



创新：学生发展核心素养

第二届“登峰杯”学术作品竞赛获奖作品集

主 编 龚春燕 副主编 李 越



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS



登峰杯

全国中学生学术科技创新大赛

创新：学生发展核心素养

第二届“登峰杯”学术作品竞赛获奖作品集

主 编 龚春燕 副主编 李 越



上海交通大学出版社

SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书系全国中学生学术科技创新大赛获奖作品集,包含学术作品、数学建模、机器人、结构设计、数据挖掘五个竞赛项目,共收录 17 篇论文和 18 篇调查报告。其中,科学与工程包括理工农医等专业大类,人文社会科学包括文史哲法教经管等专业大类。竞赛活动聘请了清华大学、北京大学、中国科技大学、复旦大学等 20 多所 985 高校的院士、知名教授组成评审组,从初赛、复赛、决赛层层筛选,最终评出一、二、三等奖若干。

图书在版编目(CIP)数据

创新:学生发展核心素养:第二届“登峰杯”学术作品竞赛获奖作品集/龚春燕主编. —上海:上海交通大学出版社,2018
ISBN 978-7-313-18886-1

I. ①创… II. ①龚… III. ①自然科学—文集②人文科学—文集
③社会科学—文集 IV. ①Z427.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 020006 号

创新:学生发展核心素养——第二届“登峰杯”学术作品竞赛获奖作品集

主 编:龚春燕

出版发行:上海交通大学出版社

邮政编码:200030

出 版 人:谈 毅

印 制:当纳利(上海)信息技术有限公司

开 本:710mm×1000mm 1/16

字 数:620 千字

版 次:2018 年 3 月第 1 版

书 号:ISBN 978-7-313-18886-1/Z

定 价:129.00 元

地 址:上海市番禺路 951 号

电 话:021-64071208

经 销:全国新华书店

印 张:32.75

印 次:2018 年 3 月第 1 次印刷

版权所有 侵权必究

告读者:如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系
联系电话:021-31011198

前言 | Preface

党的十八大五中全会提出了五大发展理念,创新是统领。习总书记指出:“创新始终是推动一个国家、一个民族向前发展的重要力量。”我们要深入贯彻新发展理念,深入实施创新驱动发展战略。只有不断创新,中华民族才能更好地走向未来。中共中央、国务院 2016 年 5 月颁发《国家创新驱动发展战略纲要》,2020 年进入创新型国家行列,基本建成中国特色国家创新体系;2030 年跻身创新型国家前列;2050 年建成世界创新强国。不论是创新型国家还是创新强国,创新人才是根本,而创新人才培养在于教育。为此,清华大学教育研究院与中国高等教育学会学习科学研究分会共同主办“登峰杯”全国中学生学术科技创新大赛,其目的是让广大中学生会创新、能创新、想创新,展示中学生的创新才能。同时也是高中学生综合素质评价改革的大胆实践。

“登峰杯”全国中学生学术科技创新大赛包含五个竞赛项目,分别是学术作品、数学建模、机器人、结构设计、数据挖掘,竞赛活动聘请了清华大学、北京大学、中国科技大学、复旦大学等 20 余所 985 高校的院士、知名教授组成评审组,公开、公平、公正地评审,从初赛、复赛、决赛层层筛选,最终评出各类别一、二、三等奖若干。

“登峰杯”全国中学生学术作品竞赛涵盖自然科学与工程类的论文和人文社会科学类论文或调查报告两类作品的评比。其中,自然科学与工程包括理工农医等专业大类,具体包括数学、物理、化学、生物、地理、地质学、心理学、海洋科学、计算机、电子信息、机械、材料、环境科学与工程、土木工程、电气、建筑、自动化、能源动力、航空航天、农学、医学、药学等专业;人文社会科学包括文史哲法教经管等专业大类,具体包括中国语言文学、外国语言文学、新闻传播、历史学、哲学、教育学、法学、社会学、政治学、经济学、金融学、经济与贸易、工商管理、公共管理、管理科学与工程等专业的成果。通过大赛评委会评选,本书将参加学术竞赛的部分优秀作品进行收录,旨在营造青少年创新学习研究的浓厚氛围,引导青少年积极探索创新,积极培养创新创业素养,让更多的中学生参与到创新的时代

