



实用选矿技术疑难问题解答

贵金属选矿及冶炼 技术问答

印万忠 主编 马英强 副主编



化学工业出版社



实用选矿技术疑难问题解答

贵金属选矿及冶炼 技术问答

印万忠 主 编

马英强 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书针对贵金属选矿与冶炼的基础知识和实践,以问答的形式介绍了贵金属矿物与矿床、贵金属选矿技术、含贵金属矿石浮选、贵金属化学选矿、贵金属冶炼、含氰污水的处理、二次资源中贵金属的回收等,并对黄金工业生产指标解释及计算方法进行了介绍。

本书可供从事贵金属选矿与冶炼的工程技术人员使用,以及作为大、中专等高等院校矿物加工工程专业的本科生、研究生和教师的参考书,也可供从事矿业开发利用的管理人员作参考。

图书在版编目(CIP)数据

贵金属选矿及冶炼技术问答/印万忠主编. —北京:化学工业出版社, 2013. 1

(实用选矿技术疑难问题解答)

ISBN 978-7-122-15743-0

I. ①贵… II. ①印… III. ①贵金属-金属矿物-选矿-问题解答②贵金属冶金-问题解答 IV. ①TD953-44②TF83-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 257748 号

责任编辑: 刘丽宏

文字编辑: 向 东

责任校对: 陶燕华

装帧设计: 刘丽华

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

850mm×1168mm 1/32 印张 9 字数 221 千字

2013 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888(传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 39.00 元

版权所有 违者必究

《贵金属选矿及冶炼技术问答》

编 写 人 员

主 编 印万忠

副 主 编 马英强

编写人员 印万忠 马英强 刘 豹

迟晓鹏 李 强

前言

贵金属包括金、银和铂族元素，即金、银、铂、钯、铑、钌、铱、钇八种元素。贵金属由于其理化特性，除作饰物和货币外，在工业、电子信息、航天、军工等领域也得到广泛应用，例如，生产硝酸用铂锗催化网，石油工业用铂（或铂-铑等）重整催化剂，主要成分是铂、钯、铑的汽车尾气净化催化剂，新能源燃料电池用铂催化剂等。贵金属对新技术的发展起着越来越大的作用，被许多国家列为战略物资。

贵金属的选矿技术就是金、银矿选矿和铂族金属选矿。贵金属矿的选矿方法很多，但实际中一般常用的有重选、浮选、化学方法和微生物处理等或几种方法的组合，有时候也用到磁选。贵金属矿石的加工处理一般包括：矿石准备作业，破碎、筛分、预选（包括手选和拣选）、磨矿分级等；选冶工艺的选择，在重选、磁选、混汞、浮选、堆浸、氰化、炭浆、硫脲浸出等各种工艺对比中选择合适的流程；选矿产品的处理，包括脱水、干燥等；冶炼，即贵金属的精炼与提纯等。

由于贵金属化学性质稳定，地壳中含量少，开采提取困难，产量少，价格昂贵，所以贵金属选冶技术的提高显得尤为重要。

为普及贵金属选冶相关知识，方便与贵金属相关的人员查阅，推动厂矿选冶生产水平的提高，特编写了《贵金属选矿及冶炼技术问答》一书。本书以问答的形式简明扼要地介绍了贵金属基本概

念、贵金属矿物与矿床、贵金属选矿技术、含贵金属矿石浮选、贵金属化学选矿、贵金属冶炼、含氰污水的处理、二次资源中贵金属的回收、黄金工业生产指标解释及计算方法等方面的知识，可供贵金属选冶技术人员和高等院校学生阅读，也可方便初入贵金属矿业开发市场的相关人员查阅，还可供其他相关专业技术人员及管理干部参考。

本书由印万忠教授担任主编，并编写第4章、第7章、第8章；东北大学马英强为副主编，并编写第1章、第2章、第9章；辽宁工程技术大学刘豹编写第3章，福州大学迟晓鹏编写第5章，辽宁工程技术大学李强编写第6章。

