

# 话说找矿

刘继顺

## 话说找金矿

### 一、金矿地质概述

金的原子序数 79，元素符号 Au，它源自拉丁文 Aurnm，意为曙光，喻意灿烂的太阳。金只有一个天然稳定同位素  $^{197}\text{Au}$ ，常温下为等轴晶系晶体，立方面心晶格。天然良好晶形极为罕见，常呈不规则粒状、团块状、片状、网状、树枝状、纤维状及海绵状集合体。纯金为金黄色，含杂质时，颜色发生系列变化，含银或铂时颜色变淡，含铜时颜色变深。试金板上金的条痕为赤黄色时，成色高；含 10% 的银时条痕为悦目的金黄色；含银 20~30% 时为草黄色；银含量超过 30% 则具有黄中带绿的色调；含银超过 50% 则显银白色。

金的化学性质稳定，具有很强的抗腐蚀性，从常温到高温一般均不氧化。金不溶于一般的酸和碱，但可溶于王水、碱金属、氰化物、酸性的硫脲溶液、溴溶液、沸腾的氯化铁溶液、有氧存在的钾、钠、钙、镁的硫代硫酸盐溶液等。碱金属的硫化物会腐蚀金，生成可溶性的硫化金。土壤中的腐殖酸和某些细菌的代谢物也能溶解微量金。金具有亲硫性，常与硫化物如黄铁矿、毒砂、方铅矿、辉锑矿等密切共生；易与亲硫的银、钯、铂、铜、镍、汞、铋、锑、铈、铈形成金属互化物。金具有亲铁性，陨铁中含金比一般岩石高 3 个数量级。铜、

银多富集于硫化物相内；而金铂多集中于金属相。金在地核中的丰度为 2.6ppm，地幔为 5ppb，地壳为 1.8ppb。地球上 99 % 以上的金进入地核。故地球发展早期阶段形成的地壳其金的丰度较高，因而太古宙绿岩带，尤其是镁铁质和超镁铁质火山岩组合，金的丰度高于地壳各类岩石。由于金在地壳中丰度很低，又具有亲硫性、亲铜性，亲铁性、高熔点等特性，而要形成工业矿床需要成千上万倍的富集才可，规模巨大的金矿一般要经历相当长的地质时期，多次成矿作用叠加才可能形成。

金在自然界中可呈 0、+1 和+3 三种价态存在，可以独立矿物、类质同像及胶体吸附形式产出。迄今世界上已发现 98 种金矿物和含金矿物，但常见的只有 47 种，而工业直接利用的矿物仅 10 多种。按晶体化学原则可将金矿物和含金矿物分为：

(1) 自然元素类及与银、钯、铂、铜、镍、汞、铋、锑、铼、铱呈合金类矿物 自然金 (Au)，含 Au > 80 %；银金矿 (Au；Ag)，含 Au 80 % ~ 50 %，Ag 20 % ~ 50 %；金银矿 (Au；Ag)，含 Au 50 % ~ 20 %，Ag 50 % ~ 80 %、含铂钯自然金、银铜金矿、围山矿、四方铜金矿、黑铋金矿  $\text{Au}_2\text{Bi}$ 。(2) 金-银碲化物类矿物有碲金矿、碲金银矿、针碲金银矿。(3) 金银硒化物类矿物有硒金银矿。(4) 金银硫化物类矿物有硫金银矿。

自然金（银金矿等）按其粒度可分为明金 (>0.1mm)，显微金 (0.1mm-0.25  $\mu\text{m}$ )、次显微金 (0.25  $\mu\text{m}$ -2nm)、次电子衍射金 (2-0.288nm)。

有一种自然金令人瞩目，那就是狗头金。狗头金是天然产出的，质地不纯的，颗粒大而形态不规则的块金。它通常由自然金、石英和其他矿物集合体组成。因形似狗头，故称之为狗头金；形似马蹄，则称之为马蹄金。19 世纪中叶，一位木匠在美国西海岸路旁拣到一块狗头金，重 32kg，从此开启了加利福尼亚的淘金热潮。澳大利亚一辆大篷车路过金矿区时被石头颠翻，下车检查竟是一巨大的狗头金，重 77.6kg。迄今世界上已发现大于 10kg 的狗头金约有八千至一万块，尤以澳大利亚居多，占狗头金总量的 80%，其中最大的一块重达 235.87kg。我国发现的狗头金，总计约有千余块。1909 年四川盐源采金工人在井下作业时不幸被顶上掉下来“石块”砸伤了脚，将“石头”搬到坑口一看，竟是一块金子，重达 31kg。1982 年黑龙江省呼玛兴隆乡淘金工岳书臣，刨地时碰到了一块重 3325g 的金子。1983 年陕西南郑武当桥村农民王伯禹，拣到一块 810g 的狗头金。四川省白玉县孔隆沟，1987 年又找到重达 4800.8g 和 6136.15g 的大金块。1997 年 6 月 7 日晚 6 时 30 分，青海门源寺沟金矿第 13 采金队工人在砂金溜槽上发现了重达 6577g 的特大石包金金块。石包金是狗头金的一种形态。从已发现的狗头金来看，一般有三种形态，即金包石、石包金和金包水三种。不管在标本界，个人收藏界里，这种自然金的估价都是极高的。

金矿床几乎可产于任何岩石类型及任何时代的地层中，但以前寒武纪绿岩带最为重要。金的矿化类型有：绿岩带型（含基性、超基性岩）、火山岩型、斑岩型（含碱性岩、花岗岩）、浊积岩型、黑色岩

系型、砂砾岩型、河流沉积物型；按成因类型分有石英脉型、硫化物脉型、微细浸染型、构造蚀变岩型、铁锰帽型、红土型等。

## 二、如何寻找金矿？

1、首先应关注硅化带、石英脉、次生石英岩。这是因为金矿化均与硅化关系密切，可以说无硅不成金。当然不是所有的硅质体都产金，但含金的硅质体大多为烟灰色，水色好。这是因为含金的硅质体均含有或多或少的硫化物，因硫化物极细，故使石英呈烟灰色。特别是页片状石英脉（其内可含多条黑色条带如炭质与细粒硫化物的混合物）含金性好。即便是少硫化物的明金型石英脉，在出现金矿包时，往往都有硫化物如辉锑矿、辉铋矿、车轮矿、毒砂、鱼子状铅锌矿等存在。

2、再次关注断裂构造带，特别是韧性剪切带。金矿化无一不与断裂有关，可以说无构不成金。尤其是要关注超糜棱岩、糜棱岩、微砂糖状似石英岩、滑石菱镁片岩，它们往往是富金矿体所在。巨型至大型断裂带本身的含金性往往不佳，而旁侧的次级断裂带往往是金矿体产出部位。

3、第三要注意铁帽、褐红色、褐黄色残坡积物及碳酸盐的溶沟溶槽堆积物的含金性查定。它们不但本身可成为铁帽型、红土型金矿，而且可以指示原生金矿的寻找。

4、第四要注意在锑矿、汞矿、砷矿（特别是雄黄矿、雌黄矿）区找金，就锑矿而言，它既可与金共生构成锑金矿床；也可分离，但相距不远，故有“不在其中，不离其踪”之说。部分铅锌矿的外围也可

找金，如青城子铅锌矿外围；铜矿床的下部。铜镍硫化物矿床蚀变带也是找金的好去处。

5、与金矿化有关的蚀变除硅化外，还有铁白云石化、铁方解石化、铬白云母化、黄铁绢英岩化、冰长石化、细粒黄铁矿化、砷、锑、汞、铋、铊矿化等低温蚀变组合。

6、关注基性岩、超基性岩、煌斑岩、碱性岩、偏碱性花岗质岩石、碳硅泥质岩、不纯碳酸盐岩内的断裂破碎带及其构造蚀变带。

7、开展河流重砂、沟系次生晕及各种化探方法工作，以金找金，是目前最主要的找金方法。

8、根据找金的指示元素找金，如汞、锑、铋、砷、铊、硒、铅、锌、铜、银的元素组合异常找金。

9、以物探方法查明断裂构造及硫化物分布规律来间接寻找金矿。

## 砂金的找矿方法

砂金的找矿方法很多，常用的方法有 5 种：①自然重砂法，②工程重砂法，③旧采调查，④地质地貌分析，⑤物探与航空新技术方法。其中前 3 种方法是通过取样调查，了解是否有砂金的存在，并直接确定是否成矿，属于直接的找矿方法；后 2 种方法主要是通过成矿条件分析及评价、研究环境及沉积物某些特点，来推断是否可能成矿，属于间接找矿方法，其中地质地貌调查，是砂金找矿分析的基础。通常在确定到哪里去找砂金矿和在何处何部位布置取样工程方面，主要是由地质地貌分析提供依据。以下分别介绍砂金找矿的具体方法。

## 一、自然重砂法

自然重砂法是根据砂金颗粒密度（比重）很大，用淘洗盘就能直接选别出来的特点，在松散碎屑沉积的表层或不深处挖坑取样，在野外淘洗直接确定是否有砂金存在的一种方法。取样包括水系沉积的河流重砂取样、阶地砂砾层沉积露头取样和山坡的残坡积层重砂取样。前二种取样，可以了解水系沉积物的含金性、砂金的大致分布范围、阶地含金层的品位及厚度。山坡残坡积层中的取样，是在已知有砂金的小沟山地范围内，用于追寻砂金来源，通过在山坡和坡脚，按一定间距挖掘浅坑取样淘洗，根据见金结果圈定分布范围，缩小岩金找矿靶区。这三种取样中，应用最广的是河流自然重砂法。

河流自然重砂法取样工作，一般是沿水系上游或沿含金的中小支谷由下而上进行。其优点是：工具简单（只要一把锹、一个淘洗盘），取样工作量小（挖浅坑 0.3-0.5m 深，样重 20-40kg），简便易行，一个人也可以干，很快就可以直接获得近地表处的砂金信息。缺点是：由于样品取在浅近地表处，不能反映深处的砂砾层含金情况，而砂金通常主要富集于砂砾层下部靠近基岩处，因此近地表处的河流重砂测量结果，在找矿中一般只有定性意义。

自然重砂取样效果取决于取样点位和层位的选择。在平面范围内，取样点应布于有利于砂金富集的地方，如河流突然变宽处，河流转弯凸岸处，河床浅滩的砂砾沉积区，近主、支流交汇处，河床中岩坎石滩下方，岩畔的上方，边滩或心滩处，水流中大障碍物前面，河床坡降由陡变缓处，“关门山，河谷上方或“迎门山”前方堆积区等处。在

垂直剖面方向上，以靠近底岩的砂砾层底部位置为最好。在砂砾岩区，应取在切割砂砾岩层的支沟细谷的下方河床沉积中。在有多级沟网发育的山区，应优先在支谷中取样。取阶地沉积露头样品时，应尽可能取在砂砾层的底部或近基岩面处。每个样品样长 0.2—0.5m。样品重量最少不小于 20kg 或按体积取 0.01m<sup>3</sup>。（约相当于 1 标准船形淘洗盘满盘砂样）。沿河流取样时，间距视沟谷规模决定，不必机械固定。确定取样点，应以地质地貌条件有利为原则。三五公里长的小沟，可大致按 800m 间距取样，十公里左右长的沟谷可按 1600m 间距取样。取残坡积样时，按平行山坡等高线布置取样点，点距 80—40m。所有取样层位都尽量取在砂砾层或含粘土砂碎石层中，避开纯粘土层。旧采尾砂堆应从近上部表层直接取样，采坑深 0.3—0.5m。各种重砂采样都要计算样品的重量或体积，以便计算品位。样品在野外淘洗后送实验室。

## 二 工程重砂法

是使用砂钻或探井工程穿透松散沉积层并系统采样，了解松散沉积含金情况和直接确定含金层品位的一种有效方法。由于砂金及工业砂金层主要赋存于松散沉积层的底部，所以工程重砂法可以查明深部砂金富集情况，提供直接找矿信息。采用此法的基本要点是布置取样工程点要有较充分的依据和具备施工可行性，其次不论何种取样工程一律要打穿含金层并控制基岩面以下至少 0.2m 深。使用取样工程进行砂金找矿，必须以地质地貌条件分析为基础，根据找矿标志和线索，在成矿有利区段内选定有利部位，按一定工程网度布置工程。有利部

位应根据砂金富集与成矿规律确定。

### 三、砂金旧采迹与民采调查

很多砂金区的河流上游或支沟细谷内都常见有砂金手工旧采迹，它们是砂金找矿的有效标志。根据旧采迹，进一步开展外围找矿，常常能收到良好效果。较大规模的手工旧采区尾砂堆，也常常是具有工业价值的矿体。另外，通过民采调查，可以获得许多有关本区内砂金成矿地质特征、规律及找矿线索等方面的宝贵资料，所以砂金民采调查具有重要的找矿意义。

### 四、地质地貌调查

是砂金找矿的基本方法，主要用于砂金成矿条件分析和成矿有利地段的预测上。

在找矿阶段，主要是进行河谷路线调查。其中地质调查可采用自然露头法，河流碎屑观察法，用区内已知的产金沟的岩石作对照类比，同时采一些自然重砂样，了解含金性。间接或直接地确定有否砂金补给以及补给的贫富程度。在调查中，要注意了解沟谷的构造背景和与金矿化有关的地质现象。

地貌观察主要划分河谷类型各种地貌单元并确定其分布，了解其规模、成因，沉积物特征及其含金性等，并在 1 : 50000 或 1 : 25000 比例尺地形图上勾绘地貌第四纪地质草图，绘出主要地貌单元的边界线，为布置取样工程和以后圈定矿体提供参考依据。

### 五、民间寻找砂金矿的某些经验

黑龙江省是我国砂金主要产区，开采历史悠久，民间寻找砂金矿



积累了丰富的经验。

(一) 根据地貌和砂金富集规律确定远景区段

1. 看“三山”、“四不露”，一即“座山”、“关门山”、“迎门山”、“沟前不露口”“沟后不露堵”、“沟中不露风”和“全沟不露骨”。

“座山”为河谷上游的产金山。它以高大（不露堵”）和“马牙石”脉（石英）多为特征。经验认为，有座山存在在河谷中形成砂金金矿的可能性就越大。

“关山门 ”即河谷钳形山，又称“关门嘴子”。“迎门山”为河谷转弯处河流的迎面山，又称“不露嘴”，“不露口”。这种地貌都是砂金成矿的有利标志。在“关门山”的上方或“迎门山”前方的河谷内，都是砂金富集的地段。

“不露风”又称“不露腰”，产砂金的河各两侧山要比较高些，“风”好似刮不出去。“不露骨”指河床底板的岩石不出露，表明河谷处于堆积阶段。

2. “小沟出嘴”、“大沟有腿”、“不大不小在肚里”。小沟指长度在3km以下的小沟谷。“小沟出嘴”是讲要注意在小沟出口处寻找砂金矿。长度在10km以上时为大沟。“大沟有腿”即在较大的河谷中发现了砂金矿，那么在其上游的某些支谷里也有可能找到砂金矿。反之，如支谷有砂金矿，在主谷里也可能有砂金矿存在。不大不小（中沟）长度3-10km, 主要成矿在本谷内。

3. “金出阴坡”。据寒冻地区民间经验，冲积砂金矿，特别是阶地矿，多分布于河谷阴坡一侧。即东西走向的河谷，在河谷南侧谷坡的

阶地上砂金矿多，而在北侧很少，对南北走向的河谷，矿金矿多分自于西侧阶地上，东侧成矿很少。

## （二）河流重砂取样找金

沿河流采取重砂样品进行砂金找矿，是民间最常用的方法之一。其主要经验是：

1. 取样点要合理，并具有一定的代表性，通常取样线间距以 200-300 m 为宜。
2. 取样位置要选择河流改变流向（转弯）的内侧部位；河水流速显著变缓地段；河床中大障碍物体的前方；主支流汇合的旁侧。
3. 注意取样层位。当泥（粘土），砂和砾石都有的情况下才可以取，三者缺一时效果不好。
4. 在老探坑或旧采尾砂堆上取样时，应先剥去表土部分，但不要挖探过大，最好找有基岩碎块的砂砾取样，对单纯的水洗砂砾部位不能取。
5. 不能水中捞样。

# 话说找银矿

## 一、银矿地质概述

银的原子序数为 47，元素符号为 Ag，它的拉丁文名字来自梵文，意思是浅色的。古人称自然银为“生银”，在银矿坑道石缝中状如“老翁须”。银呈金属光泽，条痕银白色，故又称白银。银表面氧化后具灰黑的锈色被膜。

银属亲铜元素，亲硫，极化能力强。在自然界中常以自然银、硫化物、硫盐等形式存在，因其离子半径较大，又能与巨大的阴离子硒和碲形成硒化物和碲化物。但它通常最喜欢潜藏在方铅矿中，或作机械混入，或作类质同象潜晶。其次是赋存于自然金、黝铜矿、黄铜矿、闪锌矿、黄铁矿、毒砂等矿物中。

目前已知的银矿物和含银矿物有 200 多种，主要的有 60 余种，但具有重要经济价值，作为白银生产的主要原料有 12 种：自然银、银金矿、辉银矿、深红银矿、角银矿、脆银矿、锑银矿、硒银矿、碲银矿、锌锑方辉银矿、硫锑铜银矿、黝铜银矿等。其它较重要的有：硫砷银矿、硫锑银矿、含银方铅矿、含银软锰矿、针碲金银矿、含钯铍银金矿、含镍铋碲银金矿、硫砷铜银矿、黝锑银矿、银锌砷黝铜矿等。

在内生作用中，银在热液阶段才趋于高度集中，富集成银（金）或各种含银的多金属硫化物矿床；在表生条件下，银的硫化物可形成具有一定溶解性、易溶于水的  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$ ，在氧化带下部形成次生富集体；在沉积作用中，银常与铜、金、铀、铅、锌或钼、磷等一起迁移，沉淀于砂岩、粘土页岩和碳酸盐岩类岩石中，当其达到一定程度的富集，可形成沉积型或层控型银矿床；在变质作用过程中，原岩中呈细分散状态的银，经变质热液的萃取与活化迁移，在适当的地质条件下可富集形成具有经济价值的新矿床，或者使原矿体叠加富化。

银的矿床类型有：陆相火山岩型（即浅成低温的冰长石-绢云母型低硫化物热液矿床），如墨西哥瓜那华托银矿（3.3 万吨银金属储量，品位 350g/t）；斑岩型，如玻利维亚波托西银锡矿床（19.56 万吨银

金属，品位 150-250g/t）；海相火山-沉积型（块状硫化物型），如加拿大基德克里克矿床（1.96 万吨银金属，品位 163 g/t）；沉积岩容矿的 Sedex 型，如加拿大布罗肯希尔铅锌银矿床（3.15 万吨银金属，品位 175g/t）；接触交代型（矽卡岩型），如秘鲁塞罗德帕斯科矿床（4.8 万吨银金属，品位 142g/t）；沉积变质岩型，如美国克尔达兰矿床（3 万吨银金属，品位 155g/t）；五元素建造（黑色页岩型）矿床，与镍、钴、铋、铀、钒、铂族元素共生，如加拿大科博尔特（1.56 万吨银金属）。

世界上银矿资源主要分布在环太平洋带、古亚成矿带、特提斯-喜马拉雅成矿带及前寒武纪绿岩-花岗地体中。全球约有 60 个国家和地区探明有工业矿床，但储量集中在南、北美洲，尤其是加拿大、美国、墨西哥、秘鲁和玻利维亚，占有世界一半以上的银储量。

银矿石种类复杂，以银为主的银-金矿、银-铅矿、银-锌矿、银-锡矿、银-铜矿较少。绝大多数为多元素矿石，如铅锌银矿、铜金银矿、铅铅锌金银矿、铜镍钴铀银矿、银钴镍铋钒砷矿（五元素建造）、锡钨硫化物银矿、银锰铁矿等。银矿的品位高者可达数千克吨，低者仅几十克吨，甚至 1-2 克吨，一般为几百克吨，如美国科姆斯托克银矿品位高达 3000g/t。

银的独立矿床较少，主要分布在美国、墨西哥和秘鲁，我国有广东高明富湾、广西隆安凤凰山、四川巴塘夏塞和云南鲁甸乐马厂。按安东诺夫的储量分类，>1 万吨为特大型银矿、1 万吨至大于 2 千吨为大型银矿、2 千吨至大于 5 百吨为中型银矿、小于 5 百吨为小型银矿。

而我国将银矿床平均品位大于 150 克吨称为独立银矿，大于 1 千吨的称为大型银矿、1 千吨至大于 200 吨为中型银矿、小于 200 吨的为小型银矿。

## 二、找银矿标志

1、低温蚀变及矿化带，如次生石英岩化、黄铁绢英岩化、重晶石化、冰长石化、蒙脱石化、硅化、铁碳酸盐化、铁锰粘土岩化、构造蚀变岩化等；

2、砷锑汞硫化物及硫盐矿物带；

3、铁锰氧化带；

4、铜、铅、锌、锡、钨、锰矿区及外围；

5、黑色岩系区；

6、银化探异常区。

注意以下两点：

1、利用银的化探异常来找银矿时，要注意区分人工降雨或人工降雪而引起的人工大面积的银异常，以免误导。因为人工降雨（雪）是利用高炮、火箭从地面上发射炮弹，炮弹在云中爆炸后，使炮弹中的碘化银等催化剂燃成烟剂撒在云中，急速使云中水雾降温凝聚。

2、除了在铜、铅、锌、锡、钨、锰矿区寻找共伴生银矿外，要注意寻找少硫化物的独立银矿床，如少硫化物的断裂构造蚀变带常可赋存独立银矿床。

# 话说找铜矿

## 一、铜矿地质概述

铜系典型的亲硫元素，在自然界中主要形成硫化物，只有在强氧化条件下形成氧化物，在还原条件下可形成自然铜。

目前，在地壳上已发现铜矿物和含铜矿物约计 250 多种，主要是硫化物及其类似的化合物和铜的氧化物、自然铜以及铜的硫酸盐、碳酸盐、硅酸盐类等矿物。其中，能够适合目前选冶条件可作为工业矿物原料的有 16 种：

自然元素：自然铜（含铜近 100 %），一般见于硫化矿床的氧化带。在陆相玄武岩的气孔或裂隙中常见到自然铜的产出，但能构成工业规模的自然铜矿床却极其罕见。不过，美国元古代变质的玄武质火山岩系中，却产有以自然铜为主的基韦诺超大型铜矿，成为了铜矿床的特例。在我国，湖南麻阳铜矿也是一个以自然铜为主的铜矿床，只是其类型为砂岩型，规模为中型。

铜的硫化物：黄铜矿（含铜 34.6 %，括号指铜含量，下同）、斑铜矿（63.3 %）、辉铜矿（79.9 %）、铜蓝（66.5 %）、方黄铜矿（23.4 %）、黝铜矿（46.7 %）、砷黝铜矿（52.7 %）、硫砷铜矿（48.4 %）。但辉铜矿和斑铜矿可以是原生成矿作用的产物，亦可为氧化次生富集的产物。若为次生氧化作用的产物，则辉铜矿可为烟灰状，且多与孔雀石等矿物共生。

铜的氧化物：赤铜矿（88.8 %）、黑铜矿（79.9 %）；铜的硫酸盐、碳酸盐和硅酸盐矿物：孔雀石（57.5 %）、蓝铜矿（55.3 %）、

硅孔雀石（36.2%）、水胆矾（56.2%）、氯铜矿（59.5%）。它们均为原生铜矿物或含铜高的岩石经氧化作用形成的。

目前选冶铜矿物的原料主要是黄铜矿、辉铜矿、斑铜矿、孔雀石等。按选冶技术条件，将铜矿石以氧化铜和硫化铜的比例划出三个自然类型。即硫化矿石，含氧化铜小于10%；氧化矿石，含氧化铜大于30%；混合矿石，含氧化铜10%—30%。

铜矿床的类型主要有：斑岩型铜矿、铜镍硫化物型铜矿、块状硫化物型铜矿、层状铜矿（火山岩型铜矿、砂、页、砾岩型铜矿、碳酸盐型铜矿）、砂卡岩型铜矿和热液脉型铜矿。

## 二、找矿标志

1、氧化铜矿物。由于原生铜矿物、含铜高的蚀变岩石、古炼铜渣易于氧化，形成格外醒目的翠绿色孔雀石（俗称铜绿）、天蓝色的蓝铜矿（俗称石青）、赤红的赤铜矿、烟灰状的辉铜矿、靛蓝色的斑铜矿等，它们是很好的找铜矿标志。

2、特征植物。如长江中下游地区的牙刷草和云南开紫花具紫红茎的葡萄草，是很好的找铜矿植物。

3、蚀变组合。如青盘岩化—黄铁绢英岩化—泥化—钾化—硅化、红层（火山红层或砂页岩红层）中的退色化等都是很好的找铜标志。

3、火山机构、细碧—角斑质火山凝灰岩、喷流沉积岩（铁锰硅质岩、铁碧玉岩、层纹状硅质岩）、红层中的浅色砂（砾）岩、砂卡岩、超基性岩、中—中酸性斑岩、迭层石硅质细腻白云岩、含炭的火山凝灰岩层等都是找铜的最好对象。

4、对于斑岩铜矿，一般它是大吨位低品位的矿床，一直是人们寻找的主要对象。特别值得一提的是：寻找斑岩铜矿一要看其是否具备露采条件，二要关注其是否具有次生富集带，三要看其是否伴生有较高的金、银、钼元素。如果不便露采又不具高品位的次生富集带，且金、银、钼含量低的话，则因其品位过低而成为呆矿，暂难为人们所利用，因其占用大量的勘查资金，可使矿业公司陷入困境。

5、铜元素的化探异常及其与钼、金、银、铅、锌、铁、锰等综合异常。

6、物探异常。激电（高极化）、电阻率（低电阻）、重力（高重力）可直接反映出铜矿体的存在，磁法异常可圈出火山机构、中-中酸性岩体接触带、超基性岩带来，重力低可圈出隐伏花岗质岩体。

7、注意成矿系列找矿。如上有铁矿下有铜矿（如铁帽常可指示找铜，磁铁矿床之下通常有铜矿床存在）。

8、注意综合找矿。铜矿床中往往可共生或伴生如下元素：铅、锌、钨、钼、锡、金、银、铁等。

## 话说找铅锌

### 一、铅锌矿基本特征

在自然界，特别是原生矿床中，铅锌具有密切的共生关系，可说是似影随形。它们具有极为相似的地球化学行为，均具有强烈的亲硫性，能形成相同类型的易溶络合物，能被铁锰质、粘土或有机质所吸附。



