

135-145

韧性剪切带中角砾状铅锌矿床的就位机制

EMPLACEMENT MECHANISM OF BRECCIA Pb-Zn ORE DEPOSITS IN DUCTILE SHEAR ZONES

刘俊来 LIU Junlai
(长春地质学院, 长春, 130061)

(Changchun University of Earth Sciences, Changchun, 130061)

p618.420.2

文前摘要 在辽吉岩套发育区识别出韧性剪切带内以围岩为角砾、铅锌硫化物为胶结物的角砾状矿化类型。矿体宏观形态简单而微细特点复杂, 分别说明成矿裂隙兼具压扭及张性特点。综合分析表明, 成矿流体是高盐度卤水, 重要意义在于它对铅锌成矿物质具高溶解度, 携有足够量的成矿物质, 它使先成矿体(化)中的铅、锌物质被萃取、活化和迁移, 同时, 对含矿裂隙的形成与发展有着促进意义。

角砾状矿体的出现与韧性剪切带晚期变形阶段岩石由韧性向脆性的转化有密切关系, 在此过程中沿着 Riedel 裂隙系统的 D 裂隙系有铅锌成矿物质充填就位。Secor 模式对角砾状矿体成矿空间的力学属性给出了很好的解释。液压扩容破裂作用是这种成矿空间产生与扩展的主要机制。

关键词 就位机制, 铅锌矿床, 韧性剪切带, 角砾状

ABSTRACT A special type of Pb-Zn mineralization, i. e. breccia Pb-Zn sulphide mineralization in ductile shear zones, is recognized in the early Proterozoic carbonate rocks of the South Liaodong Peninsula, China. The mineralization is characterized by breccia orebodies with brecciated wallrocks cemented by sulphides. The shapes of the orebodies are simple in their overall configuration, but complex in detail. The simple overall configuration of orebodies are in the form of triaxial lenses with their AB planes (A, long axis and B, intermediate axis) parallel to the local mylonitic foliations of bedding-parallel shear zones. The orebodies pinch and swell laterally along the shear zones and the complex detailed shapes of ore units are controlled by the shapes of breccias and of the fractures. The ore-forming fractures originated under compressive shear which was followed by tension.

The fluid phase that is active during the formation of breccia sulphides is a type of brine which plays an important role in the formation and evolution of the ore deposits. First, Pb-Zn elements have high solubility in such solutions, and so the latter carries sufficient mineralizing materials. Second, Pb-Zn elements in the primary orebodies are extracted, remobilized and transported by the fluid phase. Furthermore, the formation and development of the ore-forming fractures are attributed to high-pressure fluids.

作者简介 刘俊来, 1960年生, 1982年毕业于长春地质学院地勘系, 1985年获构造专业硕士学位, 1989年获矿床专业博士学位。主要从事构造地质学与成矿构造学研究, 现任长春地质学院地质系讲师。

Synopsis of the author LIU Junlai, born in 1960. Graduated from Dept. of Geological Exploration, Changchun University of Earth Sciences in 1982. Got M. S. degree in structural geology in 1985 and Ph. D. in economic geology in 1989. Majoring in structural geology and metallogeneics. Now as a lecturer in the Dept. of Geology, Changchun University of Earth Sciences.

The occurrence of breccia orebodies is related to the S (or D) fractures in the Riedel systems formed in bedding-parallel shear zones when rocks are in the ductile-brittle transition. The mechanical properties of ore-forming fractures are best interpreted by the Secor model with hydraulic fracturing as the most important mechanism for these fractures.

KEY WORDS emplacement mechanism, Pb-Zn ore deposit, ductile shear zone.

1. 前言

辽南早元古宙辽吉岩套[1988, 张秋生等]区内,许多矿体往往产于大型碳酸盐岩韧性剪切带中。矿床地质特征与矿石结构分析并结合成矿构造特点分析表明,它们无论在形成时间亦或产出空间以及就位机制诸方面都与韧性剪切带的形成与演化有着某种必然联系。本文在大量地质研究基础上,对韧性剪切带中铅锌矿床的就位机制提出粗浅认识。

2. 含矿韧性剪切带

太古宙克拉通张性裂开形成的早元古宙辽吉古裂谷系,其中心带形成了一套特殊的优地槽型组合[1988, 张秋生等; 1989, 杨振升、刘俊来],即由辽吉花岗岩、含硼岩系和浊积岩系构成的辽吉岩套[1984, 1985, 张秋生等]。在浊积岩系中,尤其是碳酸盐岩建造中,含有不同时期、不同类型的铅锌矿体。它们呈带状自西向东分布于辽宁-吉林-朝鲜(图 1)。这套岩系形成以后,曾经历了多次变型、变质和岩浆事件的改造,其中较为重要的表现为①:

- ①早期阶段高角闪岩相-低角闪岩相-低绿片岩相区域埋藏变质作用;
- ②区域伸展环境中出现的多层结构韧性剪切带与相应产出的滑脱型构造组合;
- ③地壳挤压环境中低角闪岩相-高绿片岩相条件下伴随辽吉花岗岩强力塑态底劈就位形成的岩体边缘褶皱-逆冲推覆构造与相应的逆冲型韧性剪切带构造;
- ④发育微弱的晚期褶皱和断裂及岩浆体系。

