

矿床学

温春齐著 成都理工大学
地质酋长摘编

目 录

内生矿床篇

| | |
|-------------------|----|
| 第一章 绪论····· | 2 |
| 第二章 矿床学基础····· | 6 |
| 第三章 岩浆矿床····· | 9 |
| 第四章 伟晶岩矿床····· | 15 |
| 第五章 气水热液矿床概论····· | 22 |
| 第六章 接触交代矿床····· | 31 |
| 第七章 热液矿床····· | 37 |
| 第八章 火山成因矿床····· | 41 |

外生矿床篇

| | |
|--------------------|----|
| 第九章 风化矿床····· | 45 |
| 第十章 沉积矿床概论····· | 49 |
| 第十一章 机械沉积矿床····· | 51 |
| 第十二章 胶体化学沉积矿床····· | 53 |
| 第十三章 蒸发沉积矿床····· | 55 |
| 第十四章 生物化学沉积矿床····· | 58 |
| 第十五章 可燃有机矿床····· | 61 |

叠生矿床篇

| | |
|----------------|----|
| 第十六章 变质矿床····· | 63 |
| 第十七章 层控矿床····· | 67 |

成矿规律

| | |
|---------------------|----|
| 第十八章 成矿控制与成矿规律····· | 70 |
|---------------------|----|



内生矿床篇

第一章 绪论

§1 矿产

一、概念及分类

1、概念

1) 矿产 (useful mineral /ore): 在地壳中由地质作用形成的, 目前可被利用的矿物资源。矿产是自然界产出的有用矿物资源。它是一种基本的生产资料和劳动对象, 是人类社会赖以生存和发展的重要物质基础。矿产资源通常指地壳中可供人类利用的固、液、气三种状态的矿物原料。

2) 矿产资源(mineral resources): 矿产资源是指尚未开发利用的矿物原料, 是一种自然财富。一方面体现了客观地质作用形成的有用物质的天然富集, 另一方面在目前或可以预见的将来, 具有一定的经济价值。

2、矿产(资源)分类:

1) 二分 金属矿产、非金属矿产

2) 三分: 如塔塔林诺夫等(1954)将矿产分为金属矿产、非金属矿产和可燃有机矿产。其中, 金属矿产又分为黑色金属矿产、特种金属矿产、有色金属矿产、贵金属矿产、放射性金属矿床和稀土金属矿产六类; 非金属矿产又分为化学工业原料和农业原料、天然建筑石材和铁路石材等九类。

3) 四分: 如袁见齐等(1985)将矿产分为金属矿产、非金属矿产、可燃有机矿产和地下水资源四大类。

4) 六分: 如宋瑞祥(1997)^[3]将矿产分为六大类, 即(1)能源矿产、(2)黑色金属与冶金辅助原料矿产、(3)有色金属、贵金属及稀有金属、稀土金属矿产、(4)化工原料非金属矿产、(5)建材及其它非金属矿产和(6)水气矿产。

二、我国矿产资源特点

1、资源总量较大、人均占有量不足。

已探明的矿产资源总量较大, 约占世界的 12%, 仅次于美国和前苏联, 居世界第三位。但人均占有量不足, 仅为世界人均占有量的 58%, 居世界第 53 位。

2、矿产种类齐全, 但结构不尽理想。

35 种矿产资源中(1)具有世界性优势的矿产占第一位有钨、锡、铋、锑、稀土、石墨、滑石、重晶石、菱镁矿等, 其探明储量居世界第二、三位的有钼、铅、锌、煤、钒、萤石、膨润土、芒硝等;(2)储量虽不少, 但品位低或成分复杂难选冶, 成本高的矿产有铁、锰、镍、铝、硫、磷等;(3)探明储量不足的矿产有石油、天然气、铀、铜、金、银、硼、耐火粘土等;(4)严重短缺的矿产有铬、铂、钴、钾盐和金刚石等。

3、单一矿种少, 伴生矿种多

我国金矿产量中伴生矿占总产量的 40%; 铁矿资源如攀枝花铁矿, 伴生元素达 20 多种。

4、富矿少, 贫矿多

中国铁矿石平均品位仅为 33.5%, 比世界平均水平低 10%以上; 锰平均品位只有 22%, 不及世界商品矿石工业标准 48%的一半, 且不少矿区含有较高的杂质磷; 铜矿品位大于 1%的储量只占总量的 35%左右, 平均品位仅为 0.87%, 远低于智利、赞比亚等世界主要产铜国的铜矿品位; 磷矿富矿少, 平均品位仅为 16.95%, 且胶磷矿多, 选矿难度大。

5、中小型矿床多, 大型超大型矿床少

矿区数量多而单个矿区规模偏小。一些重要的矿床规模以中小型为主, 大型、超大型矿床少, 如铁、铜、铝、硫铁矿及南方煤炭, 不利于规模开发, 单个矿区难以形成较大的生产能力, 影响了资源开发的总体效益。

6、矿产资源分布不均衡

有些重要矿产资源的分布格局距消费地区较远, 开发利用受交通运输与基础设施建设等因素制约日趋明显。矿产分布具有明显的地域差异, 不同地区拥有不同类型、不同规模的矿产。如 74%的煤炭保有储量集中于山西、陕西、内蒙古和新疆四省区, 而经济发达、用煤量的东南部地区则较紧缺, 形成北煤南调的局面; 磷矿中 70%的保有储量集中于云南、贵州、四川和湖北四省, 又形成南磷北调的不利格局; 铁矿主要集中于辽宁、河北、山西和四川四省, 开发利用在一定程度上受地区局限。

§ 2 矿床学研究任务和方法

一、矿床学及其研究任务

1、矿床学及研究对象

矿床学(mineral deposits /study of ore deposits): 又称矿床地质学(geology of ore deposits), 是研究矿床在地壳中形成条件、成因和分布规律的科学。由于矿床学是直接应用于矿物资源的开发和利用的地质科学, 故又称为经济地质学(Economic geology), 当侧重于工业类型时则称为经济矿床学(Economic mineral deposits)。矿床学的研究对象是矿床。

2、研究内容

1) 基本任务

(1) 正确认识各类矿床地质特征、形成条件、成矿作用和形成过程, 以查明矿床成因;
(2) 查明矿床的成矿控制因素和时空分布规律, 提供进一步工作的基地, 即对研究区进行成矿预测;

(3) 查明矿床中有意有害元素及其含量, 以利合理地充分地有效地综合利用矿产资源。

2) 研究内容

为了完成矿床学研究的主要任务, 矿床学需要研究以下五个方面的具体内容:

(1) 研究矿床所处大地构造背景、研究地球化学、地球物理特征及其对矿床分布的控制作用, 查明矿床的时、空分布规律;

(2) 研究矿床形成的物理、化学、生物等作用, 研究成矿物质来源和成矿过程, 分析成矿物理化学条件, 探讨矿床成因;

(3) 研究地层、构造、岩浆岩及围岩蚀变与矿床关系, 查明其对矿床的控矿作用, 提出有利于找矿的地质标志;

(4) 确定矿体的形态、大小、产状及其与围岩关系, 查明矿床的规模、产出位置和开采条件;

(5) 研究矿石的物质组分、组构及其在矿床中空间分布特征, 查明元素的赋存状态及矿物的嵌布特征, 确定矿产的质量和加工工艺性质。

3、矿床学与其它学科关系

1) 为某些学科的上层建筑

(1) 运用矿物学、岩石学来研究成矿物质和矿石组分;

(2) 运用古生物学、地层学、地史学来研究成矿地质历史;

(3) 运用构造地质学、大地构造学、地质力学来研究成矿地质构造条件;

(4) 运用地球化学来研究成矿元素的迁移富集机理;

(5) 运用基础学科如化学、力学、物理学、生物学、数学、地球物理、物理化学、生物化学等理论知识对矿床成因进行理论解释和深入研究;

(6) 近年来, 天体地质、海洋地质、深部地质、地球动力学、同位素地质、遥感地质、数学地质等新的分支学科的发展, 有力地促进了对各种成矿作用过程和地质环境的研究。

2) 为某些学科的理论基础: 矿床学的研究成果可直接或间接为找矿勘探、采矿、选矿、冶炼、环境地质、地质经济及矿产资源评估等服务。

(1) 具体矿床的研究有利于该矿及外围的找矿勘探工作;(2) 矿床规模、矿体形态的确定, 有利于布置采矿工程;(3) 矿石物质组分的研究有利于矿石的分选和精矿的冶炼;(4) 矿区地质、矿床开采-选矿和冶炼, 需要对环境地质的深入研究和环境保护;(5) 矿床研究为资产评估提供依据

二、矿床研究方法的一般方法

1、矿床研究的指导思想

1) 辩证思维

思维是人类从社会实践生产中产生的一种特有的精神活动, 是在表象、概念的基础上进行分析、综合、判断、推理等认识活动的过程。由于观察研究工作的局限性, 难免产生对矿床认识的片面性。

(1) 理论与实践相结合: 不应当重理论而轻实践或不实践, 也不应只实践而不总结经验教训, 而应当既重理论又重实践。

(2) 野外与室内相结合: 野外工作既为地质工作者提供第一手感性认识, 又是进一步进行室内研究所需采集样品的天然宝库。因此, 野外工作是地质研究最重要的基础工作, 必须引起高度重视。不能只重视野外工作而忽视室内研究, 更不能只室内研究而忽视野外工作。必须经过反复地, 即多次野外→室内→野外→室内实践, 更有利于认识的深化与提高。

(3) 宏观与微观相结合 对于地质矿产调查工作, 首先必须从宏观考察分析。如对成矿构造分析, 必须首先了解区域构造格架的总体展布与矿化间关系, 了解矿田构造中地质构造类型及其在控制矿床分布方面的规律。从小的一块岩矿石手标本上, 宏观的可了解岩矿石构造和部分结构如粒度、晶形等, 并确定岩矿石名称(野外定名)。但要准确定名, 则必须通过岩矿石的光薄片进行镜下微观观察、鉴定矿物成分和显微结构构造。

(4) 常规方法与现代方法相结合 常规的矿床研究, 主要是对岩矿石的观察鉴定及对矿体中矿石进行化学全分析、有益和有害元素分析, 以确定矿体的形态、产状和矿床的规模, 这仍然是十分重要的。但为了更好地研究矿床的成因, 必须采用现代测试技术, 如电子显微镜、电子显微探针、质子显微探针、同步加速辐射和激光显微探针惰性气体质谱分析等。

(5) 多学科综合研究 矿床学的研究涉及多学科领域, 需要相互渗透、交叉。要探讨矿床成因, 要从矿物学、岩石学、矿相学、矿床学、地球化学等方面进行研究; 要成矿预测, 除了详细勘查矿床、控矿因素及成矿规律外, 必须借助航空航天技术、地球物理探测技术等。只有多学科综合研究, 才能充分发挥科学找矿扩大资源量的目的。

2) 求实创新

我们应当充分利用前人的研究成果, 尊重前人的研究成果, 但不迷信前人的研究成果。科学研究要“不唯上, 不唯书, 只唯实”, 以客观事实为依据, 发扬开拓进取、求实创新的精神。只有这样, 地质科学的研究才能发展, 才有新的生命力。矿床的研究不能靠行政长官意识, 而应当尊重事实。对于书本上的东西应当既要尊重又不迷信, 又敢于向过去的理论挑战。

2、工作方法

通过长期的普查、找矿勘探实践, 人们逐渐地总结了有关矿床研究的一般方法。对具体矿床进行深全面入的观察使研究矿床的基本方法。在具体研究一个矿床时, 一般采用以下四个阶段, 即野外地质调查、实验室研究、模拟实验和综合分析。

1) 野外地质调查(野外现场观测)

(1) 区域地质: 通过中比例尺填图, 了解成矿地质背景(地层、构造、岩浆岩及其与矿化的关系);

(2) 矿区地质: 通过现场观测和编录, 测制大比例尺地质图、剖面图和必要的地质素描图, 查明矿区内地层、构造、岩浆岩特征及其与矿化的关系;

(3) 矿床地质(矿体、矿石及围岩蚀变): 对探矿工程编录, 确定矿体的形态、大小和产状; 对矿石观测与素描, 根据矿石的物质组分、组构及共生矿物特征, 确定矿物生成顺序及矿化期次; 系统取样。

2) 实验室研究

(1) 矿物结构及物性: 利用偏光显微镜、反光显微镜、阴极发光显微镜、电子显微镜、X-射线衍射、红外光谱、差热分析仪等仪器, 鉴定岩矿石中矿物成分、含量及相互关系, 进一步确定矿物生成顺序和成矿期次的划分; 研究矿床中典型矿物的物性特征。为矿床成因、找矿预测及矿石综合利用提供可靠的资料。

(2) 常微量元素与稀土元素: 通过化学分析和仪器分析, 查明矿石中常量元素、微量元素含量及有益、有害元素含量。为矿床的规模、矿体形态的圈定、矿产资源综合利用提供依据, 为矿床成因提供佐证。

(3) 流体包裹体: 测定成矿流体温度, 估算流体的盐度、密度和压力; 测定成矿流体的气相、液相成分; 通过热力学计算, 探讨成矿流体的逸度、酸碱度和氧化还原电位及成矿流体的来源。

(4) 同位素: 测试样品的稳定同位素(碳、氢、氧、硫、铅等同位素)和放射性同位素(Rb-Sr Sm-Nd K-Ar 等), 估算成矿温度, 确定成岩、成矿时代, 判断成矿物质来源, 为矿床成因、找矿预测提供依据。

(5) 有机地球化学: 了解矿床中生物标志化合物(胶质和沥青质、干洛根和孢粉等)的一般特征, 分析有机碳、有机硫、干洛根和孢粉成分和氯仿沥青 A(饱和烃、芳烃、非烃和沥青质)组分及气相色谱分析。

(6) 古地磁

3) 模拟实验

为了更深入的研究矿床成因, 需要进行成矿模拟实验, 以便将所获得的成矿物理化学信息应用于实验中检验, 验证提出的成矿过程。目前主要有成岩-成矿实验、热力学计算和计算机模拟三种方法。

4) 综合研究

(1) 编制综合图件：以单因素图件为基础，编制多因素图件或专题性图件，如综合地层柱状图等。

(2) 资料综合分析：根据野外和实验室内研究成果进行综合分析，去粗取精、去伪存真。

(3) 综合地质报告：通过野外现场观测和实验室内的综合研究、分析，最终形成一份科研报告。

§ 3 矿床学研究的进展

从历史发展的观点，可将矿床研究分为以下几个阶段

一、萌芽阶段

据考古研究，我国人民早在约 50-60 万年前的旧石器时代，中国猿人-蓝田人、北京猿人为了生存已认识了某些矿物和岩石的有用性质，如开始利用燧石、玛瑙、水晶、石髓和石英的坚硬性来制造原始劳动工具；20 万年前，山顶洞人开始利用玛瑙、石墨作饰品，用赤铁矿作饰品的涂料；青铜时代，主要用孔雀石和自然铜炼铜并制造青铜器；已能利用天然陨铁作刃的青铜器；已利用的矿物和岩石达 40 余种。

二、初期阶段

进入铁器时代，2000 多年前即能用褐铁矿、赤铁矿和磁铁矿生产铸铁，对某些矿物的聚合富集体—矿体进行较大规模的开采。春秋战国时即已开采的山东金岭镇铁矿可能是世界上开采最早的铁矿；在秦岭、中条山、太行山一带开采原生铜矿，已开采七宝山和德兴、铜官山、东川等铜矿；开始用金铸币，我国是世界上最早使用金币的国家。明李时珍《本草纲目》中已列举了 160-217 种矿物的产地、产状、物理性质和在医疗、工业方面的用途和宏观地质研究。《山海经·五藏山经》中记载 600 多个矿产地的 80 多种矿物、岩石和矿石，并将矿床的产出环境进行了初步分类，如有的矿产于山（原生矿床），有的矿产于水（砂矿），有的矿产于谷（沉积矿床）；根据矿物、岩石的物性把矿产分为金、玉、石、土四类。同时注意到矿物共生关系和分带，如《管子·地数篇》中叙述了“山上有赭者，其下有铁；上有铅者，其下有银；上有丹砂者，其下有金；...”。但未重视应用性研究，而侨居捷克矿石山的德籍阿格里科拉（1546）首先提出成矿的概念，认为矿脉中物质来源于地壳，因大气水受地热影响溶解了成矿物质后在地壳裂隙中沉积形成；笛卡尔（1644）则认为所有金属矿物都是由地壳深处通过溶液或喷气作用上升贯入到已冷凝的地壳裂隙内沉淀而形成的。这一阶段是矿床学理论的最初萌芽阶段，出现矿床成因上最早的“水”、“火”之争。到 18 世纪，逐渐形成学术上矿床成因两大学派，即魏尔纳（1775）提出的所有岩石和矿床都是由地表水形成的，即“水成论”；赫屯（1788）提出矿床都是熔融物质充填在已冷凝的地壳裂隙中形成，即“火成论”。

三、发展阶段

19 世纪中叶，由于冶金工业的需求发明了“垂直照明器”，从而产生了金相学，即在显微镜下观察磨光面上金属矿物的微观形态、大小及特征，极大地推动了矿床学理论的发展。20 世纪中叶，现代测试技术的引用使对矿床学的研究得到进一步的发展。如同位素地球化学、包裹体矿物学、成岩成矿实验等研究，微区形貌研究的电子显微镜、矿物结构研究的 X 射线衍射分析、高灵敏度仪器分析如原子吸收光谱、中子活化和电子探针等及确定年龄和成因的同位素分析新技术、新方法的引入，使矿床学研究有一个飞速地发展。

四、综合阶段

20 世纪 70、80 年代以来，由于新技术、新方法不断地发展，人们认识到对矿床的研究不能单一的就矿论矿，而应当综合各学科诸如地质学、地球物理学、地球化学、遥感地质学、环境地质学等在矿床研究中应用；正确利用化学成分分析和现代仪器分析、宏观与微观分析研究、野外与室内分析研究的成果，利用成矿模拟实验以修正自己的研究成果，使成矿作用过程更趋近于真实。通过综合研究，认为某些矿床具有“三多”的特点，即成矿物质多来源、成矿作用多阶段和多成因的特点。新的成矿理论不断出现，如层控矿床、生物成矿、地幔柱成矿、海底喷流成矿、成矿动力学、成矿系统、数字矿床等。

矿床学的三基：基本知识：有关矿床的基本概念、矿床地质特征、形成条件；

基本理论：有关成矿作用、成因类型和成矿规律的系统认识；

基本技能：包括野外工作方法和判读矿床地质图件的能力，肉眼和镜下研究矿石和蚀变岩石的能力及能利用各种材料对矿床形成条件和成因进行综合分析的初步能力。

第二章 矿床学基础

§1 基本概念

一、矿床

矿床(mineral deposit)：指在地壳中通过地质作用形成的，其质和量符合工业要求，在现有经济技术条件下能被采用利用的地质体。矿床由矿体和围岩构成，矿床中可以包括一个或多个矿体。

矿床(mineral deposit)：指在地壳中通过地质作用形成的，其质和量符合工业要求，在现有经济技术条件下能被采用利用的地质体。矿床由矿体和围岩构成，矿床中可以包括一个或多个矿体。

1、同生矿床(syngenetic deposits)：指矿体与围岩是在同一地质作用过程中同时或近于同时形成的。

2、后生矿床(epigenetic deposits)：矿体的形成明显晚于围岩的一类矿床。

二、矿体与围岩

1、矿体(ore body)：由矿石(ore)和脉石(gangue)组成的独立地质体，是矿床的主要组成部分，是开采和利用的主要对象。矿体具有一定的形状(form / morphology)、大小和产状(mode of occurrence)，并占有一定的空间位置，被围岩所包围。

2、围岩(country rock, host rock, wall rock)：泛指矿体周围的岩石，其界线有的很清楚（如脉状矿体），有的呈渐变过渡（如由细脉浸染状矿石组成的矿体）。

3、母岩(mother rock)：是指矿床形成过程中，提供成矿物质来源的岩石。与矿床在空间上和成因上具有密切联系。如由岩浆结晶分异作用形成的富镁质超基性岩中的铬铁矿矿床，富镁质超基性岩即是铬铁矿矿床的母岩。

4、矿体形状(form of ore body)即矿体的外形。根据矿体在三度空间长度比例的不同，将矿体分为三种基本类型

1) 等轴状矿体：三向均衡延长的矿体，如矿瘤（直径数十米以上）、矿巢（直径仅数米以上）、矿袋和矿囊（直径更小）。若一个方向上较短，且中厚边薄者为凸镜状或扁豆状。

2) 板状矿体：二向延长

(1) 矿层：在沉积作用下形成的产状与围岩一致的板状矿体；又称层状、似层状矿体。

(2) 矿脉：形成在各种岩石裂隙中的板状矿体，典型的后生。

矿层与层状矿脉区别：矿层规模大、厚度均匀，产于顺层裂隙中；层状矿脉有尖灭端，产于穿层裂隙中。

3) 柱状矿体：一向延长（多为垂向），又称筒状或管状。如金刚石矿床发管状矿体

5、矿体产状(mode of occurrence of ore body)：是指矿体在地壳中产出的空间位置。

1) 产状要素：走向、倾向、倾角，侧伏角、倾伏角——狭义的产状

2) 埋藏深度：露天矿、隐伏矿（也称盲矿体）

3) 与岩体关系：岩体内或外，或接触带

4) 与沉积岩关系：与层理、片理呈整合关系或穿切关系

5) 与构造关系：产于构造中的部位，与断裂和褶皱空间上的关系

三、矿石与脉石

1、矿石(ore)：指从矿体中开采出来的，可从中提取有用组份且在目前的经济技术条件下具经济价值的矿物集合体。矿石由矿石矿物和脉石矿物组成。岩石在目前的经济技术条件无具经济价值。

1) 矿石矿物(ore mineral)：矿石中有用的矿物

2) 脉石矿物(rocky mineral)：矿石中无用的矿物

2、矿石品位(tenor of ore): 矿石中有用组份的百分含量。以元素、氧化物(Fe、W、V、Ti)的重量百分含量(%)表示; 贵金属用 g/t 来表示; 金刚石用 mg/t 表示; 砂矿用 g/m³ 或 kg/m³ 来表示。

1) 工业品位 (production tenor); 能被开采和利用的矿体的最低平均品位

2) 边界品位(boundary tenor); 用来确定矿石或岩石、矿体和围岩界线的品位

3、矿石品级

矿石品级(grade of ore): 工业生产上用一种矿石中有益组份和有害组份的含量来确定的矿石品级。

4、矿石组构(fabric of ore)

(1) 矿石构造(structure of ore): 指矿石中矿物集合体的形状、大小和空间上的结合分布特征。即指矿物集合体的形态特征而言。

(2) 矿石结构(texture of ore): 指矿石中矿物晶粒的形状、大小和空间上的结合分布特征。即指单种或多种矿物晶粒间或单个晶粒与矿物集合体之间的形态特征而言。

5、脉石

1) 脉石(gangue): 矿体中无用的围岩碎块及夹石, 与矿石伴生在一起。

2) 夹石(horse): 矿体内部不符合工业要求的岩石, 其厚度超过了允许的范围

四、矿床类型

1、成因类型(genetic types): 按矿床的形成作用和成因划分的矿床类型, 如内生成矿作用形成的矿床属内生矿床, 岩浆作用形成的矿床属岩浆矿床, 岩浆熔离作用形成的矿床属岩浆熔离矿床。

2、工业类型(commercial types): 据在工业上的使用价值和现实意义, 尤其是在采矿、选矿和冶金等加工工艺方面特征来划分的矿床类型, 如按金属矿产主要来源的矿床属金属矿床, 黑色金属矿产主要来源的矿床属黑色金属矿床, 铁矿产主要来源的矿床属铁矿床。

§ 2 元素地球化学

一、元素地球化学分类 (A.H.查瓦里茨基分类)

1) 氢族: H, 影响成矿介质的酸碱度和成矿的物理化学条件, 可与氧结合成水, 搬运

2) 惰性气体族: He-Rn, 一般不参与成矿, 很稳定

3) 造岩元素族: Li-Cs、Be-Ba、Al、Si, 形成造岩矿物——脉石矿物

4) 岩浆射气元素族: B、C、N、O、F、P、S、Cl, 可与金属元素形成络阴离子

5) 铁族元素: Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni, 岩浆矿床的主要成矿元素

6) 稀有元素族: Sc、Y、Nb、Mo、Tc、Hf、Ta、W、Re、TR (稀土元素)

7) 放射性元素族: Fc、RA、Ac、Th、Ta、U, 以 U 和 Th 为主

8) 亲硫元素族: Cu-Au、Zn-Hg、Ga-Tl、Ge-Pb, 与硫有很强的亲和性, 是血吸虫硫化物的主要元素, 形成矿石矿物

9) 铂族元素: Ru、Rh、Pd、Os、Ir、Pt, 含在基性、超基性岩中

10) 半金属和金属矿化剂族: As、Sb、Bi、Se、Te、Po

11) 重卤素族: Br、I、

二、元素在地壳及上地幔中的分布规律

1、概念

1) 克拉克值: 元素在地壳中的丰度值。

2) 浓度克拉克值: 元素在某地区(或某一地质体)的平均含量与该元素的克拉克值的比值。其值>1, 表示富集, 其值≤1, 表示分散

3) 浓度系数=某矿石的工业品位/克拉克值

2、元素在地壳和上地幔中的分布量

1) 各元素在地壳和上地幔中的分布量相差极为悬殊

(1) 分布量最多的是氧: 46% (地壳), 43% (上地幔)

(2) 分布量最少的是氢: 1.6×10^{-9} (地壳), $0.19\% \times 10^{-9}$ (上地幔),

2) 地壳和上地幔中分布量最多的是 7 种元素, 即 O、Si、Al、Fe、Ca、Na、Mg, 其总量占地壳总成分的 99.4%, 占上地幔总成分的 99.11%。由于这些元素是地壳中各类岩石的基本成分, 故统称其为造岩元素。造岩元素族在地壳及上地幔中的分布占主要地位。

3、成矿元素在地壳和上地幔中的分布特点

1) 地壳中主要集中稀有元素（包括稀土元素族）、放射性元素族和岩浆射气元素族；

2) 上地幔中主要是铁族元素、铂族元素和岩浆射气元素族。

§ 3 成矿作用

成矿作用(mineralization / ore-forming process): 使分散在地壳中的元素发生富集而形成矿床的地质作用, 称为成矿作用。按其性质和能量作用的来源分为四大类。

一、内生成矿作用

1、概念: 内生成矿作用(endogenic mineralization)主要是由地球内部热能的影响而形成矿床的各种地质作用。能量来源于地球内部(如放射性元素的蜕变能、地幔及岩浆的热能等), 与岩浆活动有关的一系列成矿作用岩浆活动:

2、分类: 内生成矿作用按其形成过程可分为正岩浆阶段、残余岩浆阶段和气水热液阶段。按其物理化学条件不同可分为

1) 岩浆成矿作用: 指主要硅酸盐矿物从岩浆中分离结晶出来

2) 伟晶成矿作用——

3) 接触交代成矿作用

4) 热液成矿作用——

二、外生成矿作用

1、概念: 外生成矿作用(exogenic mineralization): 主要指在太阳能的影响下, 在岩石圈、水圈、气圈和生物圈的相互作用过程中, 导致在地壳表层形成矿床的各种地质作用。其能量来自于地球以外(主要是太阳的辐射能、部分生物能和化学能), 通常是在温度、压力较低(常温、常压)的条件下进行的。外生成矿作用可分为两大类

2、分类: 1) 风化成矿作用

2) 沉积成矿作用

三、变质成矿作用

1、概念: 变质成矿作用(metamorphic mineralization): 在内生作用或外生作用中形成的岩石或矿石, 由于地质环境的改变, 如经过深埋或其它热动力事件而使之成矿的地质作用。实质上, 变质成矿作用是内生成矿作用一种。变质成矿作用按其产生的地质环境不同可分为三类

2、分类: 1) 区域变质成矿作用

2) 接触变质成矿作用

3) 混合岩化成矿作用

四、叠生成矿作用

叠生成矿作用(telescopic mineralization): 很多矿床的形成不是由某一种成矿作用形成, 往往经过多种成矿作用。即是一种复合成矿作用。可以使先形成的矿床或含矿建造经后期成矿作用的改造富集, 也可通过后期成矿作用外来物质的叠加而形成矿床。

§ 4 矿床类型

一、成因类型

矿床类型的划分有很多, W.林格仑(1906, 1911)提出了以成矿的物理化学作用为基础分为机械作用矿床和化学作用矿床两大类, 再以成矿时的物理化学条件(温度、压力)划分若干亚类。施奈德洪(1930)将矿床划分为岩浆、沉积和变质三大类矿床。谢家荣(1961)按矿质来源不同将矿床分为地面来源、地壳表层来源、硅铝层再熔化岩浆来源和硅镁层岩浆来源四大类。也有人如按赋矿岩石类型将矿床划分为砂岩型、超基性岩型、斑岩型、碳酸盐型、页岩型、砾岩型、变质岩型等矿床。矿床的成因分类反映人类对矿床成因和成矿过程的认识程度, 也是人类对矿床研究成果的高度概括。正确地制定矿床成因分类对了解成矿作用的本质, 指导生产实践都具有重要的意义。

1、内生矿床

1) 岩浆矿床: 岩浆分结矿床、岩浆熔离矿床、岩浆喷发矿床

2) 伟晶岩矿床

3) 接触交代矿床

- 4) 热液矿床
- 5) 火山成因矿床：火山岩浆矿床、火山-次火山气液矿床、火山-沉积矿床
- 2、外生矿床
 - 1) 风化矿床：残坡积矿床、残余矿床、淋积矿床
 - 2) 沉积矿床：机械沉积矿床、胶体沉积矿床、蒸发沉积矿床、生物化学沉积矿床、海底喷流沉积矿床、可燃有机矿床
- 3、变质矿床
 - 1) 区域变质矿床
 - 2) 接触变质矿床
 - 3) 混合岩化矿床
- 4、层控矿床

二、工业类型

- 1、金属矿床
 - 1) 黑色金属矿床：包括铁、锰、铬、钛、钒等
 - 2) 有色金属矿床：包括铜、铅、锌、铝、镁、镍、钴、钨、锡、钼、锑、铋、汞等
 - 3) 贵金属矿床：包括金、银、铂族金属（铂、钯、铑、钌、铱）等
 - 4) 放射性金属矿床：包括铀、钍、镭等
 - 5) 稀有金属矿床：包括铌、钽、锂、铍、锆、铪、铷、铯等
 - 6) 稀土金属矿床：包括钇、钆、铈、镧、铈、镨、镧、铈、镨、钆、钇、铈等
 - 7) 分散金属矿床：包括锗、镓、铟、铊、铋、铋、铋、铋、铋、铋等
- 2、非金属矿床
 - 1) 冶金辅助原料矿床：如包括菱镁矿、耐火粘土、萤石、蓝晶石、红柱石、夕线石、熔剂用灰岩、冶金用白云岩等
 - 2) 化学工业原料矿床：如包括磷灰石、自然硫、硫铁矿、钠硝石、明矾石、芒硝、重晶石、毒重石、天然碱、灰岩、白云岩等
 - 3) 工业制造原料矿床：如石墨、金刚石、云母、石棉、重晶石、刚玉等
 - 4) 压电及光学原料矿床：如压电石英、光学石英、冰洲石、萤石等
 - 5) 陶瓷及玻璃工业原料矿床：如长石、石英砂、高岭土、粘土等
 - 6) 建筑及水泥原料矿床：如砂岩、砾岩、白垩、石灰岩、石膏、花岗岩等
 - 7) 宝石及工艺美术材料矿床：如硬玉、软玉、玛瑙、绿松石、琥珀、电气石、孔雀石、绿柱石、蛇纹石等
- 3、可燃有机矿床
 - 1) 固体燃料矿床：如煤、油页岩等
 - 2) 液体燃料矿床：如石油
 - 3) 气体燃料矿床：如天然气
- 4、水气资源
 - 1) 地下水资源：如地下饮用水、地下热水、矿泉医疗水等
 - 2) 地下气资源：如二氧化碳气、硫化氢气、氢气和氧气等

第三章 岩浆矿床

§1 概述

一、概念

广义：凡与岩浆活动有成因联系各类矿床。

狭义：（正岩浆矿床）：在地壳深处（主要硅酸盐矿物结晶的过程中）岩浆冷凝过程中，由岩浆分异作用使有用组分富集而形成的矿床。

岩浆分异作用：由于物理、化学条件、地质条件改变使单一岩浆化分为多种岩浆的作用。

二、一般特点（共同特点）

1. 矿床形成的深度，温度范围变化很大。
2. 矿床成因上主要与基性、超基性岩及部分碱性岩有关，极少数与花岗岩有关。
3. 成矿作用与成岩作用在空间上和时间上具有一致性。（同生矿床）
4. 矿体一般产于侵入体的内部，少数情况可产于侵入体附近的围岩中，岩体通常即是母岩又是围岩。矿体与围岩接触关系渐变或突变两种关系。
5. 矿体形态以不规则状为主，有：层状、似层状、等轴状、透镜状、脉状、柱状等）
5. 矿体成分特征：矿体中的成分与围岩成分差别不大，仅是量的差别，即同质不同量，矿体中比围岩中更富集矿石矿物。
 - 1) 成矿元素：Fe（独立矿物钛铁矿，钛铁尖晶石）
Cr（独立矿物氧化物，硫化物）
Fe（独立矿物：硫化物；类质同象：硫化物晶格—替代 Fe）
Ni（S↑，硫化物，镍黄铁矿）
Mg↑橄榄石成分↑，类质同象替代 Mg^{2+} ，进入橄榄石。
Mn 类质同象—硅酸盐矿物晶格。
亲硫元素：Cu 造矿元素（硫化物）
Pt 族元素（Pt, Pd, Os, Ir, R, Rh）：自然元素—铬铁矿矿床（自然铂、自然钯）；化合物（S、As、Sb、Bi、Te）—铜镍硫化物矿床 [PtAs₂] 砷铂矿，[RuS₂] 硫铈矿
岩浆射气元素：C、P、S、O 等。
 - 2) 脉石矿物：主要是基性、超基性岩的造岩矿物和次生矿物。
7. 有关的矿床类型：铬铁矿矿床、钒钛磁铁矿矿床、铜镍硫化物矿床、铂族元素矿床。

