

矿床及其构造背景

〔英〕查·赫奇逊 著

地质出版社

矿床及其构造背景

〔英〕 查·赫奇逊 著

张炳熹 李文达 译

地 质 学 版 社

内 容 简 介

这是一本按矿床构造背景而对世界一些重要矿床分别进行论述的综合性矿床学参考书。它以板块构造理论为基础,但在分章论述中却不机械套用板块构造单元,而是采用了更为现实、更为广大地质人员所接受的构造背景分类。因而本书对于我国找矿工作必将起到更好的指导作用。书中对西方世界的重要矿床资料收集较全,附图也较多,其中有许多在一般矿床学书籍中较不多见。只是对中国及其他社会主义国家的资料收集较少。

本书适于广大地质勘探人员、科研人员以及地质院校师生阅读和参考。

ECONOMIC DEPOSITS AND THEIR TECTONIC SETTING

Charles S. Hutchison

1983

矿床及其构造背景

[英] 查·赫奇逊 著
张炳喜 李文达 译

责任编辑: 刘乃隆

地质出版社出版发行
(北京和平里)

北京顺义振华印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所经销

开本: 787×1092¹/₁₆ 印张: 19.5 字数: 459000
1990年3月北京第一版·1990年3月北京第一次印刷

印数: 1—1000册 国内定价: 8.40元

ISBN 7-116-00563-3/P·477

译者弁言

查尔斯 S. 赫奇逊的这本《矿床及其构造背景》，正如他自己在《序》中所说的，是写给“具备了广阔的地质学知识基础”的读者看的。它不同于一般教科书的写法，而从地质构造背景着眼，具体分析矿床地质，完全摆脱了传统的分类方法，材料较新颖，内容较充实，反映了80年代初国际矿床学的发展情况和问题，并尽可能收集了一般矿床学书中还比较少见的实例，附图较多，也比较简明扼要，确实是值得一读的一本综合性矿床学参考书。

赫奇逊行文流畅，论述客观，书中对某些问题除了阐述作者自己的观点外，对其他人的不同意见也多有介绍。从某些问题的争论中可以看到现代矿床学发展的趋向和症结所在。

但愿本书能起到帮助广大的矿床普查勘探人员和高等地质院校的师生们了解国外情况、更新知识的作用。

译者

序

绝大多数大学教师不断表示他们对现有教科书的不满，而在这方面经济地质学也不例外。目前的选择是颇为局限的——现有的最好的教科书有的是有些过时，有的是综合性不足。本书试图把这种不能令人满意的状况加以改善。

Strong (1976) 和 Tarling (1981) 所编辑的论文集，以及我的朋友 Andrew Mitchell 的出色的著作（例如，Mitchell, A.H.G 及 Garson, 1976）给了我写这本书的动力。我觉得应当用较为现代化的构造名词来解释矿床。本书描述了金属矿床、煤、油和气的整个系列，并且试图讲一些有关它们的构造背景的一些有意义的东西。没有对板块构造学说作分别讨论，因为我以为现在大多数读者对板块构造的一般概念是熟悉的。不熟悉的读者可以从 Bird (1980) 的书中得到介绍。但是，在适当的地方，对板块构造的某些方面将加以详述，只要认为对具体矿床的理解有关的话。

本书不是为初学地质学的学生们写的，而是假定读者已经具备了广阔的地质学知识基础的。本书有足够的综合性来形成大学生一个或两个学期的大学经济地质学课程的基础教材。它主要是为了四年级大学生。书中未讨论矿石矿物学和矿石岩石学，这些在 Ramdohr (1980) 和 Uytendogaart 及 Burke (1971) 的书中共有很好的描述；重点是放在矿床本身的地质及详细情况上。希望本书能对研究生及为调查所和商业公司从事实际工作的地质学家们提供有价值的参考。为了这些读者的便利，我试图包括一个多方面的截至最近期的近1000种参考文献目录^①，以帮助读者找到本书所选用并详述的各种矿床资料。

在我编写时，有一件事变得很清楚——通过两种重要的刊物，即《经济地质》和《美国石油地质学家协会会刊》内容的翻阅，可以跟得上经济地质学领域中的快速发展，这两种刊物是极应推荐给读者的。

