

土木工程材料

【英】 N.杰克逊 著

卢 璋 廉慧珍 译

陈致忠 校



土 木 工 程 材 料

〔英〕 N·杰克逊 著

卢 璋 廉慧珍 译

陈 致 忠 校

中国建筑工程出版社

本书主要叙述土木工程材料中常用的混凝土、聚合物材料、沥青、砖及砌块、土、金属、木材等，对这些材料的组成、物理力学性能、试验方法等进行了比较详细的论述。本书与工程实际联系较密切，收入了不少新的材料，并介绍了英国有关工程的标准规范。

本书由清华大学的卢璋(第一、四、五、六篇)和廉慧珍(第二、三、七篇)翻译，陈致忠校。刘茂榆也参加了本书的校订工作。

本书可供土木工程各学科高等院校、中专的师生阅读，也可供从事土木工程的技术人员参考。

责任编辑 董苏华

Civil Engineering Materials
Edited N.JACKSON Third Edition 1983 Published
by THE MACMILLAN PRESS LTD.

*

土 木 工 程 材 料

[英] N·杰克逊著

卢 璋 廉慧珍 译

陈 致 忠 校

•

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

•

开本: 850×1168毫米 1/32 印张: 15 字数: 401 千字

1988年3月第一版 1988年3月第一次印刷

印数: 1—12,980册 定价: 3.65元

ISBN7—112—00243—5/TU·179

统一书号: 15040·5296

前 言

了解土木工程中材料的重要性，是大家都承认的，但最近几年，人们更加强调大学课程中有关材料性质的教学。这本材料方面引导性的教科书，就是为概括土木工程中的主要材料而编写的单行本。

本书的目的是向学生提供一本权威性的教材，同时也可做为他(她)们以后工作中有价值的参考资料。在此第三版中增加了聚合物材料、砖和砌块等章节，并对金属、木材、混凝土、沥青材料和土等各章节进行了修订，提供了用于土木工程材料中更全面和更新资料。考虑到土做为结构材料的重要性，所以有关土的基本性质比一般的书论述得更深一些。全书广泛地参考了全部有关的英国标准。

本书关于材料性质的论述，适用于土木工程、房屋建筑学、建筑学以及其它有关学科攻读学位或同等学历的学生。土木工程材料课程的学习取决于不同学制的课程结构。对于三年制或四年制来说，一般设置在头两年。同样，土木工程材料必修的范围，也取决于不同学制的重点和课程结构。虽然在一般的分析和设计方面，这些材料的应用可以继续贯穿在后续课程中，但也不一定都需要进一步学习金属、木材、混凝土、聚合物材料，以及砖和砌块等的基础材料性质。对学习土木工程的学生，通常可考虑在土力学中继续学习土，而以后只在学习道路材料时，才进一步学习沥青材料。

全书重点放在影响工程决策的因素上。希望它能促进读者认识到材料的性质在设计 and 施工中的重要性，并借以保证最终产品，无论是结构的还是功能的或纯装修性的，都能充分起到其应有的作用。

N. 杰克逊 (Jackson)

目 录

前 言

第一篇 金 属

R. J. 海 (Hey) 和 A. V. 佩根 (Pagan)

引言	1	3.3 钢的结构	23
第一章 金属的结构	2	3.4 铸铁	28
1.1 原子间的键合	2	3.5 时效或沉淀硬化	29
1.2 金属的晶体结构	4	第四章 使用中的	
1.3 纯金属的晶粒结构	7	性能	31
1.4 固溶体和化合物	8	4.1 腐蚀和表面防护	31
1.5 平衡图 (或相图)	8	4.2 脆性断裂和延性断裂	35
1.6 微观结构和宏观		4.3 蠕变	37
结构	10	4.4 疲劳	39
第二章 金属的变形	11	第五章 土木工程中金属	
2.1 材料的抗拉性质	11	的应用	41
2.2 弹性变形	13	5.1 锻钢	42
2.3 塑性变形	14	5.2 钢和铁的铸件	53
第三章 金属的强化		5.3 有色金属	55
机理	17	5.4 焊接	63
3.1 加工硬化和退火	18	参考文献	68
3.2 合金化的强化	21	深入读物	70

