

材料科学概论

[日] 笠井芳夫 著

张 绶 庆 译

中国建筑工业出版社

材 料 科 学 概 论

[日] 笠井芳夫 著

张 绶 庆 译

中国建筑工程出版社

人类使用和生产材料有着漫长的历史，然而材料科学成为一门科学，则是近几十年的事。

建筑材料是重要的材料之一，它品种繁多，用途殊异。为了使使用和生产建筑材料的人员掌握和熟悉材料科学方面的知识，了解各种建筑材料的内部组分、结构和使用性能的相互关系，我们出版这本日本笠井芳夫著的《材料科学概论》，为读者提供一本学习材料科学的入门读物。

本书为日本彰国社出版的“新建筑技术丛书”之一。它较全面地介绍了金属材料、无机材料、有机材料的特性、组成和结构，并从材料的微观和宏观的角度作了简明的论述。同时，对各种类型材料的用途、分类，特别是物理化学性质进行了系统的阐述。

本书可供建筑材料工业、建筑工业和有关工业技术人员阅读。

材料科学概说

笠井芳夫

彰国社刊—1977

* * *

材料科学概论

张 绶 庆 译

*

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：9¹/₈。字数：244 千字

1981年2月第一版 1981年2月第一次印刷

印数：1—7,000册 定价：1.15元

统一书号：15040·3833

前 言

建筑材料是“品种多、用量大”、具有各种性质、形态和性能的一类材料。从材料的使用状况来看，在所有工业生产部门中可同它比拟的，可能是绝无仅有的。

对金属、石料、混凝土、玻璃、木材、塑料等几种主要的基本材料，虽已形成了建筑材料学的体系，但在实际应用材料时，仅以此作为材料选择和使用的依据，还难于收到满意的效果。因此，还需要从建筑结构（柱、梁、地板、屋顶、顶棚、墙面板等）和材料性能（强度、防水性、耐火性、耐久性、保温性、吸声性等）的角度出发，对材料进行分类。另外，为了达到因材施教的目的，充分发挥材料特有的性能，合理地选择适用的材料，也需要从使用的角度出发，制订出材料使用的设计方案等。即要从各方面的因素考虑到对材料进行划分和加以系统化。这种情况也反映出建筑材料品种繁多的一面。

但是，人们根据已了解到的有关材料的常识和用途，想要运用自如地对材料进行选择和使用，还是不容易做到的。这一方面是因为对材料的本质缺乏深入的认识，如使用不当便会招致失败，另一方面对新制成的产品仅停留在从建筑材料或使用的角度来考虑问题，对施工后可能发生的意外估计不足，因而造成返工的情况，也是屡见不鲜的。还有，在科学技术正日新月异向前发展，新材料和新产品陆续不断出现的今天，不仅要及时掌握各种商品的技术资料作为参考，更重要的是要求使用材料的人员熟识和了解材料的本质，以便对它的用途做出科学的判断。

材料科学即是为了满足这一要求而出现的一门新的科学领域。它的目的在于根据材料的特性、组成和结构，从本质上阐明各种不同类型的材料——金属材料、无机材料、有机材料或按用途分类的结构材料、电工材料、建筑材料等——之间的联系，整

理成为一门独立的科学体系。建筑材料当然也不例外是属于材料科学的研究对象，但由于建筑材料的种类繁多，性能和用途又是各种各样的，要从材料科学的角度出发，对它进行较完整的体系化，确也有一定困难。所以尽管对这种必要性已有所认识，却未能付诸实现。

从微观来看，材料的性质固然是由构成它的原子或分子的组成与结构决定的，但宏观的组织 and 形状也是影响材料性质的很重要因素，对建筑材料来说尤其是如此。所以还须从材料使用的角度出发考虑到这方面的因素，方可做出较全面的概括。

基于上述的想法，本书拟先就同材料的微观组成、结构等有关的一些问题做一简单介绍（1~5章），接着描述一下宏观组织的分类和概念（6章），随后从物理学和化学的观点出发对材料的密度、力学性质、表面（界面）性质、胶接、焊接、水的作用、耐久性，以及材料的火、声、光、电磁波、电学等性质（7~17章）结合基本材料（金属、石料、混凝土……等）已积累的有关资料，尽可能以具体问题为对象进行了叙述。不过，由于内容过于繁杂，原拟意图是否已达到是缺乏信心的。