由于编者水平有限，书中难免有不足之处，敬请广大读者批评指正。

编者

目录

第1章 贵金属概述

第1节 贵金属简介	1
1. 贵金属有哪些?	1
2. 什么是原生贵金属? 原生贵金属在自然界主要以什么形态存在?	1
3. 黄金的主要用途是什么?	1
4. 银的主要用途是什么?	3
5. 贵金属提取的方法有哪几种?	5
6. 铂族金属在自然界主要以什么形态存在?	5
7. 铂族金属工业要求是什么?	6
8. 铂族金属是怎么回收的?	7
9. 铂族金属有哪些主要用途?	8
第2节 贵金属物理化学特性	10
10. 贵金属元素的基本物理性质是什么?	10
11. 金、银有哪些物理性质?	11
12. 金有哪些化学性质?	12
13. 银有哪些化学性质?	14
14. 铂族金属有哪些物理性质?	16
15. 铂族金属有哪些化学性质?	17

第②章 贵金属矿物与矿床

第 1 节 金、银金属矿物	21
1. 金的工业矿物有哪些?	21
2. 金矿床中的矿物类型有哪些?	22
3. 银的工业矿物有哪些?	28
4. 金的矿石类型有哪几种?	29
5. 银的矿石类型有哪几种?	31
第 2 节 铂族金属矿物	31
6. 铂族金属矿物有哪几类?	31
7. 铂族元素在自然界中的存在形式有哪些?	31
8. 铂族元素的主要矿物有哪些? 其组成是什么?	32
9. 自然界铂族金属的主要载体矿物有哪些?	32
第 3 节 贵金属矿床	35
10. 按成因金矿床可分为哪几大类型?	35
11. 中国主要岩金矿床类型的地质特征是什么?	35
12. 金矿床的工业类型是什么?	35
13. 按成因分类中国银矿床可分为哪几类?	35
14. 按含矿岩石与矿床特点分类银矿床可分为哪几类?	35
15. 按工业类型分类银矿床可分为哪几类?	35
16. 铂族金属矿床主要有哪几类?	35

第③章 贵金属选矿技术

第 1 节 贵金属选矿方法	48
1. 贵金属选矿方法主要有哪几种?	48
2. 什么是重选法, 如何评价矿石按密度分选的难易程度以及重选的分选特点?	48
3. 根据重选设备, 重选方法主要有哪几种?	49

4. 重选法主要选别什么类型的矿石?	50
5. 什么是浮选法? 什么类型的贵金属矿石采用浮选法?	50
6. 自然金浮选的特点是什么?	51
7. 自然金浮选过程中, 金的粒度与其可浮性之间有何关系? ...	51
8. 浮选广泛应用于各种金银矿的原因是什么?	51
9. 什么是混汞法? 其特点是什么?	52
10. 混汞法提金的过程以及基本原理是什么?	52
11. 混汞提金法可分为哪两种类型?	53
12. 混汞的影响因素有哪些?	53
13. 如何处理汞膏?	55
14. 砂金矿床的类型及特点是什么?	55
15. 砂金矿的选别特点是什么?	56
16. 砂金选别的主要设备有哪些?	56
17. 铂族矿物的主要选矿方法有哪些?	56
18. 脉铂矿应如何处理?	57
第2节 贵金属提金方法	57
19. 什么类型的矿石采用氰化法? 常用的氰化法提金方法有 哪些?	57
20. 什么叫氰化浸出法?	57
21. 什么叫渗滤氰化法? 其流程和特点是什么?	58
22. 什么叫搅拌氰化法? 其流程和特点是什么?	58
23. 什么叫炭浆法 (CIP) 和炭浸法? 其流程和特点以及两者 之间的区别是什么?	59
24. 什么是堆浸法? 其流程和特点是什么?	60
25. 什么是硫脲浸金?	60
26. 硫脲的特点有哪些?	60
27. 什么是硫代硫酸盐浸出金?	61
28. 什么是石硫合剂法浸出金?	61
29. 什么是液氯浸出法?	62
30. 什么是电氯化浸出法?	63

31. 什么是溴化浸出法?	63
32. 什么是丙二腈法浸出金?	64
33. 什么是生物浸出与生物氧化?	64
第3节 贵金属选矿工艺	65
34. 砂金矿选别的工艺流程是什么?	65
35. 常见的金银矿浮选工艺流程有哪几种?	65
36. 易处理金矿石的处理方案有哪些? 如何选择?	66
37. 耗氰化剂型复杂矿石的处理流程是什么?	68
38. 耗氧型复杂矿石处理流程是什么?	69
39. 内质竞争型矿石处理流程是什么?	69
40. 极难处理金矿石处理流程是什么?	70
41. 原生铂矿的重选流程是什么?	72