第二篇 木 材

T. 吉布森 (Gibson)

引言	72	6.2 树的分类	76
第六章 木材的来源	73	6.3 木材的锯制	78
6.1 生长结构	73	第七章 木材的特性	79

7.1 强度·····	79	9.2 防腐的方法·····	93
7.2 含水量·····	81	第十章 木材的应用·····	95
7.3 木材的侵害·····	82	10.1 结构木·····	96
第八章 木材的缺陷·····	85	10.2 粗木·····	99
8.1 天然缺陷·····	85	10.3 细木·····	100
8.2 化学的缺陷·····	90	10.4 胶合木·····	101
8.3 锯制缺陷·····	90	第十一章 木材的品种·····	101
8.4 干燥缺陷·····	91	参考文献·····	107
第九章 木材的防腐·····	91	深入读物·····	109
9.1 防腐剂的品种·····	92		

第三篇 混 凝 土

R.K.戴尔 (Dhir) 和 N.杰克逊 (Jackson)

引言·····	110	14.3 变形·····	171
第十二章 组成材料·····	111	14.4 耐久性·····	177
12.1 水泥·····	112	14.5 收缩·····	183
12.2 集料·····	124	14.6 混凝土质量评定的非 破损性试验·····	187
12.3 水·····	132	第十五章 混凝土配合比 设计和质 量控制·····	192
12.4 外加剂·····	133	15.1 所要求的混凝土 性质·····	193
第十三章 新拌混凝土的 性质·····	140	15.2 混凝土的配合比 设计·····	199
13.1 和易性·····	141	15.3 统计学的质量控制·····	208
13.2 和易性的量测·····	141	参考文献·····	215
13.3 影响和易性的因素·····	147	深入读物·····	220
13.4 稳定性·····	153		
第十四章 硬化混凝土的 性质·····	155		
14.1 强度·····	155		
14.2 影响强度的因素·····	157		

第四篇 沥 青 材 料

D.H.J.阿木尔 (Armour)

引言·····	222	第十六章 沥青胶结料·····	223
---------	-----	-----------------	-----

16.1	基本化学性质	223
16.2	胶结料的物理性质	226
16.3	粘度计	229
16.4	其它物理性质	235
16.5	胶结料混合物	239
第十七章 沥青混合物		
17.1	性质	243
17.2	沥青混合物的设计	246

第十八章 沥青材料的应用		250
18.1	沥青道路材料	250
18.2	水利工程中的 沥青材料	260
参考文献		267
深入读物		269

第五篇 土

D.G.麦金利 (Mckinlay)

引言		270
第十九章 土的形成、勘探及取样		
19.1	残积土	272
19.2	运积土	273
19.3	勘探与取样	280
第二十章 总体性质		
20.1	比重	284
20.2	含水量	285
20.3	孔隙比和孔隙度	285
20.4	饱和度	286
20.5	空气孔隙含量	286
20.6	密度	287
20.7	总体性质的推导	288
第二十一章 粗粒土和 细粒土		
21.1	颗粒粒径分布	290
21.2	颗粒形状和表面 构造	292
21.3	阿太堡界限	292
21.4	活性	295
21.5	化学组成	296

第二十二章 土的分类		297
22.1	土的描述	300
22.2	为工程目的英国 土分类系统	301
第二十三章 土中的水		
23.1	应力通过土的传递	308
23.2	较粗颗粒的土—— 静态地下水	308
23.3	较细颗粒的土—— 水含量的平衡	313
23.4	土的易冻性	315
23.5	地下水的流动	318
23.6	作为排水过滤体的 土	329
第二十四章 土的压 缩性		
24.1	砂的压缩	334
24.2	粘土的压缩—— 短期	337
24.3	粘土的压缩—— 长期	338
第二十五章 土的抗剪		

