

应用理论

丙烯酸酯橡胶柔性电极材料的制备及其性能研究

武畏志鹏, 邹华*, 宁南英, 田明, 张建, 潘成腾

(北京化工大学材料科学与工程学院, 北京 100029)

摘要:通过导电炭黑与多壁碳纳米管(MWCNT)并用制备丙烯酸酯橡胶(ACM)柔性电极材料,研究导电炭黑和MWCNT在ACM基体中的分散性及其并用比对柔性电极材料硫化特性、物理性能和导电性能的影响,并分析柔性电极材料与介电弹性体(DE)基体的粘合性能。结果表明:导电炭黑和MWCNT在ACM基体中具有良好的分散性;添加导电炭黑/MWCNT并用体系的ACM柔性电极材料的拉断伸长率远大于200%,满足DE发电机对于大形变的要求,且与仅添加导电炭黑的柔性电极材料相比,其硬度和弹性模量减小,柔韧性提高;随着MWCNT用量的增大,柔性电极材料的导电通路逐渐完善,导电性能提高;导电炭黑/MWCNT并用比为10/10的ACM柔性电极材料与ACM基DE基体共硫化后,两者的粘合强度达到 $5\text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$,且粘合稳定性较好。

关键词:柔性电极材料;丙烯酸酯橡胶;导电炭黑;多壁碳纳米管;介电弹性体;导电性能;粘合强度

中图分类号: TB324; TQ333.97

文献标志码: A

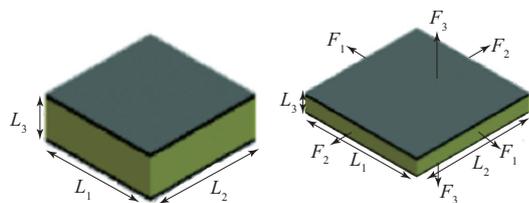
文章编号: 1000-890X(2022)10-0732-07

DOI: 10.12136/j.issn.1000-890X.2022.10.0732



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

近年来,随着柔性可穿戴设备、触觉反馈设备、能量收集器等快速发展,介电弹性体(DE)因可提供高能量、高储能效率以及可小型化的特点而备受关注。DE是一种具有电活性的弹性体材料,能够将电能转换为机械能(致电器)^[1-2],其电致形变原理如图1所示;而DE也可以将机械能转换为电能(发电机)^[3],其发电原理如图2所示。DE的结构类似于三明治,在其上下两层薄膜表面覆有柔性电极材料。DE在保持导电性能的同时还应



L_i 和 F_i 分别为DE的尺寸和受力。

图1 DE电致形变原理

Fig. 1 Electrodeformation principle of DE

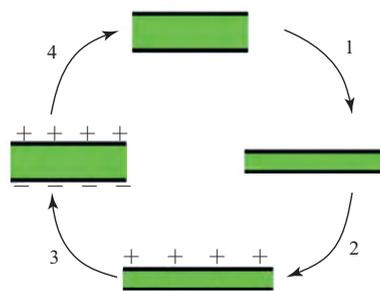


图2 DE发电原理

Fig. 2 Power generation principle of DE

具备轻薄、大形变、高可拉伸性的特点,能够进行数百万次工作循环。柔性电极的性能直接影响DE的发电和驱动效率,是DE的重要组成部分。与普通电极不同的是,柔性电极能够在电介质基体上形成精确的图案,使电荷可以在规定的位置工作,从而允许在单个膜上具有多个电极和明确定义的独立有源区域的复杂结构。R. E. PELRINE等^[4]认为:理想电极具有高导电性,完全柔顺且可图案

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51073009);教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-10-0202)

作者简介:武畏志鹏(1995—),男,山东济南人,北京化工大学在读硕士研究生,主要从事导电橡胶材料的研究。

*通信联系人(zouhua@mail.buct.edu.cn)

引用本文:武畏志鹏,邹华,宁南英,等.丙烯酸酯橡胶柔性电极材料的制备及其性能研究[J].橡胶工业,2022,69(10):732-738.

Citation: WU Weizhipeng, ZOU Hua, NING Nanying, et al. Preparation and performance of ACM flexible electrode composites[J]. China Rubber Industry, 2022, 69(10): 732-738.

