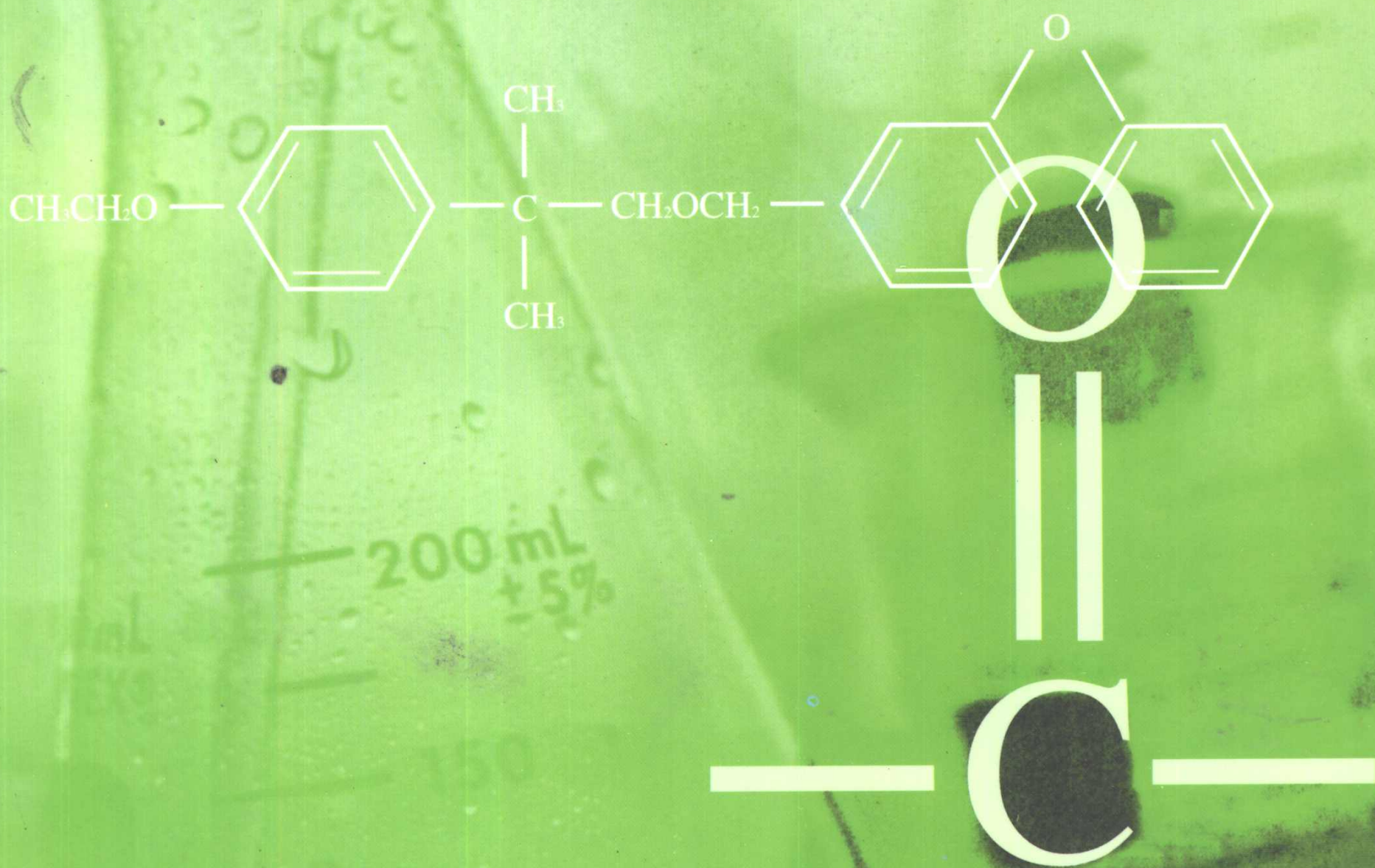


主编：徐建明 刘小宇

有机化学习指导



第二军医大学出版社

贵金属深加工及其应用

周全法 主编

化学工业出版社
材料科学与工程出版中心
·北京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

贵金属深加工及其应用 / 周全法主编. — 北京: 化学工业出版社, 2002.6

ISBN 7-5025-3782-1

I. 贵… II. 周… III. 贵金属-金属加工 IV. TG146.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 020275 号

贵金属深加工及其应用

周全法 主编

责任编辑: 宋向雁 朱 彤

责任校对: 郑 捷

封面设计: 郑小红

*

化学工业出版社 出版发行
材料科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市燕山印刷厂印刷

北京市燕山印刷厂装订

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 19 字数 469 千字

2002 年 6 月第 1 版 2002 年 6 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-3782-1/TQ·1519

定 价: 40.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

自古以来，黄金、白银是财富的象征，是国家金融的基础，各国对黄金、白银都严加控制，以稳定金融秩序。其实，黄金和白银等贵金属除了在金融活动中起着重要作用以外，贵金属的独特性质以及在工业上的广泛应用正使其处于“第二青春期”，它所焕发的活力和给整个人类带来的效益将远远超过作为货币材料的“第一青春期”。随着经济的发展和改革开放的推进，贵金属的货币职能正在逐渐减弱，我国的黄金和白银市场已相继开放，新的形势给贵金属生产和加工企业带来了新的机遇，同时也带来了新的挑战。如何使贵金属通过一系列的深加工而达到较大增值，使我国贵金属科学的发展、贵金属深加工产品的质量赶上和超过国际先进水平，已是非常紧迫的任务。因此，开展有关贵金属采矿、选冶、深加工、二次资源的开发和新材料的研制，对贵金属行业显得尤为迫切。

本书写在黄金市场开放的前夕，它总结了我们在贵金属深加工方面的一些粗浅经验。作者深知此书仅是一块十分粗陋的砖石，但如能引来光彩夺目的美玉，即我国的贵金属事业的兴旺发达，我们将感到十分欣慰。这就是我们写此书的初衷。

全书共 13 章，分成四篇。第一篇包括第 1 章和第 2 章为贵金属深加工基础，第二篇包括第 3 章～第 7 章为贵金属深加工和综合利用，第三篇包括第 8 章和第 9 章为贵金属分析，第四篇包括第 10 至第 13 章为贵金属深加工产品的应用。其中第 8 和第 9 章由王琪同志完成，第 11 章由周世平、郝晓光和周全法同志完成，第 10 章和第 12 章由谈永祥、吴春芳和周全法同志完成，其余各章由周全法同志完成。全书由周全法同志负责统稿和定稿。在成书过程中，常州稀有金属提炼厂、广东四会市鸿明贵金属有限公司、湖南湘晨高科实业有限公司、江苏溧阳市远东金属冶炼厂、江苏泰兴银光贵金属材料厂、湖南永兴县和浙江仙居县的众多集体和私营企业为书中有关工艺的中试或试生产提供了很多帮助。李锋和李雪飞同志承担了部分文字工作，化学工业出版社的有关同志为本书的尽快出版付出了很多劳动，在此表示衷心感谢。我的老师徐正教授在成书过程中给予了许多指导和帮助，没有这些指导和帮助，本书的及时出版是不可想像的。

