

# A Preparation Method of Aluminum Matrix Composites' Hydrophobic Wire

Wenli Xie<sup>1</sup>, Zhihong Zhang<sup>1</sup>, Mehdi Fattahi<sup>2</sup>, Maocheng Wang<sup>3</sup>, Hailiang Chen<sup>1</sup>,  
Guanyu Wang<sup>3</sup>, Shuo Wang<sup>4</sup>, Xiaohan Wang<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Physics and Optoelectronic Engineering College, LuDong University, Yantai Shandong

<sup>2</sup>Technical Inspection Engineering Department, Petroleum University of Technology, Abadan, Iran

<sup>3</sup>Yantai Electric Power Supply Company of Shandong Province in China, Yantai Shandong

<sup>4</sup>Electric Power Company Research Institute of Shandong Province, Jinan Shandong

<sup>5</sup>Penglai Electric Power Supply Company of Shandong Province in China, Penglai Shandong

Email: 601217753@qq.com

Received: May 21<sup>st</sup>, 2016; accepted: Jun. 20<sup>th</sup>, 2016; published: Jun. 23<sup>rd</sup>, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

## Abstract

We have made grapheme sheets/4043 aluminum nanocomposites of different mixing ratios by using accumulative roll bonding (ARB) method. ARB method can be regarded as a number of single channel reductions of 50 percent reciprocating cycle. The electrical conductivity and the static contact angle of the different proportions of grapheme sheets/4043 aluminum composites were obtained by testing. We have found that as the proportion of grapheme doping increases, the static contact angle of grapheme sheets/aluminum composites significantly increases, and conductivity slightly decreases.

## Keywords

Hydrophobic Conductor, Static Contact Angle, Electrical Conductivity

# 一种制备铝基复合材料疏水导线的方法

谢文丽<sup>1</sup>, 张志红<sup>1</sup>, Mehdi Fattahi<sup>2</sup>, 王茂成<sup>3</sup>, 陈海亮<sup>1</sup>, 王冠宇<sup>3</sup>, 王 硕<sup>4</sup>, 王晓涵<sup>5</sup>

<sup>1</sup>鲁东大学, 物理与光电工程学院, 山东 烟台

<sup>2</sup>阿尔巴岛石油科技大学, 技术检查工程专业, 阿尔巴岛, 伊朗

<sup>3</sup>国网山东省电力公司烟台供电公司, 山东 烟台

文章引用: 谢文丽, 张志红, Mehdi Fattahi, 王茂成, 陈海亮, 王冠宇, 王硕, 王晓涵. 一种制备铝基复合材料疏水导线的方法[J]. 电力与能源进展, 2016, 4(3): 68-73. <http://dx.doi.org/10.12677/aepe.2016.43009>

<sup>4</sup>国网山东省电力公司科学研究院, 山东 济南

<sup>5</sup>国网蓬莱市供电公司, 山东 蓬莱

Email: 601217753@qq.com

收稿日期: 2016年5月21日; 录用日期: 2016年6月20日; 发布日期: 2016年6月23日

## 摘要

利用累积复合轧制法(ARB方法)制作出不同混合比例的4043铝/石墨烯纳米复合材料(累积复合轧制法可被看作是若干个单道次压下量为50%的轧制复合的往复循环),测试得到了不同比例的4043铝/石墨烯复合材料的电导率和静态接触角,发现随着石墨烯掺杂的比例增大,石墨烯/铝复合材料的静态接触角明显提高,电导率略有降低。

