式仪和 SAFEGATE 摩擦系数测试车测定相应的摆值与纵向摩擦系数, 回归出二者之间的相关关系式, 据此得出路面设计和养护的纵向摩擦系数标准。最后选取典型道路路面, 提出抗滑性能纵向摩擦系数的检测与分析方法。结果表明, 利用纵向摩擦系数表征路面的抗滑性能是切实可行的。

关键词:道路工程; SAFEGATE 摩擦测试车; 路面; 抗滑性能; 纵向摩擦系数; 摆值

中图分类号:U416.06

文献标识码:A

Application of profile frictional coefficient in evaluation of pavement skid-resistant performance

ZHENG Mu-lian¹, CHEN Shuan-fa¹, WANG Xuan-cang¹, WANG Bing-gang¹, FENG Zhi-an², GAO Jian-li³

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University,

Xi'an 710064, China; 2. Henan Province Communications Research Institute,

Zhengzhou 450052, China; 3. Zhongyuan Freeway Co Ltd, Zhengzhou 450052, China)

Abstract: To educe the application of profile frictional coefficient in the evaluation of pavement skid-resistant performance, the paper firstly studied the components and work theory of SAFEGATE test vehicle of frictional coefficient. By choosing high-grade highway typical section structure as test road, with pendulum apparatus and SAFEGATE test vehicle, the paper tested the corresponding British pendulun number and profile frictional coefficient, educed the correlativity relation between them, and put forward the profile frictional coefficient standard in pavement design and maintenance according to this. At last, the paper advanced the test and analysis method of profile frictional coefficient by choosing typical pavement. The results indicate that it is feasible to attribute the skid-resistant performance of pavement with profile frictional coefficient. 5 tabs, 5 figs, 8 refs.

Key words: road engineering; SAFEGATE test vehicle of frictional coefficient; pavement; skid-resistant performance; profile frictional coefficient; British pendulun number

0 引 言

路面抗滑性能的评价指标分为当前抗滑性能和

抗滑耐久性 2 个方面。路面表面抗滑能力评价指标的测定方法及设备直接决定着评价的准确性、代表性及工作效率, 也影响着路面使用性能的评价^[1~5]。

中国现行规程^[6]提出的评价当前路面抗滑性能的方法有手工铺砂法、电动铺砂法、激光构造深度仪法、摆式仪法和摩擦系数测试车法。其中,手工及电动铺砂法、激光构造深度仪法测定的是路面的宏观构造深度,用以评价路面排水性能及抗滑性能。摆式仪法测定的是路面的抗滑值,该方法只能反映车速较低时的路面抗滑性能,还因费时、费力、精度低、代表性差而无法满足高等级公路发展的需要。摩擦系数测试车法测定的摩擦系数是 1 个综合指标,它可以模拟高速行驶状态下的最不利状况,连续测定路面摩擦系数,准确评价路面抗滑性能。国际上通行的路面摩擦系数测试车有两大类,一类以英国 SCEIM 为代表,测定横向力系数;另一类以美国、日本等使用的纵向摩擦系数测试车为代表。横向力系数在表示车辆路面上制动抗力的同时,还表征车辆发生侧滑的抗力。纵向摩擦系数主要表示车辆在路面上沿行车方向制动时的路面抗力,与高速公路的制动距离关系更为密切。本文在分析 SAFEGATE 测试车原理的基础上,研究利用纵向摩擦系数评价路面的抗滑性能。

1 测试车组成及工作原理

1.1 测试车组成及构造

SAFEGATE 纵向摩擦系数测试车是按照英国 SCIEM 原型研制而成的,其结构(图 1)主要由测车、测轮系和计算机系统 3 部分组成。其中测试车由瑞典生产的 SAAB 9000CS 车牵引测轮系运行,同时增加车速锁定装置以控制测试速度恒定;测轮系(图 2)由测试轮、垂直负载传感器、力矩传感器、测轮液压缸、变速轮、测轮齿、链条传动和水箱等组成;计算机系统由数据放大器、处理和打印数据的中央单元、键盘和显示单元组成。SAFEGATE 摩擦测