由于作者学识粗浅，加上时间仓促，书中缺点和错误在所难免，恳望读者不吝指正。

编 者
2001 年 12 月于南京

目 录

第一篇 贵金属深加工基础

第1章 贵金属矿物和资源	2	2.4.3 Pt(II)化合物	43
1.1 贵金属的发现	2	2.4.4 Pt(IV)化合物	47
1.1.1 金和银的发现	2	2.4.5 Pt(VI)化合物	49
1.1.2 铂族元素的发现	3	2.4.6 铂有机化合物	50
1.2 金银矿物的资源和提取	5	2.5 钯的化合物	52
1.2.1 金银矿物的分布	6	2.5.1 钯的简单化合物	52
1.2.2 金银矿物的种类	6	2.5.2 钯(II)的配合物	54
1.2.3 金银的选矿和提取	9	2.5.3 钯(IV)的配合物	56
1.3 铂族金属的资源和提取	13	2.5.4 钯的其他氧化态的配合物	56
1.3.1 铂族金属的资源	13	2.6 铑的化合物	58
1.3.2 铂族金属的选矿和提取	14	2.6.1 铑的简单化合物	58
第2章 贵金属的单质和化合物	17	2.6.2 铑(III)的配合物	59
2.1 贵金属的一般性质	17	2.6.3 铑(I)的配合物	59
2.1.1 元素原子的性质和单质的物理性质	17	2.6.4 铑(II)的配合物	60
2.1.2 单质的化学性质	18	2.6.5 铑(0)的配合物	60
2.2 金的化合物	25	2.7 铱的化合物	60
2.2.1 金化合物的氧化态和几何构型	25	2.7.1 铱的简单化合物	60
2.2.2 Au(I)化合物	26	2.7.2 铱(I)的配合物	61
2.2.3 Au(III)化合物	27	2.7.3 铱(III)的配合物	61
2.2.4 金有机化合物	31	2.7.4 铱(IV)的配合物	61
2.3 银的化合物	34	2.8 钌的化合物	61
2.3.1 银化合物的氧化态和几何构型	34	2.8.1 钌的简单化合物	61
2.3.2 Ag(I)化合物	34	2.8.2 钌(III)的配合物	62
2.3.3 Ag(II)化合物和 Ag(III)化合物	39	2.8.3 钌(V)的配合物	62
2.3.4 银有机化合物	41	2.8.4 钌(VI)的配合物	62
2.4 铂的化合物	41	2.9 锇的化合物	62
2.4.1 铂的氧化态	41	2.9.1 锇的简单化合物	62
2.4.2 Pt(0)化合物	42	2.9.2 锇(IV)的配合物	63
		2.9.3 锇(VI)的配合物	64

第二篇 贵金属深加工与综合利用

第3章 银化工产品	66	3.2 氧化银、超细氧化银和纳米氧化银	69
3.1 硝酸银	66	3.2.1 主要用途	69
3.1.1 主要用途	66	3.2.2 普通氧化银生产方法	69
3.1.2 生产方法	66	3.2.3 超细氧化银和纳米级氧化银	70
3.1.3 产品质量标准	68	3.3 硫酸银	71

3.3.1 主要用途	71	4.5.3 耐高温烧结金水的制备方法	95
3.3.2 生产方法	71	第5章 铂族金属化工产品的深加工	97
3.4 氰化银钾和氰化银	72	5.1 铂的化工产品	97
3.4.1 主要用途	72	5.1.1 氯铂酸	97
3.4.2 生产方法	72	5.1.2 氯铂酸钾和氯铂酸铵	98
3.5 超细银粉、片状银粉和纳米银粉		5.1.3 P盐——二亚硝基二氨合铂(II)	99
的生产	74	5.1.4 二氯化铂和亚氯铂酸(盐)	99
3.5.1 主要用途	74	5.1.5 二氧化铂	100
3.5.2 超细银粉	74	5.2 钯的化工产品	100
3.5.3 片状银粉	76	5.2.1 二氯化钯($\text{PdCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	101
3.5.4 纳米银粉	77	5.2.2 二氯化四氨合钯(II)和二氯化	
3.6 银浆系列产品	77	二氨合钯(II)	101
3.6.1 主要用途	77	5.2.3 硝酸钯(II)	102
3.6.2 银浆的组成	78	5.2.4 二硝基四氨合钯(II)	102
3.6.3 银浆的生产	78	5.2.5 四氯合钯(II)酸钾	103
3.7 银盐感光材料和卤化银的生产	80	5.2.6 氧化钯(II)	103
3.7.1 银盐感光材料简介	80	5.2.7 钯炭催化剂	103
3.7.2 溴化银	81	5.3 铑的化工产品	104
3.7.3 碘化银	81	5.3.1 三氯化铑	104
3.7.4 氯化银	83	5.3.2 磷酸铑和硫酸铑	104
3.8 银深加工车间的基建和设备配制	83	5.3.3 一氯三苯基膦合铑(I)	105
3.8.1 生产工艺的切实可行性	83	5.3.4 三氧化铑	105
3.8.2 中试	83	5.4 钌的化工产品	106
3.8.3 基建和设备采购安装	84	5.4.1 四氧化钌和水合二氧化钌	106
3.8.4 试生产	84	5.4.2 三氯化钌	107
3.8.5 白银深加工车间设计实例	84	5.4.3 氯钌酸铵	107
第4章 金化工产品	87	5.5 铱和铱的化工产品	107
4.1 氯金酸	87	5.5.1 四氧化铱	107
4.1.1 主要用途	87	5.5.2 氯铱酸和氯铱酸铵	108
4.1.2 生产方法	87	5.5.3 水合二氧化铱	109
4.2 氰化亚金钾	88	5.6 贵金属及其合金的熔铸和机械加工	109
4.2.1 主要用途	88	5.6.1 金、银及其合金的熔铸	109
4.2.2 生产方法	88	5.6.2 铂族金属及其合金的熔铸	110
4.3 亚硫酸金钾(钠、铵)	91	5.6.3 贵金属及其合金的机械加工	111
4.3.1 主要用途	91	第6章 贵金属二次资源的回收和	
4.3.2 生产方法	91	利用	112
4.4 超细金粉和纳米金粉	92	6.1 贵金属二次资源的特点及回收预	
4.4.1 主要用途和制备原理	92	处理	112
4.4.2 抗坏血酸作为还原剂生产超细		6.1.1 贵金属二次资源的特点	112
金粉方法	92	6.1.2 贵金属二次资源的预处理	113
4.4.3 纳米级金粉的生产方法	93	6.2 各种贵金属废料的主要来源	114
4.5 金水的生产	93	6.2.1 含金废料的来源	114
4.5.1 主要用途	93	6.2.2 含银废料的来源	115
4.5.2 传统金水的制备工艺	94	6.2.3 铂族金属废料的来源	115

