

中等专业学校教学用书

矿物学和选矿学

辽宁冶金学院编



中国工业出版社

56.8
169
0.2

中等专业学校教学用书



矿物学和选矿学

辽宁冶金学院編

305/0129

中国工业出版社



本书根据冶金工业部1959年中等专业学校教育计划所规定的“矿物学和选矿学”课程教学大纲编写而成，适用于四年制和三年制的有色重金属、轻金属和稀有金属冶炼专业。本书经冶金工业部教育司推荐作为中等专业学校教学用书。

书中第一篇为矿物学部分；第二篇为选矿学部分。

矿物学篇讲述了矿物的形成、各种矿物的特性并对矿物的鉴定和研究方法的基本内容做了介绍。

选矿学篇对整个选矿工艺过程和各種选矿方法（如浮选、磁选、重选等）做了必要的介绍。

矿物学和选矿学

辽宁冶金学院編

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）

（北京市书刊出版事业许可证出字第110号）

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行·各地新华书店經售

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ 印张 6.9 字数 153,000

1961年7月北京第一版·1961年7月北京第一次印刷

印数0001—1,033·定价（9—4）0.68元

统一书号：15165·290（冶金—95）

目 录

第一篇 矿 物 学

緒論.....	5
§ 1 矿物与矿物学的概念.....	5
§ 2 矿物学在国民經济中的作用.....	5
§ 3 矿物学与冶炼工业的关系.....	6
第一章 矿物的成因.....	7
§ 1 地壳的构造和化学組成.....	7
§ 2 矿物的形成作用.....	8
§ 3 內生成矿作用.....	9
§ 4 外生成矿作用.....	13
§ 5 变质成矿作用.....	16
第二章 矿物概論.....	16
§ 1 矿物的化学性质.....	16
§ 2 矿物的形态.....	17
§ 3 矿物的物理性质.....	22
§ 4 矿物的鑑定法和研究法.....	25
第三章 矿物名論.....	27
§ 1 矿物的分类和命名.....	27
§ 2 自然元素类.....	28
§ 3 硫化物及含硫盐类.....	30
§ 4 氧化物及氢氧化物类.....	35
§ 5 卤化物类.....	39
§ 6 碳酸盐类.....	41
§ 7 硫酸盐类.....	44
§ 8 磷酸盐类.....	45
§ 9 钨酸盐类.....	46
§ 10 矽酸盐类.....	47
附录 各有色、稀有金属的工业矿物.....	57

第二篇 选 矿 学

緒論.....	61
§ 1 选矿的目的和任务.....	61
§ 2 选矿工业和冶金工业的关系.....	62
§ 3 选矿方法分类.....	62
§ 4 选矿工艺流程.....	63

04962

§ 5	主要的技术术语	63
第一章	选别前矿石的准备	65
§ 1	概述	65
§ 2	破碎	67
§ 3	筛分	69
§ 4	磨矿	71
§ 5	分级	73
§ 6	破碎和磨矿流程	73
第二章	重力选矿法	75
§ 1	概述	75
§ 2	重力选矿的理论基础	75
§ 3	重介质选矿	80
§ 4	跳汰选矿	81
§ 5	淘汰盘选矿	83
§ 6	洗矿	85
§ 7	螺旋选矿	85
§ 8	风力选矿	86
第三章	浮游选矿法	87
§ 1	概述	87
§ 2	浮选理论基础	88
§ 3	浮选药剂	90
§ 4	浮选机械	96
§ 5	浮选流程	97
第四章	电磁选矿法	99
§ 1	概述	99
§ 2	磁选的基本原理	100
§ 3	电磁选矿机	101
第五章	其他选矿法	103
§ 1	手选法	103
§ 2	按粒度和形状选矿法	104
§ 3	摩擦选矿法	104
第六章	产品处理	105
§ 1	概述	105
§ 2	浓缩	105
§ 3	过滤	106
§ 4	干燥	107
§ 5	尾矿处理	107

S0210

第一篇 矿物学

緒 論

§ 1 矿物与矿物的概念

矿物学是地质学的一个組成部份，是地质学的一門重要分科。

地质学简单地說就是研究地球的科学。它研究地球的演变历史及演变規律，以运用这些規律去开发地下自然资源——矿产。

由于目前技术水平的限制，人們对于地球能直接进行观察的深度为5~6公里，仅占地球半径（6,300公里）的很小一部份。所以在目前來說，地质学还主要是研究地球的外壳——地壳。

在地壳上，除在其广大面积上分布有水以外，都属于岩石圈，它們是各种岩石組成的。

岩石是矿物的自然集合体，是由一种或多种矿物組成的。矿物又是由元素或元素化合物組成的。但是，地质学并不从事化学元素的研究。所以，在地质学中，矿物就是地壳的最基本物质的組成单位。地质学的研究，也就是从矿物的研究开始。

