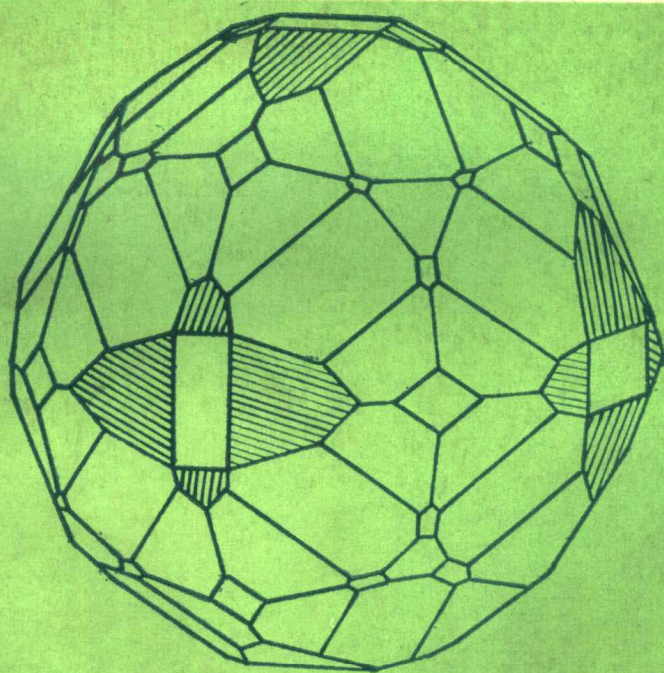


结晶学及矿物学

下 册

潘兆橧 主编



地质出版社

高等学校教材

结晶学及矿物学

下册

武汉地质学院 潘兆橹 主编

地质出版社

※ ※ ※
本书由戈定一主审，经地质矿产部矿物学教材编审委员会于1982年12月召开的第三次全体会议审稿，同意作为高等学校教材出版。

※ ※ ※

高等学校教材

结晶学及矿物学

下 册

武汉地质学院 潘兆樵 主编

责任编辑 杨洪钧

地质出版社出版

(北京西四)

河北蔚县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本：787×1092¹/₁₆，印张：17⁵/₈，字数：411,000

1985年5月北京第一版·1985年5月北京第一次印刷

印数：1—18,185册 定价：3.30元

统一书号：13038·教204

目 录

第二部分 矿 物 学

第二篇 矿 物 各 论

第七章 矿物的分类及命名	i
一、矿物的分类	1
二、矿物的命名	2
第八章 第一大类 自然元素	4
第一类 自然金属元素	5
铜族：自然金，自然铜	5
铂族	8
自然铂亚族：自然铂	9
自然钨亚族：自然钨	10
第二类 自然半金属元素	10
铋族：自然铋	10
第三类 自然非金属元素	11
硫族：自然硫	11
金刚石族：金刚石	13
石墨族：石墨	15
第九章 第二大类 硫化物及其类似化合物	18
第一类 简单硫化物	21
辉铜矿族：辉铜矿	21
辉银矿族：辉银矿	22
方铅矿族：方铅矿	23
闪锌矿族	24
闪锌矿亚族：闪锌矿	24
纤维锌矿亚族：纤维锌矿，硫镉矿	25
辰砂族：辰砂	27
黄铜矿族	28
黄铜矿亚族：黄铜矿	28
黝锡矿亚族：黝锡矿	29
斑铜矿族：斑铜矿	30
磁黄铁矿族：红砷镍矿，磁黄铁矿	30
镍黄铁矿族：镍黄铁矿	33
辉锑矿族：辉锑矿，辉铋矿	34

铜蓝族: 铜蓝	36
雌黄族: 雌黄	37
雄黄族: 雄黄	38
辉钼矿族: 辉钼矿	38
第二类 复硫化物	40
黄铁矿—白铁矿族	40
黄铁矿亚族: 黄铁矿	40
白铁矿亚族: 白铁矿	42
辉砷钴矿—毒砂族	43
辉砷钴矿亚族: 辉砷钴矿	43
毒砂亚族: 毒砂	44
第三类 硫盐	45
铜的硫盐	45
黝铜矿族: 黝铜矿—砷黝铜矿	45
银的硫盐	47
硫砷银矿族: 硫砷银矿, 硫锑银矿	47
铅的硫盐	48
脆硫锑铅矿族: 脆硫锑铅矿	48
斜硫锑铅矿族: 斜硫锑铅矿	49
第十章 第三大类 氧化物和氢氧化物	50
第一类 氧化物	50
赤铜矿族: 赤铜矿	52
刚玉族: 刚玉, 钛铁矿, 赤铁矿	53
金红石族: 金红石, 锐钛矿, 板钛矿, 锡石, 软锰矿	57
晶质铀矿族: 晶质铀矿, 方钍石	63
石英族: α -石英, β -石英, β -鳞石英, α -鳞石英, β -方石英, α -方石英, 蛋白石	65
尖晶石族: 尖晶石, 铬铁矿, 磁铁矿	73
铌钽铁矿族: 铌铁矿—钽铁矿	78
易解石族: 易解石	80
黑稀金矿族: 黑稀金矿, 复稀金矿	81
烧绿石族: 烧绿石, 细晶石	83
褐钇铈矿族: 褐钇铈矿, 黄钇钽矿	84
赭石: 神华, 黄锑华, 锑华, 铋华, 钼华, 钨华, 铅黄, 块黑铅矿	86
第二类 氢氧化物	89
镁的氢氧化物	90
水镁石	90
铝的氢氧化物	91
硬水铝石, 一水软铝矿, 三水铝石	92
铁的氢氧化物	94
针铁矿, 纤铁矿	95
锰的氢氧化物	97
水锰矿, 硬锰矿	97

