



科学出版社
www.sciencep.com

金银湿法冶金及分析 测试方法

薛 光 任文生 薛元昕 著

TF83

X946

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

金和银在贵金属系列中是最重要的两个金属元素,由于它们具有良好的物理化学性质,因此在国民经济中占有重要的地位,在电子、通信、航天等高科技尖端技术领域得到了广泛的应用。

本书总结了近十年来我国在金银湿法冶金和分析测试技术方面研制的新工艺、新方法,全面论述和介绍了该领域的研究成果和生产实践。

全书共分四篇,内容包括:概论、湿法提取金银工艺方法、金银湿法精炼工艺方法、金银及其伴生元素的分析测试方法。本书理论联系实际,内容丰富、新颖,取材实用,列举的工艺方法许多是在生产实践中行之有效的,比较全面、系统地反映了近十年来金银湿法冶金和分析测试方法的发展概况。

本书可供金银地质勘探、选矿、冶炼及分析测试等部门的工程技术人员、科研院所的科技人员以及大专院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

金银湿法冶金及分析测试方法 / 薛光,任文生,薛元昕著. —北京:科学出版社,2009

ISBN 978-7-03-025764-2

I. 金… II. ①薛… ②任… ③薛… III. ①炼金-湿法冶金 ②炼银-湿法冶金 IV. TF83

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 181669 号

责任编辑:周 强 沈晓晶 / 责任校对:包志虹

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:王 浩

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京天时彩色印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 10 月第 一 版 开本:B5(220×1000)

2009 年 10 月第一次印刷 印张:56 1/2

印数:1—1 200 字数:1139 000

定价:150.00 元

如有印装质量问题,我社负责调换

序

在贵金属家族中,金和银是最重要的两个贵金属元素,它们在地壳中含量稀少,都属于微量元素。由于金银具有良好的物理化学性质,在电子、化学、化工、影视、航空、航天等高科技领域得到了广泛的应用。随着我国国民经济的迅速发展,高科技新技术的不断涌现,对金银的需求量日益增加,对金银的选冶工艺、分析与测试提出了更高的要求。近十年来,我国在该领域进行了大量的研究工作,研制了许多新工艺、新方法,尤其是对难处理矿石的预处理方法和工艺的研究取得了可喜的成果。目前国内尚无一本总结近十年来金银湿法冶金及分析测试方法领域研究成果的专著。为适应当前经济发展的需要,促进金银工业生产及其综合利用,出版一本该领域的专著是非常有意义的。

金银的湿法冶金和分析测试方法是目前金银工业生产中广泛采用的工艺方法。作者依照理论联系实际的原则,在查阅大量国内外文献的基础上,对近十年来国内外出现的新技术、新工艺、新方法做了详细的介绍。书中列举的工艺方法大部分是国内现行的工艺,其中有些则是作者在工作实践中研制的,这些工艺方法解决了难处理金精矿焙烧氰化工艺中金银回收率偏低的难题,且为国内黄金矿山、冶炼企业推广应用,创造了上亿元的经济效益,并荣获六项国家发明专利、两项国家黄金科技进步奖三等奖。该书具有一定的先进性、实用性和学术参考价值,较全面地反映了我国近十年来金银湿法冶金和分析测试方法的发展水平。

该书内容丰富、新颖、实用,文字简练,反映了作者渊博的学识与严谨的学风。该书的出版将填补我国在金银湿法冶金及分析测试方法领域的空白。对从事金银地质勘探、选矿、冶炼及分析测试等部门的工程技术人员,从事金银等贵金属研究的科研院所的科技人员以及大专院校相关专业的师生将有所帮助和启发。

朱盈权

2008年12月

前 言

随着我国国民经济的迅速崛起,科学技术不断进步,我国金银工业生产迅猛发展。近十年来,我国黄金白银产量大幅度增长,2007年黄金产量居世界第二位,白银产量居世界第一位,2008年黄金产量跃居世界第一位,成为世界黄金、白银生产大国。科研工作者在金、银选冶技术领域开展了大量的研究工作,研制了许多湿法冶金新技术、新工艺、新方法。尤其对难处理矿石的开发和利用获得了重大突破,有些技术达到了世界先进水平,为我国金银工业的可持续发展提供了有力的技术支撑。为此,对我国近十年来在金银工业生产和科研中涌现出的新技术、新工艺、新方法进行总结是非常必要的。

