

# 陕西秦岭地区泥盆系同生断裂、岩相与海底喷流沉积铅锌矿床\*

张复新 王俊发

(西北大学地质系)

**内容提要:** 秦岭泥盆系及其喷流沉积铅锌矿床, 位于扬子板块北部边缘的线型裂谷环境中。裂谷系的扩张演化伴随三组同生断裂活动: 近东西向、北东向和南北向, 它们具有继承性活动特点, 对本区地质演化起着重要的构造调整作用。泥盆纪岩相古地理特征, 是研究区统一的构造沉积环境下出现的, 岩相变化往往与同生断裂平行, 直接控制了泥盆系的沉积。在该环境下形成的铅锌矿和铁白云石硅质岩, 具有海底喷流沉积岩的地质地球化学特征。可作为恢复构造沉积环境和同生断裂的重要标志。本区同生断裂及岩相与赋存于泥盆系中的喷流铅锌矿床之间的相互关系, 表现为东西向的构造-岩相带控制着铅锌成矿带的分布, 北东向和南北向构造-岩相带制约着一系列单个矿床的线形分布。

**关键词:** 喷流沉积铅锌矿床 同生断裂 岩相古地理 秦岭泥盆系

陕西秦岭地区泥盆系发育良好, 大体呈东西向展布, 受区域大断裂控制明显, 岩相变化显著, 蕴藏有丰富的铅锌多金属矿床, 自东向西集中分布在泥盆系组成的山柞海盆、镇旬海盆和凤太海盆。著名的西成铅锌矿田, 位于陕甘交界西侧, 与凤太铅锌矿田相接, 是陕西秦岭泥盆系的西延部分。它们总体构成了我国重要的秦岭泥盆系多金属成矿带。同时也是秦岭造山带形成和演化的重要一幕。

本文以凤太和镇旬海盆为例, 在探讨本区古生代构造沉积背景的基础上, 着重阐述区内同生断裂、岩相变化、海底喷流沉积铅锌矿床的地质特征及其相互关系。研究表明, 它们的地质特征以及相互关系, 与古板块运动所产生的裂谷环境密切相关, 而且在成因上存在着内在联系。

## 一、古生代南秦岭构造沉积演化概述

研究区的大地构造位置, 目前有代表性的观点认为, 位于华北、扬子板块之间的秦岭古生代陆间<sup>[1]</sup>或陆缘裂谷型断陷海槽之中<sup>[2]</sup>。

笔者通过地质调查和对前人地质资料的综合分析, 认为本区震旦纪和古生代沉积地层及环境可以与扬子板块以至整个华南区类比。因此, 秦岭古生代海槽褶皱带应属扬子板块北缘

\* 国家自然科学基金资助课题

的古大陆边缘。另据本区形成的巨型多金属成矿带,以及产出的一系列特大、大一中一小型矿床,可见本区这一时期的构造沉积活动是频繁而强烈的,如此丰富和大量的成矿物质,从活化、迁移直至沉淀也需要这样的成矿环境。根据研究区古生代海槽表现出的总体构造格局、沉积建造、岩浆活动等,认为该构造沉积活动与裂谷作用有关,并且该裂谷环境与局部伸展构造密切相关,依时间演化和空间分布,显示两种不同的形成方式。

早古生代,南秦岭南部,宁陕—白河以南至紫阳红椿坝断裂之间,发育的下古生界硅质岩和泥岩为特征的深水黑色岩系沉积,是局部连续伸展扩张引起本区地壳下沉造成的。由于连续伸展扩张作用在该局部地区出现的热液喷流沉积岩为硅质岩、燧石岩和重晶石岩。与之伴生的岩浆活动有偏碱性基性岩、碱性岩的喷发和侵入,最近发现金伯利岩。在该区段南北两侧的广大早古生代沉积,由浅海陆棚—潮坪及台地相沉积体系构成。该伸展扩张活动强烈,具有地幔物质上拱的特征,属于陆缘裂谷发展的早期阶段。嗣后,秦岭古生代裂陷海槽的东西向构造格架基本定型。

晚古生代,南秦岭北部,在凤太—镇旬一线和柞水—山阳一线,发育着巨厚的复理石、类复理石沉积,是局部脉动伸展扩张,在不同地段形成的线型裂陷。它们的发生存在一定时间间隔,并以短脉冲形式作用于本区。由此而出现的热液喷流沉积岩为铁白云石硅质岩、钠长石岩、重晶石岩和燧石岩。伴生的岩浆活动,以层凝灰岩形式出现。

研究区古生代出现的裂谷环境,是扬子板块向北俯冲,板内不同部位重力拖拉造成的。不同的伸展扩张形式,造就了不同的裂谷环境,同时也显示出裂谷形成的阶段性。

## 二、同生断裂及其继承性活动特点

研究区出现的同生断裂,是与整个古生代裂谷系的扩张演化分不开的,并具有继承性活动特点,对本区地质演化起着重要的构造调整作用。根据观测,本区主要同生断裂方向有三组:近东西向、北东向和南北向。这几组构造的持续活动,不仅对下古生代沉积有重要的分割作用,而且直接控制着泥盆系的沉积,同时制约着成矿作用的分带、分区,影响着岩浆活动及中—新生代断陷盆地的形成和分布。

近东西向同生断裂带是本区规模最大、延续较好、控制本区总体地质格架最突出的一组构造线。其商县—丹凤断裂、上白云—凤镇—山阳断裂和江口—镇安—板岩镇断裂横贯全区(图1)。商县—丹凤断裂成为控制秦岭古生代沉积的北界。江口—镇安—板岩镇断裂以北普遍缺失志留系,以南志留系广泛发育。直至早泥盆世,由于江口—镇安—板岩镇断裂的持续活动,断裂以北仍然处于隆起区,未接受下泥盆统的沉积,而断裂以南有下泥盆统的广泛出露。在中泥盆世,海槽中部近东西向波状起伏的古隆起已经形成。上白云—凤镇—山阳断裂通过这条古隆起的脊线。由于该断裂的强烈活动,控制了南北两侧泥盆系的沉积。北侧柞水海盆强烈下沉,为海槽内的深陷沉降地区,接受了近万米的复理石沉积,并夹有层凝灰岩层的分布。而南侧镇旬海盆沉降幅度小,浅海台地的碳酸盐沉积十分发育。值得注意的是,秦岭泥盆系海底火山—热液喷流沉积铅锌多金属矿带,即沿此活动断裂两侧分布。

