

1:4000000

中国内生金属成矿图 说明书

GUIDE TO THE METALLOGENIC MAP OF
ENDOGENIC ORE DEPOSITS OF CHINA

地图出版社出版

Published by the Cartographic Publishing House

1 : 4 000 000

中国内生金属成矿图 说明书

中国地质科学院地质研究所编制

主编和说明书执笔人 郭文魁

副主编 刘梦庚

编图 王永勤 刘兰笙 续 固

张江滢 胡俊荣

制图 王友松 范本贤

地图出版社出版

1987

目 录

一、前 言	1
二、编图的基本原则与内容	1
(一) 编图的基本原则	1
(二) 地理底图内容	2
(三) 构造地质底图内容	2
(四) 矿产内容	3
三、内生金属矿床的分类	3
(一) 岩浆矿床	4
(二) 接触交代矿床	5
(三) 斑岩矿床	6
(四) 热液矿床 (包括层控热液型矿床)	8
(五) 火山型矿床	13
四、内生金属成矿的主要地质条件	17
(一) 沉积容矿围岩	17
(二) 岩浆活动	18
(三) 地质构造	33
(四) 某些金属元素在成矿过程中的性能	36
五、成矿域、成矿省、成矿区 (带) 的划分	39
(一) 古亚洲成矿域	40
(二) 滨太平洋成矿域	41
(三) 特提斯—喜马拉雅成矿域	42
六、金属成矿的规律性	43
(一) 空间分布的变化特征	43
(二) 成矿时代的基本特征	46
(三) 金属成矿与岩浆岩的关系	53
(四) 金属成矿与容矿围岩的关系	57
主要参考文献	62

一、前 言

中华人民共和国建国三十多年来在普查寻找金属矿床方面,取得了丰硕的成果。使不少金属矿产,尤其是有色金属矿产,居于世界的前列。发现、勘探与开发这些矿床的经验,主要是利用古矿掘迹,矿化蚀变的地表显示,物探化探的异常,以及经验地质模式。这一趋势仍在继续发展中。虽然在近十年中这种传统的地质技术与理论的找矿效果,可能仍将占重要的比例,但毕竟所发现矿床的数目与日下降。

近年来,地质普查勘探工作在数量上的增加和质量上的提高,加之基础地质科学研究资料可用性的提高,都成功地促进了金属矿床的发现。但是要满足社会主义经济建设今后对金属矿产日益增长的需要,必须对金属矿床以及其所处的地质环境进行多学科性的综合研究,系统总结金属成矿在地质发展中的规律性,才庶几乎能在圈定靶区、选择目标上发挥应有的作用。这就是编制《中国内生金属成矿图》的目的。

中国地质科学院1:4,000,000《中华人民共和国地质图》和1:4,000,000《中国大地构造图》的出版,为编制这一成矿图提供了有利条件。而且又为编图搜集了新的区域地质调查研究和大量有关金属矿床资料。有关编图人员还亲临重点矿床进行考查研究,提高了对金属成矿的认识。这些工作,都为编制《中国内生金属成矿图》提供了应有的基础。

编制1:4,000,000《中国内生金属成矿图》是地质矿产部于1982年下达的任务。郭文魁任主编,刘梦庚任副主编。成矿底图修编分工:王永勤—秦岭、祁连、昆仑褶皱带;刘兰笙—华北地台、内蒙古—兴安褶皱区;续固—华南褶皱区、天山褶皱带、阿尔泰褶皱带;张江滢—松潘—甘孜褶皱区、扬子地台;胡俊荣—青藏高原地区(包括三江褶皱带)。矿产部分分工:刘梦庚—钨;王永勤—铅、锌;刘兰笙—铜、钼;续固—金、锡;张江滢—锑、汞;胡俊荣—铁、铬、镍。制图:王友松、范本贤。图的文字说明由郭文魁负责执笔。

本图是我国第一次公开出版的全国范围的成矿规律图,从任务的确定以至编图安排和组织出版等工作,始终得到地质矿产部、中国地质科学院、地质研究所有关部门和领导的关心与支持;在编制过程中,原地质矿产部规划院和本所构造研究室提供了最新资料及宝贵意见;审查过程中,得到了地矿部地矿司、科技司、资料局、中国地质科学院矿床地质研究所、地质研究所、南京地质矿产研究所、武汉地质学院、中国地质图制印厂、地图出版社等单位有关专家的细心审查,并提供了宝贵的修改意见;说明书承尚若筠同志译成英文。作者对他们表示深切的谢意。

二、编图的基本原则与内容

(一) 编图的基本原则

- 1.地质历史分析原则:象其他地质体一样,矿床是地质发展演化一定阶段的产物,

既与同时伴生的地质作用有密切关系，又与其所经历的地质历史有关。因此在编图中应用了地质历史分析原则。从我国各地区的实际资料出发，为尽量反映地质客观发展的阶段性，划分为相应的构造层。在成矿内在因素与外在条件的分析中，也充分注意了历史的分析原则。

2. 内生金属矿床往往受地壳表面以下的内生作用的影响，同时也反映中国构造岩浆演化与有关成矿的特征。

3. 重视物质来源：成矿物质来源还是一个认识分歧的问题。为了加强物质来源条件的分析，在编图中曾尽可能对岩浆旋回、岩浆类型和岩性成分详细划分，并进一步划分了沉积岩相和火山岩相。

(二) 地理底图内容

本图的地理底图，为了和中国地质科学院已经出版的同比例尺的《中华人民共和国地质图》和《中国大地构造图》相一致，仍采用了地图出版社出版的1:4,000,000《中华人民共和国地图》；但由于该图内容繁多，图面负载量过重，因此根据成矿图内容的需要，对原图中各有关要素进行了相应的取舍。

