



普通高等教育创新型人才培养规划教材

高分子材料与工程专业实验

GAOFENZI CAILIAO YU
GONGCHENG ZHUANYE SHIYAN

主 编 周建萍

副主编 梁红波 范红青



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



等教育创新型人才培养规划教材

高分子材料与 工程专业实验

主 编 周建萍
副主编 梁红波 范红青

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书内容涵盖了高分子材料基础实验和高分子材料综合实验。前者主要包括高分子化学、高分子物理、聚合物研究方法、聚合物加工四门课程的基础实验;后者为结合高分子材料发展开设的特色综合实验,包括功能高分子材料、环保涂料、高分子寿命评估以及橡塑配方设计等。

本书可作为大学本科高分子材料与工程、复合材料与工程等专业的实验教材,亦可作为其他材料类、化学类专业的实验参考书。

图书在版编目(CIP)数据

高分子材料与工程专业实验 / 周建萍主编. -- 北京 :
北京航空航天大学出版社, 2018. 9

ISBN 978-7-5124-2806-5

I. ①高… II. ①周… III. ①高分子材料—实验—高等学校—教材 IV. ①TB324.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 194998 号

版权所有,侵权必究。

高分子材料与工程专业实验

主 编 周建萍

副主编 梁红波 范红青

责任编辑 杨 昕

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱: goodtextbook@126.com 邮购电话:(010)82316936

艺堂印刷(天津)有限公司印装 各地书店经销

*

开本: 710×1 000 1/16 印张: 10.75 字数: 229 千字

2018 年 10 月第 1 版 2018 年 10 月第 1 次印刷 印数: 2 000 册

ISBN 978-7-5124-2806-5 定价: 28.00 元

若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题,请与本社发行部联系调换。联系电话:(010)82317024

前 言

高分子学科的建立始于 20 世纪 20 年代,到 20 世纪 50 年代逐渐完善,之后高分子材料迎来了迅猛发展,已经广泛应用于国防、交通、建筑、电子等众多产业领域,成为科学研究、经济建设中不可或缺的重要材料之一。目前,高分子材料形成了塑料、橡胶、纤维、聚合物基复合材料、涂料、胶粘剂和功能高分子等众多庞大的工业分支领域,随着我国经济转型和环保监控的强化,对实践能力强和具有创新精神的高分子材料专业人才的需求日益旺盛。

本书是南昌航空大学高分子材料与工程专业在近 20 年的专业建设与人才培养过程中的经验积累,从最初的基础课程实验开始,逐渐引入了高分子材料领域最新科技和产业发展需要的功能高分子材料、环保涂料、高分子寿命评估以及橡塑配方设计等综合性实验项目,后来又结合我校聚合物基复合材料专业特色,引入了与复合材料相关的综合实验项目。

本书共分为六个部分:第Ⅰ部分为高分子材料的基本性能及其表征方法简介;第Ⅱ部分为高分子化学实验,主要包括本体聚合、悬浮聚合、乳液聚合以及缩合聚合等;第Ⅲ部分为高分子物理实验,主要包括粘度法测定相对分子质量、玻璃化转变温度的测定,溶液、结晶形态以及流变性能的研究方法等;第Ⅳ部分为聚合物研究方法实验,主要包括紫外光谱、红外光谱、热重分析和差示扫描量热分析等;第Ⅴ部分为聚合物加工工程实验,主要包括塑料的挤出成型、注塑成型、浇注成型及性能测试实验、橡胶的成型及性能测试、复合材料的手糊成型等;第Ⅵ部分为高分子材料综合实验,主要包括塑料的共混改性实验设计、热熔胶的粘接性能、刺激响应性聚合物的合成及表面浸润性研究、热塑性塑料薄膜的表面处理及其表面性能的表征、水性涂料的研制、复合材料的制备及光固化修补、特种橡胶的硫化成型及其耐老化性能实验等。

本书由南昌航空大学多名长期从事实验教学、教研的教师编写,具体分工如下:第Ⅰ部分由周建萍老师编写,第Ⅱ部分由黄圣梅老师、周建萍



老师编写,第Ⅲ部分由梁红波老师编写,第Ⅳ部分由邢跃鹏老师编写,第Ⅴ部分由王云英老师编写,第Ⅵ部分由周建萍老师、范红青老师编写。

本书的出版获得了南昌航空大学教材建设基金的资助。此外作者在编写过程中还参阅了很多相关的专业资料,在此向这些专业资料的作者及参与本书编写出版的人员一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏和不足,敬请广大师生和读者批评指正!

