



新世纪高等院校精品教材

YINGYONG CAILIAO JICHU

应用材料基础

吴进明 编

浙江大学出版社

应用材料基础

吴进明 编

内 容 提 要

本教材面向高等院校理工科非材料专业学生,旨在使学生了解材料相关基础知识,解决科研及工程实际中的材料问题。主要内容:材料基本结构信息;材料基本性能及其指标;材料成分—结构—性能之间的关系;各类常用的结构材料及功能材料的牌号、性能特征及用途;材料选用基础。

图书在版编目(CIP)数据

应用材料基础 / 吴进明编. — 杭州:浙江大学出版社, 2004.8
新世纪高等院校精品教材
ISBN 7-308-03803-3

I. 应... II. 吴... III. 工程材料—高等学校—教材 IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 073330 号

出版发行 浙江大学出版社
(杭州浙大路 38 号 邮政编码 310027)
(E-mail: zupress@mail.hz.zj.cn)
(网址: <http://www.zjupress.com>)

责任编辑 杜希武 宋纪涛
排 版 浙江大学出版社电脑排版中心
印 刷 浙江大学印刷厂
开 本 787mm × 1092mm 1/16
印 张 8.25
字 数 218 千字
版 印 次 2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月第 1 次印刷
印 数 0001—3000
书 号 ISBN 7-308-03803-3/TB·031
定 价 13.00 元

目 录

第一章 绪 论	(1)
1.1 材料与人类文明	(1)
1.1.1 石器时代	(1)
1.1.2 青铜器时代	(2)
1.1.3 铁器时代	(2)
1.2 材料与现代科技	(2)
1.3 材料的分类	(3)
1.4 课程目的、主要内容	(6)
第二章 材料结构基础	(7)
2.1 原子结构	(7)
2.1.1 质子、中子和电子	(7)
2.1.2 核外电子的运动	(8)
2.1.3 电负性	(8)
2.2 化学键	(8)
2.2.1 离子键	(8)
2.2.2 共价键	(9)
2.2.3 金属键	(9)
2.2.4 氢键	(9)
2.2.5 范德华力	(10)
2.3 晶体结构	(11)
2.3.1 晶体和非晶体	(11)
2.3.2 晶体结构	(11)
2.4 晶体缺陷	(16)
2.4.1 点缺陷	(16)
2.4.2 线缺陷	(17)
2.4.3 面缺陷	(17)
2.5 合金的基本相	(18)
2.5.1 固溶体	(18)

2.5.2 中间相	(19)
2.6 金属结晶过程	(19)
2.7 相图基础	(20)
2.7.1 相律	(21)
2.7.2 匀晶相图	(21)
2.7.3 共晶反应	(22)
2.7.4 包晶反应	(24)
2.8 Fe-Fe ₃ C 相图	(25)
2.8.1 三个基本相	(25)
2.8.2 两个重要反应	(27)
2.9 铁-石墨相图	(29)
2.10 三大类材料结构	(29)
2.10.1 金属材料结构	(29)
2.10.2 无机非金属材料结构	(30)
2.10.3 高分子材料的结构	(32)
第三章 材料性能基础	(36)
3.1 材料物理性能	(36)
3.1.1 热学性能	(36)
3.1.2 电学性能	(38)
3.1.3 光学性能	(45)
3.1.4 磁学性能	(46)
3.2 材料力学性能	(46)
3.2.1 光滑圆柱试样静拉伸试验	(47)
3.2.2 韧性	(53)
3.2.3 冲击韧性	(54)
3.2.4 韧脆转变温度	(54)
3.2.5 断裂韧性	(55)
3.2.6 疲劳断裂	(55)
3.2.7 硬度	(56)
3.2.8 高温力学性能	(57)
3.2.9 材料磨损性能	(58)
3.2.10 高分子材料力学性能	(60)
3.3 金属材料强化技术	(61)
3.3.1 形变强化	(61)
3.3.2 细晶强化	(61)
3.3.3 固溶强化	(62)
3.3.4 第二相强化(弥散强化)	(62)
3.3.5 相变强化	(63)
3.4 钢的热处理	(64)