最后，下面的一般性教科书也提供了矿床方面有用的阅读材料：Lindgren (1933), Bateman (1950), Routhier (1963), Park 及 MacDiarmid (1970), Stanton (1972), Smirnov (1976), Dixon (1979), Jensen 和 Bateman (1979) 及 Evans (1980)。化石燃料方面可在下列教科书中找到详细的补充阅读材料：Stach 等 (1975)、Tissot 和 Welte (1978)、Tiratsoo (1979)、Crelling 和 Dutcher (1980) 及 Hobson 和 Tiratsoo (1981)。

C. S. 赫奇逊

纽约州伊萨卡，1981

^① 为了节省篇幅，中译本从略。

目 录

第一章 绪论	1
一些基本定义	1
分类法和成因术语	3
水热溶液	5
主要成矿过程	6
岩浆过程	7
水热过程	7
变质过程	8
地表过程	8
第二章 大洋岩石圈和矿化作用	10
洋底的矿化作用	13
锰团块	14
蛇绿岩	14
豆荚状铬铁矿	18
含镍红土	22
层状铁锰矿床	24
兰-迪尔式铁矿床	28
第三章 海底硫化物系列	29
塞浦路斯型	30
塞浦路斯	30
纽芬兰	32
菲律宾	32
土耳其	32
黑矿型矿床	32
西班牙-葡萄牙块状硫化物矿床	35
其他一些黑矿型矿床的例子	38
别子型块状硫化物矿床	38
黑矿与斑岩铜矿之间的关系	41
第四章 克拉通内盆地中的矿化	42
红海	42
正常红海沉积物	42
氧化物相	43
硫化物相	43
硫酸盐相	43
碳酸盐相	43

硅酸盐相	43
密西西比河谷型矿床	45
流体包裹体研究	45
铅同位素	46
硫同位素	47
氧同位素	47
矿石沉积的模式	47
密苏里州东南部的 Viburnum 线 (Trend)	48
英格兰的彭奈恩山脉	51
加拿大西北地区派恩波因特	53
美国东部阿巴拉契亚锌-铅矿床	55
萤石矿床	56
墨西哥	57
美国南伊利诺伊—肯塔基	57
重晶石	59
层状矿床	59
交代矿床	60
脉状和洞穴充填矿床	61
残积矿床	63
克拉通上浅海沉积铁岩矿床	64
中志留世克林顿群铁岩	66
欧洲	68
淡水铁锰矿床	71
陆相盆地中的铀矿化	72
美国西部的砂岩铀矿田	72
第五章 其他陆表海矿床	79
磷块岩	79
磷块岩的分布	80
岩石学及分类	80
磷矿床的类型	81
磷块岩的成因	85
钾碱-盐-硬石膏-硫的蒸发岩	85
中泥盆统草地蒸发岩	86
北海盆地二叠纪蒸发岩	87
水深问题	89
硫	90
含铀海相黑页岩	91
瑞典黑页岩	92
美国	92
汞矿床	92
西班牙阿尔马登汞矿床	93
南斯拉夫 Idria 矿床	95

加利福尼亚新阿尔马登汞矿区	95
第六章 在稳定克拉通地域就位的侵入体	97
萨德伯里盆地	97
Creighton湾槽	99
Strathcona矿	99
Levack湾槽	99
布什维尔德火成杂岩	99
构造背景	100
德兰士瓦学	100
分层序列	103
壳上岩石	105
布什维尔德杂岩的矿床	105
津巴布韦大岩墙	107
碱性火成岩	108
火成起源的磷灰石矿床	109
碳酸岩中的矿化	110
含铀的超碱性侵入岩	113
金伯利岩与金刚石	114
与克拉通开裂有关的锡- (铌-钽-钨) 矿化	118
伟晶岩矿化	120
第七章 伴随岩基的矿化	125
岩基的一般特点	125
岩基类型和造山带组合	126
阿尔卑斯型造山体	126
安第斯型造山体	126
海西型造山体	126
花岗岩类与水热矿床的关系	128
水热形成和蚀变的温度	128
马来半岛	129
东部火山-侵入弧	130
勿里洞 (印尼)	132
主岭带 (马来西亚)	132
泰国普吉	137
中国的钨- (锡) 矿床	138
石英脉矿床 (赣南式)	139
白钨矿砂卡岩 (湘东南式)	139
黑钨矿-白钨矿网脉 (粤东式)	140
脉型的分带	140
英国西南部康沃尔	142
矿床类型	142
经济矿物	144