本书中关于基本材料的叙述，对已学完半年或一年课程的学生，作为进一步讲授材料的教材，或者对从事建筑设计、现场施工的技术人员，以及与材料的研制、经营和工程验收的有关人员，如能稍许有所帮助，则是作者不胜欣喜的。另外，还希望有关的专家根据各自的学术观点对本书存在的缺点和错误能提出批评指正，也是作者深感荣幸的。

在采用本书作为大学和专科学校的教材使用时，对1~3章可以简单地讲述，重点可放在4~14章，对15章以后的部分可配合环境工程学讲义适当选择进行讲授，这样大约在一年之内即可讲授完毕。

作者本人学浅才疏，对这本缺乏周到筹划的著作能获得出版，确是受益于各学科领域中具有专长的先生们的鼓励和教导，在此表示敬意并致谢忱。

目 录

1. 物质的组成与结构	1
1-1 原子	1
a. 原子核 b. 电子 c. 原子、原子量 d. 电子壳	
1-2 元素周期表及其规律性	3
a. 原子半径、密度、熔点 b. 氧化物、氢氧化物 c. 过渡元素 (过渡金属)	
1-3 结合	6
a. 基本结合 b. 派生结合 c. 键性的比较 d. 原子间距离与作 用力	
1-4 物质结构	10
a. 晶体结构 b. 无定形结构	
1-5 材料的组成	12
a. 溶体 b. 聚集体 c. 复合体(复合材料)	
2. 溶液	14
2-1 溶液的浓度与性质	14
a. 浓度、分子比 b. 渗透压 c. 蒸汽压下降	
2-2 电解质水溶液	16
a. 酸、盐基、盐 b. 氢离子浓度(pH) c. pH的测定	
3. 胶体	20
3-1 胶体溶液(溶胶)	21
a. 制备方法 b. 溶胶的一般性质 c. 动电位 d. 溶胶的凝结	
3-2 凝胶	26
a. 凝胶的膨润 b. 触变性、加力凝结性	
3-3 各种胶体	27
a. 乳剂 b. 泡沫 c. 固态胶体 d. 气态胶体	
4. 金属、无机物、有机物	31
4-1 金属	31
a. 组成 b. 晶体结构 c. 合金的结构 d. 一般性质	
4-2 无机物	36

a. 构成地壳的成分 b. 组成 c. 结构 d. 一般性质	
4-3 有机物	41
a. 单体 b. 聚合物 c. 热塑性树脂、热固性树脂 d. 结构	
e. 一般性质	
5. 平衡关系、各种反应、反应速度	49
5-1 状态图	49
a. 单成分系状态图 b. 二成分系状态图 c. 三成分系状态图	
5-2 状态变化、相变、热处理	52
a. 金属的变体、再结晶温度 b. 钢铁的组成相 c. 钢的热处理	
5-3 无机物质的组成相、热处理	55
a. 氧化硅的相变 b. 玻璃的相变 c. 玻璃的热处理	
5-4 高分子化合物的状态变化、相变	57
a. 熔点 b. 玻璃转变	
5-5 固体物质的反应	58
a. 二相反应 b. 三相反应 c. 烧成反应 d. 氧化反应	
e. 水化反应	
5-6 水泥、混凝土的凝结与硬化	61
a. 水泥的凝结与硬化 b. 混凝土的凝结、硬化、强度出现	
5-7 反应速度	66
a. 反应速度公式 b. 反应速度的控制	
6. 材料的组织	71
6-1 材料的组织	71
a. 微观组织 b. 宏观组织	
6-2 单一组织	72
a. 致密组织 b. 纤维(细丝)组织	
6-3 复合组织	76
a. 纤维聚集组织 b. 多孔组织 c. 复合聚集组织 d. 叠合组织	
7. 材料的密度	89
7-1 影响密度的因素	89
a. 原子量 b. 原子的排列状态 c. 材料的组织	
7-2 组织与松密特性	90
a. 组织与松密特性 b. 球的最密填充率 c. 骨料的最密填充率	
d. 骨料的比重与单位体积重量 e. 比容	

