

碳纤维补强氟橡胶的性能研究

韩珩, 王娇娇

(沈阳化工大学机械与动力工程学院, 辽宁 沈阳 110000)

摘要: 为探究碳纤维含量对氟橡胶的补强效果, 在氟橡胶的基本配方中添加碳纤维粉对氟橡胶进行改性, 采用机械共混法制备碳纤维氟橡胶复合材料, 并对复合材料的硬度、拉伸强度和拉伸伸长率进行表征, 研究氟橡胶改性前后的性能变化。实验结果表明, 试样老化后碳纤维 / 氟橡胶复合材料硬度值均在 ± 1 之间变化, 随着碳纤维含量的增加, 拉伸强度和断裂伸长率均越来越低, 通过对比发现添加碳纤维的质量分数为 5 时复合材料的力学性能较佳。

关键词: 碳纤维; 氟橡胶; 高温老化; 拉伸强度; 拉伸伸长率

中图分类号: TQ333.93

文献标识码: B

文章编号: 1009-797X(2026)02-0013-04

DOI:10.13520/j.cnki.rpte.2026.02.003

氟橡胶的主要结构基础是氟碳化合物, 它由氟和碳两种元素组成。氟橡胶的分子结构中, 碳原子呈线性排列, 而氟原子则与碳原子通过共价键连接, 强而稳定的碳—氟共价键赋予了氟橡胶优异的耐老化性、耐候性、耐油性、耐腐蚀性和热稳定性, 被广泛应用于石油化工、电子电气、国防军工和航空航天等领域^[1-5]。鉴于对新发展条件下汽车发动机更高技术的要求, 传统的丁腈橡胶、硅胶和三元乙丙橡胶等密封材料已不能满足要求, 丁腈橡胶的耐热度 ($100\text{ }^{\circ}\text{C}$) 达不到发动机的工作温度 ($150\text{ }^{\circ}\text{C}$), 硅胶的耐油性一般, 三元乙丙橡胶不耐油。面对高转速、高温、介质复杂的工作环境, 对曲轴油封的密封性能也提出了新的要求。而针对这些要求, 选择耐高温耐油耐腐蚀且摩擦系数较低的氟橡胶作为研究对象, 通过对氟橡胶的改性对其进行再优化以适应更加恶劣的工作环境, 从而满足汽车发动机曲轴油封要求。近年来, 关于用碳纤维增强橡胶复合材料的研究越来越多^[6-7]。复合材料纤维的高强度高模量与橡胶的高弹性有机结合, 赋予材料高模量、高强度、耐撕裂及低的摩擦系数和磨损率等特殊性能^[8]。本文采用碳纤维粉改性氟橡胶, 基本橡胶配方不变, 通过改变碳纤维含量的添加份数来增强其物理性能。

1 实验部分

1.1 原材料

氟橡胶 26, 沈阳第四橡胶(厂)有限公司产品; 碳纤维粉(含碳量 $\geq 97\%$), 碳烯技术(深圳)有限

公司产品; 炭黑 N990, 龙星化工股份有限公司产品; $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、活性 MgO 、双酚 AF 和苄基三苯基氯化磷均为市售产品。

1.2 设备与仪器

开放式炼胶机, 型号 XK-160B, 上海轻工机械股份有限公司生产; 平板硫化机, 型号 ZB-910, 江苏正瑞泰邦电子科技有限公司生产; 邵氏硬度计, 型号 LX-A, 南京苏测计量仪器有限公司生产; 万能拉伸试验机, 型号 AI-7000-MUT, 高铁检测仪器(东莞)有限公司生产; 高温老化箱, 型号 GT-7017-M, 高铁检测仪器(东莞)有限公司生产。

1.3 橡胶配方

主要橡胶配方见表 1。

表 1 橡胶配方

原材料名称	基本配量
氟橡胶 26	100
活性 MgO	5
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	6
碳纤维粉	0, 5, 10, 15, 20
炭黑 N990	15
苄基三苯基氯化磷	0.6
双酚 AF	2