化,并且相对于基体厚度较小。

目前,柔性电极材料大体可分为碳电极(碳纳米管电极^[5])、金属电极(银纳米线电极^[6]、铜纳米线电极^[7])、复合型电极(炭黑/硅橡胶电极^[8]、液态金属/硅橡胶电极^[9])等几种。导电炭黑是电导率较小的半导体填料,将其分散到特殊材料中,可以使材料具有导电或电磁屏蔽的作用^[10]。导电炭黑的特点为纳米级粒径、比表面积大、结构度高、表面游离基和化合物少等,是早期DE用柔性电极的主要材料。碳纳米管是导电性能良好的一维纳米材料,因具有大长径比和大比表面积等特点,其作为导电填料在柔性电极中被广泛应用。研究发现,两种及两种以上的导电填料能够产生协同作用,因而添加相对少量的并用导电填料就可使柔性电极材料获得较大的电导率,且使填料的逾渗阈值减小,这对制备高导电、高柔顺性电极材料有利。

本工作通过采用导电炭黑/多壁碳纳米管(MWCNT)并用制备丙烯酸酯橡胶(ACM)柔性电极材料,研究导电炭黑和MWCNT在ACM基体中的分散性及其并用比对柔性电极材料硫化特性、物理性能和导电性能的影响,并分析柔性电极材料与DE基体的粘合强度。

1 实验

1.1 原材料

ACM,牌号AR71,上海立深行国际贸易有限公司提供;导电炭黑,牌号EC-600JD,青岛科诺化工有限公司产品;MWCNT,牌号FT6110,江苏天奈科技股份有限公司产品;硬脂酸和石蜡,济南科瑞达化工有限公司产品;防老剂RD和445,中国石化集团南京化学工业有限公司产品;防焦剂CTP,广州力本橡胶原料贸易有限公司提供;硫化剂TCY,上海京海化工有限公司产品;促进剂ZDBC,科迈化工股份有限公司产品。

1.2 试验配方

ACM 100,导电炭黑 变量,MWCNT 变量,硬脂酸 1,石蜡 1,防老剂RD 1,防老剂445 1,防焦剂CTP 0.5,硫化剂TCY 0.5,促进剂ZDBC 1。

1.3 主要设备和仪器

MIX-300C型密炼机,哈尔滨哈普技术有限责

任公司产品;X(S)K-160型开炼机,上海橡胶机械一厂有限公司产品;XLB-D350×350型平板硫化机,上海橡胶机械制造厂产品;M-3000A型无转子硫化仪和AI-7000S1型万能电子拉力机,高铁检测仪器设备有限公司产品;邵氏硬度计,德商博锐仪器(上海)有限公司产品;RPA2000橡胶加工分析仪,美国阿尔法科技有限公司产品;METTLER型动态热力学分析(DMA)仪,瑞士梅特勒-托利多公司产品;HPS2661型四探针测试仪,常州海尔帕电子科技有限公司产品。

1.4 试样制备

将导电炭黑与MWCNT均匀混合,备用。室温下,在密炼机转子转速为 $20 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 的条件下投入ACM,转速增至 $80 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$,ACM塑炼2 min后依次加入石蜡、硬脂酸、防焦剂CTP,混炼1 min后分两次加入导电炭黑与MWCNT的共混物,继续混炼5 min后加入防老剂RD和445,混炼2 min后下料;一段混炼胶冷却后放入开炼机,依次加入促进剂ZDBC、硫化剂TCY混炼,打三角包、薄通5次,胶料混炼均匀后下片。

混炼胶停放24 h后进行硫化特性测试并在平板硫化机上进行硫化,硫化条件为 $170 \text{ }^\circ\text{C} \times t_{90}$ 。

1.5 测试分析

(1)硫化特性。采用M-3000A型无转子硫化仪按照GB/T 16584—1996测试混炼胶的硫化特性,测试温度为 $170 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

(2)填料网络结构。采用RPA2000橡胶加工分析仪对混炼胶进行应变扫描,测试条件为:频率 1 Hz ,温度 $60 \text{ }^\circ\text{C}$,应变范围 $0.28\% \sim 200\%$ 。