第十一章 第四大类 含氧盐 (一)	98
第一类 硅酸盐	99
概述	99
一、晶体化学特点	99
1. 化学成分	99
2. 硅氧骨干	99
3. 铝的作用	103
4. Si—O键的性质	104
5. Si—O—Si键角	105
6. 离子堆积	105
7. 阳离子配位	105
8. 类质同象	106
9. 附加阴离子	107
10. 硅酸盐中的“水”	107
二、形态与物理性质	108
三、成因及产状	109
四、亚类的划分	109
第一亚类 岛状结构硅酸盐	109
锆石族: 锆石	109
橄榄石族: 橄榄石	111
石榴子石族	113
硅镁石族: 粒硅镁石	117
红柱石族: 红柱石, 蓝晶石	117
黄玉族: 黄玉	120
十字石族: 十字石	121
榍石族: 榍石	122
异极矿族: 异极矿	123
符山石族: 符山石	124
绿帘石族: 黝帘石, 绿帘石, 褐帘石	125
绿柱石族: 绿柱石, 堇青石	129
电气石族: 电气石	131
第二亚类 链状结构硅酸盐	133
辉石族	133
斜方辉石亚族: 顽火辉石, 紫苏辉石	137
单斜辉石亚族: 透辉石—钙铁辉石, 普通辉石, 硬玉, 霓石—霓辉石, 锂辉石	139
硅灰石族: 硅灰石	147
蔷薇辉石族: 蔷薇辉石	148
角闪石族	149
斜方角闪石亚族: 直闪石	153
单斜角闪石亚族: 透闪石, 阳起石, 普通角闪石, 蓝闪石, 钠铁闪石	154
角闪石族石棉	157
辉石族和角闪石族矿物对比	158

夕线石族: 夕线石	159
第三亚类 层状结构硅酸盐	160
滑石族: 滑石, 叶蜡石	161
云母族	163
白云母亚族: 白云母	166
黑云母亚族: 黑云母, 金云母, 锂云母, 铁锂云母	168
伊利石族: 伊利石	170
蛭石族: 蛭石, 海绿石	171
绿泥石族	172
高岭石族: 高岭石	173
蛇纹石族: 蛇纹石	175
多水高岭石族: 多水高岭石	176
蒙脱石族: 蒙脱石, 绿高岭石	177
葡萄石族: 葡萄石	178
第四亚类 架状结构硅酸盐	179
长石族	180
钾钠长石亚族: 透长石, 正长石, 微斜长石	183
斜长石亚族: 斜长石	188
似长石	192
霞石族: 霞石	192
白榴石族: 白榴石, 钬榴石	193
方钠石族: 方钠石, 黝方石	195
钙霞石族: 钙霞石	196
日光榴石族: 日光榴石, 香花石	197
方柱石族: 方柱石	198
沸石族: 钠沸石, 钙沸石, 片沸石, 方沸石, 菱沸石, 丝光沸石	200
第十二章 第四大类 含氧盐 (二)	207
第二类 硼酸盐	207
含水硼酸盐	208
硼砂, 钠硼解石	208
无水硼酸盐	210
硼镁石, 硼镁铁矿, 方硼石	210
第三类 磷酸盐、砷酸盐、钒酸盐	212
独居石族: 独居石	212
磷灰石族: 磷灰石, 磷氯铅矿, 砷铅矿, 钒铅矿	213
磷铝石族: 磷铝石	216
臭葱石族: 臭葱石	216
绿松石族: 绿松石	217
蓝铁矿族: 蓝铁矿, 钴华, 镍华	218
铀云母族: 铜铀云母, 钙铀云母, 翠砷铜铀矿, 变翠砷铜铀矿, 钒钙铀矿, 钒钾铀矿	219
第四类 钨酸盐、钼酸盐	222
钨锰铁矿 (黑钨矿) 族: 钨锰铁矿	222

