

# 软木橡胶密封材料的研制\*

谢苏江 蔡仁良

(华东理工大学化机所 200237)

**摘要** 在软木橡胶(丁腈橡胶为生胶)中,软木的粒径和含量对软木橡胶密封材料的性能有较大影响:软木含量为30%—40%、粒径为30—50目,材料力学性能较好;软木粒径为25—40目,材料压缩回弹性较好;软木含量为10%—35%,材料的耐油性能较好;软木含量小、粒径适中,材料的蠕变松弛性好。确定软木橡胶密封材料的最佳配方为:丁腈橡胶(NBR-26) 15%;软木粒子(40目) 35%;惰性增容填料 45%;其它配合剂 5%。硫化条件为:硫化温度(145±2)℃;硫化压力 10MPa;硫化时间 15min。

**关键词** 软木橡胶,密封材料,软木粒子,丁腈橡胶

软木俗称栓皮,广泛分布于我国300多个县市。软木橡胶是软木粒子与橡胶有机结合而成的一种复合材料。作为密封材料,它具有通常橡胶垫片无法比拟的耐油、耐水、抗老化及压缩回弹性好等综合性能。近年来,由于国外对石棉及其制品的生产和使用的限制,使一些原来使用石棉橡胶垫片作耐油密封材料的场合改用非石棉耐油制品<sup>[1]</sup>,这对软木橡胶的应用有一定的推动作用。本文通过试验,研究了软木含量和粒径对软木橡胶密封材料性能的影响。

## 1 软木的化学组成及结构

软木的化学组成比较复杂,木质素是主要的成分,约占35%—40%;纤维素和木质素约占32%—33%;另外还有单宁、色素等。软木的化学组成决定了软木粒子的化学稳定性,反映在软木的性质上是无毒、无味、无臭,对水、油、稀酸、弱碱等许多溶剂有较好的化学稳定性和抗浸透能力<sup>[2]</sup>。

各种软木粒子的细胞结构相近,其弦切面细胞的结构如图1所示。该细胞是沿正切方向叠加的六边形,两列细胞互为交错排列。软木细胞大小不一,一般其长、宽、高约为30μm,细胞腔内充满空气,细胞壁的栓皮素

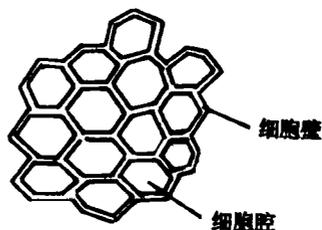


图1 软木弦切面细胞显微结构(放大400倍)

与无定形栓皮蜡的单分子层和双分子层交互重叠而成层状结构。软木的这种结构,使其具有密度小(一般为 $0.24\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ )、压缩回弹性好(24h恢复形变91%以上)、摩擦系数大、绝热、绝缘、吸音、吸振和吸湿小等优良的物理机械性能<sup>[3]</sup>。

## 2 实验

### 2.1 制备工艺

软木橡胶复合材料有溶剂法和混炼法两种生产工艺路线,其流程为:

(1)溶剂法。生胶→塑炼 $\xrightarrow{\text{橡胶配合剂}}$ 混炼  
溶剂 $\rightarrow$ 溶解 $\xrightarrow{\text{软木粒子和填料}}$ 混合 $\rightarrow$ 溶剂挥发 $\rightarrow$ 成型硫化 $\rightarrow$ 成品。

(2)混炼法。生胶→塑炼 $\xrightarrow{\text{橡胶配合剂}}$ 混炼  
软木粒子和填料 $\rightarrow$ 混炼 $\rightarrow$ 压片 $\rightarrow$ 成型硫化 $\rightarrow$ 成

\* 参加本工作的还有金卫东、田维柯。

品。

溶剂法制品的软木细胞结构未受破坏,仍具有较高的可压缩性,但其溶剂回收工艺较复杂;混炼法工艺较简单,采用橡胶工业通用设备即可进行生产,故本研究基本沿用橡胶混炼法制备软木橡胶。