编 者

2018年7月于南昌航空大学

目 录

I	高分子材料的基本性能及其表征方法简介	1
1.1	高分子材料的力学性能	1
1.2	高分子材料的热性能	2
1.3	高分子材料的电性能	4
1.4	高分子材料的光学性能	6
1.5	高分子材料的磁性能	8
1.6	高分子材料的稳定性	9
1.7	涂料的性能及其检测	10
II	高分子化学实验	20
实验一	甲基丙烯酸甲酯本体聚合	20
实验二	苯乙烯悬浮聚合	22
实验三	苯乙烯乳液聚合	24
实验四	丙烯酸酯的无皂乳液聚合	26
实验五	丙烯酰胺水溶液聚合	29
实验六	酚醛树脂的缩聚	30
实验七	双酚 A 型低相对分子质量环氧树脂的制备	31
实验八	膨胀计法测定苯乙烯自由基聚合反应速率	34
III	高分子物理实验	39
实验一	粘度法测定聚合物的相对分子质量	39
实验二	聚物流变性能的测定	43
实验三	光学显微镜法观察聚合物的结晶形态	52
实验四	聚合物溶液的流动行为研究	57
实验五	膨胀计法测定聚合物的玻璃化温度	60
实验六	应力-应变曲线实验	63
实验七	高聚物温度-形变曲线的测定	67
IV	聚合物研究方法实验	75
实验一	聚苯乙烯、苯甲酸和苯乙酮的红外光谱测绘	75
实验二	苯乙烯、聚苯乙烯、苯和苯酚的紫外光谱测绘	77



实验三	聚对苯二甲酸乙二醇酯差热/热重分析	79
实验四	聚对苯二甲酸乙二醇酯差示扫描量热分析	82
实验五	凝胶渗透色谱法测定聚合物的相对分子质量分布	84
V	聚合物加工工程实验	91
实验一	软/硬质聚氯乙烯的成型及撕裂强度测试	91
实验二	热塑性塑料的注塑成型和性能测试实验	97
实验三	LDPE 再生料的挤出造粒	104
实验四	天然橡胶(NR)的混炼、模压和硫化	107
实验五	不饱和聚酯树脂的配制和浇铸成型	111
实验六	玻璃纤维增强不饱和聚酯复合材料的手糊成型	115
VI	高分子材料综合实验	118
实验一	塑料的共混改性实验设计	118
实验二	热熔胶制作及粘接性能检测	121
实验三	刺激响应性聚合物的合成及表面浸润性研究	126
实验四	低温等离子体处理热塑性塑料薄膜及其表面性能表征	129
实验五	水性环氧树脂涂料的研制	134
实验六	水性光固化涂料的研制	136
实验七	玻璃纤维增强热固性树脂复合材料的制备及光固化修补	139
实验八	特种橡胶的硫化成型及其耐高温航空介质特性实验	141
实验九	聚多巴胺薄膜的沉积及诱导生长氧化钛	145
附 录		148
附录 I	实验要求	148
附录 II	实验室安全守则	148
附录 III	常用溶剂的沸点、溶解性和毒性	149
附录 IV	常见高分子及其英文缩写	154
附录 V	常见聚合物及溶剂的溶度参数	159
附录 VI	常见高聚物的熔点与玻璃化转变温度	161
附录 VII	常用引发剂的精制	163
参考文献		164

I 高分子材料的基本性能及其表征方法简介

高分子材料通常分为塑料、橡胶、纤维、复合材料、胶粘剂和涂料等。随着现代基础理论和实验方法的迅猛发展,高分子材料的合成工艺不断推陈出新,应用范围不断扩大。对于高分子材料专业的学生,不仅需要掌握产品的配方和合成工艺,还需了解产品的性能是否符合自己的要求以及如何选择实用的高分子材料。因此,了解高分子材料的基本理化性能、加工性能和使用特性是十分必要的。准确地对高分子材料进行性能测试和分析,是评价和应用各种新型高分子材料的前提条件,同样对研究新型高分子材料的组成与结构特点等也有着重要意义。

1.1 高分子材料的力学性能

力学性能是高分子材料在作为材料使用时需要考虑的最主要性能之一。它牵涉到高分子材料的设计、产品设计以及高分子材料的使用条件。因此了解高分子材料的力学性能数据是我们掌握和应用高分子材料的前提。

