

第 1 章 概 论

1.1 金的物理性质和用途

1.1.1 金的物理性质

金在元素周期表中位于第六周期第一副族，与铜、银通称铜族元素。金的原子序号为 79，元素符号为 Au，原子量为 196.96654，原子半径为 0.174nm，原子体积 $10.2\text{cm}^3/\text{mol}$ ，离子半径 0.085nm。

金的密度为 $19.32\text{g}/\text{cm}^3$ ，熔点为 1064°C ，沸点为 2807°C ，比热为 $0.128\text{J}/(\text{g}\cdot\text{K})$ ，蒸发热为 $334.4\text{kJ}/\text{mol}$ ，熔化热为 $12.55\text{kJ}/\text{mol}$ ，导热系数为 $3.17\text{W}/(\text{cm}\cdot\text{K})$ ，导电率为 $0.452\times 10^6\Omega/\text{cm}$ 。

纯金有着极好看的草黄色的金属光泽，可以说黄金在所有金属中，颜色最黄。在自然界中见不到纯金，而金属杂质（首先是铜和银）赋予金以各种颜色和色调，从淡黄色到鲜黄红色。黄金的颜色同时也取决于该金属块的厚度及其聚集体状态。例如，很薄的金箔，对着亮处看是发绿色的，熔化的金也是这种颜色，而未熔化的金则呈黄绿色，细粒分散金一般为深红色或暗紫色。自然金有时会覆盖一层铁的氧化物薄膜，在这种情况下，黄金的颜色可能呈褐色、深褐色，甚至是黑色。

黄金易锻造、易延展，可碾成厚度为 0.001mm 的透明和透绿色的金箔。1g 黄金可拉成 320m 的金丝。如采用现代加工技术，1g 纯金可拉成 3420m 长的细丝。

黄金是一种很柔软的金属，但不及铅和锡两种金属，在纯金上用指甲可划出痕迹，这种柔软性使黄金非常易于加工，然而这一点对装饰品的制造者来说，又很不理想，因为这样很容易使装饰品蹭伤，使其失去光泽以致影响美观。所以在用黄金制作首饰时，一般都要添加铜和银，以提高其硬度。

金能与许多金属形成合金，原因是这些金属的原子半径与金的原子半径非常接近；因此金可以形成金银合金、金铜合金、金铂合金、金钯合金等，这些合金并不是化合物，而是固熔体。合金中的所有金属都比其纯金属熔点低，假如把金加热到接近熔点，金就可以像铁一样熔接，纤细的金粒可熔结成金块。金粉在温度较低的情况下，必须加压才能熔接在一起。

金与其他金属在一起熔化，不仅可降低其熔点，而且还能改变金本身的机械性能。含银和铜可明显地提高金的硬度；含砷、铅、铂、银、铋、碲能使金变脆，铅在这方面的特点就更为突出，仅含铅 1% 的合金，如果冲压一下，就会变成碎块，纯金中含 0.01% 的铅，它的良好可锻性就将完全丧失。

金的挥发性很小，在 $1000\sim 1300^\circ\text{C}$ 之间，金的挥发量是微不足道的。金的挥发速度与加热时周围气氛有关。例如：在煤气中蒸发金的损失量为在空气中的 6 倍；在一氧化碳中的损失量为在空气中的 2 倍。因此，在碳覆盖层下熔炼金会因挥发而造成金的损失。例如：金在 1250°C 、 1300°C 、 1350°C 和 1400°C 下，于氢气流中熔化时，经 25min 后，其损失量相应为 0.055%、

0.090%、0.150%和0.250%；而在1075℃、1125℃和1250℃下于空气中熔化金时，经1h，其损失量相应为0.009%、0.10%和0.26%。金的挥发速度和金中杂质的性质也有极大关系。

黄金很容易磨损，变成极细的粉末，因此黄金常以分散状态广泛分布在自然界中。

黄金具有良好的导电及导热性能，其导电性仅次于银、铜，居第三位；其导热性仅次于银。

黄金的成色是指金的纯度和含量。黄金成色有三种表示方法，即百分率法、成色法和K (Karat)数法。百分率法以百分比率(%)表示黄金的含量；成色法以千分率表示黄金的含量；K数法是国际上通用的计算黄金纯度或成色的方法，将黄金成色分为24等分，纯度最高者即纯金为24K，纯度最低者为1K。理论上纯金的纯度为100%，由 $24K = 100\%$ ，可以算出 $1K = 4.16666666\%$ 。由于1K的百分值是无限循环小数，因而世界上各个不同的国家和地区对1K的取值规定大小有别。

1.1.2 金的用途

黄金是人类较早发现和利用的金属。由于它稀少、特殊和珍贵，自古以来被视为五金之首，有“金属之王”的称号。正因为黄金具有这一“贵族”的地位，古往今来曾是财富和华贵的象征，用它作金融储备、货币、首饰等。到目前为止黄金在上述领域中的应用仍然占主要地位。

随着社会的发展，黄金的经济地位和应用在不断地发生变化。它的货币职能在下降，在工业和高科技领域方面的应用在逐渐扩大。

黄金的主要需求和用途有四大类：

(1) 国家货币的储备金

黄金作为一种货币商品，曾长期执行着价值尺度、流通手段、储藏手段、支付手段和世界货币的职能，其中前两种为基本职能。历史上，黄金在许多国家曾经直接充当过货币商品的职能，如英国、美国、西班牙和墨西哥等国。只是后来随着世界各国金本位制的崩溃，黄金才逐渐从货币流通领域退了出来，但仍保持着储藏手段的职能。目前尽管一些国家在减少储备资产中的黄金比重，一些少壮派执掌的中央银行因强调储备资产的流动性和增值性，瞧不起以保值、稳定见长的黄金而减少黄金储备，但黄金作为国家储备的作用绝不可低估。如从20世纪60年代以来，德国马克一直是世界上最坚挺的货币之一，其原因跟德国中央银行保持巨量黄金储备有直接的关系。黄金目前仍被大多数国家政府作为储备金而购买储备起来，以维持货币和经济的稳定，目前作为货币储备的黄金已达到已开采黄金总量的60%。即使是一直在鼓吹“黄金无用论”的美国，现仍拥有占世界官方储备约25%的黄金存量。另外，现仍有约25%的年产金量被铸成金条、金砖存放在世界各国政府的金库，作为预防经济危机或自然灾害的保险措施，以应付战乱和通货膨胀等，只有一小部分被浇铸成金币供流通使用。

