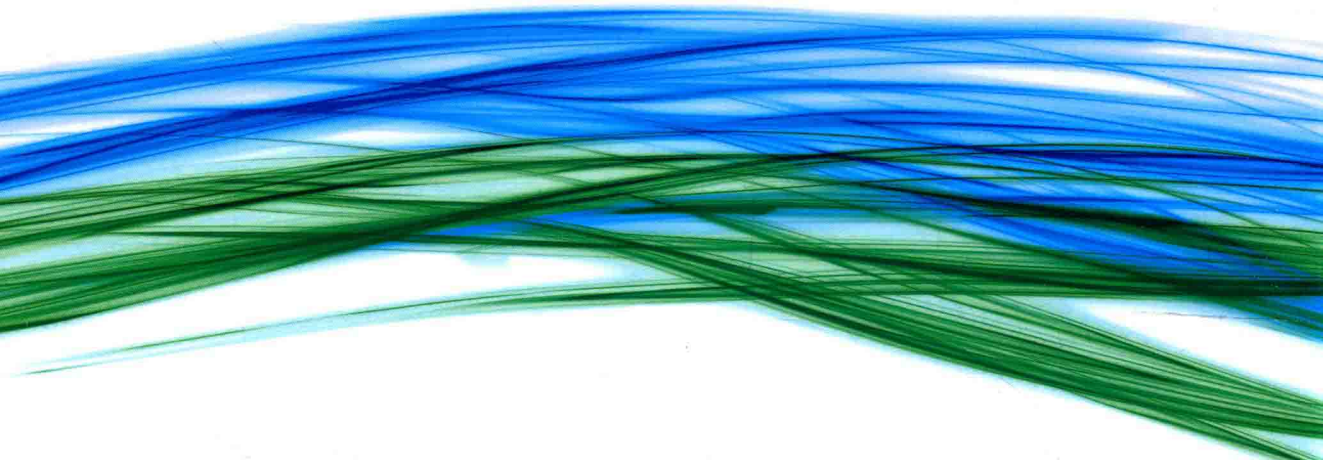


材料化学战略性新兴产业(支柱)产业人才培养丛书



绝缘高分子材料

Insulating Polymer Materials

张道洪 陈小随 王 晶 卢军彩 主编



化学工业出版社

材料化学战略性新兴产业（支柱）产业人才培养丛书

绝缘高分子材料

张道洪 陈小随 王 晶 卢军彩 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书为材料化学战略性新兴产业(支柱)产业人才培养丛书之一。全书共分为 11 章,分别是:绪论、不饱和聚酯树脂、聚酯(醇酸)树脂、酚醛树脂、环氧树脂、聚酰亚胺树脂、有机硅绝缘树脂、苯并噁嗪树脂、萘杂环树脂、绝缘薄膜材料、绝缘高分子材料的发展前景。本书以绝缘树脂为主线来阐述其在绝缘材料领域的应用,按高分子材料的类别进行分章介绍,每章均介绍该类树脂的合成原理、工艺路线和工艺流程,有利于科研人员掌握绝缘高分子材料的分子设计 and 应用。

本书可作为高等院校高分子材料和材料化学等相关专业学生的教材,也可供从事高分子材料功能研究及生产开发的相关行业的科技人员,以及关注绝缘材料发展的人士参考。

图书在版编目(CIP)数据

绝缘高分子材料/张道洪等主编. —北京:化学

工业出版社, 2015. 9

(材料化学战略性新兴产业(支柱)产业人才培养丛书)

ISBN 978-7-122-24442-0

I. ①绝… II. ①张… III. ①绝缘材料-高分子材料

IV. ①TM21②TB324

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 140684 号

责任编辑:宋林青 洪 强

文字编辑:李 玥

责任校对:吴 静

装帧设计:关 飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 13 $\frac{1}{2}$ 字数 330 千字 2015 年 10 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888 (传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 35.00 元

