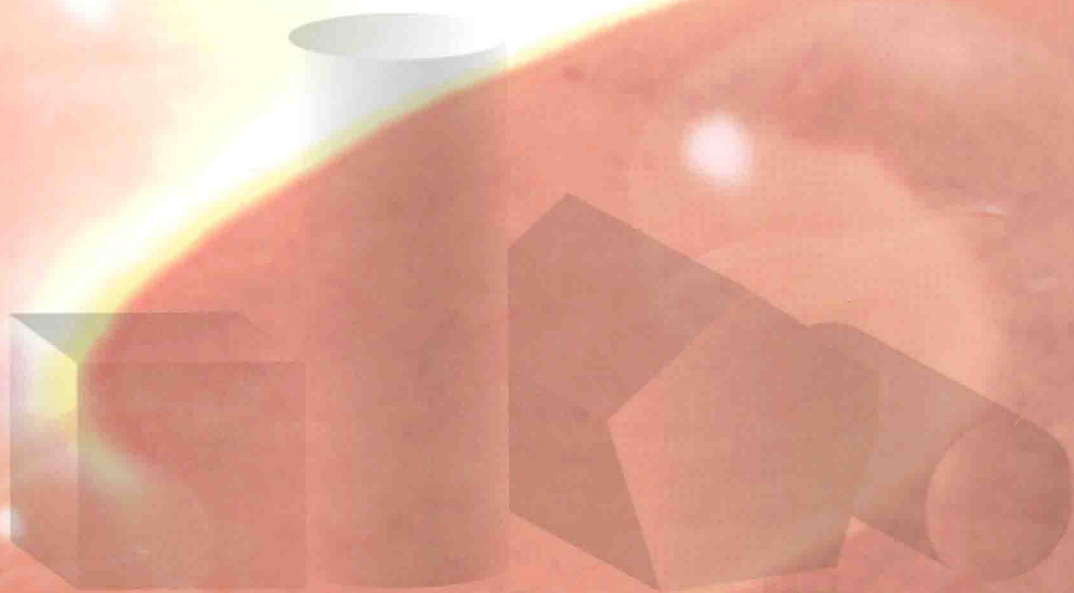


贵金属及其合金

Precious Metals and Its Alloys

李凡华 赵祥大 吴杰颖 编著

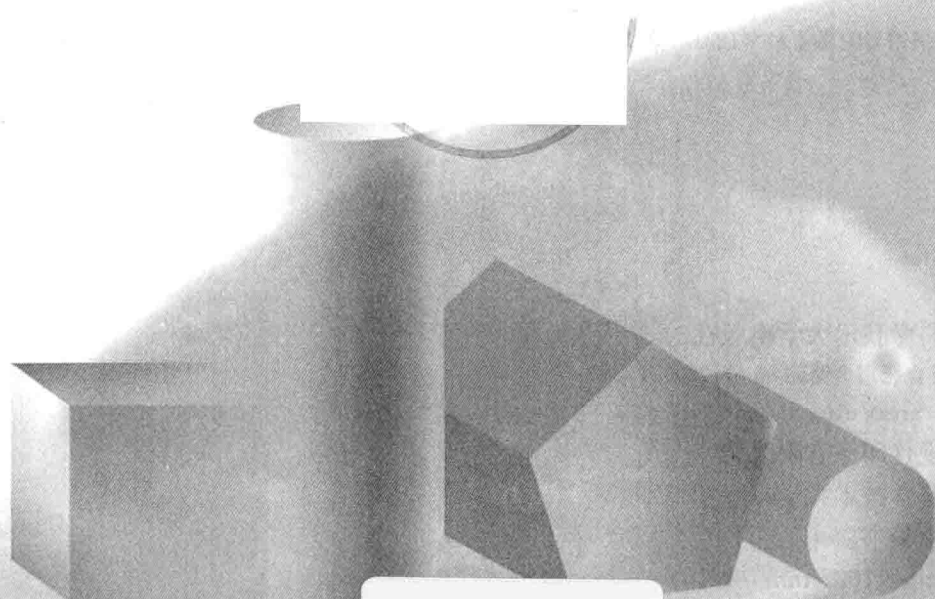


中国科学技术大学出版社

贵金属及其合金

Precious Metals and Its Alloys

李凡华 赵祥大 吴杰颖 编著



中国科学技术大学出版社

内 容 简 介

本书既系统地介绍了贵金属及其合金的性能概况,又详细地阐述了贵金属及其合金的应用。本书图文并茂,数据翔实可靠,内容大都取自于科研,为作者多年来研究实践的积累,反映了该领域的研究进展,具有很强的实用性。

本书可作为从事贵金属及其合金相关研究的科研人员、工程技术人员的参考书,也可作为化学专业、材料专业及其他相关专业的教师、本科生与研究生的学习用书。

图书在版编目(CIP)数据

贵金属及其合金/李凡华,赵祥大,吴杰颖编著. —合肥:中国科学技术大学出版社,2015. 1
ISBN 978-7-312-03024-6

I. 贵… II. ①李… ②赵… ③吴… III. ①贵金属 ②贵金属合金 IV. TG146.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 224475 号



出版 中国科学技术大学出版社
安徽省合肥市金寨路 96 号,230026
<http://press.ustc.edu.cn>
印刷 合肥现代印务有限公司
发行 中国科学技术大学出版社
经销 全国新华书店
开本 787 mm×1092 mm 1/16
印张 22.25
字数 598 千
版次 2015 年 1 月第 1 版
印次 2015 年 1 月第 1 次印刷
定价 45.00 元