在众多地质事件中,浊积岩系内与逆冲-推覆作用相伴出现的大理岩逆冲型韧性剪切带构造是一种重要的控矿和成矿构造形式。

一般认为,方解石(大理岩)的变型机制与变型特点受环境影响异常显著[1982, Schmid]。笔者根据矿物、岩石的变型特点及其中占主导地位的变型机制,将大理岩韧性剪切带划分出三种基本类型②:递进扩散蠕变产生的 A 型剪切带(A 型糜棱岩);位错蠕变造就的 B 型剪切带(B 型糜棱岩)和颗粒边界滑移产生的 SP 型剪切带(SP 糜棱岩)。其中,仅有 B 型剪切带对铅锌物质的迁移与富集有积极意义。这里, B 型剪切带是出现在高绿片岩相环境,岩石的韧性应变是通过位错滑移和位错扩散等位错蠕变过程及由此引起的边缘粒化和动力重结晶作用完成的一种剪切带。受强烈逆冲作用影响,其产状基本与岩性层吻合,且随地层宽窄而变化;它们集中出现在某些狭窄高应变带内,发育有鞘褶皱及与之平行的石墨条痕线理,同时具有糜棱叶理。微观分析表明,这种剪切带由边缘带向中心带岩石粒度逐渐变细,并在变形残斑内保留有由变形、恢复及动力重结晶作用产生的韧性应变组构,象波状消光带(图版 1)、变形双晶、扭折带、核幔结构普遍存在。

①杨振升等, 1989, 辽宁东部早元古宙铅锌矿床条件和隐伏矿体预测(未刊)。

②刘俊来, 1989, 辽吉岩套的构造演化及铅锌矿床的变形控制与改造作用(未刊)。

浊积岩系中的韧性剪切带构造对于某些特殊类型的矿床(化)具有显著的控制作用。以岫岩北瓦沟地区最为典型,在辽吉其他地区(图 1)经常出现的角砾状矿床(化)就是其重要矿化型式之一。这是一种以围岩为“角砾”而铅锌硫化物为“胶结物”的矿化类型。矿体发育于 B 型剪切带中心带,直接控矿围岩为遭受过多期蚀变改造,仅在局部可以见到残留糜棱组构的 B 型糜棱岩。这种矿体在形态产状、组构型式等方面都表现出特殊性。

3.1. 矿体形态

一般来讲,与韧性剪切带有关的铅锌矿体在空间上仅限于剪切带内,很少跨越剪切带的影响范围。由此,限定了矿体的分布平行于剪切带延伸(展)方向,而且矿体的总体形态具有明显的宏观线性。数个矿体侧向尖灭再现(图2),平行于矿化带(剪切带)展布。各矿体规模变化很大(一般为长300—500m或更小,厚18—3m,延伸大于延长),但矿体基本形态却没有很大的变化。以北瓦沟1号矿体为例(图3),矿体与含矿角砾岩沿走向和倾向有膨大、收缩乃至尖灭的趋

