

## 广西西大明山弄屯铅锌矿床断裂构造解析\*

李赛赛<sup>1,2</sup>, 冯佐海<sup>1,2</sup>, 单永磐<sup>3</sup>, 付伟<sup>1,2</sup>, 乐兴文<sup>4</sup>, 刘武文<sup>4</sup>, 徐文忠<sup>4</sup>

(1 桂林理工大学地球科学学院, 广西 桂林 541004; 2 桂林理工大学广西隐伏金属矿产勘查重点实验室, 广西 桂林 541004; 3 玉林市建筑设计院, 广西 玉林 537000; 4 广西地质矿产勘查局第四地质队, 广西 南宁 530031)

**摘要** 弄屯矿床是西大明山地区新发现的规模最大的铅锌矿床, 是受断裂控制的典型热液脉型矿床。文章在充分搜集已有勘查资料的基础上, 认为铅锌矿体主要受 NE 向和(近) EW 向断裂控制, 矿体主要产在断裂浅部产状较缓的部位, 向深部断裂产状变陡, 矿体厚度减薄直至尖灭; 而且主矿体沿 NE 向断裂具有向 SW 侧伏的趋势。在此基础上, 利用控矿断裂的擦痕、阶步以及伴生的节理、牵引褶皱等小构造, 对控矿断裂的运动学和动力学特征进行了解析, 分析认为控矿断裂在成矿期表现为逆断层活动特征, 是受近 SN 向主压应力作用下形成的。利用 SPSS、Surfer 软件对矿体的产状、有用组分含量等数据进行统计分析并绘制了等值线图, 研究得出成矿热液是先由 F<sub>1</sub> 断裂进入 NE 向断裂中, 随后沿 NE 向断裂由西南向北东运移, 并最终导致 Zn、Pb 先后沉淀富集成厚大的矿体。根据已有的同位素数据和构造解析资料, 可基本确定弄屯铅锌矿床形成于燕山晚期。

**关键词** 地质学; 断裂构造解析; 控矿规律; 热液矿床; 矿液流向; 弄屯铅锌矿床; 燕山晚期

中图分类号: P618.42; P618.43

文献标志码: A

## Fracture structural analysis of Nongtun Pb-Zn deposit in Xidamingshan, Guangxi

LI SaiSai<sup>1,2</sup>, FENG ZuoHai<sup>1,2</sup>, SHAN YongPan<sup>3</sup>, FU Wei<sup>1,2</sup>, LE XingWen<sup>4</sup>,  
LIU WuWen<sup>4</sup> and XU WenZhong<sup>4</sup>

(1 College of Earth Sciences, Guilin University of Technology, Guilin 541004, Guangxi, China; 2 Guangxi Key Laboratory of Hidden Metallic Ore Deposits Exploration, Guilin University of Technology, Guilin 541004, Guangxi, China; 3 Yulin Architectural Design Institute, Yulin 537000, Guangxi, China; 4 No. 4 Geological Party, Guangxi Bureau of Geology and Mineral Exploration, Nanning 530031, Guangxi, China)

### Abstract

The Nongtun deposit is the largest Pb-Zn deposit discovered in the Xidamingshan area, and is also a typical hydrothermal vein type deposit controlled by fault. On the basis of fully collecting the existing exploration data, the authors hold that the Pb-Zn orebodies are mainly controlled by the NE- and nearly EW-trending faults, and the orebodies are mainly produced in the shallow part of the faults where the dip angle is relatively smooth, whereas in the deep part of the faults where the dip angle is steep, the thickness of the orebody is thinned until termination. The main orebody along the NE-striking fault tends to plunge southwestward. On such a basis, the kinematic and dy-

\* 本文得到广西自然科学基金(编号: 2016GXNSFBA380067、2015GXNSFDA139029)、2013年广西大规模地质矿产勘查项目(编号: 桂财预函[2013]116号)和桂林理工大学人才引进科研启动基金项目(编号: 002401003374)联合资助

第一作者简介 李赛赛,男,1983年生,博士,讲师,主要从事构造地质学的教学与研究。Email: lanqi178@163.com

收稿日期 2016-10-06; 改回日期 2016-11-26。张绮玲编辑。

dynamic characteristics of ore-controlling faults were analyzed by using scratches, steps and associated joints, traction folds and other small structures of ore-controlling faults. The results show that the ore-controlling faults are characterized by the reverse fault activity in the ore-forming stage, which was formed by the nearly SN-striking compressive stress. Using SPSS and Surfer software, the authors made statistical analysis of orebodies' attitude and useful component content and drew the contour map. It is concluded that the ore-forming hydrothermal fluid migrated from  $F_1$  to NE-striking fault, then migrated from SW to NE along the NE-striking fault, and eventually formed the thick orebodies by the precipitation of Zn, Pb. Based on the existing isotope data and structural analysis data, it can be basically confirmed that the Nongtun Pb-Zn deposit was formed in the late Yanshanian period.

**Key words:** geology, fracture structural analysis, ore-controlling regularity, hydrothermal deposit, flow direction of ore fluid, Nongtun Pb-Zn deposit, late Yanshanian

断裂构造包括各种断层和裂隙,对许多矿床的形成和分布起着重要的控制作用。在具有成矿物质和含矿流体的前提下,构造,特别是断裂构造对成矿经常起到基本的甚至是主导的作用(翟裕生等,1993;翟裕生,2001;2002;Wibberley et al.,2008;陈宣华等,2009)。在金属矿床的形成过程中,断裂构造一方面构成了矿源场与储矿场之间的桥梁,另一方面为成矿元素的富集成矿提供了容矿空间;同时,在成矿流体沿断裂构造运移过程中,与围岩发生水-岩交换,起到配矿的作用。研究断裂对成矿流体运移、沉淀的控制过程,揭示构造变形与成矿之间的成因联系,一直是构造学家和矿床学家共同研究的目标(邓军等,2000;2004;向才富等,2000;陈柏林,2001;吕古贤等,2001;郭涛等,2008)。

弄屯铅锌矿床发育于华南钦杭成矿带西南端广西境内(图1),是近年来广西大规模找矿工作新发现的一个大型矿床,也是迄今为止在西大明山地区发现的规模最大的铅锌矿床。该矿床包含多个铅锌矿脉带,主要受断裂控制。目前,有关弄屯铅锌矿床的研究主要集中在成矿流体与矿床成因方面(梁建华等,2014;柴明春等,2015),而对矿体具有重要控制作用的断裂构造研究尚未有相关报道。因此,本文在充分搜集弄屯铅锌矿床已有勘查资料的基础上,通过野外详细调研,总结了断裂构造的控矿规律;运用构造解析方法查明了控矿断裂的运动学和动力学特征;运用矿田构造的研究方法讨论了成矿热液运移的路径;并对矿床的形成时代进行了分析。本文的研究成果可以为下一步建立“弄屯式”铅锌矿床的找矿模式提供一定的依据。

## 1 区域地质背景

弄屯铅锌矿床位于广西西大明山复式背斜北西部古雾岭背斜南翼(图1),在大地构造上位于华南钦杭成矿带的西南端(毛景文等,2011;周永章等,2015)。西大明山地区整体呈一核部为寒武系、两翼为泥盆系的短轴复式背斜。该复式背斜由一系列次级的、呈紧密排列的线状背、向斜组成,总体构造线呈近EW向,枢纽向东、西两端倾伏。区域上EW向、NW向、NE向断裂发育,切割区内多个次级褶皱,造成褶皱残缺不全。西大明山地区的地表仅有少量酸性和基性岩脉沿断裂侵入。前人研究认为西大明山深部有隐伏岩体存在(朱革非,1989),2013年12月在罗维矿区有2个钻孔打到了隐伏花岗岩体(李赛赛等,2016b)。

自新元古代扬子与华夏两个古陆块碰撞拼贴以来,研究区主要处于板内构造环境,并经历了多期(次)构造运动(毛景文等,2008;2011)。利用西大明山地区及其周边盆地不同构造层中变形方向及后期构造叠加分析,研究区主要经历了5次明显的构造运动,其区域构造应力场的最大主压应力方向依次为:SN(加里东期)→SN(印支期)→NW-SE(燕山早期)→NNE-SSW(燕山晚期)→近EW(喜马拉雅期)向(丘元禧等,1996;黄继钧,2001;任立奎,2002;2011;周维博,2005;张岳桥等,2009;郝义等,2010;杜远生等,2012)。西大明山地区目前已发现有银、铅、金、钨、铋等矿种,其中探明大型矿床2处(凤凰山银矿、弄屯铅锌矿),中型矿床2处(长屯铅锌

矿、罗维钨铋矿),小型矿床多处(绿井铅锌矿、姆驮山银矿、平何银矿、那佰铅锌矿、小明山铅锌矿等,涂伟 2011; Tu et al. 2013; 桂林理工大学 2015)。

## 2 矿床地质特征

研究区内无岩浆岩出露。

### 2.1 地层

研究区出露的地层主要有中-上寒武统边溪组( $\epsilon_{2-3}b$ ),下泥盆统莲花山组( $D_1l$ )、那高岭组( $D_1n$ )、郁江组( $D_1y$ )和中泥盆统东岗岭组( $D_2d$ ) (图2)。边溪组( $\epsilon_{2-3}b$ )分布于研究区中部,岩性主要为中厚层状不等粒砂岩夹少量泥岩。莲花山组( $D_1l$ )分布于寒武系外围,两者呈角度不整合或断层接触,岩性主要为中细粒石英砂岩,底部含有砾石。那高岭组( $D_1n$ )岩性主要为砂质泥岩,中部夹少量灰岩。郁江组( $D_1y$ )岩性主要为中薄层状细砂岩、粉砂岩,中部夹薄层泥岩。东岗岭组下段( $D_2d^1$ )岩性以中厚层状白云岩为主夹白云质灰岩,东岗岭组上段( $D_2d^2$ )岩性以灰岩为主夹钙质白云岩。

### 2.2 构造

研究区构造变形较强烈,构造线主要呈近EW向,地层走向、褶皱轴向均沿此方向展布。主体构造为古雾岭背斜,枢纽向东倾伏,轴部由中-上寒武统边溪组( $\epsilon_{2-3}b$ )组成,翼部为泥盆系。由于受近EW向和NW向断裂切割,使背斜南翼和西段缺失。区内主要发育EW向、NE向、NW向和SN向4组断裂,其中NE向和EW向断裂是主要的控矿断裂,其几何学特征叙述如下。

#### 2.2.1 EW向断裂

$F_1$ 断裂呈近EW向至NWW( $280^\circ$ )向展布,是区域性长屯-龙茗断裂的一段。沿走向和倾向呈舒缓波状,总体南倾,浅部倾角为 $5 \sim 16^\circ$ ,深部变陡为 $10 \sim 20^\circ$ 。断层破碎带厚 $1.15 \sim 23.65$  m,总体上西厚东薄。断层上盘以泥盆系为主,下盘以寒武系为主。破碎带的充填物不但有寒武系砂岩、页岩角砾,还可见莲花山组、那高岭组紫红色泥岩、泥灰岩角砾,石英脉、方解石脉较发育。该断层中产出有铅锌矿体,在研究区内矿体规模较小,在东侧的长屯矿区矿体规模较大。

#### 2.2.2 NE向断裂

研究区内 $F_4$ 、 $F_6$ 、 $F_{12}$ 、 $F_{22}$ 和 $F_{28}$ 断裂呈NE向展布,总体均向南倾。地表硅化、褐铁矿化强烈。该组

