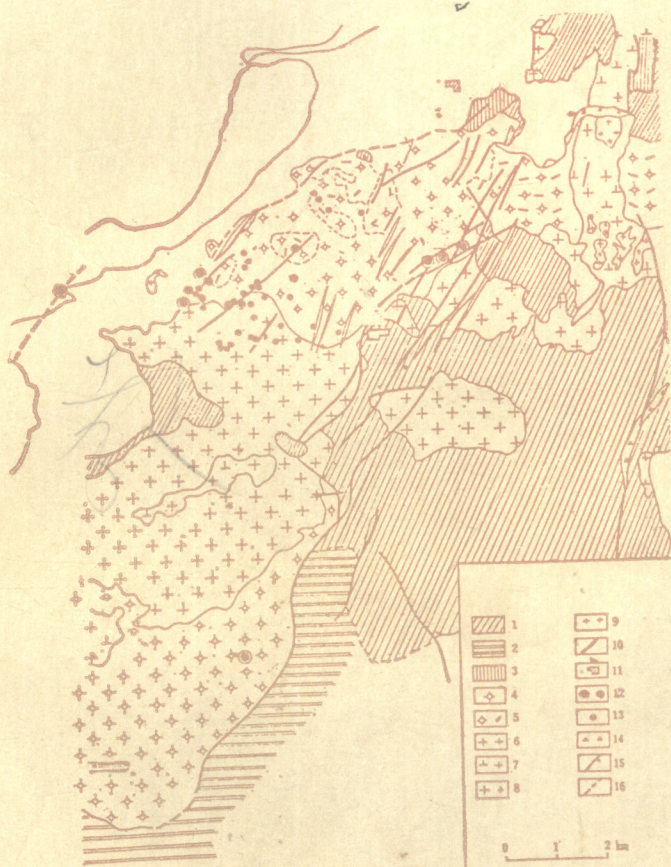


高等学校教学参考书

金属矿床

钟 汉 姚凤良 主编



地质出版社

内 容 简 介

《金属矿床》是一本金属矿产的综合性参考书,包括绪论及铁、锰、铬、钨、钼、钽、铌、铀、钍、铯、铜、铅、锌、银、汞、锡、钨、钼、铂及铂族金属、稀有金属等十八章。各章中对该种金属的性质、用途、资源概况、地球化学特征、矿石矿物、矿床类型、工业要求等均作了概要的介绍,并着重介绍了各种金属矿床的矿床类型,对各类矿床的形成条件、特征、分布规律、工业意义及国内外典型矿床实例等均进行了较详细的论述,个别矿种还介绍了在世界上的分布及不同地质历史时期的成矿规律。

本书广泛地搜集和研究了国内外大量矿床地质资料,力图反映国内外一些新的矿床资料及研究成果,同时也充分考虑了我国各类矿床的特征及生产现状。

本书可作为矿床学的补充材料,供地质矿产专业学生参考或作为选修课教材。也适于野外地质工作人员及矿床地质研究人员参考。

※ ※ ※

本书由郑明华、杨延栋主审,经地质矿产部矿床学教材编审委员会于1984年4月召开的第四次全体会议审稿,同意作为高等学校教学参考书出版。

※ ※ ※

高等学校教学参考书

金 属 矿 床

长春地质学院矿床教研室

钟 汉 姚凤良 主编

*

责任编辑:于耀先 陈 磊

地质出版社出版

(北京 西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本: 787×1092¹/₁₆ 印张: 20¹/₂ 字数: 476,000

1987年10月北京第一版·1987年10月北京第一次印刷

印数: 1-1,000 册 定价: 3.40 元

ISBN 7-116-00055-0/P·046

统一书号: 13038·数292

前 言

《金属矿床》一书是受地质矿产部矿床学教材编审委员会的委托，由长春地质学院矿床教研室负责编写。

本书是在搜集并研究了大量国内外典型矿床资料的基础上编写的。其目的是为地质专业的大学生、研究生及广大矿床地质工作者提供一些国内外各类矿产的主要矿床类型及其地质特征、形成条件、工业意义等有关资料和典型矿床实例，以作为《矿床学》教材的补充，并为在我国运用类比法进一步找矿提供一些依据和参考资料。

为了使学生了解一些有关经济、工艺技术及评价要求方面的知识，本书在各章中均介绍了有关金属的性质、用途、资源概况及评价要求等方面的资料。

本书名不再采用“工业类型”。因为“工业类型”的概念不够严谨，也缺乏明确的划分标志。矿床的基本特征是由其成因、成矿物质来源、成矿作用方式及成矿地质条件等因素决定的。所以，本书各矿种的矿床类型基本上是按成因和成矿地质条件划分的。其次，也考虑到矿床的开采条件、矿石的矿物组合、矿床的规模、矿石质量及工艺特征等因素。

本书编写组由10人组成。绪论及铜矿床由钟汉，铁、锰矿床由杨天奇，铬、镍、钴、铂及钨钛矿床由朱连兴，钨、锡、钼矿床由迟实福，铅、锌、银及铋矿床由林金泉，铝矿床由杨化洲，汞矿床由朱国林，铋矿床由朱永正，金矿床由姚凤良，稀有金属矿床由孟良义编写。最后由钟汉和姚凤良统编定稿。

