

动力电池用导热硅胶材料研制及性能研究

王执乾*, 马 晨, 范晋锋, 张小刚, 张贵恩

中国电子科技集团公司第三十三研究所, 山西 太原

收稿日期: 2022年9月10日; 录用日期: 2022年9月30日; 发布日期: 2022年10月12日

摘 要

新能源汽车动力电池热管理是保障电池安全运行的决定性因素, 也是提升电池系统寿命等性能指标的关键所在。导热硅胶材料是动力电池热管理的最佳解决方案。本文采用真空搅拌、压延成型等工艺制备了导热硅胶材料。材料性能测试表面, 导热系数在 $1.56 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, 击穿电压为 $11,056 \text{ Vac/mm}$, 具有优异的导热、绝缘、减震、阻燃特性, 可用于新能源汽车动力电池模组之间不规则缝隙部位, 实现电池组与铝散热器的热量传递, 同时形成电气绝缘层与缓冲层, 对电池组形成保护, 延长使用寿命。

关键词

高导热, 温度控制, 动力电池

Study on Preparation and Properties of Thermal Conductive Silica Gel for Power Battery

Zhiqian Wang*, Chen Ma, Jinfeng Fan, Xiaogang Zhang, Gui'en Zhang

No. 33 Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Taiyuan Shanxi

Received: Sep. 10th, 2022; accepted: Sep. 30th, 2022; published: Oct. 12th, 2022

Abstract

The thermal management of the power battery of new energy vehicles is the decisive factor to ensure the safe operation of the battery, and is also the key to improve the battery system life and other performance indicators. Thermal conductive silicone material is the best solution for thermal management of power batteries. The thermal conductive silica gel material was prepared by

*第一作者。

vacuum stirring and calendaring. Material performance test surface, thermal conductivity of 1.56 W/m·K, breakdown voltage of 11,056 Vac/mm, with excellent thermal conductivity, insulation, shock absorption, flame retardant characteristics, can be used for new energy vehicle power battery module between the irregular gap, to achieve the heat transfer between the battery pack and aluminum radiator, while forming an electrical insulation layer and buffer layer. It protects the battery pack and prolongs the service life.

Keywords

High Thermal Conductivity, Temperature Control, Power Battery

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在碳达峰、碳中和的背景下，新能源的研发和应用成为了新的创新方向。减少一次能源中非可再生能源特别是煤炭的使用占比，增加储能及其应用。新能源汽车产业成为承担碳达峰、碳中和的重任，也是国家汽车电动化战略的初衷。经过多年发展，以锂离子动力电池汽车为代表的新能源汽车走上台前，中国成为全球汽车用动力电池产、销量第一的国家，更是成为全球新能源汽车产能、销量均第一的国家 [1] [2] [3] [4] [5]。

新能源汽车动力电池热管理是保障电池安全运行的决定性因素，也是提升电池系统寿命等性能指标的关键所在，它直接关系到电池系统最终的成败。新能源汽车约 80% 的故障来源于动力电池故障。当电池受到外力撞击、过度充放电、热量堆积时都会产生问题，如电池漏液、局部短路、绝缘受损，最终造成起火事故，危及汽车及乘坐者的人身、财产安全。

温度控制是新能源汽车电池设计时的重点之一 [6] [7] [8]。当温度低于 -20°C 时，电池不能正常工作；当温度过高时，电池隔膜会熔融造成短路引发电池起火等安全问题。绝缘性也是新能源汽车电池设计时的重要考虑因素之一。电动汽车电池所面临的另一层挑战，在于短路和过流。耐久性也是新能源汽车电池设计时的重要考虑因素之一。新能源汽车日常使用过程中，震动会造成电极断裂，导致电池短路等问题。有机硅导热材料具有导热、绝缘、减震等特性，是新能源汽车动力电池热设计的首选材料。

文中介绍了动力电池用导热硅胶材料的制备方法与性能研究。

2. 试验部分

2.1. 原材料

双组份加成型液体硅橡胶(纯度: 99.0%、厂家: 吉林化学股份有限公司); 导热氧化铝粉(纯度: 99.9%、厂家: 上海百图); 导热氮化硼(纯度: 99.9%、厂家: 丹阳韵辉电子)、硅烷偶联剂(厂家: 南京轩浩); 乙烯基封端硅油(厂家: 湖北隆盛四海化工)、铂金催化剂(纯度: 99.0%、厂家: 广东辰矽)。

2.2. 设备

压延机(型号: FDZ6、厂家: 苏州东福来)、裁切机(型号: JW-YT、厂家: 苏州捷景)、真空搅拌机(型号: dz-4、厂家: 上海奎特)。

2.3. 测试方法

高压击穿测试仪(型号: KZT 型、厂家: 沈阳变压器厂)、导热系数测定仪(型号: LW9389、厂家: 瑞领公司)、超高电阻试验仪(型号: 6517B、厂家: 上海第一电表厂)、燃烧特性测试仪(型号: H1012D、厂家: 上海理涛)。

