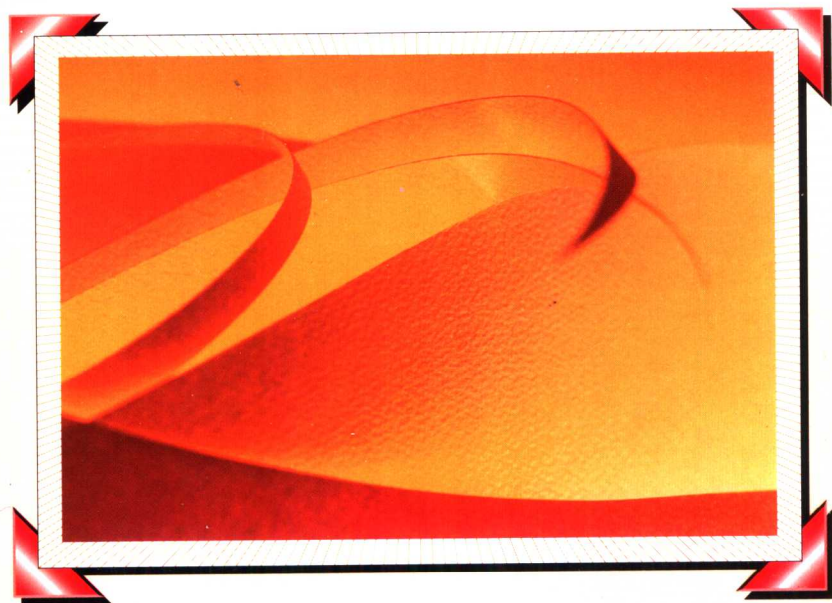


高等学校理工科教材

材料科学 研究方法

戴起勋 赵玉涛 等编著
蒋建清 陈志刚 程晓农 主审



国防工业出版社

<http://www.ndip.cn>

高等学校理工科教材

材料科学研究方法

戴起勋 赵玉涛 罗启富 王树奇 陈康敏 编著
蒋建清 陈志刚 程晓农 主审

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

材料科学研究方法 / 戴起勋等编著. —北京:国防工业出版社, 2004. 8

高等学校理工科教材

ISBN 7-118-03535-1

I. 材... II. 戴... III. 材料科学-研究方法-高等学校-教材 IV. TB3-3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 062174 号

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

新艺印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 16 363 千字

2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月北京第 1 次印刷

印数: 1—4000 册 定价: 20.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

前 言

现代高技术的发展依赖于新材料技术的发展,材料是 21 世纪新经济的“基础之基础”。材料学科已经成为自然科学中一个重要的基础学科。材料在人类文明进程中起的作用是巨大的。材料学科的发展符合自然科学发展的普遍规律,自然科学的各种研究方法在材料科学的发展中发挥了很大的作用,而且在不断地产生新的研究思路和研究方法。了解材料学科的发展和基本研究方法是材料科学与工程(MSE)素质教育的一个组成部分。

材料主要分金属材料、无机非金属材料 and 有机高分子材料等几大类。各类材料虽然表现的形式不同,发展的历史和作用也不尽相同,但有共同的特性。学科交叉与融合是现代科学研究发展的一大特点,研究方法的借鉴与创新、数学理论和计算机技术的发展为新材料、新技术的开发增添了活力,向大自然学习的材料仿生学则更是材料科学中的一朵奇葩。这些都是形成现代材料科学与工程大学科的基础。

材料是以有形物体为人类作贡献的,主要共同研究的问题是材料的结构与性能。结构与性能直接相关,而材料的制备、加工过程又决定了材料组织结构的演化。材料的结构是材料研究的核心,材料(特别是新材料)制备是材料开发应用的关键。现代材料的发展又增加了环境因素,广义的环境可理解为材料生产的资源和材料全过程的环境影响问题。材料的资源和环境污染问题是一个重大而迫切的新课题,从而也带来了对材料认识的新观念、新思路、新方法。材料学科正呈现“大学科”一体化的发展趋势,材料学科的共同基础知识应该成为重要的教学内容,这是当代 MSE 素质教育的一个重点。

材料科学从经验科学逐步走向理性科学,很重要的发展方向是材料的设计与模拟。目前,人们在模拟设计方面取得了较大的成功,在材料的计算设计方面也已经迈出了坚实的步伐。新的学科领域——计算材料学正在逐步形成。

材料的失效分析在材料科学的发展中起了很重要的作用,也是一种重要的材料研究方法。材料使用中的各种失效行为及其机理的研究为材料的改进和新材料的开发提供了直接可靠的依据,同时也为国民经济的发展创造重大的社会效益和经济效益。