铅在地壳中平均含量约为  $15 \times 10^{-6}$ ，其中，砂岩  $7 \times 10^{-6}$ 、碳酸盐岩  $9 \times 10^{-6}$ 、页岩  $20 \times 10^{-6}$ 。锌在地壳中平均含量约为  $80 \times 10^{-6}$ ，其中，玄武岩  $105 \times 10^{-6}$ 、花岗岩中  $60 \times 10^{-6}$ 、砂岩  $16 \times 10^{-6}$ 、碳酸盐岩  $20 \times 10^{-6}$ 、页岩  $95 \times 10^{-6}$ 。

在自然界，业已发现的铅锌矿物约有 250 种，其中约有 1/3 的矿物为硫化物和硫酸盐类，而以方铅矿和闪锌矿最为重要。目前可供工业利用的矿物有：

铅工业矿物—方铅矿（含铅 86.6%），硫锑铅矿（含铅 55.2%），脆硫锑铅矿（含铅 40.1%），白铅矿（含铅 77.6%），铅矾（含铅 68.3%），铬铅矿（含铅 64.1%），磷氯铅矿（含铅 76.38%），砷铅矿（含铅 69.3%），钒铅矿（含铅 73.1%），钼铅矿（含铅 56.4%），车轮矿；锌工业矿物—闪锌矿（含锌 67.1%）、纤维锌矿（含锌 67.1%），菱锌矿（含锌 67.1%），异极矿（含锌 54.3%），硅锌矿（含锌 58.6%），水锌矿（含锌 59.6%）。

矿石工业类型，按氧化程度可分为硫化矿石（铅或锌氧化率 $<10\%$ ）、氧化矿石（铅或锌氧化率 $>30\%$ ）、混合矿石（铅或锌氧化率  $10\%--30\%$ ）；按主要有用组分可分为：铅矿石、锌矿石、铅锌矿石、铅锌铜矿石、铅锌硫矿石、铅锌铜硫矿石、铅锡矿石、铅锑矿石、锌铜矿石等；按结构构造可分为：浸染状矿石、致密块状矿石、角砾状矿石、条带状矿石、细脉浸染状矿石等；按成因类型分主要有：块状硫化物型、密西西比河谷型、接触交代型，热液脉型；按容矿岩石分主要有：花岗岩型、夕卡岩型、斑岩型、海相火山岩型、陆相火山岩型、碳酸盐岩型、泥岩-细碎屑岩型、砂砾岩型。

## 二、找铅锌标志

1、铁帽及氧化矿 因铅锌矿常含有黄铁矿、菱铁矿、铁白云石、铁方解石或铁闪锌矿，在氧化条件下，它们易于分解，形成褐铁矿等堆积物。通常对铁帽取样化验，就可知区内是否具有铅锌矿的找矿前景。如果铁帽及氧化带内铅锌含量很高，则其本身就构成了铅锌的氧化矿。铅锌地球化学行为存在着微小的差别，这就使得铅锌在氧化条件下可以分离。铅的氧化物有白铅矿、黑铅矿、块黑铅矿、铅铁矾、铅矾，因硫酸铅一般不可溶，故分散残留于氧化带中，迁移距离较小，离原生矿体较近，有时在残坡积物中能富集成矿；锌的氧化物有菱锌矿、异极矿、水锌矿、硅锌矿等，因硫酸锌易溶，可迁移相当大的距离，故氧化锌分布的范围较铅的氧化物广，且易于淋积富集成矿，因此氧化锌矿常较氧化铅矿更有价值。

铅锌氧化矿可具咖啡色、土黄色、炭黑色、白粉色、淡黄绿色等的不同色调，以块状、土状、蜂窝状、粉状、皮壳状、豆状、葡萄状、肾状、炉渣状等产出。对氧化的砂岩型铅锌矿而言，有时肉眼难以识别。本人的经验是：黄褐色砂（砾）岩中有黑芝麻点物质便是。

2、蚀变标志 碳酸盐型矿床往往与硅化白云岩有关，肉红色白云岩所包围的灰白色白云质岩石往往就是工业矿体所在。砂（砾）岩矿床往往具有多孔隙、颗粒支撑、仿佛被水浸泡过或具“鸟眼”构造、“雪顶”构造等特征。近矿围岩蚀变有碎裂化、硅化、重晶石化、天青石化、黄铁矿化、铁碳酸盐化和萤石化等，地沥青和黑色条带往往

也是找铅锌矿的标志。热液型矿床的蚀变还有矽卡岩化、角岩化、黄铁绢英岩化等。

**3、物化探异常** 一般铅锌矿具有低阻高极化物探异常特征，但块状闪锌矿体却具有高阻特征，这在解释物探异常时应该引起高度注意。

**4、褶皱轴部的断裂破碎带** 特别是逆冲推覆构造带或大型滑脱构造带往往大型至超大型铅锌矿有关。

**5、锗、镓、铟、银等微量元素异常** 这些元素异常不仅可以指示寻找铅锌矿，而且在特定条件下，可与铅锌矿构成共生矿或伴生矿，而大大提高矿石的吨矿价值。

密陀僧(上图)，成分为  $PbO$ ，系铅的氧化物矿物。呈红色，属四方晶系，比重大但较软，显油脂光泽。产于铅矿床的氧化地带。密陀僧常与铅黄(黄色，正交晶系，铅的氧化物)产在一起，相映成趣。

## 话说铁闪锌矿

铁闪锌矿是闪锌矿家族中的重要成员。它具有闪锌矿的一般共性，又具有鲜明的个性，属于难选矿物。

$ZnS$  有两个同质多像变体，常见的为等轴晶系的闪锌矿  $B-ZnS$ ，偶见三方或六方晶系的纤维锌矿  $A-ZnS$ 。

纤维锌矿(Wurtzite)，三方或六方晶系，常见纤维状、放射状、柱状、皮壳状集合体，单晶体有板状、短柱状、锥状，晶面有水平聚形纹，硬度 3.5-4，比重 4.0-4.1，非均质性。其颜色和条痕与闪锌矿相同。形成于低温条件下，与闪锌矿和白铁矿共生。

闪锌矿 (Sphalerite)，等轴晶系，单晶为四面体、立方体、菱形十二面体，有时有三角形蚀象和聚形纹。可见接触双晶和聚片双晶。高温闪锌矿呈四面体和立方体，中低温闪锌矿多为菱形十二面体。硬度 3.5-4，比重 3.9-4.2。因其与方铅矿共生且不易识别，故古代德国的矿工称它为 Blende，意指盲目 (Blind) 或欺骗 (Deceiving) 的意思。sphalerite 来自希腊语 sphaleros，意思是背信弃义，因为它颜色多变（铁含量增加时，它的颜色变深）。因含铁量不同导致闪锌矿的颜色多变，随含铁量的增加，颜色由浅变深，即从淡黄色、棕褐色直到黑色（铁闪锌矿），条痕也随之从白色变到褐色、红棕色，但总体上条痕色较其颜色为浅。透明到半透明，金刚光泽到半金属光泽，发荧光和摩擦磷光，不导电。

闪锌矿常含有 Fe、Mn、Cd、Ga、In、Ge、Tl、Ag 等杂质元素，特别地，当闪锌矿含铁 6% 以上时，被称为铁闪锌矿；含铁 12% 时，被称为高铁闪锌矿；铁含量达 18% 以上时，可称为超高铁闪锌矿。

铁闪锌矿呈暗黑色时，被称为黑闪锌矿 (Black Jack)。一般与磁黄铁矿等较高温的矿物共生。

一般地，铁闪锌矿不含锗，而富集铟、银、镉、镓等。

铁闪锌矿因含铁高，导致其物理性质与闪锌矿有很大的不同，主要表现在浮选性上，较闪锌矿要差得多。这是因为闪锌矿晶格上的锌原子被  $\text{Fe}^{3+}$  取代，使其化合价和电荷状态失去平衡，并导致 2 个  $\text{Zn}^{2+}$  变为  $\text{Zn}^{+}$ ，降低了空穴浓度、增加了电子密度，使闪锌矿成为 N 型半导体矿物铁闪锌矿，从而影响其可浮性、吸附性、氧化还原状态和界

面电化学反应。由于电子密度增加，铁闪锌矿形成了对黄原酸阴离子较强的排斥作用，不利于捕收剂的吸附。因此，铁闪锌矿的可浮性比闪锌矿的可浮性降低。含铁量越高，晶格参数增加和晶体表面能降低得就越多，晶格中的离子键、半导性等发生的变化就越大，因而可浮性就越差。

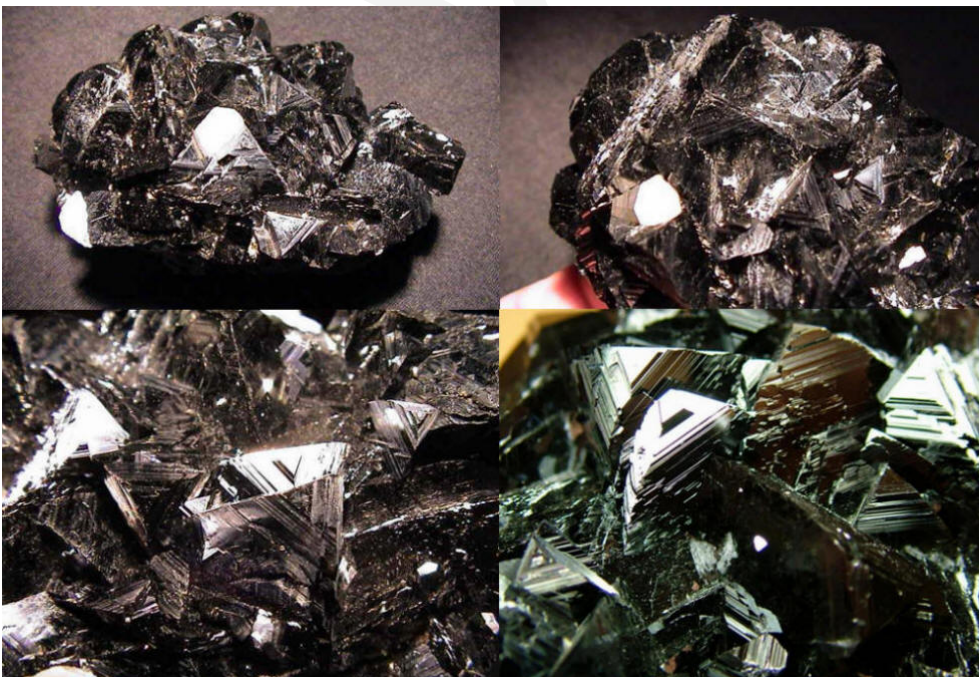
铁闪锌矿含铁的多少，除影响其可浮性外，还影响其磁性强弱。铁闪锌矿的磁性强弱与铁含量成正比，含铁愈高，磁性愈强。一般当磁选的磁感应强度为 0.2-0.3 T 时，铁闪锌矿可进入到磁性产品中。因此，在有些情况下，为了提高锌精矿品位而对锌精矿进行磁选，脱除部分含铁高的铁闪锌矿。如放牛沟铅锌矿的选矿试验中，铁闪锌矿含铁 6.81%-15.09%（平均含铁 10.61%），对已获得的含锌 43.86%的锌精矿进行磁选，可分选出部分含铁高的铁闪锌矿和其它的磁性物，锌精矿锌品位达到 47.75%，提高 3.89 个百分点，锌作业回收率 98.8%。铁闪锌矿的粒度对其浮选性关系也很大。铁闪锌矿的活化决定于以下因素：1、硫酸铜活化铁闪锌矿的缺陷；2、硫酸铜的活化时间；3、铵盐和 X-1 的活化作用；4、石灰和 pH 值对铁闪锌矿浮选的影响；5、捕收剂对铁闪锌矿浮选的影响；6、磁黄铁矿或黄铁矿的抑制。

中国一些含铜锡锑多金属的铅锌矿山不同程度地含有铁闪锌矿，如广西的大厂、河三铅锌矿，湖南的黄沙坪、潘家冲、野鸡尾铅锌矿，贵州的赫章铅锌矿，青海的锡铁山铅锌矿，黑龙江的西林铅锌矿，吉林的放牛沟、故牛淘铅锌矿，广东的厚婆坳铅锌矿，云南的白牛厂和

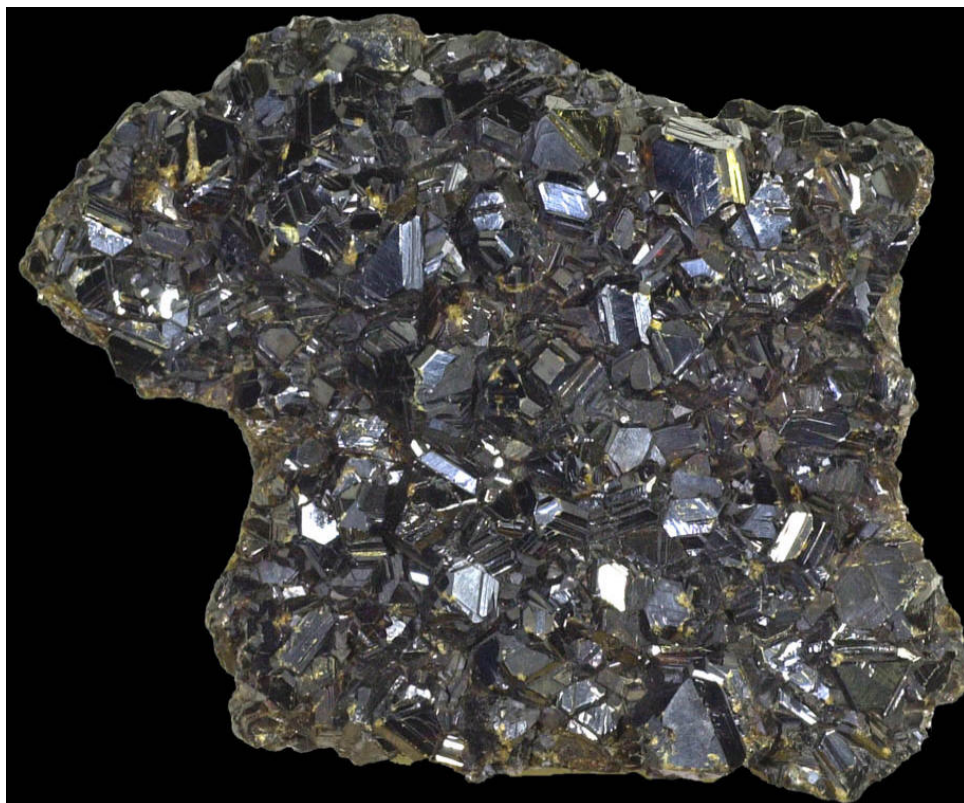
都龙多金属矿和澜沧铅锌矿等。这些矿山的铁闪锌矿含铁一般为8%-12%，有的高达26%。它们是铟资源的重要产地。



闪锌矿







铁闪锌矿



闪锌矿





# 话说找钨矿

## 一、钨矿地质概述

钨在地壳中的含量较低，丰度为 1.3ppm。自然界中的钨，主要呈六价阳离子存在。因六价阳离子半径小，电价高，具有强极化能力，易形成络阴离子，故钨主要以  $[W04]^{2-}$ ，与溶液中的  $Fe^{2+}$ 、 $Mn^{2+}$ 、 $Ca^{2+}$  等阳离子结合形成钨酸盐-黑钨矿或白钨矿沉淀。在表生作用中，由于含钨矿物较稳定，常形成砂矿。但在酸性条件下，含钨矿物可被分解，并以  $W03$  形式溶于地表水中，有时形成钨的次生矿物。有时以矿物微粒或离子形式被粘土或铁锰氧化物吸附而集聚于页岩、泥质细砂岩及铁锰矿层中。在成矿作用过程中能与  $[W04]^{2-}$  结合的阳离子仅有几个，主要有 Ca、Fe、Mn、Pb 二价离子，其次为 Cu、Zn、Al、Fe、Y 等三价离子，故矿物种类有限。

目前已发现的钨矿物和含钨矿物有 20 余种：钨锰矿、钨铁矿、黑钨矿、白钨矿、钼白钨矿、铜白钨矿、钨华、水钨华、高铁钨华、钼钨华、铜钨华、水钨铝矿。不常见的钨矿物有钨铅矿、斜钨铅矿、钼钨铅矿、钨锌矿、钨铋矿、铈钨烧绿石、钛钼钽矿(含钨)、硫钨矿等。尽管已发现的钨矿物和含钨矿物有 20 余种，但具开发利用价值的只有黑钨矿和白钨矿。

黑钨矿  $(Fe、Mn)W04$ ，含  $W03$  76%，结晶温度为 320-240℃。晶体呈板状，颜色为褐黑至黑色，半金属光泽或树脂状光泽。硬度与小刀差不多，比重 7.5，它常与白色石英一起形成黑钨矿石英脉。

白钨矿又称钙钨矿、钨酸钙矿  $\text{CaWO}_4$ ，含  $\text{WO}_3$  80.6%，白钨矿的结晶温度为 300-200℃。灰白色，油脂光泽，小刀可以刻动，与石英有些相似。但白钨矿比石英软，而比石英重两倍多，比重 6。用荧光灯照射，白钨矿会发出美丽的浅蓝色荧光，这是简便检验白钨矿的有效手段。

钨的矿床类型，若按矿物元素组合划分，则有 W-(Sn、Bi、Mo)，W-Be，W-(Cu、Pb、Zn、Ag)、W-Nb-Ta，W-Au-Sb，W-Li，W-Cu-Fe，W-REE 等类型。其工业类型有石英脉型黑钨矿床(广东锯板坑、江西大吉山等)、斑岩型钨矿(细脉浸染型、云英岩型)(广东莲花山和江西阳储岭)、爆破角砾岩型钨矿床(江西大湖塘)、矽卡岩型白钨矿床(湖南瑶岗仙、江西香炉山、甘肃小柳沟)、以矽卡岩为主的层控多因叠加型(湖南柿竹园)、层控型(广西大明山)和砂矿型等。

钨矿的工业类型与围岩的物理化学性质有关，如含钨花岗质岩体与碳酸盐岩建造接触时，形成矽卡岩型或似矽卡岩型白钨矿床；而与砂泥质岩石接触时则形成岩体浸染型、细脉浸染型、脉型、角砾岩筒型黑钨矿床。钨成矿区往往具有分带现象，在水平方向上，由内往外依次出现 I—钨锡矿带，II—钨矿带，III—钨多金属矿带。在垂直方向上，矿体形态具有“五层楼”的演变规律。

钨矿的工业指标：1) 石英大脉型，边界品位  $\text{WO}_3$  0.08-0.10%，最低工业品位  $\text{WO}_3$  0.12-0.15%；2) 石英细-网脉型、层控型、矽卡岩型，边界品位  $\text{WO}_3$  0.10%，最低工业品位  $\text{WO}_3$  0.15-0.20%，夹石剔除 2-3 米，可采厚度 1-2 米。

钨矿床伴生有益组分通常有锡、钼、铋、铜、铅、锌、锑、金、银、钴、铍、锂、铌、钽、稀土、硫、磷、砷、压电水晶、熔炼水晶、萤石等。其中，硫、磷、砷、铝、钙、锰、铜、锡、硅、铁、锑、锡、铅、锌等为有害元素。

中国已探明的钨矿床主要分布在南岭地区，其中以赣湘粤最为重要。近年，在北祁连-北山地区发现了大型的钨矿床，改变了中国工业钨矿床的分布格局。目前，中国钨矿储量居世界首位，为国外 30 多个国家总储量(130 万吨)的 3 倍多。但中国富钨矿床(含  $WO_3$  大于 0.5% 或 1%)不多，大多为贫的难选矿床。另外的主要产钨国是加拿大和美国。我国湖南省郴县柿竹园是个“世界有色金属博物馆”，拥有 140 多种矿物，其中钨矿储量就占了当前世界总储量的四分之一。

因此，我国左右了世界钨市场的价格。目前钨矿资源的开发严格地受到国家的严格控制。

## 二、找钨矿标志

1、水系重砂测量和土壤重砂测量。这是因为白钨矿和黑钨矿，在风化剥蚀时不易被氧化分解，而作为重物聚集在松软沉积物或土壤的底部。

2、由深大断裂从深部带来的壳幔混源型岩脉，可以形成斑岩型、角砾岩筒型钨矿；而来自壳源型的岩脉则形成脉型或夕卡岩型钨矿。

3、钨矿区的含钨石英脉常成群成带的产出，且多具等距产出特征。根据钨成矿的水平与垂向分带分布规律及液压致裂裂隙产出规律，便能够准确地预测出隐伏矿脉的存在。

4、花岗质岩体的内外接触带、岩体顶盖相围岩，具有云英岩化、硅化、钾化、绢云母化、萤石化、矽卡岩化等部位是寻找钨矿的好场所。

5、在矽卡岩-斑岩型的铜矿、钼矿、铅锌矿、稀土矿、铌钽矿区及似层状类矽卡岩分布区，应注意寻找钨矿。

6、由于细粒白钨矿易于与石英相混淆，但白钨矿发淡蓝色荧光，而石英不发荧光。因此，用荧光照射便是区别石英与白钨矿的最有效快速的手段。

7、注意在浅变质岩的铋金建造中寻找钨铋金矿床，如湖南沃溪金矿。

## 话说找锡矿

### 一、锡矿地质概述

锡具有亲氧和亲硫特性。锡与硫合时能形成两种化合物：一硫化锡和二硫化锡，它们在高温下均具有较强的挥发性。锡也能与氧结合，形成一氧化锡和二氧化锡。

锡具有+2 和+4 两种价态，但在自然条件下，四价锡化合物较为稳定，尤其是二氧化锡 ( $\text{SnO}_2$ )，它是地壳上最稳定的化合物之一。锡离子可以在普通矿物内置换 Ca、Cd、Fe、Mg 二价离子、Sc、Fe、Al 三价离子、四价的 Ti、Nb 和 Ta 五价离子，从而可分散于含铁、钛、钪的矿物中，如金红石、榍石、磁铁矿、石榴子石、尖晶石、铌钽矿中。

锡的地壳丰度大约为 2ppm，一般富硅岩石比富铁镁岩石，锡的含量要高。自然界已知的含锡矿物有 50 多种，主要锡矿物大约有 20 多种。具有经济意义的主要是锡石，其次为黄锡矿。某些矿床中，硫锡铅矿、辉锑锡铅矿、圆柱锡矿，有时黑硫银锡矿、黑硼锡矿、马来亚石、水锡石、水镁锡矿等也可以相对富集，从而形成工业矿床。

锡石（含锡 78.8%），四方晶系，晶体呈双锥状、锥柱状，有时呈针状，偶见膝状双晶，集合体呈不规则粒状。一般呈樱桃红褐色、巧克力褐色、金黄色、柠檬黄色、灰色，无色和绿色者极为少见。条痕粉末呈淡黄色。金刚光泽，断口油脂光泽。半透明至不透明。硬度 6~7（小刀刻不动）。性脆，贝壳状断口，比重 6.8~7.0。常含混入物铁、铋、钽，此外尚可含锰、钨、钛、锆、钨及分散元素铋、镓等。Fe<sup>3+</sup>的存在，常影响锡石的磁性、颜色、比重。

黝锡矿又名黄锡矿（含 Cu 29.58%、Sn 21.61%）。四方晶系，晶体少见，呈假四面体、假八面体、板状等形态，常为粒状或致密块状集合体。一般呈钢灰色，新鲜断口呈橄榄绿色调，如有较多黄铜矿包体时则呈明显的黄色。条痕粉末呈黑色，金属光泽，不透明，性脆，不具延展性。硬度 3—4，比重 4.3—4.5。黄锡矿在广西含锡硫化物交代矿床和充填型钨锡矿床、湖南高中温热液型铅锌矿床中较常见。

辉锑锡铅矿（含 Pb 49.71%、含 Sb 11.64%、含 Sn 17.04%）。晶体薄板状，常弯曲，双晶复杂。集合体为块状、放射状或球状。与辉锑铅矿和黄锡矿一起产出，亦产于锡矿矿脉中。

硫锡铅矿（含 Pb 53.05%、含 Sn 30.51%）。晶体呈板状，外形近于四方形。通常为块状集合体。常与锡石、方铅矿、闪锌矿、黄铁矿一起产于锡矿矿脉中。

圆柱锡矿（含锡 26.63%）。成圆筒状或块状和球形的集合体。铅灰色，解理发育。与辉锑锡铅矿、闪锌矿和黄铁矿一起产在锡矿脉中。硬度 2.5，比重 5.46。

锡矿的品位很低，如脉状矿含锡 0.2%，砂矿含锡 0.04%即有开采价值。锡矿床一般可分为三大类，锡石—石英脉型（包括伟晶岩型、云英岩型、斑岩型）、锡石—硫化物型（砂卡岩型、碳酸盐岩型）和锡石氧化物型，即砂矿（原地氧化而成的砂矿——残坡积砂矿和溶岩漏斗砂矿及异地搬运过的砂矿——湖滨砂矿、海滨砂矿、冲积砂矿）。一些超基性岩中有时也产出锡矿，如广西九毛锡矿。

在矿石成分上，有锡、钨锡铋、钨锡钼铋、铜锡、锡铅锌银等类型。

至 1995 年，全球探明的锡金属储量为 700 万吨，主要分布在巴西、马来西亚、印尼、秘鲁、尼日利亚、玻利维亚、澳大利亚等国家。马来西亚锡产量居世界第一位，中国的锡矿主要集中在云南、广西、广东、湖南、内蒙古和江西，其中以云南个旧和广西南丹的锡最为有名。

目前，锡矿是中国控制开采的矿种。

## 二、锡矿找矿标志

- 1、花岗岩区或隐伏花岗岩区；
- 2、大理岩、角岩、砂卡岩、云英岩、电英岩区；

3、流纹岩、花岗岩、花岗质斑岩内及其接触带附近，个别富锡地区的超基性岩、辉长岩；

4、重砂测量。因锡石硬度大，不溶于一般的酸碱，在自然风化状态下相当稳定，因此常以重矿物产于水系沉积物的底部。从风化土层和水沟沉积物中取样，淘洗，看有否锡石或木锡存在。木锡是  $\text{Sn}^{4+}$  的盐类水解，分凝出  $\text{Sn}(\text{OH})_4$  的溶胶和凝胶，脱水后而形成的，形似木头状物质；

5、硅化带、石英脉、硫化物石英脉；

6、断裂破碎带、铁帽、巧克力土（含锡砂卡岩、大理岩风化而成的土壤）；

7、富氟岩石及蚀变岩。锡易与氟形成络合物迁移，当锡沉淀后，氟就滞留在附近的岩石内。因此，氟、硼、锡、砷、锑、铜等异常可指示锡的成矿远景区，且可预测锡的储量的大小。

