

第十一章 变质矿床

第一节 变质矿床的概念、特点及工业意义

一、变质矿床基本特征

二、变质矿床的工业意义

第二节 变质矿床形成条件及变质作用类型

一、变质矿床形成条件

二、变质作用类型

第三节 变质矿床的主要类型

一、沉积-变质铁矿床

二、变质金矿床

三、变质磷矿床

四、石墨矿床

变质矿床的概念

- n 变质作用——由内生作用或外生作用形成的岩石和矿石，由于地质环境的变化和温度、压力的增高，其矿物成分、化学成分、物理性质及结构构造等发生变化，产生这种变化的地质作用被称为变质作用。
- n 变质矿床——遭受变质作用改造过的矿床和由变质作用形成的矿床都称为变质矿床（metamorphic ore deposits）。

变质矿床的概念

n 变成矿床——若岩石中的某些组分，经变质作用后成为有工业价值的矿床，或由于变质作用改变了工业用途的矿床称为变成矿床。

- 富铝岩石经变质后形成的刚玉矿床
- 煤经过接触变质后形成的石墨矿床

n 受变质矿床——若原来已经是矿床，受到变质作用后，矿石的成分、结构构造以及矿体的形态、产状、品位和规模等方面发生了变化，但其工业用途并未改变的矿床称为受变质矿床

- 由赤铁矿-蛋白石组成的沉积铁矿床变质后形成由磁铁矿-石英组成的变质铁矿床等

1. 矿物成分和化学成分的变化

这种变化主要由以下变质作用造成：

- n (1) 脱水作用 (dehydration)：原来岩石或矿石中经常含有较多的水分，变质过程中由于温度和压力的升高，就会使它们变成少含水或不含水矿物。
 - 褐铁矿变为赤铁矿
 - 水锰矿变为褐锰矿
- n (2) 重结晶作用 (recrystallization)：在高温高压作用下，原来小颗粒矿物便会逐渐结晶长大。
 - 蛋白石转变为石英
 - 石灰岩变为大理岩

1. 矿物成分和化学成分的变化

这种变化主要由以下变质作用造成：

- n (3) 重组合作用 (reorganization)：由于温度、压力或其他物理化学条件发生变化，使得原来稳定的矿物平衡组合，被在新的条件下稳定的矿物组合所代替。
 - 方解石和石英转变为硅灰石
 - 粘土矿物变为蓝晶石和石英
- n (4) 还原作用 (reduction)：在高温缺氧条件下，矿物中一些易于还原的变价元素，常由高价转变为低价，而使一种矿物变为另一种矿物。
 - 赤铁矿变为磁铁矿
 - 软锰矿变为褐锰矿

1. 矿物成分和化学成分的变化

这种变化主要由以下变质作用造成：

- n (5) 交代作用 (metasomatism)：在变质过程中，当有大量化学活动性流体存在时，原岩组分与化学活动性流体起积极化学反应，而形成新的矿物或矿物组合。变质流体主要产生于区域变质尤其是混合岩化过程中；它会增加岩石的塑性，促进岩石、矿物在定向或非均匀压力作用下发生塑性流动和变形；在温压升高及流体参与下会降低岩石的熔点，使其发生选择性重熔。局部熔融

2. 矿石结构和构造的变化

n 变质矿床的矿石有变余结构、构造和变成结构、构造。

— 变余结构、构造是指岩石或矿石经变质后保留下来的原来岩石或矿石的结构、构造。

n 磁铁石英岩中的变余鲕状

n 变余砂状结构和残留斜层理构造

n 块状硫化物矿床中残留的热液喷流形成的细、微层理。

2. 矿石结构和构造的变化

变质矿床的矿石有变余结构、构造和变成结构、构造。

- 变成结构、构造是指变质过程中形成的结构、构造。
 - n 在浅变质时，矿物重结晶不明显，通常表现为隐晶变晶结构；由于矿物定向排列产生千枚状或板状构造。
 - n 当变质程度较深时，主要有花岗变晶、斑状变晶、鳞片变晶等结构及片状、片麻状、皱纹状等构造。
 - n 当动力作用显著时，由于定向压力的影响，产生劈理及破碎，常见压碎结构及角砾状构造。
 - n 在变质过程中，当变质气水热液作用显著时，常见

3. 矿体形状和产状的变化

- n 变质矿床矿体的形状和产状，既受原来岩层或矿体的控制，也受变质作用类型和强度的制约。
 - 原生的沉积矿床经变质后矿体形态依然比较规则；
 - 原生的内生矿床形态本来就较复杂，经变质后矿体形态更为复杂

3. 矿体形状和产状的变化

第一节

一、变质矿床基本特征

n 变质作用类型对矿体形状、产状也有较大影响

- 接触变质矿床沿接触带附近发育，矿体形态不规则，产状变化大，规模一般较小
- 区域变质矿床矿体形态大多比较规则，产状较稳定，规模也较大

3. 矿体形状和产状的变化

- n 变质过程中成矿组分活化转移能力和塑性形变强度，对矿体形态、产状的改变有很大影响。
 - 成矿组分的活化转移，可在在层状、似层状矿体基础上形成脉状矿体
 - 塑性形变强烈时，成矿组分虽无大量活化转移，但矿体形态和产状可发生非常大的变化，
 - n 如层状矿体在受到强烈挤压褶皱后，形成透镜状、弯钩状、串珠状甚至不规则状矿体，如变质硼矿。

一、变质矿床的工业意义

n 变质矿床的矿产种类繁多

- 金属矿产——主要有铁、金、铀、铜、铅、锌等金属矿产
- 非金属矿产——滑石、菱镁矿、硼、磷、石墨和石棉等。

n 一些变质矿床分布广、储量大

- 变质铁矿床储量占全球铁矿总储量的2/3以上
- 变质金-铀砾岩矿床则是世界上金和铀的主要来源

一、变质矿床的工业意义

- n 前寒武纪的变质铁矿床在全球各大陆均有分布，占世界铁矿总量的2/3以上，其中还不乏一些大的富矿，
 - 澳大利亚的哈默斯利铁矿
 - 巴西的米纳斯铁矿带
 - 印度、南非、阿富汗的一些大的富矿
- n 变质铁矿占我国铁矿储量的60%，以鞍山-本溪、北京-冀东、五台-太行、内蒙阴山等地最为集中，但总体而言以贫矿为主。

一、变质矿床的工业意义

- n 变质型金矿也是金矿床的重要类型之一，
 - 美国霍姆斯塔克金矿
 - 加拿大赫姆洛金矿
 - 我国黑龙江东风山金矿
 - 南非的维特瓦特斯兰德含金铀砾岩矿床是世界上最大的金和铀产区
- n 变质型铜矿也极具规模，
 - 如沉积变质型铜矿（我国东川铜矿）
 - 火山变质型铜矿（我国中条山铜矿、澳大利亚莱伊尔山铜矿等）

一、变质矿床的工业意义

- n 变质铅锌矿床也不乏大矿，如澳大利亚的布罗肯山铅锌矿床，其铅锌含量大于20%，储量大于 $600 \times 10^4 \text{t}$ ，铜、金、银和镉可综合利用。
- n 变质菱镁矿（辽宁大石桥），变质锰矿（印度、巴西），变质磷矿（江苏、湖北、吉林）
- n 变质硼矿（我国辽东、瑞典）
- n 变质石墨矿（我国山东、黑龙江、福建、印度）
- n 云母、宝石及研磨原料，部分稀有分散元素矿床等

1. 地质条件

n (1) 构造背景：前寒武纪古老的地盾区和地台区是变质矿床的最重要分布区，显生宙造山带是另一类比较重要的变质矿床分布区。

- 大面积分布的古老地盾和地台区蕴藏着极为丰富的变质矿产，特别是金、铀、钒、钛、铬、钴、铂、锰、稀有稀土、磷、云母、石棉、菱镁矿、石墨等，大部分储量都集中在前寒武纪矿床中；
- 显生宙造山带中变质岩呈带状分布，其内也有较丰富的变质矿床，主要有铬、铁、铜、铅、锌、钨、钼、钴、稀有稀土、放射性元素以及云母、压电石英、石棉等。