本图上的中国国界线按照地图出版社1980年出版的1:4,000,000《中华人民共和国地图》绘制。对省、自治区、直辖市的行政区界线，均未表示；仅表示了首都及省、自治区、直辖市一级人民政府驻地。对其以下的各级居民地进行了不同程度的取舍。对水系，图上表示了一、二、三级河流，主要运河、水渠、湖泊、水库及其注记等（四级河流及西部地区小河流、湖泊也适当地选取了一些），并注记了海、海峡、港湾的名称。其它还表示了主要的山峰、山隘、珊瑚礁。

本图采用等积圆锥投影。

(三) 构造地质底图内容

本图的地质构造底图基本采用了中国地质科学院地质研究所构造地质研究室在黄汲清先生指导下1979年编制的《中国大地构造图》。但在内容上根据其出版后所取得的新资料进行了不同程度的修编，中国西部及青藏地区改动较多。又根据同位素年龄的新资料，对各地区有关岩体的时代作了不少变动。同时为了能较清晰地反映成矿的时空演化和分布规律，原图中的部分地质内容如岩浆岩、盖层等的表示方法，也作了相应的改变。

1. 构造层及盖层：本图内不同构造层以不同颜色表示。除褶皱基底外，考虑到各个时代不同沉积在含矿上的作用不同，将盖层沉积尽可能划分为海相、陆相和海陆交替相，用不同于构造层底色的颜色表示。

2. 岩浆岩：岩浆岩、岩浆演化和各岩石类型与内生成矿有着密切的关系。它们常是岩浆型、火山岩喷发型或斑岩型等矿床的直接控矿因素。就其他类型矿床而言，岩浆形成环境、岩浆演化的差异和岩性之不同，也常伴生含矿性不同的矿床。因此，本图的构造底图对岩浆岩进行了较为详细的划分。按其形成环境分为深成岩、浅成岩及火山岩三种类型。又进一步按岩性划分为酸性、中性、碱性及基性、超基性等岩类。同时按构造旋回划分了时代，特别是燕山构造运动中的酸性岩浆活动，划分较细。为便于成矿分

析，用不同颜色表示不同岩类，标以时代、岩性注记。关于火山喷出岩类，在地槽、地台区者，则用构造层褶皱期的颜色表示，岩性则用不同花纹表示；在大陆边缘火山活动带者，其时代用盖层颜色表示，岩性以不同花纹表示，绿色花纹为中生代火山岩，金黄色花纹为新生代火山岩。

3. 断裂构造及其它：本图表示了超岩石圈断裂、壳断裂及区域性断裂，分别以粗细不等的线段表示，并用相似构造层的颜色表示断裂形成及其主要活动时代。

在地质构造底图方面除以上内容外，仍沿用了莫氏面等深线（公里）资料，以反映中国陆块深部构造。

（四）矿产内容

本图所标出的矿产都是具有经济意义的矿床。在一些矿床密集的地区，为了减轻图面的载负量，使图面更为清晰而匀称，仅标出一些有代表性的矿床。

图中表示的矿产有铬、铁、镍、钨、锡、钼、铜、铅、锌、铋、汞、金等十二种金属矿床。经常以伴生形式出现于相应内生金属矿床中的钒、钛、铀、银等矿种则在成矿带（区）中加以表示。这些矿产虽然没有包括中国已知的全部内生金属矿种，但从区域成矿角度看，已足以反映中国内生金属成矿的基本特征。

图内共标绘了 624 个矿产符号，其中铬矿床 14 个，铁矿床 108 个，镍矿床 19 个，钨矿床 106 个，锡矿床 56 个，钼矿床 30 个，铜矿床 130 个，铅锌矿床 144 个，铋矿床 23 个，汞矿床 35 个，金矿床 44 个。在铁矿床中没有包括明显属于沉积变质的矿床。共生矿床分别按不同矿种加以统计。

图中标绘的矿产符号，采用组合符号，以表示矿种、矿床类型、矿体形态和成矿时代。组合符号是用颜色与符号图形相结合的方法将上述矿产四个要素体现在一个符号内。符号的不同外部形态代表矿床的不同成因类型；符号外环中的不同颜色代表不同的矿种，如铬、铁、铜等，而多元素的复合矿床，则以其中主要矿种的颜色表示之。符号内部不同形态的花纹代表不同的主要矿体形态，如脉状、似层状及不规则状等。符号内部花纹的不同颜色代表不同的成矿时代。

三、内生金属矿床的分类

矿床的分类是当前矿床学中一个分歧而复杂的问题。由于对矿床的形成条件、成矿机制、控矿因素以及成矿物质来源等存在着不同的认识，各家分类的原则与基础不同，分类方法不一，形成详略不同的各式各样的矿床分类。同一矿种往往就有数种不同的分类见解。至于那些复合矿床，分类的意见就更为不一，尤其是那些传统上所称的中低温热液矿床，究竟是同生或后生，内生或外生，还存在不同的认识。

现知的金属矿床大致隶属于以下的四个范畴。那就是：内生成因；外生或表生成因；火山喷发或喷发—沉积成因；陨落成因。

本图标绘的金属矿床包括内生成因的和内生外成的喷发—沉积成因的两大范畴的产物。

我国的许多内生热液金属矿床,就目前资料而言,许多矿床是在一个矿床内高温式、中温式兼而有之,有的高、中、低温式具备。不少矿床呈现中温和低温式。甚至在一个矿体中,高、中、低温的矿物共同出现。很难以仅从温度压力之高低而判别一个矿床的具体型式。因此在编制中国内生金属成矿图时,几经讨论。为了减轻图面负载,首先肯定矿床分类宜简的原则。于是参考国内外的已有分类方案,在不忽视成矿温度压力等物理化学因素的基础上,结合我国金属成矿的地质条件与容矿围岩性质,试将中国内生金属矿床分为岩浆型、接触交代型、斑岩型、热液型、层控热液型、陆相火山型和海相火山型等七大类型。当然这一分类方案还在许多方面存在着有待推敲的问题。不过其最大的优点是利于区域成矿分析,也是这一试行方案被采用的主要原因。今将此试行分类的有关类型矿床的成矿作用性质与标型矿床分别叙述如下:

(一) 岩浆矿床

此类矿床按其成矿作用性质又可分为三个亚类如下:

1. 在岩浆分异阶段,由于结晶分离以及有关作用所形成的矿床,一般产在相对稳定的地台或地轴区内较大的层状超铁镁质、铁镁质或二者兼备的席状杂岩体中,与相应性质的火山岩无关,从岩体底部到顶部常重复出现不同岩性旋回,主要岩石有纯橄榄岩、橄榄岩、辉石岩、橄长岩、苏长岩、辉长岩、斜长岩不等。往往在铁镁质岩石结束时,辉长质岩石从斜长石之堆积开始。辉长质岩带中常见到由斜长石、直辉石、斜辉石、橄榄石或磁铁矿所组成岩石的重复层序。我国典型的例子有铁镁质岩体中的攀枝花钒钛磁铁矿和超铁镁质岩体中的赫根铬铁矿。

2. 液体不混溶所形成的分离作用,当岩浆变成硫饱和或氧分压高时,就会形成不混溶的硫化物液体或金属氧化物液体从硅酸盐熔体中分离出来,这些硫化物或氧化物呈雨滴状的水点相互联合而分别下降或上升到火成岩体的底部或外部。据实验,当岩浆中的镍含量富集到10,000ppm,即约为地幔物质含镍值之四倍时,即可形成镍矿床。因此岩浆熔离型的镍矿或铁矿均产于超铁镁质或铁镁质岩石中。

岩浆中硫的饱和象是发生在岩浆结晶过程的早期,而高氧分压的出现,就宁芜中段所见事实,可能比硫的饱和要晚。只有在金属由于结晶作用而禁锢在有关硅酸盐矿物之前,才能在熔体中聚合,形成不混溶硫化物液体而分离出来。表明这种不混溶的标志在硅酸矿物中有不混溶水滴之存在,或在早期堆积矿物粒间浇铸了硫化物石基;橄榄石中的镍含量低于镁橄榄石的正常镍含量,这些低镍值可说明在橄榄石结晶前,镍已分离到硫化物相中。

我国这类岩浆熔离矿床,有以下几种:

(1) 相对稳定地块中的模糊层状侵入体中之铜镍硫化物矿床,如力马河矿床,产于模糊层状铁镁质与超铁镁质岩体中,矿体有两种,一种为浸染状硫化矿体,产在岩体的底部,一种为岩体边部之块状硫化物矿体,穿切岩体及围岩。矿石矿物主要为磁黄铁矿、镍黄铜矿、黄铜矿、砷镍矿及紫硫镍矿。另外赤柏松硫化铜镍矿床,产在地块边缘断裂带的元古代模糊层状岩体中,岩体自上到底部可大致分出辉绿辉长岩、橄榄苏长辉长岩、斜长二辉橄榄岩、细粒苏长辉长岩及辉长玢岩等几个不同岩相层带。硫化物矿体产在岩体下部斜长二辉橄榄岩以下的岩相层带中。硫化物产状在不同岩相层带中呈现

不同特征。在斜长二辉橄榄岩相带的下部呈似层状矿体，硫化物具浸染状及斑点（水滴）状结构；在细粒苏长辉长岩相带中呈云雾状及细脉浸染状；而在底部的辉长玢岩中硫化物矿体则呈致密块状及角砾脉状，且部分贯入围岩。矿石矿物主要为磁黄铁矿、镍黄铁矿及黄铁矿，其次有方黄铜矿，还有少量自然金微粒和微量铂钨矿物。磁黄铁矿与橄榄石呈似共结结构，测定硫化物的形成温度为 300—600℃。赤柏松矿床与加拿大萨德柏里矿床诸多相似之处，因此不排除其为陨落成因之可能。

此外，在地台边缘断裂带，此种镍矿床还有多处，其成因大体相似。鲸鱼和乌珠儿铬铁矿亦属于岩浆溶离类型。

(2) 产在褶皱带断裂隆起区的铁镁质、超铁镁质岩体中的硫化铜镍矿床，主要矿床是金川白家咀铜镍矿床。岩体遭受强烈形变与变质作用，大部变为蛇纹岩。其原岩可能有苏长岩、长石橄榄岩、橄榄岩及辉石岩等。层状分异不显著，矿体存在于侵入体近底部接触带的部位，以浸染矿石为主，矿石矿物以磁黄铁矿、镍黄铜矿、黄铜矿、黄铁矿为主，有痕量磁铁矿及铂钨等矿物。

(3) 产在地块边缘铁镁质岩体中的液态不混溶铁矿床，以大庙式贯入钒钛磁铁矿床为例。另外宁芜地区部分含钒块状磁铁矿显然也是岩浆溶离之产物。

3. 产在相对稳定地块内，以铁镁质岩石为主的岩浆晚期磷灰石磁铁矿矿床，以河北矾山矿床为例，矿床呈浸染状产在深成辉绿辉长岩侵入体内，粗粒状磷灰石与磁铁矿散布在岩体之内。

(二) 接触交代矿床

此类型矿床的主要特征是产在火成侵入体与活性围岩的接触带及其邻近地区，而活性围岩几乎全是沉积的碳酸盐岩石，个别夹有硬石膏层。有的也叫做矽卡岩型或接触岩型矿床。

我国金属矿床属于此类型的矿种有铁、铜、钼、钨、锡、铅锌及金等。其中以铁、铜、钼、钨、锡等矿床的经济意义较大。

接触交代矿床一般处于中深到深成环境，个别生成于较浅的环境（如凤凰山铁矿），因此常见于大岩基周围卫星侵入体的接触带及侵入体的顶垂体。侵入体的岩性主要为石英闪长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩及铝过饱和和高硅的花岗岩等。

