



地信网论坛

BBS.3S001.COM

金的基础知识



编著

3S-永颀同心

(一) 金的性质、用途及矿产资源概况	3
1. 金的性质和用途	3
2. 金矿资源概况	3
(二) 金的地球化学特征及在地质作用中的行为	5
1. 金在各类地质体中的丰度	5
2. 金在地质作用中的地球化学性状	5
(三) 金的工业矿物及矿石类型	6
1. 金的工业矿物	6
2. 金矿石类型	7
(四) 金矿床类型及典型矿床实例	8
1. 岩浆热液型金矿床	8
2. 斑岩型金矿床	9
3. 火山热液型金矿床	10
4. 渗滤热液型金矿床	11
5. 绿岩带型金矿床	12
6. 沉积-变质型金矿床	14
7. 古沉积砾岩型金矿床	15
8. 现代沉积砂金矿床	17
9. 伴生金矿床	18
(五) 金矿床在时间上和空间上的分布	19
1. 太古代成矿	19
2. 元古代成矿期	19
3. 古生代成矿期	19
4. 中、新生代成矿期	20

金的基础知识

（一）金的性质、用途及矿产资源概况

1. 金的性质和用途

金是一种黄色的金属，比重大(自然金为19.37)，硬度低(纯金的摩氏硬度为2.8)，在周期表上与铜、银同属ⅠB族。金有极好的韧性和延展性，纯金可以拉成直径为 $2\mu\text{m}$ 的细丝，还可以压成万分之一毫米厚的薄膜。金有良好的导电性和导热性，其导电性能仅次于银和铜，居第三位。金的熔点为 1063°C ，熔融的金至 2707°C 时沸腾。

金的化学性质稳定，在自然界，除形成金的碲化物外，主要呈自然金产出，自然金中都含有一定数量的银，构成金矿物中最常见的银金矿。传统上认为金在表生条件下不会溶解，但近代的一些实例表明砂金矿与其供应源有相当大的距离，砂金矿的块金常比原生金颗粒大得多，一些次生金的纯度比原生金高得多，显示可能经历了溶解、搬运和沉淀的过程。

2. 金矿资源概况

自1840年至1880年的40年间，先后在美国西海岸和阿拉斯加、纽西兰、澳大利亚、加拿大、俄国中部以及南非维特瓦特斯兰德(Witwatersrand)等地发现了规模巨大的金矿床，使世界黄金资源猛增。但进入20世纪以来，除苏联在远东和乌拉尔等地以及美国在卡林地区(Carlin)发现少数大型金矿外，均无大的发现。据美国矿业局1975年统计，目前世界已探明黄金储量约4万吨。金矿资源丰富及产量高的国家有：南非、苏联、美国、加拿大、澳大利亚和加纳等国。

中国金矿的探明储量居世界第五位，其中一半以上分布于辽宁、吉林、黑龙江、山东、河北、河南等省，以胶东半岛的招掖地区最集中，约占全国储量的四分之一以上。小秦岭地区金矿储量占中国总储量的五分之一，亦为一大型金矿集中区。黑龙江省分布有丰富的砂金，占中国砂金储量的一半左右。

华南地区金矿储量占全国总储量的35%，金矿床分布广、类型多，但规模一般不大。其中有三分之二的储量来自斑岩型铜（钼）矿床、多金属矿床及少数铜镍硫化物矿床中的伴生金。

（二）金的地球化学特征及在地质作用中的行为

自然界中金同位素只有 ^{197}Au 稳定，在化合物中金为 Au^+ 或 Au^{3+} 。由于金具有较强的化学稳定性，故在自然界中主要呈自然金存在。银和金的电子结构十分相似，其原子半径均为 $1.44\text{\AA}$ ，所以二者可形成连续类质同象系列。

1. 金在各类地质体中的丰度

在地壳各结构区中，金的丰度值几乎无多大差别，均在 $0.004\pm 0.001\text{ppm}$ 之间，地壳中局部金丰度高的地段常是后期地质作用的结果。

火成岩中金丰度值为 $1\text{--}20\text{ppb}$ ，超铁镁质岩石含金通常在 7ppb 以上，酸性岩含金一般在 6ppb 以下。沉积岩中金含量很不均匀，据美国地质调查所的资料，三类主要沉积岩的含金量：石灰岩为 7ppb ，砂岩为 3ppb ，页岩为 6ppb 。

变质岩的含金性与其原岩的含金丰度有关。变质碎屑岩类如石英岩、硬化砂岩含金最高，平均为 31ppb ，角闪岩类和绿片岩类金的含量为 7ppb 。

2. 金在地质作用中的地球化学性状

金虽然因其亲铜性质而可富集于熔离型铜镍矿床中，但其化学上的惰性决定了它并不和 Cu 、 Ni 、 S 等一起组成矿物，而是以自然金或金铂互化物和黄铜矿、磁黄铁矿、镍黄铁矿等伴生产出。

在已知的热液矿床中，金的含量往往和银、汞、铜、铅等元素的含量成正比，金、银的含量还和溶液中的 Na_2O 、 K_2O 含量具相关性，金与钠的相关系数较高，银则与钾的相关性明显。对部分金矿床的气液包裹体成分的测定得知，含金溶液具富碱、富碳酸及氯的特点，表明成矿前热液主要为钾、钠、钙的碳酸盐溶液。

