

矿床学
下册

矿床学

KUANG CHUANG XUE

下 册

胡受奚 周顺之 刘孝善 陈泽铭 等编著



地质出版社

P61-268

社

矿床学

下册

胡受奚 周顺之 等编著
刘孝善 陈泽铭

地质出版社

内 容 简 介

本书是一部着重阐述各类矿床特征、成因、成矿条件和分布规律方面的基础理论著作。主要内容是反映近年来国内及编著者们的最新资料、科研成果和心得,并反映国外主要的最新成果和资料。

全书共有二十章,分上、下二册,上册为第一章—第十一章;下册为第十二章—第二十章。大致可分四个部分:第一部分阐述矿床学的基本概念及有关的基础理论,并提出矿床的成因分类及其分类原则;第二部分详细阐述了各种内生矿作用及其有关矿床的特征、成矿物质的来源、活化转移及沉淀集中、成矿机制及重要的成矿模式等;第三部分论述了各种外生成矿作用;变质成矿作用及其有关矿床的特征、成矿地质条件以及成因理论等;第四部分对层控矿床的分类和定位机制、矿床和矿田的构造特征、控矿因素及区域成矿规律等进行了较详尽的讨论。

本书适于广大地质工作者及矿床科研人员和高等地质院校师生参考。

指导:徐克勤教授 主编:胡受奚教授

编著者:周顺之 刘孝善 陈泽铭 阮惠础 任启江 富士谷 孙明志 芮行健
郑素娟 陈诸麒 王尔康 叶俊 严正富 欧阳钟辉 张金章

矿 床 学

下 册

胡受奚 周顺之 刘孝善 陈泽铭 等编著

地质矿产部书刊编辑室编辑

责任编辑:毕庶礼

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:15³/₄·字数:369,000

1983年3月北京第一版·1983年3月北京第一次印刷

印数:1—4,997册·定价:2.80元

统一书号:15038·新896

目 录

第十二章 外生矿床通论 (刘孝善、胡受奚)	1
一、概述	1
二、外生矿床形成的地质和地理条件	1
三、外生矿床形成的物理-化学条件	7
四、外生矿床的分类	10
(一) 风化矿床	11
(二) 沉积矿床	11
第十三章 风化矿床 (胡受奚、郑素娟、富士谷)	12
一、概述	12
二、分解带和聚集带	12
三、风化矿床的形成条件	13
四、风化壳矿床的主要类型	14
(一) 高岭土和粘土矿床	14
(二) 铝的风化壳矿床	15
(三) 铁的风化壳矿床	18
(四) 锰的风化壳矿床	22
(五) 镍的风化壳矿床	22
(六) 钴的风化壳矿床	24
(七) 稀土元素风化壳矿床	25
五、矿床氧化作用	26
(一) 概述	26
(二) 硫化物矿床在氧化带中变化的情况	27
(三) 氧化物和含氧盐矿床在氧化带中变化的情况	33
(四) 矿床中其它氧化物及卤化物等在氧化带中的变化情况	36
六、硫化矿床的次生富集作用	36
(一) 硫化矿床次生富集作用及其意义	36
(二) 次生硫化矿物形成的原因和条件	36
(三) 风化带中硫化物矿床的变化剖面	40
七、矿帽的种类、特征及意义	41
第十四章 机械沉积矿床——砂矿床 (陈泽铭)	47
一、砂矿床形成的条件和过程	47
二、砂矿床的主要成因类型和各类砂矿的形成特征及富集规律	53
(一) 残积砂矿床和坡积砂矿床	53
(二) 洪积砂矿床	54
(三) 冲积砂矿床	55
(四) 海滨砂矿床	60

(五) 冰碛砂矿床	62
三、砂矿床的重要类型	63
(一) 砂金矿床	63
(二) 砂铂矿床	65
(三) 砂锡及砂钨矿床	66
(四) 金刚石砂矿床	66
(五) 钛铁矿-金红石-锆石-独居石砂矿床	67
(六) 铌铁矿-钽铁矿砂矿床	67
第十五章 化学、生物和生物化学沉积矿床 (刘孝善)	69
一、概述	69
二、成矿作用及矿床形成条件	69
(一) 成矿作用	69
(二) 成矿的条件	70
三、与化学、生物和生物化学沉积有关的矿床	71
(一) 沉积铁矿床	71
(二) 沉积锰矿床	78
(三) 现代海洋沉积锰、铁、铜矿床	82
(四) 沉积铝土矿矿床	85
(五) 沉积层状铜矿床	87
(六) 沉积层状、似层状铅锌矿床	90
(七) 沉积镍铜矿床	92
(八) 沉积钒矿床	94
(九) 沉积铀矿床	94
(十) 沉积磷灰岩矿床	95
(十一) 沉积硫矿床	98
(十二) 沉积锆矿床	100
(十三) 沉积硅藻土矿床	100
第十六章 盐类沉积矿床 (阮惠础)	101
一、盐类矿床的成矿物质组分	101
二、海水蒸发成盐作用和成盐实验	102
三、盐类矿床成盐理论的概述	105
四、成盐时代和空间分布以及典型盐类矿床实例	112
五、第四纪成盐作用和现代盐湖	125
六、地下盐卤和盐丘	130
七、盐类矿床和其它矿产的空间联系	136
第十七章 变质矿床 (刘孝善、严正富)	137
一、概述	137
二、变质相与变质矿床的关系	137
三、变质成矿作用的一般特征	138
四、变质成矿床	140
(一) 蓝晶石、硅线石、红柱石矿床	140

