# 地质矿产勘查规范与地质环境调查、灾害监测评估实用手册

（电子版）

# 第一篇

# 地质调查总论

# 第一章　地质调查概述

## 第一节　地 质 调 查

### 一、地质调查的概念与目的任务

地质调查是指对某地区的岩石、地层、构造、矿产、水文地质、地貌等地质情况进行的调查研究工作。根据地质调查工作任务的不同，主要分为两大类，即区域地质调查（简称区调）和矿产勘查。

区域地质调查工作是一项具有战略意义的基础地质工作。其主要任务是通过地质填图、找矿和综合研究，阐明区域内的岩石、地层、构造、地貌、水文地质等基本地质特征及其相互关系。研究矿产的形成条件和分布规律，为经济建设、国防建设、科学研究和进一步的地质找矿工作提供基础地质资料。

### 二、地质调查的种类

区域地质调查工作的分类，是按地质填图比例尺来划分的，即根据地质调查工作的详细程度的要求，分为：

1. 小比例尺区域地质调查（1∶1000000，1∶500000）

2. 中比例尺区域地质调查（1∶250000，1∶200000，1∶100000）

3. 大比例尺区域地质调查（1∶50000，1∶25000）

上述三种分类中常用的比例尺是 1∶1000000，1∶200000 和 1∶50000。区域地质调查工作的范围，一般是按国际分幅（经纬度），或按工作任务要求划分。大、中比例尺或区域地质调查工作的开展，首先要选择好调查的地区，选择的地区一般应符合下列原则：

1. 国民经济建设或国防建设需要的地区；

2. 成矿地质条件有利，并已具备前期地质工作相适应的研究程度；

3. 自然经济地理条件较好，或已有中、近期国家建设的发展计划，能取得较好经济效益的地区；

4. 确定调查范围时应尽量照顾国际分幅，保持图框的完整性并考虑与邻区图幅的连接。

关于小比例尺的区域地质调查工作，已在全国范围内有计划、有步骤地全面进行，一般在地质经济条件较好的地区首先开展。地质调查工作比例尺的确定，一般应按照由小比例尺→中比例尺→大比例尺的顺序进行，以使得地质研究程度的逐步深入，符合人们对地质环境由浅入深的认识规律。根据多年来地质工作的经验总结，这种逐步深入的工作方法，能取得较好的地质效果和经济效益。在特殊情况下，也可在实际的地质调查区内直接进行中比例尺或大比例尺的地质调查。

## 三、地质调查的发展概况

从19世纪80年代起到1949年，只有少数中外地质学者在一些著名的山系，如秦岭、南岭、祁连山、天山以及云贵高原、青藏高原等，做过零星的路线地质调查工作；在北京西山、江苏宁镇、湖南、江西、四川等部分交通较方便的地区填制过大、中比例尺区域地质图。然而就全国，特别是边远地区，地质调查的研究程度很低，更没有进行过综合性的区域地质调查工作。

1949年后，我国区域地质调查工作大体经历了五个发展阶段：

1.1949年至1957年，以1:1000000区域地质编图和编测地质图为主，并在部分省、自治区进行了1:200000区调的试点。通过这一时期的工作，基本上掌握了1:200000综合性区调工作方法，为在全国范围内开展1:200000区调奠定了基础。

2.1958年至1966年，基本完成了我国东部地区的1:1000000区域地质编图和编测工作，广泛开展了1:200000区调，并在个别省、自治区开始了1:50000区调试点。

3.1966年至1980年，除西藏外，全国已基本完成（台湾省未统计在内）1:1000000区调工作。1:200000区调工作在大多数省、自治区已陆续完成。并开始对部分1:200000区调图幅进行修测再版。在已完成1:200000区调的省、自治区开展1:200000区调成果资料总结。在成矿远景区带开展1:50000区域地质矿产调查试点。

4.1981年至1986年，区调工作逐渐转移到以1:50000区调为重点，继续进行边远高寒地区的1:200000区调；部分省、自治区开始编写《区域地质志》和《区域矿产总结》。

5.1986年以后，是1:50000区调工作快速发展时期。特别是1986年，原地质矿产部设立了《1:50000区调中地质填图方法研究》项目，开展我国沉积岩、花岗岩、变质岩发育区的1:50000区调填图的方法研究。项目研究的核心是把当代地质科学领域中的新理论、新观点、新技术和新方法运用到区调工作中，总结和创立一套适合我国地质特色的沉积岩区、花岗岩区和变质岩区地质填图方法。1991年项目研究的主要成果《沉积岩区1:50000区域地质填图方法指南》、《花岗岩类区1:50000区域地质填图方法指南》

和《变质岩区1:50000区域地质填图方法指南》的出版发行，标志着我国区调填图方法的研究达到了一个新水平，也标志着我国的区调工作进入了一个新的发展阶段。目前，我国所进行的主要是1:50000和1:250000区调工作，工作重点在西部地区及东部的经济发达地区，标志着我国的区域地质调查正在与国际接轨。

## 第二节　地质调查的工作程序及方法

### 一、地质调查的工作程序

地质调查工作，虽然整体上是连续的，但大致仍可划分为以下四个阶段：

1. 收集资料和设计编写阶段

这一阶段的工作内容主要包括：收集和综合工作区前人已有的地质、矿产、物探、化探、遥感资料，进行地质踏勘和航片、卫片的地质解译，编写工作设计。

野外地质踏勘应在系统收集和综合研究前人资料以及初步解释航片、卫片后进行，踏勘路线应尽可能垂直穿越工作区构造线方向，各类重要接触关系、矿化或矿产地均应布置踏勘路线。

通过本阶段工作，应力图达到了解工作区地质矿产基本特征、工作程度及前人已有资料和分析测试数据；统一岩石分类、命名方案和图例图式；选择各类剖面测制位置；编制地质、矿产草图；提出工作区地质、矿产调查中应解决的主要问题以及解决这些问题的途径、措施、方法和手段；设计所需的实物工作量、人员及仪器配置、经费及材料，完成全部工作的时间以及最终必须提交的地质成果等。

设计编写要求简明、扼要、重点突出、简详合适。

2. 野外地质矿产调查阶段

此阶段工作的主要内容包括：各类地质剖面的测制和研究；系统的路线地质填图及矿产调查；为配合地质填图而开展的物探测量、化探测量；各类样品的采集等。

本阶段的工作基本完成后，应及时综合研究编绘出工作区野外地质图（矿产图）和地质实际材料图、各类地质剖面图，作为野外地质矿产调查阶段的主要成果和后阶段加深研究工作的依据。对采集回来的各类标本、样品，应及时编录、登记、加工或处理，送样并分析鉴定，以便能及时取得分析测试数据。

3. 资料的中间性整理及野外加深研究阶段

此阶段包含着野外和室内两方面工作，且一般应先从资料的中间性综合整理工作入手。在中间性的综合整理中，既要对各地质剖面和系统填图中已获野外资料进行较全面

的综合整理研究，还应该对已收到的样品分析测试数据作初步计算、作图、统计、研究。通过这一阶段综合研究，肯定成果，并找出存在的问题，以制定野外加深研究计划，尔后进行野外加深研究工作。

4. 综合整理和报告编写阶段

地质调查的最终资料整理应在野外工作全部完成，各种原始资料已经过初步整理，并经主管部门组织野外验收通过，或已按验收意见做过野外补充工作后进行。此阶段应对所获资料进行系统整理和综合研究，编制各种成果图件，通过对工作区地质构造特征和成矿规律的总结，最后编写出地质调查报告。

## 二、沉积岩区地质调查方法

沉积岩分布地区进行地质调查的基本方法和要求，一般可归纳如下：

1. 地层剖面研究　实测地层剖面的目的是划分地层，了解其岩性、岩相、厚度、可能含有的化石情况和地球化学主要特征（含矿性），建立工作区地层展序、查明接触关系、确定地层时代和填图单位。剖面应尽量选择在地层出露完整，化石丰富，接触关系和标志层清晰，构造较简单的地段测制。各时代地层单位至少要有一至二条代表性实测剖面控制，其比例尺应根据地质调查精度确定。如 1∶50000 区域地质调查，实测剖面比例尺一般不小于 1∶5000。

2. 地质填图的基本内容　沉积岩地区填图主要观察研究地层层序、厚度、接触关系、岩性、物质成分、沉积特征（沉积相标志、沉积旋回、韵律等），可能含有的化石及产出状况、标志层，含矿层及其变化等，并确定或阐明地层时代，以及沉积作用与成矿作用的关系等。对大面积的第四纪堆积物，除一般的沉积层和沉积学方面的观察研究内容外，还要注意了解可能赋存的矿产、古风化壳、古土壤及文化层等。

## 三、花岗岩类区地质调查方法

我国花岗岩类岩石分布十分广泛，其出露面积达 850550km$^2$，约占岩浆岩出露总面积的 86.5%，下面主要介绍花岗岩类分布区地质调查方法。

1. 花岗岩类岩体剖面的测制　岩体剖面的测制是在花岗岩类发育区最基本的工作方法之一。剖面应选择在出露较好、露头基本连续、垂直岩体内部构造线、接触关系清楚且构造简单的地段。花岗岩类岩体剖面研究的目的可以解决花岗岩类岩体不同组合类型、岩体之间和内部的接触关系，划分出单元和归并超单元；可以了解每一岩石单元内部的岩性变化情况及超单元内部的同源演化序列的变化情况；建立侵入的相对序次；查明岩体与围岩的接触关系以及岩体形成时代、岩体的变形构造及就位机制等。通过对剖

面的详细采样，还可以获得单元、超单元的岩石学、岩石化学、矿物学、地球化学、成岩温度、含矿性等方面有价值的资料。更重要的是通过剖面测制，可以提供建立岩石谱系单位的各种地质资料。

2. 花岗岩类区地质调查的基本内容　圈定花岗岩类岩石的分布范围，查明花岗岩类岩体与其他岩石（沉积岩、变质岩、火山岩等）之间的接触关系，确定花岗岩类岩体的形成时代；辨别岩石成分和结构构造特征，正确地划分岩石类型；查明岩体之间的接触关系，特别是岩体内部的接触关系，包括明显的和隐蔽的侵入接触关系；弄清同一类型岩石之间和不同类型岩石之间的空间和时间关系，特别是同源岩浆序列各单位的形成序次和空间展布规律；按岩石谱系单位的原则，建立花岗岩类岩体等级体制，建立单元，归并超单元，有条件时还应进一步归并超单元组合；调查花岗岩类岩体内部各种变形构造，为分析花岗岩类岩体就位机制提供素材；根据花岗岩类岩体中所含矿物组成及其含量，岩石化学成分和地球化学资料等论证同源岩浆演化的基本规律；根据同位素年代学资料，论证岩体的形成时代、序次及其相关性；研究深成岩体内部具体构造岩浆单元与成矿关系，建立成矿模式。

## 四、变质岩区地质调查方法

1. 填图方法选择　在地壳表面和一定深度内，存在着一类重要的岩石类型，称为变质岩。其主要的岩石种类有千枚岩、片岩、变粒岩、斜长角闪岩、片麻岩、大理岩以及角岩等。在相当多的地区内，它们往往与混合岩、花岗质岩石共生，在另一地区，它们又和一超基性岩，如蛇纹岩等形成特殊的组合。根据变质程度大致可将变质岩分为片麻状花岗杂岩（深变质岩）、成层无序变质岩系夹成层有序变质岩（中变质岩）和成层有序变质岩系夹成层无序变质岩带（浅变质岩）三类。在不同类型的变质岩区进行地质填图，应分别选择相应的方法。即在成层有序变质岩系中采用构造地层法，在成层无序变质岩系中采用构造——岩层法，在片麻状花岗杂岩中采用构造岩石——事件法。

2. 变质岩区填图工作主要包括：穿越路线，控制地质体及重要界线；追索标志层组合（或标志层、特殊岩性等），确定其分布延伸状况；进行关键地区的构造解剖，确定区内构造形式；测制构造地层（岩石）剖面，恢复和建立地层（原岩）系统；针对工作区和区域构造关系，做必要的区域构造调查；采集各类样品，进行室内鉴定分析，特别是对重要的构造定向标本要进行观察研究。关于上述工作大体可按先填制构造岩性图，再进行关键地区构造解剖，后测制构造地层（岩石）剖面的程序进行。通过上述工作，要基本确定区内主要构造形式，以及多期叠加褶皱对地层层布的控制；通过变质地层的分析研究，建立较正确的地层层序，合理划分填图单位；了解区内构造变形与变质作用、岩浆活动、成矿作用的关系，初步建立起区内地质事件演化表。

# 第二章 矿物和岩石

## 第一节 矿物的形态

### 一、晶质体和非晶质体

在已知的三千余种矿物中，除个别以气态（如碳酸气、硫化氢气等）或液态（如水、自然汞等）出现外，绝大多数均呈固态。固态物质按其质点（原子、离子、分子）的有无规则排列，可分为晶质体和非晶质体。在晶质体中，习惯上还根据肉眼对晶粒的能否分辨而分为显晶质和隐晶质两类。大多数矿物是晶质的，但非晶质矿物，特别是其中的胶体矿物，也有一定的数量。

晶质体内部质点（原子、离子或分子）都是按规律排列的。这种规律表现为质点在三维空间作周期性的平移重复，从而构成了所谓的格子构造，即表示这种重复规律的几何图形。因此，按照现代的概念，凡是质点按规律排列具有格子构造的物质即称为结晶质，结晶质在空间的有限部分即为晶体。例如岩盐（NaCl），由于其内部的 $Na^+$ 和 $Cl^-$ 在空间的三个方向上按等距离排列，所以外表就呈现出立方体的晶形（图 1－2－1）。

然而在多数情况下，由于受生长条件的限制，矿物晶形的发育常常是不很完善的，但只要其内部的质点是按规律排列的，仍不失其结晶的实质。

非晶质体中内部质点的排列没有一定的规律，所以外表就不具有固定的几何形态。例如蛋白石（$SiO_2 \cdot nH_2O$）、褐铁矿（$Fe_2O_3 \cdot nH_2O$）等。

应该指出，晶质和非晶质并非一成不变的，在一定的温度、压力条件下是可以相互转化的。例如结晶的铁氢氧镁石可以变为非晶质，而蛋白石则可以转化为结晶的石英。

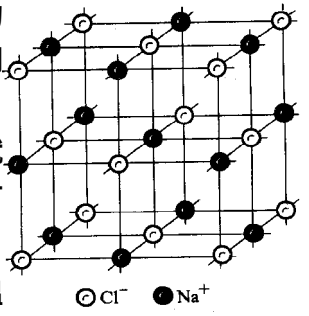



图 1－2－1 岩盐晶体构造

## 二、矿物的单体形态

矿物的形态是指矿物的单体及同种矿物集合体的形状而言。在自然界，矿物多数呈集合体出现，但是也出现具有规则几何多面体形态的单晶体，所以矿物单体形态就是指矿物单晶体的形态。

单晶体形态可分为两种，一种是由单一形状的晶面所组成的晶体，称为单形。如黄铁矿的立方体晶形，就是由六个同样的正方形晶面所组成的；磁铁矿的八面体晶形，则是由八个同样的等边三角形晶面所组成的。另一种是由数种单形聚合而成的晶体，称为聚形。如石英的晶体通常是由六方双锥和六方柱这两种单形聚合而成的（图 1－2－2）。

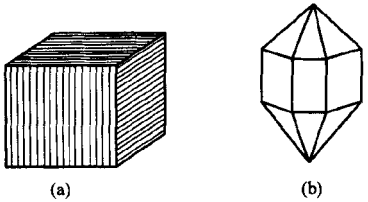



图 1－2－2　单形和聚形
（a）—黄铁矿的单形；
（b）—石英的聚形

应该指出的是，我们这里所说的晶体形态是理想晶体的形态。所谓理想晶体，它的内部结构应严格地服从空间格子规律，外形应为规则的几何多面体，面平、棱直，同一单形的晶面同形等大。

但是，实际上晶体在生长过程中，真正理想的晶体生长条件是不存在的，总会不同程度地受到复杂的外界条件的影响，而不能严格地按照理想发育。此外，晶体在形成之后，还可能受到溶蚀和破坏。因此，实际晶体与理想晶体相比较，就会有一定的差异。

实际晶体在外形上与理想晶体也常有一定的差别。晶面并非理想的平面，同一单形的晶面也不一定同形等大，而且，有时还不一定全部都出现，从而形成所谓“歪晶”。

还应注意，同一种矿物因其形成时物理化学条件的不同，可以出现几种不同的晶形。例如磁铁矿的晶体除有八面体的单形外，还有菱形十二面体的单形以及八面体和菱形十二面体的聚形（图 1－2－3a、b、c）。而不同的矿物又可以有相似的晶形，如岩盐、萤石、黄铁矿等都可以呈现立方体的晶形。这在鉴定矿物时是必须注意的。

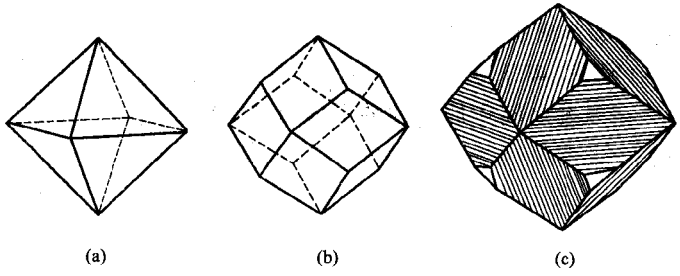



图 1－2－3　磁铁矿的几种晶形
（a）—八面体；（b）—菱形十二面体；（c）—八面体和菱形十二面体的聚形

同种矿物的两个或两个以上的晶体，其中相邻两晶体，一个恰好是另一个的映像，或者一个正好相当于另一个旋转 180°的位置，则此两个或两个以上规则的连生体就称之为双晶。例如石膏的燕尾双晶、萤石的贯穿双晶以及斜长石的聚片双晶等（图 1－2－4）。

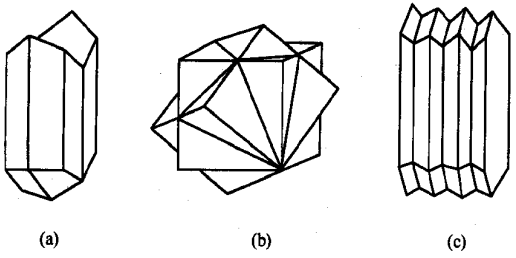



图 1－2－4 几种双晶形式

（a）—石膏的燕尾双晶；（b）—萤石的贯穿双晶；（c）—斜长石的聚片双晶

矿物的形态虽然众多，但就其在空间的发育状况即结晶习性而言，主要有一向延长、二向延长和三向延长三种。

（一）一向延长

晶体沿一个方向发育，成柱状（如角闪石）、针状（如电气石）。

（二）二向延长

晶体沿两个方向发育，成板状（如重晶石）、片状（如云母）。

（三）三向延长

晶体在空间的三个方向上发育均等，成等轴粒状（如磁铁矿）。

## 三、矿物集合体的形态

在自然界中，晶质矿物很少以单体出现，而非晶质矿物则根本没有规则的单体形态，所以常按集合体的形态来识别矿物。同时，由于集合体的形态往往反映了矿物的生成环境，因而对研究矿物的成因，有着很大的意义。自然界中矿物的集合体形态很多，常见的有如下 8 种。

（一）晶簇状

一种或多种矿物的晶体，其一端固定在共同的基底之上，另一端则自由发育成比较完好的晶形，显示它是在岩石的空洞内生成的，这种集合体的形态，称之为晶簇。如石英、方解石的晶簇（图 1－2－5）。

（二）粒状

是由各向均等发育的矿物晶粒所集合而成的。按粒度的大小可分为粗粒、中粒和细

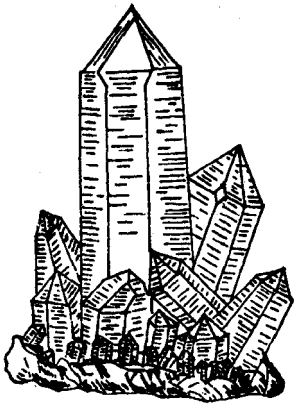


图1-2-5　石英晶簇

粒三种，当颗粒过于细小，以至肉眼无法分辨其界限时，一般称为致密块状。如块状磁铁矿；按颗粒集结的紧密与否又可分为三种，即集结紧密者称致密状，集结疏松者称疏松状，松散未被胶结者称散粒状。

（三）鳞片状

是由细小的薄片状矿物集合而成。如辉钼矿、石墨。

（四）纤维状和放射状

是由针状或柱状矿物集合而成。如果晶体彼此平行排列，称为纤维状，如蛇纹石、石棉；如果晶体大致围绕一个中心向四周散射者，则称为放射状，如电气石。

（五）结核状

集合体呈球状、透镜状或瘤状者，称为结核状。它是晶质或者胶体围绕某一核心逐渐向外沉淀而成的，因而其横断面上常出现放射状或同心圆状，如沉积形成的黄铁矿和菱铁矿结核。颗粒像鱼子那样的结核状集合体，称之为鲕状，如鲕状赤铁矿。

（六）钟乳状

是溶液或胶体因失去水分而逐渐凝聚所形成，因此它往往具有同心层状（即皮壳状）构造，如钟乳状方解石、孔雀石等。钟乳状可再细分为肾状，如肾状赤铁矿；葡萄状，如葡萄状孔雀石和硬锰矿；皮壳状，如皮壳状孔雀石。

（七）树枝状

它有时是由于矿物晶体沿一定方向连生而成的，如自然铜；有时是由于胶体沿岩石微小裂隙渗入凝聚而成的，如氧化锰。

（八）土状

集合体疏松如土，是由岩石或矿石风化而成的，如高岭石。

## 第二节 矿物的物理性质

每种矿物都以其固有的物理性质与其他矿物相区别，这些物理性质从本质上来说，是由矿物的化学成分和晶体构造所决定的。因此我们可以根据矿物的物理性质及其数量表现——物理常数，来认识和鉴定矿物。下面着重谈一下用肉眼和简单工具就能分辨的若干物理性质。

### 一、颜 色

颜色是矿物对可见光波的吸收作用所引起的。太阳光是由七种不同波长的色光所组成的，当矿物对它们均匀吸收时，可因吸收的程度不同，使矿物呈现出白、灰、黑色（全部吸收）；如果只吸收某些色光，就呈现另一部分色光的混合色。根据矿物颜色产生的原因，可将颜色分为自色、他色、假色三种。

（一）自色

它是矿物本身固有的颜色。自色取决于矿物的内部性质，特别是所含色素离子的类别。例如赤铁矿之所以呈砖红色，是因为它含 $Fe^{3+}$，孔雀石之所以呈绿色，是因为它含 $Cu^{2+}$。自色比较固定，因而具有鉴定意义。

（二）他色

是矿物混入了某些杂质所引起的，与矿物的本身性质无关。他色不固定，随杂质的不同而异。如纯净的石英晶体是无色透明的，但含碳的微粒时就呈烟灰色（即墨晶），含锰就呈紫色（即紫水晶），含氧化铁则呈玫瑰色（即玫瑰石英）。由于他色具有不固定的性质，所以对鉴定矿物没有很大的意义。

（三）假色

是由于矿物内部的裂隙或表面的氧化薄膜对光的折射、散射所引起的。其中由裂隙所引起的假色，称为晕色，如方解石解理面上常出现的虹彩；由氧化薄膜所引起的假色，称为锖色，如斑铜矿表面常出现斑驳的蓝色和紫色。

### 二、条 痕

矿物粉末的颜色称为条痕，通常将矿物在素瓷条痕板上擦划得之。条痕可清除假色，减弱他色而显示自色，所以较为固定，具有重要的鉴定意义。例如赤铁矿有红色、

钢灰色、铁黑色等多种颜色，然而其条痕却总是樱红色。但条痕对于鉴定浅色的透明矿物没有多大意义，因为这些矿物的条痕几乎都是白色或近于无色，难以区别。

## 三、光　　泽

矿物表面反射光线的能力，称为光泽。按反光的强弱，光泽可分为金属光泽、半金属光泽和非金属光泽。

（一）金属光泽

类似于金属磨光面上的反射光，闪耀夺目。如方铅矿、黄铜矿、黄铁矿等。

（二）半金属光泽

类似于金属光泽，但较为暗淡。如铬铁矿。

（三）非金属光泽

可再细分为金刚光泽，如金刚石、闪锌矿；玻璃光泽，如水晶、萤石；油脂光泽，如石英断面上的光泽；丝绢光泽，如石棉；珍珠光泽，如白云母；蜡状光泽，如蛇纹石；土状光泽，如高岭石。

## 四、透　明　度

矿物透光的程度称为透明度。从本质上来说，透明度取决于矿物对光线的吸收能力。但吸收能力除和矿物本身的化学性质与晶体构造有关以外，还明显地和厚度及其他因素有关。因此，某些看来是不透明的矿物，当其磨成薄片时，却仍然是透明的，所以透明度只能作为一种相对的鉴定依据。为了消除厚度的影响，一般以矿物的薄片（0.03mm）为准。据此，透明度可以分为透明、半透明、不透明三级。

（一）透明

绝大部分光线可以通过矿物，因而隔着矿物的薄片可清楚地看到对面的物体，如无色水晶、冰洲石（透明的方解石）等。

（二）半透明

光线可以部分通过矿物，因而隔着矿物薄片可以模糊地看到对面的物体，如闪锌矿、辰砂等。

（三）不透明

光线几乎不能透过矿物，如黄铁矿、磁铁矿、石墨等。

上面所说的颜色、条痕、光泽和透明度都是矿物的光学性质，是由于矿物对光线的

吸收、折射和反射所引起的，因而它们之间存在着一定的联系。例如颜色和透明度以及光泽和透明度之间都有相互消长的关系。矿物的颜色越深，说明它对光线的吸收能力越强，这样，光线也就越不容易透过矿物，于是透明度也就越差。矿物的光泽越强，说明投射于矿物表面的光线大部分被反射了，这样通过折射而进入矿物内部的光线也就越少，于是透明度也就越差。掌握这些关系对正确鉴定矿物是有帮助的（见表 1－2－1）。

表 1－2－1　　矿物颜色、条痕、光泽、透明度间的关系简表

| 颜色 | 无色 | 浅色 | 彩色 | 黑色或金属色（部分硅酸盐矿物除外） |
|---|---|---|---|---|
| 条　痕 | 白色或无色 | 浅色或无色 | 浅色或彩色 | 黑色或金属色 |
| 光　泽 | 玻　璃 | 金　刚 | 半金属 | 金　属 |
| 透明度 | 透　明 | 半透明 | | 不透明 |

## 五、硬　　度

矿物抵抗外来机械作用（刻划、压入、研磨）的能力，称为硬度。它和矿物的化学成分及晶体构造有关。在肉眼鉴定矿物时，通常采用刻划法确定其硬度，并以“摩氏硬度计”中所列举的十种矿物作为对比的标准，见表 1－2－2。例如某矿物能被石英所刻动，但不能被长石所刻动，则矿物的硬度必介于 6～7 之间，可以确定为 6.5。但必须指出，摩氏硬度只是相对等级，并不是硬度的绝对数值，所以不能认为：金刚石比滑石硬十倍。另外，有些矿物在晶体的不同方向上，硬度是不一样的。例如蓝晶石，沿晶体延长方向的硬度为 4.5，而垂直该方向的硬度为 6.5。大多数矿物的硬度比较固定，所以具有重要的鉴定意义。

表 1－2－2　　摩氏硬度计

| 硬　度 | 矿　物 | 硬　度 | 矿　物 |
|---|---|---|---|
| 1° | 滑　石 | 6° | 正长石 |
| 2° | 石　膏 | 7° | 石　英 |
| 3° | 方解石 | 8° | 黄　晶 |
| 4° | 萤　石 | 9° | 刚　玉 |
| 5° | 磷灰石 | 10° | 金刚石 |

在野外，可利用指甲（2°～2.5°）、小刀（5°～5.5°）、石英（7°）来粗略地测定矿物的硬度。

## 六、解　　理

很多晶质矿物在受打击后，常沿着一定的方向裂开，这种特性称为解理。裂开的光滑面叫做解理面。矿物之所以能产生解理，乃是由于内部质点规则排列的结果，它和晶体构造有关，解理面常平行于一定的晶面发生。

各种矿物解理方向的数目不一，有一个方向的解理，如云母；有二个方向的解理，如长石；有三个方向的解理，如方解石；有四个方向的解理，如萤石；有六个方向的解理，如闪锌矿。

根据解理面的完善程度，可将解理分为极完全解理、完全解理、中等解理、不完全解理。

（一）极完全解理

解理面非常平滑，矿物很容易裂成薄片，如云母。

（二）完全解理

解理面平滑，矿物易分裂成薄板状或小块，如方解石。

（三）中等解理

解理面不甚平滑，如角闪石。

（四）不完全解理

解理面不易发现，如磷灰石。

不同的晶质矿物，解理的数目、解理的完善程度和解理间的交角都不一样，例如正长石和斜长石，都有两组完全解理，但正长石的两组解理交角为 90°，斜长石则为 86°24′ ~ 86°50′，正长石和斜长石因此而得名。所以解理是鉴定矿物的重要特性。

## 七、断　　口

矿物受打击后，沿任意方向发生不规则的断裂，其凹凸不平的断裂面称为断口。断口和解理是互为消长的，解理越完善，则断口越难出现。断口可分为贝壳状断口、参差状断口和锯齿状断口。

（一）贝壳状断口

即破裂后具有弯曲的同心凹面，与贝壳很相似，如石英。

（二）参差状断口

断裂面呈粗糙不平，参差不齐，绝大多数矿物，具有此种断口，如黄铁矿。

（三）锯齿状断口

断面尖锐如锯齿，凡延展性很强的矿物，常具此种断口，如自然铜。

## 八、密度和相对密度

矿物的密度是指矿物单位体积的质量，度量单位通常为 $g/cm^3$。

矿物的相对密度与密度在数值上是相同的，但它更易于测定。矿物的相对密度是矿物在空气中的重量与4℃时同体积水的重量比。

矿物的密度和相对密度是矿物的重要物理参数，它们反映了矿物的化学组分和晶体结构，对矿物的鉴定有很大的意义。依据相对密度的大小可把矿物分为三级：

（1）轻级　相对密度小于2.5，如石盐（2.1～2.2），石膏（2.3）。

（2）中级　相对密度为2.5～4，如石英（2.65），金刚石（3.5）。

（3）重级　相对密度大于4，如方铅矿（7.4～7.6），自然金（15.6～19.3）。

## 九、其 他 性 质

上述的矿物物理性质，几乎是所有矿物都具有的。除此之外，还有一些物理性质是某些矿物所特有的，例如：

1. 脆性　矿物容易被击碎或压碎的性质叫脆性。用小刀刻划这类矿物时，一般容易出现粉末，如方铅矿、黄铁矿等。

2. 延展性　矿物在锤压或拉引下，容易形变成薄片或细丝的性质，称为延展性。如自然铜、自然银等。

3. 弹性　矿物受外力时变形，而在外力释放后又能恢复原状的性质，叫做弹性。如云母。

4. 挠性　矿物受外力时变形，而在外力释放后不能恢复原状的性质，叫做挠性。如绿泥石。

5. 磁性　矿物的颗粒或粉末能为磁铁所吸引的性质，叫做磁性。由于许多矿物均具有不同程度的磁性，所以磁性是鉴定矿物的特征之一，但由于大多数矿物磁性较弱，因此具有鉴定意义的只限于少数磁性较强的矿物。如磁铁矿、磁黄铁矿。

6. 导电性　矿物对电流的传导能力，称做导电性。有些金属矿物（如自然铜、辉铜矿等）和石墨是良导体；另一些矿物（如金红石、金刚石等）是半导体；还有一些矿物（如白云母、石棉等）是不良导体（即绝缘体）。

7. 荷电性　矿物在受外界能量作用（如摩擦、加热、加压）的情况下，往往会产生带电现象，称做荷电性。例如电气石在受热时，一端带正电荷，另一端带负电荷，称

为热电性；压电石英（纯净透明、不含气泡和包体、不具双晶的水晶）在压缩或拉伸时，能产生交变电场，将机械能转化为电能，称为压电性。

8. 发光性　矿物在外来作用的激发下，如在加热、加压以及受紫外光、阴极射线和其他短波射线的照射时，产生发光的现象，称为发光性。如萤石在加热时，白钨矿在紫外线的照射下均能产生荧光。所谓荧光就是当激发作用停止时，矿物的发光现象也就随之消失的发光现象。如激发射线停止后，矿物继续发光的现象，称为磷光（如金刚石）。

9. 放射性　这是含放射性元素的矿物所特有的性质，特别是含铀、钍的矿物，如晶质铀矿（$UO_2$）、方钍石（$ThO_2$）均具有强烈的放射性。

# 第三节　矿物的化学性质

## 一、矿物的化学成分

自然界的矿物除少数是单质外，绝大多数都是化合物。前者就是由同一元素自相结合而成的矿物，如自然金（Au）、自然铜（Cu）、石墨（C）等；后者则是由两种或两种以上元素化合而成的矿物，如石英（$SiO_2$）、萤石（$CaF_2$）、赤铁矿（$Fe_2O_3$）等。

无论是单质或化合物，其化学成分都不是绝对固定不变的，通常都是在一定的范围内有所变化。引起矿物化学成分变化的原因，对晶质矿物而言，主要是元素的类质同象代替。对胶体矿物来说，则主要是胶体的吸附作用。通常说某种矿物成分中含有的某些混入物，除因类质同象代替和吸附而存在的成分外，还包括一些以显微（及超显微）包裹体形式存在的机械混入物。

## 二、类质同象和同质异象

### （一）类质同象

晶体结构中的某些离子、原子或分子的位置，一部分被性质相近的其他离子、原子或分子所占据，但晶体结构型式、化学键类型及离子正负电荷的平衡保持不变或基本不变，仅晶胞参数和物理性质（如折射率、密度等）随置换数量的改变而作线性变化的现象。成类质同象的晶体称为“类质同象混晶”。类质同象有两种情况：

1. 两种组分能以任何比例相互混溶，从而形成连续的类质同象系列，称为完全类

质同象。例如在菱镁矿 $Mg〔CO_3〕$ 和菱铁矿 $Fe〔CO_3〕$ 之间，由于镁和铁可以互相代替，可以形成各种 Mg、Fe 含量不同的类质同象混合物（混晶），从而可以构成一个镁与铁成各种比值的连续的类质同象系列

$$Mg〔CO_3〕—(Mg，Fe)〔CO_3〕—(Fe，Mg)〔CO_3〕—Fe〔CO_3〕$$

菱镁矿 —含铁的菱镁矿 —含镁的菱铁矿 —菱铁矿

在这个系列中，矿物的结构型相同，只是晶格常数略有变化。

2. 两种组分不能以任意比例相互混溶，称为有限类质同象。例如，闪锌矿 ZnS 中的锌，可部分地（不超过 26%）被铁所代替，在这种情况下，铁被称为类质同象混入物，富铁的闪锌矿被称为铁闪锌矿。由于铁代替锌可使闪锌矿的晶胞参数（$a_0$）增大。




图 1－2－6 代替和侵入两种固溶体构造实例图

（a）—Cu－Au 的交替固溶体；（b）—Fe－C 的侵入固溶体

类质同象混合物是一种固溶体。所谓固溶体是指在固态条件下，一种组分溶于另一种组分之中而形成的均匀的固体。它可以通过质点的代替而形成“代替固溶体”（即类质同象混晶）；也可以通过某种质点侵入它种质点的晶格空隙而形成“侵入固溶体”，如图 1－2－6 所示。矿物中经常出现的是代替固溶体，也就是类质同象。但侵入固溶体也是存在的，一部分是以机械混入物形式出现的杂质，即属于侵入固溶体。不论是哪一种固溶体，都是造成晶质矿物化学成分不固定的原因。

形成类质同象代替的原因，一方面取决于代替质点本身的性质，如原子离子半径大小、电价离子类型、化学键性等；另一方面取决于外部条件，如形成代替时的温度、压力、介质条件等。

（二）同质异象

化学成分相同的物质，在不同的物理化学条件下，可以生成具有不同的结晶构造，从而具有不同形态和不同物理性质的矿物，这种现象称为同质异象。最典型的例子是金刚石和石墨，虽然它们都是由碳（C）所组成的，但两者的结晶构造和物理性质却截然不同，如图 1－2－7 和表 1－2－3 所示。

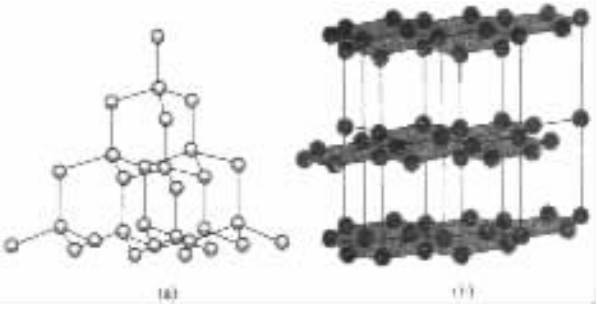


图 1－2－7　金刚石（a）及石墨（b）的结晶构造图

表 1－2－3　　石墨和金刚石物理性质的比较

| 物理性质 | 石　墨 | 金刚石 |
|---|---|---|
| 颜　色 | 灰黑或铁黑色 | 无色（或带各种色调） |
| 透明度 | 不透明 | 透　明 |
| 光　泽 | 金　属 | 金刚 |
| 摩氏硬度 | 1° | 10° |
| 解　理 | 完　全 | 中　等 |
| 相对密度 | 2.09～2.23 | 3.50～3.53 |
| 导电性 | 强 | 弱 |

## 三、胶体矿物

胶体是一种物质的微粒（粒径 0.001～0.1$\mu$m）分散于另一种物质之中所形成的不均匀的细分散系。前者称为分散相（或分散质），后者称为分散媒（或分散介质）。无论是固体、液体或气体，既可作分散相，也可作分散媒。在胶体分散体系中，当分散媒远多于分散相时，称为胶溶体，而当分散相远多于分散媒时，称为胶凝体。

地面上的水时常含有大于 0.001$\mu$m 的微粒，因此不是真溶液，而是胶体溶液（即水胶溶体），例如泥浆。固态的胶体矿物基本上只有水胶凝体和结晶胶溶体两类。就胶体矿物形成的过程来说，胶体颗粒通常是原岩（或原矿）的微细碎屑，而分散介质一般是水，两者一起便构成了胶体溶液（溶胶）。胶体颗粒间或胶体颗粒与带异电荷离子间发生相互作用时，胶体颗粒便相互中和而失去电荷，从而凝聚下沉而与介质分离，经逐渐固结后，就形成了固态的胶体矿物。如带负电荷的 $SiO_2$ 胶体颗粒和带正电荷的 $Fe(OH)_3$ 胶体颗粒相遇时，就凝聚而成含二氧化硅的褐铁矿。由于这一原因，胶体矿物的化学组成常常是不很固定的。例如胶体成因的硬锰矿（$mMnO_2 \cdot MnO \cdot nH_2O$），不仅其主

要组成 $MnO_2$ 和 MnO 的含量变化很大，而且还常混入少量的 $K_2O$、BaO、CaO、ZnO 等组分，这是由于带负电荷的 $MnO_2$ 胶体颗粒能够从水溶液中吸附 $K^{1+}$、$Ba^{2+}$、$Ca^{2+}$、$Zn^{2+}$ 等阳离子所致。除此而外，分散介质的干枯、温度的变化、生物的活动等都可以促使胶体的凝聚。

胶体矿物中微粒的排列和分布是不规则和不均匀的，外形上不能自发地形成规则的几何多面体，一般多呈钟乳状、葡萄状、皮壳状等形态；在光学性质上具非晶质体特点，故通常将胶体矿物看作非晶质矿物。但它的微粒本身可以是结晶的，因粒径太细，是一种超显微的晶质（如黏土矿物）。但必须说明，随着时间的增长，温度和压力的变化，胶体会发生陈化，在陈化的过程中，质点趋向于规则的排列，也就是由非晶质逐渐转变为晶质，如蛋白石（$SiO_2 \cdot nH_2O$）转变为石髓和石英，即是其例。

## 四、矿物中的水

在很多矿物中，水起着重要作用。水是很多矿物的一种重要组成部分，矿物的许多性质与其含水有关。

根据矿物中水的存在形式以及它们在晶体结构中的作用，可以把水分为两类：一类是不参加晶格，与矿物晶体结构无关的，统称为吸附水；另一类是参加晶格或与矿物晶体结构密切相关的，包括结晶水、沸石水、层间水和结构水。

### （一）吸附水

不参加晶格的吸附水，是渗入在矿物集合体中，为矿物颗粒或裂隙表面机械吸附的中性的 $H_2O$ 分子。吸附水不属于矿物的化学成分，不写入化学式。含在水胶凝体中的胶体水，是吸附水的一种特殊类型。如蛋白石 $SiO_2 \cdot nH_2O$。

### （二）结晶水

以中性分子存在于矿物中，在晶格中具有固定的位置，起着构造单位的作用，是矿物化学组成的一部分。如石膏 $Ca〔SO_4〕\cdot 2H_2O$、胆矾 $Cu〔SO_4〕\cdot 5H_2O$ 等。

### （三）沸石水

是存在沸石族矿物中的中性水分子。沸石的结构中有大的空洞及孔道，水就占据在这些空洞和孔道中，位置不十分固定。水的含量随温度和湿度而变化。

### （四）层间水

是存在于层状硅酸盐的结构层之间的中性水分子。如蒙脱石中，水分子联结成层，水的含量多少受交换阳离子的种类、温度、湿度的控制。加热至 110℃时，层间水大量逸出；在潮湿环境中又可重新吸水。

（五）结构水

又称化合水。是以（$OH)^-$、$H^+$、$(H_3O)^+$离子形式参加矿物晶格的“水”，如高岭石 $Al_4〔Si_4O_{10}〕(OH)_8$。结构水在晶格中占有固定的位置，在组成上具有确定的含量比，以（$OH)^-$形式最为常见。

## 五、矿物的化学式

矿物的化学成分，以化学式表示之，其表示方法有实验式和构造式两种。

（一）实验式

它只表示矿物组成元素的种类及其分子（原子）数量比，如闪锌矿是 ZnS，正长石是 $KAlSi_3O_8$。

（二）构造式（或称晶体化学式）

它不仅表示元素的种类和数量比，还反映各元素的原子在分子构造中的相互关系。其书写方法是：阳离子写在前面，阴离子接着写在阳离子的后面，络阴离子用方括号[ ]括出，以此与阳离子相区别。如孔雀石是 $Cu_2〔CO_3〕(OH)_2$，正长石是 $K〔AlSi_3O_8〕$。

对类质同象混合物，是将存在替换的原子或离子用圆括号括出，按含量多少依次排列，并以逗点分开，如黑钨矿是（Mn，Fe）$〔WO_4〕$。

对含水化合物的水分子，一般是在化学式的最后面，写出所含水分子的数量，并用圆点分开，如石膏是 $CaSO_4·2H_20$；当含水量不定时，通常以 $nH_2O$ 来表示，如蛋白石是 $SiO_2·nH_2O$。

# 第四节　矿物的形成与共生

以上各节简要介绍了矿物的主要性质和鉴定特征，其目的在于一般性地认识矿物。但我们研究矿物不能只满足于认识矿物，因为自然界中的矿物是作为地质作用的产物和岩石（或矿石）组成部分存在的，所以更重要的是在认识矿物的基础上，进一步了解矿物的形成和共生组合规律，这对于找矿勘探、矿床评价、矿床开采和矿石的加工、利用均具有重要的实际意义。

## 一、矿物的形成

由于地壳中的元素是组成矿物的物质基础，所以元素在地壳中的重量百分比（即克

拉克值）对矿物的形成有密切的关系。从克拉克值来看，氧几乎占了地壳总重量的 1/2，硅占了约 1/4，因此硅的氧化物和硅酸盐矿物在地壳中就居于非常突出的地位。然而，地壳中的元素在空间上并不是均匀分布的，这是因为各种地质作用促使元素处于不断地迁移过程中，其结果就造成了元素不断地分散与集中。这样一来，一些具有经济意义的元素，例如铅、锌、钨、铀、银、金等，尽管它们的克拉克值较小或很小，却仍然可以相对富集而形成独立的矿物。如方铅矿、闪锌矿、黑钨矿、晶质铀矿等等。

虽然各种地质作用的结果都可以形成矿物，但形成的方式是很不相同的。对于固态矿物来说，形成的方式主要有结晶作用和胶体凝聚作用。前者可再分为：由液体（熔体或溶液）结晶、由气体升华结晶以及由固体再结晶三种方式，但大部分晶质矿物是由熔体或水溶液结晶而成的。例如原来分散在岩浆中的铁、铬、钛等在岩浆上升过程中，其温度、压力和组分浓度变化到适合于铁、铬、钛化合物结晶析出的时候，便形成铁、铬、钛的矿物（如铬铁矿、钛铁矿、磁铁矿等）集中于岩体之中。又如，在干旱地区，河水夹带所溶解的盐类，不断流入封闭性的湖泊之中，随着湖水的不断蒸发，其含盐浓度也就越来越大，最后各种盐类因溶解度的不同，先后发生过饱和而结晶沉淀，从而形成各种盐类矿物沉积于湖底。这两个例子所表明的矿物形成过程是不同的，前一例是和内力地质作用有关，后一例则和外力地质作用有关，因此它们所形成的矿物也就各有其特点。

## 二、矿物的共生

自然界的矿物都不是孤立存在的，它们之中的某些矿物经常共同出现在同一种岩石或矿石之中。但共同出现在一起的，并不一定就是共生，只有那种由同一时期、同一成因所造成的矿物共存现象，才能称为共生，否则只能称为伴生。例如在铜矿床的氧化带中，常常可以见到黄铜矿、黄铁矿、褐铁矿、孔雀石、蓝铜矿在一起的矿石。但黄铜矿和黄铁矿是由于内力地质作用所形成的，而褐铁矿、孔雀石、蓝铜矿则是黄铜矿、黄铁矿的氧化产物，是由于外力地质作用所形成的。因此，在这种情况下，黄铜矿和黄铁矿可以视为共生，孔雀石和蓝铜矿也可以视为共生，而它们彼此间却只能视为伴生。

在各种不同的成矿过程中，矿物共生常具有一定的组合规律。例如在热液成矿过程中，黑钨矿常和石英，方铅矿常和闪锌矿相组合。了解这种组合规律，不但可以帮助我们识别矿物，而且对有用矿物的寻找和综合利用都具有重要的指导意义。例如在基性岩浆岩中发现有黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿时，就有可能找到在工业上非常重要的镍黄铁矿。

# 第五节　矿物的分类及鉴定

## 一、矿物分类的原则及方法

为了更好地研究和利用矿物，有必要对种类繁多的矿物，按照它们之间的相互关系和共性，进行系统的归纳——即分类。但由于对矿物共同规律研究的侧重点不一样，因而就出现了多种矿物分类法。概而言之，有：成因分类法，它是根据形成矿物的主要地质作用进行的分类；地球化学分类法，它是根据矿物组成中的主要化学元素进行的分类；形态分类法，它是根据矿物晶形进行的分类，等等。还有从利用的观点出发，将矿物分为造矿矿物和造岩矿物两类，前者是构成矿石的矿物，如磁铁矿、黄铜矿、方铅矿等；后者是构成岩石的矿物，如长石、石英、角闪石、辉石等。显然以上各种分类法都带有一定的片面性，因而是不够合理的，当然也不否认，在一定的条件下还有其实际意义。

自从应用 X 射线研究矿物内部构造并积累了大量实际资料后，出现了目前广泛采用的晶体化学分类法，这种分类法综合考虑了矿物的化学成分和结晶构造的特点。并根据由同极键到异极键和由简到繁的原则，将整个无机矿物分为五大类：

第一大类　自然元素

第二大类　硫化物及其类似化合物

　第一类　简单硫化物及其类似化合物

　第二类　复杂硫化物

第三大类　卤化物

　第一类　氟化物

　第二类　氯化物、溴化物和碘化物

第四大类　氧化物和氢氧化物

　第一类　简单氧化物

　第二类　复杂氧化物

　第三类　氢氧化物

第五大类　含氧盐

　第一类　硅酸盐

　第二类　硼酸盐

　第三类　磷酸盐、砷酸盐和钒酸盐

第四类 钼酸盐、钨酸盐

第五类 铬酸盐

第六类 硫酸盐

第七类 碳酸盐

第八类 硝酸盐

## 二、矿物的鉴定方法

正确的识别和鉴定矿物，不论对地质、采矿、选矿、冶金工作来说，都是必不可少和非常重要的。鉴定矿物的方法很多，而且随着现代科学技术的发展，还在不断的完善和创新之中。总的来说是借助于各种仪器，采用物理学和化学的方法，通过对矿物化学成分、晶体形态和构造及物理特性的测定，以达到鉴定矿物的目的。表 1－2－4 列出了各种分析测试方法的主要研究内容，供初学者参考使用。

表 1－2－4 各种分析测试方法的主要研究内容

| 研究内容 / 测试方法 | 化学成分 | 晶体结构 | 晶体形貌 | 物理性质 | 物相鉴定 |
|---|---|---|---|---|---|
| 化学分析 | ○ | | | | |
| 发射光谱分析 | ○ | | | | |
| 原子吸收光谱分析 | ○ | | | | |
| X 射线荧光光谱分析 | ○ | | | | |
| 极谱分析 | ○ | | | | |
| 电子探针分析 | ○ | | | | |
| 电子显微镜（透射，扫描） | ○ | ○ | ○ | | ○ |
| X 射线分析（单晶，粉晶） | | ○ | | | ○ |
| 红外吸收光谱 | | ○ | | | ○ |
| 穆斯堡尔谱 | | ○ | | | |
| 隧道显微镜 | | ○ | ○ | | |
| 测角法 | | | ○ | | ○ |
| 相衬显微镜 | | | ○ | | |
| 偏光显微镜 | | | | ○ | ○ |
| 反光显微镜 | | | | ○ | ○ |
| 发光分析 | | | | ○ | |
| 热电系数分析 | | | | ○ | |
| 热分析 | | | | ○ | ○ |

上述矿物鉴定方法中，有相当一部分需要高度精密的仪器和良好的实验室条件，所以在野外和一般矿山常因条件较差无法采用，而多数是采用肉眼鉴定法（即外表特征鉴

定法），此法简便易行，它主要是凭肉眼和一些简单的工具（小刀、钢针、放大镜、磁铁、条痕板等）来分辨矿物的外表特征（有时也配合一些简易的化学分析方法），从而对矿物进行粗略的鉴定。

在肉眼鉴定过程中必须注意以下几点：

1. 前面所述矿物的各项物理特征，在同一个矿物上不一定全部显示出来，所以在肉眼鉴定时，必须善于抓住矿物的主要特征，尤其是要注意那些具有鉴定意义的特征。如磁铁矿的强磁性；赤铁矿的樱红色条痕、方解石的菱面体解理等。

2. 在野外鉴定时，还应充分考虑矿物产出状态，因为各种矿物的生成和存在都不是孤立的，在一定的地质条件下，它们均有着一定的共生规律。如闪锌矿和方铅矿常常共生在一起。

3. 在鉴定过程中，必须综合考虑矿物物理性质之间的相互关系。如金属矿一般情况是颜色较深、密度较大、光泽较强；而非金属矿物则相反。

对一个初学者来说，肉眼鉴定矿物时，应在对各种矿物标本认真观察、仔细分析、相互比较、反复练习从而建立在对矿物外表特征感性认识的基础上，按如下步骤来进行：首先观察矿物的光泽，是金属光泽还是非金属光泽，借以确定是金属矿物还是非金属矿物（当然这也不是绝对的，如闪锌矿就出现非金属光泽）；其次确定矿物的硬度，是大于小刀还是小于小刀；再次是观察它的颜色；最后观察矿物的形态和其他物理性质，这样可以逐步缩小范围，确定矿物的名称。

肉眼鉴定矿物的方法虽然比较粗略，但它对一个有经验者来说，利用此法可正确地鉴别很多常见的矿物；同时它也是其他所有鉴定方法必不可少的先行环节和重要基础，所以不能等闲视之。

## 三、常见矿物肉眼鉴定特征

前面扼要介绍了矿物的形态、物理性质、化学性质、分类与鉴定等有关矿物方面的基本知识，为了有助于在此基础上更好地鉴别和掌握矿物，特按上述分类顺序，并结合金属矿床开采专业的需要，对冶金工业中广泛利用的矿物和一些常见矿物的主要鉴定特征，列为表 1－2－5 表 1－2－6 供鉴定矿物时参考。

表 1－2－5 常见矿物肉眼鉴定特征表

| 矿物类型 | 矿物名称及化学成分 | 主要鉴定特征 | 成因与产状 | 用途 |
|---|---|---|---|---|
| 自然元素 | 自然铜 Cu | 多呈不规则的树枝状集合体。颜色和条痕均为铜红色。金属光泽。锯齿状断口。相对密度 8.5～8.9。硬度 2.5～3。具延展性。导电性能良好 | 形成于各种地质过程中的还原条件下。多产于含铜硫化物矿床氧化带内，与赤铜矿、孔雀石共生 | 为铜矿石的有用矿物之一 |
| | 自然金 Au | 通常为分散颗粒状或不规则树枝状集合体。颜色和条痕为金黄色。相对密度 15.6～18.3。纯金相对密度为 19.3。具延展性。不易氧化。热和电的良导体 | 主要形成于热液矿床，也常出现于砂矿中。与石英、黄铁矿、毒砂、闪锌矿等伴生 | 为金矿石的重要有用矿物，主要用于装饰、货币和工业技术 |
| | 石 墨 C | 多为鳞片状或块状集合体。颜色铁黑至钢灰色，条痕亮黑色。相对密度 2.09～2.23。硬度 1。具滑感，易污手。薄片有挠性，导电性良好。与辉钼矿的区别是：辉钼矿用针扎后，留有小圆孔，石墨用针一扎即破；在涂釉瓷板上辉钼矿的条痕色黑中带绿，而石墨的条痕不带绿色 | 主要为煤层或含沥青质的沉积岩或碳质沉积岩受区域变质而成 | 制铅笔、电极、石墨坩埚、润滑剂；原子能工业上用作减速剂 |
| | 金刚石 C | 多呈八面体或菱形十二面体晶形。无色透明或带蓝、黄、褐、黑等色。标准的金刚光泽。相对密度 3.47～3.56。硬度 10。性脆。具强色散性。紫外光照射后，发淡青蓝色磷光 | 在高温高压下形成，产于超基性岩中，与橄榄石、辉石共生。因硬度高，也常存在于砂矿床中 | 现代工业技术上，用作研磨材料和切削工具材料。透明者可作高档装饰品 |
| 硫化物 | 辉铜矿 $Cu_2S$ | 一般为致密细粒状块体或烟灰状。颜色铅灰，条痕暗灰色。相对密度 5.5～5.8。硬度 2～3。略具延展性。具有导电性。溶于硝酸，溶液呈绿色。矿物小块加 $HNO_3$ 后烧时，颜色呈鲜绿色，加 HCl 烧时，颜色呈天蓝色（即铜的颜色反应） | 主要形成于含铜硫化物矿床的次生富集带，亦可形成于内生过程中。常与斑铜矿、黄铁矿、赤铜矿等伴生 | 为组成铜矿石的重要有用矿物 |
| | 方铅矿 PbS | 晶体呈立方体、八面体，通常为粒状或块状集合体。颜色铅灰，条痕灰黑色。强金属光泽。完全的立方体解理。相对密度 7.4～7.6，硬度 2～3。性脆 | 形成于气液或火山矿床。与闪锌矿、黄铁矿、黄铜矿等共生 | 为组成铅矿石的重要有用矿物 |
| | 闪锌矿 ZnS | 通常为粒状或致密块状的集合体。颜色由浅褐、棕褐至黑色。条痕为白—褐色，树脂—金刚光泽。相对密度 3.9～4。硬度 3～4 | 形成于气液或火山矿床。与方铅矿、黄铁矿、黄铜矿等共生 | 为组成锌矿石的重要有用矿物 |

续表

| 矿物类型 | 矿物名称及化学成分 | 主要鉴定特征 | 成因与产状 | 用途 |
|---|---|---|---|---|
| 硫化物 | 辰砂 $HgS$ | 晶体呈细小的厚板状或菱面体形，多为粒状、致密块状、被膜状集合体。颜色鲜红，条痕红色。相对密度 8.09，硬度 2～2.5 | 形成于层控类型矿床。常与辉锑矿、黄铁矿等共生 | 为组成汞矿石的重要有用矿物 |
| | 磁黄铁矿 $Fe_{1-x}S$ ($x=0.1\sim0.2$) | 通常为致密块状集合体。暗铜黄色。表面常具暗褐锖色，条痕灰黑色。金属光泽。相对密度 4.58～4.70。硬度 4。具强磁性 | 形成于各种类型的内生矿床中。与镍黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿等共生 | 可制造硫酸 |
| | 镍黄铁矿 $(Fe、Ni)_9S_8$ | 通常呈不规则的颗粒状或包裹体。古铜黄色，条痕绿黑色。金属光泽。相对密度为 4.5～5，硬度 3～4。性脆。不具磁性。导电性强 | 形成于铜镍硫化物的岩浆矿床中。与磁黄铁矿、黄铜矿、磁铁矿等密切共生 | 为组成镍矿石的重要有用矿物 |
| | 辉锑矿 $Sb_2S_3$ | 晶体呈柱状、针状，晶面上有纵纹。集合体为致密粒状、放射状。颜色和条痕均为铅灰色。金属光泽。相对密度 4.6，硬度 2～2.5。具轴面解理，解理面上有横纹。性脆 | 形成于低温热液矿床中，常与辰砂、雄黄、雌黄等共生 | 为组成锑矿石的重要有用矿物 |
| | 辉铋矿 $Bi_2S_3$ | 晶体为长柱状、针状，晶面上大多具有纵纹，集合体为致密粒状、放射状。微带铅灰的锡白色，条痕铅灰色。金属光泽。相对密度 6.4～6.8，硬度为 2～2.5 | 主要形成于高、中温热液矿床及接触交代矿床中。常与黑钨矿、锡石、毒砂等共生 | 为组成铋矿石的重要有用矿物 |
| | 辉钼矿 $MoS_2$ | 晶体呈六方板状，底面上有条纹，通常为鳞片状集合体。颜色铅灰，条痕微带灰黑色。金属光泽。相对密度 4.7～5，硬度 1。一组解理极为完全。薄片具挠性，可以搓成团，且有滑感 | 形成于与酸性侵入体有关的接触交代矿床或高、中温热液矿床中。常与黑（白）钨矿、辉铋矿、石英等共生 | 为组成钼矿石的重要有用矿物 |
| | 铜　蓝 $CuS$ ($Cu_2S\cdot CuS_2$) | 通常以粉末状或被膜状的集合体出现。颜色为靛青蓝色，条痕灰黑色。金属光泽。硬度 1.5～2，相对密度 4.59～4.67。一组解理完全。性脆 | 形成于含铜硫化物矿床次生富集带。常和黄铜矿、辉铜矿等伴生 | 为组成铜矿石的有用矿物 |
| | 雌　黄 $As_2S_3$ | 晶体呈短柱状，集合体多呈片状、梳状、放射状、肾状、球状等。颜色为柠檬黄，条痕鲜黄色。相对密度 3.4～3.5，硬度 1～2。金刚光泽。一组解理极为完全。薄片具有挠性 | 主要形成乎低温热液矿床中。常与雄黄、辉锑矿等共生 | 为组成砷矿石的重要有用矿物 |

续表

| 矿物类型 | 矿物名称及化学成分 | 主要鉴定特征 | 成因与产状 | 用途 |
|---|---|---|---|---|
| 硫化物 | 雄　黄<br>AsS | 晶体呈柱状，柱面有纵纹，但晶体少见，常呈致密粒状或块状集合体。桔红色，条痕淡桔红色。晶面金刚光泽，断口树脂光泽。相对密度 3.4 ~ 3.6，硬度为 1.5 ~ 2。二组完全解理。烧之，有强烈蒜臭，并发出蓝色火苗 | 形成于低温热液矿床中，与雌黄、辉锑矿等共生。也有见于火山喷发物及温泉中的 | 组成砷矿石的有用矿物；还可用于颜料及玻璃工业 |
| | 黄铁矿<br>$FeS_2$ | 晶体呈立方体或五角十二面体，相邻晶面常有互相垂直的晶面条纹，集合体呈致密块状、浸染状、结核状等。浅黄铜色，表面常有蓝紫、褐黄等色，条痕绿黑色。相对密度 4.9 ~ 5.2，硬度 6 ~ 6.5。金属光泽，性脆。一般无解理，参差状或贝壳状断口 | 分布极广，可形成于各种成因的矿床中，具开采价值者，多为热液型。能与氧化物、硫化物、自然元素等各种矿物共生 | 主要用于制造硫酸或提制硫磺 |
| | 毒　砂<br>FeAsS | 晶体呈短柱状或柱状，晶面具纵纹，集合体为粒状或致密块状。锡白色，条痕灰黑。金属光泽。相对密度 5.9 ~ 6.2，硬度 5.5 ~ 6。性脆，锤击之发蒜臭味 | 主要形成于热液型和接触交代型矿床中。在钨、锡矿脉中，常与黑钨矿、锡石等伴生 | 为提炼砷或各种砷化合物的重要原料 |
| | 黄铜矿<br>$CuFeS_2$ | 晶体少见，通常为致密块状及粒状块体。铜黄色，条痕绿黑色。相对密度 4.1 ~ 4.3，硬度 3 ~ 4。金属光泽。性脆。能导电 | 可形成于各种条件下，主要为气化 – 热液及火山成因矿床，常与各种硫化物矿物共生 | 组成铜矿石的重要有用矿物 |
| | 斑铜矿<br>$Cu_5FeS_4$ | 晶体少见，通常为致密块状或粒状。新鲜面古铜红色。表面常被覆蓝、紫斑状锖色，条痕灰黑色。半金属光泽。相对密度 4.9 ~ 5.0，硬度 3。性脆，具导电性 | 主要形成于热液矿床中，与黄铜矿、方铅矿共生。也见于次生硫化物富集带中 | 组成铜矿石的重要有用矿物 |
| 卤化物 | 萤　石<br>$CaF_2$ | 晶体为立方体、八面体，集合体常呈粒状或块状。无色透明者少见，常呈绿、黄、浅蓝、紫等各种颜色。加热时可失去颜色。玻璃光泽。相对密度为 3.18，硬度 4。性脆，八面体的四组完全解理。紫外线照射下发荧光 | 大部分形成于热液矿床，与石英、方解石等共生。也有沉积形成的 | 可作冶金工业熔剂；也用于化学工业，尖端技术；五色透明者可作光学仪器 |
| | 石　盐<br>NaCl | 晶体呈立方体，通常呈粒状，致密块状集合体。无色透明或白色。玻璃光泽。相对密度 2.1 ~ 2.2，硬度 2。性脆，具完全解理。易溶于水，有咸味 | 形成于化学沉积矿床中。与钾盐、光卤石等共生 | 用于食料、防腐剂、化工原料、提取金属钠等 |

续表

| 矿物类型 | 矿物名称及化学成分 | 主要鉴定特征 | 成因与产状 | 用途 |
|---|---|---|---|---|
| 氧化物 | 刚　玉 $Al_2O_3$ | 晶体呈桶状或短柱状，柱面或双锥面上有条纹，集合体呈致密粒状或块状。钢灰或黄灰色。玻璃光泽。相对密度 3.95～4.1，硬度 9。性脆，无解理 | 可形成于接触交代、区域变质、岩浆等成因类型的矿床或岩石中 | 可作研磨材料、精密仪器轴承、宝石等用 |
| | 赤铁矿 $Fe_2O_3$ | 晶体呈片状或板状，通常呈致密块状、鱼子状、肾状等集合体。常呈钢灰或红色，条痕樱红色。相对密度 5～5.3，硬度为 5.5～6。半金属至土状光泽。性脆，无解理，火烧后具有弱磁性。结晶呈片状并具金属光泽的赤铁矿，称为镜铁矿；红色粉末状的赤铁矿，称为铁赭石 | 形成于各种不同成因类型的矿床和岩石中，在氧化条件下形成。分布十分广泛 | 组成铁矿石的重要有用矿物 |
| | 金红石 $TiO_2$ | 晶体呈柱状或针状，集合体呈致密块状。颜色由白色至褐红或黑色，条痕浅黄褐色。金刚光泽。相对密度 4.2～4.3，硬度 6。性脆，具完全柱状解理 | 可形成于各种地质作用中。因其化学稳定性好，故常发现于砂矿床中 | 组成钛矿石的重要有用矿物 |
| | 锡　石 $SnO_2$ | 晶体呈四方双锥状或双锥柱状，有时呈针状，具膝状双晶，集合体呈粒状、结核状或钟乳状。棕褐至黑色，条痕白至浅褐色。相对密度 6.8～7.0，硬度 6～7。晶面金刚光泽，断口油脂光泽。解理不完全，常为贝壳状断口 | 主要形成于伟晶岩、高温热液、接触交代或砂矿床中 | 组成锡矿石的重要有用矿物 |
| | 软锰矿 $MnO_2$ | 晶体少见，通常呈块状、粒状、粉末状、烟灰状等集合体。颜色、条痕均为黑色。相对密度 5，硬度 2～6（硬度低时易污手）。半金属光泽、性脆 | 形成于氧化条件下。主要生成于外生矿床中，常与硬锰矿、水锰矿等共生 | 组成锰矿石的重要有用矿物 |
| | 石　英 $SiO_2$ | 晶体常为六方柱、六方双锥等所成之聚形，集合体多呈粒状、块状或晶簇状。常为白色，含杂质时可呈紫、玫瑰、黄、烟黑等各种颜色。相对密度 2.65，硬度 7。晶面玻璃光泽，断口油脂光泽。无解理，贝壳状断口。隐晶质的石英称石髓；呈结核状者称燧石；具不同颜色的同心层或平行带状者称玛瑙 | 形成于内生、外生及变质成因的各种岩石或矿床中。分布极为广泛。但大的晶体常形成于伟晶岩或热液充填矿床的晶洞中 | 一般石英可做玻璃、陶瓷、磨料等；优质晶体可做光学仪器、压电石英；色美者可做宝石 |
| | 沥青铀矿 $kUO_2 \cdot lUO_3 \cdot mPbO$ | 晶体未见，集合体呈胶状、肾状、致密块状。黑色，不透明。相对密度 10，硬度 3～5。沥青光泽，强放射性。$UO_2$、$UO_3$、PbO 的比例不固定（化学式的 $k$、$l$、$m$ 为比例数） | 形成于伟晶期或热液期的金属矿脉中，也可产于碳酸盐中。常与萤石、方铅矿等伴生 | 组成铀矿石的重要有用矿物 |

续表

| 矿物类型 | 矿物名称及化学成分 | 主要鉴定特征 | 成因与产状 | 用途 |
|---|---|---|---|---|
| 氧化物 | 钛铁矿 $FeTiO_3$ | 晶体呈厚板状或菱面体状，集合体多呈不规则的粒状，也有致密块状。钢灰或铁黑色，条痕黑或褐色。相对密度 4.72，硬度 5～6。半金属光泽，不透明，微具磁性 | 主要形成于岩浆结晶作用晚期。在碱性伟晶岩中与长石、黑云母等共生；在基性岩中与磁铁矿共生 | 组成钛矿石的重要有用矿物 |
| | 磁铁矿 $Fe_3O_4$ | 晶体多呈八面体，少数呈菱形十二面体，晶面上有平行于菱形晶面长对角线的条纹，集合体多呈致密粒状块体，颜色和条痕均为铁黑色。相对密度 4.9～5.2，硬度 5.5～6。半金属至金属光泽。不透明，强磁性 | 成因不一，主要形成于内生和变质矿床中。常与赤铁矿、钛铁矿、铬铁矿等伴生 | 组成铁矿石的重要有用矿物 |
| | 铬铁矿 $FeCr_2O_4$ | 晶体呈细小的八面体，通常呈粒状、豆状、致密块状等集合体。黑色，条痕褐色。相对密度 4～4.8，硬度 5.5～7.5。半金属光泽，具弱磁性 | 是岩浆成因的矿物，常存在于超基性岩中。与橄榄石密切共生 | 组成铬矿石的惟一有用矿物 |
| | 铌钽铁矿 $(Fe，Mn)Nb_2O_6$ - $(Fe，Mn)Ta_2O_6$ | 晶体呈板状或短柱状。黑色或褐黑色，条痕暗红至黑色。相对密度 5.15～8.20，随着 $Ta_2O_5$ 含量的增高而加大，硬度 6。半金属光泽，性脆 | 形成于伟晶期末，常见于花岗伟晶岩中，与钠长石、绿柱石、电气石等共生 | 组成铌、钽矿石的重要有用矿物 |
| 氢氧化物 | 铝土矿 | 它是细分散矿物的集合体，实质上是一种岩石名称，包括一水硬铝矿 $HAlO_2$，一水软铝矿 $AlO(OH)$，三水铝矿 $Al(OH)_3$，等三种矿物，并含其他杂质矿物，如黏土矿物、赤铁矿等。一般铝土矿多呈豆状、土状或块状集合体。颜色变化大，有灰白、灰褐到黑灰。相对密度 2.43～3.5，硬度 2.5～7。玻璃光泽或土状光泽 | 主要形成于风化和沉积矿床中，少数形成于低温热液矿床中 | 重要的铝矿石；铝土矿还是人工磨料、耐火材料、高铝水泥的原料 |
| | 硬锰矿 $mMnO·MnO_2·nH_2O$ | 晶体少见，通常呈钟乳状、肾状、葡萄状，具同心层状构造，有时亦呈致密块状或树枝状。实质上是多种含水氧化锰的细分散多种矿物集合体总称。颜色和条痕均为黑色。相对密度 4.4～4.7，硬度 4～6。半金属光泽，性脆。呈土状、烟灰状者称锰土 | 形成于风化或沉积矿床中。常与软锰矿相伴生 | 组成锰矿石的重要有用矿物 |
| | 蛋白石 $SiO_2·nH_2O$ | 非晶质，通常呈致密块状，外观呈钟乳状。多呈白色，含杂质时，可呈黄、褐、红、绿、黑等各种颜色。玻璃或蜡状光泽。相对密度 1.9～2.5，硬度 5～5.5。贝壳状断口 | 主要由风化或沉积作用所形成，也常为火山区温泉的沉积物 | 可作琢磨材料、建筑材料、陶瓷原料、装饰品等 |
| | 褐铁矿 $Fe_2O_3·n_2H_2O$ | 实际上是包含针铁矿、水针铁矿、水赤铁矿、含水氧化硅和泥质所组成的混合体。通常呈钟乳状、土状、块状等集合体。黄褐至棕黑色，条痕褐色，相对密度 3.9～4.0，硬度 1～4。半金属或土状光泽 | 由含铁矿物风化而成，常与针铁矿、水针铁矿等伴生 | 富集时为组成铁矿石的有用矿物；此外可作颜料 |

续表

| 矿物类型 | 矿物名称及化学成分 | 主要鉴定特征 | 成因与产状 | 用途 |
|---|---|---|---|---|
| 硅酸盐 | 橄榄石 $(Mg,Fe)_2[SiO_4]$ | 晶体不常见，通常呈粒状集合体。颜色为橄榄绿、黄绿至黑绿。相对密度3.3～3.5，硬度6.5～7.5。玻璃光泽，半透明，贝壳状断口，性脆 | 为岩浆成因矿物，主要产于基性、超基性岩中，常与铬铁矿、辉石等共生 | 作镁质耐火材料；透明者可做宝石；铸造用砂 |
| | 石榴子石 $A_3B_2[SiO_4]_3$ | 晶体呈菱形十二面体和四角三八面体，集合体为散粒状或致密块状。有肉红、褐、绿、紫等颜色。玻璃或油脂光泽。相对密度3.5～4.2，硬度6.5～7.5。不完全或无解理，断口参差状（化学式中A代表二价阳离子：$Mg^{2+}$、$Fe^{2+}$、$Mn^{2+}$、$Ca^{2+}$；B代表三价阳离子：$Al^{3+}$、$Fe^{3+}$、$Cr^{3+}$） | 主要由接触交代和变质作用所形成。常与透辉石、绿帘石、蓝晶石、硅线石等矿物共生。结晶片岩中也可见到 | 可作研磨材料；透明色美者可作宝石 |
| | 蓝晶石 $Al_2[SiO_4]O$ | 晶体呈扁平柱状，集合体呈放射状。蓝色、黄色或绿色。相对密度3.56～3.68，硬度异向性明显，平行晶体伸长方向4.5，垂直方向为6～7。玻璃光泽，解理面珍珠光泽。性脆 | 为区域变质作用的产物，常见于各种结晶片岩中 | 用于制作耐火和耐酸材料的原料 |
| | 红柱石 $Al_2[SiO_4]O$ | 晶形呈柱状，横断面近于四方形，集合体常呈粒状及放射状（形似菊花者又称菊花石）。常为灰、黄、褐、玫瑰、红等色。相对密度3.1～3.2，硬度7～7.5。玻璃光泽，参差断口 | 主要由接触变质形成，常见于泥质岩石和侵入体接触带。少数见于区域变质岩中 | 同蓝晶石 |
| | 黄　晶 $Al_2[SiO_4](F,OH)_2$ | 晶体呈柱状，晶面有纵纹，通常为致密粒状集合体。有浅黄、浅蓝、浅绿、浅红等颜色。相对密度3.52～3.57，硬度8。玻璃光泽。一组解理完全，贝壳状断口 | 典型的高温气成矿物。常见于花岗伟晶岩脉，云英岩及钨锡石英脉内 | 作研磨材料、仪器轴承；透明色美者做宝石 |
| | 绿帘石 $Ca_2(Al,Fe)_3[Si_2O_7][SiO_4]O(OH)$ | 晶体呈柱状或板状，晶面有明显条纹，集合体多为密集粒状或放射状。颜色黄绿至黑绿。玻璃光泽。相对密度3.35～3.38，硬度6.5 | 主要为热液蚀变产物，广泛存在于矽卡岩和经受热液作用的岩浆岩和沉积岩中 | 暂无实用价值 |
| | 电气石 $(Na,Ca)(Mg,Al)_6[B_3Al_3Si_6(O,OH)_{30}]$ | 晶体呈柱状，晶面上有明显的纵纹，其横断面为球面三角形，集合体多为放射状、棒状、束针状。常呈暗蓝、暗褐及黑色，也有绿、浅黄，浅红、玫瑰等色。晶体两端或晶体中心与边缘部分表现出不同的颜色（即多色现象）。相对密度2.9～3.25，硬度7～7.5。玻璃光泽。加热、摩擦、加压时生电 | 主要由气成作用形成，常见于伟晶岩脉及云英岩中，与石英、长石、云母、绿柱石等，矿物共生 | 大的晶体可做无线电器材；薄片做偏光器；美丽者可做宝石 |

续表

| 矿物类型 | 矿物名称及化学成分 | 主要鉴定特征 | 成因与产状 | 用途 |
|---|---|---|---|---|
| 硅酸盐 | 绿柱石 $Be_3Al_2[Si_6O_{18}]$ | 晶体呈六方柱状，柱面有纵纹。集合体呈晶簇。常呈绿色或黄色，有时呈玫瑰色或无色透明。相对密度 2.63 ~ 2.91，硬度 7.5 ~ 8。玻璃光泽，解理不完全，贝壳状或参差状断口。性脆 | 主要为气成作用的产物，常见于花岗伟晶岩中 | 组成铍矿石的重要有用矿物。色美者可做宝石，其中以祖母绿最佳 |
| | 透辉石 $CaMg[Si_2O_6]$ | 晶体呈短柱状，完整者少见，其横断面呈假正方形或八边形，集合体呈粒状或放射状。浅灰或浅绿色。相对密度 3.27 ~ 3.38，硬度 5.5 ~ 6。玻璃光泽，二组解理交角为 87° | 主要形成于接触交代过程中，为矽卡岩的主要矿物成分，常与石榴石、硅灰石等矿物共生。此外还广泛分布于基性岩和超基性岩浆岩中 | 节能陶瓷原料，钢铁工业中可用作保护渣和保温帽原料 |
| | 普通辉石 $Ca(Mg,Fe,Al)[(Si,Al)_2O_6]$ | 晶体常呈短柱状，横断面近等边的八边形，集合体呈致密粒状。颜色为黑绿或褐黑色，条痕灰绿，相对密度 3.2 ~ 3.6，硬度 5 ~ 6。玻璃光泽，二组解理交角为 87° | 为岩浆成因的矿物。常见于基性岩中，与橄榄石、基性斜长石等矿物共生 | 暂无实用价值 |
| | 透闪石 $Ca_2Mg_5[Si_{4O_n}]_2(OH)_2$ | 晶体呈长柱状或针状，集合体为放射状或纤维状。颜色浅灰。相对密度 2.9 ~ 3.0，硬度 5 ~ 6。玻璃光泽，性脆，两组解理交角为 56° | 形成于岩浆期后和变质作用。常见于矽卡岩或结晶片岩中 | 节能陶瓷原料 |
| | 阳起石 $Ca_2(Mg,Fe)_5[Si_4O_{11}]_2(OH)_2$ | 形态同透闪石。其隐晶质致密块体称为软玉，颜色较透闪石深，呈深浅不同的绿色。相对密度为 3.1 ~ 3.3，硬度 5.5 ~ 6。玻璃或丝绢光泽 | 同 上 | 一般无实用价值。软玉可作装饰用 |
| | 普通角闪石 $Ca_2Na(Mg,Fe)_4(Al,Fe)[(Si,Al)_4O_n]_2(OH)_2$ | 晶体呈柱状。深绿至黑色，条痕微带浅绿的白色。相对密度 3.1 ~ 3.3，硬度 5.5 ~ 6。玻璃光泽，其横断面呈假六方形，两组解理交角为 56° | 为岩浆成因或变质成因矿物，常见于基性、中性岩浆岩和变质岩中 | 用作水泥优质充填材料 |
| | 硅灰石 $Ca_3[Si_3O_9]$ 或 $CaSiO_3$ | 晶体呈板状或柱状，集合体呈片状或放射状。白色，微带浅灰或浅红。相对密度 2.78 ~ 2.91，硬度 4.5 ~ 5。玻璃光泽。两组解理交角 74°。易溶于酸 | 为接触变质成因的矿物，常与石榴石、透辉石等矿物共生 | 节能陶瓷原料；塑料、橡胶制品的填充、增强改性剂；连铸保护渣基料；新型建材等 |
| | 硅线石 $Al[AlSiO_5]$ | 晶体呈针状或棒状，柱面有条纹，集合体呈放射状或纤维状。有灰、浅绿、浅褐等色。相对密度 3.23 ~ 3.25，硬度 7。玻璃光泽，一组完全解理 | 为变质成因矿物。常见于火成岩与富铝质岩石的接触变质带和结晶片岩中 | 用作耐火材料 |

续表

| 矿物类型 | 矿物名称及化学成分 | 主要鉴定特征 | 成因与产状 | 用途 |
|---|---|---|---|---|
| 硅酸盐 | 滑　石<br>$Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2$ | 晶体呈板状，但少见，通常呈片状或致密块状集合体。白色，微带浅黄、浅褐或浅绿等色，有时染色很深。相对密度 2.7～2.8，硬度 1。玻璃光泽或油脂光泽，解理面显珍珠光泽。一组解理极完全。薄片有挠性，且具滑感和绝缘性 | 富镁质的岩石受热液蚀变的产物。常与菱镁矿、赤铁矿等共生 | 为造纸、陶瓷、橡胶、香料、药品、耐火材料的重要原料 |
| | 蛇纹石<br>$Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$ | 通常呈致密块状，少数呈片状或纤维状等集合体。颜色多为深浅不同的绿色（如黑绿、暗绿、黄绿）。油脂光泽或蜡状光泽。相对密度 2.5～2.7，硬度 2～3.5 | 是热液对橄榄石、辉石、白云石等交代的产物 | 可炼制钙镁磷肥；制耐火材料；作细工石材 |
| | 石　棉（分别与蛇纹石、透闪石、阳起石的成分相同） | 为纤维状的集合体。包括有：蛇纹石石棉，又称之为温石棉，即纤维状蛇纹石的集合体；角闪石石棉，即透闪石石棉（纤维状透闪石集合体）和阳起石石棉（纤维状阳起石集合体），石棉是三者的总称，其颜色有灰白、浅黄、浅绿等色。相对密度 3.2～3.3，硬度 2～4。丝绢光泽。具有耐热、绝缘、劈分等性能。蛇纹石石棉以其能溶于 HCl 区别于角闪石石棉 | 富含镁质的岩石或矿物经热液蚀变或接触交代而成 | 用作隔热、保温、绝缘、防火、过滤等方面材料的原料 |
| | 高岭石<br>$Al_4[Si_4PO_{10}](OH)_8$ | 常呈疏松鳞片状，结晶颗粒细小。多呈致密粒状、土状、疏松块状等集合体。主要为白色或灰白色，也有浅黄、浅绿、浅褐等色。相对密度 2.58～2.60，硬度 1～2.5。土状光泽。鳞片具挠性，干燥时具吸水性，用水潮湿后具可塑性。粘舌。有粗糙感 | 主要由富含铝硅酸盐矿物的火成岩及变质岩风化而成。有时也为低温热液对围岩蚀变的产物 | 用于陶瓷、造纸、橡胶工业等 |
| | 黑云母<br>$(Mg，Fe)_3[AlSi_3O_{10}](OH，F)_2$ | 晶体呈板状或短柱状，集合体呈片状。黑或深褐色。相对密度 3.02～3.12，硬度 2～3。玻璃光泽，解理面上显珍珠晕彩。半透明，一组极完全解理，薄片具弹性 | 主要为岩浆和变质成因的矿物。是主要造岩矿物之一。大的晶体常见于花岗伟晶岩脉中 | 细片常用做建筑材料充填物，如云母沥青毡 |
| | 白云母<br>$KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2$ | 晶体呈板状或片状，集合体多呈致密片状块体。薄片一般无色透明，并具弹性。相对密度 2.76～3.10，硬度 2～3。解理面显珍珠光泽，一组极完全解理。绝缘性极好。具有丝绢光泽的隐晶质块体称为绢云母 | 内生和变质作用均可形成。常见于花岗岩、伟晶岩、云英岩和变质岩中，与黑云母共生 | 电气工业上用作绝缘材料。超细粉可作橡胶、塑料、油漆、化妆品、各种涂料的填料。云母粉还可以制成云母陶瓷、云母纸等 |

续表

| 矿物类型 | 矿物名称及化学成分 | 主要鉴定特征 | 成因与产状 | 用途 |
|---|---|---|---|---|
| 硅酸盐 | 绿泥石叶绿泥石为：$(Mg,Fe)_5Al[AlSi_3O_{10}](OH)_8$<br>鲕绿泥石为：$Fe_4Al[AlSi_3O_{10}](OH)_6\cdot nH_2O$ | 绿泥石为一族矿物的总称，其中包括：叶绿泥石、斜绿泥石、鲕绿泥石、鳞绿泥石等矿物。这些矿物极相似，肉眼难分辨。其共同特点有：通常呈片状、板状或鳞片状集合体。颜色浅绿至深绿。相对密度2.60~3.40，硬度2~3。玻璃光泽或珍珠光泽，一组极完全解理。薄片具有挠性，但无弹性，以此可与绿色云母相区别。还具滑感 | 主要由中、低温热液作用和浅变质作用所形成。产于变质岩及中、低温热液蚀变的围岩中。但鲕绿泥石常产于沉积铁矿床中 | 鲕绿泥石大量聚积时，可作为铁矿石 |
| | 海绿石$K_{<1}(Fe^{3+},Fe^{2+},Al,Mg)_{2\sim2}[Si_3(Si,Al)O_{10}](OH)_2\cdot nH_2O$ | 晶体呈细小的六方外形，但极少见。通常为粒状或小球状浸染体。暗绿或黑绿色。相对密度2.2~2.8，硬度2~3。一般无光泽 | 仅形成于浅海沉积岩和近代海底沉积物中 | 可作肥田粉或绿色染料 |
| | 叶蜡石$Al_2[Si_4O_{10}](OH)_2$ | 完好晶形少见。常呈叶片状，鳞片状或隐晶质致密块体。白色、浅绿、浅黄或淡灰色，半透明，玻璃光泽，致密块者呈油脂光泽，解理面珍珠光泽。一组完全解理。硬度1~1.5。相对密度2.65~2.90。与滑石相似，区别在于用硝酸钴法，滑石灼烧后与硝酸钴作用变为玫瑰色，而叶蜡石则成蓝色 | 富铝岩石受热液作用的产物。主要由中酸性喷出岩、凝灰岩或酸性结晶片岩，经热液作用变质而成 | 作为填料或载体，用于造纸、橡胶、油；漆、日用化工和农药等部门。在雕刻工艺和印章制作中，叶蜡石已有很悠久的历史 |
| | 蛭石$(Mg,Ca)_{0.3\sim4.5}(H_2O)_n\{(Mg,Fe^{3+},Al)_3[(Si,Al)_4O_{10}](OH)_2\}$ | 褐、黄褐、金黄、青铜黄色，有时带绿色。光泽较黑云母弱，油脂或珍珠光泽。一组完全解理，解理片不具弹性。硬度1~1.5。相对密度2.4~2.7。灼热时体积膨胀并弯曲如水蛭，显浅金黄或银白色，金属光泽，膨胀后体积增大15~40倍 | 主要由黑云母或金云母经热液蚀变或风化而成。也可由基性岩受酸性岩浆的变质作用而形成 | 作为轻质、保温、隔热、隔音、防水等材料，广泛地应用于建筑行业及多种工业部门 |
| | 蒙脱石$E_x(H_2O)_4\{(Al_{2-x},Mg_x)_2[(Si,Al)_4O_{10}](OH)_2\}$ | 常呈土状隐晶质块体，电镜下为细小鳞片状。白色，有时为浅灰、粉红、浅绿色。硬度2~2.5。相对密度2~2.7。有滑感，加水膨胀，体积能增加几倍，并变成糊状物。具有很强的吸附力及阳离子变换能力 | 主要由基性火成岩在碱性环境中风化而成。也有的是海底沉积的火山灰分解后的产物。蒙脱石为膨润土的主要成分 | 蒙脱石黏土用途广泛。用于做铁矿球团和铸造型砂的黏结剂和钻井泥浆的分散剂以及吸附剂、脱色剂和填加剂等 |

续表

| 矿物类型 | 矿物名称及化学成分 | 主要鉴定特征 | 成因与产状 | 用途 |
|---|---|---|---|---|
| 硅酸盐 | 坡缕石 $(Mg,Al)_5(H_2O)_4[(Si,Al)_4O_{10}](OH)_2\cdot 4H_2O$（又称凹凸棒石） | 通常为纤维状或土状集合体。白、灰、浅绿或浅褐色。硬度 2～3。相对密度 2.05～2.32，淋滤－热液成因者常呈纤维状，纤维柔软，具强吸附性。土状者土质细腻，具滑感。具良好的吸附性，吸水性强，遇水不膨胀，湿时具黏性和可塑性，干燥后收缩性小。具阳离子交换性能 | 形成于沉积作用或为热液、蚀变的产物 | 当前最好的特殊泥浆料，用于地热、盐类地层、石油及海洋钻探。由于它具有良好的吸附、脱色、净化、过滤性而广泛用于食品、酿造、医药、环保、国防、畜牧等方面。还作为填料、黏结剂等用于橡胶、塑料、纸张及冶金球团化妆品等 |
| | 海泡石 $Mg_8(H_2O)_4[Si_6O_{15}]_2(OH)_4\cdot 8H_2O$ | 常为纤维状、土状集合体、白、浅灰、褐红等色。硬度 2～3。相对密度 2～2.5。性软，有滑腻感，具吸附性、抗盐性、阳离子交换性等 | 通常作为表生矿物见于蛇纹岩风化壳。沉积作用形成的见于碳酸盐岩石中 | 同　上 |
| | 斜长石 $(100-n)Na[AlSi_3O_8]\cdot nCa[Al_2Si_2O_8]$ | 晶体呈板状或板柱状，双晶常见，通常为粒状、片状或致密块状集合体。常为白或灰白色。相对密度 2.61～2.76，硬度 6～6.5。玻璃光泽，两组解理完全，其解理交角为 86°24′～86°50′ | 内生、变质作用均可形成。广泛存在于岩浆岩和变质岩中。是主要造岩矿物之一 | 用于陶瓷工业；色彩美丽者可做装饰品 |
| | 正长石 $K[AlSi_3O_8]$ | 晶体呈短柱状或厚板状，双晶常见。集合体为粒状或致密块状。多为肉红或黄褐色。相对密度 2.57，硬度 6～6.5。玻璃光泽，两组解理完全，其交角为 90°。当两组解理交角为 89°30′时，称之为钾微斜长石 | 主要形成于岩浆期和伟晶岩期，多存在于酸性及部分中性岩浆岩中 | 用做陶瓷、玻璃和钾肥的原料 |
| | 霞　石 $Na[AlSiO_4]$ | 晶体少见，通常呈粒状或致密块状集合体。一般无色，有时为灰白色或灰色微带浅黄、浅褐、浅红等色调。相对密度 2.6，硬度 5～6。晶面显玻璃光泽，断口呈油脂光泽。解理不完全，性脆 | 是标准的岩浆矿物。分布于贫 $siO_2$ 的碱性火成岩中，与碱性长石和碱性辉石等矿物共生 | 用做玻璃和陶瓷的原料；也可从中提炼铝 |
| | 白榴石 $K[AlSi_2O_6]$ | 常呈粒状集合体。单晶体呈完善的四角三八面体。白色、灰色或炉灰色。透明、玻璃光泽，断口油脂光泽，条痕无色或白色。无解理。硬度 5.5～6。相对密度 2.40～2.50 | 通常呈斑晶产于富钾贫硅的喷出岩及浅成岩中。一般不与石英共生 | 可作为提取钾和铝的原料 |

续表

| 矿物类型 | 矿物名称及化学成分 | 主要鉴定特征 | 成因与产状 | 用途 |
|---|---|---|---|---|
| 硅酸盐 | 沸　石 $A_mX_pO_{2p}\cdot nH_2O$（A = Na，Ca，K及少量的Ba，Sr，Mg等；X = Si，Al，；四位体位置的Al:Si≤1） | 沸石为一族矿物的总称。其中包括毛沸石、丝光沸石、斜发沸石、片沸石、方沸石、菱沸石等矿物。本族矿物的晶体形态多数呈纤维状或束状、柱状，部分为板状、菱面体、八面体、立方体等近三向等长的粒状。硬度3.5～5.5，相对密度2.1～2.5。具较低的折射率，易被酸分解。肉眼鉴定沸石族矿物比较困难，需借助X射线，光学显微镜、差热分析及红外光谱等方法确定之 | 内力作用中形成于晚期低温热液阶段，常见于基性火山岩的裂隙或杏仁体中。外力作用中多见于由火山碎屑形成的沉积岩中，在土壤中也有发现 | 由于具有优良的吸附，离子交换、催化、耐酸、耐热和相对密度小等性能，因此在建筑材料工业、农业、轻工业、环保及国防等方面具有十分广泛的用途 |
| 硼酸盐 | 硼　砂 $Na_2[B_4O_7]\cdot 10H_2O$ | 晶体呈短柱状，集合体呈土状块体。通常为无色或白色。有时微带淡灰、淡蓝及淡绿等色。硬度为2～2.5，相对密度1.71。玻璃或土状光泽。易溶于水，在空气中易脱水，表面形成白色块状皮膜。置火焰上烧之膨胀，易熔成透明的玻璃状物体，并使火焰染成黄色 | 形成于化学沉积矿床。主要产于干旱地区的盐湖中，与石盐、石膏、芒硝等矿物共生 | 组成硼矿石的重要有用矿物 |
| 磷酸盐 | 磷灰石 $Ca_5[PO_4]_3(F，Cl)$ | 晶体呈六方柱状，集合体为粒状、致密块状、土状和结核状等。有灰白、黄绿、翠绿等色。相对密度3.18～3.21，硬度5。玻璃或油脂光泽。性脆。于暗处以锤击之或用火烧其粉末均发绿光。将钼酸铵粉末置于磷灰石上，加硝酸时，生成黄色磷钼酸铵沉淀 | 成因不一，主要为外生沉积形成；内生成因次之；变质成因也有 | 组成磷矿石的重要有用矿物。为制造磷肥的主要原料 |
| 钨酸盐 | 白钨矿（钨酸钙矿） $Ca[WO_4]$ | 晶体呈八面体形，通常呈不规则的颗粒，较少为致密块体。多为灰白色，有时带浅黄、褐色。相对密度5.8～6.2，硬度4.5。油脂或金刚光泽。紫外光照射下可发浅蓝色荧光 | 主要形成于接触交代型的矿床中，常与柘榴石、透辉石，符山石，硅灰石等矿物共生 | 组成钨矿石的重要有用矿物 |
| | 黑钨矿（钨锰铁矿） $(Mn，Fe)WO_4$ | 晶体呈厚板状或短柱状，晶面上有纵纹，集合体多为刃片状或粒状。褐黑色，条痕褐色。相对密度6.7～7.5，硬度4.5～5.5。半金属光泽。一组完全解理。性脆 | 主要形成于高温热液的石英脉内，常与锡石、毒砂、辉钼矿等共生 | 同　上 |

续表

| 矿物类型 | 矿物名称及化学成分 | 主要鉴定特征 | 成因与产状 | 用途 |
|---|---|---|---|---|
| 硫酸盐 | 硬石膏 $CaSO_4$ | 晶体呈板状或厚板状，集合体呈致密粒状或纤维状。多为白色，有时带浅蓝、浅灰或浅红等色调。相对密度 2.8 ~ 3，硬度 3 ~ 3.5。玻璃光泽。三组解理相互直交 | 主要形成于化学沉积矿床中，偶尔也有内生成因的。常与石盐、石膏等共生 | 可做农肥、水泥、玻璃、建筑等原料 |
| | 石　膏 $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ | 晶体呈板状或柱状，通常呈纤维状、叶片状、粒状、致密块状等集合体。多为白色，也有灰、黄、红、褐等浅色。相对密度 2.3，硬度 1.5。玻璃光泽，性脆。两组解理夹角为 66°。较易溶于水，当温度为 37° ~ 38°时溶解度最大 | 成因不一，但主要为化学沉积作用的产物。常在干旱盐湖中与石盐、硬石膏等矿物共生 | 可做水泥、建筑、陶瓷、农肥等原料；还可用于造纸、医疗等方面 |
| | 重晶石 $BaSO_4$ | 晶体呈板状，集合体多为粒状或致密块状。一般无色，因含杂质而染成灰白、淡红、淡褐等色。相对密度 4.3 ~ 4.5，硬度 3 ~ 3.5。玻璃或珍珠光泽。三组解理（一组完全）。性脆。用火烧时有噼啪响声 | 为热液或沉积成因。常与萤石、方解石、闪锌矿、方铅矿等共生 | 用于钻井、化工、橡胶和造纸工业 |
| 硫酸盐 | 方解石 $CaCO_3$ | 晶形多样，常见的有菱面体，集合体多呈粒状，钟乳状、致密块状、晶簇状等。多为白色，有时因含杂质染成各种色彩。相对密度 2.6 ~ 2.8，硬度 3。玻璃光泽，透明或半透明。无色透明，晶形较大者叫冰洲石。完全的菱面体解理。遇 HCl 起泡 | 各种地质作用均可形成。可产于各种岩石中，是石灰岩的主要组成矿物 | 可做石灰、水泥原料；冶金熔剂等，冰洲石具有极强的双折射率和偏光性能，被广泛应用于光学领域 |
| | 菱镁矿 $MgCO_3$ | 晶体少见，通常为致密粒状集合体。多为白色，有时微带浅黄或浅灰。相对密度 2.9 ~ 3.1，硬度 4 ~ 4.5。玻璃光泽。完全菱面体解理。加冷 HCl 不起泡 | 由热液或风化作用所形成。常与白云石、滑石、方解石等共生 | 用于耐火材料及提取金属镁 |
| | 菱锌矿 $ZnCO_3$ | 晶体不常见，通常呈土状、钟乳状、皮壳状等。常为白色，有时微带浅绿、浅褐或浅红。相对密度 4.1 ~ 4.5，硬度 5。玻璃光泽，性脆 | 主要分布于石灰岩中铅锌硫化物矿床的氧化带。是闪锌矿氧化分解所形成 | 组成锌矿石的有用矿物 |
| | 菱铁矿 $FeCO_3$ | 晶体呈菱面体形，集合体呈粒状，鲕状、结核状、钟乳状等。颜色为浅褐、灰色或深褐。相对密度 3.9，硬度 3.5 ~ 4.5。玻璃光泽，性脆。加热 HCl 起泡，加冷 HCl 时缓慢作用，形成黄绿色的 $FeCl_3$ 薄膜。碎块烧后变红，并显磁性 | 形成于还原条件下。沉积型的常产于黏土、页岩及煤层内；也有热液成因的 | 组成铁矿石的有用矿物 |

续表

| 矿物类型 | 矿物名称及化学成分 | 主要鉴定特征 | 成因与产状 | 用途 |
|---|---|---|---|---|
| 硫酸盐 | 菱锰矿 $MnCO_3$ | 晶体不常见，通常呈粒状、肾状、结核状等集合体。常为玫瑰色，氧化后为褐黑色。相对密度 3.6～3.7，硬度 3.5～4.5。玻璃光泽。菱面体解理完全，性脆 | 有内生热液成因和外生沉积成因的。常见于海相沉积锰矿床中 | 组成锰矿石的重要有用矿物 |
| | 白云石 $CaMg[CO_3]_2$ | 晶体常呈弯曲马鞍状的菱面体。集合体呈粒状、多孔状或肾状。主要为灰白色，有时微带浅黄、浅褐、浅绿等色。相对密度 2.8～2.9，硬度 3.5～4。玻璃光泽。三组解理完全，解理面常弯曲 | 主要为外生沉积成因，与石膏、硬石膏共生；也有热液成因的，多与硫化物、方解石等共生 | 用做耐火材料、冶金熔剂的原料 |
| | 白铅矿 $PbCO_3$ | 晶体呈板状或假六方双锥状，集合体呈致密块状、钟乳状和土状。多为白色，有时微带浅色。相对密度 6.4～6.6，硬度 3～3.5。金刚光泽，贝壳状断口。性脆。加 HCl 起泡 | 为铅锌硫化物矿床氧化带的次生铅矿物。往往与铅矾、方铅矿等矿物伴生 | 组成铅矿石的有用矿物 |
| | 孔雀石 $Cu_2[CO_3](OH)_2$ | 晶体呈柱状，极少见，通常呈肾状、葡萄状、放射纤维状集合体。绿色，条痕淡绿色相对密度 3.9～4.1，硬度 3.5～4。玻璃至金刚光泽，纤维状者具丝绢光泽。遇 HCl 起泡，以此与相似的硅孔雀石（$CuSiO_3 \cdot 2H_2O$）相区别 | 仅产于含铜硫化物矿床的氧化带，常与蓝铜矿、赤铜矿、辉铜矿等矿物共生 | 组成铜矿石的有用矿物；还可作颜料；致密色美者可用来雕刻工艺品 |
| | 蓝铜矿 $Cu_3[CO_3]_2(OH)_2$ | 晶体呈短柱状或厚板状，通常为细小晶簇、致密粒状、放射状等集合体。颜色深蓝或浅蓝，条痕浅蓝色。相对密度 3.7～3.9，硬度 3.5～4，玻璃至土状光泽。性脆。一组解理完全。遇 HCl 起泡 | 同 上 | 同 上 |

表 1－2－6 部分常见相似金属矿物肉眼鉴定特征表（仅供参考）

| 矿物颜色 | 矿物名称 | 鉴定特征与步骤 |
|---|---|---|
| 黄色 | 黄铜矿<br>黄铁矿<br>磁黄铁矿<br>镍黄铁矿<br>斑铜矿 | 首先根据颜色深浅，可将黄色矿物再分为二组：<br>（1）浅黄铜色：黄铜矿、黄铁矿<br>（2）暗铜黄（红）色：磁黄铁矿、镍黄铁矿、斑铜矿<br>黄铜矿与黄铁矿的主要区别是：黄铜矿可被小刀刻动，且颜色比黄铁矿要深一些；而黄铁矿不能被小刀所刻动<br>斑铜矿、磁黄铁矿、镍黄铁矿的区别是：磁黄铁矿有较强的磁性；斑铜矿表面有锖色，且具有铜的焰色反应（见辉铜矿的鉴定特征）；而镍黄铁矿既无磁性，又无铜的焰色反应，但有较强的导电性 |