断裂中平行产出有多个铅锌矿(化)体。其中 $F_4$ 断裂带中的II-1号矿体的资源储量占整个弄屯铅锌矿床总储量的70%。下面以 $F_4$ 断裂为代表,详细介绍其几何学特征。

$F_4$ 断裂带由一系列近于平行的NE向断裂组成,主断裂面位于最北侧,倾向SE( $150 \sim 163^\circ$ ),倾角上缓下陡,总体上变化于 $15 \sim 70^\circ$ 之间。在主断裂面南侧依次发育4条互相平行的次级断裂。围岩为寒武系青灰色砂岩。 $F_4$ 断裂在地表呈一条NE向断续分布的硅化砂岩带,长达1.6 km,宽一般在 $2 \sim 30$  m,硅化、褐铁矿化强烈。断裂带由于硅化强烈,岩石抗风化能力强,往往在地表形成陡坎。断裂带中岩石破碎较强烈,角砾大小不等,磨圆度较差,多呈棱角状、次棱角状排列杂乱,局部略具定向排列。角砾成分为砂岩,胶结物为石英、黄铁矿、闪锌矿。胶结物中的金属矿物黄铁矿、闪锌矿在地表风化后呈蜂窝状,其中的闪锌矿氧化后已基本风化流失掉,因此,在地表的断裂带上取样分析其中的锌、铅,含量多在 $0.01\% \sim 0.1\%$ ,品位较低。另外,在 $F_4$ 断裂带的东侧延伸部分,受SN向断裂的左行切割,并由于SN向断裂的弧形弯曲而发生顺时针的旋转,进而表现为近EW走向。

### 2.3 矿体特征

目前研究区共勘查发现I号、II号、III号和IV号4个主要的铅锌矿化带,其中I号矿化带受EW向 $F_1$ 断裂控制,II号、III号和IV号矿化带分别受NE向 $F_4$ 、 $F_6$ 和 $F_{12}$ 断裂控制。矿体产状受断裂破碎带控制,呈似层状、脉状产出,沿走向、倾向均有分支复合现象。每条矿化带均发现有多条铅锌矿体,其中II号矿化带的规模最大,共发现有62条矿体(脉),II-1号矿体是研究区的主矿体(图3)。II号矿化带内矿体厚度一般在 $0.49 \sim 22.01$  m,平均厚度为8.25 m,Pb平均品位为0.47%;Zn平均品位为3.65%。其他3条矿化带中的矿体数量少、规模小,Pb、Zn平均品位较低。围岩蚀变主要有硅化、褐铁矿化、绿泥石化、绢云母化和碳酸盐化,蚀变带宽介于 $1 \sim 3$  m之间,局部宽度可达十余米。

矿石结构以自形-半自形粒状结构,包含结构、交代结构、镶边结构为主,次为溶蚀结构和固溶体分离结构。构造较为复杂,多呈脉状、网脉状、角砾状、团块状和浸染状构造,次为晶洞状和斑杂状构造。矿石组分相对复杂,金属矿物主要有闪锌矿、黄铁矿、方铅矿以及少量黄铜矿,脉石矿物主要为石英、

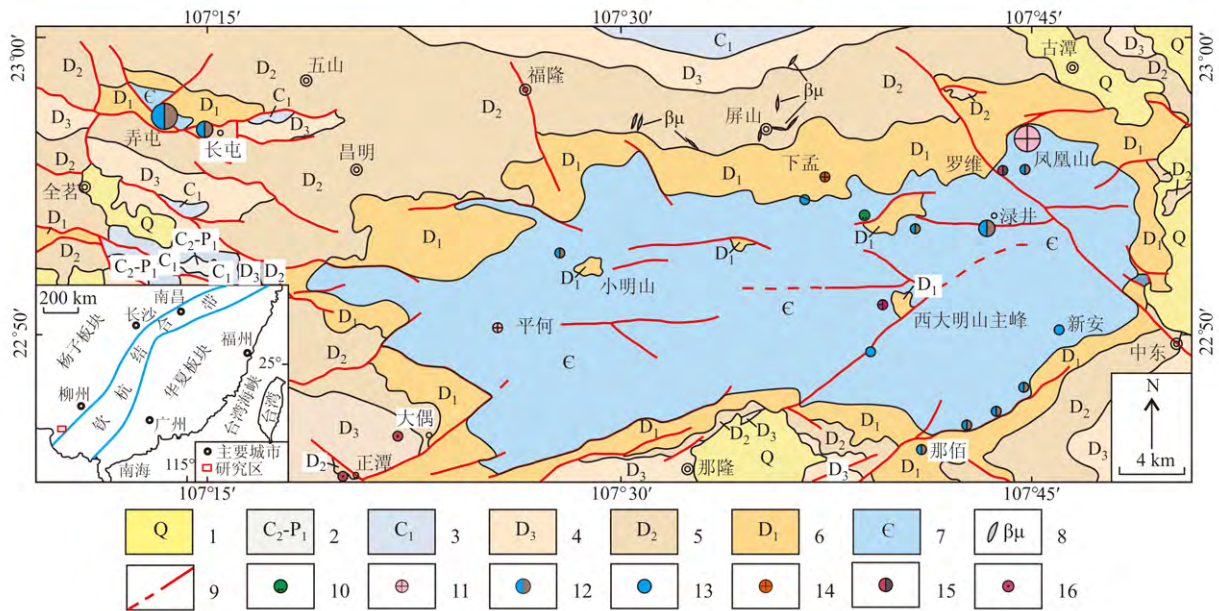


图1 广西西大明山区域地质及矿产分布图

1—第四系沉积物；2—中石炭统一下叠统灰岩；3—下石炭统灰岩；4—上泥盆统灰岩、白云岩；5—中泥盆统白云岩、灰岩；6—下泥盆统砂岩、泥岩、灰岩；7—寒武系砂岩、泥岩；8—辉绿岩；9—断层；10—锑矿；11—银矿；12—铅锌矿；13—铅矿；14—金矿；15—钨铋矿；16—锰矿

Fig. 1 Regional geology and mineral distribution of Xidamingshan area, Guangxi

1—Quaternary sediments; 2—Middle Carboniferous-Lower Permian limestone; 3—Lower Carboniferous limestone; 4—Upper Devonian limestone and dolomite; 5—Middle Devonian dolomite and limestone; 6—Lower Devonian sandstone, mudstone and limestone; 7—Cambrian sandstone and mudstone; 8—Diabase dike; 9—Fault; 10—Sb deposit; 11—Ag deposit; 12—Pb-Zn deposit; 13—Pb deposit; 14—Au deposit; 15—W-Bi deposit; 16—Mn deposit

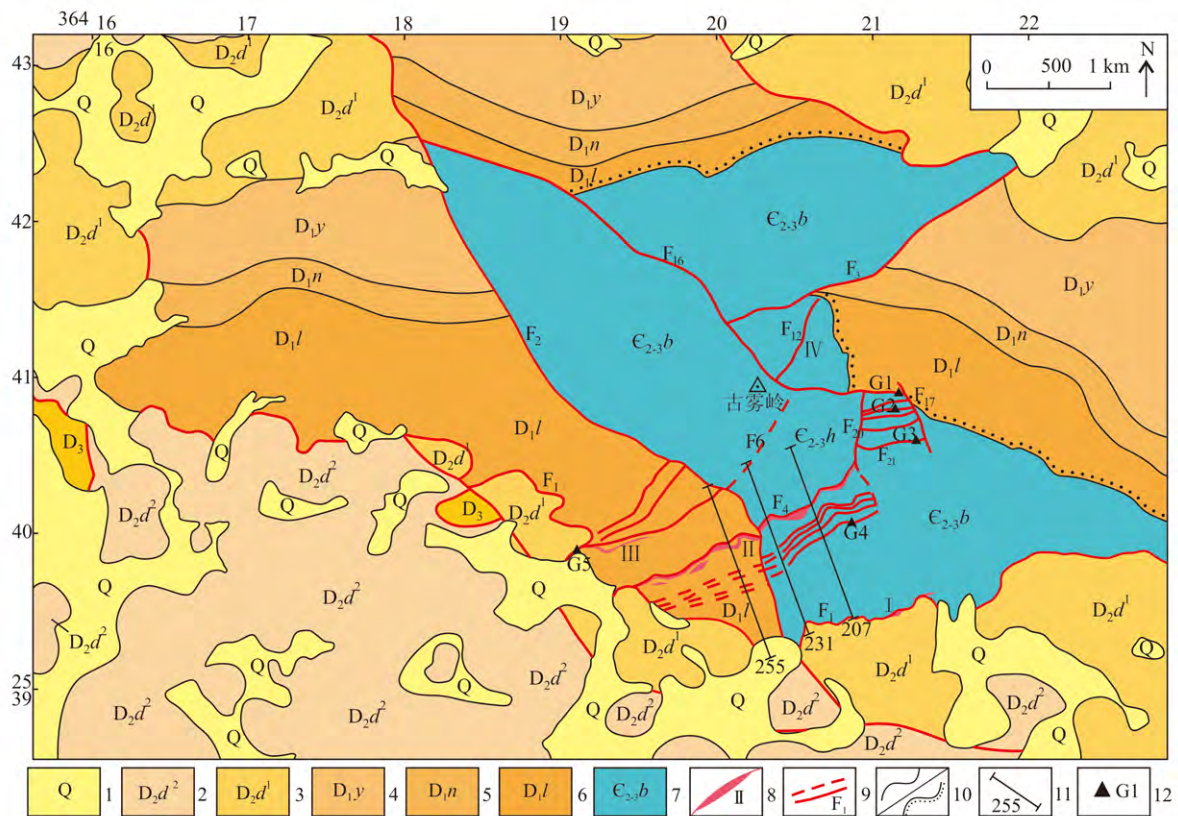


图2 弄屯铅锌矿床地质简图(据广西壮族自治区第四地质队 2013 修改)

1—第四系松散沉积物；2—中泥盆统东岗岭组上段灰岩；3—中泥盆统东岗岭组下段白云岩；4—下泥盆统郁江组砂岩、粉砂岩、页岩；

5—下泥盆统那高岭组灰岩、砂质泥岩、页岩; 6—下泥盆统莲花山组砂岩、粉砂岩、泥岩; 7—中、上寒武统边溪组砂岩、粉砂岩、泥岩; 8—铅锌矿脉带及编号; 9—断层及编号; 10—整合、角度不整合地质界线; 11—勘探线位置及编号; 12—构造观察点

Fig. 2 Simplified geological map of the Nongtun deposit ( modified after No. 4 Geological Party of Guangxi , 2013)

1—Quaternary loose sediments; 2—Upper Member of Donggangling Formation of Middle Devonian: limestone; 3—Lower Member of Donggangling Formation of Middle Devonian: dolomite; 4—Lower Devonian Yujiang Formation sandstone , siltstone and shale; 5—Lower Devonian Nagaoling Formation limestone , arenaceous mudstone and shale; 6—Lower Devonian Lianhuashan Formation sandstone , siltstone and mudstone; 7—Middle—Upper Cambrian Bianxi Formation sandstone , siltstone and mudstone; 8—Pb-Zn ore belt and its serial number; 9—Fault and its serial number; 10—Conformity and unconformity; 11—Exploration line and its serial number; 12—Structural observation point

