

新技术

轮胎帘线的表征和帘线热力学性能对轮胎的影响

姚钟尧

(华南理工大学材料学院, 广东 广州 510640)

摘要: 轮胎帘线的热-力学性能对轮胎的尺寸、形状、操作性能等有很大的影响。本研究聚焦于表征尼龙和聚酯帘线的材料性能, 应用有限元分析(FEA)量化这些性能对充气轮胎的影响。这些轮胎帘线材料用在实验室进行伸张试验、热收缩测量和蠕变试验获得的一系列热力学性能来表征。在测量之前, 用于本研究的帘线经过了热-力学处理, 以便于模拟硫化和轮胎操作条件的影响。从这些测量产生的性能用作物理轮胎有限元分析的输入, 从 FEA 模拟得到预测的轮胎尺寸与形状、载荷的印痕与压力、帘线的负荷, 并与实验轮胎的实际测量值进行比较, 在测量值和有限元分析预测值之间观察到良好的一致性。因此, 将来充气轮胎的 FEA 研究应当使用在本研究中开发的表征轮胎帘线材料的技术。

关键词: 轮胎帘线; 硫化后充气; 冠带层; 非线性伸张性能; 热力学性能

轮胎在制造过程中, 要在模具中承受高温以便硫化橡胶组分, 同时实现所设计的尺寸、形状以及胎面花纹与胎侧装饰。轮胎的整体性能主要依赖于每种个体组成的热-力学性能。本文主要聚焦于聚合物帘线的材料性能以及它们对轮胎的影响。

作为增强材料用于轮胎的聚合物纤维主要有 5 种: 棉、人造丝、尼龙、聚酯(PET)和芳族聚酰胺。尼龙(包括尼龙 6, 尼龙 66)和聚酯是现今在橡胶工业应用最普遍的纤维材料, 同时也是本文的主要研究对象。

纤维的本性是由分子结构即取向度、结晶度、分子链的刚性和分子链之间的结合力确定的。虽然聚合物纤维是高度取向和高结晶的, 但是在纱中仍然存在无定形区, 这些无定形区明显影响帘线的材料性能。首先, 无定形区决定帘线的玻璃化转变温度(T_g)。其次, 由于在无定形区中的特征分子结构, 大多数轮胎帘线, 诸如尼龙和聚酯, 在受热而不加负荷应用的时候, 趋向于收缩。像本文将要讨论的那样, 热收缩对尼龙是可恢复的, 对聚酯纱则是不可恢复的。热收缩改变了纱的无定形区中的分子结构, 于是帘线的力学性能也随之改变, 例如应力-应变曲线和蠕变。既然轮胎

的尺寸、形状、均匀度和操作性能都与轮胎帘线的力学性能密切相关, 所以制造期间要求很好地控制轮胎帘线的热收缩。传统上, 利用硫化后冷却期间的硫化后充气(PCI)阻止帘线的热收缩。

尺寸稳定的聚酯(DSP)是现在最普遍应用的轮胎胎体帘线材料。这种新的轮胎材料具有低得多的热收缩、比较高的强度和比较好的抗疲劳性能。采用尺寸稳定的聚酯也简化了轮胎的制造过程, 因为所期望的轮胎尺寸和均匀度能够比较容易地实现。传统的硫化后充气过程(PCI)也已从有些轮胎制造工艺中剔除。但是, 不同热历程条件下制造的轮胎在许多方面呈现差异。为了透彻地了解轮胎帘线的热-力学性能对轮胎性能的影响, 对轮胎帘线的全面特性研究是必要的。

在本研究中选择的是 840/2 尼龙 6.6 帘线和 1300/3 尺寸稳定的聚酯帘线。但是需要说明的是, 本文中介绍的这种研究程序可以应用于任何一种聚合物帘线。首先进行一系列基本实验去表征帘线的热-力学性能, 然后考察帘线的热-力学性能对轮胎的影响, 最后研究两种与帘线相关的特别的现象: 胎侧凹陷和冠带层对轮胎的影响。已构造几种三维(3D)非线性有限元(FE)轮胎模

型用于研究分析。为了检验数值分析结果,制造了实验轮胎并进行试验。FEA 结果与从实验轮胎实测得到的结果良好吻合。

1 帘线材料表征方法

在本研究中,选用 840/2 尼龙 66 帘线和 1300/3 尺寸稳定的聚酯帘线(DSP)。对试样进行三种试验:拉伸试验、自由热收缩测量和蠕变试验。在物理试验之前,模拟轮胎硫化期间的各种热历程条件对“工作的(“as received” cord samples, 术语)”帘线试样进行了处理。

