



引文格式: 崔元钰, 余何, 苟晓利, 等. 广西泗顶铅锌矿床矿体形貌特征及构造成因分析[J]. 西北地质, 2024, 57(2): 121-134. DOI: 10.12401/j.nwg.2023149

Citation: CUI Yuanyu, YU He, GOU Xiaoli, et al. Analysis of Orebody Morphology and Tectonic Genesis of the Siding Lead-Zinc Deposit of Guangxi[J]. Northwestern Geology, 2024, 57(2): 121-134. DOI: 10.12401/j.nwg.2023149

广西泗顶铅锌矿床矿体形貌特征及构造成因分析

崔元钰¹, 余何^{1,2,*}, 苟晓利², 汪帆¹, 徐敏杰³, 蔡瑞琪¹

(1. 桂林理工大学地球科学学院, 广西 桂林 541006; 2. 贺州学院, 广西 贺州 542899; 3. 河南省地质局矿产资源勘查中心, 河南 郑州 450000)

摘要: 研究矿体形貌分类, 鉴别控制矿体的成矿构造类型, 是成矿构造研究与预测的基础性工作, 在矿山深部找矿工作中具有指导意义。广西泗顶铅锌矿床是桂北铅锌成矿区中大型矿床的典型代表, 经过多年开采, 其矿体的三维形貌已展露无遗, 具有进行矿体形貌及构造成因研究的良好条件。基于矿体形貌视角, 通过矿体形貌的几何特征及成因特征解析, 建立矿体的构造成矿模式, 分析讨论矿床的构造成因与动力学背景。研究表明: ①泗顶矿区成矿构造类型分为两类, 一类为早期构造流体型成矿构造, 控制脉状铅锌矿体; 另一类为晚期构造型成矿构造, 控制蚀变岩型贫矿体, 并叠加于早期脉状矿体之上。②矿体形貌由 NE 向右行张扭性断层控制形成的构造顺层脉型、NW 向右行张性断层控制形成的构造切层脉型和脆-韧性剪切带控制形成的构造-流体型 3 种矿体形貌组成。基于矿体形貌建立以 I、IV 号矿体为代表的构造顺层式成矿模式和以 V 号矿体代表的构造切层式成矿模式。③区域动力学表明, 泗顶矿区经历了多期构造运动, 尤其是印支期的两次动力转换(早期 SE 向区域挤压力转换为 EW 向右行走滑剪切, 晚期近 EW 向右行剪切则转换为 EW 向挤压), 为矿床的形成提供了优越的动力条件。④矿田动力学分析认为, 泗顶铅锌成矿作用发生在脆-韧性剪切带演化到脆性阶段, 应力弱化、变形分解、递进变形、非共轴剪切和层间滑动共同控制了各类几何矿体形貌的形成。

关键词: 矿体形貌; 成矿构造; 区域动力学; 铅锌矿; 广西泗顶

中图分类号: P611; P613

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2024)02-0121-14

Analysis of Orebody Morphology and Tectonic Genesis of the Siding Lead-Zinc Deposit of Guangxi

CUI Yuanyu¹, YU He^{1,2,*}, GOU Xiaoli², WANG Fan¹, XU Minjie³, CAI Ruiqi¹

(1. College of Earth Sciences, Guilin University of Technology, Guilin 541006, Guangxi, China; 2. Hezhou University, Hezhou 542899, Guangxi, China; 3. Mineral Resources Exploration Center of Henan Geological Bureau, Zhengzhou 450000, Henan, China)

Abstract: Studying the classification of orebody morphology and identifying the types of ore-forming structures controlling the orebody are the basic work for the research and prediction of ore-forming structures, and have guiding significance in the deep prospecting work of the mine. The Siding Lead-Zinc deposit in Guangxi is

收稿日期: 2022-12-28; 修回日期: 2023-02-23; 责任编辑: 姜寒冰

基金项目: 国家自然科学基金项目(41172089), 广西自然科学基金(2020GXNSFAA297088)联合资助。

作者简介: 崔元钰(1997-), 女, 硕士研究生, 主要从事地质学、构造地质学研究。E-mail: cy502123@163.com。

* 通讯作者: 余何(1983-), 男, 副研究员, 博士, 主要从事成矿构造与矿床学方面研究。E-mail: yuhe@hzxy.edu.cn。

a typical representative of medium-large deposits in the Lead-Zinc metallogenic region in northern Guangxi. After many years of mining, the three-dimensional morphology of the orebody has been fully revealed, and it has good conditions for studying of the orebody morphology and structural genesis of the deposit. In this paper, based on the study of orebody morphology, the structural mineralization mode of orebody is constructed by analyzing the geometric characteristics and genesis characteristics of orebody morphology, and then the tectonic genesis of ore deposit formation is analyzed and discussed from the regional and field kinetic levels. The results show that: ① There are two types of ore-forming structures in the Siding mining area. One is the early tectonic fluid type ore-forming structure, which controls the vein Lead-Zinc orebody; The other is the late tectonic ore-forming structure, which controls the altered rock type lean orebody and superimposes on the early vein ore body. ② The orebody morphology is composed of three types of orebody morphology, namely, the structural bedding vein type formed by the control of the north-east right-trending tensional fault, the structural shear vein type formed by the control of the north-west right-trending tensional fault, and the structure-fluid type formed by the control of the brittle-ductile shear zone. Based on the orebody morphology, the structural bedding mineralization model represented by No. I and IV orebodies and the structural slicing mineralization model represented by No. V ore bodies are established. ③ The regional dynamics shows that the Siding mining area has experienced multiple tectonic movements, especially the two dynamic transformations in Indosinian period (the early SE regional compression pressure was converted to east-west rightward strike-slip shear, and the late near-EW rightward strike-slip shear was converted to east-west compression), which provided superior dynamic conditions for the formation of the deposit. ④ According to the ore field dynamics analysis, the Siding Lead-Zinc mineralization occurred in the brittle-ductile shear zone evolution to the brittle stage, and the stress weakening, deformation decomposition, progressive deformation, non-coaxial shear and interlayer Sliding jointly controlled the formation of various geometric orebody morphology.