(二) 石墨矿床	140
(三) 滑石、温石棉、菱镁矿矿床	140
(四) 蓝(青)石棉(钠闪石石棉)矿床	142
(五) 硬玉矿床	142
五、被变质矿床	142
(一) 被变质铁矿床	142
(二) 被变质锰矿床	149
(三) 被变质磷矿床	150
(四) 被变质硫化物矿床	151
(五) 被变质金矿床	153
(六) 被变质钒矿床	154
(七) 被变质硼矿床	154
第十八章 层控矿床的定位机制及分类(胡受奚、刘孝善、阮惠础、陈诸麒)	156
一、概述	156
二、层控矿床的定位机制	157
(一) 火成岩对矿源层的成矿物质的活化转移、继承发展及成矿关系	157
(二) 地层和岩性控制	158
(三) 岩体的地层控制及其有关矿床的层控现象	160
(四) 层控矿床的构造控制	162
三、层控矿床的分类	162
I、层控矿床的成因分类	163
(一) 同生层控矿床	163
(二) 后生层控矿床	163
(三) 叠生层控矿床	163
(四) 再造层控矿床	169
(五) 沉积一成岩一后生多成因多阶段叠生矿床	169
II、层控矿床按成矿物质来源的分类	176
(一) 自源层控矿床	176
(二) 异源层控矿床	177
(三) 多源层控矿床	177
第十九章 矿床构造(周顺之、胡受奚)	182
一、概述	182
二、褶皱构造对矿床的控制	184
(一) 褶皱轴部构造对矿床的控制	186
(二) 褶皱轴部层间裂隙对矿床的控制	188
(三) 褶皱翼部的层间裂隙对矿床的控制	189
(四) 层间拖褶皱对矿床(体)的控制	191
(五) 穿刺(或底辟)褶皱对矿床(体)的控制	192
三、断裂构造对矿床的控制	192
(一) 不同性质的断层对矿床、矿体的控制	193
(二) 交叉断裂对矿床、矿体的控制	195
(三) 断裂带及其有关岩层对矿床、矿体的控制	195

四、裂隙构造对矿床的控制及矿体（脉）组合形式	197
五、侵入体原生构造及火山、次火山和中心式侵入体构造对矿床的控制	205
（一）侵入体原生构造对矿床的控制	205
（二）火山、次火山和中心式侵入体有关的构造对矿床的控制	205
第二十章 区域成矿学（富士谷、任启红、胡受奚）	215
一、概述	215
（一）成矿区域	215
（二）成矿时代（简称成矿期）	216
二、各构造单元的构造作用的特征及其相互关系	217
（一）陆壳与洋壳，地槽与地台	218
（二）裂谷和地堑及其与地槽、拗陷带等的关系	218
（三）板块碰撞、毕鸟夫带、岛弧、海沟与裂谷、地槽和拗陷的关系	219
（四）我国的大地构造格架及成矿区和成矿带的划分	219
三、各类成矿区和成矿带及其成矿特征	221
（一）裂谷所控制的成矿带	221
（二）敛合板块边缘或俯冲带所控制的成矿带	225
（三）褶皱带所控制的成矿带	227
（四）古老地台所控制的成矿区	228
（五）构造交接带所控制的成矿带	230
（六）断裂拗陷所控制的成矿亚带（或亚区）	231
四、有关成矿带或成矿亚带等距性的某些问题	234
五、影响区域成矿的某些其他因素	237
六、地质历史中成矿作用演化发展的规律性	239
参考文献	242

第十二章 外生矿床通论

一、概 述

外生成矿作用是指发生在地球岩石圈的表层、水圈、大气圈和生物圈之中或相互之间的各种物理或化学作用过程中使成矿物质集中的成矿过程。当这些作用把内生或外生作用所形成的岩石或矿石加以化学的或机械的改造或破坏，并在原地形成有工业价值的矿床，则这些矿床称为风化矿床。由机械的、化学的、生物的、生物化学的或火山（喷气、热液等）作用等在河流、沼泽、湖盆、海盆以及大洋盆地中沉积而形成的矿床，称为沉积矿床；其成矿物质可来源于大陆、海岛等的风化产物以及生物活动和火山作用等作用过程的产物。

产生外生作用的能量来源有以下四种：

1. 太阳能：

无疑太阳能是外生作用中最重要能量来源，地球接受太阳能是十分巨大的，达 1.7×10^{24} 尔格/秒或 5.4×10^{31} 尔格/年，相当于 1.7×10^{14} 千瓦。因此太阳能决定了外生作用带的温度，造成大气圈和水圈的运动，以及有机体的活动等。生物能和化学能常是太阳能的派生能。

2. 地能：

由地球本身所含的放射性物质蜕变时生成的放射能以及地球内部热能。通过岩石导热（热流）和火山作用到达地表。

3. 生物能：

在生物圈中由于有机体活动结果所进行的生物化学作用以及有机体遗体的分化作用所分解出来的能量。

4. 化学能：

在固体、液体、气体之中和彼此之间进行的各种化学作用所放出的能量。

从地质作用和地球化学作用观点来看，外生作用是地壳中最复杂和最活动的作用。

由外生作用所形成的矿床对人类是极其重要的，除了全部煤、石油、天然气矿产资源外，还包括绝大部分锰矿和铝矿，大部分铁矿、钴矿以及一部分镍、钒、铜、铅锌、铀、钍、铀、钼、钨、锡等重要的有色金属和许多稀有金属矿产；此外，还有各种盐类、硫、磷、铝土、石灰岩、白云岩等许多重要的非金属矿产。