矿物是岩石和矿石的組成部份，是一种自然化合物或自然元素。它們是由地壳中各种地质作用产生的。大部分为固体，有时也呈液态或气态存在。固体矿物具有一定的物理性质和化学性质，这些性质决定于构成这些矿物的物质的結晶构造和化学成分。在某种程度上，我們可以大致地认为每一种矿物不論其大小如何，在其所占空間內是一种均一介质。

归納起来說，矿物是在一定限度內，具有均一的組成和构造，以及固定的化学、物理性质的自然化合物或元素。它們是由地壳中所进行的各种地质作用的结果而产生的。

研究矿物的化学成分，內部构造，化学、物理性质及其形成作用的学科就叫做矿物学。

§ 2 矿物学在国民經济中的作用

有用矿物原料是物质資源极为重要的一个方面。我們都知道鋼鉄是工业的基础，而鉄則是从鉄矿石中提炼出来的。此外，如石油、煤炭等，本身就是矿产品。实现电气化必不可少的銅、鋁；原子能需要的鈾；不少工业部門所需要的各种金属；日常生活中的玻璃、陶瓷器具的原料等，都是从矿石中提炼出来的，或者本身就是矿石。所以我們可以說，没有一个工业部門可以不需要（直接或間接的）矿石。

自然界中存在的矿物是很多的，現在已知的矿物約有2000多种，而且每年还有很多

新矿物被发现。但是这些矿物并不都能作为矿石，只有那些在当前矿石加工（包括选矿、冶炼等）的技术水平下，能够从中提取出所需要的金属，而且在经济上合算的，这样的矿物才能成为对工业有用的矿物原料。

应该指出，矿物之是否具有工业价值是相对的，随着人们对矿石加工技术水平和对矿物原料特性的认识的提高，将会有愈来愈多的矿物由无工业价值变为有工业价值。通过矿物学的研究，就将使我们对矿物原料特性的认识不断提高。因此我们可以看出，矿物学在提供和扩大工业所需矿物原料的来源上，起着十分重要的作用。

§3 矿物学与冶炼工业的关系

为了从矿石中获得纯金属，需要应用各种化学及物理化学的方法去加工处理矿石，以便将脉石（与金属矿物伴生，但不能从中提取金属的矿物）分离去除；然后使矿物分解，把金属和与金属化合的元素分开。这个矿石的加工处理过程也就是冶炼的生产过程，这些方法也就是冶炼方法。

在确定对某一种矿石采用何种冶炼方法时，需要考虑很多因素，其中矿物的组成和物理、化学性质等起着很重要的作用。例如氧化矿物可以通过还原熔炼直接分离出金属；硫化矿物则通常需要先进行氧化焙烧。对于一些易溶于水或酸的矿物，就可以采用湿法冶炼。对于某些难熔的矿物，则在冶炼时需要加入降低熔点的熔剂。

在冶炼中，为了将有用金属和无用的杂质分离，常常需要加入一些熔剂（如石英、石灰石、萤石等），以便与无用杂质造成炉渣析出。当我们对金属矿物和脉石矿物的伴生规律有所了解时，就可以正确地解决矿石的辅助熔剂配料的种类和用量问题。

此外，尤其重要的是要了解元素在矿物中的共生规律，它能使我们先知道某矿物中含有哪些可利用的金属，然后研究从该矿物中提取所有的金属，因而可以大大提高矿石的经济价值，这就是矿石的综合利用问题。目前稀有金属在工业上的用途愈来愈广，但它们大多数在自然界中很少或根本没有独立的矿物（如镓、铈、铟、铊、镱等等），而是以伴生组分存在于其它金属矿物中（例如铜铅锌的矿石中常常含有大量的镓、铈、铟、铊、镱、金、银等）。因而只能在处理此类矿石的过程中，采取多种方法综合回收。

由于稀有金属目前的价格较贵，所以只要搞好综合利用就能大大降低生产成本。有时回收的稀有金属的价值甚至可以超过基本金属的价值。如我们办一个年产10万吨的铝厂，就可回收镓4~5吨，这些镓的价值就大大超过10万吨铝氧的全部价值。

总之，不论在考虑正确的冶炼生产流程及开展矿物原料综合利用方面，矿物学的研究都能提供重要的资料。

第一章 矿物的成因

§ 1 地壳的构造和化学组成

地壳是指地球最外面的一层，也就是一般所说的岩石圈。它的厚度一般认为是100公里左右。这100公里又可分为上下两层，上部以硅、铝为主，叫做硅铝层，厚约20公里；下部以硅、镁为主，叫做硅镁层，厚约80公里。

美国地质学家克拉克对地壳16公里以上的各种岩石进行了6000次左右最准确的化学分析和综合研究，最后发表了50种分布最广的化学元素在地壳中含量的平均数。为了纪念克拉克的贡献，苏联著名学者费尔斯曼院士建议把这个代表化学元素在地壳中平均含量的数值，称为“克拉克值”。