1.4 试样制备

按照上述制定好的实验配方, 首先将生胶在 0.5 mm 的辊距薄通 10 次, 此时其流动性已增加一倍, 待生胶包辊, 加入称量好的各种橡胶配合剂, 进行混炼, 辊

作者简介: 韩珩 (1979-), 男, 副教授, 博士, 主要从事机械结构设计及金属材料增材制造等方面研究。

温保持在 60℃ 以下，温度高虽容易混炼，但容易黏辊。加料顺序依次为生胶、Ca(OH)₂ 和活性 MgO、炭黑 N990、碳纤维粉、双酚 AF 和苄基三苯基氯化磷，混合均匀后薄通，出片。待混炼好的氟橡胶冷却至室温后放进平板硫化机进行硫化。

1.5 性能测试

实验使用南京苏测量仪器有限公司生产的型号为 LX-A 的橡胶硬度计进行硬度测试，按 GB/T531—2008 标准进行，实验测 5 组数据取平均值；使用高铁检测仪器（东莞）有限公司生产的型号为 AI-7000-MUT 的万能拉伸试验机对橡胶的拉伸性能进行测试，按照 GB/T528—2009 标准进行，实验测 5 组数据取平均值；使用高铁检测仪器（东莞）有限公司生产的型号为 AI-7000-MUT 的万能拉伸试验机对橡胶的撕裂性能进行测试，按照 GB/T529—2008 标准进行，实验测 5 组数据取平均值。

1.6 试样老化性能测试

实验所用仪器为高铁检测仪器（东莞）有限公司生产的 GT-7017-M 型高温老化箱进行老化性能的测试，实验按照 GB/T3512—2001 标准进行。将样品放在高温老化箱内，老化温度设置为 150℃，高温老化时间为 5 天，10 天，15 天。老化结束后取出试样在室温下放置 5 h，测试各种试样的硬度变化（HA）、拉伸强度变化和拉伸伸长率变化，将不同老化时间下试样的物理机械性能进行对比。

2 实验结果与分析

试样分为五批，添加碳纤维的质量分数分别为 0、5、10、15、20，其余添加剂和含量都相同。此外，碳纤维简称 CF，氟橡胶简称 FKM。

2.1 不同老化时间下试样的性能测试

不同老化时间下试样的性能测试见表 2~表 5。

表 2 未老化试样的性能测试

CF 质量分数					
性能测试	0	5	10	15	20
硬度 /HA	77	78	79	80	81
拉伸强度 /MPa	12.27	11.39	11.00	10.88	10.74
断裂伸长率 /%	164.26	162.26	151.35	148.52	143.17

表 3 老化 5 天时间试样的性能测试

CF 质量分数					
性能测试	0	5	10	15	20
硬度 /HA	80	77	78	79	80
拉伸强度 /MPa	16.26	17.35	16.48	16.04	15.25
断裂伸长率 /%	425.65	441.80	409.94	380.44	364.36

表 4 老化 10 天时间试样的性能测试

CF 质量分数					
性能测试	0	5	10	15	20
硬度 /HA	80	78	79	80	81
拉伸强度 /MPa	16.22	16.99	15.58	15.86	15.18
断裂伸长率 /%	404.41	406.19	379.15	375.92	339.44

表 5 老化 15 天时间试样的性能测试

CF 质量分数					
性能测试	0	5	10	15	20
硬度 /HA	80	78	79	80	81
拉伸强度 /MPa	16.19	16.33	15.22	15.47	14.70
断裂伸长率 /%	401.03	403.50	371.46	342.40	334.42