## 2.2 配方设计

依据制品密封性能要求,本试验采用耐油性能较好的丁腈橡胶作生胶,而软木粒子作主要填料,同时加入适量的增容性无机填料;硫化体系采用低硫硫化体系,考虑到软木粒子对促进剂有一定的吸附作用,且软木粒子导热性较差,硫化体系中促进剂的用量比普通稍大;为了使橡胶和软木粒子能良好地粘结,配方中需要加入适当的专用粘合剂。

本试验采用的配方方案为(重量百分数):丁腈橡胶(NBR-26) 15%;软木粒子(20—100目) 0—50%;惰性填料(碳酸钙、滑石粉、硫酸钡及陶土) 42%—72%;其它橡胶配合剂(硫化剂、促进剂、防老剂、增塑剂及专用配合剂) 约3%。

## 2.3 试验设备

本试验采用SK-160B双辊塑炼机进行塑炼、混炼及成片;用25t平板硫化机进行热压硫化;性能测试采用Instron 1122型万能材料试验机、松弛仪及本所自制的压缩回弹试验装置和密封装置。

## 2.4 性能测试

试片的硫化条件为:硫化压力 3—12MPa;硫化温度  $(145 \pm 2)^\circ\text{C}$ ;硫化时间 10—25min。主要性能及测试方法为:拉伸强度 DIN 52910(拉伸速度为 $30\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ );硬度 GB531—83;压缩回弹性 ASTM F36—88(H);蠕变松弛性 ASTM F38—88(B)( $55^\circ\text{C} \times 22\text{h}$ );耐油性 ASTM F146—84(ASTM 3<sup>号</sup>油,  $150^\circ\text{C} \times 5\text{h}$ );密封性 F586—79。

## 3 结果与讨论

### 3.1 软木粒子对密封材料力学性能的影响

软木含量对密封材料力学性能的影响见图2。由图2看出,密封材料的拉伸强度随软木含量的增加而增大,但软木含量超过40%后变化不大;密封材料扯断伸长率随软木含量的增加而明显下降,但软木含量达到一定值后下降趋势减弱;密封材料硬度随软木含量的增加而增大,但变化幅度不大。

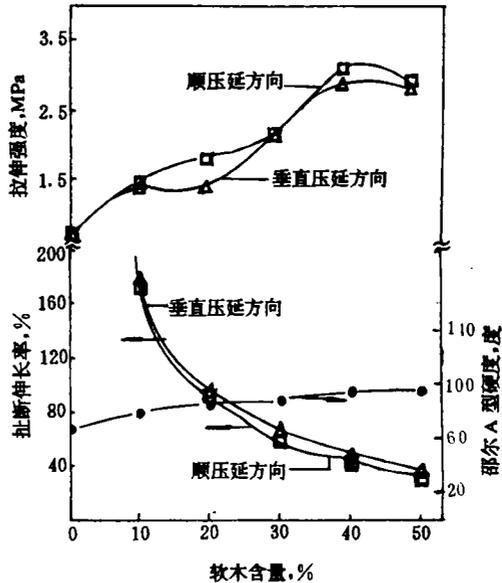


图2 软木(100目)含量对密封材料力学性能的影响

软木粒径对密封材料力学性能的影响见图3。由图3看出,软木粒径为30—50目时,密封材料拉伸强度比较恒定,在此范围以外,密封材料拉伸强度随软木粒径的增加而减少;密封材料扯断伸长率随软木粒径的减小而降低,但下降趋势逐渐趋于平缓;密封材料硬度随软木粒径的减小而略有增加。

上述结果说明:粒径较小的软木粒子补强作用较大,而粒径较大的软木粒子补强作用较小或只能起填充作用,甚至导致强度下降。因此,从材料力学性能上考虑,软木的含量以30%—40%、粒径以30—50目为佳。