续表

| 矿物颜色 | 矿物名称 | 鉴定特征与步骤 |
| --- | --- | --- |
| 铅灰色 | 方铅矿<br>辉锑矿<br>辉铋矿<br>辉钼矿<br>镜铁矿 | 首先根据矿物的晶形，可将铅灰色矿物分为三组：<br>（1）立方体：方铅矿<br>（2）柱状：辉锑矿、辉铋矿<br>（3）片状：辉钼矿、镜铁矿<br>辉锑矿与辉铋矿的区别是：辉锑矿的解理面上有横纹，其矿物粉末加上KOH后，先生成黄色，再变为褐色；而辉铋矿无此二特点<br>辉钼矿与镜铁矿的区别是：辉钼矿的条痕是灰黑色；而镜铁矿的条痕为樱红色 |
| 棕褐色 | 闪锌矿<br>锡　石<br>褐铁矿 | 根据矿物的光泽，可将棕褐色矿物再分为二组<br>（1）油脂或金刚光泽：闪锌矿、锡石<br>（2）半金属或土状光泽：褐铁矿<br>闪锌矿与锡石的区别是：闪锌矿可被小刀刻动；而锡石不能被小刀刻动 |
| 黑色 | 磁铁矿<br>铬铁矿<br>钛铁矿<br>黑钨矿<br>铌钽铁矿<br>硬锰矿<br>软锰矿<br>辉铜矿 | 首先根据矿物的形态，可将黑色矿物分为三组：<br>（1）粒状：磁铁矿、铬铁矿<br>（2）板状：钛铁矿、黑钨矿、铌钽铁矿<br>（3）土状或钟乳状：硬锰矿、软锰矿、辉铜矿<br>磁铁矿和铬铁矿的区别是：磁铁矿具强磁性，且矿物粉末溶解于浓盐酸，生成$FeCl_3$，溶液呈草黄色；而铬铁矿仅具弱磁性，且不溶于浓盐酸<br>钛铁矿、黑钨矿、铌钽铁矿的区别是：钛铁矿不具解理，且粉末溶于磷酸中，冷却稀释后加入$Naa_2O$，可使溶液呈黄褐色；黑钨矿和铌钽铁矿都具有一组完全的解理，但黑钨矿可被小刀刻动；而铌钽铁矿则不能被小刀刻动<br>硬锰矿、软锰矿、辉铜矿的区别是：有铜的焰色反应者为辉铜矿；加$H_2O_2$起泡，硬度大于指甲者为硬锰矿；而软锰矿虽加$H_2O_2$也起泡，但多数情况下，其硬度小于指甲，且易污手<br>说明：所谓强磁性矿物，即磁铁能直接吸引起矿物小块；而弱磁性矿物，磁铁只能吸引起矿物粉末 |

## 第六节　岩　　石

岩石是矿物的集合体，是各种地质作用的产物，是构成地壳的物质基础。

岩石学是研究岩石的种类、性质、成分、形成过程、演变历史以及与矿产关系的科学。

地壳中绝大部分矿产都产于岩石中，它们之间存在着密切的成因联系。如煤产在沉积岩里；大部分金属矿则产在岩浆岩或其形成与岩浆岩有直接或间接联系。研究岩石就是为了发现岩石与矿产的关系，从中找出规律，以便更多更好地找寻和开发矿产资源。另一方面，大多数岩石本身就是重要矿产，如花岗岩、大理岩可用作天然的建筑和装饰石料。此外，冶金用的耐火材料和熔剂，农业用的无机肥料以及部分能源，都来自天然岩石。

岩石对于采矿工作者尤为重要。工业场地摆布于岩石之上，开拓系统布置在岩石之中，开采对象——矿体不仅赋存在岩石内而且有着成因联系，要采矿石必须先采出大量岩石（如露天矿的剥离）。因此，采矿工程技术人员必须具备岩石学的知识。

需要指出，在研究人造（工艺）岩石时，也要广泛应用岩石学的知识。在研究提高各种硅酸盐制品——耐火材料、铸石、陶瓷、水泥、玻璃等和其他人造岩石的质量，以及研究其内部组成和结构与物理化学性能时，也要大量应用岩石学的研究方法。最近30年来，在此基础上产生了一门与岩石学有密切关系的新学科——工艺岩石学。

工艺岩石的研究，不仅能解决生产工艺中提出来的一系列实际问题（耐火材料、陶瓷、炉渣、磨料等），而且对了解天然岩石形成过程的理论问题有着十分重要的意义。

不难了解，地质作用的性质及进行的环境，会决定着矿物彼此组合的关系，亦即矿物在岩石中的分布情况。换句话说，决定着岩石的外貌，并以此作为鉴别三大类岩石的主要根据之一，这些关系表现在岩石的结构和构造两个方面：

1. 岩石的结构

岩石中矿物的结晶程度、颗粒大小和形状以及彼此间的组合方式叫做结构。这主要决定于地质作用进行的环境，在同一大类岩石中，由于它们生成的环境不同，就产生了种种不同的结构。关于这一点将在每一大类岩石的叙述中讨论。

2. 岩石的构造

岩石中矿物集合体之间或矿物集合体与岩石的其他组成部分之间的排列方式以及充填方式叫做构造。这反映着地质作用的性质。由岩浆作用生成的岩浆岩大多具有块状构造；由变质作用生成的变质岩，多数情况下它们的组成矿物一般都依一定方向作平行排列，具片理状构造；由外力地质作用生成的沉积岩，是逐层沉积的，多具层状构造。

研究岩石的结构构造，不仅对划分岩类，正确识别岩石有着实际意义，而且在采掘工艺中，对于研究岩体稳定、井巷支护、爆破措施及选择采掘机械起着重要作用。

组成地壳的岩石，按其成因可分为三大类：即岩浆岩、沉积岩和变质岩。

1. 岩浆岩

是内力地质作用的产物，系地壳深处的岩浆沿地壳裂隙上升，冷凝而成。埋于地下深处或接近地表的叫侵入岩；喷出地表的叫喷出岩。其特征是：一般均较坚硬，绝大多数矿物均成结晶粒状紧密结合，常具块状、流纹状及气孔状构造。原生节理发育。

2. 沉积岩

系先成岩石（包括沉积岩）经外力地质作用而形成。其特征是：常具碎屑状、鲕状等特殊结构及层状构造，并富含生物化石和结核。

3. 变质岩

系岩浆岩或沉积岩经变质作用而形成与原岩迥然不同的岩石。其特征是：多具明显的片理状构造。

## 一、岩　浆　岩

岩浆岩又叫火成岩，占地壳总质量的 95%，在三大类岩石中，岩浆岩占有比较重要的地位。岩浆岩的特征可以从物质成分、结构构造和产状几个方面研究。

### （一）岩浆岩的物质成分

岩浆岩的物质成分包括化学成分和矿物成分。研究物质成分不仅有助于了解各类岩浆岩的内在联系、成因及次生变化，而且可以作为岩浆岩分类的主要根据。因此，对物质成分及其变化规律的研究，是岩浆岩石学的主要任务之一。

1. 岩浆岩的化学成分　地壳中存在的元素在岩浆岩中几乎都有，但各种元素的含量却不相同。O、Si、Al、Fe、Mg、Ca、Na、K、Ti 元素在岩浆岩中普遍存在，其含量占岩浆岩组分的 99.25%，其次为 P、H、Mn、Ba 等。

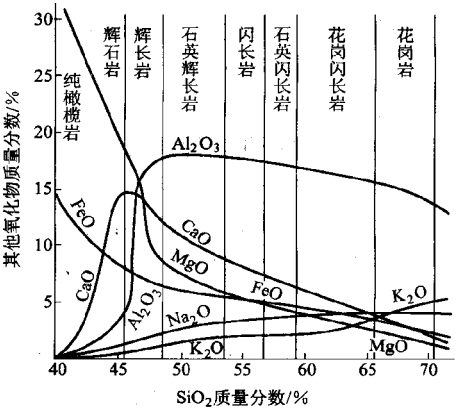



图 1－2－8　岩浆岩中主要氧化物之间的关系

岩浆岩的化学成分常用氧化物表示，其中 $SiO_2$ 的平均含量占 59.14%，其次为 $Al_2O_3$ 占 15.34%。在岩浆岩中各种主要氧化物之间，有很密切的关系（图 1－2－8），以 $SiO_2$ 含量为横坐标，作出与 $SiO_2$ 相应的其他六种氧化物的变化曲线。从图中可以看出岩浆岩中各种氧化物随 $SiO_2$ 含量的增减而作有规律的变化，根据 $SiO_2$ 含量，可以把岩浆岩分成四类：超基性岩（$w$（$SiO_2$）< 45%）、基性岩（$w$（$SiO_2$）45% ~ 52%）、

中性岩（$w$（siO－2）52%～65%）、酸性岩（$w$（$SiO_2$）>65%）。

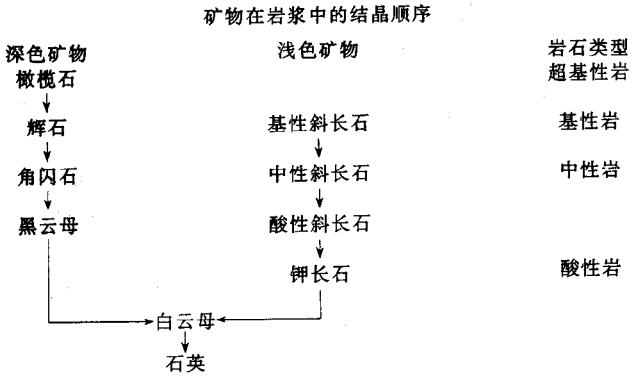
随着 $SiO_2$ 的增加，FeO 及 MgO 逐渐减少，故基性岩石中 FeO 及 MgO 比酸性岩多。CaO 在超基性岩中很少，基性岩中大量出现，以后随 $SiO_2$ 的增加又逐渐减少。$Al_2O_3$ 在基性岩中大量出现，随着 $SiO_2$ 增加略有变少的趋势。$K_2O$ 和 $Na_2O$ 在超基性岩中几乎没有，而在酸性岩中却有显著增加。了解上述变化规律，不仅有助于探讨岩浆岩的成因，而且对于了解岩浆岩中的矿物成分也有很大好处。

2. 岩浆岩的矿物成分　组成岩浆岩的大多数矿物，根据其化学成分特征，常常分为硅铝矿物和铁镁矿物两大类：

（1）硅铝矿物　矿物中 $SiO_2$ 和 $Al_2O_3$ 的含量较高，不含铁、镁。包括石英与长石类矿物，它们的颜色通常较浅，所以，又叫浅色矿物。

（2）铁镁矿物　这些矿物中含 FeO、MgO 较多，$SiO_2$ 和 $Al_2O_3$ 较少，包括橄榄石类、辉石类、角闪石类及黑云母类。矿物颜色较深，所以，又叫深色或暗色矿物。

不同类型的岩石，有着比较固定的矿物组合（如图解所示）。随着岩浆温度的下降，两个矿物系列，分别按顺序结晶。在同一时刻，两个系列所结晶析出的矿物，就共同组合成一定类型的岩浆岩。例如，辉长岩主要由基性斜长石和辉石组成。但必须指出，这些矿物结晶的顺序，并非后一种矿物必待前一种矿物结晶完毕后才开始结晶。事实上，由于岩浆温度是逐渐降低的，因此，相邻矿物在一定的温度范围内其结晶初始是互有先后的。故同一类岩石中可以或多或少含有与其近似岩类的矿物。




自然界中，绝大多数岩浆岩都是由浅色矿物和暗色矿物混合组成的，但在不同类型的岩石中，其含量比是不相同的，因此，岩石的颜色有深浅之分。一般从酸性岩到超基性岩，暗色矿物的含量逐渐增多，岩石的颜色也由浅而深。所以，岩浆岩中所含暗色矿物与浅色矿物的比例，对岩浆岩分类及鉴别各类岩石有着一定的意义。

（二）岩浆岩的结构构造

岩浆岩的结构构造是岩浆岩生成时，所处外界环境在岩石里的反映，也是岩浆岩分

类和命名的重要依据之一。

1. 岩浆岩的结构　主要是指组成岩浆岩的矿物颗粒大小和结晶程度等。最常见的结构有：

（1）等粒结构　岩石中的矿物全部为显晶质、粒状，且主要矿物颗粒大小近于相等的结构（图 1－2－9）。这种结构是在温度和压力较高，岩浆温度缓慢下降的条件下形成的。主要是深层侵入岩所具有的结构。依矿物结晶颗粒粗细分为粗粒（晶粒直径 > 5mm）、中粒（5～2mm）和细粒（2～0.2mm）三种。

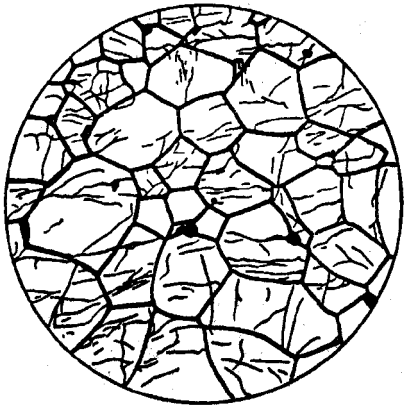


图 1－2－9　等粒结构

（2）斑状结构　岩石中较大晶体散布在较细物质之间的结构（图 1－2－10）。大的晶体称斑晶，细小的部分称基质。这种结构主要是由于矿物结晶的时间先后不同造成的。在地下深处，温度、压力较高，部分物质先结晶，生成一些较大的晶体——斑晶。随着岩浆继续上升到浅处或喷出地表，尚未结晶的物质，由于温度下降较快，迅速冷却形成结晶细小或不结晶的基质。故斑状结构为浅成岩或喷出岩所具有。

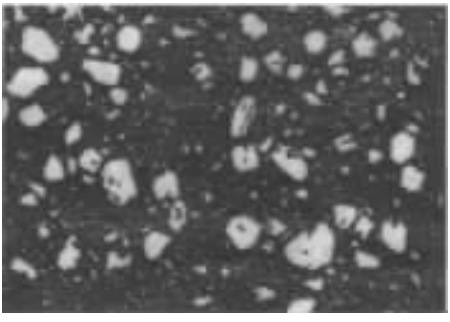


图 1－2－10　斑状结构

（3）隐晶质结构　矿物颗粒在肉眼和放大镜下看不见，只有在显微镜下才能鉴别这种结构。从外表看，岩石断面是粗糙的。它是在岩浆很快冷却的情况下形成的，常为喷出岩所具有。

(4) 玻璃质结构　矿物没有结晶。岩石断面光滑，具玻璃光泽，为喷出岩所特有的结构。

2. 岩浆岩的构造　指岩石外表的整体特征，它是由矿物集合体的排列方式和充填方式决定的。常见的构造有：

(1) 块状构造　组成岩石的各种矿物，无一定的排列方向，而是均匀分布于岩石之中，是侵入岩特别是深成岩所具有的构造（图 1－2－11）。



图 1－2－11　块状构造

(2) 带状构造　岩石由不同成分的物质条带相间组成（图 1－2－12）。主要发育在超基性岩和伟晶岩体中。

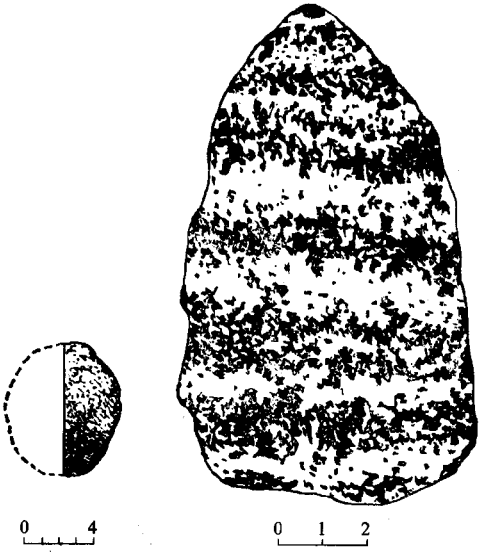



图 1－2－12　带状构造

(3) 气孔状和杏仁状构造　岩石中分布着大小不同的圆形或椭圆形空洞，称气孔状构造。它是岩浆冷却较快，所含气体占有一定空间位置，气体逸出，便造成空洞（即气孔）。当气孔被后来的硅质、钙质等充填，便形成杏仁状构造（图 1－2－13）。为喷出

岩所特有的构造。

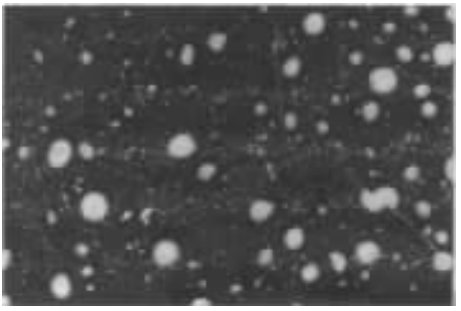


图 1 – 2 – 13　气孔和杏仁状结构

（4）流纹构造：黏度大的岩浆在流动过程中，形成不同颜色的条纹或拉长的气孔，长条状矿物沿一定方向排列，所表现出来的熔岩流的流动构造（图 1 – 2 – 14）。

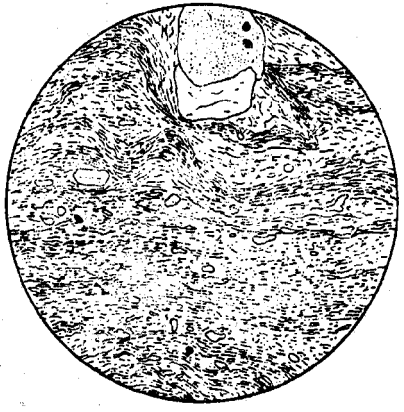


图 1 – 2 – 14　流纹构造

上述结构、构造特征，反映了岩浆岩的生成环境和生成条件，不仅是岩浆岩分类和命名的重要依据，而且是影响开采技术条件的因素之一。

（三）岩浆岩的产状

岩浆岩产状指岩体形态、大小、深度以及与围岩的关系。由于生成条件和所处环境不同，岩浆岩的产状是多种多样的（图 1 – 2 – 15）。

1. 深成岩的产状　其规模甚大，面积由几平方千米至几百、几千平方千米。其形态有岩基和岩株。

（1）岩基　是体积巨大，形状不规则，下大上小的穹窿状岩体。一般向下延伸很深。岩基通常切割围岩但有时局部也与围岩平行。岩基一般为粗大的等粒全晶质花岗岩构成。

（2）岩株　岩基边缘的分枝，在深部与岩基相连，在上部则向外伸出。岩株切穿围岩。

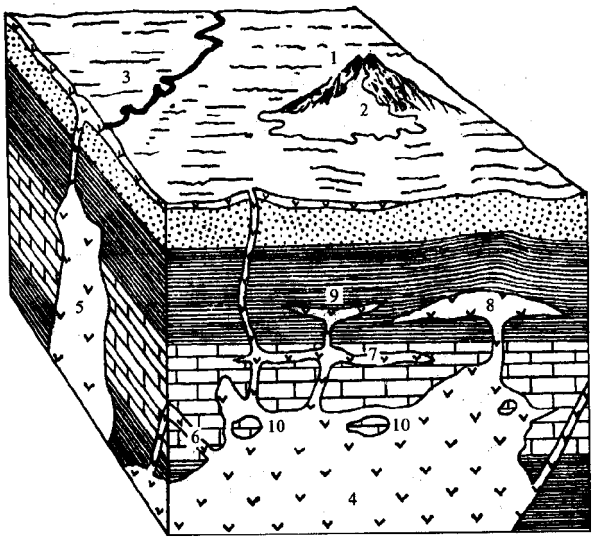



图 1－2－15 岩浆岩的产状

1—火山锥；2—熔岩流；3—熔岩被；4—岩基；5—岩株；6—岩墙；7—岩床；8—岩盘；9—岩盆；10—捕虏体

深成作用的岩浆规模比浅成作用大，因此，热量大、压力大，对围岩有同化现象，在岩体边缘多有捕虏体。这些捕虏体是岩浆上升过程中，从围岩掉下来的碎块。这在浅成岩一般是很少见的。

2. 浅成岩产状 其岩体规模不大，出露面积由几十平方米到几平方千米。岩体形态及其与围岩接触关系有下列几种：

(1) 岩盘 岩浆顺裂隙上升，侵入于岩层之中，由压力将岩层沿层面撑开，岩浆在其中冷凝成一个上凸下平透镜状的岩体，与围岩呈和谐的接触关系。

(2) 岩盆 与岩盘一样，其不同点是顶部平整，而中央向下凹的岩体，形似面盆。

(3) 岩床 岩体顶、底都是平的，呈层状夹于沉积岩中，且与之呈整合接触关系。但上、下岩层皆受热力影响而发生变化，表示岩床系由岩浆侵入作用所造成。

(4) 岩墙 岩浆侵入到岩层裂隙中，冷凝而成的岩体，叫岩墙。它切穿围岩并与之成不谐和的接触关系。形状不规则的岩墙或其分枝，叫做岩脉。

3. 喷出岩的产状 其规模大小视喷出作用的强弱而定。常常由熔岩被或熔岩流形成层状及由火山碎屑物形成火山锥。

熔岩被是熔岩大量涌出地表时，覆盖在广大地面上的岩体。熔岩流是熔岩大量涌出自火山口向前流动的舌状岩体。

研究岩浆岩的产状，不仅可以帮助我们了解岩浆岩的形成条件及形成环境，而且也涉及到岩浆岩的分类问题。

### （三）岩浆岩的分类及各类岩石特点

为了系统研究岩浆岩，给岩石以恰当的名称，必须给予岩浆岩以科学的分类。自然界的岩浆岩种类繁多，它们彼此间存在着物质成分、结构构造、产状及成因等方面的差异。但同时各种岩浆岩之间又有一系列的过渡种属，显示了它们之间存在着十分密切的内在联系。对于各种岩浆岩之间的差异与联系的认识，并将其合理归纳，是分类的任务之一。

分类的目的既然是为了掌握各种岩石之间的共性、特性以及彼此间的共生关系和成因上的联系，因此，分类的原则首先应该考虑到尽量使分类符合客观实际，减少人为因素。其次是要有统一的依据，并力求简明扼要，便于使用。

本教材根据岩浆岩的化学成分、矿物成分、结构构造及产状等，归纳成岩浆岩分类简表（表 1－2－7）。

表 1－2－7　　岩浆岩分类简表

| 岩石类型 | | | | | | 超基性岩 | 基性岩 | 中性岩 | | 酸性岩 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 物质成分 | $SiO_2$ 平均含量/% | | | | | < 45 | 45 ~ 52 | 52 ~ 65 | | > 65 |
| | 石英含量/% | | | | | 无或罕见 | 少见 | 0 ~ 20 | | > 20 |
| | 长石含量 | | | | | 无或罕见 | 斜长石为主 | | 钾长石为主 | |
| | 暗色矿物含量/% | | | | | 橄榄石、辉石、角闪石 95 | 辉石、角闪石、橄榄石 45 ~ 50 | 角闪石、黑云母、辉石 30 ~ 45 | 角闪石、黑云母 20 | 黑云母、角闪石 约占 10 |
| 岩石颜色 | | | | | | 深色←加深→浅色 | | | | |
| 岩石比重 | | | | | | 大←加大→小 | | | | |
| 产状 | 喷出岩 | 结构 | 玻璃隐晶斑状 | 构造 | 气孔杏仁流纹 | 黑耀岩、浮岩、珍珠岩、松脂岩 | | | | |
| | | | | | | 金伯利岩 | 玄武岩 | 安山岩 | 粗面岩 | 流纹岩 |
| | | | | | | | 玄武玢岩 | 安山玢岩 | 钠长斑岩 | 石英斑岩 |
| | 浅成岩 | | 伟晶细晶斑状 | | 块状 | | 煌斑岩 | 细晶岩 | | 伟晶岩 |
| | | | | | | | 辉绿岩、辉长玢岩 | 闪长玢岩 | 正长斑岩 | 花岗斑岩 |
| | 深成岩 | | 粒状 | | 块状 | 橄榄岩、辉岩 | 辉长岩（斜长岩） | 闪长岩 | 正长岩 | 花岗岩 |

注：1. 正长岩－粗面岩类，含碱族元素（K、Na）比其它岩石高，故又称碱性岩，这类岩石分布不广。

2. 玢岩：指具斑状结构的中、基性岩。

表中横行按岩浆岩的化学成分及矿物成分排列，自左至右依次为超基性岩、基性

岩、中性岩、酸性岩。其下列出它们的主要物质成分。在超基性岩中主要是橄榄石（或辉石）。在酸性岩中以含大量石英和钾长石为标志。中、基性岩以斜长石为主，酸性岩及碱性岩以钾长石为主，而超基性岩不含或很少含长石类矿物。上述橄榄石、辉石、石英、长石，分别作为鉴定不同岩类的指示矿物。从表中尚可看出，随着暗色矿物含量由超基性岩到酸性岩逐渐减少，岩石颜色亦随之变浅。

表中纵行按岩石产状排列，由上到下依次为喷出岩、浅成岩、深成岩。同时列出岩石相应的结构构造。同一纵行的岩石成分相同或近似，故列为一个岩类，只因产状不同（表现为结构构造不同）而有不同的岩石名称。

肉眼鉴定岩浆岩时，将所鉴别岩石的颜色、矿物成分、产状及与之相应的结构构造分类后，便可从表中查出岩石名称。

现将表内主要岩浆岩的特征简述于后：

1. 超基性岩类

本类岩石含 $SiO_2$ % < 45%，$Al_2O_3$ 1% ~ 6%，不含或少含铝硅酸盐，$Na_2O$ 和 $K_2O$ 一般均小于 1%，而富含 FeO 和 MgO，FeO 达 10%左右，MgO 达 40%左右。反映在矿物成分上，铁镁矿物占绝对多数，主要为橄榄石、辉石，其次为角闪石、黑云母，一般不含硅铝矿物。岩石颜色很深，密度大，呈致密块状构造。常见的岩石有橄榄岩、辉岩，形成不大的岩体。喷出岩少见。

橄榄岩为暗绿或黑色粒状岩石。主要矿物为橄榄石，次为辉石或角闪石，不含长石和石英。岩石中若辉石数量特别多时，则过渡为辉岩。后者辉石往往形成粗大晶体，橄榄石则很小，散嵌在辉石晶体内，颜色多呈绿褐色。

这类岩石在自变质作用或气一液作用下，易发生强烈分解，其中橄榄石和辉石被蛇纹石所代替，而变为蛇纹岩或蛇纹石化橄榄岩。这一变化及其产物将在变质岩一节中详细讨论。

角砾云母橄榄岩（又称金伯利岩）主要由橄榄石、辉石和金云母组成，尚含少量磁铁矿、磷灰石、石榴子石等。岩石一般都已蛇纹石化。岩体常呈管状出现，亦有呈岩墙、岩脉产出者。因为爆发的关系，岩石中夹有大量的角砾（由超基性岩、变质岩、沉积岩组成）。岩管大小不一，由数十米至千米。世界著名的南非金刚石矿床即产于这类岩石中。20 世纪 80 年代以来，我国已在山东、辽宁等地找到了角砾云母橄榄岩岩管、岩脉及原生的金刚石矿床。

2. 基性岩类

本类岩石 $SiO_2$ 的含量为 45% ~ 52%，比超基性岩稍高，但仍低于其他岩类。另一方面，与超基性岩不同的是出现了多量的 $Al_2O_3$，达 15%左右，CaO 达 10%左右；而 FeO 和 MgO 含量较低，占 6%左右。因此，在矿物成分上，除尚有较多的铁镁矿物——辉石、角闪石、橄榄石外，还出现大量的铝硅酸盐矿物——斜长石和少量石英。

岩石颜色较超基性岩浅，但较其他岩类深，比重较大，侵入岩常呈致密块状构造和带状构造，而喷出岩常具气孔和杏仁构造。常见的岩石有辉长岩、辉绿岩和玄武岩。

(1) 辉长岩　灰、灰黑或暗绿色。主要矿物有辉石和斜长石，次要矿物有角闪石、橄榄石。具等粒结构（辉石与斜长石成等轴它形颗粒，系两者同时从岩浆中析出的结果，又称辉长结构），块状构造。辉长岩体一般不大，常呈岩盆、岩株、岩床产出，有的辉长岩体常与超基性岩或闪长岩共生。

这类岩石中，若斜长石含量增多，达 85% 以上，而不含或很少含暗色矿物者；称斜长岩。它是岩浆中一种成分分异的极端岩石，呈白色或白中微带绿色，偶见有黑色者。自然界中，斜长岩一般少见，但我国河北大庙则产有大量斜长岩，且钒钛磁铁矿矿床常与之共生。

(2) 辉绿岩　灰绿色、深灰色，矿物成分与辉长岩类似，但结构不同（斜长石呈完好的自形晶，辉石呈它形晶充填在斜长石晶体的空隙中，称辉绿结构。系同样成分的岩浆由于压力减低，共结比发生变化，从而引起结构上由辉长结构变为辉绿结构）。因此，辉绿结构是浅成相的特点。这类岩石常呈岩床、岩墙产出。

(3) 玄武岩　深灰、灰绿或黑色。矿物成分同辉长岩。隐晶结构，气孔或杏仁构造，柱状节理特别发育。由海底喷发而形成的玄武岩称细碧岩，浅绿色、杏仁状或枕状构造特别明显。枕状团块之间由碧石胶结。玄武岩因其岩浆粘度小，易于流动，通常以大面积的熔岩流产出，我国云、贵、川等地，即有大面积的玄武岩分布。

3. 中性岩类

本类岩石 $SiO_2$ 含量比基性岩增多，一般在 52% ~ 65% 之间，FeO、MgO 各约占 3%，CaO 在 6% 左右，$Al_2O_3$、$K_2O$、$Na_2O$ 均高于基性岩，其中 $K_2O$ 达 2% 左右，$Na_2O$ 达 3% 左右，在正长岩——粗面岩中，两者更高，可达 4% ~ 5%，故有碱性岩之称。反映在矿物成分上，铁镁矿物相应减少，主要为角闪石，次为辉石和黑云母；硅铝矿物显著增多，主要为中性斜长石，有时出现少量钾长石和石英（正长岩——粗面岩类中主要为钾长石）。

这类岩石颜色较浅，一般为灰或浅灰色。常见的岩石有闪长岩、闪长玢岩、安山岩及正长岩、正长斑岩和粗面岩等。

(1) 闪长岩浅灰、灰及灰绿色。矿物成分主要为角闪石和斜长石，其次为辉石和黑云母，有时含少量的正长石和石英。具等粒结构、块状构造。

(2) 闪长玢岩灰、灰绿色。具明显的斑状结构，斑晶主要是斜长石或角闪石，基质呈细粒或致密状。

(3) 安山岩灰色、紫色、浅玫瑰色、浅黄色、红褐色等。浅色矿物为斜长石。暗色矿物有辉石、角闪石、黑云母等。具斑状结构，斑晶为斜长石。杏仁构造特别明显，气孔中常为方解石所充填。

(4) 正长岩浅灰、灰色或肉红色。与闪长岩不同的是，正长石大量出现，也含少量斜长石。暗色矿物有角闪石和黑云母。具等粒结构，有时具斑状结构，块状构造。这类岩石常和酸性岩、基性岩共生，或以岩盘单独产出。

(5) 正长斑岩其特点与正长岩相似，区别在于具明显的斑状结构。

(6) 粗面岩浅灰、浅黄或粉红色。其成分主要为碱性长石，其次为黑云母，此外尚有少量斜长石和角闪石。常具粗面结构（系长条状的碱性长石微晶近于平行的流状排列）及斑状结构，斑晶为碱性长石，基质为隐晶质，其成分也以碱性长石为主。一般为块状构造，有时可见流纹构造及多孔状构造。

粗面岩与流纹岩、安山岩极为相似，主要区别在于粗面岩的斑晶为钾长石，没有石英（或极少）；而流纹岩中有明显的石英；安山岩的斑晶主要是斜长石。因此，只要把岩石中钾长石、斜长石和石英三种矿物及其含量搞清楚，即可区分。

4. 酸性岩类

本类岩石 $SiO_2$ 含量特高，超过 65%，FeO、MgO 含量低于 2%，CaO 低于 3%，而 $K_2O$ 和 $Na_2O$ 各约占 3.5%左右。反映在矿物成分上，深色矿物大大减少，硅铝矿物大量增多，除含大量石英外（石英含量大于 20%），尚有钾长石和斜长石。暗色矿物主要有黑云母和角闪石。

岩石颜色一般很浅，常为浅灰红色，密度较小。本类岩石分布很广，特别是侵入岩常呈岩基大面积分布。常见的岩石有花岗岩、花岗斑岩和流纹岩等。

(1) 花岗岩灰白色、灰色、肉红色。矿物成分以石英和钾长石为主，其次为黑云母、角闪石、白云母等。具等粒结构（石英、长石成半自形等轴颗粒，称花岗结构），块状构造。花岗岩质地均匀、坚固、颜色美观，广泛用作地基、桥梁、纪念碑等的建筑石料。

关于花岗岩的成因问题，长期以来被认为，花岗岩及地球上的其它岩浆岩都是由地球深部的玄武岩浆演化而来的。即玄武岩浆可依次生成辉长岩一闪长岩一花岗岩等一系列岩石。花岗岩浆是岩浆后期分异的残余体，这种残余岩浆侵入地壳某部就形成今天的花岗岩。

随着近代岩石学的发展，尤其是对含水的花岗质岩石系统的深入研究，逐渐发展起来一种学说——花岗岩化成因说。按这种学说，花岗岩可以是在地壳不太深的部位，由原来组成地壳的岩石（包括沉积岩），通过花岗岩化就地形成花岗岩或者形成深熔花岗岩浆，再次侵位而成。所谓花岗岩化，就是来自上地幔的碱性流体物质，上升到地壳的某个深度（如十几千米），通过裂隙贯入交代，代换或扩散，渗透使原来的岩石改造成花岗岩。如果这个过程发生在更深的部位（20km 左右），就形成了由部分熔化的深熔花岗岩浆，使得周围的岩石改造成花岗岩。这一花岗岩化理论，在目前基本上能为大多数地质工作者所接受。当然，由基性岩浆分异而成的花岗岩确实也是有的，但一般规模较

小，不占主导地位。

（2）花岗斑岩具斑状结构，斑晶为石英和钾长石，基质由细小的长石、石英及其它矿物组成。其它特征与花岗岩类似。

（3）流纹岩一般呈浅灰色、粉红色，也有呈灰黑色、绿色或紫色者。矿物成分与花岗岩类同，往往具斑状结构，斑晶为石英和钾长石，以流纹状构造为其特征，但也有气孔构造者。

应当指出，上述各大类岩石之间，尚有一些过渡种属的岩石，以中性岩到酸性岩为例，随着岩石中石英、钾长石和斜长石含量的变化，可出现石英闪长岩、石英二长岩和花岗闪长岩等。现将其特点简述于后：

1）花岗闪长岩：与花岗岩的区别是斜长石多于正长石，石英含量较花岗岩少，一般在15%～25%之间，暗色矿物稍多，以角闪石为主，黑云母次之。过去一些书上将花岗闪长岩划在花岗岩一类中，是欠妥当的。

2）石英二长岩：与花岗闪长岩的主要区别是正长石含量增多，常多于斜长石。铁镁矿物以黑云母为主，角闪石次之。

3）石英闪长岩：其特点与闪长岩类似，与闪长岩的区别在于岩石中石英含量大于5%。

除上述主要岩浆岩外，在自然界尚可见到一些呈脉状产出的浅成岩，如煌斑岩、细晶岩、伟晶岩等，统称为脉岩。它们的化学成分和矿物成分都与其相应的深成岩有许多共同之处，因此，它们不是独立的岩体，而是相应深成岩的岩浆经过分异的产物。现将其特点分别叙述于后：

4）煌斑岩：几乎全由暗色矿物组成，颜色很深，呈暗绿色、黑褐色或黑色，故称为暗色脉岩。其成分为黑云母、角闪石、辉石等。具细粒斑状结构，斑晶大部分为暗色矿物，如黑云母、角闪石等，硅铝矿物多呈细粒基质。常见的有云煌岩，即由黑云母和少量正长石组成。

5）细晶岩：具细粒结构（主要矿物呈细粒它形粒状结构）的岩石。颜色一般较浅，呈灰白、黄白、浅红、灰绿色等。常见的有花岗细晶岩、闪长细晶岩和辉长细晶岩。它们的矿物成分分别与花岗岩、闪长岩和辉长岩相同。其中以花岗细晶岩分布较广。

6）伟晶岩：其特征是具有伟晶结构，常见的为花岗伟晶岩。其矿物成分与花岗岩相同，主要为石英、正长石和黑云母，这些矿物晶体特别粗大，一般在几厘米以上，有时可达几十厘米，甚至还有更巨大的晶体。伟晶岩即因此而得名。

伟晶岩是岩浆冷凝结晶过程的后期，从岩浆中分离出来的一种富含挥发成分及稀有元素的残余岩浆溶液，侵入到地壳浅处岩石裂隙中冷凝结晶而成的。这类岩石多呈脉状产于侵入体内以及与侵入体接触的围岩中。

伟晶岩中常伴有许多有价值的稀有金属和非金属矿产，如锂辉石、锂云母、铌钽铁

矿、绿柱石、沥青铀矿、独居石以及钾长石、白云母、黄玉和水晶等。

值得提及的是，在前述浅成岩中，包括部分所谓次火山岩。这种次火山岩是指与当地火山岩同源、同期、岩性也很相似的浅成一超浅成侵人岩。其命名方法，目前尚沿用相应的火山岩名称，或在其词首冠以“次”字以示区别，如次闪长玢岩等。

（四）岩浆岩的肉眼鉴定及命名

这里介绍的只是肉眼鉴定和一般命名方法。应当指出，肉眼或借助于简单工具（放大镜、小刀和三角板等）只能对岩石作宏观的鉴定和给以粗略的名称。而精确的鉴定和命名则需经过显微镜下的研究、化学分析和一些特殊方法才能得出。但对于采矿工作者来说，通常是凭肉眼去鉴别岩石。因此，掌握肉眼鉴定岩石的方法，并以此确定岩石名称，就显得十分必要了。

1. 岩浆岩的肉眼鉴定

岩浆岩的特征表现在颜色、矿物成分、结构和构造等方面，并借以观察和区别各种岩石，其观察步骤如下：

(1) 观察岩石的颜色　岩浆岩的颜色在很大程度上反映了它们的化学成分和矿物成分。前述岩浆岩可根据化学成分中的 $SiO_2$ 含量分为超基性岩、基性岩、中性岩和酸性岩。$SiO_2$ 含量肉眼是没法看出来的，但其含量多少可以表现在矿物成分上。一般情况下，岩石的 $SiO_2$ 含量高，浅色矿物多，暗色矿物少；$SiO_2$ 含量低，浅色矿物减少，暗色矿物相对增多。因而组成岩石矿物的颜色就构成了岩石的颜色，所以，颜色可以作为肉眼鉴定岩浆岩的特征之一。

一般超基性岩呈黑色一绿黑色一暗绿色；基性岩呈灰黑色一灰绿色；中性岩呈灰色一灰白色；酸性岩呈肉红色一淡红色一白色。

(2) 观察矿物成分　认识矿物时，可先借助颜色，若岩石颜色深可先看深色矿物，如橄榄石、辉石、角闪石、黑云母等；若岩石颜色浅时，可先看浅色矿物，如石英、长石等。在鉴定时，经常是先观察岩石中有无石英及其数量，其次是观察有无长石及属于正长石还是斜长石，再就是看有无橄榄石存在。这些矿物都是判别不同类别岩石的指示矿物。此外，尚须注意黑云母，它经常与酸性岩有关。在野外观察时，还应注意矿物的次生变化，如黑云母容易变为绿泥石或蛭石；长石容易变为高岭石等，这对已风化岩石的鉴别，非常重要。

(3) 观察岩石的结构构造　岩石的结构构造是决定该类岩石属于喷出岩、浅成岩或深成岩的依据之一。一般喷出岩具隐晶质结构、玻璃质结构、斑状结构、流纹构造、气孔或杏仁构造。浅成岩具细粒状、隐晶状、斑状结构、块状构造。深成岩具等粒结构、块状构造。

综合上述几方面特征，即可区别不同类型的岩石。

2. 岩浆岩的一般命名方法

随着岩石学的不断发展，岩石分类标志及命名要素逐渐增多，岩石的名称亦随之复杂。但总的来说，岩石的名称大体包括基本名称和附加名称两部分。

基本名称是岩石名称必不可少的部分，它是由岩石中的主要矿物所决定的。反映着岩石的最基本特征，是岩石分类的基本单元，如“花岗岩”、“闪长岩”……等。附加名称是说明岩石不同特征的各种各样的形容词，一般位于岩石基本名称之前，通常包括岩石的颜色、结构、构造以及次要矿物等。

前已提及，岩浆岩的矿物成分是其化学成分的反映，不同类型的岩浆岩，其矿物组合也不相同，因此，矿物成分在岩石命名中常常占有重要地位。按矿物在岩浆岩分类和命名中的作用，可将岩浆岩中的原生矿物分为三类：

(1) 主要矿物　它是划分岩石大类，确定岩石基本名称的依据，例如花岗岩中的石英和钾长石都是主要矿物，没有它们就不能称为花岗岩。

(2) 次要矿物　是划分岩石种属，确定岩石附加名称的依据。例如石英在闪长岩中一般少于5%，若当石英含量超过5%时，则称为石英闪长岩。

(3) 副矿物　其含量甚少，通常不足1%，纳入命名时，不受含量限制。如花岗岩中，含微量的电气石或绿柱石时，则可分别命名为电气石花岗岩或绿柱石花岗岩。

命名时，需首先结合岩石产状，分出是侵入岩还是喷出岩，然后用肉眼观察其主要矿物成分及含量，决定其大类，定出岩石的基本名称，再根据次要矿物成分及含量，进一步确定出附加名称。如某种岩浆岩，根据其产状定为侵入岩，又知主要矿物为辉石、基性斜长石；次要矿物为少量橄榄石，因此，可初步定名为橄榄辉长岩。

总之，准确识别岩石并给以正确的名称，对采矿工作者是一项十分重要的工作。如果在所工作的矿区内，把岩石的类型及具体名称弄错了，不同类型的岩石名称混淆不清，或把同种岩石看成不同的岩石，就不能正确指导矿床的开采，甚至造成严重错误，浪费大量资金。因此，采矿工作者应该熟练掌握肉眼鉴别岩石的方法。

(五) 岩浆岩中的主要矿产

岩浆岩中蕴藏着许多重要的金属和非金属矿产。

在超基性的橄榄岩和基性的辉长岩中，常有铬、镍、铜、铁、钒、钛、金刚石、铂及铂族金属等。例如内蒙和甘肃的铬铁矿，河北和四川的钒钛磁铁矿，甘肃和四川的铜镍矿，山东的金刚石矿等，均产于超基性岩或基性岩中。

在中性的闪长岩或其接触带中，常有铜、铁及稀土元素矿床等。例如河北的铜矿床，湖北的铁矿、安徽的铜矿以及四川西南部的稀土元素矿床等，其形成均与闪长岩有关。

在正长岩、石英正长岩和正长斑岩中，常有稀土元素、磷灰石及磁铁矿等。例如东北、河北的磷灰石、江西的稀土元素、四川的磁铁矿等。

在酸性的花岗岩和中酸性的花岗闪长岩中，常有钨、锡、钼、铋、铜、铅、锌、金、铀、钍及稀土等。例如江西的钨矿、云南的锡矿、湖南的铅锌矿、山东的金矿等，均与该地区的花岗岩或花岗闪长岩有成因上的关系。此外，在花岗伟晶岩中巨大的石英、长石和云母晶体，亦是很重要的矿产。

还有一些矿产，如铜、铅、锌、金、银、砷、重晶石、萤石等，虽然有时甚至常常不生在岩浆岩中，但它们在成因上大都与岩浆岩有联系。一般由岩浆冷凝结晶期后所产生的热水溶液，渗入到岩浆岩体附近，甚至距离岩浆岩体很远的岩石裂隙中，结晶沉淀而成的。

应当指出，有的岩浆岩本身就是矿产，例如作为铸石原料的玄武岩及辉绿岩，作为膨胀珍珠岩原料的珍珠岩、松脂岩以及作为装饰石料和建筑材料的花岗岩和花岗闪长岩等。

（六）岩浆岩与开采技术有关的特点

岩浆岩的矿物成分和结构构造等特点，不仅是鉴别岩浆岩，对岩浆岩进行分类和命名的主要依据，而且也是决定该类岩石开采技术的重要因素，现分别叙述于后。

1. 岩浆岩的矿物成分与采掘的关系

岩浆岩的种类繁多，组成岩浆岩的矿物成分也各不相同，其中最常见的矿物是石英、长石、角闪石、辉石、橄榄石及黑云母。这些矿物除黑云母外，都是硬度较大的矿物。所以未经强烈蚀变和剧烈错动的岩浆岩一般强度都较大，稳定性都比较好，有利于采用高速度、高效率的采掘方法。

此外，在酸性岩中，含有较大量的游离的二氧化硅，在其中进行采掘作业时，有产生矽肺病的可能，必须加强通风防尘措施，以预防矽肺病。

2. 岩浆岩的结构与采掘的关系

岩浆岩的许多结构中，对采掘影响最大的是颗粒的粗细。在其它条件相似的情况下，隐晶质、细粒、均粒的岩石比粗粒和斑状的岩石强度大。例如玄武岩为隐晶质结构，而辉长岩为粗粒结构，所以玄武岩的抗压强度可高达 500MPa，而辉长岩的抗压强度仅 120～360MPa。又如花岗斑岩具斑状结构，其抗压强度只有 120MPa，而同一成分的细粒花岗岩，因具等粒结构，其抗压强度可达 260MPa。强度大的岩石虽然较难凿岩，但确容易维护，甚至可以不需支护，给采掘工作以很大的方便。

3. 岩浆岩的构造与采掘的关系

岩浆岩多具块状构造。这种构造的最大特点是岩石各个方向的强度相近，从而增加了岩石的稳定性。所以岩浆岩的块状构造，不像沉积岩的层理构造和变质岩的片理构造那样对凿岩、爆破和支护等有明显的影响。

值得注意的是岩浆岩的原生节理（即岩浆岩生成时冷凝收缩所产生的裂隙）发育，如玄武岩的柱状节理、细碧岩的枕状节理等。这些节理的存在，降低了岩石的稳固性，

影响了岩石的爆破效果。

采矿工作者最基本的作业是破碎岩石，但井巷维护也是很重要的方面。这两方面的工作，对岩石的物理机械性质的要求是不相同的，有时甚至是矛盾的。从爆破方面着眼，希望岩石容易破碎，但从井巷维护方面，又希望岩石坚固性强。因此，关于对岩石采掘性质的研究应注意综合这两个方面的要求，作全面分析，选择合理的技术措施，既要提高爆破效果，又要便于井巷维护，才能多、快、好、省地开发地下矿产资源。

## 二、沉　积　岩

由沉积物经过压固、脱水、胶结及重结晶作用变成的坚硬岩石，称为沉积岩。沉积岩占地壳总量的5%，但就地表分布而言，则占75%。在地壳表层呈层状广泛分布，这是区别于其它类型岩石的重要标志之一。

### （一）沉积岩的一般特征

沉积岩是在常温、常压下，大部分是在地表水体里形成的，氧气充足、水分丰富，因此，它的矿物组成、结构构造以及颜色等，都具有区别于其它两大类岩石的独特特征，这些特征就是我们认识和区分沉积岩的依据。

1. 沉积岩的物质成分

组成沉积岩的颗粒有岩屑及单矿物两种。岩屑是原先的岩浆岩、沉积岩与变质岩的碎屑。而组成沉积岩的矿物有两类。一类是原来岩石经过风化、剥蚀、搬运来的矿物。因岩浆岩、变质岩中的斜长石、铁镁矿物等都易风化，而石英、正长石、白云母等比较稳定，所以，沉积岩中的矿物主要是石英、正长石及白云母。另一类是在沉积作用中形成的新矿物，主要有方解石、白云石、岩盐、石膏、高岭石、菱铁矿、褐铁矿等。这些矿物常大量的出现于沉积岩中。如果，将沉积岩与岩浆岩中的矿物成分相比较，则可看出两者有显著的区别。

（1）在岩浆岩中大量存在的矿物，如橄榄石、辉石、角闪石、黑云母等铁镁矿物，在沉积岩中极为罕见。

（2）游离的$SiO_2$在岩浆岩中绝大部分以石英出现，而沉积岩中除石英外，尚有大量的石髓、蛋白石等变种。

（3）岩浆岩中很少有的矿物，如黏土矿物、岩盐、石膏及碳酸盐矿物等，在沉积岩中却占有显著的地位。这是由于它们是在地表常温常压下，而且$O_2$、$CO_2$、$H_2O$充足的条件下形成的。

在沉积物颗粒之间，还有胶结物（就是把松散沉积物联结起来的物质）。胶结物对于沉积岩的颜色、坚硬程度有很大影响。按其成分可以分为下面几种：

1）泥质胶结物 如泥土或黏土，其胶结成的岩石硬度较小，易碎，断面呈土状。

2）钙质胶结物 胶结物的成分为钙质，所胶结的岩石硬度比泥质胶结的岩石大些，呈灰白色。滴冷稀盐酸起泡。

3）硅质胶结物 胶结物成分为二氧化硅，所胶结的岩石强度比前两种胶结物形成的岩石都大，呈灰色。

4）铁质胶结物 胶结物的成分为氢氧化铁或三氧化二铁，所胶结成的岩石坚硬程度也较大，常呈黄褐色或砖红色。

胶结物在岩石中的含量一般仅占25%左右，若含量超过25%时，即可参加岩石的命名。如钙质长石石英砂岩即系长石石英砂岩中钙质胶结物超过了25%。

2. 沉积岩的颜色

沉积岩的颜色常常是岩层的特殊标志，它受沉积岩中碎屑成分、矿物成分和胶结物成分的影响。沉积岩的颜色往往反映了当时的沉积环境及成岩后的变化。在氧化环境下，有机物质发生分解，铁为三价，因而颜色为红色或褐色；在还原环境下，有机物质较多，铁为两价，因而沉积岩常为蓝色、绿色、深灰色和黑色。

胶结物是泥质、钙质、硅质的沉积岩，颜色一般较浅，胶结物为铁质的沉积岩，颜色一般较深。

此外，含碳质、沥青质及细分散黄铁矿的岩石，常呈灰色、深灰色或黑色。含绿色矿物如海绿石、绿泥石、孔雀石等的沉积岩，多呈绿色。含硬石膏、天青石等的岩石多呈蓝色。

值得注意的是，风化作用常常会改变岩石的颜色，如煤和炭质泥岩经风化后，可以变为灰色以至白色。这种经风化作用后颜色变浅的现象，叫做退色现象。岩石风化后的颜色叫做次生色或风化色。

描述岩石颜色时，常与自然界中常见的物质颜色相比较，如天蓝色、瓦灰色、砖红色、肉红色、猪肝色、桔黄色……等。

3. 沉积岩的结构

沉积岩的结构是由其组成物质的形态特征、性质、大小及所含数量而决定的，它与岩浆岩的结构差别在于，岩浆岩绝大多数是结晶结构，而沉积岩绝大多数是碎屑结构。根据其成因，沉积岩的结构可分为：

(1) 碎屑结构 是碎屑沉积岩所具有的结构，它是由碎屑物质被胶结起来而形成的，按照颗粒大小和形状又分为：

砾状结构：颗粒直径大于2mm，磨圆程度较好，无棱角。若磨圆度较差，而具有明显棱角的，则称为角砾状结构。

竹叶状结构：系刚沉积的石灰岩，因水浪打击、冲刷而成碎屑（其形态多呈扁平状），再被同类沉积物胶结而成。

砂状结构：颗粒直径在 2 ~ 0.05mm 之间。又可分为粗砂结构（颗粒直径 2 ~ 0.5mm）、中砂结构（0.5 ~ 0.1mm）、细砂结构（0.1 ~ 0.05mm）和粉砂结构（0.05 ~ 0.005mm）。

（2）泥质结构　颗粒直径小于 0.005mm。为黏土岩类所具有的结构。

（3）结晶结构　为化学岩所具有的结构。是物质从真溶液或胶体溶液中沉淀时的结晶作用以及非晶质、隐晶质的重结晶作用和交代作用所产生的。如石灰岩、白云岩是由许多细小的方解石、白云石晶体集合而成的。沉积岩的结晶结构与岩浆岩的结晶结构类似，但其成因和物质组成两者截然不同。沉积岩的结晶结构又可以分为：

1）晶质结构：由结晶颗粒直径大于 0.01mm 的矿物集合体组成。

2）隐晶质结构：由颗粒直径在 0.01 ~ 0.001mm 之间的微晶矿物集合体组成。

（4）胶状结构　颗粒直径小于 0.001mm。

（5）生物结构　系生物化学岩所具有的结构。由生物遗体及其碎片组成，如生物介壳结构和珊瑚结构等。

4. 沉积岩的构造

沉积岩的构造是指其组成部分的空间分布和它们相互之间的排列关系。常见的沉积岩构造有：

（1）层理（状）构造　由于季节性的气候变化及先后沉积下来的物质颗粒的形状、大小、成分和颜色不同而显示出来的成层现象。层与层之间的接触面称层面。上、下两个层面之间的岩石称为岩层。根据岩层中每个单层厚度的不同，可将沉积岩层划分为：

块状　单层厚度大于 1m；

厚层状　单层厚度 1 ~ 0.5m；

中厚层状　单层厚度 0.5 ~ 0.1m；

薄层状　单层厚度 0.1 ~ 0.01m；

页片状　单层厚度小于 0.01m。

层理构造是绝大多数沉积岩最典型、最重要和最基本的特征。按层理形态可分为：

1）水平层理：层与层之间的界面是平直的，且相互平行。是在沉积环境比较稳定的条件下形成的（图 1 - 2 - 16）。

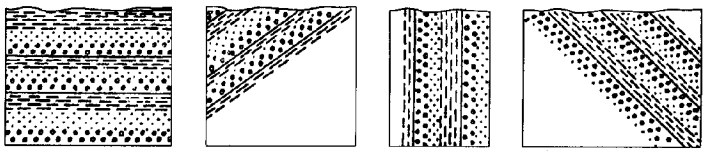


图 1 - 2 - 16　岩层产状不同的各种水平层理

2）波状层理：层理面成对称或不对称，规则或不规则的波状线，其总方向平行于总的层面，形成于波浪运动的浅水地区。这种层理在细砂岩或粉砂岩中常见。

3）斜层理：细层与主要层理面斜交。斜层理是沉积物在水介质中作单向运动时产生的。斜层理的倾斜方向代表了当时水流的方向（图 1－2－17）。

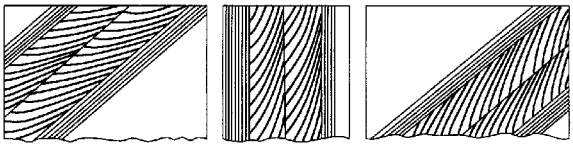


图 1－2－17 岩层产状不同的各种层理

对层理的研究，不仅可以帮助我们正确划分与对比地层、判断地层是否倒转，而且可以帮助我们推断沉积物的沉积环境和确定水流的运动方向。

（2）块状构造 岩石层理不清楚，矿物颗粒排列无一定规律。

鲕状构造 具有同心圆状之圆形或椭圆形颗粒，形似鱼籽，称鲕状构造。鲕粒直径一般在 0.5～2mm 之间，鲕粒的形成系胶体物质围绕砂粒、碎屑在浅海浅水环境中沉积而成。鲕粒直径大于 2mm 者，可称豆状构造。

5. 沉积岩的其它特征

包括沉积岩岩层面上的特征如波痕、泥裂、雨痕等和沉积岩中特有的包裹物如化石、结核等。这些特征同样反映了沉积岩生成条件和形成环境的特殊性，同时也可以用来确定水流方向和判断岩层是否倒转。

（1）波痕 当经过砂层表面的水流或风力达到一定速度时，或在水波浪的振荡下，砂粒发生移动，可在砂层表面上出现波状起伏的痕迹，叫波痕。这种现象常在河、湖、海沙滩上及其所形成的砂岩（有时也可在其他岩石）中见到。波痕是由无数波峰和波谷组成的，按其成因可以分为风成波痕、水流波痕和浪成波痕（图 1－2－18）。

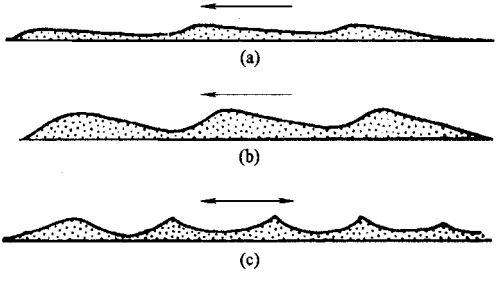



图 1－2－18 波痕剖面

（a）—风成波痕；（b）—水流波痕；（c）—浪成波痕

风成波痕和水流波痕的波峰圆滑，两边不对称，也叫不对称波痕。迎风或迎着水流的一面较缓，称缓坡；另一面较陡，称陡坡。这是由于风和水流等作用力向一个方向前进而形成的。浪成波痕的波峰较尖锐，波谷较圆滑，波峰两边对称，也叫对称波痕。这是由于水流的来回振荡而形成的。

（2）泥裂 在干旱、暴晒的情况下，黏土沉积物表面上往往形成一条条裂缝，在平

面上裂缝连成多边形，在剖面上裂缝则呈现上宽下窄的楔形，这些裂缝被后来的沉积物充填，这种现象在沉积物转变成为沉积岩后，仍保留下来，被称为泥裂（图 1－2－19）。由于泥裂在剖面上表现为上宽下窄的楔形，因而也可以用它来判断岩层是否发生倒转。

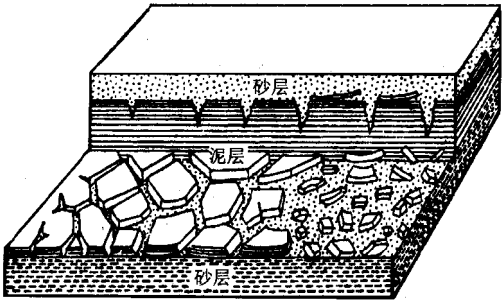



图 1－2－19　泥裂

（3）叠层构造（叠层面）　是由蓝绿藻类细胞丝状体或球状体分泌的黏液，将细屑物质黏结变硬而成。它的生长因季节变化，藻类分泌物的多少也有变化，因而出现纹层。具叠层构造的岩石称叠层石。现代叠层石广泛分布于潮汐浅水带，是良好的环境标志。

（4）皱纹构造（滑塌构造）　常形成于湖泊或海底的滑坡地带。由于重力或其它地质作用，使沉积物质顺坡滑动，从而导致岩层发生变形，形成紧密褶皱，甚至一些奇形怪状的卷曲，有时伴有小型断层。是海底滑坡的良好标志。

（5）虫迹　岩层表面具有的圆筒状或压扁了的梗状小脊，呈弯曲状或树枝状分布，称虫迹。系食泥或食砂的蠕虫或其它爬行动物在软泥表面留下的通道或爬痕。

（6）雨痕　雨点滴落在湿润而柔软的泥质或砂质沉积物的表面上时，便形成圆形或椭圆形的凹穴，在适当的条件下，在沉积岩层面上保存下来，这种凹穴称为雨痕。多半是保存在当时干旱气候地区的泥质岩中。

（7）化石　古代海陆生物的遗骸、碎片或印模，经过石化作用保存在沉积岩中，称为化石（图 1－2－20）。根据不同的化石，可以推断沉积岩的成因和确定沉积岩的时代等。

（8）结核　在沉积岩中，常有集中起来呈圆球状或其它不规则形状的沉积物质（或矿物集合体），其成分与周围岩石显著不同，这种物质叫结核（图 1－2－21）。常见的结核有铁质的、锰质的、泥质的、钙质的和硅质的。结核中心部分有时可以见到矿物或岩石碎屑，围绕中心部分常常可以看到一圈一圈的层状构造。结核大小不一，直径由几厘米到几十厘米。结核在地层中的分布与岩性有密切关系，例如在黄土中经常见到钙质结核（又称姜结人），煤系地层中广泛出现黄铁矿、菱铁矿结核，石灰岩中多见燧石结核等。

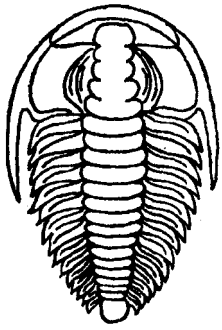


图 1 – 2 – 20 化石（三叶虫）



图 1 – 2 – 21 钙质结核

（9）缝合线 多存在于石灰岩和白云岩地层中，即在岩石断面上呈现齿状曲线，宛如脊椎动物的颅骨接合线一样，一般与层面一致。其成因复杂，多认为是在上覆岩石静压力下，由于石灰岩的成分不纯和不均一，当地下水沿层理或其它软弱带流动时，使岩石部分溶解并伴随有物质的重新分配，使其中不溶残余物呈锯齿状分布，如图 1 – 2 – 22 所示。

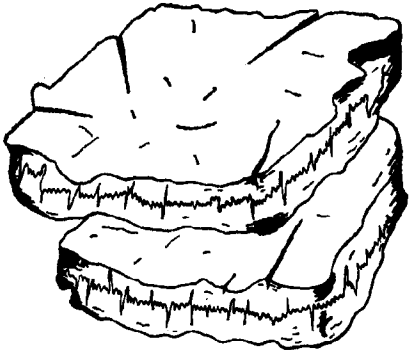


图 1 – 2 – 22 缝合线

沉积岩的上述特征，不仅可以帮助我们认识各种沉积岩及其生成环境，而且可借以区别岩浆岩和变质岩。

**（二）沉积岩的分类及各类岩石特点**

根据沉积岩的成因、物质成分及结构等，可将沉积岩分为三类：碎屑岩、黏土岩、化学岩及生物化学岩（表 1－2－8）。

表 1－2－8　　沉积岩分类简表

| 分类依据 / 类别 / 岩石名称 | | | 物质来源 | 结构 | 沉积作用 |
|---|---|---|---|---|---|
| 碎屑岩 | 火山碎屑岩 | 集块岩<br>火山角砾岩<br>凝灰岩 | 火山喷发的碎屑产物 | 火山碎屑结构 | 以机械沉积作用为主 |
| 碎屑岩 | 正常碎屑岩 | 砾岩（角砾岩）<br>砂岩<br>粉砂岩 | 母岩机械破坏的碎屑产物 | 沉积碎屑结构 | 以机械沉积作用为主 |
| 黏土岩 | | 黏土<br>泥岩<br>页岩 | 母岩化学分解过程中形成的新生矿物及少量细碎屑 | 泥质结构 | 机械沉积和胶体沉积用 |
| 化学岩及生物化学岩 | | 铝质岩<br>铁质岩<br>锰质岩<br>硅质岩<br>磷质岩<br>碳酸盐岩<br>盐岩<br>可燃有机岩 | 母岩化学分解过程中产生的溶液和生物生命活动的产物 | 胶体结构、结晶结构和生物碎屑结构 | 化学、胶体化学及生物化学沉积作用 |

表中主要沉积岩的特征：

1. 火山碎屑岩类

火山碎屑岩是沉积岩和喷出岩之间的过渡产物，是由火山喷发的碎屑物质，在地表经短距离搬运或就地沉积而成的。喷出岩受冲刷作用形成的碎屑材料，经正常沉积作用而产生的沉积岩不是火山碎屑岩，而是正常沉积碎屑岩；喷出的熔岩流直接冷凝而成的熔岩属于喷出岩，也不是火山碎屑岩。

火山碎屑岩根据碎屑颗粒大小又可分为集块岩、火山角砾岩和凝灰岩。

（1）火山角砾岩　火山碎屑物质占 90％以上，碎屑直径一般为 2～100mm，多数为大小不等的熔岩角砾，亦有少数其它岩石的角砾。火山角砾多呈棱角状，分选性差，常

为火山灰所胶结。颜色多种，常呈暗灰、蓝灰、褐灰、绿及紫色等。这类岩石多具孔隙并以此为其特征。火山碎屑的直径大于 100mm 者，称为集块岩。

(2) 凝灰岩　组成岩石的碎屑较细，一般小于 2mm，外表颇似砂岩或粉砂岩，但比砂岩表面粗糙。其成分多属火山玻璃、矿物晶屑和岩屑，此外，尚有一些沉积物质。火山碎屑物亦成棱角状。岩石颜色多呈灰色、灰白色，亦有黄色和黑红色等。

凝灰岩是很好的建筑材料，有时也可用作水泥原料。

2. 正常碎屑岩类

正常碎屑岩是沉积岩中最常见的岩石之一，特别是在陆相沉积物中，分布极为广泛。一般所指的碎屑岩是由 50% 以上的碎屑物（包括矿物碎屑及岩石碎屑）组成的岩石。它们的形成主要与外动力地质因素有关，大都为机械破碎的产物经搬运沉积而成。碎屑岩中，也可混入纯化学沉淀物质与黏土物质，并且多以胶结物的形式存在，当这些混入物的含量增多，而超过 50% 时，则分别过渡为化学岩或黏土岩。这类岩石按碎屑颗粒大小，又可分为砾岩、砂岩、粉砂岩三种。

(1) 砾岩　破碎的岩块，经过较长距离的搬运或受到海浪的反复冲击，使棱角消失，形成圆形或椭圆形的砾石（或称卵石），再经胶结的岩石称为砾岩。砾石直径一般大于 2mm。不同的砾岩，其砾石成分和胶结物各不相同。具砾状结构、层状构造，但层理一般都不发育。若这类岩石中砾石未被磨圆而具明显棱角者，则称为角砾岩。

(2) 砂岩　是由各种成分的砂粒被胶结而成的岩石，一般所说的砂岩是砂质岩石的总称。其中砂粒直径在 2 ~ 0.05mm 之间。胶结物可有泥质、钙质、铁质和硅质等。碎屑成分复杂，主要为石英和长石，其次为云母，此外，尚有一些重矿物、碳酸盐类矿物和岩屑。这类岩石若按碎屑颗粒大小，可以分为粗粒砂岩（砂粒直径 2 ~ 0.5mm）；中粒砂岩（0.5 ~ 0.1mm）；细粒砂岩（0.1 ~ 0.05mm）。若按碎屑成分又可划分为石英砂岩（石英含量在 90% 以上，含少量长石及燧石）；长石砂岩（石英占 30% ~ 60%，长石在 30% 以上，尚有少量云母及岩屑）；硬砂岩（石英少于 60%，长石 20% ~ 30%，岩屑在 20% 以上）。

(3) 粉砂岩　由直径为 0.05 ~ 0.005mm 的砂粒经胶结而成，其成分以石英为主，有少量长石、云母、绿泥石、重矿物及泥质混入物等。岩石外貌颇似泥质岩，但较坚硬，并有粗糙感。

第四纪沉积物中的黄土及黄土岩亦属于粉砂岩类。黄土中粉砂粒级占 50% 以上，其次是黏土。成分复杂（有石英、长石、碳酸盐及黏土矿物），颜色浅黄或暗黄，质轻而多孔（孔隙占总体积的 40% ~ 55%），易研成粉末，含有多量的奇形怪状的钙质结核，无明显层理，垂直节理发育，其质点结合力强，常被侵蚀呈陡峭的山崖。我国西北一带广泛分布，最厚可达 400 余米，成为著名的黄土高原。

3. 黏土岩类

又称泥质岩。是沉积岩中最常见的一类岩石，约占沉积岩总体积的 50% ~ 60%。它是介于碎屑岩与化学岩之间的过渡类型，并具有独特的成分、结构和性质等特征。

这类岩石是由含量在 50% 以上，直径小于 0.005mm 的物质所组成的。主要矿物成分是黏土矿物，如高岭石（$Al_4〔Si_4O_{10}〕(OH)_8$）、蒙脱石（$(Al_2, Mg_3)〔Si_4O_{10}〕(OH)_2 \cdot nH_2O$）及水云母（$KAl_2〔(AlSi_3)O_{10}〕(OH)_2 \cdot nH_2O$）等。尚有少量极为细小的石英、长石、云母、碳酸盐及重矿物等。主要由含铝硅酸盐类矿物的岩石，经化学风化形成的细悬浮物质，被搬运至湖、海盆地或在原地沉积而成。黏土岩的颜色与沉积环境和混入物有关，多呈黑色、褐红色、紫色、红色和绿色等，但也有呈白色或浅灰色者。这类岩石具典型的泥质结构，质地均一，有细腻感。可塑性和吸水性很强，岩石吸水后体积增大。这类岩石因其中黏土矿物颗粒细小，肉眼不能鉴别其成分，一般仅根据其固结程度和结构构造特征进行分类和命名，详细研究则需采用专门的方法（如差热分析、电子显微镜、X 光及染色法等）。根据其固结程度这类岩石可分为黏土、页岩、泥岩三种。

（1）黏土　为松散的土状岩石，含黏土颗粒在 50% 以上，黏土与砂之间由于黏土颗粒、砂粒等含量不同，有亚黏土（黏粒含量 10% ~ 30%）；亚砂土（黏粒含量 3% ~ 10%）及砂土（黏粒含量 < 3%）等过渡类型。黏土根据其中所含主要矿物成分的不同又可分为：高岭石黏土；蒙脱石黏土和水云母黏土。

（2）页岩　由松散黏土经硬结成岩作用而成。为黏土岩的一种构造变种，它具有能沿层理面分裂成薄片或页片的性质，常可见显微层理，称为页理（页岩亦因此得名），具有页理构造的粘土岩常含有水云母等片状矿物，可由于细小的片状矿物平行排列所致。

页岩成分复杂，除各种黏土矿物外，尚有少量石英、绢云母、绿泥石、长石等混入物。岩石颜色多种，一般呈灰色、棕色、红色、绿色和黑色等。依混入物成分的不同，又可分为黑色页岩、碳质页岩、钙质页岩、铁质页岩、硅质页岩及油页岩等。

（3）泥岩　其成分与页岩相似，但层理不发育，具块状构造。

4. 化学岩及生物化学岩类

这类岩石是由于母岩遭受强烈化学分解作用之后，其中某些风化产物形成水溶液（真溶液或胶体溶液）被搬运到水盆地中，通过蒸发作用、化学反应和在生物的直接或间接作用下沉淀而成的。这类岩石的数量和分布均比碎屑岩和黏土岩少，但它们却占有非常重要的地位，它们本身许多就是有经济价值的矿产，如石灰岩、白云岩、铁质岩、锰质岩、铝质岩、磷块岩等。这类岩石在地壳中分布得最广的是碳酸盐岩，其次是硅质岩。

（1）石灰岩　由结晶细小的方解石组成，常含少量白云石、黏土、菱镁矿及石膏等混入物。纯石灰岩常为浅灰色、灰色，当含杂质时为浅黄色、浅红色、灰黑色及黑色等。以加冷稀盐酸强烈起泡为其显著特征。根据石灰岩的成因、物质成分和结构构造又

可分为普通灰岩、生物灰岩、碎屑灰岩和燧石灰岩等。

(2) 白云岩 主要由细小的白云石组成，尚含少量方解石、石膏、菱镁矿及黏土等。白云岩的外表特征与石灰岩极为相似，但加冷稀盐酸不起泡或起泡微弱，具有粗糙的断面，且风化表面多出现格状溶沟。白云岩中随着方解石含量的增多，有逐渐向石灰岩过渡的类型，如石灰质白云岩或白云质石灰岩等。

(3) 泥灰岩 是碳酸盐岩与黏土岩之间的过渡类型。其中黏土含量在 25% ~ 50% 之间，若黏土含量为 5% ~ 25%，则称为泥质灰岩。泥灰岩通常为隐晶质或微粒结构，加冷稀盐酸起泡，且有黄色泥质沉淀物残留。颜色多种，有浅灰、浅黄、浅绿、天蓝、红棕及褐色等。

(4) 硅质岩 主要由蛋白石、石髓及石英组成，$SiO_2$ 含量在 70% ~ 90% 之间，此外尚有黏土、碳酸盐、铁的氧化物等。这类岩石包括硅藻土、燧石岩、碧玉铁质岩和硅华，其中以燧石岩最为常见。燧石岩致密坚硬，锤击之有火花，多呈结核状、透镜状产出，也有呈层状生于碳酸盐岩之中的。颜色多为深灰色和黑色，但也有红色、黄色，甚至白色者。常具隐晶质结构，带状构造。

(三) 沉积岩的肉眼鉴定及命名

由于沉积岩是经沉积作用形成的，所以沉积岩都具有层状构造的特征，这是沉积岩的共性，也是它们最主要的特征，在鉴定时，应予充分注意。但是，事物都是它的特殊性，在考虑共性的同时，还需抓住它们自身的特点，以便区别不同类型的沉积岩。

在鉴定碎屑岩时，除观察颜色、碎屑成分及含量外，尚须特别注意观察碎屑的形状和大小，以及胶结物的成分。

在鉴定泥质岩时，则需仔细观察它们的构造特征，即看有无页理等。

在鉴定化学岩时，除观察其物质成分外，还需判别其结构、构造，并辅以简单的化学试验，如用冷稀盐酸滴试，检验其是否起泡。

根据对上述特征的观察分析后，即可给不同沉积岩以恰当的命名。沉积岩的一般命名方法，仍以主要矿物为准，定出基本名称，然后再结合岩石的颜色、层理规模、结构及次要矿物的含量等，定出附加名称，如灰白色中粒钙质长石石英砂岩；深灰色中厚层鲕状灰岩等。

(四) 沉积岩相的概念

前已提及，在不同的沉积环境中，所形成的沉积岩，具有不同的特征。比如从海岸到海洋，沉积物的性质逐渐发生变化，首先是粒度由粗变细，表现为砾石—砂粒—泥质—石灰质淤泥（图 1 - 2 - 23）。其次是所含生物化石从陆生到海生，从底栖到浮游生物等。而“沉积岩相”就是与这些问题有关的概念。目前地质学界对此概念尚有不同理解，有些人理解为沉积岩生成时的古地理环境；但也有些人理解为能反映生成环境的沉

积物或沉积岩的特征。本书编者倾向于后一种见解。

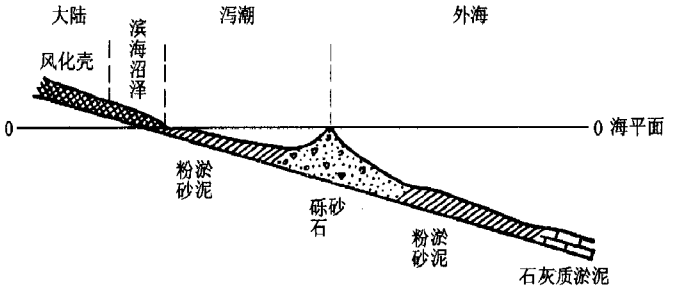



图 1－2－23　沉积环境变化示意图

按自然地理条件，沉积岩相可分为大陆相、过渡相和海相。

1. 大陆相

包括河流相、湖泊相、沼泽相等大陆沉积物，影响陆相沉积的因素主要是地形、气候及生物界等。

2. 过渡相

指陆地与海洋之间的过渡地带及其相应的沉积物。它的突出地貌标志是泻湖，泻湖的基本特征是含盐不正常，泻湖中可形成过渡相。此外，由河流入海处的三角洲过渡相也很发育。因此，过渡相可进一步分为泻湖相和三角洲相等。

3. 海相

海相沉积物的性质主要受海水的物理化学性质、海水深度、海底地形、海洋气候等因素的控制，其中最主要的是海水深度。因此，通常根据海底沉积物形成的深度对海相沉积进一步细分为滨海相、浅海相和深海相等。

岩相在水平方向及垂直方向上的变化称为“相变”。前者是由于古地理条件在空间上的差异性所造成的，后者则是由于古地理条件在时间上钓差异性所造成的。由于地壳的升降运动直接引起海水的进退。地壳上升，发生海退，原来被海水所淹没进行海相沉积的地区变成陆地，则在海相沉积地层上开始产生陆相沉积，或是停止沉积，遭受剥蚀。相反，地壳下降，发生海侵，使陆相沉积岩层上开始产生海相沉积层。因此，同一地点，在海水进退过程中所沉积的岩相就发生了不同的变化。

沉积岩相的研究，不仅对查明沉积矿产（如铁、锰、铝、磷、煤和石油等）的赋存条件和分布规律，有着重大的实际意义，而且在地层划分和对比，以及解决沉积岩的成因等方面有着深远的理论意义。

（五）沉积岩中的主要矿产

沉积岩中蕴藏着极为丰富的矿产。据统计，沉积岩中的矿产占世界全部矿产总产值的 70% ~ 75%。在我国绝大部分铝矿、磷矿，大多数锰矿、铁矿都蕴藏于沉积岩中或与沉积岩有关。如河南、贵州、山东的铝土矿；四川、湖北、云南、贵州的磷矿；湖

南、贵州、河北的锰矿，以及我国著名的宣龙式铁矿、宁乡式铁矿、涪陵式铁矿等，都产于不同时代的沉积岩中。

号称工业粮食的煤，全部蕴藏于沉积岩中。

被誉为工业血液的石油，全部生成于沉积岩中，而且绝大部分都储存于沉积岩中。

盐矿是真溶液沉积的矿产，是钾、钠、钙、镁的卤化物及硫酸盐等矿物所组成的沉积矿产的总称。如江西、四川的岩盐；湖北、山西的石膏；四川西部的芒硝；云南西部的钾盐以及青海、西藏的盐卤等。

除此之外，尚有金、钨、锡、金刚石及各种稀有元素矿产，常以砂矿的形式赋存于砂、砾石中。

有的沉积岩本身就是矿产，如作水泥原料和耐火材料的黏土岩；作玻璃和陶瓷原料的石英砂岩；作水泥及冶炼辅助原料的石灰岩和白云岩等。

（六）沉积岩与开采技术有关的特点

掌握沉积岩的特征，不仅是为了认识和区分沉积岩，而且还在于这些特征与开采技术条件有密切的关系。在沉积岩的所有特征中，影响开采技术条件的主要是矿物成分和结构构造。

1. 矿物成分与采掘的关系

沉积岩中对采掘有影响的矿物成分有以下几类：

1）二氧化硅类矿物：主要有石英、燧石和蛋白石等。含这类矿物特多的岩石有石英砂岩、硅质灰岩和燧石灰岩。上述矿物的特点是硬而脆，所以当岩石中这些矿物含量高时，岩石的稳固性好。在掘进过程中，虽难于凿岩，但爆破效果好，且一般不需支护。但因含游离的二氧化硅多，要特别注意防尘。

2）碳酸盐类矿物：主要有方解石、白云石、菱镁矿、菱锰矿等。含这类矿物多的岩石有石灰岩、白云岩和泥质灰岩等。这类岩石凿岩及爆破性能均好，岩体稳固性也较强，有利于采用快速掘进的方法。但由于含方解石较多，易于溶解而产生溶孔和溶洞，常是地下水活动的通道和储存的场所，矿山开采时，可能引起矿坑突然涌水而造成重大事故。因此，必须加强水文地质工作，搞好防排水措施。

3）黏土类矿物：主要有高岭石、蒙脱石和水云母等。含这类矿物多的岩石有各种黏土岩、页岩及泥岩。这类岩石的特点是硬度小，具可塑性，遇水膨胀、软化和黏结。具有凿岩性好（不包括黏土）、稳固性差、爆破性也差的特点。同时，它们长期受水浸泡时，会使地下坑道变形，露天边坡不稳，矿车结底，溜井和凿岩机水眼堵塞等。但是，只要加强防排水措施，就可以避免或减少上述问题的发生。

2. 岩石结构与采掘的关系

如前所述，结构对采掘的影响在于矿物颗粒的粗细，即具粗粒结构的岩石比具细粒结构的岩石强度偏低。但是，碎屑岩的物理机械性质主要取决于胶结物的成分和性质，

泥质胶结比铁质或硅质胶结的岩石硬度小，稳固性差。

3. 岩石构造与采掘的关系

沉积岩最大特点是具有层理构造，这种构造的存在，使岩石在各方向的强度不同，在其它条件相同或相似的情况下，层理愈发育，岩石的稳固性能愈低，各方向上的强度差异也愈大。一般是平行岩石层理方向的抗压和抗剪强度小，抗张强度大，而垂直于岩石层理方向，则情况正好相反。

在这类岩石中开凿巷道时，若顺着层理方向掘进，不仅爆破效果不好，而且容易产生冒顶、片帮事故，给采掘以不利的影响；如果斜交，特别是垂直层理方向掘进时，则可以提高爆破效果，也可增加顶板及两帮的稳固性。

在矿山开拓及采准中，针对层理发育，稳定性差的岩石，采用了锚杆喷浆的新支护技术，收到了简易、牢固、节省坑木的效果。

以上从三个方面分析了沉积岩与开采技术有关的特点，值得注意的是，在研究沉积岩的采掘特点时，应该把上述几方面的特征，有机地联系起来，全面进行分析，正确掌握这类岩石与采掘的关系，才能找出最经济、最合理、最有效的采掘措施。

## 三、变　质　岩

变质岩是由原来的岩石（岩浆岩、沉积岩和变质岩）在地壳中受到高温高压以及化学成分渗入的影响，在固体状态下，发生剧烈变化后形成的新的岩石。因而，变质岩不仅具有自身独特的特点，而且还常常保留着原岩的某些特征。

### （一）变质岩的一般特征

变质岩以其特有的变质矿物和构造特征，区别于岩浆岩和沉积岩。

1. 变质岩的矿物组成及其特点

组成变质岩的矿物，大致可以分为两部分。一部分是与岩浆岩和沉积岩共有的矿物，主要有石英、长石（正长石、微斜长石和斜长石）、云母、角闪石、辉石、方解石和白云石等。另一部分是变质岩所特有的矿物，主要有石榴子石、红柱石、蓝晶石、阳起石、硅灰石、透辉石、透闪石、矽线石、十字石、蛇纹石、滑石和绿泥石等，这些特征矿物常是鉴别变质岩的标志。

变质矿物多具以下特点：

1）变质矿物在高温条件下，一般都较稳定如矽线石等。

2）变质岩由于常受定向压力的影响，其中某些矿物常呈针状、纤维状、鳞片状、柱状、放射状等，如呈片状的绿泥石、石墨；呈放射状的阳起石、硅灰石等。而另一些矿物出现拉长的现象，如角闪石、云母、长石一般较岩浆岩中的同种矿物长得多，就连某些非一向延长的矿物也可被拉长按一定方向排列。

3）变质矿物中常有包裹体，如红柱石中常有炭质、石英等包裹体存在。

4）变质岩中的矿物由于本身生长力大小的关系而有各种不同的自形程度。如石英的生长能力较弱，一般只能形成它形晶；红柱石生长力特强，常形成自形晶。它们与岩浆岩中矿物因熔点不同所形成的结晶顺序是不同的。如变质岩在其变质过程中，先形成的斜长石是酸性斜长石，最后才形成基性斜长石，这一规律恰好与岩浆岩中斜长石的结晶顺序相反。

5）变质矿物虽有些与岩浆岩中的矿物相同，但其生成时的温度远较岩浆岩中的相同矿物低。

值得注意的是，一定的原岩成分，经过变质作用后会产生不同的矿物组合，如同样是含 $Al_2O_3$ 较多的泥质岩类，在低温时产生绿泥石、绢云母与石英组合的变质岩；在中温条件下产生白云母、石英的矿物组合；在高温环境中则产生矽线石、长石的矿物组合。

变质矿物的共生组合还决定于原岩成分，原岩成分不同，变质条件相同、所产生的变质矿物也不相同，如石英砂岩受热力变质后生成石英岩，而石灰岩同样也受热力变质作用则只能形成大理岩。

2. 变质岩的结构

质岩几乎都具结晶结构，但由于变质作用的程度不同，又可分为变余结构、变晶结构和压碎结构。

（1）变余结构　变余结构是一种过渡型结构。由于变质作用进行得不彻底，在变质岩的个别部分，还残留着原来岩石的结构。这种结构对于判断原来岩石属何类别，有着很大的意义。如变质岩的原岩是砂状沉积岩，则可出现变余砂粒结构（或变余泥质结构）；若变质岩的原岩是岩浆岩，则可能出现变余斑状结构等。变余结构一般常见于变质较轻的岩石中。

（2）变晶结构　变晶结构是变质岩最重要的结构。由于这种结构是原岩中各种矿物同时再结晶所形成的，所以矿物晶体互相嵌生，晶形的发育程度，并不取决于矿物的结晶顺序，而是取决于矿物的结晶能力，这是与岩浆岩的结晶结构不一样的（岩浆岩的结晶结构兰般是先形成的矿物，自形程度比后生成的矿物高）。变晶结构又可分为：

1）等粒变晶结构　岩石中所有矿物晶粒的大小近乎相等，与岩浆岩的等粒结构近似。石英岩、大理岩具有此种结构。

2）斑状变晶结构　与岩浆岩中的斑状结构相似。即在岩石中，细粒的基质上分布一些较大的变斑晶的粗大晶体。组成变斑晶的矿物，大多是结晶能力强的矿物，如石榴子石、电气石、蓝晶石、十字石等。片岩、片麻岩常具这种结构。

3）鳞片变晶结构　一些鳞片状矿物沿一定方向平行排列，如云母片岩等。

（3）压碎结构　由于动力变质作用，使岩石发生破碎而形成的，如碎裂岩等。

3. 变质岩的构造

变质岩的构造是识别各种变质岩的重要标志。

(1) 片理构造　片理构造不仅是识别各种变质岩而且是区别于其它岩类的重要特征。片理构造的形成，是由于岩石中片状、板状和柱状矿物（如云母、长石、角闪石等），在定向压力的作用下重结晶，垂直压力方向成平行排列而形成的（图 1－2－24）。顺着平行排列的面，可以把岩石劈成一片一片的小型构造型态，叫做片理。根据形态的不同，片理构造又可以分为以下几种：

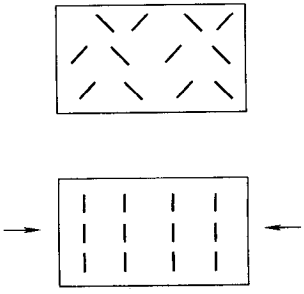


图 1－2－24　在定向压力的作用下片

1）片麻状构造　岩石中的深色矿物（黑云母、角闪石等）和浅色矿物（长石、石英等）相间呈条带状分布，在岩石的外观上，构成一种黑白相间的断续条带状构造，片麻岩具这种构状、板状和柱状矿物的平行排列造。

2）眼球状构造　在片麻状构造中，常有某种颗粒粗大的矿物（如石英、长石），呈透镜状或扁豆状，沿片理方向排列，形似眼球，故此得名。

3）片状构造　由一些片状或柱状、针状矿物（如云母、滑石、绿泥石、角闪石、矽线石等）作平行排列而成，片理特别清楚，是片岩所具有的构造。

4）千枚状构造　片理清晰，片理面上有许多细小的绢云母鳞片作有规律的分布，使岩石呈显丝绢光泽，即称千枚状构造，是千枚岩所具有的构造。

5）板状构造　柔软的泥质岩石，受挤压后，形成易劈成薄板的构造，称为板状构造，劈开面称板理面。劈开面上常有鳞片状绢云母散布，是板岩所具有的构造。

(2) 块状构造　矿物无定向排列，其分布大致呈均一状，如石英岩、大理岩常具这种构造。

(3) 条带状构造　岩石中的矿物成分分布不均匀，某些矿物有时相对集中呈宽的条带，有时成窄的条带，这些宽窄不等的条带相间排列，便构成条带状构造。混合岩常具这种构造。

(4) 斑点构造　当温度升高时，原岩中的某些成分（如炭质）首先集中凝结或起化学变化，形成矿物集合体斑点，其形状、大小可有不同，某些板岩具有这种构造。

### （二）变质岩的分类及各类岩石特点

根据变质岩的成因即变质作用类型，可将变质岩分为三大类：区域变质岩、接触变质岩和动力变质岩（表 1－2－9）。

现将常见变质岩的主要特征简述于下：

（1）板岩：是一种结构均匀，致密且具有板状劈理的岩石。它是由泥质岩类经受轻微变质而成。因而，其结晶程度很差，尚保留较多的泥质成分，具变余泥质结构，板状构造。矿物颗粒很细，肉眼一般很难识别，只在板理面上可见有散布的绢云母或绿泥石鳞片。与页岩的区别是，质地坚硬，用锤击之能发出清脆的响声。因板岩可沿板理面裂开成平整的石板，故广泛用作建筑石料。

表 1－2－9　　变质岩分类简表

| 分类依据 / 类别 / 岩石名称 | | 主要矿物 | 构造 | | 变质作用 |
|---|---|---|---|---|---|
| 区域变质岩 | 板岩 | 肉眼不能辨识 | 片理 | 板状 | 区域变质 |
| | 千枚岩 | 绢云母 | | 千枚状 | |
| | 片岩 | 石英、云母（绿泥石）等 | | 片状 | |
| | 片麻岩 | 石英、长石、云母、角闪石等 | | 片麻状 | |
| | 大理岩 | 方解石、白云石 | 块状 | 糖粒状 | |
| | 石英岩 | 石英 | | 致密状 | |
| | 混合岩 | 石英、长石等 | 片理 | 条带或片麻状 | 混合岩化作用 |
| 接触交质岩 | 大理岩 | 方解石、白云石 | 块状 | 糖粒状 | 热力变质 |
| | 石英岩 | 石英 | | 致密状 | |
| | 角页岩 | 长石、石英、角闪石、红柱石 | | 斑点或致密状 | |
| | 矽卡岩 | 石榴子石、透辉石等 | | 或斑杂状 | 接触交代 |
| 动力变质岩 | 构造角砾岩 | 原岩碎块 | 角砾状 | | 动力变质 |
| | 糜棱岩 | 原岩碎屑 | 条带或眼球状 | | |

（2）千枚岩：岩石的变质程度比板岩深，原泥质一般不保留，新生矿物颗粒较板岩粗大，有时部分绢云母有渐变为白云母的趋势。主要矿物除绢云母外，尚有绿泥石、石英等。岩石中片状矿物形成细而薄的连续的片理，沿片理面呈定向排列，致使这类岩石具有明显的丝绢光泽和千枚状构造。岩石颜色多种，一般为绿色、黄绿色、黄色、灰色、红色和黑色等。

这类岩石大多由黏土类岩石变质而成，少数可由隐晶质的酸性岩浆岩变质而成。

（3）片岩：以片状构造为其特征的岩石。组成这类岩石的矿物成分主要是一些片状矿物，如云母、绿泥石、滑石等，此外尚含有石榴子石、蓝晶石、十字石等变质矿物。片岩与千枚岩、片麻岩极为相似，但其变质程度（结晶程度）较千枚岩深。而片岩与片

麻岩的区别，除在构造上不同外，最主要的是片岩中不含或很少含长石。根据片岩中片状矿物种类不同，又可分为云母片岩、绿泥石片岩、滑石片岩、石墨片岩等。

(4) 片麻岩：以片麻状构造为其特征。片麻岩可由各种沉积岩、岩浆岩和原已形成的变质岩经变质作用而成。这类岩石变质程度较深，矿物大都重结晶，且结晶粒度较大，肉眼可以辨识。主要矿物为石英和长石，其次为云母、角闪石、辉石等，此外尚可含少量的石榴石、矽线石、堇青石、十字石、蓝晶石和石墨等典型变质矿物。

片麻岩和片岩可以是逐渐过渡的，两者有时无清晰划分界线，但大多数片麻岩都含有相当数量的长石，因此，习惯上常根据是否含有粗粒长石来划分。

(5) 大理岩：较纯的石灰岩和白云岩在区域变质作用下，由于重结晶而变为大理岩，也有部分大理岩是在热力接触变质作用下产生的。这类岩石多具等粒变晶结构，块状构造。因主要矿物为方解石，故滴冷稀盐酸强烈起泡，以此可与其他浅色岩石相区别。大理岩色彩多异，有纯白色大理岩（又称汉白玉），浅红色、淡绿色、深灰色及其它各种颜色的大理岩，同时常因其中含有杂质而呈现出美丽的花纹，故广泛用作建筑石料和雕刻原料。

(6) 石英岩：由较纯的石英砂岩经变质而成，变质以后石英颗粒和硅质胶结物合为一体。因此，石英岩的硬度和结晶程度均较砂岩高。主要矿物成分为石英，尚有少量长石、云母、绿泥石、角闪石等，深变质时还可出现辉石。质纯的石英岩为白色，因含杂质常可呈灰色、黄色和红色等。这类岩石亦多具等粒变晶结构，块状构造。石英岩有时易与大理岩相混，其区别在于大理岩和盐酸起泡，且较石英岩硬度小。石英岩在区域变质作用和接触变质作用下均可形成，以前种方式更为主要。

(7) 角岩：由泥质岩石在热力接触变质作用下形成。是一种致密微晶质硅化岩石。其主要成分为石英和云母，其次为长石、角闪石，尚有少量石榴子石、红柱石、矽线石等标准变质矿物。北京西山菊花沟即产有红柱石角岩，红柱石晶体呈放射状排列，形似菊花，故又称菊花石。

(8) 矽卡岩：是由石榴子石、透辉石以及一些其它钙铁硅酸盐矿物组成的岩石。它是在石灰岩或白云岩与酸性或中酸性岩浆岩的接触带或其附近形成的。岩石的颜色常为深褐色、褐色、褐绿色。具粗一中粒状变晶结构，致密块状构造。根据矽卡岩的矿物成分可分为：

1) 简单矽卡岩　主要由钙铁石榴子石和透辉石组成，还可含少量硅灰石、符山石、方柱石等矿物，其中金属矿物很少。

2) 复杂矽卡岩　由简单矽卡岩再经热液蚀变而成。除前述之主要矿物外，还可有绿帘石、阳起石或磁铁矿、黄铜矿等金属矿物。

伴随着矽卡岩的生成，可以造成若干重要金属矿产。因此，这类岩石可以认为是一种重要的找矿标志。

(9) 蛇纹岩：是以蛇纹石为主要矿物成分的岩石。成分较纯者和蛇纹石相似，一般呈黄绿色，也有呈暗绿色和黑色者。质软，略具有滑感，片理及碎裂构造常见。

蛇纹岩大多是由超基性岩（橄榄岩）在热液作用下使其中的橄榄石、辉石变成蛇纹石而形成，其化学反应式如下：

$$4Mg_2SiO_4 + 4H_2O + 2CO_2 \longrightarrow Mg_6(Si_4O_{10})(OH)_8 + 2MgCO_3$$

（橄榄石）　　（蛇纹石）　　（菱镁矿）

$$6CaMg(Si_2O_6) + 4H_2O + 6CO_2 \longrightarrow Mg_6(Si_4O_{10})(OH)_8 + 6CaCO_3 + 8SiO_2$$

（透辉石）　　（蛇纹石）

这种变化称为蛇纹石化。蛇纹石化作用多沿断裂破碎带发育，也可由区域变质作用和动力变质作用产生。在蛇纹石化作用不彻底的某些蛇纹岩中，常保留有橄榄石和辉石等原岩的残留矿物。

蛇纹岩呈片状者，一般称为蛇纹石片岩，有的蛇纹岩常含有由蛇纹石纤维状变种——石棉所组成的细脉。因此，蛇纹岩常是石棉矿床的找矿标志。

(10) 混合岩：原来的变质岩（片岩、片麻岩、石英岩等），由于许多相当于花岗岩的物质（来自上地幔的碱性流质），沿片理贯注或与原岩发生强烈的交代作用（称混合岩化作用）而形成的一种特殊岩石叫混合岩。是在深成褶皱区的超变质作用下形成的。混合岩通常由两部分物质组成：一部分为原岩如云母片岩、斜长角闪岩等组成，叫做基体；另一部分是混合岩化过程中的活动组分，成分以钾长石、石英为主，称为脉体。混合岩的构造多样。脉体在基体中常呈眼球状，条带状及片麻状等。根据混合岩化作用的强度，可将混合岩分为：注入混合岩、顺层混合岩、花岗质混合片麻岩和混合花岗岩等四大类。

(11) 构造角砾岩：是高度角砾岩化的产物。碎块大小不一，形状各异，其成分决定于断层移动带岩石的成分。破碎的角砾和碎块已离开原来的位置杂乱堆积，带棱角的碎块互不相连，被胶结物所隔开。胶结物以次生的铁质、硅质为主，亦见有泥质及一些被磨细的本身岩石的物质。

(12) 碎裂岩：在压应力作用下，岩石沿扭裂面破碎，方向不一的碎裂纹切割岩石，碎块间基本没有相对位移，碎块外形相互适应，这样的岩石称碎裂岩。可根据破碎轻微部分的岩性特征确定其原岩名称。命名时可在原岩名称前冠以“碎裂”两字，如碎裂花岗岩。

(13) 糜棱岩：是粒度比较小的强烈压碎岩，岩性坚硬，具明显的带状、眼球纹理构造。带状构造在标本上很像流纹，不同条带中矿物粒度、成分及颜色都有所差异，它是在压碎过程中，由于矿物发生高度变形移动或定向排列而成。在受压碎较浅的部分，残留有较大的眼球状矿物，这些残留矿物多已发生碎裂、形变，晶粒边缘已经磨碎或圆化。此岩石往往伴随有些重结晶或少量新生矿物析出物，如绢云母、绿泥石及绿帘石

等。

后三类岩石均系构造运动产生的局部应力使原岩破碎、粒化、甚至重结晶而形成的。多呈狭长带状分布，并有一定局限性。构造角砾岩和碎裂岩分布地带常是矿液上升通道和沉淀的场所，某些矿体即分布其中或其附近，因而具有找矿意义。但是，这些地带也常因岩石稳固性差，给采矿工作带来困难。

（三）变质岩的肉眼鉴定和命名

肉眼鉴定变质岩主要根据构造和矿物成分。在矿物成分中，应特别注意那些为变质岩所特有的矿物，如石榴子石、十字石、红柱石、硅灰石等以及变斑晶矿物。

根据变质岩所具有的构造，可将这一大类岩石划分为两类：一类是具有片理构造的岩石，其中包括片麻岩、片岩、千枚岩和板岩；另一类是不具片理构造的块状岩石，主要包括石英岩、大理岩和矽卡岩。

鉴定具片理状构造的岩石时，首先根据片理构造的类型，很容易将上述岩石分开，然后根据变质矿物和变斑晶矿物进一步给所要鉴定的岩石定名，如片岩中有石榴石呈变斑晶出现时，则可定名为石榴子石片岩；若滑石、绿泥石出现较多时，则称为绿泥石或滑石片岩。

对块状岩石，则结合其结构和成分特征来鉴别，如石榴子石占多数的矽卡岩，则称为石榴子石矽卡岩；如含较多硅灰石的大理岩则可称为硅灰石大理岩。

（四）变质岩中的主要矿产

变质岩中，亦蕴藏着许多重要的金属与非金属矿产。

与接触变质岩有关的矿产有铁、铜、铅、锌、锡、钨、钼、铍、石棉等。如湖北的铁矿、安徽的铜矿、湖南的铅锌矿和钨矿、云南的锡矿、辽宁的钼矿、海南岛的水晶矿以及河北的石棉矿等，都是由接触交代作用所形成的矿床。

与区域变质岩有关的矿产有铁、石墨、滑石、菱镁矿、刚玉及磷矿等。例如鞍山的铁矿，山东栖霞的滑石矿，莱阳的石墨矿，灵寿的刚玉矿以及海州的磷矿等，都是经区域变质作用形成的。

在其他变质作用下，也可形成某些重要矿产，例如超基性岩在热液作用下，可形成石棉、滑石、菱镁矿。在花岗岩经自变质而形成的云英岩中常有钨、锡矿等。

值得注意的是，某些变质岩本身就是很重要的矿产。例如大理岩特别是纯大理岩和蛇纹石大理岩，就是很珍贵的建筑石料及雕刻石料；板岩也是良好的建筑材料。

（五）变质岩与开采技术有关的特点

变质岩对采掘的影响也取决于岩石的矿物组成和结构构造。

1. 变质岩的矿物组成对采掘的影响

在这类岩石的矿物组成中，常因含一定数量的滑石、绿泥石和云母等，对采掘影响

较大，这些矿物光滑柔软，且多呈片状，因而稳定性极差，不少矿山常因此而冒顶片帮，故在采矿过程中必须引起足够重视。至于所含其它矿物组分，大多与岩浆岩和沉积岩相似，它们的采掘特点可参照前节相应内容。

2. 变质岩的结构构造对采掘的影响

这类岩石的结构对采掘的影响不甚突出，而构造对采掘影响较为明显。

变质岩的构造尤以片理构造对采掘影响更大。如千枚岩；片岩及板岩的片理（或板理）比较发育，岩石沿片理延伸方向结合力较低，故上述岩石的稳定性极差。一般情况下，岩石的片理愈发育，各方向的强度相差愈大，在平行片理的方向抗压和抗剪强度小，抗拉强度大；垂直片理的方向则恰好相反。

岩石片理发育时，对采掘极为不利，必须加强支护，其有效的办法是在垂直片理的方向，采用锚杆喷浆，即可增强该类岩石的稳定性，避免冒顶和片帮。

露天开采时，因片理所造成的岩石稳定性差，从而影响岩体的边坡稳定，但另一方面有时可提高爆破的效果。

以上分别讨论了三大类岩石，它们以其固有的特点互相区别，详见表 1－2－10。

表 1－2－10　　三大类岩石区分简表

| 岩类 / 特征 | 岩浆岩 | 沉积岩 | 变质岩 |
|---|---|---|---|
| 矿物成分 | 均为原生矿物，其成分复杂，但较稳定，常见的有：石英、长石、角闪石、辉石、橄榄石和黑云母等 | 次生矿物占相当数量，矿物成分简单，但一般多不固定，常见的有：石英、正长石、白云母、方解石、白云石、高岭石、绿泥石和海绿石等 | 除具有原岩的矿物成分外，尚有典型的变质矿物，如石榴子石，透辉石、矽线石、蓝晶石、十字石、红柱石、阳起石、符山石等 |
| 结　构 | 以粒状、斑状结构为其特征 | 以碎屑、泥质及生物碎屑结构为其特征 | 以变晶、变余、压碎结构为其特征 |
| 构　造 | 具流纹、气孔及块状构造 | 多具层理构造 | 多具片理构造 |
| 产　状 | 多以侵入体出现，少数喷出岩呈不规则形状产出 | 层状或大透镜状 | 随原岩的产状而定 |
| 分　布 | 以花岗岩、玄武岩分布最广 | 黏土岩分布最广，次为砂岩，再次为石灰岩 | 以区域变质岩分布最广 |

但是，它们和宇宙间的一切矛盾一样，并不是彼此孤立地存在的，无论在产状分布上或是在岩石成因上，都是彼此依存、相互转化的。尤其是在成因上，它们互为因果的关系更明显，在一定条件下互相转化。出露在地表的任何岩石（岩浆岩、沉积岩、变质岩），在大气圈、水圈和生物圈共同作用下，经风化、剥蚀、搬运、沉积、固结形成新