金在热液中可能出现的离子有 Au^+ 、 Au^{3+} ，其复合物的类型计有氯复合物 $[\text{AuCl}_4]^-$ 、硫代硫酸复合物 $[\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$ 、硫酸根复合物 $[\text{Au}(\text{SO}_4)_2]^-$ 、砷酸复合物 $[\text{Au}(\text{AsO}_4)_4]^{3-}$ 、硫氢复合物 $[\text{Au}(\text{HS})_2]^-$ 以及碲酸复合物等。金在热液中成氯复合物形式被运移的可能性最大。实验得知 FeS_2 对 $[\text{AuCl}_4]^-$ 复合离子还原金的能力极大，还原量可达93-95%，也就是说在已沉淀黄铁矿的溶液中，氯复合物中的金几乎也可全部被还原而沉淀。因此，当热液中的

黄铁矿晶出及金的复合物水解后，氯金复合物即被还原而沉淀出自然金。这就是金之所以大多和黄铁矿伴生的主要原因。

（三）金的工业矿物及矿石类型

1. 金的工业矿物

自然界常见的金矿物有二十余种，大致可分六组：自然金—银系列矿物、金和其它金属的互化物、金的碲化物、金的铋化物、金的硫化物和金的硒化物。前三类可构成具工业价值的金矿石或伴生金矿石，其中最重要的工业矿物是自然金—银系列矿物，后三类仅有矿物学意义。

① 自然金—银系列矿物

这是自然界最常见的金矿物组，是构成全部外生金矿床和绝大部分内生金矿的工业矿物。根据金、银的含量比，自然金—银系列一般可分为三类四种矿物：

类 别	矿物名称	Au-Ag (%)	
		Au	Ag
自然金类	自然金	>80	<20
自然银类	银金矿	80-50	20-50
	金银矿	50-10	50-90
	自然银	<10	>90

金—银系列矿物的金、银含量比之规定不一，在测定自然金含金性时，大多用金的成色（ $\text{fineness} = 1000 \times \text{Au} / (\text{Au} + \text{Ag})$ ）表示。内生金矿床的自然金成色很少超过950，高成色自然金在砂矿床中较常见，成色较低的金银矿常是低温火山热液产物。

内生矿床中的金—银系列矿物大多呈微粒至显微粒状产出，粒径超过一毫米的明金甚为少见，只是在浅成火山热液金矿床中偶然出现。在某些砂金矿中有时有巨块自然金存在，小者重几十公克，大者重数十公斤，为此有人认为表生水流作用中金具有逐渐凝聚的效应。

② 金和其它金属的互化物

与金构成金属互化物的元素主要有铜、银、钯、铋、铂和汞。除金—银系列矿物外，其它金属互化物有钯金矿（Porpezite, AuPd ，含金85.2-91.1%）、铂金矿（Platinum Gold, AuPt ，含金84.6-86%）、钯铜金矿（Rozhkovite, $(\text{CuPt})_3\text{Au}_2$ ，含金60.8-65.6%）、铜金矿（Cuproaurite, AuCu_3 ，含金64-70%）、金汞膏（Colombianite, Au_2Hg_3 ）和黑铋金矿（Maldonite, Au_2Bi ，含金64.58%），金和其它金属的互化物大多属于等轴晶系。金汞膏和黑铋金矿偶见于热液矿床中，一般金铋连晶在温度持续下降至373℃即行分离。

③ 金的碲化物

金的碲化物由不同重量比的银、金、碲构成，其中主要有：碲金矿（Calaverite, AuTe_2 ，含金44.03%）、碲金银矿（Petzite, $(\text{Ag}_3\text{Au})\text{Te}_2$ ，含金25.5%，银42%）、针碲金银矿（Sylvanite, $(\text{Au,Ag})\text{Te}_2$ ，含金24%，银13%）、白碲金银矿（White Petzite, $(\text{Au,Ag})\text{Te}_2$ ，含金39%，银13%）。

金的碲化物主要产于中、低温热液多金属硫化物矿床中，几乎总是与黄铁矿、毒砂（Arsenopyrite, FeAsS ）等硫化物及自然金伴生，大多为热液矿床中的副产品，构成独立矿床者极少。

2. 金矿石类型

金矿石常按硫化物多少分为四类：

- ① 贫硫化物含金石英矿石：硫化物含量低于0.5%，金含于石英脉中，金多为自然金—银系列矿物。
- ② 少硫化物含金石英矿石：硫化物含量在0.5-5%之间，石英脉和硫化物中都含金。
- ③ 中等硫化物矿石：硫化物含量为10-20%，主要为黄铁矿。热液型含金硫化物石英脉矿床的矿石大多属这一类型。
- ④ 多硫化物矿石：硫化物含量在50%以上，除黄铁矿外尚有黄铜矿、方铅矿等多金属组份。常构成热液型含金硫化物石英脉矿床中的富矿石。

工业上对金矿石的要求主要取决于品位。原生金矿石的工业品位为3-5g/t，边界品位为1-2g/t。金矿工业品位为0.2-0.3g/m³，边界品位为0.05-0.1g/m³。