6.3 金的回收	115
6.3.1 从含金废液中回收金	116
6.3.2 从含金固体废料中回收金	118
6.3.3 从镀金废料中回收金	121
6.4 银的回收	123
6.4.1 从含银废液中回收银	125
6.4.2 从感光胶片、相纸回收银	127
6.4.3 从镀银件、银镜片中回收银	129
6.4.4 从含银的废合金中回收银	129
6.5 铂族金属的回收	130
6.5.1 铂的回收	130
6.5.2 钯的回收	134
6.5.3 铱的回收	135
6.5.4 铑的回收	139
6.6 贵金属的精炼	140
6.6.1 金的精炼	140
6.6.2 银的精炼	142

6.6.3 铂族金属的精炼	144
第7章 贵金属深加工的废水治理	155
7.1 含酸、碱废水的处理与利用	155
7.1.1 自然中和法	155
7.1.2 药剂中和法	155
7.1.3 过滤中和法	156
7.2 含氰废水的处理	157
7.2.1 碱性氯化法	158
7.2.2 酸化挥发-碱液吸收法	159
7.2.3 二氧化氯协同氧化剂破氰法	160
7.2.4 电解氯化法	161
7.2.5 臭氧氧化法	162
7.3 重金属废水处理	163
7.3.1 蒸发浓缩法	163
7.3.2 化学法	163
7.3.3 活性炭吸附法	165
7.3.4 离子树脂交换法	165

第三篇 贵金属深加工分析

第8章 贵金属分析的准备	169
8.1 贵金属元素分析方法	169
8.2 贵金属分析试样的取样	170
8.2.1 贵金属矿物的取样	170
8.2.2 贵金属二次资源的取样	171
8.2.3 贵金属深加工产品及纯金属 的取样	172
8.3 贵金属分析的制样	173
8.3.1 分解样品	174
8.3.2 贵金属离子形态的转变	176
8.4 贵金属标准溶液的配制	177
8.4.1 配制的原料	177
8.4.2 配制和标定	178
第9章 贵金属深加工产品的质量 分析	181
9.1 白银深加工产品的质量分析	181
9.1.1 硝酸银产品	181
9.1.2 氧化银产品	184
9.1.3 碳酸银产品	185
9.1.4 硫酸银产品	187
9.1.5 氰化银钾产品	187

9.1.6 氯化银产品	192
9.1.7 乙酸银产品	192
9.1.8 银粉产品	194
9.2 黄金深加工产品质量分析	195
9.2.1 氰化亚金钾产品	195
9.2.2 氯金酸(氯化金)产品	196
9.2.3 亮金水产品	197
9.2.4 亮钯金水产品	199
9.3 铂深加工产品质量分析	200
9.3.1 氯铂酸及其盐的产品	200
9.3.2 铂盐产品	201
9.4 钯深加工产品质量分析	202
9.4.1 二氯化钯产品	202
9.4.2 二氯化四(或二)氨合钯(II)	202
9.5 其他铂族金属产品的质量分析	203
9.5.1 三氯化铑产品	203
9.5.2 氯铱酸和氯铱酸铵的产品	203
9.5.3 氯钌酸铵产品	204
9.6 贵金属深加工原料和电镀液分析	204
9.6.1 贵金属原料分析	205
9.6.2 电镀液中贵金属含量分析	212

第四篇 贵金属深加工的应用

第10章 贵金属在电镀中的应用	216
------------------------------	-----

10.1 镀金	216
---------------	-----

10.1.1 氰化物镀金	216	11.6 贵金属在陶瓷催化剂及器件中的	
10.1.2 柠檬酸盐酸性镀金	218	应用	263
10.1.3 亚硫酸盐碱性镀金	219	11.6.1 陶瓷催化剂	263
10.1.4 金合金电镀	221	11.6.2 多层陶瓷器件	265
10.2 镀银	223	11.6.3 多层陶瓷组件	266
10.2.1 氰化镀银	223	第 12 章 贵金属在医药上的应用	268
10.2.2 镀银基合金	227	12.1 含铂抗癌药物	268
10.3 镀铂系金属	231	12.1.1 顺铂和卡铂在抗癌中的应用	268
10.3.1 镀铂	231	12.1.2 草酸铂在抗癌中的应用	270
10.3.2 镀钯	233	12.1.3 其他新型铂类抗癌药物的研究	
10.3.3 镀铑	234	和应用	270
10.3.4 镀钌	237	12.2 其他贵金属药物	272
10.3.5 镀钨	237	12.2.1 含金药物	272
10.3.6 镀铱	237	12.2.2 含银药物	273
第 11 章 贵金属在电子和陶瓷工业中		12.2.3 含钨药物	274
的应用	238	12.2.4 含钌药物	274
11.1 贵金属合金电阻材料	238	12.3 贵金属在牙科合金中的应用	274
11.1.1 线绕电阻材料	238	12.3.1 牙科用金属材料的条件	274
11.1.2 非线绕电阻材料	241	12.3.2 贵金属牙科材料的种类和性能	274
11.2 贵金属触点材料	242	第 13 章 贵金属纳米材料及其应用	277
11.2.1 纯贵金属触点材料	243	13.1 纳米材料和纳米技术	277
11.2.2 贵金属合金触点材料	243	13.1.1 引言	277
11.2.3 贵金属复合触点材料	246	13.1.2 纳米材料的特殊效应	279
11.3 贵金属浆料在电子器件中的应用	247	13.1.3 纳米材料的奇异特性	279
11.3.1 贵金属电子浆料的种类和发		13.2 贵金属纳米材料的种类	280
展概况	247	13.2.1 纳米粉体材料	280
11.3.2 HIC 厚膜电阻浆料	251	13.2.2 新型原子簇	281
11.3.3 焊料	255	13.2.3 膜材料	281
11.3.4 厚膜应变电阻浆料	255	13.3 贵金属纳米材料的制备和应用	282
11.3.5 片式器件	257	13.3.1 贵金属纳米粒子	282
11.3.6 贵金属在高温超导体中的应用	258	13.3.2 负载型贵金属纳米粒子催化剂	283
11.4 贵金属在着色和掺杂玻璃中的应用	258	13.3.3 贵金属纳米复合材料	284
11.4.1 金属胶体着色玻璃	258	附录	286
11.4.2 光色硼硅酸盐玻璃	259	附录一 纯银中杂质元素的发射光谱分析	
11.4.3 防辐射玻璃和耐辐射玻璃	260	方法(GB/T 1773—1995 补	
11.5 贵金属在敏感陶瓷中的应用	260	充件)	286
11.5.1 气体敏感陶瓷	260	附录二 超细贵金属粉末表面积和平均粒	
11.5.2 氧气传感器	260	径测定流动吸附色谱法	
11.5.3 湿度传感器	262	(GB/T 1774—1995 补充件)	289
11.5.4 热敏陶瓷	262	参考文献	293

第一篇 贵金属深加工基础

贵金属一般指金、银、铂、钯、铑、铱、钌和钨共 8 种金属。除金和银以外的 6 种元素称为铂族元素或铂族金属(又叫稀有贵金属)。铂族元素中,钨、铑和钯称为轻铂族金属,铱、铱和铂称为重铂族金属。

