

# 非金属材料 及其现代测试技术

陈慧敏 编



西北工业大学出版社

## 内 容 简 介

非金属材料在国民经济及国防工业中，得到日益广泛的应用，新的品种也越来越多。本书以引进的国外技术为背景，介绍各种类型的非金属材料及其典型应用，包括涂料、干膜润滑剂、磨耗涂层、胶粘剂、连接化合物、橡胶、润滑脂、滑油、燃油、工程塑料等。同时，从材料的组成出发，分析介绍材料的特点，按国外生产的质量控制要求，全面介绍各类材料的性能测试方法。重点拟提供国外非金属材料所使用的现代测试技术，包括所采用的试验方法及仪器，并介绍仪器分析在非金属中的应用。

本书读者对象为石油工业，化学工业，国防及国民经济的各部门中，从事非金属材料科研、生产、试验的技术人员与工人。也可以作为大、中专学校有关专业师生的参考用书。

### 非金属材料及其现代测试技术

编 者 陈慧敏

责任编辑 李 珂

责任校对 潘玉浩

西北工业大学出版社出版发行

(西安市友谊西路127号)

全国各地新华书店经销

空军导弹学院印刷厂印装

ISBN 7-5612-0273-3/TG·14

开本787×1092毫米1/32 7印张 145千字

1990年6月第1版 1990年6月第1次印刷

印数1—2100册

定价：5.50元

## 前 言

由于石油和化学工业的蓬勃发展，为非金属材料的生产和使用提供了丰富的资源。各类非金属材料，如：塑料、合成橡胶、涂料、合成油料、油脂、胶粘剂、封严材料、复合材料等，已成为人们生活和工业生产中不可缺少的材料。

非金属材料以其特有的性能，赋予使用它的产品或设备以独特的功能。非金属材料在国民经济各个领域中的应用，正以飞快的速度增长。飞机或汽车制造部门还把非金属材料应用比重的多少，作为衡量其产品先进性的重要标志之一。

人们在长期的工程实践中深刻认识到，只有符合特定技术标准的材料，才能满足使用要求，达到预期目的。非金属材料的广泛使用，材质问题也受到了极大的重视。因此，如何最有效地评定非金属材料的质量，对其关键的性能进行测试，就成为一个十分重要和急待解决的问题。

本书的目的，就是结合实际使用情况，介绍包括塑料、合成橡胶、涂料、合成油料、油脂、胶粘剂、封严材料、复合材料在内的非金属材料的一些主要性能的测试技术。它包括性能评定的简要原理、方法、仪器及程序等。

世界上的一些先进工业国家，在广泛应用非金属材料方面早于我国。对于一些新型非金属材料的应用，军工产品又先于民用产品。因此，本书所述及的一些非金属材料性能的测试技术，首先是立足于世界先进水平，借鉴先进工业国家

的高技术、高性能的产品，如航空发动机上所使用材料的测试技术现状。由于作者曾在英国罗尔斯-罗意斯公司各部门的非金属材料试验室及部分非金属材料制造厂实习、考察，故本书多取材于英国、美国非金属材料生产、使用的企业和国家标准。其次是立足于实用性。根据我国生产、使用的实际情况，把先进性与实用性结合起来，以利推广应用。

以上就是本书的主要宗旨。即基于“高起点”原则，有选择性、针对性地论述非金属材料的现代测试技术，以便把我国的非金属材料测试能力，尽快跻身于国际先进水平之列。

本书共分十三章，主要内容包括涂料、干膜润滑剂、磨耗涂层、胶粘剂、连接化合物、橡胶、润滑脂、润滑油、燃油、工程塑料、重要工序用辅助材料的应用、典型产品介绍及材料主要性能的测试方法。

