

航空金属学

〔苏联〕Б. К. 烏利弗 К. П. 羅馬季 著



国防工业出版社

航 空 金 属 学

[苏联] Б. К. 烏利弗 К. П. 羅馬季 著

赵 忠 译 周 建 初 校

國防工業出版社

1965

内 容 简 介

本书詳細地介紹了有关金属学及热处理的基本原理和航空用鋼(碳鋼、合金鋼、耐热鋼等)及有色金属(Al、Mg、Ti等)的成分、状态图及性能。并介紹了許多新的很有发展前途的航空金属材料和一些最新的研究方法。例如:原子反应堆材料;放射性射綫对金属及合金結構与性能的影响及位錯理論。另外,本书还系統地介紹了金属腐蚀和防护的知識,以及有关的工艺方法。

本书可作为航空院校的教科书或教学参考书,亦可供研究人員、航空工厂實驗室及其他技术部門的工程技术人員参考。

АВИАЦИОННОЕ МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ

[苏联] Б. К. Вульф К. П. Ромадин

ОБОРОНГИЗ 1962

※

航 空 金 属 学

赵 忠 译 周建初 校

※

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业許可証出字第974号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店經售

旅大市金县印刷厂印装

※

787×1092¹/₁₆ 印张 23¹/₈ 522 千字

1965年12月第一版 1965年12月第一次印刷 印数: 0,001~1,800 册

統一书号: 15034·871 定价: (科七) 3.20 元

中译本序言

航空技术的发展与金属材料有着密切的关系，本世纪初，飞机结构材料由木材改成铝合金，曾使飞行速度由每小时几十公里增加到几百公里；当飞行速度超过音速一、二倍时，热障问题又迫使铝合金让位给钛合金或不锈钢了。在1946年左右，因为创制出耐热 800°C 以上的镍、钴合金，才制成了喷气发动机，虽然在这以前，人们就已掌握了它的设计原理。今后，飞机或火箭性能的进一步提高，在颇大程度上，仍将取决于材料的进展。事实确是如此：金属材料的发展，促进航空技术的提高；航空技术的发展，又对材料提出更高的要求，促使材料的进一步发展，二者存在着相互促进的辩证关系。

航空工业对材料的要求是十分苛刻的，要在满足严格的性能要求的同时，比重尽可能小。而不同的零件，对材料的性能要求又是各式各样的，例如喷气发动机的涡轮叶片，要与 $800\sim 900^{\circ}\text{C}$ 或更高的燃气接触，又承受着十分复杂的应力作用，它的形状和尺寸又要极少改变，因此叶片材料必须有高的蠕变极限和疲劳强度；火箭发动机由于使用时间很短，就不要求抵抗蠕变和疲劳，但其燃烧室要耐更高的温度，和具有很高的化学稳定性，以抵抗侵蚀性的燃料和氧化剂的作用；用于原子能装置的材料，除了一般的性能（强度、塑性、耐腐蚀性等）外，还必须不因辐射而损伤。

金属和合金的性能也是多种多样的：有一些硬度与耐磨性高，但塑性韧性低；有一些在室温有很高的综合机械性质，却耐不了高温；有一些耐酸耐蚀，但是强度不高。而同一种合金，有些性能如强度、韧性，因热处理而改变很大，另一些性能，如弹性模量，却很少受热处理的影响。为了获得最好的韧性，有的合金需要退火，有的合金却需要淬火。在不同的使用情况下，材料的表现也大不相同，例如高碳钢车刀，在小的切削速度下切削性能良好，切削速度加大，它的切削性能便剧烈降低；镁合金在正常的大气条件下可以满意地工作，但在海水作用下，如不采用专门的保护处理，就会迅速腐蚀。看来，材料的性能是千变万化的，但却遵循一条基本规律，即金属的性能是由其内因——构造（或组织）——决定的，内因是变化的根据，外因是变化的条件，外因（热处理、使用情况等等）是通过内因（构造）起作用的。要掌握金属材料的性能，就必须把成份——处理——构造——性能——用途连成一条线索。

航空零件设计的安全系数很小，如液体火箭容器，其安全系数低到1.05—1.1（普通锅炉高到10），因此选用材料，就要求绝对安全可靠。为要求十分严格而对各式各样的航空零件选用恰当的材料，是件相当困难的事。除了要满足使用性能外，还必须考虑到材料的工艺性能，例如：油箱、燃烧室等是焊接的，其材料就必须是可焊的，这就不得不排除了某些高强度合金。此外，选用材料时还要尽可能照顾到价格低廉和本国可以供应。因此，航空设计师必须具备足够的航空金属学知识。

