

轮胎湿滑路面附着性能的影响因素分析

张丽霞, 张 辉*, 林炳钦, 潘福全, 冯 停

(青岛理工大学 机械与汽车工程学院, 山东 青岛 266520)

摘要:从轮胎特性、车辆行驶速度、水膜厚度和环境等方面分析影响轮胎在湿滑路面上附着性能的因素, 探讨各因素对轮胎湿附着性能的影响机理及变化规律, 从轮胎和道路两方面提出降低轮胎滑水现象几率的措施: 根据车辆的不同行驶工况, 选用不同材料和结构的轮胎; 通过增大轮胎接地地区花纹沟空间和胎面花纹深度, 改善胎面的排水能力; 阴雨天驾驶时降低行车速度; 改善路面纹理构造、增大构造深度、提高路面坡度, 以增强路面的排水功能; 保持路面清洁, 降低水膜中固体杂质颗粒对轮胎附着性能的影响。

关键词: 轮胎; 附着性能; 湿滑路面; 影响因素

中图分类号: TQ336.1⁺1

文献标志码: A

文章编号: 1006-8171(2019)11-0647-05

DOI: 10.12135/j.issn.1006-8171.2019.11.0647



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

在车辆行驶过程中轮胎与路面直接接触, 轮胎具有良好性能是车辆安全行驶的重要保障。低滚动阻力、良好的抗湿滑性能和低噪声振动已经成为轿车轮胎的三项基本要求。其中, 抗湿滑性能是指轮胎在湿滑路面上表现出的附着性能, 轮胎的湿摩擦力越大, 反映出的抗滑性能就越好, 该性能已经成为衡量轮胎安全性的一项重要指标^[1]。

附着性能是指轮胎胎面与路面相互摩擦接触, 路面所能提供给轮胎作用力的极限值, 常用附着因数来表征, 可表示为驱动轮切向应力与法向应力的比值。轮胎与路面间满足一定的附着因数时车辆才能在道路上顺畅行驶, 附着因数取决于轮胎与路面间粘着和分子力作用等道路环境因素, 轮胎本身发生的弹性变形和行驶速度也会产生影响。当车辆行驶于有水路面时, 尤其是当车辆在湿滑路面上行驶时, 介于轮胎与路面间的水流充当润滑剂, 阻挡轮胎与路面的直接接触, 导致轮胎的附着性能下降, 影响车辆的操纵性能^[2]。研

究表明, 当雨天高速公路路面摩擦因数减小一半时, 事故发生率将增加6倍^[3]。可见, 轮胎与路面间的附着情况对于车辆各项功能的实现具有重要影响, 一方面是保障车辆正常行驶的必要条件, 另一方面又限制着车辆的行驶状态。

汽车行驶于湿滑路面时, 轮胎与水流间相互作用引起水流运动并产生动水压力, 导致轮胎被部分抬起, 胎面与路面的接触面积逐渐减小, 附着性能随之下降。轮胎与路面的接地区沿纵向可划分为3个区域, 如图1所示。其中, A区称为水膜区, 此区域内水膜产生的动水压力足以将轮胎抬离地面, 使轮胎与路面彻底分离; B区称为过渡区, 残留下来的积水形成薄水膜层以润滑剂的形式附着于轮胎与路面间, 使得轮胎与路面不完全接触; C区称为牵引区, 此区域内不存在水流, 保障胎面与路面完全接触。3个区域的面积比例随汽车行驶速度的增大而发生变化, A区和B区沿运行相反方向扩大, 挤占C区的面积。当C区面积减小至零时, 轮胎发生完全滑水现象^[4]。

轮胎发生滑水现象是轮胎、水流和道路多方面共同作用的结果, 轮胎特性、行驶工况和道路条件等均对轮胎的附着性能产生影响, 从而影响轮胎的抗湿滑性能。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51505244); 中国博士后科学基金资助项目(2016M590626); 青岛市博士后应用研究项目(2015224)