本书第1—12章由陈慧敏编写；第13章由李东编写。全书由陈慧敏统稿。

本书由马蕊然教授和研究员高级工程师姚静梅分别进行了审阅，并得到了有关单位与个人的热情帮助和支持，在此，谨致谢意。

由于编者水平有限，经验不足，疏漏或不当之处在所难免，敬请批评指正。

**编者**

1989年3月

# 目 录

<b>第一章 概论</b> .....	1
<b>第二章 涂料</b> .....	3
一、涂料及其应用.....	3
二、典型的涂料.....	6
三、涂料性能的评定方法.....	14
<b>第三章 干膜润滑剂</b> .....	33
一、干膜润滑剂及其应用.....	33
二、典型的干膜润滑剂.....	35
三、干膜润滑剂性能的评定方法.....	37
<b>第四章 磨耗涂层</b> .....	40
一、磨耗涂层及其应用.....	40
二、典型的磨耗涂层.....	41
三、磨耗涂层性能的评定方法.....	43
<b>第五章 胶粘剂</b> .....	50
一、胶粘剂及其应用.....	50
二、典型的胶粘剂.....	52
三、胶粘剂性能的评定方法.....	59
<b>第六章 连接化合物</b> .....	71
一、连接化合物及其应用.....	71

二、典型的连接化合物.....	72
三、连接化合物性能的评定方法.....	76
<b>第七章 橡胶.....</b>	<b>90</b>
一、橡胶及其应用.....	90
二、典型的橡胶.....	91
三、橡胶件性能的评定方法.....	95
<b>第八章 润滑脂.....</b>	<b>108</b>
一、润滑脂及其应用.....	108
二、典型的润滑脂.....	110
三、润滑脂性能的评定方法.....	113
<b>第九章 润滑油.....</b>	<b>116</b>
一、润滑油及其应用.....	116
二、典型的润滑油.....	117
三、润滑油性能的评定方法.....	120
<b>第十章 燃油.....</b>	<b>138</b>
一、燃油及其应用.....	138
二、典型的燃油.....	140
三、燃油性能的评定方法.....	145
<b>第十一章 工程塑料.....</b>	<b>166</b>
一、工程塑料及其应用.....	166
二、典型的工程塑料.....	169

三、工程塑料性能的评定方法.....	179
<b>第十二章 重要工序用辅助材料.....</b>	<b>183</b>
一、精密铸造用蜡料.....	183
二、精密铸造用粘合剂.....	186
三、精密铸造用陶瓷型芯.....	188
四、锻造工序用玻璃防护剂.....	194
五、热处理和热成型工艺用保护层.....	195
<b>第十三章 仪器分析在非金属材料中的应用简介.....</b>	<b>198</b>
一、仪器分析概述.....	198
二、红外光谱法.....	199
三、气相色谱法.....	201
四、紫外光谱法.....	203
五、扫描电镜.....	206
六、铁谱技术.....	208
七、其它仪器分析方法.....	210
<b>参考文献.....</b>	<b>215</b>

# 第一章 概 论

非金属材料主要包括塑料，橡胶与密封剂，胶粘剂，纺织品，绝缘材料，涂料，连接化合物，油品，润滑剂等。其中塑料又可以分为工程塑料，透明塑料，玻璃纤维增强塑料和树脂基复合材料等。油品又分为燃油，滑油。涂料除了油漆类外，还有干膜润滑剂，磨耗封严涂层等。这些材料是随着高分子材料工业的发展而形成的新体系。30年代，机器制造业、飞机制造业所用的非金属材料几乎全是自然界的天然产物或其改制品，大都属于天然高分子材料，如天然橡胶、赛璐珞塑胶片，涂料和胶粘剂也都是采用天然树脂、骨胶等。

近30年来，有机合成化工和石油化工的蓬勃发展，合成高分子材料工业也突飞猛进。合成高分子材料主要分为塑料、橡胶或弹性体及纤维三大类。它们具有比天然高分子材料更优异的特性，因此近代工业所用的非金属材料，除了矿物润滑油及某些特种材料是采用天然石油炼制而成的制品外，其他各种材料都从高分子材料或其加工品制成。

合成高分子材料不仅能代替天然高分子材料，由于它的原料来源丰富，制造工艺有改进，使产品质量比天然产物要均一而优良。如采用塑料为结构材料，由于比重小，力学性能高，制成的零件具有表面光滑，耐腐蚀，许多特性超过了天然产物。又如采用合成橡胶，有的具有极好的耐汽油和耐滑油性，有的具有极优异的耐磨性，象硅橡胶和氟橡胶具有耐热性和耐老化性，这些合成高分子材料在现代工业中应用



