

用截面固结法测定钢丝帘线泊松比^{*}

顾学甫 涂玉谦 俞 淇

(华南理工大学 510641)

摘要 对轮胎设计的有限元计算中关于泊松比的应用提出了新的见解,认为应该把泊松比计算式中的横向应变改成帘线横截面变化率较为妥当。介绍了用“截面固结法”测定钢丝帘线横截面变化率的实验方法

关键词 帘线 橡胶复合材料,钢丝帘线,泊松比

众所周知,将有限元法应用于轮胎设计可使整个轮胎设计过程达到快速高效的水平,对轮胎结构选型及优化设计都有很大裨益。在轮胎设计中,要用到帘线-橡胶复合材料的工程弹性常数,其中帘线的泊松比(μ_c)便是一个重要参数。过去习惯采用哈尔平-蔡方程(Halpin-Tsai)^[1]:

$$\mu_{12} = \mu_c V_c + \mu_r (1 - V_c) \quad (1)$$

在已知复合材料的主泊松比(μ_{12})、橡胶的泊松比(μ_r)及钢丝帘线的体积分数(V_c)的情况下求出 μ_c 值。这个方程已广泛地应用于许多复合材料的工程设计之中,显示出一定的优越性^[2]。然而,将上述反算的方法直接引用到钢丝帘线-橡胶复合材料的计算之中就显出不妥之处:一方面,泊松比是针对均质材料而言的,而钢丝帘线是由若干根很细的钢质单丝按一定方式绞捻成股的非均质材料;另一方面,方程(1)适用于弹性模量比较接近的复合材料,而轮胎复合材料中的钢丝帘线和橡胶基体的弹性模量相差3~4个数量级,两者的刚度比很大,所以对轮胎而言,借助于方程(1)反求 μ_c 的方法还值得深入研究

1 钢丝帘线的变形特征

钢丝帘线受纵向拉伸时,由于橡胶的柔软性,对钢丝帘线的约束并非刚性,在整条钢丝帘线伸展的同时还伴有“退捻”现象,对每一条单丝而言并未发生实质性的伸长变细,仅是由绞捻状向展直状态发展的“表观伸长”,不仅如此,整束钢丝帘线随着退捻,还发生横截面的旋转以及单丝与单丝之间的相对位置即松紧的变化。因而,其变形并不像一般材料受拉伸时纵向伸长横向收缩那么简单。

鉴于钢丝帘线的上述变形特征,有必要把帘线泊松比计算式中的横向应变改成帘线“横截面变化率”,用 X_h 表示。若帘线未受拉伸时的横截面面积为 F_0 (即原始截面面积),受拉伸后的截面面积为 F_1 ,则横截面变化率 X_h 可写成:

$$X_h = (F_1 - F_0) / F_0 \quad (2)$$

如果帘线的纵向伸长应变为 X_L ,则帘线的泊松比 μ_c 可由下式定义:

$$\mu_c = X_h / X_L \quad (3)$$

笔者认为,如此定义的帘线泊松比不但在概念上可以避免与传统的针对材料而言的泊松比相混淆而造成误解误算,而且还能较确切地反映和概括帘线的上述变形特征。严格地说,把式(3)的定义仍称为泊松比是不妥当的,但在未找到新名称的情况下,权且借称而已,只要注意 μ_c 的内涵已有实质性的改变便可。

^{*} 国家自然科学基金资助项目。

作者简介 顾学甫,男,1934年出生。教授。从事实验力学、复合材料力学及测试技术方面的科研与教学工作。

2 横截面变化率 ϵ_H 的实验测定方法

为了把钢丝帘线在受拉伸前后的横截面变化情况准确地测定出来,我们设计了“截面固结法”试验。

2.1 截面固结法试验

截面固结法试验所用钢丝帘线结构为 $1 \times 5 \times 0.25$, 其技术参数为: 单丝直径 0.25mm ; 单丝根数 5根; 捻距 10.0mm ; 捻向 S; 断裂强力 595N ; 帘线粗度 0.66mm 帘线测试段长度为 1.2m , 无折痕, 其表面镀铜层完好, 无氧化现象。

截面固结法试验示意图见图 1

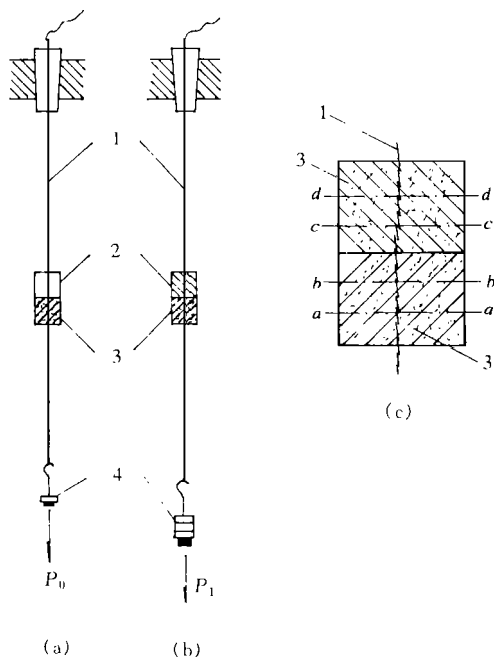


图 1 截面固结法试验示意图

1—钢丝帘线; 2—小容器; 3—凝固剂; 4—砝码;