的沉积岩。任何岩石在构造作用下进入地壳深处，在温度不太高的情况（一般 < 800℃）下，将产生不同程度的变质，形成新的变质岩。当地壳深处温度升高到一定程度（一般 > 800℃），岩石将发生局部熔融，形成岩浆。岩浆的侵入和喷出活动，形成各种岩浆岩。这些变化不是简单的重复，而是复杂多变的，从而使地球上的岩石千姿百态。同时，变化过程中一些有用组分在特定条件下富集，形成可供人类利用的矿产。

# 第三章 矿床概述

## 第一节 矿床、矿体和围岩

矿床是地壳中的地质作用形成的，所含有用矿物资源的质量在一定的经济技术条件下能被开采利用的地质体。因此，矿床概念包含地质的和经济技术的双重意义。

矿床的范畴不是一成不变的。随着科学的发展和经济、技术的提高，过去认为不是矿床的，现在有的已成为矿床了，而现在认为不是矿床的，将来也可能成为矿床。如铂在200年以前就被发现了，但当时人们不会利用它，甚至还把它视为有害杂质从砂金中剔除出去。到了19世纪中叶，探明了铂的性质、掌握了铂的冶炼技术和提取方法，于是铂就成为重要的金属之一，而其富集所在也就成为矿床了。

矿床的空间范围包括矿体和围岩。

矿体是矿床的基本组成单位，是达到工业要求的含矿地质体，又是开采的直接对象。它具有一定的大小、形状和产状。一个矿床可以由一个或数个矿体组成。

围岩是矿体周围暂无经济价值的岩石。提供矿体中成矿物质来源的岩石，叫做母岩。

矿体和围岩两者界线有的清楚，有的为渐变无明显界线。当矿体和围岩的界线不明显时，就需要通过取样、化验，用国家规定的工业指标来圈定。没有达到所要求的边界品位的部分当作围岩，而达到这个品位的部分为矿体。然而，围岩和矿体，特别是在母岩作为围岩的情况下，在概念上并不是一成不变的，而是随着工艺技术的提高，这个所要求的边界品位的指标是可以降低的，矿体的范围也是可以扩大的。

如矿体和围岩是同一地质作用中的产物，即两者是同时生成的，则此种矿床叫做同生矿床；如矿体在围岩之后生成，则叫做后生矿床。

在研究矿床时，要特别注意围岩与矿体相互关系的分析。这种分析有助于我们更好地了解成矿过程。

# 第二节　矿体的形状和产状

矿体的形状和产状是由多种因素决定的，其中最主要的是矿床的成因，其次则是构造条件及围岩性质等。矿床的成因不同，其矿体形状也往往不同。如沉积矿床的矿体形状多为层状，而热液矿床的矿体则多呈脉状；层状和脉状矿体又各有不同的产状。

矿体形状和产状的研究，对于找矿、勘探以及开采工作都具有极其重要的意义。特别是采矿工作者，必须准确掌握矿体的形状和产状才能制定出合理的开采方案。

## 一、矿体的形状

每一个矿体都有三个可以量取的方向，根据这三个方向的发育情况，矿体的形状大致可分成等轴状矿体、板状矿体、柱状矿体三种。

### （一）等轴状矿体

即在三个方向上均衡发育的矿体。按其直径大小的不同，又可分为矿瘤（图 1－3－1）、矿囊、矿巢等。其直径分别为 > 20m、20 ~ 10m、 < 10m。

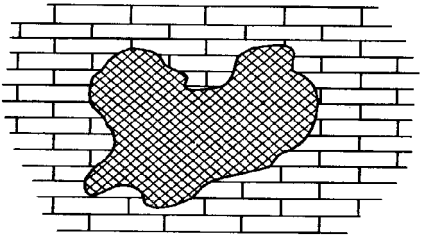


图 1－3－1　矿瘤剖面图

### （二）板状矿体

是向两个方向延伸而第三个方向很不发育的矿体。这类矿体最为常见的是矿脉和矿层。

矿脉是充填在岩石裂隙中的热液成因的板状矿体。矿脉的大小变化很大，大者可长达几千米，一般在几十米至几百米之间；厚度大者可达几米至十几米，个别可达几十米，小者可只有几厘米。

按矿脉与围岩的产状关系，可分层状矿脉和切割矿脉。前者是指在延伸上与层状围岩的层状构造相一致的矿脉（图 1－3－2）；其与围岩层状构造近似一致的矿脉，称似层状矿脉。后者是指产在块状岩体中或切割层状岩体的矿脉（图 1－3－3）。切割矿脉

之交错成网状者，称网状矿脉。产在背斜轴部的层状或似层状矿脉，称鞍状矿脉（图 1－3－4）。

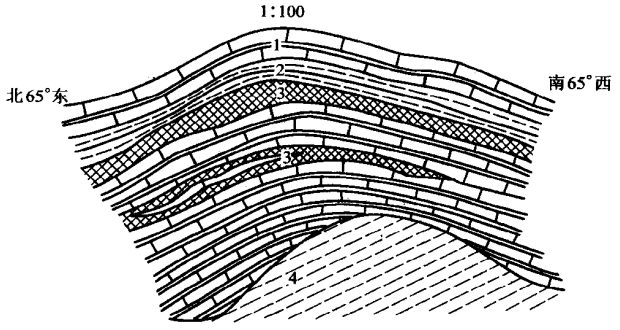



图 1－3－2　层状矿脉

1—硅质灰岩；2—页岩；3—辉钼矿－黄铜矿－石英脉；4—花岗片麻岩

矿脉常规律地成群出现，并可具有各种不同组合形式，构成各种类型的联合矿脉，如平行矿脉（图 1－3－5）、雁行矿脉（图 1－3－6）、马尾状矿脉（图 1－3－7）等等。

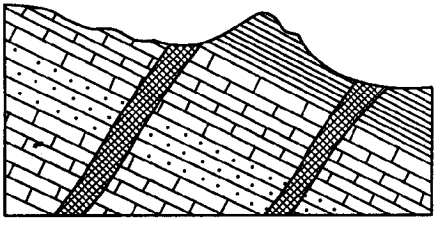


图 1－3－3　切割矿脉

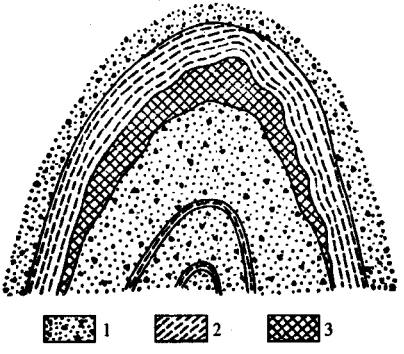



图 1－3－4　鞍状矿脉

1—砂岩；2—页岩；3—金矿脉

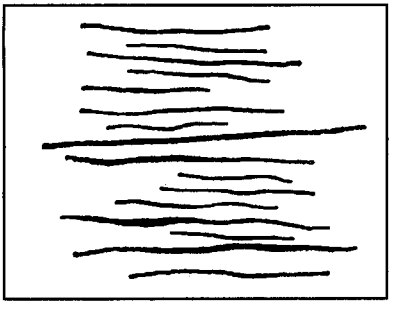


图 1－3－5　平行矿脉

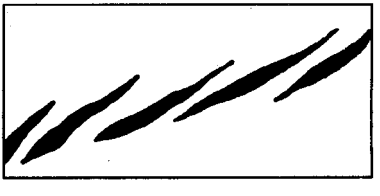


图 1－3－6　雁行矿脉



图 1－3－7　马尾状矿脉

矿层是与层状围岩产状相一致的沉积成因或沉积变质成因的板状矿体，亦常称作层状矿体。矿层通常厚度较稳定，在走向和倾向方向都延伸较远（图 1－3－8）。




图 1－3－8　矿层（或层状矿体）

另外常见的还有扁豆状或透镜状矿体（图 1－3－9、图 1－3－10）、似层状矿体。扁豆状或透镜状矿体，就是等轴状矿体和板状矿体的过渡类型：矿脉或矿层在延伸上很快尖灭或收缩就形成了这种矿体形状。似层状矿体则泛指那些在形状上近似层状的岩浆或交代成因的矿体。

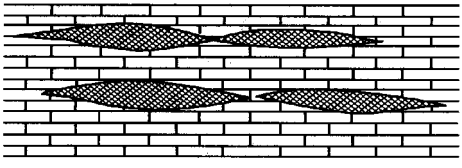


图 1－3－9　透镜状矿体（平面）

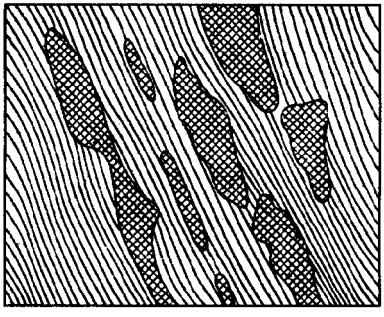


图 1－3－10　透镜状矿体（剖面）

板状矿体当其产状倾斜或近似水平时，矿体上面的围岩称为上盘，下面的围岩称为下盘（图 1－3－11）。

（三）柱状矿体

是向一个方向延伸（大多数是上下方向延伸）而其余两个方向不发育的矿体，如矿柱、矿筒（图 1－3－12）等。

总之，自然界矿体的形状是多种多样的，以上所述只是比较常见的几种。如果矿体

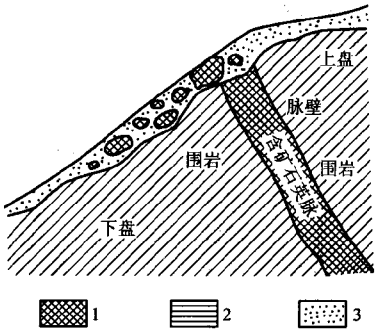



图 1－3－11 板状矿体上下盘剖面示意图

1—金矿脉；2—页岩；3—浮土

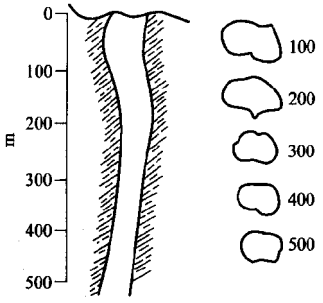



图 1－3－12 柱状矿体剖面及水平断面图

受到成矿后的构造变动，从而发生断裂和褶皱，在形状上就更为复杂了。

## 二、矿体的产状

矿体的产状包括矿体的产状要素、矿体与围岩的关系、矿体与侵入岩体的空间位置关系等 5 个方面。

### （一）矿体的产状要素

矿体的产状要素主要是用来确定板状矿体的空间位置，其表示方法与一般岩层的表示方法相同，即用走向、倾向和倾角来表示。但对某些具有最大延伸和透镜状截面的矿体如柱状矿体、透镜状矿体之类，则除了用走向、倾向和倾角来表示外，还要测量它们的侧伏角和倾伏角，以确切控制其最大延伸方向，如图 1－3－13 所示。所谓侧伏角系矿体最大延伸方向（矿体的轴线）与矿体走向线之间的夹角；倾伏角系矿体最大延伸方向与其水平投影线之间的夹角。

矿体的产状、侧伏角、倾伏角等产状要素对开拓设计、采矿方法和矿石运输具有重要意义。

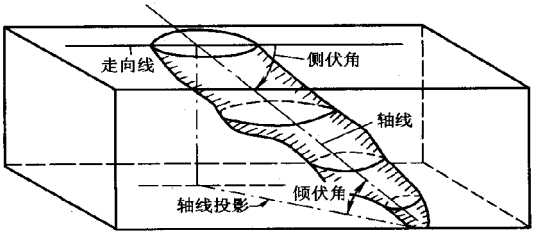



图 1－3－13　矿体产状要素示意图

（二）矿体与围岩的关系

矿体的围岩是岩浆岩、变质岩还是沉积岩，矿体是平行于围岩的层理或片理产出的，或是截穿它们的。

（三）矿体与侵入岩体的空间位置关系

矿体是产在岩体内部的，还是产在围岩与侵入岩的接触带中，或是产在距接触带有一定距离的围岩中。

（四）矿体埋藏情况

指矿体是出露在地表的或是隐伏地下的肓矿体，以及矿体的埋藏深度等。盲矿体又分为隐伏矿体（未曾出露到地表）和埋藏矿体（曾出露到地表，后被掩埋）。

（五）与地质构造的关系

一系列有成因联系的矿体在褶皱、断裂构造内的排列方向和赋存规律。

## 第三节　矿　　石

### 一、矿石的概念

矿石指在现有技术和经济条件下，能够从中提取有用组分（元素、化合物或矿物）的天然矿物集合体。由矿石组成的地质体即矿体。

矿石中通常包括矿石矿物和脉石矿物两部分。矿石矿物指矿石中能提供有用元素（或组分）或本身可以被直接利用的矿物，因此也就是矿石中的有用矿物。矿石的名称也就根据这些有用元素或直接被利用的矿物的名称来定。例如铜矿石，即从中提取铜元素的矿石。而其中含铜的矿物如黄铜矿、斑铜矿等就是矿石矿物。又如石棉矿石、云母矿石，即从中可取得能直接利用的石棉、云母的矿石，而石棉、云母就是相应矿石中的矿石矿物。脉石矿物指矿石中没有用处的那些矿物，例如铜矿石中的石英等。脉石矿物

中也包括那些本身可提供有用元素但因含量甚微以致现时还不能综合利用的矿物；例如铜矿石中常含有的少量的方铅矿和闪锌矿；铅锌矿石中常含有的少量黄铜矿和斑铜矿。脉石矿物和矿石矿物具有相对的概念。某种矿物在一些矿石中是矿石矿物，而在另一些矿石可能是脉石矿物。如黄铁矿作为脉石矿物常存在于铜矿石、铅锌矿石中。但是在硫铁矿矿石中黄铁矿则是主要的矿石矿物。随着经济、技术条件的变化，目前暂时不能利用的岩石和矿物（包括脉石矿物）可能变成矿石和矿石矿物。

## 二、矿石的分类

通常是根据矿石中所含有用元素或直接被利用的矿石矿物的名称来称谓矿石，如铜矿石、铁矿石、锰矿石、铅矿石、锌矿石、云母矿石、石棉矿石、粘土矿石等等。以上，只提供一种元素或可利用矿物的叫作简单矿石。能提供一种以上有用元素或可利用矿物的矿石叫作综合矿石，如铜铅锌矿石、铅锌矿石、石英云母矿石等等。今后的方向是，通过综合利用技术的提高，把某些简单矿石，特别是金属简单矿石变成综合矿石。在上述各种矿石之中，能提供金属元素的叫作金属矿石；提供非金属元素或有用矿物的叫作非金属矿石。

此外，还可按其是否受到风化作用以及风化作用的情况，将矿石分成原生矿石、氧化矿石以及次生富集矿石等（详见风化矿床）。

## 三、矿石的品位

矿石的品位是指矿石中有用元素、组分或矿物的含量。金属矿石品位是指其中的金属元素或其氧化物的含量；非金属矿石品位是指其中非金属元素或可利用矿物的含量。矿石的质量，特别是金属矿石的质量在很大程度上决定于矿石品位的高低；矿石品位高的，称为富矿石，品位低的称为贫矿石。

矿石的品位按其提供金属的质量分数来表示，或按其氧化物（$Al_2O_3$、$Cr_2O_3$、$P_2O_5$……）质量分数来表示；贵金属（如金、银、铂等）及砂矿则以 g/t、mg/t、$g/m^3$、$mg/m^3$ 来表示；而非金属有用矿物矿石，如石英、石棉等则按其有用矿物的质量百分数来表示，云母含量以 $kg/m^3$ 来表示。

## 四、矿石的结构和构造

矿石的结构和构造，在含义上和岩石的相同。矿石的多数结构需在显微镜下鉴定（将在有关课程里介绍）也可以用肉眼观察，主要的有以下几种：

1）块状构造：矿石呈颗粒状集合体，均匀一致。这是富矿石常具有的构造，脉石矿物很少，常在20%以下。如一般的富铁、富锰矿石。

2）浸染状构造：矿石中矿石矿物的颗粒均匀分散在脉石矿物中，脉石矿物常在20%以上。如一般的锡矿石、铜矿石、钼矿石等。

3）对称条带状构造和栉状（或梳状）构造：热液充填成因的矿石常具有此类构造。当矿脉两壁矿物条带在成分或结构上由外而内对称出现时，则形成对称条带状构造（在形态上如图8－4所示）。当各条带是由垂直脉壁的柱状矿物晶体组成时，则形成栉状构造。

4）条带状构造：矿石矿物集合体与脉石矿物集合体均呈条带状并相间出现。如鞍山式铁矿的贫矿石即具有此种构造。

5）晶簇状构造：是结晶矿物在空洞内壁生长成的向中心集中的连晶，如石英晶簇。

6）角砾状构造：在含矿裂隙中，围岩或早先生成的矿物的碎块被后来的另一些矿物所胶结而成，是热液充填矿床所常具有的矿石构造。

7）鲕状、豆状和肾状构造：这是胶体成因矿石所特有的构造，已在沉积岩中作为结构（鲕状构造也可以看作是结构）描述过了，此处从略。

矿石的结构、构造，不仅反映矿石的成因（例如鲕状构造者反映胶体成因）和矿石中各种矿物的形成顺序（例如自形晶结构者反映最先结晶，它形晶结构是最后结晶，而半自形晶结构则介于中间情况等），在成矿过程和找矿勘探上具有理论意义，而且也是制定选矿方案的重要依据。

## 第四节　成矿作用和矿床的成因分类

所谓成矿作用，就是导致地壳和上地幔中有用组分（元素或化合物）被分离出来集中富集形成矿床的地质作用。

由于各种元素在地壳中的平均含量很不均匀，相差十分悬殊。质量百分比在1%以上者只有9种元素，而与工业生产密切相关的各种金属和非金属元素，在地壳中的平均含量一般都是很低的（例如 $w$（Cu）＝0.01%；$w$（Pb）＝0.001%；$w$（Zn）＝0.02%；$w$（W）＝0.007%；$w$（Sn）＝0.008%；$w$（Cr）＝0.03%；$w$（Ni）＝0.02%；$w$（Mn）＝0.1%；$w$（S）＝0.10%；$w$（B）＝0.01%）。显然，如果这些金属和非金属元素只是平均地分布于地壳之中，那么世界就不会有什么值得开采的矿床了。由此可见，各种矿床的形成是地壳中各种有用成分在成矿作用之下得到局部集中富集的结果。

这个局部富集的过程是极为复杂的，因而成矿作用也是多种多样的。如果从成矿地

质作用及成矿物质的来源来考虑，成矿作用可概括地归纳为三大类：内生成矿作用，外生成矿作用，变质成矿作用。由内生成矿作用所形成的各种矿床，总称为内生矿床；同理，外生成矿作用——外生矿床；变质成矿作用——变质矿床。

## 一、内生成矿作用

由地球内部各种能量所导致矿床形成的所有地质作用，称为内生成矿作用。根据其所处物理化学条件及地质作用的不同，可分为“侵入岩浆”、“伟晶岩”、“气化—热液”和“火山”等四种成矿作用类型，并分别形成相应的内生矿床。

除与火山活动有关的成矿作用外，其它内生成矿作用都发生于地壳内部，是在较高温度和压力条件下进行的。

## 二、外生成矿作用

外生成矿作用是指在外动力地质作用下，在地壳表面常温常压下所进行的各种成矿作用。其成矿物质主要来源于出露或接近地表的岩石、矿床、火山喷出物以及生物有机体等。外生成矿作用，就是这些物质在风化、剥蚀、搬运以及沉积等作用过程中，成矿物质富集成为矿床的作用。按其形成时作用的不同，进一步分为风化成矿作用和沉积成矿作用。

## 三、变质成矿作用

这种成矿作用也发生在地壳内部，主要是由于岩浆侵入和区域变质作用所引起的。其所形成的矿床是由原岩或原矿床在高温高压下得到改造、加工而成。变质矿床虽然也是内动力地质作用下的产物，但成矿作用的方式以及矿床的次生性质，显然和内生矿床有所不同，所以划归另一类型矿床。变质成矿作用和变质作用一样，可进一步划分为接触变质、区域变质、混合岩化等三种类型，并各形成相应的变质矿床。

矿床的成因分类就是以上述各种成矿作用为依据所进行的分类。因为无论成矿物质来源如何，它们都要经过一定方式的成矿作用，尔后形成各式各样的矿床。本书所采用的分类如表 1－3－1 所示。

表 1－3－1　　矿床成因分类

| 内生矿床 | | 外生矿床 | | 变质矿床 | |
|---|---|---|---|---|---|
| 岩浆矿床 | 早期岩浆矿床 | 风化矿床 | 残积、坡积破床 | 接触变质矿床 | 受变质矿床 |
| | 晚期岩浆矿床 | | 残余矿床 | | 变成矿床 |
| | 熔离矿床 | | 淋积矿床 | | |
| 伟晶岩矿床 | | 沉积矿床 | 机械沉积矿床 | 区域变质矿床 | 受变质矿床 |
| 气液矿床 | 矽卡岩矿床 | | 真溶液沉积矿床 | | 变成矿床 |
| | 热液矿床 | | 胶体化学沉积矿床 | | |
| 火山成因矿床 | 火山岩浆矿床 | | 生物－生物化学沉积矿床 | | |
| | 火山－次火山气液矿床 | | | | |
| | 火山－沉积矿床 | | | | |

注：该表未包括“层控矿床”和“可燃有机矿床”。

上述三大类成矿作用和矿床并不是截然分开的，有很多矿床并非单一成矿作用的产物。例如鞍山式铁矿的某些矿体，其原生矿床形成于海底火山活动，应属火山沉积矿床，但由于以后叠加有变质成矿作用，于是变质成为变质矿床。且近年来“多源成矿论”，已为大量事实所证实。因此不应只从字面上去理解，要注意到它们之间的成因和空间联系。

# 第四章 内 生 矿 床

## 第一节 内生矿床概述

### 一、岩浆的性质及成矿作用

内生矿床和岩浆及其演化产生的气水热液有着密切的成因联系：矿床中的有用组分多来自于岩浆，并且是在其演化过程中与其余组分分离开而集中富集成矿的。

岩浆在地下深处时呈熔融状态。它的组成除作为主体的硅酸盐类物质外，还含有一些挥发性组分以及少量的金属元素或其化合物。与成矿作用关系最大的是这些挥发性组分。

挥发性组分包括水、碳酸、盐酸、硫酸根、硫化氢、氟、氯、磷、硫、硼、氮、氢等等。这些挥；发分的特点是：熔点低，挥发性高，在岩浆活动过程中可以降低矿物的结晶温度，从而延缓其结晶时间；尤其重要的是，它们可以和重金属结合成为挥发性化合物，使这些重金属具有较大的活动性，这就大大地有助于它们的迁移、分离和富集。

据目前研究，岩浆按化学成分和性质有四大类：

1）超基性岩浆。主要来自上地幔。如地幔物质通过地壳最薄的洋中脊直接侵入，常生成未分熔或分熔程度低的超基性岩浆。金伯利岩浆也是直接来自地幔的一种超基性岩浆。

2）玄武质岩浆（基性岩浆）。为地幔岩石的分熔产物。根据地幔岩（主要成分相当于橄榄岩）的分熔实验，不同深度的地幔岩在高温下（大于1100℃）分成易熔和难熔两部分。难熔部分为橄榄石、部分辉石。易熔部分为玄武质岩浆，可沿地壳不同部位侵入或喷出。

3）安山质岩浆（中性岩浆）。是洋壳俯冲的产物，常分布于岛弧和安第斯型板块边界。在板块碰撞地带，下插的洋壳（相当于玄武岩成分）升温（1150℃左右）增压发生分熔。难熔部分为榴辉岩，而易熔部分为安山质岩浆。

4）花岗质岩浆（酸性岩浆）。花岗质岩浆的成因较复杂，有三种可能来源：①下地壳岩石的选择性重熔，较低熔点的矿物（石英、钾长石等）首先熔化，形成重熔岩浆。

②下地壳岩石的混合岩化、花岗岩化使岩石进一步熔化形成再熔岩浆。③玄武质岩浆、安山质岩浆的进一步分异产生花岗质岩浆，这部分数量较少。岩浆侵入时的演化特点及相应的成矿作用可分为正岩浆期、残浆期和气液期三种。

（一）正岩浆期

这个阶段是以硅酸盐类矿物成分从岩浆中结晶析出形成岩浆岩为主的阶段；此时，挥发性组分相对数量很少并且是均匀地“溶”于硅酸盐熔浆之中，只在本阶段末期，大部分硅酸盐类矿物已经结晶析出之后才开始活动，在矿床形成上起显著作用。总之，这个阶段是以成岩为主、成矿为辅的阶段。

（二）残浆期

这是大部分硅酸盐类矿物已从岩浆中结晶析出成为固体岩浆岩之后，残余下来的那部分岩浆——残浆进行活动的时期。这个阶段的特点是，挥发性组分的相对数量已大大增加，并和硅酸盐类熔浆混溶在一起进行活动。挥发性组分相对集中而产生的内应力，有助于残余的硅酸盐熔浆侵入到周围已固结岩石的裂隙之中，并在挥发性组分的作用之下，形成了伟晶岩脉。伟晶岩脉本身常常具有一定的工业意义，其中又往往含有由挥发性组分所形成的有用矿物，所以伟晶岩脉可以认为同时具有既是岩石又是矿床的双重意义，因而这个阶段也可以说是成岩、成矿平行活动时期。

（三）气液期

在上述两个阶段之后，岩浆中大部分造岩组分已固结成为岩石，造岩阶段已经趋去，从而进入到岩浆期后阶段。这个阶段的特点是，在岩浆结晶过程中陆续以蒸馏方式从岩浆中析出的挥发性组分开始进入独立活动时期。随着温度的降低，挥发性组分在物态上将由气体，或超临界流体状态，转化为热液；这个时期称为气水热液期，是形成矽卡岩矿床和岩浆热液矿床的时期。当气液从母岩中分离出来向外流动时，由于温度、压力、气液成分以及围岩性质等的改变，气液中有用组分就可在母岩或围岩的裂隙或接触带中沉淀富集成为气水热液矿床。含矿热液也可来自变质作用、地下水环流和海底热卤水，后文详述。

当岩浆直接喷出地表或海水中时，由于温度和压力的急剧降低，其阶段划分就不十分明显了，所以在火山活动中所形成的矿床要比在侵入活动中所形成的情况复杂，有其独立的特殊性，而另成为一类火山成因矿床。

## 二、内生矿床分类

综上所述，在岩浆活动的各个演化期都可形成矿床，其对应关系大致为：

1）侵入活动中形成的矿床：正岩浆期——岩浆矿床；残浆期——伟晶岩矿床；气

液期——气液矿床（包括矽卡岩矿床和热液矿床）。

2）火山活动中形成的矿床：火山成因矿床。

# 第二节 岩浆矿床

## 一、岩浆岩成矿专属性

岩浆矿床与成矿母岩体之间有明显的成矿专属性，即一定类型的岩浆矿床与一定类型的岩浆岩有关。一般地，铬铁矿床常与 MgO 含量高的超基性岩有关，Cu—Ni 硫化物矿床常与超基性、基性杂岩体有关，而含钒钛磁铁矿床则与 MgO 含量低的基性岩有关。金刚石矿床与金伯利岩有关。

## 二、岩浆矿床与构造环境

按板块构造观点，岩浆矿床的构造环境有以下几种情况：

1. 离散板块边界环境：离散板块边界环境包括：

（1）洋壳环境　块状硫化物矿床、豆荚状铬铁矿矿床。

（2）大陆裂谷环境　斜长岩伴生的钛铁矿床、铜镍硫化物矿床。

2. 会聚板块边界环境（碰撞环境）：会聚板块边界环境包括：

（1）活动大陆边缘　阿拉斯加型铬铁矿、钒钛磁铁矿矿床。

（2）陆内俯冲带　阿尔卑斯型超基性杂岩体有关的铬铁矿。

## 三、岩浆矿床成矿作用和成因分类

岩浆矿床是在正岩浆期内形成的。在正岩浆期，岩浆中硅酸盐类组分和矿床中的成矿组分原是混溶在一起的，导致它们互相分离，分别形成岩浆岩和岩浆矿床的岩浆分异作用。主要有以下两种方式：

1）结晶分异作用：在岩浆冷凝结晶过程中，岩浆中各种矿物组分是按其熔点高低及浓度等物理化学条件依次从岩浆中结晶出来的。因而在正岩浆阶段同时存在着成分都在不断变化的固体和熔体两部分，也就是说由于不同时结晶把岩浆一分为二了。这种分异作用叫作结晶分异作用。

岩浆中某些熔点很高的有用矿物，例如铬铁矿等，可在最先结晶的橄榄石、辉石等

硅酸盐类矿物之前或与之同时就在岩浆中开始结晶，由于密度较大等原因，可以沉坠到熔体的底部，或富集于熔体的某部位。如果这些早期结晶的有用矿物，在熔体底部或其他部位相对富集达到工业上可利用的标准时就成为矿床——早期岩浆矿床。

另外，残余在熔浆中的尚未结晶的某些金属矿物，在相对数量越来越增加的挥发性组分的作用之下，熔点降低了，结晶的时间延缓了，它们可以在大部分硅酸盐类组分都已结晶成为岩石之后，仍以熔体存在，并具有很大的活动性。它们可以在正岩浆阶段晚期，在动力或因挥发性组分集中所产生的内应力的作用下，以贯入等方式在母岩或其围岩的裂隙等构造之中形成矿床——晚期岩浆矿床。

2）液态分异作用——熔离作用：在高温条件下（例如 > 1500℃时），特别是有挥发性组分存在时，原始岩浆中可混溶有一定量的金属硫化物。随着温度的降低，硫化物的混溶度逐渐减小，终于从原始岩浆中熔离出来，把原始岩浆分裂成硫化物熔体和硅酸盐熔体两部分，即熔离作用。熔离作用虽然在岩浆演化中最先发生，但由于挥发性组分的作用，硫化物熔体冷固成矿（熔离矿床），却在硅酸盐熔体成岩之后。

在熔离作用的初期，硫化物先呈小球珠状分离出来散布在硅酸盐熔体之中，球珠逐渐汇合形成条带状或囊状熔体，由于比重较大而下沉到岩浆槽底部，冷凝后形成主要由浸染状矿石组成的熔离矿床的底部矿体。这些熔离出来的硫化物熔体也可以在大部分硅酸盐类矿物结晶凝固之后，在动力作用（其中也包括由挥发性组分集中而产生的内应力）下，贯入到母岩或其围岩裂隙中去，冷凝后形成主要由块状矿石组成的熔离矿床的脉状矿体。

上述两种分异作用是岩浆矿床中早期岩浆矿床、晚期岩浆矿床和熔离矿床的主要形成过程。这三种矿床的成矿作用是互相联系的，例如结晶分异作用进行得愈完全，则愈有利于成矿物质和挥发性组分的集中，也就是愈有利于晚期岩浆矿床和熔离矿床的形成；但并非同一岩体都有这三种矿体的形成。

## 四、各类岩浆矿床的特征和矿床实例

### （一）早期岩浆矿床

这种类型矿床是有用组分在岩浆结晶早期阶段，先于硅酸盐类矿物或与之同时结晶出来，经过富集而形成的矿床。这类矿床具有下列特点：

1）产在一定的岩浆岩母岩体中。如铬铁矿矿床产在超基性岩（纯橄岩、橄榄岩、辉石岩、蛇纹岩等）中，稀土元素矿床（独居石、锆英石、铈钶钙钛矿等矿床）产在碱性岩中。

2）早期形成的有用矿物，由于重力作用，可富集在岩体底部成为底部矿体；也可在动力作用之下，富集在岩体边部成为边缘矿体。总之，它们很少超出母岩体之外。

3）矿体和围岩（母岩）基本上是同时生成的，所以这类矿床只是岩体中金属矿物含量较高的部分（例如纯橄榄岩中铬铁矿一般含量平均为 2%，而富集成矿地段可增高至 10%以上），因此，矿体和围岩的界线是逐渐过渡的，其具体边界线是根据样品分析数据来定的，从而矿体形状也是各式各样的，常呈矿瘤、矿巢和透镜体状，也有构成矿条近似于层状者。然而矿床的规模并不大。

4）矿石矿物先结晶，一般多呈自形晶、半自形晶，被硅酸盐类矿物包围。矿石构造以浸染状为主，致密块状者较少。

早期岩浆矿床的工业价值一般都不甚大。

（二）晚期岩浆矿床

这类矿床的基本特点和早期岩浆矿床相似，但由于有用组分晚于硅酸盐矿物结晶（有人认为在结晶分异中局部还有熔离作用的配合），所以矿石中的有用矿物多呈它形晶；矿石中有富含挥发性组分矿物如磷灰石、铬电气石、铬符山石等的出现；矿体附近围岩也出现蚀变现象（如绿泥石化）。

残余含矿熔体在动力作用或由挥发性组分集中而产生的内应力的作用之下，可贯入到围岩裂隙中，形成脉状矿体。这种矿体与围岩界线一般比较清楚，矿石构造多成致密块状。但晚期岩浆矿床的矿体也有非贯入成因的，常呈矿条和具有条带状构造的似恳状或巢状。这种矿体与围岩界线往往是逐渐过渡的，矿石构造也以浸染状为主。

晚期岩浆矿床中的金属矿床，主要类型有，超基性岩中的铬铁矿及铂族金属矿床，基性岩中的含钒、钛磁铁矿矿床等。这类矿床的工业价值一般都很大，如南非的布什维尔德铬铁矿床和我国的四川攀枝花铁矿。

矿床实例：河北大庙含钒钛磁铁矿矿床（图 1－4－1）。

1）大庙铁矿区是一个大深成基性岩浆岩侵入体。此岩体由辉长岩类岩石组成；在东西向区域性构造控制之下，东西长约 60km，南北宽约 12km。由于分异作用；岩体内出现有斜长岩、辉长岩、矿染辉长岩等。钒钛磁铁矿矿体即赋存在斜长岩、辉长岩中。

斜长岩为矿体主要围岩，粗粒结构，主要由斜长石组成，色浅。辉长岩为本区另一主要围岩，与斜长岩呈渐变过渡关系，其组成矿物与斜长岩相似，但暗色矿物（辉石）含量增高，占 15%以上，而且分布均匀。

矿染辉长岩中的钛磁铁矿呈星散分布，含量达工业品位即成为浸染型钛磁铁矿矿石。矿染辉长岩一般呈脉状或透镜状，贯入到斜长岩或辉长

岩裂隙中，与斜长岩界线清楚，并常与矿体共生。

2）矿区内有 50 多个矿体，大小不等。它们的分布明显受构造控制，主要成两个连续带，向北北东方向收敛（矿区南部还有一近于东西向的小矿带）。矿体呈雁行状或叠瓦状排列，主要产于斜长岩裂隙中或斜长岩与辉长岩的接触带中。

区内主要矿体走向平均为北 30°～40°东，倾向有北东和北西两方向，矿体倾角均较

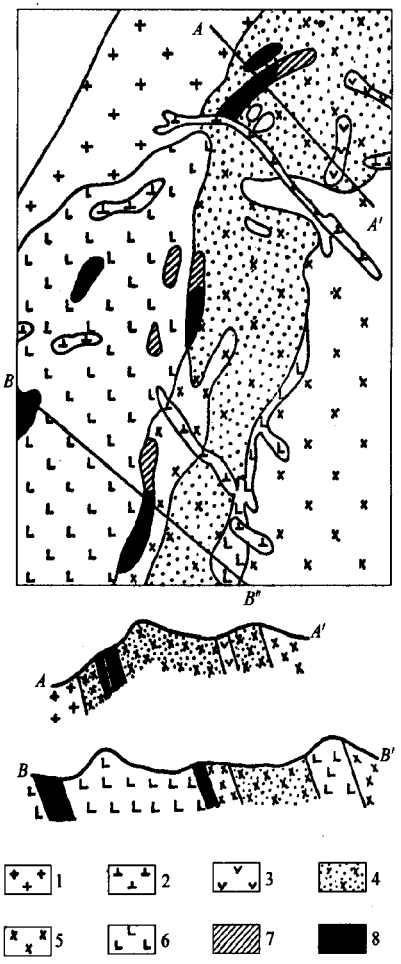



图 1－4－1　河北大庙矿区地质图及剖面图

1—细粒花岗岩；2—中性脉岩；3—细粒辉长岩；
4—矿染辉长岩；5—绿泥石辉长岩；6—斜长岩；
7—贫矿；8—富矿

陡，一般为 65°～90°，以 80°± 为最多。矿体呈不规则的脉状、扁豆状或透镜状，有的矿体在地表露头可有两个至四个，但在深部又连接成为一个矿体。主要矿体走向长为 300～350m，宽为 15～35m，最宽处可达百米，延深 200～300m。矿体内部夹有大小不等的斜长岩或辉长岩包体，并有成矿后的中性岩脉、细粒辉长岩脉等沿不同方向切穿矿体。近矿围岩常有绿泥石化、绢云母化等蚀变现象。矿体与斜长岩界线清楚，与辉长岩呈渐变关系。

矿石的主要金属矿物有磁铁矿、钛铁矿；次要的金属矿物则有黄铁矿、黄铜矿等；非金属矿物主要有斜长石（多已钠黝帘石化）、辉石、绿泥石、磷灰石等；钒以类质同

象混入物形式，存在于磁铁矿中。

矿石的构造有致密块状和浸染状两种。致密块状矿石是本区的富矿，按工业指标属工级品，多产在斜长岩中；浸染状矿石多为贫矿，按工业指标属Ⅱ级或Ⅲ级品，多产在辉长岩中。

本区矿石中的磁铁矿、钛铁矿可通过选矿获取精矿，炼制合乎要求的钒铁和钛。

3）地质情况表明，基性岩浆的侵入并非一次结束，最先侵入的是分布最广的斜长岩、辉长岩，当其固结后，矿染辉长岩浆伴同矿浆沿构造虚弱带，侵入到先生成岩体的构造裂隙中。这可从矿体中常见有斜长岩、辉长岩包体以及矿染辉长岩和矿体均与斜长岩有明显的接触界线等现象得到证明。

矿染辉长岩常和矿体呈渐变关系，且物质成分相似，只不过有用矿物含量不同而已，说明是同一来源的分异产物。它们是在深部由基性岩浆分异出来的含矿熔体，在上升过程中的再次分异：一部分成为有用矿物富集的致密状矿体，其余部分就是含有钛铁矿、磁铁矿并局部富集成为浸染状矿体的矿染辉长岩。

矿石含有挥发分矿物以及矿石的海绵陨铁结构（即矿石矿物呈他形晶填充于晶形较好的脉石矿物之间），都反映晚期岩浆矿床特点。

（三）熔离矿床

由于熔离矿床也是在大部分硅酸盐类矿物冷却凝固成为岩石之后形成的，所以在各种特征方面和晚期岩浆矿床有很多相似之处。例如在动力影响之下，也可发生贯入作用，从而出现脉状矿体；有用矿物也多比硅酸盐类矿物结晶晚，从而矿石也具有典型的海绵陨铁结构等。但熔离矿床也有其自身的特点，例如一些矿石中雨滴状和球状硫化物矿物集合体的存在，矿巢、矿瘤以及岩体底部似层状矿体等的存在，都反映着熔离矿床的特定成因。

在我国，最主要的熔离矿床是超基性岩、基性岩之中的铜、镍硫化物矿床。

矿床实例：四川会理力马河铜镍硫化物矿床（图 1－4－2）。

1）矿区内，基性、超基性岩体沿南北向断裂带侵入前震旦纪石英岩、千枚岩和石灰岩中（图 1－4－3），呈透镜体状，长约 800m，最宽约 180m，延深 200～300m。岩体分异明显，自东而西，自上而下，依次为闪长岩、辉长岩、辉石岩、橄榄岩等，厚度递减。闪长岩与辉长岩之间呈渐变关系，这是岩浆侵入后就地分异的结果。辉长岩和橄榄岩之间往往有一明显界线，系先后贯入关系，可能共属同一岩浆。橄榄岩是深部分异产物，上升时间较晚，故分布在岩体西侧，并与辉长岩有一明显界线。矿体分布在橄榄岩和辉石岩中。

2）本区矿体以浸染状矿化橄榄岩中的似层状、透镜状矿体为主，其次为透镜状的富矿体（图 1－4－3）。矿化橄榄岩中的似层状、透镜状矿体由海绵陨铁状矿石及致密浸染状矿石组成，一般位于橄榄岩西侧，接近底部。矿体长 350～450m，厚度最大为

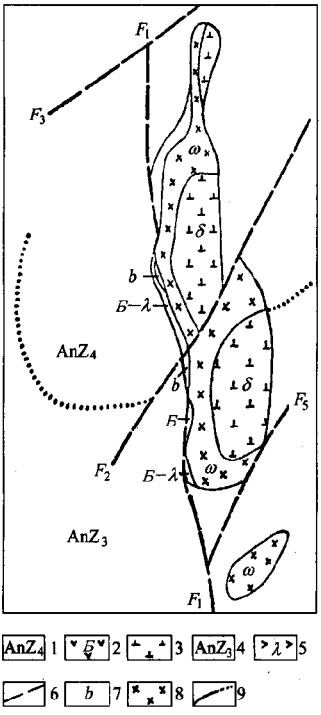



**图 1－4－2　四川力马河铜镍矿床地质图**

1—风山营组硅质灰岩；2—橄榄岩；3—闪长岩；
4—力马河组石英岩夹板岩；5—辉石岩；
6—断层及编号；7—陨铁状矿化橄榄岩；
8—辉长岩；9—明显界线及过渡界线

48m，与周围母岩无明显界线。透镜体状富矿体由致密块状矿石组成，一般延深大于延伸 2～3 倍，产状较陡，走向南北一北北东，倾向北西并向北侧伏。富矿体与海绵陨铁状矿石矿体的空间关系密切，后者总是包围前者，二者之间有明显的界线。富矿体与区内主要断层 $F_1$ 有密切联系，多分布在 $F_1$ 西侧，显然这种富矿体是深部分异产物。

矿石中矿石矿物是磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铜矿；脉石矿物为橄榄石等。主要有益元素为铜、镍、钴；其次是少量铂族元素。矿石结构为海绵陨铁状结构，矿石构造为致密块状、浸染状或斑杂状。矿石品位与矿体厚度成正比，品位较高和厚度增大之处，往往就是块状矿石或海绵陨铁状矿石所在之处。

3）海绵陨铁状矿石结构是岩浆型铜镍硫化物矿床比较典型的矿石结构，其特点是硫化物包围橄榄石，使橄榄石均匀地呈孤岛状分布。这说明熔离出来的硫化物是在橄榄石结晶之后才结晶的。

对于整个岩体来说，分异作用是在深部进行的。这可从橄榄岩和辉长岩、闪长岩相之间有明显界线，以及矿化多在橄榄岩底部。而橄榄岩又分布于整个岩体西侧受大断裂

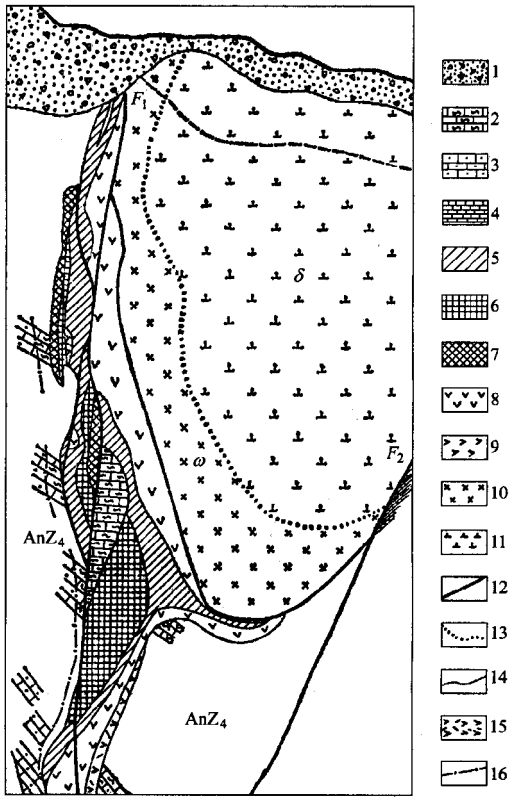



**图 1－4－3　四川力马河铜镍矿床地质剖面图**

1—第四系；2—风山营组蚀变灰岩；3—风山营组硅质灰岩；4—力马河组石英岩夹板岩；5—浸染状矿化橄榄岩；6—陨铁状矿化橄榄岩；7—致密状硫化物矿石；8—橄榄岩；9—辉石岩；10—辉长岩；11—闪长岩；12—断层及编号；13—过渡界线或地层界线；14—明显界线或地层界线；15—边缘相辉石长石岩；16—过渡界线

控制等现象得到证明。

从块状矿石的出现及其与海绵陨铁状矿石的接触关系中，可以看出深部先熔离出来的含矿的橄榄岩浆，在区域性构造运动的影响之下沿断裂带上升时，硫化物由于密度大、结晶晚，具有更大的活动性，所以再次发生熔离作用，得到更大的富集，从而形成块状矿石。

## 五、岩浆矿床的共同特征及其对开采的影响

（一）岩浆矿床共同特征

（1）围岩特点　岩浆矿床的围岩都是岩浆岩，而且围岩亦即母岩。每一类金属岩浆矿床各有其一定的岩浆岩围岩，即有明显的专属性。

（2）矿体形状和产状特点　产在侵入体底部的矿体多呈似层状、矿瘤或矿巢状，与围岩呈渐变接触关系。产在岩体边缘或其他部位的矿体，多呈平行排列的矿条状或扁豆状，其延展方向常与原生流动构造一致；矿体与围岩亦多呈过渡渐变关系。产在岩浆岩内沿一定方向延伸断裂带中的矿体，多呈脉状、透镜状；大部分矿体与围岩接触明显；矿体周围常有绿泥石化等围岩蚀变现象。

（3）矿石特点　矿石的矿物组成与围岩相似，除有用矿物含量较高以外，矿体与围岩在成分上无质的差异，因而随着有用矿物含量的逐渐减少，矿体就逐渐过渡成为围岩，界线不明显；而由块状矿石组成的矿体，往往受岩体中断裂控制，与围岩界线清楚。

矿石矿物多为密度大，熔点高的金属氧化物和自然元素及某些硫化物，常见的有铬铁矿、钛铁矿、磁铁矿、铜一镍硫化物类矿物以及铂族元素矿物等。它们的结晶时期基本上与围岩中造岩矿物的结晶时期相接近。

脉石矿物一般都是围岩中的造岩矿物，主要有橄榄石、辉石、角闪石、斜长石、磷灰石、绿泥石等。

（二）对开采的影响

岩浆矿床的特征也决定了该类矿床的开采特点：

1）由于这类矿床的围岩都是岩浆岩，而且主要是超基性岩和基性岩，其矿物成分硬度均较高，如果未经过强烈蚀变和构造破坏，一般都是强度大、稳固性好的岩石；矿石的稳固性一般也都是比较好的；这些因素有利于采用高速度、高效率的采矿方法。

2）这类矿床中由浸染状矿石所组成的矿体，其边界是依据工业指标圈定的。一个在剖面上完整的透镜状、条带状的矿体，实际上往往是由大量的体积小得多的而品位较高的透镜状、条带状、巢状特别是不规则状的矿体组合而成，其中包括矿化很低的贫矿部分。所以在开采中要注意到贫富兼采以降低损失和贫化。

3）在开采贯入成因的矿体时，由于矿石呈致密块状，与围岩界线清楚，如沿矿体与围岩接触带掘进沿脉坑道时要预防冒顶或片帮事故，而穿脉坑道则比较稳定。

4）在岩浆矿床中，除利用金属元素铁、铬、铜外，还可综合利用钒、钛、铂、镍等伴生元素以及可利用的围岩（如橄榄岩、蛇纹岩等）。因此，在这类矿床、矿石的采、

选、冶中要尽量考虑综合开采、综合利用的问题。

## 第三节 伟晶岩矿床

### 一、伟晶岩矿床的概念和特征

伟晶岩是一种矿物晶体巨大、常含有许多气成矿物和稀有、稀土金属矿物的脉状岩体；其中有用组分达到工业要求时，就成为伟晶岩矿床。各种成分的岩浆均可产生相应的伟晶岩，而与花岗岩浆有关的伟晶岩最为重要、最为普遍；一般所说的伟晶岩，多数是指花岗伟晶岩。

伟晶岩矿床是稀有金属如铌、钽、铯、铷、铪、铍等的重要来源，也是放射性元素如铀、钍的重要来源；同时，某些伟晶岩矿床还可因产有长石、水晶、云母、宝石以及压电石英等巨大晶体，易采易选，从而成为具有重大工业意义的非金属矿床。近年来，在基性伟晶岩边缘还发现了铂族元素矿床。

伟晶岩矿床的重要特征如下：

（一）产状和形状

伟晶岩多产于古老结晶片岩地区，其成因往往与巨大的花岗岩质侵入体有关，并常分布在侵入体上部及其顶盖围岩中。矿体与围岩界线一般比较清楚，但也有呈渐变关系的。

伟晶岩矿床明显地受构造控制，常常沿大构造带成群出现构成伟晶岩带。有时整个伟晶岩带可长达几十至几百公里。其中的每一个矿脉群常为次一级构造裂隙所控制，各矿脉按一组主要裂隙平行排列。

由于矿体主要受裂隙控制，因而形态和产状也直接与裂隙有关，常呈脉状、透镜状等。在裂隙交叉处，也可出现囊状或筒状矿体。有时也有膨胀、收缩、分枝、复合现象。

（二）矿石的矿物成分和结构、构造

矿石的成分既与相应岩浆岩相似，又具有岩浆期后矿床的某些特点，故在矿物成分上除石英、长石、云母外，还有由交代作用生成的气相、热液相矿物，如绿柱石、锡石、黑钨矿、辉钼矿及其他硫化物矿物、稀有元素矿物等。

伟晶岩矿石的伟晶结构是矿床最突出的特征，例如云母片直径可达一米，水晶晶体可长一米多，某天河石矿床的整个采矿场就在一个晶体之中。但并非整个伟晶岩矿石都

是伟晶结构。一般的情况是，自边部向中心部位，粒度逐步增大，而矿物成分亦随之有所变化，这样就使伟晶岩矿床由两侧向中心具有明显的带状构造，显示了伟晶岩先后发展的不同阶段。一般的伟晶岩矿床，由两侧向中心，可以分出四个带（图 1－4－4）：

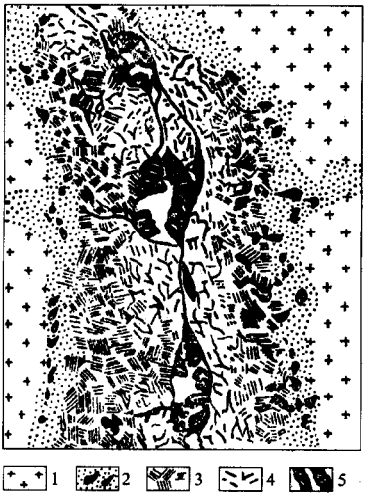



图 1－4－4　花岗伟晶岩脉内部构造

1—花岗岩；2—边缘带；3—外侧带；4—中间带；5—内核

1）边缘带（细粒花岗岩带）：晶体细小，主要由长石、石英组成。厚度一般不大，不过几厘米。形状不规则，有时不连续。与围岩的界线一般是清楚的，但也有时呈渐变关系。

2）外侧带（文象花岗岩带）：矿物颗粒较粗，主要由斜长石、钾微斜长石、石英和白云母组成；有时有绿柱石等稀有元素矿物出现。此带比边缘带厚度大，但变化也大，有时呈对称或不连续状出现。

3）中间带（中粗粒伟晶岩带）：矿物颗粒比外侧带更大，主要由块状长石、石英组成，有时有绿柱石、锂辉石等稀有元素矿物出现。此带的连续性和对称性也较前两带明显。

4）内核（单矿物带）：有巨大的长石或石英晶体，并常发育有晶洞构造。其中发育完整的晶簇，为压电石英和贵重宝石的来源，稀有、稀土金属元素矿物常富集此带。

上述分带现象并非所有伟晶岩都相同，具体矿床的分带变化很大，或分带不明显，或分带不齐全；每因矿体形态、成分；交代强弱的不同而显示出千变万化。

## 二、伟晶岩矿床的形成过程和分类

伟晶岩矿床的分类就是根据分异作用和交代作用的交织情况。例如，首先根据分异

作用的好坏，可把矿床分成带状构造伟晶岩矿床和非带状构造伟晶岩矿床两大类；然后再根据交代作用的情况，把每一类伟晶岩矿床再进一步分成交代型的（交代作用强烈的）和一般型的（交代作用不甚强烈的）两个亚类。交代型的通常称为复杂伟晶岩，常发生强烈的稀有元素矿化作用，因而成为开采稀有矿物的主要对象。一般型的通常称为简单伟晶岩，稀有矿物一般很少，但可成为开采长石、石英、云母等非金属矿产的主要对象。其分带不清、交代作用又不强烈者一般无工业意义。

## 三、伟晶岩矿床主要类型部分实例

稀有金属矿床实例：新疆阿尔泰含锂伟晶岩矿床。

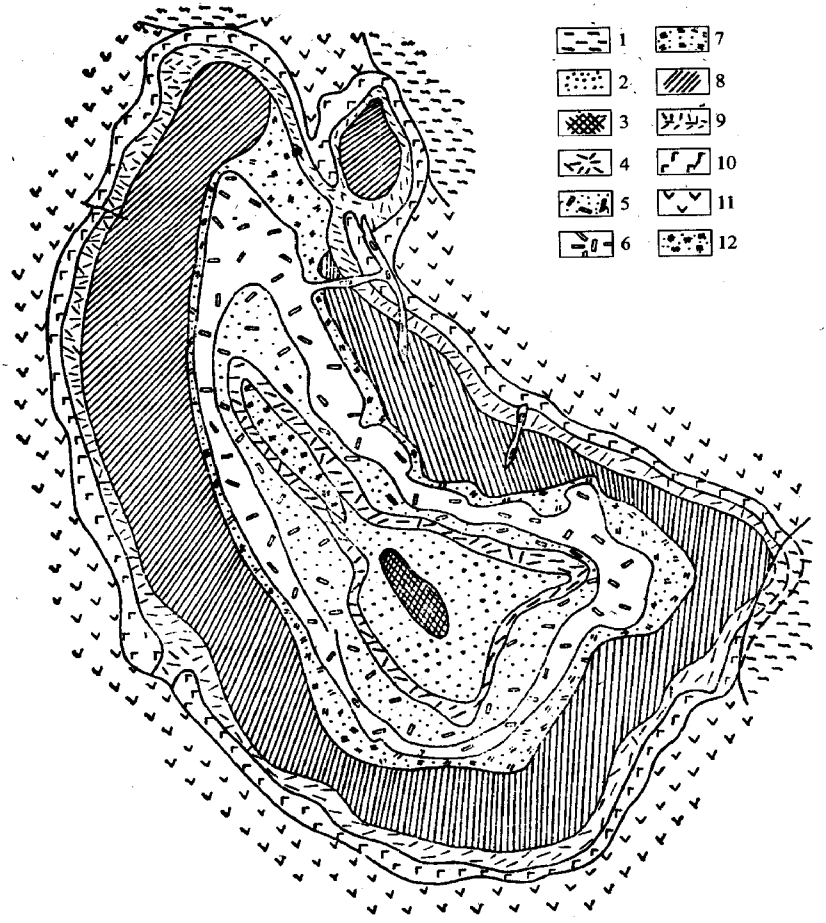



图 1－4－5　新疆三号伟晶岩体平面图（上部）

1—浮土；2—块状石英带；3—块状微斜长石带；4—薄板状钠长石带；5—石英—锂辉石带；6—叶钠长石—锂辉石带；7—石英白云母带；8—巨厚块状微斜长石带；9—细粒钠长石带；10—文象石英—微斜长石带；11—辉长岩；12—锂云母带

矿区位于一古老结晶片岩区，区内岩浆活动频繁，从基性到酸性岩石都有出露。伟晶岩主要发育在辉长岩中，主要脉体呈特殊的岩株状产出。根据近年来的勘探证明，其形态是世界所罕见的，上部岩体呈一椭圆柱状（长轴约 250m，短轴约 150m，走向北北西，倾角陡近于直立），往下延深一定程度后突然向外扩展并平底收敛，纵观整体似一乎放的大草帽。该脉体无论分异作用或交代作用均极发育。从外向内可分为十个带，呈现非常特征的环带状构造（图 1－4－5）。可以看出，本矿床的矿物成分是十分复杂的，除微斜长石和石英外，常见矿物有锂辉石、钠长石、锂云母等，副矿物主要有磷灰石、电气石、石榴石、白云母、绿柱石、钽铁矿等。

本矿床主要特点是分异作用明显，带状构造清楚，而且交代作用强烈（表现在微斜长石以及绿柱石等多被糖晶状钠长石所强烈交代）。由于含有大量含锂矿物，本矿床成为稀有金属锂伟晶岩矿床。

## 第四节　气 液 矿 床

### 一、气液成矿作用

#### （一）成矿溶液和成矿物质来源

成矿溶液（或称成矿气液、成矿热液）是在一定深度（几至几十千米）下形成的，具有一定温度（一般为 50～600℃）和一定压力（一般为 $n$～250MPa）的气态、液态和超临界流体。其成分以 $H_2O$ 为主，有时 $OC_2$ 占很大比例，常含有 $CH_4$、$H_2S$、CO、$SO_2$ 等挥发性气体成分和 $K^+$、$Na^+$、$Ca^{2+}$、$Mg^{2+}$、$F^-$、$Cl^-$、$SO_4^{2-}$、$HCO_3^-$ 等离子成分。成矿溶液中还有 W、Sn、Mo、Au、Ag、Cu、Pb、Zn 等多种成矿元素。

成矿溶液和成矿物质来源是矿床学界长期争论的问题之一，目前认识一般有四种：

1. 岩浆热液：岩浆在侵入和喷发过程中，随着温度和压力的下降，硅酸盐熔体不断地结晶，$H_2O$ 等挥发分就从岩浆中分离出来，形成高温气液。一些成矿元素倾向富集于气液中，这种含矿气液在岩体边缘和围岩的裂隙中运移，当物理化学条件发生变化时，就可在有利的地段形成矿床。过去，将所有的热液矿床都归结为岩浆热液所形成，具有很大片面性。已有大量的资料证明有不少热液矿床与岩浆热液无关。

2. 地下水热液：从地表渗透到地下深处的大气降水，可在地下环流中受热并与流经的岩石发生相互作用，溶解岩石中的有用成矿元素，运移至有利的地质环境中沉淀形成各种热液矿床。地下水下渗可达几百米至几千米，甚至达 10km。按地热升温率，在

5km 深处即可形成 300℃左右的热液。在岩浆活动区，几百米深处的地下水温就可达到几百度。地下热水常含较高的卤化物，这种地下热卤水可萃取流经围岩中大量的成矿物质。1961 年在美国加利福尼亚 Solton Sea 发现的热卤水含盐度达 36%，其中 Ag 达 $2\times10^{-6}$，Cu 达 $25\times10^{-7}$，Pb 达 $100\times10^{-6}$，Zn 达 $700\times10^{-6}$。

3. 海水热液：在海洋扩张中心、火山岛弧、大陆边缘及海洋岛屿地区，下渗的海水可沿裂隙到达地壳深部受热形成环流。环流过程中也可萃取流经围岩中大量的成矿物质，然后通过断裂、火山口或海底扩张脊再流入海中，与海水作用形成热液矿床。现代深海钻探已积累了大量资料，证明海底正在进行的热液成矿作用。如 20 世纪 90 年代初在东太平洋海岭（南纬 21°31′）水深 2800m 处发现走向南北，长 11km 的“黑烟囱”（现代海底块状硫化物矿床）。1985 年在北纬 26°、西经 45°大西洋中脊水深 2500～4000m 处发现高温热液活动形成的“土丘”（高 40m、直径 250m）中心温度达 366℃富金属流体。1997 年在新西兰东北部采集到含金达 23% 的异常矿石，并在水下 2.5km 处发现直径 3.7m 的热液“喷口”。

4. 变质热液：由变质作用（包括一般区域变质、混合岩化和花岗岩化作用）而形成的含矿溶液，统称为变质热液。岩浆岩和沉积岩内都含有一定数量的水分。如造岩矿物中的结构水、结晶水，岩石中的裂隙水、毛细水、吸附水和同生水等，在岩石受变质过程中都可逐渐被释放出来成为变质热液。这些变质热液由深变质带向上迁移过程中从围岩中吸取成矿物质，在低变质带中聚集沉淀成为矿床。

（二）有用组分从气水溶液中沉淀的原因和成矿方式

有用组分从气水溶液中沉淀的原因很多，最主要的原因是气水溶液与围岩接触以及不同成分的气水溶液相互混合，破坏了溶液的化学平衡，发生化学反应形成难溶化合物而沉淀，这种现象在成矿中占主要地位。其次，由于气水溶液是多组分的物理化学体系，在其搬运过程中物理化学状态不断改变；如温度、压力的降低，pH 值和 Eh 值的变化，溶剂的蒸发，也可使气水溶液中某些溶质发生过饱和而沉淀。沉淀出来的物质与溶质的成分相同，例如 NaCl、$SiO_2$ 的沉淀。

气水溶液的成矿方式，主要可分为充填作用和交代作用两种：

1. 充填作用方式：气水溶液在化学性质不活泼的围岩中流动时，一般与围岩没有明显的化学反应和物质的相互交换，气水溶液中的有用组分是由于物理化学条件变化的影响，直接沉淀在围岩裂隙和空洞中，这种作用称充填作用。充填作用所形成的矿体，其形态产状主要受裂隙、多孔性岩层、层面和不整合面等的形态产状所控制。其中以脉状矿体最为多见，矿脉与围岩界线清楚。矿石常具梳状、晶簇状、对称条带状、角砾状等构造。

2. 交代作用方式：气水溶液在化学性质较活泼的围岩裂隙和孔隙中流动时，溶液

与围岩中某些矿物起化学反应，并同时发生极细微状态下的溶解作用和沉淀作用，原有矿物逐渐被溶解掉而代之以新矿物。这种作用称交代作用，也就是置换作用。交代作用进行过程中原矿物被溶解和新矿物的沉淀几乎是同时的，而且围岩始终保持固体状态，故可保存原岩石的结构和构造，甚至其中的生物遗迹。交代作用受等体积定律支配，即交代前后岩、矿石总体积不发生变化。

交代作用所形成的矿体与充填作用所形成的矿体有明显的不同，其主要特点为：矿体外形不规则，不完全受裂隙形状控制；矿体和围岩界线不清，呈过渡关系。矿体中常有未被交代的残余围岩，而且仍保持其原来的岩石构造方向，说明残余围岩未发生移动。矿体中常保持有原来岩石的结构和构造，特别是构造。如岩石的条带状构造以及褶皱、断裂和角砾状构造等，均可保存在交代矿体中。

在气一液矿床中，常常根据上述矿石沉淀的不同方式，进一步划分为交代型气一液矿床和充填型气一液矿床两大类。但自然界中并没有绝对的交代成因或充填成因矿床；这两种沉淀方式是经常出现在同一矿床之中，只不过其中某一种是主导的，而另一种是从属的而已。

（三）围岩蚀变

气水溶液在沉淀成矿的同时，也与围岩发生交代反应，使围岩发生化学变化。这种现象叫作围岩蚀变，蚀变后的围岩叫作蚀变围岩。围岩蚀变的强度、范围决定于气水溶液组分、温度和围岩的性质。气水溶液组分愈活泼、压力及温度越高，围岩的蚀变就越强烈；围岩的化学性质越活泼，蚀变就越彻底；围岩中裂隙越发育，越有利气水溶液的渗透，蚀变的范围就越广。

围岩蚀变的类型很多，人们常以蚀变后所产生的新矿物或新岩石的名称，来命名它们。如蚀变后只产生某一种新矿物，则称某某化，如绢云母花、绿泥石化、石英化等；如产生两种以上的新矿物，则称某某岩化，如云英岩化、矽卡岩化等等。有时也用化学元素来命名，如硅化、钾化。常见的围岩蚀变类型，见表手 1－4－1 所示。

表 1－4－1　　常见的围岩蚀变类型及其有关矿产

| 围岩蚀变类型 | 形成条件 | 主要原岩 | 主要矿物组合 | 有关矿产 |
|---|---|---|---|---|
| 矽卡岩化 | 酸性、中酸性侵入体与碳酸盐岩或富钙质火成岩、火山沉积岩的接触带附近，高中温条件 | 石灰岩、大理岩、白云岩等 | 石榴石（钙铝－钙铁）、辉石（透辉石－钙铁辉石）及其它（钙铁镁）铝硅酸盐矿物 | Fe，Cu，Pb，Zn，W，Sn，Mo，Be 等 |

续表

| 围岩蚀变类型 | 形成条件 | 主要原岩 | 主要矿物组合 | 有关矿产 |
|---|---|---|---|---|
| 钾长石化 | 酸性、中酸性侵入体或火山岩的内部和边缘，一般为高温条件 | 花岗（斑）岩、花岗闪长（斑）岩、石英闪长岩等 | 微斜长石、有时透长石、正长石、冰长石等 | W，Sn，Be，Nb，Ta，Cu，Mo，Au 等 |
| 云英岩化 | 酸性侵入体（如花岗岩）靠近矿体处，高温条件 | 花岗岩类 | 石英、白云母、（锂云母）、黄玉、电气石等 | W，Sn，Be，Nb，Ta，Cu，Mo，Li，Bi |
| 绢云母化<br>绢英岩化<br>黄铁绢英岩化 | 主要为中酸性岩浆岩，长英质片麻岩、片岩类，一般为中温条件 | 花岗岩类；片麻岩、片岩类；粘土岩类 | 绢云母、石英、黄铁矿（>5%时称黄铁绢英岩化） | Au，Cu，Pb，Zn，Mo，Bi 等 |
| 硅化 | 发育广泛，高、中低温条件都可产生 | 基－酸性火成岩、片麻岩类、碳酸盐岩类 | 中高温：石英<br>低温：蛋白石、玉髓 | Cu，Mo，Pb，Zn，Au，Ag，Hg，Sb，黄铁矿，重晶石 |
| 青磐岩化（变安山岩化） | 主要为中基性火山岩，部分为中酸性浅成岩及斜长角闪岩类，中低温条件 | 安山岩、玄武岩、英安岩、闪长玢岩、花岗闪长斑岩、斜长角闪岩等 | 绿泥石、方解石、铁白云石、菱铁矿、黄铁矿、绿帘石、黝帘石、钠长石、绢云母和石英等 | 斑岩 Cu－Mo 矿床，脉状 Au，Ag，Pb，Zn 矿等 |
| 绿泥石化 | 由富铁镁矿物（辉石，角闪石，黑云母）蚀变而成，常与其它蚀变伴生，中低温条件 | 安山岩、玄武岩、闪长岩、斜长角闪岩、斜长角闪片麻岩等 | 绿泥石 | Cu，Pb，Zn，Au，Ag 等 |
| 碳酸盐化 | 普遍，中低温条件 | 中基性岩浆岩；碳酸盐沉积岩；碱性－超基性岩 | 方解石、白云石、铁白云石、菱铁矿、菱镁矿 | Cu，Pb，Zn，Au，Ag 等；菱镁矿 |

蚀变围岩是重要的找矿标志。由于蚀变围岩分布的范围比矿体本身要大，找矿时容易被发现。它不但可以指出地表露头的矿体位置，而且可以指示地下盲矿体的存在。此外，还可根据蚀变岩石的矿物组合、分布和强度，预测矿产种类、赋存位置和矿化富集程度。如云英岩化常伴随有 W、Sn 和 Be 等矿化；青磐岩化常伴随有 Au、A8、Cu、Pb 和 Zn 矿化。围岩蚀变强烈且广泛发育者，可预示有大矿或富矿的存在。

（四）矿化期与矿化阶段

气液矿床的形成经历了很长时期，在形成过程中地质构造条件和热液体系物理化学变化导致不同的矿物组合。为了研究气液成矿作用的时间规律，引入矿化期和矿化阶段（或成矿期、成矿阶段）的概念。

1）矿化期代表一个较长的成矿作用过程，它是根据成矿体系物理化学条件的显著变化来确定的。如矽卡岩矿床一般分为矽卡岩成矿期和热液石英硫化物成矿期，两者成矿物理化学条件有明显的区别。

2）矿化阶段代表一个较短的成矿作用过程，表示一组或一组以上的矿物在相同或相似的地质或物理化学条件下形成的过程。矿化阶段与构造裂隙的阶段性发育和与此有关的热液间隙性活动有关，每个矿化阶段代表一次热液活动。早阶段的矿物组合常被晚阶段的矿物组合穿插交代或包围胶结，据此可确定矿化价段的先后关系。

（五）气液矿床的分类

从不同角度出发，对本类矿床可以进行不同的分类。例如，可按成矿物质出来源进行分类；也可按成矿作用方式进行分类等等。本书采用地质学界目前较常用的按照在一定地质环境下主要成矿作用的分类方案，划分为以下两类：

1. 矽卡岩矿床：和矽卡岩化围岩蚀变密切伴生，与之有成因联系；是在中等深度，含矿气水溶液中的有用组分以化学交代作用而形成的矿床。

2. 热液矿床：不伴生有矽卡岩化围岩蚀变，有用矿物的沉淀既可有化学交代作用又可有充填作用；这类矿床根据其成矿溶液的来源和成因，可划分为：岩浆热液矿床、地下水热液矿床和变质热液矿床。岩浆热液矿床以形成的地质环境不同，又可分为侵入岩浆热液矿床和火山热液矿床。

## 二、矽卡岩矿床

这是产在中一酸性侵入体和碳酸盐岩围岩接触带中，直接和矽卡岩化有成因联系的矿床，所以叫矽卡岩矿床或接触交代矿床。矽卡岩矿床包括很多矿种，主要的有铁、钼、铜、钨、铅、锌、锡等，并常为富矿；规模以中、小型为主，也常有大型的。这类矿床在我国地下资源储量比重中占有极重要的地位。

（一）矽卡岩矿床的形成过程

矽卡岩矿床的形成过程是从分泌大量气水溶液的酸性、中酸性岩浆侵入碳酸盐类围岩开始。岩浆侵入时所带来的大量热能，为化学性质活泼的碳酸盐类围岩与气－液中某些组分进行交代反应创造了条件。在这个基础之上，开始了矿床的形成过程。这个过程，主要是向围岩渗滤的气－液在温度逐步降低中与围岩交代反应，改变物态并沉淀出

各种组分的过程，基本上是经历了两个矿化期：矽卡岩期和热液硫化物期。

1. 矽卡岩期　包括早期矽卡岩阶段、晚期矽卡岩阶段和氧化物阶段。早期矽卡岩阶段形成矽卡岩矿物是不含水的石榴石、透辉石、硅灰石等；由这些不含水矽卡岩矿物组成所谓的“干矽卡岩”；这主要是气－液高温气态阶段与围岩相反应的结果（图 1－4－6）。主要矽卡岩矿物的形成，可能是如下反应的结果：

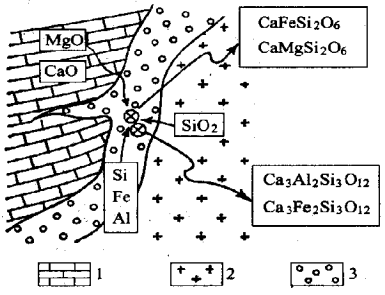



图 1－4－6　矽卡岩形成示意图

1—碳酸盐类岩石；2—花岗岩类岩石；3—矽卡岩矿物

$$CaCO_3\ 〔或\ (Ca、Mg)\ CO_3〕 \xrightarrow{热} CaO\ (或\ CaO，MgO)\ + CO_2\uparrow$$

$$CaO + MgO + 2SiO_2 \longrightarrow CaMgSi_2O_6$$

（透辉石）

$$CaO + FeO + 2SiO_2 \longrightarrow CaFeSi_2O_6$$

（钙铁辉石）

$$3CaO + Al_2O_3 + 3SiO_2 \longrightarrow Ca_2Al_2Si_3O_{12}$$

（钙铁辉石）

$$3CaO + Fe_2O_3 + 3SiO_2 \longrightarrow Ca_3Fe_2Si_3O_{12}$$

（钙铁石榴石）

晚期矽卡岩阶段以形成含水硅酸盐矿物（含 OH）为特征，如阳起石、透闪石、绿帘石－黝帘石、绿泥石等，它们交代了早期矽卡岩阶段形成的无水硅酸盐矿物，并出现磁铁矿及晚期的钾长石、钠长石等矿物。又称“湿矽卡岩”阶段。

氧化物阶段以出现磁铁矿、赤铁矿、锡石、白钨矿等氧化物和含氧酸盐为特征。可有含铍硅酸盐矿物（如日光榴石、香花石等）和少量硫化物（辉钼矿、磁黄铁矿、黄铜矿、毒砂）形成，并有云母类矿物和石英、绿帘石等矿物伴生。

2. 石英硫化物期　包括早期硫化物阶段和晚期硫化物阶段。早期硫化物阶段形成于高－中温条件下，主要为铁－铜硫化物组合，常有磁黄铁矿、黄铁矿、辉钼矿、黄铜矿、辉铋矿等；非金属矿物有绿泥石、绿帘石、绢云母、石英和萤石等。晚期硫化物阶段形成于中－低温条件下，主要为铅－锌硫化物组合，形成方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、黄铁矿、石英和碳酸盐矿物。

上述两个成矿期，是指同一次气－液在渗滤前进中，温度逐渐降低之下的活动过程，因而各阶段的产物，从距离侵入体远近来说，就有了不同的分布。一般的情况是：在接触带靠近侵入岩体部分常常形成辉石类和石榴石类干矽卡岩矿物以及符山石、电气石等高温含挥发性组分矿物，这些矿物所在部位可称之为“内矽卡岩带”（或干矽卡岩带）。由内带往外，则出现各种含（OH）根的硅酸盐类矿物（如角闪石、绿帘石、绿泥石等），这些矿物所在部位可称之为“外矽卡岩带”（或湿矽卡岩带）。再往外，则为碳酸盐岩围岩只受热力影响而出现的大理岩带或受 $SiO_2$ 交代的硅化带，再往外，则为原来的围岩。这种分带现象常控制着不同矿产的分布，如内矽卡岩带常有磁铁矿、赤铁矿、白钨矿等矽卡岩期矿产的赋存；外矽卡岩带则常有辉钼矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿等热液硫化物期矿产的赋存。

但应指出，由于矽卡岩矿床成矿作用的复杂性，多期性（例如多次气－液进入到同－矿化带）和重叠性（例如湿矽卡岩矿物重叠在干矽卡岩矿物之上形成复杂矽卡岩，而各期有用矿物亦重叠在一起），矿床的分带性可以是不明显的或复杂化了的，而根本不存在分带现象的可能性也是有的。必须具体情况具体分析，对这种分带性不能到处套用。

（二）矽卡岩矿床的赋存条件和主要特征

1. 根据我国矽卡岩型矿床的资料，一定的岩浆岩侵入体有一定的专属矿种。据统计，较酸性的花岗岩类与钨、钼、锡、铅、锌等矿床关系密切；中酸性花岗闪长岩类和石英闪长岩常与铜（铁）矿床有关；而中性闪长岩正长岩侵入体则主要与铁矿床关系密切。这种专属性显然是由于一定岩浆富于某些成矿物质而贫于另外一些成矿物质所致。

2. 根据我国资料的统计，这些侵入体多是属于中深成的（1.5～3km 深的范围内）。这可能和碳酸盐类岩石受热分解的条件有关。碳酸盐类岩石在热的作用下要分解出 $CO_2$，对磁铁矿、赤铁矿和某些金属硫化物的形成起着重大的作用。然而，$CO_2$ 在很深的地质条件下，因外压力太大，碳酸盐类不易分解而无从产生；在外压力太低的条件下则易于散失。太深太浅均不利于矿物的沉淀，因而侵入体一般是中深程度的。

3. 矽卡岩矿床的最有利的围岩是碳酸盐类岩石。但实际上，岩层厚、质地纯的碳酸盐类岩石并不利于形成工业矿体，因交代作用普遍，矿液大面积散开，不利于成矿物质的富集集中。质地不纯的含有泥质夹层的碳酸盐类岩石最有利于成矿，因气水溶液有选择地只和碳酸盐类岩石进行交代，在上覆泥质岩层的隔挡之下，矿化集中，交代彻底，易于形成工业矿体（图 1－4－7）。

4. 矿体形状变化很大，呈各种不规则形状，如似层状、透镜状、囊状、柱状、脉状等等。产在接触面附近的矿体，其形状和产状往往为接触面的形状和产状所控制（图 1－4－8）；而围岩中构造虚弱便于侵入体舌状伸入的地带，对成矿更为有利，常有富矿

体的形成（参考图 1－4－7）。

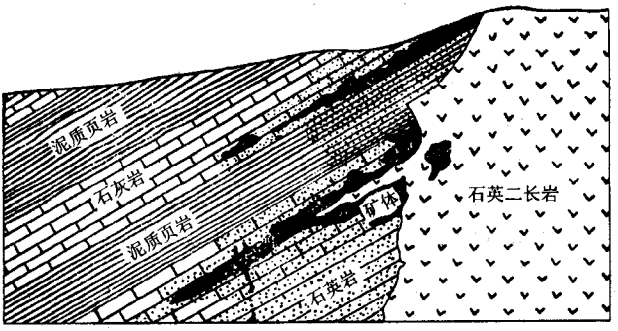



图 1－4－7　选择交代示意图

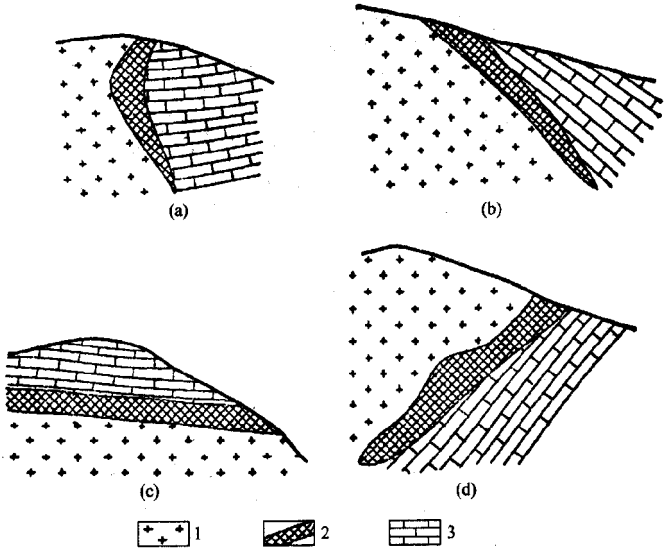



图 1－4－8　矽卡岩型矿体接触形式图

a—直立接触；b—倾斜接触；c—平盖接触；d—超复接触

1—侵入体；2—矿体和矽卡岩；3—石灰岩

5. 矿物成分复杂，金属氧化物有磁铁矿、赤铁矿、锡石以及含氧盐类白钨矿等；金属硫化物有黄铜矿、黄铁矿、辉钼矿、方铅矿、闪锌矿等。脉石矿物，除矽卡岩矿物外，还有萤石、黄晶、电气石、绢云母、石英及碳酸盐类矿物等。

（三）矽卡岩矿床的主要类型及实例

矽卡岩型金属矿床种类很多，常为以一种金属为主的多金属矿床。其具有工业意义者，在我国有矽卡岩型铁、铜矿床（如安徽铜官山铜矿，湖北大冶铁矿），矽卡岩型铜、铅、锌矿床（如广西德保铜矿、湖南水口山铅锌矿），矽卡岩型钨、钼、锡矿床（如湖南瑶岗仙白钨矿），矽卡岩型钼、铅、锌矿床（如辽宁杨家仗子钼矿）等等。此外，还

有矽卡岩－热液综合型锡矿床（如云南个旧锡矿）。

矽卡岩型铁、铜矿床，是我国富铁、富铜矿的主要来源之一。前者可以湖北大冶铁矿为例，后者可以安徽铜官山铜矿为例。

矿床实例之一：湖北大冶铁矿。

1. 矿区所见地层为三叠系煤系地层及其上覆下三叠系大冶灰岩（图 1－4－9），岩层走向大致东西而略偏西北。矿区北面为燕山期闪长岩。接触带走向大体为西北及东西方向，接触带岩层主要向北倾斜，其中有复杂的小型褶皱。矿体沿接触带断续出露，延长约 5km。围岩蚀变有矽卡岩化、硅化等，而以碳酸盐化和绿泥石化为多。

2. 矿体主要呈不规则脉状、透镜状等，大小不一，最大者长达 2000m，厚 100m；特别是当闪长岩超覆在大冶灰岩之上时，矿体规模大、延伸大（图 1－4－9）。有的矿体向北东倾斜，倾角为 70°～80°，上盘是闪长岩，下盘是灰岩（图 1－4－10）；有的矿体向南倾斜，倾角也在 70°左右，上盘是灰岩，下盘是闪长岩（图 1－4－11）。

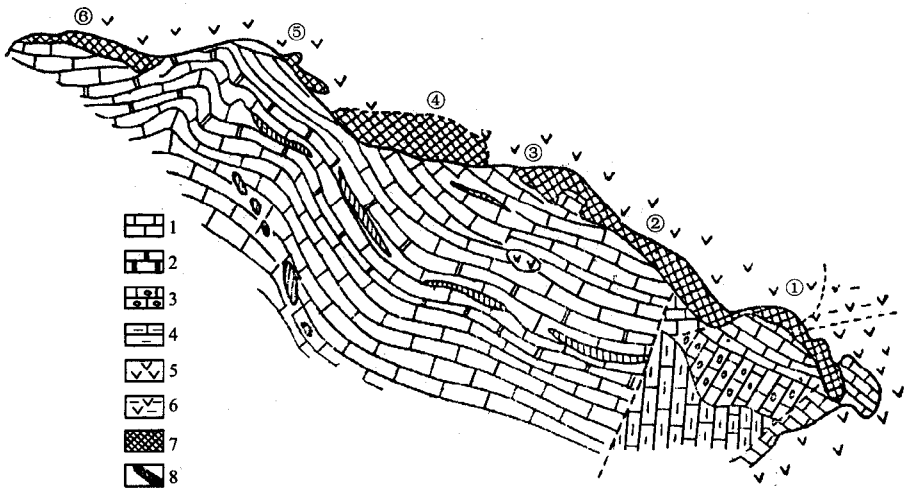



图 1－4－9　铁山矿区地质示意图

1—三叠系大冶岩；2—白云质大理岩；3—透辉石石榴石大理岩；4—含角页岩条带大理岩；5—含石英闪长岩；6—黑云母辉石闪长岩；7—铁矿；8—透辉石矽卡岩

①尖山矿体 ②狮子山矿体 ③象鼻山矿体 ④尖林山矿体（盲矿体）⑤龙洞矿体 ⑥铁门坎矿体

金属矿物有磁铁矿、赤铁矿、黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿、含钴黄铁矿、斑铜矿、辉铜矿等，近年来查明还有菱铁矿可供利用。脉石矿物有石榴石、透辉石、阳起石、绿帘石等。矿石构造以致密块状为主，也有呈浸染状、斑点状、角砾状者。

矿石含铁一般可达 60% 左右，是品位优良的矿石；铜的含量也较高（0.2%～0.5%），有时可单独圈出铜的工业矿体，构成含铜磁铁－赤铁矿床。钴也有一定的工业意义。所以大冶铁矿是一个可以综合利用铜和钴的铁矿床。

3. 最初研究者认为该矿是矽卡岩型矿床，以后有人根据矿体产状特点、矽卡岩不

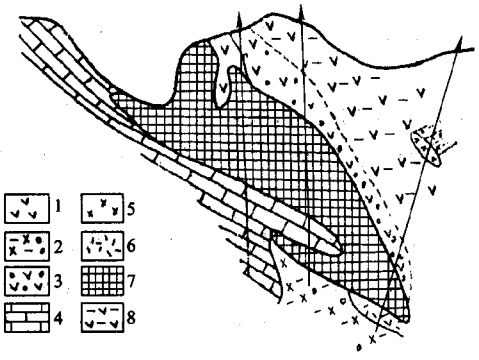



图 1－4－10 超覆接触剖面图

1—闪长岩；2—石榴石－透辉石－方柱石矽卡岩；3—蚀变闪长岩；4—石灰岩；5—透辉石矽卡岩；6—闪长玢岩岩墙；7—矿体；8—含黑云母透辉石闪长岩

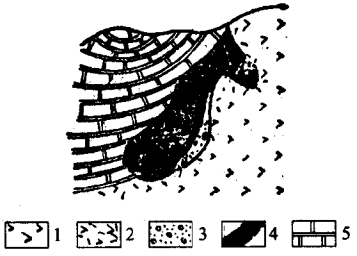



图 1－4－11 大冶铁矿剖面图之二

1—闪长岩；2—蚀变闪长岩；3—矽卡岩；4—矿体；5—石灰岩

甚发育及闪长岩有显著蚀变等现象认为是高温热液矿床。目前，在该区工作的大部分地质人员仍认为该矿床是矽卡岩型铁矿床；然而，热液硫化物期的矿化作用也是较强烈的。

矿床实例之一：安徽铜官山铜矿

1）矿区地层（图 1－4－12），自下而上为泥盆系石英砂岩及页岩，石炭系灰岩，二迭系灰岩，硅质岩，煤系及三迭系灰岩，第四系砾石及冲积层。

矿区构造为一不对称倾伏背斜，轴向为北 50°～80°东，向东北倾没；西北翼较缓，倾角 30°～60°；东南翼较陡，倾角 60°～70°，局部直立或倒转。背斜轴部出露地层为泥盆系石英砂岩，在背斜之东南、东北及西北三方面依次出露二迭系灰岩、硅质岩、煤系及三迭系灰岩。在背斜的西北翼及东北端有燕山期石英闪长岩的侵入。石英闪长岩侵入体大致呈圆形，面积约为 1.5km$^2$。石英砂岩及页岩与石英闪长岩接触时分别变质为石英岩及角页岩。石英闪长岩与二迭系灰岩接触时，在接触带中发生交代作用，形成矽卡岩和矽卡岩型铜铁矿床。

在接触带中，由石英闪长岩至石灰岩，可见有分带现象：石英闪长岩→透辉石内变质石英闪长岩→矽卡岩（石榴石矽卡岩→透辉石矽卡岩）→含硅灰石、透闪石大理岩带

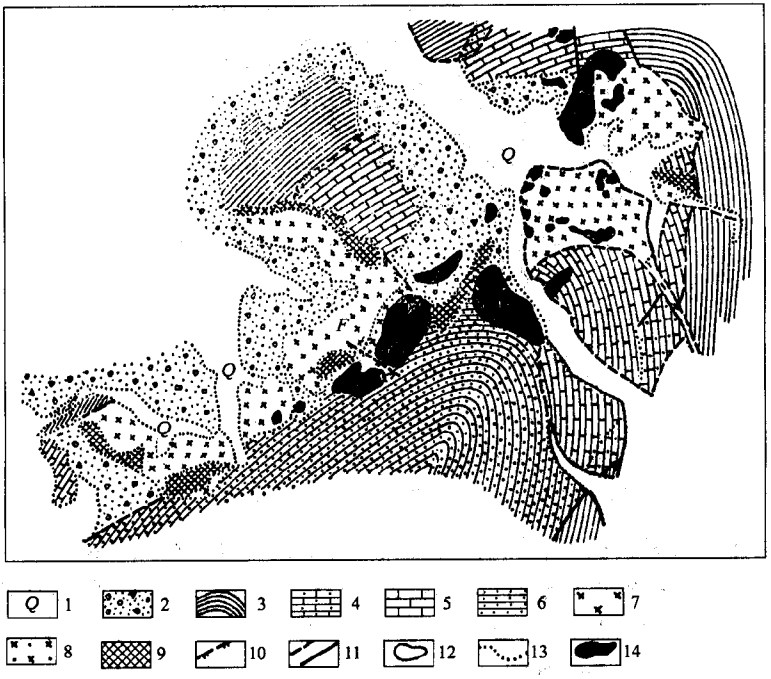



**图 1－4－12　铜官山铜矿地质图**

1—冲积层；2—红土夹砂岩；3—龙潭煤系；4—孤峰硅质层；5—栖霞灰岩；6—乌桐石英岩；7—石英闪长岩；8—内变质石英闪长岩；9—矽卡岩；10—逆掩断层；11—推测和实测断层；12—实测地质界线；13—推测地质界线；14—铁帽

→石灰岩。这几个带是互相过渡和交错的，并无截然界线。

2）在以上各带中，矿化现象很不一致。石榴石矽卡岩带偶含磁铁矿；透辉石矽卡岩带含磁铁矿及金属硫化物；而主要硫化物矿体是产在含硅灰石、透闪石大理岩带的裂隙中。此外，在内变质石英闪长岩中亦有矿体的形成。这些矿体在接触带中形成断续分布（图 1－4－12）。

矿体形态和接触方式有关。例如在超复接触的矽卡岩带中，矿体多呈似层状（图 1－4－13），在矽卡岩中则呈急倾斜的柱状或囊状矿体，分布极不规则；在石英闪长岩中矿体呈脉状及密集细脉状；并沿角页岩层面及节理面生成含铜石英脉。

金属矿物主要有磁黄铁矿、磁铁矿、黄铜矿，为铜铁综合矿石但以铜为主，品位较富。脉石矿物主要是矽卡岩矿物如石榴石、透辉石、透闪石、硅灰石、绿帘石、阳起石等，以及一些热液矿物如蛇纹石、滑石、绿泥石、绢云母、石英、方解石、石膏等。矿石构造以浸染状、块状为主，也有一部分呈细脉状、条带状的。

3）矿石有用组分主要是磁铁矿和黄铜矿。根据磁铁矿矿化情况及其矿体的分布特点，它主要是在各种矽卡岩矿物形成以后生成的。从分布上看，在石榴石矽卡岩带中只

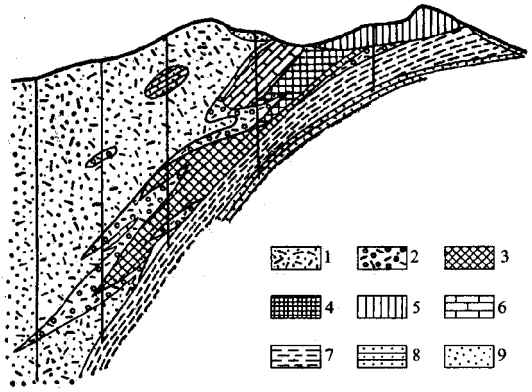



图 1－4－13 铜官山铜矿地质剖面图

1—透辉石内变质石英闪长岩；2—矽卡岩；3—磁铁矿；4—磁黄铁矿；5—铁帽；6—石灰岩；7—角页岩；8—石英岩；9—坡积层

是偶尔有之；其大量出现是在透辉石矽卡岩带中，它既交代石榴石皇石榴石假象，同时又和少量黄铜矿、磁黄铁矿等伴生，都说明它是在矽卡岩期末期、热液硫化物期开始时生成的。大量磁黄铁矿、黄铜矿、黄铁矿的出现是在热液硫化物期；早期形成的石榴石、透闪石经热液蚀变成为蛇纹石、滑石等。由此可见，在真正的矽卡岩期并未生成有用矿物；这个矿床主要是在高温热液硫化物期以矽卡岩为围岩交代成矿的。

## 三、热液矿床

热液矿床是指由各种成因的含矿气水溶液，在一定的物理化学条件下，在有利的构造或围岩中，以充填或交代成矿方式所形成的有用矿物堆积体。它与矽卡岩矿床的主要区别是不伴生有矽卡岩化围岩蚀变，而且不一定产出于岩浆岩与碳酸盐岩石的接触带。

热液矿床的矿种类型繁多，价值巨大。其中包括大部分有色金属矿产（铜、铅、锌、汞、锑、钨、锡、钼、铋……），一些对尖端科学有特殊意义的稀有和分散元素矿产（镓、锗、铟、镉……），以及放射性元素（铀）。此外，还有铁、钴和许多非金属矿产（硫、石棉、重晶石、萤石、水晶、明矾石、菱镁矿、冰洲石……）。这些矿产在我国国民经济和国防工业中都是很重要的原料。

热液矿床的形成是一个长期复杂的过程，其影响因素甚多。长期以来，很多学者对热液矿床分类进行过研究，提出了许多不同方案。传统的分类是以成矿温度和深度为依据，分为高温热液矿床、中温热液矿床和低温热液矿床等。本教材参照目前常用的分类方案，以成矿地质环境和成矿气水溶液的来源不同，把热液矿床划分为岩浆热液矿床（含侵入岩浆热液矿床和火山热液矿床）、地下水热液矿床和变质热液矿床更为合适，也便于实际应用。其中，火山热液矿床和变质热液矿床在以后的章节中介绍。

（一）侵入岩浆热液矿床

与岩浆中分泌出来的含矿气水溶液有关，是由其中有用组分在侵入岩体内或其附近围岩中富集而形成的。这类矿床与侵入岩体（主要是酸性、中性、中酸性或中碱性侵入岩体）在时间上、空间上和成因上有密切的联系，侵入岩就是其成矿母岩，而且一定类型的矿床与一定成分的岩浆岩有关。例如，钨、锡、钼、铋矿床常与花岗岩有关；铜、铁等矿床常与闪长岩、石英闪长岩等有关；稀土－磁铁矿矿床与碱性花岗岩有关等。

侵入岩浆热液矿床的主要特征表现在矿体形状、围岩蚀变、矿石成分和结构构造以及距离母岩的远近上；决定这些特征的主要因素是构造裂隙、围岩性质、成矿溶液的化学性质和成矿温度等。这类矿床即可根据其某些特征或影响成矿的某主要因素作进一步的分类，这里仅介绍较常用的按成矿温度的分类，按此可分为高温和中温两种类型。

（1）侵入岩浆高温热液矿床　形成温度为 600～300℃，成矿深度为 4.5～1km，属中深或深成。因此，成矿时的温度和压力是较高的，这时成矿溶液中虽缺少游离氧，但由于热液中固有的 $H_2O$ 被还原为 $H_2$ 或 $CO_2$ 被还原为 CO 时可以放出一部分 $O_2$，而有利于那些结晶温度高的、易于与氧化合的元素（钨、锡、铁等）形成含氧盐类或氧化物矿物（黑钨矿、锡石、磁铁矿等）沉淀下来，成为高温型热液矿床中的矿石矿物。以锡石为例，可以用如下方式形成：

$$SnF_4 + 2H_2O \longrightarrow SnO_2 + 4HF$$

（锡石）

侵入岩浆高温型热液矿床的主要特征：

1）在成因上、空间上和侵入岩体有密切的联系，尤其是酸性和中酸性的深成侵入岩体。矿床直接产于侵入岩体顶部或附近外接触带，与岩体的距离很少超过 1～1.5km。

2）由于成矿溶液中富含挥发性组分，其化学能量大、活动性强，因而在成矿过程中，使近矿围岩发生强烈蚀变，形成典型的云英岩化、黄玉化和电气石化等。例如，成矿溶液中的 HF 与围岩中的钾长石起反应时，则产生云英岩化：

$$3K[AlSi_3O_8] + 2HF \longrightarrow 2KF + KAl_2[AlSi_3O_{10}][OH]_2 + 6SiO_2$$

（钾长石）　　（白云母）　　（石英）

3）由裂隙控制以充填作用为主形成的矿体，多呈脉状、复脉状或网脉状，矿石具梳状、条带状或对称条带状构造；以交代作用为主形成的矿体，多呈复杂的网脉状、囊状或似层状，矿石多具浸染状构造，有时也可为块状。矿石矿物常以氧化物或含氧盐类矿物为主。矿体大小不一，少数大型矿体可长达几公里；充填在构造裂隙中的矿脉，宽由十多厘米到几米，延深由几米到几百米以至上千米。

（2）侵入岩浆中温热液矿床　形成温度为 300～200℃，高的可达 350℃，低的可到 150℃左右；成矿深度一般为 1～3km。在这种温度和压力条件下，$H_2S$ 在成矿溶液中溶

解度增大，$H_2S$ 的电离也相应增加，于是溶液中产生了大量的 $S^{2-}$ 离子。$S^{2-}$ 的存在，为重金属硫化物的沉淀创造了有利条件，因而形成了中温型热液矿床中 Cu、Pb、Zn、Fe 等的大量硫化物矿石。例如，磁黄铁矿的生成：

$$FeCl_2 + H_2S \longrightarrow FeS + 2HCl$$

（磁黄铁矿）

侵入岩浆中温型热液矿床的主要特征：

1）在成因上、空间上和侵入岩体有较明显的联系，少数矿体可产于侵入岩体内或其近旁围岩中；但大多数产于侵入岩体周围的沉积岩、变质岩或火山岩中。

2）围岩蚀变种类较多，典型的有绿泥石化、绢云母化、黄铁矿化、硅化以及碳酸盐化、青盘岩化等。

3）矿体形态复杂多样。由裂隙控制的充填矿体为简单脉体，或复脉带；由交代形成的则为囊状、扁豆状、柱状或似层状矿体。矿体大小不一，大的矿体长达数公里，甚至几十公里，延深数百米至一二公里。矿石为全晶质结构，角砾状、条带状、浸染状构造，亦有呈块状、栉状、细脉状者。矿物种类繁多，共生组合复杂，铜、铅、锌等亲硫元素大量出现，而亲氧元素组成的氧化物或含氧盐大量减少，乃至消失。

综上所述，无论是高温型还是中温型侵入岩浆热液矿床的共同特征是：①与岩浆岩有关。在时间上，它们都产于同一构造——岩浆期；在空间上，它们表现为一定矿床类型与一定岩浆岩在空间分布上有一定的相关性，它们可以分布在岩体内或岩体周围的围岩中，少数亦可以分布在岩体与围岩的接触带上；在成因上，侵入岩浆热液矿床和岩浆岩有明显的专属性，即一定类型矿床与一定成分的岩浆岩相联系。②矿床受地质构造控制明显，主要是受侵入岩的原生构造、接触带构造、各种断裂及褶皱构造的控制。③可以出现各种各样的矿体形态。④由于岩浆热液成分的复杂性导致这类矿床矿石中矿物组成的复杂性和矿石类型、矿种的多样化。⑤由于侵入岩浆热液中挥发性组分的温度高、压力大和活动性强，所以这类矿床的围岩蚀变时常较为强烈，而且类型繁多，分布广泛。在实际工作中，就可根据这些特征与地下水热液矿床加以区分。

（3）侵入岩浆热液矿床实例　高温热液矿床。这类热液矿床的主要类型在我国有钨、锡、钼等石英脉矿床和磁铁矿－赤铁矿矿床。

钨、锡、钼等石英脉矿床多与酸性侵入岩有成因联系，石英脉中含钨、锡、钼等有用组分。当以某一种矿物为主时，即形成该矿种的石英脉矿床。例如江西大余的黑钨石英脉矿床，广西某地的锡石石英脉矿床。这类矿床是钨、锡原生矿床的主要类型，可综合利用铍、铌、钽等稀有元素。

属于高温热液类型的矿床还有很多种，以我国目前而论，最具有工业意义的是钨、锡矿床为多，而铁矿床并不多。

矿床实例：江西大庾西华山钨矿（图 1－4－14）。

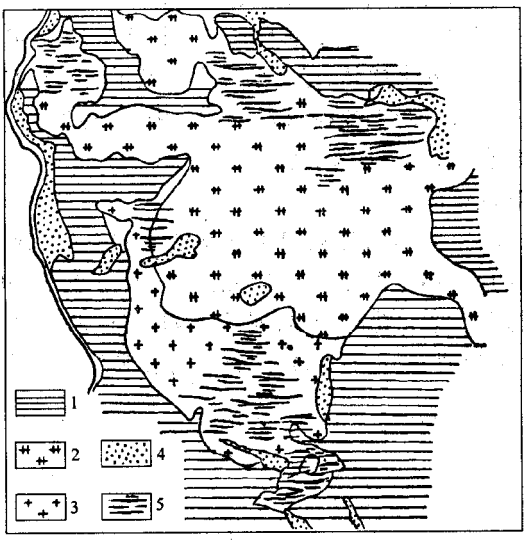



图 1－4－14　西华山钨矿地质简图

1—变质砂岩千枚岩；2—细粒斑状黑云母花岗岩；3—粗粒斑状黑云母花岗岩；4—冲积层；5—含钨石英脉

1）矿区内岩浆岩主要为黑云母花岗岩，分粗粒、细粒两种，属燕山期。岩体呈岩株状，大致为南北向延长，受北北东向断裂控制；岩浆岩的围岩为泥盆纪浅变质岩系（千枚岩、板岩、变质砂岩等），略呈向西倾没的背斜。黑钨矿－石英脉与花岗岩密切共生，在分布上完全受花岗岩的控制，密集于南、北、西周边部分。

2）矿区内可有数百条黑钨矿－石英脉平行排列，走向近于东西，倾向北，倾角 75°～85°，受裂隙控制极为明显。矿化富集部位为隐伏花岗岩岩株突起部位所控制，黑钨矿－石英脉主要分布在这些突起周围的内接触带中（图 1－4－15）。矿脉与围岩界线清楚，近矿围岩（亦即母岩）蚀变成为云英岩。当围岩为砂质岩石时，则以硅化蚀变为最发育，一般不见矿化现象。当围岩为泥质板岩时，常产生绢云母化、电气石化或角岩化，这些蚀变带常伴有矿化现象，可作为找矿标志。