浪潮中来,成长为“万众创新,大众创业”时代的生力军。同时也向高校展示了中学生高水平高质量的论文。

“登峰杯”全国中学生学术科技创新大赛整合优势资源,实行跨界联合,构建“高校指导—中学落地—学生参与”相结合的创新赛事;对接中学、大学和社会对创新人才的培养、评价和需求环节,至今已成功举办两届。同时开展全国重点中学校长高峰论坛、全国重点中学骨干教师培训、全国优秀作品展示、全国学术交流研讨会、社会创新教育交流论坛等多种形式的活动,为学生优秀创新作品提供展示平台,为普通中学提供创新教育成果展示平台。

本次编辑出版中,得到中国工业与应用数学学会、中国自动化学会机器人竞赛工作委员会、上海交通大学船舶海洋与建筑工程学院、中国科学技术大学计算机科学与技术学院,中国教师发展基金会教育评价项目基金的大力支持,同时,上海交通大学出版社给予了支持,在此表示感谢。

由于本书编辑时间仓促,错误在所难免,恳请读者不吝指正。

2017年8月

目 录 | Contents

第一部分 自然科学与工程类论文

利用形成导电“网格结构”制备橡胶导线	3
汽车远光灯控制系统	13
健康书写关怀者——基于三轴姿态检测的智能笔	20
智能外挂动力通风呼吸面具	38
口罩防霾性能测试装置研制及测试结果分析	46
地转偏向力作用模拟教学用具	63
城市河道排污口巡查器研发	73
可逃生晾衣架的设计及模型验证	90
经济型汽车尾气净化装置设计及净化效果研究	103
自行车发电系统的设计	123
高性能钠双离子电池的构建与研发	136
m^{10^b} 产生 $b+1$ 位二次广义自生数定理	154
奇妙的快链——含单面约束的多刚体动力学系统的研究	164
多驱动多功能健身助行车	188
情有独“中”辅助诊疗 APP 构建	206
家用电器电源通断智能控制装置	219
便携式色觉障碍检测及矫正系统的研究	230

第二部分 人文社会科学类论文或调查报告

食品安全惩罚性赔偿的实证研究与制度重构	247
关于某校周边不合理交通规划造成的安全隐患研究报告	258
通州通运门遗址调查研究	277
成都市高中绩优生人际关系现状调查研究	299
互联网金融背景下小额投资者投资方式的研究	320
士大夫政治新议——论北宋独有之士大夫政治	329
乾隆皇帝立储思想的嬗变研究	348
孔子儒学的宗教性及其起源	359
浅析中国古代星象学的发端——以中国古代天文思想为视角	369
文物重生：互联网+文物保护——以赵州桥为例	385
农村空巢老人生活现状分析与养老对策研究——以重庆市南川区某村 为例	403
重庆本地青少年对重庆方言、俚俗语的认知现状调查及分析报告	417
关于上海初中生头胎抗拒二胎的影响因素与对策研究	431
承德避暑山庄旅游资源开发与利用的研究	454
“互联网+”背景下赣南油茶产业前景的调查研究	472
积极心理,健康人生——基于淮北市 S 高中学生积极心理品质的调查 研究	489
由《人间词话》的论述浅析白石词风	500
纳兰性德词作中植物意象的阶段性研究	509