湿法冶金技术是金银工业生产的主要工艺,而金银分析测试方法是湿法冶金工艺的“眼睛”,是金银工业生产不可缺少的重要组成部分。这两种不同学科的工艺方法,其化学机理在诸多方面都是相同的。本书将“金银的湿法冶金工艺和分析测试方法”结合在一起进行阐述,这将有助于从事金银生产的科研人员拓宽知识面,使他们从中得到启发,对选冶和分析测试技术人员研发新工艺、新方法都是有益的。

全书共分四篇。第一篇为概论,系统介绍了金银的地球化学、物理和化学性质及其用途。第二篇全面阐述了湿法提取金银工艺方法,特别对难处理矿石的预处理方法做了详细介绍。第三篇全面介绍了金银湿法精炼工艺方法。第四篇为金银及其伴生元素的分析测试方法,较全面地概述了近十年来我国金银矿石的加工、焙烧、分解、富集分离和测定方法的进展。作者依照理论与实践相结合的原则,着重叙述金银湿法冶金和分析测试的实用技术,尤其是对难处理矿石金的湿法冶金工艺和金的测定方法做了较详细的论述和探讨,力求反映我国十年来金银湿法冶金和分析测试的最新进展,为广大从事金银工业生产和科研的技术人员提供一本有益的参考书。

在本书编写过程中,得到武警黄金部队和中金股份河南中原黄金冶炼厂领导和同志们热情关怀和支持,得到朱盈权教授,邓延斌副教授,于永江、邱惠琴、李鹰、宋磊、彭国敏、张玉明、俎小凤、廖忠义、魏惠蓉、张厚杰高级工程师的指导和帮助。全书由朱盈权审阅定稿并作序,在此一并致谢。

本书的出版得到中金股份河南中原黄金冶炼厂的大力赞助,特此致谢。

由于作者水平有限,书中难免存在一些错误和不妥之处,希望读者批评指正。

作 者

2008年12月

目 录

序 前言

第一篇 概 论

第一章 金的性质和用途	(3)
第一节 金的地球化学性质	(3)
第二节 金在自然界的存在形式	(5)
第三节 金的主要矿物	(7)
第四节 金的物理性质	(10)
第五节 金的化学性质	(12)
第六节 金的化合物	(17)
第七节 黄金的用途	(36)
第二章 银的性质和用途	(44)
第一节 银的地球化学性质	(44)
第二节 银在自然界的存在形式	(44)
第三节 银的主要矿物	(46)
第四节 银的物理性质	(47)
第五节 银的化学性质	(48)
第六节 银的化合物	(49)
第七节 银的用途	(56)
第三章 金银的资源分布	(61)
第一节 世界金银资源分布及其特征	(61)
第二节 我国金银资源的分布及其特征	(63)
第三节 我国金银难处理矿石类型	(68)
参考文献	(73)

第二篇 湿法提取金银工艺方法

第四章 直接氰化法提取金银工艺	(77)
第一节 方法原理	(77)
第二节 影响因素	(80)
第三节 工艺条件	(92)
第四节 方法特点与评价	(96)

第五节 发展概况及应用实例	(97)
参考文献	(179)
第五章 堆浸法氰化提取金银工艺	(183)
第一节 方法原理	(183)
第二节 影响因素	(183)
第三节 工艺条件	(185)
第四节 方法特点及评价	(187)
第五节 发展概况及应用实例	(187)
参考文献	(221)
第六章 炭浆法提取金银的工艺	(223)
第一节 方法原理	(223)
第二节 影响因素	(224)
第三节 工艺条件	(227)
第四节 方法特点及评价	(231)
第五节 发展概况和应用实例	(232)
参考文献	(269)
第七章 树脂矿浆法提取金银工艺	(271)
第一节 方法原理	(271)
第二节 影响因素	(273)
第三节 工艺参数和工艺流程	(274)
第四节 载金树脂的解吸和贫树脂的再生	(276)
第五节 方法特点及评价	(280)
第六节 发展概况及应用实例	(282)
参考文献	(294)
第八章 焙烧氧化预处理氰化法提取金银工艺	(295)
第一节 方法原理	(295)
第二节 影响焙烧氧化预处理的因素	(298)
第三节 焙烧氧化预处理工艺采用的设备	(298)
第四节 焙烧氧化预处理工艺的评价	(300)
第五节 焙烧氰化浸出工艺的发展概况	(301)
第六节 我国难处理金矿焙烧—氰化浸出工艺的展望	(361)
参考文献	(385)
第九章 生物氧化预处理氰化法提取金银工艺	(390)
第一节 方法原理	(390)
第二节 影响因素	(390)
第三节 工艺条件	(392)

