

密封橡胶材料的压力-体积-温度关系的研究*

乔博 赵秀英 高悦凯 吴丝竹**

(北京化工大学材料科学与工程学院 有机无机复合材料国家重点实验室 先进弹性体中心 北京 100029)

摘要 制备了3种密封胶材料——丁苯橡胶、丁腈橡胶及丁腈/氯化丁基混合橡胶材料,利用压力-体积-温度(P - V - T)高压膨胀计对样品进行测试,得到了比容 V_{sp} 随着温度 T 和压力 P 变化的关系;采用 Tait 方程研究了 P - V - T 性能,并计算出 Tait 方程中相应的参数.结果表明,Tait 方程计算所得的 P - V - T 理论关系与实验结果一致,具有较好的规律性; b_3 、 b_4 均为常数,即 B 为常数;Tait 方程计算所得值与实验值的平均残差均小于0.02,吻合度较好;因此 Tait 方程可以较好地描述3种密封橡胶体系的 P - V - T 关系,并且为定量研究密封橡胶材料的 P - V - T 关系提供理论基础.同时,根据 Tait 方程所得的参数,计算了3种橡胶材料的热膨胀系数 α 和等温压缩系数 β ,研究了3种橡胶材料的 α 和 β 随着压力、温度的变化规律,结果表明3种材料中丁苯橡胶的尺寸稳定性最好,而丁腈/氯化丁基复合橡胶的尺寸稳定性较差并且其 α 随着压力的变化有较大的改变.准确地描述了3种密封橡胶材料的 α 和 β 随压力、温度的变化.

关键词 P - V - T 关系, Tait 方程, 热膨胀系数, 等温压缩系数

聚合物的压力(P)、体积(V)和温度(T)之间的相互关系,作为聚合物的基本性质在聚合物的生产、加工以及应用等方面有着十分重要的作用^[1-3].通过对聚合物 P - V - T 关系的研究可以得到注射模塑过程中与压力、密度和温度等相关的各种现象,分析制品加工中翘曲、收缩、气泡和疵点等缺陷产生的原因,更快捷地制定最佳工艺参数,从而获得高品质的制品,并且聚合物 P - V - T 关系是进行注射成型流动分析及其注射成型制品模具的计算机辅助设计/制造/工程分析的依据.采用模拟方法可以得到聚合物的 P - V - T 关系,但是由于受到材料物性参数准确可靠性的限制,计算机模拟结果常常与实际成型过程出现一定的差别^[4].本实验采用 P - V - T 高压膨胀计对丁苯橡胶(SBR)、丁腈橡胶(NBR)和丁腈橡胶/氯化丁基橡胶(NBR/CIIR)3种密封胶进行测试.丁苯橡胶(SBR)是丁二烯和苯乙烯的共聚物,它是不饱和非极性碳链橡胶,具有较好的弹性,不能结晶,主要应用于轮胎业^[5].丁腈橡胶(NBR)是碳链不饱和极性橡胶,容易共混,与硫磺的相容性不好,不好分散,其他的加工性能与SBR类似,加入氯化丁基(CIIR)橡胶可以大幅度提高其阻燃性和阻尼性能^[6].本研究将根据材料的 P - V - T 实验曲线,

得到温度和压力对于聚合物比容的影响,并直观了解聚合物密度、比容、可压缩性、体积膨胀系数和状态方程等方面的信息.

Tait 状态方程可以用来模拟、预测聚合物及相容性非结晶聚合物共混物在不同温度和压力下的 P - V - T 属性,由于 Tait 状态方程形式简单,应用方便,且精确度高,已广泛应用于模拟高分子材料的注射成型、预测制品的体积收缩和应力翘曲的研究,但目前采用 Tait 方程来研究不同橡胶材料的 P - V - T 行为并对其进行比较的文献报道还不多^[7-9].根据 Tait 方程所得的参数可以计算出材料的热膨胀系数 α 和等温压缩系数 β ,它们是材料加工等方面的重要指标.对于聚合物材料来说,相比于常用的金属和陶瓷材料,它们具有较大的 α .在加工过程中,聚合物与其他材料的协同作用是十分常见的,如不同材料间的 α 不匹配会带来界面剥离、材料变形、热应力导致的结构破坏等严重后果,使材料或元器件丧失基本功能^[10].因此如何降低聚合物材料的热膨胀系数并且准确的描述其随着压力和温度等外界条件改变而发生的变化对实际加工具有重要的指导作用.

