

热空气老化对汽车悬置用 NR 疲劳的影响研究

王伟健, 郑挺, 李咏斌

(广州汽车集团股份有限公司汽车工程研究院, 广东 广州 511434)

摘要: 以某汽车悬置用 NR 硫化胶为研究对象。分别研究了 90 °C、100 °C、110 °C 条件下 200 h 的热空气老化对 7 个不同拉伸倍数 (1.6、1.8、2.0、2.2、2.4、2.6、2.8) 的单轴动态拉伸疲劳次数的影响。通过试验研究发现: NR 的疲劳次数随着热老化温度的升高呈现明显的下降趋势, 但 1.6 拉伸倍数不同温度下, 疲劳次数保持率均 $\geq 80\%$ 。温度为 110 °C 或拉伸倍数 ≥ 2.4 则出现急剧下降。

关键词: 天然橡胶; 热空气老化; 拉伸疲劳

中图分类号: TQ332

文献标识码: B

文章编号: 1009-797X(2024)10-0018-05

DOI: 10.13520/j.cnki.rpte.2024.10.004

0 前言

NR 天然橡胶有非常优异的综合性能, 比如: 超高回弹性、高强度、高耐磨性以及应变诱导结晶等性能。因此, NR 天然橡胶被广泛的应用于航空、建筑、汽车、医疗等行业, 是一种重要的国民战略物资。其中在汽车行业, NR 天然橡胶被大量的应用于底盘、动力等系统的衬套、悬置、减震器等隔震、密封零件上, 以起到隔震降噪柔性连接及密封防水防尘等作用。但 NR 天然橡胶大分子链上含有较多的不饱和活性基团, 这些基团虽然在硫化时起到积极作用, 但在使用过程中又容易受到氧气、臭氧等作用从而发生再度交联、分子链断裂等副作用, 从而使 NR 天然胶失去弹性和强度而发生失效。NR 天然橡胶不饱和的单体分子链中由 σ 键和 π 键组成的双键活性非常高, 其中尤其以 π 键的结合最不牢固, 活化能较低, 容易和缺电子物质发生加成反应。特别是当温度升高时, NR 天然橡胶与氧气结合发生老化的反应也迅速加剧, 所以产生了不少针对橡胶的热老化加速试验寿命研究^[1]。除了 NR 天然橡胶自身的分子结构容易发生老化外, 另一方面, 因其通常作为隔震件应用, 受一定频率的载荷反复激励作用, 容易使分子链内部发生摩擦而发热, 从而又进一步催生动态疲劳老化的发生。

为了防止 NR 天然橡胶产品在设计寿命期内出现老化和疲劳失效。国内外学者从热氧老化、填料、应

变、老化时长、结构、预测方法等方面对 NR 天然橡胶及其制品的老化和疲劳的影响展开了研究^[2-6]。这些研究都为 NR 天然橡胶及其制品的防老化和耐疲劳设计与验证提供了良好的参考。但是, 针对汽车悬置用的 NR 天然橡胶热空气老化后的疲劳性能影响的研究目前尚且不多见。

因此, 本文以某车的悬置用 NR 硫化橡胶为研究对象, 通过不同热氧老化温度研究 NR 橡胶动态拉伸疲劳次数的变化规律, 并结合热重法对 NR 橡胶的老化进行解释。研究结果可为悬置用 NR 橡胶的选材和设计验证提供参考。

1 实验部分

1.1 主要原料

NR 硫化天然橡胶, 硬度 (邵尔 A): 50, 市售品。

1.2 主要设备及仪器

橡胶疲劳试验机: EKT-2002FF, 中国台湾眸中科技有限公司;

硬度计: LX-A, 中国扬州源峰检测设备有限公司;

同步热分析仪: TGA/DSC 3+, 瑞士 METTLER TOLEDO。

作者简介: 王伟健 (1986-), 男, 高级工程师, 硕士研究生, 主要从事汽车用非金属材料研发与验证工作。

收稿日期: 2023-09-22

2 实验方案设定

将 NR 硫化天然橡胶按标准制作成硬度和动态拉伸疲劳测试所需的标准样条, 然后放置于高温烘箱中开展热老化。老化完成后对老化前后的样条进行硬

度、不同拉伸倍数的动态拉伸疲劳试验(拉伸疲劳试验频率为 1.7 Hz) 以及热失重试验, 将获得的测试结果数据展开分析。具体样条编号、测试项目、参考标准等内容见表 1 所示:

表 1 样条及测试项目和标准

样条分组	热老化情况 (°C ×h)	测试项目与标准		
		硬度	拉伸疲劳	热失重
1#	常温, 未老化	GB/T 531.1—2008	ASTM D4482-11	GB/T 14837.1—2014
2#	90 °C ×200 h			
3#	100 °C ×200 h			
4#	110 °C ×200 h			

3 结果与讨论

3.1 硬度的变化

老化前后硬度变化数据详见表 2 所示:

表 2 硬度

样条	硬度 (A)
1#	50.0
2#	51.8
3#	53.5
4#	55.9

3.2 拉伸疲劳次数 N_f

每组试验样条、每个拉伸倍数均设置 24 片哑铃状试验样片。试验样条及设备如图 1 所示。每组试验每个拉伸倍数的疲劳试验结束后, 均会产生 24 个疲劳断裂次数数据。因篇幅有限, 本文仅以 1# 样条 1.6 倍拉伸率下的 24 个拉伸疲劳试验结果数据为例, 具体数值如表 3 所示。通过统计 4 组样条 7 组不同拉伸倍数下的疲劳寿命次数, 并分别计算各样条试片在 50% 存活率下的试验寿命次数, 以该寿命次数作成不同老化条件下的寿命曲线, 如图 2 所示。



图 1 拉伸疲劳试验

3.3 热失重曲线

各组试验样条热失重曲线如图 3 所示。

3.4 结果分析与讨论

(1) 由表 1 可知, 经过不同温度的热空气老化试验后 NR 硫化胶的硬度值随老化温度的升高呈现上升的趋势。一方面是因为 NR 天然橡胶自身具有贮存老化硬化的现象^[7], 另一方面则是随着温度的升高, NR

表 3 1# 样条 24 个样片疲劳寿命

试样片号	疲劳寿命次数	试样片号	疲劳寿命次数
1	21 791	13	67 115
2	106 814	14	87 826
3	85 535	15	100 695
4	52 398	16	137 669
5	65 598	17	110 181
6	129 569	18	151 177
7	67 420	19	170 286
8	93 156	20	83 665
9	107 530	21	123 596
10	83 538	22	54 024
11	89 843	23	115 125
12	78 178	24	89 854

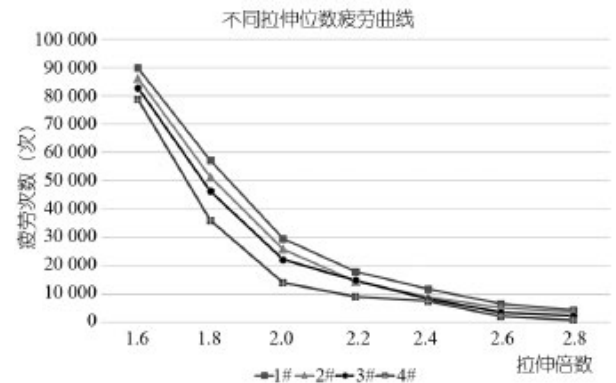
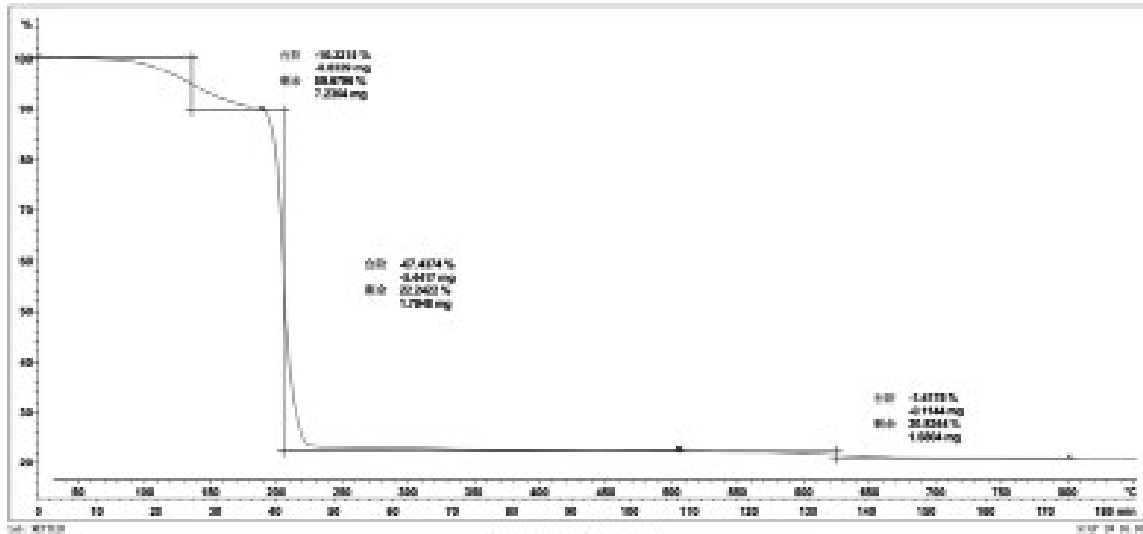