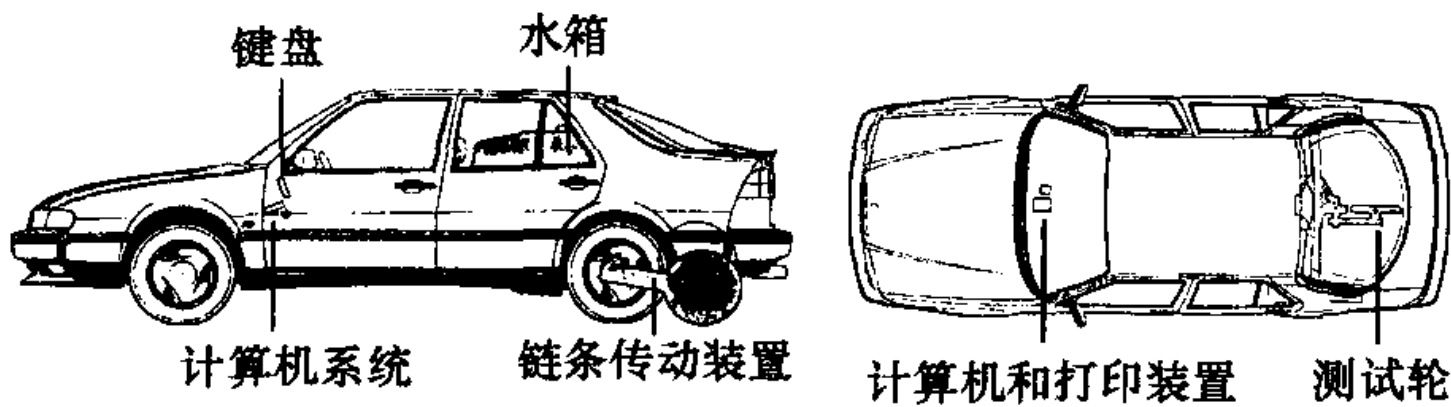


图 1 测试车结构组成图

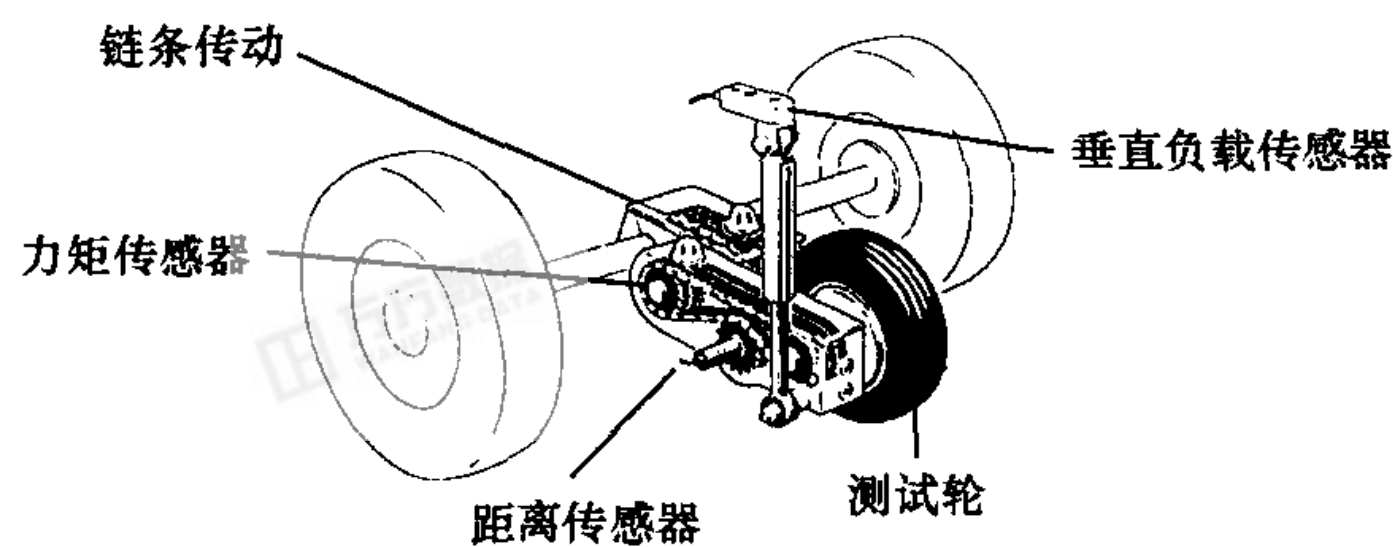


图 2 测轮部分结构图

试车主要性能指标列于表 1。

表 1 SAFEGATE 摩擦测试车主要性能指标

性能指标	指标值
最大测量速度(间歇)/(km·h ⁻¹)	165
膨胀压力/kPa	700
满水箱时最大速度/(km·h ⁻¹)	130
最小胎面宽/mm	2
正常测量速度/(km·h ⁻¹)	96
新胎面宽/mm	8
测试轮正常负载/N	1400
前、后汽车轮胎气压/kPa	250

1.2 测试车工作原理

SAFEGATE 摩擦测试车主要工作原理是,承受恒定垂直荷载的测试轮与路面紧密接触,并以恒定速度沿着与车辆前进方向平行方向前进,在测试轮上产生 1 个纵向滚滑摩擦力。纵向摩擦力由力矩传感器测得,与路面轮胎之间的摩擦系数成正比。纵向摩擦力与由垂直负载传感器测得的测试轮竖向荷载的比值即为纵向摩擦系数值。为使测试状态与实际最不利状态相吻合,利用洒水箱喷头在测试轮前喷洒一定量的水,使路面保持一定厚度的水膜,其工作原理如图 3 所示。