白钨矿族：白钨矿	224
钼铅矿族：钼铅矿	225
第五类 硫酸盐	226
重晶石族：重晶石，天青石，铅矾	227
石膏与硬石膏族：石膏，硬石膏	229
芒硝族：芒硝，无水芒硝，泻利盐	231
明矾石族：明矾石，黄钾铁矾	233
胆矾族：胆矾，水绿矾	234
第六类 碳酸盐	235
方解石族：方解石，菱镁矿，菱铁矿，菱锰矿，菱锌矿，白云石	238
文石族：文石，碳酸锶矿，碳酸钡矿，白铅矿，钡解石	246
孔雀石族：孔雀石，蓝铜矿	251
氟碳铈矿族：氟碳铈矿	253
第七类 硝酸盐	254
钠硝石族：钠硝石	255
第十三章 第五大类 卤化物	255
氟化物类	256
萤石族：萤石	257
氟镁石族：氟镁石	258
氯化物、溴化物、碘化物类	259
石盐族：石盐，钾盐	260
光卤石族：光卤石	261

第三篇 矿物的共生组合

第十四章 各种地质作用中的矿物共生组合	263
一、内力作用的矿物共生组合	263
二、外力作用的矿物共生组合	267
三、变质作用的矿物共生组合	270
主要参考书	273

第二篇 矿物各论

第七章 矿物的分类及命名

一、矿物的分类

为了系统、全面地研究矿物，为了从矿物的本质及各种矿物的相互关系中寻找全面的系统的规律，就必须对矿物进行科学分类。

矿物的分类方法很多。早期，曾采用单纯以化学成分为依据的化学成分分类。近年来，又有人提出以元素的地球化学特征为依据的地球化学分类和以矿物成因为依据的成因分类等。但目前矿物学中所广泛采用的是以矿物的成分、结构为依据的晶体化学分类。矿物的本质是成分和结构的统一。它们决定了矿物本身的性质，并与一定的生成条件有关，在一定程度上也反映了自然界元素结合的规律。因此，这是一种比较合理的分类方法。

本书采用按晶体化学原则所作的分类，分类体系如表7-1。

表7-1 矿物的晶体化学分类体系

类 别	划 分 依 据	举 例
大 类	1. 化合物类型, 2. 化学键	含氧盐大类
类	阴离子或络阴离子种类	硅酸盐类
(亚类)	络阴离子结构	层状结构硅酸盐亚类
族	晶体结构型和阳离子性质	云母族
(亚族)	阳离子种类	白云母亚族
种	一定的晶体结构和一定的化学成分	白云母 $\text{KA}1_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2$
(亚种)	在完全类质同象系列中, 根据其所含端元组份的比例划分	
(异种) 或 (变种)	晶体结构相同, 成分或物性稍异	含铁白云母 $\text{K}(\text{Al}, \text{Fe})_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2$

矿物分类的基本单位是种。所谓“种”，应当把它理解为具有一定的晶体结构和一定的化学成分的独立单位。这里所谓的“一定”也是有相对意义的，由于类质同象的代换，它们可以在一定的范围内产生变化。

对于连续类质同象系列，通常可根据端元组份所占的不同比例而划分为几个矿物种或亚种。如橄榄石的类质同象系列可分为镁橄榄石 $\text{Mg}_2[\text{SiO}_4]$ —橄榄石 $(\text{Mg}, \text{Fe})_2[\text{SiO}_4]$ —

铁橄榄石 $\text{Fe}_2[\text{SiO}_4]$ 三个矿物种,不同作者对某些系列的划分方法也可能有所不同,也有的作者把一个连续类质同象系列视为一个种,其下再进一步划分亚种。但根据国际及我国新矿物及矿物命名委员会的规定,在类质同象系列中,只有端员矿物才能独立命名,而中间成分称变种。

对于同质多象的各个变体,虽然它们的化学成分相同,但晶体结构不同,性质各异,因此它们各自应被视为独立的矿物种。

变种(异种)的晶体结构相同,但成分或物性稍异,划分的标志如下:

(1) 成分稍异 如黄铁矿(FeS_2)中,含有一定量的Co,而形成异种钴黄铁矿(Fe,CoS_2)。

(2) 物性稍异 如水晶一般无色透明,而其异种紫水晶具有特征的紫色。

对于多型的不同变体,由于它们成分相同,在结构和性质上的差异也很小,一般仍把它们视为是属于同一个矿物种。

根据上述分类原则,本书对矿物采用如下的具体分类:

第一大类 自然元素

第一类 自然金属元素

第二类 自然半金属元素

第三类 自然非金属元素

第二大类 硫化物及其类似化合物

第一类 简单硫化物

第二类 复硫化物

第三类 硫盐

第三大类 氧化物和氢氧化物

第一类 氧化物

第二类 氢氧化物

第四大类 含氧盐

第一类 硅酸盐

第二类 硼酸盐

第三类 磷酸盐、砷酸盐、钒酸盐

第四类 钨酸盐、钼酸盐

第五类 铬酸盐

第六类 硫酸盐

第七类 碳酸盐

第八类 硝酸盐

第五大类 卤化物

以上皆为无机矿物,本书内未列入有机矿物。

二、矿物的命名

每一种矿物都有它自己固定的名称。矿物命名有各种不同的依据,有的是根据矿物本

身的特征，如化学成分、形态、物理性质等命名的，有的是以发现该矿物的地点或人的名字来命名的。但以矿物特征命名的为多，这有助于熟悉该矿物的成分和性质。现举例说明如下表(表7-2)。

表 7-2

矿 物 命 名 举 例

命 名 依 据	举 例
成 分	钨锰铁矿 (Mn, Fe) WO_4 ，银金矿 (Au, Ag)
性 质	重晶石 (比重大)，方解石 (具菱面体解理)，孔雀石 (孔雀绿色)，天青石 (天青色)，蛇纹石 (颜色斑驳如蛇皮)
成分及性质	赤铜矿 (Cu_2O 、红色)，黄铜矿 (CuFeS_2 、铜黄色)，辉锑矿 (Sb_2S_3 、金属光泽)，方铅矿 (PbS 、立方体晶形及解理)，磁铁矿 (Fe_3O_4 、具强磁性)
形 态	石榴子石 (四角三八面体或菱形十二面体状似石榴子)，十字石 (双晶呈十字形)
形态及物性	红柱石 (红色、柱状晶体)，绿柱石 (绿色、柱状晶体)
地 名	香花石 (发现于我国香花岭)，高岭石 (我国江西高岭地方产者最著名)
人 名	章氏硼镁石 (英文名Hungchsaoite可译为鸿钊石) (为纪念我国地质学家章鸿钊而命名)

在矿物命名方面，我国有着悠久的历史。如水晶、雄黄等名称，在二千多年前的古籍《山海经》中就有记载，这些矿物名称至今仍在沿用。

我国习惯上对于呈现金属光泽的或者是可以从中提炼金属的矿物，往往称之为 $\times\times$ 矿，如黄铜矿、方铅矿等；对于非金属光泽的矿物，往往称之为 $\times\times$ 石，如方解石、重晶石等；对于宝石类矿物，常称之为 $\times$ 玉，如刚玉、软玉；对于地表次生矿物，常称之为 $\times$ 华，如钴华、钨华等。

我国现用矿物种名称，除沿用我国所固有的名称或为我国所发现的矿物由我国命名者外，还有很多系根据外文名称翻译而来，中译名大多是根据矿物的成分，间或考虑一些形态、物性特点来定名的；也有的系采用音译，其中包括一些以地名命名的矿物。现在世界上已知矿物已达三千余种，种类繁多，成分错综复杂，但目前译名尚无统一的原则，这有时就会造成一些混淆。有鉴于此，我国新矿物及矿物命名委员会已于一九八一年末提出了矿物名称修正表草案，着手对矿物名称进行整理和修正。

随着矿物研究手段的改进，新矿物种的发现逐年增多。据统计，若以20年为一个计算单位，则新矿物的发现，在1800—1819年为87种，1820—1919年为185种，1920—1939年为256种，1940—1959年为347种；而1960—1973年的13年间竟发现了575种新矿物；1973年后平均每年发现的新矿物约为40—50种。新中国成立以后，随着我国地质事业的发展 and 矿物学研究的深入，从1957—1981年我国发现的新矿物已近40种，特别是近年来，我国新矿物的发现逐渐增多，这一研究领域正在获得迅速的发展。

第八章 第一大类 自然元素

本类矿物为自然元素单质矿物，目前已知的自然元素矿物约有40种。单质类矿物约占地壳重量的0.1%。分布极不均匀，其中有些可富集成具有工业意义的矿床，象自然铜、自然金、自然铂、金刚石、石墨、自然硫等。

组成单质矿物的元素见表8-1，其中有：

金属元素：主要为铂族元素Ru、Rh、Pd、Os、Ir、Pt和Cu、Ag、Au，而其它Fe、Co、Ni则处于极次要地位。这些元素所构成的矿物具有典型的金属键；大多数矿物的原子呈最紧密堆积，故结构型较为简单，对称性较高。其中多数为立方最紧密堆积，具立方面心格子的铜型结构，象自然铜、自然金、自然铂、自然钯等。少数为六方最紧密堆积，具六方格子，象自然钼等。此类矿物在成分上类质同象现象较为广泛，在形态上具等轴粒状和六方板状特点；在物性上，具有典型的金属特性，如不透明，金属光泽，硬度低，比重较大，延展性强，为热和电的良导体等。