第4章 含贵金属矿石浮选

第1节 含贵金属矿石浮选技术	73
1. 浮选技术一般用于何种贵金属矿石的分选?	73
2. 自然金的可浮性如何?	73
3. 什么样的含金矿石适宜用浮选法回收?	74
4. 什么样的含金矿石不适宜用浮选法回收?	74
5. 金的浮选特点是什么?	74
6. 含金矿石浮选的基本过程是什么?	75
7. 含金多金属硫化矿物的主要类型有哪些? 主要的分选方法 是什么?	75
8. 含有硫化矿的含金石英脉矿石如何浮选?	77
9. 含金黄铁矿和磁黄铁矿如何浮选分离?	77
10. 含砷金矿石的处理方法是什么?	77
11. 含金黄铁矿和毒砂如何浮选分离?	78
12. 无机氧化抑制剂实现含金黄铁矿和毒砂浮选分离的作用	

机理是什么?	78
13. 如何采用有机抑制剂实现含金黄铁矿和毒砂的浮选分离?	80
14. 碳酸盐法实现含金黄铁矿和毒砂浮选分离的作用机理是什么?	81
15. 什么是碳酸化转化-浮选法提金技术?	82
16. 什么是混汞浮选法?	83
17. 含金黄铁矿浮选过程中矿浆电位有何重要作用?	83
18. 含金黄铁矿的可浮性与矿浆电位的关系是什么?	84
19. 含金黄铁矿抑制的电化学机理是什么?	85
20. 什么是含金硫化矿的无捕收剂浮选? 研究无捕收剂浮选有何意义?	86
21. 含金硫化矿无捕收剂浮选的机理是什么?	87
22. 含金氧化矿石的特点是什么?	89
23. 锑金(砷)矿的浮选分离方法是什么?	90
24. 锑金多金属硫化矿物的浮选分离方法是什么?	91
25. 含石墨或碳质页岩金矿石的浮选分离方法是什么?	92
26. 什么样的含银矿石适宜用浮选法回收?	92
27. 有利于铂族元素分选时浮选的条件是什么?	93
第2节 含贵金属矿石浮选药剂	93
28. 选金厂常用的捕收剂是什么?	93
29. 金浮选常用的药剂制度是什么?	93
30. 选金厂常用的起泡剂是什么?	94
31. 选金厂常用的抑制剂是什么?	94
32. 选金厂常用的活化剂是什么?	94
33. 含金矿石浮选时的适宜 pH 是多少?	94
34. 什么叫浮选药剂的“协同效应”?	95
35. 分散剂在含金矿石浮选中的作用是什么?	95
36. 石灰在含金矿石浮选过程中的作用是什么?	96
37. 在含金矿石浮选时石灰常用的组合药剂及作用机理是什么?	97

38. 自然金浮选时的主要药剂制度是什么?	97
39. 含金黄铁矿浮选时的主要药剂制度是什么?	97
40. 含金铜、铅硫化矿浮选时的主要药剂制度是什么?	98
41. 含金辉锑矿浮选时的主要药剂制度是什么?	98
42. 自然银和辉银矿浮选时的主要药剂制度是什么?	98
43. 银矿物的浮选药剂制度是什么?	98
44. 在含银矿物浮选时使用硫化钠要注意什么?	99
45. 含银矿石浮选时常用的混合捕收剂是什么?	99
46. 在含银矿物浮选药剂方面近年来有何进展?	99
47. 自然铂浮选时的主要药剂制度是什么?	99
48. 贵金属矿石浮选时组合药剂的研制和应用方面有何进展?	99
第3节 含贵金属矿石浮选设备	102
49. 贵金属浮选时常用的浮选设备有哪些?	102
第4节 含贵金属矿石浮选工艺	104
50. 确定含金矿石工艺流程时要注意什么?	104
51. 浮选法提取金银的原则流程有哪些?	105
52. 影响含金矿石浮选的因素有哪些?	107
53. 浮选银矿石的工艺流程有哪些? 分别适用于哪种银矿石 的浮选?	108
第5节 贵金属浮选产品质量标准	109
54. 浮选金精矿的质量标准是什么?	109
55. 浮选银精矿的质量标准是什么?	110
第6节 含贵金属矿石浮选实践	111
56. 金厂峪金矿的矿石特点和浮选工艺流程是什么?	111
57. 玲珑金矿的矿石特点和浮选工艺流程是什么?	112
58. 夹皮沟金矿的矿石特点和浮选工艺流程是什么?	114
59. 山东招远金矿灵山选厂矿石特点和浮选工艺流程 是什么?	114
60. 凤凰山银矿的矿石特点和浮选工艺流程是什么?	117
61. 青城子含银铅锌矿的矿石特点和浮选工艺流程是什么? ...	120

