纤维帘线/橡胶复合材料的压缩性能*

俞　淇　刘连云　方　耿　沈大宏

（华南理工大学　510641）

摘要　对纤维帘线/橡胶复合材料进行了压缩性能试验，结果表明帘线体积分数是影响纤维帘线/橡胶复合材料压缩性能的主要因素，帘线的类型、规格、结构性能对纤维帘线/橡胶复合材料的抗弯曲能力也有明显影响。

关键词　尼龙帘线，人造丝帘线，橡胶，复合材料，压缩性能，抗弯曲能力

长径比很大的细长帘线，在轴向受压时是没有抗压强度的，但将其埋入橡胶中就会产生相当大的抗压强度[1]。作为轮胎结构中的主要组成部分纤维帘线/橡胶复合材料（如胎体层）在使用过程中要承受压缩载荷，因此了解埋在橡胶中的纤维帘线在压缩条件下的补强作用是十分必要的。研究纤维帘线/橡胶复合材料的压缩性能，对轮胎结构设计中的材料选用、合理分布及提高相应抗压性能会起一定的作用。目前在轮胎结构设计理论研究中广泛开展的有限元分析计算存在的难题之一，就是缺乏精确的帘线/橡胶复合材料性能参数。

考虑轮胎用帘线/橡胶复合材料的广泛性，本文探讨不同类型、规格、结构帘线对复合材料压缩性能的影响，并对帘线/橡胶复合材料中帘线占的不同体积分数进行分析。

1　试样制备与试验设备

试样形状和尺寸参考文献 1 和 2 选择圆柱体，规格为 Φ20mm，高度 25mm。试样制备是将不同类型规格的压延帘布卷取，帘线排列方向与圆柱体轴向一致（见图 1），然后按正硫化条件在模型中硫化。

尼龙帘线有 933dtex/2 和 1400dtex/2 两种规格，每种规格压延帘布层分别选用两种密度：933dtex/2 选用 V_1［130 根·(10cm)$^{-1}$］和 V_3［62 根·(10cm)$^{-1}$］，所得试样中帘线的体积分数分别为 29.5%和 7.5%；1400dtex/2 选用 V_1［104 根·(10cm)$^{-1}$］和 V_2［74 根·(10cm)$^{-1}$］，制得试样中帘线的体积分数分别为 26.1%和 20%。另外还有两种不同结构的人造丝帘布层试样：1840dtex/2，密度 82 根·(10cm)$^{-1}$；1840dtex/3，密度 74 根·(10cm)$^{-1}$。采用加贴不同厚度的隔离胶层来改变帘线在试样中的体积分数。制得 1840dtex/2 三种方案试样的帘线体积分数分别为 17.0%，11.6%和 8.9%；1840dtex/3 三种方案试样的帘线体积分数分别为 21.0%，14.4%和 11.2%。

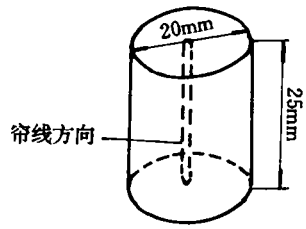

图 1　压缩试样

压缩试验分别在孟山都 T-10 和国产 XLL-250 型拉力机上进行。用这两种拉力机测得的压缩应力-应变曲线趋势是一致的，见图 2。本文的试验结果是在国产 XLL-250 型拉力机上测得的。压缩变形速度为 20mm·

