

# 橡胶工业化学纤维帘布 加工工艺学

〔苏联〕 P.B. 乌吉娜主编



石油化学工业出版社

# 橡胶工业化学纤维 帘布加工工艺学

北京橡胶工业研究所情报室译

刘 怀 荣 校

石油化学工业出版社

本书系橡胶工业用化学纤维帘布加工处理专著。书中首先从理论上分析了帘布和帆布在橡胶制品中的工作状态和决定橡胶帘布体系粘合强度的基本规律。然后着重介绍了粘胶丝、聚酰胺和聚酯帘布与橡胶结合的粘合剂和加工工艺。书中对于胶带等工业橡胶制品的帆布及线绳处理也相应做了介绍。可供橡胶工业战线有一定生产经验的工人和技术人员阅读，也可供有关院校师生参考。

本书由北京橡胶工业研究所情报室译，由天津橡胶工业研究所情报室刘怀荣校。

ТЕХНОЛОГИЯ  
обработки корда  
из химических  
волокон  
в резиновой  
промышленности  
под ред. Р. В. УЗИНОЙ  
ИЗДАТЕЛЬСТВО «ХИМИЯ» 1973 МОСКВА

橡胶工业化学纤维帘布加工工艺学

北京橡胶工业研究所情报室译

石油化学工业出版社出版

(北京和平里七区十六号楼)

石油化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

开本787 × 1092 <sup>1</sup>/<sub>32</sub> 印张 7 <sup>3</sup>/<sub>8</sub> 字数163千字印数1—4,000

1978年3月北京第1版 1978年12月北京第1次印刷

书号15063·化222 定价0.60元

# 目 录

<b>第一章 橡胶帘布和橡胶帆布在制品中的工作状态</b> .....	1
一、橡胶帘布和橡胶帆布结构的性能 .....	1
二、充气轮胎 .....	9
1. 轮胎结构部件中帘线和橡胶的受力情况 .....	11
2. 轮胎帘布的物理机械性能 .....	21
3. 对轮胎帘布的基本技术要求 .....	31
三、橡胶工业制品（传动带、运输带） .....	33
1. 橡胶工业制品用帘线绳和钢索的物理机械性能 .....	36
2. 对橡胶工业制品用材料的技术要求 .....	37
四、帘线和帘布的结构与品种 .....	38
五、决定轮胎帘布和工业帆布性能的技术特性 .....	42
1. 主要技术特性 .....	42
2. 橡胶帘布体系的粘合强力 .....	47
3. 帘线的疲劳性能 .....	51
参考文献 .....	55
<b>第二章 决定橡胶帘布体系粘合强度的基本规律</b> .....	58
一、橡胶帘布体系的构造 .....	58
二、粘合剂-橡胶和粘合剂-帘布间的界面过程 .....	65
1. 粘合剂-橡胶间的界面过程 .....	65
2. 粘合剂-帘布间的界面过程 .....	70
三、对帘布-粘合剂-橡胶体系粘合强力有影响的因素 .....	74
1. 粘合剂 .....	74
2. 胶料 .....	87
四、多层橡胶帘布体系的一些粘合理论问题 .....	92
1. 有关聚合物粘合的现代见解 .....	92