3.4.1 热处理理论基础	(64)
3.4.2 退火	(67)
3.4.3 正火	(69)
3.4.4 淬火	(69)
3.4.5 回火	(72)
3.5 钢的表面强化	(73)
3.5.1 表面淬火	(74)
3.5.2 化学热处理	(75)
第四章 常用材料简介	(76)
4.1 金属材料简介	(76)
4.1.1 碳素钢	(76)
4.1.2 合金钢	(78)
4.1.3 铸铁	(84)
4.1.4 有色金属材料	(87)
4.2 无机非金属材料简介	(92)
4.2.1 陶瓷	(92)
4.2.2 玻璃	(93)
4.2.3 水泥、混凝土	(94)
4.3 高分子材料简介	(96)
4.3.1 塑料	(96)
4.3.2 合成纤维	(99)
4.3.3 橡胶	(99)
4.3.4 胶粘剂	(100)
4.4 复合材料简介	(101)
4.4.1 复合材料的组成及分类	(101)
4.4.2 复合材料的性能	(101)
4.4.3 一些复合材料简介	(103)
4.5 功能材料简介	(104)
4.5.1 力学功能材料	(105)
4.5.2 电功能材料	(106)
4.5.3 磁性材料	(108)
4.5.4 形状记忆合金	(111)
4.5.5 储氢合金	(112)
4.5.6 光纤	(115)
4.5.7 人工晶体	(115)
4.5.8 功能高分子材料	(116)
第五章 工程材料选用基础	(118)
5.1 失效分析基础	(118)

5.1.1 过度变形	(118)
5.1.2 断裂	(118)
5.1.3 磨损	(120)
5.1.4 腐蚀	(120)
5.2 选材的一般原则	(121)
5.2.1 使用性能原则	(121)
5.2.2 工艺性能原则	(121)
5.2.3 经济性原则	(123)
5.3 选材举例	(123)
5.3.1 材料类别选择	(123)
5.3.2 一些常用零件的选材	(124)
5.3.3 赛车选材举例	(125)
参考书目	(126)

绪 论

材料是人类生存和发展的物质基础。特别是进入现代文明后,人类的每一次科技进步都能找到材料的影子。材料研究的突破往往能带来许多科学技术的突破,从而改变人类的生活。可以毫不夸张地说,没有 19 世纪中叶钢铁大规模生产技术的出现,就没有当时的铁路交通系统,也就没有现代文明;同样,没有 20 世纪中期硅材料的发展,也就没有现在的信息时代。基于材料的重要性,20 世纪 70 年代人们就把信息、材料和能源列为当代文明的三大支柱。

对于什么是材料,并没有严格的定义。一般认为材料是人类用来制造物品、器件、构件、机器或其他产品的物质。但是,对于燃料、化学原料、工业化学品、食物和药物等物质,一般不列入材料的行列。

1.1 材料与人类文明

材料在人类文明史上占有重要的地位。在文化层面上人们以各种材料作为修辞来比喻人类文明的不同时代。公元前 8 世纪,古希腊哲学家赫西奥德的《劳动与时令》诗篇里,就把人类的发展划分成黄金、白银、青铜、英雄和铁五个世纪。中国东汉袁康所撰的《越绝书》中把人类使用的工具,分成石、玉、铜、铁四个阶段;1836 年丹麦学者汤姆森提出了石器时代、青铜时代和铁器时代的历史分期方法。可见,材料在人类文明史上占有重要地位。

1.1.1 石器时代

大约从 200 万年前开始,人类开始有目的地在生产生活中利用天然材料,如石头、木头、黏土、动物皮毛等。大约一万年以前,为了方便地进行狩猎等活动,人类对石头进行加工,制造各类精致的器皿和工具,进入新石器时代。新石器时代后期,人类已学会用黏土成型,再用火