贵金属之所以“贵”,除了其价格昂贵以外,还因其具有良好的化学稳定性以及其他独特的甚至不可替代的性质而“贵”。如果说“货币职能”是贵金属的“第一青春”,时至今日,随着以金银为代表的贵金属的货币职能的逐渐退化,其“第一青春期”已过。但是,贵金属在工业上的广泛应用以及贵金属的独特性质正使其处于“第二青春期”,且其所焕发的活力和给整个人类带来的效益远远超过了“第一青春期”。国家已于 2000 年 1 月正式放开对白银流通的管制,黄金管制也于近期放开并逐步与国际接轨。新的形势给贵金属生产和加工企业带来了新的机遇,同时也带来了新的挑战。如何使贵金属通过一系列的深加工而达到较大增值,使我国的贵金属深加工制品赶上和超过国际水平,已是非常紧迫的任务。因此,开展有关贵金属采矿、选冶、深加工、二次资源的开发和新材料的研制,对贵金属行业显得尤为迫切。

中国现代贵金属工业是在新中国诞生以后形成的,目前已基本形成贵金属采、选、冶、深加工及废料再生利用的科学研究和生产体系,基本能提供国家建设急需的贵金属产品。现代科学技术的发展使人们对贵金属的各种性能(如抗氧化性、抗腐蚀性、催化活性,对光、电、热和磁的特殊效应等)有了更深刻的了解,应用范围不断扩大,成为航海、航空、电子、能源、机械、交通、化工、冶金、陶瓷等领域的重要材料。随着现代科学技术的发展,超导技术、纳米技术等相继应用于贵金属制品的研制、开发和生产,贵金属在工业上的应用范围得到了进一步扩大和深化。

本篇将介绍贵金属深加工必要的基础知识,包括贵金属的矿物和资源、常见贵金属单质和化合物的物理和化学性质以及贵金属的冶炼基础知识等,目的是希望在从事贵金属深加工和应用工作之前,对贵金属的存在、冶炼和主要性质有一个大概的了解,以便于有关工作的开展。

第 1 章 贵金属矿物和资源

1.1 贵金属的发现

1.1.1 金和银的发现

人类何时发现了金和银,至今尚无确切的说法。自远古以来,金在所有元素中最受人类珍爱,人们对黄金的占有欲曾经极大地影响过人类的历史,而且对化学、冶金等学科的发展起了很大的推动作用。中国古代的炼金术和炼丹术可以说是人类有目的地从事化学反应或贵金属深加工的开端,虽然其出发点是为了“点石成金”——将贱金属变成贵金属,或是为了得到“长生不老”之药,但这些活动无疑促进了化学、冶金、制药等工业的发展,也为贵金属的发现和进一步深加工积累了最原始的实验依据。我国考古工作者于 1976 年在甘肃省玉门火烧沟遗址,发掘出了一批奴隶社会早期的墓葬彩陶、石器、铜器和与铜器共存的金银器。这批金银铜器中有称为鼻饮的齐头合缝的金银铜环,还有男女佩戴的金耳环,这是迄今为止我国发掘出的最早的金、银器物。根据这一事实可以断言,中国发现金、银的时期要早于夏代,很可能在中国新石器时代晚期。上述考古发现说明,至少在 5000 年之前,金、银在我国就已经发现并得到了使用。

在国外,是谁第一个发现了黄金,不同的资料说法不一,但发现的时间至少应在公元前 3500 年以前。《旧约》手稿中第一个提到的金属就是金。

从化学和考古发现可见,不同国家和地区发现的早期金器都是用自然金做成的。其原因有两个:①是金的化学惰性,它在自然界中绝大部分以单质状态存在,如在许多河流的沙床上,它和沙子混合在一起;在一些岩石中,它和岩石掺杂成块。自然金发出的黄色光辉使它不论在哪里,都不受空气和水的作用,吸引着人们的注意。它被认为是人类最早发现的化学元素之一。1872 年从澳大利亚新南威尔士恩德山金矿采出的重达 260 kg 的金块,是历史记载的人类发现的最大金块,被称为“霍姆曼(Holtermann)金块”,其中的含金量为 93.3 kg。②是在最早的金器时期,化学和冶炼技术尚未发展到可以从低品位矿石或有关化合物中提取黄金的程度。大约到公元前 500 年左右,在欧洲才开始出现精炼黄金的方法,并将银和铜等金属与金制成合金,通过降低金的成色来满足人们对黄金的大量需求和欲望。阿基米德在他的浴桶里根据物体浮力大小发明的简单判断合金中各种金属含量的办法,是文字记载的最早的贵金属分析方法。

在现代,银的价值比金低得多。但在银被发现之后的一段很长时间里,其价值比黄金高得多。这是因为银在自然界中虽然也有单质状态存在,但是大部分是以化合物状态存在,因而它的发现比金晚得多(一般认为是在距今 5500~6000 年前发现);另外,当时的冶炼技术很不发达,而银的大量生产是以发达的冶炼技术为前提的。在公元前约 1780~1580 年间的埃及法典中规定:银的价值是金的两倍。甚至到 17 世纪,在日本银和金的价值还是相等的。天然银多半是和金、汞、铋、铜或铂成合金状态存在。天然金几乎总是与少量银成合金,如我国古代已知的琥珀金,在英文中称为 electrum,就是一种天然的金银合金,含银约 20%。人类曾经发现的最大银块重 13.5 t。

黄金和白银最初主要用于制作装饰品和充当货币,其原因除了稀少、贵重以外,还在于它

们易于分割,可以长期保存,体积和质量小。我国古代采用金、银作为货币的制度可上溯到夏虞以前,即公元前 2000~3000 年间。《史记》记载:“夏虞之币,金为三品。或黄或白或赤”。这里的“黄”应该指的是金,“白”是银,“赤”是铜。“金”在我国古代文献中常指铜,或泛指一般金属。银在我国古代称为白金。至公元前 1000 年,黄金和白银作为造币的金属在印度河与尼罗河之间的地区得到了广泛应用。不同文字记载的黄金的用途还有:制造偶像、神龛、祭坛、碗钵、花瓶、细颈瓶、酒杯、葬礼面部模型、石棺、木乃伊罩和装饰武器等。

金和银的化学元素符号分别为 Au 和 Ag,来源于拉丁文中的 Aurum(来自 Aurora 一词,“灿烂”的意思)和希腊文中的 Argentum(来自 Argyros,“明亮”的意思)。西方古代人们分别用太阳和月亮的符号来表示金和银。

1.1.2 铂族元素的发现

1.1.2.1 铂的发现

在铂族元素中,由于铂在铂系矿物中的含量比其余元素的含量高得多,因而最早发现的铂族金属是铂。铂和它的同系金属钌、铑、钯、铱、铼与金一样,几乎完全以单质状态存在于自然界中。它们在地壳里的含量也和金相近,而它们的化学惰性和金相比也不相上下,但是人们发现并使用它们却远在金之后。其原因可能是由于它们在自然界中极度分散和熔点很高造成的。人们曾经找到的最大天然铂块重达 9.6 kg。