此类矿床的容矿围岩总是典型冒地槽或大陆架相的碳酸盐岩石，部分夹有硬石膏层。不论是纯方解石组成的石灰岩或含有白云石的白云质灰岩或纯白云岩，都是有利成矿的围岩。但是有不纯（泥质）灰岩或硅质碎屑岩的间互层存在的地层层序，要比厚层的纯碳酸盐岩层更加有利于成矿作用。其原因有物理上的与化学上的两方面的作用。物理方面，在岩性不同的层序遭受褶皱或断裂活动时，往往会发生渗透度较高的破碎带，而厚层的纯碳酸盐岩或纯泥质的页岩常发生塑性形变，形成渗透度低的层带。高渗透度为作用于碳酸盐层的交代流体提供了有利通道。在化学方面，在流体通过硅质碎屑岩到达碳酸盐质岩石，或者通过碳酸盐质岩石到达泥质岩石时，流体溶液中原来的平衡状态，往往会遭受破坏，而导致流体的溶质沉淀。再者不纯碳酸盐和硅质碎屑岩层还可就近为接触岩带的硅酸盐矿物提供硅氧、铝氧和其他物质的来源。有人将以上两方面对成矿作用所起的效应称做地球物理屏障与地球化学屏障。这种成矿屏障作用，在中国接触交

代矿床中屡见不鲜，是很值得注意的事实。

在侵入体接触带受热变质作用，发生交代重结晶作用，不同性质的原来围岩便随之变为角岩、大理岩或具角岩结构的接触岩。接触岩主要由无水矿物钙铁辉石、透辉石、石榴石及少量硅灰石组成，在富镁围岩中，有时有镁橄榄石之形成。接触岩从侵入体向外常显示分带的现象，反映了温度与交代效应逐渐变弱。与接触岩带伴生的热液蚀变效应在接近接触岩的碳酸盐岩中最为明显。侵入体的蚀变，即内蚀变带常局限在接触带的狭窄地带，而铁矿之内蚀变带（钠长石化）比较广泛。接触岩及其邻近碳酸盐岩的蚀变作用包括退色、重结晶以及一些含水硅酸盐矿物之发育，如方柱石、符山石、绿帘石、阳起石、透闪石、蛇纹石、水镁石等。由于压力、温度和流体成分的迅速变化，蚀变交代作用可能十分复杂而变化多端，很少能达到平衡，常有十数个阶段的等化学和他化学变质作用发生在这些地带。普通常见的一些交代现象说明不是一个阶段的产物，例如早期贫铁淡色钙铝榴石为晚期富铁暗棕色钙铁榴石所交代，钙铁榴石为磁铁矿交代，早期的钙质硅酸盐矿物为硫化物交代，早期高温辉石为低温的阳起石或绿帘石交代，金属氧化物如磁铁矿锡石等为硫化物交代等等。

构造是接触交代矿床的重要控制因素。容矿围岩的构造，层面倾斜与侵入接触的关系，侵入体的节理与破碎状况以及侵入接触的格局都是重要的控矿因素。围岩的褶皱与断层及侵入体的节理与裂隙为交代流体运移提供可透过的通道。侵入体穿切有利容矿岩石背斜构造的一翼或者围岩褶皱向侵入接触急剧倾伏，这些构造型式都最有利于成矿作用。岩层倾向侵入接触一般比平行接触带或自接触带向外倾斜的构造更为有利。有时岩层平行接触带如个旧松树脚也能形成矿床。侵入接触的格局也在多方面影响矿床之定位。接触面的凹入部位或者有利容矿围岩伸入侵入体的部位，如顶垂体可增加交代流体对围岩的作用，常形成富矿。侵入体超覆在围岩之上的接触面，在我国接触交代矿床中常可见到。这种接触常会堵截上升流体而淤积，促进其与围岩之作用。缓倾斜的接触面比陡倾斜的有利成矿，已成规律，因为前者一方面能增加热的效应，另一方面也阻碍沿侵入接触上升交体流体的运移。

接触交代矿床的形态多种多样，不过一般为不规则状或囊状。但由于受围岩层理之控制，也常呈层状。岩体与围岩的接触一般界线分明，而矿体与容矿岩石之间则为渐变过渡性。

此类矿种不同的矿床的地球化学性质大体相似，不过在亲硫与亲石元素方面可有较大差别。我国接触交代矿床的例子很多，如大冶铁矿、铜官山铜矿、杨家杖子钼矿、柿竹园钨矿、个旧锡矿等。

（三）斑岩矿床

斑岩矿床一辞最初是从斑岩铜矿用起的，一般指与侵入斑岩有关的大型低品位铜矿床而言，但矿体不一定局限在斑岩之内，而且还产在轻变质的硅铝质或钙质碎屑岩、碳酸盐岩、火山岩及早期的侵入岩等不同围岩内，有些矿床围岩中的矿体远远大于斑岩内的矿体。以后将斑岩铜矿这一成矿概念逐渐引用到钼矿、锡矿等。我国除斑岩铜矿外，还有不少钼、锡、钨、金、铅锌等矿种，都具有类似的成矿地质背景，故将斑岩矿床做为一个类型提出。

必须指出斑岩矿床一方面与接触交代型有联系，另一方面又与热液脉状型矿床有关。斑岩矿床的矿石均呈浸染状、细网脉状和细脉状，矿体与容矿岩石没有明显界线。

斑岩矿床在地台、陆缘及伏地槽褶皱带内均有产出，但都位于断裂活动强烈地区，并伴随有多期次的岩浆侵入或喷出，而斑岩矿床往往是岩浆活动的末期的产物。

在时空上和成因上与斑岩矿化作用有关的侵入体，多呈岩株、岩颈、岩床、岩枝（岩铸体）或岩脉产出，常见侵入角砾或隐爆角砾。在岩株上与铜钼矿伴生的，以石英二长岩、花岗闪长岩和英云闪长岩最为普通；部分为二长岩或正长岩（铅、金）。还有富钾的花岗岩（锡、钨、钼）。而与矿石有关的岩石常为斑岩相，一般具有显微隐晶的石英—长石基质，呈细粒细晶岩结构。侵入体常有多相侵入的特征。