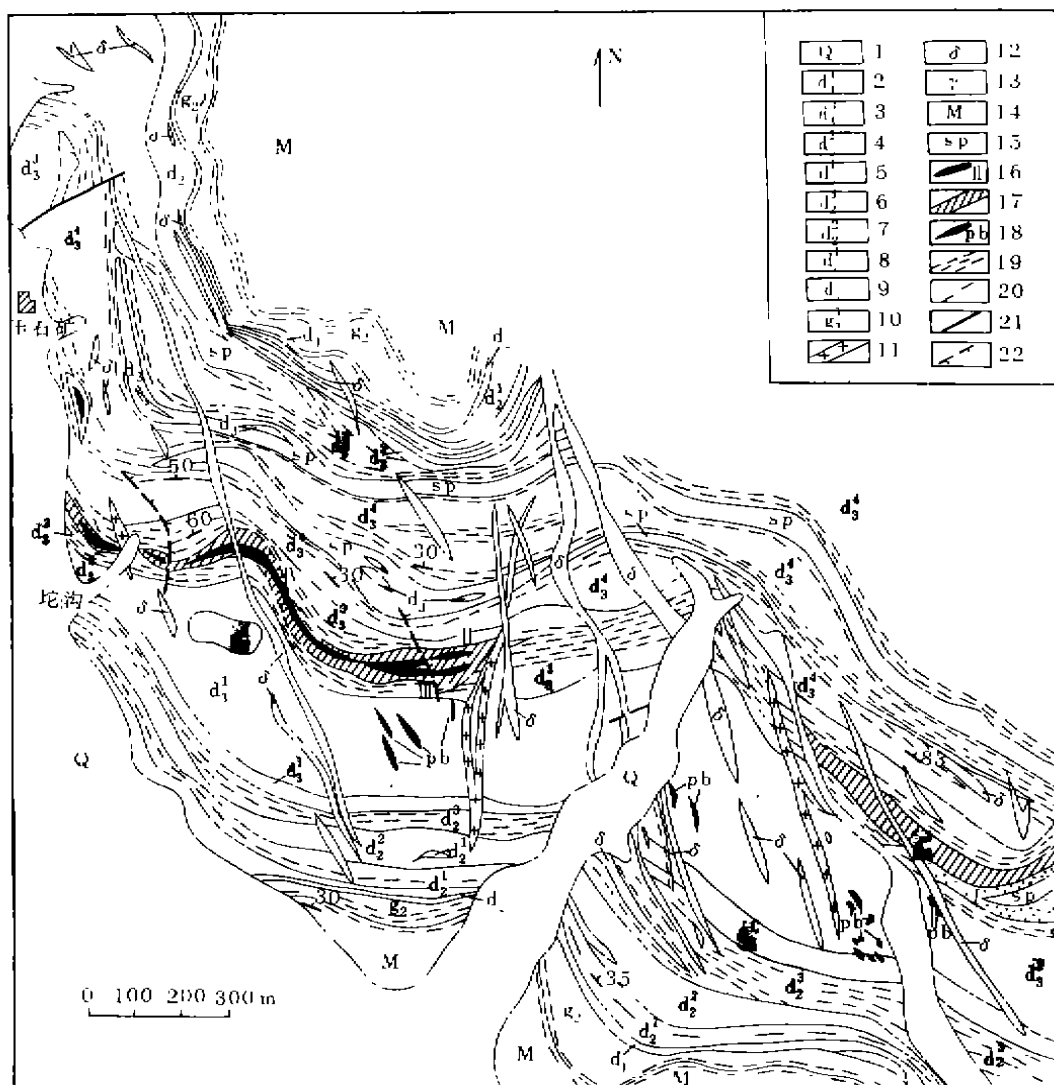


图2 北瓦沟矿区地质图

1—第四系;2—10—浊积岩系;2—含菱铁矿白云岩;3—条带状透闪石白云石大理岩;4—含透闪石白云质大理岩;5—白云石大理岩;6—细粒钙硅酸盐岩与大理岩互层;7—白云石大理岩;8—砂线石榴石片岩;9—含石墨大理岩;10—大理岩与钙硅酸盐岩片岩互层;11—细晶岩;12—闪长岩;13—伟晶岩;14—辽吉花岗岩;15—蛇纹石化带;16—矿体;17—矿化带;18—含铅石英脉;19—B型剪切带;20—构造片岩带;21—断层;22—推测断层

Fig. 2 Geological map of the Beiwagou mining district

1—Quaternary; 2—10—turbidite system; 2—magnetite-bearing dolomite; 3—banded tremolite dolomite marble; 4—tremolite-bearing dolomite marble; 5—dolomite marble; 6—interbeds between fine calc-silicate rock and marble; 7—dolomite marble; 8—sillimanitic garnet schist; 9—graphite-bearing marble; 10—interbeds between marble and calc-silicate rock schist; 11—apilite; 12—clorite; 13—pegmatite; 14—Liaoj granite; 15—serpentinization zone; 16—orebody; 17—mineralized zone; 18—Pb-bearing quartz vein; 19—R-type shear zone; 20—structural schist zone; 21—fault; 22—inferred fault

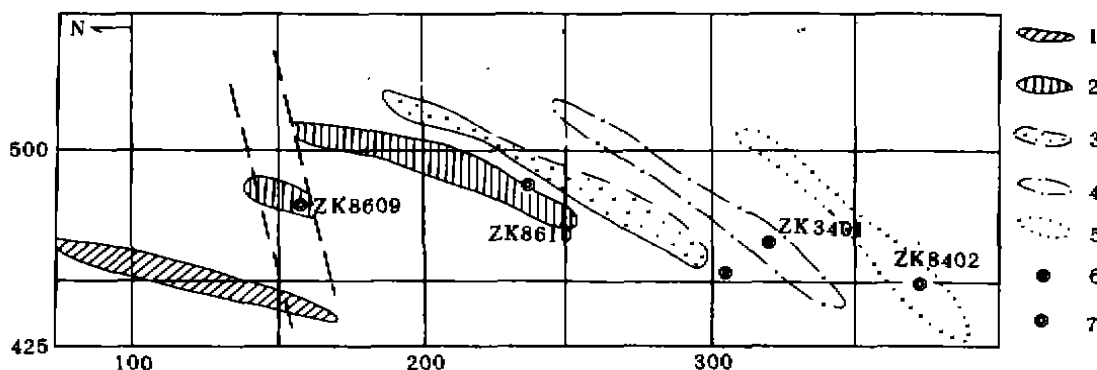


图3 北瓦沟矿区6号矿体水平投影

1—5, 不同中段矿体形态: 1—380m, 2—330m, 3—295m, 4—260m(推断), 5—220m;
6—见矿钻孔及编号, 7—见角砾岩钻孔及编号

Fig. 3 Projections of orebody No. 6 in the Beiwagou mining district

1—5—orebody forms of various depth: 1—380m; 2—330m; 3—295m; 4—260m(inferred); 5—220m;

6—ore hole and its number; 7—breccia hole and its number

势, 矿体延长达 300m, 厚度 30m, 总体形态呈三轴不等的铁饼状, 长轴倾伏约为 $175^{\circ} \angle 57^{\circ}$, 与剪切带内及区域同期矿物线理(a 线理)方向一致; 而矿体形体 AB 面(A—形体长轴; B—形体中轴)却近平行于主糜棱叶理(D//S)方向。