3. 动力电池用导热硅胶材料的制备

3.1. 配方

实验的基本配方(质量份)为: 双组份加成型液体硅橡胶 100, 乙烯基封端硅油 15~20, 硅烷偶联剂 3.6~8.0, Pt 催化剂 0.6~0.8, 导热氧化铝粉 400~500, 导热氮化硼 100~200。

3.2. 试验过程

1) 粉体改性处理: 粉体改性处理技术是通过硅烷偶联剂将陶瓷粉体表面接枝高活性官能团, 使其更好与高分子材料相融合。导热氧化铝粉、导热氮化硼分别用 0.4%~0.8% 的硅烷偶联剂溶液常温浸泡预处理, 低速搅拌均匀, 搅拌速度为 10~20 rpm, 混合后, 于 120℃ 下干燥 24 h 至恒重。

2) 真空搅拌: 真空搅拌技术是将混合后物料内部的气泡从硅胶网状结构中排出, 使得网状内部导热颗粒紧密排列, 形成导热通路。按一定配比称取各种原材料, 将双组份加成型液体硅橡胶, 乙烯基封端硅油放入真空搅拌机, 抽真空搅拌, 真空度 ≤ -91 kpa, 搅拌速度 30~40 rpm, 时间 20~30 min; 然后将高温干燥后的导热氧化铝粉、导热氮化硼粉、Pt 铂金催化剂置入真空搅拌机, 真空度 ≤ -91 kpa, 搅拌速度 60~70 rpm, 时间 50~60 min, 充分搅拌;

3) 压延工艺: 压延工艺技术将流动状态的硅胶压延在矽胶布微小孔隙中, 实现两种材质的混合。将分散好的胶料置入压延辊中, 通过调节双辊辊筒间距, 使胶料受到辊筒挤压延展、溜平而成为具有一定规格尺寸和符合质量要求的连续片状制品。在室温条件下, 设置好压延机的厚度为 2 mm、辊速为 0.5~0.8 rpm, 安装好上下表面离型膜, 将搅拌好的胶料置于压延机中压延成型为板材;

4) 硫化工艺: 硫化工艺技术是将流动的板材硅胶材料通过高温、长时间固化而成的固体工艺, 产品具有一定的功能属性, 如导热、绝缘、减震、密封等特性。设置好硫化温度为 100℃, 硫化时间为 30 min, 将板材高温硫化成型。

5) 裁切工艺: 裁切工艺技术是按照动力电池的尺寸要求, 裁切满足动力电池散热要求的尺寸。按照动力电池模组尺寸, 裁切导热硅胶材料为 120 mm*570 mm。如下图 1。

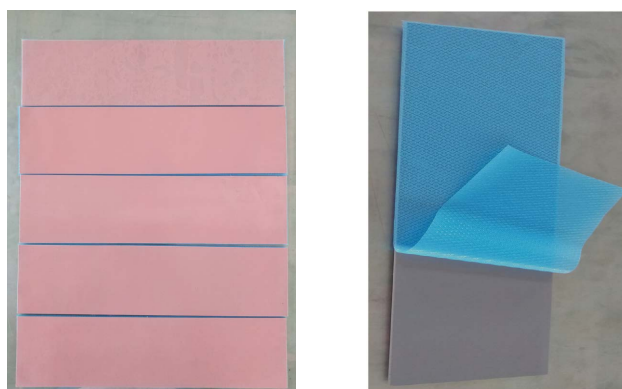


Figure 1. Front and back photos of thermally conductive silicone

图 1. 导热硅胶正面、反面照片

3.3. 材料性能测试

1) 导热率测试

按照标准 ASTM D5470 测试其导热系数与热阻，型号为：LW9389 热阻仪。

2) 绝缘性能测试

按照 GB/T 1410 测试其体积电阻率，型号为 6517B 高阻仪。

3) 击穿电压测试

按照标准测试其击穿电压，型号为 KZT 型工频耐压试验仪。

4) 阻燃测试

按照 HB/T 5470 测试其阻燃特性，型号为 H1012D 燃烧特性测试仪。

5) 禁用物质测试

按照 GB/T 350512 测试其阻燃特性，型号为 edx1800bs 禁用物质测试仪。

导热硅胶材料性能测试结果如下表 1。

Table 1. Test results of thermal conductive silica gel material

表 1. 导热硅胶材料性能测试结果

指标	标准值	测试值
导热系数, W/m·K	≥ 1.2	1.567
热阻, $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$	$\leq 0.5 \times 10^6$	0.22×10^6
体积电阻率, Ωcm	10^{12}	10^{13}
击穿电压, Vac/mm	≥ 7000	11056
阻燃, mm/min	0	0
禁用物质 ROHS	未检出	未检出