作者简介: 张丽霞(1978—), 女, 河南驻马店人, 青岛理工大学副教授, 博士, 主要从事汽车系统动力学及控制研究。

*通信联系人(635559726@qq.com)

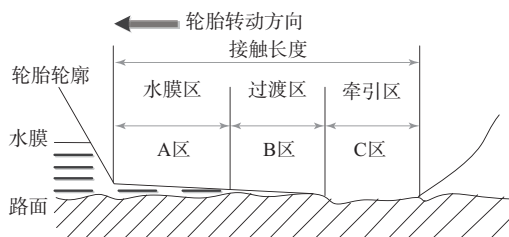


图1 湿滑条件下滚动轮胎与路面的接触区域示意

1 轮胎特性

轮胎特性包括胎面胶料、花纹类型和结构参数以及充气压力和轮胎类型等。

1.1 胎面胶料

轮胎胎面胶料不同,与路面的相互作用会有所差异。轮胎主要由橡胶及橡胶-帘线复合材料两大部分组成,其中橡胶材料的粘性模量对轮胎的湿附着性能起重要作用,与轮胎的抗湿滑性能密切相关。一般认为橡胶材料的玻璃化温度越高,其湿附着性能越好,但同时会增大滚动阻力。为保证胎面胶兼有良好的湿附着性能和较低的滚动阻力,通常在胎面胶中加入少量极性橡胶(如丁腈橡胶和氯丁橡胶等)。相关研究显示,胎面胶的抗湿滑性能由优到劣顺序依次为:丁苯橡胶(SBR),天然橡胶(NR)和顺丁橡胶(BR)^[5]。SBR的力学性能虽然较差,但具有良好的湿附着性能;BR的湿附着性能较差,但其耐磨性能优异,因此轿车轮胎常将这两种橡胶按比例混合使用,以兼顾轮胎的抗湿滑性能和耐磨性能。牟守勇等^[6-7]研究了乳聚丁苯橡胶和溶聚丁苯橡胶的性能。结果表明,0℃时损耗因子($\tan\delta$)较大的胶料具有良好的抗湿滑性能,60℃时 $\tan\delta$ 较小的胶料具有低滚动阻力。

1.2 填料

轮胎用材料从内在决定了轮胎的性能,轮胎聚合物、填料及两者间的相互作用强弱也会影响轮胎的湿附着性能^[8]。王梦蛟^[8]的研究结果表明:相比于白炭黑,炭黑与聚合物的相互作用较强,硫化胶磨损后炭黑聚结体仍被橡胶包裹;白炭黑与聚合物的相互作用弱,与水流的相互作用较强,硫化胶磨损后白炭黑粒子裸露在硫化胶表面。从微观角度观察,白炭黑的硬度远大于炭黑,故在有水膜覆盖的路面上,裸露在外的白炭黑粒子能够轻

易破坏水膜层,从而提高轮胎的附着性能。因此,理论上使用白炭黑胶料的轮胎抗湿滑性能比使用炭黑胶料的轮胎好,不同填料对轮胎抗湿滑性能的影响在滑水不同区域也有所差异。在A区,填料主要改变水膜厚度,由于白炭黑能刺破水膜,使水膜变薄,故在水膜区白炭黑的抗湿滑性能优于炭黑;填充白炭黑同时会增大胎面与路面间的摩擦因数,故在B和C区炭黑胎面胶更有优势。针对不同区域状态,需要对填料进行单独考虑,对于水膜区和过渡区较大的情况,宜选用白炭黑胎面胶;以牵引区为主的条件下选用炭黑胎面胶更为有利。

