

高等学校教学用书

材 料 学

中 册

(金属材料)

北京铁道学院铁道运输系铁道材料教研组编

人 民 铁 道 出 版 社

高等学校教学用书

材 料 学

中 册

(金属材料)

北京铁道学院铁道运输系铁道材料教研組編

人 民 铁 道 出 版 社

一九六二年·北京

本书是北京铁道学院铁道运输系铁道材料专业用教材“材料学”的金属
材料部分。它是由本专业材料学金属材料教学小组全体教师和一部分1961年
毕业同学集体编写的。

本书内容分为六篇：第一篇是金属材料的性质；第二篇是钢铁的冶炼；
第三篇是铸铁与铸钢；第四篇是碳素钢；第五篇是合金钢；第六篇是有色金
属及合金。

本书除作为本专业“材料学”（金属材料）教学用书外，也可以作为材
料供应干部训练班的教材，和供高等工业学校及材料供应干部等学习与参
考。

本书主编人：王文翔

参加编写人：龔惠芳、陈宝田、胡棟才、王志高、赵淑汉。

高等学校教学用书

材 料 学

中 册

（金属材料）

北京铁道学院铁道运输系铁道材料教研组编

人民铁道出版社出版

（北京市霞公府17号）

北京市书刊出版业营业许可证出字第010号

新华书店北京发行所发行

人民铁道出版社印刷厂印

书号 1873 开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ 印张 $10 \frac{1}{8}$ 字数 454 千

1962年7月第1版

1962年7月第1版第1次印刷

印数 0,001—950 册 定价 (10) 2.50 元

前 言

正确的供应金属材料，合理的使用金属材料；提高金属材料的机械强度，改善金属材料的使用安全性；节约高价金属材料，选用合适的高价金属材料的代用品；保证对收入的金属材料进行正确而可靠的质量检验，对发出的金属材料提出正确而可靠的技术证明文件，使库存的金属材料不致因保管不当而遭受质量上的损失，这些都是材料人员的职责。归根到底，要想使国家的宝贵金属资源和经过人民辛勤劳动生产的金属材料都能发挥其最大的经济效益，有利于加速社会主义建设，材料供应人员和工程技术人员，都必须仔细地研究供应的和使用的金属材料的性质。

本书的编写目的就是使学生能够比较深入的了解金属材料的性质，和影响金属材料性质的各种因素，为将来搞好上述工作打下基础。

本书共分为六篇：第一篇是金属材料的性质。在这篇里比较详尽的叙述了金属元素及其合金的基本的个性和共性，与外因对这些个性和共性的影响。此篇是学习下面五篇的共同的理论基础。第二篇是钢铁的冶炼，在这篇里主要叙述了原料、设备、冶炼过程和产品种类。第三篇是铸铁与铸钢，在这篇里重点的叙述了原料、设备、铸造过程和铁路上常用的钢铸件和铁铸件。第四篇是碳素钢，在这篇里主要的叙述了钢材的压延工艺、分类标准、技术性质和在铁路上的应用。第五篇是合金钢，在这篇里重点地叙述了合金元素在铁碳合金中与铁和碳所起的作用，和对钢的热处理性能所发生的影响，合金钢的分类标准、技术性质、节约代用，及其在铁路上的应用。第六篇是有色金属及其合金，在这篇里主要叙述了铁路上常用的几种有色金属和它们的合金。

如上所述，本书的主要研究对象是金属及合金的本性与外因对金属及合金本性的影响。金属及合金本性的研究是从原子结构、结晶类型与金属及合金性质关系的规律开始，逐步深入到金属材料的物理性质、化学性质、机械性质、工艺性质，从而得出各种金属材料的适用范围等结论。影响金属及合金本性的外因的研究包括：冶炼、铸造、压力加工和热处理等各项工艺过程，与金属及合金中有益组成、有害杂质等的说明。伴随着这些说明，并还引用了各有关合金的平衡图与金相显微组织照片等。

本书不包括金属材料的实验部分，关于这一部分，另外有实验用教材。

本书是在本专业1960年使用的课本的基础上，通过调查研究、现场教学、总结经验等过程，在党的调整、巩固、充实、提高的八字方针指导下编写的。它反映了在党的正确领导下，大跃进以来我国在金属材料生产方面所取得的伟大成绩。但因时间短促，编写仓卒，其中欠缺及不妥之处在所难免，望各位读者给以指正。

编者

1961年11月。

目 录

第一篇 金属材料的性质

第一章 金属的基本性质	1
第一节 原子结构.....	1
第二节 分子结构.....	6
第三节 晶格结构.....	8
第四节 结晶过程.....	12
第二章 合金的基本性质	17
第一节 机械混合物.....	17
第二节 固溶体.....	19
第三节 化合物.....	22
第三章 合金平衡图	23
第一节 概述.....	23
第二节 二元系合金平衡图基本类型的研究.....	31
第三节 三元系合金平衡图的简介.....	40
第四章 铁碳合金平衡图	42
第一节 铁与碳.....	42
第二节 铁碳合金平衡图中的相及其特征.....	44
第三节 铁碳合金平衡图的说明.....	46
第四节 铁碳合金平衡图的应用.....	48
第五章 钢的热处理	49
第一节 概述.....	49
第二节 热处理原理.....	50
第三节 退火与正火.....	55
第四节 淬火.....	57
第五节 回火.....	61
第六节 热处理产生的缺陷.....	61
第七节 化学热处理.....	62
第八节 热处理的设备.....	67
第六章 塑性变形及其对金属性质的影响	68
第一节 金属的冷塑性变形（冷加工）.....	68
第二节 金属的再结晶.....	71
第三节 金属的热塑性变形（热加工）.....	72

