

路面抗滑能力测量

刘清泉

(交通部公路科学研究所 北京 100088)

提要 本文介绍了国内外测量路面抗滑力的方法和所使用的仪器及其主要参数, 简要论述了这些测量方法的优缺点及适用场合。

关键词 摩擦力 宏观构造 微观构造 路面 仪器 测量

The Measuring of Pavement Skid Resistance

Liu Qingquan

(Research Institute of Highway, Beijing)

Abstract In this paper, a variety of pavement skid resistance measuring methods used at home and abroad are reviewed, furthermore, the apparatuses used, the relevant parameters measured as well as the primary merits and demerits are presented, and also, the conditions of the application of each method are briefly discussed.

Key words Friction Macro-texture Micro-texture Pavement Apparatus Measurement

1 路面摩擦力的构成

由于下列理由我们必须测量路面摩擦力: ①预测潮湿路面的安全性; ②优选道路网的养护措施, 制订管理及预算计划; ③分析交通事故; ④积累有关资料, 为制订或修订标准作准备。为了准确地测量路面摩擦力, 我们又必须首先弄清摩擦力的基本构成。

影响轮胎和路面间有效摩擦的因素除轮胎外主要是路表面粗糙度和受污染状况。清除污染是路面养护方面的问题, 因此从工程观点来看路面摩擦力取决于其粗糙度, 粗是指路面要具有宏观构造, 即水平方向尺寸为 0.5~50 mm、竖直方向尺寸为 0.2~1.0 mm; 糙的含义是涩而不滑, 即路面要具有水平方向尺寸为 0~0.5 mm、竖直方向尺寸为 0~0.2 mm 的微观构造。微观构造决定了路面的基本摩擦力, 即给定车速下摩擦力的总体水平; 宏观构造则决定了路面摩擦力随车速而衰减的幅度, 因此从某种意义上讲是决定了高车速下的摩擦力。摩擦力随车速衰减到极端时发生水漂, 轮胎与路面的附着系数为零。宏观构造的作用机理是为轮胎/路面界面上的积水提供渲泄空间, 增大轮胎与路面的接触面积, 以便让路面微观构造充分发挥作用。

由此可见,路面摩擦力既可用摩擦系数直接测出,也可以通过测定路面微观和宏观构造的大小作出间接评价。

2 摩擦力的直接测量

2.1 路面测量

对公路路面摩擦力的测量可分为车辆法和人工法。车辆法的测试设备又可分为车载式和拖车式。车辆法的测定参数有制动力系数(*BFC*)、横向力系数(*SFC*)和制动距离三项;人工法主要用摆式仪,其测定值用摩擦系数的100倍表示,称为*SRV*或*BPN*。在上述参数中以*BFC*和*SFC*的应用最广。

许多国家都研制了测量路面摩擦力的仪器设备。例如美国在60年代前后曾研制出詹姆斯制动减速度计(*James Brake Decelerometre*)、之后英国研制出了安装在拖车上的测微仪(*Mu-metre*)、1968年美国航空航天局研制出了斜式制动车(*DBV*)、1969年瑞典民航局和国立公路研究院研制了*BV-11*、1976年丹麦研制了*Stradograph-76*型。原西德、荷兰、比利时、法国等国家也都研制有类似设备。

用于测定*BFC*或*SFC*的高效设备一般应满足下列要求:

- ①可靠,易于标定且操作尽可能简单;
- ②试验结果能够重复和再现;
- ③连续测量,高效而经济;
- ④数据自动记录,并可用计算机处理;
- ⑤有完善的储水设备和喷水系统;
- ⑥以正常车速(50~100 km/h)测试。

为了达到在正常车速下作连续测量之目的,*BFC*或*SFC*测试车均用专门的试验轮(第5轮或第6轮)进行测试。试验轮的悬挂系统多为液压悬挂,或用带有螺旋弹簧的减震器悬挂,试验轮胎有斜向花纹和光面两种。使用光面胎时,轮胎/路面界面上的水几乎全部依靠路面宏观构造排出,所以它对宏观构造的差异更为敏感,因此测量中多用光面轮胎,另外,光面胎还可避免轮胎花纹磨损给测试带来的影响。

2.1.1 制动力系数测量

由完全刹住或不完全刹住(规定打滑率)的试验轮上的实测扭矩和试验轮对路面的荷载便可计算出*BFC*。荷兰的*RWL*拖车和瑞典的*BV-8*属这类仪器,美国的测试方法可参见*ASTM E 274*。