由于金属矿床矿种较多，类型繁杂，资料浩瀚，难免挂一漏万，加之篇幅有限，编写时间短促，总结概括尚嫌不足，故书中缺点、错误在所难免。诚恳地希望同志们及广大读者提出批评指正。

在编写过程中得到地质矿产部教材编辑室和长春地质学院各级领导的支持以及兄弟院校同志们的关怀和帮助。1984年矿床学编委会第四次（合肥）会议上编委们对本书的重点章节进行了初步评审并提出了修改意见。全稿完成后成都地质学院郑明华副教授和武汉地质学院杨延栋副教授对全书进行了详细的审阅并提出了很多宝贵意见。长春地质学院欧阳进贤同志担任了本书全部图件的绘制工作，在此一并表示深切谢意。

编者

一九八五年十二月

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 金属矿产在人类社会发展中的作用	1
第二节 金属的通性	3
第三节 金属的工业分类	4
第四节 金属矿床类型划分的原则及其意义	5
第五节 金属矿床的经济评价	6
第二章 铁	8
第一节 铁的性质、用途及矿产资源概况	8
一、铁的性质	8
二、铁的用途	8
三、铁矿资源概况	9
第二节 铁的地球化学特征及其在地质作用中的行为	10
一、铁的地球化学特征	10
二、内生成矿作用中铁矿形成的物理化学条件	11
三、外生成矿作用中铁矿形成的物理化学条件	12
四、变质成矿作用中铁矿形成的物理化学条件	14
第三节 铁的工业矿物、矿石类型及工业上对铁矿石的要求	15
一、铁的工业矿物	15
二、铁矿石类型	15
三、铁矿石的工艺特征	15
四、工业上对铁矿石的要求	15
第四节 铁矿床类型及典型矿床实例	16
一、岩浆型铁矿床	16
二、接触交代型（矽卡岩型）铁矿床	18
三、火山成因铁矿床	21
四、沉积型铁矿床	28
五、变质型铁矿床	30
六、古风化壳型富铁矿床	35
第五节 铁矿床在时间和空间上的分布	36
第三章 锰	40
第一节 锰的性质、用途及矿产资源概况	40
一、锰的性质和用途	40
二、锰矿资源概况	40
第二节 锰的地球化学特征及其在地质作用中的行为	41
第三节 锰的工业矿物、矿石类型及工业上对锰矿石的要求	42

第四节 锰矿床类型及典型矿床实例	44
一、海相沉积锰矿床	44
二、火山—沉积锰矿床	49
三、热液型锰矿床	50
四、受变质锰矿床	51
五、风化型锰矿床	51
第五节 锰矿床在时间和空间上的分布	52
第四章 铬	54
第一节 铬的性质、用途及矿产资源概况	54
第二节 铬的地球化学特征及其在地质作用中的行为	54
第三节 铬的工业矿物、矿石类型及工业上对铬矿石的要求	55
第四节 铬矿床类型及典型矿床实例	55
一、层状基性、超基性杂岩中的岩浆分凝型层状铬铁矿矿床	55
二、似层状基性、超基性岩体中的贯入型脉状、凸镜状铬铁矿矿床	58
三、非层状超基性岩中的分凝—贯入型铬铁矿矿床	60
第五节 铬铁矿矿床在时间和空间上的分布	64
一、铬铁矿矿床的成矿时代	64
二、铬铁矿矿床的成矿区域	65
第五章 钒钛	67
第一节 钒钛的性质、用途及矿产资源概况	67
第二节 钒钛的地球化学特征及其在地质作用中的行为	68
第三节 钒钛的工业矿物、矿石类型及工业上对钒钛矿石的要求	68
第四节 钒钛矿床的类型及典型矿床实例	69
一、岩浆型钒钛磁铁矿矿床	69
二、沉积型钒矿床	73
三、淋积型钒矿床	74
四、现代滨海金红石砂矿床	75
五、变质钛矿床	75
第六章 镍钴	77
第一节 镍钴的性质、用途及矿产资源概况	77
第二节 镍钴的地球化学特征及其在地质作用中的行为	77
第三节 镍钴的工业矿物、矿石类型及工业上对镍钴矿石的要求	78
第四节 镍钴矿床的类型及典型矿床实例	80
一、岩浆熔离型铜镍硫化物矿床	80
二、火山岩浆型铜镍硫化物矿床	84
三、接触交代型（矽卡岩型）钴矿床	85
四、热液脉状钴镍矿床	86
五、风化壳型镍钴矿床	90
六、沉积型镍矿床	92
七、沉积型含钴层状铜矿床	93
第七章 钨	95