秘鲁北部Pasto Buena	145
葡萄牙Panasqueira	145
北卡罗来纳Hamme钨矿区	147
层控钨和锡矿床	147
纳马夸兰(纳米比亚)	147
东阿尔卑斯	148
挪威	148
津巴布韦	148
南朝鲜上东矿	148
澳大利亚巴斯海峡金岛	148
Renison-Bell锡矿田	150
克利夫兰矿	150
Mount Bischoff锡矿体	150
铁的接触-水热矿床	151
菲律宾	151
马来半岛Bukit Iban铁矿	151
中国	153
日本	153
加拿大	153
宾夕法尼亚州康沃尔	154
与花岗岩类伴生的铀矿床	154
海西花岗岩矿床	155
华盛顿州Spokane山区	159
纳米比亚Rössing	160
第八章 与火山和浅带侵入作用相伴的后生矿床	162
斑岩铜矿床	162
经济意义	162
分类	162
主岩特征	163
稳定同位素作为来源的指示	163
岛弧矿床和大陆矿床的比较	163
水热蚀变-矿化	165
布干维尔Panguna矿床	167
含铜矽卡岩	169
斑岩钼矿床	171
乌拉德和亨德逊矿	171
不列颠哥伦比亚Endako矿床	172
科罗拉多州克莱马克斯矿	172
讨论	172
低温脉状矿床	174
特征	174
矿物成分	175

结构	175
形成深度	175
年龄关系	175
矿化溶液性质	175
金属来源	175
矿床分布	176
北美西部山脉	176
西太平洋	179
金-锑组合	180
锑	181
火山成因锡矿床	182
第九章 太古式矿化作用	188
太古宙构造	188
大地构造背景	188
侵入岩组合	188
火山岩组合	188
沉积岩组合	189
层序	189
典型构造和变质作用	190
与绿岩带相伴的矿化	190
铁建造	191
同火山期硫化镍矿床	193
绿岩带中的金	194
块状贱金属硫化物	198
绿岩带中的锑	201
太古宙矿化的模式	203
第十章 元古式矿化作用	205
铁建造	205
Biwabik-Gunflint铁建造	205
表生富集的铁建造	208
基鲁纳式铁矿体	208
瑞典的矿石	210
密苏里州Pea Ridge	211
层状锰矿床	213
卡拉哈里锰矿田	213
印度Madhya Pradesh和Maharashtra	214
西非	214
块状硫化物矿床	216
Belt-Purcell拗拉槽中的矿化	216
克达伦矿区	219
澳大利亚大型层状矿体	220
中非的铜带	224

早元古代水热铀矿床	228
澳大利亚北部Alligator Rivers-Rum Jungle.....	229
昆士兰Mary Kathleen矿床.....	232
阿萨巴斯卡盆地铀矿床	233
第十一章 大陆区的地表矿床	239
铝土矿	239
分类	239
地理分布	240
时间分布	240
成分	240
铝土矿的成因	241
牙买加	241
澳大利亚	243
中国的层状矿床	243
Naurzum沉积矿床.....	244
钙结层中的铀矿床	244
砂矿床	246
东南亚的锡砂矿	246
砂金	248
金刚石砂矿	249
元古宇底部铀砂矿	253
钛铁矿、金红石和锆石砂矿	261
第十二章 燃料	264
石油和天然气	264
来源层	264
初次运移	269
二次运移	272
油田实例	273
油圈闭分类	282
油盆地分类	283
世界范围内油的生成和保存	287
煤	287
成因	288
煤盆地的构造背景	290
气候与煤的形成	290
腐泥煤	291
煤岩学	292
煤化作用	293
西德来因-鲁尔石炭纪煤田	294
美国东部宾夕法尼亚纪煤盆地	295
澳大利亚新南威尔士的悉尼盆地	297
铀资源	297
地层控制的矿床	297
构造或裂隙控制的(脉型及类似的)矿床	301
侵入体控制的	301

第一章 绪 论

什么是经济地质学？可以把它规定为研究可能对人类有用的地质体和材料的科学。材料包括燃料、金属和非金属矿物、岩石和水。本书将不讨论水和建筑材料，而只集中在矿石和燃料上。

