

红透山铜矿矿石变质的组构特征

(中国地质科学院矿床地质研究所) 郭世勤

前言

多年来,在辽东地区的老变质岩中相继发现了铜-锌矿床和矿化点四十余处,其中,工业价值最大的为红透山铜矿。它是我国典型的深变质块状硫化物矿床,赋存于太古界鞍山群的黑云角闪斜长片麻岩中。同位素年龄为27.70亿年($Pb_{206} \sim Pb_{207}$ 法) \sim 28.84亿年(Rb \sim Sr法)^①。

红透山地区在区域变质过程中产生了两次大的褶皱。第一次形成了展布较宽的东西向构造,主要是开阔背斜和向斜,轴向北东 80° ,轴角近水平。第二次发生在其后不久,形成叠加在东西向走向褶皱之上的倾向褶皱^②。红透山矿床就赋存在这样一个倒转倾向背斜的核部。矿体呈层状、似层状、脉状,受一定层位控制,与围岩总体整合。

根据矿物组合和结构构造特点,可将矿

石分为两种类型:变斑状矿石和“似海绵陨铁状”矿石。矿体西段主要是变斑状矿石。黄铁矿斑晶粗大,一般1~2厘米,偶而可达10余厘米,多含圆形闪锌矿包体,具碎裂结构。基质以闪锌矿为主加少量黄铜矿和磁黄铁矿。东段以“似海绵陨铁状”矿石为主。滚圆的石英晶粒或集合体镶嵌在磁黄铁矿和黄铜矿基质中。石英普遍呈现波状消光。两类矿石都具有后期重结晶特点。

矿石矿物有黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿和闪锌矿,其中黄铁矿占50%以上。脉石矿物有石英、斜长石、普通角闪石、黑云母、夕线石、石榴石等,与围岩矿物成分一致。

近年来论及的矿床成因观点有:岩浆分

- ① 辽宁冶金101队,1980,红透山式铜-锌矿床成矿地质特征和找矿标志。全国第二届矿床会议文献。
- ② 东北工学院地质教研室等,1977,红透山地区前寒武纪变质岩系地质构造。

异矿床;混合热液矿床;岩浆热液充填矿床;
火山沉积变质矿床^①。

矿石的变质组构特征

岩石的变质作用已得到广泛深入的研究并形成变质岩这一专门学科。矿石的变质作用、变质后的组构和成分变化则知之甚少。变质作用既然能对岩石施加影响,必然也能对矿石产生同样的影响。

研究表明,红透山的矿石与围岩一样,经受了角闪岩相的区域变质作用。它的变质组构相当特征而且分布广泛。高级区域变质对矿石的影响主要表现在四个方面:1)变形;2)退火;3)局部重熔;4)矿物相的变化。

一、变形组构

根据矿石与围岩同位素年龄的一致性、矿体与围岩层理的一致性、硫来源于地下深部、围岩缺乏蚀变的迹象等证据,说明矿床原为一火山沉积矿床。

区域变质的高温和强烈挤压,使原来整合的层状矿体局部挤入围岩裂隙形成不整合或假整合矿体,并在矿石中产生破碎、变形、塑性流动以及重结晶等现象。

由于矿石中刚性物质和塑性物质对应力

的反应不同,形成了一种特殊构造。矿体东段含有较多的磁黄铁矿和黄铜矿,它们在应力作用下为塑性介质,而沉积的硅质条带则为刚性体。在褶皱挤压过程中,硅质条带破碎成大小不一的碎块,在塑性的硫化物介质中揉动、铣磨和旋转,形成滚圆的岩块和石英颗粒(图版I-1)。这种构造在其它矿石中尚未见过。它可看作是受变质的块状硫化物矿石的特征组构。沃凯斯(Vokes)^[1]曾描述了布莱克瓦斯利(Bliekvassli)矿体的类似现象。

片麻状构造的矿石在北部矿带普遍发育。矿石由黄铜矿和闪锌矿构成,在定向压力下,两者都定向拉长,貌似片麻状构造。结构浸蚀表明,晶粒内部普遍具有复杂的压力双晶。

开采面上,块状黄铁矿矿石中发育平行褶皱轴面的密集劈理。显微镜下,粗粒斑状黄铁矿严重破碎,形成许多近似平行的裂纹,其中充填了塑性黄铜矿或磁黄铁矿(图版I-2)。早期磁铁矿也有被拉伸的现象,平行于压力方向产生一组张裂隙。