§2 岩浆矿床形成的地质条件

岩浆矿床的形成与岩浆的性质、演化有着不可分割的联系，在矿床的形成中起着重要的作用。

一、岩浆岩条件

岩浆是岩浆矿床成矿物质的主要来源和载体。岩浆岩则是成矿体的母岩和围岩。因此原始岩浆的性质，含有用组份的多少，对能否形成矿床有着重要的影响。

- 1、成矿专属性—一定类型的岩浆矿床与特定的岩浆岩有成因上的密切关系

与岩浆矿床有关的岩浆岩主要为基性、超基性岩。不同成分的岩浆岩具有不同的成矿专属性。

富镁质、超基性岩， $m/F > 6.5$ 铬铁矿矿床常产于这种岩体中。

铁质基性—超基性杂岩：Cu-Ni 硫化物矿床常产于其中。

富铁质基性岩：2~0.5，钒钛磁铁矿矿床产于该岩石类型中。

为什么岩浆矿床主要与基性、超基性岩浆岩有关呢，这除了和岩浆本身所含成矿元素的种类有关外，还与岩浆的粘度有关。

- 2、岩浆粘度

岩浆的粘度决定于岩浆的成分、温度。基本组分是硅氧四面体，① 岩浆成分中硅氧四面体含量越多，结构越复杂，其粘度越大。基性、超基性岩浆中硅氧四面体较酸性岩浆中含量少得多，因此基、超基性岩浆的粘度比较小。另外② 金属阳离子 Fe、Mg、Ca、Sr、Ba、Li、Na、K、Rb 降低岩浆粘度的能力依次减小，也即与硅氧四面体键合的能力依次增大。而基性、超基性岩浆中富含 Fe、Mg、Ca 等，酸性岩浆中富含 K、Na、Ba、Li 等元素，同时说明基性、超基性岩浆粘度比酸性岩浆小。③ 再者岩浆的温度与粘度成反比，基性、超基性岩浆 T 高于酸性岩浆，因此粘度小。

从以上三方面说明了基性、超基性岩浆的粘度小，因此有利于岩浆的活动和分异。同时有利于分散在岩浆中的成矿元素富集。酸性岩浆粘度大，不利于岩浆的分异。

岩浆粘度是非常重要的性质，它不仅影响岩浆岩的产状、构造和结构，主要影响岩浆的分异作用，而分异作用正是岩浆矿床形成的重要作用。

- 3、挥发组份的作用

岩浆中挥发组份的成分：H₂O、Cl、CO₂、Br、F、S、P 等，其中以 H₂O 的量最大。由

岩浆对气族元素为主构成。

1) H_2O 的解聚作用→降低岩浆粘度

水对于岩浆中的氧四面体具有解聚作用。 H_2O 能使硅氧四面体中的 O 变为 OH^- , 从而使硅氧四面体 $SiO_4^{4-} \rightarrow$ 中性的 $Si(OH)_4$, 失去聚合能力, 大大降低岩浆的粘度。

2) 降低成矿物质的熔点

Cl、F、S、Br 等挥发组份能与金属成矿元素结合形成易熔的络合物, 使得金属元素长时保留在岩浆中, 进一步富集直到大多数硅酸盐矿物晶出后, 最后才晶出。有利岩浆分异。

如没有挥发组份作用, 成矿物质早早的从熔体中晶出, 与硅酸盐矿物混在一起, 使得成矿物质分散。

3) 有利载体 (成矿物质)

挥发组份对温度和压力特别敏感, 常可将岩浆中的成矿物质带到有利的部位成矿。

4、岩体规模

一般情况规模越大的侵入体愈有利于有价值的工业矿床形成, 因为它们所管的成矿物质总量多, 同时所带的热量也较大, 因此有利于成矿作用进行。但这也不是绝对的, 有时基性、超基性岩浆在深处分异过程中, 可形成含矿丰富的岩浆, 这种侵入体虽小, 但形成的矿床却较大而富。四川西部力马河铜镍硫化物矿床。

5、岩浆侵入期次

从不少岩浆矿床的实际资料了解到, 矿床的产出与岩浆的侵入期次往往具有这样的关系: 从区域上看矿床常常产在同一构造运动形成的岩浆岩带内部较晚期形成的岩体中; 从一矿区中看, 矿体主要与复式岩体的晚期岩相关系密切。得出结论同一岩浆活动期次中, 因侵入越晚的岩体分异越完全。

同源同期不同阶段对成矿关系越密切。

矿床产在同期形成的岩浆岩带中晚期形成的岩体内。

二、构造条件

大多数岩浆矿床在成因上及时间、空间分布上与基性、超基性岩浆岩有关, 控制基性、超基性岩浆岩形成的构造也控制着岩浆矿床的形成。由于基性、超基性岩浆系地幔物质部分熔融而成, 因此:

1、切穿地壳而达到上地幔的深大断裂, 对基性、超基性岩浆岩以及岩浆矿床有严格的控制作用。沿超壳断裂产出。

2、由于岩浆矿床是岩浆分异、结晶富集成而, 所以地质构造变动相对稳定的地区在有利于岩浆的分异和矿化的富集。一般地槽形成晚期和地台期是构造相对宁静时期。有利于矿床的形成。

3、产于地槽褶皱带中的岩浆岩以富镁质超基性岩为主。 $MgO/FeO=6.5\sim 12$, 岩体含 Cr、Ni、Co、Pd。常形成有工业价值的 Cr 铁矿矿床。

产于地台区的岩浆岩以铁质超基性岩及基性岩为主, MgO/FeO 比值低。有关矿产主要是钒钛磁铁矿矿床。Cu—Ni 硫化物矿床。

三、围岩条件

当岩浆侵入或喷出的过程中, 不可避免地要和周围岩石发生接触, 围岩中的某些成分将通过各种方式加入到岩浆中去, 从而使岩浆的成分发生改变, 这种作用叫作同化作用。由于围岩中的某些成分的加入, 对岩浆成矿作用将产生有利或不利的影晌。

以基性—超基性岩浆同化碳酸盐岩石为例:

1、钙将代替部分铁 (镁) 而形成含钙的硅酸盐, 促使更多的金属脱离硅酸盐而进入熔浆; $CaCO_3 + FeSiO_3 \rightarrow FeO + CO_2 + CaSiO_3$ 有利于岩浆的分异。攀枝花钒钛磁铁矿矿床中, 矿化较好的基性岩体均侵位于白云质大理岩地层中, 这可能是围岩中钙质的加入, 促使岩浆中铁质的分异进行得比较彻底。

2、 $CaCO_3$ 的同化作用对铬铁矿的形成却是不利的。钙进入岩浆往往取代硅酸盐的 Fe 形成钙硅酸盐, 而释放出来的铁使岩浆中 Fe 的含量增高则形成铁的氧化物, 使得 Cr_2O_3/FeO 比值降低。因工业上对铬矿石的要求主要考虑两个因素: Cr_2O_3 的含量和 Cr_2O_3/FeO 比值, 若铁含量高了 (不符合合金要求) 仅能用于耐火材料和化工方面。

§ 3 岩浆成矿作用

使岩浆中有用组份析出，聚集和定位的作用即岩浆分异作用，同时也是岩浆成矿作用。按作用方式和特点，岩浆分异成矿作用：（1）结晶分异成矿作用——分异出固相；（2）熔离成矿作用——液相。岩浆分异作用：岩浆在深化过程中，受物—化条件及地质条件变化控制，使单一的岩浆分化为多种岩浆的现象。

一、结晶分异成矿作用：

岩浆冷凝过程中，各种矿物依次从中晶出，在重力和动力的影响下发生分异和聚集，而导致岩浆成分不断改变的作用。岩浆在结晶分异过程中，有用组分的析出有两种情况：

1、早期岩浆结晶分异作用（金属矿物早于大多数硅酸盐矿物晶出）

来源于上地幔含矿性、超基性岩浆侵入地壳后，由于温度的缓慢下降开始结晶。最早晶出的金属矿物有自然铂（比重 14~19）铬铁矿（比重 4.3~4.6）等，与金属矿物同时或稍后结晶的硅酸盐矿物有橄榄石、辉石和基性斜长石等。（这些造岩矿物的结晶顺序，基本上是遵循鲍文系列的，特别是暗色矿物，从早到晚为橄榄石→斜方辉石→单斜辉石→角闪石→黑云母，由于矿物晶出的先后顺序不同，在重力作用和岩浆对流作用的影响下，先晶出的比重大的金属矿物铬铁矿以及 Fe、Mg 硅酸盐（橄榄石、辉石等）矿物在岩浆内逐渐下沉，比重小的铝硅酸盐矿物（斜长石）上浮，于是岩浆发生了分异，结果在岩浆底部堆积形成了基性程度较高的铁镁硅酸盐矿物和铬铁矿。自然铂等金属矿物所构成的矿体。环境平静在底部形成层状似层状矿体。若构造运动频繁，在岩浆流动过程中形成不规则的条带状分离体（早晶出的矿物相对集中，呈条带状团块状分布在岩体中，边界限不清，定向排列）。

早期岩浆结晶分异—金属矿物先于硅酸盐矿物结晶

重力分异作用—比重大的矿物沉入岩浆底部

分异结果—岩体底的岩石类型较中心部基性程度高

纯橄榄岩→斜方辉石→二辉岩→辉长岩

2、晚期岩浆结晶分异作用

当岩浆中含挥发分散多时，金属元素与挥发组分结合形成易熔化合物，往往以络合物形式出现，从而降低了矿物的结晶温度（铬铁矿 1800℃→1000℃），使金属组份可长时间地停留在岩浆中，随硅酸盐矿物的大量不断晶出，岩浆量减少，金属组分在残余岩浆中相对富集，形成了含矿残余岩浆。此时 a、若地质环境平静，构造运动相对稳定，由于残余含矿岩浆比重大，将往下沉充填在岩浆底部早晶出的硅酸盐矿物颗粒间，并胶结这些矿物形成具有海绵陨铁状结构的似层状矿体；b、在地质构造比较活动的条件下，由于受构造应力的作用，含矿的残余岩浆可被挤入岩体的原生构造裂隙或附近围岩裂隙中，形成贯入式矿体。这种成矿作用也叫做压滤作用。

晚期岩浆结晶分异作用有别于早期岩浆结晶分异作用，在于挥发份的大量存在，使得金属矿物的结晶温度降低，晚于硅酸盐矿物晶出，由于大量硅酸盐矿物从岩浆中晶出，使得有用组分在残余岩浆中进一步富集，更加有利于形成工业价值大的大型矿床，因此相对而言晚期岩浆结晶分异作用更重要。同时我们也看到了挥发组分的重要性，挥发组分我们又叫它为矿化剂。以 H₂O 为主，S、P、C 卤族元素（F、Cl、Br、I）

挥发份作用：降低岩浆中金属矿物的结晶温度，金属元素较其它元素更具亲合力；增加岩浆的内应力，降低岩浆粘度使其活动性更大，有利于分异；有利于成矿元素的富集。

在岩浆结晶分异过程中起决定作用的方式：结晶作用；动力作用——形成贯入型矿体（脉状）；重力作用——形成分异型矿体（似层状）。

二、岩浆熔离成矿作用

1、概念、原理

岩浆熔离作用又称液态分离作用：指成分均一的岩浆在冷凝过程中，随温度、压力的降低，分离成两种或两种以上不同成分互不相溶的熔融体的作用。

如果熔离出的熔浆中有一种金属硫化物或氧化物的熔体，可称为“矿浆”（ore magma），由这种矿浆形成的矿床称为岩浆熔离矿床；其中最灰特征的是铜镍硫化物矿床。

大量的实验资料表明在高温高压条件下，在基性、超基性岩浆中可熔解少量硫化物熔体，其溶解度在很大程度上决定于温度和压力。如玄武岩浆的温度从 1100℃→1200℃使硫的溶解度增加五倍（霍顿·斯金纳，1972）。在 25~50 公里深度的苦橄岩岩浆中，硫的最大溶

解度是地表条件下的 2~5 倍 (0.3~0.8%), H·希马)。因此不论是温度的下降或是岩浆上升过程中压力下降, 都可使硫化物熔体达饱和从硅酸盐岩浆中熔离出来。

熔离作用不但被地质现象所证实, 也从高温高压实验中得出这一现象的存在。

2、成矿过程

当熔离作用开始后从岩浆中熔离出来的富含硫化物的熔体。初期时硫化物熔浆呈小珠滴状, 悬浮于硅酸盐熔浆中, 此时硅酸盐矿物已开始结晶。随着熔离作用的不断进行, 这种金属硫化物的小珠滴不断增大并汇集到一起。由于硫化物熔浆比重比硅酸盐熔浆的比重大, 将向岩浆的底部下沉: ① 在下沉的过程中如果温度下降较缓慢, 环境较平静, 使得矿物(硅、S) 结晶速度缓慢, 金属硫化物熔浆可以聚集在岩体的底部, 形成由胶结先晶出的硅酸盐矿物的形成海绵陨铁结构稠密浸染和致密块状矿石组成的重要的底部层状矿体。② 若温度下降较快或熔离过程较短, 使得岩浆结晶速度较快, 使得硫化物熔浆来不及到达侵入体的底部, 而在岩体内部形成规模较小由浸染状矿石组成的上悬矿体。③ 另外在熔浆结晶过程中, 由于构造运动发生压滤作用, 将在岩体的原生裂隙或附近围岩裂隙中形成结入型脉状矿体。

熔离作用形成的矿床主要铜、镍硫化物矿床及矿床中含的大量铂的化合物。

硫化物熔体的结晶温度较硅酸盐矿物结晶温度低, 常在硅酸盐岩浆完全结晶后才开始 (300° ±) 硫化物显它形晶胶结自形晶的硅酸盐矿物组成海绵陨铁结构, 此外常发现硫化物交代硅酸盐矿物。

3、影响熔离作用的因素

基性、超基性岩浆高温时熔有相当量的铁、镍、铜等元素, 当岩浆中硫的浓度较低时, 这些元素可在岩浆结晶时进入橄榄石和辉石的晶格中, 而岩浆中有硫存在时, 这些元素则在岩浆结晶前形成硫化物熔浆从硅酸盐熔浆中分离出来。因此岩浆 S 的含量高有利于熔离作用的进行。

岩浆中铁含量增高时, 能使硫化物溶解度增高, 因此若围岩中 Fe 加入岩浆, 使岩浆只能析出少量的硫化熔浆, 往往不能形成有意义的矿床。

氧化物与硅酸盐熔浆在一定条件下, 也具有这种熔离作用, 特别是在挥发份存在情况下, 更容易促使这类矿床的熔离作用, 主要是一些含磷灰石的磁铁矿矿床。

4、深部熔离作用

根据传统认识, 熔离矿床的大小与侵入体规模大小成正比关系, 但在我国发现的一些矿床表明这一结论至少是不全面的。

肖德贝里铜镍硫化物矿床

苏长岩岩盆, 长 40, 宽 20, 深 1~3 公里, 硫化镍储量 600 万吨。

岩体单元含硫化镍 $0.268 \times 10^{-5} \text{kg/T}$ 。

力马河: 岩体总重量为 62651490T, 单位含硫化镍 0.48kg/T。

力马河岩体含硫化镍比肖德贝里体高出 180 倍。

用传统观点(硫化物为岩浆上升后熔离的产物)是无法解释的。现在认为某些地幔岩浆在侵入前在深岩浆房内就曾进行过分异。这就是深部熔离作用。

概念: 岩浆在深部岩浆房内由于重力分异作用分化为下部富 Mg、Fe、Ni 的橄榄岩熔浆及上部富 Ca、Al、Si 的辉长岩—辉石岩熔浆。在侵入到浅部则以纯硫化物熔离为主, 形成含硫化物的硅酸盐熔浆和富矿矿浆。通过深部熔离作用的岩浆有利于形成富矿床, 即使较小的岩体也能形成较高工业价值的铜镍硫化物矿床。

三、岩浆爆发成矿作用

指经过结晶分异作用或熔离作用的岩浆, 喷至近地表而形成矿床的作用。与此种成矿作用有关的矿床主要有产于金伯利岩中的金刚石矿床。

从深部向上运移的基、超基性岩浆, 随着温度、压力降低, 由结晶分异作用形成橄榄石、石榴石、铬铁矿及少量金刚石, 形成“晶粥”由于挥发分的大量增加, 内压力增大。当岩浆“晶粥”上升至硅铝层(变质基层)或达到沉积盖层有盲裂隙存在时, 将形成爆发源当内压继续增大, 上覆围岩层已无力抵挡岩体的冲力, 岩浆开始爆发。这时的温度压力很高, 使围岩(沉积盖层)中的有机质、碳质形成金刚石。另外岩浆中早期结晶出的金刚石伴随爆发作用一起喷出。在爆发过程中, 爆发角砾岩常将火山管道阻塞, 这时爆发将暂停止。随内压继续增大, 而引起重新爆发, 这样的喷发作用将反复进行多次, 金刚石常富集于火山爆发岩筒或裂隙的某一部位。

§ 4 岩浆矿床的类型和特点

岩浆矿床的成矿时期一定是在主要硅酸盐矿物结晶阶段。

一、岩浆分结矿床

主要是通过岩浆结晶分异作用形成的，按形组分和硅酸盐矿物两者结晶的先后关系分：早期岩浆矿床和晚期岩浆矿床。

早期岩浆矿床：有用组分早于或与硅酸盐矿物同时结晶。

① 母岩主要是富 Mg 超基性岩（纯橄榄岩、橄榄岩、辉石岩及蛇纹岩）

② 矿体形态呈瘤状、巢状、透镜状、似层状、矿体与围岩没有明显的界线为渐变过渡关系（靠采样分析确定矿体与围岩界线）。并且主要位于岩体的底部。

③ 结构构造：矿石矿物自形-半自形晶为主（因结晶早），或被硅酸盐矿物包围形成包含结构。以浸染状构造为主。

④ 矿石成分：与母岩成分基本一致，只是同质不同量，矿石晚富金属矿物脉石矿物主要是岩体中的造岩矿物。

⑤ 主要矿产：铬铁矿（南非布什维尔德铬铁矿矿床，甘肃小松山），铂族金属矿床呈自然金属矿物铬铁矿伴生。

晚期岩浆矿床：由于挥发分的作用，有用组分晚于硅酸盐矿物晶出。

① 母岩主要是基性岩及富 Mg 质超基性岩。

② 矿体形态：贯入型：脉状与围岩界线清楚；分异型：似层状、少数瘤状。与围岩界线渐变过渡。

③ 结构构造：贯入型：主要致密块状，它形晶；分异型：以稠密浸染状为主，少数块状条带状构造。

④ 矿石成分：与母岩同质不同量，矿石矿物：铬铁矿、铂族自然含 矿物，磁铁矿、钛铁矿，脉石矿物是贯岩中的造岩矿物，另外矿石中出现挥发组分矿物（磷灰石、铬符山石、铬电气石）。

⑤ 围岩蚀变：绿帘石化、碳酸盐化、黑云母化、绿泥石化等。

⑥ 主要矿产：产于 Mg 质超基性岩中的铬铁矿矿床（西藏罗布荷）。铂族金属矿床，产于 Fe 质基性岩中的钒、钛磁铁矿矿床（分异型、渡口、贯入型、大庙）。

二、岩浆熔离矿床

1、母岩主要 Fe 质基性—超基性岩（国外以基性岩为主肖德贝里，国内超基性岩）

2、矿体形态：分异型，底部矿体，上悬矿体为似层状、透镜状，与围岩界线过渡。贯入型矿体呈不规则状，与围岩界线清楚。

3、结构构造：底部及上悬矿体为典型的豆状构造以及浸染状构造。贯入型矿体主要呈致密块状和它形晶结构脉状构造。结构为海绵陨铁结构和固溶体分离结构（结状、滴状等结构）及它形晶。

4、矿石成分：矿石矿物磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铜矿、黄铁矿等。另外还有铂族元素化合物，这些矿物围岩中一般很少。脉石矿物与围岩相似。

5、主要矿产：Cu、Ni、Pt，常在一个矿床中出现

世界最大矿床为加拿大肖德贝里，我国最大的为金川铜镍硫化物矿床，储量约 160 万多个，世界第二。

三、岩浆喷发矿床

1、爆发型：

1) 主产与偏碱性超基性喷出岩有关。岩体呈岩筒状为爆发成因。

2) 碳质来源于金伯利岩浆和沉积盖层。

3) 金刚石常在金伯利岩中呈班晶出现，矿物成分还有橄榄石、石榴石、透辉石。

2、喷溢型：

1) 矿床产于中~基性火山岩体。

2) 矿体呈似层状位于成分不同的两类火山岩之间，受火山活动间歇期控制。

3) 矿石构造主要为致密块造，少数角砾状，浸染状。

4) 主要成分为磁铁矿、赤铁矿、氟（磷灰石、矿产主要为铁矿）。

§ 5 我国岩浆矿床的找矿要点

一、成矿时代

从太古代→第三纪均有产出，主要成矿时代为海西期和燕山期，即主要造山期。铬铁矿主要产在海西期，其次为燕山期。Cu-Ni 硫化物矿床主要产在燕山期，其次为前震旦纪。钒钛磁铁矿主要产在海西期。

各类岩浆矿床在北方以海西期为主，南方以燕山期为主，从北到南成矿时代变新。

二、构造因素：

各构造单元中的深大断裂控制着岩浆岩及有关的岩浆矿床。Cu-Ni 硫化物矿床（包括ΣPt）、钒磁铁矿主要产在地台区，特别是无沉积盖层的地质区（克拉通）。铬铁矿矿床主要产在地槽褶皱带（磁铁矿-磷灰石矿床）。另外还有部分矿床产在两个构造单元的接触带上（金川 Cu-Ni 硫化物矿床产于阿拉善地块与祁连山地槽的接触带）。

三、岩浆岩因素

岩浆矿床的成矿作用与成岩作用在时间上和空间上具有一致性。空间上绝大多数岩浆矿床产在岩体内，岩体既是母岩也是围岩。与岩浆矿床有关的岩浆岩往往是基性-超基性杂岩体。不同的岩浆岩具有不同的成矿专属性。

铬铁矿——含镁高的超基性岩有关（主要是纯橄相称岩，其次为橄榄岩，橄辉岩，以及由它们蚀变而成的蛇纹岩）。

Cu-Ni 硫化物矿床——[含 Mg 中等，贫 Ca]Fe 较高铁质的基、超基性岩的由辉石（单斜、斜方）组成的基性岩、超基性岩有关（苏长岩橄榄苏长岩、辉石岩等）。

铂、铂族元素矿床——伴生在前两个矿床中。与含 Mg 市长含 Fe 高的超基性岩有关

钒钛磁铁矿——富铁基性岩（辉长岩、斜长辉长岩）关系密切

四、岩石化学因素

m/f 比值（吴利仁）镁质超基性岩 > 6.5 铬铁矿矿床

$$m/f = \frac{\text{Mg}^{2+}\text{O} + \text{Ni}^{2+}\text{O}}{\text{Fe}^{3+}\text{O}_2 + \text{Fe}^{2+}\text{O}}$$

铁质超基性岩 2~6.5，Cu-Ni 硫化物矿床

富铁质超基性岩、基性岩 2~0.5 钒钛磁铁矿。

D 值特征=2.46Cu+3.18Co+0.58Cr+6.79Mn-2.83Ni-8.95V-6.43S，其中 Cu、Co、Cr 等为含量的对数平均值。

D>含矿，D<0 不含矿。

第四章 伟晶岩矿床

§ 1 概念

一、概念

伟晶岩，是一种矿物成分与母岩体相似，结晶颗粒粗大，富含挥发性组分，稀有元素组分，形态主要成脉状或其它不规则形状的岩体。当其中有用组分富集达到工业要求时，即成为伟晶岩矿床。

二、类型

伟晶岩矿床都与相同成分的侵入体有关。伟晶岩可分岩浆伟晶岩变质伟晶岩。

岩浆伟晶岩矿床：花岗伟晶岩矿床：最具有工业价值，也是十章讨论的重点。碱性伟晶岩矿床：其次少部分矿床有工业价值。基性、超基性伟晶岩矿床。

变质伟晶岩矿床（花岗质伟晶岩矿床，混合岩化晚期阶段的产物）

伟晶岩，按传统理论系代表岩浆分异过程中的某一特定阶段的产物。这一概念一直沿用至今，并为不少地质工作者所接受。近年来，由于花岗岩化成矿理论的兴起，关于伟晶岩的生成提出了完全不同概念。认为伟晶岩是通过花岗岩化作用形成的；是花岗岩化所形成的花岗岩中长石和石英物质特别富集的部分，因此对伟晶岩矿床的认识也存在着分歧，但是伟晶

夺矿床在自然界产出所表现的许多重要特征，却是被公认的。

§ 2 伟晶岩矿床特征

伟晶岩矿床的基本特点可归纳为以下三方面：

一、成分特征

① 化学成分：组成伟晶岩的元素，主要是一些与母岩相同亲氧的造岩元素：O、Si、Al、Na、K、Ca、Mg、Fe、Mn 等。另外还有高度集中的稀有元素：Li、Be、Nb、Ta、Zr、Hf、U、Th、TR、Cs 等 40 余种元素。之所以说高度集中，大多数集中于稀有伟晶岩矿床中的稀有元素，仅占花岗岩体积的极小部分，其总量不超过成分之一；而伟晶岩矿床中这些稀有元素含量可超过花岗岩母岩中的数十、数百乃至数百倍。如 Li 在花岗岩等酸性岩中为 $4 \times 10^{-3}\%$ 而在伟晶岩矿床中，它哲学家 度可以富集达到 1~2%，即大约增加了 250~400 倍；又如 Be 在酸性岩中的含量为 $5.5 \times 10^{-4}\%$ ，但在工业伟晶岩中含量可达 1% 以上，即浓度富集达 2,000 倍左右。

② 矿物成分：除了母岩中常见的造岩矿物，石英、长石类、云母类等外，还有许多一般花岗岩中没有的矿物。这些矿物的形成是由于稀散元素与挥发组分结合后具有足够大的蒸气压，使它们有可能在适当的有利部位极大程度地聚集起来。

Li 矿物：锂云母、锂辉石、透锂长石、磷锂石、锂电气石。

铍矿物：绿柱石、硅铍石、硅铍钇矿

铌、钽矿物：锡钽铌矿、细晶石烧绿石、细晶石、烧绿石

铯矿物：铯榴石、铯绿柱石

钽矿物：方钽石、钽石

金属矿物：黑钨矿、锡石、磁铁矿、钛铁矿等

挥发份矿物：萤石、电气石、磷灰石、黄玉

二、结构构造

1、结构：

1) 结晶粒状结构：以矿物自形程度好，晶粒巨大为特点，绿柱石重 50T（我国新疆），黄玉重 60 公斤（乌拉尔）石英重 40T，黑云母 7 平方米，白云母 30 平方米。

2) 文象结构：主要由长石、石英共结生成的，但也有部分是石英交代长石（解理、双晶）而成

3) 交代熔蚀结构：是这类矿床的矿石中常见的结构。

伟晶岩结构分：

① 结晶粒状结构由岩浆结晶而成，按粒度大小以自形程度高，晶粒粗大特点：细粒结构（粒径数 mm）；中粒结构（1~5cm）；粗粒结构（5~10cm）；巨晶结构（>10cm）见上；文象结构：主要是岩浆共结的产物，由长石、石英共结生成。少部分由石英交代长石（井百、双晶面而成）。

② 交代结构：交代形成的矿物由白云母、钠长石及稀有元素矿物组成，为后期热液交代作用的产物。

2、构造

在伟晶岩矿床中，由于矿物生成的先后关系不同，常形成最典型而常见的带状构造。

1) 带状构造：指一个伟晶岩体（脉）。从脉的边部到脉体中心，无论矿物成分或岩石的结构构造，均呈有规律的变化。

一般情况下，一个发育比较完整的伟晶岩体，从外到内可以划分出以下四个带：

① 边缘带：主要由继粒的长石和石英组成，成分相当于细晶岩，故又称细晶岩带，厚度一般仅几公分，形态不规则并不连续，与围岩界线清楚，其该带中最常见的少量共生矿物是电气石、磷灰石和石榴石。

② 外侧带：位于边缘带内侧，矿物颗粒较粗，由文象结构和粗粒结构的长石，石英和云母组成。成分与花岗岩相似，厚度比边缘带大而稳定。带中常见绿柱石等伴生矿物。由于具有典型的文象结构、成分与花岗岩相似，又称为文象花岗岩带。

③ 中间带：位于外侧带和内核之间，由巨晶结构的长石和石英组成，另外常见矿物除长石、石英外，还常有：绿柱石、锂辉石等稀有元素矿物。此带中的交代作用已较发育同时

与交代作用有磁的稀有元素矿物也增多，成为矿化发育的地段。是伟晶岩矿床的主要部分。此带厚度较大，可几十 cm~数十米。

此带内有时长石和石英集中的部位有所不同，又可进一步分成亚带，靠外侧带处先晶出的一般主要为长石，靠内核部分则常出现钾长石和石英，前者称中间外带，后者称中间内带。这主要根据实验工作的需要。

④ 因位于伟晶岩体的中央，所以称为内核，矿物组成主要是颗粒精大的石英，其次还有长石、锂辉石等矿物。在内核的中心部位由于结晶的作用往往有空洞形成（晶洞）。内核的形态常不规则，核的大小常取决于伟晶岩体的大小和岩体膨胀部分的特征，同时也取决于岩体分异程度或构造明显程度。

2) 晶洞构造：在内核的中心常发育有结晶作用形成的空洞即晶洞，其中发育有完整的晶簇，发育有压电石英和宝石类矿物。

在伟晶岩形成的整个过程，结晶首先从边缘开始，早期形成（边缘带），矿物颗粒细小，他形结构；随后形成（外侧带），矿物颗粒增大，以文象结构、自形-半自形结构为主。随着温度降低，矿物不断的晶出，矿物粒度愈来愈大，残余熔浆挥发分不断增多，到晚期形成则以交代结构最为特征。稀有元素化合物由于具较低浓度，因而不可能在早期阶段晶出，往往被挤向伟晶岩体的中部或顶部，在晚期阶段富集起来。

三、形态、产状

伟晶岩产出的形态多呈各种类型的脉状体，故又通称为伟晶岩脉。在岩石学中将伟晶岩划分为脉岩浆。另外常见的形态是囊状、透镜状、串珠状等。

1、形态控制因素

构造：压性裂隙中的伟晶岩脉，形态规则延伸较远，常作雁行状排列。张裂隙中的伟晶岩体，多呈透镜状，规模较小。

围岩：片麻岩、片岩中多呈板状，墙状，产于花岗岩类岩石中常呈脉状、珠状瘤状。

对成矿最有利的伟晶岩形态是纺锤状透镜体，因此形态表面积最小，与外界接触面积小，散热缓慢，有利于形成颗粒粗大的矿物及挥发份的聚集，使稀有元素富集成矿。

伟晶岩体的大小差别很大，厚度从几厘米到几十米，沿走向长几米~几百米甚至上千米，延深可达几百米。稀有元素矿物往往聚集在厚大的伟晶岩中。

伟晶岩体除了形态、大小很大差别外，另外还有相当不同的产状。同时表现出不同的内部构造。

2、产状

陡立：内部构造表现为对称的带状构造，稀有元素和矿物主要分布于脉体的上部。

平缓：内部的带状构造不对称，稀有元素矿物主要分布于脉体的上盘。

根据研究和实际工作中的经验，对成矿最有利的产状，板状类伟晶岩为 $45^{\circ} \sim 90^{\circ}$ ，因为当岩脉倾角陡立时，有利于挥发分和易熔化合物向移动而集中，使得稀有元素成矿物质分异彻底而充分富集，形成富矿。而产状过于平缓的伟晶岩脉，由于挥发分和易溶化合物向上移动困难，不能进行彻底的分异作用，使得挥发分和成矿物质分散在岩脉的上盘，不利于矿质集中造成上述伟晶岩矿床特点的差异是和伟晶岩形成时的地质条件，物理化学条件分不开的。

§ 3 矿床形成条件

一、温度、压力（深度）

伟晶岩形成的温度范围变化很大，根据伟晶岩矿床的包裹体测温资料统计，绝大多数伟晶岩矿床形成的温度范围在 $700^{\circ}\text{C} \sim 150^{\circ}\text{C}$ 之间。边缘带的细晶岩形成于 $700^{\circ}\text{C} \sim 600^{\circ}\text{C}$ ，伟晶岩的主体部分形成于 $500^{\circ}\text{C} \sim 150^{\circ}\text{C}$ ，晶洞中的矿物形成于 150°C 土，稀有元素矿物主要形成于 $500^{\circ}\text{C} \sim 200^{\circ}\text{C}$ 。在伟晶岩形成的整个过程中，从边缘到中心，矿物的形成温度是逐渐降低的。

