

轻型载重轮胎耐久性试验分析

邢程, 蔡莹莹

[佳通轮胎(中国)研发中心, 安徽 合肥 230601]

摘要:介绍轮胎耐久性试验机理,重点对比分析中国和美国的轻型载重轮胎耐久性试验标准差异及各自的特点。轮胎生热、垂直方向形变、行驶速度和橡胶老化均会影响其耐久性;耐久性试验可分为室外测试法和室内测试法;中国和美国的轻型载重轮胎耐久性试验测试速度相当,前者的负荷和温度条件更苛刻,充气压力更高,更考验高充气压力时胎肩的耐久性能,后者更考验低充气压力时胎圈的耐久性能;一般轻型载重轮胎需要同时通过中国和美国标准规定的轮胎耐久性测试;可以根据产品性能目标,设计合适的耐久性试验条件进行验证。

关键词:轻型载重轮胎;耐久性能;试验标准;有限元分析

中图分类号:U463.341⁺.3;O241.82

文献标志码:A

文章编号:1006-8171(2023)07-0436-05

DOI:10.12135/j.issn.1006-8171.2023.07.0436



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

随着城市物流的快速发展,轻型载重汽车的使用越来越广泛,城市货运业务主要由中小型面包车、小型厢式货车、小型平板车等承接,他们承担着城市中大部分的运输功能。由于城市轻型载重汽车复杂的使用工况,其对轮胎有着更严格的要求,特别是对轮胎的耐久性能^[1-2]。

世界各国对于载重汽车的分级方法和标准不尽相同。中国的载货汽车是按载质量和车长分级的,根据GA 802—2008《机动车类型 术语和定义》,将载货汽车分为重型载货汽车、中型载货汽车、轻型载货汽车和微型载货汽车。其中轻型载货汽车的定义为车长不大于6 m、总质量小于4 500 kg的载货汽车,但不包括微型载货汽车、三轮汽车和低速货车。在城市道路上选择轻型载重汽车更经济方便,但是轻型载重汽车运载能力有限,为了一次运送更多的货物,会出现超载的情况,给轮胎的耐久性能带来严峻的考验^[3]。

为了应对这种使用情况,在轮胎设计时需充分了解轮胎的耐久机理,并通过耐久性试验来检验轮胎的耐久性能,以保证轮胎应对苛刻工况。本文主要介绍轮胎耐久性试验机理,重点对比分析中国与美国的轻型载重轮胎耐久性试验标准差

异及各自的特点。

1 轮胎耐久性试验机理

耐久疲劳是轻型载重轮胎常见的损坏原因,轮胎在行驶过程中会受到周期性的加载,长时间过大的应力和应变会使轮胎结构易疲劳,最终导致轮胎损坏。

1.1 生热

生热是轮胎耐久损坏的主要原因,轮胎在运行过程中周期性下沉会产生热量,持续的生热使橡胶抗撕裂性能降低,促进裂纹的产生和增长。在轮胎结构中,橡胶是粘合各个部件的主要材料,因此长时间的高温会使胎体出现脱层,导致轮胎胎侧出现起鼓和气泡。

1.2 垂直方向形变

轮胎垂直方向形变(垂直下沉量)是影响轮胎耐久性能的最基本因素。轮胎负荷增大或充气压力降低都会使下沉量增大,导致轮胎在滚动过程中垂直方向上发生的形变更大,造成更多的机械能损失,最终机械能损失会通过生热表现出来,而热量堆积是造成轮胎损坏的主要原因。

