

第七章 热水喷流沉积矿床

第一节 现代热水喷流成矿作用

- 一、热卤水成矿作用
- 二、现代洋底热水喷流成矿作用

第二节 热水喷流矿床的类型及特征

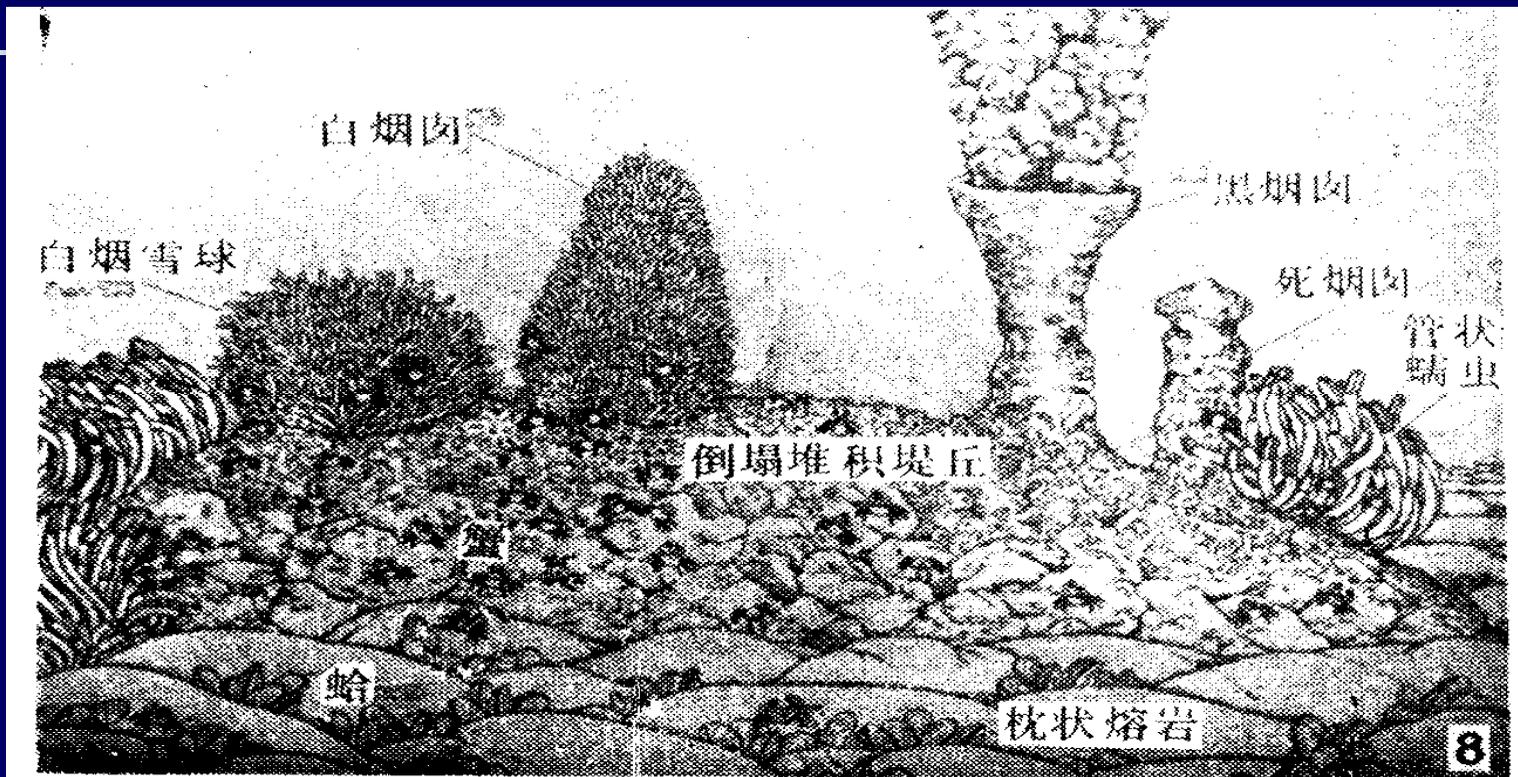
- 一、热水喷流沉积矿床分类
- 二、块状硫化物矿床
 - 与火山岩有关的块状硫化物矿床（VMS）
 - 沉积岩中的块状硫化物矿床（SMS）
- 三、贫硫化物热水喷流沉积矿床

第七章 热水喷流沉积矿床

- n **热水喷流成矿作用**是近代成矿理论研究的重大发展，该类矿床地史上分布广泛、规模大，形成了大量的大型和超大型矿床，具有重要的工业价值，热水喷流成矿作用已经成为当前矿床学、地球化学研究的热点课题之一。
- n 20世纪50年代以前，有些学者曾经提出过与热水喷流沉积成矿作用有关的看法，甚至提出过海底喷气-沉积（**exhalative sedimentary**）成矿的假说，这已经很接近目前流行的海底热水喷流沉积成矿理论了。但当时并未得到普遍的认可。
- n 随着20世纪60年代初，在红海**Atlantis II**海渊中发现热卤水和多金属软泥，揭开了现代海底热水活动与金属硫化物沉积成矿研究的序幕，海底热水喷流沉积成矿作用的研究也开始得到普遍重视。

热水喷流沉积矿床历史沿革

- n Rider (1973) 把海底喷气-沉积成矿由假说上升到理论，引起了世界大多数相关学者的共鸣。
- n 1976年和1979年，相继在东太平洋Galapagos扩张中心和EPR21° N 的大洋中脊分别发现了低温海底热水喷流活动和正在形成硫化物矿床的黑烟囱——高温洋底热水喷流系统。
- n 这些发现使喷流成矿作用的研究达到新的高潮，并依此为基础开始更加深入地研究古老的块状硫化物矿床的形成机制，使喷流成矿理论和块状硫化物成矿作用研究取得了长足的进展。
- n 1986年的第七届国际矿床成因会议的召开是一个重要的标志，当时M.J.Russell 正式将这类矿床称为SEDEX (sedimentary exhalative deposit)型矿床。



21°N东太平洋中脊热液排放场素描图

热水喷流沉积矿床历史沿革

n 我国学者对这类矿床的研究也非常重视。

- **涂光炽等（1988）**为喷流沉积矿床给出了详细的定义：“热水沉积矿床（即喷流沉积矿床）是指在水温70~350℃或更高的热水介质（海水、湖水、热泉水等）中形成的，主体以沉积方式形成于水-岩石界面之上水体中之层状、似层状矿体，但也包括此界面之下可能存在的以充填和交代形成的筒状、锥状或面型热液含矿蚀变体，两者可共生或分别出现”。
- **韩发等（1989a, 1989b, 1990）**在研究广西大厂锡矿时首次提出了该矿床为热水喷流成因。
- **徐克勤等（1996）**强调指出，自20世纪60年代联合国“深海钻探计划”以来的深海考察，在大洋扩张脊附近海底发现了黑烟囱、白烟囱和热泉喷涌，并有生物、微生物活动及硫化物堆积等现代海底喷流成矿作用，这些发现极大地推动了海底热水喷流沉积成矿理论的发展。
- **陈毓川（1997）**指出在原来的3个矿床系列组合之外（沉积、变质和岩浆成矿系列组合），还存在第四个成矿系列组合，即地壳含矿热水成矿系列组合。

喷流沉积矿床定义

n 海底考察和研究表明，现代洋底高温喷流成矿作用具有**两套成矿系统**，即喷口以下的热水补给系统和喷口以上的喷流沉积系统。显示出热水喷流矿床与其他类型矿床的重要区别。

- **补给系统**在海底以下的通道中形成网脉状矿化和强烈蚀变，矿化明显晚于周围的围岩，属后生成矿作用；
- **喷流沉积系统**则在海底以上形成层状、似层状或透镜状矿体，与其围岩近于同时形成，属于典型的同生成矿作用。

喷流沉积矿床定义

n 热水喷流沉积成矿作用泛指不同成因的（含矿）热水在喷溢出海底的过程中，在喷流口以下的热液通道中通过充填、交代作用，在喷流口以上的海底则通过与冷海水之间的相互作用，使热水中所携带的物质组分分别在热液通道和海底沉淀下来而富集成矿的过程。这种作用使热水中的矿质富集并形成的矿床，称之为“**喷流沉积矿床**（Exhalative sedimentary deposit）”。

n 以往，对这类矿床的称谓还不统一，不同的学者曾冠以“喷气矿床”、“喷流矿床”、“喷流沉积矿床”、“喷流热水沉积矿床”、“热水沉积矿床”和“块状硫化物矿床”等名称，为统一起见，本书将这类矿床统一定名为“热水喷流沉积矿床”，简称“热水喷流矿床”。

矿床特征

- n (1) 矿床伴有典型的**喷流岩** (exhalite, 热水沉积岩), 以此区别于其他类型矿床。这些岩石主要是硅质岩、条带状含电气石岩或电气石岩、条带状含长石岩或富长石岩、透辉岩与透闪岩 (或双透岩)、重晶石或石膏层等。
- n (2) 矿床具有**层控及时控**特征。在某一地区内矿体往往赋存于一定层位, 如长江中下游断裂拗陷带中铁、铜矿床多产于中石炭统黄龙灰岩下部。
- n (3) 这类矿床的矿体往往呈**层状、似层状或透镜状**产于地层中, 且矿体一般随地层褶皱而褶皱。部分矿床具典型的“双层”构造, 上部为层状矿体, 下部为细脉状、筒状含矿蚀变体。

矿床特征

- n (4) 矿体和矿石具有微层理甚至微细沉积韵律，常具有顺层条带状、顺层揉皱等构造以及显微球粒状、同心环带、生物和鲕状等结构，反映了同生沉积的特征。此外，矿石中常广泛发育胶黄铁矿。
- n (5) 具有与现代海底热水喷流成矿作用相似的两套成矿系统。Hutchison (1988) 认为热水通道周围有明显的蚀变，层状矿的下盘也具有蚀变，而上盘一般不具有蚀变现象，并称之为不对称蚀变作用（底蚀构造）。Large (1992) 的研究指出上盘也有微弱的蚀变现象。芮宗瑶 (1989) 指出，在火山岩容矿的热水喷流沉积矿床（VMS）中，喷流通道常见明显的绿泥石化、硅化，有时还能见到钠长石化以及铁镁碳酸盐化。在喷口以上的层状矿体的下盘可见到明显的黄铁绢英岩化；在沉积岩容矿的喷流热水沉积矿床（Sedex）中，喷流通道中常见的蚀变是硅化，有时也还有电气石化、钠长石化，在沉积的层状矿的下盘仅见到白云石化、电英岩化和绿泥石化。

喷流沉积矿床——同-后生共生型

第七章 热水喷流沉积矿床

n 经典的成矿学说对不同的成矿作用只强调它们的区别与对立，认为多数矿床不是外生就一定是内生，不是同生就一定是后生。

n 热水喷流沉积成矿理论打破了矿床成因上的“非此即彼”的思想僵局，认为该类矿床的形成中既包括“火”的力量，又包括“水”的力量，既有同生成矿作用，又有后生成矿作用。一般而言，往往以同生作用形成的矿体占主体，以后生成矿作用形成的矿体为辅。

n 这种同生成矿作用和后生成矿作用同时发生于一个矿床中的现象，属于喷流沉积矿床的特有属性，与典型的热液矿床特点（后生矿床）以及典型的沉积矿床（同生矿床）都完全不同，也明显不同于后生矿床叠生于同生矿床之上的叠生成矿作用，而是在同一成矿过程中，后生和同生成矿作用同时存在，且空间上二者密切相关。

n 为了突出这类矿床的独有特征，并与其他类型矿床相区别，本教材建议用“**同-后生共生型**”（epi-syngenic）矿床来概括热水喷流成矿作用的本质特征，这也是本教材明确把热水喷流矿床划分为独立的类型并作为独立一章进行讨论的重要理论依据。

n 需要强调指出的是，热水喷流成矿作用的研究应包括**现代**海底热水喷流作用和**古老**热水喷流矿床两大部分，可以说前者是后者的重要基础，后者是前者的应用和深化，这两个方面的共同研究正促进着热水喷流沉积成矿理论的发展。

第一节 现代热水喷流成因作用

- n 目前世界范围内，已发现许多正在形成金属硫化物的热水体系（图7-1）。这类现代热水体系包括2种：
- ①红海和美国Salton海的热卤水；
 - ②洋底热水喷流体系。



图 7-1 岩石圈板块边界与现代海底已知热水喷流系统（黑实心圆）

（据 Herzig et al., 1995）

(一) 红海热卤水成矿

n 1964年在红海发现高热卤水与Atlantis II海渊多金属软泥，揭开了现代海底热水活动与金属硫化物沉积成矿研究的序幕。

一、热卤水成矿作用

n 红海热水系统是一个与裂谷作用有关的、受岩浆热驱动的热水对流体系，高密度热卤水覆盖在尚未固结的含金属软泥上，是现今已知的通过同生作用使硫化物堆积，且局部达到工业品位的最著名的实例。