半金属元素：即As、Sb、Bi。它们构成的矿物具有歪曲了的NaCl型晶胞，形成略显层状的菱面体晶格，层内为共价键—金属键，具{0001}解理。As、Sb、Bi的化学性质虽有某些相同点，但其金属性依次递增，原子量依次增大，故使它们构成的矿物，金属性亦随之增强，比重增大。

非金属元素：主要是C和S。C有两个同质多象变体，一为金刚石，一为石墨。前者为纯共价键的典型例子，因而硬度特大，光泽强，比重大，不导电，难导热。石墨为层状结构，层内具共价键—金属键，层间为分子键，由于层间连接力弱，故在物性上具明显的异向性，产生{ 0001 }极完全解理。S在自然界有三个同质多象变体，最常见的是自然硫(α -硫)，它由8个S原子以共价键连接成 S_8 环状分子，环分子间为分子键连结，所以它的硬度低，熔点低，导电导热性也差。

表 8-1

自然元素在周期表的位置

[illegible]

在成因上自然元素矿物是很不相同的。铂族矿物大多数与超基性岩、铜镍硫化物矿床和铬铁矿型铂矿床有关。而铜、银、金矿物多属热液成因，其中自然铜常见于硫化矿床氧化带。金刚石在成因上与超基性岩关系密切。而石墨和自然硫的成因类型是多样的。

本大类矿物可分为自然金属、自然半金属、自然非金属元素矿物三类。

第一类 自然金属元素

化学组成：包括铂族元素(Ru、Rh、Pd、Os、Ir、Pt)及部分铜族元素(Cu、Ag、Au)。由于这些元素的类型相同而半径有不同程度的差别，所以它们之间有的可呈连续类质同象(如Au—Ag)，有的则呈不连续类质同象(如Au—Cu，Ag—Cu)。

晶体化学特点和相应的物理性质：由于等大质点作立方或六方最紧密排列，一般来说，金属元素矿物的对称程度都是较高的，它们的晶体不属于等轴晶系就属于六方晶系。由于质点一般都是以金属键联结的，金属阳离子间弥漫着运动着的自由电子(即“电子雾”)，所以金属元素矿物一般都不透明，呈金属色(如金黄、铜红、银白、锡白、铁黑、钢灰)，有强的金属光泽，没有好的晶形，解理不发育，硬度低，有延展性，是热和电的良好导体。它们的比重大，乃是这些元素本身的原子量较大所致。这些矿物的化学性是比较稳定的，因此，在原生矿床经风化后，它们常富集成砂矿。

铜 族

自然金 (Gold Золото)

Au

〔化学组成〕纯金极少有，常含类质同象混入物Ag。此外，还可含有Cu、Fe、Pd、Bi、Pt、Ni以及Te、Se、Ir等元素。由于金和银的原子半径和晶体结构类型相同，化学性质近似，故可形成完全类质同象系列，成为自然金—自然银系列的天然产物。含Ag量<5%者称为自然金；5—15%者称含银自然金；15—50%者称银金矿；50—85%者称金银矿；85—95%者称含金自然银；95—100%者则为自然银。另外含铜20%者称铜金矿；含钯5—11%者称钯金矿；含铼4%者称铼金矿。

〔晶体结构〕等轴晶系， $O_h^h - Fm\bar{3}m$ ； $a_0 = 4.078 \text{ \AA}$ ； $Z = 4$ 。原子呈立方最紧密堆积，形成按立方面心排列的铜型结构(图8—3)。

〔形态〕六八面体晶类， $O_h - m\bar{3}m(3L^4 4L^3 6L^2 9PC)$ 。完好晶体少见。常见单形：立方体 $a\{100\}$ ，菱形十二面体 $d\{110\}$ ，八面体 $o\{111\}$ 以及四六面体 $\{210\}$ ，四角三

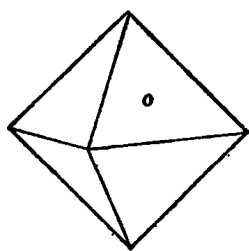


图 8-1 自然金的晶体

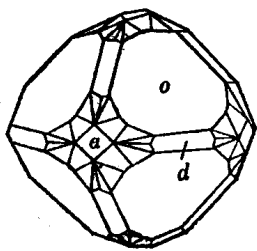


图 8-2 自然金的双晶

八面体 {311} (图8-1)。常依 {111} 成双晶 (图8-2)。可见平行连生晶形。一般多呈不规则粒状、粒度大小不一。还可见到团块状、薄片状、鳞片状、网状、树枝状、纤维状、海棉状集合体。