1.3 行驶速度

轮胎行驶速度会直接影响轮胎周期变形的频率,轮胎每次旋转,轮胎径向区域在经过接触区时都会经历一个应力-应变循环。增大周期变形的

作者简介:邢程(1989—),男,安徽合肥人,佳通轮胎(中国)研发中心工程师,学士,主要从事轻型载重轮胎结构设计工作。

E-mail:229402430@qq.com

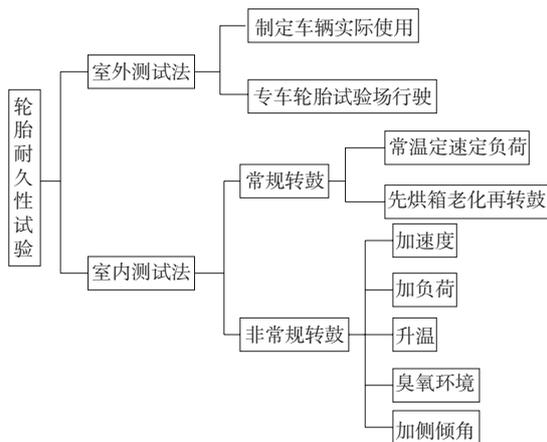
频率会使轮胎产生的热量增加,从而影响轮胎的整体性能,尤其是耐久性能。

1.4 橡胶老化

橡胶属于有机高分子材料,在空气中不可避免地会发生氧化反应。随着使用时间的延长,橡胶会因臭氧、光照等因素而老化,失去最初的高弹性,变得更硬、更脆、更容易出现耐久问题,导致事故的发生^[4]。因此一般汽车厂家都建议4~5年更换轮胎,而不是仅看胎面的磨损程度。因此世界各国都越来越关注轮胎的耐老化性能。

2 轮胎耐久性试验方法

广义上轮胎的耐久性试验很宽泛,可以分为室外测试法和室内测试法,如图1所示。



室外测试法是将轮胎装在车辆上,在路面长距离行驶以检测轮胎的耐久性能,其中又分为试验场测试和实际路面测试。这种测试方法可以反映轮胎最真实的使用情况,但测试周期很长、费用很高,而且为了保证驾驶人员的安全,不能进行极限工况测试。

室内测试法是最常用的检验轮胎耐久性能的方法,通过轮胎转鼓试验机,调整速度、负荷和充气压力,模拟轮胎的不同使用工况。虽然室内测试法的试验结果不能完全反映实际路面行驶效果,但却能比较灵敏地反映轮胎质量的薄弱环节,是检验轮胎寿命的一项重要试验。根据转鼓测试的条件,又分为常规转鼓试验和非常规转鼓试验。对于常规转鼓试验,一般是测试条件恒定,如常温定速定负荷;还有一种是先老化轮胎后进行

转鼓测试,即先将轮胎充入高氧气浓度的气体,然后将轮胎放置于高温烘箱中长期加热,并定时更新高氧气浓度气体,保证轮胎橡胶充分氧化;烘箱老化试验后,再将轮胎放置在转鼓试验机上进行耐久性试验。这种方法是为了模拟轮胎长期使用后,测试轮胎橡胶和结构材料因为氧化反应而导致性能下降之后的耐久性能。

对于非常规转鼓试验,测试条件是变化的,如加速度、加负荷和升温,通过更加严苛的耐久性试验条件,以加快轮胎的损坏,检测轮胎的极限性能。臭氧环境是将轮胎放在一定臭氧浓度的实验箱环境下进行耐久性试验,臭氧会加速轮胎表面的老化,可以检验胎侧龟裂和沟底龟裂。加侧倾角一般用于超低扁平率轮胎的测试,即在转鼓试验时不断变化轮胎的滚动角度,由于此类轮胎虽然负荷指数低,但是行驶时速度高,转弯变向频繁,因此采用此试验以模拟轮胎的使用工况。

国际上轮胎法规一般也会强制性地要求轮胎通过常规转鼓耐久性试验,才可以进行售卖。我国GB/T 4501—2016《载重汽车轮胎性能室内试验方法》规定采用室内高速耐久试验机验证轮胎的耐久性能,满足该试验是胎侧上模刻CCC认证的必要条件之一。美国国家公路交通安全管理局(NHTSA)FMVSS139《轻载车辆用子午线轮胎》对轮胎室内高速耐久性能有强制性规定,满足该规定是胎侧上模刻DOT认证的必要条件之一^[5]。欧洲经济委员会ECR R54《商用测量和挂车用充气轮胎认证的统一规定》没有对轻型载重轮胎的耐久性试验做出要求。