二、外生矿床形成的地质和地理条件

地理或古地理（主要指地貌和气候）条件不论对于风化矿床或是沉积矿床都是十分重要的，它们不仅决定岩石或矿床的风化、剥蚀、沉积的特征、类型、速度以及发育的程

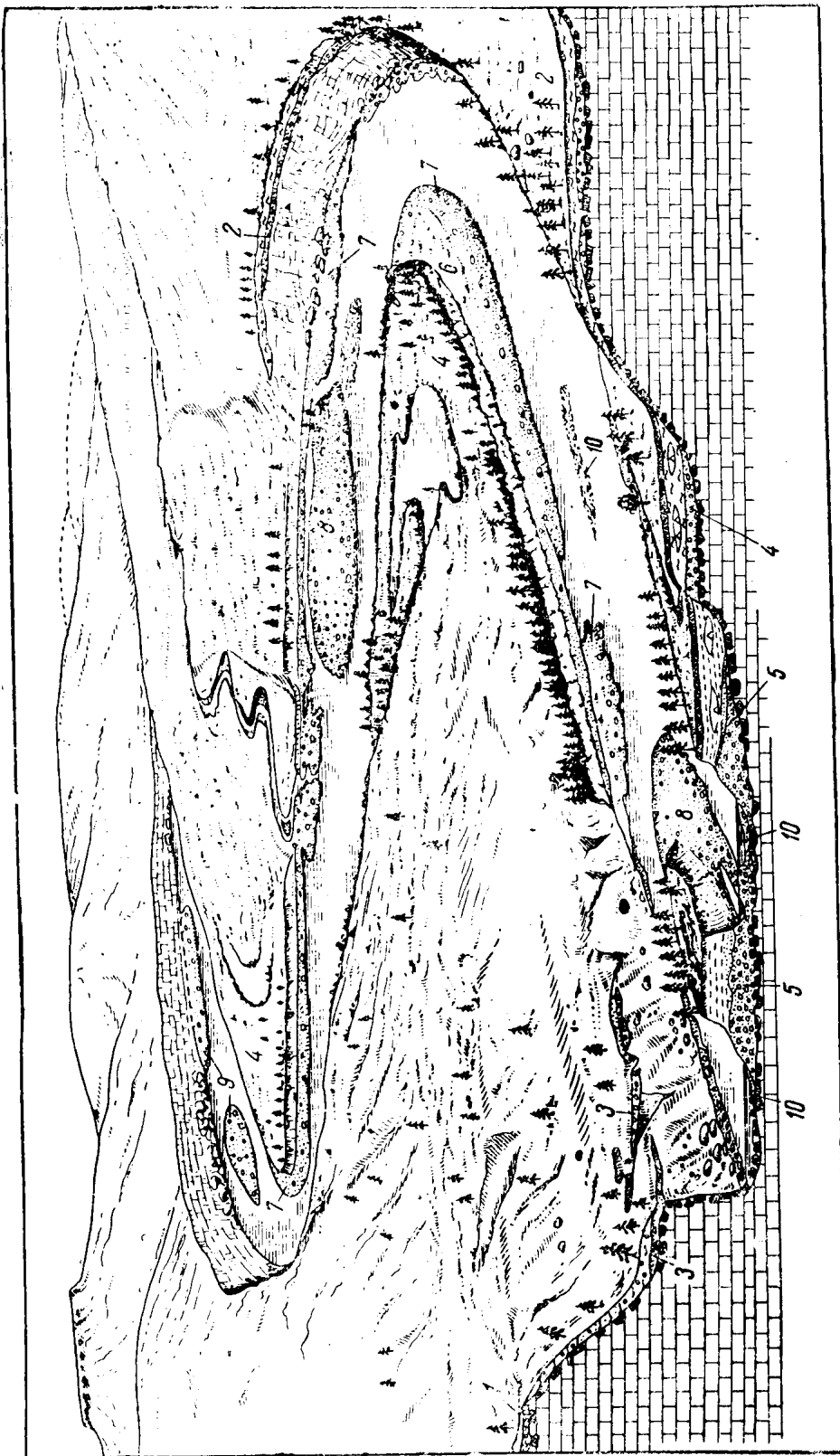


图 12-1 苏联“上岛”砂矿区中马尔赫河谷地貌特征示意图

(据 A. 博勃利维奇)

1—5—代表从第五级至第一级阶地砂矿；6—河漫滩砂矿；7—河流冲刷残余阶地砂矿；8—砂嘴、岛、浅滩砂矿；9—砂嘴、岛、浅滩砂矿；10—河床砂矿床

度，同时也决定沉积相、沉积建造和各种外生矿床的形成。例如陡峻的地貌条件，由于剥蚀作用强而不利于风化矿床的形成；冻土地带或干燥地区都不利于化学风化矿床的形成。研究和找寻由河流作用形成的砂矿时，应十分注意河谷的各种地貌特征（图12—1），因为砂矿的形成、分布、类型、特征，在很大程度上是由地貌条件决定的。

现代沉积学，特别是海洋沉积学的巨大进展对于沉积矿床的研究是有重大推动意义的。因为海洋是一个巨大的宝库，这不仅因为海水本身含有巨大的矿物资源，如Li、Na、K、Mg、Cl、Br、I以及Au、Ag、U等等，而且海底还蕴藏着大量的铁、锰、镍、铜、钴、钛、硫、金、铀、钍、稀土、各种盐类矿产以及十分丰富的石油和天然气。“人类向海洋要宝”，“向海洋进军”的壮举业已开始。现在分布在陆地上的许多矿床曾是在古代海洋环境中形成的。因为它们之间是紧密联系的。与三角洲、滨海和浅海沉积有关的矿床有，钛铁矿、金红石、独居石等重要的砂矿，铁、铜、铅、锌、铀、钒、盐类、各种碳酸盐岩石，以及石油、天然气矿床等。

海洋沉积分为近海和深海沉积作用，这里首先要分清大陆架、大陆坡和深海平原沉积物的差异（图12—2）。例如许多铁、锰、黄铁矿等硫化物、砂矿及石油等等矿床是在大陆架环境中形成的。此外，大陆坡底部的巨厚沉积及其有关的矿产正吸引人们去进行研究。

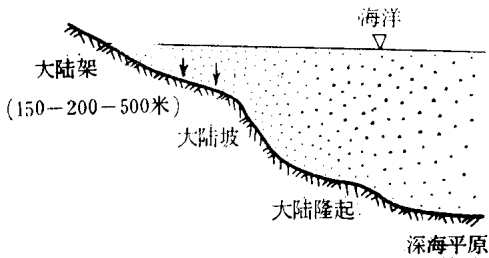


图 12—2 大陆至深海平原构造地貌特征示意图

在滨海环境中，在受潮汐作用影响的潮坪地带，一般可划分出潮上带、潮间带及潮下带（图12—3、12—4）。在潮上带可形成盐类矿床、埋藏海滨砂矿以及海陆混合相的煤矿等；潮间带，由于海浪的作用，常是现代海滨砂矿最主要的分布地带；潮下带适宜于生物繁殖，并有利于许多沉积矿床，如铁、磷以及金属硫化物等矿床的形成。

