

提金化学

CHEMISTRY
OF EXTRACTIVE
METALLURGY OF GOLD

□ 姜涛 著

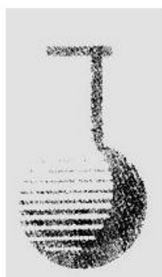
□ 湖南科学技术出版社

Hunan Science & Technology Press

Jiang Tao



TJHX
TJINHUAXUE



提金化学

CHEMISTRY OF EXTRACTIVE METALLURGY OF GOLD

姜涛 著

湖南科学技术出版社

Hunan Science & Technology Press

Jiang Tao



提金化学

著 者：姜 涛

责任编辑：徐 为

出版发行：湖南科学技术出版社

社 址：长沙市展览馆路 66 号

印 刷：湖南省新华印刷一厂

厂 址：长沙市芙蓉北路 564 号

邮 编：410008

(印装质量问题请直接与本厂联系)

出版日期：1998 年 8 月第 1 版第 1 次

开 本：850mm×1168mm 1/32

印 张：11.25

插 页：4

字 数：269000

印 数：1—3100

书 号：ISBN 7—5357—1759—4/O·169

定 价：28.00 元

(版权所有·翻印必究)



本书得到国家自然科学基金、教育部博士点基金和霍英东青年教师基金资助。

序

黄金的提取炼制和使用,有着悠久的历史。黄金矿的开采、淘洗加工和提取技术对社会生产力的发展和文化艺术的形成,发挥了重要作用,在我国的历史长河中,产生过重要影响。唐朝著名诗人刘禹锡曾有诗句:“日照澄洲江雾开,淘金女伴满江隈,美人首饰侯王印,尽是沙中浪底来”,形象地描述了采金淘金的过程和社会意义;刘禹锡的另一诗句:“千淘万漉虽辛苦,吹尽狂沙始到金”,富有哲理性地抒发了对古人淘金工作千辛万苦及做人立业精神风骨的赞扬与感叹。

近年来,我国黄金生产发展迅速,连创历史最高纪录,为国民经济和国家金融实力的增强作出了重要贡献,金矿提取技术也有长足的进步,生产部门、科研院所和高等院校开展了大量研究,无论是生产工艺和基础研究都取得了许多优秀成果。尤其是针对我国蕴藏的难处理金矿,开发有效工艺技术,已有显著成效,也发表了不少好的论文、出版了不少好的著作。

姜涛教授的新作《提金化学》已撰写完毕,即将出版,承他将书稿送我,拜读之后,给我的感觉可以用两句常见的夸语表示,那就是:“受益匪浅,耳目一新”,然而这里完全是实感而绝非夸语。这本书的化学原理部分十分有特色,不是笼统地综合归纳有关金元素和提取过程的化学资料,而是从溶液化学、电化学和表面化学三个方面,系统地讨论提金工艺过程的化学原理。不仅系统全面地整

理分析了前人大量文献资料,而且更重要的是融入了作者多年一系列的研究成果。本书将化学原理的理论与提金实践高度结合,例如在溶液化学部分,对氰化物、硫脲、硫代硫酸盐以及液氯法、溴化法等浸金的溶液化学平衡给出系统的公式推导和计算;电化学部分则对相应各种工艺过程中金溶解的多种电化学行为、电极过程、钝化活化等逐一分析讨论;界面化学部分对各种提金工艺中的活性炭吸附等有关表面过程和反应作系统分析,并给出优化过程的研究结果。这些分析讨论和研究结果,表述系统而清晰,在国内外同类专著中是很出色的,对于从理论上理解和掌握提金工艺很有帮助。

这本书的工艺技术部分,主要是针对难处理金矿,介绍各种工艺,对含铜型、硫铁矿型、碲化物型、含砷锑型金矿以及碳质金矿的处理逐一介绍和讨论,其中许多是作者自己的研究成果和心得体会。因此,这本书的出版,对于总结已有矿石提金的经验,丰富金矿加工提取的科技内容,推动生产技术的发展,都会起到很好的作用。这本书也是高校选矿、冶金、化工专业师生的很好的参考书。