## 话说找锑矿

### 一、锑矿地质概述

锑的地壳丰度为  $0.5 \times 10^{-6}$ ，其在岩浆岩中的丰度低于地壳丰度，只是酸性岩中的丰度接近地壳丰度。在沉积岩中锑明显地聚集于泥质岩石中，富集于铝土矿 ( $1.9 \times 10^{-6} \sim 2.3 \times 10^{-6}$ )、磷灰岩 ( $1.2 \times 10^{-6}$ )、黑色页岩 ( $300 \times 10^{-6}$ )、煤 ( $30 \times 10^{-6}$ ) 及煤灰 ( $200 \times 10^{-6}$ ) 中。

锑属亲铜元素，但亦具有一定的亲氧性，系典型的两性元素。其价态有+3 和+5+。在自然界里，锑主要以硫化物(如  $\text{Sb}_2\text{S}_3$ ) 产出，次为氧化物和含硫盐类(如  $\text{Sb}_2\text{O}_3$ 、 $[\text{SbS}_3]^{3-}$  等)。锑与铋的地球化学性质相似，故  $\text{Sb}_2\text{S}_3$  与  $\text{Bi}_2\text{S}_3$  能进行广泛的类质同象替换。辉锑矿常与辰砂密切共伴生，构成锑汞矿床。在表生条件下，锑易与氧结合，形成溶解度极低的锑华、锑赭石和黄锑华等，故锑在表生作用下活动性不强，难以发生显著的迁移。

在自然界中，锑矿物和含锑矿物约有 120 种，其存在形式有：①单质与金属互化物，如自然锑、砷锑矿；②硫化物及硫盐类，如辉锑矿、硫铜锑矿、硫锑铁矿、辉锑铁矿、黝铜矿、车轮矿、硫锑铅矿、脆硫锑铅矿、斜硫锑铅矿、硫锑银矿、辉锑银矿、辉锑铅银矿、硫汞锑矿、硫氧锑矿等；③卤化物或含卤化物，如氯氧锑铅矿等；④氧化物，如锑华、黄锑华、锑赭石、锑钙石、水锑钙石、方锑矿等。但具工业利用价值的矿物仅有十种：辉锑矿(含 Sb 71.4%)、方锑矿(含 Sb 83.3%)、锑华(含 Sb 83.3%)、锑赭石(含 Sb 74%~79%)、黄锑华(含 Sb 74.5%)、硫氧锑矿(含 Sb 75.2%)、自然锑(含 Sb 100%)、硫汞锑矿(含 Sb 51.6%)、脆硫锑铅矿(含 Sb 35.5%)、黝铜矿(含 Sb 25%)。其中辉锑矿是锑的选冶最主要的矿物原料。

辉锑矿 ( $\text{Sb}_2\text{S}_3$ )，含锑 71.4%，杂质元素有 As, Pb, Ag, Cu, Fe。呈铅灰色，晶面常带暗蓝青色，条痕为铅灰色。柱状或针状晶形，硬度 2；比重  $4.6\text{g/cm}^3$ ，(010)解理完全，解理面上常有横的聚片双晶纹，贝壳状断口，不透明，金属光泽，具脆性，遇冷膨胀，用蜡烛加热



可熔，不导电。对于细粒的块体，滴 KOH 于其上，立刻呈现黄色，随后变成橘红色，以此区别与其类似的氧化物。它和方铅矿有时看来颇为类似，但是比方铅矿轻，晶形亦不相同。

锑矿的自然类型有氧化矿石（氧化率>50%）、混合矿石（氧化率30%~50%），原生矿石（氧化率<30%）。就物质成分而言，锑矿石的工业类型有：单一锑、锑金、锑汞、锑金钨、锑钨等类型。就容矿主岩而言，锑的矿床类型有碳酸盐岩型、碎屑岩型、浅变质岩型、海相火山岩型、陆相火山岩型和残坡积物 7 类，其中以碳酸盐岩型锑矿最为重要。

全世界锑的储量约 450 万吨，年产量在 15 万吨左右。中国却占世界储量的一半，居全球首位，已探明的锑矿产地有 111 处，分布于全国 18 个省（区），其中以湖南、广西、广东、贵州、吉林、云南为主产地。因此，锑矿是中国限制开采的优势矿种。

## 二、找锑矿标志

1、产于中低温热液成矿域内，如花岗质岩体外缘、远离板块俯冲带、碰撞带和岩浆岩带的沉积盆地或浅变质岩带。

2、常见共生矿物为石英、方解石、雌黄、雄黄、辰砂、低温毒砂。

3、围岩蚀变主要为硅化，其次为黄铁矿化、重晶石化和碳酸盐化。

4、具黄锑华、锑华、锑赭石、方锑矿、红锑、褐铁矿等组成的氧化带等。锑华呈无色或白色，有时带淡灰、淡黄、黄褐或红色色调，金刚光泽，解理面显珍珠光泽，解理 {110} 完全，{010} 不完全，比重大，硬度低，皮壳状、溶于 10%发酒石酸和盐酸，在盐酸中加水产生

白色沉淀。在硫化氨溶液中染成棕色并慢慢溶解。硝酸难溶。黄锑华则呈浅黄色或棕色，土状光泽，硬度 4-5，可呈辉锑矿晶形（长柱状、针状）之假象。

5、金、银、砷、汞、锑或钨化探异常区。

6、因辉锑矿不导电，且锑矿化与硅化关系密切，故在电法勘探方面常表现为高阻异常。

## 话说找钒矿

湖南花垣、重庆秀山、贵州松桃三县号称“锰钒钼”金三角区。自上世纪 90 年代末起，无序开发石煤层中的锰钒钼资源，造成了清水江流域严重的环境污染。当地村民砸厂、上访不断，政府部门亦曾多次整顿矿业开发秩序，但因钒矿资源开发所带来的暴利极为诱人，致使这类整顿收效甚微。2005 年 5 月 14 日，清水江沿岸远近 20 余个行政村干部齐聚花垣茶峒镇，签署了《清水江沿江两岸基层干部辞职报告》，作为“两省一市边区拯救母亲河行动代表小组”重大行动的一部分。

为什么钒矿开发有如此暴利呢？请听我细细道来。

### 一、钒的地质地球化学特征

钒在元素周期表上排行 23，原子量为 50.9415，在自然界有+3+5 两价，熔点 1902 ℃，沸点 3409 ℃，密度 6.11 g/cc。

钒的地壳丰度（0.016%）虽然较高，但却属于分散的黑色金属，常呈分散态以混入物的方式存在于铁钛矿物、云母、粘土矿物中，独

立矿物少见。目前所发现的含钒矿物在 70 种左右，其中的绿硫钒矿、钒云母矿和钒铅锌矿等含钒氧化物高达 8-20%，钒钛磁铁矿含钒品位低，一般含  $V_2O_5$  为 0.2-1.4%。主要有：

钒铅矿  $Pb_5[VO_4]_3Cl$ ,  $PbO$  78.3%,  $V_2O_5$  19.3%,  $Cl$  2.4%。空心柱状，集合体在岩石洞穴中成晶簇出现，有时成放射状构造的小球体。黄色或绿色，条痕白或极淡黄色，金刚或油脂光泽，硬度 2.5-3，比重 6.88，无解理。

钒钾铀矿  $K_2[UO_2]_2[VO_4]_2 \cdot 3H_2O$ 。 ,  $K_2O$  10.44%,  $UO_3$  63.42%,  $V_2O_5$  20.16%,  $H_2O$  5.98%。片状晶少见，常为隐晶质集合体，柠檬黄色，条痕淡黄色，光泽暗淡，硬度 2，解理完全，比重 4.5，具强放射性，不发萤光，在盐酸下变成鲜红色（钒的反应），常见富有机质岩的风化带。

其它含钒矿物有：钒磁铁矿、钒钛矿、钒帘石、钒钛磁铁矿、钒赤铁矿、绿硫钒矿、钒钙铀矿、磷钒钒矿、绿水钒钙矿、钒云母、钒铜矿、钒镍矿、钒铝铁石等。

由于自然界的钒多呈分散状态与其他元素伴生产出，富集成工业矿床的很少。大多作为伴生元素产于钒钛磁铁矿矿床和黑色页岩、磷块岩、原油和沥青砂中，约占世界总储量的 90%，其中 63% 在钒钛磁铁矿矿床中。在目前已经发现的含钒伴生矿中，因钒的含量低，大多数钒矿物没有开采价值。目前能够开采和利用的含钒矿物主要有以下几种。

1、钒钛磁铁矿型：与基性、基性-超基性岩浆作用有关，其铁矿物中富含钒和钛，可细分为岩浆晚期分异型铁矿床如攀枝花和岩浆晚期贯入型铁矿床如河北省大庙。这种类型的钒矿是目前开发和利用的主要资源。由于目前提炼钒的资源已向废催化剂、石煤等领域扩展，故钒钛磁铁矿所占比例在下降。钒钛磁铁矿是典型的多元素共生矿，我国的钒钛磁铁矿资源主要集中在四川的攀枝花、河北的承德、安徽的马鞍山和新疆哈密地区，资源比较丰富，尤其是攀枝花地区，钒钛磁铁矿资源十分丰富，其中五氧化二钒储量为 1578 万吨，约占国内全部钒储量的 62%，世界储量的 11%。承德地区钒钛磁铁矿中的五氧化二钒储量约有 57.89 万吨，马鞍山为 65.16 万吨。我国钒钛磁铁矿中钒品位较低，攀枝花的钒钛磁铁矿的平均品位为 0.26%左右。钒钛磁铁矿不能直接用于提炼钒，原始的方法是将钒钛磁铁矿加工成精矿，然后生产钒铁。目前主要转向冶炼钒渣中提炼钒。在今后若干年内，钒渣仍然在我国钒生产中占主导地位。

2、黑色页岩（石煤）型：黑色页岩（石煤）从上震旦统到泥盆系均有发育，其中含有微量的钒，有时可达 1%以上。我国南方各省都有，尤其是浙江、江西、广西、安徽、湖南、湖北、贵州、陕西、甘肃、山西等省的黑色页岩（石煤）资源极为丰富。仅下寒武统石煤，在我国南方十省区总储量约 618 亿吨，其中已经探明的储量大约有 39 亿吨。黑色页岩（石煤）中含有微量的钒，同时还含有钼、铜、镓、银等 20 多种有色金属。一般含钒品位在 0.4-0.6%之间，品位大于 1%的很少。就我国目前提炼钒的技术而言，一般含钒量大于 0.8%的黑色页岩（石

煤)才具有开发利用价值。由于这类矿均可露天开采,冶炼时若以土法焙烧,废气、废水、废渣(含有铀、镉、磷、钴等重金属有毒、放射性物质),造成的环境污染是极其严重的。

此外,美国科罗拉多高原的钒钾铀矿床也是钒的较重要来源。

目前全世界钒的探明储量为 1578 万吨。钒的生产是先由矿石中提取钒的氧化物(或其他化合物),继而用其生产钒铁合金或金属钒。1907 年全世界钒的产量仅 3 吨,目前年产量约 3 万吨。五氧化二钒的价格是:2002 年 5 万元/吨,2005 年达 45 万元/吨,欧洲达 102 万元(人民币)/吨,2006 年国内市场价格基本上在 13-16 万元/吨之间,而生产 1 吨五氧化二钒的成本为 4-7 万元。随着钢铁工业的发展,钒的用量将越来越大。因此,目前开发钒矿资源能够获得暴利。

## 二、找矿标志

### (一)、钒钛磁铁矿型

1、产于辉长岩-橄榄岩等基性-超基性岩体中。而岩体多分布于古陆隆起带的边缘,受深大断裂的控制。

2、基性-超基性岩体分异良好。

3、钒、钛、稀土元素异常区。

4、高磁异常区。

### (二)、黑色页岩(石煤)型

1、含炭硅泥质岩系,薄层状。常与锰矿层、磷结核、页岩(板岩)、硅质层呈互层状产出。

2、钒、钼、锰、银、镍、铀、钴、钡等化探综合异常。

- 3、有机炭含量高，可作为低产热煤利用。
- 4、产于边缘海斜坡区。
- 5、磷矿、锰矿、重晶石、石煤层常是很好的找矿标志。

## 话说找锆铪

### 一、锆铪矿地质特征

锆铪的地球化学性质相近，在自然界形影不离，两者均是核反应堆必不可少的材料物质，故常称为核反应堆的“哼哈二将”。

锆在地壳中的丰度为 0.025%，居第 20 位，超过 Cu、Zn、Sn、Ni 和 Pb；铪在地壳中的丰度为 0.00045%，超过 Hg、Nb 和 U。但锆铪的分布却极其分散，独立矿物很少，仅有十余种，故锆铪被称为稀有金属。在自然界，锆主要存在以硅酸锆（锆石，又名锆英石， $ZrSiO_4$ ，变种有细晶石、水锆石、苗木石、异性石）和氧化锆（斜锆石， $ZrO_2$ ）。

铪本身无独立存在的矿物，均以类质同象赋存于锆英石中，一般地，锆石含铪 0.5%~1.0%，斜锆石含铪 1.0%~1.8%。锆铪比一般为 50。

锆石，化学组成为  $Zr[SiO_4]$ 。其理论组成为： $ZrO_2$ : 67.1%； $SiO_2$ : 32.9%。常含有 Hf、Th、U、REE、Nb、Ta、Ti、Al、Sn、Fe、Mg、Ca、P 等杂质元素。当其中杂质元素高时可形成锆石的许多变种，如山口石、大山石、苗木石、铍锆石、曲晶石、富铪锆石等。晶体呈短柱状，通常为四方柱、四方双锥或复四方双锥的聚形。透明至半透明。晶形及色彩艳丽者，可作宝石原料。

根据晶形发育程度可将锆石分为高型锆石和低型锆石。结晶完好者为高型锆石，多呈白色、褐红色，折光率 1.925-1.984，硬度 7-7.5，比重 4.6-4.8，一般无荧光，有时有红色荧光。

晶体极差或无晶者为低型锆石，多呈绿色、暗绿色。显亚金刚光泽至金刚光泽，折射率 1.78-1.815，硬度 6，比重 3.9-4.1，无萤光。锆石颜色多样，有无色、紫红、黄褐、淡黄、淡红、绿等，金刚光泽。无解理。摩氏硬度 7.5-8，比重大，达 4.4-4.8。

高型锆石为岩浆早期结晶的产物，含放射性元素少，保持了锆石原有的物理化学特性。低型锆石由于富含放射性元素，使晶体遭到破坏，产生晶体非晶质化。如果对低型的锆石加热到一定程度时，其就会变成无色透明晶体。如斯里兰卡的锆石多为绿色低型的，经过热处理后，颜色明显变淡，成为高型的锆石宝石。我国海南省产的红色、棕色锆石，经过热处理，可以变成无色的。

由于四价的锆与四价的铀和钍，离子半径相近，因此铀钍可以类质同象置换锆而进入锆石的晶格，故锆石常具有放射性。由于形成环境和条件有异，不同产地的锆石所发出的放射性强度也不同。按我国标准，放射性比活度大  $70000\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$  的任何物质为放射性物质。因此，有些高放射性的锆石则被视为放射性物质，据最近报道，我国海关已拒绝两批锆英砂的进口。由于放射性元素铀钍是以类质同象形式进入到锆石晶格中的，任何物理选矿方法难以消除放射性。

斜锆石，化学组成为  $\text{ZrO}_2$ ，其理论值是：Zr 74.1%，O 25.9%，经常含少量的 Hf 等稀有元素。它是是一种高温产物。产于碳酸盐岩里

的斜锆石，与烧绿石、磷灰石等共生。亦可是气水热液对岩石中锆石作用的产物。单斜晶系。晶体通常为短柱状或长柱状，板状、片状。集合体呈放射纤维状、块状、结核状、钟乳状或肾状等。颜色无色至黄色、绿色、绿棕色、红色、褐色、褐黑色或黑色。白色或棕色条痕。油脂或玻璃光泽，黑色斜锆石呈半金属光泽。透明至半透明摩氏硬度 6.5，比重 5.40-6.02，解理完全，断口不平坦状到亚贝壳状。透射光下无色至棕褐色，有时呈现带状。多色性明显。矿块不溶于酸，细粉未能缓慢地溶于浓硫酸；在酸性硫酸钾里加热分解。吹管焰下不熔，但矿物褪色。与碳酸钠混熔后，加少量盐酸及水溶之，使姜黄试纸呈桔黄色（锆的反应）。

锆石在各类火成岩中作为副矿物均有产出，是酸性和碱性岩中分布广泛的副矿物。在碱性基性岩、碱性超基性岩、岩浆碳酸岩、伟晶岩中，常与稀有稀土元素矿物共生，如铌钽铁矿、褐钇铌矿、褐帘石、钍石、独居石。由于锆石比重和硬度大，化学性质又稳定，在风化剥蚀条件下，易于富集形成砂矿。

锆矿床分为原生矿及砂矿两大类。原生矿可分为早期岩浆矿床、晚期岩浆矿床及伟晶岩矿床。挪威南部霞石正长岩中产出有巨型锆石矿床，但一般工业价值小，很少被开采。

砂矿有海滨砂矿、湖滨砂矿、冲积砂矿和残坡积砂矿，其中以海滨砂矿最有工业价值，是目前锆矿的主要开采对象。

世界锆资源主要赋存于海滨砂矿矿床中，只有少部分赋于积矿砂和原生矿中。世界锆英砂储量约 4000 万吨，其中 85%分布在澳大利亚、



南非、美国、印度和前苏联。我国锆矿储量居世界第九位,总储量为 200 余万 t,主要集中在广东、海南、广西和四川,而云南主要是岩矿;其它,如湖南、湖北、安徽、福建、江西、辽宁等,也有一些锆资源。

锆英石矿床的工业要求

| 矿床类型  | 边界品位                                      |       | 工业品位                                      |     |
|-------|---|-------|---|-----|
|       | ZrO <sub>2</sub> % 锆石 kg / m <sup>3</sup> |       | ZrO <sub>2</sub> % 锆石 kg / m <sup>3</sup> |     |
| 滨海砂矿  | 0.04-0.06                                 | 1-1.5 | 0.16 ~ 0.24                               | 4-6 |
| 风化壳矿床 | 0.3                                       | 1-1.5 | 0.8                                       | 4-6 |
| 内生矿床  | 3.0                                       | 1-1.5 | 8.0                                       | 4-6 |

最小开采厚度:滨海砂矿为 0.5m。风化壳矿床和内生矿床为 0.8 ~ 1.5m。

锆英石精矿技术要求 (YB834-87) (%)

二氧化(锆 + 铪) TiO<sub>2</sub> Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> SiO<sub>2</sub>

|     |      |     |      |      |     |       |
|-----|------|-----|------|------|-----|-------|
| 特级品 | 65.5 | 0.3 | 0.10 | 0.20 | 0.8 | 34.00 |
| 一级品 | 65.0 | 0.5 | 0.25 | 0.25 | 0.8 | 34.00 |
| 二级品 | 65.0 | 1.0 | 0.30 | 0.35 | 0.8 | 34.00 |
| 三级品 | 63.0 | 2.5 | 0.50 | 0.50 | 1.0 | 33.00 |
| 四级品 | 63.0 | 3.5 | 0.80 | 0.80 | 1.2 | 32.00 |
| 五级品 | 55.0 | 8.0 | 1.50 | 1.50 | 1.5 | 31.00 |

放射性强度不得高于本底的 10 倍。

## 二、找锆铪标志

### 1、放射性异常区;

2、碱性岩和碱性伟晶岩风化剥蚀物的堆积区，如海滨、湖滨、河流拐弯处等适宜于重砂矿物富集的地段；

3、重砂异常区。

### 三、开采方法

目前，分选靠近海平面和海平面以下的海滨砂中的锆英石方法为：在采矿时用推土机剥离覆盖层，矿砂由挖泥机抽吸，并送往湿粗选厂。粗选厂可以设置在浮动挖泥船上。在湿选时用螺旋选矿机，圆锥选矿机和洗矿槽联合装置来回收重精矿，轻矿物被除去。大部分粗精矿运送到精选厂，然后用重选法除去残留的轻矿物，重精矿则在干燥窑中干燥脱水。已分离的各种重精矿用静电分选和磁选分别获得各种重精矿。这种获得粗精矿的廉价方法使得可以开采重矿物平均含量不足 3 % 的矿床，个别情况下可以开采平均含量不足 1 % 的矿床。

\* \* \* \* \*

在自然界，锆铪形影不离，它们都是核反应堆必不可少的原材料，故有核反应堆的“哼哈”二将之称！

作为核反应堆的“哈将”，铪元素被发现的时间很晚。

话说莫斯莱，研究元素的 X 射线时，认为钡和铷之间应有 16 个元素存在。当时除了 61 号元素和 72 号元素之外，其余 14 个元素都已经被发现，即镧系稀土元素。那么 72 号元素应当归属于稀土元素？还是和钛、锆同属一族？当时多数化学家主张属于前者。法国化学家乌尔班 1911 年从铈的氧化物中分离出镨后，又分离出一个新的元素。在 1914 年乌尔班去英国将该元素的样品送请莫斯莱进行 X 射线光谱检

测，得到的结论是否定的，没有发现相当于 72 号元素的谱线。乌尔班坚信新元素的存在，认为出现这样的结果是因为新研制的机器灵敏度不够，无法检测到样品中痕量新元素的存在。他回到巴黎后与光谱科学家达维利埃，用第一次世界大战后改进的 X 射线谱仪进行检测。1922 年 5 月，他们宣布测到两条 X 谱线，因此断定新元素是存在的。1913 年，丹麦物理学家玻尔提出了原子结构的量子论，接着在 1921-1922 年之间又提出原子核外电子排布理论，且推定，72 号元素不属于稀土元素，而和锆一样是同族元素，72 号元素应当从含锆和钛的矿石中去寻找。

根据玻尔的推论，匈牙利化学家 G. C. von Hevesey 和丹麦物理学家 D. Coster，于 1923 年对来自挪威和格陵兰的锆石中进行了 X 射线光谱分析，果真发现了这一元素。他们为了纪念该元素的发现所在地——丹麦的首都哥本哈根，命名它为 hafnium，元素符号定为 Hf。1925 年他们用含氟络盐分级结晶的方法得到纯的铪盐，并用金属钠还原，得到纯的金属铪。

铪，原子序数 72，原子量 178.49。地壳中铪的含量为 0.00045%，常与锆伴生，产于锆矿中。铪有 6 种天然稳定同位素：铪 174、176、177、178、179、180。

铪为银灰色的有光泽金属，熔点  $2227^{\circ}\text{C}$ ，沸点  $4602^{\circ}\text{C}$ ，密度 13.31 克/厘米<sup>3</sup>；金属铪有较高的中子俘获能力。铪与锆的化学性质相似，都具有良好的抗腐蚀性，不受一般的酸碱侵蚀；易溶于氢氟酸；高温下可与氧、氮等气体直接化合。铪常用作 X 射线的阴极和钨丝制

造工业。因其对中子有较好的吸收能力，因此常用来做核反应堆的控制棒，以减慢核子连锁反应的速率，同时抑制核子反应的"火焰"。

金属铪强度适中，抗腐蚀性好，中子吸收能力高，大量用于核工业；铪可以生成多种合金，还可作贱金属的表面包膜。

锆和铪是两个性质相似的元素。它们都是银灰色的难熔金属。锆的熔点为  $1852^{\circ}\text{C}$ ，铪的熔点更高达  $2229^{\circ}\text{C}$ 。两个金属都具有良好的抗腐蚀能力，各方面的化学性质都很接近。但是这两个元素的原子核的性质有一个重要的差别：元素锆的原子核在核反应堆中很少吸收反应堆里面的中子，而元素铪的原子核在反应堆中却能大量吸收里面的中子，它们俘获中子的能力相差达 800 倍。正是由于锆的热中子俘获能力特别小，铪的热中子俘获能力又特别大，这两种金属又有优良的热稳定性和化学稳定性，因此在核工业中这两种金属都可以发挥很好的作用：金属锆用来做包装燃料铀的包套和反应堆芯的其他结构材料，这样可减少核反应所必须的中子的无谓损失，它在核电站和核动力舰艇中得到广泛的应用；热中子俘获截面很大的铪可以做成核反应的控制棒。如果反应堆里的核反应过于激烈，在堆芯中多插几根铪棒能够有效地吸收过多的热中子，反应堆里的核反应就减缓了。反之，将反应堆中的铪棒提出少许，就可以使反应加速，由金属铪制成的控制棒在核潜艇中得到普遍应用。锆和铪两个元素在核反应堆中正好象哼哈二将。

锆和铪的高熔点化合物可以做成高级耐火材料，在熔炼高规格的合金时用来做炉体材料；熔点高达 3895℃ 的碳化铪可以做宇宙火箭的喷嘴。在这些场合，很难用其他耐火材料来代替锆和铪的化合物。

铪的熔点为 2 230 °C，沸点为 5 197 °C，密度为 13.31 (20 °C)。银白色金属，有光泽、有韧性。由于表面形成氧化膜而具有抗腐蚀性；粉末在空气中燃烧，不与酸（除 HF）和碱反应。用于核反应堆的控制测杆、高温合金和陶瓷等。

锆，原子序数为 40，原子量 91.224。1789 年德国化学家 M. H. Klaproth 在研究来自斯里兰卡锆石中发现了一种未知的氧化物，并提议称之为 Zirconerde（锆土——氧化锆）。不久后，这一发现就被法国化学家德毛沃和沃克兰所证实。1824 年瑞典化学家贝采利乌斯首次制取不纯的金属锆；1914 年，荷兰一家金属白热电灯制造厂的两位研究人员列里和汉保格将四氯化锆和金属钠作用，取得纯金属锆。1925 年荷兰科学家阿克和德博尔制得有延展性的块状金属锆。

天然锆有 6 种稳定同位素：锆 90、91、92、94、96，其中锆 90 含量最大。锆的硬度大，呈银白色，外观似钢；熔点 1852° C，沸点 4377° C，密度 6.49。锆容易吸收氢、氮和氧气；因氧化物膜而高度抗腐蚀，但可在空气中燃烧，1000° C 氧气溶于锆中能使其体积显著增加。不跟酸（HF 除外）和碱反应。锆金属主要用于合金、彩釉和核反应堆，氧化物用于铸造坩埚、砖、陶瓷和研磨料。