总之,近东西向活动断裂规模大,造就了本区总体近东西向的构造格局,控制着不同时代地层和多金属成矿带的东西向展布。

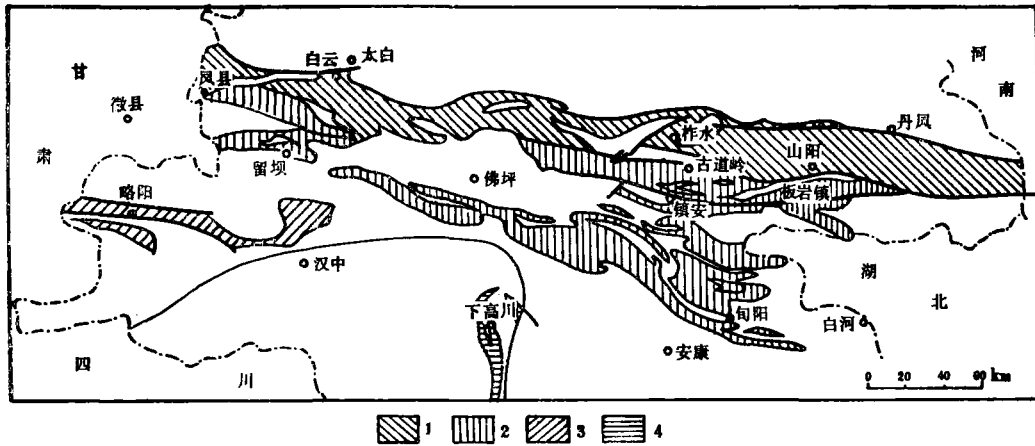


图 1 陕西秦巴地区泥盆系露头分布及分区略图

1—白云-柞水小区；2—凤县-旬阳小区；3—略阳小区；4—下高川小区

Fig. 1. Sketch map showing distribution of Devonian exposures in Qinling-Dabashan area of Shaanxi Province and division of this area.

1—Baiyun-Zhashui subarea; 2—Fengxian-Xunyang subarea; 3—Lüeyang subarea; 4—Xiagaochuan subarea.

北东向和南北向断裂是研究区内另外两组主要的活动构造带。它们形成稍晚，并叠加在早期近东西向构造带上。在整个秦岭泥盆系沉积海槽内，形成近东西向的海盆链和孤岛链的相间，以及和北东向（图2西部）、南北向（图2东部）海湾-海盆、半岛-海岛一一对应的菱形格局（图2）。

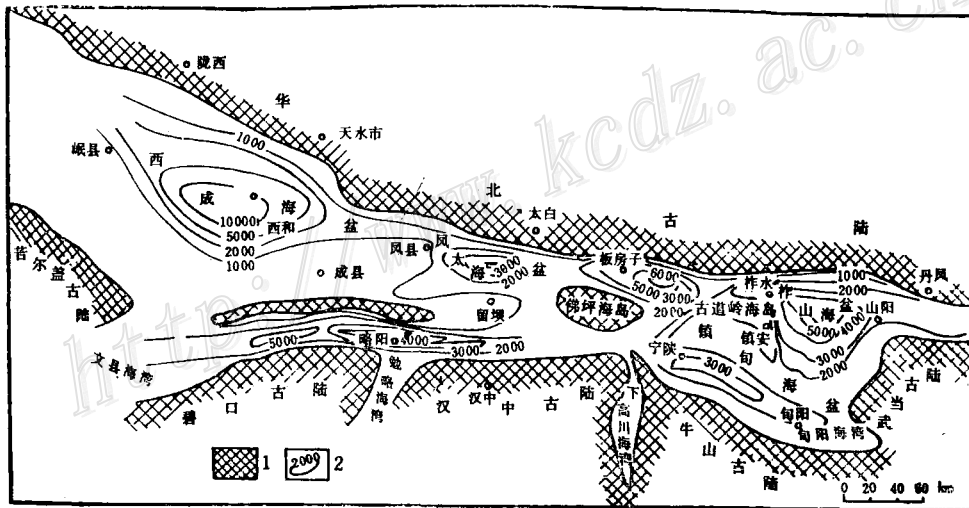


图 2 陕西、甘肃境内秦岭中泥盆世古地理略图

(据甘肃、陕西地矿局资料修编)

1—古陆与海岛；2—沉积等厚线（单位m）

Fig. 2. Sketch Middle Devonian lithofacies-paleogeographic map of Qinling area within Shaanxi and Gansu provinces.

1—Old land and island; 2—Sedimentary isopach (in meter).

不仅如此, 北东向和南北向同生断裂进而控制了沉降海盆中沉积岩相沿走向上的变化(详见后述), 以及一系列单个矿床的线形分布。不同岩相和矿床沿北东和南北方向作有规律的展布。在岩相变化剧烈和矿床线形分布集中区, 则构成矿田范围。可见上述两组同生断裂对本区沉积作用和成矿作用的控制。

对于凤太铅锌矿田, 除其单个矿床明显沿北东向线形排列外(图3), 就某一具体矿床

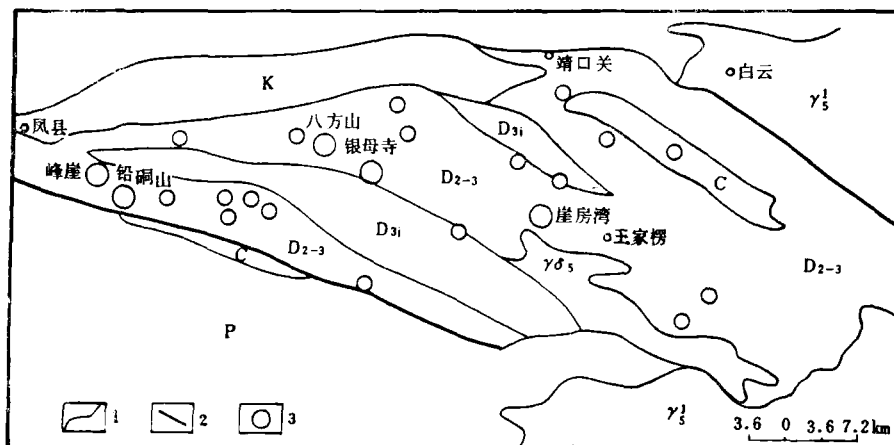


图3 凤太地区铅锌矿床分布略图

(据陕西区队资料简化)

1—地质界线; 2—断层; 3—矿床及矿点; K—白垩系; P—二叠系; C—石炭系;  
D<sub>31</sub>—上泥盆统九里坪组; D<sub>2-3</sub>—中、上泥盆统古道岭组、星红铺组;  $\gamma_5^1$ —中生代  
斑状黑云母花岗岩闪长岩;  $\gamma_5$ —中生代花岗岩闪长岩

Fig. 3. Geological map showing distribution of lead-zinc ore deposits in Fengtai area.

1—Geologic boundary; 2—Fault; 3—Ore deposit and ore occurrence; K—Cretaceous;  
P—Permian; C—Carboniferous; D<sub>31</sub>—Upper Devonian Jiuliping Formation; D<sub>2-3</sub>—  
Middle-Upper Devonian Gudaoling and Xinghongpu Formation;  $\gamma_5^1$ —Porphyritic biotite  
granodiorite of Mesozoic Era;  $\gamma_5$ —Granodiorite of Mesozoic Era.

