

# 织物经纬向对硅橡胶制品成型工艺及力学性能的影响

姬敏,雷海军

(西北橡胶塑料研究设计院有限公司,陕西 咸阳 712023)

**摘要:**对比涤纶针织布、涤纶网眼布、玻璃纤维布3种织物及其与硅橡胶复合材料的经纬向性能,分析织物经纬向对硅橡胶制品成型工艺和力学性能的影响。结果表明:3种织物的纬向拉断伸长率均大于经向拉断伸长率;织物/硅橡胶复合材料的力学性能主要由织物提供,纬向拉断伸长率大于经向拉断伸长率,在小变形时经向拉伸力大于纬向拉伸力;加入织物的复合材料的收缩率显著降低,纬向收缩率大于经向收缩率;利用涤纶针织布纬向的大变形,可实现异形制品表面织物无搭接成型;利用织物纬向变形可解决玻璃纤维布/硅橡胶制品长度方向易弯折的问题;增加织物后中空P形结构硅橡胶制品的经向压缩力大于纬向压缩力。在硅橡胶制品结构、模具和工艺设计时,为保证制品的质量一致性,应充分考虑织物经纬向。

**关键词:**织物;硅橡胶;经向;纬向;涤纶针织布;涤纶网眼布;玻璃纤维布;橡胶制品

**中图分类号:**TQ330.38<sup>+</sup>9;TQ333.93

**文章编号:**2095-5448(2023)01-0016-06

**文献标志码:**A

**DOI:**10.12137/j.issn.2095-5448.2023.01.0016



OSID开放科学标识码  
(扫码与作者交流)

橡胶材料具有柔软易变形、弹性高、环境适应性好等特点,织物材料具有强度和模量高等特点,橡胶材料与织物材料复合而成的橡胶制品结合两者优势,在国防和民用工业领域广泛应用<sup>[1-2]</sup>。

硅橡胶与织物复合的橡胶制品具有密封、减震和降噪等功能,主要通过橡胶与织物模压硫化而成,其中织物主要为涤纶针织布、玻璃纤维布等,织物对保证橡胶制品的尺寸稳定性和强度等具有重要的作用<sup>[3-4]</sup>。

目前关于橡胶与织物复合的研究主要集中在粘合强度和制品的成型工艺等。织物因固有属性,一般经向和纬向会存在不同的变形和力学性能,织物经纬向对实际生产和应用会有一些影响,但关于织物经纬向的研究较少<sup>[5-6]</sup>。

涤纶针织布具有良好的耐磨性能和环境适应性等,一般复合于橡胶制品表面,以改善橡胶制品

的强度、耐磨性能和尺寸稳定性;涤纶网眼布具有大量的网眼,一般复合于橡胶制品内部或表面,用于提高橡胶制品的强度和刚度等,橡胶制品的尺寸稳定性好;玻璃纤维布为一种无机非金属材料,具有化学稳定性好、耐高温、断裂强度较高等特点,一般复合于橡胶制品内部或表面,可提高橡胶制品的强度和刚度,制品尺寸稳定性好,同时可改善橡胶制品的耐高温性能、满足阻燃功能要求<sup>[7-8]</sup>。

本工作基于织物与硅橡胶复合制品方面的工作经验,选用典型的涤纶针织布、涤纶网眼布、玻璃纤维布3种织物与硅橡胶复合,研究织物经纬向对硅橡胶制品成型工艺及力学性能的影响,期望为橡胶与织物复合制品的生产和使用提供参考。

## 1 实验

### 1.1 主要原材料

50级硅橡胶,西北橡胶塑料研究设计院有限公司产品;涤纶针织布、涤纶网眼布、玻璃纤维布(见图1—3),市售品。

**作者简介:**姬敏(1986—),男,陕西韩城人,西北橡胶塑料研究设计院有限公司工程师,硕士,主要从事橡胶制品性能的研究。

**E-mail:**jiminemail@163.com

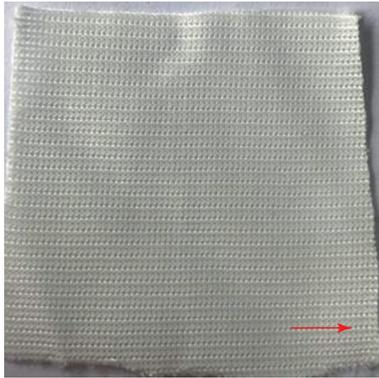


图1 涤纶针织布(箭头方向为纬向)