应力作用对矿物硬度的影响也是显而易见的,如:早期碎裂斑状黄铁矿硬度就明显高于晚期细粒自形黄铁矿(表1),这是应力

黄铁矿的显微硬度值(公斤/毫米²)

表 1

样 品	测 点	黄铁矿的显微硬度值(公斤/毫米 ²)					平 均	总 平 均
		1	2	3	4	5		
早期黄铁矿	HK 136	2335	2121	1931	2589	1931	2181	2173
	HK 108	2335	2121	2121	2121	2335	2207	
	HK 131	2335	2335	1931	2121	1931	2123	
晚期黄铁矿	HK 109	1495	1623	1381	1381	1623	1501	1518
	HK 48	1766	1495	1381	1495	1496	1526	
	HK 78	1495	1495	1381	1766	1499	1526	

测试条件: NMT-3 显微硬度计, 法码50克。自测。

淬火的结果。

此外,压力双晶是常见的变形组构,这在磁黄铁矿中极为普遍,不需侵蚀,正交偏

光下很容易观察到。压力双晶呈弯曲的柳叶

① 据辽宁冶金地质101队、东北工学院地质教研室、红透山铜矿、冶金部地质研究所资料。

状、纺锤状，排列有一定方向，但连续性较差(图版 I—3)。

波状消光也是应力作用的一种表现，在硫化物包裹的石英颗粒中尤其明显。虽然应力之后的退火作用使许多颗粒边缘产生了重结晶，但中心部分仍保留波状消光(图版 I—4)。

二、退火组构

温度是区域变质的另一重要因素。温度升高使矿石和矿物产生了退火，造成矿物颗粒表面张力的重新调整并趋于平衡，形成一系列特征的结构构造。

矿体西段有一些团块状矿石，几乎全部

由黄铁矿组成。有人称之为“五角十二面体黄铁矿脉”。其实，它们与周围的矿石没有明显的界线、不能称做脉体。此类矿石磨光面上，黄铁矿晶粒呈五边形或六边形，三结点(triple junction)夹角接近120°(图版 I—5)，这种结构叫做“泡沫结构”(foam structure)^[2]。它是单矿物集合体充分退火后形成的特殊结构，而不是自形的五角十二面体。从溶液中结晶出来的矿物不可能形成泡沫结构。