版权所有 违者必究

材料化学战略性新兴（支柱）产业人才培养丛书

编写委员会

主 任：张爱清

副主任：张道洪 张俊珩 刘书正

委 员（以姓氏笔画为序）：

马艺函 王 晶 王清国 井丰喜

尹文华 卢军彩 刘 聪 刘书正

刘治田 许 坤 孙 朗 李 琳

李 婷 李香丹 李廷成 杨海健

张俊珩 张爱清 张道洪 陈小随

邵永波 秦四勇 徐苏华 程 娟

谢 婵 谢光勇 谭井华

前言

在 2009 年湖北省政府印发《湖北省十大重点产业调整和振兴实施方案》(鄂政发[2009] 34 号)、2010 年湖北省委省政府印发《关于加快培育战略性新兴产业的若干意见》(鄂发[2010] 15 号)和教育部颁布《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020 年)》的背景下,2010 年 8 月 31 日,湖北省教育厅印发《关于实施湖北省普通高等学校战略性新兴产业(支柱)产业人才培养计划的通知》(鄂教高[2010] 18 号)。计划提出以服务湖北省经济社会发展、满足产业行业需求为目标,以提高人才培养质量为核心,支持各高校与相关行业携手,与有关企业联合,重点建设 100 个左右特色鲜明、优势明显、校企合作、产学研结合的战略新兴(支柱)产业和区域内重点产业人才培养基地,构建校企合作长效机制,加大相关产业高素质专门人才培养力度,提高水平、办出特色,每年为湖北省战略新兴(支柱)产业和区域内重点产业定向培养 5000 名左右的应用型、复合型、技能型人才,为产业发展提供人才支撑,促进高等教育更好地适应和服务于湖北经济建设和社会发展的需要。

材料化学作为湖北省战略新兴(支柱)产业人才培养专业,重点是面向战略性新兴产业和支柱产业,培养德、智、体全面发展,具备材料科学与工程的基础知识和材料化学专业知识,能在材料的合成改性、加工成型、高分子材料、无机材料、复合材料、特种涂料和绝缘材料等新材料领域以及新能源和新能源汽车等湖北省重点扶持的战略新兴产业领域从事科学研究、技术和产品开发、工艺和设备设计、材料选用、生产及经营管理等方面工作的工程应用型人才。

在此基础上,我们编写了材料化学专业战略新兴(支柱)产业人才培养丛书。本分册《绝缘高分子材料》以培养“湖北省战略新兴(支柱)产业人才”为目标,强调工程技术人才的培养。本书的编委都是在绝缘材料行业研究和工作多年的工程技术人员,他们掌握和了解目前工业上的绝缘材料先进技术和发展方向,有利于本科生及研究生对绝缘材料领域的认识。本书以绝缘树脂为主线来阐述其在绝缘材料领域的应用,有利于学生和科学技术人员掌握绝缘高分子材料的分子设计和应用,有效促进绝缘高分子材料的更新换代和电气工业的可持续性发展。本书根据绝缘材料用高分子材料的类别进行分类,各章首先介绍该类树脂及其合成原理以及研究现状,然后阐述这类树脂应用于绝缘材料的产品的工艺路线及其工艺流程。

本书由中南民族大学和相关风电绝缘材料公司专家编写,其中张道洪教授从事绝缘高分子材料研究十余年,2007~2014 年任苏州太湖电工新材料股份有限公司

(原吴江市太湖绝缘材料厂) 技术研发中心主任。编委由张爱清教授、张道洪教授、李琳副教授、陈小随博士、张俊珩博士、程娟博士、王晶、卢军彩、井丰喜、许坤、王清国组成。主编为张道洪、陈小随、王晶和卢军彩, 具体的编写工作如下: 第 1 章和第 7 章由永济新时速电机电器有限责任公司技术中心工程师王晶编写, 第 2 章由中南民族大学张道洪、苏州太湖电工新材料股份有限公司工程师井丰喜、上海新芮绝缘材料有限公司工程师王清国共同编写, 第 3 章由井丰喜编写, 第 4 章由海宁永大电气新材料有限公司工程师许坤编写, 第 5 章由中南民族大学的张道洪和陈小随共同编写, 第 6 章和第 10 章由中船重工 712 研究所副研究员卢军彩、张道洪编写, 第 8 章、第 9 章和第 11 章由陈小随编写。全书最后由陈小随和张道洪完善定稿。

感谢材料化学湖北省普通高等学校战略性新兴(支柱)产业人才培养计划项目和中南民族大学材料化学“专业综合改革试点”项目对本书的支持! 感谢本书编委会成员辛勤的工作和中南民族大学材料化学教研室全体成员对本书的建议和支持!

