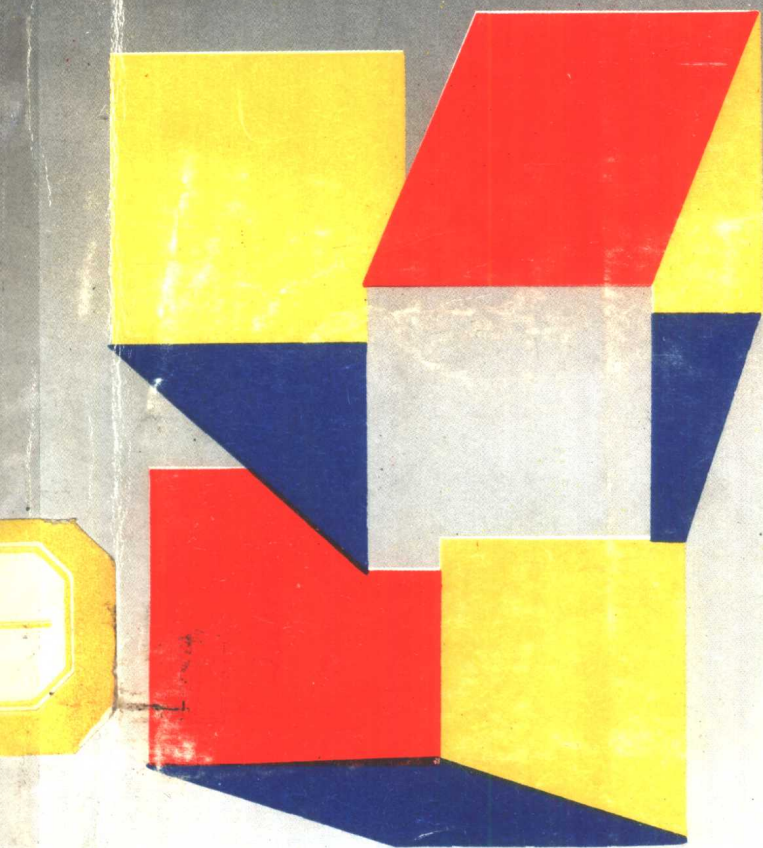


938471

非金属材料 及其应用

朱家才 马业英
李 桦 / 编著

湖北科学技术出版社



非金属材料及其应用

朱家才 马业英 李桦 编著 • 湖北科学技术出版社

鄂新登字63号

非金属材料及其应用

朱家才 马业英 李 桦 编著

*

湖北科技出版社出版发行 新华书店湖北发行所经销

湖北省新华印刷厂江汉分厂印刷

787×1092毫米 32开本 11.125印张 1插页 242千字

1992年2月第1版 1992年2月第1次印刷

ISBN7-5352-0725-1/TB·8

印数：1—3000

定价：4.75元

前 言

材料是实现工业、农业、国防和科学技术现代化的重要物质基础，它与信息、能源构成新技术革命的三大支柱，是人类社会进步的主要标志，也是现代社会赖以生存和发展的基本条件之一。

近几十年来，随着科学技术的突飞猛进，材料科学的发展速度和水平，超过了以往几百年乃至上千年，而且对材料的要求愈来愈高。在机械工业中也一样，随着信息科学和材料科学的发展，新产品不断涌现。然而，长期以来，机械工程材料一直是以传统的金属材料为主，尤其是以钢铁材料为主。虽然金属材料具有许多优良性能，但在许多情况下，如要求耐高温、耐腐蚀、耐磨损和声、光、电、磁等特殊功能时，现有的金属材料就不能满足了。因此，在机械、动力工业中，非金属材料，特别是高分子材料、塑料、陶瓷、复合材料等的应用日益广泛，尤其是在代替有色金属、贵金属等方面经济效益更为突出。故目前在基础材料生产中，非金属材料所占比重逐渐扩大，在许多极重要的领域，金属材料已被新的非金属材料所取代，而且这一趋势还在发展之中。因此，高等学校机械、动力类的学生，机械、动力类工程技术人员，必须具备非金属材料的基础知识，能合理选择、正确使用各种非金属材料。

