

轮胎与路面之间的摩擦和附着

王吉忠, 顾善发, 宋年秀

(青岛建筑工程学院, 山东 青岛 266520)

摘要:对橡胶的摩擦、轮胎与路面之间的摩擦特性和附着因数的含义以及影响轮胎附着性能的因素进行了分析。橡胶与路面之间的摩擦因数受载荷和滑动速度的影响;轮胎与路面之间的摩擦因数包括粘着和滞后两部分,与轮胎结构、路面状况和轮胎的工作条件密切相关;附着因数是平均摩擦因数,可从宏观上描述轮胎弹性滑转和完全滑移或滑转时的摩擦特性。

关键词:轮胎;路面;摩擦;附着

中图分类号:U463.341;O313.5

文献标识码:B

文章编号:1006-8171(2002)02-0067-04

轮胎通过与路面之间的摩擦耦合传递车辆与路面之间的各种相互作用力。在轮胎与路面相互作用的过程中,接地面中的水平反力为车辆提供制动、驱动和方向稳定性,其大小取决于轮胎所受的垂直载荷和轮胎与路面之间的附着因数。

深入了解轮胎与路面之间的摩擦特性,对开发车辆安全控制系统、预测车辆临界速度及分析公路交通事故都具有重要意义。

1 库仑摩擦

如果两个相互接触的物体有相对滑动或相对滑动趋势,在接触面之间就产生彼此阻碍滑动的摩擦力。传统的库仑摩擦理论用于描述刚性材料之间的干摩擦特性,其内容^[1,2]为:

(1)若物体静止,则静摩擦力(F_s)由静平衡条件确定,它与最大静摩擦力(F_{smax})的关系是:

$$0 \leq F_s \leq F_{smax};$$

(2)在临界情况下,摩擦力达到最大值, $F_{smax} = f_s N$,其中 f_s 为静摩擦因数, N 为接触面法向反力;

(3)物体滑动时,动摩擦力(F_k)= $f_k N$,其中 f_k 为动摩擦因数。

动摩擦因数和静摩擦因数与作用在物体上的

载荷、两物体间的名义接触面积及相对滑动速度无关,且 $f_k < f_s$ 。

2 橡胶的摩擦

橡胶是粘弹性材料,不遵从传统的库仑摩擦理论^[2,3]。橡胶的摩擦因数与滑动速度之间存在密切的关系。

对受一定垂直载荷作用的橡胶试样进行摩擦试验,随切向力的增大,橡胶与路面间的摩擦力增大,当静摩擦力达到最大值后,橡胶开始滑动。

橡胶试样的摩擦因数与滑动速度的关系曲线见图1。

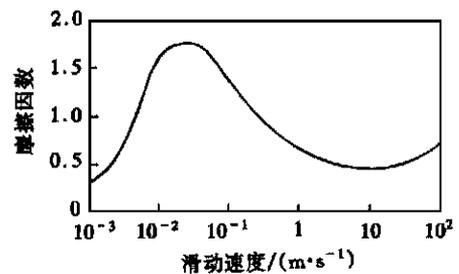


图1 橡胶试样的摩擦因数与滑动速度的关系曲线

从图1可以看出,随滑动速度的增大,摩擦因数迅速增至最大值,然后缓慢减小,在滑动速度很大时又有所回升。橡胶滑动摩擦因数的最大值大于粘着状态的静摩擦因数,一般出现在滑动速度为 $0.01 \sim 0.50 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时。

作者简介:王吉忠(1961-),男,山东龙口人,青岛建筑工程学院教授,博士,主要从事汽车轮胎力学、地面-车辆系统分析与控制等方面的研究工作。

橡胶的摩擦因数不仅与滑动速度有关,而且与参与摩擦的材料、接地压力和摩擦温度等因素有关。橡胶与路面之间的摩擦因数分为粘着和滞后两部分,粘着分量取决于橡胶和路面的微观特性,而滞后分量取决于路面的宏观特性。橡胶的摩擦因数随垂直载荷的增大而减小,随损耗因子的增大而增大,随温度的升高而减小。

