

中学化学课程资源丛书

ZHONGXUE HUAXUE KECHENG ZIYUAN CONGSHU

CHEMISTRY

话说材料

罗寒 孙申◎编

远方出版社

The background features a large, light blue circular graphic that frames the title. Below the circle, the lower half of the cover is a dark blue gradient. At the bottom, there are faint, light blue chemical structures, including a benzene ring and a more complex organic molecule, overlaid on a grid of hexagons.



目 录

材料概述	1
引 言	1
材料的分类	5
材料的性质	10
材料的利用	11
材料和资源的循环	13
陶瓷材料	16
古陶瓷科技	16
传统陶瓷	23
珐琅彩瓷	24
矿物岩石材料	28
矿物材料	28
纳米材料	64





纳米材料的表面效应	69
纳米材料及技术应用	71
纳米技术取得的成果	83
纳米涂层材料	84
高分子材料	87
塑 料	92
橡 胶	100
化学纤维	105
功能高分子	114
高分子有机磁性材料	128
热致变色示温材料	135
金属材料	143
传统金属材料	143
新型金属材料	147
贮氢合金	152



材料概述

引 言

近年来,随着材料科学技术的飞速发展和各种新材料的不断涌现,实现了一系列新技术革命,从而,使得整个现代科学技术和社会生产力发展到了前所未有的新水平。完全可以说,我们现在是生活在一个绚丽多彩的新材料和新技术层出不穷的时代。过去的许多梦想,如今都一个个地成为了现实。高科技方面的巨大进展,使得人们已不满足于仅仅乘飞机周游全球,而是要征服太空。不仅卫星已被送入太空,人类还成功地登上了月球。1990年海湾战争中出现的隐形飞机使得“隐身技术”已不再是科幻作家的专利。在日常生活方面,日新月异的新技术和新产品每天都不断地丰富和改善着人们的生活面貌。这一切进步无一不





是建立在材料科学技术的进展基础之上的。

什么是材料呢？我们将人类在社会活动中制做各种产品所使用的固体称为材料。事实上，没有任何一件物品不是由材料制成的。

材料是工业、农业、国防、科学技术及人民生活的物质基础。无论是科技进步还是发展生产以及人们的日常生活，处处都离不开材料。例如，制作各种日用器皿离不开金属、塑料、玻璃、陶瓷等材料，制造机器要用钢铁及各种有色金属材料，而修建房屋则离不开砖石、水泥等建筑材料。新兴工业及高科技领域更需要使用各种具有特殊性能、人们还不太熟悉的新型材料。如制造人体器官使用的生物陶瓷材料，磁悬浮列车技术中使用的超导磁性材料，制造激光器所用的激光材料，火箭的外壳和鼻锥需要的耐高温材料，具有特殊用途的压电材料和热释电材料等等。材料的品种之多，用途之广，不胜枚举。

尤其近十年来，科学技术的高度发展，要求使用一些具有特殊性能的材料，从而促使能够满足人类不同需求的各种新材料不断面世，使得过去无法解决的高难技术得以突破，整个现代科学技术得以向前突飞猛进，人类的生活面貌发生着日新月异的根本变化。如光学纤维在十几年以前还是科学家们在实验室探索的课题，现在却变为了广泛使用的现实。光学纤维的出现，引起了邮电、通讯、广播、电视技



术、医疗技术、工业探伤技术、微光夜视技术等革命性飞跃,使在短短几年时间里,电话机进入了普通人家家庭,带来了信息技术的一场革命。在此基础上,人们于1993年正式提出了建立“信息高速公路”的跨世纪工程的宏伟计划,这些目标的一一实现,必将彻底改变人类的生活面貌。立方氮化硼、人造金刚石及赛隆(sialon)陶瓷等超硬材料在研磨、切削、钻探等工具中的应用,带来了机械加工和采掘业的重大革新。由此可见,材料的品种、质量和数量直接影响着人们的生活。从某种意义上说,材料是科学技术发展水平的标志,也是衡量一个国家现代化程度的标志。人们把材料科学技术、能源科学技术和信息科学技术并列为现代科学技术的三大支柱,确立了材料的重要地位。

我们的祖先早在1万年以前就发明了制陶术,实现了人类历史上第一个用人工方法制成材料。陶器和青铜器成为人类进入奴隶社会的标志,作为人类文明史上的大事而载入史册。公元2—3世纪,制成了比陶器的质更细、更坚硬而美观的瓷器。陶器和瓷器的性质具有相似之处,其制作工艺大同小异,故统称二者为陶瓷。陶瓷发展至今,其制作工艺及性能更为优良,包括的范围已更为广范,成为了固体材料的一个大家族。如今陶瓷材料与金属材料 and 有机高分子材料并列为当代三大固体材料。