姜涛教授是年轻一代的学者,工作勤奋,治学严谨,积极进取,在金矿提取、铁矿制团烧结和直接还原等研究领域,都取得了很好的成果,在教学工作中也成绩显著。借此机会,向读者推介此书,同时也祝姜涛教授的研究工作不断前进,取得更多的成就。

王浣沅

1998年春节前夕于岳麓山下
中南工业大学校园

前 言

黄金在国民经济发展和社会进步中起着重要作用。改革开放近20年来,我国黄金生产发展迅速,为祖国现代化建设作出了重要贡献。与此同时,为了实现高效、无毒浸金,合理地开发利用低品位及难浸金矿资源,国内外开展了大量的研究工作,并取得了显著的进展,一些新工艺、新方法、新设备已用于工业生产。相比之下,提金理论的研究相对滞后,缺乏系统性,这使提金工艺的发展受到一定的限制。为深入认识提金过程的本质行为,并为提金新工艺的开发提供理论基础,作者结合近十年来的研究成果并参阅国内外有关文献撰写了此书,以期对提金科学技术的发展贡献微薄之力。

本书依据提金过程的化学特征将提金基本原理归纳为溶液化学、电化学和界面化学三个方面,并分别予以阐述。这样便于读者从整体上了解和掌握提金的理论体系,对于研究者由已知到未知、由此及彼地开展研究工作也有启发和参考意义。

除氰化法外,本书对硫脲法、硫代硫酸盐法、氯化法、溴化法、碘化法等非氰化浸金法的原理及应用辟以较大篇幅进行论述。氰化物的毒性成为驱使提金工作者研究开发非氰化提金法的长久动力。可以预料,非氰化法提金是目前乃至今后相当长时期内的重要研究课题。

在应用部分,重点突出了难浸金矿。这一方面基于易浸金矿较易处理、国内外著述都有详细论述的事实,另一方面基于易浸金

矿不断减少、难浸金矿的处理日益重要的趋势。本书对难浸金矿的类型、难浸原因以及含铜金矿、硫铁矿型金矿、碲化物金矿、含砷锑金矿、碳质金矿的处理方法、工艺进行较系统地论述,具有针对性和实用性。

作者自攻读博士学位(1986~1990)开始在陈荃、许时两位教授和吴振祥教授级高工指导下从事金银的选矿和提取研究,后又得到王淀佐院士等专家的指导和关心,继续从事这方面的研究工作。本书包括了近十年来在这些专家指导下取得的一些研究成果和博士学位论文的主要内容,其中包括曾获国家教委科技进步(理论成果类)奖的“硫代硫酸盐法浸金的基础理论与新工艺研究”和曾获中国有色金属工业总公司自然科学奖的“含铜金矿直接提金基础研究”等。借此书出版机会,谨向以上及所有长期培养和关心作者的老一辈专家表示衷心的感谢和崇高的敬意,并向多年来关心和支持作者的同事们表示衷心感谢。

中国科学院院士、中国工程院院士王淀佐教授在百忙之中审阅书稿并撰写了序言。对老师的褒奖之辞,作者将作为对自己的鞭策与鼓励,在今后的工作中不断进取,取得新的成绩。

第6.5节由张金钟同志完成,杨永斌、黄柱成、常永强、李桃协助收集资料,作者在此深表谢意。程建国先生对本书成稿给予了鼎力支持,作者在此表示衷心感谢。

由于提金科学技术在迅速发展,加之对提金化学原理的归纳及分类带有一定的主观性,读者看到此书时,一定会发现许多不足、错误甚至谬误之处。这既是作者水平所致,也是科学技术发展的必然。真诚欢迎各位读者提出批评、意见和建议。