3 不同工况下轮胎与路面的摩擦

3.1 制/驱动工况

在制/驱动工况下,轮胎接地区受纵向力的作用,处于弹性滑转和完全滑移或滑转状态。在弹性滑转时,轮胎接地区中存在粘着和滑动两个区域,见图2。

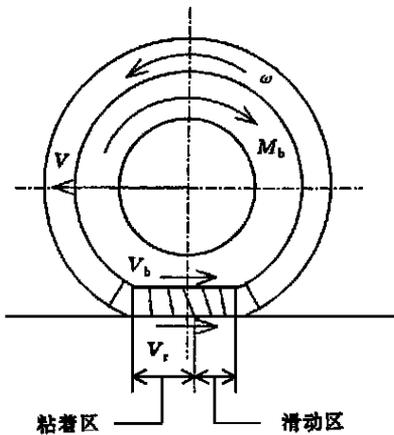


图2 制动工况下胎面橡胶的剪切变形

—轮胎滚动角速度; M_b —制动力矩; V —轮胎的行驶速度; V_b —带束层相对于轮胎中心的移动速度; V_r —路面相对于轮胎中心的移动速度

胎面粘着区所受的纵向反力可通过用胎面点与基部对应点纵向相对变形和胎面单位面积的纵向弹性常数计算纵向应力后对粘着区积分得到。胎面滑动区所受的纵向反力可通过用滑动区轮胎接地压力和滑动摩擦因数计算出摩擦应力后对滑动区积分得到。

在弹性滑转时,地面的纵向反力为粘着区的静摩擦力和滑动区的滑动摩擦力之和;在完全滑移或滑转时,地面的纵向反力为滑动摩擦力。接地面法向反力为轮胎所受的垂直载荷。

在弹性滑转时,轮胎的摩擦因数为接地区所

受纵向反力与法向反力之比,它随轮胎的滑动率而变化。附着因数具有接地区平均摩擦因数的含义,可以从宏观上描述轮胎弹性滑转和完全滑移或滑转时的摩擦特性。

轮胎的牵引/制动特性可以用附着因数(牵引/制动因数)与滑动率的变化关系表示。通过理论计算或试验测量可得轮胎制/驱动时的附着因数。图3为典型的制动时轮胎附着因数与滑动率关系曲线。

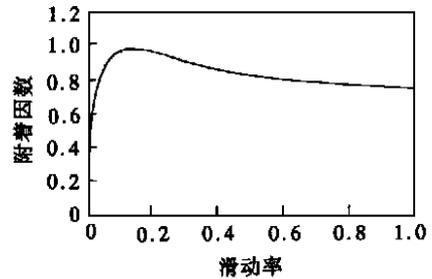


图3 制动时轮胎附着因数与滑动率的关系曲线

在滑动率约为0.15时,附着因数达到最大值,它是轮胎的峰值附着因数;而滑动率为1时,附着因数是轮胎开始完全滑移或滑转时的滑动附着因数。

3.2 转向和制/驱动转向工况

转向或制/驱动转向时,轮胎接地区受侧向力或同时受纵向力和侧向力作用,接地区仍可存在粘着和滑动两个区域。制动转向时胎面胶的切向变形见图4。

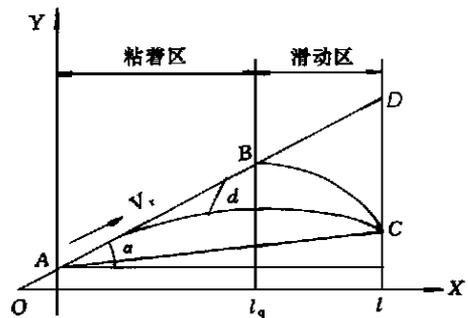


图4 制动转向时胎面胶的切向变形

V_r —路面的移动速度; d —胎面点和基部对应点之间的切向相对位移; α —轮胎的侧偏角; l_q —轮胎接地区起滑点的坐标; l —轮胎与路面脱离接触点的坐标