2.2 硬度分析

五批试样均老化 5 天、10 天、15 天。由图 1 可知，常温下，随着碳纤维含量的增加，氟胶硬度也不断变大。同时还发现，未添加碳纤维的试样经过老化其硬度值增大了 3，由 77 增大到 80，且在一定的时间内其稳定增长。究其原因可能是高温老化会使橡胶内部分子链之间交联密度增加，发生硬化老化，从而使老化后的橡胶硬度变大^[9]；而添加了碳纤维的试样老化后其硬度均在 ±1 之间变化，即添加了碳纤维之后，试样老化性能更好。

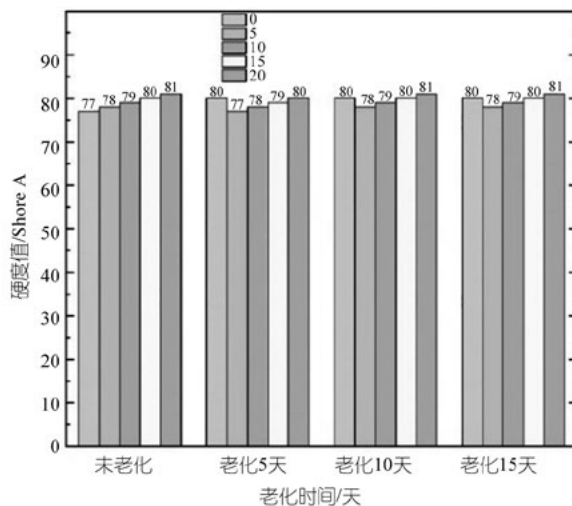


图 1 试样老化前后的硬度值

2.3 拉伸性能测试结果分析

五批试样均老化 5 天、10 天、15 天。由图 2 可知，常温下，随着碳纤维含量的增加，试样的拉伸性能在很小的范围内逐渐减小。由于未添加补强剂的橡胶其拉伸强度没有受到碳纤维粉团聚造成的应力集中的影响，其数值最大。老化 5 天后，所有试样的拉伸性能均有明显提升，碳纤维含量从 0~20 份依次提高

了32.5%、52.3%、49.8%、47.4%、42.0%，这是由于试样前期没有硫化充分造成的，以至于短期老化后线性的橡胶分子完成交联成立体网状结构，使得拉伸性能得到提高。随着老化时间继续增加，试样的拉伸强度有所降低但变化很小，这说明CF/FKM复合材料的耐高温老化性较好。实验表明，随着碳纤维含量的增加拉伸强度逐渐减小，添加5份时试样拉伸强度最大，说明此用量下碳纤维和氟橡胶黏结均匀，混合效果最佳。超过5份后，由于碳纤维含量的增加使得氟橡胶弹性变形受到限制，随着含量的增多，使得碳纤维和橡胶复合时有析出或者团聚，出现局部应力集中，导致拉伸强度下降。

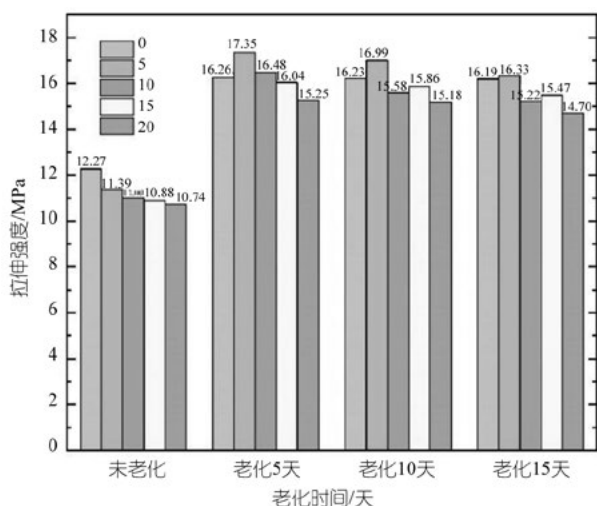


图2 试样老化前后的拉伸强度 (MPa)

