

材料新技术丛书

高分子材料导电和
抗静电技术及应用
The Technology Application of
the Conductive and
Antistatic Polymer Materials

赵择卿 陈小立 编著



中国纺织出版社

内摇容摇提摇要

本书重点阐述高分子材料导电和抗静电技术及应用,从大分子结构入手,简要论述导电和抗静电的机理。内容翔实,资料丰富,列举大量生产、生活中的实例,具有很高的实用性。

本书可供导电和抗静电材料设计、研究和生产部门的工程技术人员阅读和参考,也可作为高分子材料,特别是功能性高分子材料专业的教材和教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

高分子材料导电和抗静电技术及应用 陈择卿, 陈小立编著. —北京: 中国纺织出版社, 1999.12
(材料新技术丛书)

陈择卿原稿 陈择卿原稿 陈择卿原稿

I ①高…摇 II ①陈…摇 III ①陈…摇 IV ①高分子材料 ②导电性

②高分子材料 ③抗静电性摇 IV ①陈择卿

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 000000 号

策划编辑: 李东宁 摇 责任编辑: 孙瑶玲 摇 责任校对: 俞坚沁
责任设计: 何瑶建 摇 责任印制: 何瑶艳

中国纺织出版社出版发行

地址: 北京东直门内大街 26 号 摇 邮编: 100027

邮购电话: 010-67004444 摇 传真: 010-67004444

漂染: 010-67004444 摇 印刷: 010-67004444

耘原: 010-67004444 摇 精原: 010-67004444

三河市世纪兴源印刷有限公司印刷 摇 三河市永成装订厂装订

各地新华书店经销

1999 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/32 摇 印张: 1.5

字数: 2.5 千字 摇 印数: 1-1000 摇 定价: 1.50 元

陈择卿原稿 陈择卿原稿 陈择卿原稿 摇 陈择卿

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社市场营销部调换

前言

随着石油、煤炭的综合利用,石油化工及高分子合成技术的快速发展,导电和抗静电功能性新材料技术也有重大突破。电磁波和静电问题也越来越引起人们的广泛重视,已成为当代国防、轻重工业生产乃至日常生活中一项不可缺少的技术。导电和抗静电技术是一门新兴的边缘学科,既有基础理论的研究,又有实际应用的开发。随着国民经济的腾飞,包括导电和抗静电的功能高分子材料也随之飞速发展,以适应新技术发展的需求。

本书重点阐述高分子材料的导电、抗静电技术和应用,同时从大分子结构入手,简要论述导电和抗静电的机理。全书共分十章:第一章介绍了导电和抗静电高聚物的基本概念,载流子的种类、产生和迁移,导电高分子的种类和特性,静电的产生、灾害和应用。第二章从高聚物大分子结构入手,介绍了高分子材料的导电机理,均聚物和共聚物的导电和抗静电性能。第三章、第四章和第五章介绍了表面活性剂的抗静电机理,用作高分子材料外用和内用表面活性抗静电剂的选用原则,还包括化学纤维纺丝油剂,并列举了一些行之有效的实例。第六章介绍了多种导电性填充料和高分子混合料的制备,影响混合料导电性的因素和导电机理。第七章介绍高分子材料的其他抗静电方法,包

括镀金属层、表面导电覆盖层和表面改性的实施和应用。第八章、第九章介绍了导电和抗静电高分子材料的制备和应用,包括塑料、橡胶、薄膜、涂料、黏合剂、纤维及纳米材料的制备、导电机理及多种用途的实例。第十章介绍多种导电和抗静电高分子材料有关物理量的测量。为了提高本书的实用性,在编写过程中尽量避免繁复的理论推导和计算,力图用少量篇幅阐明基本原理,同时列举一些行之有效的实例。