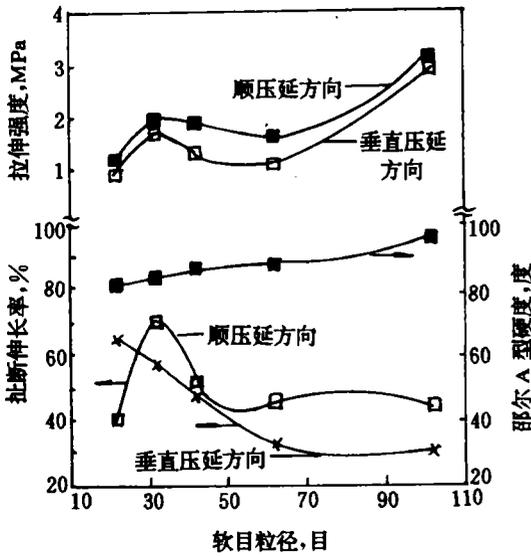


图3 软木(含量35%)粒径对密封材料力学性能的影响

### 3.2 软木粒子对密封材料压缩回弹性能的影响

软木含量和粒径对密封材料压缩回弹性能的影响见图4和5。由图4看出,随着软木含量的增加,密封材料的压缩率下降而回弹率上升,在软木含量超过25%后变化趋势减缓;由图5看出,软木粒径对压缩回弹性能的影响没有明显规律,但在粒径为25—40目时,密封材料综合压缩回弹性能较好。

### 3.3 软木粒子对密封材料耐油性的影响

软木含量和粒径对密封材料耐油性能的影响见图6和7。由图6看出,随着软木含量的

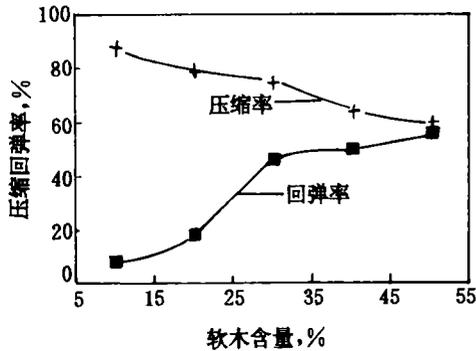


图4 软木(100目)含量对密封材料压缩回弹性能的影响

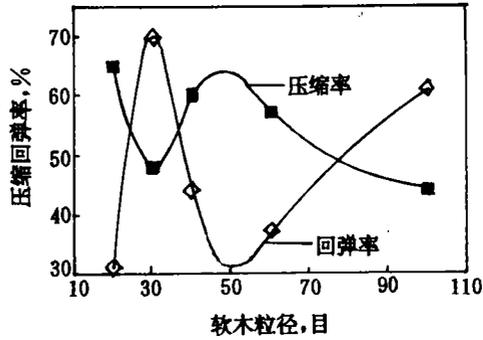


图5 软木(含量40%)粒径对密封材料压缩回弹性能的影响

增加,密封材料的重量、厚度增加(这表明软木粒子具有一定的吸油性和溶胀性),即耐油性降低,但软木含量为10%—35%时耐油性较稳定。由图7看出,软木粒子对密封材料耐油性的影响随其粒径的减小而趋于平缓。

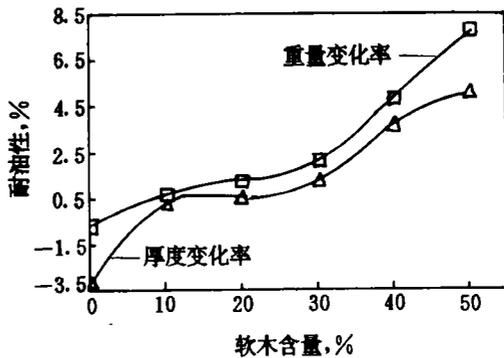


图6 软木(100目)含量对密封材料耐油性的影响

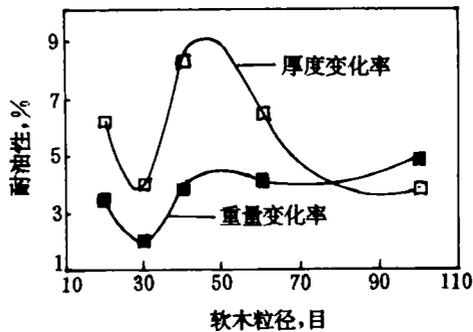


图7 软木(含量35%)粒径对密封材料耐油性的影响

### 3.4 软木粒子对密封材料蠕变松弛性能的影响

蠕变松弛性能是密封材料的一个基本特性,它的好坏直接影响材料的长期密封能力。软木含量和粒径对密封材料蠕变松弛率的影响见图8和9。由图8看出,密封材料的蠕变松弛率随着软木含量的增加而增大,即其耐蠕变松弛性能下降。由图9看出,软木粒径过大或过小,对密封材料的蠕变松弛性能都不利。