第二篇 钢铁的冶炼

第七章 铁的冶炼	73
第一节 高炉原料.....	73
第二节 高炉构造及其附属设备.....	77
第三节 高炉冶炼的理化过程.....	80
第四节 高炉操作.....	85

第五节	高炉冶炼铁合金	89
第六节	高炉产品	90
第八章	铁合金的冶炼	93
第一节	概述	93
第二节	硅铁的冶炼	93
第三节	锰铁的冶炼	97
第四节	其它铁合金	100
第九章	钢的冶炼	102
第一节	炼钢的基本原理	102
第二节	转炉炼钢	105
第三节	电炉炼钢	108
第四节	平炉炼钢	113
第五节	炼钢的技术经济指标	116
第六节	钢锭	117

第三篇 鑄鉄与鑄鋼

第十章	鑄造生产	121
第一节	制模与造型材料	121
第二节	制模与造型过程	123
第三节	鑄鉄的熔化	125
第四节	鑄件的澆注	128
第五节	鑄件主要缺陷的分析和修补	129
第六节	鋼鉄鑄件的热处理	129
第十一章	鑄鉄	130
第一节	鑄鉄的組織与性質	130
第二节	灰口鑄鉄与白口鑄鉄	134
第三节	球墨鑄鉄	136
第四节	冷硬鑄鉄	141
第五节	可鍛鑄鉄与合金鑄鉄	144
第十二章	鑄鋼	146
第一节	鑄鋼的工艺特点	146
第二节	鑄鋼的結晶与其性能之間的关系	147
第三节	鑄鋼的分类	148
第四节	鑄鋼的应用	149

第四篇 碳素鋼

第十三章	鋼材的生产	152
第一节	軋制	152
第二节	挤压	157
第三节	拉伸	158
第四节	鍛造	158
第十四章	碳素鋼材	161
第一节	碳素鋼材的分类、鋼号和技术条件	161
第二节	鉄路上大量使用的鋼材	168

第五篇 合金鋼

第十五章	合金鋼的基本理論	175
第一节	概述.....	175
第二节	合金元素对鋼的組織及性能的影响.....	176
第三节	合金鋼的缺陷及防止缺陷产生的办法.....	180
第四节	合金鋼的分类及編号.....	181
第十六章	合金結構鋼	182
第一节	概述.....	182
第二节	彈簧用合金鋼.....	182
第三节	齿輪用合金鋼.....	184
第四节	电机用合金鋼.....	188
第五节	滾珠軸承用合金鋼.....	192
第六节	鋼軌用合金鋼.....	192
第七节	道岔用合金鋼.....	195
第八节	桥梁用合金鋼.....	196
第十七章	合金工具鋼	198
第一节	概述.....	198
第二节	合金刀具鋼.....	198
第三节	合金模具鋼.....	202
第四节	合金量具鋼.....	204
第十八章	特殊性能的合金鋼	205
第一节	概述.....	205
第二节	特殊性能合金鋼的举例.....	208

第六篇 有色金屬及合金

第十九章	有色金屬	212
第一节	銅.....	212
第二节	鋁.....	218
第三节	錫.....	222
第四节	鉛.....	223
第五节	鋅.....	226
第六节	鎳.....	227
第二十章	有色金屬的合金	228
第一节	銅合金.....	228
第二节	鋁合金.....	244
第三节	耐磨白合金.....	247

第一篇 金屬材料的性質

第一章 金屬的基本性質

第一节 原子結構

一、概述

为了正确地供应金属材料，保証铁路运营、生产和基本建設任务的完成，同时为了便于向各用料单位提出合理的使用金属材料、节约金属材料及利用报废的金属制品等建議，使国家宝贵的物资都能发挥最高的技术性能和最大的經濟效果。因此，我們有必要对金属材料的性質作比較全面的了解。

一切金属材料，都是以金属为原料，经过加工制造而成的。了解金属材料的性質，必須首先了解金属本身的性質。金属本身的性質也并不是永恒不变的，而是经过某种工艺过程，在某些性質方面也会发生变化的。

金属的性質决定于金属的組織。金属的組織是可以改变的。組織的改变是金属性質改变的內因。压力、温度和时间是金属組織和性質改变的外因。外因通过內因而起作用。这就說明了为什么金属经过冶炼、鑄造、压力加工和热处理等工艺过程后，它們的組織和性質都是可以改变的。

金属的組織是由金属的晶体所构成。金属的晶体是由金属的原子所构成。因此，了解金属的性質，必須首先研究金属的組織。研究金属的組織，又必須从研究金属的原子結構开始。

二、原子結構概念

任何物質和物体，都是由众多的微粒所构成。微粒就是原子，原子是由一个原子核和在它周圍运动着的电子所构成。原子核的内部含有質子和中子。电子和質子都是带电荷的，中子是不带电荷的，电子所带的是阴电荷，質子所带的是阳电荷。