或矿体而言, 沿原生铅锌矿体走向方向Pb/Zn值高区, 大致呈北东向展布。并且, 在高Pb/Zn值区重硫不富集, 显示来自地壳深部硫源特征<sup>[3]</sup>。暗示着由北东向同生断裂控制的海底喷流通道的存在。燕山期是矿田范围又一次强烈的北东向构造-岩浆活动的高潮期。凤太海盆迄今存在的菱形格局是最好的例证。凤太矿田北东和南西为同沉积期的近东西向(北西西向)同生断裂所夹持; 北西侧由北东向白垩纪狭长断陷盆地切割; 南东侧由北东向燕山期花岗岩吞蚀(图3), 吞蚀及切割界线整齐。

在镇旬矿田南北向同生断裂表现突出, 近年来的研究工作得到进一步证实。

1. 下泥盆统西岔河组陆源冲积扇带, 自典史沟—青铜关一线呈南北向分布。
2. 本区志留系基底岩层组成的褶皱构造转折端, 均大致终结于南北向构造带一线(图4)。
3. 在铁厂铺—两河一线与磨里沟之间, 出露一条近南北向展布的生物礁。排除礁体南北向受褶皱的影响, 恢复其实际长度大约为10km, 东西宽约4km, 最大厚度约200m。
4. 本区水系呈南北、东西交叉, 构成方格状水系特点。
5. 南北向同生断裂不但对本区沉积岩相、水系控制明显, 而且对本区矿床、矿点的南

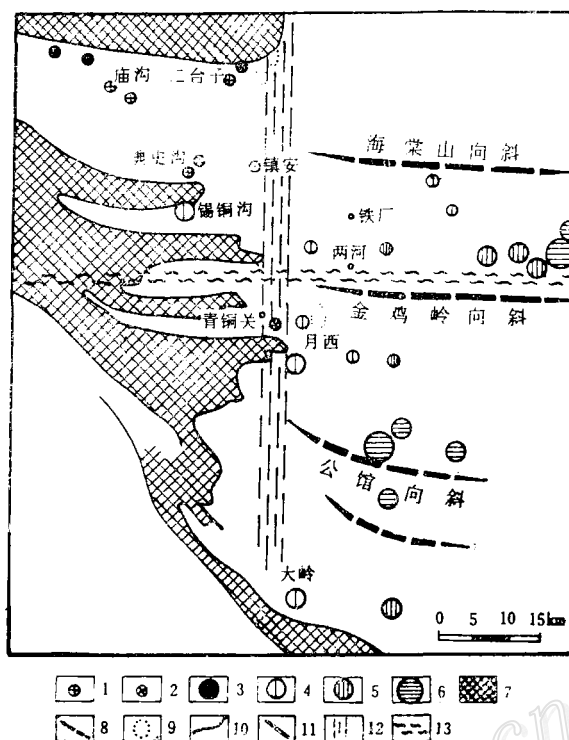
北向分布以及成矿元素的南北向分带也有较严格的控制作用。由图4可见,矿床、矿点依南北向线形分布。主要成矿元素及其元素组合,沿南北一线自西向东出现有规律的分带:Cu、Au、Fe-Pb、Zn-Hg、Sb。

图4 镇安地区前泥盆系基底  
露头与矿产分布略图

1—金; 2—黄铁矿; 3—铜; 4—铅锌;  
5—锑; 6—汞; 7—前泥盆系基底; 8—  
一向斜轴; 9—礁体; 10—地质界线;  
11—断层; 12—南北向枢纽带; 13—  
东西向挤压带

Fig. 4. Sketch map of Zhenan  
area showing outcrops of pre-  
Devonian basement and distribution  
of ore resources.

1—Gold; 2—Pyrite; 3—Copper; 4—  
Lead-zinc; 5—Antimony; 6—Mercury;  
7—Pre-Devonian basement; 8—Syn-  
clinal axis; 9—Reef; 10—Geological  
boundary; 11—Fault; 12—SN-tren-  
ding pivotal zone; 13—EW-trending  
compressive zone.



### 三、同生断裂与泥盆系岩相古地理

岩相古地理及沉积盆地的物质来源和所形成的构造环境密切相关。同生断裂是影响构造环境的重要因素。鉴于此,对本区岩相变化、古地理特征的研究,对该环境下特征产物的研究,可作为恢复构造沉积环境和同生断裂的重要标志。

凤太海盆位于研究区西部,它的菱形格局前已述及,是局部扩张作用并由多组同生断裂控制的结果。在该构造沉积背景中,岩相古地理的具体情况如下:海盆在中泥盆统古道岭组上岩段沉积时期,沿核桃坝一线就存在近南北向的水下隆起带<sup>[4]</sup>(图5)。该地段泥盆系沉积厚度小,对海盆东西两部分起着隔挡作用,使隆起带两侧沉积岩相和成矿特点有较大差异。隆起带以西,海底地势起伏强烈,在西南苇子坪一带为台地边缘生物礁相沉积,两侧为台地边缘台沟相沉积区,发育有含碳泥灰岩相沉积。隆起带以东,泥盆系沉积海盆地势起伏不大。在靖口关—王家楞和太白河一线,存在两个近北东向延伸的宽缓凹槽,为开阔台地相沉积区。致使古道岭组碳酸盐相沉积地层中砂质成分增高,生物化石减少,碳质泥灰岩层不发育。该地段以金的成矿作用为特点,有大—中型金矿床及其矿点出现。最东部古字梁一带,为局限台地相沉积区。上述各岩相带的展布,均与北东向构造线一致。至上泥盆统星红铺组沉积初期,北东向同生断裂沿本区生物礁相带两侧的台沟相带活动加剧,致使局部出现海底喷流活动。

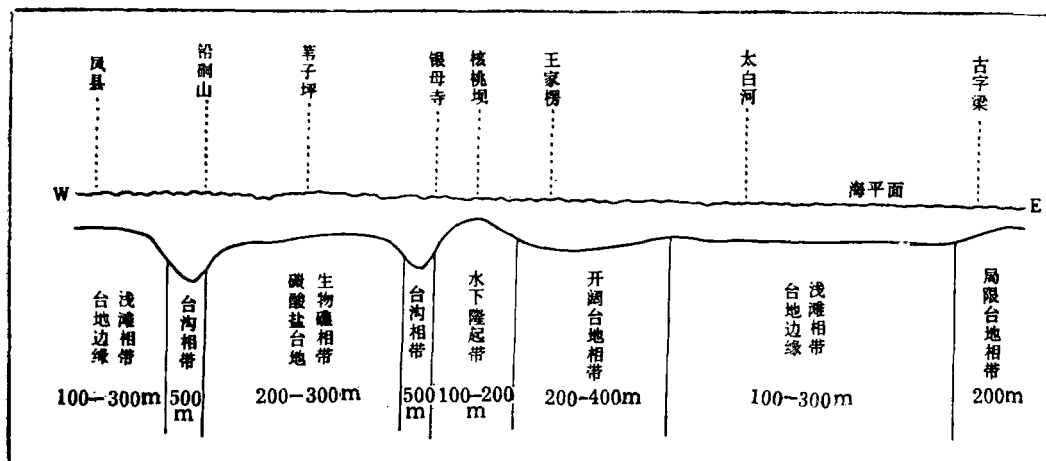


图 5 凤太海盆中泥盆世古道岭组晚期沉积模式略图

(图中数字为大致的水深范围)

Fig. 5. Schematic sedimentary model for late Middle Devonian Gudaoling Formation in Fengtai basin.

