

矿石学

下编 各论

中国地质科学院

矿床地质研究所

陈 正

主编



北京科学技术出版社

矿 石 学

下编 各论

中国地质科学院矿床地质研究所

陈 正 主编

北京科学技术出版社

内 容 简 介

《矿石学》共分上下两编。上编为矿石学概论，下编为矿石学各论。

本书为矿石学下编各论，较详细阐述了铬、镍、金、银、锑、汞、锰等7种矿产约28种中的17种矿石建造类型。每一矿石建造类型大致包含造矿矿物和脉石矿物的种类和含量、矿物和矿石的化学成分、矿物结晶习性和矿石结构构造、成矿阶段及其矿物组合、矿体产状、围岩和围岩蚀变、矿石的成因和成矿物理化学条件、矿床实例等方面的内容。

本书内容丰富，理论与实际并重，可供矿床、矿相、岩石、地质勘探工作者及地质院校师生参考。

矿 石 学

陈 正 主编

北京科学技术出版社出版

(北京西直门外南路19号)

中国地质科学院矿床地质研究所激光排版

北京市海淀区花园村一小印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 26.75印张 620千字

1990年1月第一版 1990年1月第一次印刷

印数 1—1000册

ISBN 7-5304-0637·X/T·128

定价 22.00元

前 言

《矿石学》分上编和下编两部分。

上编为矿石学概论，主要论述矿石学的基本理论和研究方法，已于1985年由地质出版社出版。

下编为矿石学各论，拟按矿种的矿石建造类型分别予以详述，但因篇幅有限，本书仅对铬、镍、金、银、锑、汞、锰等7个矿种约28种国内外较重要的矿石建造类型中的17种类型作了介绍，而将其余类型分别删去或改送其他刊物登载。所述建造类型包含了造矿矿物和脉石矿物的种类及其含量，矿物和矿石的化学成分，矿物的结晶习性和矿石的结构构造，成矿阶段及其矿物组合，矿体产状，围岩及其蚀变，矿石建造形成的物理化学条件，矿床实例等诸多方面内容。

本书分七章，第一章铬矿石由陈正编写，第二章镍矿石由雷蕴芬、陈正编写，第三章金矿石由岳树勤编写，第四章银矿石由王荫祥编写，第五章锑矿石和第六章汞矿石由陈殿芬编写，孙淑琼参加部分工作，第七章锰矿石由郭世勤编写。

本书于1987年脱稿后承蒙武汉中国地质大学徐国风、中国科学院地质研究所范德廉、地质出版社王曙、中国地质科学院地质研究所白文吉和王希斌、矿床地质研究所叶庆同和盛继福等有关专家审阅并提出不少宝贵意见，谨此一并谢忱。

目 录

第一章 铬铁矿矿石 陈正	(1)
一、概述	(1)
二、层状铬铁矿建造	(14)
(一) 层状铁镁-超铁镁岩	(14)
(二) 铬铁矿形态和产状	(16)
(三) 矿石的构造和结构	(19)
(四) 矿物	(24)
(五) 成因	(29)
(六) 矿床实例	(43)
三、豆荚状铬铁矿建造	(50)
(一) 阿尔卑斯型超铁镁岩	(50)
(二) 矿体形态和产状	(53)
(三) 矿石的结构和构造	(55)
(四) 矿物	(59)
(五) 成因	(64)
(六) 矿床实例	(76)
第二章 镍矿石 雷蕴芬、陈正	(85)
一、概述	(85)
二、辉长岩类岩浆熔离硫化镍建造	(93)
(一) 含矿母岩辉长岩类	(93)
(二) 矿物及其结构特征	(94)
(三) 矿石的构造类型	(106)
(四) 矿石在岩体中的分布和产状	(107)
(五) 围岩及矿石的热液蚀变	(109)
(六) 硫化铜镍矿石的成因及演化	(109)
(七) 矿床实例	(125)
第三章 金矿石 岳树勋	(136)
一、概述	(136)
(一) 金的丰度	(139)
(二) 金矿石建造类型的划分	(142)
(三) 金矿物	(144)
(四) 金的用途和选冶途径	(146)
二、火山-次火山热液金矿建造	(148)
(一) 矿物及其共生组合特征	(150)