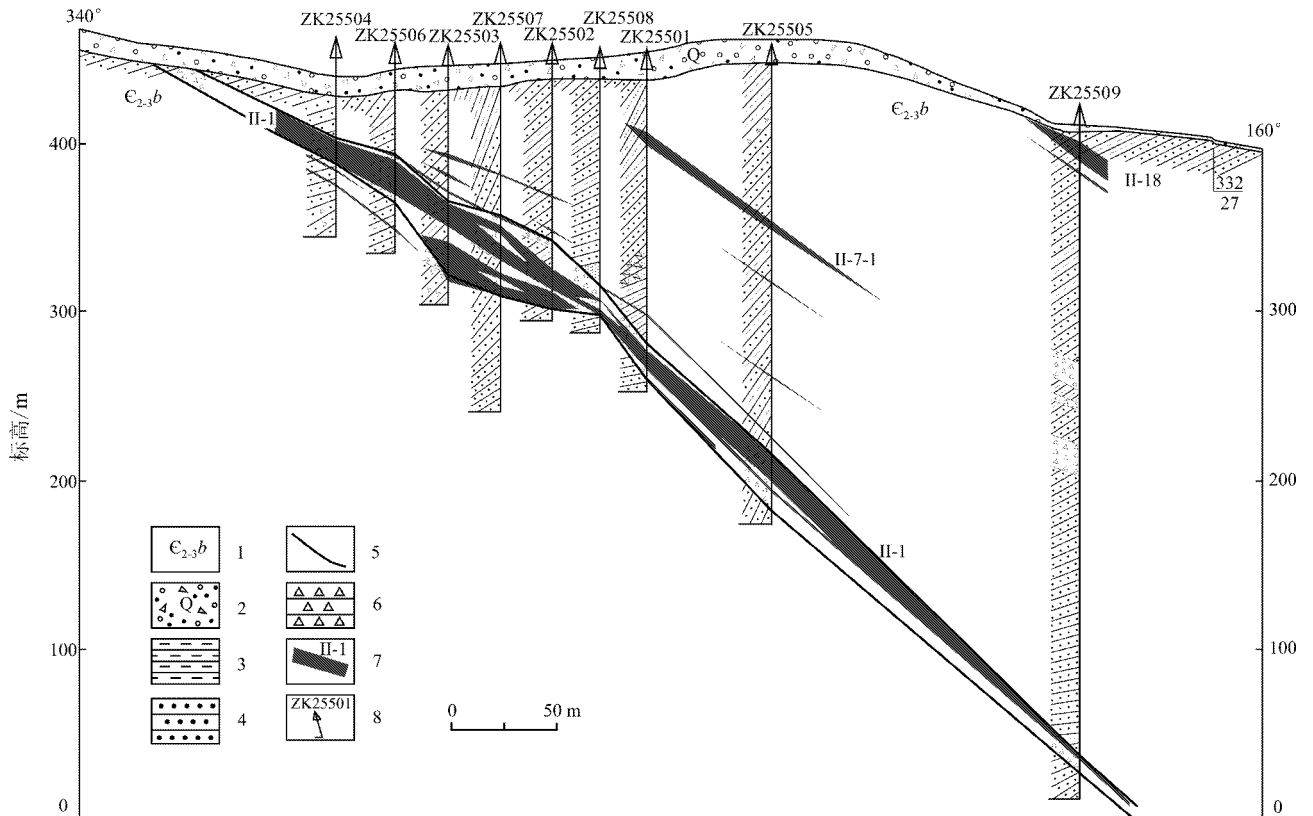


图 3 弄屯铅锌矿床 255 号勘探线剖面图( 据广西壮族自治区第四地质队 2013 修改)

1—第四系松散沉积物; 2—中、上寒武统边溪组砂岩、粉砂岩、泥岩; 3—泥岩; 4—砂岩; 5—断层; 6—构造角砾岩; 7—矿体及编号; 8—钻孔及编号

Fig. 3 Geological section along No 255 exploration line of the Nongtun Pb-Zn deposit ( modified after No. 4 Geological Party of Guangxi , 2013)

1—Quaternary loose sediments; 2—Middle-Upper Cambrian Bianxi Formation sandstone , siltstone and mudstone; 3—Mudstone; 4—Sandstone; 5—Fault; 6—Tectonic breccia; 7—Orebody and its serial number; 8—Drill hole and its serial number

方解石和绢云母等。

### 3 构造控矿规律

NE 向的 F<sub>4</sub> 断裂控制研究区规模最大的 II-1 号矿体的产出, 矿体总体倾向为 150 ~ 163°, 在浅部断裂倾角较缓, 多在 15 ~ 40° 之间, 矿体厚度较大, 向深

部断裂倾角增至 50 ~ 70°, 矿体厚度亦随之减薄。结合研究区勘探线联合剖面图( 图 4) 与联合中段平面图( 图 5) 分析, 以 231 线为界将矿体分为南西和北东 2 段。南西段矿体较厚, 厚为 0.72 ~ 31.69 m, 平均厚度 7.15 m; 北东段矿体厚度略薄, 厚 0.70 ~ 18.18 m, 平均厚度 4.49 m。而且, 北东段矿体于 +500 m ~ +350 m 标高较为富集, 南西段矿体于 +400 m ~ +300 m 标



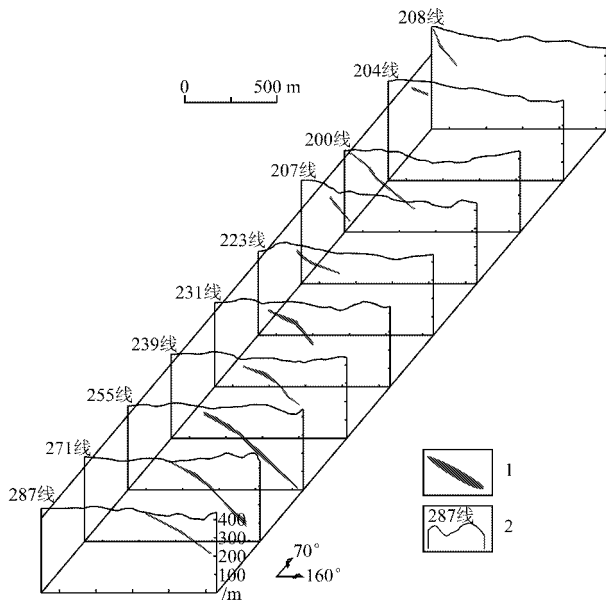


图4 弄屯铅锌矿床勘探线联合剖面图

1—铅锌矿体; 2—勘探线及编号

Fig. 4 The combined profile of exploration lines in the Nongtun Pb-Zn deposit

1—Pb-Zn orebody; 2—Exploration line and its serial number

高较为富集,主矿体总体具有向SW侧伏的趋势。

近EW向 $F_1$ 断裂控制的矿体规模在研究区内较小,但在研究区东侧的长屯矿区矿体规模达到中型。根据勘探线剖面图(图6)可发现,矿体主要产于断裂浅部倾角较平缓( $5 \sim 16^\circ$ )部位,向深部随着断裂产状变陡( $10 \sim 20^\circ$ ),矿体厚度也逐渐变薄直至尖灭。

尽管研究区内控制矿体的断裂走向既有NE向,也有EW向,但是由钻探工程揭露的情况可以发现,矿体沿倾向具有一致的变化规律,即在浅部断裂产状较缓部位,矿体厚度较大,向深部断裂产状变陡,矿体厚度减薄直至尖灭。

### 4 断裂构造解析(运动学及动力学特征)

#### 4.1 NE向断裂构造的运动学及动力学特征

发育于 $F_4$ 断裂带东侧延伸部分的一系列NE向、近EW向断裂(图2,  $F_{16} \sim F_{21}$ ),在其断裂带上形成了大量的小型构造,如次级褶皱、节理、劈理、雁列石英脉等,它们均一致表明:在成矿期,研究区受到近SN向的挤压应力作用,控矿断裂为逆断层。下

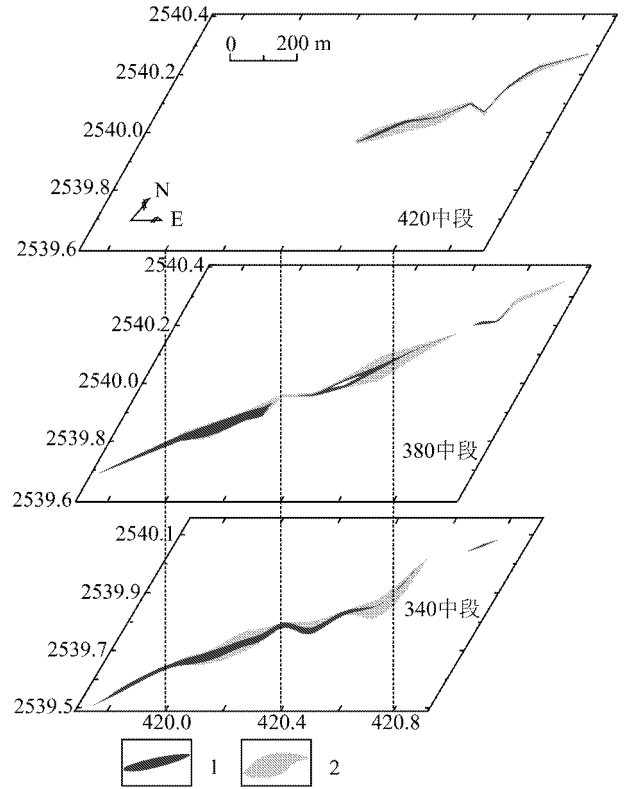


图5 弄屯铅锌矿床II-1号矿体联合中段平面图

(据广西壮族自治区第四地质队,2013修改)

1—铅锌矿体; 2—构造破碎带

Fig. 5 The combined level measurement plan of the Nongtun Pb-Zn deposit (modified after No. 4 Geological Party of Guangxi, 2013)

1—Pb-Zn orebody; 2—Structure fracture zone

面将几条典型断裂构造的运动学、动力学特征叙述如下。

$F_{16}$ 断裂:构造观察点位置见图2点G1。具有明显的断裂面(图7a),向北倾(产状 $5^\circ \angle 60^\circ$ ),断裂面附近褐铁矿化强烈,局部见有少量的黄铁矿。断裂面上盘硅化强烈,在地表形成明显的陡崖。断裂上盘的薄层硅化砂岩靠近断裂面处形成了典型的牵引褶皱(图7b),薄层砂岩受到下盘向下滑动的牵引力作用向下弯曲,指示该断裂为逆断层。在断裂面上盘的砂岩中发育有一组雁列状排列的石英脉(图7c),单个脉体呈透镜状,长一般为 $5 \sim 8$  cm,宽 $1 \sim 2$  cm,产状为 $196^\circ \angle 15^\circ$ ,这些张性石英脉的产状也代表了主应力的产状,即该断裂是在近南北向的挤压应力作用下形成的。而且在断裂面上盘硅化砂岩中还形成一组密集的劈理面(图7d),其产状为 $43^\circ \angle 76^\circ$ 。