利用形成导电“网络结构”制备橡胶导线

第一部分

自然科学与工程类论文

利用形成导电“网格结构”制备橡胶导线

四川省成都市树德中学 李怡珂

【摘要】 传统金属导线存在笨重、易受酸碱腐蚀、不抗弯折等缺点,我们制备了一种轻质、耐弯折、抗腐蚀的橡胶导线。选择碳纳米管(CNT)作为导电物质,天然橡胶粉(RP)作为导电物质载体,通过机械混合、物理包覆和加热压制成型的方法制备了具有导电“网格结构”的橡胶导线,其中CNT在橡胶导线内部沿特定线路排布形成具有“网格结构”的导电网络。由于这种“网格结构”导电网络的形成,仅添加质量分数为5%的CNT就使橡胶导线具有优异的导电性,如将橡胶导线接入导电通路中可使灯泡发亮。相比传统金属导线,我们制备的橡胶导线具有更低的密度、更好的耐腐蚀和抗弯折性等特殊性能,在一些特殊工矿环境,如要求导线质轻的航空航天装备,高酸碱度、高湿度的海面,以及变形量要求较高的微型器件领域有潜在的应用价值。

【关键词】 橡胶导线;“网格结构”导电网络;低密度;耐腐蚀;抗弯折

1 引言

家庭照明、电子电器等都用电线传输电能,金属导线强度高、耐高温、导电性好,有许多优点,但也存在很多不足,如笨重(如铜密度高达 8.9 g/cm^3)、加工温度高(如铜熔化温度高于 1000°C)、易腐蚀、不耐弯折等,在实际应用中还会出现施工困难问题,因此制备一种轻质、抗腐蚀、耐弯折的导线材料很有必要。

与金属相比,橡胶具有质轻(密度仅为 $1\sim 2\text{ g/cm}^3$)、加工温度低(小于 200°C)、耐腐蚀、抗弯折等优点,但不导电。试想,若在橡胶中加入具有高导电性的物质(如碳纳米管、石墨、炭黑等),是否可以使橡胶导电,制成橡胶导线呢?要使橡胶导电,就必须让导电物质在橡胶里面形成一个连续的导电网络,这样电流才能传输^[1,2]。我们经过查阅文献和前期调研发现,目前工业上虽有导电橡胶,但导电性差,不能作为橡胶导线使用。这是因为这类导电橡胶的制备大多是

将橡胶与导电物质直接加入到混合机中,在高温下熔融使两者简单混合,得到的混合物再通过加热压制、挤出成型或注塑成型的方法得到导电制品^[3-8]。这样制得的导电橡胶内部导电物质是无规则地分布在整个体系中[见图 1(a),其中黑色线条为导电物质,其余为橡胶基体],利用率低,这种情况下要想使导电物质相互连通成导电网络而使整个制品导电,添加量需要很高(通常,质量分数 $>30\%$)^[9]。此外,导电物质是刚性的、不耐弯折、成本比橡胶高很多,添加如此高质量分数的导电物质必然会使得橡胶导电制品的抗弯折性变差,且会增加制品成本,也使其难以作为橡胶导线使用。因此,要制备橡胶导线,需解决的问题是提高导电物质利用率,在导电物质质量分数很低时使橡胶有很好的导电性^[10,11]。

