

矿 物 学

(下 册)

罗 贤 昌 编

中南矿冶学院岩矿教研室矿物组

一九七九年十二月印

前 言

“矿物学”教材，是在我组近几年所编写的“矿物学”教材基础上编写而成。全书共分三篇，第一、二篇为上册，第三篇即“矿物各论”为下册。

矿物各论，按晶体化学分类原则，将矿物分为五大类：

1. 自然元素大类。
2. 硫化物及其类似化合物大类。
3. 氧化物和氢氧化物大类。
4. 含氧盐大类。
5. 卤化物大类。

本教材在内容上选译了1975年А.А.Годовиков (戈多维科夫) 著《Минералогия》一书和АН СССР 1960~1965年“Минералы справочник”第一卷、第二卷中I~II册中的内容，同时参阅了较多的国内有关矿物方面的科研和生产的新资料，尤其是收集了我国解放后所发现的矿物新种或异种的新资料，编入了教材。每种矿物不但对矿物的化学组成、矿物形态、物理性质、光学特征及其成因和产状作了描述，并注有x光粉晶特征谱线数据，而且对每种矿物的内部结构特征作了较详细的论述，均附有晶体结构图和晶胞参数。此外，对某些矿物有效的鉴定特征，如粘土矿物的差热分析、电子显微镜下特征等；某些矿物的变体相互转化条件以及某些矿物的标型特征，均收集了一定的数据、图象等资料。书末编有中、俄、英矿物名称索引。因此本教材可供地质工作者在进行科研、生产时查阅之用。

本教材的编写，得到了党支部和教研室主任阮道源副教授的支持和关心。在编写期间，我组张振圩副教授自始至终给予了指导，提供了参考资料，并对教材初稿进行了仔细、认真的审阅，彭明生老师提供了部分参考资料，其它老师给予了多方面的帮助。初稿完成后，由王增润、黎杏芳、黄洁菲、胡亚兰、黄生文五位老师分别抄写定稿；王增润老师参加了校对；郭立信老师为教材的编写创造了良好的工作条件；院印刷厂同志集中力量排版、印刷，使本教材在较短时间内出版，在此，一并致谢。

教材定稿时，由于时间仓促，来不及广泛征求同志们的意见，加之编者水平有限，缺乏经验，因此，教材中错误和不当之处在所难免，真诚地希望同志们批评、指正。

编 者：罗 贤 昌

1979年8月于长沙

目 录

第三篇 矿 物 各 论

第十三章 自然元素大类

§ 1. 概 述	(1)
§ 2. 分 述	(3)
第一类 自然金属元素矿物	(3)
一、金族：自然金、银金矿、自然铜、自然银、碲银矿、铋银矿	(3)
二、铂族：自然铂、自然钯、自然铱、自然钼、钼银矿、 等轴钼铱矿、汞钯矿、砷铂矿	(16)
三、铁族：自然铁、镍铁矿、陨石铁	(23)
四、汞族：自然汞、银汞膏	(25)
第二类 半金属元素矿物	(26)
砷族：自然砷、自然锑、自然铋	(26)
第三类 非金属元素矿物	(28)
一、硫族：自然硫	(28)
二、碲族：自然碲、自然碲	(31)
三、碳族：金刚石、石墨	(32)

第十四章 硫化物及其类似化合物大类

§ 1. 概 述	(38)
§ 2. 分 述	(41)
一、简单硫化物及其类似化合物类	(41)
1. 辉铜矿族：辉铜矿、方（兰）辉铜矿、硒铜矿	(42)
2. 辉银矿族：辉银矿、螺状辉银矿	(45)
3. 方铅矿族：方铅矿、硫锰矿、碲铅矿、硒铅矿	(47)
4. 闪锌矿—纤锌矿族：闪锌矿、纤锌矿、硫镉矿	(53)
5. 辰砂——黑辰砂矿族：辰砂、黑辰砂、灰硒汞矿	(61)
6. 铜兰矿族：铜兰、六方硒铜矿	(64)
7. 磁黄铜矿——红砷镍矿族：红砷镍矿、磁黄铁矿、 镍黄铁矿、针镍矿、六方硫铁矿、红砷镍矿	(66)
8. 雄黄——雌黄族：雌黄、雄黄	(72)

9. 辉铋矿族: 辉铋矿、辉铋矿·····	(75)
10. 辉钼矿族: 辉钼矿·····	(79)
11. 黄铜矿族: 黄铜矿、黝锡矿、硫镓铜矿、斑铜矿·····	(82)
硫钴矿族: 硫钴矿、辉镍矿、紫硫镍铁矿·····	(89)
对硫(二硫)化合物及其类似化合物类·····	(91)
黄铁矿族: 黄铁矿、方硫钴矿、方硫镍矿·····	(93)
2. 辉砷钴矿族: 辉砷钴矿、辉砷镍矿、铋硫镍矿·····	(97)
3. 方钴矿族: 方钴矿、砷钴矿·····	(100)
4. 白铁矿族: 白铁矿、斜方砷铁矿、斜方砷钴矿、斜方砷镍矿·····	(102)
5. 毒砂矿族: 毒砂矿、铁硫砷钴矿、硫铋铁矿·····	(106)
三、含硫盐类·····	(109)
1. 铜的含硫盐·····	(110)
(1) 黝铜矿——砷黝铜矿族: 黝铜矿、砷黝铜矿·····	(110)
(2) 硫砷铜矿族: 硫砷铜矿·····	(113)
(3) 铋硫砷铜矿——脆硫铋铜矿族: 铋硫砷铜矿、脆硫铋铜矿·····	(114)
(4) 车轮矿族: 车轮矿、针硫铋铅矿·····	(115)
2. 银的含硫盐·····	(117)
(1) 硫铋银矿族: 硫铋银矿、硫砷银矿·····	(117)
(2) 单斜辉铋银矿族: 单斜辉铋银矿·····	(119)
3. 铅的含硫盐·····	(120)
(1) 脆硫铋铅矿族: 脆硫铋铅矿·····	(120)
(2) 细硫砷铅矿族: 细硫砷铅矿、铋硫砷铅矿·····	(121)
4. 铋的含硫盐: 辉铅铋矿、斜方辉铅铋矿·····	(123)
5. 镍的含硫盐: 硫铅镍矿·····	(125)
6. 构造不明的含硫盐: 脆银矿、硫铋铜银矿、 硫砷铅矿、块硫铋铅矿·····	(126)