(3)物理性能。采用邵氏硬度计按照GB/T 531.1—2008测试硫化胶的邵尔A型硬度;采用AI-7000S1型万能电子拉力机分别按照GB/T 528—2009和GB/T 529—2008测试硫化胶的拉伸性能和撕裂强度;采用METTLER型DMA仪测试硫化胶的 E' ,测试条件为:温度范围 $-80 \sim 80 \text{ }^\circ\text{C}$,频率 10 Hz ,应变 0.3% 。

(4)导电性能。采用HPS2661型四探针测试仪按照GB/T 1692—2008测试硫化胶的体积电阻率。

(5) 粘合强度。按照GB/T 2791—1995测试硫化胶与DE基体的粘合强度,采用T形剥离试验模式,拉伸速率为 $100 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

2 结果与讨论

2.1 硫化特性

不同导电炭黑/MWCNT并用比的ACM柔性电极材料的硫化特性如表1所示。

从表1可以看出,导电炭黑用量一定时,随着MWCNT用量的增大,柔性电极材料的 F_L , F_{\max} 和 $F_{\max}-F_L$ 增大,说明其加工性变差。 $F_{\max}-F_L$ 反映柔性电极材料的交联密度和力学性能, $F_{\max}-F_L$ 增大说明柔性电极材料的硬度和拉伸强度增大。

要说明的是,在导电填料用量相同时,与此前研究^[8]仅添加导电炭黑的柔性电极材料相比,本研究添加导电炭黑/MWCNT并用体系的柔性电极材料的硬度和拉伸强度减小,柔韧性改善。分析认为,MWCNT的比表面积和结构度较导电炭黑小,两者并用时填料的体积分数比仅用导电炭黑

时更小。

2.2 填料网络结构

图3为不同导电炭黑/MWCNT并用比的ACM柔性电极材料的剪切模量(G')-应变曲线。

从图3可以看出:炭黑用量一定时,随着MWCNT用量的增大,小应变下柔性电极材料的初始 G' 逐渐增大,这是因为填料-填料及填料-橡胶的相互作用增强;随着应变逐渐增大,柔性电极材料的 G' 先增大后迅速减小。

根据Payne效应, $\Delta G'$ 越大,材料的填料网络结构越强,导电网络越完善。与此前研究^[8]添加16份导电炭黑的柔性电极材料在较小应变(5%)下 G' 便开始显著减小相比,本研究添加10份导电炭黑和6份MWCNT的柔性电极材料在较大应变(10%)下 G' 才开始显著减小。这是因为,发生应变时,导电炭黑粒子间距增大,填料网络结构易被破坏,而MWCNT因大长径比可作为导电炭黑粒子间的桥梁,在一定条件下继续维持网络结构,因而破坏填料网络所需要的应变增大,这为提高柔性电极材

表1 不同导电炭黑/MWCNT并用比的ACM柔性电极材料的硫化特性

Tab. 1 Vulcanization characteristics of ACM flexible electrode composites with different conductive carbon black/MWCNT blend ratios

| 项 目 | 导电炭黑/MWCNT并用比 | | | | | | | | | |
|---|---------------|------|-------|------|------|-------|-------|------|-------|-------|
| | 8/2 | 8/4 | 8/6 | 8/8 | 8/10 | 10/2 | 10/4 | 10/6 | 10/8 | 10/10 |
| t_{10}/min | 2.08 | 1.90 | 1.37 | 0.65 | 0.33 | 1.55 | 1.37 | 1.38 | 0.92 | 0.38 |
| t_{90}/min | 10.17 | 9.65 | 10.65 | 8.00 | 7.68 | 11.50 | 11.00 | 9.42 | 10.37 | 11.00 |
| $F_L/(\text{dN} \cdot \text{m})$ | 0.71 | 0.69 | 1.27 | 1.42 | 1.83 | 0.75 | 0.98 | 1.58 | 2.06 | 2.13 |
| $F_{\max}/(\text{dN} \cdot \text{m})$ | 3.62 | 3.58 | 5.29 | 6.57 | 8.32 | 5.27 | 5.86 | 7.31 | 8.44 | 9.16 |
| $F_{\max}-F_L/(\text{dN} \cdot \text{m})$ | 2.91 | 2.89 | 4.02 | 5.15 | 6.49 | 4.52 | 4.88 | 5.73 | 6.38 | 7.03 |