材料的设计—制备—结构—性能—使用—环境—评价组成了材料研究的闭环系统,这是材料研究的主线,其内涵、思路与方法是 MSE 素质教育的核心。

材料的研究与开发是现代社会的热点。注视国际研究的动向,了解材料科学研究前沿的问题,能启发科学的思维和指明工作的方向。对于材料工作者来说,如何选择研究方向和研究课题,如何有效地开展材料研究及技术开发工作是非常重要的。研究过程既包括选题论证、方案制定、试验、数据处理和结果分析,也包括研究成果的总结、研究报告和学术论文的写作等,每一个环节都可体现出创新思维、创新能力和创新成果。这是每个科研工作者的基本功,也是 MSE 素质教育的基本内容之一。

以上就是该教材内容的体系和思路,也是开设新课程和编写该教材的出发点。

该课程作为材料类各专业的专业基础教学知识平台之一而设置。该课程体系的目的是,使所有材料类专业及相关专业的学生对材料科学与工程学科的内在规律有一个宏观的认识,对材料研究开发的思路、方法有一个科学辩证的概念。创新与辩证是材料科学的思想。通过此课程的教学,希望学生对材料科学与工程学科的作用和意义有较好的认识;掌握现代材料的科学研究和技术开发工作的基本方法、基本过程、基本思路;从宏观到微观比较深入地了解各类材料的共同特点与共同效应;树立材料的成分、结构、加工制备、性质、使用功能和环境间的系统工程概念。通过该课程的教学,重要的是培养学生对材料研究创新思维的主动意识,材料研究创新活动的科学方法,材料研究创新成果的分析能力。

该教材的特点是前沿性、综合性和系统性。前沿性:书中反映的研究方法、思路及所举例子基本上是最新的研究成果,虽然有关的例子具有一定的专业性,但在本课程中的目的是通过例子一方面能从中领悟其创新的思维、研究的思路,另一方面能了解更多的新知识、新成果和新动向。综合性:课程内容涉及金属材料、无机非金属材料、有机高分子材料和复合材料等各类材料,更能深入地理解材料科学的共性和特点,扩大知识面。系统性:教材内容体系虽然是新的,但比较确切地反映了材料科学研究与发展过程的自然科学本质、研究方法、研究思路和系统性等共同特点。本书在体系构思、内容安排和例子选择上都力图凸现现代材料科学研究的思想、核心和主线。

该课程体系经过多年的教学积累和对材料科学的点滴体会构思而成。相对于原专业教学计划而言,这是新的体系和内容。编者从1990年以来为本科生开设了材料研究方法选修课,同时也编写了《材料研究方法论》讲义。这些年材料科学得到了快速发展,现在回过头来审视当时的教学内容,甚觉汗颜。在感慨、体会和总结之余,吸取了著名科学家在科研、教学、人才培养方面的一些精华,特别是肖纪美院士、涂铭旌院士的治学经验,柳百成院士、杜善义院士、周本濂院士、王天民教授等的研究成果,冯端院士、师昌绪院士等的国际前沿研究动向,左铁镞院士、李恒德院士等对MSE 教育改革的呼吁;汇集了国内外许多专家学者和同事们的智慧与研究成果,构思和编写了这本教材,以起到抛砖引玉的作用。

对本科生教学,该课程计划初定为30学时,研究生教学可设为40学时。任课老师可根据具体情况安排各章节内容及学时数,有些章节的内容,如第10章可作为学生自学的内容。有关例子可以选择性地简要介绍,或另选更好的例子。

本书是为江苏大学省品牌专业和省特色专业建设而组织编写的教材。第1章由王树奇教授编写,第5章、7章、10章由赵玉涛教授编写,第8章由罗启富教授、陈康敏副教授编写,其余各章由戴起勋教授编写,全书由戴起勋教授构思和统稿。本书在编写过程中参考了许多文献资料,主要文献列于书后,在此谨向所有参考文献的作者致以诚挚谢意。本书由东南大学蒋建清教授、江苏工业学院陈志刚教授和江苏大学程晓农教授主审。江苏大学邵红红副教授对课程内容提出了一些宝贵意见,林东洋、袁志钟老师在图文方面做了部分工作,江苏大学教务处对本书的组织编写与出版给予了帮助和支持,在此一并表示衷心的感谢。

限于作者水平,书中难免有谬误,在体系框架和内容选择上也必然存在不足之处,恳请同行和读者批评指正,以利于今后的补充、修改和完善。

戴起勋

2004年3月于江苏大学

目 录

第 1 章 材料科学发展史	1
1.1 物质与材料	1
1.1.1 自然界中的元素和物质	1
1.1.2 材料的作用与分类	3
1.2 材料发展史	6
1.2.1 材料发展古代史	6
1.2.2 材料发展近代史	8
1.3 当代材料发展和展望	10
1.3.1 材料发展的历程和趋势	10
1.3.2 多种材料的共存	12
第 2 章 材料科学共性	13
2.1 全材料科学的形成	13
2.1.1 材料学科的细分化到综合	13
2.1.2 材料学科的交叉和渗透	14
2.1.3 材料科学与工程的形成	16
2.1.4 材料科学与工程学科的地位和特点	18
2.2 材料科学的共性规律	24
2.2.1 晶体学结构规律	24
2.2.2 材料缺陷与断裂强度	25
2.2.3 材料的相变原理	27
2.2.4 材料的形变与断裂规律	27
2.2.5 材料的强韧化原理	30
2.3 材料的共同效应	31
2.3.1 材料的界面效应	31
2.3.2 材料的表面效应	32
2.3.3 材料的复合效应	33
2.3.4 材料的形状记忆效应	33
2.3.5 材料的动态效应	34
2.3.6 材料的环境效应	35
2.3.7 材料的纳米效应	35
第 3 章 材料科学研究的基本方法	37
3.1 归纳与演绎法	37