(二) 矿石组构.....	(167)
(三) 矿床围岩、围岩蚀变及矿体产状.....	(168)
(四) 矿石成因.....	(170)
(五) 矿床实例.....	(182)
三、绿岩-金-石英建造 (变质热液金矿建造)	(184)
(一) 矿物成分及其共生组合特征.....	(185)
(二) 矿石组构.....	(190)
(三) 矿体产状、围岩及围岩蚀变.....	(191)
(四) 矿石成因.....	(193)
(五) 矿床实例.....	(199)
第四章 银矿石 王荫祥	(205)
一、概述.....	(205)
(一) 银的地球化学特征.....	(205)
(二) 银的矿床类型及矿石建造类型的划分.....	(209)
(三) 银的用途、价值、产量、消 (费) 量和储量.....	(210)
二、中低温热液银铅锌矿石建造.....	(211)
(一) 矿物.....	(212)
(二) 矿石结构构造.....	(220)
(三) 矿石产状.....	(222)
(四) 矿石成因.....	(222)
(五) 矿床实例.....	(225)
三、变质型多金属银矿石建造.....	(226)
(一) 矿物.....	(226)
(二) 矿石结构构造.....	(231)
(三) 矿石产状.....	(232)
(四) 矿石成因.....	(232)
(五) 矿床实例.....	(234)
四、沉积型银-钼矿石建造	(235)
(一) 矿物.....	(236)
(二) 矿石结构构造.....	(239)
(三) 矿石产状.....	(240)
(四) 矿石成因.....	(241)
(五) 矿床实例.....	(242)
第五章 锑矿石 陈殿芬、孙淑琼	(245)
一、概述.....	(245)
二、辉锑矿硅化建造.....	(249)
(一) 矿物成分.....	(249)
(二) 矿石组构、矿物组合及成矿阶段.....	(252)
(三) 矿体产状及围岩蚀变.....	(254)

(四) 矿石成因.....	(255)
(五) 矿床实例.....	(259)
三、 铋金钨建造.....	(260)
(一) 矿物成分.....	(261)
(二) 矿石组构及成矿阶段.....	(263)
(三) 矿体产状及围岩蚀变.....	(266)
(四) 矿石成因.....	(267)
(五) 矿床实例.....	(269)
四、 铋-多金属建造	(271)
(一) 矿物成分.....	(271)
(二) 矿物组构及成矿阶段.....	(278)
(三) 矿体产状及热液蚀变.....	(283)
(四) 矿石成因.....	(284)
(五) 矿床实例.....	(285)
五、 辉铋矿粘土化建造.....	(287)
(一) 矿物成分.....	(287)
(二) 矿石组构及成矿阶段.....	(289)
(三) 矿体产状及围岩蚀变.....	(293)
(四) 矿石成因.....	(294)
(五) 矿床实例.....	(295)
第六章 汞矿石 陈殿芬、孙淑琼	(299)
一、 概述.....	(299)
二、 辰砂-石英-碳酸盐建造	(304)
(一) 矿物成分及常见矿物共生组合.....	(304)
(二) 矿石组构及成矿阶段.....	(310)
(三) 矿体产状及围岩蚀变.....	(314)
(四) 矿石成因.....	(316)
(五) 矿床实例	(322)
三、 辰砂-蛋白石-粘土建造	(324)
(一) 矿物成分及矿物组合类型.....	(324)
(二) 矿石组构及成矿阶段.....	(325)
(三) 矿体产状及围岩蚀变.....	(328)
(四) 矿石成因.....	(328)
(五) 矿床实例.....	(330)
第七章 锰矿石 郭世勤	(334)
一、 概述.....	(334)
(一) 锰矿床的成因类型和分布.....	(334)
(二) 锰矿石的工业用途.....	(335)
(三) 锰矿石的资源、产量与消耗.....	(336)

