

乘用车轮胎水滑性能测试及影响因子分析

张勇

(青岛双星轮胎工业有限公司, 山东 青岛 266400)

摘要: 本文主要介绍了乘用车轮胎不同的水滑性能测试方法及结果对比, 同时介绍了花纹设计对水滑现象的影响及其它因子。结果表明, 水滑测试采用不同方法, 所得到的测试结果都非常接近; 在湿路上行驶时, 为防止水滑现象, 需要减速; 提升充气压力有助于接地良好, 可以防止水滑现象的产生; 轮胎设计时, 应充分考虑花纹沟深、海陆比、横沟设计、沟槽断面等因子。

关键词: 水滑; 沟槽; 速度; 接地形象; 水膜

中图分类号: TQ336.1

文献标识码: B

文章编号: 1009-797X(2025)04-0058-07

DOI: 10.13520/j.cnki.rpte.2025.04.013

车辆高速通过积水道路时, 如果轮胎不能将积水排出, 这时车辆的均衡性就会被打破, 导致车轮浮在水膜上, 轮胎的受力就会发生变化, 方向盘变得不起作用, 进而丧失接地力, 这就是水滑现象。水滑现象是由于路面和轮胎之间的水压形成的升力而使轮胎失去牵引力, 会导致车辆的制动和操控性能失灵, 尤其在夏天雨季, 交通事故多是由于雨水路面造成, 由于水膜的作用, 轮胎与路面间的摩擦系数会下降, 进而出现滑水。所以说, 只有地面出现积水, 才有可能出现水滑。

水滑现象不仅与汽车的速度有关, 而且与轮胎自身性能有着密切的关系。需要注意的是, ABS 的功能是确保车辆的稳定性, 如果车辆打开 ABS, 很多时候可能会感觉不到水滑的影响。由于轮胎花纹直接与路面接触, 其性能对水膜现象有很大影响。

1 水滑的产生原理

1.1 由积水深度引起

车辆在积水路面行驶时, 轮胎花纹沟槽具有排水的作用, 如果花纹沟槽不能有效的把水排出, 那么轮胎受到水压就会被抬起, 进而出现水滑。尤其当积水深度大于花纹沟深度时更容易出现水滑, 因此, 轮胎在磨损之后水滑性能就会越来越差。

1.2 由车辆速度和加速度引起

随着车辆行驶速度逐渐增大, 轮胎受路面支持作用逐渐减小, 轮胎最大接触压力区域从路面的接触区域向楔形水膜接触区域转移。在逐渐发生水滑的过程

中, 轮胎与路面的接触区域从完全接触区域向完全上浮区域转变, 当路面法向支持力为零时, 发生的水滑就称为临界水滑^[1]。

当车速达到 80 km/h 以上时容易发生水滑, 当然根据不同的轮胎气压和道路状态会略有差异。一般道路的速度较低, 水滑的发生率也低, 但在高速公路上行驶 80km/h 以上时水滑的发生率较高。

另外, 随着轮胎的磨损, 花纹沟深越来越浅, 即便在低速的情况下也有可能发生水滑, 尤其是加速度引起的速度差异。需要注意的是, 车辆在加速的情况下, 未发生水滑时, 车速会增加, 但发生水滑后, 车速会降低, 但车辆前轮一旦抬起, 就是一个非常危险的状态。

2 水滑性能测试

2.1 水滑的试验方法

在欧洲, 水滑测试是轮胎测试中的重点项目之一, 参照德国汽车协会和欧洲有关的测试方法, 可以分为滑行法 (Slip) 和加速度法 (Acceleration); 根据涉水情况可以分为整车涉水法 (Full Bath) 和半侧涉水法 (Half Bath)。水滑测试时要求风速 $\leq 10\text{m/s}$; 纵向水滑的水深一般 (7~10) mm, 侧向水滑 (6~8) mm; 电子稳定控制系统建议关闭, 除非车厂要求开启。

作者简介: 张勇 (1975-), 男, 正高级工程师, 硕士, 现任双星集团中央研究院副所长, 参加的项目曾获“青岛市科学技术进步奖 (三等奖)”、“石油和化工行业技术发明二等奖”。

