

轮胎老化耐久性能的研究

邢 程,余本伟,蔡莹莹

[佳通轮胎(中国)研发中心,安徽 合肥 230601]

摘要:介绍轮胎老化耐久性能研究历程,指出化学老化是轮胎失效的主要原因,带束层和肩部是主要的损坏部位。分析烘箱老化试验条件如老化气体、老化温度、老化时间和填充气体补充对轮胎老化耐久性试验的影响。建议添加防老剂、用氮气作填充气体、改善内衬层气密性以提高轮胎老化耐久性能。

关键词:轮胎;老化;耐久性能;带束层;内衬层;防老剂;氮气

中图分类号:TQ336.1;TQ330.7⁺5

文章编号:2095-5448(2019)03-0146-05

文献标志码:A

DOI:10.12137/j.issn.2095-5448.2019.03.0146

橡胶虽然不是轮胎的主要受力部件,但作为轮胎的重要组成部分,连接着轮胎内部的骨架材料并使其发挥应有的性能。橡胶具有形变可逆的高弹性,在高温下会氧化导致性能下降,长时间使用的轮胎往往会有风险^[1-3]。因此即使胎面没有磨损完,汽车制造商也建议用户在轮胎使用4~5年后及时更换。

目前各国轮胎相关法规都对轮胎耐久性能提出了一定的要求,但都是针对新胎进行耐久性能测试,没有针对长时间使用后的轮胎进行耐久性能测试。轮胎和汽车企业已经认可通过烘箱老化的方法测试轮胎的老化耐久性能^[4-6]。

本工作梳理轮胎老化研究的历程,根据轮胎老化失效的特点,对烘箱老化的测试方法和轮胎老化耐久性能测试提出改进建议。

1 轮胎老化耐久性能研究历程

1.1 轮胎失效及危害

据统计,美国每年约有400人因轮胎失效而导致死亡。造成轮胎失效的因素有很多,除轮胎老化外,轮胎充气压力不足或过大、车辆超载、道路危害、轮胎维护不当、轮胎结构缺陷和安装不当等也是主要原因。虽然很难估计具体有多

少起交通事故是由于轮胎老化所引起的,但可以明确,轮胎老化是影响轮胎安全性能的一个重要因素。

普遍认为,轮胎失效主要是由于维护不当,适当维护有利于减少轮胎磨损和保持安全性能。但轮胎老化是一种现象,是由于生热使橡胶组分发生氧化而产生的热降解,不能只靠维护解决。即使有足够的胎面厚度和适当的充气压力,老化也会影响轮胎的安全性能^[7]。

2001年美国联邦政府下令召回安装在福特探险者越野车上的费尔斯通轮胎,因为该轮胎在高速公路上行驶时,胎面容易脱层而造成致命事故。从现场报告得出,大约85%的伤害和90%的死亡发生在美国南方各州,其中有68%的死亡事故发生在加利福尼亚州、亚利桑那州、德克萨斯州和佛罗里达州。由于持续高温的影响,轮胎发生故障的可能性增加。以此事件为契机,美国国家交通安全管理局(NHTSA)开始深入研究轮胎老化问题。

1.2 轮胎老化耐久性能研究

2001—2014年,NHTSA完成了4个阶段的轮胎老化耐久性能研究,基本确定了烘箱老化和耐久性能测试的方法和条件,每阶段研究的主要内容如下。

(1)第1阶段,亚利桑那州凤凰城轮胎研究。亚利桑那州凤凰城的日最高温度居全美主要城市之首,因此NHTSA在该城市市场上收集了172条不同

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,主要从事半钢子午线轮胎结构设计与研究工作。

E-mail:229402430@qq.com

使用时间和行驶里程的在用轮胎和9条备用轮胎,并收集了82条新轮胎(相同品牌和规格)以鉴定轮胎性能和材料性能的老化情况。

通过加强速度测试、加强负载测试、轮胎各部件胶料物理性能测试可知,对于在用轮胎,随着使用时间和行驶里程延长,转鼓试验时间缩短,而且轮胎关键部件材料的性能降低。

(2)第2阶段,实验室轮胎老化方法评价。NHTSA选择了长期耐久性试验(LTDE),轿车轮胎耐久性试验(P-END)和烘箱老化试验(Oven-Aging Method)3种室内试验方法模拟轮胎老化,并与从凤凰城收集的轮胎的损坏形式进行对比。结果表明,烘箱老化和转鼓试验后的轮胎损坏形式大多为带束层端点和胎面脱离,最符合正常老化轮胎的损坏形式,另外两种测试方法无法复制第1阶段研究轮胎的损坏形式。