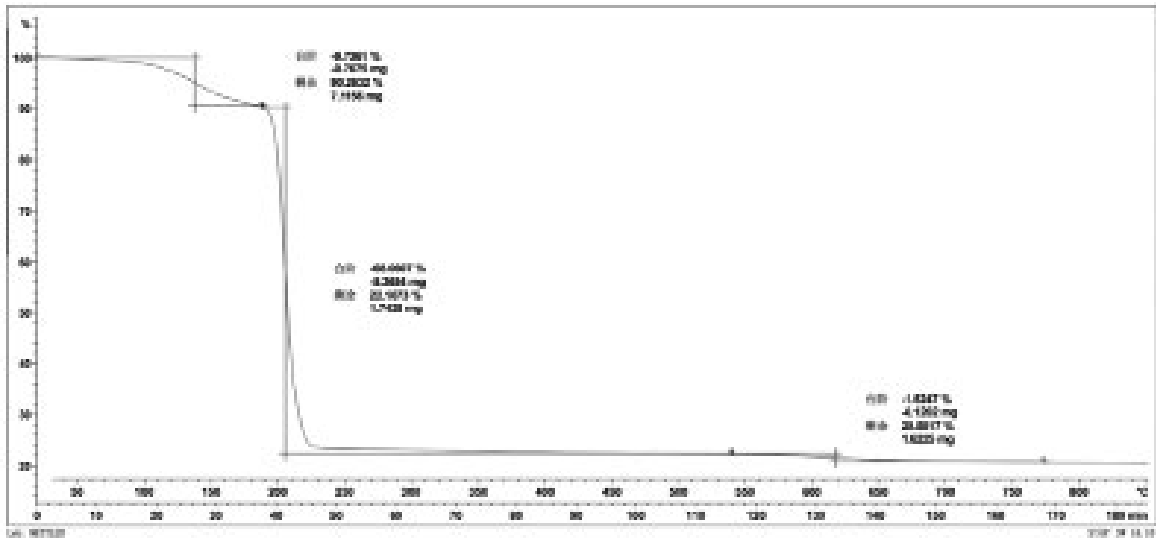
图 2 四组样条不同拉伸倍数下的疲劳曲线

胶会发生二次硫化交联, 温度升高到一定程度则会发生分子链断裂, 不管是交联还是断链, 均会导致硬度的上升。

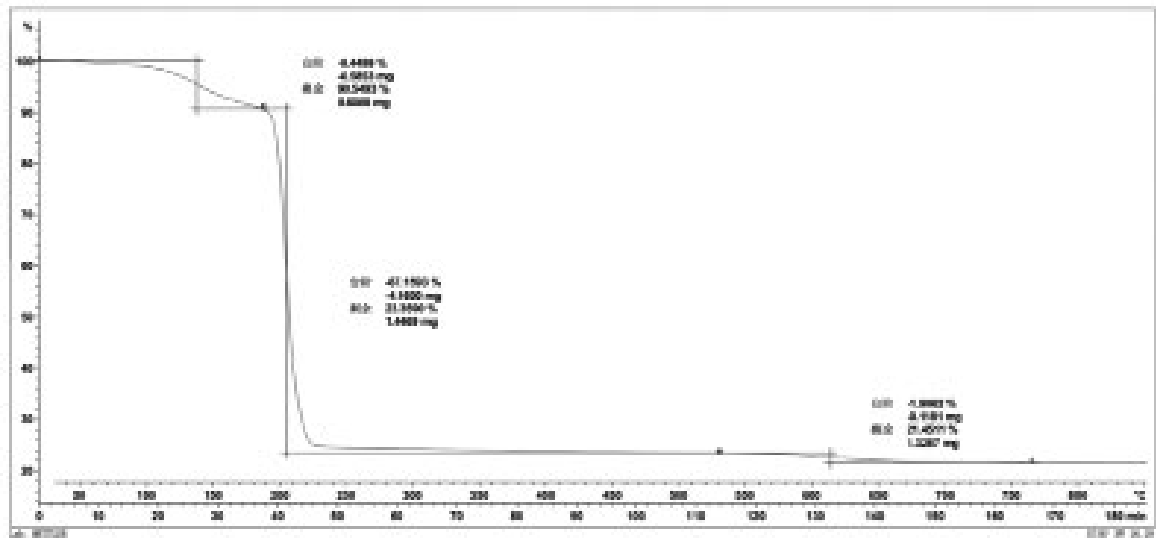
(2) 从图 2 疲劳曲线可知, NR 硫化胶的拉伸疲劳寿命随着热空气老化的温度升高呈现显著的下陷趋势, 尤其以 110 °C 热空气老化后疲劳寿命衰退最为明显。但在 1.6 倍低拉伸倍数下, 老化温度对疲劳的影响不大, 疲劳次数保持率在 80% 以上。其他拉伸倍数对拉伸疲劳寿命的影响更为显著, 当拉伸倍数达到 2.4 倍时, 各样条疲劳寿命已非常接近。NR 橡胶有拉伸