1.3 胎面花纹

胎面花纹实现轮胎与路面直接接触,是决定轮胎摩擦力大小的重要因素。

1.3.1 花纹类型

轮胎花纹大致可分为纵向花纹、横向花纹和块状花纹。对于纵向花纹轮胎,当同时受横、纵向力作用时,轮胎所受摩擦力的方向会偏横向,故纵向花纹轮胎在横向表现出良好的防滑性能;横向花纹轮胎则相反,产生的摩擦力主要偏纵向,故轮胎的纵向防滑性能更优异;块状花纹兼有横向和纵向花纹,故纵向和横向产生的摩擦力相对平衡,防滑性能较好,更适合在沙地和雪地等软路面上行驶,充分保障轮胎与路面接触良好。张彦辉等^[9]借用数值求解方法,从理论上定量分析了光滑平面、斜对角花纹、抛物线花纹和交叉花纹4种不同胎面花纹对轮胎附着性能的影响,结果表明,带有交叉花纹的轮胎附着性能优于带有斜对角花纹和抛物线花纹的轮胎。

1.3.2 花纹结构参数

胎面花纹结构参数及排列方式通过影响接地区域水流的动水压力而影响轮胎的附着性能,其中胎面花纹结构是主要影响因素。在有水膜覆盖的路面上,胎面花纹沟槽一方面可以便于排水,另一方面又提供了空间临时储水,其边缘还能将路面水流阻断。增大轮胎接地区域花纹沟空间体积可以增大排水空间和胎侧处排水量,或在接地区域设计横向花纹沟,都能够有效减小轮胎受到的动水压力,提高轮胎的附着性能。周海超等^[10]引入压力因数来评价不同花纹结构对轮胎滑水性能的影响,结果表明压力因数越小,轮胎受到的动水

压力越小,其抗湿滑性能越好。胎面花纹深度对轮胎湿附着性能影响较大,花纹深度较大时,胎面与路面形成的空腔使受压的水流迅速排出,降低动水压力作用以提高轮胎的附着性能;但轮胎花纹深度过大时,因花纹块发生的弹性变形较大,将增大车辆在行驶过程中受到的滚动阻力,且花纹较深的轮胎散热慢,胎温急剧上升,易造成轮胎撕裂等现象。因此,适当增大胎面花纹沟宽度和深度有助于提高轮胎的附着性能和抗滑水性能。

1.3.3 花纹密度因数

胎面花纹密度因数表示轮胎-路面实际接触区域与接地区域面积之比,其比值大,意味着轮胎与路面的接触面积较大,附着性能较好;但密度因数过大时,轮胎的湿附着性能反而呈现下降趋势。这是因为当路面积水较多时,接地面积较大使轮胎沟槽内的水流无法及时排出,轮胎排水能力受阻,导致附着性能下降;若密度因数过小,轮胎单位面积受到的压力将增大,会加快胎面磨损,从而影响轮胎的使用寿命。

胎面花纹的磨损情况对轮胎的附着性能也产生一定影响,花纹磨损严重的轮胎与新花纹轮胎在干燥路面上的摩擦因数并无太大差异,但在有水膜覆盖的路面上,由于花纹磨损后轮胎的排水效果不佳,轮胎的附着性能急剧下降,对雨天安全行车造成很大威胁。一些国家对轮胎的磨损极限做出了强制性规定:美国交通运输部规定轿车轮胎的磨损极限为花纹深度不得小于1 mm;我国相应国家标准规定轿车轮胎花纹磨损极限为1.6 mm,货车、客车轮胎的磨损极限为2 mm,达到极限时应及时更换轮胎。

1.4 轮胎充气压力和负荷

轮胎与路面间附着因数随着轮胎充气压力的减小而略增大,因为在相同垂直负荷的作用下,轮胎充气压力较低,产生的变形量较大,与路面间的接触更充分,附着因数随之增大,但同时由于摩擦产生的热量使轮胎迅速升温并具有较高的摩擦因数,在车辆行驶过程中耗散能量用于克服滚动阻力。