（四）金矿床类型及典型矿床实例

1. 岩浆热液型金矿床

岩浆热液型金矿床主要产于褶皱带和强烈活化的地台区，矿床在空间上和侵入岩浆岩有密切的空间关系。成矿岩体多为花岗岩类，大多属中深或中浅成侵入的岩株状小侵入体。

近矿围岩均受一定程度的蚀变，主要有钾化、硅化、绢云母化以及黄铁矿化。除钾化外，其余蚀变类型经常相互迭加，构成近矿的黄铁绢岩化。

岩浆热液金矿床普遍具有多阶段成矿的特点，一般都经历了四至五个成矿演化阶段，其顺序和金矿化关系一般为：

- ① 脉石英阶段：含少量的黄铁矿、毒砂。这一阶段含金量低，一般不具独立工业意义；
- ② 石英-黄铁矿阶段：可形成多种类型的黄铁矿。金多含于细粒黄铁矿中，是主要金矿化阶段；
- ③ 石英-多金属硫化物阶段：除黄铁矿外，尚形成有黄铜矿、方铅矿、闪锌矿等硫化物。硫化物中大多含金，也是重要的金矿化阶段；
- ④ 石英-碳酸盐-硫化物阶段：脉石矿物有时以方解石为主，这一阶段产物总量不多，为热液作用的尾声，但有时产有少量粗粒的明金。

矿石中金矿物以细粒至微粒自然金类为主，粒径0.0n mm者居多，大多为银金矿，高成色的自然金和金的碲化物少见。金矿物多数呈粒状或片状包含于硫化物中，少数产于石英晶洞中。

这类金矿床分布十分广泛，苏联的乌拉尔、远东南部、南天山，中国的新疆、内蒙、陕西、山东等地均有产出。俄国的科奇卡尔金矿（Kochkar）、乌兹别克的穆龙套金矿*（Muruntau）以及中国山东招掖金矿带的玲珑、焦家、文峪等金矿就这一类型的大型金矿床。

* 世界上此类型最大的金矿床之一

矿床实例：山东玲珑金矿床

玲珑金矿位于招远县境内，招掖（招远—掖县）金矿带的东端。此金矿带由焦家、新城、河东、三山岛等金矿一起构成，为胶西北地区规模巨大的金矿带，亦为中国主要产金地区之一。

含矿岩体为燕山期片麻状花岗岩，矿床围岩蚀变主要有硅化、钾化、绢英岩化、并伴有黄铁矿化，有的迭加成黄铁绢英岩化。金矿化主为充填含金石英脉型式，矿化强度与黄铁矿化的发育程度成正比关系。

在整个矿带内矿石的物质成分较固定。除石英外，伴生矿物主要有黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿。金矿物为自然金银系列矿物，成色多在650-785之间，属银金矿范畴，个别高者可达950。金矿物大多含于黄铁矿、黄铜矿等载金矿物中，以包含金、晶隙金和裂隙金为主。少数在石英晶洞中成树枝状产出。金粒大小在0.001mm至0.5mm之间，以0.015-0.03mm居多。

对招远金矿的矿床成因认识目前尚另有混合岩化热液成矿的看法，因为此地区的基底是太古代的绿岩，平均含金丰度为20ppb，可能是本区的矿源层。

2. 斑岩型金矿床

斑岩型金矿床可分独立金矿床和伴生金矿床两类，二者无严格界限。以铜为主的斑岩型矿床伴生的金含量常较高，以钼为主的斑岩型矿床含金一般很低。独立的斑岩型金矿床大多与石英闪长斑岩或花岗斑岩有关。

金矿化大多产在与斑岩有关的角砾岩中。角砾岩的成因繁多：有侵入、爆破、塌陷、喷气交代等。角砾岩胶结物有岩屑、石英和方解石及硫化物等，金即赋存于角砾岩的胶结物及其中的硫化物中。

矿化与蚀变作用有密切的空间关系，围岩蚀变类型以硅化、绿泥石化、绢云母化为主，金矿化多与硅化有关。矿石中除自然金外，主要伴生矿物为黄铁矿，也经常有少量黄铜矿和方铅矿。金呈微粒状包含于黄铁矿的晶体内部或附于晶体表面。

一般认为，这类矿床与深源岩浆或火山喷发作用晚期的浅成侵入作用有关。角砾岩和岩浆侵入作用大多是同时生成的，蚀变和金矿化是后期热液作用的产物。金的来源认识

很不一致，有的认为和重熔岩浆的源岩的含金性有关，也有人认为金来自深部；还有人认为金来自围岩。

矿床实例：黑龙江团结沟金矿床

团结沟花岗斑岩（燕山期）呈不规则的岩床状产出，花岗斑岩体的前端和上、下盘均发育有角砾岩。这类角砾岩可能系斑岩体侵入推进时的动力作用造成的，故称之为侵入角砾岩。花岗斑岩的上、下盘及侵入角砾岩的后缘沿岩石破碎带受气水热液交代也形成一定数量的角砾岩，这类角砾岩产状和岩体一致，角砾位移不明显，在区内称之为气液角砾岩。气液角砾岩和侵入角砾岩首尾相接，构成统一的角砾岩带，金矿化即赋存在这一角砾岩带内。