上述矿体形态实际上是依据临界品位圈定的矿体形体轮廓, 对露头尺度矿体分析表明, 这种宏观形体是由无数个单体形态极为复杂的矿元组合构成的。矿元的形态主要受角砾及含矿裂隙的形态控制(图 4, 图版 2), 给人以矿体沿不规则裂隙系穿插贯入围岩的印象。另一方面, 虽然矿元单体形态复杂多变, 但在更大范围内, 它们却具有一定的排列方向, 以其长轴平行主糜棱叶理定向分布。微观分析也揭示出, 微矿元形态也具有一定程度的单向延长, 总体展布方向平行于主糜棱叶理(图版 3)。

应该注意, 微观域内矿石矿物与脉石矿物(围岩)间界线规整, 且异常清晰。另外伴随矿质出现往往有围岩—糜棱岩的恢复作用和白云岩化现象, 使原来粒度很细的糜棱岩中出现一些总体形态与矿石集合体形态吻合的粗粒化带。统计结果表明, 粗粒化带的宽度与矿石集合体(微矿元)的规模呈正相关。这也解释了矿体附近广泛发育的白云岩化(或蛇纹石化)及很少残留有原始糜棱岩的现象。

3.2. 矿体的分带性

由主矿体向围岩具有一定型的分带性是角砾状矿体最显著的特征。当然, 依据不同的尺度和原则其分带性表现可以截然不同。依据角砾/矿质成分的相对含量可以划分出以矿质成分为主的富矿带和以角砾或围岩成分为主的贫矿带以及介于其间的过渡带(图 4)。由富矿带

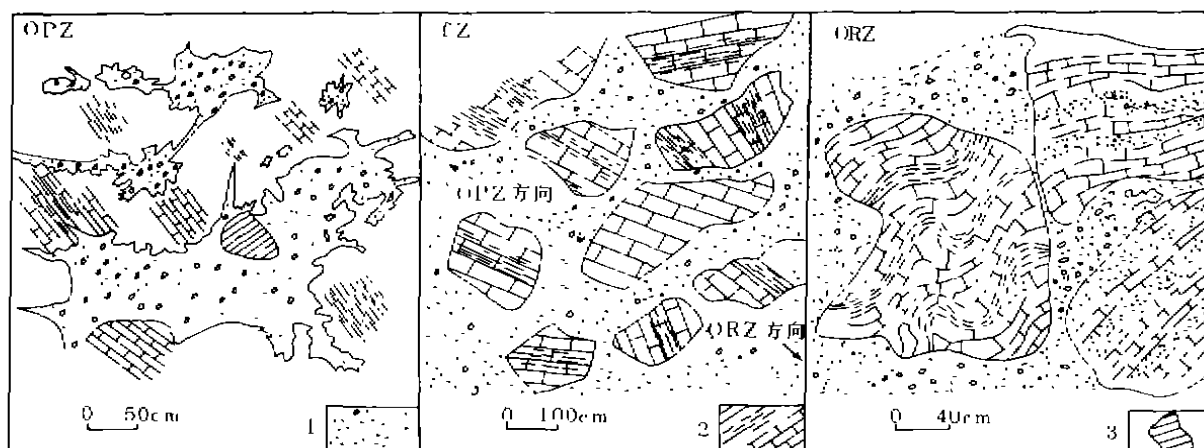


图4 矿体由贫矿带向富矿带的分带

1—硫化物集合体; 2—蚀变糜棱岩; 3—白云石—铁白云石巨晶;

OPZ—贫矿带; TZ—过渡带; ORZ—富矿带

Fig. 4 Zonation of the ore bodies from ore-poor zone to ore-rich zone

1—sulphide; 2—altered mylonite; 3—dolomite—ferrodolomite megacryst;

OPZ—ore-poor zone; TZ—transformed zone; ORZ—ore-rich zone

向着贫矿带方向,矿质含量逐渐降低而角砾含量逐渐增高,直至最终矿质消失成为围岩。同时角砾之间的空间关系也在渐变发展。在富矿带角砾孤立出现,角砾间并不直接接触;向围岩方向,角砾逐渐互相接触或相连,在接近围岩时实为填隙式矿脉。值得提出的是,无论角砾发育程度如何,角砾之间并无显著错移(平移或旋转),只是表现为原地被动裂开;相邻角砾之间尚能以其构形及内部组构加以拼合(图4)。

3.3. 矿石组成与组构特征

角砾状矿体矿物组成简单,矿石矿物以闪锌矿为主,含有少量方铅矿和黄铁矿,其次还有磁黄铁矿、黄铜矿、辉锑矿等,脉石矿物以白云石、铁白云石为主,伴有透闪石和蛇纹石等。无论矿石矿物或脉石矿物都表现出多阶段演化趋势。