锆在自然界并不稀有，其在地壳中的含量（0.025%），高于铜、镍、铅、锌许多。被称为稀有金属，主要是因为其在自然界的分布非

常分散，不仅独立矿物少，而且能够聚集成矿床的更少。全世界探明的锆矿储量仅有 3200 万吨，目前锆的主要来源是锆石（锆英石、硅酸锆）和斜锆石（二氧化锆矿）。色泽鲜艳且晶形完好的锆石，可达宝石级，深受时人所宠爱。

锆最显著的特征是抗腐蚀性。它的抗腐蚀性能甚至超过铌和钛，若将不锈钢、钛和锆放在 5% 的盐酸中浸泡一年，不锈钢的厚度将减薄 2.6 毫米，钛将减薄约 1 毫米；而锆仅减薄千分之一毫米。锆的抗碱性能它超过了钽。因锆具有良好的抗腐蚀性能，使其在神经外科医学领域大显身手。锆合金是良好的手术器械材料，有时在脑外科手术中用锆丝来缝合。

在钢中，只要加进千分之一的锆，硬度和强度就会显著地提高。含锆的装甲钢、大炮锻件钢、不锈钢和耐热钢等，是制造装甲车、坦克、大炮和防弹板等武器的重要材料。除了提高钢的强度和硬度外，锆还能改进钢的机械加工性能、可淬硬性、可焊性和流动性。锆钢的抗氧化性与抗腐蚀性更加显著。锆的熔点很高，为 1850 度左右。锆钢的熔点更高，达 2700 度，因此锆钢可加快锻造、热处理及烧结等工艺进程。密集细晶粒组织和高强度的锆钢，可塑性好，因此锆钢能够用来生产比普通钢更薄的薄壁铸件，如，锆钢可用来铸造壁厚仅 2 毫米的实验机器零件，若用普通钢的话，壁厚至少得 5~6 毫米。

加入了锆的铜，导电性维持不变，而熔点和强度大大增加，常用作高压电线非常合适。而含 0.35% 锆的铜—镉合金具有高强度和导电性。

在原子能反应堆里，热水会侵蚀铀棒，而使水染上放射性，就有可能污染环境，危害人身健康。锆金属可用作铀棒的“外衣”——护套，从而避免了核燃料和传热介质发生作用，且抗蚀能力强，有足够的强度、耐热、耐腐蚀，还很少吸收中子，保证裂变“链式反应”的进行。因此锆和锆合金主要用在水冷式的原子能反应堆及核潜艇中。

在 200℃ 的条件下，100 克金属锆能够“吸收” 817 升氢，相当于铁的“吸收”能力的八十多万倍。温度超过 900℃ 锆就可以猛烈“吸收”氮气。因此，锆常用作真空中的除气剂。人们广泛利用锆粉，把它涂在电真空元件和仪表的阳极，栅极以及其他受热部件的表面上，吸收真空管中的残余气体，制造出真空度极高的各种电子管和其他真空仪表。

块状锆在空气中很稳定，而灰黑色锆粉，200℃ 时能着火燃烧，发出强烈明亮的光辉。因此，锆粉常用作起爆雷管的起爆药，这种雷管甚至在水下也能爆炸。锆粉再加上氧化剂，燃烧起来强光眩目，是制造电光弹和照明弹的好原料。锆箔在燃烧时比铝箔产生的亮度高 50%，用锆箔作摄影闪光材料，能提供更快速更亮的闪光。粉末状铁与硝酸锆混合，也可用作闪光粉。锆闪光灯使用起来很方便，因为它的体积很小，甚至可以做得象顶针那么小。

二氧化锆的熔点比锆高，达 2700℃，是自然界中耐火性能最好的材料之一。其导热性差，导电性极强，抗腐蚀性能也极佳，即使加热到 1900 多度也不会跟熔融的铝、铁、镍、铂等金属、硅酸盐和酸性炉渣发生作用。因而可以用它来制造熔炼贵金属的坩埚、耐火管、耐热

玻璃和耐热搪瓷等。在搪瓷和玻璃中加入二氧化锆可以使它们增强抵抗酸、碱腐蚀的能力。用二氧化锆衬砌的高温炉，受热后体积不会增大很多，温度变化对它影响很小，炉体不致因热胀冷缩而产生裂缝，可以大大延长炉子的寿命。用二氧化锆作耐火材料，加进 5% 的氧化钙作稳定剂，它的耐热温度比氧化铝高 500 度，绝热能力比添加以前提高三倍。把白色的二氧化锆掺进陶瓷，能使陶瓷更洁白光亮、更耐热，强度也有所增加，用这种陶瓷制造高温绝缘瓷瓶，绝缘能力很强，膨胀系数很小。

随着科技的发展，锆的用途会越来越广。

## 话说找铬矿

### 一、铬矿地质概述

铬是黑色金属，在地球化学性质上，具有亲氧性和亲铁性，以亲氧性较强，只有在还原和硫的逸度较高的情况下才显示亲硫性。在内生作用条件下铬一般呈三价。六次配位的  $\text{Cr}^{3+}$  和  $\text{Al}^{3+}\text{Fe}^{3+}$  的离子半径相接近，故它们之间可以呈广泛的类质同象。此外，可与铬类质同象代替的元素还有 Mn、Mg、Ni、Co、Zn 等，所以在镁铁硅酸盐矿物和副矿物中有铬的广泛分布。在表生带强烈氧化条件下（碱性介质）， $\text{Cr}^{3+}$  氧化成  $\text{Cr}^{6+}$  形式的铬酸根离子，使不活动的铬离子变成易溶的铬阴离子发生迁移。遇极化性很强的离子（如 Cu、Pb 等），则形成难溶的铬酸性矿物。



在自然界中目前已发现的含铬矿物约有 50 余种, 分别属于氧化物类、铬酸盐类和硅酸盐类。此外还有少数氢氧化物、碘酸盐、氮化物和硫化物。其中氮化铬和硫化铬矿物只见于陨石中。有些矿物若混入有少量铬的话, 则呈现鲜艳的绿色, 如翡翠、云母等。具有工业价值的铬矿物都属于铬尖晶石类矿物, 其 $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 含量为 18 % - 62 %。有工业价值的铬矿物, 其 $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 含量一般都在 30 % 以上, 其中常见的是:

**铬铁矿** 介于亚铁铬铁矿( $\text{Fe Cr}_2\text{O}_4$ , 含  $\text{FeO}$  32.09 %、 $\text{Cr}_2\text{O}_3$  67.91 %) 与镁铬铁矿 ( $\text{Mg Cr}_2\text{O}_4$ , 含  $\text{MgO}$  0.96 %、 $\text{Cr}_2\text{O}_3$  79.04 %) 之间, 通常有人将亚铁铬铁矿和镁铬铁矿也都称为铬铁矿。铬铁矿为等轴晶系, 晶体呈细小的八面体, 通常呈粒状和致密块状集合体, 参差至贝壳状断口。颜色黑色, 条痕褐色, 半金属光泽, 硬度 5.5, 比重 4.2-4.8。外表与磁铁矿相似, 只是磁性较磁铁矿要弱。铬铁矿是岩浆成因矿物, 产于超基性岩中, 与蛇纹石、滑石、铬石榴子石共生。当含矿岩石遭受风化破坏后, 铬铁矿常转入砂矿中。铬铁矿是炼铬的最主要的矿物原料, 富含铁的劣质矿石可作高级耐火材料。

**富铬类晶石** 又称铬铁尖晶石或铝铬铁矿。化学成分为  $\text{Fe}(\text{Cr}, \text{Al})_2\text{O}_4$  含  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  32 % - 38 %。其形态、物理性质、成因、产状及用途与铬铁矿相同。

**硬铬尖晶石** 化学成分为  $(\text{Mg}, \text{Fe})(\text{Cr}, \text{Al})_2\text{O}_4$ , 含  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  32 % - 50 %。其形态、物理性质、成因、产状及用途也与铬铁矿相同。

世界铬矿资源较丰富, 1992 年保有储量 14 亿吨, 储量基础 68 亿吨。分布极不平衡, 主要集中于南非、津巴布韦及前苏联等国。我国

铬矿资源紧缺，探明储量 1309.5 万吨，保有 1095.1 储量万吨，主要分布于西藏、新疆、内蒙古、甘肃等 13 个省(区)，其中以西藏为最主要，保有储量约占全国的一半。中国铬矿床是典型的与超基性岩有关的岩浆型矿床，绝大多数属蛇绿岩型，矿床赋存于蛇绿岩带中。西藏罗布莎铬矿和新疆萨尔托海铬矿等皆属此类。从成矿时代来看，中国铬矿形成时代以中、新生代为主。

## 二、找铬矿标志

铬矿对我国而言是劣势矿种，严重短缺。已发现的铬铁矿资源规模小，品位低，大多难以利用，需要我们加倍的努力。找铬铁矿标志有：

1、铬铁矿无一不产于基性-超基性杂岩体和超基性岩墙、岩床中，如著名的津巴布韦大岩墙。因此，首先要到超基性岩带中去寻找。

2、铬铁矿一是产于以纯橄榄岩为主的纯橄榄岩、单斜辉石岩型岩体中，矿体多赋存在纯橄榄岩岩相内的粗粒伟晶纯橄榄岩中，与围岩呈渐变过渡关系，矿体边界需靠分析化验圈定，矿体形态复杂，多呈扁豆状、透镜状、脉状和不规则团块状；二是产于以斜辉辉橄岩为主的纯橄榄岩、斜辉辉橄岩型镁质岩体中，矿体多赋存于斜辉辉橄岩相或该岩相与纯橄榄岩相接触带附近的纯橄榄岩分离体中，常成群、成带、分段集中分布，矿体与围岩界线清楚。矿体多呈不规则的豆荚状、似脉状、囊状和柱状等。

3、含铬岩体的铬铁比高，具海绵陨铁结构。具有铂族元素异常和磁异常。

4、具有鲜绿色的含铬蚀变矿物如铬白云母等。

## 话说找汞矿

### 一、汞矿地质概述

汞是稀有金属，在地壳中的平均含量(即元素丰度)为 8.3ppm。沉积岩中，汞相对较高，为 40ppm，中酸性岩浆岩中为 8ppm，超基性岩石中为 1ppm。地壳中 99.8%的汞均呈分散状态赋存于各类岩石之中，而只有 0.02%的汞，可聚集成矿床。

自然界中，汞呈自然元素或  $\text{Hg}^{2+}$  的离子化合物存在，具强烈的亲硫性和亲铜性。目前已发现 20 余种汞矿物和含汞矿物。其中大部分为汞的硫化物，次为少量的自然汞、硒化物、碲化物、硫盐、卤化物及氧化物等。常见的矿物主要有：自然汞(Hg，含 Hg100%)、辰砂( $\text{HgS}$ ，含 Hg86.2%)、黑辰砂( $\text{HgS}$  为辰砂的同质多象变体，含 Hg86.2%)、灰硒汞矿( $\text{HgSe}$ ，含 Hg71.7%)、辉汞矿( $\text{Hg}(\text{S}, \text{Se})$ ，含 Hg83.8%)、碲汞矿( $\text{HgTe}$ ，含 Hg61.5%)、甘汞( $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$ ，含 Hg84.9%)、氯汞矿( $\text{Hg}_4\text{Cl}_{12}$ ，含 Hg90.2%)、黄氯汞矿( $\text{Hg}_2\text{Cl}_{10}$ ，含 Hg88.65%)、橙红石  $\text{HgO}$ ，含 Hg92.87%)、硫汞锑矿( $\text{HgSb}_4\text{S}_7$ ，含 Hg22%)、汞黝铜矿( $\text{Cu}_{10}(\text{Hg}, \text{Fe}, \text{Zn})_2\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ ，含 Hg6%~17%)、汞银矿( $\text{AgHg}$ )。作为工业矿物原料具有开采价值的，只有辰砂和黑辰砂。辰砂富矿石可直接入炉冶炼，但大多数汞矿床含汞量较低，矿石要用选矿方法富集成精矿才能冶炼。

辰砂（丹砂、朱砂），以产于辰州（今湖南沅陵等地）的品质最佳而得名。晶体属三方晶系，与等轴晶系的黑辰砂成同质多象。常呈菱面体板状或短柱形；常见贯穿双晶。具平行柱面的完全解理。集合体呈粒状、块状或皮膜状。摩氏硬度 2.5，比重 8.10。纯净辰砂为金刚光泽，朱红色。含杂质时光泽暗淡，显褐红色。有时因表面氧化而呈铅灰色。晶体表面具有金刚光泽，条痕红色，半透明。其以比重大，色泽艳，朱红色，与低温矿物如雄黄、雌黄、辉锑矿共伴生为最大鉴定特征。

汞矿的工业要求是：边界品位 0.04%，工业品位 0.08%~0.10%，可采厚度  $\geq 0.8 \sim 1.2\text{m}$ ，夹石剔除厚度  $\geq 2 \sim 4\text{m}$ 。

按有用矿物组分，可将汞矿划分为单汞型、汞铀型、汞锑型、汞硒型、汞金型及汞多金属型。目前为工业利用者，主要是单汞型矿石。

按容矿岩石，可将汞矿划分为碳酸盐型、碎屑岩型、火山岩型等。

我国金属汞的总保有储量 8.14 万吨，居世界第 3 位，仅次于西班牙（9 万 t，储量基础）和意大利（6.9 万 t，储量基础），而高于吉尔吉斯斯坦（1.3 万 t，储量基础）。现已探明储量的矿区 103 处，分布于 13 个省（区），其中以贵州居多，占全国汞储量的 40%，次为陕西和四川，以上 3 省汞储量占全国的 74%。著名汞矿有贵州万山汞矿、务川汞矿、丹寨汞矿、铜仁汞矿以及湖南的新晃汞矿。我国汞矿以碳酸盐岩型为主（占 90%以上），贵州万山等特大型汞矿皆属此类型。其次为碎屑岩型。我国已知大多数汞矿床产于中、下寒武纪地层之中（占储

量 80%以上)，远离岩浆活动区。在前寒武纪、中生代、新生代也有汞矿形成，但不占重要地位。

国外汞矿主要分布在第三纪褶皱带中，产在各类火山岩、侵入岩和变质岩中（占 87%），与岩浆活动联系紧密。

全球汞用量的三分之一用于小规模金矿生产。当汞齐集中燃烧提金时，汞会释放到空气中，损伤人体的肾脏和肺。因此，在发达国家，汞法提金是禁用的。其它用汞的产业纷纷改用代用品，致使汞价在 1980 年左右低至 280 美元/瓶。由于环境问题，西班牙的汞矿已经关闭，目前只有一个汞矿在吉尔吉斯斯坦还在开采。

目前，全球汞需求量大约为 3400 吨，吉尔吉斯斯坦、中国、阿尔及利亚和北美的年供应量大约为 600 到 700 吨。由于目前金价高企，导致汞价飚升，2007 年已达 650 美元/瓶。注：每瓶为 34.5 公斤。

## 二、找汞矿标志

我国是最早利用辰砂作为寻找金矿的标志，在《管子》的“地数篇”中，记载着“上有丹砂者，下有黄金”。汞矿的找矿标志有：

1、远离岩浆活动的地台型碳酸盐地层分布区，如湘、黔、川交界地带；

2、新生代火山及地热活动区；

3、背斜（复背斜）的轴部及其两翼，特别是背斜轴部断层带；

3、与汞矿化最密切的为低温蚀变，主要有硅化、白云石化、方解石化，其次为重晶石化；

4、雄黄化、雌黄化、辉锑矿化等低温矿化区；

5、砷、锑、汞异常区；

6、测汞仪异常区。

## 话说找钴矿

### 一、钴的地质地球化学特点

钴属于铁族元素，其主要地球化学参数与铁、镍接近，具有亲铁亲硫的地球化学性质。钴的地壳丰度仅为 0.002%，是铁族元素中含量最少的元素，但趋向于富集在地幔、地核和超基性岩中。

目前，自然界中已发现的钴矿物和含钴矿物百余种，分属于单质、碳化物、氮化物、磷化物和硅磷化物、砷化物和硫砷化物、锑化物和硫锑化物、碲化物和硒碲化物、硫化物、硒化物、氧化物、氢氧化物和含水氧化物氢氧化物、砷酸盐、碳酸盐以及硅酸盐等大类。其中以硫化物、砷化物和硫砷化物最多。

钴的存在形式可分为三大类：①独立钴矿物，②呈类质同象或包裹体存在于寄主矿物中，③呈吸附形式存在于矿物表面。

其中以第二大类最为常见。存在于辉石、橄榄石、磁铁矿和铬铁矿中的钴不能利用，而赋存于黄铁矿和磁黄铁矿中者则可以利用。铁矿石中以类质同象或显微包裹体存在于硫化物和硫砷化物矿物中的钴，需加设浮选流程才能加以回收，而在铜镍矿中则无需为它们加设另外的选矿流程，它们是和镍一同选出来并从冶炼镍的炉渣中回收的，所以从炉渣中提取钴的生产成本较低。呈吸附形式存在的钴，目前不能

为工业所利用。世界大洋底锰结核中含钴比较丰富,或许成为下个世纪生产钴的主要矿物原料。

目前常见的为工业所利用的钴矿物有:辉砷钴矿、硫钴矿、方钴矿、砷钴矿、卡硫钴矿、钴土矿、钴华、菱钴矿、含钴黄铁矿、含钴毒砂、含钴闪锌矿等。

绝大多数钴是铜、镍、铁、金等矿床中的伴生组分,只有极少部分形成独立的工业矿床。

独立钴矿床,一般分为砷化钴矿床、硫化钴矿床和钴土矿(轿顶山、蓬莱)矿床三类。大部分的钴矿床都属于共生或伴生钴矿床。

共伴生的钴矿多见于矽卡岩型铁矿、钒钛磁铁矿、热液型多金属矿、各种类型铜矿、沉积钴锰矿、硫化铜镍矿、硅酸镍矿等矿床中,其品位虽低,但规模往往较大,是提取钴的主要来源。共伴生钴矿床一般分为:1、岩浆型,铜镍硫化物型(如金川)、钒钛磁铁矿型(如攀枝花);2、热液型,矽卡岩型(如铜绿山)、斑岩铜矿(如玉龙、铜矿峪)、脉状多金属矿(如卡兰古铅锌矿、拉拉铁铜矿);3、沉积型或沉积变质型(如赞比亚、五元素建造、大横路铜矿);4、红土型硅酸钴镍矿(元江-墨江钴镍矿)。

钴矿床的工业指标:1)硫化钴(或砷化钴)边界品位0.02%,最低工业品位0.03-0.06%;2)钴土矿边界品位0.3%,最低工业品位0.5%。

伴生钴的评价指标尚无统一规定,一般选冶性能好的矿石,含钴品位大于0.01%。钴精矿的品位0.2%便有价值。

钴硫精矿按化学成分,精矿分为6个等级,均按干矿品位计算。

一等品钴 0.45%，硫 25%，铜<0.5%，锌<0.2%，锰<0.04%，二氧化硅<7.0%，铅<0.2%，砷<0.06%；

二等品钴 0.40%，硫 25%，铜<0.6%，锌<0.2%，锰<0.06%，二氧化硅<10.0%，铅<0.2%，砷<0.08%；

三等品钴 0.35%，硫 25%，铜<0.7%，锌<0.2%，锰<0.08%，二氧化硅<13.0%，铅<0.2%，砷<1.00%；

四等品钴 0.30%，硫 25%，铜<1.0%，锌<0.2%，锰<0.10%，二氧化硅<16.0%，铅<0.2%，砷<1.0%；

五等品钴 0.25%，硫 25%，铜<1.2%，锌<0.2%，锰<0.10%，二氧化硅<18.0%，铅<0.2%，砷<1.0%；

六等品钴 0.20%，硫 25%，铜<1.0%，锌<0.2%，锰<0.10%，二氧化硅<20.0%，铅<0.2%，砷<1.0%；

## 二、找矿标志

1、含铜镍矿和钒钛磁矿的超基性岩体及其氧化带，常常有钴富集成矿。2、黑色岩系中的断裂破碎带。3、含锰土可构成钴土矿床，矿石呈黑色或蓝黑色，具有胶状结构、结核状或同心圆状构造，由含钴、镍、铜的偏锰酸矿、锂硬锰矿钾硬锰矿和褐铁矿组成，呈片状、葡萄状、球状或珊瑚状。4、铁、铜、金矿及个别铅锌矿有可能构成伴生钴矿。5、老变质岩的风化壳，如康滇地轴的昆阳群风化壳。

# 话说找锂矿

## 一、锂矿地质概述



锂被称为“稀有金属”，实则地壳中，它的含量并不“稀有”（地壳丰度为 0.0065%），在诸元素地壳丰度排行榜上，位居第 27 位。

锂为稀碱金属元素之一，在自然界中的分布比较广泛。主要类型火成岩与沉积岩中，均有不同程度的分布，其中以花岗岩中的含量最高，平均含量可达  $40 \times 10^{-6}$  (维诺格拉多夫, 1962)。

在自然界中目前已发现锂矿物和含锂矿物有 150 多种，其中锂的独立矿物有 30 多种，大部分是硅酸盐 (占 67%) 及磷酸盐 (占 21.2%)，其他则很少。作为制取锂的矿物原料主要是锂辉石 (含 Li2O 5.8% ~ 8.1%)、锂云母 (含 Li2O 3.2% ~ 6.45%)、磷锂铝石 (含 Li2O 7.1% ~ 10.1%)、透锂长石 (含 Li2O 2.9% ~ 4.8%) 及铁锂云母 (含 Li2O 1.1% ~ 5%)，其中以前 3 个矿物最为重要。

海水中锂的含量不少，总储量达 2600 亿吨。只可惜浓度太低，难以提炼出来。某些矿泉水和植物机体里，含有丰富的锂。如有些红色、黄色的海藻和烟草中，往往含有较多的锂化合物，可供开发利用。

### **锂矿的工业类型有：**

1) 花岗伟晶岩型：新疆可可托海锂铍铌钽矿床、四川甲基卡锂铍矿。

2) 碱性花岗岩型：江西宜春 414 钽(铌)-锂矿床等。

3) 盐湖（卤水）型：青海柴达木盆地中部的一里坪锂矿床等。

### **锂矿床的工业指标：**

1) 花岗岩伟晶岩型，Li<sub>2</sub>O 的含量，边界品位 0.4--0.6%，最低工业品位 0.8--1.1%；伴生矿 > 0.2%。

2) 碱性花岗岩型,  $\text{Li}_2\text{O}$  的含量, 边界品位 0.5--0.7%, 最低工业品位 0.9--1.2%; 伴生矿 >0.3%。

3) 盐湖 (油田卤水),  $\text{LiCl}$  的含量, 1000mg/l; 伴生矿 >200-300mg/l。

锂矿分布在 9 个省区, 其中矿石锂主要分布在 7 个省区, 以 1996 年末保有储量 ( $\text{Li}_2\text{O}$ ) 排序依次为: 四川占 51.1%, 江西占 29.4%, 湖南占 15.3%, 新疆占 3% (因主要矿区经 40 多年来的大规模开采, 故保有储量大量减少), 4 省区合计占 98.8%, 其次是河南、福建、山西, 3 省合计仅 1.2%。盐湖卤水锂主要分布在新疆罗布泊盐湖、青海青海柴达木盆地盐湖发育区、西藏和湖北湖北潜江凹陷油田等省区, 其中青海盐湖生产的锂占 80% 以上。

## 二、找矿标志

1、富碱酸性岩分布区, 包括花岗伟晶岩和碱性花岗岩;

2、盐湖和油田卤水区;

3、特征的含锂矿物; 所有的含锂矿物均表现为特征的红色、玫瑰红色, 晶形完好而色彩艳丽的锂矿物, 就成为了宝石。

1) 锂辉石 (Spodumene)  $\text{LiAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ 。理论组成 (wB%):  $\text{Li}_2\text{O}$  8.07,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  27.44,  $\text{SiO}_2$  64.49。化学组成较稳定。常有少量  $\text{Fe}^{3+}$ 、Mn 代替 6 次配位的 Al, Na 代替 Li; 可含有稀有元素、稀土元素和 Cs 的混入物, 以及 Ga、Cr、V、Co、Ni、Cu、Sn 等微量元素。单斜晶系。锂辉石又称  $\alpha$ -锂辉石, 在  $900^\circ\text{C}$  以上迅速转变为  $\beta$ -锂辉石, 后者属四方晶系, 与凯石英 (keatite) 成类质同像。锂辉石在约  $700^\circ\text{C}$  经细研

磨和长时间加热即开始发生转变。锂辉石— $\beta$ -锂辉石的转变是不可逆的。锂辉石在 375--500℃、0.57MPa 压力下可人工合成。温度低于 375℃，在中低压力下合成  $\text{LiAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]\cdot\text{H}_2\text{O}$ ，天然者称为透锂铝石 (bikitaite)。另一高温同质多像变体属六方晶系，与  $\beta$ -石英等结构。常呈柱状晶体，柱面常具纵纹。有时可见巨大晶体 (长达 16m)。双晶依 (100) 生成。集合体呈 (100) 发育的板柱状、棒状或致密隐晶块状。呈灰白、烟灰、灰绿色。玻璃光泽，解理面微显珍珠光泽。解理 {110} 完全，夹角 87°；具 {100}、{010} 裂开。硬度 6.5--7。相对密度 3.03--3.22。它是富锂伟晶花岗岩的特征矿物，通常与石英、微斜长石、钠长石、磷锂铝石 (montebrasite,  $\text{LiAl}(\text{PO}_4)(\text{OH})$ )、绿柱石、白云母、铌钽铁矿等共生。以颜色、晶形及产状为鉴定标志。吹管火焰烧之膨胀，染火焰成浅红色 (Li)。与  $\text{CaF}_2 + \text{KHSO}_4$  合熔后，染火焰成鲜红色 (Li)。常与锂云母一起，为提取 Li 的原料矿物。色泽美丽者可作宝石。

2) 锂云母：锂云母 (鳞云母) (淡紫色晶体) Lepidolite, Lilac, crystalline。化学组成  $\text{K}(\text{Li}, \text{Al})_{2.5-3}[\text{Si}_{3.5-3}\text{Al}_{0.5-1}\text{O}_{10}](\text{OH}, \text{F})_2$ ，鳞云母是  $\text{Al} - \text{Li}$  和  $\text{Fe} - \text{Li}$  两个类质同象系列中富 Li 一端的成员，其  $\text{Al} - \text{Li}$  系列为不完全类质同象，而  $\text{Fe} - \text{Li}$  系列则为完全类质同象。分析资料证明，凡是含 Li 的云母，均含一定数量的 F。含 Li 越高，F 的含量亦越高。锂云母具有云母一般的解理和紫到粉红的颜色。熔化时，可以发泡，并产生深红色的锂焰。不溶于酸，但在熔化之后，亦可受酸类的作用。锂云母又称鳞