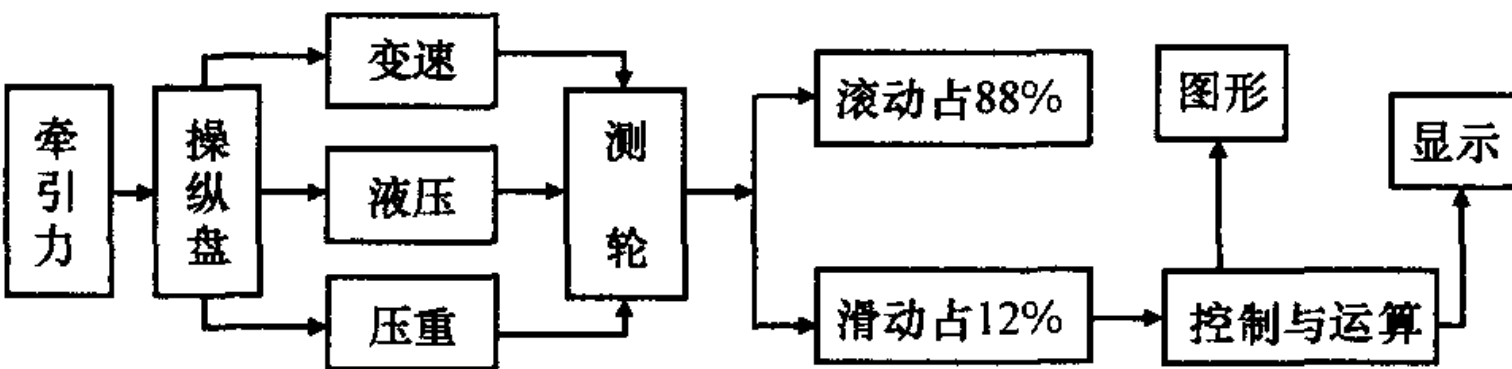


图 3 测试车工作原理

SAFEGATE 摩擦测试车以一定牵引速度带着测试轮悬起行驶前进,当需要测试时,将测试车行驶速度通过方向盘侧的速度锁定装置锁定在某一测速上(90~130 km·h⁻¹),然后通过驾驶室中的控制键盘检测测试系统是否正常,选择测试模式(干、洒水和冰态),设定并控制洒水量。再将测试轮利用液压系统降至路面的一刹那起,测试轮被液压力间歇锁紧,这是国际上实行的一种新颖测试方法,其中滑动占轮周的 12%,滚动占轮周的 88%。与此同时,喷水系统自动地按设置的洒水量、水膜厚度保持测试轮的湿润。与测试轮相连的变速轮上的力矩传感器和测试轮液压缸上的垂直负荷传感器测定测试轮的滚滑受力,将电信号通过脉冲传感器传送到中央单元处理,将需要的摩擦系数贮存、打印输出。所测得的路面摩擦系数锯齿线如图 4 所示。锯齿线同时显示摩擦系数和测试速度。

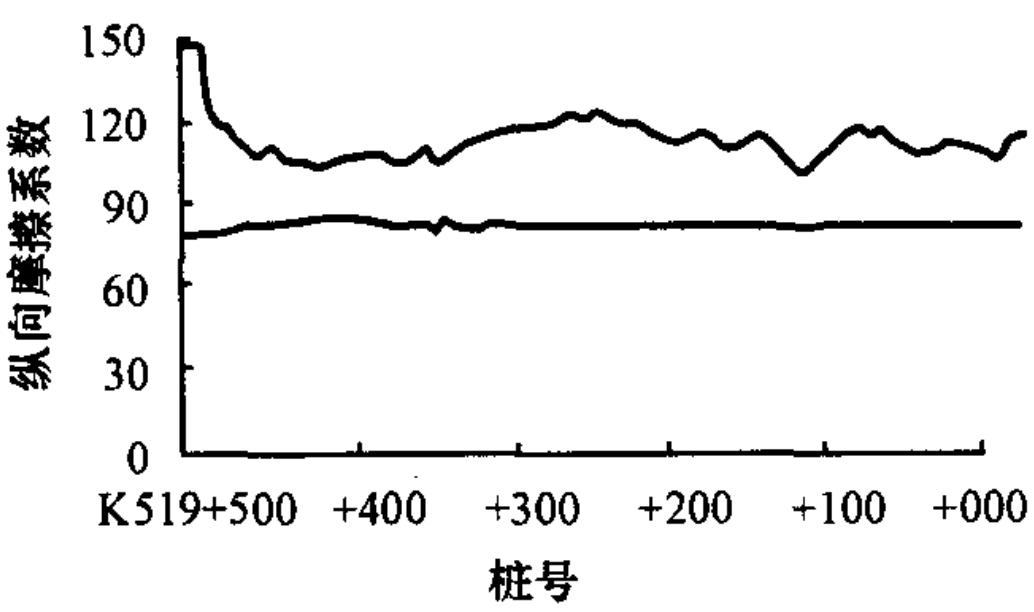


图 4 摩擦系数锯齿线图

2 相关关系及评价标准

2.1 纵向摩擦系数与摆值的关系

