

金矿床成因、勘探



贵金属回收

黄初登 主编

冶金工业出版社

金矿床成因、勘探 与贵金属回收

主 编 黄初登
副主编 李永明 罗镇宽
韩 冰 李震夏

北 京
冶金工业出版社
2000

图书在版编目(CIP)数据

金矿床成因、勘探与贵金属回收/黄初登主编. —北京:
冶金工业出版社, 2000. 2
ISBN 7-5024-2488-1

I. 金… II. 黄… III. ①金矿床-矿床成因论②金矿床-地质勘探③贵金属-回收 IV. P618.51

中国版本图书馆CIP数据核字(1999)第67732号

出版人 曹瑞云 (北京沙滩嵩祝院北巷39号, 邮编100009)

责任编辑 田 锋 美术编辑 李 心 责任校对 王贺兰 责任印制 牛晓波

北京新华印刷厂印刷, 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2000年2月第1版, 2000年2月第1次印刷

850mm×610mm 1/32 16 1/2 印张: 433 千字: 198 页: 1-2000册

32.00元

冶金工业出版社发行部 电话 (010) 64044283 传真: (010) 64013877

冶金书店 地址 北京东四西大街46号(100711) 电话: (010) 65289081

(本社图书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

《金矿床成因、勘探与贵金属回收》
编 委 会

主 编 黄初登

副主编 李永明 罗镇宽 韩 冰

李震夏

编 委(按姓氏笔画为序)

马明煜 王宇明 王 郁 王顺昌

兰兴华 关自斌 关 康 齐守智

朱茂顺 李永明 李新立 李震夏

陈 革 张连营 商木元 苗来成

罗海基 罗镇宽 赵学宁 黄初登

康 楚 韩 冰

在编辑此书过程中，曾得到周传新、黄佳展、崔荫宇等各位专家、领导的大力支持和帮助，在此谨表示衷心感谢！

——编者

序

金、银和铂族金属通称为贵金属,金、银又是国际上的硬通货,用途甚广,除用于货币、饰品外,在电子、电气、宇航、国防、化工等工业领域中都有十分重要的应用价值。因此,地球上几乎每个国家、每块大陆,凡是有条件的都在探查和开采黄金;近 20 年来黄金产量成倍增长,据统计资料,1980 年世界黄金产量为 1188 吨,1985 年为 1569 吨,1990 年为 2134 吨,最高年产量(1993 年)达到 2309 吨,近几年稳定在 2200~2300 吨之间。对黄金的需求亦有较大增长,世界黄金协会预计 1999 年世界黄金需求量比 1998 年增长 21%,达 3278 吨,创近年来新纪录。

随着全世界对黄金需求的迅速增长,与黄金生产密切相关的金矿床的成因与地质勘探,一直是人们关注的焦点,众多专家、学者、工程技术人员争相著书立论,提出探查金矿的新思路,创立了新的理论和成矿模式,改进了技术装备。黄初登同志主编的《金矿床成因、勘探与贵金属回收》一书,就是在大量搜集和编译国外这些新的论著和研究成果及有关文献的基础上,结合我国实际编写而成的。它反映了 80 年代以来世界金矿床地质地球化学特征、成因和勘查模式的最新、最精辟的内容,很有参考价值。

本书分为上、下两篇。上篇写金矿床成因和勘探方面的重要理论与观点。主要内容包括金在地壳中的分布、太古宙和显生宙的脉状金矿床、浅成低温热液金矿床、化学沉积金矿床和砂金矿床;金矿的地球化学和地球物理勘探以及金矿的经济学。每个章节编者都结合我国实际进行论述,并介绍了相关领域中国际上新发现的超大型金矿床的区域地质构造背景、发现历史和找矿方法、老矿区深部与外围进一步扩大找矿经验、新的物化探找矿方法在寻找金矿床中的应用,以及金矿床的经济评价方法等。反映了世界知名的地球化学家、地球物理学家、矿床学家、金矿地质勘查专家、经济学

家等十多位专家的专论和世界各流派的研究成果,涵盖了七大洲四大洋的金矿成因,内容非常丰富。

下篇是根据我国的工业生产、试验研究和教学实践的需要编写的,详细介绍了贵金属的回收、精炼及所采用的器材与设备。主要内容包括原生贵金属、铂的姐妹金属的回收,电解精炼、收集剂与分离剂,从再生资源中回收及精炼贵金属,金属物料的湿化学提取法总体设计、各种精炼工艺、溶剂萃取等。论述很具体,可操作性很强。