金属和合金的工艺性能也是各式各样的，例如：奥氏体不锈钢有良好的塑性、焊接性，但

切削加工性不好; 硅鋁明有良好的鑄造性和切削性, 但却不能压力加工; 对高强度鋼來說, 提高切削性要軟化处理(退火或高溫回火), 对鋁、鎂合金而言, 切削性最好时却在硬化状态(淬火加时效); 总的來說, 由于对航空合金的要求越来越高, 材料的成分越来越复杂, 工艺性能也就越来越差, 特别是鈦合金和鎢、鉬等难熔金属, 往往需要特殊的工艺方法。材料的工艺性能也是由內因(构造)决定的, 因此生产工厂的工艺师也必須有足够的航空金属学知識。

看来, 航空設計师、工艺师、使用工程师以及高等院校的师生都需要一本比較系統的、密切联系航空实际的、以构造为綱的、全面闡述航空金属的成分、处理、构造、性能和应用的参考书。目前, 还没有一本这样的中文著作, 这本“航空金属学”, 大体上可以满足这个要求。

本书第一、二篇是基础理論, 闡述純金属的构造与性能和金属的强度与塑性变形; 在这两篇中, 也簡要地介紹了多种試驗方法, 有一定的实用价值; 滑移、塑性变形、强度等概念, 也揉合得比較好, 强度的概念与以后的具体材料也联系得比較紧密。第三篇介紹鋼的热处理与化学热处理, 是以工艺类型来分的, 微观机理談得少, 而宏观性能及具体应用讲得多, 这样处理是恰当的。第四、五篇是具体的航空材料, 包括結構鋼、耐热合金、工具鋼、鋁、鎂、鈦、銅和减磨合金, 这两篇取材丰富, 而且密切联系航空产品, 有較大实用价值, 但有些分类, 稍嫌繁瑣。第六篇是特殊用途材料, 主要介紹原子反应器材料和放射性輻射对金属构造和性能的影响。第七篇航空合金的腐蝕, 簡明地介紹腐蝕的理論, 然后以結構鋼、高合金鋼、鋁合金、鎂合金分章, 分別闡述其腐蝕情况和防护方法, 与航空产品及生产实践联系得比較好。

本书是苏联航空学院的一本教科书, 取材比較丰富, 叙述比較系統。虽然也还有一些不足之处, 如某些材料(如低溫合金)沒有列入, 但是在理論联系实际、性能联系构造、材料結合用途方面还是比较好的, 仍不失为一本值得介紹的参考书。

周 建 初

1964 年 7 月

目 录

中译本序言	3
-------------	---

第一篇 金属合金理论

第一章 纯金属的构造与性能	11
§ 1 金属和合金的结晶构造	11
§ 2 金属的晶格	11
§ 3 晶面	14
§ 4 物体的各向同性和各向异性	16
第二章 结晶和鑄錠构造	21
§ 1 结晶类型	21
§ 2 在熔融状态的结晶	23
§ 3 结晶规律	25
第三章 研究金属和合金的方法	30
§ 1 概論	30
§ 2 化学分析	31
§ 3 光谱分析	32
§ 4 热分析	33
§ 5 膨胀分析	34
§ 6 X射线分析	35
§ 7 金相分析	37
§ 8 电阻分析法	41
§ 9 磁力探伤	41
§10 荧光检验	42
§11 超声波探伤	42
§12 γ 射线探伤	43
§13 放射性同位素法	44
第四章 金属合金的构造	45
§ 1 合金概論	45
§ 2 相律	46
§ 3 固溶体概念	47
第五章 状态图	50
§ 1 概論	50
§ 2 共晶型状态图	50
§ 3 无限固溶体状态图	55
§ 4 有限固溶体状态图	58
§ 5 包晶系状态图	61
§ 6 铁-碳系状态图	63
§ 7 金属系的《成分-性能》图	74
第六章 三元状态图概念	76
§ 1 建造三元系状态图的方法	76
§ 2 形成无限固溶体的三元系状态图	77
§ 3 形成机械混合物的三元系状态图	78