强度	344
25.1 应力的图解表示	345
25.2 试验室中抗剪强度 的试验	347
25.3 现场抗剪强度试验	360

第二十六章 土的压实稳 定作用	361
26.1 机械的压实	361
26.2 土的压实性质	362
参考文献	364

第六篇 聚 合 物

C. 霍尔 (Hall)

引言	367
----------	-----

第二十七章 聚合物材

料科学

27.1 分子结构	368
27.2 热塑性塑料、热固 性塑料和弹性体	372
27.3 聚合物的固体状态	373
27.4 聚合物品种概述	375

第二十八章 聚合物工艺

学

28.1 聚合反应	377
28.2 聚合物材料的配料: 聚合物添加剂	378
28.3 热塑性塑料加工 方法	379
28.4 热固性树脂加工	381
28.5 多孔聚合物	385
28.6 不透膜	385
28.7 织物: 可透膜	386
28.8 聚合物乳液	386

第二十九章 聚合物材

料的性质

29.1 密度	387
29.2 聚合物的力学性能	387
29.3 热性能	396
29.4 渗透性	397
29.5 耐久性	397
29.6 毒性	401

第三十章 土木工程中的

聚合物

30.1 结构塑料	401
30.2 管材	402
30.3 聚合物薄膜	403
30.4 涂料	406
30.5 粘合剂	406
30.6 聚合物混凝土	407
30.7 其它应用	408

参考文献	408
------------	-----

深入读物	410
------------	-----

第七篇 砖和砌块

R. K. 戴尔 (Dhir)、C. 霍尔 (Hall) 和 N. 杰克逊 (Jackson)

引言	413
----------	-----

第三十一章 粘土砖	414
-----------------	-----

31.1 原材料和制造	414	33.3 型式和尺寸	430
31.2 粘土砖的性质	417	33.4 性质	432
31.3 砖的分类	423	第三十四章 砖砌体和砌	
第三十二章 硅酸钙砖.....	424	块砌体	435
32.1 组成材料和制造	424	34.1 砂浆	436
32.2 硅酸钙砖的性质	425	34.2 砖砌体和砌块砌体的	
32.3 硅酸钙砖的分类	427	应用和性质	438
第三十三章 混凝土砌块.....	428	参考文献	443
33.1 组成材料	428	深入读物	446
33.2 制造	429	汉英术语对照	448

第一篇 金 属

引 言

金属在土木工程中的应用是多种多样的，可以用作主要的结构材料，也可以用作连接材料或支承材料。作为主要结构材料，铸铁和锻铁已被型钢所代替，锻压铝合金已有一定程度的应用。由于在钢筋混凝土及预应力混凝土中要用钢材，故钢材也是十分重要的建筑材料。在较小的规模上，金属广泛用作如象钉子和螺栓等的连接材料，用作桥梁和膨胀接头处的支承面材，以及用作饰面材料等。

在普通建筑材料中，金属之所以成为独特的材料，是因为它具有高的抗拉强度，具有形成板材、型材及线材的能力，具有可焊性或容易与一般建筑中常用的其它金属焊接等特性。金属的其它典型性质，有导电性，高的导热性，和在某些环境下是很重要的金属光泽等。也许，普通金属，尤其是钢的最大缺点，是需要防护，使之免受潮湿和大气的腐蚀。不过，已经研制出了不需要防护大气腐蚀的自然时效钢。