第十五章 氧化物和氢氧化物大类

§ 1. 概 述·····	(130)
§ 2. 分 述·····	(133)
一、简单氧化物类·····	(133)
1. 赤铜矿族: 赤铜矿·····	(133)
2. 红锌矿——黑铜矿族: 红锌矿、黑铜矿·····	(135)
3. 方镁石族: 方镁石·····	(137)
4. 刚玉族: 刚玉、赤铁矿·····	(137)
5. 金红石族: 金红石、锐钛矿、板钛矿、锡石、软锰矿·····	(144)
6. 晶质铀矿族: 晶质铀矿、方钍石、沥青铀矿、铀黑·····	(153)
7. 石英族: 石英、鳞石英、方石英、斜石英、蛋白石·····	(158)
8. 砷、铋、铋、钼、钨等的氧化物(氧化): 砷华、白砷石、	

方锑华、锑华、黄锑华、锑赭石、铋华、钼华、钨华、铅黄……	(178)
二、复杂氧化物类……	(179)
1. 铝酸盐族(尖晶石族): 尖晶石、磁铁矿、铬铁矿……	(179)
2. 钛酸盐族(钛铁矿族): 钛铁矿、钙钛矿、 铌钽钙钛矿、褐锰矿……	(186)
3. 钛铌钽酸盐族……	(190)
(1) $A B_2 X_6$ 型: 铌钽铁矿、铌钽矿、黑稀金矿、 复稀金矿、易解石……	(191)
(2) $A_2 B_2 X_7$ 型: 烧绿石、细晶石……	(197)
(3) $A B X_4$ 型: 褐铌钽矿、褐钽铌矿……	(199)
三、氢氧化物类……	(200)
1. 镁的氢氧化物族: 水镁石……	(201)
2. 铝的氢氧化物族: 三水铝石、一水软铝石、一水硬铝石……	(202)
3. 铁的氢氧化物族: 纤铁矿、针铁矿……	(207)
4. 锰的氢氧化物族: 水锰矿、硬锰矿……	(211)
5. 铀的氢氧化物族: 柱铀矿、深黄铀矿、板铅铀矿……	(214)

第十六章 含氧盐大类

§ 1. 概 述……	(217)
§ 2. 分 述……	(218)
第一类: 硅酸盐类……	(218)
亚类一: 岛状构造的硅酸盐……	(227)
一、孤立硅氧四面体型 $[SiO_4]^{-4}$ ……	(228)
1. 锆英石族: 锆石、钽石……	(228)
2. 似晶石族: 似晶石、锂铍石、硅铍矿……	(231)
3. 橄榄石族: 橄榄石、镁橄榄石、高铁铁橄榄石……	(233)
4. 石榴石族: 铝榴石、钙榴石……	(238)
5. 兰晶石族: 兰晶石、红柱石、硅线石……	(241)
6. 硅镁石族: 粒硅镁石、硅镁石……	(247)
7. 黄晶族: 黄晶……	(250)
8. 十字石族: 十字石……	(251)
9. 硬绿泥石族: 硬绿泥石……	(253)
10. 榍石族: 榍石……	(254)
11. 硅钙铀矿族: 硅钙铀矿……	(256)
二、孤立硅氧四面体群型……	(258)
12. 异极矿族: 异极矿、索伦石、黑柱石、钼铁钛石……	(258)
13. 黄长石族: 黄长石、顾家石、白铍石……	(262)
14. 绿帘石族: 绿帘石、黝帘石、褐帘石……	(265)
15. 符山石族: 符山石……	(269)