第四节 浸矿细菌的种类	(395)
第五节 方法特点及评价	(396)
第六节 发展概况及应用实例	(397)
参考文献	(428)
第十章 热压氧化法预处理氰化法提取金银工艺	(430)
第一节 方法原理	(430)
第二节 影响因素	(431)
第三节 工艺条件及工艺流程	(433)
第四节 方法特点及评价	(435)
第五节 发展概况和应用实例	(435)
参考文献	(453)
第十一章 硫脲浸出法提取金银工艺	(454)
第一节 方法原理	(454)
第二节 影响因素	(455)
第三节 工艺条件和工艺流程	(457)
第四节 方法特点及评价	(458)
第五节 发展概况及应用实例	(459)
参考文献	(478)
第十二章 硫代硫酸盐浸出法提取金银工艺	(480)
第一节 方法原理	(480)
第二节 影响因素	(481)
第三节 工艺条件	(483)
第四节 方法特点及评价	(483)
第五节 发展概况及应用实例	(486)
参考文献	(501)
第十三章 氰化法浸出提金工艺	(502)
第一节 方法原理	(502)
第二节 方法特点及评价	(503)
第三节 发展概况及应用实例	(504)
参考文献	(515)
第十四章 溴化法浸出提金工艺	(516)
第一节 方法原理	(516)
第二节 方法特点及评价	(516)
第三节 发展概况及应用实例	(517)
参考文献	(521)

第十五章	石硫合剂浸出法提金工艺	(522)
第一节	方法原理	(522)
第二节	影响因素	(522)
第三节	工艺条件	(524)
第四节	方法特点及评价	(524)
第五节	发展概况及应用实例	(525)
参考文献		(528)
第十六章	硝酸预氧化法提金工艺	(529)
第一节	方法原理	(529)
第二节	硝酸预氧化法的几种类型	(530)
第三节	国外硝酸预氧化法提金工艺发展概况	(531)
第四节	国内硝酸预氧化法提金工艺发展概况	(534)
参考文献		(545)
第十七章	其他提金工艺	(547)
第一节	碱性催化氧化-氰化法提金工艺	(547)
第二节	硫氰酸盐法提金工艺	(550)
第三节	生物制剂法提金工艺	(554)
第四节	多硫化物法提金工艺	(559)
第五节	碘化法提金工艺	(561)
第六节	液膜法从氰化浸出矿浆中提金工艺	(564)
第七节	含砷难处理金矿重铬酸钠预处理工艺	(567)
第八节	HOPF-防膜剂预处理-氰化法提金工艺	(569)
第九节	无氰催化氧化酸浸一步法提金工艺	(571)
第十节	新型浸金试剂 CSUT(I) 浸金工艺	(573)
第十一节	硫化银锰精矿氧化预处理湿法提银工艺	(575)
参考文献		(577)

第三篇 金银湿法精炼工艺方法

第十八章	炼金原料及其预处理方法	(581)
第一节	炼金原料的种类	(581)
第二节	炼金原料预处理方法	(582)
第十九章	金银的浸取方法	(588)
第一节	王水浸取法	(588)
第二节	氯酸钠浸取法	(588)
第三节	硝酸(或盐酸)-氯化钠-高锰酸钾浸取法	(589)
第四节	氯气-氯化钠浸取法	(590)