研究中选取开封-洛阳高速公路及安阳-新乡高速公路的部分路段作为测试路段,分别采用摆式仪和 SAFEGATE 摩擦测试车测定相应的摆值和纵向摩擦系数,最终采集得到 66 组有效数据。通过回归分析,建立了两种测定值的相关关系式

$$F_B = 95.93F_p + 5.245, R = 0.9527$$

式中: F_B 为摆值(BPN); F_p 为纵向摩擦系数。

2.2 抗滑性能评价标准

关于路面抗滑性能的评价标准,中国目前主要有构造深度、横向力系数及摆值等指标,并在沥青混凝土路面和水泥混凝土路面的设计和养护规范中做了具体规定^[7,8]。根据相关关系式,可以得出以纵向摩擦系数 F_p 表示的路面抗滑性能的设计标准和养护评价标准(表 2、表 3)。

表 2 为路面竣工验收时对 F_p 的要求,表 3 为路面养护标准。路面建成投入使用后抗滑性能会逐步降低,因此路面竣工验收标准较之养护标准高。

表 2 路面设计对 F_p 的要求

路面类型	公路等级	F_p
沥青路面	高速公路、一级公路	≥ 0.41
	二级公路	≥ 0.38
水泥混凝土路面	高速公路、一级公路	≥ 0.62
	其他公路	≥ 0.52