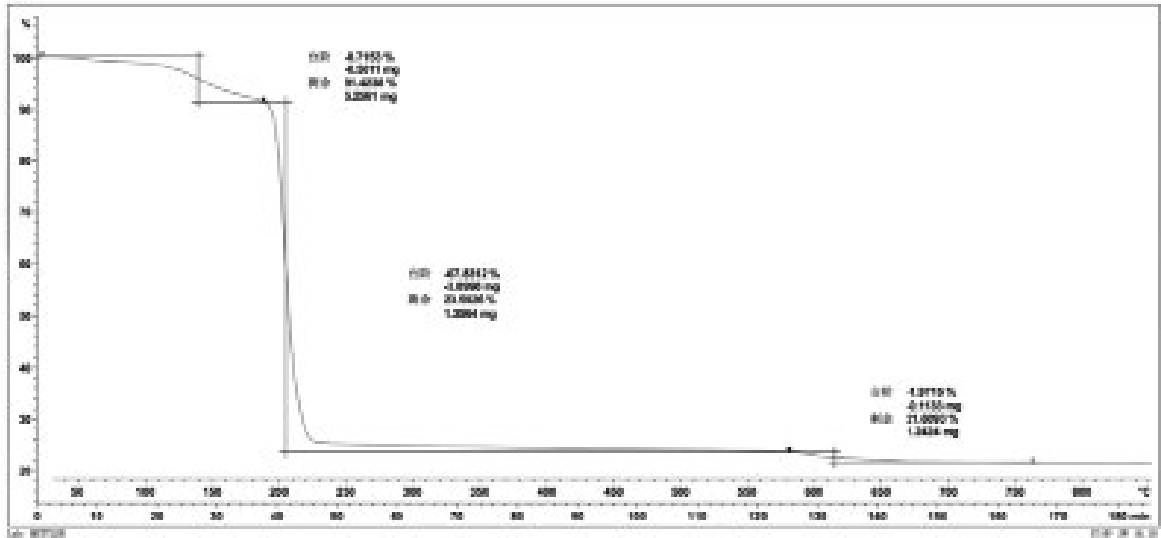
(a) 1[#]样条热失重曲线



(b) 2[#]样条热失重曲线



(c) 3[#]样条热失重曲线



(d) 4# 样条热失重曲线

图 3 四组样条热失重曲线

自结晶、自补强特性，具有较强的耐疲劳破坏性，通常情况下邵 A 硬度 50 度的 NR 胶扯断伸长率可达到 400% 左右。1.7 Hz 试验频率下反复拉伸加速了 NR 橡胶疲劳。

(3) 从图 3 各组样条的热失重曲线可知，随着热空气老化温度的提高，各样条的热失重在不同温度段都是热空气老化温度越高则分解的比例越少、剩余的组分越多。这是因为各样条在热空气老化过程中随着温度的升高，配方中的小分子分解和析出的越多的原因所致。

4 结论

NR 硫化天然橡胶的疲劳次数随着热空气老化温度的升高呈现明显的下降趋势，但 1.6 拉伸倍数不同温度下，疲劳次数保持率均 $\geq 80\%$ 。当温度为 110 °C 或拉伸倍数 ≥ 2.4 则出现急剧下降。作为汽车悬置用 NR 橡胶，工况及环境温度一般都在 100 °C 以下，因此，确保拉伸变形量在 2.4 倍以下，疲劳寿命应是相对安