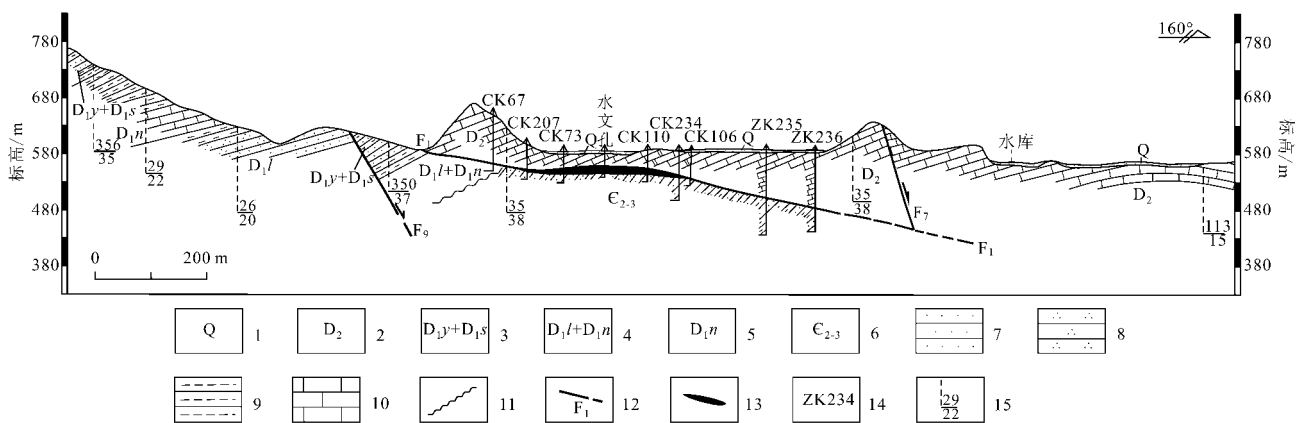


图 6 长屯铅锌矿床 F<sub>1</sub> 断裂地质剖面图(据广西壮族自治区第四地质队,1982 修改)

1—第四系松散沉积物; 2—中泥盆统灰岩; 3—下泥盆统郁江组、四排组砂岩、粉砂岩、页岩; 4—下泥盆统那高岭组灰岩、砂质泥岩、页岩;  
5—下泥盆统莲花山组、那高岭组砂岩、粉砂岩、泥岩; 6—中、上寒武统砂岩、粉砂岩、泥岩; 7—砂岩; 8—粉砂岩; 9—泥岩; 10—灰岩;  
11—角度不整合; 12—断裂及编号; 13—铅锌矿体; 14—钻孔及编号; 15—地层产状

Fig. 6 Geological section of F<sub>1</sub> fault of the Changtun Pb-Zn deposit (modified after No. 4 Geological Party of Guangxi, 1982)

1—Quaternary loose sediments; 2—Middle Devonian limestone; 3—Lower Devonian Yujiang Formation, Sipai Formation sandstone, siltstone and shale; 4—Lower Devonian Nagaoling Formation limestone, arenaceous mudstone and shale; 5—Lower Devonian Lianhuashan Formation, Nagao-ling Formation sandstone, siltstone and mudstone; 6—Middle-Upper Cambrian sandstone, siltstone and mudstone; 7—Sandstone; 8—Siltstone; 9—Mudstone; 10—Limestone; 11—Unconformity; 12—Fault and its serial number; 13—Pb-Zn orebody; 14—Drill hole and its serial number; 15—Attitude of strata

F<sub>18</sub> 断裂: 构造观察点位置见图 2 点 G2。位于 F<sub>16</sub> 断裂的南侧,产状为 184°∠57°。在其下盘的砂岩层理受到上盘拖拽作用而形成牵引褶皱(图 8a),砂岩层的弯曲方向指示上盘向上滑动,表明该断裂为逆断层。同时,断裂带上的构造透镜体排列方式也指示上盘向上滑动(图 8b),与牵引褶皱的运动学指向相同。

F<sub>21</sub> 断裂: 构造观察点位置见图 2 点 G3。位于 F<sub>18</sub> 断裂的南侧。在该断裂的下盘,发育有次级断裂(产状 131°∠40°)和小型“Z”型挠曲(图 9a)。在小型“Z”型挠曲中还发育有轴面劈理(图 9b)。沿砂岩层理可观察到“Z”型挠曲所形成的小型背斜(图 9c),同时,在该背斜上发育有一系列锯齿状追踪张节理(图 9d),其总体延伸方向与背斜枢纽垂直。这些小型构造表明该构造观察点附近岩层曾受到过挤压应力作用,导致岩层发生褶皱,在褶皱形成过程中于背斜核部沿 2 组(共轭)剪节理形成了追踪横张节理。断裂构造形成于褶皱形成之后。

F<sub>4</sub> 断裂: 根据各勘探线剖面图所反映的地质特征,控制 II 号矿脉的 F<sub>4</sub> 断裂在浅部矿体产状平缓,下部矿体产状较陡,且在平缓地段矿体厚度普遍较大,最大厚度可达 31.69 m,铅锌品位也较高,单样最高品位: Pb 为 1.94%, Zn 为 31.06%; 深部产状较陡

处矿体厚度较小,总体上矿体向深部逐渐尖灭。这些特征说明:控制 II 号矿脉的 F<sub>4</sub> 主断裂在主成矿期应表现为逆断层性质,该断裂由于断裂上盘的逆冲推覆作用,造成深部处于挤压环境下,容矿或贮矿空间有限,所形成的矿体规模较小;而浅部处于相对张性环境,形成了较大的容矿或贮矿空间,所形成的矿体规模也较大(图 3)。

根据断层角砾岩的特征,有时可以间接反映断层的运动学特征;如正断层中的角砾岩往往棱角比较显著,角砾大小悬殊,无分选,无定向,胶结物往往是从热液中结晶出来的自形程度较好的石英、方解石、黄铁矿等矿物;而逆断层中的角砾往往磨圆度较好,常呈透镜状,且有明显的定向性,以小角砾为主,胶结物既有热液中结晶形成的矿物,也有被碾碎的岩石或角砾的粉末。在 F<sub>4</sub> 断裂带中的角砾具有明显的磨圆度(图 10b),呈透镜状,且具有明显的定向性(图 10a),粒径一般为 0.5~2 cm,最大可达 10 cm。砾石的成分有石英、闪锌矿、砂岩,胶结物有石英、闪锌矿、黄铁矿以及岩石粉末。在角砾和胶结物中均有闪锌矿矿化,反映研究区内在成矿期具有 2 次热液活动,形成 2 次矿化(图 10c、d,注:图中黄色虚线为角砾边界)这在矿石的流体包裹体分析中

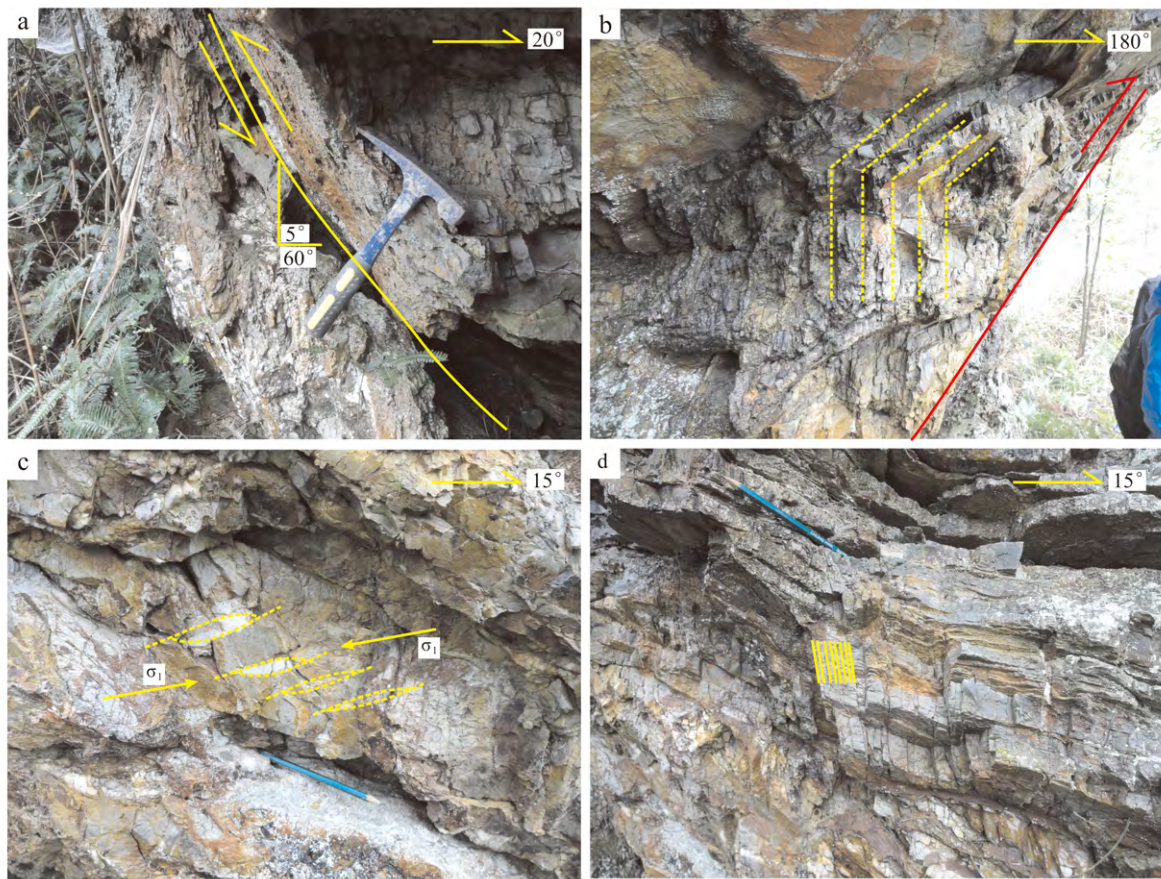


图7 F<sub>16</sub>断裂中的小构造

a. F<sub>16</sub>断裂面特征; b. F<sub>16</sub>断裂上盘牵引褶皱; c. F<sub>16</sub>断裂上盘雁列状石英脉; d. F<sub>16</sub>断裂上盘劈理

Fig. 7 Small structures in F<sub>16</sub> fault

a. Characteristics of F<sub>16</sub> fault plane; b. Traction folds on the hanging wall of F<sub>16</sub> fault; c. En echelon quartz veins on the hanging wall of F<sub>16</sub> fault; d. Cleavage on the hanging wall of F<sub>16</sub> fault

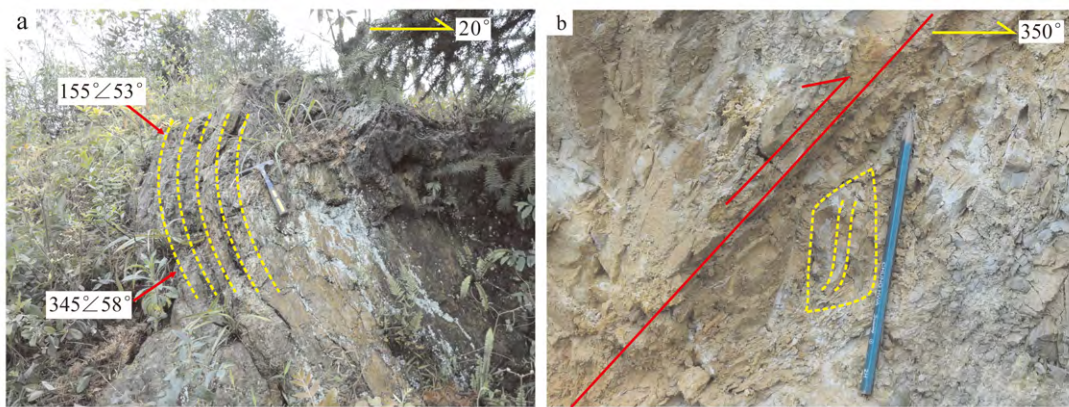


图8 F<sub>18</sub>断裂中的小构造

a. F<sub>18</sub>断裂带下盘牵引褶皱; b. F<sub>18</sub>断裂带中构造透镜体

Fig. 8 Small structures in F<sub>18</sub> fault

a. Traction folds on the footwall of F<sub>18</sub> fault; b. Tectonic lens in F<sub>18</sub> fault