第二篇 金属的强度与塑性变形

第一章 金属的弹性与塑性变形机理	81
§ 1 金属晶格的强度	81
§ 2 静荷条件下单晶体的变形	82
§ 3 金属的韧性与脆性破坏	84
§ 4 主要的机械性能	85

第二章 多晶体变形时的性能与结构	85
§ 1 多晶体变形的特点	85
§ 2 低碳钢拉伸图的分析	86
§ 3 真实应力图	88
§ 4 拉伸试验时塑性指标的测定	88
§ 5 拉伸试验时低碳钢结构的变化	89
§ 6 内应力或残余应力	90
§ 7 制品尺寸对机械性能的影响	92
第三章 位错的理论基础	94
§ 1 概述	94
§ 2 刃型位错	95
§ 3 螺旋型位错	96
§ 4 位错的形成	98
§ 5 位错的进一步研究	99
第四章 再结晶	100
§ 1 金属在塑性变形时结构与性能的变化	100
§ 2 加热对变形金属构造与性能的影响	101
第五章 动载荷试验时金属的性能	104
§ 1 动载荷破坏的本质	104
§ 2 冲击韧性	105
§ 3 各种因素对冲击韧性的影响	105
§ 4 快速冲击试验	106
第六章 金属的硬度	106
§ 1 硬度概论	106
§ 2 布氏硬度	107
§ 3 洛氏硬度	107
§ 4 维氏硬度	108
§ 5 显微硬度	109
§ 6 摆式硬度法	110
§ 7 动载荷硬度法	110
第七章 金属的持久强度	111
§ 1 金属疲劳概论	111
§ 2 持久强度的长期试验	115
§ 3 持久强度的加速试验	115
第八章 金属在高温和低温下的强度	116
§ 1 金属热强性概论	116
§ 2 高温短时拉伸试验	117
§ 3 蠕变试验	118
§ 4 长期强度试验	120
§ 5 高温硬度	121
§ 6 高温持久强度试验	121
§ 7 低温下金属和合金的性能概述	122
§ 8 低温试验的结果	123

第三篇 钢的热处理与化学处理

第一章 概论	125
§ 1 热处理的实质与用途	125
§ 2 热处理与状态图的关系	126
§ 3 钢热处理的主要类型	128
第二章 退火与正火	128
§ 1 加热时在钢中发生的现象	129
§ 2 钢在保温和冷却时发生的现象	134
§ 3 预先热处理的一般规范	136
§ 4 钢件退火(正火)的实际情况	138
§ 5 预先热处理的缺陷	139
第三章 淬火与回火	140
§ 1 钢的淬火理论	140
§ 2 钢淬火的实际操作	148
§ 3 淬火时出现的缺陷及其防止法	151
§ 4 淬透性	153
§ 5 钢中的残余奥氏体; 冷处理	157
§ 6 钢的等温和分级处理	158
§ 7 钢的回火	162
§ 8 钢的表面淬火	166

第四章 鋼的化学热处理	170
§ 1 概述	170
§ 2 渗碳	172
§ 3 渗氮	176
§ 4 氰化	179
§ 5 渗铝	180
§ 6 铬化	181
§ 7 渗硅	183