第二十章 金银的还原方法	(592)
第一节 草酸还原法	(592)
第二节 亚硫酸钠还原法	(593)
第三节 焦亚硫酸钠还原法	(595)
第四节 二氧化硫还原法	(595)
第五节 水合联氨还原法	(596)
第六节 硫酸亚铁还原法	(598)
第七节 其他还原剂	(599)
第二十一章 金银湿法冶炼工艺的发展概况及应用实例	(601)
第一节 硝酸除杂-王水浸出-草酸还原冶炼工艺	(601)
第二节 硫酸浸铜-硝酸浸银铅-王水浸金 FEN 还原冶炼工艺	(602)
第三节 低温焙烧预处理全湿法多金属冶炼工艺	(603)
第四节 盐酸-硫酸介质 LSN 试剂氧化浸出选择性还原冶炼工艺	(603)
第五节 SBRF-E 金银精炼新工艺	(604)
第六节 全控电湿法直接精炼工艺	(606)
第七节 氯氨法净化全湿法提纯金银工艺	(608)
第八节 硝酸溶银分金法精炼工艺	(609)
第九节 混合铵盐除杂——金电解精炼工艺	(610)
第十节 硫酸+氯酸钠体系控电氯化精炼工艺	(612)
第十一节 环保型金银提纯工艺	(613)
第十二节 从砂金中提纯金银的工艺	(616)
第十三节 粗金粉的湿法精炼工艺	(618)
第十四节 粗金錠的湿法精炼工艺	(620)
第十五节 逐级除杂法提纯工艺	(623)
第十六节 高温氯化法精炼提纯工艺	(625)
第十七节 金电解精炼工艺	(627)
第十八节 银电解精炼工艺	(631)
第十九节 银还原精炼技术方法	(636)
第二十节 从稀贵液中直接电沉积金的工艺	(639)
第二十二章 阳极泥金湿法冶炼工艺发展概况	(641)
第一节 铜阳极泥的湿法冶炼工艺	(641)
第二节 铅阳极泥的湿法冶炼工艺	(659)
第三节 铈阳极泥的湿法冶炼工艺	(668)
第四节 镍阳极泥的湿法冶炼工艺	(671)
第二十三章 溶剂萃取法精炼金工艺	(674)
第一节 溶剂萃取法精炼金基本原理	(674)

第二节 常用萃取剂的性质和萃取特性	(674)
第三节 金溶剂萃取精炼工艺的特点	(685)
第四节 发展概况和应用实例	(686)
参考文献	(694)

第四篇 金银及其伴生元素的分析测试方法

第二十四章 金银矿样加工的最新进展	(699)
第一节 矿样加工的原理	(699)
第二节 样品加工的程序	(699)
第三节 金矿样品加工的进展	(701)
第二十五章 金银矿样焙烧及分解方法的最新进展	(707)
第一节 金银矿样的焙烧	(707)
第二节 金银矿样的分解方法	(708)
参考文献	(719)
第二十六章 金银富集分离方法的最新进展	(721)
第一节 金的富集分离方法	(721)
参考文献	(738)
第二节 银的富集分离方法	(744)
参考文献	(765)
第二十七章 金银测定方法的最新进展	(768)
第一节 金测定方法的最新进展	(768)
参考文献	(789)
第二节 银测定方法的最新进展	(799)
参考文献(滴定法部分)	(805)
参考文献(光度法部分)	(816)
第二十八章 金银及其伴生元素的测定方法	(834)
第一节 金的测定方法	(834)
第二节 银的测定方法	(867)
第三节 金银矿样中伴生元素的测定方法	(879)
参考文献	(891)

第一篇 概 论

第一章 金的性质和用途

第一节 金的地球化学性质

在地壳中分布的元素中,金由于其含量少,故属于微量元素,其平均含量(俗称克拉克值)为 $5.0 \times 10^{-7} \%$,相当于银的 $1/20$,铂的 $1/13$,汞的 $1/200$,在贵金属矿产中,其克拉克值是最低的。由于金具有高度的化学稳定性,在自然界中主要以元素状态分布在岩石层和砂矿中。