(3)第3阶段,进一步研究烘箱老化试验。NHTSA针对烘箱老化的测试温度、测试时间、轮胎内部气体和气体补充频率进行进一步验证,最终确定采用氮气/氧气(体积比为1/1)混合气体,在65℃烘箱下老化35 d,且每周更换混合气体进行轮胎氧化。这种试验最符合轮胎的实际老化过程。

(4)第4阶段,烘箱老化试验验证阶段。针对第3阶段的测试方案,进行大批轮胎的实际验证,测试轮胎的规格更多。

2 老化轮胎特点

2.1 化学老化是轮胎失效的主要原因

轮胎耐久性能的常规测试通常基于耐用性能(包括耐老化性能),仅是行驶功能的前提。也就是说,轮胎老化主要有两个原因,一个是由于疲劳循环引起的机械损伤的直接结果,另一个是由于轮胎在行驶过程中温度较高而引起的氧化(忽略轮胎静止时的氧化)。

长期耐久性试验、轿车轮胎耐久性试验和烘箱老化试验这3种试验已经证实,机械老化对轮胎性能不利的影响不明显。NHTSA从凤凰城收集的轮胎数据中分析发现,不仅行驶多年的轮胎出现老化问题,未使用过的备胎老化情况也很严重,性能降低程度仅比在用轮胎低20%~30%,并由此得出

以下结论:对于轮胎老化,化学老化起主要作用,行驶里程不是关键影响因素;车辆类型、臭氧、湿度和路况等其他因素对带束层的损坏不重要,影响轮胎老化的关键因素是环境温度和轮胎类型。

在凤凰城收集的轮胎,即使是类型相同、使用时间相当,其性能降低程度仍有一定的差别。激烈的驾驶行为会使轮胎的温度更容易升高,车辆长时间停放在太阳下也会加速轮胎的老化。

2.2 带束层和肩部是主要的损坏部位

有研究机构曾选择160条轮胎(40条新轮胎和120条在65℃下老化不同时间的轮胎)按照美国标准FMVSS139《轻型车辆用新的子午线轮胎》进行耐久性能和低压测试。结果表明,所有新轮胎均通过测试,70%的轮胎带束层边缘和肩部区域损坏。

损坏位置集中在肩部,主要有两个原因:首先,轮胎在滚动过程中,肩部带束层端点本身就是一个应力集中点,容易出现损坏;其次,通过有限元模拟轮胎充气老化过程,轮胎内部各部位的氧化速率不一样,靠近胎面处带束层的氧气消耗速率更快(见图1),这也说明胎面胶的性能降低更快。

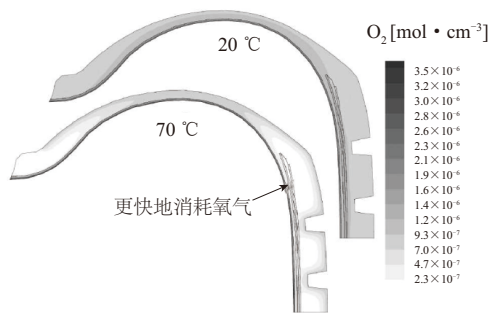


图1 有限元模拟充气轮胎不同部位的氧化速率

基于以上两个原因,应力集中在胶料性能降低快的部位,再加上带束层与胶料的粘合性能的影响,所以轮胎肩部更容易损坏。

2.3 老化对轮胎胶料性能的影响

我司对轮胎不同部位胶料性能的评价结果表明,由于受热、氧等外部因素的作用,橡胶等材料发生热氧化降解致使其性能降低。轮胎老化过程中在外观方面会有一些显著变化,如变形、变脆、变硬、龟裂等,在性能方面表现为剥离强度降低,硬度增大,拉伸强度、拉断伸长率、压缩变形性能