Keywords: orebody morphology; metallogenic structures; regional dynamics; Lead-zinc deposit; Guangxi Siding

泗顶铅锌矿床位于广西融安县泗顶镇北部,是桂北铅锌成矿区中大型矿床的典型代表。自1960年2月泗顶铅锌矿建成投产以来,已有众多学者对矿床地质(冯群耀, 1984; 杨楚雄等, 1985)、矿床成矿时代(覃焕然, 1986)、矿区稀土元素(康皓钰等, 2018)、构造控矿特征(唐诗佳等, 2001)、矿床同位素地球化学特征(Yu et al., 2020)等进行了详细研究,取得了丰硕的成果。但是,泗顶矿区矿体的成因至今仍未形成统一认识,特别是在矿体的构造控矿机制方面存在较大争议,有学者认为泗顶矿区V号矿体受穹状背斜、平缓断层、陡倾斜断层和构造界面控制(王维, 2012),也有学者认为泗顶矿区V号矿体呈脉状,沿断裂带陡倾斜分布,明显受断裂带及破裂面所控制(谢世业等, 2001)。

众所周知,矿体是矿床的基本组成单元,包涵有丰富的信息。矿体形貌则是矿体的重要参数,研究矿体形貌分类、演变、内部结构构造,以及矿体形貌间的空间结构、时间结构、力学成因、矿体形貌与成矿

构造之间的耦合关系对于理解矿床的成因具有重要意义(汪劲草, 2011)。矿体形貌的研究已在粤北梅子窝、广西桂东、湘西沃溪、陕西八卦庙、广东河台等矿山的找矿实践中得到应用(汪劲草等, 2000, 2020; 韦龙明等, 2008; 汪劲草, 2009, 2010, 2011)。目前,泗顶矿床经过多年开采采掘,矿体形貌的空间三维被完全揭露出来,具有进行矿体形貌研究的基础和良好条件。

笔者在详细的野外、坑道地质观测的基础上,对泗顶矿床的矿体形貌特征进行解析,建立基于矿体形貌的构造成矿模式,进而从区域和矿田构造动力学层面分析讨论矿床的构造成因,以便深入理解泗顶矿床成因和为矿山新一轮找矿勘查提供新的思路 and 依据。