16. 绿柱石族: 绿柱石、透视石、堇青石·····	(270)
17. 电气石族: 电气石、异性石·····	(275)
18. 斧石族: 斧石、包头矿、星叶石·····	(278)
19. 整柱石族: 整柱石·····	(281)
亚类二: 链状构造的硅酸盐·····	(281)
1. 辉石族: 顽火辉石、紫苏辉石、透辉石、钙铁辉石、 普通辉石、霓石、霓辉石、硬玉、锂辉石、纤钽锂石·····	(283)
2. 角闪石族: 直闪石、铝直闪石、透闪石、阳起石、 普通角闪石、兰闪石、钠闪石·····	(297)
3. 硅灰石族: 硅灰石·····	(309)
4. 蔷薇辉石族: 蔷薇辉石·····	(310)
亚类三: 层状构造的硅酸盐·····	(312)
1. 滑石——叶腊石族: 滑石、叶腊石·····	(315)
2. 蛇纹石族: 叶蛇纹石、纤蛇纹石、鳞蛇纹石·····	(317)
3. 高岭石——多水高岭石族: 高岭石、多水高岭石·····	(320)
4. 蒙脱石族: 蒙脱石、皂石、蛭石·····	(324)
5. 云母族: 金云母、黑云母、白云母、锂云母、铁锂云母、 珍珠云母·····	(326)
6. 伊利石族: 伊利石(水白云母)、海绿石·····	(334)
7. 绿泥石族: 叶绿泥石、斜绿泥石、蠕绿泥石、鳞绿泥石、 鲕绿泥石·····	(337)
8. 葡萄石族: 葡萄石·····	(338)
9. 硅孔雀石族: 硅孔雀石·····	(339)
亚类四: 架状构造的硅酸盐·····	(341)
1. 长石族: 斜长石(钠长石、更长石、中长石、拉长石、 培长石、钙长石)、正长石、钾微斜长石、透长石、歪长石···	(342)
2. 霞石族: 霞石·····	(365)
3. 白榴石族: 白榴石、铯榴石·····	(367)
4. 方柱石族: 方柱石·····	(369)
5. 钙霞石族: 钙霞石·····	(371)
6. 方钠石族: 方钠石、黝方石、兰方石、青金石、香花石·····	(372)
7. 日光榴石族: 日光榴石·····	(373)
8. 沸石族: 方沸石、钠沸石、杆沸石、钡沸石、菱沸石、毛沸 石、钙十字沸石、交沸石、片沸石、斜发沸石、丝光沸石、八面 沸石、浊沸石·····	(374)
第二类: 硼酸盐类·····	(388)
§1. 概 述·····	(388)
§2. 分 述·····	(393)
亚类一、岛状硼酸盐·····	(393)

1. 硼镁铁矿族: 硼镁铁矿、硼镁锰矿	(393)
2. 镁硼石族: 镁硼石	(394)
亚类二、群状及环状硼酸盐	(395)
1. 硼镁石族: 硼镁石	(395)
2. 隧硼镁石族: 隧硼镁石	(396)
3. 柱硼镁石族: 柱硼镁石	(397)
4. 硼砂族: 硼砂、章氏硼镁石	(398)
亚类三、链状硼酸盐	(399)
1. 硬硼钙石族: 钙硼钙石	(399)
2. 钠硼解石族: 钠硼解石	(400)
亚类四、层状硼酸盐	(400)
1. 图硼锆石族: 图硼锆石	(400)
亚类五、架状硼酸盐	(401)
1. 方硼石族: 方硼石	(401)
第三类、磷酸盐、砷酸盐和矾酸盐	(402)
§ 1. 概 述	(402)
§ 2. 分 述	(404)
1. 独居石族: 独居石 (磷铈镧矿)、磷钇矿	(404)
2. 磷灰石族: 磷灰石、凤凰石、磷氯铅矿	(407)
3. 锂磷铝石族: 锂磷铝石	(411)
4. 臭葱石族: 臭葱石	(412)
5. 兰铁矿族: 兰铁矿、镍华、钴华	(413)
6. 银星石族: 银星石	(415)
7. 绿松石族: 绿松石	(416)
8. 铀云母族: 铜铀云母、钙铀云母	(417)
第四类、钨酸盐和钼酸盐	(419)
§ 1. 概 述	(419)
§ 2. 分 述	(419)
1. 钨锰铁矿族: 钨锰铁矿 (黑钨矿)	(419)
2. 钨酸钙矿族: 钨酸钙矿 (白钨矿)、彩钼铅矿、钼酸钙矿	(423)
3. 铁钼华族: 铁钼华	(426)
第五类、硫酸盐	(426)
§ 1. 概 述	(426)
§ 2. 分 述	(428)
1. 硬石膏族: 硬石膏	(428)
2. 重晶石族: 重晶石、天青石、铅矾	(429)
3. 石膏族: 石膏	(432)
4. 芒硝族: 无水芒硝、芒硝	(434)
5. 胆矾族: 水绿矾、胆矾	(436)

6. 明矾石族: 明矾石、黄钾铁矾·····	(437)
7. 叶绿矾族: 叶绿矾、赤铁矾、锌赤铁矾、锌叶绿矾·····	(439)
8. 水镁矾——泻利盐族: 水镁矾、镍矾、泻利盐·····	(442)
第六类、碳酸盐·····	(443)
§ 1. 概 述·····	(443)
§ 2. 分 述·····	(444)
1. 方解石—文石族: 方解石、菱镁矿、菱铁矿、菱锰矿、菱锌矿、白云石、文石、碳酸锶矿、白铅矿、碳酸钡矿·····	(444)
2. 孔雀石族: 孔雀石、兰石矿·····	(458)
3. 氟碳铈钍矿族: 氟碳铈钍矿、黄河矿、碳铈钍矿·····	(460)
第七类、硝酸盐·····	(461)
§ 1. 概 述·····	(461)
§ 2. 分 述·····	(462)
1. 钾硝石·····	(462)
2. 钠硝石·····	(462)
第八类、铬酸盐·····	(463)
§ 1. 概 述·····	(463)
§ 2. 分 述: 铬铅矿·····	(464)

第十七章 卤化物大类

§ 1. 概 述·····	(465)
§ 2. 分 述·····	(466)
第一类、氟化物类·····	(466)
1. 萤石族: 萤石·····	(466)
2. 冰晶石族: 冰晶石·····	(469)
第二类、氯化物、溴化物和碘化物类·····	(469)
1. 石盐族: 石盐、钾盐·····	(470)
2. 光卤石族: 光卤石·····	(472)
3. 角银矿族: 角银矿·····	(473)