有利的容矿围岩以岩性坚固而易于破碎者为好，种类繁多，大致有均粒的中性侵入岩（多宝山），包括辉绿岩的铁镁质岩石、中性铁镁质火山岩（钟腾，铜矿峪）、轻变质的板岩、千枚岩、钙质粉砂岩（铜厂）以及碳酸盐岩。

斑岩矿床及其外围广大范围内常显示各种不同的蚀变岩石。蚀变现象不仅沿裂隙之两侧发育，而且弥散在岩石内部。富石英的或富黄铁矿或赤铁矿的密集细脉是斑岩矿床的良好标志。

斑岩铜钼矿床的蚀变作用，研究较细，与国外已知者大致相同。从矿化岩体的中心向外大致呈现过渡的带状分布，依次为黑云—钾长石蚀变的钾化带、黄铁绢英岩蚀变的叶理化带、泥化带以及青盘岩蚀变带。后者究系矿化蚀变产物抑为区域性变质形成，目前尚有争论。泥化带可能有次生淋滤的产物，而富铝矿物，如叶腊石、红柱石、地开石，可能是原生前进泥化之结果。矿体主要产在黄铁绢英岩化地带。

斑岩锡钨矿床常呈现多期次的叠加蚀变现象，就与锡钨矿化有关的蚀变而言，锡石—硫化物绿泥石英细脉成为地表的标志，在花岗斑岩体内自下而上也大致显示了钾长石化、绢云母石英化和泥化三个带。在绢云母石英化带中，由于黄玉、萤石或电气石等含氟、硼挥发分矿物之出现，常致云母晶体增大，类似云英岩。斑岩锡钨矿体主要产在绢云母石英化的地带。

上述蚀变分带常是矿床早期发展阶段形成的。当温度下降，地下水到达此成矿系统时，泥化蚀变开始，并沿着裂隙向内向下运动。这样，这一系统中的某些露头或地段，就显示了蚀变之叠加与多期性，如带有绢云母外壳的黄铁矿裂隙可切穿具钾化组合的斑岩，在有些矿床中钾化组合的黑云母也蚀变为绿泥石。

有的矿的浸染矿石与后期的蚀变作用无关，因为后期的溶液没有溶解并重新将该元素沉积。在其他矿床（如斑岩铁矿），晚期的溶液象是曾将浸染矿石中的甚至暗色矿物所包裹的或晶格中的金属元素溶化而重新沉积在富矿脉中。

斑岩矿床的脉石一般均有液包体。液包体中除含液体、气体外，还含有子晶，如食盐、钾盐，赤铁矿或硬石膏等。液包体成分（玉龙、铜厂），经过详细研究，不仅可以分辨成矿与非成矿的斑岩，而且可以推断矿体的部位。富含子晶的包体常见于矿床核心的无矿带。然而不排除由于断层，在无矿带附近还能找到新矿体之可能。

上述各种蚀变型式并不是任一部位都能见到，因为蚀变型式在一定程度上象是与斑岩系统的深度有关，从地表向下有从泥化经绢英岩化到钾长石或钠长石化的变化。因此，在特定剥蚀的水平上可能只有一种蚀变型式出露。

斑岩矿床的矿物组合与元素组合，由于矿种之不同而有所差异。铜钼矿床是斑岩矿床中的中间类型，它们一方面与铁矿有联系，另一方面与钨锡矿有关。其共同矿石组合为黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿。在硫含量低的铜矿床中，黄铁矿常为磁铁矿所代替，且含金较多。在富黄铁矿的矿床中，辉钼矿往往多于黄铜矿。而在钼矿床中，黄铜矿含量常减至少量至极微量，且其上部常有白钨矿及锡石产出。铜钼矿床之外围常有闪锌矿、方铅矿组合和毒砂金银矿物组合之出现。因此斑岩铜钼矿床是铜、钼、铅、锌、金、银等多金属组合的矿床。矿体的脉石矿物组合多为钾长石、绢云母和石英。石英在辉钼矿脉中为主要脉石，甚至多至脉石的90%，并常有萤石伴生。矿体外围增加绿泥石和泥类矿物。斑岩钨锡矿体之下常有钼矿体的存在。钨矿床矿石组合以白钨矿为主，有少量黑钨矿、磁铁矿及微量辉钼矿、黄铁矿、黄铜矿等。锡矿床矿石组合以锡石为主，黄铁矿、镜铁矿次之，还有少量黑钨矿、磁铁矿和黄铜矿、辉钼矿、辉铋矿、方铅矿和闪锌矿。外围常有金矿脉之出现。主要金属元素组合为锡、钨、铋、铜、钼。脉石以石英为主，其次为钾长石、斜长石、绢云母、白云母、绿泥石、萤石、黄玉、电气石及泥类矿物等。

中国斑岩矿的典型实例有铜厂和玉龙铜矿、金堆城钼矿、阳储岭、莲花山钨矿和银岩的锡矿。这些矿床的成矿热液大部与岩浆热液有关，成矿后期可能有天水之参加。铁铜矿床的金属大部分来自壳下层，如铜厂矿床之铜元素约80%来自地幔，而其余20%可能来自围岩。钼的来源可能既有地幔又有地壳的双模式成因。钨、锡则均认为来自陆壳，也有来自幔源的。

(四) 热液矿床（包括层控热液型矿床）

热液矿床的含意系指那些与热液有关的接触交代型、斑岩型和火山型等矿床以外的其他从热水流体溶液中沉积出的矿床而言。这种热水流体可能是岩浆的、大气的、变质的、卤水的或复合的等，成矿温度大约在50—550℃之间。根据其产出的地质条件与矿体形态又可大致分为热液矿床（狭意的）与层控—热液矿床两个类型。