* 国家自然科学基金项目部分工作。

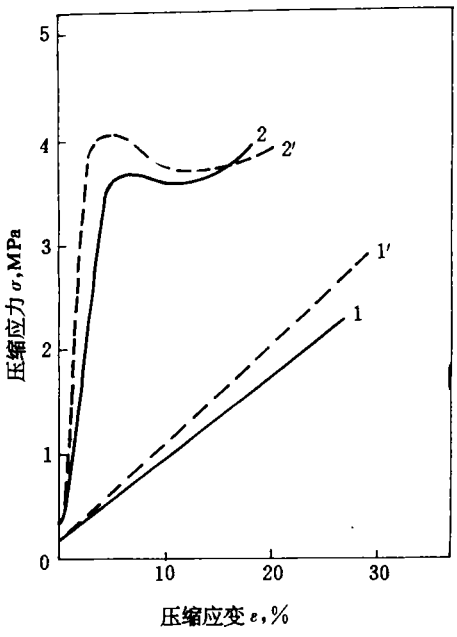

图 2 纯胶和尼龙帘线/橡胶压缩曲线

1,1′—纯胶;2,2′—尼龙帘线/橡胶
—孟山都 T-10;···· 国产 XLL-250

min^{-1},测量时最大量程选用 2500N。

2 压缩模量与压缩应变

根据块状橡胶压缩刚度计算[3],可相应求得压缩模量和压缩应变,见图 3。

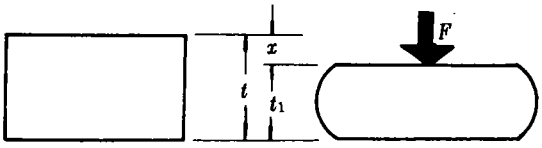

图 3 块状橡胶的压缩变形

压缩刚度

$$K_c = F/x = E_c A/t \qquad (1)$$

式中 F——压缩负荷;

E_c——压缩模量;

A——试样断面面积;

t——试样高度;

x——变形量。

由公式(1)得

$$E_c = \frac{F}{A} / \frac{x}{t} \qquad (2)$$

式中 F/A 为试样的压缩应力 σ_c,变形量 x 为试样原高度 t 与变形后高度 t_1 之差($x = t - t_1$),因此压缩应变可以公式(3)表达。

$$\varepsilon_c = (t - t_1)/t = x/t \cdot 100\% \qquad (3)$$

根据公式(2)和(3)得出橡胶压缩模量表达式(4)。

$$E_c = \sigma_c/\varepsilon_c \qquad (4)$$

纤维帘线/橡胶复合材料块状试样亦可应用公式(4),采用实测的压缩负荷 F 和变形量 x 或直接测得压缩应力 σ_c 和压缩应变 ε_c 来求得压缩模量 E_c。因纤维帘线/橡胶复合材料和纯橡胶均属弹塑性材料,应力-应变曲线属非线性的,所以一般采用增量法求模量,即

$$E_c = \Delta\sigma_c/\Delta\varepsilon_c \qquad (5)$$

3 结果与讨论

3.1 压缩状态下纤维帘线/橡胶复合材料中帘线的增强作用

对纯胶和纤维帘线/橡胶复合材料试样进行了压缩性能试验,结果见图 4 和 5。图 4 示出了纯帘布胶与尼龙帘线/橡胶复合材料试样(1400dtex/2,体积分数 26.1%)的压缩应力-应变曲线,其纯胶平均模量为 5.08MPa,而尼龙帘线/橡胶复合材料平均模量为 55.96MPa,约为纯胶的 11 倍。图 5 为纯帘布胶与人造丝帘线/橡胶复合材料试样(1840dtex/3,体积分数 21%)的压缩应力-应变曲线,其纯胶平均模量为 3.86MPa,而人造丝帘线/橡胶复合材料的平均模量为 56.12MPa,约为纯胶的 14.5 倍。这充分说明了帘线在压缩状态下对纤维帘线/橡胶复合材料的增强作用。从图 4 和 5 还可以看出,尼龙帘线和人造丝帘线的复合材料的压缩应力-应变曲线均有峰值。这是在压缩过程中发生的试样弯曲现象,试样弯曲后应力即刻下降,在继续加压后应力略有升高。根据这个峰值可求得帘线/橡胶复合材料中帘线的弯曲应力[1]。