1 区域地质背景

泗顶矿区位于江南古陆的西南缘(图 1a)、地处桂

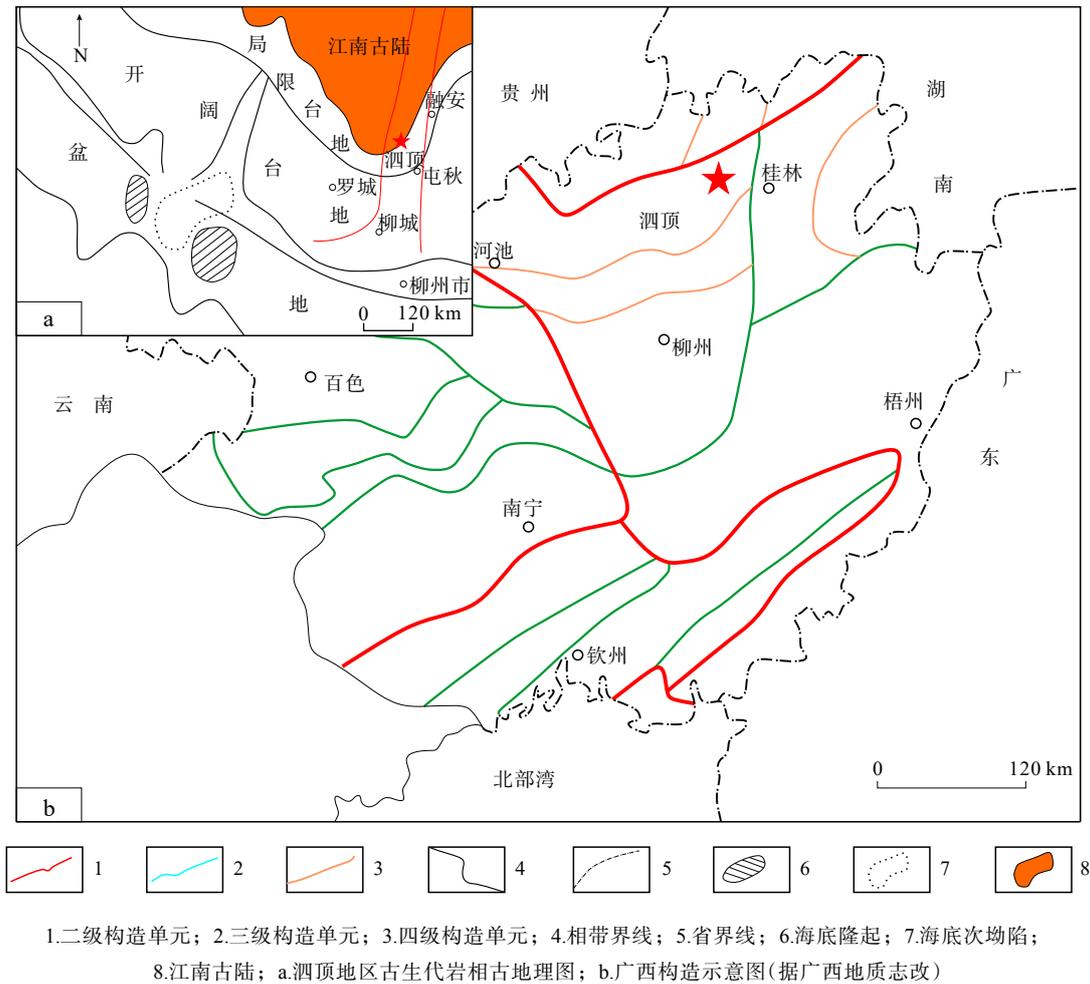


图1 泗顶矿区地质构造简图

Fig. 1 A brief map of the geological structure of the Siding mining area

中凹陷的河池-宜州断裂带北缘(图 1b)。研究区长期受到扬子克拉通与华南华夏板块的碰撞与挤压作用,在区域上形成了由褶皱、断裂组成的多种复杂构造格局。区域内出露的地层主要有寒武系清溪组(C_{1q})浅变质灰岩、砂岩及上、中泥盆统融县组(D_{3r})、东岗岭组(D_{2d})碳酸盐岩层,泥盆系直接覆盖于寒武系上(Wang et al., 1995)。矿区范围内未见岩浆岩活动踪迹,铅锌成矿与岩浆岩活动无直接联系。

泗顶矿区经历了加里东期、印支期、燕山期等多期构造运动(周泽昌, 2011),复杂的构造运动使得矿田具有典型的上、下构造层的二元结构。上构造层为碳酸盐岩盖层构造层,受强烈的印支运动影响,形成一系列 SN 向平缓宽展褶皱及近 SN 向、NE 向的断裂交叉格局,以正断层为主,且 SN 向断裂对寒武系有明显的截切作用。下构造层为寒武系砂岩基底岩层,受加里东运动影响,形成一系列近 NE 向的紧闭褶皱和

倒转褶皱、近 NNE 向、SN 向断裂,大多数为逆断层,断面大多倾向 NW,倾角为 $40^{\circ}\sim 80^{\circ}$,且在泗顶北向、大坡圩 NE 向发育一条具有右行平-逆性质的脆-韧性剪切带。基底和盖层呈现出角度不整合的滑脱界面。盖层内的褶皱样式为滑脱褶皱,沿着逆冲断层顺层发育,形成一系列“开阔向斜,紧闭背斜”的交叉褶皱,主要受寒武系基底岩层的制约,具有继承性。矿体的形状、产状、大小、富集情况则受小断层、层间滑动面控制。

2 矿床地质特征

泗顶铅锌位于矿区北部,共有大小 35 个矿体组成,矿区广泛出露的地层有下古生界寒武系与上古生界泥盆系,上古生界与下古生界呈角度不整合接触。盖层为泥盆系碳酸盐岩,岩层倾角为 $7^{\circ}\sim 15^{\circ}$,岩性主要为灰岩,次为白云岩,发育方解石脉;基底为寒武系

砂、页岩,岩层倾角为 $70^{\circ}\sim 80^{\circ}$,局部倒转或直立。矿体赋存于寒武系与泥盆系不整合面附近的碳酸盐岩地层中,主要岩性为致密灰岩,生物碎屑岩等。本区缓倾斜的铅锌矿体大多分布于寒武系浅变质碎屑岩与上泥盆统钙质岩系的不整合接触界面附近,距离不整合面约为 $0\sim 80\text{ m}$ 。其次是融县组第一层的层孔虫生物碎屑灰岩及其与上覆泥晶灰岩及下伏白云质泥晶灰岩之间的接触截面或岩性过渡层,离不整合面约为 $20\sim 80\text{ m}$ 。究其原因,上述部位岩性差异大,更易于形成层间滑动、虚脱、剥离以及层间破碎,为矿液运移沉淀提供有利空间。此外,岩性的差异,其物理化学介质也有较大变化,更利于矿质的沉淀。矿体与围岩表现为突变接触关系,矿区矿石矿物较为简单;原生矿石主要金属矿物为闪锌矿、方铅矿、黄铁矿等(Huang et al., 2019),脉石为方解石及白云石,矿石结构多种多样;有同心环带状、交代结构、共生边结构、碎裂结构和细粒晶结构;矿石构造在矿石类型上也有所不同,氧化矿多为葡萄状、肾状、蜂窝状及土状,硫化矿多为条带状、浸染状、角砾状和块状(图2)。



a. 块状铅锌矿石; b. 边部稀疏浸染状矿石与矿化蚀变围岩;
c. 稠密浸染状铅锌矿石; d. 角砾状铅锌矿石, 方解石胶结

图2 矿石构造特征

Fig. 2 Tectonic features of the ore

3 矿体形貌特征解析

矿体是矿床的基本组成单元(Gandhi et al., 2016),由含脉石的固体和相当连续的矿石堆积体组成,从形态和性质上与围岩明显区分,一个矿床可能包含单个或多个矿体,每个矿体的形貌也各不相同,且包涵有丰富的信息(汪劲草, 2011)。