(四) 锰的地球化学.....	(337)
(五) 锰矿物.....	(339)
二、沉积锰矿石建造.....	(345)
(一) 矿物.....	(345)
(二) 结构构造.....	(349)
(三) 规模和产状.....	(351)
(四) 成因.....	(352)
(五) 矿床实例.....	(359)
三、受变质锰矿石建造.....	(364)
(一) 矿物和矿物组合.....	(364)
(二) 结构构造.....	(367)
(三) 规模和产状.....	(371)
(四) 成因.....	(371)
(五) 矿床实例.....	(374)
四、表生富集锰矿石建造.....	(379)
(一) 矿物.....	(380)
(二) 结构构造.....	(382)
(三) 规模和产状.....	(383)
(四) 成因.....	(383)
(五) 矿床实例.....	(387)
照片及其说明.....	(395)

ORE PETROLOGY

Contents

VOLUME ONE FUNDAMENTALS OF ORE PETROLOGY by Chen Zheng, Yue Shuqin, Chen Dianfen.

Preface

Chapter 1 Introduction by Chen Zheng

- | | |
|--|---|
| 1. Basic concept of ore petrology | 1 |
| 2. Ore formation | 2 |
| 3. Stage of mineralization, epochs of mineralization, and generations of mineral | 4 |
| 4. Mineral assemblage | 6 |
| 5. The relationship of ore petrology with other branches of science | 8 |
| Principal references | 9 |

Chapter 2 The principal classes, groups, general characteristics and occurrences of ore minerals by Chen Zheng

- | | |
|---|----|
| 1. Outline of the crystal chemistry of ore minerals | 11 |
| (1) The banding and lattice types of ore minerals | 11 |
| (2) Coordination of ions in crystals | 13 |
| (3) Impurities in minerals | 16 |
| (4) Atomic mobility and diffusion | 19 |
| 2. Principle of structural classification and the main types of ore minerals | 22 |
| 3. The principal classes, groups, general characteristics and occurrences of ore minerals | 28 |
| (1) Native metal and semi-metal | 29 |
| (2) Sulfides and sulfosalts | 31 |
| (3) Oxides | 44 |
| Principal references | 49 |

Chapter 3 Texture and structure of ore minerals by Yue Shuqin

- | | |
|--|----|
| 1. The fabric classification of ore | 55 |
| (1) P. Ramdohr's classification | 56 |
| (2) A. G. Betehtin's classification | 56 |
| 2. Internal structures of crystal grains | 59 |
| (1) Cleavage | 59 |

(2) Twin	61
(3) Zonal structure	68
3. Crystallization textures	69
(1) The crystallization process of magma and pneumatolytic —hydrothermal solution	69
(2) Principal factors controlling the crystallization of magma and water solutions	70
(3) Degree of crystallization in mineral grains	70
(4) Grain size of crystallization	70
(5) Growth and texture of poly-crystal aggregates	72
4. Unmixing of solid solution	76
(1) Basic principle of the formation and disintegration of solid solution	76
(2) Morphological characters, criteria and types of unmixing (ex-solution)	76
(3) The significance and application of ex-solution	80
5. Replacement textures	82
(1) Factors controlling replacement	83
(2) Properties of replacement	84
(3) Types and kinds of replacement	86
(4) Criteria for the determination of replacement	88
6. Textures of sedimentary ore	90
(1) Mechanical sedimentation and its textures	91
(2) Chemical deposition and its textures	91
(3) Framboidal texture	93
7. Textures of metamorphism	93
(1) Metamorphic processes	93
(2) Factors of metamorphism	96
(3) Metamorphic reactions	96
(4) Properties of metamorphism	98
(5) Annealing	99
(6) Textures of metamorphic ore	109
8. Structures of endogenetic ore	115
(1) Structures of magmatic ore	115
(2) Structures of pneumatolytic hydrothermal ore	121
9. Structures of sedimentary ore	124
10. Structures of metamorphic ore	127
Principal references	129
Chapter 4 Mineral assemblage and phase equilibrium	