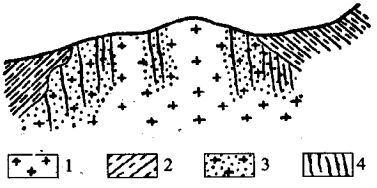



图 1－4－15　钨矿脉产状及围岩蚀变示意图

1—粗粒斑状黑云母花岗岩；2—变质砂岩千枚岩；3—云英岩；4—含钨石英脉

矿脉分布分三组集中（图 1－4－14）。南组矿脉较长，且较密集，纵横变化较复杂；中组矿脉小，延展短，变化最复杂；北组规模最大，纵横变化小，分布亦较稀疏。

一般脉宽数十厘米，最宽可达数米；它们通常是愈向下愈宽，反之则愈小，乃至变为宽不足一厘米的云母石英线，当它们密集出现时，就成为很好的找矿标志。

矿石有对称条带状和梳状构造。主要有用矿物除黑钨矿外，有绿柱石、锡石、辉钼矿、白钨矿、铌钽铁矿等，可作为副产品综合利用。尤其是锡石，有时可超过黑钨矿含量，而使矿脉变为锡石－石英脉；也有的石英脉，上部富含锡石而下部转为富含黑钨矿。主要脉石矿物是石英，其次是黄玉、电气石、萤石、方解石等。

3）大量气成矿物如黄玉、电气石等的存在，云英岩化的围岩蚀变以及矿脉与围岩有明显的界线等，均说明矿床是以充填成矿方式为主的高温热液矿床。

中温热液矿床的主要类型，有含金石英脉矿床（小秦岭文峪－东闯、吉林夹皮沟、山东招远等金矿）、多金属铅锌矿床（湖南桃林、辽宁柴河及青城子、青海祁连山等地铅锌矿）等。其中以多金属铅锌矿为最普遍，可产于各种围岩中，大、中、小型均有。除铅锌外，有时所含的铜、银、镓、锗等也可综合利用，工业意义很大。

矿床实例：湖南桃林铅锌矿

1）矿区地层（1－4－16）主要为前震旦纪板溪系变质岩系（包括千枚岩、板岩、绢云母片岩、石英砂岩及蚀变岩等），走向为北东 75°，向北西倾，倾角 30°～40°。其上为第三系砂砾岩，呈不整合接触。南部有一个大花岗岩体，属燕山期，与变质岩系呈波状接触。在接触带附近的变质岩系有热液蚀变现象，主要为硅化、绢云母化和绿泥石化。

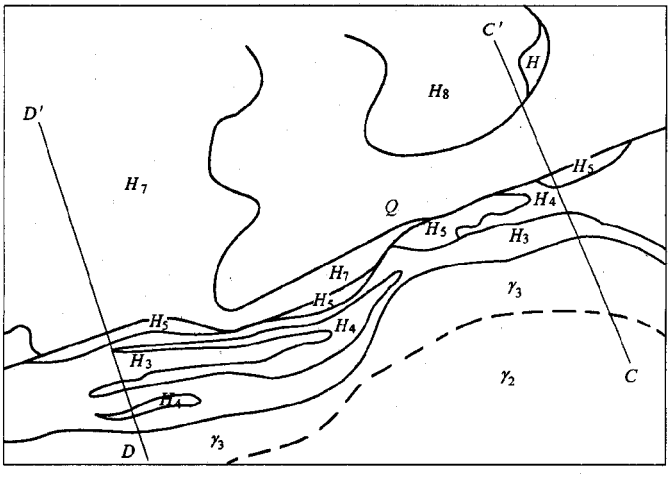



图 1－4－16 桃林铅锌矿区中部地质平面示意图

$H$—云母片岩；$H_3$—矽化带；$H_4$—绢云母及绿泥石化带；

$H_5$—角砾岩化含矿带；$H_7$—千枚岩、板岩、页岩互层；

$H_8$—千枚岩砂页岩互层；$Q$—第四系冲积坡积；

$\gamma_2$—斑状花岗岩；$\gamma_3$—绿泥石化及片麻状花岗岩

花岗岩体的侵入为一大断裂带所控制。这个大断裂带与大构造线基本一致；平行花

岗岩接触带，在变质岩系形成一个很大的破碎带；铅锌矿比较集中地沿此破碎带的上部充填成矿，形成角砾岩化含矿带（图于 1－4－17），沿走向达数千米，沿倾向深约 600m，厚 30～50m。破碎愈剧烈，含矿愈富。

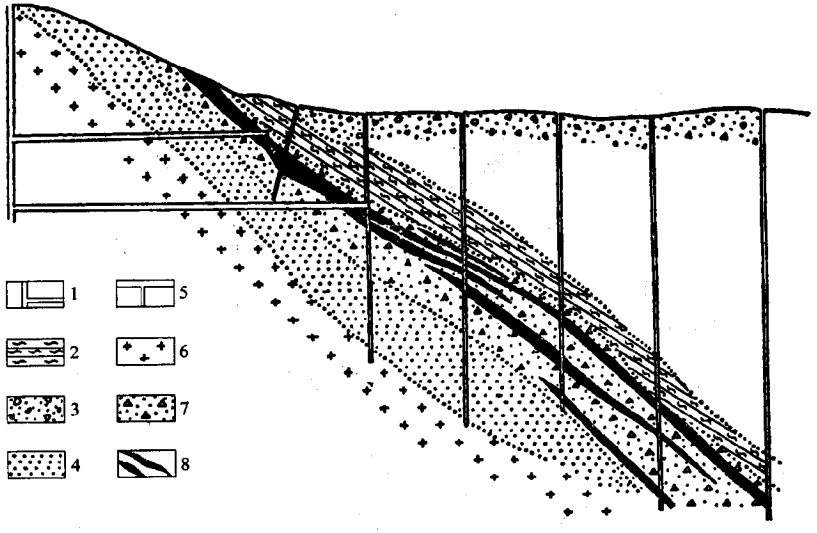



图 1－4－17　桃林铅锌矿床地质剖面图

1—竖井石门；2—千枚岩板岩；3—第四系；4—蚀变带；5—钻孔；6—花岗岩；7—含矿角砾岩带；8—铅锌矿脉

2）矿体均产于破碎带内变质岩中，常为扁豆状矿脉群，亦有呈囊状、重膜状者。矿体厚度 1～2m 至数十米不等。在角砾岩带中，矿体与围岩界线不清，矿脉群有分枝、复合、尖灭、再现等情况。矿体厚度及矿石品位沿走向、倾向均变化较大。

矿石具带状、梳状、块状、角砾状等构造，以角砾状矿石为主。角砾状矿石胶结物为石英和萤石，矿化好，但品位变化较大。

矿石成分中，金属原生矿物有方铅矿、闪锌矿及少量黄铜矿、黄铁矿等。非金属矿物主要为萤石、石英及重晶石等。矿石中带有一些次生矿物如白铅矿、孔雀石、蓝铜矿、褐铁矿、菱铁矿、菱锌矿等。本矿床除开采方铅矿、闪锌矿外，铜和萤石均可回收。

3）矿床主要由中温热液裂隙充填而成。矿液来源与矿区内大片出露的花岗岩无关，而与此大片花岗岩侵位时沿接触带大断裂所形成的破碎带有关。破碎带成为含矿溶液的活动通道和沉淀场所，而含矿溶液可能是来自深处隐伏的酸性岩体。

（二）地下水热液矿床

这是一类在成因上长期有争论的矿床。过去曾称之为超低温矿床。矿石矿物的形成温度一般为 50～100℃，很少超过 200℃。根据近年研究，这类矿床的形成与地下水热液有关，而且矿液的性质是高盐度含矿热卤水，但在成因上仍还存在不少争议。这类矿

床的主要特征：矿床的形成与岩浆活动关系不密切，在矿区内和周围相当远的范围未见与成矿有关的岩浆活动；矿床产于某一定地层中，受岩性（相）控制，矿体常集中于某些岩性段中，往往具有多层的特点；矿床从空间分布上常呈带状或面状，矿体呈层状、似层状和透镜状的整合矿体，但局部也有小型脉状矿体；矿石的矿物组成简单，金属硫化物多呈细小的分散状、浸染状集合体；围岩蚀变较弱，主要有硅化、碳酸盐化、粘土化或重晶石化等；矿床规模常较大，主要矿种有铅、锌、铜、铀、钒、锑、汞等。例如，层状铅锌矿床占世界铅锌总储量的二分之一；层状铀矿占世界铀矿总储量的70%。

矿床实例：湖南锡矿山锑矿。

1）矿区地层（图1－4－18）主要出露有古生代的石灰岩、砂页岩、煤系等沉积岩，厚近3000m，岩浆岩极不发育。矿区地层主要为中、上泥盆统及下石炭统。中泥盆统（$D_2$）为灰岩（七里江灰岩）；上泥盆统自下而上为页岩（$D_3^1$）、灰岩（$D_3^2$）、含铁层（$D_3^3$）、灰岩（$D_3^4$）；下石炭统（$C_1$）自下而上则为砂岩、灰岩等。

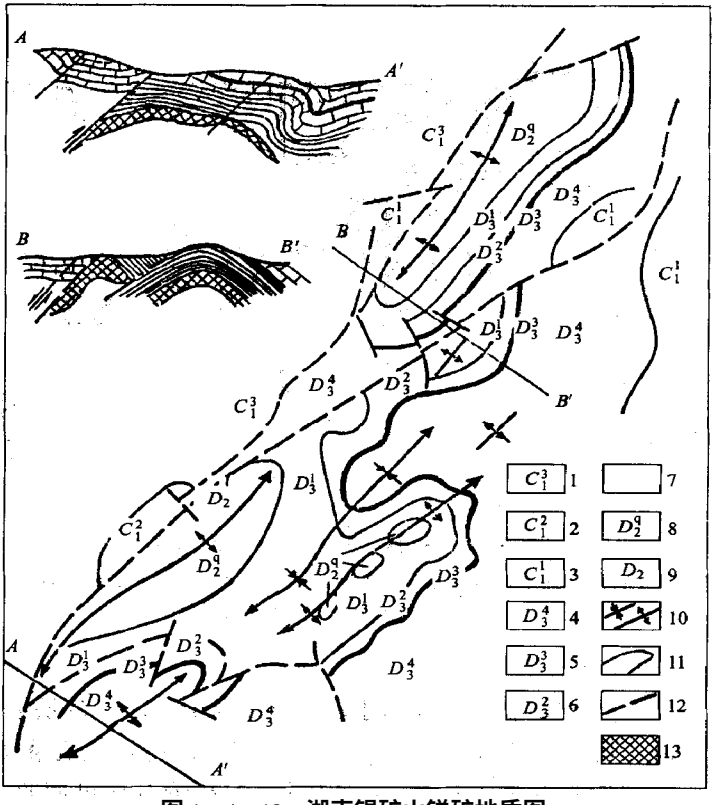



图1－4－18 湖南锡矿山锑矿地质图

1—石磴子灰岩；2—孟公坳灰岩；3—雪峰山砂岩；4—马牯脑灰岩；5—泥圹里赤铁矿；6—兔子塘灰岩；7—长龙界页岩；8—七里江硅化灰岩；9—七里江灰岩；10—向、背斜轴；11—地质界线；12—断层；13—矿体

矿区构造复杂但规律明显，为一北东向延长而向两端倾没的复式背斜，长约 10km，宽约 2.5km。在此复背斜之上，有次一级的背斜三个、向斜两个，呈雁行排列。矿床即发育于由七里江硅化灰岩（$D_2^q$）所组成的背斜鞍部。矿区内主要断层亦成北东走向；其中以矿区西部纵贯全区的断层为最大，走向为北 30°东，倾向北西，倾角 40° ~ 65°。此断层使七里江灰岩与下石炭统上部直接接触。

2）矿床形成于七里江硅化灰岩中，受背斜构造和岩性控制明显。矿液进入到七里江灰岩压力减低的背斜鞍部，由于上部不透水页岩的盖层作用，因而集中在鞍部的节理裂隙、层间裂隙及空洞中沉淀成矿。矿体形状不规则，呈囊状、似层状及脉状，与硅化围岩界线有的清楚，有的不清楚呈渐变关系。矿体沿背斜轴延长方向分布，可达数公里；矿体厚数米至数十米，延深可达数百米。近矿灰岩强烈蚀变成硅化灰岩。七里江硅化灰岩为该区重要找矿标志。

矿石矿物成分简单，以辉锑矿为主；脉石矿物主要为石英，其次为重晶石、方解石等。矿石具浸染状构造、角砾状构造；在空洞中则有完美的辉锑矿晶体或晶簇。

3）关于矿床成因，一般认为西部大断层为矿液通道，含矿热液沿之上升进入到七里江灰岩的背斜构造中，由于上部页岩的阻挡，于是就在鞍部各种裂隙和空洞中沉淀成矿。但有关矿液的来源问题，迄今尚未清楚，现有很多人认为含矿热液不是岩浆分泌的热液，而是由地下热水（温度可达几十度至一百几十度）溶滤围岩中成矿物质而成。这可由该矿区沉积层中锑的背景值相当高，而且矿体具有一定层位，区内地下深处亦无岩浆岩等事实作为证据。

## 四、气液矿床的开采特点

1）这类矿床中，有时；一个矿体可含有几种甚至十几种有用组分，但品位不一定都很高，只单独开采和回收其中一种，有时在经济上是一种损失，如能综合评价、开采、利用，则可能一矿变多矿，“死矿变活矿”，为我国社会主义建设增加更多资源。尤其在这类矿床中，往往伴生一些国防或尖端科学所急需的元素，如锂、铍、铌、钽等，虽含量很低，但从战略观点出发，应充分考虑其综合开采和回收问题。

2）针对这类矿床矿体形状、产状复杂多变的特点，为了不使矿石受到损失，在选择采矿方法上要从实际出发灵活多样，甚至一个矿体的不同部位必要时也需采用不同的采矿方法。例如我国东北的一个钼矿山，就曾先后采用了十几种采矿方法以应付矿体的复杂多变。

3）含有大量硫化物矿物是本类大多数矿床的特点之一。硫化物矿物在接近地表处易于氧化而被水溶解走，使矿床上部地表部分的矿石变贫，矿石也由硫化矿变为氧化矿，矿石的稳定性也大为降低不利于开采；在一定条件下，矿床深部未氧化地带，原生

硫化矿石品位还可以变富，形成富矿带。此时，就应考虑到：由于氧化物矿石与硫化物矿石选矿方法不同，因而要尽可能分采的问题；以及如何用富集带高品位矿石来平衡精矿粉产量的问题。

硫化物矿床开采过程中，由于硫化物矿石接触到含氧的水氧化而产生硫酸，以至矿坑水具有很大的腐蚀性，必须采用耐酸设备代替一般设备。在一定条件下，还可以考虑，使矿石人工氧化变成硫酸盐类溶液，以进行生物化学采矿的问题。

再者，含硫化物多的矿石被采下以后，易于氧化而发生自燃，使采矿工作大为复杂化。我国某些铜矿山、硫化铁矿山就曾发生过这样的问题。这就需要处理好各生产环节，用“快采快运”等方法来解决。

4）本类矿床的蚀变围岩中，某些矿物成分对安全生产和采掘效率的特殊影响，详见岩石章中，不再赘述。

## 第五节　火山成因矿床

火山成因矿床是指那些在成矿作用上直接或间接与火山－次火山岩浆活动密切有关的矿床。它们均位于与其大约同时形成的火山－次火山岩的分布范围内。

### 一、火山成因矿床的分类和各类主要特征

这类矿床本身在矿床成因分类中的归属问题，目前尚有争论。有的学者把它们分别归入岩浆矿床、气化－热液矿床以及沉积矿床；有的则把它们作为内生矿床中单独的一类矿床。至于这类矿床的进一步分类，争议更多，本书暂按下列分类。

（一）火山－次火山岩浆矿床

岩浆在地壳深部经分异作用可形成富矿岩浆或矿浆，它们如贯入火山机构或喷出地表，即可形成本类矿床。这类矿床在我国的主要类型有：

1）岩浆喷溢矿床：是富矿岩浆或矿浆以熔融体状态贯入火山机构或溢出地表在火山口附近堆集所成的矿床。其围岩多为火山熔岩，贯入形成者的围岩也可为次火山岩。矿体形态有钟状、覆盆状、透镜状或似层状等，个别也可呈脉状或柱状。矿石常具气孔状、流动状或块状等构造。著名的智利拉科铁矿属此类型，该矿矿石矿物以磁铁矿为主，也含一些赤铁矿，磷灰石和阳起石是主要脉石矿物。我国甘肃黑鹰山铁矿也属此类型。

2）岩浆爆发矿床：这类矿床主要生成于火山爆发角砾岩筒中。典型的实例是金伯利岩中的金刚石矿床。金伯利岩是一种超基性次火山岩。其岩体多呈筒状，少数呈脉

状。岩体的围岩可以是岩浆岩，也可以是沉积岩或变质岩。矿石具角砾状构造。金刚石在矿石中常呈斑晶出现，其含量往往与富铬镁铝榴石含量成正比关系。近年研究资料表明，金刚石的碳元素来自地幔，并在地下 200 ~ 300 公里的高温高压条件下结晶成为金刚石。

3）岩浆喷溢 – 喷发矿床：这类矿床的形成部分与喷溢作用有关，部分与喷发作用有关。后者与前者的区别在于富矿岩浆或矿浆被喷到空中，并成固态喷出物落下，因此在矿体中可夹有含矿火山弹、火山角砾、凝灰岩等，并使部分矿石的构造与单纯喷溢作用形成者有所不同。此外，其围岩也常出现部分火山碎屑岩。其他的特征则与岩浆喷溢矿床近似。典型的实例是伊朗的巴夫格铁矿床，我国安徽姑山铁矿外围少数矿体亦属此类型。

（二）火山 – 次火山气液矿床

火山喷发的间歇期、晚期或期后，其射气和热液活动非常强烈，射气和热液中的有用组分，在母岩体内或其附近围岩中聚集、沉淀；可形成火山 – 次火山气液矿床，根据成矿作用方式及地质条件的不同，可分为如下三种类型：

1）火山射气矿床：主要由火山射气而成，位置浅，局限于近代火山口内外及附近各种裂隙之中。主要矿种有自然硫、硼酸盐等。经济价值一般不大。

2）火山热液矿床：它是由含矿火山热液在火山岩中发生充填或交代作用，使有用组分沉淀而形成的。矿体形状为脉状、复脉状或似层状。矿石构造不一。围岩蚀变以硅化、绢云母化及高岭土化为主。成矿温度一般为中 – 低温。主要矿种有铜、铅、锌、铀、金、银以及硫铁矿、萤石、沸石、硼矾石等。

3）次火山热液矿床：在火山活动晚期或间歇期，常伴随有大量次火山岩的侵入活动。来自次火山岩的气水溶液，通过充填或交代作用，将有用组分沉淀在次火山岩或附近其他岩石中，即形成次火山热液矿床。著名的斑岩铜矿和玢岩铁矿即属此类矿床，它们与侵入岩浆热液矿床和火山热液矿床主要不同点是：

①次火山热液矿床的母岩是次火山岩，主要是花岗闪长斑岩、石英闪长斑岩、闪长玢岩等。有时这些母岩同时又是矿体的围岩。

②矿体除受区域构造控制外，又受岩体原生构造控制，矿体形态变化复杂。

③次火山热液是在浅成 – 超浅成条件下，外压力骤然降低，挥发组分自熔浆中强烈析出时形成，岩浆及挥发组分的较大压力，可以造成隐爆角砾岩筒以及放射状或环状断裂系统，形成独特产状矿体。

④由于成矿温度下降快及热液脉动活动，造成复杂多样的矿石组合和结构构造。

（三）火山沉积矿床

指那些成矿物质来源于火山但通过正常沉积作用而形成的矿床。成矿物质是由火山活动提供的，火山碎屑物以及火山喷气和热液所携带的有用组分可通过多种方式沉积为

同生火山沉积矿床。当成矿物质来自火山喷发时，称火山喷发－沉积矿床；来自火山热液时，称火山热液－沉积矿床，二者均可根据其生成环境又分为海相和陆相两类。这两种相别的区分，可根据火山岩相的差异加以确定。

## 二、火山成因矿床的主要类型及其实例

火山成因矿床种类繁多，分布广泛，其中四种主要类型的成矿过程和著名实例如下。

### （一）海相火山喷发－沉积铁矿床

世界上许多巨大的前寒武纪沉积变质铁矿床或多或少均与海底次山喷发作用有关。我国的条带状含铁石英岩（鞍山式铁矿）的形成，也多与海底火山活动有关。这种铁矿已广泛地遭受到区域变质作用，在形态上、组成上均发生深刻变化，将在变质矿床中加以讨论；其变质程度较浅、尚保留火山成因特征的，在我国，以镜铁山铁矿较为典型。

镜铁山铁矿产在祁连山寒武纪、奥陶纪火山沉积岩系中。在矿区范围内，寒武系缺少火山岩层，但沿走向追索则发现在相同层位中有大量基性、中性火山岩存在。区内奥陶系为一套深色火山沉积岩，火山岩的岩性为基性－中基性，其沉积顺序为：下部为白云岩和火山岩，中部为铁矿－碎屑岩，上部为硅质岩、硬砂岩。其中寒武纪铁矿矿石系由菱铁矿－赤铁矿和镜铁矿－碧玉－重晶石－铁白云石组合而成；奥陶纪铁矿矿石则为赤铁矿－碧玉组合。矿石普遍具条带状构造，并受到轻微变质作用。矿石品位变化较大，含铁在30%～51%之间，贫矿多为34%～36%。铁质主要来自火山喷发，亦可能有一部分是陆源生成。

### （二）火山块状硫化物矿床

该类矿床与海底火山－次火山的热液成矿作用有关。矿床常围绕海底火山喷发中心，成群成带出现。理想的火山块状硫化物矿床剖面如图1－4－19。矿体一般为层状、透镜状到席状，含有90%以上的金属硫化物，故常为块状构造。矿石成分普遍含有黄铁矿，所以也称为黄铁矿型矿床，或称为黄铁矿型铜矿和多金属矿床。按其他硫化物成分（黄铜矿、方铅矿、闪锌矿）可分为三类：1）锌铅－铜；2）锌－铜；3）铜。矿石中或多或少还含有磁黄铁矿。最重要的容矿岩石是流纹岩，含Pb（Zn）的矿体只与该类岩石有关，如著名的日本“黑矿”。Cu矿体常与镁铁质火山岩伴生，如加拿大、美国的一些铜矿床。

从成矿时代看，自前寒武纪至新生代都可有火山块状硫化物矿床的形成。我国内蒙狼山、云南大红山、四川拉拉山为前寒武纪成矿，甘肃白银厂铜矿为古生代成矿，而现代海底产出的“黑烟囱”是正在形成的新生代火山块状硫化物矿床。

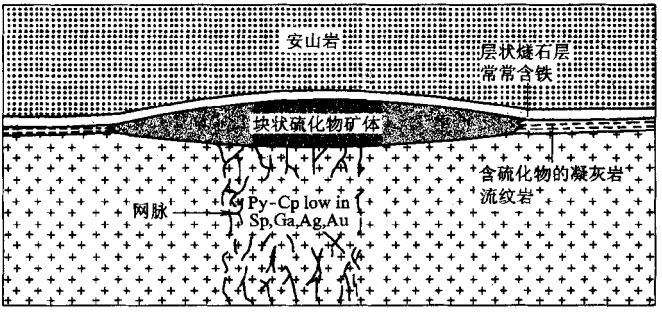



图 1－4－19　理想的火山块状硫化物矿床横剖面图

表示块状矿体及下面的网脉状矿化、供矿通道和典型的矿物；Py＝黄铁矿，Sp＝闪锌矿，Ga＝方铅矿，Cp＝黄铜矿，Au、Ag＝自然金、自然银金矿（据 Evans，1980）

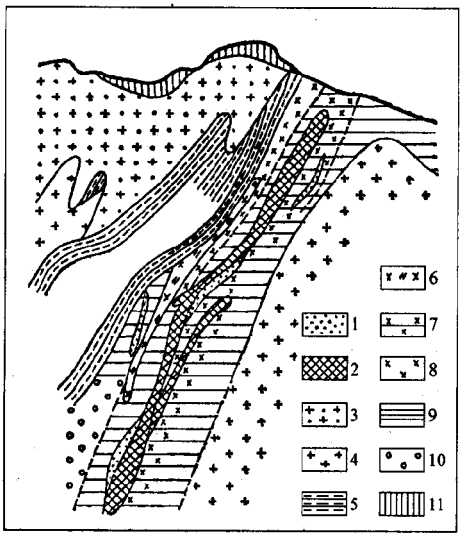



图 1－4－20　白银厂铜矿剖面图

1—浸染状矿体；2—块状矿体；3—酸性凝灰岩；4—酸性火山岩；5—千枚岩绿泥石片岩；6—钠长石花岗岩体；7—绢云母绿泥石化带；8—绿泥石化带；9—绢云母化带；10—硅化带；11—黄土

**矿床实例：甘肃白银厂铜矿。**

矿床赋存在早古生代细碧－角斑岩系列的火山沉积岩中，岩层产状呈北西西走向，倾向南西，倾角 60°～80°。

这套火山沉积岩系由三个旋回组成，由下而上，第一旋回为基性旋回，第二旋回为酸性旋回，第三旋回为中基性旋回，矿化集中在第二旋回的石英角斑岩及其凝灰岩中。矿化带的形状为一大扁豆体，其产状大致与围岩一致。在一个矿化带中常含有若干个长而窄的扁豆状矿体（图 1－4－20）。

近矿围岩有强烈的蚀变现象。与成矿有明显联系的蚀变为硅化、绢云母化、绿泥石化、金红石化和黄铁矿化等。在蚀变强烈的地段，可出现无长石带，即原岩中的长石全部为石英和绢云母所交代，如：

$$3KAlSi_3O_8 + 2H^+ \longrightarrow KAl_2AlSi_3O_{10}(OH)_2 + 6SiO_2 + 2K^+$$

（钾长石）　　（绢云母）　　（石英）

无长石带是白银厂地区的重要找矿标志。在无长石带中，原岩中的钛铁矿也全部氧化成为金红石。

白银厂矿石可分为铜矿石和铅锌矿石两种，其中以铜矿石为主。铜矿石主要由黄铁矿、黄铜矿组成；铅锌矿石主要由黄铁矿、方铅矿、闪锌矿组成。两种矿石的脉石矿物均为石英、绢云母、绿泥石及碳酸盐类。矿石具块状和浸染状构造。据研究，认为白银厂矿体常平行岩层成窄长扁豆体状或似层状，为火山喷发沉积作用和火山热液作用综合成矿矿床。在火山喷发期间形成黄铁矿和少量黄铜矿、闪锌矿；在火山喷发晚期热液作用期间，又形成有黄铜矿、闪锌矿、磁铁矿、磁黄铁矿等叠加于先成的各种硫化物之上，并伴随有广泛强烈的围岩蚀变。

（三）斑岩铜矿

又称细脉浸染型铜矿床，是一种具有重大工业意义的矿床。铜的金属储量占世界总储量的50%左右，占我国储量的25%左右，并有日益增多之势。斑岩铜矿的矿化与中酸性斑岩在空间上、时间上和成因上有密切联系。含矿斑岩体主要为浅成－超浅成的花岗斑岩－花岗闪长斑岩，并与钙－碱系列的安山岩、粗安岩、英安岩和流纹岩等火山岩有成因联系。矿化斑岩一般出露面积不大，多呈株状、瘤状，也有成岩脉、岩枝产出的。

斑岩铜矿主要在中－新生代成矿，我国德兴斑岩铜矿在燕山期成矿，西藏玉龙斑岩铜矿在喜马拉雅期成矿。斑岩铜矿多位于会聚型板块边界，如南北美洲西海岸的斑岩铜矿带。矿化蚀变分带是斑岩铜矿最重要的特征，由斑岩体内向外依次为钾质蚀变带（钾长石－石英－黑云母）、绢英岩带（石英－绢云母－黄铁矿）、泥质蚀变带和青磐岩带。与此相应的矿化分带为Mo－Cu、Cu（＋黄铁矿）、黄铁矿、黄铁矿－Pb－Zn－（Au、Ag）。矿石构造也依次变化为浸染状、细脉浸染状、细脉状。

斑岩铜矿具有规模大、品位低、易于露天开采的特点。矿石类型简单，主要金属矿物为黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿和辉钼矿；钼是主要的伴生元素，有时形成铜钼矿床，甚至单一的斑岩钼矿（如我国陕西金堆城、河南栾川等钼矿）。在地表氧化过程中可形成次生氧化矿石，矿石品位可由0.5%左右提高到1%～2%以上。

矿床实例：江西德兴斑岩铜矿床。

此矿为我国著名的斑岩铜矿实例。矿区范围内与成矿有为的花岗闪长斑岩岩体共90多个，即使是蚀变不明显的，其含铜量也可达0.015%～0.03%，远远地超过克拉克

值。花岗闪长斑岩侵入元古界板溪群千枚岩、板岩等岩层中（图 1－4－21），这些岩层在接触带附近也发生蚀变并有铜矿化。德兴铜矿集中在朱砂红、铜厂和富家坞等三个矿区。在这三个矿区内，均有较大的花岗闪长斑岩的出露。岩石呈浅灰色，全晶质自形中斑结构，斑晶约占 60％左右。矿物组分主要为中长石、更长石、石英、正长石等，其次为角闪石、黑云母。斑岩和周围千枚岩均受到不同程度的热液蚀变作用，并具环状蚀变分带现象（图 1－4－22）。强蚀变带发生在斑岩和千枚岩的接触部位，向岩体内侧和围岩外侧则蚀变强度逐渐减弱以至于消失。铜矿化就在蚀变带范围内，但矿体仅占蚀变带的三分之一左右，蚀变愈强矿化亦愈强。铜、钼矿体主要产在强蚀变带（图 1－4－22 中 $\gamma\delta\pi^3$ 或 $H_3$）和中蚀变带（图 1－4－22 中 $\gamma\delta\pi^2$ 或 $H_2$）中，而弱蚀变带则只有矿化但很少形成工亚矿体。

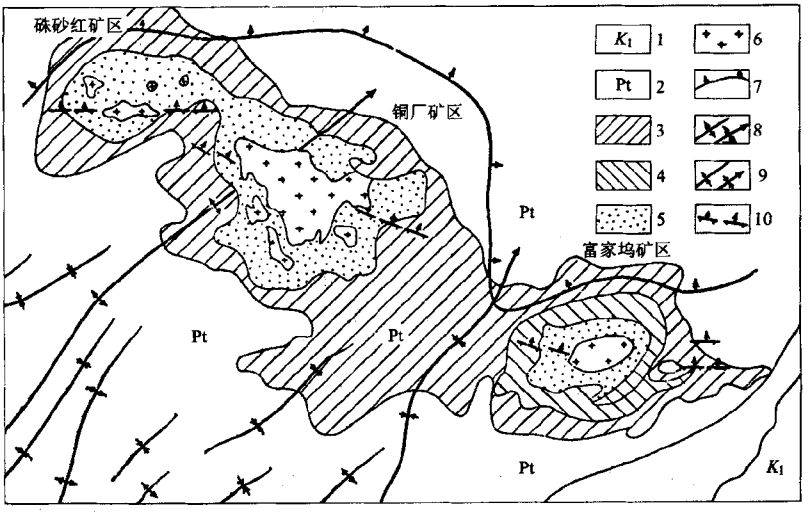



图 1－4－21　德兴铜矿区域地质构造和矿区分布示意图

1—白垩系火山岩；2—板溪群；3—弱蚀变千枚岩；4—中蚀变千枚岩；5—强蚀变千枚岩；6—花岗闪长斑岩；7—片理扭曲；8—背斜及倾伏背斜；9—向斜及倾伏向斜；10—逆断层

矿石中主要金属矿物为黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿（有时含量很少，如朱砂红矿区），非金属矿物主要为绢云母、石英等。矿石构造以细脉－浸染状为主，但就整体来说，细脉型矿石稍占优势。由于区域地形较为陡峻，剥蚀强烈，因此各矿床次生富集带不发育，一般仅在山顶矿体的浅部，有次生富集现象存在，见有孔雀石、辉铜矿、蓝铜矿等次生矿物。

矿体形态较复杂，一般呈倾斜的不规则“空心筒”状，主轴倾伏角为 30°～35°，富家坞矿区矿体在水平断面上呈圆环状（图 1－4－22a），在纵剖面上为不规则的透镜体状（图 1－4－22b），而在横剖面上则具“向斜”形态（图 1－4－22c）。

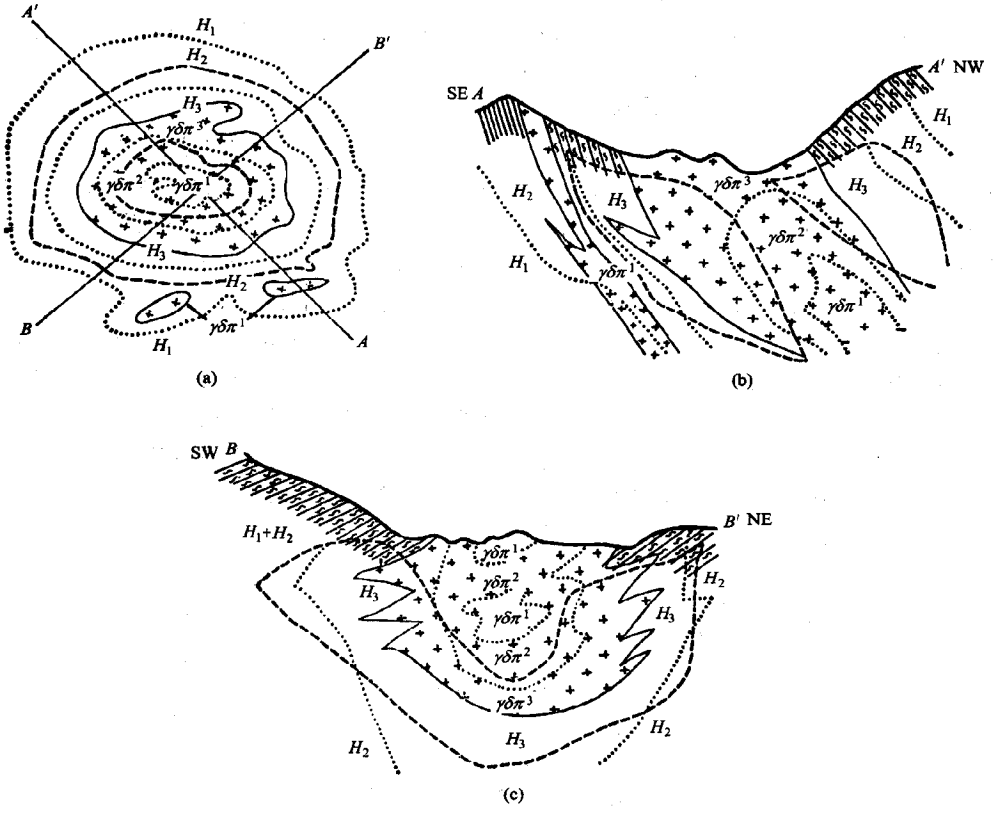



**图 1－4－22　德兴铜矿富家坞矿区蚀变分带和矿体形态示意图**

a—矿区水平断面图；b—$AA'$纵剖面图；c—$BB'$横剖面图

$H_1$—青盘岩化千枚岩；$H_2$—绢云母岩；$H_3$—石英绢云母岩；$\gamma\delta\pi^3$—石英绢云母相；$\gamma\delta\pi^2$—绿泥石石英绢云母相；$\gamma\delta\pi^1$—青盘岩化花岗闪长斑岩

注：虚线范围内为矿体，点线范围内为蚀变分带

### （四）玢岩铁矿

这种矿床类型和斑岩铜矿有很多相似之处，均属火山－次火山热液作用产物。是产于富钠质的辉石玄武安山玢岩－辉长闪长玢岩中的铁矿床。我国地质工作者，在长期勘探和深入研究了宁芜地区各种铁矿之后，不仅把这个地区的铁矿储量翻了几十番，使这个地区成为我国重要钢铁基地之一，而且，还结合了国内外其他矿区类似铁矿的特征，建立了“玢岩铁矿”的模式，概括了安山质岩浆火山－次火山活动地区一系列铁矿床的成矿作用。这个模式对在我国，特别是在南方数以百计的陆相火山岩盆地中寻找富铁矿床，具有重要的指导意义。

宁芜地区，北起南京、南迄芜湖，是一个呈 N30°～50°E 方向延伸的橄榄形火山断陷盆地，盆地内赋存一套安山质岩浆火山－次火山杂岩体。这个地区岩浆演化的模式，由下而上，大致是偏基性（含钾较高，——龙王山旋回）——偏基性（含钠较高，——

大王山旋回）——中性（姑山旋回）——碱性（娘娘山旋回）。在中性岩浆喷发之前，有偏钠质、偏基性安山质岩浆沿火山管和构造上薄弱地带侵入，生成辉长闪长玢岩等次火山侵入杂岩。在某些这类岩体的中、上部和顶部及其与安山岩围岩的接触带中有由气液作用所形成的铁矿床。在这些铁矿床中，热液蚀变较为复杂，按蚀变先后，可分为：早期钠长石化、钠柱石化（浅色蚀变）；中期（主要成矿期）次透辉石或阳起石 + 钠长石 + 磷灰石 + 磁铁矿化（深色蚀变），矿化剂作用强烈，常生成巨大晶体；晚期高岭土化、硅化、硬石膏化、碳酸岩化（浅色蚀变）。这是玢岩铁矿的理想模式，其中各种铁矿均与“玢岩”有成因联系，并具有浅成 – 超浅成特点。

矿床实例：南京梅山铁矿。

南京附近的梅山铁矿是玢岩铁矿中一种极为重要的类型（图 1 – 4 – 23）。矿区出露岩层有：上侏罗统（$J_3$）火山杂岩（下部为安山岩，厚度大于 400m；上部为凝灰岩、凝灰角砾岩夹黑云母安山岩，集块岩和石英安山岩等，厚达 350m）；下白垩统（$K_1$）红色砂砾岩层（< 40m）；第四系砾石层、粘土及松散堆积物。

岩浆岩侵人体为辉长闪长玢岩，呈岩株状产出，为燕山期产物。

矿区构造简单，火山杂岩由于岩体侵入作用形成北东 30°走向的倾伏背斜构造；对成矿有重要意义的构造为侵入体与安山岩相接触的破碎带以及岩体中的破碎带和裂隙构造。

矿体赋存在辉长闪长玢岩侵入体与安山岩相接触的破碎带中，为一盲矿体，呈巨大透镜状（图 1 – 4 – 24）。矿体上部为富铁矿，下部为贫铁矿或铁磷矿。矿石有块状、浸染状（可分为斑点状和竹叶状）、角砾状等构造。含铁矿物以磁铁矿、假象赤铁矿、菱铁矿为主，含磷矿物为磷灰石，其他非金属矿物有方柱石、透辉石、石榴石、钠长石等。各种矿石除铁、磷等外，伴生有钒、镓等组分，可以综合利用。围岩蚀变因原岩不同而异，安山岩多为硅化、高岭土化、碳酸盐化、绢云母化等；辉长闪长玢岩有磁铁矿化、磷灰石化、钠长石化等。

## 三、火山成因矿床的共同特征及其对开采的影响

### （一）火山成因矿床共同特征

1. 围岩特点　火山成因矿床一般分布在火山岩发育地区，其具体位置可在火山颈、火山口或真附近的火山岩中，或火山岩与次火山岩的接触带中，或远离火山口的火山岩及其围岩中；因而这类矿床的围岩多为火山熔岩、次火山岩或火山碎屑岩。围岩方面的这种特点，是本类矿床与岩浆矿床及岩浆期后气化 – 热液矿床的重要区别之一。但应指出，有些火山成因矿床，例如镜铁山铁矿和白银厂铜矿，因受一定程度的区域变质作用，其围岩往往变质成为火山沉积浅 – 中变质岩，从而矿床面貌也发生了较大变化。

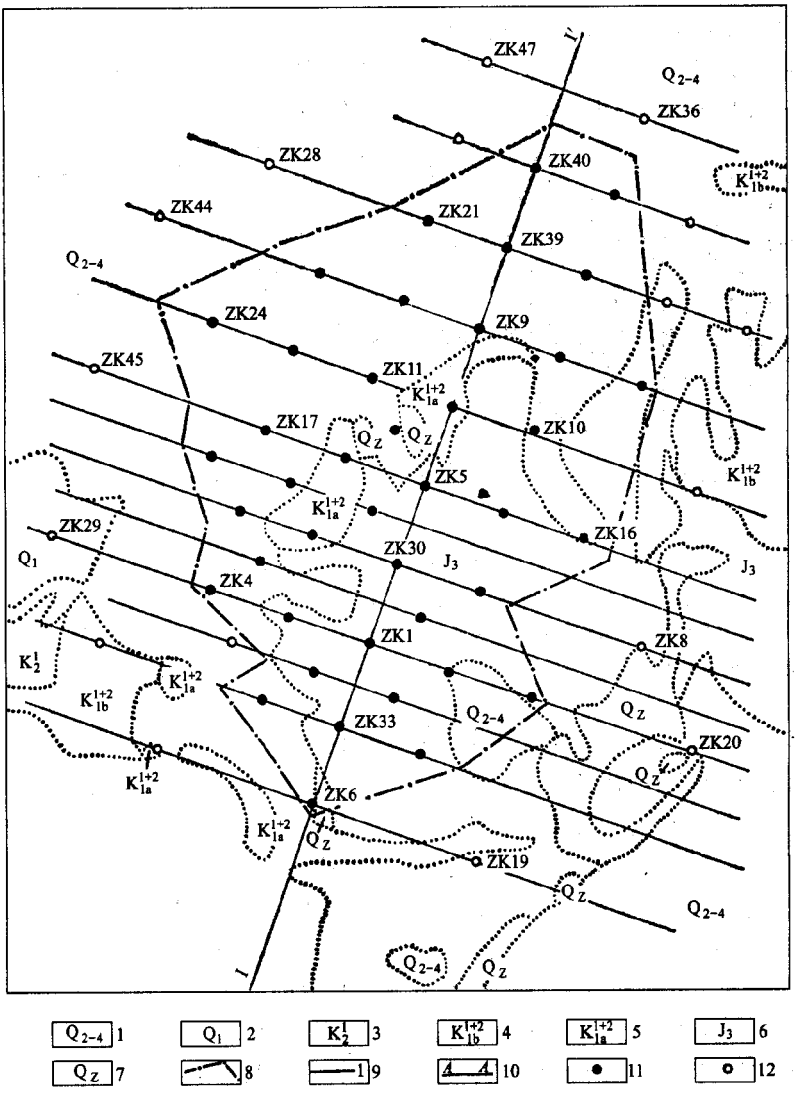



**图 1－4－23　梅山铁矿地质简图**

1—坡积冲积层；2—雨花台砾石层；3—浦口砂砾岩；4—石英安山岩类凝灰角砾岩；5—火山碎屑岩类黑云母安山岩；6—硅化、高岭土化安山岩；7—次生石英岩；8—铁矿投影边界线；9—勘探线及编号；10—纵剖面线；11—见矿钻孔；12—落空钻孔

2. **控矿构造特点**　火山成因矿床往往与岩浆矿床及岩浆期后气化－热液矿床有一定的成因联系，但与它们的区别是在时间上和空间上都与火山活动有关，因而与区域大断裂构造有关。大的断裂提供了火山喷发的有利通道，而其次一级构造，如近火山口裂隙，以及火山口周围的放射状、环状、椭圆状裂隙，都可成为成矿的有利构造。在火山岩发育地区应注意研究和探讨这些有利成矿的构造因素。

3. **矿体形状**　取决于成矿方式和构造因素。如为火山喷发沉积成的，则与火山岩

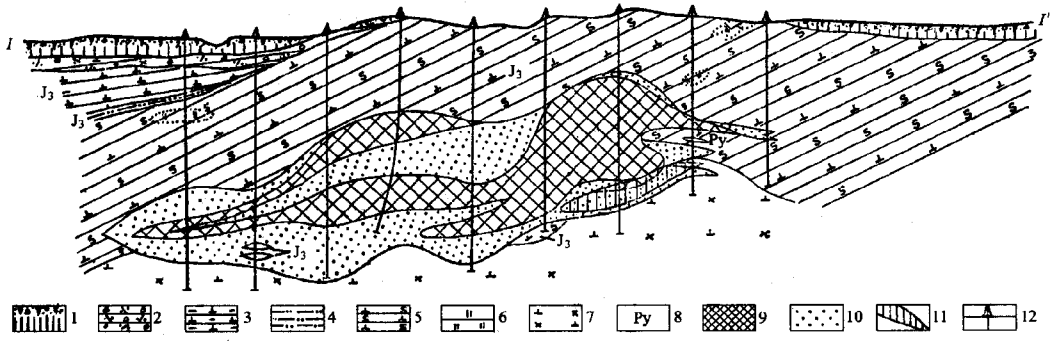



图 1－4－24　梅山铁矿 *AA* 线地质剖面甲

1—坡积、冲积层；2—凝灰角砾岩及凝灰岩；3—黑云母安山岩；4—凝灰质砂页岩；5—高岭土化安山岩；6—次生石英岩；7—辉长闪长玢岩；8—黄铁矿；9—富矿；10—贫矿；11—磷矿；12—钻孔

注：平面图和剖面图比例不同。

成整合关系呈层状、似层状，或在火山口附近凹地中呈透镜状；如有用组分分异集中在火山岩筒中，则矿体呈筒状、柱状；如火山热液沿岩层进行充填或交代，则呈似层状；如受火山岩中构造裂隙控制，则呈脉状、网脉状。

4. 围岩蚀变　在火山成因矿床中普遍存在围岩蚀变现象，这与火山－次火山的气液活动有关，它们是火山成因矿床重要的找矿标志。除一般常见的浅色蚀变外，还有次透辉石或阳起石等的深色蚀变。蚀变分带现象也比较明显。

5. 矿结构构造特点　火山成因矿石常具有火山岩的流动构造——绳纹构造、成层构造，还可有气孔构造、杏仁状构造，有的矿石还可有块状、浸染状、条带状、角砾状等构造。矿石结构一般呈火山碎屑结构、斑状结构、凝灰结构等。矿石的构造和结构，具有一定的专属性，例如绳纹构造、气孔和杏仁状构造、斑状结构为火山岩浆矿床所专有，碎屑结构、凝灰结构为火山喷发－沉积矿床所专有等。

（二）火山成因矿床的采掘特点

火山成因矿床的采掘特点，还有待于在采矿实践中进一步的积累和总结，据现有资料看来，以下几方面是值得考虑的：

1. 如上所述，火山成因矿床和岩浆矿床、岩浆期后气化－热液矿床、沉积矿床或变质矿床颇有相似之处，故在采掘上可根据具体情况，参考相应矿床制定相应措施。

2. 火山成因矿床一般埋藏不深，多适于露天开采。

3. 火山成因矿床当其围岩为火山碎屑岩时，或者易于风化、机械强度很低，或者遇水膨胀、变软，易于片帮、冒落和滑动；故在采掘过程中应加强防护措施。

4. 赋存于火山碎屑岩中的火山成因矿床，水文地质条件比较复杂，无论矿石或围岩均常具有较大的蓄水性，给采掘工作带来一定困难，需加强防水、排水措施。

# 第五章 外 生 矿 床

## 第一节 外生矿床概述

外生矿床是成矿物质在外动力地质作用下得到富集所形成的矿床。在讨论外生矿床时，首先应注意到成矿物质的来源问题；其次是这些成矿物质怎样富集成矿，即外生矿床的成矿过程问题。

### 一、成矿物质的来源

外生矿床（生物成因的如煤和石油等除外，下同）中的成矿物质，主要是来自于岩浆岩、变质岩的风化产物，少数是来自于沉积岩或先成矿床的风化产物。和内生矿床不同，岩浆活动非其主要直接来源。如我国河北宣化一带的沉积铁矿，一般认为其铁质就是来自附近古陆上岩浆岩、变质岩的风化产物。近年来，随着同位素地质学的发展，更给外生矿床中成矿物质的来源问题提供了可靠的依据。许多研究资料表明，外生矿床成矿物质的来源以陆源为主，但外生矿床中的沉积矿床，也可以有水底火山喷出物参与。如果火山喷出物成为沉积矿床成矿物质的主要来源，则这种矿床就转化成为火山成因矿床中的火山喷发－沉积矿床或火山－热液沉积矿床。

### 二、成矿物质富集成矿的过程

原岩或原矿床一经暴露地表或接近地表，就要在风化、剥蚀和搬运作用之下，发生一系列破坏性（对原岩、原矿床）和建设性（对成岩、成矿）的变化。这些变化既是成岩物质形成沉积岩的过程，也是成矿物质形成外生矿床的过程。从外生矿床方面来说，这些变化就是成矿作用。

（一）风化成矿作用

风化成矿作用实质上就是原岩或原生矿床中成矿物质在风化作用中，在原地或其附近得到相对富集，从而形成矿床的过程。这个过程是在原岩或原矿床的破坏中完成的，可分物理风化成矿作用和化学风化成矿作用两种方式。

1. 物理风化成矿作用　原岩或原矿石在崩解、破碎之后，其中的某些有用组分可在不改变其化学状态之下，在空间上得到相对富集并具备易于选矿的有利因素，从而形成矿床。物理风化作用进行的愈彻底，这种矿床的工业价值就愈大。例如“残积砂金矿床”就是这样形成的。

2. 化学风化成矿作用　在化学风化之中，原岩或原矿石中某些矿物成分要分解成为两部分物质：一部分成为可溶盐类随地表水流失或被淋滤到露头底部；另一部分难溶物质则残留在原地。这两部分物质，如各含有有用组分，可在它们的互相分离之下得到相对富集、具有工业意义，从而形成矿床。例如花岗岩中的长石类矿物，在化学风化之下，其中的碱金属元家如 $K^+$、$Na^+$ 等便成为可溶盐类随地表水流失，而难溶的 $SiO_2$ 和 $Al_2O_3$ 便可残留下来形成含水硅酸铝，即高岭土类粘土矿物矿床。

（二）搬运和沉积成矿作用

风化作用中，特别是化学风化作用中所分解出来的各种成矿组分，如果在原地或其附近富集成矿，则形成所谓的风化矿床；但它们的大部分还是经过搬运和沉积同其他组分互相分开之后，离开原产地，在另外合适地带集中富集成为矿床，这就成为沉积矿床。

风化产物中的有用组分主要是通过水介质的搬运并从水介质中沉积出来富集成矿的。这个过程中的成矿意义表现在有用组分在沉积时能和共同被搬运的那些组分一定程度地互相分开得到相对富集。这种沉积时的相互分离，地质上称作沉积分异作用。其受物理因素支配的沉积分异作用，称为机械沉积分异作用；其受化学因素支配的，称作化学沉积分异作用。

1. 机械沉积分异成矿作用　风化产物中的碎屑质物质（包括砂砾和一些化学性质稳定的重矿物如自然金、锡石、黑钨矿等），在搬运过程中，由于它们在粒度、密度以及形状（如白云母成片状、石英成粒状）等方面的不同，在水介质流速减小的地方，可以分批分级沉积下来而互相分离。例如那些粒度粗和比重大的岩屑和矿物将在河流上游、滨海沿岸或沉积层系底部沉积下来；粒度细和比重小的一些板状及片状矿物则往往沉积在河流下游，离海岸较远处或沉积层系的上部。这样，原来大小混杂在一起被搬运下来的碎屑物质，可沿河流流动方向，按砾石→砂→黏土的沉积顺序，互相分开，作有规律的分布。同理，原来混在一起被搬运下来的轻、重矿物，可按重矿物→较重矿物→较轻矿物的沉积顺序，互相分开，作有规律的分布。二者结合起来，就出现一些密度大的金属矿物，往往和密度小而粒度大的脉石矿物或岩石碎屑在一起共存的现象。如含金砾岩矿床中，常是直径为 3 ~ 5cm 的砾石与直径为 0.5 ~ 2mm 的自然金共存。

从这里可以看出，机械沉积分异作用进行的愈完全、彻底，则碎屑物质亦将分选得愈完全、彻底，对有用矿物的富集也愈有利。反之，则将形成成分混杂、难以精选、有

用组分含量低的砂矿矿床。

2. 化学沉积分异成矿作用　这种作用包括下面两种作用：

(1) 真溶液的蒸发作用：干旱地区的地表水体，由于水分的大量蒸发，可使溶解度小的盐类先沉淀，溶解度大的盐类后沉淀，因而可分别富集成为不同盐类矿层。例如，某些干旱地区含盐量高的水体，在蒸发过程中，先沉淀石灰岩和白云岩等碳酸盐；其次为石膏和芒硝等钙、钠的硫酸盐及其复盐；再其次为大量的石盐：最后为钾、镁的硫酸盐、氯化物及其复盐。

(2) 胶体化学成矿作用：胶体溶液中的分散质点，如由于某种原因使其所带电荷被中和时，可凝聚而沉淀。此时也可发生某种成矿物质的富集。例如，某些铁、锰、铝沉积矿床就是在这种作用下形成的。这种电性的中和，可由于胶体溶液加入了与其电荷相反的离子溶液，也可由于两种电荷相反的胶体溶液的相互作用等原因而引起。

胶体还具有吸附作用。由于胶体具有较大的比表面，表面能量较高，因此它们可通过吸附作用，把某些元素固定下来而富集。例如，有机质的胶体可吸附钴、镍、锗、铀等元素；粘土质胶体能吸附铷、铯、钒等元素；锰的溶胶能吸附镍、钴、铜等元素。通过这种作用，这些被吸附元素中的某些元素，有时也可富集达到具有工业价值的程度。

(3) 生物－生物化学成矿作用：可分为生物沉积成矿作用和生物化学沉积成矿作用。前者是由生物遗体的直接堆积而形成矿床，如煤、石油及油页岩等的形成。此外，某些元素如锗、钒、铀等常在富含有机质的黑色页岩中富集起来，也与生物作用有关。至于生物化学沉积成矿作用，生物的生命活动起了直接的浓集作用，同时伴有化学作用，如磷灰石、自然硫等沉积矿床，是生物作用和化学作用的共同结果。

## 三、外生矿床的成因分类

如上所述，根据成因，外生矿床可分为风化矿床和沉积矿床两大类。在风化矿床之中，由物理风化作用形成的矿床叫做残积矿床；由化学风化作用中易溶组分淋滤再沉积而成的矿床以及由难溶组分残留原地而形成的矿床分别称之为淋滤（或淋积）矿床和残余矿床。

在沉积矿床中，根据沉积分异作用又可分为机械沉积矿床、真溶液沉积矿床、胶体化学沉积矿床和生物－生物化学沉积矿床四类。

# 第二节　风 化 矿 床

## 一、各类风化矿床的主要类型及某些实例

### （一）残积、坡积矿床

这类矿床中的矿石矿物都是原岩或原矿床中化学性质比较稳定而且比重也比较大的有用矿物，当它们从母岩体中散落出来以后，就残积在风化破碎产物底部形成残积矿床；由于剥蚀及重力影响，亦可作短距离搬运，在附近山坡上堆积成矿，形成坡积矿床（图 1－5－1）。这类矿床的明显特点，是矿石矿物及脉石矿物未经胶结，呈疏松散离状态，因而常是以砂矿形式存在。

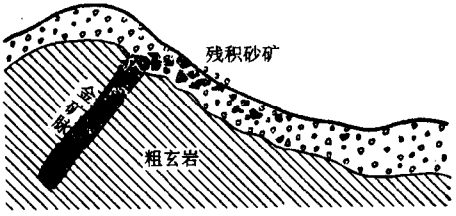



图 1－5－1　残积、坡积砂矿

这类矿床，除少数贵重金属及稀有分散金属具有一定工业意义之外，一般都由于不断剥蚀而规模较小，储量不大，但品位较高，离地表近，易采易选，可供地方工业之用。我国已知的这类矿床，有铁、钨、锡石、锰、金等。如云南个旧的砂锡矿、广西的残积铁矿、安徽的坡积铁矿、江西的残积和坡积砂钨矿、黑龙江黑河和新疆阿尔泰的残积和坡积砂金矿等。

这类矿床除本身具有一定的工业意义外，又可作为寻找原生矿床的标志。如我国南岭地区的钨、锡矿，都是首先发现其残积、坡积砂矿，然后才在其附近找到原生钨、锡矿脉的。

### （二）残余矿床

出露地表的岩石或矿床，当其经受化学风化作用和生物风化作用时，往往要发生深刻的变化。如果易溶组分被地表水或地下水带走，难溶组分在原地彼此互相作用，或者单独从溶液中沉淀出来形成新矿物，由这些物质堆积而形成的矿床，称为残余矿床。

显然，温暖或炎热的潮湿气候，准平原化的高原地形和持久的风化作用时间，对残余矿床的形成较为有利。

残余矿床一般呈面型分布，如果受构造或岩体接触带控制，则呈线型分布。矿床厚度常为几米至几十米，少数情况可达 100～200m。随深度增加，风化作用亦逐渐减弱至停止。在垂直剖面上往往具有分带现象，并与母岩呈过渡关系（图 1－5－2）。

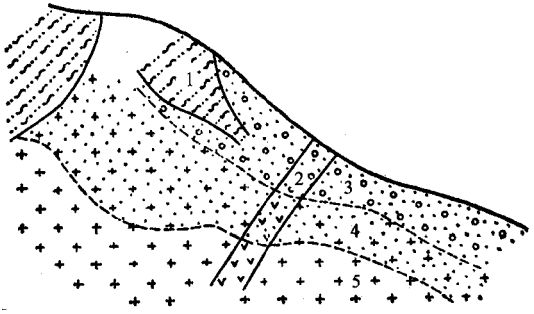



图 1－5－2 景德镇残余高岭土矿床剖面图

1—前震旦系片岩；2—由伟晶岩风化成的高岭土；3—由花岗岩风化成的高岭土；4—风化的伟晶岩及花岗岩；5—原生的伟晶岩及花岗岩

矿体形态复杂，底部界限多不规则，顶部界限受地形起伏控制，常呈透镜体状或漏斗状。矿石矿物主要为氧化物、氢氧化物和含水硅酸盐等或有用组分呈离子状态吸附在其他矿物上。矿石多具疏松土状或胶状构造。

残余矿床多见于现代风化壳内，并常保存在比较稳定的分水岭上。在侵蚀作用剧烈的条件下，残余矿床难以保存，只见于个别凹地、破碎带和岩溶盆地中。

残余矿床在风化矿床中占有很重要的地位，其中某些矿床规模极大，品位很高，具有很大的工业意义，常为某些矿种矿量的主要来源之一，如目前世界上富铁矿储量的 70%产于此类矿床。

这类矿床的主要类型，在我国有残余高岭土矿、残余（红土型）铝土矿、残余（红土型）铁矿、残余型锰矿、残余型硅酸镍矿以及近年来新发现的含稀土元素的残余矿床等。

（三）淋滤（或淋积）矿床

这类矿床是由地表水溶解了一部分可溶盐类向下渗滤，进入到原岩或原矿床风化壳下部或原生带内，由于介质条件改变，发生了交代作用及淋积作用从而形成的矿床。这类矿床的主要类型有铁、锰、铜、铀、钒、磷等。

淋滤矿床的矿体形状呈不规则层状、囊状、柱状或透镜状。矿石结构多为土状、胶状；如果是交代成因的，则常保存有被交代岩石或矿物的残余结构、构造。

淋滤矿床与残余矿床的区别是：前者常在后者的下部。二者常相共存，但界线很不清楚，因此常合称为风化壳，而把残余矿床看作是狭义的风化壳。金属淋滤矿床之成为独立矿床者，在我国有待于发现；但在铁、锰等风化壳之下，淋滤成因的矿化部分是广

泛存在的，特别是在硫化物矿床的次生变化中。

## 二、硫化物矿床的次生变化

上述残余矿床和淋滤矿床都是含矿原岩地表露头部分在风化带中发生次生变化的产物。这种次生变化对一些金属硫化物矿床来说，表现得尤其明显，其中以硫化铜矿床最为典型。

金属硫化物矿床露出地表以后，其整个矿体，自上而下，是分处于三种化学环境之中，这三种化学环境是由地下水活动情况决定的（图 1－5－3）。

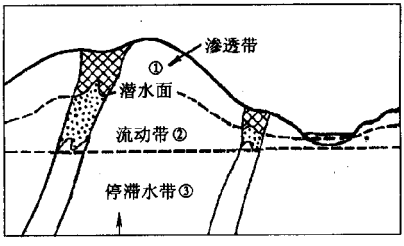



图 1－5－3　金属硫化物矿床的表生分带

①—氧化带；②—还原带；③—原生带

### （一）氧化带

介于地面与潜水团之间的渗透带中。在这个带内，地下水由上向下淋滤，地下水中饱和氧及二氧化碳，因此，这个带内可发生强烈的氧化作用和溶解作用。

### （二）还原带

这个带的上限为潜水面，潜水面与地形起伏相适应；下限决定于矿区当地的侵蚀塞准面（湖或江河水面）。在这个带内，地下水呈水平方向流动，其速度是缓慢的。这个带内氧的含量随深度的增加而逐渐减少，亦即还原性愈来愈强；它是地下水的饱和地带，含有较高的盐类，因此呈中性或弱碱性。所以这个带内盛行还原作用和淋积作用。

### （三）原生带

在这个带内，潜水停滞不动，几乎不含游离氧，潜水与原生矿物几乎保持平衡状态，也就是原生矿物不发生变化的地带。

由此看来，除原生带内矿体不发生变化外，其余两个带内的某些矿物成分都要发生相应的化学变化。今以硫化铜矿床为例，说明如下。

1. 氧化带内的变化　在硫化铜矿床中含有大量黄铁矿和黄铜矿，以这两种矿物为例，在氧化带内可发生以下变化：

1）铁帽的形成：这是黄铁矿变化的结果，其变化过程为：黄铁矿→硫酸亚铁→硫

酸铁→

氢氧化铁→褐铁矿（铁帽）：

$$2FeS_2 + 7O_2 + 2H_2O \longrightarrow 2FeSO_4 + 2H_2SO_4$$

（硫酸亚铁）

硫酸亚铁在存在有游离氧的情况下不稳定，很快就变为硫酸铁：

$$4FeSO_4 + 2H_2SO_4 + O_2 \longrightarrow 2Fe_2(SO_4)_3 + 2H_2O$$

（硫酸铁）

硫酸铁在弱酸溶液中易于水解，形成氢氧化铁：

$$Fe_2(SO_4)_3 + 6H_2O \longrightarrow 2Fe(OH)_3 + 3H_2SO_4$$

（氢氧化铁）

难溶的氢氧化铁凝胶析出后，经过脱水，变成褐铁矿，残留在氧化带内构成褐铁矿风化壳——铁帽（图 1－5－4），成为重要的找矿标志。

2）硫化铜的溶解：氧化带内各种硫化铜矿物先氧化成硫酸铜：

$$CuFeS_2 + 4O_2 \longrightarrow CuSO_4 + FeSO_4$$

（黄铜矿） （硫酸铜）

硫酸铜是易溶的，在氧化带内形成硫酸铜溶液向下淋滤。

3）淋积矿物的形成：当硫酸铜溶液在氧化带内向下淋滤与碳酸盐类矿物相遇时就可互相交代生成孔雀石、蓝铜矿等：

$$2CuSO_4 + 2CaCO_3 + H_2O \longrightarrow Cu(OH)_2 \cdot CuCO_3 + 2CaS0_4 + CO_2$$

（孔雀石）

$$3CuSO_4 + 3CaCO_3 + H_2O \longrightarrow Cu(OH)_2 \cdot 2CuC0_3 + 3CaSO_4 + CO_2$$

（蓝铜矿）

这两种铜矿物在氧化带中较稳定　当围岩为碳酸盐类岩石时（如矽卡岩矿床），可大量存在，具有工业价值，成为淋滤矿床，并成为寻找铜矿的标志。

2. 还原带内的变化——次生富集带的形成　当硫酸铜溶液淋滤到潜水面以下、进入到还原带时，就要和一些原生硫化矿物互相交代形成含铜更高的次生硫化铜矿物，如铜蓝、辉铜矿等：

$$CuSO_4 + CuFeS_2 \longrightarrow 2CuS + FeSO_4$$

（铜蓝）

$$CuSO_4 + ZnS \longrightarrow CuS + ZnSO_4$$

（铜蓝）

$$14CuSO_4 + 5FeS_2 + 12H_2O \longrightarrow 7Cu_2S + 5FeSO_4 + 12H_2SO_4$$

（辉铜矿）

这些新生的含铜量更高的硫化铜矿物，叠加在一起，就形成了次生硫化物富集带

(图 1－5－4)。

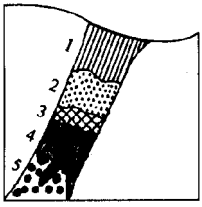



图 1－5－4　金属硫化物矿床氧化部分结构简图

1—完全氧化带（铁帽）；2—淋滤亚带；3—次生氧化富集亚带；

4—次生硫化物富集带；5—原生硫化物矿石带

次生硫化物富集带形成以后，如地形随侵蚀作用的加深而缓慢下降，则潜水面亦将随之降低，以至于有一部分次生富集带高出于潜水面之上，而使其中的高铜次生硫化铜矿物再次氧化，形成新的氧化矿物如赤铜矿、自然铜等，于是就在氧化带的底部出现次生氧化富集亚带（图 1－5－4）。其反应如下：

$4\,Cu_2S + 9O_2 \longrightarrow 4CuSO_4 + 2\,Cu_2O$（完全的次生氧化）

（辉铜矿）　　（赤铜矿）

$Cu_2S + 2O_2 \longrightarrow Cu + CuSO_4$（不完全的次生氧化）

（辉铜矿）　　（自然铜）

次生氧化富集亚带既然是在一定情况下出现的，故并非所有氧化带均有其存在。

次生硫化富集带大大提高了矿床的工业价值。有些矿山原生铜矿石品位不够工业要求，次生硫化矿石就成为主要的开采对象。我国东北的红透山铜矿，这个带的矿石厚为 15～20m；西北的白银铜矿，厚达 20～25m，最厚处达 70m。

## 三、风化矿床的共同特征及其对开采的影响

1）风化矿床的物质成分都是那些在外生条件下比较稳定的元素和矿物，在金属矿产方面有铁、锰、铝、铜、镍、钴、金、铂、钨、锡、铀、钒及稀土元素等。由于这类矿床主要是由氧、二氧化碳、水等和原岩或原矿床相作用而成，所以矿石的矿物成分大多数是氧化物、含水氧化物、碳酸盐及其他含氧盐类。矿石品位可以很高，但对金属矿床而言，一般储量规模不大，以中、小型为多。

2）由于矿床是原岩或原矿床在风化作用之下形成的，因此，它们往往部分地保留有原岩或原矿床的结构、构造。矿石结构多为各式各样的残余结构和胶状结构；矿石构造则多呈多孔状、粉末状、疏松土状、角砾状、皮壳状、结核状等。

3）大部分风化矿床是属于近代（第三纪～第四纪）风化作用的产物，因此，一般都产在风化壳中，呈盖层状态分布在现代地形的表面之上。厚度通常为几米到几十米；

少数情况下，可沿破碎带深入地下几百米。其分布范围受原岩或原矿床的控制。风化矿床往往由上而下过渡到未经风化的原岩或原矿床，因此，它们往往作为寻找原生矿床的直接标志。

除上述现代风化矿床外，还有少数古代风化矿床。它们都是在后期地质作用中没有被破坏而保存下来的古代风化作用产物。如我国华北中奥陶统侵蚀面之上的“山西式铁矿”，其最底层就是古代风化矿床——残余或风化壳矿床。

从上述特征中看出，风化矿床的开采是以露天开采为主；由于矿床以中小型为多，在开采设计时应考虑到地方性的需要和可能。由于风化矿床的开采和加工条件都比较方便，所以世界上有许多矿床都是先开采其地表风化部分，然后再进一步利用其下部的原生矿床。开采原生矿床时，就应根据原生矿床的地质特征及采掘特点，在开采方案上另作处理。

## 第三节 沉积矿床

按成矿物质来源、物理－化学特点、搬运和沉积作用方式，沉积矿床可分为机械沉积矿床、真溶液沉积矿床、胶体化学沉积矿床和生物－生物化学沉积矿床四类。

机械沉积矿床多数是指地壳表面上那些尚未胶结石化的碎屑质沉积矿床，其中包括有非金属的碎屑质沉积矿床（如砾石、砂、粘土等）和金属的砂矿床。砂矿床是第三纪、第四纪的近代产物。一般把这种砂矿床叫做沉积砂矿，以别于风化矿床中的残积、坡积砂矿。由于它们存在于地表或埋藏不深，矿石结构疏松，易采易选，故具有工业价值。

真溶液沉积矿床和胶体化学沉积矿床都是由化学沉积分异作用从静止水体沉积出来并已固结石化的同生矿床。真溶液沉积矿床是主要通过蒸发作用形成的各种无机盐类矿床，故又称蒸发沉积矿床或盐类矿床。生物－生物化学沉积矿床系指由生物遗体、或经过生物有机体的分解而导致有用组分富集所形成的矿床。也包括沉积过程中因细菌的生命活动而使有用元素聚集而形成的矿床。

### 一、机械沉积矿床（沉积砂矿）

由于组成沉积砂矿的有用矿物都是经过较长距离机械搬运和机械分选的风化产物，因而它们都是：化学上是比较稳定的，在风化和搬运过程中不易分解；机械强度上是坚韧耐磨的，经得起长期磨蚀；比重较大，能在机械分选中富集起来。具备这些条件的有用矿物很多，除金和铂外，还有稀有元素矿物（铌钽铁矿、锆英石、独居石等）、金属

矿物（磁铁矿、铬铁矿、锡石、黑钨矿等）以及非金属矿物如金刚石和其他各种宝石等。砂矿中的有用矿物常多种共生，因而可以综合开采、利用。同时，由于组成砂矿的矿物成分都是来自原岩或原生矿床，因此可利用砂矿的矿物组合及分布特点来追索原生矿床，常用的重砂找矿法，就是根据这个道理。

根据成矿时期的地形特点，沉积砂矿可分为冲积砂矿、冰川砂矿、三角洲砂矿、湖滨砂矿和海滨砂矿等类型，比较重要的是海滨砂矿和冲积砂矿。

（一）海滨砂矿

海滨砂矿平行于海岸分布，呈狭长条带形，出现在海水高潮线与低潮线之间。这为砂矿床中的有用物质是由河流从大陆上搬运而来，或由海岸附近岩石的海蚀破坏而来，由海浪作用使它们在有利地段富集起来形成矿床。例如河流入海处，海岸附近有孤山残存的地方以及砂坝发育的地段，就是这种有利地段，可作为找矿方向。这类矿床的明显特征是较重矿物的集中富集，显示了海浪对矿物有良好的分选性。此外，由于长距离搬运和长时期的往复滚动，矿物一般都圆滑度较高、颗粒较小。海滨砂矿中的有用矿物有锆英石、独居石、磁铁矿、钛铁矿、铬铁矿等，有时还有锡石和金刚石。我国海岸线很长，海滨砂矿广泛分布，是开发这类矿产资源的重要场所。

（二）冲积砂矿

冲积砂矿的形成，与河流的发育阶段有关。河流发育的初期以侵蚀作用为主；中期以后才逐渐以沉积作用为主，有利于冲积砂矿的形成，故冲积砂矿多形成于河流的中游和中上游地区；特别是那些河床由窄变宽、支流汇合、河流转弯内侧、河流穿过古砂矿、河底凹凸不平、河床坡度由陡变缓等等地带（图 1－5－5）。

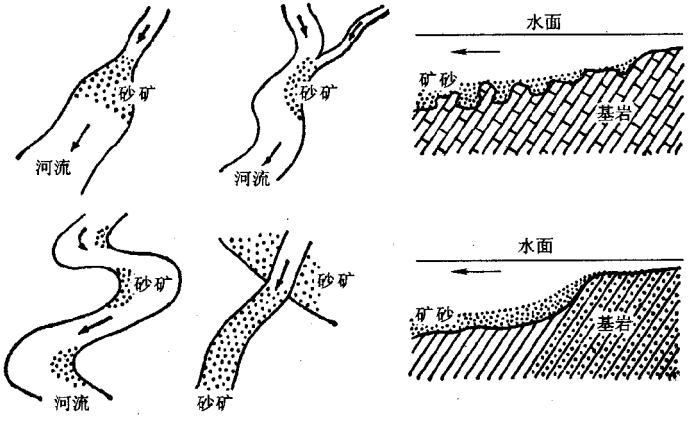



图 1－5－5　冲积砂矿几种富集情况

（左边四个是平面图，右边两个是剖面图）

根据矿床发育地带的地貌特征，冲积砂矿可概略地分为河床砂矿、河谷砂矿、阶地砂矿三种。

1. 河床砂矿 这是正处在形成过程中的冲积砂矿，一般都在现代河床的底部。它的延长可以很远，甚至达几十公里。河床底部的疏松沉积物质具有粗粒的特征，细砂粒和粘土一般比较次要。厚度一般不大。形成河床砂矿的有利条件是周围有较多的原生矿体或早期形成的砂矿。

2. 河谷砂矿 这是由于河道侧向迁移，因而露出水面并已或多或少为冲积层所覆盖的冲积砂矿，是由河床砂矿发展而成的冲积砂矿。它主要是形成于侧向侵蚀强烈，河谷逐步加宽的河流壮年期。矿床产在河谷底部和新的冲积层内。含矿层一般位于现代河床的下部，埋深变化很大，可由几米到几十米。因位于河床水位以下，常含较多水分。在下降地区，埋深将愈来愈大。但在上升区（即当地侵蚀基准面相对下降地区），旧河谷砂矿将被破坏成为新的河床砂矿，残留的部分则成为阶地砂矿。

3. 阶地砂矿 在上升地区，河流向下侵蚀强烈，河床逐渐加深，最后可使没有受到破坏的早期河谷砂矿高出地表面，这就成为阶地砂矿，分布于河谷两侧的阶状台地之上。

最重要的冲积砂矿有砂金、砂锡和稀有元素砂矿。我国云南、广西是砂锡矿的重要产地，分布广、工业价值大。砂锡矿中常有稀有元素矿物，可综合开采。

我国砂金矿床分布十分普遍，全国各地均有发现。特别是黑龙江流域，更是全国闻名的产金地区。历史上，漠河金矿 1882～1883 两年之内，共产金 8200kg。砂矿中金含量为 4～40g/t，最高达 915.72～1144.65g/t，为世界所罕见。

## 二、真溶液沉积矿床（盐类矿床）

金属成矿物质以固体碎屑状态被地表水机械搬运最后成为机械沉积矿床者只是极少数，大多数金属成矿物质都是以溶液状态被地表水搬运入各种水盆之后，经化学沉积分异作用沉积成为化学沉积矿床。化学沉积矿床，可根据搬运及沉积方式分为两个亚类：真溶液沉积矿床和胶体化学沉积矿床。

真溶液沉积矿床的成矿物质是以离子状态在地表水中被搬运，并在一定条件下，以结晶沉淀方式从水盆池中沉积出来形成矿床。以结晶沉淀方式形成的矿床，主要为一些易溶盐类（如石膏、岩盐、钾盐、镁盐等）在干旱气候下，在泻湖或内陆盆地中，由于蒸发作用，使溶液达到或超过饱和浓度、发生结晶沉淀作用而形成的蒸发盐类矿床。

## 三、胶体化学沉积矿床

是指成矿物质以胶体状态被搬运，在一定条件下形成的矿床，例如铁、锰、铝等沉积矿床。

铁、锰、铝在地壳中的平均含量都较高，分别为 4.2%、0.1%、7.45%。在风化过程中，易于引起这些金属的进一步富集，形成铁帽、锰帽、红土和铝土矿等。在搬运过程中，不可避免地要有这些金属被带入到水盆地中形成矿床。因此，铁、锰、铝沉积矿床在世界上有大量的分布，是全世界铁、锰、铝的主要来源。例如沉积铁矿占世界铁矿总产量 30%左右，其重要性仅次于沉积变质铁矿。

我国的铁、锰、铝沉积矿床类型多、分布广、规模大。除大型者外，更有数量众多的中小型矿床。在化学沉积矿床中，铁、锰、铝沉积矿床就成为主要的讨论对象。

（一）铁、锰、铝沉积矿床的形成过程和一般特点

古陆上含铁、含锰和含铝岩石在湿热气候下，由于长期风化破碎分解，铁、锰和铝等金属大部分呈含水氧化物的胶体（$〔Fe_2O_3 \cdot nH_2O〕^+$、$〔Mn_2O〕)^-$、$〔Al_2O_3 \cdot nH_2O〕^+$）状态被地表水搬运。地表水中含有一定量的能起护胶作用的腐殖质胶体，这样就对这些金属的胶态搬运起了有利作用。但当它们进入到海中以后，由于海水中含有大量电解质，并在 pH 值和 Eh 值控制之下，分别凝聚沉淀组成铁、锰、铝海相沉积矿床。当它们被搬运到湖盆中时，其情况和海中不同，这里没有像海洋中那样多的电解质，而往往有更多的腐殖质。由于腐殖质超过一定限量就不再起护胶作用，所以当铁、锰、铝等胶体进入到湖盆中时，可因失去护胶作用，或因过分浓集而从水介质中沉积出来，成为湖相沉积矿床。铁、锰、铝等湖相沉积矿床在储量规模和工业价值上常次于海相沉积矿床。

值得注意的是，这三种金属沉积矿床虽然在形成过程上有很多相似之处，但它们并不密切共生，而往往是单独出现。这要从成矿组分的内因和水盆地的外因来加以分析。

在这三种金属组分之中，铝的化学性质最不活泼，其氧化物常是风化作用中的最后产物，其析出远远落后于铁、锰等组分，因而不可能大量地和铁；锰等组分同时在一起被搬运。在搬运过程中，氧化铝极易沉淀，只有在河水中含有大量有机质呈酸性介质时，才有利于氧化铝的长途搬运。氧化铝进入海盆地后，由于介质的速度减慢及物理化学性质的改变（由酸性变成弱酸性或弱碱性，由氧化环境逐渐过渡为还原环境），就要通过电荷中和凝聚沉淀形成铝土矿床。因此，海相沉积铝土矿床一般都是形成于近岸地带。

沉积铝土矿床除以上的海相成因外，还可能由沉积成的粘土矿床在大量有机质作用之下进一步分解而成。这可能是铝土矿出现在近海煤系并构成煤层底板的原因。由此可见，能提供大量有机质的湿热的古气候是铝土矿床形成条件之一。

由于铝只有一个价态——$Al^{+3}$，所以在沉积条件下生成的铝土矿，在矿物成分上只有含水氧化铝（一水型的 $Al_2O_3 \cdot H_2O$ 或三水型的 $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ 或二者混合型的 $Al_2O_3 \cdot H_2O + Al_2O_3 \cdot 3H_2O$）一种矿石矿物。

在外生条件下，铁、锰的地球化学习性是相似的，但铁、锰矿床也不密切共生，也是各自单独出现，只在某些沉积铁矿床中有一定量的沉积锰质，或者锰矿床中有一定量的铁质。一般认为这是由于这两种元素在风化、搬运和沉积过程中发生分异的结果。分异途径可有两种。一种是来源分异：由于铁在岩浆岩内常以难溶的氧化物和铁镁矿物存在，而锰则常以不稳定的铁镁矿物出现，这样就导致锰比铁先分出，当锰随溶液转移时，不会有大量的铁的伴随，因而在海盆内不会形成共生矿床。另一种是沉积分异：由于海水中 pH 值和 Eh 值的变化，铁常先沉淀，而锰在海盆内的沉淀，要比铁离海岸更远一些。因此。在大陆架较浅处沉积着铁矿石，距岸较远一些的较深处沉积着锰矿石。这里顺便提到，锰的克拉克值远比铁低，因此，只有在物质来源特别丰富情况下，才能形成矿床。

综如上述，铝、铁、锰这三种金属沉积矿床，尽管 pH 值的控制不那么严格（特别是铁和锰，凝聚成矿时所需要的 pH 值是交错的），但仍可出现铝矿床偏向陆地这一侧，锰矿床偏向浅海较深那一侧，而铁矿床则介于其间的空间分布特点，从而由海岸向海盆，依次出现氧化铝矿床→氧化铁矿床→氧化锰矿床的沉积分异形式。

（二）海相沉积铁、锰矿床的矿石分带

由于铁、锰是两价式的，所以和铝土矿不同，沉积铁、锰矿床具有矿石分带特点。

海相沉积矿床在垂直海岸线的方向上，由于物理化学条件的不同，形成不同的矿石相，即同一金属在距岸远近不同地带生成不同的矿石矿物。这主要是由于由滨海到浅海水中 Eh 值和 pH 值都在逐渐变化的缘故。近岸处 Eh 值高，pH 值低；离开陆地渐远、海水渐深之后，则 Eh 值逐渐降低、pH 值逐渐增高，这就促使两价金属在不同深浅之处，生成不同的矿石矿物。海相沉积铁矿中，由近岸向海水较深处铁矿物相依次为（图 1－5－6）。

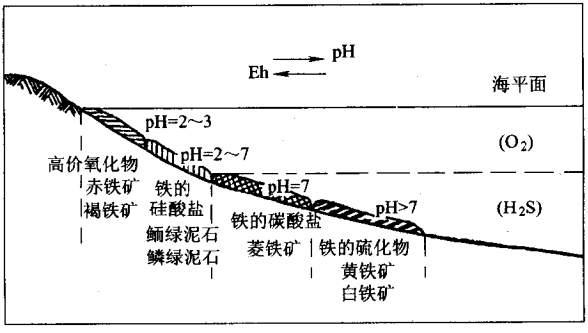



图 1－5－6 海相沉积铁矿床相变示意图

1）氧化物相：在滨海地带，pH 值小（2～3），Eh 值高（含氧多），铁主要成高价铁的氧化物如褐铁矿（$Fe_2^{+3}O3\cdot nH_2O$）沉淀下来（褐铁矿脱水则成为赤铁矿），与之伴生的常见的矿物为蛋白石和四价锰的氧化物（软锰矿、硬锰矿）。如我国宣龙式铁矿和

美国的克林顿铁矿。

2）硅酸盐相：在离岸较远的地方，Eh 值逐渐减小，pH 值逐渐加大，于是形成铁的硅酸盐类矿物（如鲕绿泥石、鳞绿泥石等），典型例子有前苏联的刻赤铁矿和法国的洛林铁矿。

3）碳酸盐相：在离海岸更远的地方，海底位于活泼氧的界线以下，pH 值大到 7，Eh 值更低，则形成低价铁的化合物如菱铁矿。

4）硫化物相：在海水更深的地方，如泻湖底部，水流不通畅，游离氧更少，有机质分解出很多的 $H_2S$，于是形成强还原环境，铁则成为黄铁矿租白铁矿沉积下来。

和沉积铁矿床相似，锰矿床在垂直海岸线方。向上也有矿石相的变化（图 1－5－7）。在近岸地带，游离氧多，Eh 值高，形成四价锰的氧化物，如软锰矿（$Mn^{+4}O_2$）、硬锰矿（$mMn^{+2}O\cdot Mn^{+4}O_2\cdot nH_2O$）。在海水较深处，由于游离氧逐渐减少，则形成二价和四价锰化合物，如水锰矿〔$Mn^{+4}O_2\cdot Mn^{+2}(OH)_2$〕。当离岸更远时，pH 值增加到 8.5～9.Eh 值更低，水中游离氧更少，而 $CO_2$ 则很充足，于是形成低价锰的化合物，如菱锰矿（$Mn^{+2}CO_3$）或含锰方解石。此种矿石除伴生蛋白石外，还常伴生海绿石、黄铁矿、白铁矿等。这也说明矿石是形成于水较深、$H_2S$ 较多的还原环境中，如浅海海湾中的泻湖。我国辽宁瓦房子锰矿和湖南湘潭锰矿都可见到这种相变特点。

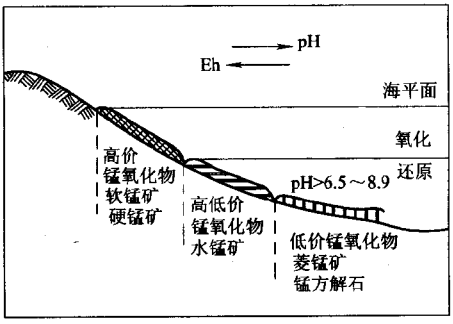



图 1－5－7　海相沉积铁矿床相变示意图

（三）沉积铁矿床的主要类型及实例

沉铁矿床主要类型有海相和湖相两种。在我国，海相沉积矿床是主要的，湖相者一般规模不大，工业意义较小。

海相沉积铁矿床主要形成于浅海海湾环境。矿体呈层状，沿海岸线延伸，可达数十至数百千米。矿层厚度变化可自一米以下至数米，甚至几十米。主要矿石矿物为赤铁矿、针铁矿、褐铁矿、菱铁矿及鲕绿泥石等，并多具鲕状结构。品位中等，一般含铁 30%～50%。此类矿床分布甚广，储量也很大，有数亿吨的，亦有个别超过 10 亿 t 的。这类矿床不论是在储量上还是在产量上，在世界铁矿中均占重要地位。我国沉积铁矿床

主要层位有三个：

长城系宣龙式铁矿　为稳定的浅海沉积矿床；

泥盆系宁乡式铁矿　为较稳定的浅海沉积矿床；

石炭系山西式铁矿（不含其底部）　不太稳定的海陆交互相沉积矿床。

宣龙式铁矿最重要。矿床实例见河北庞家堡铁矿（宣龙式）：

1）矿区出露地层见表 1－5－1。

表 1－5－1　　河北庞家堡铁矿床矿区地层简表

| 界 | 系 | 统（组） | 岩性及接触关系 | 厚度/m |
|---|---|---|---|---|
| 中生界 | 侏罗系 | 上统 | 安山岩为主，与下伏长城系不整合 | |
| 中元古界 | 长城系 | 高于庄组 | 白云质灰岩为主（含藻类化石） | 995 |
| | | 大红峪组 | 下部厚层硅质灰岩，上部钙质长石砂岩为主 | 330 |
| | | 团山子组 | 下部含铁细砂岩、粉砂质泥质白云岩，上部燧石条带白云岩 | 180 |
| | | 串岭沟组 | 以页岩为主，局部夹砂岩：底部为含矿带 | 70 |
| | | 常州沟组 | 以白色厚层石英岩为主；与下伏太古界不整合 | 135 |
| 太古界 | | 桑干群 | 片麻岩、片岩 | |

庞家堡矿区为一单斜构造，走向大致东西，向南倾斜，倾角 25°～30°（图 1－5－8）。有一组近于南北的横断层，为一向东逐步下降的梯状断层。

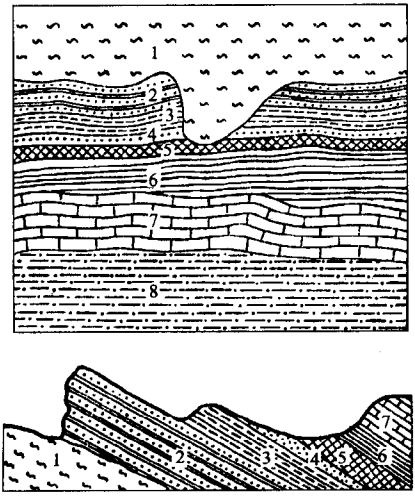



图 1－5－8　庞家堡铁矿地质简图

1—前震旦系片麻岩类；2—下部石英岩；3—粘板岩；4—小白石英岩；

5—含矿层；6—黑色页岩及含铁砂岩；7—下部石灰岩；

8—上部石灰岩（2～8 均属长城系）

2）含矿带（图 1－5－9）位于串岭沟组底部，由三层铁矿及矿间夹层组成，厚约

7m。含矿带顶板为黑色页岩及含铁砂岩，底板为石英岩（通称小白石英岩）。矿体为层状，长达9km，厚度相当稳定，以上部矿层（即第一层）为最厚，约1～3m；其他各层变化较大。

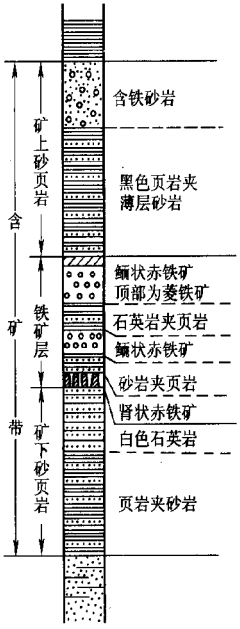



图1－5－9　含矿带地层层序图

矿石矿物以赤铁矿为主，仅最上部一层矿的顶部有菱铁矿。矿石构造有鲕状、豆状、肾状。鲕状铁矿石及肾、豆状铁矿石均以赤铁矿为主要组成成分，其次为石英。此类构造为胶体沉积矿床的典型构造之一。菱铁矿矿石的主要成分为菱铁矿，其次有少量的石英及黄铁矿。由于黄铁矿的出现，矿石含硫量较高，对冶炼不利。

矿石平均铁含量40%以上，大部分矿石含硫、磷等有害杂质较少，储量规模巨大，是我国海相沉积铁矿床的主要代表。

3）铁矿层的沉积为长城系与太古界片麻岩接触部分地形起伏所形成的一系列盆地所控制，故沉积成为大小不一、互相隔离但断续成带的铁矿层。矿层底板及砂岩夹层均具有交错层理、波痕及干裂等现象，说明成矿初期是处于水盆比较动荡、濒临陆地的浅海环境之中；矿层最上层顶部菱铁矿层的出现，说明成矿后期由于海水加深已转变成为还原环境。所以，整个铁矿层是在海侵期间完成的。

（四）沉积锰矿床的主要类型及实例

沉积锰矿床也有湖相和海相之分，但湖相工业意义一般不大。世界上具有工业意义的沉积锰矿都是海相的。我国海相沉积锰矿床的时代有元古代（湘潭、瓦房子、蓟县）、泥盆纪（祁连山）、石炭纪（广西）、二叠纪（贵州）等。在国外，还有前寒武纪的沉积

– 变质 – 风化锰矿床（如印度）、第三纪锰矿床（如前苏联）。

矿床实例见辽宁瓦房子锰矿：

1）矿区地层有蓟县系、寒武系及中生代火山岩系。地质构造比较简单，古生代地层构成一平缓开阔的不完整的倾伏向斜，轴向东北 – 西南，向西南倾没；中部为一纵贯全区的巨大正断层，走向北 20° ~ 30°东，断层面倾向西，倾角 70° ~ 80°。矿区内小断层也比较发育，使矿体受到破坏。

含锰岩系属蓟县系，地层自下而上为：含燧石白云质灰岩、黑色纸状页岩，灰白色白云岩，含锰岩系（图 1 – 5 – 10）。寒武系平行不整合于蓟县系之上，为页岩、灰岩、鲕灰岩，底部有砾岩层。

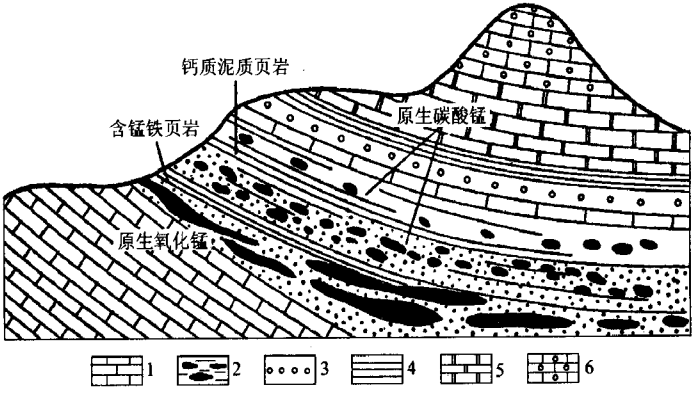



图 1 – 5 – 10 瓦房子锰矿地质剖面简图

蓟县系：1—含燧石白云质灰岩、黑色纸状页岩、白云岩；2—含锰岩系

寒武系：3—下寒武灰岩、底砾岩；4—下寒武页岩；5—中寒武灰页岩；

6—上寒武鲕状、竹叶状灰岩

2）含锰岩系主要由含有锰矿的黑色、暗褐色、紫红色、土红色等页岩组成，层位相当稳定，厚 0 ~ 42m，与下伏岩系有不明显的沉积间断。含锰岩系内有三个含锰层位。下层矿位于岩系底部，中层矿位于下层矿之上 3 ~ 6m，上层矿位于中层矿之上 10 ~ 12m。锰矿层是由断续重叠聚合在一起的锰矿凸透镜体即所谓“矿饼”群组成（图 1 – 5 – 10）；这些矿饼群大致发育于垂直距离 2m 以下的厚度范围之内，单个矿饼的大小多在 0.5m × 5m 以下。下层矿由较大矿饼组成，质量较好；中层矿多由小矿饼组成；上层矿由少数零星的小矿饼组成。工业意义较大的是下、中二层矿。

原生矿石有原生氧化物矿石和原生碳酸盐矿石两种。原生氧化物矿石主要由水锰矿组成，并含有赤铁矿，具块状、鲕状构造；原生碳酸盐矿石主要由铁菱锰矿、菱锰矿组成，伴生有黄铁矿，具竹叶状及云雾状构造。原生氧化物矿石多分布在矿区东南部，而矿区西北部则以原生碳酸盐矿石为主；二者常互相过渡，组成混合矿石。混合矿石是本矿区的主要矿石。碳酸盐锰矿靠近地表者氧化成为多孔状次生氧化矿石，矿物成分为软

锰矿、硬锰矿等，并含有针铁矿及含水针铁矿。次生氧化矿石中氧化锰的含量远比原生碳酸盐锰矿为高。本矿区各种矿石含磷一般为万分之几，硫的含量也不高。

3）从上述各种情况中可以看出，瓦房子锰矿是形成于蓟县纪末期的古海盆中。此海盆东南部较浅，是近岸地带，属氧化环境；向西北海水渐深，逐渐过渡为还原环境；这就造成了矿石的明显分带。由含锰岩系整个岩性的垂直变化来看，矿层是形成于小型的海浸－海退和海退－海浸相对稳定的阶段中。

（五）深海锰结核

近年来，深海锰结核的发现为世界锰矿提供了极为丰富的远景资源。

锰结核又称锰矿球或锰团块，是大洋底部锰、铁氧化物的团块状沉积物，故也称为锰铁结核。据估计，世界大洋底部锰结核总储量约 16000 亿 t（仅太平洋底就有 4000 亿 t，并具工业意义），按目前锰消耗水平可用 24000 年，且锰结核目前仍以每年增长 1000 余万 t 的速度继续形成。

锰结核大小不一，形状各异，由内核和含矿外壳组成。核心系火山碎屑物、生物遗骸、粘土质、硅质、钙质或铁、锰胶体物质。外壳是同心层状构造，由粘土或凝灰质与深色铁锰氧化物相间成层。结核中除含 Fe、Mn 外，尚有 Cu、Ni、Co 等元素，均可达到工业要求。因此，锰结核是多种金属来源的潜在矿产资源。

锰结核成因，目前尚有争议，但下述事实是可以肯定的：

1）大洋底锰结核的生长速度是缓慢的；

2）多数锰结核的内部有核心物质，结核系围绕核心生长发育；

3）锰结核主要分布在水深 4000～6000m 的大洋底部；

4）锰结核的主要成分是 Fe、Mn 的氧化物，含有 Cu、Ni、Co。

锰结核的分布很广泛，海洋底部的许多地区都有发现。但其分布是不均匀的，目前还只有太平洋底部的锰结核比较有价值，而且富集程度最高的地区仅局限于北纬 8°至 10°30′的纬度带内。在此地带，锰结核中有色金属平均含量可达：Ni 为 1.28%，Cu 为 1.1%，Co 为 0.23%～0.79%。在最富集的地段，每平方米锰结核的重量最多可达 60kg 以上。

（六）沉积铝土矿床的主要类型及实例

沉积铝土矿床有海相和湖相两种。我国沉积铝土矿床主要生成于石炭纪和二叠纪，而且往往两种类型共存于一个地层剖面之中（例如在华北），并常和煤层伴生。

矿床实例见山东淄博铝土矿：本矿规模较大，在东北和华北地区具有代表性。

1）本矿铝土矿层有二层，一层产于中石炭系底部，一层产于二叠系含煤地层中。其地层剖面如图 1－5－11 所示。地层自上而下为：

侏罗三叠系：紫色砾岩、砂岩，90m。

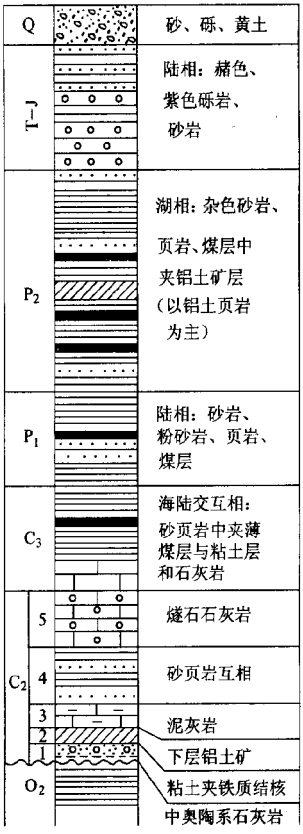



**图 1－5－11　淄博铝矿床剖面示意图**

**上二叠系：杂色砂岩、泥岩和煤层，其中有上层铝土矿（有些地区为铝土质泥岩），**170m。**下二叠系：砂岩、粉砂岩、泥岩和煤层，**80m。

**上石炭系：砂页岩夹薄煤层、粘土层和石灰岩。**

**中石炭系：燧石灰岩** 6～12m，**砂页岩** 10～16m。

**薄层泥灰岩，**0～7m。

**下层铝土矿，平均厚** 2.8m。

**紫色泥岩（常含赤铁矿结核），**1～6m。

------**平行不整合。**

**中奥陶系：石灰岩。**

**矿区构造简单，无剧烈褶皱，而以断层为主，岩浆活动亦不多。**

2）**上层铝土矿（**A **层）厚度变化较大，一般呈透镜状，局部为层状；其中夹很多粘土层，常过渡为硬质耐火粘土。矿层上下皆为紫色和杂色砂页岩或黑色碳质页岩，接近矿层部分为泥岩。矿层越厚，质量越好。当矿层上部为碳质页岩时，矿石多具豆状构造，质量也较好。**

下层铝土矿（G 层）的矿体呈似层状产出，上盘为铝土页岩或粘土页岩，下盘为紫色页岩或铝土页岩。矿体底部常因中奥陶系灰岩古岩溶陷落而呈弯曲之状，矿层底板亦因而起伏不平。矿石呈灰白色—青灰色，局部暗绿色。矿石具鲕状构造，矿层上部细小致密，质量一般；中下部较粗糙，质量较好。

两层铝土矿，矿石矿物主要为一水型铝土矿，$Al_2O_3$，平均含量为 40% ~ 50%。

3）我国主要的沉积铝土矿是生成于石炭纪和二叠纪。它们往往与煤、炭质页岩、铝土质页岩共生。这说明当时的气候条件是温暖而潮湿的，植物和淡水动物很发育，有利于含铝岩石的分解、搬运和沉积。

石炭、二叠纪的铝土矿层之下，均有一个侵蚀面，含铝土矿地层覆盖下伏地层之上。这说明铝土矿层形成以前，有一个明显的沉积间断时期。下伏地层有的是中奥陶的马家沟灰岩（如华北各地铝土矿），有的则系寒武纪地层（如贵州修文铝土矿）。这说明，这个沉积间断的时期是相当长的，给铝土矿的形成提供了充分时间条件和相对稳定的地质环境，使成矿物质有了丰富的来源。

## 四、生物化学沉积矿床（以磷块盐矿床为例）

### （一）磷块岩矿床的形成过程

地壳中磷的含量为 0.13%，它是一种典型的生物元素，在生物的生命循环中，磷组成躯体的一部分。在各类成矿作用中均可生成磷矿床，其中最重要的类型是沉积成因的磷块岩矿床。其储量约占磷矿总储量的 80%，且常呈层状分布，易于勘探，开采，因而具有重要的工业意义。

关于磷块岩矿床的形成机理，尚有不同意见，目前较为通用的观点是“上升洋流说”（图 1－5－12）。该学说认为：每年由大陆岩石风化产生的磷酸盐溶液，经河流入海，为海洋生物所吸收，转化为它们体内的硬质组成，如介壳、牙齿、骨骼等。当海水的物理化学条件以及温度和含盐度等方面发生剧烈变化时（例如南极寒流和赤道暖流相遇，不同盐度海水相混合，大河口区大量淡水的注入……），这些海洋生物就会大量死亡，其分解出来的磷就成为沉积磷块岩矿床的主要物质来源。上升洋流把这些冷的富含磷酸盐的海水由深部带至大陆架时，由于 pH 值的改变和温度的升高，磷酸盐在溶解度降低并达到过饱和之后沉积下来，形成具有鲕状构造的胶状磷块岩矿石。

### （二）磷块岩矿床的主要类型

磷块岩矿床按其矿石成分和结构构造等特点，可分为层状磷块岩矿床和结核状磷块岩矿床两大类。

（1）层状磷块岩矿床　矿体呈层状，常与硅质岩或碳酸盐岩成互层，矿石矿物主要

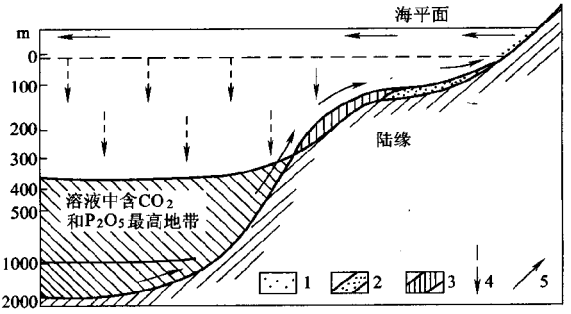



图 1－5－12 磷块岩矿床的形成（上升洋流说）

1—海滨砂和砾石相；2—磷灰岩相；3—泥质和灰质沉积物相；

4—浮游生物遗骸下沉方向；5—上升海流方向

由细晶磷灰石和胶状磷灰石组成，并有方解石、白云石、石英、云母、粘土等矿物伴生。具致密块状或鲕状构造。矿石中 $P_2O_5$ 含量为 26% ~ 30%，规模较大，常含有钒、铀、稀土等元素，可供综合利用。我国昆阳、开阳、襄阳、金河磷矿床属此类型。