(2) 个人金融资产投资保值的工具

在经济稳定时期，人们对黄金的兴趣不大。由于单纯存储黄金的行为没有利息收益，而且还需支付存储保管费用，因此这时候个人购买黄金行为只能算是黄金收藏者的一种嗜好，而不将其视作为是一种投资保值的手段。如在20世纪的50年代世界经济呈现出全面复苏时期曾出现过这种情况。而到了20世纪90年代末，当东南亚地区、韩国以及我国的台湾和香港等国家和地区出现金融危机，特别是韩国民众为此开展民间献金运动，以拯救国家的财政金融危机时，黄金所发挥出来的积极作用使人们对黄金作为一种投资保值工具的作用就有了全新的认识。

当黄金处于保值、增值、储藏手段时，多以金块、金条、金砖、纯金币等形式存在。

(3) 美化生活的特殊材料

世界上每年所生产的黄金中约有三分之二被大量用作装饰品，主要用于珠宝首饰业。黄金被用作装饰品的历史源远流长，世界上许多国家都留下了用黄金制作首饰的历史记录。金饰品充分

体现了黄金的特性——美丽、柔软、抗腐蚀性强等特点。

另外黄金饰品也反映出一种复杂的社会现象。金饰品不但可给人们带来美感，同时还可充分显示其身份和财富。在封建社会黄金曾使社会等级分明，只有贵族、官僚们才会拥有大量的黄金饰品，而普通百姓则很少甚至不可能拥有金饰品，所以黄金又是财富的象征。

(4) 工业、医疗、高科技领域的原材料

20 世纪初，黄金开始在工业、医疗及高科技领域被广泛运用。由于黄金所具有的良好导电、导热、抗腐蚀的特性和抗拉、抗磨、抗弧能力，因此，黄金被大量运用于宇航、电子、电气工业中。宇宙飞船、人造卫星、火箭、导弹、飞机中的电器仪表，微型电机的电接点等关键部件几乎全部采用不易氧化、熔点高、抗弧抗磨能力强的黄金及其合金制造。如美国“阿波罗号”宇宙飞船上的仪表就做过渡金工艺处理，又如电子工业中一些高级的接触器、插销、继电器、大型计算机上的开关触点和线路板，也用黄金制造。据统计，全世界每年大约有 80t 黄金被用于电子工业、航天工业、计算机和电子通信等新兴的高科技产业。黄金所具有的良好韧性和延展性，还是用于印刷微型电子线路板的极好材料。此种微电子线路如用于新型的计算机，可节省数英里长的导线，从而使计算机向小型化、微型化发展成为可能。在航天工业领域，用黄金制作的电子元器件除了具有良好的导电性能外，还具有使用寿命长的特点。当然，如在航天器表面涂上一层厚度仅为 0.06 英寸的黄金，还可使其形成一层理想的反射膜，足以保护航天器在太空免受炽热阳光的损害。另外，世界上每年还有约 60t 黄金被用于医药医疗领域，主要用于镶牙和治疗风湿性关节炎等。黄金在摄影、医疗以及其他工业领域也得到越来越广泛的运用。

当然，由于受传统习俗的影响，即使是已进入现代社会的人们，仍然十分喜爱黄金饰物，因此全世界每年所产的约 2400t 黄金中仍有约 60% 被用于制作首饰供个人购买使用。其余的约 25% 则被放入国家金库保存或被中央银行购买用于制作金币的材料，约 5% 被私人收藏，另有 10% 被广泛运用于航天、电子电器、医疗工业等。

1) 金在仪器仪表制造业的应用

随着科学技术的发展，对各种仪器仪表的要求也越来越高。金在各种精密自动化仪器上的应用也越来越占有重要位置。

工业用测量及控制设备上广泛使用以脉冲变线位移和角位移的绕线，电位计占有重要位置，电位质量是测量控制系统工作精度的决定因素。由于这个原因，往往要求这种设备在各种工业气氛的不同温度下长期工作。这是采用金或合金作为精密电位计关键材料的原因。

在测试技术中应用的精密电位计的某些部分材料有很高的比电阻，以及小到接近于零的电阻温度系数，以致电阻在工作时是常数（保持常数的难度非常大）。金-钯-铬合金、金-钯-锰合金、金-钯-钒合金、金-钯-铁合金除能满足上述要求外，在加工的机械性能、热稳定性等各方面都达到了较好的水平。

工业上测量温度常采用热电偶和电阻温度计。热电偶是由两种不同成分的金属丝组成，由于测量点的冷端间的温度差引起能用毫伏计测量出的热电势，是基于温度的热电势的变化来测量温度的，因此对材料的热稳性要求是很严格的。

2) 金在电子工业中的应用

众所周知，现代各项科学技术的发展都离不开电子工业，而且还占有重要地位，如电子信息、航空航天、仪表仪器、计算机、收音机、电视机、集成电路等，都是电子工业飞跃发展的结果，而电子工业与黄金及其他贵金属的应用是密不可分的。电子元件所要求的稳定性、导电性、韧性、延展性等，黄金和它的合金几乎都能一并达到要求。所以黄金在电子工业上的用量占工业用金的 90% 以上，而且用量在年年增长。

3) 金在电触点材料上的应用

在现代化通信系统、控制系统及电子计算机系统中，虽然其结构紧凑，器件微型化，但尚应保证进行必要检查的可能性。在这方面采取个别零件和元件可拆卸结构，在技术上是合理的。对可靠性和使用寿命提出更高的要求，自然提出研究新型触点的必要性与重要性。由于零件布置紧凑和单位体积的能量储备增大，在通信系统中提高系统的有效性，在研制触点材料时必须考虑与周围环境相关的一些因素，如优良导电性、稳定的电阻以及优良的耐蚀性、可加工性、热稳定性等。由于金及金合金具有上述优良性质，被广泛地应用于电子工业触点的制作。

