

特约来稿

基于橡胶加工分析仪研究氢化丁腈橡胶 结构参数与力学性能的相关性

薛 琰¹,徐向荣¹,黄 浩¹,谢 安¹,徐金祥²,张 明¹

(1.扬州大学 化学与化工学院,江苏 扬州 225000;2.江苏扬州合力橡胶制品有限公司,江苏 扬州 225000)

摘要:采用橡胶加工分析仪(RPA)对不同牌号氢化丁腈橡胶(HNBR)混炼胶和硫化胶进行性能表征,并与其他测试仪器进行比较。结果表明:HNBR混炼胶的硫化速率和填料分散性以及硫化胶的力学性能随HNBR门尼粘度的增大而提高;硫化胶的耐老化性能随HNBR氢化度的提高而提高;硫化胶的损耗因子和玻璃化温度随HNBR丙烯腈含量的增大而分别增大和提高。使用RPA可以获得通常需要无转子硫化仪、万能材料试验机、扫描电子显微镜和动态力学分析仪等多台仪器测试的结果,即利用RPA可以较方便地对不同牌号HNBR胶料进行配方调控以获得预期效果。

关键词:橡胶加工分析仪;氢化丁腈橡胶;氢化度;丙烯腈含量;门尼粘度;力学性能

中图分类号:TQ330.4⁺92;TQ333.7

文献标志码:A

文章编号:1000-890X(2021)09-0643-07

DOI:10.12136/j.issn.1000-890X.2021.09.0643



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

氢化丁腈橡胶(HNBR)是由丁腈橡胶进行加氢反应制得的一种饱和度较高的高聚物弹性体。HNBR中保留的腈基使其具有优异的耐油性能和耐特种燃料性能,主链中高度饱和的亚甲基链使其具有优异的弹性、良好的耐热性能和耐老化性能,氢化后保留的少量碳-碳双键使其具有可硫化性,正是由于这些结构特征,HNBR具备了优异的性能,从而得到广泛应用^[1-6]。

橡胶加工分析仪(RPA)是一种动态力学流变试验机,是集橡胶加工性能、流变性能和动态力学性能测试于一体的综合测试仪器。它可根据实际应用情况对同一试样进行温度、频率和角度等扫描测试,同一试样一次试验可测得胶料在原料、加工、硫化及成品阶段的特性^[7-13]。

本工作从门尼粘度值、氢化度和丙烯腈含量这3个HNBR结构参数出发,选用日本瑞翁公司4种

牌号的HNBR,利用RPA研究HNBR结构参数对其性能的影响,以期对不同牌号HNBR的应用提供参考依据。

1 实验

1.1 原材料

HNBR,牌号2010L,门尼粘度[ML(1+4)100℃,下同]为58,氢化度为96%,丙烯腈质量分数为0.36;牌号2010,门尼粘度为85,氢化度为96%,丙烯腈质量分数为0.36;牌号2000,门尼粘度为85,氢化度为99%,丙烯腈质量分数为0.36;牌号1010,门尼粘度为85,氢化度为96%,丙烯腈质量分数为0.44,日本瑞翁公司产品。炭黑N330,青岛德固赛化学有限公司产品。双叔丁基过氧异丙基苯(交联剂BIPB),有效成分质量分数为0.4;三烯丙基异氰尿酸酯(助交联剂TAIC),有效成分质量

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51273172)

作者简介:薛琰(1993—),女,山东泰安人,扬州大学硕士研究生,主要从事氢化丁腈橡胶耐高温材料的研究工作。

E-mail:18463750770@163.com

引用本文:薛琰,徐向荣,黄浩,等.基于橡胶加工分析仪研究氢化丁腈橡胶结构参数与力学性能的相关性[J].橡胶工业,2021,68(9):643-649.

Citation: XUE Yan, XU Xiangrong, HUANG Hao, et al. Study on correlation between structure parameters and mechanical properties of HNBR based on RPA[J]. China Rubber Industry, 2021, 68(9): 643-649.