前 言

贵金属及其合金具有独特的物理—化学性能,如高的耐腐蚀性、高的力学性能、高的催化性能、耐高温性,可用做热辐射材料、微电子材料、氢薄膜技术材料、电极材料、超导体和催化剂等,在国民经济及现代科技领域得到广泛应用。21 世纪以来,随着科学技术的飞速发展,贵金属的需求量日益增加。当前,开发新型贵金属材料、研究贵金属制品的加工工艺、经济合理地利用贵金属等问题显得更加突出。本书是在力图解决面临问题的前提下编写的,全书共分四章,内容分别简述如下:

第 1 章“贵金属的概况、性能、制取、应用及分析”,分别论述了金、银、铂、铑、钯、铱、钇、钽、钼的概况、物理性质、化学性质、化合物、化学反应、制取、应用及分析;

第 2 章“贵金属及其合金制品的制造工艺”,简单介绍了贵金属及其合金的熔炼与铸造、加工与熔焊,详细描述了高纯铂丝和高强特种铂丝的制取工艺流程;

第 3 章“贵金属及其合金的应用与进展”,通过列举 26 种不同类型的贵金属及合金材料的应用,结合贵金属的回收及环境保护阐述了贵金属及其合金的应用现状和进展;

第 4 章“贵金属及其合金制品的基本性能、数据与图形”,通过大量的数据和图形,展示了铸锭、粉末、扁平轧件、丝、棒、网、管、接点、接触件以及实验室装置等贵金属及合金制品的规格及相关规定。

附录有独联体的贵金属及其合金工业制品国家、部门标准和技术条件等。

本书的主要特点:一是知识全面系统,涉及 8 种贵金属的概况、性质、反应、制取,贵金属及合金制造工艺,以及它们的应用和进展。例如,仅银的化学反应就列举了 139 种类型,近 300 个化学反应方程式。二是数据翔实可靠、图文并茂,实用性强。例如,第 4 章有 194 幅图、290 个数据表,内容大都取自于科研,为作者多年来的实践研究的积累。

目前,还没有一本能全面系统反映贵金属及合金的基础知识、制造工艺和研究进展的专著或教材,本书是全面了解贵金属相关知识的较好资料,对从事贵金属及其合金的科研人员、工程技术人员、技术工人、高等院校稀贵金属及相关专业的师生都有特别参考价值。

本书由赵祥大教授、吴杰颖教授指导、修改、审订。

由于作者水平有限,查找资料不全,本书难免有遗误之处,敬请读者批评指正,在此十分感谢。

编 者

2014 年 12 月

目 录

前言	(i)
第 1 章 贵金属的概况、性能、制取、应用及分析	(1)
1.1 金和银	(1)
1.1.1 金的概况、性质、制取、应用及分析	(1)
1.1.2 银的概况、性质、制取、应用及分析	(11)
1.2 铂系金属	(35)
1.2.1 铂的概况、性质、制取、应用及分析	(36)
1.2.2 铑的概况、性质、制取、应用及分析	(49)
1.2.3 钯的概况、性质、制取、用途及分析	(56)
1.2.4 铱的概况、性质、制取、应用及分析	(64)
1.2.5 钌的概况、性质、制取、应用及分析	(72)
1.2.6 银的概况、性质、制取、应用及分析	(80)
第 2 章 贵金属及其合金制品的制造工艺	(88)
2.1 贵金属及其合金制品制造工艺简介	(88)
2.1.1 贵金属及其合金的熔炼与铸造	(88)
2.1.2 贵金属及其合金的加工与熔焊	(90)
2.1.3 在不同介质中铂系金属及其合金的塑性及形变阻力	(94)
2.1.4 贵金属及其合金无氧化加工热力学条件的确定	(96)
2.1.5 热机械参数和变形介质对铂系金属及其合金轧制过程主要指标、组织和性能的影响	(97)
2.1.6 工艺润滑剂与拉丝模	(100)
2.2 高纯铂丝	(103)
2.2.1 Pt_{27} 和 Pt_{67}	(103)
2.2.2 高纯铂、铑的提纯	(105)
2.2.3 高纯铂的熔炼、加工和测试	(109)
2.3 高强度特种 Y_2O_3 铂丝的研制	(110)
2.3.1 高强铂的制取	(111)
2.3.2 高强铂的性能	(114)
2.3.3 高强度特种铂丝用作铂电阻引线的性能考核	(118)
2.3.4 结论	(119)
2.4 高纯、高温、高强特种铂丝	(120)
2.4.1 高纯、高温、高强特种铂丝	(120)