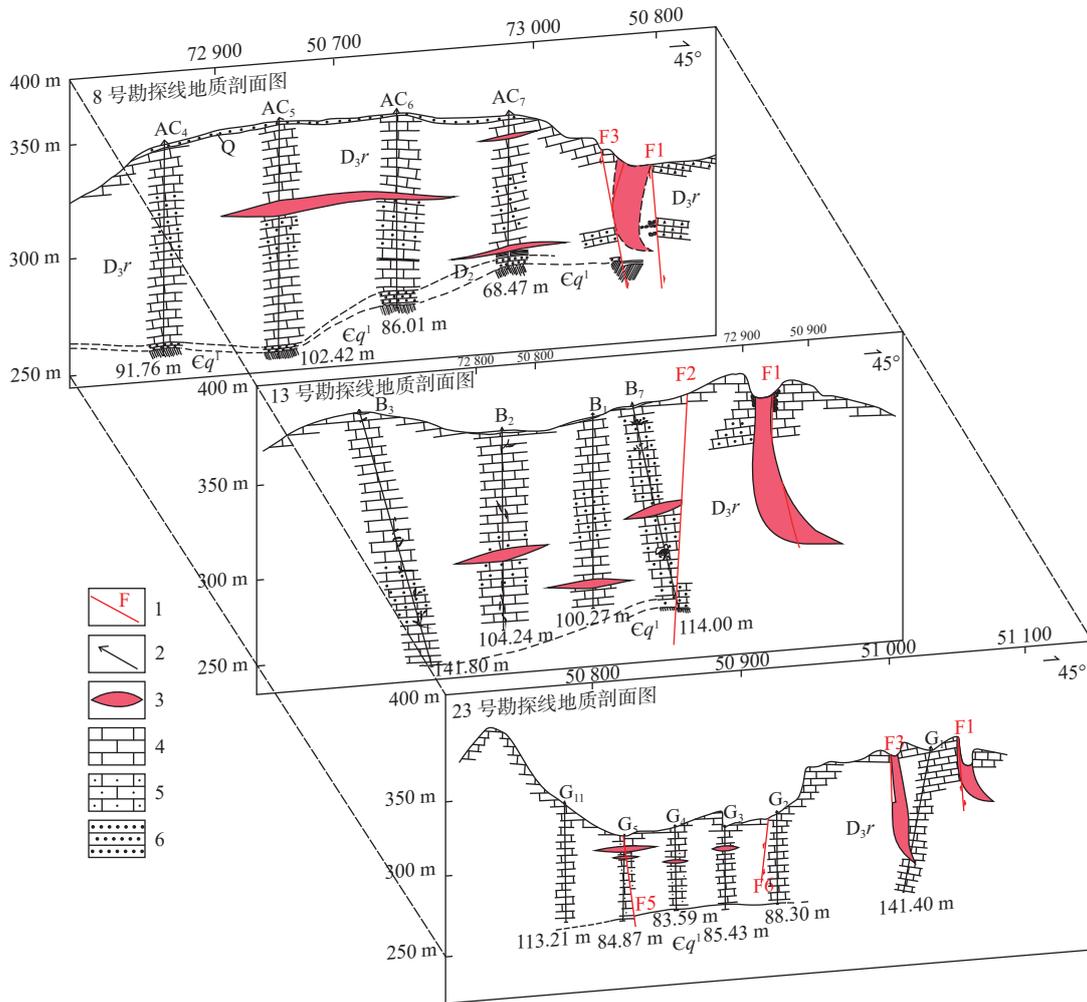
汪劲草(2009, 2010)指出成矿构造可分为3类,一类是以构造动力破坏(构造致裂)为主形成的成矿构造,即构造型成矿构造,如断层、断裂带、破碎带等,可划分为构造角砾岩型(常见)、构造脉型(少见)、构造细脉型(少见)和构造蚀变岩型(最常见);一类是以流体动力破坏(流体致裂)为主形成的成矿构造,即流体型成矿构造,需要超量流体聚集与良好圈闭环境,岩石发生液压致裂,可划分为流体角砾岩型(常见)、流体脉型(最常见)、流体细脉型(少见)和流体蚀变岩型(常见);以及中间的过渡类型,即构造-流体型成矿构造。基于矿体形貌与成矿构造之间的成生联系,汪劲草(2011)提出了“矿体形貌学”的概念,以成矿构造研究为基础,从矿体力性、矿体力向、矿体力度、矿体韵度、矿体时空等构造-成矿参数去研究矿体形貌所包涵的成因信息,是一种新的思维方法。矿体形貌是由成矿构造控制的,可划分为一维矿体形貌、二维矿体形貌、三维矿体形貌及复维矿体形貌4种几何类型和构造型矿体形貌、流体型矿体形貌、构造-流体型矿体形貌、岩溶型矿体形貌及沉积型矿体形貌5种成因类型。泗顶矿山经过多年开采,其矿体形貌已展露无遗,具有进行矿体形貌及构造成因研究的良好条件。

3.1 矿体形貌总体特征

剖面上(图3),矿体主体呈NW-SE向带状分布;水平方向上,矿体由南至北长约为 $1\ 220\text{ m}$,由西向东宽度约为 420 m ;垂直方向上,分布最浅者出露地表,分布最深者达 100 多米。总之,矿体在平剖面上呈轴向协调、大小不一的各种“似层状”、“透镜状”(沈远超等, 2002; Yu et al., 2020)(图3)。利用矿区中段平面图提取矿体轮廓线,之后将各个中段平面图提取的矿体轮廓线利用三角网连接起来,得到泗顶矿区矿体实体模型(图4),在三维图形中矿体带产状与单个矿体空间分布特征相似,矿体形貌几何类型包括平缓型矿体和陡倾斜矿体。在这些形貌各异的矿体中,出现了“反S型”矿体(Ⅶ号)、“牛角状”矿体(Ⅴ号)、“龟背状”矿体(Ⅷ号)等“异形”矿体形貌,而它们此前尚未引起足够地重视。基于矿体形貌视角,对这些典型矿体形貌进行详细解析,分析它们的构造-成矿参数特征,为矿床的构造成因分析奠定基础。