轮胎负荷对附着因数的影响恰与轮胎充气压力的变化相反,在轮胎充气压力一定的情况下,轮胎受到的垂直负荷大,轮胎橡胶变形,导致轮胎与

路面的接触面积增大,附着因数随之增大。因此,轮胎的附着性能随负荷的增大而提高。

1.5 其他因素

子午线轮胎各层帘线强度都可以发挥最大使用效用,从而减少了帘线层数,减小了自身质量;橡胶胎体柔软使轮胎与凹凸不平的路面充分接触,接地压力分布较均匀;胎冠刚度大,减小了与地面间的横向摩擦,滚动阻力相对较小,因此子午线轮胎的附着性能明显优于斜交轮胎。

轮胎的其他特性,如扁平率也会影响轮胎与路面的附着因数。低扁平率轮胎因与路面的接触区域较大,表现出较好的附着性能。

2 车辆行驶速度

当水深一定时,车辆行驶速度增大会使轮胎的附着性能变差。杨军等^[11]对比分析了干燥和潮湿路面条件下,轮胎附着因数随着车辆行驶速度变化的趋势。在干燥路面上,轮胎与路面间的附着因数随行驶速度的增大而略微下降,达到一定值后趋于稳定;在有积水的路面上,附着因数随行驶速度的增大呈现明显降低的趋势。因为随着行驶速度的增大,存在于间隙中的积水无法顺利排挤出来,继续残留在轮胎表面产生流体动水压力,破坏轮胎与路面在垂直方向上原有的二力平衡;并且行驶速度越大,流体产生的压力作用越大,足以将轮胎抬离地面,导致轮胎与路面实际接触面积减小。当车速超过某一限定值时,轮胎将完全上浮于水膜表面而与路面脱离,此时轮胎的附着性能丧失,对行车安全有很大危害。因此,车辆行驶速度是轮胎湿附着性能的显著影响因素。

3 水膜厚度

雨天在道路表面形成的积水厚度对轮胎的附着性能产生一定程度的影响。存在于轮胎与路面间的水流,一方面由于轮胎带动产生流体动压力,车速较大时足以将轮胎部分或全部抬升,减小胎面与地面的接触面积;另一方面水流扮演润滑剂,减小行驶过程中的摩擦阻力。这两方面的综合作用使轮胎湿附着性能变差^[11]。

周海超等^[10]研究了胎面所受动水压力与水膜厚度间的相关性,结果表明,在车速一定时,水膜

厚度影响水流的运动,当水膜厚度小于花纹沟深度时,动水压力增长较为迅速;当水膜厚度等于或大于花纹深度时,动水压力则增长缓慢。这主要是因为当水膜厚度小于花纹深度时,接地前端区域内的水流会流向纵向花纹沟,能较为通畅地排出;当水膜厚度接近或大于花纹沟深度时,水流则主要是通过胎侧处排出,受花纹沟排水能力的影响,大部分水流聚集形成积水产生动水压力,影响轮胎的附着性能。季天剑等^[12]运用回归算法,得到了湿润条件下路面附着因数随积水厚度和行车速度变化的回归表达式,证明了车速较低时,附着因数的变化主要受路面积水深度的影响;但在高速行驶时,速度变化造成的影响更为显著。

4 环境

4.1 道路结构

现代道路构造设计反映了路面抗湿滑性能的优劣,影响轮胎与路面的附着性能,路面特性包括表面微观结构和宏观结构。

路面的微观结构主要指集料砂石、沥青等微观形状及颗粒大小的特性。路面微观结构是路面摩擦力大小的决定性因素,表面粗糙度越大,越能为轮胎提供良好的粘附力,增强其抗湿滑性能。宏观结构常用构造深度来表征,构造深度越大,轮胎与地面的附着因数也越大;当构造深度超过某一限定值后,附着因数将不会发生变化。因为轮胎橡胶部分在负荷作用下产生的变形量可以包裹路面的凸出物,凸出物较小时,橡胶则可以完全包裹凸出物,且轮胎在凸出物处产生的最大压力随着凸出物高度的增大而增大,故其附着性能有所改善。当凸出物高度过大时,橡胶只能部分包裹凸出物,凸出物高度的变化对轮胎不再产生任何影响,轮胎的附着性能保持恒定。在湿滑路面上时,较大的构造深度不仅可以提供内部排水通道,有利于排挤轮胎间隙中水流;还为受压的水提供排泄通道,减小路面积水对轮胎的动水压力,提高轮胎的附着性能。一般构造深度以等于或大于1.5 mm为宜,日本道路经常使用沥青面层,其面层混合料的空隙率为15%~25%,路面上存在的积水可以通过沥青混合料的内部空隙排出,有效减