by Chen Zheng	131
1. Introduction	131
2. Fundamental principles of phase equilibrium and phase rule	133
3. Experiments of phase equilibrium	137
(1) Some notes on selecting experiment	137
(2) The commonly adopted methods of experiment	142
(3) Oxygen and sulfur partial pressure buffering	147
4. Unitary system phase equilibrium diagram	150
5. Binary system phase equilibrium diagram	153
(1) Diagram between liquid and solid	153
(2) Diagram between solid and solid	161
6. Ternary system phase equilibrium diagram	169
(1) Diagram between liquid and solid	169
7. Quaternary system phase equilibrium diagram	180
8. Principles of chemical thermodynamics in phase equilibrium	181
(1) Equilibrium and equilibrium constant in chemical reactions	182
(2) Free energy in chemical reaction calculation of the function of thermodynamics, and their application in equilibrium mineral assemblages	186
(3) Principles of electrochemistry and their related calculation	196
(4) Property of water solution and its relation to the dissolution and deposition of ore materials	199
9. The most commonly used types of phase equilibrium diagram	205
(1) ($T-X$) diagram	206
(2) ($T-P$) diagram	207
(3) ($\alpha-T$) diagram	209
(4) ($f-T$) diagram	214
(5) ($f-\alpha$) diagram	215
(6) ($Eh-pH$) diagram	215
(7) ($f_{O_2}-pH$) diagram	218
Principal references	218
Chapter 5 Ore genesis by Chen Dianfen	220
1. Magmatic ores	220
(1) Magmatic segregation process	221
(2) Magmatic liquid immiscibility process	216
2. Skarn ores	231

(1) The geological and physical-chemical conditions in forming skarn ore	231
(2) The occurrence, mineral composition, and texture and structure of skarn ore	233
(3) Genesis of skarn ore	235
3. Hydrothermal ores	240
(1) Sources of ore-bearing hydrothermal solution and their physical-chemical conditions	240
(2) The temperature and pressure of hydrothermal ore	274
(3) The transport and deposition of ore-forming elements and type of deposits	250
(4) The chemical mobilities in hydrothermal ore-forming process	255
(5) The principal characteristics of hydrothermal ore	257
4. Volcanic-sedimentary ores	257
(1) The physical-chemical conditions in forming the volcanic-sedimentary ore	258
(2) Genetic process of volcanic-sedimentary ore	259
(3) The principal characteristics of volcanic-sedimentary ore	260
5. Weathering ores and change of ore in supergene condition	256
(1) Factors controlling the weathering process	265
(2) The formation of weathering ore	265
(3) The supergene change of ore	269
6. Sedimentary ores	275
(1) The transport, deposition and enrichment of ore-forming materials of weathering products	275
(2) The enrichment of ore-forming materials in diagenesis	279
(3) Anadiagenesis and its bearing in ore genesis	280
(4) The principal characteristics of sedimentary ore	280
7. Metamorphic ores	281
(1) The physical-chemical conditions in metamorphic ore deposition	281
(2) Metamorphic ore genesis and the types of formation of metamorphic ore	284
(3) The basic characteristics of metamorphic ore	286
8. The country rock alteration of ore	286
Principal references	293
8 Plates, 32 Photos	295

VOLUME TWO DESCRIPTIVE ORE PETROLOGY

Edited by Chen Zheng

Preface

Chapter 1 Chromite ore by Chen Zheng (1)

1. Introduction (1)

2. The stratiform chromite ore formation (14)

(1) Stratiform mafic-ultramafic complex (14)

(2) Form and setting (16)

(3) Texture and structure (19)

(4) Mineral constitution (24)

(5) Origin (29)

(6) Examples (43)

3. The podiform chromite formation (50)

(1) Alpine type of mafic-ultramafic complex (50)

(2) Form and setting (53)

(3) Texture and structure (55)

(4) Mineral constitution (59)

(5) Origin (64)

(6) Examples (76)

Principal references (81)

Chapter 2 Nickel ore by Lei Yunfen and Chen Zheng (85)

1. Introduction (85)

2. The nickel sulfide ore formation derived from liquid immiscibility of gabbroic kindred magma (93)

(1) Mother rock of the ore——gabbroic kindred rocks (93)

(2) Mineralogical association and textures (94)

(3) Types of structure (106)