近矿围岩蚀变主要为硅化和碳酸盐化，并伴随有黄铁矿化、白铁矿化。蚀变带多见于岩体附近的角砾岩带中。蚀变产物玉髓状石英及黄铁矿-白铁矿中都含有一定数量金，蚀变带内矿化富集时，便构成富矿体，这类矿体占区内金矿体的90%以上。

矿石组合较简单，金属矿物主要有白铁矿和黄铁矿，偶见辉锑矿、黄铜矿、方铅矿。脉石矿物主要为玉髓状石英、冰长石、方解石、铁白云石等。金矿物主要为自然金，多赋存于黄铁矿和玉髓状石英中，自然金多呈浑圆粒状或具棱角状，少数呈片状、树枝状，粒径一般为0.01-0.1mm，最大为0.5-1mm。金矿物的平均成色为948，自然金的成色极高是团结沟金矿的重要特征之一。

3. 火山热液型金矿床

火山热液型金矿床是指与喷出岩有关的脉状或网脉状金矿床，主要形成于中、新生代，尤以新生代居多。矿床多分布于受深断裂或断陷盆地控制的火山喷出岩带内。火山岩以中性-中酸性系列为主，岩石类型有安山岩、英安岩、流纹岩，其中安山岩类最重要。

近矿围岩除普遍具青盘岩化外，广泛发育硅化、绢云母化、黏土化和冰长石化。矿体受火山岩中的裂隙构造控制，大多呈脉状、网脉状、复脉带状，甚至囊状产出，个别产于火山架构附近的矿脉呈环状或放射状。

矿脉的组合类型主要有含金石英脉，含金玉髓-石英脉及含金玉髓（石英）-方解石脉。含金矿物有自然金、银金矿、碲金矿等。矿石中若含银较高，则常见辉银矿、深红银矿等。金矿物一般呈镶嵌状或微脉状含于玉髓石英、石英或硅化带中。

矿床实例：金瓜石金矿床

金瓜石金矿床位于台湾之东北隅，矿床产于中新世沉积地层中的数个更新世黑云角闪安山岩岩体（1.4至0.9 Ma）。近矿岩石普遍遭受青盘岩化、绢云母化、硅化等蚀变，金矿化赋存于受南北向正断层控制的方解石-石英脉及重晶石-石英脉中。围岩蚀变可分为两类：成矿前的区域蚀变（青盘岩化）和成矿期的近矿蚀变（硅化、绢云母化和绿泥石化）。

根据矿物组合和结构，区内矿脉可分为三类：

- ① 脉状金矿：矿体属浅温热水裂隙充填型式，矿脉厚者达1公尺，延长1200公尺。脉石矿物以方解石为主，含粘土矿物、菱锰矿、石英、黄铁矿、白铁矿、方铅矿、闪锌矿及微量辉锑矿与重晶石。矿石为自然金，一般颗粒大肉眼可辨别，亦有成块状者。通常成色为750至650，产于方解石的裂缝中或含于黄铁矿、方铅矿、闪锌矿之中，主要分布于九份、新山和武丹山。
- ② 脉状金铜矿：一般认为属中温甚至深温（500℃）的矿床，裂隙充填部分平均宽约2.3公尺，矿体中心常为硅化带，外围为粘土化带。脉石矿物为石英、重晶石和明矾石，而矿石为含金黄铁矿、硫砷铜矿、吕宋铜矿及少数法马丁石，一般肉眼看不到金粒，不过成色较高，普遍在900至850间，主要分布在本山。
- ③ 角砾岩状金铜矿筒(breccia pipe)：矿筒垂向分布200-700公尺，直径20公尺左右，本身及其边缘之矿化带宽度约5-50公尺。主要分布在长仁及粗石山，其矿化型式与脉状金铜矿相似。

4. 渗滤热液型金矿床

这类金矿床是上世纪六十年代新发现的一种金矿床类型，美国内华达州的卡林（Carlin）金矿是其典型代表，故又称卡林型金矿床。卡林金矿区上部是泥盆纪的硅质岩，

向下为石灰岩；下部为志留纪的灰黑色层状白云岩，含碳达0.4-0.8%，含金0.03-0.06 g/t，这些古生代地层普遍被晚侏罗至早白垩纪的火成岩脉所侵入，金则汇聚于断层附近。近年来卡林型金矿在世界各地均有发现，中国陕西李家沟、四川西北的东北寨和贵州西南一带的金矿床与卡林型金矿颇为相似。

卡林型金矿多形成于中—新生代。含矿围岩主要为碳酸盐岩和钙质砂岩、粉砂岩等，当含有机质时更有利于金的沉淀和富集。矿化带分布于断层交汇处，矿体多顺层产出，似层状者居多，产状与围岩一致，具明显的层控特征。近矿围岩常有硅化、高岭土化和绢云母化等蚀变，金矿化富集与硅化关系密切，金矿体多产于强硅化和黄铁矿化地段。

矿体和围岩呈过渡关系，矿石和容矿围岩外观上十分相似，肉眼难于分辨，矿石内金属矿物呈微细的浸染状产出。主要矿物有黄铁矿、雄黄、雌黄、辰砂、辉锑矿、自然金和少量的铜、铅、锌硫化物，其总量一般不超过5%。汞、砷的正异常是这类金矿富集的重要标志。