分数为0.7,荷兰阿克苏-诺贝尔公司产品;其他原材料均为市售工业品。

1.2 试验配方

HNBR 100,炭黑N330 25,硬脂酸 1,氧化锌 5,防老剂445 1.5,交联剂BIPB 7,助交联剂TAIC 3。

1.3 主要设备和仪器

XK-160型开炼机和QLB-25型平板硫化机,无锡市新华橡胶机械厂产品;RPA-8000型RPA,高铁检测仪器(东莞)有限公司产品;S-4800型场发射扫描电子显微镜(SEM),日本日立公司产品;INSTRON 3367型万能材料试验机,美国INSTRON公司产品;401B型热空气老化试验箱,江苏新真威试验机械有限公司产品;Q8000型动态热力学分析仪,美国TA公司产品。

1.4 试样制备

胶料在开炼机上进行混炼,首先将生胶塑炼,然后依次加入氧化锌、硬脂酸、防老剂、炭黑N330、交联剂BIPB、助交联剂TAIC,薄通8次出片。

混炼胶放置12 h后在平板硫化机上硫化,硫化条件为160 °C/10 MPa \times t_{90} 。

1.5 性能测试

1.5.1 门尼粘度

采用RPA对混炼胶进行频率扫描,温度为60 °C,频率扫描范围为1~15 Hz。

1.5.2 硫化特性

采用RPA(在MDR模式下)测试混炼胶的硫化特性,温度为160 °C,频率为1.7 Hz,应变为7%。

1.5.3 炭黑分散性

采用RPA对混炼胶进行应变扫描,温度为60 °C,应变扫描范围为0.7%~100%。

利用SEM按照GB/T 17359—2012对硫化胶进行断面形貌扫描。

1.5.4 力学性能

采用RPA对硫化胶进行温度扫描,温度扫描范围为40~120 °C,频率为1 Hz,应变为7%。

按照GB/T 528—2009和GB/T 529—2008在万能材料试验机上分别进行拉伸性能和撕裂强度测试,拉伸速率均为500 mm \cdot min⁻¹。

1.5.5 耐老化性能

采用RPA(在MDR模式下)进行硫化胶的老

化试验,温度为180 °C,时间为30 min,频率为0.1 Hz,应变扫描范围为0.7%~30%。

在热空气老化试验箱中进行150 °C \times 72 h的老化后在万能试验机上进行拉伸性能试验。

1.5.6 动态力学性能

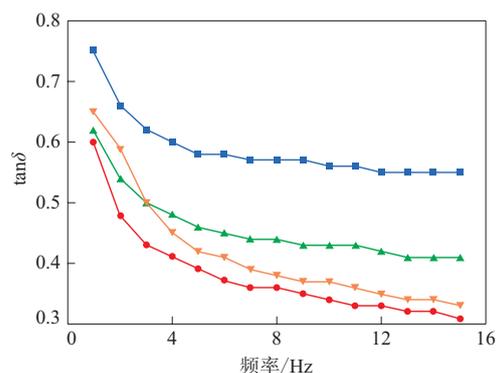
采用RPA对硫化胶进行应变扫描,试验条件为温度 60 °C,频率 1 Hz,应变扫描范围 0.7%~100%。

采用动态热力学分析仪对硫化胶进行动态力学性能测试。试验条件为拉伸模式,温度范围 -80~150 °C,频率 50 Hz。

2 结果与讨论

2.1 门尼粘度

采用RPA对不同牌号HNBR混炼胶进行频率扫描,结果如图1所示,图中tan δ 为损耗因子。



HNBR牌号: ■—2010L; ●—2010; ▲—2000; ▼—1010。

图1 不同牌号HNBR混炼胶的频率扫描曲线
Fig.1 Frequency scanning curves of HNBR compounds with different grades

从图1可以看出,HNBR 2010L混炼胶的tan δ 最大,其他3种HNBR混炼胶的tan δ 差异相对较小。分析认为:在频率扫描中,低门尼粘度的HNBR 2010L分子间相对位移大,内耗大,相应的tan δ 增大。同时,低门尼粘度HNBR 2010L的相对分子质量小,分子间作用力小,具有良好的加工性能。由此可知,利用RPA可对不同牌号HNBR进行结构参数表征,并得到其结构参数对性能的影响,从而实现对胶料配方的调控。

2.2 硫化特性

采用RPA(在MDR模式下)对不同牌号HNBR混炼胶的硫化特性进行表征,结果如表1所示。

表1 不同牌号HNBR混炼胶的硫化特性
Tab.1 Vulcanization characteristics of HNBR compounds with different grades