泡沫结构在磁黄铁矿和石英中也比较发育。

图1是作者根据斯坦顿(Stanton)^[2]的

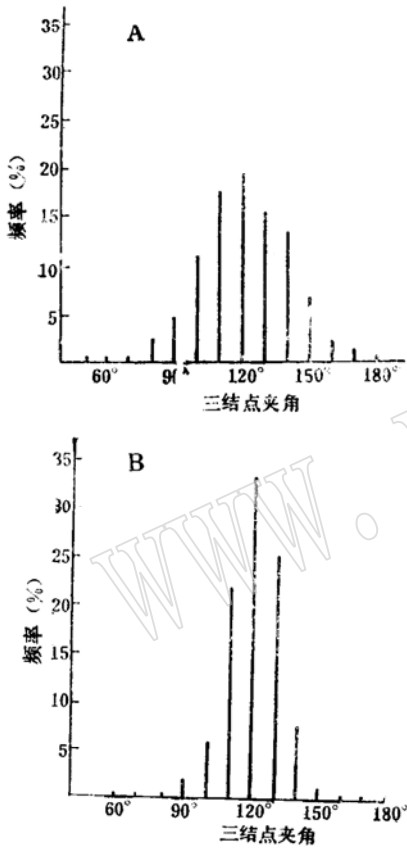


图1 (A) Mount Isa天然黄铜矿磨光面上450个三结点夹角的频率分布图
(B) 同一样品，300℃，加热49天重新测量的450个三结点夹角的频率分布图

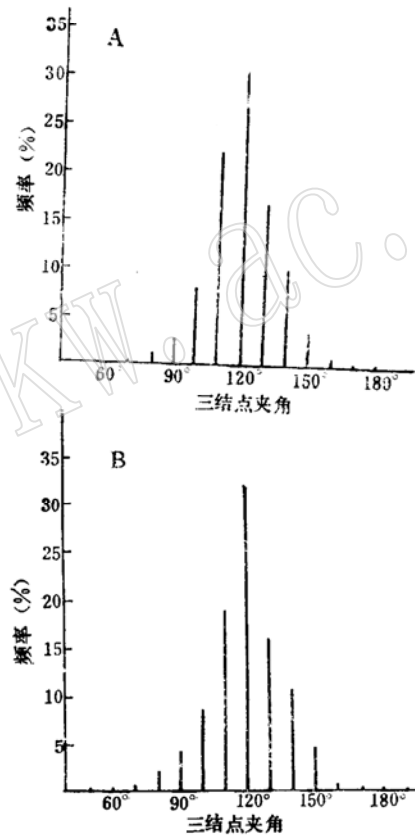


图2 (A) 红透山矿石中石英的231个三结点夹角的频率分布图
(B) 红透山矿石中黄铁矿的168个三结点夹角的频率分布图

资料做出的三结点夹角的频率分布图。他利用Mount Isa的黄铜矿样品做了退火实验,首先在磨光面上测量了450个三结点夹角,然后将样品加热至300℃恒温49天使其充分退火,重新测量三结点夹角。比较B和A可以看出,具有较高表面能的过大和过小的夹角消失了,120°和接近120°的夹角大量增加。很明显,加热过程中为使表面张力达到平衡,晶粒边界进行了充分调整。

红透山矿床中黄铁矿和石英的三结点夹角频率分布表示于图2。

金属或单矿物多晶粒集合体充分退火后理想的三结点夹角为120°。实际上,由于杂质的影响,非均质矿物定向生长和切片方向的影响,会形成一些大于和小于120°的夹角,这和不完全退火的结果类似。从上面四个图比较可以看出,没有退火和退火不完全的三结点夹角频率图较扁平,角度分布范围也较宽(图1A);完全退火的频率图较尖锐,120°角的频率超过33%,接近120°的角占优势。

退火作用在单相多晶粒集合体中形成泡沫结构,在二相多晶粒集合体中则形成特征二面角(dihedral angle)。据观察,红透山矿石中,黄铜矿和闪锌矿共生时黄铜矿的二面角约100°—110°(图版I—6),磁黄铁矿与闪锌矿共生时的二面角约106°,共生矿物间二面角的大小取决于相界面能和颗粒界面能之比。表面自由能大的矿物生长能力强,与其它矿物共生时二面角大于120°,甚至发育成自形晶粒。相反,表面自由能小的矿物与他种矿物共生时形成小于120°的二面角。因此,闪锌矿粒间的少量黄铜矿或磁黄铁矿往往形成连续或不连续的薄膜,在三结点处则形成凹三角形晶粒。由此看来,深变质条件下矿物的自形程度不代表其生成次序,仅表明它的生长能力。

斯坦顿的退火实验表明,黄铜矿做为次

要相和闪锌矿共生时,二面角为106~110°,平均108°,相界面能和颗粒界面能比率为0.85。磁黄铁矿做为次要相和闪锌矿共生时,二面角为105~108°,平均107°,相界面能和颗粒界面能比率为0.84^[3]。

红透山矿石的另一特征组构是不同矿物间的互相包裹现象。粗粒黄铁矿中常含有丰富的圆形闪锌矿和石英包体(图版II—1)。脉石矿物,特别是石英中则含有自形-半自形的黄铁矿包体。这种规律性的形态也是平衡的标志,是界面自由能在起作用。因为球体表面积最小,因而表面自由能也最小。黄铁矿则具有较大的表面自由能和趋于自形的倾向。