第一节 钨的性质、用途及矿产资源概况	95
一、钨的性质和用途	95
二、钨矿资源概况及生产现状	95
第二节 钨的地球化学特征及其在地质作用中的行为	95
第三节 钨的工业矿物、矿石类型及工业上对钨矿石的要求	96
第四节 钨矿床类型及典型矿床实例	96
一、矽卡岩型白钨矿矿床	96
二、石英脉型黑钨矿矿床	99
三、斑岩型钨(钼)矿床	101
四、爆破角砾岩型钨矿床	103
五、沉积型和沉积变质型钨矿床	104
第八章 钼	107
第一节 钼的性质、用途及矿产资源概况	107
一、钼的性质和用途	107
二、钼矿资源概况及生产现状	107
第二节 钼的地球化学特征及其在地质作用中的行为	107
第三节 钼的工业矿物、矿石类型及工业上对钼矿石的要求	108
第四节 钼矿床类型及典型矿床实例	108
一、矽卡岩型钼矿床	108
二、斑岩型钼矿床	110
三、石英脉型钼矿床	113
四、沉积型钼矿床	114
第九章 锡	116
第一节 锡的性质、用途及矿产资源概况	116
一、锡的性质和用途	116
二、锡矿资源概况及生产现状	116
第二节 锡的地球化学特征及其在地质作用中的行为	116
第三节 锡的工业矿物、矿石类型及工业上对锡矿石的要求	117
一、锡的工业矿物和矿石类型	117
二、工业上对锡矿石的要求	118
第四节 锡矿床类型及典型矿床实例	118
一、伟晶岩型锡矿床	118
二、矽卡岩型锡矿床	118
三、石英脉型锡矿床	120
四、斑岩型锡矿床	123
五、砂锡矿床	126
第五节 锡矿床在时间和空间上的分布	126
第十章 铋	128
第一节 铋的性质、用途及矿产资源概况	128
第二节 铋的地球化学特征、工业矿物、矿石类型及 工业上对铋矿石的要求	129

第三节 铋矿床类型及典型矿床实例	130
一、含铋矽卡岩型矿床	130
二、含铋热液脉状矿床	131
第十一章 铜	133
第一节 铜的性质、用途及矿产资源概况	133
一、铜的性质和用途	133
二、铜矿资源概况及生产现状	134
第二节 铜的地球化学特征及其在地质作用中的行为	135
第三节 铜的工业矿物、矿石类型及工业上对铜矿石的要求	136
一、铜的工业矿物和矿石类型	136
二、工业上对铜矿石的要求	138
第四节 铜矿床类型及典型矿床实例	138
一、岩浆型铜-镍硫化物矿床	139
二、接触交代型(矽卡岩型)铜矿床	140
三、斑岩型(细脉浸染型)铜矿床	144
四、热液脉型铜矿床	155
五、火山-沉积块状硫化物型铜矿床	157
六、沉积型层状铜矿床	168
七、孔隙充填型自然铜矿床	179
第五节 铜矿床在时间和空间上的分布	180
一、铜矿床的形成时代	180
二、世界铜矿床的分布	180
第十二章 铅锌银	184
第一节 铅锌银的性质、用途及矿产资源概况	184
一、铅锌银的性质和用途	184
二、铅锌银矿资源概况	184
第二节 铅锌银的地球化学特征及其在地质作用中的行为	183
第三节 铅锌银的工业矿物、矿石类型及工业上对铅锌银矿石的要求	187
一、铅锌银的工业矿物	187
二、矿石类型和其工艺特征	187
三、工业上对铅锌银矿石的要求	188
第四节 铅锌银矿床类型及典型矿床实例	189
一、矽卡岩型铅锌(银)矿床	189
二、热液脉状铅锌(银)矿床	191
三、碳酸盐类岩层中的热液交代铅锌(银)矿床	193
四、斑岩型铅锌(银)矿床	195
五、块状硫化物型铅锌(银)矿床	197
六、碳酸盐类岩层中的层状铅锌(银)矿床	200
七、砂页岩中的铅锌(银)矿床	204
八、古岩溶充填型铅锌(银)矿床	206
九、火山岩系中的金-银矿床	207

第五节	铅锌银矿床在时间和空间上的分布	209
第十三章	汞	212
第一节	汞的性质、用途及矿产资源概况	212
第二节	汞的地球化学特征及其在地质作用中的行为	212
第三节	汞的工业矿物、矿石类型及工业上对汞矿石的要求	213
第四节	汞矿床类型及典型矿床实例	214
一、	层控型汞矿床	214
二、	脉状汞矿床	217
第十四章	锑	218
第一节	锑的性质、用途及矿产资源概况	218
第二节	锑的地球化学特征及其在地质作用中的行为	219
第三节	锑的工业矿物、矿石类型、工业上对锑矿石的要求	219
第四节	锑矿床类型及典型矿床实例	220
一、	层状、似层状锑矿床	220
二、	热液脉状锑矿床	223
三、	红土层中的残积锑矿床	225
第五节	锑矿床在时间和空间上的分布	225
第十五章	铝	227
第一节	铝的性质、用途及矿产资源概况	227
一、	铝的性质和用途	227
二、	铝土矿资源概况及生产现状	227
第二节	铝的地球化学特征及其在地质作用中的行为	230
第三节	铝的工业矿物、矿石类型及工业上对铝矿石的要求	231
一、	铝的工业矿物	231
二、	铝矿石类型	231
三、	铝土矿的工艺特征及工业上对铝矿石的要求	232
第四节	铝矿床的类型及典型矿床实例	232
一、	红土型铝土矿矿床	233
二、	海相沉积型铝土矿矿床	234
三、	陆相沉积型铝土矿矿床	236
四、	红土和沉积混合型铝土矿矿床	238
五、	堆积型铝土矿矿床	239
第五节	铝土矿矿床在时间和空间上的分布	240
第十六章	金	244
第一节	金的性质、用途及矿产资源概况	244
一、	金的性质和用途	244
二、	金矿资源概况	244
第二节	金的地球化学特征及其在地质作用中的行为	247
一、	金在各类地质体中的丰度	247
二、	金在地质作用中的地球化学性状	249
第三节	金的工业矿物、矿石类型及工业上对金矿石的要求	251