由于编者水平有限, 书中不当之处在所难免, 恳请读者批评指正。

编 者

2015 年 3 月

目 录

第1章 绪论

1

1.1 绝缘材料定义及分类	2
1.2 绝缘材料的主要性能	4
1.2.1 介电常数	5
1.2.2 绝缘电阻	5
1.2.3 介质损耗角正切值	7
1.2.4 击穿强度	7
1.2.5 电气绝缘用漆试验方法及标准	9
参考文献	10

第2章 不饱和聚酯树脂

11

2.1 不饱和聚酯树脂的制备工艺	12
2.1.1 不饱和聚酯树脂简介	12
2.1.2 不饱和聚酯树脂的发展现状	13
2.1.3 不饱和聚酯树脂的发展趋势	14
2.1.4 超支化不饱和聚酯树脂的进展与前景	15
2.1.5 不饱和聚酯树脂的合成	16
2.2 不饱和聚酯树脂绝缘材料应用实例	25
2.2.1 不饱和聚酯绝缘漆	25
2.2.2 不饱和聚酯拉挤(引拔)工艺	27
参考文献	29

第3章 聚酯(醇酸)树脂

32

3.1 概述	32
3.2 醇酸树脂的分类	33
3.3 醇酸树脂的合成原料	34
3.3.1 多元醇	34
3.3.2 多元酸与有机酸	34

3.3.3 油类(三脂肪酸甘油酯)	35
3.4 催化剂	37
3.5 醇酸树脂的反应机理	37
3.6 与醇酸树脂合成有关的主要化学反应	38
3.6.1 酯化反应	38
3.6.2 醇解反应	38
3.6.3 醚化反应	39
3.6.4 不饱和脂肪酸加成反应	39
3.6.5 缩聚反应	40
3.7 醇酸树脂的制备方法	40
3.7.1 脂肪酸法制备醇酸树脂	40
3.7.2 醇解法制备醇酸树脂	41
3.8 醇酸树脂的改性	43
3.8.1 松香改性醇酸树脂	44
3.8.2 苯甲酸改性醇酸树脂	44
3.8.3 酚醛树脂改性醇酸树脂	44
3.8.4 无油醇酸树脂	45
3.8.5 水性醇酸树脂	46
3.8.6 苯乙烯改性醇酸树脂	47
3.8.7 丙烯酸(酯)改性醇酸树脂	49
3.8.8 有机硅改性醇酸树脂	49
3.8.9 异氰酸酯改性醇酸树脂	50
3.9 醇酸树脂固化剂	51
3.10 醇酸树脂的应用	52
参考文献	53

第4章 酚醛树脂

55

4.1 概述	55
4.2 制造酚醛树脂的常用原材料	56
4.3 酚醛树脂合成的原理及工艺	57
4.3.1 酚醛树脂的合成原理	57
4.3.2 酚醛树脂合成的影响因素	58
4.4 酚醛树脂的用途	59
4.5 酚醛树脂在层压制品中的应用	59
4.5.1 酚醛层压制品的组成	60
4.5.2 酚醛层压制品的性能及用途	60
4.5.3 酚醛层压材料生产工艺流程	62
4.5.4 酚醛层压板压制工艺及流程	64
参考文献	65

5.1 环氧树脂的定义、分类、特性指标及制备工艺	68
5.1.1 环氧树脂的定义和分类	68
5.1.2 环氧树脂的特性指标	69
5.1.3 环氧树脂的制备工艺	70
5.2 应用实例	90
5.2.1 环氧树脂无溶剂漆概述	90
5.2.2 环氧树脂电气绝缘生产工艺	91
5.2.3 环氧酸酐无溶剂绝缘漆应用实例	93
参考文献	96

6.1 聚酰亚胺树脂的制备工艺	99
6.1.1 聚酰亚胺树脂在绝缘材料领域的应用	99
6.1.2 线型聚酰亚胺树脂的种类及制备	100
6.1.3 超支化聚酰亚胺的种类及制备	107
6.2 应用实例(聚酰亚胺浸渍漆)	112
6.2.1 均苯型聚酰亚胺漆	113
6.2.2 双马来酰亚胺漆	113
参考文献	117

7.1 前言	119
7.2 有机硅树脂的制备	119
7.2.1 缩合型硅树脂的制备	120
7.2.2 过氧化物固化型硅树脂的制备	124
7.2.3 铂催化加成型硅树脂的制备	124
7.3 改性硅树脂的制备工艺	125
7.3.1 有机硅改性醇酸树脂的制备	125
7.3.2 有机硅改性聚酯树脂的制备	126
7.3.3 环氧树脂改性有机硅树脂	128
7.4 应用实例	129
7.4.1 有机硅绝缘漆	130
7.4.2 有机硅涂料	134
7.4.3 有机硅胶黏剂	135
7.4.4 有机硅塑料	136