每个原子的电子数与其核內的質子数都是相同的。但在原子核內，中子的数和質子的数，則有的相同，有的不相同。因为大多数元素都不是由单独一种原子所构成，而是由两种或若干种在原子核內質子数相同，中子数不相同的原子所构成。这些元素在元素周期表內占有同一地位，因此，叫它們为同位素。同位素的原子，在重量上有所差別。因此，在說明这种原子的重量时，多采用各同位素的平均值，或近似的平均值。

原子的大小可以用半徑表示，最小的原子是氢原子，它的半徑是 0.528×10^{-8} 厘米；最大的原子是鉍原子，它的半徑是 2.4×10^{-8} 厘米。

原子中电子的分布是一层一层的，每层电子的数目，可用下式計算出来：

$$N = 2n^2。$$

式中 N ——电子数目；

n ——电子层数。

因而：

在第一层内有的电子是 $2 \times 1^2 = 2$ 个。

在第二层内有的电子是 $2 \times 2^2 = 8$ 个。

在第三层内有的电子是 $2 \times 3^2 = 18$ 个。

在第四层内有的电子是 $2 \times 4^2 = 32$ 个。

其它各层尚未确定。

不同层数的电子，具有不同的能量，能量是随着层数的增加而增加的。距离原子核最近的一层能量最低，最远的一层能量最高。

原子中电子的层数，等于该元素在元素周期表内所处的周期数。

原子中每一层内的电子，还可以分为四个亚层，每一亚层内的电子数目，可用下式算出来：

$$N_n = 2(2l + 1)。$$

式中 N_n ——亚层内的电子数目；

l ——亚层电子层数。

因而：

在第零层内有的电子是 $2(2 \times 0 + 1) = 2$ 个。

在第一层内有的电子是 $2(2 \times 1 + 1) = 6$ 个。

在第二层内有的电子是 $2(2 \times 2 + 1) = 10$ 个。

在第三层内有的电子是 $2(2 \times 3 + 1) = 14$ 个。

零亚层内电子的能量较一亚层者为低，一亚层内者较二亚层内者为低，二亚层内者较三亚层内者为低。

各亚层内的电子总数，都等于其所属层内的电子总数。

电子的分布，通常用符号表示。层 (n) 是从原子核起由内向外填写。亚层 (l) 也是由内向外填写。

层的符号有两种，即：

1. 大写字母：K, L, M, N, O, P, Q；

2. 自然数字：1, 2, 3, 4, 5, 6, 7。

亚层符号也有两种，即：

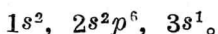
3. 自然数字：0, 1, 2, 3, 4；

4. 小写字母：s, p, d, f。

各亚层内的电子数目，用较小的自然数字写在亚层符号 s、p、d、f 等的右上角处，即：

5. 较小自然数字：1, 2, 3, 4。

上述五种符号并不同时都用，一般常用者只是 2、4、5 三种。例如，钠原子结构的表示法为：



应用前面两个公式计算出来的各层和各亚层内的电子数目，也就是最大限度的数目。但是实际上各个原子的各层和各亚层内的电子，并不都是填满了的，而是在不同程度上还有空位的。例如：氢原子，它仅有一个电子，所以连第一层也还没有填满。又有的原子，它的亚层电子还未填满，但外层内就已经有了电子。这种元素通常叫它为过渡元素。铁的原子就有这样结构，它的 26 个电子分布如下： $1s^2, 2s^2p^6, 3s^2p^6d^6, 4s^2$ 。

表1-1

原子内电子的分布表

周期	原子序数	元素符号	层的符号 (n)		L		M		N		O		P		Q	
			亚层符号 (l)		2		3		4		5		6		7	
			0		0 1		0 1 2		0 1 2 3		0 1 2 3		0 1 2		0	
			s		s p		s p d		s p d f		s p d f		s p d		s	
1	1	H	1													
	2	He	2													
2	3	Li	2		1											
	4	Be	2		2											
	5	B	2		2	1										
	6	C	2		2	2										
	7	N	2		2	3										
	8	O	2		2	4										
	9	F	2		2	5										
	10	Ne	2		2	6										
3	11	Na	2		2	6	1									
	12	Mg	2		2	6	2									
	13	Al	2		2	6	2	1								
	14	Si	2		2	6	2	2								
	15	P	2		2	6	2	3								
	16	S	2		2	6	2	4								
	17	Cl	2		2	6	2	5								
	18	Ar	2		2	6	2	6								
4	19	K	2		2	6	2	6	1							
	20	Ca	2		2	6	2	6	2							
	21	Sc	2		2	6	2	6	1	2						
	22	Ti	2		2	6	2	6	2	2						
	23	V	2		2	6	2	6	3	2						
	24	Cr	2		2	6	2	6	5	1						
	25	Mn	2		2	6	2	6	5	2						
	26	Fe	2		2	6	2	6	6	2						
	27	Co	2		2	6	2	6	7	2						
	28	Ni	2		2	6	2	6	8	2						
	29	Cu	2		2	6	2	6	10	1						
	30	Zn	2		2	6	2	6	10	2						
	31	Ga	2		2	6	2	6	10	2	1					
	32	Ge	2		2	6	2	6	10	2	2					
	33	As	2		2	6	2	6	10	2	3					
	34	Se	2		2	6	2	6	10	2	4					
	35	Br	2		2	6	2	6	10	2	5					
	36	Kr	2		2	6	2	6	10	2	6					
5	37	Rb	2		2	6	2	6	10	2	6	1				
	38	Sr	2		2	6	2	6	10	2	6	2				
	39	Y	2		2	6	2	6	10	2	6	1				
	40	Zr	2		2	6	2	6	10	2	6	2				
	41	Nb	2		2	6	2	6	10	2	6	4				
	42	Mo	2		2	6	2	6	10	2	6	5				
	43	Tc	2		2	6	2	6	10	2	6	5				
	44	Ru	2		2	6	2	6	10	2	6	7				
	45	Rh	2		2	6	2	6	10	2	6	8				
	46	Pd	2		2	6	2	6	10	2	6	10				
	47	Ag	2		2	6	2	6	10	2	6	10	1			
	48	Cd	2		2	6	2	6	10	2	6	10	2			
	49	In	2		2	6	2	6	10	2	6	10	2	1		
	50	Sn	2		2	6	2	6	10	2	6	10	2	2		
	51	Sb	2		2	6	2	6	10	2	6	10	2	3		
	52	Te	2		2	6	2	6	10	2	6	10	2	4		
	53	I	2		2	6	2	6	10	2	6	10	2	5		
	54	Xe	2		2	6	2	6	10	2	6	10	2	6		
6	55	Cs	2		2	6	2	6	10	2	6	10	2	6	1	
	56	Ba	2		2	6	2	6	10	2	6	10	2	6	2	
	57	La	2		2	6	2	6	10	2	6	10	2	6	1	
	58	Ce	2		2	6	2	6	10	2	6	10	2	6	2	
	59	Pr	2		2	6	2	6	10	2	6	10	2	6	2	
	60	Nd	2		2	6	2	6	10	2	6	10	2	6	2	
	61	Pm	2		2	6	2	6	10	2	6	10	2	6	2	
	62	Sm	2		2	6	2	6	10	2	6	10	2	6	2	
	63	Eu	2		2	6	2	6	10	2	6	10	2	6	2	
	64	Gd	2		2	6	2	6	10	2	6	10	2	6	1	