自然金的晶体形态可有如下的趋向：即一般深部形成的比靠近地表的形态更为简单些，来源于深部的矿石中金晶体形态以八面体、立方体和八面体聚形为主；中等深度者则常见到沿一个 L^4 延伸的菱形十二面体并与八面体和立方体成聚形；在浅部形成的晶体最复杂且在形态上有变化，除常常占优势的菱形十二面体 {110} 和八面体 {111} 外，还有四角三八面体 {311}、四六面体 {210}、三角三八面体 {223} 和其它更复杂的形态。靠近地表结晶的自然金常常呈平行 {111} 的薄片状、树枝状等。在自然金的晶面上，特别是 {111}、{110} 晶面常发育着细微的阶梯状花纹，而不同成因产状的阶梯其高度有所差异。在中等和大的深度形成的矿床中，其阶梯高度可达 0.1mm；而近地表结晶的，其高度差异可从 0.01mm 至 0.1 μ m 或更小。

自然金的颗粒大小不一，大多数呈微粒状或次微粒状（肉眼可见的称为明金，其直径 >0.2 mm；显微镜下可见的称显微金，直径 0.2mm 至 0.5 μ m；显微镜下也看不见的称超显微金或次显微金，其直径 $<0.5\mu$ m），后者需在电子显微镜下才能看见。

〔物理性质〕颜色和条痕均为金黄色（随着 Ag 含量的增加色变浅，银金矿为淡黄至奶黄色）；金属光泽。无解理；硬度 2—3。比重 15.6—18.3，纯金为 19.3。具延展性（一两黄金能抽成七十公里左右长的细丝，能展成只有十万分之一毫米厚的薄片），可压成薄片。有高度导电导热性。

〔成因产状〕自然金在许多地质条件下都可以产生，但最重要的有以下几种：

变质砾岩中的自然金：世界上本类型最大的金矿产地为南非的维特瓦特斯兰德 (Witwatersrand)。该处自然金产在下元古界的变质砾岩中，与沥青铀矿、晶质铀矿、黄铁矿及其它硫化物等一起产出。据研究认为是太古代的含金变质岩和其中含金石英脉风化破碎而形成的砂矿经变质作用而成。目前世界各国都在寻找这种特大金矿床。

古老变质岩中含金石英脉：其特点是自然金与不同数量的硫化物产在石英脉中，这种含金石英脉的围岩（古老变质岩）含金量比一般变质岩的含金量高得多。世界上已经开采的金矿以这种成因产状最多。我国吉林夹皮沟大型金矿也属这种类型。

沉积岩中的浸染型金矿：自然金呈次微粒状与黄铁矿、毒砂等密切共生或单独散布在沉积岩中，主要共生矿物还有重晶石、辰砂、碳酸盐矿物等。

砂金：原生的金矿和含金较多的岩石经过长期的风化、破碎、搬运到适当的地点富集而成砂矿床，共生矿物有石英、磁铁矿、锡石、钛铁矿等。在我国金沙江、黑龙江一带，砂金分布非常广泛。

〔鉴定特征〕金黄色，强金属光泽，比重大，富延展性；在空气中不氧化，化学性质稳定，只溶于王水。

〔用途〕为金的最主要矿石矿物。世界市场以黄金为货币的计算标准，故国库中黄金储备的多少意义很大。此外，黄金广泛用于核反应堆、喷气式飞机、火箭、电子、电气等工业。

自然铜 (Copper Медь)

Cu

〔化学组成〕原生自然铜往往含有少量或微量Fe、Ag、Au、Hg、Bi、Sb、V、Ge (Fe在2.5%以下, Ag往往呈自然银包裹物, Au固溶体可达2—3%)等混入物。次生自然铜较为纯净。

〔晶体结构〕等轴晶系, $O_h^5 - Fm\bar{3}m$, $a_0 = 3.61 \text{ \AA}$, $Z = 4$ 。原子呈立方最紧密堆积, 它们位于立方晶胞的角顶和各个面的中心, 构成按立方面心排列的铜型结构 (图8-3)。