一、金的工业矿物	251
二、金矿石类型及加工工艺	252
三、工业上对金矿石的要求	252
第四节 金矿床类型及典型矿床实例	253
一、岩浆热液型金矿床	253
二、斑岩型金矿床	258
三、火山热液型金矿床	260
四、渗滤热液型金矿床	262
五、变质热液型金矿床	264
六、沉积—变质型金矿床	267
七、古沉积砾岩型金矿床	270
八、现代沉积砂金矿床	272
九、伴生金矿床	275
第五节 金矿床在时间上和空间上的分布	276
一、太古代成矿期	276
二、元古代成矿期	276
三、古生代成矿期	277
四、中、新生代成矿期	277
第十七章 铂及铂族金属	279
第一节 铂族金属的性质、用途及矿产资源概况	279
第二节 铂族金属的地球化学特征及其在地质作用中的行为	279
第三节 铂族金属的工业矿物及工业上对铂族金属矿石的要求	281
一、铂族金属的主要工业矿物	281
二、工业上对铂族金属矿石的要求	282
第四节 铂族金属矿床类型及典型矿床实例	282
一、岩浆型铂矿床	282
二、热液型伴生铂矿床	289
三、砂铂矿床	290
四、含铂层状铜—多金属矿床	290
第十八章 稀有及稀土金属	291
第一节 稀有及稀土金属的性质、用途及矿产资源概况	291
一、稀有及稀土金属的性质和用途	291
二、稀有及稀土金属矿产资源概况及生产现状	291
第二节 稀有及稀土金属的地球化学特征及其在地质作用中的行为	294
一、锂	294
二、铷、铯	294
三、铍	295
四、稀土金属	295
五、锆铪	295
六、铌钽	296
第三节 稀有及稀土金属的工业矿物、矿石类型及	296
工业上对稀有及稀土金属矿石的要求	296

第四节 稀有及稀土金属矿床类型及典型矿床实例	296
一、花岗岩型稀有及稀土金属矿床	298
二、碱性岩型稀有及稀土金属矿床	300
三、碱性花岗岩型稀有及稀土金属矿床	302
四、碳酸岩型稀有及稀土金属矿床	303
五、花岗伟晶岩型稀有金属矿床	304
六、云英岩型稀有金属矿床	306
七、火山岩型稀有金属矿床	307
八、风化壳型稀有及稀土金属矿床	309
九、冲积砂矿型稀有及稀土金属矿床	310
十、海滨砂矿型稀有及稀土金属矿床	310
第五节 稀有金属矿床在时间和空间上的分布	310

第一章 绪 论

第一节 金属矿产在人类社会发展中的作用

人类社会的发展和科学技术的进步，都与矿产资源的开发和利用有密切的联系。远在人类对天然矿物具有一些简单的知识以前，原始人就已经利用燧石和一些其它坚硬的岩石碎块作为防御野兽的武器和简单的工具。

大约在四十万年前的旧石器时代，人类开始利用各种矿物，如石髓、石英、蛇纹石、黄铁矿、碧玉、滑石、琥珀、硬玉、方解石、萤石等。以后又用赭石制作颜料。

进入新石器时代，人类使用的矿物又增加了软玉、夕线石和绿松石。同时知道了使用金和铜。

约在公元前20000—30000年，人们已会用粘土烧制陶器。到公元前一万八千多年，人们开始利用自然铜打制各种工具，导致了人类历史上铜器时代的出现。后来，又在冶炼铜时加入了锡，炼出了更加坚硬的合金，称为“青铜。”于是青铜制品被广泛地应用于人们的生产和生活之中。青铜的出现大大改善了人类的生产工具和战斗武器，也提高了人类的文化和技艺水平。人类社会便进入了“青铜器时代”。

大约在公元前四千多年，在埃及出现了铁制的装饰品，公元前2900年建造的埃及大金字塔中也发现了铁的碎片。到公元前1200年，人类已广泛地用铁制造生产工具、生活用品及武器。于是，人类进入了“铁器时代”。虽然到了二十世纪的今天，原子能和电子产品相继得到广泛的应用，人类的历史已跨入了原子能和电子时代，但钢铁和煤炭仍然是工业的两大支柱。

随着社会的发展和科学技术的进步，人们使用矿产资源的范围和数量猛烈的增加。据统计，人类在古代应用的元素及其化合物只有18种，到十八世纪前也只有25种。而在十八世纪的100年内，人类使用的元素增至29种。在十九世纪内又增加到61种。到二十世纪，人们已利用了84种元素，而且还利用了数百种同位素。现在世界各国勘探和开采利用的矿产资源已达一百五十多种。