费尔斯曼以后又提出了更准确的元素克拉克值的资料，如表1—1和表1—2所示。

地壳中所含化学元素在重量上的比例

表 1—1

元 素	重量百分比	元 素	重量百分比	元 素	重量百分比
氧	49.13	氢	0.20	硼	0.01
硅	26.00	磷	0.12	钼	0.008
铝	7.45	钪	0.10	钨	0.005
铁	4.20	硫	0.10	铀	0.005
钙	3.25	氟	0.08	铍	0.003
钠	2.40	铜	0.05	钴	0.002
钾	2.35	铬	0.04	铅	0.001
镁	2.35	锆	0.025	溴	0.001
氮	1.00	镍	0.02	银	0.001
钛	0.61	钒	0.02	铋	0.001
碳	0.35	锌	0.02		
铈	0.35	铜	0.01		

地壳中其余比较稀有元素的存在量

表 1—2

重 量 百 分 比	元 素
$10^{-4} \sim 10^{-3}$	铌、锆、铈、汞、镉、铈、锡、碘、铯、稀土、铟、铊；
$10^{-5} \sim 10^{-4}$	硒、钨、铈、铈、铈、银、铜、钨；
$10^{-6} \sim 10^{-5}$	氯、钒、铈、铈、铈、铈、铈、金；
10^{-6} 以下	铈、铈、铈、铈、铈、铈

从表1—1及表1—2中可以显明的看出，元素的分布是极不均匀的。其中O、Si、Al、Fe、Ca、Na、K、Mg八种元素的重量占了地壳全部重量的97.13%，若再加上H、Ti、

C、Sr、Cl、P、Mn、S則达到99.96%，即絕大部分。其余的76种元素仅占0.36%。由此可見，常見的某些元素（如Cu、Pb、Zn、Sn、Mo、W等）在地壳中的总含量是很少的。只有在地壳中进行的一些自然化学反应中，使这些元素得到了相当程度的集中，才能形成那些具有工业价值的矿石。

§2 矿物的形成作用

矿物是地壳中的化学元素所进行的各种化学反应的产物。地壳中不同位置有不同的温度、压力等物理化学条件，各种化学元素的浓度也有所不同。这些不同的条件对地壳中进行的化学反应都有一定的影响，因而使化学反应的进行和反应的产物都有所不同，这就成为各种不同的矿物的形成作用。

形成矿物的地质作用，按其产生的动力和物理化学条件的不同，可以分为下列三类。

一、内生成矿作用 产生内生成矿作用的动力来源是地球内部的热能，它們主要是在地壳深处所謂岩浆带中进行的。因此，它处于高温高压的环境中。其作用的基本过程是：熔融——运动——凝固。由于地球的热能就使地壳組成物质熔融，形成一种成分复杂的硅酸盐熔融体，即所謂岩浆。岩浆內蘊藏有大量能量，在地壳发生运动时，破坏了地壳的原始平衡状态，岩浆就能开始活动；在活动过程中，由于物理化学环境的变化，或因岩浆与其周围物质間的化学反应，就使岩浆发生結晶和凝固作用；在此过程中，某些有用金属元素得到了集中，就形成具有工业价值的矿石。

二、外生成矿作用

外生成矿作用是由于太阳对地球的輻射热，直接或間接的影响所引起的。它們是在常溫常压的条件下，于地表或靠近地表的地壳浅处所謂风化壳中进行的。其作用的基本过程是：破坏——轉移——沉积——固結。

由于温度变化所引起的地表岩石的物理变化，或空气中的 O_2 、 CO_2 、 H_2O 等物质的化学作用所引起的地表岩石的化学变化，以及各种地质营力（风、河流、地下水、海洋等）对岩石的冲击、侵蚀、溶解等作用，就能使地表上原有的岩石发生破碎、崩解或分解，形成风化剝蝕的产物。这些物质由于地质营力的运移作用，就被搬运、轉移；在搬运、轉移的过程中，由于物理化学环境的变化，就可以把被搬运的物质沉积或沉淀下来，形成所謂沉积物；这些疏松的沉积物进一步由于重力和胶結作用，就固結起来，重新形成新的岩石——沉积岩。

在破坏和沉积的过程中，某些有用金属元素能够得以集中而形成有用矿物。

三、变质成矿作用

变质成矿作用一般是在地壳深处或中深处，但有时也可在地壳浅处发生，它是处于中温高压的环境（与内生成矿作用相比是中温，但一般来看温度还是很高的，所以常常也算作高温高压）。其作用的进行是由于温度、压力或物质的化学反应的影响，而使原有的岩石，保持其固体状态，发生其組成质点（分子、原子、离子）或矿物間的重新排列或重新組合，因而改变了岩石的組成、結構和构造，形成了所謂变质岩。在此过程中，物质組成质点的重新排列和組合，也能促使某些元素集中形成有用矿物。

§3 內生成矿作用

从上节所述，我們已知內生成矿作用是在岩浆活动中形成矿物的作用。岩浆是一种成分复杂的硅酸盐熔体，其組成以Fe、Al、K、Na、Ca、Mg等元素的硅酸盐类为主，并含有各种揮发性物质（ H_2S 、 H_2O 、 SO_2 、 CO_2 、S、F、Cl、B等）及其与各种金属（Cu、Pb、Zn、Ni、Co、W、Mo、Sn……等）的化合物。