第四篇 航空用鋼与合金

第一章 碳鋼	184
§ 1 概述	184
§ 2 碳对鋼构造与性能的影响	184
§ 3 杂质对鋼性能的影响	185
§ 4 碳鋼的牌号	186
§ 5 碳鋼在航空制造业中的应用	187
第二章 鑄鉄	189
§ 1 一般特性	189
§ 2 鑄鉄按结构的分类	190
§ 3 鑄鉄的性能与应用	193
第三章 合金元素的影响概論	194
§ 1 合金鋼概念	194
§ 2 合金元素与鉄的相互作用	195
§ 3 合金元素对鉄多晶形转变的影响	195
§ 4 合金元素与碳的相互作用	197
§ 5 合金元素对鋼临界点的影响	199
§ 6 合金元素对奥氏体晶粒长大的影响	199
§ 7 合金元素对奥氏体等温分解和 淬透性的影响	200
§ 8 合金元素对馬氏体转变的影响	200
§ 9 合金元素对回火转变的影响	201
§ 10 合金元素对鉄素体性能的影响	202
第四章 合金鋼的分类与編号	203
§ 1 合金鋼的分类	203
§ 2 合金鋼的編号	204
第五章 鎳鋼	205
§ 1 鎳对鋼结构和性能的影响	205
§ 2 鎳鋼的结构图	206
§ 3 鎳鋼的应用	206
第六章 鉻鋼	207
§ 1 鉻对鋼结构与性能的影响	207
§ 2 鉻鋼的结构图	208
§ 3 鉻鋼的应用	209
第七章 鉻鎳鋼	210
§ 1 鉻与鎳对鋼结构和性能的共同影响	210
§ 2 鉻鎳鋼的缺陷	211
§ 3 鉻鎳鋼的应用	212
第八章 鉻鎳鎢鋼、鉻鎳鉬鋼和鉻鉬鉬鋼	213
§ 1 鎢、鉬、鉬对鋼结构与性能的影响	213
§ 2 鉻鎳鎢、鉻鎳鉬和鉻鉬鉬鋼的应用	214
第九章 鉻錳硅鋼	217
§ 1 概述	217
§ 2 鉻錳硅鋼的热处理特点	217
§ 3 鉻錳硅鋼的缺陷	218
§ 4 鉻錳硅鋼的应用	219
第十章 不銹鋼	221
§ 1 一般特性	221
§ 2 鉻不銹鋼	221
§ 3 鉻鎳不銹鋼	222
第十一章 热强和热稳定鋼与合金	225
§ 1 一般特性	225
§ 2 热强性概念	226

§ 3 合金元素和结构对热强性的影响	227	§ 5 热强和热稳定钢	228
§ 4 合金元素对热稳定性的影响	228	§ 6 镍基和钴基热强和热稳定合金	232
第十二章 以难熔金属为基的热强合金	238		
§ 1 一般特性	238	§ 4 钼及其合金	247
§ 2 钨及其合金	241	§ 5 钨及其合金	250
§ 3 钽及其合金	244		
第十三章 工具钢	252		
§ 1 概述	252	§ 3 硬质切削合金	256
§ 2 高速钢	253		

第五篇 航空有色合金

第一章 铝合金	258		
§ 1 纯铝的性能	258	§ 7 焊接结构和冷冲压合金	273
§ 2 铝和其它元素的相互作用	259	§ 8 铆钉用铝合金	274
§ 3 铝合金分类	261	§ 9 热强变形铝合金	275
§ 4 硬铝	262	§ 10 粉末烧结铝热强材料(САН)	278
§ 5 高强度铝合金 B95	270	§ 11 铸造铝合金	278
§ 6 锻造合金	271		
第二章 镁合金	286		
§ 1 纯镁性能	286	§ 4 压力加工镁合金	288
§ 2 镁与其它元素的作用	287	§ 5 铸造镁合金	290
§ 3 镁合金的一般特性	288		
第三章 钛及其合金	294		
§ 1 钛的制取与性能	294	§ 3 钛基合金的成分、性能与应用	297
§ 2 钛与其它元素的相互作用类型	295		
第四章 铜和减磨合金	301		
§ 1 纯铜的性质和应用	301	§ 3 青铜	307
§ 2 黄铜	303	§ 4 锡基减磨合金	315

第六篇 特殊用途材料

第一章 放射线辐射对材料构造与性能的影响	317		
§ 1 概述	317	§ 3 由于放射线照射材料构造和性能的变化	318
§ 2 固体的放射线损伤	317		
第二章 原子反应堆用的材料	322		
§ 1 概述	322	§ 4 传热剂	325
§ 2 燃料	323	§ 5 辐射保护材料	326
§ 3 中子减速剂和反射剂	324	§ 6 结构材料	327