表 3 路面养护以 F_p 表征的抗滑性能评价标准

路面类型	评价指标	评价等级				
		优	良	中	次	差
沥青路面	F_p	≥ 0.38	$[0.33 \sim 0.38)$	$[0.28 \sim 0.33)$	$[0.23 \sim 0.28)$	< 0.23
水泥混凝土路面	F_p	≥ 0.62	$0.61 \sim 0.52$	$0.51 \sim 0.41$	$0.28 \sim 0.31$	< 0.28

3 路面抗滑性能检测分析与评价

3.1 测试路段

本研究选取了开封-郑州(K16~K18,K52~K54)、郑州-洛阳(K106~K108,K158~K160)、安

阳-新乡(K518~K520,K584~K586)及许昌-漯河(K100~K102,K139~K141)4 段沥青路面作为代表路面,利用 SAFEGATE 摩擦测试车分两次进行了测试。第一次检测时间为 1999-03-31~1999-04-06,第二次检测时间为 2001-04-25~2001-06-10。其中,郑州-开封路采用 26 cm、30[#] 沥青混凝土面层,通车时间为 1994-11,交通量为 6 693 veh·d⁻¹,30 年期末累计作用轴次为 3.545×10⁷ 次;郑州-洛阳路采用 4 cm 中粒式沥青混凝土+5 cm 粗粒式沥青混凝土+6 cm 热拌沥青碎石面层,通车时间为 1995 年 12 月,30 年期末交通量为 52 507 veh·d⁻¹;安阳-新乡路采用 4 cm 中粒式沥青混凝土+5 cm 粗粒式沥青混凝土+15 cm 热拌沥青碎石面层,通车时间为 1996-01,交通量为 1 260 veh·d⁻¹,30 年期末累计作用轴次为 4.544×10⁷ 次;许昌-漯河路采用 4 cm 中粒式沥青混凝土+6 cm 粗粒式沥青混凝土+6 cm 热拌沥青碎石面层,通车时间为 1997-12,15 年期末交通量为 27 889 veh·d⁻¹,累计作用轴次为 1.742×10⁷ 次。

3.2 检测数据分析与评价

各检测路段均为早已投入使用的道路,因此采用表 3 所示标准,认为当 F_p 大于 0.38 时,路面抗滑性能为优,为满足安全行驶要求 F_p 不应小于 0.33。下面以郑州-开封路 K17+500~K17+100 及 K16+600~K16+000 路段南行车道及南超车道为例,说明利用 F_p 评价路面的抗滑性能的方法。