2. 帘布-粘合剂-橡胶体系的特点 .....	94
3. 多层橡胶帘布体系粘合性质的理论见解 .....	95
参考文献 .....	101
<b>第三章 帘布与橡胶结合用粘合剂</b> .....	109
一、粘胶丝和聚酰胺帘布浸渍用的胶乳粘合剂 .....	109
1. 胶乳 .....	110
2. 合成树脂 .....	118
3. 填充剂 .....	127
二、工业粘合剂用的几种主要胶乳 .....	129
三、非胶乳粘合剂 .....	139
1. 聚酰胺帘布用树脂粘合剂 .....	139
2. 聚酯帘布用的多异氰酸酯粘合剂 .....	140
参考文献 .....	149
<b>第四章 帘布和织物的加工工艺</b> .....	154
一、帘布和织物的浸渍与热处理 .....	154
二、帘布和织物的加工工艺过程 .....	162
1. 浸渍剂的制备 .....	162
2. 粘胶丝帘布的加工 .....	164
3. 聚酰胺帘布的加工 .....	170
4. 聚酯帘布和织物的处理 .....	177
三、帘布覆胶 .....	184
四、轮胎帘布的加工设备 .....	186
五、橡胶工业制品用帘布和线绳加工设备 .....	199
参考文献 .....	205
<b>第五章 帘布加工工艺的新方向</b> .....	210
一、无水粘合剂 .....	210
二、布层胶的改进及其与不浸渍帘布的直接粘合 .....	218
三、新的帘布加工工艺过程的前景 .....	225
参考文献 .....	230

# 第一章 橡胶帘布和橡胶帆布 在制品中的工作状态

## 一、橡胶帘布和橡胶帆布结构的性能

充气轮胎、传动带、运输带和其他橡胶工业制品，在使用过程中除局部结构受到较大变形外（如轮胎通过障碍物时的弯曲，传动带在导轮上的屈挠），在小的变形条件下还承受着较大的负荷（轮胎承受内压作用，胶带传递周向力等）。目前采用任何一种单一的材料都不能满足这些必须的要求，因为现在还没有同时具备这些综合性能的一种材料。只有合并使用不同的材料——帘布或帆布、橡胶和粘合剂，才能取得理想的结果。

橡胶帘布和橡胶帆布结构的受力情况可以归纳为两种主要形式——平面变形和弯曲。

首先分析一下橡胶帘布结构的最简单部件——由两层帘

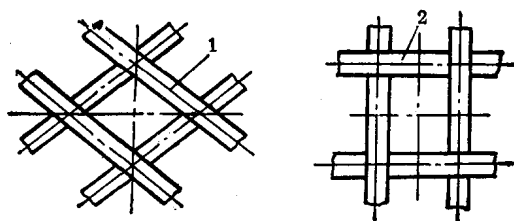


图 1.1 橡胶帘布和橡胶帆布结构的部件

1—橡胶帘布层；2—帆布

布层交叉组成的菱形部件，或橡胶帆布部件——由经纬线组成的矩形部件(图1.1)的平面变形。组成橡胶帘布或橡胶帆布结构的材料，在刚度上差别是很大的。例如，不同纤维帘布的抗张模数在250~500公斤/毫米<sup>2</sup>之间，金属帘布抗张模数约为10<sup>4</sup>公斤/毫米<sup>2</sup>，而常用的橡胶的模数为0.1~0.6公斤/毫米<sup>2</sup>。

由于帘线是定向的，所以这种结构的弹性性质具有极大的向异性。

这些性质用一系列常数，即交叉贴合的帘布层中帘线的角度、帘线方向的刚度、橡胶的剪切模数、横向变形系数等表示。

在一些著作<sup>1~4</sup>中报道了对这种体系的弹性性质所进行的理论和实验研究的情况。

图1.2为在单轴向伸张下研究橡胶帘布试样(试样中帘线呈直角交叉)柔变性的结果<sup>1</sup>(柔变性即伸长与断面单位长度所受负荷之比)。由图可见，橡胶帘布结构不同方向的柔变性是显著不同的。在伸张力顺着帘线的方向( $y'$ 轴和 $x'$ 轴)上柔变性最小，在伸张力顺着菱形的对角线方向时(与图1.2的 $y$ 轴和 $x$ 轴一致)柔变性最大。柔变性的这种显著差别可作如下解释：当顺着帘线方向伸张时，柔变性的变化与 $E_K n i$ 成反比(式中 $E_K$ —帘线模数； $n$ —试样层数； $i$ —每厘米幅宽帘线根数)。当顺着菱形对角线方向伸张时，在已知的帘线模数和帘线角度下，柔变性的变化与 $Gh$ 值成反比(式中 $G$ —橡胶剪切模数； $h$ —根据胶层尺寸、帘线的粗度和密度按理论折算的结构厚度)。在这种情况下橡胶帘布或帆布结构的变形与体系中帘线的交叉角度的变化有关。