伟晶岩是在相当大的压力条件下形成的，即在地表下相当深的条件下形成的。一般认为形成于 3~9 公里（地表以下），有的则可能更深，这样的深度负荷压力可达 200 。按施琼的实验资料，伟晶岩开始形成时的压力可达 $800 \sim 500\text{MPa}$ ，结束时的压力降至 $200 \sim 100\text{MPa}$ 。因为只有在相当大的压力下，挥发组份才能保留在岩浆中，形成伟晶岩。否则这些挥发组份

在高温下会发生沸腾，气化逸失，不利于伟晶岩形成。另外从实际地质情况也可推测伟晶岩形成的深度很大。

- 伟晶岩地区常是或曾经是强烈上升、剥蚀区；
- 不少伟晶岩分布于角闪岩相，甚至麻粒岩相中；
- 有关的花岗岩或混合岩都是深成相；
- 世界上伟晶岩形成时代多数比较古老（阿尔泰、古生界、内蒙、前€）

二、挥发性组分的作用

水、F、Cl、B、CO₂、P 等挥发性组分的存在和多少对形成伟晶岩矿床有十分重要的意义。

1) 挥发性组分能降低岩浆粘度和矿物结晶温度（含 H₂O 1% 能降低熔点 30~50℃），延缓结晶温度，促使形成巨大的矿物晶体和良好的带状构造。

2) 挥发性组分与稀有元素等结合形成易溶化合物，使这些成矿元素长时间保留的熔浆中，随着温度的下降和挥发性组分的增高，稀有元素在伟晶岩形成的作用的后期得到高高富集，并转入气水水溶液中对早结晶的矿物发生交代作用，从而形成丰富的稀有元素矿物。

三、岩浆岩条件

与伟晶岩矿床有成因关系的岩浆岩主要是花岗岩类岩石。花岗岩多呈岩基状产出。出露面积可达数百平方公里以上。一般，花岗岩体愈大，伟晶岩脉数量越多，规模越大。矿化越好。

在花岗伟晶岩区内，常可见到不同类型的伟晶岩围绕花岗岩体至带状分布。从花岗岩到围岩方向：

① 伟晶岩的类型愈来愈复杂，依次出现微斜长型伟晶岩→微斜长石钠长石型伟晶岩→钠长石型伟晶岩→钠长石锂辉石型伟晶岩→钠长石锂云母型伟晶岩。

② 交代作用愈加强烈，其类型依次为白云母化→钠长石化→锂云母化。

③ 伟晶岩中稀有金属愈来愈富集元素依次为稀土→铌（Ta）→Be→Li，Li、R 含稀土伟晶岩通常产于母岩体内，管 Ta、Li、Rb、Ca 的伟晶岩通常产于母岩体边缘或围岩中。

四、构造条件

伟晶岩矿床的分布明显受构造控制，主要分布在褶皱带，地台边缘的断裂事，以及不同构造单元的结合处。常形成断续延长数十~数百公里。宽几公里~十几公里的伟晶岩带。在这么长的伟晶岩带中，有些地方伟晶岩稀少。有的地方伟晶岩富集，伟晶岩成群出现的地方称之为伟晶岩矿田。伟晶岩矿田集中的地方常是一些次一级构造单元。背斜的轴部，地层接触带、断裂带等。更次一级的构造：裂隙、围岩片理等则控制伟晶岩脉的产出。

此外地质构造环境对伟晶岩的形态、分异程度。矿化富集程度都有一定影响。在相对稳定的构造环境中形成的伟晶岩形态简单，分带性较好，矿化也较富集，在不稳定构造环境中形成的伟晶岩，一般形态复杂，分带性差，很少富集稀有元素。

五、围岩条件

伟晶岩矿床往往产于区域变质作用比较复杂的地区，所以伟晶岩矿床的围岩往往是各种变质岩（片岩、片麻岩、混合岩）和花岗质岩石等。围岩的物理性质对伟晶岩矿床的形成和分布有一定影响，一般认为块状岩石，没有遭受片理化的岩石最有利于伟晶岩的形成，因这种围岩具有形成不同形状裂隙的性能，有利于形成透镜状，纺锤状的垂直的伟晶岩，如混合岩、花岗岩、石灰岩等。而在片理化后的岩石中则易于形成板状伟晶岩体。而大家已知道前透镜状、柱状形态的伟晶岩有利于稀有元素的富集，而板状伟晶岩体不利于这些成矿元素的富集。

围岩的成分对伟晶岩中某些元素的分散和富集也有一定影响。围岩为角闪岩，黑云母片岩，基性岩等富含 Mg 的岩石时，由于 Mg 和 Li 的地球化学性质相似，易于发生类质同象置换，使部分锂分散到围岩中，而引起伟晶岩中锂的贫化。含钾高的围岩，往往导致铷等元素分散到围岩中去。

四川西部的伟晶岩矿区，锂辉石含量之多，可以与造岩矿物相比。

§ 4 矿床的形成作用及形态过程（成因）

一、争论的焦点

首先伟晶岩的成因问题，因为伟晶岩矿床的成因在某种程度上可说是伟晶岩的成因，很久以来就是地质学上一个有争论的问题。同时也是矿床学界中引起激烈争论的最主要问题之一，远的不说，单从费尔斯曼 1940 发表《伟晶岩》专著开始至今，讨论伟晶岩成因和有关形成作用的文献在 200 篇以上，争论的焦点在于：

- 1) 有没有伟晶岩浆（残余岩浆）存在；
- 2) 伟晶岩的形成方式主要是结晶作用，还是交代作用方式生成。
- 3) 伟晶岩的形成是在封闭系统中还是开放系统中生成。

二、主要观点

这些争论至今仍存在，对伟晶岩的形成作用和成因仍有不同的认识，归纳起来：

1、岩浆结晶观点

以费尔斯曼（1940），P.尼格里为代表，认为在高温高压条件下，挥发份能无限溶解在岩浆中，高 T、P 条件下，在岩浆结晶的末期，由于大量挥发份集中，形成富含挥发份的伟晶岩浆（二元系：挥+解挥），伟晶岩就是这种伟晶岩浆侵入构造裂隙中，经岩浆结晶分异和热液交代两个阶段形成的。

假设条件：挥发组分，特别是水在高温、高压条件下无限溶解于熔浆中。

强调：① 伟晶岩浆岩的存在（残余岩浆）。是岩浆结晶后残留下来的。

② 整个形成过程是在一个相对封闭环境中完成的，包括岩浆结晶分异和热液交代两个阶段都是相对封闭的，物质均来自伟晶岩浆，交代作用反应了伟晶岩矿床成矿作用的一个转折点，引起交代作用的溶液主要来自伟晶岩本身，是伟晶岩熔体分异演化所残留下来的部分，表现为早期结晶出的矿物为后期矿物所交代。

伟晶岩浆(富含挥发分、稀有元素) $\xrightarrow{\text{侵入}}$ 母岩、围岩 $\xrightarrow{\text{封闭条件}}$ 结晶、分异 \longrightarrow 交代作用

评述：费尔斯曼的观点能比较好地解释以下特征的伟晶岩。

① 伟晶岩与母岩或围岩存在清楚明显的界线，特别是远离母岩与围岩的完全不同的伟晶岩。说明其与围岩没有发生过明显的物质交换（封闭体系）。

② 伟晶岩发育有良好的带状构造。因结晶作用形成的伟晶岩趋于具有分带（矿物）特征。交代作用的结果趋向于均一化。

③ 围岩蚀变范围极其有限的伟晶岩。

不足之处：① 交代作用在伟晶岩形成后期相当强烈，不可能是在完全封闭。

② 伟晶岩与花岗岩相距甚远（陕西、铍—钽伟晶岩相距十公里），研究表明花岗岩→5% 残浆，一般不能产生如此大动力。

③ 这一观点的前题是假设条件，水在高 T 高压条件下可无限溶解于熔浆中。R.W.戈兰松等人的实验研究，认为在高 T、高压下，水在花岗岩熔体中的溶解度是有限的（9.25%）。这样一来，费尔斯曼等人的由伟晶岩浆或残余岩浆形成伟晶岩的观点就受到了冲击。一些根据 R.W. 戈兰松等人的实验提出了第二种观点。

2、重结晶及热液交代观点

1947 年，A.H.查瓦里茨基提出了否认有伟晶岩岩浆存在的看法。认为所有伟晶岩是一种残余气态溶液作用于母岩而形成的。

残余气态溶液：

① 任何一种岩浆冷凝后均能残留气体溶液

② 富含挥发份，成矿元素，硅酸盐成分

③ 成分对母岩而言饱和（形成时），因对母岩将不产生交代作用。

这种残余态溶液作用于母岩形成伟晶岩的整个过程可分两个阶段：

① 重结晶阶段

这一阶段的作用是在封闭的系统进行的。残余气态溶液的成分对母岩是饱和的，在适当的条件下（外压>内压），将使母岩造岩矿物发生重结晶，产生伟晶岩的主体，同时发生长石和石英物质的分异，随着分异程度的不同，形成伟晶岩的带状构造。

② 交代作用阶段

这一阶段是在开放的系统中进行的。当随着母岩的不断重结晶，热液的成分发生改变，

同时热液中的一些物质可能扩散到围岩中去，这样原来溶液和母岩矿物之间的平衡被破坏，于是，早期生成的矿物变和不稳定，随之将发生一系列的交代作用。花岗岩中富含钾石，在第一阶段中钾长石大量重结晶，使溶液中钾的浓度降低，钠的浓度增高。为了达到新的平衡必然发生钠长石的交代作用。因此形成了钠长石，因此往往将钠长石的生成看作是一系列交代作用的开始。随后还将形成黑云母、稀土矿物，稀有矿物、磷灰石、磁铁矿、石榴石、绿泥石、榍石、硫化物等。最后导致稀有元素的富集。

残余气态溶液(挥发分、稀有元素、硅酸盐) $\xrightarrow{\text{封闭}}$ 重结晶 $\xrightarrow{\text{开放}}$ 交代作用

评述：① 能令人信服地解释产在岩体内部，交代作用现象十分发育的伟晶岩脉；

② 与母岩界线不清的伟晶岩。
不足：① 对产在各种成分完全不同的围岩中的伟晶岩无法应用。缺乏重结晶的基础。
② 对于具有良好内部带状构造的伟晶岩更无法解释。
③ 伟晶岩典型结构（文象结构）并非交代作用形成，而是石英和微斜长石在共结条件下同时结晶的结果，这显然是在含挥发份的残余岩浆中结晶而成，在气水溶液中是无法完成的。

两种伟晶岩形成的观点虽然存在着重大的分歧，但也有着共同点，这不是无认旨伟晶岩浆或是气态溶液，它们的出现都是岩浆结晶作用的结果；前者认为从伟晶岩岩浆中直接结晶公式生成伟晶岩。后者认为，气水溶液作用于母岩矿物，通过重结晶和交代，沉淀出新矿物从而形成伟晶岩。两种观点均有各自的令人信服的地方，也均有不足之处。因此直到现在为止，伟晶岩的形成问题仍在争论之中。

§ 5 矿床类型及分类

伟晶岩的类型很多，因此它的分类是一个比较复杂的问题，工业上对伟晶岩矿床的利用主要求不同，加之由于对伟晶岩矿床成因及一些有关问题认识不同，所以至今还没有一个统一的分类，介绍比较常用的几种分类。

一、K.A.费拉索夫的分类

依据：矿物共生关系，带状构造特征。将花岗伟晶岩分为五个类型，分别代表了伟晶岩形成演化过程中的五个阶段。认为伟晶岩发展到一定阶段，其矿物共生组合和结构构造的特点完全可以作为伟晶岩由一个类型到另一个类型划分界线。

① 文象和等粒型 { 矿物组合：长石、石英、少量云母
结构：文象、等粒

该类伟晶岩的化学成分与矿物成分与花岗岩一致，矿物成分简单，主要矿物为钾-钠长石和石英、少量云母。长石和石英基本同时形成，为文象结构。缺乏稀有元素矿物和交代作用。可形成单独厚度不大的伟晶岩脉或伟晶岩体的边缘带外侧。

② 块状型：具有边缘带，外侧和中间带，中间带由（微斜长石）和石英的巨大晶体组成，长石比石英形成早，但未达到分离的程度，交代作用不明显，有一定数量的稀有金属矿物产于块状石英中。

主要是绿柱石、锡石、铌—钽铁矿等，但一般还不具有工业意义。

第二类型伟晶岩是在第一类型伟晶岩的基础上发展起来，矿物共生组合比第一类型复杂得多。

③ 完全分异型
这类伟晶岩已可分出三个带 { 文象结构外侧
微斜长石带
石英带

这时长石和石英在空间上已完全分离，形成两个独立的单独矿物带。有较多的稀有元素矿物产出，分布在长石与石英的接触带，主要在石英中，结晶作用形成稀有金属矿物：锂辉石、绿柱石、铌铁矿，其含量可达工业要求。交代作用已较强，钠长石化、云英岩化等已相当明显，（但还未形成交代带）本类型伟晶岩中常产出具工业价值的粗粒绿柱石和锂辉石。

常见于较大的椭圆形伟晶岩，或伟晶岩脉的膨胀部分。

④ 稀有金属交代型（交代带）

本类型伟晶岩的矿物构成四个独立带，其中三个与完全分异型相同，此外还有一独立的交代带，交代带的矿物有钠长石（一般叶钠长石）、白云母、晚期石英、绿柱石、铌锂铁矿、铯榴石、磷灰石、铀矿物等。交代带一般位于两个单矿物带（长石、石英带）的接触处，靠长石一侧。是交代作用主要是交代钾钠长石而形成的。交代形成的矿物组合颗粒一般较细小。此类型伟晶岩具有较大的工业意义，是稀有元素金属的重要来源。

⑤ 钠长石—锂辉石型

主要由钠长石、锂辉石和石英组成，少量微斜长石和大量的稀有元素矿物，由于强烈的交代作用，分带性已很差，实际上不存在文象结构带，也无石英核心存在，交代作用形成的矿物在整个伟晶岩体中到处可见。矿物颗粒也非常细小。

① 无实际工业价值，②、③，去母，陶瓷的原料。④、⑤ 稀有金属的重要来源。

评价：

K.A.弗拉索夫的伟晶岩分类成功之处在于他是依据不同类型伟晶岩间的（矿物组合及结构构造）主要特征来划分的。而这些矿物组合和结构构造在形成时间上是随伟晶岩形成作用的发展而有规律的变化着。反映出了伟晶岩形成作用的不同阶段，实际上也是伟晶岩发展演化的模式。另外，他所提出的分类标志在实际工作中也比较适用，能够在大规模勘探工作进行前，根据有限的露头来确定伟晶岩矿床的类型进行评价。因此 K.A.弗拉索夫的这一对伟晶岩的构造共生分类，在实际工作中得到比较广泛的应用。

不足之处：在实践中发现有些地区的伟晶岩中，稀有金属的富集不一定与交代作用有关。特别是在①、②类型伟晶岩中，也有稀有金属矿物富集，并达到工业要求。因此在应用中还需加以注意。

二、根据有用组分不同进行分类

1、分类

① 稀有元素伟晶岩矿床；② 稀土元素伟晶岩矿床；③ 白云母伟晶岩矿床；④ 长石伟晶岩矿床；⑤ 小混伟晶岩矿床；⑥ 刚玉伟晶岩矿床；⑦ 放射性元素伟晶岩矿床。

2、矿床实例

1) 稀有金属伟晶岩矿床（Li、Be、Nb、Ta、Cs）

多分布于岩体的内外接触带，少部分远离岩体位于数公里的围岩中。这类伟晶岩是锂（锂辉石、Li 云母）、Be（绿柱石）、Nb、Ta（铌锂铁矿）、铯（铯榴石）等稀有金属综合性矿床。由于交代作用十分发育，致使大部分原生的结构、构造被破坏。钠长石化、云母化等非常发育。新疆、阿尔泰三号脉伟晶岩矿床。

2) 云母伟晶岩矿床

这类伟晶岩矿床主要开采的云母、白云母既可是伟晶岩体浆中直接结晶形成，也可由热液交代而成。巨大的白云母片都是从岩浆中直接结晶形成的，往往富集在倾斜伟晶岩脉的上部。热液交代形成的白云母分布于交代带中，云母片小、杂质多。一般是在开采巨片状白云母时顺便开采。

内蒙大青山是，我国最主要的白云母伟晶岩矿床产地，另外四川丹巴的白云母伟晶岩价值也很高。

三、伟晶岩矿床找矿要点

1、伟晶岩矿床的分布受一定的构造和岩相控制。主要分布在古老隆起带或褶皱带中，围岩是各个古老时代的结晶基底（变质岩系）。分布在未经变质的沉积盖层中的伟晶岩矿床比较少见。

2、矿床多呈区域性带状分布。伟晶岩带的方向，与同时期构造线的方向和岩浆岩带方向一致。

3、注意某些交代作用种类及标型矿物与稀有元素的矿化关系。

粒粒状、叶片状钠长石发育，同时有玫瑰色绿柱石和玫瑰色白云母存在时，表明有锂的矿化。玫瑰色电气石伟晶岩中往往有铯榴石的存在。

4、我国伟晶岩矿床，主要有三个成矿时期，前 Z 纪，海西期，燕山期。东北部，包括华北地台的矿床主要形成于前震旦纪；西部古生代地槽区的矿床，主要形成于海古期；西南

部和东南部的伟晶岩矿床，主要形成于燕山期。

按矿床中含稀有元素的组合来看，由前震旦纪→燕山期趋向于简单化。就矿种而言，前 Z 纪矿床富含稀有及放射性元素；

海西期矿床富含 Be、Nb、Ta 等稀有元素及云母矿床，聚集程度高，一般形成大规模矿床；

燕山期矿床：则以富集 Be、Li、W、Sn 为特征。

5、现有资料表明，矿化强度和矿化广度从西北→东南逐渐减弱，而且矿化特点，也有所不同。北部的伟晶岩几乎不含或很少有 W、Sn，而南部却普遍有 W、Sn 的矿化，常形成与 W、Sn 伴生的稀有元素矿床。

第五章 气水热液矿床概论

§ 1 气水热液矿床的概念和特点

一、概念

气水热液是指在一定深度下形成，具有一定温度和压力，并且主要由水和氟、氯、硼、硫、磷等挥发份组成的气、液二相体系。由于经常含有各种成矿组份，故又称之为含矿气水热液。

温度：500℃~50℃

F、Cl、B、S、P 等挥发性组份为气态。H₂O 为液态。由于具一定压力，所以气、液为一体。

当含矿气水热液在一定的地质构造中移动时，由于温度、压力和组份浓度等物理化学条件的变化，平衡遭到破坏，其中的成矿物质通过充填或交代作用，发生沉淀、聚集，以致形成矿床，这类矿床称为气水热液矿床。

二、基本特点

气水热液矿床成因复杂，种类繁多，但其成矿介质都是气水溶液，因此使它们也具有一些共同的基本特点。

① 成矿晚于围岩，属于后生矿床。

② 成矿温度 400℃~50℃之间，少数可达 500℃或更高。成矿深度变化较大，既可形成较深的环境（4.5~1.5 公里），也可形成于近地表环境（<1.5 公里）。

③ 构造对气水热液矿床的形成有明显的控制作用。它既是气水热液运移的通道，又是成矿组分沉淀的场所，因此矿体的分带及形态与构造有密切关系。

④ 气水热液作用于围岩时，常发生交代作用，使其成分、结构、构造发生变化，产生各种类型的围岩蚀变，因此气水热液矿床往往都发育有较强烈的围岩蚀变。围岩的物理性质和化学性质对气水热液的成分及成矿的方式影响也很大。矿床形成方式以充填作用和交代作用为主。

⑤ 成矿作用具有多阶段性。

⑥ 构成矿床的金属矿物以金属硫化物为主（Cu、Mo、Pb、Zn、Hg、Sb、Ag）另外有部分金属氧化物和含氧盐（W、Sn、U……）

气水热液矿床的形成关键在于管矿气水热液。

§ 2 含矿气水热液的来源

管矿气水热液来源问题，实际上已抱气水热液的产生（来源和成矿物质来源两个方面内容，这是矿床学领域内一个长期没有解决的基础理论问题。长期以来由于传统的岩浆成矿学说的影响，人们一直认为含矿气水热液的产生只和岩浆演化有关，气水热液是岩浆演化后期的产物，并把气水热液矿床统称为“岩浆期后矿床”。近年来随着科学技术的发展，特别是同位素地质学、成岩成矿实验以及气液包裹体测定导致技术在矿床研究中的广泛应用，使人们认识到气水热液的成因是多种多样的。尽管在许多细节问题上还存在着争论，但基本认识

逐渐趋向统一。现在普遍认为，气水热液和成矿物质的来源是多方面的，根据成因不同主要有以下几种来源：

一、岩浆热液（来自岩浆包括侵入岩浆热液和火山热液）

岩浆在高温、高压下可溶解相当量的水，根据（1962）肯尼迪等人的实验，压为 9.7 千巴，温度 1080° 时，水在 SiO₂ 熔融体中的溶解度为 255（重量）超过临界点时，水和 SiO₂ 熔体完全混融。在一定 T.P 条件下，水在硅酸盐体中可以无限熔解。当岩浆侵入地壳，随着 T.P 下降，开始冷凝结晶，这时水和挥发分开始聚集，当硅酸盐组分大部分结晶，这时进入气成阶段，随着温度继续下降，便转化为热液阶段。

（经实验研究，中酸性岩浆岩中含有较多的水，1931~1937 年，葛朗松用实验证明当压力为 4Kb（12~15km）时，花岗岩中溶解水量最高，可达 9.15%）。

岩浆热液中气水热液和成矿物质可是同源的，既来自岩浆本身。也可非同源的，既岩浆中析出的气水热液本身不管成矿物质，当其在运移过程中可使围岩中的金属组份活化进入热液。

与火山一次火山活动有关的火山气液来源和形成，可能有两种方式：

① 当岩浆上升至地表附近，外压力聚然降低，引起岩浆中挥发组份析出，形成含矿热液。

② 火山喷发作用之后或两次喷发的间易期，有大量气体喷出，这些气体上升至地表时，T.P 降低开始液化或与天水混合，形成成分复杂的热液、火山含矿热液中的矿质来源：

形成火山熔浆的上地幔或深部地壳。

上升运移过程中从围岩中萃取。

二、地下水热液

地下水向下渗透时，温度可升高至 200℃~300℃。使其升温的因素很多，如地热梯度，岩浆烘烤，放射性元素蜕变，等。这种加热的地下水在环境过程中从围岩矿源层或早先形成的矿床中溶解出大量成矿物质，形成地下水含矿热液。（地下热卤水），地下水主要是由大气降水下渗面形成。根据研究推测，含矿的地下热卤水，从中沉淀出矿物后，可重新加入到下渗水流中，形成循环热流（图）。

地下热卤水的形成关键在于地下水如何形成含矿的热液，形成的方式可能有多种多样：

① 流经含蒸发盐类的地层，溶解盐类使本身的含盐度增高。（35%）。

② 从围岩、矿源层、先期已形成的矿床中获取成矿物质，地下水的温度越高摄取的成矿物质越多。

③ 与其它含矿热液混合。

促使成矿物质从地下水含矿热液中沉淀的因素：

① 流经富含有机质和还原硫的岩石。

② 环流过程中与其它化学性质不同的溶液（岩浆热液，火山喷发溶液等）相遇掺合，经化学反应沉淀出成矿组分。

③ 流动过程中温度、压力降低，使其中的金属组分过饱和而沉淀。

④ 流动过程中遇到化学性质活泼的围岩和有利的构造条件。

随着研究程度不断提高，越来越多地发现地下水含矿热液在矿床形成过程中有着不可忽视的重要性。地下水有普遍性和广泛性的特点。因为任何地质和时间都存在着大气降水，当下渗就会形成地下水，碰到地热源时就变成地下热水。

近年来发现了一系列重要的地质现象，足以证明实地下水含矿热液及地下水成矿作用的存在。

① 美国撒尔顿湖附近地下 6000 米处的地下水，T: 360℃，管 K、Na、Cl 及 Fe、Mn、Au、Ag、Cu、Pb、Zn 等，是一种矿化度很高的地下水管矿热液。

② 红海海底发现三个地下热卤水海渊，在海平面以下 2000m，含盐度 25.5%，水温 34~56℃，含 Cl、Na、Ca、K 和 Cu、Pb、Zn、Fe、Mn 等金属组份，并可见到针矿、闪锌矿、菱锰矿等沉积物。认为这是一个正在形成的地下水热液矿床。

三、变质热液

（在变质过程中产生的含矿热液）

主要是指在区域变质作用过程中，由于温度、压力升高，原岩中的粒间水以及矿物的结

晶水，层间水等从母体中析出，成为变质水。

矿质+变质水→含矿变质热液：（在析出的过程中，将母岩中的成矿物质带出。在流动过程中溶解围岩中的成矿物质，使本身的含矿性增高。深部成矿物质的加入）

大家知道，沉积岩石形成时，含有大量的同生水，据研究沉积岩（平均）含 $H_2O-5.54, CO_2 3.86\%, S-0.23\%$ 等。当变质作用发生时这些水将被排出，而排出的水随变质作用程序增高而增多。

据计算， $1km^3$ 体积，比重为 2.5 的粘土质沉积岩，遭受区域变质时，可产出几千万到一亿吨水溶液。由此可见在变质过程中产生的水量是相当大的。

四、海水热液

主要产生于大陆边缘海洋环境中，大陆边缘往往是构造断裂发育地带，海水沿海底深大断裂下渗，受到深部热源的影响，受热温度增高而上升形成环流。并且从流经的围岩中摄取成矿物质而成含矿热液。海水在循环过程中常与来自大陆的地下水混合，在适当的构造部位上成矿。

目前可根据水的氢、氧同位素组成来区分不同成因的水。

海水接近标准海水平均值（SMOW）

岩浆水 $\delta D: -40 \sim -80\%$, $\delta^{18}O +6 \sim +9\%$

变质水 $\delta D: -20 \sim -65\%$, $\delta^{18}O +5 \sim +25\%$

地下水 δD 和, $\delta^{18}O$ 服从 Craig 方程 $\delta D = 8 \delta^{18}O + 10\%$

§ 3 气水热液的成分

目前主要从以下几方面获得气水热液的成分。

矿石成分及蚀变围岩

矿物中的气液包裹体成分

火山活动区的热泉，火山喷发物

从源钻、深部矿井中获得深层地下水成分。

成份特点：主要组分：水

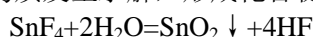
基本组分： $Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Sr^{4+}, Ba^{2+}, Al^{2+}, Si^{4+}, Cl^-, F^-, SO_4^{2-}$ 等

成矿金属元素：亲铜元素，Cu、Pb、Zn、Ag、Au、Sn、Sb、Bi、Hg 等。

溶解的气体： H_2S, CO_2, HCl, O_2

在成矿作用过程中，水、氧、硫、二氧化碳的性状是非常重要的。

一、 H_2O ：① 是含矿溶液的主要组分，是矿物搬运矿质的介质；② 是弱电解质，可部分电离出 H^+ 和 OH^- ，使溶液中的物质发生水解，形成化合物沉淀出来。



③ 另外， H^+ 和 OH^- 增加可影响溶液物质变化，主要是酸碱性（pH 值）。

二、硫：含矿溶液中硫的多少与 H_2S 的解离有关， H_2S 的解离形式与温度有关。

$T > 400^\circ C, P = 1.013 \times 10^5 Pa$

$2H_2S(g) \rightleftharpoons 2H_2(g) + S_2(g)$ 将分解为 H_2 和 S_2 分子。

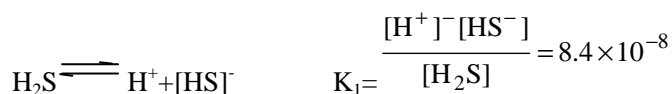
$T > 1500^\circ C$ ，将全部分解为 $H_2 + S_2$ 分子，随着温度降低，又结合成 H_2S 。

② 高温热液阶段 $T 300 \sim 400$

H_2S 以中性分子形式存在，不参与化学反应，因此很少有硫化物出现。即使有也是些低硫化物（ $FeS, FeAsS$ ）。

③ 中温阶段： $T 300 \sim 200^\circ C$

随着温度的下降， H_2S 在水中的溶解度增大，同时将发生电离作用。 H_2S 的离解程度与它在水中的溶解度成正比，气水热液矿床中，硫化物大量沉淀的时间，总相当于中→低温热液阶段时将发生电离作用。



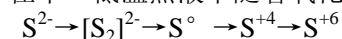
$$\begin{aligned}
\text{[HS]}^- &\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{S}^{2-} & K_2 = \frac{[\text{H}^+][\text{S}^{2-}]}{[\text{HS}]} = 1.2 \times 10^{-15} \\
K &= K_1 K_2 = \frac{[\text{H}^+]^2 [\text{S}^{2-}]}{[\text{H}_2\text{S}]} & [\text{S}^{2-}] = K_1 K_2 = \frac{[\text{H}_2\text{S}]}{[\text{H}^+]^2}
\end{aligned}$$

可见, S^{2-} 的浓度与溶液溶解的 H_2S 的浓度成正比。与溶解在溶液中的 $[\text{H}^+]^2$ 浓度成反比。硫化物往往是在碱性或弱碱性条件下形成的。不可能强酸性条件下形成。

④ 低温热液阶段: $T < 200^\circ\text{C}$

位于地表浅处, 氧气较充足, 溶液中的硫往往氧化高价硫, 形成一些硫酸盐矿物(重晶石、石膏、天青石、明矾石等)。

在中—低温热液中随着氧化程度增高, 硫可呈不同的氧化还原状态



毒砂对 S 化物自然硫 $\text{SO}_2 \uparrow$ 硫酸盐 SO_4^{2-}

磁黄铁矿 黄铁矿 FeS_2 火山地区

方铅矿 白硫钴矿 CoS_2

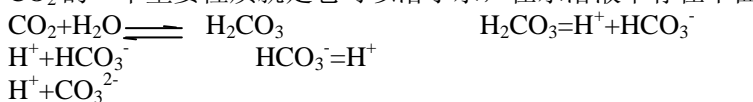
三、氧——主要控制了热液的氧化还原条件, 同时影响硫的存在形式

在自然界氧只能形成一种离子 O^{2-} 。虽然氧在水中的溶解度很小, 但却具有很高的化学活性, 控制成矿溶液的氧化还原性质。游离氧在地壳中的浓度随深度的增加而减少。因此气水溶液在深部含氧较少, 这就有利于硫化物及元素的低价离子化合物形成; 当溶液上升至地表浅处, 其中氧的浓度增加, 从而升起元素高价离子氧化物及硫酸盐矿物的形成。

对于 Cu、Pb、Zn 等多金属矿床来说, 氧化程度高不利于矿床的形成, 当溶液中氧的含量低, 则低价硫阴离子才可能存在, 这些 S^{2-} 与金属阳离子结合形成硫化物沉淀。反之溶液中氧含量高, 硫阴离子被氧化成 $[\text{SO}_4^{2-}]$, 则形成硫酸盐。这些硫酸盐类易溶解, 则不可能形成多金属矿床。

四、二氧化碳

CO_2 的一个重要性质就是它可以溶于水, 在水溶液中存在下面的化学平衡:



$$\begin{aligned}
K_1 &= \frac{[\text{H}_2\text{CO}_3]}{[\text{CO}_2][\text{H}_2\text{O}]} & K_2 &= \frac{[\text{HCO}_3^-][\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]} & K_3 &= \frac{[\text{H}^+][\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]} \\
K &= K_1 K_2 K_3 = \frac{[\text{H}^+]^2 [\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{CO}_2][\text{H}_2\text{O}]}
\end{aligned}$$

$$[\text{CO}_3^{2-}] = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \frac{[\text{CO}_2][\text{H}_2\text{O}]}{[\text{H}^+]^2}$$

水中 CO_3^{2-} 的含量与 CO_2 溶解量成正比, 与 $[\text{H}^+]$ 浓度成反比。 CO_2 的溶解度与温度成反比, 在低温下溶解度大。因此在热液矿床的中、低温阶段往往有大量的碳酸盐矿物和碳酸盐化的围岩蚀变出现。由于 $[\text{H}^+]$ 浓度成反比, 所以碳酸盐矿物和碳酸盐化的围岩蚀变形成在碱性条件下。

§ 4 气水热液的性质 (对岩浆热液的性质研究得多一点)

一、物理性质

含气气水溶液为具有一定温度、压力的气、液混合气体, 以液态为主的盐水体系。目前认为从岩浆不分出时主要是临超界流体, 当温度降低时才出现气相, 进一步转变为液相。

大家知道, 在一定温度压力下水的液相和气相处于平衡时, 气体分子的压力是一确定值, 为液体的蒸气在。这个平衡气压随温度而变。在一定温度和压力条件下, 水呈现出一种处于液体和气体之间的连续性状态, 气体和液体之间已没有区别。这种状态的 H_2O 称为超临界液体, 开始出现气液之间无区别的温和压力称为临界点。水的临界温度与水中溶解的物质