和弹性等降低。

2.4 不同类型的轮胎性能下降程度不同

NHTSA从第1阶段到第4阶段共对1 448条轮胎进行老化耐久性性能研究,包括从亚利桑那州市场上搜集的已经使用过的轮胎,主要轮胎规格及数量为:P195/75R14 12条,225/60R16 25条,P225/60R17 25条,P235/60R16 25条,P235/70R16 199条,P245/70R16 12条,255/65R16 120条,P265/70R17 25条,P265/75R16 216条,LT235/85R16 49条,LT245/75R16 183条,LT265/75R16 100条,LT285/75R16 37条。

可以看出,NHTSA研究的轮胎大多集中在规格较大的运动型多功能车(SUV)和厢式货车(VAN)系列轮胎,轮胎断面宽大多在205 mm以上,2/3的轮胎负荷指数在100以上。

3 老化耐久性试验解析

3.1 老化试验条件

影响轮胎氧化的加速因子主要为温度、氧气浓度和气压。为了找到一种可以用更短时间来模拟轮胎老化的室内试验条件,研究了不同氧气体积浓度(氧气/氮气体积比为0/100~100/0)、不同充气压力(胎侧标识气压的1~2倍)以及不同轮胎温度(40~100℃)情况下轮胎的老化速率。

目前虽然没有统一的老化耐久性测试标准,但影响老化速率的关键因素已确定,烘箱老化试验条件:老化气体为氧气/氮气(体积比为1/1)混合气体,充气压力为胎侧标识气压,温度为(65±2)℃,时间为35 d,气体补充频率为每7 d更换气体。下面对这4个试验条件进行解析。

3.1.1 老化气体

由于安装在轮辋上的轮胎内部压力较高,因此胶料大部分氧化反应是因氧气从内部空气腔渗入内衬层而发生的。这个结果已经被轮胎氧化的有限元模型所证实(见图1)。因此,为了复制实际使用工况老化条件,需要将轮胎安装在轮辋上并充气。

装配的轮胎充入含氧量较高的气体,较高的气压可以提高热氧化速率。研究表明,在充气压力为胎侧标识最大气压的情况下,使用氧气/氮气(体积比为1/1)混合气体的老化速率比使用空

气高约40%。虽然更大的气压或更高的氧气浓度可以进一步提高热氧化速率,但是提高程度有限,出于安全考虑,不建议使用超过胎侧标识最大气压的压力和氧气体积分数超过0.5的混合气体进行实验。因此最终确定的老化气体为氧气/氮气(体积比为1/1)混合气体,气压为胎侧标识最大气压。

3.1.2 老化温度

温度也是影响轮胎老化速率的一个关键因素,较高的温度可以提高热氧化速率,这也是烘箱老化追求的目标。但是多次测试表明,并不是温度越高,热氧化速率越快。轮胎老化速率与烘箱温度的关系如图2所示。

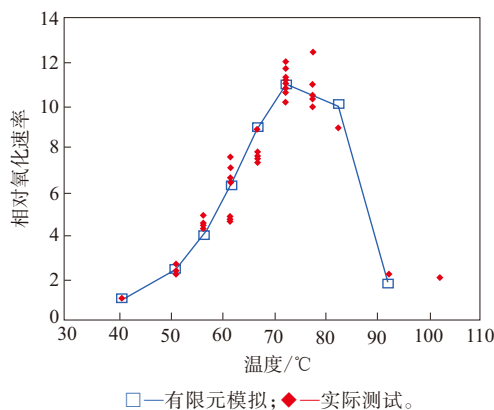


图2 温度对轮胎热氧化速率的影响

从图2可以看出,随着温度升高,轮胎热氧化速率稳步上升,在温度为70℃左右时,轮胎热氧化速率达到最大值后开始降低,这个趋势不仅适用于轻型载重轮胎,还适用于乘用车轮胎。考虑到成本与安全性,将老化温度定为65℃。