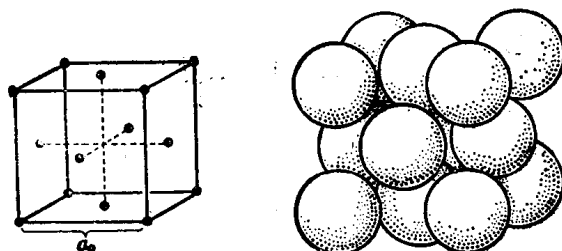


图 8-3 自然铜的晶体结构

〔形态〕六八面体晶类, $O_h - m\bar{3}m (3L^4 4L^3 6L^2 9PC)$ 。完好晶体少见。主要单形: 立方体 $a\{100\}$, 菱形十二面体 $d\{110\}$, 八面体 $o\{111\}$, 亦可有四六面体 $h\{410\}$ (图8-4)。双晶面依 (111) , 简单的接触双晶很普遍, 亦有穿插双晶。集合体常成不规则的树枝状、片状或扭曲的铜丝状、纤维状等。次生的自然铜多呈粗糙的粉末状或在岩石和矿石裂隙中呈片状、细脉状以及致密块状等。

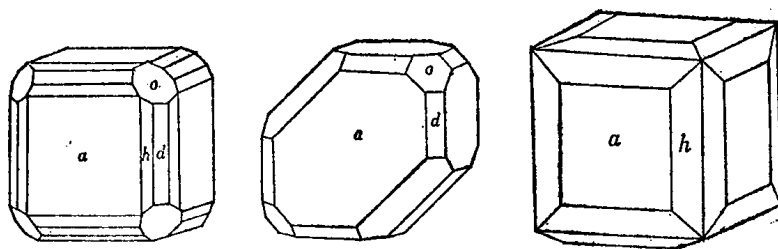
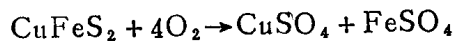


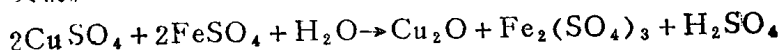
图 8-4 自然铜的晶体

〔物理性质〕铜红色, 表面常因氧化而出现棕黑色被膜; 条痕铜红色; 金属光泽; 不透明。无解理; 锯齿状断口; 硬度2.5—3。比重8.4—8.95。具延展性。良好的导电性、导热性。

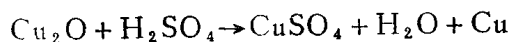
〔成因和产状〕自然铜产出较少, 是各种地质作用中还原条件下的产物。形成于原生热液矿床; 也见于含铜硫化物矿床氧化带下部, 往往与赤铁矿、孔雀石, 有时和辉铜矿及其它矿物伴生, 它是由铜的硫化物经变化还原而成。如黄铜矿的变化为:



黄铜矿



赤铜矿



自然铜

此外，自然铜有时交代砂砾岩胶结物，出现于含铜砂岩中。

自然铜在氧化条件下不稳定，经常转变成铜的氧化物和碳酸盐，如赤铜矿、黑铜矿、孔雀石、蓝铜矿。这些次生矿物为寻找各原生矿床的重要找矿标志。

〔鉴定特征〕铜红色，表面氧化膜呈棕黑色，比重大，延展性强。经常与孔雀石、蓝铜矿相伴生。

〔用途〕产量多时可作铜矿石开采。

铂 族

铂族矿物一般是指含有铂族元素（Os、Ir、Pt、Ru、Rh、Pd）的矿物。它包含自然元素，金属互化物，化合物（砷化物、铋化物、铋化物、硫及硫砷化物、碲及碲铋和碲铋化物）等含铂族元素的矿物。本节将在叙述铂族自然元素单质的同时，对各类含有铂族元素的矿物也做一些概略的介绍。

〔化学组成〕组成铂族矿物的化学元素列于表8-2。

铂族元素一般具高电离势，故易形成自然元素矿物。

由于镧系收缩的影响，使Ru、Rh、Pd与Os、Ir、Pt原子半径相近，它们与Fe、Co、Ni、Cu、Ag、Au的原子半径相差不大，且它们的电负性大小和电子层构型相似，因此铂族元素之间以及它们与上述其它元素间常能形成类质同象或金属互化物。

由于铂族元素可以失去价电子而具有形成化合物的能力，同时铂族元素由于原子序数高、电荷多、离子半径不大，故极化能力强；而阴离子元素（S、Te、As、Sb、Bi）的离子半径比O大得多，易被极化。因此，铂族元素（主要为Pt、Pd）易与S、Te、As、Sb、Bi结合，但Ru以硫化物为其主要存在状态，而铂族元素的氧化物只见到钯华（PdO）一种。

表 8-2

组成铂族矿物的化学元素

铂族元素	与铂族相结合的元素																						
	Ⅷ族									I副族			II副族	III副族	IV主族	V主族			VI主族				
	Fe	Co	Ni	Ru	Rh	Pd	Os	Ir	Pt	Cu	Ag	Au	Hg	In	Sn	Pb	As	Sb	Bi	O	S	Se	Te
Pt	++	+	+	+	++	++	+	++	++	++	+	+		+	++		++	++	+	++			++
Pd				+	+	+	++	+	++	+	+	++	+		++	++	++	++	++	+	++	+	++
Ir	++			+	++	+	+	++	++	++	+						+			++			
Rh	+	+	+	+	++	+	+	+	++		+	+					+			+			
Os	+		+	+	+	+	++	++	+	+		+					+			+			
Ru	+		+	+	+	+	++	++	+								+			++			

