

纤维骨架材料技术讲座

第 5 讲 纤维骨架材料对橡胶制品性能的影响(续一)

高称意

(北京橡胶工业研究设计院, 北京 100039)

中图分类号: TQ330.38⁺9; TQ336.2 文献标识码: E 文章编号: 1000-890X(2001)08-0507-05

(接上期)

胶管两端被固定于方向互相垂直的实心主动轴和空心从动轴上, 空心从动轴与一气泵相通, 以给胶管充气。试验时, 胶管被弯成 90° 并转动, 帘线经历拉伸-压缩的交替作用。

这种试验方法用于测试帘线的耐拉伸-压缩疲劳性能。考核的内容包括: ①比较帘线由于疲劳作用而损坏(胶管爆破)的试验周次(试验机主动轴转动总转数); ②在主动轴转数一定的条件下, 测试帘线的强力保持率。在试验过程中, 测试胶管弯曲部位的温度亦可从生热角度考察被测帘线的耐疲劳性能。

(2) U. S. 胶管试验

U. S. 胶管试验的基本原理与 Mallory 胶管试验基本相同, 也是测试帘线的耐拉伸-压缩疲劳性能, 不同之处在于 U. S. 胶管试验机的主动轴与气泵中心轴线处于直线状态, 不直接带动胶管而是带动一个转盘, 被测胶管被固定在转盘的边缘。试验时, 主动轴旋转带动转盘, 进而带动胶管旋转。其试验装置见图 5。

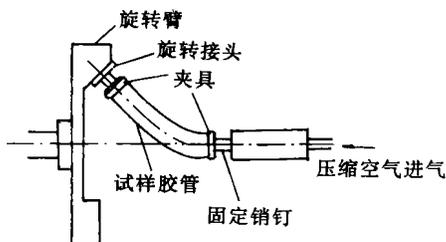


图 5 U. S. 胶管疲劳试验装置

采用 U. S. 胶管疲劳试验机测试帘线耐疲劳性能的考核内容与 Mallory 胶管试验相同, 也可通过测试帘线温度的升高情况, 对其力学滞后性能进行评价。

(3) 固特里奇盘形疲劳试验

固特里奇盘形疲劳试验的试样是矩形橡胶试样, 中间夹有沿矩形长边方向平行排列的被测帘线。这种试验是测试帘线的拉伸-压缩疲劳性能, 其中心是两块倾斜的盘, 盘的中心分别与主动轴和从动轴相连, 主动轴与从动轴的轴线不在同一条直线而是互成一定角度。由于两根转动轴呈折线排列, 因此当主动轴转动时带动盘一起转动, 且两块盘在通过上、下位置时的间距不同, 从而对试样施加拉伸和压缩作用。试验装置见图 6。

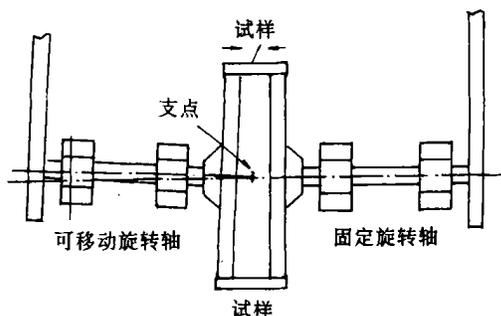


图 6 固特里奇盘形疲劳试验装置

试验时, 将试样的两条短边分别固定在两个盘上, 胶片内的被测帘线随试验机每转动一周要经历拉伸和压缩的交替作用, 疲劳方式与

前述两种试验方法相同。

这种试验方法的试验条件并不像前两种试验那样苛刻(帘线被弯曲,胶管充内压),被测帘线不易断裂损坏,通常以疲劳试验后胶样中帘线的强力保持率评价帘线的耐疲劳性能。

(4) 费尔斯通压缩-屈挠疲劳试验

费尔斯通压缩-屈挠疲劳试验主要用于测试帘线的耐压缩-屈挠疲劳性能,试验装置见图7。试验的试样为由两层平行排列帘线组成的外覆橡胶的带状试样,其中一层帘线为被测帘线,另一层为钢丝帘线。试验原理是将试样绕一根轴并将两端固定,由于试验载荷下钢丝帘线不能被拉伸,而使橡胶层和被测帘线处于被压缩状态。