7-3 密度对材料性质的影响	93
a. 密度与强度 b. 密度与强度、弹性模量相互关系的评定方法	
c. 密度与强度以外的特性关系	
7-4 砂子的含水膨胀	97
7-5 混凝土的原料用量计算	98
8. 力学性质概论	100
8-1 应力的种类	100
a. 拉应力 b. 压应力 c. 静水压 d. 弯应力 e. 切应力	
f. 扭应力	
8-2 强度、断裂	102
a. 强度 b. 断裂	
8-3 变形、弹性性质	105
a. 应力强度-应变曲线 b. 影响应力强度-应变曲线的因素	
c. 应力强度-应变曲线的实验公式 d. 弹性模量 e. 泊松比	
f. 原子结构与弹性	
8-4 其他力学性质	110
a. 负载速度的影响 b. 蠕变 c. 疲劳 d. 硬度	
8-5 流变性	114
a. 固体、液体 b. 粘弹性体 c. 稠度 d. 流变曲线	
9. 各种材料的力学性质	122
9-1 金属材料的力学性质	122
a. 结合 b. 冷加工、热加工 c. 塑性变形、位错 d. 关于断裂	
的几种现象 e. 温度对力学性质的影响 f. 蠕变 g. 疲劳	
9-2 无机材料的力学性质	130
a. 键性 b. 强度 c. 变形、弹性模量	
9-3 混凝土的力学性质	135
a. 水泥浆的强度与弹性 b. 混凝土的强度 c. 应力强度-应变	
度曲线、弹性模量 d. 蠕变 e. 疲劳	
9-4 塑料的力学性质	141
a. 键性 b. 结晶化 c. 变形、弹性模量 d. 蠕变	
9-5 木材的力学性质	146
a. 强度 b. 应力强度-应变曲线 c. 蠕变	
10. 界面(表面)、吸附、毛细孔	149

10-1 界面(表面)的性质	149
a. 表面能 b. 湿润作用	
10-2 界面活性剂	151
a. 分类 b. 界面活性剂的作用 c. 影响界面活性剂性能的因素	
d. 应用例子	
10-3 吸附、毛细孔	154
a. 吸附等温线 b. 粒径与比表面积的关系 c. 毛细孔 d. 吸附剂	
11. 胶合、接合、焊接	160
11-1 胶合	160
a. 胶合剂应具备的条件 b. 胶合机制 c. 胶合的断裂 d. 胶合面积	
e. 胶合剂	
11-2 接合	164
a. 塑料的自接 b. 灰浆、混凝土的接合	
11-3 焊接	165
a. 熔接 b. 金属的加压焊接 c. 钎焊 d. 氯乙烯的熔接	
12. 材料中水分的行为及水的绝缘	170
12-1 吸湿、吸水	170
a. 大气中的水蒸汽 b. 吸湿 c. 吸水	
12-2 水分的转移	175
a. 渗透 b. 透水	
12-3 含有水分的表示	178
a. 含水量的表示 b. 含水状态的表示	
12-4 干燥	179
a. 恒速干燥 b. 减速干燥	
12-5 含有水分的变化对材料的影响	182
a. 体积变化 b. 影响强度的性质 c. 对热导率的影响 d. 其他影响	
12-6 水的绝缘	186
a. 灰浆、混凝土的防水性 b. 防止材料吸水、透水的措施	
c. 防止接缝处漏水的方法 d. 滴水槽、坡度、前缘、搭接	
13. 耐久性	189
13-1 金属材料的耐久性	189
a. 氧化 b. 腐蚀的电化学描述 c. 由电池作用引起的腐蚀类型	