1. 地质条件

n (2) 原岩建造：原岩建造的含矿性是形成变质矿床的物质基础。不同类型的岩石含矿性往往差别很大，而产于不同地质背景下的同类岩石含矿性也往往不同。

- 有些原岩在遭受变质之前，其所含的成矿物质已达工业品位和规模，变质过程中成矿物质又发生局部迁移，形成一定数量的富矿体。
- 原岩只是比其他区段岩石成矿元素相对富集，远未达到工业品位和规模，经过变质后才形成工业矿床，而绝大多数变质矿床产于富含成矿物质的原岩建造中，很少超出含矿的原岩建造范围。因此，原岩建造的含矿性研究，对变质矿床形成机理及找矿都具有十分重要的意义。

2. 物理化学条件

n (1) 温度:

– 温度变化是使岩石发生变质的最主要因素，因为变质作用是随温度的变化而进行的。温度的升高和降低决定了变质作用进行的方向和速度。

n 温度的增加促使吸热反应的进行，而温度的降低有利于放热反应的进行。

– 根据研究，接触变质和中、深区域变质都属于吸热反应，

– 动力变质和一部分浅区域变质则属放热反应。

n 温度的升高促使变质含矿流体的活动性增强，从而引起成矿物质的迁移，促使交代作用的发生。

n 温度升高还能使矿物发生重结晶和重组，进一步可发生选择性重熔，引起复杂的混合岩化作用。

2. 物理化学条件

n (1) 温度:

– 变质矿床形成的温度可分为3类

n 第一类相当于沸石相-绿片岩相 (100~450°C),

n 第二类为绿帘石角闪岩相 (450~650°C),

n 第三类相当于角闪岩相和麻粒岩相 (600~800°C)。

– 变质过程中引起局部性温度升高的原因主要是

n 岩浆侵入

n 火山喷发

n 地壳局部应力作用

2. 物理化学条件

n (1) 温度:

- 变质过程中引起区域性变质作用中温度升高的原因是深部热流的上升。地壳深部上升的热流值，在不同时期和不同构造单元内是不同的
 - n 前寒武纪明显较近代大，所以区域变质作用和与其有关的成矿作用主要发生在前寒武纪。
 - n 古生代以后，热流值增高以造山带最为剧烈，区域变质也限于这些地带。

2. 物理化学条件

n (2) 压力:

- 压力在变质成矿作用中也具有重要意义。
- 由上覆岩层重力而产生的静岩压力的增高,使变质反应向体积变小的方向进行。
 - n 变质过程中,压力和温度的变化往往是同时进行的,有些矿物的形成温度随着压力的变化而变化,如压力为 $1 \times 10^5 \text{Pa}$ 时,硅灰石的形成温度为 470°C ,当压力增至 $500 \times 10^5 \text{Pa}$ 时,其形成温度为 650°C 。
 - n 在温度相同,压力不同时,则可出现不同的矿物,如 Al_2SiO_5 在 $500 \sim 600^\circ\text{C}$,当压力较高时成为矽线石,压力较低时成为红柱石。

2. 物理化学条件

n (2) 压力:

- 由构造应力产生的定向压力可使岩石和矿石破碎、褶皱和流动，形成片理、劈理、线理等构造，可促使熔体和气液运移，降低变质矿物的熔点。在变质成矿过程中，定向压力可促使成矿物质发生迁移和富集。
- 变质成矿过程中的压力随着变质程度的增加而增大，
 - n 在绿片岩相中是 $1.5 \times 10^8 \sim 2 \times 10^8 \text{Pa}$ （相当于5~7km深度），
 - n 在绿帘石角闪岩相中是 $2 \times 10^8 \sim 2.5 \times 10^8 \text{Pa}$ （相当于7~9km深度），
 - n 在麻粒岩相中是 $4.2 \times 10^8 \sim 4.4 \times 10^8 \text{Pa}$ （相当于15~16km深度）。

• 变质相的划分方案

表2 变质相与温度和压力的关系 (据 Escola, 1939)

-			蓝闪石片岩相		榴辉岩相
压					麻粒岩相
力	绿片岩相		绿帘角闪岩相	角闪岩相	辉石角岩相
升		沸石结晶作用			透长石相
高			温度升高	®	

2. 物理化学条件

n (3) 流体作用：各种流体在变质过程中也起重要作用，其中以H₂O和CO₂为主，其次还包括F、Cl、B等。它们部分来源于受变质岩层本身，另一部分可能来源于岩浆或地壳深部。在一般的变质过程中H₂O和CO₂等流体等可以与外界自由交换，它们可以促进化学反应和重结晶的进行，如：



高岭石 红柱石 石英



方解石 石英 硅灰石

— 上述反应中P_{H₂O}和P_{CO₂}的高低对变质反应方向有明显的制约。

1. 区域变质成矿作用

- n 区域变质成矿作用（regional metamorphic ore-forming process）是指在地壳深部地质作用过程中，由于区域性温度、压力升高和岩浆作用等，使原岩或原生矿床中的成矿组分聚集或改造形成矿床的作用。由此形成的矿床称为区域变质矿床。
- n 区域变质成矿作用主要发生在前寒武纪古老的地盾或地台区，少数发生在后期造山带。
- n 区域变质矿床分布广泛，矿种繁多，主要矿产有铁、金、铜、铀以及磷、菱镁矿、石墨和石棉等
- n 区域变质矿床规模一般较大，具有重要的工业价值

1. 区域变质成矿作用

n 含矿原岩建造是区域变质成矿作用的物质基础。如

- 一条带状含铁石英岩建造，
- 含金、铁的绿岩建造，
- 含磷、石墨的片岩建造，
- 含钛、钒、磷的辉石岩-角闪岩建造，
- 含硼的钠长变粒岩建造，
- 富镁（滑石、菱镁矿）变质碳酸盐建造。

1. 区域变质成矿作用

- n 区域变质过程中，含矿原岩建造中的成矿物质通过2种方式得到改造和富集。
 - 一种是由于温度升高，原岩中的矿物经脱水、重结晶和重组合作用而富集成矿，其形成的矿体以似层状、透镜状为主。
 - n 磁铁石英岩矿床、磷灰石矿床、石墨矿床等；
 - 另一种是由变质热液交代使成矿组分得到富集。有时含矿的变质热液，受原岩的构造裂隙控制，形成各种形态的矿脉
 - n 绿岩带中的脉型金矿等。

2. 接触变质成矿作用

- n 接触变质成矿作用（contact metamorphic ore-forming process）主要是由于岩浆侵位而引起围岩温度增高而产生的变质成矿作用。
- n 压力对其影响很小，以热力作用为主，主要是交代作用，重结晶和重组合作用。接触变质矿床主要为非金属，如
 - 石墨、大理岩、高铝矿物原料等，也可形成一些金属矿床，
 - 较贫的沉积赤铁矿经接触变质后可成为较富的磁铁矿矿床。

2. 接触变质成矿作用

n 接触变质成矿作用过程中几乎没有外来物质的加入和原有物质带出，挥发分的影响也很微弱，在某情况下，局部地段可发生一定的交代作用。

n 在交代作用比较剧烈时，接触变质成矿作用就过渡为接触交代成矿作用，形成矽卡岩型矿床。

n 围岩性质对接触变质矿床的形成具有十分重要的意义。

- 围岩成分直接决定接触变质的产物，如煤经接触变质后形成石墨，石灰岩则形成大理岩；
- 围岩物理性质对接触变质强度和规模有一定影响，钙质岩石较泥质岩石导热性强，重结晶范围较泥质岩石大，常出现大面积的接触变质。

2. 接触变质成矿作用

n 侵入体的岩性和规模对接触变质矿床的形成也有很大影响。

- 通常讲，同等规模的岩体中，中酸性侵入体的热容量较大。
- 侵入体规模大其含热量也越大，故规模大的中酸性侵入体会使围岩重结晶和重组合更强烈，波及范围也更广泛。统计显示大部分接触变质矿床都分布在规模较大的中酸性岩体周围。

n 接触变质成矿作用主要形成于中深或浅成条件。接触带特征对接触变质发育程度有一定影响。

- 侵入接触面和围岩层理面斜交时，有利于热的扩散和传导，可形成较宽的接触变质晕。

2. 接触变质成矿作用

接触变质晕常成带状分布，一般可分为3个带：

- 显著重结晶带，
- 过渡带
- 原岩带

— 湖南郴州石墨矿，靠近侵入体为石墨，稍远为半石墨，再远则为未变质的煤层。

3. 混合岩化成矿作用

- n 在区域变质作用基础上，由于深部上升的流体作用，原岩在地壳深处重熔成熔浆；这些流体和熔浆又渗透到变质岩中，以交代方式带入K、Na和Si等组分，带出Fe、Mg、Ca等组分，使变质岩的矿物成分和化学成分不断地发生变化，最终向接近花岗质岩石的方向发展；这种由变质作用向岩浆作用转化的过程称为混合岩化作用（**migmatization**），又叫花岗岩化作用。
- n 混合岩化过程中，由于强烈的交代作用可使一部分成矿物质发生迁移和富集，从而形成混合岩化矿床。
- n 依混合岩化作用的发展演化，与其有关的成矿作用可分为早期交代重结晶阶段和中晚期热液交代阶段。