我深信,这部书的编辑出版,一定会受到贵金属工业战线上广大科技人员和管理工作者的欢迎。它对于在世界范围内大量而且重要的金矿科学研究和勘探工作,对中国金矿成矿理论的研究、发展和今后的找矿生产实践,将有极为重要的借鉴意义,定会起到积极的推动作用。

借此机会,我向为编著此书付出辛勤劳动的同志们问好!并祝贺我国的金银工业自改革开放以来有了长足的进展,黄金、白银年产量大大超过百吨、千吨,跻身于世界金银生产大国之行列。希望我国的贵金属在今后的生产、科研实践和国际市场竞争中,能够得到更快、更好的发展,获得更丰硕的成果和经济效益。

邱纯甫
一九九九年九月

目 录

上 篇 金矿床成因、勘探

1 地壳中金的分布	3
1.1 引言	3
1.2 造岩矿物中的金	3
1.3 火成岩中的金	5
1.3.1 概述	5
1.3.2 岩石圈中金分布的基本特征	6
1.3.3 镁铁质和超镁铁质岩的金丰度	10
1.3.4 前寒武纪岩石中的金	11
1.3.5 地幔金丰度的估算	13
1.3.6 非造山环境中的镁铁质火山岩	13
1.3.7 非造山环境中的镁铁质深成岩	14
1.3.8 造山环境	14
1.4 沉积岩和沉积物中的金	15
1.4.1 概述	15
1.4.2 沉积物中的金	16
1.4.3 碎屑岩中的金	16
1.4.4 化学沉积岩中的金	17
1.5 变质岩中的金	18
1.5.1 概述	18
1.5.2 区域变质作用	18
1.5.3 变质地体中的花岗岩类侵入体	19
1.6 结论	19
1.7 矿物资料	21
1.7.1 注 释	21
1.7.2 造岩矿物中的金含量	21

1.7.3	火成岩的金含量	23
1.7.4	沉积物和沉积岩的金含量	33
2	金的热液地球化学	39
2.1	引言	39
2.2	金的无机化学	39
2.2.1	氧化态	39
2.2.2	相对论效应	40
2.2.3	Au (I) 的配位化学	42
2.3	热水溶液中金的络合物	44
2.3.1	哪种络合物重要	44
2.3.2	Au (I) 的卤化物络合物	45
2.3.3	水解作用	48
2.3.4	氢硫化物和硫离子络合物	48
2.3.5	其它含硫配位体	52
2.3.6	其它配位体	54
2.4	金的沉淀	56
2.4.1	沸腾	56
2.4.2	在胶体和矿物表面的沉淀	60
2.5	结论	61
3	太古宙脉状金矿床	63
3.1	引言	63
3.1.1	全球分布及经济意义	63
3.1.2	成因概念	63
3.2	矿床特征	64
3.2.1	概述	64
3.2.2	规模和品位	64
3.2.3	构造型式	69
3.2.4	围岩	74
3.2.5	矿化及围岩蚀变	75
3.2.6	伴生金属	77
3.3	区域分布	78
3.3.1	不均匀分布	78

3.3.2	构造背景	79
3.3.3	变质背景	80
3.3.4	与侵入岩的空间关系	80
3.3.5	矿化时间	81
3.3.6	矿化高峰期	81
3.4	限定成因模式	82
3.4.1	概述	82
3.4.2	成矿流体特征	83
3.4.3	金的迁移和沉淀	83
3.4.4	流体集中	84
3.4.5	流体的来源和矿石成分	84
3.5	成因模式	86
3.6	金矿化的构造背景	89
3.7	勘探意义	91
3.8	结论	92
3.9	中国太古宙脉金矿床与世界太古宙脉金矿床对比	94
4	活动大陆边缘的显生宙金矿床	97
4.1	引言	97
4.2	中温热液脉状金矿床的空间和时间分布	98
4.2.1	北美洲	98
4.2.2	南美洲	99
4.2.3	澳大利亚—新西兰	99
4.2.4	亚洲	100
4.2.5	欧洲	101
4.2.6	非洲	101
4.3	地质和地球化学特征	102
4.3.1	围岩	103
4.3.2	构造	104
4.3.3	矿体的形态与结构	107
4.3.4	矿物及其共生组合	107
4.3.5	热液蚀变	109
4.3.6	元素地球化学和分带	111