由于金及金合金的可镀性、高塑性及良好的加工性能，可采用压制、电镀、包覆、电沉积等方法制作各种不同类型、不同用途电触点，如用金-铂、金-铜、金-银-钨可制作通信设备用触点、滑动触点；用金-镓制成的电话继电器触点，耐磨而且能保证信号的传递；用金-钨制作高强度、耐腐蚀电触点；用金-铜-钨制作高弹性触点；金广泛用在铁磁合金制作的舌片触点（舌簧管）；采用弥散氧化物（ $0.05\mu\text{m}$ 弥散颗粒状氧化钨）能明显地提高金的机械性能，这种材料耐热、抗氧化并有较强的机械性能，可用于制作高温下工业用继电器触点，金-铜-锌形状合金用作特殊用途导线触头。

4) 金在导电材料上的应用

金丝、金箔、用金粉压制成的部件、金的合金、包金合金材料（如包金玻璃、包金陶瓷、包石英）等被作为导体材料广泛用于电子设备、半导体器材和微型电路中做导体材料。如半导体集成电路的制作，半导体集成电路引线框架是用引线框架材料经高速冲床冲制而成，合格的引线框架经清洗、局部镀金（镀金层厚度不小于 $1\mu\text{m}$ ）、装入芯片、键合引线、封装等工序才能制成半导体集成电路。金和金合金用于电子行业作内引线和外引线，如半导体器件键合金丝。

5) 金在金基焊料上的应用

金基焊料有许多宝贵的性质，仅仅是因为金的价钱昂贵而限制了它在工业中的大量应用。随着电子工业、真空技术、原子能装置、飞机及火箭用的喷气发动机、宇航装置等新结构材料研制工作的发展，金基焊料的应用范围变得更为宽广了。

金基焊料的性质要求主要是湿润性能、焊接的强度、耐热性、耐蚀性、溅射性及工艺性能。

6) 金在电子浆料上的应用

1960年兴起的集成电路发展甚快。1967年和1977年先后有大规模集成电路和超大规模集成电路问世。集成电路不仅成了各种先进技术的基础，而且是现代信息社会的关键技术，它的发展带动了贵金属粉末在微电子工业中大规模应用，使贵金属电子浆料成为微电子工业的重要基础。

7) 金在宇航工业中的应用

金在宇航工业中的应用也在不断地发展和开拓之中，其速度之快令人惊讶。金以它的抗腐蚀性、抗热性，优良的导热、导电性，独特的化学性质在宇航领域中占有重要位置。

金在宇航工业中的应用量大、范围广。从航天器、运载工具的制造到宇航的系统控制等，都离不开信息、测量、遥感、定位、计算机、摄影、仪表等各方面的器材，而其中成千上万的电子元件、仪表、特殊材料又都离不开金。

镀金用在各种宇宙仪表上防止太阳的辐射。“阿波罗”的一些宇宙飞船上的零件和宇宙飞行员的装备也是为了这一目的而镀了金。金具有高反射率兼低辐射率的特殊性能，所以金往往用在防止辐射的场合，如喷气式发电机油嘴，宇宙装置燃料部件及热反射器。金也用在喷气发动机和火箭发动部件涂金防热罩或热遮护板。美国一公司研制了一种在飞机发动机外壳上喷镀黄金的方法，喷镀层厚度不超过 $0.04\mu\text{m}$ ，这使得这种发动机的性能大大提高。抗辐射、耐高温、不腐蚀的金铂合金用于喷气式发动机、火箭、超音速飞机引擎火花室材料。

8) 金在润滑材料上的应用

近几十年来, 摩擦学的研究重点发生了明显转变, 即从润滑和润滑系统转向材料科学和技术(包括表面工程)的研究。随着现代工业技术的发展, 特别是航天工业空间技术的发展, 许多工况条件已经超出了润滑脂的使用极限。人们因此不得不去寻找新的润滑材料以适应更为复杂的工作环境, 并为机械设备实现大型化、微型化、高速、重载和自动控制等创造有利条件。

包括中国在内的许多国家从 20 世纪 50 年代就开始研究固体润滑材料, 而金及其合金在固体润滑材料中占有着重要地位。固体润滑是用固体微粉、薄膜或复合材料代替润滑油脂, 隔离相对运动的摩擦面以达到减摩和耐磨的目的。随着现代科学技术的进步, 为解决高负荷、高真空、高低温、强辐射和强腐蚀等特殊工况下的机械润滑, 固体润滑材料已从单一的微粉、黏结膜或单元的整体材料发展成为由多构成分组成的复合材料。

摩擦材料理论表明, 表面能可以影响材料的表面流动压力。软金属黏着在基材表面上, 只要有零点几微米厚的膜就能起到润滑作用。当与对偶材料发生摩擦时, 软金属膜便向对偶材料表面转移, 形成转移膜使摩擦发生在软金属与转移膜之间。这种现象的原理是软金属的剪切强度低, 而软金属与基材间的黏着度又大于软金属的极限剪切强度。金、银、锌等软金属的润滑作用就属于这种机理, 而其中金是最佳的固体润滑软金属材料。

9) 金在化学工业上的应用

核化工和化学工业使用金的合金制作特种管、板、线等材料, 以达到防腐蚀、防辐射、耐高温等要求。金-铂合金以其高耐蚀性和高强度而用于制作生产人造纤维的喷丝头; 含钯 3% 的金合金以及含钯 20% 的金合金用在捕收钯的催化剂的生产上。一般认为, 金是所有金属中活性最低的催化剂。金的催化活性低, 是由 d 亚层电子全充满决定的。因此, 金不能化学吸附小分子, 也不能作催化剂。过去人们认为金及金的化合物在催化作用的领域里是最没用的, 但现在经过对金的研究已经大大地改变了这一看法。研究表明, 用附着在氧化铝或氧化硅载体上的高分散微粒金可对有机化学加氢的作用起到最好的催化作用, 其机理是金的微粒在某些载体上金晶体变得电子不足, 其性质与周期表中较前的元素相似; 高分散的金微粒具有铂族元素的性质。研究证明, 在超真空下制得的金膜能有特殊的催化作用, 并能使氢和氘交换。金还是碳氢化合物异构化与裂解化的催化剂, 某些氧参与的反应用金也可以催化。如氧化丙烯成丙烯氢化物、氧化甲醇成甲醛系。另外, 金也可以改善其他金属的催化性能。通常金能减缓催化, 但能提高催化反应的专属性。如将金加到铂或铱催化剂表面上, 可增强其选择性, 催化异丁烷的异构化, 这时能降低氢解反应进行。