这三大固体材料各自有着不同的特性。一般说来,陶



瓷硬度大、耐高温、有脆性；金属材料具延展性、导电性和导热性；有机高分子材料易老化等。为什么它们会具有这些不同的性质？它们之间有无共性呢？人们在对此进行了长期的探索和研究的基础上，先后形成了“金属学”、“陶瓷学”和“高分子结构(物理)学”等分别研究金属材料、陶瓷材料和高分子材料的学科。随着材料应用领域的扩大和研究的深入，发现这些材料之间不仅可互相替用(如陶瓷代替金属或高温合金，聚合物代替金属，聚合物代替陶瓷等)，而且可互相复合为复合材料(金属基陶瓷复合材料、有机基复合材料等)。不同材料之间可互相替用和复合的事实说明这些材料之间存在着共性。于是，在 20 世纪 60 年代初正式形成了研究材料共性的“材料科学”。材料科学主要研究材料的成分、原子或分子结构、微观及宏观构造(组构)以及加工制造工艺与性能之间的关系。

材料科学主要以晶体学、固体物理学、固体化学、热力学和动力学、冶金学和化工等学科为基础，对材料的内在规律和应用进行探讨。随着科学技术和生产力的发展，对材料的需求和性能要求越来越高。人们根据材料应用中所需要的性能，可以应用已知的规律和理论，从成分、结构、性质等直到工程中的具体应用进行设计和实施，这就形成了“材料工程”。“材料科学”和“材料工程”结合起来就构成了一门新兴的学科——材料科学与工程(Material Science



and Engineering),我国则多称为材料科学与技术。该学科的建立,大大地促进了材料的研究、设计、开发和生产的水平。如今,材料科学与工程(技术)已成为了当代最重要的学科。材料的品种、数量和质量成为了一个国家现代化程度的标志。

目前,世界各国已将竞争的焦点转到经济方面,而经济上的竞争实际上是科学技术的竞争。这种竞争进一步推动了科学技术的飞速发展。以信息科学、生命科学和材料科学为基础的科学技术革命,已将人类的物质文明推向一个新阶段。电子、能源、精密仪表等高新技术产业正蓬勃崛起,这些产业所需要的电子材料、能源材料和各种功能材料起着日益重要的作用。这对新型材料的开发、应用、提高材料的性能和寿命等方面提出了更高的要求,从而加速了各种新型材料的开发速度,以满足人类这种越来越高的要求。

材料的分类

在浩瀚的材料世界里,材料的品种繁多。世界各国对材料的分类不尽相同。根据材料的成分、显微结构和性质,将材料分为四个大的类别(图 1.1):



图 1.1 三大材料: 金属材料、无机非金属和有机高分子材料及几类可能的复合材料类型

- 金属和合金;
- 有机高分子材料;
- 无机非金属材料;
- 复合材料。

大部分的金属在常温下都是原子固体。最常用的金属材料是铁、铝和铜。金属合金一般是两种或多种金属的固溶体,如黄铜是铜和锌的合金。然而,合金也可以含有非金属元素,如由 Fe—C 合金组成的各种钢。

金属及其合金一般是电、热的良导体,不透明,具质硬



不易弯曲和塑性变形等性质。

有机高分子材料一般是由碳原子长链上结合一些 H 或 Cl 或原子团的大分子化合物。另一些元素如 S, N, Si 等同样可以进入碳原子链的位置。

最著名的有机高分子材料是氯乙烯 (PVC)、聚乙烯 (PE) 和聚苯乙烯 (PS)。有机高分子材料(有机玻璃、橡胶等)的物理性质变化较大,它们大都绝热、质轻、易加工成形。与金属材料相反,有机高分子材料易弯曲、工作温度大都难以超过 200℃ 以上的温度。

无机非金属材料不仅发展历史最为悠久,而且是当代发展最快的一类材料。其材料种类繁多,新型材料不断涌现,成分和性能各异。陶瓷、玻璃、金刚石、水泥等都是无机非金属材料的重要成员。其中,陶瓷占有尤为重要的地位。无机非金属材料是现代高新技术发展中不可缺少的材料。

陶瓷材料是一些金属元素和非金属元素(通常为氧元素)结合的离子化合物。最初,陶瓷仅是指一些氧化物。后来,陶瓷的定义范围逐渐扩大包括了其他一些原子的化合物如碳化钨或氮化硅等。

陶瓷材料以其高的耐火度为特点。大多数的陶瓷材料都是绝缘和绝热材料。陶瓷一般都硬度大而具脆性。

非晶质结构的玻璃材料也是无机非金属材料的一个重要成员,大都为一些氧化物。但是,现代新型玻璃的成分已



远远超出了这一范围。

金刚石是目前已知硬度最大的无机非金属材料。这一特性使得金刚石具有十分广泛的用途。金刚石可以是人造的,也可以是天然产出的。天然产出的金刚石、石墨、云母等,叫天然无机非金属矿物材料。它们都有各自的特性而具不同的用途。