铂的发现得益于欧洲资本主义生产关系的建立和实验科学的发展。化学科学实验的兴起带来了众多元素的发现,铂是其中之一。一般认为,铂是在 18 世纪中叶开始被认为是一个单纯的金属而记载下来的。1735 年,西班牙青年数学家德·乌罗·阿作为法国和西班牙选派的一个官员,到秘鲁去进行科学考察,在 1744 年回到欧洲。1748 年发表了他写的航海日记,书中叙述在秘鲁见到铂金属的经过。当时西班牙人称此种金属为“Platina del pinto”,Platina 在西班牙文中是银的意思,pinto 是南美洲哥伦比亚一条河流的名称。因此,当时西班牙人在秘鲁称铂为“平托(pinto)的银”。现在铂的拉丁名称 Platinum 正是从西班牙文 Platina 一词而来,它的元素符号因此称为 Pt。我国的名称既从音译,也有表示白色金属之意,因而有“白金”之称。但“铂”在我国古代文献中是表示薄的金属。大约在 1741 年,英国学者布朗利格收到冶金学家武德赠送的少许铂矿粒,进行了提炼研究。1750 年,他写成简短论文,叙述了铂的性质,连同标本送交伦敦皇家学会。标本中有天然铂矿、提纯的铂,此外尚有一把剑,剑柄头是用一部分含铂的金属制成。与此同时,西欧不少学者认为铂不是一种元素,而是金、铁和汞或金和铁的合金。1752 年瑞典化学家谢裴尔肯定它是一种独立的元素,称为 Aurum Album,即白金。

在 1823 年以前,世界上商业中的铂大都来自南美。1819 年在乌拉尔发现了铂矿,从 1824 年起,大量铂从俄罗斯出口。在 1822 年俄罗斯出版的《矿业杂志》中曾叙述到:“在淘洗乌拉尔金矿砂时,发现在砂金中掺杂有特殊的金属,和金一样也成粒状,不过却是灿烂的白色”。

现在由于铂的工业应用量很大,同时由于铂的分布比黄金分散,铂的价格已经超过黄金。但是,铂在被发现的最初时期并没有得到应用,只是由于它的密度较大,而被商人们掺进黄金中,提高黄金的质量。据说当时西班牙政府为此曾下令禁止开采,甚至下令抛进海中。但是铂和金、银一样,具有作为货币的特殊条件,在 1828~1845 年间,俄罗斯曾用铂铸造了 3 卢布、6 卢布和 12 卢布的钱币。

1.1.2.2 钯、铑、铱、铼、钌的发现

钯、铑、铱、铼和钌与铂的性质相似,同属铂系元素,是在分析化学得到很大发展以后才被发现的。

分析化学在古代就有了萌芽。古代劳动人民在应用金属和其他物质的过程中,逐渐认识到它们的性质,因而知道了某些鉴别它们的方法。例如,在古代埃及的草纸书里记述了金、银及其他制品的检验方法。我国战国时代著的《周礼·考工记》等书籍中记述了利用与现代吹管试验相同的原理,按温度的高低、色相的变化,来鉴定各种物质。古药学家们也零星地知道一些物质的定性反应,如陶弘景(456~536年)对消石(硝酸钾)指出:“以火烧之,紫青烟起,云是真消石也”。这与近代分析化学鉴别钾盐和钠盐的火焰实验法基本相似。到1388年,即我国明朝洪武二十一年,曹昭撰写了《格物要论》,其中《金铁论》总结了我国历代检查金属的方法,提供了检查金、银、铜、铁及其合金的多种宏观分析方法。

但是,分析化学开始成长为化学科学中的一个独立科目,是从17世纪才开始,随着化学科学实验的兴起,逐渐从其中分支出来,逐步形成和发展起来的。在这个期间,元素的概念逐渐形成,化学和医学,特别是化学工业生产开始普遍发展。生产上要求研究溶液的性质和新的化学分析方法。到18世纪末和19世纪初,由于工业的发展,特别是化学工业和冶金工业的发展,采矿的资本家们急迫需要找到更多、更新的矿物,工厂的老板们殷切希望发现更好、更廉价的原料,从事实生产的劳动者和科学家们不断碰到新奇的物质和现象。这些原因促进了人们对物质的进一步分析和研究,促进了分析化学的发展。

在含铂矿石中,铂通常是主要成分,因此铂早在18世纪下半叶通过化学实验就被认为是一种化学元素而确定下来。其余的铂系元素则因含量较小,必须经过化学分析才能被发现。

由于钯、铑、钌、铱和铂都与铂共同形成矿石,因此它们都是在从铂矿提取铂后的残渣中发现的。铂系元素对化学作用非常稳定。除铂和钯外,铂系元素不但不溶于普通的酸,而且不溶于王水。铂很容易溶于王水,钯还溶于热硝酸中。所有铂系元素都有强烈形成配合物的倾向。

在铂发现后,化学家们在进行关于铂的化学实验时,当粗铂溶于王水中后,发现有金属光泽的粉末留在容器底部。1803年,英国谈兰特和法国伏克林、科勒特等人研究了这个残渣,从中发现了铱和锇。1804年,谈兰特给予了它们的拉丁名称。锇被命名为 Osmium,元素符号称为 Os。这一词来自希腊文 Osme,原意“臭味”。这是由于四氧化锇 OsO_4 的熔点只有 41°C ,易挥发,有恶臭。它的蒸气对人们的眼睛特别有害。铱和铂是处在化学元素周期表Ⅷ_B族中惟独能生成8价化合物的元素。铱被命名为 Iridium,元素符号称为 Ir。这一名词来自希腊文 Iris,原意“虹”。这可能是由于二氧化铱的水合物 $\text{IrO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 或 $\text{Ir}(\text{OH})_4$ 从溶液中析出沉淀时,颜色或青、或紫、或深蓝、或黑,随着沉淀的情况而改变的缘故。铱和铂的发现者们已经认识到它们的一些特性。

1804年,英国化学家武拉斯顿又宣布从铂矿中发现了两种新元素。他将天然铂溶解在王水中,在蒸发除去多余的酸后,滴加氰化汞溶液,获得黄色沉淀。在灼烧这个沉淀物后,留下了一种白色金属。他把它称为 Palladium (钯),元素符号称为 Pd。这一名词来自希腊神话中主司智慧的女神帕拉斯 Pallas。这里的黄色沉淀应该是氰化钯 $\text{Pd}(\text{CN})_2$ 。尽管氰化汞 $\text{Hg}(\text{CN})_2$ 的溶液中几乎不含氰离子 CN^- ,但是当钯的离子 Pd^{2+} 与它作用时,却立即析出淡黄色的、不溶于水的氰化钯。

武拉斯顿在发现钯后,同年,将天然铂溶解在王水中,并加入氢氧化钠溶液,以中和过剩的酸。然后加入氯化铵 (NH_4Cl),使铂沉淀为四氯合铂(Ⅱ)酸铵(俗称铂氯化铵) $(\text{NH}_4)_2[\text{PtCl}_4]$,再加入氰化汞,使钯沉淀为氰化钯。滤去沉淀后,加盐酸于滤液中,使多余的氰化汞分解,然后加热蒸发至干。武拉斯顿用酒精洗涤蒸发后所得的残余物,发现任何物质都溶解,只有一种暗红色的粉末沉在器底。后来他证明这种暗红色的粉末是一种复盐,