2.4.2 高纯、高温、高强特种粉冶铂的性能	(123)
2.4.3 结论	(125)
第3章 贵金属及其合金的应用与进展	(126)
3.1 贵金属及其合金的应用	(126)
3.2 贵金属的需求和应用现状进展	(137)
3.2.1 银	(137)
3.2.2 金	(137)
3.2.3 铂系金属	(137)
3.3 贵金属二次回收	(138)
3.4 环境保护	(139)
3.5 科学研究中心	(139)
第4章 贵金属及其合金制品的基本性能、数据与图形	(141)
4.1 贵金属的基本性能和应用	(141)
4.2 铸锭及粉末	(143)
4.2.1 铸锭	(143)
4.2.2 粉末	(144)
4.3 扁平轧件	(145)
4.3.1 金、银及其合金宽带和窄带	(146)
4.3.2 铂、钯及其合金,铱和铑的宽带和窄带	(150)
4.3.3 金、银、铂、钯及其合金,铱和铑的片(箔)	(154)
4.3.4 阳极、圆盘、半制品	(157)
4.4 丝及棒材	(160)
4.4.1 金、银及其合金的丝和棒材	(160)
4.4.2 银焊料丝	(167)
4.4.3 铂及其合金丝	(168)
4.4.4 钯及其合金丝	(186)
4.4.5 铱丝和铑丝	(195)
4.5 网和管	(198)
4.5.1 网	(198)
4.5.2 管	(201)
4.6 接点和接触件	(206)
4.6.1 金属接点	(206)
4.6.2 双金属接点	(220)
4.6.3 粉末冶金金属接点	(223)
4.6.4 接触环	(234)
4.6.5 接触零件	(243)
4.7 实验室和工业装置及用具	(245)
4.7.1 普通要求	(245)

4.7.2	坩埚	(246)
4.7.3	坩埚盖	(260)
4.7.4	蒸发皿	(263)
4.7.5	漏斗、烧杯、烧瓶、塞子、环形件	(269)
4.7.6	试管、轴套、罩(管套)、细颈瓶(安瓿)	(276)
4.7.7	实验室用具	(280)
4.7.8	电解器械	(290)
4.7.9	实验室器械	(302)
4.7.10	工业器械	(309)
4.8	双金属	(312)
4.8.1	平的双金属轧件	(312)
4.8.2	双金属丝材	(318)
4.9	贵金属及其合金的化学成分	(319)
4.9.1	金及其合金的化学成分	(319)
4.9.2	银及其合金的化学成分	(321)
4.9.3	粉末冶金材料的化学成分	(325)
4.9.4	铂及其合金的化学成分	(325)
4.9.5	钯及其合金的化学成分	(327)
4.9.6	铑、铱的化学成分	(328)
4.9.7	钌、锇的化学成分	(329)
4.10	贵金属及其合金的化学成分分析法	(329)
4.10.1	金及其合金化学成分的测定	(330)
4.10.2	银及其合金化学成分测定	(332)
4.10.3	银焊料化学成分测定	(334)
4.10.4	铂及其合金化学成分的测定	(335)
4.10.5	钯及其合金化学成分测定	(338)
4.10.6	铑、铱、钌、锇化学成分测定	(339)
附录 1	贵金属的定性反应	(342)
附录 2	贵金属及其合金制品独联体国家的行业部门标准和技术条件	(343)
参考文献		(348)

第 1 章 贵金属的概况、性能、制取、应用及分析

贵金属是金、银及铂系金属的总称，其中，铂系金属有铂、铑、钯、铱、锇、钌 6 种元素。因为这些金属稀少且贵重，因此，称金、银、铂、铑、钯、铱、锇、钌 8 种金属元素为贵金属。贵金属的性能如表 1.1 所示，本书还将在下文中作详细介绍。

表 1.1 贵金属的性能

元素	Au	Ag	Pt	Rh	Pd	Ir	Os	Ru
原子序数	79	47	78	45	46	77	76	44
原子量	197.0	107.868	195.1	102.91	106.4	192.2	190.2	101.0
外层电子结构	5d ¹⁰ 6s ¹	4d ¹⁰ 5s ¹	5d ⁹ 6s ²	4d ⁸ 5s ¹	4d ¹⁰	5d ⁷ 6s ²	5d ⁶ 6s ²	4d ⁷ 5s ¹
密度(g/cm ³)	19.32	10.50	21.45	12.16	12.0	22.65	22.48	12.20
熔点(℃)	1 063	960.5	1 774	1 960	1 552	2 442	3 045	2 442
沸点(℃)	2 808	1 980	3 800	4 500	3 170	5 300	~4 600	4 900
原子半径(Å)	1.441	1.442	1.38	1.34	1.37	1.35	1.33	1.32
离子(M ⁺)半径(Å)	1.37	1.13	0.55 (Pt ⁴⁺)	0.65 (Rh ³⁺)	0.50 (Pd ²⁺)	0.65 (Ir ⁴⁺)	0.65 (Os ⁴⁺)	0.60 (Ru ⁴⁺)
标准电势(V)	+ 1.68	+ 0.799						

1.1 金 和 银

1.1.1 金的概况、性质、制取、应用及分析

1.1.1.1 金的概况

自然界中的金绝大部分以游离态存在，然而却没有纯的金。它常含有银，还可能含有铂、钯、汞、铜、铅等。金通常以两种形式存在：一种是以微粒形式分散于岩石之中，称为岩脉金；另一种以颗粒状态存在于沙砾之中，称为冲积金。现在所得的金大都来自前者。世界各国都有金的矿藏和生产，山东省招远被称为中国的金都。另外，金还能从冶炼厂电解产生的阳极泥中回收得到，例如，电解镍的阳极泥、电解铜的阳极泥都能提炼金。最近，中国西部的墨竹工卡大金矿正在建设中，内蒙古也发现了大金矿。以后还要大力勘探黄金矿藏。国外产金较多的是南

非、美国、加拿大、印度尼西亚、澳大利亚、俄罗斯、乌兹别克斯坦、加纳等。南非西维兹矿山是目前世界已知最大的金矿。

世界上以金作为硬通货，国家的富裕和国力的强大程度，往往以储金量衡量。因此，哪个国家的黄金多，其世界经济中起的作用就相对大些。在经济危机中，黄金价格一路飙升，因此各国都在大力进行黄金的探矿和开采，并积极储备黄金，以避免经济危机带来的危害。