在本书的编写过程中,赵择卿负责全书的编写和统稿工作;陈小立为本书提供了大量国内外文献资料,并参与部分章节的编写、参阅和修改工作。在编写过程中,东华大学国家染整工程中心的侯爱芹博士为我们提供了许多国内外文献资料,东华大学高分子材料学院的碳纤维专家潘鼎教授为本书碳纤维制备和应用一节进行了仔细参阅,并为我们提供了多篇(本)参考资料,此外,在编写过程中得到家人和亲朋好友的鼓励和帮助,在此对他们谨致衷心感谢。

本书可供导电和防静电材料设计、研究和生产部门的工程技术人员阅读和参考。还可供国防、石油开采和运输、煤矿及有关轻重工业的工程技术人员和操作人员阅读。也可作为高分子材料,特别是功能性高分子材料专业的教材和教学参考书。

由于资料和编者水平所限,书中难免有疏漏和缺点、错误,恳请广大读者批评、指正。

编著者

圆年 猿月

目 录

第一章 导电和抗静电高分子材料的基本概念	1
第一节 导电率和电阻率的定义	1
第二节 载流子的种类、产生和迁移	2
一、载流子的种类	2
二、载流子的产生	3
三、载流子的迁移	4
第三节 导电高分子材料的种类和特性	5
一、共轭结构高聚物	5
二、掺杂	6
三、电荷转移型复合物	7
四、可溶性导电高聚物	8
第四节 静电的产生和物理现象	9
一、力的作用	9
二、放电现象	10
三、静电感应现象	11
第五节 静电的灾害和利用	12
一、静电引起的灾害	12
二、静电的利用	13

目 录

高分子材料导电和抗静电技术及应用

第六节 高分子材料摩擦起电的序列及其影响因素	10
第七节 导电和抗静电高聚物的应用简介	11
一、导电高分子材料的应用简介	11
二、抗静电高分子材料的应用简介	12
 第二章 高聚物的结构与导电和抗静电性能	13
第一节 概述	13
第二节 高分子材料的导电机理	14
一、量子化学的近似处理	14
二、导电高聚物的能带理论	15
三、导电高聚物导电机理的发展概况	16
第三节 高分子材料的静电起电机理	17
一、高聚物静电的起电过程	17
二、高聚物的静电起电与导电机理	18
三、高分子材料上静电电荷的产生和泄漏	19
第四节 导电高聚物的理论基础	20
一、共轭高聚物	20
二、电荷转移型高聚物	21
三、有机一维导体	22
四、导电高分子复合材料	23
五、光电导高聚物	24
第五节 均聚物结构与静电性能的关系	25
一、均聚物结构与静电起电性能的关系	25
二、均聚物结构与抗静电性能的关系	26
第六节 共聚物和共混物的导电和抗静电性能	27
一、共聚和共混高聚物的导电性能	27

二、共聚物和共混物的静电性能	158
第三章 表面活性剂的抗静电机理	159
第一节 概述	159
一、表面活性剂的结构特征及分类	159
二、表面活性剂的化学结构及其抗静电性能	160
三、表面活性剂的亲水性和表面活性	160
四、表面活性剂抗静电性能与高聚物物理性能的关系	160
第二节 防止静电电荷产生的机理	160
第三节 外用抗静电剂的抗静电机理	160
一、离子型外用抗静电剂的抗静电机理	160
二、非离子型外用抗静电剂的抗静电机理	160
第四节 内用抗静电剂的抗静电机理	160
第四章 用作高分子材料外部抗静电剂的表面活性剂	161
第一节 外用抗静电剂的选用原则	161
第二节 外用阴离子抗静电剂	161
第三节 外用阳离子抗静电剂	161
一、类型和结构不同的外用阳离子表面活性剂的抗静电效果	161
二、影响外用阳离子抗静电剂的效果和耐久性的一些因素	161
第四节 外用两性抗静电剂	161
第五节 外用非离子抗静电剂	161