高分子材料力学性能数据主要包括模量(E)、强度(σ)、极限形变(ϵ)及疲劳性能(包括疲劳极限和疲劳寿命)。由于高分子材料在应用中的受力方式不同,高分子材料的力学性能表征又按不同受力方式给出了拉伸(张力)、压缩、弯曲、剪切、冲击、硬度、摩擦损耗等不同受力方式下的表征方法及相应的各种模量、强度、形变等可以代表高分子材料受力不同的各种数据。由于高分子材料类型的不同,实际应用及受力情况有很大的差异,因此不同类型的高分子材料,又有各自特殊的表征方法,例如纤维、橡胶的力学性能表征。

高分子材料力学性能方面的表征方法及原理简述如下:

1. 拉伸性能的表征

拉伸性能的测试在万能材料实验机上进行,实验时采用特定的样品夹具,在恒定的温度、湿度和拉伸速度下,对按一定标准制备的高分子材料试样进行拉伸,直至试样被拉断。仪器可自动记录不同拉伸时间下被测样品的形变值 and 对应此形变值样品所受到的拉力(张力)值,同时自动画出应力-应变曲线。根据此应力-应变曲线,可确定样品的屈服点及相应的屈服应力值、断裂点及相应的断裂应力值,以及样品的断裂伸长值。将屈服应力、断裂应力分别除以样品断裂处的初始面积,即可得到该高分子材料的屈服强度 σ_s 值和拉伸强度(抗张强度) σ_b 值。而样品断裂伸长值除以样品原长度,即为高分子材料的断裂伸长率 ϵ 。此外,在应力-应变曲线中,对应小形变的曲



线(即曲线中直线部分)的斜率,即是高分子材料的拉伸模量(也称抗张模量) E 值。高分子材料试样拉伸断裂时,试样断面单维尺寸(厚或宽的尺寸)的变化值除以试样的断裂伸长率 ϵ 值,即为高分子材料样品的“泊松比”(μ)的数值。

2. 压缩性能、弯曲性能、剪切性的测试与表征

在万能材料实验机上,分别采用压缩实验、弯曲实验和剪切实验的样品夹具,在恒定的温度、湿度及应变速度下进行不同方式的力学实验,并根据各自对应的计算公式,可得到样品材料的压缩模量、压缩强度、弯曲模量、弯曲强度、剪切模量、剪切强度等数据。

3. 冲击性能的特征

一般采用摆锤式冲击实验机。先制备出符合标准求的样品,然后在恒定温度、湿度下,用摆锤迅速冲击被测试样,根据摆锤的质量和刚好使试样产生裂痕或破坏时的临界下落高度及被测样品的截面积,按下面的公式计算高分子材料试样的冲击强度,单位为 $\text{kg} \cdot \text{cm}/\text{cm}^2$ (或冲击韧性,单位为 J/cm^2):

$$\text{冲击强度} = \frac{A}{bd}$$

式中: A 为冲断试样所消耗的功,单位为 $\text{kg} \cdot \text{cm}$; b 为试样宽度,单位为 cm ; d 为试样的厚度,单位为 cm 。如果采用带缺口的试样,则 d 为缺口处的剩余厚度。

4. 高分子材料单分子链的力学性能

一般使用原子力显微镜(AFM)。将高分子材料样品配成稀溶液,铺展在干净的玻璃片上,除去溶剂后得到一吸附在玻璃片上的高分子材料薄膜(厚度约 90 nm)。用原子力显微镜针尖接触、扫描样品膜,由于针尖与样品中高分子的相互作用,高分子链将被拉起,记录单个高分子链被拉伸时拉力的变化,直至拉力突然降至为零,可得到若干高分子链被拉伸时的拉伸力和拉伸长度曲线,由此曲线可估算单个高分子链的长度和单个高分子从凝聚态中被拉出时的“抗张强度”。

1.2 高分子材料的热性能

热性能是高分子材料的重要性质之一。高分子材料的热性能是高分子材料与热或温度相关的性能总和,它包括诸多方面,例如各种力学性能的温度效应、玻璃化转变、粘流转变、熔融转变以及热稳定性、热膨胀和热传导等。热分析技术在定性、定量表征材料的热性能方面有着广泛的应用。热分析技术主要包括:热重分析法(TG)、差热分析法(DTA)、差示扫描量热法(DSC)、热机械分析法(TMA)、动态热机械分析法(DMA)等。