人们往往把经济地质学作为地质科学内部的一个分科，但严格说来这并不正确，因为它不象其它分科，诸如古生物学、火成岩岩石学、构造地质学等等，它们全都属地质科学的一部分，但其中每一种都可以独立存在。经济地质学则不能作为一门独立的学科，因为它必须以地质科学的广大领域为基础。一个好的经济地质学家也是一个好的地质学家，他是一位具有广泛的地质科学基础经验的人。因此，必须强调没有一本可以作为完全自足的经济地质学的书，因为要了解经济矿床就必须了解地质过程的宽广领域，而这只有在地质科学的大多数分支中都具有广泛的基础经验才能达到。石油，煤，蒸发岩和磷块岩地质学就需要沉积学和构造地质学的坚实基础。矿床地质学是如此地多种多样，以至要包括由火成、变质和沉积过程，以及由环流的岩浆水和地下水水热流体沉积下来或富集的、有时还进一步被风化过程所富集的矿床。这些几乎包括了地质科学的全部领域。研究经济地质学还要有构造地质学的良好基础，因为先前的种种过程全都可能受地质构造的控制或改变。因此，对一个实践经济地质学家来说，合适的基础要包括火成岩岩石学、沉积学、构造地质学，其次还有变质岩岩石学。地球化学也是重要的，因为要研究金属和其它物质的活化和富集作用。它应包括有机和无机地球化学才能囊括由燃料到金属矿的整个范围。因此，经济地质学不是地质科学的一个分支，而是以广阔的地质科学为根基的顶峰。本书只能概括地阐述在形成经济矿床中可能起过作用的多种过程。

有许多技术，它们对了解矿床的具体性质来说虽不是必需的，但矿床的发现和评价则有赖于它们，这包括地球物理方法、勘查地球化学以及最后的钻探。

一些基本定义

“矿床”的英语 deposit 一词是一个颇不令人满意的广泛用于地质学的名词。它的原意是沉积或堆积，指由水中沉下的物质或从悬浮状态沉积下来的碎屑物质或者指由于不同化学条件的影响从溶液中出来的沉淀。这些沉(堆)积物是沉积生成的。这个名词也指由火成作用而富集的成矿物质，或者是作为沉到岩浆房底的重矿物堆积 (cumulates)，或者是在岩浆结晶最后阶段向岩浆房顶部的矿物富集。这个名词也用于由通过岩石孔隙或裂隙的水热溶液中沉淀出来的矿物富集。经济矿床 (economic deposits) 因此包括由任何作用富集到能够开采的规模和程度的任何有经济意义的物质。

矿石 (ore) 的定义是天然产出的、从中可以提取有经济重要性的一种或多种矿物的材料 (material)。在大多数情况下此词用以指金属矿床，根据不同金属加注词头，例如铁矿石或锌矿石之类，矿石由矿石矿物 (ore minerals) 构成，后者是矿石的一部分，通

常是合乎提取要求的金属矿物。矿石通常由矿石矿物和脉石 (gangue) 组成, 脉石即冲淡了经济商品品位的不需要的基质 (matrix), 必需提出并抛弃。脉石在选矿厂中分离出来并以尾矿的形式弃去。常常精矿只含少量有价值的商品, 只有经过熔炼阶段才能回收。

有一种趋势要把矿石的定义加进“可以开采而获利”字样。显然这并不完全适用于国营矿山。国营矿山有时可以由于政治原因或提供就业而运转。

主要的不可再生的燃料为煤、石油、天然气和核原料。它们提供了把矿石熔炼成金属以及进一步加工、发电、运输及文明所依赖的所有其它耗能活动所必需的能量。

胚胎矿或矿胎 (protore) 是含有初步的但还未达到有经济意义的金属富集的矿物材料, 胚胎矿可以经过诸如近地表的与地下水的反应, 在胚胎矿的上面使其加富, 而成为矿石。这种作用称为表生富集作用。某些岩石类型经热带风化作用可以富集到足以使某些金属在残积表土层红土或铝土矿中形成经济矿床。

经济上可开采的矿石矿物的集中部分称为矿床、矿体、或富矿体 (ore shoot)。富矿体是矿床中大而长的、筒状的矿石块体。它可以是矿脉的一部分, 或浸染状矿床的一部分。它代表矿床的最有价值部分。一个富矿体的规模大小随着一定时期的金属商品的成本而变化 (图1.1)。大脉 (lode) 的定义是由脉带构成的矿床。当用在脉状矿床时它和富矿体的意义是相同的。但是富矿体是一个更广泛应用的名词, 它包括脉状、块状和浸染状矿化在内。

大脉和富矿体都是以边界品位 (cut-off grade) 圈定的, 边界品位是矿石矿物的最低富集程度, 开采这个程度以下的矿石即无利可图。显然, 如果对一种商品的需求量增加, 并有一个随之而来的市场价格的增长, 边界品位即可降低而富矿体的轮廓即可扩大 (图1.1)。许多矿业的经营开始时设定一个特定的边界品位, 当商品价格增高和采矿方法变得更有效时就继续开采低品位材料。