项 目	HNBR牌号			
	2010L	2010	2000	1010
$F_L / (\text{dN} \cdot \text{m})$	0.07	0.07	0.08	0.05
$F_{\max} / (\text{dN} \cdot \text{m})$	0.95	1.33	1.23	1.10
$F_{\max} - F_L / (\text{dN} \cdot \text{m})$	0.88	1.26	1.15	1.05
t_{10} / min	2.95	2.22	2.53	2.55
t_{90} / min	31.03	26.23	27.67	26.73

从表1可以看出,低门尼粘度HNBR 2010L混炼胶的 $F_{\max} - F_L$ 最小, t_{10} 和 t_{90} 最长,这表明低门尼粘度HNBR 2010L硫化胶的交联程度和硫化速率降低。氢化度较高的HNBR 2000混炼胶的交联程度和硫化速率较HNBR 2010混炼胶降低,这是由于双键的活性高于单键,硫化过程中双键在较低的能量下即可反应形成自由基,进而交联,故氢化度越高,混炼胶的 $F_{\max} - F_L$ 越小, t_{10} 和 t_{90} 越长。由于丙烯腈会对橡胶的交联反应起抑制作用,从而降低交联程度,高丙烯腈含量的HNBR 1010混炼胶的 $F_{\max} - F_L$ 较小。

采用RPA可获得不同牌号HNBR结构参数对硫化特性的影响,且在硫化试验结束后仍可继续进行其他模式的测试。与无转子硫化仪测试相比,RPA测试可节约原料和缩短测试时间。

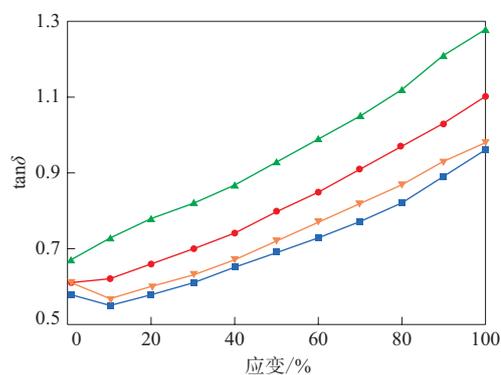
2.3 炭黑分散性

不同牌号HNBR混炼胶的应变扫描曲线如图2所示,图中 G' 为剪切储能模量。

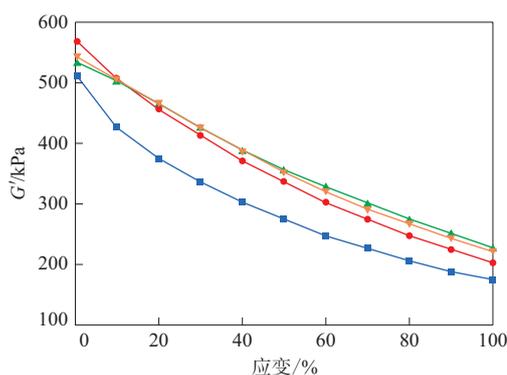
混炼胶中炭黑分散性越好,炭黑与橡胶分子的结合量就越多,则混炼胶的 $\tan\delta$ 越大。因而可以用 $\tan\delta$ 来表征混炼胶中炭黑的分散性。

从图2(a)可以看出,在补强剂为炭黑N330的情况下,HNBR 2010L混炼胶的 $\tan\delta$ 较小,表明炭黑N330在HNBR 2010L基体中分散较差。橡胶的门尼粘度越低,填料的聚集速度越快,因而分散性越差,这也可以从Payne效应看出。

从图2(b)可以看出,随着应变的增大,混炼胶的 G' 急剧减小且呈非线性关系,这种现象被称为Payne效应^[14-15]。一般认为混炼胶的最大 G' 与趋于平稳时的 G' 之差($\Delta G'$)可以反映填料的网络结构, $\Delta G'$ 越大,Payne效应越强,填料的分散性越差。橡胶的门尼粘度越低,填料的聚集速度越快,填料的网络越发达,聚集程度越高,因而填料在橡



(a) $\tan\delta$ -应变曲线



(b) G' -应变曲线

注同图1。

图2 不同牌号HNBR混炼胶的应变扫描曲线
Fig.2 Strain scanning curves of HNBR compounds with different grades