作 者

1998年2月

目 录

1 金的物理化学性质	(1)
1.1 金的物理性质	(1)
1.2 金的化学性质	(2)
1.3 金的配位化学性质	(5)
1.4 金的地球化学性质	(7)
1.4.1 金的地球化学参数	(7)
1.4.2 金的地球化学亲和性	(9)
1.5 金的主要矿物及赋存状态	(10)
1.5.1 金的主要工业矿物	(10)
1.5.2 金的赋存状态	(10)
参考文献	(13)
2 提金溶液化学	(14)
2.1 金、银在无配位体水溶液中的化学特性	(14)
2.2 氰化浸金溶液化学	(18)
2.2.1 金氰化溶解的化学反应方程	(18)
2.2.2 $\text{CN-H}_2\text{O}$ 系平衡	(18)
2.2.3 $\text{Au-CN-H}_2\text{O}$ 系平衡	(20)
2.2.4 $\text{Ag-CN-H}_2\text{O}$ 系平衡	(23)
2.2.5 金、银在氰化物溶液中化学特性的比较	(27)
2.2.6 锌粉(丝)置换金的溶液化学	(28)
2.2.7 伴生氧化矿物在氰化物溶液中的行为	(30)

2.2.8	伴生硫化矿物在氰化物溶液中的行为	(33)
2.2.9	伴生含砷矿物在氰化物溶液中的行为	(36)
2.3	硫脲浸金溶液化学	(38)
2.3.1	硫脲的化学性质	(39)
2.3.2	硫脲浸金的化学原理	(40)
2.3.3	硫脲浸金体系的溶液化学	(42)
2.4	硫代硫酸盐浸金溶液化学	(51)
2.4.1	硫代硫酸盐法浸金的化学原理	(51)
2.4.2	硫代硫酸盐浸金体系溶液化学	(54)
2.5	氯化浸金溶液化学	(60)
2.5.1	液氯化法浸金的基本原理	(60)
2.5.2	$\text{Cl-H}_2\text{O}$ 系平衡	(61)
2.5.3	$\text{Au-Cl-H}_2\text{O}$ 系平衡	(63)
2.5.4	$\text{Ag-Cl-H}_2\text{O}$ 系平衡	(64)
2.6	溴化浸金溶液化学	(67)
2.6.1	溴化法浸金的基本原理	(67)
2.6.2	$\text{Au-Br-H}_2\text{O}$ 系平衡	(68)
2.7	碘化浸金溶液化学	(70)
2.7.1	碘化法浸金的基本原理	(70)
2.7.2	碘化浸金体系溶液化学	(70)
2.8	硫氰酸盐浸金溶液化学	(75)
2.8.1	硫氰酸盐浸金的基本原理	(75)
2.8.2	$\text{SCN-H}_2\text{O}$ 系平衡	(76)
2.8.3	$\text{Au-SCN-H}_2\text{O}$ 系平衡	(77)
2.8.4	$\text{Ag-SCN-H}_2\text{O}$ 系平衡	(80)
	参考文献	(83)
3	提金电化学	(86)
3.1	提金中的电化学现象	(86)

3.2	金在无配位体介质中的氧化行为	(87)
3.2.1	在酸性介质中的氧化行为	(87)
3.2.2	在碱性介质中的氧化行为	(90)
3.3	氰化浸金电化学	(91)
3.3.1	金在氰化物溶液中的阳极氧化	(91)
3.3.2	金的阳极溶解与钝化机理	(96)
3.3.3	氰化浸金体系的阴极过程	(99)
3.3.4	金氰化溶解的混合电位模型及应用	(100)
3.4	硫脲浸金电化学	(104)
3.4.1	金的阳极溶解	(104)
3.4.2	阴极过程的化学行为	(105)
3.4.3	最佳硫脲浓度的确定	(107)
3.5	硫代硫酸盐浸金电化学	(108)
3.5.1	金的阳极溶解行为	(108)
3.5.2	硫代硫酸根离子的阳极氧化	(115)
3.5.3	硫代硫酸盐浸金的阴极过程及机理	(120)
3.5.4	硫代硫酸盐浸金动力学	(129)
3.6	氯化浸金电化学	(136)
3.6.1	金在氯化物溶液中的阳极溶解	(136)
3.6.2	金在氯化物溶液中的钝化及活化机理	(137)
3.7	溴化浸金电化学	(138)
3.8	碘化浸金电化学	(140)
3.8.1	金在碘化物溶液中溶解的电化学	(140)
3.8.2	金碘化溶解条件的最优化	(142)
3.9	从浸出液中置换沉淀金的电化学原理	(147)
3.9.1	置换沉淀的电化学模型	(147)
3.9.2	锌在氰化物溶液中的阳极溶解	(148)
3.9.3	锌自氰化液中置换金的混合电位模型	(149)
3.10	含金贵液的电解沉积与粗金的电解精炼	(152)