摇第六节摇外用抗静电表面活性剂的一些实例	園園
摇第七节摇化学纤维油剂	園源
一、涤纶 (聚对苯二甲酸乙二醇酯) (涤纶 生产中所 用油剂配方实例	園苑
二、锦纶 (聚酰胺纤维) (锦纶 生产中所用油剂配方 实例	園苑
三、丙纶 (聚丙烯纤维) (丙纶 生产中所用油剂配方 实例	園怨
四、腈纶 (聚丙烯腈) (腈纶 生产中所用油剂配方 实例	園圓
五、维纶 (聚乙烯醇缩甲醛纤维) (维纶 生产中所用 油剂配方实例	園圓
六、粘胶纤维生产中所用油剂实例	園源
七、化学纤维油剂的新进展	園圓

第五章摇用作高分子材料内部抗静电剂的表面

活性剂	園怨
摇第一节摇内用抗静电剂的选用原则	園怨
一、抗静电剂与高聚物的相容性	園怨
二、抗静电剂的分子量和添加量	園圓
三、抗静电剂与高聚物结构的关系	園圓
四、抗静电剂与其他添加剂的关系	園源
摇第二节摇内用阴离子表面活性剂	園圓
摇第三节摇内用阳离子表面活性剂	園源
摇第四节摇内用两性表面活性剂	園園
摇第五节摇内用非离子表面活性剂	園源

第六节 掺和表面活性剂工艺和高聚物加工工艺对塑料	
抗静电性能的影响	图 6-1
第七节 内用抗静电表面活性剂的一些实例	图 6-2
第八节 内用抗静电剂的发展概况	图 6-3
 第六章 导电性填充料和高分子混合料	图 6-4
第一节 概 述	图 6-5
第二节 导电性填充料对高分子混合料性能的影响	图 6-6
一、金属填充料对高分子混合料性能的影响	图 6-7
二、各种不同类型炭黑的结构与混合料导电性能的 关系	图 6-8
三、导电性填充料种类对高分子混合料性能的影响	图 6-9
第三节 高聚物结构对混合料导电性能的影响和提高	
导电性填充料效果的一些方法	图 6-10
第四节 共混复合型导电高分子和高分子材料用抗静电 母粒的材料	图 6-11
一、共混复合型导电高分子材料	图 6-12
二、高分子材料用抗静电母粒的制备	图 6-13
第五节 填充料掺和工艺和混合料加工工艺对导电性的 影响	图 6-14
一、填充料掺和工艺对混合料导电性的影响	图 6-15
二、加工工艺对混合料制品导电性的影响	图 6-16
第六节 使用条件对高分子混合料导电性的影响	图 6-17
第七节 高分子混合料中导电性填充料的导电机理	图 6-18
一、隧道效应传导电荷机理	图 6-19
二、导电性填充料颗粒直接接触导电机理	图 6-20

第七章 摇高分子材料的其他抗静电方法	猿猿
摇第一节 摇镀金属层法	猿猿
一、化学镀金属层法	猿圆
二、纤维和织物镀金属	猿园
摇第二节 摇表面导电层覆盖法	猿猿
一、塑料制品表面涂敷抗静电漆	猿猿
二、用化学反应法在制品表面形成导电覆盖层	猿苑
摇第三节 摇其他表面改性法	猿缘
一、表面化学改性法	猿缘
二、表面物理改性法	猿愿
摇第四节 摇高分子混合料中导电性填充料的发展概况	猿圆
一、碳纳米管 轱孕纤维的抗静电性能	猿圆
二、金属填充导电高分子材料的研究进展	猿源
三、封端型水系聚氨酯抗静电剂的合成及其作用机理	猿苑
第八章 摇导电与抗静电高分子材料的制备和应用	猿猿
摇第一节 摇概述	猿猿
摇第二节 摇导电和抗静电塑料	源圆
一、导电塑料的制备和应用	源圆
二、抗静电塑料的制备和应用	源苑
摇第三节 摇导电和抗静电高分子薄膜	源怨
一、导电高分子薄膜的制备和应用	源怨
二、透明导电高分子薄膜的制备和应用	源愿
三、抗静电高分子膜的制备和应用	源苑