本研究制备了3种橡胶样品:SBR, NBR 和 NBR/CIIR 橡胶;应用 DSC 测定了3种橡胶的玻

* 2012-03-09 收稿,2012-04-20 修稿;国家自然科学基金(基金号 50973007 和 51103006)资助项目.

** 通讯联系人, E-mail: wusz@mail.buct.edu.cn

璃化转变温度,利用 PVT 膨胀仪研究橡胶材料的 P - V - T 关系,同时采用 Tait 方程进行了理论计算和分析讨论,以期为定量研究密封橡胶材料的 P - V - T 关系提供理论基础. 同时,根据获得的 Tait 方程参数,计算了 3 种材料的 α 和 β ,研究温度和压力变化对其形变的影响.

1 实验部分

1.1 原材料

丁苯橡胶的牌号为 1502,吉化有机合成厂产品;氯化丁基的牌号为 1068,美国 Exxon 公司产品;丁腈橡胶的型号为 N230S,日本 JSR 公司产品. 炭黑,N330,河北龙星有限公司产品;其它配合剂均为工业用品.

1.2 复合材料的制备

将 SBR 和 NBR 分别在广东湛江橡塑机械厂

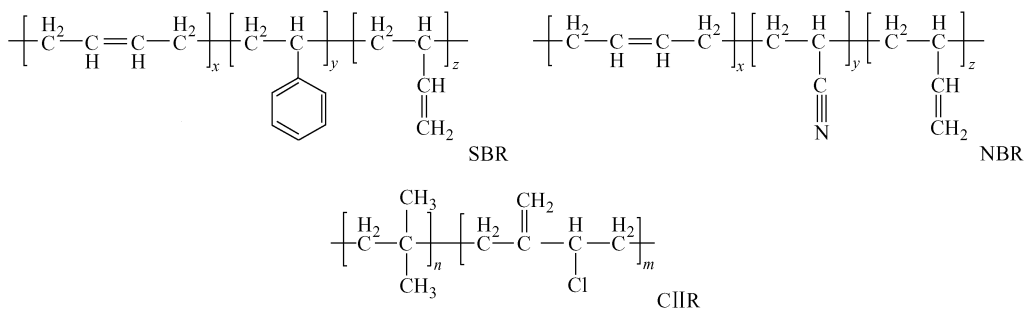


Fig. 1 Molecular structures of SBR, NBR and CIIR

1.3 P - V - T 测试

采用美国 Gnomix 公司生产的 PVT 高压膨胀计对 3 种橡胶复合材料试样进行测试. 其方法为等温条件下测试样品比容与压力的关系. 温度范围从 25 ~ 80℃,每隔 5℃ 作为一个温度台阶,测试样品在等温条件、常压 ~ 80 MPa 压力范围内比容的变化. P - V - T 实验采用恒温改变压力的测量方式,其中在每个压力下实验测量需要等待的时间为 15 min,以保证样品基本上处于热力学平衡状态.

1.4 DSC 测试

用德国 Netzsch 公司生产的 DSC 204F1 型 DSC 分析仪分析试样的玻璃化转变温度及热性能. 温度范围为 -100 ~ 150℃,升温速率选用 10 K/min.

2 结果讨论

2.1 DSC 及 P - V - T 实验结果

表 1 为 SBR,NBR 和 NBR/CIIR 橡胶的玻璃化转变温度及密度的测试结果. 图 2 是 3 种橡胶

生产的 $\Phi 160 \times 320$ 型开炼机上室温塑炼 2 min,割刀混炼,薄通,打三角包,使之均匀;下料,室温冷却;再于室温在开炼机上加入炭黑和各种橡胶配合剂,割刀混炼,薄通,打三角包,使之混炼均匀,得到混炼胶;然后于 LH-2 型盘式硫化仪(北京环峰化工机械实验厂)上测得硫化曲线以确定硫化最佳时间,采用上海橡胶机械制造厂生产的 25 T 电热平板硫化机进行硫化,得到硫化胶试样.