受变质的块状硫化物矿床中,黄铁矿的粒度与变质温度关系甚密,它可简单指示矿石的变质程度。作者对国内几个同类矿床的黄铁矿粒度进行了统计对比,综合于表2。

黄铁矿的粒度和形态、矿物间互相包裹的包含变晶结构都是矿石变质的组构特征。

三、部分重熔

Fe-Pb-S体系,相当于麻粒岩—上角闪岩相的变质温度,存在一个三元液相区^[2];PbS-FeS-ZnS体系中,一定成分的熔融发生在700℃;Cu-Pb-S体系的部分熔融大约在508℃^[4]。这些实验资料表明,变质条件下,至少在局部范围内有可能产生硫化物的局部熔融。

初步确定红透山矿床的变质温度为500~750℃^①,变质高峰时有可能产生部分重熔。图版II—2描绘的结构有助于说明这种情况。细粒的黄铜矿、闪锌矿和磁黄铁矿围绕粗粒闪锌矿成蠕虫状连生,后者的边界受到了熔蚀。图中所示的结构与退火、晶粒生长和破碎结构是不相同的。

四、矿物相的变化

① 郭世勤,1981,红透山铜矿矿物学和变质组构研究。

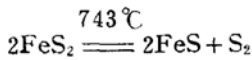
国内几个同类矿床中黄铁矿的特征

表 2

矿床	围岩性质	变质温度	黄铁矿粒度	黄铁矿其他特征
西 裴	轻微变质的硅质岩、凝灰岩 绿片岩相		0.005~0.075mm 占优势	自形一半自形粒状, 具压碎构造、无变斑晶
马松岭*	变质凝灰岩、白云质灰岩和硅质岩 绿片岩相	420~510℃	0.005~0.6mm	他形一自形变晶, 具应力结构、变余胶状、环带结构, 无变斑晶
红透山	黑云母、角闪石斜长片麻岩 角闪岩相	500~750℃	5~20mm 占优势 最大10cm以上	粗粒斑状变晶, 具应力结构、退火结构、港湾状边界, 含丰富的包体

加拿大前寒武纪地盾区不同时代的岩脉切穿了硫化物矿体, 给硫化物的热变质效应研究提供了良好的条件^[5]。变质作用可使硫化物矿床的矿物产生如下变化: 黄铁矿-磁黄铁矿-磁铁矿的相互转变。

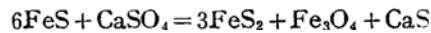
红透山矿石中存在着高温变质引起的矿物相变的广泛证据。磁黄铁矿交代黄铁矿形成港湾状边界和岛状残余(图版 II-3), 黄铁矿转变成磁黄铁矿后, 由于体积缩小产生出许多收缩裂纹。转变反应表示为:



温度达 743℃ 时, 黄铁矿分解为磁黄铁矿和硫, 导致局部地段硫逸度上升, 当它们向外扩散时又和周围的磁黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿等发生反应, 形成晚期细粒自形的黄铁矿变晶(图版 II-4)。霍莱(Hawley)的实验证实了这个过程^[6]。他在 300℃ 时将硫化氢气体通过磁黄铁矿, 结果生成了自形黄铁矿。同样的反应在黄铜矿、闪锌矿和方铅矿中也可以实现。红透山矿石中这类自形黄铁矿往往被认为是早期形成的, 这种观点需要重新认识。

另一个转变反应是在硬石膏和磁黄铁矿之间发生的。黄铁矿和磁铁矿成次文象连

生, 同时交代硬石膏和磁黄铁矿, 反应由下式表示:



兰姆多(Ramdohr)曾经写道: “焦炭中的黄铁矿在冶金炉内经烘烤后生成大量磁黄铁矿, 结果, 这些工业生产的硫化物呈现出磁黄铁矿和磁铁矿的特殊共生结构。”^[6], 黄铁矿、磁黄铁矿和磁铁矿在冶金炉里的转化和共生也许可以与变质作用相比较。

此外, 在硫化物和长石、石英等脉石矿物之间发育着均匀的、厚度小于一毫米的绿泥石或次闪石反应边。它们呈放射状垂直于颗粒边界生长。有人认为这是热液交代的产物。由于环状反应边厚度小而均匀, 矿物成分单一, 作者认为它是硅酸盐和硫化物之间的反应产物。