3.1.1	归纳法	37
3.1.2	演绎法	39
3.1.3	归纳与演绎的关系	40
3.2	分析与综合法	41
3.2.1	分析的作用与特点	41
3.2.2	综合的作用与特点	42
3.3	类比与移植法	43
3.3.1	类比法的作用与局限性	43
3.3.2	移植法的特点与作用	44
3.4	数学与模型法	46
3.4.1	数学方法及其应用	46
3.4.2	模型化方法	47
3.5	系统与优化法	48
3.5.1	系统方法的基本原则	48
3.5.2	系统方法的基本步骤	49
3.5.3	系统方法在科研创新中的作用	50
3.6	假说与理论法	51
3.6.1	科学假说的特点和作用	51
3.6.2	科学理论的基本特征与结构要素	53
3.7	原型启发与仿生法	54
第4章	材料结构设计与系统分析	56
4.1	材料结构与性能的基本特性	56
4.1.1	材料结构的基本特性	56
4.1.2	材料性能的基本特性	59
4.2	结构稳定性与设计	62
4.2.1	材料结构的稳定性	62
4.2.2	材料结构的测定与表征	63
4.2.3	材料结构的设计与控制	64
4.3	结构与性能的系统分析	66
4.3.1	黑箱法	66
4.3.2	相关法	67
4.3.3	过程法	68
4.3.4	环境法	68
4.4	材料结构的自组织与仿生	69
4.4.1	材料的耗散结构	69
4.4.2	材料的自组织现象	70
4.4.3	智能结构与属性评定	71
4.4.4	材料结构的仿生	73
4.5	材料过程的能量分析方法	81

4.5.1	材料过程的基本原理	81
4.5.2	材料过程的能量分析方法	83
第5章	材料使用与环境评价方法	90
5.1	材料与环境、资源的关系	90
5.1.1	材料生产对环境和资源的影响	90
5.1.2	生态环境材料与能源材料	93
5.2	材料环境协调性评价与设计	96
5.2.1	材料环境协调性评价	96
5.2.2	材料环境协调性设计	103
5.3	材料环境适应性评估	111
5.3.1	材料工况环境适应性评估	111
5.3.2	材料自然环境适应性评估	113
第6章	材料(计算)设计与方法	116
6.1	材料(计算)设计概述	116
6.1.1	材料设计发展的历史	116
6.1.2	材料设计范围与层次	119
6.1.3	材料设计的任务	120
6.2	材料设计的主要途径与方法	121
6.2.1	从相图角度进行设计	121
6.2.2	从数量冶金学角度进行设计	122
6.2.3	基于量子理论的设计	123
6.2.4	基于物理、数值模拟的设计	123
6.2.5	多尺度材料模型与计算设计	124
6.2.6	材料(计算)设计的主要技术	125
6.3	数学方法在材料(计算)设计中的应用	126
6.3.1	有限元法	126
6.3.2	遗传算法	128
6.3.3	分形理论	131
6.3.4	其他方法	133
6.4	材料(计算)设计实例	134
6.4.1	复合材料(计算)设计	134
6.4.2	超硬材料(计算)设计	141
6.4.3	工程应用层次的材料(计算)设计	144
第7章	材料研究的模型化与模拟	148
7.1	材料研究的模型化	148
7.1.1	模型化的基本概念	148
7.1.2	数值模型化与模拟	150
7.1.3	模型的基本范畴与分类	151
7.1.4	模型化的基本思路	153

7.2	材料研究的物理模拟	155
7.2.1	物理模拟基本概念	155
7.2.2	金属塑性加工物理模拟	156
7.2.3	薄板冲压工艺模拟技术	158
7.2.4	塑料注射成形过程模拟仿真	160
7.3	材料研究的数值模拟	161
7.3.1	铸造工艺过程的数值模拟	161
7.3.2	计算机数值模拟应用的实例	166
第8章	材料失效分析方法	169
8.1	材料失效分析基本概念	169
8.1.1	失效分析的意义	169
8.1.2	失效分析和失效学	170
8.1.3	机械失效形式和产生原因	170
8.1.4	材料失效形式	172
8.2	失效分析的基本思路	173
8.2.1	以失效抗力为主线的分析思路	173
8.2.2	失效树分析法	175
8.2.3	特性因素图分析法	176
8.3	失效分析的基本方法	177
8.3.1	化学成分分析	177
8.3.2	力学性能的测试及分析	179
8.3.3	显微组织分析	179
8.3.4	应力分析	180
8.3.5	无损检测技术	181
8.3.6	断口分析	182
8.3.7	裂纹分析	187
8.3.8	腐蚀、磨损和环境分析	189
8.4	失效分析的基本程序和实施步骤	191
第9章	科学研究选题与总结	194
9.1	科学研究的基本类型	194
9.2	科研选题与创新	195
9.2.1	科研选题的基本原则	195
9.2.2	科研选题的来源与计划	196
9.3	科学思维、机遇与创新	201
9.3.1	科学思维与创新	201
9.3.2	科研机遇与创新	205
9.4	研究成果总结与转化	207
9.4.1	研究成果总结与鉴定	207
9.4.2	研究成果的转化	209