## 关键词

疏水导线, 静态接触角, 电导率

## 1. 引言

近年来,我国多地遭遇雨雪冰冻等严重自然灾害,输电线路出现了大面积覆冰、微风振动及舞动现象,致使输电线路闪络跳闸、杆塔结构严重受损。舞动就是其中危害较为严重的一种[1] [2]。输电线路导线舞动是导线不均匀覆冰在风的作用下产生的一种低频率(约 0.3~3 Hz),大振幅(大于 10 m 以上)的自激振动[3]。输电导线舞动的形成主要取决于三方面的因素,即输电导线覆冰、风激励及线路结构与参数[4]。导线覆冰在导线截面上沿周向分布的不均匀性是引起舞动的必要条件之一,若能有效降低导线表面覆冰,将减少输电导线起舞的产生。近几年来,研究输电导线防冰涂层就是围绕减少导线覆冰这一因素展开的。目前国内外针对输电导线防冰涂层的研究主要可以分为三种[5] [6]:电热型涂层、光热型涂层和憎水型防冰涂层。电热型涂层[7]是通过在涂覆基材中加入一定的导电填料,使涂层具有半导体性能,在电场作用下流过涂层表面的泄漏电流产生的焦耳热、场效应热等将使涂层表面温度升高,从而抑制低温环境下水滴在涂层表面的冻结,由于电热型涂层表面的防冰效果主要依赖于半导体的发热,低温气候条件下,高温物体的热量容易丧失,导致表面温度降低,为保证涂层表面水滴不被冻结将需要较大的电流产生的热量,所需的能耗较大。光热型涂层[8]是通过调节憎水基材中具有吸光性能的颜料,控制涂层表面光的漫反射,最大限度提高涂料对光的吸收率,降低光的反射率,达到吸收太阳光能量防止涂层表面覆冰的效果,但光热型涂层依赖于对太阳光能量的吸收,在持续雨雪交加、阴雨连绵的天气时,特别是在覆冰严重的晚上,涂层表面将不能获得足够多的热量,防冰效果失效。憎水性涂层[7]-[12]是利用有机硅、有机氟这类低表面能材料制成的疏水涂层,使用的氟塑料、硅橡胶等憎水涂料,有较好的防水性能,但无明显的防覆冰性能,尤其在气温低,水雾呈过冷却的情况下,这类涂料易发生裂纹,防冰效果降低,虽然漆膜具有良好的防水性,然而成膜物是有机物,时间长后容易分解,不稳定,耐候性差,不符合环保的要求、热利用率低、使用寿命较短。

目前所使用的裸铝输电导线经实验验证[5],其憎水性、憎冰性欠佳。我们的工作不同于在输电导线表面加涂层的方法来实现输电导线防覆冰,而是从输电导线材料本身入手展开研究的,利用 ARB 方法制作出 4043 铝/石墨烯[13] [14]复合材料导线,并且给出了实验检测复合材料的静态接触角和电导率的结果,

累积复合轧制法制作过程略显繁琐,但却发现掺了纳米石墨烯薄片以后 4043 铝合金的静态接触角明显变大,也就是 4043 铝/石墨烯复合材料的疏水性增强。电导率略有降低,但缺点是石墨烯取得的大部分研究还处于实验室阶段,很多相关的特性还需进一步实验验证,而且石墨烯产业化生产还需要时间[15]。

本文在第一部分介绍了静态接触角的定义,在第二部分介绍了电导率的定义,第三部分论述了利用 ARB 方法制作的 4043 铝/石墨烯[13] [14]复合材料,并给出实验测得的复合材料的接触角和电导率的大小。

## 2. 疏水表面简介[16] [17]

疏水性,又称憎水性,是固体表面的重要特性之一,在工农业生产和人们日常生活中发挥着重要的作用,比如石油开采、农药喷洒以及织物防水与洗涤等。疏水性主要取决于固体表面粗糙度和表面自由能,其大小通常由液滴与固体表面的接触角来衡量。在平衡状态下,在固体、液体和气体三相交界处分别做固体和液体表面的切线,两条切线在液体内部所形成的夹角称为接触角  $\theta$  (Contact Angle, CA),如图 1 所示,以水为例,一般来说静态接触角  $\theta$  小于  $90^\circ$  的固体表面成为亲水表面,静态接触角  $\theta$  大于  $90^\circ$  的固体表面成为疏水表面。特别地,静态接触角  $\theta$  小于  $10^\circ$  的固体表面成为超亲水表面,静态接触角  $\theta$  大于  $150^\circ$  的固体表面成为超疏水表面。我们的实验用 OCA15EC 接触角测量仪测得 4043 铝/石墨烯复合材料导线的接触角的值。