(a)—初载时; (b)—满载时; (c)—切割面

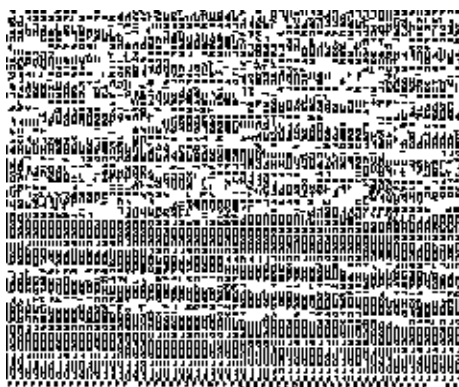
先往环氧树脂中加入适量的固化剂和增硬剂, 调配成糊状的常温凝固剂备用。然后把待测钢丝帘线一端悬固起来, 另一端加上作为初始拉力 (P_0) 的砝码, 使帘线处于挺直状态, 用丙酮清洗帘线表面, 将调配好的凝固剂

灌入预先准备好的小容器内, 至容器的一半为止, 如图 1(a)所示。待凝固后, 帘线的初始截面大小及形态就被此凝固剂固结住了。接着便可对钢丝帘线施加预定的纵向拉伸载荷 (P_1), 在保持恒定载荷且不让帘线转动的情况下, 再次把凝固剂灌入小容器余下的另一半空间内, 灌满为止。待其完全固化后, 处于拉伸状态下的这段帘线的横截面大小及形态也被固结住了, 如图 1(b)所示。在此过程中, 帘线的纵向应变可按常规测量方法测得。最后按图 1(c)所示, 将整个凝固段沿 $a-a$, $b-b$, $c-c$ 和 $d-d$ 切割开来, 并将切割面抛光, 便可显现出钢丝帘线的横截面。显然, $a-a$ 和 $b-b$ 截面是钢丝帘线初始状态下的截面, $c-c$ 和 $d-d$ 截面则是钢丝帘线拉伸状态下的截面。

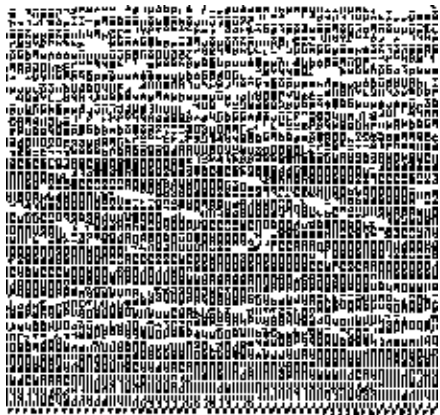
2.2 扫描电子显微镜观察结果分析

将钢丝帘线截面的切片试样逐一放在 S-550 型扫描电子显微镜及 IM IX II C 型能谱仪下进行放大观测, 结果见图 2。从照片上可以看出, 拉伸后的各单丝之间出现了空隙和变位, 但单丝的直径却很少变化。

多次用扫描电子显微镜观测 $1 \times 5 \times 0.25$ 钢丝帘线的拉伸变形, 结果如下:



(a) 拉伸前



(b)拉伸后

图 2 扫描电子显微镜下的帘线截面

(1)在纵向拉伸时,帘线横截面朝着退捻的方向旋转;

(2)在拉力作用下的纵向伸长量主要是由退捻提供的,实际上是每根单丝由绞曲状态趋向于伸直,形成表观伸长变形,而单丝本身并未发生明显的纵向伸长变形,也未见单丝直径有明显变小的迹象。

为了能把帘线中各条单丝的位置变化因素对整束帘线横截面面积改变的影响反映到横截面变化率中去,我们将单丝的外包络线围成的面积作为帘线横截面面积,这样就能把单丝之间的空隙变化程度考虑进去,见图 3

实验表明,钢丝帘线在拉伸后的横截面面积大于拉伸前的面积,这是单丝之间的距离及相对位置发生变化的缘故。将由实测得到的 X 和 X_0 代入式 (2) 及 (3), 计算得 $K=5\times 0.25$ 钢丝帘线的泊松比为 1.27~1.81