云母，一般是片状或鳞片状集合体。我国河南芦氏县产有球状的锂云母，是一种特殊形态。它呈玫瑰色，浅紫色，有时为白色，风化后成暗褐色。透明。玻璃光泽，解理面显珍珠光泽。硬度 2 - 3。比重 2.8 - 2.9。薄片具弹性。它是提取稀有金属锂的主要原料之一。锂云母中常含有铷和铯，也是提取这些稀有金属的重要原料。



3 ) 磷 锂 铝 石  $\text{Li}\{\text{Al}[\text{P}_04](\text{OH}, \text{F})\}$  。 又名 羟 磷 铝 锂 石 (montebrasite )，磷铝锂石中羟基含量较高的变种(在磷铝锂石中附加阴离子以氟为主)，与磷铝锂石相比，其折射率和重折率偏高，并趋于正光性；相对密度则偏低，2. 98 左右。纳米比亚卡里比布产有美丽的丁香紫色晶体。

4) 磷 铝 锂 石 (amblygonite )，也称“锂磷铝石”或“磷铝矿石”，这是一种锂铝的磷酸盐矿物。化学式： $\text{LiAl}(\text{P}_04)(\text{F}, \text{OH})$ ，其中锂常被钠部分替代。三斜晶系，晶体呈短柱状，也有板状和片状；双晶常见。一般以五色和淡黄色为主，也呈灰白、浅粉红、褐、淡绿、淡蓝等色。透明 - 微透明。玻璃光泽 - 树脂光泽。解理面呈珍珠光泽。

二轴正晶或负晶。硬度 5.5~6.0。解理 {001} 完全，{100} 清楚，{021} 不完全。相对密度 2.98~3.11。主要产于花岗伟晶岩中，也偶见于高温热液锡石石英脉和云英岩中。著名产地有巴西米纳斯热赖斯，产有优质黄色宝石级晶体及块状集合体。其他如美国亚利桑那和缅因州、挪威信德尔、德国萨克森、西班牙塔斯基隆等地也产。

5) 透锂长石: lithium aluminum silicate 或 petalite。化学式为  $\text{Li}[\text{AlSi}_4\text{O}_{10}]$ , LiO2 4.9%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  16.7%,  $\text{SiO}_2$  78.4%, 有时含少量的 Na、K、Ga 等碱金属和碱土金属代替 Li、 $\text{Fe}^{3+}$  (通常  $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 1\%$ ) 代替 Al。解理面上的珍珠光泽、缓慢加热发蓝色磷光是其主要鉴定特征。透锂长石在自然界不常见，一般产于花岗伟晶岩中，与锂辉石，锂云母，铯榴石、电气石，叶钠长石等锂铯矿物共生。在热液作用下，常变成各种沸石和锂绿泥石。钠长石化作用下变成钠长石和石英，表生作用下常生成锂高岭石，锂胶岭石和多水高岭石等。斜方柱晶类；晶体沿 a 轴延长；晶体少见；通常成块状、板状或针状。解理 {001} 完全，{201} 中等，两组解理交角为  $114^\circ$ 。硬度 6-6.5。比重 2.3-2.5g/cm<sup>3</sup> (实测)、2.454 (计算)。呈无色，白色，灰色或黄色。透明至半透明，次贝壳状断口。



6) 铁锂云母:  $K(Li, Al)_{2.5-3}[Si_{3.5-3}Al_{0.5-1}O_{10}](OH, F)_2$ , 鳞云母是 Al—Li 和 Fe—Li 两个类质同象系列中富 Li 端员, 其 Al—Li 系列为不完全类质同象, 而 Fe—Li 系列则为完全类质同象。凡是含 Li 的云母, 均含一定数量的  $F^-$ 。含 Li 越高, F 的含量办越高。具有云母一般的解理和紫到粉红的颜色。熔化时, 可以发泡, 并产生深红色的锂焰。不溶于酸, 但在熔化之后, 亦可受酸类的作用。主要产于超基性岩如金伯利岩及白云质大理岩的接触变质带中。可见于不纯的镁质石灰岩的区域变质岩中。



## 话说找铝矿

铝元素发现于 1825 年。其时, 丹麦物理学家 H.C. 奥尔斯德 (H. C. Oersted) 利用钾汞齐与氯化铝反应, 得到铝汞齐, 再用蒸馏法除去汞, 第一次制得了金属铝。1854 年法国科学家 H. Sainte Claire Deville 创立了钠法化学法, 1865 年俄国物理化学家 H. H. 别凯托夫创

立了镁法化学法，用于金属铝的生产。1855 年法国便用化学法开始了铝的工业生产。

铝土矿（又名铝矾土矿）的发现于 1821 年，明显早于铝元素的发现。当时误将铝土矿认为一种新矿物。1873 年，法国率先开采铝土矿，且于 1894 年采用拜耳法，由铝土矿生产氧化铝，生产规模仅 1 吨/日。到 1900 年，法意美等国有少量铝土矿开采，年产量不过 9 万吨。1950 年，全世界金属铝的产量已达 151 万吨，1996 年增至 2092 万吨。至今铝已成为仅次于钢铁的第二重要金属。

铝属亲石亲氧元素，系地壳中分布最广的元素之一，在自然界中以氧化物、氢氧化物和含氧的硅酸盐存在。自然铝罕见，仅在俄罗斯西伯利亚暗色岩中见及。已知的含铝矿物有 258 种，常见的约 43 种。自然界，不存在单矿物组成的铝矿床。铝矿床都是复矿物矿床，且混有杂质。用于提取金属铝的原料主要是由一水硬铝石、一水软铝石或三水铝石组成的铝土矿，也有用霞石、明矾石、硫磷铝锶矿回收氧化铝的。

**一水硬铝石**又名水铝石，结构式  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ，分子式为  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 。斜方晶系，结晶完好者呈柱状、板状、鳞片状、针状、棱状等。矿石中的水铝石一般均含有  $\text{TiO}_2$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Ga}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 、 $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 、 $\text{TR}_2\text{O}_3$  等不同量类质同象混入物。水铝石溶于酸和碱，但在常温常压下溶解甚弱，需在高温高压和强酸或强碱下才能完全分解。一水硬铝石形成于酸性介质，与一水软铝石、赤铁矿、针铁矿、高岭石、绿泥



石、黄铁矿等共生。其水化可变成三水铝石，脱水可变成 $\alpha$ 刚玉，可被高岭石、黄铁矿、菱铁矿、绿泥石等交代。

一水软铝石又名勃姆石、软水铝石，结构式为  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ，分子式为  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 。斜方晶系，结晶完好者呈菱形体、棱面状、棱状、针状、纤维状和六角板状。矿石中的一水软铝石常含  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Ga}_2\text{O}_3$  等类质同象。一水软铝石可溶于酸和碱。该矿物形成于酸性介质，主要产在沉积铝土矿中，其特征是与菱铁矿共生。它可被一水硬铝石、三水铝石、高岭石等交代，脱水可转变成一水硬铝石和 $\alpha$ 刚玉，水化可变成三水铝石。

三水铝石又名水铝氧石、氢氧铝石，结构式  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ，分子式为  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 。单斜晶系，结晶完好者呈六角板状、棱镜状，常有呈细晶状集合体或双晶，矿石中三水铝石多呈不规则状集合体，均含有不同量的  $\text{TiO}_2$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 、 $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 、 $\text{Ga}_2\text{O}_3$  等类质同象或机械混入物。三水铝石溶于酸和碱，其粉末加热到  $100^\circ\text{C}$  经 2 小时即可完全溶解。该矿物形成于酸性介质，在风化壳矿床中三水铝石是原生矿物，也是主要矿石矿物，与高岭石、针铁矿、赤铁矿、伊利石等共生。三水铝石脱水可变成一水软铝石、一水硬铝石和 $\alpha$ 刚玉，可被高岭石、多水高岭石等交代。

铝土矿主要由  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{TiO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O} +$  所组成，其总量占成分的 95% 以上，一般  $> 98\%$ ，次为 S、CaO、MgO、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{MnO}_2$ 、有机质、碳质等，Ga、Ge、Nb、Ta、REE、Co、Zr、V、P、Cr、

Ni 等量微。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 主要赋存于铝矿物一水铝石、一水软铝石、三水铝石中，其次赋存于硅酸盐矿物中(高岭石类矿物)。

在内生条件下，因 SiO<sub>2</sub> 广泛存在，Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 与 SiO<sub>2</sub> 常紧密结合，形成各类铝硅酸矿物，这些矿物一般铝硅比小于 1，而工业上对铝矿石一般要求 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ≥ 40%，Al/Si > 1.8 ~ 2.6，因此内生条件下很少形成工业铝矿床。

已发现的铝土矿床均是在表生条件下形成的，有风化-残积型（红土型铝土矿）、堆积型和沉积型铝土矿。红土型铝土矿是含铝母岩在湿热气候条件下，具排泄良好的有利地形(如残丘、低山和台地)，在水、CO<sub>2</sub> 和生物等作用下，风化分解，母岩中易溶物质 K、Na、Ca、Mg 和 SiO<sub>2</sub> 等被淋失排出，活动性小的物质 Al、Fe、Ti 残留于原地，形成红土型铝土矿。堆积型铝土矿是含铝岩石、红土风化壳或已形成的红土矿床，在重力、水和自然酸（硫酸、碳酸、有机酸）等作用下，经机械的或化学的风化、剥蚀、搬运等作用，于山坡凹地、谷地、近海湖盆地或滨海泻湖、局限海盆内堆积而成，在水介质环境中则形成沉积铝土矿。

铝土矿矿石常含有镓、钒、钽、钛、铈用放射性元素等有有组分，这些有价值的伴生组分可综合回收。而矿石中的硫、CO<sub>2</sub>、MgO、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 则为有害组分，不利于铝的冶炼回收。

根据含铝矿物的种类和数量，可将铝土矿划分为：三水铝石型、一水软铝石型和一水硬铝石型。国外铝土矿矿石大多为三水铝石型，

次为一水软铝石型，而一水硬铝石型铝土矿极少。中国则以一水硬铝石型铝土矿为主，三水铝石型铝土矿极少。

三水铝石型铝土矿具高铝、低硅、高铁的特点，矿石质量好，适合耗能低的拜耳法处理。一水硬铝石型铝土矿，总体特征是高铝、高硅、低硫低铁、中低铝硅比，矿石质量差，加工难度大，氧化铝生产多用耗能高的联合法。

不同氧化铝生产方法对矿石质量的要求有所不同：

1) 烧结法：要求  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  为 3~5 (或 3.5 左右)， $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 10\%$ 。水分不得大于 7%，矿石的粒度不得大于 150mm，不得混入泥土、石灰岩等高钙高铁等杂物。

2) 拜耳法：一般要求  $\text{Al}_2\text{O}_3 > 65\%$ ， $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2 > 7$ 。氧化铁在拜耳法流程中不与碱起反应，只是铁高赤泥量大，赤泥洗涤复杂，易造成碱和氧化铝的机械损失，但不宜有铝针铁矿。

3) 联合法：混联法，即在拜耳法的赤泥中添加部分低品级矿石提高烧结法的铝硅比，一般要求  $\text{Al}_2\text{O}_3 > 60\%$ ， $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  为 5~7， $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 10\%$ 。对氧化铝生产而言，硫是很有害的杂质。

用作研磨材料的铝土矿，要求含  $\text{Al}_2\text{O}_3$  高、铁和钛低，一般要求  $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 70\%$ ， $\text{Fe}_2\text{O}_3 \leq 5\%$ ， $\text{TiO}_2 \leq 4.5\%$ ， $\text{CaO}+\text{MgO} \leq 1.0\%$ ， $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2 \geq 12$ 。作高铝水泥原料的铝土矿石必须： $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 2.5\%$ ， $\text{TiO}_2 < 3.5\%$ ， $\text{R}_2\text{O}$  (一价金属氧化物)  $< 1.0\%$ ， $\text{MgO} < 1.0\%$ 。

作耐火材料的铝土矿是指煅烧后  $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 48\%$ 、而含  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  较低的铝土矿。高铝铝土矿熟料是经煅烧的铝土矿，熟料应为灰白浅黄及深

灰色，主要用于高铝质耐火材料，也可用来制作电熔棕刚玉。高铝铝土矿熟料是按  $Al_2O_3$  含量及  $Fe_2O_3$ 、 $TiO_2$ 、 $CaO+MgO$ 、 $K_2O+Na_2O$  等杂质含量和熟料体积密度与吸水等项指标来分级的。

铝土矿的找矿标志：

1、外貌与粘土岩相似，但与粘土岩相比，岩性致密，硬度较大（一水硬铝石 6.5-7，一水软铝石 3.5，三水铝石 2.5-3.5），密度较大（一水硬铝石 3.2-3.5，一水软铝石 3.01-3.46，三水铝石 2.3-2.43），无可塑性。

2、颜色为白色、灰白色、微黄的白色，黄褐色、灰绿色、浅红或无色，颜色与所含杂质有关。

3、玻璃光泽，解理面珍珠光泽，贝壳状断口，性脆，条痕白色。

4、隐晶质块状，鳞片状，胶状，放射纤维状，皮壳状，钟乳状，鲕状，豆状，球粒状结核。

5、三水铝石具泥土臭味。

6、常与现代岩溶面或古岩溶面有关。

7、红土型铝土矿主要分布于赤道附近的热带、亚热带地区，与近代红土风化壳有关，时代主要为第三纪，次为中生代。风化母岩主要为 1) 玄武岩；2) 花岗岩，闪长岩，霞石正长岩；3) 古老变质岩中的片麻岩，片岩，千枚岩和变质玄武岩，花岗岩；4) 各类碎屑岩；5) 碳酸盐岩。

8、沉积型铝土矿往往发育在海相碳酸盐岩区，产于碳酸盐岩系中，具有一定的层位，含铝层位从泥盆纪至新生代均有，但主要产于石炭

系、白垩系和第三系中。亦见于新生代陆相沉积岩中，分布在古风化壳红土中，与下伏围岩不整合接触，而与上覆的湖相粘土岩、河流相砂岩整合接触。

## 话说找镁矿

### 一、镁矿资源概述

镁是 10 种常用有色金属之一，其蕴藏量丰富，在地壳中的含量达到 2.1%-2.7%，在所有元素中排第 8 位，是仅次于铝、铁、钙居第四位的金属元素。

镁矿资源主要来自海水、天然盐湖水、油田卤水、白云岩、菱镁矿、水镁石和橄榄石等。

菱镁矿  $MgCO_3$ ，全世界的资源量约为 130 亿吨，而我国到 1995 年保有储量为 30 亿吨，预测资源量 800 亿吨，居世界第一位。我国菱镁矿大部分可以露采，且杂质少， $MgO$  的含量在 46-47.6%之间。一级品（ $MgO$  的含量大于 46%）以上的矿石储量约占全国总量的 44%，晶质菱镁矿占全国总量的 93%。矿床类型为沉积变质-热液交代，多产于前震旦纪至震旦纪钙镁碳酸盐岩中。主要矿床有辽宁的大石桥、海城桦子峪、营口青山杯、山东掖县优游山等。

## 世界镁资源总量及类型分布

国家总量(百万吨) 晶质菱镁矿(百万吨) 隐晶质菱镁矿(百万吨)

|       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|
| 阿尔巴尼亚 | 1.3   | 1.3   |       |
| 巴基斯坦  | 12    | 12    |       |
| 澳大利亚  | 682   | 132.3 | 549.7 |
| 菲律宾   | 12.4  | 6     | 6.4   |
| 奥地利   | 30    | 30    |       |
| 波兰    | 12    | 12    |       |
| 巴西    | 562   | 562   |       |
| 罗马尼亚  | 2     | 2     |       |
| 加拿大   | 891   | 643   | 248   |
| 俄罗斯   | 2750  | 2745  | 5     |
| 中国    | 3319  | 3248  | 71    |
| 沙特阿拉伯 | 42    | 40    | 2     |
| 埃及    | 5     | 5     |       |
| 塞尔维亚  | 13.8  | 13.8  |       |
| 希腊    | 30    | 30    |       |
| 斯洛伐克  | 1240  | 1240  |       |
| 印度    | 245.2 | 186   | 59.2  |
| 南非    | 18    | 18    |       |
| 伊朗    | 3.3   | 3.3   |       |
| 西班牙   | 30    | 30    |       |

|       |       |         |       |
|-------|-------|---------|-------|
| 哈萨克斯坦 | 5     | 5       |       |
| 土耳其   | 150   | 150     |       |
| 科索沃   | 8     | 8       |       |
| 乌克兰   | 5     | 5       |       |
| 尼泊尔   | 66    | 66      |       |
| 美国    | 66    | 66      |       |
| 朝鲜    | 3000  | 3000    |       |
| 总计    | 13184 | 12242.7 | 941.3 |

目前每年的菱镁矿开采量约为 1.89 亿吨,其中中国和俄罗斯的开采量占 60%。晶质菱镁矿占已开采菱镁矿的 86%,隐晶质占 14%。

白云石矿资源遍及我国各省区,特别是山西、宁夏、河南、吉林、青海、贵州、云南、广西、湖南、四川等省区,现已探明储量 40 亿吨以上。其远景储量巨大。可用作白云石砂、白云石超细粉和制镁原料。

全球海水中的镁含量估计为  $6 \times 10^{16}$  吨,镁合金含量达 0.13%。

我国 4 大盐湖区镁盐矿产资源的远景储量达数十亿吨,其中柴达木盆地内大小不等的 33 个卤水湖、半干涸盐湖和干涸盐湖,蕴藏着储量占全国第一位的镁盐资源。

我国油田卤水中含有巨量的镁。

## 二、镁矿生产工艺

### 1、菱镁矿和白云石矿的生产工艺

2004 年,氧化镁的生产量为 8 百万吨。氧化镁类型分为重烧氧化镁、苛性煅烧氧化镁、电熔氧化镁,该 8 百万吨氧化镁按类型的分布



图见图 3。中国氧化镁生产总量占 51%，俄罗斯占 13%，仅这两国的生产量达到了 64%。13 个国家的生产总量占到 99%。

由于政治和战争的影响，北朝鲜和塞尔维亚（前南斯拉夫共和国）在市场上的份额发生了明显的衰减。在 20 世纪 90 年代，北朝鲜的菱镁矿产量为 260 万吨，重烧镁产量 100 万吨，而目前的生产量仅为 12.5 万吨，仅占以前的 12.5%。塞尔维亚的 Magnohrom 公司由于受到联合国制裁，产量仅为从前的 20%。随着中国氧化镁供应日益占据了主导地位，且最近的一次价格波动，鼓舞了众多企业纷纷制定了重烧氧化镁供应的可选择性战略并且开始寻求新的原料供应商。随着土耳其的最新发展，已成为澳大利亚新的原料供应国。然而，澳大利亚许多大型项目由于多方面的原因并未实施，其中包括镁矿生产用的能源的价格等因素。中欧的 SMZ Jelsalva 公司，由于占据了优越的地理环境优势且拥有大量的镁矿资源。俄罗斯由于镁矿资源离潜在市场所处的地区较远且需要大量的启动资金，大部分矿藏仍未开发。

氯化熔盐电解法包括氯化镁的生产及电解制镁两大过程。该方法又可分为以菱镁矿为原料的无水氯化镁电解法和以海水为原料制取无水氯化镁的电解法。其中后者最大的难点是如何去除  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  中的结晶水。一般来说：采用普通的加热法可以去除部分结晶水，生成  $\text{MgCl}_2 \cdot 3/2\text{H}_2\text{O}$ 。但  $\text{MgCl}_2 \cdot 3/2\text{H}_2\text{O}$  在空气中加热时很容易发生水解反应，生成不利于电解过程的杂质，如  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 。电解法生产镁的工艺很多，但基本原理相同，其中最有代表性的有 DOW 工艺、I. G. Farben 工艺、Magnolia 工艺等。

I. G. Farben 工艺在 20 世纪初期由德国 IG. Farben 工业公司首先使用。该工艺中，将氢氧化镁与焦炭均匀混合在一起后放在竖炉内煅烧，再进行氯化处理，生成电解用原料无水  $\text{MgCl}_2$ ，电解得到镁，电解副产物  $\text{Cl}_2$  回收利用。每个槽内有 4~5 个石墨电极(阳极)，均匀排布于一个长方形的、以耐火材料为内衬的钢壳内。每个阳极以夹层式置于两只钢制阳极中间。耐火材料隔板浸入到电解质中，将阳极产物  $\text{Cl}_2$  和阴极产物  $\text{Mg}$  隔开，阻止两者间的反应。电解质的密度大于镁。通过电阻加热来控制电解质的温度。该类电解槽存在的主要问题是：由于电极间的距离被耐火材料隔板加大，电流密度下降；耐火材料受到电解质的化学侵蚀和热循环冲刷，其使用寿命大大缩短，从而使得 LG 电解槽的使用寿命不太理想。

Magnola 工艺：利用蛇纹石中的氯化镁进行电解来生产镁。采用浓盐酸浸泡石棉矿尾渣制备氯化镁溶液，通过调节 pH 值和离子交换技术生产浓缩的超高纯度  $\text{MgCl}_2$  溶液，然后进行脱水和电解。加拿大利用石棉矿尾渣中的硅酸镁来制备镁。

皮江法生产金属镁是以煅烧白云石为原料、硅铁为还原剂、萤石为催化剂，进行计量配料。粉磨后压制成球，称为球团。将球团装入还原罐中，加热到  $1200^\circ\text{C}$ ，内部抽真空至  $13.3\text{Pa}$  或更高，则产生镁蒸气。镁蒸气在还原罐前端的冷凝器中形成结晶镁，亦称粗镁。再经熔剂精炼，产出商品镁锭，即精镁。

1916 年 DOW 工艺在美国 Michighn 的 Midland 首次得到应用。当时所用的制备  $\text{MgCl}_2$  的方法是将海水与煅烧白云石一起制成泥浆，与

盐酸反应，生成氯化镁溶液，将其浓缩并干燥处理后生成  $\text{MgCl}_2 \cdot 3/2\text{H}_2\text{O}$ 。这种原料直接加入电解槽内进行反应，副产物氯气可以回收利用。1941 年道屋 (DOW) 化学公司在塔克赛斯自由港建立了一个工厂，从海水中提取镁的电解原料。海水由引水槽引入，滤过淤泥后导入沉淀池，与石灰混合，过滤后与 20% HCl 反应生成  $\text{MgCl}_2$ ，蒸发后得到固体氯化镁，然后经干燥炉干燥得到低水合氯化镁 ( $\text{MgCl}_2 \cdot 3/2\text{H}_2\text{O}$ )，成为 DOW 工艺电解制镁的原料。DOW 化学公司通过在含大量  $\text{MgCl}_2$ 、NaCl 和  $\text{CaCl}_2$  混合溶液的电解池中直接加入少量部分脱水氯化物来迅速脱水。挪威诺斯克—希德罗 (Norsk—Hydro) 公司是欧洲最主要的镁生产商，通过在于干燥的氯化氢气氛中加热  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  来实现完全脱水。前独联体则主要采用往电解池中加入无水光卤石来脱水。最近，澳大利亚金属镁公司开发了一种制备无水氯化镁原料的全新工艺，在氯化镁溶液中加入一种称为 Glycol 的物质，蒸馏脱水，然后喷雾氨生成六氨合氯化镁，接着焙烧制备高质量的无水氯化镁。在该工艺中，溶剂和氨都可以循环使用。生产 1t 镁约可获得 2t 氯。电解后废的电解质中含有很高的碳酸钾，可用于生产肥料。

## 2、盐湖水和油田卤水的生产工艺

青海盐湖集团与华东理工大学合作开展的“水氯镁石先进脱水工程化技术研究开发及低耗电电解技术试验研究”项目，研制了“六水氯化镁反应—结晶耦合脱水工艺及其工业装置技术”，并在低耗电电解炼镁上取得进展，已于 2004 年建成国内第一套 1500 吨规模无水氯化镁

工业示范装置。该装置经过 2005 年试生产，获得氯化镁含量 98.5%、水和氧化镁含量低于 0.5% 的无水氯化镁产品。青海盐湖集团初步计划将在“十一五”期间，建成 10 万吨无水氯化镁装置和 2.5 万吨金属镁装置。青海昆仑镁盐有限责任公司和中科院青海盐湖研究所在氢氧化镁阻燃剂产业化技术上取得突破，建成年产 2000 吨改性氢氧化镁阻燃剂试验生产线；青海盐湖科技发展有限公司和清华大学进行了年产 1500 吨氢氧化镁阻燃剂试验并进入试车阶段。

西部矿业有限责任公司和中南大学共同成立的青海西部镁业科技发展有限公司，在盐湖水和油田卤水中水氯镁石制取高纯镁砂技术上取得突破，在锡铁山建成年产 2000 吨氢氧化镁、高纯镁砂、氧化镁试验联合生产装置，获得的高纯镁砂产品氧化镁含量达到 99.9% 以上，体积密度 3.57 克 / 立方厘米。

### 三、找矿标志

1、菱镁矿：英文名为 Magnesite，化学式为  $Mg[CO_3]$ 。理论组成： $MgO$  为 47.81%， $CO_2$  为 52.19%。 $MgCO_3-FeCO_3$  之间可形成完全类质同像，天然菱镁矿的含  $FeO$  量一般  $<8\%$ 。含  $FeO$  约 9% 者称铁菱镁矿；更富含  $Fe$  者称菱铁镁矿。有时含  $Mn$ 、 $Ca$ 、 $Ni$ 、 $Si$  等混入物。致密块状者常含有蛋白石、蛇纹石等杂质。晶体少见，常呈显晶粒状或隐晶质致密块体，在风化带常呈隐晶质瓷状。白色或浅黄白、灰白色，有时带淡红色调，含铁者呈黄至褐色、棕色；陶瓷状者大都呈雪白色。玻璃光泽。具完全解理。瓷状者呈贝壳状断口。硬度 4-4.5。性脆。相对密度 2.9-3.1。含铁者密度和折射率均增大。隐晶质菱镁矿呈致密

块状，外观似未上釉的瓷，故亦称瓷状菱镁矿。工业矿床通常由含镁热水溶液交代白云岩、白云质灰岩或超基性岩而成。常与方解石、白云石、绿泥石、滑石共生。常压下菱镁矿形成于 250–350℃；低于此温度形成稳定的三水菱镁矿；高于此温度则形成水镁石。菱镁矿与方解石相似，但加冷盐酸不起泡或作用极慢，加热盐酸则剧烈起泡。常见于超基性岩和白云岩的区域变质带中。