2.1.1 纵向水滑性能应注意

(1) 测试完试验轮胎, 需要重复测试参考轮胎, 以确认测试条件的稳定性。

(2) 在数据没有修正的情况下, 参考轮胎第一次测试结果为 R_1 , 第二次测试结果为 R_2 , 如果 $|R_2 - R_1|/R_1 > 3\%$, 则需要重新测试。

(3) 每一轮测试轮胎的试验程序应相同, 如启动速度、速度步骤等。

(4) 测试应使用尽可能高的档位, 以减少测量中施加在车轮上的扭矩。

(5) 在测量过程中, 最小滑移率应为 20%, 出于安全原因, 如果在 120 km/h 仍然未出现水滑, 应停止试验。

2.1.2 侧向水滑性能应注意

(1) 在数据没有修正的情况下, 对于夏季轮胎而言, 如果参考轮胎 $|R_2 - R_1|/R_1 > 5\%$, 需要重新测试。对于冬季轮胎而言, 如果参考轮胎 $|R_2 - R_1|/R_1 > 8\%$, 需要重新测试。

(2) 进入测试区域的速度 = 50 km/h 或更低, 并以 $V=5$ km/h 为步长增加速度, 速度超过 100 km/h 时, 应停止试验。

2.2 水滑测试研究

(1) 无论是采用滑行法 (Slip), 还是采用加速度法 (Acceleration), 欧洲相关机构对两种方法测试结果进行了统计, 得到相关性系数 $R_2=98\%$, 相关性非常高。因此, 采用滑行法和加速度法所得到的测试结果基本一致。

(2) 不同的试验场水深不同, 有的试验场水深 6 mm, 有的试验场水深 8 mm。欧洲相关机构对不同水深试验场的测试结果进行了统计, 得到相关性系数 $R_2=86\%$, 相关性比较高。因此, 使用不同的试验场, 尽管水深不同, 所得到的测试结果不会有太大差异。

(3) 欧洲相关机构对整车涉水 (Full Bath) 和半侧涉水 (Half Bath) 不同试验方法的测试结果进行了统计, 得到相关性系数 $R_2=71\%$, 相关性也相对较高。因此, 无论是使用整车涉水还是半侧涉水, 所得到的测试结果差异也不大。

(4) 根据欧洲相关机构的统计, 分析不同类型轮胎的水滑的试验结果, 发生水滑时的速度, 夏季胎 (88.75 km/h) > 四季胎 (77.46 km/h) > 冬季胎 (75.70 km/h)。

(5) 夏季胎、四季胎、冬季胎不同断面宽轮胎发

生水滑时的速度见图 1、图 2 和图 3 所示。可以看出, 不同的花纹类型, 不同的断面宽轮胎, 发生水滑时的速度还是相差较大的, 如断面宽为 205 的轮胎, 发生水滑的速度, 夏季轮胎为 80 km/h, 四季胎为 77 km/h。但不论什么类型的轮胎, 出现水滑的速度集中在 (60~100) km/h。