原始岩浆一般产生于地壳深处，处于高温高压的环境。当它开始活动上升时，其温度、压力即将逐漸降低。由于温度、压力的改变，岩浆的物质組成状态也将随之发生变化。岩浆的那些組成成分，在岩浆的温度、压力达到各自的临界温度、临界压力以下时，它們就將由原来的液相或气相轉变为固相，形成各种矿物結晶体，由岩浆中結晶出来。此时，原始岩浆的物质成分也相对地发生了变化，各組成成分的相对浓度也就随之发生了变化，这就又引起了物理化学平衡状态的新的破坏。如此，互相影响的复杂变化就能形成各种不同的矿物。这种作用叫做岩浆分異作用。

岩浆分異作用的进行是一个长期的过程，根据这一过程中温度、压力、浓度的变化情况可以把整个結晶过程划分为以下几个阶段：

一、正岩浆結晶阶段

这是岩浆結晶的最早阶段，在整个岩浆結晶过程中，相对來說是高温高压的，所以形成的矿物一般都是比重大、熔点高。主要的是各种矽酸盐类，如橄欖石、輝石、角閃石、斜长石、正长石、云母、石英等，它們是組成各种岩浆岩的主要矿物，所以也叫造岩矿物。

主要由这些造岩矿物所組成的集合体，就叫做岩浆岩。根据岩浆岩中矽酸的含量，可以把它們分为三个基本类型：

1. 基性岩 未被硅酸飽和的，含大量鉄鎂质矿物。
2. 碱性岩 含相当大的碱量，但鈣质和鎂质矿物少。
3. 酸性岩 含有成游离状态的过剩矽酸，它們成石英析出。

在岩浆結晶过程中，通常最先析出的是金属矿物与深色矿物（主要是鉄鎂质的），以后是浅色矿物，而以石英的析出結束其整个过程。与此相适应形成的岩石也就由基性逐漸过渡为碱性，以至酸性。

岩浆結晶的温度通常认为在侵入条件下是 $900^{\circ}\sim 700^{\circ}C$ ，在噴出熔岩中則为 $1200^{\circ}\sim 1000^{\circ}C$ 。

根据岩浆結晶过程中，物理化学条件的特点，可以分为初期、主期及残浆期等几个結晶阶段。它們中的每一期，都带有典型的化学元素及矿物。

表1—3（根据費尔斯曼）列出了各結晶期与化学元素間的关系。表中对地壳內所形成的亲硫元素单独划分开，它們的形成主要是由于和硫或其相似元素化合的結果。

与岩浆岩有关的最重要矿物的組合，如表1—4所示。

二、偉晶結晶阶段

由于在正岩浆結晶阶段，非揮发分的矽酸盐类大量析出，因而使残余岩浆中的揮发

各結晶期中化学元素的組合

表 1-3

元素的类型	結 晶 期			
	初 期	主 期	残 浆 期	亲 硫 期
主导元素	Mg, Si, Ti, Fe, Ni, Cr	Si, Al, Na, K	H, F, Be, O, Na, Al, K, Rb, Cs, TR	S, Se, Fe, C, Zn, As, Ag, Sn, Sb, Pb
主要元素	C, O, Na, Al, P, S(Cl), Ca, V, Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt	O, Ca, Fe, Mg, H,	B, F, S, P, Se, In	Co, Ni, Mo, Cd, Te, W, Au, Hg, Bi, U, F, H
次要元素	(H), Se, Co, Cu, Zn, Ge, As, P, (Sb), Hg, Ti, Ag, Au	F, Cl, B, C, S, P, Li, Mn, Ti	He, Cl, Ca, Ti, Mn, Ga, Y, Nb, Mo, J, Hf, Ta, W, Re, Au, Ti, Pb, Bi, Rd, U	Si, P, Mn, U, Ge, Ge, 鉑族, In, Re, Tl(Mn)
附属元素及偶 而有的元素	K, Sr, Zr, Nb, Ta, W, Re, (Sn), Mo	Ti, Nb, Th, U, Ta, Ce, Zr, , Sn, (Mo)	N, O, Mg, B, Cr, Fe, Zn, Cu, Sr, Sb, Ba, Te	K, Li, Be, Cl, Ca, Ba, B, Al, (Mg)

最重要的岩浆矿物組合

表 1-4

岩 石	矿 物 組 合	
	造 岩 矿 物	金屬矿物及其它金属矿物
基 性 岩	橄欖石、輝石、頑火輝石、古銅輝石、紫蘇輝 石、斜长石、角閃石	鉻鉄矿、鉑、鎳黃鉄矿、磁黄鉄矿、砷鉑矿、 黄銅矿、金剛石
碱 性 岩	霞石、碱性长石、輝石、角閃石、黑云母、榍 石、磷灰石、螢石	鈦鉄矿、鈦鉄金紅石、磁鉄矿
酸 性 岩	石英、长石、正长石、鉀微斜长石、鈉长石、酸 性斜长岩、白云母、黑云母、普通角閃石	金、錫石、黑錫矿、輝鉑矿