摇第四节摇导电和抗静电橡胶	源远
一、概述	源远
二、导电硅橡胶的分类及发展状况	源愿
三、导电硅橡胶的开发	源园
四、导电硅橡胶的应用	源员
五、其他导电橡胶的开发和应用	缘猿
六、抗静电橡胶的制备和应用	缘愿
 第九章摇其他导电和抗静电材料的制备和应用	缘苑
摇第一节摇导电和抗静电涂料	缘苑
一、概述	缘苑
二、添加型导电涂料的组成	缘愿
三、导电性填充料对导电涂料导电性的影响	缘园
四、导电涂料干固后的导电机理	缘远
五、导电涂料的制备实例	缘源
六、导电涂料的应用	缘园
七、抗静电涂料的制备和应用	缘怨
摇第二节摇导电和抗静电黏合剂	远苑
一、导电性黏合剂的制备、分类和导电机理	远苑
二、抗静电黏合剂的制备和应用	远园
摇第三节摇导电与抗静电纤维的制备和应用	远远
一、概述	远远
二、导电纤维与织物的制备和应用	远愿
摇第四节摇复合导电与抗静电纤维的制备和应用	远园
一、结构型导电材料复合纤维的制备和应用	远员
二、导电材料与合成纤维材料复合纺丝型导电与	

抗静电纤维的制备和应用	远缘
三、纤维表面涂敷法制备导电纤维及其应用	远员
摇第五节摇纳米导电和抗静电纤维的制备和应用	远怨
一、概述	远怨
二、纳米导电纤维的制备和应用	苑员
三、纳米抗静电纤维的制备和应用	苑缘
 第十章摇导电和抗静电材料有关物理量的测量	苑园
摇第一节摇导电和抗静电塑料制品电阻率的测量	苑怨
摇第二节摇导电和抗静电橡胶制品一些物理量的测量	苑猿
一、导电和抗静电橡胶制品电阻率的测量	苑猿
二、导电橡胶压敏性能的测量	苑苑
三、导电橡胶热敏材料(发热元件)的应用和测量	苑员
摇第三节摇导电和抗静电纤维电性能的测量	苑源
摇第四节摇导电与抗静电织物和服装电性能的测量	苑怨
一、导电与抗静电织物电阻率的测量	苑怨
二、防静电工作服的有关标准和相关物理量的测量	苑苑
摇第五节摇导电高分子材料电磁波屏蔽性能和屏蔽效能的 测量	苑圆
摇第六节摇高分子吸波材料的种类和有关物理量的测量	苑愿
摇第七节摇有关静电的一些物理量的测量	苑远
一、静电电荷量的测量	苑苑
二、带电物体表面静电电位的测量	苑猿
三、材料电阻率的测量	苑圆
四、静电电荷衰减半衰期的测量	苑源
五、液体石油产品静电安全规程和有关测试方法	苑员

六、其他物理量和一些带电体静电性能的测量	五
----------------------------	---

参考文献	五
------------	---

第一章

导电和抗静电高分子材料的基本概念

第一节 导电率和电阻率的定义

若以通过电流之难易为尺度来对高分子材料进行分类,即可分为导体、半导体和绝缘体。为此必须首先确定量度高聚物导电特性的物理量。如图 1-1 所示,将待测材料磨光插在面积为 S 间距为 d 的两块平行电极板之间,当加上电压 U 时,一部分电流流经材料的体内(这部分电流以 I_v 表示),还有一部分电流从其表面流过(这部分电流以 I_s 表示)。总电流等于 I_v 和 I_s 之和。根据电阻定义可得出如下关系式:

$$\begin{aligned} \text{电阻 } R &= \frac{U}{I} & (1-1) \\ \text{体积电阻 } R_v &= \frac{U}{I_v} & (1-2) \\ \text{表面电阻 } R_s &= \frac{U}{I_s} & (1-3) \end{aligned}$$