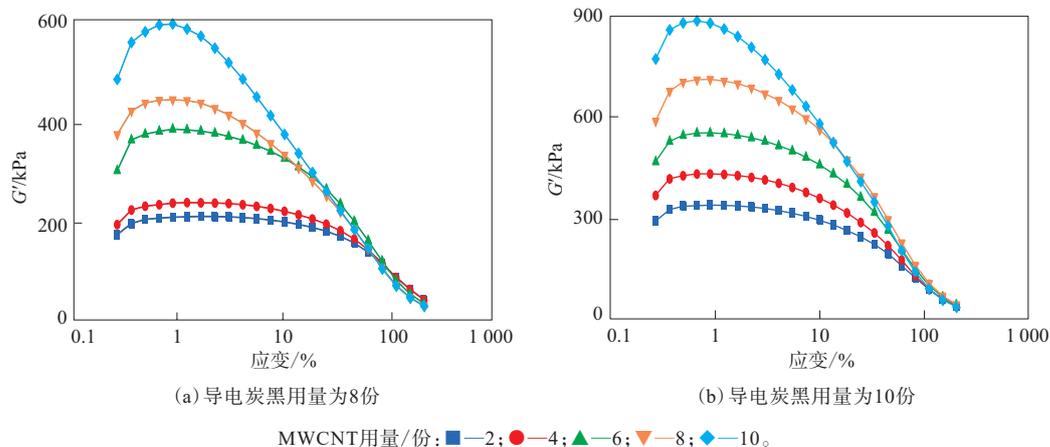


图3 不同导电炭黑/MWCNT并用比的ACM柔性电极材料的 G' -应变曲线

Fig. 3 The G' -strain curves of ACM flexible electrode composites with different conductive carbon black/MWCNT blend ratios

料的导电稳定性奠定了基础。

2.3 物理性能

DE发电机的发电量受到其变形的影响,变形越大,其可储存与释放的电能就越多,恢复时向外输出的电压越高。因而,柔性电极材料要与DE基体一样,能够产生大形变。

不同导电炭黑/MWCNT并用比的ACM柔性电极材料的物理性能如表2所示。

从表2可以看出,导电炭黑用量一定时,随着MWCNT用量的增大,柔性电极材料的硬度、定伸应力、拉伸强度、撕裂强度和 E' 增大,这是因为MWCNT与橡胶产生良好的界面结合,并且MWCNT的结构是线性的,其与橡胶分子链更容易缠结。当导电炭黑用量为8份时,柔性电极材料的拉断伸长率随着MWCNT用量的增大而增大;当导电炭黑用量为10份时,柔性电极材料的拉断伸长率随着MWCNT用量的增大而减小。分析认为,这是导电炭黑和MWCNT双重作用的结果,由于导电炭黑比表面积非常大,结构度高,10份导电炭黑的

体积分数相对于8份导电炭黑增幅较大,使得导电炭黑-橡胶以及导电炭黑粒子间的相互作用更强,在橡胶基体中形成更多的应力集中点,限制了橡胶分子链的运动,此时加入MWCNT,使得橡胶分子链进一步缠结,其运动变得更加困难,从而导致柔性电极材料的拉断伸长率减小,但柔性电极材料的拉断伸长率仍远大于200%,满足大形变的要求。

此外,与此前研究^[8]仅添加导电炭黑的柔性电极材料相比,添加导电炭黑和MWCNT的柔性电极材料的硬度、拉断永久变形和 E' 明显减小。因此,柔性电极材料的柔韧性和导电稳定性提高,综合性能更优异。

2.4 导电性能

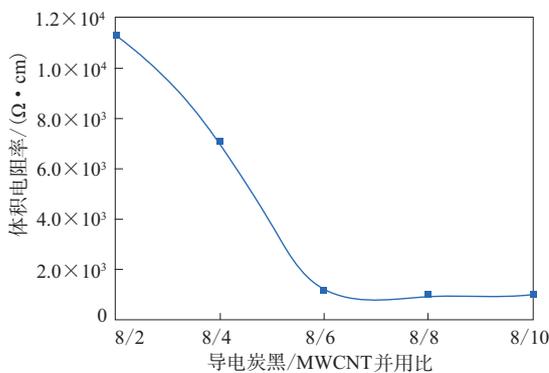
DE发电机的发电效率与柔性电极材料的电导率有直接关系。柔性电极材料的电导率越高,DE发电机的能量损耗越小,其可向外输出的电量越多,发电效率越大。