4.3.7	流体包裹体	112
4.3.8	稳定同位素	112
4.3.9	Sr、Pb 和 Nd 同位素比值的应用	115
4.4	成因模式	116
4.5	显生宙中温热液矿床和其它类型矿床的对比	119
4.6	结论	120
5	火山地区浅成低温热液金矿床	122
5.1	引言	122
5.2	勘探实例	124
5.2.1	日本的菱刈矿床	124
5.2.2	印度尼西亚加里曼丹的凯利安 (Kelian) 矿床	126
5.2.3	巴布亚新几内亚利海尔岛拉多拉姆 (Ladolam) 矿床 ...	128
5.3	蚀变和矿化环境	131
5.3.1	与火山岩的关系	131
5.3.2	构造控制	131
5.3.3	围岩蚀变	132
5.3.4	流体包裹体和轻稳定同位素	140
5.4	活动地热系统	141
5.5	浅成低温热液系统金的搬运	144
5.6	沉淀时的物理—化学条件	146
5.7	浅成低温热液矿床的地质时代	148
5.8	勘探	149
5.9	总结	150
6	与侵入体有关的金矿床	152
6.1	引言	152
6.2	大地构造背景	152
6.3	赋存在侵入体中的网脉状/浸染状矿床	159
6.3.1	斑岩矿床	159
6.3.2	网脉状/浸染状矿床	161
6.4	碳酸盐岩中的矿床	163
6.4.1	矽卡岩矿床	163

6.4.2	碳酸盐交代矿床	165
6.5	非碳酸盐岩石中的网脉状、浸染状和交代矿床	169
6.6	赋存在角砾岩中的矿床	173
6.7	石英脉型矿床	176
6.8	矿床的相互关系和金属分带	179
6.9	成因方面的认识	182
6.9.1	岩浆类型	182
6.9.2	成矿作用	185
6.10	与其他金矿床类型可能存在的关系	189
6.10.1	浅成低温热液矿床	189
6.10.2	赋存在沉积岩中的金矿床	189
6.10.3	母矿脉型矿床	190
6.11	结论	190
7	卡林型金矿床	192
7.1	引言	192
7.2	卡林型金矿床的分类	193
7.2.1	历史回顾	193
7.2.2	目前流行的观点	194
7.2.3	卡林型矿床与多金属交代矿床的关系	195
7.3	区域地质和构造背景	195
7.3.1	北美的区域地质和构造背景	195
7.3.2	北美西部的岩浆活动	207
7.3.3	中国卡林型金矿床产出地质构造背景	207
7.4	矿床特征	212
7.4.1	围岩岩性	212
7.4.2	矿床的构造背景	212
7.4.3	有关的岩浆岩	213
7.4.4	矿床的地质年代学	213
7.4.5	蚀变和矿化	217
7.4.6	矿床地球化学	223
7.4.7	地球物理研究	230
7.4.8	矿床规模、形状和品位	230

7.5	矿床模型	233
7.5.1	已有模式	233
7.5.2	推理模式	233
7.6	勘探指南	239
7.7	总结	240
8	现代海底含金热液沉积物	242
8.1	引言	242
8.2	海底多金属硫化物沉积物中的金	242
8.2.1	大洋中脊	246
8.2.2	海岭	251
8.2.3	岛弧环境	252
8.2.4	裂谷沉积环境	253
8.3	海底热液系统中金的矿物学和地球化学	257
8.4	海底之下网脉状矿化中的金	259
8.5	热液羽状流及有关金属沉积物中的金	259
8.6	海底热液系统中金的运移和沉积	261
8.6.1	海底火山热液流体的化学成分	261
8.6.2	沉积环境下的海底热液流体的化学成分	265
8.6.3	海底热液流体中金的溶解度	267
8.6.4	海底热液流体中金的含量	268
8.7	地表硫化物和铁帽中金的次生富集	269
8.8	古海底热液系统中的金	271
8.8.1	火山成因的块状硫化物矿床	271
8.8.2	金属沉积物	272
8.8.3	含金化学沉积和碎屑沉积中的金矿床	273
9	温带、干旱、半干旱以及雨林地区金矿地球化学勘查	275
9.1	引言	275
9.2	金矿化的地球化学特征	275
9.2.1	基岩矿化属性	275
9.2.2	金的表生作用	277
9.2.3	原生矿化特征向表生环境的迁移	278