(一) 红海热卤水成因

一、热卤水成因作用

- n 红海中目前至少已发现13个热卤水池，最大、热流体活动最强的当属最早发现的Atlantis II海渊，这里有5km³盐度大约为26%的热卤水，其中溶解了大量的各类金属组分。
- n Atlantis II海渊中的含金属沉积物平均20m厚，在大约50km²的范围内，形成了微细（大多数颗粒小于2 μm）、薄层的氧化物、硅酸盐、硫化物、硫酸盐和碳酸盐组成的多金属软泥，其中的孔隙流体含量可达95%。
- n 据大多数学者的研究，Atlantis II海渊中的富硫化物沉积物在许多方面与火山块状硫化物矿床相似，这些相似性包括与火山活动的关系、形成的构造背景、磁黄铁矿-黄铜矿-闪锌矿之间的分带性、金属的含量、沉积组构以及流体的大多数特点等。

(一) Salton海热卤水成矿

一、热卤水成矿作用

- n 同样与裂谷作用有关的Salton海的热水对流体系，被认为是**沉积岩**中古老的块状硫化物矿床的最好的现代实例。
- n Salton海位于美国加利福尼亚南部，热卤水温度最高可达 360°C ，具高盐度的特点，可达25%~30%。估计热卤水的体积为 11.6 km^3 ，水深达3 km。据White (1981)的研究，其中含 $\text{Zn}5 \times 10^6\text{t}$ ， $\text{Pb}9 \times 10^5\text{t}$ ， $\text{As}1.2 \times 10^5\text{t}$ ， $\text{Cu}6 \times 10^4\text{t}$ ， $\text{Cd}2 \times 10^4\text{t}$ ，和 $\text{Ag}1 \times 10^4\text{t}$ 。
- n 沉淀在卤水排泄口附近的富硫化物硅质沉积物中，经分析含有多种硫化物，且Cu和Ag的含量极高，分别可达20%和8%。
- n Salton海中流体系统的氢、氧同位素显示，这里的热卤水以**大气水**为主。

二、现代洋底热水喷流成矿作用

- n 现代洋底喷流成矿作用的发现和研究明显晚于红海热卤水成矿作用的研究。1976年，在东太平洋赤道附近的Galapagos扩张中心，在以Fe蒙脱石和Mn氧化物组成的隆起上，发现了密度较低、温度 $<13^{\circ}\text{C}$ 的热水喷流口。
- n 但更壮观的是1979年在东太平洋洋隆 21°N 的地方，发现了贱金属和贵金属硫化物-硫酸盐组成的“黑烟囱”。目前，已经在不同的构造环境中发现了100个以上的地方，有的温度高达 405°C ，它们主要分布在太平洋，在大西洋、印度洋和地中海也有少量分布（Rona and Scott, 1993）。较大的喷流作用已经形成了直径超过几百米、高数十米的热液构造，它们在延伸数公里的喷流区内分布

(一) 现代洋底喷流作用特征

n 1. 喷流作用的构造背景及类型

- 全球范围内，正在形成多金属硫化物和富Fe、Mn沉积物的最壮观的现代洋底喷流作用发生在大洋扩张中心的洋中脊，还有少量的喷流系统发生在中等到快速扩张的弧后盆地以及海山上。热水喷流的类型主要有两种，一是高温的集中喷流形式；二是低温的渗流作用。

n 高温的集中喷流形式以黑烟囱为代表，形成各类硫化物的沉积；

n 低温的渗流作用则可能形成了广泛分布的硫酸盐、铁的氧化物-硅酸盐-锰的氧化物，以及可能的含钴的锰氧化物结壳。低温渗流作用虽然温度较低，但由于发育广泛，估计这种流体活动占洋壳总对流热流的

2004 是地壳中的物质从洋壳带到海底

(一) 现代洋底喷流作用特征

二、现代洋底热水喷流成矿作用

- n 2. 热水流体的化学性质——研究热水流体的性质对分析喷流作用、了解成矿机理具有重要意义。目前通过在典型的**黑烟囱**的中部取流体样，并通过对烟囱内的堆积体和网脉体中矿物的流体包裹体进行补充研究，已经积累了一定的资料。
 - (1) pH值和酸碱度
 - (2) 硫、硒、砷
 - (3) 碳
 - (4) 硅质
 - (5) 碱土元素
 - (6) 碱金属元素
 - (7) B
 - (8) Al
 - (9) 稀土元素
 - (10) 贱金属和黑色金属
 - (11) 金

(一) 现代洋底喷流作用特征

n 2. 热水流体的化学性质

– (1) pH值和酸碱度

n 所有取样获得的喷流流体都是**酸性**的，如在东太平洋岭11°N、13°N、21°N的喷流口中，温度350℃时，pH值在4.1~4.9之间；又如Lau弧后盆地中流体的pH为2，这里的流体含有异常高的某些元素（Cl、As、K、Mn、Zn、Pb和Cd）。喷流流体的酸性特征是在高温反应带，水-岩形成如绿帘石这样矿物引起的：



n 绿帘石是被热液流体完全蚀变的玄武岩中常见的一种矿物。另外，海底金属硫化物的沉淀也可以产生酸性条件：



n 流体的这种酸性特征一是有利于淋滤、萃取成矿物质；二是有助于在喷流口使金属沉淀。由于海水略偏碱性（2℃时PH=7.8），会在热流体排泄处周围形成大的PH值梯度，促使成矿物质沉淀。

(一) 现代洋底喷流作用特征

n 2. 热水流体的化学性质

— (2) 硫、硒、砷

- n 硫在酸性喷流流体中以 H_2S 形式存在。当热流体接近或到达海底并与周围海水混合时， H_2S 被氧化，PH值升高，导致硫化物和单质硫的形成。单质硫对喷流口附近的化学自营养微生物是关键性的。As和Se与S相似，比在海水中要富集得多。
- n H_2S 的 $\delta^{34}S$: $-2.3\text{‰} \sim +7.8\text{‰}$ ，说明它并非完全来自于玄武岩 ($\delta^{34}S = -0.1\text{‰} \sim +0.5\text{‰}$)，必须有某种重硫混入流体中，最可能的来源是硫酸盐。

(一) 现代洋底喷流作用特征

n 2. 热水流体的化学性质

- (3) 碳——在酸性的喷流流体中C的主要形式是 CO_2 ，尽管有少量的 CH_4 和其他碳氢气体。在Guaymas盆地流体中 CO_2 的含量很高，当围压减小时流体会冒泡。一个显著的例子是Jade矿床，气泡含有86%体积的 CO_2 ，3% H_2S 和11%的 $(\text{CH}_4 + \text{H}_2)$ 。负的 $\delta^{13}\text{C}$ 值说明喷流溶液中的C并不是全部来自海水($\sim 0\text{‰}$)，应有岩浆C($\delta^{13}\text{C} = -3.4\text{‰} \sim -4.1\text{‰}$)的加入。
- (4) 硅质——喷流热水中的主要成分，硅的含量变化不大。在沉积物非补偿的洋中脊，喷流流体中 SiO_2 的含量在17.5~22.9mmol/kg。尽管高温反应带内Si的溶解作用被石英控制，但它在海底或紧靠海底附近的沉淀作用，则由具更高溶解度的非晶质硅或蛋白

二、现代洋底热水喷流成矿作用

(一) 现代洋底喷流作用特征

n 2. 热水流体的化学性质

- (5) 碱土元素——Mg一般在喷流热液中含量为零，但个别情况下，具有较高含量。Ca和Be比海水有不同程度的富集。Ba的资料很少，这是因为一接触到海水Ba就会沉淀下来，但Ba在流体中的含量至少应该比海水高两个数量级。Sr是几种与海水相比可以富集也可以贫化的元素之一。Sr同位素界于海水和玄武岩相应值之间，说明Sr来自于两个来源。
- (6) 碱金属元素——Li、K、Rb、Cs这些碱金属都比海水中呈明显的富集。Na是喷流热水中的主要阳离子。
- (7) B——比海水有某种程度上富集。

(一) 现代洋底喷流作用特征

n 2. 热水流体的化学性质

- (8) Al——比海水具有明显的富集，但确切含量尚未确定。在形成硫化物的喷流作用中，Al含量低，不能形成大量的含Al矿物。但在Fe-Si-Mn氧化物矿床中，存在大量富Al的矿物，如绿脱石及相关的粘土矿物。
- (9) 稀土元素——在几个喷流口分析过REE，其含量要比海富集1~3个数量级，但相对于新鲜玄武岩要贫3~4个数量级。和古老块状硫化物矿床的REE样式相似，在沉淀过程中REE未发生分离。

(一) 现代洋底喷流作用特征

n 2. 热水流体的化学性质

- (10) 贱金属和黑色金属——金属含量变化很大，绝大多数情况下比海水极富含这些金属。弧后环境似乎尤为有利，这与古老的有利成矿环境相一致。资料表明，这些金属是以氯的络合物形式搬运的。
- (11) 金——喷流流体中的金含量尚未分析过，通过热动力学计算表明海底喷流热液可以含高达 $0.5 \sim 1 \text{ nmol/kg}$ 的Au。Au在温度 $< 300^\circ\text{C}$ 时，以Au的二硫化络合物形式(Au(HS) $^{2-}$)排放到海底，并在晚阶段沉淀下来。早期的高温Cu-Fe硫化物脉中不含金

二、现代洋底热水喷流成矿作用

(一) 现代洋底喷流作用特征

n 3. 热水流体的物理性质

- (1) 温度——喷流口热流体的温度是用温度探测器测定的。形成硫化物的热液喷流口的温度在 2°C 到最高 350°C 之间变化。更高的温度如 405°C 甚至 420°C 也被记录过，但很少见，且不稳定。
- (2) 流量——总流量的测定具有较大的不确定性。Palmer and Edmond (1989) 估算出洋中脊的流量是 $1.2 \pm 0.3 \times 10^{14} \text{kg/a}$ 。这相当于Amazon河的总流量，或是大约 $0.4\% \sim 2.5\%$ 的全球河流向海洋的排放量 ($360 \times 10^{14} \text{kg/a}$)。根据这些数据，全球海洋水的总量会在 $5 \sim 11 \times 10^6$ 年内通过扩张洋脊的位置整个循环一遍，在太古代会快5倍，因为当时洋壳的地温梯度被认为比现在高得多。单一喷流口和热田流量的估计是确定的，如测得 20°N 太平洋脊 $226 \sim 351^{\circ}\text{C}$ 单个烟囱的流速为 $0.7 \sim 2.4 \text{m/s}$ ，估计其流量是 $(1.6 \sim 4.5) \times 10^{10} \text{kg/a}$ ，整个热流田的流量是 $(2.9 \sim 6.4) \times 10^9 \text{kg/a}$ 。

二、现代洋底热水喷流成矿作用

(一) 现代洋底喷流作用特征

n 3. 热水流体的物理性质

— (3) 盐度

n 盐度是指溶解在每公斤海水中的总固体物质的克数。正常海水的盐度35%，喷流流体的盐度从比海水**低**40%到**高**70%之间变化。

— 不同的喷流口差别很大，特殊的例子是，在红海 Atlantis II 海渊中的热卤水，其盐度是海水的**许多倍**。盐度变化大和极高盐度的情况，在现代大洋和白垩纪 Troodos 蛇绿岩的流体包裹体中存在着。

— 与之相似，在几个古老块状硫化物矿床下部的脉和网脉中，流体包裹体的盐度比现今海水的盐度要**高**得多，如日本黑矿中盐度为3.5%~7%，而在加拿大魁北克某些前寒武纪矿床中的盐度高达46%。

二、

现代洋底热水喷流成矿作用

(一) 现代洋底喷流作用特征

n 3. 热水流体的物理性质

— (3) 盐度——关于喷流流体的盐度高度变化性，目前有几种解释。

- n 在Atlantis II深渊，高盐度是溶解了蒸发盐的缘故，蒸发盐与现代年轻洋盆边部与富Zn沉积物互层。
- n 但是，这种作用对太平洋或大西洋现代喷流热液以及对古老的火山岩中的硫化物矿床来说是不存在的，因为这些地方并不存在蒸发盐，可能的机制包括与高盐度的岩浆流体混合、与玄武岩水-岩反应。流体在超临界区的相分离或在较低压力下的沸腾作用是引起盐度变化很大的可能原因。

(一) 现代洋底喷流作用特征

n 3. 热水流体的物理性质

— (4) 密度——现代和古老喷流流体的**密度**比周围海底海水的**密度要小**。即使超高盐度的Atlantis II海渊中的热流体最初也是上浮的，这是其**高温性能**所致，但在冷却过程中会变得比海水密度更大。

- n 黑烟囱的喷流热水与海水具有最大的密度差，可达 $0.2\sim 0.3\text{g/cm}^3$ ，正是因为这种密度差使其喷流作用表现出高温、高速率，形成从海底上升的热液柱。
- n 相反的，形成Fe-Si-Mn氧化物矿化的流体具有小得多的密度差，在 0.01g/cm^3 左右，此时流体仅以每秒几厘米的速率运移。