3.1.3 老化时间

确定影响老化速率的3个关键因素后,接下来就需要确定老化程度,也就是老化时间。阿累尼乌斯方程是一个经验公式,通常用来描述化学反应速率常数随温度变化关系,公式如下:

$$k = A e^{-(E_a/RT)}$$

式中, k 为反应速率常数, A 为指前因子(也称频率因子), E_a 为表观活化能, R 为摩尔气体常量, T 为热力学温度。

通过阿累尼乌斯方程和不同烘箱条件下老化后轮胎的性能对比,65℃下烘箱老化35 d可以模拟

轮胎自然老化4年的状态(见表1),而4年一般也是轮胎的更换周期,所以确定35 d为老化时间。

表1 轮胎烘箱老化与自然老化等效时间对比

项 目	老化条件			
	65℃× 56 d	60℃× 70 d	65℃× 21 d	65℃× 35 d
$k \times 10^{15}$	10.30	7.69	3.85	6.42
自然老化时间/年	6.5	4.8	2.4	4.0

3.1.4 气体补充

轮胎在烘箱中进行老化时,氧化反应会消耗轮胎内部的氧气,若不定期更换轮胎内部的气体,会导致腔内气体中氧气浓度越来越低,热氧化效果也越来越差。为了保证正常的氧化速率,建议1~2周取出轮胎,更换内部的混合气体。

3.2 耐久性试验

轮胎的耐久性试验分为里程试验、转鼓试验和快速磨耗拖车试验。里程试验能鉴定轮胎的综合耐久性能,转鼓试验主要用于鉴定轮胎的耐热和耐疲劳性能,磨耗拖车试验则专门鉴定轮胎的耐磨性能。三者各有所长,互为补充。其中转鼓试验是应用最广、标准化程度最高的耐久性试验。

轮胎老化后,将参照FMVSS139的试验条件,进行转鼓试验,试验分为两个阶段,耐久性试验和低压耐久性试验,试验条件如表2所示。

表2 FMVSS139测试条件

项 目	耐久性试验	低压耐久性试验
环境温度/℃	38	38
负荷率/%		
轿车轮胎(公制)	85/90/100	100
轻型载重轮胎(负荷C,D)	85/90/100	100
轻型载重轮胎(负荷E)	85/90/100	100
气压/kPa		
轿车轮胎(公制)	180	140
轿车轮胎(公制增强)	220	160
轻型载重轮胎(负荷C,D)	260/340	200/260
轻型载重轮胎(负荷E)	410	320
速度/(km·h ⁻¹)	120	120
运行时间/h	34(4/6/24)	36(12/12/12)

注:负荷C相当于6PR,负荷D相当于8PR,负荷E相当于10PR。

试验结果表明,大部分轮胎老化后耐久性能都有一定程度降低,轻型载重轮胎的下降趋势更明显。

4 提高轮胎老化耐久性能的建议

4.1 添加防老剂

轮胎每个部位的配方都不一样,且不同轮胎企业都有自己的专用配方。提高轮胎老化耐久性能的最基本方法是添加防老剂。在带束层覆胶和带束层边胶中添加适当的防老剂,对轮胎的耐老化性能有明显提升作用。

4.2 用氮气作填充气体

由于氧化作用是轮胎老化的一个重要因素,并且橡胶氧化的氧气大部分来自轮胎内部,所以降低轮胎氧化反应的一种方式就是用氮气替代氧气作为轮胎的填充气体。

用氮气替代空气作为轮胎填充气体已经被广泛应用于较苛刻的使用环境,如航空航天、赛车和越野车。目前部分商家向乘用车消费者销售氮气来充气,主要卖点就是氮气的渗透率比氧气低,从而提高了保气性能。

在60℃下烘箱老化研究表明,纯氮气填充轮胎的剥离强度和拉断伸长率比空气填充轮胎高70%以上。进一步研究表明,纯氮气填充轮胎的耐久性能远优于空气填充轮胎,因此采用氮气作为填充气体值得进一步研究。

4.3 提高内衬层气密性

内衬层是提升轮胎抗氧化性能最重要的部件之一。内衬层的作用就是限制空气对轮胎的渗透以及保证充气压力保持率。内衬层的性能取决于其配方和厚度。

通过调整内衬层的配方和厚度,可以提高轮胎的充气压力保持率,使轮胎内部部件得到更好的保护,不易出现老化变硬的现象,特别是带束层覆胶和带束层边胶不易氧化,带束层边缘不易出现老化破坏的现象。