續表1-1

层的符号 ⁽ⁿ⁾			K	L	M	N	O	P	Q
亚层符号			1	2	3	4	5	6	7
元素符号 ^(l)			0	0 1	0 1 2	0 1 2 3	0 1 2 3	0 1 2	0
周期	原子序数	符号	s	s p	s p d	s p d f	s p d f	s p d	s
6	65	Tb	2	2 6	2 6 10	2 6 10 9	2 6	2	
	66	Dy	2	2 6	2 6 10	2 6 10 10	2 6	2	
	67	Ho	2	2 6	2 6 10	2 6 10 11	2 6	2	
	68	Er	2	2 6	2 6 10	2 6 10 12	2 6	2	
	69	Tm	2	2 6	2 6 10	2 6 10 13	2 6	2	
	70	Yb	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6	2	
	71	Lu	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 1	2	
	72	Hf	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 2	2	
	73	Ta	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 3	2	
	74	W	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 4	2	
	75	Re	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 5	2	
	76	Os	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 6	2	
	77	Ir	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 7	2	
	78	Pt	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 9	1	
	79	Au	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	1	
	80	Hg	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2	
	81	Tl	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2 1	
	82	Pb	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2 2	
7	83	Bi	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2 3	
	84	Po	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2 4	
	85	At	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2 5	
	86	Rn	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2 6	
	87	Fr	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2 6	1
	88	Ra	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2 6	2
	89	Ac	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2 6 1	2
	90	Th	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2 6 2	2
	91	Pa	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 2	2 6 1	2
	92	U	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 3	2 6 1	2
	93	Np	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 5	2 6	2
	94	Pu	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 6	2 6	2
	95	Am	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 7	2 6	2
	96	Cm	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 7	2 6 1	2
	97	Bk	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 9	2 6	2
	98	Cf	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 10	2 6	2
	99	Es							
	100	Fm							
	101	Mv							

三、原子结构与金属性质的关系

了解了原子结构以后，可以进一步研究原子结构与金属性质的关系。掌握了这种关系的规律后，就可以根据原子结构的类型来了解金属的性质，其中主要的是化学性质、物理性质和形成合金的性质。

(一) 化学性质

根据元素周期表的编排，同周期内的金属，其原子半径愈大、最外层电子数目愈少者，金属性质愈强。同族内的金属，其原子半径愈大、电子层数愈多者，金属性质也愈强。金属性质愈强的金属，其化学性质愈活泼。因此愈容易受到腐蚀。原因是原子半径愈大，电子层数愈多，原子核距离最外层电子愈远，对这层电子的吸引力愈弱，因而愈容易失去这层电子，特别是数目愈少者，愈是容易失去。这个问题可以用电离势加以说明。电离势也可以叫做电离能，它是从原子中去掉电子所需要消耗的能量，其单位为“电子伏特”。

不同种类的金属具有不同大小的电离势，同一种类的金属去掉它第一个、第二个、第三个……电子，使它分别成为具有一个、二个、三个……电荷的正离子所消耗的能量，也并不是相同的，而是依次增加的。且当最外层电子全部去掉后，再去次外层的第一个电子

时，能量增加得更多，这点从表 1—2 里可以看出。

表 1-2

輕元素各原子的依次电离勢表 (电子伏特)