对于 NBR/CIIR 橡胶材料来说,在开放式炼胶机上先塑炼 CIIR,然后加入 NBR,继续塑炼,再依次加入硬脂酸、氧化锌、氧化镁与其他助剂,混炼均匀;最后加入硫磺及两种促进剂;所有配合剂添加完成后,翻炼均匀,下片停放 24 h. 硫化条件为 155℃,20 min,10 MPa. 图 1 是 3 种橡胶材料的分子结构式.

的 P - V - T 实验结果图,可以看出 3 种橡胶材料的比容均随着压力升高而减小;随着温度升高而增大. 这是因为材料的体积由分子本身的体积(即范德华体积)和自由体积(分子热运动所占的体积)所组成的,自由体积随着温度的变化而改变,随着温度增高分子热运动加剧,自由体积随着增大,因而物体膨胀. 反之温度下降,自由体积减小,物体就收缩. 而范德华体积却不受温度影响,在一般热运动能量作用下,其分子不能“挤进”范德华体积所占的空间^[11]. 当外界压力升高时,对于无定型材料来说,熵开始降低,这会导致分子之间相互作用增强,自由体积降低从而比容降低,同时会

Table 1 Rubber material performance

Composites		T_g (DSC) (℃)	Brand	Formula
1#	SBR	-52.91	1500	—
2#	NBR	-10.80	N230s	AN 34%
3#	NBR/CIIR	-26.52	CIIR 1068; NBR N230s	CIIR: NBR (mass ratio) = 2:8

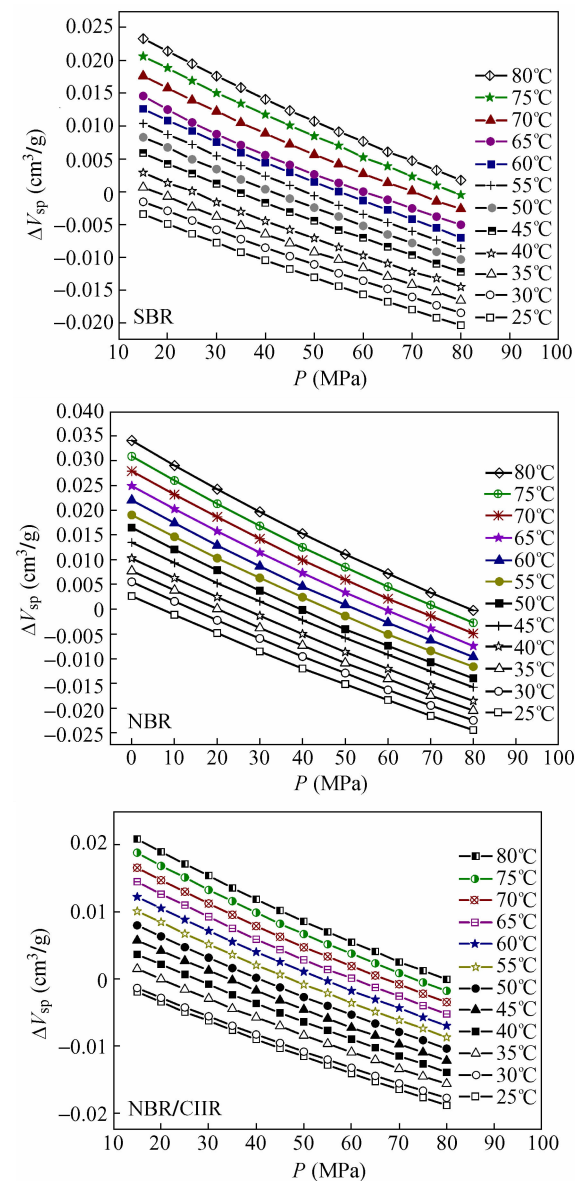


Fig. 2 The P - V - T experimental results of SBR, NBR and NBR/CIIR

提高材料的玻璃化转变温度^[12].