3.4. 材料装机测试

将制备好的导热硅胶材料，数量 22 片，安装在动力电池液冷板上方，整齐排列，排除接触面间的空气后，装入电池模组，如图 2，进行电池包充放电与热管理试验。



Figure 2. The photo of thermally conductive silica gel loaded into the battery module

图 2. 导热硅胶装入电池模组的照片

使用 128 通道 AT4524 多路温度测试仪，使用高性能 ARM 微处理控制器，对导热硅胶材料进行多路温度数据采集，温度准确度稳定在 0.2%，采集结果如图 3 显示，整个电池模组的温度一直稳定在 35°C~45°C 之间，具有稳定的温度特性。

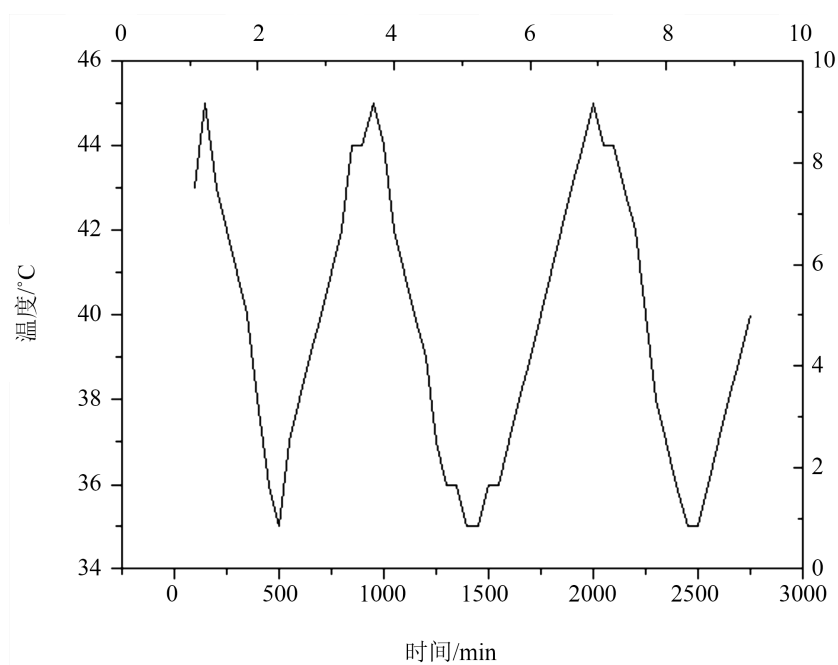


Figure 3. Temperature test curve
图 3. 温度测试曲线

4. 结论

通过真空搅拌工艺、板材压延工艺制备了性能稳定可靠的导热硅胶材料,采用热阻仪、高阻仪、击穿电压仪、阻燃仪测试材料物理特性,表明硅胶材料具有优异的导热、绝缘、耐电压、阻燃特性,并将其安装在动力电池中,通过 AT4524 多路温度测试仪,采集电池的温度,显示温度稳定在 35℃~45℃之间。因此,所制备的导热硅胶材料可以作为动力电池整体散热提供解决方案。

导热硅胶材料属于热量增强聚合物,可用于新能源汽车动力电池模组之间不规则缝隙部位,实现电池组与铝基板散热器的热量传递,同时形成电气绝缘层与缓冲层,对电池组形成保护,延长使用寿命。

参考文献

- [1] 金宏, 赵春宝, 等. 环氧树脂/氧化锌晶须/氮化硼导热绝缘复合材料的研究[J]. 塑料科技, 2010, 38(10): 73-78.
- [2] 潘大海, 刘梅, 孟岩, 等. 导热绝缘室温硫化硅橡胶的研制[J]. 橡胶工业, 2004(51): 534-536.
- [3] 张诚, 周平, 等. 高导热绝缘 FEP/AlN 复合材料的研究[J]. 塑料工业, 2007, 35(5): 9-12.
- [4] 马传国, 容敏智, 章明秋. 导热高分子复合材料的研究与应用[J]. 材料工程, 2002(7): 40-45.
- [5] Wang, Z.J. (2007) 1D Partially Oxidized Porous Silicon Photonic Crystal Reflector for Mid-Infrared Application. *Journal of Physics D: Applied Physics*, **40**, 4482-4484. <https://doi.org/10.1088/0022-3727/40/15/016>
- [6] 吕百龄, 刘登祥. 橡胶原材料手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 1996.
- [7] 涂春潮, 齐暑华, 等. 填充型导热橡胶研究进展[J]. 合成橡胶工业, 2006, 26(9): 305-309.
- [8] 李建忠. 导热绝缘硅胶材料用氧化铝性能研究[J]. 轻金属, 2012(3): 11-13.