9.4.3 论文与研究报告的撰写	212
第 10 章 材料科学发展重点与趋势	217
10.1 开发先进材料,发展高技术产业	217
10.1.1 信息功能材料	217
10.1.2 生物材料	219
10.1.3 其他功能材料	219
10.1.4 功能复合材料	221
10.1.5 生态环境材料	222
10.1.6 能源材料	223
10.2 纳米材料与纳米技术	224
10.3 材料制备技术的开发	226
10.3.1 材料制备技术是材料开发的关键	226
10.3.2 注重材料的应用开发研究	228
10.4 材料设计与一体化技术	229
10.5 材料性质检测与评价	230
10.6 材料科学基础理论的深入研究	231
10.6.1 开拓超微结构的领域	231
10.6.2 探测电子关联体系中的宝藏	233
10.6.3 开拓有机材料的新领域	234
10.7 传统材料与表面技术	236
10.7.1 高性能金属材料	237
10.7.2 陶瓷材料	239
10.7.3 材料表面技术	239
参考文献	242

第 1 章 材料科学发展史

1.1 物质与材料

1.1.1 自然界中的元素和物质

人类生活在地球上,地球给予人类的是一个限定的自然环境。自古以来,人类所用的物质和材料均来自于地球,如植物、矿物、生物,甚至包括人类本身,都是在地球这一自然环境中的产物。人类材料史上从天然材料的使用到人造材料的制备,材料的发展与地球中所蕴含的元素和物质的存在形式密切相关,对材料的发展历史起着不可忽略的影响。

1.1.1.1 地球的结构及组成

地球是一个不断运动着的、不规则的偏球状实心体。它是由具有不同物质的三个同心圈层构成:最外表薄薄的硬壳称为地壳,中间部分称为地幔,里面的核心称为地核。

地壳是地球表面极薄的一层表皮,是离人类最近的一部分。地球各处的地壳厚度极不均匀,一般大洋底部的地壳厚度要比大陆薄得多,大致从高原地区的 70 多千米到平原地区的 30 多千米,大洋下地壳厚度仅有几千米到十几千米。地壳是人类直接接触的、最密切的自然环境,其结构、组成对人类材料发展历史起着重要的作用。

组成地壳的物质可分为两个不同层次,上面一层物质比较轻,以硅和铝的氧化物为主,称为硅铝层,地质上称花岗岩质层,是构成大陆的基础。一般,大陆地壳硅铝厚度达 20km 以上,而大洋下的硅铝层不超过 1km。下面一层为比较重的物质,以硅、铁、镁的氧化物为主,称为硅镁层;地质上称为玄武岩质层,厚度大约为 14km。

地幔平均厚度达 2881km,约占地球总体积的 82%,地幔也可划分为两个层次,一般以深达 984km 的地方作为分界面,分为上地幔和下地幔。上地幔的物质仍为硅镁层;下地幔的物质主要以金属硫化物与氧化物为主,聚集着铜、铅、镁、铋、铁、镍等元素。

地核是半径约为 3500km 的核心,相当于月亮那么大,距地面深远,温度高达 3000℃ ~ 5000℃,压力可达 3.64×10^4 Pa。地核一直被认为是由熔融的铁、镍物质所构成。

1.1.1.2 地壳中各元素的储量

自然界里所有物质都是由 100 余种化学元素所构成,地壳也不例外。人类使用的天然材料和人造材料所用的原料均取自于地壳,材料的发展受地壳中元素种类、储量和存在形式的影响。

地壳中含量占首位的元素为氧,几乎占地壳总重量的 50%,存在于水、岩石和各种有机体中。水是由氢和氧两种元素组成的,氧占水总重量的 89%,占地球表面积 71% 的海洋以及江河、湖泊蕴藏了丰富的氧;氧聚集在岩石中,如石灰石,其成分为碳酸钙,其中氧

占 48%；至于沙子和黏土等氧含量更多，均超过总量的一半。由于许多金属与氧具有强烈的亲合力，能和氧形成多种氧化物矿物，达 200 余种，如铁矿、铝矿、红锌矿、赤铜矿等。