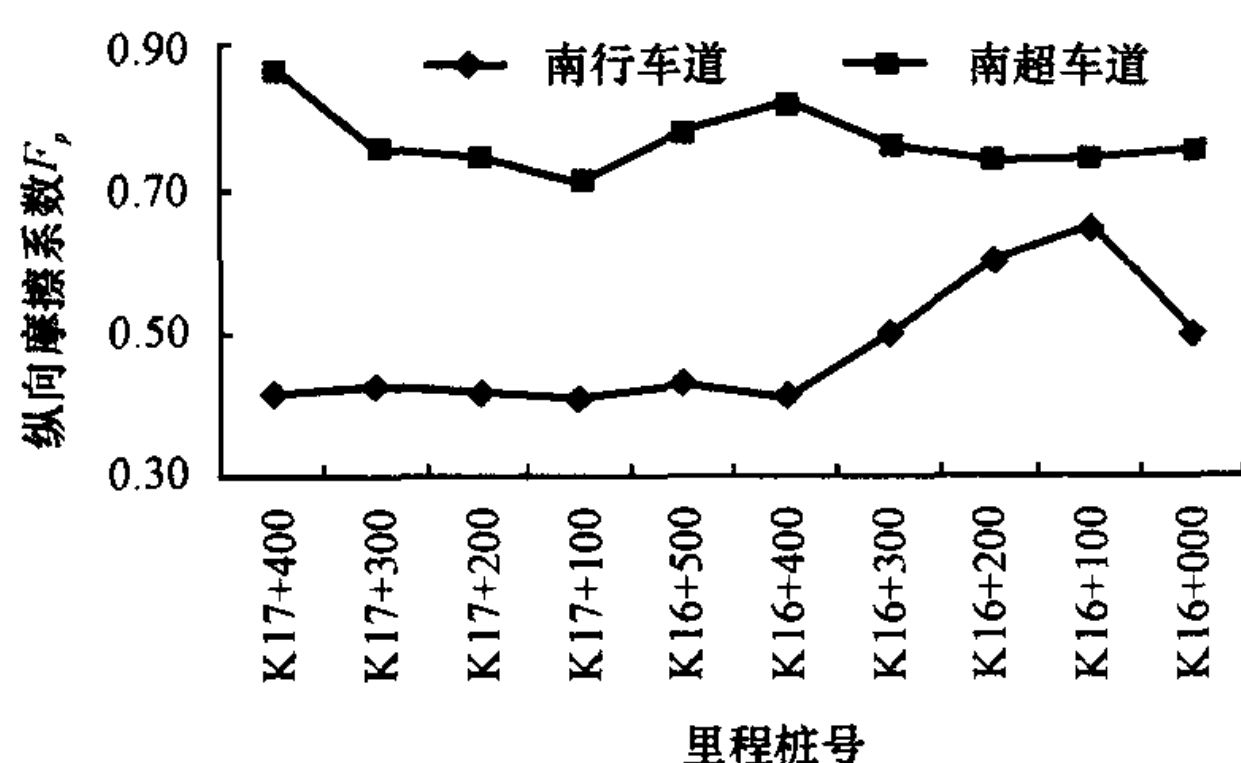
由测得的 F_p 锯齿曲线列出数据如表 4 所示。以里程桩号为横坐标,以 F_p 为纵坐标,作出该路段的南行车道及南超车道 F_p 如图 5 所示。

表 4 F_p 检测值

桩号	南行车道	南超车道	桩号	南行车道	南超车道
K17+400	0.42	0.87	K16+200	0.60	0.74
K17+300	0.43	0.76	K16+100	0.65	0.74
K17+200	0.42	0.75	K16+000	0.50	0.76
K17+100	0.41	0.71	均 值	0.49	0.77
K16+500	0.43	0.78	标准差	0.09	0.05
K16+400	0.41	0.82	极大值	0.41	0.87
K16+300	0.50	0.76	极小值	0.65	0.71

从图 5 中可以看出,该路段南行车道及南超车道的 F_p 分布比较集中,没有异常数据。

根据规程^[6],当无特殊规定时,异常数据的舍弃宜按照 k 倍标准差(σ)作为舍弃的标准,即在分析时,舍弃那些在 $\bar{X} \pm k\sigma$ 范围以外的测定值,然后再

图5 F_p 曲线

重新计算整理。当试验数据 N 为 3, 4, 5, 6 时, k 值分别为 1.15, 1.46, 1.67, 1.82, $N \geq 7$ 时, k 值宜采用 3。

本组数据 N 多于 7 个, 根据 3σ 原则, 满足 $|F_p - \bar{F}_p| > 3\sigma$ 的数据为无效数据。通过计算得知, 对于行车道, 区间 (0.17, 0.83) 内的数据为有效数据, 且各点 $F_p \geq 0.38$, 故该段路面抗滑性能为优。同理, 该段路超车道路面抗滑性能为优。此外, 还可看出各点 F_p 值均大于 0.41, 满足沥青路面设计规范对抗滑性能的要求, 同时, 超车道抗滑性能优于行车道。