第七篇 航空合金的腐蚀

第一章 腐蚀的基本概念	330
第二章 腐蚀过程理论	331

§ 1 腐蚀类型	331	物理化学本性	334
§ 2 化学腐蚀	332	§ 4 内在因素对腐蚀过程的影响	340
§ 3 电化腐蚀金属和电解液的		§ 5 外界因素对腐蚀过程的影响	342
第三章 碳钢和低合金钢的腐蚀	344		
§ 1 钢的电位不均匀性	344	§ 3 钢腐蚀的保护	346
§ 2 腐蚀的机理和氧的影响	345		
第四章 高合金钢的腐蚀	351		
§ 1 不锈钢和耐酸钢	351	§ 2 热稳定钢	354
第五章 铝合金的腐蚀	356		
§ 1 铝及其合金的腐蚀特性	356	§ 6 铝锰合金	360
§ 2 合金元素的影响	356	§ 7 工艺因素的影响	360
§ 3 高强度铝合金	357	§ 8 铝合金的腐蚀防护	360
§ 4 铝硅合金(硅铝明)	359	§ 9 与其它合金接触的影响	364
§ 5 铝镁合金	360		
第六章 镁合金的腐蚀	364		
§ 1 镁合金腐蚀的特点	364	§ 3 镁合金的腐蚀保护	365
§ 2 合金元素的影响	365	§ 4 镁合金的有害接触	366
第七章 腐蚀试验方法的基本知识	368		
参考文献	370		

第一篇 金屬合金理論

第一章 純金屬的构造与性能

§ 1 金属和合金的結晶构造

固体状态的金属和金属合金，不管它們的制取方法如何，都具有結晶构造。

結晶构造的特征，是原子呈規則的排列。晶体的原子，分布在物体体积內，形成空間格子——規則的几何排列——立方、斜方、菱形等。

很早以前，就提出晶体存在空間格子的假說。曾經发现，能够形成晶体的物体，具有一定的形状，而且这种形状仅为該物体所具有。应该特別着重指出，晶体各棱面間的角度是一定的。

关于原子在晶体內規則排列的假定，不能用显微分析試驗証实，因为用放大率最高的光学显微鏡，只可观察到大于 0.15 微米的质点。尺寸小于 0.15 微米的物体，不反射光綫，因而看不见。这种显微质点的体积，要由几万万个原子构成。

仅在发现 X 射綫后，才有可能确定金属的結晶构造。1912 年著名学者拉烏艾 (Лауэ) 用它来研究原子在空間格子內的排列。

原子在空間排列不規則的物体，称为非晶体。非晶体的典型例子是一般的玻璃。非晶体的性能具有液体的特征。两端放在支柱上的玻璃板，随着時間而下垂，即在自重的影响下发生流动。放在水平表面上、在打击时容易破碎的树脂，在自重的影响下，随着時間像液体一样流展开来。

这两种物质（玻璃和树脂），在外部标志上属于固体，但实际上是非晶体。以后所謂「固体」，将理解为結晶体，即其原子（分子或离子）在空間排列严格一定的物体。业已确定，所有固态的金属和合金，毫无例外地是晶体。