2.2 实验结果理论分析

2.2.1 Tait 方程

Tait 方程是对一般高聚物体系普遍适用的状态方程,本文采用其一般形式进行分析处理^[13],其形式如下:

$$V_{\text{sp}}(P,T) = V_{\text{sp}0} \times [1 - C \ln(1 + P/B)] \quad (1)$$

其中 $V_{\text{sp}0}$ 为常压下的比容; B 是与温度有关的常数; C 为常数.

另外, Quach^[14] 和 Shiomi^[15] 等认为 $V_{\text{sp}0}$ 和 B 与温度存在如下关系:

$$V_{\text{sp}0} = b_1 + b_2(T - T_g) \quad (2)$$

$$B = b_3 \cdot \exp[-b_4(T - T_g)] \quad (3)$$

式中 b_1 、 b_2 、 b_3 、 b_4 为常数; T_g 为常压下的玻璃化转变温度.

把公式(3)代入公式(1)中有:

$$\begin{aligned} V_{\text{sp}}(P,T) &= \\ V_{\text{sp}0} \left[1 - C \ln \left(1 + \frac{P}{b_3 \cdot \exp[-b_4(T - T_g)]} \right) \right] &= \\ V_{\text{sp}0} - V_{\text{sp}0} C \ln \left(1 + \frac{P}{b_3 \cdot \exp[-b_4(T - T_g)]} \right) & \end{aligned} \quad (4)$$

对(4)式进行改写得:

$$\begin{aligned} V_{\text{sp}}(P,T) - V_{\text{sp}0} &= \\ - V_{\text{sp}0} C \ln \left(1 + \frac{P}{b_3 \cdot \exp[-b_4(T - T_g)]} \right) & \\ \text{即 } - \frac{V_{\text{sp}}(P,T) - V_{\text{sp}0}}{V_{\text{sp}0}} &= \\ C \ln \left(1 + \frac{P}{b_3 \cdot \exp[-b_4(T - T_g)]} \right) & \end{aligned} \quad (5)$$

或可写为:

$$\begin{aligned} 1 + \frac{P}{b_3 \cdot \exp[-b_4(T - T_g)]} &= \\ \exp \left\{ - \frac{V_{\text{sp}}(P,T) - V_{\text{sp}0}}{C \times V_{\text{sp}0}} \right\} & \end{aligned} \quad (6)$$

在公式(6)中,右边数值 $V_{\text{sp}}(P,T) - V_{\text{sp}0} = \Delta V_{\text{sp}}$ 为比容的变化,可直接从 P - V - T 实验中获得,同时左侧温度 T 以及压力 P 均为施加的实验条件可进行记录,从而可根据这些数据计算回归确定参数 b_3 、 b_4 ,再根据公式(2)确定参数 b_1 、 b_2 值,从而得出 Tait 方程中 b_1 、 b_2 、 b_3 、 b_4 4 个参数,并与实验体系进行对比分析.

根据测定 3 种橡胶材料在常温常压时橡胶密封材料的密度,来求得常温常压时样品的体积

$V_{\text{sp}0}$, 其中 $V_{\text{sp}} = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho}$, 取常温常压时橡胶材料

的 $V_{\text{sp}0}$ 为样品体积变化的参考点,即 $V_{\text{sp}0} = \frac{V_0}{m_0} =$

$\frac{1}{\rho_0}$ ^[15]. 表 2 中,列出了 3 种密封橡胶材料在常温

常压条件下的密度 ρ_0 和 $V_{\text{sp}0}$.

