

速度和构造深度对水泥混凝土路面摩擦系数的影响

张金喜¹, 刘利花^{1,2}, 王利利¹

(1. 北京工业大学 交通工程北京市重点实验室, 北京 100124; 2. 天津城市建设学院 交通工程教研室, 天津 300384)

摘 要: 为了研究摩擦系数与速度、路面构造深度的关系, 采用新型路面抗滑检测设备, 对不同水泥混凝土路面的动态摩擦系数和构造深度进行了分析, 研究结果表明, 在路面构造深度较好的情况下, 水泥混凝土路面摩擦系数随速度升高而降低. 摩擦系数变化率随路面构造深度增大而增大. 路面的抗滑性能与路面表面特征和行车速度有较大的关系, 应该在路面的设计和施工养护中予以考虑.

关键词: 水泥混凝土路面; 抗滑性能; 摩擦系数; 构造深度; 速度

中图分类号: U 414

文献标识码: A

文章编号: 0254-0037(2009)01-0048-05

现代道路的发展对路面的安全性能^[1]提出了越来越高的要求. 抗滑性能是影响行车安全最重要的路面性能^[2], 良好的抗滑性能提供路面与轮胎之间好的附着性^[3]. 抗滑性能的评价指标主要是摩擦系数和构造深度^[4]. 摩擦系数定点检测常用摆式仪摩擦系数测定法^[5], 但摆式仪反映的是低速时路面的抗滑性能, 在高速情况下所测数值与实际摩擦系数值偏离较大^[6]. 路面构造深度常用铺砂法^[5], 但铺砂法易受到人为因素的影响^[7]. 本文采用新型动态摩擦测试测定仪和路面纹理测试仪, 对 10 条不同时间修建的水泥混凝土路面进行了动态摩擦系数、构造深度测试, 分析和研究了摩擦系数、速度、构造深度之间的关系.

1 测试仪器介绍

1.1 动态摩擦系数测定仪

动态摩擦系数测定仪(dynamic friction tester, 简称 DFT). 包括测试仪和操纵仪, 测试仪底部有 2 个圆盘, 一个圆盘在发动机作用下旋转, 旋转盘下安装了绕圆盘轴自由旋转的小圆盘, 小圆盘下安装了 3 个橡胶块. 旋转圆盘使橡胶块的线速度达到设定速度, 然后从悬空位置释放到路面上, 在路面摩擦力的作用下逐渐减速至静止, 在此过程中, 操纵仪连续记录橡胶块和路面之间的摩擦力 F , 若橡胶块上施加正压力 W , 可获得动态摩擦系数 $\mu = F/W$. 操纵仪同时记录了橡胶块的旋转速度, 可获得速度和摩擦系数的关系^[8]. 现场测试如图 1 所示.



图 1 动态摩擦系数现场测试
Fig.1 DFT testing

1.2 路面纹理测试仪

路面纹理测试仪(texture measure 2, 简称 TM2), 从仪器底部发射出一束激光束到路表面, 接受棱镜将反射回来的光聚集在一个位置感应探测器上面, TM2 内部电子装置存储这些影像并计算相关断面深度.

收稿日期: 2007-04-19.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50522201).

作者简介: 张金喜(1965—), 男, 河北易县人, 教授, 博士生导师.

2 测试道路及测试方法

2.1 测试道路情况

被测试路面为华北某沿海城市 1994—2005 年间修建的一级和二级水泥混凝土路面和一段 1959 年老路面. 测试道路概况, 如表 1 所示. 其中 102YZ 机动车道为 5 段实验路面. 所有测试道路外侧车道为机非混行道路, 当交通量较少时, 机动车一般在专职机动车道上行驶, 当交通量比较大时, 机动车也在外侧车道上行驶.