由于在实际的橡胶帘布结构中 $E_K n i \gg Gh$ ，所以柔变性

的极值相差达数十倍。应当指出，上述见解对橡胶帆布结构也是正确的，这时每一帆布层可以当作两层帘布层看待。但是，在定量测定帆布的柔变性时，必须考虑帆布在纺织时顺线方向刚度的减小<sup>2</sup>。

现在分析填充在橡胶帘布层帘线间的橡胶的变形和应力(图1.3)。

如果橡胶帘布结构部件沿着对角线 $\epsilon_x$ 或 $\epsilon_y$ 的一个方向发生变形，那么在帘线不变形，或与 $\epsilon_x$ 和 $\epsilon_y$ 比较变形很小的情况下，可得：

$$\epsilon_x = -\epsilon_y \operatorname{ctg}^2 \beta$$

式中  $\beta$ ——帘线与 $y$ 轴的夹角。

已经证明<sup>1</sup>， $x$ 轴和 $y$ 轴方向的变形即相当于帘线方向的平均剪切变形

$$\gamma^* = (\epsilon_x - \epsilon_y) \sin 2\beta$$

和与帘线垂直方向的平均变形

$$\epsilon^* = \epsilon_x \cos^2 \beta + \epsilon_y \sin^2 \beta$$

但是，为了鉴定帘布层中帘线和橡胶的变形状况，必须了解其中每种材料的变形占总变形的比例。在帘布层的剪切变形下，实际上帘线不产生变形，因此可以认为，所测得的总变形是因帘线间的橡胶部分的尺寸发生变化而形成。图1.4为剪切下橡胶帘布层的变形情况。帘线间橡胶的实际剪切变形

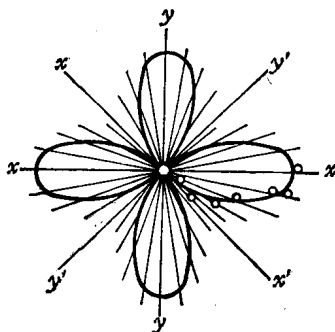


图 1.2 方形组织的橡胶帆布结构  
不同方向的柔变性



$\gamma$ 与帘布层的平均剪切变形 $\gamma^*$ 有如下的关系:

$$\gamma = \gamma^* \frac{t}{t-d}$$

式中  $t$  —— 相邻帘线中心间的距离;

$d$  —— 帘线粗度。

切向应力等于

$$\tau = G\gamma$$

式中  $G$  —— 橡胶剪切模数, 公斤/厘米<sup>2</sup>。

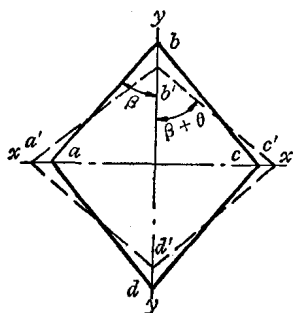


图 1.3 橡胶帘布结构部件的变形

$abcd$ —变形前的部件;  $a'b'c'd'$ —变形后的部件;  $\beta$ —变形前帘线和  $y$ 轴的夹角;  $\beta + \theta$ —变形后帘线与  $y$ 轴的夹角

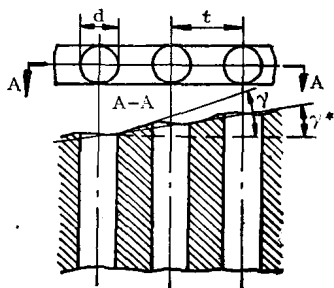


图 1.4 帘布层帘线间橡胶的剪切变形

帘线的伸张(由 2% 的伸长到 5% 的压缩)对平均变形的扩大系数 $t/(t-d)$ 没有根本影响。

改变橡胶的刚度(300%定伸强度由 40 增至 180 公斤/厘米<sup>2</sup>),对这一系数同样没有影响。因此,在帘线层的已知的平均剪切变形 $\gamma^*$ 下,粘合剂-橡胶\*间的应力可用系数 $t/(t-d)$