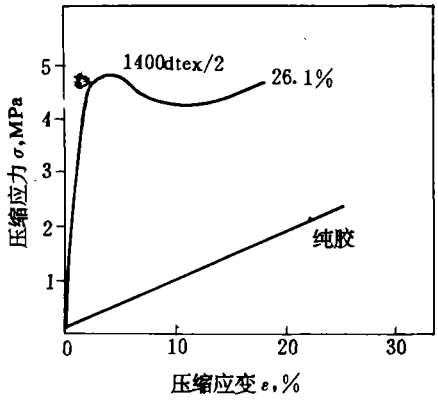

图 4　纯胶和尼龙帘线/橡胶复合材料的压缩应力-应变曲线

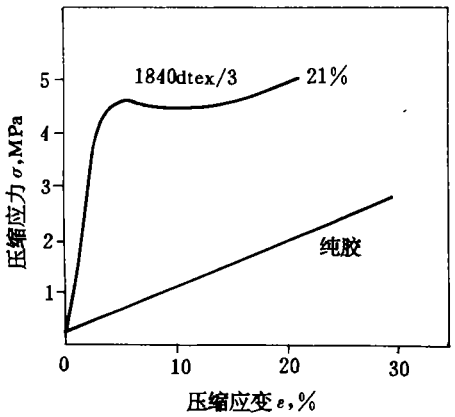

图 5　纯胶和人造丝帘线/橡胶复合材料的压缩应力-应变曲线

3.2　帘线体积分数对压缩性能的影响

图 6 为 933dtex/2 尼龙帘线两种不同密度帘布制得试样的压缩应力-应变曲线。从图 6 可以看出，帘线体积分数为 29.5%的尼龙帘线/橡胶复合材料发生弯曲时的应力大大高于体积分数为 7.5%者。以 1840dtex/3 和 1840dtex/2 人造丝采用加贴隔离胶制得不同帘线体积分数试样的压缩应力-应变曲线如图 7 和 8 所示。从中可以看出，曲线变化趋势与 933dtex/2 尼龙帘线相同，随着帘线体积分数增大，人造丝帘线/橡胶复合材料发生弯曲时应力也增大。这些曲线都说明帘线/橡胶复合材料中帘线体积分数对压缩性能特别是抗弯曲强度有直接影响。

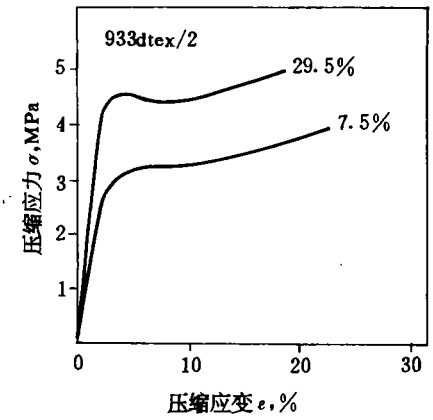

图 6　不同帘线体积分数的尼龙帘线/橡胶复合材料的压缩应力-应变曲线

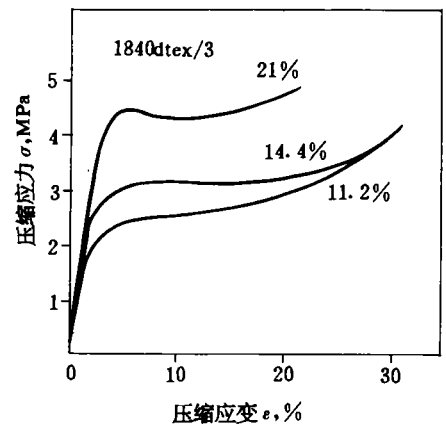

图 7　不同帘线体积分数的 1840dtex/3 人造丝帘线/橡胶复合材料的压缩应力-应变曲线

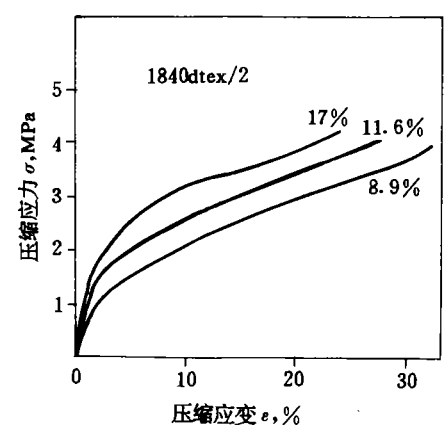

图 8　不同帘线体积分数的 1840dtex/2 人造丝帘线/橡胶复合材料的压缩应力-应变曲线

3.3 帘线结构、规格、类型对压缩性能的影响

图 9 表明，在帘线体积分数相同时，不同帘线结构的人造丝帘线/橡胶复合材料压缩性能，1840dtex/3 帘线比 1840dtex/2 帘线好，弯曲时应力大，且在压缩应力-应变曲线上有明显的转折。这说明帘线结构对帘线/橡胶复合材料的压缩性能有较大影响。

对不同规格尼龙帘线 933dtex/2 和 1400dtex/2 的帘线/橡胶复合材料压缩性能进行了对比试验，结果见图 10。从图 10 可以看出，帘线体积分数相近（29.5%和 26.1%）、不同单丝规格的尼龙帘线对复合材料的压缩性能影响不大。