1. 热重分析法

热重分析法(TG)是在程序控温下,测量物质的质量与温度的关系,通常可分为非等温热重法和等温热重法,它具有操作简便、准确度高、灵敏快速以及试样微量化等优点。用来进行热重分析的仪器一般称为热天平,其测量原理是:在给被测物加温的过程中,由于物质的物理或化学特性改变,引起质量的变化,通过记录质量变化时程序所走出的曲线,分析引起物质特性改变的温度点,以及被测物在物理特性改变过程中吸收或者放出的能量,从而来研究物质的热特性。

热重分析主要研究:①材料在惰性气体/空气/氧气中的热稳定性、热分解作用和氧化降解等化学变化;②涉及质量变化的所有物理过程,如测定水分、挥发物和残渣,吸附、吸收和解吸,汽化速度和汽化热,升华速度和升华热;③有填料的聚合物或共混物的组成等。

例如,热重分析法可以准确地分析出高分子材料中填料的含量。根据填料的物理化学特性,可以判断出填料的种类。一般情况下,高分子材料在 500 °C 左右基本全部分解,因此对于 600~800 °C 之间的失重,可以判断为碳酸盐的分解,失重量为放出的二氧化碳,并可以计算出碳酸盐的含量。剩余量即为热稳定填料的含量,如:玻纤、钛白粉、锌钡白等的含量。然而,热重分析只能得出填料的含量,不能分析出填料的种类,将热重分析残渣进行红外分析,便可判断出填料的种类。

2. 差热分析法

差热分析法(DTA)是应用得最广泛的一种热分析技术,它是在程序控制温度下,建立被测量物质和参比物的温度差与温度关系的技术。差热分析法的测量原理是将被测样品与参考样品同时放在相同的环境中升温,其中参考样品往往选择热稳定性很好的物质。同时给两种样品升温,由于被测样品受热发生特性改变,产生吸、放热反应,引起自身温度变化,使得被测样品和参考样品的温度发生差异。用计算机软件绘图的方法记录升温过程和升温过程中温度差的变化曲线,最后获取温度差出现时刻对应的温度值(引起样品产生温度差的温度点),以及整个温度变化完成后的曲线面积,得到在该次温度控制过程中被测样品的物理特性变化过程及能量变化过程。

差热分析可以用于材料的玻璃化转变温度、熔融及结晶效应、降解等方面的研究,它可以在高温高压下测量高分子材料的性能,因此得到了广泛的应用。但是 DTA 也具有一定的局限性,它无法提供试样吸热、放热过程中热量的具体数值,所以 DTA 无法进行定量热分析和动力学研究。

3. 差示扫描量热法

差示扫描量热法(DSC)是按照程序改变温度,使试样与标样之间的温度差为零,测量两者单位时间的热能输入差。运用 DSC 技术可以测量玻璃化温度、融解、晶化、固化反应、比热容量和热历史等项目。试样的用量非常小,有数毫克就够了。另外,



最近有一种最新的高分子测量方法叫做动态 DSC(温度调制 DSC),引起了人们的关注。

DSC 热差曲线在外观上与 DTA 几乎完全相同,只是曲线上离开基线的位移代表吸热或放热的速度,而峰或谷的面积代表转变时所产生的热量变化。DSC 中的试样任何时候均处于温度程序控制之下,因此,在 DSC 中进行的转变或反应,其温度条件是严格的,进行定量的动力学处理时在理论上没有缺陷。

玻璃化转变是高聚物的一种普遍现象。在高聚物发生玻璃化转变时,许多物理性能发生了急剧变化,如比热容、弹性模量、热膨胀、介电常数等。DSC 测定玻璃化转变温度 T_g 就是基于高聚物在 T_g 转变时比热容增加这一性质进行的。在温度通过玻璃化转变区间,高聚物随温度的变化,热容有突变,在 DSC 曲线上,表现为基线向吸热方向的突变,由此确定 T_g 。

4. 热机械分析法

热机械分析法(TMA)是测量物质的形变量(尺寸变化)的技法。测量时按一定的程序改变试样的形态,如加载压缩、拉伸、弯曲等非振动性的负荷,以测量物质的形变量。加一个周期变化的应变变量或应力,测量由此引起的应力或应变,以测量试样的力学性能,这就是动态机械热分析法(DMA)。

TMA 对研究和测量材料的应用范围、加工条件、力学性能等都具有十分重要的意义,可用它来研究高分子材料的热机械性能、玻璃化转变温度 T_g 、流动温度 T_f 、软化点、杨氏模量、应力松弛、线性膨胀系数等。