3.2 “反S型”矿体(Ⅶ号)的形貌学解析

(1)矿体力性:指示矿体形成时的力学性质。Ⅶ号矿体上部存在两个尾部树枝状分叉的小矿体(图5),F断层为 F_1 断层分支,切穿矿体,为典型脆-韧性剪切



1.断层; 2.钻孔及编号; 3.矿体; 4.白云质灰岩; 5.砂质灰岩; 6.石英砂岩

图3 泗顶铅锌矿床标高 250 ~ 400 m 联合剖面简图(据矿山资料修改)

Fig. 3 Brief view of the joint profile of the lead-zinc deposit in Siting 250~400 m

作用控制形成的,且张裂脉指示右行顺层非共轴剪切,表明Ⅶ号矿体受脆-韧性剪切带控制,经递进变形形成,矿体力性为构造-流体型。

(2)矿体力向:指示构造动力和(或)流体动力作用的方向。尾部树枝状分叉矿体由F、F₁断层控制,矿体分叉端指向SE向,矿体向NW向侧伏,F₁断层切穿Ⅶ号矿体,矿体与F₁断层运动方向在NW向斜交,说明Ⅶ号矿体向SE侧伏。

(3)矿体力度:指示构造动力和(或)流体动力作用的强度和频次。控制尾部树枝状分叉矿体的脆-韧性剪切带沿走向延长800 m,Ⅶ号矿体长度达280 m,矿体厚度为25 m,表明该矿体的形成时流体动力作用的强度较大。

(4)矿体韵度:指示矿化期次与矿化强度。矿体规模不大,由平缓型矿脉组成,矿体裂开-愈合次数频

繁,矿化强度大,矿体旁侧常见有后期顺层右行滑动断裂破坏,形成断层泥砾带和片理化带。

(5)矿体时空:指示形成时的构造时-空区段。Ⅶ号矿体主要受脆-韧性剪切带控制,层滑作用不明显,说明其成矿时空跨度不大。

(6)矿体形貌的几何类型:矿体比较平缓,平面上呈现二维板状,属于二维层状矿体。

(7)矿体形貌的成因类型:矿体产出与上泥盆统融县组碳酸盐岩地层中,为右行脆-韧性域中典型的破裂流体充填-交代形成,成矿构造类型为构造-流体型。因此,矿体形貌的成因类型为构造-流体型矿体形貌。

3.3 “牛角状”矿体(V号)的形貌学解析

(1)矿体力性:V号矿体受到F₃、F₄张性断层控制,指示右行顺层非共轴剪切(图6),矿体早期受控于顺层脆-韧性剪切带,随后转入了印支期层间褶皱,从上

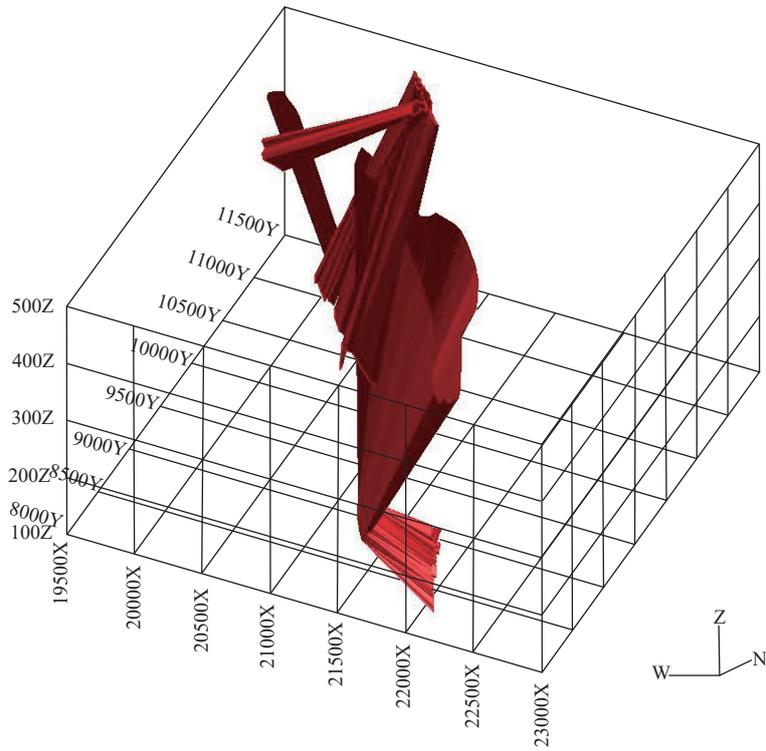
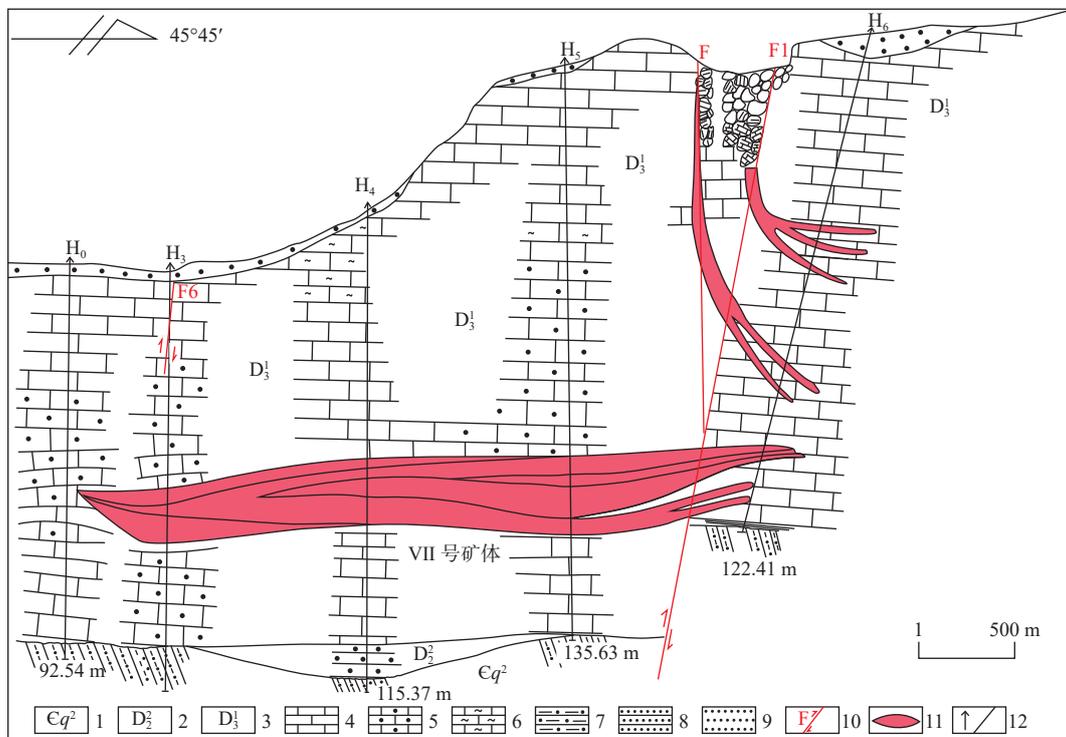