附: 中、俄、英矿物名称索引

第三篇 矿物各论

自然界矿物，据目前资料约计3300种(不包括异种)。矿物各论部分就是按晶体化学分类原则，将矿物进行系统分类(大类、亚类、族、亚族、种、变种)，选择每大类中重要的族和常见的矿物种，作系统描述。在对每个矿物种的描述中，首先叙述该矿物的化学成分和结晶构造特点，并以此为基础来阐明矿物的形态，物理——化学性质、矿物的成因、产状和它在各种地质作用影响下的变化以及该矿物的实际用途。为进一步认识矿物、矿床的综合利用、合理评价和发现新矿物原料基地等提供必要的矿物学知识。

第十三章 自然元素大类

§ 1. 概 述

自然元素矿物是指在自然界中以单质状态产出的矿物。组成自然元素矿物的元素已知有40多种,约占地壳总重量的0.1%。其中氮占0.04%,氧占0.01%,余者只占0.05%。故该大类矿物在自然界中是极少见的矿物。按其物理状态可分固态(Au、Ag、Cu、Pt族元素,As、Sb、Bi、S、C)、液态(自然Hg)、气态(N、O),其中有极大工业意义的固态矿物是自然金、自然铜、自然铂、金刚石、石墨、自然硫等。

一、化学组成及地球化学性质

自然界呈单质状态出现的元素主要是铂族元素、部分铜族元素、半金属元素、非金属元素。他们在元素周期表上的位置见表13-1。

[illegible]

表13—1 自然元素在周期表中的位置

1. 惰性气体(氦、氖、氩、氪、氙、氡)，它们的原子具有稳定的两个或八个电子的外层，属惰性气体型原子，因而化学性不活泼，不与氧、氢及其它元素结合成化合物。

2. 铂族元素(钌、铑、钯、铱、锇、铂)和部分铜族元素(铜、银、金)，它们具有铜型原子核结构($4s^1 3d^{10}$)。属亲铁元素，也具有亲硫性质。但因这些元素具高的电离势(eV)，如 Cu^{+1} 为 $7.69eV$ ； Ag^{+1} 为 $7.54eV$ ， Au^{+} 为 $9.20eV$ ， Hg^{+} 为 $10.39eV$ 。因电离势愈高，原子就越难失去它的外层电子，不易成离子，与其它元素的化学亲和力也很微弱，故表现较大的化学惰性，易呈原子状态出现。另一方面，它们的原子半径相近，如 r_{Au} 与 r_{Ag} 均为 $1.44\text{\AA}$ ； r_{Os} 与 r_{Ir} 均为 $1.35\text{\AA}$ ， r_{Pd} 为 $1.37\text{\AA}$ ， r_{Pt} 为 $1.38\text{\AA}$ 。因而在自然界中常成固溶体形式出现。如金银矿，铱铑矿，钯铂矿等。

3. 半金属元素(As 、 Sb 、 Bi)：其中非金属性以砷最强、锑次之，铋最弱。它们的化学性质虽有某些共同点，但在自然界中它们都常在不同环境里出现。在某些时候砷和锑构成金属互化物。如砷锑矿。

4. 非金属元素：其中气体 H 、 O 、 N 元素占多数，大多分布于大气圈中，构成大气圈的主要成分。非金属元素 C 、 S 可成固态形式出现。如自然硫、金刚石、石墨。

5. 其余元素如锌、锡、锑等，因化学性质较活泼，故在自然界很少成单质状态出现。而锰、钴、镍等则往往成类质同象混入物于其它金属元素组成的矿物中。

自然元素在地壳中赋存状态：自然元素在地壳中的含量是很低的，尤其是自然金属元素，如 Au 在地壳中含量为十亿分之五即 0.005 克/吨， Ag 为 0.1 克/吨， Pt 和 Pd 分别为 0.005 克/吨和 0.01 克/吨，而铑、铱、钌更低。但目前已知自然元素矿物约百余种，其矿物的种数远远大于组成矿物的元素的数目。其原因主要是：某些元素可形成二种或二种以上的同质多象变体。如“ C ”有金刚石和石墨两个同质多象变体。另一方面与元素的赋存状态有关。可以呈单质状态；如自然铜、自然金、自然银、自然铂等。某些元素可以组成固溶体；如金银矿(Au 、 Ag)，铱铑矿($IrOs$)、钯铂矿(Pd 、 Pt)。某些元素形成超晶构造(有序排列)的金属互化物状态出现；如金铂矿(Au 、 Pt)钯金矿(Au 、 Pd)、汞钯矿(Pd 、 Hg)，微晶砷铜矿(Альгдонит, *Algodonite*)—— Cu_2As ，某些元素与硒、碲、锑等组成化合物形式。如碲钯矿(Pd 、 Cu) $_7Se_8$ ，碲金矿($AuTe_2$)，碲铂矿($PtTe$)、砷钯矿(Pd_3As)、砷铂矿($PtAs_2$)，砷铱矿($OsAs$)，硫砷钌矿($RuAsS$)等。

二、结晶构造和物理性质

1. 自然金属元素矿物：它们内部质点的排列属等大球体的立方最紧密堆积(立方面心格子或称铜型格子；立方体心格子或称 α -铁型格子)和六方最紧密堆积(或称铱型格子)。由于晶格中质点一般以金属键联系着，因而表现出一系列物理性质的特征。

反射力强而不透明，呈金属光泽，有明显的金属色(如金黄、铜红、银白、铁黑色)，条痕色与其颜色相同，有延展性、导电性、导热性；硬度低，无解理。由于组成自然金属元素矿物的元素本身原子量大，因而比重大。如 Pt 的原子量为 195 ，其自然铂的比重达 21.5 (纯铂理论值)。