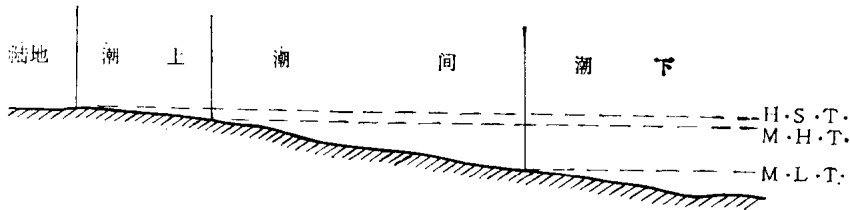


图 12—3 潮坪及其划分

（据许靖华）

H. S. T. —最高潮；M. H. T. —平均高潮位；M. L. T. —平均低潮位

大家知道，有许多矿床如铅、锌、铜、汞、铋等多数产于碳酸盐岩石中，这不仅因为碳酸盐岩石是重要的控矿岩石，而且它们常是铅、锌等硫化物重要的矿源层，甚至是同生沉积矿层。根据现代海洋沉积的研究，碳酸盐岩石形成主要是在浅海环境中与生物作用密切相关，化学作用只是在成岩过程中起主要作用。在研究碳酸盐沉积及其有关矿床时，发现生物礁对成矿有重要意义。如摩洛哥贝尼塔吉附近的布达哈礁体有关的铅锌矿，摩洛哥里阿斯统内的铁锰沉积矿床等（据J. 布拉东，1977）。这是由于在生物造礁和活动过程中不仅可使某些金属元素富集，而且由于造成礁前、礁后环境的差异，和使金属元素集中的有利环境；此外礁体在构造发展过程中，可造成有利于热液成矿的有利条件。

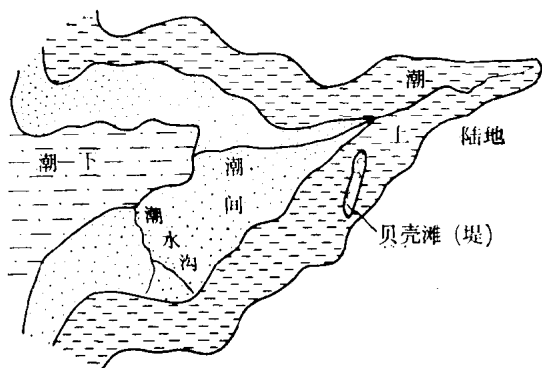


图 12-4 潮坪沉积分布平面示意图
(据许靖华)

据贵州石油 104 队* 和广西冶金 215 队** 的资料, 沿着江西古陆的西南边缘坳陷带中, 有规律地分布有泥盆世的生物礁 (图 12-5)。造礁生物主要是各种珊瑚、刺毛虫、层孔虫, 并有腕足类及蓝藻等。礁及上覆地层的构造特征见图 12-6。

据贵阳地球化学研究所等的研究, 礁体中不仅聚集有沥青 (原可能有石油), 而且对大厂锡石-硫化物矿床的控制起了很重要的作用: 在与礁灰岩有关地层中成矿元素 (如 Pb、Sn、Zn、Sb 等) 的富集, 就不能不考虑生物在造礁过程中对成

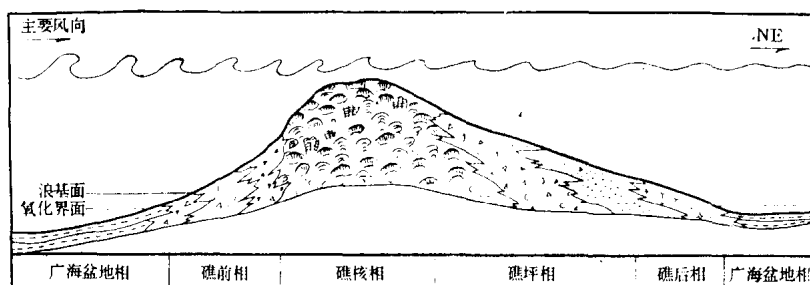


图 12-5 广西南丹大厂地区生物礁生长和沉积相及礁的构造特征
(据叶绪逊等图简化)
珊瑚状等图例表示造礁生物; 三角、点和条线表示生物碎屑

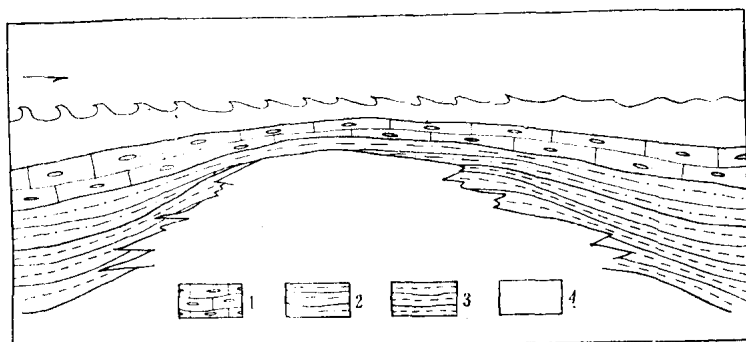


图 12-6 广西大厂泥盆纪 (D_2) 生物礁及其上覆泥盆纪 (D_2 、 D_3 、 D_3) 地层的构造特征
(据叶绪逊等)

1— D_3 扁豆状灰岩; 2— D_3 硅质岩; 3— D_2 细粒碎屑岩; 4— D_2 生物礁

矿元素的集中所起的重要作用。在现代沉积的研究中, 发现白云岩主要不是直接由沉积成因的, 而是在潮上环境, 也有在大陆上的干湖中, 经白云石化作用形成的。根据它们常与

- 周棣康: 广西南丹大厂龙头山泥盆纪生物礁及沥青研究工作初步小结。
- 林修文: 广西大厂中泥盆世达勒场期生物礁。
- 叶绪逊、尹秀之 (1981): 广西大厂生物礁地质意义初说。