小了路面的水膜厚度,提高了车辆的附着性能,雨天行车也较安全。在沥青路面设计时,一方面可以适当增大路面构造深度,另一方面可以加大路面横坡坡度,提高排水能力,缩短路面积水时间,从而保证轮胎与路面充分接触,提高轮胎的抗滑性能。

4.2 水膜中固体颗粒

路面清洁程度随周边环境及人为因素等的影响而不断变化,如路面时常覆盖有砂砾、油渍及泥土等杂质,形成的水膜中必然会含有大量其他固体颗粒。这些物质的存在不仅会改变液体的粘度和温度等物理特性,而且会影响轮胎与路面接触区域轮胎的受力和变形,进而对轮胎的附着性能造成影响。徐新泉等^[13]同时考虑流体的动压和挤压效应,依据流体动力润滑理论,建立了轮胎与路面发生滑水现象的平均流量数值模型,综合考虑液体中固体颗粒对粘度的影响。研究表明,液体中固体颗粒体积分数的对数对轮胎胎面单元的附着性能有重要影响。车辆行驶于湿滑路面时,接触区域的液膜厚度不断减小,液膜中固体颗粒体积分数越大,轮胎穿过液膜与路面接触的时间越长,胎面的湿附着性能越差,而且在负荷越小的情况下,这种影响越为显著。因此减小液体中固体颗粒浓度有助于提高轮胎的湿附着性能。

5 结语

车辆行驶于湿滑路面上,轮胎能否表现出良好的附着性能并不仅受单一变量的影响,而是多方面因素共同作用的结果。研究这些影响因素与轮胎附着性能的内在关系,对于改善轮胎在湿滑路上的附着性能、保障雨天安全行车有重要参考价值。为降低轮胎滑水发生几率,可以从轮胎和道路两方面提出改进措施:(1)对于轮胎,要根据车辆的不同行驶工况,选用不同材料和结构的轮胎;可以通过增大轮胎接地区花纹沟空间以及胎面花纹深度来改善胎面的排水能力;阴雨天驾驶时应降低行车速度。(2)对于道路环境,可以改善路面纹理构造、增大构造深度、提高路面坡度,以增强路面的排水功能,有效减小路面水膜厚度;同时保持路面清洁,降低水膜中固体杂质颗粒对轮

胎附着性能的影响。

参考文献:

- [1] 李文强,韩非,傅剑华. 基于欧盟法规要求的轮胎湿地抓着性能试验与分析[J]. 汽车与配件,2013,15(4):44-45.
- [2] Araujo V M C, Branco V T F C. Measuring Skid Resistance of Hot Mix Asphalt Using the Aggregate Image Measurement System (AIMS)[J]. Construction and Building Material,2015,98(15):476-481.
- [3] Wang D W, Chen X H, Oeser M, et al. Study of Micro-texture and Skid Resistance Change of Granite Slabs During the Polishing with the Aachen Polishing Machine[J]. Wear,2014,318(1-2):1-11.
- [4] 韩秀枝,何雪涛,杨卫民. 轮胎水滑特性的研究进展[J]. 轮胎工业,2010,30(7):387-391.
- [5] 王元霞. 轮胎胎面胶抗湿滑性能及其机理的研究[D]. 北京:北京化工大学,2011.
- [6] 牟守勇,程利,姜萍,等. SBR改善胎面胶动态力学性能的研究[J]. 特种橡胶制品,2009,30(3):20-24.
- [7] 陶燕春,孙钰,吴友平. 白炭黑补强高乙烯基溶聚丁苯橡胶的性能研究[J]. 橡胶工业,2018,65(1):20-24.
- [8] 王梦蛟. 填料对轮胎抗湿滑性能的影响:填料-弹性体相互作用对水润滑性能的影响[J]. 世界橡胶工业,2013,40(3):7-12.
- [9] 张彦辉,刘小君,王伟,等. 潮湿路面上胎面花纹对轮胎附着性能的影响[J]. 农业工程学报,2007,23(6):33-38.
- [10] 周海超,陈磊,翟辉辉,等. 基于CFD的轮胎滑水及其性能影响因素分析[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版),2017,36(1):110-116.
- [11] 杨军,王昊鹏,吴琦. 潮湿沥青路面抗滑性能数值模拟[J]. 长安大学学报(自然科学版),2016,36(3):25-32.
- [12] 季天剑,黄晓明,刘清泉. 部分滑水对路面附着因数的影响[J]. 交通运输工程学报,2003,3(4):10-12.
- [13] 徐新泉,刘伟,刘琨. 湿滑路面上固体颗粒对轮胎附着性能的影响[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版),2012,35(2):149-152,229.