(4) Distribution and occurrence (107)

(5) Hydrothermal alteration of the ore and minerals (109)

(6) Origin (109)

(7) Examples (125)

Principal references (134)

Chapter 3 Gold ore by Yue Shuqin (136)

1. Introduction (136)

(1) Abundance of gold (139)

(2) Classification of gold ore formations (142)

(3) Gold minerals	(144)
(4) Uses, and methods of beneficiation and metallurgy	(146)
2. The volcanic-subvolcanic hydrothermal ore formation	(148)
(1) Mineral constitution and characteristic mineral assemblages	(150)
(2) Texture and structure	(167)
(3) Country rock, country rock alteration and occurrence	(168)
(4) Origin	(170)
(5) Examples	(182)
3. The greenstone gold quartz ore formation	(184)
(1) Mineral constitution and characteristic mineral assemblages	(185)
(2) Texture and structure	(190)
(3) Occurrence, country rock and country rock alteration	(191)
(4) Origin	(193)
(5) Examples	(199)
Principal references	(202)
Chapter 4 Silver ore by Wang Yinxiang	(205)
1. Introduction	(205)
(1) Geochemistry of silver	(205)
(2) Classification of silver ore deposits and ore formations	(209)
(3) Uses, quantity of production, consumption, and reserve	(210)
2 The mesothermal-epithermal Ag-Pb-Zn ore formation	(211)
(1) Mineral constitution	(212)
(2) Texture and structure	(220)
(3) Occurrence	(222)
(4) Origin	(222)
(5) Examples	(225)
3. The metamorphic polymetallic ore formation	(226)
(1) Mineral constitution	(226)
(2) Texture and structure	(231)
(3) Occurrence	(232)
(4) Origin	(232)
(5) Examples	(234)
4. The sedimentary Ag-V ore formation	(235)
(1) Mineral constitution	(236)
(2) Texture and structure	(239)
(3) Occurrence	(240)
(4) Origin	(241)
(5) Examples	(242)
Principal references	(244)

Chapter 5 Antimony ore	by Chen Dianfen and Sun Shuqiong	(245)
1. Introduction		(245)
2. The stibnite quartz ore formation		(249)
(1) Mineral constitution		(249)
(2) Fabric, mineral assemblage, and epoch of mineralization		(252)
(3) Occurrence and country rock alteration		(254)
(4) Origin		(255)
(5) Examples		(259)
3. The Sb—Au—W ore formation		(260)
(1) Mineral constitution		(261)
(2) Fabric and epoch of mineralization		(263)
(3) Occurrence and country rock alteration		(266)
(4) Origin		(267)
(5) Examples		(269)
4. The Sb—polymetals ore formation		(271)
(1) Mineral constitution		(271)
(2) Fabric and epoch of mineralization		(278)
(3) Occurrence and country rock alteration		(283)
(4) Origin		(284)
(5) Examples		(285)
5. The Stibnite clay ore formation		(287)
(1) Mineral constitution		(287)
(2) Fabric, mineral assemblage, and epoch of mineralization		(289)
(3) Occurrence and country rock alteration		(293)
(4) Origin		(294)
(5) Examples		(295)
Principal references		(297)
Chapter 6 Mercury ore	by Chen Dianfen and Sun Shuqiong	(299)
1. Introduction		(299)
2. The cinnabar—quartz—carbonates ore formation		(304)
(1) Mineral constitution and the common assemblages		(304)
(2) Fabric and epoch of mineralization		(310)
(3) Occurrence and country rock alteration		(314)
(4) Origin		(316)
(5) Examples		(322)
3. The cinnabar—opal—argillite ore formation		(324)
(1) Mineral constitution and types of mineral assemblage		(324)
(2) Fabric and epoch of mineralization		(325)
(3) Occurrence and country rock alteration		(328)