图4 泗顶矿区矿体实体模型图

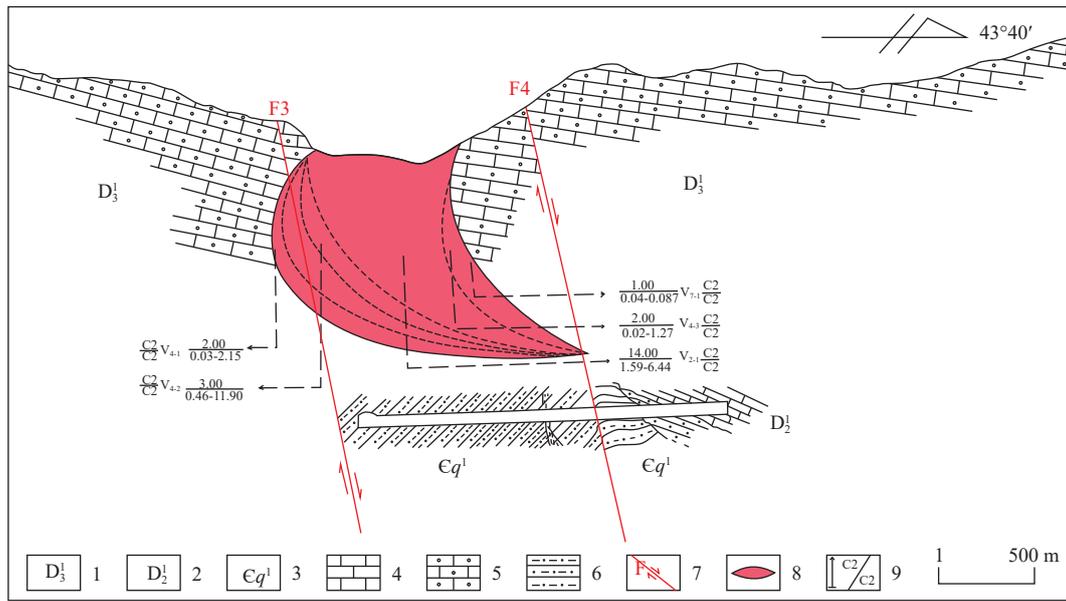
Fig. 4 Solid model of ore body in Siding mining area



1.寒武系清溪组上段; 2.中泥盆统第二段; 3.上泥盆统第一段; 4.白云质灰岩; 5.砂质灰岩; 6.泥质灰岩;
7.砂质页岩; 8.石英砂岩; 9.砂、黏土堆积层; 10.断层; 11.矿体; 12.钻孔及编号

图5 “反S型”矿体的形貌示意图(据矿区资料改)

Fig. 5 Schematic diagram of the topography of the "anti-S-type" orebody

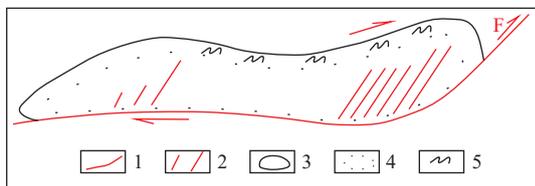


1.上泥盆统第一段; 2.中泥盆统第一段; 3.寒武系清溪组下段; 4.白云质灰岩;
5.结晶灰岩; 6.砂质页岩; 7.断层; 8.矿体; 9.钻孔及编号

图6 “牛角状”矿体的形貌示意图(据矿区资料改)

Fig. 6 Schematic diagram of the topography of the "horn-shaped" orebody

往下层滑作用逐渐增强(图7),在寒武系与泥盆系的不整合面上层滑作用最为明显,矿体力性为构造-流体型。



1.矿体底部的层滑逆冲断层; 2.矿体边界的节理矿脉; 3.矿体边界的脆-韧性剪切带; 4.矿体中的弱应变域; 5.脆-韧性剪切带中同构造期顺层脉体递进变形形成的倒转褶皱

图7 印支期层滑-褶皱阶段非共轴变形分解剖面图(据汪劲草等, 2016 修改)

Fig. 7 Illustration of non-coaxial deformation decomposition in the slip-fold stage of the Indochinese period

(2)矿体力向: V号矿体在平面上呈现出长条状,在剖面上呈现出高角度的、上大下小的“牛角状”,且矿体的尖端指向NE向,矿体向NE侧伏。

(3)矿体力度: 控制V号矿体的脆-韧性剪切带沿走向延长1000 m,矿体长度、倾斜延深一般达295 m,矿体厚度为3.33 m,表明该矿体的形成时的构造动力与流体动力作用的强度均较大。