(一) 现代洋底喷流作用特征

二、

现代洋底热水喷流成矿作用

n 4. 现代喷流矿床的基本特征

— (1) 现代喷流矿床的一般特征

n 现在正在海底形成的热水矿床，在矿物学上是复杂的。简单起见，可分为硫化物和Fe-Si-Mn氧化物两类。这两类矿床形成于相似的构造环境，具有相似的生长结构，只是形成它们的喷流热流体在温度和H₂S含量上有明显的区别。

n 海底热液硫化物矿床是由一系列**烟囱**堆积而成的。

最初，喷流形成硬石膏烟囱，每天可生长几厘米。这种硬石膏可以作为后期硫化物沉淀的基底，当足够厚的时候，会阻止周围冷的海水进入烟囱，更热的流体就会充填在喷口中心。烟囱的内、外壁之间存在大的温度变化

($350^{\circ}\text{C} \rightarrow 2^{\circ}\text{C}$)、PH变化(4.5→7.8)、氧化状态变化(还原→氧化)、硫的价态变化(高 $\text{S}^{2-} \rightarrow$ 无 S^{2-})和成分变化(内部比外部海水富集许多组分)。

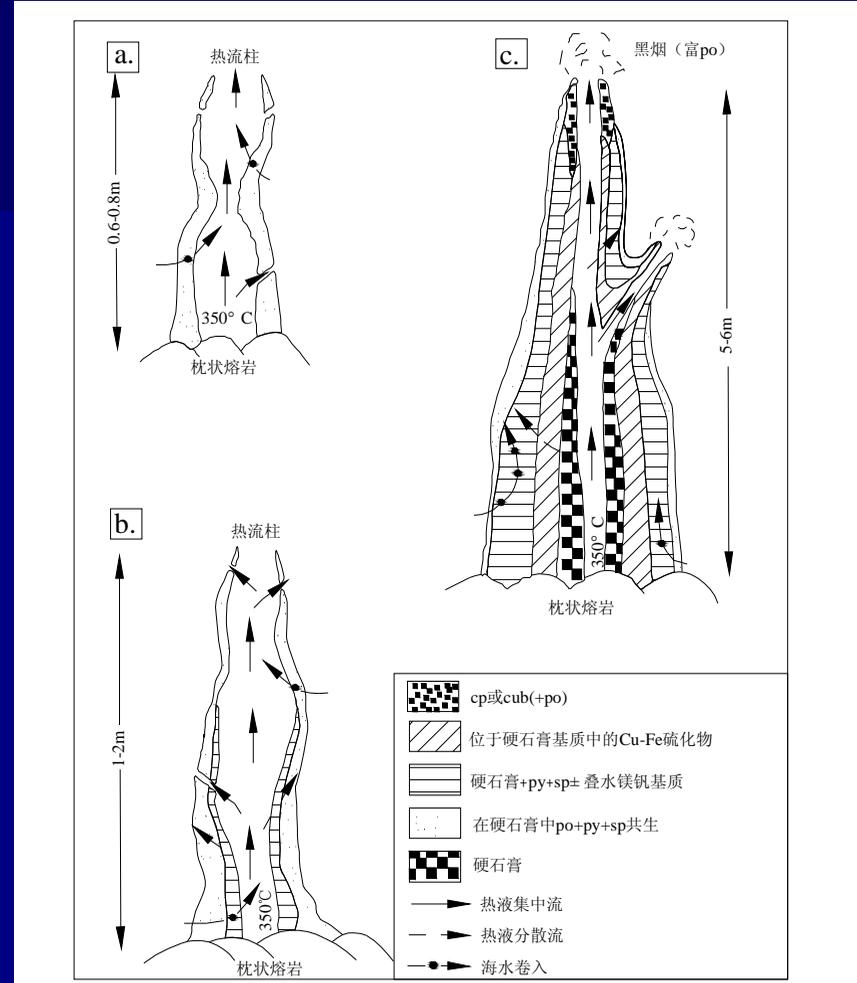


图 7-2 现代海底黑烟囱成因示意图

(据 Goldfarb et al, 1983; Haymon, 1983; Lydon, 1986)

a-烟囱的形成; b-烟囱的生长; c-烟囱的矿物分带; 矿物缩写: cp-黄铜矿; cub=方黄铜矿; po-磁黄铁矿; sp-闪锌矿。叠水镁矾是一种新的, 羟基硫酸盐-氢氧

n 海底热液硫化物矿床是由一系列烟囱堆积而成的。

随后，老的烟囱会不断被沉淀的矿物填满，老烟囱的喷流作用会停止。随之温度就会降低，由于硬石膏在冷水里比在热水里的溶解度要大，它会溶解并使烟囱弱化，而引起坍塌。如果这种作用持续足够长的时间的话，会导致相邻的堆积锥结合成一个大的矿床。在构造活跃区形成的堆积锥可能会发生断裂并叠加新的堆积体，形成复杂的内部结构。

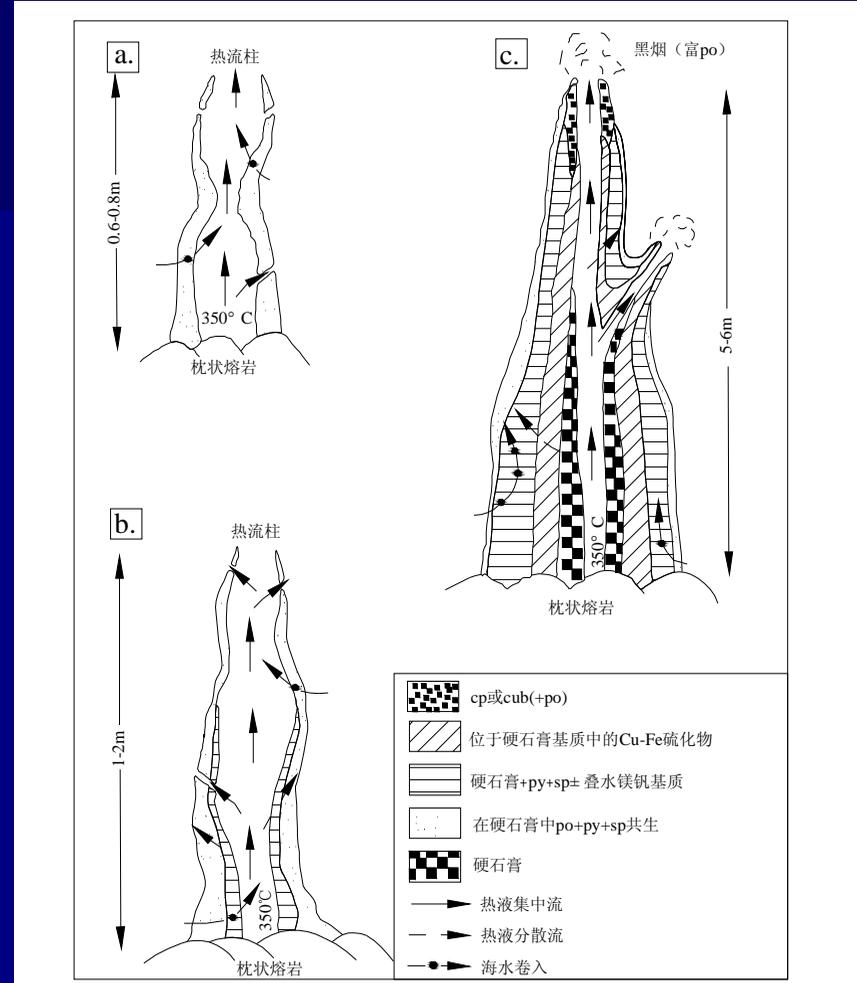


图 7-2 现代海底黑烟囱成因示意图

(据 Goldfarb et al, 1983; Haymon, 1983; Lydon, 1986)

a-烟囱的形成; b-烟囱的生长; c-烟囱的矿物分带; 矿物缩写: cp-黄铜矿; cub=方黄铜矿; po-磁黄铁矿; sp-闪锌矿。叠水镁矾是一种新的, 羟基硫酸盐-氢氧

- n 海底热液硫化物矿床是由一系列烟囱堆积而成的。
- 通过烟囱的不断形成、不断坍塌堆积，最终可形成规模可观的块状硫化物矿床，矿床的通道部分显示后生矿床的特点，而矿床的层状部分则表现为同生矿床的特点。
 - 海底烟囱的形成过程见图 7-2。

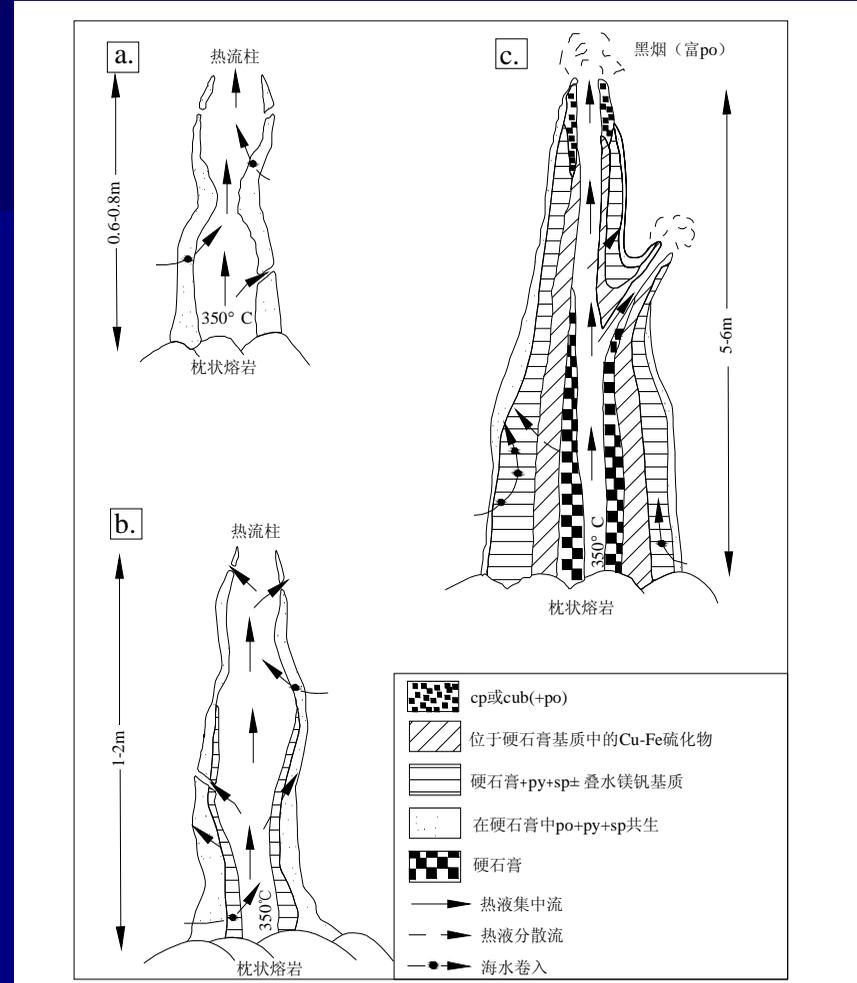


图 7-2 现代海底黑烟囱成因示意图

(据 Goldfarb et al, 1983; Haymon, 1983; Lydon, 1986)

a-烟囱的形成; b-烟囱的生长; c-烟囱的矿物分带; 矿物缩写: cp-黄铜矿; cub=方黄铜矿; po-磁黄铁矿; sp-闪锌矿。叠水镁矾是一种新的, 羟基硫酸盐-氢氧

n 4. 现代喷流矿床的基本特征

— (2) 喷流矿化体的部分矿物学特征

- n 金——在绝大多数洋脊和海山的硫化物中，不管其品位如何都是不可见的，但在弧后盆地的原生硫化物中则形成了光学可见的颗粒。
- n 磁黄铁矿——在Guaymas盆地和Escanada海沟中比黄铁矿或白铁矿要多得多，这两种沉积环境均具有高有机碳含量，从而形成了还原环境。相反的情况出现在沉积物非补偿的洋脊和弧后盆地中，此时为更氧化条件。

() 现代洋底喷流作用特征

n 4. 现代喷流矿床的基本特征

— (2) 喷流矿化体的部分矿物学特征

n 大多数硫化物、碳酸盐、氧化物、硅酸盐及单元素矿物主要是原生成因的，石膏、黄钾铁矾、氯铜矿肯定是风化作用的产物。

n 在现代喷流矿床中，会出现**古老矿床**中从不出现的矿物，这是因为成岩和退火作用使该类矿物发生转化和固溶体分离。

— 例如，有一种铜-铁-硫化物，有时描述为“铜磁黄铁矿”或“立方体方黄铜矿”，以前只有在实验室相平衡研究中存在，但在海底矿床中很常见。它在高温下稳定，在冷却过程中会分解成黄铜矿、斑铜矿、方黄铜矿、硫铜铁矿、褐硫铁铜矿、普硫铁铜矿、斜方硫铁铜矿。