d.氢发生型腐蚀与氧耗型腐蚀 e.钝化	
13-2 金属材料的防蚀	197
a.包覆法 b.环境防蚀法	
13-3 硅酸盐材料的耐久性	201
a.溶解、溶出 b.碳酸化(中性化) c.药品的作用 d.干湿作用、温度变化 e.冻结融化 f.其他影响耐久性的作用	
13-4 高分子材料的耐久性	205
a.紫外线照射变质 b.受热变质 c.臭气引起的变质 d.耐水性 e.磨损	
13-5 木材类材料的耐久性	207
a.木材的腐烂 b.木材的虫蛀、防蛀	
14. 热学和耐火性质	212
14-1 热学概述	212
a.热的定义 b.热容 c.热导率 d.温度传导率	
14-2 传热	215
a.热传导 b.对流 c.辐射 d.传热	
14-3 保温材料	219
a.分类 b.保温机制 c.保温材料的热导率 d.其他性质 e.保温材料的厚度	
14-4 表面的冷热感	223
14-5 燃烧	224
a.燃烧的定义 b.燃烧范围 c.闪燃点、着火点 d.燃烧温度 e.木材的燃烧 f.火灾危险温度 g.塑料的燃烧 h.燃烧生成的气体	
14-6 耐火材料、防火材料	228
a.耐火材料 b.防火材料 c.钢筋混凝土的耐火性与火烧毁	
15. 声学性质	235
15-1 声波	235
a.声的振幅、频率、位相 b.声强与声级 c.声的传播速度	
15-2 声谱分析	240
15-3 反射、吸收、衍射	240
a.反射 b.吸收 c.衍射	
15-4 余响	242

15-5 隔声材料	242
a. 吸声材料(吸声机制) b. 反射材料(反射结构) c. 隔声材料(隔声结构)	
15-6 超声波	248
a. 物理的、机械的作用(动力的应用) b. 无损探伤(通讯上的应用)	
16. 光、放射线、电磁波性质	250
16-1 光、放射线、电磁波的定义	250
16-2 反射、折射、吸收	250
a. 反射 b. 折射 c. 吸收、透过	
16-3 可见光、物体的颜色	253
a. 可见光 b. 透过光 c. 物体颜色 d. 表面颜色	
16-4 偏振性、旋光性	256
a. 偏振性 b. 旋光性	
16-5 光电现象	258
a. 电阻变化 b. 电动势产生 c. 向外逸出电子	
16-6 微波、激光、X射线	259
a. 微波 b. 激光 c. X射线	
17. 电学性质	261
17-1 电的定义	261
a. 静电 b. 电导	
17-2 固体中的电子	263
a. 电子的能级、能带 b. 绝缘体 c. 半导体 d. 导体	
17-3 温度与电导、发热现象	267
a. 温度与电导 b. 电流的发热现象	
17-4 热电子发射、发光现象	269
a. 热电子发射 b. 发光现象	
17-5 电介质	271
a. 介电常数 b. 电容器 c. 介电加热 d. 压电现象、压电体	
17-6 接触电现象、热电势	274
a. 接触电势差 b. 热电势	
17-7 磁介质	277
a. 磁导率、磁化率 b. 抗磁质 c. 顺磁质 d. 铁磁质	

1 物质的组成与结构

物质是由一种或一种以上元素组成的，这些元素又都各由固定的原子构成。同一种或不同种类的原子通过化学键结合在一起构成分子。分子按一定规律形成气体、液体或固体状态。固体又分为结晶状态和玻璃状态，以及此两者共存的状态。

用作建筑材料的钢铁、陶瓷、水泥、塑料、木材等，均各具有固有的特性。组成这些材料的主要元素有：Fe、Si、Ca、Al、C、H、O、N等，是地球上到处都存在的元素。下面拟先谈一下构成物质元素的原子结构和原子或分子之间的结合力，晶体的原子排列等，然后再对决定材料性质的物质组成、结构与织构（组织）进行一些描述。