第⑤章 贵金属化学选矿

第1节 化学选矿的基本概念	125
1. 什么是化学选矿?	125
2. 化学选矿包括哪些基本作业?	125
3. 化学选矿的原则流程是什么?	126
4. 化学选矿中固液分离有哪些特点? 常用哪些方法?	126
第2节 化学选矿预处理	127
5. 什么类型的矿石采用预处理?	127
6. 什么是难浸金矿石? 金矿石难浸的原因有哪些?	127
7. 如何按金矿石浸出的难易程度将矿石分类?	128
8. 难处理金矿石的预处理方法有哪些? 预处理目的是什么?	129
9. 焙烧过程的一般原理是什么? 焙烧有哪些类型?	129
10. 什么是氧化焙烧? 其主要特点是什么?	129
11. 什么是固化焙烧法? 其主要缺点是什么?	130
12. 氯化焙烧与硫酸焙烧基本原理的区别是什么?	130
13. 氯化焙烧有哪几种基本类型? 其区别是什么?	130
14. 还原焙烧的基本原理是什么?	131
15. 钠盐烧结焙烧的基本原理是什么?	131
16. 什么是煅烧? 其主要应用是什么?	131
17. 常用的焙烧设备有哪些?	131
18. 加压(热)氧化预处理的原理是什么? 有何特点?	132
19. 微生物氧化预处理的原理是什么? 其分解氧化和提金过程 分哪几个阶段? 目前, 世界上难处理金精矿细菌氧化预 处理厂有哪些?	133
20. 生物氧化法的特性是什么?	134
21. 微生物氧化预处理的主要优点和缺点是什么?	135

22. 微生物氧化预处理含砷难处理金矿的主要机理是什么？ 常用菌种是什么？	135
23. 硝酸氧化预处理法的原理是什么？其主要缺点是什么？ ...	136
24. 什么是难处理金矿的常压碱浸预处理法？	136
25. 什么是难处理金矿的常压酸预处理法？	137
26. 碳质金矿石难处理的原因是什么？其预处理方法有 哪些？	137
27. 什么是真空脱砷预处理法？其特点是什么？	138
28. 什么是微波预处理法？其特点是什么？	138
第 3 节 化学氰化浸出	139
29. 化学浸出的目的是什么？常用浸出方法有哪些？	139
30. 浸出方法怎么分类？	139
31. 浸出的工艺流程有哪几种？	140
32. 什么是氰化过程中的助浸？有些什么方法？	141
33. 怎样保证浸出作业有高的浸出率？	142
34. 氰化法提金的基本原理是什么？	144
35. 影响金的氰化浸出的因素有哪些？	144
36. 金的氰化浸出时矿浆的适宜 pH 是多少？引起 pH 波动的 原因是什么？	144
37. 如何保持金氰化浸出时适宜的 pH？为什么要保持 适宜 pH？	145
38. 氰化物和氧的浓度对金的氰化浸出有何影响？	145
39. 温度对金的氰化浸出有何影响？	146
40. 金的形状与粒度对金的氰化浸出有何影响？	146
41. 矿浆浓度对金的氰化浸出有何影响？如何控制？	147
42. 从氰化浸出液中提金的方法有哪些？	147
43. 氰化炭浆法（CIL）提金的基本原理是什么？	147
44. CIL 法工艺过程的主要作业有哪些？	148
45. 氰化锌置换法（CCD）提金的基本原理是什么？	149
46. CCD 法工艺过程的主要作业有哪些？	149