图4为不同导电炭黑/MWCNT并用比的ACM柔性电极材料的体积电阻率。

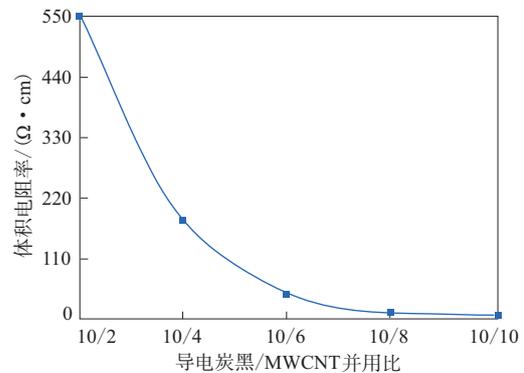
表2 不同导电炭黑/MWCNT并用比的ACM柔性电极材料的物理性能

Tab. 2 Physical properties of ACM flexible electrode composites with different conductive carbon black/MWCNT blend ratios

| 项 目 | 导电炭黑/MWCNT并用比 | | | | | | | | | |
|----------------------------|---------------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|-------|
| | 8/2 | 8/4 | 8/6 | 8/8 | 8/10 | 10/2 | 10/4 | 10/6 | 10/8 | 10/10 |
| 邵尔A型硬度/度 | 35 | 39 | 48 | 55 | 60 | 46 | 50 | 54 | 58 | 66 |
| 100%定伸应力/MPa | 1.0 | 1.2 | 1.8 | 2.4 | 2.6 | 1.5 | 2.1 | 2.7 | 3.0 | 3.8 |
| 300%定伸应力/MPa | 4.0 | 4.5 | 5.8 | 6.5 | 6.7 | 5.2 | 6.3 | 7.3 | 7.6 | 8.1 |
| 拉伸强度/MPa | 4.2 | 4.8 | 6.7 | 7.9 | 8.3 | 6.9 | 7.3 | 7.5 | 7.7 | 8.5 |
| 拉断伸长率/% | 309 | 324 | 342 | 359 | 387 | 371 | 347 | 310 | 294 | 280 |
| 拉断永久变形/% | 2 | 6 | 12 | 16 | 20 | 8 | 12 | 20 | 24 | 26 |
| 撕裂强度/(kN·m ⁻¹) | 15 | 17 | 19 | 21 | 24 | 17 | 19 | 21 | 23 | 28 |
| E' /MPa | 2.8 | 5.8 | 6.3 | 8.2 | 10.1 | 6.5 | 8.4 | 9.6 | 10.8 | 12.4 |



(a) 导电炭黑用量为8份



(b) 导电炭黑用量为10份

图4 不同导电炭黑/MWCNT并用比的ACM柔性电极材料的体积电阻率

Fig. 4 Volume resistivities of ACM flexible electrode composites with different conductive carbon black/MWCNT blend ratios

从图4可以看出,导电炭黑用量一定时,随着MWCNT用量的增大,柔性电极材料的体积电阻率减小,而MWCNT用量小于6份时,其降幅较大,之后趋于平缓,说明MWCNT的逾渗阈值为6份且MWCNT与导电炭黑形成双逾渗结构。MWCNT用量达到10份时,导电炭黑用量为8和10份的柔性电极材料的体积电阻率分别减至20.0和7.5 $\Omega \cdot \text{cm}$ 。