图 9  $F_{21}$  断裂中的小构造

a.  $F_{21}$  断裂带下盘牵引褶皱及次级断裂面; b. 牵引褶皱中发育的轴面劈理; c. 牵引褶皱中波状起伏的层理面; d. 发育在层理面上的追踪张节理

Fig. 9 Small structures in  $F_{21}$  fault

a. Traction folds and secondary fracture plane on the footwall of  $F_{21}$  fault; b. Axial-plane cleavage in traction folds; c. Undulating bedding plane in traction folds; d. Trace tension joint in the bedding plane

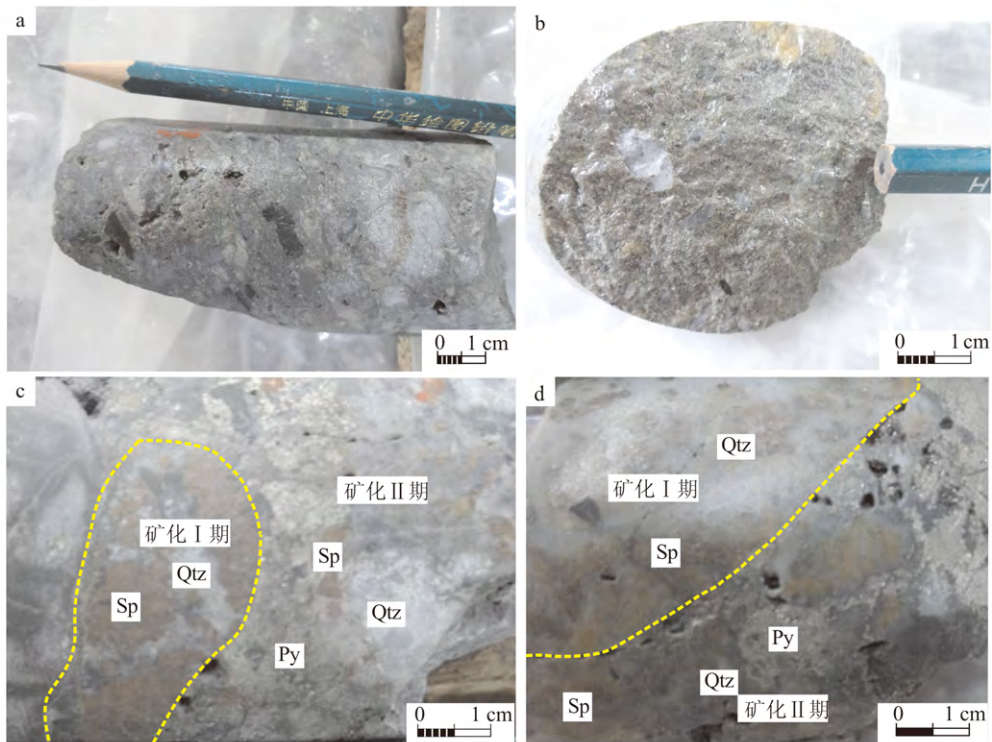


图 10  $F_4$  断裂带中矿化角砾岩的特征

a. 磨圆的角砾具有明显的定向性; b. 含有闪锌矿的椭圆状石英角砾; c,d. 含有闪锌矿、石英的矿石(矿化 I 期)被黄铁矿、

闪锌矿(矿化Ⅱ期)胶结

Qtz—石英; Sp—闪锌矿; Py—黄铁矿

Fig. 10 Characteristics of mineralized breccia in  $F_4$  fault

a. Rounded breccia with obvious orientation; b. Oval quartz breccia containing sphalerite; c, d. An ore breccia containing sphalerite and quartz (Phase I mineralization) cemented with pyrite and sphalerite (Phase II mineralization)  
Qtz—Quartz; Sp—Sphalerite; Py—Pyrite

得到了印证(柴明春等, 2015)。矿化角砾岩的磨圆性、定向性等特征也反映了在成矿期, 控矿断裂  $F_4$  表现为逆断层活动的特征。

在成矿后, 研究区  $F_4$  断裂上盘的次级断裂发生再次活动, 断裂面呈波状起伏(图 11a), 总体产状为  $225^\circ \angle 59^\circ$ 。构造观察点位置见图 2 点 G4。对该断裂详细观察, 可以发现其是利用 2 个构造面(即寒武系砂岩的层理面和一组节理面)发育而成的; 由于断裂的滑动, 在 2 组构造面交汇部位的三角形空间形成了透镜状的角砾岩和断层泥(图 11b), 构造岩未固结。断裂面上发育有明显的擦痕, 其向北西侧伏, 侧伏角为  $30^\circ$ (图 11c)。根据断裂面上的擦痕及阶步判断, 该断裂为左行逆平移断层。利用赤平投影进行主应力分析, 其 3 个轴的主应力方位分别为  $\sigma_1: 83^\circ \angle 4^\circ$ ,  $\sigma_2: 177^\circ \angle 48^\circ$ ,  $\sigma_3: 349^\circ \angle 42^\circ$ (图 11d)。其最大主应力与前面叙述的近 EW 向石英脉的主应力一致。表明研究区在成矿后经历过一期近 EW 向的主压应力作用。

#### 4.2 近 EW 向断裂构造的运动学及动力学特征

近 EW 向断裂在研究区也表现出多期次活动的特点, 并在断裂带及矿石中留下了其活动的证据。

在谷山水库沟口,  $F_1$  断裂出露较好, 可以见到 2 个明显的断裂滑动面。构造观察点位置见图 2 点 G5。其中, 主断裂面较平直, 产状  $190^\circ \angle 34^\circ$ , 次级断裂面产状  $230^\circ \angle 72^\circ$ 。断层下盘为寒武系砂岩, 岩石较破碎, 上盘为泥盆系灰岩。在 2 个断裂面之间发育有一个大型的灰岩构造透镜体(图 12a), 透镜体长约 2.5 m, 宽约 0.6 m。根据透镜体的排列方式, 确定该断层为逆断层。在次级断裂面上发育有一组擦痕及阶步, 擦痕向东侧伏, 侧伏角  $57^\circ$ (图 12b)。根据擦痕及阶步的特征, 判断该断层为逆断层。利用赤平投影进行主应力分析, 其 3 个轴的主应力方位分别为  $\sigma_1: 196^\circ \angle 33^\circ$ ,  $\sigma_2: 309^\circ \angle 31^\circ$ ,  $\sigma_3: 71^\circ \angle 42^\circ$ (图 12c), 表明该断裂是受近南北向(NNE-SSW)的挤压应力作用下形成的。同时, 在断层上盘的灰岩中发育有一组由方解石充填的张节理(图 12d), 其产状为  $190^\circ \angle 20^\circ$ 。

从勘探线剖面图(图 6)中可以明显发现,  $F_1$  断

裂产状在浅部较缓, 深部较陡, 主矿体产在断裂浅部产状较缓的部位, 指示在主成矿期该断裂应为上盘上升的逆断层, 只有这样, 在断裂浅部产状较缓部位才能形成较大的容矿空间, 处于相对引张状态, 而在深部产状较陡部位处于压性状态, 无法提供足够的容矿空间, 因此, 深部矿体逐渐变薄、变贫。

$F_1$  断裂中的矿石以角砾状构造为主, 角砾为砂岩、石英及闪锌矿, 被闪锌矿、黄铁矿、方铅矿胶结。有些矿石中还可见到含有闪锌矿的石英角砾被方铅矿、石英及闪锌矿再次胶结。成矿后, 沿着断裂带顶部紧靠碳酸盐岩层再次发生断裂滑动, 并形成数十公分的灰色断层泥, 使靠近断裂面的少量矿化角砾岩破碎, 形成黏土胶结角砾岩, 或形成新的含矿角砾, 而大部分矿体未被破坏, 仍保留成矿期的被闪锌矿等矿物胶结的角砾状矿石特征。说明成矿后的构造活动对矿体影响较弱。

## 5 讨论

### 5.1 成矿流体运移的通道及流向

本次研究详细统计了各钻探工程中主矿体 II-1 的 Pb、Zn 品位、矿体厚度、矿体底板标高, 计算了 Zn/Pb 比值, 并利用 SPSS 软件对矿体底板标高进行了趋势分析(表 1)。根据矿体底板标高数据, 通过多元线性回归分析, 求得趋势面的拟合方程为  $z = 283.593 - 0.318x + 0.676y$ , 趋势面拟合度  $R^2 = 0.893$ , 显著性  $F = 0.000 < 0.05$ , 说明该拟合方程的拟合度高, 回归模型显著。将表 1 中的数据, 利用 Surfer 软件绘制成等值线图。

前面的研究表明, 研究区内的矿体主要受 NE 向断裂控制, 由主矿体底板等高线图(图 13b)可知, 矿体走向 NE, 倾向 SE, 与 NE 向断裂产状一致。该组控矿断裂在成矿期属逆断层, 在浅部产状较缓部位张开形成扩容空间。由主矿体厚度等值线图(图 13c)可知, 在充填成矿阶段, 这个最大张开区正是主矿体厚度最大部位。通过对矿体底板标高进行趋势分析, 在一次趋势面剩余(偏差)图(图 13d)上存在的正偏差区基本上对应主矿体厚度最大部位。这些特



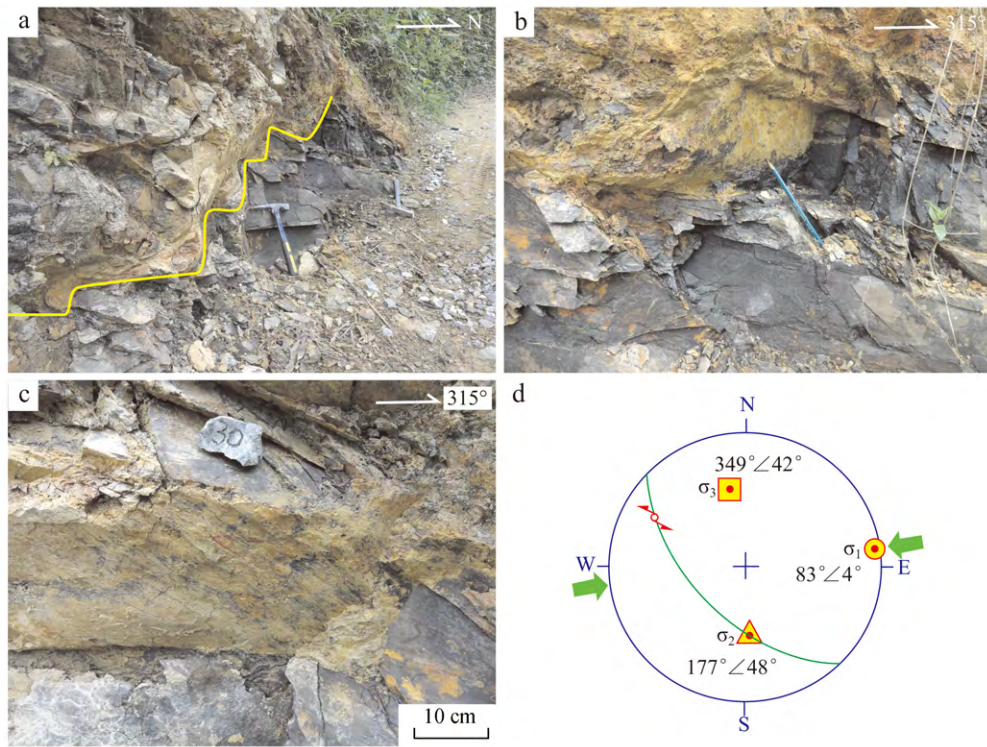


图 11 成矿后近东西向挤压应力作用证据

a, b, c. 沿寒武系砂岩层理和节理发育的波状起伏的断层; d. 断层主应力分析赤平投影图

Fig. 11 Evidence for the effect of near EW-trending compressive stress after mineralization

a, b, c. Wavy undulating fault plane developed along the bedding and joints of Cambrian sandstone; d. Stereographic map of fault principal stress analysis