2、白云石矿：英文名为 dolomite，化学式为  $\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$ 。理论组成为氧化镁 21.7%，氧化钙 30.4%，二氧化碳 47.9%，（或碳酸钙 54.2%，碳酸镁 45.8%）。常有铁、锰等类质同象代替镁，当铁或锰原子数超过镁时，称为铁白云石或锰白云石。三方晶系，晶体呈菱面体，晶面常弯曲成马鞍状，聚片双晶常见。集合体通常呈粒状。纯白云石为白色，玻璃光泽；含铁时呈灰色，风化后呈褐色。菱面体解理完全。莫氏硬度 3.5 ~ 4（比石灰岩较硬），比重 2.85 ~ 3.2，遇冷稀盐酸时缓慢起泡（而石灰岩则剧烈起泡）。海相沉积成因的白云石岩常与菱铁矿层、石灰岩层成互层产出。在湖相沉积物中，白云石与石膏、硬石膏、石盐、钾石盐等共生。热液中可直接结晶形成白云石，也可由含镁的热水溶液交代石灰岩或白云质灰岩而形成。白云石加热到 700–900℃时分解为二氧化碳和氧化钙和氧化镁的混合物。常见于泻湖相碳酸盐岩沉积区。

# 话说找锰矿

锰矿的产出是有章可循的，只要我们懂得锰矿产出的信息和标志，就能根据这些信息和标志，将锰矿找到。

## 一、地质标志

1、沉积型锰矿常呈层状产出，层数不等，受一定层控制，产于不同时代的含锰地层中。含锰地层一般为海相硅质—碳酸盐岩中，组成锰矿层的矿石以碳酸锰矿石（菱锰矿）为主，氧化锰矿石和硅酸锰矿石次之。

2、残积型锰矿（锰帽矿床）位于沉积锰矿层或含锰层的氧化带内，与原生锰矿带的层位完全相同，只是矿石类型不同而已。

3、淋积型锰矿是各时期的含锰岩系风化后，锰质被淋滤出来，经过次生富集而成，淋积锰矿的层位不大稳定。

4、堆积型锰矿是残积型锰矿或淋滤型锰矿继续在风化作用下，矿体被破坏，矿石在原地或异地，堆积起来形成新的矿体。一般赋存于第四纪红土层或褐土层中，呈似层状产出。上述各类风化锰矿的分布受一定含锰层位的控制。

## 二、直接找矿标志

1、锰矿层露头 是直接找矿标志。通常在地表发现的是层状次生氧化锰露头，矿石主要由硬锰矿、软锰矿、偏锰酸矿组成，具明显的次生组织结构，常混杂有硅质、泥质物，质地疏松，矿层顶底板界线比较清楚，矿石的排列尚保持断续的层理，层位稳定。根据这些特征可以确定这是残积型锰矿露头。这类锰矿沿走向延伸可达数公里至

数十公里，沿倾向可延伸到地下水水面附近，可达数十米深。残积型锰矿不但具有良好的工业价值，而且可作为寻找沉积型锰矿的主要标志。在残积型锰矿的深部，即位于地下水水面以下部分，多为原生沉积锰矿层或沉积变质锰矿层，或目前尚无工业利用价值的含锰层，如含锰灰岩，含锰硅质灰岩、含锰硅质岩等。沉积锰矿层一般是由菱锰矿、锰方解石、水锰矿等碳酸盐矿石组成。沉积锰矿的规模较大，一般都是大中型，但贫矿多富矿少，贫矿经焙烧选矿可用。菱锰矿矿石在野外是可以辨认的，因为它具有深浅灰、灰绿、浅棕、肉红等多种颜色，质地坚硬致密，断口平滑，手掂较重，常具线理构造等特征，不难同其它碳酸盐岩石区别开来。残积锰矿品位达 30%以上者，原生沉积的多是锰矿石；残积锰矿品位低于 30%者，原生沉积的多是含锰岩石。

2、锰矿转石 锰矿体常被表土覆盖，不易直接观察到它的天然露头，但是矿体风化后易于破坏，形成大小不一的锰块、锰粒不均匀地散布在地表上或溪流中，这些锰块锰粒常见的都是硬锰矿和软锰矿，也是直接的找矿标志。在沉积岩区，发现锰矿转石，标志着附近就有含锰地层存在。在山坡顶上发现锰矿转石成堆，或块度较大的锰矿块，都标志着邻近就有风化锰矿床存在。若在坡底或冲积层中发现锰矿转石，就要注意在附近的山坡和崖壁上寻找锰矿体。

### 三、间接找矿标志

1、土壤标志 含锰岩系风化后常形成红土、黄棕土或黑褐土。不是所有的红土、黄棕土或黑褐土都是找锰标志。凡是普遍含有像绿



豆、黄豆般大小的浑圆状锰粒的红土，或含有锰矿碎屑的黑褐土，才可以作为寻找风化锰矿床的重要标志，也是寻找沉积锰矿的间接标志。

2、岩性标志 沉积锰矿层因易风化或被上覆岩层遮盖，很难发现其露头，但可借助于矿层围岩所具有的明显特征作为找矿标志。以岩性较坚硬、分布稳定的岩层作为找矿标志。如震旦系中的锰矿的黑色页岩、冰碛层；泥盆系的含锰扁豆状灰岩，石炭系的薄层硅质灰岩与硅质灰岩互层，二叠系的含锰硅质岩及含煤岩系，都可作为标志层。

3、构造标志 沉积锰矿分布于背斜两翼和向斜核部；残积型锰矿多分布于向斜两翼的浅部，即地下水面以上的氧化带内；淋积型锰矿多分布构造破碎带内，堆积型锰矿产于第四系红土层中。

4、地貌标志 沉积型锰矿大多数分布于低山丘陵地区，少数分布于岩溶峰丛洼地或溶丘洼地地区，风化型锰矿分布于地下水面以上。残积型锰矿多出露在较高的山坡或山顶上；淋积型锰矿分布于低山丘陵地区构造复杂地段，与地下水活动关系密切；堆积型锰矿分布坡度平缓的低山丘陵地区，缓倾斜的山坡和较平坦的山顶上，但坡度大于二十度的山坡或低平的谷地及岩溶峰丛地区是少有矿体存在的。

## 话说找钼矿

### 一、钼矿地质概述

钼在地壳中的丰度约为  $1 \times 10^{-6}$ ，因而被称为稀有金属元素。钼在地球化学分类中，属于过渡族亲铁元素，在内生成矿作用中，钼主

要与硫结合，生成辉钼矿。钼在自然界中的分布并不少于铅和锡，因为它很分散，且很少发现含量超过 1%~2% 的钼矿床。

目前未见有自然界发现单质钼的报道，已知的钼矿物有 30 余种，较常见的含钼矿物还有铁钼华 ( $[\text{Fe}(\text{MoO}_4)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}]$ )，钼酸钙矿 ( $\text{CaMoO}_4$ )，彩钼铅矿 ( $\text{PbMoO}_4$ )，胶硫钼矿 ( $\text{MoS}_2$ )，蓝钼矿 ( $\text{Mo}_3\text{O}_{10} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) 等。

最为主要的且具工业意义的钼矿物是辉钼矿 ( $\text{Mo}$  59.94%， $\text{S}$  40.06%)，其中类质同象混入物有  $\text{Re}$  (0.1~1.88%)、 $\text{Se}$  等。辉钼矿单晶体呈六方板状，但往往不完全。底面上常有条纹。多鳞大块/颗粒状，有剥理层。条痕亮铅灰色，在上釉瓷板上为带微绿的灰墨色，白纸上呈蓝灰色，薄片具挠性。手摸有滑腻感，有时与石墨混淆。

辉钼矿存在着多型，2H 型的辉钼矿形成温度高于 3R 型的辉钼矿。温度由低到高形成非晶质  $\text{MoS}_2 \rightarrow$  胶体  $\text{MoS}_2 \rightarrow 3\text{MoS}_2 \rightarrow 2\text{HMoS}_2$ 。辉钼矿虽然形成温度有较宽，可自高温到低温，但大量形成于高至中温阶段。在热液作用下， $\text{MoS}_2$  能于较酸性环境中沉淀，当溶液转向中性时，钼可形成可溶的硫代钼酸盐和钼酸盐而再活动。在低温和常温条件下， $\text{Mo}^{4+}$  在强酸性还原环境中生成胶硫钼矿 ( $\text{MoS}_2$ )，它氧化后的产物是蓝钼矿 ( $\text{Mo}_3\text{O}_{10} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ )。外生作用中，钼呈  $\text{Mo}^{6+}$ ，具有较强的活动性。它与铀相似，在接近中性或偏碱性的氧化与还原的过渡环境中稳定，由此生成多种含铀的钼酸盐矿物，如钼铀矿  $[(\text{UO}_2)_3(\text{MoO}_4)_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$ ，钼钙铀矿  $[\text{Ca}(\text{UO}_2)_3(\text{MoO}_4)_4 \cdot (\text{OH})_2 \cdot 11\text{H}_2\text{O}]$ 、铁钼华  $[\text{Fe}_2(\text{MoO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}]$ 、彩钼铅矿、钼华、蓝钼矿、胶硫钼矿等。

铯与钼的离子半径相近，故经常置换钼而富集于辉钼矿中，成为工业用铯的主要来源。辉钼矿中的铯含量往往与辉钼矿中 3R 型含量及成矿溶液中的铯含量有关。

钼矿分布虽广，但只有极少数矿床有开采价值。美国是钼矿最丰富的国家，产量占世界总产量的 60%以上，其次是智利和加拿大。中国的钼矿分布于 28 个省(区、市)，其中以河南最为丰富，钼储量占全国总储量的 30.1%，其次为陕西和吉林。钼矿大型矿床多，如陕西金堆城、河南栾川、辽宁杨家杖子、吉林大黑山钼矿。

矿床类型以斑岩型钼矿和斑岩-矽卡岩型钼矿为最重要，前者如陕西金堆城、江西德兴，后者如河南南泥湖钼矿；矽卡岩型、碳酸盐脉、石英脉型次之；沉积型钼-铀-钒-镍矿床有较大的潜在价值，伟晶岩脉型钼矿无独立工业意义。从钼矿形成时代来看，除少数钼矿形成于晚古生代和新生代之外，绝大多数钼矿床均形成于中生代，为燕山期构造岩浆活动的产物。

钼矿床的工业指标：1) 露采，边界品位 0.03%，最低工业品位 0.06%，可采厚度 2-4 米，夹石剔除 4-8 米；2) 坑采，边界品位 0.03-0.05%，最低工业品位 0.06-0.08%，可采厚度 1-2 米，夹石剔除 2-3 米。

中国钼矿床的一般品位为 0.01%~0.50%，常常伴生有钨、锡、铜、铅、锌、钴、铁、金、铌、钽、铍、镭、钍、硒、碲、铀、硫等硫化物。

## 二、钼矿找矿标志

1、斑岩型钼矿（细脉浸染型钼矿）：产于花岗岩及花岗斑岩体内部及其周围岩石中，矿化与硅化、钾化关系密切，以黄铁矿、辉钼矿、黄铜矿为主，矿体呈层状、似层状、筒状、巨大透镜状产出，品位偏低，伴生有铜、钨、银、铼、铅、锌、钴、硫等。识别出钾硅化斑岩对斑岩钼矿的寻找是极为重要的，因为钾化矿物与岩浆结晶形成的矿物，不仔细观察或经验不足者，一时难以分辨开来。

2、矽卡岩型钼矿：产于花岗岩类岩体与碳酸盐围岩接触带，以及外接触带沿层发育，常见金属矿物为黄铁矿、辉钼矿，次为黄铜矿、磁黄铁矿、黑钨矿、白钨矿、方铅矿、闪锌矿等，矿体呈透镜状、扁豆状、似层状、囊状、筒状、脉状等，品位较富，伴生有铜、钨、铅、锌、金、铼、硫。

3、脉状钼矿：产于各种岩石（侵入岩、喷出岩、变质岩、沉积岩）的断裂带中，倾斜常陡，常见黄铁矿、辉钼矿，次为黄铜矿、磁黄铁矿、黑钨矿、斑铜矿、方铅矿、闪锌矿等，矿体呈脉状、复脉状、扁豆状，往往伴生有铜、钨、铅、铼、硫、金、银。

4、沉积型钼矿床征：可分为砂岩型钼铜矿床、砂岩型钼铀矿床和黑色页岩型（石煤型、劣质煤型、炭质页岩）五元素建造钼矿床，常见胶钼矿、辉铜矿、黄铁矿、辉铜矿及含铀钼矿物、镍的硫化物，矿体呈层状、似层状、透镜状、扁豆状，伴生有铜、铀、镍、钒、铅、锌、钴、锗、硒等。

5、钼的次生矿物：彩钼铅矿，晶体呈方形板状，颜色鲜艳，多呈黄色、蜡黄色、稻草黄色、桔黄色至桔红色。金刚光泽，密度大和与

其他铅矿物共生的特征中，予以鉴定。在木炭上加入碳酸钠烧之，可熔化成一铅质的小球；加入磷盐作烧珠试验，在还原焰中，可呈现绿色；在氧化焰中，热时呈黄绿色，冷却后，几近无色。钼华，晶体呈细小页片状、针状或板状、土状集合体，颜色为蜜黄色、淡绿黄至无色，条痕草绿色，具挠性。蓝钼矿，非晶质体，呈隐晶质粉末、薄膜状或皮壳状，蓝色、淡深蓝色，条痕天蓝色。胶硫钼矿，为辉钼矿的非晶质变体，呈凝胶状、球状产出，可重结晶为辉钼矿或风化为蓝钼矿，多见于黑色页岩型钼矿。

## 话说找铌钽

### 一、铌钽地质概述

铌和钽分别称为“烈火金刚”和“抗蚀冠军”，是一对“孪生兄弟”。它们在元素周期表里为同族，物理、化学性质很相似，且“形影不离”。当人们在十九世纪初首次发现铌钽时，还以为它们是同一种元素呢。以后大约过了四十二年，人们才用化学方法第一次把它们分开，才弄清楚它们原来是两种不同的金属。

铌在地壳中的含量为  $20 \times 10^{-4} \%$ ，钽在地壳中的含量为  $2 \times 10^{-4} \%$ 。在自然界，铌钽两个“孪生兄弟”常常共生于一处。

铌矿和钽矿的划分，主要是根据它们在矿物中的相对含量。对铌钽铁族矿物而言，一般地将含  $Ta2O_5 < 15\%$  的矿物称为铌铁矿， $Nb2O_5 < 10\%$  的矿物称为钽铁矿， $Nb2O_5 > Ta2O_5$  的矿物称为钽铌铁矿， $Ta2O_5 > Nb2O_5$  的矿物称为铌钽铁矿。钽铌矿物的赋存形式和化学成分

复杂,其中除钽、铌外,往往还含有稀土金属、钛、锆、钨、铀、钍和锡等。

目前,已知的含铌钽矿物有 130 种左右,主要的铌钽矿物有 30 多种:

铌铁矿  $[(\text{Fe}, \text{Mn})(\text{Nb}, \text{Ta})_2\text{O}_6]$ , 正交(斜方)晶系,含 Nb2O5 量可达 78.88%,常有钽置换部分的铌,与钽铁矿成完全类质同象系列。铌铁矿晶体呈板状或短柱状,集合体呈块状。褐黑至黑色,半金属光泽,具清晰的板状解理。硬度 6,比重 5。随着钽含量的增高,硬度及比重均增大。铌铁矿是提取铌、钽的主要矿物原料,产于花岗岩和花岗伟晶岩中。

钽铁矿  $[(\text{Fe}, \text{Mn})(\text{Ta}, \text{Nb})_2\text{O}_6]$ , 正交(斜方)晶系。成分中经常有铌置换其中的钽,与铌铁矿成完全类质同象系列。所有的参数与物理性质与铌铁矿类同,但比重和硬度有明显的升高,摩斯硬度为 6.5,比重达 8。钽铁矿含 Ta2O5 可达 86.12%,是提取钽及铌的主要矿物原料,产于花岗岩或花岗伟晶岩中以及与之有关的风化矿床和砂矿床中。

烧绿石  $[(\text{Ca}, \text{Na})_2(\text{Nb}, \text{Ta}, \text{Ti})_2\text{O}_6(\text{OH}, \text{F})]$ , 等轴晶系,旧称黄绿石。成分中的铌可被钽类质同象替代,与细晶石形成完全类质同象系列,还可含有数量不定的稀土、铀、钍、锆、钛等元素。置于火上灼烧后变成绿色,故名。为提取铌、钽、稀土及铀、钍的主要矿物。晶体呈八面体,集合体成粒状。褐至黑色,树脂光泽至金刚光泽,微透明。八面体解理清晰。摩斯硬度 5-5.5,比重 4.2。含 Ta 量增大时,

比重相应增大。水化以后，硬度及比重均显著降低。烧绿石主要产于碳酸盐岩型矿床中，也产于霞石正长岩及其伟晶岩中。

细晶石  $[(\text{Na}, \text{Ca})\text{Ta}_{206}(\text{O}, \text{OH}, \text{F})]$ ，等轴晶系，与烧绿石成完全类质同象系列。比重 6.4，比烧绿石大。其他物理性质与烧绿石相似，产于花岗伟晶岩和钠长石化花岗岩中。

黑稀金矿  $[(\text{Y}, \text{Ca}, \text{Ce}, \text{U}, \text{Th})(\text{Nb}, \text{Ta}, \text{Ti})_{206}]$ ，正交（斜方）晶系，与以含 Ti 为主的复稀金矿成完全类质同象系列。晶体通常细小，呈板状或柱状；集合体为块状或放射柱状。色黑，略带浅绿或浅棕色调，条痕黄褐至红褐色，半金属光泽或沥青光泽。硬度 5.5-6.5，比重 4.9-5.9。含钽愈高则硬度和比重均愈大。具放射性。用于提取钷、铈、钽、铀等。主要产于花岗伟晶岩中，亦见于砂矿中。

褐钇铈矿  $[(\text{Y}, \text{Er}, \text{Ce}, \text{Fe})(\text{Nb}, \text{Ta}, \text{Ti})_{04}]$ ，含铈钽氧化物矿物。鲜明黄褐色、黑褐色，正方晶系。硬度 5.5-6.5。密度 5.3-5.5g/cm<sup>3</sup>。晶体呈四方柱状，晶面常弯曲。具有弱磁性，多产于花岗岩伟晶岩、花岗岩、碱性岩中，常与独居石、锆英石、钛铈钠矿和稀土矿物共生。典型矿物含五氧化二铈 39%-47%，五氧化二钽 2%-6%，是提取放射性元素铈、钽和稀土元素的重要矿物。

还有重钽铁矿  $(\text{FeTa}_{206})$ 、钛铈钙钷矿  $[(\text{Na}, \text{Ce}, \text{Ca}, \text{Sr})(\text{Ti}, \text{Nb})_{03}]$ 、易解石等。铈钽金属的提取主要来自上述矿物外，某些炼钢炉渣和熔炼锡渣也是提取铈钽的重要资源。

工业指标：边界品位  $(\text{Ta}, \text{Nb})_{205}$  为 0.01%，最低工业品位为 0.02%， $\text{Ta}:\text{Nb}>1$ ，富矿一般大于 0.1%。



目前,全球已经查明的铈、钽金属储量分别为 420 万吨和约 3.5 万吨。铈钽矿主要分布在巴西、加拿大、澳大利亚、尼日利亚、苏联和非洲一些国家,泰国和马来西亚的锡渣也是铈的一个来源。

据美国矿业局(1981--1994 年)估计,世界铈、钽金属储量基础,分别为 420 万吨和 3.5 万吨,而中国分别居世界第 2 位和第 1 位。铈矿主要集中于内蒙古和湖北,钽矿主要分布在江西、内蒙古、广东 3 省区。

铈钽矿床类型主要有:

1、花岗伟晶岩型 产于伟晶岩中,颗粒粗大。主要伴生矿物有绿柱石、锂辉石,脉石矿物有石英、长石、石榴子石,矿石矿物有铈钽矿、钽铈铁矿、细晶石。实例有:新疆可可托海锂铈钽矿床和福建南平西坑钽铈矿床。

2、花岗岩型 可细分为褐钇铈矿型(如姑婆山)、铈铁矿型(如泰美、横峰)、铈铁矿-钽铈铁矿型(如泰美 521)、钽铈铁矿-钽铈锰矿型(如老虎头、水溪庙)、铈钽锰矿-细晶石型(如 414、大吉山)。伴生矿物可有独居石、锆石、钛铁矿、锡石、黑钨矿、锂云母、绿柱石和磷钇矿,脉石矿物为石英与长石。

3、沉积变质高温交代型 以白云鄂博为代表,矿石矿物有铈铁矿、铈铁金红石和易解石,伴生矿物有磁铁矿、假象赤铁矿、褐铁矿、独居石和氟碳铈矿,脉石矿物有霓石、萤石、云母、石英和长石。

4、碳酸盐烧绿石型 以巴西阿拉夏为代表,矿石矿物为烧绿石,伴生矿物为铀钍矿物和稀土矿物,脉石矿物为方解石和云母。

5、残坡积冲积型 如广东台山残坡积、冲积铌钽砂矿床，增城派潭河流冲积型铌铁矿砂矿。

二、找矿标志

1、碱性-花岗质岩浆活动区和杂岩区。一般与岩浆演化晚期富碱富挥发分的超酸性侵入小岩体和岩脉有关。

2、伟岩岩区。在混合花岗岩或花岗岩基区，伟晶岩中常常有铌钽矿产出。

3、锂、铍、钨、锡、稀土矿区，可作为铌钽矿的找矿靶区。

4、滨临花岗质岩区海岸、湖岸、河流内，可以寻找铌钽砂矿。

5、铌钽矿物大多含铁，且可与磁铁矿共生，因此磁法可快速圈定矿化范围。

6、铌钽矿物常常含铀钍放射性元素，因此航空放射性测量和地面放射性测量是寻找铌钽矿的有效方法。

7、锂云母化、锂辉石化、钠长石化是铌钽矿的找矿标志。

三、钽铌精矿质量标准

| 等级 | 级别   | 精矿名 | TaNb2O5% | Ta2O5% | TiO2% | SiO2% | W03% |
|----|------|-----|----------|--------|-------|-------|------|
| 一等 | 一级钽铌 |     | 60       | 40     | 5     | 7     | 3    |
| 一等 | 二级钽铌 |     | 55       | 38     | 5     | 7     | 3    |
| 一等 | 三级钽铌 |     | 55       | 35     | 5     | 7     | 3    |
| 二等 | 一级钽铌 |     | 50       | 32     | 6     | 11    | 3.5  |
| 二等 | 一级钽铌 |     | 45       | 29     | 6     | 11    | 3.5  |
| 二等 | 一级钽铌 |     | 45       | 26     | 6     | 11    | 3.5  |

## 话说找镍矿

镍系亲铁元素，其地球丰度仅次于硅、氧、铁、镁，居第 5 位。地核中，镍含量最高，是天然的镍铁合金。地壳中，富铁镁质岩石的镍含量要高于硅铝质岩石，例如橄榄岩的镍含量为花岗岩的 1000 倍，辉长岩的镍含量为花岗岩的 80 倍。

目前已经发现的含镍矿物大约为 50 种，最主要的含镍矿物大约为 10 种。其中硫化物如镍黄铁矿、紫硫镍铁矿等，以游离硫化镍形式存在，但有相当一部分的镍以类质同象赋存于磁黄铁矿中。而氧化镍矿中，镍红土矿含铁较高，含硅镁低，含镍为 1%--2%；硅酸镍含铁较低，含硅镁较高，含镍为 1.6%--4.0%。当前，氧化镍矿的开发利用以红土型镍矿为主。红土型镍矿是由超镁铁质岩石风化而成的，其中的镍主要以镍褐铁矿形式存在。

$\text{Ni}^{2+}$  具强烈亲硫性。在岩浆结晶早期，镍含量一定时，镍在岩石中的富集程度取决于硫的逸度。若有足够的硫时，镍与硫及似硫物（砷、锑）形成含镍硫化物，在硅酸矿物结晶前分离出来，形成镍的硫（或砷）化物（如磁黄铁矿、镍黄铁矿、红砷镍矿）。通常所谓的镁硅镍矿（即硅酸镍矿）是从蛇纹石到类似粘土的水蛇纹石与皂石等镁矿物的一系列混合物的总称，在氧化作用条件下，部分镁被镍置换。氧化镍和硫化镍一样，现在已成为镍的重要来源。

镍矿床的成因类型有岩浆熔离型和风化壳型(红土型),工业类型为铜镍硫化物型和氧化镍—硅酸镍型。此外,黑色岩系中常有镍的富集,可与钴、银、铋、铀构成五元素建造矿床。

镍黄铁矿是镍的重要矿物之一,其矿物式为 $(\text{Fe}, \text{Ni})_9\text{S}_8$  或  $(\text{Fe}, \text{Ni})_9\text{S}_8$ 。理论组成(wB%): Fe: Ni=1:1 时, Fe 32.55, Ni 34.22, S 33.23。常含 Co 的类质同像替代,有时含有 Se、Te。

等轴晶系,常呈叶片状或火焰状连生于磁黄铁矿中,系固溶体分离的产物。亦常呈微粒或细脉状被包裹于其它矿物中。古铜黄色,色调稍浅于磁黄铁矿。绿黑色或亮青铜褐色条痕。金属光泽。不透明。解理{111}完全。硬度 3-4。相对密度 4.5-5。主要分布于与基性、超基性岩有关的 Cu-Ni 硫化物矿床中,与磁黄铁矿、黄铜矿密切共生极富特征。在氧化带中易氧化成鲜绿色被膜状镍华或含水硫酸镍。常呈极细的析出体连生在磁黄铁矿中。显微镜下据较磁黄铁矿稍淡的色调、古铜黄色条痕和{111}裂理与之区分。镍黄铁矿无磁性,而磁黄铁矿通常有磁性。

镍矿的找矿标志有:

- 1、镍矿分布于板块碰撞期后的弛张期或古老地块内部的裂谷、裂陷槽环境或不同构造单元的过渡带中。
- 2、镍矿床的分布受长期活动的深大断裂带的控制。
- 3、镍矿床产于镁铁质—超镁铁质岩盆、岩墙及岩浆杂岩体内。
- 4、镁铁质—超镁铁质岩体的分异程度越高,越有利于形成镍矿床。
- 5、因镍黄铁矿等具有磁性,因此磁异常可作为镍矿床的找矿标志。