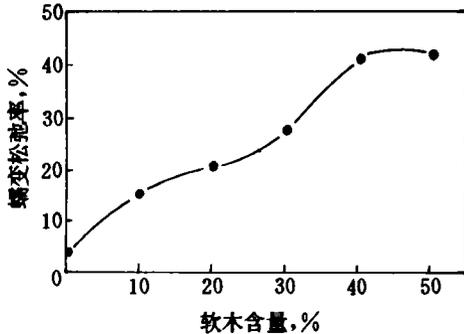


图8 软木(100目)含量对蠕变松弛性能的影响

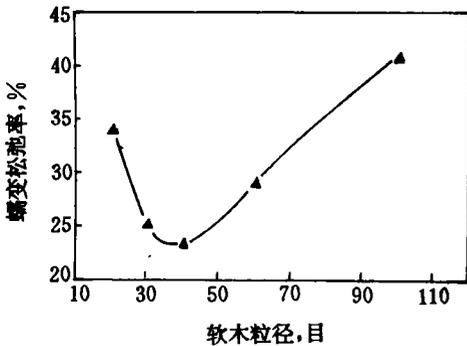


图9 软木(含量35%)粒径对密封材料蠕变松弛性能的影响

### 3.5 软木橡胶密封材料的耐热性和密封性能

试验表明,软木橡胶在100℃以下具有较好的长期密封性能,其密封压力一般小于3.5MPa。为了提高软木橡胶的使用温度和使用压力,可以采用纤维增强软木橡胶密封材料(使用温度可达到150℃,并具有较好的密封性能<sup>[4]</sup>)。

### 3.6 软木橡胶密封材料的工艺性能

虽然软木为颗粒状填料,但由于软木橡胶的混炼和出片具有一定的方向性,因此软木橡胶材料具有一定程度的各向异性(见图2和3)。表现为顺压延方向的力学性能优于垂直压延方向,但差别并不大,且受软木的含量及粒径的影响。原因在于,从软木微观结构来看,它具有类似短纤维的各向异性的特性,且其各向异性的程度与粒径有关;同时由于加工工艺的方向性,软木粒子和橡胶在不同方向上的嵌合程度不同,从而出现宏观性能的各向异性。然而由于软木粒子的长径比接近于1,即近似于球形,故软木橡胶材料的各向异性程度比纤维增强的软木橡胶低<sup>[4,5]</sup>。

硫化压力、温度和时间对密封材料的性能也有较大影响。硫化压力对材料的密度和压缩回弹性能影响较大,表现为:硫化压力大,材料的致密性高,即密度大,硬度高,压缩率低,回弹值大;硫化压力小,材料较疏松,即密度小,硬度低,压缩率高,回弹值小;硫化温度过高或过低对材料性能不利:硫化温度过低不利于材料的耐热性能,硫化温度过高不利于材料的力学性能;硫化时间主要视硫化温度及材料的厚度而定,过短或过长均不利于材料获得最佳的综合性能。

### 4 软木橡胶密封材料的选定配方及性能

根据以上研究和分析,我们确定了一个综合性能较好的软木橡胶密封材料配方(重量百分数):丁腈橡胶(NBR-26) 15%;软木粒子(40目) 35%;惰性增容填料(碳酸钙:滑石粉:硫酸钡:陶土=5:2:1:1) 45%;其它配合剂 5%。硫化条件为:硫化温度(145±2)℃;硫化压力 10MPa;硫化时间 15min。该密封材料对应的性能为:拉伸强度 3.3MPa;邵尔A型硬度 85度;压缩率 55%;回弹值 45%;耐油(ASTM 3<sup>rd</sup>油)性:重量变化率 +5.3%,厚度变化率

(下转第354页)