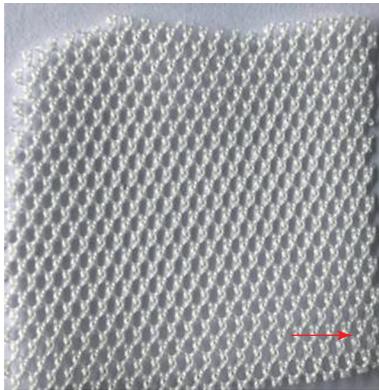


图2 涤纶网眼布(箭头方向为纬向)

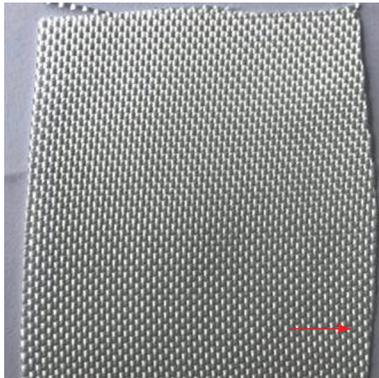


图3 玻璃纤维布(箭头方向为纬向)

## 1.2 主要设备和仪器

C-50-PCD型电热平板硫化机,上海轻工机械股份有限公司产品;CMT-4502型微机控制电子万能试验机,美特斯工业系统(中国)有限公司产品。

## 1.3 试样制备

力学性能和收缩率测试用试样采用235 mm×140 mm×2 mm的模具进行硫化,硫化条件为160 °C/8 MPa×20 min。

成品测试用试样采用P形样段模具进行硫化,

硫化条件为160 °C/8 MPa×25 min。

## 1.4 性能测试

试样硫化后停放16 h,各项性能按照相应国家标准或者行业标准进行测试。

## 2 结果与讨论

### 2.1 经纬向性能

#### 2.1.1 织物的经纬向性能

涤纶针织布、涤纶网眼布和玻璃纤维布的经纬向性能按照FZ 65001—1995《特种工业用织物物理机械性能试验方法》测试,结果如表1所示。

表1 不同织物的经纬向性能

项 目	涤纶针织布	涤纶网眼布	玻璃纤维布
断裂强力 <sup>1)</sup> /N			
经向	940	532	270
纬向	458	410	180
拉断伸长率/%			
经向	37	58	30
纬向	147	104	40

注:1)试样尺寸为5 cm×20 cm。

由表1可知:3种织物的经向断裂强力均大于纬向断裂强力,纬向拉断伸长率均大于经向拉断伸长率,其中涤纶针织布的经向拉断伸长率与纬向拉断伸长率相差较大,纬向拉断伸长率为经向拉断伸长率的近4倍;涤纶网眼布的纬向拉断伸长率为经向拉断伸长率的近2倍;玻璃纤维布的经向和纬向拉断伸长率均较小,纬向拉断伸长率大于经向拉断伸长率。织物经纬向性能主要与织物材料及编制方法等有关,属于织物固有属性。

#### 2.1.2 织物/硅橡胶复合材料的经纬向性能

织物/硅橡胶复合材料参考HG/T 2580—2008《橡胶或塑料涂覆织物 拉伸强度和拉断伸长率的测定》,从织物经向和纬向两个角度测试力学性能,因织物比橡胶先发生破坏,以织物破坏时的最大力为试验结果,如表2所示。

由表2可知:织物/硅橡胶复合材料的力学性能与织物力学性能变化趋势基本一致,经向拉断力均大于纬向拉断力,纬向拉断伸长率均大于经向拉断伸长率,其中涤纶针织布/硅橡胶复合材料的经向和纬向拉断伸长率相差较大,纬向拉断伸长率为经向拉断伸长率的近5倍;涤纶网眼布/硅

表2 织物/硅橡胶复合材料的经纬向性能

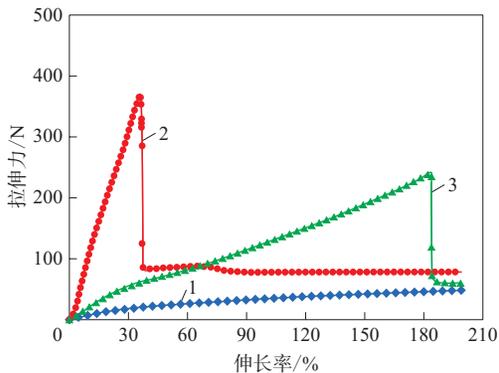
项 目	涤纶针织布/硅橡胶复合材料	涤纶网眼布/硅橡胶复合材料	玻璃纤维布/硅橡胶复合材料
拉断力/N			
经向	368	286	452
纬向	242	246	326
拉断伸长率/%			
经向	36.1	76.5	6.9
纬向	184.3	129.5	13.0

