

东秦岭北锑-汞矿带矿床特征及其构造控制作用

张正伟¹, 张建军², 黄海明¹, 张中山¹

1. 中国科学院 地球化学研究所 矿床地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002;

2. 河南省地质科学研究所, 郑州 450053

摘要: 东秦岭北锑-汞矿带沿区域性深大断裂及其旁侧断裂分布, 自西向东主要有高岭沟、蔡凹、掌耳沟、大河沟等锑矿床, 但研究程度不高。本文重点阐述了锑-汞矿带区域成矿特征, 讨论了韧性剪切带与锑矿成矿的关系。锑矿体产状一般呈团块状、透镜状、脉状、网脉状和扁豆状, 金属矿物主要为辉锑矿, 其次有锑华和黄铁矿, 围岩蚀变发育有硅化、高岭土化、碳酸盐化、粘土化、重晶石化和黄铁矿化等。构造控矿作用可分为三级: 一级为朱阳关-夏馆大断裂, 控制矿带的产出; 二级为大断裂的压扭性分枝断裂, 为主要容矿构造; 三级断裂发育在二级断裂之间, 由扭力和引张作用形成规模不大的裂隙, 或使原有的层间裂隙扩大形成储矿构造。矿区发育具有显著糜棱面理的长英质糜棱岩, 锑矿化的石英脉就产于糜棱岩之间, 局部沿糜棱面理贯入糜棱岩中, 锑矿成矿作用明显受区域韧性剪切带控制。

关键词: 锑矿; 韧性剪切带; 构造岩; 东秦岭

中图分类号: P594 文献标识码: A 文章编号: 1007-2802(2007)02-0185-06

The Characteristics of Sb Deposits and Its Structure Control Function about Northern of Antimony Mineral Belt in East Qinling

ZHANG Zheng-wei¹, ZHANG Jian-jun³, HUANG Hai-ming¹, ZHANG Zhong-shan¹

1. *State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy Sciences, Guiyang 550002, China;* 2. *Institute of geology Science, Henan Province, Zhengzhou 450053, China*

Abstract: The northern of antimony mineral belt in East Qinling distributed to follow the regional great faults and the side part, mainly having Sb deposits, such as Gaolinggou, Caiwa, Zhangérgou and Dahegoukou etc. from the west to east. This text expatiates Sb deposits characteristic, according to wild and laboratory studies with the minute structure, discusses the relation of tenacity shear zone and the Sb deposits. The ore body produces appearance to present the conglomeration form, anastigmatic form, vein form, the net vein form and the hyacinth bean form generally. The metals mineral is mainly the antimonite, with valentinite, pyrite secondly. There is widespread silicification, kaolineization, carbonateization, clay, bariteization and the pyriteization etc, and mainly hosted in the tectonite rock. Structures of controlling the mineralization is divided into three class, one for Zhuyangguan-Xiaguan fault is composed of trunk ductile shear belt, controlling mineral zone to produce, secondary class is for press and twist structure of the offset ductile shear belt, mainly for holding ore body structure, third class structure is based upon second class structure, from wring and tensile force, forming the small cranny, or making the original layer cranny enlargement for store ore body structure. The mineral area developed the feldspar quartzmylonite which show the mylonitic foliation, the quartz vein of containing antimony mineral endow with the mylonite, the metallogenic function is clearly limited by the regional ductile shear belt.

Key words: Sb deposits; ductile shear belt; tectonite rock; east Qinling

收稿日期: 2006-07-25 收到, 09-05 改回

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-125); 国家自然科学基金资助项目(40072033)