金的原子序数为 79,在元素周期表中位于第六周期的 IB 族,原子结构为 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^{10} 4f^{14} 5s^2 5p^6 5d^{10} 6s^1$,与同一副族的 Cu、Ag 元素相同,金原子结构的特点是具有充满的 5d 电子亚层,与 4f 电子产生的屏蔽很微弱,因而 6s 电子亚层和原子核之间结合力很强。金的电离能比较大(9.233kJ/mol)、电子的亲合力较强(2.43)、电负性较大(2.40),这些性质决定了金元素既不易失去电子、也不易获得电子,使其成为惰性元素,这就决定了金在自然界主要以自然元素(自然金)存在。

由于金具有 $5d^{10}6s^1$ 电子构型,当失去 1 个或 3 个电子后,属铜离子类型,在周期表中介于亲硫元素(Zn、Cd、Hg、Pb、As、Sb、Bi、Se、Te 等)与亲铁元素(Fe、Co、Ni、Pt 等)之间,故金一方面具有亲硫性,另一方面也具有一定的亲铁性。所以在金矿床中,自然金多赋存在硫化物中,硫化物矿物是金矿床中的主要矿物组成。凡是出现硫化物富集的地方,金含量就增高,金的矿化度往往与石英脉硫化矿物的富集有关。

由于金又具有亲铁性,因此在含有硫化物的金矿床中,金的矿化往往与黄铁矿富集有关。例如,铁陨石中金的含量可达 $5 \sim 10\text{g/t}$,比地壳中金的平均含量要高 1000 倍。

在硫化物矿床中,Au、Ag、Cu 经常被同时富集,但其含量变化较大,这是因为 Ag、Cu 亲硫性强,在铜的硫化物、硫酸盐中 Ag 的含量高,故 Ag 是富铜的指示元素,而 Au 的亲铁性大于 Ag,因此在铁陨石、铂族元素以及 Fe、Co、Ni 的硫化物中含金量高。由于金的化学惰性大于银,故金在地壳中通常以自然金产出,而 Au^+ 不常见(Au_2Te), Au^{3+} 罕见,但 Ag 很少以自然银产出,而通常以 Ag^+ 的矿物产出。

Au、Ag 其差别还在于: Au^+ 、 Au^{3+} 离子电位高,容易与其他元素形成共价键化合物,故 Au 能够与 Te、Bi、Sb 形成稳定的化合物,而 Ag 仅与 Se、S、As、Cl 形

成化合物, Au 较 Ag 亲铁族元素、碲、铋、铊和汞, 而 Ag 较 Au 亲铜、硫、硒、砷、铅和铋。在表生条件下, Ag 可与 Cl^- 、 Br^- 、 I^- 、 SO_4^{2-} 结合, 而 Au 只能和它们形成络合物。

铜、银、金属同一副族(ⅠB 副族), 为便于比较其地球化学性质, 特将 Cu、Ag、Au 的地球化学参数(包括原子半径、离子半径、电负性、电离势、离子电位、晶格能系数等)列在表 1-1。

表 1-1 金、银、铜主要地球化学参数

元素	原子序数	相对原子质量	电子构型	化合价	原子半径/Å	离子半径/Å
Au	79	196.97	$5d^{10}6s^1$	0、+1、+3	1.40(Ⅷ)	1.33(+1)、0.85(+3)
Ag	47	107.87	$4d^{10}5s^1$	0、+1、+2	1.445(Ⅺ)	1.26(+1)、0.89(+3) ¹
Cu	29	63.53	$3d^{10}4s^1$	0、+1、+2、(+3)	1.278(Ⅺ)	0.96(+1)、0.72(+2)
电负性		电离势/eV			离子电位	晶格能系数
2.4		9.22(+1)、约 30(+3)			0.73(+1)、3.53(+3)	0.65(+1)
1.9		7.574(+1)、21.48(+2)			0.79(+1)、2.25(+2)	0.60(+1)
1.9		7.724(+1)、20.29(+2)			1.04(1+)、2.78(+2)	0.70(+1)