(4) Origin	(328)
(5) Examples	(330)
Principal references	(332)
Chapter 7 Manganese ore by Guo Shiqin	(334)
1. Introduction	(334)
(1) Types and distribution of Mn deposits	(334)
(2) Industrial uses	(335)
(3) Reserve, production and consumption	(336)
(4) Geochemistry of manganese	(337)
(5) Manganese minerals	(339)
2. The sedimentary Mn ore formation	(345)
(1) Mineral constitution	(345)
(2) Texture and structure	(349)
(3) Occurrence and size of ore bodies	(351)
(4) Origin	(352)
(5) Examples	(359)
3. The metamorphosed Mn ore formation	(364)
(1) Mineral constitution and mineral assemblages	(364)
(2) Texture and structure	(367)
(3) Occurrence and size of ore bodies	(371)
(4) Origin	(371)
(5) Examples	(374)
4. The supergene enrichment Mn ore formation	(379)
(1) Mineral constitution	(380)
(2) Texture and structure	(382)
(3) Occurrence and size of ore bodies	(383)
(4) Origin	(383)
(5) Examples	(387)
Principal references	(391)
14 Plates , 90 Photos	(395)

第一章 铬铁矿矿石

陈 正

一、概 述

铬是一种重要的黑色金属。早在春秋战国时期，我们的祖先就已知道铬的存在和使用价值。十年前在湖北江陵古墓中出土的越王勾践的宝剑以及戈、矛等兵器上，都证明曾经用铬化物处理，并且已在地下埋藏了 2500^①年之久。西欧各国发现自然界中的铬元素是在 18 世纪的后半叶，先由法德两国化学家在红铅矿中确定下来，并命名为铬。至于铬铁矿石唯一有工业意义的造矿矿物铬尖晶石，则于 1798 年在乌拉尔北部发现。铬尖晶石的化学组分后来由化学家鲁维茨 (Lowitz) 研究清楚，证明这一矿物中含有大量铬元素，并认为有希望具有提炼金属铬的价值。

铬元素在自然界中可呈自然金属存在 (我国朱明玉、岳树勤 1981 年首先证实)，但更常呈离子状态出现。铬元素多与其他元素构成矿物和其他化合物，其价态有二价、三价、五价、六价等四种，并以三价最为常见。三价铬离子的半径为 $0.64 \times 10^{-10}\text{m}$ ，与三价铝的离子半径 ($0.57 \times 10^{-10}\text{m}$) 和三价铁的离子半径 ($0.67 \times 10^{-10}\text{m}$) 比较接近。因此，三者在自然界很容易形成类质同象置换。铬化合物中以离子键和共价键较为常见，铬尖晶石就是一个例子，由此使铬尖晶石具有高熔点和不易溶性的特点。铬尖晶石常在岩浆结晶早期生成，而在地下热水溶液中很少有铬元素出现，这就与其高熔点及不易溶性有一定关系。

铬元素在戈尔德施密特和查瓦里茨基的地球化学分类中分属于不同族类。前者将铬归于亲石元素，后者将其归于亲铁元素。这两种分类法各有不同的分类基础。前者以元素在原子容积曲线上的位置为基础，其分布特点是位于曲线下降的支线上。这些元素在化学结合关系上为亲氧，磁性属顺磁性，在元素共生方面看不出有何特殊关系。但氧化物都显示常与硅酸盐矿物共生的倾向。后者以元素周期表中第四周期第一过渡元素系为准，具体包括钛、钒、铬、锰、铁、钴、镍等七种元素。它们不仅共同具有过渡元素变价的特点，而且在自然界中也常显示出有共生的趋向。所以，可以简单地认为，铬从氧化态看来表现为亲石元素，从金属态看来表现为亲铁元素。

铬在地壳中属常见的金属元素。地壳中常见的金属元素有铁、锰、钛、钒、铬、钴、镍、铜、锌、铅、铋、银等十余种。它们在地壳中的丰度见表 1.1 (中国科学院地球化学研究所, 1977)。由表可知，铬的丰度低于铁、锰、钛三元素，但较高于其余金属元素，大致与钒、钴、镍、铜、锌、铅属于同一个数量级，而比铋、汞、锡、钨、钼则高出两个数量级左右。

铬在各岩类中的丰度常有很大差别。铬在沉积岩、变质岩中的丰度很低，在岩浆岩中

^①田长许：《科技史文集》第13集