§ 2 金属的晶格

按外形晶体可以属于不同的座标系[⊕]。座标系以晶軸比例 a 、 b 、 c 和座标角[⊖] α 、 β 、 γ 决定。

还在 1891 年，俄罗斯的結晶学家 E. C. 費多洛夫 (Федоров) 就証明，在描述晶体时，用七个座标系就够了。这七个座标系列于表 1。

有几种描述晶体內原子排列的图形和方法。其中一个晶面的原子排列，如图 1 所示。

⊕ 別的教科书中又称为晶系。——譯者

⊖ 又称为軸間夾角。——譯者

在简单立方晶格中，可以想像的主要面如图 2 所示。经过原子中心引伸的假想线，形成了格子，金属原子（正确地说是带正电的离子）就处在其结点上。

相邻原子中心间的距离以埃度量。1 埃等于 10^{-8} 厘米，以符号 $\text{\AA}$ 表示。长一厘米的晶体中有几千万个晶面。

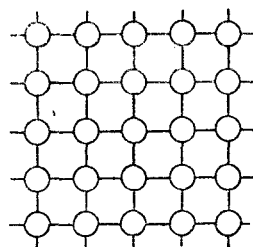


图 1 原子在晶面中分布的示意图。

原子在晶体物质内的分布，能很方便地用所谓单元晶胞来描绘（图 3）。

单元晶胞棱边原子间的距离 a ，称为晶格参数或晶格常数。

根据七个不同结晶坐标系，有 14 个主要晶胞类型。

金属中最普遍的只有三种晶格：体心立方、面心立方和六方晶格（图 4）。

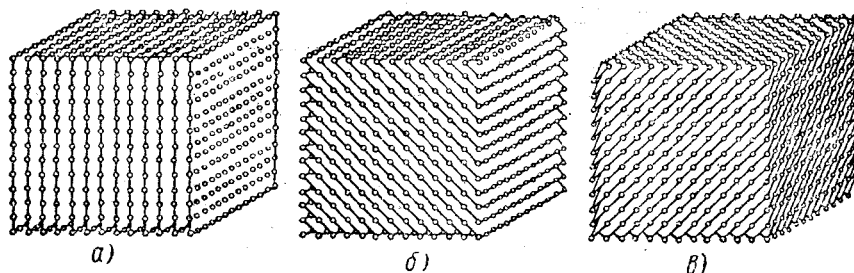


图 2 简单立方晶格的主要面（网）：
a—立方面；b—斜十二面体面；c—八面体面。

表 1 七个坐标系的参数

系 的 名 称	晶 轴 比 例	座 标 角
立 方	$a=b=c$	$\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$
正 方	$a=b \neq c$	$\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$
斜 方	$a \neq b \neq c$	$\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$
菱 方	$a=b=c$	$\alpha=\beta=\gamma \neq 90^\circ$
六 方	$a=b \neq c$	$\alpha=\beta=90^\circ, \gamma=120^\circ$
单 斜	$a \neq b \neq c$	$\alpha=\gamma=90^\circ, \beta > 90^\circ$
三 斜	$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$

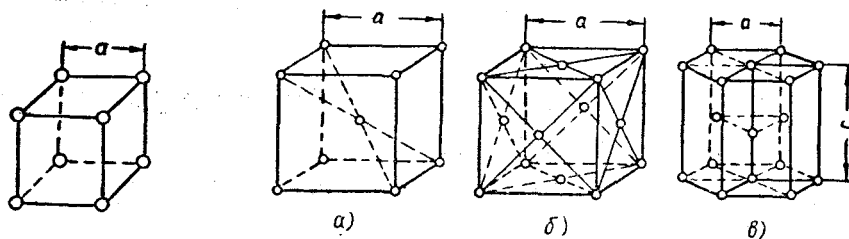


图 3 简单立方晶格的单元晶胞。

图 4 金属中最常见的单元晶格：
a—体心立方；b—面心立方；c—六方。

某些金属具有正方晶格，其中晶格常数 c/a 之比表征正方度（图 5）。

在图 3、4 和 5 上所采用的表示晶格的方法是假定的。更正确的是，晶格中的原子是彼此接触的形式，体心立方的这种表示法，如图 6 所示，面心立方如图 7 所示，六方晶胞如图 8 所示。

简单的立方晶格（见图 3）不够致密。金属原子力求占据彼此最近的位置，这便形成图 4 所示的、比较密排的晶格。结晶结构的重要特征，是每个单元晶胞所具有的原子数。

在简单立方晶格中，每一晶胞只有一个原子，因立方体顶点有八个原子，而每个原子又为八个晶胞所共有（ $\frac{1}{8} \times 8 = 1$ ）。

在体心立方晶格中，每个晶胞有两个原子，因为处在立方体中心的原子仅为该晶胞独有（ $\frac{1}{8} \times 8 + 1 = 2$ ）。

在面心立方晶格中，每个晶胞有四个原子，因为处在中心面的每一个原子为两个晶胞所共有；总共有六个面，因而每个晶胞有三个这样的原子和一个处在立方体顶点的原子（ $\frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6 = 4$ ）。