现代工业的发展，无不是以矿产资源为基础的。所以，矿产资源是国民经济的重要命脉。一般来说，矿产资源丰富的国家，工业发展都较快，经济力量也比较雄厚。但是，各种元素在地壳中的分布是不均匀的，矿产是不可再生的。这就使得矿产在各国的蕴藏具有不平衡性。有些国家，虽然拥有某些矿产资源，但矿种不全，有些矿产由于大量消耗，使其储量急剧减少，为了保持其工业的发展和战争的需要，不得不进口大量矿石和矿产品。例如，美国在第二次世界大战期间，从53个国家进口65种重要的矿产资源，美国工业上最重要的32种矿物原料自己能满足的只有9种，有18种短缺，有5种完全没有，美国需要的铁矿石有40%靠进口。

人类对矿产资源的消耗量与日俱增。进入二十世纪以来，这种增加速度相当迅速。其

中以铁、铜最为显著。如果说一个半世纪以前铁、铜消耗量的增加速度与人口的增加速度为1:1的话，那么到十九世纪初的工业革命以后，这种比例就完全被打破了。工业革命以后的头100年（1812—1912年），人口增加了三倍，而铜的消耗量却增加了80倍，铁的消耗量增加了100倍。

当前，钢铁工业仍然是发展其它工业和建设国防的基础。钢铁的产量是衡量一个国家经济发展水平和强盛的重要标志之一。世界上几个工业发达的国家，如美国、苏联、日本，现在钢的年产量均在一亿吨以上。

钢铁工业的发展不是孤立的，必须有其它矿产资源相应的发展。据统计，炼100t钢需要锰770kg，铬220kg，硅220kg，镍83kg，钼22kg，钨9kg，钒3.2kg，钛1.8kg，以及少量的其它元素。

据计算，制造一辆坦克要用近30种金属，一架军用飞机也需要十几种金属。进行一场空战要有46种以上的金属和非金属元素参加。

美国是当今世界上工业最发达的国家之一，也是消耗矿产资源最多的国家。据1978年统计，美国全年消耗的矿产（除燃料矿产）约为 20×10^8t ，平均每人消耗矿产约10t。其中钢为5476kg，铝为25kg，铜为10kg多，铅为6.4kg，锌为5.5kg，锰为6.4kg，其它金属约9kg。此外，还有大量的各种非金属和建筑材料。

就全世界而言，经济发达程度不同的国家中，人口与矿产的生产和消耗比例是很不平衡的。据1978年统计资料列表如下（表1-1）。

表 1-1 不同类型国家人口与矿产的生产和消耗概况

国家类型	占世界人口的百分数	占世界矿产生产的百分数	占世界矿产消耗的百分数
共同市场国家	18	35	57
经济发达国家	32	34	33
发展中国家	50	31	10

（引自W. Uytenbogaardt，在北京的《经济矿床讲座》1982）

由此可见，一个国家的经济发展程度和人民的生活水平与矿产资源的开发和利用的规模关系极为密切。

我国地大物博，矿产资源十分丰富。现在各国已利用的150多种矿产我国均有分布，而且许多矿产的储量居世界首位。尤其是铁矿和能源矿产（煤、石油、天然气和铀）的蕴藏量相当丰富。充足的矿产资源为我国实现四个现代化、建设社会主义的经济发达的国家提供了雄厚的物质基础。

近些年来，世界各国消耗的矿产资源大幅度的增加。据近60年的统计，许多金属矿产的消耗量增加了几倍、几十倍，甚至上千倍。能源的消耗据统计每35年增加7倍（据香港《明报》）。因此，西方有些人对世界矿产资源的供应前景持悲观态度，他们认为，随着工业的进一步发展，矿产资源终将枯竭，主张限制经济增长。这就是西方流行一时的“零增长率理论”。

应当指出，这种悲观论调是没有多少根据的，矿产资源虽然短期内不能再生，但我们知道，从某种意义上讲，矿石就是含一定数量有用组分的岩石。随着工艺技术的提高，对

各种矿石的品位要求将不断降低，某些矿产的储量就会相应的扩大，例如，美国1906年开采的世界上第一个斑岩型铜矿床铜的品位为2%，现在这类铜矿床的开采品位已降至0.4—0.35%。过去被认为的岩石，今天已成为矿石。有人计算，如果把铜的开采品位降至0.2%，则铜的蕴藏量可增加25倍。

近年来，在某些国家中，资本家为了追求最大限度利润，又出现了“采富弃贫”的现象，这是一种浪费资源的做法。我们应当节约现有的矿产资源，使其得到充分利用。必须加强矿产资源的管理和保护，进行合理开采，发展综合利用，提高矿石的回收率，以延长现有矿山的寿命。许多矿床的矿石中都含有多种有益组分，或有不同矿石伴生。在勘探时应该全面进行评价，生产时必须尽可能回收各种有益组分及伴生的其它矿石。那种单纯为了经济效益而采富弃贫和“单打一”的开采方式是对资源的极大浪费，应该坚决制止。