2. 半金属元素矿物：具有扭曲立方面心格子，而略现层状的菱面体形，这种格子称为砷型格子。晶体中质点之间的维系由金属键逐步向多键性转变。因而表现在物理性质上与金属元素有所差异。最明显地表现于 $\{0001\}$ 板面解理的产生上，随着 Bi 、 Sb 、 As 三元素非金

属性的增加，晶格扭弯的程度和键性的变化愈大，而解理的完善程度也愈显著。同时，随着非金属性增加，从 *Bi* 至 *As* 硬度趋向加大，脆性也趋向于增高，而光泽则趋向于减弱。

3. 非金属元素矿物：具有金刚石型结构（金刚石）、层状结构（石墨）和分子结构型（自然硫）。金刚石具典型的共价键，因而硬度高、光泽强、比重大、不导电、难导热。石墨呈层状构造，在其层内主要为共价键，但也表现部分的金属键，因而沿层面方向能导电。层与层之间则为分子键，联结力微弱，而使石墨具极完全的板面{0001}解理。

自然硫呈分子结构型，虽然分子内部的原子间相互以共价键形式结合，但分子间则以微弱的分子键维系，因此自然硫很脆、并易升华。

三、分 类

（一）自然金属元素矿物类

1. 金族：自然铜、自然金、自然银。
2. 铂族：自然铂、自然钯、自然钼、自然铀。
3. 铁族：自然铁。
4. 汞族：自然汞。

（二）半金属元素矿物类：

砷族：砷 (*As*)、锑 (*Sb*)、铋 (*Bi*)。

（三）非金属元素矿物类：

1. 硫族：自然硫。
2. 碲族：自然碲、自然碲。
3. 碳族：金刚石、石墨。

四、成因和产状

在成因关系上，自然元素是很不相同的，一般情况：铁及铂族元素，常见于岩浆矿床，存在于超基性岩石中；铜族矿物常见于热液矿床或硫化矿床氧化带的下部；金刚石在成因上和超基性岩有关；而石墨和硫的成因更是多种多样。

§ 2. 分 述

第一类 自然金属元素矿物

一、金 族

本族主要包括铜、银、金的自然元素矿物。

金：具有镧系收缩性，其外层电子受核的吸引牢固、电子云结构紧密，电离势较大（第一电离势达9.2ev），不易失去外层电子成阳离子，又因金的负电位为中等（2.3），也不易接受电子成阴离子，故属惰性元素，与其它元素的化学亲和力很微弱，化学性质稳定。因此，自然界中金的离子化合物很少，而多呈单质金属状态。

金与银、铜及铂族元素等的原子半径相近、常与之形成金属互化物(见表13-2)。特别是金与银的原子半径相同(1.44 Å),晶格常数也相近(Au是4.070 Å, Ag是4.078 Å),同处于A.E费尔斯曼元素地球化学表中硫化场或亲硫场的第一纵列,化学性质相似,所以天然的金-银固溶体(原子类质同象)分布广泛。故在金的独立矿物中,金-银固溶体系列占有较重要地位。

银：成单质形式出现比较少见，它往往形成硫化物和卤化物及其银—金的固溶体。

上述三个元素均属等轴晶系立方心格子、 $Au-Ag$ 常呈固溶体、而 Cu 与 Au 、 Cu 与 Ag 、因铜的原子半径较小(Cu 的原子半径 $1.275\text{\AA}$)晶胞常数也较小(铜 $a_0=3.6153\text{\AA}$, 银 $a_0=4.0856$, 金 $a_0=4.0783\text{\AA}$)所以, 只能在高温时, Cu 与金形成固溶体, 当冷却时即行分离。而铜—银形成固溶体的范围亦极为窄狭。