是由一种新金属和钠所成的氯化物 ($\text{Na}_3\text{RhCl}_6 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$)。因为这种新金属的盐带有玫瑰的艳红色，由此武拉斯顿引用希腊文中的玫瑰 Rhodon 一词命名它为 Rhodium，元素符号称为 Rh (铑)。

钌是铂系元素中在地壳里含量最少的一个，这也是它在铂系元素最后一个被发现的一个原因。它比铂晚发现 100 多年，比其余的铂系元素晚 40 年。不过，它的名字早在 1828 年就被提出来了。当时俄国人在乌拉尔发现了铂的矿藏。得尔勃特斯克大学教授奥桑首先对它进行了研究，认为其中除铂外，还含有 3 种新元素，并分别命名为 Pluranium、Polinium 和 Ruthenium。第 3 个名称是从乌克兰人称呼俄罗斯人 Ruthenia 而来。但是，奥桑把他分离出来的新元素样品寄给贝齐里乌斯后，贝齐里乌斯认为 Pluranium 是一个新金属元素，而其余两个是硅土和钛、锆以及铀的氧化物的混合物。奥桑重复了自己的分析后，放弃了自己的意见。门捷列夫在 1869 年 2 月发表他的《根据元素的原子量和化学相似性而编制的元素系的尝试》时，列出一个元素 Pl，就是指的这个元素。1844 年，喀山大学化学教授克拉马斯重新研究了奥桑的分析工作，肯定了在铂矿的残渣中确实有一种新金属存在，就用奥桑曾经为纪念他的祖国而命名的 Ruthenium 称呼它，元素符号为 Ru，我国译成钌。其实，克拉马斯从 1840 年就开始了这一研究工作。他最初曾从一位炼铂工匠手中购得铂渣 2 俄斤（旧俄罗斯质量单位，1 俄斤 = 0.41 kg），从中提出微量的钯、铑、铱、铱等金属，并获得 10% 的铂。后来他又请求政府赠送他 20 俄斤的铂渣，进行了分析研究，在 1844 年《喀山大学科学报告》中发表了她的论文——《乌拉尔铂矿残渣和金属钌的化学研究》，其中写道：“……所研究的材料的小量——不超过 6 克十分纯净的金属——不允许我继续我的研究，但是我依靠这少量样品即足以认清它的重要的化学性质，并确信它是独立的元素”。克拉马斯扼要地描述了这一新元素：“用氢气还原氧化物 RuO_2 的金属是浅灰白色、带有金属光泽的碎块。它的外观像铱，可是颜色稍微暗一些。从其他化合物还原的钌是浅灰色粉末状，没有金属光泽”。克拉马斯从铂矿渣中取得新金属钌后，曾将样品寄给贝齐里乌斯，请求指教。贝齐里乌斯认为它是不纯的铱。可是克拉马斯和奥桑不同，没有理睬贝齐里乌斯的意见，继续进行自己的研究，并且将每次制得的样品连同详细的说明逐一寄给贝齐里乌斯。最后事实迫使贝齐里乌斯在 1845 年发表文章，承认钌是一个新元素。到了 1871 年，门捷列夫修订和发表他的元素周期系时，就把 Pl 改为 Ru。

1.2 金银矿物的资源和提取

作为元素，贵金属在整个自然界中分布很广，在地球上的各种矿物、其他火成型岩、沉积岩、变质岩、天然水，各种动物、植物甚至大气中均有数量和丰度不等的贵金属，而且在其他星球的各种陨石里，科学家也发现了贵金属。贵金属与其他元素一样，可以从一种物质形态变化到其他物质形态，在自然界存在着互变循环。

尽管贵金属在自然界几乎无所不在，但目前值得开采的资源并不很多。通常所指的贵金属自然资源是指地球上的矿产资源。地球化学家在综合各种岩石的大量分析数据的基础上，经过计算得出厚度为 16 km 内地壳的组成，并用质量分数表示各元素的含量。这项工作最初由美国科学家克拉克于 1889 年完成，因此各种元素在地壳中含量的平均值便被称为克拉克值。贵金属的克拉克值分别为： $\text{Ag } 1 \times 10^{-5} \%$ 、 $\text{Au } 5 \times 10^{-7} \%$ 、 $\text{Pt } 5 \times 10^{-7} \%$ 、 $\text{Pd } 1 \times 10^{-6} \%$ 、 $\text{Rh } 1 \times 10^{-7} \%$ 、 $\text{Ir } 1 \times 10^{-7} \%$ 、 $\text{Os } 1 \times 10^{-7} \%$ 、 $\text{Ru } 1 \times 10^{-7} \%$ ，它们不仅含量低，而且非常分散（特别是铂族元素），开采和提取这些金属相当困难。

1.2.1 金银矿物的分布

世界上几乎每个国家都有黄金分布。在欧、亚、非三洲，发现了古金矿的国家有西班牙、英国、希腊、土耳其、沙特阿拉伯、伊朗、印度、中国、日本、前苏联以及其他许多国家。从砂矿里淘出金子的河流有塔古斯河、爪达尔基维尔河、台伯河、波河、罗纳河、莱茵河、希布鲁斯河（马里查河）、尼罗河、贺比西河、尼日尔河、塞内加尔河、帕克托勒斯河（萨拉巴特河）、奥克苏斯河（流经撒马尔罕产金地的阿穆河）、恒河、勒拿河、阿尔丹河、金沙江以及其他数不尽的江河。古埃及人远在 4 000 年前就广泛地在埃及和苏丹（努比亚）开采黄金。波斯人、古希腊人以及古罗马人正是从古埃及人那里学到探金、采金和炼金的各种技术的。古希腊人和古罗马人都在他们帝国的多金属矿区里广泛地开采金矿石。

黄金在许多方面都曾影响过前苏联、美国、澳大利亚、南非、加拿大等国的探险和定居。关于金矿床成因的一个早期的理论是设想金矿是在太阳的天文影响下发育形成的，由此就很容易得出结论：为数最多的金矿床应当产生在以南、北两条回归线为界的一些区域里，因为在这些区域太阳的影响最大。确实，1492 年，当哥伦布快到古巴时，他在日记里写道：“从我所遭受到的这种酷热来看，这个地区必然富产黄金”。在美国，淘金和采金有相当悠久的历史。至少早在 1620 年，西班牙人就在新墨西哥州、亚利桑那州和加利福尼亚州经营矿山，从中取得白银和黄金。