DMA 使高分子材料的力学行为与温度和作用的频率联系起来,可提供高分子材料的模量、粘度、阻尼特性、固化速率与固化程度、主级转变与次级转变、凝胶化与玻璃化等信息。这些信息又可用于研究高分子材料的加工特性、共混高聚物的相容性;预估材料在使用中的承载能力、减振、吸声效果、冲击特性、耐热性、耐寒性等。DMA 已被用来研究各种高分子共混物、嵌段共聚物和共聚反应等。

DMA 还可以用于高分子共混材料相容性的表征。聚合物共混是获得综合性能优异的高分子材料的卓有成效的途径,且共混物的动态力学性能主要由参与共混的两种聚合物的相容性所决定。如果完全相容,则共混物的性质和具有相同组成的无规共聚物几乎相同。如果不相容,则共混物将形成两相,用 DMA 测出的动态模量-温度曲线将出现两个台阶,损耗温度曲线出现两个损耗峰,每个峰均对应其中一种组分的玻璃化转变温度,且从峰的强度还可判断出共混物中相应组分的含量。

1.3 高分子材料的电性能

高分子材料的电学性能是指在外加电场作用下材料所表现出来的介电性能、导电性能、电击穿性质以及与其他材料接触、摩擦时所引起的表面静电性质等。对于某些功能高分子材料,压电和热电性、光导电性、电致发光性和电致变色性等也属于其



电学性能范畴。电学性能是材料最基本的属性之一,这是因为构成材料的原子和分子都是由电子的相互作用形成的,电子相互作用是材料各种性能的根源。

1. 介电性能

聚合物在外电场作用下储存和损耗电能的性质称介电性,这是由于聚合物分子在电场作用下发生极化引起的,通常用介电常数 ϵ 和介电损耗 $\tan \delta$ 表示。

聚合物介电性质研究的主要内容之一就是研究它的介电常数、介电损耗与温度、频率、电场强度等的相互关系。通过这些关系,我们可以获得材料内部结构与其性能之间的相关性,为开发研究具有特定性能的新型介电材料和更合理、更充分地利用现有材料提供理论基础。获得聚合物介电常数和介电损耗参数是上述研究内容的实践基础,具有举足轻重的地位。因此,聚合物介电性能测量主要是指其介电常数 ϵ 和介电损耗 $\tan \delta$ 的测量。

2. 导电性能

聚合物的导电性能与其化学组成、分子结构、组织成分等密切相关;研究聚合物的导电性能不仅可以将其作为导电和绝缘材料应用的理论基础,还可以通过导电性质研究聚合物材料的相关结构。

在聚合物的导电性能表征中,有时需要表征聚合物表面和体内不同的导电性,常用表面电阻率和体积电阻率表示。表面电阻率是指沿试样表面电流方向的直流场强与该处单位长度的表面电流之比;体积电阻率是指体积电流方向与直流场强与该处体积电流密度之比。

在材料两端施加电压 U 后产生的电流一般可以分成两个部分,其中在材料内部通过的称为体积电流 I_v ,在材料表面流过的电流称为表面电流 I_s 。电压除以体积电流得到的电阻值则被称为体积电阻 R_v 。电压除以表面电流得到的电阻值则称为表面电阻 R_s 。体积电阻和表面电阻为并联关系:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_v} + \frac{1}{R_s}$$

式中: R 为材料测量当中的总电阻。

体积电阻 R_v 与材料的性质和尺寸有关,可以表述为

$$R_v = \rho_v \times \frac{l}{S}$$

式中: l 和 S 分别表示被测样品的长度和面积; ρ_v 表示材料的体积电阻率,单位为 $\Omega \cdot \text{cm}$ 。体积电阻率是描述材料电阻特性的主要参数,仅和材料的属性有关。

材料的表面电阻通常用两个电极的长边(与被测材料表面接触)作为 B ,两个电极之间的距离(样品的测量长度)作为 l ,并施加测量电压 U 进行测试。材料的表面电阻率可以表示为

$$R_s = \rho_s \times \frac{l}{B}$$



式中： ρ_s 为表面电阻率，单位为 Ω 。

材料的电性能通常可以采用 PC-68 型高阻计测量，根据上述公式计算出 ρ_s 和 ρ_v 。

3. 电击穿性能

在强电场下，随着电场强度的进一步升高，电流-电压间的关系已不再符合欧姆定律， dU/dI 逐渐减小，电流比电压增大得更快，当 $dU/dI=0$ 时，即使维持电压不变，电流仍继续增大，材料突然从介电状态变为导电状态。在高压下，大量电能迅速释放，使电极之间的材料局部烧毁，这种现象被称为介电击穿。 $dU/dI=0$ 处的电压 U_b 称为击穿电压。击穿电压是介质可承受电压的极限。