粗晶等粒状结晶结构(a)、包含结构(b)和卫星状结构(c)等是矿石的主要结构形式。其中a是最典型的结构形式,而b和c却具有重要成因意义,b充分说明成矿的阶段化发展规律,而c却演示了围岩中成矿物质的富集过程(详见图版4说明)。矿石主要构造型式包括块状构造、角砾状构造和脉状构造。其中角砾状构造是其特征性构造形式,表现为矿石矿物集合体呈胶结物充填于角砾隙间,角砾形态极不规则,呈各种棱角状、次棱角状,棱角之间的边线平直规整;矿石物质集合体形态主要取决于角砾形态。角砾与胶结物界限分明,露头上暗(硫化物)/浅(角砾)反差极大的两部分具有清晰的分界线。块状构造主要发育于矿石物质内,当角砾含量很少而硫化物含量达90%以上时,块状构造便成为矿石的主要构造型式。另外,脉状构造是由这些硫化物矿物(聚晶集合体)在围岩裂隙中似充填构成的。实际上,三种不同矿石构造型式基本反映了前述矿体空间分带特点,它们分别出现在富矿带(块状),过渡带(角砾状)和贫矿带(脉状)。

3.4. 蚀变围岩组合

强烈发育的近矿围岩蚀变是角砾状矿化的重要特征,也是成矿带内流体活动存在的重要证据。围岩蚀变发育之强烈,几乎遍及整个含矿带,尤其当原岩含有一定量的 Si、Mg 成分时更是如此。依围岩蚀变出现的主要矿物(组合)可以划分为蛇纹石化、白云岩化和硅化,从其间的交切、穿插关系及与主成矿阶段的关系又可以区分出多期、多阶段蚀变作用的存在。蛇纹石化发育最强烈、分布最普遍,以纤蛇纹石、叶蛇纹石化为主,并有胶蛇纹石的出现。由于杂质及胶蛇纹石的含量而致使不同阶段蛇纹石化具有多变的颜色。白云岩化可以划分出三个不同阶段,其中矿化前白云岩化分布比较均匀,形成遍布矿化带的粗晶白云岩;矿化期白云岩化的强度分布表现出与矿体的相对位置显著相关,近强远弱,蚀变岩石可以呈巨晶状、粗晶状或细晶状。应该提及的是巨晶状白云石可以呈集合体分布于围岩或角砾中,也可以呈单晶状分布于矿体内接近围岩或矿石物质分界处。后者表现出不均匀着色,由黑色核心渐变至白色边缘。红外分析表明前者为铁白云石而后者为白云石。由此也充分说明了矿化发展的长期性与阶段性以及由早期富铁向晚期贫铁的变化趋势。矿化期后的白云岩化与硅化常常表现呈脉状、网状切穿矿体,对矿体起着破坏作用。

4. 角砾状铅锌矿床(化)的就位机制

4.1. 含矿裂隙的特点及其力学性质分析

角砾状矿床(化)的含矿裂隙目前均已被成矿物质所占据。因此,含矿裂隙的特点就直接表现在就位于其中的成矿物质——矿体的形态特征上。前述对角砾状矿体的基本形态进行了广泛的描述和讨论。其中,以下几点需要进一步强调说明:

(1) 矿体的宏观形态呈三轴不等的铁饼状,宏观轮廓上侧向尖灭再现,并且平行于矿化带亦或沿剪切带延伸(图2,图3);

(2) 无论是矿体宏观形态、亦或矿元形态(图版1,图4),微矿元形态(图版2),都以其长轴平行于局部 α 线理方向,并以其AB面平行于实为压扭性面的糜棱叶理(S或D);

(3) 矿元形态异常复杂,呈各种不规则的棱角状;角砾形体复杂,多呈等轴状,偶然具有一定的轴比,但却没有总体形态优选。相邻角砾的内部结构及角砾形态吻合性分析充分说明,角砾之间并没有显著错移(平移与旋转)(图4);

(4) 矿化分带现象显著,出现了由富矿带到贫矿带乃至围岩的过渡。其中值得注意的是,在邻近围岩的贫矿带中,矿体的出现实际上是典型的裂隙式充填,而对于一个特定的矿体(尤其是矿元或微矿元),充填于裂隙中向四周呈放射状分布,表现出中心扩展式的裂开特点(图4);

(5) 矿化带上角砾岩的出现仅仅见于矿体及其附近,横向上或纵向上远离矿体时角砾便自行消失;两个宏观矿体之间往往为遭受蚀变或未遭受蚀变改造的糜棱岩类岩石所占据;

(6) 特殊的矿石结构型式,如巨晶白云石内部分带、闪锌矿聚晶的卫星状结构型式(图版3)等。前者表明了矿化作用的阶段性发展;而后者却形象地演示了中心扩展式裂开的微观表现。

从矿床地质特点,尤其以上几点讨论可以发现,根据矿体的宏观形态特征和利用矿体其他微细特点反映出的成矿裂隙力学性质有很大的差异。由宏观形态及其与主糜棱叶理的产状关系可以判定成矿裂隙实属压扭性,即 Riedal 裂隙系的 D 或 S 系统,但是矿体的微细特征却证实成矿空间具有某种程度上的张性特点。对于这种裂隙系统的解释,仅从 Riedal 裂隙系统及解释这些裂隙系统的格里费斯准则方面去考虑似乎是不会成功的。而实际上,以 Secor 准则为基本原理引出的液压扩容破裂理论却给出了最好的解释。同时,放射状裂隙及卫星结构表现出的中心扩展裂隙型式的存在等却是最好的证明。