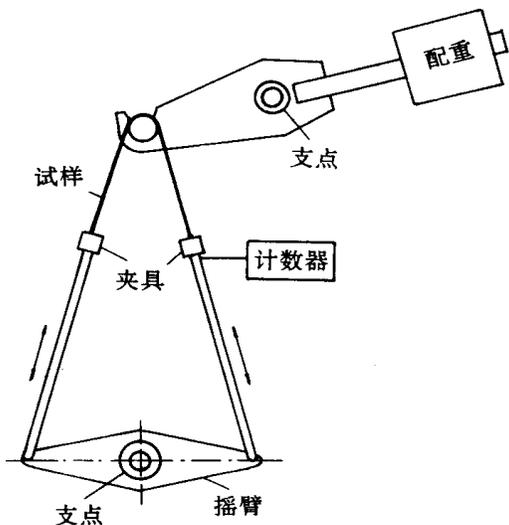


图7 费尔斯通压缩疲劳试验装置

(5) 登录普疲劳试验

登录普疲劳试验主要用于测试帘线的耐拉伸-屈挠疲劳性能,其试验装置见图8。试样为环形橡胶-帘线复合材料试样,内有5层包覆了橡胶的帘线,从内层起的第2和5层帘线为被测帘线。在试验时,环形试样在主动轮与从动轮间被拉伸,一段给定的时间之后,取出被测帘线,并测试其剩余强力,以考核帘线的耐疲劳性能。

(6) 德墨西亚屈挠疲劳试验

德墨西亚屈挠疲劳试验的试样是被测帘线沿长轴方向平行排列的橡胶块,其两端固定于试验机上。以试验后被测帘线的强力保持率考

察帘线的耐屈挠疲劳性能。

德墨西亚屈挠疲劳试验装置见图9。

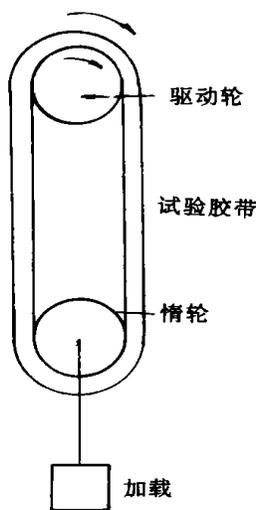


图8 登录普疲劳试验装置

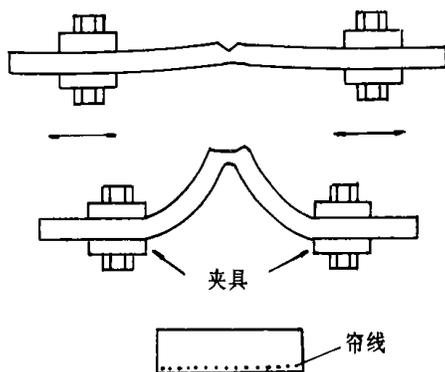


图9 德墨西亚屈挠疲劳试验装置

帘线耐疲劳性能的实质是其高聚物结构(热固性还是热塑性纤维、刚性分子链还是柔性分子链)、粘弹性(滞后性)等性能在动态作用下的综合反映,对轮胎的耐久性有直接影响。

轮胎不同部位帘线的耐疲劳损坏性能不同,疲劳后内层帘线的强力损失比外层帘线容易出现;胎侧较柔软部位帘线的强力损失程度比胎冠硬挺部位帘线更大。

轮胎内尼龙帘线的强力损失受轮胎旋转方向和帘布交叉方向的影响,因此,尼龙斜交轮胎两个胎侧内帘线的强力损失速率明显不同,承受载荷的尼龙帘线强力损失率高于承受拖拽作用的帘线。

帘线的耐疲劳性能是纤维材料的固有特性,由分子结构决定:分子链柔性越强,耐疲劳

性越好;分子链刚性越强,耐疲劳性越差。通常可以通过调节纤维单丝的线密度和捻度改善帘线的耐疲劳性能。原则是:耐疲劳性能较好的纤维(如尼龙),其单丝线密度可大些;耐疲劳性能差的纤维(如芳纶、人造丝),应降低其单丝线密度。

帘线用纤维单丝的线密度分别为:尼龙 6.7 dtex;人造丝 1.14 ~ 1.83 dtex;芳纶 1.68 dtex;聚酯纤维 5.0 ~ 5.6 dtex。近年来,纤维制造商开发出了单丝线密度为 3.3 dtex 的聚酯束丝,以进一步改善聚酯帘线的耐疲劳性能。