2.1.2 横向力系数测量

测量*SFC*的设备以英国的*SCRIM*最具代表性,比利时的*Odoliographe*和丹麦的*Stradograph*也属这类仪器,三者的有关参数比较见表1。*SFC*的测试原理是使试验轮与行车方向成一定角度,以便产生一个同试验轮平面垂直的横向力,该横向力与试验轮对路面荷载的比值即为横向力系数。这种测量方法的优点是:①连续作长距离测量,延长试验轮胎的使用寿命(和*BFC*测试相比);②由于实际上车辆两边车轮的制动效率不可能完全相同以及路面横坡的影响,路面上的滑溜很多是侧滑,用横向力系数能更好地表征这种侧滑的危险性。

几种SFC测试设备的参数比较

表 1

国别	设备名称	传感器	试验轮			洒水系统			标准测试速度 (km/h)
			个数	轮荷(N)	偏角(°)	容积(m³)	洒水方式	水膜厚度(mm)	
英国	SCRIM	液压式	1~2	2 000	20	3	自流	0.5~1.0	40~80
丹麦	Stradograph	应变式	2		12(可变)	4.4	压力泵	0.2	60
比利时	Odoliographe	液压式	1	2 500	20	专用水车	自流	1.0	50~80

英国的SCRIM是从1953年研制的五轮仪直接派生出来的,实际上对横向力系数的测量可以追溯到1929年,那时的“SCRIM”的形式是摩托车和边车。目前我国的SCRIM正在研制之中,不久的将来便可投入使用。

2.1.3 刹车法测试

刹车法是用车辆本身(而不是通过专用试验轮)进行测试的一种方法,其特点是能比较真实地模拟汽车的制动情况,但受轮胎、车辆和人为因素的影响较大因而没有良好的重复性和再现性。此外,由于刹车法对正常交通有很大影响,做高速试验时操作危险性大,同时也由于这种试验方法对轮胎和车辆的损坏严重,因此,这种方法在80年代就很少使用了。

根据考查指标的不同,刹车法中有用减速度计记录车辆减速度和测量刹车拖印记录制动距离两种做法(制动力系数亦可用刹车法来做)。用制动距离来表征路面摩擦时常需计算出湿路与干路的制动距离比。

2.1.4 摆式仪法

摆式仪的工作原理是将滑溜器擦过路面后的摆臂能量损失作为滑动过程中所做的功。用摆式仪来测定路面抗滑值(SRV)简便易行且成本低廉。目前我国正在使用中的摆式仪有400多台,可见摆式仪法目前在我国路面摩擦力的测量中使用比较普遍。但摆式仪存在如下缺点:①测试面积小且不能连续测量;②SRV只代表低车速下的路面摩擦系数,不能反映摩擦力随车速的变化;③不适用于宏观构造很大的路面(石屑大于12 mm)和横向刻槽的路面;④与连续式测量相比,对交通有一定程度的妨碍。

2.2 实验室测量

用实验模拟交通对路面的磨光和磨耗作用,可以通过较短时间的试验预测未来的路面抗滑水平,为设计和施工提供依据。

2.2.1 加速磨光试验

我国对沥青路面抗滑力的研究表明,路面抗滑值(SRV)与石料磨光值(PSV)之间存在如下关系:

$$SRV = 1.02 PSV - 1$$

$$n = 76, r = 0.93$$

这就是说,完全有可能通过对石料磨光值的测定推算出路面的摩擦力。

磨光试验可用我国研制的JM-1型加速磨光机完成,其试验过程是:

①将石料(10~15 mm)用环氧树脂砂浆制成规定形状的试件,经适当养护后安装在道路轮上;

②用金刚砂和水对石料试件进行加速磨光,磨光时间为6 h,前3 h用30#金刚砂(棕刚玉),后3 h用280#金刚砂(绿碳化硅);

③用摆式仪测定试件的摩擦系数,该摩擦系数的100倍即为石料磨光值。

2.2.2 加速磨耗试验

由于加速磨光试验不能确定由磨耗而引起的路面宏观构造的变化,因此它对水泥混凝土路面的适用性稍差。因此相继出现了一些集磨光和磨耗为一体的试验仪器,如美国Purdue大学、柏林技术大学、英国TRRL等都研制了这类仪器。下面着重介绍一下TRRL的加速磨耗试验机。