内衬层的主体材料是卤化丁基橡胶和天然橡胶。研究表明,将内衬层中的卤化丁基橡胶用量从60份增大到100份时,气密性提高2.44~47倍,FMVSS139耐久性提高60%以上。

增大内衬层厚度同样可以提高轮胎的气密性能,但是轮胎生产企业需要权衡成本和性能。

5 结语

轮胎老化是轮胎失效的重要原因,无论是美

国还是中国,都在通过分析轮胎安全问题,评估与轮胎老化耐久性能相关规定的有效性、潜在的效益和最低性能指标。该工作类似于新汽车需要安装胎压监测系统并将其升级为现有轮胎安全标准。轮胎制造企业应做到未雨绸缪,及时开发提升轮胎老化耐久性能的相关技术。

参考文献:

- [1] 张又文,马良清,李红伟,等.老化对轮胎及轮胎材料性能的影响[J].橡胶工业,2018,65(5):548-551.
- [2] 贝广常,谢发勤,姚小飞,等.橡胶老化及其防护技术的研究概况

[J].橡胶工业,2013,60(1):58-61.

- [3] 李文博,李春霞,侯占峰,等.轮胎转鼓试验的模拟及其与平滑路面的比较[J].橡胶工业,2015,62(8):499-504.
- [4] 王昊,危银涛.橡胶疲劳研究综述[J].轮胎工业,2015,35(10):579-585.
- [5] 苏博,张浩成.国内外轮胎整胎老化测试研究[J].橡塑机械与装备,2017(5):7.
- [6] 贺年茹,李红伟,孙炳光,等.美国公路交通安全管理局轮胎老化研究报告[J].中国橡胶,2015(11):8-12.
- [7] 杨阳,刘军华,何燕,等.无内胎全钢载重子午线轮胎三角胶构成对胎圈耐久性能的影响[J].橡胶科技,2014,12(9):39-42.

收稿日期:2018-10-20

Overview of Research on Tire Aging Endurance

XING Cheng, YU Benyi, CAI Yingying

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

Abstract: The research on tire aging endurance was introduced. It was pointed out that chemical aging was the main cause of tire aging failure, and the belt and shoulder of the tire were the main damaged parts. The effect of oven-aging test conditions such as aging gas, aging temperature, aging time and filled gas of tire on the aging endurance experiments was described. To improve the aging endurance of the tire, it was recommended to add antioxidant, use nitrogen as filled gas and improve the airtightness of the inner liner.

Key words: tire; aging; endurance; belt; inner liner; antioxidant; nitrogen

玲珑轮胎“石墨烯/橡胶复合材料规模化制备及应用关键技术研究”课题通过验收

2019年1月28日,“石墨烯/橡胶复合材料规模化制备及应用关键技术研究”课题顺利通过由北京市科委主持的专家组验收。

本课题由山东玲珑轮胎股份有限公司全资子公司北京天诚玲珑轮胎有限公司与北京化工大学共同承担,华南理工大学郭宝春教授团队给予关键技术支持,最终在玲珑轮胎招远半钢子午线轮胎生产线完成轮胎试制。

石墨烯/橡胶复合材料规模化制备及应用关键技术研究的重要成果为:利用合作团队共同开发的石墨烯预处理技术,将低成本化获得的石墨烯预处理体应用在轮胎胎面胶中,在不改变现有轮胎生产工艺流程和设备的基础上进行适当的工艺调整即可生产,从而保证工业化生产的工艺可

行性和成本可控性;经第三方测试验证表明,试制轮胎实现节油、安全和抗静电等关键性能的同时突破,成功体现了石墨烯在绿色节能轮胎中的应用价值。通过采用研究团队独创知识产权的微观界面结合技术,能够更有效地降低轮胎油耗。试制轮胎的节油等级接近欧盟标签法燃油效率A级,综合性能达到国际先进水平。轮胎电阻为 $10^6 \Omega$,远远优于国家及行业相关指标,将为抗静电轮胎的发展提供更简单的新解决方案。此外,试制轮胎的耐磨性能和导热性能相对于市场上的高性能绿色轮胎均有不同幅度的提升。

石墨烯具有超高导电、超高导热、高效增强等独特的性能优势,将石墨烯引入轮胎生产将会对中国轮胎技术以及石墨烯产业的发展产生深刻影响。

(本刊编辑部)