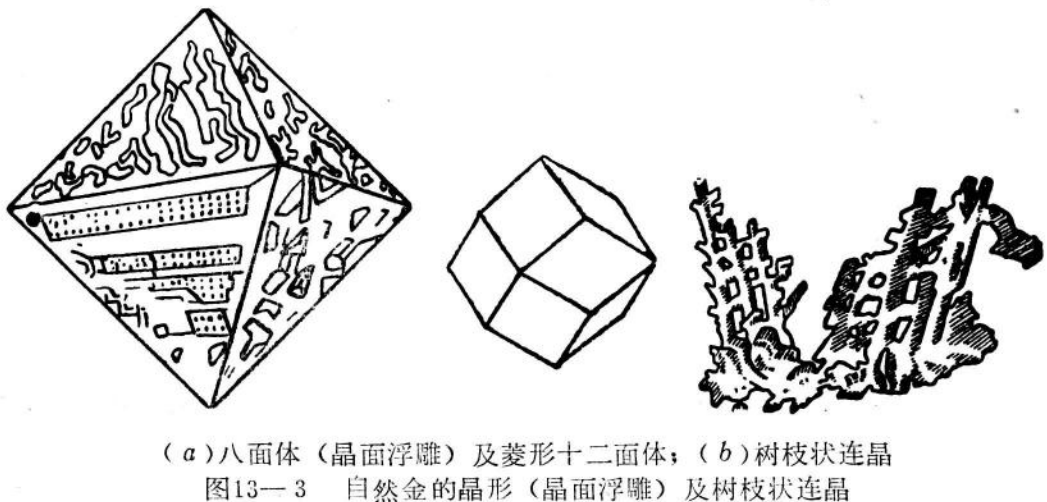
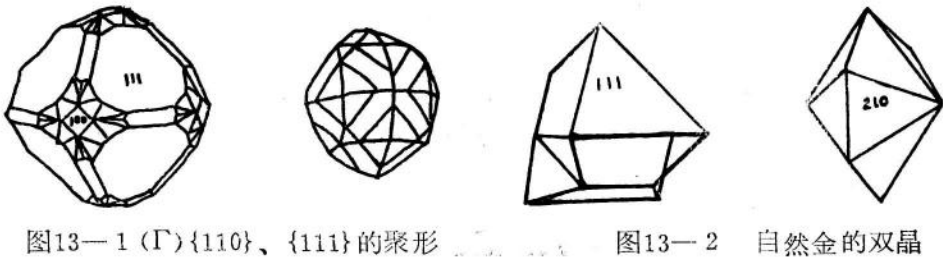
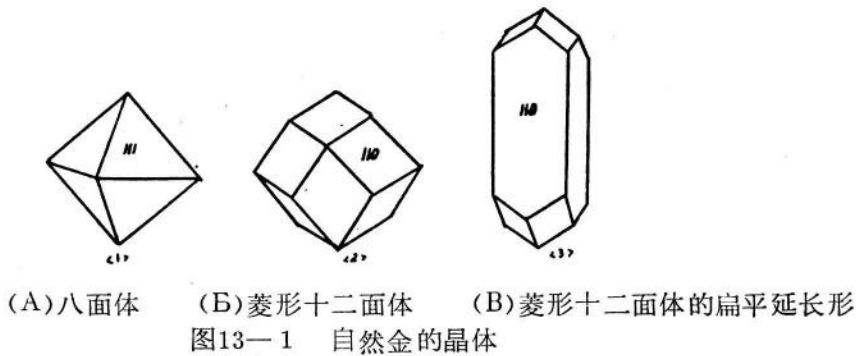
矿物名称	化学式	主要化学成分含量 (%)	晶系
自然金	Au	$Au > 85, Ag < 15$	等轴
银金矿	(Au, Ag)	$Au 50-85, Ag 50-15$	等轴
铂金矿	(Au, Pt)	含 Pt 达 10% 以上	等轴
铑金矿	(Au, Rh)	含 Rh 约 30~40 以上	等轴
钯金矿	(Au, Pd)	含 Pd 约 5—11	等轴
铱金矿	(Au, Ir)	含 $Au 62.1, Ir 30.4$	等轴
金铱钌矿	(Au, Ir, Os)	含 Os 约 25, Ir 约 51.7	等轴
铜金矿	(Au, Cu_3)	含 $Cu 20\sim 30, Ag 10-15$	
碲金矿	(Au, Te_2)	$Au 44.03, Te 55.97$	单斜
针碲金银矿	$(Au, Ag)Te_2$	$Au 24.5, Ag 13.4, Te 62.1$	单斜
碲金银矿	$(Ag, Au)_2Te$	$Ag 41.7, Au 25.4, Te 32.8$	高温变体等轴 低温变体斜方

(一) 化学组成: $Au > 80\%$, 但纯者少见, 常含 Ag 、 Cu 、 Pb 、 Fe 、 Rh 等类质同象混入物, 故称毛金。含银较高 (Ag 50~20%) 称银金矿; 更高者 (50~90%) 称金银矿。一般与产状密切有关, 在低温热液矿床中产出的自然金一般含 Ag 较高, 高温矿床及次生再沉积的自然金一般较纯 (即含银较低), 故自然金中含 Ag 的多少, 是反应生成环境的标型特征。

$O_5^{\text{II}} - Fm\bar{3}m$; $Z = 4$; $a_0 = 4.070 \text{ \AA}$ 。结晶构造为面心立方格子, 属铜型构造。

(三) 形态：以八面体 $\{111\}$ 为主，其次为菱形十二面体 $\{110\}$ ，立方体 $\{100\}$ 或由它组成的聚形。也有沿三次对称轴的方向延伸或平行菱形十二面体的晶面延伸而成扁平的延长形（歪晶）（图13—1）。双晶依 $\{111\}$ 面为双晶面（图13—2）。但完整晶形者极为少见，多呈不规则树枝状集合体（图13—3）。或不规则颗粒。（颗粒大小分级，按 *B.M* 克列依捷尔 (*Крейтер*) 意见分两级：①可见金、颗粒直径 $>2000\mu$ 者为肉眼可见金；颗粒直径 $\geq 0.5\mu$ 者为显微金。②不可见金（次显微金），颗粒直径 $<0.5\mu$ 。亦有鳞片状（称麦麸金），少数呈块状（称狗头金或锅巴金）。

* 注：①空间群：晶体内部构造对称要素的组合，称为空间群，其空间群的总数为 230 种。通常采用薛夫莱斯 (*Schoenflies*) 符号和毛根 (*Mauguin*) 符号联合表示。② *Z*：代表单位晶胞内分子或原子的数目。



(四) 物理性质:

1. 颜色及条痕均为金黄色, 随含 Au 量的高低而变化, 含金高的颜色及条痕较深(金黄色, 纯者略带红故称赤金), 当含 Ag 多($Ag = 34.88\%$)则颜色及条痕变浅, 呈淡金黄色, 当含 $Ag = 50\%$ 时, 条痕呈黄白色。故根据自然金的颜色及条痕的深浅程度, 可大致估计金的纯度。试验自然金的条痕时, 一般用黑色坚硬的燧石, 称试金石。