10) 金在光学上的应用

金在光学方面有着独特性质。金能够吸收 X 射线, 而含有其他元素的金合金能改变与波长有关的光学性质。光亮镀金作为航天器的稳控镀层, 对于控制航天器内部仪器、部件的温度起着重要作用。这主要是因为金对宇宙间的红外线具有良好的散射和反射性, 能够保护宇航员及设备不受宇宙射线的损害。

由于金能够改变金合金的波长, 所以可改变各种金属元素的颜色。利用金的这一特性, 通过某种涂层就能够达到光学的特殊要求。例如, 用金来对某种玻璃做金属处理(镀有 $0.13\mu\text{m}$ 薄膜)所制造出的特种玻璃, 可在炎热的夏季里将红外线反射回去, 使室内保持凉爽。这种薄膜在反射光中呈褐色, 而在入射光线中呈天蓝色。如果使电流通过这种玻璃, 玻璃便会获得透明不污的性能。用金做成荧光粉 ($\text{ZnS}:\text{Cu} + \text{Zn}; \text{Au}, \text{Al}$) 用于彩色显像管绿基色显示。这种粉末为淡黄绿色, 在阴极射线或 365nm 紫外线激发下发黄绿色光。

11) 金在医学上的应用

金在医学上的应用可追溯到古代, 人们一直认为服用金可以医治百病。公元 13 世纪, 当时

人们服用的“金饮料”被称为万能药。中国民间也有用金箔为小儿压惊的治疗方法；金还被广泛用作镶牙的材料。

金的一价巯基化合物（金诺芬）主要用于治疗风湿性关节炎。硫代苹果酸金钠（J）“金药”在正常治疗浓度范围内，对根治文原体（mycoplanma）和利曼原虫病引起的病变有抗菌治疗效果。

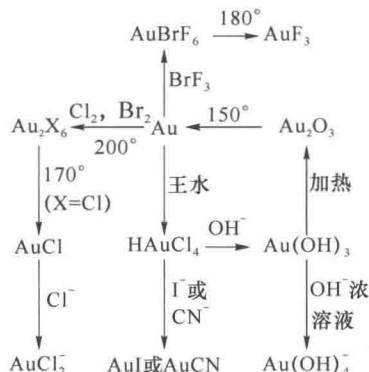
金的放射性同位素在放射疗法中被广泛应用。金能以颗粒形式或胶体形式被放在照射区中。胶体金（ ^{198}Au ）用于放射治疗胸膜或腹膜的渗出物和膀胱癌，即用在需要不溶性放射药物均匀照射不规则的表面时；胶体金也被用于各种诊断目的，例如骨髓扫描或肝脏与肺脏造影，即将胶体金装满要研究的器官后，再用闪烁照相法进行观察；金箔用于烧伤皮肤的治疗；金蒸汽激光用于胃癌、肺癌的治疗。

在以人类健康为目的的医学生物研究中，金与其他贵金属元素因具有良好的化学稳定性、生物兼容性和力学性能，成为重要的人造器官材料和外科移植材料。用金及其他贵金属制造的微探针探索神经系统的奥秘已取得显著效果。如神经修复、心脏起搏器等都使用了金和贵金属以及它们的合金材料。

1.2 金的化学性质和化合物的反应

1.2.1 金的化学性质

金的化学性质稳定，具有很强的抗腐蚀性，在空气中从常温到高温一般均不氧化，不溶于单一的盐酸、硝酸、硫酸等强酸中，只溶于盐酸与硝酸的混合酸（即王水）中，而生成氯金酸 $\text{H}[\text{AuCl}_4]$ ；在常温下有氧存在时金可溶于含有氰化钾或氰化钠的溶液，形成稳定的配合物 $\text{M}[\text{Au}(\text{CN})_2]$ ；金也可溶于含有硫脲的溶液中；还溶于通有氯气的酸性溶液中。金不与碱溶液作用，但在熔融状态时可与过氧化钠生成 NaAuO_2 。金的化合价有 +1、+3 等，氧化物有三氧化二金 Au_2O_3 ，氯化物有三氯化金 AuCl_3 。在酸性介质中，氯金酸 $\text{H}[\text{AuCl}_4]$ 或配合物 $\text{M}[\text{Au}(\text{CN})_2]$ 可被金属锌（锌粉或锌丝）、亚硫酸钠、水合肼等还原为单质的金粉，碱金属的硫化物会腐蚀金，生成可溶性的硫化金。土壤中的腐殖酸和某些细菌的代谢物也能溶解微量金。金的主要化学反应如下所示：



金的电离势高，难以失去外层电子成正离子，也不易接受电子成阴离子，其化学性质稳定，与其他元素的亲和力微弱，因此，在自然界多呈单质即自然金状态存在。

金在地壳中的平均含量为约 1 亿分之 1.1 (0.0011×10^{-6})，在海水中的含量约为 1000 亿分

之1 (0.00001×10^{-6}), 由于几亿年至几十亿年的地壳运动和地质变化使金元素富集成金矿床, 一般工业价值的金矿中金品位在 $2 \sim 3\text{g/t}$, 富矿在 $5 \sim 50\text{g/t}$, 特富矿 $50 \sim 500\text{g/t}$, 还有块金, 单块最小的十几克, 最大的几十千克, 罕见的大块金几百千克, 因有的形似狗头, 俗称狗头金, 印度科学家曾发现过两块近 2.5t 的狗头金; 贫矿在 $0.1 \sim 1\text{g/t}$, 在目前的选冶技术水平 0.5g/t 以上就有工业开采价值。

自然界纯金极少, 常含银、铜、铁、钯、铋、铂、镍、碲、硒、钨等伴生元素, 自然金中含银 15% 以上者称银金矿、含铜 20% 以上者称铜金矿、含钯 5% ~ 11% 者称钯金矿、含铋 4% 以上者称铋金矿。