在使用中，金属必须经常抵抗的不仅有大的拉力或压力及腐蚀，而且还有冲击荷载、低湿、不断变化的作用力，或这些作用的任何一组的综合作用。除去那些要求高导电性或耐腐蚀性的应用场合外，纯金属是相对地较软而强度又不够高的材料，并不能满足严格的使用要求。通常是加入一种或多种合金元素，来提高金属的强度，或以其它方式来改变其性能。金属和合金在属性上是晶体，为了了解它们的性质和在使用中的表现，有必要研究它们在原子尺度上的结构、形成的晶体类型、微观结构（显微镜下观察到的结构）、较大的宏观结构，以及它们可能因受到热处理、应力、变形和环境的影响等而引起的各种变化。

第一章 金属的结构

1.1 原子间的键合

每种化学元素的原子,均由一个带正电荷的核,与围绕核的若干带负电荷的电子组成。中性原子中电子的数目是元素的特征,例如,氢有1个电子,碳有6个电子,铁却有26个电子(见图1.1)。电子在确定的轨道上运动,从而分布于环绕原子核的同心圆层内。居于内层轨道的电子(核心电子)被压密,并紧紧地与原子核结合在一起,仅有最外层的电子(价电子)才能参加原子间的化学键合。在原子的组合中,每当各个原子的价电子能够重新排列分布而形成更稳定的排列时,就会产生化学键合,从而形成固体材料。对于不同种类的材料,这种过程以不同的方式进行。与电子重新排列有关的能量,是固体的结合能,它是造成其内聚力的主要原因。

在非金属元素(如氧、氢、碳和硅等)之间结合时,化学键是由局部且定向的共价键中,原子间价电子对的共享而形成的。电子则从单独的轨道转移到包含了两个原子的分子轨道上。不相同原子间的这种共价键,总是会使键合的电子成为不对称的共享,从而赋予化学键一定的带电极性。根据键合能力,或所含元素的原子价而定,共价键合可产生一些小的分子,其中每个分子只含少数原子(如二氧化碳、甲烷或水,见图1.2a);或产生链状、片状或网格状的结构(如合成聚合物,见图1.2c。天然的有机材料,如树木,以及将在第六篇和第二篇分别讨论的那些材料)。由小的独立分子组成的物质,在单个分子之间不存在化学键,但由于如前所述的键的带电极性,分子间存在着更弱的次要作用力。根据温度的不同,这些物质可为气体、液体或力学性质上

较弱的固体。另一方面,具有扩展的网状共价键材料(例如石英、金刚石)却是结实的坚硬固体,具有高的结合能。许多合成聚合物(见第六篇)的力学特性,则属于一种中间类型。

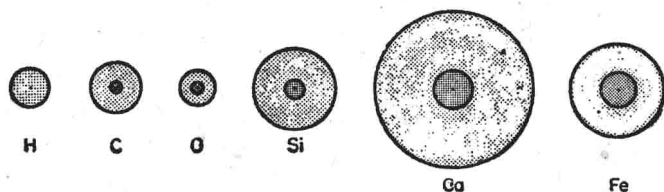


图 1.1 一些重要元素原子中,原子核的相对大小和价电子轨道

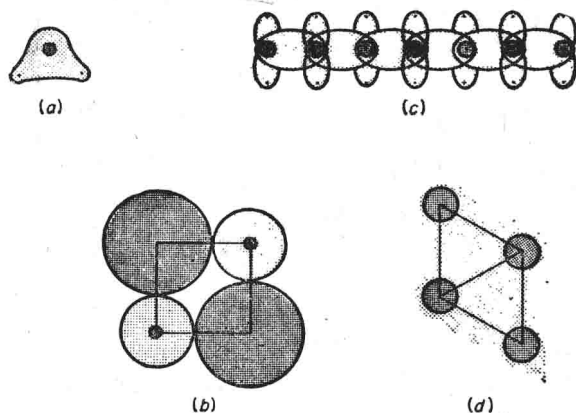


图 1.2 工程材料中原子键合的类型

(a) 水分子 H_2O 中的O—H共价键; (b) 氧化钙 CaO 中的离子键;
(c) 聚乙烯碳链 $-\text{CH}_2-$ 中的共价键; (d) 铁中的金属键