因为欧洲没有强制性轮胎耐久性试验要求,因此本工作主要对比我国GB/T 4501—2016与美国FMVSS139(以下分别简称为国标和美标)的轮胎耐久性试验差别。

国标和美标轮胎耐久性试验条件如表1所示。从表1可以看出,国标和美标轮胎耐久性试验条件并不相同,检测目的也不同。

3 工况对轮胎耐久性试验的影响

3.1 速度

转鼓速度是轮胎耐久性试验的重要影响因素,耐久性试验一般速度都是恒定的,主要是充气

表1 国标和美标轮胎耐久性试验条件

项 目	国标	美标
温度/ $^{\circ}\text{C}$	38	35
行驶速度/ $(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$	120	120
侧偏角/ $^{\circ}$	0	0
最大负荷率/%	115	100
最大充气压力/kPa	标准充气压力	260/200 (6PR), 340/260 (8PR), 410/320 (10PR)
总行驶时间/h	34.0	35.5

压力和负荷的变化。

国标和美标中,轮胎耐久性试验速度都选择 $120 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,这是由于我国高速公路限速是 $120 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,而贯穿美国的洲际公路的速度限值也是 $120 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ [6]。但是两者的一些细则还有差异,例如美标中对于雪地轮胎,测试速度可以减小至 $110 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,国标目前没有这项要求;国标对于牵引型轮胎测试速度可以减小至 $110 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,而美标则没有此要求;对于其他类型的轮胎也会有不同的速度要求,如备胎和缺气保用轮胎的耐久性试验速度为 $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

3.2 充气压力

充气压力是影响轮胎耐久性能的关键因素,这是因为充气压力的大小会直接影响轮胎的下沉量,而且会导致轮胎结构应力分布不同[7]。对比美标和国标可以明显看出,两者充气压力不同,国标充气压力大,美标充气压力小。一般乘用车使用时会比较追求舒适性,轮胎充气压力一般不大;而对于商用车,为了追求更大的承载能力,充气压力会很大,甚至超过胎侧标注的最大充气压力。

以235/65R16C 121/119R 10PR轮胎作为研究对象,选择国标和美标的耐久性试验条件,采用有限元仿真工具模拟两种充气压力下轮胎的应变能密度分布,结果分别如表2以及图2和3所示。

通过对比有限元分析结果可知:在同等负荷

表2 235/65R16C 121/119R 10PR轮胎应变能密度的有限元模拟分析结果

项 目	国标	美标
充气压力/kPa	575	320
负荷/kg	1 450	1 450
肩部最大应变能密度/ $(\text{MJ} \cdot \text{m}^{-3})$	1 000	524
胎圈最大应变能密度/ $(\text{MJ} \cdot \text{m}^{-3})$	561	1 000

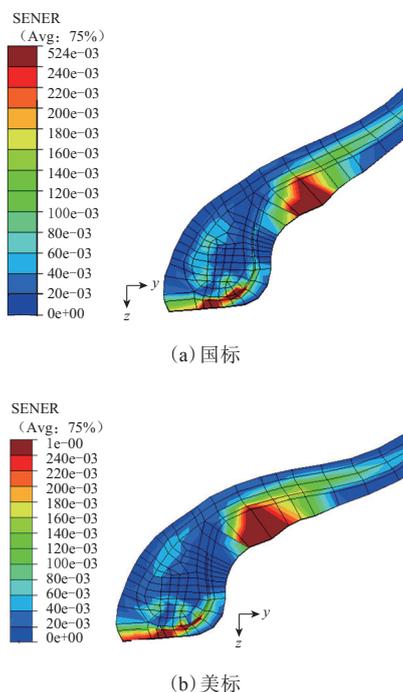


图2 国标和美标充气压力下轮胎胎圈应变能密度分布

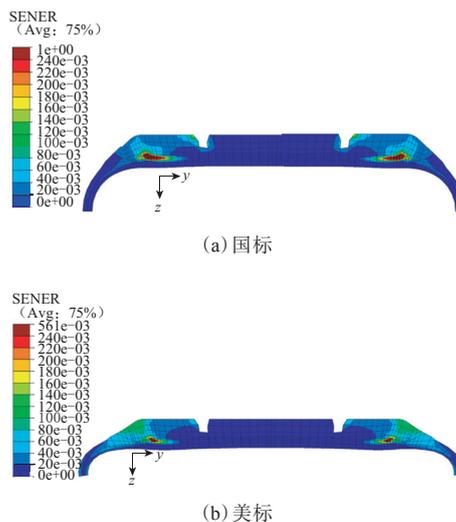


图3 国标和美标充气压力下轮胎肩部应变能密度分布下,轮胎充气压力越小,胎圈的应力越大;轮胎充气压力越大,肩部的应力越大。分析认为:轮胎充气压力越大,轮胎承受负荷时变形越小,此时主要靠腔体气体支撑负荷,胎面受到的力较大;轮胎充气压力越小,负荷时变形越大,胎侧也要参与支撑负荷,胎侧的应力变大。因此国标耐久性试验中更容易出现胎面损坏,而美标耐久性试验中更容易出现胎侧、胎圈处损坏,主要是由轮胎充气压力不同导致的。