后，使产品的性能得到很大的改进，而且，用途日益广泛，成为国民经济中不可缺少的材料。

当今世界上，由于以石油化工为基础的高分子材料的合成制备逐渐发展，加之先进的加工工艺，并与陶瓷、金属、纤维材料组成复合材料，使非金属材料作为现代工业中的结构材料，保护材料，装卸材料，及特种用途的耐烧蚀、阻燃、导电、绝缘材料等方面，开辟了广阔的前景。下面，我们按材料的用途将分别在各章中叙述介绍。

非金属材料的广泛使用，使其对各种材料的性能了解，包括物理、化学、电、热、光、机械性能，低温性能、疲劳性能及工艺性能，模拟性能……等，都提到重要的日程上。衡量各类材料的好坏，必须对各种材料的各种性能一一进行评定。这样，才能从材料的质量控制上，保证其性能的全面发挥。

由于非金属材料涉及到许多新型材料，与金属材料相比，它发展起步较晚，许多测试方法还不完善。近年来，国外对这方面进行了较多的研究，国内的标准方法也在一一建立。本书拟以国外先进的测试方法为基础，较系统地介绍各类材料的性能评定方法，包括方法原理，仪器设备及试验步骤，以供国内从事这方面工作的同志参考。除了一般的理化测试方法外，近几年国内外对非金属材料的组份、性能测定都已逐渐进入了仪器分析阶段，因此，在本书的最后章节，简要介绍了仪器分析在非金属材料中的应用。随着非金属材料在国民经济中的重要地位逐步加强，仪器分析肯定会越来越普遍地得以应用，使其非金属材料的使用，进入到一个新的阶段。

## 第二章 涂 料

### 一、涂料及其应用

涂料是以成膜物质、溶剂为主，并加有填料、颜料等添加剂的一种保护材料的总称。它以强有力的附着膜层，显示出极好的表面保护、装饰、标志和其它特殊作用。

根据成膜物质的不同，涂料可分为油酯漆、天然树酯漆、醇酸树脂漆、氨基树脂漆、纤维素漆、过氯乙烯漆、丙烯酸漆、聚酯漆、环氧树酯漆、聚氨酯漆、元素有机硅漆、橡胶漆等。

根据施工的层次，涂料又可分为腻子、底漆、面漆、罩光漆等不同的品种。底漆又可分为头道底漆和二道底漆两种。底漆还可以从它包含的主要防锈颜料，分为红丹底漆，铁红底漆、锌黄底漆等。

根据稀释剂的种类，涂料还可以分为溶剂型和水溶型，前者以有机溶剂作为稀释剂，后者以水作为溶剂。

此外，根据漆膜光泽的强弱，还可以把涂料分成无光、半光(或者平光)，有光等品种。

在很多场合，涂料还可以按用途或涂刷的对象命名。例如：防锈漆、绝缘漆、耐高温涂料；又如地板漆、罐头漆、锅炉漆、黑板漆、机床漆等。

涂料的作用最主要的是能够阻止或延迟物体暴露在大气之中受到氧气、水分等的侵蚀造成金属锈蚀、木材腐朽等破坏现象。防腐蚀涂料能保护化工、炼油、冶金及机械工业的

机器、设备、管道、构筑物等，减轻化学介质的侵蚀。对航空、航天飞行器而言，它们经常需要抗高温氧化和硫化，抗电化学腐蚀的优异性能的涂层。

使金属产生电化学腐蚀而被破坏的条件，是由于水、氧及离子在金属表面产生腐蚀电流的缘故。因此，涂料要达到保护金属的目的，首先应具备以下的条件：

第一，漆膜应有良好的屏蔽作用。即漆膜的抗渗透性好，能阻止或抑制水、氧及离子透过，使金属避免与腐蚀介质接触，防止形成腐蚀电流或抑制其活动。

由于构成腐蚀电流的条件是电位不同的两个局部电极（阴极和阳极）、电介质溶液及两极的连接。所以，电化学腐蚀产生腐蚀电流，使阳极金属不断溶介，生成金属离子，最后变为腐蚀产物——锈。