式中 I ——流过材料的总电流。

导电材料的导电性可用电阻 R 的倒数电导 (G) 来表示:

$$G = \frac{1}{R}$$

G 的单位为西门子,用符号 S 来表示,它与电阻单位欧姆 (Ω) 的倒数 (Ω^{-1}) 等价。

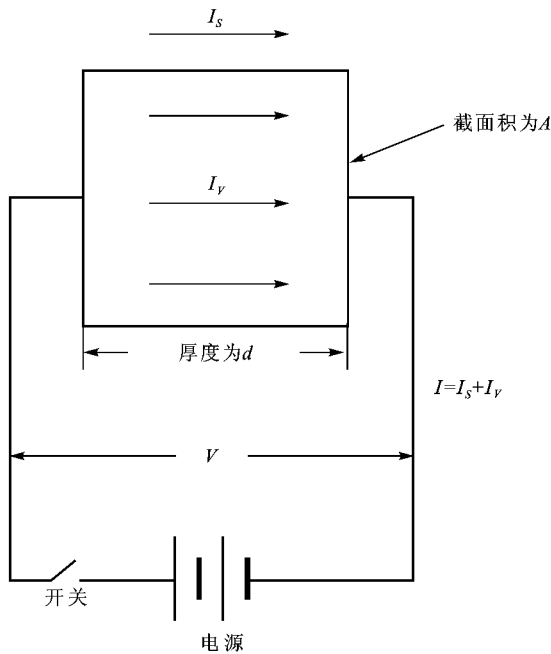


图 1-1-1 四端电流的测量法

这样,式(1-1-1)就可写成(1-1-2)为了排除图 1-1-1 电流测定时试样大小(长度和宽度)造成的影响,引入电流密度 j 的概念,同时将外加电压 U 换算成电场强度 E (长度除以宽度),则可得式(1-1-3):

$$j = \kappa E \quad (1-1-3)$$

式中 κ ——在“电场”的作用下电流密度的响应函数,在欧姆定律成立的范围内,它是物质的本征参数。

$$\kappa = \frac{j}{E} = \frac{I}{U} \cdot \frac{L}{A} \quad (1-1-4)$$

这样, κ 就是单位试样面积和单位厚度时的电导,所以将 κ 称为电导率或比电导,并将它作为电流通过被测材料难易的程度指标。对

于电解质水溶液及离子型表面活性剂溶液或某些水包油(燥黼的抗静电乳状液来说,在电场 耘的作用下,单位体积内有 灶个带有电荷 择的载流子(这里是离子或带电的表面活性剂基团或带电的液珠),灶为单位体积内离子或这些带电物的数目,以速度 增运动时的电流密度 允可表示为:

$$允越灶增 \quad (员原苑)$$

设 μ 为单位电场强度下离子或带电基团的迁移速率,或称迁移率,则 μ 越增耘,将其代入(员原苑)式,得:

$$允越灶\mu耘 \quad (员原苑)$$

将式(员原苑)与式(员原原)相比较,则电导率 κ 也可表达为:

$$\kappa 越灶\mu \quad (员原愿)$$

若溶液中有几种电解质(载流子)存在时,则:

$$\kappa 越 \sum_{蚤} 灶_{蚤}\mu_{蚤} \quad (员原怨)$$

通常把一些物质的导电率的常用对数的大小进行分类,如图 员原圆所示。大体上 遽 小于 原圆的物质称为绝缘体。原圆≤ 遽 ≤ 圆的物质称为半导体或近似抗静电材料。遽 ≥ 圆的物体称为导体。

除电导率外,材料的导电性或抗静电性更多的是用电阻率来表示。所以电导率和电阻率都是表征材料的导电性和抗静电性的重要参数。根据式(员原员)、式(员原圆)和式(员原猿),这些电阻值都与厚度 凿成正比、与截面积 粤成反比地增大。所以,比较材料的导电性能差异,最好采用与尺寸无关的物理量。因此,一般都采用对式中的 砸、砸_耘和 砸_灶分别乘以(孽黼,则得出的就是相对应的电阻率 ρ :