矿石储量是经地质研究而圈定的矿石量, 研究工作包括开采前对矿床的钻探。随着采矿的进展, 获得了更多的地质资料, 因而有可能改善对储量的估计。因此一个矿山的储量决定于最新的地质资料。有些储量会是不现实的。例如富矿体可能向下延伸到由于高温而不可能开采的深度。这些是潜在的储量, 目前没有经济意义, 但当将来需要量大到可以在采矿坑道中使用空调而仍有利可图时, 即可开采。储量可以进一步分为探明的 (proved), 大概的 (probable) 和可能的 (possible) 三类。探明储量是经过充分采样以至对其圈定不存在疑问的储量。关于富矿体、边界品位和储量的概念都表示在图1.1, 这是根据一个水热矿床的假想例子绘成的。

水热 (一译热液, hydrothermal) 简单的意思是热水。许多不同的矿床是水热沉积的, 意思是由经过围岩中的孔隙或通道而环流的热热水溶液沉积的。矿床可以浸染在岩石的孔隙中或裂隙内。水热溶液可以证明是和火成岩侵入或喷出有关。水可以是岩浆的, 或来自天水的地下水, 或者是由变质作用中的去水作用释放出来的水。侵入地壳高处的火成岩体, 往往提供了一个局部热源作为水热环流的中心。在许多情况下, 水热溶液完全是地下水, 在火成热源就位之前即已存在。岩浆体的唯一贡献可能就是它的热能。另外的情况下, 晚期水热-岩浆溶液是从岩浆本身演化出来的, 但随着温度降低往往就混进了天水。在水热环流的情况中, 会有离开热源的定向流动, 溶液将在那个方向上冷却 (图1.1)。溶液中各种矿石元素将在其特有温度范围内和 pH、Eh 条件下沉积下来。在水热矿床中, 热梯

度可以由矿物组合或矿物成分沿着热梯度向下的变化而表现出来。在理想的情况下，矿床的品位应显示一种与流向平行的对数正态分布。富矿体与贫瘠底质的实际边界如图 1.1 所示是任意的。因此任何具体矿床的储量必须按引用的边界品位来限定。

图 1.1 也说明，在一个大脉或富矿体内，根据已采矿脉中的某些细节，可以预测矿石品位大概要朝哪一方向降低。因之，对比 A 点和 B 点的矿物学或矿物化学详情将说明矿石品位可能向左方在 A 处降低，而向 B 的右方开采仍将获利，但特点与 A 处不同。矿脉常被断层切断，矿山地质学的一个主要问题是断层究竟代表着矿化的末端，还是在断层另一侧能找到值得开采的连续部分。图上 C 处表明从左方开采到断层而中止的矿脉应该向右方寻找，因为矿物学方面的详情和矿石矿物中的金属比值表明矿化向右方仍有相当大的连续。另一方面，如果断层出现在富矿体或大脉的边界附近(D)，那就没必要去找矿脉的连续部分了。