1-1 原 子

原子是中心有原子核，在其周围有相当于原子序数数目的电子按一定轨道以极快的速度旋转的物质粒子。

a. 原子核 原子核是由质子、中子、介子等基本粒子构成。质子以原子量为单位测得的质量为1，按配置在原子核外围的电荷为单位测得的电荷量为带有一个正电荷（+1）的粒子。中子大致同质子具有相同的质量，但是不具有电荷（不带电）的中性粒子。质子与中子以介子为媒介结合到一起。介子的质量介于电子与质子之间（为电子的几百倍以上），电荷有正的也有负的。

b. 电子 电子是具有单位电荷量的基本粒子，这个单位电荷量以 $-e$ 表示。电子的质量为氢原子的 $1/1.836$ 左右，所以原子的质量可以看成是原子核的质量。电子围绕着原子核以光速 $1/10 \sim 1/100$ 的速度运行的。它的轨道称为电子壳，是依原子种类在半

径方向上具有一定密度几率的轨道。这称为电子云，图1-1(a)表示为氢原子的电子云。

c. 原子、原子量 所有的元素均各具有固定的原子。例如，氢原子是在具有一个正电荷的原子核周围有一个电子($-e$)运行的，其轨道半径为 0.528×10^{-8} 厘米左右。图1-1(b)表示氢原子的模型。

原子量是取质量数(构成原子核的质子数与中子数之和)为12的碳(^{12}C)作基准，与所有其他原子进行比较确定的。氢的原子量约为1，氧的原子数约为16，铁的原子量约为56。

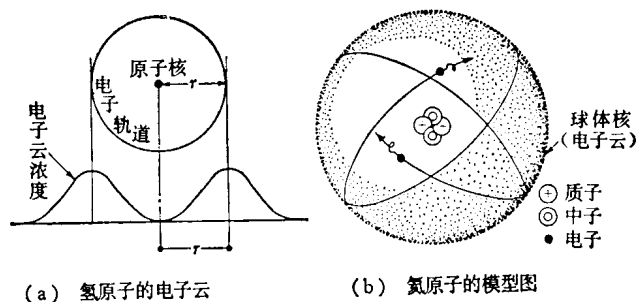


图 1-1 原子的电子云模型图

d. 电子壳 元素具有与附录II所示元素周期表的原子序数相同数目的电子，这些电子以原子核为中心按一定规律配置在它的周围形成不同大小和形状的电子壳。

电子壳随着电子数目的增加，由内向外依次分成K、L、M、N、O、P、Q的壳层(这些壳层称为主壳层)。主壳层又按电子数由s、p、d、f等的支壳层构成。s支壳层中可以收容两个电子，p支壳层又分成x、y、z三个轨道，分别可收容两个电子，总共可以有 $3 \times 2 = 6$ 个电子进入到其中。依此类推，在d支壳层有五个轨道可收容 $5 \times 2 = 10$ 个电子，在f壳层有7个轨道，共可收容 $7 \times 2 = 14$ 个电子。

如此将电子轨道细分下去，在同一轨道上只能容纳1个或2个电子。这些电子愈接近于原子核其能级愈低，离开核愈远能

级愈高。随着电子数目的增加依次由低能级的轨道逐个填入。

原子在结合时，对电导率、热导率等性能最密切相关的是配置在外侧电子壳层中的电子（最外层的电子叫做价电子）^①。原子的最外壳层为K壳层时，可收容2个电子（因只有1s轨道，收容的电子数可以是1或2）；L壳层可收容8个电子（在2s轨道可进入1或2个，在p轨道为1~6个）；类此，在M壳层为8个；在N、O、P壳层均各为8个时是稳定的。兹列举最外壳层为稳定的原子如下：He（K壳层稳定，电子数2）；Ne（L壳层稳定，电子数 $2+8=10$ ）；Ar（M壳层稳定，电子数 $2+8+8=18$ ）；Kr（N壳层稳定，电子数 $2+8+18^{②}+8=36$ ）；Xe（O壳层稳定，电子数 $2+8+18+18+8=54$ ）；Rn（P壳层稳定，电子数=86）。这些原子是极为稳定的，叫做惰性气体。与此相对应，H（K壳层，电子数1）；Li（L壳层，电子数1）；Na（M壳层，电子数1）；K（N壳层，电子数1）等，都是在最外一层的壳层中仅有一个电子，是极不稳定的原子。