表 1 测试道路概况

Table 1 The information of tested road

道路名称	通车时间	路面施工工艺	道路等级	车道数
102SHG	2000-12	滑模摊铺、机械拉毛	二	4
102YZ-5	2003-12	滑模摊铺、塑料焊条刻纹	一	6
102YZ-4	2003-12	滑模摊铺、塑料焊条刻纹	一	6
102YZ-3	2003-12	滑模摊铺、塑料焊条刻纹	一	6
102YZ-2	2003-12	滑模摊铺、塑料焊条刻纹	一	6
102YZ-1	2003-12	滑模摊铺、塑料焊条刻纹	一	6
BHS 普通路面	1997-10	人工拉毛	二	2
BHS59 年老路面	1959	—	二	2
BH	1998-12	滑模摊铺、人工拉毛、塑料焊条刻纹	一	6
FCH	1998-12	滑模摊铺、无拉毛	二	4
JCL	1995	人工拉毛、铁滚压纹	二	2
LTZ	1994-12	人工拉毛	二	2
LY	1999-06	人工做面	一	6
QQ	2005-11	人工拉毛、铁滚压纹	二	4
TF	2004-07	滑模摊铺、塑料焊条刻纹	一	6
WH	2001-07	滑模摊铺、塑料焊条刻纹	一	6

2.2 测试方案和方法

对 10 条道路进行了动态摩擦系数和构造深度的测试. 共选取了 15 个机动车道和 9 个机非混行车道测试点. 动态摩擦系数 μ 每个测试地点重复 3 次, 路面构造深度 D 取约 50 m 平均断面深度.

3 测试结果及分析

在同一地点 3 次重复测试 μ 稳定性很好, 不同速度的 μ 取 3 次平均值. 实验中测定的最高速度为 90 km/h, 取结果较稳定的速度 20~80 km/h 对应的摩擦系数进行分析. 定义 μ 的变化率 r 为 μ 的相对速度的变化, 表 2 中速度为 20~80 km/h、不同道路摩擦系数降低值 a 和速度每升高 10 km/h 时 μ 的变化率 r . 不同道路机动车道和机非混行车道路面构造深度 D 如图 2 所示.

表2 摩擦系数降低值及变化率

Table 2 The decrease and varying rate of friction coefficient

路名	路名代号	机动车道 a	机动车道 r	机非混行车道 a	机非混行车道 r
102SHG	①	0.060	0.010	0.103	0.017
102YZ-5	②	0.130	0.022	0.218	0.036
102YZ-4	③	0.106	0.018	—	—
102YZ-3	④	0.078	0.013	—	—
102YZ-2	⑤	0.191	0.032	—	—
102YZ-1	⑥	0.175	0.029	—	—
WS	⑦	0.095	0.016	0.165	0.028
JCL	⑧	0.068	0.011	0.137	0.023
LY	⑨	-0.008	-0.001	-0.027	-0.005
BH	⑩	0.000	0.000	0.065	0.011
LTZ	⑪	0.060	0.010	—	—
TF	⑫	0.056	0.009	—	—
FCH	⑬	0.065	0.011	0.098	0.016
QQ	⑭	0.158	0.026	0.221	0.037
BHS59年老路面	⑮	0.064	0.011	—	—
BHS普通路面	⑯	—	—	0.052	0.009

3.1 机非混行车道

机非混行车道摩擦系数 μ 随速度 v 变化如图3所示,可以看出, v 从 20~80 km/h, ②、⑭、⑦、⑧的机非混行车道的 μ 下降较大,分别下降 0.218、0.221、0.165、0.137. 从图2可以看出②、⑭、⑦、⑧路面 D 较大,在 0.45 mm 以上. μ 降低较小的有⑩、⑬、⑯普通路面和①,这几条道路 D 小于 0.45 mm.