许多国家都非常重视矿产资源的综合利用。美国自七十年代以来，已通过了一系列的法令，例如，1970年的“国家资源回收法”，1976年的“资源保护和回收法”、“国家采矿控制和回收法”等，用以加强对矿产资源的保护和综合利用。近些年苏联也颁布了一系列法令，特别强调了必须加强对现有资源的综合利用，以提高矿山的经济效益。我国在1986年制定“矿产资源法”，以保障我国矿产资源得到更加合理的开发和利用。

还应指出的是：现有的矿产资源基本上都埋藏于地壳的较浅部位。随着技术的进步，找矿工作将逐渐往地壳深部发展，某些金属的储量还会不断增加。此外，海洋中还蕴藏着大量矿产资源。据计算，仅石油的蕴藏量就相当于世界石油总储量的三分之一以上。浅海底部还蕴藏着大量的各种矿产。大洋底上分布着大面积的锰结核，其中除锰外还含有丰富的铁、铜、镍、钴等金属，是一种未来的多金属宝贵资源。据分析，海水中也溶解着大量的各种金属，一旦找到经济可行的提炼方法之后，整个海洋将成为一个采之不尽的“水中矿山”。

第二节 金属的通性

地球上已发现的稳定元素有92种，其中五十多种属于金属元素。金属具有独特的光泽，这是人们从外表上区分金属和非金属的重要标志。金属元素易于失掉电子而成为阳离子。金属具有良好的传热性和导电性，而且大部分金属容易发生机械变形，具有可塑性，这些特殊的物理性质是由它们的原子结构特征决定的。

我们知道，金属晶体是由带正电荷的离子和在离子间流动的自由电子组成的，这些自由电子不围绕固定的原子核旋转，而是在众多的原子核间转来转去。它们不受任何带正电荷的离子约束。因而，在很小的电位差影响下便朝一定的方向流动而形成电流，这样就表现出良好的导电性。

金属的导热性也是由其晶体结构决定的。运动中的电子不断与离子相碰撞，并与离子发生能量交换，离子本身在其晶格结点上也不断地作轻微振动。在金属的某一部分由于受热而加强了离子的振动时，其能量便通过自由电子传递给邻近的离子，这些离子又波及到更多的离子，从而使金属受热的状态很快就均一了，于是整块金属具有同样的温度。

除碱金属外，金属的晶格均成配位数为12的最紧密排列。碱金属晶格配位数为8。这种12次配位数的晶格排列最紧密，而且内部均匀，当金属在外力作用下，离子层便产生相对

的滑动，从而形成各种形状，这就是可塑性。在机械加工时，由于离子层多次移动，离子排列次序被破坏了，其可塑性便减退，硬度和脆性增加。但经过加热，使离子重新排列而成为晶体，其可塑性还可恢复，这就是金属可以热加工和锻造成型的基础。

金属的比重相差十分悬殊，按比重可分为两类：轻金属（比重小于5）和重金属（比重大于5）。最轻的金属是锂，其比重只有0.53，能浮在水面上。最重的金属是锇，其比重为22.48。

在常温下，除去汞为液体外，其它金属全是固体。汞的熔点为 -38.87°C 。其它金属中铯的熔点最低，只有 28°C ，在人的手心里即可熔化。

金属的化学性质也主要是由其原子结构决定的。大多数金属原子容易失掉其外层电子，成为带正电荷的阳离子。所以，典型的金属有很强的还原性，是强还原剂。金属阳离子可以与各种简单阴离子、阴离子团或络阴离子结合，形成各种化合物。在地质作用过程中形成的金属化合物就是金属矿物。

金属不溶于水、酒精等一般溶剂中。在熔化状态时金属可以相互溶解或相互混合。两种或几种金属熔化后相互混合的熔融体固结后便成合金。许多金属均可组成合金，当组成合金的各种金属具有同样紧密排列的晶格时，这种合金亦具有良好的可塑性，当一种金属内部结构的均匀性由于加入了另一种金属而受到破坏时，这种合金常常具有很高的硬度和脆性。有些金属也可以和某些非金属组成合金。例如生铁和钢就是铁和碳的合金。

合金可以大幅度地改善金属的物理性质和化学性质，增强其硬度和耐磨性、防腐性、化学稳定性等。在钢中加入锰、镍、铬、钼、钒、钨或某些稀有元素、稀土元素时，可以炼出具有各种特殊性质的合金钢，被广泛地应用于各种工业部门。

人类历史上利用合金的时代十分悠久。青铜器时代就是以人类广泛利用铜-锡合金（青铜）为标志的。以后又炼出了铜-锌合金，称为“黄铜”。被广泛地用于日常生活中。著称于世的“中国银”就是铜-镍-锌的合金，我国称其为“白铜”，它具有很高的硬度。据记载，早在战国时期我们的祖先就已炼出了这种高强度的合金。