2. 金属光泽, 硬度小(2.3~3.0), 富延展性, 可抽成金丝(纯者1克金可抽成3240米长的金丝)和锤成0.0004mm的金薄片, 故又称“金叶子”。

3. 比重大(15.6~18.3), 纯者可达19.3, 但随含银量的增加而降低。

4. 无解理, 是热和电的良导体。

(五) 镜下特征: 反光显微镜下呈亮金黄色, $R = 65 \sim 72\%$ (黄光), VHN_{10-25} , 42~88, 均质性, 但不全消光。

(六) α 光粉晶特征的谱线: 铁靶 $D = 57.3$ 毫米(据米赫耶夫)。

1.437(8), 1.226(9), 0.933(7), 0.909(7), 2.35(6), 2.03(9)。

(七) 化学性质及试验: 化学稳定性强, 不溶于任何酸(HCl 或 HNO_3), 而仅溶于王水。 KCN 能浸蚀和溶解自然金。

(八) 自然金与几种相似矿物的区别:

自然金容易与常见的黄铜矿, 黄铁矿及砂矿中的金云母混淆。

1. 自然金为金黄色, 较黄铜矿的黄铜色要浅, 而较黄铁矿的浅黄铜色要深, 故颜色介于黄铜矿与黄铁矿之间。

2. 条痕为金黄色, 而黄铜矿及黄铁矿均为黑带绿色条痕。

3. 自然金富延展性, 可锤成薄片, 但黄铜矿、黄铁矿具脆性, 用锤一击则碎成粉末。

4. 大块的黄铜矿及黄铁矿矿石放入火中一烧, 即变为黑色金属残渣, 同时有 SO_2 气体放出, 而自然金在火烧之既无 SO_2 气体放出, 又不变色。俗语说“真金不怕火炼”。

5. 试验: 将少许矿粉置于 HNO_3 中加热, 黄铜矿, 黄铁矿矿粉都能溶解, 而自然金化学稳定性强, 既不起变化, 亦不溶解。

在砂矿床中, 自然金与金云母的区别: (1) 金云母比重小(2.7~2.85), 放入水中不会很快直接下沉, 而自然金颗粒或小片, 因比重很大(15.6~18.3)一放入水中, 下沉很快。(2) 金云母有极完全的{0001}解理, 自然金无解理, 但有很好的延展性。(3) 金云母为无色条痕, 自然金为金黄色条痕。(4) 金云母溶于浓 H_2SO_4 中, 而自然金不溶于 H_2SO_4 。

(九) 成因和产状:

1. 自然金主要形成于热液矿床中, 产于与酸性岩有关的高、中、低温热液石英脉内, 呈含金石英脉或碳酸盐石英脉产出, 故又称“脉金”或“山金”(脉金目前最低工业品位为5克/吨)。

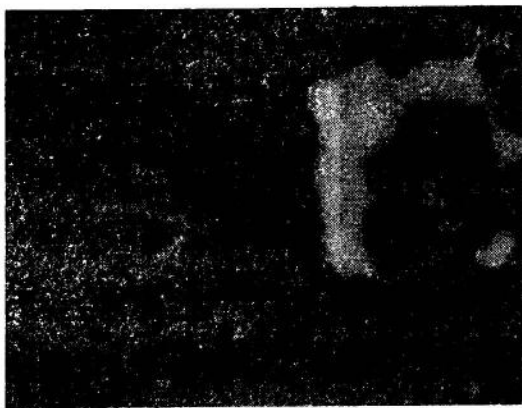
高、中温热液矿床中, 自然金与黄铁矿、毒砂、电气石等伴生。

中低温热液矿床中, 与自然金伴生矿物有: 黄铁矿、辉锑矿、黑钨矿、白钨矿、闪锌矿、方铅矿, 黄铜矿等硫化物。脉石矿物有: 石英、沸石类, 碳酸盐矿物。

在自然金——石英矿石中, 自然金主要为可见金, 分布于石英内或其颗粒间, 呈粒状、环状、细脉状、树枝状产出(图13-4)。

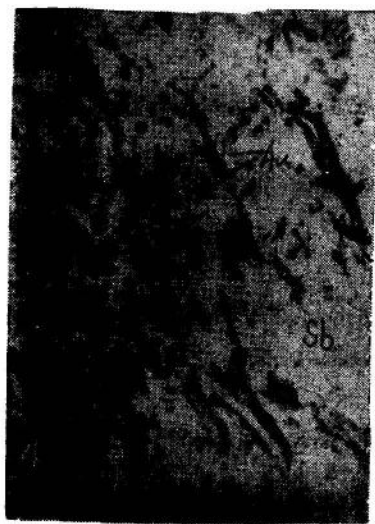
在自然金——硫化物矿石中, 自然金主要以机械混入物或微包体存在于硫化物矿物中

如（图13—5）。亦有呈胶体离子吸附状态存在于粘土矿中（图13—6）。



自然金(*Au*)充填在石英
(*Si*)间隙中呈环状

图13—4 自然金在石英中赋存形态特征



(A) *Au*呈小的圆球状及链状不均
匀地分散于辉锑矿(*Sb*)中



(B) *Au*呈小的圆球及链状不
均匀分布于黄铁矿中

图13—5 自然金在硫化物中赋存形式



图13—6 伊利石 (Ir) 破碎晶体的
边缘吸附圆球状及球粒状微粒金 (Au)