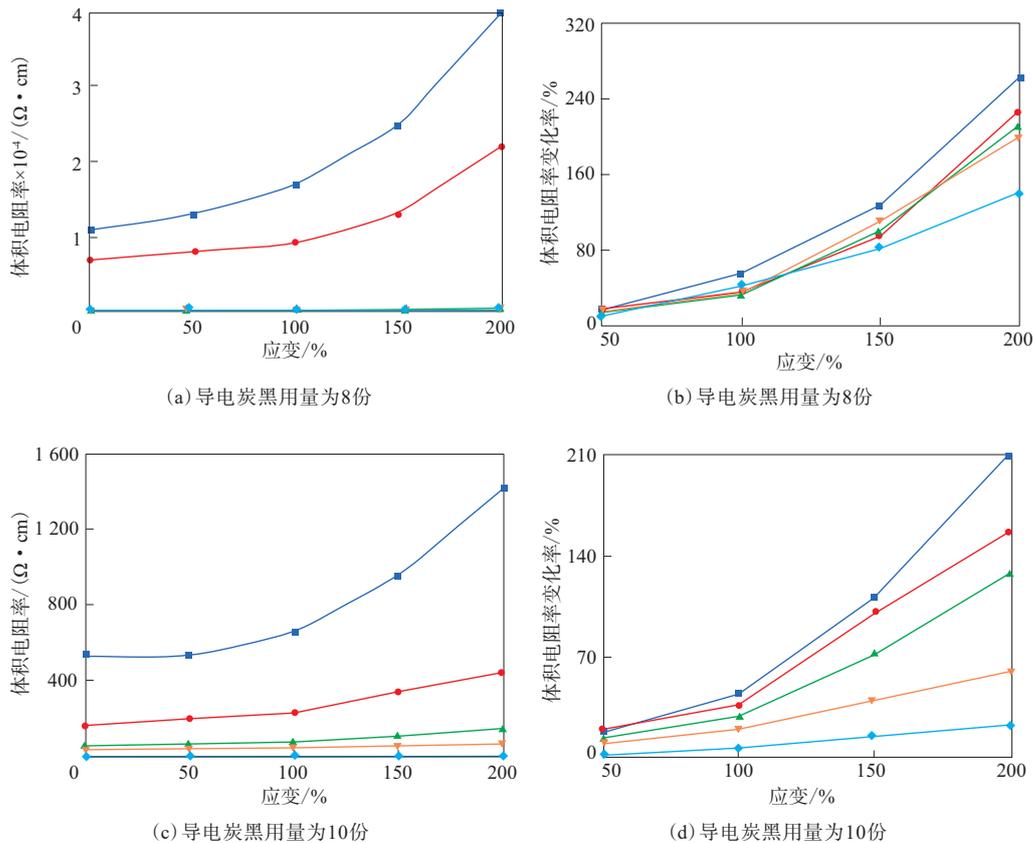
与此前研究^[8]相比,添加导电炭黑/MWCNT并用体系的柔性电极材料的体积电阻率大于仅添加导电炭黑的柔性电极材料。分析认为,MWCNT的导电性能比导电炭黑差,若换用单壁碳纳米管(SWCNT),SWCNT较小用量下导电炭黑/SWCNT柔性电极材料的体积电阻率可以达到MWCNT较大用量下导电炭黑/MWCNT柔性电极

材料的水平。

2.5 导电稳定性

DE发电机工作时,需要稳定且持续地输送电能,这就要求柔性电极材料的体积电阻率变化率控制在一定范围内。本研究在0~200%应变范围内选取4个点(50%,100%,150%,200%),测试ACM柔性电极材料的体积电阻率,结果如图5所示。

从图5可以看出,随着应变的增大,柔性电极材料的体积电阻率和体积电阻率变化率逐渐增大。当导电炭黑用量一定时,相同应变下,随着MWCNT用量的增大,柔性电极材料的体积电阻率增幅减小,说明导电稳定性增强。当导电炭黑和MWCNT用量均为10份时,最大应变(200%)下柔性电极材料的体积电阻率变化率减至20%左右,满足实际使用需求,且相比于仅添加导电炭黑的柔



注同图3。

图5 不同导电炭黑/MWCNT并用比的ACM柔性电极材料单轴拉伸时的导电稳定性

Fig. 5 Conductivity stabilities of ACM flexible electrode composites with different conductive carbon black/MWCNT blend ratios under uniaxial stretching