胶基体中的分散性越差。

不同牌号HNBR硫化胶的SEM照片如图3所示。

对4种不同牌号HNBR硫化胶的断面形貌分析发现,HNBR 2010L硫化胶中炭黑分散性最差,团聚现象明显,如图3(a)所示。这与RPA表征结果相一致,但RPA的测试制样更加简便,在一些情况下利用RPA对填料分散性进行表征既可以使制样简化又可以缩短测试时间。

2.4 力学性能

不同牌号HNBR硫化胶的 G' -温度曲线如图4所示,物理性能如表2所示。

温度扫描下测试的硫化胶的 G' 与硫化胶的定伸应力和拉伸强度有很好的相关性, G' 越大,则定伸应力和拉伸强度越高^[16]。从图4可以看出,温度较低时,HNBR 1010硫化胶的 G' 最大,HNBR 2010L硫化胶的 G' 最小,即低温时,HNBR 1010

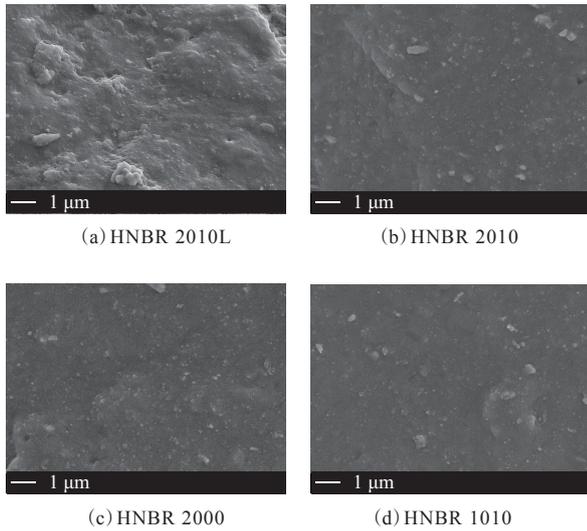


图3 不同牌号HNBR硫化胶的SEM照片

Fig. 3 SEM photos of HNBR vulcanizates with different grades

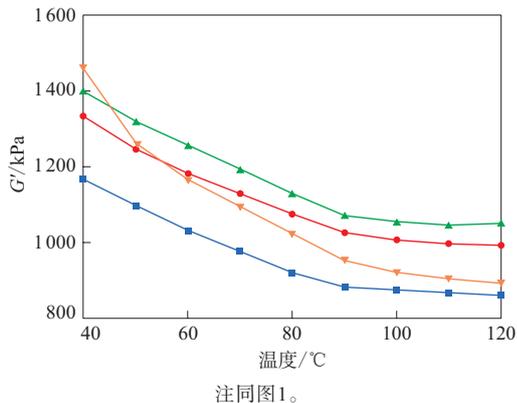
图4 不同牌号HNBR硫化胶的 G' -温度曲线Fig. 4 G' -temperature curves of HNBR vulcanizates with different grades

表2 不同牌号HNBR硫化胶的物理性能

Tab. 2 Physical properties of HNBR vulcanizates with different grades

项 目	HNBR牌号			
	2010L	2010	2000	1010
邵尔A型硬度/度	56	59	58	60
100%定伸应力/MPa	1.34	1.53	1.46	1.55
拉伸强度/MPa	19.54	21.96	22.19	27.19
拉伸伸长率/%	701	629	718	672
撕裂强度/($\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$)	31	33	33	39

硫化胶具有较高的定伸应力和拉伸强度,HNBR 2010L硫化胶的定伸应力和拉伸强度较低。这是由于HNBR 1010的丙烯腈含量高,分子易结晶,分子中结晶比例越大其抵抗外部能量越高,因而呈

现出高的定伸应力和拉伸强度。HNBR 2010L的门尼粘度值低,相对分子质量小,在硫化过程中活性较低,难于交联充分,因而力学性能降低。随着温度的升高,硫化胶的 G' 逐渐减小,4种硫化胶中,HNBR 1010硫化胶的 G' 随温度的增大而减小幅度最明显,表明温度对其力学性能影响较大,这可能是由于丙烯腈在高温环境下发生了断键现象。HNBR 2000硫化胶即使在高温环境下仍保持较好的力学性能,原因是氢化度越高,分子中残留的双键越少,高温下氧化老化现象减少,故力学性能保持良好。

对比表2和图4数据可知,RPA对不同牌号HNBR硫化胶的力学性能测试结果与万能材料试验机测试结果基本相符,在特殊情况下可利用RPA对不同硫化胶进行力学性能的简单对比,从而可在较短的时间内对硫化胶进行性能预测与胶料配方调控。