参考文献	136
------------	-----

第8章 苯并噁嗪树脂 138

8.1 苯并噁嗪树脂的制备	138
8.1.1 苯并噁嗪树脂的发展简介	138
8.1.2 苯并噁嗪树脂的制备工艺	139
8.1.3 苯并噁嗪树脂的种类	141
8.1.4 苯并噁嗪树脂的改性	144
8.1.5 苯并噁嗪树脂的性能特征	145
8.1.6 苯并噁嗪树脂的应用开发	145
8.2 应用实例	146
8.2.1 树脂传递模塑成型工艺(RTM)	146
8.2.2 RTM成型用高性能苯并噁嗪树脂的应用实例	148
参考文献	152

第9章 萘杂环树脂 155

9.1 萘杂环树脂及其衍生物的制备工艺	155
9.1.1 二氮杂萘酮及其衍生物的制备	155
9.1.2 含二氮杂萘酮结构聚芳醚的制备	158
9.1.3 含二氮杂萘酮结构聚芳酰胺的制备	164
9.1.4 含二氮杂萘酮结构聚芳酯的制备	166
9.1.5 含二氮杂萘酮结构聚苯咪唑的制备	166
9.2 应用实例	167
9.2.1 可溶性聚芳醚腈酮耐高温绝缘漆	167
9.2.2 聚醚砜酮耐高温不粘涂料	169
参考文献	171

第10章 绝缘薄膜材料 173

10.1 聚酯薄膜	173
10.1.1 聚酯薄膜生产工艺	173
10.1.2 BOPET 原理探讨	175
10.1.3 取向	177
10.1.4 BOPET 的生产	178
10.2 聚酰亚胺薄膜	184
10.2.1 聚酰亚胺薄膜发展概况	184
10.2.2 合成工艺过程	185
10.2.3 生产工艺及设备	186

10.2.4	性能及应用	189
10.3	云母带	191
10.3.1	概况	191
10.3.2	云母带材料组成	192
10.3.3	云母带的制造	193
	参考文献	193

第11章 绝缘高分子材料的发展前景 195

11.1	绝缘高分子材料的性能要求	195
11.1.1	介电性能	195
11.1.2	耐潮湿性能	196
11.1.3	耐热性能	196
11.1.4	阻燃性能	196
11.1.5	抗老化和抗压性能	197
11.2	绝缘高分子材料的发展前景	197
11.2.1	耐高压绝缘高分子材料	198
11.2.2	耐电晕绝缘高分子材料	198
11.2.3	耐漏电起痕绝缘高分子材料	199
11.2.4	高耐热绝缘高分子材料	200
11.2.5	高导热绝缘高分子材料	201
11.2.6	阻燃绝缘高分子材料	202
11.2.7	纳米改性绝缘高分子材料	203
11.2.8	环保型绝缘高分子材料	203
	参考文献	204

第1章

绪 论

电气设备或产品一般包括导体、磁路、绝缘和机械结构等部分，而其中绝缘部分常属于最薄弱环节，对电气（电子）设备的使用寿命和运行可靠性具有决定性作用。统计表明，电力系统的停电事故中，50%~80%是由绝缘故障所引起的。发电机线圈绝缘的老化和击穿、变压器线圈匝间绝缘在过电压下的击穿、线路绝缘子在污秽情况下的闪络等，都是电力系统中造成停电事故的最常见原因。提高电气绝缘的可靠性是电气设备或产品制造和使用两方面共同的重要任务，同时绝缘材料的制备和选用又是保证可靠性的基础。

目前，我国绝缘材料产品中普通材料总体供大于求，可应用于发电设备、输变电设备、牵引机车、电机、电器、电子、家电、通信和新能源（风能、太阳能和核能）等多个行业。但在高技术产品领域，产品结构、技术水平、质量控制、企业设备改造技术及技术人才等方面与国外还存在较大差距。我国电力电子及电气设备中的许多关键部件通过引进国外的先进技术，不断国产化。随着我国电力工业向高电压大容量及远距离输送等方面的发展，对电气绝缘材料的质量及可靠性提出了越来越多的要求，研究和各种性能优异的绝缘材料是目前电气绝缘材料发展的普遍趋势。机电工业以及新能源自身技术的发展，对特种功能绝缘材料的需求日益突出，亟须更加稳定安全、无环境污染、功能完善的绝缘材料。因此绝缘材料的耐高压、耐热绝缘、耐冲击、环保绝缘、复合绝缘、耐腐蚀、耐水、耐油、耐深冷、耐辐照及阻燃性是今后的发展方向。