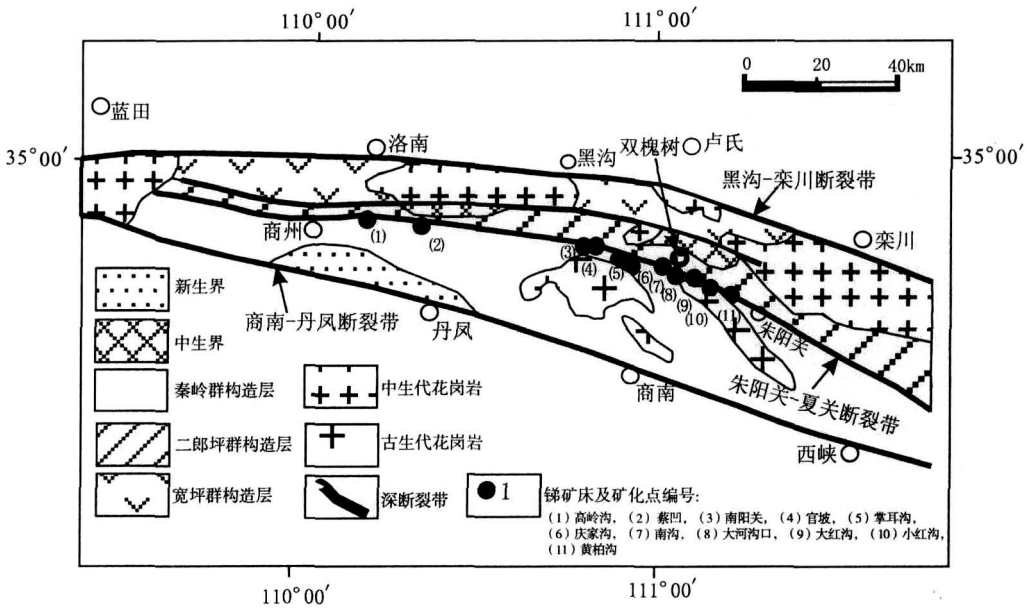
第一作者简介: 张正伟(1959—), 男, 博士, 研究员, 主要从事矿床学研究。E-mail: zhangzwig.cas@hotmail.com.

东秦岭锑汞矿床主要分布于造山带内^[1]。若以商南-丹凤断裂为界,北部集中分布在朱阳关-夏馆断裂南侧的秦岭群地层中^[2],如商州市高岭沟、丹凤县蔡凹、卢氏县掌耳沟和大河沟4个中型锑矿床,均以单锑矿为主,共生少量汞矿;南部集中分布在南秦岭晚古生代断陷带的下泥盆统公馆组白云岩中,Sb与Hg相互伴生(或共生),形成旬阳县公馆、青铜沟和山阳县西坡岭汞锑矿,以汞矿为主,有少量锑矿^[3]。另外,近年来在洛宁-栾川-方城断裂带东段的南召县大庄发现了与深大断裂和花岗斑岩活动有关的低温热液型矿床(留山锑矿床)^[4]。从上述矿床产出的地质背景而言,锑汞矿床均产于沉积岩系和变质沉积岩系中,同时受岩层和断裂构造控制^[5]。尤其是产于北秦岭的商州市高岭沟-卢氏朱阳关一带(图1),锑矿沿区域性大断裂分布,矿体产于大断裂旁侧的次级构造破碎带中,矿化和控矿构造均有相似性。由此,本文通过东秦岭北锑汞矿带典型区段的构造和矿物学研究,重点阐述其矿床特征及韧

性剪切构造控制作用。

1 区域地质概况

在西起陕西省商州、东至河南省西峡县一带长达百余公里范围内,锑矿带延展方向与区域构造线方向基本一致(图1)。出露有元古界、古生界及中生界-新生界地层,呈北西西狭长带状分布^[6,7]。中元古界宽坪群出露于北部,为一套中浅变质岩系夹火山喷发岩系。秦岭群出露于南部,为一套中深变质岩系,下部以云母石英片岩为主夹薄层大理岩、片麻岩和混合岩;上部为钙质片岩、绢云绿泥钙质片岩夹薄层大理岩、斜长角闪片岩和浅粒岩等。上三叠统一下侏罗统为断陷盆地沉积,呈北西西-南东东向展布,主要岩性为砂砾岩、砂页岩、含碳质板岩和厚层状砂质岩夹泥质灰岩。古近系-新近系出露在朱阳关一带,主要为红色松散状胶结的巨砾或砂砾层、砂质页岩砾层等。中生代-新生代地层呈现单斜构造,一般倾向南西,倾角 $35^{\circ}\sim 52^{\circ}$ 。



据文献 [6,7] 修编

Modified after [6,7]

图1 东秦岭北锑矿带区域地质略图

Fig. 1 Sketch map of regional geological about antimony mineral belt in northern of East Qinling