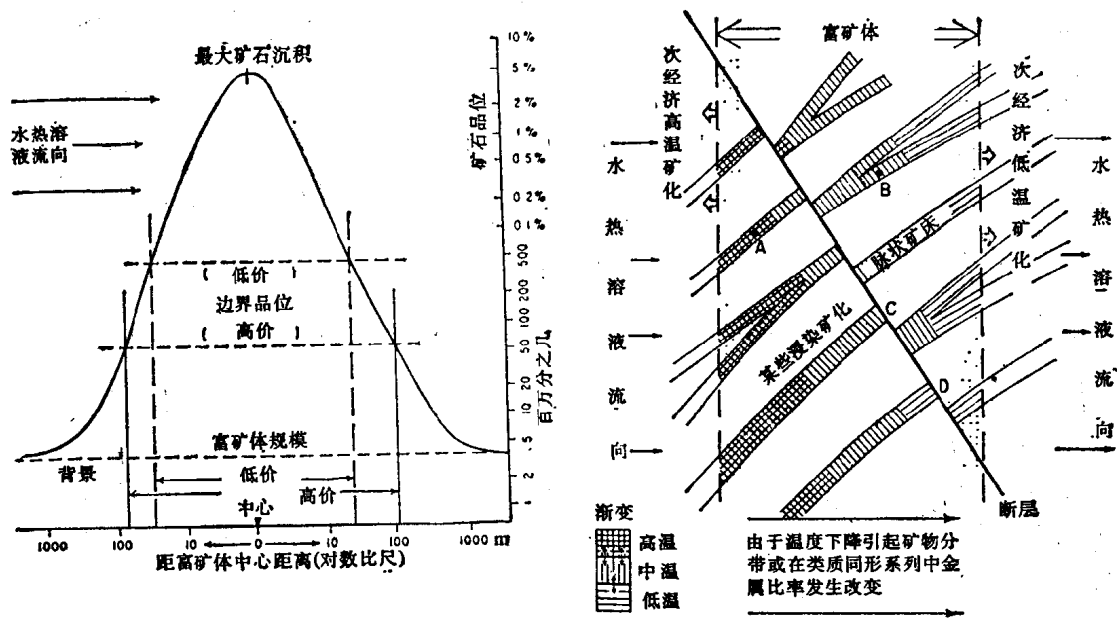


图 1.1 左图：从移动中的水热溶液沉积下来的矿化的对数正态分布示意图解
矿带（富矿结）是从经济上限定的（提取的成本和商品价格）
右图：由矿物和矿物化学表示的沿水热溶液流向的分带性，可以用来决定
开采是否已经接近富矿结中心或已经接近其边缘
D处断错的脉已经不值得再向右追索，但在C处还值得向右追索，因为那里的品位仍高

分类法和成因术语

分类法的目的应当是提供一个思想和讨论的格架和规定一个有用的命名法。分类法如能对各种类型矿床明确地规定其环境特征，当然就无疑会帮助勘查地质人员发现新矿。但是现有的分类体系常常妨碍了对矿床的理解，因为有的学者往往把一些矿床强纳入硬性建立的格子里，就像把阿尔卑斯的模型到处套用于所有的造山带一样。这是一种无益的活动。在目前认识还不完善的情况下，最能引人注意的矿床分类途径或许是与大家熟知的矿

床比较。例如可以说矿床是芒特艾萨式的，或是阿尔马登式的，等等。

错误分类的一个好例子是南非威特沃特斯兰金矿田（第十一章），传统总把它作为后生矿床即矿化作用比含矿岩石形成要晚，是由渗入的水热溶液加进岩石的。想像的是这类水热流体从一个不确定的深处的神秘来源上升，并以水热和后生方式把金和铀矿物沉积下来。这一错误分类无疑是受到林格仑的巨大影响，也就是对矿石后成学说的迷信。林格仑（1933）的分类在逻辑上说服力很强，以致大多数地质学家都不加批判地接受了。错误的分类还由于很少沉积学家成为矿床地质学家。近年来清楚地表明威特沃特斯兰矿田的金和铀是碎屑沉积，因而矿床是古砂矿，是由侵蚀来源区搬运来的矿物颗粒经机械富集作用形成的。搬运的营力通常是河水或湖水。如果沉积学家曾在威特沃特斯兰金矿工作过，矿床的沉积特征就早被认识了，并且无疑也有助于采矿的规划。采矿地质学家一般地具有硬岩石的地质学基础，而对沉积学则所知甚少。我在东南亚的经验也能说明这一问题。东南亚广泛分布的砂矿床就由于未能从沉积学观点得到应有研究而使采矿规划受到过严重妨害。

有些经济矿床，如煤和蒸发岩是可以预测的，因为它们形成的实例现在可以分别在沼泽和内陆海中看得到。可是大多数经济矿床是不能预测的，除非知道它们是如何在现存活动环境中产出，并对它们的成因作出模拟。这类矿床之所以不能预测是因为缺少现实的模型。极少的矿床可以见到正在形成的过程。已知在火山地区的喷气孔常有硫的富集，因而人们就把火山作用与成矿过程联系起来。也预料到在深成环境中的岩浆分异作用，由于高温重矿物的堆积下沉，早期必定有矿石矿物富集。进一步知道，某些元素对硅酸盐类具有低亲和性，因而就集中在晚期残余熔体内，以后熔体演变成水热溶液而必然聚积在深成岩体顶部岩钟里。虽然这些事情不能在形成过程中看到，但可以想像它们是火成岩习性的逻辑发展，因此与岩基有关的矿床基本上是可以预测的。