有关（水中溶入 0.25mol 的 Na_2CO_3 ，临界温度比纯水升高 24°C ；0.22molNaOH，临界温度上升 68.3°C ，（H.布塔罗夫）。因此成矿溶液的临界温度与纯水的临界温度（ 374°C ，220ba）是不一样的往往高于纯水的临界。

从岩浆中分出的热液开始主要是高于临界点的超临界流体。当温度下降至临界点时，开始沸腾分出气相和液相两部分，当温度继续下降出气相也将转为液相。由此含矿气水热液是一种以液态为主的盐水体系。

二、化学性质

这是一个比较复杂，争论性很大的问题。对岩浆来源热液研究得较多一些。目前比较一致的认识是：

①与酸性侵入体有关的含矿溶液，形成在 Eh 值较低的地下深处。溶液含有大量 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等强碱性阳离子（这点可从液态包裹体的成分，原生泉水的成份中得到证实）。早期可能是碱性（碱交代），后期又可变为酸性。

② 与火山活动有关的含矿热液，根据火山喷气中含有大量 HCl 、 HF 、 SO_2 、 CO_2 等酸性气体，当这些气体离开岩浆源向上移动，因温度降低而形成酸性液体。因此推测与火山活动有关的热液早期可能为酸性。

③ 在成矿过程中，由于温度、压力、围岩性质，Eh、pH 的变化，使溶液的性质不断发生改变。热液矿床大多在弱碱性、弱酸性或中性条件下形成的。我们已知道，硫化物最有利的沉淀条件是弱碱性环境。



④ 不论溶液的原始性质如何，与其进入地表时，由于氧的作用而产生 CO_3^{2-} 、 SO_4^{2-} ，使溶液呈酸性。

总之：气水溶液的性质在成矿作用过程中不断变化的。然而绝大多数有利成矿的化学反应是在中性、弱碱性或弱碱性环境中进行的。

§ 5 气水热液中成矿物质的搬运形式

成矿物质在热液中的搬运形式是一个很重要的成矿理论问题。据目前的资料，搬运形式与热液和矿质的来源，性质及成矿元素的地球化学特性成矿时的物理化学条件有关。

人们对这一问题的认识也是随着研究程度的提高而发展的。由于热液矿床中的成矿物质多呈硫化物状态存在，因此提出以硫化物真溶液形式搬运。

一、硫化物形式搬运

以硫化物真溶液形式搬运，后来发现实际上绝大多数金属硫化物在水溶液中的溶解度非常低，即使在酸性溶液中溶解度也是微不足道的。

（据 Naumov,1974）

当人们弄清了这个问题，这一假说已不为多数人所重视了。

二、胶体形式搬运

人们发现许多金属硫化物在胶体溶液中的含量，比真溶液中至少大一百万倍。

胶体特性：

① 胶体质点具有特别大的表面积，具巨大的表面能和吸附力。

② 胶体质点带有一定的电荷。同一胶体中由于相同电荷的排斥保持胶体的稳定性。

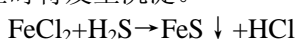
③ 胶体溶液能在任何物理化学条件下产生。且在低温条件下特别稳定。

目前研究表明，在地表条件下，胶体溶液搬运成矿物质是非常重要的搬运方式。例如，铁、锰、锡等金属在地表条件下多呈胶体溶液进行迁移，并最终形成规模巨大的胶体化学沉积矿床。在低温矿床中发现大量胶状构造。

但是，后来发现，胶体在高温时是不稳定的。另外由于胶体的粘度较大而难于长距离搬运，因此多数热液矿床靠胶体搬运成矿物质形成，看来也是难以想象的。胶体搬运的不可能性，提出了卤化物形式搬运。

三、卤化物形式搬运

主要是 Cl^- 、 F^- 化物，卤化物的特点是在高温下稳定，易于搬运，低温特别是在有 H_2O 存在时将发生沉淀。



依据：① 重金属卤化物在真溶液中的溶解度非常大，如 Cu^{2+} 18℃ 水中溶解度为 43.1g/100g 溶液， Zn^{2+} 达 78.6g/100g。

② 火山喷发物有很多重金属的氟、氯化物。

③ 各热液矿床中常见 Cl、F 化合物 (PbCl_3 、 CaF_2 、黄玉)

④ 对包裹体成分测定，含盐度高主要是氯化物 (NaCl 、 KCl)，认为这成分是成矿时的溶液。

从现有资料研究来看，卤族元素对成矿物质的搬运可能起到相当大的作用，但主要是在高温气化热液阶段。一些高温矿物 (W、Sn 矿物)，主要是以卤化物形式进行搬运的。(WF_6 、 WOF_4 、 WO_2F_2)。亲硫元素的卤化物在有 H_2S 存在时将不稳定，因此在中低温条件下，对一般金属难于搬运。目前普遍得到公认的搬运形式是。

四、络合物形式搬运

自然界中绝大多数金属离子都可构成络阴离子中的中心离子 (Me)。

$\text{Rn}[\text{Me}(\text{HS})_m]$ $\text{Rn}[\text{MeCl}_m]$ $\text{Rn}[\text{MeF}_m]$

络合物在高温、低温下均较稳定，因此易于长距离搬运。络合物的种类多种多样，目前认为最重要的络合物是硫氢络合物 $\text{Rn}[\text{Me}(\text{HS})_m]$ ，和氯络合物 $\text{Rn}[\text{MeCl}_m]$ 。不同的络合物稳定的条件不同。

硫氢络合物：高浓度 $\Sigma \text{H}_2\text{S}$ ，碱性→中性溶液中稳定。

氯络合物：高浓度 $[\text{Cl}^-]$ ，低浓度 $\Sigma \text{H}_2\text{S}$ ，酸性溶液中稳定。

物理化学和成岩成矿实验结果表明，以矿元素的搬运形式是多种多样的。不同类型矿床，或同一矿床的 同成矿阶段，元素的搬运形式都可以是不同的。一种搬运形式可能在某种矿床和一个成矿阶段中是主要的形式，而随着成矿作用的演化，成矿物理化学条件的改变，而被另一种搬运形式所代替。

§ 6 成矿物质的沉淀

使成矿物质从含矿溶液中沉淀出来的原因很多，归纳起来有以下几个因素：

一、温度、压力的降低，溶剂的蒸发而导致溶液发生这饱和而沉淀。大多数物质的溶解度，随温度和压力的降低而减小。

二、由氧化—还原反应而发生矿物沉淀

氧化作用使一睦低价离子变为高价离子。 $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3$ 或 Fe_2O_3 还原作用使高价元素还原为低价离子。

$\text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{S}^{2-}$ 形成硫化物沉淀 $\text{U}^{+6} \rightarrow \text{U}^{+4} \rightarrow \text{UO}_2$ (非晶铀矿)

三、高温水解作用促使络合物、卤化物分解，形成难溶矿物

$\text{TiCl}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{TiO}_2 + 4\text{HCl}$

四、溶液性质改变

气态→液态，真溶液→胶体，酸性溶液→酸性溶液，都有利于矿物沉淀。

五、不同成分或性质的溶液混合

主要促使某些化学反应发生，而使矿物沉淀。

六、热液与围岩相互作用

$\text{Na}_2\text{WO}_4 + \text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaWO}_4 + \text{Na}_2\text{CO}_3$

§ 7 气水热液的运移

一、原因

对气水热液上升运移的原因曾有多种意见美国学者万德基认为石矿溶液是自己打开道路上升的，即当溶液活动时，由于含大量挥发分使内部具很大压力而冲破围岩打开道路。(美)塔伯认为由于结晶作用，结晶体的长大，伸长使围岩破裂而打开了气水溶液上升的道路。

按发份作用使得热液具很大的内压

结晶作用

2. 压力差促使热液移动

A.J 别捷赫琴综合了地质构造因素与液热的运动之间的关系，认为热液运动的原因主要

是由于压力差引起的。

气水热液在地下深处处于上覆岩石的压力之下，当地壳运动产生断裂和裂隙时，溶液就会因压力差而流向裂隙。往往上部裂隙所处压力较下部裂隙小，于是热液就沿裂隙向上移动，直到压力平衡或物质全部沉淀为止。另外在封闭裂隙形成的瞬间将产生真空状态，将热液引入裂隙中。

3. 深部热源

近年来研究所获得的资料表明，热液的运移和构造变动有密切关系，热液运移过程是含矿构造发生、发展的过程。含矿溶液既不是简单的被挤入或吸入现存的裂隙，也不是单纯靠自身力量打开通路。构造活动和溶液运移是相互促进的。成矿前产生的构造常常是一些简单的断裂裂隙，溶液在水中运移时使之发展和改造，变得更为复杂形成破碎带，角砾岩带等。

二、通道

原生通道：岩石中的原生的孔洞、裂隙

次生通道：成岩以后构造运动形成的各种断裂、裂隙

岩石中的孔隙对含矿气水热液的运移有重要意义，含矿热液的迁移能力除受溶液本身的物理化学性质影响外，主要决定于岩石中孔隙的性质和有效孔隙度。按其成因和形成特征，岩石孔隙可分两类：

$$\text{有效孔隙度} = \frac{\text{相互连通孔隙}}{\text{岩石总体}} \times 100\%$$

1. 原生孔隙：

指岩石生成时就存在的孔洞、裂隙（岩浆岩颗粒间的孔隙、火山岩中的气孔、沉积岩的层间裂隙）。花岗岩孔隙度 0.37~0.5%，沉积岩孔隙度 5~30%，对含矿热液的运移来说有效孔隙度才有意义，也就是相互连通的孔隙越多，对热液的流动越有利。

2. 次生孔隙

是指在成岩以后产生的各种断裂裂隙。由于岩石体积胀缩，矿物重结晶等造成的裂隙。构造运动所产生的裂隙。对成矿作用来说重要的是构造运动所产生的系列裂隙及断层。

根据热液活动与构造的关系：

① 导矿构造：往往是一些深大断裂，是深部热液流通的通道。因为成矿溶液基本是形成于地壳深处。

② 配矿构造：与导矿构造连通的分支断裂，将来自导矿构造中的热液引向有利成矿部位。这些配矿的断裂、裂隙往往位于导矿构造的上盘。导矿和配矿统称运矿构造，有时二者在实际工作中不好区分。

矿质沉淀的构造

③ 容矿构造：使矿体定位，决定其形态、产状、大小及分布的构造，褶皱的核部，断层、裂隙等。层间裂隙。

§ 8 气水热液矿床的成矿方式

含矿气水热液的成矿方式主要有充填作用和交代作用。

一、充填作用及标志

1. 定义：含矿气水热液在化学性质稳定的围岩中运动时，热液与围岩间没有物质交换和工业的化学反应。当物理化学条件改变时，使热液中的成矿物质沉淀于各种裂隙中。

2. 标志：

① 矿体形态决定于裂隙的形状，常有系统性、规则性，多为脉状，与围岩的界线清楚。矿物从裂隙两壁向中心发生周期必珠不连续沉淀。

② 矿石具有特殊的构造：对称带状构造（边部先晶出相同的矿物）梳状、晶簇状构造、角砾状构造。

矿物沉淀从裂隙壁开始，向中心生长形成细长的晶体群垂直两壁。

③ 矿脉中晶体的生长，具单向发育特点，由脉壁向中间生长，靠中间一端晶体完整。

④ 在矿体形成的主体阶段无明显的交代现象（在成矿晚期不必可避免存在围岩蚀变现象。围岩蚀变现象）

二、交代作用及标志

1. 概念

含矿气水热液在运移过程中与围岩发生化学反应,使围岩中原有矿物溶解、排除而形成新的矿物。原有矿物溶解与新矿物淀出基本同时进行。并且被交代的地质体始终保持固态、交代前后体积不变。

2. 类型: 根据交代作用的方式可分为两种。

① 扩散交代

交代过程中组份的带入或带出,是依靠热液中的组份浓度与围岩粒间溶液中组份浓度之差(浓度梯度),以分子或离子扩散的方式进行的,并且总是由高浓度向低浓度扩散。

浓度梯度是扩散交代的必要条件。

② 渗滤交代

流动的含矿气水热液通过压力差直接与围岩发生交代作用。组份的带出和带入是依靠助于流经岩石裂隙中的溶液进行的。

3. 影响交代作用的因素

① 溶液组份的活动性及浓度

活动性的顺序: H_2O , $\text{CO}_2 > \text{S}$, SO_2Cl , K_2O , Na_2O , $\text{F} > \text{O}_2$, CaO , MgO , 交代中很活动

Fe , SiO_2 强交代作用中活动 $> \text{Al}_2\text{O}_3$, P_2O_5 , TiO_2 强交代中不活动。

活动性组分浓度愈高,对交代作用越有利。

② 温度、压力

气水热液较高温度时,具较大的活动性和扩散能力,与围岩发生强烈的交代作用。压力有内压和外压之分,挥发性组份增多,内压增大,溶液的活动性增大有利于交代作用。外压大时限制了溶液的活动性,不利于某些交代作用的进行,如白钨矿的形成:



当压力大时(较深), CO_2 不能逸出,不利于交代形成白钨矿。

③ 围岩性质(物理、化学性质)

围岩化学性质活泼的有利于交代,石灰岩比砂岩、粘土岩易交代。围岩的破碎程度与交代作用也有关。岩石的孔隙度、裂隙度愈大,连通性好,对交代作用愈有利。

围岩性质的不同有的易被交代有的不易被交代,造成选择性交代。

4. 标志

① 矿体形态不规则,常切割围岩层性,与围岩界线不清常呈过渡关系。

② 矿体中常保留未被交代呈岛状围岩残留体,这些残留体常保留原岩的构造方位。

③ 矿石中可保留被交代岩石的结构、构造。

④ 交代作用形成的矿物晶体不受空间限制,各方向生长力均匀、晶体发育完好。

⑤ 新矿物常呈现被交代矿物的假象。

§ 9 围岩蚀变

一、概念

岩石在含矿热液的作用下,将发生一系列旧矿物被新矿物置换的交代作用,使岩石结构、构造、矿物成分发生变化。这种作用称蚀变,当发生在矿体附近的围岩中时称之为围岩蚀变。

围岩蚀变的命名大多以蚀变矿物或由蚀变矿物组成的岩石为依据。

研究围岩蚀变有两个最重要的意义:

① 根据蚀变矿物可分析含矿溶液的成分性质和成矿时的温度和压力,推断矿床形成时的物理化学条件及成因。

② 作为找矿标志,一定的矿产与一定的蚀变关系密切,云英岩化伴有 W 、 Sn 、 Mo 矿化。青盘岩常伴有 Au 、 Ag 及多金属矿化。围岩蚀变的分布往往比矿体范围大得多。

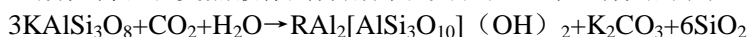
二、类型

1. 矽卡岩化

主要发生于中酸性侵入岩与碳酸盐类岩石的接触带和附近。是一种高温蚀变作用。蚀变矿物石榴石(Ca-Al 石榴石— cfs 石榴石系列)。辉石(透辉石—钙铁辉石系列)、透闪石、阳起石、绿帘石等。与之有关的矿产主要是 Fe 、 Cu 、 W 、 Mo 、 Pb 、 Zn 。

2. 云英岩化

是一种重要的高温蚀变，是硅铝质岩石（花岗岩）受高温气水热液作用而成。主要是钾长石、酸性斜长石受热液作用分解为石英和白云母，有关的矿产 W、Sn、Mo。



3. 钠长石化

分布广泛并具有重要意义的蚀变作用，发生的温度范围较大，从气化高温到低温阶段都可出现。各种性质的岩石也都可发生这种蚀变，特别是中、基性火山岩中最普遍。钠的来源可由热液带入，也可由斜长石分解带出 Ca 而形成钠长石。花岗岩遭到钠长石化（热液中的 Na 交代钾长石）时常带入稀有元素（Nb、Ta、Be）。碱性岩的钠长石化常和稀土矿床有密切关系，与火山岩有关的 Cu、Pb、Zn 矿床的常发育有钠长石化。

钠长石化之所以与成矿作用关系密切，是由于溶液中 Na^+ 含量高易于形成金属络合物，有益于金属元素的迁移和富集。

4. 硅化

最普通的围岩蚀变，高温至低温均可形成，但以中温热液矿床中最为常见。围岩遭受硅化后其中的 SiO_2 含量大大增加。因酸性岩浆结晶后析出的热液 SiO_2 一般是由热液带入，另外还有部分是原岩残留下的 SiO_2 相对富集而形成的。

与硅化蚀变有关的矿产主要有铜、铀、铅、锌、Au、Ag、Hg、Sb 等。

5. 绢云母化

分布广泛的中—低温热液蚀变，发生这个蚀变的岩石主要是中、酸性火成岩。主要是热液交代岩石中的钾长石而成，部分也可由钾长石分解或热液中带钾所引起。



绢云母化常与 Si 化伴生。各种热液矿床中常见到绢云母化，最典型的是斑岩型铜矿床和黄铁矿型矿床。

6. 碳酸盐化

中、低温热液蚀变类型。蚀变结果是形成相当数量的方解石、白云石等碳酸盐类矿物。这种蚀变是寻找铅、锌、汞、锑矿床的良好标志。

7. 青盘岩化

中基性火山岩在中—低温含 CO_2 、 H_2S 的热液作用下产生的蚀变，形成在接近地表环境。

蚀变矿物：绿泥石、碳酸盐、黄铁矿、绿帘石、钠长石等，蚀变岩石呈绿色→青盘岩。

§ 10 成矿温度和压力

成矿温度和压力是热液矿床成矿作用的重要因素。

一、温度：矿物形成的温度，目前主要是用直接测量和间接测量的方法获得。

1. 直接测量法：仅局限在火山活动地带、火山口、热泉等部位。大多数热液矿床的成矿温度是无法直接测定的。

2. 间接测量法：矿物温度计法：利用矿物的某些物理化学标志来判断生成时势温度。实验室法：研究矿物的气—液包裹体，稳定同位素分析来确定矿物的形成温度。地质法：根据矿物共生组合，矿体围岩蚀变，结构构造，矿石中微量元素含量等来确定矿床形成温度。

1) 矿物温度计法

① 熔点：作为矿物形成时温度上限。实验室中的熔点通常在常压下获得，与成矿条件相差大，熔点随压力的增设而增高。而且在实际溶液中含有挥发分，按挥发分的存在将降低矿物的熔点。

② 多形转变点：较为可靠的矿物温度计。但硫化物的转变点不仅取决于温度还决定于参加反应的物质浓度及类质同象混入物：

闪锌矿 等轴 → 六方系纤维闪锌矿

当含 17%Fe

③ 固溶体分解温度：固溶体在一定温度下分解形成一种特殊的结构。

④ 重结晶温度，共结温度

⑤ 矿物组合

⑥ 人工合成矿物

二、压力（深度）

1. 矿物包裹体测压法

利用液态 CO₂ 包体测压力。CO₂ 密度法、比容法、浓度法等。

2. 地质测压

a. 岩浆岩与矿床的深度相一致。

残成侵入体发育浅成矿床，深成侵入体发育深成矿床。

b. 在详细研究的矿区，如能计算出剥蚀深度及覆盖深度就能推断其成矿深度（压力）

$$h=a_s-b+x$$

h——成矿深度；a_s——原始覆盖深度；

x——成矿时与现代覆盖深度之差；

b——原始覆盖与现代覆盖深度之差。

第六章 接触交代矿床

§ 1 概述

一、概念

接触交代矿床：凡产于中酸性侵入体与碳酸盐类岩石、或其它含 Ca、Mg 质岩石接触带或附近，由含矿气水溶液的交代作用形成，并与矽卡岩在成因上和空间上有关的矿床，通称为接触交代矿床或矽卡岩矿床。

火成岩侵入体：中酸性岩。围岩：碳酸盐类岩石为主

二、重要性

接触交代矿床是富铁、富铜的主要来源。铜占富铜总储量的第二位；铁占富铁矿总储量的第一位。

三、特点

矿床分布广，矿石品位高。矿床规模除少数外，以中小型为主矿质来源：

① 主要来源于上地幔安山岩浆

② 其次来源于地壳 Si—Al 层重熔产生的酸性岩浆

③ 围岩

§ 2 矿床特征

一、矿体特征

形态以不规则状为主，另有似层状，巢状、脉状等，矿体规模以中小型为主。主要产生接触带附近，偏向围岩一侧较多。

产状：根据矿体与关系分

① 同时型：矿体与围岩（矽卡岩）同时形成，金属矿物均匀地分布在矽卡岩中。矿体与矽卡岩的形态完全一致，整个岩体含矿量达到工业要求，整个岩体即矿体。

② 继承型

矿体晚于矽卡岩形成，矿体产在矽卡岩内部的构造裂隙中，矿体产出的空间位置没有超出矽卡岩的范围。

③ 叠加型

矿体的形成晚于矽卡岩，矿体除了产在矽卡岩内部外，还有产在矽卡岩以外的围岩中。成矿溶液和成岩溶液的侵入途径和富集地点均不同。

二、矿石特征

1. 矿石成分

矽卡岩矿物：钙矽卡岩：石榴石类（CaAl—cfe）辉石类（钙铁系列）、角闪石、硅灰石、富 Ca 硅酸盐矿物；

镁矽卡岩：镁橄榄石、透辉石、尖晶石、硼镁石、金云母等，富 **Mg** 硅酸盐矿物。

金属矿物：以氧化物为最普遍，特别是磁铁矿、赤铁矿、白钨矿等，锡石。常见硫化物：黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、**Mo** 矿、磁黄铁矿、辉 **Bi** 矿

金属矿物主要特征：

① 闪锌矿富 **Fe** 和部分 **Mn**

颜色呈深褐—黑，浅色少见② $\text{PbS}_2 > \text{ZnS}_2$ 数

③ 不含硫酸盐矿物（复杂）

④ 磁铁矿中含 **Ti**、**V** 很低，常被赤铁矿交代

⑤ 没有独立的银矿物，**Ag** 存于方铅矿中。

⑥ **W** 在矽卡岩矿床，主要是钙 **W** 矿，无黑 **W**（一般）

⑦ 铍矿物不是一般矿床中的绿帘石，而是晚榴石。铍榴石、香花不等。

2、矿石结构：

以粗粒结构为特征，因为有形成的温度高，有挥发性气体的存在。交代作用形成的各种结构非常普遍。

3、矿石构造：

块状、浸染状构造为主，另外有条带状，晶洞构造。

三、矿床的分带

矿床的矿物组合在空间上常可分带（矽卡岩分带）

1、靠侵入体一侧的主要由不含水的硅酸盐矿物组成称内矽卡岩为内带，这一带的金属氧化物较多（气液交代岩浆岩形成）。

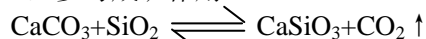
2、外带：靠围岩一侧的除少量不含水的石榴石、辉石外主要由含水硅酸盐矿物组成，则矽卡岩称外带，金属硫化物。

§ 3 矿床形成条件

一、物理化学条件

1、温度：整个矽卡岩矿床形成温度在 $800^{\circ}\text{C} \sim 2000^{\circ}\text{C}$ ，矽卡岩矿物： $(800^{\circ}\text{C} \sim 300^{\circ}\text{C})$ 主要在超临界状态下形成金属矿物： $500^{\circ}\text{C} \sim 200^{\circ}\text{C}$ 在热液作用下形成。

2、压力：中深—浅深（1~4.5 公里）多数矿床形成在 2 公里~几百米范围内，在该条件下，石灰岩能分解为 CO_2 、**CaO**，参与成矿作用。



当深度较浅，压力较小时， CaCO_3 不断分解放出，使得反应向右进行，形成矽卡岩矿物。若深度太大，压力相应增高，则不利于矽卡岩形成。若超浅环境 CO_2 很容易逸散，也不利于矽卡岩的形成。

二、地质条件

1、岩浆岩条件：有利于矽卡岩矿床形成岩浆岩，主要是中酸性侵入岩，特别是钙碱性系列的钾、钠含量偏高的中酸性侵入岩。

SiO₂ 含量降低：花岗岩—斜长花岗岩—花岗闪长岩—石英闪长岩—闪长岩。以上种类岩石对于不同的矽卡岩矿床有成矿专属性：

铁矿：（中性及中酸性）闪长岩、石英闪长岩（闪长岩类）

铜、铅、锌矿：（中酸性）花岗闪长岩及花岗岩

W、**Sn**、**Mo**：（酸性）斜长花岗岩、黑云母花岗岩、白岗岩

在钙—碱性系列岩石中，碱质越高，愈有利于成矿。

铁矿与富 **Na** 的闪长岩关系密切。

Cu 矿富 **K** 的花岗闪长岩及石英二长岩有关。**W**、**Sn**、**Mo** 富 **K** 的花岗岩有关。

与矿床有关的岩体规模多为中小型，出露面积一般 $2 \sim 10 \text{km}^2$ ，多为中深或浅深相的侵入体，常呈岩株、岩瘤、岩钾、岩脉产出（岩体形成时代，在东部以燕山期为主，西部主要为海西期。）

岩体的矿物成分、结构：

① 侵入岩呈细粒或斑状结构，显晶基质，非超浅成相；② 正长石代替微斜长石，各纹长石也不存在；③ 斜长石具环带结构，从内到外基性组份（**CaO**、**Ca** 长石分子）增加，是

碳酸盐放出 CO_2 与石英、长石反应。 $\text{P}\nearrow$ 反应不能进行。④ 角闪石中正有辉石的残余。⑤ 石英有熔蚀现象。

2、围岩条件

形成矽卡岩有利的围岩，主要是各种碳酸盐岩石或含碳酸盐矿物的岩石（石灰岩（大理岩）、白云质灰岩、白云岩、泥灰岩及钙质页岩等）；其次是部分含钙质的火山岩（安山岩、英安岩、凝灰岩）。我国矽卡岩矿床的围岩，绝大多数碳酸盐类岩石。

① 当火山岩系中含有石灰岩夹层时最有利于矽卡岩矿床形成。

② 不纯的薄层的碳酸盐比纯净的厚层的碳酸盐有利于成矿。

③ 不同的围岩将形成不同的矽卡岩组合，同时对成矿作用也有影响，当围岩是一石灰岩时，形成钙矽卡岩矿物组合，当围岩为白云岩时形成 Mg 矽卡岩组合。多数矿床与钙矽卡岩有关。镁矽卡岩有关的矿床较少。但有特殊矿物、硼矿无一例外产于镁质碳酸盐形成的镁矽卡岩中， Mg 是硼的沉淀剂。

3、构造条件

总结矽卡岩矿床形成的构造条件，可包括以下五个方面：

① 侵入体与围岩接触带构造

侵入体与围岩的接触带，是含矿热液活动的有利场所，同时也是形成矽卡岩矿床的有利地段。接触带的形态是多种多样的。

按接触面与围岩的产状关系。

整合接触：接触带的产状与围岩产状基本一致，这种接触关系多数不利于成矿。但有时也可形成似层状矿体。

不整合接触：接触带产状与围岩产状斜交。当围岩向侵入体斜交时，更有利于矿化的形成。

根据接触面上下岩性关系：

平盖接触：围岩覆盖在岩体之上，矿体与矽卡岩体的产状十分平缓呈似层状，常与围岩的产状一致。这种情况比较少见。

超覆接触：侵入体超覆于围岩之上，常形成富矿体内凹进的部位，有利于成矿，因这一部位热液易集中，围岩破碎。

② 围岩层理、层间破碎带

围岩层理本身就是一种构造薄弱带，具备很高孔隙度为矿液的流动和矿质沉淀创造了通道和场所，所以接触带附近层理发育的围岩中常有矽卡岩矿床形成。薄层碳酸盐围岩较厚层易于成矿。

在不同岩性的岩层之间，常有因构造活动而产生的层间断裂及层间破碎带，由于这些构造存在，为热液提供了活动场所，有利发生强烈的交代作用，常形成规模较大的矽卡岩矿床，甚至在远离侵入体的地方也能形成矿床。

③ 断裂和裂隙

区域性断裂控制着岩浆活动及岩浆岩的分布，矽卡岩矿床的形成和其它类型热液矿床一样常受次一级断裂和裂隙的控制。尤其是穿过接触带的构造断裂，对矿床的形成起着显著的作用，① 既可作为导矿构造，控制着矽卡岩体的分布，本身具微弱的矿化；② 又可作为含矿构造控制着矿体的分布，有些矿床中矿体几乎全部沿断层分布。

④ 褶皱构造

褶皱构造常为矿体提供赋存空间，矿体常产在褶皱轴面附近，特别是当褶皱发生弯曲，形成方向、性质不同的褶曲处，形成矿体的可能性最大。

我国矽卡铜矿，几乎大部分都产在背斜翼部，与一般情况有别。

⑤ 捕虏体构造

岩浆岩体侵入到围岩中时，常将围岩碎块捕虏到岩体中，有的捕虏体可很大，捕虏体与岩浆的接触带可达几十米~几百米。交代捕虏体可形成相当大规模的矿体。

§ 4 矿床的形成作用

矽卡岩矿床在任何情况下都与矽卡岩有着紧密的关系，矿床的形成作用很大程度上取决于矽卡岩形成作用。矽卡岩及与多有关矿床的成因，长期以来认为系由接触交代反应作用形

成。接触交代作用可分两种情况。

一、接触渗滤交代作用

发生在岩体与围岩接触面上有（裂隙）横穿切过的部位，来自岩体的气水溶液携带着各种成矿物质靠压力差，沿裂隙流动，并与围岩发生交代作用，这种交代作用的结果形成各种矽卡岩矿物和金属矿物，离岩体越远交代作用愈弱，形成的矽卡岩常具有“火苗”状特点。（金属矿物常由该种方式形成）常形成含矿矽卡岩。

二、接触扩散交代作用（双交代作用）

是扩散交代作用的一种特殊方式，主要发生在两种岩石的接触面上。当溶液沿着岩浆岩和碳酸盐接触界面流动，使两种岩石中的组分通过粒间溶液进行扩散交代，而形成矽卡岩。

岩浆岩中的粒间溶液为 SiO_2 所饱和（ Al_2O_3 ），石灰岩的粒间溶液被 CaO 所饱和。当溶液沿接触面流动，使得原来稳定的粒间溶液平衡被破坏。这时 CaO 将依靠浓度梯度向岩体中扩散。 SiO_2 、 Al_2O_3 则向浓度低的围岩中扩散，于是在接触带上形成了矽卡岩。

在矿床的形成过程中两种作用往往同时发生。接触带附近无大裂隙存在时，溶液通过岩石渗透作用很缓慢，这时由扩散交代作用占优势。离接触带较远一些，并有裂隙发育的地方，有利于渗滤交代作用进行。

§ 5 成矿过程

一、卡尔波娃的两期五阶段

A. 卡尔波娃根据矽卡岩矿床的形成过程，一般可分为两期：矽卡岩期和石英—硫化物期，在此两期中又可按矿物生成顺序和组合的不同，分为五个成矿阶段。

1、矽卡岩期

主要形成各种镁、镁硅酸盐矿物和铝硅酸盐矿物，无石英生成。

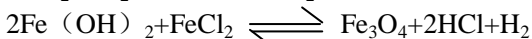
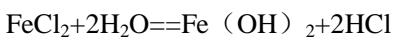
1) 早期矽卡岩阶段

此阶段矿物在高温超临界条件下以气化作用形成的。脉石矿物以岛状、链状的无水硅酸盐为主，气水溶液中的少量铁进入硅酸盐矿物的晶格无矿石矿物形成，故称“无矿阶段”或“干矽卡岩阶段”。

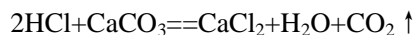
2) 晚期矽卡岩阶段（湿矽卡岩阶段）

此阶段是在临界点附近条件下形成的，表现气水热液对早期形成矽卡岩进行交代，形成大量复杂链状含水硅酸盐矿物，阳起石、角闪石、透闪石等，这时由于温度降低气水热液中的铁将不再全部加入到硅酸盐矿物晶格中，而与氧结合形成磁铁矿，因此阶段出现大量磁铁矿，又称为“磁铁矿阶段”。

磁铁矿的形成一般认为：



反应生成的 HCl 将 Fe_2O_3 溶解掉，要形成大量 Fe_3O_4 必须将 HCl 中和掉。实际上接触带上的碳酸盐类岩石可起到中和 HCl 作用，促使磁铁矿形成：



3) 氧化物阶段

这一阶段是在高温热液条件下进行的（临界点以下）。

2、石英硫化物期

这期中二氧化硅一般不再全部和钙、Mg、Fe、Al 成分一起形成矽卡岩矿物，而独立形成大量石英，此外还有大量金属硫化物形成。包括二个矿化阶段。

4) 早期硫化物阶段

在高一中温热液条件下完成。形成的脉石矿物主要是层状硅酸盐绿泥石族绿帘石族、矿物，碳酸盐和石英、萤石，这些矿物主要是交代早期形成的硅酸盐矿物而成。矿石矿物主要出现铁铜硫化物：黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿、毒砂、辉钼矿、辉铋矿等。又称铁铜硫化物阶段。