— 另外， SiO_2 在古老矿床中常以石英或燧石形式存在，而在海底矿床中主要以非晶质硅的形式存在，某些情况下具有可识别的蛋白石-A型或蛋白石-CT型构造。

n 4. 现代喷流矿床的基本特征

— (3) 矿化组分

n 目前，除对红海Atlantis II海渊进行了全面的经济评价外，其他海底喷流矿床的成分知之甚少。由于拖船或潜艇进行的偶然取样缺乏代表性，连品位也很难计算。目前，对现有的硫化物矿和氧化物矿的样品平均分析结果表明，**Zn、Cu、Pb、Fe**达到工业品位，而**Ag、Au、Hg、Cd、As、Sb**等有可能达到工业品位。尽管代表性很差，但可用于对比研究。

二、

现代洋底热水喷流成矿作用

(二) 现代洋底喷流成矿作用机理

现代洋底热水喷流成矿作用

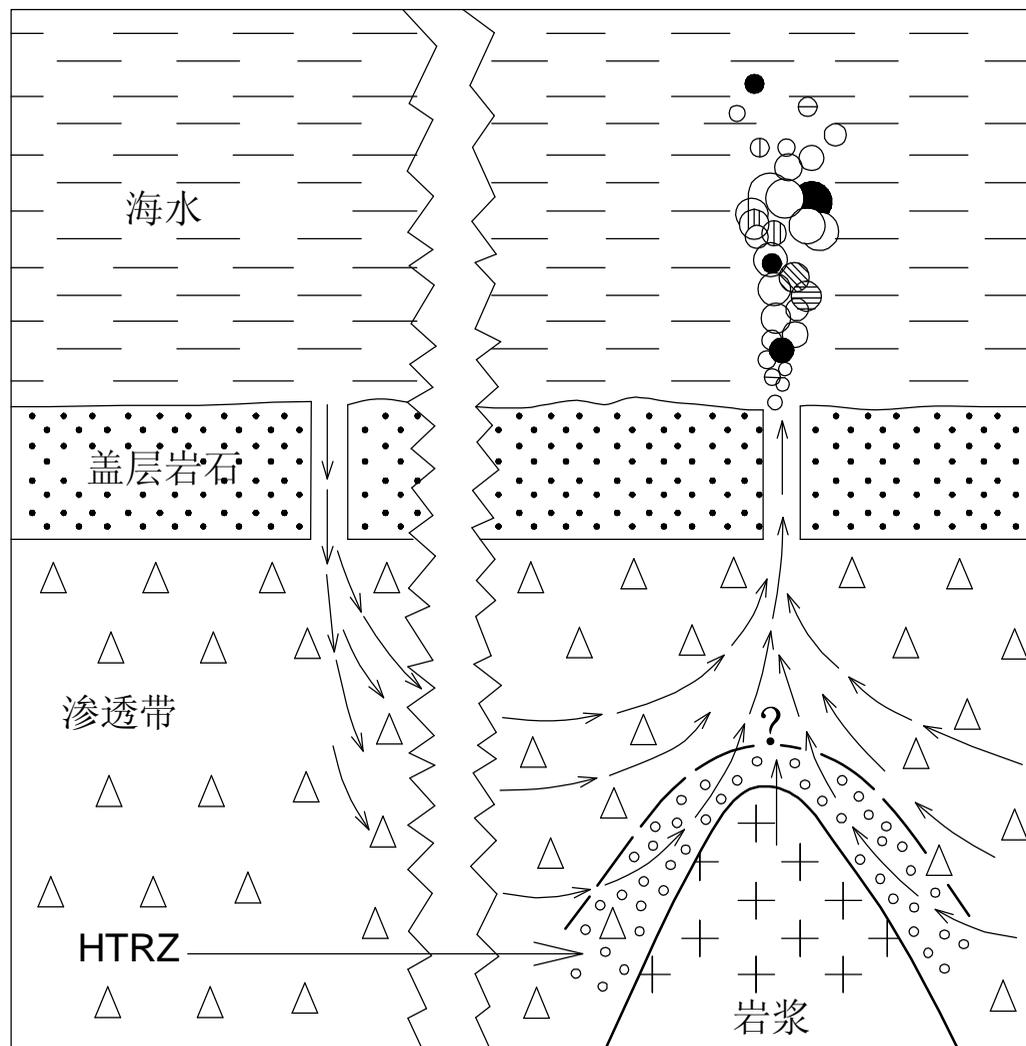


图 7-3 扩张洋脊或海山上热水循环模式示意图 (据 Scott, 1992)

HTRZ指深下渗海水与热岩发生反应的高温反应带, 海水随后转化成热水, 岩浆组分可能加入到热水中

(二) 现代洋底喷流成矿作用机理

二、现代洋底热水喷流成矿作用

n 1. 流体与热源

- 热液流体本质上是海水，可被加热到350℃（或许在某些情况下会更高），通过水-岩反应，使其发生了化学成分变化。
 - n 其中所含的金属主要是Fe、Mn，少量的Cu、Zn及微量的其他金属。与正常的海水相比，金属元素富集程度很高。
 - n 大多数情况下，流体中还原硫的含量高，使金属以硫化物的形式沉淀出来，但某些流体还原硫的含量低，而沉淀出氧化物。
 - n 循环的海水通过在海底以下与堆积很厚的玄武岩相互反应，会形成含矿的热卤水，此时其中溶解的金属含量可达几个mg/g。

(二) 现代洋底喷流成因作用机理

n 1. 流体与热源

- 与流体活动有关的**热源**是一个洋壳内的岩浆房或新结晶的岩浆地质体。

n 通过地震勘探，已经在东太平洋洋中脊以下1.2~2.4km的深度上和在中太平洋盆地之下3km处发现了**岩浆作用**。

n 在作为热源的地质体的上部会形成**高温反应带**，向下循环的海水被加热，并与洋壳玄武岩反应。这种反应带很少能在现代洋底出露，但可在古老的地质体中见到，如塞浦路斯的特若多斯蛇绿岩中，循环流体在大范围内从玄武岩中带走了金属和碱质，留下了称做“绿帘石岩”的耐火残留，由绿帘石和石英组成。

(二) 现代洋底喷流成因作用机理

n 1. 流体与热源

– 与流体活动有关的**热源**是一个洋壳内的岩浆房或新结晶的岩浆地质体。

n 一个玄武质岩浆体，当从 700°C 开始冷却时，会使**同体积或其1/3质量**的海水形成高温 ($>300^{\circ}\text{C}$) 流体 (Cathles, 1981, 1993)。因此，有人计算认为，要从含 100×10^{-6} 金属 (主要是Fe) 和足够的还原S ($>100 \times 10^{-6}$) 的喷流流体中，形成一个1Mt硫化物矿床的话，在沉淀出所有的金属的前提下，将需要大约 $5 \times 10^9 \text{t}$ (大约 $6 \times 10^9 \text{m}^3$) 的 300°C 海水 (密度为 0.8g/cm^3)，这就要求存在一个质量大约为 15×10^9 吨或体积大约为 $5 \times 10^9 \text{m}^3$ (密度为 2.8g/cm^3) 的侵入体作为驱动热液循环体系的动力。该侵入体的范围可以是 $10 \text{km}^2 \times 500 \text{m}$ ，这与在古老地体中观测到的以及在现今洋中脊之下地震探测到的情况相一致。

(二) 现代洋底喷流成因作用机理

n 2. 流体通道与盖层

– 要使海水在几公里深的洋壳中发生大规模的循环，流体运移**通道**是必须的。

n 一是使海水在洋壳内向下循环；

n 二是使被加热、富含金属元素的热流体集中向海底排泄，以保证集中富集成矿。

– 在大洋中脊、弧后盆地和海山附近，有利于热液流体循环的高渗透率可通过熔岩的**高孔隙度**和强烈的**断裂**作用得以实现。

n 熔岩形成枕状和舌状熔岩，孔隙度可达20%~40 %。正如在古老的块状硫化物矿体下部见到的情况一样。

n 深穿透性的**断裂**为流体的补充和排泄提供了通道，这种构造把热液流体排泄在一个局限的范围内，对形成大型矿床非常有利。

（二）现代洋底喷流成矿作用机理

n 2. 流体通道与盖层

- 热液流体向上运移的**通道**在**古老**的块状硫化物矿床中普遍存在，以近直立的、切穿地层的绿泥石、石英-绢云母**蚀变“管”**为标志。
- **现代海底**虽然很难观察到，但直接和间接证据仍表明相似的构造控制了流体向上运移和排泄。在某些地段对洋壳钻探时，见到了矿化脉体和蚀变玄武岩。在Galapagos洋中脊硫化物矿床之下，断裂作用暴露了温度达350℃的**蚀变带**和**网脉状矿化**。

n 2. 流体通道与盖层

- 盖层岩石作为不渗透层，起阻隔高温反应带流体渗漏，并圈闭含金属热液使其集中排泄到海底的作用。
- 盖层岩可以是厚的沉积物，块状熔岩，或者正常的空洞被新生矿物充填的多孔熔岩。
- 总体讲，沉积物是最有效的盖层，因此已知的现代洋底和古老的多金属硫化物矿床都产在沉积物中。
- 盖层使流体在高温反应带中保持较长的时间，以便有效地把金属从源区汲取出来。同时，它也阻止了热液流体的渗透散失，而有利于富集形成大型矿床。

(二) 现代洋底喷流成矿作用机理

n 3. 矿质来源及沉淀机制

- 资料表明，现代洋底喷流成矿作用的**成矿物质**主要来自于**洋壳玄武岩**，由循环的海水与之反应，并萃取其中的金属。此外，可能有少量矿质由岩浆活动提供。
- 影响喷流**沉淀**的机制主要有2个：热水流体的沸腾作用和排泄出的流体与周围冷的海水的混合。
 - n 海底流体混合引起的矿质的快速沉淀有助于在喷流口附近形成**近距离硫化物**矿床，
 - n 而在相对浅的海水中发生的沸腾作用，会形成密度大、向海底下沉的热卤水，从而由其沉淀出**远离喷流口**的硫化物矿床。

n 4. 生物媒介作用

- 相对于正常深海底的缺乏生物的状况，现代喷流场所可以说是动物群的天堂。Tunnicliffe (1991) 发现喷流口存在大型动物群236个种，其中223是生物学上的新种，许多都是化学自营养的。此外，还存在大量的显微动物群，包括喜高温的细菌。细菌非常普遍，可以与大型动物群一起完全覆盖一个矿床。
- 动物群在矿化中的作用正被不断认识到。矿物可围绕管虫的外侧沉淀。另外，当一个动物死掉后，保留下来的孔洞，可作为后期喷流的通道。生物产生的黏液能够通过改变局部的氧化还原条件，以及提供高吸附接触表面积，而形成大的金属和其他元素的富集体。
- 在Fe-Si-Mn氧化物矿床中，非晶质的铁氢氧化物和硅质常具有独特的分枝结构，可能是以细菌为基础沉淀形成的。

一、热水喷流沉积矿床分类

- n 大量资料显示，地质历史上热水喷流作用形成了为数众多、类型多样的矿床，其中人们研究最多、最成熟的是块状硫化物矿床，但目前尚缺乏包含所有喷流沉积矿床的系统分类。
- n 鉴于块状硫化物矿床类型、特征以及成矿机制研究等都已经形成比较完整的体系，因此本书建议首先从矿床的物质组成出发，把热水喷流沉积矿床划分为块状硫化物矿床和贫硫化物型喷流矿床两个大类，在此基础上，再进一步划分若干类型。

热水喷流沉积矿床分类历史沿革

一、热水喷流沉积矿床分类

- n Sangster (1976) 根据容矿岩系及成矿环境将块状硫化物矿床划分为：①火山岩为主环境的矿床；②沉积岩为主环境的矿床；③火山-沉积环境中的矿床。
- n Klau和Large (1980) 又根据火山岩组合的差别，把与火山岩的块状硫化物矿床分成两种类型：①与太古代绿岩带中的长英质火山岩有关的矿床；②与镁铁质火山岩有关的矿床。
- n Lydon(1983), Large (1984) 将沉积岩中的块状硫化物矿床分为：③碎屑岩容矿块状硫化物矿床；④碳酸岩容矿块状硫化物矿床。
- n Solomon (1976) 按矿石组成或成矿元素组合将块状硫化物矿床分为Zn-Cu型、Pb-Zn-Cu型和Cu型等。
- n Hutchison (1973) 将其划分为原始型 (Zn-Cu型)、多金属型 (Pb-Zn-Cu型)、含铜黄铁矿型、铜-锌黄铁矿型 (Cu-Zn型) 以及以碎屑岩为围岩的类型 (Pb-Zn型) 和以碳酸盐为围岩的类型 (Pb-Zn型)

热水喷流沉积矿床分类历史沿革

热水喷流沉积矿床分类

n Sillitoe (1973) 按块状硫化物矿床形成的板块构造环境，把在洋壳扩张中心形成的矿床与在岛弧或大陆边缘环境形成的矿床区别开来。前者通常含有较高的Cu、Zn；后者Pb-Zn-Ag-Ba含量升高。Sawkins (1976, 1984) 把块状硫化物矿床分成4类：