1-2 元素周期表及其规律性

元素的数目已超过100种之多，而与建筑材料密切有关的仅是其中的二分之一左右。元素可分为金属元素，半金属元素和非金属元素，大部分是金属元素。

a. 原子半径、密度、熔点 在图1-2表示了原子半径曲线。由此曲线可见，原子半径在Na、K、Rb、Cs显示有峰值，表现出周期性。这是因为该各原子都新增加了一个电子壳层的缘故。原子体积（原子量/密度=原子体积）也表现出同样的倾向。密度同原子半径曲线呈相反的倾向，第Ⅷ族和Ⅰb族原子取较大的值。大的原子半径熔点高，小的低。

① 价电子：是原子在形成阳离子时释放出的电子，或参与键合的电子。

② 原子序数为21的Sc以下的原子，其最外壳层的电子数一度达到8个而处于饱和，电子数比它更多的原子，电子则进入到最外壳层内部的一个轨道上。所以饱和电子数为18（以下类同）。

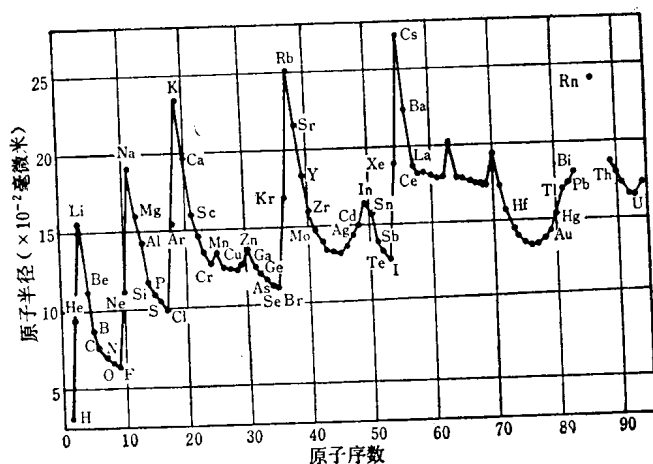


图 1-2 原子半径曲线

b. 氧化物、氢氧化物 如表 1-1 所示, 对氧化物来说, 随着由 I、II、III、……, 向 VII 族的变迁, 各原子同氧化合的原子价 [某一元素同氢 (原子价为 1) 的几个原子化合的数目, 同一种

周期表的族与氧化物、氢氧化物的变化举例

表 1-1

	I _a	II _a	III _b	IV _b	V _b	VI _b	VII _b
氧化物 (酸性、盐基性类别)	Li ₂ O (盐基)	BeO (两性)	B ₂ O ₃ (微弱酸性)	CO ₂ (弱酸性)	N ₂ O ₅ (酸)		
(阳离子原子价)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)		
氢氧化物 (酸性、盐基性类别)				CH ₄ (中性)	NH ₃ (盐基)	H ₂ O (两性)	HF (酸)
(阴离子原子价)				(4)	(3)	(2)	(1)
氧化物 (酸性、盐基性类别)	Na ₂ O (强盐基)	MgO (盐基)	Al ₂ O ₃ (两性)	SiO ₂ (弱酸)	P ₂ O ₅ (酸)	SO ₃ (强酸)	Cl ₂ O ₇ (强酸)
(阳离子原子价)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
氢氧化物 (酸性、盐基性类别)				SiH ₄ (中性)	pH ₃ (弱盐基)	H ₂ S (弱酸)	HCl (强酸)
(阴离子原子价)				(4)	(3)	(2)	(1)

原子有的取 2 种以上的原子价(如 Fe 有 2, 3 价; Mn 有 2, 3, 4, 6, 7 价等)]亦随之由 1, 2, 3, 4, 5, 6 增加到 7, 氧化物则由盐基变为酸。对氢氧化物来说, 由 I, II, III, …… , 向 VII 族变迁, 其同氢化合的原子价, 按 1, 2, 3, 4, 3, 2, 1 的顺序变化, 氢氧化物则由盐基变为酸。