注:试样宽度为20 mm。

橡胶复合材料的纬向拉断伸长率为经向拉断伸长率的近2倍;玻璃纤维布/硅橡胶复合材料的经向和纬向拉断伸长率均较小,纬向拉断伸长率为经向拉断伸长率的近2倍。

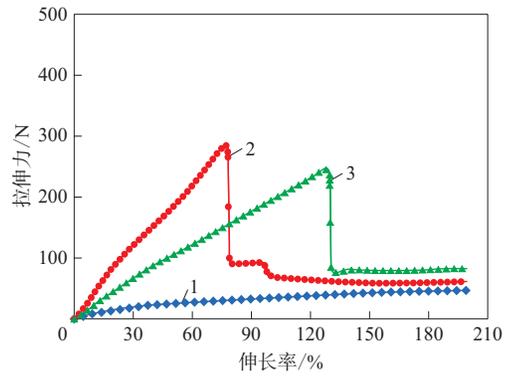
为清晰表征不同织物对织物/硅橡胶复合材料力学性能的贡献,以纯硅橡胶作为对比,织物/硅橡胶复合材料拉伸力随伸长率的变化如图4—6所示。

由图4—6可知:随着伸长率增大,纯硅橡胶的拉伸力缓慢增大,3种织物/硅橡胶复合材料的经向和纬向拉伸力均增大,经向拉伸力增大速率快于纬向拉伸力;复合材料中织物先出现断裂,橡胶继续变形,拉伸力大大减小;在相同拉伸力作用下,涤纶针织布/硅橡胶复合材料的纬向伸长率最大,变形最大;玻璃纤维布/硅橡胶复合材料的经向和纬向伸长率都较小,其中纬向伸长率显著大于经向伸长率。分析原因,织物与橡胶材料复合后,因橡胶材料变形大,模量小,复合材料的力学性能主要由织物提供,因织物经纬向性能不同、织物种类不同,复合材料表现出不同的拉伸力和伸长率。



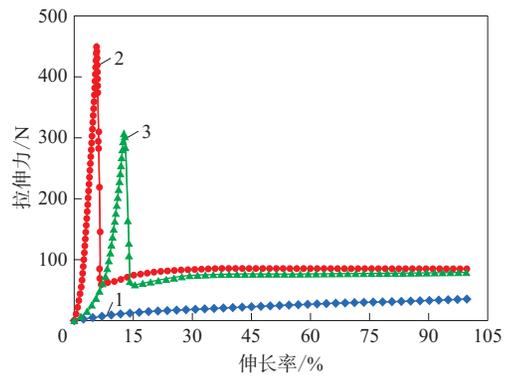
1—硅橡胶;2—涤纶针织布/硅橡胶复合材料(经向);3—涤纶针织布/硅橡胶复合材料(纬向)。

图4 涤纶针织布/硅橡胶复合材料的拉伸力学曲线



1—硅橡胶;2—涤纶网眼布/硅橡胶复合材料(经向);3—涤纶网眼布/硅橡胶复合材料(纬向)。

图5 涤纶网眼布/硅橡胶复合材料的拉伸力学曲线



1—硅橡胶;2—玻璃纤维布/硅橡胶复合材料(经向);3—玻璃纤维布/硅橡胶复合材料(纬向)。

图6 玻璃纤维布/硅橡胶复合材料的拉伸力学曲线

## 2.2 成型工艺

对于织物/硅橡胶制品的成型工艺,从收缩率、硫化成型和其他方面进行分析。

### 2.2.1 收缩率

模压橡胶制品的收缩率是模具设计中一个非常重要的因素,对于织物与橡胶复合制品,其收缩率与织物的厚度、层数和放置位置等有关<sup>[9]</sup>。3种织物/硅橡胶复合材料的收缩率如表3所示。

由表3可知:3种织物与硅橡胶复合后,复合材料的经向和纬向收缩率都显著降低,织物层数增大后复合材料的经向和纬向收缩率进一步降低,经向收缩率显著小于纬向收缩率;织物经纬向对复合材料收缩率的影响大于织物层数对收缩率的影响;涤纶针织布/硅橡胶复合材料的经向和纬向收缩率相差较大,纬向收缩率为经向收缩率的5倍左右;涤纶网眼布/复合材料的经向和纬向收缩率相差较小,纬向收缩率为经向收缩率的1.5倍左