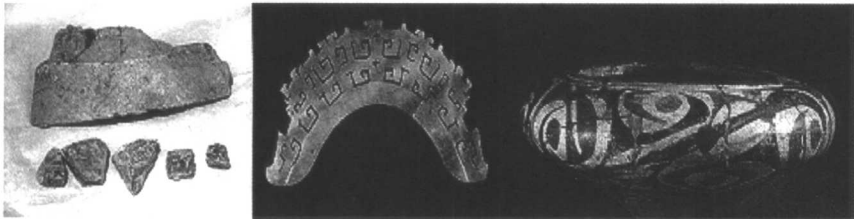


图 1.1 出土的石器、玉器和陶器

烧固化而成陶器。图 1.1 是出土的石器、玉器和陶器。

1.1.2 青铜器时代

从 5000 年前开始,人类掌握锡青铜冶炼技术。锡青铜是含锡少于 25% 的铜合金,具备良好的强韧性、耐腐蚀性、良好的加工性能等。青铜的出现,标志着人类大规模利用金属的开始,是人类文明发展的重要里程碑。图 1.2 是一些精致的青铜制品。



图 1.2 一些精致的青铜制品

1.1.3 铁器时代

从 3000 年前开始,人类掌握铁的冶炼技术。和青铜相比,铁的性能更好,原料更易得,一直到现在仍在大规模应用(图 1.3)。19 世纪以来,金属冶炼水平突飞猛进,除了钢铁材料以外,铜、铝、镁、钛等金属也相继出现,金属材料在整个 20 世纪占据了结构材料的主导地位。

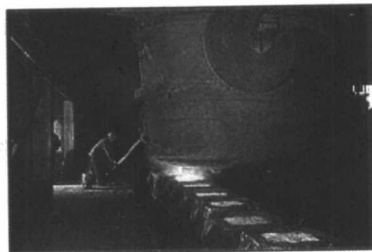


图 1.3 古代的铁匠铺和现代的铸造车间

1.2 材料与现代科技

先进材料的研究、开发与应用反映一个国家的科学技术与工业水平。现代科技的各个领域都对材料提出了更高的要求;反之,材料的发展也促进了现代科技的发展。图 1.4 显示,材料在现代科技的方方面面都有着重要的应用。例如,汽车工业里的各种金属、玻璃、塑料、涂料;航空航天工业里的高温合金、隔热材料、轻型高强度材料;能源工业里的储氢合金、燃料电池用材料、太阳能电池用材料;电子信息工业里的半导体材料、超导材料、磁记录材料、光纤;生