Table 2 Density ρ_0 and $V_{\text{sp}0}$ of rubbers

Composites	Density (g/cm^3)	$V_{\text{sp}0}$ (cm^3/g)
SBR	1.196	0.836
NBR	0.980	1.020
NBR/CIIR	1.279	0.782

2.2.2 Tait 方程计算及参数优化

由公式(6)可得如下的比容理论计算函数关系式:

$$V_{sp}(P,T) = \left[1 - C \times \ln \left(1 + \frac{P_e}{b_3 \exp[-b_4 \times (T_e - T_g)]} \right) \right] \times (b_1 + b_2 \times (T_e - T_g)) \quad (7)$$

其中 V_e 、 P_e 及 T_e 为 P - V - T 实验所得数据,下标 e 表示实验值. 定义 Z 为计算值 $V_{sp}(P,T)$ 与原始测量值 V_e 的差值的平方和. 即:

$$Z = \text{sum} [V_{sp}(P,T) - V_e]^2 \quad (8)$$

对 P - V - T 实验得到的常压下的 P_e 、 V_e 数据进行线性拟合,可以得到 b_1 、 b_2 , C 取普适常数 0.0894, b_3 、 b_4 为待定参数. 采用最小二乘法,利用 MATLAB 中 optimization box 中求极值的方法求出一组 b_3 、 b_4 ,使得 Z 值最小,从而确定 b_3 、 b_4 .

参数优化得到的 Tait 方程中的不同体系的参数 b_1 、 b_2 、 b_3 、 b_4 如表 3 所示. b_3 、 b_4 均为常数,表明对此体系 B 为常数,其比容与压力依存性较大.

Table 3 The parameters in Tait equation

Samples	b_1	b_2	b_3	b_4
SBR	0.80745	5.35977×10^{-4}	190.085	0.001
NBR	0.94685	5.69488×10^{-4}	102.016	2.746×10^{-6}
NBR/CIIR	0.76610	4.85269×10^{-4}	164.065	0.003

2.2.3 计算结果及误差分析

对以上结果进行误差分析. 由平均残差 (residual mean) = $\sqrt{\sum_{i=1}^n (V_{sp}(P,T)_i - V_{ei})^2 / n}$ 计算得到 3 种橡胶材料的拟合误差列于表 4,平均残差均小于 0.02,可知由理论计算的结果与实验值拟合较好. 说明 Tait 方程可以用来定量描述 SBR、NBR 和 NBR/CIIR 橡胶的 P - V - T 关系.

Table 4 Residual mean of the calculated results of rubbers

Composites	Residual mean
SBR	0.00546
NBR	0.01280
NBR/CIIR	0.00221

2.2.4 热膨胀压缩系数 α 和等温压缩系数 β 计算

热膨胀压缩系数 α 和等温压缩系数 β 的热力学的定义式如下:

$$\alpha = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p = \left(\frac{\partial \ln V}{\partial T} \right)_p \quad (9)$$

$$\beta = - \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_T = - \left(\frac{\partial \ln V}{\partial P} \right)_T \quad (10)$$

可见,从实际测得的 P - V - T 数据,便可获得 α 和 β 的值以及它们与压力 P 、温度 T 的关系. 在获得了 Tait 方程中的参数后,将式(1)~(6)相结合,可以得到 α 和 β 的另一种表达形式如下:

$$\beta = - \left(\frac{\partial \ln V}{\partial P} \right)_T = \frac{C}{P+B} \cdot \frac{1}{1-C \cdot \ln(1+P/B)} = \frac{0.0894}{P+b_3 \cdot \exp[-b_4(T-T_g)]} \cdot \frac{1}{1-0.0894 \ln(1+P/b_3 \cdot \exp[-b_4(T-T_g)])} \quad (11)$$

$$\alpha = \left(\frac{\partial \ln V}{\partial T} \right)_p = \alpha_0 + P \cdot \beta \cdot \frac{d \ln B}{dT} = \alpha_0 + P \cdot \beta \cdot \frac{d \ln(b_3 \cdot \exp[-b_4(T-T_g)])}{dT} \quad (12)$$

其中, α_0 为常压下的热膨胀系数. 因此,只要知道体系 Tait 方程的具体形式(即 b_1 、 b_2 、 b_3 、 b_4 和 C 的值),根据公式(11)和(12)便可计算出不同压力和温度条件下的 α 和 β 值. 根据文献可知,采用 Tait 方程计算的 α 和 β 值与实验所得结果吻合度较高,因此可以采用 Tait 方程所计算的 α 和 β 进行研究^[15,16].