a. 夏季轮胎

发生水滑时的速度对比图见图 1。

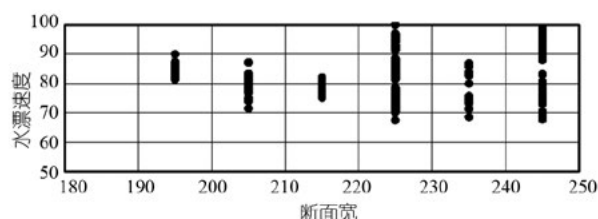


图 1 夏季胎不同断面宽轮胎发生水滑时的速度对比图

b. 四季胎

不同断面宽轮胎发生水滑时的速度对比图见图 2。

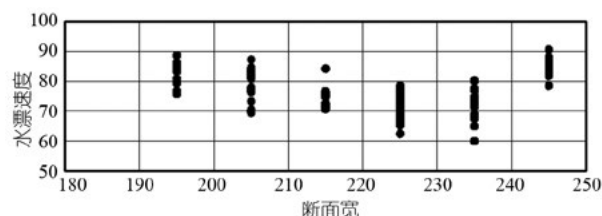


图 2 四季胎不同断面宽轮胎发生水滑时的速度对比图

c. 冬季胎

不同断面宽轮胎发生水滑时的速度对比图见图 3。

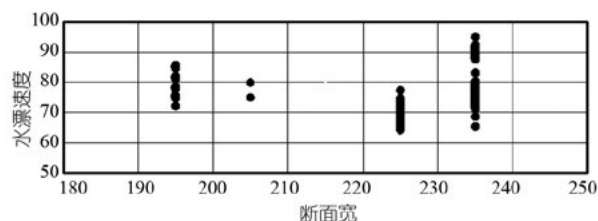


图 3 冬季胎不同断面宽轮胎发生水滑时的速度对比图

2.3 水滑测试准备

2.3.1 场地

烟台 IDIADA 测试场地数据:

(1) 纵向水滑测试路面水深 (7~10) mm, 长度 ≥ 20 m, 宽度 ≥ 0.45 m。

(2) 侧向水滑的试验使用湿圆环测试道路, 路面半径为 (95~120) m, 宽度 7 m, 长度 ≥ 20 m, 水深 (6~8) mm。

2.3.2 车辆及仪器

(1) 测试车辆: 东风风神 AEOLUS。

(2) 滑移传感器，安装在前左轮位，用于测量前轮轮速和车速的装置。

(3) 加速度传感器，位置尽量靠近车辆重心。

(4) V_{Box} 。

2.3.3 数据

参考 VDA 测试方法。

(1) 纵向水滑：测量车速及前轮速度，水滑的速度定义为滑移率为 15% 时对应的车速。

(2) 侧向水滑：测量入口速度及车辆完全在测试区域中行驶时的侧向加速度 A 。积分计算在 $V=50$ km/h 到 $V(A_{max}-60\%)$ 中的侧向加速度 A 。

2.4 测试数据

2.4.1 不同测试方式数据对比 - 纵向水滑

表 1 说明，全力加速 & 整车涉水的测试结果低于整体水平，均匀加速的测试结果较高。

表 1 不同测试方式数据对比表

测试方式	第一次 /m	第二次 /m	第三次 /m	第四次 /m	平均值 /m
匀加速 & 整车涉水	75.2→73.9	75.3→71.7	75.5→73.9	-	73.2
全力加速 & 整车涉水	70.8→70.9	70.8→70.4	71.5→70.8	71.1→70.4	70.6
匀加速 & 半侧涉水	70.8→74.1	70.7→73.9	69.4→73.5	69.6→74.3	74.0
全力加速 & 半侧涉水	70.2→73.0	70.9→73.0	70.0→72.8	70.9→72.1	72.7

2.4.2 不同轮胎花纹测试 - 纵向水滑

表 2 说明，纵向水滑性能：夏季胎 > 四季胎 > 冬季胎。另外，夏季轮胎两次测试数据差异为

$(78.6\sim 77.2)/78.6=1.8\%$ ，小于 3%。注：水滑数据在 3% 以内可以接受。

表 2 不同轮胎花纹纵向水滑数据对比表

测试方式	第一次 /m	第二次 /m	第三次 /m	第四次 /m	平均值 /m
匀加速 & 半侧涉水					
夏季胎花纹	78.6	78.7	78.2	78.7	78.6
四季胎花纹	76.0	76.4	75.3	75.6	75.8
冬季胎花纹	70.4	70.7	71.1	70.7	70.7
夏季胎花纹第二次测试	77.0	76.7	77.4	77.5	77.2

2.4.3 不同测试条件下对比图

选用夏季胎花纹进行不同条件的纵向水滑测试，对比如下：

2.4.3.1 整车涉水、匀加速

图 4 说明，整车涉水、匀加速方式出现水滑时，轮速由 74.7 km/h 左右增加到 84.5 km/h 左右，同时滑移率增加，车速由 75.1 km/h 左右降至 73.9 km/h。