该机主要由道路轮、两个橡胶加载轮和进料及给水装置组成。道路轮宽90 mm,半径为375 mm,能安装16块试件,转速为150 r/min(相当于25 km/h);橡胶轮为520×10型天然胶光面轮,其旋转平面与道路轮成2°夹角,加载1 780 N,使其能保持与道路轮的接触压力为0.2 N/mm²。试验时通过电磁振动装置送进磨料,前50 h干磨,用2.4~1.2 mm的燧石砂作为磨料;后50 h用气选刚玉粉加水湿磨,水通过8个1.5 mm直径的喷嘴以140 ml/min的速率加入。磨完后用摆式仪测定试件磨光值,构造深度用铺砂法测定。该试验方法已纳入英国路桥工程规范,用于控制用石灰岩作为混凝土的粗集料。

2.2.3 可变速内鼓试验机(VSIDM)

由于上述加速磨光和加速磨耗均需摆式仪来评价摩擦力,而摆式仪又不能评价高速、变速以及刻槽条件下的路面摩擦力,因此又出现了一种能使试件经受磨光、粗糙和中性磨耗循环作用,并能在整个正常交通速度范围内测试摩擦特性的试验仪器。

英国伯明翰大学研制的可变速内鼓试验机(VSIDM)就是这类新型仪器中的一种。“完整”的表层试验材料被安装在直径为1.2 m的试验鼓的内壁上,试验鼓能在垂直平面内旋转,并能以不同的滑动角使试件经受磨耗和磨光循环作用。可在试验过程中任意时间间隔内进行摩擦系数测定,试验速度范围是20~100 km/h。

3. 摩擦力的间接测量

如前所述,路面摩擦力主要由微观和宏观构造确定,因此可以通过对路面微观和宏观构造的测量而间接测得摩擦力。

3.1 微观构造的测定

对微观构造的直接测量,由于方法复杂,实用性不强因而多用于研究目的。测量方法主要有两种:一是立体照像法,二是电子显微镜扫描法。立体照像法用6个参数来描述构造的性状和大小,试验和分析方法比较复杂,很费时间,而且对人员素质要求较高。具体试验方法可参见美国标准ASTM E 559。

用电子显微镜扫描测定时,放大5 000倍的显微镜下微观构造最为清晰。有关研究表明,用电镜扫描所测定的微观构造与用摆式仪所测定的磨光水平有着良好的相关关系。

此外,有些国家(如奥地利)还用描述(tracing)试验测定微观构造的大小。描述或曰随纹,它能准确地记录路表面几何性状。图1为描述装置原理图,图2为有良好摩擦系数路面的描述试验图谱。奥地利描述试验仪的测量精度为 $\pm 5 \mu\text{m}$,步长为 $12.5 \mu\text{m}$,试验操作可完全自动化。

3.2 宏观构造的测量

宏观构造的测量方法有两种:一种是测量其大小;另一种是评价其排水效果。

3.2.1 铺砂法

此法最常用。试验过程是将一定体积(25 ml)的砂(0.5~0.3 mm)在路面上摊成圆形并量出圆的平均直径,构造深度(TD)由砂的体积除以圆的面积得出。

由于人工铺砂受操作者的人为影响特别大,不同的操作者往往得出不同的试验结果,为了克服这一缺点,各国又相继研制了电动铺砂仪。目前我国交通部公路科学研究所和有关厂家合作已经开发出了这种仪器,相关的试验方法也正在制定之中。电动铺砂仪的试验原理为:将 50 ml 粒径为 0.15~0.3 mm 的砂以电动马达带动料斗缓缓移动的方式在路面上铺出 50 mm 宽的带状,路面构造深度由总的铺砂厚度减去在玻璃板上的标定厚度得出。

3.2.2 涂脂法

该法原理同铺砂法,只不过是油脂(或硅胶)代替砂而已。缺点是油脂留在路面上易造成污染,使用起来不如铺砂方便。

3.2.3 立体照像分析法

该法用断面外形比(profile ratio)和过滤断面外形比(filtered profile ratio)评价宏观构造的大小。断面外形比定义为断面表面长度和基线长度之比。

3.2.4 激光测量法

无接触式激光构造深度测定仪是最近几年刚发展起来的。它利用脉冲半导体激光光学系统进行测量,在型式上有车载式和手推式两种,其特点是可以进行连续测量,但仪器成本高,对刻槽路面不太适用。由于激光构造深度仪与铺砂试验的相关性良好($\gamma=0.986\sim0.998$)、重复性好、操作速度快、能在湿路面上进行测定并能在压路机后面测定温热面层的构造深度,所以常将该仪器用于施工质量控制。