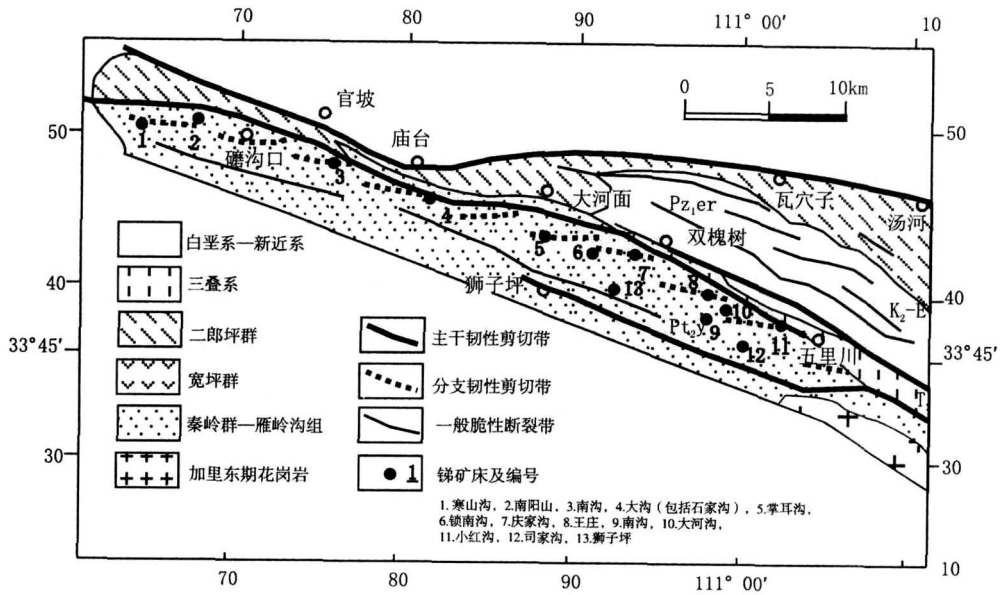
区内断裂构造带成组出现,且以高角度断裂带为主。朱阳关-夏馆大断裂为区内主断裂^[6]。在大断裂带南北侧发育一系列次级或低序次的断裂。断裂性质有压性、张性及羽裂。断裂带北侧发育一系列平行于主断裂的次级断裂带,最大宽度为50~100m,长达10km以上,局部可见断层角砾,呈北西西-南东东向延伸,向东逐渐交汇。南侧次级断

裂规模较小,呈羽状排列,与主干断裂形成小于 30° 的交角,走向近东西,向西撒开,向东收敛,断裂带一般长1~4km,是区内主要控矿构造,如双槐树锑矿区的韧性剪切带(图2)。区内断层多期活动,中生代以来切断元古界和古生界地层,控制中生界-新生界沉积,同时又切断了古近系-新近系沉积。

岩岩浆岩有超基性岩、花岗岩类及中基性火山喷

发岩类, 侵入时代有加里东期、印支期和燕山期^[8]。加里东期花岗岩和花岗伟晶岩侵入秦岭群, 同位素年龄 390~410 Ma。印支期花岗闪长岩同位素年龄为 215 Ma。燕山期花岗岩分布在商县-朱阳关-夏

馆大断裂北侧, 侵入宽坪群, 同位素年龄为 147~170 Ma。上述岩体或岩体附近发现有 Nb、Ta、Ca 和 Pb 等矿化现象^[6]。



据文献 [6] 修编

Modified after [6]

图 2 双槐树锑矿区韧性剪切带及锑矿床(点)分布特征示意图

Fig. 2 Sketch map about characteristic distribution of the ductile shear belt and Sb deposits in Shuanghuai area

2 矿床分布及矿化特征

2.1 主要锑矿床分布

在矿带内产出锑-汞矿床及矿化点 20 余处, 已经普查的矿产地 11 处, 分布在朱夏断裂带内及其两侧附近, 主要的四个中型矿床简述如下。

商州市高岭沟锑矿^[7]: 产于秦岭群含石墨大理岩顶部的层间裂隙与横向断裂交汇处, 近矿围岩硅化。矿化带长 2000 m, 其中工业矿体长 155~286 m, 厚度 0.76~4.47 m, 呈不规则似层状产出。矿石矿物以辉锑矿为主, 平均含 Sb 5.85%~11.55%, 系热液充填型锑矿, 储量达中型, 矿石易选, 1965 年至今小规模开采。

丹凤县蔡凹锑矿^[7]: 产于秦岭群大理岩和片麻岩的层间裂隙和纵向断裂中, 近矿围岩硅化。矿化带长 3000 m, 其中工业矿体 7 个, 长 20~200 m, 厚度 1.00~5.57 m, 矿体呈不规则似层状、脉状产出。主要矿石矿物为辉锑矿, 平均含 Sb 6.59%~10.30%, 脉石矿物以石英为主, 系热液充填型锑矿, 储量中型。最近发现了 12 条锑矿化带, 其中 I 号矿