地壳中占第二位的元素是硅，约占地壳总重量的 25%。由于硅元素化学性质活泼，自然界未发现单质的自然硅，主要与氧化合形成二氧化硅，二氧化硅与其他金属氧化物结合，形成品种繁多的硅酸盐矿物，数量达 800 余种，占已知矿物总数的 1/3 左右。在地球表层，到处都有硅石和硅酸盐矿物，如燧石、水晶、玉髓及普通的沙子等都是硅石，而长石、云母、石棉、滑石、黏土等则属于硅酸盐矿物。硅是构成岩石矿物的主要成分之一，分布在地表土壤的主要成分是沙子和黏土，它们是由岩石经过长期“风化”作用形成的，某些金属如镍、锌、铍、锂等均是从其硅酸盐矿物中提炼出来的。

地壳中总含量占第三位的元素为铝，约占地壳重量的 8.23%。铝的分布非常广泛，在所有的岩石矿物中都含有一定数量的铝，如长石、云母、明矾等都是含铝较高的矿物。由岩石构成的地壳主要成分是铝硅酸盐，即硅、铝、氧三种元素。因此，地壳的上面一层称为硅铝层。地球上含铝的物质很多，如铝矾土、明矾和霞石等都是提取金属铝的原料。刚玉是一种铝含量高达 53% 的矿物，由于硬度高，直接用于工业作为磨料，而不作为提炼铝的原料。

地壳中含量占第四位的元素为铁，约占地壳总重量的 5.8%，铁的分布极为广泛，约有 300 余种矿物都含有铁。其实地球本身是个大铁球，铁的重量约占地球总重量的 35%，而 70% 的铁集中在地核中，可以说铁是地球上含量最多、最丰富的一种元素。

地壳中含量占第五位的元素为钙，约占地壳总重量的 5.2%，是地壳中含量占第三位的金属元素，由于钙元素性质活泼，在自然界中常以碳酸盐、硫酸盐和硅酸盐等形式存在。石灰岩、大理石岩、水、泥土都含有钙，日常生活中常遇到的大理石是由石灰石 (CaCO_3) 变来的，纯净的石灰石经煅烧后，变成生石灰 (CaO)，与水混合变成熟石灰 ($\text{Ca}(\text{HO})_2$)；石膏为硫酸钙 (CaSO_3)。

地壳的 90% 是由氧、硅、铝、铁、钙五种主要元素构成，如果再加上含量相对较多的钠、钾、镁、钛四种元素，共九种元素约占地壳总重量的 99% 以上，其余 90 多种元素的重量加起来不到地壳总重量的 1% (见表 1.1)。

表 1.1 地壳内主要元素含量

名次	元素名称	地壳内含量百分比/(%)	占地壳总重百分比/(%)	
1	氧	49.13	90.03	> 99
2	硅	26		
3	铝	7.45		
4	铁	4.20		
5	钙	3.25		
6	钠	2.4	9.5	
7	钾	2.35		
8	镁	2.35		
9	钛	2.4		

虽然大多数元素在地壳中含量所占比例不高，但由于地球体积庞大，其绝对数量仍然

相当惊人,而且一种元素能否被人类所应用并不只决定于地壳里的元素的平均含量,关键在于获取它的难易程度。这主要取决于元素的富集能力,其次受提炼的难易程度的影响。富集程度越大,越易形成矿产,才能为人类的使用提供物质基础,例如,铜、锌、铅在地壳中含量分别为0.0006%,0.0009%,0.000001%,但这些元素有很强的富集能力,经富集可达到百分之几,甚至百分之几十;而提炼的难易程度受当时科技水平的影响。

1.1.1.3 地壳中元素的存在形式

地壳是由岩石构成的,岩石是由矿物组成的,矿物指因地质作用形成的、具有一定的化学成分的自然物体,或呈单质,或呈化合物形式,这些物质是具有确定的内部构造、外表形态和物理性质的结晶体。矿物除少数呈气态或液态(如自然汞)以外,绝大多数都以稳定的固态形式存在。目前,已知的矿物约有2000种~3000种,其中最常见的矿物有100余种。钢铁、有色金属、玻璃、陶瓷、高分子材料等的原料大多数来自矿物,矿物的存在形式对材料的使用和发展历史有显著的影响。

矿物可根据其组成元素或组成化合物分为8类。

(1) 元素矿物。指自然界以单质状态存在的矿物,主要由于这类物质化学性质不是非常活跃。这些矿物已有90余种,占地壳总重量的0.1%,分为自然金属,如铜、银、金和铂族元素;自然半金属,如铋、锑等;自然非金属,如碳(以石墨和金刚石形式存在)、硫等。

(2) 硫化物类矿物。包括一系列金属元素与硫的化合物,目前已知的硫化物矿约有200余种,占地壳总重量的0.75%。其中主要为铁的硫化物和硫化氢(占75%),其余元素(锌、铅、铜、汞、砷、锑、铋、钴、镍、钨等)的硫化物相对较少,但可聚集成矿床,许多金属原料来自硫化物矿。