金具有亲硫性, 常与硫化物如黄铁矿、毒砂、方铅矿、辉锑矿等密切共生; 易与亲硫的银、铜等元素形成金属互化物。

金具有亲铁性, 陨铁中含金 (1150×10^{-12}) 比一般岩石高 3 个数量级, 金经常与亲铁的铂族元素形成金属互化物。

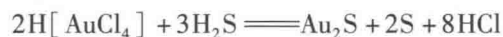
金还具有亲铜性, 它在元素周期表中, 占据着亲铜和亲铁元素之间的边缘位置, 与铜、银属于同一副族, 但在还原地质环境下, 金的地球化学行为与相邻元素相似, 表现了更强的亲铁性, 铜、银多富集于硫化物相内; 而金铂多集中于金属相。金在地球中元素丰度为 0.8×10^{-6} , 地核为 2.6×10^{-6} , 地幔为 0.005×10^{-6} , 地壳为 0.004×10^{-6} 。金在地壳中的丰度只有铁的 $1/1 \times 10^7$, 银的 $1/21$ 。

地球上 99% 以上的金进入地核。金的这种分布是地球长期演化过程中形成的。地球发展早期阶段形成的地壳其金的丰度较高, 因此, 大体上能代表早期残存地壳组成的太古宙绿岩带, 尤其是镁铁质和超镁铁质火山岩组合, 金丰度值高于地壳各类岩石, 可能成为金矿床的最早的“矿源层”。

1.2.2 金化合物的反应

(1) 硫化氢

H_2S 与金化合物溶液在冷的情况下作用时, 即有黑色硫化亚金 (Au_2S) 沉淀形成 (常混合有少量的游离金)。此沉淀不溶解于稀酸, 但能大量地溶解于黄色硫化铵溶液, 此时倘遇稀盐酸, 则又有沉淀发生。在热的溶液中进行反应时, 则可有棕色金沉淀形成, 且同时伴有硫化亚金和硫; 这个沉淀亦大量地溶解于黄色硫化铵溶液中。

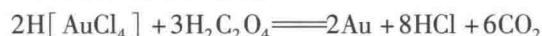


(2) 氨溶液

氨溶液与金化合物溶液作用时, 有黄色“雷金”沉淀形成, 这个化合物可以 $\text{Au}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{NH}_3 + \text{NH}(\text{ClNH}_2\text{Au})_2$ 的形式表示, 但其确切的组成则尚未完全了解。这个干燥的化合物倘予加热或予撞击, 将引起爆炸, 当注意之。

(3) 草酸溶液

在冷的中性溶液中, 草酸溶液与金化合物作用时, 金被沉淀为细微的棕色粉末 (或有时呈金镜)。在适当情况下, 金常呈红色、紫色或蓝色溶液 (呈胶态状)。



当与硫酸亚铁溶液作用时, 亦有相似的结果发生。倘与羟胺或肼的盐作用时, 则亦有还原反应发生。

(4) 氯化亚锡溶液

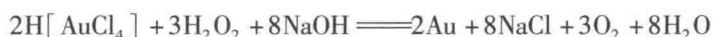
氯化亚锡溶液与金化合物在中性或弱酸性溶液中作用时, 即有紫色沉淀形成, 后者含有氢氧化

亚锡[Sn(OH)₂]的吸附化合物及胶态金。在极稀的溶液中，则只有紫色反应发生。假定溶液用盐酸予以强酸化，则有黑棕色纯金的沉淀形成。



(5) 过氧化氢

在氢氧化钠溶液参与下，过氧化氢与金化合物作用时，则有细微的金沉淀发生（与铂不同）。这个沉淀的金遇反射光呈淡棕黑色，遇传导光呈淡蓝绿色。



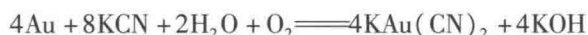
(6) 氢氧化钠溶液

在浓溶液的情况下，氢氧化钠与金化合物作用时，即有氢氧化金 Au(OH)₃ 的淡红棕色沉淀形成。这个沉淀有两性性质，它能溶解于过量的碱中而形成偏金酸盐（含有 AuO₂⁻ 离子）。



(7) 氰化钾溶液

当在氧的参加下，金溶解于氰化钾溶液时，即有氰亚金酸钾形成。

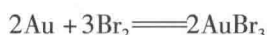
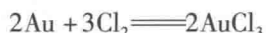


倘应用过氧化氢，则反应更为良好。



(8) 王水、氯水或溴水

金能溶解于王水、氯水或溴水中。



(9) HCl + HNO₃

金能溶解于王水，结果形成氯化金。



将王水加至 10 份金和 90 份铂的合金中后，即有氯化金形成；如果为了分析的目的，则可应用草酸而使氯化金还原为金。



当金溶解于王水时，则完全进入高价金状态。



当金在王水（含有过量的盐酸）中溶解不完全时，则将有一氧化金的中间产物形成。

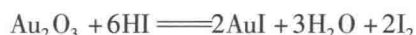


(10) HI

当碘化氢被导至含有金叶的乙醚中，则有若干量金被溶解。

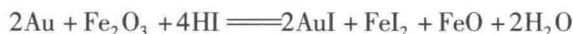


氢碘酸与氧化金作用时，即有碘化亚金和碘形成。



(11) HI + Fe₂O₃

在某些金属（如铁、锰、铋）的较高价氧化物参与下，氢碘酸与金作用，生成碘化亚金。



(12) KI

氯化金与碘化钾溶液作用时，即有碘化亚金和游离碘形成。



当 AuCOCl 的苯溶液与碘化钾作用时，即有一氧化碳释出。



(13) I₂

氯化金溶液遇游离碘，即被还原为碘化亚金。

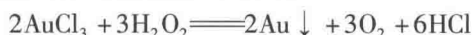


(14) H₂O₂

金能与过氧化氢的酸性溶液作用，同时亦能溶解于该溶液。



金的溶液当与过氧化氢接触时，即有金和氧生成。



过氧化氢能还原氧化金为金。



(15) KCN

氯化金与氰化钾的溶液作用时，即有氰化钾金复盐结晶及氯化钾形成。相似之化合物亦可获得，即将其中的钾用 Na、NH₄、Ba、Cd、Zn、Sr、Ca 或 Co 置换，而氰化金中的氰则可用 Cl、Br 或 I 置换。