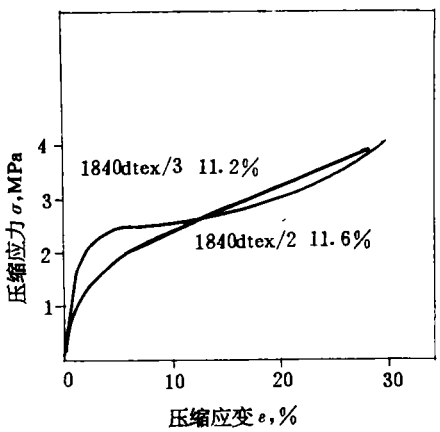

图 9 帘线体积分数相同、结构不同的人造丝帘线/橡胶复合材料的压缩应力-应变曲线

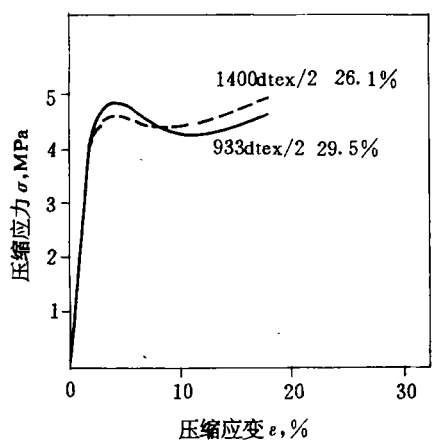

图 10 不同规格尼龙帘线/橡胶复合材料的压缩应力-应变曲线

图 11 示出了两种帘线体积分数相同、类型结构不同的帘线/橡胶复合材料的压缩应力-应变曲线。从中可以看出，1840dtex/3 人造丝帘线/橡胶复合材料在压缩弯曲时的应力略高于 1400dtex/2 尼龙帘线/橡胶复合材料，但曲线开始的大部分是接近一致的。这说明 1840dtex/3 人造丝帘线和 1400dtex/2 尼龙帘线在该体积分数下对帘线/橡胶复合材料的增强作用相差不多，但不能忽视帘线本身材料性能的影响。

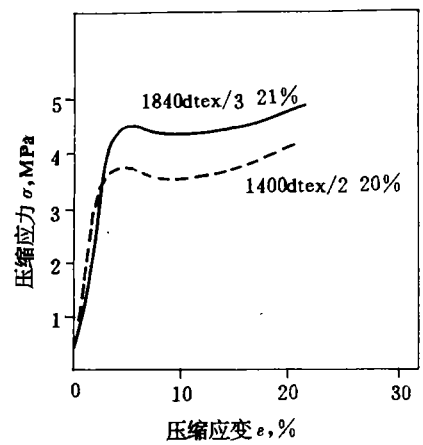

图 11 1840dtex/3 人造丝和 1400dtex/2 尼龙帘线/橡胶复合材料的压缩应力-应变曲线

4 结语

通过试验证明，在压缩状态下，尼龙、人造丝帘线在其与橡胶的复合材料中起着较大的增强作用，帘线体积分数是纤维帘线/橡胶复合材料压缩性能的主要影响因素，帘线的类型、规格、结构性能对纤维帘线/橡胶复合材料的抗弯曲能力也有明显影响。有关纤维帘线/橡胶复合材料不同方案的压缩模量有待进一步研究后再讨论。

致谢 试验用帘布材料由广州轮胎厂提供，特此致谢！

参考文献

1 Bourgois L. Survey of mechanical properties of steel cord and related test methods. Tire Reinforcement and Tire Performance. ASTMSTP694, 1979: 19—46

2 Du X W *et al*. Reinforcing function of polymer cord embedded in rubber under compression. Tire Science and Technology, 1992; 20(4): 254—264

3 Lindley P B. Engineering design with natural rubber. The Malaysian Rubber Producers Research Association, 1978: 35

收稿日期　1995-08-02

Compression Characteristics of Fabric Cord/Rubber Composite

Yu Qi, Liu Lianyun, Fang Geng and Shen Dahong

(South China University of Technology　510641)

Abstract　A test was made on the compression characteristics of fabric cord/rubber composite. The results showed that the volume proportion of the cord had a predominant effect on the compression characteristics of fabric cord/rubber composite; the type, size and structure of the cord had a significant effect on the bending strength of the composite.

Keywords　nylon cord, rayon cord, rubber, composite, compression characteristics, bending strength

耐超高温混炼胶出售

本公司提供下列混炼胶及模具，欢迎试用：

1. 耐 350℃高温硅橡胶混炼胶（详见《橡胶工业》1995 年第 10 期）；

2. 耐 200—250℃水蒸汽的混炼胶；

3. 耐－100℃的低温混炼胶；

4. 出售撕边“O”形圈群模，每副 300 元（详见《橡胶工业》1996 年第 1 期）；

5. 通用型硅橡胶混炼胶 37000 元 · t^{-1}。

宁波昌泰橡胶技贸有限公司

地址　浙江省宁波市四横街 17 号　　**邮政编码**　315020　　**传真**　0574-7309054

联系人　欧世渊　　**电话**　0574-7675711　　**BP**　0574-7366744-10400