本书最初作为高等学校机械、动力类本科生开设“非金属材料”课程的讲义，经过几年的教学实践，又作了一些修

改和补充。这次出版前，我们又作了必要的删补。全书共分六章，即高分子材料的基础知识、塑料、橡胶、胶粘剂、陶瓷和复合材料。在内容阐述上，力求做到通俗易懂、深入浅出，不过多地涉及有关专业理论，以便于机械、动力类师生自学、教学和指导实践。本书可作为高等学校本科、专科（包括电视大学）机械、动力类各专业非金属材料课的教材和教学参考书，也可供机械、动力、材料类研究生、工程技术人员和科研人员学习参考。

本书在编写过程中，参阅了国内外有关文献，有的列入了书末的主要参考文献中，有的则限于篇幅未能列入，在此一并表示谢意。

由于我们见识不广、水平有限，书中如有不妥、疏漏甚至错误之处，恳请读者批评指正。

编著者

1990年6月

目 录

前言	(1)
绪论	(1)
第一章 高分子材料的基础知识	(5)
§ 1—1 概述	(5)
一、高分子的概念、命名和分类	(5)
二、高分子化合物的基本性质	(14)
三、高分子材料的人工合成	(16)
四、高分子材料的鉴别方法	(20)
§ 1—2 大分子链的结构与性能	(25)
一、结构单元的化学组成	(26)
二、结构单元的键接方式和构型	(26)
三、大分子链的几何形状	(29)
四、大分子间的作用力	(31)
五、大分子链的柔顺性	(33)
§ 1—3 聚集态结构与性质	(38)
一、结晶聚合物的结构	(39)
二、无定形聚合物结构	(41)
§ 1—4 高聚物的物理状态	(24)
一、线型无定形高聚物的物理状态	(43)
二、线型结晶高聚物的物理状态	(47)
三、体型高聚物的物理状态	(49)
§ 1—5 聚合物的化学反应及其老化	(50)

一、聚合物的化学反应.....	(50)
二、聚合物的老化与防老化	(54)

第二章 塑料 (61)

§ 2—1 概述 (61)

一、塑料的概念、分类、特性.....	(61)
二、塑料的组成.....	(61)

§ 2—2 塑料的性能 (70)

一、机械性能.....	(71)
二、热性能.....	(78)
三、化学性能.....	(80)

§ 2—3 通用塑料 (81)

一、聚乙烯 (PE)	(81)
二、聚氯乙烯 (PVC)	(83)
三、聚苯乙烯 (PS)	(86)
四、聚丙烯 (PP)	(88)

§ 2—4 工程塑料 (92)

一、聚酰胺	(92)
二、ABS塑料	(95)
三、聚甲醛 (POM)	(97)
四、聚碳酸酯 (PC)	(100)
五、聚砒.....	(104)
六、聚四氟乙烯 (F-4)	(106)
七、聚甲基丙烯酸甲酯 (有机玻璃)	(108)
八、氯乙聚醚 (CPE)	(110)
九、酚醛塑料 (PF)	(112)
十、环氧树脂	(116)

§ 2—5 塑料的成型加工与选用 (118)

一、塑料的工艺性能	(118)
-----------------	-------

二、塑料的成型方法	(122)
三、塑料的加工	(128)
四、塑料的选用	(132)

第三章 橡胶..... (139)

§ 3—1 概述

一、橡胶的组成

二、橡胶的性能特点

§ 3—2 橡胶材料

一、天然橡胶

二、通用合成橡胶

三、特种合成橡胶

四、再生胶

§ 3—3 橡胶的老化及防止

一、影响橡胶老化的因素

二、橡胶老化的防止

§ 3—4 橡胶制品的成型及其应用

一、橡胶制品的成型工艺

二、橡胶材料的应用

第四章 胶粘剂..... (189)