- ①塞浦路斯型，产在洋中脊部位的蛇绿岩带上部低钾玄武岩中；
- ②黑矿型，矿床产在会聚板块边缘的长英质钙碱性火山岩中；
- ③别子型，产在碎屑沉积岩和镁铁质火山岩中，形成于弧前海沟或不明确的板块构造环境；
- ④沙利文型，大陆裂谷晚阶段形成的沉积块状硫化物矿床

n Misra (2000) 在前人分类的基础上，按容矿岩石将块状硫化物矿床分为两类：

- 一类主要产在火山岩中，称为与火山岩有关的块状硫化物矿床（volcanic-associated massive sulfide deposits，简称VMS型），与前人火山成因块状硫化物矿床的叫法有所区别；
- 另一类主要产在沉积岩中，称为以沉积岩为容矿岩石的块状硫化物矿床（sediment-hosted massive sulfide deposits，简称SMS型），SMS型矿床的提出，目的是能与VMS矿床对应起来，便于系统对比、讨论，本书接受这种提法。

热水喷流沉积矿床分类历史沿革

一、热水喷流沉积矿床分类

n Misra (2000) 在前人分类的基础上，按容矿岩石将块状硫化物矿床分为两类：

- 按矿石组成、围岩岩性和大地构造环境，VMS 又被细分为塞浦路斯型 (Cyprus type)、别子型 (Besshi type)、黑矿型 (Koroko type)，和诺兰达型 (Noranda type) 和玛塔比型 (Mattabi type) 等5个亚类，其中最后2个亚类绝大多数特征相近，但玛塔比型含铅较高，而诺兰达型不含铅。

本书分类方案

n 为了应用方便，本书参考Misra（2000）的方案，首先把块状硫化物矿床分为VMS型和SMS型两类。

- VMS矿床的细分基本采用Misra（2000）的分类，但不把玛塔比型单独分类，只是在诺兰达型中提到其特征。
- SMS矿床的细分，则参考Lydon（1983）和Large（1984）的分类，即碎屑岩容矿和碳酸岩容矿2个亚类，但为了顾及习惯，并和VMS矿床的亚类划分统一，建议仍用典型矿床命名，分别称为沙利文型（Sullivan type）和银矿山型（Silvermines type）。

热水矿流沉积矿床分类

类型	亚类	容矿岩石	大地构造环境	成矿时代 (Ga)	Hutchison 的分类
VMS	诺兰达型	分异完全的玄武岩到流纹安山岩岩套, 火成碎屑岩, 杂砂岩	消亡板块边缘上的俯冲带	太古代 (>2.5) 早元古代(>1.8) 前寒武纪-泥盆纪	原始型 Zn-Cu (Ag-Au)
	黑矿型	双峰(?) 拉斑玄武岩, 钙碱性熔岩套, 火山碎屑岩	会聚板块边缘的岛弧火山带和弧后盆地	早元古代(>1.8) 奥陶纪 中生代 第三纪	多金属型 Pb-Zn-Cu (Ag-Au)
	塞浦路斯型	蛇绿岩套, 拉斑玄武岩	扩张洋中脊, 和蛇绿岩套有关	寒武-奥陶纪 中生代	含铜黄铁矿型 Cu, Au
	别子型	基性岩, 拉斑玄武岩(?), 杂砂岩, 页岩(?)	弧前海沟	晚元古代 1.2~0.8 古生代	铜-锌黄铁矿型 Cu-Zn (Au)
SMS	沙利文型	页岩(泥岩)、浊积岩	大陆裂谷	中元古代 1.7~1.0 寒武纪-泥盆纪	以碎屑岩为容矿围岩的类型 Zn-Pb (Ag)
	银矿山型	灰岩、白云岩为主, 砂岩、页岩	陆架, 同生断裂控制的盆地	晚元古代~1.0 密西西比期	以碳酸盐岩为容矿围岩的类型 Zn-Pb (Ag)

(二) 贫硫化物型喷流矿床类型划分

一、热液喷流沉积矿床分类

n 现代喷流成矿作用除了形成块状硫化物矿床外，还可形成其他类型的矿化，如**低温喷流作用**正在形成硫酸盐、铁的氧化物-硅酸盐-锰的氧化物，以及可能的含钴的锰氧化物结壳等矿化。因此，地质历史时期，除了块状硫化物矿床，热水喷流作用应该会形成其他类型的矿床，各类研究已经不断证明了这一点。但目前相关研究程度要比块状硫化物矿床低得多，应该说尚缺乏系统的研究，更无合理的分类方案。

n 除块状硫化物矿床，目前已经发现并确定为热水喷流矿床的种类和数量很少，很难开展系统的分类研究，本书仅想提供某些思路和初步的想法。鉴于当前的研究程度，从简单实用出发，建议该类矿床的分类命名主要形成的**矿种**为基础，名称前加上**热水喷流**的叫法，如热水喷流钴矿床、热水喷流锡矿床等。

(二) 贫硫化物型喷流矿床类型划分

一、热液喷流型矿床分类

n 在我国，贫硫化物喷流矿床研究已有所积累，如近年来发现的青海东昆仑**驼路沟钴矿**，吉林**大横路铜钴矿**（后期又经历了变质作用改造），广西**大厂锡矿**等已经被研究认为属于热水喷流矿床，相信随着研究的深入，会发现越来越多的贫硫化物型喷流矿床。

n 关于条带状含铁建造（BIF），其成矿作用可能类似于现代洋底正在形成铁的氧化物-硅酸盐-锰的氧化物的低温喷流作用。

n 相对块状硫化物矿床来说，该类热水喷流矿床中，硫化物含量要低得多，喷流岩（**exhalite**）或热水喷流建造成为矿床的主体部分。在研究贫硫化物喷流矿床时，主要通过地质、地球化学等方法来对比研究喷流岩或热水喷流建造的各类宏观和微观特征，确定其成因，进而有效地帮助确定与喷流岩有关的矿床的形成机制。

概况

- n VMS矿床具有重要的工业意义，是世界铜、铅、锌、银、金的主要来源之一，同时作为副产品提供锡、镉、铋、铊等金属。
- n 与火山岩有关的块状硫化物矿床与海底火山活动有关，产于海相火山岩系中，与地层整合的矿体呈层状、似层状、透镜状，其下往往有呈脉状、网脉状的矿体，矿石中硫化物体积大于50%，矿石具有典型的块状构造，块状硫化物矿床因而得名。

(一) VMS型矿床基本特征

- n (1) 与同时代的镁铁质和长英质火山岩、火山碎屑岩关系密切，形成于火山活动的间歇期。
- n (2) 矿体有整合和不整合两类，整合型矿体呈层状、似层状产出，与上盘岩石界限清楚，而与下盘岩石渐变过渡，矿石具块状构造。在整合矿体下，存在由浸染状、细网脉状矿石组成的不整合型矿体。
- n (3) 从下向上、从内到外存在Cu（黄铜矿）→Zn（闪锌矿）→Pb（方铅矿）矿化分带，黄铁矿出现在所有的带中。
- n (4) 富铁（有时富锰）的硅质岩形成于海底热水活动的减弱阶段，被认为是经化学沉积形成的喷流岩，覆盖在块状矿石的顶部或作为整合型矿体水平方向上的外延部分。

() VMS矿床基本特征

n (5) 除别子型矿床外，其他类型的VMS矿床中，整合型矿体的下盘岩石中存在绿泥石和绢云母的蚀变，形成陡立的**管（筒）状蚀变带**，通常从内向外具明显的水平分带（如图7-4）。这种管（筒）状蚀变带往往沿垂向上有较大的延伸，如诺兰达型VMS矿床中可达数百米。在有的VMS矿床内，整合型矿体下盘的火山岩中还发育范围大得多的**半整合型蚀变**，主要有硅化、绿帘石化和碳酸盐化，亏损金属组分，据称是循环的海水与火山岩反应的产物，成矿组分被淋滤出来。管（筒）状蚀变带叠加在半整合蚀变带之上。

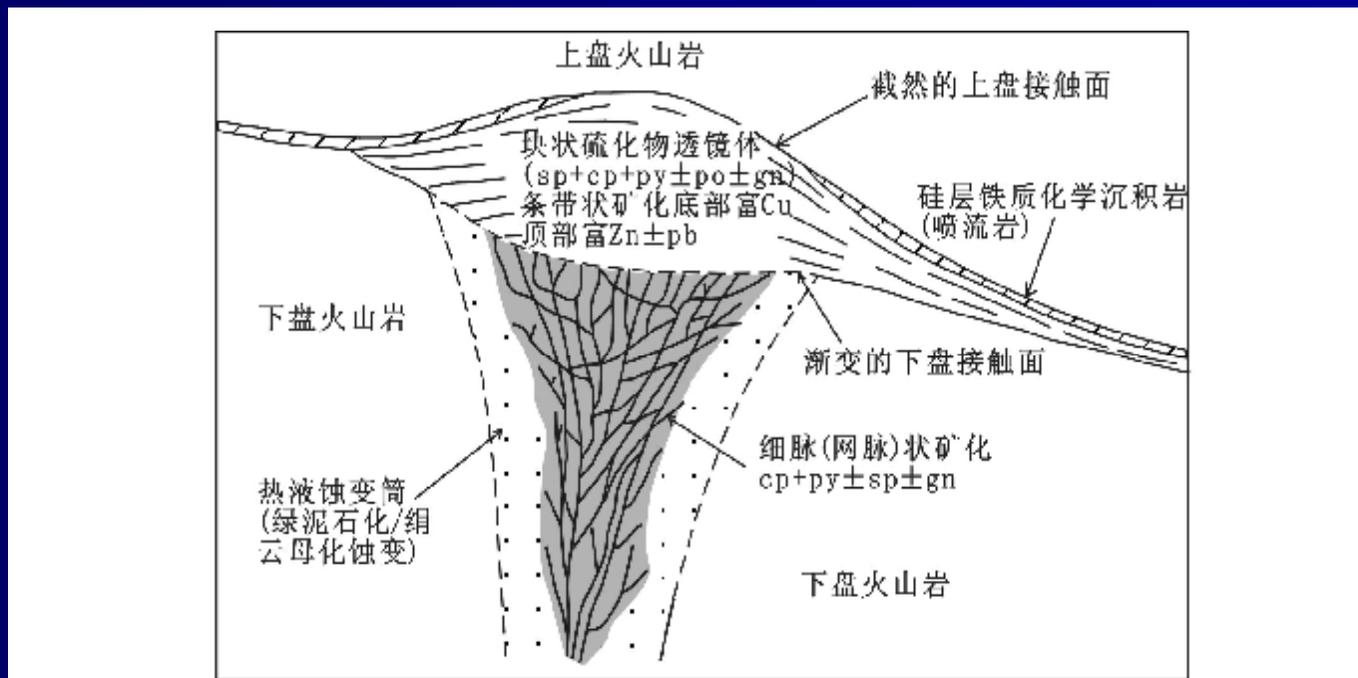


图 7-4 理想化 VMS 矿床剖面示意图 (据 Lydon, 1984)

n
n
n

矿床形成于会聚板块边缘的岛弧火山带和弧后盆地。
容矿岩石为双峰（？）拉斑玄武岩、钙碱性长英质熔岩套及火成碎屑岩。

上部矿体为层状，下部矿体为网脉状、细脉状、角砾状。
矿石类型具分带现象，自上而下依次为：

- 黑矿（方铅矿、闪锌矿），
- 黄矿（黄铁矿、黄铜矿）、
- 硅矿（强硅化岩石中的网脉状、角砾状黄铁矿、黄铜矿）。

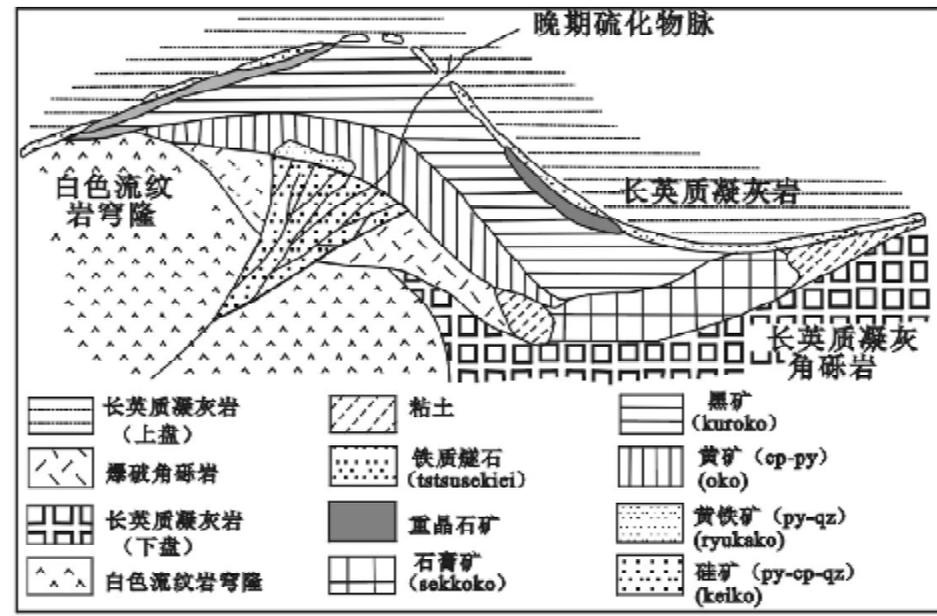


图 7-5 理想化黑矿剖面示音图 (据 Sato, 1974)