金耐腐蚀，不易氧化，远古时期，人们就发现了金元素，并将其制品应用于生活中。过去主要用于手饰制品、装饰表面涂层、货币(金币)、镀金等，现在在工业上也得到了广泛应用。

早期，人们将矿石粉碎后，根据密度不同，用水将金从泥沙中淘出而得到金。还可用化学法——氰化法，将矿石磨碎与水及石灰搅成碱性浆料，加入稀的氰化钠(0.03%~0.08%)，金在空气中生成 $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ 而溶解，之后再用锌还原出金。如果对金的纯度要求高，就需再提纯，以提高金的纯度。

1.1.1.2 金的性质

1. 金的物理性能

金的原子序数为 79；原子量为 197.0；密度为 19.32 g/cm^3 ；熔点为 $1\,063\text{ }^\circ\text{C}$ ；沸点为 $2\,808\text{ }^\circ\text{C}$ ；热容量($20\text{ }^\circ\text{C}$)为 $0.129 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ；线胀温度系数为 $14.2 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ，导热性为 $293.2 \sim 311.5 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ；在电介质中， $18 \sim 100\text{ }^\circ\text{C}$ 导热温度系数为 0.004；比电阻在 $0\text{ }^\circ\text{C}$ 时为 $1.97 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{cm}$ ， $25\text{ }^\circ\text{C}$ 时为 $2.19 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{cm}$ ， $100\text{ }^\circ\text{C}$ 时为 $2.86 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{cm}$ ；电阻温度系数为 $45 \times 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ 。

金是抗磁体，它有反磁敏感性，也就是反方向磁场的磁化强度。其数值很小，且不依赖于磁场和温度。光通过分散状态金的是绿色的，通过精细独特的金薄片是绿色或浅绿色的；熔化状态的金是绿色的；金的蒸气也是绿色的。

金的机械性能如下(分子为硬态(变态)数据，分母为软态(退火态)数据)：

瞬时断裂强度 $\sigma_B(\text{MPa})$	$\frac{220}{120}$
伸长率 $\delta(\%)$	$\frac{3}{45}$
硬度 $HB^{①}(\text{MPa})$	$\frac{580}{200}$
屈服强度 $\sigma_1(\text{MPa})$	$\frac{210}{30}$
弹性模量 $E(\text{MPa})$	$\frac{79\,000}{55\,700}$

纯度为 99.99% 的金，能长久保持室温再结晶状态，因此，变态的金具有变形前的机械性能，金的机械性能依赖于金的纯度。当金的纯度为 99.999% 时，变形度为 20%， $\sigma_B = 150 \text{ MPa}$ ；当伸长率为 22%，且金的纯度为 99.9% 时， $\sigma_B = 170 \text{ MPa}$ 。

金能很好地承受压力加工(轧制、拉拔、压制、锻造、冲压)，可加工成板、带、片(箔)、丝、管、棒等形状。金可作为防蚀覆盖层、电工学的导线及接点等。

2. 金的化学性质

金的电子结构是 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4f^{14} 5s^2 5p^6 5d^{10} 6s^1$ 。金的化学性能稳定，在室温

① HB ：布氏硬度单位相应特定条件下为 9.807 N/mm^2 ($HB = F/A$ ，其中， F 为试验力(N)； A 为球压痕表面积(mm^2)，以下 HB 同。

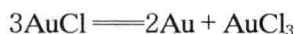
或高温时,均不与空气中的氧起反应;同硫、二氧化硫、硒的作用是稳定的;不与无机酸作用。金是很稳定的金属,但它能迅速地被王水溶解。

3. 金的化合物

金的化合物易被还原成金属单质。金能生成两类化合物:一价化合物和三价化合物。它的原子半径很小,因此,其三价化合物应当是共价的(Fajans 规则),而且它的一价化合物很可能也是共价的。在络合物中,金作为中心体形成配合物。

(1) 金的一价化合物

将 AuCl_3 加热至 175°C 即放出氯而生成 AuCl 。如果温度再高些, AuCl 将分解为金和氯气,将其溶于水中,它能分解成金及三氯化金,反应式为



向 AuCl 溶液中加入冷的稀 NaOH 溶液,即得 AuOH 的紫色粉状沉淀。将 AuOH 沉淀加热至 200°C ,得金和 Au_2O_3 ,而不得 Au_2O 。将 Au_2O_3 溶于 HI 或加 I^- 于 Au^{3+} 溶液皆不能得 AuI_3 ,而得一价的 AuI (柠檬色粉末)。 AuI 比 AuCl 或 AuBr 更易热分解,其溶解度比 AuCl 和 AuBr 都小,难溶于水。 AuCN 的制备及水解性质与 AuI 相似, AuOH 遇 NH_3 生成 $\text{Au}_3\text{N} \cdot \text{NH}_3$ 。 Au^+ 遇到能供给电子的负离子,如 Cl^- 、 CN^- 等生成络离子。