3. 混合岩化成矿作用

n (1) 早期交代重结晶阶段：主要是新生的长英质熔浆对原岩组分的交代作用，以碱质交代为主（钾化和钠化），挥发份也起一定作用。

- 在交代过程中，由于温度增高，变质岩中的硅酸盐矿物发生重结晶，组分重组，可导致有用矿物的粒度加大和局部富集，使其具有工业价值。
- 形成的矿床有云母、石墨、磷灰石、刚玉、石榴石、锆石、独居石和金红石等。

3. 混合岩化成矿作用

n (1) 早期交代重结晶阶段：

- 早期交代重结晶阶段后期，通过各种交代反应原岩中的铁镁质硅酸盐矿物大量分解，形成含(OH)-较多的铝硅酸盐，如透辉石被交代成为阳起石和透闪石等。
- 随着交代作用的进行，原来的长英质熔浆，逐渐演变成热液，经过交代作用后从原岩中带出的各种组分，呈氧化物或络合物存在于热液中，从此进入中晚期热液交代阶段。

5. 混合岩化成因作用

n (2) 中晚期热液交代阶段：混合岩化热液携带着早期阶段带出的有用组分，在交代围岩时既可引起围岩蚀变，同时也可成矿。

- 通常情况下，由于早期铁镁质硅酸盐被交代，使中晚期热液中含有较多的Fe、Mg、Ca等组分，从而产生Fe、Mg质交代作用。磁铁石英岩中的蚀变和富铁矿体主要是这样形成的。
- 滑石菱镁矿大多产于镁质碳酸盐建造中，主要是富Mg和Ca的混合岩化热液交代而成。
- 含硼建造中的硼在中晚期交代过程中可与铁、镁一起进入溶液，交代镁质大理岩而形成硼镁铁矿和硼镁石矿床。
- 这一阶段也可形成磷、铀、金、钼及某些稀有、稀

第三节 变质矿床的主要类型

- n 一、沉积-变质铁矿床
- n 二、变质金矿床
- n 三、变质磷矿床
- n 四、石墨矿床

一、沉积-变质铁矿床

- n 此类矿床在世界铁矿床中是最重要的，分布十分广泛，有不少大型、特大型矿床，
 - 如北美的苏必利尔型铁矿
 - 独联体的库尔斯克和克里沃罗格铁矿等，
 - 我国的鞍山铁矿、水厂铁矿等。
- n 该类型占世界铁矿总储量的60%以上，占富铁矿储量的70%；在我国约占总储量的60%，占富铁矿储量的27%。
- n 形成于前寒武纪（主要为太古代到早元古代）的沉积变质铁矿，因其矿石主要由硅质（碧玉、燧石、石英）和铁质（赤铁矿、磁铁矿）薄层呈互层组成，又称为铁（质）-硅（质）建造、条带状铁建造（Banded Iron Formation，简称BIF）。

（一）沉积变质铁矿的一般特征

n BIF产于世界各地前寒武纪地盾区和地台区。矿床的形成与前寒武纪地壳演化密切相关，根据矿床的形成时代及含矿建造的不同，可分为阿尔戈马（Algoma）型和苏必利尔（Superior）型。

类型	Algoma type	Superior type
形成时代	>25亿年 (Ar)	18-25亿年 (Pt ₁)
形成环境	与绿岩带有关 (优地槽)	与火山活动无关 (冒地槽)
伴生岩石	基性变质火山岩夹少量中酸性火山岩、沉积岩	陆源碎屑岩为主 (石英岩、页岩、板岩)，火山岩少见
矿物相	氧化物相为主，有时出现较多碳酸盐、硫化物相	氧化物相为主，少量硅酸盐、碳酸盐混合相，缺少硫化物
规模	长<几km，厚几十厘米-几百米	长达几十至几百公里，厚几至几百米
矿例	加拿大Algoma矿床、我国	美国Superior地区

(一) 沉积变质铁矿的一般特征

n 阿尔戈马型铁矿

- 阿尔戈马型铁矿主要形成于新太古代（约为2500Ma）以前。
- 铁矿的形成在空间和时间上与优地槽海底火山活动密切相关，世界各地此类含铁建造都发育于新太古界的绿岩带中。阿尔戈马型BIF主要与绿岩带中上部的火山碎屑岩相伴生，并靠近浊积岩组合。
- 在加拿大地盾的绿岩带中还可以清楚地识别出阿尔戈马型铁矿建造与火山作用或火山活动中心直接有关。
- 此类铁矿建造的硫化物相或碳酸盐相产在靠近火山活动中心处，氧化物相通常远离火山活动中心分布，硅酸盐相位于两者之间。

(一) 沉积变质铁矿的一般特征

n 阿尔戈马型铁矿

- 此类铁矿建造常由灰色、浅黑绿色的铁质燧石和赤铁矿或磁铁矿组成窄条带状构造。单个矿体的厚度可在几米到几百米之间变化，但超过50m的很少，走向延长从数十米至几公里。含矿建造中的一系列连续的凸镜状矿体构成规模巨大的矿带。
- 这类铁矿建造一般都经受了绿片岩相和角闪岩相的变质作用，个别矿床产于麻粒岩相中。
- 阿尔戈马型铁矿建造在加拿大地盾的克科兰德湖地区，美国的佛米利思地区，乌克兰的库尔斯克磁异常区，我国的鞍山-本溪地区、冀东地区、五台地区等均有分布。

(一) 沉积变质铁矿的一般特征

n 苏必利尔型铁矿

- 苏必利尔型铁矿主要分布在早元古代地槽区。建造形成于冒地槽性质的开阔海盆地中，形成时代以2200~1800Ma为主，某些地区也有小于1800Ma者。
- 铁矿建造的地层层序火山岩较少，自下而上一般为：白云岩、石英岩、红色或黑色铁质页岩、铁矿建造、黑色页岩和泥质板岩。
- 在某些地方，铁矿建造和基底岩石之间被几米厚的石英岩、粗砂岩和页岩隔开
- 铁矿层中含铁矿物与燧石组成条带状铁矿石，含铁矿物中氧化物相主要为磁铁矿或赤铁矿及它们的混合物。碳酸盐相以菱铁矿为主，并有磁铁矿和铁硅酸盐类矿物伴生。硅酸盐相中的矿物随变质程度而异。硫化物相主要是黄铁矿，常含细粒的富硅质泥岩。

(一) 沉积变质铁矿的一般特征

n 苏必利尔型铁矿

- 苏必利尔型BIF多沿古老地台边缘分布，一般可长达数十公里，建造厚度可以从几十米至几百米，偶尔达千米。铁矿建造的地层通常不整合于强烈变质的片麻岩、花岗岩或角闪岩之上。
- 大多数苏必利尔型BIF未遭受变质或遭受浅变质(绿片岩相)，部分变质较深可达角闪岩相。
- 此类铁矿在各大陆皆有分布，其中著名的有澳大利亚的哈默斯利，巴西的米纳斯、吉赖斯，美国和加拿大的苏必利尔湖区，加拿大的魁北克、拉布拉多，南非的波斯特马斯堡以及印度的比哈尔、奥里萨等。

(二) 沉积变质铁矿的成因

- n 沉积变质铁矿的形成经历了沉积和变质改造2个阶段。
- n 关于铁的来源，目前多认为来自海底火山作用。火山活动对铁矿的形成有3方面作用
 - 一是岩浆和火山岩与海水及火山气体之间的反应可提供铁
 - 二是火山气体可以提供CO₂和S
 - 三是火山活动的加热作用可引起深部富铁溶液向浅部运移并与海水作用形成铁矿。