(Numbers stand for approximate range of seawater depth)

在台沟相带较深水洼塘, 沉积了层状铅锌多金属硫化物矿体, 及与之密切伴生的铁白云石硅质岩。它们有规律地沿北东向线形分布。

从本区沉积海盆的垂直地层剖面看, 同生断裂的持续活动, 对岩相古地理也有明显控制作用。如本区广泛出露的中泥盆统古道岭组碳酸盐岩, 岩层顶部断续出现古剥蚀面和古岩溶地貌<sup>[5]</sup>。沿该界面横向追索发现, 局部地段出现数米厚的沉积砾岩。上述说明, 古道岭组沉积之后, 因海退曾出现暂短的沉积间断, 形成起伏不平的古地形。嗣后, 北东向同生断裂活动加剧, 同时伴随海底喷流作用。在古道岭组与上泥盆统星红铺组细碎屑岩的岩相转换部位, 赋存有海底喷流沉积成因的层状铅锌多金属硫化物矿体及密切共生的铁白云石硅质岩。这种岩性岩相截然不同的变化, 应是沉积盆地升降运动和断裂活动的结果。再者, 由于当时古地形的控制, 层状铅锌多金属硫化物矿体及铁白云石硅质岩, 成似层状、透镜在状地层中的固定层位上断续出现。在其出露地段,

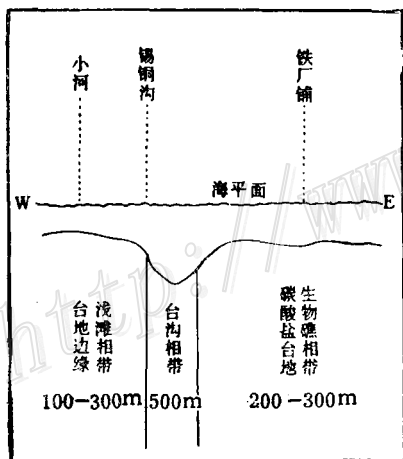


图 6 镇旬海盆中泥盆世大枫沟组晚期沉积模式略图

(图中数字为大致的水深范围)

Fig. 6. Schematic sedimentary model for late Middle Devonian Dafenggou Formation in Zhenxin basin.

(Numbers stand for approximate range of seawater depth)

与之整合接触的星红铺组各岩段随同发育,且厚度较大,代表了较深洼地的沉积。当其缺失时,上覆整合的星红铺组岩层厚度变薄,甚至有部分岩段缺失,代表相对较浅洼地或相对隆起部位的沉积。

镇旬海盆是在前泥盆系基底上由于脉动扩张产生的另一断陷盆地,是海槽中最早接受泥盆系沉积地区。由于南北向同生断裂影响,下泥盆统西岔河组陆源冲积扇带,自典史沟—青铜关一线呈南北向分布。中、晚泥盆世沉积,沿铁厂铺—公馆南北一线,发育断续相连的生物礁带,其中规模最大的是磨里沟生物礁。由于生物礁的障壁作用,导致礁体两侧岩相的差异。礁后小河和锡铜沟一带为局限碳酸盐台地和台沟相带,为海底喷流沉积成因的锡铜沟铅锌矿床的形成,提供了有利的半封闭环境(图6),使喷流铅锌等成矿物质得以初步富集。

总之,本区泥盆纪岩相古地理特征,是研究区统一的构造沉积环境下出现的,因此呈现许多共同性特点。岩相变化往往与同生断裂平行,空间上具有明显的方向性和线状分布特点。

#### 四、海底喷流沉积铅锌矿床

研究区中同生断裂及所控制的岩相古地理,与赋存于泥盆系中的海底喷流沉积铅锌矿床之间的相互关系,一方面表现为东西向的构造-岩相带控制着铅锌成矿带的分布,另一方面北东向和南北向构造-岩相带制约着一系列单个矿床的线形分布。该成矿带上的铅锌矿床具有如下共同特点。

1. 似层状、透镜状铅锌矿体及密切共生的铁白云石硅质岩,在整个成矿带都有固定的产出部位,即赋存于中泥盆统碳酸盐岩层与上泥盆统细碎屑岩层的岩相转换部位。它们与上下沉积岩层存在着较复杂的关系。与下伏碳酸盐岩层构成波状起伏的不平整接触关系,或直接产于碳酸盐岩层的古剥蚀面和古岩溶界面上。与上覆细碎屑岩层基本呈平行整合关系,并且两者出露厚度具明显的正相关关系。具体情况本文前面已有述及。由上述现象可以推断矿层及直接赋矿岩层的出露代表了较深洼地的沉积;它们与上下岩层存在的复杂接触关系及其分布特征,指示了构造活动较强烈的一种动荡沉积环境。矿石的组构特征也印证了这些推断,下文将专门述及。

2. 与层状铅锌矿密切共生的铁白云石硅质岩,作为矿床的直接赋矿围岩,实际上与矿化是同一地质作用下的产物。该岩石具有海底喷流沉积岩的主要地质地球化学特征。关于该类岩石的成因研究,已有专文论述<sup>[3]</sup>,但考虑到本文的完整性,仅在此作概括性描述。

如前所述,研究区处于脉动扩张构造环境之中,作为该环境下的直接产物——铁白云石硅质岩,具有不同的产出状态,并相应形成各自特征的组构。它们在复杂的构造地质作用下,尽管形成阶段有所差别,产出方式和组构也不同,但它们的矿物组成、岩石化学成分、微量元素、稀土元素及同位素组成则完全相同或相似。

层状产出的铁白云石硅质岩具有多种沉积组构。组成岩石的矿物颗粒细微,各种矿物在岩石中分布均匀,不同矿物彼此镶嵌共生,具微晶等粒镶嵌结构。偶尔在岩石中发现铁白云石硅质鲕粒,个别鲕粒含有碳质。鲕粒大小为0.3—1.2mm,内部由于不同矿物含量的变化,出

现同心圆状构造。宏观上层状产出的铁白云石硅质岩多具纹层状、层状、条带状、条带-韵律状构造。其中岩石的碳泥质纹层中可见方铅矿、黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿的显微莓球<sup>[6]</sup>。岩石的上述组成及组构特征，完全证实其为同生沉积或沉积成岩形成。

交代体状产出的铁白云石硅质岩，具有岩浆-热液岩石特征的显微交织结构（照片1），由微细条柱或骨针状石英呈骨架状交织排列而成。它与层状产出的铁白云石硅质岩往往共生一起。宏观上两者很难区分，借助显微镜可见前者对后者的强烈交代和穿切，但从不交切进入层状产出的铁白云石硅质岩的上盘围岩。交代体状铁白云石硅质岩分布局限，多与铅锌矿化及矿体紧密伴随。根据上述一些特点，推测它们是喷流构造通道内或附近的网脉状蚀变交代产物。