\* 这里没有分析帘线纤维间和粘合剂薄膜间应力的分布。

和橡胶的模数  $G$  来求得。

在橡胶制品（主要是轮胎）中，橡胶帘布体系除受到伸张变形外，还受到压缩变形。尽管帘线的伸张模数比压缩模数大得多，但橡胶帘布和橡胶帆布体系仍能承受很大的压缩负荷<sup>4</sup>，体系的承载能力取决于帘线在压缩条件下的变形性能。

帘线在橡胶中的变形历程和帘线与橡胶的相互影响是复杂的，而且很少受到研究。帘线变形性质的特殊性，是因为它的结构复杂，以及股线和纤维的几何形状在变形过程中都有改变。这就很难用数学方法准确说明帘线的变形过程。

为了说明浸渍帘线股线和周围橡胶之间的应力性质，现在来分析一下最简单的帘线模型。

帘线由两根或三根股线合捻而成。每根股线就是一根螺线，在不变形状态下其外径等于  $2d$  ( $d$ —股线直径)，而内径为零（两个股线相接触）。两股线中心间的距离（合股后形成的圆柱体的直径）用  $d_0$  表示；当两股线靠在一起时，此直径等于股线的直径。帘线的重要参数是股线的螺距  $t_0$  和升角  $\alpha$ 。通过分析螺线（合股后的股线）的展开图，可把股线螺距、升角和合股后所形成的圆柱体的直径  $d_0$  之间的关系确定如下：

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{t_0}{\pi d_0}$$

螺距间的股线长度  $L_0$  等于

$$L_0 = \sqrt{(\pi d_0)^2 + t_0^2}$$

在帘线轴向压缩下股线螺距等于  $t_0(1-\epsilon)$ ，式中  $\epsilon$  为帘线相对压缩变形。设此时股线中心线所形成的螺线的长度不发生变化，因  $\epsilon^2$  值微小忽略不计，并近似地算出其平方根值，则可

以根据下式评价直径的变化:

$$\Delta d = d - d_0 = - \frac{\epsilon t_0^2}{\pi^2 d_0^3}$$

因此,在轴向压缩下,帘线直径的变化与股线的轴向变形和螺距的平方成正比。

由于帘线覆有橡胶,所以橡胶限制着帘线的横向和纵向变形;在股线间的橡胶,由于线的直径的变化和各股线的螺距的缩小而发生变形。橡胶越靠近股线间的相接处,变形必然越大。有人认为<sup>5</sup>,在此处橡胶本身和帘线与橡胶界面间产生最大的应力,而引起疲劳破坏。

用实验方法研究这种应力,在技术上是相当困难的。据文献资料报道<sup>3</sup>,曾用扩大约 30 倍的帘线模型对该应力进行了研究。

为了鉴定股线-橡胶界面的受力情况,需对切向力 $\tau$ 和垂直作用于股线的力 $\sigma$ 加以分析。

受力状况用与作用力 $\sigma$ 和 $\tau$ 成正比的应力 $\sigma'$ 和 $\tau'$ 值表示。此两值分别等于 $\epsilon_1 + 0.5\epsilon_2$ 和 $\epsilon_1 - \epsilon_2$ ( $\epsilon_1$ 和 $\epsilon_2$ —主要变形,%; 0.5—橡胶的泊松系数)。这些数值便于用以比较同类橡胶或物理机械性能相同的橡胶的受力状况。

由图1.5看出,在帘线模型(股线升角 $\alpha$ 等于 $48^\circ$ )表面和在股线之间的深处,橡胶承受与股线垂直的压缩力,其值很少随深度而变化。股线-橡胶界面的剪切力向帘线的中心方向增大。