第三节 金属的工业分类

目前人类能够利用的金属有五十余种。这些金属以不同的形式被广泛地应用于生产和生活的各个领域。

根据各种金属本身的特性及其主要应用范围，可以把金属分成以下几类：

1) 钢铁冶金金属，或称黑色金属 这类金属包括铁和炼制各种特种钢时附加的金属，如锰、铬、钛、钒、镍、钴等。

2) 非钢铁冶金金属，或称有色金属 这类金属可单独冶炼成金属材料，也可炼制合金。主要是铜、铅、锌、锡、钨、钼、铝、铋、汞等。其中钨、钼也可加入钢中炼制特种钢。

3) 贵金属 这类金属是地壳中稀少而性质独特的金属。耐氧化具鲜明的颜色和耀眼的光泽，很久以前就被用来制造装饰品及货币。但在工业中应用范围不广。这类金属主要是金、银，也包括铂和铂族金属。

4) 稀有金属 一般来说，这些金属在地壳中比较稀少，富集程度较差。对于这些金属特性的认识较晚，因而被利用的时间不长。由于这类金属均有一些独特的性质，成为现

代一些新兴的工业部门和尖端技术中不可缺少的材料。这些金属包括锂、铍、铌、钽、铷、铯、锶、钡等。

5) 稀土金属 这是一族金属的总称, 其中包括镧系15个元素及与它们的化学性质相近的钪和钇, 这些元素在地壳中含量较低, 除个别元素外, 一般不形成独立矿物, 而分散于其它矿物中, 特别是含在稀有金属矿物中。但在我国的一些矿床中, 稀土元素十分富集, 形成世界上极为罕见的富矿石, 而且品种齐全, 其储量居世界首位。

稀土金属在钢铁工业、电气工业、玻璃工业、陶瓷工业以及人造卫星、雷达等尖端技术中均得到广泛的应用。

6) 放射性金属 这类金属具有天然放射性, 会自动蜕变, 并放出一定射线, 主要是铀、钍、钍。其中铀是最重要的核能材料。

7) 分散金属 这类金属在地壳中含量很低, 一般不形成独立矿物, 它们主要呈类质同像形式或呈混合物存在于其它矿物之中。这些金属也各具一些特殊的性质, 应用于特殊的工业部门。这类金属主要有镉、镓、锗、铟、铊、铪等。

第四节 金属矿床类型划分的 原则及其意义

大多数金属均可在不同地质作用过程中发生富集, 因而形成各种不同成因的矿床。而同一成矿作用在不同的地质构造条件下或不同成分的围岩中矿化富集程度和矿石矿物组合可能有很大差别, 所形成的矿床特征和规模也不尽一致。而且许多矿床的形成常常经历长期的演化过程和多种成矿作用的叠加, 所以, 简单地按成因对各种金属矿床进行分类很难确切反映其工业特征和经济价值。这就迫使人们对矿床进行工业分类, 以便为正确地进行工业评价及合理开发提供理论依据。

苏联地质学家在五十年代初期编写了一套《普查与勘探时矿床的评价》(Оценка Месторождений при поисках и разведках)丛书。在这套丛书中对各种金属矿床和非金属矿床进行了工业分类, 称为“工业类型”。但划分矿床工业类型的原则很不统一。有些金属矿床工业类型划分得十分繁杂, 在实际工作中有些类型又难以明确地分开。所以马加克扬(И.Г.Магакьян)于1955年编写的《金属矿床》(Рудные Месторождения)一书中, 则主要按矿床的成因及含矿建造对各种金属矿床进行分类, 而不再用“工业类型”一词。

我国在五十年代也引用了矿床工业类型的概念。长春地质学院矿床教研室曾于1962年和1964年两次编写了《金属矿床工业类型》和《非金属矿床工业类型》教材。

多年的教学、科研和生产实践表明, 矿床“工业类型”的概念不够严谨。而且有些矿床也很难从工业开采和利用的角度进行分类。所以, 在本书中我们不单纯机械地按工业特征对金属矿床进行分类, 也不再用“工业类型”这一名称。

我们认为, 矿床的一切特征是由其形成地质条件及成因决定的。所以, 矿床形成的地质条件及成因是划分矿床类型的最重要依据。所谓矿床成因不是单指成矿作用, 而是包括两方面的问题: 即成矿物质(包括介质和矿质)的来源和相态及成矿作用的方式。对于经历多次成矿作用的复合矿床的成因则以主要成矿作用为依据。

在划分类型时，除矿床的形成地质条件和成因之外，还应考虑矿床的规模、品位、伴生组分等经济因素，以及采、选等技术和工艺条件。

本书中划分矿床类型的依据主要有以下几个方面：

- 1) 矿床形成的地质条件 包括大地构造位置、古地理环境、控矿构造、有关的岩浆性质、成分、岩相和形成环境、矿体围岩的性质及矿床形成的深度等。
- 2) 矿床的成因 包括运矿介质的相态及来源，成矿物质的来源，成矿作用的方式。
- 3) 成矿的物理化学条件 主要是温度、压力及氧化还原条件等。
- 4) 矿石的矿物组合 伴生的有益和有害组分等。
- 5) 矿石的品位及规模。
- 6) 矿床的开采条件及矿石的加工技术条件等。