4.2. 铅锌矿床(化)形成过程中的流体相

流体相的存在对铅锌矿化的形成起着十分重要的作用,矿体附近强烈发育的多阶段复杂类型围岩蚀变的出现是最有利的证据。矿石矿物与脉石矿物包裹体成分分析证实^③,成矿热液实际上是一种富含 CH_4 、 CO_2 、 H_2 、 N_2 、 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{++} 、 Cl^- 、 F^- 和 I^- 等多种元素的高盐度流体。

流体相的存在是剪切带中铅锌形成的必要条件之一,表现在:首先,具有这种成分的流体使得铅锌成矿物质具有较高的溶解度[1984,涂光炽等],为从岩石中淬取更多的分散状态铅、锌成矿元素提供了有利条件[1987,张秋生],并可把它们搬运到适当场所形成矿石堆积[1986, Kriminitsky, et al.]。其次,流体相的出现对于变形过程中岩石力学性质的转化有着重要影响。高压孔隙流体的存在很容易导致岩石由韧性向脆韧性的转变[1983, Etheridge]。因此,在一种环境中经受韧性变形的岩石也会因流体相的介入而迅速转变成脆性[1989, Lister & Davise]。另外,下述讨论中还会发现,成矿空间的形成与扩展实际上是在流体相控制下(当然应力从另一方面在起作用)由液压扩容破裂作用完成的。

4.3. 角砾状矿床(化)的就位过程

角砾状矿化是伴随韧性剪切带变形向晚期的演化,岩石由韧性向脆性转化(含矿流体的作用)阶段出现的。这一点可以从矿元极不规则形体(脆性表现)及沿糜棱叶理分布且具有微弱形体优选(韧性表现)可以得到很好的说明。矿床(化)形成中热液起着不可估量的作用。宏观构造、微观结构及矿床地质综合分析表明,对角砾状矿床(化)成矿空间的产生及其发展,只有利用韧性剪切带变形作用晚期阶段的液压扩容作用来解释,即是由于液压扩容破裂的阶段化发展而完成的。业已证实,韧性剪切带所在部位既是一项强烈的剪切变形所在的高应变带,又是热液活动极为发育的场所。强烈的糜棱岩化作用使岩石发生显著的细粒化,而且在岩石中造就了一系列微破裂—粒内—粒间裂隙(实际上变形岩石的扩容现象从此时就已经开始,见 Edmond 和 Paterson, 1977)。同时出现的流体相充填于这些微裂隙中,并达到平衡状态(由于温度、压力条件所制约,并不能出现矿化或硫化物沉淀,但可以产生不同规模的近矿围岩蚀变)。随着韧性剪切带的演化,温度的降低以及流体相的广泛介入(关于流体源问题,详见 1988,王中会^④),岩石表现出由韧性向脆性的转化。此时,应力的持续作用并不能使岩石进一步发生广泛的韧性变形及进一步细粒化,却使充填于微裂隙内的流体相成为高压流体,正如 Secor 模式[1978, Fyfe et al.]所示,当 $S_3 - P = T$ 时(S_3 —最小主应力; P —流体压力; T —抗张强度),处于

③ 马绍刚, 1988, 辽南三家子—青城子地区地质背景及铅锌成矿作用(未刊)

④ 王中会, 1988, 辽东铅锌成矿带北五瓦地区铅锌地质特征及成因(未刊)

临界状态的微裂隙发生扩展(实际上是沿 Riedal 裂隙系的 $D(//S)$ 方向),这就导致了微裂隙瞬时体积增加。注意此时所有宏观应力都是挤压应力,只有有效应力与微破裂端部的局部应力是张应力。伴随微裂隙扩展与体积增加沉淀结晶出硫化物和少许脉石——白云石,而且产生有矿化期的近矿围岩蚀变。同时,由于微裂隙体积增加伴有流体压力减小,使之低于平衡状态流体压力,因而裂隙扩展暂时结束,而其他裂隙或流体源中的流体则通过某种通道[1978, Fyfe, et al.]再度注入已扩展的微裂隙中,并呈现出进一步的高压临界状态。如此往复循环(图 5),微