矿石内金多与黄铁矿共生，或包含于黄铁矿中，或附于黄铁矿颗粒的表面，或为有机碳质吸附。金的颗粒极细，通常都在 $10\mu\text{m}$ 以下，与黄铁矿伴生的自然金粒度相对较大，可达 $10\mu\text{m}$ ；与绢云母、高岭土伴生的自然金粒度相对较小，一般小于 $1\mu\text{m}$ ；被有机碳吸附的金粒度多在 $0.1\mu\text{m}$ 以下。矿石品位常在5g/t左右，高者可达70g/t，矿体内一般无特高品位段。

目前认为卡林型金矿是由大气水参与的热水溶液在热流影响下溶解并渗滤了围岩中的成矿物质，在断裂构造中迁移至有利的围岩处交代而成，故称为渗滤热液型矿床。基于矿床的地质特征、矿石结构及稳定同位素特点，目前认为卡林金矿系加热了的大气水和地下水，溶滤了围岩中的成矿组份，沿高角度正断层上升，在上覆石灰岩中交代沉淀金，至于原始矿源层问题目前尚无一致看法。

5. 绿岩带型金矿床

变质热液型金矿床是指在区域变质作用过程中产生的热液所形成的金矿床。这类金矿床广泛分布于太古代绿岩带，是仅次于金-铀砾岩型矿床的重要原生金矿床，常形成大型矿化集中区，各产金区储量常达千吨以上。

已知的变质热液金矿床都产于古老地盾区的绿带中，这是一套遭受变质的超基性、基性-酸性火山岩和沉积岩系。金矿化产于这套岩系底部的镁铁质火山岩及其相应的侵入岩中。矿体的围岩通常都含较高的金，一般含金为5-7ppb。变质热液金矿床具明显的层控特征，其产状有顺层的含金硫化物条带、浸染层、硅化带或石英脉。矿体附近的围岩大部遭受一定程度的蚀变，主要为绿泥石化、硅化、碳酸盐化和绢云母化，其中尤以碳酸盐化和金矿化关系最为密切。

金矿脉以含金黄铁矿石英脉和含金石英-铁白云石（方解石）脉居多，少数为含金黄铁矿脉，矿脉中硫化物含量可达20%以上，除黄铁矿外尚可见到黄铜矿、磁黄铁矿、方铅矿、黝铜矿、辉锑矿等，金多含于黄铁矿中，少数含在脉石或其它硫化物中，大多为金银系列矿物，少数为碲化物。

绿岩带金矿的成因涉及到金的来源以及金的迁移和富集过程。一般认为促使金活化、迁移的介质主要是变质热液。在变质作用影响下，变质热液由高级变质带向中、低级变质带方向迁移，与此同时使围岩中的金活化并进入溶液而成为含矿溶液，当其进入以剪切裂隙为主的容矿带时，金、硫化物和二氧化硅得以沉淀而形成金矿脉。

绿岩带金矿床产于加拿大、巴西、南非、印度、澳大利亚等国。在中国可能属于这类型的是河北金厂峪金矿床，位于中朝地台之燕山台褶皱带北缘。太古代绿岩形成于34-35亿年前，经过30-31亿年前的迁西运动和25-26亿年前的阜平运动，将其变质成斜长角闪岩、片麻岩和辉石岩等，并在韧性剪切带内形成压熔金矿体。

矿床实例：澳大利亚卡尔古利（Kalgoorlie）金矿田

卡尔古利金矿田位于西澳伊尔岗地块（Yilgarn Block）的诺斯曼-维伦那绿岩带（Norseman-Wiluna Greenstone Belt）的南部，是该绿岩带中最重要的金矿田，其中的金英里（Golden Mile）金矿床产金占全澳的一半以上。

诺斯曼—维伦那绿岩带长约800km，宽约200km，构成绿岩带的太古代地层由三个单元组成。底部单元主要为硅质玄武岩、沉积岩和条带状含铁层。中部单元为硅质玄武岩和超镁铁质岩互层组成，其顶部为火山碎屑沉积岩。上部单元由粗碎屑岩和镁铁质火山岩(mafics)及硅铝质火山岩(felsics)组成。区内金矿化主要产于中部单元的上段。

矿田内有两种金矿脉：

- ① 金碲矿脉：以金英里矿床为代表，是一种含金-黄铁矿-碲化物的复脉型矿脉，矿脉沿剪切断裂带分布，单脉宽数厘米至10m，矿脉最长达200m左右，在区内共有矿脉300余条。

金英里矿床的金碲矿脉含5-10%的浸染状细粒黄铁矿，黄铁矿粒径大都为0.1-0.2mm，很少超过2mm。在没有碲化物的矿石中，金成 $8.5-20\mu\text{m}$ 的微粒包于黄铁矿中。当出现碲化物时，黄铁矿中很少包含金粒。

金碲矿脉中碲化物的重类繁多，主要有碲汞矿 (Coloradoite, HgTe)、碲金矿 (AuTe_2)、白碲金银矿 (AuAgTe_2)、碲金银矿 (Ag_3AuTe_2)、碲银矿 (Hessite, Ag_2Te)、针碲金银矿 [$(\text{Au,Ag})\text{Te}_2$] 和部分铁、镍、铅的硫化物。金的碲化物在矿脉内十分普遍，碲化物富集部位均为高品位金矿石。