表3 3种织物/硅橡胶复合材料的收缩率

材 料	织物层数	收缩率/%	
		经向	纬向
硅橡胶		3.2	
涤纶针织布/硅橡胶复合材料	1	0.4	1.7
涤纶针织布/硅橡胶复合材料	2	0.3	1.6
涤纶网眼布/硅橡胶复合材料	1	0.8	1.2
涤纶网眼布/硅橡胶复合材料	2	0.7	1.1
玻璃纤维布/硅橡胶复合材料	1	0.2	0.8
玻璃纤维布/硅橡胶复合材料	2	0	0.4

注:试样厚度为2 mm;硫化胶收缩率=(模具尺寸-橡胶试样尺寸)/橡胶试样尺寸;织物/橡胶复合材料和橡胶试样均按照压延方向裁样。

右;玻璃纤维布/硅橡胶复合材料的经向和纬向收缩率均较小,纬向收缩率为经向收缩率的4倍。分析原因,模压硫化后橡胶会收缩,织物与橡胶复合后,因织物的模量大于橡胶的模量,织物的热膨胀系数小于橡胶的热膨胀系数,织物限制橡胶收缩;由于织物的经向变形小于纬向变形,复合材料在收缩过程中,在织物变形小的经向不易变形收缩,导致复合材料的经向收缩率小于纬向收缩率。在实际生产中,对于精度要求较高的橡胶制品,模具设计时应充分考虑织物经纬向对收缩率的影响;在橡胶制品成型时,需根据模具设计时的收缩率确定织物的经纬方向,固化成型工艺,才能保证橡胶制品质量稳定。

### 2.2.2 硫化成型

硅橡胶制品表面一般要求光滑、平整,在工艺允许的情况下,应减少织物搭接,实现更好的橡胶制品整体性能、力学性能和表面质量等。为满足不同场合的应用要求,硅橡胶制品有各种结构形式,对于一般规整结构(如中空P形直条、平片状等)制品,织物按制品外形拉平包覆即可,但异形制品表面无法展开平铺成一个平面,织物包覆成为异形制品成型工艺的难点。

对于异形制品,可利用涤纶针织布较大的纬向变形,实现表面织物无搭接成型;涤纶网眼布存在网眼,橡胶可渗入网眼并硫化在一起,织物拼接对橡胶制品功能的影响较小;玻璃纤维布因变形小,仅可通过织物搭接实现表面贴合织物。

某表面包覆涤纶针织布的异形制品结构如图7所示。由于制品表面无法展开形成一个平面,利用涤纶针织布较大的纬向伸长率,织物纬向朝向制品局部展开时织物长度大的方向,织物先局部

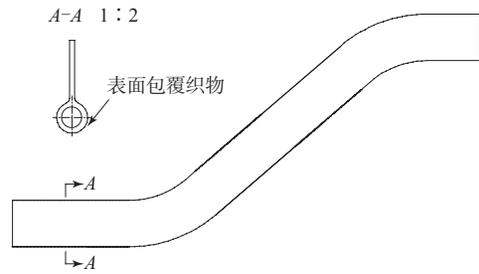


图7 表面包覆织物异形制品结构示意图

包覆,随后利用织物纬向的大变形缓慢拉伸变形和包覆,最终实现制品整体表面包覆,织物无搭接、制品表面质量好。

### 2.2.3 其他

硅橡胶制品在包装、转运和安装过程中,存在弯曲变形,伸长率较小的织物/硅橡胶复合制品弯曲后表面会出现折痕,甚至导致织物断裂,影响制品外观和使用寿命。对于长直条制品,所用涤纶针织布、涤纶网眼布的经纬向分别为长度方向,使用性能良好,但玻璃纤维布经向为制品长度方向时,会出现折痕,甚至织物断裂情况,主要原因为玻璃纤维布伸长率小,在挤压时变形不够导致应力集中。

玻璃纤维布的纬向伸长率大于经向伸长率,因此玻璃纤维布纬向作为制品长度方向可显著改善织物的弯折问题,从而满足制品的使用要求。由于织物整卷纬向为整卷织物宽度方向,在制品长度过大、幅宽方向尺寸无法满足制品长度要求的情况下,则可沿宽度方向(纬向)向长度方向(经向)倾斜裁剪,分享纬向的变形,制品也可满足实际使用要求。