6、因镍黄铁矿、红砷镍矿等导电性好，因此电磁异常可作为找矿标志。

7、铜、镍、钴、砷等地球化学异常可作为找矿标志。

## 话说找铊矿

### 一、铊的地质地球化学特点

作为分散稀有元素的铊，其地球化学参数与钾、铷相近，能以类质同象形式进入含钾矿物中，从而表现出亲石特征。同时铊又具有亲硫性，常以伴生组分广泛出现在汞、砷、铜、铅、锑、铁、锌、银、金、锡矿床中。虽然自然界中铊多呈分散状态存在（其地壳丰度为  $0.6 \times 10^{-6}$ ），但在特殊条件下亦可形成铊矿物。目前已发现铊的独立矿物有 48 种，其中硫盐类 33 种，硫化物类 7 种，硒化物和硫酸盐类各 3 种，硫氯化物和氧化物各 1 种。具工业意义的铊矿物只存在于硫化物矿床中，且几乎所有铊的硫化物和硫盐是在  $100 \sim 200\text{ }^{\circ}\text{C}$  的低温环境或表生氧化条件下形成的。

业已发现，有些砷、汞、金、铅、锌、锑等矿床中，铊特别富集，如前南斯拉夫的 Allchar 富铊矿床、美国内华达州的卡林金矿床、瑞士 Lengenbach 富铊矿床、法国 Jas Roux 硫化物矿床、前苏联高加索地区的 Verkhnyaya Kvaisa 矿床、黔西南烂木厂汞铊矿床以及云南南华砷铊矿床。其显著特征是具有与硫化物矿床共生的铊砷汞锑元素组合，并存在多种铊的独立矿物。此外，日本 Kosaka 矿床的矿石中铊的平均含量高达  $800 \times 10^{-6}$ ，日本黑矿型矿床黄铁矿型矿石中，铊的含量

也比较高,为  $23-55 \times 10^{-6}$  ,广东云浮硫铁矿矿石的平均含量可达到  $46 \times 10^{-6}$  。这表明铊在自然界中不仅能富集,而且还有可能形成独立矿床。

在大地构造位置上,富铊矿床集中分布于克拉通周边的沉积区及低温成矿域内,即地中海—阿尔卑斯低温成矿域、中国黔西南成矿域、北美卡林成矿域和俄罗斯北高加索成矿域。成矿时代主要为中生代与新生代,其中多数为新生代。大多数富铊矿床均受伸展构造体制下的区域性深大断裂的控制,控矿构造主要是皱褶和断裂,在背斜加一刀(断裂)更有利于成矿。富铊矿床的围岩主要为沉积岩和火山岩两大类。产于沉积岩中的富铊矿床的围岩的岩性有泥碳质灰岩、泥灰岩、粉砂岩、粘土质砂岩、泥碳质白云岩等。火山岩中的铊矿床产于强烈蚀变的凝灰岩中和现代成矿地热系统中。

铊矿床通常具有低温多元素组合。铊矿化一般与金、砷、锑、汞等矿化关系密切,并组成低温成矿元素组合。围岩蚀变有硅化、碳酸盐化、黄铁矿化、重晶石化、萤石化。铊的超常富集基本上都出现在成矿热液的较晚阶段,矿化温度多为  $150-200^{\circ}\text{C}$  ,成矿流体以低温、中—低盐度和弱酸性为特征。富铊矿床大多经历了预富集和热液改造阶段。预富集阶段有:生物成矿,如贵州滥木厂铊矿床中含生物成因的红铊矿;海底热液成矿,如在瑞士 Lengnau 矿床中,有早阶段由海底或接近海底含硫化物的热液和微生物形成的碳酸盐岩层控含铊硫化物存在;物理化学和生物化学富集,如云南南华铊矿床,矿源层中淋滤出来的成矿物质,在湖盆封闭环境中可被丰富的生物和生物

遗体选择性摄取和吸附，从而形成铊的初步富集。热液改造成矿阶段主要由成矿热液改造矿源层，元素被活化并向构造脆弱带迁移，伴随流体温度的下降，在成矿的有利部位富集成矿。铊在表生条件下活动性很高，很容易被再次分散循环。在一些铊矿床的表生氧化带中，铊常以氧化物如褐铊矿、矾类及胶体吸附的形式而形成局部富集，如贵州滥木厂铊矿床氧化带的铊明矾。

## 二、富铊矿床找矿标志

1、低温成矿域中的中生代和新生代沉积岩、火山岩及现代地热活动区；2、泥碳质灰岩、泥灰岩、粉砂岩、粘土质砂岩、泥碳质白云岩和火山凝灰岩等组成的背斜构造及轴向断裂带；3、成矿有利环境为中—低温、弱酸性、中等盐度、还原环境以及高硫逸度；4、雄黄矿、毒砂矿、汞矿、锑矿、部分铅锌矿、卡林型金矿等是寻找富铊矿床的最佳地区，反之，铊异常可作为寻找卡林型金矿、锑汞矿的找矿标志；5、低温蚀变矿物组合及蚀变带；6、低温高硫地区。7、富铊矿床矿石色彩斑斓，鲜艳夺目。因为红铊矿与辰砂极为相似、有如含苞欲放的樱花，含铊雄黄矿石可组成红、黄、红黄相间的美丽画面。

## 话说找钛矿

### 一、钛矿地质概述

钛是地壳中分布最广且丰度高( $6320 \times 10^{-6}$ )的元素之一，占地壳重量的 0.61%，位居第 9 位。钛资源则仅次于铁、铝、镁而位居第 4

位，是制取钛渣、人造金红石、钛白、海绵钛、钛金属及钛材、焊条涂料的重要原料。

作为典型的亲石元素，在自然界，钛常以氧化物出现。地壳中含  $\text{TiO}_2$  在 1% 以上的矿物有 80 余种，具有工业价值的有 15 种，我国主要利用的有钛铁矿、金红石和钛磁铁矿等。

金红石 Rutile，矿物式  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Ti}60\%$ ，有时含 Fe、Nb、Ta、Cr、Sn 等；晶体为复四方双锥晶类，常具完好的四方柱状或针状晶形。常见单形为四方柱和四方双锥，有时出现复四方柱和复四方双锥。颜色呈红棕色、红色、黄色或黑色，条痕呈浅棕色至浅黄色。硬度为 6，比重为 4.2-4.3。中等平行解理，断口不平坦。透明到不透明，半金属光泽至金属光泽。以其四方柱形、双晶、颜色为鉴定特征；可以和锡石区别；不溶于酸类，加入碳酸钠予以烧熔，则可溶解于硅酸，若再加入过氧化氢，可使溶液变为黄色。形成于高温条件下，主要产于变质岩系的含金红石石英脉中和伟晶岩脉中。此外，在火成岩中作为副矿物出现，也常呈粒状见于片麻岩中；金红石由于其化学稳定性大，在岩石风化后常转入砂矿。

钛铁矿 Ilmenite，矿物式为  $\text{FeTiO}_3$ ,  $\text{FeO } 47.36$ ,  $\text{TiO } 52.64$ 。  $\text{Fe}^{2+}$  与  $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$  间可为完全类质同像代替，形成  $\text{FeTiO}_3$ - $\text{MgTiO}_3$  或  $\text{FeTiO}_3$ - $\text{MnTiO}_3$  系列。以 FeO 为主时称钛铁矿，MgO 为主时称镁钛矿，MnO 为主时称红钛锰矿。常有 Nb、Ta 等类质同像替代。晶体为三方晶系，菱面体晶类，常呈不规则粒状、鳞片状或厚板状。多呈自行至它形晶粒散布于其它矿物颗粒间，或呈定向片晶存在于钛磁铁矿、钛赤



铁矿、钛普通辉石，钛角闪石等矿物中，为固溶体出溶的产物。与榍石、磁铁矿、刚玉连生的现象较为常见。颜色呈铁黑色或钢灰色；条痕钢灰色或黑色。含赤铁矿包裹体时呈褐或褐红色。金属至半金属光泽。不透明。无解理，有时出现裂理。硬度 5--5.5。性脆。相对密度 4.0--5.0。具弱磁性。据晶形、条痕、弱磁性可与赤铁矿或磁铁矿区别。产于超基性岩、基性岩中的钛铁矿，MgO 含量较高，基本不含 Nb、Ta；碱性岩中的钛铁矿，MnO 含量较高，并含 Nb、Ta；产于酸性岩中的钛铁矿，FeO、MnO 含量均高，Nb、Ta 含量亦相对较高。主要为岩浆型和伟晶型。岩浆型钛铁矿，常作为副矿物，或在基性、超基性岩中分散于磁铁矿中成条片状，与顽火辉石、斜长石等共生。伟晶型钛铁矿，产于花岗伟晶岩中，与微斜长石、白云母、石英、磁铁矿等共生。钛铁矿往往在碱性岩中富集。由于其化学性质稳定，故可形成冲积砂矿，与磁铁矿、金红石、锆石、独居石等共生。

钙钛矿 Perovskite，矿物式为  $\text{CaTiO}_3$ ，CaO 41.24%，TiO<sub>2</sub> 58.76%，类质同象混入物有 Na、Ce、Fe、Nb。立方体晶形。在立方体晶布常具平行晶棱的条纹，系高温变体转变不低温变体时产生聚片双晶的结果。硬度 5.5-6，比重 3.97-4.04，解理不完全，参差状断口。颜色为褐至灰黑色，条痕呈白至灰黄色，显金刚光泽。常成副矿物见于碱性岩中；有时在蚀变的辉石岩中可以富集，主要与钛磁铁矿共生。

中国目前已探明的钛矿资源储量 9.65 亿吨，占世界钛资源总储量的 38.85%，其中经济储备为 6.3 亿吨，占世界总储量的 45.5%。钛矿主要为钒钛磁铁矿中的钛矿、金红石矿和钛铁矿砂矿等。钒钛磁铁矿

中的钛主要产于四川攀枝花地区。金红石矿主要产于湖北、河南、山西等省。钛铁矿砂矿主要产于海南、云南、广东、广西等省(区)。钛铁矿的  $\text{TiO}_2$  保有储量为 3.57 亿吨，居世界首位。钛矿矿床类型主要为岩浆型钒钛磁铁矿，其次为砂矿。从成矿时代来看，原生钛矿主要形成于古生代，砂钛矿则于新生代形成。

## 二、找钛矿标志

1、沿古老地块、地块边缘、深大断裂分布的超基性-基性杂岩体，是寻找钒钛磁铁矿床的好去处。如扬子地台西缘的盐源-丽江台缘拗陷、康滇地轴、华北地台北缘深大断裂、勉略宁地区、中天山、左权桐峪、代县黑山沟、黎城西头、怀柔新地、昌平上庄、舞阳赵案庄、兴宁霞岚、哈密尾亚和黑龙江呼玛等。其富集成矿规律是：在晚期岩浆阶段，钛成独立矿物或成类质同象参与铁的氧化物，可以形成具工业价值的分异型和贯入型的钛铁矿床、钛磁铁矿床。

2、滨临基性-超基性岩区及老变质岩区的滨海沉积、残坡积和河流冲积物，是寻找钛铁矿、金红石等砂矿的好去处。主要分布在海南岛（省）东部沿海，即万宁保定、南桥、东澳-龙保、横山、坑垄、琼海沙老、南港、博鳌、潭门、文峰岭、文昌辅前、三更寺、陵水乌石-港坡、万洲坡、新村港、南湾岭、三亚马岭、儋州龙山、徐闻柳尾、陆丰甲子、阳江南山海、吴川吴阳、厦门黄厝、诏安官口、合浦石康、保山板桥、藤县东胜、三吉壤、翰池、苍梧、定南车步、赤水、安康大同、岳阳新墙河、华容三郎堰、湘阴望湘、勐海勐河、勐往、安康付家河、月河恒口、岑溪义昌河、陵水陵水河、琿春琿春河等地。

3、超基性至中基性区域变质岩区，是寻找金红石矿床的好去处。如枣阳大阜山、代县碾子沟、瑞安仙岩、大河熊山沟、西峡县八庙子沟、新县红显边、杨冲、莱西刘家庄等地。

4、人工重砂异常。由于钛矿物比重较大，抗风化能力强，在风化剥蚀条件下，易于堆积于水系下游、沉积物或土壤底层，并富集成矿。有时在沉积的铝土矿及红土内也有钛的聚集。

5、磁异常。常用于寻找原生钛矿，因为原生钛矿中的钛铁矿、钛磁铁矿具有弱磁性，而且岩浆型和变质型钛矿中往往与磁铁矿共生或伴生，会显示出较强的磁性。

\* \* \* \* \*

### 高雅轻盈话钛金

1789 年，英国业余矿物学家 William Gregor 神父，在其教区哥纳瓦尔州的默纳金山谷里，发现了一种黑色的磁性砂石——钛铁矿，锻炼中发现了一种新的元素，即命名为 Menaccanite。这就是钛。1795 年，德国化学家 M. H. Klaproth 在对岩石矿物系统分析时，发现了一种新的金属氧化物即金红石  $TiO_2$ ，也含有此种新元素。他把这种新元素，以希腊神话中天地之子 Titans 泰坦神来命名(Titanium)，亦为 Gregor 所称“Menaccanite”。钛元素名 Titanium，喻意为“勇往直前”，恰恰说明了金属钛天然刚强的性格。

钛在元素周期表上排行 22，处于第 4 周期 IVB 族，原子量 47.88。别看钛矿物往往其貌不扬，或黑不溜秋（如钛铁矿、板钛矿），或暗淡无光（如金红石、榍石），而金属钛则气宇宣昂，质地轻盈（比重仅 4.5），银光发亮（呈银白色），高贵无比。十分坚韧，洁身自好，不会像银那样变黑，常温下始终保持本色。钛的熔点（熔点  $1668^{\circ}\text{C}$ ）与铂金相差不多，故常用于航天、军工精密部件。

在化学上，大名鼎鼎的强腐蚀剂“王水”能够吞金蚀银，以至把号称“不锈”的不锈钢侵蚀，变得锈迹斑驳，面目全非。然而，“王水”对钛却无可奈何。在“王水”中浸泡了几年的钛，依旧锃亮，光彩照人！若把钛加到不锈钢中，只加 1% 左右，就大大提高抗锈蚀本领。因为钛具有密度小、耐高温、耐腐蚀等优良的特性，钛合金也具有强度高，密度小。钛既耐高温，又耐低温。在  $-253^{\circ}\text{C}$ —— $500^{\circ}\text{C}$  这样宽的温度范围内都能保持高强度。这些优点正是太空金属所必备的，故钛有“太空金属”之称，还被誉为“继铁、铝之后处于发展中第三金属”和“战略金属”，是“很有希望的金属材料”。

钛是一种纯正金属，正因为钛金属的“纯”，故物质和它接触的时候，不会产生化学反应。也就是说，因为钛的耐腐蚀性、稳定性高，使它在和人长期接触以后也不影响其本质，所以不会造成人的过敏，它是唯一对人类植物神经和味觉没有任何影响的金属。

钛又被人们称为“亲生物金属”。钛在医学上有着独特的用途。在骨头损伤处，用钛片和钛螺丝钉固定好，过几个月，骨头就会长在

钛片上和螺丝钉的螺纹里。新的肌肉就包在钛片上，这种“钛骨”就如真的骨头一样，甚至可以用钛制人造骨头来代替人骨治疗骨折。

由于钛的以上特性，它特有的银灰色调不论是高抛光，丝光，亚光都有很好的表现，是除贵金属铂，金以外最合适的首饰金属，在国外现代首饰设计中经常使用。但由于钛的加工技术要求很高，用普通设备很难浇铸成型，用普通工具又很难将它焊接起来，所以很难形成生产规模。因此，在国内首饰市场很难见到它的踪影，市场上俗称钛金。

用钛的矿物原料生产出来的产品主要有：钛白（二氧化钛）、金属钛（海绵钛）、含钛钢以及焊条涂料。

钛白（二氧化钛），具无毒、良好的物理化学稳定性（1000℃煅烧后不溶于任何酸和碱）、折射指数高（2.55~2.70），以及很强的白度、着色力（1150~1650）、遮盖力（40~50g/m<sup>2</sup>）、耐温性、抗粉化等特征，被称为“颜料之王”。钛白不仅是性能优异的白色颜料，而且是重要的化工原料。它广泛用于涂料、油墨、塑料、橡胶、造纸和化纤工业。钛白涂料，色彩鲜艳，色调纯正；钛白是纸张的高级填料，使纸张薄而不透明，白度高，光泽好，强度大和光滑好用。钛白用于塑料工业，是不透明的着色剂；用于橡胶工业，使白色和浅色橡胶强度高，伸展率大，耐老化和不易褪色。它也是化学纤维的最佳消光材料，使透明的化纤具永久性消光效果，并可提高韧性。此外，还用于搪瓷、电器、电子原料等等方面。

钛精矿经冶炼成海绵钛后，再铸锭并制成工业纯钛和钛合金钛材。钛和钛合金钛材主要用于航空和宇航部门。与合金钢相比，钛合金可使飞机重量减轻 40%。其他如人造卫星外壳、飞船蒙皮、火箭发动机壳体、导弹等等，钛合金都可大显身手。非宇航部门使用工业纯钛和钛合金主要在于发电站冷凝器、接触海水装置、化学装置和一些机械工程等方面。尤其是海水淡化加热器用钛是钛工业发展中划时代事件。兵工部门将钛主要用于舰船和兵器生产。

金属钛除主要用于生产工业纯钛和钛合金外，另一用途是为钢铁工业生产钛铁合金和含钛钢。钛在钢中作为添加元素，可以改变钢的性能。使钢在同样回火温度下，具有更高的强度和硬度，或同样硬度要求下，回火到更高的温度。目前，我国含钛钢有高强度低合金钢、结构钢、不锈钢、耐热合金、超高强度钢和磁钢等钢种系列，广泛用于汽车、船舶和石油钻探等方面，已发展成为仅次于锰钢的第二大钢系。主要含钛矿物金红石还是优质电焊条涂层不可缺少的原料。

## 话说找铀矿

### 一、铀矿地质概述

铀，属于锕系元素，原子序数为 92，系天然产出的最重的金属。它具有亲氧或亲石性质，与氧、氟、氯的亲合力较强，极易形成氧化物或含氧盐，自然界中不存在铀的硫化物、氮化物、碳化物、氢化物及单质形式。自然界中铀有四价和六价两种价态，具氧化-还原特性，能形成种类繁多的铀矿物。在岩浆条件下，四价铀最稳定，以晶质铀

矿存在。氧化条件时，铀易从四价氧化为六价形成铀酰离子，与磷酸盐、砷酸盐、钒酸盐、硅酸盐、钼酸盐、碳酸盐、硫酸盐等结合形成各种盐类，并为褐铁矿、蛋白质、磷酸钙、粘土矿物、有机物和沥青所吸附。铀酰离子的化合物易溶解在含硫酸根或碳酸根等阴离子的水体中，并随地下水迁移，生成各种次生铀矿物。

铀属于两性元素，铀的氧化物既可与碱性氧化物作用生成铀酸盐，也可与酸作用生成铀酰化合物。铀还能形成多电荷的大离子团，与钍、稀土、钇、铈、钽、锆、铪等类质同象。

业已发现的铀矿物和含铀矿物有 170 种以上，但只有 25-30 种铀矿物具开采价值。根据铀矿物的物性和产出状态，将其分为两类。其一为黑色、暗褐色，比重大于 5，硬度为 5-6，沥青光泽或半金属光泽，主要为原生铀矿物（晶质铀矿、沥青铀矿、铀黑）、钛铀矿、铈铀钛铁矿、铈钽铀矿和铀石等；其二为色彩鲜艳，比重较小（小于 4），硬度一般小于 3，玻璃光泽或珍珠光泽，主要为表生铀矿物，有硅铜铀矿、水铀钒、绿铀矿、钒铀钡铅矿、黄硅钾铀矿、铜铀云母和钡铀云母等。按铀的存在形式分，可有独立矿物、类质同象和吸附状态三类。

独立矿物是指具有一定化学组成的铀化合物，它们的含铀率比较高，如晶质铀矿、沥青铀矿、钙铀云母、铜铀云母、铁铀云母、水铀矿、柱铀矿、硅铀矿、红铀矿、磷铀矿、黄钾铀矿、深黄铀矿、水砷铀矿、钒钾铀矿、硅铜铀矿等；类质同象是指性质上相近的元素在晶格中以可变量互相代替的现象，如在独居石、磷灰石、钛酸盐、铈钽

酸盐等矿物中，四价铀替代离子半径大致相等的元素，形成类质同象形态的含铀矿物，它们含铀均较低；围岩吸附是指有机质、蛋白石、磷灰石、粘土、氢氧化铁等以物理或化学的形式吸附铀酰离子，从而形成含铀矿物，它们含铀也很低，如褐煤。

根据地质环境，可将铀资源划分为以下矿床类型：

- 1) 不整合型 产于大型侵蚀不整合面附近，多形成于 16 亿年-18 亿年前，往往含有砷、镍、钼和金等元素；
- 2) 砂岩型 原生矿石中含有的铀矿物是沥青铀矿和铀石，氧化后生成次生铀矿物，如钒钾铀矿、钒钙铀矿和硅钙铀矿，适合原地浸出；
- 3) 石英卵石砾岩型 仅存在于缺氧条件下形成的早元古代沉积岩中，如兰德式矿床，为黄金的副产品；
- 4) 脉型 指填充于裂缝、裂隙或角砾岩中的矿床；
- 5) 角砾杂岩型 形成于非造山期的元古代古陆中，围岩为富含火山碎屑的石英岩和沉积岩，铀矿化产于近花岗基底杂岩之上的岩层中，矿石一般呈层状和不整合形式产出，伴有铜、银、金等；
- 6) 侵入岩型（斑岩型） 是指与侵入岩或深源岩有关的铀矿床，如白岗岩和碳酸岩；
- 7) 磷灰岩型 指含有低品位铀的磷灰岩，为磷酸工业的副产品；
- 8) 破火山口型 赋存于破火山口中，铀和钼、银等富集在火山筒的渗透性角砾岩填充物中和火山筒周围的弧形断裂带中；
- 9) 火山岩型 产于酸性火山岩的层状或锥状火山机构中，与钼、氟等伴生；
- 10) 钙结砾岩型 形成于第四纪，埋藏浅，与钙化沉积物有关，沉积环境是泥炭、沼泽、岩溶洞穴和裂隙；
- 11) 交代型 产于微斜长石花岗岩的交代岩中；
- 12) 变质型 形成在沉积变质岩或火山沉积岩中；
- 13) 褐



煤型 产于褐煤和直接临近褐煤的粘土或砂岩中; 14) 黑色页岩型 五元素建造, 铀的含量很低, 只能作为副产品; 15) 其他类型矿床, 如美国新墨西哥州格兰茨区的托迪尔托石灰岩矿床。

铀矿床储量是用金属铀或八氧化三铀的数量表示的, 金属铀储量大于五千吨的称为大型铀矿床, 一千吨至五千吨的称为中型铀矿床, 一百至一千吨的称为小型铀矿床, 小于一百吨的称为铀矿点。

全世界业已探明的铀资源中, 每公斤铀生产成本小于 130 美元的总量为 4.299Mt; 小于 80 美元的总量为 3.085Mt; 小于 40 美元的总量为 0.92Mt。世界铀资源主要集中在澳、加、中西非、纳米比亚、南非、俄、哈萨克斯坦、乌克兰、乌兹别克和美国。提炼成本与矿石的铀品位密切相关, 提取每公斤铀的成本要小于 80 美元, 则矿石的铀品位应高于 0.1%。一般把铀品位高于 0.3% 的矿石称为富矿, 铀品位为 0.1%-0.3% 的称为中等矿石, 铀品位为 0.05%-0.1% 的称为贫矿。

中国是铀矿资源不甚丰富的一个国家, 探明的储量居世界第 10 位之后。矿床规模以中小型为主, 品位偏低, 常与磷、硫及有色、稀有金属矿产共生或伴生。矿床类型主要有花岗岩型、火山岩型、砂岩型、碳硅泥岩型铀矿床; 其所拥有的储量分别占全国总储量的 38%、22%、19.5%、16%。含煤地层中铀矿床、碱性岩中铀矿床及其他类型铀矿床在探明储量中所占比例很少。我国第一个发现的铀矿化产地是广西的富贺钟地区, 1943 年吴磊伯和南延宗发表了《论广西东部几种铀矿物》和《广西富贺钟区铀矿之发现》两篇论文。新中国采集的第一块铀矿石标本是 1956 年 1 月 15 日在广西钟山县红花镇杉木村发现的,

目前这块铀矿石收藏在核工业北京地质研究院。发现的第一个产于花岗岩中的铀矿床是广东翁源贵东岩体中的“希望矿床”，我国最大的铀矿山位于江西乐安相山地区，我国第一个进行地浸开发的砂岩型铀矿床处于新疆伊犁。

## 二、找铀矿标志

有关资料显示，目前国际铀矿石价格是每磅 33 美元，每磅纯铀的价格是 4583 美元。故近年来受利益驱动，在我国南方湖南、江西、广东等部分省份私挖乱采、非法冶炼和非法收购铀矿及初级产品现象时有发生，对资源利用、公众健康以及自然环境造成危害。铀矿资源是特殊的战略资源，国家对其勘探、开发实施统一管理和监督。2006 年开始，开展了专项整治工作，集中打击铀矿的非法开采、加工交易等行为，整顿了铀资源采冶工作秩序。具体的找矿标志有：

1、由于铀具有放射性，可以用航空放射性测量和地面放射性测量来寻找铀矿床；2、利用色彩斑斓的铀的次生矿物来寻找，如钙铀云母、铜铀云母、硅钙铀矿、钒钾铀矿、橙黄铀矿等；3、利用共生脉石矿物的变色来寻找铀矿，放射性能使萤石变紫、水晶成为烟水晶、钻石变绿、黄玉发蓝，锆石中的铀可以在黑云母中产生多色性晕圈。放射线的照射能使一些矿物发出荧光、磷光；4、利用特征的围岩蚀变来寻找，与铀矿化有关的蚀变组合有：硅化、红化、绢云母化、绿泥石化和碳酸盐化等。红化可使钾长石、斜长石、绿泥石，甚至石英、方解石等变红，这是由于含铁矿物的二价铁受放射性作用而变成三价铁所致，在这些矿物中往往出现微粒赤铁矿，主要沿解理纹及不规则的裂隙分

布；5、具有铀、钍地球化学异常；花岗岩基底的红盆地周边的砂岩、黑色岩系、含煤含磷层位、碱交代岩区、火山红层区等。

## 成矿构造的识别

成矿构造是控制金属矿床就位的主导因素。因为成矿构造既为矿质的就位提供了空间，也为矿液的迁移沉淀创造了条件。弄清了成矿构造的展布，矿体的空间分布问题就迎刃而解了。因此，成矿构造的研究就成为了矿床学与勘查学研究永恒的课题，有关成矿构造的论著如汗牛充栋，也就不足为怪了！