化带长达 3200 m 以上, 宽 0.40~24 m; IV 号矿化带长 1000 m, 宽 0.4~5.42 m; VII 号矿化带长 760 m, 宽 0.30~2.70 m。以 I-2 和 IV-1 号矿体规模最大。I-2 号锑矿体长 790 m, 真厚度 0.39~13.54 m, 平均厚度 3.88 m, 矿石品位 Sb 0.80%~23.12%, 平均品位 Sb 7.59%。I-1 号锑矿体出露长 85 m, 为 I-2 矿体的西延部分, 矿体厚度 2.95~12.24 m, 平均品位 Sb 2.96%~11.40%; IV-1 号矿体断续长 520 m, 厚度 1.25~3.47 m, 平均品位 Sb 1.54%~7.88%。

卢氏县掌耳沟锑矿^[9]: 产于秦岭群绢云石英片岩、绿泥片岩、白云石英片岩、角闪片岩中。矿化沿区域断裂的次级断裂分布, 近矿围岩硅化。矿化带长 2000 m, 其中工业矿体 3 个, 长 25~100 m, 厚 3.20~8.54 m, 呈不规则似层状产出。矿石矿物以辉锑矿为主, 平均含 Sb 5.043%, 系热液充填型锑矿, 储量达中型。

卢氏县大河沟锑矿^[9]: 产于秦岭群云母石英片岩及钙质片岩、角砾岩、浅粒岩的断层角砾岩带内。矿化带长 4000 m, 其中工业矿体 11 个, 长 60~640 m, 厚 1.06~7.10 m, 呈透镜状产出。矿石矿物以

辉锑矿为主,呈角砾状、晶簇状、浸染状,平均含 Sb 1.04%~9.33%,系热液充填型锑矿,储量达中型。

2.2 矿化特征

本区矿体产出形态一般呈团块状、透镜状、脉状、网脉状和扁豆状。矿石类型有石英-致密块状辉锑矿矿石、石英-角砾状辉锑矿矿石、条带状辉锑矿矿石和浸染状辉锑矿矿石。矿石结构主要为结晶质,局部为辉锑矿晶簇(巨晶)。辉锑矿晶体多呈他形粒状或半自形晶体,沿石英脉孔隙分布或穿插在石英脉体中,集合体呈团块状;辉锑矿晶体可见聚片双晶和压力双晶。与辉锑矿共生的白铁矿呈板状晶体和碎裂结构,局部呈柱状、叶片状和针状。黄铁矿呈网脉状、细脉状穿插分布于石英颗粒边缘孔隙中,局部呈浸染状、等轴粒状和草莓状,其断面较规则,粒径约 0.1~0.3 mm。与其共生的雄黄和雌黄呈相互包裹关系,代表两者基本同时形成。矿石的构造主要有块状、细脉状、网脉状、浸染状、条带状、角砾状等。

本区矿物组合比较简单,金属矿物主要为辉锑矿,其次有锑华和黄铁矿,少量的赤铁矿、磁铁矿、褐铁矿、闪锌矿、硬锰矿、软锰矿、雄黄、雌黄、毒砂和方铅矿等。脉石矿物有石英、方解石、重晶石、萤石和蛋白石等;次要矿物有白云石、绿帘石、高岭石、斜长石、绢云母和绿泥石等;副矿物有电气石、磷灰石、重晶石、金红石和锆石等。辉锑矿的含量在矿石中的变化较大,最高的可达 99%以上,矿样粉末衍射几乎是 100%的辉锑矿矿物相;平均含量可达 10%左右。实测密度 4.58 g/cm³,硬度 55~127 kg/mm²。辉锑矿单矿物分析结果为:Sb 70.83%, S 8.09%,

Pb 3.36×10⁻⁶, Zn 0×10⁻⁶, Cu 35×10⁻⁶, As 67×10⁻⁶, Ag 13.2×10⁻⁶, Au 3×10⁻⁹。可见辉锑矿中含有 Cu、Ag 和 Au 等矿化。辉锑矿常呈柱状晶体,个别晶体粗大,延长可达 70 cm,有的发育为晶簇状。晶形为自形一半自形长柱状、纤状、针状,有时呈他形粒状,沿石英脉孔隙分布,集合体呈团块状,颜色为铅灰色、银灰色,表面常有淡蓝色,强金属光泽。单晶体一组完全解理,解理面上有聚片双晶纹。