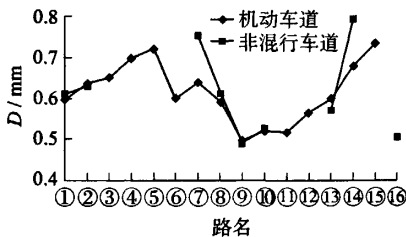


图2 不同道路构造深度

Fig.2 Texture depth of different roads

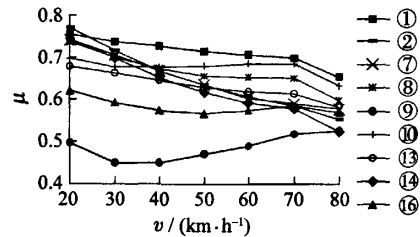


图3 机非混行车道摩擦系数随速度变化

Fig.3 Friction coefficient on mix lane at different speeds

3.2 机动车道

机动车道 μ 随 v 变化如图4所示. 与机非混行车道相比,随着 v 升高,机动车道的 μ 下降幅度没有机非混行车道大,如②段, v 从 20~80 km/h, 机非混行车道 μ 降低 0.218,而同样路段机动车道 μ 最大降低 0.191,其他道路也有这样的规律. 机动车道 μ 下降较大的有⑤、⑥、⑭、②、③、⑦, v 从 20~80 km/h, μ 降低值大于 0.095,路面 D 在 0.45 mm 以上. ⑩、⑧、⑪、⑬、⑫的 μ 低于 0.065, D 小于 0.45 mm.

1959年老路面的 D 为 0.69 mm. 因为路面修建时间较长,路面 D 是水泥等细集料散失后,粗集料裸露而成的构造,所以 D 不能完全表示集料和砂浆形成的混合料表面的 D . 该路面不同速度下 μ 都很低,在 0.40 左右, μ 随 v 变化也很小. 老路面表面状况如图5所示,轮胎与路面的抗滑力主要由裸露的粗集料提供,现场调查裸露的粗集料表面很光,集料的微观构造很小,所以该路面的 μ 小.

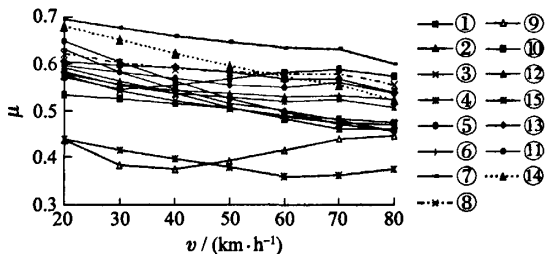


图4 机动车道 μ 随速度变化

Fig.4 Friction coefficient of motor-lane at different speeds

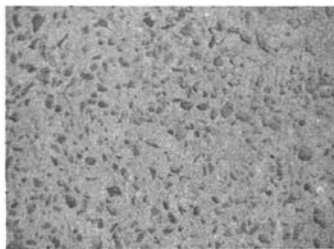


图5 1959年修建的水泥混凝土路面

Fig.5 Old pavement constructed in 1959

⑨和⑩路面的 μ 随速度变化与其他道路不同,在 v 30~40 km/h 之间, μ 出现最低值, v 大于 40 km/h 后, μ 随速度升高而增大;这 2 条道路的 D 很小,⑨为 0.185 mm,⑩为 0.245 mm. D 较小时, D 对 μ 变化率影响较小. ⑨道路采用人工做面施工工艺,路面 μ 在任何速度下均低于其他道路. 比⑨早修一年的⑩,路面采用滑模摊铺、塑料焊条刻纹,在构造深度较小的情况下, μ 没有显著降低,说明路面刻槽有利于路面 μ 的提高.

3.3 μ 随 v 变化与 D 的关系

实验表明, μ 随速度变化受到 D 的影响. 设 μ 与 v 、 D 之间的关系为

$$\mu = f(v, D) \quad (1)$$

其中, μ 为摩擦系数; v 为速度(km/h); D 为构造深度(mm). 如果 μ 随 v 变化可认为线性关系,则 μ 随 v 变化与 D 的关系为

$$\partial \mu / \partial v = g(D) \quad (2)$$

对被测试水泥混凝土路面机非混行车道和机动车道速度每升高 10 km/h 时, r 和相应 D 进行回归. 机非混行车道和机动车道回归曲线及方程分别如图 6 所示. 通过回归方程,可以看出 r 与 D 相关性很高,机非混行车道、机动车道的 R^2 分别为 0.828 和 0.886,说明 μ 随 v 变化的快慢受路面 D 影响. 不管机非混行车道还是机动车道,路面 D 大,摩擦系数随速度变化较快;构造深度小, μ 随 v 变化较小. 也说明路面 μ 受 v 、 D 的影响.