（2）结核状磷块岩矿床　多产在粘土层、碳酸盐岩和海绿石砂岩中。矿层由球状、肾状、不规则状的磷酸盐结核组成。矿石矿物主要有含水氟碳磷灰石，常与石英砂粒、海绿石、粘土矿物等伴生。结核中 $P_2O_5$ 含量一般为 25% ~ 30%，矿床规模多属小型。我国南方寒武系和二迭系的某些磷矿床属此类型。

## 五、沉积矿床的共同特征及其对开采工作的影响

### （一）沉积矿床的一般特征（主要为胶体化学沉积矿床）

1）围岩特征　沉积矿床与其围岩基本上是同时生成的，属于同生矿床。它们的围岩都是沉积岩，如石灰岩、砂岩、页岩等。矿体与围岩界线清楚，与围岩产状一致，并具有一定层位；可与围岩一起在构造运动之下，发生变形和位移。

2）矿体特征　矿体多呈层状，少数呈透镜状；沿走向及倾向均可延伸很远；分布面积可以很广，矿床规模可以很大。

3）矿石特点　矿石的矿物成分比较稳定，单一，变化小。矿石矿物以高价氧化物为主，如赤铁矿、铝土矿、硬锰矿和软锰矿等；其次为碳酸盐类矿物（如菱铁矿）以及硅酸盐类矿物（如鳞绿泥石、鲕绿泥石……）等。脉石矿物以石英为主，其次为长石及粘土类矿物。矿石常具有作为胶体成因标志的豆状、肾状及鲕状构造。

### （二）对开采的影响

1）由于矿体多呈规则层状，而且多数倾角不大，有利于采用斜井－平巷开拓系统进行开采。

由于矿体形状变化小，所以形状对开采影响不大。但由于矿床分布面积广，在大面积内往往要遇到一些构造变化（如褶曲、断层），从而使开采条件复杂化。因此，开采这类矿床时，必须先掌握其地质构造规律，以便使矛盾转化，化有害为无害。例如，以断层为界划分采场或采区，这样可减少断层对采掘工作的危害。

2）本类矿床的沉积岩围岩，除页岩外，如石灰岩、砂岩、砾岩等常具有透水性强、蓄水性大的特点，因此，矿坑涌水问题在开采中必须引起重视，应加强防、排水措施，如利用页岩作隔水层，在开采中尽量不破坏它的完整性等。

3）沉积矿床的围岩和矿体，其结构、构造（特别如层理构造）以及某些矿物成分（如二氧化硅类矿物、碳酸盐类矿物、粘土类矿物）对采掘工作的强烈影响，详见沉积岩部分，不再赘述。

# 第六章 变质矿床

## 第一节 变质矿床概述

### 一、变质矿床的概念

变质矿床是原岩或原矿床经变质作用的转化再造后形成的或改造过的矿床。生成变质矿床的地质作用称为变质成矿作用，主要有以下几种：

1）脱水作用。当温度和压力升高时，原岩中的含水矿物经脱水形成一些不含水矿物，如褐铁矿变为赤铁矿；

2）重结晶作用。细粒、隐晶质结构变为中粗粒结构，如灰岩变成大理岩，蛋白石变为石英；

3）还原作用。矿物中一些变价元素由高价转变为低价，使矿物成分变化，如赤铁矿变为磁铁矿；

4）重组合作用。温度、压力等变化使原来稳定的矿物平衡组合被新条件下稳定的矿物组合代替，如粘土矿物转变为蓝晶石和石英；

5）交代作用。在区域变质作用和混合岩化过程中产生的变质热液交代原岩，使其矿物成分发生变化；

6）塑性流动和变形。在高温、高压条件下岩石可发生揉皱、破碎和塑性流动，使岩石产生定向构造；

7）局部熔融。高温、高压及流体的参与，岩石出现选择性重熔和局部熔融，形成混合岩化岩石。

按变质成矿作用范围可分为：接触变质成矿作用和区域变质成矿作用。

接触变质成矿作用的影响范围较小（几十米到几百米），在变质过程中，几乎没有或很少有外来物质的加入和原有物质的带出。它的成矿作用，主要表现在原岩或原矿床在岩浆热力影响下所发生的结晶或再结晶作用，从而提高了或改变了其工业意义。例如石灰岩之变质成为大理岩，煤之变质成为石墨等等。经由此种变质成矿作用所形成的矿床，叫做接触变质矿床。

区域变质成矿作用影响范围很广，可达几百甚至几千平方公里，变质作用复杂而强烈，不仅使岩石或矿石在矿物组成及结构、构造上发生强烈变化，而且可使某些成矿组分在变质热液或混合岩化交代作用之下发生迁移富集现象。有很多大型金属矿床，特别是铁矿床，是在区域变质作用之下形成的。经由这种变质作用所形成的矿床，叫做区域变质矿床。

区域变质铁矿床是世界铁矿资源的主要来源，占我国铁矿储量的49%，占世界铁矿储量的60%。除铁矿床外，部分金矿、锰矿、铀矿、磷灰石矿以及其他许多非金属矿（例如大理岩、石墨等）也来自于区域变质矿床，因此，区域变质矿床的研究具有重大的实际意义。

## 二、变质矿床的成因分类

如上所述，从成因上，变质矿床首先可分为接触变质矿床和区域变质矿床两大类。区域变质矿床又可分为受变质矿床和变成矿床两种。

1. 受变质矿床　即在变质作用之前已经是矿床，变质之后不改变矿床的基本工业意义。如沉积铁矿床之变质成为变质铁矿床。

2. 变成矿床　原来是没有工业价值的岩石，经过变质改造之后而成为矿床；或者原来是矿床，但在变质改造之后，发生深刻变化，而成为另外一种具有不同工业意义的新矿床。在这种变成矿床之中，金属矿床很少，主要是一些非金属矿床。由于它们是在高温、高压下形成的，所以矿石常具有特殊的物理化学性质，在工业上可供研磨材料、耐火材料以及建筑材料等之用。属于这类矿床的有用矿产，有大理岩、石英岩、板岩、滑石、石棉、石墨、石榴石、菱镁矿等。

在这几种变质矿床之中，工业价值最大的是区域变质矿床中的受变质矿床。在各种金属受变质矿床之中，最具有工业意义的是沉积变质铁矿床。下面的讨论，就是以沉积变质铁矿床为重点。

# 第二节　区域变质矿床的成矿条件和成矿过程

## 一、区域变质矿床成矿条件

### （一）成矿原岩条件

（1）沉积型含矿原岩　具典型的变质沉积岩组合，如大理岩、石英岩、云母片岩、

含矽线石片麻岩等。常见波痕、斜层理和结核等。

(2) 火山沉积岩型含矿原岩 具典型的变质火山岩组合，如绢云石英片岩、绿泥片岩和斜长角闪岩等。有时具变余斑状结构、变余、流纹、气孔和杏仁状构造等。规模巨大的磁铁石英岩型铁矿即产于此。

(二) 成矿构造背景

变质岩和变质矿床的分布与地质时代关系密切。地壳中广为分布的是前寒武纪变质岩，以大面积产出的结晶岩基底为特征，如加拿大地盾区、俄罗斯地台区、中朝陆台(含我国华北陆台)等。显生宙以来，全球变质岩区以带状分布为特点，如阿尔卑斯山脉变质带、我国秦岭－大别山变质带。中、新生代变质作用主要发生在岛弧、洋脊等板块边缘地区，如日本、新西兰，变质范围更窄。

(三) 物理化学条件

变质矿床形成的温度可从 100℃至 800℃，不同的温度可生成不同的矿物组合，引起变质的温度常与较高的地热流有关，这些地区一般有较强的构造－岩浆活动。压力是控制变质反应过程中矿物组合变化的主要因素。对某些具多型变体的矿物，压力作用尤为重要，如 $Al_2SiO_5$ 的多型变体，在 500～600℃压力较高时生成蓝晶石。压力较低时生成红柱石。定向压力可使岩石破碎、褶皱或发生流动，并使矿物定向排列，形成片理、线理等构造。各种流体，特别是 $H_2O$ 和 $CO_2$ 流体不仅可以促进化学反应和重结晶作用的进行，而且还可直接参与化学反应，如 $CaCO_3 + SiO_2 = CaSiO_3 + CO_2$。

## 二、含矿原岩的变化

在区域变质过程中，含矿原岩在温度、压力增高以及 $H_2O$、$CO_2$ 等挥发性组分的影响下，发生重结晶、重组合及变形等作用，改变了矿物成分和结构、构造；但一般情况下，含矿原岩总的化学成分基本不变。含矿原岩或矿床，在变质成矿过程中的变化可有以下两种情况：

(一) 含矿原岩或原矿床的改造

矿石的矿物成分和结构构造，一般均发生有不同程度的变化，从而对其经济价值有一定的影响，但矿石品位一般变化不大。区域变质成矿作用改造过的矿床，即所谓的受变质矿床，主要有铁、锰、铜等金属矿床，其次还有磷灰石矿床。

在区域变质作用中，以沉积铁矿床为例，其氢氧化铁经脱水和重结晶作用变为赤铁矿，赤铁矿又可还原为磁铁矿；矿石中的蛋白石矿物类，则重结晶为石英；结果，使原来的致密隐晶质的铁质碧玉岩，变为条带状的磁铁矿石英岩、赤铁矿石英岩或磁铁矿及赤铁矿石英岩。由于在这一改造中，矿石颗粒增大，特别是磁铁矿的形成，有利于磁力

选矿方法的利用，因而原来品位不够工业要求的贫矿成为可利用的矿石；如我国冀东某地的变质铁矿，虽然品位较低，但由于这种原因，仍能大量利用。此外，受变质之后，铁矿石中硫、磷等有害杂质的含量也有所降低。又如某些含磷很高的磷－铁矿床，也只有经过区域变质作用，磷结晶成为具有一定粒度的磷灰石之后，才能通过选矿加以分离，从而使这种磷－铁矿石成为可以利用的矿石。

(2) 新矿床的形成

某些原岩虽含有某些有用组分，但没有工业价值；只有在区域变质过程中，经过重结晶作用，形成新矿物之后，才能作为工业原料来利用，成为新矿床（即变成矿床）。这类矿床主要是一些非金属矿床，如富含有有机碳的原岩，经重结晶后可成为石墨矿床；富铝的原岩，在不同的物理化学条件下，可重组合、重结晶分别成为刚玉、矽线石、蓝晶石及石榴石等矿床；更广义地说，区域变质中形成的板岩、大理岩、石英岩等也属于这类矿床之列。

## 三、变质热液的产生及其成矿作用

变质热液又称变质水，是在区域变质过程中产生的，在变质成矿过程中占有重要地位。这种热液和岩浆成因的气化热液不同，它一部分是来源于原岩颗粒空隙中的水分(粒间溶液)，一部分则是变质过程中矿物间发生脱水反应时所析出的。在某些地区，变质热液还和裂隙水及地下水有一定联系。

变质热液中，除 $H_2O$ 为其主要组分外，还常含有 $CO_2$ 及硫、氧、氟、氯等易挥发组分；其物态可为液态，也可为气态；既能成为不能自由活动的粒间溶液；在某些情况下，也可成为能流动的热液，可起溶剂和矿化剂的作用，促进岩石中各种组分重新分配组合以及迁移搬运，在原岩发生重结晶作用的同时，形成各种新矿床或使原矿床中有用组分进一步富集。例如在含铁岩系中，就可发生如下的变化。

铁的氧化物（如磁铁矿）或碳酸盐（如菱铁矿），在一定的物理化学条件下，也可溶解于变质热液之中，有利于成矿作用。如巴西东南部米纳斯—吉拉斯矿区，巨大富铁矿体赋存于磁铁石英岩中，由致密块状赤铁矿和镜铁矿或假象赤铁矿及极少量石英组成，平均品位大于 50% ~ 60%。据研究，该矿床就是在高温、高压下，由变质热液溶解含铁层中的铁质，迁移至压力较低地带、交代贫矿层中的石英引起去硅作用，把铁质沉淀下来，富集堆积而成。

## 四、混合岩化中富矿体的形成

混合岩化作用是区域变质作用的高级阶段。这个阶段的成矿作用可分为两期，即早

期以碱性交代为主的成矿时期和中、晚期以热液交代为主的成矿时期。在早期交代阶段，伴随着各种混合岩及花岗质岩石的形成，在某些含矿原岩中，可有云母、刚玉、石榴石、磷灰石等非金属矿床以及某些非金属、稀有金属伟晶岩矿床的形成。

到了混合岩化的中、晚期阶段，混合岩化作用中分异出来的热液，已含有一定量的铁分，而更重要的是，在高温高压条件下，它们可通过溶解作用从贫矿石中取得更多的铁分。它们运移着这些铁质至压力较低地段，交代贫矿石中的石英引起去硅作用并把铁质沉淀下来，形成富铁矿体。鞍山铁矿的某些富矿体，据认为属于这种成因。

## 第三节　受变质矿床

### 一、受变质矿床的一般特征

（一）矿石特点

成分简单，品位变化较均匀。有用矿物有磁铁矿、赤铁矿、镜铁矿等；脉石矿物以石英为主，其次是方解石、长石、角闪石、阳起石、绿泥石、云母等。结构为全晶质。矿石构造以条带状、片理状为主。

矿石以贫矿为多，平均含铁量 20% ~ 40%；但在构造活动较强烈地段的含铁石英岩（贫矿）中，赋存着有相当规模的，由致密块状矿石构成的富矿体，平均含铁量可达 50% ~ 70%。

（二）矿体持点

多呈层状、似层状，少数为不规则的其他形状。在产状上一般变化较大，倾角较陡，矿体中褶曲、断裂、直立、倒转等现象较为普遍。矿体在剖面中具有一定的层位。

（三）围岩特点

都是变质岩（包括有火山岩型沉积变质岩，如角闪石岩等）。常见的有各种片岩、片麻岩、大理岩以及混合岩等。

此类铁矿床在我国前寒武系中有广泛的分布，而以鞍山 – 本溪地区为最丰富。矿床位于鞍山群及辽河群地层中，属中、低级区域变质，并遭受强烈的混合岩化作用。其地质年龄为 19 亿年 ~ 24 亿年。

矿床实例见辽宁弓长岭铁矿：

1）矿区地层属太古界鞍山群变质岩系，主要由角闪岩、长石石英云母片岩、绿泥石石英片岩和千枚岩等组成（图 1 – 6 – 1），厚达 2000m，混合岩化比较发育。

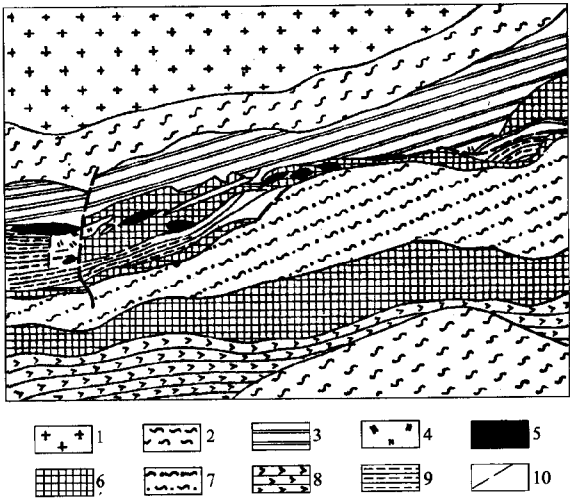



图 1－6－1　鞍山铁矿弓长岭矿区地质简图

1—花岗岩；2—混合岩；3—硅质岩；4—蚀变岩石；5—富矿体；6—含铁石英岩；7—黑云母钠长片岩；8—角闪岩；9—角闪片岩；10—断层

矿区内含矿层位及岩层顺序（图 1－6－2）如下（由下而上）：

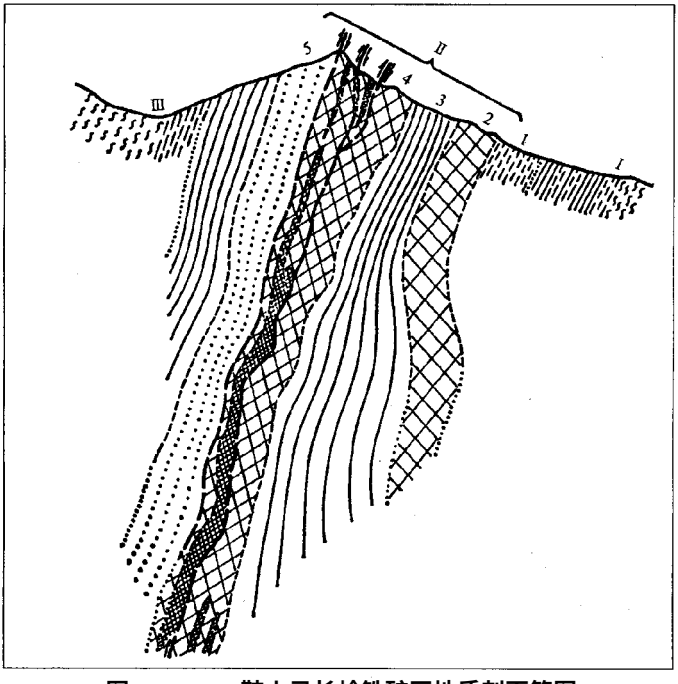



图 1－6－2　鞍山弓长岭铁矿区地质剖面简图

Ⅰ—下混合岩：粗粒片麻岩、混合质花岗岩、混合岩及石英粒变岩　Ⅱ—含矿带：1—角闪岩；2—下含铁带；3—黑云母钠长石片岩；4—上含铁带（夹富矿体）；5—石英岩　Ⅲ—上混合岩

下混合岩 下部为灰白色、红色粗粒片麻岩，向上渐变为混合花岗岩，上部为混合片麻岩及长石石英变粒岩。

含矿带 ①角闪岩；②下含铁带；③黑云母钠长片岩（标志层）；④上含铁带；⑤石英岩。

上混合岩 岩性与下混合岩相似。

矿区构造主要为一单斜，走向大致东西，倾向北，倾角较陡（平均约 60°）。横断层较发育。

2）上、下含铁带各有三层铁矿，矿体呈层状及透镜状，层位稳定。矿体绝大部分是贫矿（品位平均 25% ~ 30%）。矿石具条带状构造（磁铁矿与石英相间成薄层）。矿石矿物以磁铁矿为主，有少量赤铁矿；脉石矿物以石英为主，其次为角闪石、阳起石、绢云母等。矿物颗粒较细。一般直径在 0.5mm 以下。

矿体围岩主要为角闪石岩、长石石英云母片岩、绿泥石石英片岩以及千枚岩和混合岩等。矿层厚度可达百余米，延长可达数百米至数公里，产状陡倾斜，延深达千米以上。

在贫矿体中有富矿体的分布。富矿体的矿石成分主要为磁铁矿，局部有少量赤铁矿富矿体。矿石构造主要为致密块状，品位可达 70%。富矿贫矿之间呈渐变过渡关系。富矿体多分布于断裂带及其附近，或分布于褶曲的转弯部位，明显地受构造控制。

富矿体呈似层状，厚度由几十厘米至数十米，延长由几十米到千余米，延深与之相近似。富矿体一般上部小而零散，至下部则逐渐增大以至连成一片。

3）根据矿体呈层状，且有一定层位，其产状又与围岩一致以及矿石多具条带状构造和围岩为中变质岩石等特征，一般认为贫矿是沉积 – 中变质矿床。但对于铁质的来源和当时的沉积环境，曾有过不同的看法。现在为多数人所接受的看法是火山沉积说，即认为铁质是来自于海底火山喷发。这种说法可从岩石共生组合中含有大量角闪质岩石得到证明。这类岩石的化学分析资料，表明它们的原岩是基性火山岩。因此认为火山作用可提供大量的铁质和二氧化硅，通过海水中的化学沉积作用，先形成铁质碧玉岩，变质后成为磁铁石英岩贫矿体，所以贫矿部分应属火山岩型沉积变质矿床。

富矿产于贫矿中，且多分布在构造裂隙带附近，围岩有显著的热液蚀变现象（绿泥石化等），矿石中有硫化物出现，气化 – 热液活动迹象明显；考虑到矿区范围内没有岩浆岩侵入体的出露；但发育有大片混合岩，而且面向混合岩铁含量有增加之势以及根据同位素年龄测定，混合岩中白云母与富铁矿中蚀变白云母年龄一致等等；可以认为混合岩化过程中的变质热液溶解部分贫矿石和岩石中的铁质，并把它转移到适当地段重新沉积并通过去硅作用因而形成了富矿石。目前，大多数人均认为富矿的形成与混合岩化有关，应属混合岩化热液矿床。

## 二、沉积受变质铁矿的开采特点

1）由于本类矿床的围岩和矿体（贫矿体），都是正常沉积岩和火山岩型沉积岩的区域变质产物，仍然保持其沉积原岩的某些特点，形状比较简单，因而矿体的形状并不是开采中的重要影响因素。但由于变质过程中地壳运动较强烈，矿床的地质构造条件是较为复杂的，这对开采工作是不利的一面。然而地质构造复杂的地段，常是热液活动的良好场所，对成矿作用来说，则是有利的一面。在这种地质构造复杂的地段，经常发生铁质的再富集，形成富矿体，矿石品位可达 60% 以上，是良好的平炉富矿，应予以分采。由于热液活动，富矿体的围岩常发生剧烈蚀变，使围岩稳固性大为降低，开采中需要加强安全措施。

2）本类矿床暴露在地表和接近地表的部分，经氧化作用，磁铁矿被氧化成赤铁矿；假如赤铁矿储量很大，就应考虑分采、分选，以提高选矿回收率。

3）本类矿床中的某些大型矿床，具有规模大、矿体厚等特点；如果埋藏较浅，则特别适于露天开采。

4）矿床内变质岩石和矿石的矿物成分，有的与岩浆岩相似，有的与沉积岩相似，凡硅酸盐类矿物、碳酸盐类矿物、氧化物类矿物均含有之。它们对采掘的影响，可参考前几章有关内容。

# 第四节　关于层控矿床和矿床工业类型

## 一、层 控 矿 床

### （一）层控矿床概念

从矿床成因来看，某些矿床若归入内生矿床、外生矿床或变质矿床中任一类都是不合适的，不少矿床是复合成因或是多种成矿作用叠加形成的。多年来，地质学家们提出了二次成矿作用、叠加成矿作用、再造成矿作用等观点。“层控矿床”的提出代表了近年来对矿床成因认识的飞跃，它将内生成矿作用、外生成矿作用、变质成矿作用及二次成矿作用、叠加成矿作用、再造成矿作用等有机地联系起来，考虑了多种地质因素对成矿的影响。通过近年来的实践，在找矿勘探工作中起到了很好的指导作用。层控矿床的概念目前尚无严密而统一的定义，一般是指在一定区域内受一定的地层层位控制的矿床，其形成和分布与一定的岩相和岩性有关；这类矿床不包括典型的沉积矿床、岩浆矿

床和岩浆热液矿床。

（二）层控矿床成矿作用

层控矿床成矿作用包括三个方面：

1）成矿物质来源有陆源风化产物、地下水溶解物质或海水－海底热液中溶解物质；

2）成矿物质初步富集（矿源层的形成）是通过同生沉积、成岩和后生过程中的水－岩间相互作用、介质物理化学条件的突然变化以及生物－生物化学作用等实现的；

3）成矿物质的叠加改造作用－对矿源层的活化、转移、再改造和再富集，包括热液叠加改造作用和变质叠加改造作用，前者主要有流体的参与并发生大规模的元素的带入带出，后者主要为温度压力的变化引起。热液叠加改造作用具有更重要的意义。

（三）层控矿床的特征

1）矿床严格受一定地层层位和岩性的控制，其矿体多局限出现于一个或少数几个层内，且与这些层位的岩性密切相关。

2）矿体形态多样，既可出现层状、似层状的矿体，又可出现脉状、囊状或其他不规则形状的矿体；矿体既可与围岩呈整合接触，也可呈非整合接触。而形态复杂的富矿体多出现于局部地质构造复杂地段。这意味着矿源层中成矿物质在转移再富集过程中，还受到地质构造的制约。由此可知，层控矿床并不等于层状矿床，也就是说层控矿床虽赋存于一定地层的层位中，但在该层位中却可以出现不同形状的矿体。这种特点在找矿勘探和开采中都必须给予足够的重视。

3）围岩为沉积岩、火山岩或变质岩，后者也是从前两者经变质作用而形成的。

4）矿床的分布成群成片常构成统一的成矿区，正由于如此，层控矿床往往储量大，分布广。例如，美国密西西比河谷铅锌矿区，含矿范围约 5000km$^2$，金属储量约 2000 万 t；我国西秦岭中泥盆统中的多金属矿，含矿范围约 1200km$^2$，铅锌金属储量约 1000 万 t；欧洲曼斯菲尔德型多金属矿，分布于德、英、波、荷四国，面积约 2 万 km$^2$，已产铜 220 万 t，现仍保有铜储量几十万吨，铅锌储量几百万吨。

（四）层控矿床主要类型

很多学者对层控矿床的分类提出了不同的方案。以 Dunham（1970）分类方案为基础所划分的层控矿床主要类型有沉积岩中的层控矿床、火山岩中的层控矿床和变质岩中的层控矿床。

（1）沉积岩中的层控矿床　沉积岩中的层控矿床又可分为：

1）砂砾岩中的金－铀矿床：以南非的威特沃特斯兰德矿床最为著名，多产于元古界地层的砂砾岩中。

2）砂页岩中的铜或多金属矿床：包括含铜砂岩矿床、含铜或含多金属页岩矿床等。非洲赞比亚铜矿带的许多矿床、欧洲曼斯菲尔德型多金属矿以及我国滇中含铜砂岩矿床

和南方下寒武统黑色页岩中的多金属矿床均可归入此类型。

3）碳酸盐类岩石中的铅锌、锑或汞矿床：产于石灰岩或白云岩中。最典型的矿床实例是美国密西西比河谷的铅锌矿床。这类铅锌矿床常与礁灰岩有密切的空间及成因的联系，因此在找矿勘探中应注意掌握礁灰岩的分布规律。本类矿床在我国分布也很广泛，如湘、黔一带的所谓“松桃式铅锌矿”和湘黔的锑或汞矿床均可归入本类型。

（2）火山岩中的层控矿床　典型的例子有加拿大诺兰达块状硫化物铜锌矿床、北美的一些块状硫化物铜铅锌矿床以及日本的所谓“黑矿”等。有人认为我国甘肃白银黄铁矿型铜矿床亦属本类型。

（3）变质岩中的层控矿床　澳大利亚布罗肯希尔铅锌矿床是其著名实例。我国辽宁红透山铜矿床和青海锡铁山铅锌矿床亦属此类型。有人还认为前寒武纪变质岩中的条带状含铁石英岩矿床亦可归入本类型。

## 二、矿床工业类型

这是从矿床工业开发利用角度出发对矿床所进行的分类。每一矿种的矿床都可划分为若干个工业类型。由于矿床工业上开发利用条件与其成矿地质条件及矿床成因是有密切联系的，所以在分类中往往要综合考虑矿床的赋存条件、成因、开采技术条件以及矿石的加工工艺等特征。这种分类的目的是为了更深入地掌握有较大工业价值矿床的地质及开发利用特征，以便在找矿勘探和开发利用中做到更有预见性。某一矿床工业类型的命名往往以其最突出的特征来命名。部分矿种的主要矿床工业类型实例列于表 1－6－1 中。

表 1－6－1　　部分矿床主要工业类型简表

| 矿（种） | | 工业类型 | 储量规模 | 品位 | 矿石主要特征 | | 矿床主要特征 | 成因类型 | 实　例 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 矿石矿物 | 矿石构造 | | | |
| 黑色金属 | 锰 | 含铁石英岩型（鞍山式） | 大型～极大 | 贫到富 | 磁铁矿、赤铁矿 | 条带状（贫），致密块状（富） | 矿体呈层状、似层状、透镜状，围岩为片岩、片麻岩，富矿体上下盘有混合岩 | 受变质（贫）、混合岩化热液（富） | 辽宁鞍山、弓长岭，河北冀东等地铁矿 |
| | | 海相沉积型（宣龙或宁乡式） | 大型～极大 | 中到富 | 赤铁矿、菱铁矿 | 鲕状、豆状、肾状 | 矿体呈层状，产于一定层位砂页岩、石英岩或石英砂岩中 | 海相沉积矿床 | 河北宣化－龙烟一带铁矿 |

续表

| 矿（种） | | 工业类型 | 储量规模 | 品位 | 矿石主要特征 | | 矿床主要特征 | 成因类型 | 实例 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 矿石矿物 | 矿石构造 | | | |
| 黑色金属 | 锰 | 矽卡岩型（大冶式） | 多为中小型个别大型 | 贫到中 | 磁铁矿、赤铁矿菱铁矿 | 致密块状、浸染状 | 矿体呈脉状、巢状、似层状，产于中酸性岩浆岩侵入体与碳酸盐岩接触带中 | 接触交代矿床 | 湖北大冶，山东金岭镇、河北邯郸等地铁矿 |
| | | 钒钛磁铁矿型（大庙式） | 小～大型 | 中到富 | 磁铁矿、钒钛磁铁矿 | 致密块状、浸染状 | 矿体呈矿条状、脉状、不规则状，多产于基性岩（斜长岩、辉长岩）中 | 晚期岩浆矿床 | 河北大庙、四川攀枝花等地铁矿 |
| | | 玢岩型 | 中～大型 | 贫到富 | 磁铁矿、赤铁矿 | 块状、浸染状、角砾状 | 矿体呈透镜体等形状产于火山岩或次火山岩中 | 火山成因矿床 | 江苏安徽地区梅山铁矿、凹山铁矿等 |
| | | 海相沉积型锰矿 | 中～大型 | 贫到富 | 软锰矿、硬锰矿、菱锰矿 | 块状、结核状、条带状 | 矿体多呈透镜状，或层状，产于海相沉积层中 | 海相沉积矿床 | 辽宁瓦房子锰矿 |
| 有色金属 | 钨 | 黑钨矿－石英脉型 | 小～大型 | 中到富 | 黑钨矿、辉钼矿 | 块状、角砾状、浸染状 | 矿体呈脉状，形成矿脉群；产于花岗岩内沿一定方向发育的裂隙带内 | 高温热液矿床 | 江西大庾等地区的钨矿脉 |
| | | 白钨矿－矽卡岩型 | 小～大型 | 富 | 白钨矿、辉钼矿 | 浸染状、条带状 | 矿体呈层状、似层状、不规则状，产于花岗岩侵入体与碳酸盐岩的接触带中 | 矽卡岩型矿床 | 湖南瑶岗仙等地白钨矿 |
| | 钼 | 矽卡岩型 | 小型到中型，个别大型 | 贫 | 辉钼矿、少量铅锌矿 | 浸染状、条带状 | 矿体呈层状、似层状、脉状、不规则状，产于花岗岩侵入体与碳酸盐岩接触带中 | 矽卡岩矿床 | 辽宁杨家杖子钼矿 |

续表

| 矿（种） | | 工业类型 | 储量规模 | 品位 | 矿石主要特征 | | 矿床主要特征 | 成因类型 | 实　例 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 矿石矿物 | 矿石构造 | | | |
| 有色金属 | 锡 | 矽卡岩型 | 大型 | 贫到富 | 锡石、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿 | 浸染状 | 矿体多呈似层状、透镜状、脉状，也有呈囊状、柱状者，产于花岗岩与大理岩的接触带中以及大理岩裂隙中 | 矽卡岩型高中温热液矿床 | 云南个旧锡矿 |
| | 铜 | 矽卡岩型 | 中～大型 | 贫到富 | 黄铜矿、磁铁矿、磁黄铁矿 | 浸染状、块状 | 矿体呈似层状、透镜状、脉状、不规则状，产于中酸性侵入体与碳酸盐岩接触带 | 矽卡岩型矿床 | 安徽铜官山铜矿、西藏玉龙铜矿等 |
| | | 斑岩铜矿型 | 中～大型，可以极大 | 贫 | 黄铜矿、辉钼矿、黄铁矿 | 细脉状、浸染状 | 矿体形态较复杂，一般呈倾斜不规则的“空心筒”状，产于花岗闪长斑岩与千枚岩的接触带中 | 火山喷发晚期气化－热液矿床 | 江西德兴斑岩铜矿 |
| | | 铜镍矿型 | 中～大型 | 贫到富 | 黄铜矿、磁黄铁矿、镍黄铁矿 | 致密块状、浸染状、斑杂状 | 矿体多呈似层状、透镜状，产于超基性，基性岩中 | 熔离矿床 | 四川力马河铜镍矿、甘肃金川铜镍矿 |
| | | 含铜黄铁矿型 | 中～大型 | 中 | 黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿 | 块状、浸染状 | 矿体呈扁豆状、似层状，产于下古生代细碧－角斑岩系列的火山沉积岩中 | 火山喷发沉积和火山热液综合型矿床 | 甘肃白银厂铜矿 |
| | 铅锌 | 热液型铅锌矿脉 | 中、小型有时有大型 | 贫到富 | 方铅矿闪锌矿黄铜矿 | 角砾状、条带状、块状 | 矿体常呈脉状、扁豆状矿脉群，产于花岗岩与板溪系变质岩破碎接触带中 | 中温热液裂隙充填矿床 | 湖南桃林铅锌矿 |
| | 锑 | 热液型锑矿脉 | 中～大型 | 中到富 | 辉锑矿 | 角砾状、浸染状、晶簇状、块状 | 矿体多呈脉状、囊状、扁豆状，产于硅化灰岩背斜轴部裂隙带中 | 低温热液裂隙充填矿床 | 湖南锡矿山锑矿 |

续表

| 矿（种） | | 工业类型 | 储量规模 | 品位 | 矿石主要特征 | | 矿床主要特征 | 成因类型 | 实例 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 矿石矿物 | 矿石构造 | | | |
| 非金属 | 磷 | 层状磷灰岩型 | 中～大型 | 中 | 磷灰石 | 鲕状、块状、条带状 | 矿体呈层状，常与硅质岩或碳酸盐岩成互层 | 生物化学沉积矿床 | 湖北襄阳磷矿 |

# 第二篇

# 矿产地质调查

# 第一章　中国的矿产资源

中国幅员辽阔，成矿地质条件多种多样，是世界上矿产种类较为齐全，矿产资源蕴藏丰富的少数国家之一。截止到 1997 年底，全国有探明储量的矿产 153 种（209 个亚矿种），其中能源矿产 7 种，金属矿产 54 种，非金属矿产 89 种，其它水气矿产 3 种。矿产地近 2.3 万余处。45 种主要矿产的潜在总值仅次于美国和前苏联，居世界第三位。

## 第一节　中国矿产资源的基本情况

### 一、矿产开发历史

中国矿产开发利用活动具有悠久的历史。远在旧石器时期，中华民族的祖先就开始利用燧石、玉髓、石英、玉石等矿物和一些坚硬的石块。稍晚，还利用粘土矿来烧制陶器，进入新石器时代之后，不仅有一般的陶器，还烧制彩陶，利用玉石制作玉器，之后，开始由石器时代向铜器时代过渡。

公元前 21 世纪，中国历史上第一个奴隶制国家夏朝建立了。那时铜器已开始使用。到了商朝，不仅制陶业、玉雕业有了相当的发展，而且出现了青铜器制造业，人们懂得将铜、锡、铅熔铸在一起，形成比铜要坚硬得多的青铜，并利用青铜制造工具和武器。由于青铜器工具坚硬，武器锋锐，大大超过了石器，从而极大地提高了生产力。人类进入了青铜器时代。

春秋时期，我们的祖先又学会了开采和冶炼铁矿的技术，由于铁器更加坚硬、锋利，不仅胜过石器也胜过青铜器，因而在农业、手工业和战争中获得较为广泛的应用。到战国时期，铁制品使用更为广泛，社会开始向铁器时代迈进。

从西汉时期开始，铁器已普遍使用于生产，并开始利用煤作燃料，钢铁质量达到很高的水平。我国古代矿业在隋唐时代，进入了繁荣时期，在全国许多地区采矿业都获得发展。在此之后，直至新中国成立之前的 1000 年间，矿业活动虽在继续，但发展非常缓慢。到 1949 年，全国年产煤仅 3243 万 t，石油 12 万 t，钢铁 15.8 万 t，有色金属 1.3 万 t，水泥产量仅 66 万 t，硫酸产量仅 4 万 t，硫铁矿仅 2 万 t，磷矿石 1951 年仅产 2 万 t，其它非金属矿产量也很有限。

新中国成立以来，矿业获得全面、高速发展，由于矿业活动大规模地、全面展开，有力地促进了能源、原材料工业的发展，使我国进入了矿业大国和能源、原材料生产大国的行列。1990 年全国原煤产量达 10.8 亿 t，为 1949 年的 33 倍，居世界首位；原油产量达 1.38 亿 t，为 1949 年的 1150 倍，居世界第五位；不仅满足国内需要，还出口为国家创汇；10 种有色金属产量 239.2 万 t，为 1949 年的 184 倍，居世界第四位，钢铁产量达 6 634 万 t，为 1949 年的 420 倍，居世界第四位；硫铁矿标矿产量 1274 万 t，为 1949 年的 637 倍；磷矿石产量为 2 268 万 t，为 1951 年的 1134 倍；轻工矿也有相当发展，以盐矿为例，年产量已达 2023 万 t，为 1949 年的 9 倍；使我国实现了由矿业小国向矿业大国的飞跃，矿石产量和原矿产值在世界上均占第三位。据有关资料统计，在 1989 年世界原矿生产总值中，原苏联占 22%，美国占 14%，中国占 5%。其次，在矿业发展中实行以大矿为骨干，大中小矿并举的方针。大矿从数量来看，确属少数，在整个矿山中约占 2%，在国营矿山中也不到 10%，但这些矿的产量在整个矿山产量中占重要地位。特别是一些重要的能源、钢铁矿产资源主要是大矿山、大油田生产的。以石油为例，绝大部分是由大庆、胜利等几个大油田生产的，仅大庆油田年产油即达 5000 万 t 以上；铁矿石主要是鞍山—本溪、冀东、攀西等几大铁矿生产的。在 10 多亿 t 煤中有一半以上也是大煤矿生产的。中、小矿在中国矿业生产中也占有重要地位，首先在数量上占绝对优势，其次在产量上也有着举足轻重的位置。如煤，有 1/3 产量是由小煤矿生产的，其它小铁矿、小有色矿山、小非金属矿也占有相应比重。而建筑用砂石、粘土以及公路、铁路和水利使用的石料，则主要是由小矿山生产的。另外，就所有制而言，以国有矿山为主体，多种经济成分并存，除了 8000 多个全民所有制矿山外，还有乡镇矿山 125000 个，个体采矿 116590 个，此外还有中外合资经营的矿山企业。在整个矿山企业中，国营矿山企业居于主导地位，但乡镇矿业在整个矿业中的地位日益提高，成为我国矿业不可缺少的重要组成部分。

## 二、中国矿产在世界上的地位

中国是一个矿产资源大国，不仅矿产种类多，资源总量丰富，而且配套程度较高，中国矿产资源在全球矿产资源构成中占有极其重要的地位（见表 2－1－1）。

表 2－1－1　　主要国家矿产储量潜在总值占有情况

| | 潜在总值 | | 人均潜在总值 | | 单位面积潜在总值 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 亿美元 | 世界排名 | 万美元 | 世界排名 | 亿美元/$km^2$ | 世界排名 |
| 美　国 | 298392.750 | 1 | 12.017 | 19 | 318.387 | 17 |
| 前苏联 | 218478.538 | 2 | 7.565 | 25 | 97.525 | 34 |

续表

| | 潜在总值 | | 人均潜在总值 | | 单位面积潜在总值 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 亿美元 | 世界排名 | 万美元 | 世界排名 | 亿美元/$km^2$ | 世界排名 |
| 中　国 | 165616.624 | 3 | 1.511 | 53 | 172.517 | 24 |
| 南　非 | 89054.095 | 4 | 25.664 | 10 | 729.332 | 10 |
| 澳大利亚 | 66250.270 | 5 | 41.406 | 5 | 86.238 | 39 |

（资料来源：《中国自然资源丛书（矿产卷）》1996 年）

### （一）主要矿产在国际上的地位

我国已探明的矿产资源总量较大，约占世界总量的 12%，但我国人均资源占有量在世界上的排名很低，名列第 53 位，是美国人均占有量的十分之一，是俄罗斯人均占有量的八分之一。有些矿产资源占世界总量的比重很大，如稀土矿产资源占世界总量的 43%左右，钨矿储量占世界钨矿储量的 45.7%左右，煤占世界总量的 11%左右（见图 2－1－1）。

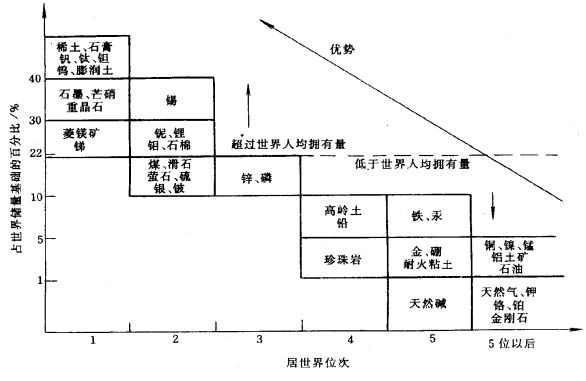



图 2－1－1　中国主要矿产储量在国际上的地位示意图

### （二）优势和劣势矿产

由于地壳运动的不均衡性和地质构造活动的多期性和复杂性，造成全球各地的成矿地质条件不尽相同，从而在世界各个地区、各个国家范围内所形成的矿产种类、各种矿产的资源丰度和单个矿床的规模质量也不尽相同。每个国家在全球范围内都可能各有优势和劣势。中国也一样，根据现有资料对比分析，在全球矿产资源构成中，部分矿产在世界上占有优势，但有相当数量的矿产具有明显劣势。

（1）优势矿产。指储量居世界第一到第三位，并占世界储量基础的 15%以上的矿

产。主要包括稀土、钽、铌、钛、钒、钨、锡、钼、锑、锂、铍、煤、芒硝、镁、重晶石、膨润土、耐火粘土、石棉、萤石、滑石、石膏及石墨，共 22 种。

(2) 较丰富的矿产。指储量居世界的位次和占世界储量基础的比重这两个指标居中的矿产。有铁、铝土矿、铅、锌、汞，硫、硼、高岭土、珍珠岩及磷，共 10 种。

(3) 资源潜力较好，但保有储量不足的矿产。主要是石油、天然气、锰、铜、镍、金及银，共 7 种。

(4) 短线矿产。储量居世界的位次和占世界储量基础的比重这两个指标都偏低，资源潜力不大，保有储量严重不足的矿产。主要是铬铁矿、铂族金属、钾盐、天然碱及金刚石，共 5 种。

## 三、中国矿产基本特点

辩证地看，中国既是一个矿产资源大国，又是一个资源相对贫乏的国家；既有许多资源优势，同时又存有劣势。矿产资源的基本特点有以下几个方面：

### (一) 矿产资源总量丰富，人均资源相对不足

截至 1996 年底，我国矿产保有探明储量总潜在价值为 92.13 万亿元，约占世界矿产储量潜在价值总值 767.75 万亿元的 12%，仅次于美国和前苏联，是世界上矿产资源总量丰富的少数几个资源大国之一。

但是，由于我国人口众多，人均占有资源量少，因此仅为世界人均占有资源量的 58%，居世界第 53 位。有些重要矿产资源人均占有量大大低于世界人均占有量，如石油资源占有量仅为全球石油资源量的 7.7%，若按我国占有世界 22%的人口平均，人均拥有石油资源量仅为世界人均量的 35.4%。又如铁矿，我国人均拥有铁矿资源量仅为世界人均量的 34.8%。

### (二) 矿产种类齐全配套，资源丰度不一

世界上已知的 168 种主要矿产在我国均有发现，已探明储量的矿产多达 153 种。目前世界上绝大部分国家探明储量的矿产种类有限，一般在几种至十几种之间。可以说中国是世界上矿产品种齐全配套的少数几个国家之一，这为我国立足国内资源，建成比较完整的国民经济体系创造了有利条件。

但是，从已探明储量看，各矿种之间的资源丰富程度相差甚大，有的矿产可以或基本可以满足国内建设需要，如铅、锌、汞、铌、铍、钒、铝土、石棉、高岭土、磷、硫等；有的矿产不仅可以满足国内需要，而且还可长期出口，如煤、钨、锡、锑、钼、钛、稀土、石墨、菱镁矿、滑石、萤石、膨润土、芒硝、重晶石等；有的矿产不能满足当前和长远国内建设要求，需要长期从国外进口，如石油、富铁矿、钾盐、铬矿、锰

矿、金刚石、铜矿、天然碱等。

（三）矿产质量贫富不均，贫矿多、富矿少

我国有一些矿产质量优、品位高，如稀土、钨、锡、锑、钼、铌、菱镁矿、萤石、重晶石、膨润土、石墨、滑石、芒硝、石膏、盐等矿产，在世界上占有重要地位，具有一定的优势。

但是，一些关系到国计民生和用量大的支柱性矿产，如铁、锰、铝土、铜、铅、锌、硫、磷等，则贫矿多、富矿少，在一定程度上影响到开发利用。我国铁矿储量中，97.47%为贫矿，铁矿石平均品位为33.5%，比世界平均水平低10%以上，与澳大利亚、巴西、印度等含铁品位在60%以上的大而富的铁矿相比，则相差更远。锰矿中，93.6%为贫矿，锰矿石品位约22%，不及世界商品锰矿标准48%的一半。铜矿石含铜1%以下的贫矿占65%，含铜平均品位为0.87%，远低于智利、赞比亚等拉美、非洲国家。我国铝硅比大于7的铝土矿不到28%；含$P_2O_5$大于30%的富磷矿只占总量的7.4%；含硫大于35%的硫铁矿石仅占3.6%。

（四）超大型矿床少，中小型矿床多

我国虽然也拥有一批世界级超大型矿床，如陕蒙交界地区的神府东胜煤田，内蒙古白云鄂博稀土矿，湖南柿竹园钨矿，江西德兴铜矿，云南兰坪和甘肃西成地区的铅锌矿，辽宁海城菱镁矿，黑龙江柳毛石墨矿等。但与国外比较，超大型矿床偏少。据统计，在已探明储量的15000个矿床中，66%为小矿，中型矿床占23%，大矿占11%。特别是工农业大宗使用的重要矿产，如铁、铜、铝土、石油、天然气、硫铁矿等的超大型矿床为数较少，不利于大规模集约化开发。

（五）共生伴生矿多，单矿种矿床少

我国的矿床中含单一成分的矿产少，往往是在一个矿床中有几种或多种矿产共生或伴生在一起。据统计，全国25%的铁矿、40%的金矿、80%的有色金属矿和大多数地区的煤矿都有其他矿产与之共生或伴生。如内蒙古白云鄂博铁矿中有稀土和稀有金属矿产与铁矿共生；甘肃金川镍矿中有铜、钴、铂及稀有分散元素矿产与镍矿共生；四川攀枝花铁矿中钒、钛等金属矿产与铁矿共生；安徽、四川等一些地区的煤矿中有硫铁矿与煤矿共生；山西等许多地区的煤矿中有耐火粘土矿、高岭土矿等共生在一起；江西德兴铜矿等许多斑岩型铜矿中有钼矿、金矿以及一些分散元素矿产与之共生伴生。

（六）地理分布极不均衡，矿产高度集中区和严重短缺区并存

由于地质成矿条件不同，我国矿产分布具有明显的地域差异，如煤炭集中于北方晋、陕、蒙三省区，占全国保有储量的68%，而南方缺煤省区却多达10个；铁矿集中于辽、冀、晋、川四省，占全国保有储量60%，而西北、华南地区却很少；磷矿高度集中于南方的云、贵、川、鄂四省，占全国保有储量70%，而北方和华东广大地区却

十分短缺；铝则集中于晋、豫、黔、桂四省。

矿产集中有利建设原材料基地，但过分集中于边远地区，其开发利用就会受到交通条件的严重制约。由于我国矿产资源分布极不均衡，北煤南运、西电东输、南水北调、南磷北运，致使资源成本上升，效益降低。

## 四、时空分布规律

### （一）在时间上的分布特点

1. 成矿时间跨度大。自太古宙到新生代的各个地质时期的地层中均有矿床形成。根据中国地质科学院对迁西群地层分析结果，在河北、辽宁一带存在着同位素年龄为37亿年以上的岩石。这个事实表明，中国大地已经历了37亿年以上的地质发展历史。在这漫长而又复杂的地质发展过程中，尽管不是每时每刻都有矿产形成，但自太古宙、元古宙到显生宙各个地质历史发展阶段中都有一定种类、一定数量的矿产分布。由表2－1－2可以看出，中国矿产从总体看成矿时代有一个很大的时间跨度。从某些单个矿产种类来看，在时间分布上的跨度也是很大的，如铁矿，虽主要分布于元古宙地层中，但在显生宙的古生代、中生代以至新生代都有铁矿形成。金矿等许多其他矿产也有类似情况。

2. 中生代形成的矿产最丰富。中国矿产在整个地质发展过程中的各个阶段虽都有形成与分布，但在不同时期的分布是极不均匀的。从总体看，以中生代的燕山期内成矿作用最为强烈，形成的矿产最为丰富。如煤炭，在中生代的侏罗纪形成的煤占煤炭资源量的46.2%；大多数铜、钨、锡、钼、锑、银、铀、稀土等金属矿产形成于中生代这个地质历史时期。对全国范围内12种金属的544个内生金属矿床进行统计表明，其中属于前加里东成矿期的占8%，加里东期的占5%，华力西期的占19%，印支期的占4%，燕山期的占55%，喜马拉雅期的仅占1%；多期成矿的占1.1%。此外，有36%的石油、20%左右的金矿和一大批非金属矿也是在中生代形成的。

3. 不同矿产在不同时期丰度不一。每一种类型的矿床，其成矿作用强度随成矿时期的不同而有强弱之别。如石墨、菱镁矿、蓝晶石、红柱石、夕线石等一批变质类矿产主要形成于太古宙和元古宙；铁矿自元古宙到新生代均有形成，但主要分布于元古宙地层的古老地层之中；金矿在地质史上的时间分布也有广泛分布与局部集中的特点，金矿主要分布于太古宙到元古宙的古老变质岩内，其次是新生代地层之中；煤矿主要形成于古生代和中生代；铜、钨、锡、锑等有色金属矿床主要形成于中生代；盐类矿产主要形成于新生代。

表 2－1－2　中国各地质时代有关的主要矿产

| 地质时代 | | | 岩浆活动期 | 地质年龄（百万年） | 与地层有关的主要矿产 | 与岩浆活动有关的主要矿产 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 宙 | 代 | 纪 | | | | |
| 显生宙 | 新生代 | 第四纪 | 喜马拉雅期 | 2.48 | 天然气、高岭土、金、锡、钛等砂矿，钠盐、钾盐、硼 | 铜、金、铅、锌、铬、锡 |
| | | 第三纪 | | 65 | 煤、石油、天然气、石膏、高岭土、硅藻土、盐类 | |
| | 中生代 | 白垩纪 | 燕山期 | | 煤、石油、天然气、铜、钾盐、重晶石、石膏、盐类 | 铁、铜、铅、锌、钼、锡、钽、锑、汞、金、稀土、萤石、高岭土、叶腊石、石棉、膨润土、珍珠岩、花岗岩 |
| | | 侏罗纪 | | 135（140） | 煤、石油、天然气、铁、膨润土、珍珠岩、盐类 | |
| | | 三叠纪 | 印支期 | 208 | 煤、石油、天然气、锰、铜、萤石、钠盐、钾盐、石灰岩、石膏 | 铁、镍、铜、铅、锌、稀有、锑、云母 |
| | 古生代 | 二叠纪 | 华力西期 | 250<br>290 | 煤、石油、天然气、铝土、锰、磁铁矿、碲、耐火粘土、石墨、高岭土、石灰岩 | 铁、钒、钛、铬、铜、镍、稀有、钨、锡、钼、铅、锌、重晶石、金刚石、石棉、云母、花岗岩 |
| | | 石炭纪 | | 362（355） | 煤、石油、天然气、铝土矿、耐火粘土、石膏、高岭土、石灰岩 | |
| | | 泥盆纪 | | | 铁、锰、磷、菱铁矿、石膏、石英砂岩、石灰石 | |
| | | 志留纪 | 加里东期 | 409 | 铁、锰、磷 | 镍、铜、钴、铬、铂、稀有、稀土、钨、汞、金、金刚石、石棉、滑石、菱铁矿、云母 |
| | | 奥陶纪 | | 439 | 石油、天然气、铀、钒、磷、硫、石膏、重晶石、石灰岩 | |
| | | 寒武纪 | | 510<br>570 | 石油、天然气、铀、钒、磷、硫、石膏、重晶石、石灰岩 | |
| 元古宙 | 新元古代 | 震旦纪 | 震旦期 | 1000 | 石油、天然气、铁、锰、铜、铅、锌、稀有、稀土、菱镁矿、磷、大理岩、硼、石英岩 | 铁、铜、镍、铬、锡、石棉、铅、锌、稀土、稀有 |
| | | 青白口纪 | 晋宁期 | 1400 | | |
| | 中元古代 | 蓟县纪 | 武陵期 | | | |
| | | 长城纪 | | | | |
| | 古元古代 | ?? 纪 | 吕梁期 | 1800<br>2500 | 铁、铜、铅、锌、金、石墨、硼、菱镁矿、滑石 | 铁、铜、镍、金、滑石、石棉、菱镁矿 |
| 太古宙 | 新太古代 | 五台纪 | 前吕梁期 | 3100 | 铁、铜、金 | 金、铜、镍 |
| | | 阜平纪 | | 3850 | | |
| | 古太古代 | 迁西纪 | | | 铁、金、石墨、云母 | 铁、稀土、硼 |

（资料来源：《中国自然资源丛书（矿产卷）》，1996 年）

（二）在空间上的分布特点

1. 地理上分布广泛。目前已发现的 20 多万处矿床和矿点，广泛分布于全国各地，各省（区）都发现有可供开发利用的矿产地，并均探明潜在价值不等的矿产储量。

矿产资源不仅在大陆广泛分布，而且在海南岛和台湾地区也有分布。截止 1996 年底，海南岛已探明储量潜在价值达 961 亿元，台湾地区亦发现具有工业价值的矿产 30 余种，主要为能源矿产和非金属矿产，少量为金属矿产。此外，在香港特别行政区范围内也曾开采过铁矿、铅锌矿、绿柱石、石墨、陶土和长石等矿产资源，其中马鞍山铁矿曾开采 30 年。目前仍在开采的有长石、石英和高岭土等矿产。

2. 资源总量呈不均匀分布。中国各地的矿产资源总量和单位国土面积内的资源量不尽相等，东部地区 12 个省（区）（未包括台湾地区）已探明储量潜在价值达 119161 亿元，平均每平方公里内潜在价值总值为 917.82 万元；中部地区 9 省（区）探明储量潜在价值总值达 388395 亿元，平均每平方公里面积潜在价值总值为 1361.60 万元；西部地区探明储量潜在价值总值达 477592 亿元，平均每平方公里面积潜在价值总值为 876.15 万元。中国西部地区已探明矿产储量潜在价值总值大大高于东部地区和中部地区，分别为东部和中部地区的 4 倍和 1.22 倍。

3. 不同矿产在不同地区相对集中。由于各地成矿地质条件的不同，以及不同矿产的形成又需要有不同的地质条件，因此，各种矿产在不同地区的分布丰度也不尽相同。如铁矿虽在全国各地皆有产出，但 50% 的探明储量集中在辽宁鞍（山）—本（溪）地区、河北冀东地区和四川攀枝花—西昌地区，55% 的钨矿集中在湖南和江西，50% 的锡矿集中在广西、云南，80% 的煤炭储量集中在山西、内蒙古和新疆等地区，70% 的磷矿集中在滇、黔、鄂、湘四省（区），62% 的镍矿集中甘肃金昌地区，绝大部分稀土矿分布在内蒙古和江西，青海则拥有许多盐类矿产资源。

4. 埋藏深的多，可露天开采的少。中国矿产在空间垂直分布上也很不均匀。虽然我国也有一些可露采的大矿，从总体看，仍是埋藏深的中、小规模的矿产地多，埋藏浅的可露天开采的大矿少。像俄罗斯、澳大利亚、巴西、印度、智利那样的一些大规模的煤矿、铁矿、铜矿、铝土矿产地，我国很少。以煤矿为例，据煤炭部门预测资料，距地表 600m 以内的煤炭资源在总量中占 26.8%，埋深在 600 ~ 1000m 之间的占 20%，埋深在 1000 ~ 2000m 之间的占 53.2%。经过地质勘查证明可露采的 13 个煤矿区，保有储量为 412.431 亿 t，仅占全国总保有储量的 4.1%。目前可露采的煤炭产量在全国总产量中不到 10%。而世界上许多矿业大国煤炭可露采量均占总量的 50% 以上，如加拿大为 88%，印度 73.8%，澳大利亚 70%，美国 61.5%，俄罗斯 56.1%。

5. 成矿空间呈区域性和分带性。中国矿床常集中产出，形成成矿区带。以大地构造单元作为划分成矿区带的背景和基础，可将我国划分为 10 个大小不等的成矿区带（图 2 - 1 - 2）。

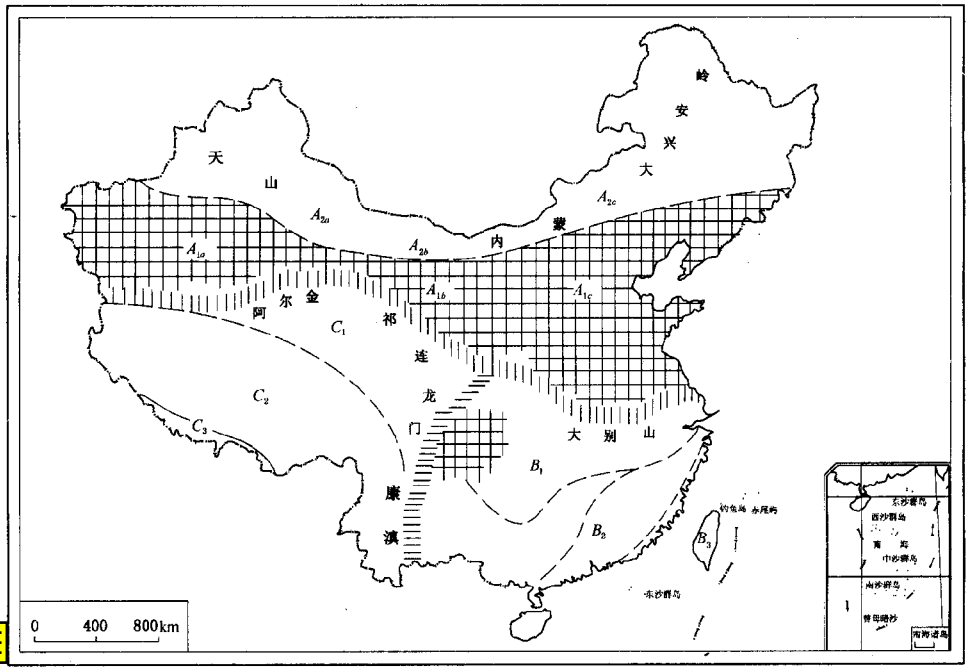



**图 2－1－2　中国矿产资源成矿区带**

**竖线带—近纬向阿尔金及其西延—祁连山—北秦岭及其东延复褶皱断裂带分布示意图；**

**横线带—近经向龙门山—康滇地轴复褶皱断裂带分布示意区；**

**方格区—（龙门—康滇之东）基底可能为太古—早元古代岩层乏四川台地。**

A. **中国北部地区：**$A_{1a}$ **塔里木地台；**$A_{1b}$—$A_{1c}$ **阿拉善—中朝古陆（以上方格区）；**$A_{2a}$—$A_{2b}$—$A_{2c}$ **天山—内蒙古—兴安岭地槽褶皱系；**

B. **中国东南部地区：**$B_1$ **江南隆起带：**$a$ **华南华力西—印支褶皱系：**$B_2$ **华东南加里东褶皱带；**$b$ **东南沿海华力西褶皱带：**$B_3$ **台湾褶皱带；**

C. **中国西南部地区：**$C_1$ **昆仑—甘孜褶皱系；**$C_2$ **唐古—三江褶皱系；**$C_3$ **喜马拉雅褶皱带。**

**①近纬向阿尔金—祁连—北秦岭褶皱断裂带：此褶皱断裂带为中国南北两大部分的分界带。在本带西部有赤铁矿、铅锌矿、石棉矿、铬铁矿、黑钨矿及白钨矿；中部有铜铅锌多金属矿床、铅锌矿床；东部有菱铁矿、铅锌矿、钼矿、铜锌矿、铁矿及硫铁矿床。**

**②近经向康滇地轴—龙门复褶皱断裂带：本带从北而南有陕西境内的一些小型黄铁矿型铜锌矿床，四川的攀枝花式钒钛磁铁矿床，云南境内的火山岩型铜铁矿床和层控铜矿床等。**

**③阿拉善—中朝准地台（**$A_{1b}$—$A_{1c}$**）：该地台区域矿产资源丰富。有煤田、高岭土、铝土矿、石膏矿、铁矿、稀土矿、铅锌多金属矿、铜矿、铅锌矿、菱镁矿、金矿、铜钼矿及大理石矿等。**

④江南隆起带（$B_1$）：带内有后期燕山花岗岩浆活动形成的许多工业矿床，如斑岩铜矿、多金属矿等。

⑤华南华力西—印支褶皱系（$a$）。

⑥华东南加里东褶皱系（$B_2$）：这两个成矿单元中赋存着我国优势矿产资源钨、锡、锑、汞、铅、锌、铝、锰等矿床，是我国金属矿产远景很好的地区之一。

⑦喜马拉雅（$C_3$）。

⑧唐古—三江（$C_2$）。

⑨昆仑—甘孜（$C_1$）：这三个古生代—新生代的褶皱系是我国分布最宽的褶皱山系，已发现第四纪和现代盐湖矿产，第三纪斑岩铜矿及三叠纪的铅锌银矿床，以及燕山期的铬铁矿。

⑩中国北部纬向地槽复褶皱系（$A_{2a}-A_{2b}-A_{2c}$）：天山—内蒙—大兴安岭华力西褶皱带已发现的矿床较多，如铬铁矿、稀有金属矿、铜镍矿、铁矿、铜矿、铅锌矿、铁锰矿等。除上述金属矿床外，还有巨型煤田以及油田等。

## 五、资源富集区

矿产资源空间分布上的不均匀，形成了规模不等的矿产资源富集区，为区域经济的发展提供了各具特色的资源基础。以区域成矿条件、矿产资源潜力为基础，综合考虑经济区位、投资环境以及我国西部大开发战略和区域经济协调发展等因素，我国下列九个区域可作为矿产资源富集区（见图 2－1－3）。

### （一）阿尔泰有色金属富集区

该区位于新疆北部，是一个少数民族聚居的边境地区，行政区域包括阿尔泰地区一市六县。西北与哈萨克斯坦、俄罗斯相邻，东部与蒙古接壤。全区国土面积 11.7 万 $km^2$，人口 56.3 万。本区地处我国西北对外开放的前缘，经济社会发展具有潜力。区内公路交通与新欧亚大路桥相连，是新疆自治区经济发展的重点地区。

本区是我国重要的花岗伟晶岩型稀有金属、有色金属成矿带。目前已发现矿产 11 类 84 种，其中探明储量的 41 种，初步估算其潜在价值为 569 亿元。重要矿产有铜、镍、铅、锌、铍、锂、铯、铂族、铌、钽、金、白云母等。有色金属矿产主要分布在阿尔泰山南缘。重要矿床有阿舍勒铜锌矿、喀拉通克铜镍矿、索尔库都克铜钼矿、科克达拉铅锌矿等。

稀有金属铍、锂、铌、钽、铯为共生矿产，主要分布在阿尔泰山中部。重要矿有可可托海、阿斯喀尔特、柯鲁木特、蒙库卡拉苏、群库尔、库卡拉盖等。目前主要开发的可可托海和柯鲁木特是国内外著名的稀有金属生产基地。




图 2－1－3　我国矿产资源富集区

区内已发现金矿床 26 处，保有储量 78.6t。岩金主要分布在山前，重要矿有多拉纳萨依、托库孜巴依、沙尔布拉克等；砂金主要分布在额尔齐斯河的北部支流，重要矿有克拉麦里、西岔河、红墩等。

已探明云母储量 6.26 万 t，有矿区 87 处，主要分布于阿尔泰山中部。重要矿有阿尤布拉克、那森恰、津西库威—教拉夏、阿尤赛依、齐伯岭等。

区内资源远景较好，预测铜资源量 1601.7 万 t、镍 163.8 万 t、铅 900.5 万 t、锌 2171.8 万 t、金矿资源量 819.8t。

（二）塔里木盆地油气富集区

塔里木盆地位于新疆南部，面积 55 万 $km^2$，是我国最大的内陆沉积盆地，也是我国重要的油气、煤炭、盐类成矿区。辖塔里木盆地的南疆五地州，是一个由维、蒙、柯尔克孜、塔吉克、汉、回等组成的多民族聚居区。地域上，西与吉尔吉斯斯坦、塔吉克斯坦、阿富汗、巴基斯坦、印度等国接壤，东南与我国甘肃、青海、西藏相邻。

塔里木盆地具有丰富的油气资源，预测油气资源量为 206 亿 t，其中石油 156 亿 t，天然气 5.3 万亿 $m^3$，约占全国油气资源总量的五分之一，被认为是我国石油工业战略接替区。目前已发现油气田 10 多处，探明了轮南、东河塘、桑塔木、吉拉克、解放渠东、塔中 4、英买力 7、牙哈和雅克拉等油气田，达到了工业上可建成年产 500 万 t 原油和 25 亿 $m^3$ 天然气的油气储量。

盆地北缘与西南缘侏罗纪含煤建造广布。位于北缘的塔北煤田，预测资源量 331.6

亿 t，主要煤种为气煤、肥煤，重要矿有俄霍布拉克、阳霞等。位于西南缘的塔西南含煤区，主要矿床有康苏、布雅、艾格留姆、沙里拜等。

盆地盐类矿产极为丰富，既有古代岩盐、石膏矿，也有现代盐湖石盐芒硝矿。岩盐主要分布在库车盆地，地表有多个盐丘分布，岩盐层厚度达几百米以上，预测岩盐资源量上千亿吨。石膏主要分布于塔里木西南坳陷，面积 11 万 $km^2$，矿层厚一般 100m 以上，最厚达 425m，预测资源量 5000 亿 t。现代盐湖主要是罗布泊地区，已知含盐面积 1 万 $km^2$，预测石盐资源量 50 亿 t 以上。该区经航空能谱测量发现钾异常 46 处，圈定氯化钾远景储量 2.55 亿 t。此外，芒硝资源也非常丰富。

（三）柴达木盆地矿产资源富集区

柴达木盆地因矿产资源丰富而被誉为“聚宝盆”。该区地处青海省西部，行政区划属海西自治州，面积 25.66 万 $km^2$，人口约 25 万。区内矿产资源种类多，储量丰富，尤以盐类矿产最具特色，是国家“七五”以来国土资源开发的重点地区。

该区分为三个成矿带，即阿尔金南缘成矿带、柴达木北缘成矿带和盆地内部成矿带。盆地内盐湖成矿条件佳，石油、天然气找矿远景好，柴达木北缘成矿带以有色金属和煤富集为特征，阿尔金南缘成矿带以与超基性岩有关的非金属矿引人瞩目。

区内已知有 66 种矿产，有一定探明储量的有 45 种，主要有：煤、石油、天然气、铁、铬、铅锌矿、黄金、锂、黄铁矿、芒硝、天然碱、硼、铷、溴、碘、钾镁盐；盐矿、石棉、石灰石、重晶石、云母、白云岩等 21 种。其中钾盐、锂、芒硝、盐矿、镁盐、电石用灰岩、石棉等保有储量居全国第一位，硼、铷矿分别居全国第二、三位。

察尔汗盐湖面积约 0.6 万 $km^2$，钾、镁保有储量分别占全国的 96.4%和 99.8%。共伴生矿有食盐、锂、硼、溴、碘、铷多种组分，为我国重要的钾盐产地。

茫崖石棉矿储量居全国第一位，属大型矿床。石棉质量好，矿田分东西两个矿区，东矿区含棉量 4.64%，储量约 2000 多万 t；西矿区含棉量 5.02%，储量 2300 多万 t。东矿区为国家重点石棉矿山。

近年来，柴达木盆地南北边缘黄金资源出现重大进展，于大柴旦发现了滩间山金矿，规模达大型；于乌兰县五龙沟也发现中型金矿。

（四）鄂尔多斯盆地及东缘能源富集区

该区位于我国中部地带，其地理范围东至吕梁山，西抵贺兰山、六盘山，北起大青山，南止秦岭。行政区涉及陕北、陇东、宁夏、内蒙古的伊克昭盟和晋西 18 个地（市、盟）115 个县（市、旗），面积 25 万多 $km^2$，是我国重要的油气、煤炭资源富集区。

鄂尔多斯盆地为一在古生代地台基础上形成的中生代大型坳陷盆地，三叠纪、侏罗纪和石炭一二叠纪煤系地层广布，具良好的油气生储盖条件。煤、油气资源丰富，使该盆地成为我国重要的能源富集区。此外，盆地及东缘铝土矿、金矿、高岭土、石膏、芒

硝、耐火粘土、石英砂、水泥灰岩等矿产也非常丰富。

石油主要集中在两个油田，长庆油田含油面积 818km$^2$，累计探明储量 4.08 亿 t；延长油田含油面积 501.6km$^2$，累计探明储量 2.29 亿 t，天然气预测资源总量 $3.29\times10^{12}$ m$^3$。

本区煤炭保有储量约占全国的 40% 以上，其中优质动力煤占全国的 60% 以上，且煤炭资源具有分布广、地质构造简单、煤层较稳定、单层厚度大、质量优等特点。目前已探明的煤田主要有：神府、东胜、石嘴山、同心、河（曲）保（德）偏（关）、柳林、华亭、子长、渭北等，是我国重要的煤炭生产基地之一。

（五）陕甘川接壤地带有色金属矿产资源富集区

陕甘川接壤“金三角”地区位于我国中部地带的中段，国土面积 $7.7\times10^4$ km$^2$，行政区包括三个省的 6 个地区 15 个县。

陕甘川接壤地区是特提斯成矿域、秦（岭）—祁（连山）—昆（仑山）成矿域和环太平洋成矿域相互叠加的地区，是秦岭造山带、扬子地台西缘构造带、甘孜—松潘构造带的复合部位。该区复杂的地质历史背景为金、铜等有色金属矿产的形成提供了十分有利的条件。

区内累计探明的金矿储量约 300 多 t，发现金矿 170 处，其中初步探明大型金矿 6 个，中型金矿 4 个。大水、拉尔玛、东北寨、桥桥上、煎茶岭、马脑壳和坪定、石鸡坝、巴西、贡北等预测金矿远景资源量约 1100t。铜矿 8 处，铜厂、筏子坝铜矿具有大型铜矿的成矿远景，控制铜矿储量 45 万 t，预测远景资源量约 340 万 t。铁矿控制储量 3 亿 t。铅锌矿控制储量 62.28 万 t，远景资源量 1000 多万 t。锑预测远景资源量 15 万 t。

该区是金矿及有色金属矿富集区，矿产资源远景可观。

（六）西南三江有色金属矿产资源富集区

西南三江地区是指川滇藏接壤的怒江—澜沧江—金沙江地区，简称三江地区。该区包括两大成矿带，即玉树—义敦铁、铜、铅、锌、锡成矿带和三江铅、锌、锡、铁、汞、锑成矿带。行政区包括西藏的昌都地区 11 个县，云南省西部 9 个地区，流域总面积约 20 万 km$^2$，人口约 1000 万，是少数民族集居区。该区既是我国新世纪找矿重点地区，也是国家“七五”以来国土开发的重点地区。

该区是有色金属极为富集的区域，已探明的矿产有近 40 多种，其中金属矿产 17 种，非金属矿产 20 种。金属矿产主要为铜、铅、锌、金、银、钼、钨、铂等，且找矿远景巨大。据不完全统计，区内已发现铜、铅、锌、金、银、锡、锑等有色金属、贵金属矿产地近 1000 处，其中大中型以上矿床 26 处，著名的有江达玉龙铜矿、江达马拉松多铜矿、白玉呷村银多金属矿、巴塘夏塞银铅锌矿、兰坪金顶铅锌矿。

区内已有铜矿大型 2 处（玉龙、马拉松多），中小型 20 余处，累计探明储量（铜金属量）超过 1000 万 t；玉龙斑岩铜矿是该区和国内重要的典型矿床，仅铜探明金属储量

就达 650 万 t。铅锌银矿大型 5 处，中小型 35 处，累计探明储量铅锌超过 2000 万 t，云南金顶铅锌矿铅锌储量为铅 253 万 t、锌 1280 万 t。银矿超过 1 万 t（云南 3100t、四川 7083t）。金矿有大型 2 处，中小型 20 余处，近两年已探明储量 150t。锡等其他有色金属矿产也很丰富。

该地区矿产资源潜力巨大，找矿前景良好。三江地区属藏滇板块和华南板块的结合部位，以澜沧江结合带为界，西为藏滇板块，东为华南板块。板块的俯冲和碰撞为三江地区创造了极为有利的成矿地质环境，各种资料表明本区是我国最有前景的有色金属和贵金属资源基地，通过进一步的地质勘查可望发现和评价一批新的大型一超大型有色金属和贵金属矿床，有望成为我国的新的原材料矿产资源基地。

（七）兴安岭有色金属富集区

该区位于我国东北黑龙江省的北部，处于东北亚经济圈的核心，是我国东北地区对外开放的前缘。行政区划范围包括大兴安岭地区、伊春市、黑河市及绥化市的绥棱、庆安县。全区国土面积 $19.08\times10^4km^2$，人口约 420 万。

该区是以山区、丘陵和山前冲积平原为主的高寒地区。水资源丰富，林业、农业资源和矿产资源配套齐全。在大地构造方面处于古亚洲和环太平洋两大构造域的交接复合部位，成矿条件有利。区内已探明的重要矿产储量铜约 246 万 t，金约 240 多 t，铅锌（金属）约 210 万 t，铁约 1150 万 t，岩棉玄武岩约 7000 多万 t，压电水晶占黑龙江总储量的 99.5%以上，熔剂石灰岩、白云岩储量均在 2000 万 t 以上，此外还有黑河、黑宝山附近的煤炭资源等。本区的优势资源是金、铜、铅、锌等有色金属资源，矿产资源分布相对集中，储量规模大，矿石加工技术性能好，矿床水文地质、工程地质条件简单或中等，可利用的共伴生矿产可增加矿床的利用价值。本区重要的矿床有多宝山铜钼矿（铜 244 万 t）、黑龙江沿黑河至塔河的砂金矿、伊春的铅锌矿、金矿、大理岩矿等。

（八）京九中段皖赣北矿产资源富集区

该区位于长江中游，紧邻长江三角洲地区。行政区包括安徽省和江西省的九江、景德镇、南昌、宜春、上饶等地（市），即一省五地市。国土面积约 $21\times10^4km^2$，人口约 8200 万人。区内矿产资源丰富，是我国中南部重要的矿产资源富集区。

区内矿产资源、水资源丰富。主要矿产有煤、铁、铜、锌、金、硫、芒硝、石膏、高岭土、水泥灰岩等，集中分布在五个地区：淮南淮北以煤为主的两淮地区、马鞍山—庐江—枞阳霍丘以铁为主的马鞍山—庐江带、九江市辖区（县）以铜、金、锰、非金属矿为主的综合矿产富集区、景德镇、上饶地区以铜矿、高岭土矿为主的综合区、宜春以建材非金属矿为主的建材矿产资源区。

（九）长江三峡地区化工建材资源富集区

本区处于长江中上游交接地带，行政区划包括重庆市、湖北省宜昌市和恩施自治

州，面积 $12.76\times10^4 km^2$，人口 3776 万人。

由于独特的成矿地质条件，使得三峡地区矿产资源品种多、储量丰富，尤以非金属矿产最为特色。目前探明储量的矿产有 7 大类近 50 种，矿产地 300 余处，其中以天然气、铁、硫、磷、盐、水泥灰岩等最为重要。

区内天然气以气田气为主，储量约 $850\times10^8 m^3$，其中大于 $100\times10^8 m^3$ 的有忠县大池子、万县高峰场和开县大天池，是川东天然气资源重要基地之一。

铁矿主要分布在重庆市周围和鄂西地区，保有储量约 19 亿 t。硫铁矿沿江分布广泛。磷矿主要分布于鄂西地区，保有储量约 23 亿 t，是我国磷矿主要生产基地之一。

盐矿已探明万县高峰场盐矿一处，保有储量 16 亿 t，是川东盐化工原料基地。该矿属万县盐盆的一部分，盐盆长 100km，宽 25 ~ 30km，预测盐矿总量 1500 ~ 1600 亿 t。

区内水泥灰岩广布，资源非常丰富，为三峡工程建设、移民迁建和地区经济发展提供了充足的资源保证。

区内其它重要矿产有煤、锰、银、钒、汞、重晶石、硅石等。

## 第二节　各类矿产资源概述

### 一、能源矿产资源

中国能源矿产资源种类齐全，资源丰富，分布广泛。但结构不理想，煤炭资源比重偏大，石油、天然气资源相对较少。能源矿产的地域分布相对比较集中，与经济发展布局不匹配，近 80% 的能源资源分布于西部和北部地区，而 60% 的能源消费在经济发达的东南部地区。除煤炭外，石油、天然气已探明储量对经济建设的保证程度偏低。

#### （一）煤

我国是世界上以煤为主要能源的少数国家之一，煤炭资源已探明储量居世界第 2 位，仅次于前苏联。截至 1996 年底，总保有储量 10025 亿 t，预测资源总量达 50592 亿 t。

资源分布相当广泛，除上海市和香港特别行政区外，其他各省（区）均有分布，但主要集中于北方和中西部，形成北多南少、西多东少的格局。全国煤矿保有储量的 70% 集中于山西、内蒙和陕西三省（区），而新疆的资源远景最大。

从煤炭形成的地质时代看，在寒武纪、石炭纪、二叠纪、三叠纪、侏罗纪、第三纪均有煤炭形成，但以侏罗纪、石炭纪和二叠纪的煤为最丰富，尤以侏罗纪的煤为多，保有储量占总量的 46.2%。就煤质来说，品种比较齐全，在保有储量中，烟煤占 75%、

无烟煤占 12%、褐煤占 13%。

从资源条件看，主要问题有：一是我国东南部煤资源较少，二是主焦煤不多。煤是我国长期依赖的主要能源，也是我国长期出口的重要矿产品之一。

（二）石　油

中国是石油资源较为丰富的国家之一，1997 年公布的剩余探明可采储量 22.41 亿 t，居世界第 11 位。全国共有盆地 319 个，据对其中 145 个盆地估算，资源量达 930 亿 t。至 1996 年，在陆地和海域的 32 个油区探明储量 181.4 亿 t，占资源量的 19.5%，找油的潜力还相当可观。

目前已探明储量主要分布在我国东部地区，但从长远看，中国西部和海域有相当的发展前景。预测资源量东部地区为 363.4 亿 t，西部与海域为 247.89 亿 t 和 246.75 亿 t。

从石油赋存地层的地质时代来看，自前寒武纪到第四纪的地层中均有油气发现，以新生代为最好，约占资源量的 50%；中生代次之，约占 36%；古生代最少，约占 14%。

（三）天然气

中国天然气资源分布相当广泛，在石油和煤盆地中均有不同程度的产出。资源量也比较丰富，专家预测我国天然气资源量约有 $70 \times 10^{12}\,m^3$（煤层气约占一半）。截至 1996 年底，我国天然气剩余可采储量 $0.7060 \times 10^{12}\,m^3$，约居世界第 21 位。

天然气在 20 多个省（区）均有产出，主要分布在四川盆地、塔里木盆地、鄂尔多斯盆地、松辽盆地和华北盆地。从其分布的地质时代来看，与石油相反，在时代较老的地层中气多，其中古生代约占 50%，中生代和新生代分别约占 20%和 30%。

（四）铀

中国是铀矿资源不甚丰富的一个国家。矿床规模以中小为主，占总储量的 60%以上，矿石品位偏低，通常有磷、硫及有色、稀有金属矿产与之共生或伴生，矿床类型主要有花岗岩型、火山岩型、砂岩型、碳硅泥岩型 4 种；其所拥有的储量分别占总储量的 38%、22%、19.5%、16%。

中国铀矿成矿时代的时间跨度为距今 1900 ~ 3Ma 之间，即古元古代到第三纪之间，以中生代的侏罗纪和白垩纪成矿最为集中。空间上分南北两个大区，北方铀矿区以火山岩型为主，南方铀矿区则以花岗岩型为最重要。

（五）地　热

中国地热资源分布较广，资源也较丰富。据预测，在距地表 2000m 以内范围内，约有相当于 13711 亿 t 标准煤的地热资源量，若可采率为 1%，则有相当于 137 亿 t 标准煤的地热可采资源量。地热资源主要分布于构造活动带和大型沉积盆地之中，前者资源量较集中，如藏、滇、川带和东南沿海以及辽东一胶东一带，后者分布面广，如华北盆地京津唐地区。

以低于150℃的中低温地热资源为主，高于150℃的地热资源主要分布在西藏、云南和台湾省。

## 二、金属矿产资源

我国金属矿产品种比较齐全。黑色金属矿产中，铁锰矿资源较丰富，但以贫矿为主；钛、钒探明储量多，居世界前列；铬铁矿严重短缺。有色金属矿中，铝、铅、锌、钼、镍矿资源较丰富，铜矿以贫矿为主，铅锌矿分布较广泛，而镍矿却十分集中。钨、锡、钼、锑、汞等矿是我国传统出口的优势矿产，探明储量居世界前列。贵金属矿产中，金银矿探明储量较多，资源远景较大，铂族矿产却十分短缺。稀有、稀土和分散金属品种很多，以稀土金属资源最为丰富，居世界之首。金属矿产几乎遍布全国各省区。

### （一）铁矿

铁矿资源总量丰富，总保有储量矿石463亿t，居世界第5位。以贫矿为主，占总储量的90%以上。全国各地均有分布，以东北、华北地区资源为最丰富，西南、中南地区次之。就省（区）而言，探明储量辽宁位居榜首，河北、四川、山西、安徽、云南、内蒙古次之。

从铁矿成因类型来看，主要有与铁质基性、超基性岩浆侵入活动有关的岩浆型铁矿床，如四川攀枝花铁矿床；与中酸性岩浆侵入活动有关的接触交代—热液铁矿床，如湖北大冶、福建马坑、内蒙古黄岗等；与中性钠质或偏钠质火山—侵入活动有关的铁矿，如江苏、安徽两省的宁芜铁矿、云南大红山铁矿等；沉积型赤铁矿和菱铁矿床如鄂西、赣西、湘东地区的赤铁矿；变质沉积铁矿，如鞍山铁矿、冀东铁矿等；风化淋滤残积型铁矿，如广东大宝山、贵州观音山等。铁矿成因类型以分布于东北、华北地区的变质—沉积磁铁矿为最重要。该类型铁矿含铁量虽低（35%左右），但储量大，约占全国总储量的一半，且可选性能良好，经选矿后可以获得含铁65%以上的精矿。

从成矿时代看，自元古宙至新生代均有铁矿形成，但以元古宙为最重要。

### （二）铝土矿

中国铝土矿资源丰度属中等水平，总保有储量矿石22.7亿t，居世界第7位。山西铝资源最多，保有储量占全国41%；贵州、广西、河南次之，各占17%左右。

铝土矿类型主要是沉积型一水硬铝石，其储量占全国探明储量的95%以上，其余为堆积型和风化壳型铝土矿。

从成矿时代来看，铝土矿主要产于石炭纪和二叠纪地层之中，铝土矿的质量和厚度与地层沉积间断呈正相关关系。

### （三）铜　矿

中国是世界上铜矿较多的国家之一，矿区几乎遍布全国各省（区），总保有储量铜

6243 万 t，居世界第 7 位。江西铜储量位居全国榜首，占 20.8%，西藏次之，占 15%，云南、甘肃、安徽、内蒙古、山西、湖北等省铜储量均在 300 万 t 以上。

从矿床类型看，以斑岩型铜矿为最重要，其次为铜镍硫化物矿床、夕卡岩型、火山岩型、沉积岩中层状型、陆相砂岩型铜矿以及少量热液脉状铜矿等。

从形成时代来看，从太古宙至第三纪皆有铜矿形成。但从储量规模和矿床数量来看，主要集中在中生代和元古宙。中生代铜矿多与侵位浅的中酸性岩浆活动有关，元古宙铜矿多与海相火山岩浆活动有关。

（四）锰矿

中国锰矿资源较多，分布广泛，在全国 21 个省（区）均有产出。矿石总保有储量 5.66 亿 t，居世界第 3 位。从地区分布看，以广西、湖南为最丰富，占全国总储量的 55%；贵州、云南、辽宁、四川等地次之。

从矿床成因类型来看，有沉积型、风化型及热液型，以沉积型锰矿为主，其次为火山—沉积矿床。从成矿时代来看，自元古宙至第四纪均有锰矿形成，以震旦纪和泥盆纪最为重要。

（五）铅锌矿

中国铅锌矿资源比较丰富，铅保有储量 3572 万 t，锌 9384 万 t，均居世界第 4 位。我国铅与锌矿比例为 1∶2.4，是一个突出的资源优势。全国铅锌矿产地广布于 26 个省（区），而探明储量的 76%却集中于滇、蒙、湘、粤、甘、赣、桂、川等 8 省（区）。

从矿床类型来看，有花岗岩型、夕卡岩型、斑岩矿床；有与海相火山、陆相火山有关的矿床；有产于海相碳酸盐、泥岩—碎屑岩系、海相或陆相砂岩和砾岩中的铅锌矿等。成矿时代从太古宙到新生代皆有，以古生代铅锌矿资源为最丰富。

（六）钨　矿

中国是世界上钨矿资源最丰富的国家，分布于 23 个省（区），总保有储量 $WO_3$ 529 万 t，居世界第 1 位。产量也居世界首位，是我国传统出口的矿产品。就省（区）来看，以湖南（白钨矿为主）、江西（黑钨矿为主）为多，储量分别占全国总储量的 33.8%和 20.7%；河南、广西、福建、广东等省（区）次之。

矿床类型有热液型、斑岩型、接触交代型。热液型以黑钨矿为主，接触交代型以白钨矿为主，斑岩钨矿集中分布于河南卢氏—架川一带。从成矿时代来看，最早为早古生代，晚古生代较少，中生代形成钨矿最多，新生代钨矿则罕见。

（七）锡　矿

中国是世界上锡矿资源丰富的国家之一，总保有储量 407 万 t，居世界第 2 位。矿产地分布于 15 个省（区），以广西、云南两省（区）储量最多，分别占全国的 32.9%和 31.4%，湖南、广东、内蒙古、江西次之，以上 6 省（区）共占全国储量的 93%。

锡矿矿床类型主要有与花岗岩类、中酸性火山—潜火山岩类、沉积再造变质作用有关的矿床。成矿时代比较广泛，以中生代锡矿最为重要，前寒武纪次之。

（八）锑　矿

中国是世界上锑矿资源最为丰富的国家，总保有储量 278 万 t，居世界第 1 位。矿产地分布于 18 个省（区），以广西省储量最多，占全国的 41.3%，其次为湖南、云南、贵州、甘肃、广东等省。

矿床类型有层控热液型及热液型两种。层控热液型锑矿床含矿岩层多为碳酸盐岩，热液型锑矿床其含矿围岩多为碎屑岩，常与汞、金、钨共生。从成矿时代来看，除侏罗纪和白垩纪地层中尚未发现有工业矿床外，自前震旦纪到第四纪都有锑矿分布，但其改造成矿的时代主要集中在中生代的燕山期。

（九）金　矿

中国金矿资源比较丰富，总保有储量 4265 万 t，居世界第 7 位。矿产地几乎分布于全国，以山东独立金矿床最多，金矿储量占全国的 14.37%；江西伴生金矿床最多，占总储量的 12.6%；黑龙江、河南、湖北、陕西、四川等省金矿资源也比较丰富。

金矿床分内生、外生两大类，内生矿床中以岩浆—热液破碎带蚀变岩型和石英脉型为最重要，沉积改造微细粒型具有较大的找矿潜力，砂金矿亦占有重要地位。成矿时代的跨度很大，从太古宙到第四纪皆有金矿形成，但 56% 的金矿集中在前寒武纪，其次为中生代和新生代，占总储量的 36%，古生代金矿相对较少。

（十）稀土矿产

中国素有“稀土王国”之称，总保有储量约 9000 万 t，居世界第 1 位，已探明的储量相当于世界总储量的 43%。矿产分布于全国 16 个省（区），以内蒙古最多，储量占全国的 95%，湖北、贵州、江西、广东省次之。我国稀土矿产不仅储量大，而且品种多、质量好，矿床类型独特。如内蒙古白云鄂博含铌—稀土铁矿，稀土储量规模巨大，为世界之冠，现已在包头建成我国最大的稀土原料基地。

稀土矿产多与其他矿产共生，南方以重稀土为主，北方以轻稀土为主。稀土矿自元古宙至新生代均有矿床形成，尤以中生代的燕山期为盛。

## 三、非金属矿产资源

我国探明储量的非金属矿产有 125 种（含亚种），其中化工原料 25 种、建材和其他非金属矿产 100 种。

我国化工非金属矿产资源丰富，品种齐全。硫、磷、重晶石、芒硝、钠盐的探明储量居世界前列，仅钾盐短缺。我国冶金辅助原料资源十分丰富，配套齐全，菱镁矿、萤

石、耐火粘土等探明储量居世界前列，质量上乘，为出口的优势矿产。建材和其它非金属矿产种类多、质量好、分布广，在国际市场上具有较强的竞争力，其中石墨、滑石、石棉、大理石、花岗石、水泥原料、玻璃硅质原料的矿产品或加工品均有大量出口。硅灰石、蛭石、硅藻土、膨润土、海泡石、凹凸棒石、累托石等新兴非金属矿，均发现特大型矿区，开发潜力很大。

（一）磷　矿

我国磷矿资源比较丰富，矿石总保有储量 152 亿 t，居世界第 2 位。探明储量主要集中于西南和中南两地区的鄂、滇、黔、湘、川五省，合计储量占全国总量的 77.53%。上述各省储量依次分别占全国总量的 21.96%、19.86%、16.33%、11.02%和 8.36%，地理分布及不平衡，形成我国“南磷北调”的格局。

矿床类型以沉积磷块岩型为主，储量约占 80%，内生磷灰石矿床、沉积变质型磷矿床次之，鸟粪型磷矿探明储量极少。成矿时代主要为震旦纪和早寒武纪，前震旦纪、古生代也有磷矿产出。

（二）硫　矿

中国硫矿资源相当丰富，总保有储量折合硫 14.93 亿 t，居世界第 2 位。主要为硫铁矿，其次为自然硫和伴生硫，伴生硫多赋存于以铜、铅、锌、钼、锡等有色金属为主矿的矿床中。硫铁矿中含硫大于 35%的富矿很少，仅占 3.6%。矿产地广布全国 28 个省（区），储量最为丰富的省份是四川、安徽、广东、内蒙古和云南，以大中型矿产地为主，其储量约占硫铁矿总储量的 95%。伴生硫储量江西第一，自然硫主要产于山东。矿石含硫品位较低，平均为 17.94%。

矿床类型有沉积型、沉积变质型、火山型、矽卡岩型和热液型，以沉积型和沉积变质型最为重要，分别占全国总储量的 41%和 19%，成矿时代主要为古生代，其次为前寒武纪和中生代，新生代也有大型自然硫矿床形成。

（三）硼　矿

中国硼矿资源比较丰富，总保有储量 $B_2O_3$4670 万 t，居世界第 5 位。产地广布 14 个省（区），90%以上集中在辽宁、青海、湖北和西藏 4 省（区）。辽宁省储量最为丰富，勘查程度高，占全国总储量的 57.3%，青海省储量位居第二，占总量的 26%。

矿床类型以元古古代沉积变质型为主，矿石储量占总量的 51%，其次为现代盐湖沉积型。我国硼矿储量就目前的开发利用经济技术水平衡量，可利用程度不高，主要由于约 90%的储量因矿石难选或外部条件差近期难以利用。

（四）菱镁矿

中国是世界上菱镁矿资源最为丰富的国家，总保有储量 30 亿 t，居世界第 1 位。主要特点是储量相对集中，大型矿床多。矿床集中分布于 9 个省（区），以辽宁省储量最

大，占全国的 85.6%，该省营口大石桥矿区以规模大、质量好闻名世界；山东、西藏、新疆、甘肃次之。

矿床类型以沉积变质—热液交代型为最重要，沉积型、热液脉型和基性—超基性岩型不具重要意义。从成矿时代来看，矿床主要形成于前震旦纪和震旦纪，少数形成于古生代和中新生代。

（五）萤　石

中国是世界上萤石资源最丰富的国家之一，总保有储量 $CaF_2$ 1.08 亿 t，居世界第 3 位。矿产分布于全国 25 个省（区），以湖南省储量最大，占全国的 38.9%，内蒙古、浙江次之，分别占 16.7%和 16.6%。

我国萤石矿床以热液充填型、沉积改造型为主，伟晶岩等类型不具重要意义。矿床主要形成于古生代和中生代，以中生代燕山期为最重要。

（六）石　墨

中国石墨资源相当丰富，总保有储量 1.73 亿 t，居世界第 1 位。全国 20 个省（区）有石墨矿产出，以黑龙江为最多，储量占全国的 64.1%，山东和四川石墨矿也较丰富。

矿床类型有区域变质型、接触变质型和岩浆热液型三种，以区域变质型为最重要，不仅矿床规模大、储量多，而且质量好。成矿时代有太古宙、元古宙、古生代和中生代，以元古宙石墨矿最为重要。

（七）滑　石

中国滑石资源比较丰富，总保有储量 2.47 亿 t，居世界第 3 位。全国 15 个省（区）有滑石矿产出，以江西最多，储量占全国的 30%，辽宁、山东、青海、广西次之。

滑石矿类型主要有碳酸岩型和岩浆热液交代型，以碳酸岩型为最重要，占全国储量的 55%。成矿时代主要为前寒武纪，古生代、中生代次之。

（八）高岭土

中国高岭土矿资源丰富，总保有储量 14.3 亿 t，居世界第 7 位。全国 21 个省（区）有高岭土矿产出，以广东最多，陕西次之，分别占全国储量的 30.8%和 26.7%；福建、广西、江西探明储量也较多。

高岭土矿类型有风化壳型、热液蚀变型和沉积型 3 种，以风化壳型为最重要。成矿时代主要为新生代和中生代后期，晚古生代也有矿床形成。

（九）水泥灰岩

中国水泥灰岩资源相当丰富，除上海市、香港特别行政区外，全国各省（区、市）均有产出。矿石总保有储量 489 亿 t。储量以陕西最多，占 10%，安徽次之，占 6.7%，广西、四川、山东水泥灰岩资源也较丰富。

矿床成因类型分为化学或生物化学沉积型、机械碎屑沉积型、生物沉积型和重结晶型。自太古宙到新生代各时代地层中几乎都有矿床形成，但用于生产水泥的主要是古生代形成的石灰岩。

（十）玻璃硅质原料

中国玻璃硅质原料资源非常丰富，总保有储量 38 亿 t，全国 26 个省（区）均有矿床分布。玻璃用石英岩以青海为最多，占全国总储量的 42.4%，石英砂以海南为最多，玻璃用石英砂岩山东则居首位。就矿床成因类型分，以沉积变质石英岩、沉积石英砂岩和海相沉积石英砂为主，热液型石英脉不具重要意义。玻璃硅质原料自太古宙到新生代均有形成。

（十一）硅藻土

中国硅藻土资源丰富，全国 10 个省（区）有硅藻土矿产出，矿石总保有储量 3.85 亿 t，仅次于美国，居世界第 2 位。在地区分布上，以吉林最多，占全国储量的 54.8%，云南、福建、河北等地次之。矿床类型主要为火山物源沉积型矿床和陆源沉积型，成矿时代集中在第三纪和第四纪，以第三纪为主。

（十二）膨润土

中国膨润土矿资源丰富，分布广泛，全国 23 个省（区）皆有膨润土矿产出。总保有储量矿石 24.6 亿 t，居世界第 1 位。地区分布上以广西、新疆、内蒙古为多，分别占全国储量的 26.1%、13.9%和 8.5%。矿床类型有沉积型、热液型和残积型三种，以沉积（含火山沉积）型为最重要，储量占全国储量的 70%以上。成矿时代主要为中新生代，在晚古生代也有少量矿床形成。就矿石成分看，钠基膨润土和钙基膨润土在总储量中分别占约 27%和 31%。

（十三）大理石

中国大理石品种繁多，资源丰富，全国 26 个省（区）皆有产出。总保有储量矿石 10 亿 $m^3$，以广东、河北储量最多，各占 16.6%。矿床成因类型有区域变质型、沉积型和接触变质型三类，以区域变质型为主，储量占全国总储量的 50%以上。大理石矿自太古宙至中生代均有形成，以太古宙和元古宙为主，古生代、中生代次之。

## 第三节 矿产资源形势展望

本世纪初期我国处于加速推进工业化阶段，虽然产业结构将得到进一步优化，科学技术水平不断提高，但对矿产资源的需求仍然十分旺盛，预测矿产品需求量在 2050 年达到高峰，今后 30～50 年将是中国经济、社会发展对矿产资源的需求增长最快的时期。

# 一、供需形势严峻

## （一）资源保证程度越来越低

据论证，到2010年现有探明储量的45种主要矿产中，可以保证并有部分矿种或其产品可以出口换汇的矿产有菱镁矿、钼、稀土、芒硝、钠盐、煤、钛、水泥原料、玻璃原料、石材、萤石、钨、锡、锌、铅、重晶石、锑、滑石、高岭土、硅灰石、硅藻土、石墨、膨润土、石膏等24种；基本保证但在储量或品种上还存在不足，需要在国内找矿或进口解决的矿产有铀、铝、锶、耐火粘土、磷、石棉等6种；不能保证、部分需长期进口补缺的矿产有石油、天然气、铁、锰、铜、镍、金、银、硼、硫等10种；资源短缺，主要靠进口解决的矿产有铬、钴、铂、钾盐、金刚石等5种。

在这45种矿产中，人均占有量小于世界人均占有量的达27种。对经济建设不能保证或基本保证存在不足的矿产达22种，占所论证矿种的48.9%。在优势矿产中，则有相当部分是市场容量不大的非大宗使用的矿产，而不能保证的矿产相当部分是经济建设需求量大的支柱性矿产。在论证的23种能源、金属矿产中，不能保证和短缺矿产达11种，占47.8%。还有部分矿产因过度开采或浪费严重而将成为不能保证的矿产，到2020年，如无新增储量，能保证需求的矿产仅有6种。

## （二）可利用储量增长缓慢

20世纪90年代以来，随着国民经济的快速发展和人口的不断增加，矿产品的消费量与日俱增。相反，地质找矿难度增大，有效找矿勘探投入不足，新增矿产储量缓慢。如石油、铁、锰、铬、铜的矿产品消费量的增长速度与矿产储量的增长速度相比，均在10倍以上，其中石油和铁矿的剩余可采储量甚至出现了负增长，分别为－0.65%和－0.74%。

在需求预测基础上，国家对45种主要矿产进行了概略的矿区技术经济分析，将已探明矿区分为已利用（含在建）矿区、可设计利用矿区、可规划利用矿区和暂难利用矿区四类，并对前三类可利用矿区进行可供性分析。结果表明，各矿种可利用矿区储量占探明总储量的比例为30%～80%，而可利用矿区中扣除设计开采境界外和设计开采损失量后的可采储量一般只占可利用矿区储量的40%～70%，这说明总体上我国矿产资源现有储量中只有60%左右可开发利用，35%左右可以采出。因而，我国实际可利用的储量明显不足。

## （三）已建矿山生产能力下降

我国许多大中型矿山已进入中晚期，因缺乏后备资源，产能消失正在加快。据有关资料，与1992年相比，到2000年全国煤矿和铁矿的产能将消失10%以上，铜矿产能将

消失 26%左右，铅锌矿产能将消失 40%左右，金矿产能将消失 70%。此外，在各类矿产的总产量中占有很大比重的乡镇矿，后备资源更加缺乏，其中有 80%的乡镇矿山服务年限不足 5 年。

以上资料表明，在未来的一二十年内，由于国民经济的快速发展和人口、环境的巨大压力，以及矿山后备资源不足，产能消失过快，矿产资源的供需矛盾将更加突出，形势将更为严峻。

（四）找矿潜力较大

我国幅员辽阔，成矿条件比较优越，找矿潜力很大。已发现可作为进一步找矿线索的矿点、矿化点及地球物理、地球化学异常点共 20 余万处。许多矿产经多方论证分析，预测的资源量很大，但因工作程度低，探明储量所占的比例还很小。如预测石油资源量 940 亿 t、天然气 $43\times10^{12}m^3$、地下 1000m 以内范围内煤的资源量 32800 亿 t，石油、天然气、煤的探明储量仅分别为预测资源量的 18%、2.8%和 31.4%。金矿、铜矿、锰矿等已探明储量仅相当于预测资源量的 1/4～1/5，大部分非金属矿产的资源远景也很大。