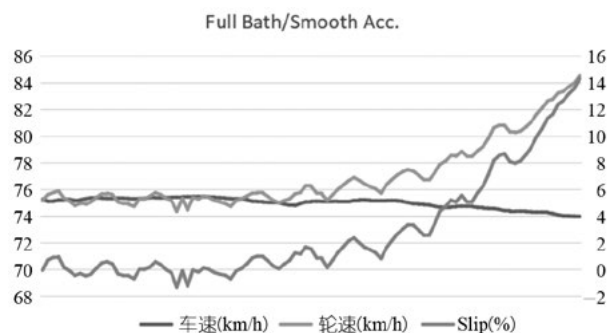


图 4 整车涉水、匀加速下车速、轮速及滑移率变化图

2.4.3.2 整车涉水、全力加速

图 5 说明，整车涉水、全力加速方式出现水滑时，轮速由 70.4 km/h 左右增加到 81.6 km/h，同时滑移率增加，车速维持在 (70.8~71.4) km/h 之间。

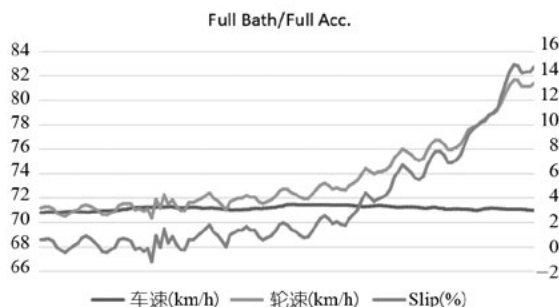


图 5 整车涉水、全力加速下车速、轮速及滑移率变化图

2.4.3.3 半侧涉水、匀加速

图 6 说明，半侧涉水、匀加速方式出现水滑时，轮速是逐步提升的过程，由 70.1 km/h 提高到 86.9 km/h，轮速数值波动相对车速较大，车速是缓慢提升的过程，由 70.1 km/h 提高到 76.1 km/h，同时滑移率增加。

2.4.3.4 半侧涉水、全力加速

图 7 说明，半侧涉水、全力加速方式出现水滑时，轮速是逐步提升的过程，由 69.5 km/h 提高到 86.1 km/h，轮速数值波动相对车速较大，车速是缓慢提升的过程，由 69.7 km/h 提高到 75.6 km/h，同时滑移率增加。