3.10.1	含金贵液电解沉积的原理	(152)
3.10.2	粗金电解精炼的原理	(153)
3.11	伴生矿物及金属影响浸金的电化学	(155)
3.11.1	与金接触的矿物及金属对溶金速率的影响	(155)
3.11.2	接触矿物及金属影响浸金的电化学原理	(161)
3.12	含硫溶液中金粒表面膜的电化学性质	(164)
3.12.1	金粒的表面薄膜	(164)
3.12.2	金粒表面硫化物薄膜的电化学性质	(165)
参考文献		(170)
4 提金界面化学		(173)
4.1	提金中的界面现象	(173)
4.2	固/液界面吸附的理论基础	(174)
4.2.1	固体自溶液中吸附的类型及特点	(174)
4.2.2	吸附量与表面张力	(175)
4.2.3	吸附自由能与吸附选择性	(177)
4.2.4	吸附等温线	(178)
4.3	活性炭的结构与性能	(182)
4.3.1	活性炭的制造	(182)
4.3.2	活性炭的结构	(182)
4.3.3	活性炭的表面化学性质	(185)
4.3.4	提金对活性炭质量及性能的要求	(188)
4.4	活性炭自氰化物溶液中吸附提金	(190)
4.4.1	活性炭自氰化物溶液中吸附的一般规律	(190)
4.4.2	活性炭自氰化物溶液中吸附金的机理	(192)
4.4.3	影响金在活性炭上吸附的因素	(197)
4.4.4	外来离子对活性炭吸附性能的影响	(201)
4.4.5	活性炭自氰化液中吸附时氧的作用	(209)
4.4.6	从载金炭上解吸金的机理与方法	(214)
4.5	活性炭自硫脲溶液中吸附金	(216)

4.5.1 吸附机理及吸附动力学	(216)
4.5.2 吸附热力学及影响因素	(218)
4.6 活性炭自氯化物溶液中吸附金	(225)
4.6.1 吸附机理及吸附动力学	(225)
4.6.2 影响金吸附的物理化学因素	(227)
4.7 活性炭自溴化物溶液中吸附金	(231)
4.7.1 吸附机理及吸附动力学	(231)
4.7.2 影响吸附的物理化学因素	(232)
4.8 活性炭自碘化物溶液中吸附金	(234)
4.8.1 吸附动力学模型	(234)
4.8.2 影响吸附的物理化学因素	(235)
4.9 离子交换树脂自氰化介质中吸附提金	(239)
4.9.1 氰化介质的特性及其对树脂的要求	(239)
4.9.2 离子交换树脂吸附金的化学平衡	(240)
4.9.3 从树脂上解吸金的方法及原理	(242)
参考文献	(245)
5 难浸金矿提金概论	(247)
5.1 含金矿石提金方法概述	(247)
5.2 难浸金矿石的矿物学	(247)
5.3 难浸金矿石的类型及难浸因素	(249)
5.3.1 硫化矿	(249)
5.3.2 碳质矿	(250)
5.3.3 碲化矿	(250)
5.4 难浸金矿石处理方法综述	(251)
5.4.1 难浸金矿石的预处理	(251)
5.4.2 难浸金矿石的强化氰化浸出	(257)
5.4.3 难浸金矿石的非氰化浸出	(259)
参考文献	(262)