順 序	元 素		电 离 勢				
	符 号	名 称	第一电子	第二电子	第三电子	第四电子	第五电子
1	H	氢	13.59				
2	He	氦	24.53	54.41			
3	Li	鋰	5.39	75.62	122.43		
4	Be	铍	9.32	18.21	153.85	217.67	
5	B	硼	8.30	25.12	37.92	259.31	340.16
6	C	碳	11.27	24.38	47.87	64.45	392.00
7	N	氮	14.55	29.61	47.61	77.40	97.87
8	O	氧	13.62	35.08	55.12	77.28	113.70
9	F	氟	17.42	34.98	62.65	87.14	114.22
10	Ne	氖	21.56	40.96	63.43	96.90	126.43
11	Na	鈉	5.14	47.29	71.65	—	—
12	Mg	鎂	7.65	15.03	80.12	109.53	—
13	Al	鋁	5.99	18.82	28.44	119.96	154.28
14	Si	硅	8.15	16.34	33.49	45.13	166.50
15	P	磷	10.93	19.65	30.16	51.36	65.01
16	S	硫	10.36	23.41	35.05	47.29	62.20
17	Cl	氯	12.96	23.80	39.91	54.45	67.80
18	Ar	氬	15.74	27.62	40.63	(61)	(73)
19	K	鉀	4.34	31.81	45.70	—	—
20	Ca	鈣	6.11	11.87	51.21	67.20	—

注：表內未包括第六和更高的电离勢；带括号的数字表示缺乏实验数据。

原子次外层电子满足 8 个和 18 个的金属，当最外层电子全部失去后，就变为化学性质很稳定的金属，最外层电子数目较多的，如 3 ~ 6 个的金属，它们的化学性质也比较稳定。这个问题同样可以用电离势解释，因为去掉这样多的电子，要消耗很大的能量。元素周期表第 III 族内的 Al, Ge, In, Ti；第 IV 族内的 Ge, Sn, Pb；第 V 族内的 Sb, Bi；第 VI 族内的 Po，都是最外层电子数目较多，次外层电子已经满足 8 个和 18 个的金属。因此，它们的化学性质都是在不同程度上比较稳定的。

(二) 物理性质

同族内的金属，其原子半径愈大，电子层数愈多者，比重愈大，熔点愈低，硬度愈小。但是这种规律，只是在第一族金属中表现得最为突出（见表 1—3）。其它各族金属，在比重上也保持着这种规律，但在熔点上和硬度上，这种规律不复存在。

(三) 形成合金的性质

根据原子结构了解金属形成合金的性质，主要的有两个方面。一方面是根据原子次外层的电子数目，另一方面是根据原子的半径大小。

第一族金屬重要物理性質常數

表 1-3

原 子 序 数	元 素		比 重	沸 点 (°C)	熔 点 (°C)	硬 度 金刚石=1.0	原 子 半 徑 (Å)
	符 号	名 称					
3	Li	鋰	0.53	1336	186	0.6	1.56
11	Na	鈉	0.97	890	97.7	0.4	1.92
19	K	鉀	0.86	770	63	0.5	2.38
39	Rb	銣	1.53	680	385	0.3	2.51
55	Cs	鉯	1.90	670	28	0.2	2.90
87	Fr	鈾	—	—	—	—	—

凡属最外层电子不超过两个，而次外层电子还有空位存在的过渡族金属，它們都容易和碳、氮、硼等非金属形成間隙相（間隙固溶体和間隙化合物）。因为这些非金属元素的原子半徑都是很小的，它們最外层的电子也比較容易跑到过渡族金属次外层空位里面去，而且空位愈多者，非金属原子的电子愈容易跑到里面去。

原子半徑差別很小的金属，一般來說都容易形成无限制的或有限制的固溶体。原子半徑差別很大的金属，只能形成化合物和机械混合物。

以上两种情况，后面还要进一步研究。

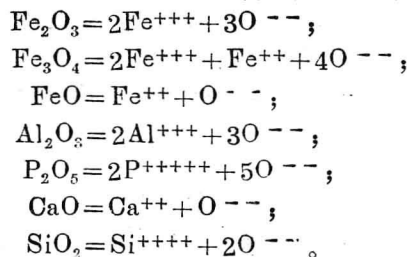
第二节 分子結構

任何一种物質，都是由很多分子或原子、离子等結合而成的。分子結合类型分为四种，即：离子結合，共价結合，极化結合和金属結合。金属結合与本門課程关系最大，离子結合次之，其他两种类型的結合关系很小。但在同一物質里面，經常会有不同类型的結合存在。因此，把这四种类型的結合，共同进行研究是有必要的。

一、离子結合

在开始研究以前，我們要有这样一种概念，即凡最外电子层內已有8个电子存在的原子，它們的化学性質都是最稳定的。在原子形成分子时，有的容易失去电子，有的容易取得电子的原因，也就是后者为了达到它的最稳定的电子层。失去和取得电子的原子都叫做离子。失去电子者叫正离子，取得电子者叫負离子。正离子半徑减小，負离子半徑加大。离子結合的特征，在于它是以正离子和負离子相互吸引为基础的。