I. 黑矿型VMS

三、与火山岩有关的块状硫化物矿床

n 成矿元素组合：Cu-Pb-Zn，有时富Ag-Au。形成时代早元古代、奥陶纪、中生代、第三纪。

n 典型矿床包括日本黑矿、普雷斯科特、萨德伯里盆地、芒特艾萨、新不伦瑞克、东沙斯塔等。

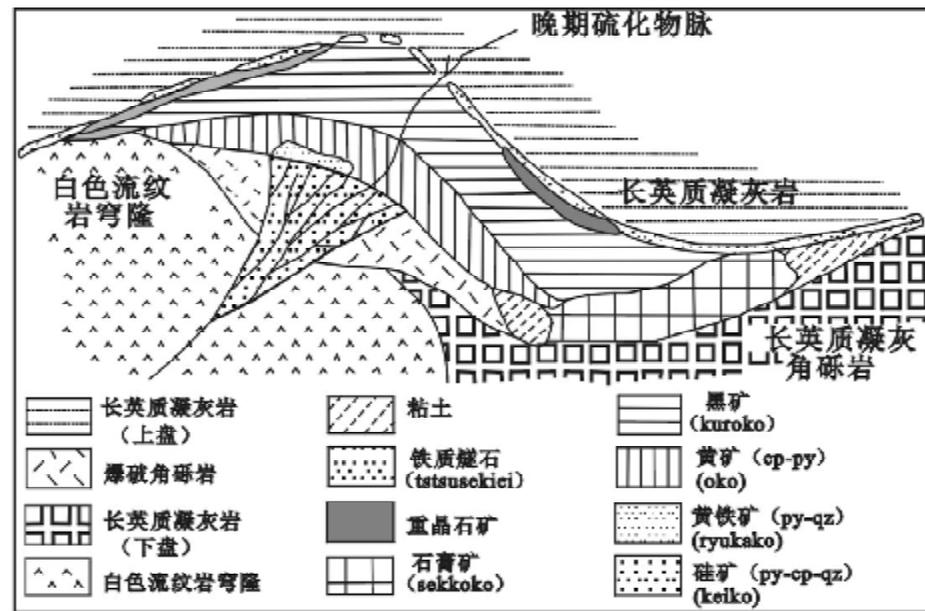
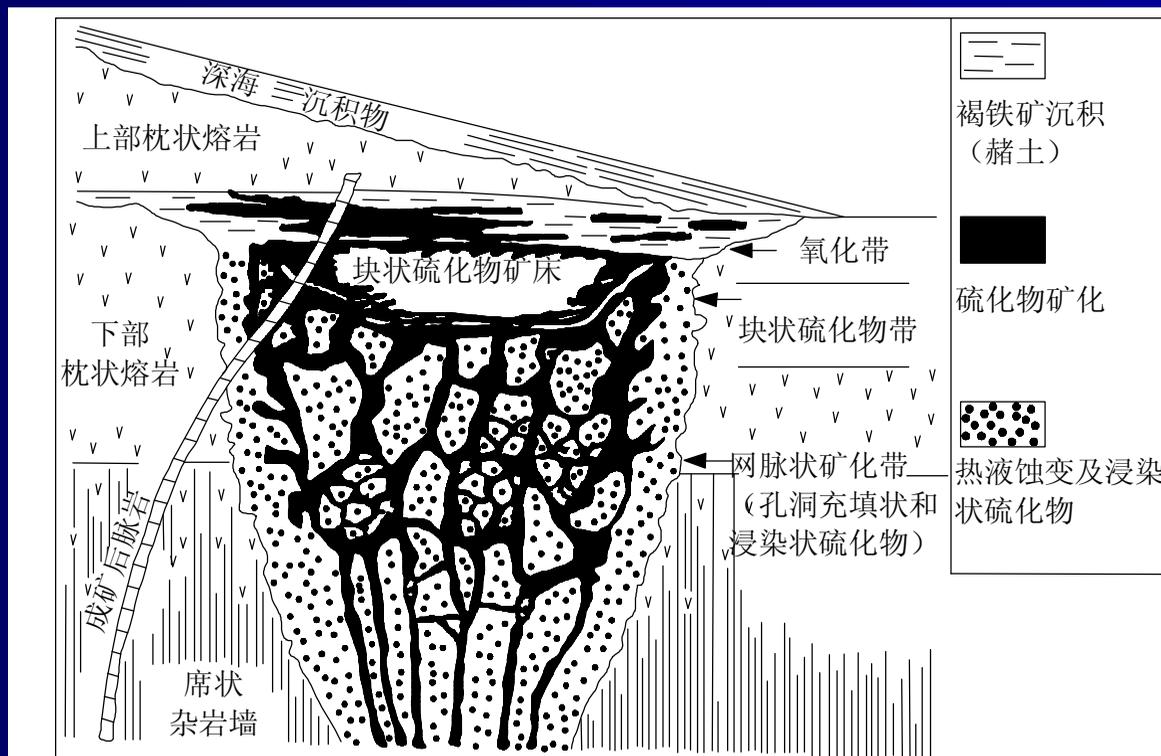


图 7-5 理想化黑矿剖面示意图 (据 Sato, 1974)

Sp-闪锌矿；gn-方铅矿；cp-黄铜矿；py-黄铁矿；ba-重晶石；qz-石英

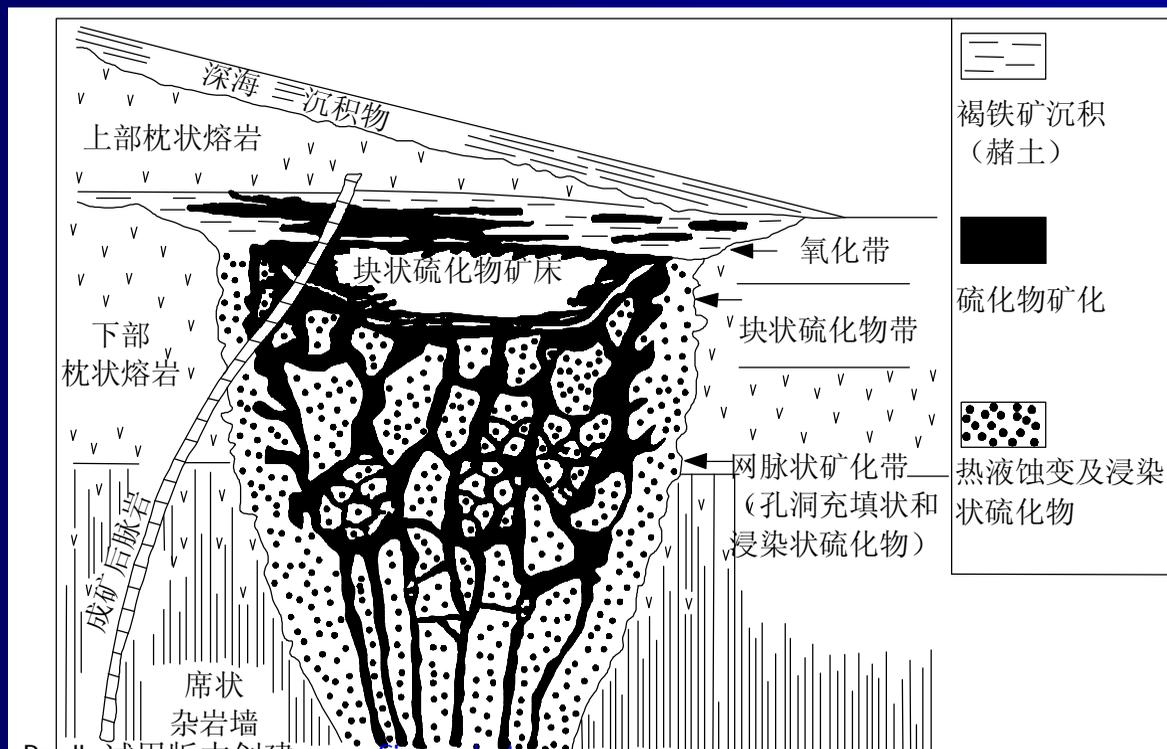
2. 塞浦路斯型VMS

- n 塞浦路斯型VMS主要产于洋中脊蛇绿岩套上部低钾枕状玄武岩中，
- n 矿体也具两层结构：上部层状矿体（含化石）和下部网脉状矿体。
- n 块状硫化物矿石中矿石矿物包括黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿等，网脉状矿石中矿石矿物主要有黄铁矿、磁黄铁矿，以及少量黄铜矿和闪锌矿（有少量Co、Au、Ag）。



2. 塞浦路斯型VMS

- n 细脉带中的长石常被蚀变，蚀变包括硅化、绿泥石化等，另有少量泥化。
- n 形成时代主要为寒武-奥陶纪以及中生代。
- n 典型矿床包括塞浦路斯、危地马拉、加拿大纽芬兰York港、美国俄勒冈Turner-Albright等。



3. 别子型VMS

二、与火山岩有关的块状硫化物矿床

- n 别子型VMS主要产于板块交界处尤其是弧前海沟中，
- n 容矿岩石包括拉斑玄武岩-安山质凝灰岩和角砾岩、陆源碎屑沉积岩（杂砂岩）、局部为黑色页岩。
- n 矿体呈层状、板状，与围岩产状一致。

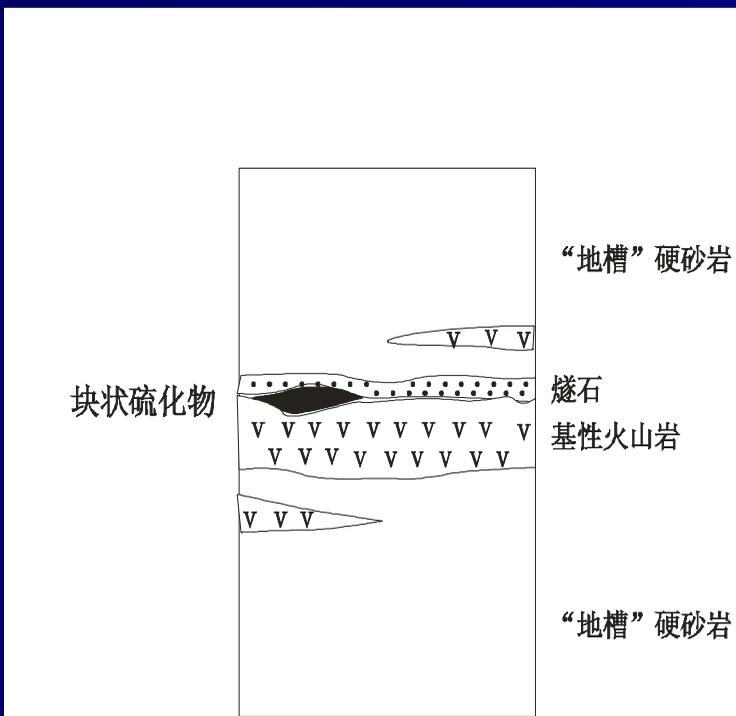


图 7-7 别子型 VMS 综合剖面示意图

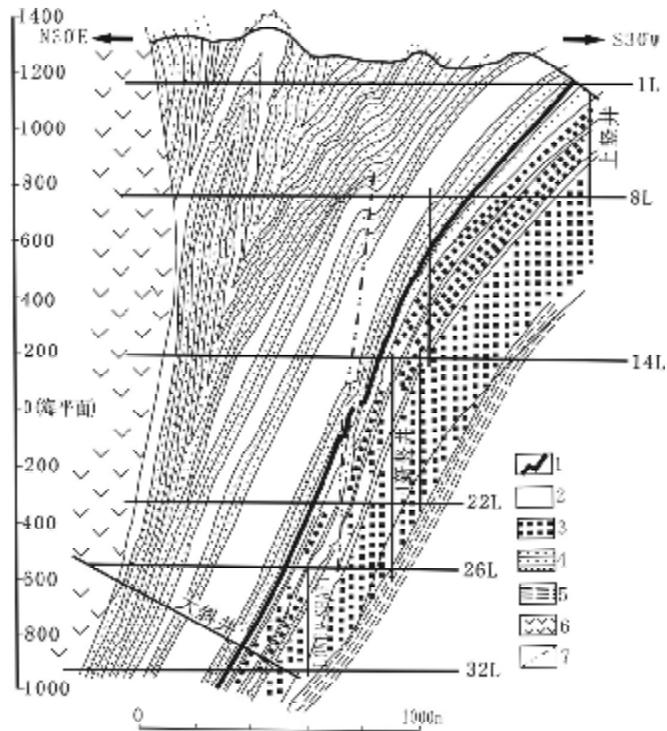


图 7-8 日本别子矿床横剖面图(据 Sangster, 1985a)