除此之外，研究区还常见上述两类岩石及矿石的一种“副产品”，即上述两类铁白云石硅质岩碎屑、铅锌矿石碎屑及附近围岩碎屑的混合再沉积物。形成含矿铁白云石硅质岩的角砾岩体。它们常成不完整的透镜体形态，分布范围局限，为层状铅锌矿的延续部分。该角砾岩体周围无任何构造痕迹，认为是受同生断裂或喷流作用影响的准同生沉积产物。

喷流沉积成因的上述各类铁白云石硅质岩，总体上的地球化学特征表现为：岩石化学成分及主要化学成分比值，与日本野田玉川热泉型变质燧石岩和加拿大丘查矿床海底热液硅质岩十分类似。岩石具有富硅、贫铝、低钾、Ti/V比值高的特点，与火山成因的硅铁建造一致。表明矿化岩石部分物质具有地壳深部上升热液的特征。岩石的稀土元素含量变化在海水稀土元素浓度范围以内。岩石稀土元素配分型式与海水组成模式颇为相似，说明地壳深部上升喷流热液，在很大程度上受当时海水的支配。

3. 本区几个铅锌矿床 Pb/Zn 值、Cu 和其它相关元素空间分布具有一定的统计规律，Pb/Zn 值高区延伸方向，Cu、Ba 等的集中分布区，与同生断裂构造方向是一致的。同生断裂是含矿喷流热液的补给通道，多金属硫化物及相关的硫盐矿物，在喷流热液中沉淀的顺序，一般取决于它们的溶解度，由此它们可以在喷流上升通道中及其附近的海底洼地相对集中。

铅铜山矿区 1 号、2 号矿体的 Pb/Zn 值高区呈北东向展布。Pb/Zn 值高区及其两侧，硫同位素有不同的富集趋势<sup>[3]</sup>。暗示了局部喷流通道的存在。

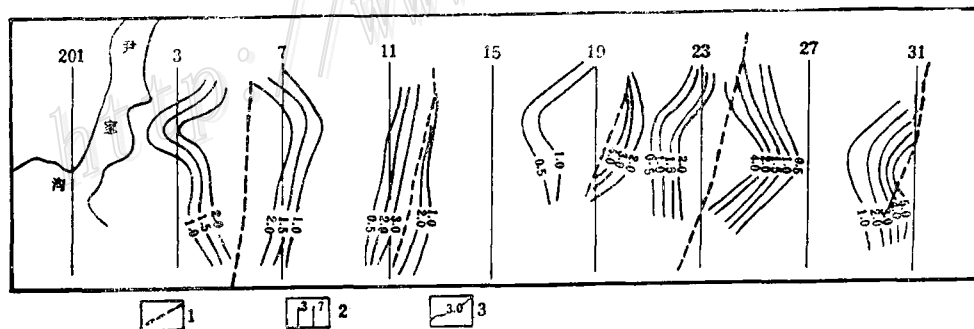


图 7 银母寺铅锌矿带 Pb/Zn 等值线图

（据罗静文硕士论文）

1—断层；2—勘探线间距200m；3—等值线

Fig. 7. Pb/Zn contour diagram of the Yinmushi lead-zinc deposit.

1—Fault; 2—Interval between exploratory lines (200m); 3—Contour line.

银母寺矿区主矿体沿走向上,存在几个Pb/Zn值高区和黄铜矿集中区,并且多与角砾状含矿铁白云石硅质岩的出露相吻合。暗示可能存在多个海底喷流孔道(图7)。八方山矿区也有类似情况。Pb/Zn值高区方向与本区同生断裂方向一致。

如前所述,镇旬海盆中主要成矿元素及其组合,沿南北同生断裂带自西向东出现有规律的分带,无疑与扩张活动背景有关。即使在矿区范围内,成矿元素及矿物的东西方向分带也是特征的。月西矿床成矿元素自东向西出现Pb、Zn-Pb、Zn、Ba、Pb、Zn的分带。显示出喷流成矿物质按其溶解度的差异,在月西局限洼地依次沉淀的分带序列。

#### 4. 研究区大多数铅锌矿床矿石组构的下述事实也是非常重要的。

在矿体侧向上,常有从角砾状矿石向层状矿石的过渡转变,或在层状矿石的走向方向夹有一定规模的角砾状矿石的现象。

在矿体垂向上,以条带状、纹层状、层状构造矿石为主的矿层中,往往夹有具碎屑-凝灰结构的准流动构造矿石层(照片2)和由闪锌矿豆粒组成的具粒序层理的矿石层(照片3)。

层状构造的矿石由细粒方铅矿、闪锌矿构成的层理沿垂向交替出现,形成它们单矿物组成的薄互层,且两者分界面异常平直(照片4)。也可以形成两者含量渐变的过渡层。而纹层状构造由碳泥质物组成,其中含有多种金属硫化物的显微莓球。

碎屑-凝灰结构的准流动构造矿石,由铅、锌、铁的硫化物环绕半平行排列的铁白云石、石英碎屑及钠长石晶屑构成。豆粒构造矿石由闪锌矿细晶聚合而成。由于它们在垂向上的粒径变化,而呈现出矿石的粒序层理。

上述现象用矿床的喷流沉积成因可得到较好解释。由于喷流成矿作用是同生断裂控制,同生断裂是间歇发生的。当断裂活动时,喷流热液沿断裂通道同时上涌,在喷流口及其附近形成强烈水动力条件下的各种矿石组构,如角砾状、准流动构造及粒序层理。在同生断裂宁静期,成矿作用处于较弱水动力条件下,在矿层剖面上,形成条带状、纹层状、层状构造矿石。因此,导致矿体在侧向和垂向上,出现不同组构的矿石组合。

5. 研究区凤太和镇旬铅锌矿田的硫同位素组成频率直方图上,金属硫化物 $\delta^{34}\text{S}$ 组成显示双峰形态(图8)和宽缓土丘形态(图9), $\delta^{34}\text{S}$ 没有明显集中,表明矿床硫的混合来源

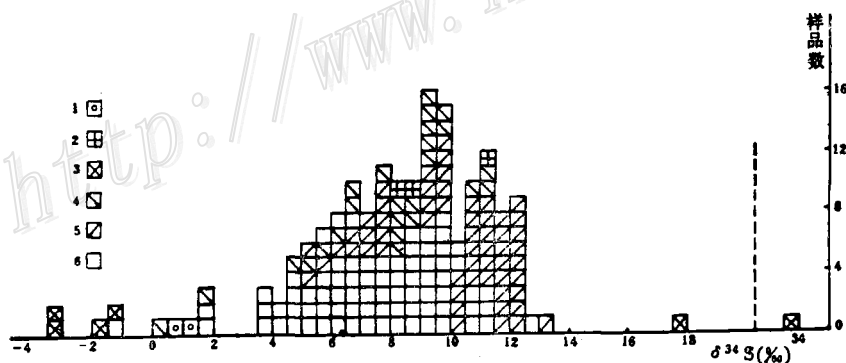


图8 凤太矿田诸铅锌矿床170件硫化物矿物 $\delta^{34}\text{S}$ 分布频率直方图

1—毒砂; 2—黄铜矿; 3—黄铁矿(围岩); 4—黄铁矿; 5—闪锌矿; 6—方铅矿

Fig. 8. Histogram of  $\delta^{34}\text{S}$  values of 170 sulfide mineral samples from lead-zinc deposits in the Fengtai ore field.