1. 热液矿床（狭意的）：此类矿床的矿体往往呈脉、细脉、网脉和浸染等形态，其中以脉状和细脉状矿体最为常见。主要产于造山褶皱带的不同程度的变质岩，部分也产在其盖层中。特点是在矿区或其邻近的外围常有岩浆岩侵入或喷发地区。成矿温度视其所处位置深度变化于150—500℃之间。又可分为以下三个型式：

(1) 产于前寒武纪地块或褶皱断裂带以变质岩为容矿围岩的热液石英脉矿床，主要为含金石英脉，贱金属（如铜、铅、锌）硫化物也在部分区域形成脉状矿。

原来可能是优地槽的沉积—火山岩系，经过区域变质作用以及同时与后期的一系列岩浆岩岩基的侵入，分别成为麻粒岩相或绿片岩的地块或褶皱带。这些火山沉积变质岩在不同的类花岗岩或片麻岩地块中以隔板状或大顶垂体样式存在，并遭受区域挤压而强烈变形，发生剪切断裂，主要断裂带常伴随以蛇纹岩为标志的断续隆起带，并有深熔形成或后期侵位的岩浆岩包括花岗岩到闪长岩的一系列岩石。而这些岩体有时又为热液石英脉矿床所穿切。

华北地台南缘以及江南褶皱隆起带上的热液石英脉矿大都受变质带内的碎裂带所控制。这些碎裂带少数与岩体侵位以前区域性形变的片理一致，而大多数是不一致的。

有的碎裂显示是由于岩浆岩的侵位而形成的(如湘中)。这些变质带的脉体是多样的,普通常见的有褶皱的、断裂的和香肠状的脉体和透镜体。而有经济意义的含金石英脉或其他矿脉常产在主要剪切断裂带中或糜棱岩中。这种剪切带局部平行片理(如小秦岭西部),而更多的是斜切或直切片理(如胶辽地区)。

大多数矿脉中,早期的脉石英中间开裂或边部碎裂,角砾岩化,显示与早期区域塑性形变完全不同的脆性破裂。这些脉石英裂隙继而又为后期的石英所充填或重结晶而愈合。而含金的硫化物及与之伴生的绢云母或碳酸盐多在后期石英中产出(大湖)。

石英脉的脉石主要为石英(80%),少量碳酸盐、绢云母、绿泥石,偶尔有钠长石、碳质或电气石。常见的金属矿物有黄铁矿、毒砂,少量磁黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿及硫盐矿物、磁铁矿。有的有辉锑矿、白钨矿与金共生(湘西)。

近矿围岩蚀变作用大多以硅化、绢云母化、碳酸盐化、绿泥石化为主,有的出现钾长石化或钠长石化,高温蚀变组合中出现角闪石、黑云母和石榴石。这些围岩中常含有黄铁矿、磁黄铁矿、毒砂或磁铁矿。近含金石英脉 K_2O/Na_2O 和 Au/Ag 比值增高是一般特征。

已有液包体均一化温度区间为150—460℃,而金和硫化物的沉积多在200—350℃区间。液包体中常含 CO_2 , 并有食盐或碳酸盐子晶。

关于热液的来源尚有争论。现在对胶东招远、掖县一带含金石英脉在石英—碳酸盐阶段的氢氧稳定同位素测定结果,表明为岩浆水来源(姚凤良等,1983)。该区每个矿床的硫稳定同位素 δS^{34} 的变化范围窄,极差小,一般 <3 ,说明硫均一化程度高,象是深部来源。另一经过较详细工作的脉状与网脉状金银矿床,矿体的 δS^{34} 变化范围也较窄,而且从黄铁矿经闪锌矿到方铅矿 δS^{34} 值趋向更为集中(陈殿凯,1984)。铅同位素有的矿床 Pb^{206}/Pb^{204} 为17.502—17.191(姚凤良,1983),有的矿床 Pb^{206}/Pb^{204} 为16.540—16.747,都属于非异常铅。

稳定同位素及化学资料的解释,尚有不同认识。有的认为含金石英脉可能为变质成因。有的认为切穿区域叶理的矿脉或网脉,且具有围岩蚀变带以及正向的痕迹元素晕(如As、Hg、Sb)等。说明矿脉组分常是成矿溶液运移穿过可渗透之通道而沉淀出来。这种通道往往是区域变质作用以后的断层特别是剪切断层。这种与变质叶理不整合的热液矿床,绝大多数形成较晚,而且其形成温度也比容矿围岩变质作用顶点之温度低得很多。例如容矿围岩为变粒岩或麻粒岩,而近矿蚀变组合为石英—绢云母—碳酸盐。二者在矿物相上显然有较大的不连续。这是结晶地块中热液脉状矿床常见的现象。

因此,产于前寒武纪地块或褶皱断裂带中的热液脉状矿床的形成过程,可能包含一系列的地质事件。当岩层遭受深部变质或开始熔融时,矿石与脉石组分从原来岩石中析出,随着流体溶液沿断层带运移;在低温之上部,成矿作用开始,有关组分从热水中沉积下来。在细节上,每个含金石英脉或其他矿脉的发展常是复杂的,在形变的同时,可能发生再结晶作用、脉石组分的重新活化作用等。这样的热液矿脉,可能是在造山带长期形变和岩浆侵入周期的中间至期后阶段形成的。

(2) 产于显生宙褶皱断裂带,以浅变质泥砂岩为容矿围岩的热液石英脉矿床,主要为钨锡多金属矿脉和铅锌石英重晶石脉(桃林)。

以泥砂质为主的优地槽巨厚复理石沉积,经过褶皱回返与轻微区域变质,以及同时

的岩基侵入，形成由板岩、千枚岩、粉砂岩等组成的褶皱带。经过后期的断裂活动以及沿断裂上升的岩浆侵位，形成大致沿不同方向断裂交叉处分布的小岩基、岩株、岩钟或岩枝。主要岩石为花岗闪长岩、二长花岗岩、黑云母花岗岩及少量闪长岩。在这些小岩基外围的卫星小岩体之顶部，特别是其上的轻变质围岩内，常有热液石英脉矿床之出现。