在一定范围内,提高捻度可以改善帘线的耐疲劳性能,因此,耐疲劳性能好的纤维加工成帘线时,捻度可稍低,而耐疲劳性能差的纤维加工成帘线时,捻度应较高。

1.4 弯曲刚度

帘线在弯曲作用下的弹性模量与断面惯性矩的乘积为弯曲刚度,它对轮胎的胎面磨损、操纵性能及滚动阻力有影响,帘线的弯曲刚度越大,表明其抗弯曲性能越好。

为便于比较,将线密度为 1 tex 的纤维材料弯曲刚度定义为相对弯曲刚度。常用纤维材料的相对弯曲刚度 ($10^{-7} \text{ N} \cdot \text{cm}^2$) 为:人造丝 31.2,聚酯 58.2,维尼纶 29.4,尼龙 6 13.2,尼龙 66 13.8。

1.5 压缩性能

行驶中轮胎内的帘线抵抗轴向和横向压缩作用的能力用压缩模量表征。帘线的压缩模量远小于拉伸模量,因此帘线受到弯曲扭转压缩应力的破坏作用远大于拉伸应力的作用。

帘线的压缩模量与轮胎胎面磨损和操纵性能有直接关系。

1.6 耐冲击性能

高速行驶中的轮胎会受到冲击作用,使帘线遭到破坏引起轮胎的损坏。帘线的耐冲击性能是其断裂强度、拉伸变形量与断裂功等性能的综合反映,实验室模拟冲击试验就是通过以极快的应变速率检测帘线的力学性能来评价其耐冲击性能。

帘线的耐冲击性能也是纤维分子结构的表

现,在宏观物理性能方面,帘线的断裂功可以较全面地反映其耐冲击性能。

帘线在高温、高速状态下的变形量、断裂强度和断裂功等物理性能与常温、低速条件下的性能大不相同。

在低应变速率条件下,尼龙帘线的断裂功最大;在高应变速率条件下,则是聚酯帘线的断裂功最大。

1.7 捻度

帘线的捻度可用单位长度内的捻回次数表征。不同线密度帘线或线绳间的捻度不可比,为此引入捻角概念——即束丝或股线因加捻而呈螺旋爬升状,爬升方向相对于帘线或股线轴的夹角即为捻角,捻角相同的帘线或股线的加捻程度相同。在实际工作中,测定捻角比较困难,因此又引入捻系数概念,利用捻系数就可对同种材料、不同线密度的股线或帘线和不同纤维材料的股线或帘线的加捻程度进行对比,捻系数相同表示加捻程度相同。

帘线加捻后,纤维由伸直排列变为对帘线轴向有倾角,帘线的长度较束丝的长度缩短,称为捻缩。这种捻缩在帘线受到外力作用时会伸长,因此加捻后帘线的断裂伸长率较束丝大。

帘线在加捻过程中,束丝或初捻股线受到加捻张力的作用产生伸长变形,外层纤维受到的张力较内层纤维大,产生的伸长变形也比内层纤维大,使束丝的纤维间或组成帘线的股线间产生向心压力。随着捻度的增大,线的密实程度加大,帘线的物理性能亦随之改变,断裂强度增大(在一定的捻度范围内),硬度、耐冲击性能和耐疲劳性能提高。

加捻方向分为 S 和 Z 向,单股帘线多为 Z 向,经 2 次加捻制成的双股或 3 股帘线多采用初捻为 Z 向、复捻为 S 向,有些 3 次加捻制成的帘线,如棉帘线、维尼纶帘线、芳纶帘线及线绳要经过束丝加捻、股线加捻、帘线或线绳加捻 3 道工序才能完成,多采用 Z-S-Z 向的加捻方式,这种帘线的结构和捻度均较为稳定。

捻度对帘线或线绳的性能有很大影响。一般,随捻度增大,帘线(或线绳)的断裂强度、初始模量、耐往复拉伸疲劳性能下降,断裂伸长

率、断裂功和耐压缩疲劳性能则提高。分子链刚性越大的纤维(如芳纶、聚酯、人造丝)越应取较大捻度,而对柔性分子链的纤维(如尼龙、维尼纶)应取相对低的捻度。芳纶、聚酯、人造丝帘线通常为对称捻度,而尼龙、维尼纶帘线为非对称捻度。