由此可见,在帘线轴向压缩下,橡胶中以及股线-橡胶界面中的最大应力产生在股线间的接触处。显然,在这一区域内帘线与橡胶剥离的可能性最大。

现在来分析橡胶帆布结构的屈挠,它也是橡胶工业制品

和轮胎的一种主要受力形式。如果结构是多层的，则当其屈挠时，位于较大刚度帘布层或帆布层之间的橡胶层就会产生剪切变形(图1.6)。这种屈挠变形的特性使补强材料的应力和刚度在屈挠时显著降低(与同类材料的试样屈挠时的相同指标相比)，这是橡胶帆布结构的优点之一。

曾经研究了<sup>6,7</sup>测定橡胶层剪切应力大小的方法。已经证明<sup>7</sup>，橡胶和帘布的受力状况是由参数 $niE_K/Gh$ 所决定，这一参数等于帘布层刚度与橡胶刚度之比( $n$ —帘布层数； $i$ —帘线密度； $E_K$ —帘线的模数； $G$ —橡胶剪切模数； $h$ —厚度)。

如果帘布具有较大的刚度(如钢丝帘布)，则位于帘布层间的橡胶的受力状况近似所施加的变形的状况，即是帘布-橡胶界面间应力的增加与橡胶刚性模数的增大成正比(图1.7)。

计算表明<sup>7</sup>，在由较软的聚酰胺帘布制做的层数较少的结构中，橡胶的受力状况近似所施加的应力的状况。

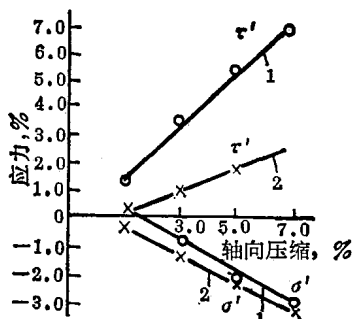


图 1.5 股线的法向力( $\sigma'$ )和切向力( $\tau'$ )

1—在股线的深处；2—在帘线表面

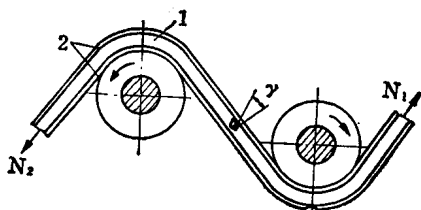


图 1.6 橡胶帆布带屈挠时胶层的剪切变形 $\gamma$

1—胶层；2—帆布层； $N_1$ 和 $N_2$ 一带的伸张力

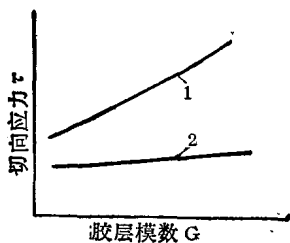


图 1.7 切向应力与  
橡胶模数的关系

1—钢丝帘布；2—聚酰胺帘布

在由纤维帘线制成的载重轮胎胎体的多层结构中，橡胶的受力处于中间的状态。它近似于所施的变形功的状况。

在对结构材料的负荷性质作比较鉴定时，和在改变结构的组成部件的刚度性质时，必须考虑这时应力状况所发生的变化。

由于在制品的使用过程中，个别的帘线经常有可能被路上的障碍物（对轮胎而言）或被所输送的物品（对运输带而言）所损坏，所以还应对帘线或帆布断裂或剥离时的应力变化问题加以探讨。

如果所有帘线都受到外力作用，并且伸张一样，那么橡胶顺帘线方向的变形就与帘线的变形相同。当帘线断裂或剥离时，变形和应力的情况也发生变化（图1.8）。在断线的末端外力等于零，而在距断裂处的一定距离内为起始应力。因此，在断裂帘线和与它相邻帘线之间的橡胶产生切应力。与帘线扯断强力接近的这些应力可用下式近似计算<sup>3</sup>

$$\tau_{\text{最大}} \approx N \sqrt{\frac{G}{E_{\text{K}}} \cdot \frac{\pi}{db}}$$