47. 非氰化浸出方法有哪些?	149
48. 含银高的金矿石在炭浆法提金时应注意什么? 为什么?	149
49. 硫脲法提金的基本原理是什么?	150
50. 含金矿石氰化浸出效果差的原因和解决办法有哪些?	150
51. 含铜高的金矿石怎样处理?	152
第4节 炭吸附、解吸及电沉积	153
52. 如何测定活性炭的活性?	153
53. 怎样测定活性炭的强度?	154
54. 全泥氰化炭浆中浸出槽中的底炭密度是多少? 密度对浸出 有什么影响?	154
55. 串炭的基本原理是什么?	155
56. 炭吸附提金过程中常有哪些故障?	155
57. 载金炭解吸原理是什么? 解吸后的贫炭怎么处理?	156
58. 解吸炭酸洗时应注意什么?	156
59. 如何实现活性炭的热再生?	157
60. 工业上有哪些可供选择的载金炭解吸方法?	158
61. 解吸-电沉积的基本原理是什么?	159
62. 解吸-电沉积过程中, 什么是大循环, 什么是小循环?	160
63. 提高载金炭解吸率的途径有哪些?	160
第5节 锌置换法	161
64. 锌置换法有哪几种? 锌粉置换有何优点?	161
65. CCD法是怎么实现固液分离和洗涤的? 主要采用什么 设备?	161
66. 锌粉置换工艺流程是什么? 置换在哪里发生反应?	162
67. 锌丝置换过程有哪几步? 影响锌丝置换的因素有哪些?	164
68. 锌置换时对氰化物和碱的浓度有什么要求?	164
69. 锌置换时对氧的浓度有什么要求?	165
70. 锌置换时铅盐的主要作用是什么?	165
71. 温度对锌置换金的影响是什么?	165
72. 贵液中的杂质对锌置换金的影响是什么?	165

73. 锌置换前为什么要脱氧? 怎么进行脱氧?	166
74. 怎样选择贵液净化、脱氧设备?	166
第6节 堆浸和混汞提金技术	168
75. 堆浸法提金对矿石的要求是什么?	168
76. 堆浸法提金主要包括哪些作业环节?	168
77. 进行粉矿制粒堆浸的意义是什么?	169
78. 堆浸法提金常用工艺流程是什么?	170
79. 混汞法提金的基本原理是什么?	176
80. 混汞法提金常用方法及设备有哪些?	176
81. 汞板“生病”的主要症状有哪些? 如何解决?	177
82. 混汞法提金作业过程中汞中毒的主要预防措施有哪些? ...	177
第7节 贵金属化学选矿生产实践	178
83. 低硫银金矿石的特点和氰化提金工艺流程特点是什么? ...	178
84. 含银多金属矿的矿石性质和提银工艺流程特点是什么?	182
85. 张家口金矿炭浆厂的矿石性质以及选矿流程是什么?	184
86. 全泥氰化炭浆法处理矿石的特点和工艺流程是什么?	186

第⑥章 贵金属冶炼

第1节 贵金属的冶炼技术	190
1. 炼金的原料有哪些?	190
2. 金泥的火法工艺主要包括哪些步骤? 炼金银的基本原理 是什么?	191
3. 炼金常用的熔剂有哪些? 其作用是什么?	192
4. 氰化金泥湿法工艺流程是什么?	194
5. 控电氯化处理金泥工艺流程是什么?	194
6. 氯化法处理氰化金泥的工艺流程是什么?	194
7. 硫脲金泥冶炼工艺流程是什么?	194
8. 什么是精炼? 其主要作用是什么?	195

9. 在技术上熔炼和精炼的区别是什么?	197
10. 精炼的原料有哪些?	197
11. 精炼方法有哪些? 特点是什么?	197
12. 什么是火法精炼? 包含哪些方法?	198
13. 金的化学精炼法分为哪几种? 其主要特点是什么?	199
14. 银的化学精炼法原理是什么? 有什么方法?	201
15. 什么是金的电解法精炼? 其基本原理是什么?	202
16. 银电解法精炼的基本原理是什么?	203
17. 什么是溶剂萃取法精炼? 其特点是什么?	203
第2节 阳极泥中贵金属的回收	204
18. 为什么有色重金属电解阳极泥是重要的贵金属来源?	204
19. 银电解阳极泥的处理方法是什么?	204
20. 什么是铜阳极泥? 其特点是什么?	205
21. 铜阳极泥的火法-电解法常规处理流程是什么?	206
22. 铅阳极泥的传统处理工艺流程是什么?	206
23. 镍阳极泥的主要成分是什么? 处理工艺有哪些?	206
24. 什么叫银锌壳?	207
25. 蒸馏除锌法处理银锌壳的工艺流程是什么?	208
26. 什么是光卤石熔析除铅法?	208
27. 什么是富铅灰吹法?	209
28. 怎样从黄铁矿烧渣中回收金?	209
29. 铂系金属的原料有哪些?	210
30. 怎样从铜-镍阳极泥制取的铂系金属精矿中回收铂、 钯、银?	210

第7章 贵金属选矿及冶炼含氰污水的处理

1. 含氰污水的处理方法有哪些?	211
2. 碱性氯化法处理含氰污水的原理是什么? 其特点是什么? ...	211