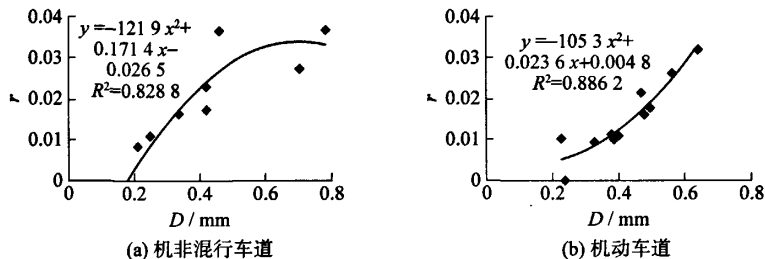


图6 μ 变化率与 D 关系

Fig.6 Relationship between varying rate of friction coefficient and texture depth

4 结束语

μ 是个动态指标, μ 随测试速度变化而变化, μ 随 v 变化的变化率受到路面构造深度 D 的影响. 因此,在水泥混凝土路面的设计、施工和维修养护工作中,应从动态的观点出发分析和评价路面 μ ,充分考虑 v 、路面 D 对路面抗滑性能的影响,以提高道路的安全使用性能.

参考文献:

- [1] STEFAN A. R. Characterization of pavement layer interfaces[D]. Baton Rouge: Department of Civil and Environmental Engineering, Louisiana State University Doctor of Philosophy, 1999.
- [2] IBRAHIM M. A. Evaluating skid resistance of different asphalt concrete mixes[J]. Building and Environment, 2007(42): 325-329.
- [3] AHMED M I. Experiment and analytical studies of friction characteristics of airfield pavement[D]. Ottawa: Department of Civil and Environmental Engineering, Carleton University Doctor of Philosophy, 2003.
- [4] 交通部. JTJ071—98. 公路工程质量检验评定标准[S]. 北京: 人民交通出版社, 1999.
- [5] 交通部. JTJ059—95. 公路路基路面现场测试规程[S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [6] 孙明哲, 裴玉龙. 道路摩擦系数测定方法若干问题的讨论[J]. 黑龙江交通科技, 2004(10): 78-79.
SUN Ming-zhe, PEI Yu-long. Discussion on several problems about testing methods of road friction coefficient [J]. Communications Science and Technology Heilongjiang, 2004(10): 78-79. (in Chinese)
- [7] 刘勇, 李荣涛, 高德贵. 浅谈路面抗滑性能试验检测方法[J]. 黑龙江交通科技, 2003(5): 16-17.
LIU Yong, LI Rong-tao, GAO De-gui. Discussion on testing methods of skid resistance[J]. Communications Science and Technology Heilongjiang, 2003(5): 16-17. (in Chinese)
- [8] 桂志敬, 刘清泉, 陈学文, 等. 动态摩擦系数测试仪的应用研究[J]. 公路交通科技, 2005, 22(3): 39-41.
GUI Zhi-jing, LIU Qing-quan, CHEN Xue-wen, et al. Application study of dynamic friction tester[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2005, 22(3): 39-41. (in Chinese)

Influence of Speed and Texture Depth on Skid Resistance of Pavement Surface

ZHANG Jin-xi¹, LIU Li-hua^{1,2}, WANG Li-li¹

(1. Key Laboratory of Transportation Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China;

2. Traffic Engineering Department, Tianjin Institute of Urban Construction, Tianjin 300384, China)

Abstract: In order to study the relationship between friction coefficient and texture depth of pavement surface, and the relationship between friction coefficient of pavement surface and vehicle speed, the paper analyses the dynamic friction coefficient and texture depth of different cement concrete pavement by use of advanced tester. The result shows that friction coefficient varies with speed, and the varying rate of friction coefficient is related to texture depth. Friction coefficient decreases quicker when texture depth is deeper, and friction coefficient decreases slower when texture depth is shallower. It is showed that the friction coefficient changes with vehicle speed and texture depth, which should be paid attention in the design and management of pavement.

Key words: cement concrete pavement; friction coefficient; texture depth; speed

(责任编辑 张士瑛)