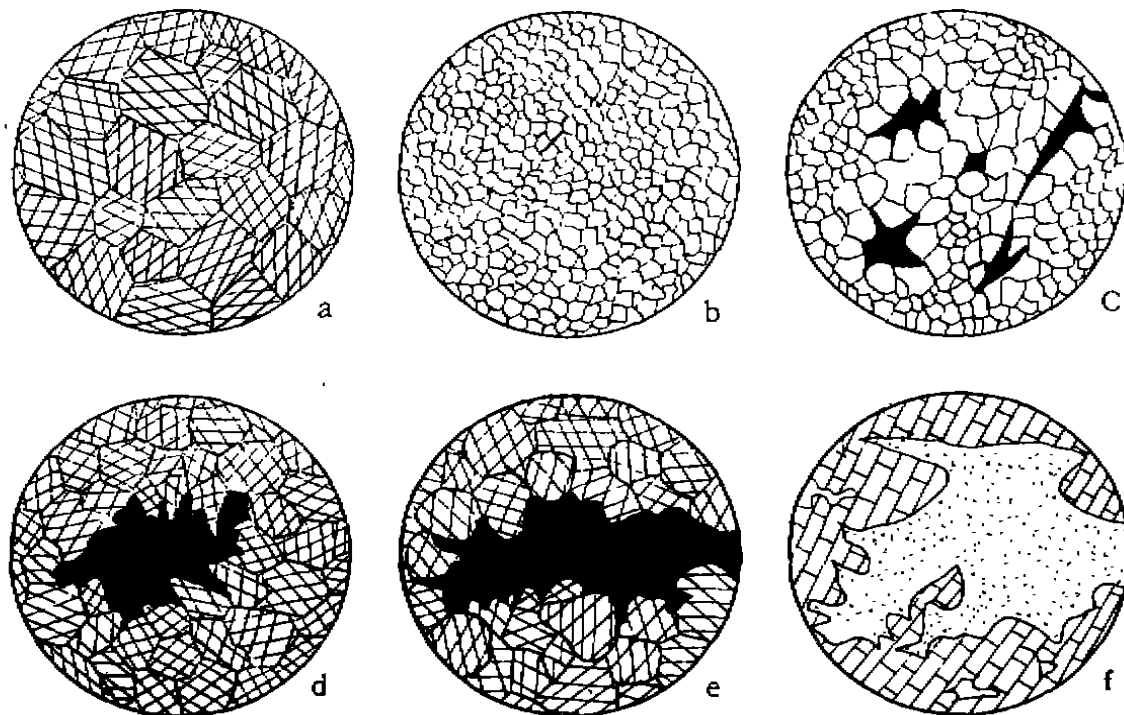


图 5 角砾状矿体就位机制模式

a—未变形大理岩; b—糜棱岩化扩容; c—液体相介入, 液压扩容破裂出现, 微裂隙中有矿质就位并伴有一定的蚀变;
d, e—进一步液压扩容破裂中出现较大规模的微矿元, 可以具有形态定向(e), 不具形态定向(d);
f—矿元或矿体形成, 并产生广泛蚀变

Fig. 5 Emplacement model for breccia ore bodies

a—undeformed marble; b—mylonitized dilation; c—entrance of liquid phase, breaking of hydraulic dilation and emplacement mineralizing materials in micro-fracture accompanied by some alteration; d, e—formation of the bigger micro-ore-units in the further hydraulic dilation, with form orientation (e) or without orientation (d);
f—formation of ore-unit or orebody with wide alteration.

破裂沿 $D(//S)$ 方向不断发展, 由微裂隙→小型破裂→宏观破裂, 硫化物和白云石不断晶出和加大, 最终形成具有不规则形态但沿糜棱叶理有一定优选并发育有强烈围岩蚀变等特征的微矿元、矿元乃至宏观角砾状矿体。

5. 结 论

(1) 角砾状铅锌矿床(化)是辽南早元古宙铅锌成矿带内韧性剪切带中的重要矿床形式之

一,也是铅锌矿床的一种重要类型。矿床地质与矿石结构分析证实,这种矿床(化)具有热液成因特点,流体相在其形成中起着重要作用。

(2)角砾状矿床(化)的成矿空间,即成矿破裂的发展表现出宏观压(扭)性和微细方面的似张性。破裂的形体轮廓与区域韧性剪切带延伸及其中的主糜棱叶理平行,证明了压(扭)性特征之所在,但破裂微细特征却证实了角砾具有张性特点。

(3)应用 Secor 模式可以很好地解释角砾状矿体成矿空间的力学属性。液压扩容破裂作用是这种成矿空间形成与发展的主要机制。这些成矿裂隙主要是在韧性剪切带变形的晚期阶段,岩石由韧性向脆性转变的过渡阶段(包括流体压力的效应)沿 $D(//S)$ 方向出现的;而矿石的沉淀、结晶与长大是伴随着液压扩容破裂由微裂隙至宏观裂隙的多阶段发展而完成的。

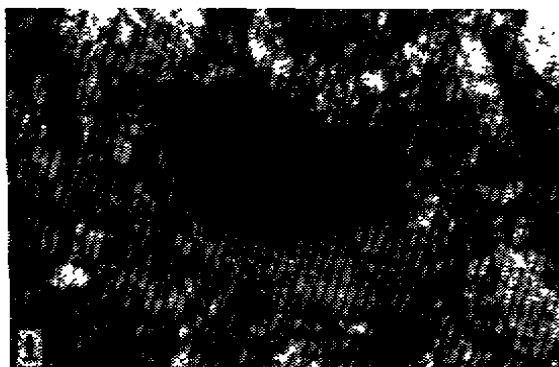
本文研究和编写过程中得到张秋生教授生前和杨振升教授的悉心指导,成稿后刘连登副教授和曹燕副教授阅读了原稿并提出宝贵意见,在此深表感谢。

参 考 文 献

- 1978 Fyfe, W.S. et al. Fluids in the earth's Crust, Elsevier. Amsterdam, 383.
- 1984 涂光炽等,中国层控矿床地球化学(1),科学出版社。
- 1987 刘俊来,辽南青城子大理岩韧性剪切带,世界地质(构造地质专辑)。
- 1987 张秋生,大陆边缘古地壳内深部液态含金矿源层,张秋生论文选集,吉林科学技术出版社。
- 1988 张秋生等,辽东半岛早期地壳与矿床,地质出版社。
- 1988 Krinitsky, A. A., 等(金利勇、刘俊来译),前寒武纪大陆壳,构造、成分与演化——由苏联深钻揭示的迹象,世界地质,7(4)。
- 1989 Lister G. A. and Davis G. A., The Origin of metamorphic core complexes and detachment faults formed during Tertiary continental extension in the northern Colorado River Region, U. S. A., J. Struct. Geol. Vol. 11, No. 1/2.