1—Arsenopyrite; 2—Chalcopyrite; 3—Pyrite (wall rock); 4—Pyrite; 5—Sphalerite; 6—Galena.

特征。结合矿床地质综合分析,这种混合硫是在海底同生断裂发生时,由于海水沿断裂渗入基底岩石形成循环对流,海水硫酸盐被还原,并与部分基底岩石被淋滤出的硫混合而成。

根据凤太矿田大多数样品的  $\delta^{34}\text{S}$  值集中在  $+3.5\text{—}+12.5\%$  范围内(表1);主要矿床成矿热液的  $\delta^{34}\text{S}_{\text{ES}}$  组成分别为  $+7.0\text{—}+9.0\%$  (图10)、 $+9.8\text{—}+11.0\%$  和  $+9.8\text{—}+10.5\%$  (图11a、b);矿床具有明显的喷流沉积特征,后期改造极微弱,可以认为该值直接代表了上述混合硫源的特征。

镇旬矿田主要铅锌矿床30件样品的硫同位素分析,  $\delta^{34}\text{S}$  值在  $+10.0\text{—}20.3\%$  范围,较强烈地富集重硫。而矿床受后期改造强烈,显然该值为初始混合硫源,再次受到地壳硫的混染所致。

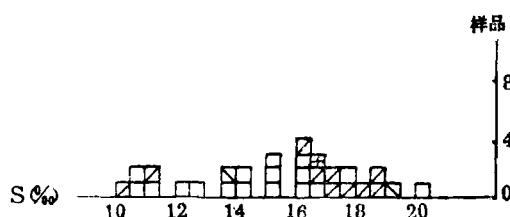


图9 镇旬矿田锡铜沟、月西铅锌矿床硫化物矿物  $\delta^{34}\text{S}$  分布频率直方图  
(矿物花纹同图8)

Fig. 9. Histogram of  $\delta^{34}\text{S}$  values of sulfide minerals from the Xitonggou and Yuexi lead-zinc deposits in the Zhenxin ore field.  
(Symbols as for Fig. 8)

表1 凤太矿田铅锌矿床闪锌矿-方铅矿矿物对硫同位素组成  
Table 1. Sulfur isotopic composition of sphalerite-galena pair  
from lead-zinc deposits in the Fengtai ore field

| 矿床  | 矿物对<br>编号① | 样品编号                   | $\delta^{34}\text{S}(\text{‰})$ |      | 矿床  | 矿物对<br>编号① | 样品编号                     | $\delta^{34}\text{S}(\text{‰})$ |       |
|-----|------------|------------------------|---------------------------------|------|-----|------------|--------------------------|---------------------------------|-------|
|     |            |                        | 闪锌矿                             | 方铅矿  |     |            |                          | 闪锌矿                             | 方铅矿   |
| 铅硐山 | 1          | qZK1003-732-736        | +10.3                           | +7.3 | 铅硐山 | 14         | PD <sub>1</sub> -CM5A    | +9.2                            | +4.9  |
|     | 2          | qPD <sub>2</sub> -49   | +7.3                            | +1.7 |     | 17         | I III11-1                | +12.2                           | +11.2 |
|     | 3          | qZK5403-860-863        | +8.2                            | +5.6 |     | 18         | I III21-1(3)             | +10.2                           | +7.5  |
|     | 4          | 铅I代-7                  | +8.7                            | +6.9 |     | 19         | I III45-2(5)             | +11.8                           | +8.4  |
|     | 5          | 铅I代-3                  | +9.5                            | +8.6 |     | 20         | I PD <sub>2</sub> -1-28M | +9.9                            | +9.3  |
|     | 6          | qPD <sub>1</sub> -CM6A | +8.2                            | +6.8 |     | 21         | Q <sub>1</sub>           | +11.4                           | +9.3  |
|     | 7          | ZK907-XJ-1             | +8.8                            | +6.2 |     | 23         | I III31-1                | +12.1                           | +9.6  |
|     | 8          | ZK903-XJ-1             | +8.5                            | +7.0 |     | 24         | I III32-2                | +12.2                           | +9.5  |
|     | 9          | ZK903                  | +7.7                            | +6.3 |     | 25         | I TC9-1                  | +11.5                           | +7.6  |
|     | 10         | ZK905-1                | +10.1                           | +7.6 |     | 27         | I III7-1                 | +9.8                            | +7.2  |
|     | 11         | ZK805                  | +10.0                           | +4.5 |     | 28         | BI-采-2                   | +11.0                           | +7.6  |
|     | 12         | ZK5202-2               | +9.2                            | +5.4 |     | 29         | BI-采-1                   | +11.6                           | +8.5  |
|     | 13         | ZK5202-II-2            | +9.9                            | +4.7 |     | 30         | 八T8                      | +10.8                           | +9.1  |

①矿物对编号参见图10、图11

6. 为了较深入探讨研究区矿床的铅同位素地球化学及成矿物质来源,笔者选取方铅矿、铅锌矿石、铁白云石硅质岩及泥盆系基底岩石样品进行铅同位素测定(表2)。24件样品分

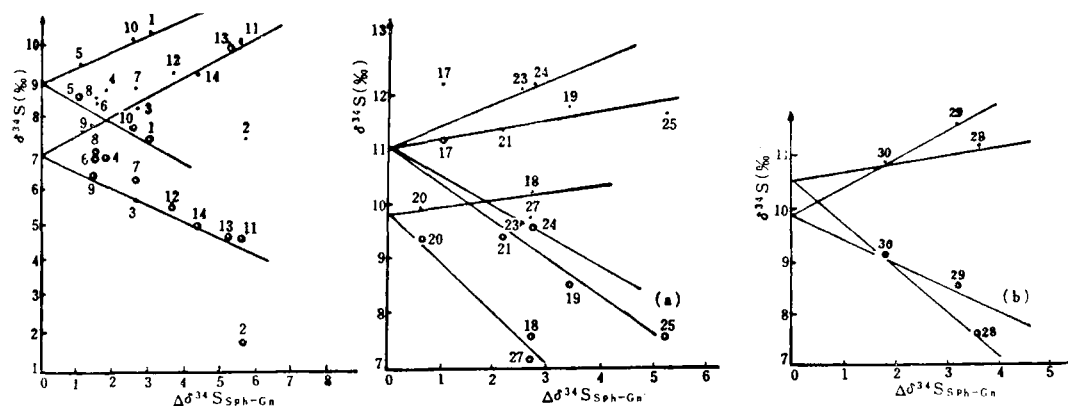


图 10 铅铜山矿床共生硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 矿物对 $\Delta\delta^{34}\text{S}_{\text{Sph-Ga}}$ 图解(左图)

Fig. 10.  $\delta^{34}\text{S}$  versus  $\Delta\delta^{34}\text{S}_{\text{Sph-Ga}}$  diagram of the associated sulfide minerals from the Qiangongshan ore deposit(left).