从表 1-1 可看出, 金原子核吸引最外层电子能力很强, 不易失去外层价电子, 具有很高的电离势负电性及离子电位, 金的第一电离势比同族的铜、银高, 所以在自然界中, 铜、银均易成正一价离子进入矿物, 而金则不易形成离子, 通常以原子状态存在, 与其他元素的亲合力极低, 一般不与 O^{2-} 、 S^{2-} 等阴离子和 SO_4^{2-} 、 CO_3^{2-} 等络阴离子结合成矿物, 而主要以元素单质——自然金的形式产出。

从表 1-1 可看出, 金与银的原子半径和离子半径相似, 晶格类型相同(均为立方方面的格子), 晶胞核长也近似相等, 因此在自然界中, 金与银共生, 并可形成连续类质同象系列, 在自然金中, 银的含量可高达 20%。金与铜虽然属于同族元素, 其晶格类型也很相似, 但在其他参数, 如金、铜原子半径差值 $>12.5\%$, 所以虽然也经常共生, 但只能形成有限的类质同象或金属互化物。

在还原条件下, 金与铂族元素的地球化学性质类似, 这是因金、铂的次外层电子结构仅相差一个电子($\text{Au}: 5d^{10}6s^1$, $\text{Pt}: 5d^96s^1$), 它们都表现出明显的亲铁性质, 故在与超基性岩、基性岩有关的铜镍型和铬铁矿型矿床中, 常见金与铂元素密切共生, 并可形成多种金与铂族的金属互化矿物。例如, 甘肃金川铜镍矿床中, 常有金、铂、钯、银的富集。

金与铋、铊、锡、汞可形成金属互化物, 与碲形成碲化物。在金矿床中, 铁、钴、

镍、铅、锌、砷等元素通常形成硫化物矿物,组成金矿床常见的矿物组合。当金呈离子状态时则易与碲化合,而不与硫化合,这是由它们的共价半径和离子半径决定的(表 1-2)。

表 1-2 共价半径和离子半径一览表

元素	共价半径/nm	元素	离子半径/nm
Te ²⁻	0.137	Au ⁺	0.137
Se ²⁻	0.117	Ag ⁺	0.126
S ²⁻	0.103	Cu ⁺	0.096

从表 1-2 可见,金与碲的共价半径和离子半径相同(0.137nm),因而金与碲容易结合而形成稳定的晶格。

金的另一地球化学特性是再生能力强。例如,在砂金中,常常发现有较大的“狗头金”,这种“狗头金”并不是原子沉淀的,而是由于金晶格的聚合作用,即金离子或分子浓度扩散、电化学反应和次生作用,使之再生形成的。1963 年 6 月,在湖南益阳发现一个“狗头金”,重达 2160.8g,1997 年 6 月在青海发现一个 6577.5g 的特大自然金块,这在世界上也是罕见的。

第二节 金在自然界的存在形式

金以脉金矿和砂金矿存在于各种类型的岩石中,主要与中酸性和酸性花岗岩有密切关系,偶尔与碱性岩、基性岩和超基性岩有关。来源于地幔或地壳岩石重熔的含金岩浆从地球深处上升到地壳的过程中,物理化学条件的变化致使岩浆的物理化学性质不断地发生变化,其物质成分随之产生变化。岩浆是一种复杂的硅酸岩熔融体,含有饱和的水、碳酸气、硫化氢等挥发组分,岩浆冷却时,以一定程序结晶成造岩硅酸盐矿物,如橄榄石、辉石、长石、石英等,而熔融体的挥发组分含量随岩浆的结晶而增加,当达到一定极限则析出气体,随气体带走的不仅有挥发物,还有金属和非金属元素,其中包括金,当挥发气体组分沿着裂隙和孔隙进入岩层,形成热液,深部热液的水呈凝结蒸汽状态,在温度低于 372℃(水的临界点)和压力作用下变成液态水,在高温高压条件下,水能够溶解并输送许多在一般条件下不能溶解的化合物,其中包括金、银、铜等金属元素和 SiO₂ 等非金属组分。热液沿裂隙浸入,进入压力较低的地段,并逐渐变冷,在下降的压力和温度影响下,由于热液和围岩的复杂化学相互作用,金与其他矿物(石英、黄铁矿、砷黄铁矿等)沉淀下来,逐渐充填裂隙,形成矿床。