5) 晚期硫化物阶段

形成条件为中温热液，这一阶段中石英和碳酸盐明显增加。硫化物主要为方铅矿、闪锌矿和黄铁矿，另外还有部分黄铜矿，此阶段又称铅锌硫化物阶段。

矽卡岩矿床的形成是一个长期复杂的过程，是溶液在接触带内多次活动的结果。成矿期和成矿阶段的划分只是矽卡岩矿床形成的一般规律，事实上具体矿床可划分出不同的成矿阶段。

二、爱纳迪的三阶段

B. 八十年代初，M.T.爱纳迪（Einandi）等总结了矽卡岩矿床的形成过程，将整个成矿过程分为以下三个阶段：

1、接触变质作用阶段

当中酸性岩浆侵入到围岩中时，使围岩遭受接触热变质。主要的热变质岩为大理岩和角闪岩。在这个阶段中活动组份主要是一些挥发组份 H_2O 、 CO_2 等。基本没有其它非挥发性组分的带进和带出。也没有矿石矿物的形成。只有少量矽卡岩矿物形成，是热变质作用形成（非交代）。此阶段是后期成矿的预备阶段。

2、交代矽卡岩的形成阶段

随着岩浆的结晶作用，从中分异出热水流体逐渐变多，使其内压逐渐增大，能引起已结晶的侵入体和角闪岩发生破裂，即水裂作用（Hydrofracturing），为后期的成矿提供了空间。这些岩浆水可与变质水，地下水等混合，沿接触带上升活动，并且向围岩中渗滤，依靠溶液与围岩粒间溶液中的浓度差进行交代作用。围岩碳酸盐析出的钙以离子扩散的形式加入到侵入体中形成内矽卡岩；侵入体析出的热水溶液中的 Fe、Si、Al 等以离子扩散的方式加入到碳酸盐围岩中形成外矽卡岩。如果围岩是石灰岩则形成钙矽卡岩，是白云岩则形成镁矽卡岩。

此时形成的矽卡岩矿物均为无水矽卡岩矿物，与矽卡岩矿物形成的同时，可形成磁铁矿、白钨矿等矿石矿物的沉淀。在镁矽卡岩中可形成硼酸盐矿物，到了这一阶段的晚期少量硫化物才开始形成。磁铁矿是这一阶段的主要金属矿物。在钙矽卡岩中交代钙铁石榴石形成，在镁矽卡岩中交代橄榄石。

这一阶段与上一阶段不同之处是发生非挥发组份的带进和带出，矽卡岩矿物和金属矿物均为交代成因。

3、硫化物沉淀和退化蚀变阶段

随着上一阶段的结束，所形成的无水硅酸盐矿物将要受到热液的退化蚀变改造作用，与此同时硫化物开始大量形成。退化蚀变产物主要是系列含水硅酸盐矿物。在钙矽卡岩中将发生绿泥石、绿帘石、方解石交代钙铝石榴石，黑云母、角闪石、斜长石交代铁铝石榴石、透闪石、阳起石交代透辉石。在此过程中均要析出钙，进入溶液后有利于晚期白钨矿的形成。在镁矽卡岩中蛇纹石交代镁橄榄石等。随着温度继续下降，局部的氧化还原反应及硫离子浓度的增高，导致金属硫化物的沉淀，并且这些硫化物与退化蚀变产生的含水硅酸盐矿物组合紧密伴生。另外这些硫化物一般受构造控制可形成在围岩中。

认为矽卡岩矿床形成的阶段性主要与降温有关。

岩浆就位→围岩接触热变质→进化交代（矽卡岩）→退化交代（矽卡岩）→硫化物的沉淀。

退变质作用：指岩石已遭受较高温度和压力的变质作用后，又受到较低温度和压力的变质作用。其特征是原来在高温高压下形成的矿物组合被低温低压下形成的矿物组合所代替。

该阶段所形成的硅酸盐矿物主要为层状和架状硅酸盐，云母类矿物有金云母、白云母及少量黑云母。长石类矿物主要有正长石和酸性斜长石，此外还有少量石英。

矿石矿物主要为氧化物和含氧盐。白钨矿、锡石、赤铁矿、少量磁铁矿及铍的硅酸盐矿物。后期有少数硫化物形成、辉钼矿、磁黄铁矿等高温硫化物。

§5 矿床类型及找矿评价要点

一、矿床类型

1、磁铁矿—赤铁矿矿床

是我国富铁矿石的主要来源，矿床规模以中小型为主。矿床主要与中性及弱酸性的火成岩有关（闪长岩、石英闪长岩、花岗闪长岩）。矽卡岩主要为钙矽卡岩矿物组合。矿体为似层状、巢状、透镜状等形态。矿石以致密块状为主，矿石矿物主要是磁铁矿，部分赤铁矿及假象赤铁矿，可有少量硫化物出现（黄铜矿、黄铁、方铅矿、闪锌矿、闪锌矿）可综合利用

Cu、Mo。

在长江中下游分布非常广，以湖北大冶铁矿最为著名。

2、黄铜矿—磁黄铁矿矿床

矿床主要与中性和弱酸性火成岩有关（二长岩、石英二长岩、花岗闪长岩、石英闪长岩）
矽卡岩有钙矽卡岩和镁矽卡岩两种。矿体主要受接触带构造控制呈透镜状、脉状或不规则状。
常形成致密块状硫化物矿体。矿石矿物最主要的是黄铜矿，及少量斑铜矿。矿石含铜可达2~8%，矿石非常富。

长江中下游铜官山钙矽卡岩铜矿床，河北寿王坟镁矽卡岩铜矿床。

3、白钨矿矿床

火成岩主要是花岗岩及石英闪长岩、花岗闪长岩。矽卡岩以钙矽卡岩为特征，矽卡岩矿物含铁少。矿石矿物主要是白钨矿，颗粒比较细多在0.5cm以下，常可综合利用Bi、Mo、白钨矿常均匀分布于矽卡岩体中（同时矿化型）。矿石中萤石多，则矿富，（薄山石多，则矿贫）

白钨矿 CaWO_4 ：W的络合物 $[\text{WO}_4]^{2-}$ $[\text{WO}_3\text{F}_2]^{2-}$ $[\text{WO}_2\text{F}_4]^{2-}$

卤化物、卤氧化物 WF_6 、 WOF_6 、 WO_2F_2

在形成白钨矿的同时，常形成萤石 CaF_2

矿床常与黑钨矿伴生，成矿作用是统一的，当围岩是碳酸盐时形成白钨矿，围岩是硅铝质岩石时，则形成黑钨矿（不是矽卡岩矿床）

我国南岭地区分布较多，湖南瑶岗仙、柿竹园等。

4、锡石—硫化物矿床

主要是产在花岗岩体与石灰岩接触带上及附近围岩中。矽卡岩主要为钙矽卡岩，矿石矿物除锡石外，有黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、毒砂、磁黄铁矿等，锡石在矽卡岩中呈浸染状，硫化物常组成细脉或网脉分布在矽卡岩中。伴生元素主要是稀有元素。云南个旧、广西大厂、湖南的柿竹园。

5、辉钼矿矿床，河北杨家杖子

6、铍矿床（晚榴石—硅铍石—香花石矿床）

7、硼矿床（东北辽宁一带）硼镁铁矿

二、找矿评价要点

1、分布广泛，常成群成带分布，我国集中于长江中一下游一带，产于地槽区或地台边缘凹陷带。

2、主要产于中酸性岩浆岩与碳酸盐岩接触部位。东部主要是燕山期的岩浆活动有关，（东北、西北）与海西期岩浆活动有关。在世界范围内与矽卡岩矿床有关的岩体多属中生代或更年轻。

3、围岩条件：南方有利的围岩是 T_{1-2} 大冶组灰岩、嘉陵江组灰岩），其次 P_1 栖霞组灰岩，C 壶天/黄龙组灰岩。北方有利围岩 O_2 马家沟组灰岩（Fe），其次震旦系 Z_2 雾迷山组灰岩（Cu、Mo）及白云岩。

4、矿床常受一定地层层位控制：中南地区矽卡岩型铁矿 98.2% 产在 T_1 、 T_2 的白云质灰岩及石灰岩中。Cu 矿 89.1% 产于 T_2 白云质灰岩中。

5、硫氧比在（矽卡岩矿床）找矿作用中的意义

铁、高氧低硫环境下有利于矽卡岩铁矿的形成。

铜：矽卡岩铜矿形成条件趋于相对低氧高硫环境。在高氧低硫环境中铜则易于分散。

锡：高品位的锡矿石不与丰富磁铁矿化伴生，常与高品位的铜矿石共生。

钨：W、Sn 常共生，但富集条件恰好相反。高品位 W 矿石不与高品位的锡、铜共生。推测 W 的富集条件可能是趋于高氧低硫环境。

6、综合找矿与评价

① 与中酸性岩（具斑状结构）有关的矽卡岩矿床（浅成、超浅成），接触带上为矽卡岩矿床，在岩体内部为斑岩型矿床，这种现象在铜钼矿床中最常见。

② 单矿物研究

Ca-Fe 石榴石：含 Fe、Pb、Zn、Be

Ca-Al 石榴石：含 W

可于二者间石榴石：含 Cu、W

黄铜矿：含 Ag、Sn、As、Bi、Be
黄铁矿：含 Co、Ni
磁铁矿：含 Ga、Zn、Cu、Ni、Co
辉钼矿：含 Re（铼）
方铅矿：Ag

第七章 热液矿床

§1 概述

一、定义

各种成因的含矿热液在一定的物理化学条件下，在各种有利的构造与围岩中，通过充填或交代作用的方式形成的矿床。

二、基本特点

1、矿床形成温度一般 $<400^{\circ}\text{C}$ ，少数可达 $500\sim 600^{\circ}\text{C}$ ，尤其是与火山活动有关的气液矿床。最低可达 50°C ±。形成深度范围变化较大，可为深~中深（ $4.5\sim 1.5\text{km}$ ）也可浅~超浅（ $1.5\sim$ 近地表或地表）。地表以下 4.5km —近地表。

2、矿床受构造控制明显，各种构造既是矿液的通道，又是沉淀场所。矿体的形成一般晚于围岩，属后生矿床。

3、含矿热液作用于围岩，常使矿体附近的围岩发生强烈的蚀变。

4、成矿方式：以充填作用和交代作用为主。

5、矿石成分以金属硫化物（和砷化物）为主，其次有金属氧化物和含氧盐类等，脉石矿物除石英外，还有碳酸盐类，硫酸盐类矿物及少量的含水硅酸盐矿物。多数矿床中矿石成分与围岩成分有明显的差异。

6、矿床的形成是多期、多阶段的。整个成矿过程较为复杂。

7、是有色金属矿产的主要来源，可提取呈类质同象存在的分散元素（Ge、Ga、In、Cd）及 Co、Ni、Fe 等。还有许多非金属矿产。

§2 岩浆热液充填—交代矿床

与侵入岩浆有关的一类矿床，矿床与侵入体有空间和时间，成因上的联系。有人又称为“岩浆期后期热液矿床”。习惯上根据成矿温度将其分为：高温、中温、低温热液矿床。其意义并非只反映温度。

一、高温热液矿床

1、形成条件

① 形成温度： $400\sim 300^{\circ}$ ，大部分矿物在 400°C 以下形成，其中石英主要是 α 石英。矿石中有时可见到形成于 300°C 以下的硫化物，这些矿物是后期迭加上去的。

② 深度：有深也有浅，一般以深—中深为多（ $4.5\sim 1.5$ 公里），少数可形成于地下 1km ±以至更浅（高温浅成矿床）。

③ 与侵入体关系：一般与深成相的酸性侵入体有关，侵入体常呈岩基、岩株或岩瘤。矿体常产在侵入体的顶部或侵入体与围岩的接触带；及附近围岩中最远离侵入体不超过 1km 。侵入常常是矿床的母岩。

④ 围岩条件：高温热液矿床的围岩常是化学性质不活泼的硅铝质岩石。若围岩是含 Ca 的碳酸盐时，热液若为酸性将形成矽卡岩，但如果热液为碱性时，即使围岩是碳酸盐也不会形成矽卡岩矿床。

⑤ 构造条件：区域性深大断裂常是母岩体侵位的通道，与侵入体裂隙系统（岩体的原生裂隙）（深大断裂旁的次一断裂）为空矿构造。

成矿作用及方式：充填作用为主。围岩以 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 为主，惰性不利于交代，但碎性。早期的岩浆热液含量 F、Cl 的阴离子，多为酸性，W、Sn 的氧化物多在酸性介质中生

成。所处围岩多为 Si、Al 质岩石，不易长距离搬运，以充填作用为主在裂隙中成矿。

2、矿床特点

① 矿体形态：由于成矿方式以充填为主，其矿体形态常为脉状、扁豆状、串珠状，常沿一个方向呈雁行状排列。矿体大的可长达几 km，裂隙中的矿脉一般宽 10cm~1~2m，延深可由几 m~几百 m 甚至上千米。

② 矿石成分：主要是金属氧化物、含氧盐类，其次有高温硫化物及少数自然元素典型的矿物共生组合： Fe_3O_4 - Fe_2O_3 - FeS - SnO_2 -黑钨矿、辉钼矿、辉铋矿、毒砂、自然金等。

脉石矿物：主要有石英、长石、含水硅酸盐及少量挥发分矿物（电气石、黄玉、云母类。）

③ 结构、构造：形成的温度较高，矿物结晶颗粒粗大为特点，以粗粒结构为主。常出现对称带状构造。块状构造。

④ 围岩蚀变：高温蚀变，蚀变的种类因围岩的成分而异。

花岗岩→云英岩化。泥质岩、粘土岩时→电气石化、黄玉化。另外常常还出现钠长石化、阳起石化、方柱石化。

3、矿床类型

黑钨矿~石英脉矿床

锡石~石英脉矿床

辉钼矿~石英脉矿床

含金~石英脉矿床（山东招远）

二、中温热液矿床

1、形成条件

① 温度：主要矿物形成温度为 300~200℃，很海风了高温硅酸盐矿物，可有低温矿物的迭加。

② 深度：一般为中深条件（2~0.5km）

③ 侵入体关系：常与中小型、中深成相的酸性=中酸性侵入体有关，少数与中性、基性岩有关。矿体产出位置较高温热液矿床离岩体远，矿体常产在侵入体附近的围岩中。

④ 围岩性质：围岩既可是硅铝质的，也可是碳酸盐岩。围岩的性质不同常影响矿床的成矿方式。当围岩是硅铝质时，主要以充填方式成矿，碳酸盐围岩时以交代作用方式成矿。

⑤ 构造条件：多数产在地壳活动区，主要受深大断裂的次一级构造单元控制，导矿配矿及容矿构造常常都是围岩中的裂隙构造。

2、矿床特点

① 矿体形态：矿体形态较为复杂，因成矿作用方式不同而异。充填作用形成的矿体为脉状。交代作用形成的矿体常为不规则状，与围岩常呈渐变过渡关系。

② 矿石成分：以复杂的矿物组合为特征，主要是金属硫化物部分氧化物硫酸盐及自然元素。典型矿物组合：自然金、自然银、赤铁矿、菱铁矿、黄铜矿、斑铜矿、黔铜矿、方铅矿、闪锌矿、黄铁矿。

脉石矿物主要为碳酸盐、硫酸盐、及石英。含挥发分矿物显著减少。

③ 结构构造

由于形成温度降低，主要矿物一般是中粒结构，还有交代熔、蚀结构和固熔体分离结构。

矿石构造：充填作用常形成梳状、晶簇状、角砾状构造。交代作用则形成细脉浸染状构造。

④ 围岩蚀变：种类较多，高温蚀变消失，有典型的：绿泥石化、绢云母化、黄铁矿化、硅化、碳酸盐化。

成矿方式：充填及交代作用均有，视围岩性质不同而定。

3、矿床类型：多金属脉状铅、锌矿床（湖南桃林）

锡石—硫化物矿床 广西大厂（是我国 Sn 主要来源之一）

五元素（Ni、Co、Ag、Bi、U）建造矿床（加拿大大熊湖、捷克矿石山）

非金属矿床：石棉、萤石、重晶石

三、低温热液矿床

1、形成条件

① 温度：大约 200~50℃，早阶段矿化可超过 200℃。

- ② 深度：多数为浅成矿床，形成在地表以下 1 公里范围内。
 - ③ 与侵入体关系：多数情况下与岩浆岩的关系不明确，矿床一般远离岩浆岩侵入体，矿区附近常见不到大规模的侵入体。或仅见少数岩脉、岩瘤等小型侵入体。
 - ④ 与围岩性质关系
可产在各类围岩中，但以碳酸盐及火山岩中较多。
 - ⑤ 构造条件：受多种因素控制，区域断裂的次一级断裂常作为导矿构造，褶皱核部（地层整合面）。层间裂隙及破碎带常是容矿构造。
- 2、矿床特点
- ① 矿体形态：
火山岩为围岩时矿体呈脉状，碳酸盐围岩时呈层状或似层状
 - ② 矿物成分
以硫化物为主，其次有碲化物（Te）、硒（Se）、砷化物及自然元素。
典型矿物组合：辰砂、辉锑矿、雄黄、雌黄、自然金、Ag、Cu、碲金矿、硒银矿、辉银矿。中温矿床中的矿物在此可见
脉石矿物：石英、玉髓、蛋白石、方解石、高岭石、沸石、水长石、萤石等。
 - ③ 构造构造：
细粒结构—非晶质结构为主。
构造主要反映充填作用特征，晶洞构造，条带状构造，角砾状构造及特有的胶状构造。
 - ④ 围岩蚀变：明矾石化、粘土化、蛋白石化、青盘岩化
- 3、成矿方式：以充填作用为主，当围岩为碳酸盐时可发生部分交代作用。
- 4、主要矿床类型：雄黄—雌黄矿床、湖南、蓟利、菱铁矿矿床、贵州观音山

四、地下水热液矿床（非岩浆热液矿床）

1、概念

当地下热卤水（地下水热液）在地壳中流动时，从地层中，矿源层中或早期形成的矿床中淋滤出有用矿质，使之发生迁移、富集，并在有利岩层或构造部位沉淀成矿床，（与岩浆岩无关）地下水的来源具有普遍性：最主要的是大气降水，地层水。

地下热卤水是具有一定含盐度的（35%）。

类型：SO₄超浅成，HCO₃型，浅成，Cl⁻深成卤水。

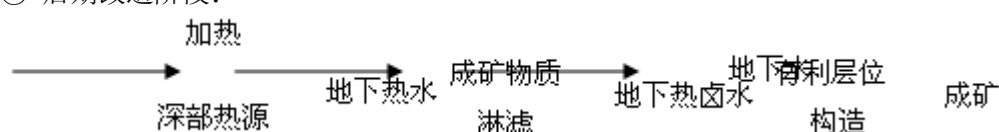
2、矿床特点

- ① 主要成矿温度 200~50℃，形成于地表以下 1.5km 范围内。
- ② 矿床产于一定的地层中，具有一定的层位。矿床受岩性控制（Pb、Zn、Hg 矿多产于碳酸盐中，层状 Cu 矿多产于砂岩中）。
- ③ 矿床在空间上呈带状分布，矿体主要呈似层状、层状、透镜状、脉状，具有多层的特点。
- ④ 矿石成分简单，主要是金属硫化物（少数氧化物的含氧盐类）。
矿石以浸染状构造为主，矿物形成温度 50~150℃。
- ⑤ 矿体附近有强度不大的围岩蚀变，硅化、碳酸盐化、粘土化、重晶石化。
- ⑥ 矿床与岩浆没有明确的关系。
- ⑦ 常受褶皱控制，并与元素化学活泼性有关。一般规律是活动性较差的铁常集中在向斜核部，相对活泼的元素（Pb、Zn、Hg、Sb、As……）常集中在背斜的核部。此外，一般断裂构造控制脉状矿体、褶皱控制层状、似层状矿体。

3、成矿过程

① 沉积阶段：通过沉积作用，在一定层位中使金属物质得到初步的富集，既形成矿源层的过程，为矿床形成提供物质来源。

② 后期改造阶段：



地下水的来源主要是天水，及岩体封存水，油气田水等，由于地下深部热源的影响，将

地下水变为地下热水，使活动性及溶滤围岩中物质的能力相应增大。将围岩中的成矿物质带入溶液，因而提高了热液的盐度和矿化度。变为地下热卤水。当其向温度、压力减小的方向移动时，达到一定的有利层位和构造部位时将发生卸载，这环境总是还原条件，将热卤水中的矿质以硫化物的形式沉淀出来。

定过程也就是沉积一再造过程，其成矿作用的独特性表现在，① 首先是成矿介质（溶液）与火成岩无关，它们为各种类型的地下水。② 再者成矿物质来源于各种围岩。

围岩：

地表或近地表的各種矿床及含矿围岩

矿源层

含盐地层（含盐类的沉积地层）

火山岩地层

4、矿床类型

碳酸盐地层中：汞矿床（湘西、贵州）

锑矿床（湖南锡矿山）

铜矿床（砂岩）

§ 3 气水热液矿床的原生带状分布

一、概念

原生带状分布是指矿物成分、化学成分、矿石结构构造在矿床，矿体范围内在空间上的变化规律。这种空间变化规律表现为水平分带和垂直分带。

1、矿床分带：

辽宁杨家杖子矽卡岩型钼矿床。

花岗岩与围岩内接触带（磁铁矿矿床）→外接触带（辉钼矿矿体）→围岩（方铅矿矿体）造成这种分带的原因主要为温度的变化。

2、矿体分带：沿矿体走向和倾斜方向呈有规律的变化

湖南水口小铅锌矿床

矿床上部为方铅矿为主，中部以闪锌矿为主，下部以黄铁矿为主。

二、影响带状分布的因素

1、内因：

1) 成矿物质（元素或成分）的地球化学性质；2) 成矿流体的浓度和性质

2、外因：

1) 温度压力；2) 围岩性质；3) 地质构造。

三、带状分布的成因理论

1、地热分带说

含矿热液由于 T、P 的降低，其中的成矿物质将按其溶解度的大小结晶 T 高低，依次沉淀出来，先沉淀的是溶解度最小的难溶化合物，最后沉淀的是溶解度相对最大的化合物。随着热液的不运移造成了矿物成分上的分带现象。

含矿热液都是由下向上运移，因此在下部应出现高温组合、上部出现低温组合，这种分带称顺向分带。如出现相反情况则称逆向分带。

2、脉动分带说（斯米尔诺夫）

认为分带是由（不同时间活动的）不同成分含矿热液多次活动所形成的。这些现象含矿热液是由发源地经过一定时间间隔，一次又一次沿成矿期构造上升所造成的，具有脉动性质。

构造运动
————→ 裂隙→矿质充填、堵塞 裂隙→矿质充填

3、沉淀分带说

第八章 火山成因矿床

§1 概述

一、概念

火山成因矿床——指与火山活动有关，空间分布及成因上与火山岩、次火山岩有联系的一类矿床。

二、分类

根据成矿作用将火山成因矿床分为三大类：

火山岩浆矿床；

火山气液矿床：陆相火山喷气矿床；陆相火山热液矿床；陆相次火山热液矿床；海相火山热液……

火山沉积矿床

§2 火山岩浆矿床

一、概述

1、概念

岩浆在深部经历了强烈的分异作用（结晶分异、熔离作用），形成富含某种金属、元素的含矿熔浆。经火山活动沿一定的通道以爆发或喷溢的形式到达地表，或贯入到火山构造中经冷凝结晶作用而形成矿床。

2、形成过程及类型

第一步：岩浆经结晶分异作用，或熔离作用都可形成矿浆。（成矿物在岩浆中富集）

第二步：在火山活动过程中，可发生两种情况形成矿体，一种是爆发中用，一种是喷溢作用。根据其成矿方式不同，火山岩浆矿床可分为两类。

二、主要类型矿床特征

1、爆发型

指产于角砾云母橄榄岩（金伯利岩）中的金刚石矿床。

1) 成矿过程：

从深部向上运移的基性、超基性岩浆，随温度、压力降低，经早期岩浆分异结晶作用形成橄榄石、石榴石、铬铁矿、少量金刚石，这些矿物与岩浆混合形成“晶粉”二相随矿物的不断晶出，挥发组分大量增加，使“晶形”的内压力不断增大。当其运移上升到地壳上部有盲裂隙存在的部位时，将形成爆发源。当内压进一步增大，上覆岩层已无法抵挡岩浆“晶形”的冲力，岩浆开始爆发，岩浆早期晶出的金刚石伴随爆发作用一起喷出。同时固岩浆的 T、P 很高，可使围岩（沉积盖层）中的有机质、碳质形成金刚石。在爆发过程中，爆发角砾岩常将火山通道阻塞，这时爆发作用将暂时停止。随其内压的继续增大，而引起重新爆发，这样的爆发作用将反复进行多次。金刚石常富集于火山爆发岩筒或裂隙的某一部分。

碳质来源：岩浆本身；沉积盖层

2) 矿床特点：

① 矿床主要与偏碱性的超基性岩有关，岩体呈岩筒状为爆发成因。

② 矿质来源于金伯利岩浆和沉积盖层。

③ 金刚石在金伯利岩中常呈斑晶出现，矿物成分还有橄榄石，石榴石、透辉石等。

④ 金刚石在岩筒中分布极不均匀，有的部位完全无矿，有的地段 $0.6\sim 0.9\text{g/m}^2$ 。其含量（矿）随深度增大而降低。

2、喷溢型

1) 成矿过程：由晚期结晶作用或熔离作用形成的矿浆，在火山喷发的间歇期主要以喷溢的方式溢出，通过冷凝结晶而形成矿体。

与爆发型的不同之处：

爆发型：成矿物质是以矿物的形式存于岩浆中，即金刚石是早于大量硅酸盐矿物而晶出，矿石矿物的形成是早期岩浆结晶分异作用形成后通过火山爆发而成矿。

喷溢型：成矿物质是以易溶络合物的形式存于岩浆中，在残浆中富集形成矿浆（晚期结晶分异作用，熔离作用），以喷溢的方式成矿，若不发生火山活动，将形成晚期岩浆矿床或熔离矿床。

2) 矿床特点

- ① 矿床主要产于基性、超基性火山岩中。
- ② 矿体呈似层状位于岩性不同的两类火山岩之间，受火山活动间歇期控制。
- ③ 矿石主要为致密块状，少数角砾状、浸染状。
- ④ 主要矿石矿物为磁铁矿、赤铁矿、氟磷灰石、铜、镍硫化物。
- ⑤ 矿床类型

a. 铁矿：

以智利北部的拉科铁矿最著名。这类矿床的特征为：矿石品位高， $T_{Fe}65\%$ ；埋藏浅便于开采。矿石成份简单，全部由磁铁矿和过铁矿组成。

矿浆的形成：结晶分异作用，由于挥发分的存在，晚期形成矿义；熔离作用：由于岩浆中含 P_2O_5 时，可熔离出富含铁的熔浆，矿石中含有少量针状氟磷灰石。

b. 铜镍硫化物矿床

骈在超基性火山岩（科马拉岩）中的 Cu-Ni 硫化物矿床为代表，这类矿床的特点是含 Ni 高，含 Cu 低。常为单一的 Ni 矿床。

矿浆的来源——通过岩浆熔离作用形成矿浆，然后由贯入作用（压滤作用）或喷溢作用将矿浆带至地表成矿。

§ 3 火山气液矿床

一、概述

在火山喷发的晚期或间歇期，喷出的含矿气液与围岩之间或气液之间相互作用，促使有用物质聚集而形成的矿床。

成矿作用种类：火山喷气作用；火山热液作用；次火山热液作用。

根据成矿作用和成矿环境的不同可分为四类：

陆相火山—喷气矿床

陆相火山—热液矿床

陆相次火山—热液矿床

海相火山—热液矿床

二、陆相火山喷气矿床

火山喷发过程中，喷出大量的气体和成矿物质，当它们与围岩相互作用，更多的通过升华作用，在火山口或及其周围形成有用物质堆积，这种作用称为火山喷气作用，矿床称为火山喷气矿床。而且这种矿床产于陆相。

火山喷气过程为：初期富 H_2 ，然后富 S_2 ，最后富含碳酸质。成矿物质通常是由气相
——升华→固相沉淀。

为数不多，规模有限，限于火山活动区。

矿床特征：

① 矿床一般位于地表或地表附近，分布在近代火山喷发区。形成温度高于 $600^\circ C$ ，一般在 $600\sim 1100^\circ C$ 。

② 矿体为似层状，与火山岩互层产出，矿石构造一般为浸染状。

③ 有关矿产：自然硫，雄黄、雌黄、硼矿等（台湾、日本，我国黑龙江五大莲池）

三、陆相火山热液矿床

随火山喷发作用，喷发的火山气液主要以交代作用方式与火山岩或其它围岩发生交代作用或者直接充填在火山岩的气孔、裂隙中成矿。所形成的矿床叫做陆相火山—热液矿床。

矿床特征：

① 矿床主要与“中性、基性火山岩有关，附近侵入体少见。

② 矿体为似层状、透镜状、脉状等。

③ 围岩蚀变主要是低温蚀变，青盘岩化，绿泥石化等。

④ 矿产：

火山岩系中的铅锌矿床（我国东南沿海中生代火山岩分布地区）
安山岩中的含金、铜石英脉矿床（台湾金瓜石）
玄武岩中自然铜—沸石矿床（四川二叠系玄武岩中自然铜矿床）

四、陆相次火山热液矿床

1、概念及特点

1) 概念

（1）次火山岩：与火山岩同源的浅成或超浅成的侵入体，时间上形成在火山喷发的间歇期或末期；空间上与火山岩共生在一起。

（2）次火山岩热液矿床：当次火山岩侵入冷凝时，析出含矿热液，沿有利构造运动，在适当的部位通过交代作用或充填作用成矿，这种矿床称为次火山热液矿床。

2) 矿床特点

① 常产在陆相火山盆地中，与地质时代较新的火山活动有关（中生代—第三纪），主要是与中酸性次火山岩有关（闪长玢岩、安山玢岩、花岗闪长斑岩、石英闪长斑岩等）。

② 矿体主要产在次火山岩中及附近围岩中。常常产在岩体本身的边缘的裂隙中。以脉状为主。

③ 围岩蚀变：从高温到低温各种蚀变都有（阳起石化、矽卡岩化、绿泥石化、青盘岩化等）

④ 矿物组合特点是低温组合常迭加在高温组分上。矿石构造以细脉状、浸染状为主。致密块状。

典型矿床

2、斑岩铜矿床：（又称细脉浸染型铜矿床）

是目前最重要的铜矿类型，它占世界已探明铜矿储量的一半。美国、智利、秘鲁三个主要产铜国家储量 80~90% 来自斑岩铜矿。战国江西、云南（马 TP#）、黑龙江（多宝山）西藏玉龙（江达），河南、江苏（大平山）等相继发生斑岩铜矿。在我国铜储量中占 1/4。

以埋藏浅，品位低，规模大为特征，铜品位一般在 0.4% 左右，少数可达 0.8%，单个矿床储量可达百万吨。矿石有重要的伴生元素：钼、金、银。

1) 概念

产于陆相火山盆地中，与钙碱性火山岩岩浆活动有关，并直接与中酸性为主的浅成、超浅成小斑岩体在成因上和空间上有联系，矿石为细脉浸染型的一类铜矿床。

2) 成矿地质条件

① 成矿与钙碱性系列的中酸性岩浆活动有关，尤其是与中酸性次火山岩有关，多数矿床产在安山岩中，位于火山盆地边缘。与矿床有关的斑岩体多数小于 $1\sim 2\text{km}^2$ ，矿体常产于斑岩体与围岩的接触带中，形成时代中新代我国 11 个斑岩型矿床中有 9 个含矿岩体出露面积 < 1 平方公里。

含矿斑岩体的化学成分以富钾为特征，一般 $\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O}$ 。矿化类型和岩体的酸性程度有关，据统计

SiO_2 62~68% 斑岩——铜矿 $\text{SiO}_2 > 68\%$ ——钼矿为主

② 次火山岩的侵入与深大断裂有关，但直接分布在深大断裂带的斑岩体铜矿却为数不多，含矿斑岩体多数分布在深断裂两侧的次级断裂构造中。

③ 围岩的岩性对成矿有重要意义

当围岩为硅铝质岩石时，由于化学性质稳定，不易被含矿热液交代，所以矿化主要在岩体的顶部集中，很少进入围岩。只有当围岩中裂隙特别发育时，含矿热液不仅在岩体中聚集，还可沿裂隙进入围岩中形成矿化。

当围岩为碳酸盐岩石时，在岩体内部形成细脉浸染型矿床，而在接触带上形成接触交代矿床。

3) 矿床特征

① 围岩蚀变与金属矿化

斑岩铜矿床围岩蚀变以面型蚀变最常见，围绕岩体中心呈同心园状产出。洛厄尔根据克拉马租矿床的蚀变，参照美洲 27 个斑岩矿床，提出了蚀变带模式。自岩体中心向外依次出现四个蚀变带：

钾化带：蚀变矿物主要为黑云母和钾长石

石英—绢云母化带（似千枚岩化带）：蚀变矿物主要为石英和绢云母
泥化带（粘土化带）：蚀变矿物主要为高岭石、蒙脱石、石英绿泥石
青盘岩化带：蚀变矿物主要为绿泥石、绿帘石、方解石等。