2. 产于各种古老的变质岩中, 其围岩一般为硅质。自然金²主要富集在石英脉、石英—硫化物脉、石英—碳酸盐脉、石英—重晶石脉、石英—电气石脉等热液矿脉内。

3. 产于含金的硫化矿床氧化带中, 由于含金硫化物的氧化, 把金释放出来, 在铁帽中富集, 形成含金氧化矿石。

4. 砂金: 是金的重要来源 (自然金砂矿的最低工业品位为 $0.2 \sim 0.3 \text{ 克}/\text{M}^3$)。

由原生金矿经过风化搬运沉积而成的砂矿床, 常与磁铁矿、锡石、石榴石、锆英石、刚玉等伴生。因其比重较大, 化学稳定性强, 故在河曲内侧, 支流交汇处, 峡谷各出口处等, 是砂金聚集的适宜场所。

(十) 用途: 为金的主要矿石。由于金具有不易氧化和腐蚀, 化学性稳定性强等特点, 故与 Ag、Cu 制成合金, 用于制造高级精密仪器, 仪表中的零件。纯金用做货币。

(2) 银金矿 (Au、Ag) (Электрум, Electrum)

(一) 化学组成: (Au, Ag) Au50~85%, Ag15~50%, 常含 Cu、Fe、Bi、Sb 等混入物。

(二) 晶形和形态: 等轴晶系, 多呈不规则的粒状, 连生体和树枝状, 少数为浑圆颗粒。颗粒表面不平坦有小坑或海绵状。

(三) 物理性质: 颜色浅黄到银白色, 表面覆盖有氢氧化铁薄膜, 以及棕色次生薄膜。金属光泽, 无解理, 硬度 2~3, 具延展性, 比重 12~14。

(四) 镜下特征: 不透明, 反射率随银的含量而增加, 由 70~90%。

(五) 试验: 在浓硝酸中部分溶解。矿物用王水溶解蒸干后, 干渣用 11 滴水处理, 然后加入氰酸铵, 即有褐黄色或脏黄绿红的茸毛状, 苔藓状硫氰酸金铵生成。

(六) 产状: 产于中、低温热液矿床, 即银铅矿床中、与方铅矿、辉银矿、黝铜矿、淡红银矿, 自然银相伴生。产于黄铁矿型矿床和多金属矿床中。

(3) 自然铜 (Cu) (Медь, Copper)

(一) 化学组成: (Cu)

次生自然铜的化学纯度较高, 但原生自然铜则常含有 Au (2~3% 称金铜矿 Золотистая медь, Auricuprid) 含 As 11.6% 称淡砷铜矿 (Витенет, whitneyite), 含 Fe (2.5% 以下) 及 Ag 等类质同象混入物。

(二) 晶系和结晶构造:

等轴晶系，六八面体对称型 $3 2/m \bar{6} 2/m \bar{3}$ ，空间群 $O_h^5 - Fm\bar{3}m$ ； $Z = 4$ ； $a_0 = 3.615 \text{ \AA}$ 。

原子成紧密堆积的立方面心格子，称铜型构造，铜原子位于立方体的角顶和单位晶胞每个晶面的中心（图13—7）。

（三）形态：晶体呈立方体 $\{100\}$ 、八面体 $\{111\}$ 、四六面体 $\{hko\}$ 、菱形十二面体 $\{110\}$ ，或由它们组成的聚形（图13—8）。双晶以 $\{111\}$ 或 $\{110\}$ 为双晶面（图13—9）。但完整晶形极少见，往往呈歪晶或集晶产出，作卷曲的发状、粒状、和树枝状等形态（图13—10）。也有呈鳞片状，颗粒状及其不规则的致密块体（在美国的一个湖中发现一块重达1000克的自然铜块体），也偶有赤铜矿、兰铜矿、黄铜矿、方解石或文石等假象而产出。

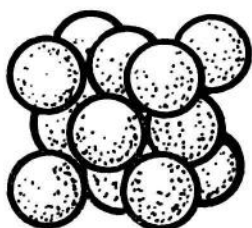


图13—7 自然铜的结晶构造

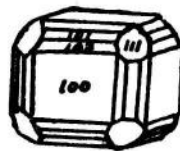
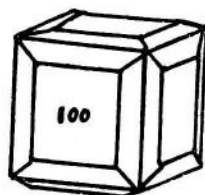
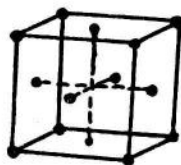


图13—8 自然铜的晶体（单晶）

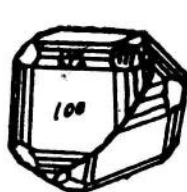


图13—9 自然铜的双晶



图13—10 自然铜呈树枝状（树枝石）

（四）物理性质：

1. 颜色及条痕均为铜红色，但氧化表面常有一层黑色氧化物薄膜（黑铜矿 CuO ）或红色（赤铜矿 Cu_2O ），绿色（孔雀石 $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ ）兰色（兰铜矿 $\text{Cu}_3[\text{CO}_3]_2[\text{OH}]$ ）等，新鲜断面均为铜红色。条痕为光亮的铜红色。标准金属光泽。

（2）硬度小（2.5~3），无解理，锯齿状断口。

（五）镜下特征：

粉红色、迅速变暗，为淡棕色。 $R_{43}\%$ 。（见W、鸟坦博伽德“金属矿物显微镜鉴定表”），均质性，不完全消光，擦痕有假的非均质性， $VHN: 48 \sim 143$ 。

（六） x 光粉晶特征谱线：（据柯斯托夫）。

2.085(9)；1.806(8)；1.276(10)；1.089(9)；1.042(5)。

* 自然铜的 R 根据色散曲线估计：470mm $R = 38\%$ ；550mm $R = 43\%$ ；590mm $R = 68\%$ ；650mm $R = 79\%$