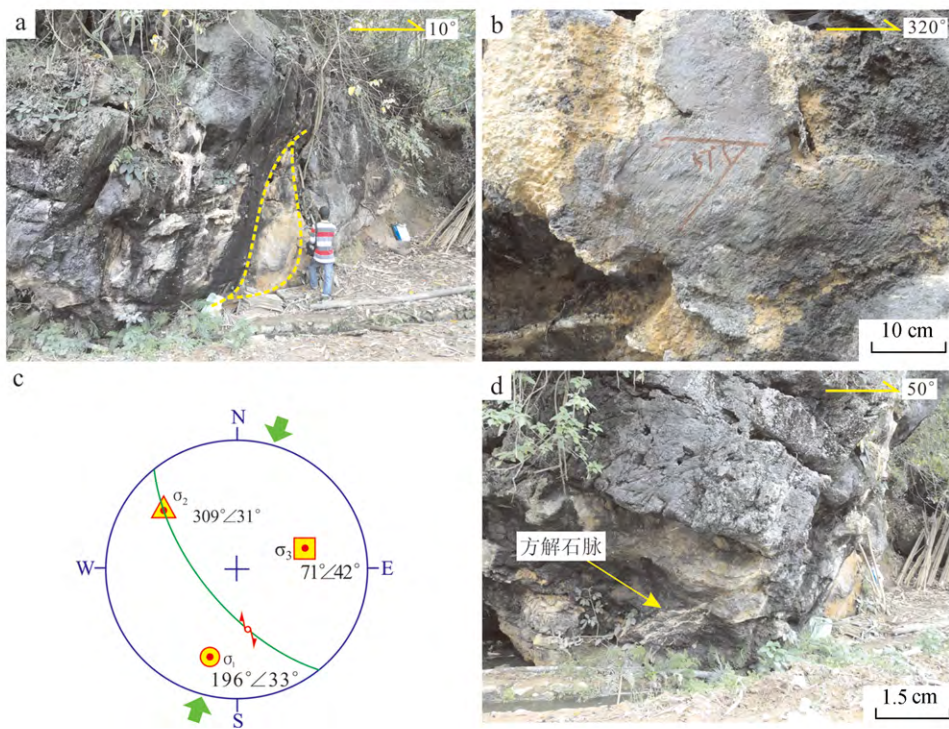


图 12 弄屯铅锌矿床中  $F_1$  断裂的构造特征

a.  $F_1$  断裂带中构造透镜体; b.  $F_1$  断裂面上擦痕; c.  $F_1$  断裂主应力分析赤平投影图; d. 发育在  $F_1$  断裂上盘的方解石脉(示主应力  $\sigma_1$  方位)

Fig. 12 Structural characteristics of  $F_1$  fault in the Nongtun Pb-Zn deposit  
 a. Tectonic lens in  $F_1$  fault; b. Scratches of  $F_1$  fault plane; c. Stereographic map of  $F_1$  fault principal stress analysis;  
 d. Calcite veins developed on the hanging wall of  $F_1$  fault ( showing the orientation of principal stress  $\sigma_1$ )

表1 各钻探工程中主矿体II-1各项数据统计分析表

Table 1 Statistical analyses of the No. II-1 main orebody in each drilling project

钻孔编号	直角坐标网		$w(\text{Pb}) / \%$	$w(\text{Zn}) / \%$	Zn/Pb	矿体 厚度/m	矿体底板 标高/m	矿体底板标高 一次趋势值	矿体底板标高 一次趋势剩余值
	横坐标	纵坐标							
ZK30301	419574	2539574	0.20	1.15	5.75	5.50	323.27	397.84	-74.57
ZK30302	419626	2539429	0.11	2.05	18.64	4.46	282.63	283.28	-0.65
ZK28703	419738	2539691	0.16	1.06	6.63	1.74	419.62	424.78	-5.16
ZK28701	419794	2539532	0.11	2.16	19.64	2.12	330.27	299.49	30.78
ZK28702	419852	2539414	0.08	1.08	13.50	0.98	238.34	201.27	37.07
ZK27105	419905	2539757	0.59	3.77	6.39	2.24	403.18	416.29	-13.11
ZK27102	419952	2539690	0.39	3.82	9.79	15.56	353.56	356.05	-2.49
ZK27101	419977	2539617	0.09	3.08	34.22	2.95	298.46	298.75	-0.29
ZK27103	420007	2539543	0.46	7.80	16.96	2.12	211.88	239.19	-27.31
ZK27104	420023	2539452	0.83	1.12	1.35	10.32	114.10	172.58	-58.48
ZK26303	420007	2539798	0.30	1.60	5.33	10.57	402.21	411.57	-9.36
ZK26302	420042	2539720	0.45	2.85	6.33	23.52	346.68	347.71	-1.03
ZK26301	420063	2539649	0.11	2.54	23.09	1.15	320.16	293.04	27.12
ZK26304	420101	2539561	0.44	0.29	0.66	0.96	210.01	221.46	-11.45
ZK25504	420074	2539813	0.20	1.39	6.95	8.10	388.13	400.40	-12.27
ZK25506	420099	2539782	0.47	3.73	7.94	15.85	369.73	371.50	-1.77
ZK25503	420123	2539756	0.27	3.29	12.19	11.57	350.98	346.29	4.69
ZK25507	420141	2539730	0.38	3.57	9.39	9.69	330.79	322.99	7.80
ZK25502	420158	2539703	0.12	4.43	36.92	8.33	312.27	299.33	12.94
ZK25508	420174	2539678	0.36	3.27	9.08	1.93	298.34	277.34	21.00
ZK25501	420189	2539655	0.40	2.83	7.08	8.44	265.91	257.02	8.89
ZK25505	420225	2539590	0.82	4.00	4.88	13.22	193.33	201.64	-8.31
ZK25509	420253	2539405	0.27	2.03	7.52	2.04	33.99	67.67	33.68
ZK25504-1	420120	2539826	0.30	2.69	8.97	3.69	387.35	394.56	-7.21
ZK25101	420163	2539795	0.77	4.10	5.32	14.52	366.27	359.93	6.34
ZK25102	420189	2539751	0.27	2.06	7.63	12.59	330.87	321.92	8.95
ZK25103	420218	2539708	0.60	6.45	10.75	8.26	296.81	283.63	13.18
ZK24704	420217	2539809	0.36	1.61	4.47	6.37	349.29	352.22	-2.93
ZK24706	420248	2539767	0.50	8.72	17.44	4.29	317.69	313.97	3.72
ZK24701	420276	2539721	0.59	5.16	8.75	9.70	277.38	273.97	3.41
ZK24702	420280	2539640	0.63	5.48	8.70	10.18	210.27	217.95	-7.68
ZK24703	420307	2539584	1.21	0.00	0.00	0.73	131.55	171.50	-39.95
ZK23903	420297	2539851	0.36	1.65	4.58	2.51	375.77	355.18	20.59
ZK23901	420329	2539785	0.77	3.81	4.95	9.69	343.81	300.38	43.43
ZK23902	420367	2539712	0.06	5.75	6.53	1.80	294.30	238.95	55.35
ZK23904	420385	2539660	1.10	3.08	2.80	4.35	220.62	198.08	22.54
ZK23104	420377	2539942	0.09	1.37	15.22	2.28	397.85	391.25	6.60
ZK23101	420401	2539911	0.74	5.52	7.46	4.37	373.25	362.66	10.59
ZK23102	420422	2539840	0.47	3.20	6.81	12.97	342.84	307.99	34.85
ZK23101	420460	2539779	0.24	2.86	11.92	3.84	260.56	254.67	5.89
ZK22303	420445	2540041	0.87	7.06	8.11	3.07	427.09	436.55	-9.46
ZK22301	420469	2539994	0.28	1.16	4.14	8.18	391.00	397.15	-6.15
ZK22302	420508	2539920	0.45	0.25	0.56	1.74	352.03	334.72	17.31
ZK21501	420555	2540045	2.04	6.71	3.29	0.95	419.43	404.28	15.15
ZK21502	420597	2539972	0.22	1.55	7.05	0.88	319.38	341.57	-22.19
ZK21503	420630	2539878	0.04	0.65	16.25	1.86	207.20	267.53	-60.33
ZK20701	420651	2540114	0.84	3.68	4.38	6.21	436.52	420.39	16.13
ZK20702	420680	2540069	1.13	0.01	0.01	0.82	374.87	380.75	-5.88
ZK20303	420672	2540134	0.70	7.18	10.26	10.65	444.17	427.23	16.94
ZK20301	420694	2540108	3.21	0.01	0.00	2.68	431.79	402.66	29.13
ZK20302	420713	2540068	1.07	0.07	0.07	1.26	419.48	369.58	49.90