2.4 断裂伸长率测试结果分析

五批试样均老化5天、10天、15天。由图3可知，常温下，随着碳纤维含量的增加，试样的拉伸强度逐渐减小。老化5天后，所有试样的断裂伸长率均有明显提升，碳纤维含量从0到20份依次提高了159%、172%、171%、156%、154%，这是由于试样前期没有硫化充分造成的，以至于短期老化后性能得到提高。和拉伸强度变化规律相似，随着老化时间继续增加，试样的拉伸强度逐渐降低。实验结果表明，添加5份碳纤维时其断裂伸长率最大，随着含量的继续增加，试样断裂伸长率逐渐减小。因此碳纤维的添加量必须控制在一定的范围之内，虽然碳纤维可增强橡胶的基体强度，但同时也会增大它的撕裂应力，使得碳纤维和氟橡胶的结合度降低，导致纤维拔出，从而弱化了氟橡胶的基体强度，所以量太多会降低橡胶的断裂伸长率。

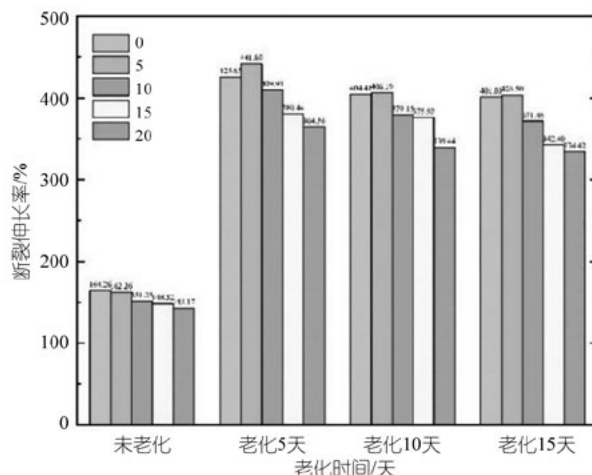


图3 试样老化前后的拉断伸长率 (%)

3 结论

实验研究了添加不同份数（分别为0份，5份，10份，15份，20份）碳纤维对氟橡胶复合材料性能的影响，分别测试了老化前后硬度值、拉伸强度和拉伸伸长率，得出主要结论如下：

(1) 常温下，随着碳纤维含量的增加，复合材料的硬度值逐渐增大；高温老化后，未添加碳纤维的试样硬度从77增大到了80，而添加了碳纤维的试样其硬度值均在±1之间变化，从而说明添加碳纤维可提高氟橡胶的耐老化性。

(2) 常温下，随着碳纤维含量的增加，试样的拉伸性能在很小的范围内逐渐减小；高温老化后，所有试样的拉伸性能均有所提高，分别提高了32.5%、52.3%、49.8%、47.4%、42.0%，随着老化时间的继续，拉伸性能缓慢减小。通过对比发现，碳纤维添加量为5份时，复合材料拉伸强度最大，其值为17.35 MPa，

(3) 常温下，随着碳纤维含量的增加，试样的断裂伸长率逐渐减小；高温老化后，所有试样的断裂伸长率均有所提高，分别提高了159%、172%、171%、156%、154%，随着老化时间的继续，抗撕裂能力逐渐变弱。通过对比发现，碳纤维添加量为5份时，复合材料断裂伸长率最大，其值为441.80%。

参考文献：

- [1] 廖明义, 祁冉冉, 霍阳, 等. 利用微波辅助氧化降解法制备液体端羧基氟橡胶及其结构表征 [J]. 高分子材料科学与工程, 2022,38(04):29-36.
- [2] 李东翰, 齐士成, 张孝阿, 等. 低分子量含氟聚合物的制备、官能化及特性 [J]. 化学进展, 2016,28(05):673-685.
- [3] Li D H, Liao M Y. Dehydrofluorination mechanism, structure