金碲矿脉中金品位平均为11.9g/t。金英里矿床的产金量约占卡尔古利矿田产量的99%，几乎都来自金碲矿脉，其中有一条矿脉的富矿体产金达64t。

- ② 含金石英脉：是沿剪切带分布的交代型矿脉，矿脉属石英复脉型，其中缺少碲化物，主要为网脉状的含金黄铁矿石英脉，脉宽由于1cm到50cm，平均8cm，网脉带长250m左右。石英脉内主要金属矿物为黄铁矿，金大多分布于石英脉边缘的黄铁矿颗粒间或沿黄铁矿裂隙分布。

卡尔古利金矿的成因，特别是金的来源目前尚不很清楚，基于金矿化都位于低级变质带中，很少进入角闪岩相区，有人认为金是火山喷气产物，在变质和热液循环过程中发生了局部再活化，向变质梯度低的方向迁移，并在适当的构造位置聚集和沉淀，形成了金矿床。

6. 沉积—变质型金矿床

这类矿床是海底火山喷发沉积物中的金在变质作用过程中得到迁移并聚集而成的，故称为沉积—变质金矿床。在金矿总储量中，这类金矿所占比例不大，但美国的霍姆斯塔克金矿（Homestake mine at Lead, South Dakota）已采得金千余吨。

沉积—变质金矿床多分布于古老地台区，含矿的变质岩大多遭受低、中级变质作用。矿床的形成时代多为前寒武纪。金矿床在空间上与含铁变质岩层有密切关系，矿化或含于铁矿层中，或含于铁质层上下的富硫化物层中，矿体具层控矿床的一般特征。

沉积—变质金矿床的矿石组合较为复杂，载金矿物既可有硫化物，毒砂、磁黄铁矿等，也可有硅酸盐矿物，如锰铝榴石、绿泥石、蛇纹石等。含金硫化物在矿体中成细脉或浸染状，有的成似陨石结构，金在载金矿物中多呈自然金产出。矿石中金品位一般为3-6g/t，高的地段可达100g/t以上。

矿床实例：黑龙江东风山金矿床

东风山金矿位于鹤岗市之西，是中国较为典型的沉积—变质型金矿床。该区域出露大面积海西晚期黑云母花岗岩，而前寒武纪东风山群呈一孤立的背斜残块残留于花岗岩中。金矿即赋存于东风山群下部岩组铁矿层之下的含锰硫化物中。金矿体成层状、似层状、凸镜状，限于含锰硫化物层内。

金矿石为含磁黄铁矿的铁闪锰榴岩（Grunerite-spessartine rock），锰榴铁闪岩、黑云锰榴岩。金以自然金或银金矿等包含于锰铝榴石、锰铁闪石（Dannemorite）以及磁黄铁矿、毒砂和辉钴矿中。金粒微细，一般为0.01-0.02mm，个别达0.13mm。部分自然金与上述矿物成连晶产出，自然金成色平均为934。

根据已有的资料，普遍认为东风山金矿由原始含金丰度高的岩层，在变质作用中金进一步得到聚集而成。岩层中金的原始高丰度值可能与沉积过程中的火山喷气有关。

7. 古沉积砾岩型金矿床

古沉积砾岩型金矿床是世界产金量最大的一种金矿床类型，尤以南非的维特瓦特兰德（Witwatersrand）金矿规模最大，简称兰德型金矿。兰德金矿自1886年开采以来共采出黄金三万余吨，估计储量尚有二万吨；最近50年来，它提供了世界金产量的60%以上，

目前年产金900-1000t。三十年代末开始，兰德金矿中发现并开采了铀矿，目前年产铀4000t，故又称砾岩型金—铀矿床。

含金、铀、钍和稀土元素的砾岩型矿床在世界上分布甚广，除南非兰德金矿外，加纳的塔克华（Tarkwa, Ghana）、巴西的贾卡比纳（Jacobina, Bahia）和加拿大安大略的依利奥特湖（Elliot Lake）和盲河（Blind River）地区（在萨德伯里附近）都产有规模巨大的砾岩型金矿。此外，津巴布韦、苏联、澳洲等国也有这类矿床，唯规模不大。

砾岩型金矿床都产于古老陆台上，形成于结晶基底上的内陆盆地中。年龄通常在2300-2500Ma前。与其伴生的岩层有石英岩、页岩、黏土岩，形成韵律性的地层组合，厚度常达万米以上。金仅含于某些层位的砾岩或某几层砾岩中。含金的砾岩成薄层状夹于巨厚的沉积岩层或火山沉积岩中。

含金砾岩中的砾石几乎全由石英构成，偶含燧石、石英岩、斑岩、板岩砾石。砾石磨圆度良好，说明曾经历了长期的搬运和磨蚀。

按伴生的金属矿物，矿化砾岩可分两类：（1）含黄铁矿、磁黄铁矿的砾岩，（2）含赤铁矿、钛铁矿的砾岩。砾岩型金矿中还常伴生有一定数量的贱金属硫化物、沥青铀矿及固体碳氢化合物。金和其它金属矿物都产于砾岩的胶结物中，局部成细脉从胶结物中延伸至砾石的裂隙中，有的甚至成金和硫化物的细脉产出。砾岩中金矿化不很均匀，高的可达数百g/t，一般不超过10g/t。

