

文章编号: 1002-0268 (2005) 03-0039-03

动态摩擦系数测试仪的应用研究

桂志敬, 刘清泉, 陈学文, 曹东伟
(交通部公路科学研究所, 北京 100088)

摘要: 本文介绍动态摩擦系数测试仪 (Dynamic Friction Tester, 简称 DFT) 的原理、构造和测试方法, 在大量对比试验的基础上对 DFT、横向力系数测试车 (SCRIM) 以及摆式摩擦系数测试仪之间的相关性进行了分析。最后, 作者对 DFT 在中国的应用提出了自己的看法。

关键词: 公路路面; 摩擦系数; 测试仪器

中图分类号: U416.03

文献标识码: A

Application Study of Dynamic Friction Tester

GUI Zhi-jing, LIU Qing-quan, CHENG Xue-weng, CAO Dong-wei

(Research Institute Of Highway The Ministry Of Communications, Beijing 100088, China)

Abstract: In China, the typical equipments to test the friction coefficient of highway pavement are SCRIM and Portable Friction Tester. However, a new type equipment, Dynamic Friction Tester (DFT) is introduced in this paper including its principle, structure and method. It is found that DFT has many advantages in pavement friction test. The test results have good stability and high repeatability. To compare DFT with SCRIM and Portable Friction Tester, a great deal of tests have been carried out and the data have been studied well. The correlative is analyzed and a regression formula with a good correlation is established. Finally the view point about the application of DFT in China is put forward.

Key words: Road surface; Frictional coefficient; Test instrument

0 前言

目前国内测定路面摩擦系数的仪器主要有横向力系数测试车 (SCRIM) 和摆式摩擦系数测试仪。横向力系数测试车购买费用和维护费用较高, 因而使用范围受到限制; 摆式摩擦系数测试仪也有测试样本小, 只代表低速下的摩擦系数和测试结果受到人为影响较大的缺点。为了解决上述两种仪器在性价比和测试稳定性方面的问题, 本研究项目从日本引进了动态摩擦系数测试仪 (DFT) 并进行了试验和试用。现将其原理、结构与 SCRIM 及摆式摩擦系数测试仪之间的相关性介绍如下。

1 DFT 简介

1.1 DFT 测试原理和构造

一定载荷 W 的轮胎和路面接触并以一定速度 V 行进, 轮胎会受到摩擦力 F 。测试这个力 F , 便可以从下式得到摩擦系数 μ , DFT 的测定也就是依据这个原理。

$$\mu = F / W \quad (1)$$

当 W 为定值时

$$\mu = F \times k \quad (2)$$

μ 和 F 成正比例 (k 为比例常数)。

DFT 的测试装置包括测试仪和 $X-Y$ 记录仪及操

收稿日期: 2004-03-03

作者简介: 桂志敬 (1977—), 男, 北京人, 学士学位, 主要研究路面材料及路面特性。

纵仪 3 部分 (见图 1), 新一代的 DFT 已可以用便携式电脑代替 $X-Y$ 记录仪自动显示数值。图中测试仪底部有两个圆盘, 一个圆盘在发动机作用下旋转, 旋转盘下安装了绕圆盘的轴自由旋转的小圆盘, 这个圆盘安装了 3 个橡胶滑溜块。旋转圆盘使橡胶滑溜块的线速度达到 100km/h 后将圆盘从悬空位置释放到路面上, 圆盘在路面摩擦力的作用下逐渐减速至静止, 在此过程中 $X-Y$ 记录仪连续记录橡胶滑溜块和路面之间的摩擦力 F , 若橡胶滑溜块上施加正压力 W , 动态摩擦系数 $DF = F/W$ 。这时 $X-Y$ 记录仪还同时记录了圆盘上橡胶滑溜块的旋转速度。由于是连续测量, 所以可得出如图 2 所示的速度和摩擦系数的关系曲线, 由此反映摩擦系数和速度的关系 (速度依存性)。习惯上取 60km/h 时的摩擦系数作为测试值。