按照前述数据分析方法, 可得到每段路 F_p 检测的结果, 由于数据较多, 在此不一一列出, 仅列出两次检测结果最终得到的平均数据 (表 5)。

表 5 表明, 两次检测结果 F_p 均值均大于 0.41, 抗滑性能为优, 不仅满足沥青路面养护规范对抗滑性能的要求, 还满足设计规范的要求; 随着道路的使用, 路面的 F_p 逐渐减小, 亦即其抗滑性能逐渐衰减。因此, 应该根据实际的检测结果, 适时地进行路网改善、路面维修工作, 以保证路面良好的抗滑性能; 超车道由于行驶车辆较少, 对路面抗滑性能衰减的影响较小, 较之行车道具有更好的抗滑性能。

表 5 检测路段 F_p 检测结果

测试路	桩号	第一次检测 F_{p1}		第二次检测 F_{p2}		$F_{p2}/F_{p1}/\%$	
		行车道	超车道	行车道	超车道	行车道	超车道
郑州-开封	K16~K18 及 K52~K54	0.53	0.75	0.50	0.58	94.3	77.3
郑州-洛阳	K106~K108 及 K158~K160	0.48	0.67	0.49	0.65	102.1	97.0
安阳-新乡	K518~K520 及 K584~K586	0.71	0.86	0.58	0.70	81.7	81.4
许昌-漯河	K100~K102 及 K139~K141	0.88	0.94	0.78	0.88	88.6	93.6
平均值		0.64	0.81	0.60	0.70	93.8	86.4
标准差		0.19	0.12	0.13	0.13	—	—

4 结 语

(1) 与摆式仪相比, 瑞典生产的 SAFEGATE 摩擦系数测试车具有测试速度快, 不影响交通, 数据处

理系统先进, 定位准确等优点, 可以推广应用。

(2) 根据摆式仪与 SAFEGATE 摩擦系数测试车测定结果, 得出摆值与纵向摩擦系数的相关关系式, 并利用此关系式提出路面设计和养护时的纵向摩擦系数标准, 用于指导实践。

(3) 对河南省某些典型路段进行了路面纵向摩擦系数检测与分析。结果表明利用纵向摩擦系数表征路面抗滑性能是切实可行的。

参考文献:

References:

- [1] 刘清泉. 路面表面特性研究方向探讨[J]. 公路交通科技, 1994, (2): 1-5.
LIU Qing-quan. Discuss on study aspect of road surface characteristic[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 1994, (2): 1-5.
- [2] 和松, 夏礼秀. 高速公路路面摩擦系数的测试与评价[J]. 公路交通科技, 2002, (2): 8-11.
HE Song, XIA Li-xiu. Friction coefficient measurement evaluation for lane surface of expressway [J]. Journal of Highway Transportation Research Development, 2002, (2): 8-11.
- [3] 刘清泉. 路用石料的摩擦特性分析[J]. 中国公路学报, 2004, 17(3): 19-22.
LIU Qing-quan. Analysis of tribological of property of pavement stone [J]. China Journal of Highway and Transport, 2004, 17(3): 19-22.
- [4] 张宜洛. 抗滑级配类型沥青混合料的抗滑性能[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2003, 23(1): 10-13.
ZHANG Yi-luo. Skid resistant regularity of different grades bituminous mixture [J]. Journal of Chang'an University (Natural Science Edition), 2003, 23(1): 10-13.
- [5] 王惠勇, 陈宇亮, 芮勇勤. 基于物元模型分析方法的路面状况综合评价[J]. 交通运输工程学报, 2004, 4(2): 6-9.
WANG Hui-yong, CHEN Yu-liang, RUI Yong-qin. Matter-elements-analysis method of comprehensive evaluation for pavement condition [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2004, 4(2): 6-9.
- [6] JTJ 059-95. 公路路基路面现场测试规程[S]. 1995.
JTJ059-95. Field test methods of subgrade and pavement for highway engineering[S]. 1995.
- [7] JTJ 073. 2-2001. 公路沥青路面养护技术规范[S]. 2001.
JTJ 073. 2-2001. Technical specifications for maintenance of highway asphalt pavement[S]. 2001.
- [8] JTJ 073. 1-2001. 公路水泥混凝土路面养护技术规范[S]. 1995.
JTJ 073. 1-2001. Technical specifications of cement pavement maintenance for highway[S]. 1995.