蒸发岩相伴生，以及它们分布在干热气候条件下的萨布哈 (Sabkha) 环境等，可以认为与发生白云石化有关的大量镁离子带入潮上带，主要是通过涨潮时海水的补给，以及在干热条件下，强烈蒸发作用引起的毛细管作用和蒸发泵吸有关 (图12—7)，同时陆源高盐度的地下水的补给也起了一定作用。应当指出：除了镁离子带入以外，铜、铝、锌等金属离子也可能在这些过程中富集，形成重要的矿源层。

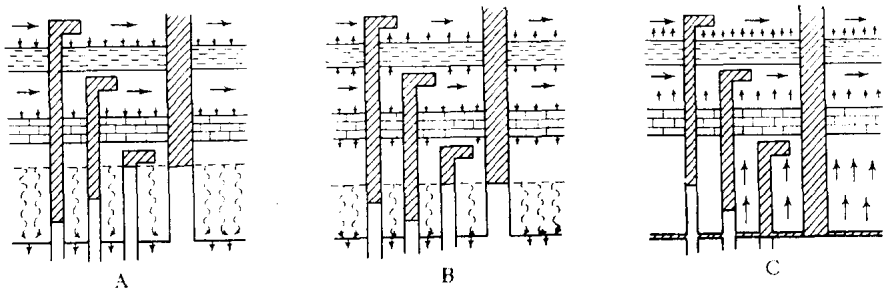


图 12—7 阿布扎比海岸萨布哈中部地面水运动的水文学模式

(据许靖华)

A—涨潮补给阶段；B—毛细管蒸发阶段；C—蒸发泵吸阶段

至于前寒武纪和古生代广泛分布的白云岩是否主要是由这些作用形成，尚值得进一步研究，因为古海水的成分，古气候条件以及古海洋环境等与现代常有一定差别。

必须强调指出：萨布哈的成矿作用是有重要意义的，所谓“萨布哈”，是指在阿拉伯各国，把偶然遭受淹没的蒸发岩壳潮上带地区叫做萨布哈。有些萨布哈与部分封闭的海相邻接 (海岸萨布哈)，有些则分布在内陆洼地中 (内陆萨布哈)。萨布哈与蒸发岩盆地有很大的差别，萨布哈的沉积界面接近于地表，而蒸发岩盆地的沉积界面则在水面以下 (图12—8)。

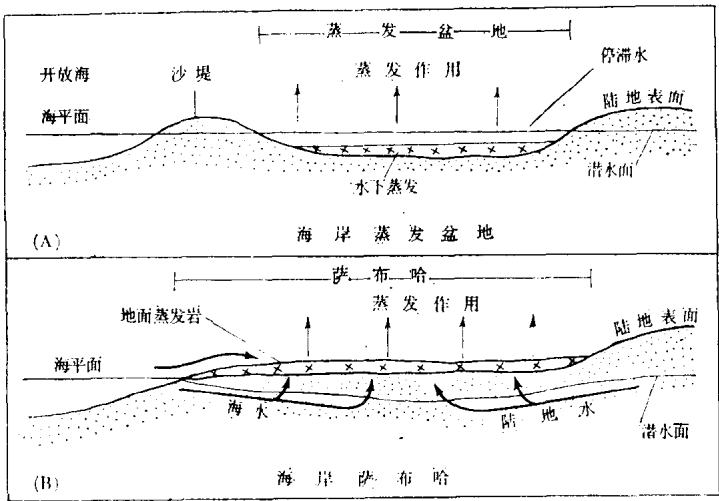


图 12—8 表示蒸发岩盆地 (A) 与海岸萨布哈 (B) 之间差别的横剖面示意图

(据伦弗罗 (Renfrow), 1974)

海岸萨布哈是分布在一个大的水体边缘，潜水面位于或非常接近于未固结的地表沉积物地区。萨布哈的地下水沿毛细管上升，由于水分蒸发，盐分沉积在萨布哈的表面或其附近。地下水经过萨布哈蒸发散失，就形成萨布哈的地下水的压力梯度，导致来自海水的地

下水 (Eh低, pH高), 流向萨布哈。而雨水成因的地下水 (Eh高, pH低), 由陆地朝海的方向流向萨布哈。

引起强烈蒸发的炎热和干燥的气候, 最有利于萨布哈的发育。在萨布哈之下为饱和的、多孔的、能渗透的沉积物, 这些沉积物能供给足够数量的水, 以补偿蒸发损失的水。当补给量超过蒸发量时, 水的压力梯度就会变得有利于形成蒸发岩盆地; 反之, 蒸发量增加, 或补给量减少, 则会使蒸发岩盆地演化成萨布哈。波斯湾萨布哈沿海岸线连续延伸达几百哩, 宽几十呎到十几哩。

来自陆地表面的(地下)水, 开始具有 pH低和Eh高, 这种水能活化和搬运微量元素如 Cu、Ag、Pb 及 Zn。因为陆地水从始至终通过带电的硫化氢藻丛 (algal mat), 陆地水中的金属溶质被还原成金属硫化物沉淀在孔隙里。结果, 金属矿床与含硫化氢地层的产状通常是整合的。应当强调指出, 藻类与细菌对这类矿床的形成起了重要的作用。

横切海岸萨布哈的蒸发岩矿物的分带性表明, 水基本上是由广海供给的, 而来自陆地的水是很少的。由于海水经过萨布哈表层之下未固结的沉积物, 向陆地运移至蒸发量最大的地区, 所以如此运移的水, 因蒸发作用使其含盐度变得越来越高。继而按照相对溶解度, 在朝陆地方向, 由下而上依次沉淀文石、石膏、石盐等的分带现象。这些矿床的下伏岩层一般为被氧化的陆相地层, 如红层或其他被氧化的地层, 而其上覆岩石为白云岩、石膏、硬石膏及石盐等。这些矿床的质量与规模取决于: (1) 地下水中成矿物质的数量与种类; (2) 高速度的蒸发作用; (3) 萨布哈和潮间作用的持久性。