物技术领域的人工关节、人工皮肤、人工脏器;农业中的人造土壤、地面覆盖材料以及日常生活中的包装材料、建筑材料等等。

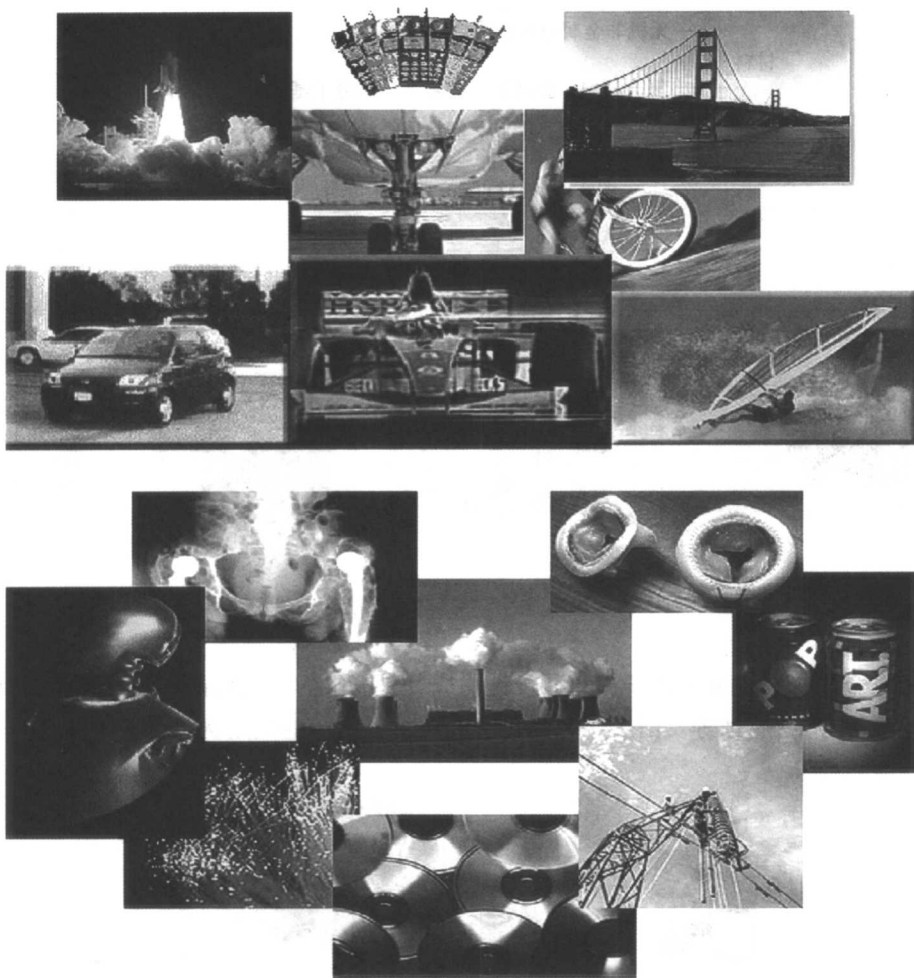


图 1.4 材料在现代科技中的应用

材料的未来发展方向是微型化(纳米材料与结构)、智能化(智能材料)、环保(环保材料,可生物降解材料等)。此外,仿生材料、极限条件(超高压、超高温等)用材料也是未来材料研究的重点。可以预计,这些新材料的发展必将更深刻地改变人们的生活。

1.3 材料的分类

材料种类繁多,可按不同的标准进行分类。

(1)按组成材料的主要价键结构,材料主要分为有机(高分子)材料和无机材料
无机材料包括金属材料 and 无机非金属材料,如图 1.5 所示。

金属材料主要由金属键组成,因此,它的一般性能特点是有一定的强度、韧性,易加工,导电、导热等。图 1.6 为金属材料的一些应用例子。

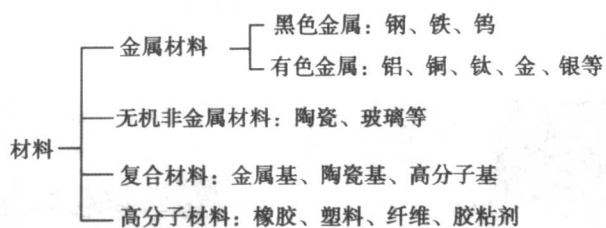


图 1.5 材料按价键结构的分类



图 1.6 金属材料的应用

无机非金属材料主要由离子键和共价键构成,因此,它的一般性能特点是强度高,硬而脆,绝热性绝缘性好,耐腐蚀等。图 1.7 为无机非金属材料的一些应用例子。

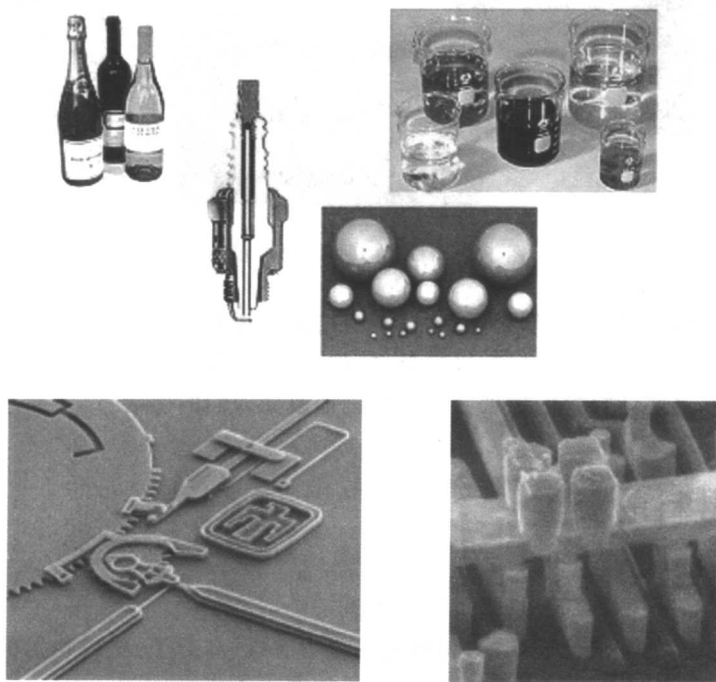


图 1.7 无机非金属材料的应用

高分子材料主要由共价键、分子键构成,因此,一般强度不高、塑性好,易加工成型,不耐热,绝缘性好,耐腐蚀。图 1.8 为高分子材料的一些应用例子。



图 1.8 高分子材料的应用

为了克服以上各类材料的缺点,并把它们的优点结合起来,20 世纪中叶开始发展了一类新材料——复合材料。复合材料一般具有低密度、高强度等特点,在很多场合都有特殊的应用。图 1.9 为复合材料在民用中的一些例子。