近年来，新型绝缘材料的大量出现，显著促进了绝缘结构的发展，如合成有机材料中的各种塑料制品、高温材料和高温电磁线，人造无机材料中的特种电瓷、钢化玻璃和玻璃纤维、粉云母、合成云母和无机薄膜等，液体介质中的合成液体和气体介质中的电负性气体等。电力电容器采用聚丙烯薄膜浸渍合成液体，其体积比老式油浸渍绝缘的同容量电容器缩小2/3。由于聚酯和环氧树脂的广泛应用，电工中应用最广的中小型电机的耐热温度从老式绝缘的105℃上升至155℃和180℃，使同功率的电机体积和质量分别减小、减轻了1/3以上。聚酰亚胺、聚四氟乙烯及有机硅等材料的广泛应用，使电机的耐热等级达到250℃。此外，新材料的应用使绝缘结构形式出现了许多变革。

绝缘结构制造工艺是结构设计性能的要求和产品质量的基本保证。只有严格的工艺过程，才能保证产品的性能和质量；只有先进的工艺，才能适应绝缘结构的变革。超高压变压器的高真空度干燥浸渍、电机绝缘无溶剂漆的真空压力浸渍或整体浸渍，均大大消除了绝缘

中的气氛，提高了介质损耗等绝缘性能和产品质量。

1.1 绝缘材料定义及分类

那么绝缘材料的定义是什么呢？国家标准 GB 2900.5—2013 将绝缘材料描述为：“用来使器件在电气上绝缘的材料。”电工用绝缘材料又称为电介质，在直流电压的作用下，只有极微小的电流通过，其体积电阻率（或称为体积电阻系数）大于 $10^9 \Omega \cdot \text{cm}$ 。电气设备或产品中的绝缘材料或电介质的根本作用，除电容器有储能作用外，其他绝大多数只是防止电流向不希望的方向流动，以及对不同电位的导体起机械固定或隔离作用。

应用在电气工程中的绝缘材料种类繁多，按其物理状态可分为气体绝缘材料、液体绝缘材料和固体绝缘材料；按其成分可分为无机绝缘材料、有机绝缘材料和混合绝缘材料；除此之外，还可以按照绝缘材料耐热性及产品形态进行分类。常见分类方法有以下几种。

(1) 按状态分类

气态：如空气、二氧化碳、六氟化硫、二氯二氟甲烷（即氟利昂-12）等。

液态：如变压器油、电缆油、电容器油。

固态：是电力工业中应用较多的一种绝缘材料，在电气设备中起着关键作用，可分为有机、无机两类。有机固体绝缘材料包括绝缘漆、绝缘胶、绝缘纸、绝缘纤维制品、塑料、橡胶、漆布漆管及绝缘浸渍纤维制品、电工用薄膜、复合制品和胶带、电工用层压制品等。无机固体绝缘材料主要有云母、玻璃、石棉、氧化膜、陶瓷及其制品。

(2) 按成分分类

无机绝缘材料：云母、瓷器、石棉、大理石、玻璃、硫黄等。用于电机、电器的绕组绝缘，开关底板和绝缘子等。在实际应用中，云母被制成各种制品，包括云母带、云母板、云母箔、云母环和云母纸等，并在电气设备中得到广泛的应用，尤其在大电机主绝缘中起关键作用。

有机绝缘材料：橡胶、树脂、虫胶、棉纱纸、麻、蚕丝、人造丝等。用于制造绝缘漆、绕组导线的外层绝缘等。橡胶分为天然橡胶和合成橡胶，合成橡胶包括氯丁橡胶、丁基橡胶、乙丙橡胶、丁苯橡胶、NBR/PVC 共混物等，主要用于电线电缆的绝缘和保护。此外，电气绝缘材料的组成中大多含有纤维材料，国内外已将聚丙烯纸和聚苯醚纸用于 500kV 超高压电缆中取代天然纤维纸。芳香聚酰胺纸具有好的耐热性，用于 155 级和 180 级电动机槽绝缘。