然而由于矿床形成以后，或多或少地遭受过后生构造及表生构造的破坏，因而要识别并还原出成矿构造就不是一件容易的事了！

对于明显切割矿体的构造很容易认为是成矿后构造，而对于大致与成矿构造平行的后期断裂的识别，则要困难得多。根据我们的体会，大凡断裂结构面清晰、引人注目的断裂构造均属于成矿后构造。这是因为成矿时矿质充填了断裂或扩容空间，将地壳“伤痕”牢牢地焊接起来，犹如焊锡将两块物质焊至一个整体。由于矿体的物理力学性质常较围岩坚韧难摧，因而焊接处一般不会再断，要断只能在矿体的两侧。而矿体两侧的后期断裂虽然可能与成矿构造平行，产状近于一致，但已不是成矿构造原来的位置了。更由于蚀变交代等的化学反应作用，矿体的边界常常是不规则的，这就导致矿体两侧的断裂的产状很可能与成矿构造不同，也常会使我们误入歧途。

至于脉动成矿与多期成矿的区分、成矿热液演化所致的高、中、低温成矿的分离与叠加更加使得成矿构造的判定困难重重。因此，我们在作出成矿构造的结论之前，要慎之又慎！通常的方法是：对已知矿体三维空间作图，其空间展布就为我们判定成矿构造提供了很好的证据，特别是多个工程所控制的矿体所连成的矿体产状，就更加接近于实际的成矿构造。

通达地表的成矿构造相对地比较好研究，但对未及地表的成矿构造的判定则更为困难，这就需要有认真的地表观察和周密的大胆思维。未及地表的成矿构造往往对于成矿更为有利，易于形成厚大的富矿体。如果能够弄清未及通达地表的成矿构造的分布规律，那么，隐伏矿体和矿床的预测，就变得十分容易了。

未及通达地表的成矿构造也是有可能识别出来的，只要它离地表不太深。因为犹如劈柴一样，尽管前端尚未劈开，亦未见大的位移，但尖端处已现若干细缝，我们称之为雏形断裂。之于成矿构造向地表扩展，虽未通达地表，但已现较密集的节理裂隙，在地表雨水的冲刷和风化作用下，易于形成沟谷，这就是“逢沟必断”的科学注解。虽然，在地表沟谷所见两侧岩层依然连续，未见有显著的位移，我们仍可推定地下一定深处，存在着成矿构造。这也是我们提出“眼见为实，眼见未见得实”的哲理之所在。

拨开迷雾，剔除假象，还原成矿构造的本质，我们就能够依据地质事实，布设验证工程，而无需考虑物化探工作抑或是是否存在物化探异常。

# 怎样阅读地质图

把各种岩层和地质构造按照一定的比例投影在平面上，并用规定的颜色和符号来表示的图件，就是地质图。

从地质图上可以全面了解一个地区的地层顺序及时代、岩性特征、地质构造（褶皱、断层等）、矿产分布、区域地质特征等内容。因此地质图是指导生产实践，进行区域地质、地理、自然环境研究的重要资料。

一般所说的地质图是指平面图，但也往往制成地质剖面图（实测或从平面图上按指定方向绘制），以便更清楚地反映地下地质情况。

根据生产或研究的需要，还可以制成专题的地质图，如水文地质图、工程地质图、第四纪地质图、岩相-古地理图、矿产分布图、构造纲要图、大地构造图等。

## 一、不同岩层产状在地质图上的表现

岩层的产状包括三种情况，水平的、倾斜的、直立的；地形也有不同情况，平坦的、起伏的、沟谷纵横的。由于岩层产状不同、地形起伏不同，岩层在地面或反映在地质图上的形状也不一样。

### （一）水平岩层

1. 如果地形平坦，又未经河流切割，在地面上只能看见最新的岩层的顶面，表现在地质图上只有一种岩层。如华北平原，在地面上只能看见松散沉积物的最上面的一层。

2. 如果平坦地面经过河流下切，或者地面起伏很大，可以看到下面较老的岩层，其在地质图上的特点是：

- (1) 岩层界线与等高线平行或重合；
- (2) 同一岩层在不同地点的出露标高相同；
- (3) 岩层的厚度等于顶面和底面的高度差。

### (二) 直立岩层

除岩层走向有变化外，岩层界线在地质图上按岩层走向呈直线延伸，不受地形任何影响。

### (三) 倾斜岩层

1. 如果地形平坦，在地质图上岩层界线按其走向呈直线延伸。

2. 如果地形有较大起伏（比方有山有谷），在地质图上岩层界线与等高线斜交，在沟谷和山脊处常常形成“V”字形弯曲，称“V”字形法则。其弯曲程度与岩层倾角的大小和地形坡度的大小有关，即岩层倾角越小，V字形越紧闭；倾角越大，V字形越开阔。地形起伏越大，弯曲形状越复杂；地形越平坦，弯曲度越小，甚至近于直线。倾斜岩层的露头形状与地形起伏的关系如下：

(1) 岩层倾向与沟谷坡向相反，V字形尖端指向上游，但V字形弯曲度大于等高线的弯曲度；

(2) 岩层倾向与沟谷坡向相同，而岩层倾角大于沟谷坡度，V字形尖端指向下游；

(3) 岩层倾向与沟谷坡向相同，而岩层倾角与沟谷坡度一致，在沟谷两侧岩层露头互相平行；

(4) 岩层倾向与沟谷坡向相同，而岩层倾角小于沟谷坡度，V 字形尖端指向上游，但 V 字形弯曲度小于等高线的弯曲度。

上述 V 字形规律都是指在沟谷中岩层的露头形状；若在倾斜的山脊山梁或山坡等处，岩层的 V 字形尖端指向与在沟谷中的正好相反。

对于初学者来说，V 字形法则比较难于理解和掌握，在野外穿过沟谷时，常常看到岩层向沟头方向或沟口方向呈 V 字形弯曲，总以为是岩层产状有了变化，或者发生了褶曲，实际上岩层的产状并没有变化，而是由于地面坡度、岩层倾向和倾角这三者之间的复杂关系对露头形状所产生的错觉。换句话说，倾斜岩层的露头形状并不等于岩层的产状（垂直岩层除外）。这种法则在地质图上特别是大比例尺的地质图上有明显的反映。

其它构造线如断层线，其露头形状也适用于 V 字法则。

## 二、褶曲和断层等在地质图上的表现

### (一) 褶曲

1. 背斜和向斜 两翼岩层对称重复出现，从核部到两翼，岩层越来越新，是为背斜；反之，是为向斜。

#### 2. 两翼产状和褶曲种类

两翼倾角大致相等，倾向相反，为直立褶曲；两翼倾角不等，倾向相反，为倾斜褶曲；两翼倾角不等，但倾向相同，为倒转褶曲（倾角较大的一翼为倒转翼）；两翼倾角相等，倾向亦相同，有一翼倒转，为等斜褶曲（应注意与单斜岩层的区别）；两翼倾向相反，两翼皆倒转，为扇形褶曲。

3. 褶曲轴 褶曲轴可以用平面上各岩层转折端的顶点联线来表示。

如果褶曲轴延伸很远，一系列背斜向斜相连，是为线形褶曲：如果褶曲轴较短，岩层投影为长圆形或近似浑圆形，是为短背斜、短向斜、穹隆或构造盆地。

#### 4. 枢纽产状

核部宽窄大体不变，两翼的岩层界线大致平行，表示枢纽是水平的；核部呈封闭曲线，两翼岩层不平行，或具有弧形转折端，表示枢纽是倾伏的；若背斜向斜相连，岩层则呈“之”字形弯曲；若核部忽宽忽窄，表示枢纽忽高忽低呈波状起伏；沿任一褶曲轴岩层越来越新的方向为枢纽的倾伏方向。

#### 5. 褶皱时代

主要是根据地层的角度不整合接触关系，即不整合面上下岩层的相对时代来确定。下伏一组岩层的褶皱的时代在不整合面以下一组岩层中最新的地层时代之后，在不整合面以上一组岩层中最老的地层时代之前。

### （二）断层

1. 纵断层和横断层 岩层重复或缺失，为纵断层（或走向断层）；岩层发生中断或错开，为横断层（或倾向断层）。

#### 2. 上升盘和下降盘

对纵断层来说，在断层线上任意指定一点，较老岩层一侧为上升盘，较新岩层一侧为下降盘；但当断层面倾向与岩层倾向一致而断层



面倾角小于岩层倾角时，较老岩层一侧为下降盘，较新岩层一侧为上升盘。然后再根据断层面的倾向，即可决定正断层或逆断层。

如果断层横穿或斜穿背斜或向斜，同时在断层两侧核部宽窄（或相当翼间的距离）发生显著变化，则在背斜中变宽的一盘为上升盘；变窄的一盘为下降盘。在向斜中恰好相反，变窄的一盘为上升盘，变宽的一盘为下降盘。如果两盘核部（或相当翼间的距离）只有水平错开而无宽窄大小的变化，则为平推断层。

3. 断层时代 根据断层与不整合的关系、断层与岩体岩脉的关系和断层交叉错断与被错断的关系等确定，前已述及不赘。

### （三）岩层接触关系

1. 整合 岩层界线大致平行，一般没有缺层现象（有时有岩层变厚、变薄及自然尖灭现象）。

2. 平行不整合 岩层界线大致平行，有显著的缺层现象。

3. 角度不整合

较新岩层掩盖住较老岩层的界线，较新岩层的底部界线即为不整合线，不整合线两侧岩层产状不同，较新岩层一侧的岩层界线与不整合线大致平行，较老岩层一侧的岩层界线与不整合线相交，新老岩层之间有显著的缺层现象。

### （四）火成岩体

1. 岩基或岩株 岩体界线常穿过不同的围岩界线，若规模较大，形体不甚规则，为岩基；若规模较小，形体较规则，为岩株。

2. 岩盘 岩体界线与围岩走向一致，外形浑圆或较规则。

3. 岩床 岩体呈长条状，延伸方向与围岩走向一致。

4. 岩墙 岩体呈长条状，穿过不同的岩层。

### 三、读地质图的步骤和方法

#### 1. 看图名、图幅代号、比例尺等

图名和图幅代号可以告诉我们图幅所在的地理位置。一幅地质图一般是选择图面所包含地区中最大居民点或主要河流、主要山岭等命名的。比例尺告诉我们缩小的程度和地质现象在图上能够表示出来的精确度。此外，还应注意图的出版时间、制图人等。

#### 2. 看图例

通过图例可以了解制图地区出露哪些地层及其新老顺序等。图例一般放在图框右侧，地层一般用颜色或符号表示，按自上而下由新到老的顺序排列。每一图例为长方形，左方注明地质年代，右方注明岩性，方块中注明地层代号。岩浆岩的图例一般在沉积岩图例之下。构造符号放在岩石符号之下，一般顺序是褶皱、断层、节理、产状要素等。

3. 剖面线 有时通过地质图相对图框上的两点画出黑色直线，两端注有 AA' 或 II' ... 等字样，这样的直线称剖面线，表示沿此方向已经作了剖面图。

#### 4. 分析图内的地形特征

如果是大比例尺地质图，往往带有等高线，可以据此分析一下山脉的一般走向、分水岭所在、最高点、最低点、相对高差等。如果是不带等高线的小比例尺地质图，一般只能根据水系的分布来分析地形

的特点，如巨大河流的主流总是流经地势较低的地方，支流则分布在地势较高的地方；顺流而下地势越来越低，逆流而上越来越高；位于两条河流中间的分水岭地区总是比河谷地区要高，等等。了解地形特征，可以帮助了解地层分布规律、地貌发育与地质构造的关系等。

## 5. 分析地质内容

当按照从整体到局部再到整体的方法，首先了解图内一般地质情况，例如：（1）地层分布情况，老地层分布在哪些部位，新地层分布在哪些部位，地层之间有无不整合现象等；（2）地质构造总的特点是什么，如褶皱是连续的还是孤立的，断层的规模大小，它发育在什么地方，断层与褶皱的关系怎样，是与褶皱方向平行还是垂直或斜交等等；（3）火成岩分布情况，火成岩与褶皱、断层的关系怎样。

6. 在掌握全区地质轮廓的基础上，再对每一个局部构造进行分析：（1）开始时最好从图中老岩层着手，逐步向外扩展，以免茫无头绪；（2）对每一种构造形态，包括褶曲、断层、不整合、火成岩体等逐一详加分析。例如褶曲类型，断层类型，各构造组合关系等。

7. 把各个局部联系起来，进一步了解整个构造的内部联系及其发展规律，主要包括：（1）根据地层和构造分析，恢复全区的地质发展历史；（2）地质构造与矿产分布的关系；（3）地质构造与地貌发育的关系，等等。

以上所述不过是读图的一般步骤和方法。至于如何具体分析某一幅地质图和其中的每一种构造，必须通过实践来逐步掌握。

# 地质罗盘的使用



地质罗盘仪是进行野外地质工作使用的一种工具。借助它可以定出方向，观察点的所在位置，测出任何一个观察面的空间位置(如岩层层面、褶皱轴面、断层面、节理面……等构造面的空间位置)，以及测定火成岩的各种构造要素，矿体的产状等。

## 一、地质罗盘的结构：

地质罗盘式样很多，但结构基本是一致的，我们常用的是圆盆式地质罗盘仪。由磁针、刻度盘、测斜仪、瞄准觇板、水准器等几部分安装在一铜、铝或木制的圆盆内组成。

(一) 磁针——一般为中间宽两边尖的菱形钢针，按装在底盘中央的顶针上，可自由转动，不用时应旋紧制动螺丝，将磁针抬起压在盖玻璃上避免磁针帽与顶针尖的碰撞，以保护顶针尖，延长罗盘使用时间。在进行测量时放松固动螺丝，使磁针自由摆动，最后静止时磁针的指向就是磁针子午线方向。由于我国位于北半球磁针两端所受磁

力不等，使磁针失去平衡。为了使磁针保持平衡常在磁针南端绕上几圈铜丝，用此也便于区分磁针的南北两端。

（二）水平刻度盘---水平刻度盘的刻度是采用这样的标示方式：从零度开始按逆时针方向每 10 度一记，连续刻至 360 度，0 度和 180 度分别为 N 和 S，90 度和 270 度分别为 E 和 W，利用它可以直接测得地面两点间直线的磁方位角。

（三）竖直刻度盘----专用来读倾角和坡角读数，以 E 或 W 位置为 0 度，以 S 或 N 为 90 度，每隔 10 度标记相应数字。

（四）悬锥---是测斜器的重要组成部分，悬挂在磁针的轴下方，通过底盘处的觇板手可使悬锥转动，悬锥中央的尖端所指刻度即为倾角或坡角的度数。

（五）水准器---通常有两个，分别装在圆形玻璃管中，圆形水准器固定在底盘上，长形水准器固定在测斜仪上。

（六）瞄准器---包括接物和接目觇板，反光镜中间有细线，下部有透明小孔，使眼睛，细线，目的物三者成一线，作瞄准之用。

## 二、地质罗盘的使用方法

在使用前必须进行磁偏角的校正。

因为地磁的南、北两极与地理上的南北两极位置不完全相符，即磁子午线与地理子午线不相重合，地球上任一点的磁北方向与该点的正北方向不一致，这两方向间的夹角叫磁偏角。

地球上某点磁针北端偏于正北方向的东边叫做东偏，偏于西边称西偏。东偏为 (+) 西偏为 (-)。

地球上各地的磁偏角都按期计算，公布以备查用。若某点的磁偏角已知，则一测线的磁方位角  $A_{\text{磁}}$  和正北方位角  $A$  的关系为  $A$  等于  $A_{\text{磁}}$  加减磁偏角。应用这一原理可进行磁偏角的校正，校正时可旋动罗盘的刻度螺旋，使水平刻度盘向左或向右转动，（磁偏角东偏则向右，西偏则向左），使罗盘底盘南北刻度线与水平刻度盘 0--180 度连线间夹角等于磁偏角。经校正后测量时的读数就为真方位角。

## （二）目的物方位的测量

是测定目的物与测者间的相对位置关系，也就是测定目的物的方位角（方位角是指从子午线顺时针方向到该测线的夹角）。

测量时放松制动螺丝，使对物觇板指向测物，即使罗盘北端对着目的物，南端靠着自己，进行瞄准，使目的物，对物觇板小孔，盖玻璃上的细丝，对目觇板小孔等连在一直线上，同时使底盘水准器水泡居中，待磁针静止时指北针所指度数即为所测目的物之方位角。（若指针一时静止不了，可读磁针摆动时最小度数的二分之一处，测量其它要素读数时亦同样）。

若用测量的对物觇板对着测者（此时罗盘南端对着目的物）进行瞄准时，指北针读数表示测者位于测物的什么方向，此时指南针所示读数才是目的物位于测者什么方向，与前者比较这是因为两次用罗盘瞄准测物时罗盘之南、北两端正好颠倒，故影响测物与测者的相对位置。为了避免时而读指北针，时而读指南针，产生混淆，放应以对物觇板指着所求方向恒读指北针，此时所得读数即所求测物之方位角。

## （三）岩层产状要素的测量

岩层的空间位置决定于其产状要素，岩层产状要素包括岩层的走向、倾向和倾角。测量岩层产状是野外地质工作的最基本的工作方法之一，必须熟练掌握。

### 1. 岩层走向的测定

岩层走向是岩层面与水平面交线的方向也就是岩层任一高度上水平线的延伸方向。

测量时将罗盘长边与层面紧贴，然后转动罗盘，使底盘水准器的水泡居中，读出指针所指刻度即为岩层之走向。

因为走向是代表一条直线的方向，它可以两边延伸，指南针或指北针所读数正是该直线之两端延伸方向，如 NE30 度与 SW210 度均可代表该岩层之走向。

### 2. 岩层倾向的测定

岩层倾向——是指岩层向下最大倾斜方向线在水平面上的投影，恒与岩层走向垂直。

测量时，将罗盘北端或接物觇板指向倾斜方向，罗盘南端紧靠着层面并转动罗盘，使底盘水准器水泡居中，读指北针所指刻度即为岩层的倾向。

假若在岩层顶面上进行测量有困难，也可以在岩层底面上测量仍用对物觇板指向岩层倾斜方向，罗盘北端紧靠底面，读指北针即可，假若测量底面时读指北针受障碍时，则用罗盘南端紧靠岩层底面，读指南针亦可。

### 3. 岩层倾角的测定

岩层倾角是岩层面与假想水平面间的最大夹角，即真倾角，它是沿着岩层的真倾斜方向测量得到的，沿其它方向所测得的倾角是视倾角。视倾角恒小于真倾角，也就是说岩层面上的真倾斜线与水平面的夹角为真倾角，层面上视倾斜线与水平面之夹角为视倾角。野外分辨层面之真倾斜方向甚为重要它恒与走向垂直，此外可用小石子使之在层面上滚动或滴水使之在层面上流动，此滚动或流动之方向即为层面之真倾斜方向。

测量时将罗盘直立，并以长边靠着岩层的真倾斜线，沿着层面左右移动罗盘，并用中指搬动罗盘底部之活动扳手，使测斜水准器水泡居中，读出悬锥中尖所指最大读数，即为岩层之真倾角。

岩层产状的记录方式通常采用下面的方式：方位角记录方式。

如果测量出某一岩层走向为  $310^{\circ}$ ，倾向为  $220^{\circ}$ ，倾角  $35^{\circ}$ ，则记录为  $NW310^{\circ} / SW \angle 35^{\circ}$  或  $310^{\circ} / SW \angle 35^{\circ}$  或  $220^{\circ} \angle 35^{\circ}$ 。

野外测量岩层产状时需要在岩层露头测量，不能在转石(滚石)上测量，因此要区分露头和滚石。区别露头和滚石，主要是多观察和追索并要善于判断。

测量岩层面的产状时，如果岩层凹凸不平，可把记录本平放在岩层上当作层面以便进行测量。



## 地质年代名称的由来

今天一个上过初中的人都可能知道地球有 46 亿年的历史了，而且许多人还可能了解地层形成的基本过程和原理。另外近些年来人们对“寒武纪”、“侏罗纪”、“新生代”、“第四纪”这样的词也比较熟悉了，但是这些名词是如何来的恐怕很多人只是个较朦胧的印象吧？

大家知道按地层的年龄将地球的年龄划分成一些单位，这样可便于我们进行地球和生命演化的表述。人们习惯于以生物的情况来划分，这样就把整个 46 亿年划成两个大的单元，那些看不到或者很难见到生物的时代被称做隐生宙，而将可看到一定量生命以后的时代称做是显生宙。隐生宙的上限为地球的起源，其下限年代却不是一个绝对准确的数字，一般说来可推至 6 亿年前，也有推至 5.7 亿年前的。从 6 亿或 5.7 亿年以后到现在就被称做是显生宙。

宙下被划分为一些代。通常的分法大致有：太古代、元古代、古生代、中生代、新生代五个代。太古代一般指的是地球形成及化学进化这个时期，可以从 46 亿年前到 38 亿年前或 34 亿年前，这个数字之所以有数以亿计的年数之差是因为我们目前所能掌握的最古老的生命或生命痕迹还有许多的不确定因素。元古代紧接在太古代之后，其下限一般定在前寒武纪生命大爆发之前，这个时期目前在 5.7 亿到 6 亿年前。太古代和元古代这两个名称是 1863 由美国人洛冈命名的，他命名的意思是指生物界太古老和生物界次古老。自寒武纪后到 2.3 亿年前这段时间为古生代，这个名称由英国人赛德维克制定，他依照洛

冈取了生物界古老的意思，此事发生在 1838 年。从 2.3 亿年前到 0.65 亿年前为中生代，从 0.65 亿年后到现在为新生代。这两个代均由英国人费利普斯于 1841 年命名，取意分别为生物界中等古老和生物界接近现代。

代以下的划分单元为纪。让我们从最古老的一个纪开始吧。最古老的纪叫震旦纪，由美籍人葛利普于 1922 年在中国命名，葛氏当时活动在浙、皖一带，他按照古代印度人称呼中国为日出之地而取了这个名字。起于 18 或 19 亿年前，止于 5.7 亿年前。这个时期的生命主要是细菌和蓝藻，后期开始出现真核藻类和无脊椎动物。

1936 年赛德维克在英国西部的威尔士一带进行研究，在罗马人统治的时代，北威尔士山曾称寒武山，因此赛德维克便将这个时期称为寒武纪。33 年以后，另一位英国地质学家拉普华兹在同一地区发现一个地层，这个与较早发现的志留纪与寒武纪相比有着诸多不同的地方，它介入上述两个层之间，显然是属于一个不同的有代表性的时期，因此他根据一个古代在此居住过的民族名将这个时期称为奥陶纪。志留纪的名称的产生比寒武纪和奥陶纪都要早，大约是在 1835 年，莫企孙也是在英国西部一带进行研究，名称的意思来源于另一个威尔士古代当地民族的名称。莫氏和赛德维克于 1839 年在德文郡(Devonshire)将一套海成岩石层按地名进行了命名，中文翻译为“泥盆”。石炭这个名称的出现可能是最早的，1822 年康尼比尔和费利普斯在研究英国地质时，发现了一套稳定的含煤炭地层，这是在一个非常壮观的造煤时期形成的，因此因煤炭而得名。二叠纪这个名称是我国科学家按形

象而翻译的，最初命名时是在 1841 年，由莫企孙根据当地所处彼尔姆州（俄乌拉尔山乌法高原）将其命名为彼尔姆纪。后来在德国发现这个时期的地层明显为上白云质灰岩下是红色岩层，这也是我国后来翻译成二叠纪的根据。以上为古生代的六个纪。

中生代三个纪。第一个是三叠纪，由阿尔别尔特命名于德国西南部，这里有三套截然不同的地层，因此得名，此事在 1834 年。在德国和瑞士的与瑞士交界处有一座侏罗山，1829 年前后布朗维尔在这里研究发现该处有非常明显的地层特征，因此以山命名，如果 1820 年英国人史密斯首先命名的话，现在肯定不会是侏罗纪这个名称，因为他当时在英国南部研究的菊石正好就是这个时期的。两年后的 1822 年，德哈罗乌发现英吉利海峡两岸悬崖上露出含有大量钙质的白色沉积物，这恰恰是当时用来制作粉笔的白垩土，于是便以此命名为白垩纪。需要指出的是，世界上大多地区该时期的地层并不都是白色的，如在我国就是多为紫红色的红层。

莱尔曾经将古生代称第一纪，中生代第二纪，新生代第三纪，1829 年德努阿耶在研究法国某些地区的地质时按魏尔纳的分层方案从第三纪中又划分出来了第四纪，这样，新生代便由这两个纪所组成。从前的第一纪则由纪升代含六个纪，同样第二纪也升代含三个纪。

纪下面还有分级单位，如“世”，一般是将某个纪分成几个等份，如新生代依次分为古新世、始新世、渐新世、中新世、上新世、更新世、全新世等。

## 地质年代表

### 显生宙

#### 新生代

第四纪（人类时代、现代动物、现代植物）

全新世 0--1 万年

更新世 1 万--至 200 万年（注，一说为 160 万年）

第三纪（被子植物和兽类时代）

中新世 200 万--2200 万年

渐新世 2200 万--3800 万年

始新世 3800 万--5500 万年

古新世 5500 万--至 6500 万年

#### 中生代（裸子植物与爬行动物时代）

白垩纪 6500 万--1.37 亿年（注，一说为 1.35 亿）

侏罗纪 1.37 亿--1.95 亿年（注，一说为 2.05 亿）

三叠纪 1.95 亿--2.30 亿年（注，一说为 2.45 亿）

#### 古生代

二叠纪 2.30 亿--2.85 亿年（注，一说为 2.95 亿）

石炭纪 2.85 亿--3.50 亿年（C-P 蕨类和两栖类时代）

泥盆纪 3.50 亿--4.05 亿年（或 3.6 亿--4.1 亿）

志留纪 4.05 亿--4.40 亿年（S-D 裸蕨植物与鱼类时代）

奥陶纪 4.40 亿--5.00 亿年（或 4.35 亿--5 亿）

寒武纪 5.00 亿--6.00 亿年 (E-0 真核藻类与无脊椎动物时代)  
(5 亿--5.7 亿)

隐生宙 (细菌藻类时代)

元古代

震旦纪 6 亿--8 亿年

晚元古代早期 8 亿--10 亿年

中元古代 10 亿--16 亿年

早元古代 16 亿--25 亿年

太古代 25 亿--38 亿年

冥古宙

地球形成及化学进化期 (38 亿--46 亿年)

太阳系行星系统形成期 (46 亿-->50 亿年)