3.3 负荷

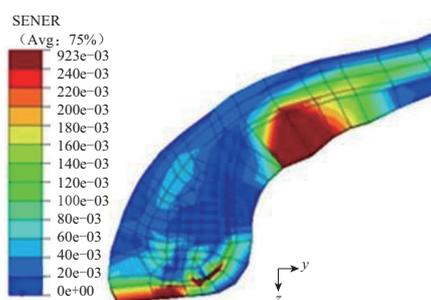
负荷也是影响轮胎耐久性能的关键因素,轮胎出现的耐久问题不少是超载导致的。轮胎负荷增大,肩部和胎圈处的应力都会增大,轮胎滚动过程中更容易变形,导致热量堆积,产生损坏。

国标要求轮胎耐久性试验负荷为胎侧最大负荷的115%,而美标要求试验负荷为胎侧最大负荷的100%,因此国标的负荷更高,试验条件更苛刻。

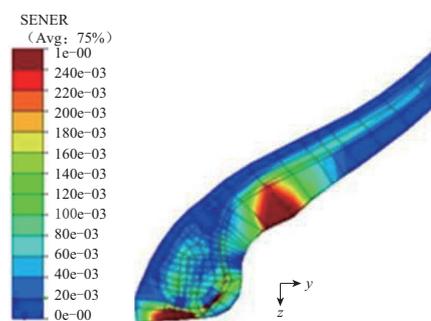
研究表明,负荷对不同规格轮胎的影响是不同的,如对于LT265/65R17和LT235/85R16轮胎,前者的胎侧最大负荷比后者大,根据美标耐久性试验条件,模拟胎圈的应变能密度及其分布如表3和图4所示。

表3 美标耐久性试验条件下胎圈的应变能密度有限元模拟结果

项 目	LT265/65R17	LT235/85R16
充气压力/kPa	320	320
最大负荷/kg	1 550	1 380
胎圈最大应变能密度/(MJ·m ⁻³)	923	1 000



(a) LT265/65R17



(b) LT235/85R16

图4 胎圈的应变能密度分布有限元模拟结果

从图4可以看出,虽然LT265/65R17轮胎的负荷大于LT235/85R16轮胎,但是由于后者的扁平率较大,轮胎的胎侧更高,导致胎圈在负载时会承受更大的应力,因此LT235/85R16轮胎胎圈最大应力反而更大。因此在进行轮胎耐久性能研究的过程中,不能一味选择负荷最大的规格,同时应考虑轮胎规格的差异。

3.4 温度

测试环境温度会影响轮胎的散热性,为了减少环境温度对试验造成的误差,轮胎耐久性试验会规定室内温度。

目前国标规定室内温度为(38±3)℃,美标要求室内温度为(35±3)℃,温度越高越不利于轮胎耐久性能,因此从室温角度而言,国标要求更苛刻。

4 轻型载重轮胎耐久性试验方法的选择

对比国标和美标关于轻型载重轮胎耐久性试验的差异可知:两者的测试速度相当,国标负荷和温度条件比美标更苛刻;国标充气压力更高,更考验高充气压力时胎肩部位的耐久性能,而美标的充气压力更低,更考验低充气压力时胎圈的耐久性能。由此可以得出:美标耐久性试验更偏向乘用车性能,低充气压力下,模拟驾驶员日常使用中因忽略充气压力而导致的轮胎耐久问题。国标耐久性试验更偏向商用性能,高充气压力、高负荷模拟了实际运货的苛刻工况。

轮胎设计后必须通过耐久性试验的验证,才能进行后续的批量生产及上市。一般国内销售的轮胎,胎侧都会有CCC国标认证和DOT美标认证,因此需要同时通过这两项室内耐久性试验。一般轮胎通过了法规规定的试验测试后,能保证正常使用,但是由于轻型载重轮胎本身是对耐久性能敏感的产品,为了保证产品具有竞争力,需要更苛刻的耐久性试验来进行验证,以保证极端环境下轮胎的使用安全。