一般, 金属的氧化物为盐基性, 非金属的氧化物为酸性。

c. 过渡元素(过渡金属) 在周期表中第 VIII 族的 9 个元素和属于它两旁族的元素, 其原子结构一般是外壳层的电子达到 2 个之后, 电子便填充到内壳层的轨道上, 所以具有类似的性质。它们多是可以形成有色的化合物, 具备有促进化学反应的催化性质。这一类的元素称为过渡元素或过渡金属。过渡元素的原子价, 当其在周期表中所属的族改变时也不变化, 具有相同的原子价(定规原子价)。所以化合物也是类似的。广义地说, III a~VIII 族及 I b, II b 族元素都称为过渡元素。

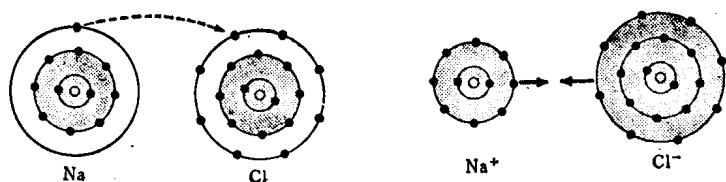


图 1-3 NaCl 的离子键

Na 的 1 个外壳层电子移入到 Cl 的外壳层中, 两者的外壳层电子达到稳定, 结果形成 Na^+ , Cl^- 离子的键合

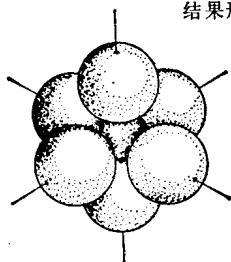


图 1-4 NaCl 的三维结构

NaCl 中的 Na^+ 离子与 Cl^- 离子互相交错相接形成的三维晶体结构, 引力在所有的方向上均相同

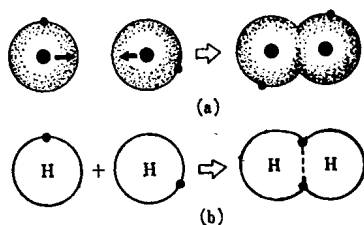


图 1-5 2 个氢原子碰撞时互相共有电子形成氢分子 (H_2)

1-3 结 合

材料通常都是由原子或分子结合而成。其结合方式有基本结合（离子键、共价键、金属键）和派生结合（分子极化，分散效应、氢键）。

a. 基本结合

1) 离子键 离子键是由原子释放出最外壳层的电子变成带正电荷的原子（阳离子），同接收其放出的电子变成的带负电荷的原子（阴离子）互相之间作用的吸引力（库仑引力）所形成的一种结合（键合）。这个引力同邻接的所有其他原子都互相发生作用构成一个整体。例如，Na与Cl相接时，Na释放出最外壳层的1个电子变为稳定的，带有正电荷。Cl的最外壳层有7个电子，收容Na放出的一个电子之后变为有8个电子而达到稳定，带有负电荷。其结果由正负离子的引力作用结合到一起而形成晶体。由离子键形成的物质，在溶液中离解成离子（例如NaCl， $MgCl_2$ ，KCl等）。

2) 共价键 是两个原子共有最外壳层电子的键合。这种结合叫做共价键。这时参与键合的两个原子相应轨道（参见附录I）上的电子（各有一个）的自旋方向必须是相反的。当两个原子的吸附力保持在均衡位置时达到稳定。

共价键的强度，随着参与键合的电子数增多而增强。 CO_2 之类共有 $2 \times 2 = 4$ 个电子的键（二重键）要强，比起 H_2 ， H_2O 之

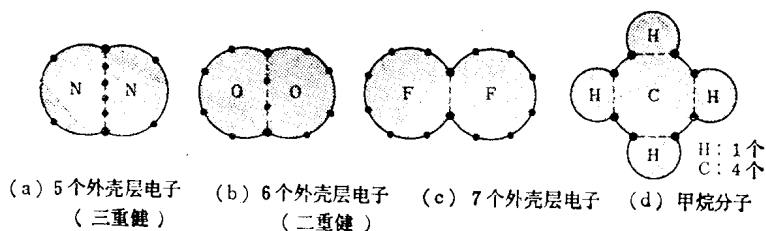


图 1-6 共价键的示意图