混合绝缘材料：由两种绝缘材料进行加工成型的绝缘材料，用于电器的底座、外壳等。

(3) 按耐热性分类（表 1-1）

表 1-1 绝缘材料耐热等级

相对耐热指数(RTE)	耐热等级	以前表达方法
<90	70	—
90~105	90	Y
105~120	105	A
120~130	120	E

相对耐热指数(RTE)	耐热等级	以前表达方法
130~155	130	B
155~180	155	F
180~200	180	H
200~220	200	—
220~250	220	—
>250	250	—

(4) 按产品形态分类

JB/T 2197—1996 标准中, 将电气绝缘材料产品按形态结构、组成或生产工艺分为八大类, 大类代号应符合表 1-2 规定, 用一位阿拉伯数字来表示, 大类代号在产品型号中为型号的第一位数字。各大类电气绝缘材料产品按应用范围、应用工艺特征或组成划分小类, 用一位阿拉伯数字代表。小类代号在产品型号中为型号的第二位数字。表 1-2 中的空号留供今后新型材料使用。

表 1-2 电气绝缘材料产品的代号

大类 代号	大类 名称	小类 代号	小类名称	大类 代号	大类 名称	小类 代号	小类名称
1	漆、 可聚 合树 脂和 胶类	0	有溶剂漆	2	树脂 浸渍 纤维 制品 类	0	棉纤维漆布
		1	无溶剂可聚合树脂			1	—
		2	覆盖漆、防晕漆、半导体漆			2	漆绸
		3	硬质覆盖漆、瓷漆			3	合成纤维漆布、上胶布
		4	胶黏漆、树脂			4	玻璃纤维漆布、上胶布
		5	熔覆粉末			5	混织纤维漆布、上胶布
		6	硅钢片漆			6	防晕漆布、防晕带
		7	漆包线漆、丝包线漆			7	漆管
		8	灌封胶、包封胶、浇注树脂、胶泥、腻子			8	树脂浸渍无纬绑扎带
		9	—			9	树脂浸渍适形材料
3	层压 制品、 卷绕 制品、 真空 压力 浸胶 制品 和引 拔制 品类	0	有机底材层压板	4	模塑 料类	0	木粉填料为主的模塑料
		1	真空压力浸胶制品			1	其他有机填料为主的模塑料
		2	无机底材层压板			2	石棉填料为主的模塑料
		3	防晕板及导磁层压板			3	玻璃纤维填料为主的模塑料
		4	—			4	云母填料为主的模塑料
		5	有机底材层压管			5	其他有机填料为主的模塑料
		6	无机底材层压管			6	无填料塑料
		7	有机底材层压棒			7	—
		8	无机底材层压棒			8	—
		9	引拔制品			9	—

大类 代号	大类 名称	小类 代号	小类名称	大类 代号	大类 名称	小类 代号	小类名称
5	云母 制品	0	云母纸	6	薄膜 胶带 和柔 软复 合材 料类	0	薄膜
		1	柔软云母板			1	薄膜上胶带
		2	塑性云母板			2	薄膜胶带
		3	—			3	织物胶带
		4	云母带			4	树脂浸渍柔软复合材料
		5	换向器云母板			5	薄膜绝缘纸柔软复合材料、 薄膜漆布柔软复合材料
		6	电热设备用云母板			6	薄膜合成纤维纸柔软复合材料、薄 膜合成纤维非织布柔软复合材料
		7	补垫云母板			7	多种材质柔软复合材料
		8	云母箔			8	—
		9	云母管			9	—
7	纤维 制品 类	0	非织布	8	绝缘 液体 类	0	合成芳香绝缘液体
		1	合成纤维纸			1	有机硅绝缘液体
		2	绝缘纸			2	—
		3	绝缘纸板			3	—
		4	玻璃纤维制品			4	—
		5	纤维毡			5	—
		6	—			6	—
		7	—			7	—
		8	—			8	—
		9	—			9	—

对于表 1-2 所列第 5 大类中第 0 小类（云母纸）及第 6 小类（电热设备用云母板）、第 7 大类中的第 2 小类（绝缘纸）及第 3 小类（绝缘纸板）、第 8 大类等产品允许不按温度指数进行分类。其余产品应按温度指数分类，温度指数不低于 105 代号为 1，温度指数不低于 200 代号为 7，依次排列。