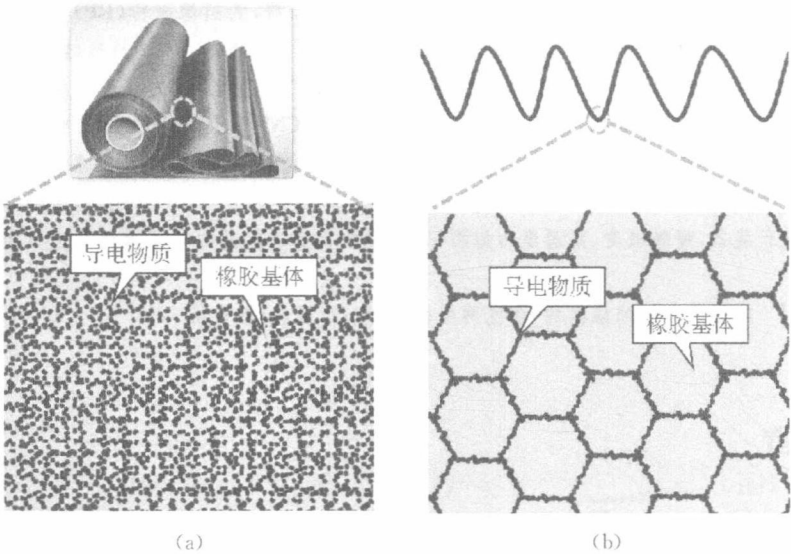


图 1 橡胶导线导电网络示意图

(a) “无规则分布”导电橡胶 (b) “网络结构”橡胶导线

对日常生活中瓷砖墙面加以观察,我们发现,只需要很少的瓷砖勾缝剂就能将整个墙面瓷砖间的缝隙连接起来。因此,我们设想,能否在橡胶制品中形成瓷砖与勾缝剂组成的结构呢?在这种结构中,将橡胶基体看作瓷砖,导电物质看作勾缝剂,使导电物质只分布在橡胶粒子界面,形成一个相互连通的“网络结构”导电网络[见图 1(b)],能明显提高导电物质的利用率,使得橡胶制品在低导电物质质量分数下获得高导电性。同时,通过对比图 1(a)和图 1(b)可以发现,这种结构中导电物质是直接搭接在一起的,这也有利于提高导电性。基于这样的设

想,我们选用碳纳米管(CNT,它是一种新型导电物质,电导率可以与金属媲美)为导电物质,硫化天然橡胶粉(RP,它具有很好的柔性和抗弯折性)为CNT的载体,将CNT均匀地包覆在RP表面,利用RP本身的高黏度将CNT固定在RP粒子的界面,成功制备了具有“网格结构”导电网络的CNT/RP橡胶导线。当CNT质量分数仅为5.0%时,这种橡胶导线接入电路中能使灯泡发亮。并且这种橡胶导线相比金属导线具有更低的密度、更好的耐腐蚀和抗弯折性,有望在一些金属导线使用受到限制的工矿条件下使用,如要求导线质轻的航空航天装备,高酸碱度、高湿度的海面,以及变形量要求较高的微型器件领域都有潜在的应用。

2 实验部分

2.1 实验原料

RP是一种粉末状硫化天然橡胶(内含少量补强炭黑),平均粒径 $250\text{ }\mu\text{m}$,从四川中能橡胶粉有限公司购买,数码照片和扫描电子显微镜照片见图2(a)所示;CNT,牌号NC7 000,平均直径 9.5 nm 、平均长度 $1.5\text{ }\mu\text{m}$ 、比表面积 $250\sim 300\text{ m}^2/\text{g}$ 、碳化程度90%。由比利时Nanocyl S. A.公司生产,通过网络途径购买,数码照片和透射电子显微镜照片见图2(b)。