++量多；+量少。

〔晶体结构〕铂族自然元素矿物的晶体结构分铜型和钨型两种。

铜型结构：包括自然铂、自然铱、自然钯等。

钨型结构：包括自然钨、铱钨矿、六方钨铱矿等。

目前大量铂族矿物的晶体结构尚缺乏研究，已知的主要结构类型有：

黄铁矿型：如砷铂矿 PtAs_2 、锑铂矿 PtSb_2 、硫钌矿 RuS_2 、硫铱矿 OsS_2 。

红砷镍矿型：如六方锑钯矿 PdSb 、黄碲钯矿 PdTe 。

碘化碲型：碲铂矿 PtTe_2 、碲镍铂钯矿 $(\text{Pd}, \text{Pt}, \text{Ni})\text{Te}_2$ 。

近年来我国对本类矿物的晶体结构进行了研究，测定了峨嵋矿 OsAs_2 —安多矿 RuAs_2 属白铁矿型结构；硫砷钌矿 RuAsS 属毒砂型结构。

一般认为，铂族自然元素和金属互化物呈金属键，而化合物则以共价键为主。

〔形态及物理性质〕一般颗粒细小、分散，经常呈不规则粒状、扁平粒状、浑圆粒状、球状或半棱角状，也有的呈柱状、长柱状、板状、薄板状或六方板状、双锥状等。完好晶形少见。

铂族矿物物理性质相似，一般为银白色、锡白色、铅灰色、钢灰色至铁黑色，亦有的呈淡黄色、铜黄色或褐黄色。表面可见锍色。金属光泽为主。不透明。比重大（重铂族元素Os、Ir、Pt比重约22；轻铂族元素Ru、Rh、Pd的比重约12）。熔点高（最高为Os，熔点 $3000^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ ；最低为Pd 1552°C ；其它，Ir 2410°C 、Ru 2250°C 、Rh 1966°C 、Pt 1769°C ）。延展性强，极易于拉伸（一克纯铂，可以拉伸约500km长）。

〔成因产状〕绝大多数铂族矿物与基性超基性岩密切相关，各类基性超基性岩中均可形成铂矿体或产生铂矿化，形成含铂岩体，它的矿化大致分以下几种类型：

铬铁矿型：铂族元素在含铬铁矿岩体及铬铁矿矿床中分布很普遍，往往使铬铁矿矿体即为铂矿体，但含量较低。本类型以含Os、Ir、Ru、Pt为主。

铜镍硫化物型：铂矿体与铜镍硫化物密切伴生，其典型矿物共生组合为磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铜矿。本类型以含Pt、Pd为主。是目前提取铂族元素的主要来源。

铜硫化物型：与铂矿体紧密伴生的硫化物组合为黄铜矿或黄铜矿和黄铁矿，没有或偶有极少量磁黄铁矿及镍黄铁矿。本类型以含Pt、Pd为主。

铜硫化物-钛磁铁矿型：铂矿体与黄铜矿及钛磁铁矿层相伴。本类型以含Pt、Pd矿化为主。

单铂型：铂矿体在基性超基性岩中没有上述的硫化物、铬铁矿及钛磁铁矿相伴生，而以含Pt、Pd矿化为主。该类矿床和矿点发现尚少，研究程度较差。

此外，砂铂矿是一种不可忽视的铂矿类型。由于铂族矿物化学性质稳定、比重大，常呈砂矿。它产于含铂矿床有关的基性超基性岩体附近。砂铂矿可作为铂矿资源，也可作为寻找原生铂矿床的标志。

铂族自然元素矿物按晶体结构分自然铂、自然铱两个亚族：

自然铂亚族

本亚族包括铱、钯、铂自然元素矿物。其原子皆呈立方最紧密堆积，属等轴晶系，空间群为 $O_h^3 - Fm3m$ 。

自然铂 (Platinum Платина)

Pt

〔化学组成〕成分中经常含有：Ir ($\leq 28\%$)、Pd ($\leq 37\%$)、Fe ($\leq 20\%$)、Cu ($\leq 13\%$)、Rh ($\geq 7\%$)、Ni ($\leq 3\%$)等。自然铂中当这些元素含量较高时，可分别称为自然铂的变种：铱自然铂、钯自然铂、铁自然铂（亦称粗铂矿）、铜自然铂、铋自然铂、镍自然铂等。