## 3. 金属电导率简介[18]

电导率是衡量物体导电性的参量,是电阻的倒数,电导率越大,导电性越好,反之电导率越小,导电性越差。通常获取电导率大小有两种方法,一是直接利用仪器测量,本实验就是利用 TMD-101 电导率测量仪测量的,二是间接测量,通过测量相关物理量,利用物理公式间接得到电导率。

已知金属丝长度为  $l$ ,直径为  $d$ ,电阻为  $R$ ,其电阻率用  $Y$  表示,金属电导率公式:

$$Y = \frac{4l}{\pi d^2 R}$$

分别用游标卡尺和螺旋测微器测量金属丝长度和直径可以得到  $l$ 、 $d$ ,用电阻测量仪测得电阻  $R$ 。利用上式即可求得。本实验采取的是用电导率测量仪测得材料的电导率。

## 4. 憎水输电导线的制备与实验检测

我们是在 4043 铝合金中掺入一定量的石墨烯,石墨烯本身可以导电且载流子迁移率也高,这样一方面可以增加导线的硬度,另一方面石墨烯又薄又轻也不会增加导线的重量。

### 4.1. 石墨烯/铝复合材料的制作过程[14] [15]

4043 铝/石墨烯复合导线材料的制备:用来制作复合导线的材料:4043 铝合金,其组成成分为 Si,

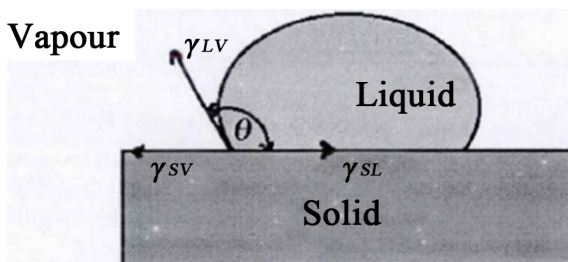


Figure 1. The distribution of the droplets on the solid surface  
图 1. 液滴在固体表面上的分布

5.9%; Fe, 0.8%; Cu, 0.1%; Mn, 0.05%; Zn, 0.10%; Mg, 0.08%和纯度为98%厚度为12 nm的多层结构的纳米石墨烯薄片。

第一步, 将石墨烯浸泡在乙醇溶液中并用超声波震荡30分钟, 然后真空晾干。

第二步, 分别将不同比例的石墨烯(0.25%、0.5%、0.75%)与铝合金粉末在氩氛围下高能行星球磨机球磨1小时, 其直径为20 mm的不锈钢球磨, 球与复合粉末的重量比为10:1, 铣销速度是300 r/min。

第三步, 球磨过的复合材料粉末冷压在10 mm直径压力为500 MP的圆柱形压力体下压死, 冷压之后, 对压实的圆柱形样本在600℃的温度下热挤压成4 mm直径的导线。

## 4.2. 试验检测

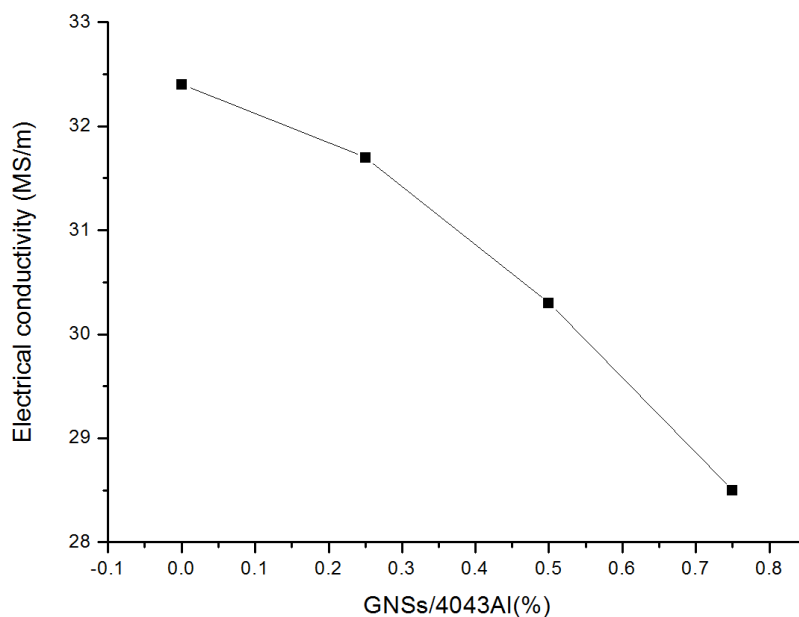
利用TMD-101电导率测量仪和OCA15EC接触角测量仪和对制备出来的导线进行电导率和疏水性能的检测, 检测结果如表1所示, 图2所示为Al/GNSs复合材料的电导率随石墨烯掺杂比例的变化曲线, 图3所示为Al/GNSs复合材料的静态接触角随石墨烯掺杂比例的变化曲线。