§ 4—1 概述

一、胶接技术的特点

二、胶粘剂的组成

三、胶粘剂的分类

四、胶接原理

§ 4—2 常用胶粘剂

一、环氧胶粘剂

二、改性酚醛胶粘剂

三、聚氨酯胶粘剂	(213)
四、丙烯酸酯类胶粘剂	(214)
五、无机胶粘剂	(217)
§ 4—3 胶接技术	(219)
一、胶粘剂的选用	(219)
二、胶接接头的设计	(228)
三、胶接工艺	(230)
§ 4—4 胶接技术在工业中的应用	(233)
一、在设备维修中的应用	(233)
二、在汽车修理中的应用	(235)
三、在农机制造及维修中的应用	(237)
四、在模具上的应用	(239)

第五章 陶瓷

§ 5—1 概述	(241)
一、陶瓷的概念及分类	(241)
二、陶瓷的生产工艺	(242)
三、陶瓷材料的特点	(248)
§ 5—2 陶瓷的结构	(249)
一、陶瓷的物质结构	(250)
二、陶瓷的显微结构	(252)
§ 5—3 陶瓷的性能	(261)
一、陶瓷的机械性能	(261)
二、陶瓷的热性能	(269)
三、陶瓷的其它性能	(274)
§ 5—4 特种陶瓷及其应用	(276)
一、氧化铝陶瓷	(277)
二、氮化硅陶瓷	(279)
三、碳化硅陶瓷	(283)

四、氮化硼陶瓷.....(284)

五、其他陶瓷材料.....(286)

第六章 复合材料..... (288)

§ 6—1 概述 (288)

一、复合材料的概念、命名和分类.....(288)

二、复合材料的特性.....(292)

三、增强材料与基体材料.....(296)

§ 6—2 复合理论简介 (299)

一、增强原理(299)

二、连续纤维单向增强复合材料的强度.....(301)

三、基体与增强材料的界面和结合强度.....(305)

四、裂纹及其对复合材料强度的影响.....(307)

§ 6—3 树脂基复合材料及其应用 (308)

一、玻璃纤维-树脂基复合材料(308)

二、碳纤维-树脂基复合材料(323)

三、硼纤维-树脂基复合材料(329)

§ 6—4 金属基复合材料及其应用 (331)

一、硼纤维增强的金属基复合材料.....(333)

二、石墨纤维金属基复合材料.....(334)

三、氧化铝晶须增强镍复合材料.....(335)

§ 6—5 层合复合材料及其应用 (337)

一、层合金属基复合材料.....(337)

二、塑料-金属多层复合材料(337)

三、夹层结构复合材料.....(338)

§ 6—6 功能复合材料 (340)

一、吸收屏蔽性功能复合材料.....(340)

二、自控发热功能复合材料.....(341)

三、烧蚀材料-碳/碳复合材料(341)

四、导电复合材料.....	(342)
五、光学功能复合材料.....	(343)

结 论

非金属材料是金属材料以外的一切材料的总称，包括有机高分子材料（塑料、橡胶、纤维等）及无机非金属材料（统称陶瓷材料）。它们同金属材料一起被称为三大固体材料。

长期以来，机械工程材料一直是以传统的金属材料为主，尤其是以黑色金属材料为主，可以说是由金属材料一家独揽。随着近代科学技术的飞跃发展，金属材料的某些性能和耐腐蚀性、电绝缘性、比重等已不能满足要求，这就需要研制出新型材料来取代，因而促进了非金属材料的迅速发展，尤其是以高分子材料发展最快。目前，在工业上所使用的非金属材料主要有工程塑料、合成橡胶、合成胶粘剂、工业陶瓷和复合材料。其中以合成高分子材料中的工程塑料应用最广。

高分子材料自1920年确立了大分子链结构学说后，人工合成高分子材料只用了短短几十年时间，就其产量和应用领域来说，已经发展成为可以和具有2000年历史传统的钢铁材料相匹敌的重要工程材料。美国从1929~1969年40年内，高分子材料增长500倍。全世界的情况也大致相同。可以说任何一种工业的增长都不曾有过这样快的速度。其中发展最快、应用最广的是塑料。据统计，1930年全世界塑料的总产量为10万吨，1950年达160万吨，1960年740万吨，1970年3000万吨，1977年5000万吨，1978年5733万吨，1979年6295万吨。