只是近几年来，随着海洋学研究的发展，才越来越明白，洋底某些部分的沉积物在它们聚积时可以有金属富集。作用的介质是在未压实的沉积物和下伏玄武岩中环流的热卤水。环流是由与扩张轴相伴的局部高热流所驱动的。例子有红海、索尔顿盐湖和洋中脊之上或其近旁的许多地区。因此在沉积作用或成岩作用过程中金属同生富集的可能性现在可以理解了。同生意思是与含矿的岩石同时生成。这种矿床基本上与沉积层理或其它原生构造是呈整合的。但是同生矿床的较深部分可以有后生特征，这是由于水热流体经过下伏较老岩石时在较深部位的环流引起的。同成岩的（syndiagenetic）矿床是指在沉积物压实和成岩期间形成的。层控（strata-bound）一词用于局限于一个单一的地层单元内的矿床。这个名词可以用于层状矿床或矿体方位不定但含在一个单一地层单元内的矿床。层状（stratiform）则用于沉积或火成起源的成层的矿床。布什维尔德杂岩体内铬铁矿成层的堆积矿床，是由正在冷却的岩浆经火成“沉积作用”形成的，也称为层状的。真正同生的同沉积矿床，其矿化受沉积过程控制，它们都是层状的。层控矿床可以是同沉积的，或者是由后来平行于层理或通过整个岩块流动的水热流体把金属沉积在有利的地层控制的多孔隙层位，或化学性质有利于与成矿溶液起反应而引起沉淀的层位；因而它们是后生的。层控和层状矿床的重要性日益增长，这可以由专门讨论这类矿床的书籍日益增多得到证明。我要特别推荐Wolf（1976）主编的七卷本巨著。

水 热 溶 液

水热流体在矿床富集和改变中起着特别重要的作用。水热流体可以有許多起源。当发现一个矿床时，把矿床沉淀下来的水热溶液早已离去。只有这些溶液的残余作为流体包裹体被圈闭在石英、闪锌矿、锡石、方解石和萤石这类矿物中。研究包裹体内的这些流体，可以在显微镜下的加热-冷却台上进行。这一研究可以提供关于流体性质和矿物沉淀时温度的资料。流体的分析证明水热溶液的成分和含盐度变化颇大，但总的趋势是卤水的含盐度随温度降低而降低。也证实了形成矿床的流体在化学上与现在地热体系中的流体相似。因此研究现在的体系可以了解水热矿床的系列，因为有现实模型可资利用。这类流体在地壳中是广泛分布的，而矿床则只有当流体遇到合适的裂隙或合适的能起反应的岩石的地方才能形成。水热作用中的水有四种：地表水或天水，包括雨水、湖和河水，海水和地下水，也就是近代与大气有联系的水；因闭水（connate water），是自从沉积岩沉积时即被圈闭在沉积岩石孔隙中的水，包括圈闭在火成岩节理中的水，以及长期与大气隔绝的渗入深处的天水；变质水是从经历了去水变质作用的地区释放出来的水；岩浆水是在结晶中的火成侵入岩在晚期释放出来的水。

水热溶液中的氢和氧同位素相对含量（ H/D 及 $^{16}O/^{18}O$ 比值）的测定可以提供任一系统中水的来源的信息。可是，由于岩石-水反应，以及不同起源水的混合，并由此而产生了同位素的连续统一体（continuum），这就往往会发现一个矿床不是由单一种类的水产生的。相似的矿床可以由十分不同的水形成。水的实际来源显然不是形成水热矿床的控制因素。更重要得多的是水热溶液环流所处的大地构造背景。例如，岛弧中的火山活动可能驱动着海水的环流圈，这些海水曾经充填着海底火山岩堆积的孔隙。水热环流圈可能流射到海底，形成在沉积物中的海底水热矿床，沉积物可能是凝灰质的，因为位置靠近火山弧。黑矿式矿床就是这样形成的。矿床可以集中在火山中心附近，形成近侧矿床（proximal deposits），或者带到远离中心处，形成远侧矿床（distal deposits）。不少海底水热矿石建造看来成因上紧密地与双峰式火山活动中的长英质相有关，并且这是一种在全部地质时期中都可发生的成矿作用。它既见于太古宙绿岩带，也见于日本中新世的绿色凝灰岩中。当火山出现在大陆边缘或岛弧——这种岛弧成熟到呈现陆相喷发时，就有斑岩式矿床产出。这样，岛弧从海底增长到陆上时，随着黑矿之后可能形成了斑岩铜矿，但是平行山脉式的板块边缘（cordilleran plate margin）是没有黑矿型矿床的，因为这里火山活动永远是陆上的。这样，决定矿化型式的是大地构造背景，而不是水热流体中水的来源。在黑矿型和斑岩型两类矿床中水热流体开始时可能是以岩浆水为主，但流体很快被因闭水和天水稀释，最后岩浆水的作用消失。矿床中的金属来源因而不能认为只是首先供应了岩浆水的侵入岩株。当环流圈加大时，水热流体能够由构成整个围岩的较老火山岩和火山碎屑堆积中淋取金属。