在金属与非金属形成的离子化合物(金属盐、金属氧化物和许多其它矿物)中,价电子从每个金属元素的原子,转移到邻近的非金属原子(或原子团)上。在这种过程中,原子变成带电荷体或电离化,形成带正电荷的金属离子和带负电荷的非金属离子。这些离子彼此以静电相吸引,并能组合起来成为稳定的晶状固体。氧化钙(石灰)是工业上一种简单的离子化合物的重要实

例，如图1.2 b，其中 Ca^{2+} 和 O^{2-} 离子是通过从每个钙原子上转移二个价电子到氧原子上而形成的。离子键允许正、负离子紧密地堆积（由相关离子尺寸控制），以形成晶状材料，其中键合作用则连续贯穿于整个晶体内。离子固体具有高的结合能，尤其在具有带多个电荷的小离子情况下（例如在氧化铝中）。离子彼此间的任何置换，都将把同类电荷的离子聚集在一起。这种置换所需要的力，一般与离子间的键的断裂强度相等，因此，断裂时没有塑性变形，即离子性固体是硬而脆的。

象在硅酸盐和铝硅酸盐矿物中一样，在同一材料中，离子键合和共价键合经常是同时共存的。例如，波特兰水泥（或称硅酸盐水泥）矿物硅酸二钙（见第十二章）中含有钙离子和硅酸根离子，然而，在每个硅酸根离子中，Si原子和O原子是靠共价键结合在一起的。

在金属中，尽管其它形式的键也可产生于金属间的一些化合物中，或者成为有多于一种键类型的混合键合，但金属键仍为主要的键型。就金属键合而言，价电子从各个母体原子上分离开来（见图1.2 d），作为不受位置限制的电子“气”在固体内自由地运动。这些可移动的电子，是造成金属高导电性和高导热性的原因。金属原子间的键无方向性，因此，它并不妨碍原子堆积到一起，以形成高度堆积密度的结构，而一旦超过某一应力水平时，又允许原子产生相对运动而不发生断裂。金属的强度、延性和韧性，都是由金属键的特性而造成的，这些都将在第二章内更充分地加以讨论。

1.2 金属的晶体结构

固体金属是由晶体或晶粒的聚集体所组成，晶体或晶粒中的原子排列被称为空间晶格的三维规则几何图形。晶格通常用单位晶胞来描述，如果在任意方向上把单位晶胞大量地重复多次，便可生成空间晶格。尽管为了描述不同类型的空间晶格必须要有单位

晶胞的概念,但为方便起见,往往可将晶体认为是由连续的原子平面所构成。在金属晶体中,高密度的堆积出现于形成晶体的原子平面和这些平面的重叠堆积内,然而,并不是总能得到理想的紧密堆积。

图1.3 a 表示小球或原子在平面内的理想紧密堆积排列, 这些原子位于彼此完全相同的三组紧密堆积的线上。当这种类型的平面重叠堆积在彼此的顶部,形成如 ABCABCABC 等的排列, 如图1.3 b 所示, 结果便生成一个紧密堆积的晶格, 一般可称为面心立方晶格。如图1.3 c 所示, 这种晶格中单位晶胞在立方体的每个角上和每个面的中心都有原子。组成紧密堆积的平面,