分相对增多，岩浆的蒸汽压也随之增高；但此时温度却因岩浆的继续上升而下降；因而，岩浆处于中温高压的状态。又由于挥发分的影响，使岩浆的流动性增加，给分散在岩浆中的元素的集中创造了有利条件。同时，挥发分的存在也降低了矿物的结晶温度；因此，也就促进了矿物的结晶作用，延长了矿物的结晶时间，使结晶出的矿物能形成巨大的晶体。

通常，伟晶岩是发生于岩浆体的上面部份。根据费尔斯曼的意见，伟晶岩中矿物的主要部份是在温度700°至350°C之間结晶出来的。他并且认为可以把这一结晶过程分为十个各别的阶段——地质相（表1-5）。

由于伟晶岩的形成是在岩浆结晶的晚期，此时，暗色基性矿物多早已结晶出去。所以，它们主要是酸性的花岗岩质岩石或硷性岩石。它们的典型矿物組合如表1-6所示。

三、气化热液结晶阶段

在伟晶结晶阶段的后期，挥发分不断地相对增多，使蒸汽压不断增高直至超过上部

伟晶岩作用的划分阶段

表 1-5

地质相名称	温 度	可作为特征的矿物	特 点
B	800~700°C	石榴石, 磁铁矿	长英结构
O	700~600°C	石英, 长石	文象结构
D-E	600~500°C	黑电气石, 白云母, 绿柱石, 黄玉, 烟水晶, 长石	标准伟晶岩结构
F-G	500~400°C	绿云母, 钠长石, 锂的矿物, 红电气石	具有早期形成矿物的交代特征
H-J-K	400~50°C	绿云母, 似绢云母, 绿云母, 硫化物, 碳酸盐, 沸石	热液具有重大意义
L	50~0°C	粘土产物, 次生方解石, 玉髓	

伟晶岩的标准矿物

表 1-6

岩石类型	矿 物
花岗岩质的岩石	石英, 正长石, 钾微斜长石, 白云母, 黄玉, 绿柱石, 硅铍石, 钠长石, 电气石, 锂云母, 锂辉石, 磷锂矿, 钨铁矿, 钼铁矿, 钨钼矿, 透辉石, 独居石, 褐帘石, 锆石, 磷灰石, 萤石, 冰晶石, 金红石, 石榴石, 磁铁矿
硷性岩石	钙霞石, 方钠石, 黑云母, 铁锂云母, 角闪石, 磷灰石, 锆石, 臭性石, 榍石, 钛铁矿, 黄绿石, 钛铁金红石, 易解石

顶岩的静压力时, 挥发分就不能再被保持在残余岩浆中, 而将形成气体, 沿着裂隙侵入到周围岩石中去。此时, 温度和压力都有了降低, 因此其环境是中温中压的。

由于在岩浆中挥发分易与各种重金属元素形成化合物(如 FeCl_2 , SnF_4 等), 这些化合物也是具有挥发性的。因此, 在挥发分沿裂隙上升时, 因温度的降低或因与周围岩石发生化学反应, 就能把它所夹带的金属元素沉淀下来形成矿物。这是所谓气化变质和接触交代作用。

在气化成矿阶段形成的矿物主要是各种钙镁硅酸盐类, 即所谓硅酸盐矿物。重要的含矿硅酸盐的矿物组合, 如表1-7所示。

在气化成矿作用的稍晚时期, 由于温度继续不断地下降, 大量的挥发分即将转变为液体(特别是 H_2O); 使残余岩浆成为含有各种金属氧化物和硫化物, SiO_2 以及部份挥发分的热溶液。此时, 即进入热液结晶阶段。它们的物理化学条件是低温低压。由于热液在继续上升活动的过程中, 温度、压力、浓度等的变化, 或与围岩发生化学反应, 即使某些金属矿物沉淀析出。

根据温度、压力变化情况的不同, 可以把热液成矿作用再分为三个小的阶段:

1. 高温热液阶段: 矿物结晶温度为 $350^\circ\sim 600^\circ\text{C}$ 。主要形成金属氧化物及部份含挥发分的矿物。

含矿硅质岩中最普遍的矿物共生组合 (根据B.D. 卡尔波娃
和A.Г. 伊瓦谢佐夫)