硫化金与氰化钾作用时，即有氰亚金酸钾、硫化钾及硫氰酸钾生成。



(16) KCN + NH₄OH

在制取氰亚金酸钾时，通常先将氯化金用氢氧化铵沉淀，并与饱和氰化钾溶液加热即得。



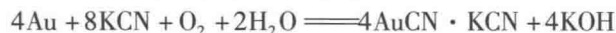
(17) KCN + Zn

金盐在氰化钾溶液中遇锌屑，即有金属金沉淀出来。这个反应可因醋酸铅的加入而大大促进。根据下列反应式，锌可以取代金，故反应速度加快。



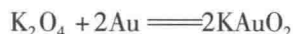
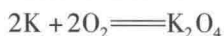
(18) KCN + O₂

假定氰化钾溶液暴露于空气中将氧溶解后，则金能溶解于氰化钾溶液中。



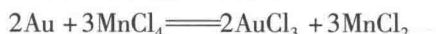
(19) K₂O₄

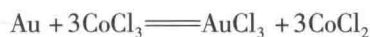
K₂O₄（将钾灼烧而得）为有力的氧化剂，它能使金转变为偏金酸钾。



(20) MnCl₄

金能溶解于高氯化锰（或钴或镍）的水或醚的溶液。

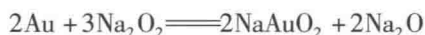




(21) $\text{Na}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{KOH}$

当沉淀的金加至熔化的过氧化钠中时，即有偏金酸钠形成。在后者倘加入稀硫酸，则有氢氧化金沉淀形成。

偏金酸钾可由氢氧化金同氢氧化钾作用制得。



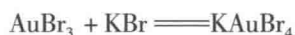
(22) H_2

在金的溶液中通入氢气后，即有金沉淀出来。



(23) KBr

溴化金和溴化钾作用时，即有溴金酸钾形成。

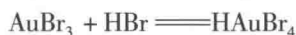


氯化金与溴化钾处理后，即有溴发生。



(24) HBr

当以氢溴酸重复处理氯化金时，则有溴金酸形成。



(25) Zn

溴化金用锌处理后，即有金和溴化锌形成。



氯化金用锌处理后，即有金和氯化锌形成。



(26) AuCl_3

AuCOCl 的苯溶液能还原氯化金至亚金状态，并有光气生成。



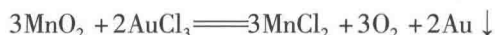
(27) Br_2

AuCOCl 的苯溶液与溴处理后，即有一氧化碳形成。



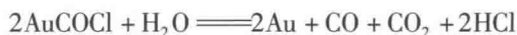
(28) $\text{Br}_2 + \text{Mn}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$

二氧化锰（系将溴作用于醋酸锰而得）与微酸性、中性或碱性的金溶液作用时，即有金沉淀出来。



(29) H_2O

将 AuCOCl 的苯溶液加入水后，即有一氧化碳和二氧化碳生成。



AuOHSO_4 溶解于浓硫酸后即倒入水中，则有 AuOOH 形成。



硫酸金的水溶液经煮沸后,即有下列反应物生成。



(30) H_2O 、电解

金在酸性和中性溶液中的电化学性质以及各种络合金阴离子的水解反应如下:



当 $\text{KAu}(\text{CN})_2$ 电解时,则有金生成。



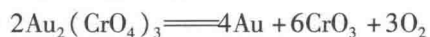
(31) PCl_3

当 AuCOCl 的苯溶液用三氯化磷处理时,即有一氧化碳生成。



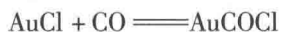
(32) Ag_2CrO_4

氯化金溶液与过量的新鲜沉淀的铬酸银作用后,则有铬酸金溶液生成;倘将该溶液蒸发,则在开始时有金沉淀,随后有金的酸性铬酸盐形成。



(33) CO

当干燥的一氧化碳通过无水氯化金时(在 $100 \sim 130^\circ\text{C}$ 时),则有低产量的 AuCOCl 生成。



(34) CaCO_3

当碳酸钙与氯化金在 310°C (在加压情况下)作用时,即有金生成。



(35) MgCO_3

当碳酸镁与氯化金在 310°C (在加压情况下)作用时,即有金生成。



(36) $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$

当氯化金与碳酸氢镁在 322°C 加热时,即有氢氧化金和金形成。



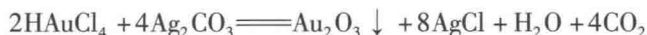
(37) MgO

当氯化金溶液用氧化镁处理时,即有氢氧化金沉淀形成。



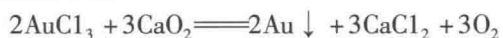
(38) Ag_2CO_3

当氯金酸溶液加温后,加入少量的碳酸银混悬液,则有二氧化碳生成,同时又有氧化金黑色沉淀形成。



(39) CaO_2

过氧化钙能使金的溶液沉淀出金。



(40) FeSO_4

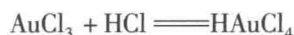
在没有硝酸参加的情况下,氯化金溶液与过量的硫酸亚铁溶液或其他还原剂作用时,即有金沉

淀生成。



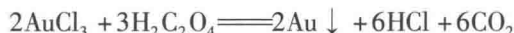
(41) HCl

氯化金与过量的盐酸处理时，即有氯金酸形成。



(42) $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$

草酸的浓溶液与金的氯化物溶液作用时，将有金沉淀析出。

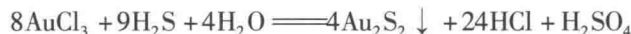


草酸常用来还原溴金酸为金。



(43) H_2S

氯化金的中性水溶液在室温与硫化氢作用时，即有沉淀发生，将沉淀过滤后用水洗涤，即得二硫化二金 (Au_2S_2)。



氯化金与硫化氢在水中作用时（在 90°C ），即有金、盐酸及硫酸生成。



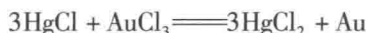
(44) $\text{H}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O}$