2.5 耐老化性能

橡胶老化后的滞后损失会增大,故可根据橡胶老化前后 $\tan\delta$ 变化($\Delta\tan\delta$)来表征橡胶的老化性能。老化前后的 $\Delta\tan\delta$ 越大,硫化胶的耐老化性能越差。不同牌号HNBR硫化胶的应变扫描曲线如图5所示。

从图5可以看出,HNBR 2000硫化胶的 $\Delta\tan\delta$ 最小,HNBR 2010L硫化胶的 $\Delta\tan\delta$ 最大。这表明HNBR 2000硫化胶的耐老化性能最好,HNBR 2010L硫化胶的耐老化性能最差。这是因为低饱

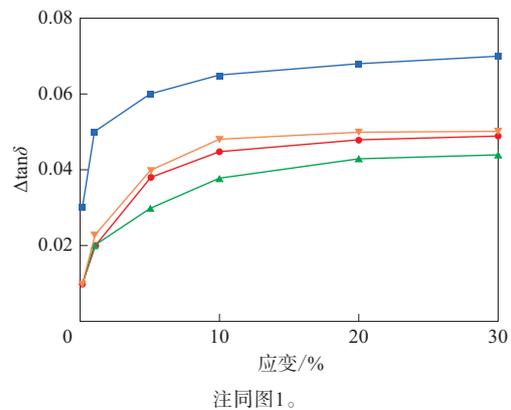


图5 不同牌号HNBR硫化胶的应变扫描曲线
Fig. 5 Strain scanning curves of HNBR vulcanizates with different grades

和度的HNBR 2010L硫化胶中橡胶分子残留的双键较多,双键 α 碳原子上的C—H键解离能很低,易被产生的过氧自由基夺去H形成自由基,自由基碳原子上的C—C和C—H键较易被打断,从而发生氧化老化^[17]。因而氯化度越高,HNBR硫化胶的力学性能保持越好。另外,HNBR 2010L的相对分子质量小,分子间作用力小,硫化胶在高温下分子链易产生滑移,耐老化性能较差。

将不同牌号的HNBR硫化胶在热空气老化箱中进行150 °C × 72 h的老化后,在万能材料试验机上进行拉伸试验,结果如表3所示。

对比两种方法所测数据可知:RPA测试的HNBR硫化胶的耐老化性能变化趋势与万能材料试验机测试的变化趋势相一致,但RPA测试方法更加简便,可大大缩短测试时间。

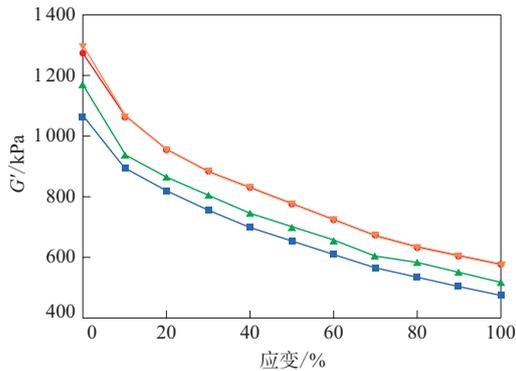
表3 不同牌号HNBR硫化胶的耐老化性能
Tab.3 Aging resistance of HNBR vulcanizates with different grades

项 目	HNBR牌号			
	2010L	2010	2000	1010
邵尔A型硬度/度	65	66	65	68
邵尔A型硬度变化/度	+9	+7	+7	+8
100%定伸应力/MPa	2.84	2.87	2.37	2.93
100%定伸应力变化率/%	+111.94	+87.58	+62.33	+89.03
拉伸强度/MPa	18.19	21.78	22.16	28.92
拉伸强度变化率/%	-6.91	-0.82	-0.14	+6.36
拉断伸长率/%	428	469	553	432
拉断伸长率变化率/%	-38.94	-25.44	-22.98	-35.71
撕裂强度/(kN·m ⁻¹)	31	32	33	46
撕裂强度变化率/%	0	-3.03	0	+17.95