(二) 沉积变质铁矿的成因

- n 阿尔戈马型BIF，公认铁来自海底火山
 - 总伴有大量火山岩
 - 铁建造总是在火山岩最厚的地方形成
- n 苏必利尔型BIF
 - 虽然与之伴生的火山岩较少，但铁也可能主要来源于火山，铁质以胶体的形式经较长距离搬运至近海岸带沉积形成。

(二) 沉积变质铁矿的成因

- n 研究表明，条带状铁建造是以硅、铁质为主的化学沉积物，其中可夹杂一些次要的胶体物质和少量同沉积粘土矿物，形成于火山间歇期或宁静期。
- n 由于裂谷盆地构造环境和化学环境的不均一性，可形成硫化物相、碳酸盐相、硅酸盐相和氧化物相，其中硫化物相代表强还原环境，碳酸盐相和硅酸盐相代表还原环境，氧化物相 Fe_3O_4 到 Fe_2O_3 代表从还原环境过渡到氧化环境。
- n 中国规模较大的铁矿床以氧化物相为主，硅酸盐相含铁建造只有当其变质程度达到或超过角闪岩相时，工业意义才显得重要。

(二) 沉积变质铁矿的成因

- n 目前矿床学家已提出BIF等类型矿床的热水喷流沉积成矿模式，很好地解释了BIF的成因，比较公认的看法是，
- n 热水沉积成矿是海底（或湖底）深部高密度的硅质热卤水通过同沉积断裂上涌，携带大量的Fe、Cu、Pb、Zn等成矿物质，喷出海底地表与冷水混合在喷口附近所产生的沉积成矿作用。
- n 阿尔戈马型BIF和苏必利尔型BIF可能分别属于近喷口附近和远离喷口的热水喷流沉积矿床。

(二) 沉积变质铁矿的成因

- n 关于地球早期（主要是前寒武纪）为什么能形成如此大规模的条带状铁建造（铁矿）？矿质主要来源于富含铁的基性火山喷发物是没有疑问的，
- n 目前也很少有人怀疑条带状硅铁矿层是通过化学沉淀作用而形成的。但是如此巨量铁的搬运，必须有一个缺氧环境（铁呈 Fe^{2+} 状态搬运）。
- n 现已证实，地球早期大气中是缺氧的，而条带状硅铁矿层的主要组成矿物是磁铁矿甚至是赤铁矿。目前研究已经证实，生命至少在30亿年已经出现。当时地球上已存在着具光合作用的细胞器的微体生物的自生活系统。通过对微生物化石、氨基酸及碳同位素的测定，已发现了铁硅质矿层中有细菌类微生物参与的证据，可以推测，促使铁质沉淀的氧化作用是通过原始生物光合作用来完成的。

(二) 沉积变质铁矿的成因

- n 早前寒武纪铁矿均遭受了程度不同的区域变质作用的叠加改造，这种改造作用是在基本封闭的体系中进行的。作用的结果主要表现在原有矿层总化学成分不变的情况下矿物相的重新组合，以及矿体的变形和重新定位。
- n 关于变质作用对硅铁建造的影响，前人研究比较深入。
 - 氧化物相的矿物成分比较简单，无论在何种程度变质作用下，铁矿石组合基本不变，都是以磁铁矿、赤铁矿、石英为主，不同程度的重结晶作用发育，矿物颗粒增大。与此同

(二) 沉积变质铁矿的成因

- n 关于变质作用对硅铁建造的影响，前人研究比较深入。
 - 硅酸盐相矿物成分比较复杂，在进入角闪岩相后，硅铁建造则被铁闪石、磁铁矿、石英组合所代替，及至麻粒岩相时出现紫苏辉石、透辉石、磁铁矿、石英仍是其主要组成矿物。角闪岩相至麻粒岩相变质过程中铁明显加富。
 - 碳酸盐岩含铁建造只出现在早元古宙，主要伴生的含铁碳酸盐矿物是菱铁矿和铁白云石。磁铁矿只出现在角闪岩相中的硼镁铁矿-磁铁矿组合中，显然是受原始成分不同所控制，而非只是变质作用的结果。

(二) 沉积变质铁矿的成因

- n 关于变质作用对硅铁建造的影响，前人研究比较深入。
 - 硫化物相只在我国部分地区发育，变质程度增强后，常见磁黄铁矿与黄铁矿共生代替了单一的黄铁矿，
 - 硫化物相常富含金，可形成规模不等的金矿床，如佳木斯地块的东风山，华北地台的歪头山、南龙王庙、五台山，扬子地块的新余，秦岭造山带的庄房里以及塔里木地块的布琼和阿特斯等。
 - 目前的研究认为，这类金矿的形成主要与早期的热水喷流作用有关，后期的变质作用又使其进一步富集。

二、变质金矿床

产于前寒武系地层中的变质金矿床是金矿的主要来源，主要有3种矿床类型：

- ①热液脉型金矿床；
- ②硅铁建造中的似层状金矿床；
- ③含金-铀砾岩矿床。

变质热液型金矿床（绿岩带型）

- √ 区域变质作用过程中产生的变质热液通过充填—交代等方式形成的矿床
- n 广泛分布于太古代绿岩带，工业意义仅次于兰德型金矿床，单个金矿区储量常达1000吨以上
- n 主要分布于加拿大、巴西、南非、澳大利亚等国，澳大利亚卡尔古利金矿床是典型代表
- n 我国南龙王庙金矿床 属该类型。

(一) 热液脉型金矿床-南龙王庙金矿床

n 1. 成矿背景

- 金矿床分布在清原绿岩带大荒沟-南龙王庙绿岩残余盆地的东南端。绿岩带地层由下部金风岭岩组和上部红透山岩组组成，两者分别以斜长角闪岩和变粒岩为主，金矿赋存在红透山岩组中。
- 矿区内岩浆活动不发育，主要见有新太古代末期的斜长花岗斑岩、钠长石英斑岩，古元古代白云母斜长伟晶岩以及显生宙的闪长玢岩、煌斑岩等。在矿区外围分布着大量太古宙TTG系。
- 矿区构造以韧性剪切变形最为发育，剪切带呈北东向分布。此外还至少发育有三期前后叠加

(一) 热液脉型金矿床-南龙王庙金矿床

深部找矿、找矿新领域

n 2. 矿床特征

- 矿床严格受葫芦头沟-大荒沟韧性剪切带控制，该剪切带走向为北西 $324^{\circ} \sim 340^{\circ}$ ，倾角为 $60^{\circ} \sim 80^{\circ}$ ，宽约1.5~2km，长5~6km，广泛发育鞘褶皱、条带、片理、线理及石香肠等构造，主要容矿围岩为黑云变粒岩，含有磁铁石英岩和浅粒岩（图11-1）。