决定腐蚀速度的腐蚀电流可由下式表示：

$$I = \{(E_c - E_a) - (P_c + P_a)\} / R$$

式中  $E_c$ 、 $E_a$  分别为阴极和阳极的开路电位；

$P_c$ 、 $P_a$  分别为阴极和阳极的极化度；

$R$  为两极间的阻抗。

由上式可见，当减小极电位差( $E_c - E_a$ )，增大电阻 $R$ ，保持两极有较高的极化度( $P_c - P_a$ )，均可使腐蚀电流减小，达到防蚀或缓蚀目的。

如果漆膜抗渗透性好，没有或只有很少量的水、氧在金属表面，电极反应难以进行，电极电位 $E_c$ 和 $E_a$ 很小，电极的极化度 $P_c$ 和 $P_a$ 高。因此，腐蚀电流较小，腐蚀速度变慢，使金属不易被腐蚀。

第二，漆膜有较高的电阻效应。涂装在金属上的漆膜，

妨碍了阳极或阴极与溶液间的离子移动。实际上，在腐蚀电流回路的溶液部分，介入高电阻，从而降低腐蚀电流，保护了金属。

第三，涂料的颜料有较好的钝化作用。大多数的碱性颜料可与油性漆料生成金属皂化物，从而降低漆膜的吸水性和透水性。漆膜氧化、降解所生成的一些有机酸，与颜料生成皂化物，也有缓蚀作用。当把钢板浸在金属皂的水抽出物中，发现钙、锶、钡等金属皂均可抑制腐蚀。

曾有报导，在油漆中使用铬酸盐，对金属有明显的钝化作用。尤其是具有氧化性的盐类如  $K_2Cr_2O_7$ ， $KCrO_4$ ， $KMnO_4$  等，即使在很小的浓度下，也能使铁碳合金钝化，它们在漆膜中，由于透过微量水分被溶解，而发挥其钝化金属的作用。

第四，具有较好的阴极保护作用。这是一些在特殊场合下，使用含有大量金属粉的漆膜所表现的作用。以漆膜中的锌粉为例，在微碱性到酸性介质中，锌的电极电位低于铁，由锌粉粒子供给电子作为阳极，阻止了铁的腐蚀，作为漆膜组成的锌粉，则逐渐被消耗。

因此，对以保护作用为主要用途的涂料，要求漆膜致密，有好的抗渗透性，有一定的机械强度，能起良好的屏蔽作用，加有一定的防锈颜料时，特别是可溶性铬酸盐系颜料和金属粉末，可以获得满意的保护效果及高温防腐蚀能力。<sup>〔1〕</sup>

除了保护作用而外，各种颜色鲜艳的涂料，涂装在火车、轮船、汽车、自行车等交通运输工具及房屋、家俱、日常用品上起装饰作用，使其美观大方，明快舒畅，人们的生活也变得五光十色，绚丽多采。

由于涂料可使各种物件带上明显的颜色，所以，它还可以起到标志作用。工厂的各种设备、管道、容器、槽车等涂上各种不同颜色的涂料后，使操作工人容易识别，提高操作的准确程度，避免事故的发生。道路划线漆，铁道号志漆对保证行车安全，维护交通秩序，都有着非常重要的作用。

除此之外，涂料还有一些特殊作用，例如：电器表面为增加绝缘性涂敷的绝缘漆，为防止海洋生物的粘附，保持船壳的光滑平整，以达到提高航速，节约燃料和延长船舶使用期限的目的，就必须在各种海轮、舰艇的底部涂以船底防污漆；在发展航空、火箭、人造卫星和航天等科学技术中，要求有耐高温、耐腐蚀、耐气流冲刷、射线侵蚀等特殊性能的涂料，以及超温报警的示温涂料、电子工业的导电涂料、吸收红外线的防红外线涂料等都适应各种不同的要求，为工农业和国防军工的发展，发挥着应有的作用，成为国民经济中不可缺少的一个组成部分。<sup>〔2〕</sup>