(2) 金的三价化合物

以王水溶解金,浓缩后,可得黄色的 $\text{HAuCl}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 晶体,将其热至 120°C ,即得 AuCl_3 ,以氨水处理金,也能得到 AuCl_3 。它在水、酒精、乙醚中皆溶解,说明其为共价物。往其溶液中加入冷的 KOH ,即得橘红色的 $\text{Au}(\text{OH})_3$ 沉淀,加热至 100°C , $\text{Au}(\text{OH})_3$ 失水成 $\text{AuO} \cdot \text{OH}$,温度再高即成 Au_2O_3 ,最后得单质金。 $\text{Au}(\text{OH})_3$ 在过量的 KOH 中溶解生成 KAuO_2 , $\text{Au}(\text{OH})_3$ 与酸作用生成盐。因此, $\text{Au}(\text{OH})_3$ 是两性的,但其酸性比较显著,故将其称为金酸。 Au^{3+} 遇见能供电子的离子也能形成络离子,如 AuCl_4^- 、 $\text{Au}(\text{CN})_4^-$ 等。

(3) 金的卤化物

金的卤化物仅为金溶解于氯水和溴水而形成的 AuCl_3 和 AuBr_3 。卤化金和氢卤酸或碱金属的卤化物在溶液中作用时,形成 $\text{H}[\text{AuX}_4]$ 或 $\text{Me}[\text{AuX}_4]$ 。常见的卤金酸盐有 $\text{K}[\text{AuCl}_4]$ (黄色)、 $\text{K}[\text{AuBr}_4]$ (红色)、 $\text{K}[\text{AuI}_4]$ (黑色)。

(4) 金的氧化物

金的氧化物有 Au_2O 和 Au_2O_3 两种,其中 Au_2O_3 较稳定,且有形成 $\text{Me}[\text{AuX}_4]$ 式络合盐的趋势。

4. 金的化学反应

在实验过程中,常用的金的化合物是氯化金溶液($\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)。

(1) 与 H_2S 反应

H_2S 与冷的金的化合物溶液反应时,即有黑色的硫化亚金(Au_2S)沉淀形成(常混合有少量的游离金)。此沉淀不溶于稀酸,但能大量地溶解于黄色硫化铵溶液中,此时若遇稀盐酸,则又有沉淀形成。在热溶液中进行反应时,可有棕色金沉淀形成,同时伴有 Au_2S 和 S 生成,反应方程式为



(2) 与氨溶液反应

氨溶液与金化合物溶液作用时,有黄色“雷金”沉淀形成,这个化合物可以用 $\text{Au}_2\text{O} \cdot 3\text{NH}_3 + \text{NH}(\text{ClNH}_2\text{Au})_2$ 表示,其确切的组成则尚未被完全了解。这个化合物在干燥时,若遇加热或

撞击,将引起爆炸,应特别注意。

(3) 与草酸溶液反应

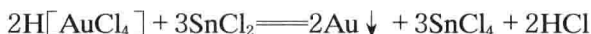
在冷的中性溶液中,草酸溶液与金化合物作用时,金离子被沉淀为细微的棕色粉末(有时呈金镜)。在适当的情况下,金常呈红色、紫色或蓝色溶液(呈胶态状)。反应方程式为



金的化合物与硫酸亚铁溶液作用时,也有相似结果发生。若与羟胺或肼的盐作用,也会有还原反应发生。

(4) 与氯化亚锡溶液反应

氯化亚锡溶液与金的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 $[\text{Sn}(\text{OH})_2]$ 的吸附化合物及胶态金。氯化亚锡与金的化合物在极稀的溶液中,则有紫色的反应发生。假定溶液加入盐酸,则有黑棕色纯金的沉淀形成,反应方程式为



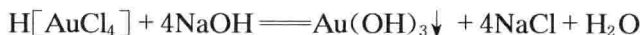
(5) 与过氧化氢反应

在过氧化钠溶液参与下,过氧化氢与金的化合物反应时,即有细微的金沉淀生成(与铂不同)。该沉淀遇反射光呈淡棕黑色,遇传导光呈淡蓝绿色。



(6) 与氢氧化钠溶液反应

浓 NaOH 溶液与金的化合物反应时,即有淡红棕色沉淀 $\text{Au}(\text{OH})_3$ 形成。这个沉淀具有两性性质,它能溶解于过量的碱中而形成偏金酸盐(含有 AuO_2^- 离子),还可与酸发生中和反应。与碱反应方程式如下:



(7) 与氰化钾溶液反应

在氧的参与下,金溶解于氰化钾溶液,即有氰亚金酸钾生成。反应方程式为

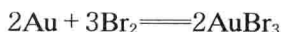
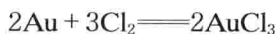


若用 H_2O_2 ,则反应更加良好。反应方程式



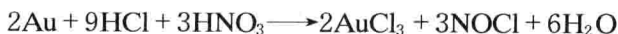
(8) 与氯水或溴水反应

金能溶解于氯水或溴水中,反应方程式如下:

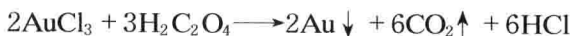
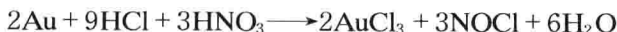


(9) 与 $\text{HCl} + \text{HNO}_3$ 反应

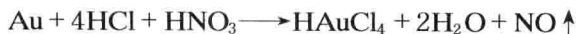
① 金能溶解于王水,形成氯化金,反应方程式为



② 将王水加至 10 份金和 90 份铂的合金中后,即有氯化金形成;如果以分析为目的,可用草酸使氯化金还原为金。反应方程式如下:



③ 当金溶解于王水时,则完全进入高价金状态,反应方程式为

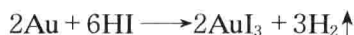


④ 与当金在王水(含有过量盐酸)中溶解不完全时,将有一氧化金的中间产物生成,反应方程式为

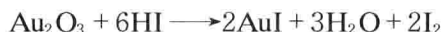


(10) 与 HI 反应

① 将碘化氢倒入含有金叶的乙醚中,则有若干金被溶解,反应方程式为



② 氢碘酸与氧化金作用时,即有碘化亚金和碘生成,反应方程式为



(11) 与 HI + Fe₂O₃ 反应

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,反应方程式为

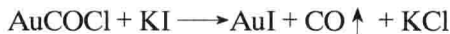


(12) 与 KI 反应

① 氯化金与碘化钾溶液作用时,即有碘化亚金和游离碘生成,反应方程式为



② 当 AuCOCl 的苯溶液与碘化钾作用时,即有 CO 释出,反应方程式为



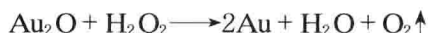
(13) 与 I₂ 反应

氯化金溶液遇游离碘,即被还原为碘化亚金,反应方程式为

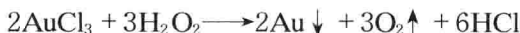


(14) 与 H₂O₂ 反应

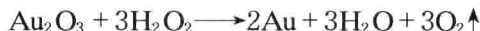
① 金能与 H₂O₂ 的浓溶液作用,也能溶解于该溶液,反应方程式为



② 当金的溶液与 H₂O₂ 接触时,即有金和氧生成,反应方程式为



③ H₂O₂ 能还原氧化金为金,反应方程式为



(15) 与 KCN 反应

① 氯化金与 KCN 的溶液作用时,即有氰化金复盐结晶及 KCl 形成。将其中的 K⁺ 用 Na⁺、NH₄⁺、Ba²⁺、Cd²⁺、Zn²⁺、Sr²⁺、Ca²⁺、Co²⁺ 置换,而氰化金中的 CN⁻ 则可用 Cl⁻、Br⁻ 或 I⁻ 置换,也可发生反应得到相似化合物。反应方程式为



② Au₂S₃ 与 KCN 作用时,即有氰化亚金酸钾、硫酸钾及硫氰酸钾生成,反应方程式为



(16) 与 KCN + NH₄OH 反应

在制取氰亚金酸钾时,通常先将氯化金用 NH₄OH 沉淀,并与饱和 KCN 溶液加热即得,反应方程式为



(17) 与 KCN + Zn 反应

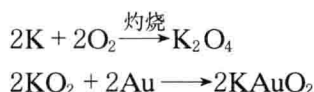
金盐在 KCN 溶液中遇锌屑, 即有金属金沉淀出来。这个反应通过加入醋酸铅, 可大大提高反应速率。根据以下方程式, 锌可以取代金, 故反应速度加快。

(18) 与 KCN + O₂ 反应

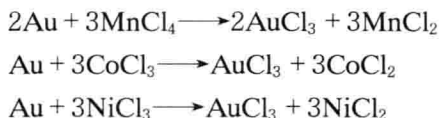
将 KCN 溶液露置于空气中溶解氧后, 则金能溶解于该 KCN 溶液中, 反应方程式为

(19) 与 KO₂ 反应

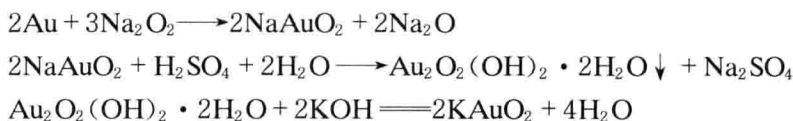
KO₂ (将钾灼烧而得) 为强氧化剂, 它能使金转变为偏金酸钾, 反应方程式为

(20) 与 MnCl₄ 反应

金能溶解于高氯化锰 (或钴、镍) 的水或醚的溶液, 反应方程式为

(21) 与 Na₂O₂ + H₂SO₄ + KOH 反应

当固体的金加到熔化的 Na₂O₂ 中, 即有偏金酸钠形成。若往偏金酸钠中加入稀 H₂SO₄, 则有氢氧化金沉淀形成。偏金酸钾可由氢氧化金同 KOH 反应制得。反应方程式如下:

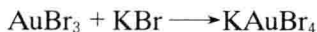
(22) 与 H₂ 反应

在金的溶液中通入氢气后, 即有金沉淀出来, 离子方程式为

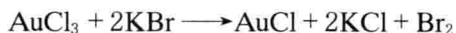


(23) 与 KBr 反应

① 溴化金和溴化钾作用时, 即有溴金酸钾生成, 反应方程式为

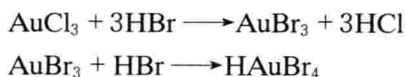


② 氯化金与溴化钾处理后, 即有溴发生, 反应方程式为



(24) 与 HBr 反应

当以氢溴酸重复处理 AuCl₃ 时, 则有溴金酸形成, 反应方程式为

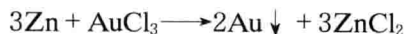


(25) 与 Zn 反应

① 溴化金用 Zn 处理后, 即有金和 ZnBr₂ 形成, 反应方程式为



② 氯化金用 Zn 处理后, 即有金和氯化锌形成, 反应方程式为



(26) 与 AuCl_3 反应

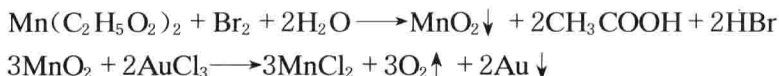
AuCOCl 的苯溶液能还原 AuCl_3 至亚金状态, 并有光气生成, 反应方程式为