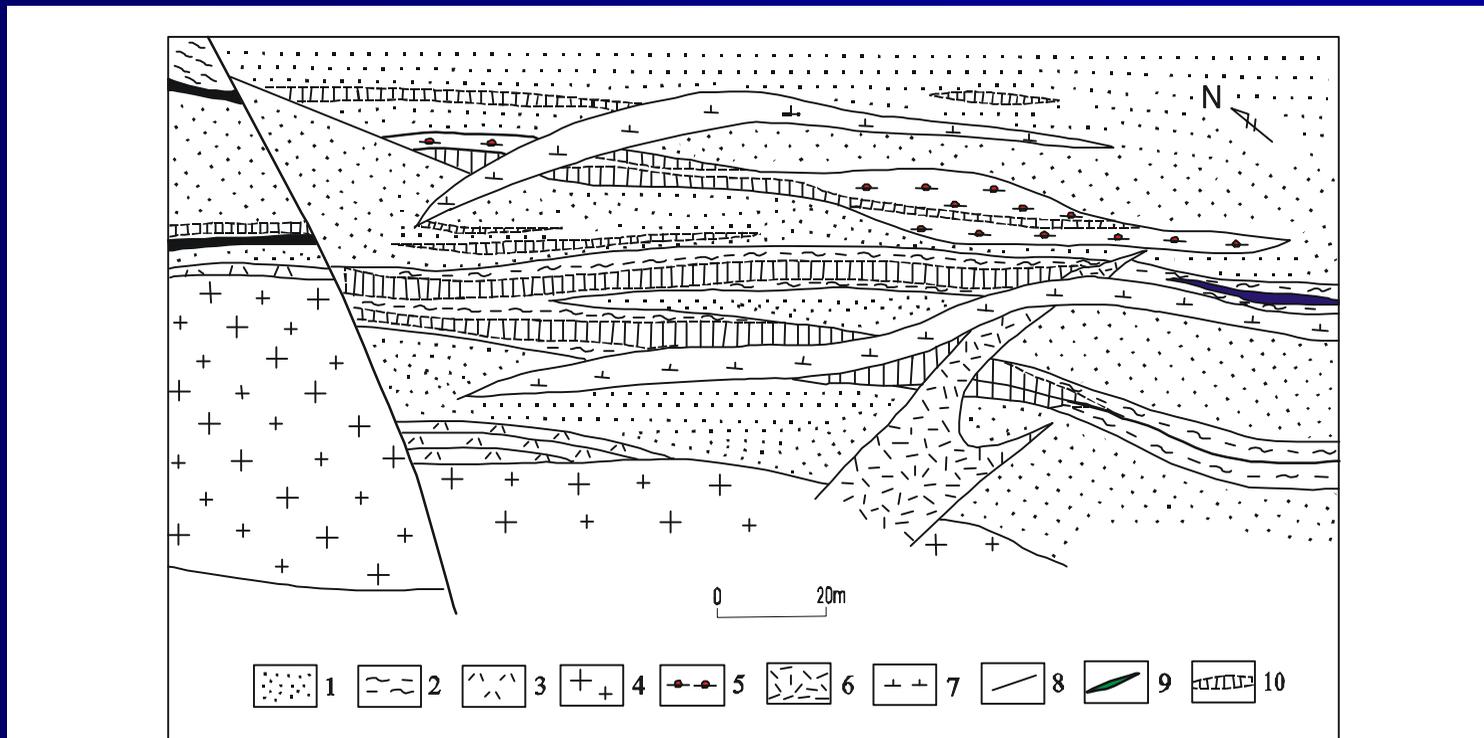


图 11-1 南龙王庙金矿床 460m 中段地质图（据刘连登等，1994）

1-黑云变粒岩类及少量浅粒岩；2-磁铁角闪石英岩；3-斜长角闪岩；4-变质斜长花岗斑岩；5-变质钠长石英斑岩；6-

（一）热液脉型金矿床-南龙王庙金矿床

n 2. 矿床的产出特征

- 金矿化带的宽度为3.5~95m，矿化带由46个矿体组成，具多层性。矿体走向 $335^{\circ} \sim 350^{\circ}$ ，倾向 $45^{\circ} \sim 60^{\circ}$ ，倾角 $60^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 。
- 矿体呈似层状-透镜状，规模小，最宽不超过3m，延长最大可达200m，矿化高度分散，与围岩呈渐变关系。矿体总体向南东侧伏，其侧伏方向与变晶糜棱叶理的方向一致。

(一) 热液脉型金矿床-南龙王庙金矿床

n 2. 矿床的产出特征

— 矿化以细脉-浸染状硫化物为主体，含有一部分黄铁石英脉体，它们可以独立构成金矿体，也可以相互交叉共同构成矿体。

n 细脉浸染状硫化物矿石主要以磁铁角闪石英岩、黑云变粒岩为容矿岩石，矿体沿韧性剪切构造面分布。矿石组构以块状为主，见有条带、条纹构造。

n 石英脉状矿体以黑云变粒岩、浅粒岩等为容矿岩石，脉宽一般数毫米，至少包含有三期：与剪切叶理整合产出的强变形石英脉、弱变形石英脉以及穿切剪切叶理的无变形石英脉，显然它们可能依次形成在韧性变形前、变形中及变形后。

n 3. 矿石的矿物成分和结构构造

- 矿石的金属矿物除自然金外，主要有黄铁矿、磁黄铁矿、磁铁矿、黄铜矿、闪锌矿等，其次有赤铁矿、褐铁矿、辉钼矿、方铅矿等。
- 非金属矿物有石英、斜长石、白云母、黑云母、角闪石、绿帘石、方解石、绿泥石、钠长石、磷灰石、石榴子石、电气石和锆石。
- 黄铁矿为主要载金矿物，自然金呈显微和超显微金赋存在黄铁矿和石英的裂隙中或颗粒间，少见包体金。

n 3. 矿石的矿物成分和结构构造

- 矿石的结构主要有：半自形-自形粒状结构、胶状结构、交代残余结构、变形结构、固溶体结构等。
- 矿石构造有条带状、条纹状、网脉状、浸染状、星散状和斑杂状等。

n 4. 矿石的化学成分

- 矿石中除含金以外，尚含有Ag、Cu、S、Se、Te、Pb、Zn等微量元素及痕量元素的W、Mo、Co、Mn、V、Sb、Hg。
- Au与Cu、S、Ag密切正相关，而与Pb、Zn不相关。

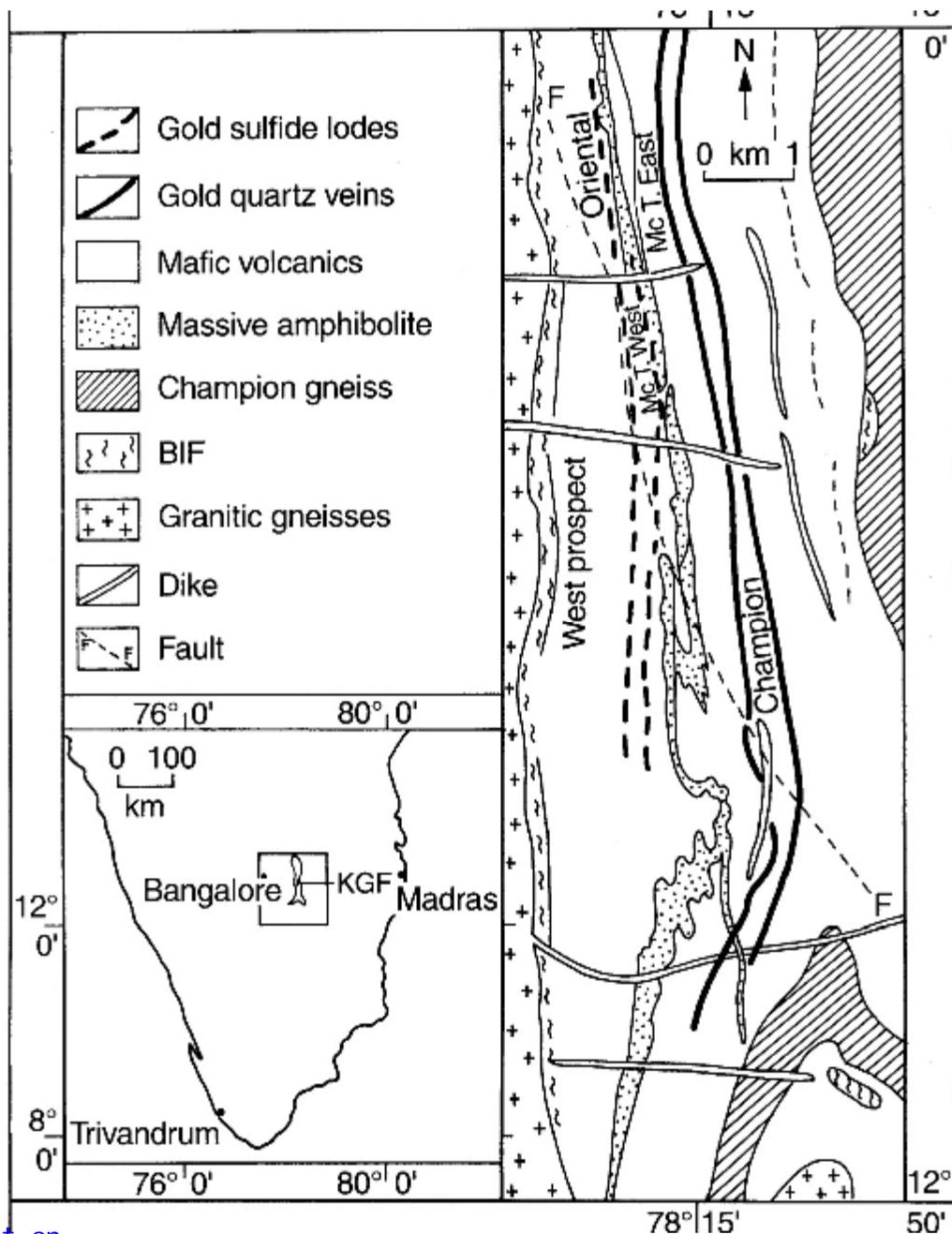
(一) 热液脉型金矿床-南龙土田金矿床

n 5. 围岩蚀变

- 该矿床围岩蚀变不发育，且不具分带性，主要蚀变类型有硅化、绢云母化、绿泥石化、绿帘石化、黄铁矿化，尚见有铁白云石化、黑云母化、电气石化等。
- 硅化主要发生在含金黄铁石英细脉附近，见石英、白云母交代斜长石，蚀变范围小，一般不大于10cm，但有一定的连续性。
- 绿泥石化主要发生在细脉-浸染状含硫化物矿体附近，绿泥石交代角闪石，这种绿泥石一部分和剪切面理平行，一部分定向不明显，甚至可切穿片理，显然是热液蚀变造成的。
- 绿帘石化是斜长石蚀变的产物，也可由绿泥石交代角闪石而成，蚀变绿帘石呈浅黄绿色，他形粒状结构。