## 二、典型的涂料

### 1. 高温防腐蚀涂料“SermetelW”

现代飞行器性能的提高，要求不断发展抗高温氧化和硫化、抗电化学腐蚀的新型涂层。

“SermetelW”就是属于这一类的无机涂料。它是由铬酸盐或磷酸盐无机粘结剂的水溶液和弥散分布的铝粉组成的料浆。对防热剥落、防氧化和防止通常在周期性热氧化、盐雾环境下工作而产生的腐蚀是很有效的。在5%或20%的盐雾试验中，常常可以超过5000小时而不生锈。它克服了通

常有机涂层老化和变质的缺点，使涂层具有较好的稳定性。

该涂层适用于在复杂腐蚀条件下工作的部件，如经常处于高热、盐水和高湿度下工作的喷气式飞机发动机零件。它与金属有突出的粘结性；可以通过刷涂、浸涂、喷涂和电泳沉积等方法施工，加热固化后，形成一种陶瓷与金属的复合涂层。对被涂零件进行机械加工而不会引起涂层剥落，同时，对机械加工面周围的涂层也没有影响。经固化，厚度为4微米的涂层，介电强度可达50兆欧，当被涂表面的温度高于538°C时，涂层完全变成导电的。这时，该涂层可用于牺牲性防护和电化学腐蚀防护。

该涂层有极好的耐磨性，比化学镀镍还好。因此，在飞机发动机入口处在抵抗高速粒子飞尘的磨蚀方面，都具有良好的效果。此外，该涂层还具有很好的粘结性。在一些比较难结合的金属如铜、钛、铌等基体上，都能形成一个牢固结合的涂层。弯曲试验表明：该涂层的柔韧性超过至今已测试过的一般金属镀层与陶瓷涂层，固化后的涂层，可绕一个半径为基体金属厚度14倍的轴弯曲180度而不发生龟裂、脱落、掉粉或其它形式的破坏。

“Sermetel W”涂层有四种基本类型：

第一类涂料是非导体，具有韧性；抗冲击，耐腐蚀，可用于温度达871°C的受氧化腐蚀的零件及高温下受海洋环境腐蚀的零件。它可用在固化和后处理温度低于343°C的基体材料上，该涂料的固化温度最低为191°C。

第二类是一种广泛使用的导电涂层。它需要经过后固化处理，以便得到一种抗氧化、抗电化学和海洋环境侵蚀的牺牲性阳极保护涂层。

第三类与第二类涂层相似，只是在使用最后一道涂料之前，应对已固化的涂层用机械打磨，从而得到一种牺牲性阳极保护涂层。该涂层固化温度 $343^{\circ}\text{C}$ ，使用温度为 $649^{\circ}\text{C}$ ，使用时，涂层将产生极少量的白色腐蚀产物。该涂层可以保护相同或不同金属基体的连接处或焊缝，不需要使用密封带或密封胶，就可以防止双金属腐蚀。

第四类是一种防腐蚀性跟第二类相同的防护涂层。底层是导体，面层是非导体，通常要配合抛光，打磨等表面修整。该涂料经过特别的光饰处理后，表面光洁度大大提高，可以用在压气机叶片和风扇叶片上。

“SermetelW”作为高强度钢的防护涂料，有较强的抗应力腐蚀能力，不象镉或其它镀层那样容易引起氢脆。被涂零件的使用温度达到 $538-649^{\circ}\text{C}$ ，涂层能自行获得导电性，对铁合金的划伤、碰伤、小孔，均能提供牺牲性保护。在 $871^{\circ}\text{C}$ 的使用温度下，涂层可使钢的寿命延长100倍，同时，还生成一个坚硬、耐磨、抗浸蚀表面。

由于采用陶瓷粘结剂体系及热扩散性极好的铝填料，使“SermetelW”涂料能较好地被使用于喷气式飞机发动机燃烧室的防护，在温度高达 $981-1037^{\circ}\text{C}$ 时，涂层能限制热在燃烧室周围聚集，将热扩散出去，因此，成功地阻止了热应力裂纹的产生，延长了燃烧室的寿命。