## 二、机遇与挑战并存

（一）世界矿业形势

20 世纪 90 年代中期以来，随着世界经济的发展，世界矿业出现了新的变化：一是许多国家都加大了矿产资源的勘查和开发利用的投入，矿产资源探明储量和矿产品产量在不断增长，世界矿业经历了一个相对稳定的繁荣时期。但是从 1997 年下半年开始，由于亚洲金融危机的影响，能源矿产品市场萎缩，价格下滑，世界矿业开始出现萧条；二是世界各国尤其是西方发达国家在矿业内部进行了广泛深入的结构调整，其中包括矿业企业的现代化，产品结构调整，技术更新，吸引外资，关闭严重亏损矿山和边际矿山，矿业企业之间合作和重新组合以及互相参股，建立更为密切的联合形式，并不断派生出具有市场竞争力的新企业等等，致力于提高自身的竞争能力；三是国际矿业合作加强，矿业国际化愈加明显，跨国公司的竞争日益激烈，已出现世界资源再分配的格局；四是发展中国家为了发展本国经济，都在致力于改善本国的投资环境，修改矿业法规，修改税制，加紧必要的基础设施建设等；五是调整矿产品结构，增加适销对路的深加工产品，提高创汇率等等。

（二）中国矿业发展趋势

当今世界矿业形势，给中国矿业带来了前所未有的发展机遇。中国矿业自进入 20 世纪 90 年代以来，进行了一系列改革，取得了可喜的进展。

（1）深化改革，对外开放。由政府提供资金的单一投资渠道已逐步为多元化的投资

渠道所代替，多种经济成分的矿山企业越来越多，引进外资的工作也有进展，尤其是随着矿产资源法及其配套法规的修改和实施，矿业权开始进入市场，矿业结构和矿产品的结构也在逐步调整等等。

中国实行利用国内外两种资源、两个市场的政策，实行改革开放的政策，而且还将进一步扩大。目前，中国正致力于制定和完善外商来华投资勘查开采矿产资源的有关法规和中国企业到国外进行风险勘探开采矿产资源的有关政策，以及加强基础设施建设等，投资环境将得到不断改善。

矿产资源领域的双向开放，将促进中国进入国际矿业经济大循环并积极参与国际竞争。可以预见，未来一二十年，中国矿业将更加开放，进入一个与国际合作的更加美好的新时期。

⑵ 结构调整，体制创新。中国矿业在实行计划经济时期，地勘单位和矿业企业都是清一色的国有企事业性质，生产计划和经营管理都得听从上级主管部门的安排，政事不分，政企不分，严重影响了企事业单位的积极性。产品规格、型号单一，产品结构不合理，粗放经营，效益低下，缺乏竞争能力。在新形势下，这种体制和管理模式已严重阻碍了矿业的发展。

为了适应社会主义市场经济的要求，跟上世界的潮流，中国矿业体制和结构，将有以下几个主要方面的发展趋势：

①中国矿业企业体制将由单一的国有经济，向具有多种经济成分的所有制方向发展。

②矿产勘查单位，将由事业单位向企业化方向发展。

③矿业企业将从政府部门的直接管理下脱钩出来，实行探采、选冶、销售、出口等纵向联合，组建探采选冶一体化，产销工贸一体化的企业集团，以及跨地区、跨省、甚至跨国的各类矿业公司，在国际矿业经济大循环中振兴和发展我国矿业和矿产品进出口贸易事业。

④矿业企业将由单一产品向多种产品结构，由单一经营向多种经营方向发展。

⑤矿产品加工企业，将由生产初级产品向生产深加工产品方向发展。

⑥矿业企业的经营方式，将由粗放型向集约型方向发展，实现规模经营，发挥国有大矿山企业的骨干作用。

# 第二章 矿产地质勘查

## 第一节 矿产勘查的概念

### 一、矿产勘查的概念、目的、任务

矿产勘查亦称矿产资源勘查或矿产地质勘查。它是在区域地质调查研究的基础上，根据国民经济和社会发展的需要，运用地质科学理论，使用多种勘查技术手段和方法对矿床地质和矿产资源所进行的系统研究工作。矿产勘查是矿产普查、矿产详查与矿产勘探的总称。

矿产勘查的目的是通过地质、矿产资源的调查研究工作，发现、探明矿产资源，保证国民经济建设和社会发展的基本需要。

矿产勘查的基本任务是根据国民经济建设和社会发展的需要，寻找或查明具有经济价值的工业矿床，为国民经济建设提供矿产资源依据，为矿山企业建设提供矿物原料基地和矿产储量。

矿产勘查工作是一种特殊性质的生产劳动，是一种具有科学研究与生产实践双重性质的一项科研一生产性的工作，也是国土资源调查的一项基础工作。矿产勘查工作的意义主要取决于它在国民经济中的地位和作用两个方面。矿产勘查工作是对地质、矿产资源进行调查研究工作，目的在于发现、探明矿产资源，保证国民经济建设和社会发展的基本需要。矿产勘查所服务的方向及涉及的内容极为广泛，它既为基础产业服务又为基础建设服务，既为矿业、农业服务也为高技术产业服务。它是基础产业的基础，是基础设施建设的先导。

我国矿产勘查工作，在党和政府的关怀重视下，有了突飞猛进的发展，为建立我国的矿产体系打下了比较充足的资源基础。到目前为止，我国已发现矿产 171 种，其中探明储量的矿产资源有 156 种，在世界已探明的矿产资源中占有重要的作用。矿产勘查的丰硕成果，促进了矿业的发展，也推动了钢铁、有色金属、化工，建材、非金属材料等工业的大发展。这也说明了矿产勘查工作已成为我国现代化建设中一个极为重要的支柱。

矿产资源是经济建设和社会发展的重要物质基础和工业化的基本食粮，也是增强综合国力和进行国际竞争的重要筹码。矿产资源丰富及其利用程度是影响国家经济实力和发展潜力的重要因素，直接关系到国民经济各行各业的发展和人民的生活。对于像我们这样的大国，保证尽可能多的矿产能够自给并有足够的矿产储备更是一件有战略意义的大事。这对保证我国经济社会长期持续、稳定、协调地发展，将起着非常重要的作用。因此，必须切实加强矿产勘查工作，并且要适当地超前于国民经济发展，为建设现代化的社会主义强国提供丰富的矿产资源。

## 二、矿产勘查阶段划分

矿产勘查是对地质、矿产进行调查研究和获取信息的过程，是查明矿产资源或矿产储量以及矿产开发等基础地质信息的过程。这个过程不可能一次完成，需要分阶段并依次进行。矿产勘查阶段的划分是由勘查对象的性质、特点和勘查生产实践需要决定的，或者说是由矿产勘查的认识规律和经济规律决定的。阶段划分的合理与否，将影响到矿产勘查与矿山设计、矿山建设的效率与效果。它历来为世界各国勘查学者和广大从事矿产勘查与矿业开发及管理的人们所重视。

我国矿产勘查阶段的划分，从 1949 年 10 月 1 日以来直到 1986 年，全国各地质部门也未完全统一起来，基本上是划分为四个阶段或三个阶段。一直到 1988 年对矿产勘查阶段做了新的规定，将矿产勘查工作划分为普查、详查、勘探三个阶段。1999 年我国颁布了《固体矿产资源/储量分类》国家标准（GB/T17766—1999），将矿产勘查划分为预查、普查、详查、勘探四个阶段。

1. 预查阶段：依据区域地质和（或）物化探异常研究结果、初步野外观测、极少量工程验证结果、与地质特征相似的已知矿床类比、预测，提出可供普查的矿化潜力较大地区。有足够依据时可估算出预测的资源量，属于潜在矿产资源。

2. 普查阶段：是对可供普查的矿化潜力较大地区、物化探异常区，采用露头检查、地质填图、数量有限的取样工程及物化探方法，大致查明普查区内地质、构造概况；大致掌握矿体（层）的形态、产状、质量特征；大致了解矿床开采技术条件；矿产的加工选冶性能已进行了类比研究。最终应提出是否有进一步详查的价值，或圈定出详查区范围。

3. 详查阶段：是对普查圈出的详查区通过大比例尺地质填图及各种勘查方法和手段，比普查阶段密的系统取样，基本查明地质、构造、主要矿体形态、产状、大小和矿石质量，基本确定矿体的连续性，基本查明矿床开采技术条件，对矿石的加工选冶性能进行类比或实验室流程试验研究，做出是否具有工业价值的评价。必要时，圈出勘探范围，并可供预可行性研究、矿山总体规划和作矿山项目建议书使用。对直接提供开发利用的矿区，其加工选冶性能试验程度，应达到可供矿山建设设计的要求。

4. 勘探阶段：是对已知具有工业价值的矿床或经详查圈出的勘探区，通过加密各种采样工程，其间距足以肯定矿体（层）的连续性，详细查明矿床地质特征，确定矿体的形态、产状、大小、空间位置和矿石质量特征，详细查明矿体开采技术条件，对矿产的加工选冶性能进行实验室流程试验或实验室扩大连续试验，必要时应进行半工业试验，为可行性研究或矿山建设设计提供依据。

## 三、矿产勘查的发展概况

矿产勘查作为一门学科是随人类社会对矿物原料需要的增长和找矿勘探、矿业开发生产实践经验的积累以及地质科学理论发展而产生和发展的。它的发展大体上可划分为三个阶段：

萌芽阶段：在 16 世纪中叶到 18 世纪末由于采矿、冶金等工业逐渐发展，找矿和采矿实践中积累起来的关于找矿的知识日益丰富，使某些学者有可能进行初步的归纳和总结，矿产勘查学就开始了它的萌芽阶段。这时对于矿床露头特点及矿床存在地面标志，追索矿床的标志等方面已有了一些见解，而且也形成了个别的找矿方法，如根据河流砾石找矿等。

“原始”的矿产勘查学形成阶段（1825～1939 年）：在这个阶段出现了对个别类型、个别矿种的找矿勘探理论与方法的著作，如《层状及脉状矿床的勘探》（1899）、《金矿的普查与勘探》（1899）、《勘探作业方法教程》（1929）等。1922 年第一次在原苏联的高等矿业学校开设了《勘探作业》课程。

“近代”的矿产勘查学形成和发展阶段（1940 至今）：1940 年原苏联学者 B.M. 克列依特尔在综合大量的各国矿产勘查实践经验和理论的基础上，编著了《矿床的普查与勘探》一书，从而为矿产勘查学奠定了比较完整的科学体系。之后有大量学者对矿床勘查理论和方法进行系统研究并发表了许多专著，如 B.И. 斯米尔诺夫的《矿物原料储量计算》（1950）和《找矿勘探地质学原理》 （1957）、A.B. 卡日丹的《矿床勘探的方法基础》（1974）、《矿床勘探学》（1977）和《矿床的普查与勘探》（1984）。

我国的矿产勘查的发展，在旧中国由于处于半封建、半殖民地的地位，社会生产力和生产技术水平较低下，矿业发展缓慢，矿产勘查仅为矿业生产中的附设部分，仅有人撰写出一些矿种找矿或勘探的著作，尚未形成独立系统的学科。新中国成立后，在中国共产党领导下地矿事业迅速发展，为了满足国民经济建设对矿产资源的需要，在全国范围内开展了大规模的矿产普查、勘探工作，于是矿产勘查学迅速地从原苏联传入，并且很快地在我国得到发展，有力地指导了我国矿产勘查工作的实践。到目前为止，不仅根据我国自己的矿产勘查实践经验，编制了一系列有关矿产勘查规范，而且也发表了许多有重要意义的文章和专著。如北京地质学院及长春地质学院合编的《找矿勘探地质学》

(1961)，朱家珍主编的《找矿勘探地质学》(1986)，侯德义主编的《找矿勘探地质学》(1984)，赵鹏大等编著的《矿床统计预测》 (1983)，侯德义等编的《矿产勘查学》(1997) 等等。

目前，矿产勘查学已成为我国各高、中等地质院校地质矿产等专业的一门主干课程，为培养矿产勘查及矿产地质的中、高级人才起着重要的作用。

随着现代科学技术的飞快发展和人类对矿产资源需求急剧增长，矿产勘查工作面临新的形势，矿产勘查学必将产生重大变革而出现新的发展趋势。这就是加强成矿规律及成矿预测研究；采用综合方法、开展立体找矿；重视矿产勘查的经济效益分析；加强矿床勘探理论的研究；电子信息、遥感探测等新技术新方法应用。

## 第二节　矿产勘查工作程序

### 一、矿产勘查的基本原则

矿产勘查基本原则一直是矿产勘查讨论的一项基本内容，不同专家、学者曾提出过不同见解。矿产勘查是一项国家建设的战略任务，关系到国家建设的中长期规划，影响深远，所以要遵循一定原则进行。它们是：

1. 因地制宜原则　这个原则是矿产勘查的最基本和最重要的原则，这是由矿床复杂多变的地质特点和勘查工作性质决定的。大量勘查实践的经验证明，只有从矿床实际情况出发，实事求是地决定勘查各项工作，才能取得比较符合矿床实际的地质成果和更好的经济效果；如果脱离矿床实际，主观臆想地进行工作，必然使勘查工作遭到损失和挫折。而要想做到按照客观矿床实际情况部署各项工作，必须加强对矿床各方面特点的观察研究工作，同时又要加强与矿山设计建设单位的联系，以便使矿产勘查工作既符合矿床地质实际，又能满足矿山设计建设的需要。

2. 循序渐进原则　这个原则反映了人们对矿床认识过程的客观规律。认识过程不可能一次完成，而是随着勘查工作的逐步开展而不断深化，故矿产勘查应本着由粗到细、由表及里、由浅入深、由已知到未知的这一循序渐进原则。矿产勘查工作不可任意超越程序阶段的规定。

3. 全面研究原则　这是由矿产勘查的目的决定的，反映在对矿床进行地质、技术和经济全面的研究评价，克服矿产勘查的片面性，实现全面阐述矿床的工业价值。

4. 综合评价原则　自然界的矿床几乎没有单矿物矿石存在，它们都含有或多或少的有益组分，因此涉及矿产的综合利用，它对矿床的价值起到至关重要的影响，使矿床

由单一矿产变为综合矿产，使无意义的贫矿变为可供开发利用的工业矿床。

5. 经济合理原则　经济合理原则是矿产勘查的基本原则中非常重要的原则。矿产勘查本身就是一项经济活动，它受经济规律的制约，因此在矿产勘查过程中自始至终都要重视经济合理的原则。在保证矿产勘查程度的前提下，用最合理的方法，最少的人力、物力、财力的消耗，在较短时间内取得最好的地质成果和最大的经济效果。

## 二、矿产勘查的工作程序

进行任何一个矿产勘查项目的工作，一般应遵循立项论证、设计编审、组织实施、报告编审四个程序。

1. 勘查项目的确立和论证（立项论证）　矿产勘查工作在实际上总是以勘查项目为基本的工作对象的。所谓勘查项目是指：凡根据经济建设和社会发展需要纳入计划的，或接受委托的，在指定地区，以客观地质体或矿体为研究对象，完成特定的勘查任务，独立编制设计，进行地质作业，并提交勘查报告的矿产地或工作地区，即为勘查工作项目，简称勘查项目。矿产勘查项目按工作阶段分：预查、普查、详查、勘探工作项目。矿产勘查项目的立项论证是勘查项目管理过程中首要环节，也是重要的环节，矿产勘查工作的社会经济效益就取决于立项论证。立项论证的中心是解决矿产勘查项目正确确立的问题，要全面收集、分析勘查项目的各种地质矿产资料，进行技术、经济论证，提出立项建议。

2. 勘查设计的编制和审批（设计编审）　矿产勘查项目确定之后就要制定勘查工作的活动方案——勘查设计。各类勘查项目设计编制均大同小异，各有所重。一般要求做到任务明确、部署合理、方法得当、措施有力、技术可行、经济合理。设计编写完毕要上交主管部门审批，只有经过上级批准之后才能具体实施。

3. 勘查工作的组织与实施（组织实施）　勘查工作的组织与实施，必须严格按照设计进行。在实施过程中要协调好各项工作，取全、取准基础资料，加强质量监控和综合研究，发现问题及时处理，必须时可根据实际情况修改设计，涉及重大问题要报原审批单位批准。各类勘查项目工作组织与实施，具体应参照 1992 年国家颁布矿产勘查的有关规范执行。

4. 勘查报告的编制和审批（报告编审）　矿产勘查报告是矿产勘查工作的总结和最终成果。勘查报告是为勘查区是否进一步进行工作、矿区总体规划或矿山建设设计提供依据。勘查报告编写工作必须在取全、取准第一性资料并符合相应勘查项目规定的工作程度基础上进行；报告要做到客观、真实，全面地反映勘查工作成果；报告内容要讲究针对性、实用性和科学性，重点突出、内容清晰、结论明确。勘查报告编制完成应按有关规定呈报上级主管部门审批和汇交。

# 第三章　矿产预测、探矿及矿床勘探

## 第一节　矿 产 预 测

### 一、矿产勘查地质条件

矿产勘查的工作对象是矿床和矿体。找矿是矿产勘查的简称。矿床的形成是地壳历史发展某一阶段中的产物。一个矿床的形成往往是各种地质因素综合作用的结果。那么矿床的形成和分布规律是受到一定地质因素所控制。因此，在矿产勘查工作中，把这些控制矿床形成和分布的各种地质因素称为找矿地质条件。

在矿产勘查中对找矿地质条件的研究，可以掌握成矿规律，从而指导矿产勘查工作。因为不同成因类型的矿床，其找矿地质条件不同；不同的地区也具有不同找矿地质条件，其形成矿床类型及分布也不相同。所以在矿产勘查的实际工作中，认真分析和研究找矿地质条件，进行矿产预测，合理选择、使用矿产勘查方法，正确评价矿产，这是矿产勘查的一项首要工作。

找矿地质条件主要有：岩浆岩、地质构造、地层、岩相、古地理、岩性，变质作用、地球化学、风化、地貌条件等。

（一）岩浆岩条件

矿床的物质来源（特别是内生矿床）的重要方面是由岩浆活动所提供的。岩浆岩与内生矿床之间存在较复杂的成因、空间和时间联系。一定类型矿床的形成及分布与一定类型的岩浆活动有关。所以，在勘查区分析各种岩浆活动对矿化的控制作用，来预测和指导岩浆岩区的矿产勘查工作有着重要的意义。

1. 岩浆岩成分特征与成矿关系

由于岩浆岩成分和地球化学特征不同。其成矿专属性也各不相同，它反映出一定类型的矿床专属于一定的类型的岩浆岩（图 2－3－1）。因此，在矿产勘查中，某些岩浆岩体的存在，可以作为预测与其有关的矿床的地质条件。

（1）与基性、超基性岩有关的矿床

基性岩、超基性岩是组成地球的主要岩石之一，它在大陆上常以小侵入体和层状杂岩沿构造带分布。与其有关的金属矿产主要有 Cr、Mi、Co、Pt、Ti、Cu、Fe 等；非金属

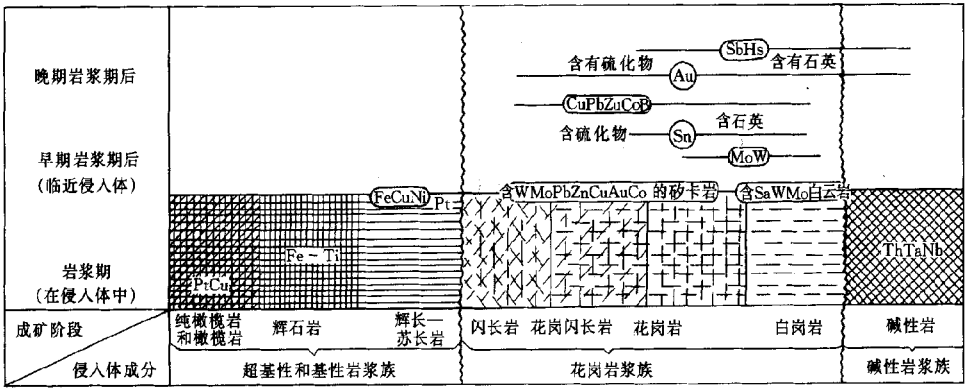



图 2－3－1 各类岩浆岩与金属矿床的关系（据 В.И. 斯米尔诺夫）

矿产有金刚石、石棉、滑石、冰洲石等；与碱性超基性岩有关的矿产有 Nb、Ta、Ce 族稀土、磷灰石、金云母等。

在预测、找寻与超基性、基性岩体有关矿床中，研究岩体化学成分和地球化学特征，可以帮助评价岩体的含矿性。如我国多数具有工业价值的铬铁矿矿床及铂矿床，常与 $m/f$n 比值（$m/f = [Mg^{2+} + Ni^{2+}] / [Fe^{2+} + Fe^{3+} + Mn^{2+}]$）大于 6.5 含镁质较高的纯橄榄岩，斜辉橄榄岩有关；铜镍硫化矿床则多产于 $m/f$ 比值为 2～6.5 含铁质较高的橄榄岩、辉长岩和紫苏辉长岩中。

（2）与中酸性、酸性岩有关的矿床

中酸性、酸性岩是组成地壳硅铝层的主要岩石。以花岗岩来说，在我国出露约占全国面积的 9%。与中酸性、酸性岩有关的矿产种类很多，如 W、Sn、Mo、Cu、Pb、Zn、Au、Ag、Fe、U 等矽卡岩矿床或热液矿床。

据已有资料研究说明，不同成因的花岗岩有着不同的演变历史，不同的物质来源，其成矿专属性也不一样。目前一般认为大体可归纳为二类成因花岗岩，它们各自具有相关的矿产。一类为壳源型（S 型）花岗岩，为地壳上部硅铝层重熔再生而形成的中酸性－超酸性交代侵入杂岩体，与其有关的矿产主要是 W、Sn、Bi、Mo、Be、Nb、Ta、放射性铀等，大多数成矿元素以亲氧元素为特征。另一类幔源型花岗岩（I 型），为来自地壳深部或上地幔岩浆源形成的中酸性－弱酸性岩浆岩或潜火山杂岩，与其有关矿产主要是 Cu、Mo、Pb、Zn、Au、Ag 等，成矿元素以亲硫元素为特征。

由于中酸性岩浆岩与成矿关系复杂，因此着重中酸性岩的化学成分的研究，对成矿预测起着重要作用。如我国上个世纪 50 年代一些研究成果证明，随 $SiO_2$、$Al_2O_3$ 等增加，依次出现的石英闪长岩—花岗闪长岩—斜长花岗岩—黑云母花岗岩—白岗岩，相应的矿产是 Fe—Cu—Mo—W—Sn。随后，进而注意到碱度及其与矿化的关系，特别是 $K_2O$、$Na_2O$ 及其比值的变化，对指示岩体成矿专属性有着重要意义。如富 Na 成铁，富

K 成铜；Be、Nb、Ta 则与强碱性花岗岩有关；富 Sn 的花岗岩 K 远高于 Na，并含有大量的 B。此外，对岩石中挥发分成分和成矿元素的研究，也可以揭示岩体的含矿性。如云南个旧锡矿的花岗岩，锡矿好的岩体，含 F 量一般大于 $2000 \times 10^{-6}$。又如赣南与钨矿有关的花岗岩体含钨量为 $2.2 \times 10^{-6} \sim 212 \times 10^{-6}$，高出正常平均含量（$1.5 \times 10^{-6}$）的 0.5 ~ 140 倍；鄂东与铜矿有关花岗闪长岩体含铜量，普遍高于克拉克值的 10 ~ 100 倍。

（3）与碱性岩有关的矿床

岩浆岩富含钾、钠，特别是钠质，反映在岩石化学成分是 $Na_2O + K_2O > Al_2O_3$，即为碱性岩。碱性岩体岩性复杂，出露不广泛，通常产于深断裂带中。与碱性岩有关的矿产有 Nb、Ta、Zr、Hf、U、Th、Al 和稀土等，且多为岩浆矿床。

碱性岩中，已知与稀有金属矿化最密切的为碱性正长岩和霞石正长岩。其矿化作用与岩浆结晶分异作用和晚期交代作用有关。结晶分异作用表现在岩体分带性明显，矿物分离成带，矿化局限一定的岩相带中，稀有金属矿物在岩体中呈浸染状分布。交代作用主要有钠长石化、霓石化和钠闪石化，其次为碳酸盐化和萤石化。钠交代作用与 Nb、Zr 矿化关系密切；碳酸盐化常与 Nb、稀土矿化关系密切。因此，霓石、钠闪石大量出现，可以作为找锆石及铌铁矿的有利标志；碳酸盐、重晶石的大量出现，可以作为寻找氟碳铈矿等铈组稀土矿床的有利标志。

2. 岩浆活动时代与成矿时代关系

我国地质历史上岩浆活动是多期次、多旋回的。大的岩浆活动与大的地壳运动有关。因此，不同时代的岩浆活动，产生不同类型的矿产（表 2 - 3 - 1）。

表 2 - 3 - 1　　我国各期侵入岩及一般内生矿产一览表

| 侵入期 | | | 距今年龄（亿年） | 主要分布地区 | 岩石类型 | 有关矿产 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 新生代 | 喜马拉雅期 | | 0.30 | 西藏、台湾等地 | 超基性岩、石英闪长岩及花岗岩 | 铬矿及金、铜、铅、锌 |
| 中生代 | 燕山期 | 晚期 | 1.40 | 中国东部地区及滇西，西藏、喀喇昆仑山 | 花岗岩、闪长岩、二长岩及与成矿有关的火山岩 | 锡、钨、钼、铅、锌、铜、汞、锑、脉金、萤石、明矾石、叶蜡石、重晶石、压电石英、水晶 |
| | | 早期 | 1.95 | 中国东部地区及滇西、西藏 | 黑云母花岗岩、花岗闪长岩，基性 - 超基性岩及与成矿有关的火山岩 | 钨、锡、铋、钼、铁、铜、铅、锌、铍、铬、镍、钛、铂、石棉、叶蜡石、明矾石 |
| | | 未分 | | 东北北部、内蒙古北部及秦岭 | 花岗岩、白岗岩、斜长花岗岩、花岗斑岩、基性岩 | 钼、铜、铅、锌、金、萤石、水晶、钒钛磁铁矿 |
| | 印支期 | | 2.30 | 南岭、海南岛、川西、滇西、秦岭、南祁连山 | 黑云母花岗岩、石英闪长岩、辉长岩 | 铁、云母、稀有金属、并有铜、铁矿化 |

续表

| 侵入期 | | | 距今年龄(亿年) | 主要分布地区 | 岩石类型 | 有关矿产 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 晚古生代 | 化力西期 | 晚期 | 2.70 | 东北北部、内蒙古北部、天山、昆仑山、滇西、川滇边区及台湾 | 花岗岩、基性超基性岩 | 铁(伴生稀有元素),钨、锡、钼、铅、锌、金云母、铍、水晶、铬、铜、镍、钒钛磁铁矿、石棉 |
| | | 中期 | 3.20 | 大小兴安岭、内蒙古北部、天山及川滇边区 | 黑云母花岗岩、花岗闪长岩、基性－超基性岩 | 铁、铜、铅、锌、云母、水晶、压电石英、铬、镍、钴、菱铁矿、钒钛磁铁矿 |
| | | 早期 | 3.75 | 阿尔泰、准噶尔地区、天山、川滇地区、内蒙古北部、祁连山、昆仑山 | 基性－超基岩性、花岗岩、花岗闪长岩 | 铬、铜、镍 |
| 早古生代 | 加里东期 | 晚期 | 4.40 | 南岭、内蒙古北部、天山 | 黑云母花岗岩、花岗闪长岩 | 与金矿关系密切 |
| | | 早期 | 6.20 | 北祁连山、北山及贺兰山 | 基性－超基性岩及变质火山岩 | 铬、铂、铜、镍及铁 |
| 震旦纪 | | | 约 16 | 秦岭、华北等地 | 花岗岩、闪长岩等 | |
| 早元古代 | | | 20 | 辽东、华北及华南 | 花岗岩、花岗闪长岩、花岗斑岩、基性－超基性岩 | 铜、铅、锌、金、铬、镍、铁、滑石、石棉、菱铁矿 |
| 太古代 | | | | 东北及华北地区 | 花岗岩类、基性－超基性岩 | 云母、稀有元素、金、铜、镍、铬及铁、硼 |

这在环太平洋成矿带以及我国岩浆岩时代研究中均已得到证实。我国华南主要是燕山期花岗岩，与其有关的有铜、铁、钨、锡、铍、铌、钽、铅、锌、锑等有色和稀有金属矿产。在南美环太平洋东岸则主要是新生代的岩浆岩，与其有关的则是驰名世界的铜矿等金属矿产。

此外，岩浆活动往往是长期演化多阶段作用的结果。同期不同阶段其富集成矿元素往往也不相同。如我国华南燕山期，早阶段为 W、Sn、Be、Mo、Ta 等成矿；到晚阶段，W 变少，而 Sn、Be、Nb、Ta、U、Cu、Pb、Zn 等则更重要。

3. 岩浆岩的空间分布与成矿关系

岩体的规模及形态、形成深度和剥蚀程度的分析对指示有利矿化部位、矿床保存程度等都极为重要。

(1) 岩体的规模及形态

对基性、超基性和碱性岩体来说，通常岩体规模越大矿床可能越大；其形态以分异完善交代作用强烈的岩盆、岩床或似层状岩体对成矿有利。如我国西北、西南等地的铜镍硫化矿床就反映该特征。中酸性侵入岩体的规模往往是中小型的与成矿关系密切。其形态凹凸不平极不规则，在凸起处和凹入处，岩体“超覆”于围岩之上，岩体下盘、岩株边缘以及大侵入岩周围小岩枝、岩脉分支处等最有利于成矿。如我国华南大中型钨矿床主要与中小型岩体有关。

(2) 岩体形成深度

岩体形成深度不同，其物理、化学环境也不一样，这对岩浆分异，矿质的析出、聚集却起着重要作用。例如：中酸性、酸性的侵入岩体不同的冷凝深度，就有不同的矿化情况。深成相以伟晶岩矿床为主，浅成相则以矽卡岩型矿床及热液矿床形成为主。

(3) 岩体剥蚀深度

为数众多的热液矿床和矽卡岩型矿床，产于中酸性侵入岩体的顶部及其附近的围岩中，所以岩体剥蚀程度在一定意义上意味着与其有关矿床出露和保存程度。当剥蚀程度浅，未及岩体顶部时，可达到低级变质作用产物和一些岩脉分布，是找 Pb、Zn、Hg、Sb 等低温矿床有希望地区。当剥蚀程度中等，达到岩体顶部，岩体呈岛状分布时，各种变质作用较强烈，是找寻各种热液矿床和矽卡岩型矿床的有利地区，中酸性岩体大面积出露，剥蚀深度很深时，对找矿一般不利。

4. 矿床与岩体的空间关系

矿床在岩体内外空间分布规律，为历来地矿工作者所重视。有三种情况：

(1) 产于岩浆岩体内部的矿床（图 2－3－2）这主要是分布于超基性、基性、碱性岩体中的矿床，也有一些铜、钨、锡矿床分布于中酸性岩体中。例如我国许多镍矿产于基性、超基性岩体内部，华南的钨工业矿体往往富集于花岗岩的顶部。此类矿床的矿化富集程度往往与岩体的大小、分异程度及交代作用发育情况有关。

(2) 产于岩体与围岩接触带及其附近矿床（图 2－3－3）多为在成因上与中酸性岩体有关的矽卡岩型矿床、高温热液矿床。其矿体一般分布在岩体接触带及附近的构造或岩性有利部位。矿种繁多，如 Fe、Cu、Pb、Zn、W、Sn、Li、Be 等黑色金属，有色金属和稀有金属矿床。

(3) 远离岩体的矿床　主要有各种类型的中、低温热液矿床。矿产远离岩浆岩体，其距离可达数百米至数十千米，与岩浆活动无直接联系，主要受有利的岩性和构造控制。

5. 火山岩与成矿关系

火山岩为岩浆岩条件的一个特殊条件。在地质历史中，火山活动也形成不少矿床。如火山岩型铁矿仅决于沉积变质和风化壳型而位于第三，其中富矿多达 60%。我国火山岩型矿床众多，显示出广泛的找矿远景。与火山有关的矿产有 Fe、Cu、Pb、Zn、Au、

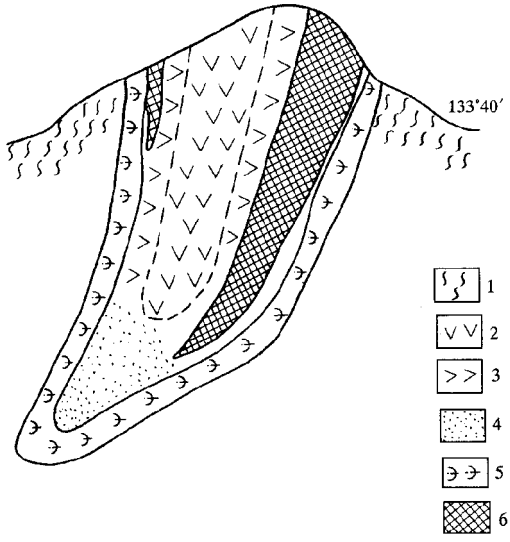



图 2－3－2 产于岩体内部的矿床

（据北京市地矿局 101 队剖面资料简化）

1—片麻岩；2—纯橄岩；3—辉橄岩；4—橄辉岩；5—辉石岩；6—铬铁矿体

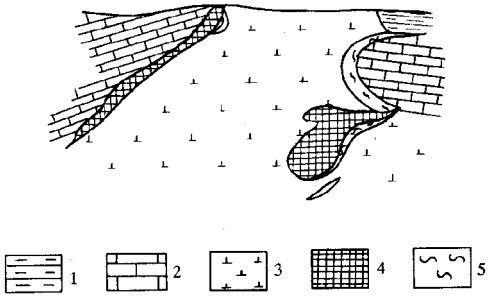



图 2－3－3 产于岩体接触带及其附近的矿床

1—中石炭统；2—中下奥陶统；3—闪长岩；4—铁矿体；5—矽卡岩

Ag、Hg、U、稀土、金刚石、沸石、明矾石、叶蜡石等等。

火山活动中形成的矿床，就火山岩本身来说，它既是成矿的母岩，又是成矿的围岩；同时火山活动所产生的各种构造，对矿床的分布起着一定的控制作用。因此，研究火山岩与成矿关系，主要从火山岩的岩性和火山构造等方面进行综合分析。

（1）火山岩岩性控制 在火山岩地区，火山岩类型及其岩石化学特征，特别是富碱程度和基性程度，对成矿有明显控制作用。如金刚石主要产于爆发岩筒中的超基性的火山岩一金伯利岩中；黄铁矿型矿床产于海底喷发基性到酸性含钠质的细碧－石英角斑岩系中；“玢岩铁矿”产于富钠的中基性火山岩中；斑岩铜矿产于富钾的中酸性次火山岩和火山岩中等等。因此说，火山岩的成矿专属性是十分明显的。

(2) 火山构造控制　火山活动及火山岩的分布与地壳构造变动带有关。它们常受到板块之间和板块内的深断裂带，大陆断陷盆地等区域构造所控制。据遥感资料研究表明，古火山和现代火山往往在空间展现环状构造的特征。从局部地质构造上说，火山穹隆、火山口、火山通道：(图 2－3－4) 以及围绕火山活动中形成的环状、放射状断裂；次火山岩与围岩的接触带；火山岩中的各种断裂等，这些构造部位都有利于矿床的形成。此外，火山活动附近的凹地，常是火山喷发沉积矿床或火山喷溢矿床赋存的场所。

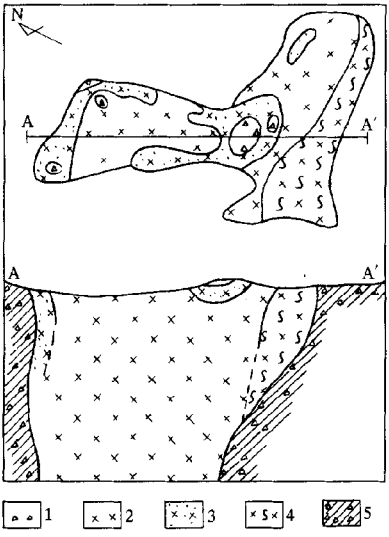



图 2－3－4　火山颈控制的含金刚石金伯利岩岩筒

1—金伯利角砾岩；2—斑状金伯利岩；3—含金伯利岩球的（我国华东）斑状金伯利岩；4—含片麻岩碎屑的斑状金伯利岩；5—太古界片麻岩

### (二) 地质构造条件

矿床的形成及其分布规律，在不同程度上受到一定的地质构造的控制。在矿产勘查中查明矿化与地质构造的关系，对矿产预测和评价矿床都具有重要的意义。

地质构造按规模可分为全球性的（即大地构造）、区域性的和局部的（即褶皱、断裂和裂隙）构造。一般来说，全球性、区域性的构造控制了成矿带分布，而局部的构造与成矿关系最为密切。

1. 断裂构造与成矿关系

不同性质和规模的断裂构造，往往是岩浆、矿液活动的通道与聚集的场所，既控岩又控矿，沿着断裂带或主要断裂形成矿带、矿田或矿床。如我国秦岭地区多金属矿产以及长江中下游多金属矿产分布等。

在矿产勘查中对断裂构造的研究，应从断裂构造控矿的机制出发，查明成矿有利的构造部位。根据大量已知矿床、矿体构造控制特征，从断裂控矿角度出发，一般认为下

列构造部位值得重视。

(1) 不同方向断裂交叉处（图 2－3－5)。主干断裂与次级断裂产生的交叉处。

(2) 断裂产状变化处。在平面上断层走向发生变化扭曲转弯处；在剖面上张性断裂倾角由缓变陡处（图 2－3－6（a))，压扭性断裂倾角由陡变缓处（图 2－3－6（b))。

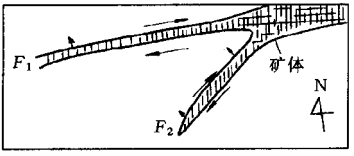



图 2－3－5 广西某金节二组断层交切形成矿体（据陈国达）

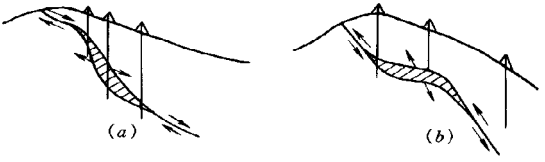



图 2－3－6 断裂产状变化与矿化

（$a$）正断层在倾角变陡的地方；（$b$）逆断层在倾角变缓的地方

(3) 断裂构造与有利岩层交汇处或其他构造交切处等。

2. 褶皱构造与成矿关系

各种褶皱构造对矿床都有明显的控制作用，成矿前和成矿过程中的褶皱及其有关伴生和派生构造（断层、节理、劈理等）均可成为内、外生矿床的有利成矿空间。一般来说，褶皱构造对内生矿床的形成起控制和改造作用，而对外生矿床则主要起改造作用。

对内生矿床而言，应注重成矿前的褶皱。在背斜和向斜两类褶皱中，背斜较向斜更为有利，其主要成矿部位是背斜轴部（图 2－3－7)、倾伏背斜的倾伏端、背斜轴线沿走向弯曲转折处、倒转背斜翼部、与背斜伴生的断裂和破碎带、开阔向斜中次一级背斜、背斜与其他有利构造交汇复合处。如鄂东的 Fe—Cu 矿床，云南个旧锡矿床等。

向斜构造由于构造变形时所处位置较深，围压较大，伴生构造不及背斜发育，不易形成圈闭构造，故对内生矿床控制作用相对较差，而对外生矿床控制则很多，如世界上大型风化壳富铁矿多产于向斜构造中心部分以及地下水资源赋存于向斜中。

3. 裂隙构造与成矿关系

各种节理、劈理等裂隙构造常是断裂和褶皱的派生产物，它们之间存在共生组合的力学联系。节理与劈理分布很广，是重要的一类容矿构造。如我国赣南不少钨矿受节理裂隙控制（图 2－3－8)。节理裂隙对外生矿床有时也起控制作用。如我国东部某第三纪油田，部分油藏即储存于节理等裂隙之中。

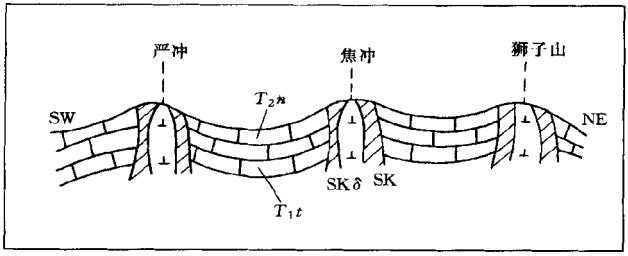



图 2－3－7　驼峰式背斜枢纽与矿化示意剖面

（据 321 地质队）

$T_1t$—三叠系下统塔山组条带状灰岩；$T_2n$—三叠系中统南陵湖组薄层状灰岩；δ—闪长岩；SK—矽卡岩

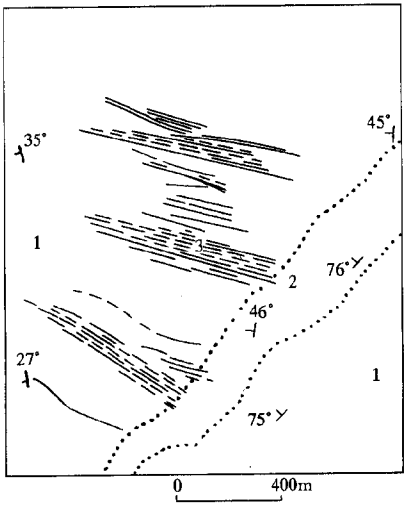



图 2－3－8　节理控制的江西某钨矿床

（据 205 地质队）

1—变质砂岩、砂质权岩、千枚岩互层；2—变质砾状砂岩；3—矿脉

### （三）岩性条件

岩性通常指岩石的化学性质与物理性质。无论是内生矿床或外生矿床的形成，都与围岩的岩性有着一定的联系。对前者是提供适宜成矿的岩层或岩系，对后者则主要是提供成矿物质来源。在矿产勘查中，对岩性条件的研究具有重要的指导意义。

岩石的化学性质是由岩石的类型，成分和结构构造所决定的。就内生矿床来说，岩层能否为气液所交代矿化，除与其所处的地质构造位置，深度等因素有关外，还与其本身的化学性质有关。一般化学性质活泼的岩石易与含矿的气液发生反应而引起矿质的沉淀和聚集。如凝灰岩与熔岩互层，则凝灰岩易于交代；而凝灰岩与灰岩互层时，矿化多集中于灰岩内。此外，还需注意岩石是否有利于矿化，除决定于岩石原始的化学性质

外，往往还决定于经过早期蚀变后的岩石化学性质。如灰岩本身易交代，但经过早期硅化作用以后形成硅化灰岩，其交代作用不如原岩，而千枚岩不易交代，但经过碳酸盐化后，则比原岩易于交代。而外生矿床则是岩石的成分起决定作用，其矿质来源是岩石，所以岩石是否含有矿质成分是外生矿床的成矿物质基础。

岩石的物理性质，如脆性、塑性等对矿化也起一定作用。如页岩与灰岩组合岩层，灰岩表现为脆性特征，易破碎、裂隙度高，利于矿液的流通和交代，是矿液富集的好场所，而页岩表现为塑性，不易破裂，又具不透水性质，阻挡矿液渗漏，使矿液在有利岩层中聚集沉淀成矿。所以岩石物理性质对内外生矿床形成也起到一定的控制作用。

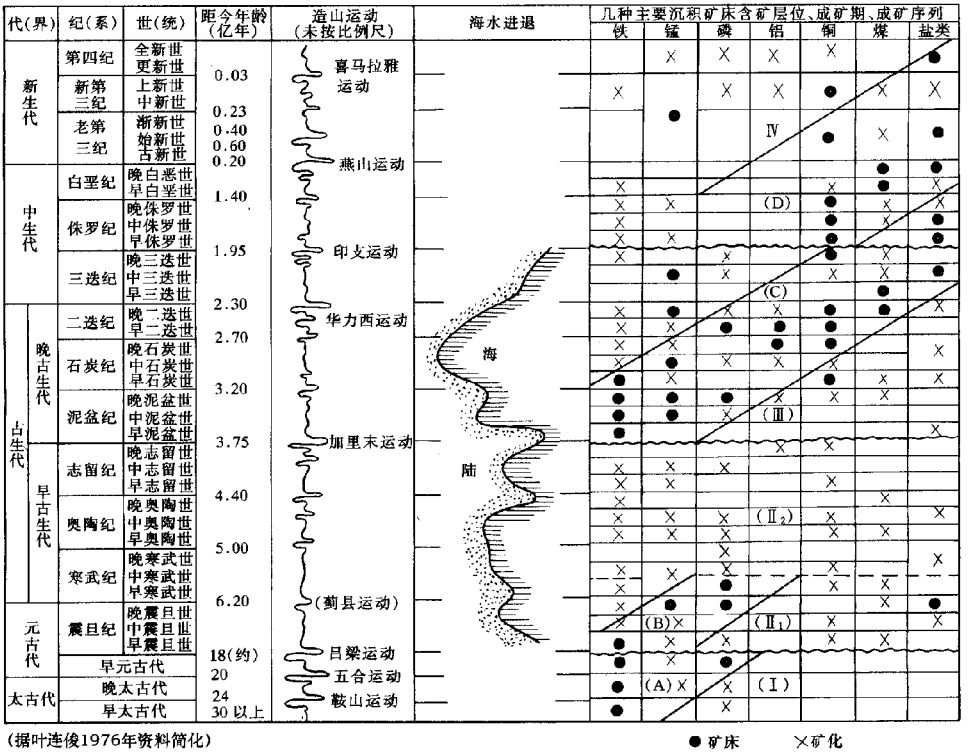
### （四）地层、岩相、古地理条件

为了预测和寻找外生成矿作用形成的各种矿床，深入研究分析调查区的地层、岩相、古地理条件是十分重要的。

#### 1. 地层与成矿关系

地层是一定时代内形成具有一定岩相特征的沉积物。许多沉积矿床的形成与地层有关（表 2－3－2）。地层主要反映在对成矿时代和成矿空间分布的控制。因此在有关矿床的预测和寻找中，应注意在某些特定时代的地层中，按层位进行找矿。多年来，我国

表 2－3－2　　中国沉积矿床成矿时代




（据叶连俊1976年资料简化）　　● 矿床　　×矿化

矿产勘查经验总结表明，绝大多数矿床都是受一定地层或一套地层控制的。例如铁、锰、铝、磷、煤、盐类矿床都具有一定的富集时代和地层层位。世界上 50% 以上的铁矿储量集中在前寒武纪。锰储量也较集中于前寒武纪和二迭纪。最主要的铝土矿集中于石炭二迭纪中。煤主要集中分布于石炭，二迭、三迭、侏罗、第三纪中。所以根据地层预测发现沉积矿产，实际中沿一定地层去找矿，在目前矿产勘查工作是极为重要的。

2. 岩相与成矿关系

岩相是指在一定沉积条件下沉积分异作用结果的产物。从已有资料表明，许多重要的沉积矿床均受特定的岩相控制，存在一定的相变规律，形成特有的沉积矿床分带，这不仅反映了成因特征，而且指出了空间分布规律。如各种沉积铁矿可以具有四个不同的矿物相带（图 2－3－9）；沉积锰矿也有类似的相变特征，A.I. 别捷赫琴将锰矿分为三个相带（图 2－3－10）。上述相变分带，在矿产勘查中极为重要。当首先发现了某一相带时，即应考虑到其他相带的方向和位置，有时开始发现的可能不具有工业意义，但却可导致其后有更重大的发现。

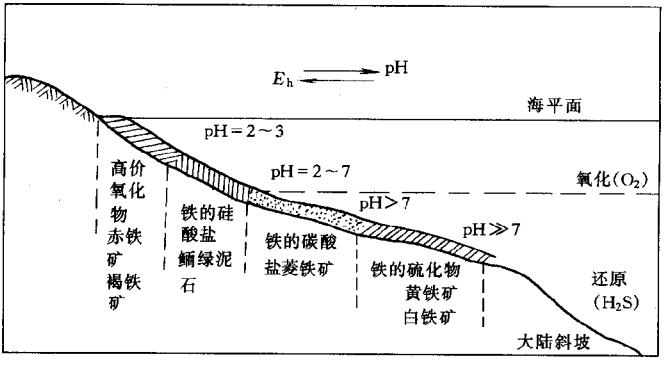



图 2－3－9　沉积铁矿相变示意图

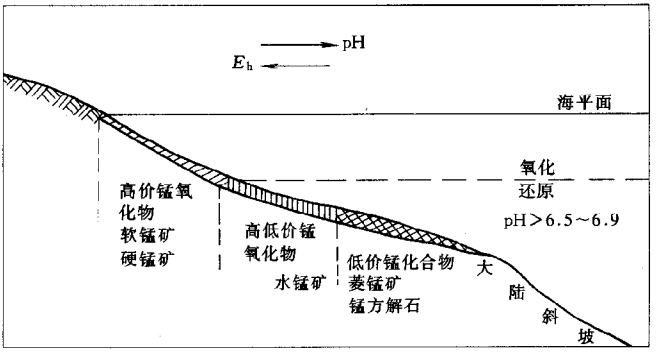



图 2－3－10　沉积锰矿相变示意图

同一矿种表现为相变的矿床分带，不同矿种间则是成矿序列规律。如上述铁、锰等一组矿化，均形成温湿气候下的陆源浅海区，大致分布是从海岸向浅海，依次为铁—锰

—磷的沉积。在矿产勘查中应充分注意这些规律。

3. 古地理与成矿关系

古地理是指某个地质时期的海、陆、水系分布，地势及气候等自然地理情况。它标志着物质沉积时的外在环境。古地理的分析是以岩相研究为基础，从不同的岩组分布和变化来分析当时海陆分布、海水深浅变化、海水进退方向、海水含盐度、古气候变化以及沉积物的来源等。

古地理对沉积矿产控制主要表现为：

(1) 重要沉积矿床多分布在沉积区与剥蚀区的中间地带（古陆边缘、滨海、浅海、泻湖、三角洲等地）。如我国北方震旦纪下部的宣龙式铁矿分布在内蒙古陆南缘（图 2－3－11（b））；我国南方泥盆系的宁乡式铁矿产于江南古陆的边缘（图 2－3－11（a））。

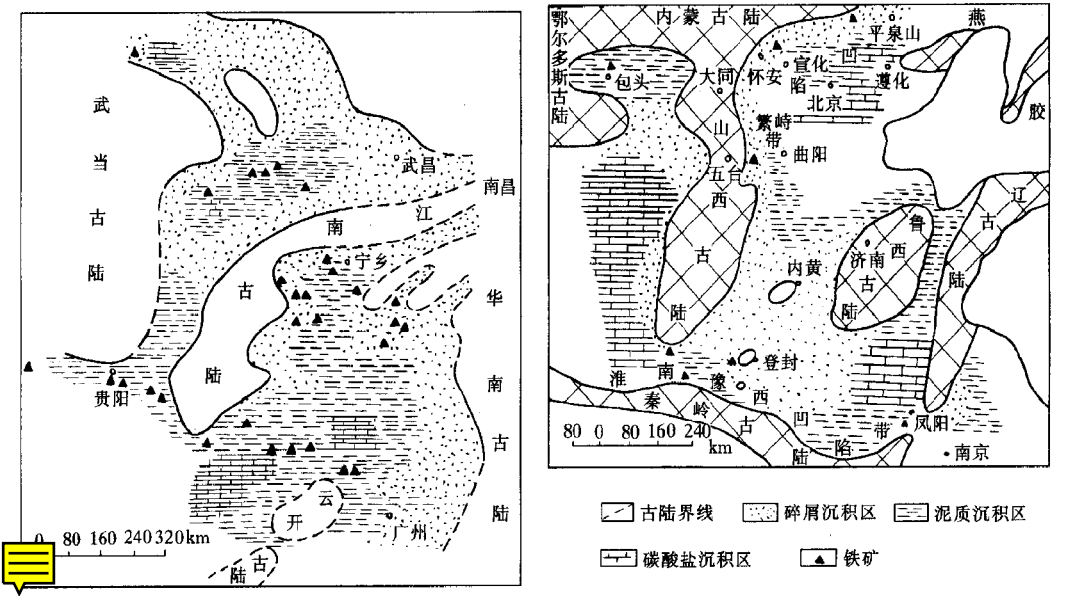



图 2－3－11 我国北方（宣龙）和华南地区沉积铁矿的分布与古地理的关系

（*a*）宁乡式铁矿的分布与泥盆纪古地理图；（*b*）宣龙铁矿古地理位置示意图

(2) 沉积矿床的形成与气候密切相关。按气候条件主要分温湿和干旱两大类，前者以 Fe、Mn、P、Al、煤等成矿序列为代表，各种膏盐矿为干旱气候的代表。两者中间还有些过渡类型的矿种。

(3) 地壳运动也控制外生成矿。因地壳运动引起海、陆变迁，而产生海侵和海退两个不同的序列。海侵阶段形成 Fe、Mn、P 等矿床，多分布于海侵岩系的底部；而海退阶段形成 Cu、盐等矿床；Al、煤为共同过渡产物；稳定阶段则有灰岩、硅藻土等非金属矿床的形成。

（五）变质作用条件

在矿产勘查中，对变质作用条件的研究也很重要。因为在变质岩中蕴藏着十分丰富的矿产。它不仅有非金属矿产，而且还有较多的金属矿产，其中特别是 Au、U、Fe、Mn、Cu、Ni、Co、Cr、云母、石棉、石墨、菱镁矿以及 Li、Be、Nb、Ta 等矿床，它们大部分集中于前寒武纪变质岩中。

在变质岩区开展矿产勘查时，研究变质作用条件主要应从以下方面着手：

1. 变质程度研究

区域变质程度深浅不同，其成矿作用和形成的矿床类型往往不同。如浅变质地区形成的矿床以受变质矿床为主，矿种和类型一般较少；深变质地区则包括受变质矿床、变成矿床以及混合岩化所形成的矿床，矿种和类型较多。研究区域岩石变质程度深浅，通常以岩石中所含（OH）矿物多少，岩石的结构、构造来作为地质压力计和地质温度计，进而按变质程度将其划分为浅、中，深三个变质带。

2. 原岩与含矿变质建造的研究

对许多变质矿床来说，原岩的物质成分及其地球化学特性（含矿性）是影响矿化类型的主要因素。因此，在着重考虑工作地区具体地质特征的情况下，应查明变质建造的含矿特征，从而深入掌握变质矿床的分布规律。在矿产勘查中，一定的含矿变质建造可以作为预测、寻找某些矿种或矿床类型的找矿条件。我国几种常见的含矿变质建造及其岩石组合类型见表 2－3－3。

表 2－3－3　　我国几种常见的含矿变质建造及其岩石组合类型

| 含矿变质建造 | 变质岩石组合 | 原　岩　成　分 |
| --- | --- | --- |
| 含铁质建造（鞍山式变质铁矿建造） | 1　千枚岩—片岩—磁铁矿石英岩；<br>2　角闪质岩石—变粒岩—磁铁矿石英岩 | 安山岩—英安质凝灰岩或黏土质沉积岩、基性火山岩 |
| 含硫化物变质建造 | 1　黑云母斜长片岩、变粒岩、斜长角闪岩、角闪石片岩；<br>2　变质火山岩、片岩、绢云母石英片岩、千枚岩 | 中酸性凝灰岩、角闪质岩石、玄武岩、安山质凝灰岩、黏土质半黏土质沉积岩、富钠质的火山喷发岩、细碧角斑岩 |
| 含磷变质建造<br>1. 金云母—透辉石型含磷变质建造<br>2. 白云母片岩—大理岩型含磷变质建造 | 黑云母片麻岩、辉石斜长片麻岩、紫苏辉石变粒岩、斜长角闪岩等夹大理岩透镜体；<br>白云母片麻岩、大理岩、变粒岩、片岩、磷灰岩 | 黏土质沉积岩（夹碳酸盐岩石）。基性凝灰岩、凝灰质沉积岩<br>海侵沉积碳酸盐岩石及含磷岩石 |

续表

| 含矿变质建造 | 变质岩石组合 | 原 岩 成 分 |
| --- | --- | --- |
| 含硼钠长变粒岩建造 | 电气石变粒岩、钠长变粒岩、斜长角闪岩、大理岩及硅酸盐岩石互层 | 富钠质角斑岩、细碧玢岩；粗面岩、安山岩等似细碧角斑岩系 |
| 富铝含矿变质建造 | 富铝片麻岩、紫苏辉石麻粒岩、长英质麻粒岩等互层 | 高岭石黏土、砂质黏土、铝土矿等 |

（六）地貌和风化条件

地貌、风化条件对于砂矿床和风化矿床的形成与分布有直接的控制作用。

砂矿床及其围岩，都是第四纪沉积物的一部分，它们构成的沉积地貌及其成矿过程，与区域地貌条件和风化作用密切相关。因此，在砂矿床寻找、评价中分析研究地貌形态和第四纪沉积物特征极为重要。例如，湖南某地金刚石砂矿床，主要是阶地砂矿、冲沟—细谷砂矿。阶地砂矿存在于砂砾层中。冲沟—细谷砂矿变化大，若阶地上冲沟未切割到砂砾层，则冲沟、细谷中的金刚石砂矿少，相反则冲沟、细谷中金刚石砂矿就很富集。此规律说明研究地貌单元和第四纪沉积物不仅能查明砂矿分布规律和贫富情况，而且可进一步推测砂矿床来源及破坏情况，提供寻找原生矿床的线索。

风化矿床的形成与分布同样与风化作用和地貌条件有关。原岩（矿）在潮湿气候下，风化作用以化学风化为主；在干旱气候下，则以物理风化为主。对于风化矿床来说，强烈的化学风化作用是有用组分富集成矿的必要条件。但是在强烈侵蚀的地区，地表水径流流失量大，地下水排泄也快，不利于形成风化矿床，即使成矿也极易侵蚀。如果地形平坦，存在着盆地式地带、阶梯式平台，地表水不易流失，地下水也较丰富，这就加速化学风化作用的进行，利于风化矿床的形成。此外这样地区浮土较厚，局部长有植被，风化壳剖面保存完整，其含矿远景也就越大。如我国东南各省花岗岩风化壳高岭土矿。所以对气候、地貌、风化条件研究分析对寻找风化矿床是极其重要的。

（七）区域地球化学条件

区域地球化学特征，主要指区域中化学元素的分布和分配情况，以及迁移、富集的活动史。它是控制内外生成矿的重要因素，在矿产勘查中越来越被人们所重视。分析区域地球化学条件，一般应注意以下几个方面：

1. 元素的丰度　元素在地壳上分布是不均匀的，首先反映元素区域含量与地壳克拉克值对比上，表现出某一元素或某些元素在某地区或某个地质体中相对富集，构成“地球化学区（省）”，即区域地球化学异常。根据元素丰度资料，联系区域地质构造特征和成矿作用分析，所进行的地球化学分区，对区域成矿分析和类比具有重要意义。一般在成矿区中，主要成矿元素在有关岩石中的丰度都比较高。如我国华南钨、锡、稀有

金属成矿区，各时代花岗岩侵入体中 W、Sn、Be、Nb、Ta 等元素的平均含量，普遍高于地壳酸性岩中该元素的平均含量。

2. 元素分布的区域性　元素分布的区域性，构成“矿化集中区”或“矿带”，这些均与区域地质构造特点、地质发展历史密切相关。如我国华南南岭地区大片花岗岩分布，集中不少 W、Sn、Be、Ni、Nb、Ta 等矿床；而在湘中南一带酸性侵入体侵入于碳酸盐岩中，形成 W、Sn、Pb、Zn 等元素富集；到湘西、黔东一带大片碳酸盐岩分布，则是 Hg、Sb 的富集区。根据地球化学研究资料表明，某些区域岩石中含有一定数量的金属元素，在地质作用下，分散在岩石中的金属元素可以反复迁移富集成矿。如山西式铁矿分布区内的一些矽卡岩型铁矿床，其中铁质主要来源之一，即为山西式铁矿层中的铁。

3. 元素的共生组合　由于某些元素地球化学性质近似，所以在地质作用过程中使某些元素常组成同一矿物，如 Nb 与 Ta 形成铌钽铁矿；或者形成共生矿物，如方铅矿、闪锌矿共生，黑钨矿、锡石共生。这些共生组合关系，在矿产勘查中对于确定矿化标志、选择化探指示元素，矿床综合评价等方面都有重要意义。

综上所述，矿床的形成分布均与各种找矿地质条件有关。一般来说对寻找内生矿床侧重于岩浆岩、地质构造、岩性条件；寻找外生矿床侧重于地层、岩相、古地理条件；而寻找变质矿床侧重于变质条件。但是自然界中成矿的因素是复杂的，这就要求我们在矿产勘查时，对各种找矿地质条件进行综合研究、全面分析，以取得最佳的工作效果。

## 二、矿产勘查标志

### （一）找矿标志的概念及意义

任何矿床的存在，总要以不同的特征显示到地表上来。所以在找矿中，凡是能够直接或间接指示矿产存在或可能存在的现象和线索，称为找矿标志。

研究找矿标志，在矿产预测和找寻中都有其重要意义。找矿标志比矿体分布范围广，易于被人们发现，通过对它的研究，就能使我们有效而迅速地找到矿床，评价区域含矿性，同时为合理选择和运用找矿方法提供地质依据。实践证明，一个矿床的发现往往是从找矿标志认识开始的，如我国赣南含钨石英脉矿床中云英岩化的围岩蚀变，就是寻找该类钨矿的重要找矿标志。随着找矿深度和难度加大，除加强进行地球物化探方法研究外，最根本的还是对各类常见找矿标志的深入研究。其他找矿信息研究能否有成效的关键，仍在于和地质信息的有机结合及查明各种信息与矿床的内在联系。为此在预测、找矿时，应重视找矿标志的识别和研究。

### （二）找矿标志的种类

找矿标志的种类很多，常见的找矿标志有：

1. 矿体露头

矿体露头俗称矿苗，它是矿体出露于地表的部分。按其氧化程度不同，可分为原生矿体露头和氧化矿体露头。对找矿来说，发现矿体露头并不等于发现具有工业价值的矿床，还必须做一系列的工作来确定新发现矿体露头的实际意义。

(1) 原生矿体露头　原生矿体露头是指出露在地表，但未经或微弱的风化作用的矿体露头。其矿石的物质成分和结构构造基本保持原来状态。一般来说，物理化学性质稳定，矿石和脉石较坚硬的矿体在地表易保存其原生露头。如含钨石英脉、含金石英脉、铝土矿等。

(2) 氧化矿体露头　氧化矿体露头是指出露于地表，经风化作用，使矿体的矿物成分，结构构造发生不同程度破坏和变化的矿体露头。此类露头多为物理化学性质不稳定的矿体。如各种金属硫化物的矿体，经风化形成色彩鲜艳的氧化露头。从地质找矿角度看，在矿体氧化露头中以铁帽和风化壳两类较为重要，它们不仅是某些矿床的找矿标志，有时其本身也具有工业价值。

①铁帽

出露于地表的一些金属硫化物矿体，经风化作用后多数的金属硫化物变为易溶的硫酸盐、碳酸盐等被淋滤、流失，而变化后生成难溶的褐铁矿等却覆盖在矿体氧化带上部，构成多孔状的集合体，这就是铁帽。铁帽实际上是一种特殊类型的氧化矿体露头，是寻找金属硫化物矿床的重要标志。如含铁高及规模大的铁帽可作为铁矿开采利用，但更重要的是指示其深部有原生硫化物矿体。在找矿中，对铁帽的研究主要有以下几个方面：

a. 从铁帽的颜色（表 2－3－4）、结构构造（图 2－3－12）、矿物成分（表 2－3－5）和元素组合入手，来推测原生矿体的物质成分。

表 2－3－4　　铁帽的颜色

| 铁帽的颜色 | 铁帽下的硫化矿物 | 铁帽的颜色 | 铁帽下的硫化矿物 |
|---|---|---|---|
| 砖红色 | 黄铁矿 | 赭橙色 | 方铅矿 |
| 深褐色及黄褐色 | 黄铜矿 | 淡褐色 | 闪锌矿 |
| 赭橙至栗色 | 斑铜矿 | 黄褐至栗色 | 辉钼矿 |
| 深栗色 | 辉铜矿 | | |

表 2－3－5　　几种硫化矿床氧化带中常见矿物

| 矿　种 | 原　生　矿　物 | 次　生　矿　物 |
|---|---|---|
| 铜 | 黄铜矿、黝铜矿、斑铜矿 | 孔雀石、黄铜矿、自然铜、赤铜矿 |
| 铅 | 方铅矿 | 白铅矿、铅矾、硫酸铅矿 |
| 锌 | 闪锌矿 | 菱锌矿、水锌矿 |
| 钼 | 辉钼矿 | 钼华、钼铅矿 |
| 硫 | 黄铁矿 | 褐铁矿 |

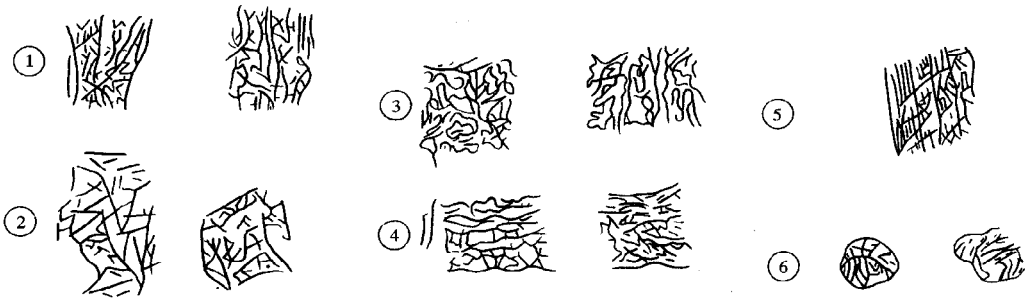


图 2－3－12　铁帽蜂窝状构造

1—黄铁矿铁帽的粗细胞状结构；2—斑铜矿铁帽的三角状屈曲结构；3—黝铜矿铁帽的等高线状结构；4—方铅矿铁帽的不规则平行板状、菱状结构；5—闪锌矿铁帽的粗细胞状结构；6—辉钼矿铁帽的薄片状结构

南京地矿所李文达等人对长江中下游内生金属矿区研究的结果指出，铁帽的元素组合和含量特征可以作为找寻不同类型硫化矿床的标志。如铁帽中一般含铜在 0.2% 以上者，多为铜矿床；含铅锌大于 1% 者，一般为铅锌矿床。原生为铜矿石，铁帽中主要元素组合为 Cu、Bi、Mo、Ag、Au，次要 Pb、Zn、As；原生为铅锌矿石，铁帽中含 Pb、Zn、Mn、Ag、Ba、Sr 组合，As、Cu、Sb 次之；原生为黄铁矿矿石，铁帽中主要为 Co、As、V、Ti 组合，Cu，Pb、Zn 次之。

b. 从铁帽分布特征上来推测原生矿床的类型。如分布于岩体接触带矽卡岩中的铁帽，多为高中温热液铜钼、铜（锌）、黄铁矿和中温热液多金属等矿床的找矿标志；分布于岩枝接触带和岩体外围断裂中的铁帽，是寻找中温热液多金属和中低温热液铅锌矿床的标志；岩体外围硅化破碎带中脉状，团块状褐铁矿及褐铁矿化的蜂巢状、炉渣状次生石英岩，可作为金矿的找矿标志；岩体内部硅化破碎带中脉状，团块状褐铁矿，可作为找铜矿的标志。此外，对含铜铁帽研究，应特别注意其次生富集作用发生情况，寻找铜次生富集带。

c. 正确区分真、假铁帽。对铁帽的观察研究中，要注意区分真假铁帽（表 2－3－6），一些被迁移后形成的铁帽均无找矿意义。

表 2－3－6　　真假铁帽的区别

| 铁帽特征 | 真　铁　帽 | 假　铁　帽 |
|---|---|---|
| 颜　　色 | 基本为褐色，但随矿种而异 | 皆为褐色 |
| 结构构造 | 蜂窝状或海绵状 | 皮壳状、钟乳状等 |
| 矿物成分 | 矿物成分复杂 | 矿物成分单一（只是褐铁矿） |
| 元素组合 | 元素组合复杂 | 元素组合单一 |
| 分布与产状 | 产出于成矿有利部位，不受地形影响 | 常产出于地形低洼地段 |

②风化壳

由于风化作用使原来矿床或岩石中一些有用元素残留堆积成矿，如铁、铝、锰、镍、钴、高岭土以及某些稀土元素等。风化壳既是上述这些矿产的氧化露头，也是它们的直接找矿标志。目前已知较重要的有以下几类：

a. 与超基性、基性岩有关的风化壳　主要与镍矿、铝土矿有关。如云南等地风化残余硅酸镍矿床，闽南玄武岩形成的残余铝土矿床等。

b. 与酸性岩有关的风化壳　主要与高岭土矿床、稀土矿床有关，如江西的残余高岭土矿床和离子吸附型的重稀土矿床。

c. 与碳酸盐岩有关的风化壳　主要与铁矿、锰矿有关，如山西式铁矿，云贵一带菱铁矿床上部褐铁矿风化壳和广西、湖南，贵州的风化残余锰矿床等。

在找矿工作中，对风化壳进行研究和评价是：原生带及氧化带的物质成分，以及它们相互间的关系；通过剖面测量及工程的揭露，了解氧化矿物在剖面中的分布情况及风化壳的深度；找出有用矿物在各带富集的规律。

2. 围岩蚀变

在成矿作用过程中，围岩同样遭受到岩浆热液的作用而产生蚀变现象。由于蚀变岩石的分布范围比矿体大，而容易被发现，它间接指示着有矿的存在。对寻找气化—热液矿床及其矿体具有重要意义。不同的围岩蚀变，其标志的矿化作用也各不相同（表 2－3－7）。所以在找矿中应详细研究围岩蚀变种类及与矿关系，初步推断矿体及矿化类型。此外，在分析围岩蚀变中应注意以下几个方面：

表 2－3－7　　围岩蚀变与有关的主要矿产

| 含矿溶液的温度 | 围岩蚀变类型 | 围岩条件 | | | | | 矿种 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 沉积岩和变质岩 | | 岩浆岩 | | | 金属 | 非金属 |
| | | 碳酸盐质 | 硅铝质 | 超基性基性 | 中性 | 酸性 | | |
| 气化－高温热液 | 云英岩化<br>钠长石化<br>矽卡岩化<br>方柱石化<br>电气石化 | ＋＋＋<br>＋＋ | ＋＋ | | ＋＋ | ＋＋＋<br>＋＋＋<br>＋＋<br>＋＋<br>＋＋ | 钨、锡、钼、铋<br>锂、铍、铌、钽<br>铁、铜、锌、铅、钼、锡、钨<br>锡 | 金云母 |

续表

| 含矿溶液的温度 | 围岩蚀变类型 | 围岩条件 | | | | | 矿种 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 沉积岩和变质岩 | | 岩浆岩 | | | 金属 | 非金属 |
| | | 碳酸盐质 | 硅铝质 | 超基性基性 | 中性 | 酸性 | | |
| 中低温热液 | 次生石英岩化 | | | | ++ | +++ | 铜、钼、金 | 明矾石、叶蜡石 |
| | 黄铁绢英岩化 | | | | | +++ | 金、铜、铅、锌 | |
| | 硅化 | ++ | ++ | | ++ | ++ | 金、铜、汞、锑 | |
| | 绢云母化 | | +++ | | ++ | +++ | 铜、钼、金、铅、锌、砷 | |
| | 绿泥石化 | | ++ | ++ | +++ | + | 金、铜、铅、锌、锡、铬 | |
| | 蛇纹石化 | ++ | | +++ | | | 铬 | 石棉 |
| | 碳酸盐化 | | ++ | +++ | ++ | + | 金、铜、铅、锌、铌钽、稀土 | |
| | 青盘岩化 | | + | ++ | +++ | | 金、银、砷、锑 | |
| | 滑石菱镁片岩化 | | | ++ | | | 镍、钴 | 重晶石 |
| | 重晶石化 | ++ | | | | | 铅、锌 | 滑石 |

注：“+++”最主要；“++”主要；“+”次要。

1. 联系成矿作用分析，查明不同蚀变的成因及其与矿化关系。岩浆自变质、区域变质、动力变质、热液作用均可产生多种蚀变，但其找矿意义不同，有的蚀变具有找矿意义，有的则无或具次要的意义。因此研究蚀变成因，对找矿十分重要。

2. 查明蚀变的时空分布与矿化关系。有的蚀变具有分带性，不同矿化存在于某一特定的蚀变带内。

3. 研究蚀变的不同组合、蚀变围岩的成分变化和强度变化及其矿化关系。

4. 在深入系统研究的基础上，建立蚀变模式，指导预测找矿。

3. 近矿围岩的特殊颜色

由于热液蚀变或表生作用的结果，往往使矿体周围的岩石呈现出一些特殊颜色，如赭色、绿色、白色等，在找矿中也作为一种标志。例如江西找斑岩铜矿时，就利用“火烧皮”作为找矿标志（“火烧皮”为黄铁矿化岩石，风化后变成褐黑色，如同皮肤被火烧伤后一样）。特别是遥感技术在找矿中应用，这一标志显得尤为重要，它可直观而迅速地发现有价值的围岩颜色变化的地区，从而提供详细找矿的靶区。

4. 指示矿物

在矿床形成过程中，往往伴生有一些典型矿物，这些矿物也可以作为找寻某些矿产

的指示。如接触交代作用形成的矽卡岩矿床，其最常见的典型矿物有石榴子石，辉石、绿帘石、阳起石等；金刚石矿床中，以含铬镁铝石榴石和含铬尖晶石为主要标志矿物。

5. 物探与化探异常

矿体与围岩物理性质差异会产生各种地球物理异常（简称物探异常）。矿床形成或风化过程中，成矿元素及伴生元素迁移，改变矿体附近围岩、土壤、水系沉积物、水、大气和生物（指植物）中元素的正常分布，使其含量增高，这种元素增高现象，即为地球化学异常（简称化探异常）。与矿有关的物探异常和化探异常，也是重要的找矿标志，特别是在岩石出露不好的地区或寻找地下隐伏矿体，这一标志就显得更为重要。

6. 旧矿遗迹

我国自古以来采冶事业发达，老硐、废石堆、炼渣等旧矿遗迹遍及各地，它们既是矿产分布的可靠指示，也是很好的找矿标志。由于古代采矿技术落后，不能继续开采或是对矿产共生组合缺乏识别能力，用现代的技术及经济条件重新评价，有时会发现非常有工业价值的矿床。我国不少矿区是在此基础上发展起来的。如广东石碌铁矿、凡口铅锌矿、大宝山多金属矿等矿区。所以我们对旧矿遗迹要深入细致地调查，通过对成矿规律、找矿地质条件的研究而找到更为重要的矿体。

7. 特殊地形与地名

由于矿体与围岩的矿物组成和物理化学性质的差别，抗风化能力不同，往往构成一些特殊地形。抗风化能力强的矿体，如含钨石英脉、含金石英脉等常呈正地形；抵抗风化能力弱的矿体，如煤层，金伯利岩等常呈负地形。这在应用遥感找矿或地表追索矿体也是一种有效的找矿标志。

特殊地名标志是指某些地名是古代采矿者根据当地矿产性质、名称、颜色、用途以及矿产的形状等来命名的。对我们选择找矿地区（段）有参改意义。如安徽铜官山（铜矿）、江西德兴铜厂（铜矿）、金山（金矿）、银山（铅锌矿）、湖南锡矿山（锑矿）等等。

8. 指示植物

植物都能对它们所处的地质环境做出反映，表现在植物种类的分布或者植物的外形、大小、颜色以及生长速率等生态的变化。植物这些生长习性的改变、均可作为找矿的指示标志。如我国长江中下游各铜区，普遍见有铜的指示植物——海州香薷，俗称铜草（图 2－3－13）。

上述各种找矿标志，往往不是孤立出现的，在找矿中应将发现的各种标志进行综合研究，并与地质特征联系起来分析，查明原因及其与成矿的关系，提高找矿工作效率。



图 2－3－13　海州香薷（铜草）

## 三、成 矿 预 测

### （一）成矿预测的概念与意义

成矿预测是在成矿地质理论指导下，总结成矿规律（或成矿模式）和找矿方式，对预测区的潜在矿产资源做出预测，圈定成矿远景区段，并提出进一步的找矿工作部署意见。

成矿预测的目的任务是：运用成矿理论总结区域成矿规律（或成矿模式）和找矿方式，圈定成矿远景区并做出评价，并编制相应的各种矿产预测图件。

根据预测的目的、任务和要求，整个成矿预测工作大体上可划分为大、中、小比例尺三类（表 2－3－8）。

成矿预测是矿产勘查的理论依据，又是重要的技术手段，随着找矿对象的改变，找矿难度的加大，成矿预测的作用日趋重要。目前国内外的矿产勘查工作证明，地质找矿工作已由直接阶段转变为以间接推断为主的理论找矿阶段。另一方面，各种矿产在地壳中的分布是极不均匀的。在许多的物化探异常、矿（化）点、矿化带或成矿带中，具有工业意义的矿化只是其中很少一部分，相当一些地段客观上就不存在矿床。因此，如何根据成矿规律和成矿信息，正确判断成矿远景区就成为找矿成败的关键。成矿预测的重要意义就在于它是实现科学性找矿的重要途径。其科学性表现为：成矿预测必须以深刻认识已知矿床为基础；必须以深入研究和总结区域成矿规律为前提；必须全面使用地质、地球物理、地球化学、遥感资料，使它们处于最佳的组合状态；找矿效果与经济效益是衡量成矿预测成败的关键。

表 2－3－8 成矿预测工作分类简表

| 预测工作分类 | | | 研究范围 | 预测目的 | 预测详细程度要求 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 性质分类 | 尺度分类 | | | | 定 性 | 定 量 |
| 资源总量预测 | 小比例尺 | 1∶1000000～1∶4000000 | 全国或数省范围，Ⅰ级成矿区带 | 全国或数省的资源比较评价，为地质找矿工作的总体规划提供依据 | 圈出成矿区（带）或不要求 | 资源潜力评价或资源总量预测 |
| 找矿靶区预测 | 小比例尺 | 1∶500000～1∶1000000 | Ⅱ、Ⅲ级成矿区带 | 区域远景比较评价，为中比例尺地质测量及找矿工作提出靶区 | 圈出次级成矿区（带） | 预测 G 级资源量 |
| | 中比例尺 | 1∶100000～1∶200000 | Ⅲ、Ⅳ级成矿区带 | 区域远景比较评价，为大比例尺地质测量和找矿工作提出靶区 | 圈出矿带、矿区 | 预测 G 级资源量 |
| | 大比例尺 | 1∶50000 或更大 | Ⅴ级成矿区带 | 矿区成矿远景比较评价，为部署详细找矿工作提出靶区 | 圈出矿田及矿床预测区 | 预测 G 级或 F 级资源量 |
| 矿床立体预测 | 大比例尺 | 1∶10000 或更大 | 矿田或矿床范围 | 矿田或矿床深边部立体定量预测，为地质勘探及生产探矿提供验证部位 | 预测盲矿体或富矿部位，提供验证工程方案或设计 | 预测 F 级或 E 级资源量 |

### （二）成矿预测的一般程序和方法

1. 成矿预测的一般程序

成矿预测工作程序，大致可归纳为：

（1）明确成矿预测要求

成矿预测工作开始，就应明确预测的目的和任务、预测的范围、预测的主要矿种、比例尺大小和原有的工作程度等。一般来说，中比例尺成矿预测是编制 1∶200000～1∶100000 比例尺的预测图，为普查找矿的地区选择、工作设计和远景规划提供依据。

（2）全面收集资料

全面收集研究地区的各种地质报告和图件、物化探、重砂测量等工作成果以及有关专著。并尽可能将成矿预测所必需的地层、构造、岩浆岩、矿床等各项地质资料，加以系统整理，使之条理化和图表化（如编制研究程度图、构造图、岩相图、古地理图、矿产图等等），为进一步研究成矿规律和预测奠定基础。

（3）研究成矿规律，建立成矿模式，编制成矿规律图和成矿预测图

在进行上述工作后，即可综合分析地质资料，全面地研究区域成矿规律，建立成矿模式（系指对一组相似矿床基本特征系统整理），编制相应的成矿规律图。然后根据已掌握的规律或模式，确定预测的准则，以成矿规律图为底图，突出各种控矿因素和矿化信息，编制成矿预测图，圈定矿产预测区，并划分远景级别，以反映预测的可靠程度。

2. 成矿预测的方法

矿产预测的方法很多，但概括起来大致可分为以下四类。

（1）经验模式预测

经验模式预测方法是建立在类比理论基础上，一般通过模式类比来实现。该方法以矿床描述（存在）模式为基础，通过地质工作者的实践经验实施。

类比理论是成矿预测的基本理论，类比方法是成矿预测首要的或主要的方法，其他成矿预测方法都建立在类比方法基础之上。

相似地质环境下应有相似的矿床产出，相同的地质范围应有相近或等同的资源量。据此，应用成矿模式指导成矿预测成为首要方法，也是地质类比的基本依据。

（2）理论模型预测

理论模型预测方法是以矿床成因（概念）模式为基础，应用现代地质理论进行预测。目前，由于地质理论尚处于发展阶段，因此在预测的实践中还存在一定的困难，该方法还处在探索之中。一旦地质理论出现较大突破，理论预测必将随之出现较大突破性进展。

（3）统计分析预测

统计分析预测方法是以采用数理统计方法建立的基本统计模型为基础，然后进行外推预测。通常是在已勘探地区，以已知矿床为标准统计样品，建立统计模型。外推预测是在未知区进行的。未知区一般只具有普查工作程度。

（4）综合方法预测

综合方法预测又称综合信息成矿预测法（王世称，1986），是根据预测普查模式的理论和找矿的技术方法所获得的成矿信息，建立综合信息找矿模型，进行成矿预测的方法。

综合信息预测法是以找矿模型为基础，运用矿床的地质、地球物理、地球化学、遥感地质等综合信息开展预测工作。它着眼于矿床成矿条件的分析、实际找矿标志的研究和成矿规律的总结，确定典型地质体、矿床或矿体与各种信息的相关联系，建立找矿模型，以指导相似和邻近地区的预测评价。综合信息成矿预测图也是以成矿规律图为底图，并圈定不同级别的找矿靶区，进行成矿预测。

（三）成矿规律图与成矿预测图的编制

1. 成矿规律图的编制

成矿预测的中心环节，是成矿规律研究，只有规律抓住了，下一步预测远景评价才

能迎刃而解。因此加强成矿分析，编好成矿规律图意义重大。

(1) 底图选择　因矿床成因不同而有所差别。内生矿床的成矿控制因素主要为岩浆活动、构造及围岩岩性等，因而一般以构造图（构造岩性图）作为成矿规律的底图。外生矿床通常用岩相—古地理图为底图，变质矿床则可用构造岩性图为底图。

(2) 图面内容　包括控制成矿的各种主要地质因素、矿床、矿点及有关蚀变等矿化现象，以及重要的物化探异常和重砂异常分布等。

(3) 区域成矿规律与矿化信息的综合分析　在综合有关基础图件、辅助图件的资料（如地质图、构造图、岩相—古地理图、矿产图等）和编图基础上，深入分析本区整个地质历史过程中沉积作用、岩浆活动及构造变动等与成矿的关系；了解整个地区地质发展各个阶段中的成矿作用特征；了解不同地段主要成矿控制因素；并选择产出条件比较典型的矿床（矿点）进行重点分析，总结其成矿控制因素及找矿标志，以了解与掌握各个成矿单元中各种矿产的形成规律及成矿特点。

(4) 划分区域成矿单元（或称成矿区划）　成矿单元是指在矿床类型及成因上具有一定的内在联系及共同特征的区域。它是根据成矿规律分析结果划定的。划分成矿单元的依据是：各区的地质特征及地质发展史；各区成矿作用特征；与上述条件相应的各区地球化学场及地球物理场的特征。成矿单元有大有小，具体命名可参考以下名称（线型分布的称“带”，面型分布的称“区”）：

①构造成矿带（区）　大致与一级构造单元的规模相适应；

②成矿带（区）　大致与二级构造单元的规模相适应；

③成矿亚带（亚区）　大致与三级构造单元的规模相适应；

④矿带（区）　大致与四级构造单元的规模相适应；

⑤矿田　低于四级构造单元的。

成矿规律图应根据区域矿化作用特征，按不同矿种分别编制或综合编制。与成矿规律图像对照，应编写文字说明书，简要叙述区域成矿规律、各成矿单元的成矿特征及单元划分的依据、典型矿床的例证等。

2. 成矿预测图的编制

在成矿规律图的基础上，可进行矿产预测，指出成矿远景区。显然，所研究的区域并不是全部都有远景，必须根据控矿因素、矿化信息和成矿规律深入分析，确定其中最有远景的某些成矿单元或其中局部地段，并将这些地段按其远景大小圈定不同级别的预测区。

①底图的选择　通常以成矿规律图为底图，或以画有坐标网和水系的透明纸蒙在成矿规律图上进行分析。

②图面内容　一般包括含矿岩系或有利成矿岩层；成因上或空间上与矿产有关的侵入体；控制成矿的构造（如断层、不整合、接触带等等）；已知矿床（矿点）成矿特征

及矿化信息；成矿单元及预测区。

③预测区圈定的依据　一般根据矿床（矿点）的分布情况；与矿化有关的侵入岩；构造层的含矿性；控矿构造分析；重砂、物探、化探资料；有利于矿化的地层（岩性）分布情况；围岩蚀变资料；矿床共生和矿化带特征。综合分析来圈定成矿预测区。

④预测区的远景级别划分　各种矿产的预测区都要根据地质条件有利程度，已知含矿情况（矿床及矿点的工业意义、工业类型等）和矿化信息的可靠性等来划分远景的级别。预测区按其成矿有利程度，一般划分为三级。

一级预测区：有重要工业类型的矿床（矿点），有优越成矿地质条件，矿化标志明显，为已有少量深部工程验证的地段。可布置大比例尺的综合找矿工作。

二级预测区：有较好的成矿地质条件，矿化标志明显，尚未发现工业矿床或只有少数矿点等。这级地段应加强物化探和综合研究工作，力求新的突破。

三级预测区：具有一定的成矿地质条件，尚未发现直接矿化标志。可适当安排物化探扫面和专门性普查找矿。

在图件完成之后，须编写文字说明书。主要论述各预测区的圈定依据、远景评价和进一步工作的建议。

## 第二节　找 矿 方 法

### 一、找矿方法概述

找矿方法是为了寻找矿产所采用的工作方法和技术措施的总称。实质上各种找矿方法是对找矿地质条件和各种找矿标志进行调查研究，以便达到找矿目的。由于调查研究找矿地质条件和找矿标志所采用的工作方法和技术措施不同，便产生了不同的找矿方法。

目前我国矿产勘查中经常采用的找矿方法，主要有如下几种：

（一）地质测量法

在实地观察和分析研究的基础上，或在航空像片地质解释并结合地面调查的基础上，按一定的比例尺，将各种地质体及有关地质现象填绘于地理底图之上而构成地质图的工作过程。这一过程称地质测量，它是地质调查的一项基本工作，也是研究工作地区的地质和矿产情况的一种重要方法。因为通过地质测量能查明工作地区的地质构造特征和矿产形成、赋存的地质条件，为进一步的找矿或勘探工作提供资料。因此，矿产地质

工作的各个阶段都需要按工作的目的和任务，分别测制不同比例尺的各种地质图。如为普查找矿而进行的地质测量，其比例尺为 1∶50000 至 1∶10000；勘探矿区所进行的地质测量，比例尺一般为 1∶10000 至 1∶1000。

（二）重砂测量法

它是沿水系、山坡或海滨等，从松散沉积物（包括冲积、洪积、坡积、残积、滨海沉积等）中系统地采集样品，通过对重砂矿物的鉴定分析和综合整理，结合工作区的地质、地貌和其他找矿标志，发现并圈定有用矿物（或与矿产密切相关的指示矿物）的重砂异常，再依次追索原生矿床或砂矿床的方法。

（三）地球化学探矿法

地球化学探矿法，简称化探。它是以地球化学理论为基础，以现代分析技术和电算技术为主要手段，从各种天然物质。（如岩石、土壤、水系、沉积物、植物、水和空气等）中系统采集样品，分析测试样品中某些地球化学特征数值（如指示元素的含量，元素比值等），对获得的数据进行分析处理，以便发现地球化学异常，并通过对地球化学异常的解释评价而进行的找矿方法。常用的化探方法主要有：岩石地球化学测量、土壤地球化学测量、水系沉积物地球化学测量、植物地球化学测量、气体及水化学测量等。

（四）地球物理探矿法

地球物理探矿法简称物探。它是以各种岩石和矿石的密度、磁性、电性、弹性和放射性等物理性质的差异为研究对象，用不同的物理方法和物探仪器，探测天然的或人工的地球物理场的变化，发现物探异常，通过解释评价物探异常而进行找矿的方法。常用的物探方法有：磁法勘探、电法勘探、重力勘探、地震勘探和放射性物探等。

（五）遥感地质测量法

遥感地质测量是综合应用现代的遥感技术来研究地质规律，进行地质调查和资源勘察的一种方法。它是从宏观角度，着眼于由空中取得的地质信息，即以各种地质体和某些地质现象对电磁波辐射的反应作为基本依据，综合其他各种地质资料，以分析判断一定地区内的地质构造和矿产情况。它具有调查面积大、速度快、成本低、不受地面条件限制等优点。目前主要用于地质测量，发现和研究与矿产有关的地质构造现象等方面。

（六）工程揭露法

工程揭露法，又称探矿工程法。它是利用各种探矿工程揭露被松散沉积物掩盖的或地下深处的各种地质体（特别是矿体）和地质现象，以便查明地质矿产情况的一种找矿方法。

## 二、重砂测量法

重砂测量是一种经济、简便、有效的找矿方法。利用重砂测量进行找矿时，主要是通过对水系沉积物中重矿物的鉴定分析，根据矿床或含矿岩石中某些有用矿物及伴生矿物在松散沉积物中所形成的机械分散晕（流），来追索、寻找矿床的。

### （一）重砂测量法的基本原理

1. 重砂矿物分散晕（流）的形成

地壳表面，由于长期遭受风化、剥蚀、搬运和沉积等外力地质作用，暴露在地表的原生矿体和矿化围岩在外动力地质作用下，不断地受到破坏。在这个过程中某些化学性质不稳定的矿物由于风化而分解，而某些化学性质较稳定的矿物，则成单矿物颗粒或矿物碎屑保留在机械分散晕中成为砂矿物。当砂矿物相对密度大于 3 时，称为重砂矿物。这些重砂矿物除一小部分能保留在原地外，大部分在重力和地表流水作用下，被搬运迁移而离开母体，沿着山坡迁移到坡积层中，再由坡积层经搬运进入水系沉积物中。

重砂矿物在水流中呈滚动、跳动和机械悬浮运动，是在重力和流水的搬运能力处于动力平衡状态下进行的。在一般情况下当水流速度减慢、重力超过流水的搬运能力时，则重砂矿物逐渐沉积，并在有利的条件下富集。在这种风化、搬运、沉积和富集的地质作用过程中，在残坡积层中形成了重砂矿物的分散晕；而在水系沉积物（冲积层）中成为重砂矿物的分散流。

2. 重矿物分散晕（流）的分布规律

（1）重砂矿物分散晕（流）的形态与矿源母体的形态、产状及其所处的地形位置有直接关系，等轴状矿体所形成的分散晕呈扇形；脉状及层状矿体顺地形等高线斜坡分布，形成梯形的重砂分散晕；如与地形等高线垂直，则形成狭窄的扇形重砂分散晕。

（2）重砂矿物分散晕（流）中重砂矿物含量，与其迁移距离有直接关系，距矿源母体较近，重砂矿物含量高，距矿源母体较远，则重砂矿物含量低。

（3）重砂矿物分散晕（流）中重砂矿物的粒度及磨圆度，与其原始的物理性质及迁移距离有关。矿物稳定性越强，迁移距离越小，则矿物颗粒较大，磨圆度差，呈棱角状。反之，粒度小，呈浑圆状（表 2－3－9）。

### （二）重砂测量法的野外工作方法

重砂测量的野外工作主要包括重砂（样品采集）和重砂样品的淘洗与编录二个方面。

1. 重砂样品的采集

重砂取样是重砂测量的重要一环，取样质量的好坏直接影响到重砂测量的效果。根

据重砂取样的种类、目的、任务及地形地貌特征，重砂取样总体布置分为 3 种。

表 2－3－9　　机械分散流分布规律

| 矿物名称 | 矿床类型 | 辰砂、白钨矿沿水系变化 | | | | | | | | | | | | 搬运距离 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 矿床附近 | | | 1～2km | | | 2～4km | | | 4～7km | | | |
| | | 颗粒数 | 粒度（mm） | 形态 | 颗粒数 | 粒度（mm） | 形态 | 颗粒数 | 粒度（mm） | 形态 | 颗粒数 | 粒度（mm） | 形态 | |
| 辰砂 | 裂隙充填型 | 200～1000 g/m³ | <0.1～2 | 棱角状 | 10～100 g/m³ | <0.1～0.5 | 次棱角状 | 8～40 粒/m³ | <0.1～0.25 | 次浑圆状 | 1～5 粒/m³ | <0.1～0.15 | 浑圆 | 7km 左右 |
| 白钨矿 | 矽卡岩型 | >1000 g/m³ | 2～4 | 四方双锥 | 100～500 g/m³ | 0.5～1 | 棱角状 | >1000 粒/m³ | 0.1～0.5 | 次浑圆状 | 80～150 粒/m³ | <0.1～0.3 | 浑圆 | 7km 以上 |

（1）水系法

水系法是目前应用较广的一种重砂取样布置方法。通常对调查区二级以上水系进行取样。样点的布置可依照下述原则：

①大河稀，小河密，同一条水流则上游密下游稀，越近源头，取样密度越大；

②河床坡度大，跌水崖发育，流速大流量小的溪流应密，反之应较稀；

③主干溪流的两侧支沟发育且对称性好，则样点可放稀，反之应加密；

④垂直岩层主要走向的溪流应密，而平行岩层主要走向的溪流可放稀；

⑤对矿化、围岩蚀变发育地段，岩体接触带，岩性发生重大变化处的溪流冲积层应加密取样。

水系法取样间距可根据不同河流的级别加以确定（表 2－3－10）。

表 2－3－10　　不同长度的河流中重砂取样间距

| 河流长度（km） | 沟谷性质 | 取样间距（m） | 河流长度（km） | 沟谷性质 | 取样间距（m） |
|---|---|---|---|---|---|
| <3 | 冲沟、切沟① | 200～300 | 10～20 | 小　河 | 400～500 |
| 3～10 | 小　溪 | 300～400 | >20 | 大　河 | 500～700 |

①切沟系冲沟发育的初期阶段，长度小，宽度等于或小于其深度。

（2）水域法

水域法是按着汇水盆地中各级水流的发育情况进行布样。取样前应对汇水盆地的水域进行划分，然后将取样点布置在各级水域中主流与支流汇合处的上游，以控制次级水域中有用矿物含量和矿物组合特征（图 2－3－14）。

取样时应逆流而上，对各级水域逐一控制，对没有出现有用矿物的水域逐个剔除，

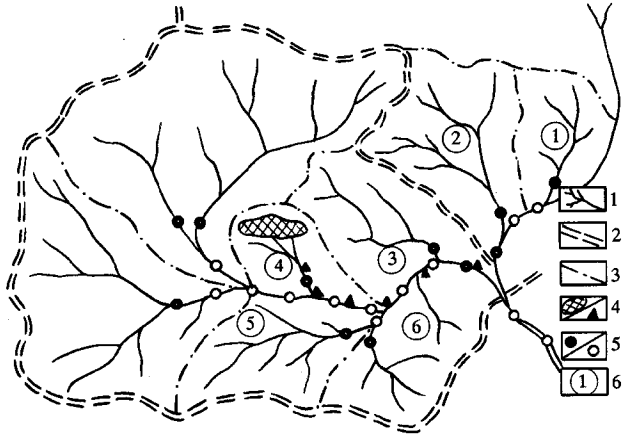



图 2－3－14　水域划分及采样点分布示意图

1—河流；2—三级水域界线；3—四级水域界线；4—矿体/矿物碎屑；

5—最小水域法采样点水系法等距离采样点；6—水域编号

（注：原图以最小的汇水盆地中的水系划为一级水系，但以

主干河流划为一级水系，更符合实际和便于划分）

对出现有用矿物的水域逐级追索，直至最小水域，达到追索寻找矿源母体的目的。水域法取样每个样品的控制面积视地质构造复杂程度和地貌条件而异，地质构造复杂，成矿有利地段，四级支流和微冲沟的每个样品控制在 1.5 ~ 2km$^2$ 为宜，地质条件中常地区，三级支流中每个样品控制面积可为 3 ~ 4km$^2$，地质条件简单地区每个样品控制面积可为 5 ~ 8km$^2$。

（3）测网法

测网法是以重砂取样线距和点距组成纵横交叉的网格，样点布在“网格”的结点上。测网法取样目的是为了圈定有用矿物的重砂分散晕，进而寻找原生矿床，或者为了对砂矿进行勘查，从而进行远景评价。取样时线距应小于晕长的一半，点距应小于晕宽的一半。

由于重砂样品采取的对象不同，可有下述方法：

①浅坑法　它是以冲积物、坡积物和残积物为采取对象。以寻找原生矿床为主要目的。目前多采用在一个取样点运用“一点多坑法”的方式进行采样，以增强样品的代表性。取样深度视取样对象而定，一般对冲积层取样深度以 20 ~ 50cm 为宜；坡积层取样深度可在腐殖层以下 20 ~ 50cm；残坡积层取样深度决定于残积层厚度，样深均应达到基岩顶部。取样原始重量要求为 20 ~ 30kg，以保证获得 20g 灰砂为准。

②刻槽法　主要用于阶地重砂取样，在阶地剖面上进行，首先要除去表面的松散物质，然后从顶部到基岩垂直其厚度，以 50cm 长的样槽按层分段连续取样，样槽规格以保证取得一定数量的原始样品重量为准。

③浅井法 当冲积层、坡积层、残积层及阶地等松散沉积物厚度较大时采取的取样方法，目的是勘查现代砂矿或古砂矿。在浅井施工过程中，用刻槽、剥层或全巷法采集样品。其中剥层法应用较多，它是沿砂矿可采部位将整个剖面取样，开采时沿掌子面取样。剥层规格为：深度5、10、15、20cm不等，宽度一般为0.5～1m。

④砂钻法 在松散沉积物很厚时采用，主要用于砂矿勘探。将钻孔中所取得的砂柱作为样品，样品长度0.2～1 m不等，应视具体矿产种类而定。如砂金矿以0.2～0.5m为好，砂锡矿以0.5～1m为好。砂钻法取样主要运用大口径冲击钻。

2. 重砂样品的淘洗与编录

(1) 重砂样品的淘洗是重砂测量工作方法中的一道重要工序。淘洗质量的好坏，直接关系到重砂法找矿的效果。原始重砂样品一般在野外就地淘洗。淘洗工具主要有圆形淘砂盘和船形淘砂盘两种（图2－3－15）。

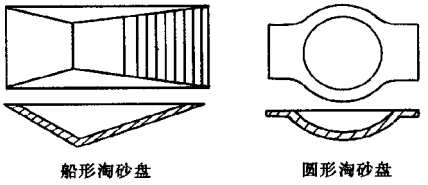
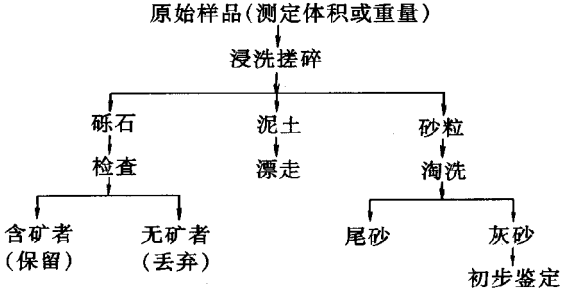



图2－3－15 淘砂盘示意图

原始重砂样品一般淘洗至灰色为止，重量应在10～15g左右，以满足对样品分析的要求。若淘至黑砂，会使浅色的相对密度大的一些重要矿物如黄玉、锆石、磷灰石等，因淘洗过分而流失。总之，重砂样品的淘洗以不漏掉有用矿物为基本原则。为保证与提高回收率，可先在野外粗淘，回室内再精淘。原始样品的淘洗一般按下列流程进行。




原始重砂样品淘洗时应注意的几点要求：

①对于含泥质较多的样品，在淘洗时，应先将泥洗净，以免重砂随泥浆漂走。

②风化壳砂矿及某些残坡积砂矿中，有用矿物常与其他矿物胶结在一起，为了避免有用矿物在淘洗时被其他矿物带走，应先把样品中各种胶结的碎块搓碎，使重砂矿物和其他矿物分离开来。

③硬度小的矿物，粒细容易流失，呈片状的以及解理发育的矿物，容易漂走，淘洗

时动作要轻要慢。

（2）重砂样品的野外编录与初步鉴定

重砂取样的野外编录是重砂测量工作方法中必不可少的一项重要内容。在野外不但要重视重砂取样的实际操作，同时也要注意取样路线和取样点附近的地质观察，做简单的记录和描述，并将取样点标绘在地形图上，注明点号。记录描述的内容见表 2－3－11。