近二十年来, 关于深海沉积, 特别是浊流沉积和深海锰结核的研究取得了巨大的进展; 此外, 对于裂谷地带 (如红海裂谷) 成矿现象的研究对推动矿床学的发展有重要意义, 这不仅因为这些裂谷地带的深渊中沉积了丰富的铜、铅、锌、铁等矿床, 而且这些现代富含金属的热卤水, 对于了解热液性质、成矿及成因有重要帮助。最近, 太平洋国际钻探和深潜水探测器对洋中脊地带的研究有很多新的发现, 其中一个最引人注目的发现是, 在格拉普高斯海隆和东太平洋海隆中发现存在一个正在产生热流和含矿溶液的喷射孔, 同时那里有大量的蛤、蟹、螺等奇特的生物群, 它们是靠硫细菌繁殖的。据E. 博纳蒂 (Bonatti, 1975; K. Bostrom, 1974) 对洋中脊地带沉积物的研究, 不仅有红海裂谷地带的三个深渊中的沉积物的金属含量异常和规模巨大的矿床, 而且在大西洋洋中脊和东、西太平洋的洋中隆地带广泛分布有金属高异常的沉积物 (图 12—9)。另外, E. 博纳蒂和 R. R.

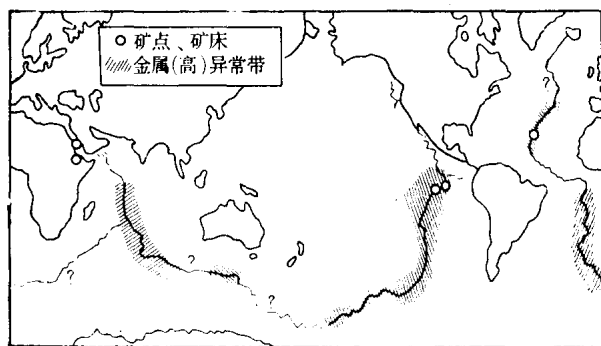


图 12—9 沿着扩张中心含金属高的沉积物的分布图
(据K. Bostrom, 1974)

Keays (1976) 对扩张中心地带的枕状玄武岩和玄武玻璃体的成分的研究, 发现它们在与海水 (热) 作用蚀变过程中, 有一系列金属元素如 Fe、Mn、Cu、Au、Ag、Ni、Ca、Mg 等和非金属元素 Si、S、P 等被浸出, 这是造成铁、锰黄铁矿等矿床, 以及铜、金、银等矿源层的重要物质来源。这些对于深刻认识大陆上某些矿床的分布和成因是有重要意义的。

地质构造对各类外生矿床的形成

和分布的重要性是十分明显的，例如我国上古生代的铝土矿和煤等矿床主要是在基底稳定的地台区形成的；重要的盐类和石油等矿床是在基底稳定或较稳定的断陷盆地中形成的；一部分铁、铜、铅、锌、黄铁矿等是在断裂拗陷带中沉积和火山-沉积成因（如长江中下游，华南海西-印度拗陷带），而相当一部分是在活动的地槽带中沉积和火山-沉积成因（如祁连山、天山等褶皱带）。自从板块构造理论兴起以后，各种沉积盆地（包括地槽、拗陷带、地堑盆地等）的成因、沉积相和建造以及沉积矿床的形成和分布得到了更深刻的解释和认识。应当指出：对于西太平洋边缘盆地——或称弧后盆地（图12—10）的特征和成因是值得注意的。因为现在认为弧后盆地的成因也是与微型或小型的海底扩张有关。这些地带的硫化物矿床，以及石油矿床都是十分值得注意的。

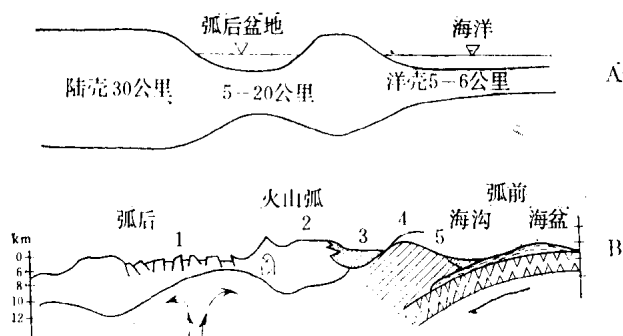


图 12—10 弧后盆地的构造特征

（据许靖华，1980，修改简化）

A. 陆壳、弧后盆地、洋壳的厚度 B. 外洋岛弧构造模式示意图
1—弧后盆地；2—前缘弧；3—外弧槽；4—外弧脊；5—内侧壁

气候（包括古气候）条件对外生矿床的形成也是有重要意义的，例如盐类矿床、层状铜矿等是在干燥或干热的气候条件下形成的，而铝土矿、煤、硅酸镍矿等主要是在湿热的气候条件下形成。还应指出的是：在大冰期和间冰期中，海水深度的变化对于沉积矿床也是有一定影响的。此外，古大气圈和古海洋的成分、特征对于外生矿床也是有重要影响，例如太古代大气圈中严重缺氧，是造成沉积铁矿广泛分布的原因之一；前寒武纪海水中富含镁是造成白云岩广泛分布的原因之一，这为造成巨大菱镁矿（如辽宁大石桥）以及硼矿床等准备了物质条件。

三、外生矿床形成的物理-化学条件

影响外生成矿作用的物理-化学条件主要有：

1. 元素或其化合物性质

元素迁移的内在因素主要是电价、离子半径（图12—11）电负性以及由它们所决定的离子电位（电价/半径）、化合物的键性等。这些因素在很大程度上决定了元素及其化合物的性质、搬运和集中，以及在天然水中的溶解度和胶体物质吸附性等。例如离子电位小的碱金属离子，如 K^+ 、 Na^+ 等不仅易被风化淋滤，而且易形成溶解度大的各种卤化物、硫酸盐、碳酸盐等，因此要使这些盐类沉积成矿，干燥气候条件下的蒸发作用起了很重要的作用；离子电位较大的碱土金属，如 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等，由于其碳酸盐、硫酸盐溶解度较小，因此，可以形成大规模的石灰岩、白云岩、石膏等沉积（包括生物沉积），形成重要矿床。