矿床实例：南非兰德金矿床

南非维特瓦特斯兰德金矿床位于南非约翰内斯堡市及其南部地区，系一盆地构造，经历了2500-2300Ma的漫长形成演化历史。

盆地形成随即形成了巨厚的维特瓦特斯兰德系，下部为页岩、板岩、石英岩和含铁岩层，含3-4层含金砾岩。随着沉积作用的发展，盆地面积减小，上部维特瓦特斯兰德系厚3200m，以砾岩、石英岩为主，盆地内有四层主要含金砾岩层。

含金砾岩面积约300×150公里，主要由石英岩砾石和泥质胶结物构成，胶结物中可见黄铁矿、绿泥石、绢云母等，金多产于胶结物及其中的硫化物中，颗粒微细，大多在0.01-0.06mm间，成色为389至932，少数成细脉状产出。胶结物内尚含锆石、钨矿物、钼

铌矿、铬铁矿等重矿物及黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、辉锑矿、砷铂矿、镍钴矿和碲金矿等。矿石含金4.5-10g/t，平均为6.5g/t，个别砾石粗大、分选较好的层位含金达200g/t，含铀0.03%。

8. 现代沉积砂金矿床

砂金是最重要的金矿床类型之一，近代砂金矿床的金产量约占世界金产量的25-35%。砂金矿的分布很不均衡，苏联砂金产量占全国金产量的70%。美国曾在加利福尼亚州大量生产过砂金，目前开采殆尽。中国砂金约占全国金产量的15%，分布广泛，以黑龙江省较为集中。

按形成作用和产状特征，现代砂金矿床可分为残、坡积砂金、冲积砂金、洪积砂金、滨湖砂金、滨海砂金和冰川砂金矿床，世界各地的砂金矿床均以冲积砂金为主。

冲积砂金矿床主要分布于构造隆起区的山岳地带，平原地区一般没有砂金矿床。这是因为山岳地带的风化、剥蚀，为砂金提供了成矿组分。而金的比重大，又使之在距源地不远处沉积，所以只有在地势适中，高程适当的山岳河流中，才能形成规模较大的砂金矿床。

大型的冲积砂金矿可断续延长数公里至十多公里，宽数十至数百米，含金层厚1-2m，含金砂砾层的形态、规模、分布和稳定性随冲积砂矿的类型而异。砂金矿物几乎全是金银系列矿物，形状以粒状、片状居多，粒级因地而异，差别甚大，多数呈0.2mm以下的显微金（粒级小于0.05mm的粉金因淘选困难，不易生产），粒级大于2mm的砂金为数不多。

关于金能否在水中溶解、搬运、再沉淀形成金矿物的问题，多年来一直有所争议，因砂金矿床中曾发现过很多达数十公斤的块金，但在原生矿床中从未发现过块金。砂矿中的块金呈棱角状，有的具良好晶面和晶棱，晶面上有时还长有瘤状小金块，砂矿床中甚至还出现晶形完好的金晶体。这些现象表明砂金在水溶液中搬运时其生长速度可能要超过其磨损速度，从而说明金是可能被部分溶解成溶液搬运的。

矿床实例：黑龙江桦南砂金矿床

矿区位老爷岭中间隆起桦川复向斜的西南翼。区内广泛分布元古代花岗岩、混合花岗岩、麻山群的各类片麻岩、片岩、变粒岩以及侏罗系陆相盆地沉积的砂砾岩。区内砂金矿床以河谷矿和阶地砂矿为主。

砂金品位沿纵向稳定，横向变化极大。金粒径为0.8-0.2mm，以细粒状、片状为主，少数成板状和粉状，偶见大于10mm的块金。呈金黄色，少数表面呈亮白色，金的成色为657.4-931.6。

区内砂金来源于含金高的花岗岩和变质岩，特别是含铁层。这些岩石含金量大多在0.1-0.185ppm之间，局部高达0.37ppm。区域的长期风化、剥蚀为砂矿的形成提供了物质条件，河谷地貌直接控制了砂金矿体的分布。

9. 伴生金矿床

各种矿床中作为伴生组分产出的金，在选冶过程中能回收者统称之为伴生金。各类内生矿床中常有数量不等的伴生金，它不构成一个单独的金矿床型。但由于其产出广泛，总量巨大，是一重要的金矿资源。

伴生金虽然仅是其它矿床中的一部分副产品，但就其价值而言有时并不亚于矿床中的主要矿产，按世界金矿产量统计，伴生金约占5-10%，加拿大的伴生金产量占其全国产量的25.5%，美国的伴生金占全国金产量的40%，全美25个金矿中有19个是伴生金矿，其中大多数为斑岩型铜矿床。苏联的伴生金约占全国产量的25%。澳大利亚、秘鲁、菲律宾等国作为副产品回收的金占全国产量的15%。日本生产的金，几乎全部来自黑矿中的伴生金。中国伴生金的储量和产量占全国总量的20%，华南的伴生金约占其总产量的2/5。