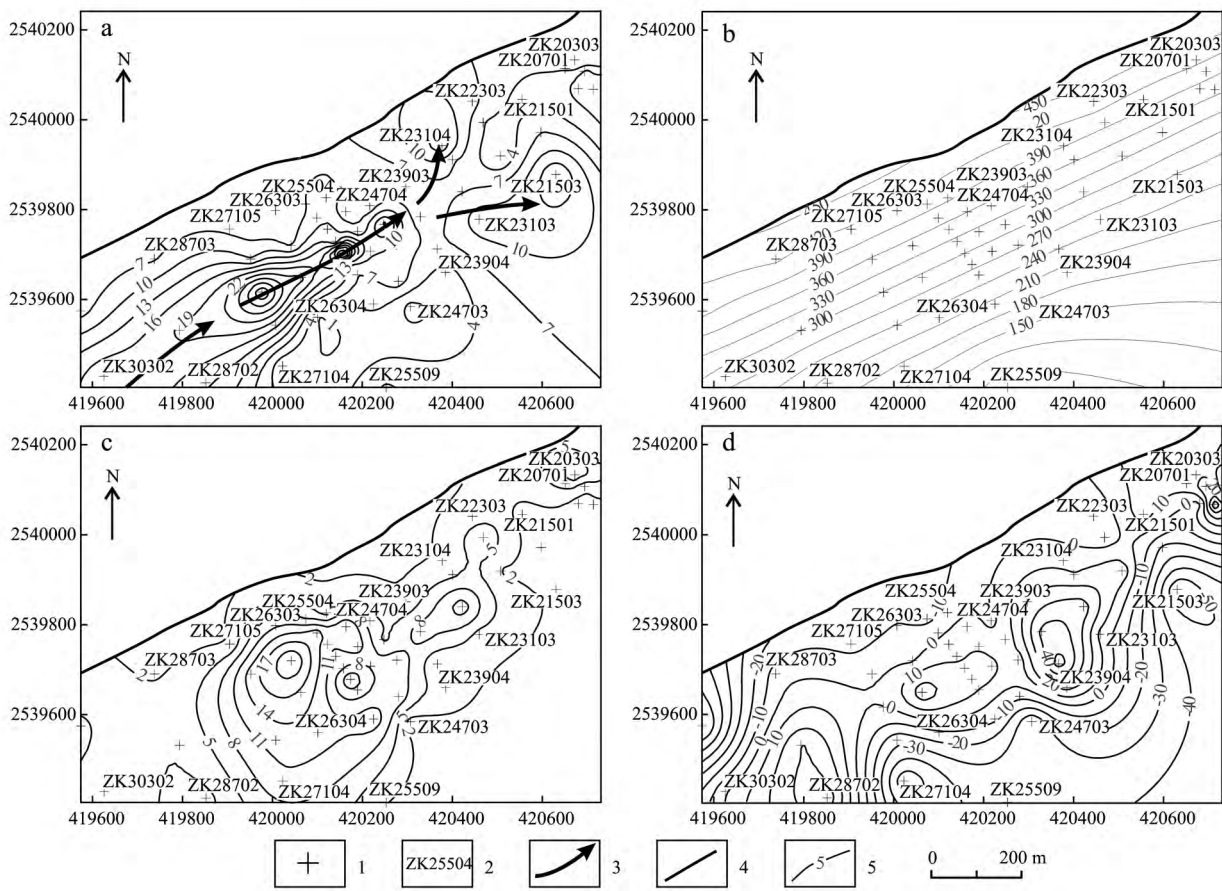


图 13 弄屯铅锌矿床主矿体水平投影图

a. Zn/Pb 比值等值线图; b. 矿体底板等高线图; c. 矿体厚度等值线图; d. 矿体底板标高一次趋势剩余值等值线图

1—钻孔位置; 2—钻孔编号; 3—矿液流向; 4—矿体地表出露界线; 5—等值线

Fig. 13 Horizontal projection of the main orebody of the Nongtun Pb-Zn deposit

a. Zn/Pb ratio contour map; b. Contour map of orebody footwall; c. Contour map of orebody thickness; d. Contour map of residual value of linear trend surface of orebody footwall

1—Location of drill hole; 2—Serial number of drill hole; 3—Flow direction of ore fluid; 4—Surface boundary of orebody; 5—Contour line

征说明 NE 向断裂是矿液上升的通道,而其中张开最大区段则形成了一个圈闭的储矿构造。

在一个成矿阶段中,成矿物质从含矿溶液中先后有秩序地沉淀出来而造成沉淀分带。这种有秩序的沉淀与金属元素的稳定序列有关,而 Pb 的稳定性大于 Zn,因此 Zn 元素先晶出,Pb 元素后晶出,可以利用 Zn/Pb 比值由大到小的变化趋势来确定矿液的流向(翟裕生等,1993)。由 Zn/Pb 比值等值线图(图 13a)可知,在成矿阶段,研究区内的成矿热液由 SW 向 NE 沿 NE 向断裂中部的张开区流动,并进一步沿断裂向外围扩散。

NE 向的控矿断裂在 SW 侧与区域性长屯-龙茗断裂  $F_1$  相交,而  $F_1$  断裂是区域上一条重要的控矿

断裂,研究区东侧的长屯铅锌矿床即产于其中。结合上述矿液流向分析,笔者认为,在成矿期成矿热液沿区域性长屯-龙茗断裂  $F_1$  从深部到达  $F_1$  断裂与 NE 向断裂交汇部位,由于 NE 向断裂的逆冲活动在断裂产状较缓部位张开形成低压区,促使成矿热液进入 NE 向断裂中,并沿 NE 向断裂由 SW 向 NE 运移,在运移过程中其中的 Zn、Pb 先后沉淀富集形成矿体。

### 5.2 矿床的形成时间

本次研究未能对弄屯铅锌矿床中的矿石矿物进行直接有效的同位素定年,但是根据已有的同位素数据和构造解析资料可基本确定其成矿时代。

前人对研究区内铅锌矿床的铅、硫同位素组成

进行了研究,认为矿床中的硫主要来自于岩浆,金属元素来自于岩浆和地层(桂林理工大学,2015;李赛赛等,2016a)。柴明春等(2015)通过对弄屯铅锌矿床中与成矿关系密切的石英进行氢、氧同位素分析,认为成矿流体与岩浆源流体具有一定的亲缘关系。这些同位素数据分析表明在铅锌矿床形成过程中有岩浆活动的参与。然而在整个西大明山地区岩浆活动较弱,区内仅有少量石英斑岩和辉绿岩脉出露,其单颗粒锆石 U-Pb 测年分别获得  $(112 \pm 1)$  Ma(李泽琴等,1998;雷英凭等,2010;雷英凭,2012)和  $(86.7 \pm 1.8)$  Ma ~  $(91.6 \pm 8.3)$  Ma(徐争启等,2012)的结果;2012年底在罗维矿区 ZK40004、ZK31901 两个钻孔中见到了隐伏黑云母花岗闪长岩,进行锆石 U-Pb 测年分别获得了  $(99.84 \pm 0.90)$  Ma 和  $(98.03 \pm 0.99)$  Ma 的结果(郑剑锋,2015)。这些年龄数据说明,西大明山地区的岩浆活动主要发生在燕山晚期。同时,区域应力分析得出,研究区燕山晚期主要受近 SN 向的主压应力作用,  $\sigma_1$  方位为  $195^\circ$ (周维博,2005),与前面对控矿断裂的主应力分析基本一致。

因此,笔者认为弄屯铅锌矿床主成矿期应为燕山晚期,是受近 SN 向的主压应力作用形成的逆断层活动控制的。

### 5.3 找矿靶区预测

根据本文对研究区控矿构造的解析成果,笔者认为在  $F_4$  和  $F_6$  断裂的深部有可能发现新的矿体,主要依据有:

(1)  $F_4$  和  $F_6$  断裂均为逆断层,矿体沿断裂的倾向一般具有尖灭再现的规律,在深部断裂倾角变缓的部位可以提高容矿空间,断裂张开形成的相对低压区有利于成矿物质的沉淀富集。

(2) 翟裕生等(1993)在总结矿体的分布与断裂的关系时指出,通常直接产在大断裂中的矿体较少,较多的矿体产出于大断裂附近的次一级断裂中;研究区内  $F_4$  和  $F_6$  断裂与区域性断裂  $F_1$  相接,属于  $F_1$  断裂的次一级断裂; $F_1$  断裂规模大,延深大,是良好的导矿构造,有利于将深部的矿液输送到上部有利含矿层位中的次级断裂中富集成矿。

## 6 结论

(1) 弄屯矿床铅锌矿体主要受 NE 向和(近) EW 向断裂控制,这 2 组断裂在成矿期均表现为逆断层活动特征,是受近 SN 向主压应力作用下形成的。

成矿后,研究区受到近 EW 向主压应力作用,个别断裂发生平移滑动,但活动较弱,对矿体影响较小。

(2) 矿体主要产在断裂浅部产状较缓的部位,向深部断裂产状变陡,矿体厚度减薄直至尖灭。而且主矿体沿 NE 向断裂具有向 SW 侧伏的趋势。

(3) 在成矿期,成矿热液沿区域性长屯-龙茗断裂  $F_1$  从深部到达  $F_1$  断裂与 NE 向断裂交汇部位,由于 NE 向断裂的逆冲活动,在断裂产状较缓部位张开形成低压区,促使成矿热液进入 NE 向断裂中,并沿 NE 向断裂由 SW 向 NE 运移,在运移过程中其中的 Zn、Pb 先后沉淀富集成矿体。

## References

- Chai M C, Fu W, Feng Z H, Xu W Z, Le X W, Li S S, Lu J H, Liu W and Pang Y Q. 2015. Characteristics of ore-forming fluids of Nongtun Pb-Zn deposit in Xidaming Mountain of Guangxi and their implications for ore genesis [J]. *Mineral Deposits*, 34(5): 948-964 (in Chinese with English abstract).
- Chen B L. 2001. Calculation of metallogenic depth of lode gold deposits from mineralization structure-dynamics [J]. *Chinese Journal of Geology*, 36(3): 380-384 (in Chinese with English abstract).
- Chen X H, Chen Z L and Yang N. 2009. Study on regional mineralizations and ore-field structures: building of mineralizing tectonic systems [J]. *Journal of Geomechanics*, 15(1): 1-19 (in Chinese with English abstract).
- Deng J, Yang L Q, Zhai Y S, Sun Z S and Chen X M. 2000. Theoretical framework and methodological system of tectonics-fluids-mineralization system and dynamics [J]. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 25(1): 71-78 (in Chinese with English abstract).
- Deng J, Wang Q F and Huang D H. 2004. Transportation and locating processes of metallogenic fluid [J]. *Advance in Earth Sciences*, 19(3): 393-398 (in Chinese with English abstract).
- Du Y S and Xu Y J. 2012. A preliminary study on Caledonian event in South China [J]. *Geological Science and Technology Information*, 31(5): 43-49 (in Chinese with English abstract).
- Guilin University of Technology. 2015. Metallogenic regularity and prediction of the Ag-Pb-Zn polymetallic deposits in Xidamingshan, Guangxi [R]. 1-259 (in Chinese).
- Guo T, Deng J, Lu G X and Sun Z F. 2008. The channel way, style and driving mechanism of ore fluid migration in the Jiaojia gold deposit [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 29(1): 81-88 (in Chinese with English abstract).
- Hao Y, Li S Z, Jin P, Dai L M, Liu B, Liu L P and Liu X. 2010. Caledonian structural characteristics and mechanism in Hunan-Jiangxi-Guangxi Provinces [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 34(2): 166-