矿区内的石英脉常具一定方向相互平行出现，构成矿脉带，倾斜较陡。有的矿脉主要产在花岗岩体之内；部分可延至接触带以外的围岩内，但在短距离内即行尖灭消失。岩体内单个矿脉的形态，呈中间厚而四周渐薄的饼状，两侧具有羽脉，显示其为剪切张裂之结果。岩体之上轻变质围岩中的矿脉带，在剖面上，常呈扇状，上部分散，向下收敛，而聚集于岩体顶部。矿脉形态自上而下也有明显变化，上部为线脉与细脉之枝叉，向下合并为薄脉，再下而成厚脉。具有经济意义的脉体主要出现于薄脉与厚脉地段。在平面上，脉带延展方向常比其宽度为大，但其长度也有一定限度。因此，脉带平面分布的外缘边界常呈一椭圆形，与其下隐伏岩体的向上突出部分大致可以对应。关于脉带之形成，象是在区域构造应力影响下，岩体侵位的垂直应力和热能起了重要的作用。

石英脉的主要脉石为石英，常生少量云母、方解石和白云石，另外随着矿脉上下部位不同，还有绿泥石、电气石、黄玉、萤石和钾长石等出现。主要矿石矿物有黑钨矿、锡石、白钨矿，并伴生少量黄铁矿、辉钼矿、方铅矿、闪锌矿、毒砂、黄铜矿、磁黄铁矿、辉铋矿等。有的矿脉以硫化物为主，含黄锡矿与少量锡石。

近矿围岩蚀变受围岩性质及其他地质条件（如深度）的制约。在花岗岩体之内的矿脉，自脉体向外可能依次出现钾长石化、云英岩化、红色碱性长石化等蚀变过渡带。在浅变质沉积碎屑岩中，有硅化、绢（白）云母化、电气石化、黄玉化、萤石化及绿泥石化。其中硅化和云母化是基本的、普遍的蚀变类型，也常有不明显的分带，由内向外，硅化由强变弱，而云母则从白云母逐渐变为绢云母，更外常有绿泥石之出现。

几个钨矿床液包体研究的结果（李兆麟等），均一法测定的成矿温度区间为190—360℃，溶液属中偏碱性，以钠碳酸盐质为主，黑钨矿中包体所含 CO_2 比脉石英中者高出数倍，认为钨的富集与 CO_2 有关。包体溶液中其他元素还有 Ca、Fe、F、Cl、Na、K、Mg 等。但在地表线脉中普遍见到的元素除成矿元素 W、Sn、Pb、As、S 外，还有挥发性元素 F、P、B 和稀土金属元素 Li、Rb（古菊云，1984）。而在同一矿脉之石英包体中，上部所含 CO_2 往往比下部为多。事实显示挥发物在此类热液矿床的成矿中起了重要的作用。

稳定同位素研究，在一个花岗岩体内钨矿床中测定氧同位素 δO^{18} 平均值为11.36‰，区间为8.23—13.01‰，认为溶液是岩浆来源（北京大学）。液包体的研究，亦认为成矿溶液来自花岗岩的粒间溶液（李兆麟等）。而硫同位素在几个矿床中 δS^{34} 的值域较窄，且多近于零，推断为深部来源。

石英脉中常有晶洞（西华山）甚至中间裂缝（漂塘），晶洞中所生长的水晶完整晶体中的包裹体零星分布，形状不规则，气相占20—15%。均一化测温结果，表明水晶根部（225℃）与顶部之温度（175℃）可以相差50℃，说明它是在温度逐渐下降的环境中生成的。这种温度下降的时间尚无具体数字资料。另外在香花岭西南鸡脚山水晶矿区北西向含钨石英脉边缘的早期铁锂云母的 K—Ar 年龄为133百万年，而脉内一个大水晶

体生长间歇过程中的铁锂云母的 K—Ar 年龄为 107 百万年, 石英脉中心晚期铁锂云母 K—Ar 年龄为 103 百万年。以上系同一实验室同一方法测定的结果, 其数值的相对意义是可以信服的。这一事实表明, 一个大水晶之生长至少持续三百万年, 而矿脉的脉动生长时间间隔可达二千六百万到二千九百万年。

此外, 还有产于大断裂带的方铅矿、闪锌矿、石英重晶石脉, 其硫同位素 δS^{34} 值也接近陨石型。

综上所述, 显生宙热液脉状矿床是在容矿围岩间歇性开张应力影响下形成的。开张活动之间的相对宁静期间是石英与有矿石矿物沉积生长的有利时机。这种地质条件常是隆起带或穹窿的外壳所具有应力特征。

(3) 产于褶皱带的盖层并伴随岩浆活动的断陷盆地中, 以碳酸盐岩为容矿围岩的热液充填与交代矿床, 主要为铅锌多金属矿。

不整合于褶皱带之上的沉积盖层, 受断层之影响, 保留在褶皱带的拗陷盆地中, 并为后期的岩浆活动所侵入, 此乃这类矿床的基本地质背景。盖层一般为砂岩、粉砂岩、泥质灰岩、白云质灰岩、石灰岩及白云岩组成。

矿体形态有两种。一种为脉状, 沿断裂产出, 斜切砂岩、泥质灰岩、白云岩及灰岩, 以在白云岩中的矿脉为多, 且厚度较大。另一种为透镜状或似层状, 多出现在泥灰岩与白云岩交界之张扭性层间破碎带, 其两端也与地层呈小角度的斜交关系。矿体与围岩的边界常是突变的, 界线弯曲而分明。

似层状矿体较大, 主要由含铅锌的铁、锰氧化物组成, 还普遍见到少量黄铁矿、磁铁矿、辉铋矿、白钨矿、锡石等。脉石除存在粘土、铁白云石、白云石与方解石外, 还残存有少量钙铝榴石、符山石、电气石、锆石、刚玉和金红石等。