1.2 绝缘材料的主要性能

随着电工技术的发展，电气设备容量和电压等级的不断提高，工作的环境条件日益向多领域扩展，不但要求绝缘材料承受电、热和各种应力的苛刻考验，而且还要根据需要有能耐受不同的外界因素（如高温、深冷、空间、海洋、高能辐射等）作用的能力，因此要求绝缘材料品种不断发展，以满足不同条件的需要。

电介质一般被用在两个不同的方面：用作电气回路元件的支撑，并且使元件对地绝缘及元件之间相互绝缘；其次是用作电容器介质。通常所指的绝缘材料介电性能主要包括介电常数、绝缘电阻、电容、介质损耗因数、电击穿强度等。它们用来表明电介质在施加电压下所发生的

性能变化和绝缘的质量状况。例如：当介电常数大时，说明电介质的极化较强；极化时有能量损失，则介质损耗角偏大；当有较大的泄漏电流时，电介质的体积电阻或表面电阻就不高。

影响介电性能的因素包括频率、温度、湿度和电气强度等。只有少数材料如石英材料、聚苯乙烯或聚乙烯在很宽的频率范围内它们的 ϵ_r 和 $\tan\delta$ 几乎是恒定的，且被用作工程电介质材料，而一般的电介质材料必须在所使用的频率下测量其介质损耗因数和介电常数。介电常数和介质损耗因数的变化是由介质极化和电导而导致的，最重要的变化是极性分子引起的偶极子极化和材料的不均匀性导致的界面极化；损耗因数在一个频率下可以出现一个最大值，这个频率值与电介质材料的温度有关。介质损耗因数和电容率的温度系数可以是正的或负的，这取决于测量温度下介质损耗因数最大值的位置；极化的程度随水分的吸收量或电介质材料表面水膜的形成而增加，其结果使电容率、介质损耗因数和直流电导率增大。因此试验前和试验时对环境湿度进行控制是必不可少的。湿度的显著影响常常发生在 1MHz 以下及微波频率范围内；存在界面极化时，自由离子的数目随电场强度增大而增加，其损耗因数最大值的大小和位置也随此而变化。在较高的频率下，只要电介质中不出现局部放电，电容率和介质损耗因数与电场强度无关。下面对表示介电性能的一些常用指标及其含义进行分类介绍。

1.2.1 介电常数

介电常数就是在一个电容器的电极间用某种电介质填充时，其电容量 C 与该电容器的电极间为真空时的电容量 C_0 之比，即介电常数 $\epsilon = C/C_0$ 。 ϵ 总是大于 1，这是由电介质的极化造成的。极化就是在外电场的作用下，电介质中束缚电荷发生可逆性位移的现象。

介电常数的大小随着电场频率的升高而降低，随着环境温度的升高而升高，在某一温度下会出现峰值，温度再升高，介电常数逐渐降低。绝缘材料受潮后，因为水的 ϵ 很大，水又会增加夹层极化，因此吸湿后 ϵ 增大。利用介电常数对温度及频率变化的特性，结合使用经验，可以判断电气设备的受潮情况，以决定是否需要干燥。此外，在高电压下使用的绝缘材料，如不密实、有空气隙时，往往容易被电击穿。这是由于气体的介电常数小，固体材料的介电常数大，外加电压多集中在气隙上，并在气隙处发生电离，以致整个绝缘系统遭到破坏。

1.2.2 绝缘电阻

在绝缘材料内部，总有一些分子间联系较弱的带电质点存在，当对绝缘材料施加一定的电流、电压后，这些带电质点作定向运动形成微弱的电流，电流随着时间的延长而迅速减小到一个稳定值。绝缘电阻是加在与试样相接触的两电极之间的直流电压与通过两电极的总电流之商。在测量绝缘电阻时，一般都是在加上电压 1min 后测取读数。

影响绝缘电阻的因素有温度、湿度、杂质。随着温度的升高，绝缘电阻呈指数式降低。在绝缘材料的标准中大都规定了绝缘电阻（包括常态、高温和受潮后）的指标。这是因为温度升高时，分子的热运动加剧，分子的平均动能增大，使分子达到活化能的概率增大，离子容易迁移，所以绝缘电阻急剧降低。绝缘材料吸潮以后，水分的侵入使电介质增加了导电离子，水又能促进杂质及极性分子的离解，因此绝缘电阻随湿度的增大而下降。吸附在绝缘材料表面的水分，对其表面电阻的影响很灵敏，特别是极性材料等吸水物质对水的吸附力大于水分子的内聚力，容易在表面形成连续的水层而降低表面电阻。绝缘电阻的大小受绝缘材料中杂质含量的影响也很灵敏，在绝缘材料的原材料中大都存在杂质，在制造中又会引进一些杂质，这些杂质在绝缘材料内部直接增加了导电离子，使绝缘电阻降低。