n 印度南部的达瓦尔（Dharwar）克拉通内的太古代绿岩-花岗杂岩带内的科拉尔金矿（Kolar）是世界上最老的金矿床之一。

n 在科拉尔的采金史可以追溯到2个世纪前，然而成功的采矿开始于1880年，到1987年金总产量已达794吨。该矿床目前产金已超过1000吨。



（二）硅铁建造中的似层状金矿床

- n 这类矿床产于前寒武纪硅-铁建造中，区域上具有一定层位。
- n 含金层内的金矿化则受变质期的形变构造控制。
- n 矿石为含金硫化物型，由自然金、磁黄铁矿、毒砂和石英组成。
- n 这类矿床分布不很广泛，最著名的是美国的霍姆斯塔克金矿床。
- n 我国黑龙江省的东风山金矿床也属于这一类型。

美国的霍姆斯塔克金矿床

第三章

第一节 美国金矿床

n 产于镁铁闪石片岩中，其原岩为含硅、铁和碳酸盐的地层。金和硫化物共生，层位稳定。

n 金矿化的富集受形变构造控制，金矿体多分布于紧密交错褶皱和早期同斜褶皱的核部。

n 矿体呈层状、似层状，矿层都由大量短小的含金石英细脉构成

n 围岩遭受明显的蚀变，蚀变以绿泥石化为主。

n 矿床规模巨大，但品位不高，一般不超过10g/t。

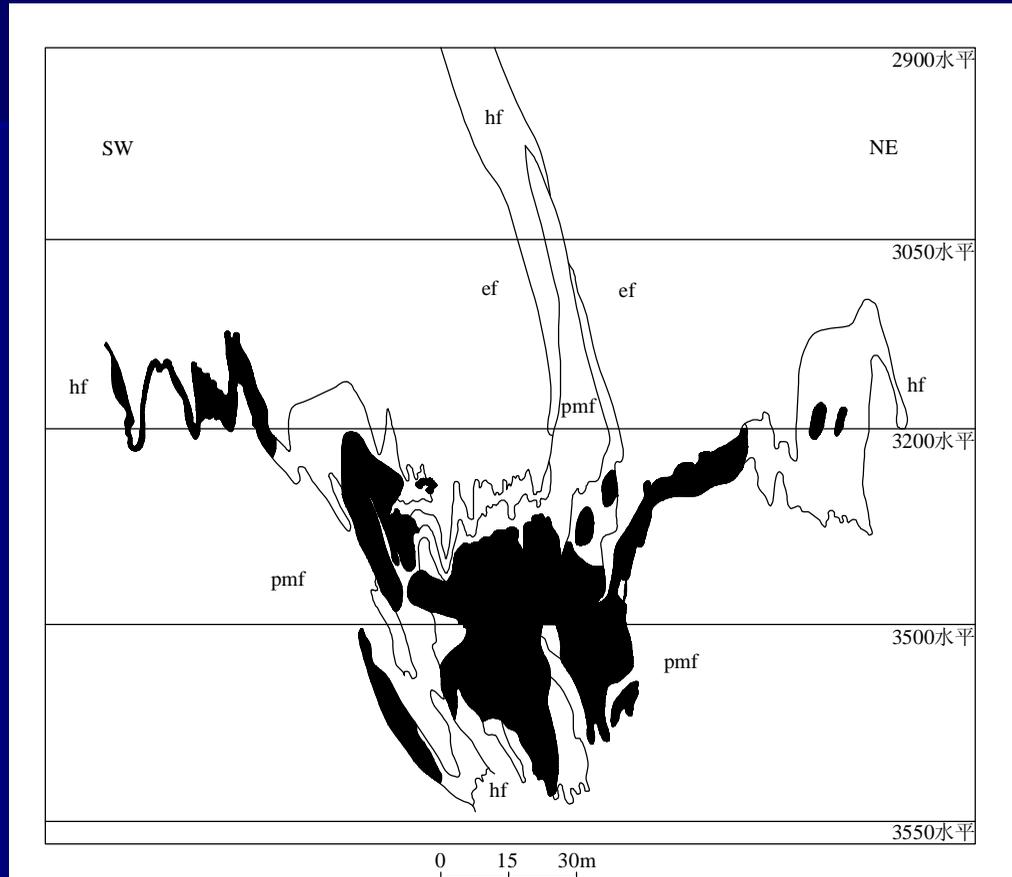


图 11-2 霍姆斯塔克金矿床矿体剖面图

(转引自姚凤良等, 1983)

hf-霍姆斯塔克组; pmf-波曼组; ef - 爱立生组; 黑色-矿体

美国的霍姆斯塔克金矿床

深部、变质金矿床

n 据硫同位素研究表明，原生金和围岩系同生沉积的产物。

n 根据含矿围岩性质、矿体产状等特征分析，早期成矿作用属热水喷流型。

n 变质作用后期的变质热液使金迁移，于有利的构造部位富集成矿。

n 含金建造于第三纪火山活动中又一次使金得到聚集，矿石品位大为提高，有的可高达500g/t。

n 霍姆斯塔克金矿床属于多次成矿作用复合的多

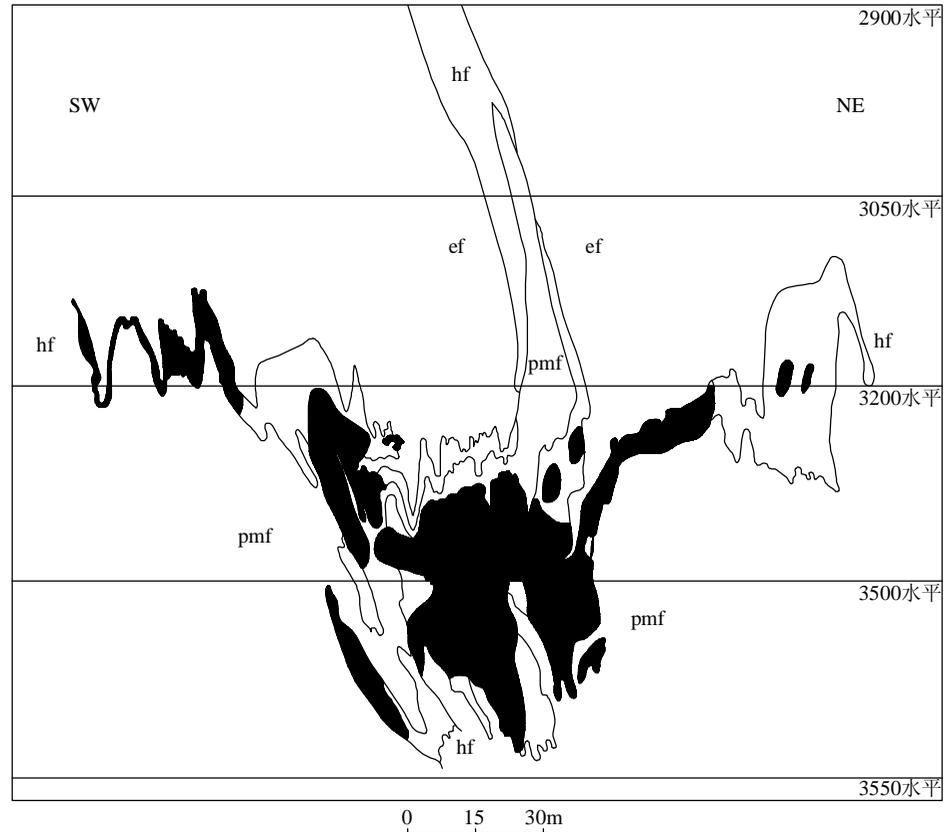


图 11-2 霍姆斯塔克金矿床矿体剖面图

(转引自姚凤良等, 1983)

hf-霍姆斯塔克组; pmf-波曼组; ef - 爱立生组; 黑色-矿体

(三) 含金-铀砾岩矿床

n 含金-铀砾岩矿床具有沉积和变质热液成矿的双重特征，一般都把它列入变质矿床范畴。这类矿床规模巨大，以南非维特瓦特斯兰德的金-铀矿床为代表，简称兰德型金矿。

n 兰德金矿床

- 产于下元古界维特瓦特斯兰德系中。
- 该岩系的形成年龄为22亿年，主要由云母片岩、石英岩、长石石英岩及砾岩组成，不整合于太古代片麻岩和花岗岩之上。
- 砾岩和石英岩成互层产出，为古老的河床洼地沉积而成。
- 也有人认为系经海流改造的三角洲沉积。