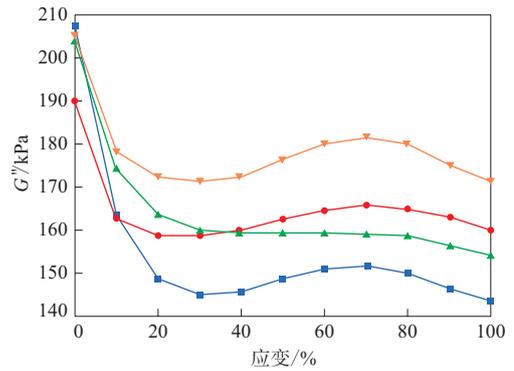
2.6 动态力学性能

不同牌号HNBR硫化胶的动态扫描曲线如图6所示,图中 G'' 为剪切损耗模量。

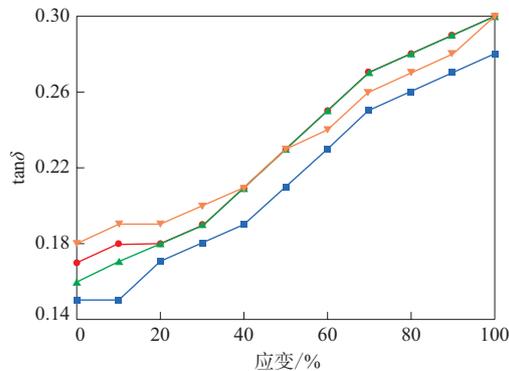
图6(a)为硫化胶的 G' -应变曲线,硫化胶的



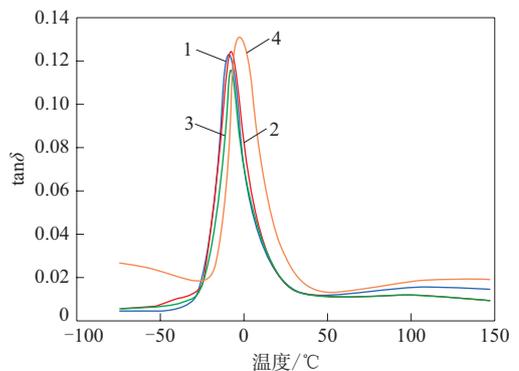
(a) G' -应变曲线



(b) G'' -应变曲线



(c) $\tan\delta$ -应变曲线



(d) $\tan\delta$ -温度曲线

图6(a) — (c) 注同图1。图6(d) HNBR牌号: 1—2010L; 2—2010; 3—2000; 4—1010。

图6 不同牌号HNBR硫化胶的动态扫描曲线

Fig. 6 Dynamic scanning curves of HNBR vulcanizates with different grades

G' 与拉伸强度有较好的相关性,拉伸强度越高,硫化胶的 G' 越大^[17]。故HNBR 2010L硫化胶的 G' 最小。由图6(b)可知,在较小应变下,随着应变的增大,硫化胶的 G'' 急剧减小,当应变大于30%时硫化胶的 G'' 略有增大后减小。分析认为,应变为30%时硫化胶的 G'' 达到临界点,此时填料与橡胶基体间网络破坏与恢复达到平衡,当应变大于30%后,填料与橡胶基体间网络的重建速度大于破坏速度,故 G'' 略有增大^[18]。图6(c)显示,随着应变的增大,硫化胶的 $\tan\delta$ 逐渐增大,且丙烯腈含量最高的HNBR 1010硫化胶的 $\tan\delta$ 相对较大。分析认为:丙烯腈含量越高,硫化胶的交联密度越大,分子链运动越困难, $\tan\delta$ 越大。同时由图6(d)可知,受分子结晶的影响,丙烯腈含量较高的HNBR 1010硫化胶的玻璃化温度(T_g)较高。

由以上分析可知,采用RPA对HNBR混炼胶和硫化胶进行性能测试的结果与采用其他仪器测试结果相一致。与其他测试仪器相比,RPA制样方便,测试简便快捷,可提高工作效率。本研究通过RPA研究得出:低门尼粘度HNBR 2010L混炼胶具有良好的加工性能,但硫化胶的力学性能较差,HNBR 2010L适宜应用于加工性能要求较高,但力学性能要求相对较低的胶料;氢化度较高的HNBR 2000硫化胶具有优异的耐老化性能,可用于高温环境中;高丙烯腈含量的HNBR 1010硫化胶的 $\tan\delta$ 较大,HNBR 1010适宜于对阻尼性能要求较高的胶料;HNBR 2010胶料的综合力学性能最佳。