## 4.3. 结果与讨论

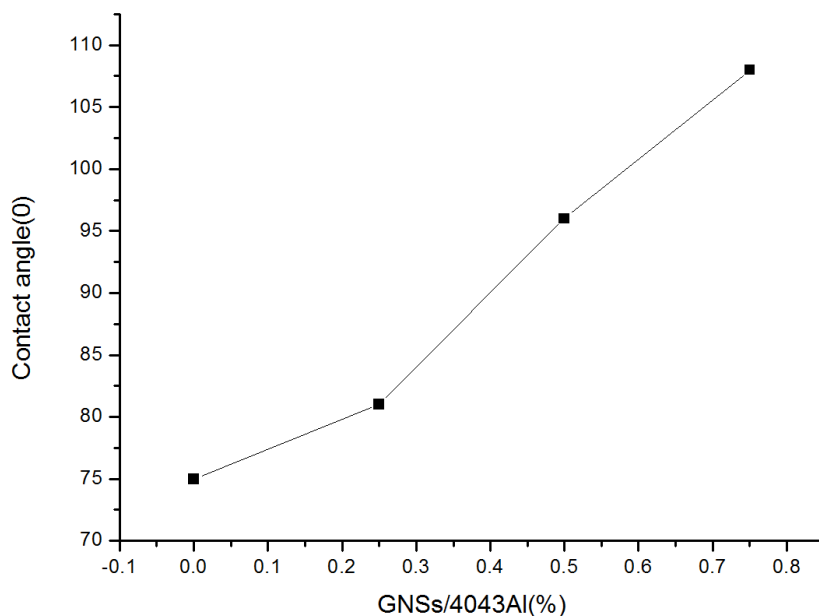
实验发现, 随着石墨烯掺杂的比例为0.25%、0.50%和0.75%, 接触角增大了8%、28%和44%, 疏水效果明显增强, 而电导率分别降低了2.16%、6.48%和12.04%, 电导率降幅不大, 这样看来掺入石墨

**Table 1.** The electrical conductivity and static contact angle of different proportions of graphene doped 4043 aluminum alloy  
**表 1.** 掺杂不同比例的石墨烯的4043铝合金的电导率与静态接触角

石墨烯在4043Al合金中的掺杂比(%)	电导率(MS/m)	接触角(°)
0	32.4	75
0.25	31.7	81
0.50	30.3	96
0.75	28.5	108



**Figure 2.** Curve: The conductivity of the composite material on different doped ration  
**图 2.** 复合材料的电导率随石墨烯掺杂比例的变化曲线



**Figure 3.** Curve: The static contact angle of the composite material on different doped ration  
**图 3.** 复合材料的静态接触角随石墨烯掺杂比例的变化曲线

烯的 4043 铝合金对导线的电导率的影响不是很大，由以上实验测试结果发现石墨烯的掺杂比例在 0.25%~0.5% 之间会有一个比较合理的值既可以满足电导率的要求也可以满足憎水性的要求。从利用效果上来讲，虽然掺入石墨烯以后电导率略有降低，但憎水性明显提升，而且石墨烯本身既不亲水也不亲油、耐腐蚀性极好，无论是耐污性还是耐候性都比较理想。