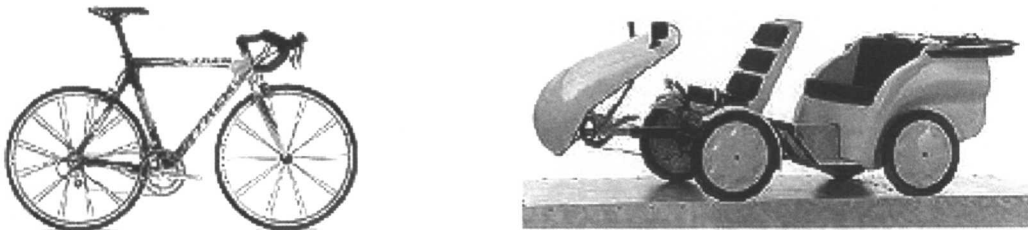


图 1.9 复合材料的应用

(2) 按应用,材料分为结构材料与功能材料两大类

结构材料主要用来制造各类承受特定载荷的构件、零件,使用的着眼点在于各种力学性能;功能材料广泛应用于各类器件中,使用着眼点在于各种物理、化学性能(图 1.10)。一般地,把弹性合金以及对力学性能有特殊要求的材料也归到功能材料的范畴。

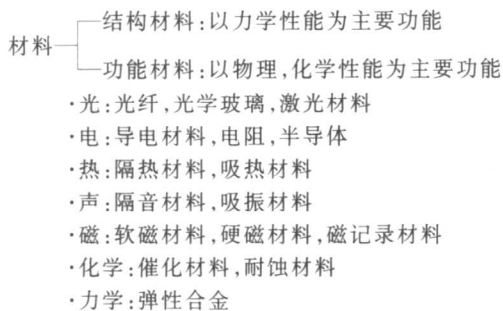


图 1.10 材料按应用分类

1.4 课程目的、主要内容

材料应用的着眼点是材料的性能,材料的性能是由成分和结构确定的。材料科学是研究材料制备(成分)—结构—性能之间关系的科学。通过本课程的学习,应该对工程实际中碰到的各种材料的成分、结构、性能特征以及它们之间的关系有基本的认识,从而能正确地选择利用恰当的材料解决科研及工程实际问题。

课程由材料结构基础、材料性能基础、常用材料简介和材料选用基础四部分组成,包括以下一些主要内容:

- 1) 材料的价键结构、原子排列和相组成;
- 2) 材料物理、力学性能表征及其内在(成分、结构)、外在(环境、介质、应力状态)影响因素;
- 3) 常用工程结构材料、复合材料和光、声、热、电、磁、能源、化学、生物医用等功能材料的简要介绍;
- 4) 失效分析基础、选材基本方法。

材料结构基础

使用材料的着眼点在于材料的各种性能,材料的性能主要取决于它的成分和结构。相同成分构成的材料,结构不同,表现出的性能可能相差很大。因此,材料的结构研究在材料科学与工程中有着重要的地位。

按照不同的尺度,材料的结构可分为四个层次:宏观结构、微观结构、原子尺度结构和亚原子尺度结构(图 2.1)。材料结构研究主要集中于微观结构,但已经深入到原子尺度。

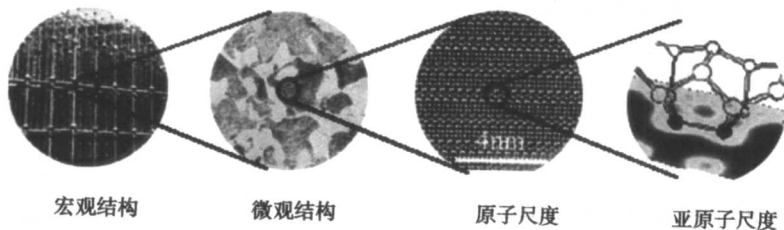


图 2.1 材料结构的层次

2.1 原子结构

2.1.1 质子、中子和电子

物质是由原子构成的。原子由质子、中子和电子构成。质子和中子组成原子核,电子则绕原子核作高速运动(图 2.2)。质子带正电,电子带负电,它们的带电量都是 $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ (库仑);中子是电中性的。每个质子和中子的质量都约为 $1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$,每个电子的质量是 $9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ 。因此,原子的质量集中在原子核,核外电子的质量可以忽略不计。原子的半径约为 10^{-10} m (0.1 nm)数量级,其中,原子核的半径不超过 10^{-14} m 。