等温压缩系数 β 是在恒温条件下,压力改变时样品比容的变化. 一般认为 β 值随着温度升高而升高^[15,16],且不随压力变化,而 Shiomi 认为 β 与压力之间也存在一定的联系^[17]. 图 3、图 4 分别为定压和定温条件下,所研究的 3 种橡胶材料的 β 值随着温度和压力的变化关系图. 由图可知,3 种材料中 $\beta_{\text{NBR}} > \beta_{\text{NBR/CIIR}} > \beta_{\text{SBR}}$,即 NBR 橡胶的 β 值较大,因此 NBR 橡胶的尺寸稳定性较差,其比容随着外界环境的变化有较大的改变.

由图 3 可知,NBR/CIIR 橡胶的 β 值随着温度变化较大,即该体系在高温条件下比常温更易被压缩,因此在加工时,可采用升温或降温来调节材料的 β 值. 即 NBR/CIIR 橡胶的自由体积随着温度的升高而产生较大的增加,因而体系在高温条件下更易被压缩.

热膨胀系数 α 是一定压力条件下,单位温度导致体积的变化,它是物体由于温度改变而产生胀缩现象. 一般当温度变化不大时, α 可视为常数^[18]. 图 5 是 3 种橡胶材料在常压 0.1 MPa 时的

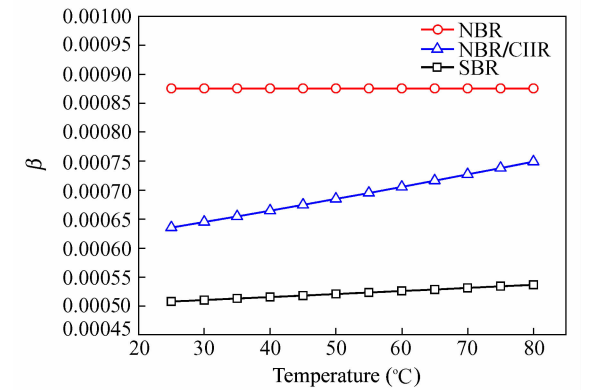


Fig. 3 The β of rubbers *versus* temperature ($P=0.1$ MPa)

热膨胀系数 α 随温度的变化规律, 计算时设定常压下的热膨胀系数 $\alpha_0=0.00048.3$ 种橡胶材料的 α 值受到温度的影响较小, 这说明橡胶材料的 α 与温度变化的关系不大. 图 6 是 3 种橡胶材料在常温 20°C 时的 α 随压力的变化规律, 并且 $\alpha_{\text{NBR/CIIR}} < \alpha_{\text{SBR}} < \alpha_{\text{NBR}}$, NBR 橡胶的 α 值较大, 进一步说明 NBR 橡胶的尺寸稳定性较差.

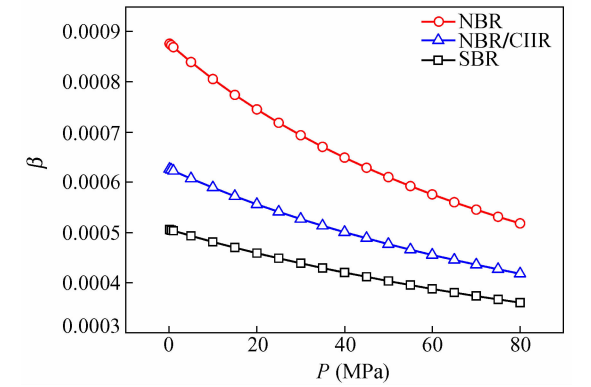


Fig. 4 The β of rubbers *versus* pressure ($T=20^{\circ}\text{C}$)