3.2.5 流出计法

上述 4 种方法的共同缺点是只能测定构造深度的大小而不能作二维或三维排水能力的评价。众所周知,路面上的构造(或孔隙)有相互连通,能起疏水作用的,也有不相互连通,疏水效率很低的。构造深度相同的路面其疏水能力可能相差甚远。从这个意义上讲,用流出计法测量更能体现宏观构造在路面摩擦力构成中所起的作用。

流出计由带有橡胶垫圈底座的一个量筒构成,试验时记录从量筒流出一定量水所需要的时间。注意,橡胶圈尺寸大小、硬度、蠕变特性以及荷载的大小均会影响其嵌入路面构造的程度,因而会影响流出计的测值。橡胶垫圈的形状有圆形和椭圆形两种,一般认为椭圆形垫圈可以检测路面排水能力各向异性的情况,例如刻槽方向、纵坡和路拱对排水效率的影响。

流出计属静态测试仪器,测试面积小,不能连续测量。为克服这些缺点,现已有了象排

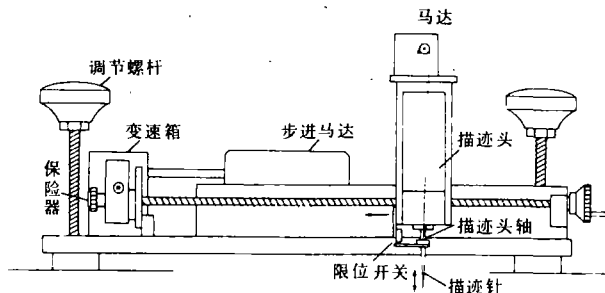


图1 描述仪原理图

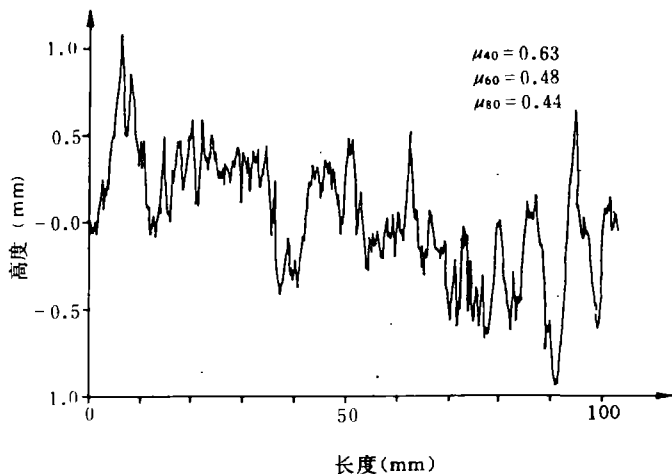


图2 有良好摩擦系数路面的描述试验图谱

水仪这样能进行动态测量的仪器，例如LCPC 排水仪已在法国普遍应用。它可测定车速为20~40 km/h 的路面排水能力。该仪器用金属滑行装置模拟车辆轮胎，滑行装置本身以一孔道贯通，并注以常压水在路面上滑动，连续测定通过路表构造空隙溢出的水流量，流量越大，则排水性能越好。

参考文献

- (1) A. F. Stock. CONCRETE PAVEMENTS.
- (2) Augustin H. Skid Resistance and Road-Surface Texture. ISBN: 0-8031-1391-9. 1990, 6. .
- (3) 舒自桓. 机场道面防滑. 空军后勤部工程设计局, 1980, 1.
- (4) 交通部公路科学研究所(译). 第二届国际防滑会议论文集. 1986, 3.
- (5) 交通部科学技术交易中心. 第十八届世界道路会议报告汇编. 1989, 3.

购书消息

由交通部公路科学研究所副研究员沈金安编著的《高速公路》一书由中国科学技术出版社出版，书号ISBN 7-5046-0388-0/U·5。该书就国外高速公路的建设状况，结合我国的实际，全面系统地介绍了有关高速公路的基本知识。内容包括：高速公路的起源、发展和社会效益；高速公路的设计；景观、交通安全及服务设施；汽车司机行车时应注意的事项；高速公路的交通控制及管理；21 世纪的高速公路等。

该书内容丰富，文字浅显易懂，图文并茂，书中附有 70 多幅插图，可供从事高速公路设计、建设、管理的专业人员和广大汽车司机学习和应用。全书 14.4 万字，压膜封面，定价 6.25 元。此书继续销售，有购者可与交通部公路科学研究所情报资料室联系。

地址：北京北三环中路 48 号 交通部公路科学研究所情报资料室
邮政编码：100088

《公路交通科技》编辑部