离子电位更大的三价、四价阳离子（如 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 、 Mn^{3+} 、 TR^{3+} 、 Mn^{4+} 、 Sn^{4+} 、 Ti^{4+} 、 Zr^{4+} 、 Hf^{4+} ），它们可形成晶格能大和在地表条件下稳定的氧化物或含氧盐矿物，如锆石、独居石、锡石、钛铁矿、金红石等，从而可能形成机械沉积的各种砂矿床。对于其中一些

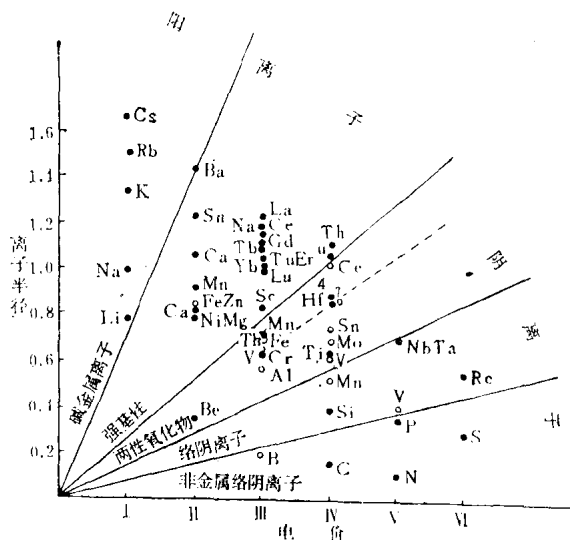


图 12-11 元素离子电位表

变价元素，如铁、锰等，当它们在还原环境中，其低价阳离子（如 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 等），可形成碳酸盐矿床，但大多数在水中的溶解度较大，只有在一定条件下才可形成菱铁矿、菱锰矿等碳酸盐和黄铁矿，而在氧化或较氧化环境中，由于 Fe^{3+} 、 Mn^{4+} 强的水解能力，以氢氧化物或氧化物的形式沉积，可形成巨大的沉积铁、锰矿床。

有的变价元素，一旦被氧化为高价阳离子时（如 $\text{V}^{3+} \rightarrow \text{V}^{5+}$ 、 $\text{As}^{3-} \rightarrow \text{As}^{5+}$ 、 $\text{Mo}^{4+} \rightarrow \text{Mo}^{6+}$ 、 $\text{U}^{4+} \rightarrow \text{U}^{6+}$ 、 $\text{S}^{2-} \rightarrow \text{S}^{6+}$ ），由于它们高的离子电位，而形成酸根（如 VO_4^{3-} 、 MoO_4^{2-} 、 AsO_4^{3-} 、 SO_4^{2-} ），因而使它们在水溶液中的溶解度增加，

而易被搬运，并在一定的还原条件下又被还原沉积成矿，如我国南方广泛分布的寒武纪黑色页岩中就富集有 U、V、Mo 等多种金属元素。

2. 温度:

地表温度的变化幅度大约为 160°C （即从 -70°C 到 85°C ），它主要决定于纬度和高度，在同一地点，温度的日变化比年变化要小得多。虽然如此，温度对外生成矿的影响却很大。如在高纬度的永久冻土带中，化学风化作用几乎是静止的，而在热带地区，在适宜的条件下，它会发生强烈的化学风化作用。

温度对于岩石的机械风化及化学风化都有很大的影响，其中特别是对化学风化作用影响更大。因为温度的变化不仅对化学反应的速度有很大的影响，而且对物质在水中的溶解度、水的物态、水的解离（与 pH 值有关）也有很大的影响；同时温度对于生物的繁殖、矿物的稳定性、土壤水和地下水的运动等也都有很大影响；温度也是决定气候的主要因素之一，因此温度在外生作用带中具有很大的意义。

3. 压力:

在外生作用带中压力的变化大约从 1 个大气压到 20 个大气压。在特殊的条件下（深海底部）可达 1000 个大气压左右。压力作为外生成矿作用的因素远不及温度重要，但是压力的变化也会影响元素的迁移作用，例如，二氧化碳等在水中的溶解度与外压力有一定联系。在深海条件下，热卤水的作用与压力的关系变得更为明显，因为在这种条件下，水的沸点可达 $200-300^\circ\text{C}$ 以上。

4. pH 和 Eh:

地表水的 pH 值绝大多数在 6—9 之间，但是在硫化矿床氧化地区，火山喷气地区等，由于强酸根（如 SO_4^{2-} ）或强阴离子（如 F^- 、 Cl^- ）等大量形成或带入地表水中，则会引起水溶液 pH 值明显的降低，从而导致一系列成矿元素的迁移和集中。例如与火山-沉积作用有关的铝土矿和一部分铁矿，就是在强酸性介质中从岩石中淋滤出来，并在水盆地中发生水解而沉积形成的。在较酸性或较碱性的条件下，会促使岩石在红土化或铝土矿化过程中

的去硅作用的进行，因而有利于铝土矿的形成。

在地表各种环境中，Eh 值变化范围是很大的。由于大气中存在大量的氧，因此当岩石或矿石与大气圈相互作用，常引起强烈的氧化作用，致使矿物、岩石、矿石发生分解和风化。在这一过程中，会使许多元素发生迁移，但有的元素如 Fe、Mn 等，则可在原地残留集中成矿。在各种水体中，由于水的深度变化、生物繁殖的程度、地下水和地表水的动态等原因，使 Eh 发生有规律的变化，这可造成许多沉积矿床的分带现象，如铁、锰、铜等沉积矿床和硫化物矿床氧化带的分带。因为这些分带在很大程度上是由介质的氧化-还原电位所决定的（详见有关章节）。

还应指出：Eh 和 pH 之间存在着一定的相关性，可以变价元素铁的变化为例（图 12—12）说明。

5. 胶体作用：

外生带中分布最广的胶体，除了 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 及 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 等氢氧化物之外，几乎都带负电荷（如 SiO_2 与 MnO_2 等）（见表 12—1）。