### 2.3 成品力学性能

硅橡胶密封制品主要通过其被压缩后产生的回弹力补偿实现密封,同时该回弹力也是制品压缩安装难易程度的一个重要参数。硅橡胶制品结构种类较多,本工作选取中空P形结构典型件(见图8),采用100 mm样段,参考GB/T 7757—2009《硫化橡胶或热塑性橡胶 压缩应力应变性能的测定》进行压缩试验,典型件压缩示意图9,压缩率为30%,压缩量为7.2 mm,织物方向为橡胶型材中空断面环形方向。3种织物/硅橡胶制品的压缩试验结果如图10—12所示。

从图10—12可以看出,增加织物后,橡胶制品

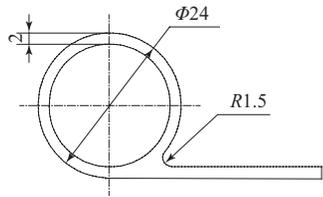


图8 中空P形结构典型件剖面示意

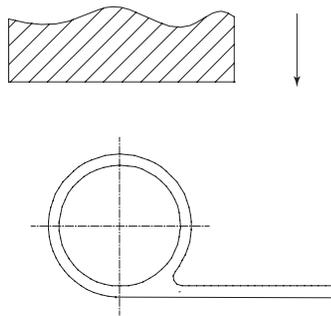
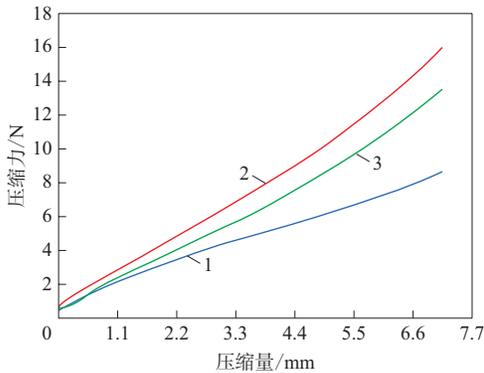
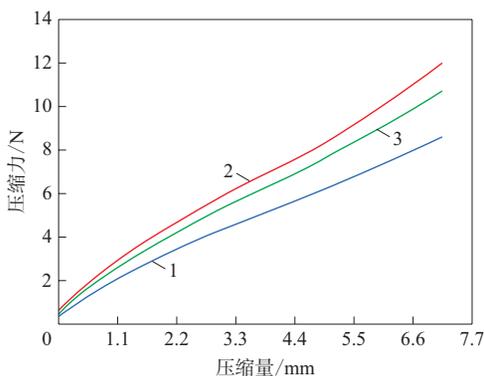


图9 中空P形结构典型件压缩示意



注同图4。

图10 涤纶针织布/硅橡胶制品的压缩力-压缩量曲线



注同图5。

图11 涤纶网眼布/硅橡胶制品的压缩力-压缩量曲线

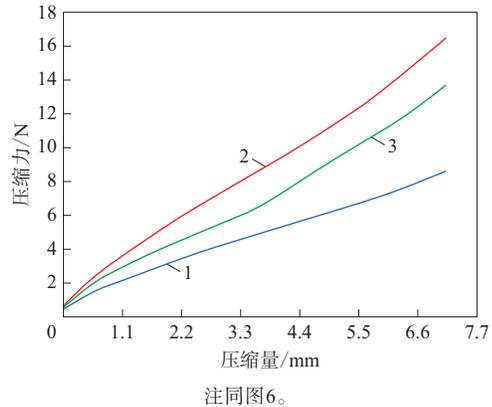


图12 玻璃纤维布/硅橡胶制品的压缩力-压缩量曲线的压缩力增大,经向压缩力大于纬向压缩力。分析原因,在织物/橡胶复合制品中,因受织物限制,橡胶变形所需的力大;在相同变形下,织物经向变形所需的力大于纬向变形所需的力。

在织物/硅橡胶制品选材和设计时,为实现所需的压缩力,也可以通过调整织物种类和织物方向实现设计目标,此外为保证制品质量的一致性,制品成型时需注意织物方向。

### 3 结论

(1) 涤纶针织布、涤纶网眼布、玻璃纤维布的纬向拉断伸长率均大于经向拉断伸长率,织物/硅橡胶复合材料的力学性能主要由织物提供,复合材料的纬向拉断伸长率均大于经向拉断伸长率。