(27) 与 Br_2 反应

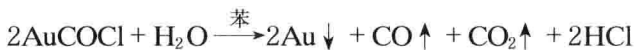
AuCOCl 的苯溶液经溴处理后, 即有 CO 生成, 反应方程式为

(28) 与 $\text{Br}_2 + \text{Mn}(\text{C}_2\text{H}_5\text{O}_2)_2$ 反应

MnO_2 (由溴醋酸锰反应而得) 与微酸性、中性或碱性的金溶液作用时, 即有金沉淀出来, 反应方程式为

(29) 与 H_2O 反应

① 将 AuCOCl 的苯溶液加入水后, 即有 CO 和 CO_2 生成, 反应方程式为



② AuOHSO_4 溶解于浓 H_2SO_4 后即倒入水中, 则有 AuOOH 生成, 反应方程式为



③ Au_2SO_4 的水溶液经煮沸后, 即有下列反应物生成, 反应方程式为

(30) H_2O 电解

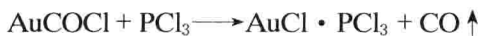
① 金在酸性和中性溶液中的电化学性质以及各种络合阴离子的水解反应如下:



② 当 $\text{KAu}(\text{CN})_2$ 电解时, 即有金生成, 电解方程为

(31) 与 PCl_3 反应

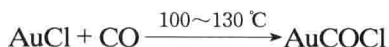
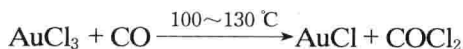
当 AuCOCl 的苯溶液用三氯化磷处理时, 即有 CO 生成, 反应方程式为

(32) 与 Ag_2CrO_4 反应

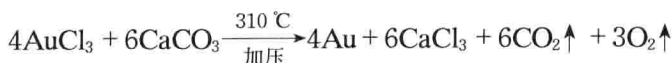
氯化金溶液与过量的新沉淀的铬酸银作用后, 即有铬酸金溶液生成; 若将该溶液蒸发, 则在开始时有金沉淀, 随后有金的酸性铬酸盐生成。反应方程式为

(33) 与 CO 反应

当干燥的 CO 通过无水氯化金时 ($100 \sim 130^\circ\text{C}$), 即有少量的 AuCOCl 生成, 反应方程式为

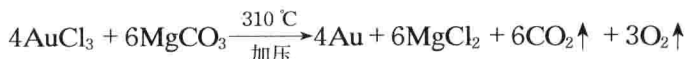
(34) 与 CaCO_3 反应

当 CaCO_3 与氯化金在 310°C (在加压情况下) 作用时, 即有金生成, 反应方程式为



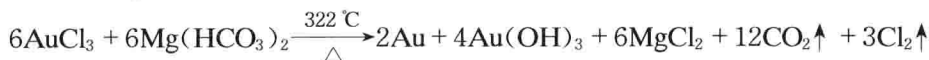
(35) 与 MgCO_3 反应

当 MgCO_3 与氯化金在 $310\text{ }^\circ\text{C}$ (在加压情况下) 作用时, 即有金生成, 反应方程式为



(36) 与 $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ 反应

当氯化金与 $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ 在 $322\text{ }^\circ\text{C}$ 加热时, 即有氢氧化金和金生成, 反应方程式为



(37) 与 MgO 反应

当氯化金溶液用 MgO 处理时, 即有氢氧化金沉淀生成, 反应方程式为



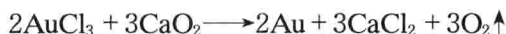
(38) 与 Ag_2CO_3 反应

当氯金酸溶液加热后, 加入少量的 Ag_2CO_3 混悬溶液, 则有 CO_2 生成, 同时有氧化金黑色沉淀生成, 反应方程式为



(39) 与 CaO_2 反应

CaO_2 能使金的溶液沉淀出金, 反应方程式为



(40) 与 FeSO_4 反应

在没有硝酸参加的情况下, 氯化金溶液与过量的 FeSO_4 溶液或其他还原剂作用时, 即有金沉淀生成, 反应方程式为



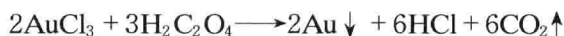
(41) 与 HCl 反应

氯化金与过量的盐酸处理时, 即有氯金酸生成, 反应方程式为



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

① $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 的浓溶液与金的氯化物溶液作用时, 即有金沉淀析出, 反应方程式为

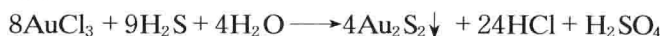


② $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 常用来还原溴金酸为金, 反应方程式为

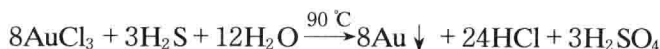


(43) 与 H_2S 反应

① 氯化金的中性水溶液在室温与 H_2S 作用时, 即有沉淀发生, 将沉淀过滤后用水洗涤, 即得 Au_2S_2 , 反应方程式为

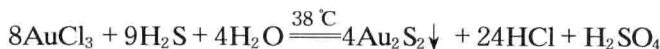


② 氯化金与 H_2S 在水中作用时 ($90\text{ }^\circ\text{C}$), 即有金、盐酸及硫酸生成, 反应方程式为



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

氯化金与 H_2S 在水参与下作用时 ($38\text{ }^\circ\text{C}$ 左右), 即有 Au_2S_2 、盐酸及硫酸生成, 反应方程式为



(45) 与 HgCl 反应

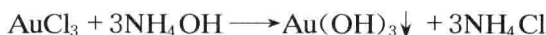
氯化金与氯化亚汞在过量水参与下作用时,即有氯化汞和金生成,反应方程式为

(46) 与 KMnO₄ 反应

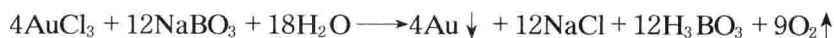
KMnO₄与氯化金溶液共放置若干时间后,即有金沉淀和 MnO₂沉淀生成,反应方程式为