性电极材料得到显著的改善^[8]。分析认为,当导电炭黑网络受到破坏时,MWCNT可在炭黑粒子间起到“桥梁”作用,使得导电通路得以维持,柔性电极材料的稳定性提高。

2.6 粘合强度

由于DE发电机的柔性电极材料是粘附在DE基体上,提高两者的粘合强度,不仅可以减小柔性电极材料与DE基体界面的电阻,提高DE发电机的发电效率,还可以使其形成稳定的结构,不易脱落、鼓包,延长使用寿命。

将40份二氧化钛和40份白炭黑添加到ACM中制备出DE基体,将10份导电炭黑和10份MWCNT添加到ACM中制备出柔性电极材料,将两者共硫化,测试两者的粘合强度,结果如图6所示。

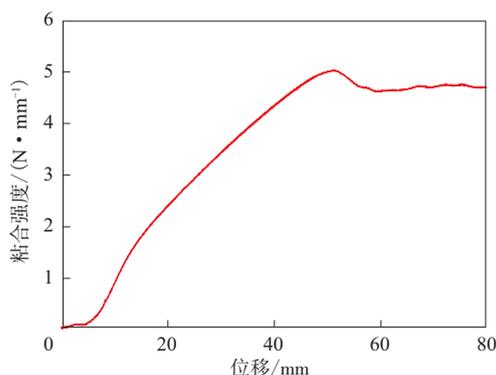


图6 ACM柔性电极材料与DE基体的粘合性能
Fig. 6 Adhesion between ACM flexible electrode composite and DE matrix

从图6可以看出,柔性电极材料与DE基体共硫化后在界面形成化学键,牢固的粘合在一起,粘合强度高达 $5 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$,且粘合稳定性较好。

3 结论

(1) 添加导电炭黑/MWCNT并用体系的ACM柔性电极材料的拉断伸长率远大于200%,满足DE发电机对于柔性电极材料大形变的要求,且与仅添加导电炭黑的柔性电极材料相比,其硬度和 E' 减小,柔韧性提高。

(2) 导电炭黑/MWCNT并用体系可以在胶料中形成完善的填料网络和导电通路,导电炭黑/MWCNT并用比为10/10的ACM柔性电极材料的体积电阻率降至 $7.5 \Omega \cdot \text{cm}$,且导电稳定性提高。

(3) 导电炭黑/MWCNT并用比为10/10的ACM柔性电极材料与ACM基DE基体共硫化后,两者的粘合强度达到 $5 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$,且粘合稳定性较好。

参考文献:

- [1] LIU X Y, SUN H B, LIU S T, et al. Mechanical, dielectric and actuated properties of carboxyl grafted silicone elastomer composites containing epoxy-functionalized TiO_2 filler[J]. Chemical Engineering Journal, 2020. DOI:10.1016/j.cej.2020.124791.
- [2] YAO J H, LIU X Y, SUN H B, et al. Thermoplastic polyurethane dielectric elastomers with high actuated strain and good mechanical strength by introducing ester group grafted polymethylvinylsiloxane[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2021, 60(13):4833-4891.
- [3] JIANG Y J, LIU S T, ZHONG M L, et al. Optimizing energy harvesting performance of cone dielectric elastomer generator based on VHB elastomer[J]. Nano Energy, 2020, 71:104606.
- [4] PELRINE R E, KORNBLUH R D, JOSEPH J P. Electrostriction of polymer dielectrics with compliant electrodes as a means of actuation[J]. Sensors and Actuators A: Physical, 1998, 64(1):77-85.
- [5] 张冬至, 童俊, 刘哲, 等. 基于电活性聚合物薄膜柔性器件的触觉传感特性[J]. 光学精密工程, 2014, 22(8):2151-2158.
ZHANG D Z, TONG J, LIU Z, et al. Tactile sensing characteristics of electroactive polymer film based flexible devices[J]. Optics and Precision Engineering, 2014, 22(8):2151-2158.
- [6] GU J H, WANG X L, CHEN H T, et al. Conductivity enhancement of silver nanowire networks via simple electrolyte solution treatment and solvent washing[J]. Nanotechnology, 2018, 29(26):265703.
- [7] CHANG Y, LYE M L, ZENG H C. Large-scale synthesis of high-quality ultralong copper nanowires[J]. Langmuir, 2005, 21(9):3746-3748.
- [8] 黄英, 黄钰, 高峰, 等. 填充炭黑对柔性触觉传感器用导电硅橡胶性能的影响[J]. 功能材料, 2010, 41(2):225-231.
HUANG Y, HUANG Y, GAO F, et al. The influence of filled carbon black on the properties of conductive silicon rubber used in flexible tactile sensor[J]. Journal of Functional Materials, 2010, 41(2):225-231.
- [9] FASSLER A, MAJIDI C. Liquid-phase metal inclusions for a conductive polymer composite[J]. Advanced Materials, 2015, 27(11):1928-1932.
- [10] 瞿金磊, 郭新, 刘彦麟, 等. 电磁屏蔽橡胶复合材料的研究进展[J]. 橡胶工业, 2021, 68(8):626-632.
QU J L, GUO X, LIU Y L, et al. Research progress of electromagnetic shielding rubber composites[J]. China Rubber Industry, 2021, 68(8):626-632.