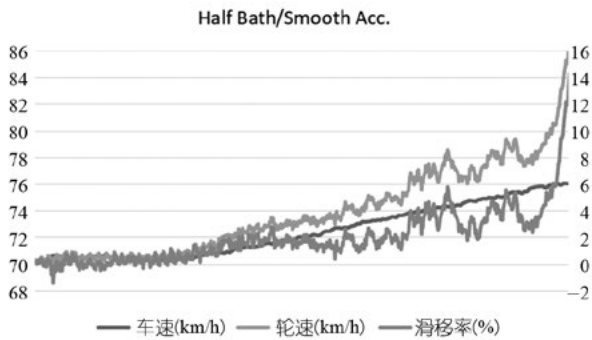


图6 半侧涉水、匀加速下车速、轮速及滑移率变化图

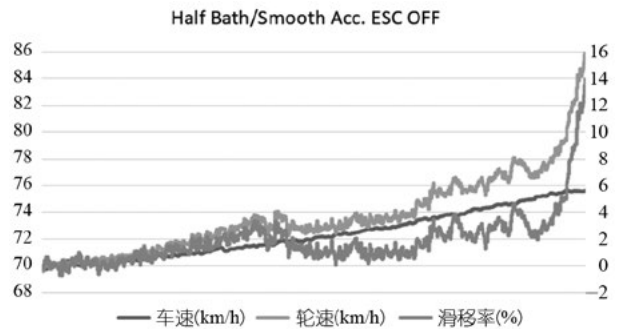


图9 ESC 关的条件下车速、轮速及滑移率变化图

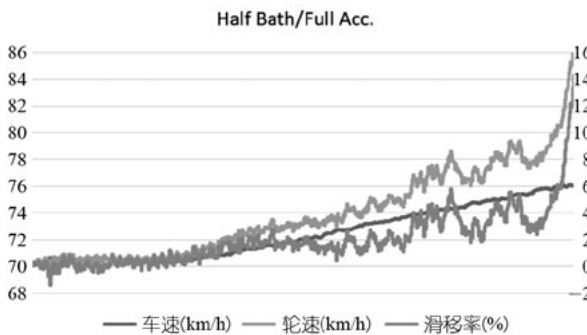


图7 半侧涉水、全力加速下车速、轮速及滑移率变化图

2.4.4 ESC 开 / 关的状态对水滑的影响对比

选用以上夏季胎花纹进行半侧涉水、匀加速的测试，对比如下：

2.4.4.1 ESC 开的状态

图8说明，ESC开的状态下，轮速是逐步提升的过程，由70.2 km/h提高到85.1 km/h，但轮速和滑移率非常不稳定，尤其在后半段波动非常大。

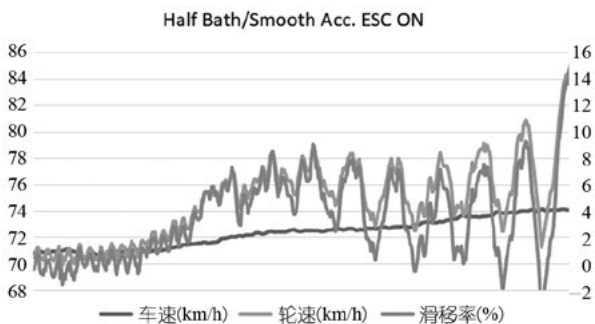


图8 ESC 开的条件下车速、轮速及滑移率变化图

2.4.4.2 ESC 关的状态

图9说明，ESC关的状态下，轮速是逐步提升的过程，由69.5 km/h提高到86.1 km/h，轮速及滑移率相对ESC开的状态下比较稳定，因此，水滑测试时，应选择ESC关闭状态。

3 提升水滑性能的轮胎花纹设计方法

阴雨天时汽车发生交通事故的频率要比平常高很多，这是因为：

(1) 轮胎与路面间的摩擦系数减小。

(2) 轮胎出现了水滑现象。由此看来，雨天安全行车已成为交通安全中不容忽视的一个问题。

轮胎花纹的设计对水滑现象有很大影响，为提升轮胎的水滑性能，花纹设计时可以采用不同的设计技术，包括海陆比(NG%)、横沟设计、沟槽断面设计和钢片设计。从全球的相关专利技术动向来看，其中海陆比占24%，横向沟槽占33%，沟槽断面占38%，钢片占5%，花纹沟槽断面设计的应用最广，影响最大。

提升水滑性能的花纹设计注意要点总结如下：

3.1 海陆比(NG%)设计

3.1.1 对称性花纹

图10看出，对于对称性花纹，胎肩部位花纹设计时A区要比中心部位B区海陆比要小。

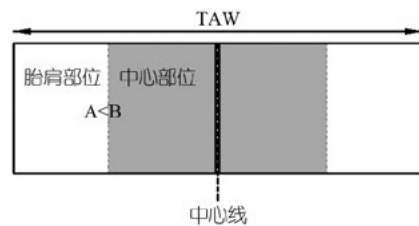


图10 对称花纹 NG% 设计示意图

3.1.2 非对称性花纹

图11看出，对于非对称性花纹，外侧A区花纹设计时要比内侧B区海陆比NG%要高。

3.2 横沟设计

3.2.1 横沟角度

图12看出，中心部位 θ_1 的角度应设计在(60°~70°)，胎肩部位 θ_2 的角度应在(75°~85°)。需要注意的是， θ_1 在70°以上时，噪声会上升，在60°