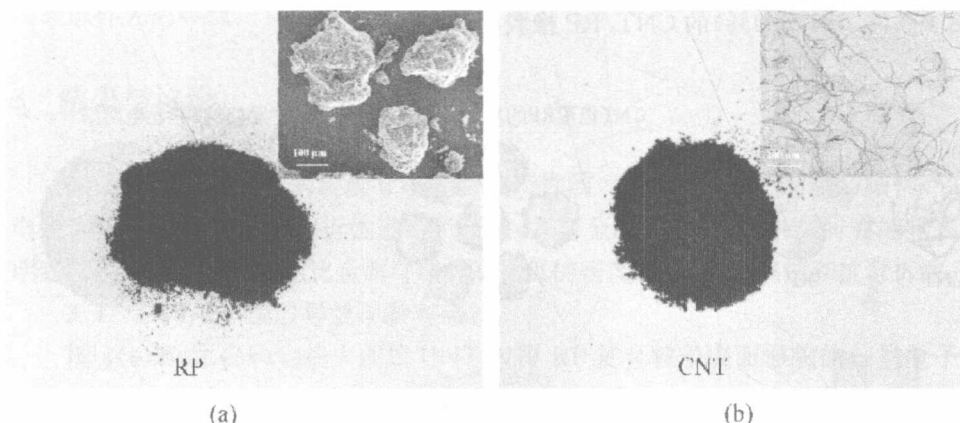


图2 实验原料照片

(a)天然橡胶粉(RP)数码照片,右上角插图为放大400倍扫描电子显微镜照片 (b)碳纳米管(CNT)数码照片,右上角插图为放大10 000倍透射电子显微镜照片

2.2 实验设备

本文实验所用的设备如表1所示。

表 1 实验设备

名 称	型 号	生 产 厂 家
高速混合器	BJ-100	德清拜杰电器有限公司
平板硫化机	QLB	青岛华博机械科技有限公司
扫描电子显微镜	Inspect-F, FEI, Finland	芬兰 Inspect 公司
透射电子显微镜	FEI Tecnai F20, USA	美国 FEI 公司
电阻测试仪	Keithley 4200 SCS	美国吉时利仪器公司

2.3 CNT/RP 橡胶导线制备

通过机械共混、物理包覆和加热压制方法制备 CNT/RP 橡胶导线，制备过程(见图 3)。首先分别称取一定质量的 CNT 和 RP，一起倒入高速混合器中，进行机械共混(转速为 25 000 r/min，混合时间为 2 min)。在机械共混过程中，由于 CNT 具有很大的比表面积，容易与 RP 粒子表面产生静电吸附，从而包覆在 RP 表面，形成 CNT/RP 复合粒子。然后将这些包覆后的复合粒子放入自制的模具中，利用平板硫化机加热压制：首先在 170℃ 的温度下预热 5 min，紧接着将压强升至 50 MPa，并保持 10 min，在这个过程中复合粒子相互黏结在一起，之后将模具冷却至室温，从模具中取出样品，用切刀可以切割成一定长度、尺寸的橡胶导线。根据 CNT 和 RP 称量质量的不同制备了不同 CNT 质量分数(1.0%，2.0%，3.0%，5.0%)的 CNT/RP 橡胶导线。

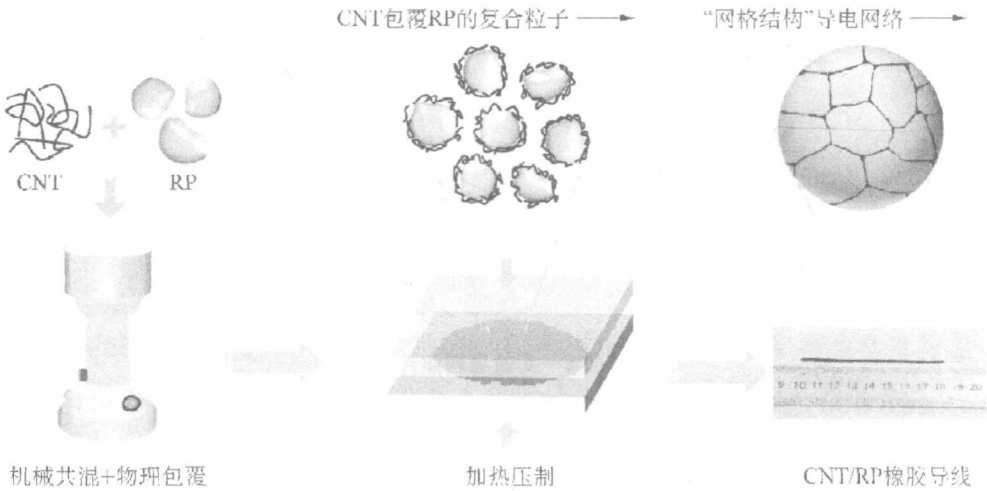


图 3 CNT/RP 橡胶导线的制备过程示意

2.4 测试与表征

2.4.1 扫描电子显微镜表征

取 CNT/RP 橡胶导线试样放置在液氮中浸泡 30 min,之后迅速淬断,得到平整的断面。试样断面经过喷金处理后用扫描电子显微镜观察微观形貌及 CNT 分布情况。