介电强度的定义是击穿电压与绝缘体厚度 h 的比值，即材料能长期承受的最大场强：

$$E_b = \frac{U_b}{h}$$

式中： E_b 就是介电强度，或称为击穿强度，其单位为 $MV \cdot m^{-1}$ 。

材料的电击穿性能，可以采用破坏性实验（击穿实验）和非破坏性实验（耐压实验）进行表征。

4. 静电性能

任何两个固体，不论其化学组分是否相同，只要其物理状态不同，其内部结构中的电荷载体的能量分布就不同。当这两个固体相互接触或摩擦时，其表面就会发生电荷再分配，重新分离之后，每一种物质都将带有比其接触前或摩擦前过量的正（负）电荷，这种现象称为静电现象。

1.4 高分子材料的光学性能

高聚物的重要而又实用的光学性能有吸收、透明度、折射、双折射、反射、内反射、散射等。它们是高聚物与入射光的电磁场相互作用的结果。

研究高聚物光学性能的意义：①高聚物光学材料具有透明、不易破碎、加工成型简便和价格低廉等优点，可制作镜片、导光管和导光纤维等；②可以利用光学性能的测定来研究高聚物的结构，如聚合物种类、分子取向、结晶等；③利用具有双折射现象的高聚物作光弹性材料，可以进行应力分析；④利用界面散射现象可以制备出彩色高聚物薄膜等。

1. 透明度

当光线垂直地射向非晶态高聚物时，除了一小部分在高聚物-空气的界面反射外，大部分进入高聚物，当其内部有疵痕、裂纹、杂质或少量结晶时，这些不均匀物会使光线产生不同程度的反射或散射，产生光雾，从而减少光的透过量，使透明度降低。



透明度是指前向透过的光强与入射光强之比,通常用分光光度计或积分球式光度计来测量。

透光率和雾度是透明材料两项十分重要的指标,如航空有机玻璃要求透光率大于 90%,雾度小于 2%。一般来说,透光率高的材料,雾度值低,反之亦然,但也不完全如此。有些材料透光率高,雾度值却很大,如毛玻璃。所以透光率与雾度值是两个独立的指标。

透光率是以透过材料的光通量与入射的光通量之比的百分数表示的,通常是指标准“C”光源一束平行光垂直照射薄膜、片状、板状透明或半透明材料,透过材料的光通量 T_2 与照射到透明材料入射光通量 T_1 之比的百分率,即

$$T_t = \frac{T_2}{T_1} \times 100\%$$

雾度又称浊度,是材料内部或表面由于光散射造成的云雾状或混浊的外观,以散射光通量与透过材料的光通量之比的百分率表示。它是通过测量无试样时入射光通量 T_1 与仪器造成的散光通量 T_3 ,有试样时通过试样的光通量 T_2 与散射光通量 T_4 来计算雾度值,即

$$H = (T_4/T_2 - T_3/T_1) \times 100\%$$

测试中, T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 都是测量相对值,无入射时,接受光通量为 0,当无试样时,入射光全部透过,接受的光通量为 100,即为 T_1 ;此时再用光陷阱将平行光吸收掉,接受的光通量为仪器的散射光通量 T_3 ;若放置试样,仪器接受透过的光通量为 T_2 ,此时若将平行光用陷阱吸收掉,则仪器接收到的光通量为试样与仪器的散射光通量之和 T_4 。因此根据 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 的值可计算透光率和雾度值。

2. 折射和双折射

当光从一种介质进入另一种介质时,由于两种介质中的传播速度不同,就产生折射现象。按照洛伦兹-洛伦茨关系式,一种材料的折射率 n 与物质的单位体积的分子极化度有关。分子极化度又是各单个基团极化度 a 的总和, a 和 n 都随分子中电子的数目及其活动性的增加而增加。高聚物分子的极化度等于其所含各键极化度之和。在高聚物中,碳原子的极化度比氢原子的大得多,因此大多数 C—C 链组成的高聚物的折射率都在 1.5 左右,只有含有易诱导极化的基团的高聚物(如含咪唑基的聚乙烯咪唑)才具有很高的折射率,约为 1.7;而含有不易诱导极化的基团的高聚物则具有较低的折射率,如含氟的氟橡胶的折射率约为 1.3。