3 结论

(1)低门尼粘度HNBR 2010L混炼胶的硫化速率较低和填料分散性较差,硫化胶的力学性能较差,但HNBR 2010L具有良好的加工性能。

(2)HNBR硫化胶的耐老化性能随着氢化度的提高而提高,氢化度较高的HNBR 2000硫化胶的耐老化性能最佳。

(3)丙烯腈含量越高,分子间作用力越大,硫化胶的 $\tan\delta$ 越大, T_g 越高。高丙烯腈含量的HNBR 1010硫化胶具有优异的阻尼性能。

(4)利用RPA可以对不同牌号的HNBR分别进

行混炼胶和硫化胶的性能测试,且测试结果与其他仪器测试结果相一致。同时,RPA测试时间短、制样方便,可以在较短时间内实现对混炼胶和硫化胶的性能预测及胶料配方调控。如果RPA测试的胶料性能数据库逐步扩大,可以最终实现使用RPA进行混炼胶和硫化胶性能的定量分析。

参考文献:

- [1] NAKAGAWA T. Ozone resistance of highly saturated nitrile rubber (HNBR)[J]. *Journal of Elastomers and Plastics*, 1992, 24(3): 240-261.
- [2] 李敏. 氢化丁腈橡胶性能研究[J]. *世界橡胶工业*, 2002, 29(1): 2-13.
LI M. Study on properties of hydrogenated nitrile rubber[J]. *World Rubber Industry*, 2002, 29(1): 2-13.
- [3] 黄安民, 王小萍, 贾德民. 氢化丁腈橡胶研究进展[J]. *绝缘材料*, 2005, 38(5): 58-61, 64.
HUANG A M, WANG X P, JIA D M. Development of hydrogenated nitrile rubber[J]. *Insulating Materials*, 2005, 38(5): 58-61, 64.
- [4] 赵连运, 徐瑜翔. 工艺条件对氢化丁腈橡胶性能的影响[J]. *汽车博览*, 2020(20): 58.
ZHAO L Y, XU Y X. Influence of technical conditions on properties of hydrogenated nitrile rubber[J]. *Auto Expo*, 2020(20): 58.
- [5] 何晓庆, 张雪萍, 钱真, 等. 气相法白炭黑与炭黑对比对氢化丁腈橡胶性能的影响[J]. *有机硅材料*, 2021, 35(1): 30-34, 56.
HE X Q, ZHANG X P, QIAN Z, et al. Effect of fumed silica/carbon black filler ratios on the properties of reinforced HNBR[J]. *Silicone Material*, 2021, 35(1): 30-34, 56.
- [6] 商宏超. 氢化丁腈橡胶的合成及配合技术研究进展[J]. *橡塑资源利用*, 2016(4): 31-33.
SHANG H C. Research progress on synthesis and compounding technology of hydrogenated nitrile rubber[J]. *Rubber & Plastics Resources Utilization*, 2016(4): 31-33.
- [7] 任会明, 陈生, 王丹灵, 等. 橡胶加工分析仪表征天然橡胶相对分子质量的研究[J]. *轮胎工业*, 2021, 41(1): 55-57.
REN H M, CHEN S, WANG D L, et al. Study on characterization of molecular weight of NR by RPA[J]. *Tire Industry*, 2021, 41(1): 55-57.
- [8] 韩丹丹, 谭岱云. RPA8000橡胶加工分析仪在炭黑补强性能检测中的应用[J]. *云南化工*, 2016, 43(3): 39-41.
HAN D D, TAN D Y. Application of RPA8000 rubber process analyzer in carbon black reinforcing properties detection[J]. *Yunnan Chemical Technology*, 2016, 43(3): 39-41.
- [9] 廖禄生, 王兵兵, 张福全, 等. 采用RPA研究环氧化天然橡胶与白炭黑的界面作用[J]. *广东化工*, 2016, 43(10): 66-68.
LIAO L S, WANG B B, ZHANG F Q, et al. Investigation on the interface interaction between epoxidized natural rubber and silica