1-矿体；2-片岩；3-无斑基性片岩；4-泥质片岩；5-千枚岩；

3. 别子型VMS

与火山岩有关的块状硫化物矿床

n 矿石细粒、块状、薄层状矿石，有胶状和草莓状结构的黄铁矿，还有角砾状和细脉状矿石，矿石矿物包括黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿、闪锌矿等。有用元素组合为Cu-Zn (Au)。

n 主要成矿时代为元古代、古生代以及中生代。

n 典型矿床包括加拿大基瓦丁、日本别子、西班牙-葡萄牙的里奥·廷托、甘肃白银厂。

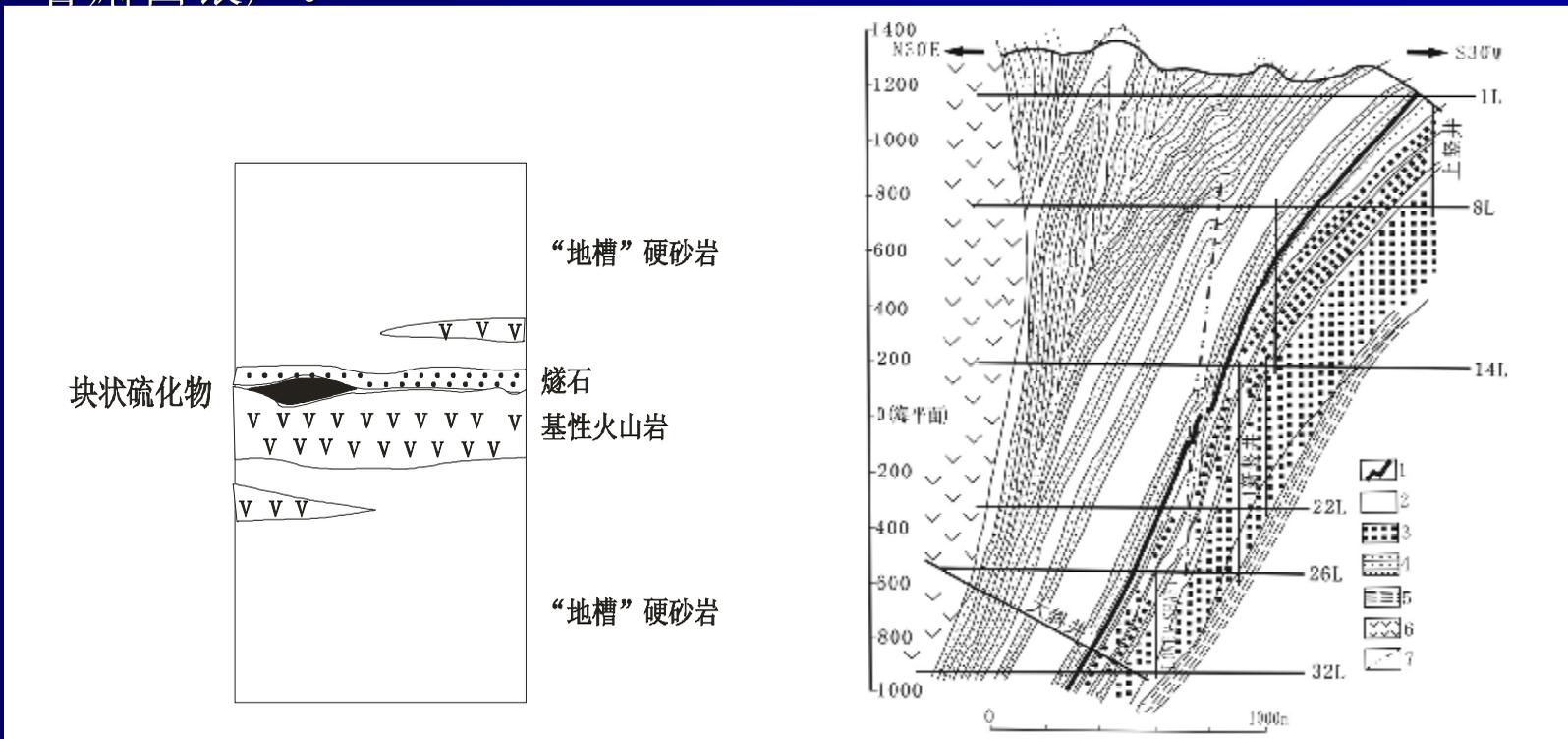


图 7-7 别子型 VMS 综合剖面示意图

图 7-8 日本别子矿床横剖面图(据 Sangster, 1985a)

4. 诺兰达型VMS

- n 诺兰达型VMS主要产在消亡板块边缘上俯冲带上分异完全的玄武岩到流纹安山岩岩套中，
- n 容矿岩石主要为酸性火山岩，有少量火成碎屑岩和杂砂岩。
- n 其矿床地质特征和黑矿型极为相似，和黑矿相比，其最大特点是缺少黑矿型VMS那样有工业意义的Pb矿化，成矿元素主要为Zn-Cu，有时富Ag-Au。

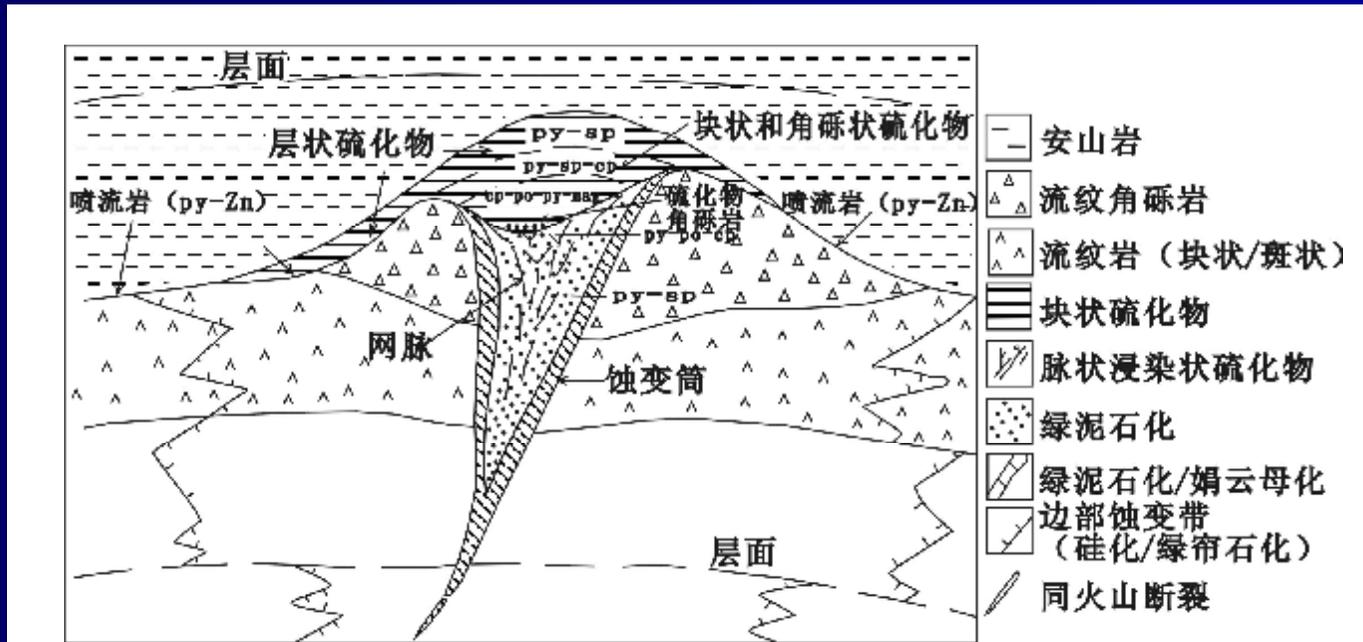


图 7-9 典型诺兰达型 VMS 矿床剖面示意图 (据 Franklin, 1993)

4. 诺兰达型VMS

- n 因为其成矿时代主要集中在太古代，故又称太古代黑矿型，属太古代绿岩带中的一类矿产。另外早元古代和前寒武纪-泥盆纪均可成矿。
- n 典型矿床包括诺兰达、基德克里克、杰罗姆、弗林弗隆、克兰多、西沙斯塔、辽宁红透山等。

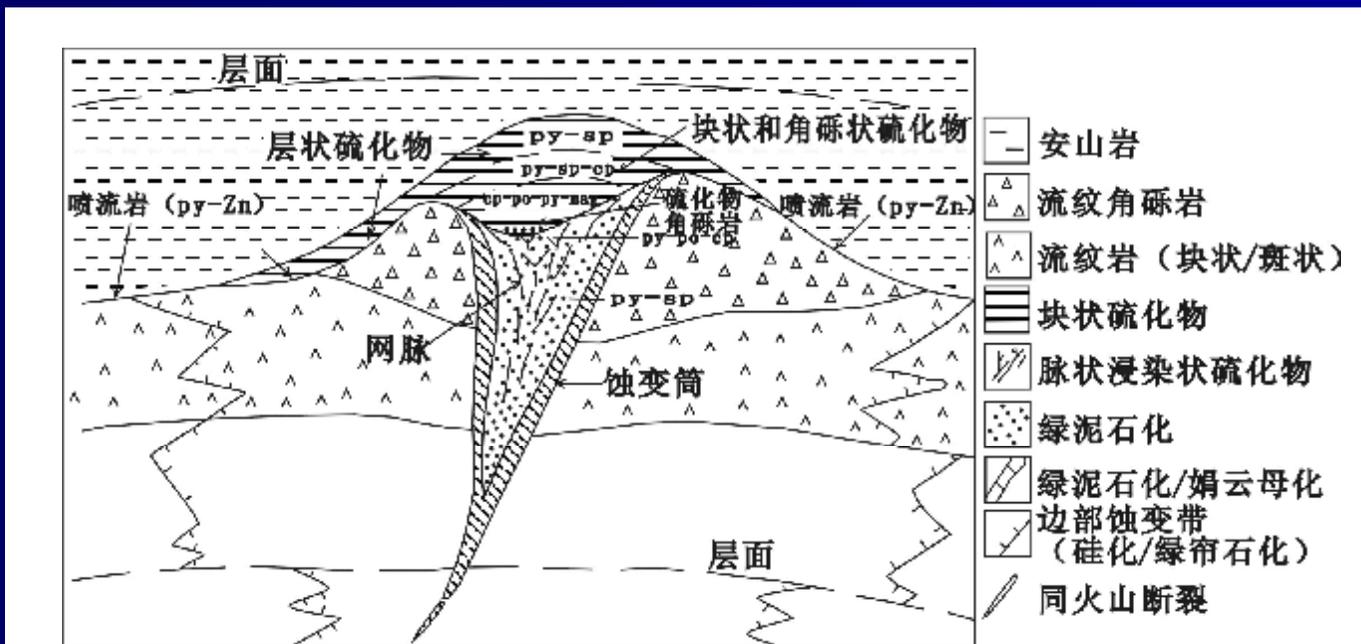


图 7-9 典型诺兰达型 VMS 矿床剖面示意图 (据 Franklin, 1993)

三、沉积岩中的块状硫化物矿床（SMS）

- n 沉积岩中的块状硫化物矿床（SMS），在成分上富含Pb、Zn，伴生Ag和Ba，贫Cu，几乎不含Au。虽然数量不如与火山岩有关的块状硫化物矿床（VMS）多，但其规模大、品位高、矿化延展稳定、伴生有用组分多。这类矿床构成了全球最重要的铅（61%）、锌（54%）资源量，在世界铅锌产量方面分别占25%和31%。
- n 世界上著名的矿床有沙利文、布罗肯山、钠凡、“银矿山”、麦根、腊梅尔斯伯格、蒂钠等矿床。我国也有厂坝、大西沟、东升庙等矿床，近年来在我国南方首次找到云南蒙自白牛厂超大型沉积喷流型银-多金属矿床。

矿床特征

- (1) 矿化围岩主要有两类，一类是陆源海相碎屑岩；另一类为台地相的碳酸盐。通常矿化和含矿围岩中缺乏岩浆成因的组分。
- (2) 层状矿化带主要由两部分组成，一部分是低铜的块状矿石组成的整合型的透镜状、板状矿体；另一部分是经济价值很低的、层状的、由热水活动形成的矿体的外围边缘部分。