- and thermal stability of pure fluoroelastomer (poly (VDF-ter-HFP-terTFE) terpolymer) in alkaline environment[J]. Journal of Fluorine Chemistry, 2017, 201: 55-67.
- [4] Ameduri B, Boutervin B, Kostov G. Fluoroelastomers: synthesis, properties and applications[J]. Progress in Polymer Science, 2001, 26: 105-187.
- [5] Ameduri B. Fluoropolymers: the right materials for the right applications[J]. Chemistry-A European Journal, 2018, 24: 18 830-18 841.
- [6] 姬燕飞, 张国宁, 原晓城, 等. 氯丁橡胶/碳纤维复合材料相容性的研究[J]. 橡塑资源利用, 2021, (05): 26-29.
- [7] 王大林, 缪小冬, 杨宝岭, 等. 取向碳纤维/橡胶导热复合材料的研究进展[J]. 橡胶科技, 2023, 21(12): 577-581.
- [8] 雷海军, 郑元锁, 乐贵强, 等. 短纤维增强氟橡胶的高温强伸性能研究[J]. 橡胶工业, 2003, (10): 589-591.
- [9] 裴涛, 程俊梅, 赵树高. 氟硅橡胶高温老化性能研究[J]. 有机硅材料, 2013, 27(4): 5.

Study on the properties of fluororubber reinforced with carbon fiber

Han Heng, Wang Jiaojiao

(Shenyang University of Chemical Technology, Shenyang 110000, Liaoning, China)

Abstract: To investigate the reinforcing effect of carbon fiber content on fluororubber, carbon fiber powder was added to the basic formula of fluororubber to modify it. Carbon fiber-fluororubber composite materials were prepared using mechanical blending, and the hardness, tensile strength, and elongation at break of the composite materials were characterized to study the performance changes of fluororubber before and after modification. The experimental results showed that the hardness values of the carbon fiber/fluororubber composite materials after aging were all within ± 1 . As the carbon fiber content increased, both the tensile strength and elongation at break decreased. Through comparison, it was found that the mechanical properties of the composite material were better when the mass fraction of added carbon fiber was 5%.

Key words: carbon fiber; fluororubber; high-temperature aging; tensile strength; elongation at break

(R-03)

雄鹰轮胎斩获“2025 年度汽车数智化转型标杆案例奖”

Tercelo Tire wins the "2025 Benchmark Case Award for Automotive Digital and Intelligent Transformation"

2025 年 12 月 19 日, CIAS 2025 第七届中国汽车产业数智峰会盛大启幕, 雄鹰轮胎凭借全场景数字化系统建设成果, 成功摘得“2025 年度汽车数智化转型标杆案例奖”, 以全链路数智化实践, 树立了传统橡胶制造企业转型的行业新标杆。

作为汽车产业数智化领域的年度盛会, 本届峰会汇聚整车制造、零部件配套、数智技术服务等产业链核心力量, 聚焦数智技术与产业深度融合的创新路径。奖项评选围绕技术创新性、落地实效性、行业示范性三大核心维度, 历经案例初审、专家答辩、网络评选等严苛环节, 最终甄选出具备引领价值的转型典范。

针对传统制造行业生产协同割裂、研发转化低效、产线管控滞后等痛点, 雄鹰轮胎锚定全场景数字化转型方向, 重点推进 MOM 系统部署、研发系统迭代与数字孪生系统搭建。打通从研发设计、生产制造到运营管控的全流程数据链路, 实现生产状态实时监控、研发成果高效转化、虚拟仿真与实体产线精准联动, 不仅大幅提升了生产运营效率, 更构建起品质保障体系。评审专家高度评价, 该项目深度契合汽车产业链对零部件配套企业的数智化要求, 为传统制造企业的全链条数智升级提供了可落地、可复制的实践样本。

未来, 雄鹰轮胎将持续深化数智技术在制造全场景的渗透应用, 进一步完善系统功能与协同效能, 以数字化赋能高质量发展, 为汽车产业及橡胶行业的数智化转型贡献更多“雄鹰方案”。

摘编自“中国塑料机械网”

(R-03)