在岩浆的分异过程中,由于金不具有形成离子键和共价键的性质,也不具有与硅酸盐矿物形成类质同象的条件,因此金通常不存在于岩石矿物中,也不能形成大

量的独立矿物。在中性或酸性岩石中影响金的迁移和沉淀的组分有： H_2S 、 HCl 、 NH_3 、 SO_3 、 H_2O 、 P_2O_5 、 HF 、 LiO_2 、 B_2O_6 等。由于金对 H_2S 、 HCl 、 NH_3 、 SO_3 有较大的亲合力，因此金易于以稳定的氯、硫、氢、络阴离子以及碱金属络合物从熔浆中渗透出来的溶液中迁移析出。

在岩浆熔离过程中，金易于富集在金属硫化物相中，但一般只作为 Cu 、 Ni 、 Pt 矿床的副产品。大量金的富集主要发生在岩浆后期的“热液阶段”，即富集在岩浆分离出来的热水溶液中，此时岩浆中的挥发性组分熔点低，挥发性高，特别能与 Cu 、 Pb 、 Zn 、 Au 、 Ag 等成矿元素组成易溶络合物。在热水溶液中，金能够以易溶的 $[\text{AuCl}_2]^-$ 、 $[\text{AuCl}_4]^-$ 、 $[\text{AuS}]^-$ 、 $[\text{AuS}_3]^{3-}$ 、 $[\text{AuO}_3]^{3-}$ 、 $[\text{HAuNO}_3]^{2-}$ 等络合物存在。在迁移过程中金还可以形成溶解度很大的碱金属络合物，如 KAuCl_4 、 NaAuS_2 。在碱性溶液中 SiO_2 溶解度较大，这些含 Au 、 SiO_2 等组分的碱性含矿溶液，随着温度的降低以及 pH 和氧化还原电位等因素的变化，导致金络合物的分解，使金沉淀，同时析出大量的 SiO_2 （石英）。因此，金矿物、石英与黄铁矿和黄铜矿等硫化物常共生在一起，形成硫化物石英脉型金矿。

与铜、银相比，金对碲的亲合力大，其亲合力大小的顺序为 $\text{Au} \geq \text{Ag} \geq \text{Cu}$ ，故在硫化物成矿作用期间，如果岩浆的热水溶液中含有碲，则铁、铜的硫化物产生沉淀，而金则形成碲化物，仍稳定地保留在溶液中继续迁移。因而，不仅在酸性岩体的内外接触带及附近有高温热液黄铁矿带的金矿床，而且在远离接触带的地方也有中低温热液多金属硫化物-金银碲化物金矿床。

金在岩浆岩中的存在形式如下：

(1) 在高温热液矿床中，金一部分成自然状态，一部分与毒砂、黄铁矿及其他硫化物共生。

(2) 在热液石英脉和热液黄铁矿矿床中，自然金分布在石英脉生成的浸染体与硫化物共生的矿石中。

(3) 在中温热液矿床中，金或呈自然状态、或呈硫化物中的混合物存在。

(4) 在低温热液矿床中，金往往与银、碲共生，金与银均以碲化物或以简单硫化物存在。

含金岩石或原生金矿床暴露在地表后，由于受地质外动力作用而被破坏，产生新的富集，主要形成铁帽金矿床、砂金矿床、化学沉积矿床。由于自然金的化学性质稳定，通常在原生矿附近的山坡、河、海中形成金矿矿床。在含金的硫化物矿床氧化带中，金不易被水冲刷带走，但经强酸作用，金能够进入溶液，呈 HAuCl_4 形式发生迁移，而在硫化物、砷化物等低铁离子作用下形成次生富集。金在迁移过程中，黏土和 SiO_2 胶体的吸附作用、有机质和 FeS_2 的还原作用也会引起金的沉淀。所以在含碳质的黑色页岩和砂页岩中，金也常有富集现象而形成矿床。在沉积岩中形成的金矿床品位一般很低，且分布是不规则的，通常重金集中在矿床的底部或在 1m 以内，粗金有时分布在砂层下部 6~7m 以内。除小部分外，金在岩层中分布