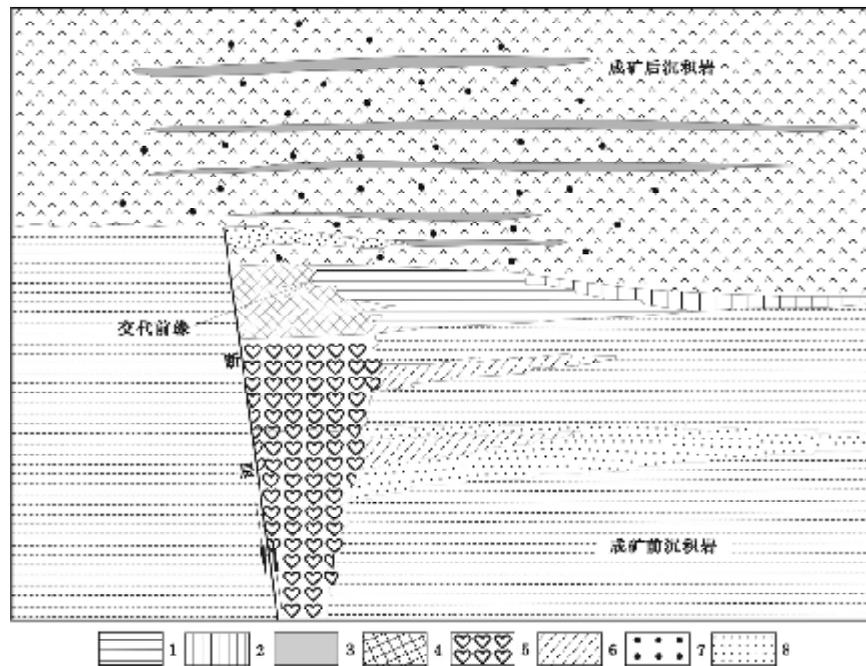


图 7-10 理想化 SMS 型 Pb-Zn 重晶石矿床剖面示意图 (据 Large, 1983)

1--沉积热液相 (闪锌矿、方铅矿、黄铁矿、雌黄铁矿、黄铜矿，与重晶石、燧石及远洋/碎屑沉积岩互层)；2-边缘沉积相 (重晶石、碳酸盐、铁的氧化物、磷酸盐、黄铁矿、细粒闪锌矿及燧石)；3--薄层热液矿物 (重晶石、磷灰石、黄铁矿、细粒闪锌矿、燧石)；4-喷口杂岩 (层状硫化物，被破坏成角砾状、脉状，并被黄铜矿、黝铜矿、毒砂、雌黄铁矿、方铅矿及闪锌矿等广泛交代)；5-补给筒 (下盘沉积岩，被角砾化和充填，并被石英、碳酸盐、绿泥石、绢云母、电气石及少量硫化物交代)；6--不渗透单元的充填、交代和蚀变层状带；7-成矿后沉积岩中热液蚀变带 (钠长石、绿泥石、碳酸盐及少量硫化物)；8-断裂悬崖沉积角砾岩

矿床特征

- (3) 矿体下盘存在少量的网脉状、脉状硫化物矿化，伴随有主要是硅化的蚀变，强度小。
- (4) 明显的水平分带，从内从内向外依次为 (Cu) → Pb → Zn → (Ba) 变化，垂直方向上自下而上也存在相同的分带，但往往不如水平分带清晰。
- (5) 与同沉积断裂系统关系密切，成矿时活动，作为热水喷流的通道，后期的变形中有可能活化。

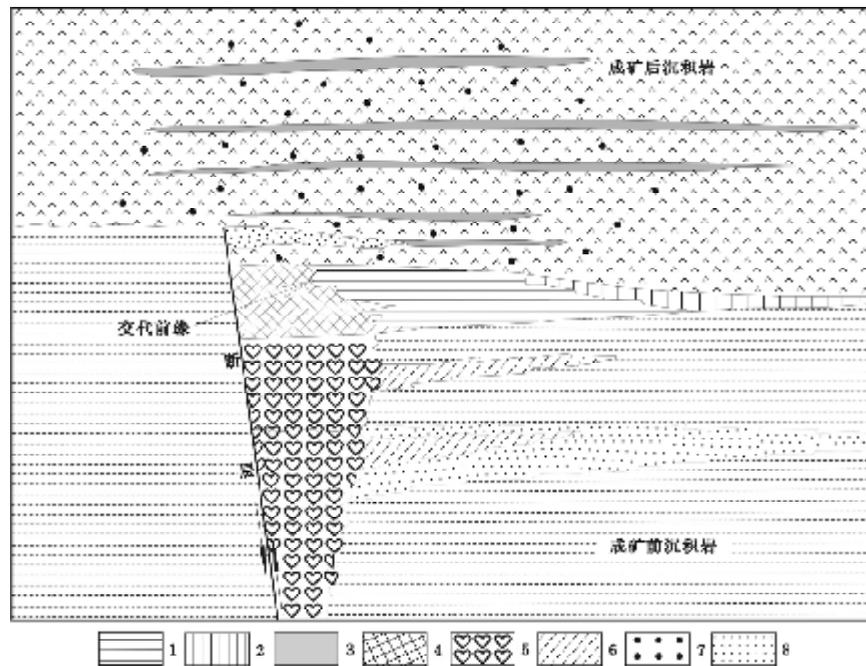


图 7-10 理想化 SMS 型 Pb-Zn 重晶石矿床剖面示意图 (据 Large, 1983)

1--沉积热液相 (闪锌矿、方铅矿、黄铁矿、雌黄铁矿、黄铜矿，与重晶石、燧石及远洋/碎屑沉积岩互层)；2-边缘沉积相 (重晶石、碳酸盐、铁的氧化物、磷酸盐、黄铁矿、细粒闪锌矿及燧石)；3.-薄层热液矿物 (重晶石、磷灰石、黄铁矿、细粒闪锌矿、燧石)；4-喷口杂岩 (层状硫化物，被破坏成角砾状、脉状，并被黄铜矿、黝铜矿、毒砂、雌黄铁矿、方铅矿及闪锌矿等广泛交代)；5-补给筒 (下盘沉积岩，被角砾化和充填，并被石英、碳酸盐、绿泥石、绢云母、电气石及少量硫化物交代)；6.-不渗透单元的充填、交代和蚀变层状带；7-成矿后沉积岩中热液蚀变带 (钠长石、绿泥石、碳酸盐及少量硫化物)；8-断裂悬崖沉积角砾岩

1. 沙利文型SMS

n 沙利文型SMS主要产于大陆裂谷中，围岩主要为页岩（泥岩）、浊积岩等碎屑岩；成矿时代为元古代、寒武纪-泥盆纪，成矿元素主要为Zn-Pb（Ag）。

III. 沉积岩中的块状硫化物矿床 (SMS)

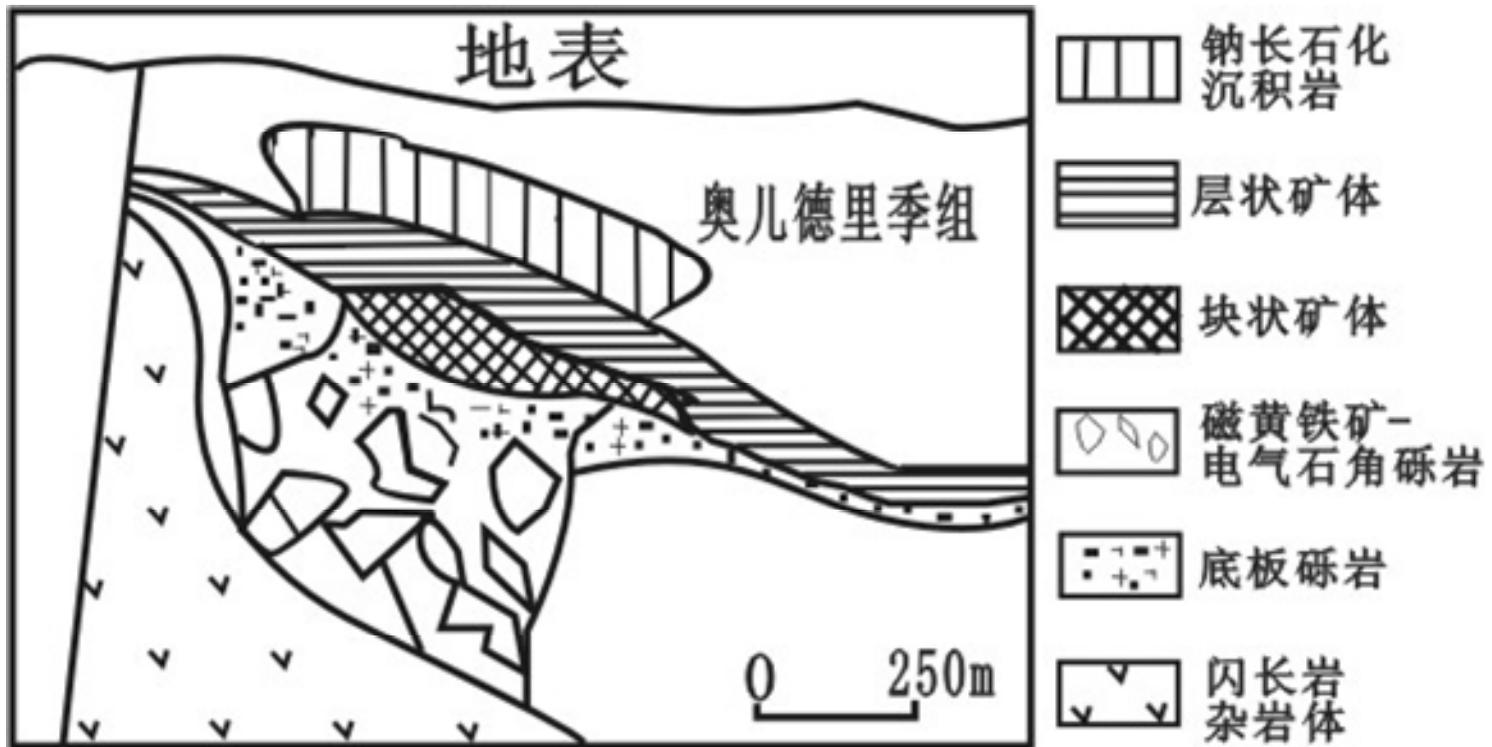


图 7-11 沙利文矿床矿化分带剖面示音图 (据 Sanoster.)

2. 银矿山型SMS

n 银矿山型主要指以碳酸盐岩为容矿岩石的SMS型矿床，容矿岩石包括灰岩和白云岩，形成于受同生断裂控制的盆地内。

n 该类型矿床地质特征和沙利文型类似。典型矿床如英国的银矿山、美国的巴尔马特以及爱尔兰的锡尔弗迈因斯矿床等。

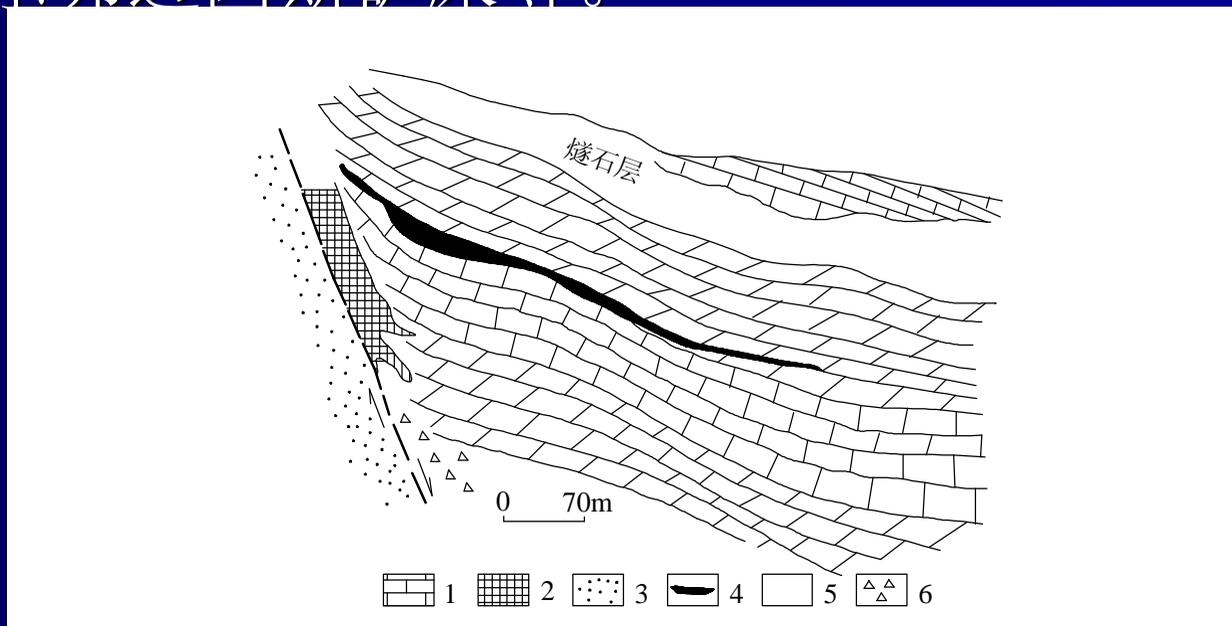


图 7-12 锡尔弗迈因斯矿床横剖面示意图 (据 Sangster, 1985b)

1-灰岩、泥灰岩、白云岩；2-细脉浸染状硫化物矿化；3-红色砂岩；4-层状硫化物矿化；5-燧石层；6-角砾岩