下列在冶鉄炼鋼工业方面經常遇到的一些名詞，它們都是离子結合的化合物：



二、共价結合

当两个原子彼此結合时，它們最外层的电子，由于都离开了各所属的原子，就不再单独属于任何一个原子，而成为两个原子中間的联系物，这样的結合叫做共价結合。共价結合可

能存在于同种类的元素原子之間，如两个氯原子的分子 (Cl_2)。也可能存在于不同种类的元素原子之間，如二氧化碳 (CO_2)。

氯原子最外层电子共有 7 个，以两个氯原子所形成的分子，如各付出电子一个作为共用，则每个原子的最外层的电子可以满足 8 个，形成最稳定的电子层 (图 1—1)。

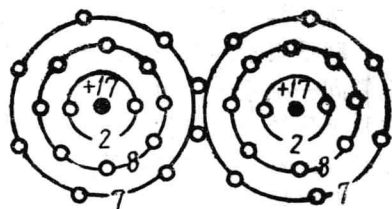


图 1—1 氯分子共价結合

二氧化碳的分子是一个碳原子和两个氧原子結合而成。碳原子最外层的电子是 4 个，氧原子最外层电子是 6 个。二氧化碳分子的构成是：碳原子以最外层的两个电子与第一个氧原子相連系，以最外层的另两个电子与第二个氧原子相連系。在氧的方面，每一个原子付出两个最外层的电子作为公有，同时并各保留 4 个自用的最外层的电子。这样在每个二氧化碳 (CO_2) 分子結合中，都有 4 个氧电子和 4 个碳电子参加，结果在氧原子和碳原子的附近，就各有 10 个电子运动着，2 个在内层，8 个在外层，满足了稳定性层的要求 (如图 1—2)。

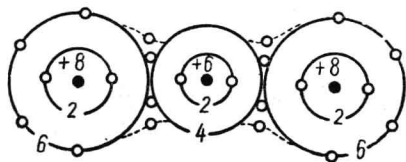


图 1—2 二氧化碳分子共价結合

三、极化結合

极化結合在惰性气体中，即在元素周期表零族元素的原子中可以遇到。这些原子都有稳定性的结构，它们的結合能量极为微弱，这就是惰性气体的凝固温度都非常低的緣故。

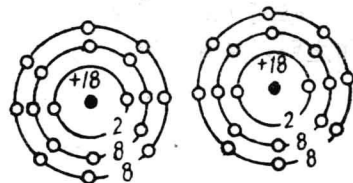


图 1—3 二氫分子极化結合

四、金属結合

金属結合的特征，是以带正电的离子为骨架，和在它們之間运动着的自由电子所形成。自由电子同时吸引着若干个带正电的离子，形成属于整体金属的“电子云”。电子云的作用将在下面說明。

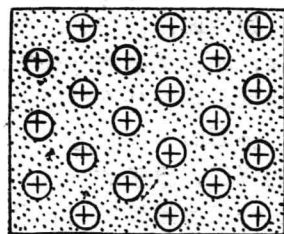


图 1—4 金属結合

五、分子结构类型与金属性质的关系

(一) 离子結合

在离子結合的晶体內，带正电荷的离子和带负电荷的离子相互作用力非常大。因此，大部分内部存在着离子結合晶体的金属，具有相当高的熔点、沸点，及很低的挥发性。同时，它们的硬度和脆性也都很大，故不适于压力加工。

但是必須說明，其负离子为金属的离子結合晶体，具有很低的熔点，因为在这类金属中，它们的原子只各拿出一个电子来起結合作用。

带两个电荷的离子所构成的晶体，其熔点比带一个电荷的离子所构成晶体的熔点要高些，因为带一个负电荷的离子和带一个正电荷的离子，相互之間吸引力較弱。

(二) 共价結合

共价結合晶体內原子的排列，一般的比离子結合晶体和金属結合晶体的内部要疏松一些，虽然是这样，但共价結合的晶体仍然是非常坚固的，要想把它损坏，需要消耗很大的能量。所以共价結合的晶体，通常具有极高的硬度、极高的熔点和沸点，以及很小的挥发性。共价結合晶体之所以具有这些特性，在于每个电子都被两个原子核吸引着。同时每个电子也吸引着两个原子核。

共价結合分子中，沒有离子，只有原子，原子是中性的，沒有容易流动的电子，因此也沒有塑性。

(三) 极化結合

极化結合可以分为极性的和非极性的两类。

联系原子的电子对，不是（以相同的平均程度）分属于两个原子，而似乎是在某种程度上偏向一个原子，也就是位于一个原子附近的时间較多。元素在这种情况下所生成的結合，称为极化結合。极化結合分子的特征是：熔点低，沸点低，硬度小，如 H_2O ， HCl ， NH_3 等分子，都属于这种类型的結合。

非极性結合，也叫做分子結合。这种类型結合的特点，是分子与分子之間只是用較弱的力相互吸引着。一經加热极易分离。所以具有分子結合的物质，通常都是熔点和沸点較低，而揮发性較大的。属于这种类型結合的物质有 O_2 ， N_2 ， CH_4 等。

(四) 金屬結合

在金属晶体中，有自由电子（电子云）存在。它們的流动性很大，所以使得金属具有一系列的共性，如高的导电性、导热性和延展性等。

导电性是由自由电子的流动所創造的条件。当沒有外界电场存在时，这些电子是向各个方向流动的。但当有了外界电场存在时，它們就朝着一个方向流动，从而实现了电能的傳导。

导热性的理論基本上也可以作这样的解釋。

延展性即在不同的机械作用下，改变金属的形状，而不损坏金属本身完整性的特性。金属之所以具有这种特性，同样是与电子的流动有关系的。

第三节 晶格結構

一、晶格結構的概念

固态物质可分为两类：一类是非晶体，另一类是晶体。凡原子排列沒有一定規律的物体，如玻璃及树脂等，均称为非晶体。非晶体的特征是各向同性。凡原子排列有一定規律的物体，如金属及其合金等，均称为晶体。晶体的特征是各向异性。晶体可看成是由晶格組成的物体。那么什么叫做晶格呢？