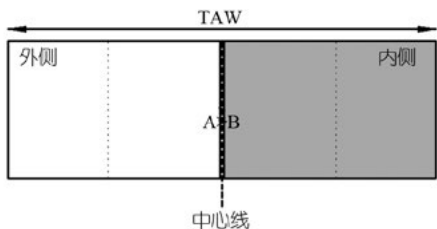


图 11 非对称花纹 NG% 设计示意图

以下时，排水性能会降低。

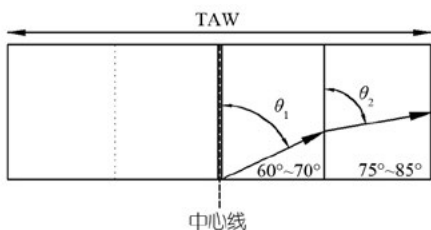


图 12 横沟角度设计示意图

3.2.2 横沟宽度

图 13 看出，根据流体力学实验性传播性能的理论，说明花纹沟越往轮胎肩部方向，应设计的越宽。

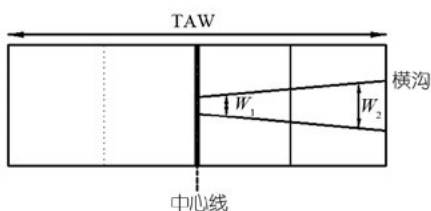


图 13 横沟宽度设计示意图

3.2.3 横沟最大宽度位置

设计横沟时，最大沟宽应设计在 TAW 中心线 (40%~60%) 的位置，如图 14 所示。

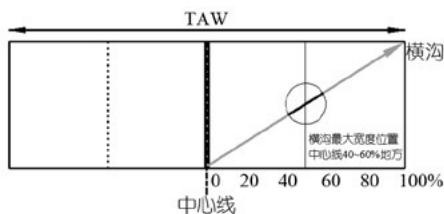


图 14 横沟最大宽度位置示意图

在进行横向沟槽胎面花纹轮胎设计时，采用带有倾斜的横向沟槽花纹有利于轮胎排水，并且发现横向花纹沟的个数对轮胎水滑性能影响不大，其花纹沟体积对轮胎的水滑性能有显著影响，增大单个花纹沟体积有利于提升轮胎水滑性能^[2]。

3.3 沟槽断面设计

3.3.1 肩部主沟槽角度设计

图 15 看出，沟槽 $\theta_2 > \theta_1$ ，即中心方向的沟槽斜

壁的角度设计较大。一般 $\theta_1 = (5^\circ\sim 25^\circ)$ ， L = 胎面整体宽度的 (5%~12%)， D = 胎面整体厚度的 (78%~100%)。

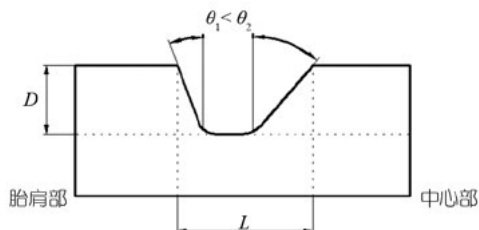


图 15 肩部主沟槽角度设计示意

3.3.2 主沟沟底凸起设计

图 16 看出，为强化湿地牵引力，在主沟沟槽的长度方向上设计凸起，通过水的直流作用形成涡流，提升排水性能。凸起的倾斜角度为 ($10^\circ\sim 60^\circ$)，高度为 0.3 mm 以上，节间距为 1.5~8 mm。

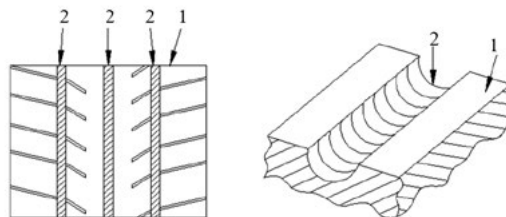


图 16 主沟沟底凸起设计示意

对于纵沟花纹的设计来说，在沟槽总体积相同的情况，可以减少花纹沟的个数，增大单个花纹沟的体积可以很好地优化轮胎的滑水性能，并且有无弯折及弯折的大小对于纵沟花纹滑水性能也有很大的影响^[3]。