区内近矿围岩蚀变较发育,有硅化、高岭土化、碳酸盐化、粘土化、重晶石化及黄铁矿化等。锑矿化与硅化密切正相关。其次为碳酸盐化和黄铁矿化。围岩蚀变具明显的水平分带现象,商县-朱阳关-夏馆大断裂带以南,北为硅化带,中间为碳酸盐化带,最外侧为高岭土化带。锑矿化出现在硅化强烈的地段,尤以玉髓、石英大量聚集处,锑矿最为富集。

3 控矿构造

锑矿带发育三级不同的断裂,控制不同的成矿作用。一级断裂为朱阳关-夏馆大断裂(图 1),控制矿带产出,在掌耳沟一带有矿体产出。二级断裂为朱阳关-夏馆大断裂的压扭性“入”字型分枝断裂(图 2),分别长 2.6~3 km,走向 275°~290°,为矿带主要容矿构造,在走向和倾向上都呈舒缓波状,在成矿期再次活动,既有相对引张部位,又有相对紧闭部位,为矿液运移和沉淀提供了良好条件。三级断裂发育在二级断裂之间,由扭力和引张作用形成规模不大的裂隙,或使原有的层间裂隙加大,形成储矿构造(图 3),这种矿体规模较小。

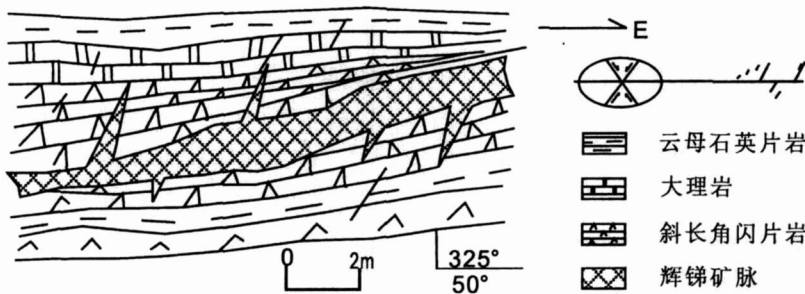


图 3 次级裂隙及剪切带应变椭球体应力分析图

Fig. 3 Sketch map of the stress analysis about strain ellipsoid in hypofissure and ductile shear belt

3.1 矿体与构造的关系

矿体主要呈脉状产出,分布于强硅化的石英脉中。脉体一般为数米左右,个别可达十几米,有的小于 1 m。脉体两侧(顶底板)岩石为界碑组下段

(Pt₂j²)中深变质岩系,明显受强烈的韧性剪切作用,发育成为具有显著糜棱面理的长英质糜棱岩,锑矿化的石英脉夹在糜棱岩之间,局部锑矿化沿糜棱面理贯入糜棱岩中。初步判明,锑矿成矿带明显受

区域韧性剪切带的控制。如在寒山沟锑矿采矿部位(矿体已被采空),两侧为韧性断层,显示辉锑矿化受韧性剪切带控制,旁侧的花岗伟晶岩脉也受该期的韧性剪切作用的改造。在掌耳沟矿中的断层角砾岩,角砾成分为浅粒岩,大小多为3~6 cm,最大可达10 cm以上,由于受到韧性剪切作用,局部已发生糜棱岩化作用,胶结物以硅质和辉锑矿为主,充分显示辉锑矿化与韧性剪切作用关系密切;南沟矿中硅质矿化大理岩中受剪切应力作用产生强烈变形条带,辉锑矿化呈条纹状分布在大理岩中,同样表明辉锑矿化受制于构造剪切作用。一些辉锑矿化同时有后期改造的现象,如南沟矿中的角砾状大理岩为张性角砾,胶结物为粗晶的方解石,局部见辉锑矿化赋存在方解石中,表现为辉锑矿成后期改造作用。

3.2 显微构造特征

锑矿床(点)主要分布在一套强烈变形的岩石中,由于受到韧性剪切作用,岩石变形程度已达千糜岩或为糜棱岩,一些侵入岩由于受到韧性剪作用,发生糜棱岩化。寒山沟的糜棱岩化花岗伟晶岩中暗色矿物(黑云母、电气石)被定向拉长。庆家沟矿床侵入到围岩中的镁铁岩-角闪石岩具片理化现象。部分围岩千糜岩中石英和绢云母强烈变形,形成定向构造,石英有动态重结晶和亚颗粒化现象。千糜岩中石英的拖尾构造,石英局部呈亚颗粒,为糜棱岩化的标志。值得注意的是,辉锑矿石英脉由于受剪切作用已具定向构造,局部变形,受剪切作用而强烈拉长变形,呈拖尾构造。