金属原子在液态下进行着較大范围的热运动，这时它們处在无規律的状态中。但随着温度的降低，原子的热运动范围逐渐减小，当达到凝固温度时，原子便开始有規律的排列起来。一切有規律排列的原子，都是在空間一定的点上的。由許多的点所組成的空間格子，就叫做結晶格子，并簡称为晶格。

晶体是由許多单位晶格組成。单位晶格的名称，叫做晶胞。

在空間排列着原子的那些点，称为晶格結点。位于結点上的原子，是以带正电荷的离子存在的。带正电的离子組成了空間格子的骨架，它們把自己的价电子交出来公用，成为集体化的“电子云”。組成电子云的电子，可以在正离子骨架（晶格）的間隙处作自由的运动。正离子与电子云之間吸引力的作用，形成了所謂金属結合。从而組成了具有一定几何形状的晶格。但在結点上的正离子，仍可圍繞着結点而振动。同时并能改变其位置，甚至进入晶格的中間，而将某些晶格的結点空余出来。离子振动的幅度随着温度的升高而增加，因而在某些情况下，存在着晶格轉变的可能性。

二、晶格类型及其特征

(一) 晶格类型

不同的金属具有不同的晶格类型。同一金属也可能有两种或两种以上的晶格类型（各种单位晶格类型見表 1—4 門捷列夫元素周期表）。当形成晶格时，在正离子和电子云相互吸引作用下，有使正离子在結点上占据彼此最接近的位置的趋势，从而使晶格具有排列最紧密的傾向。在金属中，各个正离子間的結合几乎球形对称方式分布的，并且每个原子在空

間允許条件下要与最大限度的原子形成金属結合。故常見的金属晶格有三种紧密排列的类型,即体心立方晶格,面心立方晶格和密集六方晶格。

体心立方晶格各結点上和立方体中心处各有原子一个。属于这种晶格的金属有: α -Fe, Cr, V, Mo, W等。

面心立方晶格各結点上和立方体各个面的中心处各有原子一个。属于这种晶格的金属有: γ -Fe, Al, Cu, Ni, Pb等。

密集六方晶格除上下两面各結点上及其中心处各有一个原子外,在六方柱体中心处还有三个原子。属于这类晶格的金属有: Mg, Ca, α -Ti, α -Co, α -Ni等。

晶格大小可用晶格常数表示。晶格常数就是两个相邻原子中心距离的尺寸。立方晶格以一个常数表示。即用立方体棱长 a 表示。六方体晶格以 a 和 c 两个常数表示。当軸率 $\frac{c}{a}$ 等于(或者接近于) 1.633 时,其晶格为密集六方晶格。晶格常数用埃 (Å) 表示。

晶格常数是一个异常重要的指数。因为原子間的距离即使发生了极其微小的改变,也会引起金属性质上非常显著的变化。例如:晶格結点上有空位存在,結点上原子被或大或小的其它原子所置換,晶格的空隙处被另一种原子所嵌入等等,都会引起晶格常数的改变。晶格常数的改变,一般的都是量变。但当达到一定限度时,对某些金属来说,它会引起晶格的突变,从而使金属发生质变。

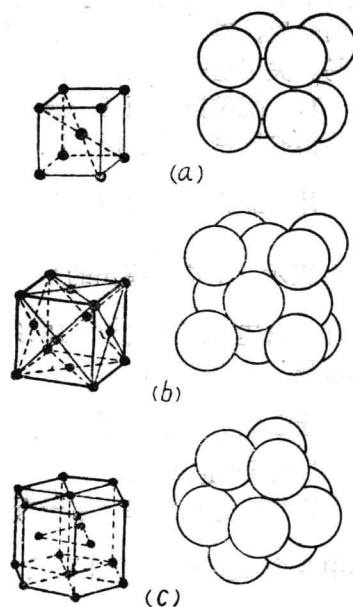


图 1—5

a——体心立方晶格; b——面心立方晶格; c——六方晶格。

表 1—4

門提列夫元素周期表

组 周期	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
1			元素晶格符号															1. H 氢	2. He 氦	
2	3. Li 锂		□ 面心立方晶格 □ 体心立方晶格 ⊠ 金刚石立方型晶格 ⊞ 复杂立方晶格										4. Be 铍	5. B 硼	6. C 碳	7. N 氮	8. O 氧	9. F 氟	10. Ne 氖	
3	11. Na 钠		◇ 六方晶格 ◇ 密排六方晶格 □ 正方晶格 ◇ 斜方晶格(菱面体晶格)										12. Mg 镁	13. Al 铝	14. Si 硅	15. P 磷	16. S 硫	17. Cl 氯	18. Ar 氩	
			过渡族元素																	
4	19. K 钾	20. Ca 钙	21. Sc 钪	22. Ti 钛	23. V 钒	24. Cr 铬	25. Mn 锰	26. Fe 铁	27. Co 钴	28. Ni 镍	29. Cu 铜	30. Zn 锌	31. Ga 镓	32. Ge 锗	33. As 砷	34. Se 硒	35. Br 溴	36. Kr 氪		
5	37. Rb 铷	38. Sr 锶	39. Y 钇	40. Zr 锆	41. Nb 铌	42. Mo 钼	43. Tc 锝	44. Ru 钌	45. Rh 铑	46. Pd 钯	47. Ag 银	48. Cd 镉	49. In 铟	50. Sn 锡	51. Sb 锑	52. Te 碲	53. I 碘	54. Xe 氙		
6	55. Cs 铯	56. Ba 钡	57-71 镧土族 (镧族)	72. Hf 铪	73. Ta 钽	74. W 钨	75. Re 铼	76. Os 锇	77. Ir 铱	78. Pt 铂	79. Au 金	80. Hg 汞	81. Tl 铊	82. Pb 铅	83. Bi 铋	84. Po 钋	85. At 砹	86. Rn 氡		
7	87. Fr 钫	88. Ra 镭	89. Ac 锕	副族								稀土族(镧族)								
				90. Th 钍	91. Pa 镤	92. U 铀	93. Np 镎	94. Pu 钚	95. Am 镅	96. Cm 锔	97. Bk 锫	98. Cf 锿	99. Es 镄	100. Fm 钔	101. Md 锿	102. No 钆	103. Lr 铹			