1.8 断裂强度

帘线的断裂强度与轮胎胎体强度直接相关,决定了轮胎的安全性、使用寿命和耐久性。在胎体强度相同的条件下,采用断裂强度高的帘线可以减小帘线用量和胎体厚度,有利于轮胎散热和实现轻量化。

由于帘线由多根纤维单丝组成,每根单丝的横截面积很小,不易测量,因此帘线的强度不采用绝对强度单位(如 Pa)表示,而采用相对强度单位表示,即帘线横截面积采用相对面积单位——dtex 表示。通过计算得出的 1 dtex 纤维的断面直径和截面面积见表 4,其中断面直径或截面面积是其当量断面直径或当量截面面积而不是表观断面直径或表观截面面积。帘线的断裂强度主要由材料种类决定,捻度、浸渍热处理条件等对帘线的断裂强度亦有影响。

表 4 轮胎帘线的断面直径和截面面积

材 料	断面直径/ ($m \cdot dtex^{-1}$)	截面面积/ ($m^2 \cdot dtex^{-1}$)
棉、人造丝	9.15×10^{-6}	6.58×10^{-11}
聚酯	9.61×10^{-6}	7.25×10^{-11}
PEN	9.67×10^{-6}	7.54×10^{-11}
尼龙	1.06×10^{-5}	8.78×10^{-11}
芳纶	9.47×10^{-6}	7.04×10^{-11}
维尼纶	9.97×10^{-6}	7.81×10^{-11}

注: PEN 为对苯二甲酸乙二醇酯纤维。

1.9 断裂伸长率及定负荷伸长率

断裂伸长率及定负荷伸长率是表征帘线在拉伸应力作用下变形行为的两个指标,主要取决于纤维材料种类:热固性纤维的断裂伸长率及定负荷伸长率低于热塑性纤维;刚性分子链纤维的断裂伸长率及定负荷伸长率低于柔性分子链纤维。捻度、加捻工艺、浸渍热处理条件等对帘线的断裂伸长率及定负荷伸长率也有一定影响。

1.10 初始模量

帘线初始模量定义为帘线受到拉伸力作用时,伸长为原标距 1% 时的应力,即应力-应变曲线上原点与 1% 变形对应点间连线的斜率。

美国材料试验学会标准(ASTM)中对芳纶束丝及帘线初始模量的求法有专门的规定,仍采用两点法,只是两个点的选取方法不同于其它纤维。

帘线的初始模量是其抵抗小变形能力的表征参数,是帘线(或纤维)尺寸稳定性的一个质量指标。初始模量高,则表明帘线承受同样拉伸力作用下的变形较小或帘线产生一定变形所需施加的应力较大。

帘线的初始模量由纤维材料的强度和变形性能综合决定,帘线浸渍热处理工艺参数也对初始模量有影响。

1.11 断裂功和断裂比功

帘线的断裂功指帘线在被拉伸过程中外力拉断帘线对帘线所做的功,即帘线在被拉伸至断裂过程中吸收的能量,在数值上等于其应力-应变曲线与横轴形成的图形的面积,主要取决于帘线的强伸性能——强度与变形性能,也与帘线的长度、线密度成正比。为便于相互比较,引入了断裂比功的概念,即单位长度、单位线密度帘线的断裂功。

帘线的断裂功和断裂比功是其柔韧性的度量参数,美国 ASTM 标准将断裂比功命名为韧度,可在一定意义上表征帘线的耐冲击性能,与轮胎的抗冲击性能和使用寿命相关。

1.12 吸湿性

帘线的吸湿性关系到帘布压延质量,吸湿性大的帘线会使轮胎随使用时间的延长出现脱空,甚至会在硫化过程中使轮胎帘布与胶料间脱空。

帘线吸湿性对断裂强力有很大的影响:人造丝的湿态断裂强度仅为干态断裂强度的 40%~60%;芳纶的湿态断裂强度为干态断裂强度的 80% 以上;尼龙和维尼纶的湿态断裂强度为干态断裂强度的 80%~90%;聚酯帘线的断裂强度不受吸湿性的影响;棉纤维的湿态断裂强度为干态强度的 110%~130%。