在掌握了工况对轮胎耐久性试验的影响后,可以根据产品性能目标,设计合适的耐久性试验条件进行验证。例如,市场反馈产品容易在胎圈出现损坏,则可以考虑降低充气压力进行耐久性

试验;若胎肩部出现损坏,则可以增大充气压力进行耐久性试验;若配套车型仅在市内进行运输,可以将试验速度降为 $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,这也是国内城市路面的最高限速,同时增大负荷,以更好地模拟实际使用情况;若是轮胎损坏伴随着胶料老化的现象,则可以选择先烘箱老化,再进行室内耐久性试验。

5 结语

轮胎耐久性试验不必因法规要求而墨守成规,因为轮胎实际使用工况复杂,很难有一种试验方法可以检测所有可能的情况。轮胎设计人员应多收集市场上轮胎的实际使用条件与反馈情况,根据轮胎耐久机理和耐久性试验条件差异,选择合适的耐久性试验,以满足轮胎的使用性能要求。同时,也应该向驾驶人员加大安全使用轮胎

的宣传,避免超载现象,关注轮胎的充气压力,增强使用人员的安全意识。

参考文献:

- [1] 赵敏. Maxxis推出Razr AT轻型载重轮胎[J]. 橡胶工业, 2020, 67(1): 60.
- [2] 王建兵, 蒋婷婷, 阳晓岚, 等. 7. 00R16LT 14PR公路型全钢轻型载重子午线轮胎的开发[J]. 轮胎工业, 2022, 42(2): 78-81.
- [3] 杨文锐. 基于道路运输特征的重庆主城区货车限行方案研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2018.
- [4] 孙艳妮, 何宁, 孙钦军, 等. 轮胎动态臭氧老化性能的研究[J]. 青岛科技大学学报(自然科学版), 2019, 40(4): 91-97.
- [5] 赵冬梅. 美国DOT新标准FMVSS139分析[J]. 轮胎工业, 2007, 27(5): 271-273.
- [6] 郗兵辉. 高速公路限速的学问[J]. 中国公路, 2015(13): 86-87.
- [7] 王伟斌. 子午线轮胎胎圈疲劳寿命预测及结构优化[D]. 镇江: 江苏大学, 2021.

收稿日期: 2023-02-13

Durability Test Analysis of Light Truck and Bus Tire

XING Cheng, CAI Yingying

[Giti Tire (China) R&D Center, Hefei 230601, China]

Abstract: This paper introduced the mechanism of tire durability test, and focused on the comparative analysis of the difference of the durability tests of light truck and bus tires between China standard and the US standard and their respective characteristics. Tire durability was mainly affected by the heat build-up, vertical deformation, driving speed of the tire and rubber aging. In general, tire durability tests could be divided into outdoor test method and indoor test method. The test speed of tire durability test in China standard and the US standard was the same. However, in China standard, the test load and temperature conditions were more stringent; besides, the inflation pressure was higher, which was tougher for the tire shoulder. In contrast, in the US standard test method, higher requirement was put on the bead durability by testing at a low inflation pressure. Generally, the tires needed to pass the durability tests stipulated by both Chinese and US standards. Moreover, suitable durability test conditions could be designed for verification according to the product performance objectives.

Key words: light truck and bus tire; durability; test standard; finite element analysis

支腿高度控制系统及方法、可读存储介质、 工程机械

由三一汽车制造有限公司申请的专利(公布号 CN 115675385A, 公布日期 2023-02-03)“支腿高度控制系统及方法、可读存储介质、工程机械”, 提供了一种支腿高度控制系统及方法、可读存储介质、工程机械。支腿高度控制系统包括设

于轮胎上的监测器, 用于检测轮胎的胎压值; 设于工程机械本体上的控制器, 用于根据胎压值控制支腿进行举升或回落。通过本发明技术方案, 采用监测器检测轮胎的胎压值并根据胎压值控制支腿进行举升或回落, 能够确保实现轮胎离开地面, 减少轮胎磨损, 提高轮胎使用寿命。

(本刊编辑部 马 晓)