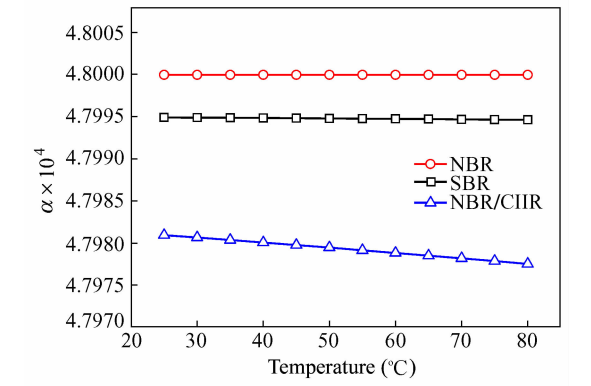


Fig. 5 The α of rubbers *versus* temperature ($P=0.1$ MPa)

由图 6 可知 NBR/CIIR 橡胶的 α 值受到压力的影响较大, 随着压力的升高, α 值降低. 这表明压力增加时 NBR/CIIR 的自由体积随压力的变化

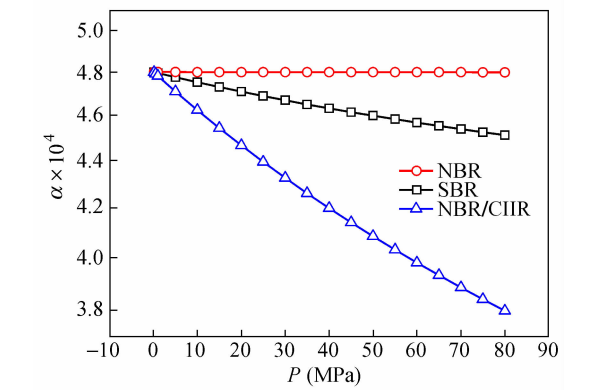


Fig. 6 The α of rubbers *versus* pressure ($T=20^{\circ}\text{C}$)

明显, 使得聚合物链段的活动能力大幅度减低, 导致热膨胀系数减小. 尺寸稳定性是指材料在受到机械力, 热或者是其他外界条件作用下, 材料外形尺寸不发生变化的性能. 在本文中, 尺寸稳定性是指材料的体积对压强和温度的改变基本都不发生变化, 即材料的 α 和 β 值都很小. 由图 3 至 6 可知, NBR 的 α 和 β 值较大尺寸稳定性较差; 而 SBR 和 NBR/CIIR 2 种橡胶的尺寸稳定性较好. NBR/CIIR 混合橡胶的 α 和 β 值均会随着外界压力或温度的改变而改变, 这是因为 NBR/CIIR 橡胶材料的自由体积分数随着温度和压力的改变有较大的变化, 因此在实际加工过程中可以更好地通过改变温度和压力来调节 NBR/CIIR 橡胶的 α 和 β 值.

3 结论

制备了 3 种常用密封胶样品, 通过 P - V - T 测试并利用 Tait 方程研究了 3 种橡胶的 P - V - T 性能, 结果表明材料的体积随着压力的增大而逐渐降低, 随着温度的升高而逐渐增大, 参数优化得到的 Tait 方程中的不同体系的参数 b_1, b_2, b_3 和 b_4 , 其中 b_3 和 b_4 均为常数. 同时根据 Tait 方程所得的参数, 研究了橡胶材料的热膨胀系数 α 和等温压缩系数 β 随着压力和温度的变化趋势, 结果表明随着压力的升高, 橡胶材料的 α 和 β 均有所降低; 随着温度的升高, 橡胶材料的 α 没有明显的变化, 而 β 逐渐升高. 实验结果表明, 3 种橡胶材料中, NBR 的尺寸稳定性最差, 而 NBR/CIIR 混合橡胶的 α 和 β 值均会随着外界压力或温度的改变而改变, 并且其 α 值会随着压力的变化有较大的改变.