图 11 银母寺矿床(a)和八方山矿床(b)共生硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 矿物对 $\Delta\delta^{34}\text{S}_{\text{Sph-Ga}}$ 图解(中、右图)

Fig. 11.  $\delta^{34}\text{S}$  versus  $\Delta\delta^{34}\text{S}_{\text{Sph-Ga}}$  diagram of the associated sulfide minerals from the Yinmushi(a) and Bafangshan(b)deposits(middle,right).

析结果,相同和不同类型样品间的铅同位素组成变化不大。 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为17.57—18.30, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为15.47—15.73, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为37.69—38.57。

在 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 坐标图上,凤太矿田铅同位素组成多落在 $\mu=9.4$ — $9.6$ 单阶段演化曲线内,并构成集中区(图12)。基底岩石有两件也落在矿床样品集中区内,表明该区绝大部分铅属正常铅。镇旬矿田铅同位素组成虽然分布在 $\mu$ 值稍宽范围( $\mu=9.3$ — $9.6$ ),但它们仍沿着演化曲线变化,可能代表成矿阶段的差别。

由于矿床铅同位素属正常铅,采用B. R. Doe单阶段模式计算,矿床铅模式年龄集中在380—570Ma,明显老于赋矿泥盆纪地层时代。表明本区矿石铅主要来自古老基底岩石。基底碧口群岩层铅同位素组成变化与矿石铅变化相近,铅模式年龄平均为437Ma,与研究区矿石铅及铁白云石硅质岩铅模式年龄吻合。

由以上铅同位素组成特征及模式年龄信息,可以认为研究区铅锌矿床主矿体最终结束的

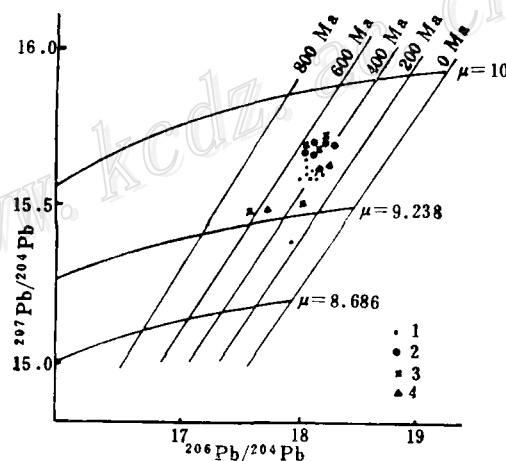


图 12 研究区铅同位素组成坐标图

1—凤太矿田方铅矿; 2—矿石及赋矿岩石; 3—镇旬矿田方铅矿; 4—基底岩石

Fig. 12. Lead isotope composition of the studied area. 1—Galena from the Fengtai ore field; 2—Ore and host rock; 3—Galena from the Zhenxin ore field; 4—Basement rocks.

表 2 研究区铅锌矿床铅同位素组成

Table 2. Lead isotopic composition of lead-zinc deposits in the studied area

| 矿床   | 样品性质       | 样品编号                | $\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$ | $\frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$ | $\frac{^{208}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$ | 资料来源             |
|------|------------|---------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------|
| 铅洞山  | 方铅矿        | XJ-1-(1)            | 18.07                                     | 15.63                                     | 38.19                                     | 西北有色地勘<br>公司717队 |
|      | 方铅矿        | XJ-4-1              | 18.03                                     | 15.58                                     | 38.06                                     |                  |
|      | 方铅矿        | XJ-5-2              | 18.05                                     | 15.60                                     | 38.13                                     |                  |
|      | 铁白云石硅质岩    | ZK1103-1293         | 18.27                                     | 15.71                                     | 38.57                                     |                  |
|      | 层状铅锌矿石     | 铅-代-I-1             | 18.13                                     | 15.67                                     | 38.40                                     | 本 文              |
| 银母寺  | 方铅矿        | EL <sub>2</sub> -1  | 17.98                                     | 15.56                                     | 37.98                                     | 西北有色地勘<br>公司717队 |
|      | 方铅矿        | EL <sub>3</sub> -1  | 18.02                                     | 15.58                                     | 38.02                                     |                  |
|      | 方铅矿        | EL <sub>6</sub> -1  | 18.01                                     | 15.64                                     | 38.23                                     |                  |
|      | 方铅矿        | EL <sub>15</sub> -1 | 18.02                                     | 15.59                                     | 38.06                                     |                  |
| 峰崖   | 方铅矿        | SKT-1420            | 17.91                                     | 15.39                                     | 38.15                                     |                  |
|      | 方铅矿        | SGM11               | 18.08                                     | 15.61                                     | 38.15                                     |                  |
|      | 方铅矿        | SGM17               | 18.05                                     | 15.60                                     | 38.13                                     |                  |
|      | 方铅矿        | SGM18               | 18.09                                     | 15.60                                     | 38.41                                     |                  |
| 八方山  | 铁白云石硅质岩    | T8-硅-2              | 18.13                                     | 15.65                                     | 38.32                                     | 本 文              |
| 凤太地区 | 基底岩石 (碧口群) | Jb-1                | 17.69                                     | 15.47                                     | 38.07                                     | 西北有色地<br>质研究所    |
|      |            | Jb-2                | 18.30                                     | 15.63                                     | 38.39                                     |                  |
|      |            | Jb-3                | 18.13                                     | 15.55                                     | 38.13                                     |                  |
| 锡铜沟  | 方铅矿        | Zh-3                | 17.98                                     | 15.55                                     | 38.15                                     | 本 文              |
|      | 矿化硅质岩      | 锡IV-475             | 18.21                                     | 15.70                                     | 38.49                                     |                  |
|      | 铁白云石硅质岩    | 锡III-1              | 18.10                                     | 15.66                                     | 38.27                                     |                  |
|      | 含碳硅质岩      | 银洞II-1              | 18.19                                     | 15.73                                     | 38.52                                     |                  |
| 月西   | 方铅矿        | Zh-4                | 18.11                                     | 15.70                                     | 38.42                                     |                  |
|      | 方铅矿        | Zh-5                | 17.98                                     | 15.69                                     | 38.39                                     |                  |
| 赵家庄  | 方铅矿        | Zh-7                | 17.57                                     | 15.47                                     | 37.69                                     |                  |