表 2－3－11　　重砂取样野外记录表

| 取样日期 | 取样点编号 | 取样地址 | 取样沉积物的类型 | 被淘洗的沉积物 | 取样点附近的地质情况 | 取样方法及其深度 | 原始样品重量 | 重砂重量（灰砂） | 有用矿物及其含量（$g/m^3$） | 其他矿物 | 取样层内的转石成分 | 附注 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 5月13日 | 102 | 三道岔 | 砂咀冲积物 | 砂砾石 | 斜长角闪岩大面积分布 | 浅坑深 0.4m | 25kg | 15g | 自然金 0.23g/t | 黄铁矿、石英、角闪石、绿泥石、绢云母 | 斜长角闪岩、角闪岩、角闪斜长片麻岩，混合质角岩和石英等 | 重砂矿物具棱角状 |

在重砂测量工作中，应当对重砂矿物进行野外鉴定。初步鉴定时应注意发现指示性的有用重砂矿物，并掌握其粒度、晶形、磨圆度的变化和重砂矿物组合的大致情况。

（三）重砂样品鉴定与重砂资料整理

1. 重砂样品鉴定

野外淘洗的重砂样，一般都含几种或几十种不同矿物，但有用矿物只占很小部分。因此，在镜下鉴定之前，样品必须按一定的流程进行分离，以利于有用重矿物的分析与鉴定。常用的分离方法有：精淘、重液分离、重熔分离、浮选法等。

重砂矿物的室内鉴定，其目的一般是为了确定重砂矿物的名称和含量、矿物的共生组合与标型特征，通常采用的鉴定方法有：

（1）双筒显微镜鉴定　将砂矿物放在双目镜下直接观测矿物外部特征与某些物理性质，是常用的最基本的鉴定方法。鉴定内容包括：矿物晶体形态、砂矿物的表面特征、砂矿物的颜色、条痕、光泽、透明度、硬度、磨圆度、解理与断口、延展性，包体与连

生体等。

(2) 油浸法 主要用浸油来测定透明及半透明砂矿物的光性和折光率。

(3) 微化分析 应用化学分析的某些原理和方法，用 1 ~ 2 粒砂矿物和少量试剂，迅速确定矿物中某些特征元素是否存在。

(4) 反光镜鉴定 将砂矿物磨成砂光片，测不透明矿物的反光性、反射率等。

(5) 发光分析 利用某些砂矿物在外能作用下产生一定强度和颜色的光（磷光和荧光）的发光性，来鉴别某些矿物。

2. 重砂资料整理

所谓重砂资料整理就是根据重砂样品的详细鉴定成果，按矿种或矿物组合以不同方式编制成图，结合地质地貌特征圈定重砂异常区，编绘重砂成果图。重砂成果图的底图应采用同比例尺或较大比例尺的地形地质图或矿产地质图。

重砂成果图表示方法有圈式法、符号法、带式法及等值线法 4 种。

(1) 圈式法 为常用的一种图示方法，可同时表示多种矿物含量，并可指出重砂矿物的搬运方向及其共生组合的变化情况。圈式法是以取样点为圆心，以 5mm（1∶50000 重砂图）或 3mm（1∶200000 重砂图）为直径画圆圈，再将之以直径分成若干“弧底等腰三角形”，每个三角形用不同彩色或花纹符号表示不同矿物，并以涂色或花纹符号所占面积来表示各矿物的含量。究竟分成几等份，要视矿种多少而定。有 4 等份的，即 4 个象限；也可分 8 等份或；12 等份。如果取样点太密致使圆圈重叠，可将圆圈画在取样点的上、下两侧的任一侧（图 2 - 3 - 16）。

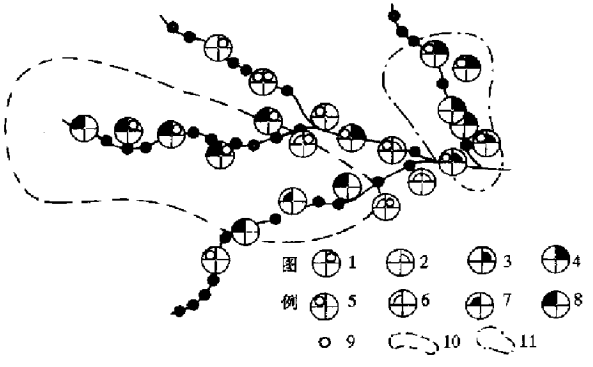



图 2 - 3 - 16 圈式重砂图

1—锡石含量数粒；2—锡石含量数十粒；3—锡石含量 1 ~ 10g/m³；4—锡石含量 > 10g/m³；5 - 钛铁矿含量 100g/m³；6—钛铁矿含量 100 ~ 500g/m³；7—钛铁矿含量 > 1000g/m³；8—钛铁矿含量 > 1000g/m3；9—采样位置；10—钛铁矿异常区；11—锡石异常区

(2) 符号法 将有用矿物的主要元素符号标注在取样点旁侧（图 2 - 3 - 17）即可。

此法简单方便，作图快。但不能表示有用矿物含量，同时当矿种较多时，符号排列拥挤，图面不清晰。这种表示方法只适用于以单一或少量矿种为寻找对象的野外定性分析之草图。

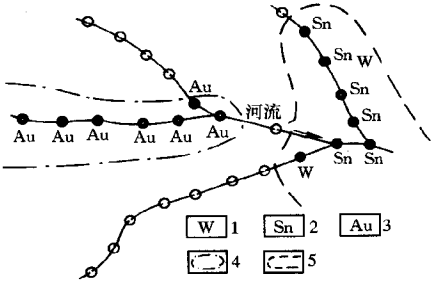



图 2－3－17　符号式重砂图

1—黑钨矿；2—锡石；3—自然金；4—自然金异常区；5—锡石异常区

（3）带式法　将同一种矿物的相邻取样点连接成条带，并以条带的颜色或花纹、宽窄、长轴方向分别表示矿物种类、含量和搬运方向（图 2－3－18）。此法能明确表示出有用矿物的富集地段，并直观地指示找矿方向。如果矿物种类较多，图面就不清晰。此图适用于砂矿普查与详细重砂测量。

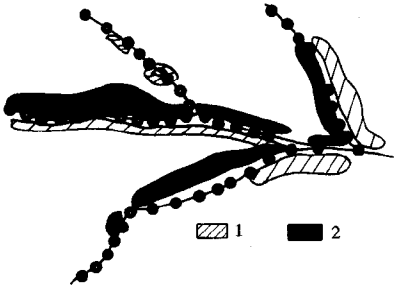



图 2－3－18　带式重砂图

1—锡石；2—钛铁矿

（4）等值线法　以有用矿物含量做分散晕等值线，即将相同含量的相邻点连接成曲线即可（图 2－3－19）。此法用于 1∶10000、1∶2000 的大比例尺残坡积重砂找矿或砂矿勘探（用测网法部署取样点）一般按单矿物编制，效率较低。但随着数理统计和电算方法的应用，在中小比例尺（1∶200000）的重砂测量中也可用此法表示重砂成果，以求得到更多醒目的信息和资料。

### （四）重砂异常的解释评价与检查

#### 1. 重砂异常的解释评价

目前常从以下几方面评价异常区：有用矿物含量、矿物共生组合、矿物标型特征、

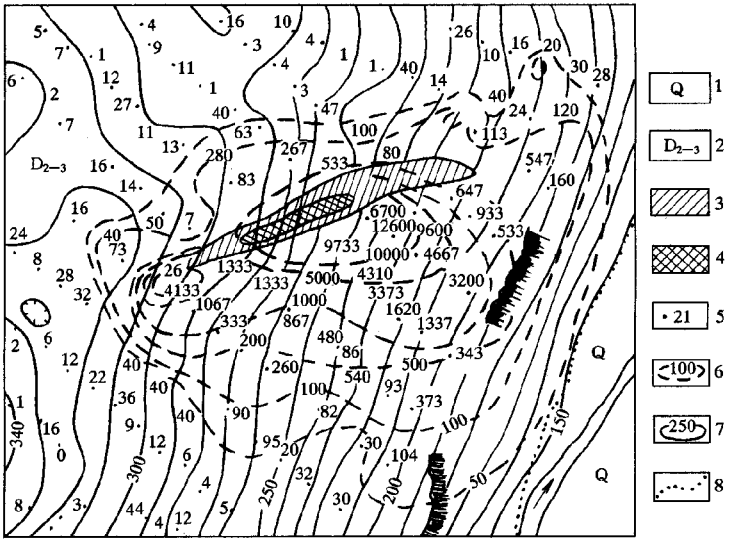



图 2 – 3 – 19 某矿区辰砂含量等值线图

1—第四系残，坡积层；2 一中—上泥盆统；3—含矿带；4—矿体；5—取样点位置及辰砂含量的颗粒数；6—辰砂等含量线；7—等高线及高程；8—地质界线

重砂矿物搬运的可能距离、重砂矿物空间分布特征以及异常区地质地貌条件等。

(1) 有用矿物含量

它是评价异常区的基本依据。它表明重砂异常的强度。连续的高含量点的出现，表明异常不是偶然的，由矿化引起的可能性极大；而那些孤立高含量点则很可能是由偶然因素引起的。考虑高含量时必须研究一切可能影响含量的因素：矿源母体中的该矿物含量特征、取样处疏松沉积物类型、取样点所处的地质条件和地貌特征及矿床类型和产状等。只有这样，才能真正做到由表及里、去伪存真。

(2) 重砂矿物标型特征

矿物标型特征能反映矿物及其“母体”形成时的物理和化学条件，表现在形态、成分、物理性质、化学性质、晶体结构等方面的特点。重砂矿物的标型特征对评价异常区具有特殊意义。它可提取一些难得的成矿信息，特别对判断原生矿床的成因类型更能提供可靠依据。

(3) 重砂矿物共生组合

从找矿角度出发，利用重砂矿物共生组合可分辨真假异常及作为找矿标志。还可利用重砂矿物共生组合判断原生矿的成因类型。

(4) 重砂矿物搬运的距离

分析重砂矿物搬运的距离，对于确定原生矿床的位置及评价砂矿床具有重要意义。

影响重砂矿物搬运距离的因素，一方面是重砂矿物的稳定程度，另一方面是迁移环境，根据经验数据，锡石砂矿距原生矿床一般不超过 5 ~ 8km，自然金搬运距离可达数百千米，但具工业意义的砂金矿富集在距原生矿床不远的地方。在判断重砂矿物搬运距离时，必须注意其磨圆度及矿物的形态特征。

(5) 重砂矿物空间分布特征

重砂矿物的空间分布严格受区内各地质体控制，在进行异常区评价时，应将重砂矿物的分布与成矿的地质、地貌条件联系起来，以便追索寻找原生矿。

2. 重砂异常的检查

重砂异常检查的目的在于检查分析引起“异常”的原因，对“异常”的找矿意义做出评价。它是在异常区评价的基础上，采用必要的技术手段，进一步实地进行的地质调查工作。具体做法有以下几种：

对异常区加密重砂取样。取样密度视工作目的要求而定，可以是 20m × 50m，50m × 100m，也可以是 100m × 100m。

为了查清有用矿物的矿源母体，对异常区的各种岩石和矿化蚀变等地质体，采取一定数量的人工重砂样品。

残坡积层的重砂取样，当发现有用矿物的高含量带且其粒度、形态及伴生矿物等方面都具有接近原生矿床的特征时，应在取样点附近施以剥土或布置槽、井探工程，进而查明异常的空间分布，圈定原生矿体的范围。

当经过调查研究而判断是由矿体或与矿体有关的地质体所引起的异常时，应对此有希望地段采用必要的钻探或坑探工程进行揭露、验证，查明有用矿物在垂直方向上的变化规律及与原生矿床的关系。

(五) 重砂测量报告的编写及应用

1. 重砂测量报告的编写

通常重砂测量报告的基本内容如下：

(1) 工作的目的与要求，完成任务情况。

(2) 工作区的地质概况：简述区内主要岩石类型，矿化蚀变特征、构造、接触带、地形和地貌、水系分布等。

(3) 工作概述：应包括工作方法（野外及室内），样品的分离流程，工作成果简述等。

(4) 有用重砂矿物组合及特征：

①矿物组合及其特征变化。

②有用矿物的种类，物理化学特征及含量变化。

(5) 对重砂矿物异常的解释与评价意见。

①有用矿物异常的特征：

a. 异常下限值的确定。

b. 矿物含量统计及异常值的分级，说明异常值的分级及其与原生矿床（体）空间分布的关系。

c. 重砂矿物异常分散晕特征：如数量、矿种、搬运距离和空间分布规律等。

②对重砂矿物异常或分散晕特征的认识。

综合工作区内自然重砂和人工重砂资料，结合区域地球化学和地质特征，初步指出有用矿物的来源，原生矿床的可能类型，工程检查验证情况，明确寻找原生矿床和砂矿床的方向。

2. 重砂测量的应用

重测量最适用于寻找金属和稀有金属（包括分散元素及其有关的矿产）。如：金（自然金）、铂（自然铂）、锡（锡石）、钨（黑钨矿、白钨矿）、汞（辰砂）、钛（钛铁矿、金红石）、铬（铬铁矿）、钽（钽铁矿）、铌（铌铁矿）、铍（绿柱石）、锆（锆石）、铈（独居石）、钇（磷钇矿）等；也可用于寻找某些非金属矿产，如：金刚石、刚玉、黄玉、磷灰石等。有时在条件有利的情况下，还可为寻找铜、铅、锌等有色金属矿产提供线索。

重砂测量不仅可以追踪原生矿床，而且可以寻找砂矿床（包括风化壳型矿床）。根据重砂矿物的特征、矿物共生组合，可以预测矿床的类型和岩石的分布及追索圈定与成矿有关的侵入体等，直接或间接地指导找矿。

## 三、工程揭露法

工程揭露法即通过探矿工程揭露松散覆盖的和地下深处的地质体（包括矿体）进行地质观察研究，从而取得地质矿产资料的方法。

### （一）探矿工程种类

1. 坑探工程

在岩石或矿石中挖掘坑道以便勘查揭露矿体或者进行其他地质勘查工作，这些坑探工程以其使用的条件和作用可以分为如下主要类型：

（1）探槽（TC） 它是在地表挖掘的一种槽形坑道（图 2－3－20），其横断向为倒梯形，探槽深度一般不超过 3～5m，探槽断面规格见表 2－3－12，视浮土性质及探槽深度而定，以利于工作，保证施工安全。

表 2－3－12　　探槽断面规格参考表

| 覆盖层性质 | 深度（m） | 底宽（m） | 口宽（m） | 边　坡 |
|---|---|---|---|---|
| 风化十分强烈 | 1～3 | 1 | 1.6～6.0 | 65°～73° |
| 风化厉害，较松散 | 1～3 | 1 | 1.4～5.8 | 73°～78° |
| 风化不强烈，浮土微密 | 1～5 | 1 | 1.3～7.0 | 73°～87° |
| 风化较轻，紧密结实 | 1～5 | 1 | 1.2～5.0 | 78°～84° |

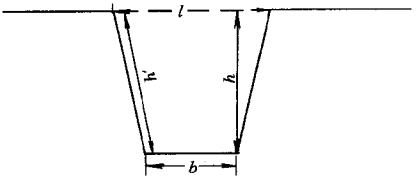



图 2－3－20　探槽断面图

$h$—探槽深度；$h'$—槽壁斜深；$l$—探槽口宽；$b$—探槽底宽

探槽的布置应垂直矿体走向或矿体平均走向来布置。探槽有两种，即主干探槽和辅助探槽。主干探槽应布置在工作区主要的剖面上或有代表性的地段，以研究地层、岩性、矿化规律、揭露矿体等。而辅助探槽是在主干探槽之间加密的一系列短槽，用于揭露矿体或地质界线，可平行主干探槽，也可不平行。

所有探槽适用于浮土厚不大于 3m。当地下水面低时，覆盖层厚达 5m 时也可使用探槽。

（2）浅井（QJ）　它是由地表垂直向下掘进的一种深度和断面均较小的坑道工程。浅井深度一般不超过 20m，断面形状可为正方形或圆形，断面面积为 1.2～2.2m$^2$。浅井的布置由于矿体规模产状不同，其布置形式也不同。当矿体产状较陡时，可在浅井下拉石门或穿脉，当矿体产状较缓时，浅井应布置在矿体上盘（图 2－3－21）。

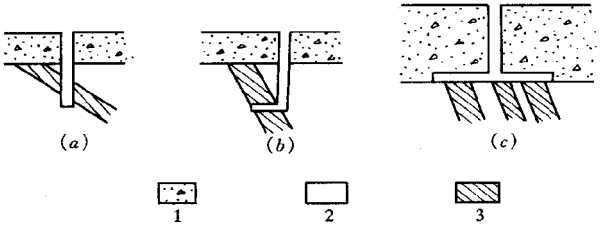



图 2－3－21　浅井布置形式图

（$a$）缓倾斜浅井布置；（$b$）陡倾斜浅井带石门；

（$c$）陡倾斜带岔浅井；1—残积层；2—围岩；3—矿体

浅井主要用于揭露松散层掩盖下的矿体，深度一般不超过 20m。对某些矿床如风化

矿床，浅井是主要的勘探手段，对于大体积取样的金刚石砂矿或水晶砂矿来说，只能用浅井来勘探。

(3) 平窿（PD） 从地表向矿体内部掘进的水平坑道（图 2－3－22 中的 $a$）。断面形状为梯形或拱形。主要用于揭露、追索矿体，也是人员出入、运输、通风、排水的通道。在地形条件有利时应优先使用平窿坑道。

(4) 石门（SM） 在地表无直接出口与含矿岩系走向垂直的水平坑道（图 2－3－22 中的 $b$）。石门常用来连接竖井和沿脉，揭露含矿岩系和平行矿体等。

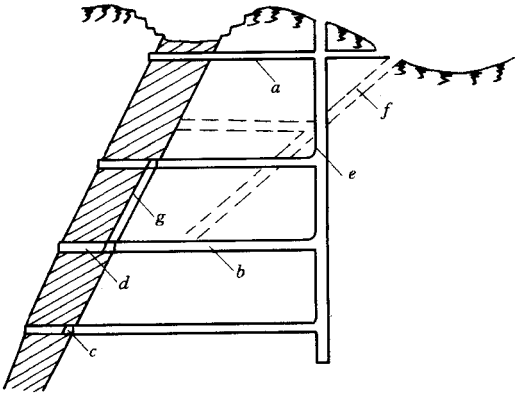



图 2－3－22 地下坑探工程

$a$—平窿；$b$—石门；$c$—沿脉；$d$—穿脉；

$e$—竖井；$f$—斜井；$g$—上山（或下山）

(5) 沿脉（YM） 在矿体中沿走向掘进的地下水平坑道（图 2－3－22 中的 $c$），用以了解矿体沿走向的变化，在矿体之外的沿脉坑道，可供行人、运输、通风、排水之用。

(6) 穿脉（CM） 垂直矿体走向并穿过矿体的地下水平坑道（图 2－3－22 中的 $d$）。穿脉用以揭露矿体厚度、圈定矿体，了解矿石组分及品位，查明矿体与围岩的接触关系等。

(7) 竖井（SJ） 是直通地表且深度和断面都较大的垂直向下掘进的坑道（图 2－3－22 中的 $e$）。竖井是人员出入、运输、通风、排水的主要坑道，竖井在矿床勘探和采矿时均可应用，采矿竖井有主井、副井及通风井之分。竖井应布置在矿体的下盘，以确保采矿时使用安全，即可减少矿量损失，保证其他地下坑道的稳固。竖井断面面积有 4、4.5、5.5、6、6.5、7$m^2$ 等。一般情况，设计竖井不宜过多，一个矿床设计 1～2 个就可以了。

(8) 斜井（XJ） 是在地表有直接出口的倾斜坑道（图 2－3－22 中的 $f$）。适用于勘探产状稳定且倾角小于 45。的矿体。斜井与竖井相比，可减少石门长度，但斜井长度比竖井深度大。

(9) 暗井（AJ）　在地表没有直接出口的垂直或倾斜的坑道（图 2－3－22 中的 g）。断面一般为长方形，面积为 1.5m×2.5m。垂直暗井又称天井，倾斜暗井又称上山或下山。暗井的作用为：在地下坑道中向上或向下勘探矿体，追索圈定被错断的矿体、贯通相邻的中断水平坑道。

各水平坑道的断面规格：其形状一般为梯形或拱形，坑道净高不小于 1.8m，矿车与坑道一侧的安全间隔为 0.2～0.25m，人行道宽度为 0.5～0.7m，水平坑道应有 0.3%～0.7%的坡度，弯道曲率半径应为小于矿车轴距 7～10 倍。斜井断面形状有梯形和矩形，净高不低于 1.6m。

坑道工程特别是地下坑道工程，由于成本高，施工困难，因此多用于矿床勘探阶段，在使用时应考虑矿床开采时的需要。

2. 钻探工程

钻探工程是通过钻探机械向地下钻进钻孔，从中获取岩芯、矿芯借以了解深部地质构造及矿体的赋存变化规律，其钻进深度，对于固体矿产多为 100～1000m。钻探工程是主要的矿产勘查手段。

(1) 浅钻　垂直钻进的浅型钻，其钻进深度多在 100m 之内，用以勘查埋深较浅的矿体。当涌水量大而无法用浅井勘探时，可采用浅钻。浅钻在矿点检查及物探化探异常的验证时经常使用。

(2) 岩芯钻　是机械回转钻，备有一整套的机械设备如钻塔、钻机、水泵、柴油机或电动机、钻杆及套管等。钻进深度 300～1000m。用以勘查深度较大的矿体，可垂直钻进，也可倾斜钻进。在矿产勘查的不同阶段均可使用，但较多的是在详查及勘探阶段使用。在普查阶段也可布置少量的普查验证钻孔。

(二) 探矿工程在矿产勘查中的应用

探矿工程虽然是揭露被松散沉积物掩盖和地下深处的各种地质现象，取得地质矿产资料的基本手段，但由于其成本较高和施工复杂，所以只有当利用其他手段无法达到地质目的时才使用。因此选择和应用探矿工程时，要充分考虑地质与经济效果，将探矿工程布置在最需要的地方，以期用最少的工作量取得最多的地质矿产资料。

在矿产勘查中，利用探矿工程主要解决的地质矿产问题是：揭露、追索和圈定矿体、矿化带，并进行采样；验证各种重要的物、化探异常；揭露实测地质剖面线上被松散沉积物掩盖的部位；揭露被松散沉积物掩盖的各种地质体及其相互接触关系。

## 四、地球化学探矿法

(一) 地球化学探矿法的基本原理

地球化学探矿主要是通过发现异常、解释评价异常的过程来进行的，所以说研究地

球化学异常是化探的最基本问题，而地球化学异常又是相对于地球化学背景而言的。弄清这些概念，对化探至关重要。

1. 地球化学背景与背景含量

在无矿或未受矿化影响的地区，区内的地质体和天然物质没有特殊的地球化学特征，且元素含量正常，这种现象称为地球化学背景，简称背景。正常含量也叫背景含量。元素呈正常含量的地区称背景区。

背景区内，元素的分布是不均匀的，故背景含量不是一个确定的值，而是在一定范围内变动的值。背景含量的平均值为背景值。用公式表示为：

$$C_o = \frac{\sum_{i=1}^{n} C_i}{n} \qquad (2-3-1)$$

式中 $C_o$——背景值；

$C_i$——各点的含量值；

$n$——样品的数目。

背景含量的最高值称为背景上限值，或称背景上限。高于背景上限值的含量就属于异常含量。因此，也可以称背景上限值为异常下限。

2. 地球化学异常与异常值

在广大背景区中，往往有一部分天然物质及地球化学特征与背景区有显著不同，这就是地球化学异常。

如果用数值来表达异常的特征，则该值叫地球化学异常值。其对应的地区称为地球化学异常区，简称异常区。

计算异常值下限的公式如下：

$$C_a = C_o + (2 \sim 3)\ \sigma \qquad (2-3-2)$$

式中 $C_a$——异常下限值；

$C_o$——背景值；

$\sigma$——标准差。

3. 地球化学异常的分类与地球化学找矿

(1) 地球化学异常的分类

地球化学异常可以分为原生地球化学异常（原生异常）和次生地球化学异常（次生异常）。前者为基岩中形成的异常；后者为岩石、矿石遭表生风化破坏后，在现代疏松沉积物、水及生物中形成的异常。

根据与介质形成的时间关系，地球化学异常也可以分为两类：同生地球化学异常（同生异常）和后生地球化学异常（后生异常）。同生异常与介质同时形成，后生异常则是在介质形成后，异常物质以某种方式进入介质而形成的。

根据规模大小，又可将地球化学异常分为三类：地球化学省、区域地球化学异常（区域异常）和局部地球化学异常（局部异常）。

（2）地球化学找矿

根据地球化学找矿取样介质的不同可以分为下列五类：

①岩石地球化学测量；

②土壤地球化学测量；

③水系沉积物地球化学测量（即分散流测量）；

④水化学测量；

⑤气体地球化学测量。

上述各类地球化学找矿方法中，以前三种最常用，比较成熟且找矿效果也较好。

（二）地球化学探矿法的野外工作方法

野外工作中定点、采样及编录等各环节的质量好坏，直接影响异常的推断解释，故需特别注意。

1. 定点及编号

将采样点的位置准确地标定在相应的图件上称为定点。测区用规则测网采样时，将测量结果换算成坐标落在图件上就行了。采样点的误差最好不超过点线距的 1/20 ~ 1/10。若用不规则测网采样时，定点的误差要大些，一般要求定点的误差在相应图中不超过 1mm。

编号即将所采样品按顺序编号，依工种不同方法分别进行连续编号。若同一方法但取样对象不同则需分别编号，以免混淆。如水化学测量时，取的泉水、井水、钻孔水、坑道水、地表水等等，则应分别编号为泉$_{1,2,3}$……，井$_{1,2,3}$……，坑$_{1,2,3}$……等等。

2. 采样

每个样品在一定条件下代表了采样点的情况，全部样品则反映测区的全貌。为了使样品有代表性，采样时必须注意各种方法的特点和要求。

（1）岩石测量采样

①地表岩石测量采样有三种方式：采新鲜基岩、采半风化基岩和风化基岩的残积碎块。采集时一般在直径 1m 范围内，敲取 3 ~ 5 块组成一个样品，分别包装不得混淆。要注意避免样品的人为富集和贫化。

②钻孔岩石测量采样。对岩芯自上而下按一定间距采样，每个样品在点距 1/10 范围内采 3 ~ 5 块组成。点距一般为 0.5 ~ 5m，近矿加密，远矿放稀。

浅井、探槽、坑道内的采样大致与钻孔岩芯采样相同。

③岩石背景测量采样（即正常区的岩石采样）

在采样点 1m$^2$ 的范围内，均匀采取无矿化现象的新鲜基岩 3 ~ 5 块组成一个样品。

为了有代表性，同种岩性样品数一般不得少于 30 件。所有岩石测量的样品重量一般为 100 ~ 200g。

(2) 土壤测量采样

其对象为正常发育的残坡积层，而不是冲积、塌积、冰碛形成的土壤。样品应当采自最富含指示元素的层位层，一般采自 B 层（即残积层）。A 层（即腐植殖层）因含大量植物根系等有机质对分析工作不利，故不予采集。一般说样品采自残积层中的砂质土、黏土、细砂土、粉砂土等等，混入的岩石碎块、植物根系应予除掉。每个样品的原始重量为 100 ~ 150g。

(3) 水系沉积物测量采样

采样对象为水系中的淤泥、细砂、粉砂等。由于水系沉积物中元素分布的不均匀性，因而样品不能简单地按点距要求随意采集，必须采自富含指示元素的沉积物才能发现异常。

在水流湍急的河溪中采样，采样位置要取水流变缓停滞处、大转石背后以及河溪转弯内侧，因为这些地方有较多的细粒物质。为了保证样品的代表性，可在采集点附近一定范围内（10 ~ 30m）采集若干个点组合成一个样品，样品的原始重量应能满足过 60 ~ 80 目筛后还有 20 ~ 30g。

3. 记录与编录

这是化探的基本文字依据，也是资料整理和异常解释的重要原始依据。

(1) 记录内容　除编号、位置、重量、性质等内容外，遇到矿化、污染等特殊现象都要记录。要求重点突出，简单明了。

(2) 野外记录工具　一律用铅笔书写，禁止用钢笔、圆珠笔或其他化学铅笔，这样便于保存。

(3) 编录的其他注意事项　每天的样品要在当天收工后进行统一编录，以之作为加工及送样分析的依据。当天不整理完毕，容易与第二天的样品混淆，影响成果的准确性。

4. 样品的初步加工

岩石测量样品是块状，土壤、分散流测量的样品粒度大小不一且含有杂质，故不能立即送去分析，需要加工，使之达到适合的元素富集粒度，让样品有代表性和均匀性。

各种样品加工方案：

(1) 岩矿测量样品　原始样（100 ~ 200g）→干燥→粗碎→过 20 目筛孔→研磨→全部过 30 目筛孔→缩分至 40g→研磨→过 80 目筛孔→取 20g 送分析→剩余部分留作副样。

(2) 土壤、分散流测量样品　原始样（100 ~ 150g）→干燥→搓碎→过 60 目筛孔→缩分取 20g 送分析→剩余部分留做副样。

（三）地球化学探矿的资料整理与异常解释评价

地球化学找矿中，在野外完成了样品采集后，都要对样品进行分析，对分析的成果进行综合整理，对所谓得到的地球化学异常进行解释和评价。

1. 资料的整理

地球化学找矿的资料，包括各种原始资料、各种地球化学图表及有关文字报告。

（1）原始资料的整理

地球化学找矿的原始资料，包括采样记录本、地质观察记录本、各种送样单、分析及鉴定报告，现场测定记录、有关照片等。这些原始资料应登记造册，清理审核并应有专人负责。

（2）化探成果图的编制

化探图件通常包括实际材料图和化探成果图两类。

①实际材料图

这种图件在中小比例地质矿产调查、普查过程中，一般是单独编制的。图的内容应真实反映化探工作的全部实际材料，其中包括采样线或采样水系、采样点位及编号，并在采点旁边标上指示元素含量。

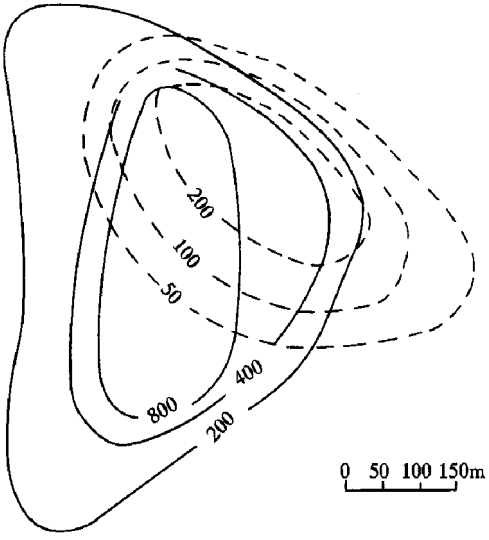



图 2－3－23　原生异常铜、钼等值线图

实际材料图的底图一般采用与野外工作实际用图相同或大一倍比例尺的简化地质图或水系的平面图。前者用于岩石地球化学测量和土壤地球化学测量，后者用于水系沉积物测量。

②化探成果图

主要有平面图和剖面图两类：

a. **地球化学平面图：从平面上表达工作地区各种化探成果的图件。编制这类图件的出发点就是在平面上如何用各种图示去正确地表达化探异常（图** 2 – 3 – 23**）。**

b. **地球化学剖面图：这是地质剖面与指示元素含量变化曲线相结合的一种图示方法（图** 2 – 3 – 24**、图** 2 – 3 – 25**）。**

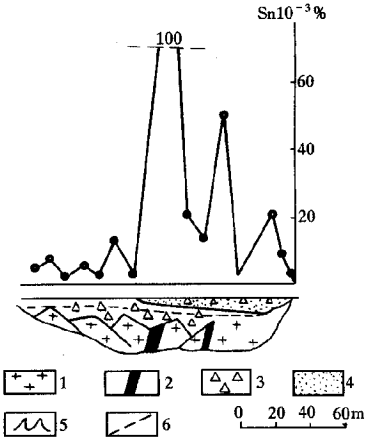



**图** 2 – 3 – 24 **地球化学剖面图**

1**—花岗岩；**2**—矿体；**3**—碎屑质残—坡积物；**4**—细土质残坡积物；**5**—成矿元素含量曲线；**6**—季节性变化界线（引自** B. M. ПИТлъКО **等）**

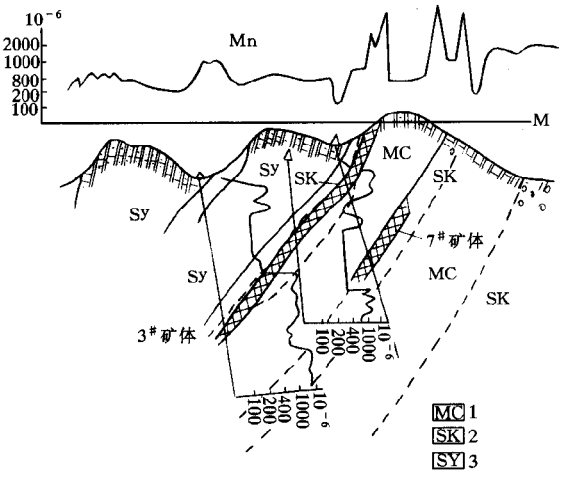



**图** 2 – 3 – 25 **某矽卡岩型铁矿地表及钻孔岩芯中的锰异常**

1**—大理岩；**2**—矽卡岩；**3**—变质泥砂岩**

## 五、异常的解释与评价

**化探工作概括起来，不外乎发现异常和解释异常。解释评价异常的目的是更有效地**

找矿。地质上的规律往往是复杂的，异常解释评价工作必须要有充分的依据。因此，异常解释评价必须以矿产地质为基础，以地球化学理论为指导，深入研究对比异常的特征，参考并综合分析各种找矿方法成果，只有这样才能获得良好的找矿效果。如某地土壤中发现一个形态近似椭圆形的铜、铅、银、钼等多元素组合的异常，根据当地地质情况推断，可能为花岗闪长岩体与灰岩接触带的异常，后经探槽揭露，证实了上述推断是正确的。但是，通过探槽壁底的详细地质观察、编录和化学取样，未发现工业矿体（铜品位仅为0.05%～0.15%之间）。为确定所发现异常的性质，便进行槽底基岩的岩石地球化学测量，所发现的原生异常特征与已知有矿异常对比，相当于工业矿体的前缘异常，这表明深部可能隐伏盲矿体。接着开展物探磁法详查，推断接触带的深部存在凹形部位，为有利成矿构造部位，经钻探验证，确实打到铜的工业矿体（图2－3－26）。

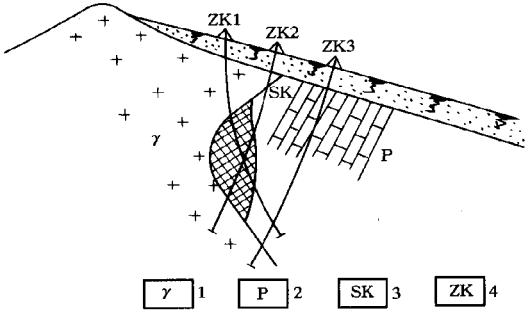



图2－3－26　物化探资料的钻探验证示意图

1—花岗闪长岩；2—二迭系灰岩；3—矽卡岩；4—钻孔

## 六、地球物理探矿法

### （一）地球物理探矿法的基本原理

物探的基本特点是研究地球物理场或某些物理现象。如地磁场、地电场、放射性场等，而不是直接研究岩石或矿石，它与地质学方法有着本质上的不同。通过场的研究可以了解掩盖区的地质构造和产状。它的理论基础是物理学或地球物理学，系把物理学上的理论（地电学、地磁学等）应用于地质找矿。因此具有下列特点和工作前提：

1. 物探的特点

（1）必须实行两个转化才能完成找矿任务。先将地质问题转化成地球物理探矿的问题，才能使用物探方法去观测。在观测取得数据之后（所得异常），只能推断具有某种或某些物理性质的地质体，然后通过综合研究，并根据地质体与物理现象间存在的特定关系，把物探的结果转化为地质的语言和图示，从而去推断矿产的埋藏情况与成矿有关的地质问题，最后通过探矿工程验证，肯定其地质效果。

(2) 物探异常具有多解性。产生物探异常的原因，往往是多种多样的。这是由于不同的地质体可以有相同的物理场，故造成物探异常推断的多解性。如磁铁矿、磁黄铁矿、超基性岩，都可以引起磁异常。所以工作中采用单一的物探方法，往往不易得到较肯定的地质结论。一般情况应合理地综合运用几种物探方法，并与地质研究紧密结合，才能得到较为肯定的结论。

(3) 每种物探方法都有要求严格的应用条件和使用范围。因为矿床地质、地球物理特征及自然地理条件因地而异，从而影响物探方法的有效性。

2. 物探工作的前提

在确定物探任务时，除地质研究的需要外，还必须具备物探工作前提，才能达到预期的目的。物探工作的前提主要有下列几方面：

(1) 物性差异，即被调查研究的地质体与周围地质体之间，要有某种物理性质上的差异。

(2) 被调查的地质体要具有一定的规模和合适的深度，用现有的技术方法能发现它所引起的异常。若规模很小、埋藏又深的矿体，则不能发现其异常；有时虽然地质体埋藏较深，但规模很大，也可能发现异常。故找矿效果应根据具体情况而定。

(3) 能区分异常，即从各种干扰因素的异常中，区分所调查的地质体的异常。如铬铁矿和纯橄榄岩都可引起重力异常，蛇纹石化等岩性变化也可引起异常，能否从干扰异常中找出矿异常，是方法应用的重要条件之一。

### (二) 地球物理探矿法的应用及其地质效果

1. 应用物探找矿的有利条件与不利条件

(1) 物探找矿有利条件：地形平坦，因物理场是以水平面做基面，越平坦越好；矿体形态规则；具有相当的规模，矿物成分较稳定；干扰因素少；有较详细的地质资料。最好附近有勘探矿区或开采矿山，有已知的地质资料便于对比。

(2) 物探找矿的不利条件：物性差异不明显或物理性质不稳定的地质体；寻找的地质体或矿体过小过深，地质条件复杂；干扰因素多，不易区分矿与非矿异常等。

2. 物探方法的种类、应用条件及地质效果简要列于表 2 – 3 – 13。

物探方法的选择，一般是依据工作区的下列三方面情况，结合各种物探方法的特点进行选择：一是地质特点，即矿体产出部位、矿石类型（是决定物探方法的依据）、矿体的形态和产状（是确定测网大小、测线方向、电极距离大小与排列方式等决定因素）；二是地球物理特性，即岩矿物性参数，利用物性统计参数分析地质构造和探测地质体所产生的各种物理场的变化特点。如磁铁矿的粒度、品位、矿石结构等对磁化率的影响，采用方法的有效性等；三是自然地理条件，即地形、覆盖物的性质和厚度及分布情况、气候和植被土壤情况等。

表 2－3－13　物探方法的种类、应用条件及地质效果简要表

| 方法种类 | 优　缺　点 | 应用条件 | 应用范围及地质效果 |
|---|---|---|---|
| 放射性测量法 | 方法简便效率高 | 探测对象要具有放射性 | 寻找放射性矿床和与放射性有关的矿床，以及配合其他方法进行地质填图、圈定某些岩体等。对放射性矿床能直接找矿 |
| 磁法（磁力测量） | 效率高、成本低、效果好。航空磁测在短期内能进行大面积测量 | 探测对象应略具磁性或显著的磁性差异 | 主要用于找磁铁矿和铜，铅、锌、铬、镍，铝土矿、金刚石、石棉、硼矿床，圈定基性超基性岩体进行大地构造分区、地质填图、成矿区划分的研究及水文地质勘测。如南京市梅山铁矿的发现，北京市沙厂铁矿远景的扩大；甘肃省某铜镍矿，西藏某铬矿床、辽宁省某硼矿床应用此法，地质效果显著 |
| 自然电场法 | 装备较简便，测量仪器简单，轻便快速、成本低 | 探测对象是能形成天然电场的硫化物矿体或低阻地质体 | 用于进行大面积快速普查硫化物金属矿床、石墨矿床；水文地质、工程地质调查；黄铁矿化，石墨化岩石分布区的地质填图。如辽宁省红透山铜矿、陕西省小河口铜矿及寻找黄铁矿矿床方面、应用此法地质效果显著 |
| 中间梯度法（电阻率法） | | 探测对象应为电阻率较高的地质体 | 主要用于找陡立、高阻的脉状地质体。如寻找和追索陡立高阻的含矿石英脉、伟晶岩脉及铬铁矿、赤铁矿等效果良好，而对陡立低阻的地质体如低阻硫化物多金属矿则无效 |
| 中间梯度装置的激发极化法 | 不论其电阻率与围岩差异如何均有明显反映，对其他电法难于找寻的对象应用它更能发挥其独特的优点 | 在寻找硫化矿时石墨和黄铁矿化是主要的干扰因素，应尽量回避 | 主要用于寻找良导金属矿和浸染状金属矿床，尤其是用于那些电阻率与围岩没有明显差异的金属矿床和浸染状矿体，效果良好。如某地产在石英脉中的铅锌矿床及北京延庆某铜矿地质效果显著 |
| 电剖面法按装置的不同分为： | | | 在普查勘探金属和非金属矿产以及进行水文地质、工程地质调查中应用相当广泛，并在许多地区的不同地电条件下取得了良好的地质效果 |
| 联合剖面法 | 其装置不好移动，工作效率低 | 探测对象应为陡立较薄的良导体 | 主要用于详查和勘探阶段，是寻找和追索陡立而薄的良导体的有效方法，如某铜镍矿床应用效果良好。当矿脉与围岩的导电性无明显差别时，利用视极化率 $\eta_s$（或 $s$）曲线也能取得好的效果 |

续表

| 方法种类 | 优 缺 点 | 应 用 条 件 | 应用范围及地质效果 |
| --- | --- | --- | --- |
| 对称四极剖面法 | 对金属矿床不如中间梯度和联合剖面法的异常明显 | | 主要用于地质填图，研究覆盖层下基岩起伏和对水文、工程地质提供有关疏松层中的电性不均匀分布特征，以及疏松层下的地质构造等。如某地用它圈定古河道取得良好的效果 |
| 偶极剖面法 | 主要缺点在一个矿体可出现两个异常；使曲线变得复杂 | | 一般在各种金属矿上的异常反映都相当明显，也能有效地用于地质填图划分岩石的分界面。在金属矿区，当围岩电阻率很低，电磁感应明显，而开展交流激电法普查找矿时往往采用。如我国某铜矿床用此法找到了纵向叠加的透镜状铜矿体 |
| 电测深法 | 可以了解地质断面随深度的变化，求得观测点各电性层的厚度 | 探测对象应为产状较平缓电阻率不同的地质体，且地形起伏不大 | 电阻率电测深用于成层岩石的地区，如解决比较平缓的不同电阻率地层的分布，探查油、气田和煤田地质构造，以及用于水文地质工程地质调查中。它在金属矿区侧重解决覆盖层下基岩深度变化，表土厚度等，间接找矿。而激发极化电测深主要用于金属矿区的详查工作，借以确定矿体顶部埋深以及了解矿体的空间赋有情况等。如个旧锡矿采用此法研究花岗岩体顶面起伏，进行矿产预测起到了良好找矿效果 |
| 充电法 | 能迅速迫索矿体延伸，或连接矿体，节省探矿工程 | 要求：矿体至少有一小部分出露地表或被工程揭露，以便对矿体充电；矿体必须是良导电体；矿体有一定的规模，并且埋深不大。<br>以找盲矿体为主的围岩充电法其应用条件：1. 存在能于地下充电的探矿工程；2. 被寻找的矿体与围岩有明显的电性差异；3. 被寻找的矿体有一定规模，且埋深不太大 | 1. 用以确定已知矿体的潜伏部分之形状，产状、大小、平面位置及深度；2. 确定几个已知矿体之间的连接关系；3. 在已知矿体或探矿工程附近寻找盲矿体和进行地质填图<br>主要用于金属矿的详查和勘探阶段<br>如在青海某铜钴矿应用充电法的结果，无论在解决矿体延伸、矿体连接及在充电矿体附近找盲矿，都取得了良好效果 |

续表

| 方法种类 | 优　缺　点 | 应 用 条 件 | 应用范围及地质效果 |
|---|---|---|---|
| 重力测量 | 受地形影响大，干扰因素多。但在深部构造研究上，是电法、磁法不可比拟的 | 探测的地质体与围岩间存在密度差才可用此法 | 可用此法直接找富锈矿、含铜黄铁矿；配合磁法找铬铁矿、磁铁矿；及研究地壳深部构造、划分大地构造单元、研究结晶基底的内部成分和构造，确定基岩顶面的构造起伏，确定断层位置及其分布、规模，圈定火成岩体，以达到寻找金属矿床的目的。及用于区域地质研究，普查石油、天然气有关的局部构造。此外，还可应用它找密度小的矿体。如找盐类矿床取得显著地质效果 |
| 地震法 | 优点：准确度高<br>缺点：成本高 | 要求地震波阻抗存在差异 | 主要用于解决构造地质方面的问题，在石油和煤田的普查及工程地质方面广泛应用。如在大庆油田、胜利油田的普查勘探中发挥了重要的作用 |

### （三）地球物理探矿法的图件及异常解释评价举例

例一：在内蒙古某地玄武岩上发现了极大值为 11000$\gamma$ 的 $Z_\alpha$ 异常，由于玄武岩有磁性，因此人们起初认为该异常由玄武岩引起。但用公式 $Z_\alpha \max = 2\pi J_Z$ 计算，玄武岩至多只能引起 4300$\gamma$ 的异常。露头测定进一步表明，玄武岩的异常不过 ± 500 ~ 600$\gamma$。再从异常形态比较规整以及测区外围曾发现铁矿点来推断，剩余异常很可能由玄武岩下面的磁铁引起。钻探结果证实，该异常对应着一个规模较大的鞍山式铁矿（图 2 – 3 – 27）。这个例子说明，对异常性质的判断要做过细的工作，否则就会造成较大的失误。

例二：我国某热液交代型铜矿位于变质岩系分布区，地表出露为元古界大理岩、云母片岩及变粒岩。断裂发育。矿石以黄铜矿、闪锌矿、黄铁矿为主，一般呈星散状，细脉状，局部富集成斑块状。虽然本区铜矿及其矿化岩石的极化率高，但区内石墨化和黄铁矿化岩石分布比较广泛，对激电法形成了严重干扰。

图 2 – 3 – 28 为该区第 12 号异常的剖面曲线。$\eta_s$ 值一般在 14% 以上，最高可达 26%。$\eta_s$ 曲线梯度较缓，宽度约 200 多米。其 $\eta_s$ 平面等值线较规则，沿走向长约 1000m。该异常位于河漫滩上，地表全为第四纪覆盖。

由于本区矿石多呈星散状或细脉状，硅化程度较高时，矿化较好。故一般矿体对应高极化率和高电阻率。而富含石墨和黄铁矿的矿化岩石，虽然极化率也高，但电阻率仅几十欧姆·米。据此推断 12 号异常为矿异常。并在 $\eta_s$ 异常较高处布置了 ZK1 号钻孔，见到了多层矿体。以后又沿矿带倾斜方向布置了三个钻孔，均打到多层厚度较大的矿体，有的孔内见矿总厚度达 46m。12 号异常的见矿使整个矿区储量扩大了一倍。

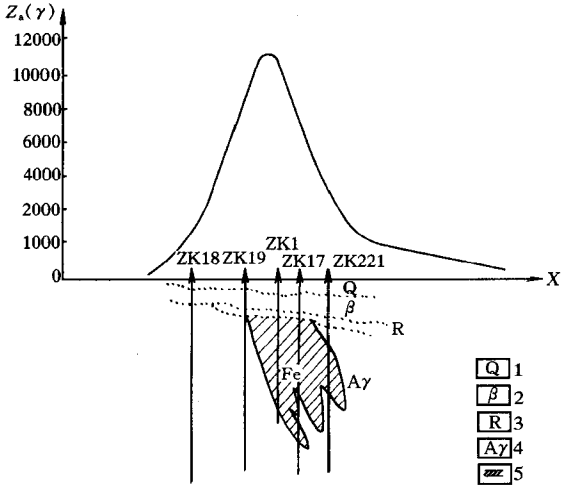



**图 2－3－27　内蒙古某地铁矿磁异常**

**1—第四系；2—第三系玄武岩；3—第三系砂质黏土；4—五台群片麻岩类；5—磁铁矿体**

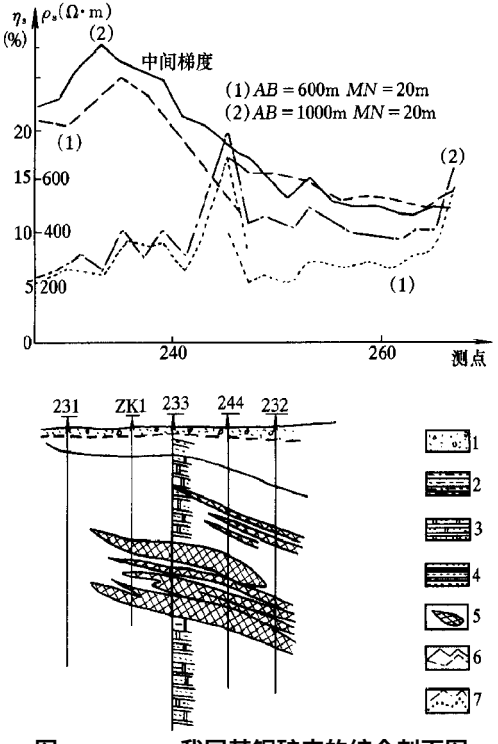



**图 2－3－28　我国某铜矿床的综合剖面图**

**1—第四纪浮土；2—云母石英片岩；3—硅化石墨大理岩；4—变粒岩；5—铜矿体；6—$\eta_s$ 曲线；7—$\rho_s$ 曲线**

例三：滇南岩盐产于白垩系上统勐野井组，密度为 2.18g/cm³。上覆的第四系、第三系地层密度为 2.07～2.24g/cm³；下伏的侏罗、白垩系地层密度为 2.6～2.7 0g/cm³。岩盐与其下地层有 0.42～0.52g/cm³ 的密度差，是利用重力找盐的良好条件。通过比例尺为 1∶100000 的重力普查工作，发现勐野井区的布格重力异常，为一近于等轴状的重力低，幅度达 -7mgal 异常。北侧重力梯度大，推测北侧含盐盆地陡，异常外围向西南和东南方向突出，反映矿体由中心向四周变薄（图 2-3-29）。

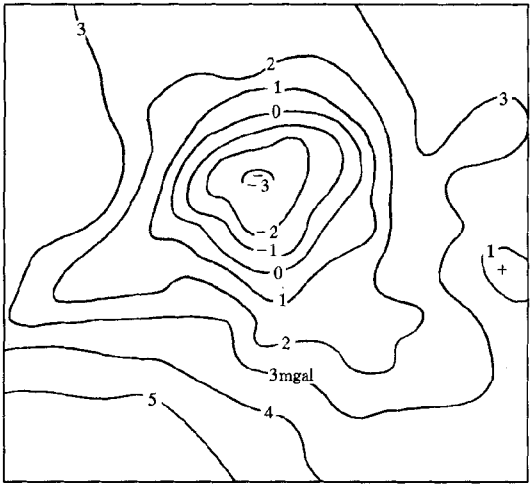



图 2-3-29　勐野井布格重力异常图

将重力异常与根据钻井资料绘制的岩盐视厚度图和顶板深度图对比表明，矿体等视厚度线与重力异常图形态非常相似，但岩盐厚度最大地段与负异常中心略有偏移。

根据钻井已揭示的矿层厚度及含盐盆地形态进行了重力剖面正演计算，结果如图 2-3-30 所示。计算理论曲线与实测曲线大体符合，尤其在岩盐厚度最大部位吻合甚好，说明引起重力异常的岩盐体已被钻井所控制。

# 第三节　矿床勘探

## 一、概　　述

### （一）矿床勘探的概念、目的、任务

矿床勘探是在矿产详查评价基础上，利用各种有效的技术手段和方法查明矿床工业

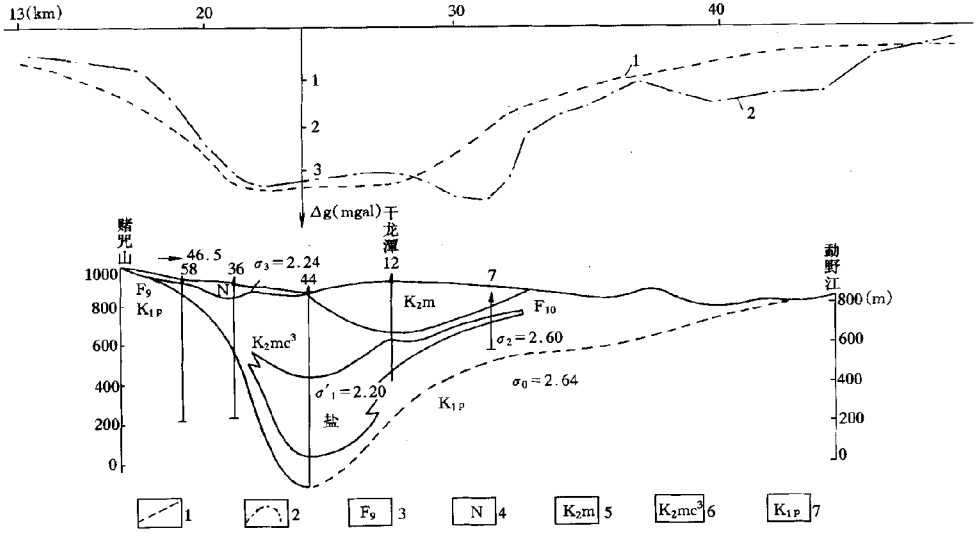



图 2－3－30 赌咒山—勐野江地质剖面重力正演计算结果与实测重力异常曲线对比图

1—正演计算重力异常曲线；2—实测重力异常曲线；3—断裂编号；4—上第三系；5—白垩系上统曼岗组；6—白垩系上统勐野井组；7—白垩系下统扒沙河组

价值及地质、经济技术条件所做的各项工作。主要包括矿床勘探地区的选择，矿床勘探设计的编制、矿床勘探施工及矿床勘探报告的编写。

矿床勘探的目的是对矿床进行工业评价，为了达到这一目的需要完成如下几项任务：

1. 探明矿石的数量、质量及空间分布；

2. 进一步查明矿床地质条件，矿体的形状、产状及赋存规律；

3. 查明矿床开采的技术条件，为矿山设计提供各种基础资料。

矿床勘探是一项探索性很强的工作，所面临的情况复杂多变。需要遵循客观规律，全面、深入、综合地进行研究，以便为矿山建设提供客观、有用的各种资料。

### （二）矿床勘探工作的内容与程序

矿床勘探工作内容较多，按其先后次序（程序）主要有以下几方面：

1. 矿床勘探地区的选择

矿床勘探地区应在矿产详查评价的基础上，根据经济建设和社会发展需要，选择其中经济合理、易于开采的矿区进行勘探。要把国家建设需要和矿床的地质条件及开采的技术经济条件结合起来，以提高矿床勘探工作的经济效果。

2. 矿床勘探设计的编制

矿床勘探设计包括矿床勘探设计说明书和各种附图。设计说明书包括设计的指导思想、目的任务、设计的地质依据、各项工作的布置和工作量、施工顺序、技术经济指标

和主要技术措施，所需人力、物力、财力概算及预期工作成果等内容。附图主要包括矿床地质图、勘探工程布置图、勘探设计剖面图等。

矿床勘探设计的编写要以上级下达的任务为依据，在充分研究被勘探矿区成矿地质条件、矿床地质特征的基础上，合理有效地选择勘探方法，使所编写的设计有充分的地质依据，使各项工作部署得当、彼此紧密配合。

3. 勘探施工

勘探施工是在矿床勘探设计基础上，按照设计布置的各项工作组织实施。其工作内容主要有矿区大比例尺地质测量、地形测量、物化探工作、各种探矿工程的施工、水文地质及工程地质工作、各种样品的采集、各种探矿工程的编录、阶段性储量计算、矿床开采地质条件和矿石技术条件的研究等。

4. 矿床勘探报告的编写

矿床勘探报告是对矿床地质研究及矿床勘探成果的总结，是矿山建设的依据。矿床勘探报告包括文字说明部分及附表和附图。文字说明包括前言、矿区地质、矿床勘探工作、水文地质、矿床开采技术条件和矿石加工特性、储量计算及结论等内容。附表及附图主要有储量计算表、样品分析登记表、矿区地质图、矿床勘探剖面图等。

（三）矿床勘探工作阶段的划分

矿床勘探是一个逐步进行的过程，为了提高矿床工作的成效、避免盲目勘探或建设，必须依据地质条件、对矿床的研究和控制程度以及采用的方法、手段，将矿床勘探工作划分为若干阶段，称为矿床的勘探阶段。

矿床的勘探阶段一般可分为初步勘探阶段、详细勘探阶段和开发勘探阶段。

1. 初步勘探阶段

初步勘探阶段是矿床勘探的第一阶段。其主要任务是：初步查明矿床的赋存条件、矿体的规模大小、矿产的质和量，以及矿床开采和利用的技术条件，对矿床做出初步工业评价，为确定详细勘探地段和矿山设计提供依据。

初步勘探阶段的主要工作是通过矿区大比例尺地质测量，利用探槽、浅井、浅钻等工程，并配合物化探对矿床进行地表地质研究，揭露、追索和圈定矿体；并用稀疏的钻探或坑探对矿体变化情况作大致了解，计算矿床初级储量。

2. 详细勘探阶段

在初步勘探基础上对国家计划建设和开采的矿床进行比较全面、深入的调查研究工作，其目的在于对矿床做出工业评价，为矿山建设提供必须的矿产储量和地质、技术、经济资料。

详细勘探阶段的主要任务是查明矿山建设范围内矿体总的分布情况、矿体的形状、产状、内部结构、矿石的物质成分和加工技术性能、研究和评价可供综合开采利用的共生矿产或伴生有用成分、研究矿床的水文地质条件和开采条件，为矿山建设提供资

料。

详细勘探阶段的主要工作是通过钻探和坑探等勘探工作，对矿体进行详细的深部揭露与研究，采集必要样品深入研究矿石质量和加工技术特性；绘制各种勘探工程剖面图和平面图，比较精确地计算矿产储量，进行水文地质观察和试验，研究水文地质条件；研究矿床开采条件，对矿床进行综合评价，编写矿床勘探报告。

3. 开发勘探阶段

开发勘探是为矿山建设的顺利进行和矿山持续、正常生产以及合理开发和充分利用矿产资源全面进行的深入研究和探矿工作。

开发勘探阶段的主要任务是为矿山建设和采矿提供更加准确、可靠的地质资料及矿产储量，探明过去尚未发现的隐伏矿体，扩大矿床储量、延长矿山寿命。

开发勘探阶段所进行的工作基本类似于详细勘探阶段，其重点是为生产提供足够数量的矿产储量。

矿床勘探阶段的划分阶段是相对的，有时并无明显界线。如对一些地质构造简单，工业价值和开采利用条件易于查明的矿床，为了加快勘探速度可将初步勘探和详细勘探结合起来；而对某些地质构造复杂、规模小的矿床则可进行边探边采、探采结合。

在矿床勘探的三个阶段中，一般前两个阶段由地质部门进行，习惯上称为“地质勘探”或称为“矿床勘探”；后一阶段一般由矿山部门进行，常称为“矿山勘探”。

（四）矿床勘探的原则

为了搞好矿床勘探，取得更好的地质经济效果，在矿床勘探中需要遵循如下原则：

1. 理论与实践相结合的原则

由于矿床本身的形成过程复杂多变、影响因素较多，因此在矿床勘探中既要注重在一定理论指导下开展矿床勘探，又要从所勘探矿床实际出发。没有理论指导的矿床勘探就会走很多弯路，只照搬理论不顾实际情况同样不能取得好的勘探效果。因此只有在理论指导下，从矿床实际出发才能使各项勘探工作符合客观规律，取得良好的勘探效果，否则就会造成损失。

2. 循序渐进原则

矿床勘探是一项探索性很强的工作，因此必须按照循序渐进的原则进行，由表及里、由浅入深、由粗到细、由已知到未知逐步开展。矿床勘探阶段的划分正是体现了这一原则。

在矿床勘探中遵循这一原则是为了提高矿床勘探工作的成效，避免进行盲目勘探和施工造成的损失。但也不能机械套用，要根据实际情况灵活加以应用。

3. 全面研究、综合评价的原则

全面研究是指在矿床勘探进程中尽可能收集各方面资料。对矿床地质条件，矿体形状、产状，内部结构，矿石质量、数量和选冶性能，开采条件和水文地质条件进行全面

研究，以便为矿山建设服务提供全面资料。

综合评价是指在矿床勘探过程中要综合评价各种有用组分的工业价值。因为在大多数矿床中不只存在一种有用组分，往往有若干有用组分。如果对这些伴生和共生的有益组分不进行综合评价则有可能造成损失和浪费，反之则可能取得巨大效益。如加拿大马尼托巴伟晶岩矿床，原来作为锡矿勘探、开采。后来进行综合评价发现此矿床是一个巨大的钽、铍、铯多种有色金属矿床，使加拿大由一个缺钽国家成为著名的钽生产国。又如我国浙江东部一铅锌矿床，由于铅锌含量不高，其经济效益不好。后来经综合评价发现其中银含量很高，使之成为一大型铅锌银矿床。从国内外很多矿床勘探经验来看，综合评价可以明显降低矿床勘探成本，提高经济效益，缩短勘探周期。

4. 经济合理原则

在矿床勘探中投入的工程量越多，所获得的资料越多。但是随着工程量的增加，其勘探成本也愈高、周期愈长。因此在矿床勘探中要根据国家建设需要，从矿床的地质、开采条件出发选择合理的勘探手段和方法，提高各项工作效率、降低勘探成本。在保证必要的勘探程度前提下，力求用最合理的方法和最少的人力、物力，取得最好的成果和经济效益。这就是经济合理原则。

## 二、储量分级、勘探程度与勘探深度

### （一）矿产储量分级

矿产储量，简称储量或矿量，是指有用组分或矿石在地下的埋藏量。矿产储量是矿床勘探的主要成果之一，也是制定国民经济计划、进行矿山建设和生产的重要依据。

1. 储量分级的意义

在矿床勘探过程中，人们对矿床的研究和认识是随着勘探工程控制的程度而逐步深入的，不同类型的矿床、不同勘探阶段、工程的控制程度不同，所计算的矿产储量的可靠程度不同，提供资料的作用也不同。因此有必要将矿产储量按其控制和可靠程度分为不同的等级，称为矿产储量分级。

矿产储量的分级对储量的计算、审批和利用，更加合理地做好矿床勘探工作，明确各级储量的工业用途都有重要意义。

2. 储量分级的依据

储量分级的主要依据是储量的可靠程度及其相应的工业用途。具体包括以下几个方面：

（1）矿体的形状、产状和空间位置的控制与研究程度。

（2）矿石质量和数量的控制与研究程度。

(3) 影响矿体的地质构造的控制与研究程度。

这些问题的控制与研究程度取决于探矿工程的种类、间距、施工质量及地质研究程度。

3. 矿产储量分级

根据经济技术条件和远景发展需要，根据《固体矿产地质勘探规范总则》(1992年)一般将矿产分为能利用储量和暂不能利用储量。

(1) 能利用储量　一般也称为表内储量，是指在当前经济技术条件下能开采利用的储量。根据储量的控制程度和工业用途，将矿产储量分为A、B、C、D四个等级。

①A级储量是指用做矿山编制采掘计划的储量，由矿山部门探求。要求比较准确地控制矿体形状、产状和空间位置，矿石的工业类型和品级及其变化规律。

②B级储量是矿山建设依据的储量，是地质勘探阶段的高级储量。要求比较详细地控制矿体的形状、产状和空间位置以及矿石品级及变化规律。

③C级储量是矿山建设初步设计依据的储量。要求基本控制矿体的形状、产状和空间位置，基本确定矿石工业类型和品级及其变化规律。

④D级储量是作为矿山远景规划依据的储量，也是进一步布置矿床勘探工作的依据，部分复杂矿床的D级储量也可作为矿山设计的依据。要求大致控制矿体的形状、产状和分布范围，大致确定矿石工业类型及品级。

(2) 暂不能利用储量　一般称为表外储量，是指在当前经济技术条件下还不能利用的矿产资源。

为了适应市场经济的需要，更好地与国际接轨，在综合考虑经济、可行性和地质可靠程度的基础上，采用符合国际惯例的分类原则。我国于1999年颁布的《固体矿产资源/储量分类》(GB/T17766—1999)对矿产储量重新进行了分类。

①分类依据：矿产资源经过矿产勘查可获得的不同地质可靠程度和经相应的可行性评价可获不同的经济意义，是固体矿产资源/储量分类的主要依据。据此，固体矿产资源/储量可分为储量、基础储量、资源量三大类十六种类型(表2-3-14(a)和表2-3-14(b))。

②分类：

a. 储量：是指基础储量中的经济可采部分。

b. 基础储量：是查明矿产资源的一部分。它能满足现行采矿和生产所需的指标要求(包括品位、质量、厚度、开采技术条件等)。

c. 资源量：是指查明矿产资源的一部分和潜在矿产资源。

表 2－3－14（a）　固体矿产资源/储量分类

| 地质可靠程度 / 分类类型 / 经济意义 | 查明矿产资源 | | | 潜在矿产资源 |
|---|---|---|---|---|
| | 探明的 | 控制的 | 推新的 | 预测的 |
| 经济的 | 可采储量（111） | | | |
| | 基础储量（111b） | | | |
| | 预可采储量（121） | 预可采储量（122） | | |
| | 基础储量（121b） | 基础储量（122b） | | |
| 边际经济的 | 基础储量（2M11） | | | |
| | 基础储量（2M21） | 基础储量（2M22） | | |
| 次边际经济的 | 资源量（2S11） | | | |
| | 资源量（2S21） | 资源量（2S22） | | |
| 内蕴经济的 | 资源量（331） | 资源量（332） | 资源量（333） | 资源量（314）？ |

说明：表中所用编码（111～334），

第 1 位数表示经济意义：1——经济的；2M——边际经济的；2S——次边际经济的；3——内蕴经济的；? ——经济意义未定的。

第 2 位数表示可行性评价阶段：1——可行性研究；2——预可行性研究；3——概略研究。

第 3 位数表示地质可靠程度：1——探明的；2——控制的；3——推新的；4——预测的；*b*——未扣除设计、采矿损失的基础储量。

表 2－3－14（b）　矿产资源储量套改表

| 储量种类 | 地质研究程度 | | 套改编码 | 归类编码 |
|---|---|---|---|---|
| | 储量级别 | 勘查阶段 | | |
| 1. 正在开采、基建矿区的单一、主要矿产储量及其已（能）综合回收利用的共、伴生矿产储量以及因国家宏观经济政策调整而停采的矿产储量 | A＋B | 勘探 | 111 | 111 |
| | | | 111b | 111b |
| | C | 勘探 | （112） | 111 |
| | | | （112b） | 111b |
| | | 详查 | （112） | 122 |
| | | | （112b） | 112b |
| | D | 勘探、详查、普查 | （113） | 122 |
| | | | （113b） | 122b |
| | | | 333 | 333 |

续表

| 储量种类 | 地质研究程度 | | 套改编码 | 归类编码 |
|---|---|---|---|---|
| | 储量级别 | 勘查阶段 | | |
| 2. 计划近期利用、推荐近期利用、可供边探边采矿区单一、主要矿产储量及其可综合回收利用的共、伴生矿产储量及 1993 年 10 月 1 日以后提交的勘探报告中属能利用（表内）a 亚类矿产量储量 | A + B | 勘探<br>详查<br>普查 | 121 | 121 |
| | | | 121b | 121b |
| | C | | 122 | 122 |
| | | | 122b | 122b |
| | D | | (123) | 122 |
| | | | (123b) | 122b |
| | | | 333 | 333 |
| 3. 因经济效益差、矿产品无销路、污染环境等而停建、停采，将来技术、经济及污染等条件改善后可能再建再采的矿区单一、主要矿产储量及其已（能）综合回收的共、伴生矿产储量 | A + B | 勘探<br>详查 | 2M11 | 2M11 |
| | C | | (2M11) | 2M22 |
| | D | | (2M13) | 2M22 |
| | | 普查 | (2M13) | 333 |
| 4. 因交通或供水或供电等矿山建设的外部经济条件差确定为近期难以利用、近期不宜进一步工作，但改善经济条件后即能利用的矿区的单一、主要矿产储量及其可综合回收的共、伴生矿产储量 | A + B | 勘探<br>详查 | 2M21 | 2M21 |
| | C | | 2M22 | 2M22 |
| | D | | (2M23) | 2M22 |
| | | 普查 | (2M23) | 333 |
| 5. 由于有用组分含量低、或有害组分含量高、或矿层（煤层）薄、或矿体埋藏深、或矿床水文地质条件复杂等而停建、停采的矿区的单一、主要矿产储量及其已（能）及未（不能）综合回收利用的共、伴生矿产储量及闭坑矿区储量 | A + B | 勘探<br>详查<br>普查 | 2S11 | 2S11 |
| | C | | (2S12) | 2S22 |
| | D | | (2S13) | 2S22 |
| 6. 由于有用组分含量低、或有害组分含量高、或矿层（煤层）薄、或矿体埋藏深、或矿床水文地质条件复杂等确定为近期难以利用和近期不宜工作矿区的单一、主要矿产储量及其共、伴生矿产的储量，及表外矿 | A + B | 勘探<br>详查<br>普查 | 2S21 | 2S21 |
| | C | | 2S22 | 2S22 |
| | D | | (2S23) | 2S22 |

续表

| 储量种类 | 地质研究程度 | | 套改编码 | 归类编码 |
|---|---|---|---|---|
| | 储量级别 | 勘查阶段 | | |
| 7. 未能按上述要求确事实上编码的矿产储量 | A + B | 勘探 | 331 | 331 |
| | C | 详查 | 332 | 332 |
| | D | 普查 | 333 | 333 |

### （二）矿床勘探程度

矿床勘探程度是指对矿床的地质和开采加工技术性能研究的详细程度。具体包括：对矿床成矿地质条件、矿体分布规律和矿体边界、矿体外部形态和内部结构、矿石的物质成分和技术加工性能、共生矿产及伴生有益组分、矿床开采技术条件及水文地质条件等方面的勘探和研究程度。在矿床勘探中矿床勘探程度表现为已经探明储量的级别、比例和分布情况。一般而言，在矿床地质勘探中 B 级储量越多、比例越大，说明矿床的勘探程度越高，反之表外储量越多、表内储量越少，则说明矿床勘探程度低。

合理的勘探程度主要决定于矿产的急需程度、矿床地质条件的复杂程度、勘探工程的投入程度以及矿区自然经济、地理条件等综合因素。如果勘探程度确定过高，不仅会超出矿山建设对地质资料和矿产储量的需要，而且勘探技术水平也可能达不到、经济上也不合理，还可能延长勘探时间、推迟矿山建设。反之如果勘探程度定得过低，又不能满足矿山建设需要，还有可能造成矿山设计方案产生错误、造成重大损失。因此矿床勘探程度既要满足矿山建设需要，又不能脱离矿床实际进行过高或过低程度的勘探。

### （三）矿床勘探深度

矿床勘探深度是指矿床勘探后作为矿山建设设计依据的矿产储量的分布深度。一般指矿体最高标高至地下的垂直距离。目前矿床的勘探深度多在 400 ~ 600m 以内，矿体规模越大，矿石品质越好，矿床的勘探深度则可适当加大，反之则宜浅。同一矿体或同一矿区的勘探深度应控制在大致相同的水平标高，以便合理确定开采标高。矿床的勘探深度是衡量矿床勘探程度的因素之一。

合理的勘探深度取决于国家对矿产的需要程度，当前的开采技术和经济水平、未来矿山建设生产的规模、服务年限和逐年开采的下降深度以及矿床的地质特征等。一般对矿体延深不大的矿床最好一次勘探完毕，对矿体延深很大的矿床勘探深度应与未来矿山首期开采深度一致，在此深度以下可打少量深孔控制其远景，为矿山总体规划设计提供资料。

## 三、矿床勘探类型

### （一）矿床勘探类型的概念及划分依据

#### 1. 矿床勘探类型的概念

在研究和总结以往矿床勘探经验基础上，根据影响矿床勘探难易程度的主要因素（如矿体规模及复杂程度等）对矿床所进行的分类称为矿床的勘探类型。矿床的勘探类型既不同于矿床的成因类型，也不同于矿床的工业类型，它是一定时期矿床勘探经验的总结，在一定程度上可作为类似矿床勘探工作的借鉴，如在确定矿床勘探方法、探矿工程密度、勘探程度等方面进行参考。所以研究和划分矿床勘探类型是矿床勘探的重要内容之一。

2. 矿床勘探类型划分的因素

矿床勘探类型划分的因素很多，涉及地质、勘探、水文地质条件等多方面。但主要是矿体的规模大小以及矿体形状、产状、有用组分及其变化程度、地质构造的复杂程度。因此矿床勘探类型划分的主要依据包括以下几个方面：

（1）矿体规模大小　矿体规模大小是影响矿床勘探类型最主要的因素。一般情况下矿体规模越大，形态越简单，越容易进行勘探；反之越难勘探。规模大、形态简单的矿体（如层状矿体）用较稀的探矿工程即可控制，而规模小、形态复杂的矿体要使用较密的探矿工程才能控制。

应当注意矿体规模与矿床规模之间的区别与联系，矿床规模是以矿床中有用组分的储量为依据，主要侧重经济意义，一个矿床可以由一个或多个矿体组成。矿体规模是指矿体的空间大小，侧重于矿体的几何意义。矿体规模没有明确的划分标准，不同矿种有所不同。一般而言，延长及延深超过 1000m，厚度数十米的矿体可称为大矿体，而延长及延深小于 100～200m，厚度不超过数米的矿体称为小矿体。

（2）矿体中有用组分的分布均匀程度　有用组分的分布均匀程度也可称为矿石品位的变化程度，常用变化系数（$V_c$）表示，根据变化系数可将有用组分的分布均匀程度分为四类：

均匀分布　　$V_c < 40\%$

较不均匀分布　　$V_c = 40\% \sim 100\%$

不均匀分布　　$V_c = 100\% \sim 150\%$

很不均匀分布　　$V_c > 150\%$

变化系数在经济学中可称为变异系数，可通过下列公式计算：

$$V_c = \frac{\delta_c}{C} \tag{5-1}$$

式中　$V_c$——变化系数；

$\delta_c$——品位均方差；

$$\delta_c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(C_i - C)^2}{n}} \tag{5-2}$$

$C$——矿石品位算术平均值；

$C_i$——某一样品的矿石品位；

$n$——参加计算品位的样品数。

一般情况下变化系数越大，表示有用组分含量的变化程度越大，矿床勘探难度越大。因此可利用品位变化系数确定矿床的勘探类型，为合理进行矿床勘探提供依据。

(3) 矿化连续程度　是指有用组分分布的连续程度。一般情况下，矿化连续的矿体比矿化不连续的矿体更易于勘探。矿化的连续程度可用含矿率（$K_p$）表示。

$$K_p = \frac{l}{L} \text{或} K_p = \frac{s}{S} \text{或} K_p = \frac{v}{V} \qquad (5-3)$$

式中，$l$、$s$、$v$ 分别为矿体中可采部分的长度、面积、体积，$L$、$S$、$V$ 分别为矿体的总长度、总面积、总体积。

根据矿化系数可将矿化分为以下几种：

连续矿化　　$K_p = 1$

微间断矿化　　$K_p = 1 \sim 0.7$

间断矿化　　$K_p = 0.7 \sim 0.4$

不连续矿化　　$K_p < 0.4$

(4) 矿体形态、产状及地质构造复杂程度　是影响矿床勘探难易程度的基本因素，对矿山建设设计、生产起着重要作用。

矿体形态简单、产状变化小勘探就比较容易，反之矿体形态复杂、产状变化大就不容易勘探。矿体的产状还影响勘探方法、勘探工程间距等方面。

矿区地质构造影响矿体的形状、产状，特别是成矿后的地质构造对矿床勘探有很大影响，如成矿后断裂往往会破坏矿体的连续性，增加了矿床勘探的难度。所以地质构造的复杂程度也是影响确定矿床勘探类型的因素之一。

### (二) 矿床勘探类型的划分

根据矿床勘探类型的划分依据，结合矿床勘探的实践经验，地质主管部门颁布了部分矿床的勘探类型，现将几种矿床的勘探类型列表如下（表 2-3-15 ~ 表 2-3-18）。

1. 铁矿床的勘探类型

表 2-3-15　　铁矿床勘探类型

| 勘探类型 | 矿　体　特　征 | 实　　例 |
| --- | --- | --- |
| Ⅰ | 矿体分布范围广，长达数千米以上，呈层状、似层状，厚度、产状和矿石质量稳定，构造简单到较简单。有的矿体中有少量夹层 | 本溪南芬，鞍山王家堡子等受变质沉积铁矿床；河北庞家堡海（湖）盆地沉积铁矿床等 |

续表

| 勘探类型 | 矿 体 特 征 | 实 例 |
|---|---|---|
| Ⅱ | 矿体沿走向长达1km以上，矿体形状较规则，常为层状、似层状或大型透镜体状，厚度、产状和矿石质量较稳定，构造较简单；或规模巨大，但受后期断层、岩脉切割穿插的矿体。矿体中常见夹层 | 河北迁安水厂、山西尖山和四川攀枝花等钒钛磁铁矿；江苏梅山、广东连平大顶、安徽凹山等接触交代型和与火山—侵入活动有关的铁矿床；内蒙古白云鄂博，海南石碌等铁矿床 |
| Ⅲ | 矿体规模一般为中型，形状不够规则，常呈似层状、透镜状和扁豆状，厚度、产状变化较大，矿石质量不够稳定，矿床构造中等或较复杂，矿体中夹层或包体较多 | 湖北大冶铁山、山东金岭铁山，河北邯邢的矿山村、玉泉岭、西石门、安徽马鞍山的姑山等铁矿床 |
| Ⅳ | 矿体规模小，形状复杂，一般呈中小型的透镜状，脉状，囊状、扁豆状和不规则状，厚度、产状变化大，矿石质量不够稳定。矿体多不连续，常组成矿体群 | 河北大庙、邯邢符山、江苏凤凰山、安徽马鞍山的大东山、吉林大栗子等铁矿床 |

2. 铜矿床的勘探类型

表 2－3－16 铜矿床勘探类型

| 勘探类型 | 矿 床 特 征 | 实 例 |
|---|---|---|
| Ⅰ | 规模巨大，形态简单，厚度稳定至较稳定，主要组分分布均匀至较均匀的层状，巨大透镜状矿体 | 江西德兴铜厂斑岩铜矿 |
| Ⅱ | 规模大到巨大，形态简单至较简单，厚度较稳定，主要组分分布较均匀的似层状、大透镜状矿体 | 云南易门狮山变质岩层状铜矿 |
| Ⅲ | 规模中等到大，形态较简单至复杂，厚度较稳定至不稳定，主要组分分布较均匀至不均匀的似层状，透镜状、脉状矿体 | 甘肃白银厂火山岩黄铁矿型铜矿 |
| Ⅳ | 规模小到中等，形态复杂至很复杂，厚度较稳定至不稳定，主要组分分布较均匀至不均匀的透镜状、脉状、扁豆状、囊状矿体 | 安徽狮子山矽卡岩型铜矿 |
| Ⅴ | 规模小，形态很复杂，厚度较稳定至很不稳定，主要组分分布较均匀至很不均匀的小透镜状、小囊状、小扁豆状、筒状矿体 | 辽宁华铜矽卡岩型铜矿 |

3. 磷矿床的勘探类型

表 2－3－17　　磷矿床勘探类型

| 勘探类型 | 矿　床　特　征 |
| --- | --- |
| Ⅰ | 矿层稳定，矿区（段）构造简单的大、中型沉积磷块岩矿床。其规模沿走向一般长达数至数十千米，沿倾向可达近千米至数千米 |
| Ⅱ | 矿层较稳定、矿区（段）构造简单，或矿层稳定，构造中等的沉积磷块岩矿床。其规模沿走向一般长达数千米至数十千米，沿倾向可达近千米至数千米 |
| Ⅲ | 矿层（体）较稳定、矿区（段）构造中等，或矿层（体）不稳定、构造简单的沉积磷块岩和沉积变质磷灰岩矿床；或部分呈似层状产出的正变质磷灰石岩矿床。矿层（体）沿走向长一般在千米至数千米，沿倾向为数百米至近千米 |
| Ⅳ | 矿层不稳定、矿区（段）构造中等，或矿层（体）较稳定、构造复杂的各种成因类型的矿床，矿层（体）沿走向长数百至千余米，沿倾向常为数百米 |
| Ⅴ | 矿体不稳定，构造复杂，或矿体不稳定至极不稳定、构造简单至中等的岩浆型及其他成因类型矿床。矿体规模小，沿走向和倾向一般均为数百至数十米 |

4. 煤矿床的勘探类型

表 2－3－18　　煤矿床勘探类型

| 勘探类型 | 矿　床　特　征 |
| --- | --- |
| Ⅰ | 构造简单，煤系地层沿走向及倾向产状变化不大，断层稀少，且对煤层影响很小，没有或者很少受岩浆岩影响 |
| Ⅱ | 构造中等。煤系地层沿走向倾向产状有一定变化，断层较发育，有时受岩浆岩侵入的影响 |
| Ⅲ | 构造复杂，煤系地层沿走向、倾向产状变化很大，断层发育，有时受岩浆岩的严重影响 |
| Ⅳ | 构造极复杂，煤系地层产状变化极大，断层极发育，有时受岩浆岩严重破坏 |

### （三）确定矿床勘探类型的方法

矿床勘探类型的划分是为了指导新矿区的矿床勘探。对新矿区而言，属于哪一种勘探类型，这就需要根据矿产详查资料采用类比的方法加以确定。但是在类比确定矿床勘探类型时要注意以下几个方面：

1. 矿床勘探类型是前人对矿床勘探工作的总结，只能为类似矿床勘探提供参考和借鉴。在矿床勘探中应加强对所勘探矿床自身地质特征和变化规律的研究，从实际出发

进行有效勘探。

2. 在确定矿床勘探类型过程中，各种因素既互相联系、又互相区别，因此既要分析各种因素，又要抓住主要因素，以地质特征为基础、参考某些变化系数来确定矿床的勘探类型。

3. 在确定矿床类型过程中会出现一个矿床由多个矿体组成的情况，有时一部分矿体属于一种勘探类型，而另外一些矿体则属于另外一种勘探类型，在此情况下应分清主次。如果主要矿体和次要矿体在同一地段重叠，则以主要矿体为主；若主要矿体和次要矿体分属不同地段，可单独构成系统，则主要矿体和次要矿体分别确定矿床勘探类型。

4. 确定矿床勘探类型的过程是人们对矿床认识逐渐深化的过程，在矿床勘探过程中必须及时研究所获得的资料，并试验、检查所确定的矿床勘探类型是否合适，从而修正初期的结论，如果不注意研究所确定的矿床勘探类型是否符合客观情况，对勘探工作将会带来难以挽回的损失。

## 四、探矿工程的布置

### （一）探矿工程及其选择

1. 探矿工程

对矿床进行勘探必须通过一定的技术手段，包括钻探、坑探、物化探等，这些技术手段常称为探矿工程。钻探是矿床勘探时使用最广的一种技术手段，主要用于追索和圈定矿体，了解矿体与围岩的埋藏条件及矿石质量，目前广泛使用岩芯钻。坑探是指用掘进方式挖掘坑道来揭露、观察和研究矿体，并采集样品；坑探所用的坑道包括水平坑道、垂直坑道、倾斜坑道及剥土、浅井及探槽等。物化探是利用矿体与围岩的物理性质及化学成分差异来研究矿体，在一定条件下使用物化探配合地质工作可以大大提高勘探工作质量，加快勘探速度，降低勘探成本。在这几种勘探工程中，坑探、钻探所花费的人力、物力、时间和经费远远超过地质，物化探。因此合理选择和布置勘探工程是矿床勘探的重要环节。

2. 探矿工程的选择

合理选择探矿工程可以从以下几方面考虑：

（1）根据勘探任务选择探矿工程　在初步勘探阶段以地质、物化探以及浅井、探槽等探矿工程为主，对矿体深部追索一般采用少量钻探工程。而在详细勘探阶段往往以钻探和坑探工程为主，配合物化探及其他工作。

（2）根据地质条件选择探矿工程　一般矿体规模大、矿体形态简单、有用组分分布均匀，矿床构造简单，矿体没有大的错断、缺失现象用钻探工程即可正确圈定矿体。如果矿体规模小、形态复杂，则需采用钻探与坑探相结合或用坑探工程才能圈定矿体。

（3）根据地形条件选择探矿工程　地形切割强烈地区的矿床有利于使用水平坑道勘探。而地形平缓地区的矿床则利用钻探工程更好，如果矿体形态复杂，矿化不够均匀，所需储量级别又高，则可利用垂直坑道或倾斜坑道工程勘探。

（4）根据矿区自然条件选择勘探工程　如高山区搬运钻机困难，可利用坑探工程探矿。严重缺乏水时也只好采用坑探。反之地下水涌水量很大的矿区，只能利用钻探工程探矿。

（二）探矿工程的布置原则

矿床勘探的目的是为了追索和圈定矿产详查中所发现的矿体，从而确定它们的形状、产状和分布情况，以及它们的质量和数量。为了达到上述目的，探矿工程的布置需要遵循以下原则：

1. 探矿工程必须按一定的间距，由浅入深、由已知到未知，由稀而密的布置，并尽量使各工程间互相联系，以便获得各种参数和绘制勘探剖面图。

2. 探矿工程应尽量垂直矿体或矿带走向布置，以保证沿厚度方向揭穿整个矿体或矿带。

3. 布置探矿工程时要充分利用原有工程，以节约勘探费用和时间。

4. 采用平硐、竖井等坑探工程进行勘探，则应使探矿坑道尽可能为将来开采时所利用。

（三）探矿工程的总体布置

探矿工程的总体布置是指在探矿工程布置原则指导下，将所选择的探矿工程按一定方式在所勘探矿床中进行布置的形式。为了使矿床勘探的总体布置能反映地质成果，满足矿山建设需要，常采用一系列相互平行的剖面系统。其基本形式有如下三种：

1. 勘探线

将探矿工程布置在一组与矿体走向垂直的剖面内，从而构成一组相互平行的直线称为勘探线（如图 2－3－31）。

勘探线是目前矿床勘探中应用最广的一种探矿工程总体布置形式。适用于产状清楚、缓倾斜的脉状、层状、似层状及透镜状等矿体的勘探。此外勘探线形式还不受探矿工程种类限制，除钻探外槽探、井探等都可布置在勘探线上（如图 2－3－32）。

在布置勘探线时应注意：

（1）勘探线通常垂直矿体走向或基本垂直矿体走向布置，当矿体走向有显著改变时（如走向大于 20°），可分区、分段布置。

（2）同一矿床勘探线的间距应基本一致。若矿体形态，矿石品位变化较大时也可不一致。

（3）为便于综合作图，同一勘探线上的工程，应尽可能保持在该铅直剖面内，如果

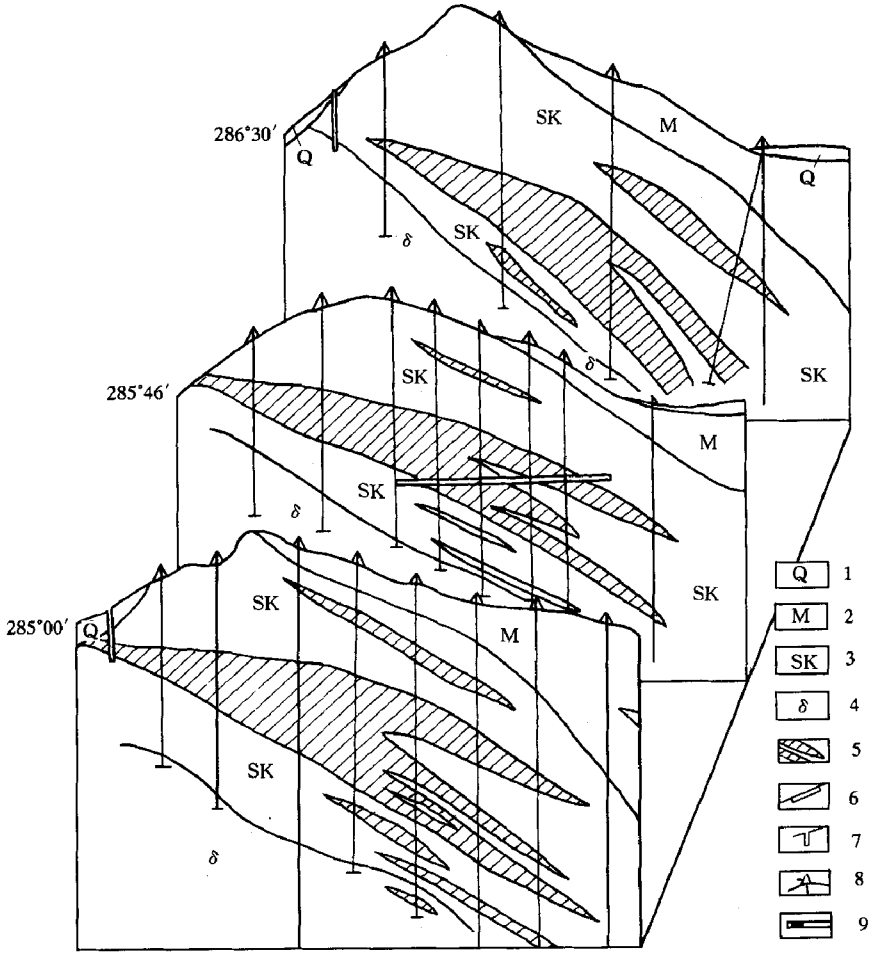



图 2－3－31 勘探线示意图

1—第四系；2—震旦系变质灰岩；3—矽卡岩；4—闪长岩；5—矿体；6—探槽；7—浅井；8—钻孔；9—检查坑道；

限于地形、地物等影响施工时，在地质精度许可下也可适当地移动。

2. 勘探网

将勘探工程布置在两组不同方向勘探线的交点上组成网状的勘探工程总体布置形式称为勘探网。勘探网多用于产状水平或缓倾斜的层状、似层状及大型网状矿体的勘探。可获得 2～4 组不同方向的勘探剖面，便于揭示矿体在纵横两个方向的变化情况。勘探网上勘探工程的布置受到一定限制，只适用于垂直的勘探工程，如直孔钻、浅井等，当用斜钻孔勘探时不能构成勘探网。

常用的勘探网形式有正方形网、长方形网及菱形网（如图 2－3－33～图 2－3－34）。

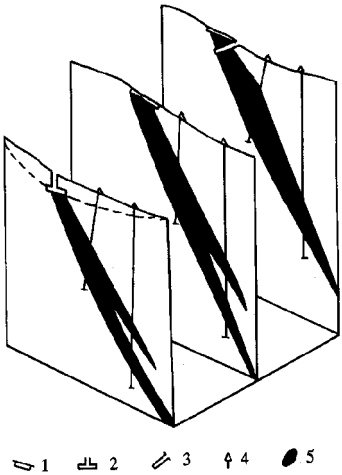



图 2－3－32　按照勘探线布置工程立体示意图

1—探槽；2—带叉子的浅井；3—小斜井；4—钻孔；5—矿体

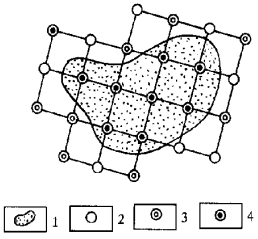



图 2－3－33　正方形勘探网

1—矿体在水平面上的投影；2—设计钻孔；

3—施工未见矿钻孔；4—施工见矿钻孔

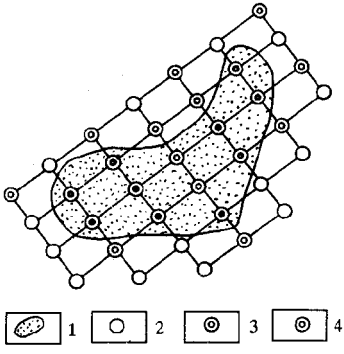



图 2－3－34　长方形勘探网

1—矿体在水平面上的投影；2—设计钻孔；

3—施工未见矿钻孔；4—施工见矿钻孔

正方形网常用于矿体平面大致为等轴状，矿石品位无明显方向性变化的矿体；长方形网常用于产状较平缓，呈条状分布的矿床。如果将长方形网各勘探线上的工程错开间距的二分之一则成为菱形网（或三角形网）。国外有人曾论证过三角形网最能发挥工程的控制作用，但由于所受限制较多，所以较少应用。

在矿床勘探中勘探网的形式并非是固定不变的，随着勘探工作的逐渐深入，采用不同的加密方式往往会改变网形及疏密方向。如用正方形勘探网进行勘探，发现某一方向变化较大时则可在该方向加密，从而将正方形勘探网变为长方形勘探网。所以在矿床勘探初期常采用正方形勘探网进行试探，然后再根据试探情况作进一步处理。

3. 水平勘探

用水平勘探坑道沿不同深度揭露和圈定矿体，构成若干层不同标高的水平勘探剖面。这种勘探工程的总体布置形式称为水平勘探。主要适用于陡倾斜的层状、脉状、透镜状、筒状矿体。

水平勘探坑道的布置应随地形而异。当地面比较平坦时，通常在矿体下盘开凿竖井，然后从不同深度开凿石门、沿脉、穿脉等坑道（如图 2－3－35）。当地形陡峭时可利用山坡从不同高度开凿平硐，在平硐中再开掘沿脉、穿脉等坑道以揭露和圈定矿体。水平勘探也可以与勘探线、勘探网配合使用。如水平勘探与钻探配合在铅直方向也构成成组的勘探剖面时，则成为水平勘探与勘探线相结合的工程布置形式。

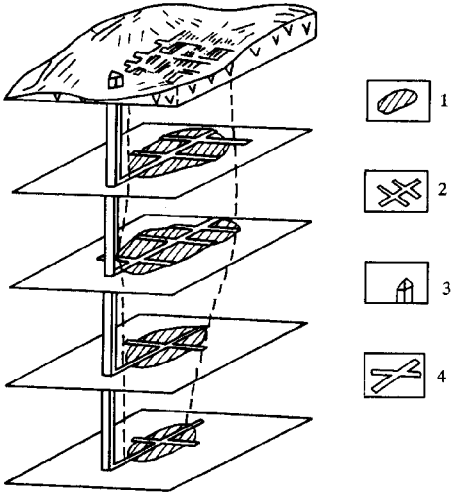



图 2－3－35 水平勘探筒状矿体

1—矿体；2—探槽；3—竖井；4—沿脉与穿脉坑道

### （四）探矿工程的间距

探矿工程的间距是指探矿工程之间的水平距离。常用“勘探网度”表示，如勘探网度 100m × 50m，是指勘探工程沿矿体走向的距离为 100m，沿矿体倾斜方向的距离为 50m，当矿体倾角较大时也可表示为斜距 50m。合理的勘探网度决定于矿体的规模、形态和产状的变化程度，矿体内部结构，地质构造的复杂程度和预期探明储量的精度要求，勘探工程的类型。

在矿床勘探中确定工程间距的方法主要有以下两种：

1. 类比法

类比法是根据类似矿床的勘探经验确定勘探工程的网度。类比时主要从成矿地质条件、矿床地质特征等方面进行。类比法常用于矿床勘探初期。这种方法只是一种推理，是否符合所勘探矿床实际，还需要根据勘探过程中得到的资料验证。要根据新的资料对所确定的勘探网度进行修正，防止生搬硬套。

为了统一类比标准，全国储量委员会曾颁布各种矿产不同勘探类型矿床探明各级储量所用勘探工程间距。现以铁、铜、磷、煤矿床为例将其勘探工程间距列表（表 2 – 3 – 19 ~ 表 2 – 3 – 22）。

表 2 – 3 – 19　　铁矿床探矿工程间距表

| 勘探类型 | 探矿工程间距（m） | | | |
|---|---|---|---|---|
| | B 级 | | C 级 | |
| | 沿走向 | 沿倾斜 | 沿走向 | 沿倾斜 |
| Ⅰ | 200 | 100 ~ 200 | 400 | 200 ~ 400 |
| Ⅱ | 100 | 50 ~ 100 | 200 | 100 ~ 200 |
| Ⅲ | 50 | 50 | 100 | 50 ~ 100 |
| Ⅳ | – | – | 50 | 50 |

表 2 – 3 – 20　　铜矿床探矿工程间距表

| 勘探类型 | 探矿工程间距（m） | | | |
|---|---|---|---|---|
| | B 级 | | C 级 | |
| | 沿走向 | 沿倾斜 | 沿走向 | 沿倾斜 |
| Ⅰ | 100 | 100 | 200 | 100 ~ 200 |
| Ⅱ | 50 ~ 60 | 40 ~ 50 | 100 ~ 120 | 80 ~ 100 |
| Ⅲ | 40 ~ 50 | 30 ~ 40 | 80 ~ 100 | 60 ~ 80 |
| Ⅳ | | | 40 ~ 60 | 40 ~ 60 |

表 2－3－21 磷矿床探矿工程间距表

| 勘探类型 | 探矿工程间距（m） | | | |
|---|---|---|---|---|
| | B 级 | | C 级 | |
| | 沿走向 | 沿倾斜 | 沿走向 | 沿倾斜 |
| Ⅰ | 400 | 200 | 800 | 400 |
| Ⅱ | 200 ~ 400 | 100 ~ 200 | 400 ~ 800 | 200 ~ 400 |
| Ⅲ | 100 ~ 200 | 50 ~ 100 | 200 ~ 400 | 100 ~ 200 |
| Ⅳ | 50 ~ 100 | 50 | 100 ~ 200 | 50 ~ 100 |
| Ⅴ | | | 50 ~ 100 | 50 |

表 2－3－22 煤矿床探矿工程间距表

| 勘探类型 | 探矿工程间距（m） | | |
|---|---|---|---|
| | A 级 | B 级 | C 级 |
| Ⅰ | 750 | 1500 | 3000 |
| Ⅱ | 375 ~ 500 | 750 ~ 1000 | 1500 ~ 2000 |
| Ⅲ | | 250 | 250 ~ 500 |
| Ⅳ | | | |

2. 稀空法

稀空法是指按一定方法将原有勘探网度放稀（即增加勘探工程间距），然后分析、对比放稀前后的勘探结果，从中选择合理勘探网度的方法称为稀空法。

应用稀空法时首先选择矿床中有代表性的地段，以较密的间距进行勘探，根据所获得的资料进行圈定矿体，计算储量等。然后将勘探工程密度放稀一倍或二倍，再进行矿体圈定、计算储量等，通过分析对比稀空前后的各种资料，从而得出较合理的勘探网度，再将此勘探网推广到所勘探矿床的其他地段。稀空法多用于矿床勘探后期或详细勘探阶段。

（五）探矿工程的地质设计

探矿工程地质设计是从地质角度出发，根据成矿地质条件、矿床勘探类型、布置原则，确定探矿工程的种类、空间位置以及有关技术问题。主要包括钻探工程设计及坑道工程设计。

1. 钻探工程设计

钻探工程设计包括确定钻孔截穿矿体的部位、开孔位置及钻孔的技术要求和钻孔理

想柱状图的编制。

(1) 钻孔截穿矿体部位的确定　要确定钻孔截穿矿体的部位，首先要根据勘探线（或勘探网）和详查资料编制矿体的理想剖面图，然后以地表矿体出露位置或已实施的探矿工程截穿矿体的位置为起点，沿矿体倾斜方向按选定的工程间距，根据矿体倾角大小，以水平距离（或斜距）沿矿体底板（或矿体中心线）量出钻孔将截穿矿体的位置。当矿体缓倾斜时（$<30°$），该工程多为水平间距（图 2－3－36（a））；当矿体倾斜较大时（$>30°$），该工程间距为斜距（图 2－3－36）。

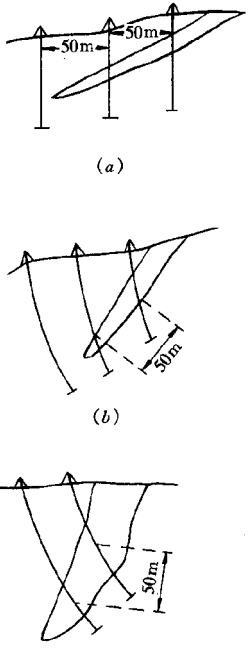



图 2－3－36　沿矿体倾向（斜）布置探矿工程示意图

若矿体成群分布，钻孔穿过矿体的位置则以含矿带的底板边界为准；若有数个彼此并行、大小不等的矿体时则以其中主要矿体为依据；若为盲矿，则以第一个见矿钻孔位置为起点，按所选定的工程间距沿矿体的上下两端定出钻孔截穿矿体的位置。所选定的工程间距沿矿体倾斜的上下两端定出钻孔截穿矿体的位置。

(2) 钻孔的孔口位置和钻孔倾斜角度及孔深的确定　孔口位置一般根据勘探网度及截穿矿体的位置确定。在此基础上还应考虑钻孔施工的技术条件，首先要求孔位附近要有较乎坦的地形以便安置机场和施工材料；其次孔口应避开陡崖、建筑物、道路等。若孔口与地质设计要求矛盾时，允许在一定范围内适当移动。移动的距离应根据所探明储量的级别确定，一般在勘探线上可移动 10～20m，在勘探线两侧可移动数米。