REFERENCES

- 1 Zhang Ying(张颖), Yuan Qian(袁强), Yang Jian(杨剑), Sun Zhaoyan(孙昭艳), Jiang Wei(姜伟), An Lijia(安立佳). *Acta Polymerica Sinica*(高分子学报), 2002, (4): 467 ~ 471
- 2 Guo J, Simon S L. *J Polym Sci, Part B: Polym Phys*, 2010, 48(23): 2509 ~ 2517
- 3 Dlubek G, Pionteck J. *Macromolecules*, 2008, 41(16): 6125 ~ 6133
- 4 Wang J, Xie P. *J Appl Polym Sci*, 2010, 118(1): 200 ~ 208
- 5 Yang Shuting(杨书廷), Yang Jinxin(杨金鑫), Yin Yanhong(尹艳红), Yue Hongyun(岳红云), Yang Weiguang(杨伟光), Liu Yuxia(刘玉霞). *Acta Polymerica Sinica*(高分子学报), 2007, (2): 130 ~ 135
- 6 Zhao X, Xiang P, Tian M, Fong H, Jin R, Zhang L. *Polymer*, 2007, 48: 6056 ~ 6063
- 7 Chang R Y, Chen C H, Su K S. *Polym Eng Sci*, 1996, 36: 1789 ~ 1795
- 8 Jr Matheson R R. *Macromolecules*, 1987, 20: 1851 ~ 1855
- 9 Zhou Ting(周霆), Wu Guozhang(吴国章). *Acta Polymerica Sinica*(高分子学报), 2008, (9): 893 ~ 898
- 10 Sacristan J, Mijangos C. *Macromolecules*, 2010, 43: 7357 ~ 7367
- 11 Merunka D, Rakvin B. *Physica B*, 2007, 391: 28 ~ 34
- 12 Gee G. *Polymer*, 1966, 7: 177 ~ 191
- 13 Schmidt M, Maurer F H J. *J Polym Sci Polym Phys*, 1998, 36: 1061 ~ 1080
- 14 Quach A, Simha T. *J Appl Phys*, 1971, 42: 4592 ~ 4606
- 15 Taguchi R, Machida H, Sato Y, Smith R L. *J Chem Eng Data*, 2009, 54: 22 ~ 27
- 16 Costa H F, Gardas R L, Johnson I, Fonseca I M A, Ferreira A G M. *J Chem Eng Data*, 2009, 54: 256 ~ 262
- 17 Shiomi T, Hamada F, Nasako T. *Macromolecules*, 1990, 23: 229 ~ 233
- 18 Costa H F, Gardas R L. *J Chem Eng Data*, 2009, 54(2): 256 ~ 262

STUDY ON THE PRESSURE-VOLUME-TEMPERATURE PROPERTIES OF SEALING RUBBER MATERIALS

Bo Qiao, Xiu-ying Zhao, Yue-kai Gao, Si-zhu Wu

(State Key Laboratory of Organic-Inorganic Composites, Center of Advanced Elastomer Materials,
College of Materials Science and Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029)

Abstract To obtain accurate prediction of the performance of sealing rubbers and to optimize the processing parameters, the P - V - T data of three kinds of sealing rubbers: styrene-butadiene rubber, nitrile-butadiene rubber and nitrile-butadiene/chlorobutyl rubber composites, were studied. The parameters of Tait equations were calculated and compared with experiments. The results showed that the P - V - T relationship calculated by Tait equation was agreed well with the observation results. The value of parameter b_3 and b_4 were constants which mean the parameter B was a constant. The average residuals of P - V - T data between theoretical calculation and experimental values were all less than 0.02. It showed that the Tait equation can be used to describe the P - V - T relationship of these sealing rubber materials. Thermal expansion coefficients (α) and isothermal compressibility (β) of the three rubbers were evaluated from Tait equations. The experimental results showed that in these three rubbers, NBR has the best size stability and NBR/CIIR has the worst size stability. Furthermore, the thermal expansion coefficients of NBR/CIIR would reduce significantly with the decrease of pressure. Through accurate description of the changes of α and β with different pressures and temperatures for the three sealing rubbers, a method with the function of guiding processing and applications research was obtained.

Keywords P - V - T , Tait equation, Thermal expansion coefficient, Isothermal compression coefficient