非晶高聚物的分子链是无规线团,其所含各键的排列在各方向上的数量都一样,所以折射是各向同性的。非晶高聚物经取向制成的取向高聚物的分子内键的排列在各个方向上的数量不同,光线经过这种物质时会变成传播方向和振动相位不同的两束折射光,称为双折射现象。

在结构设计中,光弹性仪是对结构材料进行应力分析的有力工具,它是利用双折射现象和光的干涉原理制成的。这种应力分析方法一般采用环氧树脂的透明浇铸块



做结构件的力学模型(各向同性的)。当在模型上加以预定的负荷后,环氧树脂的分子链在应力作用下发生取向,变成各向异性物质而产生双折射现象,在光弹性仪上用偏振光照射并照相记录,得到可供应力分析使用的光弹性照片。

3. 反射和内反射

射在透明物体上的光除被折射外,还有一部分被反射。反射率与入射角有关,一般入射角小时反射率不高,当入射角相当大时,反射率就会很快升高。当 $\sin \alpha_i \geq 1/n$ 时(式中 α_i 为光从高聚物射入空气的入射角; n 为高聚物相对于空气的折射率)就会发生内反射,即光线不能射入空气中而全部被折回高聚物内。大多数高聚物的折射率约为 1.5,故 $\alpha_i = 42^\circ$ 。利用光在高聚物中能发生全内反射的原理所制成的一种导管称为导光管,在医疗上可用它来观察内脏。用聚甲基丙烯酸酯为内芯,外层包以一层含氟高聚物可以制成一种传输普通光线的导光管。如果用高纯的钠玻璃制成内芯,外层包以氟橡胶,则可以制成能通过紫外线的导光管。

4. 散 射

当入射光通过物体,特别是通过非均质物体(如悬浮在透明流体中的微粒、悬浮在溶液中的高分子、高聚物中含有的杂质或缺陷)时,就会向各个方向发射,称为光的散射。利用光散射测定仪可以测定高聚物的相对分子质量(见高分子溶液的光散射)。

当物体中存在宏观上的多相,而且各折射率有差异或物体结构中各向异性体积单元的取向不同时,都会使物体的透明度有不同程度的降低,直到完全不透明。

在多相高聚物中,如果要使两种不同成分的聚合物成为透明度高的物质,那么这两种成分的折射率要相同或差异很小。缩小结构体积的尺寸,对增加高聚物的透明度更为重要。例如,聚乙烯是结晶体,其超分子结构的尺寸大于入射光的波长,光大部分被散射掉,而聚乙烯薄膜是在一定条件下经拉伸和取向制成的,其超分子结构尺寸小,光的散射就少,是一种较透明的薄膜。

1.5 高分子材料的磁性能

早期的磁性材料来源于天然磁石,之后才利用磁铁矿(铁氧体)烧结或铸造成磁性体。现在工业上常用的磁性材料主要有三大类:氧化体磁铁、稀土类磁铁和铝镍钴合金磁铁。

由于氧化体磁铁、稀土类磁铁和铝镍钴合金磁铁具有硬而脆、加工性差的缺点,无法制成复杂、精细的形状,因而在工业应用中具有很大的局限性。为了克服这些缺陷,将磁粉混炼于塑料或橡胶中,其获得的高分子磁性材料具有相对密度轻、易加工成尺寸精度高和复杂形状的制品等优点,因而受到人们的关注。现代科技发展迅猛,特别是在电子技术方面,磁性材料得到了广泛的应用。研究物质的磁性,开发新型磁



性材料,具有十分重要的意义。

磁性高分子材料主要分为结构型和复合型两大类。结构型磁性高分子材料是指本身具有强磁性的高分子材料,如聚双炔和聚炔类聚合物,含氮基团取代苯衍生物、聚丙烯热解产物等。复合型高分子磁性材料是由高分子材料与磁性材料按不同方法复合而成的一类复合材料,可分为粘接磁铁、磁性高分子微球和磁性离子交换树脂等不同类别,从复合材料概念出发,通称为磁性树脂基复合材料。

磁性材料常用磁滞回线来描述,其相关物理量分别如下:

① 饱和磁感应强度 B : 其大小取决于材料的成分,它所对应的物理状态是材料内部的磁化矢量整齐排列。

② 矫顽力: 是表示材料磁化难易程度的量,该数值取决于材料的成分及缺陷(杂质、应力等)。

③ 居里温度: 铁磁物质的磁化强度随温度的升高而下降,当达到某一温度时,自发磁化消失,转变为顺磁性,该临界温度为居里温度,它确定了磁性器件的工作温度上限。

④ 剩余磁感应强度: 是磁滞回线上的特征参数,为 H 回到 0 的 B 的值。

⑤ 磁导率: 是磁滞回线上的任何点所对应的 B 与 H 的比值,该数值与器件工作状态密切相关,初始磁导率是磁化曲线在原点的斜率,最大磁导率是磁化曲线切线斜率的最大值即最陡峭的部分。

1.6 高分子材料的稳定性

高分子材料因具有很多优异的特性而被广泛应用于国民经济及国防工业等多个领域。然而,在长时间的光、热等条件下,这些材料也存在着降解问题,这就是高分子材料的稳定性。聚合物降解是指聚合物主链断裂,或主链保持不变而改变了取代基的过程。聚合物降解主要取决于聚合物本身的化学结构(尤其是化学键键能)。外界因素如应力、温度、含氧量、残余杂质都对聚合物降解有很大影响。

1. 聚合物的机械稳定性

机械降解是指聚合物分子受到的拉伸应力超过了聚合物分子内化学键所承受的能力时,聚合物分子链断裂的现象。在常用的聚合物中,部分水解的聚丙烯酰胺(HPAM)的机械稳定性较差,而黄胞胶却具有较好的抗剪切性。

2. 聚合物的生物稳定性

生物降解是聚合物驱中的一个主要问题。部分水解聚丙烯酰胺和生物聚合物都有可能存在生物降解问题,但生物聚合物的生物降解问题更为严重。如果聚合物在地面被生物降解,可能导致聚合物的注入问题。因为微生物会堵塞地层,影响注入能力,如果聚合物在地层被微生物降解,可能导致聚合物溶液的粘度损失,甚至丧失流



动控制能力。因此,了解聚合物的生物降解特性,及时采用相应对策,对于提高聚合物驱效果十分必要。

3. 聚合物的化学稳定性

化学降解是指在化学因素(氧、金属离子等)作用下,发生氧化还原反应或水解反应,使分子链断裂或改变聚合物结构,导致聚合物相对分子质量降低和其溶液粘度损失的一个过程。由于化学反应速率与温度紧密相关,因此又有热氧化化学降解之称。

4. 聚合物的热稳定性

热稳定聚合物是指在较高使用温度下也不发生热分解反应的一类聚合物。提高聚合物热稳定性的有效途径有:尽量提高分子链中键的强度,避免弱键的存在及主链中引入较多芳杂环,减少亚甲基结构;合成梯形、螺形、片状结构的聚合物;加入热稳定剂等。

1.7 涂料的性能及其检测

涂料是高分子材料的一个重要分支,在实际应用中可以起到美观、保护、功能化等一种或多种用途,因而在国防、汽车、电子、建筑等众多领域有非常广泛的应用。

涂料的性能主要包括涂料自身的性状、涂装性能以及涂膜性能。

1.7.1 涂料自身性状及其检验

1. 固体份(参照国家标准《GB/T1725—2007》)

仪器设备:金属或者玻璃的平底皿,直径为 (75 ± 5) mm,边缘高度至少为5 mm;玻璃干燥器(内放变色硅胶);温度计($0 \sim 300$ °C);天平(能准确称量至1 mg);鼓风恒温烘箱。

方法步骤:称取2~4 g 涂料,精确至0.01 g;然后置于已升温至规定温度的鼓风恒温烘箱内焙烘一定的时间,取出放入干燥器中冷却至室温后,称重,再放入烘箱内按规定温度焙烘规定时间,于干燥器中冷却至室温后,称重(同时取样2组以上);最后按照下式计算固体份:

$$\text{固体份} = \frac{\text{烘烤后的样重}}{\text{取样重量}} \times 100\%$$

2. 粘度(涂-4杯)(参照国家标准《GB/T1723—93》)

仪器设备:涂-4粘度计、温度计、秒表、玻璃棒、水平仪。

方法步骤:测定前须用纱布蘸溶剂将粘度计内部擦拭干净,在空气中干燥或用冷风吹干,注意漏嘴孔应清洁通畅。清洁处理后,调整水平螺钉,使粘度计处于水平位置,在粘度漏嘴下面放置150 mL 盛器,用手堵住漏嘴孔,将试样倒满粘度计中,用