根据材料的性质和用途,还可将上述三大类材料(金属材料、有机高分子材料和无机非金属材料)分为工程(结构)材料和功能材料两个大类。工程材料是指由其结构特点而决定的材料的强度、硬度等力学性能能够满足工程技术结构上的需要,主要应用于工程技术方面的一类材料,包括金属、陶瓷、聚合物和复合材料四类工程材料。图 1.2 表示这四类工程材料随时间推移的历史发展相对重要性。图 1.2 的横坐标代表年代(时间是非线性的);纵坐标代表材料的相对重要性,各类材料的相对重要性是以其在纵坐标上所占比例的大小来衡量的。从图 1.2 中可以看出,在 20 世纪 50 年代,是以金属材料占绝对优势。根据近几十年来陶瓷、聚合物和复合材料迅速发展的趋势预测,到 21 世纪中叶将会形成金属、陶瓷、聚合物和复合材料四大类工程材料四足鼎立的局面。

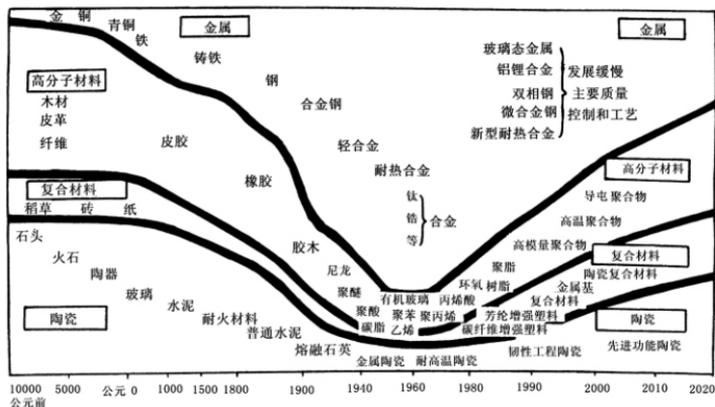


图 1.2 工程材料在各历史发展时期的示意图

现代新技术,例如宇航、计算机、能源、遥感、激光等技术领域,对材料的要求已远远超出了工程(结构)材料的范围,仅利用材料的强度、硬度等力学性能已不能满足它们的需要。它们对材料提出了许多特殊的物理性能要求。我们称具有光、电、磁、声、热等特殊物理性能的材料为功能材料。例如,半导体材料、磁性材料、光电材料、超导材料等都是功能材料,可以彼此组合成复合材料(图 1.1)。复合材料是由两种或多种不同的材料复合而成的一种材料。这样的复合材料结合了其组成的各种不同材料的优良性能。如玻璃纤维强化环氧树脂就形成质轻且力学性能好的复合材料。水泥、砾石和钢筋制成的钢筋混凝土也是一种复合材料。



材料的性质

材料在外部因素的作用下要发生相应的反应。如具脆性的玻璃受力后会破碎,而橡胶具有弹性和柔性,且受力敲打不破碎。材料的这种在外部因素作用下所表现的反应特点称为材料的行为。因此,材料的性质可以定义为材料在外部因素作用下的行为特点。根据外部作用因素的类型,材料的性质可以分为三类:

(1) 力学性质: 在力的作用下材料的变形行为。

(2) 物理性质: 材料在温度、电磁场和光等物理因素作用下的行为。

(3) 化学性质: 材料在具有化学活性环境中的行为。

工程师们设计的某项方案能否实现,经常受到可供其使用的材料的性质所限制。重大的技术进步几乎总是与材料性质的改良或新材料的发展和使用紧密相连的。例如在对提高高温条件下工作的燃气轮机(飞机发动机)和柴油机的燃油效率的可能性进行长期探索后,终于使得满足其工作性能要求的新材料的研制获得成功。这种高效发动机的制造成功是耐高温的金属合金或新型陶瓷材料被成功应用的结果。

材料的某些性质是直接由其内部原子的种类、原子的



排列和化学键性质所决定的。如金属的不透明性、玻璃的透明性或橡胶的延伸性都是如此。

多数情况下,材料的内部结构是由其组成的颗粒或微观级别的粒子等构成的。这些组分的形态及其相互间的嵌接就构成了材料的显微结构(microstructure) 。材料重要的物理性质、化学性质和力学性质都紧密依赖于它们的显微结构。

材料的利用

在材料的利用中,有一个如何选择最理想的材料的问题。选择最理想的材料应考虑下列因素:

- 材料部件的主要功用,也就是说负荷形式、温度和一般使用条件。
- 材料的内在行为,即抗断裂、抗磨损、抗腐蚀、导电性等等。
- 材料的各种成本费用。

在每一项技术进步中,或者是为了性能的原因,或是为了经济的目的,一种材料常被另一种材料所代替。例如,汽车的车厢最初使用的是木材,但由于木材车厢的负荷力及强度等方面的缺陷,木材车厢逐渐地被金属车厢所代替;后



来,金属车厢的金属材料又部分地被有机高分子材料所代替。如果木材具有与金属材料和有机高分子材料同样的力学性质和使用效果,由于木材价格低,易于加工成形,且便于大规模的流水线生产,那么,选用木材代替金属材料做汽车车厢对上述选材的因素就都完全满足了。

为了实现节约能源和经济,人们千方百计设法减轻汽车车身重量。这就要求使用比重小的材料,因而有机高分子材料就是一种较为适合的材料。这是因为有机高分子材料的单位体积质量(ρ)近于 $1.5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,而构成汽车车厢大部分的钢板的体积质量(ρ)近于 $8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。这就解释了为什么制造汽车大量使用有机高分子材料的原因。同时,人们也尽量采用高强而极薄的钢板来减轻汽车车厢的重量。

手表表盖材料的发展历史同样经历了这样一个显著的演化过程。最初,人们用抗撞击但易刻划的有机玻璃代替易碎的石英玻璃。如今,人们又利用(至少部分利用)一种具有既抗撞击又抗刻划的双重优点的合成蓝宝石片的陶瓷材料来代替有机玻璃作表盖材料。

上述实例说明,随着科学技术的进步,对所使用的材料的性能要求越来越高。这就迫使人们不断地研制出性能更为优良而价格更为低廉的新型材料,来满足人类日益增长的各种新的需求。



材料和资源的循环

材料是进行生产、制造产品的物质基础。众所周知,制造各种仪器、机械设备、车辆等离不开金属材料,建一座工业窑炉必须用耐火材料,生产电灯泡则不能没有玻璃材料、钨丝等。那么,材料是从何而来的?材料使用后又到哪里去了呢?这就是材料和资源的循环问题。

材料是生产产品的原始物料。材料是从天然原料中取得的,它包括人类在动、植物或矿物原料基础上转化的所有物质。由原料制成的材料(钢、铁、合金、聚合物、陶瓷、玻璃等)经过一定的加工制成各种零部件,再将各种零部件组装成为产品(如机器、仪表、汽车、电视机等)。这些制成的产品在使用了一定的时间以后,就变成不能继续使用的废品。这些废品或者被再次回收制成材料被重新利用,或者被作为废料重新回到地球中。材料的这种循环过程示于图 1.3。

材料的生产能力是与自然资源的贮藏量、生产技术水平及废品的重新利用能力紧密相关的。地球上的自然资源,经开采后得到可被冶炼或加工成材料的原料。原料在加工或冶炼过程中经过各种物理的、化学的或物理化学的

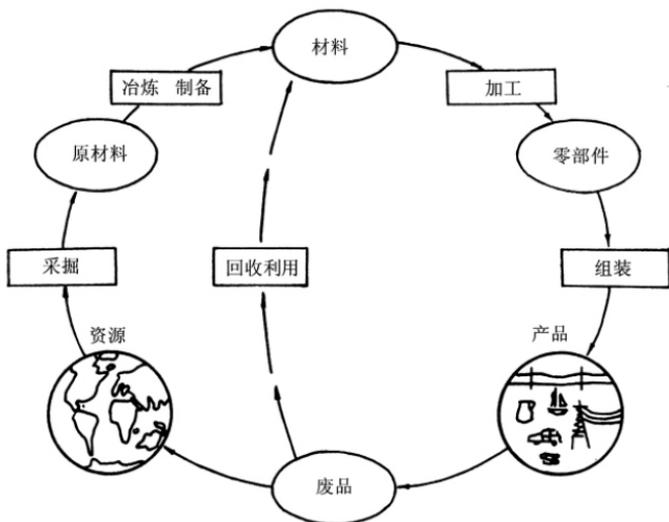


图 1.3 材料的循环

变化而转变成为材料。在此,仅以钢、铁为例来具体说明图 1.4 表示的材料和资源的循环过程。钢、铁的矿产资源是地下的铁矿床,对铁矿床进行开采获得铁矿石(原料),铁矿石经冶炼而成为钢或铁(材料),钢或铁被加工为产品的各种零部件,将这些零部件组装在一起就成为一件产品,比如一台机器或一辆汽车。

生产一件较复杂的产品如飞机或汽车,要用到各类不同的材料。不同的产品所选用的材料种类的数量及各类材料之间的重量比是不相同的。表 1.1 给出的是法国重量为 700kg 的“雷诺一超五型”小汽车所选用各类材料的重量百