表 1—7

矿 化 类 型	矿 物 共 生 组 合					
	非 金 属 矿 物			金 属 矿 物		
	主 要 的	伴 生 的		主 要 的	伴 生 的	
铁 矿 化	石榴石透辉石	綠 帘 石		磁 鉄 矿	赤鉄矿、黄鉄矿、黄銅矿	
		角閃石、綠泥石、方解石			閃鋅矿、方鉛矿、磁黄鉄矿	
		角閃石、石英			輝鈷矿、黄鉄矿、黄銅矿	
		螢石、石英、綠泥石			日光榴石、閃鋅矿	
		石 英			白 鎢 矿	
鎢 矿 化	石 榴 石	石 英、符 山 石		白 鎢 矿		
	透 輝 石	石 英、綠 帘 石				
	石 榴 石	石 英、	金 云 母		輝 鉬 矿	黄鉄矿、磁黄
	透 輝 石	斜 长 石	螢 石		錫 石	鉄矿、黄銅矿、閃
			碳 酸 盐		金	鋅矿、輝鉬矿
銅 矿 化	石榴石、透輝石	綠帘石、綠泥石		黄 銅 矿	黄鉄矿、磁鉄矿	
		石英、方解石			黄鉄矿、磁鉄矿、閃鋅矿	
					黄鉄矿、閃鋅矿、白鎢矿、	
鉛-鋅 矿 化	石榴石、透輝石	石英、綠泥石	蔷薇輝石、 鈣蔷薇輝石	閃鋅矿、方鉛矿	磁鉄矿、磁黄鉄矿	
		方 解 石	綠 帘 石			
	透 輝 石	斧 石、黑 柱 石			黄鉄矿、黄銅矿	

2. 中温热液阶段：矿物结晶温度为 $200^{\circ}\sim 350^{\circ}\text{C}$ 。主要形成各种金属硫化物。

3. 低温热液阶段：矿物结晶温度为 $50^{\circ}\sim 200^{\circ}\text{C}$ 。形成Sb、Hg、As等的硫化物及非晶质 SiO_2 等。

热液形成物的性质决定于温度和压力，由于各种原故，热液作用的元素可以分为相当于一定热力条件的群。费尔斯曼把热液作用的元素，从温度 $600^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{C}$ 划分为五个群：

I——带有元素Li、K、Mo、Sn、[W]、Bi、 $[\text{SiO}_4]^{-4}$ 、 $[\text{PO}_4]^{-3}$ 的锡-钨-钼群；这群是在气化条件下形成的；

II——带有元素[W]、As、Au、Fe、Zn、 $[\text{SiO}_4]^{-4}$ 、 $[\text{CO}_3]^{-2}$ 的金群；

III及IV——带有元素Cu、Zn、Pb、As、Sb、 $[\text{CO}_3]^{-2}$ 、 $[\text{SO}_4]^{-2}$ 、P、Ag、Au、CO、Ni、 $[\text{As}_2\text{S}_4]^{-2}$ 、 $[\text{Sb}_2\text{S}_4]^{-2}$ 的多硫化物群；

V——带有元素Y、Sb、As、Hg、F的低温群。

热液形成体中五个群的矿物成分，如表1—8所示。

从表1—8可见：在热液成矿作用下，可产生贵金属和有色金属以及部分稀有金属

热液形成体的矿物成分

表 1—8

顺序号	矿物群	矿物
I	锡-钨-钼矿脉	锡石、白钨矿、輝钼矿、輝铋矿、自然铋、毒砂、黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、閃鋅矿、黄锡矿、方铅矿、电气石、綠柱石、白云母、鉄鋲云母、黄玉、螢石、鉄白云石、方解石
II	合金矿脉	黄铁矿、黄铜矿、黝铜矿、方铅矿、自然金、輝銀矿、白銀矿、毒砂、淡紅銀矿、輝銀矿、重晶石、石英
III	黄铁矿类矿脉	黄铁矿、毒砂、磁黄铁矿、黄铜矿、閃鋅矿、方铅矿、斑銅矿、黝铜矿、石英、重晶石、方解石
IV	砷-钴-镍矿脉	輝砷矿、砷钴矿、紅銀矿、輝砷镍矿、砷镍矿、深紅銀矿、淡紅銀矿、輝銀矿、黝铜矿、惡青銅矿、自然砷、自然钴、石英、重晶石、方解石、鉄白云石
V	铈-汞矿脉	輝銀矿、辰砂、白铁矿、重晶石、石英、玉髓、螢石

(Sn、W、Ni、U、Ra) 和鉄的矿床。而石英、玉髓、蛋白石、螢石、菱鉄矿、冰洲石、重晶石、滑石、石棉等的矿床，也是热液形成所特有的。

§ 4 外生成矿作用

在外生成矿作用的过程中，破坏阶段可分为风化和剝蚀两个阶段。后者是各种地质营力所引起的破坏作用，它們一般均与搬运、沉积作用相伴发生，是彼此紧密联系着的几个阶段。所以，对于外生成矿作用中矿物的形成，可以从风化成矿作用和沉积成矿作用（与剝蚀和搬运相应发生）两个方面来加以研究：

一 风化成矿作用

岩石暴露在地面和大气、水以及生物直接接触，在它們的联合影响下，使岩石发生了破坏、崩裂和分解，也就是使岩石在物理状态或化学性质上发生了变化，这种变化就叫做风化作用，它們一般是在原地发生的。