总之, 高级变质条件下, 矿物之间的转变反应是不可避免的, 这些反应是固态反应, 而不是热液交代作用。

结 论

红透山地区的区域变质首先是以高温和上复地层的静压力为主, 这一阶段形成了矿物的泡沫结构和各种退火组构, 把细粒火山沉积矿石改造为粗粒甚至巨粒矿石。关于这一点, 围岩片麻理与层理一致, 矿体与围岩层理一致可以做为证据。而后发生了时

* 邱柱国等, 1967年, 四川彭县马松岭黄铁矿型铜-锌矿床地质特征、矿床成因及找矿方向。

间间隔不长的二次区域性褶皱。在应力作用下,矿石中形成了平行褶皱轴面的密集劈理;早期的黄铁矿遭到破碎;形成了片麻状矿石;产生了塑性流动和充填,并使原来的整合矿体出现局部不整合;矿物中出现了压力双晶和波状消光,同时,也使部分早期的退火标志遭到破坏。至此,变质作用并没有完全消失,较低温度的退火作用还持续了相当长的时间,叠加在变形之上的重结晶便相继发生了。这一阶段形成的典型组构是塑性充填的硫化物产生了退火,变形的石英边缘发生了重结晶,而中心部分仍保留波状消光。

塑性充填脉是变质条件下应力作用的结果,容易与热液充填脉相混淆。塑性充填脉的特点是:矿物成分单一;矿物有变形和后期退火现象;蚀变和交代现象不存在或极其微弱。相反,热液充填脉的矿物成分复杂,既有金属矿物又有脉石矿构,一般结晶较粗且不具变形和退火标志,蚀变和交代现象广泛存在。

矿物集合体的退火表现为颗粒边界的重新调整,形成泡沫结构和特征二面角。这是退火作用的标型组构。多相矿物共生时表面自由能的大小决定了矿物的二面角和颗粒形态。因此,确定矿物生成次序的标志在进化变质条件下不完全适用。

根据前述的多种依据,红透山矿床应是同生的、与海底火山作用有关的块状硫化物矿床。作者的研究表明,矿石具有丰富的应力结构和退火结构。因此,它又是受变质矿床,变质级别为角闪岩相。

此项研究工作是在陈正先生指导下进行的,成文后陈正先生、邱柱国先生曾详细审阅,特致谢意。

参 考 文 献

[1] Vokes F. M. 1969, A review of the me-

tamorphism of sulphide deposits, *Eur. Sci. Rev.* 5 (1969) 99-143.

[2] Stanton R. L. 1972, *Ore Petrology*.

[3] Stanton R. L. 1974, Mineral interface in stratiform ores, *Bulletin of the institution of mining and metallurgy* Vol. 14 Part two.

[4] Lawrence L. J. 1973, *Polymetamorphism of the sulphide ores of Broken Hill, N. S. W. Australia*, *Mineral Deposita* Berl. 8 211-236.

[5] Mookherjee A. 1976, *Ore and metamorphism; Temporal and genetic relationships*, in *Handbook of Strata-bound and Stratiform Ore Deposits*, Chapter 5.

[6] Ramdohr P. 1969, *The ore minerals and their intergrowth*.

图版说明

图版 I

1. 应力造成的变圆粒结构, 塑性硫化物(s)围绕圆粒状石英(q)“流动” $d = 2\text{cm}$
2. 碎裂斑状黄铁矿(py)裂隙中充填了黄铜矿(cp), sp为闪锌矿 反光 $d = 2\text{mm}$
3. 磁黄铁矿(po)的压力双晶 反光 正交 $d = 4\text{mm}$
4. 石英(q)的波状消光和局部重结晶现象, S—硫化物, bi—黑云母 透光 正交 $d = 4\text{mm}$
5. 黄铁矿(py)的泡沫结构 磨光块 $d = 2.5\text{cm}$
6. 黄铜矿(cp)与闪锌矿(sp)共生时的二面角 反光 $d = 3.2\text{mm}$