注: 由地质科学院地质所分析

成矿年代在泥盆纪, 成矿物质主要来自基底岩石。这与我们得出的矿床成因看法是一致的。

## 五、喷流沉积铅锌矿床成矿作用综述

综上所述, 研究区铅锌成矿作用的构造沉积环境是十分重要的先决条件。区内活动的同生断裂的存在, 岩相古地理的变化, 铁白云石硅质喷流岩的出现, 标志着本区海底曾发生明显的扩张破裂。

根据喷流沉积产物的硫、铅、稀土元素地球化学特征得知, 喷流热液中的热水流体主要是海水沿同生断裂下渗聚集而成。成矿物质中的硫主要来自海水, 也有部分地壳硫的加入。铅锌等成矿物质来自泥盆系基底岩石。

通过同生断裂下渗的海水, 受地热梯度和构造作用影响而变热, 在溶解所切割的基底岩石中易溶组分的同时, 使受热海水酸度和盐度增高, 形成具有一定温度的热卤水。由于同生断

裂的持续活动,使热卤水不断升温,并且达到一定深度后,热卤水回返上升,沿同生断裂系统向海底运移,并与新下渗的较冷海水交替,形成海底地壳下部的热液对流系统。该对流系统一方面把基底岩石的部分金属和二氧化硅淋滤萃取出来,一方面使海水中硫酸盐还原,形成富硅、富硫的含矿热卤水。当它们沿着同生断裂和裂隙系统回返上升时,进入海底的含矿卤水流与海底洼地底层缺氧盐水混合,致使大量金属和铁白云质、硅质在海底洼塘沉淀,形成层状矿体以及喷流岩层。它们在上升通道及附近裂隙系统直接沉淀,则形成各种含矿交代体。

在铅锌矿石和铁白云石硅质岩的碳泥质纹层中发现多种金属硫化物显微莓球,说明生物参与矿床的形成确属事实。生物的生命活动选择性地富集某些成矿物质,当其死亡后变成金属硫化物必需的 $H_2S$ 。现代深海海底考察已证明,从热泉喷流口流出的硫、硫化物以及散发的热量,是生物生存的先决条件。本区海底喷流沉积成矿作用,生物对金属硫化物沉淀起了辅助作用。

参加该项研究工作的还有炎金才、陈苓、林晋炎、罗静兰、魏新善。



## 参 考 文 献

- [1] 杨森楠 1985 秦岭古生代陆间裂谷系的演化 地球科学 第4期  
[2] 张国伟 1987 秦岭造山带的形成及其演化 西北大学出版社  
[3] 张复新 1989 秦岭泥盆系中与铅锌矿化有关喷流岩的识别与找矿 地质与勘探 第5期  
[4] 杨锦源 1985 秦岭凤太矿田层控铅锌矿床的岩相古地理环境 沉积学报 第1期  
[5] 王俊发、张复新 1987 陕西凤太矿田层控铅锌矿床古剥蚀面与古构造对成矿的控制作用 地质论评 第3期  
[6] 张复新 1986 陕西铅硐山、银母寺铅锌矿床硫化物矿物草莓的特征及其地质意义 地质与勘探 第5期

DEVONIAN SYNGENETIC FAULTS AND LITHOFACIES IN  
RELATION TO SUBMARINE EXHALATIVE SEDIMENTARY  
LEAD-ZINC DEPOSITS IN QINLING AREA, SHAANXI  
PROVINCE

Zhang Fuxin and Wang Junfa

(Department of Geology, Northwest University, Xian, Shaanxi Province)

## Abstract

The Qinling Devonian rifted trench, which extends from Xihe-Chengxian of Gansu in the west through Fengxian-Taibai area of Shaanxi to Zhenan area of Shaanxi, is cut by NE-trending and nearly SN-trending second-order faults into a series of discontinuous fault basins, i. e. Xicheng basin, Fengtai basin and Zhenxun basin from west to east. Although the fault basins show some difference in Devonian rock associations, they are basically coincident with each other in characteristics of ore-bearing rocks and lead-zinc ore bodies as well as features of rocks and ores, suggesting that they were formed almost in the same ore-forming sedimentary environment.

There are three groups of syngenetic faults in this region: EW-trending, NE-trending and SN-trending ones. Their synsedimentary expansion affected Devonian sedimentation and governed the division of metallogenic provinces, zonation of mineralization and linear arrangement of ore deposits.

Lithofacies variation is parallel to and consistent with syngenetic faults, spatially showing some directivity. The lithofacies zone controlled by syngenetic faults served as a favorable environment for exhalative sedimentary mineralization.

Lead-zinc ore bodies and host rocks occur at facies-changing position between Middle Devonian carbonate rock and fine clastic rock. Such abrupt

change in lithology and lithofacies must have resulted from the unceasing elevation and subsidence of sedimentary basins and the rapid change in physicochemical conditions of sedimentary environment.

Lead-zinc ore bodies and ankerite siliceous ore-bearing rocks occur discontinuously in stratoid and lenticular forms. Where they appear, the conformably overlying strata also crop out completely with fairly great thickness, implying deposition in deep depressions; where they are missing, the overlying conformable strata become thinner, and even the underlying formations are missing, suggesting deposition in comparatively shallow depressions or relatively uplifted positions.

It is known from the above discussion that stratiform lead-zinc ore bodies and ankerite siliceous rocks were formed in a sedimentary structural environment with constant generation of tensile syngenetic faults. The intersection or concentration place of two groups of syngenetic faults in such a tectono-fracturing belt, in particular, represents a structurally weak zone which might have served as a passage for upward migration and exhalation of hydrothermal solutions and therefore led to the appearance of exhalites and lead-zinc ore bodies in groups or zones.

~~~~~  
(上接203页)

却引起的收缩裂隙；温差、压差和电位差等是成矿元素迁移和富集的重要因素；围岩成分对热液产物及矿床规模的控制作用；流体包裹体成分较普遍的富钙特征及其对热液成因和来源的判别意义；关于岩浆期后热液的新结论；三源热液成矿模式（将定性的热驱动对流循环成矿模式发展为定矿质、水和热三种源的类型、数量和位置的定量模式）；热液矿床沿矿源和水源等分布的成矿规律；热液矿床的新的预测准则和方法等。

谿光炽先生为该书作“序”称：“这是一本别具一格的矿床学专著。……作者的这一观点不是出自主观推断，而是来自不同矿床的大量实际观察（野外及镜下）、分析测试与模拟试验。……作者还在理论上作了探索，提出富水残余岩浆并不存在，富水岩浆无上侵能力等见解。可贵的是作者还根据三源热液成矿模式进行了热液矿床分布规律及预测的讨论。……作者的见解和认识是对矿床理解的历史长河中注入了新的水流。”

本书可供从事矿床理论研究、矿床普查和评价的科研、生产和教学各类人员参考。

该书受到广大读者的欢迎，出版不到一年销售一空，为满足广大读者需要现已再版发行。为及时在国际上交流，正全文译成英文出版，预计1992年下半年可与读者见面。如有需要该书的同志请和北京市百万庄路26号矿床地质研究所发行组联系（邮政编码：100037）。