我国金银矿物资源较为丰富，在大陆有 31 个省、自治区和直辖市有金银矿物资源，黄金资源在中国台湾也很丰富，是台湾仅次于石油和煤炭的重要矿产。目前，我国的重点产金省区有：山东、河北、河南、黑龙江、辽宁、内蒙古、吉林、湖南、广西、陕西和甘肃等。山东省是我国最大的黄金原料和产金省，年黄金产量约占全国总产量的 1/4，在全国 10 个重点金矿中，山东占 5 个。该省的主要原料和产金地集中在胶东半岛的招远和莱州一带。东北三省、内蒙古和河北省北部地区是我国的又一黄金原料和产金集中地区。黑龙江的金矿原料分布，主要位于漠河、呼玛、爱辉、萝北、桦南和东宁等处，由北到南形成“金子镶边”，聚集区的面积一般为 500~2 000 km²，最大的约为 6 000 km²。内蒙古和辽宁、吉林的金矿原料分布情况与黑龙江相似。河北省的金矿原料分布特点是点多而分散，规模小，适合于小规模采金。山西省的金矿原料主要分布在恒山、五台山、中条山等地区，在这些金矿中令人瞩目的是找到的大块自然金较多。其他省份的黄金资源也各有特点。有一点需要提醒的是，尽管我国的黄金总储量不少，但分布范围很广，加上我国人口众多，人均拥有的黄金资源并不多。目前许多产金地的个体开采很多，存在的问题主要是效率低下，黄金原料利用率不高，资源浪费严重。因此，如何高效率地开采和利用好现有的黄金矿产资源，已经成为我国可持续发展战略的重要组成部分，应该引起人们的高度重视。

我国的白银资源约占世界总储量的 1/6，居世界第 3 位，主要分布在江西、广东、青海、云南、甘肃、广西、辽宁、湖南、湖北和四川等地区，单独的银矿较少，主要为与金矿伴生形式存在。

1.2.2 金银矿物的种类

由于金的化学惰性，因此金矿物主要是自然金，矿石中的金多以游离状态产出，自然金大多是等轴晶系的六面体、八面体及菱形十二面体，并呈细粒状，大块金罕见。也常与碲化物形成碲金矿、碲金银矿和针碲金矿以及黄铁矿、方铅矿、黄铜矿、辉锑矿等硫化物。金矿床可分为砂金和脉金两类。我国的金矿床以脉金和伴生金为主。脉金主要集中在胶东、小秦岭、黑龙江和吉林地区，属于中温热液和含金石英脉矿床。伴生金以铜矿为主，主要是斑铜

矿及矽卡岩、细脉浸染，热液及硫化铜铁矿床。砂金虽然在黄金总储量中所占比例不大，但分布广，易开采，在我国黄金生产中占有重要地位。

1.2.2.1 金的主要矿物种类

已知的金矿物共有 30 多种，它们主要以自然金、合金、金属互化物、硫化物、硒化物和铋化物等形式产出。

① 自然金及金的合金矿物 包括自然金、金银矿（所含主要元素 Au、Ag，下同）、铜金矿（Au、Cu）、钯金矿（Au、Pd）、铑金矿（Au、Rh）、金铱矿（Au、Ir）、金铱铑矿（Au、Ir、Os）、金铂矿（Au、Pt）和金铋矿（Au、Bi）等。

自然金中一般含有大量其他金属。这些自然金品种有的已经给予了专用矿物名称，不过更一般地是在名称上加一个表示所含主要杂质元素名称的前缀来命名，例如银质金、铂质金等等。

银质金：通常所有天然金中都含有一些银，含银量范围一般在 5%~15%，这种银大部分是晶格组分，而且存在着从金通过银质金到金质银（金银矿）再到天然银的完整的序列。

琥珀金：含银 20% 或 20% 以上的金。

铜质金：含有微量或少量铜的自然金，铜在大多数情况下是晶格组分。含有 40% 左右的金的化合物 AuCu_3 叫金铜矿，这种物质具有强烈金属光泽，色调为带有淡红的黄色。

钯质金又叫钯金，在金的固体溶液中含有 5%~10% 的钯。

铑质金也叫铑金，含有 34%~43% 的铑。

铱质金：含有高达 30% 的铱。

金汞齐：白色至淡黄色带有金属光泽的自然金，含有一定量的汞。

黑铋金矿或五价铋化金：含有微量到少量的铋（可达 3%），是一种金属间化合物，化学式为 Au_2Bi 。

② 金属互化物矿物 包括金汞齐 Au_2Hg_3 、黑铋金矿 Au_2Bi 、金铜矿 AuCu_3 、金铜钯矿 $(\text{CuPd})_3\text{Au}_2$ 等。

③ 金的碲化物矿物 包括碲金矿 AuTe_2 、白碲金银矿 AuAgTe_2 、亮碲金矿 $(\text{AuSb})_2\text{Te}_2$ 、碲金银矿 Ag_3AuTe_2 、杂碲金银矿 $(\text{AgAu})\text{Te}$ 、针碲金银矿 $(\text{AgAu})\text{Te}_4$ 、碲铜金矿 AuCuTe_4 、叶矿 $\text{Pb}_5\text{Au}(\text{TeSb})_4\text{S}_{5-8}$ 等。

④ 金的硫化物、锑化物和硒化物矿物 包括硫金银矿 Ag_3AuS_2 、方金锑矿 AuSb_2 、硒金银矿 AgAuSe_2 等。

1.2.2.2 银的主要矿物种类

银在地壳中的平均含量是金含量的 20 倍，按地壳中元素的分布情况仍属微量元素。由于银的化学稳定性不如金，在自然界中只有少部分以单质和自然银存在，主要以化合物状态存在。银矿物多达 200 多种，常见的约 10 种，银的赋存状态比金复杂得多。银矿石分为独立银矿和伴生银矿。世界矿产的银只有 10% 产自以银为主的矿床，其余 90% 为铜、铅、锌和金提取过程的副产品。银矿石的品位变化大，一般为 300 g/t 左右。

银在自然界与金常以姐妹矿形式存在。大银矿常存在于古老的变质岩中，中生代和新生代（距今 6000 万年）的火山岩地区也有大银矿发现。1983 年意大利的埃特纳火山爆发，23 d 内随岩浆喷出 48 kg 金和 118 kg 银。

世界主要产银国有墨西哥、秘鲁、美国、加拿大、俄罗斯和中国，年产量都在千 t 以上。银大部分分布在铜、铅、铁、镍的硫化矿床中。我国江西德兴市银山就是从唐代开采至

今的大银矿，近年又在江西贵溪市冷水坑发现特大型银矿，这两个矿床的银都赋存在方铅矿中。因此古人把方铅矿称为“银母”。

自然银多呈细粒或大块出现。1875 年在弗赖堡地下 30 m 深处的矿井中发现重达 5 000 kg 的自然银块。智利也曾发现 1 420 kg 的片状自然银块。自然银中常含有金、汞及微量的锑、铜、铂、砷等元素。自然银在成因上类似自然铜，出现在中、低温热液脉冲矿床中，常与辉银矿、方解石伴生。次生的自然银通常生于硫化矿床氧化带的下部，系原生含银矿化物的分解产物。自然银极少出现在砂床中，这是因为银的化学性质没有金稳定，在砂床形成过程中生成了银的化合物。在化合物中银常表现为 1 价或 2 价。在自然界中银主要以硫化物的形式存在，常伴生于铜矿、铜铅锌矿、多金属矿、铜镍矿和金矿床中，以复杂硫化物产出。单独存在的辉银矿 (Ag_2S) 很少遇见。复杂硫化物包括硫锑银矿和硫砷银矿。