2.4.2 导电性测试

橡胶导线体积电导率通过 Keithley 4200 SCS 电阻测试仪测试得到,测试时橡胶导线试样尺寸为 30 mm×1 mm×0.4 mm。测试前在试样两端涂上导电银胶以保证试样与测试电极有更好的接触,测试电压 10 V。从设备上得到的数据为电阻,经过以下公式转换为电导率:

$$\sigma = L/(RS)$$

式中: σ 为试样电导率,单位 S/m; R 为测得的试样电阻,单位 Ω ; L 为试样长度,单位 m; S 为试样横截面面积,单位 m^2 。

2.4.3 耐腐蚀性测试

把橡胶导线分别浸入质量分数为 10% 的稀盐酸和氢氧化钠溶液中,观察溶液以及导线表面变化情况,对比实验试样为铝导线。

2.4.4 抗弯折性测试

将橡胶导线用手动方式进行重复弯折,观察其弯折过程中的变化情况,对比实验试样为铝导线。

3 结果与讨论

为了证明我们制备的橡胶导线具有独特性质,对橡胶导线的形貌与结构、导电性、密度、耐腐蚀性、抗弯折性进行了研究,并与金属导线进行对比,研究结果表明我们制备的橡胶导线相比金属导线具有更低的密度、更好的耐腐蚀和抗弯折性。

3.1 CNT/RP 橡胶导线形貌与结构

图 4(a)和图 4(b)为放大前后 CNT 包覆 RP 复合粒子表面形貌的扫描电子显微镜图片。从图 4b 中可以看到大量 CNT 吸附在 RP 表面,这说明通过机械混合方法能使 CNT 很好地包覆在 RP 表面。经加热压制后,RP 中橡胶分子的自黏附性能使 CNT 包覆 RP 复合粒子凝聚成一个整体,从而制成橡胶导线。由于 RP 本身具有很好的柔性和抗弯折性,因而使橡胶导线表现出良好的抗弯折和扭曲性[见图 4(c)至图 4(d)]。此外,在压制过程中,由于 RP 本身具有高黏度,CNT 很难扩散进入 RP 内部,因此 CNT 主要分布在 RP 的界面处,形成典型的“网格结构”导电网络,贯穿于整个橡胶导线,这可以从图 4(e)中看出。对图 4