## 5. 结论

我们在本文中介绍了用 ARB 方法制作 4043 铝/石墨烯复合材料的憎水输电导线，对 4043 铝/石墨烯复合材料进行试验检测，实验发现随着掺入石墨烯比例的增大，4043 铝/石墨烯的憎水性明显提高，25% 以上的石墨烯掺入到 4043 铝合金材料中会有很好的憎水性，实现了 4043 铝/石墨烯复合材料导线在高效利用电能的同时，也能达到憎水的效果，同时该材料防污性、耐候性、抗拉抗压性都很好。通过实验可以得出，4043 铝/石墨烯复合材料只要掺杂比例合适，能很好地达到憎水防覆冰的效果，为防覆冰导线的研制提供了新途径。

## 参考文献 (References)

- [1] 郭应龙, 李国兴, 尤传永. 输电线路舞动[M]. 北京: 中国电力出版社, 2003.
- [2] 李再华, 白晓明, 周子冠, 等. 电网防覆冰防治方法和研究进展[J]. 电网技术, 2008, 32(4): 7-13.
- [3] 朱宽军, 付东杰, 王景朝, 孙娜. 架空输电线路的舞动及其防治[J]. 电力设备, 2008, 9(6): 8-12.
- [4] 叶雨田, 孙家茂, 孙伟君, 肖亚平. 输电线路舞动的研究现状和防治方法[J]. 通信电源技术, 2014, 31(2): 88-91.
- [5] 张青, 吕玉珍, 汪佛池, 等. 采用超憎水性涂层缓解导线表面覆冰的实验研究[J]. 现代电力, 2010, 27(6): 31-34.
- [6] 易辉, 查宜萍, 何慧雯. 防覆冰涂覆材料的应用分析与研究[J]. 电力设备, 2008, 9(6): 16-19.
- [7] Liao, W.Y., Jia, Z.C., *et al.* (2007) Reducing Ice Accumulation on Insulators by Applying Semiconducting RTV Silicone Coating. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, **14**, 1446-1454. <http://dx.doi.org/10.1109/TDEI.2007.4401227>
- [8] 胡小华. 输电线路防覆冰涂料的研究[J]. 材料保护, 2006, 39(3): 36-38.
- [9] Petrenko, V.F. and Peng, S. (2003) Reduction of Ice Adhesion to Metal by Using Self-Assembling Monolayers

(SAMs). *Canada Journal of Physics*, **81**, 387-393. <http://dx.doi.org/10.1139/p03-014>

- [10] 尤小华. 输电导线覆冰研究[I]. 武汉水利电力大学学报, 1996, 29(5): 102-107.
- [11] 尤小乐, 鲍务均, 郭应龙, 等. 输电导线覆冰研究[J]. 武汉水利电力大学学报, 1996, 29(5): 102-107
- [12] 蒋兴良, 肖代波, 孙才新. 憎水性涂料在输电线路防冰工作中的应用前景[J]. 南方电网技术, 2008, 2(2): 13-18.
- [13] 康永. 我国石墨烯产业发展现状及趋势[J]. 上海涂料, 2015, 53(2): 24-28.
- [14] Fattahi, M., Gholami, A.R., Eynalvandpour, A., Ahmadi, E., Fattahi, Y. and Akhavan, S. (2014) Improved Microstructure and Mechanical Properties in Gas Tungsten Arc Welded Aluminum Joints by Using Graphene Nanosheets/Aluminum Composite Filler Wires. *Micron*, **64**, 20-27. <http://dx.doi.org/10.1016/j.micron.2014.03.013>
- [15] Fattahi, M., Mohammady, M., Sajjadi, N., Honarmand, M., Fattahi, Y. and Akhavan, S. (2015) Effect of TiC Nanoparticle on the Microstructure and Mechanical Properties of Gas Tungsten Arc Welded Aluminum Joints. *Journal of Materials Processing Technology*, **217**, 21-29. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2014.10.023>
- [16] 张世文, 廉育英. 憎水性与接触角的测量[J]. 现代计量测试, 1994(3): 36-41.
- [17] Good, R.J. (1979) Contact Angles and the Surface Free Energy of Solids. *Surface and Colloid Science*. Springer, US, 1-29.
- [18] 张婷, 吴伟, 李承祖, 陆彦文. 谈谈金属电导率的经典理论[J]. 大学物理, 2011, 30(1): 29-30.

#### 再次投稿您将享受以下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>