收稿日期:2019-06-15

住友橡胶轮胎业务利润大减

住友橡胶工业近日公布的业绩统计数据显示,2019年上半年,该公司实现销售额4 292.79亿日元,同比增长0.9%;营业利润164.82亿日元,同比减少38.7%;净利润63.22亿日元,同比减少55.5%。业绩数据表明,收入微增而利润大减。

住友橡胶首席执行官兼总裁山本悟指出,虽然生胶价格持续走低,但是石油系列的原材料价格上涨,影响到利润的增长。此外,汇兑方面,日元对欧元及新兴国家货币升值,成为主打产品轮胎业务利润减少的主要原因。另一方面,虽然销售环境严峻,在海外市场与其他公司的竞争日趋激烈,但总体上仍在预期范围内。

影响营业利润的主要因素包括由于生胶价格下跌造成原材料价格联动性降价,新兴国家人力成本高涨,北美、南非、土耳其等地生产能力扩大等。

由于交车型增多、市场份额上升以及以低油耗轮胎为中心高附加值商品销售量增大,新车轮胎销售量增大,销售收入超去年同期水平。国内市场销售的轮胎,由于年初冬季轮胎销售不畅,销售量低于去年同期,销售收入也低于去年同期。另一方面,由于欧洲、北美及新兴国家新车交货量的增大等,海外新车轮胎的销售收入超去年同期。海外市场轮胎销售则因中国经济增

速放缓受到影响。不过,欧洲市场法尔肯品牌轮胎的销售顺畅,北美市场四轮驱动和SUV轮胎的销售有所增长。

该公司对全年业绩的预测与此前的预期没有发生变化。预计销售收入9 200亿日元,同比增长2.9%;营业利润560亿日元,同比减少7.7%;净利润340亿日元,同比减少6.2%。

(摘自《中国化工报》,2019-09-16)

一种轮胎成型胶囊及其制造方法

由浦林成山(山东)轮胎有限公司申请的专利(公开号 CN 109968705A,公开日期 2019-07-05)“一种轮胎成型胶囊及其制造方法”,涉及的轮胎成型胶囊包括囊体、过渡层和顶层,过渡层与囊体固定连接,顶层与过渡层固定连接。本发明采用混炼型聚氨酯制作轮胎成型胶囊,胶囊的耐磨性能和抗撕裂性能较好,不易出现早期磨损,使用寿命更长,提高了设备利用率,降低了设备维修人员的劳动强度,提高了企业生产效率和经济效益。混炼型聚氨酯与胎坯胶料之间的摩擦力较大,可以减少轮胎成型抽口问题,保证成型质量。过渡层增强顶层与囊体的粘合性,轮胎成型胶囊不易出现早期脱层掉块,胶囊厚度不变,胎圈整周受力均匀,延长了胶囊的使用寿命。

(本刊编辑部 储 民)