(4)矿体韵度: 矿体规模大,由陡倾斜矿脉组成,矿体大多出露地表,矿石品位不高,矿体两侧为灰岩、

白云岩,常见到硅化,伴生有Au、Ag等元素。

(5)矿体时空: V号矿体早期受非共轴剪切,后迅速卷入上泥盆统层滑褶皱,形成“牛角状”形貌,暗示其成矿时空跨度不大。

(6)矿体形貌的几何类型: 矿体力向分散,平、剖面形态相差较大,呈不规则的“牛角状”,几何轮廓属于复维矿体。

(7)矿体形貌的成因类型: 矿体产于上泥盆统融县组碳酸盐岩地层中,其形成受控于顺层脆-韧性剪切带和层滑构造,成矿构造类型为构造-流体型。因此,“牛角状”矿体(V号)的矿体形貌的成因类型为构造-流体型矿体形貌。

3.4 “龟背状”矿体(Ⅷ号)的形貌学解析

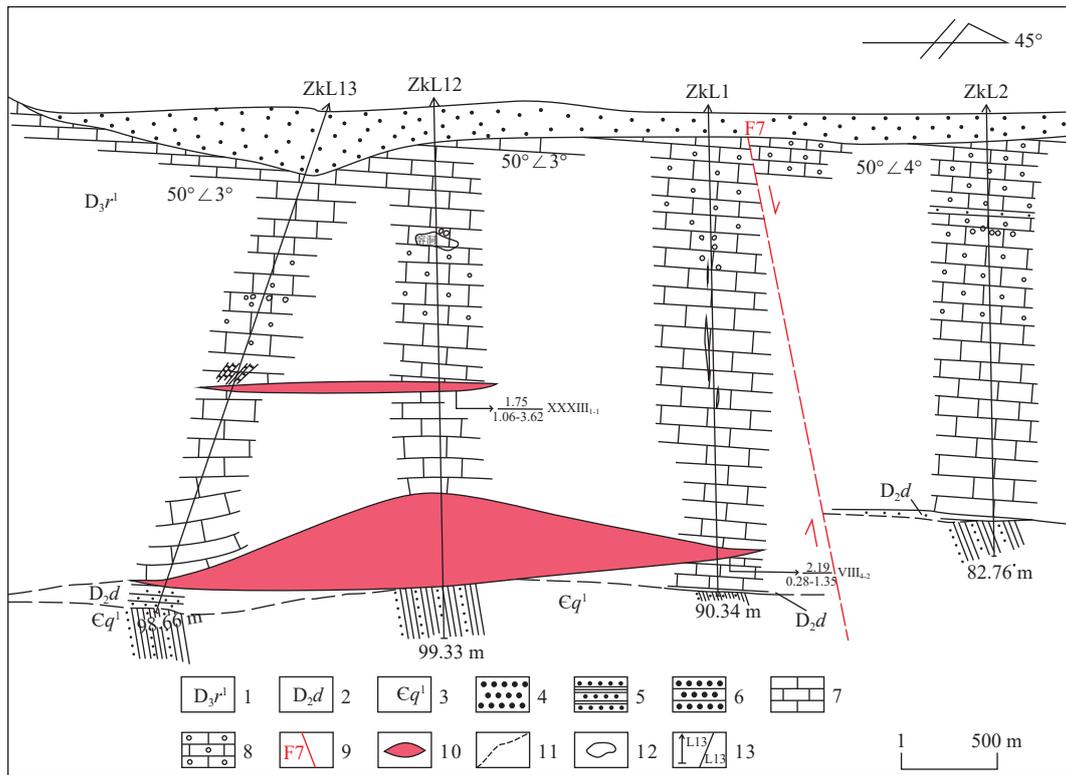
(1)矿体力性: 主要受层间滑动作用控制,并叠加与早期脆-韧性剪切带控制的脉状矿体之上,矿体力性为构造型。

(2)矿体力向: Ⅷ号矿体在剖面上呈现“龟背状”,上部有一小“透镜状”矿体存在(图8),侧伏规律不明显。

(3)矿体力度: 矿体形貌所展示的矿体形成主要以构造动力作用力为主。

(4)矿体韵度: 构造型矿体韵度几乎不发育。

(5)矿体时空: 控制此类矿体的是印支期地层间



1.上泥盆统融县组第一段; 2.中泥盆统东岗岭组; 3.寒武系清溪组下段; 4.砂、黏土堆积层; 5.砂页岩;
6.石英砂岩; 7.白云质灰岩; 8.结晶灰岩; 9.断层; 10.矿体; 11.地质界线; 12.溶洞; 13.钻孔及编号

图8 “龟背状”矿体的形貌示意图(据矿区资料改)