四个蚀变带并非每一个矿床均发育齐全，矿化岩体的岩性是影响蚀变分带的重要因素。
花岗闪长岩类的蚀变与分带模式符合程度最好。

其中最重要的是钾化还和石英绢云母化带，其蚀变强度和范围直接影响矿化程度。不同蚀变带常形成不同的矿化组合，造成矿化分带现象。

钾化带→石英绢云母化带→泥化带→青盘岩化带

Mo-Cu→Cu→贫 Cu→Au、Ag、Pb、Zn

（辉钼矿、斑铜矿）（黄铜、黄铁、斑铜矿）（黄铁矿增多）（镜铁矿、自然金、银、方铅、闪锌矿）

斑岩铜矿床中当岩体 $\text{SiO}_2 < 60\%$ 时，磁铁矿含量增加，外围有镜铁矿、核心部位将不出现钼矿体，只出现少量斑铜矿。

此类矿床的工业矿体一般位于钾化带上部及石英绢云母化带中。

② 矿石构造

伴随着蚀变和矿化分带，同时出现矿石构造分带。

浸染状为主→细脉状、浸染状→细脉状为主→脉状

矿化细脉长数厘米，宽数 mm，有的为硫化物，有的为含硫化物的石英细脉。

4) 矿床成因

① 中温热液矿床：成矿热液主要与岩浆活动有关，来自于深部。

② 金属元素是在天水渗滤循环过程中，淋滤围岩组份而富集的，在此过程中成矿热液中有岩浆热液的加入。

地下水不仅提供了部分成矿物质，而且由于其富含 Na、Cl、Ca 等组分，还促进了矿石的沉淀堆积。

③ 1972， R.H 西里托提出，板块构造成因模式。

认为大洋板块向大陆板块之下俯冲，并向地幔插入，大洋板块俯冲到毕鸟夫带时发生了局部熔融，熔融了的部分中含有大量的成矿物质，随着钙—碱性岩浆一起上升侵入地壳浅部，随着岩浆的冷凝固结的形成了斑岩铜矿床，铜及成矿元素来自于原始海洋板块。这一点和目前大西洋、太平洋的玄武岩中富含铜是一致的。

世界上巨大的斑岩铜矿带大多分布在环太平洋区域，这一点有力地支持了板块构造成因观点。

2、玢岩铁矿床

“玢岩铁矿”是我国地质工作者确定和命名的一种矿床类型。

1) 概念：指产于陆相火山岩分布区内，与玄武质、安山质岩浆的火山—侵入活动有关的一组铁矿床。矿床在形成时间、分布空间及成因上，与辉长闪长玢岩关系密切。

这组矿床具有晚期岩浆高温气液交代，接触交代，中低温热液交代充填及火山沉积等一系列成矿作用特点。

我国宁芜地区铁矿床是典型代表。

2) 特点：产于宁芜火山断陷盆地中，晚侏罗纪-早白垩世火山活动十分强烈。形成了一套火山—侵入杂岩。成矿直接与富钠质辉长闪长岩玢岩类的次火山岩有关，它包括成因上有密切内在联系的四种矿化类型：

① 岩体中部的浸染状及细脉浸染状矿化，属于晚期岩浆—高温气液交代期形成。矿石组合为钠长石-透辉石-磷灰石-磁铁矿组合。磁铁矿中富含钒钛。（陶林式）

② 岩体顶部及边部（内接触带）角砾状、网脉状铁矿化：属于伟晶—高温气成热液期充填作用形成（以充填作用为主）

矿石组合为阳起石（透辉石）—磷灰石—磁铁矿组合（凹山式）

③ 产于接触带上的矿化：

围岩：安山岩、凝灰岩、透辉石—石榴石—磷灰石— Fe_3O_4

灰岩：砂页岩，透辉石—金云母—磷灰石—磁铁矿

矿石均以块状、角砾状为主，属于接触交代充填矿床。

④ 岩体附近火山岩中的脉状似层状矿化（龙虎山式），属中低温热液充填矿床，矿石由

石英—镜铁矿组成。

⑤ 产于火山沉淀岩的层状铁矿床（龙旗山式）：属于火山沉积矿床，矿石组合为石英—赤铁矿组合。

形成过程中有两方面因素比较重要。

① 富 P、富 Na、含 Fe 高的中基性岩浆在深部的分异作用，造成铁质的原始富集，在岩体内部形成小部分，晚期岩浆矿床。

② 碱质交代作用活化铁质，对形成热液矿床具有重要意义。Fe 质除来源岩体本身外，还有围岩（火山岩）中的 Fe 活化参与成因。

五、海相火山热液矿床

1、概念：由海底火山喷发作用形成的含矿火山热液，通过化学沉积作用或与围岩相互作用，使成矿物质聚集而形成矿床。

成矿作用全部是在海底或接近海底的条件下进行的。成矿作用主要与在火山喷发间隙期或晚期形成的火山热液有关。火山热液中往往有海水的加入。

2、特点

① 矿床往往围绕火山喷发中心，成群成带出现。主要产在不同岩性海相火山岩的接触部位。代表了成矿作用主要发生在火山喷发的间隙期。

② 矿体与火山岩常呈整合产出，矿体主要为似层状、透镜状。

③ 成矿元素主要是亲铜元素及部分铁族元素，以低价氧化物和硫化物为主。反映了形成时环境的氧化还原条件。

矿石构造主要有块状、层状、条带状、浸染状、角砾状等。

矿石结构以结晶粒状为主，其次为部分交代结构。

④ 围岩蚀变强烈：硅化、石英绢云母化，粘土化、黄铁矿化等以中~低温蚀变为特征。

3、矿床类型

① 含铜黄铁矿型矿床（块状硫化物矿床）

含矿岩系为细碧角斑岩建造。矿体常为层次、似层状规模大，矿石品位较富，并且伴有多金属可综合利用。甘肃白银厂黄铁矿型铜矿床。

② 黑矿：以日本产于第三纪绿色凝灰岩建造中的多金属矿床命名的矿石组合复杂：矿矿物为黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿自上而下的矿物组合分带。

黑矿带：闪锌矿、方铅矿、重晶石；

黄矿带：黄铁矿、黄铜矿；

硅矿带：黄铜矿、黄铁矿、主要石英。

六、火山沉积矿床

火山喷出物中含有大量的成矿物质，当其进入水盆地后（湖相、海相）与其介质发生作用发生沉淀，形成火山沉积作用，形成的矿床称为火山—沉积矿床。成矿物质来自于内生、成矿作用完成于外生条件。

外生矿床篇

第九章 风化矿床

§1 概述

一、概念：

1、风化矿床(mineral deposit by weathering process)：指陆地表层的岩矿石在大气、水、生物等营力影响下发生物理的、化学的和生物化学的变化作用使有用组份聚集而形成的矿床。

2、风化作用（weathering process)：指地壳最表层的岩石和矿石在大气、水、生物等营力影响下发生物理的、化学的和生物化学的变化作用

2、风化产物：

- 1) 可溶物：溶解在溶液中的物质，如硫酸铜溶液；
- 2) 新生物：风化过程中形成的新矿物，如针铁矿，孔雀石等；
- 3) 残留物：原岩中化学性质较稳定的矿物，如石英，自然金等。

二、特点

- 1、矿床产于地表的风化壳层，多为第三纪、第四纪岩层
- 2、矿床具明显的垂直分带，自上而下：分解带、过渡带（半风化带）、原岩带
- 3、矿体多呈面型，次为线型和喀斯特型（接触型），中小型为主
- 4、矿石具脉状、土状、皮壳状、蜂窝状、多孔状、网格状构造
- 5、矿石组份较稳定，如自然金、稀土元素，Fe、Mn、Al 的氢氧化物和氧化物等。

三、研究意义：

1、工业意义：某些风化矿床具有重要的工业价值，如红土型镍矿床的发现使镍的储量增长了 4 倍；前寒武系风化淋滤型富铁矿床不仅品位高，且出来十分巨大（如俄罗斯库尔斯克残余型富铁矿石约 250 亿吨，品位达 64%，巴西米纳斯吉拉斯红土型铁矿 150 亿吨，中国江西高岭土矿不仅规模大且多为优质矿石）。经济价值

- 2、由于风化矿床多埋藏浅，故易于露天开采，
- 3、可作为寻找隐伏原生矿床的找矿标志

§ 2 形成条件

一、原岩条件——内因

- 1、成矿专属性：不同类型的原岩受风化作用后可形成不同类型的矿床

表 9-1 不同类型岩中部分元素的丰度（%）

| 岩浆岩类 | Fe | Mn | Al | Si | Ni | Cu |
|------|------|------|------|------|--------|--------|
| 酸性岩 | 2.70 | 0.06 | 7.70 | 32.0 | 0.0008 | 0.002 |
| 中性岩 | 5.85 | 0.12 | 8.85 | 2.60 | 0.0055 | 0.0035 |
| 基性岩 | 8.56 | 0.20 | 8.76 | 24.0 | 0.016 | 0.010 |
| 超基性岩 | 9.85 | 0.15 | 0.45 | 19.0 | 0.20 | 0.003 |

由表 9-1 可见，富铁镁的超基性岩利于形成铁镍矿床；中酸性岩有利于形成铝土矿、高岭土矿；基性

岩既利于形成铁矿床，又可形成铝土矿床。

铁矿——基性、超基性岩，铝矿——中基性岩，镍矿——超基性岩，铜矿——基性岩

2、造岩矿物的风化顺序

橄榄石——紫苏辉石——普通辉石——黑云母——石英

钙长石——钠钙长石——钠长石——钾长石——白云母——石英

3、元素迁移顺序：（按水迁移系数）P189

- 1) 强烈迁移的：Cl、Br、I、S，
- 2) 易迁移的：Ca、Mg、Na、K、F、Sr、Zn
- 3) 可迁移的：Cu、Ni、Co、Mo、V、Mn、SiO₂（硅酸盐中的）、P
- 4) 惰性的：Fe、Al、Ti、Sc、Y、TR...
- 5) 实际不迁移的：SiO₂（石英）

二、气候条件：高温、潮湿——最重要条件之一

由于不同气候条件下生长发育不同类型生物，从而产生不同的风化作用

1、温度：据实验，温度每增高 10℃，水解反应速度就增加 2-2.5 倍，故低温极地不利于形成风化壳，热带、亚热带气温高、雨量充沛、生物活动力强，有利于形成风化壳。

2、降雨量（湿度）：低湿度低温的基地，不利形成风化壳；低温高湿度的沙漠，通过毛细管作用可形成薄壳和内陆盐湖矿床；湿度太高如为暴雨则形成地表径流，不易使基岩分解；中等雨量或干湿交替环境，地表湿润，最有利于形成风化壳。

注意：同一岩石如玄武岩，在不同气候条件下，可形成不同的矿床

基性玄武岩——干湿交替——红土型铁矿床 持续潮湿——红土型铝土矿

三、水文地质条件

根据水循环条件, 可将地下水分为三个带

1、渗透带(充气带或饱气带): 位于潜水面以上至地表。雨水富含 O_2 、 CO_2 等, 生物作用非常活跃, 故溶解和氧化能力很强; 水自上而下快速流动。

2、流动带(胶结带): 位于潜水面与停滞水面之间。岩石空隙间充满着潜水, 含 O_2 少, 含盐较多, 氧化能力较弱, 可将上部分解淋滤下来的成矿物质聚集沉淀; 潜水缓慢侧向流动。

3、停滞水带(滞流带): 位于停滞水面以下。此带几乎不含游离氧, 流动极其缓慢(几乎停滞不动), 故潜水与原生矿物间几乎保持平衡状态。

由此可见, 潜水面决定了风化壳的发生演化; 潜水面缓慢下降, 分解带亦缓慢下降, 形成富而厚的风化壳; 若潜水面上升, 则风化壳停止发展, 直至殆尽。

四、地貌条件

1、陡峻的高山和十分平坦的地区不利于形成风化矿床,

2、丘陵和准平原地区有利于风化矿床的形成。

五、地质构造条件

1、稳定的地台区有利于风化矿床的形成, 造山区则不利于风化矿床的形成;

2、区域构造对风化矿床起控制作用: 断裂带可形成“线型”风化矿床;

六、时间

风化矿床的形成需要较长时间, 才能风化作用进行得彻底, 形成厚度较大的风化壳矿床。

§ 3 成矿作用及矿床类型

一、成矿作用及矿床分类

1、成矿作用

1) 物理风化作用: 以崩解方式将岩石和矿物机械破坏成碎屑的作用。如冰楔作用、植物根系的楔插作用等

2) 化学风化作用: 原岩经化学作用使组成岩石的矿物发生分解的作用。

(1) 氧化作用: $Fe^{2+} + O_2 \longrightarrow Fe_2O_3$

(2) 水解作用:

(3) 阳离子带出作用:

(4) 去硅作用:

3) 生物风化作用: 通过生物生活和死亡过程中引起的化学风化作用。

(1) 光合作用: 释放出氧;

(2) 生理作用: 有机酸;

(3) 吸附作用:

(4) 硫酸盐还原作用: 细菌作用

2、矿床分类

1) 按成矿时代: 近代风化矿床, 古风化矿床

2) 按矿体形态: 面型、线型、喀斯特型

3) 按成矿作用: 残积-坡积砂矿床, 残余砂矿床, 淋积砂矿床

二、残积-坡积砂矿床

1、概念:

残积-坡积砂矿床(eluvial-deluvial placer deposit): 原矿床或岩石经风化作用未被分解的重砂矿物或岩屑残留原地或沿斜坡堆积而形成的矿床。

2、特点:

1) 矿床产于残积或坡积层中;

2) 矿体形态不规则, 无明显层理;

3) 矿石具棱角状或次棱角状;

4) 多为化学性质稳定的矿物, 分选性差。

三、残余矿床(residual deposit)

1、概念: 原生矿床或岩石经化学风化和生物风化作用后形成的一些难溶表生矿物残留原地而形成的矿床。(Weathering crust mineral deposit)

2、成矿过程(以铝硅酸盐为例)

1) 机械破碎阶段: 原岩经物理风化→岩屑、矿屑、重矿物

2) 硅铝饱和阶段: 原岩经水化作用、水解作用, 易迁移元素 Cl、S 等被带走, 原岩中硅酸盐基本无大的迁移, Si、Al 饱和→ 形成水云母及水绿泥石 (水云母化阶段)

3) 硅铝不饱和阶段: 原岩经阳离子带出作用使相当多的碱 (K、Na)、碱土金属 (Ca、Mg) 被带走, 部分 SiO₂ 流失, Si、Al 不饱和→形成高岭石、多水高岭石等粘土矿物 (粘土化阶段)

4) 铝铁土阶段: 经去硅作用使原岩中的 Al-Si 氧化物联结几乎完全破坏, 氧化硅大量被带走 →形成铝的氧化物或氢氧化物及铁的氧化物, 即主要为铝土矿-铁矿 (红土化阶段)

5) 复杂化阶段: 若地下水位发生变化, 又可发生风化作用, 使之复杂化。

3、成矿作用

1) 粘土化作用: 在温暖潮湿气候区铝硅酸盐在水、大气和生物作用下发生分解, 易溶的碱金属、碱土金属及部分 SiO₂ 呈胶体被流水带走, 致使在地表环境下风化产物铝、硅呈胶体电性中和而使粘土矿物富集的一种风化作用,

2) 红土化作用: 在热带或亚热带炎热而干湿交替气候区, 铝硅酸盐类矿物分解成铝的氧化物或氢氧化物, 含铁矿物转变为褐铁矿或赤铁矿, 致使风化产物呈红、赭和褐色的一种风化作用。

3) 离子吸附作用: 风化作用形成的可溶有用物质以离子或络离子状态被高岭土等粘土矿物吸附并富集成矿的一种作用。

4、主要矿床类型

1) 残余型粘土矿床: 高岭土矿床; 蒙脱石矿床

2) 残余红土型铁矿、铝土矿矿床

3) 离子吸附型稀土元素矿床

四、淋积矿床

1、概念淋积矿床(infiltration deposit): 原岩或贫矿体经风化作用某些易溶物质被水带到风化壳下部的潜水面附近沉淀下来而形成的矿床。

2、成矿过程:

1) 原岩矿经富含 CO₂、腐殖酸地下水作用下, 介质呈酸性反应, 橄榄石发生分解, 使 Fe、Ni、Mg 以重碳酸盐形式进入溶液, 硅呈 SiO₂ 胶体;

2) 富 Fe、Ni、Mg 重碳酸盐溶液向下渗到地下水带, 因中和反应形成含镍硅酸盐沉淀; 或因 Ni²⁺与 Mg²⁺、Fe²⁺相近, 且 Ni 溶解度比 Mg 小, 使 Ni²⁺置换 Mg²⁺、Fe²⁺, 形成镍硅酸盐。

§ 4 金属硫化物矿床的表生变化

一、金属硫化物矿床的表生分带

1、氧化带: 位于地下水面以上至地表, 大致相当于地下水的渗透带。自上而下可分为三个亚带, 即完全氧化亚带、淋滤亚带和次生氧化物富集亚带。

2、次生硫化物富集带: 位于地下水面与停滞水面之间, 大致相当于地下水流动带。

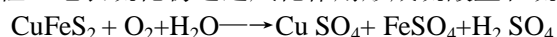
3、原生硫化物矿石带: 位于停滞水面以下, 大致相当于地下水停滞水带。

二、表生分带的形成机理 (以含铜黄铁矿矿床为例)

1、氧化带

1) 完全氧化亚带 (铁帽: 广义指岩矿石在地表氧化带的次生变化及其残留部分, 即矿帽如铅帽、锌帽、锰帽等; 狭义指含铁岩石或矿石经风化作用在地表氧化带上部的残留部分主要有铁的氧化物、氢氧化物及石英粉砂、粘土等组成的红褐色疏松多孔状堆积物)

(1) 形成过程: 地表硫化物通过风化作用形成硫酸盐和硫酸



由于硫酸亚铁不稳定, 易氧化呈硫酸铁 $\text{FeSO}_4 + \text{O}_2 \longrightarrow \text{Fe}_2[\text{SO}_4]_3$

硫酸铁发生水解形成氢氧化铁胶体 $\text{Fe}_2[\text{SO}_4]_3 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Fe}[\text{OH}]_3 + \text{FeSO}_4$,

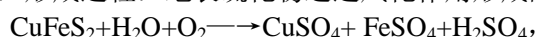
胶体聚沉形成含水的铁氧化物如针铁矿 $\text{Fe}[\text{OH}]_3 \longrightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

含水的铁氧化物脱水形成氧化物 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$

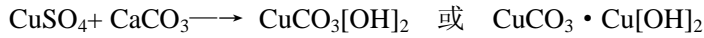
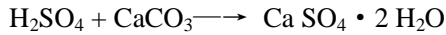
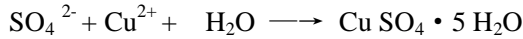
(2) 典型矿物: 铁的氧化物和氢氧化物如赤铁矿、褐铁矿、针铁矿等

2) 淋滤亚带

(1) 形成过程: 地表硫化物通过风化作用形成的大量硫酸根离子



硫酸根离子随雨水下渗与其它金属离子结合形成新的硫酸盐类如胆矾、石膏；若遇碳酸盐围岩时则可形成碱式碳酸铜如孔雀石、蓝铜矿；若遇硅酸盐，则可形成硅孔雀石。



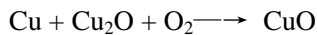
风化作用形成的硫酸铁溶液，在干旱地区可出现黄钾铁矾

(2) 典型矿物：黄钾铁矾、胆矾、石膏、孔雀石、硅孔雀石、蓝铜矿等

3) 次生氧化物富集亚带：次生氧化物富集作用：地表的原生硫化物矿石经风化作用在氧化带形成的硫酸盐溶液下渗到潜水面附近，与次生硫化物富集带中形成的矿物如铜蓝、辉铜矿发生氧化反应，引起次生硫化物再氧化而使矿石品位提高的作用。

(1) 成矿过程：

经风化作用形成铁的硫酸盐溶液下渗到潜水面附近与次生硫化物富集带中的硫化物如辉铜矿发生氧化反应生成次生氧化物如赤铜矿、自然铜，或赤铜矿再氧化形成黑铜矿

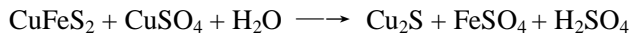


(2) 典型矿物：自然铜、赤铜矿、黑铜矿

2、次生硫化物富集带

1) 次生硫化物富集作用：地表的原生硫化物矿石经风化作用在氧化带形成的某些金属硫酸盐溶液下渗到潜水面以下，在还原环境中按修曼序列交代原生硫化物生成次生硫化物，从而使矿石品位提高的地质作用。

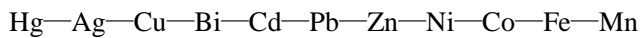
2) 成矿过程：如硫酸铜溶液与原生矿石中的黄铜矿发生置换反应，生成辉铜矿



若遇方铅矿，则 Cu 交代 Pb，形成铜蓝和铅矾



修曼序列：硫酸盐交代原生硫化物形成次生硫化物的交代顺序（元素亲硫性减小的次序）：



3) 典型矿物：辉铜矿、铜蓝

3、原生硫化物矿石带：由于处于停滞水带，所有矿物均未发生变化。矿床中原生硫化物为黄铜矿、黄铁矿等。

第十章 沉积矿床概论

§1 概念与特点

一、概念

1、沉积矿床(sedimentary deposit)：指地表岩石和矿石在风化作用下被破碎、分解的产物，有机残骸和火山喷发物、宇宙物质等被水、风、冰川、生物等营力搬运到有利于沉积的地质环境中，经各种沉积分异作用沉积下来，当其有用组分富集达到工业要求的地质体。 风化→搬运→沉积

2、沉积分异作用(sedimentary differentiation)：由于搬运能力的减弱或沉积环境物理化学条件的改变而使物质依次下沉分离堆积的作用。

二、特点

- 1、产于沉积岩系或火山沉积岩系中，属于同生矿床
- 2、具有矿床分带性如铁矿床的矿物相分带：从氧化到还原为赤铁矿→菱铁矿→黄铁矿
- 3、具有特定的地层层位
- 4、矿体呈层状、似层状、透镜状，与地层整合产出，一般规模较大
- 5、矿石具条带状、条纹状、纹层状、结核状、鲕状等沉积构造
- 6、矿石组分复杂程度取决于矿石的物质来源和沉积环境

7、一般无围岩蚀变

§2 形成条件

一、物质来源：大陆风化产物、火山喷发物和生物残骸。不同物源可形成不同类型的矿床

- 1、含金岩石 风化作用 砂金 → 岩金
- 2、玄武岩 风化作用 迁移 → 铝土矿 / 铁矿
- 3、花岗岩 风化作用 → 粘土矿
- 4、火山喷发物 → 火山沉积铁矿、铜矿，重晶石矿
- 5、硅藻 迁移、沉积 → 硅藻土矿

二、气候条件

- 1、温暖潮湿 → 沼泽铁矿
- 2、炎热潮湿 → 铝土矿
- 3、干旱 → 盐类矿床
- 4、干湿交替 → 鲕状铁锰矿床

三、岩性岩相条件（沉积环境）

- 1、河床 → 冲积砂矿床
- 2、滨海 → 砂矿床 / 沉积铁锰矿
- 3、台地潮坪 → 铁铜硫化物 MVT 型铅锌矿床
→ 盐类矿床

四、地质构造条件 矿床受大地构造、沉积盆地控制

- 1、地台区 铝、铁、锰、磷矿床、盐类矿床
- 2、地槽区 火山沉积型铁、铜矿床、重晶石矿床

§3 成矿作用及矿床分类

一、成矿物质

- 1、来源： 风化产物、有机物质、火山喷发物、宇宙物质等。P36 Shudbery
- 2、搬运营力：流水、风、冰川、生物
- 3、水中 被携带的形式

| | | | |
|---------------------------------------|---------------------------|-------------------------|----------|
| 碎屑物（颗粒） | 悬浮物 | 胶体溶液 | 真溶液 |
| 碎粒 | 粗分散系 | 细分散系 | 分子/离子分散系 |
| 10^{-5}m (10 μm) | 10^{-7}m (100nm) | 10^{-9}m (1nm) | |
| 机械沉积分异 | → ← | 化学沉积分异 | |

二、沉积分异作用

1、机械沉积分异作用：指碎屑物质在水、风、冰川等营力搬运和沉积过程中，由于流速及搬运能力有规律地减弱，发生按颗粒大小、形态、比重和矿物成分差异而依次沉积的作用。 → 物理作用 影响分异因素

- 1) 颗粒物质：粒径 由粗 → 细 比重 由大 → 小
形状 由球状 → 片状 成分 由耐磨 → 易磨
- 2) 介质：流速突然减缓，利于沉积
比重大、粘度大，其悬浮力增大，造成分选极差
流动状态：紊流，粒度反复扬举，分异不好
层流，碎屑物似静水中分异沉积

2、化学沉积分异作用：指溶于水的真溶液物质、胶体化学物质及生物化学物质在水和生物等营力的搬运和沉积过程中，由于沉积环境的物理化学条件改变而发生溶解物质依次沉积的作用。其主要影响因素是溶解度、介质的 pH、Eh 值。

1) 胶体化学沉积分异作用 → 胶体溶液：电性中和、加入电解质、温度升高、剧烈振荡、pH-Eh 影响等导致矿质沉淀

2) 蒸发沉积分异作用 → 真溶液：温度使浓度增大而发生矿质沉淀；溶解度控制，即其溶解物质不饱和时以溶液状态存在，过饱和时则发生沉淀析出；压力

3) 生物化学沉积分异作用 → 生物成矿作用

3、火山喷流沉积分异作用

三、矿床分类

1、按沉积演化

1) 同生沉积矿床：沉积物在沉积场所通过物理作用或化学作用使有用组份沉淀聚集下来所形成的矿床。(矿床与围岩基本上是在同一地质作用中同时或近于同时形成。)

2) 成岩矿床：在沉积物固结成岩时通过成矿元素再分配或重结晶作用，改变成矿物质的组份和组构所形成的矿床。

3) 后生矿床：沉积成岩后由于外来物质的充填、交代作用使有用组份聚集而形成的矿床。(矿床的形成明显晚于围岩，且矿床与围岩往往由不同地质作用形成。)

2、按成矿作用

1) 机械沉积矿床：砂金、砂锡、金刚石

2) 胶体化学沉积矿床：铁、锰、铝矿床

3) 蒸发沉积矿床：石膏、岩盐、钾盐

4) 生物化学沉积矿床：自然硫、磷、硅藻土

5) 可燃有机矿床：煤、石油、天然气

6) 喷流沉积矿床(火山沉积矿床)：铁铜矿床

第十一章 机械沉积矿床

§ 1、概念及特点

一、概念

机械沉积矿床(Mineral Deposit by Mechanical Sedimentation)：指地表的碎屑物质被水、风或冰川搬运到地质环境中，由于运载能力由强变弱，碎屑物质往往按体积或比重分别沉积下来，使有用物质富集而形成的矿床。又称砂矿床(Placer Deposit)

二、特点

- 1、主要分布于碎屑层或碎屑岩系中，一般埋藏不深；
- 2、矿体多透镜状、似层状，规模一般不大；
- 3、矿石主要由化学性质稳定、耐磨和比重大的矿物组成；
- 4、矿种多，但以 Au、Pt、Sn、金刚石等最重要。

三、研究意义

- 1、有的矿床具有重要工业意义，如南非 Witwatersrand，金产量占全球 60%，金红石占 98%，锆石占 96%；
- 2、由于埋藏不深，易于开采，有的无需加工即可直接利用；
- 3、寻找原生矿床 的重要标志。

§ 2 形成条件

一、物源及搬运介质：

1、物源(原岩)

1) 原生矿床 Au → 砂金

2) 岩石中副矿物 伟晶岩中 Nd、Ta(如尼日利亚为世界产量 95%)，花岗岩中独居石、金红石、锆石等，爆破角砾岩(金伯砾岩)中的金刚石

2、搬运介质

- 1) 风的分选 仅限于干燥地区，其作用较小；
- 2) 冰川搬运能力强，但分选差，形成砂矿可能性小；
- 3) 生物 尤其是微生物本身质量小，不可能搬运砂矿物；
- 4) 水，尤其是流水是形成砂矿床最重要的营力。

二、气候

- 1、寒冷或干燥区：物理风化强烈，碎屑多，但水少，无分选；
- 2、温湿(亚)热带区：化学风化广泛，水系发育，最有利于形成砂矿；

3、冷热交替区：冷时机械风化形成碎屑，湿热时化学风化水系发育，易迁移分选形成砂矿

三、地貌

- 1、陡峻高山区：剥蚀强，可提供大量碎屑物，但因流速大分选差，不易富集保存；
- 2、平原区：离剥蚀区远，流速小，水动力弱，搬运多为细粒碎屑物，不易形成砂矿床；
- 3、低山丘陵河谷区、滨岸区最利于形成砂矿床。

§3 矿床分类及重要矿床特点

一、矿床分类

- 1、按时代：
 - 1) 现代砂矿床
 - 2) 古砂矿床（新第三纪以前形成的砂矿床）
- 2、按矿种：
 - 1) 砂金矿床；
 - 2) 砂锡矿床
 - 3) 金刚石矿床；
 - 4) 独居石-金红石矿床
 - 5) 石英砂矿床……
- 3、按成因
 - 1) 风成砂矿床
 - 2) 冰积（冰川）砂矿床
 - 3) 水成砂矿床
 - (1) 洪积砂矿床；
 - (2) 冲积砂矿床
 - (3) 海滨砂矿床；
 - (4) 湖滨砂矿床

二、冲积砂矿床

1、冲积砂矿床（alluvial placer deposit）：含重矿物的岩石或矿床的风化碎屑物经河水搬运到适合地方，通过机械沉积分异逐渐富集而形成的矿床。

2、特点

- 1) 矿床产于河流相碎屑岩系中，其分布与河流相一致；
- 2) 具有一定层位和明显的层序 自下而上为
 - (1) 基岩层（砂矿床之底岩）——→
 - (2) 粗砾石层（主要含矿层）——→
 - (3) 小砾石层（有时含有重矿物，砂泥质混合物作为粘结物质）——→
 - (4) 泥炭层（砂泥质及有机质沉积物）——→
 - (5) 土壤层（富含腐殖层、植物残余物、淤泥粘土）
- 3) 砂矿体呈透镜状，但横向延伸较短；
- 4) 砾石磨圆度较好，分选性亦好；
- 5) 重要矿种为砂金、砂锡、金刚石、稀有金属

3、有利于冲积砂矿床富集部位

- 1) 流速变缓处
 - (1) 河流由窄变宽处，
 - (2) 坡度由陡变缓处，
 - (3) 河流内弯地段，
 - (4) 支流与主流汇合处，
 - (5) 流镜障碍处
- 2) 河底底岩变化（底岩凹凸不平易于形成涡流处）
 - (1) 肋状底岩，
 - (2) 波状底岩，
 - (3) 喀斯特底岩

3) 河流穿过古砂矿地段

4、分类（按微地貌）

- 1) 河床砂矿床（现代河流的河道中正在形成的砂矿）

2) 河谷砂矿床（河漫滩砂矿）分布于河谷底部或谷道附近的砂矿，由河流侧向侵蚀堆积而成。北方以河谷型砂矿为主

3) 阶地砂矿床 由新构造运动引起的地壳上升，使早期形成的冲积砂矿层高出河床之上而形成河床两岸的阶地砂矿。南方以阶地型砂矿为主

第十二章 胶体化学沉积矿床

§ 1 概述

一、概念

胶体化学沉积矿床 (Mineral Deposit by Colloidal Agglutination): 指地表岩矿石经风化作用形成的部分成矿物质以胶体溶液的形式迁移到有利于胶体凝集的环境中, 通过胶体化学分异 (聚沉) 而使有用物质富集所形成的矿床

二、特点

- 1、矿床产于沉积岩或火山沉积岩系沉积间断面上的海侵岩系中
- 2、具有特定层位, 如沉积铁矿主要形成于中元古代 (Pt_2) 和泥盆纪 (D)
- 3、具明显的分带性:
平面上, 自岸向海为 Al—Fe—Mn; 剖面上, 自下而上为 Al—Fe—Mn
- 4、矿体呈层状、似层状, 与围岩产状一致
- 5、矿石具鲕状、豆状、肾状、条带状构造, 结核状、胶体结构
- 6、矿石成分主要为 Fe、Mn、Al 的金属氧化物、氢氧化物、硫酸盐和硅酸盐等
- 7、主要矿种为铁、锰、铝及粘土矿

§ 2 形成条件

一、物源:

- 1、陆源风化产物——最重要;
- 2、火山物质;
- 3、陆源海解

二、气候与地貌

- 1、温带-热带气候和水盆地汇水范围内的成年期地貌发展阶段, 对成矿特别有利
- 2、准平原地形有利于较彻底的风化作用

三、地质构造

- 1、稳定的海岸线对矿质的平稳持续沉积有利
- 2、地台边缘或陆缘海盆地有利于成矿

§ 3 矿床分类及主要矿床特征

一、矿床分类 (按工业类型)

- 1、沉积铁矿床;
- 2、沉积锰矿床;
- 3、沉积铝土矿;
- 4、沉积粘土矿。

二、沉积铁矿床 (Sedimentary Iron Deposit)

- 1、特点 (除具胶体化学沉积矿床特征外)

- 1) 产于海侵岩系中下部
- 2) 具有明显的铁矿物分带性 (由岸边到大洋)

(1) 铁的氧化物矿物相带, 属氧化环境, 形成铁的高价氧化物和氢氧化物, 典型矿物为赤铁矿、针铁矿、褐铁矿等;

(2) 硅酸盐矿物相带, 在弱氧化条件下, 形成铁的硅酸盐等矿物, 如鲕绿泥石, 故又称为鲕绿泥石相带;