全世界塑料的产量大约每5年翻一番。预计到2000年约达3.5亿吨。1983年全世界产量（体积）与钢铁产量（体积）相等，到2000年其产量（体积）可为钢铁产量的4倍。全世界塑料的消耗量据统计约5年增长1倍。塑料之所以获得如此惊人的发展，是由于本身所具有的特性所决定的。如质轻、比强度高、化学稳定性好、耐腐蚀、良好的电绝缘性、优良的耐磨性和自润滑性、良好的吸振性和成型工艺性等。塑料的品种繁多，性能各异，它在工程中的应用，首先是本世纪初研制的酚醛树脂（电木），是电器工业中不可缺少的绝缘材料。30年代出现的具有较高强度的聚酰胺在机械工程中得到成功的应用，随后，新的塑料品种不断涌现。30年代相继出现了合成聚氯乙烯、有机玻璃、聚苯乙烯、低密度聚乙烯和聚酰胺；40年代出现了ABS塑料和聚四氟乙烯塑料；50年代出现了高密度聚乙烯、聚丙烯和聚碳酸酯；60年代出现了聚甲醛、聚氯醚和聚砒。这些工程塑料已在工程材料中占据重要地位，它的“足迹”遍及国民经济各个领域。从国防工业到民用工业，从尖端技术到一般农业生产部门，都可见到工程塑料制造的零部件。如在机床与工程机械中，用来制造齿轮、齿条、手轮、手柄；在汽车工业中，用增强塑料制成汽车车身，可减轻自重，提高速度，节约燃料，在每辆汽车上约有300~400个塑料零件；在化工机械方面，大量用于制造管道、容器、阀门和泵等零件；在仪器仪表工业中，用于印刷电路板以及仪器、仪表上采用的塑料齿轮、凸轮、面板和罩壳等零件；在纺织机械上，用塑料取代木材，提高零件寿命。总之，工程塑料在国民经济的各部门已被广泛应用。

合成橡胶由于第二次世界大战对绝缘材料和轮胎的急需，促进了塑料和橡胶工业的发展。1914年人们首次用人工

合成的方法获得了在高弹性、耐磨性、隔音性等性能方面均超过天然橡胶的合成橡胶。因此，合成橡胶产量的增长速度也十分可观，1970年世界总产量为550万吨，预计到2000年可增长到4400万吨。

塑料和橡胶在工业上的应用极为广泛，可以这样说，如果没有塑料和橡胶，就象没有钢和木材一样。

合成胶粘剂是一种粘结材料，能用来牢固地粘结两个相同或不同材料的构件，近年来在宇航、机械、电子、轻工等工业部门中得到广泛应用，因此，合成胶粘剂作为一种新颖的材料受到广泛的重视。

工业陶瓷是一种无机非金属材料，它具有耐高温、抗氧化、耐腐蚀、硬度高和耐磨损等金属材料所不能比拟的优点，它的脆性和抗热震性能也正在逐步获得改善。目前正在积极推行采用以人工化合物（氮化物、碳化物等）为原料的精密陶瓷取代耐热合金，用于宇航、动力机械零件、化工设备等。近来采用精细陶瓷制造发电机、内燃机和小型航空发动机，国外已有成功的经验，如在制造汽车发动机方面，可提高功率45%，节油30%，因而工业陶瓷在现代工业中已得到愈来愈广泛的应用。

近代复合材料的发展是近几十年的事，它是把一些不同性能的材料组合起来，互相取长补短，为新型材料的研制开辟了新的的重要途径。合成树脂基复合材料的出现，解决了很多具体问题，但是它们的耐热性差，于是金属基复合材料、陶瓷基复合材料，在60年代以后相继发展起来。由于近代复合材料具有比强度和比模量高，抗疲劳性、减振性、耐热性以及破损安全性良好，所以近代复合材料发展历史虽然不长，但已成为一种引人注目的新型材料，在国民经济及尖端