9.3 矿例和勘查史	279
9.3.1 概述	279
9.3.2 温带地区	280
9.3.3 干旱和半干旱地区	282
9.3.4 热带雨林环境	286
9.4 工作程序	291
9.4.1 取样和样品制备	291
9.4.2 样品分析	294
9.5 其它采样技术	295
9.5.1 岩石地球化学	295
9.5.2 重砂矿物地球化学	295
9.5.3 水文地球化学	296
9.5.4 大气地球化学	297
9.5.5 生物地球化学	298
9.6 结论	299
10 金矿地球物理勘探	300
10.1 引言	300
10.2 地质及地球物理模型	301
10.3 勘探策略和方法	305
10.3.1 普查	305
10.3.2 区测	305
10.3.3 详测	306
10.4 实例	308
10.4.1 细脉、网脉和大脉	308
10.4.2 砂卡岩	320
10.4.3 含金火山成因硫化物	320
10.4.4 含金花岗岩类	323
10.4.5 火成岩、火山岩及沉积岩系的浸染状矿床	325
10.4.6 古砂金矿	329
10.4.7 砂金矿	332
10.5 结论	335
10.6 地球物理术语词汇表	336

11 金矿床经济学	338
11.1 引言	338
11.2 市场环境	338
11.3 金矿生产	340
11.3.1 世界性的趋势	341
11.3.2 巴西	341
11.3.3 美国	343
11.3.4 澳大利亚	344
11.3.5 南非	345
11.3.6 加拿大	347
11.3.7 20 世纪 80 年代	349
11.4 金矿床的经济学评价	349
11.4.1 决定的过程	350
11.4.2 经济评价技术	350
11.4.3 现金流动的估计	351
11.4.4 现金流动标准	353
11.4.5 投资费	353
11.4.6 DCF 标准	354
11.5 有经济价值的金矿床特征	355
11.5.1 加拿大的案例研究	355
11.5.2 呈现格式	356
11.5.3 矿床的输入变量	357
11.5.4 现金流量标准	359
11.5.5 DCF 标准	363
11.6 结论	366

下 篇 贵金属回收

12 原生贵金属	371
12.1 贵金属矿石	371
12.2 设备和方法	374
12.2.1 破碎和磨矿	374
12.2.2 烧裂	380

12.2.3	富集	380
12.2.4	淘析	381
12.2.5	浮选	386
12.2.6	摩擦	387
13	铂的姊妹金属	389
13.1	铂族金属的分离	390
13.1.1	除杂	390
13.1.2	碾薄	390
13.1.3	杂质的溶解	391
13.1.4	未溶解铂的处理	391
13.1.5	铂的最后清洗	392
13.1.6	从铂中分离氯化银	392
13.1.7	王水溶液中贵金属的回收	393
13.2	海绵金属的熔化	397
13.2.1	海绵铂	397
13.2.2	铱-铂	397
13.2.3	海绵铱	398
13.2.4	海绵钯	398
13.2.5	铂	399
13.3	铂族金属的分离	401
13.4	金、银、铂、钯、铑、铈、钇分离	403
13.4.1	步骤	403
13.4.2	再分离	403
14	电解精炼	407
14.1	电解铜精炼	408
14.2	电解银精炼	410
14.3	金电解精炼	411
14.4	电解槽的种类	413
14.5	选择合适的电解槽	414
14.6	莫比斯槽和桑姆槽的选择	415
14.7	小规模系统	416
15	收集剂和分离剂	420

15.1	收集剂	422
15.1.1	溶液	422
15.1.2	铅	423
15.1.3	其它元素和化合物	424
15.2	分离剂	427
15.2.1	沉淀法	427
15.2.2	某些沉淀剂	428
15.2.3	挥发	429
15.2.4	离子交换	429
15.2.5	其它分离剂	430
16	从再生资源中回收和精炼贵金属	432
16.1	银的回收	433
16.2	银的精炼提纯	439
16.3	金与铜的分离	440
16.4	硫酸亚铁和二氧化硫还原沉淀金	443
16.5	亚硝酸钠还原沉淀金	446
16.6	草酸还原沉淀金	447
16.7	金属还原沉淀剂	447
16.8	金废料特殊处理	448
17	金属物料的湿化学提取法的总体设计	457
17.1	步进式加工法	459
17.2	储桶的处理	476
17.3	含多金属物料的步进式加工法	479
17.4	提示	483
18	各种精炼系统	485
18.1	氯化物工艺	485
18.2	槽浸工艺	487
18.3	其它工艺	488
18.4	从汽车尾气催化转化器中回收铂和钯	492
19	溶剂萃取	494
19.1	目前应用的一些有机溶剂	494