构造岩变形石英颗粒表现为高密度的自由位错;局部糜棱岩中石英颗粒由高密度的位错线组成位错层;辉锑矿化石英脉中石英发育位错壁和亚晶界。一些千糜岩中石英发育低密度短而粗的位错线和位错环;一些千糜岩中石英颗粒发育长直位错线和局部位错网落。以上表明,岩石经历强烈塑性变形,与野外宏观上观察到的结果一致。辉锑矿石英脉受韧性剪切作用也表现出较高的位错密度,与围岩中的韧性剪切作用强度几乎相当。矿区围岩中矿物的最稳定的组合是石英+白云母。按Hyndman常见矿物的稳定界线可以确定本区的变形变质温度为400℃左右。大河沟锑矿区成矿围岩中韧性剪切带的长英质糜棱岩样品Rb-Sr全岩的等时线年龄为 $198.6 \pm 4.74 \text{ Ma}^{[5]}$ 。

3.3 韧性剪切带变形时代的确定

McCulloch等^[9]首先采用“薄板”方法(thin-slab)将糜棱岩样品沿平行叶理方向切成几个薄板,然后将薄板看做一个独立的标本进行测定,因为在

韧性剪切带的变形和变质岩中,无水矿物之间的扩散作用和空隙流体的扩散对Rb-Sr体系的影响是有限的,而大规模的渗滤流体主要是沿糜棱岩的叶理面运移,Rb、Sr同位素仅在垂直于叶理面方向上的短距离内达到平衡。通过薄板技术可以扩大Rb/Sr值,获得一条真正代表糜棱岩的等时线;Su和Fullager^[10]用薄板技术测定美国南阿巴拉契山脉蓝脊推覆体糜棱岩带,取得了非常一致的Rb-Sr和Sm-Nd年龄。Blacker^[11]亦认为这是测定变形-变质岩石年龄的主要方法。大河沟锑矿区成矿围岩中韧性剪切带的长英质糜棱岩Rb-Sr全岩的测定^[3],应用回归计算,获得一条等时线年龄为 $198.6 \pm 4.74 \text{ Ma}$ 。

4 讨论与结论

锑矿化明显受区域断裂构造的控制,在北西-南东东向断裂或次级断裂带中,一般在断裂交汇处,或与断裂带相通的层间裂隙中,或碎角砾岩中都可形成富矿段,区域成矿分布呈明显的线状特征区别于华南地区^[12~14]。从上述的四个典型锑矿床的构造控制特点来看,产于以压性为主的断裂带中的矿体,一般矿化较弱且不稳定,呈浸染状、扁豆状和团块状赋存于构造糜棱岩带中,矿体规模小、厚度薄;产于张性断裂带中的矿体若其围岩为破碎大理岩,辉锑矿沿裂隙呈条带状、脉状和团块状产出,或以角砾岩胶结物形式出现,呈多形晶簇或粗晶体,矿化相对稳定。因此,张性的构造机制有利于稳定矿体的形成。产于次级羽裂中的矿体因岩性和裂隙发育程度不同,矿化强弱有差异,一般可形成不规则状或扁豆状矿体,厚度约0.5~3 m,延伸可达60 m,品位0.43%~9%。断裂性质与规模的不同均影响锑矿体形态和矿化强弱。

锑矿床产于韧性剪切带,锑矿化矿质的运移、富集和最终聚集成矿的过程,严格受韧性剪切作用的控制。一些锑矿区矿体中的石英脉受到韧性剪切作用而片理化,辉锑矿沿片理充填,辉锑矿化与韧性剪切带的片理化作用关系密切。虽然石英脉的位错密度较大,但是由于其形成的温度不如围岩高,按照包体测温的最高温度计算的石英脉的应变速率较糜棱岩化岩石的应变速率小一个数量级,较低的应变速率有利于矿质的转移和沉淀。这些证实,辉锑矿成矿带的形成构造层次较深,控矿构造是以韧性变形为主的脆-韧性剪切带,应变形式为简单剪切。其中,糜棱岩的全岩Rb-Sr等时线年龄代表印支期末-燕山早期的大规模韧性剪切作用。