3.3.3 横沟末端沟底倾斜 / 圆滑设计

圆滑设计利于确保优秀的水滑性能，设计时可参考 $L_1/L_2=1/2.3$ ，如图 17 所示。

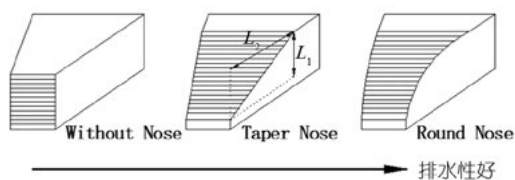


图 17 横沟末端沟底倾斜 / 圆滑设计示意

3.4 其他

在花纹主沟槽整个宽度相同时，三道主沟轮胎的水滑性能要优于四道主沟轮胎，即中心部位有花纹沟的轮胎水滑更有利。

具有复杂花纹轮胎在湿滑路面上行驶时比只带有纵向花纹的轮胎更有优势，水滑性能会更好。在标准工况下，排水能力由大到小的顺序为纵向沟槽花纹轮

胎、正向 V 形花纹轮胎、反向 V 形花纹轮胎、纵向 S 形花纹轮胎、横向 S 形花纹轮胎^[1]。

胎面圆弧半径小、行驶面宽度小的措施均有利于轮胎的水滑性能。圆的接地印痕形状有利于确保优秀的水滑性能,接地长度长,宽度窄,更有利于水滑性能。气压越低,越容易出现水滑,气压上升时轮胎接地率上升,可以防止水滑的发生。气压上升时水滑现象是非线性的,研究表明,轮胎气压增加 20%,水滑性能提高 3% 左右,气压降低 20%,水滑性能降低 9% 左右。载重提高,水滑性能越好,载重的变化与水滑现象基本上是线性的。另外,选择与橡胶相容性良好的功能树脂,也可以改善水滑性能。

在日本东北地区和北美的部分城市,为增强路面排水能力,减少水膜效应,提高行车安全性,常在高速公路面上铺设与机车同方向的沟槽。当机车的轮胎花纹沟槽与路面排水沟槽接触时,会在机车的横向产生相互作用力,直接影响机车的操控性以及驾驶者、乘坐者的舒适性,这被称为“Groove Wander”现象^[3]。如果公路上的沟槽与胎面设计沟槽对齐,车辆就会出现左右摆动,使驾驶员不舒服。为了尽量减少这种现象,应改变胎面花纹沟间距或减少花纹沟数量。

4 总结

4.1 水滑测试方法

(1) 水滑测试无论采用什么方法,尽管试验场水深不同,尽管车辆出现水滑的速度点不同,然而,所得到的测试结果都非常接近。研究水滑性能,有助于提升轮胎在湿路面的安全性能,通过研究和借鉴欧洲成熟的水滑测试方法,可以逐步找到一套适合国内的

测试方法。

4.2 水滑的应对措施

(1) 减速:在湿路上行驶时,为防止出现水滑现象,需要减速,为确保安全行驶,与安全速度相比,建议再降速 20% 以上。

(2) 充气压力合适:轮胎气压保持适度水平,提升 10% 的充气压力有助于轮胎接地良好,可以一定程度上防止水滑现象的产生。

(3) 花纹沟深度:水深高于花纹沟深度时,则排水困难,所以轮胎设计时,应充分考虑花纹沟深度。对于花纹沟深度设计较浅的轮胎或磨损的轮胎,应特别注意涉水行驶时的安全性。提升水滑性能的花纹设计方法主要考虑的是花纹主沟深度、海陆比 (NG%)、横沟设计、沟槽断面等因子。

(4) 在 ESC 打开情况下,滑移率波动较大,ESC 关闭状态下,滑移率比较平缓,因此,水滑测试时,应尽量选择 ESC 关闭状态。

4.3 湿滑性能和水滑性能

湿滑性能主要研究湿地的制动性能,湿滑性能和水滑性能两者具有一定的相关性,但湿滑性能侧重于花纹和配方的研究,而水滑性能除了要考虑花纹和配方之外,更多的还要考虑接地印痕的形状。

参考文献:

- [1] 孔熙林,卢京,王新宇,等.不同花纹轮胎水滑特性分析[J].橡胶工业,2019,66(11):809-813.
- [2] 应莲花,刘松,葛华辉,等.基于 ABAQUS 的轮胎水滑仿真分析[J].轮胎工业,2017,37(10):579.
- [3] 胡长旭,王慎平,周洁,等.子午线轮胎 Groove Wander 问题影响因素探究[J].轮胎工业,2017,37(06).