体心立方晶格可以想像为，由两个简单立方晶格在对角线移动一半所组成（图 9）。

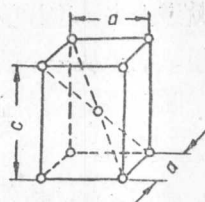


图 5 正方单元晶格。



图 6 体心立方单元晶胞内原子的排列。

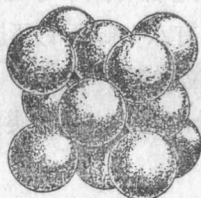


图 7 面心立方单元晶胞内原子的排列。

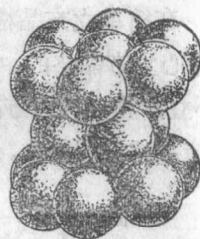


图 8 密排六方单元晶胞内原子的排列。

面心立方可以想像为，由四个简单立方晶格构成，简单立方晶格的原子即处在立方面的中心（图 10）。

每个单位晶胞的实际原子数，称为晶格密排度或晶格基数。

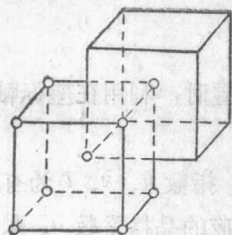


图 9 体心立方晶胞。

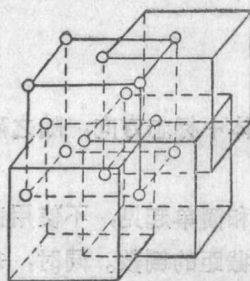


图 10 面心立方晶胞。

晶格原子間的結合鍵可以不同，隨其化學本性而定。

金屬和合金的特徵是：金屬鍵是在帶正電的金屬離子和帶負電的半自由價電子間產生。這些價電子為所有被結合的原子所公有，它們容易由一個原子的軌道過渡到鄰近原子的軌道上去，這樣就把原子整個剩下的離子部分，保持在一定距離上，並與周圍離子相互作用。電子從一個軌道向另一軌道（鄰近原子的軌道）的這種過渡，就是所謂帶同號電的原子間同極鍵的特徵。當金屬與非金屬形成化合物時產生異極鍵，這種鍵是由帶正負電的離子實現的。

原子彼此間愈鄰近，晶格排列愈密，電子愈容易從一個原子過渡到另一個原子。在這種情況下，很可作為特徵的是每種金屬晶格的致密度，即表示原子佔據晶格整個體積幾分之幾的數值。

除了被原子佔據的體積外，每種晶格將剩下未被原子佔據的空間（見圖 6、7、8）。如果把被原子佔據的體積與晶格總體積相比，則獲得致密度。顯然，致密度愈大，則晶格內原子愈緊密。簡單立方的致密度為 0.52，體心立方為 0.68，面心立方為 0.74。很明顯，最後兩種晶格，原子間的結合比第一種強烈。

處在最鄰近，並與該原子等距離的原子數，稱為配位數。它表明晶格中圍繞每個原子的最近原子數是多少。這些原子愈多，配位數愈大，因而晶格的致密度愈高。

例如，在簡單立方晶格內，任何原子都有六個等距的原子，因而簡單立方晶格的配位數是 6。體心立方晶格的中心原子，具有八個等距的鄰接原子，因而體心立方的配位數為 8。在面心立方和密排六方晶格中，配位數等於 12。

為了使晶格代號簡化，並能在符號內表示出晶格類型和配位數，採用下述系統：

簡單立方	K 6
體心立方	K 8
面心立方	K 12
密排六方 ($\frac{c}{a}=1.633$)	Γ 12

從表 2 可以看出，大多數晶格為 K 8、K 12 和 Γ 12。

還必須指出，具有幾種晶格的元素，其原子半徑的大小，與配位數有關。

例如，鐵（見表 2）可以結晶成配位數為 K 8 的體心立方晶格，和配位數為 K 12 的面心立方晶格。業已確定，K 8 晶格的原子半徑約比 K 12 晶格小約 3%。

§ 3 晶 面

為了在晶體中標志方向，隨之確定空間格子中面的位置時，利用在座標軸上的平面的截距。

為了方便和簡單起見，不使用截距而用指數 h 、 k 、 l 。指數 h 、 k 、 l 為有理數，是該面在座標軸上截距的倒數。同時，每個軸上的截距，用相應的晶格常數 a 、 b 、 c 作為比例單位量度。