伴随着建设性开裂边缘（constructive rift margin）的高地热梯度，也驱动着通过上部地壳的水热环流。在此情况下的水是海水和因闭水或地层水（formation water），这种水变为高浓度的卤水。像在红海那样的克拉通内的开裂，扩张中的裂谷覆有厚层的沉积物，其中有硫化物的高度富集。设想金属来源是下伏的在扩张轴上及其两侧的玄武岩壳，受到以活动热源为中心的大规模环流圈的淋滤。因此一些矿化是与沉积同生的，但地表下

的矿化是后生的。这时就很难把同生和后生截然分开，红海的例子就是这样。近表面的沉积物主要是同生的，但是严格说来又是后生的，因为矿化是在沉积岩沉积后不久被引入其中的。许多矿石是在沉积物成岩作用中形成的，当时孔隙水被排出而岩石被石化。如果这些岩石原来就含有金属富集，那么矿石矿物集合体的结构在成岩时期就要有所改变，因而比起同生结构来它们更象是后生结构。

从花岗岩岩基顶部演化出来的岩浆水可以渗过已经是固体的岩基外带，沉积下高温矿物如锡石和黑钨矿，并与围岩起反应而引起广泛的水热蚀变。广泛的蚀变也是与斑岩矿床有关的围绕闪长岩和花岗闪长岩岩株的特征。如果侵入体的位置高而就位于浅带，岩浆流体就可被天水冲淡并广泛地在上覆围岩中环流，在合适的断裂系统中沉积下所溶矿质。源于岩基的水热体系可以冲破地面，放散到正在沉积中的沉积物里。以此种方式可以形成层状同生富矿体，向下过渡为后生大脉矿。

从大型沉积盆地的研究得知，油、水和天然气曾受过地层水从盆地中心大规模移动——主要是逆倾向朝盆地边缘较浅的沉积物中移动——的影响。这是熟知的油储充填机制。源岩在盆地的较深部分，油储则在较年轻和较浅的部位。金属的来源可以是沉积的地层，或者是盆地较深部分夹杂的火山岩。大规模运移的地层水可能除石油和天然气之外还含有甚至富含金属。这种联系可以由萤石矿床中含油和天然石油中含铀得到证明。密西西比河谷式矿床一般沿大盆地的边缘分布，其中也含有油和气。这里可以见到石油的运移和圈闭与方铅矿、闪锌矿和萤石之类矿物聚集之间的相似性。带金属的水热溶液是在盆地较深处加热的因闭水或天水（加热的原因是比较高的地热梯度以及深埋）逆着倾向朝盆地边缘运移。金属在有利的围岩如礁灰岩中，沿洞穴、裂隙或沿盆地边缘的不整合沉积下来。火成作用对形成此类矿床没起直接作用。但是侵入盆地沉积物中的火成岩能够提供热源，驱动叠加在盆地范围的大规模环流之上的局部环流。这样就加强并改变了区域分布图式。铀是一种有趣的金属，从岩浆水热溶液在花岗岩岩基的外带形成脉系起，到大规模流体通过盆地边缘的砂岩层位迁移，产生后生低温矿床为止的完整系列，它都有表现。许多含金-石英脉矿床离最近的岩基也非常远。但岩基提供了热，而使金从溶液流过的大量围岩中淋出。

过去，习惯地认为所有的水热溶液都是由一个火成来源向上移动的。可是，就像有的石油矿藏可能曾由超压的生油泥岩向下运移到下伏的合适储层中那样，水热环流也可能沿向下的方向淋取和富集金属。

因此，一个普遍可以接受的矿床分类是不太可能的。本书不拟对这方面多占篇幅，在运用一种比较式的分类法时，产地的大地构造环境看来有着基本的重要性。因此，有些矿床与花岗岩类岩基伴生，另一些则与海洋岩石相伴。许多矿床是在没有实际模式的环境中形成的。因此，我想避免一个硬性的分类系统；每一章的题目只是把矿床类型纳入大地构造背景的概略分组中。

主要成矿过程

对主要成矿理论的简短回顾可能对以后各章成为有用的引论。可是，由于一个具体矿床的形成往往都是多种过程起了作用，所以对某些矿床的解释和它们某些特点的含义会有争论。一个后生矿床可能向上会逐渐过渡到一个主要是同生的矿床，因而解释就决定于研