(e)进一步放大得到的图像[见图 4(f)和图 4(g)]中可以明显看到 RP 界面处无数根密密麻麻的 CNT 的存在。

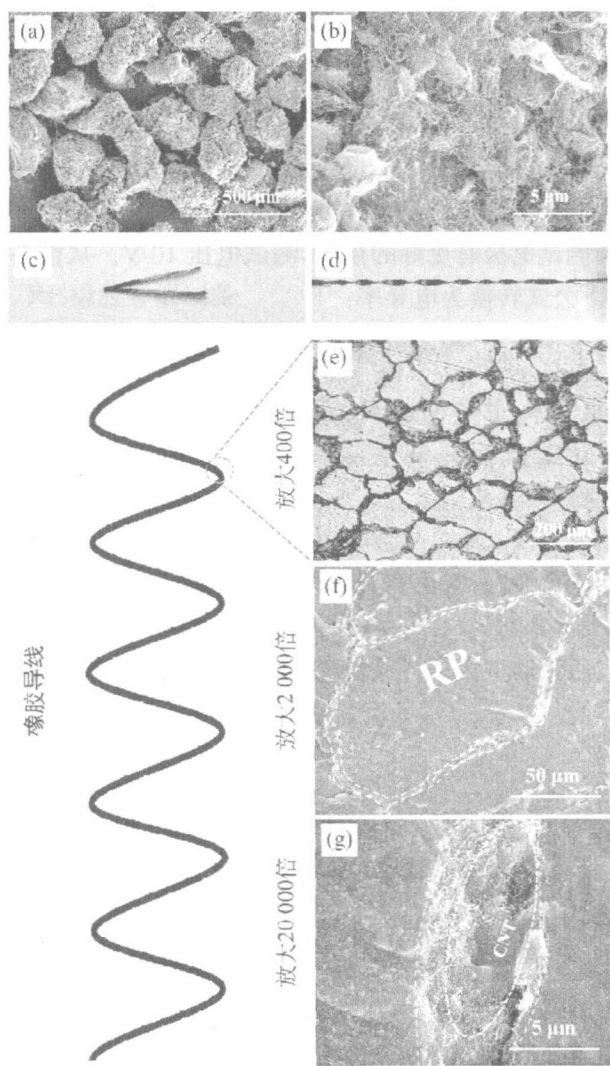


图 4 橡胶导线形状与结构

(a) CNT 包覆 RP 复合粒子的扫描电子显微镜图片 (b) 为(a)的放大图 (c) CNT/RP 橡胶导线弯折状态数码照片 (d) CNT/RP 橡胶导线扭曲状态数码照片 (e) CNT/RP 橡胶导线内部微观形貌(黑色线条为 CNT, 浅色为 RP) (f) 和(g)为橡胶导线放大后的扫描电子显微镜照片

3.2 CNT/RP 橡胶导线导电性

图 5 是不同 CNT 质量分数的 CNT/RP 橡胶导线的电导率数据,同时我们

测试了纯 RP 电导率数据作为对比。可以发现纯 RP 电导率仅为 4.8×10^{-7} S/m, 而 CNT/RP 橡胶导线在 CNT 质量分数为 1.0% 时电导率达到了 2.6 S/m, 相比纯 RP 提高了近 7 个数量级。将 CNT 质量分数提高到 5.0% 时橡胶导线电导率更高, 达到 109.3 S/m, 表现出优异的导电性。也就是说, 在我们制备的橡胶导线中, 只需要添加低质量分数的 CNT 就能达到令人满意的导电性。

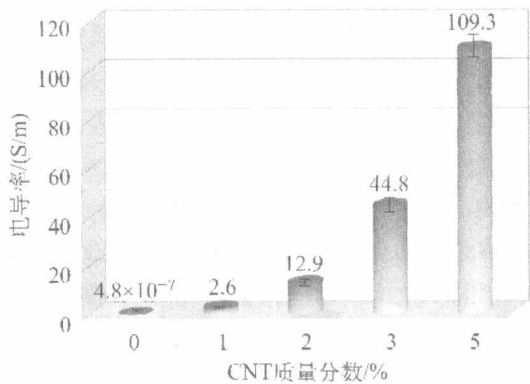


图 5 CNT/RP 橡胶导线电导率随 CNT 质量分数变化

从图 6 可以很直观地看出, 仅仅添加 5.0% 质量分数 CNT 的橡胶导线, 形成的导电回路中灯泡可正常发光, 这也说明我们得到的橡胶导线具有很好的导电性。CNT/RP 橡胶导线能在低 CNT 质量分数下获得高导电效果的重要原因在于这种独特“网格结构”导电网络的形成, 在这种结构中 CNT 在 RP 界面处的分布能明显提高 CNT 的利用率, 使更多的 CNT 参与到导电通路的形成过程中, 在橡胶导线中形成更加密实的连续导电网络。