绝缘电阻取决于试样的表面电阻和体积电阻。体积电阻率的测量常被用于检查绝缘材料生产是否始终如一,或检测影响材料质量的导电杂质。体积电阻是指在试样两相对表面上放置的两电极间所加直流电压与流过这两个电极之间的稳态电流之商,不包括沿试样表面的电流,在两电极上可能形成的极化忽略不计。对于体积电阻率小于 $10^{10} \Omega \cdot \text{m}$ 的材料,其稳定状态通常在 1min 内达到,因此一般在电化 1min 之后测定。体积电阻率是在绝缘材料里面的直流电场强度和稳态电流密度之商,即单位体积内的体积电阻,SI 单位是 $\Omega \cdot \text{m}$ 。

表面电阻是指在试样表面上的两电极间所加电压与在规定的电化时间里流过两电极间的电流之商,在两电极上可能形成的极化忽略不计。当表面电阻较高时,常以不规则方式变化,且通常非常依赖于电化时间。因此测量通常规定电化时间为 1min。表面电阻率是绝缘材料表面层里的直流电场强度与线电流密度之商,即单位面积内的表面电阻。面积的大小不重要。SI 单位是 Ω 。表面电导测试中由于或多或少的体积电导会被包括其中,因此不能精确而只能近似地测量表面电阻或表面电导。测得的值主要反映被测试样表面污染的特性,因此表面电阻率不是一个真正意义的材料特性,而是材料表面含有污染物质时与材料特性有关的一个参数。某些材料如层压材料在表面层和内部可能有不同的电阻率,因此测量清洁的表面电阻是有意义的,同时要记录清洁过程中溶剂或其他因素对表面特征可能产生的影响。

试验中影响固体体积电阻和表面电阻的因素有:施加电压的大小和时间;试样处理和测试过程中周围大气条件和试验的温度、湿度等。测量体积电阻率和表面电阻率的试验方法和标准有:GB/T 1410—2006/IEC 60093:1980《固体绝缘材料体积电阻率和表面电阻率试验方法》、GB/T 10064—2006《测定固体绝缘材料绝缘电阻的试验方法》(IEC 60167:1964, IDT)、GB/T 10580—2003《固体绝缘材料在试验前和试验时采用的标准条件》(IEC 60212:1971, IDT)。

测量高电阻常用的方法是直接法或比较法。直接法是测量加在试样上的直流电压和流过它的电流(伏安法)而求得未知电阻。比较法是确定电桥线路中试样未知电阻与电阻器已知电阻之间的比值,或是在固定电压下比较通过两种电阻的电流。对于不大于 $10^{11} \Omega$ 的电阻,可以用检流计采用伏特计或安培计来测定体积电阻率。对于较高的电阻,推荐使用直流放大器或静电计。现已有测量高电阻的一些专门的线路和仪器。测定体积电阻率时试样的形状不限,只要能允许使用第三电极来抵消表面效应和体积效应引起的误差即可。

体积电阻率计算公式为:

$$\rho_v = R_x A / h$$

式中, ρ_v 为体积电阻率, $\Omega \cdot \text{m}$ 或 $\Omega \cdot \text{cm}$; R_x 为体积电阻, Ω ; A 为被保护电极的有效面积, m^2 或 cm^2 ; h 为试样的平均厚度, m 或 cm 。

对于某些具有高电阻率的材料,电化以前的短路电流 I_0 与电化期间的稳定电流 I_s 相比,不能忽略不计。这种情况下按下式确定体积电阻:

$$R_x = U_x / (I_s \pm I_0)$$

式中, R_x 为体积电阻, Ω ; U_x 为施加电压, V ; I_s 为电化期间的稳态电流, A , 在电化期间如果电流是变化的,则为 1min、10min 和 100min 时的值; I_0 为电化前的短路电流, A 。当 I_s 和 I_0 方向相同时使用负号,反之使用正号。

表面电阻率计算:

$$\rho_s = R_x P / g$$

式中, ρ_s 为表面电阻率, Ω ; R_x 为表面电阻, Ω ; P 为特定使用电极装置中被保护电极的有效周长, m ; g 为两电极之间的距离, m 。