1.1 实验的设计

840/2 尼龙 66 帘线和 1300/3 尺寸稳定的 DSP 帘线在 NFL 浸渍加工之后直接取用。取 3 个原始试样实施自由热收缩测量以便确定每类帘线的热收缩值,然后再取更多“工作的”帘线试样,放置于一个烘箱中在 3 种不同温度条件下加以防收缩处理。为了确定热收缩对帘线的应力-应变行为的影响,每种帘线在每种预处理条件下分别选择 10 个试样进行拉伸试验,另 10 个试样进行蠕变试验,以便考察热收缩对帘线的蠕变性能的影响,然后,为了确定蠕变对帘线的应力-应变行为的影响,对这 10 个试样再进行拉伸试验。

1.2 试样的预处理

在拉伸试验和蠕变试验之前,帘线试样在一个烘箱中在不同温度下加以防收缩处理 15min,以便让这些帘线充分自由热收缩。进行预处理是为了模拟帘线在不同温度下硫化又没有硫化后充气的轮胎中会承受到的热历程。用于预处理的 3 种温度是 150℃、165℃和 180℃。预处理结束时,帘线试样从烘箱取出,然后冷却至环境温度,做好标记,并且与另外 10 个原始试样一起存放,等待下一步试验。

1.3 拉伸试验

拉伸试验是为了表征轮胎帘线的应力-应变行为。室温,试样的标准长度是 254mm,拉伸速率是每分钟 25.4mm。测量得到平均值的应力-应变曲线。

1.4 热收缩测量

动态力学分析仪(DMA)用于测量帘线的自由热收缩与温度的函数关系,试验在恒定的负荷条件下进行。试验开始时,将 0.1N 的恒定小负

荷施加到帘线上,使帘线伸直,接着温度以每分钟 1℃的速度从室温(25℃)升高到 180℃。然后又以同样的速率回降到室温。从夹具的位移计算帘线的收缩。每种帘线测试 3 个试样,得到平均值的曲线。

1.5 蠕变试验

帘线在整个负载期间将蠕变,可以确定这与轮胎的尺寸稳定性有关。为了表征蠕变性能,预处理过的帘线试样在 DMA 中用蠕变模式试验 6h。为了测试温度设定为 80℃,以缩短试验时间。试验开始时,试样室先加热到 80℃,待帘线试样中达到热平衡,然后将 10N 的恒定负荷施加到帘线上,并且记录蠕变应变作为时间的函数关系。每种帘线测量 3 个试样,产生平均值的曲线。由于用于 DMA 的蠕变试样长度为 60mm,相对较短,在完成蠕变试验之后,对这些帘线试样不能再做别的试验,因此,相同的蠕变试验在一个大烘箱中用更长的试样(300mm)重复进行,每条帘线的一端加 10N 的重力。因为在大烘箱中的试验与在 DMA 中的测试条件相同,所以假设试验后在帘线中达到的蠕变水平相同。在蠕变之后,从大烘箱采集试样,从中切取拉伸试验的试样进行拉伸试验。

2 试验结果和讨论

2.1 自由热收缩

图 1 和图 2 为 PET 1300/3 和尼龙 840/2 帘线的自由热收缩曲线,图中的箭头标示试验期间的温度回降方向。结果显示,对于 PET 1300/3 帘线,在玻璃化转变 T_g (大约 85℃)之前,帘线随温度升高而轻微膨胀;超过 T_g 后,随着温度升高,帘线剧烈收缩。在达到最高试验温度 180℃之后,温度逐渐回降至室温,帘线在此期间继续轻微收缩。图 1 显示, PET 1300/3 帘线以及大多数聚酯帘线的自由热收缩只取决于所承受的最高温度;如果帘线在试验之后再加热,只要不超过前面试验的最高温度,热收缩将应当不再出现。

尼龙 840/2 帘线与 PET 1300/3 帘线相比,自由热收缩行为大不相同。图 2 显示,尼龙帘线随温度升高立即开始收缩,在达到最高试验温度 180℃之前一直在收缩。与 PET 1300/3 帘线比较,尼龙帘线在特定温度的热收缩要大得多。随

着温度从 180℃ 回降至室温, 帘线膨胀和热收缩部分恢复。如果帘线在试验之后再加热, 帘线应当遵循图 2 中曲线的较低部分再收缩。该结果表明: 对于尼龙 840/2 帘线以及大多数尼龙帘线, 自由热收缩在第一次加热周期之后是可恢复的, 因此, 尼龙帘线的自由热收缩只取决于当前温度。