- using RPA[J]. Guangdong Chemical Industry, 2016, 43(10):66-68.
- [10] 王贵一. 用橡胶加工分析仪(RPA)研究白炭黑-硅烷填料系统[J]. 世界橡胶工业, 2003, 30(2):30-35.
WANG G Y. Study on silica-silane filler system with rubber processing analyzer (RPA)[J]. World Rubber Industry, 2003, 30(2):30-35.
- [11] 张琳, 王玉海, 刘震. 用RPA2000橡胶加工分析仪研究胶料硫化过程中填料的聚集程度[J]. 橡胶科技, 2017, 15(6):13-21.
ZHANG L, WANG Y H, LIU Z. Study on filler aggregation of rubber compound during curing process by RPA2000 rubber processing analyzer[J]. Rubber Science and Technology, 2017, 15(6):13-21.
- [12] 王小萍, 蒋智杰, 贾德民. RPA2000橡胶加工分析仪简介及其应用[C]. 2002年全国橡胶产品性能评价技术研讨会论文集. 北京: 中国化工学会, 2002:32-38.
- [13] 李华. 使用橡胶加工分析仪来研究白炭黑补强溶聚丁苯胶料的焦烧行为[J]. 橡塑技术与装备, 2020, 46(1):46-49.
LI H. Study on the scorch behavior of white carbon black reinforced polystyrene-butadiene rubber using a rubber processing analyzer[J]. China Rubber/Plastics Technology and Equipment, 2020, 46(1):46-49.
- [14] 战艳虎, 孟艳艳, 夏和生. 不同维数填料对橡胶Payne效应的影响[J]. 高分子材料科学与工程, 2017, 33(1):92-96.
ZHAN Y H, MENG Y Y, XIA H S. Influence of the filler with different dimension on the rubber Payne effect[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2017, 33(1):92-96.
- [15] 周玉丰, 杨萌, 王英, 等. 白炭黑对聚硅氧烷佩恩效应及热弹行为的影响[J]. 中国粉体技术, 2015, 21(1):1-6.
ZHOU Y F, YANG M, WANG Y, et al. Influence of silica on Payne effect and thermoelastic behaviour of polysiloxane[J]. China Powder Science and Technology, 2015, 21(1):1-6.
- [16] 游海军, 刘莉. 不同炭黑种类对丁腈橡胶性能的影响[J]. 胶体与聚合物, 2015, 33(3):110-112.
YOU H J, LIU L. Effect of carbon black type on the properties of nitrile rubber[J]. Chinese Journal of Colloid & Polymer, 2015, 33(3):110-112.
- [17] 张成龙, 李再峰, 白延光, 等. 氢化度与丙烯腈含量对HNBR硫化胶性能的影响[J]. 高分子材料科学与工程, 2013, 29(1):88-91.
ZHANG C L, LI Z F, BAI Y G, et al. Effect of acrylonitrile content and hydrogenation on properties of hydrogenated nitrile rubber (HNBR) vulcanizates[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2013, 29(1):88-91.
- [18] 丁乃秀, 栗磊, 徐帅锋, 等. 不同粒径和结构度炭黑填充集成橡胶的性能研究[J]. 橡胶工业, 2014, 61(3):161-165.
DING N X, LI L, XU S F, et al. Properties of SIBR filled with carbon black with different particle size and structure[J]. China Rubber Industry, 2014, 61(3):161-165.

收稿日期:2021-03-02

Study on Correlation between Structure Parameters and Mechanical Properties of HNBR Based on RPA

XUE Yan¹, XU Xiangrong¹, HUANG Hao¹, XIE An¹, XU Jinxiang², ZHANG Ming¹

(1. Yangzhou University, Yangzhou 225000, China; 2. Yangzhou Heli Rubber Co., Ltd, Yangzhou 225000, China)

Abstract: The properties of different grades of hydrogenated nitrile rubber (HNBR) compounds and vulcanizates were characterized by rubber processing analyzer (RPA), and compared with other testing instruments. The results showed that the curing rate and filler dispersion of HNBR compound and mechanical properties of HNBR vulcanizate increased with the increase of the Mooney viscosity of HNBR. The aging resistance of HNBR vulcanizate increased with the increase of the hydrogenation degree of HNBR. The loss factor and glass transition temperature of HNBR vulcanizate increased with the increase of the acrylonitrile content of HNBR. RPA could be used to obtain the test results that usually required multiple instruments, such as rotorless vulcanizer, universal material testing machine, scanning electron microscope and dynamic mechanical analyzer. Therefore, RPA could be used to conveniently regulate the compound formulation of HNBR with different grades to obtain the expected results.

Key words: RPA; HNBR; hydrogenation degree; acrylonitrile content; Mooney viscosity; mechanical property