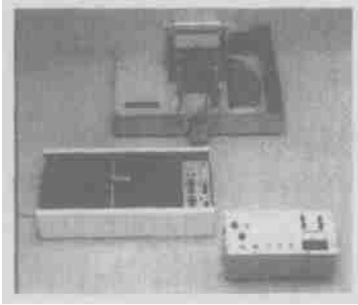


图 1 动态摩擦系数测试仪

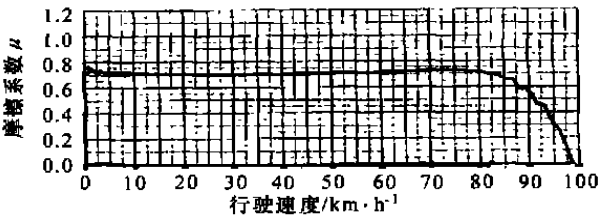


图 2 速度和动态摩擦系数的关系曲线

DFT 仪器小巧轻便只需要使用一般车辆便可在任何路段进行测试, 并且测试装置只需使用车辆蓄电池作为电源。图 3 所示是用 DFT 在高速公路上进行测试的情况。



图 3 DFT 的现场测试

1.2 DFT 的稳定性和重复性

用 DFT 测试时, 在同一地点要重复测 3 次, 取其平均值作为这一点的代表值, 因此 DFT 的稳定性主要看 3 次测值之间的差异。通过约 200 个点的试验我们发现同一点的 3 次测值之间一般只相差 0.03 ~ 0.05, 因此可说明 DFT 的稳定性满足要求。

DFT 的重复性试验是在交通部公路交通综合试验场不同摩擦系数试验段进行的 3 次试验。均匀的同种结构的路面上不同测点的测值差异被视为重复性, 重复性试验结果见表 1。由表 1 可见 DFT 的重复性能满足要求。

表 1 DFT 的重复性试验统计量

统计量	测试速度/km·h ⁻¹						
	20	30	40	50	60	70	80
max	0.81	0.80	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74
min	0.74	0.73	0.72	0.72	0.71	0.70	0.68
差值	0.07	0.08	0.06	0.05	0.05	0.05	0.06
均值	0.77	0.76	0.74	0.74	0.73	0.72	0.71
标准差	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
C _V /%	3.3	3.7	3.3	2.7	2.6	2.6	3.0

2 DFT 与 SCRIM 及摆式摩擦系数测试仪对比试验

2.1 DF 与 SFC 的相关性分析

以路段为单位, 对不同速度下的 DF 值与 SFC₅₀ 测值之间的相关关系做了回归计算, 结果见表 2。从表中可以看出任何速度下的 DF 值与 SFC₅₀ 之间都有很好的相关性 (以 DF₆₀ 和 SFC₅₀ 之间的相关性为最好), 24 个路段 DF₆₀ 和 SFC₅₀ 的数据散点图及回归曲线见图 4。

表 2 按路段计算的不同速度下 DF 与 SFC₅₀ 的回归分析结果

关系	回归公式
DF ₂₀ & SFC ₅₀	$SFC_{50} = 87.672 \times DF_{20} - 2.4794 \quad R^2 = 0.8599 \quad R = 0.9273 \quad N = 24$
DF ₃₀ & SFC ₅₀	$SFC_{50} = 86.071 \times DF_{30} + 0.6057 \quad R^2 = 0.8797 \quad R = 0.9379 \quad N = 24$
DF ₄₀ & SFC ₅₀	$SFC_{50} = 86.223 \times DF_{40} + 2.6243 \quad R^2 = 0.9017 \quad R = 0.9496 \quad N = 24$
DF ₅₀ & SFC ₅₀	$SFC_{50} = 86.018 \times DF_{50} + 4.0285 \quad R^2 = 0.9070 \quad R = 0.9524 \quad N = 24$
DF ₆₀ & SFC ₅₀	$SFC_{50} = 85.882 \times DF_{60} + 4.6121 \quad R^2 = 0.9095 \quad R = 0.9537 \quad N = 24$
DF ₇₀ & SFC ₅₀	$SFC_{50} = 85.697 \times DF_{70} + 4.8919 \quad R^2 = 0.9094 \quad R = 0.9536 \quad N = 24$
DF ₈₀ & SFC ₅₀	$SFC_{50} = 87.668 \times DF_{80} + 4.4579 \quad R^2 = 0.8979 \quad R = 0.9476 \quad N = 24$

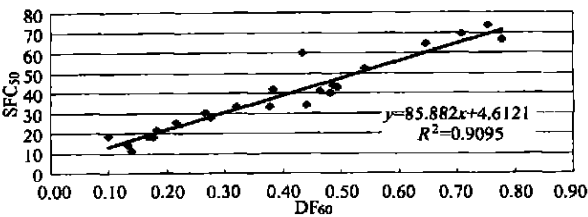


图 4 用路段数据计算出的等同速度下 DF 与 SFC 的关系图

以测点为单位, 对不同速度下的 DF 值与 SFC₅₀ 测值之间的相关关系做了回归计算。结果表明不同速度下的 DF 值与 SFC₅₀ 之间都有很好的相关性, DF₆₀ 与