(3) 氧化物类矿物。包括金属及非金属的氧化物类和氢氧化物类矿物,有200余种,占地壳总重量的17%左右,是铁、铬、锰、铝、钛、锡、铌、钽、铀、钼等元素的重要的矿物。

(4) 卤化物类矿物。包括氢氟酸、盐酸、溴氢酸、氢碘酸所形成的盐,阳离子主要是钾离子、钠离子、钙离子、镁离子等金属阳离子。

(5) 含氧盐类矿物。含氧盐是地壳中分布最广、数量最多的一类矿物,占已知矿物的2/3,包括各种含氧根酸根,如硅酸根、硼酸根、磷酸根、硫酸根、铬酸根等与金属元素所形成的盐类矿物,根据阴离子团的不同,可分为硅酸盐、磷酸盐、钒酸盐、硫酸盐、钨酸盐、钼酸盐、铬酸盐、碳酸盐。其中,以硅酸盐最多,占首要地位;其次是硫酸盐和磷酸盐。

1.1.2 材料的作用与分类

1.1.2.1 物质、材料及材料化过程

物质是指在人类生活环境中所能获取的单元素的单质或多元素的化合物,物质是制备材料的原料。有的物质本身就是一种材料,如天然材料,但大多数的物质不是材料,需通过一定的工艺过程才能转化为材料。可见,材料是物质,但不是所有物质都是材料。材料是指具有指定工作条件下使用要求的形态和物理状态的物质。例如,用铁矿石和焦炭可以炼成钢铁,铁矿石和焦炭是原料,而钢铁是材料,可用于制成各种机械、汽车、飞机等。

由物质或原料转变成适用于一定场合的材料,其转变过程为材料过程或材料工艺过程,其本质是对物质体系的某种物性、强度、形状所进行的各种操作或加工。

玻璃的制备采用的原料物质为碳酸钠、硅砂、石灰,其工艺过程为:步骤 *a*,碳酸钠分解为 Na_2O , Na_2O 与 SiO_2 反应生成硅酸钠,可见发生了一种物质向另一种物质的转变,物质的化学性质发生了变化,这种过程为化学过程;步骤 *b*,除去融物中的气泡杂质、使透明性提高;步骤 *c*,赋予一定的形状;步骤 *d*,消除内应力以提高强度。可见,从步骤 *b* 至 *d*,物质化学性质未变,只是形态和物理性质发生改变。这种过程称为材料化过程。可见,材料的制备有两个过程,一是材料合成,即通过原料物质的化学反应过程实现的;另一是材料化过程,来保证它的物性、强度、形状。金属材料中的锻压、热处理、焊接及复合物材料各种成型加工过程都属于材料化过程。

材料可由一种物质或若干种物质构成,同一种物质,由于制备或加工方法不同,可成为用途不同——不同类型的材料,例如以 Al_2O_3 为原料,将其制成单晶就成为宝石和激光材料;制成多晶体就成为集成电路用的放热基板材料、高温电炉用的炉管或切削工具;形成多孔多晶体,则可用作催化剂或载体特定材料。

1.1.2.2 材料的分类

1. 根据物理化学属性分类

根据材料的化学组成可将材料分为金属材料、无机非金属材料、高分子材料和复合材料四大类。金属材料、无机非金属材料、高分子材料因原子间的相互作用不同,在各种性能上差异极大,构成现代工业三大材料体系。复合材料是由上述三类材料相互复合而成,对不同材料取长补短,在性能方面比单一材料优越,具有广泛应用前景。按物理化学属性分类的性能对比见表 1.2。

表 1.2 材料按物理化学属性分类的性能对比

材料种类	化学组成	结合键	主要特征
金属材料	金属元素	金属键	有光泽、塑性、较高强度、刚度、导电导热
无机非金属材料	氧、硅或其他金属的化合物、碳化物、氮化物	离子键 共价键	耐高温、耐蚀,具有转变物理性能,脆性
高分子材料	碳、氢、氧、氮、氟	共价键 分子键	轻,比强度高,耐磨、耐蚀,易老化,刚度小
复合材料	两种或两种以上不同材料组合而成		比强度、比模量高、功能复合

(1) 金属材料。金属材料是以过渡金属为基础的纯金属和含有金属、半金属或非金属的合金。金属材料可分为黑色金属和有色金属两大类,黑色金属包括铁、锰、铬及其合金。以钢铁应用最为广泛。钢铁是含碳的铁基合金,根据碳的质量分数不同分为熟铁、生铁和钢。碳含量小于 0.04% 为熟铁,具有较高的韧性和塑性;高于 2% 为生铁,又称铸铁,硬而脆,可通过铸造成型;在 0.04% ~ 2% 之间的为钢,即具有一定韧性、塑性,又具有较高的强度和硬度。根据是否含合金元素,钢又分为碳素钢和合金钢。有色金属包括重金属(如铅、铜、锌、镍等)、轻金属(如铝、镁、钙等)、贵金属(如金、银、铂等)、稀有金属(如钨、