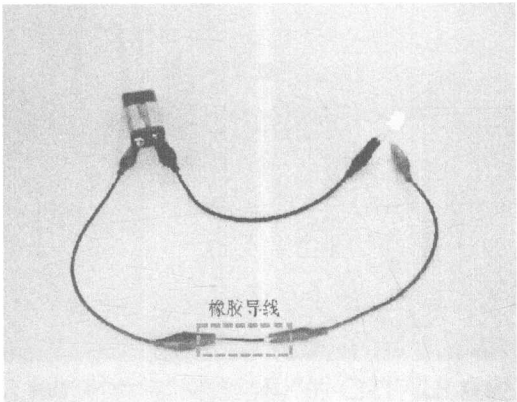


图 6 含质量分数 5.0% CNT 的橡胶导线接通导电回路使灯泡发亮

3.3 CNT/RP 橡胶导线与金属导线密度对比

众所周知,金属导线密度较大,给运输以及施工带来极大的不便,且应用在对导线密度要求苛刻的领域,如航空航天、微电子集成电路等领域有一定局限性。本文所述 CNT/RP 橡胶导线密度仅为 1.1 g/cm^3 ,远远低于常用金属导线密度(见图 7),CNT/RP 橡胶导线的密度仅为铜导线密度的 $1/8$ 。这种橡胶导线低密度特性有利于拓展其在轻质导线需求领域的应用。

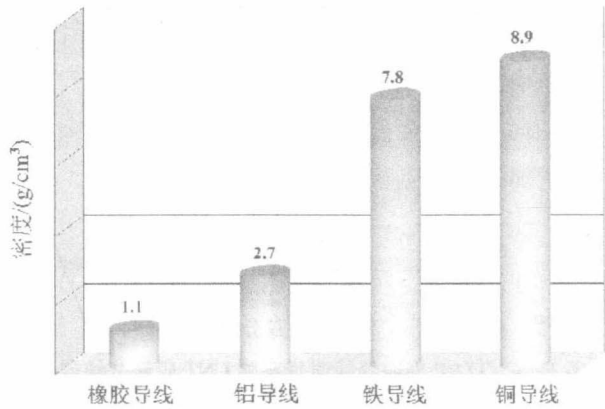


图 7 CNT 质量分数为 5.0%的橡胶导线与常用金属导线密度数据

3.4 CNT/RP 橡胶导线耐腐蚀性

金属导线在日常使用中容易受到腐蚀,其使用性能必然会受到影响,特别是在高酸碱度、高湿度等工矿环境下,影响更严重。我们对所制备的橡胶导线和金属导线(铝导线)进行了耐化学腐蚀实验(见图 8)。实验结果发现铝导线放入稀

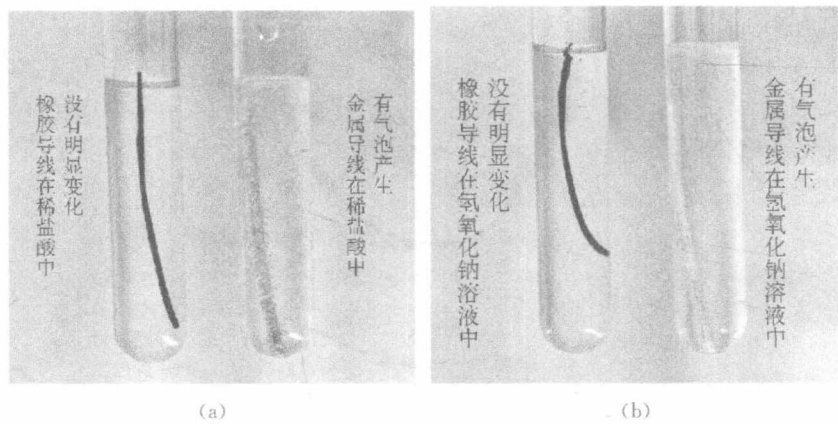


图 8 橡胶导线和金属导线放入稀盐酸(a)和氢氧化钠(b)溶液中变化情况