全的设计。

参考文献：

- [1] 时兴波, 陈学永, 注浪, 等. 基于加速热老化试验的橡胶活化能及寿命分析 [J]. 中国新技术新产品, 2021.(11):18-20.
- [2] Jae-Hyeok Choi, Hee-Jin Kang, Hyun-Yong Jeong. Heat Aging Effects on the Material Property and the Fatigue Life of Vulcanized Natural Rubber, and Fatigue Life Prediction Equations [J]. Journal of Mechanical Science and Technology (KSME Int.J.), 2005.19(6): 1 229-1 242.
- [3] Chang-Su Woo, Wan-Doo Kim. Fatigue Life Prediction of Heat-Aging Vulcanized Natural Rubber [J], Advanced Nondestructive Evaluation I, 2006.321-323(10):518-521.
- [4] 刘泰凯, 刘梦岩. 发动机橡胶悬置疲劳寿命的研究进展 [J]. 橡胶工业, 2020.67(06):475-479.
- [5] 王昊, 危银涛, 王静. 橡胶材料疲劳寿命影响因素及研究方法综述 [J]. 橡胶工业, 2020.67(10):723-735.
- [6] 许坚, 叶德县. 应变对橡胶老化性能变化的影响研究 [J]. 专用汽车, 2023.(06):74-87.
- [7] Halladay James R. Impact of Age Stiffening on Fatigue Crack Growth In Natural Rubber and Polybutadiene [J]. RubberWorld, 2014,251(2):17-21,68.

Study on the effect of hot air aging on the fatigue of NR for automotive suspension

Wang Weijian, Zheng Ting, Li Yongbin

(Guangzhou Automobile Group Co. LTD. Automotive Engineering Institute, Guangzhou 511434, Guangdong, China)

Abstract: Taking NR vulcanizing rubber for a certain automobile suspension as the research object, this paper studied the effect of 200 hours of hot air aging at 90 °C, 100 °C, and 110 °C on the uniaxial dynamic tensile fatigue times of 7 different stretching ratios (1.6, 1.8, 2.0, 2.2, 2.4, 2.6, 2.8). Through experimental research, it was found that the fatigue frequency of NR showed a significant downward trend with the increase of thermal aging temperature; However, at different temperatures, the fatigue cycle retention rate of 1.6 stretch times is $\geq 80\%$; When the temperature is 110 °C or the stretching ratio is ≥ 2.4 , a sharp decrease occurs.

Key words: natural rubber; hot air aging; stretching fatigue

(R-03)



丰原 & 树业环保，降解胶带膜突破性量产

Fengyuan & Shuye Environmental Protection has achieved a breakthrough in mass production of biodegradable adhesive tape film

近期，广东树业环保科技股份有限公司在其 4m 宽幅双向拉伸生产线上，顺利获得 28 μm 厚度降解胶带膜的量产佳绩。这一令人瞩目的突破，归功于丰原聚乳酸原料所具备的卓越性能以及出色的加工特性。

于环保材料范畴，聚乳酸（PLA）因其可再生、可降解的特性而备受关注。然而，怎样将 PLA 材料高效应用于生产实践，尤其是在高要求的工业领域，始终是一项艰巨的技术难题。降解胶带膜此次的成功量产，象征着 PLA 在应用技术方面取得了重大突破，丰原集团与树业环保为双向拉伸加工聚乳酸行业树立了新的标杆。


不仅成功量产降解胶带膜，树业环保使用丰原聚乳酸还成功试产出双向拉伸热收缩膜和单向拉伸热收缩膜这两款新产品。这些新产品的研发成功，不但拓展了 PLA 材料的应用范畴，也为市场带来了多元化的环保解决方案。尤其值得一提的是，双向拉伸热收缩膜在包装领域展现出广阔的应用前景，其优异的收缩性能和极高的透明度足以满足高端包装的需求，45 μm 厚的 OPLA 膜雾度仅为 1.4%，远优于传统的 OPS 或者 OPETG 薄膜。

此次试产的成功绝非偶然，而是历经了严谨的工艺验证流程。丰原集团联合下游改性工厂携手树业环保连续开展了两次转产、换产试验，成功证实了以丰原聚乳酸为原料生产的双向拉伸专用料 GH215A，在实际生产中的稳定性与可靠性。该材料在不同工艺条件下均呈现出稳定的加工性能以及优异的物理性质，为批量生产提供了坚实的保障。

对此丰原集团表示：“我们致力于通过技术创新，引领绿色环保材料的发展。此次双向拉伸聚乳酸胶带膜量产和热收缩膜试产的成功，是我国在 PLA 产业化及应用技术上的重大突破，更是丰原对环保事业的坚定承诺。未来，我们将继续加大研发投入，推动更多的应用成果服务社会和民生。”

摘编自“丰原生物”

(R-03)



《橡塑技术与装备》投稿邮箱：crte@chinarpte.com

欢迎投稿，欢迎订阅，欢迎惠登广告