氯化金与硫化氢在水的参加下作用时（约在 38°C 左右），即有二硫化二金、盐酸及硫酸生成。



(45) HgCl

氯化金与氯化亚汞在过量的水参加下（在普通情况下）作用时，即有氯化汞和金生成。



(46) KMnO_4

高锰酸钾与氯化金溶液共放置若干时间后，即有金沉淀出，同时亦有二氧化锰沉淀生成。



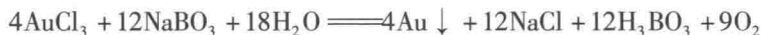
(47) NH_4OH

氯化金与氢氧化铵混合后，即有雷金沉淀形成。



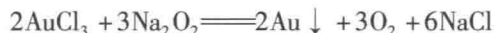
(48) NaBO_3

过硼酸钠与金盐溶液作用时，即有金沉淀出来。



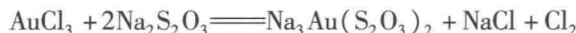
(49) Na_2O_2

过氧化钠与金溶液作用时，即有金沉淀析出。



(50) $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

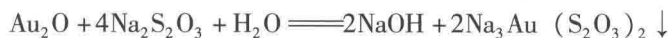
氯化金的水溶液与硫代硫酸钠（溶解在水中）作用时，即有亚金硫代硫酸钠形成。



在氯金酸的水溶液中加入足量的 NaOH 溶液，使氢氧化金沉淀。然后将此溶液倒至硫代硫酸钠溶液中，同时予以搅拌。

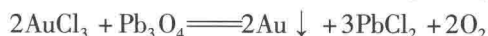
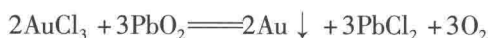
加酸（硝酸）溶解氢氧化金（a），再加酸使达中性而红色消退（b）。应用乙醇处理上述的滤

液，则有白色亚金硫代硫酸钠沉淀形成。



(51) PbO_2 、 Pb_3O_4

过氧化铅与金的中性或碱性溶液作用时，即有金沉淀生成。红铅亦有相同之反应发生。

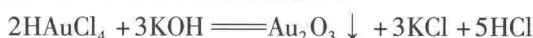


(52) KOH

当氧化金与过量的氢氧化钾作用时，即有偏金酸钾形成。



当氯金酸与氢氧化钾作用时，即有氧化金沉淀形成。

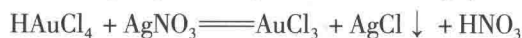


(53) AgNO_3

氯金酸溶液与过量的硝酸银作用时，即有黑黄红色沉淀生成，后者乃系氧化金和氯化银的混合物。



当氯金酸溶解于冰水后，再与硝酸银的冷溶液作用时，则将有一系列反应发生。

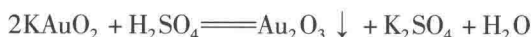


当硝酸银加至氯金酸的溶液中时，即有淡棕色沉淀形成。



(54) H_2SO_4

当偏金酸钾用硫酸处理后，即有氧化金沉淀形成。



(55) H_2SO_3

溴金酸钾在溶液中可被亚硫酸还原成金。



(56) $\text{H}_2\text{SO}_3 + \text{KOH}$

溴金酸钾溶解于水后，即与亚硫酸反应，结果被还原成 KAuBr_2 。当 KAuBr_2 与稀氢氧化钾溶液反应后，则有氧化亚金形成。



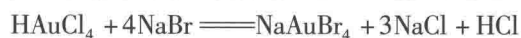
(57) NH_2OH

在冷的情况下，羟胺溶液能立即分解金盐，有游离金析出。



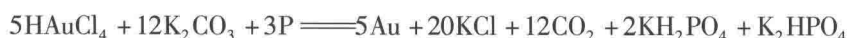
(58) NaBr

当可溶性的溴化物加至氯金酸溶液中，则有黄橙色至红色反应发生。



(59) $\text{K}_2\text{CO}_3 + \text{P}$

氯金酸与碳酸钾和饱和的磷溶液（在乙醚中）处理时，即有金属金形成。



1.3 岩金矿床工业类型及主要矿物

1.3.1 岩金矿床工业类型

1.3.1.1 破碎带蚀变岩型（焦家式）

(1) 成矿地质特征

形成于变质基底隆起区，区内以中酸性岩浆岩、混合岩、变质岩为主。焦家式金矿受再生花岗岩体与胶东群接触带控制。矿化发育在主断裂带下盘的角砾岩、碎裂岩、碎裂状花岗岩当中。

(2) 矿物共生组合——金属矿物

以黄铁矿为主，次为黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、磁黄铁矿，少量的银金矿、自然金、自然银、白铁矿、斑铜矿、辉铜矿、黝铜矿、斜方辉钴铋矿、铅石、菱铁矿。

(3) 矿物共生组合——脉石矿物

石英、绢云母、长石，少量绿泥石、白云石、绿帘石、石榴子石。

(4) 围岩蚀变

钾化、硅化、黄铁绢英岩化。

(5) 矿体形状

脉带形。

(6) 规模及品位

小到特大型。

(7) 共伴生元素

银。

(8) 矿床实例

焦家、新城、三山岛金矿。

1.3.1.2 含金石英脉型——石英单脉型

(1) 成矿地质特征

单脉型以五龙金矿为代表，赋存在吕梁期黑云母花岗片麻岩发育区，含金石英脉与构造控矿关系密切，处于两组构造的复合处。

(2) 矿物共生组合——金属矿物

黄铁矿、白钨矿、毒砂、磁黄铁矿、辉铋矿、自然金、黄铜矿、闪锌矿、胶状黄铁矿。

(3) 矿物共生组合——脉石矿物

石英、钾长石、萤石、方解石。

(4) 围岩蚀变

硅化、绢云母化，次为绿泥石化、黄铁矿化。

(5) 矿体形状

脉状、扁豆状、细脉状。

(6) 规模及品位

小到大型，金的质量分数平均为 10.14×10^{-6} 。

(7) 矿床实例

五龙金矿。

1.3.1.3 含金石英脉型——石英网脉及复脉带型

(1) 成矿地质特征

复脉带以金广峪金矿为典型矿床，产于太古宇遵化群中，赋矿围岩被斜长角闪岩经韧性剪切作用形成的蚀变片麻岩控制。

(2) 矿物共生组合——金属矿物

黄铁矿，少量黄铜矿、方铜矿、闪锌矿、磁黄铁矿、磁铁矿、辉钼矿、辉铋矿、辉银矿等，及褐铁矿、孔雀石、铜蓝。

(3) 矿物共生组合——脉石矿物

石英、方解石、白云石、钠长石、白云母，少量绢云母、绿泥石、磷灰石、金红石、楣石、锆石。

(4) 围岩蚀变

绢云母化、黄铁矿化、硅化、绿泥石化、碳酸盐化。

(5) 矿体形状

脉状、不规则脉状和透镜状。

(6) 规模及品位

小到大型，金的质量分数为 $1 \times 10^{-6} \sim 21.4 \times 10^{-6}$ 。

(7) 共伴生元素

钼。

(8) 矿床实例

金广峪金矿。

1.3.1.4 含金石英脉型——石英硅化钾化蚀变岩型（东坪式）

(1) 成矿地质特征

产于中高级变质岩地区，岩性为斜长角闪岩、片麻岩、麻粒岩、变粒岩，区域深断裂及派生的次级断裂控制含矿地质体的分布，具体产于偏碱性杂岩体及其外接触带，由石英脉和硅化、钾化、蚀变岩组成。