收稿日期:2022-05-09

Preparation and Performance of ACM Flexible Electrode Composites

WU Weizhipeng, ZOU Hua, NING Nanying, TIAN Ming, ZHANG Jian, PAN Chengteng

(Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: Acrylate rubber (ACM) flexible electrode composites were prepared by the blend of conductive carbon black and multi-walled carbon nanotubes (MWCNT), the dispersibility of conductive carbon black and MWCNT in ACM matrix and the effects of their blend ratios on the vulcanization characteristics, physical properties and electrical conductivity of the flexible electrode composites were investigated, and the adhesion of the flexible electrode composites and dielectric elastomer (DE) substrates was analyzed. The results showed that conductive carbon black and MWCNT had good dispersibility in the ACM matrix. The elongation at break of the ACM flexible electrode composites with conductive carbon black/MWCNT blend system was much greater than 200%, which met the requirements of the DE generator for large deformation. Compared with the flexible electrode composites with conductive carbon black, the hardness and elastic modulus of the flexible electrode composites with conductive carbon black/MWCNT blend system were reduced, and the flexibility was improved. With the increase of the amount of MWCNT, the conductive path of the flexible electrode composites was gradually improved, and the conductivity increased. After co-vulcanization of ACM flexible electrode composites with 10/10 blend ratio of conductive carbon black/MWCNT and ACM-based DE substrates, the adhesive strength of the two reached $5 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$, and the bonding stability was good.

Key words: flexible electrode composite; ACM; conductive carbon black; MWCNT; dielectric elastomer; electrical conductivity; adhesive strength

专利2则

由中国石油化工股份有限公司和中国石油化工有限公司北京化工研究院申请的专利(公布号 CN 110305240B, 公布日期 2022-01-04)“聚丁二烯低聚物、接枝改性剂和稀土异戊橡胶的制备方法”,提供了聚丁二烯低聚物、接枝改性剂和稀土异戊橡胶的制备方法。该聚丁二烯低聚物的数均相对分子质量为2 000~25 000,顺式-1,4-结构单元的质量分数为0.38~0.50,反式-1,4-结构单元的质量分数为0.42~0.55,1,2-结构单元的质量分数为0.06~0.11。该聚丁二烯低聚物可以制备成接枝改性剂,不仅制备过程简单,而且无需使用水或乙醇作为终止剂;还可制备成稀土异戊橡胶,能有效降低聚合物的动力学粘度,有利于聚合物后期加工。

由长春工业大学申请的专利(公布号 CN 113877445A, 公布日期 2022-01-04)“硅橡胶-聚偏氟乙烯电纺纳米纤维疏水微孔复合膜的制备”,涉及一种硅橡胶-聚偏氟乙烯(PDMS-PVDF)静电纺丝纳米纤维疏水微孔复合膜。该复合膜包括支撑层和活性层,其中支撑层采用高强度聚酯(PET)无纺布,活性层为PDMS-PVDF纳米纤维层。该复合膜通过基衬增强-正负极同场静电纺丝技术,在PET无纺布表面形成PDMS-PVDF静电纺丝纳米纤维微孔膜,其疏水性比传统PVDF微孔膜更强,具有更大的孔隙率和比表面积,可以有效降低传质阻力、提高膜蒸馏通量,同时具有很高的强度,能够很好地解决膜蒸馏过程出现的膜湿润问题。

(本刊编辑部 赵敏)