路面上一点在直线 ABD 上移动,胎面基部上的一点在直线 AC 上移动。胎面上的一点在 A 点与路面接触,到 B 点后开始边滑动边向 C 点移动。

在粘着区,由胎面点与基部对应点之间的切向相对位移及胎面单位面积的两切向弹性常数可以计算切向应力,沿粘着区积分可得粘着区作用在胎面上的纵向力和侧向力。

在滑动区,由胎面接地压力和滑动摩擦因数可以计算滑动摩擦应力,将摩擦应力在纵向和侧向的分力沿滑动区积分,可得滑动区作用在胎面上的纵向力和侧向力。

将粘着区和滑动区的纵向力和侧向力分别求和,可得作用在整个胎面上的纵向力和侧向力。接地区的法向反力为轮胎所受垂直载荷。由此可以计算转向和制/驱动转向工况下轮胎的纵向附着因数和侧向附着因数。

轮胎转向时侧向附着因数与侧偏角的关系曲线如图 5 所示。

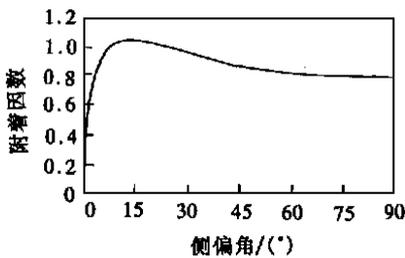


图 5 轮胎转向时侧向附着因数与侧偏角的关系曲线

在侧偏角约为 10° 时,最大附着因数是轮胎的侧向峰值附着因数;而侧偏角为 90° 时,侧向附着因数是轮胎开始完全侧滑时的侧向滑动附着因数。

轮胎在制/驱动转向时的纵向和侧向附着因数与纵向滑动率的关系曲线见图 6。

由于存在纵向力,轮胎的侧向附着因数减小。轮胎的综合附着因数由纵向和侧向附着因数合成得到,并随轮胎侧偏角不同而变化。不同侧偏角轮胎合成附着因数的包络线接近于椭圆,一般称为摩擦椭圆或附着椭圆,它确定了轮胎综合附着因数的极限值。在同一侧偏角条件下,滑动率越

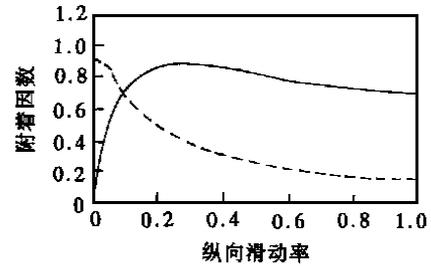


图 6 制/驱动转向时轮胎纵向和侧向附着因数与纵向滑动率的关系曲线

—纵向附着因数; 侧向附着因数

低,轮胎的侧向附着因数越大。

防抱死制动系统则充分利用滑动率为 $0.15 \sim 0.25$ 的区域,使纵向力在几乎达到最大值时,侧向力处于额定值,避免汽车失控。

4 影响轮胎附着性能的因素

影响轮胎附着性能的因素主要有轮胎结构、路面、环境以及轮胎的工作条件^[4]。

与斜交轮胎相比,子午线轮胎具有胎侧柔软、径向刚度低和带束层刚性大的特点,其接地面积大,压力分布均匀,因此与路面之间的附着因数大。

轮胎胎面花纹的作用是使轮胎在湿路面上行驶时能够有效地排水,以增大与路面之间的附着因数,但在干路面上,花纹沟空隙面积占印迹总面积的比例越大,轮胎的附着因数越小。胎面磨损后,花纹排水能力下降,使轮胎的附着因数显著下降。

在湿路面上,水是轮胎与路面之间良好的润滑剂,可显著地减小轮胎与路面之间的有效摩擦,若车速过高,流体动压力将引起轮胎与路面逐渐分离,导致车辆失控。

路面宏观和微观结构良好可以提高轮胎在湿路上的附着性能,而路上的油脂、沙土等污物将使轮胎与路面之间的附着性能大幅度降低。

随着行驶速度和垂直载荷的增大,轮胎与路面之间的附着因数减小。在硬路面上,充气压力减小,可使轮胎与路面之间的附着能力提高,但滚动阻力增大;而充气压力增大,轮胎滚动阻力减小,但其附着能力下降。为保证轮胎正常工作,充