(二) 晶格类型的特征

晶格类型的特征,可用三种指数表示。在这三种指数中有它們的特点,也有它們的共点。特点是表示方法各有不同。共点是它們都是为了說明原子排列的紧密程度。因为原子在

晶格中紧密程度的大小，与金属的性质是有很大的关系的。了解晶格类型的特征是为了了解金属的性质，特别是金属的塑性变形性质。晶格中原子紧密程度愈大的金属，其塑性变形也愈容易。关于这一问题，后面还要进一步地研究，下面所要研究的，只是这三种指数。

1. 配位数 距任一原子最近而且距离相等的原子数目称为配位数。配位数的作用是表示晶格的紧密程度。原子配位数愈大，则晶格的紧密程度也愈大。

体心立方晶格的中心原子有 8 个等距离为 $\frac{a\sqrt{3}}{2}$ 之邻接原子，因而其配位数为 8，以符号 K_8 表示。但应当指出的是，体心立方晶格中，每个原子除与 8 个原子以最近的距离 $\frac{a\sqrt{3}}{2}$ 接触外，它还与距离仅大于 15% 的其他 6 个原子相接近。因此，体心立方晶格的有效配位数可认为是： $8 + 6 = 14$ 。

面心立方晶格的任一原子，均有以 $\frac{a\sqrt{2}}{2}$ 等距离分布的 12 个邻接原子，其配位数为 12，以符号 K_{12} 表示。

密集六方晶格每个原子有 6 个原子在距离为 a 的同一层上，另有 6 个在上下邻接层上，其中 3 个在上层，3 个在下层，当轴率 $\frac{c}{a} = 1.633$ 或接近于 1.633 时，总共 12 个邻接原子正好都分布在相等距离 a 上。此时配位数为 12，以符号 Γ_{12} 表示。但若 $\frac{c}{a} > 1.633$ 较多时，则配位数已不再是 12。

以上三种晶格类型的配位数如图 1—6 所示。

2. 原子数 单位晶格所具有的原子数简称为晶格的原子数。体心立方晶格结点上的每一原子均属于 8 个晶胞，因

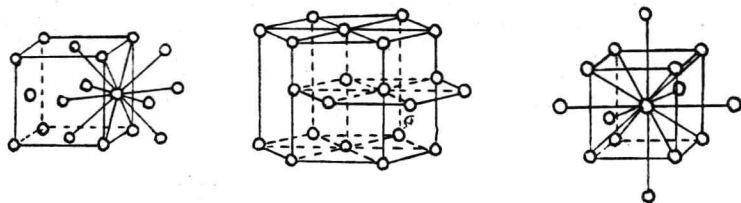


图 1—6

而每一个原子只有八分之一是属于该晶胞的。在结点上的 8 个原子，供给该晶胞的只有一个原子；中心的一个原子则全部属于该晶胞所有，因此，体心立方晶胞内共有 $8 \times \frac{1}{8} + 1 = 2$ 个原子。

在面心立方晶格中，晶胞每个面中心的原子为两个相邻晶胞所共有，所以每个晶胞仅有二分之一一个原子，面心立方晶格共有 6 个面，于是每个晶胞占有 $6 \times \frac{1}{2} = 3$ 个原子。故面心立方晶格中每一晶胞有 $8 \times \frac{1}{8} + 6 \times \frac{1}{2} = 4$ 个原子。

在密集六方晶格中，六方柱体每一结点上的原子同时属于 6 个晶胞所共有，结点原子共有 12 个；上下底面中心处的原子为两个晶胞所共有，六方柱体内的 3 个原子则完全为该晶胞所独有。因此，密集六方晶胞共有 $12 \times \frac{1}{6} + 2 \times \frac{1}{2} + 3 = 6$ 个原子。

3. 晶格密集系数 晶格中原子所占有的体积与单位晶格体积之比，称为晶格密集系数。它的作用也是表示晶格中原子排列的紧密程度。

体心立方晶格原子排列得比较不紧密，其晶格密集系数为 0.68。面心立方晶格与密集六方晶格原子排列得较紧密，其晶格密集系数均为 0.74。由此可见，晶格的配位数愈大，则原子本身所占据的体积愈大，晶格中的空隙则愈小。

(三) 晶面指数及晶体的有向性

由于原子有规律排列的结果，这些原子在晶格内可以组成一系列的平面，这种平面叫做