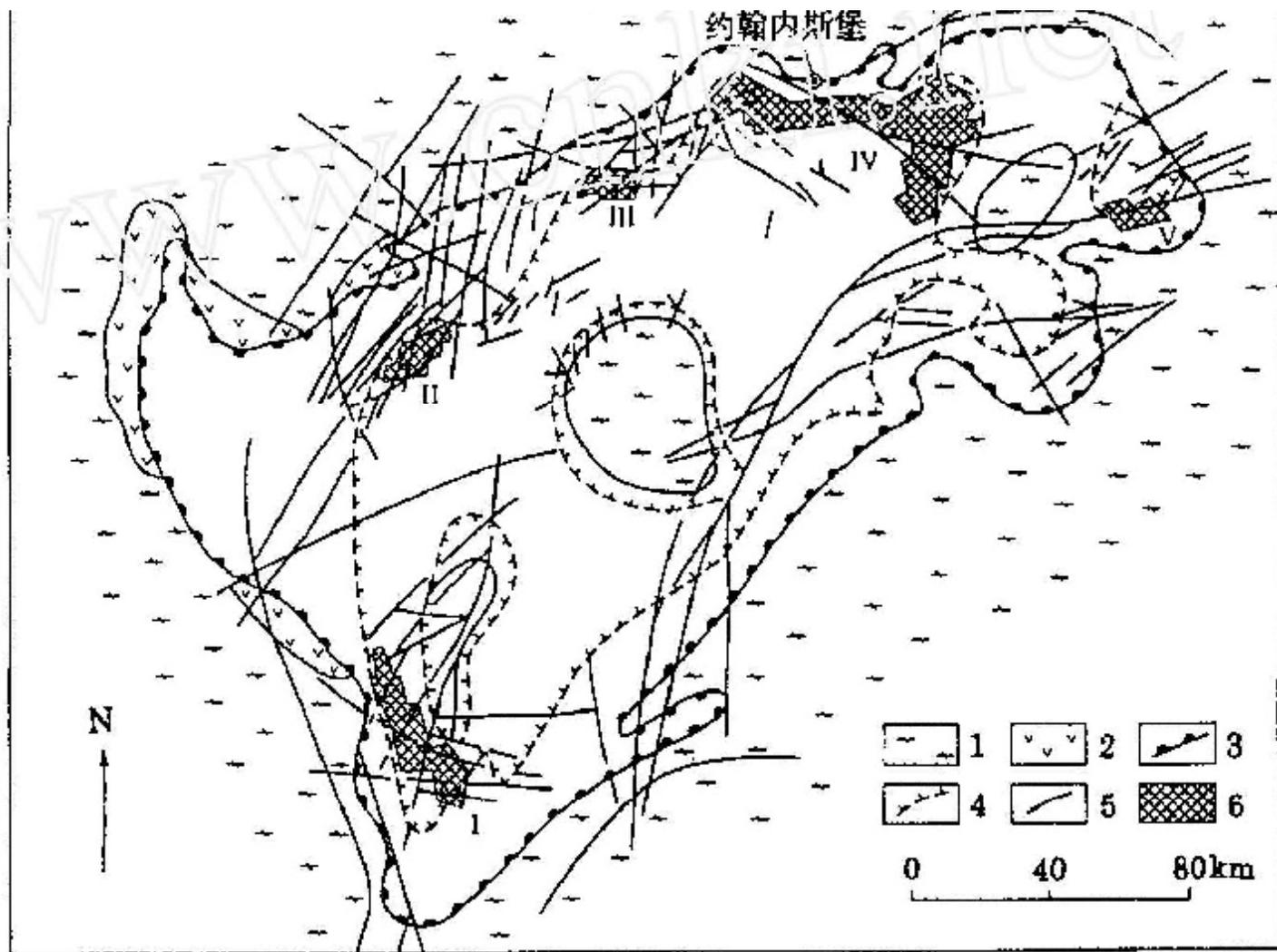


图1 维特瓦特斯兰德裂谷盆地内矿田分布图

1——早太古代花岗岩和绿岩（裂谷带基底）；2——多米尼奥组双峰式喷发岩（晚太古代构造-岩浆活化第一阶段）；
 3——东兰德组陆相岩石的分布界限；4——中兰德组含金砾岩的推测分布界限，其中包括超覆岩层（地台盖层厚度达
 6 000m）；5——主要断裂；6——主要的金矿田；I——维尔科姆，II——科列尔斯多尔波，III——卡尔列岭维尔，IV——

(三) 含金-铀砾岩矿床

n 兰德金矿床

- 含矿岩系稍有变质，金矿产于岩系上部的砾岩层中。含金砾岩全区主要有十层，沿走向延长可达290km。含金的砾岩层大多位于不同层位的侵蚀面上，
- 砾岩层中的砾石主要为脉石英，砾石中不含金。胶结物为硫化物、石英、绢云母、叶蜡石、绿泥石等。金呈微粒状与黄铁矿、磁黄铁矿等硫化物一起散染于胶结物中。
- 矿石的金品位为10-17g/t。砾岩层中还含铀矿物，主要为晶质铀矿、沥青铀矿等，含 U_3O_8 为0.03%。
- 含金-铀砾岩经受变质作用时，变质热液使其中的金活化、迁移，交代胶结物或充填于微细裂隙中，故属沉积-变质矿床。

三、变质磷矿床

n 变质磷矿床可分为火山沉积变质型和沉积变质型2类。

- 火山沉积变质磷矿床系由富含磷灰石的斜长角闪岩、角闪斜长片麻岩构成，含 P_2O_5 大多在5%以下，含磷较低，一般不具工业价值。
- 沉积变质磷矿床的围岩主要为云母片岩、石英云母片岩和白云质大理岩，少数含绿泥片岩、千枚岩等。这类磷矿由于品位高、规模大具有重要工业价值，是我国北方的主要磷矿类型。

三、变质磷矿床

- n 沉积变质型磷矿床的含磷岩系具条带状、条纹状构造，有时还发育有原生的角砾状构造，说明其原始沉积环境为浅海或泻湖地带。
- n 岩系中碳酸盐岩呈透镜状并与粘土质岩石呈互层产出，磷矿层一般产于各岩层的过渡带或碳酸盐岩层内，属海侵期产物。
- n 磷矿层的典型矿物组合是磷灰石-白云石-石英，有时与锰的氧化物共生。
- n 矿石含 P_2O_5 8~9%。高者可达20%~30%。
- n 江苏海州产有这种类型的大型磷矿床，安徽、吉林等地也有产出。