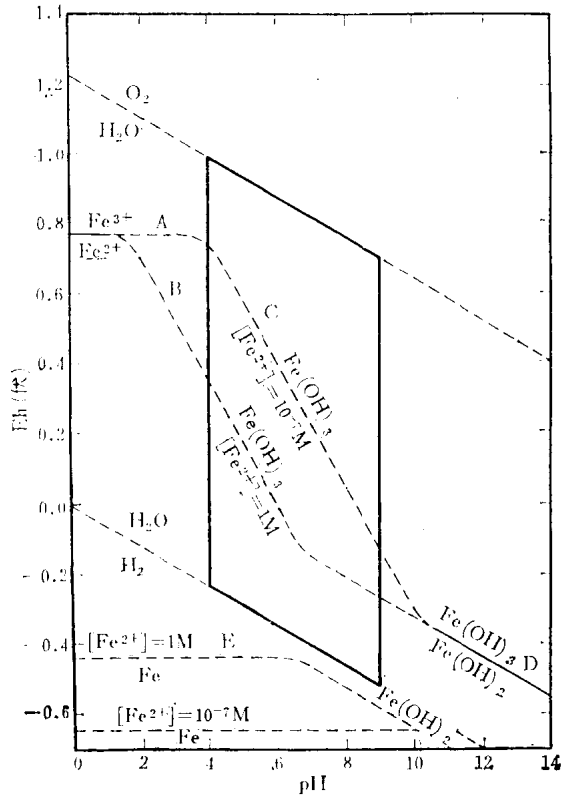


图 12—12 在 25℃ 条件下铁的离子和氢氧化物的 Eh-pH 图解
(据克劳斯科普夫 (Krauskopf))

表 12—1

带正电荷的	带负电荷的	带正电荷的	带负电荷的
$\text{Fe}(\text{OH})_3$	粘土胶体	$\text{Ge}(\text{OH})_3$	As_2S_3
$\text{Al}(\text{OH})_3$	腐殖质		Sb_2O_3
$\text{Cr}(\text{OH})_3$	SiO_2		PbS 及其他硫化物
$\text{Cd}(\text{OH})_3$	MnO_2		S
$\text{Ti}(\text{OH})_3$	SnO_2		Au_2Ag
$\text{Zr}(\text{OH})_3$	V_2O_5		

天然胶体的吸附和吸收现象很普遍，其中有很强吸附能力和交换离子能力的胶体有腐殖质、二氧化硅和氧化铝的凝胶，以及铁和锰的氢氧化物的胶体等。有机质能够吸附 Be、Co、Ni、Zn、Ge、As、Cd、Sn、Pb、U、Ag 等元素；带负电荷的粘土质胶体对 K、Rb、Pt、Au、Ag、Hg、V、TR、U 等具有很大的选择性吸附能力；二氧化硅胶体对铀的吸附能形成含铀的蛋白石；铁的水溶胶能够吸附 As、V、P 等；锰的水溶胶（氢氧化锰、氧化锰）能够强烈地吸附 Ni、Co、Cu、Pb、Zn、Hg、Ba、W、Ag 等，如含 Ni、Cu、Co、Zn 的锰结核等。在个别情况下被吸附的元素，如 Co、Ni、W 等能达到工业要求，具有开采

价值。

在外生成矿作用中，一些在水中很难溶解的Fe、Al、Mn的氧化物和氢氧化物，就是在地表水中呈胶体溶液被大量的搬运，然后在适宜条件下，能在海盆地中形成巨大的和重要的胶体沉积矿床。

6. 生物作用：

在外生成矿作用中，生物作用的意义是极其巨大而广泛的，它不仅能改变大气圈的成分，而且还能促进许多元素发生迁移或集中。生物作用的结果不仅可以形成石油、天然气、煤及油页岩等燃料矿产资源以及石灰岩、磷灰岩、硅藻土等非金属矿产，而且对铁、锰、铝、铜、铅、锌、银、铀、钴、镍等外生矿床的形成也有很重要的作用。

特别有意义的是微生物的作用，不仅可导致各种元素的活化转移、搬运和沉淀成矿，而且许多微生物通过它们的生理作用，能从海水中吸取（或萃取）各种元素作为它们的细胞组成或催化系统的成分（包括细胞内发生的各种反应）。其典型的范例为与硅藻和放射虫等有关的成矿作用（详细情况见硅藻土矿床）。

金属有机络合物（metal-organic complexes）是由藻类物质的分解产物与金属离子相互作用形成的，对外生成矿物质的运移具有非常重要的意义。

在富含有机质或沥青质的沉积物内往往富集有Ag、Cu、Pb、Zn、U、As、Ni、Co、Ge、Mo、Mn、Sn、V等，这些金属与碳质的共生，可能起因于金属有机化合物或吸附作用。在有机质沉积物中，由于有硫酸盐还原细菌存在，因而有利于各种金属硫化物的形成。与油母岩伴生的黄铁矿，经过对其硫同位素的研究表明，它与来自硫酸盐还原细菌的硫化物是一致的。

微生物在其新陈代谢的全过程中，能引起许多金属的转移和沉淀作用。许多微生物通过催化无机化合物的氧化与还原可促进多种元素的地球化学的再循环，这对于外生成矿具有重要的意义。

此外，绿丝藻（green filamentous algae）与水溶液中的Cu、Pb、Zn等作用，既能形成金属络合物，又能使它们以物理状态吸附在微粒有机体上。在有利的沉积盆地内，由这种作用可形成工业矿床或矿源层。

四、外生矿床的分类

由上述可知，影响外生成矿作用的因素和条件在某些方面甚至较影响内生成矿作用的因素和条件更为多样和复杂。同时各种外生成矿作用之间的成因联系也不如内生成矿作用那么紧密，甚至彼此之间找不出成因上的联系。同一种岩石在不同的气候条件下可形成不同的矿床；同一个地区在不同的地形条件下可形成不同的矿床；不同的元素和矿物有不同的成矿方式。

在划分外生矿床类型时，首先应当考虑到最主要的成矿作用，同时也应当考虑到成矿区的地质、气候和地形等条件，以及矿床和其有关岩石的岩相、矿物、化学成分及沉积建造等。当然大的成因分类不可能兼顾到各种因素，但在进一步详细划分类型和级别时，是完全可能考虑这些因素的。

外生成矿作用和外生矿床的成因分类划分如下：