- 180( in Chinese with English abstract) .
- Huang J J. 2001. Structural features , stress fields and strain fields in Fenghuangshan silver mine area , Guangxi , China [J]. *Journal of Geomechanics* , 7( 1) : 9-21( in Chinese with English abstract) .
- Lei Y P , Gan Q and Zheng Y. 2010. Structural ore-controlling model and mineral prospecting of Fenghuangshan silver deposit , Guangxi [J]. *Acta Mineralogica Sinica* , 30( 1) : 136-140( in Chinese with English abstract) .
- Lei Y P. 2012. Mineral prediction of the Xidamingshan silver polymetallic ore district , Guangxi( Doctor Report) [D]. Supervisor: Du Y S. Beijing: China University of Geosciences. 51p( in Chinese with English abstract) .
- Li S S , Feng Z H , Fu W , Shan Y P and Chai M C. 2016a. A review on origin of the Ag-Pb-Zn polymetallic deposits in Xidamingshan , Guangxi [J]. *Bulletin of Mineralogy , Petrology and Geochemistry* , 35( 4) : 781-788( in Chinese with English abstract) .
- Li S S , Feng Z H , Fu W , Jia Z Q , Long M Z , Liu W W , Peng Z Y and Li Y J. 2016b. Search for hidden rock bodies using geological , geophysical , and geochemical methods: An example from the West Damingshan area of Guangxi Province [J]. *Geology and Exploration* , 52( 3) : 524-536( in Chinese with English abstract) .
- Li Z Q , Dong B L , Lei Y P , Chen H and Lin D. 1998. Lead isotope geochemistry of turbidite-type silver deposit at Fenghuangshan , Guangxi , China [J]. *Acta Mineralogica Sinica* , 18( 4) : 473-482( in Chinese with English abstract) .
- Liang J H and Zhou Y Q. 2014. Analysis on the geology and formation of the Nongtun Pb-Zn deposit in Daxin County [J]. *Technology and Enterprise* , ( 7) : 168( in Chinese) .
- Lu G X and Guo T. 2001. Tectono-deformation-facies characteristics and tectono-physicochemistry of metallogenic liquid for Fushan gold deposit [J]. *Geology-Geochemistry* , 29( 3) : 90-93( in Chinese with English abstract) .
- No. 4 Geological Team , Guangxi. 1982. The preliminary reconnaissance survey report of the Changtun Pb-Zn deposit periphery , Daxin , Guangxi [R]. 1-38( in Chinese) .
- No. 4 Geological Team , Guangxi. 2013. The medium detailed survey report of the Nongtun Pb-Zn deposit , Daxin , Guangxi [R]. 1-99( in Chinese) .
- Mao J W , Xie G Q , Guo C L , Yuan S D , Cheng Y B and Chen Y C. 2008. Spatial-temporal distribution of Mesozoic ore deposits in South China and their metallogenic settings [J]. *Geological Journal of China Universities* , 14( 4) : 510-526( in Chinese with English abstract) .
- Mao J W , Chen M H , Yuan S D and Guo C L. 2011. Geological characteristics of the Qinhang( ro Shihang) metallogenic belt in South China and spatial-temporal distribution regularity of mineral deposits [J]. *Acta Geologica Sinica* , 85( 5) : 636-658( in Chinese with English abstract) .
- Qiu Y X , Ma W P , Fan X L , Zhang Y C , Deng J R , Xia L H and Zhang X L. 1996. Tectonic nature and tectonic evolution of the "Xuefeng Oldland" in the Caledonian stage [J]. *Regional Geology of China* , ( 2) : 150-160( in Chinese with English abstract) .
- Ren L K. 2002. The research of structural characteristics in eastern Nanpanjiang depression and its adjacent area( dissertation for master degree) [D]. Supervisor: Wang X W. Beijing: China University of Geosciences( in Chinese with English abstract) .
- Ren L K. 2011. Tectonic evolution and mineralization in Nanpanjiang-Shiwanshan region( Doctor Report) [D]. Supervisor: Deng J. Beijing: China University of Geosciences( in Chinese with English abstract) .
- Tu W. 2011. Characteristics and genesis of the Luowei silver-lead-zinc deposit in Guangxi Province( dissertation for master degree) [D]. Supervisor: Du Y S. Beijing: China University of Geosciences. 1p( in Chinese with English abstract) .
- Tu W , Du Y S , Wang G W and Lei Y P. 2013. Cordilleran vein type Pb-Zn-polymetallic deposits of the Xidamingshan district , Guangxi , SW China: Fluid inclusion and geochemical studies [J]. *Geology of Ore Deposits*. 55( 6) : 494-502.
- Wibberley C , Yielding G and Di T G. 2008. Recent advances in the understanding of fault zone internal structure: a review [J]. *Geological Society London Special Publications* , 299( 1) : 5-34.
- Xiang C F and Zhuang X G. 2000. Studies on the pass-way systems of the ore-forming fluids: according to the carlin type gold deposits in Youjiang district [J]. *Geological Science and Technology Information* , 19( 4) : 65-69( in Chinese with English abstract) .
- Xu Z Q , Cheng F G , Tang C Y , Song H , Zhang C J , Ni S J , Guo J T and Qi J M. 2012. Geological , geochemical and chronology characteristics and its significance of the dolerite in Daxin , Guangxi Province [J]. *Advances in Earth Science* , 27( 10) : 1080-1086( in Chinese with English abstract) .
- Zhai Y S and Lin X D. 1993. Ore field tectonics [M]. Beijing: Geological Publishing House. 1-212( in Chinese) .
- Zhai Y S. 2001. Hundred years ' retrospect and developing trend of mineral deposit geology [J]. *Advance in Earth Sciences* , 16( 5) : 719-725( in Chinese with English abstract) .
- Zhai Y S. 2002. A brief retrospect and prospect of study on ore-forming structures [J]. *Geological Review* , 48( 2) : 140-146( in Chinese with English abstract) .
- Zhang Y Q , Xu X B , Jia D and Shu L S. 2009. Deformation record of the change from Indosinian collision-related tectonic system to Yanshanian subduction-related tectonic system in South China during the Early Mesozoic [J]. *Earth Science Frontiers* , 16( 1) : 234-247( in Chinese with English abstract) .
- Zheng J F. 2015. Geological characteristics of the concealed Luowei granite and its relationship to mineralization in Xidamingshan Guangxi province( dissertation for master degree) [D]. Supervisor: Tian F M and Fu W. Guilin: Guilin University of Technology. 28p( in Chinese with English abstract) .
- Zhou W B. 2005. Structural characteristics of the Xidamingshan uplift in

- Guangxi and its relationship with the adjacent basins( dissertation for master degree) [D]. Supervisor: Wu G G. Beijing: China University of Geosciences( in Chinese with English abstract) .
- Zhou Y Z, Zheng Y, Zeng C Y and Liang J. 2015. On the understanding of Qinzhou bay-Hangzhou bay metallogenic belt, South China [J]. Earth Science Frontiers, 22( 2): 1-6( in Chinese with English abstract) .
- Zhu G F. 1989. The buried structures and intrusives of Xidamingshan Guangxi, and their relationship with mineral resources distribution [J]. Geology and Prospecting, 1: 15-17( in Chinese with English abstract) .
- ### 附中文参考文献
- 柴明春, 付伟, 冯佐海, 徐文忠, 乐兴文, 李赛赛, 陆建辉, 刘武文, 庞运权. 2015. 广西西大明山弄屯铅锌矿床的成矿流体特征及矿床成因指示意义 [J]. 矿床地质, 34( 5): 948-964.
- 陈柏林. 2001. 从成矿构造动力学探讨脉状金矿床成矿深度 [J]. 地质科学, 36( 3): 380-384.
- 陈宣华, 陈正乐, 杨农. 2009. 区域成矿与矿田构造研究-构建成矿构造体系 [J]. 地质力学学报, 15( 1): 1-19.
- 邓军, 杨立强, 翟裕生, 孙忠实, 陈学明. 2000. 构造-流体-成矿系统及其动力学的理论格架与方法体系 [J]. 地球科学, 25( 1): 71-78.
- 邓军, 王庆飞, 黄定华. 2004. 成矿流体输运物理机制研究的关键难题与方法体系 [J]. 地球科学进展, 19( 3): 393-398.
- 杜远生, 许亚军. 2012. 华南加里东运动初探 [J]. 地质科技情报, 31( 5): 43-49.
- 广西壮族自治区第四地质队. 1982. 广西大新县长屯铅锌矿区外围初步普查地质报告 [R]. 1-38.
- 广西壮族自治区第四地质队. 2013. 广西大新县弄屯矿区铅锌矿中间性详查报告 [R]. 1-99.
- 桂林理工大学. 2015. 广西西大明山银铅锌多金属矿成矿规律与成矿预测 [R]. 1-259.
- 郭涛, 邓军, 吕古贤, 孙之夫. 2008. 焦家金矿床成矿流体运移的通道, 方式及驱动机制 [J]. 地球学报, 29( 1): 81-88.
- 郝义, 李三忠, 金宠, 戴黎明, 刘博, 刘丽萍, 刘鑫. 2010. 湘赣桂地区加里东期构造变形特征及成因分析 [J]. 大地构造与成矿学, 34( 2): 166-180.
- 黄继钧. 2001. 广西凤凰山银矿区构造特征及构造应力场、应变场分析 [J]. 地质力学学报, 7( 1): 9-21.
- 雷英凭, 甘琴, 郝援. 2010. 广西凤凰山银矿床构造控矿与找矿方向研究 [J]. 矿物学报, 30( 1): 136-140.
- 雷英凭. 2012. 广西西大明山银多金属矿集区成矿预测( 博士论文) [D]. 导师: 杜杨松. 北京: 中国地质大学. 51页.
- 李赛赛, 冯佐海, 付伟, 单永磐, 柴明春. 2016a. 广西西大明山地区银铅锌多金属矿床成因研究进展 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 35( 4): 781-788.
- 李赛赛, 冯佐海, 付伟, 贾志强, 龙明周, 刘武文, 彭志勇, 李扬进. 2016b. 地物化综合方法寻找隐伏岩体的一次实践——以广西西大明山隐伏岩体的发现为例 [J]. 地质与勘探, 52( 3): 524-536.
- 李泽琴, 董宝林, 雷英凭, 陈海, 林德. 1998. 广西凤凰山浊积岩型银矿床铅同位素地球化学-成矿物质来源 [J]. 矿物学报, 18( 4): 473-482.
- 梁建华, 周玉强. 2014. 大新县弄屯铅锌矿床地质及形成原因分析 [J]. 科技与企业, ( 7): 168.
- 吕古贤, 郭涛. 2001. 阜山金矿区构造变形岩相特征与成矿流体构造物理化学特征研究 [J]. 地质地球化学, 29( 3): 90-93.
- 毛景文, 谢桂青, 郭春丽, 袁顺达, 程彦博, 陈毓川. 2008. 华南地区中生代主要金属矿床时空分布规律和成矿环境 [J]. 高校地质学报, 14( 4): 510-526.
- 毛景文, 陈懋弘, 袁顺达, 郭春丽. 2011. 华南地区钦杭成矿带地质特征和矿床时空分布规律 [J]. 地质学报, 85( 5): 636-658.
- 丘元禧, 马文璞, 范小林, 张渝昌, 邓家瑞, 夏亮辉, 张旭亮. 1996. “雪峰古陆”加里东期的构造性质和构造演化 [J]. 中国区域地质, ( 2): 150-160.
- 任立奎. 2002. 南盘江拗陷东部及邻区构造特征研究( 硕士论文) [D]. 导师: 汪新文. 北京: 中国地质大学.
- 任立奎. 2011. 南盘江十万山地区构造演化与成矿( 博士论文) [D]. 导师: 邓军. 北京: 中国地质大学.
- 涂伟. 2011. 广西罗维银铅锌矿床特征和成因( 硕士论文) [D]. 导师: 杜杨松. 北京: 中国地质大学.
- 向才富, 庄新国. 2000. 成矿流体运移的输导体系研究——以右江地区微细浸染型金矿为例 [J]. 地质科技情报, 19( 4): 65-69.
- 徐争启, 程发贵, 唐纯勇, 宋昊, 张成江, 倪师军, 郭景腾, 祁家明. 2012. 广西大新地区辉绿岩地质地球化学、年代学特征及其意义 [J]. 地球科学进展, 27( 10): 1080-1086.
- 翟裕生, 林新多. 1993. 矿田构造学 [M]. 北京: 地质出版社. 1-212.
- 翟裕生. 2001. 矿床学的百年回顾与发展趋势 [J]. 地球科学进展, 16( 5): 719-725.
- 翟裕生. 2002. 成矿构造研究的回顾和展望 [J]. 地质论评, 48( 2): 140-146.
- 张岳桥, 徐先兵, 贾东, 舒良树. 2009. 华南早中生代从印支期碰撞构造体系向燕山期俯冲构造体系转换的形变记录 [J]. 地学前缘, 16( 1): 234-247.
- 郑剑锋. 2015. 西大明山罗维矿区隐伏岩体地球化学特征及其成矿意义( 硕士论文) [D]. 导师: 田凤鸣, 付伟. 桂林: 桂林理工大学. 28页.
- 周维博. 2005. 广西西大明山隆起构造特征及其与周缘盆地的关系( 硕士论文) [D]. 导师: 吴淦国. 北京: 中国地质大学.
- 周永章, 郝义, 曾长育, 梁锦. 2015. 关于钦-杭成矿带的若干认识 [J]. 地质学报, 22( 2): 1-6.
- 朱革非. 1989. 广西西大明山隐伏构造、隐伏岩体及其与矿产分布的关系 [J]. 地质与勘探, 1: 15-17.