如果面平行於兩個座標軸，例如 y 和 z （圖 11），則在三軸上的截距將為 $1, \infty, \infty$ ，

表 2 А. И. 门捷列耶夫元素周期表

周 期	族																	
	Ia	IIa	IIIa	IVa	Va	VIa	VIIa	VIIIa		Ib	IIb	IIIb	IVb	Vb	VIb	VIIb	VIIIb	
I	1 H 1.0080 氢																2 He 4.003 氦	
II	3 Li 6.940 锂	4 Be 9.012 铍															10 Ne 20.183 氖	
III	11 Na 22.990 钠	12 Mg 24.305 镁															18 Ar 39.948 氩	
IV	19 K 39.098 钾	20 Ca 40.078 钙	21 Sc 44.956 钪	22 Ti 47.88 钛	23 V 50.94 钒	24 Cr 52.00 铬	25 Mn 54.94 锰	26 Fe 55.85 铁	27 Co 58.93 钴	28 Ni 58.69 镍	29 Cu 63.55 铜	30 Zn 65.38 锌	31 Ga 69.72 镓	32 Ge 72.61 锗	33 As 74.92 砷	34 Se 78.96 硒	35 Br 79.90 溴	36 Kr 83.80 氪
V	37 Rb 85.47 铷	38 Sr 87.62 锶	39 Y 88.91 钇	40 Zr 91.22 锆	41 Nb 92.91 铌	42 Mo 95.94 钼	43 Tc 98.91 锝	44 Ru 101.07 钌	45 Rh 102.91 铑	46 Pd 106.37 钯	47 Ag 107.87 银	48 Cd 112.41 镉	49 In 114.82 铟	50 Sn 118.71 锡	51 Sb 121.76 锑	52 Te 127.60 碲	53 I 126.91 碘	54 Xe 131.30 氙
VI	55 Cs 132.91 铯	56 Ba 137.33 钡	57 La 138.91 镧	58 Ce 140.12 铈	59 Pr 140.91 镨	60 Nd 144.24 钕	61 Pm [145] 钷	62 Sm 150.36 钐	63 Eu 151.96 铕	64 Gd 157.25 钆	65 Tb 158.93 铽	66 Dy 162.50 镝	67 Ho 164.93 铒	68 Er 167.26 铽	69 Tm 168.93 铥	70 Yb 173.05 镱	71 Lu 174.97 镱	
VII	87 Fr [223] 钫	88 Ra [226] 镭	89 Ac [227] 锕															
镧系元素																		
锕系元素																		

* 目前已发现 102 号元素 (No) 铈, 103 号元素 (Lw) 铈。表中为译者所添。

其倒数值将是 $\frac{1}{1}$ 、 $\frac{1}{\infty}$ 、 $\frac{1}{\infty}$ ，因而指数 h 、 k 、 l 将等于 1、0、0。面指数用圆括弧括起，如 (100)。

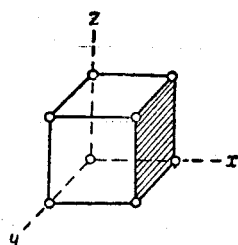


图 11 平行于立方体面的截面(100)。

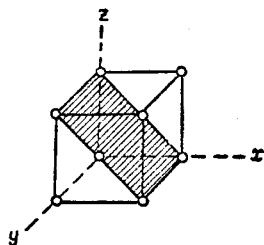


图 12 平行于斜方十二面体面的截面(101)。

如果面平行一个坐标轴 (图 12)，则在三坐标轴上的截距将是 1、 ∞ 、1，倒数将为 $\frac{1}{1}$ 、 $\frac{1}{\infty}$ 、 $\frac{1}{1}$ ，指数 h 、 k 、 l 将等于 (101)。

如果面与轴的截距为 1、1、1 (图 13)，倒数将是 $\frac{1}{1}$ 、 $\frac{1}{1}$ 、 $\frac{1}{1}$ ，面指数 h 、 k 、 l 将等于 (111)。

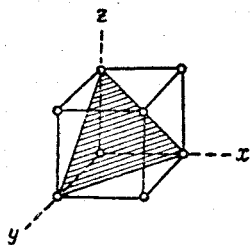


图 13 平行于正八面体面的截面(111)。

在面通过坐标原点的情况下，应该平行于自己移动，然后再决定截距。

如果某一平面为负截距，则其指数亦为负值，并且在指数上面加一个负号。

立方系最重要的晶面是：

- 1) 具有指数(100)，(010)，(001)等的立方体面 (见图 11)；
- 2) 通过对角线和立方体棱边的斜方十二面体面，它的指数为(110)，(011)，(110)等 (见图 12)；
- 3) 通过立方体三顶点的八面体面，其指数为(111)，(111)，(111)等 (见图 13)。

应用结晶学的指数，可以确定每种类型晶格的任何原子面的位置。

研究任一晶格的面，可以确定原子分布是否稠密。立方晶格的重要晶面列于图 11、12 和 13，原子填充的密度各不相同。

晶体中某一面的原子填充密度决定了所取晶体在该方向的性能。

§ 4 物体的各向同性和各向异性

液体的特征是，它的性能在各个方向是一样的，即它是各向同性的。在所有方向上表现出相同的阻抗，例如当通过电流、传播光等。

物体表现的性能，是外界物质因素与构成该物体的质点相互作用的结果。

在非晶玻璃状物质的粘滞过冷液体中，原子是不规则排列的，并不形成空间格子，而