参考文献 (References):

- [1] 符光宏. 河南省秦岭大别造山带地质构造与成矿规律[M]. 郑州: 河南科技出版社, 1994: 1—546.
Fu Guanghong. Geotectonic and orderliness of the mineralization in Qinling-Dabie belt, Henan Province [M]. Zhengzhou: Henan Scientific and Tectonic Publishing House, 1994: 546. (in Chinese)
- [2] 胡受奚, 林潜龙. 华北与华南古板块拼合带地质与成矿[M]. 南京: 南京大学出版社, 1988: 1—558.
Hu Shouxi, Lin Qianlong. The geology and metallogeny of the amalgamation zone between ancient North China plate and South China plate (taking Qinling-Tongbo as an example) [M]. Nanjing: Nanjing University Press, 1988: 558. (in Chinese).
- [3] Zhang Z W, Zhu Bingquan, Cai Keqin. The lead isotopic steep-dipping zone and mineralization: An example from the mineral deposits concentrated area in east Qinling, China[J]. J China University of Geosciences, 2000, 11(1): 66—73.
- [4] 张正伟, 杨怀洲, 朱炳泉. 东秦岭内生金属成矿组合与成矿系统[J]. 地质通报, 2002, 21(8—9): 567—572.
Zhang Zhengwei, Yang Huaizhou, Zhu Bingquan. Endogenic metallogenic system and assemblage in the East Qinling, China [J]. Geological Bulletin of China, 2002, 21(8—9): 567—572. (in Chinese with English abstract)
- [5] Yang Xiaoyong, Yang Xuoming, Zhang Jianjun, Cao Gaoshe, Zhang Zhengwei. Metallogenic geochemistry of Sb mineralization in southern margin of North China platform[J]. Chinese Sci Bull, 1999, 4(sup.): 17—18. (in Chinese)
- [6] 河南省地矿厅区调队. 河南省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1989: 1—490.
Henan Province Bureau of Geology. Mark of Henan Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989: 1—490. (in Chinese)
- [7] 陕西省地质局. 陕西省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1989: 1—480.
Shanxi Province Bureau of Geology. Mark of Shanxi Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989: 1—480. (in Chinese)
- [8] 卢新祥. 秦岭花岗岩揭示的造山过程——秦岭花岗岩研究进展[J]. 地球科学进展, 1998, 13(2): 213—214.
Lu Xinxiang. Building mountain process revealed by granites in Qinling—studies evolution in granites in Qinling area[J]. Geosci. Evolu., 1998, 13(2): 213—214. (in Chinese with English abstract)
- [9] McCulloch M T, Black L R. Sm-Nd isotopic systematic of Enderby land granulites and evidence for redistribution of Sm and Nd during metamorphism[J]. Earth Planet. Sci. Lett., 1984, 71: 46—58.
- [10] Su Q, Fullagar P D. Rb-Sr and Sm-Nd isotopic systematics during greenschist facies metamorphism and deformation: examples from the southern Appalachian Blue Ridge[J]. J. Geology, 1995, 103: 423—436.
- [11] Black L K. Isotopic resetting of U-Pb zircon and Rb-Sr and Sm-Nd whole-rock systems in Enderby land, Antarctica: implications for the interpretation of isotopic data from poly metamorphic and multiply deformed terrains[J]. Precam. Res., 1988, 38: 355—365.
- [12] 涂光炽, 等. 中国层控矿床地球化学(一)[M]. 北京: 科学出版社, 1984: 189—218.
Tu Guangchi, et al. Geochemistry of stratum deposits in China[M]. Beijing: Science Press, 1984: 189—218 (in Chinese)
- [13] 金景福. 超大型锑矿床定位机制剖析——以锡矿山锑矿床为例[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2002, 21(3): 145—151.
Jin Jingfu. Locating mechanism of superlarge antimony deposit-Sikuangshan antimony deposit example[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2002, 21(3): 145—151. (in Chinese with English abstract)
- [14] 金景福, 陶琰, 曾令交. 锡矿山式锑矿床的成矿流体研究[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2001, 20(3): 156—164.
Jin Jingfu, Tao Yan, Zeng Lingjiao. A studies about inclusions from Sikuangshan tapy antimony deposit example[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2001, 20(3): 156—164. (in Chinese with English abstract)