SFC₅₀的相关关系为

$$SFC_{50}=81.713DF_{60}+6.3, R=0.9098, n=113 \quad (3)$$

由图 5 可以看出不同速度下 DF 和 SFC 的关系曲线基本平行, 等同速度下 DF 与 SFC 有良好的相关性, 这说明 DFT 测值在 20~80km/h 的测速范围内有着系统意义上的稳定性, 不同速度下的 DF 与 SFC 也有良好的相关性。这说明可以用已知速度条件下的 DF 值去推算相同或不同速度下的 SFC 值。

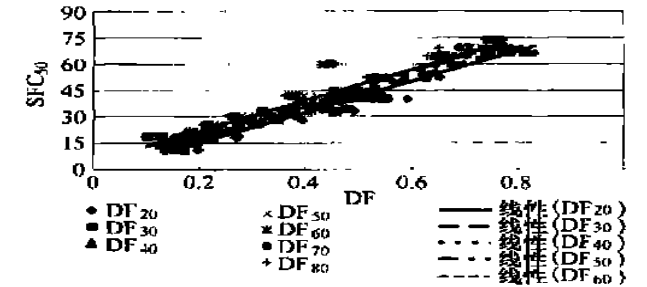


图 5 用路段数据计算出的等同速度下 DF 与 SFC 的关系图
考虑到以路段为分析单位时屏蔽了单个测值的波动, 因此在所有的关系式中推荐优先采用 (4) 式。

$$SFC_{50}=85.882DF_{60}+4.6121 \quad (4)$$

2.2 DF 与 BPN 的相关性分析

利用在高速公路上停车带、行车道和超车道上的测试数据对 DF 和 BPN 的相关性进行分析, 具体数据不再罗列。需要指出的是, BPN 的测试均采用改进后的新型摆式摩擦系数测试仪进行, 结果如图 6 所示。

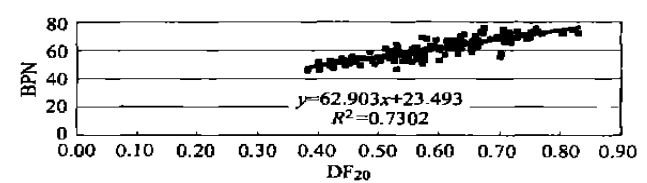


图 6 用路段数据计算出的等同速度下 DF 与 BPN 的关系图

DF 与 BPN 的相关关系没有 DF 与 SFC 的相关关系那么好, 这是由于摆式仪测值不太稳定所致。因为 BPN 代表的是低速下的摩擦系数, 它与 DF₂₀的相关系数相对较高。一般不推荐进行 DF 与 BPN 之间的关系换算。如果需要换算, 建议采用 (5) 式。

$$BPN=62.903DF_{20}+23.493 \quad (5)$$

3 结论

DFT 与横向力系数测试车和摆式摩擦系数测试仪相比具有以下优点:

(1) DFT 具有性价比优越、使用面广、操作简单等优点。DFT 与横向力系数测试车相比购买费用和维护费用均较低, DFT 仪器小巧轻便只需要使用一般车辆便可在任何路段进行测试, 一人便可操作。

(2) DFT 有着测试结果稳定, 人为影响小的优点。DFT 测值在 20~80km/h 的测速范围内有着系统意义上的稳定性, 并与横向力系数测试车有着很好的相关关系。

(3) DFT 最突出的特点是能够反映摩擦系数对速度的依赖关系。因此, DFT 作为简便的自动化的测试装置是目前路面摩擦系数测试系统中有益的补充。

当然, DFT 在公路测试时也存在不能连续测量, 对交通影响较大等缺点。因此本文建议在大规模普查时优先使用 SCRIM, 而在小范围测量, 或作为施工质量控制及交工验收, 或在进行不同速度时摩擦系数的分析研究中使用 DFT。

参考文献:

[1] 中华人民共和国交通部. 公路路基路面现场测试规程 (JTJ059-95) [S]. 北京: 人民交通出版社, 2000.
[2] 日本土木学会北海道支部. 铺装路面のすべり抵抗およびテクスチャー測定の国際共同試験報告 [C]. 论文报告集, 1996.