通常，该涂层的使用温度是 $871^{\circ}\text{C}$ ，但在 $676^{\circ}\text{C}$ 时，表现出最优异的防护性。当涂在高温合金上，在高温下使用时，它可以在基体金属上扩散热，形成新的耐高温合金表面。

第二类涂层，国内已由化工部涂料研究所研制成功，经

过鉴定，已开始投入使用。

## 2. 耐热叶片涂料

飞机在高速飞行时，要求涂层有良好的耐气流冲刷及耐砂蚀性能。尤其是对于发动机进气机匣叶片的保护漆，更要求漆膜坚韧、光亮，附着力好，以保证发动机的气动性能。

国外飞机发动机的压气机静子、转子叶片上，均采用一种白色涂料，连续工作温度达 $250^{\circ}\text{C}$ ，有突出的耐受发动机工作界质的能力；在燃油、合成滑油、磷酸酯液压油中，于 $70^{\circ}\text{C}$ 下保持七天后，漆膜还十分坚固，能顺利地通过2 000克刮痕试验。<sup>〔3〕</sup>

该涂料是由环氧树脂与有机硅树脂共聚改性，并加入氨基树脂作为成膜物，以二氧化钛为颜料所组成。由于有机硅树脂具有一 $\text{Si}-\text{O}-$ 主链，在高温下，硅原子上的有机基团（甲基、苯基）大部分分解，只剩下硅氧骨架，它与高温颜料配合，可以继续起高温保护作用，具有较高的热稳定性。由于纯有机硅漆的附着力、耐溶剂性差，且干燥时间长。仅仅在高温下，才能在较短的时间内干燥，所以，采用环氧树脂改性有机硅树脂。事实上，含有羟基（ $\text{OH}$ ）和烷氧基（ $\text{RO}-$ ）的硅树脂可以和有机树脂共缩合。当有机树脂含量为30%时，几乎不降低硅树脂的耐热性，同时，还能改善树脂的固化性、光泽、硬度、柔韧性、耐溶剂性、附着力及与颜料的混溶性。

环氧树脂具有中等的耐热性，且耐腐蚀性、耐溶剂性能都比较好，用其改性有机硅，就可兼得两者的优点。加入氨



基树脂，可增加环氧有机硅的混溶性，并降低烘烤温度。二氧化钛是致密的钝化膜，因此，是一种耐候性最好的白色颜料。

该涂料在250°C下保持100小时后，还可以承受750克负荷的刮痕试验。它较之于其它涂层，还具有特别优良的耐界质、耐气流冲刷及耐腐蚀性。这种涂料已由国内化工部涂料研究所仿制成功，正在有关单位试用。

### 3. 改性环氧树脂漆

环氧树脂漆在涂料工业中占有重要地位，广泛地应用于汽车工业、造船工业、化学工业和电气工业中。它具有优良的抗化学品性能，突出的耐碱性，漆膜具有优良的附着力，特别是对金属表面附着力更强，还具有较好的热稳定性和电绝缘性。由于漆膜分子结构中苯核上的羟基被醚化，性质稳定，所以，由环氧树脂漆形成的漆膜，具有较好的保色性。

然而，环氧树脂漆也还存在一些缺点，如耐候性较差，漆膜容易粉化、失光，树脂结构中含有的羟基在制备漆料时如处理不当，会引起漆膜耐水性差。

为了全面发挥环氧树脂漆的优点，克服缺点，可以用其它合成树脂与其并用，经高温烘烤后，交联成为改性的环氧树脂漆膜，使其同时具有突出的耐化学品性，良好的机械性能、耐候、耐水和装饰性。可以用来改性的合成树脂，主要有酚醛树脂、聚酯树脂、脲醛树脂、三聚氰胺甲醛树脂、醇酸树脂和多异氰酸酯等。

如选用高分子量(2 900—4 000)的环氧树脂，含有较多的羟基，与酚醛树脂的羟甲基反应时，进行固化后，漆膜可同时兼具有耐酸性和耐碱性的优良性能。为了提高漆液的贮存