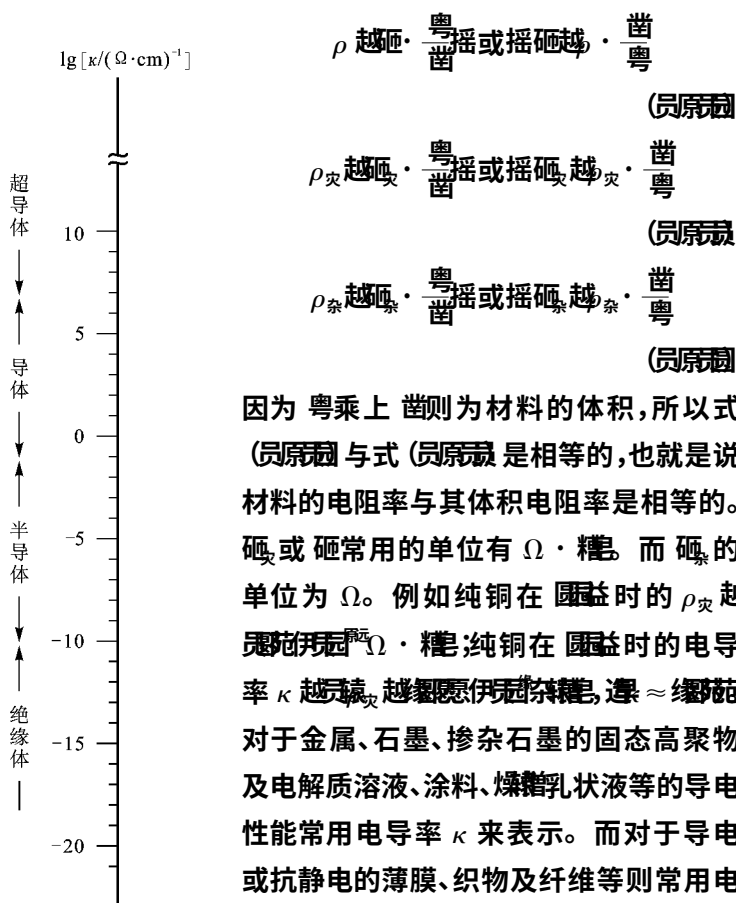


图 1 各种材料在室温时的对数电导率

因为 $\rho_{\text{灾}} \cdot V$ 则为材料的体积, 所以式 (1) 与式 (2) 是相等的, 也就是说材料的电阻率与其体积电阻率是相等的。 $\rho_{\text{灾}}$ 或 $\rho_{\text{杂}}$ 常用的单位有 $\Omega \cdot \text{cm}$ 。而 $\rho_{\text{灾}}$ 的单位为 Ω 。例如纯铜在 20℃ 时的 $\rho_{\text{灾}}$ 为 $1.7 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{cm}$; 纯铜在 20℃ 时的电导率 κ 为 $5.9 \times 10^7 \text{ S/cm}$ 。对于金属、石墨、掺杂石墨的固态高聚物及电解质溶液、涂料、乳液乳状液等的导电性能常用电导率 κ 来表示。而对于导电或抗静电的薄膜、织物及纤维等则常用电阻率 ρ 或 $\rho_{\text{杂}}$ 来表示。特别是对于薄膜、织物或纤维等由于接触、摩擦或感应等原因产生的静电都积聚在表面上, 这时就要用

表面电阻率 $\rho_{\text{杂}}$ 来表示, $\rho_{\text{杂}}$ 的单位为 Ω 。材料的体积电阻率 $\rho_{\text{灾}}$ 与表面电阻率 $\rho_{\text{杂}}$ 数值之间没有一定的关系, 但任何材料 $\rho_{\text{灾}}$ 总是大于 $\rho_{\text{杂}}$ 。凭经验将导电纱作经纱, 相隔距离为 10~15 cm 嵌入一根导电纱, 与其他用任何化学纤维纱所织成的抗静电布及硅橡胶的 $\rho_{\text{灾}}$ 和 $\rho_{\text{杂}}$ 约相