6 难浸金矿提金研究	(264)
6.1 含铜金矿的处理	(264)
6.1.1 铜对氰化提金的影响	(264)
6.1.2 铜矿物类型对氰化浸金的影响	(267)
6.1.3 含铜金矿的氰氨混合溶剂浸金	(272)
6.1.4 含铜金精矿硫代硫酸盐常温催化浸金	(279)
6.1.5 含铜金精矿自催化硫代硫酸盐浸金	(282)
6.1.6 酸性硫脲从黄铜矿精矿中浸出金	(289)
6.1.7 氯化法从湿法炼铜渣中提金	(293)
6.2 硫铁矿型金矿的处理	(296)
6.2.1 含铁矿物对氰化浸金的影响	(296)
6.2.2 含磁黄铁矿金矿的氰化浸出	(298)
6.3 碲化物型难浸金矿的处理	(301)
6.3.1 金银碲化物在氰化物溶液中的溶解行为	(301)
6.3.2 碲化物型金矿石的氰化浸出	(302)
6.4 含砷、锑难浸金矿的处理	(308)
6.4.1 砷、锑矿物对氰化浸金的影响	(308)
6.4.2 金锑砷精矿提金研究概述	(310)
6.4.3 金锑砷精矿浸锑-预氧化-非氰化浸金	(313)
6.5 碳质金矿的处理	(317)
6.5.1 碳质金矿概述	(317)
6.5.2 东北寨金矿碳质物成分及性能研究	(318)
6.5.3 东北寨碳质金矿提金研究	(326)
参考文献	(328)
附录	(330)
索引	(336)

Contents

1 Physical and Chemical Properties of Gold	(1)
1.1 Physical Properties of Gold	(1)
1.2 Chemical Properties of Gold	(2)
1.3 Coordination Chemical Properties of Gold	(5)
1.4 Geochemical Properties of Gold	(7)
1.5 Major Minerals and Occurrence Manners of Gold	(10)
References	(13)
2 Solution Chemistry in Gold Extraction	(14)
2.1 Chemical Character of Gold in Non-Complexing Aqueous Solution	(14)
2.2 Solution Chemistry of Leaching Gold by Cyanide	(18)
2.3 Solution Chemistry of Leaching Gold by Thiourea	(38)
2.4 Solution Chemistry of Leaching Gold by Thiosulfate	(51)
2.5 Solution Chemistry of Leaching Gold by Chloride	(60)
2.6 Solution Chemistry of Leaching Gold by Bromide	(67)
2.7 Solution Chemistry of Leaching Gold by Iodide	(70)

2.8	Solution Chemistry of Leaching Gold by Thiocyanate	(75)
	References	(83)
3	Electrochemistry in Gold Extraction	(86)
3.1	Electrochemical Phenomena in Gold Extraction ...	(86)
3.2	Oxidation of Gold in Non-Complexing Aqueous Solution	(87)
3.3	Electrochemistry of Leaching Gold by Cyanide	(91)
3.4	Electrochemistry of Leaching Gold by Thiourea ...	(104)
3.5	Electrochemistry of Leaching Gold by Thiosulfate	(108)
3.6	Electrochemistry of Leaching Gold by Chloride ...	(136)
3.7	Electrochemistry of Leaching Gold by Bromide ...	(138)
3.8	Electrochemistry of Leaching Gold by Iodide	(140)
3.9	Electrochemical Principles of Precipitating Gold from Solutions with Zinc	(147)
3.10	Electrowinning from Solutions and Electrorefining of Gold	(152)
3.11	Electrochemical Principles of Effects of Metals and Accompanying Minerals on Leaching of Gold ...	(155)
3.12	Electrochemical Properties of Surface Films on Gold in Sulfide Solutions	(164)
	References	(170)
4	Interface Chemistry in Gold Extraction	(173)

4.1	Interface Phenomena in Gold Extraction	(173)
4.2	Fundamental of Adsorption in Solid/Liquid Interface	(174)
4.3	Structures and Properties of Activated Carbon ...	(182)
4.4	Adsorption of Gold from Cyanide Solutions on Activated Carbon	(190)
4.5	Adsorption of Gold from Thiourea Solutions on Activated Carbon	(216)
4.6	Adsorption of Gold from Chloride Solutions on Activated Carbon	(225)
4.7	Adsorption of Gold from Bromide Solutions on Activated Carbon	(231)
4.8	Adsorption of Gold from Iodide Solutions on Activated Carbon	(234)
4.9	Principles of Gold Adsorption by Ion-Exchange Resins	(239)
	References	(245)

5 Introduction of Gold Extraction from Refractory Ores

		(247)
5.1	A Brief Summary of Processing Processes of Auriferous Ores	(247)
5.2	Mineralogy of Refractory Gold Ores	(247)
5.3	Types and Causes of Refractory Gold Ores	(249)
5.4	A Review on Treatment of Refractory Gold Ores ...	(251)