以上各点在划分矿床类型时必须综合考虑，但也不能等同对待，成矿地质条件和成因为主导的，是划分大类的主要依据，其它因素在划分亚类时应当充分考虑。

对矿床进行分类的目的主要有两个：一是为了进一步研究各类矿床的形成地质条件和分布规律，以便指导进一步找矿工作；二是为找矿勘探工作及对矿床工业评价提供实践经验和理论依据。

每一个矿床类型都是在研究了众多相同或相似矿床的基础上确定的，对同类矿床的开发和深入研究，就能更好地认识这类矿床的形成条件。对大量同类矿床进行研究，可以较清楚地查明该类矿床的分布规律，为有目的地进行找矿提出明确的找矿前提和方向。对各类矿床形成条件和分布规律的研究，还可以为研究该类矿床的成因提供实际资料，在理论研究上也具有重要的意义。

每个矿床类型都具有一些基本特征，这些特征不仅是判断一个新矿床所属类型的标志，而且也是进行勘探和工业评价的重要依据。

许多矿床类型被认识之后，在指导找矿方面均起了重要作用。掌握了各种类型矿床的基本特征及其形成条件和分布规律，便可以用类比法进行找矿。例如，本世纪初美国发现并认识了斑岩型铜矿之后，不仅在美国，而且在许多国家中都找到了这类铜矿床。现在已清楚地查明世界上几个斑岩型铜矿带，而且在这些矿带中对尚未发现这类矿床的国家和地区进行了预测，指出了其找矿方向，结果也相继找到了斑岩型铜矿。现在许多地质学家都承认这类矿床的形成和分布与板块构造有密切关系，并按板块构造的观点阐明了这类矿床的形成过程和物质来源，进一步推动了斑岩型铜矿床的理论研究和找矿工作。

本世纪七十年代以来，许多国家用类比法在已知的成矿区或成矿带中也找到了一系列新的矿床，取得了找矿工作的明显效果。

此外，在一些有几百年甚至几千年采矿史的世界知名的矿带中，近年来也不断地发现新矿床。例如美国内华达州金矿带、墨西哥银矿带、西班牙—葡萄牙和苏联乌拉尔及阿尔泰块状硫化物型铜矿带等均有新矿床发现。

所以，对矿床类型的研究，不仅具有深刻的理论意义，而且具有重要的实际价值。

第五节 金属矿床的经济评价

矿床的经济评价是一项十分复杂的综合研究工作。它是矿床勘探和开采各个阶段经济

效益的总结。

矿床经济评价包括许多因素，其中有地质因素（矿石的质量和数量、矿石的矿物组成及矿石类型、矿体的形状、产状、规模、埋藏深度以及矿床的成因等）、工艺因素、开采条件因素、自然地理因素及政治因素等。这些因素在《找矿勘探地质学》中已有详细讨论，不再赘述。这里仅就矿床评价中的几个值得重视的问题提出我们的看法，以供参考。

第一，矿床的经济评价主要是衡量总体经济效益，其表现形式是生产成本（包括勘探和开采的全部投资）和纯利润。一个矿山企业应当获得利润。那种不计成本、不讲经济效益的作法是不正确的。但是也必须防止单纯为了追求利润而“采富弃贫”浪费资源的作法。一个矿山企业的经济效益，还应当包括在保证安全的前提下最大限度地提高矿石的回收率，加强综合利用，尽可能回收更多的伴生元素，有效地延长矿山寿命。

第二、综合利用是取得最大经济效益的一个重要因素。当然，矿石的综合利用还取决于许多条件，其中最重要的是矿石的加工技术和工艺水平。但是，在矿床勘探过程中，必须查明伴生的有益组分。这就要求地质勘探人员应当具有雄厚的矿床学理论知识和丰富的生产经验。有的国家制定法令明确规定必须对伴生元素进行评价，以保证矿产资源的充分利用，这方面的工作必应引起我们足够的重视。

第三、作为社会主义企业，除经济因素外，还应考虑政治因素和政策因素。社会主义企业必须为社会主义建设服务。在现阶段，我国的找矿勘探工作必须为实现四个现代化提供充足的矿产资源。因此，对个别经济上无利但却能为社会主义建设提供急需或短缺的矿产资源的矿床也应当进行勘探和开采。这就要求国家投资和给予补助，这种为了满足社会主义建设中所需要的少数矿产资源而出现的政策性亏损是不可避免的，也是必要的，在对矿床进行评价时应有全局观点和政策观念，这就要求我们地质勘探人员必须了解国家经济发展的总趋势，学习并执行党和国家有关法令和政策，坚持为社会主义建设服务的方向。

主要参考文献

- 〔1〕 地质部情报所矿产室：《国外矿产资源概况》，地质部情报研究所，1980。
- 〔2〕 国外金属矿山编写组：《国外金属矿山》，冶金工业出版社，1973。
- 〔3〕 李则新等：《苏联矿床经济评价问题讨论》，地质出版社，1983。
- 〔4〕 M.L.Jenson and Alan M.Bateman: *Economic Mineral Deposits*, Third Edition, 1979.
- 〔5〕 Bureau of Mines of United States: *Mineral Resource Adequacy and in the Long-Term Supply of Minerals*, *Economic Geology* Vol.76, No.5, 1981.