江苏海州磷矿床

- n 海州磷矿床位于江苏省新海连市。
- n 区内地层下部为混合岩，中部为含磷岩系，上部为白云母片麻岩夹少量透镜状大理岩和石英岩（图11-3）。

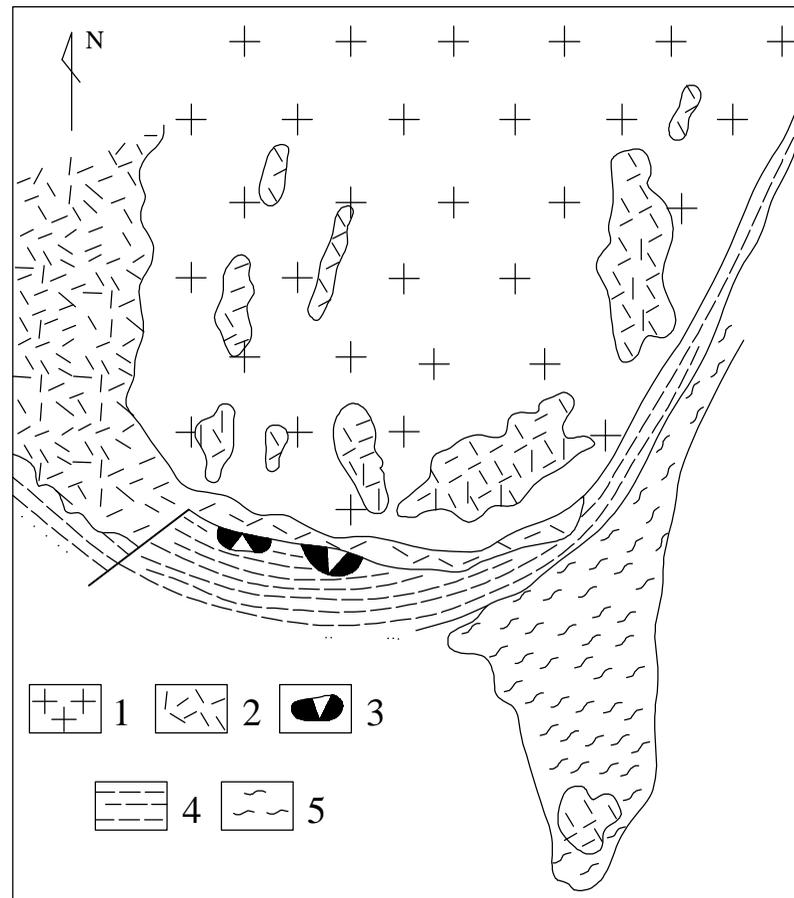


图 11-3 江苏海州磷矿床地质示意图

（转引自姚凤良等，1983）

1-混合花岗岩；2-混合片麻岩；3-眼球状片麻岩；4-含

江苏海州磷矿床

- n 海州磷矿床位于江苏省新海连市。
- n 区内地层下部为混合岩，中部为含磷岩系，上部为白云母片麻岩夹少量透镜状大理岩和石英岩（图11-3）。

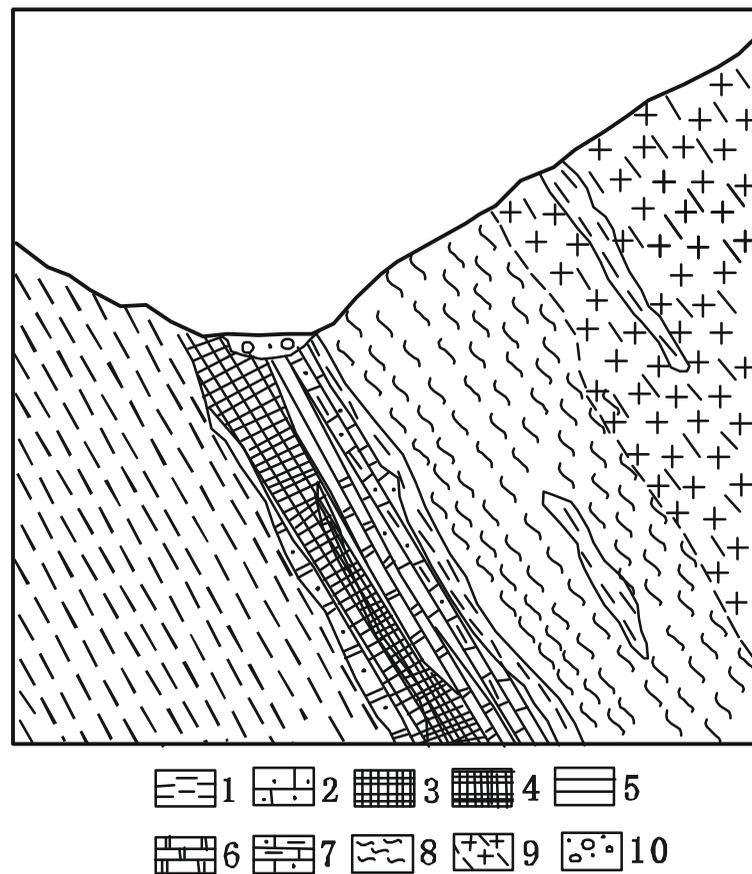


图 11-4 江苏海州磷矿床剖面示意图

（转引自姚凤良等，1983）

1-云母片岩；2-变质白云岩；3-细粒磷灰岩；4-锰磷矿

四、石墨矿床

- n 自然界的石墨矿床主要有两种类型：
 - 一类是产于结晶片岩中的石墨矿床，系区域变质而成；
 - 一类是变质煤层中的石墨矿床，系接触变质而成。
- n 区域变质石墨矿床都产于前寒武纪变质岩系中，大多和片麻岩、片岩、大理岩有关。
- n 矿体多呈似层状或透镜状，长数百米至数公里，厚数米。石墨呈鳞片状，质量较好，但含量较低，一般为3%~5%。经碳同位素测定，这类石墨的 C^{12}/C^{13} 比值和有机碳接近，故认为是有机质经区域变质而成的。
- n 山东南墅是我国最大的晶质石墨矿床。

山东南墅石墨矿床

第三讲 地质与资源地理

n 矿床位于山东省莱西市境内，分南墅和北墅2个矿区，以南墅矿区规模较大。

n 区内地层为早元古代荆山群变质岩系。含矿岩系可分上、下2个亚组：

- 下部亚组为角闪混合片麻岩、斜长角闪岩、石榴斜长片麻岩（含少量石墨）和浅粒岩
- 上部亚组为白云质大理岩、斜长角闪片麻岩和石墨片麻岩，夹薄层斜长角闪岩、透辉岩、黑云变粒岩等。

n 区内石墨矿体主要产于上部亚组岩层内（图11-5）

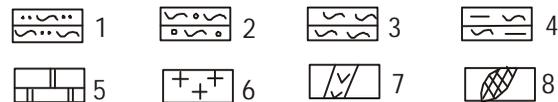
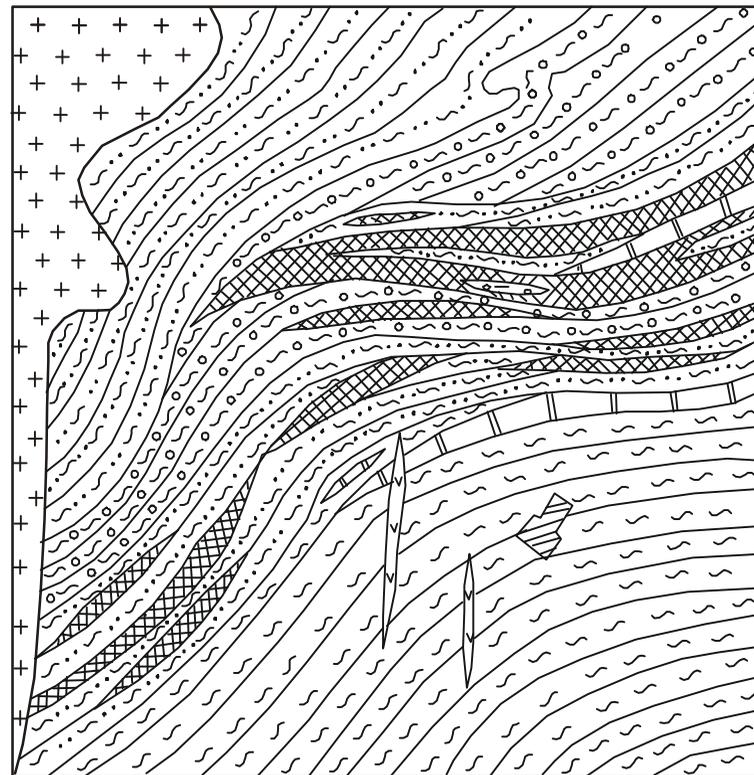


图 11-5 南墅石墨矿岳石矿区地质示意图

（转引自姚凤良等，1983）

1-花岗片麻岩；2-石榴石片麻岩；3-正长片麻岩； 4-石墨片麻岩。5-大理岩。6-花岗岩。7-辉长岩。8-石墨矿体