式中  $N$ ——帘线所受的外力，公斤；  
 $G$ ——橡胶剪切模数，公斤/厘米<sup>2</sup>；  
 $E_{\text{K}}$ ——帘线刚度模数，公斤/根；  
 $d$ ——帘线直径，厘米；  
 $b$ ——帘线间的距离，厘米。

由上式可以看出，剪切应力随着外力的增加和帘线间距

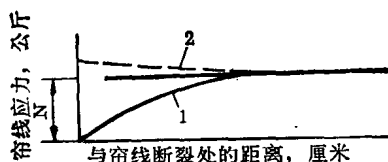


图 1.8 帘线断裂时橡胶帘布层中应力的分布情况  
1—断裂帘线；2—未断裂帘线；N—帘线的起始应力

的缩小而增大。

如果当结构压缩时帘线产生剥离，那么在剥离处的帘线刚度，则因股线的变形不受橡胶限制，而小于未剥离处。

由于剥离处的刚度互不相同，所以帘线的压缩变形增大，而在帘线间的橡胶则产生剪切变形<sup>3</sup>。

因此，对反复压缩条件下的橡胶帘布层的破坏，可以作如下理解。当帘线被压缩时股线间产生明显的剪切变形，这使帘线与橡胶产生局部剥离。在剥离处则刚度下降，同时出现压缩变形的集中，而使帘线破坏。只有当帘线断裂时，帘线间橡胶的剪切变形才剧烈增大，而引起帘线与橡胶剥离。

上述破坏历程证明，增强材料、粘合剂及橡胶间的粘合强度对结构的整体强度有极大的影响。

## 二、充气轮胎

简单地分析一下普通结构和子午线结构轮胎的构造。

图1.9为普通结构载重轮胎的外胎断面。

外胎的主要结构部件有：胎面、缓冲层、胎体、胎侧和钢丝圈。外胎胎体是轮胎的主要受力部分。它承受内压作用，并且在行驶时承受作用到轮胎上的径向、侧向牵引和制动力。

普通结构轮胎的胎体由数层交叉组合的、又互相被橡胶层隔开的帘布层组成。帘线之间的空隙同样被与帘布相结合的橡胶充满。

帘线在胎体中的位置，用帘线与外胎径向断面所形成的倾斜角度和帘线间的距离来表示。在实际中经常使用的是与距离相反的值，即所谓的密度，也就是在与帘线正交方向断面单位长度内所拥有的帘线的根数。胎体的橡胶帘布层固定在用高强度钢丝制成的钢丝圈上。在主体布层之上贴以数层（二到四层）由较稀帘布组成的缓冲层，但它不固定在钢丝圈上。