气压力应在标准值附近,不能过高或过低。转向轮胎无纵滑滚动时,侧向附着因数最大;若轮胎接地地区同时存在纵向力和侧向力,则其侧向附着因数减小;而轮胎抱死拖滑或完全滑转时,其侧向附着因数最小。

5 结语

轮胎与路面之间的附着因数是影响汽车行驶安全性和运输经济性的重要参数,它受很多因素的影响,具有很大的不确定性,因此预测较为困难。影响轮胎与路面之间附着性能的主要因素有轮胎结构、路面、环境以及轮胎的工作条件。为提高轮胎与路面之间的附着性能,除应对轮胎和路面进行合理设计外,还应注意道路维护以及轮胎

和车辆的正确使用。

参考文献:

- [1] 庄继德. 汽车轮胎学[M]. 北京:北京理工大学出版社, 1996. 200-203.
- [2] Sakai H. Theoretical and experimental studies on the dynamics properties of tyres. Part 2: Experimental investigation of rubber friction and deformation of a tyre[J]. International Journal of Vehicle Design, 1981, 2(2): 182-247.
- [3] 内山吉隆. 摩擦と表面[J]. 日本ゴム协会誌, 1992, 65(5): 312-317.
- [4] Nathaniel H S, Kurt M, Marshek. Vehicle critical speed formula — values for the coefficient of friction [J]. SAE Paper, 971 148 :1-14.

收稿日期:2001-08-18

欢迎订购《国内外橡胶制品配方手册》

应广大橡胶加工企业及有关技术人员的要求,全国橡胶工业信息总站积多次编辑出版国内外橡胶配方手册之经验,组织有关技术人员及专家收集整理了国内外生产实用配方近 8 000 例,汇编了一套《国内外橡胶制品配方手册》。

本书包括国内及日本、英国、德国、法国、意大利、美国等发达国家近几年的最新轮胎(子午线轮胎、绿色轮胎、斜交轮胎、摩托车轮胎、自行车轮胎、手推车轮胎及翻新轮胎等)、胶管、胶带、胶鞋、电线电缆、汽车用橡胶配件、密封制品、生活用橡胶制品、办公设备密封制品、胶布及建筑材料、其它工业用橡胶制品和橡塑制品生产的实用配方。为突出实用性,本书着力选取那些在生产中已获得实际应用效果的配方,或经试验已被证明用于橡胶制品具有优良性能的配方,有很高的实用和参考价值,是技术人员的必备工具书,也是业内收藏之必需。

全书分为国内分册和国外分册,精装 16 开,美观大方,内容丰富,定价 300 元/套(含邮费)。现已出版,欢迎广大业内人士踊跃订购!

订购办法:

1. 单位及个人均可订购,份数不限,凡一次订购 5 套以上的用户按每套书基价优惠 10%,订款一次付清。

2. 欢迎来人来函或电子邮件订购,信件请填写详细地址、收件单位部门及收件人,字迹务必工整、清晰,以免邮递失误。印数有限,欲购从速!

3. 银行汇款请汇至北京橡胶工业研究设计院科研部,开户行:北京工商银行翠微路支行永定路分理处,帐号:02000049090033009-53(配方手册);邮局汇款请汇至全国橡胶工业信息总站,详细地址:北京西郊半壁店北京橡胶工业研究设计院内,邮政编码:100039。

联系人:赏琦 杨静

电话:(010) 68164371, 51338150

传真:(010) 68164371

E-mail:rubber@crminet.net.cn

越南 Casumina 厂开始生产载重轮胎

中图分类号:U463.341+.3 文献标识码:D

英国《轮胎和配件》2001 年 9 期 8 页报道:

越南南方橡胶公司采用日本技术开始在一个新厂内生产载重轮胎。8 月份投产的第一个星期共生产 1 000 条轮胎。据说该厂所生产的轮胎质量与从韩国和印度进口的轮胎相当。越南国产轮胎的价格比进口品牌便宜 25%。该厂计划月产量约为 1 万条,在某种程度上缓解了越南轮胎的供应短缺。越南每年需要轮胎 50 万条,但目前供应量限制在 20 万条。

(涂学忠摘译)