科学技术上有着广阔的应用前景，在航天、航空方面应用最早，毫不夸张地说，如果没有近代复合材料，也就不可能有当今的宇航工业。

非金属材料在工业中的应用，虽只有几十年的历史，然而却已显示出它的无穷的潜力，有人曾预言，在不久的将来，非金属材料特别是合成高分子材料在工业中的应用将可能超过金属。非金属材料，尤其是合成高分子材料，种类繁多，性能各异，这就有必要从本质上认识、了解产生此种性能的原因。合成高分子材料的性质与金属材料一样是其内部结构的反映，因而同研究金属材料的性质一样，要掌握高分子材料的性能规律，就要从研究其内部结构入手，认识其结构，了解结构与性能的关系。

目前，以合成高分子材料为主体的非金属材料在工业上的应用正在迅速扩大，其发展总趋势是提高性能、发展功能。当前继续研制具有高强度、耐高温、耐磨、耐腐蚀的新型复合材料以及具有光、电、磁等物理功能的高分子材料，并以各种方法对现有品种进行改性，使其性能特别是综合性能得到提高或得到某一突出性能。为此，必须要解决好两个方面的问题：一是要弄清高分子化合物的结构与其性能的关系，二是确定可以合成具有特定结构高分子的方法。这些研究任务的完成，都将使非金属材料在工业中的地位大大提高。

第一章 高分子材料的基础知识

高分子材料是以高分子化合物为主要组元的材料。

高分子化合物一般是指分子量很大的一类化合物，简称**高分子**或**大分子**。它可分为有机高分子化合物（包括天然和人工合成两类）和无机高分子化合物（包括硅酸盐材料、陶瓷、玻璃、水泥等）两大类。本章所研究的是经常用到和见到的各种塑料、橡胶、纤维等合成有机高分子化合物的有关基础知识。

§1-1 概 述

一、高分子的概念、命名和分类

1. 高分子概念

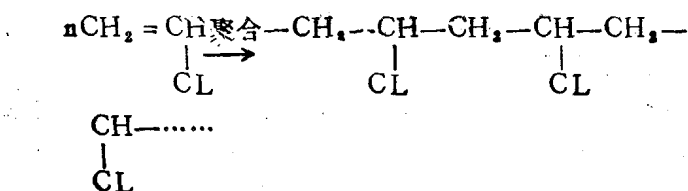
化合物可分为低分子化合物和高分子化合物，所谓**高分子化合物**是指分子量特别大的有机化合物而言，一般把分子量小于5000的化合物称为低分子化合物，象我们熟知的蔗糖、食盐、酒精等这一类物质，分子量比较小，分子量只有几十、几百就属于低分子化合物。而把分子量大于5000的化合物称为**高分子化合物**，简称**高分子**，象蛋白质、纤维素以及人工合成的高聚物等这类分子比较大，分子量可以达到数万、数十万、甚至数百万，则属于高分子化合物。

高分子化合物的分子量虽然很大，但它的化学组成一般并不复杂，它们都是由一种或几种简单的低分子化合物的结构单元，按一定方式以共价键重复连接而成的。由此，高

子化合物可定义为：高分子化合物是以共价键联结许多重复结构单元所形成的长链结构为基础的高分子量化合物。

有些高分子只有一种结构单元，如聚乙烯的分子是由“—CH₂—CH₂—”结构单元组成的。有些高分子有两种结构单元，如尼龙—66的分子含有“—CO—(CH₂)₄—CO—”和“—NH—(CH₂)₆—NH—”两种结构单元，以共价键结合成尼龙分子的结构单元“—[CO—(CH₂)₄—CO—NH—(CH₂)₆—NH—]—”，然后由这种结构单元重复排列成尼龙—66的大分子。

合成高分子是由一种或几种低分子化合物通过化学聚合反应而形成的，这种由低分子化合物到高分子化合物的转变称之为聚合，这种物质又称为聚合物或高聚物。聚合以前的低分子化合物称为单体，例如氯乙烯经聚合反应变成聚氯乙烯，



氯乙烯（单体） $\xrightarrow{\text{聚合}}$ 聚氯乙烯（高聚物）

这种长链称为大分子链，它是由结构单元 —CH₂—CH₂—
 $\substack{| \\ \text{CL}}$
 经多次重复连接而组成的，可以简定为 —[CH₂—CH₂—]_n—。大
 $\substack{| \\ \text{CL}}$

分子链中重复排列的结构单元称为链节。重复的次数 n 称