(47) 与 NH₄OH 反应

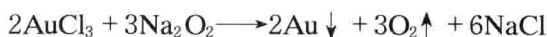
氯化金与 NH₄OH 混合后,即有“雷金”沉淀生成,反应方程式为

(48) 与 NaBO₃ 反应

过硼酸钠与金盐溶液作用时,即有金沉淀生成,反应方程式为

(49) 与 Na₂O₂ 反应

Na₂O₂与金溶液作用时,即有金沉淀析出,反应方程式为

(50) 与 Na₂S₂O₃ 反应

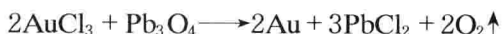
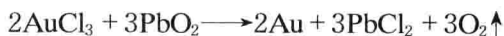
① 氯化金的水溶液与硫代硫酸钠(溶解在水中)作用时,即有亚金硫代硫酸钠生成,反应方程式为



② 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 Na₂S₂O₃ 溶液中,同时予以搅拌。加酸(硝酸)溶解氢氧化金,再加酸使溶液呈中性而红色消退。应用乙醇处理上述滤液,则有白色亚金硫代硫酸钠沉淀生成。反应方程式为

(51) 与 PbO₂、Pb₃O₄ 反应

过氧化铅与金的中性或碱性溶液作用时,即有金沉淀生成。红铅也有相同反应发生。反应方程式为



(52) 与 KOH 反应

① 当氧化金与过量的 KOH 作用时,即有偏金酸钾生成,反应方程式为



② 当氯金酸与 KOH 作用时,即有氧化金沉淀生成,反应方程式为

(53) 与 AgNO₃ 反应

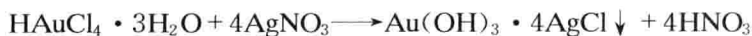
① 氯金酸溶液与过量的 AgNO₃ 作用时,即有黑黄红色沉淀生成。该沉淀是氧化金和氯化银的混合物。反应方程式为



② 当氯金酸溶解冰水后,再与硝酸银的冷溶液处理,将有一系列反应发生,反应方程式为



③ 当 AgNO_3 加至氯金酸的溶液中时,即有淡棕色沉淀生成,反应方程式为



(54) 与 H_2SO_4 反应

当偏金酸钾用 H_2SO_4 处理后,即有氧化金沉淀生成,反应方程式为



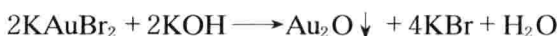
(55) 与 H_2SO_3 反应

溴金酸钾在溶液中可被 H_2SO_3 还原成金,反应方程式为



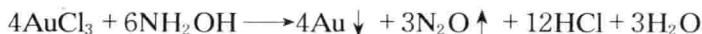
(56) 与 $\text{H}_2\text{SO}_3 + \text{KOH}$ 反应

溴金酸钾溶解于水后,即用 H_2SO_3 处理,结果被还原成 KAuO_2 。当 KAuO_2 与稀 KOH 溶液作用,则有氧化亚金生成。反应方程式为



(57) 与 NH_4OH 反应

冷的羟胺溶液能立即分解金盐,结果有游离金析出,反应方程式为



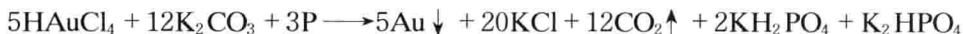
(58) 与 NaBr 反应

当可溶性的溴化物加至氯金酸溶液中,溶液则由黄橙色变化至红色,反应方程式为



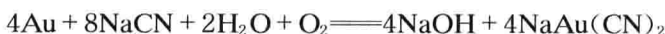
(59) 与 $\text{K}_2\text{CO}_3 + \text{P}$ 反应

氯金酸与 K_2CO_3 和饱和的磷溶液(在乙醚中)反应,即有金属金形成,反应方程式为



1.1.1.3 金的制取

金的制取方法是含金的岩石压碎,放在盘中以水冲洗之,密度较小的砂石等被冲去,金则留在盘底。这是制取金的最简易的方法。效率较高的制取金的方法是氰化法:将矿石磨碎,与水及石灰搅拌成浆,加入稀的 NaCN (0.03%~0.08%),在空气中,金生成 $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ 而溶解,反应方程式为



滤去砂石等物之后,以锌处理,即得金,反应方程式为



这种方法效率极高。冲积金矿中只需含有 0.000 03% 的金,岩脉中只需含有 0.001% 的金,氰化法即有经济意义。但是因为氰化物有剧毒,所以应尽量不采用此法。要想得到更高纯度的金需用乙醚提纯法或其他萃取剂提取,纯度可达 99.999%。离子交换法(膦氮类树脂 483C₁-HCl-Au(Ⅲ)系统提纯金)和电解法也能提纯回收金。

金的制取还可用选择性高的浮选分法:首先使 Au^{3+} 与氯化钠生成的 AuCl_4^- 阴离子和四合

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com