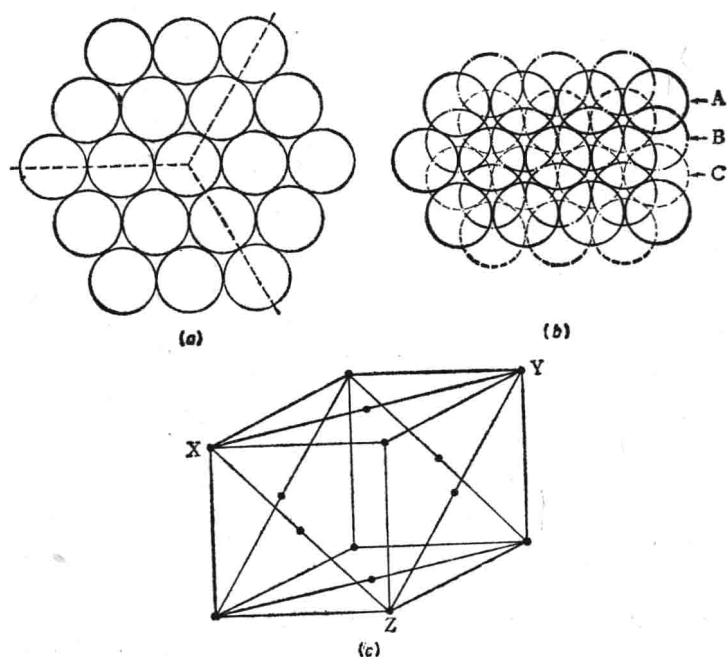


图 1.3

(a) 平面内原子的紧密堆积排列;
(b) 在 ABCABC 排列中紧密堆积平面的重叠; (c) 平面 XYZ 是紧密堆积的面心立方体单位晶胞

切割任意三个相邻面的对角线，便可得到四组紧密堆积的平面。这种类型的一个平面如图 1.3 c 中的 XYZ 平面所示。在这个结构中，每个原子具有 12 个等距离的近邻原子。

另一种重叠紧密堆积平面的方法，是将第三层原子直接放在第一层原子之上，以得出 ABABAB 等的排列。这种排列如图 1.4 a 所示，可得出如图 1.4 b 所示的密排六方形结构。在这种结构中，六方形结构晶胞的每个角上，顶面和底面的中心均有原子，同时还有 3 个原子在单位晶胞里面。虽然这种结构是紧密堆积的，每个原子有 12 个等距离的近邻原子，但却仅有一组紧密堆积的平面。理论上，对于理想的密排六方形结构，其高度与底面边长之比应为 1.633，但实际上，观察到的要比此值略有偏差。

对于堆积稍微不够密实的平面，如图 1.5 a 所示，其原子平

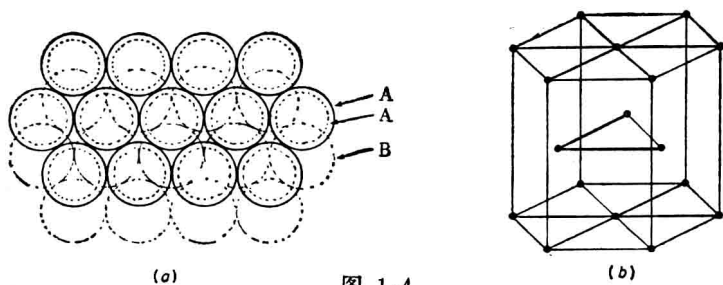


图 1.4

(a) ABAB 排列的紧密堆积平面，其中原子的平面彼此交替地一个直接在另一个之上；(b) 密排六方形结构晶胞

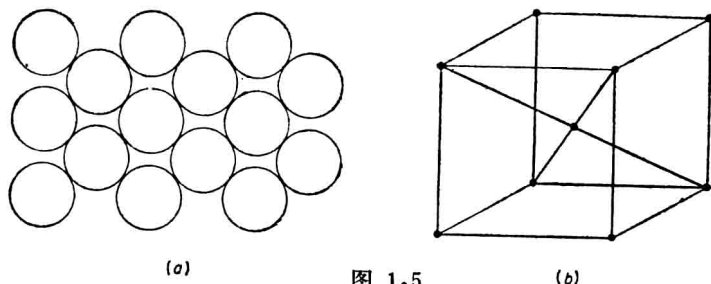


图 1.5

(a) 来自体心立方结构的对角平面，表明比原子的理想紧密堆积程度要小；(b) 体心立方单位晶胞

面的重叠堆积将比紧密堆积的平面要更加紧密。其结果造成体心立方结构,如图1.5 b 所示。它虽不象前述的面心立方结构及密堆六方形结构那样是个理想的紧密堆积结构,但却具有大的原子堆积密度。体心立方单位晶胞在每个角上有1个原子,在立方体中心也有1个原子。这种结构中每个原子仅有8个等距离的近邻原子,但还另有6个原子,只是离得稍远一些罢了。