PET 和尼龙帘线之间的热收缩行为差异决定了两种帘线的不同用法。PET 帘线在温度低于曾承受的最高温度时自由热收缩将不再出现, 所以能提供对热的良好尺寸稳定性。与尼龙帘线比较, 采用 PET 帘线, 有些轮胎尺寸稳定性问题例如平点现象 (flat spotting) 可能明显减少。因此, PET 广泛用作胎体材料。而尼龙帘线用于冠带层是比较理想的, 因为它有可恢复的热收缩特性, 本文将在后面继续讨论这种热行为。

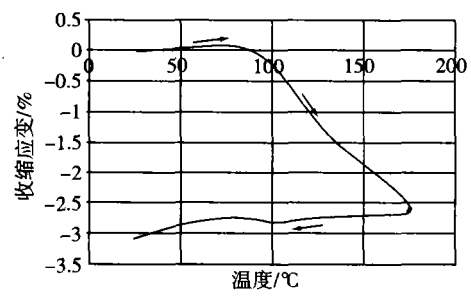


图 1 PET 1300/3 帘线的热收缩

图注: 箭头标示试验期间的温度回降方向

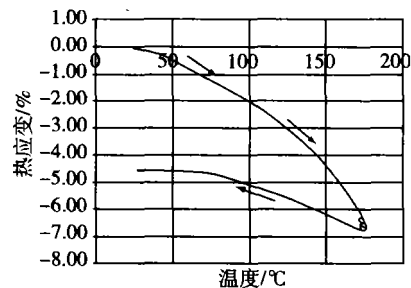


图 2 尼龙 840/2 帘线的热收缩

图注同图 1

2.2 热收缩对伸张性能的影响

图 3 和图 4 为在各种温度下防热收缩处理的 PET 1300/3 和尼龙 840/2 帘线的拉伸试验结果。对于 PET 1300/3 帘线以及其他大多数 PET 帘线, 应力 - 应变曲线中部的斜率随防热收缩温度的增大而减小, 因此, 与“工作的”帘线对比, 防热收缩处理过的帘线的曲线向下移动。对尼龙 840/2 帘线也观察到类似的现象, 但是移动的幅度比较小, 如图 4 所示。结果表明, 帘线的应力 -

应变行为与在帘线中已出现的热收缩量密切相关。热收缩越大, 应力 - 应变曲线将越往下移。与应力 - 应变行为相关的热收缩和在本文开头讨论过的分子理论是一致的。由于热收缩, 在纱中无定形区的分子取向度减小, 于是纱的模量减小。与 PET 不同, 尼龙帘线在预处理之后, 当试样从烘箱取出时, 热收缩部分地恢复, 造成防热收缩处理帘线的应力 - 应变曲线的移动明显减小。

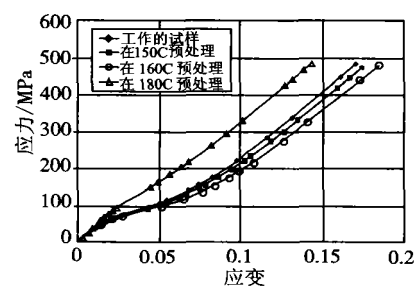


图 3 在各种温度条件下预处理的 PET 1300/3 帘线的拉伸试验结果

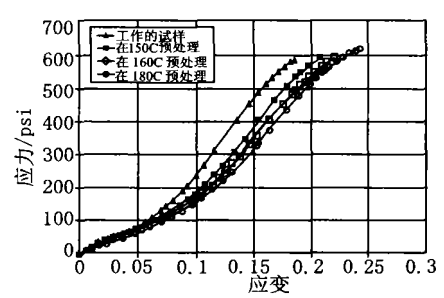


图 4 在各种温度条件下做了预处理的尼龙 840/2 帘线的拉伸试验结果

图 5 比较了 PET 1300/3 和尼龙 840/2 帘线的应力 - 应变曲线。两种帘线试验前都经过 150℃ 预处理。该图显示, PET 1300/3 帘线比尼龙 840/2 帘线有更高的模量。这种差异归因于这两种材料的分子结构。图 5 中两种帘线的防热收缩处理温度为 150℃。其他温度的情况类似。

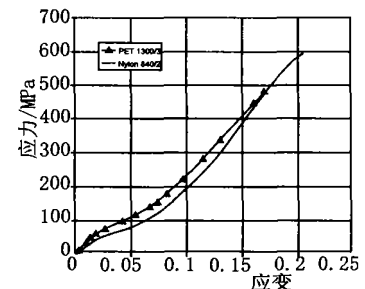


图 5 PET 1300/3 和尼龙 840/2 帘线应力 - 应变曲线的比较

(未完待续)