(3) 碳酸盐矿物相带, 在还原条件下形成铁的碳酸盐和碳酸钙的混合物, 主要为菱铁矿, 故又称为菱铁矿相带;

(4) 硫化物矿物相带, 在强还原条件下, 经细菌分解有机质产生大量硫化氢, 形成硫化物如黄铁矿、白铁矿、胶黄铁矿等。

- 3) 矿体呈层状、似层状, 与围岩产状一致
- 4) 矿石具鲕状、豆状、肾状、条带状构造, 胶体结构
- 5) 矿石成分主要为铁的氧化物、碳酸盐矿物, 次为铁的硅酸盐、硫化物

矿床实例:

宣龙式铁矿：产于中元古界长城系串岭沟组底部的沉积铁矿床，以宣龙庞家堡为代表；
宁乡式铁矿：产于泥盆系中上统砂页岩中的沉积铁矿床，以鄂西宁乡铁矿床为代表。
綦江式铁矿：产于侏罗纪煤系砂页岩中的铁矿床，以重庆綦江铁矿床为代表。

2、成因假说

1) 化学沉积说

要点：(1) 含铁硅酸盐类矿物经强烈的风化作用，一部分形成铁的胶体溶液，一部分形成各种易溶的含铁重碳酸盐、硫酸盐或氧化物，但在富含氧的地表中最终氧化、水解成氢氧化铁胶体。(2) 这些胶体在适量腐殖酸保护下被流水带到沉积盆地。(3) 当遇到盐类矿物质或腐殖酸过量与太少，或由于细菌作用而发生胶体聚沉使成矿物质富集。因盆地中 pH、Eh 不同而形成不同的铁矿物相分带。

2) 机械悬浮物沉积说

考虑 (1) 地表富氧环境中铁的胶体不能长距离迁移；(2) 腐殖酸易氧化；(3) 库斑河调查 90% 以上是悬浮物；(4) 乍得湖中发现铁以粉铁的形式搬运越细铁越高，且多位于粉砂岩向泥灰岩的过渡部位。

因此，斯特拉霍夫等认为，铁主要被粘土矿物或粉砂表面吸附呈悬浮物态由地表水搬运到掺合作用较弱的海湖盆地边缘沉积，使氢氧化铁和其它含铁物质富集，并在成岩中形成含铁矿物相的分带。

3) 陆缘汲取说

我国叶连俊先生 (1959) 通过研究后提出了铁、锰、铝、磷的“陆缘汲取说”。其要点是：海侵之前，陆源区已被侵蚀夷平成准平原状态，地面上广泛分布着风化壳及沉积层。因海水侵漫陆地而大使海解，并从中溶蚀、汲取出各种元素及化合物的补给，使泻湖、沼泽区的海水富含成矿物质。当这些物质、沉积下来时便形成工业矿床。

4) 生物成矿说

近年来，加强了有关生物成矿的研究。长春地院对河北庞家堡铁矿的室内外研究认为，河北庞家堡铁矿中的肾状赤铁矿经研究发现其肾状为叠层藻；国外铁矿研究中亦发现静磁细菌，故认为这类铁矿可能是由菌藻活动形成的。

三、沉积锰矿床 (Sedimentary Manganese Deposit)

1、特点 除具沉积矿床共性外

1) 产于沉积间断面之上海侵岩系中上部

2) 具有明显的矿石相分带 (A. Γ. 别杰赫琴)：从海岸向大洋

(1) 软锰矿矿石相带：常见在沿岸附近的氧化环境中形成四价锰的氧化物如软锰矿、硬锰矿等；

(2) 水锰矿矿石相带：在离岸稍远、海水较深的弱氧化-较还原的条件下，主要形成三价锰和四价锰的氧化物，如水锰矿等，常与蛋白石共生；

(3) 碳酸盐矿石相带：在离岸较远、海水较深的还原环境中，主要形成二价锰的化合物，如菱锰矿、锰黄铁矿和锰方解石等，常与蛋白石、黄铁矿、白铁矿等共生。

3) 矿体呈层状、透镜状及典型的“矿饼群”

4) 矿石具鲕状、结核状、条带状构造

5) 矿石主要为锰的氧化物 (以软锰矿最重要) 及碳酸锰矿物 (菱镁矿和锰方解石)

矿床实例

辽宁瓦房子锰矿床 (产于中元古界蓟县系)，湖南湘潭锰矿床 (震旦系)，贵州遵义锰矿床 (二叠纪乐平煤系底部)，云南斗南锰矿床 (三叠系中统)。

2、现代沉积锰结核

1870 年 Challengen 挑战者号探险队首次在太平洋底发现含 Fe、Mn 氧化物，并定为锰结核。现已证实，大洋底部有着储量巨大的锰结核，是极为重要的有待开发的海洋矿产资源。其特点是

1) 主要分布于深度为 3600-6000m 的海域 (个别海区可达 10000m 的深海区) 中，主要分布于只有陆源碎屑沉积物的海区 (如北冰洋、波罗的海)、既有陆源物质又有火山物质的大型海盆 (大西洋、印度洋和太平洋) 和具有海底热液活动的局限海或开阔海 (如东太平洋山脉附近的海底)；

2) 矿体呈不规则球形或饼状，储量巨大约 17000 亿吨，其中含 Mn4000 亿吨，Ni164

亿吨，Cu 为 88 亿吨、Co 为 58 亿吨（表 12-1）。

表 12-1 太平洋锰结核中几种金属储量和陆地比较表

| 元素 | 结核中金属含量 (%) | | | 金属储量 (亿吨) | | 边界品位 (%) |
|----|-------------|------|------|-----------|-----------|----------|
| | 最低 | 最高 | 平均 | 大洋结核 | 陆地 | |
| Mn | 8.2 | 41.1 | 24.2 | 4000 | 20 | 10-15 |
| Ni | 0.16 | 2.0 | 0.99 | 164 | 0.5 | 0.2-0.3 |
| Cu | 0.028 | 1.6 | 0.53 | 88 | >2 | 0.3 |
| Co | 0.014 | 2.3 | 0.35 | 58 | 0.04-0.05 | 0.02 |
| Fe | 2.4 | 26.6 | 14.0 | | | |

3) 矿石具土状、结核状、同心状构造，内部为凝胶状结构

4) 主要矿物为锰的氧化物、氢氧化物（托锰矿、水钠锰矿、硬锰矿、软锰矿和针铁矿等），富含多种有益元素如 Mn、Fe、Ni、Co、Cu、Pb、Zn、Ba、Mo、V、Cr、Ti 等 20 多种，且平均品位高（表 12-1）。

3、成因假说

1) 胶体化学沉积说：表生条件下 Mn 的地球化学比 Fe 活泼一些，以离子或胶体形式迁移更远，形成 Fe、Mn 分异；

2) 机械悬浮沉积说：黑海盆地从河流带出的 Mn 多半（72.7-99.0%）呈悬浮物被搬运的。

3) 火山喷流沉积：含锰岩系中发现有火山物质，其中大多是蛋白质、碧玉、燧石等硅质岩（火山喷发的来源）

4) 生物成矿说：锰结核与叠层石相似，同心纹为藻叠层石、锰细菌。
锰结核的成因有三种假说：

- （1）同生说：Mn 转变为 Mn，在氧化铁催化剂作用下促进了 Fe-Mn 矿物的形成；
- （2）成岩说：来自陆源的锰浓度很低，沉积物中很分散，只有当沉积物中有机质含量较高时才能使高价锰还原，发生迁移、富集，并与铁分开；
- （3）细菌成因说：锰结核与叠层石成因相似，锰结核内部不规则的同心层壳构造是藻叠层石。

四、沉积铝土矿床

我国铝土矿主要形成于石炭纪和二叠纪；陆相产于内陆湖盆地中，常与陆相砂页岩互层；海相铝土矿床产海盆地边缘地带，即滨海沼泽相下部，具海陆交互相沉积特点。

第十三章 蒸发沉积矿床

§ 1、概念及特点

一、概念

蒸发沉积矿床(evaporite deposit)：指在封闭、半封闭水盆地中，某些易溶的无机盐类，通过长期蒸发作用使各种有用盐类物质分别沉淀富集而形成的矿床。

二、特点

- 1、产于红色碎屑岩-碳酸盐岩的含盐岩系
- 2、具有一定的层位：如 Z、T、K、Tr、Q
- 3、具明显的沉积韵律，按溶解度由小到大沉淀：
碳酸盐相（石灰岩、白云岩）→硫酸盐相（石膏、硬石膏、芒硝）→氯化物相（石盐、钾盐）→钾镁盐相（光卤石、钾石盐、钾镁矾）
- 4、矿体呈层状、似层状、扁豆状，后期构造影响形成不规则状、盐丘状底劈构造；矿床规模一般较大。
- 5、矿石具块状、条带状、板状构造，结晶粒状结构，颜色多变，矿物有味
- 6、矿石类型多，主要为 K、Na、Ca、Mg 的硫酸盐、氯化物如石膏、芒硝、泻利盐、石盐、钾盐、光卤石等。

§ 2 形成条件

一、物源：

- 1、陆源，岩石风化，将易溶盐类物质带入海湖盆地——最重要来源

- 2、海源，
3、深源：1）如热卤水或地下热水（柴达木的硼来自温泉水）、2）下部含岩盐系、3）火山喷发物（或火山活动产物）

二、气候：

干旱气候条件是形成盐类矿床的重要条件

干旱区蒸发量往往超过降水量和流入地表水之总和（补给量）。由于强烈蒸发，溶液中盐类物质浓度提高，逐渐沉淀出各种盐类。由于干旱，盐类物质才容易保存，如青海的石盐。若为潮湿地区，则盐类物质因易溶而难以保存。

三、地质构造和地貌：

成盐盆地的形成是必备条件

从现代和古代盐类矿床的分布看，并非所有干旱地区就一定有盐类矿床的形成。盐类沉积只发生在盐类物质突变的内陆闭流盆地和与海洋有水力联系的海岸及其附近海水循环受限制的封闭、半封闭盆地，前者为内陆湖盆，后者为沿海盆地——成盐盆地

四、保存条件：

由于盐类矿床是由易溶物质组成，因此盐层沉积后必须有不透水层覆盖保护才能保存下来。否则，若有淡水加入，则强烈迁移元素首先溶解。

综上所述，最基本成盐条件是：

- 1) 干旱的气候，即水的蒸发量>>水的补给量；
- 2) 封闭、半封闭的水盆地

§ 3、成因假说

一、沙洲说（G.Bischoff, 1855; Ochsenius, 1877）

1855年由德人 G.Bischoff 提出一些盐矿是在滨海砂堤后的泻湖中通过蒸发而形成的。20年后，Ochsenius（1877）创立了沙洲说，其基本内容是

- 1) 成盐盆地是一个海湾，其出口处有沙洲（砂坝）与大海隔开；
- 2) 由于蒸发作用很强，海湾中水面低于大海海面而使海水周期性地补给海湾
- 3) 持续地蒸发作用使海湾中盐分不断最高，最后形成卤水
- 4) 这种卤水继续蒸发，其中各种盐类物质按其溶解度由小到大依次沉淀：

白云石→石膏→石盐→钾镁盐

成盐过程中：

（1）若海水进入量较大，卤水浓度仅被冲淡，可沉积溶解度较低的盐类，形成两种或两种以上的韵律如石膏-石盐-石膏韵律；

（2）若海水大量进入，卤水被强烈淡化，则可形成正常碳酸盐沉积；

（3）若沙洲不断抬升，使海湾与大海完全隔离，则盆地成盐过程结束。

Ochsenius 用这种观点解释德国施塔斯富铁的巨厚（500m）盐层产出，强调了海水是盐类物质的唯一来源。

但现代沙洲说认为，蒸发盆地不一定要有沙洲，也不一定有海湾，但仍认为这个沉积盆地还必须是与大海有一定联系的盆地，海水周期性进入其中，干旱气候下通过蒸发浓缩而发生沉积。目前这种观点仍占统治地位。

二、沙漠说（G.Walter, 1894）

奥地利 G.Walter（1894）认为大陆面积 1/5 为内陆干燥和沙漠区，一些盐类矿床内缺少海相生物而陆相生物屡见不鲜，从而提出与沙洲说相反的假说。其基本内容是：

- 1) 陆源岩石风化形成的易溶物质迁移到内陆沙漠盆地（盐湖）之中
- 2) 由于强烈的蒸发作用，卤水逐渐达到饱和
- 3) 持续的蒸发直至蒸干，沉积晶出各类盐类物质而形成盐矿（Grabau.A, 1924 根据美国大盐湖、中国塔里木盆地中的盐湖，用沙漠说的观点支持了 Walter 的观点：

除波兰盐矿见海相化石外，均未见海相化石而陆相生物遗体却不罕见；一些与古沙漠成因有关的盐类矿床如中国侏罗纪、白垩纪、第三纪陆相盐矿，现代的华北、西北（柴达木盆地）；世界上贯通中亚-西亚到北非构成一巨大沙漠带，出现大小不等的许多盐湖。强调了因盐（赋存于海相沉积岩间隙中同生海水或卤水中的盐类物质）作为陆相盐类的主要来源。

三、萨布哈式成盐说（Friedman 等, 1967）

由于波斯湾海边的萨布哈 (sabkha) 沉积物中堆积了大量的石膏和石盐, 因此 Friedman (1967) 提出萨布哈成盐说。其基本内容是

- 1) 潮上带的潜水沉积区, 含盐类物质的海水、陆源水补给的地下水
- 2) 由于蒸发作用使地下水水头向上运动 (蒸发泵作用) 使含盐类的地下水上升
- 3) 当其含盐浓度增大, 使向上的 Mg^{2+} 交代灰岩中的部分 Ca^{2+} 形成白云石, 被置换出的 Ca^{2+} 与 SO_4^{2-} 结合形成石膏; 若不断蒸发, 含盐度增大而在孔隙中形成石盐。

四、干化深盆成盐说 (许靖华, 1975)

(许靖华, 1975) 通过地中海深海钻探资料发现中新世中期及早期的海相沉积物, 并含深海相化石如微体和孔虫, 蒸发岩形成前是水深 2000m 的深盆, 成盐时则是因蒸发作用干化的潮上环境。在干化过程中海水多次进入, 且每次进入均变成深海, 造成深海沉积与蒸发岩互层。故认为蒸发岩的形成是由于古地中海与大西洋、印度洋构造隔绝所形成深海盆地通过蒸发作用而成。

五、高山深盆成盐说

袁见齐 (1957、1983) 认为上述假说忽略了成盐地貌环境研究, 而地貌决定性影响到区域气候植被、地表水文条件, 从而认为直接影响到成盐作用的发生和发展。对国内外资料分析, 如地中海中新世盐类沉积, 我国柴达木盆地、云南思茅盆地等均属高山深盆地貌, 从而提出“高山深盆成盐说”。如柴达木盆地四周有祁连山、阿尔金山和昆仑山三大山系环抱, 山高海拔 4000-5000m, 而盆内为 2600m, 构成高山深盆。且南面喜马拉雅山等屏障, 阻挡了来自印度的潮湿海洋季风, 而上深盆地气候极端干旱, 年蒸发量 (20799mm) 为年降雨量 (66.7mm) 的 115-259 倍。

六、深水深盆成盐说

Schmalz. RF (1969) 认为浅水或萨布哈成盐只能形成较薄的盐层, 要形成巨厚的盐层必须有一个深水的沉积盆地。因此, Schmalz. RF (1970) 发表了“深水深盆”的猜想模式。其基本论据是: 巨厚型盐类矿床的成盐盆地都属于地形上的深洼地。

1) 巨型古盐盆地巨大面积说明成盐盆地不是泻湖 (如西伯利亚-伊朗-巴基斯坦, 寒武纪成盐盆地达 150-200 万 km^2); 2) 计算世界上巨大盐盆地连续蒸发沉积时间一般需几 Ma——几十 Ma, 而泻湖实际上只是海岸线短暂波动的地貌现象; 3) 古盐沉积物中常含有黑色页岩夹层, 显示静海沉积相产物——深水; 4) 计算德国蔡希斯坦盐层沉积率 10mm/a, 若地槽每年平均沉降 0.1mm, 要形成 195m 盐层, 盆地原先深度为 1165m; 5) 蒸发试验; 6) 墨西哥湾深海钻探证实海湾深部有含盐建造。故认为原先的一个海由于表面蒸发作用使海水浓缩成卤水而成为盐湖, 浓缩卤水下沉并直接成矿。

§4 矿床类型及钾盐矿床

一、矿床类型 (按时代-环境-矿种分类)

1、现代沉积盐矿床

1) 大陆盐湖 硼矿床 大柴旦湖

钾盐矿床 察尔汗盐湖

天然碱矿床; 石膏、石盐、芒硝

2) 滨海盐湖 石盐; 石膏

2、古代沉积盐矿床

1) 陆相盐类矿床 (白垩纪以来): 石膏-石盐; 石膏-天然碱; 天然卤水矿床; 天然碱

2) 海相盐类矿床 (侏罗纪以前): 石膏-石盐矿床; 钾盐矿床;

二、钾盐矿床

1、常见钾盐矿物

钾石盐 (KCl) 钾芒硝 ($K_2Ca_2Mg[SO_4]_4 \cdot 2H_2O$)

光卤石 ($K \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$) 杂卤石 ($K_3Na[SO_4]_2$)

2、钾盐的沉积形式

1) 剖面上, 位于盐层上部——卤水蒸发浓缩晚期的产物

2) 平面上, 位于盆地中心 (牛眼式) 或盆地一侧 (泪滴式), 比石盐沉积面积小得多。

3、成因——干盐湖假说 (瓦利亚什科)

钾源: 地表水含钾较低, 而海水这含 K 较高 (含 K 0.38%), 故海水是 K 的主要来源。

该假说认为：1) 海水被蒸发浓缩形成石盐之后进入钾盐沉积阶段（浓缩海水体积几乎减少到原体积的 1/80）；2) 此时残余卤水的体积大致与固相盐沉积的体积相当，而固相盐类的孔隙度一般大于 30%，故残余卤水将全部转变为晶间卤水而构成干盐湖。3) 在干盐湖中，若母液继续蒸发，则只能形成浸染状钾盐矿石，而不能形成钾盐层；若干盐湖中存在局部凹陷（洼地——构造或淡水作用形成），当其凹陷水面低于晶间卤水时，因地表水或卤水的再溶作用使晶间富 K 卤水流入新盆地集中，通过进一步蒸发作用，则可形成层状钾盐矿床。

第十四章 生物化学沉积矿床

§1 概述

一、概念

1、概念 生物化学沉积矿床(Mineral Deposit by Biogenic & Biochemical Sedimentation): 指在水盆地中由沉积作用堆积起来的生物遗体,或经过生物有机体的分解或细菌生命活动过程中通过（直接或间接的）生物化学沉积作用使有用物质聚集而形成的矿床。

2、微生物——与矿化相关的

1) 微生物种类: 微生物是肉眼看不到的有机体,包括细球菌、放线菌（丝状微生物）、无叶绿素植物（真菌）、含叶绿素植物（藻类）、原生动物和超微生物（比细菌构造简单,更微小,是在显微镜下都看不见的特种有机体）。

细菌可分为喜氧菌和厌氧菌。喜氧菌只生活和发育在有自由氧的环境中,氧被他们用于呼吸。厌氧菌生存在缺氧的或自由氧进入受到限制的环境里,细菌从含氧有机物质（如矿水化合物）或矿物盐（如硝酸盐、硫酸盐等）中获得他们所必需的氧。

2) 微生物成矿

近年来的研究表明,微生物既能在不深的潜水中发育,也能在循环于 1000 米或更深的水中繁殖。微生物可以在很宽的温度范围内（零下几度到零上 85-90℃,甚至高达 350℃）生存,适合微生物生活的水矿化度范围也很大。有能在盐水中生存的盐细菌。但高矿化度和过高的温度,会抑制细菌的活动性。

3、特点

1) 产于富含有机质的沉积岩系;

2) 具有特定层位,如我国磷块岩主要赋存于震旦系、寒武系,硅藻土主要为白垩系、第三系和第四系

3) 矿体呈层状、似层状、透镜状,与地层产状基本一致

4) 矿石具块状、条带状、条纹状、纹层状、草莓状构造,生物结构、莓粒结构

5) 主要矿种为磷块岩、硅藻土、黄铁矿、自然硫、生物灰岩及可燃有机岩

3、研究意义

1) 具有重要的工业意义,如磷块岩和硅藻土

2) 理论上正在形成的新兴边缘学科如生物矿床学、生物矿物学等,拓宽了矿床成因研究领域即生物成矿研究,开拓了生物尤其是微生物在采选矿中的新方法和找矿的新思路。

§2 成矿作用（微生物成矿作用）

一、直接促使成矿元素的浓集

1、构成微生物细胞的主要组分 C、H、O、N、P、S 等约占细胞（干重）95%

2、微生物生理机能所需矿质元素

常量元素: H、O、P、S、K、Mg、Ca、Fe

微量元素: Mn、Co、Cu、Zn、Mo、Se、W、Ni、V 等

3、专性生物特有的浓集作用

圆货贝 含 P_2O_5 80-91.5%;

硅藻、放射虫,主要成分为 SiO_2 ;

硫细菌（无色）躯干含硫达 95%;

铁细菌,含 Fe >20%;

金龟子,含 Au 125g/t ;

水贼灰份,含 Au 610 g/t

巴西一香胶树分泌 40-60kg/年株与石油相似的柴油；美国加州一黄鼠草，野生的可提炼石油 1000kg/公顷（16 亩），杂交的可提炼石油 6000kg/公顷（16 亩）；Pb 是有毒的，但有些生物如海生植物富集 Pb 可达 267000 倍。

二、可改变环境的物理化学条件

- 1、光合作用 如蓝细菌的放氧性光合作用
- 2、呼吸作用 有氧呼吸
无氧呼吸
- 3、发酵作用（无氧条件下的呼吸作用）

三、转变元素的价态

- 1、氧化作用： $\text{Fe}^{2+} + \text{O}^2 + 4\text{H}^+ \longrightarrow \text{Fe}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O}$ （铁细菌）
- 2、还原作用： $\text{CaSO}_4 + \text{CH}_4 \longrightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{S}$ （脱硫菌）

四、有机质作用

- 1、形成金属有机络合物 如形成 Al 的草酸络合物
- 2、有机碳质物的吸附作用 如对金属元素 Cu、Pb、Zn、Mo、Au 等的吸附
- 3、有机酸的护胶作用 Fe、Mn、Al、 SiO_2 及部分硫化物胶体在有机酸保护下可作长距离迁移而不致聚沉。

§3 矿床类型及主要矿床

一、矿床类型

- 1、生物化学沉积矿床
 - 1) 磷块岩矿床：云南昆明
 - 2) 硅藻土矿床：吉林珲春
 - 3) 沉积自然硫矿床：
 - 4) 沉积黄铁矿矿床：湖南城步
 - 5) 沉积砂岩型铜矿床
 - 6) 黑色页岩型镍钼矿床
 - 7) 沉积铅锌矿床：广东乐梅
- 2、可燃有机矿床
 - 1) 煤
 - 2) 油页岩
 - 3) 石油
 - 4) 天然气

二、磷块岩矿床

1、磷块岩及特点

磷矿床按成因分为三类：即海相沉积的磷块岩（以含胶磷矿为主）、岩浆及变质作用形成的磷灰岩（以晶质磷灰石为主）和鸟粪层等。

| | |
|---------------|-------|
| 海相磷块岩矿床 | 85.0% |
| 岩浆岩型、变质型磷灰岩矿床 | 14.6% |
| 鸟粪层磷矿及其它 | 0.4% |

- 1) 磷块岩：海相沉积的岩石或矿石根据其中磷的含量分为 含磷沉积岩 $\text{P}_2\text{O}_5 < 8\%$ ；磷质岩 $8\% \sim 18\%$ ；磷块岩 $> 18\%$

2) 磷块岩矿床特点

- (1) 产于沉积碳酸盐岩与硅酸盐岩中
- (2) 矿体呈层状、似层状、扁豆状，与围岩产状基本一致
- (3) 矿石具块状、条带状、结核状构造，胶体、生物结构
- (4) 矿石矿物主要为磷灰石

2、成因假说

1) 生物成因说

海水中含磷生物由于各种原因（如水底暖流与寒流相遇，海退引起海水流向、温度变化等）大量死亡后堆积而形成的磷矿床。如南非好望角以南，由于赤道暖流与南极寒流相遇，使大量生物死亡，其遗体在海底堆积下来而形成磷酸盐结核。有的由磷酸盐化了的圆货贝组

成磷块岩；昆阳磷矿区见到软舌螺矿化层。

2) 化学成因说 (A.B. Kazakov, 1937)

问题的提出：由于一些大型矿床几乎不含动物化石，且具有鲕状构造，Kazakov (1937) 根据海洋学、化学资料研究了近代海水中磷的分布及 PO-CaO-HF-HO 相平衡关系提出是屋脊成矿的化学成因。

基本内容：

- (1) 光合作用带中浮游生物吸附了海水中磷质，使表面海水几乎不含磷
- (2) 生物死亡后向海底下沉，将从表层水吸附的磷质带到深水层
- (3) 下降时，由于有机质分解，随深度增加 CO_2 含不断增加， CO_2 分压提高，溶解磷的能力增强，最终完全分解形成高 CO_2 分压的富磷海水
- (4) 由于海水的垂直循环作用，将富磷和 CO_2 的深部海水沿大陆斜坡带到陆棚地带
- (5) 因深度变浅、水温升高及植物的光合作用， CO_2 扩散分压降低，致使碳酸盐、磷酸盐过饱和而先后沉淀。在水浅浪击环境中可形成鲕粒、碎屑结构的磷块岩。

3) 生物-化学成因说

问题的提出：

现代海底淤泥中 P_2O_5 含量很高 ($200-1100\text{mg/m}^3$)，并非陆缘带；一些矿层中见生物残骸，认为磷的富集与海洋中浮游生物有关。

基本内容：

- (1) 热带浅海地带繁殖了大量浮游生物并吸收海水中的磷质
- (2) 生物死亡后其残骸下沉到海底淤泥中
- (3) 细菌分解残骸而释放出磷质，使淤泥中富集大量磷质
- (4) 含磷高浓度淤泥水向低浓度底层水中扩散，此时磷酸盐围绕小质点如砂粒、残骸等聚集成结核，最终形成磷块岩。

Kazakov (1937) 的化学沉积说事实上也属于生物-化学成因说，如果没有生物也就不会形成磷矿床。事实上，以上三种假说都肯定了生物在形成磷矿床中的重要意义。

除此之外，还有动力聚磷说 (孟祥化)、陆缘汲取说 (叶连俊) 等。

3、中国磷块岩的分布

1) 分布时代 从 Pt-Q 的 24 个层位几乎都有，但主要分布于

| | | |
|---------|------------|------|
| 震旦系灯影组 | 如贵州开阳、湖北荆襄 | 51% |
| 寒武系筇竹寺组 | 如云南昆明 | 44% |
| 泥盆系 | 如四川什邡 | 4.9% |
| 其它 | | 0.1% |

2) 空间分布 大型工业磷块岩矿床主要集中分布于扬子地台区，即中国南方，尤其是云、贵、川、鄂四省。北方缺磷，华北、西北磷矿分布零散，且多为中小型。

三、硅藻土矿床

1、硅藻土矿床 (Diatomite Deposit)：指由海洋或湖泊中的硅藻及其它微小生物如放射虫、海绵骨针吸收水中的 SiO_2 组成软体，当其死亡之后有机部分腐烂，硅质介壳则保留下来形成硅质软泥再经成岩作用富集所形成的矿床。

2、特点

- 1) 常产于海相或湖相的砂、粘土、泥灰质、磷质沉积物中
- 2) 产于特点层位，如白垩纪、第三纪和第四纪地层，成矿时代新
- 3) 矿体呈凸镜状、似层状，层理不明显
- 4) 矿石具多孔状土状构造，特殊的孔结构、生物结构、微细粒结构
- 5) 主要矿物成分为蛋白石，化学成分主要由 SiO_2 、 H_2O 组成。

3、形成条件

- 1) 物源：鉴于硅藻土矿床与火山岩共生，故认为火山物质提供了大量溶解或悬浮状 SiO_2 。
- 2) 环境：浅水盆地，阳光充足有利于硅藻生长与繁殖
- 3) 生物：硅质生物发育

4、成因

1) 生物沉积：硅藻虫吸取了溶于海水和粘土中的构成躯壳，当其死亡后有机质部分腐烂硅质保存堆积而形成硅藻土。

2) 生物-化学沉积：原有硅藻等生物吸收了水中 SO_2 组成躯壳沉积，有机体腐烂，硅质壳保存在淤泥中，经地下水改造再沉积（破坏生物遗骸）而形成硅藻土。

四、沉积自然硫矿床

1、特点

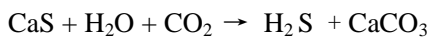
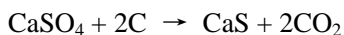
- 1) 多与白云岩、石膏等蒸发岩共生；
- 2) 具有一定层位 中国主要为第三纪、第四纪；
- 3) 矿体呈层状、凸镜状，与地层产状基本一致；
- 4) 矿石具块状、条带状、海绵状构造；
- 5) 主要矿种为自然硫，次为碳酸盐、硫酸盐等。

2、形成条件

- 1) 物源：陆源风化、火山喷发、有机质分解；
- 2) 环境：咸化的泻湖盆地。

3、成因 生物化学沉积

1) 碳质物与硫酸盐反应形成硫化氢



2) 硫化氢被转变为单质硫，以组成硫细菌躯体

- (1) 含氧水 $\text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{S} \downarrow + \text{Q}$
- (2) 硫细菌 $\text{H}_2\text{S} + \text{CO}_2 \rightarrow [\text{CH}_2\text{O}] + \text{H}_2\text{O} + 2\text{S} \downarrow$
- (3) 还原菌 $\text{SO}_4^{2-} + 3\text{H}_2\text{S} \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{OH}^- + 4\text{S} \downarrow$

3) 含硫细菌死亡堆积在盆地底部，形成自然硫矿床

五、沉积黄铁矿矿床（略）

第十五章 可燃有机矿床

§1 概述

一、概念：

可燃有机矿床：指由有机质沉积形成的具有燃烧能力的矿物和岩石，当其质和量达到工业要求的地质体。

二、矿床分类

- 1、按形态：
 - 1) 固态矿产：煤、油页岩（地蜡）
 - 2) 液态矿产：石油，
 - 3) 气态矿产：天然气
- 2、按成因：
 - 1) 腐植类：泥炭、褐煤、烟煤、无烟煤，
 - 2) 腐泥类：藻煤、石煤、油页岩，
 - 3) 沥青类：石油、天然气、石蜡、地沥青等

三、意义：1、工业的粮食和血液；2、能源；3、民用

§2 煤和油页岩

一、概念：

指在沼泽盆地中大量的堆积植物及微生物遗体残骸，经生物化学作用而形成的固态可燃矿产。

二、特点

- 1、产于黑色、灰黑色沉积岩系内；
- 2、矿床具有特定层位，如 C、P、J、Tr (N)
- 3、矿体呈层状、似层状，有时呈透镜状，与围岩产状一致，规模大，个别后期呈鸡窝状
- 4、矿石具块状、条带状构造，凝胶状、纤维状结构
- 5、矿石组分
 - 1) 矿物成分：按煤岩组成的形态分子和基质含量分为四类

| 类型 | 基质 | 形态分子 | 光泽 |
|----|-----|------|----|
| 镜煤 | 95% | <5% | 强 |
| 亮煤 | 多 | 少 | 较强 |
| 暗煤 | 少 | 多 | 弱 |
| 丝炭 | 极少 | 极多 | 丝绢 |

2) 化学成分: (1) 有机组分: C、H、O、N、S、P 等, (2) 无机组分: 水、矿物杂质

三、成矿作用

1、腐泥化作用: 指生活于湖泊、海湾、泻湖中的低等生物死亡后沉向水底, 在缺氧的还原环境中, 主要通过厌氧细菌使残体中的脂肪、蛋白质等转变为腐泥的过程。

2、泥炭化作用: 指沼泽环境中高等植物残体在微生物参与下经一系列复杂的生物化学作用使残体中的纤维木质组织逐渐转变为泥炭的过程。可分为两个阶段

1) 丝炭化作用: 2) 凝胶化作用:

3、煤化作用: 由泥潭(腐泥)经物理化学作用转变为褐煤、烟煤和无烟煤的过程。分两个阶段: 1) 煤化作用: 泥炭通过压实、脱水、增碳、固结、煤化而形成褐煤的过程; 2) 变质作用: 褐煤在一定温度压力下形成烟煤后, 通过变质作用形成无烟煤的过程

四、形成条件

1、物源: 大量生物持续繁殖——成煤必要条件; 2、气候: 温暖潮湿最有利

3、古地理: 沼泽环境最理想; 4、构造运动: 沼泽下沉速度 \approx 泥炭堆积速度, 则煤层厚; 沼泽下沉速度 $>$ 泥炭堆积速度, 则为湖泊; 沼泽下沉速度 $<$ 泥炭堆积速度, 则植物残体氧化