Passenger car tire hydroplaning performance testing and influencing factor analysis

Zhang Yong

(Qingdao Double Star Tire Industry Co. LTD., Qingdao 266400, Shandong, China)

Abstract: This article discusses in detail the different testing methods and results comparison of the hydroplaning performance of passenger car tires, and analyzes the influence of pattern design on water sliding phenomenon and other related factors. The research results indicate that the hydroplaning performance data obtained by different testing methods are highly consistent; When driving on wet and slippery roads, it is necessary to slow down appropriately to avoid water slippage; Increasing tire inflation pressure helps to enhance grounding performance, effectively preventing the occurrence of hydroplaning;

In the tire design process, factors such as groove depth, water-path ratio, cross groove design, and groove cross-section should be comprehensively considered.

Key words: hydroplaning performance; groove; speed; footprint; water film

(R-03)



研究人员开发了一种聚氨酯黏合剂，可实现标签的无残留去除

Researchers have developed a polyurethane adhesive that can achieve residue free removal of labels

英国雷丁大学的化学家与多米诺印刷科学公司（Domino Printing Sciences）合作，开发了一种新型聚氨酯黏合剂，可以干净地去除标签。该黏合剂有助于生产出质量更好的再生塑料。

用于将标签黏贴到塑料瓶上的黏合剂通常会留下残留物，从而限制了瓶子的回收选择。这种新型聚合物黏合剂在用碱处理时会分解。虽然标签在正常使用过程中会黏在瓶子上，但在回收过程中，它们很容易地与黏合剂一起被移除。

这种聚氨酯黏合剂含有磺酰基乙基氨基甲酸酯作为扩链剂，据称，当暴露在包括碱在内的某些物质中时，它会起到化学开关的作用。在测试中，用四丁基氟化铵溶液处理这种聚氨酯黏合剂时会引发扩链剂的分解，导致其在一系列不同表面上失去 2/3 的黏附力。

经测试，这种新型聚氨酯黏合剂在不同温度下在玻璃和铝表面上都具有足够的强度，使其适用于食品容器、运输包装、电子电器等各种用途。

通过在回收过程中更容易分离不同的材料，可以显著提高回收材料的质量。这可以减少最终进入垃圾填埋场的废物量。

摘编自“聚氨酯”

天守（福建）超纤科技取得带有加热功能的汽车座椅用超纤绒面皮革专利

Tianshou (Fujian) Microfiber Technology has obtained a patent for microfiber suede leather with heating function for car seats

2025 年 2 月 15 日消息，国家知识产权局信息显示，天守（福建）超纤科技股份有限公司取得一项名为“一种带有加热功能的汽车座椅用超纤绒面皮革”的专利，授权公告号 CN 222473605 U，申请日期为 2024 年 5 月。

专利摘要显示，本申请涉及超纤绒皮革技术领域，且公开了一种带有加热功能的汽车座椅用超纤绒面皮革，包括超纤绒面皮革成型体，所述超纤绒面皮革成型体由位于外部的的气密耐候层，内部的减震接触层、定位隔绝层、隔热保温层和耐热保护层组成；所述耐热保护层位于最底端，所述隔热保温层位于所述耐热保护层的顶部，所述定位隔绝层位于所述隔热保温层的顶部；通过设置减震接触层，通过黏连密封层相连固定的附黏面料层间能够保留缓冲内腔，并且通过外部两组相连固定的气密耐候层限位固定，从而确保软包凸起具有有效的活动空间，软包凸起在受挤压时，可移动至缓冲内腔中，从而在缓冲内腔中挤压两侧的软包凸起，以实现缓冲功能，避免变形失去作用。

摘编自“金融界”

(R-03)