硫锑银矿通常分布在含银矿中，但很少形成巨大的聚积，主要见于热液铅锌银矿床中，往往形成于热液过程的最后阶段。在许多矿床中，常与方铅矿、自然银、硫砷银矿以及铅锑复杂硫化物共生。当次生变化时，有时借硫锑银矿形成自然银和辉银矿。硫砷银矿较硫锑银矿分布为少，主要见于铅、锌、银热液矿脉中，是最后形成的矿物之一，其次生变化形成类似硫锑银矿。

银的化合物还包括卤化物，其中氯化物和溴化物形成完全类质同晶系列，当氯含量高于溴时称为角银矿；当溴含量高于氯时，称为溴银矿。银的氯化物和溴化物只见于炎热气候区中含银硫化物矿床氧化带。

由于金、银的离子半径、电子层结构、成键性质、晶胞单位等性质完全近似，在自然界中，两者可以完全以类质同晶替代，形成连续的固溶体（混合晶体）系列，形成了一系列 Au-Ag 矿物。

自然金-自然银系列中随着金含量降低，银含量升高，所形成矿物的反射率、硬度值、单位晶胞棱长都有增大的趋势，特别是对蓝绿光的反射率来说，这种趋势更为明显。金、银的离子半径大，且又具有亲铁、亲铜性，在地球化学性质上常与铁、铜等金属元素共生。当金属硫化物结晶后，它们则以银金矿的形式充填在这些金属硫化物的晶隙和裂隙中。已知的 60 多种银矿物，主要的可分为以下 10 组。

① 金-银系列矿物的含量 如表 1.1。

表 1.1 金-银系列矿物的含量/%

含金量	含银量	备注	含金量	含银量	备注
100~80	0~20	自然金	50~20	50~80	银金矿
80~50	20~50	金银矿	20~0	80~100	自然银

在一般金矿的自然金中，银的含量约占 2% 左右。

② 硫化物 辉银矿 (Ag_2S , Ag: 87.1%, S: 12.9%); 硫锑银矿 (Ag_3SbS_3 , Ag: 59.76%, Sb: 22.48%, S: 7.76%); 硫砷银矿 (Ag_3AsS_3 , Ag: 65.4%, As: 15.2%, S: 19.4%); 硫铜银矿 (AgCuS); 脆银矿 (Ag_5SbS_4 , Ag: 68.33%)。

③ 锑化物 锑银矿 (Ag_3Sb)。

④ 含铂、钯的银金矿 (Au: 58.4%~80.1%, Ag: 9%~29.2%, Pt: 0~8.7%, Pd: 0~4.4%)。

⑤ 含铂、钯金银矿 (Ag: 34.5%~71.0%, Au: 31.5%~59.7%, Pd: 0.7%~1.2%,

Pt: 0.7%~2.3%); 含铂金银矿 (Pt: 3.1%~6.1%); 含钯金银矿 (Pd: 0.7%~1%)。

⑥ 含钌、铑金银矿 (Rh: 4.0%, Ru: 1.0%)。

⑦ 碲化物 白碲化物 ($\text{AuAg})\text{Te}_2$ (Au: 34.77%~43.86%, Te: 55.68%, Ag: 0.46%~5.87%); 碲金银矿 (Ag_3AuTe_2) (Au: 25.12%, Ag: 41.71%); 杂碲金银矿 ($\text{AuAg})\text{Te}$ (Au: 23.9%, Ag: 26.26% 或 21.0%、16.69%, Te: 48%~39.14%, Pb: 2.58%); 针碲金银矿 (AuAgTe_4) (Au: 24.19%~31.40%, Ag: 6.6%~13.94%, Te: 59.8%~62.2%, 含少量 Ni、Se、S)。

⑧ 硒化物 硒银矿 Ag_3Se_2 (Ag: 73.15%); 硒金银矿 Ag_3AuSe_2 (Ag: 47.5%~48.6%, Au: 27.4%~27.2%, Se: 24.4%~22.8%, Cu: 0.3%)。

⑨ 卤化物 角银矿 AgCl (Ag: 75.3%, Cl: 24.7%); 氯溴银矿 ($\text{AgCl}\cdot\text{AgBr}$)。

⑩ 硫酸盐 黄银铁矾 $\text{AgFe}_3(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_2$ 。

1.2.3 金银的选矿和提取

将经过开采和磨碎的含金银的矿石中的金银变成单质的过程比较复杂, 一般要经过选矿和提取 (冶金) 两个过程。从矿石中提取金银的方法主要有混汞、重选、浮选和氰化法。砂金一般用重选和混汞法, 脉金主要用浮选和氰化法; 其次是混汞和重选法, 而且通常是两种或两种以上的方法联合使用。

根据矿物组成和矿石可选性, 脉金矿石大致可分为以下类型。

① 含少量硫化物的石英脉金矿石 硫化物含量少 (<5%), 且多为黄铁矿, 脉石矿物主要是石英。矿石易选, 选矿指标较高。粗粒金用混汞和重选法回收, 细粒金以浮选和氰化法回收为主。金与黄铁矿关系密切的矿石, 一般先浮选, 浮选精矿再氰化处理; 金与石英等脉石关系密切的矿石, 宜用全泥氰化法处理。

② 含大量硫化物的石英脉金矿石 硫化物含量高 (5%~15%), 金与黄铁矿相伴共生, 除黄铁矿外, 还可能含有黄铜矿、毒砂等。矿石易浮选, 金的回收率可达 95% 以上。含金硫化物精矿可进行分离浮选。

③ 多金属含金矿石 矿石含铜、铅、锌等多种金属硫化物。其含量可达 10%~20%。金与黄铁矿、铜铅硫化物关系密切, 金的粒度范围变化大。选别的方法以浮选为主, 为了回收粗粒金, 辅以混汞或重选法。浮选富集在铜、铅精矿中的金, 在冶炼过程中回收。浮选分离出的黄铁矿精矿, 经氧化焙烧处理后, 用氰化法就地产金。

④ 含金石英脉氧化矿石 不含硫化物, 金大部分富存在脉石矿物以及风化的金属氧化物残留颗粒中, 含泥质。首先用重选、混汞法回收粗粒金, 然后用氰化法处理。对于部分氧化的矿石, 主要金属矿物为褐铁矿、少量黄铁矿以及含金的氢氧化铁。脉石为石英、玉髓石英等。选矿方法以重选、混汞和氰化法为主。

⑤ 难处理含金矿石 矿石中含有相当数量的砷、锑、碲的硫化物以及泥质和碳质, 这些硫化物和杂质给选别作业带来很大困难, 使工艺流程复杂化。一般先用浮选法处理, 获得含金的硫化物精矿, 再经过氧化焙烧预处理, 除去砷、锑、碳等有害杂质, 焙砂用氰化法提取金。近年来发展较快的预处理技术还有加压氧化和生物氧化, 这些技术除用于浮选精矿外, 还可直接用于难处理的含金矿石。

氰化法是目前最主要的提金方法。银的提取方法以浮选法为主, 氰化法次之。

1.2.3.1 金银的选矿

选矿是利用矿物中各种成分的物理和化学性质 (如密度、亲疏水性、磁性等) 的差别,