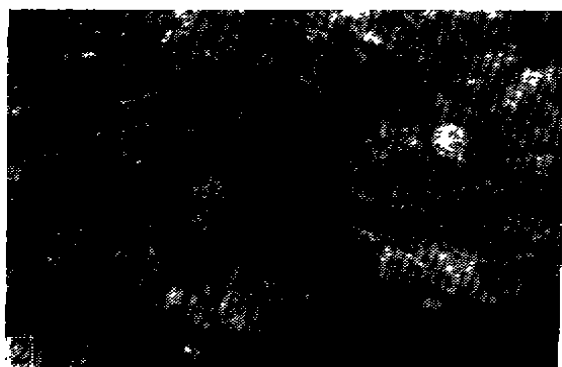
(本文1991年4月收到,1992年10月改回)

图 版 (PLATE)



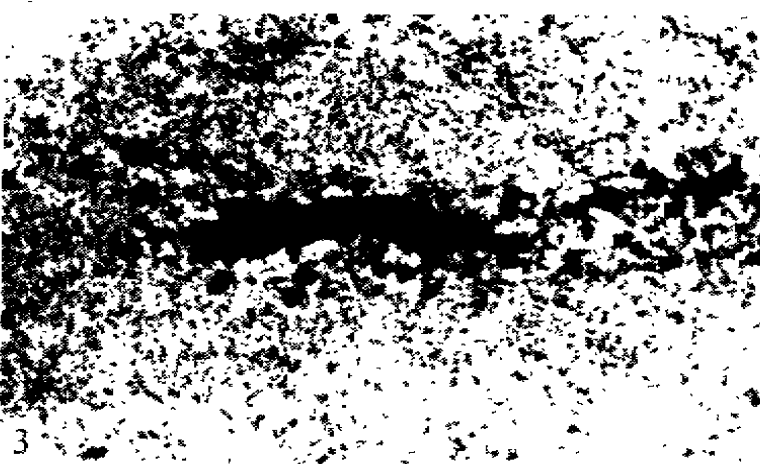
1—方解糜棱岩微构造形式 × 125(+)薄片

1. micro-structure forms of calcite mylonite (+, × 125)



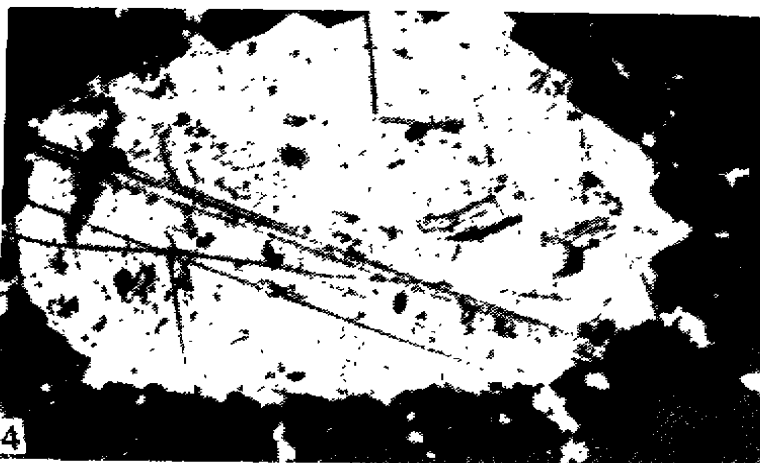
2—角砾状矿元(体)野外产状。暗色为硫化物矿体, 浅灰色为蚀变糜棱岩

2. breccia ore-unit (orebody). The dark is sulphide, the light brown is altered mylonite



3—角砾状矿体微矿元形态。暗色为硫化物微矿体, 浅色为方解糜棱岩。注意矿体附近的方解石具有白云岩化(粒度加大)且矿体延长方向平行于糜棱岩叶理 × 250 (—)薄片

3. forms of micro-breccia ore-units. The dark is micro-sulphide, the light is calcite mylonite. Note that the calcite experienced dolomitization, and the extending direction of orebody is parallel to mylonite foliation (—, × 250)



4—闪锌矿的卫星状结构。在一微矿元附近发育有一系列更小的亚微矿元, 它们呈放射状分布。可以认为它们是沿主微矿元周围出现的放射状微裂隙就位的。注意硫化物与围岩之间的界限相当清晰且规整, 没有任何相互交代的迹象 × 125(+)光片

4. satellite-like texture of sphalerite (—, × 125), polished section