钼、铬、铷等)和稀土金属(如钨、钽、钇等)。应用最广的有色金属及其合金为铝、镁、钙、锌等。

(2) 无机非金属材料。主要包括由几种金属元素与非金属元素组成的氧化物、碳化物、氮化物、氢氧化物、硅化物等。无机非金属材料分为天然无机非金属材料、硅酸盐材料和新型硅酸盐材料三大类。天然无机非金属材料,除石料仍作为建筑材料外,其余作为原材料使用。硅酸盐材料包括玻璃、水泥、混凝土、耐火材料和陶瓷等。普通玻璃是以石英矿物为主要原料,加入助熔剂等在高温下熔制而成的;普通水泥是以生石灰和黏土为原料烧制而成,它是一种水硬性材料,遇水就逐渐硬化;水泥与砂、石子加水搅拌后就是混凝土。传统陶瓷材料分陶和瓷两种。新型硅酸盐材料,并不一定以硅酸盐物质为原料,而是采用硅酸盐材料的生产工艺制备的一些性能优异的材料。它包括精细陶瓷,或称先进陶瓷、高技术陶瓷,如刚玉、碳化物、硼化物、氟化物陶瓷、功能玻璃等,以及磷酸盐、铝酸盐水泥等。

(3) 有机高分子材料。高分子聚合物是以碳与氢、氧中的一种或两种结合而成,也有些会有氢、硫、氯、氟、硅、硼等元素,其分子量大。主要分为天然高分子材料和合成高分子材料。天然高分子材料包括棉、麻、丝等天然纤维、石油、天然气等化学燃料以及天然橡胶等;合成高分子材料包括合成橡胶、合成纤维和塑料等,被称为三大有机合成材料,塑料包括热塑性塑料(如尼龙、聚丙烯和氯化聚醚等)和热固性塑料(如酚醛树脂、环氧树脂和氟塑料等)。

(4) 复合材料。是由两种或两种以上不同类材料以特殊方式组织起来,使其克服单一材料的缺点,同时具备各种单元材料的优点的新兴材料。按强化相的形态分为纤维增强复合材料、颗粒增强复合材料、晶须增强复合材料;按基体材料分类,分为金属基复合材料、陶瓷基复合材料、高分子基复合材料。

2. 根据材料来源分类

按照材料来源可分为天然材料和人造材料。

天然材料是指天然的未经加工的材料。人类历史上曾经使用过的天然材料,如石头(石料)、木材、骨头、兽皮、棉、麻、石油、天然气等,目前还在大量使用的天然材料只有石料、木材、橡胶等,而且用量正逐渐减少,许多天然材料正在日益被人造材料所代替。人造材料是指人类以天然物质为原料通过物理、化学方法加工制得的材料,目前所使用的材料大多数为人造材料,如钢铁材料、有色合金材料、陶瓷材料、合成纤维、复合材料等。

3. 根据材料用途分类

根据材料用途可分为结构材料和功能材料。结构材料是指利用材料的强度、韧性、弹性等力学性能,用于不同的环境下承受载荷的各种结构件和零部件,分为机器结构材料和建筑结构材料。例如,多数的金属材料、水泥、工程塑料都属于此类材料。

功能材料是利用其物理、化学某种优良的特性,如电学、磁学、热学、声学、光学、及化学和生物学功能及其相互转化功能,被用于非结构目的的高技术材料,如电功能材料、磁功能材料、热功能材料、声功能材料、光功能材料、能源功能材料、化学功能材料、医用功能材料等等。按材料特定物理效应可分为:压电材料、热电材料、铁电材料、光电材料、声光材料、磁性材料、磁致伸缩材料等。

4. 按材料的状态分类

按状态分为气态、液态和固态三类。一般使用的多为固态材料,固态材料根据结晶状态又可分为单晶材料、多晶材料、准晶材料和非晶材料,其材料内部的原子结构排列有序程度依次序降低。

此外,还把材料分为传统材料和新型材料(又称新材料或先进材料)。传统材料指在工业中已批量生产并得到广泛应用的材料;新材料指刚投产或正在发展且有优异性能和应用前景的一类材料。随着现代科学技术发展,材料的分类方法也大大细化,以适应新形势的发展,如目前常把能源开发、转换、运输、存储所需材料称为能源材料,而把信息接收、处理、存储和传播所需的材料统称为信息材料。

1.2 材料发展史

材料是人类生活和生产的物质基础,是人类认识自然和改造自然的工具。自从人类出现,就开始了使用材料和制造材料,材料的发展史与人类史一样久远。人类的发展历史证明,材料是人类社会发展的物质基础和先导,是人类进步的里程碑。纵观人类利用材料的历史,可以发现,每一种重要材料的发现和利用,都会把人类支配和改造自然的能力提高到一个新的水平,为社会生产力和生活带来巨大的变化,把人类物质文明和精神文明向前推进一步。材料已成为人类进化的重要标志之一,从考古学的角度,人类的文明史被划分为旧石器时代、新石器时代(陶器时代)、青铜器时代、铁器时代等四个时代。