上述三种点阵结构,是出现在普通金属中的主要晶格。具有较低堆积密度的复杂晶格结构,存在于某些金属互化物中,也存在于某些具有较高原子价的金属中,如砷或锑等。金属的晶格结构类型会影响其变形特征,其间的关系在第二章中讨论,但首先需要研究金属中晶体的排列。

1.3 纯金属的晶粒结构

在研究纯金属中晶体或晶粒的排列时,适宜的方法是研究金属从液体状态起,在固化期间有关结构的发展。在液体中,原子几乎完全处于无序状态,只能在一个很短的时期内,仅有少数原子处于有序排列。在冷却到凝固点时,有序的排列变成稳定的,并起着晶核的作用,更多的原子与之结合而形成生长的晶粒。这些晶粒不断继续生长,直到彼此互相妨碍为止,除非把保留在固态晶体间的任何液体固化,否则它们就会限制晶粒的进一步生长。这种作用控制了内部结构相同的晶粒的外部形状,但是由于是从不同晶核成长的,其晶格是处于不同角度状态下。在晶粒遇到仅有几个原子厚度的边界区域处,随着从一种晶粒取向,变化到另一种处于不同取向的同种晶粒时,其晶格结构便会变为无序排列。

某纯金属抛光的表面,用弱酸浸蚀后,则颗粒结构就表现出来了,可在显微镜下观察到,或在颗粒很大情况下,也可用肉眼观察到。晶粒边缘狭窄无序带内的原子,比晶粒内部原子固定在本位的坚固性要弱,所以浸蚀剂易于集中浸蚀这些区域,从而形成浅槽。这样便会因晶粒的反射而反射出不同角度的光线,并显现出晶粒

的结构。

1.4 固溶体和化合物

合金在固化期间的结晶过程，一般与纯金属的结晶过程相似，但却更为复杂。在液态合金中，金属组分一般是（但并非总是）完全处于彼此溶解状态中；在固态合金中，它们可以是难溶解的，彼此互溶而形成固溶体，或它们可以化合起来组成化合物。所形成的固体的类型，受诸如金属的化学性质和原子的相对尺寸等因素的控制。显现在结构中的不同晶体形态称为“相”，并可认为是均匀的，尽管可能含有多于一种类型的原子。

固溶体可分成置换固溶体和间隙固溶体。在置换固溶体中，有14%以内的相同直径的原子，而溶质金属的原子则置换晶格中溶剂金属的原子。虽然这常常出现在一个很有限的组成范围内，但在适合的条件下，当两种金属晶格为同样的晶格形式时，就可能发生完全的溶解。就间隙固溶体而言，其溶质原子必须比溶剂原子的直径小41%左右，这样它们才能进入母体晶格原子间的间隙或空隙内。间隙固溶体内溶解的程度受到更多的限制，常被限制在仅有百分之几。

当一种原子比另一种原子含有更多的价电子时，或者当化合物的形成受化合物中有关价电子与原子数之比的定律所控制时，金属间的化合物将遵循正常的化合价定律。当金属与象碳之类的元素化合形成化合物时，这些化合物是间隙化合物，其形成受碳原子尺寸比金属原子尺寸小这个条件所控制。化合物一般既硬且脆，但是在一些按照化合物中有关价电子与原子比的定律形成的简单化合物中，也可能产生适当的延性。

1.5 平衡图(或相图)

在一个两种金属间的合金体系中，有关相的存在、组分和温度