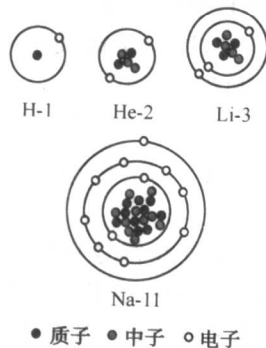


图 2.2 H, He, Li, Na 原子的玻尔模型

2.1.2 核外电子的运动

根据玻尔原子模型(图 2.2),电子在原子核外作绕核(循轨)运动和自旋运动,其运动轨道的能级是分立不连续的。根据量子力学理论,不同的轨道,形状不同(图 2.3)。在多电子的原子中,电子的分布遵循泡利不相容原理、能量最低原理和洪德定则。最外层的电子所处的能级最高,最不稳定,称为价电子。化学键主要取决于价电子。

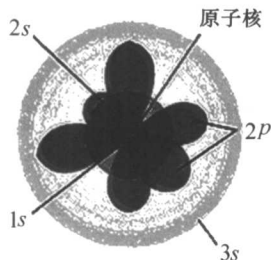


图 2.3 不同原子轨道的形状

2.1.3 电负性

最外层轨道都被电子填满(惰性气体结构)时,原子最稳定。因此,当原子结合在一起时,通过最外层电子的得失而达到稳定状态。这种原子得失电子的能力用电负性表示。在元素周期表中,同一主族元素随着周期数的增加,电负性减小,原子越容易失电子;同一周期元素随主族数的增大,电负性增大,原子获得电子的能力增强。

2.2 化学键

相同元素或不同元素的原子之间由化学键结合在一起。材料的许多性能与化学键之间关系密切,如密度、导电性、导热性、热膨胀系数、弹性模量、硬度等。

当两个原子相互靠近时,它们之间存在的相互作用力包括原子核与核外电子之间的吸引力,以及原子核、核外电子之间的排斥力。两个原子之间的相互作用力及势能与原子间距之间的关系可表示为图 2.4。在某一间距 r_0 处,吸引力和排斥力达到平衡,势能最低,原子最稳定。

由于核外电子结构,特别是价电子结构的不同,原子之间的结合方式(化学键)也不同,主要有离子键、共价键、金属键、氢键和范德华力。

2.2.1 离子键

两个电负性符号相反的原子相遇时,电负性为正的原子,其核外价电子转移到电负性为负的原子,从而达到各自的核外电子结构的平衡状态。两个原子之间通过很强的库仑力(正负电荷之间相互作用力)结合在一起(图 2.5)。离子键的特点是键合作用强、无方向性。

由离子键构成的化合物称为离子化合物,如 NaCl 等。由于负离子的体积比正离子大,因

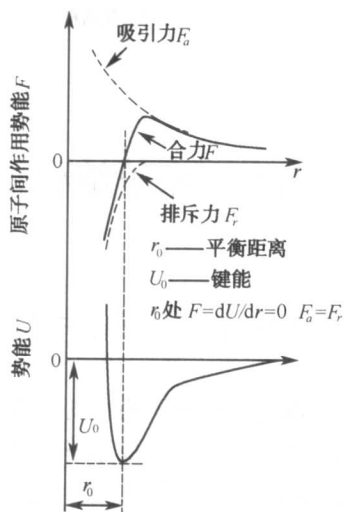


图 2.4 两个原子之间的相互作用力、势能与原子间距的关系

此,离子化合物的晶体结构特点是:负离子在三维空间作周期性排列(空间点阵),正离子占据点阵的间隙。

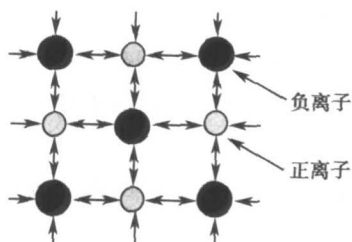


图 2.5 离子键结合示意图

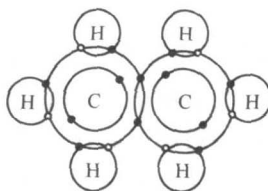


图 2.6 共价键结合示意图(乙烷)