图版 II

1. 黄铁矿变斑晶(py)中球形闪锌矿(sp)和石英(q)包体 反光 $d = 4\text{mm}$
2. 细粒黄铜矿、磁黄铁矿、闪锌矿(cp + po + sp)围绕粗粒闪锌矿(sp)成蠕虫状连生 反光 $d = 2\text{mm}$
3. 磁黄铁矿(po)交代黄铁矿(py)成港湾状边界和岛状残余 反光 $d = 4\text{mm}$
4. 磁黄铁矿(po)基质中形成的晚期自形黄铁矿(py), q为石英, chl为绿泥石

The Metamorphic Fabrics of Hongtoushan Copper Deposit

Guo Shiqin

Abstract

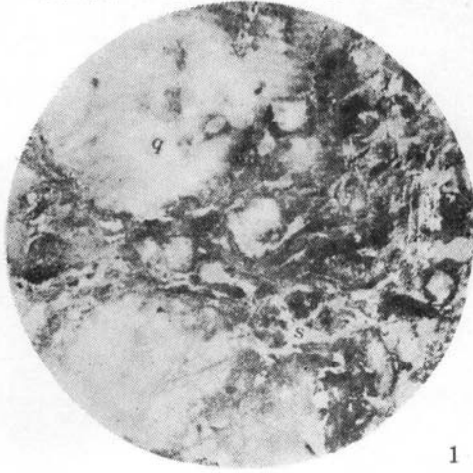
Hongtoushan copper deposit is a typical high metamorphosed one of the massive sulphide type. It occurs in the biotite-hornblende-plagioclase-gneiss of anshan group of archaean era. The study shows that the ore has undergone a regional metamorphism of hornblendite facies as well as its wall rock. The main metamorphic fabrics are as follows, 1. Deformation; 2. Annealing; 3. Partial refusion and 4. change in mineral phases.

Deformation fabrics include metamorphic rounding texture of quartz, fracture in ore and minerals, plastic filling, pressure twins and undulatory extinction. The metamorphic rounding texture of quartz is a characteristic fabric of the massive sulphide ore under a regional metamorphic condition.

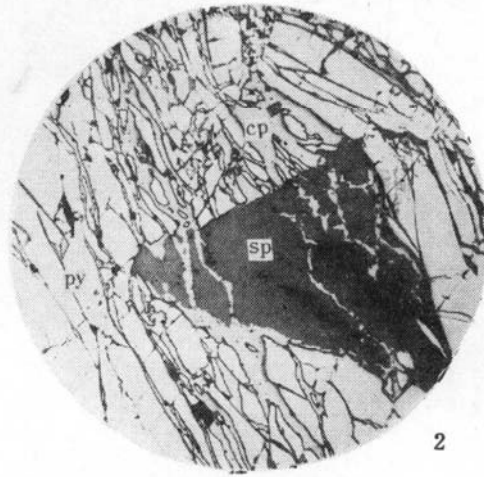
Annealing brought about a readjust of the surface tension of grains and the tending of equilibrium. When fully annealed, a single-phase aggregation may develop a foam texture with triple junction angle close to 120° and a two-phase aggregation may form characteristic dihedral angles, the size of which depends upon the interfacial free energy ratio. An important sign of metamorphism is the poikiloblastic texture of one another between minerals. The grain size of sulphide, especially of pyrite can indicate the degree of metamorphism.

There are some evidences that a partial refusion took place at the peak of metamorphism. around the coarse sphalerite there are fine myrmekitic intergrowth of sphalerite, chalcopyrite and pyrrhotite.

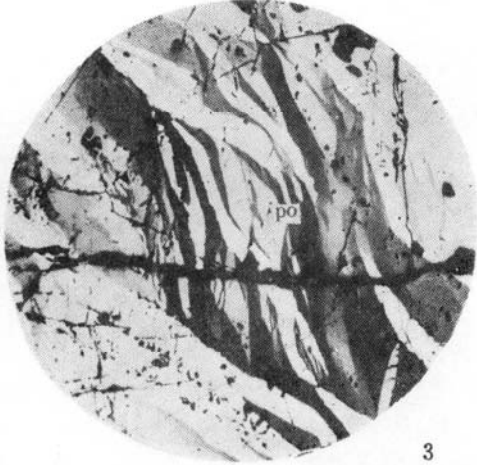
The rising of temperature, the change in oxygen and sulphur fugacities resulted in the change of mineral phases. That is the phase change between pyrite, pyrrhotite, magnetite etc. The thin rim of uralite and chlorite situated between sulphides and quartz (or feldspars) is the products of solid reaction, but not of hydrothermal process.