(2) 矿物共生组合——金属矿物

黄铁矿，次为方铅矿、磁铁矿、黄铜矿，少量闪锌矿、碲铅矿以及褐铁矿、赤铁矿、斑铜矿、辉铜矿、铜蓝、铅矾氧化矿物。

(3) 矿物共生组合——脉石矿物

石英、长石、高岭石、绢云母，少量绿帘石、白云母、石榴子石、绿泥石。

(4) 围岩蚀变

钾化、硅化、钠化、黄铁矿化、绢云母化、高岭土化、褐铁矿化、碳酸盐化。

(5) 矿体形状

脉状、透镜状。

(6) 规模及品位

中到特大型，金的质量分数平均为 7.25×10^{-6} 。

(7) 共伴生元素

铋。

(8) 矿床实例

东坪、哈达门、后沟金矿。

1.3.1.5 斑岩型（团结沟式）

(1) 成矿地质特征

与中酸性、酸性及碱性次火山岩有关。金矿体产于花岗闪长斑岩体顶部及接触带附近。

(2) 矿物共生组合——金属矿物

黄铁矿、白铁矿、辉锑矿、自然金、黄铜矿、辰砂、雄黄、雌黄。

(3) 矿物共生组合——脉石矿物

玉髓状石英、方解石、冰洲石、铁白云石、蛋白石、长石、高岭土。

(4) 围岩蚀变

硅化、黄铁矿化或白铁矿化、碳酸盐化。

(5) 矿体形状

层状、脉状、扁豆状。

(6) 规模及品位

大到特大型，金的质量分数为 $2 \times 10^{-6} \sim 10 \times 10^{-6}$ 。

(7) 共伴生元素

银、铜、硫。

(8) 矿床实例

团结沟金矿。

1.3.1.6 矽卡岩型

(1) 成矿地质特征

中酸性小侵入体与不纯灰岩、火山凝灰岩的接触带，围岩多为含石榴子石、钙铁辉石、绿帘石矽卡岩。

(2) 矿物共生组合——金属矿物

磁铁矿、黄铜矿、黄铁矿、赤铁矿、斑铜矿、银金矿。

(3) 矿物共生组合——脉石矿物

钙铅榴石、透辉石、绿帘石、石英、方解石。

(4) 围岩蚀变

矽卡岩化为主，其次为钾化、硅化、绿泥石化和绢云母化。

(5) 矿体形状

透镜状、似层状、巢状、串珠状。

(6) 规模及品位

中到大型，金的质量分数平均为 $2 \times 10^{-6} \sim 200 \times 10^{-6}$ ，铜的质量分数为 1% ~ 4%。

(7) 共伴生元素

铁、铜、铅、锌、铋。

(8) 矿床实例

华铜、沂南、鸡冠嘴、老柞山金矿。

1.3.1.7 角砾岩型

(1) 成矿地质特征

角砾岩体多产于太古宙和元古宙的变质岩中，原岩为中基性火山岩。岩体成群成带分布而且受构造控制，岩性为多铁的硅铝质岩石。金矿化分布在岩体内的角砾周边及裂隙发育地段。与胶结物密切相关。

(2) 矿物共生组合——金属矿物

黄铁矿，次为黄铜矿、方铅矿、自然金，少量闪锌矿、辉铋矿、铜蓝、斑铜矿、辉钼矿。

(3) 矿物共生组合——脉石矿物

石英、绿泥石、绿帘石，次为方解石、钾长石、绢云母、斜长石及少量黑云母、斜长石、次闪石、阳起石、萤石。

(4) 围岩蚀变

硅化、绿泥石化、绿帘石化和绢云母化。

(5) 矿体形状

似层状、透镜状。

(6) 规模及品位

中到大型，金的质量分数平均为 $1 \times 10^{-6} \sim 45.85 \times 10^{-6}$ 。

(7) 共伴生元素

银、铜、硫。

(8) 矿床实例

祁雨沟、双王金矿。

1.3.1.8 硅质岩层中的含金铁建造型（东风山式）

(1) 成矿地质特征

位于地台隆起的边缘拗陷区。含矿地质体产于太古宙和元古宙的条带状含铁硅质岩层中。

(2) 矿物共生组合——金属矿物

磁铁矿、磁黄铁矿、黄铁矿、毒砂、钛铁矿，少量自然金、辉钴矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿。

(3) 矿物共生组合——脉石矿物

铁闪石、石英、镁铁闪石、碳酸盐矿物。

(4) 围岩蚀变

硅化、绢云母化、碳酸盐化、黄铁矿化。

(5) 矿体形状

似层状、扁豆状。

(6) 规模及品位

小到中型，金的质量分数平均为 $5 \times 10^{-6} \sim 20 \times 10^{-6}$ ，最高为 160×10^{-6} 。

(7) 共伴生元素

钴、砷。

(8) 矿床实例

东风山金矿。

1.3.1.9 含金火山岩型

(1) 成矿地质特征

主要产于中生代火山带及火山盆地。矿体由含金方解石石英脉组成，充填于火山口附近的环形放射状裂隙中，或火山管道、火山口相喷出岩中。

(2) 矿物共生组合——金属矿物

黄铁矿、黄铜矿、黝铜矿、闪锌矿、辉银矿、银金矿、金银矿、金碲矿。

(3) 矿物共生组合——脉石矿物

玉髓、蛋白石、长石、石英、碳酸盐矿物。