钻孔倾角是指钻孔轴线与垂线之间的夹角。为了使钻孔尽可能垂直矿体厚度方向，

可根据矿体产状将钻孔设计成直孔，而对陡倾斜矿体常设计成斜孔。

孔深，一般根据地质要求确定，钻孔穿过矿体后在围岩中再钻进 1 ~ 2m 即可。如果矿体与围岩界线不清楚，应根据有关沿矿体倾向（斜）矿化、蚀变情况适当加大设计孔深。

(3) 钻孔技术要求　设计钻孔的技术要求有：岩芯和矿芯采取率、钻孔倾斜角漂斜和方位角偏离、孔深验证测量、简易水文观测、物探测井和封口要求等。

(4) 编制钻孔理想柱状图　钻孔理想柱状图是钻孔技术设计和施工的地质依据。它是根据勘探线设计剖面编制的。比例尺一般为 1∶500 ~ 1∶1000。其内容包括由上至下的岩性分层、各层钻进起止深度、矿层（矿体）起止深度、钻孔的技术要求及钻孔施工中应注意的事项（如岩石破碎、坍塌、掉块、涌水、流砂层、溶洞等）。

钻孔地质设计完成后，再将钻孔编号、坐标、方位角、开孔倾角、设计孔深，施工目的等列表归总，连同施工通知书提交钻探部门。

2. 坑道设计

坑道工程主要包括平硐、竖井、沿脉、穿脉等深部探矿工程。此类工程施工技术条件复杂，投资费用高，因而在设计时必须有明确的目的和充分的地质依据。同时为了使坑探工程能为今后开采所利用，应与开采部门共同研究，了解开采方案以及开采块段和中段的高度，以便正确进行地质设计。

在坑道地质设计中，新勘探矿区与生产矿山外围和深部不同情况的要求有所不同。在新勘探矿区坑道设计主要包括坑道系统的选择、坑道的布置等，而生产矿山则往往借助探采资料有针对性地进行坑道设计。

(1) 勘探坑道系统的选择　坑道系统主要有平硐坑道系统、斜井坑道系统及竖井坑道系统。平硐系统主要用于地形起伏较大地区，斜井、竖井系统主要用于地形较平缓地区。平硐坑口位置应选择有较开阔的场地，岩层比较稳固，有较大面积堆放废石的凹地。坑口标高在历年洪水位之上。竖井一般多布置于矿体下盘的矿区近中心部位，井口位置地形应平坦，在历年洪水位之上，井筒应避开断裂带、流砂层和溶洞地带。

(2) 探矿坑道的布置　探矿坑道主要指沿脉和穿脉。沿脉坑道一般布置在主矿体中，穿脉坑道用来圈定矿体范围及次要矿体。沿脉坑道设计长度大致与矿体长度一致或视需要而定，穿脉只需穿过矿体或含矿带即可。同一矿区内的穿脉坑道应布置在勘探线上，这样有利于编制剖面图。

探矿坑道设计好后，应在中段地质图和勘探线设计剖面图上标出坑道的方位、坑道长度以及坑道断面规格和坑道坡度等。坑道设计被批准后还应将坑道地质情况和水文地质情况等方面的资料送交施工部门，以保证施工安全。

# 第四章　地质编录和矿产取样

在矿床揭露之后，应对所有的探、采工程（探槽、浅井、坑道、钻孔等）进行全面认真的现场地质调查工作，并且仔细地、客观地收集矿床中矿石的数量、质量以及各种地质特征的全部资料。无论在地质勘探和矿山地质工作中都要进行此项工作，它是整个矿床地质研究工作的基础。此项工作包括原始地质编录和矿产取样工作。

## 第一节　原始地质编录简介

### 一、原始地质编录的概念与内容

地质人员到现场对各种探、采工程所揭露的矿体及各种地质现象进行仔细观察，并用图表和文字将矿体特征和各种地质现象如实素描和记录下来的整套工作，称之原始地质编录工作。它是收集第一手地质资料最基本的方法。所收集的资料是编制各种综合地质图件的基础，是进行综合研究的前提，也是评价矿床的重要依据。原始地质编录具体包括坑探工程地质编录和钻孔地质编录（或称岩心编录），编录的主要内容如下：

1. 素描图：用简易的皮尺、钢卷尺和罗盘等工具，测绘各种以矿体为中心的地质现象并将其画到坐标纸上，各种勘探工程的素描图见后述。

2. 文字描述：在野外记录簿上用规定的格式记录各种地质现象，如矿体产状、形状、厚度；矿石的物质组成及矿物共生组合、结构构造；矿体与围岩接触关系；围岩类型及其蚀变作用；地质构造及其控矿关系等。

3. 实物标本：采集有代表性的矿石、蚀变岩和各种围岩标本，以便进行综合研究。对一些特殊的标本，如化石、构造岩也要注意收集。

4. 照相：有条件情况下，对一些特殊地质现象，如矿体与围岩接触带、各种矿化穿插关系和地质构造现象进行拍摄，并附以简要文字说明。照相与素描图可互相取长补短。

## 二、原始地质编录的要求

为了提高编录的质量，使收集的资料真实可靠，并能客观反映矿床地质特征，要求在编录过程中，做到如下几点：

1. 编录的格式要统一、简明：如图表格式、工程编号与坐标、样品与标本的编号、岩石名称、地层划分标准、图例等都应统一、简明，便于对获取的资料进行分析对比。

2. 素描图要求重点突出：素描图及其文字记录均要求突出矿体或矿化部位。

3. 素描图的比例尺：可根据具体地质情况和要求而定，但一般情况下都要求为 1∶50～1∶200。

4. 文字描述：内容要求简单、明了、说明问题。

5. 编录工作：应及时经常地进行，并尽量简化一些不必要的手续，避免内容重复。

## 三、几种常见的原始地质素描图

在原始地质编录中，采用地质素描图来收集资料是使用最广泛而且也是最基本的一种方法。将各种探、采工程中所揭露的以矿体为中心的主要地质特征按照一定比例尺绘制而成的地质图件，称之为地质素描图。如探槽素描图、浅井素描图、坑道素描图、钻孔柱状素描图等就是几种常见的原始地质素描图。一般情况下，每个工程都要求绘制一张素描图。图上除详细表示以矿体为中心的各种地质现象外，还应有下列内容：矿区名称、工程名称及编号、工程方位及坐标、比例尺、样品及标本的位置与编号、样品分析结果表、工程平面位置图、图例、责任制表等等。采矿工作者虽然一般不直接参加现场地质素描工作，但常需查阅和利用这些原始资料，如到现场了解矿床地质条件，核对综合地质资料的可靠性。

### （一）探槽素描图

此图是表示探槽所揭露的各种地质现象的图件。一般素描探槽的一底与一帮，只有当地质条件特别复杂时，才素描一底与两帮。实地的槽底与槽帮并不在同一平面上，而制图时则要求绘在同一平面上，为了把空间上两个位置不同的平面绘到同一平面上去，就需要将空间图形展开成平面图。

探槽素描图展开的方式有两种：即坡度展开法与平行展开法。其中坡度展开法使用较多，展开的步骤是：以槽帮所在的平面为基准，将槽底投影到水平面上；再把槽底的水平投影面沿着底和帮交线的投影线旋转到槽帮所在的平面上；最后将槽中的各种地质现象根据所需比例尺缩绘上去，即成一张一帮和一底的探槽素描图（图 2－4－1）。

从图 2－4－1 中可见，槽帮的底线与水平线的夹角就代表了该探槽的坡度角。此

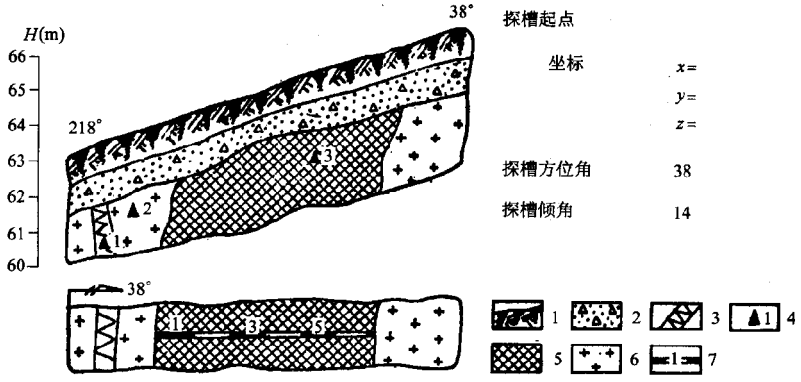



图 2－4－1　探槽素描图实例

1—腐殖土；2—山坡堆积；3—石英脉；4—标本采集位置与编号；5—矿体；6—花岗岩；7—取样位置与编号

外，还会发现槽底比槽帮要短些，这是由于一定坡度的探槽，槽帮是原样的缩影，而槽底却是投影于水平面后的缩影，所以在素描图中槽底比槽帮显得短了些。

（二）浅井素描图

此图是表示浅井（包括圆井和方井）所揭露的地质现象的图件。当地质情况简单时，一般只素描垂直矿体走向的一壁；当地质情况复杂时，则要求素描浅井的四壁，常采用四壁展开图。其展开的方式多用四壁平行展开法：就好像拿一个直立的火柴盒，从接头的地方把它撕开，按顺序展开成一个平面，每壁标上方位；并将浅井中所揭露的各种地质现象，按一定的比例尺缩绘在平面展开图上，即成一张浅井素描图（图 2－4－2）。只要掌握了它的展开方式，读图也就比较容易了。其他垂直坑道（如天井、溜井等）素描图的绘制方法均与浅井素描图相同。

（三）水平坑道素描图

此图是表示各种水平坑道（如石门、沿脉、穿脉等）所揭露的地质现象的图件。绘制这种图伞的关键也是要把空间上三个位置不同的平面，通过展开的方式缩绘到同一个平面上去。其展开的方式也有两种：即外倒式和内倒式，如图 2－4－3 所示。目前大多数矿山都采用内倒式展开，只有某些矿脉细少，变化复杂的有色和贵重金属矿山采用外倒式展开。

坑道素描图的形式较多，如一帮一顶素描图、二帮一顶素描图、顶板及掌子面素描图、矿床特征素描图等。在实际素描时必须根据具体的地质情况和要求来确定。当地质情况较简单时，穿脉坑道中可用一顶和一帮素描，图，沿脉坑道中则常用顶板及掌子面素描图，如图 2－4－4 所示。当地质情况较复杂时，则多采用二帮一顶素描图，如图 2－4－5 就是一张内倒式展开的水平穿脉坑道素描图的实例。它的展开方法相当于顶板

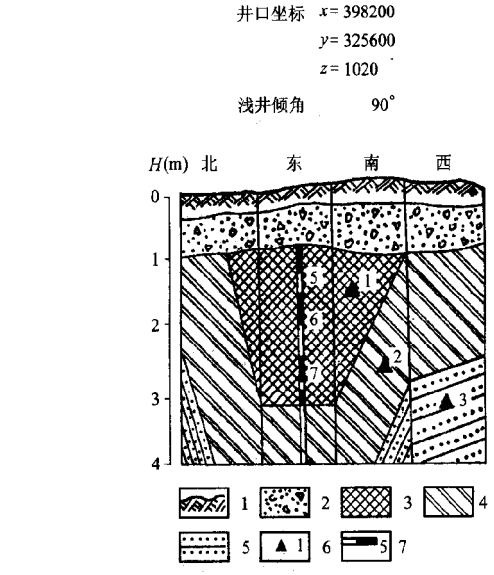



图 2－4－2 浅井素描图实例

1—腐殖土；2—山坡堆积；3—富矿体；4—贫矿体；5—围岩；6—标本采集位置与编号；7—样品采集位置与编号

不动，以两帮与顶板的交线为轴，将两帮向上翻转至顶板所在的平面内，同时将坑道中所有地质现象按一定的比例尺缩绘到平面图上，即成为一张完整的坑道地质素描图。阅读这种图时，就好像是人站在坑道顶上向下看坑道的顶板和翻转后的两帮。

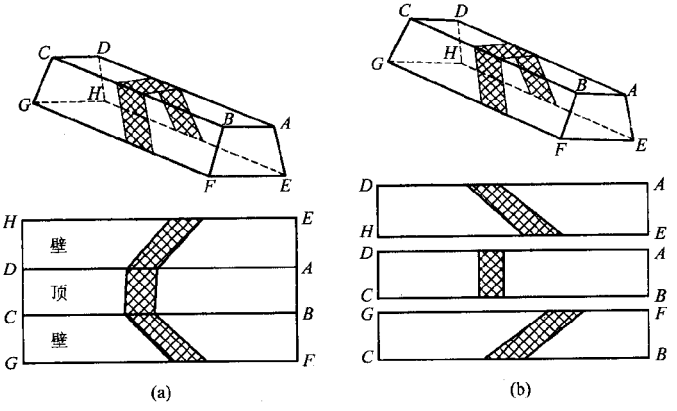



图 2－4－3 水平坑道展开示意图

(a) —内倒式展开；(b) —外倒式展开

此外，还需简单说明一下在素描时对拐弯坑道的处理方法：当坑道弯度不大时（即坑道方位角的改变小于 10°），仍可按直线坑道进行素描；当坑道弯度较大时（即坑道方位角的改变大于 10°），有两种处理方法：一是分段素描，二是采用展开图的形式进行素

描。

拐弯坑道所采用的展开图的形式又有两种：一是以坑道的一帮为基准，将顶板和另一帮按坑道拐弯角度的大小拉开，具体如图 2－4－6a 所示；另一形式是以顶板为基准，根据坑道拐弯角度的大小，将一帮拉开，另一帮重叠，如图 2－4－6b 所示。目前矿山上多采用后一种形式。

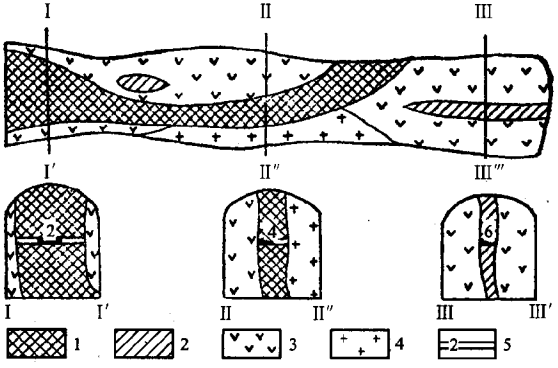



图 2－4－4　沿脉坑道顶板及掌子面素描图实例

1—富矿体；2—贫矿体；3—角斑岩；4—花岗岩；5—取样位置与编号

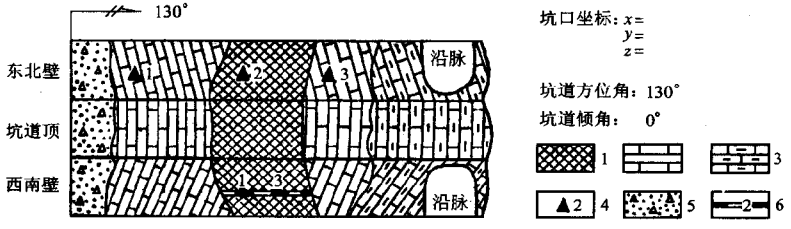



图 2－4－5　水平穿脉坑道内倒式展开素描图实例

1—矿体；2—石灰岩；3—硅质灰岩；4—标本采集位置与编号；

5—山坡堆积；6—样品采集位置与编号

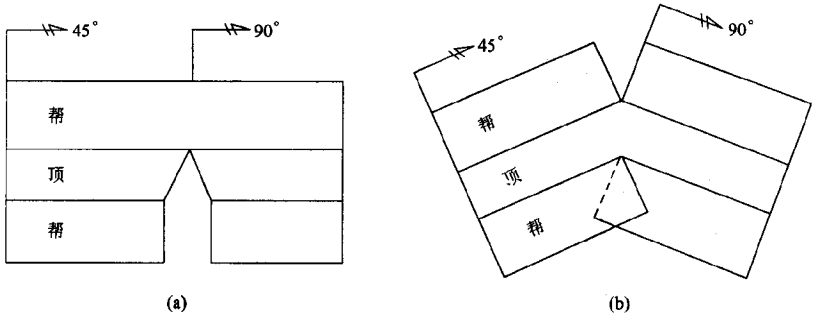



图 2－4－6　拐弯坑道展开示意图

### （四）钻孔柱状素描图

此图是记录钻孔所揭露的地质现象的图件。其绘制方法是，根据在钻进过程中所提取出来的岩（矿）心，以自上而下的顺序，在图上采用各种符号将不同的岩性或矿体，以一定的比例尺，缩绘成一个柱状，这就是钻孔柱状图的主要部分。钻孔柱状图的格式和应表示的主要内容如图 2－4－7 所示。这种图（及表格）比较简单，容易看懂，故不详述其制图和读图的方法了。

钻 孔 柱 状 图

开孔日期：　　勘探线号：　　孔口坐标：$x=$　　钻孔倾角：

终孔日期：　　$y=$

终孔深度：　　孔　号：　　$z=$　　钻孔方位：

| 回次进尺 m | | | 岩心采取 | | 换层深度/m | 层位 | 柱状图 1:200 | 岩性描述 | 取样情况 | | | | 化验结果/% | | | 钻孔结构 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 自 | 至 | 进尺 | 岩心长/m | 采取率/% | | | | | 编号 | 自 | 至 | 样长/m | TFe | S | P | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |

孔深测量结果　　钻孔弯曲度测量结果

图 2－4－7　钻孔柱状图示意图

## 第二节　矿 产 取 样

### 一、矿产取样的概念

在矿体的一定部位，按一定的规格和要求，采取一小部分具有代表性的矿石或近矿围岩，作为样品，用以确定矿产质量、某些性质和矿体界线的地质工作，称之为矿产取样。它的全过程包括：从矿体（或某些近矿围岩）上采取原始样品、样品的加工、样品的化验、化验资料的整理与研究等阶段。矿产的取样工作也同原始地质编录一样，在矿床地质研究的各个阶段（找矿、地质勘探、矿山地质工作）都要进行。假若矿石的质量是完全均匀的，那末取样工作可以很简单，只需任意采取少量样品就可以了。但实际上，自然界中任何矿体的矿石质量都是不均匀的，它们总是在空间上（即沿着矿体的走

向、倾向及厚度方向）有着不同程度的变化，所以在取样过程中，一定要注意样品的代表性、全面性和系统性。

## 二、矿产取样的种类

矿产取样的种类很多，但根据取样的目的，可分为化学取样、矿物取样、技术取样、技术加工取样四种。

（一）化学取样

化学取样的目的，是通过对采集的样品进行化学分析，确定其有用及有害组分的含量，据此可以圈定矿体的界线、划分矿石的类型和品级、了解开采矿石的贫化和损失。从而为研究矿石综合利用的可能性，确定合理的采矿、选矿方法，做好采场矿石质量的管理等工作提供可靠的依据。化学取样的数量最多，应用最广，在矿床地质研究的全过程中，对绝大部分矿种以及各种探、采工程都要进行这类取样工作。

（二）矿物取样（或称岩矿取样）

在矿体中系统的或有选择性的采取部分矿石（有时也包括近矿围岩）的块状标本，进行矿物学、矿相学及岩石学方面的研究，从而达到如下两方面的目的：一是确定矿石或岩石的矿物组成与共生组合、矿物的生成顺序、矿石的结构与构造，用以解决与成矿作用有关的理论问题；二是鉴定矿石中有用矿物及脉石矿物的含量、矿物的外形和粒度、某些物理性质（如硬度、脆性、磁性、导电性等）以及有用组分和有害杂质的赋存状态，用以确定矿石的选矿和冶炼加工性能。

（三）技术取样（即物理取样）

其目的是研究矿石或近矿围岩的各种物理机械性质和技术性质。根据矿种的不同，又有两种情况：对于一般矿产来说，技术取样是为了确定矿石（有时也包括部分近矿围岩）的体重、湿度、松散系数、强度、块度等性质，为储量计算和采掘设计提供依据；对于某些非金属矿产来说，技术取样是确定矿产质量的主要方法。例如对云母矿来说，主要是确定云母片的大小、透明度、导电系数、耐热强度；对石棉矿则是确定其纤维长度、韧性、耐火强度；对压电石英则是确定其晶体的大小、颜色、压电性能等；建筑石料则要确定它的瞬时抗压强度、吸水性、导热系数、摩擦阻力等。技术取样的特点一般是以单矿物或矿物集合体为样品，采集时要特别注意其完整性，尽量避免损伤。

（四）技术加工取样

其目的是通过对相当重量的样品进行选矿、烧结、冶炼等性能的试验，了解矿石的加工工艺和可选性质，从而确定选矿、烧结、冶炼的生产流程和技术措施，对矿床做出正确的经济评价。

技术加工取样可分为：实验室试验、半工业试验、工业试验等三种。实验室试验所需样品重量较小，可初步确定矿石的提取方法、回收率以及试剂的消耗量，评定矿产被利用的可能性；半工业试验和工业试验，则需采集大量样品，并尽可能在接近正式生产条件下进行试验，为选矿、冶炼设备的选择和工艺流程的确定提供可靠依据。技术加工取样虽在找矿、地质勘探、矿山地质工作等各阶段均可进行，但主要是在地质勘探阶段中，对于已经确立了工业价值，并用足够工程控制了工业储量的矿床，进行该类取样工作。在生产矿山，只有当改变选、冶方法或发现新的矿石类型（如大冶铁矿深部发现菱铁矿）时，才要求重做技术加工试验。

## 三、矿产取样的方法

人们在长期的取样实践工作中，总结出了各种取样种类的不同取样方法，其中尤以技术取样（物理取样）的取样方法繁多，几乎每个矿种都有不同的取样方法，只有矿物取样的方法较简单。现仅对化学取样和技术加工取样中常用的几种方法进行简要介绍。

### （一）刻槽法

此法是在需要取样的矿体部位，开凿一定规格的槽子，将槽中凿取下来的全部矿石或岩石作为样品，它是取样中使用最广泛的方法之一。在使用此法的过程中，应注意以下几点：

1. 刻槽的基本原则：样槽应沿着矿体变化最大的方向布置，通常是垂直矿体走向而沿着矿体厚度方向，且样槽应从矿体的顶板刻到底板，并尽可能做到在刻槽前将矿（岩）表面弄平，槽子要直，断面规格要一致，从而避免造成系统误差。

2. 样槽的具体布置：在布置样槽的具体位置时，一方面要注意上述刻槽的基本原则，另一方面还要考虑施工的方便。在不同的探、采工程中样槽布置的具体位置一般是：探槽中样槽多布置于槽底中心线上（图 2－4－1）；浅井中多铅直布置于井壁上（图 2－4－2）；沿脉坑道中多布置于掌子面上（图 2－4－4）；穿脉坑道中多布置于坑道一帮的腰线附近（图 2－4－5）。

3. 样槽的断面形状及规格：样槽断面的形状有矩形和三角形两种，一般多使用宽度大于深度的矩形。断面的大小主要取决于矿化的均匀程度和矿体厚度。表 2－4－1 是在取样实践工作中所积累的样槽规格经验数字。

表 2－4－1　　样槽断面规格参考表

| 矿体厚度/m<br>断面规格宽×深/cm<br>矿化均匀程度 | 厚大矿体<br>2.5～2 | 中厚矿体<br>2～0.8 | 薄矿体<br>0.8～0.5 |
|---|---|---|---|
| 均匀 | 5×2 | 6×2 | 10×2 |

续表

| 矿体厚度/m<br>断面规格宽×深/cm<br>矿化均匀程度 | 厚大矿体<br>2.5~2 | 中厚矿体<br>2~0.8 | 薄矿体<br>0.8~0.5 |
|---|---|---|---|
| 不均匀 | 8×2.5 | 10×2.5 | 12×2.5 |
| 极不均匀 | 10×3 | 12×3 | 15×3 |

4. 样品的长度：样槽的长度一般是以切穿整个矿体为准，而单个样品的长度，多数情况下是以 1m 长为一个样品。当矿体厚度小于 1m 或 1m 左右时，样品的长度可与矿体的厚度相同；当矿体厚度很大且矿化均匀或矿山采场取样时，可放宽到 2~3m 或更长。

用此法取样时，单个样品的质量变化范围很大，可以从 0.5~50kg，一般为 2~5kg。它的优点是：代表性较强，取样工具简单。缺点是：劳动强度大，效率低，矿尘大，影响工人健康。为了克服其缺点，有的矿山已采用机械化刻槽取样，有的矿山采用了简易刻槽法（又称为直线刻槽法），即对于矿化均匀的矿床，可沿一直线刻取 1.5~3cm 深的小沟（样槽断面规格没有严格要求），将所刻出的全部矿石和夹石作为一个样品；对于矿化不均匀的矿床，则采用缩小样槽断面，加多样槽并列数目的办法，从而克服了上述缺点，并基本保证了样品的代表性。

（二）拣块法

是用一定规格的绳网，铺在所需采样的矿堆上，从每个网眼中间拣出大致相等的小块矿石，合并在一起，作为一个样品。每个样品的质量一般为 1~3kg。其优点是：效率高，操作简便，并具有一定的代表性。缺点是：对不同类型的矿石不能分别取样。这种取样方法常用于矿点（区）检查、在矿体中掘进的坑道、采矿掌子面以及矿车中的取样。在矿车中取样时，还常采用简化的五点梅花状或三点对角线的形式布置拣块取样点。

（三）方格法（即网格法）

是在需要采集样品的矿体出露部位，布置一定形状的网格，如正方形、长方形、菱形等，在网格交点处凿取大致相等的小块矿石，合并为一个样品。每个样品可由 15~100 个组成，总质量一般为 2~5kg。其优点是：效率高、比较简便，不同类型的矿石可分别取样。缺点是：薄矿体不适用此方法，只适用于厚度较大的矿体。

（四）打眼法

是在坑道掘进或采场回采时，收集炮眼中所排出来的矿、岩泥（粉），作为化学分析样品。使用时虽有某些局限性，并对生产进度有凶定的影响。但由于它具有效率高、

成本低、样品不用加工、代表性较强、可实现取样机械化等突出优点，所以在生产矿山取样中使用比较广泛，而且目前正在改进与推广之中。

（五）剥层法

是在需要取样的薄矿体出露面上，每隔一定距离剥取一定厚度（5～10cm）的矿体作为样品。每个样品的长度一般为1m。其优点是：代表性强；但因劳动强度大，效率低，故一般只用于检查上述几种取样方法的可靠性和矿化极不均匀的稀有或贵金属薄矿脉的取样。

（六）全巷法

是把在矿体内掘进的某一段坑道中爆破下来的全部（或在现场进行初步缩分后的部分）矿石作为样品，每个样品长度一般为1～2m，重量可达数吨至数十吨。其优点是代表性最强。但因其成本高，效率低，劳动强皮大，所以一般只用于检查其它取样方法的可靠性、技术取样和技术加工取样等情况下。

（七）钻探取样

岩心钻机中的取样是将钻机中提取出来矿心用劈岩机劈成两半，取其一半作为样品，每个样品长度一般为1～2m，另一半保留下来，以备检查和地质研究用。当矿心采取率小于70%时，还要求补采矿泥（粉）作为样品。

（八）实测统计法

首创于我国某钨矿山，其方法是在坑道顶板或天井帮上，取2m长作为一实测统计单位（即一个样品的范围），用小钢尺测出矿体暴露的总面积和其中黑钨矿所占的面积，可用下式换算出黑钨矿体的矿石品位：

$$C = \frac{\sum S_w \times Q_w \times C_w}{(\sum S_q - \sum S_w)\ Q_q + \sum S_w \times Q_w} \times 100\%$$

式中 $C$——黑钨矿体的矿石品位；

$\sum S_w$——一个样品范围内黑钨矿面积之和；

$Q_w$——黑钨矿密度（6.7～7.5）；

$C_w$——黑钨矿中 $WO_3$ 的平均含量（74%）；

$\sum S_q$——一个样品范围内矿脉面积的总和；

$Q_q$——石英密度（2.65）。

上式仅适用于脉石矿物只有石英的黑钨矿脉，且假设其深度为1。

这种方法的优点是将样品的采取、加工和化验简化为一个步骤。但它们只适用于有用组分单一、有用矿物颗粒粗大、有用矿物与脉石矿物种类单一且易于区分的矿床。目前仅少数钨、锑矿山使用，至于其它类似这些条件的矿山，是否可以使用此法，有待今

后进一步研究。

（九）物理仪器测定法

是目前国内外正在大力研究和试用的直接在现场测定矿石品位的方法。例如：利用放射性测定仪器直接测定放射性元素矿产的质量；用电测法确定某些金属矿产的质量；使用较广泛的还是最近几年新出现的同位素 X 射线荧光分析仪，它能测出几十种元素的含量。手提式的此种仪器携带方便，可用于掌子面爆下矿石堆、岩（矿）心、岩（矿）泥（粉）的品位测定，加一个特制的探头后，还可将探头伸入到钻孔内测定品位。可以预计不久的将来，这些物理仪器测定法将会得到大量的推广。

必须说明一点，为了保证取样工作既经济又可靠，各个矿山应根据具体的情况，通过反复多次的科学试验，确定出最合理的取样方法。

## 四、化学样品的加工与化验种类

（一）样品的加工

所采集原始样品的质量是比较大的，常为 0.5 ~ 50kg。一般为 2 ~ 5kg。且样品的块度也是比较大的，而进行化学分析的样品，最终重量只需 1 ~ 2g。颗粒直径也要求小于 0.1mm。所以在进行样品的化学分析之前，必须对样品进行加工处理。它的具体步骤是：破碎→筛分→拌匀→缩分。将这一过程反复进行数次，直达到化学分析的要求为止。一般来说，原始样品的重量愈大，则加工的过程也就愈繁杂，愈慢，成本也愈高。为此，样品加工时必须遵守这样的原则：即过程要简单、速度要快、成本要低、缩减后样品的代表性要强。

（二）样品的化验种类

样品的化验种类主要有如下四类：

1. 基本分析（又名单项分析或普通分析）：只要求分析矿石中主要有用组分的含量，它是用来评价矿石质量最常用的一种分析，其样品数目最多，差不多每个样品都要进行这类分析。例如：铅、锌矿床中分析 Pb、Zn、Cu；铁矿床中分析全铁和可溶铁，当掌握了全铁和可溶铁之间关系的规律后，也可只分析全铁。

2. 多元素分析及组合分析：多元素分析是检验矿石中伴生的有用及有害元素的情况，借以提供组合分析的项目。组合分析则是为系统地研究伴生有用元素提供资料，其样品是由相邻的 8 ~ 12 个基本分析副样所组成的，而且必须按同一矿体的同一类型或同一品级矿石进行组合。

3. 合理分析：其目的在于区分矿石的类型和品级界线。如硫化矿床可划分为：氧化矿石、混合矿石、原生矿石等。样品的采取是以肉眼鉴定为基础的，在分界处附近采

集 5～20 个样品，作为进行合理分析的样品。

4. 全分析：就是将矿床中由光谱分析所确定的全部元素（只有痕迹者除外）作为分析项目，了解矿床中可能存在的全部化学成分及其含量，为研究成矿规律和矿石的综合利用提供资料。全分析样品可采用具代表性的组合样品，其样品数目视矿床的规模和复杂程度而定，一般为数个即可，最多不超过 20 个，并要求各种元素分析结果的总含量应接近于 100%。

# 第五章　矿山地质工作

矿山地质工作是矿山基建和生产过程中继续对矿床进行勘探和研究并进行生产管理的地质工作。矿山地质工作的主要内容包括两大部分，即生产勘探（有时还包括基建勘探）和矿山地质管理工作。

## 第一节　生 产 勘 探

生产勘探是地质勘探及基建勘探的继续，其工作目的和意义包括：

①提高储量级别，为矿山生产设计、编制采掘进度计划、指导施工和生产提供依据；

②由于储量升级，可间接保证（回采、采准、开拓）三级矿量平衡；

③保证合理开发资源，开展矿产综合利用，减少矿石损失贫化；

④使矿山生产技术部门能更合理地选择开采方法、开采工艺措施；

⑤扩大矿床储量，延长矿山服务年限。

我国的矿山地质工作者，根据所工作矿区的地质特点、开采特点及开采的不同阶段所进行的不同生产勘探工作，给予生产勘探以不同的命名，例如：

①升级勘探：这是使低级储量升级所进行的生产勘探，是一种最普遍的生产勘探。

②二次圈定勘探：当矿块进入采准或矿房进入回采阶段，回采设计要求更准确地圈定矿体边界时所进行的一种生产勘探。

③“探边摸底”勘探：这是当矿体两端或延深边界不清时所专门进行的一种生产勘探。

④生产找矿：这是在开采范围内或其附近探找盲矿体、断失矿体或新矿种的勘探工作，有的矿山把此工作也归入“探边摸底”勘探。

### 一、生产勘探揭露矿体的工程手段

生产勘探所采用的揭露矿体的工程手段，与地质勘探比较，有很多共性，即地质勘探所用的各种勘探工程在生产勘探中仍然被采用，但各种工程采用的比重或目的则不尽相同，这就是说生产勘探在使用工程手段方面也有其特殊性，这是因为生产勘探工程手

段的选择要充分考虑矿山开采的实际情况。

（一）露天开采矿山常用的生产勘探工程手段

在露天开采矿山的生产勘探中，探槽、浅井、穿孔机和岩心钻等是常用的技术手段。

1. 探槽

主要用于露天开采平台上揭露矿体、进行生产取样和准确圈定矿体。当地质条件简单，矿体形状、产状及有用组分含量稳定而又不要求选别开采的矿山，用探槽探矿更为有利。

平台探槽的布置，一般应垂直矿体或矿化带走向，并尽可能与原勘探线方向一致。为节省工程可采用主干探槽与辅助探槽相间布置（图 2－5－1）。

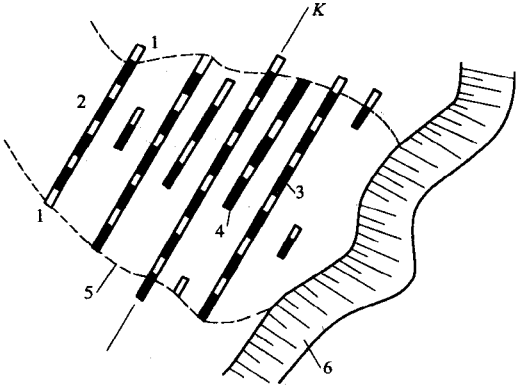



图 2－5－1 露采平台探槽布置

1—围岩；2—矿体；3—主干槽；4—辅助槽；

5—矿体边界；6—露采边坡

2. 浅井

常用于探查砂矿或风化矿床的矿体，其作用是取样并准确圈定矿体，测定含矿率，检查浅钻质量。

3. 钻探

岩心钻是露天采场生产勘探的主要技术手段，一般孔深取决于矿体厚度及产状，常选用中、浅型钻孔。如矿体厚度在中等以下，可以一次打穿；如矿体厚度大、倾角陡时，一般孔深为 50～100m，只要求打穿 2～3 个台阶，深部矿体可采用阶段接力的方法勘探。为弥补上下层钻孔不能紧接的缺点，上下层孔间应有 20～30m 的重复部位（图 2－5－2）。

4. 潜孔钻或穿孔机

当矿体平缓时，可采用潜孔钻或牙轮钻，通过收集岩（矿）粉取样以代替探槽的作

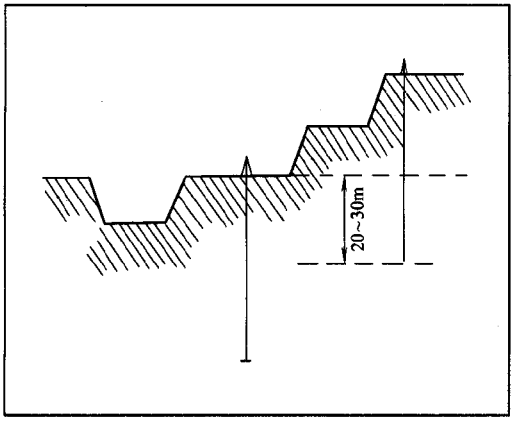



图 2－5－2　露采钻孔布置剖面示意图

用。样品的收集应分段进行，可在现场缩分后送去化验。

（二）地下开采矿山常用的生产勘探工程手段

目前，我国地下开采的矿山中，普遍采用坑道勘探或坑道配合坑内钻进行生产勘探。在可能的情况下，中深孔或深孔凿岩也可以用于生产勘探，特别是二次圈定勘探。

1. 坑内钻（地下钻）探矿

坑道钻探是指在勘探坑道或生产坑道内进行的钻探工作，是地下采矿广泛采用的生产勘探手段，主要用于追索和圈定矿体深部延深情况，寻找深部和旁侧的盲矿体，也可以多方向准确控制矿体的形态和内部结构以及探明影响开采的地质构造等。坑内钻具有地质效果好、操作简便、效率高、成本低、无炮烟污染等优点，所以在我国矿山，使用坑内钻的范围已较广泛。目前常用的坑内钻的钻进深度一般为 100m，150m，300m 几种规格，钻杆直径一般为 33～43mm。

坑内钻在生产勘探中具有非常广泛的用途，例如：

（1）探明矿体深部延深，为深部开拓工程布置提供依据（图 2－5－3）。

延展情况及产状示意剖面图

（2）用坑内钻指导脉外坑道掘进。为控制矿体走向和赋存位置，先打超前孔，指导脉外沿脉坑道的施工（图 2－5－4）。

用坑内钻代替天井及副穿控制两个中段之间矿体形态与厚度的变化（图 2－5－5）。

（4）用水平坑内钻代替副穿，圈定矿体工业品级界线（图 2－5－6）。

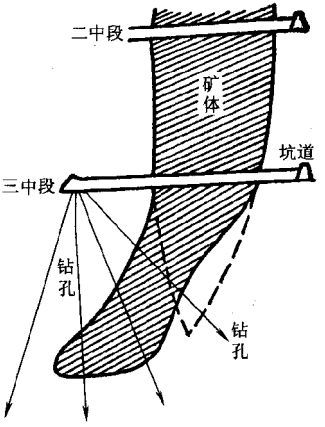



图 2－5－3　用坑内钻探明矿体

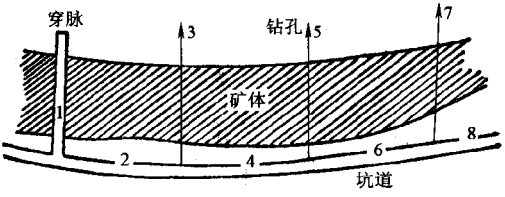



图 2－5－4　用坑内钻代替穿脉探矿以指导脉外平巷掘进示意平面图

1～8—表示施工顺序

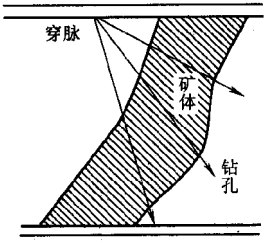



图 2－5－5　用坑内钻代替天井及副穿探矿示意剖面图

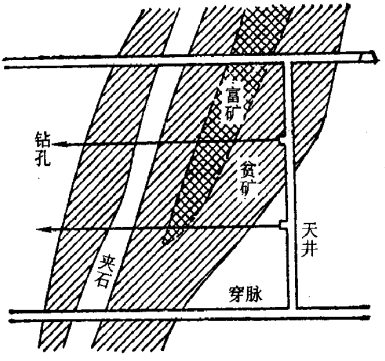



图 2－5－6　用坑内钻代替副穿探矿示意剖面图

（5）用坑内钻代替穿脉加密工程，提高储量级别（图 2－5－7）。

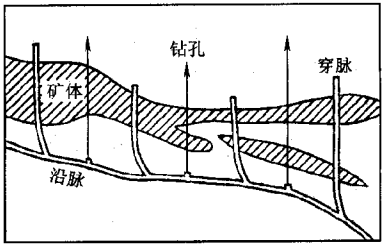



图 2－5－7　用坑内钻代替穿脉加密工程示意平面图

（6）用坑内钻探明矿体下垂及上延部分，圈定矿体边界（图 2－5－8）。

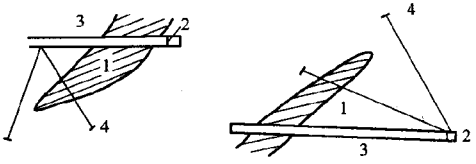



图 2－5－8　坑内钻探下垂和上延部分剖面图

1—矿体；2—沿脉坑道；3—穿脉坑道；4—钻孔

（7）探找构造错失矿体（图 2－5－9）。

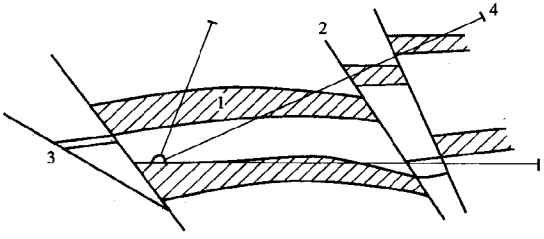



图 2－5－9　坑内钻探构造错失矿体剖面图

1—矿体；2—断层；3—沿脉；4—钻孔

（8）探矿体边部或空白区寻找盲矿体。

（9）用扇形坑内钻控制形状复杂不规则矿体（图 2－5－10）

（10）探老洞或岩溶，并可利用此种钻孔进行地下水疏干（图 17－11）。如某有色金属矿 500m 中段大巷，位于水库下面，该地段暗河、溶洞发育，为探清地下水情况，当大巷施工到一定位置时，先施工一个 200m 深的超前探水孔，避免地下水患，保证坑道施工安全。

近年来，国内外在坑内钻探方面已广泛采用金刚石或人造金刚石钻头钻进，它具有钻进速度快、岩（矿）心采取率高、可钻进特别坚硬岩石等优点。

2. 中深孔或深孔凿岩设备探矿

近二十几年来，我国一些配有中深孔或深孔凿岩设备的矿山，经常利用矿山已有的

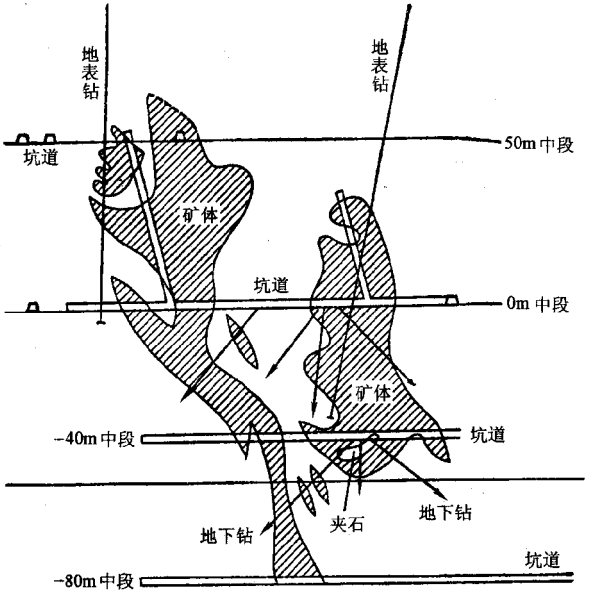



图 2－5－10　用坑内钻探形状复杂矿体示意剖面图

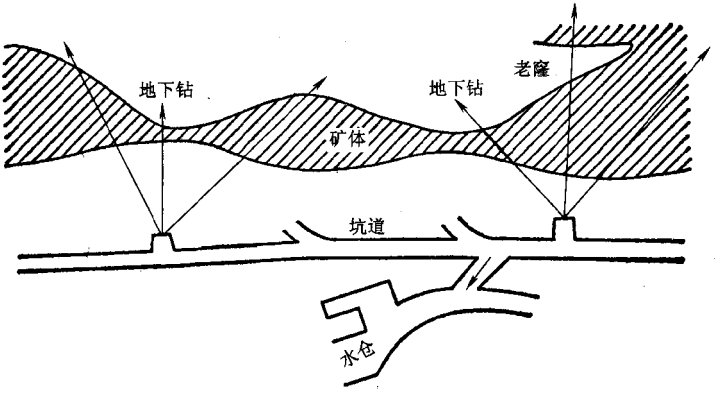



图 2－5－11　用坑内钻探老窿并疏干其中积水示意平面图

凿岩机进行探矿，也取得了良好效果。某铜矿近年来每年完成 2000～3000m 的深孔取样探矿工程量，可以代替 1000m 以上的坑探工程量。目前此种手段也亦成为矿山生产探矿的重要手段之一。

使用凿岩机进行探矿的作用是寻找附近的盲矿体，代替部分穿脉进行生产勘探，用于进一步加密工程控制，探矿体尖灭端和用于回采前对矿体的最后圈定等（图 2－5－12、图 2－5－13）。

凿岩机探矿的优点是设备的装卸、搬运比坑内钻更为方便，而且要求的作业条件也更为简单，特别是利用它在采场内进行生产勘探，其优越性更显著；比一般坑内钻更适于打各种上向孔；与坑内钻相比具有更高的效率和更低的成本，其效率可比坑内钻高 1

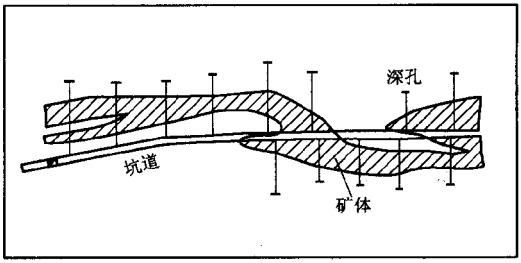



图 2－5－12　用深孔凿岩设备代替穿脉探矿示意平面图

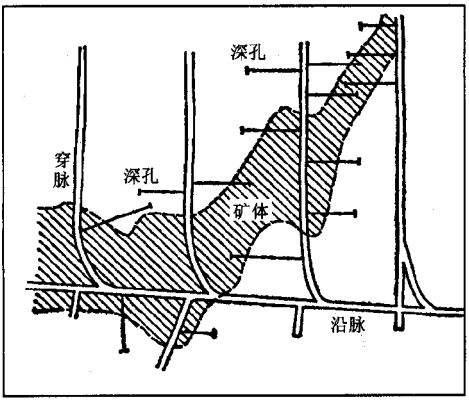



图 2－5－13　用深孔凿岩设备加密探矿工程控制示意平面图

～2 倍，而成本却更低；许多情况下可以实行探采结合，往往通过爆破用的炮眼孔取样，就可使此炮孔起探矿作用。凿岩机探矿的缺点是不适于打下向孔，所取样品不易鉴定岩性、岩层产状及地质构造等，当地质体之间成过度关系时，不易划准界线。

在使用此种探矿手段时有两种情况：一种是当岩泥与矿泥颜色不同时，可根据孔中流出泥水颜色的变化来确定矿体边界；另一种是当岩泥与矿泥从颜色上不易区分时，则必须分段取样经过化验来确定矿体边界。当然，如果必须确定矿石品位，则尽管用泥水颜色可以确定矿体界限，也必须进行取样和化验。

近年来，有些矿山还试验采用某些物理方法确定探孔中是否见矿及见矿位置，例如荡坪钨矿创造光电测脉仪以测定深孔中所见钨矿脉，取得良好效果。此外，加上适当探头的手提式同位素 X 射线荧光分析仪，也可用于此种探孔中对某些矿石品位的测定和确定矿体边界。

3. 坑道探矿　坑道探矿虽然成本高、效率低，但由于它具有某些特点，所以在生产勘探中，在一产定条件下，仍然要使用。坑探的特点是：

(1) 坑探对矿体的了解更全面，特别是对矿化现象及地质构造现象的观察均较钻探或深孔取样更为全面。

(2) 坑探可以及时掌握地质情况的变化，便于采取相应的措施，如改变掘进方向

等，以达到更准确地获得地质资料的目的。

（3）钻探或深孔取样的勘探成本虽然比坑探低，但若能利用开采坑道来探矿，则不存在成本高低问题。

（4）假如使用坑内钻或深孔取样探矿，仍然必须有坑道接近矿体，这些坑道也是间接的坑探工程。

综上所述，坑探仍然是地下开采矿山生产勘探重要手段之一，但在生产矿山使用坑探时，应尽可能实行探采结合。

必须指出，以上各种探矿手段必须根据具体地质条件及开采条件综合运用，才能获得最好效果。

生产探矿时期所使用各种工程主要技术特征和适用条件，如表 2－5－1 所示。

表 2－5－1　　生产勘探工程技术特征

| 工程种类 | 工程名称 | | 主要技术规格 | 工　效 | 基　本　作　用 |
|---|---|---|---|---|---|
| 槽井探 | 探槽 | 山地探槽 | 底宽 0.5～1.0m，壁坡度 70°～80°；长度等于矿体或矿带宽度 | 0.5～1.0 | 揭露埋深小于 5m 的矿体露头 |
| | | 平盘探槽 | 断面 1.0（宽）m × 0.5（深）m；长度等于矿体或矿带宽度 | 5～10 | 剥离露天采场工作平盘上的人工堆积物 |
| | 浅　井 | | 断面（0.6～1.0）m ×（1.0～1.2）m；深度一般小于 20m | 0.5～1.0 | 揭露埋深大于 5m 的矿体；多用于砂矿或风化堆积矿床 |
| 钻探 | 砂　矿 | | 孔径 130～335mm；孔深 15～30m | 10～15 | 探砂矿 |
| | 露天炮孔 | | 孔径 150～300mm；深度 10～30m | 15～20 | 取岩泥、岩粉、控制矿石品位 |
| | 地表岩心钻 | | 孔径 91～150mm；深度一般 50～200m，最大 600m | 3～5 | 探原生矿床，多用于露天采矿 |
| | 坑内钻 | 岩心钻 | 孔径 91～150mm；深度一般 50～200m，最大 600m | 5～10 | 配合坑道探各类原生矿床 |
| | | 爆破深孔 | 孔径 45～100mm；深度 15～50m | 15～20 | 探各类原生矿床 |

续表

| 工程种类 | 工程名称 | 主要技术规格 | 工　效 | 基　本　作　用 |
|---|---|---|---|---|
| 坑探 | 平　巷（穿脉、沿脉） | 断面、坡度、弯道与生产坑道一致。纯勘探坑道断面（1.5～2.0（宽））m×（1.8～2.0（高））m；坡度可达5% | 0.2～0.8 | 在阶段、分段平面上，沿脉控制矿床走向，穿脉控制控制矿体宽度 |
| | 上、下山 | 断面同平巷、坡度15°～40° | 0.2～0.8 | 用于缓倾斜矿体，在阶段间控制矿体沿倾斜变化 |
| | 天　井 | | 0.2～1.0 | 用于急倾斜矿体，在阶段间控制矿体变化 |

注：工效单位探槽为 $m^3$/工班，浅井为 m/工班，钻探及坑道为 m/台班

## 二、生产勘探工程的总体布置

在生产勘探中，除了必须根据具体条件选用合适的工程手段外，还必须细致地研究这些工程的合理布局，以便充分发挥各工程的作用。

（一）生产勘探工程总体布置的原则

生产勘探工程的总体布置，除了应考虑地质勘探工程总体布置的那些原则外，还必须考虑下述原则：

1. 连续性原则：生产勘探是地质勘探的继续和深化，其工程的总体布置应尽可能保持与地质勘探的连续性，这样才便于充分利用原来已有的地质资料。因此，生产勘探工程所形成的剖面系统应尽可能与原有系统在总的方向上保持一致，而在此基础上加密工程，并根据新获得的资料修改原有资料，使之更准确地反映客观实际地质条件。

2. 生产性原则：生产勘探工作与整个矿山生产是紧密相连的，因它既应很好地与生产结合，又应很好地为生产服务。为此，它的工程布置应充分考虑采矿生产工程布置的特点。例如，地下开采矿山各勘探水平面间的垂直间距应与各开拓中段的间距一致，或在此基础上加密；而且加密工程的标高应充分考虑各种采准工程（如电耙道、凿岩道等）的分布标高，以利实行探采结合。又如，地下开采矿山各勘探剖面的水平间距应尽可能与采场划分长度一致，或在此基础上加密。再如，露天矿山当采用探槽进行生产勘探时，各勘探水平就是各开采平台，因此各勘探水平之垂直间距就是开采平台的高度。

3. 灵活性原则：尽管对一个矿体进行生产勘探的工程，最好能按一定的方向和系统进行布置，但是由于生产勘探要深入到矿体的各个部位，其中某些部位矿体的形状和

产状可能有较大的变化，因此在局部地段生产勘探工程的布置应有较大的灵活性。这样才能因地制宜地适应矿体的局部较大变化。在这些局部地段，不仅工程系统的方向或间距可以有所改变，甚至个别工程可以脱离总的布置系统而单独布置在某些必要的地点。

（二）生产勘探工程总体布置的方式

根据初步总结，在生产勘探中，目前有下列几种总体布置方式：

1. 水平面式布置：即把勘探工程系统地布置在不同标高的水平面上，相当于地质勘探中的“水平勘探”式布置。

单纯的水平面式布置，在地下开采矿山，主要用于矿体走向长度不大，而且矿体在水平断面上形状及产状复杂的条件下。在该条件下，无论水平钻孔或水平坑道往往无法平行布置，因而要在不同标高的水平面上布置水平扇形钻孔（图 2－5－14）或方向多变的坑道来追索和圈定矿体。此外，地下开采矿山当利用水平扇形深孔取样进行二次圈定勘探时，也往往在局部地段采用此种布置方式；露天矿山当单纯使用探槽对各个开采平台进行生产勘探时，也采用此种布置方式。

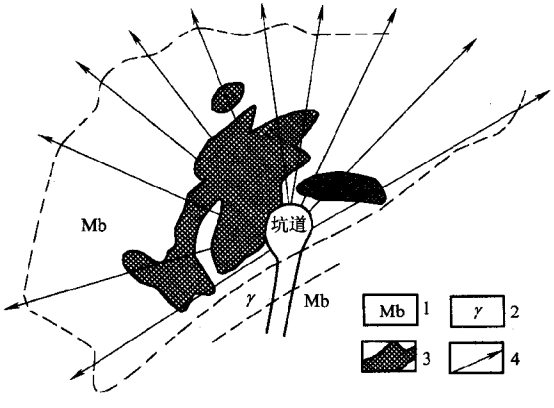



图 2－5－14 用水平扇形钻孔进行生产勘探示意平面图

1—大理岩；2—花岗岩；3—矿体；4—钻孔

2. 垂直面式布置：即把勘探工程系统地布置在互相平行的垂直面上，各垂直面均垂直矿体走向。这种布置就相当于地质勘探中所谓的“勘探线”式布置，但“勘探线”这个名称是名不符实的，因为勘探工程实际上不是布置在线上，而是系统地布置在一些垂直面上。

单纯的垂直面式布置常用于生产勘探地段尚未有开采巷道工程条件下。例如，地下开采矿山对深部尚未开拓地段进行生产勘探时；露天矿山利用岩心钻对深部进行生产勘探时；个别地下开采矿山由于特殊原因主要采用地表岩心钻进行生产勘探时等。此外，地下开采矿山当利用垂直扇形深孔取样进行二次圈定勘探时也往往在局部地段采用此种布置方式。

3. 格架式布置：这种布置实际上是上述两种布置方式的结合。多适用于具有一定厚度的矿体正在进行开采地段的生产勘探。例如某些地下开采的厚矿体，当上、下中段采用穿脉探矿，而上、下中段间又采用天井及副穿探矿时，这些工程系统就形成了格架式的布置方式（图 2－5－15），这只是最简单的格架式布置。如果矿体的外部形态和内部结构都很复杂，则可能还要利用电耙道（或电耙联络道）、凿岩道、切割道（或切割天井）或采矿进路等探采结合工程以及钻孔等进行生产勘探，这样就可以出现各种复杂的格架式布置。又如，露天矿山当采用探槽与钻孔（或爆破深孔取样）相结合进行生产勘探时，也属此种布置方式。这是生产勘探最常用的布置方式，因为用此布置方式可以取得更多有工程控制的地质剖面图和平面图。

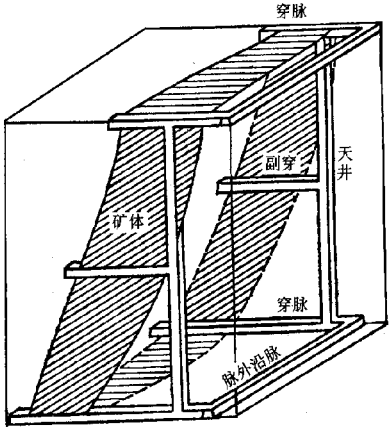



图 2－5－15　最简单的格架式生产勘探工程总体布置示意图

4. 棋盘式布置：这种布置是利用沿脉、天井或上山等坑道工程揭露矿体。这些工程把矿体分割成长方形（或方形）的矿块，而这些工程本身组成了状如棋盘式的坑道系统。这种布置方式主要适用于矿体厚度可被这些工程全部揭露的薄矿体。例如，某些急倾斜薄矿脉可用矿块上、下的脉内沿脉和两侧的天井包围揭露矿块进行探采结合的生产勘探；某些缓倾斜薄矿层可用矿块上、下的脉内沿脉和两侧的上山进行探采结合的生产勘探（图 2－5－16）。

必须指出，在同一个矿山，生产勘探的不同时期或不同地段往往要使用不同的布置方式。例如，有的地下开采矿山，对正在开采的地段进行探采结合的生产勘探采用格架式布置；对深部进行“探边摸底”勘探采用垂直面式布置；而对采场中某些地段采用深孔取样进行的二次圈定勘探则采用水平面式布置（或垂直面式布置）。因此，同一矿山应根据不同矿体和同一矿体中不同地段的地质及开采特点，因地制宜地灵活运用上述各种布置方式。

## 三、生产勘探工程的间距（网度）

生产勘探工程间距的正确制定，是既保证质量而又经济地进行生产勘探的关键。虽然在地质勘探时期已进行过勘探工程间距的分析研究，但是，由于当时勘探程度较低和缺乏开采资料作为对比，故其研究程度往往不足。因此，在矿山地质工作时期，有必要也有条件对勘探工程的合理间距作进一步的研究，以鉴定过去地质勘探资料的可靠性，并找出符合本矿特点的生产勘探工程间距。

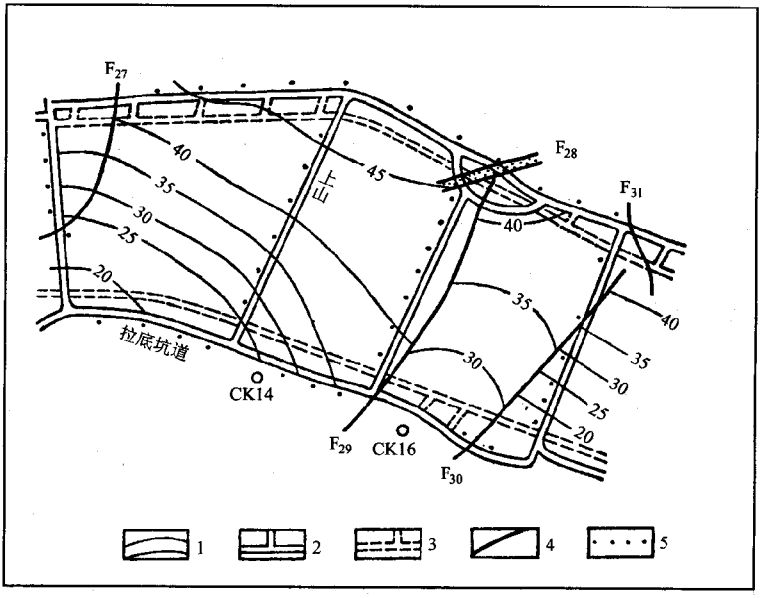



图 2－5－16　某矿棋盘式生产勘探工程总体布置示意水平投影图

1—矿层底板等高线；2—矿层中坑道；3—矿层底板中坑道；4—断层；5—厚度测点

### （一）影响生产勘探工程间距选择的因素

生产勘探工程间距的选择不仅要考虑矿床的地质特点，而且还要充分考虑矿山的开采特点和探矿费用。

1. 在生产勘探中，选择工程间距所要考虑的地质因素是：

矿体规模的大小；

矿体的形状及厚度在走向及倾向上变化的复杂程度；

矿体的产状在走向及倾向上变化的复杂程度；

矿体内矿石品位在走向及倾向上变化的复杂程度；

矿体内不同矿石类型、品级以及夹石等分布的复杂程度；

矿体受地质构造变形、破坏的复杂程度等。

2. 在生产勘探中，选择工程间距所要考虑的开采因素是：

矿床的开采方式及开拓系统；

矿床的采矿方法以及对矿石损失、贫化的要求；

各种开采工程的具体布置及间距等。

3. 经济因素：生产勘探网度加密将增加探矿费用，但却可减少采矿设计的经济风险。当两者综合经济效果处于最佳状态时的网度应为最优工程网度。此外，生产勘探工程网度与矿产本身的经济价值大小亦有一定关系，价值高的矿产与价值低的矿产比较，勘探程度可以较高，相应的工程网度允许较密。

一般情况下，往往地质因素是基本因素，开采因素亦取决于地质因素，但开采因素常常也决定了地质因素中哪些因素应为主要考虑因素。

在考虑以上各种因素时，应具体分析，抓住主要因素来分析生产勘探工程的合理间距。例如，某沉积铁矿床，分布面积可延展数公里，显然此时控制矿体边界成为次要问题；在此情况下，如果地质构造对矿层破坏严重，对开采影响很大，则地质构造将成为选择合理工程间距的主要考虑因素；如果地质构造简单，而品位或厚度变化复杂，则品位或厚度的变化将成为主要考虑因素。

（二）生产勘探工程间距的确定方法

在矿山开采的初期，当还没有大量实际开采资料可作为对比资料时，生产勘探工程间距的确定往往还是应用地质勘探时期所常用的抽稀法。但是，生产勘探中最常用的确定工程间距的方法还是探采对比法，即利用开采中所取得的某地段实际地质资料，与该地段不同工程间距所取得的地质资料进行对比，以确定合理的工程间距。探采对比法应以最终开采资料为对比的标准和基数，但是某些采矿方法的回采过程不易获得系统而精确的地质资料，此时可采用生产勘探和所有开拓、采准、切割以至深孔取样等工程所获得的地质资料作为对比基础资料，实际上这种对比法也可以算是介于抽稀法与探采对比法之间的一种对比方法。

无论是抽稀法还是探采对比法，都不仅仅是对矿产储量的误差进行对比，而还应该对矿体的形状、产状、空间位置、地质构造及矿石质量等一系列地质因素进行全面对比与综合衡量。尤其是在生产矿山，这些因素中的某些因素的误差，可能比矿产储量误差对矿山开采设计及生产有更大的影响。

在上述因素的误差对比中，多数可以通过一定的误差允许范围来衡量，但也有某些因素的对比仅有定性的意义，而无具体的误差允许范围。关于误差的允许范围，有的在过去国家有关部门颁布的有关文件中有所规定，有的则尚处于探索之中。现仅能根据过去有关文件的规定及某些文献的见解，提供一些参考资料。

1. 矿产储量误差的对比　应进行不同储量级别、不同矿石类型及品级的矿石储量、金属储量或矿物储量的误差对比。有些部门认为，勘探储量与实际开采真实储量对比的

允许误差为：A 级储量≤ ± 20%；B 级储量≤ ± 30%；C 级储量≤45%。但是，有些矿山设计部门认为这种允许误差应为：A 级≤ ± 10%；B 级储量≤ ± 20%；C 级储量≤ ± 40%。

如果进行抽稀法对比时，由于最密工程所圈定的储量其本身也不是非常准确的，所以对比时允许误差的要求应更严格些。一般认为，其允许误差应为：A 级储量≤ ± 5%；B 级储量≤ ± 10%；C 级储量≤ ± 15% ~ 20%。

2. 矿体厚度及形态误差的对比　可以从矿体厚度误差、矿体平面及剖面面积的总体误差及形态歪曲误差分别衡量对矿体形态的控制程度。

所谓面积总体误差，是指一定间距工程所圈定的面积与矿体较真实面积相比较的误差。所谓较真实面积就是根据最密工程或开采实际资料圈定的矿体面积。计算此种误差的公式为：

$$\text{面积总体误差} = \frac{S_u - S_c}{S_u} \times 100\% \qquad (2-5-1)$$

式中　$S_u$——矿体较真实的面积，$m^2$；

$S_c$——一定间距工程所圈定的矿体面积，$m^2$。

面积总体误差在其他因素不变的情况下，可采用各级储量误差的允许范围作为它的误差允许范围。

所谓形态歪曲误差，是指一定间距工程所圈定的矿体平面或剖面的形态与矿体较真实形态相比较，所有歪曲面积总和（不考虑其正负号）的误差。计算误差的公式为（参看图 2-5-17）。

$$\text{形态歪曲误差} = \frac{\sum S_n + \sum S_p}{S_u} \times 100\% \qquad (2-5-2)$$

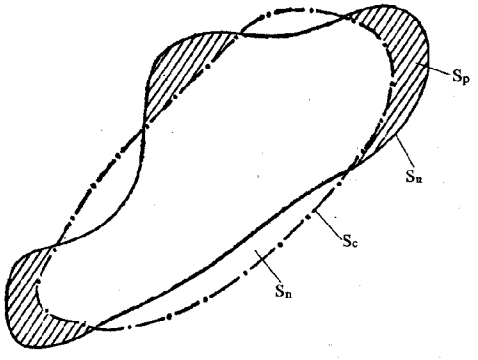



图 2-5-17　矿体圈定的形态歪曲示意图
（图中符号同公式（2-5-17）、（2-5-18））

式中　$S_n$——圈定出来的比真实面积多出的局部面积，$m^2$；

$S_p$——圈定出来的比真实面积少的局部面积，$m^2$；

$S_u$——同前式。

形态歪曲误差是正负歪曲误差绝对值之和，可以储量允许误差的倍数为其允许范围。

3. 矿体空间位置误差的对比　可从矿体底（顶）板边界线的水平位移误差和垂直位移误差两方面进行衡量。一般说来，矿体底板边界线位移误差比顶板边界线位移误差对开采工程布置有更大的影响；但顶板边界线对深孔设计有影响，都应引起重视。这方面的误差允许范围，应根据各矿山开拓系统和采矿方法等特点具体确定。

4. 矿体产状及地质构造误差的对比　包括对矿体产状、破坏矿体的褶曲及断层、对矿体有影响的岩浆侵入体以及缓倾斜层状矿体底板等高线的了解及控制程度的对比。

矿体产状的允许误差，应根据其是否影响开拓系统及采矿方法的设计及施工，是否影响露天开采境界线的确定等因素而定。

地质构造方面的误差，主要应检查有无未被勘探工程控制的较大断层（在矿山一般指断距在 10 ~ 20m 以上的断层）；对已控制的断层还要检查所确定的断层的类型、空间位置和断距等是否正确。

5. 矿石质量误差的对比　主要通过以下各点衡量其误差的大小：

1）矿石的品级及类型的圈定界线有无重大变化；

2）矿石的平均品位有无重大变化；

3）伴生有益及有害组分的控制程度。

某些矿山生产勘探工程间距列于表 2 – 5 – 2。

表 2 – 5 – 2　　某些矿山生产勘探工程间距表

| 矿床特征及工程间距 / 矿山名称 | 矿床特征 | 地质勘探时钻探间距 | 生产勘探时工程间距/m | | | | | | 备　注 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 钻　探 | 穿　脉 | 中段或分段高 | 天井 | 槽　探 | 爆破孔取　样 | |
| 庙儿沟铁矿 | 大型沉积变质矿床 | $A_2$ 200 × 100<br>B200 ×<br>(150 ~ 180) | | | | | $A_1$<br>(25 ~ 50)<br>下推台阶　高<br>(12 ~ 14) | 5 × 6 | 露　采 |
| 某铁矿 | 大型特种高温热液交代矿床 | $A_2$<br>100 × 100<br>B200 × 100<br>$C_1$ 200 × 200 | $A_2$ 100 ×<br>(100 ~ 120)<br>B200 ×<br>(100 ~ 200) | | | | 25 | | 露　采 |

续表

| 矿床特征及工程间距 / 矿山名称 | 矿床特征 | 地质勘探时钻探间距 | 生产勘探时工程间距/m | | | | | | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 钻探 | 穿脉 | 中段或分段高 | 天井 | 槽探 | 爆破孔取样 | |
| 大冶铁矿 | 大中型接触交代矿床 | $A_2$（100～150）×（70～75）B150×（50～75）$C_1$ > 150 ×（50～75） | $A_2$ 或 B（25～35）×（20～30） | | | | | 开采中进行穿孔取样 | 露采 |
| 大庙铁矿 | 中型晚期岩浆矿床 | B50×（30～60）$C_1$ 50×50（B 级为坑探） | | $A_2$（20～30）（辅以水平钻）B（20～30） | $A_2$ 30 B60 | | | | 坑采 |
| 凹山铁矿 | 中型气成高温热液矿床 | B50×50 $C_1$ 100×100 | $A_2$ 50 ×25 B50×50 | | | | | | 露采 |
| 青山冲铁矿 | 小型、复杂淋滤型洞穴充填矿床 | 较密间距亦仅能求得 $C_2$ 级 | 控制边界 | 10～20 | 30 | 30 ± | | | 因形状很复杂工程间距常有变化 |
| 铜绿山铜矿 | 中型较复杂接触交代矿床 | $C_1$ 50×（50～70） | 25×25 | | | | | | 露采 |
| 东江铜矿 | 小型较简单沉积层状矿床 | $C_1$ 50×50 | | | 40（斜距） | 20 | | | 坑采 |
| 力马河镍矿 | 中小型复杂岩浆矿床 | B50×50 $C_1$ 100×50 | | 12～25 | 30 | | | | 坑采地质勘探网度太稀 |
| 水口山铅锌矿 | 大型复杂接触一热液交代矿床 | $C_1$ 80×25 | | 15 | 40（20m 拉盲中段） | | | | 坑采 |
| 黄沙坪铅锌矿 | 中型、复杂交代矿床 | $C_1$ 东部 100×50 其他 50×50 | | 25～50 | 36（18m 拉盲中段 | 50 | | | 坑采 |
| 焦家金矿 | 大型破碎带蚀变岩型金矿 | C100×120 D240×120 | | B30×10 C30×40 D60×80 | | | | | 坑采 + 露采 |
| 金厂峪 | 大型变质热液金矿 | C40×40，40×80（C 级为坑探）D160×120 | | A6×7；B20×13 C40×40；D80×80 | | | | | 坑采 |

## 四、生产勘探中的探采结合问题

实行探采结合是生产勘探技术发展方向之一，近年来在我国许多矿山已取得丰富经验。特别是地下开采矿山，有大量开采工程可以与生产勘探结合使用，探采结合更是大有可为。本节着重介绍地下开采矿山探采结合中的有关问题。

### （一）探采结合的意义

实行探采结合具有重大意义：它不仅可将生产勘探与开拓、采准及回采密切结合起来，减少单纯探矿坑道的掘进量，而且节省大量人力、物力和资金；又可使矿山坑道系统的布置更为合理。例如，图 2－5－18 与图 2－5－19 是胡家峪铜矿实行探采结合前后开拓水平坑道系统的对比。由图中可看出，在实行探采结合前，单纯探矿工程量很大，而且探矿坑道与开拓坑道各成一套，造成坑道系统的紊乱、互相干扰和复杂化；而实行探采结合后，中段水平探矿工程大部分利用了开拓工程，整个中段水平的坑道布置也更合理了。

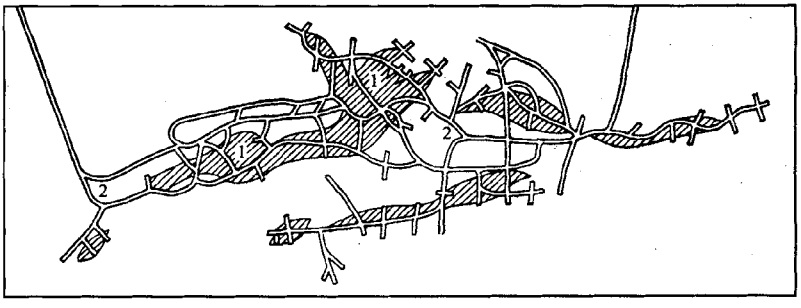



图 2－5－18　胡家峪铜矿探采结合前 3～5 号矿体二中段的开拓与探矿工程
1—矿体；2—坑道

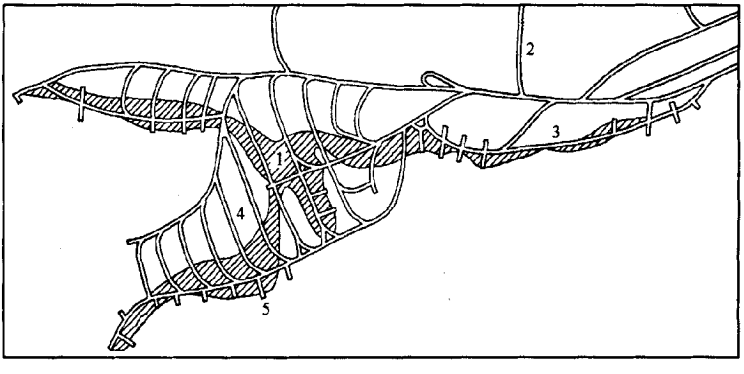



图 2－5－19　胡家峪铜矿探采结合后 3～5 号矿体五中段的开拓与探矿工程
1—矿体；2—石门；3—沿脉运输道；4—穿脉循环运输道；5—专门探矿穿脉

（二）探采结合的方法和步骤

根据一些矿山的经验，要搞好探采结合，首先，采矿人员和地质人员必须从各自的业务小圈子中跳出来，树立全局观点，从思想上重视探采结合。只有思想上先结合起来，统一起来，才能做好技术上的结合。

其次，从技术上的结合来看，从开拓、采准到回采，从设计到施工，矿山地质人员和采矿人员在各个工作程序中都要紧密配合。

1. 生产勘探与矿山开拓的结合　在生产勘探与开拓的结合中，一般先由矿山地质人员根据地质勘探队提供的地质资料和上一中段的地质资料，提出新开拓中段的初步地质资料。然后根据开拓方案和探矿方案的要求，由采矿人员编制开拓设计，再由地质人员补加生产勘探设计，并共同选择可进行探采结合的工程，相互照顾这些工程能为探采两方面所用。同时，矿山地质和采矿人员还要共同研究确定合理的施工顺序。其原则是优先掘进探采结合工程和专门探矿工程，并使其适当超前于其他开拓工程，以便及早掌握该中段矿体的形态。等到基本掌握了该中段平面矿体的形态后，可适当修改开拓设计，再掘进其它开拓工程。这样才能防止由于矿体形态的变化，而使其他开拓工程的掘进方向发生过多的摆动。

在开拓工程的施工中，一般以地质人员为主，采矿人员配合掌握施工方向。此时，为了适应矿体形态及位置的变化，有时需要适当改变坑道掘进方向，但是应该注意不要使坑道拐弯过多或打得过于弯曲，以免不利于以后的运输使用。当上述开拓和生产勘探工程施工全面结束后，对于矿体形态或地质构造复杂而控制不够的地段，还可采用坑下钻探或深孔取样加密工程密度，为转入采准时期的探采结合作好准备。

2. 生产勘探与采准的结合　在生产勘探与采准的结合中，一般先由矿山地质人员根据上、下中段水平生产勘探所获得的地质资料，提出将要进行采矿方法设计地段的初步地质资料，作为采矿方法方案选择和探采结合设计的依据。根据这个资料，由采矿人员初步确定采矿方法和采准方案，然后由矿山地质和采矿人员联合研究提出探采结合方案，并联合进行采场的探采结合施工设计。探采结合的采准工程可以采矿人员为主进行设计；补加的专门探矿工程以地质人员为主进行设计。同时，矿山地质人员与采矿人员还要共同研究确定合理的施工顺序。在确定施工顺序中，应以保证尽快探清矿体为原则，以便为全面的采准施工设计及施工创造条件。特别应优先施工那些探矿意义大的工程，以及那些即使矿体有变化也不影响其在采矿中使用的工程。例如，某些用沿脉电耙道开采的采场，矿体底板界线的变化，对电耙道位置的选择影响很大，而对穿脉切割道的布置却影响不大。据有的矿山报道，电耙道位置如与矿体底板界线不相适应，相差一米距离即可能增加矿石损失率5%～11%。在此种情况下，就必须优先施工上一分层的穿脉切割道，以查清矿体底板界线，指导下一分层电耙道位置的选择及施工。

在上述采准的探采结合工程和专门探矿工程竣工后，由地质人员整理出采场地质资

料，采矿人员据此再进行全面的采准施工设计。

采准工程施工全部结束后，如果某些地段对矿体的控制程度尚不能满足回采设计的要求，还可以补加一些专门的简易探矿工程或利用探采结合的深孔炮眼，对矿体作最后圈定，以作为回采的依据。

必须强调指出，在上述探采结合的设计过程中，必须注意尽可能使探矿工程系统与开采工程系统相协调，以利探采结合。例如，勘探剖面方向应尽可能与开采穿脉坑道方向一致，探矿工程间距应尽可能与开采工程间距一致或成简单比例关系等。此外，还必须注意所设计的探采结合工程，其断面规格、弯道系数及坡度等都必须满足开采使用要求。

（三）可供探采结合的工程

在探采结合的各种设计工作中，必须认真选择可供探采结合的工程。根据编者初步总结，不同条件下可供探采结合的工程有：

1. 地下开采条件下

⑴ 薄矿体：当坑道断面能揭露矿体全厚度时，所有脉内沿脉性质的坑道（如沿脉运输平巷、拉底坑道等）和脉内天井或上山均可作为探采结合工程。当上述坑道断面不能揭露矿体全厚度时，这些坑道仍然可以作为探采结合工程，但必须辅以某些简便的探矿工程，如打眼法取样或短穿脉等。当沿脉运输平巷布置于矿体底板围岩中时，当然此平巷不能直接起探矿作用，但有时可起间接探矿作用，如探查破坏矿体的地质构造，或从此平巷打坑下钻、探采结合的安全口等。

⑵ 中厚矿体或厚矿体：在此条件下，所有穿脉性质的坑道都可作为探采结合工程，包括：开拓水平的各种穿脉性质的运输道（或运输联络道）；采场中各种穿脉性质的工程，如电耙道（或电耙联络道）、进风道、回风道、凿岩道（或穿脉进路）及切割工程等。此外，凡是能切过矿体边界的采准天井、上山、溜井及切割天井等也可起一定的探采结合作用；部分爆破用中深孔或深孔取样也可用于探矿。

如上所述可见，可以作为探采结合的工程是很多的，但在地质条件简单或工程密度足以控制矿体变化时，不见得把所有可以作为探采结合的工程都用于探矿，只要选择部分工程实行探采结合即可，但对不起探矿作用的开采工程，仍然要进行地质编录工作。

2. 露天开采条件下

当矿体倾角不太陡时（小于 60°时），爆破用深孔（通过牙轮钻或潜孔钻凿岩过程的取样）可用于探采结合。但潜孔钻干凿岩时岩（矿）粉易飞扬，取样可靠性尚较差，有待进一步研究解决。此外，在某些情况下，台阶坡面、爆破硐室或浅井、某些堑沟等也可起一定的探采结合作用。

## 第二节 矿山地质管理

矿山地质部门与矿山其他生产、技术部门共同参加的生产管理，称矿山地质管理。该项工作主要有以下几方面的管理工作。

### 一、矿 量 管 理

在矿山生产中，矿石产量是完成生产任务的主要指标之一。矿石产量指标的完成与原矿石储藏量有关，同时也和生产勘探程度以及开拓、采准和回采工作的衔接情况有关。而这些工作都要通过矿量管理工作以保证其协调进展。此外，为了减少开采中矿石的损失，也必须开展矿量管理工作。矿量管理工作的主要内容有：

（一）储量变动的统计

任何一个生产矿山，随着矿石的不断采出，开采过程中矿石的损失，以及生产勘探过程中对矿体边界、品位等的修改，新矿体的发现等等，矿石的储量数字经常处在变动状态之中。为了对矿石储量的变动做到心中有数，矿山地质部门必须开展下列的储量变动统计工作：

1. 以采场为单位建立矿量台账。其目的在于掌握该采场从采准到开采结束，各时期矿量的采出、损失及结存的变化情况。

2. 按年度（必要时按季度）统计全矿山开采的矿量变动，编制矿量变动报告表。

3. 每年向国家有关领导部门呈报矿产储量平衡表。

（二）高级储量保有程度的检查

矿山保有一定数量的 C 级以上的矿产储量是确保矿山正常生产的基本条件之一，但直接保证生产与提供采矿准备工程设计用的是高级储量（即 B 级以上的储量）。因此，每个矿山企业除了要求保有足够数量的工业储量外，还特别要求保有一定数量的高级储量。高级储量的保有程度，以能保证生产衔接为原则。在此基础上，可根据具体的地质及采掘条件，制定合理的保有期限。矿山地质部门应对高级储量的保有程度进行定期的检查。

（三）三级矿量保有期限的检查与分析

三级矿量（露天矿山一般分为二级，称二级矿量）是指矿山在米掘过程中，依据不问的开米方式和采矿方法的要求，用不同的采掘工程所圈定的矿量。它包括开拓矿量、采准矿量和备采矿量。

“采掘（剥）并举，掘进（剥离）先行”是我国矿山重要采掘技术方针之一。划分三级矿量并确定一定的保有期限，就是保证实现这个方针的重要手段。执行这个方针，就能保证矿山生产能力的持续，保证开拓、采准与回采的衔接，这样才能顺利完成生产任务。矿山地质部门有责任对三级矿量的保有情况进行经常的检查与分析，并督促有关部门及时采取措施、保证达到保有期限指标要求。

（四）矿石损失的管理

矿山生产中应尽可能降低矿石的损失，以充分回收国家矿产资源。开采中矿石的损失，有的与矿床的地质条件有关，有的则与采矿工作有关，因此必须由矿山地质部门和采矿部门共同参加矿石损失的管理工作。在此项工作中，矿山地质部门一般要参与（或负责）统计矿石的损失率，并从地质角度提出降低损失率所应采取的措施的建议。

## 二、矿石质量管理

矿山生产的矿石必须在产量和质量两方面都达到国家规定的要求。在这方面数量和质量是统一的整体。生产矿山除了要做好矿量管理工作之外，还要做好矿石质量管理工作。这项工作的主要内容有：

（一）矿石质量计划的编制

矿山的采掘计划，除了其他的有关活动安排之外，最主要的是于争矿石产量与质量的安排。通常是采矿技术部门及计划部门负责矿石产量计划的编制；矿山地质部门负责矿石质量计划的编制。但在具体工作中，地质部门与采矿技术部门必须密切配合，在保证实现上级质量指标（包括有益、有害及造渣组分的含量规定）要求的前提下，按矿石质量在矿床中的分布特点，结合采掘技术政策，编制出矿石回采作业的进度、顺序以及各地段出矿数量的计划。

矿石质量计划的编制时间，随矿山采掘计划的编制时间而定，一般可编年、季、月计划，必要时可编旬及当班计划。

通过质量计划的编制，应当解决如下几方面的问题：

1. 明确地得出各时期所生产的各品级、各类型矿石能够达到的质量指标；

2. 根据计划采矿地段内矿床的具体条件，提出保证矿石质量指标实现的具体措施；

3. 进行矿石质量均衡（配矿）工作的具体安排。

矿石质量计划也就是围绕上述问题编制的。以上第一个问题由矿山地质部门具体计算得出；后面两个问题应当在采矿技术部门参与下共同讨论拟定。

应当指出，矿石质量计划编制的最终结果必须达到矿石质量指标要求，否则各地段采矿量、开采顺序及进度等均必须重新安排，直到满足质量指标要求为止。

（二）采出矿石质量的预计及预告

由上述可知，在编制矿石质量计划过程中，必须首先预计采出矿石的质量。采出矿石质量的预计不仅是为了编制矿石质量计划的需要，同时还为了向采矿生产部门提出预告，以便他们事先采取措施，以保证规定指标的实现；此外还为了向矿石加工利用部门提出预告，以便他们及时掌握矿石质量波动情况，并据此及时修改加工技术措施。因此，采出矿石质量的预计及预告工作是矿石质量管理工作中的一个重要组成部分。

采出矿石质量的预计，不同情况下可采用不同的计算方法，但其最基本的公式是：

$$C_n = C\ (1 - P) \qquad (2-5-3)$$

式中 $C_n$——预计的采出矿石的品位；

$C$——原矿石的地质平均品位；

$P$——预计贫化率。

在计算以上公式时必须先求得预计贫化率。如果将要开采地段的矿石质量稳定，而且开采条件和地质条件都和已往开采地段相近，那么预计贫化率可参考历年经验数据加以确定；但是一般情况下还是用下列公式进行计算：

$$P = \frac{Q'\ (C - C')\ (1 - K)}{C\ [Q + Q'\ (1 - K)]} \qquad (2-5-4)$$

式中 $P$——预计贫化率；

$Q'$——预计开采时将混入的夹石（或围岩）的重量；

$Q$——原矿石的重量；

$C$——原矿石的地质平均品位；

$C'$——夹石（或围岩）的地质平均品位；

$K$——预计废石挑选率，即 $K = \frac{R'}{Q'}$；

$R'$——预计可能挑选出来的废石的重量。

以上 $Q$ 与 $Q'$ 系根据地质图件上资料，用储量计算的方法求得；$C$ 与 $C'$ 系根据原矿石和夹石（或围岩）化学取样资料计算求得；$K$ 一般根据本矿生产中经验数据确定。

根据式（17－4）求出 $P$ 后，将其代入式（17－3），即可得出预计的采出矿石品位 $C_n$。

（三）矿石质量的均衡

各地段、各品级、各类型矿石的地质品位，是矿石本身所固有的，为了满足规定指标的要求，同时为了充分利用矿产资源和减少输出矿石品位的波动，必须开展矿石质量均衡工作。

矿石质量均衡工作（又名配矿工作或矿石质量中和工作），是指利用矿山设计、开采、运输以及装卸等各个环节，有计划有目的地使不同品位矿石互相混合所进行的工

作。其目的是为了使矿山所生产的矿石质量稳定，并达到选、冶部门所要求的质量指标，以利矿石加工；同时，它也是使某些不合工业要求的矿产资源得到充分利用所采取的措施和手段，例如，某石灰石矿中有部分含 MgO 稍高但含 $SiO_2$ 很低的石灰石，本来其质量与工业要求有一定差距（MgO 含量超过工业指标允许范围），但经过与其他矿石搭配后完全可成为可以利用的矿石。因此，矿石质量均衡工作是保证矿石加工使用部门生产方便和充分利用矿产资源的有效措施。

矿石质量均衡工作贯穿于从开采设计到矿石输出等一系列生产过程中。矿山地质部门对此不但要拟定质量均衡方案，而且要进行检查和督促，但质量均衡方案的实现却主要由采矿技术部门和生产部门负责进行，因此采矿工作者必须懂得下列有关质量均衡的知识。

1. 矿石质量均衡的原则　矿石质量均衡工作一般是针对矿石中有益组分的含量进行的，但有时也对有害组分进行均衡。究竟要对哪些组分进行均衡，主要看原来矿石质量和矿石加工利用的需要而定。

虽然矿石质量均衡工作对许多矿山是必要和有益的，然而因加工利用要求和原来矿石性质的不同，某些矿石之间是不能进行质量均衡的。矿石之间究竟能否进行质量均衡必须考虑下列原则：

（1）不同工业类型的矿石不能进行质量均衡。例如，需要进行选矿处理的贫铁矿和可以直接入炉的高炉富铁矿间不能进行质量均衡。

（2）可选性不同矿石不能进行质量均衡。例如，铁矿石中的赤铁矿贫矿与磁铁矿贫矿间，有色金属矿石中的硫化矿与氧化矿间，都不能进行质量均衡。

（3）耐火材料和某些应用其物理性质的矿石一般不能进行质量均衡。例如，耐火黏土中有益组分含量不同则有不同耐火度和用途，因此不能进行质量均衡；云母和石棉等应用其物理性质的矿物原料也不能进行质量均衡。不仅这些矿石中有益组分不能进行均衡，而且其中有害组分同样也不能进行均衡。例如，黏土矿中的菱铁矿和黄铁矿，以及菱镁矿中的滑石、白云石小包体，即使少量混入制品，也会造成耐火材料的严重弱点而影响成品质量，因此不能用含有这些有害杂质的矿石与其他矿石进行质量均衡。

2. 矿石质量均衡的环节和方法　根据矿石质量均衡对象和时期的不同，质量均衡可以分为两个阶段，即原矿均衡阶段和输出矿石均衡阶段。前者是从开采设计至矿石加工破碎前的均衡，一般由矿山地质部门与采矿技术部门共同负责进行；后者是指从矿石破碎至矿石输出前的均衡，一般由采矿技术部门与质量检查部门负责进行。

矿石的质量均衡工作主要通过下列各环节进行：

（1）设计时的质量均衡工作：在进行矿床开采设计时就必须了解矿石质量分布特点，并且根据其特点考虑有利于质量均衡的设计方案。例如，露天开采矿山在进行设计时，应考虑矿床品位分布特点，使设计的采掘带方向能够保证开采时便于不同品位矿石

进行搭配。例如，某石灰石矿由于不同层位矿石质量不同，因此把采掘带方向和矿层走向设计成30°交角，以使采矿和出矿时便于不同品位矿石进行搭配（图2－5－20）。

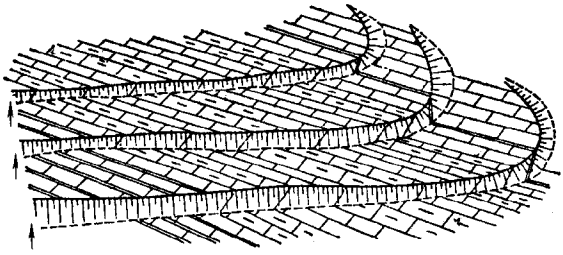


图2－5－20 某石灰石矿把采掘方向设计成与矿体走向斜交来进行质量均衡示意图

（2）编制采掘计划时的质量均衡工作：在编制矿山年、季、月采掘计划时，均应充分考虑保证输出矿石质量指标符合要求而且质量较均匀，根据各掌子的矿石质量特点，合理地、按比例地安排各采场的出矿顺序及出矿量。

（3）生产时的质量均衡工作：设计和编制采掘计划时安排的质量均衡方案，可在下列某个或某几个生产工序中予以实现：

①爆破均衡：合理地安排不同品位各掌子的爆破量及爆破顺序，使爆破下来的矿石自然混合或经电铲倒堆混合，以便混合后的矿石能达到上级要求的指标。

②采场（或露天掌子）出矿均衡：即根据各采场（或掌子）矿石质量特点，合理安排搭配其出矿顺序及出矿量，把装载各采场（或掌子）不同品位矿石的矿车重新编组进行质量均衡。

③栈桥翻板（在坑下为溜井翻笼）均衡：根据各掌子（或采场）品位和产量计划进行安排，在翻板（或翻笼）处进行搭配，搭配的方法是把各掌子（或采场）调来的矿车搭配其翻车数量和顺序，以控制其质量指标。

④贮矿槽天桥皮带移动式卸矿车均衡：在矿石破碎后由皮带输入贮矿槽前利用移动式卸矿车往复移动，把矿石均匀地撒在贮矿槽内，以实现质量均衡。

⑤贮矿槽输出均衡：在贮矿槽输出矿石时，把不同品位矿石加以搭配，以达到质量均衡。

3. 矿石质量均衡的计算　为了使不同质量矿石搭配后能满足一定的质量指标的要求，必须进行一定的计算，不同情况下采用不同计算方法：

（1）多种不同品位矿石均衡时的计算：在采矿场出矿或栈桥翻板等配矿场合中，有时要把几种不同品位矿石加以搭配，此时需先计算每个采区（或采场、台阶、中段）的均衡能力系数。均衡能力系数可采用下列公式计算：

$$D_i = (C_i - C) = F_i \qquad (2-5-5)$$

式中　$D_i$——各采区（或采场、台阶、中段）的计划采出矿石量；

$C_i$——各采区（或采场、台阶、中段）的预计采出矿石平均品位；

$C$——要求达到的品位指标；

$F_i$——各采区（或采场、台阶、中段）的均衡能力系数。

上式中，如果 $F_i$ 为正值时，则可搭配一部分低品位矿石；而如果为负值时则需搭配一部分高品位矿石。最后必须使各采区（或采场、台阶、中段）的均衡能力系数之和满足下列要求：

①当进行有益组分均衡时必须：

$$\sum F_i = F_1 + F_2 + \cdots\cdots + F_n \geqslant 0 \qquad (2-5-6)$$

式中　$F_1$、$F_2\cdots\cdots F_n$——各采区（或采场、台阶、中段）有益组分的均衡能力系数。

②当进行有害组分均衡时必须：

$$\sum F'_i = F'_1 + F'_2 + \cdots\cdots + F'_n < 0 \qquad (2-5-7)$$

式中　$F'_1$、$F'_2\cdots\cdots F'_n$——各采区（或采场、台阶、中段）有害组分的均衡能力系数。

如果不能满足上述要求，则必须重新调整其中某一采区（或采场、台阶、中段）的产量。

2）两种矿石均衡时的计算：在贮矿槽输出矿石进行质量均衡等场合中，往往是两种矿石进行搭配，此时可用下列简便公式直接计算可能被搭配的低品位矿石量（$x$）：

$$x = \frac{D\ (C_1 - C)}{C - C_2} \qquad (2-5-8)$$

式中　$D$——较高品位的矿石量；

$C$——要求达到的品位指标；

$C_1$——较高品位矿石的预计采出矿石平均品位；

$C_2$——低品位矿石的预计采出矿石平均品位。

必须指出，以上只是最简单条件下的计算；如果要考虑更复杂的配矿条件，则需要用矿业系统工程学的方法进行计算。

（四）矿石贫化的管理

矿石贫化的管理工作也是矿石质量管理工作的一个重要内容。矿山开采中矿石不合理的贫化，将增加采矿及矿石选矿或冶炼生产的成本，有时甚至可使矿石转化为废石。矿石的贫化有的与矿床的地质条件有关，有的则与采矿工作有关。因此，与矿石损失的管理工作一样，必须由矿山地质部门和采矿部门共同参加其管理工作。在此项工作中，矿山地质部门一般要参与（或负责）统计矿石的贫化率，并从地质角度提出降低贫化率所应采取的措施的建议。对于矿石损失及贫化问题，国家有关上级领导部门并赋予矿山地质部门以进行监督的职权，例如，审批开采设计中有关损失及贫化问题的职权；制止生产中因违章作业而引起严重损失或贫化的职权等。

## 三、现场施工生产中的地质管理

矿山现场施工和生产的重要特点之一是工作面和工作对象处于不断变动之中，无论是井巷掘进的工作面或是采场的工作面每天都在推进。随着工作面的推进，总是不断地出现新的地质条件，而且有许多新情况可能是生产勘探中未发现和采掘设计中未考虑到的，对于这种情况，地质人员和采矿人员必须密切配合，搞好施工生产的管理，必要时甚至修改原设计。此时地质工作应该起到施工生产中“眼睛”的作用。

### （一）井巷掘进中的地质管理工作

在井巷掘进过程中，矿山地质部门除了要及时进行地质编录及取样等工作之外，还要进行经常的地质管理工作。

（1）掌握井巷的掘进方向　例如，一搬情况下沿脉巷道要沿矿体或紧贴矿体底板掘进，而运输大巷一般不能离开含矿层底盘，如果因矿体界限与原来预计的有变化而使巷道有所偏离，则地质人员应及时指出，并和采矿人员一起研究解决。

（2）掌握井巷掘进的终止位置　例如，多数穿脉要求穿透矿体顶底板后即终止掘进，地质人员应经常到现场观察，及时指出掘进终止地点；又如，有的沿脉在掘进中发现矿体尖灭了，地质人员应到现场调查并判断矿体是否可能再现或侧现，以决定是停止掘进还是继续掘进。

（3）掌握地质构造变动情况　例如，有的矿山在掘进中经常碰到对掘进影响很大的断层，地质人员应经常到现场调查了解，一旦发现断层标志或接近断层的标志，则应及时判断断层的类型、产状、破碎带的可能宽度、破碎带的胶结程度以及两盘相对位移方向等情况，以便掘进施工部门及时采取有效的过断层措施；如果是矿体被错断了，而且断距较大，还要确定错失矿体位置，以便采矿人员及时修改设计；如果发现有生产勘探中尚未发现的褶曲构造，亦应及时判明情况，提请有关部门采取适当措施。

（4）参加安全施工的管理　矿山生产安全工作虽然有专门人员管理，但是有许多安全问题直接与地质条件有关，地质部门应参与管理。例如，井巷中的冒顶、片帮或突水等事故都与地质条件有关，地质人员应及时发现其征兆，及时向生产部门发出预告，并会同有关部门商讨预防事故的措施。

（5）参加井巷工程的验收工作　井巷掘进施工告一段落后，地质部门还要会同掘进队及采矿、测量人员对井巷工程进行验收。验收的主要项目是：工程布置的位置、工程的方向、工程的规格质量及进尺等是否达到原设计的要求。有的矿山在验收中还同时测算掘进中副产矿石的矿量。

### （二）采场生产中的地质管理工作

在采场生产过程中，矿山地质部门除了要进行地质编录和取样等工作外，还要进行

经常的地质管理工作。

（1）进行开采边界管理　对于形态变化复杂或构造变动大的矿体，在回采工作中往往发现矿体的实际边界与生产勘探所圈定的边界有出入。此时，如果开采边界不正确，就会造成矿石的损失或贫化。在这种情况下，对于用深孔采矿的地下采场，常利用打深孔时取矿（岩）泥的方法对矿体进行二次圈定以保证开采边界的准确（前已述及此工作属生产勘探工作之一）。但是，对于用浅孔采矿的地下采场，则地质人员应与采矿人员密切配合，管理好开采边界。其办法可及时用油漆或粉浆等标出开采边界，以指导生产；对采场两帮残留矿石也应及时标出及时扩帮。

露天矿的开采边界管理也很重要。在此项工作中，除了要掌握剥离境界外，更要指导矿、岩分别爆破及分别装运。为了指导分爆、分装及分运，矿山地质部门应提供“爆破区地质图”之类的图件，并用一定标志（如小旗、木牌等）在现场直接标出矿、岩分界。

（2）进行现场矿石质量管理　矿石的质量管理工作在上一节已作介绍，这里主要是指现场管理。实际上，上述开采边界管理也包括部分矿石质量管理，即通过掌握开采边界而减少矿石的贫化。除此之外，在现场管理中主要是保证矿石质量计划和质量均衡方案的实现。例如，指导不同类型、不同品级矿石的分爆、分装及分运；指导现场矿石质量均衡工作等。

（3）参加安全生产的管理　在地下采场中也可能碰到在井巷中碰到的那些与地质条件有关的安全问题，尤其是采场往往有比井巷更大的暴露面，当然更要加强这方面的管理工作。

在露天采场，矿山地质人员还要经常注意边坡稳定情况，及时发现因断层、软夹层或水文地质条件等引起的不稳定地段，与采矿人员共同研究预防边坡滑动或垮落的措施。

以上只是矿山现场施工生产中常遇见的一些地质管理问题。各矿山的地质条件不同，所遇到的问题可能是多种多样的，但凡是与地质条件有关的施工生产问题，矿山地质部门都要参与管理。

## 四、采掘单元停采或结束时的地质管理工作

采场、中段（或露天矿平台）、采区（或坑口）或整个矿山均可泛称采掘单元。在采掘单元停采或结束时，矿山地质部门都要与测量及采矿部门一起，共同进行管理，其中矿山地质部门所进行的管理工作亦属地质管理工作之一。

### （一）采掘单元停采中的地质管理工作

一个大型采掘单元（如矿山或坑口）的停采，是一个不常有的情况，一般是由于发

现了开采或利用条件更优越的矿床，或由于原来生产的矿石品种不再需要，或由于技术经济政策上的原因等。而小型采掘单元（如地下采场或中段）的停采，则可以由于矿山采掘顺序的调整或矿石产量的调整等原因所造成。

在采掘单元停采中地质管理工作的目的总的说来是为了给以后重新恢复生产打下基础。具体说来，一方面是为了给复产提供必要的地质资料，另一方面则是为了便于以后复产时地质工作的衔接。其主要工作内容有：

(1) 完成停时已有采掘工程的地质调查与原始地质编录工作；

(2) 系统整理出停采地段的综合地质图件及其他地质资料；

(3) 统计出已采矿量和尚存储量。

(二) 采掘单元结束时的地质管理工作

采掘单元的结束，大部分是由于已无继续可开采的矿石，但是也可能是由于发生了重大事故（如大面积岩体移动）破坏了继续开采的条件，或由于地质条件与设计时所掌握的地质资料有了极大差异，以致在现有技术经济条件下已不具备继续开采的价值。

在采掘单元结束时，都要报销矿量和拆除设备，因此，必须极为慎重。在此工作中地质管理工作的主要目的在于确保充分回收国家矿产资源，其次也是为了系统积累已采地段的矿床地质资料存档备查和总结工作经验教训以指导未采地段以后的工作。

小型采掘单元（如地下采场）结束时的管理工作较为简单，在正常开采结束情况下地质管理的主要内容为：

(1) 检查设计中的应采矿石是否已全部采完；

(2) 检查采下矿石是否已全部出完；

(3) 确定残矿是否需补采或补出；

(4) 重新核实原始储量，统计采出矿量与开采中的损失及贫化；

(5) 系统整理出有关该单元的地质资料归档。

小型采掘单元因重大事故等原因而被迫结束等情况下，地质管理工作的主要内容为：

(1) 会同采矿及安全技术等部门检查鉴定是否确属已无法复产；

(2) 统计已采矿量与残存矿量，计算其损失及贫化；

(3) 系统整理出有关该单元的地质资料归档。

大型采掘单元结束中的地质管理工作与上述工作相似，不过若属正常开采结束，尚应着重检查应采的矿柱或矿体分支等是否已全部回采，以及在结束地段范围内或其附近是否已确无再发现盲矿体的可能。除此之外，对于大型采掘单元的结束，地、测、采部门应共同提出正式的采掘单元结束的总结资料，并报送有关部门审查和批准。