1



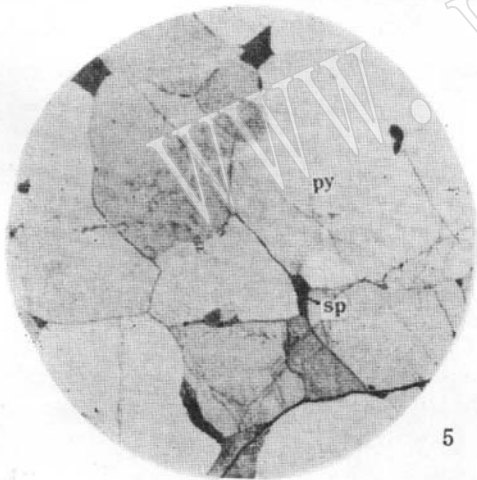
2



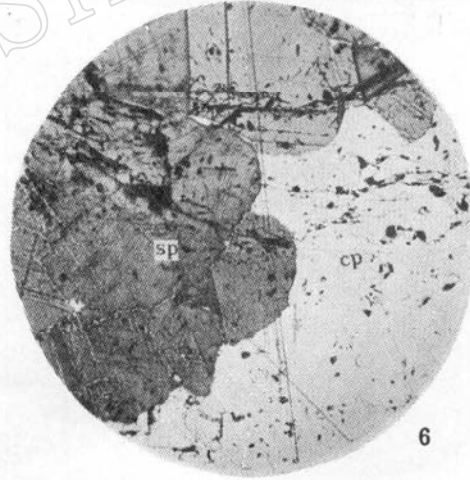
3



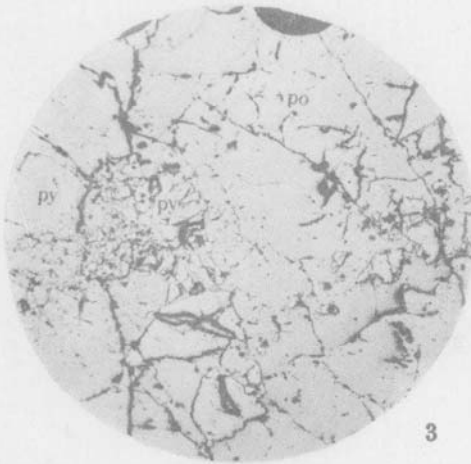
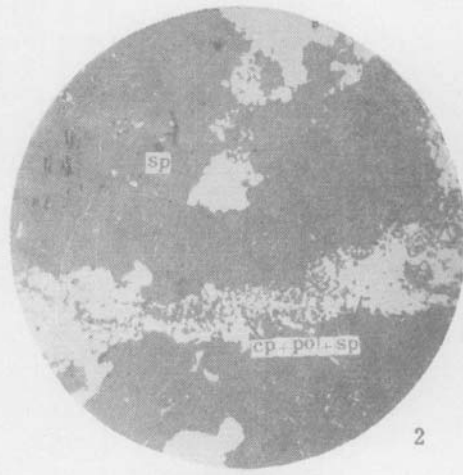
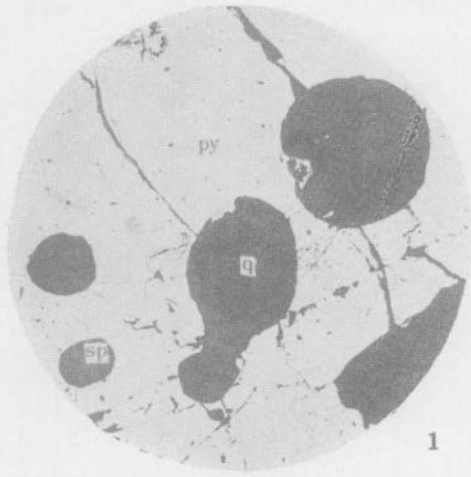
4



5



6



www.yskw.ac.cn