产生风化作用的因素是很复杂的，风化作用进行的形式也是多种多样的。根据其发生因素和进行形式的不同，可以把风化作用分为物理风化作用、化学风化作用和生物风化作用。但生物风化作用是因生物的影响而产生的，它所进行的方式仍不外物理风化和化学风化两种。因此，风化作用的基本类型就可分为物理风化作用和化学风化作用两类。

1. 物理风化作用

若岩石在风化过程中，只发生物理状态的改变，而不改变其化学成分和性质，这样的风化就叫做物理风化作用。因为它是机械力作用的结果，所以也叫机械风化作用。

发生物理风化的因素很多，其中最主要的是地面的温度变化的直接和間接的影响。

地球表面的温度，其热力来源是太阳的輻射热。由于地球的自轉和公轉，在地表某一部份所接受到的热量在一昼夜和一年中就发生了周期性的变化；这也就引起了地面温度的昼夜变化和四季变化。

地球表面温度的变化能促使地面的岩石发生膨胀和收缩。由于岩石是不良导体,所接受的热量由表面向内部逐渐减少。因此,在膨胀和收缩的过程中,岩石表面的膨胀和收缩程度就比岩石内部为大,这就使岩石内外层不相协调;在反复膨胀和收缩后,就会使岩石内外层互相脱离,一层层地剥落下来,因而就使岩石发生了破坏。

此外,由于组成岩石的各种矿物的膨胀系数不同,因此在膨胀和收缩过程中,也会发生矿物颗粒间的不相协调,而使它们彼此分离。这样就会使岩石从整块逐渐变成碎片,最后变成砾石和砂土。

在物理风化的过程中,那些比重大而化学性稳定的矿物,主要是在重力的影响下,就能发生集中,形成有工业价值的矿石堆积。即所谓残积砂矿,其组成矿物可以有石英、云母、石榴石、金红石、锆金、自然金、辰砂、铂、磁铁矿、钛铁矿、铬铁矿、金刚石、独居石、磷钨矿、电气石、锡石、黑钨矿、白钨矿、尖晶石、刚玉等。

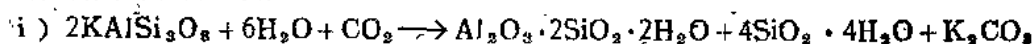
2. 化学风化作用

化学风化作用是岩石受大气和水中各种化学物质的影响而起的化学反应。它们主要表现为氧化、碳酸化、水化和溶解作用。其结果是改变了岩石中的矿物组成,因而使岩石发生破坏。

由化学风化作用形成的矿物基本上可以分为二种情况:

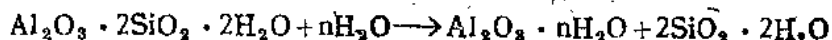
1) 主要为硅酸盐或氧化物组成岩石的化学风化:

这类岩石经化学风化的结果,能使Fe、Al、Ni、Co等元素产生集中,形成氧化物或氢氧化物类的矿物。例如:

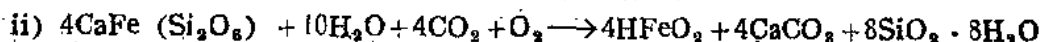


正长石 (碳酸化作用) 高岭土 蛋白石

高岭土再继续风化就变成铝矾土——一种重要的铝矿石:



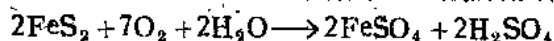
高岭土 铝土矿



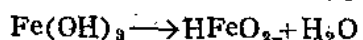
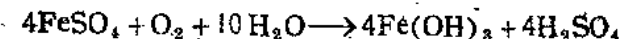
辉石 褐铁矿 方解石 蛋白石

2) 硫化物矿脉的化学风化

硫化矿物受化学风化后,将发生一系列复杂的变化。在接近地表的所谓氧化带中,主要是发生氧化作用;其结果主要是使铁发生集中,形成所谓铁帽的褐铁矿。例如:

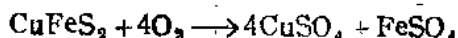


黄铁矿

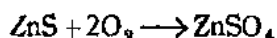


褐铁矿

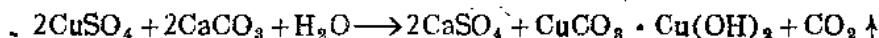
对于那些所谓亲铜元素(Cu、Pb、Zn等)的金属矿物则常常是被氧化形成易溶的硫酸盐。例如:



黄铜矿

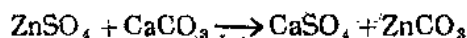


这些硫酸盐类的溶液，如果遇到脉石或围岩中的方解石（ CaCO_3 ），便会发生化学反应，形成了金属的碳酸盐类矿物，这叫做氧化富集作用。例如：



方解石

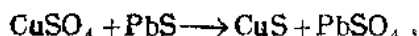
孔雀石



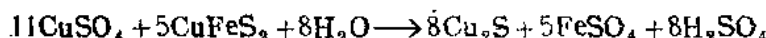
方解石

菱锌矿

如果这些硫酸盐类被地下水溶解而带至地壳较深处的所谓还原带，又将与原生硫化矿物发生反应，形成次生的硫化物矿物沉淀出来。例如：



方铅矿 铜蓝



黄铜矿

辉铜矿

综合以上所述，我们可以知道，化学风化的结果主要是形成了Fe、Al、Mn、Co、等金属的氧化物或氢氧化物，亲铜元素的碳酸盐类矿物及次生富集硫化物矿物。

二、沉积成矿作用

地面上的流水（河流、湖泊等）、海洋、地下水等地质营力，当其在地球中循环、运动时，就能通过冲刷、溶解等作用，破坏着地面的岩石；并且能把破坏的产物以及风化作用的产物，夹带着与之一同运动，也就是发生了搬运作用；在搬运过程中，由于物理状态和化学条件的变化，就能把所夹带的物质沉积和沉淀下来，形成新的矿物。按沉积物生成的方式不同，可以分为三种：

1. 机械沉积作用

主要是河流在搬运过程中，由于流速的降低（在河流拐弯时，河床变宽、变缓时等均能发生），就使那些比重较大的物质，下沉集中起来，形成所谓冲积砂矿。它们和残积砂矿一样，也主要是那些化学性稳定、硬度大、比重大的矿物，如金、锡石、黑钨矿、独居石、钛铁矿、锆英石等等。

2. 化学沉积作用

化学沉积作用包括真溶液结晶作用和胶体沉淀作用。前者主要是在搬运中受到蒸发，因而使溶液浓度增高，当其中某些组成元素达到饱和度时，即能结晶形成固体矿物。主要的是各种可溶性盐类，如岩盐、石膏、光卤石、芒硝等。胶体沉淀作用是在风化和剥蚀过程中形成的胶体溶液，经过搬运，由于蒸发浓缩，或电解质的加入（河流入海时能产生这种结果），就破坏了溶液的胶体状态，使质点凝聚形成固体矿物。它们和化学风化相似，主要是Al、Fe、Mn等元素的氧化物和氢氧化物，有时成碳酸盐。如赤铁矿、软锰矿、硬锰矿、铝土矿、菱铁矿、菱锰矿、菱镁矿等；有时也有Cu、Fe等金属的硫化物，如黄铜矿、黄铁矿等。

3. 生物化学沉积作用

主要是由于生物的活动而使某些元素得以集中，形成矿物。它们有磷灰石、煤和石油等可燃性有机岩，硅藻土、沼铁矿等。

§5 变质成矿作用

变质成矿作用主要是由于地壳中的物理化学条件（温度、压力及物质成分）发生了重大变化，使既成岩石和矿物在成分和结构、构造方面发生了复杂的变化，形成新的变质岩石和矿物。

根据发生变质作用的因素的不同，可以把变质成矿作用分为下列两个基本类型：

一、接触变质作用

在接触变质作用下，有用矿物的产生，主要是受岩浆侵入时，热力的影响作用而形成的。它们主要是一些非金属矿物，例如含 SiO_2 的大理岩（ CaCO_3 组成），经热力变质后形成新的矿物——硅灰石（ CaSiO_3 ）；煤经热力变质后形成石墨等等。

二、区域变质作用

区域变质作用的发生是区域性的。主要是在高温高压的条件下，使既成岩石发生再结晶作用和交代作用。或由定向压力的作用的结果，造成一向或两向延长的矿物定向排列成条带状及片状等。这种作用也主要是形成一些非金属矿物，如蓝晶石、绿泥石、红柱石等，组成结晶片岩。在结晶片岩中，也常可见到磁铁矿和镜铁矿的矿层，有时能够成巨大的铁矿，如东北的鞍山铁矿。

第二章 矿物 概 論

§1. 矿物的化学性质

一、矿物的化学成分及化学式：

矿物是元素在地壳中经天然化学反应而形成的产物。矿物除少数是自然元素外，绝大多数是自然化合物。它们可分为下列几种类型：

1. 成分固定的化合物 有简单化合物和复化合物（如复盐）它们严格遵守成分不变定律，定比定律和倍比定律。它们的成分可用一般化学上通用的实验式或结构式表示出。

2. 成分可变的化合物 它们的组成是不固定的，而是在一个或窄或宽的范围內变动着，同时这种组成的变化不能以某种外来物质的机械混入来解释，它们是由于该化合物组成成分的有限溶解性所致，这种混入物一般不在矿物的化学式中表示出来。

3. 类质同象化合物 两种成分类似，构造相同的化合物其组成的元素可以互相替换，而不改变其构造。这种替换的结果，可以形成一个成分递变的连续系列，这就是类质同象混合物。其化学式的表示方法是：将互相替换的两种离子并排写出，含量较多的离子放在前，含量少的放在后，两者之间加上逗点，然后一起用圆括号括起。例如 $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$ 。若是异价离子替换时，可以写出两种成分的化学式，而前面冠以 m 和 $(100-m)$ 中间加一个圆点。例如 $m\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8] \cdot (100-m)\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$ 。