(2) 橡胶复合织物后,收缩率明显降低,复合材料的经向收缩率小于纬向收缩率。

(3) 在成型时,对于表面复合涤纶针织布的异形制品,利用涤纶针织布纬向的大变形,可实现异形制品表面织物无搭接成型;利用织物纬向变形大的特点,将玻璃纤维布纬向作为制品长度方向,可显著改善玻璃纤维布/硅橡胶制品易弯折的问题,满足制品使用要求。

(4) 增加织物的中空P形硅橡胶制品的压缩力增大,经向压缩力大于纬向压缩力。

(5) 因织物经纬向性能不同,在硅橡胶制品模具设计时应充分考虑织物方向对复合材料收缩率的影响,在成型中应根据织物经纬向变形的差异控制织物变形,在制品设计时充分考虑织物经纬向对成品力学性能的影响,固化织物方向,改进制品成型工艺,保证制品的质量一致性。

## 参考文献:

- [1] 李冰. 橡胶的织物增强[J]. 合成橡胶工业, 1998, 21(2): 123-126.
- [2] 高称意. 纤维骨架材料技术讲座 第1讲 纤维骨架材料的作用和发展历程[J]. 橡胶工业, 2000, 47(9): 571-574.
- [3] 褚衡, 刘庆丰, 严海彪, 等. 橡胶制品纤维骨架材料的研究进展[J]. 特种橡胶制品, 2006, 27(3): 53-57.
- [4] 谢忠麟, 马晓, 吴淑华. 高性能特种弹性体的拓展(三)—硅橡胶(续完)[J]. 橡胶工业, 2021, 68(12): 948-958.
- [5] 谭磊, 胡心怡. 纬编针织物方向与弹性及刚柔性的关系[J]. 纺织学报, 2002, 23(1): 51-52.
- [6] 周红涛, 肖学良, 钱坤. 平面三向织物增强橡胶复合材料的偏轴拉伸性能研究[J]. 中国塑料, 2019, 33(3): 38-42.
- [7] 毛科铸, 梁馨, 罗丽娟, 等. 纤维织物和耐烧蚀填料对硅橡胶涂覆织物性能的影响[J]. 科学技术与工程, 2017, 17(26): 30-35.
- [8] 彭新龙, 梁卓恩. 玻璃纤维增强乙烯基酯复合材料的层间增韧研究[J]. 塑料科技, 2022, 50(8): 60-65.
- [9] 张秀英. 橡胶模具设计方法与实例[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.

收稿日期: 2022-09-08

## Effect of Warp and Weft Directions of Fabric on Molding Process and Mechanical Property of Silicone Rubber Products

JI Min, LEI Haijun

(Northwest Rubber and Plastic Research and Design Institute Co., Ltd, Xianyang 712023, China)

**Abstract:** The warp and weft direction properties of three fabrics, including knitted polyester fabric, polyester mesh fabric and glass fiber cloth, and their composites with silicone rubber were compared, and the effect of warp and weft direction on the molding process and mechanical properties of silicone rubber products was analyzed. The results showed that, the elongation at break of the three fabrics in the weft direction was greater than that in the warp direction. The mechanical properties of the fabric/silicone rubber composites were mainly provided by fabrics. The elongation at break of the composites in the weft direction was greater than that in the warp direction, and the tensile stress in the warp direction was greater than that in the weft direction at small deformation. The shrinkage of the fabric composites decreased significantly compared with the rubber without fabrics, and the shrinkage in the weft direction was greater than that in the warp direction. The large weft direction deformation of the knitted polyester fabric could be used to realize the non-overlapping molding of the fabric on the surface of special-shaped products. The problem of easy bending in the length direction of the glass fiber cloth/silicone rubber products could be solved by utilizing the weft deformation of the fabric. After adding fabric, the compressive force in the warp direction of the hollow P-shaped silicone rubber products was greater than that in the weft direction. The warp and weft direction properties of the fabric should be fully considered in the structure, mold and process design of silicone rubber products to ensure the quality consistency of the products.

**Key words:** fabric; silicone rubber; warp direction; weft direction; knitted polyester fabric; polyester mesh fabric; glass fiber cloth; rubber products

### 声 明

《橡胶工业》《轮胎工业》《橡胶科技》均不收取审稿费。任何机构、个人以任何名义向作者收取审稿费均为诈骗行为。请广大作者互相转告, 勿信诈骗信息。作者投稿请直接登录官网([www.rubbertyre.com.cn](http://www.rubbertyre.com.cn)), 在投稿系统中可查询稿件录用结果。有任何疑问请及时与编辑部联系。