当前,材料、能源、信息是客观世界的三大要素,是构成现代文明的三大支柱。材料发展推动社会前进,反过来社会的需要也是材料发展的巨大推动力。人类社会的进步,几乎无不与材料密切相关,相反,有些技术由于没有合适的材料而进展缓慢。因此,新材料的研究、开发与应用反映了一个国家的科学技术与工业水平。

1.2.1 材料发展古代史

1.2.1.1 石器时代

在遥远的原始社会时期,人类最早利用的材料是天然材料,如岩石、木材、兽皮、骨骼等,在相当长的历史时期内,石器是主要的劳动生产工具。因此,人们把这个时期称为石器时代。石器时代又可分为旧石器时代和新石器时代。在新石器时代,材料开始得到广泛应用,出现了制陶技术并得到了发展。

1. 旧石器时代

大约 250 万年前,人类的祖先为了生存、抵御猛兽袭击和猎取食物,逐渐学会了使用天然材料——木棒、石块等。为了使这些天然材料更加犀利,人类开始打制石器,即利用天然较硬石块来打击经过选择的较软的石料,使之成为合用的工具,如石矢、石刀、石铲、石凿、石斧、石球等。用这种打击方法制造的石器称为旧石器,这是人类使用的第一种原始材料,但所加工的石器形状不规则,且加工十分粗糙。这一时期在历史上最长,大约经历了 200 多万年的时间。

打制石器用的材料大多都是石英石,少部分是燧石,燧石是一种发火材料,猛烈敲击

能产生火星,并在空气中燃烧,热量较多,可引燃树叶、树枝、树皮等可燃物质。同时,旧石器末期随钻孔技术的出现,发现了摩擦生火方法,人类从保存和使用天然火到学会造火,这大约发生在石器时代中期,其对人类生活以及材料的发展产生了重大影响,是人类文明的一个重要里程碑。石器的制造和火的利用是原始社会两项重大的技术成就。

2. 新石器时代

新石器时代开始于1万年前,其主要标志是大量磨光石器及陶器的出现;此外,还伴随石头、砖瓦等建筑材料以及玉器的出现。这一时期大约持续了5000年。

新石器时代,人类已懂得了对石料采用不同的加工方法加工,主要有锤击、碰钻、砸等直接打制法,还出现了标准化的工具,主要有砍砸器、刮削器和尖状器等几十类。石器打制技术已达到相当完善的地步,形式更加多样,并出现琢磨和打光技术。制作磨光的石器,首先要选择合适的石料,打成石器的雏形,然后放在砸石上加水和砂磨光,磨光石器的优点在于具有准确合用的类型和锋利的刃口,在新石器时代最具代表性的工具是斧头。

原始的制陶技术起源于旧石器时代末期,到新石器时代得到相当大的发展。人类在利用火的过程中观察到泥土被火烘烤以后变干、变硬的现象。于是在编制或木制的容器外面涂上一层黏土,然后再拿到火中烧烤,制成最原始的陶器。制陶技术的进一步发展,开始不用坯架直接成型,先是全部用手做,分段垒筑,接着采用制陶轮盘,使陶器加工更加规矩匀称,且效率大大提高,加热方法也由露天烧烤过渡到采用陶窑,这不仅可以保持高温,并可以有效地控制燃烧气氛,赋予陶器各种不同的色泽。陶是人类第一个人工合成材料。

此外,在新石器时代,人们开始利用野生葛、苎麻等做纺织原料,通过煮、脱胶来分离纤维;而且已经利用蚕丝制成布和丝织品,用石头做建筑材料,用土作砖瓦,并使用稻草做增强材料掺入黏土中,用太阳晒干制砖和火烧制砖。

1.2.1.2 青铜器时代

大约从公元前5000年—公元前1200年,人类已经知道使用天然的金和铜,但因其尺寸较小、数量少,还不能成为大量使用的材料。人类在寻找石料的过程中认识了矿石,在烧制陶器过程中又还原出金属铜,创造了冶炼铜技术和铸造技术,生产出各种青铜器物,从而人类进入了青铜时代,这是人类大量利用金属的开始。

公元前8000年,人类发现并利用天然铜——红铜,经研磨、锤打加工成铜兵器、铜工具和各种装饰品。公元前5000年,学会了用铜矿石炼铜,铜是人类获得的第二种人造材料。随后发现在铜中加入部分锡,可使原来较软的铜制品变得更坚韧、更耐磨。青铜——铜锡合金,是人类历史上出现的第一个合金。

熔化的铜冷却以后随着不同容器而得到不同的形状,从而产生了铸造技术,即以铸造方式成型各种青铜器。铸造青铜的铸型(即范)以陶制和泥制的为主,后来出现了石范和夯筑范,夯筑范是将一定湿度的土一层层夯实,适合于铸造大件器物,并出现分铸法等高超铸造技术。

1.2.1.3 铁器时代

人类最早使用铁器是在公元前2000年左右,那时的铁器是用天然陨铁敲打而成,后