五、煤系及煤的分布

1、煤系: 指聚煤盆地中的一套含煤层的沉积岩系, 即含煤岩系。

2、含煤岩系类型

1) 内陆型(陆相含煤岩系): (1) 内陆山间盆地型, (2) 内陆盆地型

2) 近海型(海陆交互相含煤岩系): 浅海型, 滨海平原型, 海湾型, 泻湖型

3、聚煤盆地: 指地史上为形成含煤岩系提供沉积物场所的构造成因或非构造成因的盆地。

4、煤的分布

1) 全球三大成煤期: C_3-P , J, K_2 —

2) 中国重要成煤期:

(1) C_3-P_1 , 主要分布于华北、山西阳泉、河北唐山

(2) P_2 , 主要分布于华南(芙蓉、永川、荣昌)

(3) J, 主要分布于东北鹤岗、鸡西; (4) Tr, 主要分布于东部如抚顺

§ 3 石油和天然气

一、概念

1、石油: 以液态形式存在于地下岩石孔隙中的可燃性有机矿产。天然石油也称原油。广义石油包括天然气、原油、沥青和地蜡等。

2、天然气: 指地壳中以烃类为主的天然气藏中的可燃性。

二、成因

1、无机: 1) 碳化物说, 2) 火山说, 3) 深成说, 4) 壳下说, 5) 宇宙说

2、有机: 1) 海洋生物成油, 2) 脂肪酸成油, 3) 干酪根热降解成油

干酪根: 指存在于沉积物和沉积岩中不溶于有机溶剂的有机质。干酪根成油分为三个阶段:

(1) 初期生气阶段, (2) 主要生油阶段, (3) 石油裂解生气阶段

三、油气藏

1、概念: 指一个圈闭和储藏相当数量油气的孔隙性和渗透性地体。

2、形成条件:

1) 充足的油气源: 生油岩(层)、生油母岩(油源岩)——指地质时期中曾经生成油气的岩层。其标志:

(1) 深灰色-黑色, 富含有机质; (2) 极细粒沉积物(泥质岩、碳酸盐岩)

- (3) 存在有机质分解污染及低铁化合物如黄铁矿
- 2) 良好的储集岩(层): 具有连通孔隙和渗透性的岩石或岩层
 - (1) 储集层: 凡具有连通孔隙, 使油气储集于能输油气的岩层;
 - (2) 盖层: 指在储集层之上能阻止油气向逸散的不具渗透性的岩层。如泥岩、页岩、蒸发岩(如石膏、盐)等;
 - (3) 输导层: 指沟通生油层与储集层的通道岩层。其基本形式有孔隙、裂隙, 不整合面和断层。
- 3) 大容积的有效圈闭——决定因素
 - (1) 圈闭: 又称油捕。指能阻止油气在储集层中继续运移并将其聚集起来的空间场所。
 - (2) 类型: 构造圈闭——背斜、断层、裂隙、穿刺
 - 岩性圈闭——透镜体、岩性倾向尖灭、生物礁
 - 地层圈闭——不整合、潜伏剥蚀突起
 - (3) 必备条件: 储集层、盖层和封闭
- 3、油气藏成因类型: 1) 构造油气藏, 2) 岩性油气藏, 3) 封闭油气藏

四、天然气成因类型

- 1、生物成因天然气;
- 2、与成油作于有关的天然气(干酪根热降解)。又分为 1) 油田气和 2) 凝析气(气田气)
- 3、煤成气(煤变质过程中生成的天然气, 即瓦斯)。其形成过程为:
 - 1) 老褐煤到长焰煤; 2) 长焰煤到焦煤; 3) 焦煤到次石墨

叠生矿床篇

第十六章 变质矿床

§1、概念及特点

一、概念

- 1、变质矿床: 指早期形成的岩矿石经变质作用改变其原来的形状、组构和组份, 使原来的物质组份发生强烈改造或活化转移、富集形成的矿床。
- 2、受变质矿床: 指原先形成的矿床经变质作用使原先的矿体形态、矿石组构、组份发生不同程度的变化, 但未改变其工艺技术特性的一类矿床。如沉积菱铁矿床变质成铁矿床
- 3、变成矿床: 原来的岩石受变质作用形成矿床或原来的矿床经变质作用形成具另一种工艺技术特性的矿床。如煤——→石墨, 石灰岩——→大理岩

二、特点

- 变质矿床特点受原岩或矿床的控制, 也受变质程度控制。
- 1、矿床产于区域构造运动或演讲活动的变质岩系中
- 2、矿床具明显的矿物相水平分带:
 - 沸石相, 绿片岩相, 蓝闪石片岩相, 角闪石相, 麻粒岩相, 榴辉岩相:
- 3、矿体形态产状规模受下列因素影响
 - 1) 原岩矿性质, 如内生矿床形态复杂; 沉积矿床相对规则, 同步褶皱, 规模亦大
 - 2) 变质作用: 区域变质的一般较规则, 规模亦大; 接触变质的复杂, 规模较小
 - 3) 变质程度: 变质浅, 保留原岩形态; 变质深, 则形态复杂
- 4、矿石组构
 - 1) 变余组构: 反映原岩矿的特征组构, 土沉积变质形成的条带状、变余条带状、皱纹状构造, 细-隐晶结构、变余结构、揉皱结构
 - 2) 变成组构: 如片状、片麻状、斑杂状、角砾状、脉状、网脉状构造, 变晶结构、压碎结构、嵌晶结构
- 5、矿石组份: 除沉积浅变质矿床组份较简单外, 一般较复杂, 尤其是内生矿床、深变质矿床。主要矿物有

- 1) 自然元素：如自然金，石墨
- 2) 氧化物类：如磁铁矿、赤铁矿、钛铁矿、金红石
- 3) 含氧盐类：如磷灰石、菱铁矿、菱镁矿
- 4) 硅酸盐类：红柱石、矽线石、蓝晶石、蛇纹石、滑石
- 5) 硫化物类：黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿
- 6、主要矿种有：Fe、Au、Cu、P、Ti、Pb-Zn 等。

§ 2 形成条件

一、原岩条件

原岩建造的含矿性是形成变质矿床的物质基础，不同的原岩建造可形成不同的矿化。

- 1、沉积型原岩建造：含铁变质建造，含铁石英岩建造
- 2、古火山及火山沉积型原岩建造：含硫化物变质建造，块状硫化物建造，含 Au-U 变质砾岩建造
- 3、岩浆型原岩建造：含钨变质建造，含硼钠长石建造

二、地质条件

- 1、地质时代，以前寒武纪变质岩分布最广
 - 2、不同变质相形成不同的变质矿床
- 沸石相：自然铜、铁矿（甘肃镜铁山）
 绿片岩相：铁矿（山西五台地区）、黄铁矿型矿床（祁连山）、块状硫化物矿床、石墨等。
 蓝闪石片岩相：硬玉矿床
 角闪石相：弓长岭铁矿、受变质硫化物矿床、刚玉
 麻粒岩相：铁矿（辽西、冀东）、磷灰石矿床（江苏东海）
 榴辉岩相：金红石矿床（江苏）

三、物理化学条件

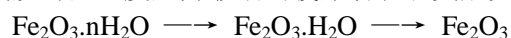
温度、压力及气水溶液对成矿有重要意义

- 1、温度：使岩矿石发生变质作用最主要因素
- 低温变质相（111-450℃）前绿片岩相、绿片岩相
 中温变质相（400-650℃）绿帘石角闪石相
 高温变质相（600-800℃）麻粒岩相、角闪岩相
- 2、压力（ 10^8Pa ）
- 低压（1.5-2.0）绿片岩相；中压（2.0-2.5）绿帘石角闪石相；高压（4.2-4.4）麻粒岩相
- 3、气水溶液 H_2O 、 CO_2

§ 3 成矿作用及矿床类型

一、变质成矿作用方式

- 1、脱水作用：变质时因温度压力影响而使原岩矿石变成少含水或不含水矿物的过程



- 2、重结晶作用：高温高压下使原非晶质矿物变为晶质、隐晶质矿物逐渐结晶的过程。
- 如：胶黄铁矿 \longrightarrow 晶质黄铁矿，蛋白石 \longrightarrow 石英，

- 3、氧化还原作用：使矿物中发生低价离子氧化为高价离子或高价离子还原为低价离子的过程。如黄铁矿通过氧化作用形成磁铁矿

- 4、重组合作用：变质时原矿物趋于消失而重新组合形成新矿物的过程

粘土矿物 \longrightarrow （高温中压）红柱石，
 \longrightarrow （中温高压）蓝晶石
 \longrightarrow （中温中压）矽线石

- 5、交代作用：变质作用宣传弹热液与原岩矿石发生一系列旧矿物被新矿物所取代的过程。

- 6、变形作用：浅部岩矿石发生脆性变形而形成裂隙构造；深部岩矿石内部物质塑性流动发生塑性变形而形成同步褶皱

- 7、碎裂作用：当外力超过岩矿石弹性极限时发生破裂而形成角砾状构造、碎裂结构、压力双晶结构等。

二、变质成矿作用

1、接触变质成矿作用

1) 概念：主要是由于岩浆侵位引起围岩温度增高通过重结晶作用和重组合作用而使有用矿物聚集成矿的作用，又称岩浆热变质作用。如煤→石墨，灰岩→大理岩，黄铁矿→磁黄铁矿

2) 成矿作用方式：重结晶作用和重组合作用

3) 主要矿种：铁、大理岩、石墨、金云母等

2、区域变质成矿作用

1) 概念：在广大地区内，由于区域构造运动的影响，一般在高温高压及岩浆活动的联合作用下，使原来的岩矿石经受强烈的改组和改造使有用矿物聚集成矿的作用。

2) 主要成矿作用方式：重结晶、重组合作用及变质交代作用。

3) 主要矿种：铁（鞍山式）、金（Witwatersrand）、铜、铀、磷、菱铁矿、石墨、石棉等。

3、混合岩化成矿作用

1) 概念：指区域变质作用形成的深层褶皱带变质岩向混合岩浆转化，经各种交代作用使有用物质迁移、富集成矿的过程。

2) 成矿作用方式：交代作用、重结晶作用

3) 成矿作用阶段

(1) 主期交代重结晶阶段

①区域变质作用后深部流体或岩石部分熔融成混浆——长英质熔浆；②硅酸盐矿物重结晶，局部富集成矿（非金属，如云母、刚玉、磷灰石、稀土元素及伟晶岩型矿产）；③熔浆的碱质交代，K、Na、Si等带入，Fe、Mg、Ca等带出；④形成富Fe、Mg、B等热液

(2) 中晚期热液交代阶段

①Fe、Mg质交代作用，磁铁石英岩建造→富铁矿体；②B质交代，富硼建造→富硼热液，形成电气石，镁质大理岩→硼酸岩

4) 主要矿种：Mg、Fe、B、P、U、Cu、Au、REE等

4、动力变质成矿作用

5、埋藏变质成矿作用

6、冲击变质成矿作用

三、矿床分类

1、按变质前后岩矿石工艺类型特征

1) 变成矿床

2) 受变质矿床

2、按成矿作用

1) 接触变质矿床：湖南鲁塘石墨矿床

2) 区域变质矿床：弓长岭铁矿

3) 混合岩化矿床：辽宁宽甸硼镁铁矿

§ 4 大理石矿床

一、概念

1、大理石：为一种建筑饰面石材。由我国云南大理苍山所产出的一种色泽绚丽、花纹美观的岩石而得名。国内外把具有装饰性能的类似岩石都叫做大理石——商品名称。包括各种结晶的方解石、白云石或蛇纹石为主要成分的碳酸盐-硅酸盐岩石，可以是灰岩、藻礁灰岩、大理岩、蛇纹石化橄榄石砂卡岩等。

2、建筑饰面石材的商品分类

1) 大理石类：大理岩、石灰岩、生物灰岩、蛇纹岩

2) 花岗岩类：花岗岩、闪长岩、正长岩、辉长岩、混合岩、辉绿岩

3) 板石类：板岩

二、大理石矿床类型

1、成矿作用

1) 沉积成岩作用

- 2) 变质成矿作用
 - (1) 区域成矿作用
 - (2) 接触成矿作用
 - (3) 混合岩化成矿作用

2、矿床类型

- 1) 按原岩及岩性
 - (1) 碳酸盐岩型：石灰岩型 白云质灰岩型 白云岩型
 - (2) 镁质碳酸盐-硅酸盐型：矽卡岩、橄榄岩
- 2) 按成因
 - (1) 沉积型
 - (2) 区域变质型
 - (3) 接触变质型

三、主要大理石矿床特征

1、沉积（碳酸盐）型大理石矿床——我国大理石矿床的重要类型之一

1) 原岩类型——碳酸盐岩型

石灰岩，如杭灰 石炭纪纯石灰岩，浙江杭州石龙山

含化石或特殊构造石灰岩，金玉 黄或浅绿色泥质条带灰岩

红白宝螺 藻礁灰岩，安徽灵璧毛耳山

紫豆瓣 寒武纪紫红色竹叶状灰岩，山东

白云质灰岩、白云岩 墨玉 含白云质鲕状灰岩

黄河玉 条纹白云岩

苍白玉 白云岩、白云质灰岩 云南大理点苍山

2) 特点

- (1) 主要为浅海相条件下由化学或生物化学作用形成的碳酸盐岩
- (2) 矿体一般呈厚层状，颜色花纹较稳定，规模大
- (3) 矿石多为块状、条纹状、条带状、鲕状、竹叶状、豹皮状及各种生物构造，泥晶、亮晶结构。

(4) 矿石主要矿物成分为方解石、白云石，主要化学成分 CaO 、 MgO 、 CO_2

(5) 可拼性好，层状节理发育，利于开采

2、变质型大理石矿床——我国大理石矿床的重要类型

1) 原岩类型：主要为沉积碳酸盐岩型

纯碳酸盐岩，汉白玉 白云石大理岩 北京房山

曲阳玉 太古代大理岩 河北曲阳

雪花白 早元古代白云石 山东掖县

宝兴玉 大理岩 四川宝兴

秋景 大理岩 湖北黄石铁山

含变质的碳酸盐岩 香蕉黄 蛇纹石化大理岩 陕西潼关

金玉

莱阳绿

2) 特点

- (1) 主要由沉积碳酸盐岩层区域变质作用而形成的大理岩
- (2) 矿体呈巨厚层状，色泽基本一致，规模巨大
- (3) 矿石主要为块状、花纹状、条带状、斑杂状、皱纹状、云雾状构造，粗晶、粒状、斑晶结构

(4) 矿石主要矿物成分为方解石、白云石，化学成分主要为 CaO 、 MgO 、 CO_2

(5) 拼接性较好，层状节理发育，利于开采

第十七章 层控矿床

§1 概述

一、概念

1、广义：指那些受层状岩石控制的矿床。指形态特征，而非成因意义，不管是同生的、后生的，还是岩浆矿床，只要是呈层状的矿体如沉积的石膏矿床、石盐矿床、煤、磷块岩矿床，甚至风化矿床（如福建漳浦铝土矿）、岩浆矿床（如攀枝花钒钛磁铁矿矿床），因其呈层状而统称为层控矿床。

2、狭义：指赋存于一定地层层位中，经多种成矿作用形成的矿体，其形态呈层状，或基本呈层状，包括部分不规则状，但仍受层位控制的矿床。

来源：陆源、内源

成矿期：同生、后生

成因：外生、内生

3、研究进展：1937年德国慕尼黑大学 A.Maucher 提出了分布于阿尔卑斯造山带中的一些多金属硫化物矿床具有“层控”特征；1967年发表有关论文，1976年第25届国际地质大会将“层控矿床”作为重要专题进行讨论，相继出版发行专集。50-60年代我国孟宪民曾提出“顺层找矿”70年代先后翻译了《层控矿床和层状矿床》1-9卷；国内出版了有关专著。

二、基本特征

1、区域分布：矿产具成群成带展布和一定“层相位”集中的特点，如川滇地区的铅锌矿

2、层位：矿床产于一定地层层位中，具“时控”特征，南岭铅锌矿主要产于泥盆纪地层

3、矿源层：指成矿物质在沉积成岩时已初步富集并能在后生期被活化迁移出来的岩层。矿源层与储矿层（含矿层）可是同一地层，也可是不同层位。生油层与储油层

4、岩相：矿床产于特定岩相，常具多层矿化特点。不同建造可形成不同的矿床，如

1) 红色碎屑岩建造、膏盐共生的矿床有 Cu、V、K、U、Pb、Zn、Sr 等，如云南金顶铅锌矿床；

2) 黑色硅泥岩建造中的 Ni、Mo、V、U、Cu 多金属矿床，如中欧页岩型铜矿，广西乐平铅锌矿床，湘西黑色页岩型镍钼矿床；

3) 碳酸盐建造中的 Cu、Pb、Zn、Fe、Mn、Au、Ag、Hg、Sb、W、Sn 等矿床，如东川铜矿床、MVT 型铅锌矿床；

4) 火山沉积建造中的 Cu、Au、Zn、Fe、Mo 及磁铁矿床。如云南大红山铜矿床、甘肃白银厂黄铁矿型铜矿床。

5、矿体形态：矿体呈层状、似层状、透镜状，多与地层整合产出，少数不规则状穿层矿体，但其矿化范围仍局限在一定地层层位中。

6、矿石：矿石组构组分：矿石即可能残留有典型的沉积组构，又具有明显的热液活动标志，如充填交代重结晶组构；组分上，沉积改造的相对简单，火山沉积改造及岩浆叠加的组分相对复杂；围岩：一般具有中低温围岩蚀变

7、矿体的富集与局部构造关系密切，有时与岩浆侵入体有关

8、成因：矿床具“三多”特点，即多来源、多阶段和多成因。早期外生作用成矿物质的初步富集，后期内生作用叠加改造，同生沉积与后生作用

三、研究意义

1、工业意义

1) 层控矿床分布广、规模大、品位较稳定，故在国民经济中占有重要地位。据不完全统计，层控矿床的矿产储量约占矿产总储量的 70%以上。其中铅锌矿约占世界铅锌矿总储量的 90%以上，汞锑矿、金矿约占 80%以上，铁矿约占 60%，铜矿约占 50%。

2) 矿体顺层分布，形态规则，便于现代化机械开采。

2、理论意义

1) 突破了单一成矿理论，将外生与内生、单因与复因、单阶段与多阶段、同生与后生、

浅部与深部成矿作用等相互对立的因素有机地联系起来,。这是对矿床学科的重大贡献。

2) 有利于指导找矿实践。如“顺层找矿”,利用矿物共生组合找矿等。

3) 地层对比的辅助标志。利用其时控性对比“哑”地层或遭受强烈变形地区的地层。

§ 2 成矿作用

一、成矿物质的初步富集——矿源层

1、成矿物质来源

1) 成矿元素:(1) 陆源,(2) 海源,(3) 幔源

2) 成矿流体:(1) 地表水,(2) 地下水

3) 搬运方式:(1) 机械,(2) 悬浮,(3) 胶体,(4) 真溶液

2、成矿作用:

(1) 同生沉积作用,

(2) 成岩作用

二、成矿物质的活化迁移

1、活化转移介质——含矿溶液(成矿流体)

1) 表生:地表水、地下水、热卤水

2) 内生:深层循环热液、变质水、岩浆水

2、物理化学作用

1) 温度(T)、压力(P):溶解物质

2) Eh、pH:溶解物质

3) 挥发组分:盐类物质与气体,活化剂、搬运剂

4) 金属络合物:提高溶解度,利于成矿物质迁移

3、生物化学作用

1) 微生物氧化还原作用:生物自身的生命活动过程产生 CO_2 、 O_2 、 H_2 、 H_2S 等,将改变环境物理化学条件,尤其是 pH、Eh,从而促使金属元素迁移能力变化而成矿;微生物还参与硫酸盐的还原作用,提供大量硫;

2) 金属有机络合作用:促使金属离子在水溶液中形成稳定度较高的金属-有机络合物进行迁移,并对成矿元素产生吸附、螯合和化学反应;

3) 选择性吸附:微生物通过自身躯体或器官的吸收、表面吸附成矿元素,使其直接沉淀、富集;

4) 有机酸护胶:有利于金属离子的迁移。

三、后生叠加改造再富集作用

1、概念:

1) 改造成矿作用:指原始分散状态的成矿元素或物质经后期地质作用在矿源层中活化迁移,并使有用物质聚集成矿的过程。

2) 叠加成矿作用:指在原来矿床基础上后来又有新的成矿作用和成矿物质叠加上去的作用。

3) 再造成矿作用:指一个矿床形成后,经后来的地质作用改造时,转变为其它矿床类型的作用。

2、富集作用类型

1) 火山-喷流成矿作用

形成一系列与海底喷溢、喷气、热液活动有关,主要以块状硫化物为主的矿床,故通常称之为块状硫化物矿床(Massiv Sulfide Deposits, 简称为 MSD),或火山成因块状硫化物(Volcanogenic Massiv Sulfide, 简称为 VMS) 矿床,如日本黑矿、塞浦路斯,我国辽宁红透山、甘肃白银厂等。(3)“对流循环”成矿模式——火山喷气成矿

R.W.Hutchinson (1985)

2) 喷流-沉积成矿作用

为非火山环境的喷流-沉积(sedimentary-exhalation, 简称 Sedex) 矿床.主要产于陆源碎屑岩-碳酸盐建造内。如加拿大 Sullivan (苏利文), 澳大利亚 McArthur (麦克阿瑟), 我国内蒙古东升庙, 甘肃西城等。

3) 盆地热卤水成矿作用

主要产于浅海相碳酸盐岩建造中,以铅锌矿尤甚.最著名的是美国密西西比流域型(Mississippi valley type,简称 MVT) 铅锌矿床,西欧的西里西亚型铅锌矿床。我国类似矿床有广西泗顶,广东凡口,云南金沙厂等铅锌矿床。

4) 地下水叠加改造作用

主要为发育于陆源碎屑岩建造中铜铅锌钼矿床。最著名的砂岩型铜矿床有中非铜带,前苏联的乌多坎铜矿床,我国金顶铅锌矿床。

(1) “红层模式”——砂岩型铜铅锌矿床

J.C.Samama (1969)

(2) “萨布哈”成矿模式——蒸发岩与金属矿床共生

A.R.Renfro (1974)

5) 变质叠加改造作用:通过变质热液对原沉积岩或火山沉积岩中的成矿物质进行活化迁移和再沉积的富集作用。据报道, 1km^3 的岩石,通过变质作用可形成 1 亿吨变质水。如澳大利亚芒特艾萨铜铅锌矿床,在变质热液作用下,活动性较大的铜由矿源层迁移到其上盘的硅质白云岩中富集成矿;而铅锌比铜略惰性则滞留在黑色页岩层中。

通过变质热液对原沉积岩或火山沉积岩中的成矿物质进行活化迁移和再沉积的富集作用。据报道, 1km^3 的岩石,通过变质作用可形成 1 亿吨变质水。如澳大利亚 Mount Isa(芒特艾萨)铜铅锌矿床、乌克兰克里沃罗格铁矿床,四川拉拉铜矿床、云南东川铜矿床、辽宁弓长岭铁矿床等。

6) 岩浆气液叠加改造作用:指在先期形成的同生矿床(或矿源层)之上,又为后期岩浆热液带来的成矿物质所叠加改造再富集的作用。铜官山铜矿指赋存于沉积建造中的各类矿床,成矿后可能受岩浆侵入作用而发生变化或叠加作用。典型的是层控矽卡岩矿床,如长江中下游地区铜官山,冬瓜山等铜矿床。

§ 3 矿床类型

一、按主岩

- 1、砾岩型;
- 2、砂岩型;
- 3、页岩型;
- 4、碳酸盐岩型;
- 5、变质岩型;

二、按矿体与含矿建造

1、准同生层控矿床:矿体与含矿建造的形成时间间隔不远,同处于一个大地构造旋回中的层控矿床。

2、后生层控矿床:矿体与含矿建造之间整合程度较差,围岩蚀变和交代作用较强烈的层控矿床。

三、按成矿作用

- 1、改造型
- 2、叠加型
- 3、叠加改造型
 - 1) 火山-喷流叠加改造型
 - 2) 喷流-沉积叠加改造型
 - 3) 盆地热卤水叠加改造型
 - 4) 地下水热液叠加改造型
 - 5) 变质热液叠加改造型
 - 6) 岩浆热液叠加改造型

四、按大地构造—含矿建造—成矿元素三级划分

以美国密西西比河谷型铅锌矿床为例——地台型—冒地槽型碳酸盐建造中的铅锌矿床其特点:

- 1、产于稳定地台盆地边缘的巨厚碳酸盐岩建造
- 2、矿体呈巨厚层状、似层状,规模大(单个长 1-2km,厚 30-60m),

- 3、矿石多具浸染状、细脉状构造，有时有角砾状、纹层状构造
- 4、矿石成分简单，金属矿物主要为方铅矿、闪锌矿，次为黄铁矿、白铁矿及少量黄铜矿；非金属矿物主要有白云石、重晶石、萤石、方解石等，有时含菱铁矿、铁白云石及非晶质二氧化硅。
- 5、围岩蚀变不明显，白云石化较普遍。
- 6、成矿温度较低，一般为 80-150℃，有时接近 200℃；成矿溶液具高密度（ $1.18 \times 10 \text{kg/m}^3$ ），运移速度很慢；中等盐度（15-20%），为富含有机质的 Cl-Na-Ca 型卤水
- 7、与岩浆活动无直接联系，成矿物质主要来于围岩
- 8、成矿时代晚于围岩，属后生矿床。

成矿规律

第十八章 成矿控制与成矿规律

§1 成矿控制

一、概述

1、成矿控制：指控制和影响矿床形成及其时空分布特征的各种地质、地球化学等因素的总称。不同成因矿床具有不同的控矿因素。

2、主要成矿控制因素：包括区域地球化学、构造、岩浆岩、地层、岩相建造、岩性及剥蚀深度等。

二、区域地球化学

1、元素的丰度：元素在地质体中的平均含量

2、元素的区域性分布：不均匀分布——地球化学省。如

南岭地区：W、Sn、Be、Nb、Ta，川滇地区：Cu、Pb、Zn、P

湘黔川三角带：Hg、As、Sb，长江中下游：Fe、Cu，山东昭远：Au

三、构造：

构造运动是驱使地壳物质运动的主导因素，它是矿液运移的动力。构造不仅为含矿流体提供矿液流动的通道，而且为矿液沉淀提供堆积的空间。其分类很多，如

1、按在成矿中的作用：1) 导矿，2) 配矿，3) 容矿

2、按成矿时间先后：1) 成矿前构造，2) 成矿期构造，3) 成矿后构造

3、按成矿构造规模：

1) 成矿带，2) 成矿区，3) 矿带，4) 矿田构造，5) 矿床构造

4、按构造形迹

1) 褶皱构造，2) 断裂构造，3) 岩体构造

4) 火山构造，5) 层状构造，6) 复合构造

四、岩浆岩：

岩浆活动是内生成矿作用的重要因素。在成矿中有物源和热源作用。

1) 成矿专属性：不同岩石类型提供不同的成矿元素：超基性岩：Fe、Co、Ni、Cr、Au；基性岩：Ti、V、Mn、Cu、Pb、Zn、As；中性岩：Ti、V、Cu、As、Zr、Ta 等；酸性岩：Li、Be、Nb、Ta、W、Tl 等...

2) 重熔型岩体不一定具专属性

五、地层（时控性）

我国沉积矿产主要分布时期

1、铁矿：中元古代——宣龙式铁矿，如庞家堡铁矿床

中泥盆统——宁乡式铁矿，如宁乡铁矿床

2、锰矿：中元古代——辽宁瓦房子锰矿床

寒武纪——湖南湘潭锰矿床

二叠纪——贵州遵义锰矿床

- 3、铝土矿：石炭纪——河南巩县铝土矿床
二叠纪——贵州修文铝土矿床
- 4 磷矿：震旦纪——贵州开阳、湖北宜昌
寒武纪——云南昆阳、四川汉源
泥盆纪——四川什邡
- 5、盐矿：三叠纪——四川威西盐矿床
白垩纪-第三纪——湖北应城
- 6、煤矿：石炭纪-二叠纪——河北唐山、山西阳泉
侏罗纪——山西大同、东北鹤岗
第三纪——辽宁抚顺
- 7、硅藻土：第三纪——吉林珲春、四川米易

六、岩相建造

- 1、红色碎屑岩建造：盐类矿床及有关金属矿床
- 2、冲击碎屑岩建造：Au、Sn、Pt 族、金刚石
- 3、黑色砂页岩建造：Cu、Ni、Mo、U..
- 4、火山沉积建造：块状硫化物矿床
- 5、碳酸盐建造：Cu、Pb、Zn 多金属矿床
- 6、含煤建造：煤、铝土矿
- 7、风化壳建造：Fe、Al、Ni、粘土矿
- 8、细碧角斑岩建造：Cu、Fe、Mo、Au、Pb、Zn 等

七、岩性

- 1、物理性质：孔隙度、渗透性、抗压强度等
- 2、化学性质：交代与充填作用

八、剥蚀深度：

地壳抬升——剥蚀或埋藏浅——风化
地壳下降——埋藏深——变质

§ 2 成矿规律

一、概念：

1、成矿规律：指矿床形成的空间关系、时间关系、物质共生关系及内在成因关系等的总和。

空间关系——成矿区域；时间关系——成矿时代；物质组成及成因关系——成矿系列

二、成矿区域

1、成矿区域：指地壳中的矿产在空间上和时间上的分布都是不均匀的，在地壳中某种或某些矿产大量集中的那一部分地区。

2、全球性成矿区（带）：最著名的全球成矿带有

1) 环太平洋成矿带（环太平洋周围的中新生代构造-岩浆成矿带约 4 万 km，内带 Cu、Au 等，外带为 W、Sn、Pb、Zn）

2) 古地中海-喜马拉雅成矿带（地中海沿岸及亚洲西南部，1.6 万 km，有 Cu、Cr、Fe、Pb、Zn、Mo、W、Hg、Sb 等）

3、中国成矿带

1) 东部成矿域

(1) 内蒙-东北成矿省：Cr、Cu、Fe、Pb、Zn、REE

(2) 华北地块成矿省：Cu、Cu-Ni、V-Ti-Mt

(3) 华南成矿省：Cu、V-Ti-Mt

2) 西部成矿域：Cr、Cu-Ni、Cu

三、成矿时代

1、成矿时代：指在一个成矿区域内，在地质历史上矿床形成比较集中的时期。

2、世界部分矿产最主要的成矿时代

铁矿——三分之二产于前寒武纪

金矿——四分之三产于前寒武纪

钨矿——80%产于中生代
钼矿——85%产于中生代和新生代
铜矿——50%产于新生代，25%产于前寒武纪，15%产于中生代，10%产于古生代
煤——主要产于石炭纪-二叠纪
石油——主要产于中生代
盐——主要产于二叠纪

3、中国主要成矿时代

- 1) 太古代——鞍山运动，主要矿产为 Fe (Cu、Au)
- 2) 早元古代——五台运动，主要矿产为 Cr、Ni、Pt、Cu
- 3) 中晚元古代——吕梁运动，主要矿产为 Fe、Cu、P、Mn、C
- 4) 早古生代——加里东运动，主要矿产为 Mn、P
- 5) 晚古生代——海西运动，主要矿产为 Al、Fe、煤
- 6) 三叠纪——印支运动，主要矿产为盐、石油、Cu
- 7) 侏罗纪-白垩纪——燕山运动，主要矿产为 W、Sn、Mo、Bi、Cu、Pb、Zn、Nb、

Ta、REE

- 8) 晚白垩世——喜山运动，主要矿产为煤、石油、天然气

四、成矿系列

1、成矿系列：指在一定的地质环境这形成的，在时间上、空间上和成因上有密切联系的一组矿床类型，它们由一种或几种成矿元素组成，且包括两个以上的矿床类型。又称为矿床系列或矿床组合。

注意：1) 形成环境，2) 时空成因联系的一组矿床，3) 成矿元素一种或多种，4) 成因类型两种以上。

2、成矿系统：是指在一定地质时空域中，控制矿床形成和保存的全部地质要素和成矿作用过程，以及所形成的矿床系列和异常系列构成的整体，它是具有成矿功能的一个自然系统。

成矿系统是在一般矿床成因研究的基础上，着重从宏观上，从成矿的时间、空间、物质、运动的有机结合上，探讨区域尺度的成矿规律。

研究意义：深入认识成矿动力学机制，指导矿产勘查，并有利于将成矿学信息应用到地质学其它学科中去。论述了成矿系统与成矿系列、成矿区带的联系和区别；成矿系统的4个问题：基本要素、作用过程、作用产物和成矿后变化及保存。

3、实例：

1) 铜官山铜矿床

矽卡岩型矿床：Cu、Fe

层控矿床：Fe、S、Cu

热液型矿床：Cu、Fe

2) 宁芜火山岩型铁矿——玢岩铁矿

龙旗山式——火山沉积，竹园山式

龙虎山式——低温热液充填，梅山式——接触交代

凹山式——伟晶高温气液，陶林式——晚期岩浆-高温气液

向山式 姑山式-凤凰山式——矿浆充填、接触交代

其特点：1) ——次火山热液；2) 空、成因联系；3) 元素 Fe；4) 类型至少有5类

五、多成因矿床

1、多成因或复成因矿床

2、二次成矿作用

六、大地构造与成矿作用

1、槽台与成矿作用

1) 地槽区：早期、中期、晚期

2) 地台区：由变质基底、沉积盖层及地台形成后的岩浆岩

2、板块与成矿作用

3、地壳演化与矿床形成