帘线吸湿性对断裂伸长率的影响是:除聚

酯和芳纶外,其余帘线湿态下的断裂伸长率均高于干态断裂伸长率,其中维尼纶的提高幅度较小,尼龙 66 提高幅度大于 10%,尼龙 6 提高幅度大于 20%。

帘线的吸湿性与纤维材料、环境的温度及湿度有很大关系,通常采用在标准大气压条件下[温度为 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ 、相对湿度为 62% ~ 68%]的平衡吸湿性来比较不同纤维材料的吸湿性。定量描述纤维材料吸湿性的指标有含水率和回潮率。

$$\text{含水率}(\%) = 100(G_0 - G) / G_0$$

$$\text{回潮率}(\%) = 100(G_0 - G) / G$$

式中 G_0 ——含水试样质量;

G ——烘干后试样质量。

美国 ASTM 标准中对各种帘线用纤维材料的公称回潮率作了规定:人造丝 11.0%;尼龙 4.5%;聚酯 0.4%;芳纶 7.0%;棉纤维 11.1%;维尼纶 5.0%。

1.13 热收缩率

帘线的热收缩性能是其尺寸稳定性的主要指标之一,与以下因素有关:

(1)纤维材料。热塑性纤维有明显的热收缩现象,而热固性纤维则基本没有或热收缩率极低。

(2)长丝纺丝工艺条件。纺丝牵伸比越大,纤维的热收缩率也越大;纺丝牵伸温度越低或作用时间越长,纤维的热收缩率越低,反之亦然。

(3)帘线浸渍热处理工艺条件。拉伸比越大,干热收缩率越大;热定型温度应比拉伸温度低 $10 \sim 20^\circ\text{C}$,但此差值不应过大,热定型时间也不应太短。

帘线产生热收缩对轮胎制造工艺及成品性能有不利影响。通常在轮胎帘布压延干燥过程中需施加张力以抵消其回缩应力,保持帘线物理性能的稳定;硫化后应有后充气工艺,使帘线在张力作用下逐步降温,以免因启模后突然失去张力作用,使在较高的温度下帘线产生热收缩,从而影响轮胎外观质量。

要想保持轮胎的外观质量且免除硫化后充

气工序,则应选用热收缩率较低的帘线,人造丝和芳纶帘线在这方面具有很大的优越性。普通聚酯和尼龙帘线的热收缩率较大,用作胎体材料时不能省去硫化后充气工艺。尺寸稳定型聚酯的出现使聚酯帘线应用到轿车子午线轮胎中成为现实,如采用美国联信公司的 1X40(43),1X50(53),A360 等改进型尺寸稳定的聚酯帘线制造单层胎体轿车子午线轮胎,既可免除硫化后充气工序,又可保持轮胎外观美观,胎侧无凹陷。

1.14 蠕变与应力松弛

纤维(或帘线)在一定拉伸力作用下变形量随时间延长而增大的现象叫蠕变,它是由在外力作用下,随着时间的延续,大分子主链局部旋转而伸展取向引起的。

在一定的拉伸变形条件下,应力随时间延长不断下降的现象叫应力松弛,它是由纤维大分子在恒定伸长量的情况下,随时间延续粘性变形增大,分子间相互滑移错位,大分子自动皱曲使分子内应力逐步衰减引起的。

蠕变和应力松弛是衡量帘线尺寸稳定性的指标,采用蠕变大的帘线制成的轮胎易出现平点现象,影响其平稳运行。

1.15 耐热性

轮胎在制造和使用过程中要承受高温作用(硫化、运转时生热),因此纤维骨架材料的耐热性能对橡胶制品的性能有直接影响。

可以从帘线的干热收缩率和高温作用后帘线物理性能(主要是强伸性能)的下降程度考察帘线的耐热性能。高温下纤维骨架材料物理性能的下降程度取决于纤维材料、作用温度和时间。

芳纶和人造丝纤维的耐热性能最好,在 $200^\circ\text{C} \times 48\text{h}$ 条件下,芳纶的断裂强度仅损失 10%;在 180°C 下,人造丝的断裂强度损失不大;在 $150^\circ\text{C} \times 168\text{h}$ 条件下,聚酯纤维的断裂强力保持率为 70%;尼龙纤维的耐热性较差;维尼纶纤维的耐热性最差。

(未完待续)