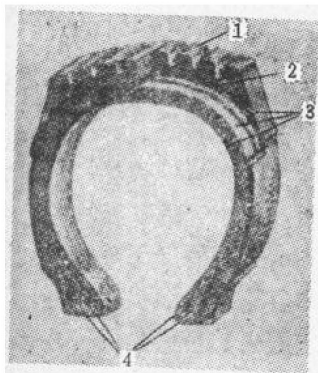


图 1.9 普通结构轮胎

1—胎面；2—缓冲层；3—橡胶帘布胎体；4—钢丝圈

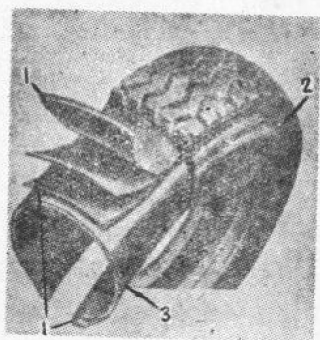


图 1.10 子午线结构轮胎

1—缓冲层；2—胎面；3—胎体；4—钢丝圈

胎面的行驶面具有花纹，以保证轮胎与路面的抓着力。在外胎的侧壁胎面逐渐过渡为胎侧——保护橡胶帘布胎体免受外部影响的较薄的胶层。

近来，子午线轮胎得到了广泛的应用，其帘线是按子午线方向（径向）排列的，基本上是一种新型轮胎。子午线轮胎的胎体具有较小的周向刚度，因此，在其周向用刚度较大

的缓冲层来加强（图1.10）。

缓冲层所以能够达到必须的周向刚度，是因帘线的排列与圆周方向只有很小的角度。子午线轮胎是：胎体帘线按子午线方向排列；缓冲层帘线近似圆周方向排列。因此，保证了轮胎行驶面在承受牵引和侧向力时具有很高的刚度。胎面部件与路面的位移，小于普通结构的轮胎，这使胎面花纹的磨损得以减小。胎面具有较高的耐磨性（比普通轮胎约高0.5~1倍），这是子午线轮胎的主要优点之一。

轮胎的橡胶帘布胎体只有当其部件预先受到内压膨胀时，才能承受外部负荷。在内压作用下，轮胎总是趋向于获得与内腔最大容积相一致的所谓平衡形状。

在一定的使用负荷和内压下，轮胎产生一定的径向下沉量  $f$ 。

径向下沉量与断面高之比  $f/H$ ，决定着轮胎胎体在负荷作用下的变形程度。这一比值越大，胎体部件的受力程度也越大（指在一定的内压下）。

但是，轮胎的相对下沉量还不能完全决定轮胎的整个受力程度。胎面和胎体部件、胎面和缓冲层的界面中以及胎圈中的应力，还明显地取决于轮胎接地处的压力大小。该压力值主要决定于轮胎中的内压和所受的负荷。

### 1. 轮胎结构部件中帘线和橡胶的受力情况

在轮胎的制造过程中橡胶帘布层受到机械的和热的作用，结果使橡胶和帘布的性能发生变化。这时在材料中所产生的应力，在鉴定滚动中的轮胎部件的受力性质时，一般不加以考虑。

轮胎滚动时承受的外部负荷，通过胎面进行传递。胎面花纹块的受力状态，受到压缩应力（等于接地压力）以及纵



向和横向切向应力的影响。接地压力是轮胎的重要特征之一。它取决于轮胎的内压和受力性质。载重轮胎的接地压力  $q$  为5~8公斤/厘米<sup>2</sup>，而轻型轮胎则为2~4公斤/厘米<sup>2</sup>。

纵向和横向应力取决于轮胎的滚动状况。其极限值可以达到  $0.9q\varphi$ （式中  $\varphi$  为摩擦系数）。

当花纹基部层因受胎面-缓冲层界面间（或胎面-胎体间）的应力作用而压缩时，即产生切向应力（因为受压缩的胎面部段要往横向扩展自己的尺寸，而刚度较大的缓冲层和胎体则限制这种扩展）。在胎面部件进入和离开接触区时，剪切变形达到最大值<sup>8</sup>。

由图1.11看出，上面所分析的剪切变形随内压的增加而增大（纵坐标轴为测量指标，与剪切变形成正比）。变形是用260-508（相当于9.00-20）规格的轮胎，在20毫米固定的径向下沉量下，距胎冠50毫米处进行测量的。当轮胎承受集中负荷时，变形明显增大。这时产生的剪切变形就是胎面脱层的原因。

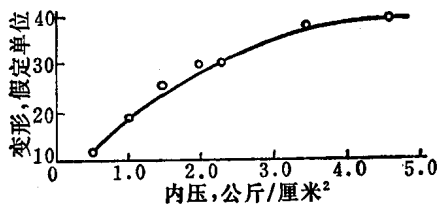


图 1.11 内压对胎面-缓冲层界面剪切变形的影响

应当指出，胎面-胎体间剪切应力的大小取决于帘线密度或帘布层中的相对用胶量。

图1.12为轮胎相对机床里程与表示载重轮胎帘布层中用胶量的  $(t-d)/t$  值的关系（轮胎规格为260-508；使用粘胶丝