3 结论

(1)用泊松比的定义和概念描述作为结

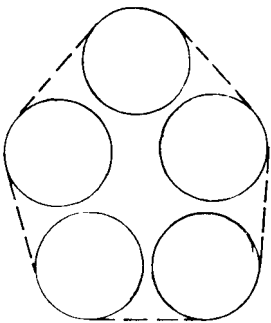


图 3 用包络线计算帘线截面积

构物的钢丝帘线的变形是不妥当的。在轮胎设计中使用泊松比参数应是有条件的。

(2)用钢丝帘线横截面变化率替代横应变,并将钢丝帘线的泊松比定义为横截面变化率与纵向伸长应变之比,能较全面地概括帘线横截面面积大小、形态及捻股松紧变化等综合因素

(3)用“截面固结法”把帘线截面变化的情况实时地固结起来,为扫描电镜分析与测定提供了可靠的保证。但仍无法反映同一个截面在拉伸前后的变化情况,因此其结果有一定的近似性。

(4)不同结构的钢丝帘线虽然都是钢质材料,但其泊松比有较大的差别,因此,都应通过实测得到可靠的泊松比。况且,由于帘线本身的不均匀性,即使是同一结构、同一批的帘线,所测到的泊松比值也不会是一个固定的常数。如 $K=5\times 0.25$ 钢丝帘线泊松比的取值是 1.27~1.81 之间的一个范围。

参考文献

1 Parhizgar S *et al.* Determination of stiffness properties of single-ply cord-rubber composites. *Tire Science and Technology*, 1982; 16(2): 119
2 琼斯 R M(美). 朱颐龄等译校. 复合材料力学. 上海: 上海科技出版社, 1991: 70

Determination of Poisson's Ratio of Steel Cord in Cord-rubber Composite by Section Coagulating Method

Gu Xuefu, Tu Yuqian and Yu Qi

(South China University of Science and Technology 510641)

Abstract A new viewpoint on the application of poisson's ratio to the finite element calculation in tire design has been proposed. It is considered that the transverse strain of steel cord in the typical formula should be replaced by the section variation ratio, and an experimental method to measure this ratio is put forward as well.

Keywords cord-rubber composite, steel cord poisson's ratio

神马集团成立

我国特大型企业——中国神马帘子布(集团)公司最近召开改制大会,宣布中国神马集团有限责任公司正式成立。这标志着该公司已顺利地完成了向现代企业制度的改造。

中国神马集团是以原平顶山帘子布厂为核心,由其全资、兼并、控股、参股及外联企业共 40 家科、工、贸成员组成的现代化企业集团。目前,该集团已发展为世界上最大的尼龙帘子布生产基地之一,也是我国第一家生产尼龙 66 帘子布的现代化企业。该公司资产总额已达 50 亿元,产品包括帘子布、工业丝、地毯丝、橡胶、轮胎、工程塑料等,1996 年上半年被列为全国 300 家重点企业和河南省特大型企业,改制后的神马集团正在实施的项目有国家“九五”重点工程——尼龙 66 盐厂及帘子布三期工程、BCF 地毯丝公司技改工程等,到 2000 年,力争实现年销售额 50 亿元,利税 10 亿元,出口创汇 5000 万美元。

(摘自《中国化工报》,1996,12,27)

岳化橡胶厂 BR 年产逾 3 万 t

1996 年 12 月 6 日,从湖南省巴陵公司岳化合成橡胶厂传出喜讯:该厂 BR 年产量达到 30007t,实现了该生产装置由年产 1.5 万 t 扩大到 3 万 t 后当年竣工、当年投产、当

年达标的目标,创造了国内 BR 装置技术改造的新纪录。

该厂是我国 SR 工业技术开拓者之一,70 年代曾参与全国 SR 工业生产技术大会战,获得过国家科技进步特等奖和 BR 产品质量金牌奖。凭借生产技术和产品质量优势,该厂 1995 年初投入资金 5000 万元,对原 BR 装置进行技术改造,其主体设备全部国产化,同时引进美国霍尼韦尔公司 DCS 自控操作技术。该项目从立项到建成试车投产一次成功,历时不到 13 个月。

(摘自《中国化工报》,1997,1,6)

巴陵鹰山石化帘子布装置投运

由中国石化总公司投资 13.76 亿元兴建的年产 1.3 万 t 纯尼龙浸胶帘子布生产装置,在巴陵石化公司鹰山石化厂全线开车成功,生产出合格的产品。

该工程是鹰山石化厂年产 5 万 t 己内酰胺生产的后续项目。以己内酰胺为原料生产出的尼龙帘子布是制造轮胎等橡胶制品的骨架材料,随着我国汽车工业的不断发展,市场前景看好。该项目的开车成功,使鹰山石化厂生产的己内酰胺得以向中下游延伸,具有良好的经济效益和社会效益。

(摘自《中国化工报》,1997,1,3)