表1 开炼机混炼 ACM 的加料顺序和工艺条件

加料顺序	辊温 C	辊距 mm	时间 min
1. 生胶、少量炭黑压合	30—45	2—4	2—3
2. 硬脂酸、硬脂酸钠、 防老剂、操作助剂	40—50	4—5	3—4
3. 炭黑、耐寒剂交替加入	40—55	4—5	12—13
4. 硫黄、硬脂酸钾	<55	4—5	2—3
5. 打三角包 3—4 次	<55	4—5	2—3
6. 落料薄通 3 次	<55	<1	2—3
7. 下片	<55	4—5	1—2

注:合计混炼时间为(26±1)min;混炼装胶容量为

10.8kg。

量炭黑压合。这是因为如只将 ACM 投入到炼胶机中会长时间不包辊,无法操作,而加入少量炭黑(100g 左右,均匀撒到辊筒上)可促使生胶包辊。从表 1 中还看出,硫化剂硬脂酸钠在前期加入。这是因为硬脂酸钠是一种脂肪酸盐,不仅起到交联作用,而且还是一种防止粘辊的操作助剂,另外硬脂酸钠在 ACM 中较难分散,若按常规即在混炼的后期加入,则极难混炼均匀,混炼胶有白色粒子,硫化的产品表面有白色斑点、气泡等质量问题;而前期加入硬脂酸钠可提高混炼的均匀性,又因硫黄和硬脂酸钾是在最后加入,故硬脂酸钠在前期加入不会出现焦烧现象。从表 1 还看出,胶料混炼时间比较短,胶料进行落料薄通(即不包辊薄通),有利于热量的散发,并可减轻粘辊现象。

## 2.2 密炼机混炼工艺

ACM 可采用一般密炼机进行混炼,其混炼工艺与通用橡胶基本相同,即采用二段

混炼,用密炼机混炼未加促进剂的母胶,冷却停放后,在开炼机上加促进剂。密炼机混炼 ACM 的加料顺序和混炼工艺条件见表 2。

表2 密炼机混炼 ACM 的加料顺序和工艺条件

加料顺序	混炼温度, C	混炼时间, min
1. 生胶、防老剂、操作 助剂、硬脂酸钠	50—100	5—6
2. 填料、耐寒剂	100—130	8—9
3. 排胶	150 以下	2—3

注:合计混炼时间为(16±1)min;密炼机装胶容量=密炼机容量(50L)×容量系数(0.8)×胶料密度(1.27kg·cm<sup>-3</sup>)=50.8kg;压砭压力为 0.06—0.08MPa;排胶后的母胶在开炼机上压合下片,冷却 8h 以上;在开炼机上加入硫黄和硬脂酸钾,其操作工艺与表 1 同。

从表 2 看出,ACM 用密炼机混炼工艺较简单,其混炼的关键因素是装胶容量和混炼温度。装胶容量太小,剪切力小,易出现压散和混炼不均;装胶容量太大,胶料升温快,难以控制混炼温度,同时负荷大,易损坏设备。混炼温度过低,易造成压散和混炼不均;混炼温度过高,烟雾大,污染环境和易造成凝胶现象。因此,ACM 采用密炼机混炼时一定要严格控制装胶容量和混炼温度。

## 3 结语

ACM 采用本文所述的开炼机或密炼机炼胶工艺混炼时,混炼操作能顺利进行,无粘辊现象,配合剂分散均匀,硫化试片和产品未出现白色斑点、气泡等外观质量问题,试片的硬度偏差在±2 度内。

收稿日期 1994-10-31

(上接第 341 页)

+4.2%;蠕变松弛率 27%;该材料在 120 C 下有较好的密封性能。

## 5 结语

软木是一种传统的填料,它与橡胶复合制造密封材料具有工艺简单、成本低和无石

棉污染等优点。合理选择软木的粒径和含量,并配合相应的加工工艺和硫化条件,可获得综合性能优良的软木橡胶密封材料。该软木橡胶密封材料可用于汽车、变压器、拖拉机、船舶和石油化工等机械设备的耐油密封。

收稿日期 1994-10-24