2.2.2 共价键

两个电负性都较大但差值又较小的原子之间无法通过电子的得失获得平衡,而是通过共享电子而达到各自核外电子结构的平衡状态,这种键合方式称为共价键。图 2.6 所示的乙烷的 C,H 以及 C,C 原子之间即通过共价键结合。一个原子最多可以形成的共价键(饱和共价键数) $N=8-N'$, N' 为其价电子数。共价键的特点是饱和性与方向性。典型的以共价键结合的物质有 H_2 , Cl_2 , 金刚石等。

2.2.3 金属键

金属原子形成晶体时,每个金属原子提供少数价电子作为自由电子,被整个晶体共有。这些自由电子组成电子云,通过电子云把各个金属原子结合在一起(图 2.7)。金属晶体由失去了价电子的金属离子在三维空间作周期性排列构成。金属键无方向性,其中的价电子可以在整个晶体中自由运动,这是金属具有良好的变形能力、优良的导电导热性的原因。

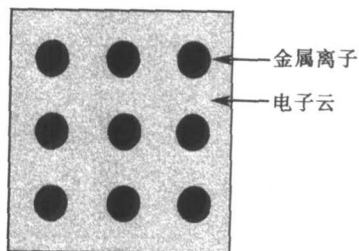


图 2.7 金属键结合示意图

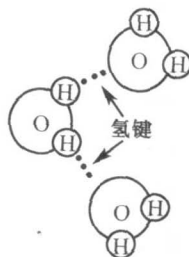


图 2.8 水中的氢键示意图

2.2.4 氢键

H 与 O,N,F 等电负性高的原子 A(A 为 O,N,F 等)组成共价键分子时,共有电子对(电荷中心)偏向原子 A。此时,H 原子一侧带正电,A 原子一侧带负电。一个分子的 H 原子可以和另一个分子的 A 原子通过正负电荷相互作用而形成一种附加键,即氢键。氢键存在于 H_2O , HF , NH_3 和许多高分子化合物中。图 2.8 所示为水中的氢键。氢键有方向性。

2.2.5 范德华力

在某一瞬间,一个原子的正负电荷中心可能不重合,从而形成小的偶极子。小偶极子之间的相互作用力称为范德华力。结合过程没有电子得失、共有或公有化,价电子分布几乎不变。由分子键形成的物质熔点低、硬度低、绝缘。

各种化学键的结合能见表 2.1。一般而言,离子键、共价键的结合强度大于金属键,氢键和范德华力的结合强度比较弱。

表 2.1 各种化学键的结合能比较

化学键	离子键	共价键	金属键	氢键	范德华力
结合能(kJ/mol)	600~1500	100~800	70~850	10~50	10~50

由于材料的熔点、热膨胀系数、弹性模量等性能都和组成原子之间的结合力密切相关,因此,一般地,原子键结合力越大,材料的熔点、弹性模量越高,热膨胀系数越小。表 2.2 列出了一些材料化学键与材料熔点的关系;表 2.3 为一些材料的线膨胀系数。

表 2.2 化学键与材料熔点的关系

化学键	材料	结合能(kJ/mol)	熔点(℃)
离子键	NaCl	640	801
	MgO	1000	2800
共价键	Si	450	1410
	C(金刚石)	713	>3550
金属键	Hg	68	-39
	Al	324	660
	Fe	406	1538
	W	849	3410
范德华力	Ar	7.7	-189
	Cl ₂	231	-101
氢键	NH ₃	35	-78
	H ₂ O	51	0

表 2.3 一些材料 25℃ 时的线膨胀系数

材料	铝	铜	铁	砖头	窗玻璃	水泥	聚乙烯	橡皮
线膨胀系数($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	22	16	12	9	9	13	110~180	81

各种材料中可能存在的化学键见表 2.4。