伴生金的矿床类型众多，例如岩浆型矿床、块状硫化物矿床、斑岩型矿床和脉状多金属矿床等常伴生有金。

伴生金矿床中金的品位和储量相差甚大，加拿大魁北克的诺兰达铜矿，含铜黄铁矿矿石中金品位可达100g/t，实为富金矿石。美国犹他州宾汉姆斑岩型铜矿床年产伴生金5-6g/t，占全美金产量的20%。巴布亚新几内布干维尔（Bougainville）大型斑岩型铜矿床中，金的品位为0.5g/t，年产金20t，加拿大萨德伯里镍矿床中含金0.08-0.1g/t，品位虽然不高，但产量很大，也是一重要的金产地。

（五）金矿床在时间上和空间上的分布

金矿床的形成几乎遍及各地质时代，综观世界各地金矿床的形成和分布，大致可归纳成四个成矿时期，每个成矿时期都形成一定的金矿床类型，它们各自分布于特定的地构造环境中。

1. 太古代成矿

这一成矿期的成矿地质环境稳定，矿化类型单一，金矿床主要发育于绿岩带内。这类矿床分布广、规模大，常构成巨型金矿集中区，矿体延展稳定，矿石成分简单，主要为金—石英组合和金—黄铁矿（磁黄铁矿、毒砂）组合，个别地区富含砷化物。这类金矿床主要分布于加拿大的阿比提比（如Porcupine Mine in Abitibi, Ontario）和西北州的耶洛奈夫（Yellowknife, Northwest Territories），非洲南部的津巴布韦和巴伯顿地区（Barberton, South Africa），印度的科拉尔（如Champion Mine in Kolar），西澳的伊尔岗地块（如Golden Mile in Yilgarn Block）和南美洲南部的帕塔岗准地台（如Morro Velho Mine in Patagonian Quasi-platform）等地。

2. 元古代成矿期

元古代金的成矿作用是基于地台开始发育，经受了风化作用和准平原化，太古代绿岩带中的金矿床经受了剥蚀、搬运和沉积，形成了巨大的砾岩型金矿床。但并非所有的绿岩带金矿附近都具备形成砾岩型金矿的条件，所以砾岩型矿床的分布很局限，除南非兰德地区外，规模较大的砾岩型金矿床分布在加纳、巴西、加拿大等地。元古代还产有少数沉积变质型金矿，中国黑龙江的东风山金矿便是一例。

3. 古生代成矿期

古生代金矿规模一般不大，分布也较局限，但矿化类型和矿石成因甚为多样，除金—石英组合、金—石英—硫化物组合外，还见于形成温度较高的硅卡岩和形成温度较低的玉髓、重晶石等产物。硫化物群也较复杂，黄铁矿含多种金属，毒砂含量多，矿石中常含铋，锑的硫化物。

古生代金矿化受地槽内断裂构造控制，矿化富集于断裂交叉处，这一时期成矿的控制作用主要是构造岩浆活动。

4. 中、新生代成矿期

中生代和新生代控制金矿形成的构造岩浆活动具有明显的连续性，所以可将二者合为一个成矿期。

这一时期金矿化主要受断裂构造及岩浆活动控制，自中生代起地质构造发展具有两个重要特征：

- ① 造山运动加剧，新的全球构造运动使环绕陆块的沉降带不断扩大，与此同时，在岛弧边缘和陆块外侧出现新的构造岩浆活动区。其结果造成了环太平洋金矿成矿带、地中海—喜马拉雅金矿成矿带。环太平洋金矿成矿带可分东、西两个亚带。东带沿南北美洲西海岸分布，南起智利，北至加拿大，广泛分布有中生代的安山岩带及迭加有新生代的火山岩。前者有丰富的斑岩型铜矿床，其中伴生有金矿化，后者产有火山热液型金矿化。西带自千岛群岛起，经日本、菲律宾、新几内亚、东加至纽西兰止，安山岩带沿岛弧分布，与斑岩型矿床伴生的金为数不多，主要形成与块状多金属硫化物矿床伴生的金。西带的内侧，中国的东南沿海各省亦有火山热液型脉状金矿床。金矿床的环太平洋分布，是中生代成矿作用的重要特征之一。
- ② 地块的活化，使已固化的陆块上发生了强烈的构造岩浆活动发生沉降，接受新的沉积，重新出现火山作用，如中国的华北地台。地块活化后的岩浆作用多沿断裂带分布，尤其在地台边缘更为发育，这些地段多形成与花岗岩类有关的热液矿化，而在陆台区的变质岩中产有大量岩浆热液型金矿床。这类金矿床以金—石英—硫化物组合为主，成矿作用的演化复杂，金矿化成群出现，常构成较大的金矿化集中区。中国的胶东、内蒙、吉林等地都产有这类矿床和矿化。

根据上述各成矿期金矿床的特征和分布，自太古代成矿期到中生代成矿期，金矿床的形成和演化具有如下的规律性：

- (1) 金总量大幅度依次减少，金矿床规模也明显逐渐变小。
- (2) 金的成矿时期间隔愈来愈短，金的成矿作用愈来愈频繁。
- (3) 矿床的类型和数量增多，矿石组合更为复杂。