脉状矿体有两种矿石组合。一种为铅锌矿石组合, 以闪锌矿为主, 次为方铅矿, 和少量锰菱铁矿、黄铁矿。方铅矿往往交代闪锌矿, 在其周围形成镶边构造。脉石主要为方解石、白云石。另一种为铅锌锰菱铁矿组合, 主要由锰菱铁矿、闪锌矿、方铅矿、菱铁矿构成。脉石除方解石、白云石外, 还有锰菱铁矿。

在此型式矿床的矿区内, 有的还可见到白钨矿体, 显示从钨锡而铁锰到铅锌的矿床分带现象。

围岩蚀变比较普遍, 主要为硅化、绿泥石化、黄铁矿化、菱铁矿化及白云石重结晶作用。

矿石中的主要有用元素的铁、锰、铅、锌, 伴生银、镉和少量钨、锡。

矿石的闪锌矿有褐黑色、褐色、棕红色及淡黄色四种。用棕红色闪锌矿液包体均一法测定温度为 160—180℃。褐黑色者达到 220℃。

铅同位素的 Pb^{206}/Pb^{207} 比值变化范围为 17.76—18.63, 属于正常铅。部分为前寒武纪末期的老铅。部分为中生代才由 U—Tb—Pb 系统蜕变出来的新铅。新铅形成时代与区域有关岩浆岩的 K—Ar 年龄大致相当。

此型式矿床成矿历史复杂, 可能为长期多阶段矿化的结果, 而热液对铅锌多金属的富集, 起了主导作用。值得指出的是主要矿体位于泥质薄层灰岩与白云岩之间, 无论在地球物理性质上或地球化学性质上, 都是对含矿热液的屏障地带。

2. 层控(层状)—热液矿床: 此类矿床的矿体多呈层状、似层状或透镜状, 赋存于

层间剥离的空间或层间破碎带，与地层产状基本一致，一般规模较大，也有少数矿体产于断裂、裂隙或节理中，多为不规则的囊状或脉状，规模较小。这两种形态的矿体，在同一矿床可同时出现。在构造上往往产于地台、地轴或主要隆起的边缘拗陷中。含矿围岩主要为碳酸盐岩、钙质碎屑岩、砂岩及其变质岩。成矿温度一般在100—250℃之间，但继承变质温度者可上升到250—500℃。又可分为二个型式。

(1) 产于前寒武纪角闪岩相变质带的铜铅锌矿床。

位于地台边缘褶皱带内，矿区内虽有数期的岩浆活动，经过初步研究，有的认为岩浆作用不是主要成矿因素(蒋心明，1983)。矿体主要受地层岩性的控制，如磁铁矿产于透闪石岩中，黄铜矿矿体产在条带状石英岩中，铅锌矿体主要产在似板状云母石英片岩和透辉石、透闪石岩中。据岩石化学成分，判别上述有关原岩系一套浅海相碎屑泥质粘土岩、碳酸盐岩所组成。而金属矿体即产在原来的碳酸盐岩与碎屑岩和泥质岩交接的部位，呈似层状与透镜状。

构造是另一重要控矿因素，在区域性等斜背斜之上，沿倾向所形成的次一级褶曲，是矿化最好的部位。

透辉石—透闪石岩呈层状、透镜状、块状、条带状构造，纤状变晶结构。主要矿物为透闪石，次为透辉石、方解石、石榴石、帘石类矿物等。金属矿物有磁铁矿、磁黄铁矿、铁闪锌矿、方铅矿，穿入早期透辉石中。晚期透辉石呈草绿色，结晶粗大。

条带状石英岩具条带状、块状构造。其条带主要由石英与透辉石—透闪石或石英与碳质物相间排列构成，全岩含石英平均70%，其他还有少量斜长石、绢云母和方解石。为主要含铜岩石。

矿石以条带状构造为主，其他还有细脉—网脉状，斑杂—团块状和浸染状等构造。

矿石中有用元素主要为铜、铅、锌。还有少量银、铟、镉、铁。金属矿物主要有黄铜矿、方铅矿、铁闪锌矿、磁黄铁矿、黄铁矿，次要有方黄铜矿、斑铜矿、毒砂、磁铁矿和其他金属氧化物。金属矿物生成顺序，从先而后依次为磁铁矿→黄铁矿→磁黄铁矿→黄铜矿→铁闪锌矿→方铅矿。

主要蚀变为硅化，其他有绢云母化或金云母化和绿泥石化。

金属矿物形成温度，变化区间较大，可从150—500℃。因此硫稳定同位素 δS^{34} 的值域宽而分散。除方解石脉中之黄铁矿为负值，其他均为正值(+4.0—21.4%)。

这一型式矿床从其蚀变围岩看，显然曾有后期热液的活动。究竟是沉积、成岩、区域变质逐步富集成矿，还是远源火山喷发沉积或岩浆期后热液矿床，还有待进一步工作。由于其主要受层位的控制，暂列入此型式。

(2) 产于相对稳定地台或地轴的显生宙拗陷。主要有以碳酸盐质岩石为容矿围岩的铅、锌、锑、汞等矿床。

此式矿床主要受构造、岩性及层位的控制。常位于地台或地轴的断裂拗陷盆地中。一般远离岩浆岩体，而区域褶皱和断裂，特别是不同方向构造之交叉处，最有利于成矿。矿体多位于穹窿或背斜的顶部以及背斜倾伏端部，而为小断层切割的穹窿顶部，更为常见。总之是易于形成层间剥离的部位。而破碎带与节理也常有少量矿体产出。

在岩性方面，通常是含有砂质或泥质夹层的碳酸盐岩层序为容矿岩石，其中尤以碳质和泥质灰岩和白云岩较为有利。矿体以层状、似层状或透镜状为主，常与岩层一致。