Fig. 8 Schematic diagram of the topography of the "turtle-backed" orebody

强烈的层间滑动破裂构造,主要为断裂控矿,并叠加与早期脆-韧性剪切带控制的脉状矿体之上。

(6)矿体形貌的几何类型:矿体平面形态为一维筒状、脉状。

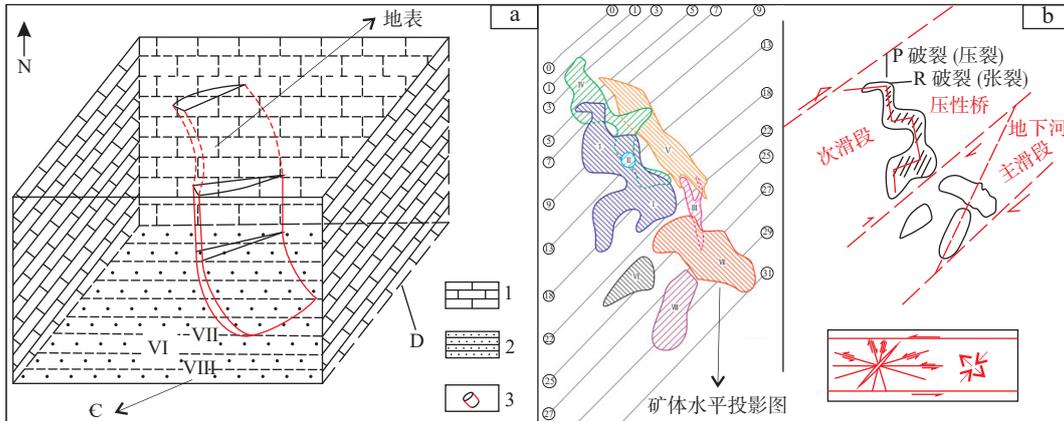
(7)矿体形貌的成因类型:矿体产于寒武系与泥盆系不整合面上,受层间滑动破裂控制,其破裂的性质具有张剪性,成矿构造类型为构造型,矿化类型为蚀变岩型,矿体形貌的成因类型为构造矿体形貌。

3.5 基于矿体形貌的构造成矿模式

基于上述矿体形貌的解析,认为泗顶矿床的构造成矿模式可分为以I、IV号矿体为代表的构造顺层式成矿模式和以V号矿体为代表的构造切层式成矿模式。

泗顶铅锌矿成矿作用发生在脆-韧性剪切带演化到脆性阶段这一过程,且形成了方解石脉型和蚀变岩型铅锌矿,含矿建造以发育碳酸盐岩为特色(张长青等,2009),矿体形态具有层控特征,这主要由于泗顶矿床属于低温热液沉积矿床(曹江帅,2018)。脆-韧性阶段的成矿是应变弱化与变形分解形成的,脆-韧

性变形机制最明显的宏观标志是出现受剪切作用控制的、呈雁列脉状(图3中13、23号勘探线地质剖面图)、尾部出现树枝状分叉的矿体(图5),并出现桥构造(图9b)(汪劲草,2020)。V号矿体尖端指向NE向,说明成矿流体来自NE向,矿体主体呈NW-SE向带状分布(图3),说明在成矿期受到SE方向的侧压力作用,NE向、NW向右行剪切带产生应力集中,形成P、R破裂,构造运动在此做功,成矿流体在裂隙中充填,右行脆-韧性剪切带控制的雁列脉产生递进变形,形成“反S型”张裂隙(图5、图9a),后期地层抬升,上半部分矿体被剥蚀,形成了高角度“牛角状”V号矿体(图6),V号矿体尾部分叉部位,延伸出高角度的III号矿体(图9b)。由于VIII号矿体在平面图的主形貌为一维筒状(图9b),且延长方向穿过剪切带边界出现III、IV号矿体,31号勘探线之SE一侧既是VII号矿体与VIII号矿体的边界,也是NE向剪切带的边界,由于NW-SE向非共轴力偶的右行剪切,使得高角度的V号矿体成为层状矿体与上滑动层之间的张性桥构造,由于



a. V号矿体成矿模式图; b. I、IV号矿体成矿模式图; 1. 泥盆系灰岩; 2. 寒武系砂岩; 3. 矿体

图9 基于矿体形貌成矿模式图

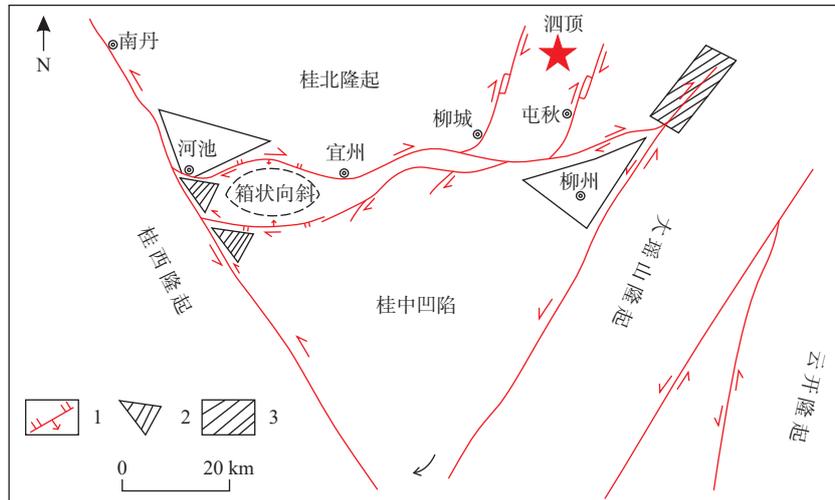
Fig. 9 Mineralization pattern diagram based on orebody morphology

NW 向断层向 SE 端闭合, 层间滑动作用增强, 使得岩层间产生一些节理、裂隙, 层间滑动面附近发育强剪切柔皱带, 该柔皱带具有脆韧性构造变形的特征(沈远超等, 2001), 层间滑动作用控制 VII 号矿体在剖面上呈现“龟背状”, 脆性变形叠加在脆-韧性变形机制上, 且 SE 一侧力偶强于 NW 一侧。因此, NW 侧 I、IV 号矿体在平面图上呈一维层控矿床, SE 侧 VII 号矿体呈二维板状矿体(图 9b)。

4 构造成因分析

4.1 区域构造动力学背景

泗顶矿区所处大地构造单元属于扬子板块与华夏板块交接地带(图 1a), 区域上位于江南古陆的西南边缘, 河池-宜州断裂带 NE 向、桂北隆起带、加持与三江-融安断裂带与寿城-屯秋断裂带之间(图 10)。



1. 实推测逆断层; 2. 应力挤压区; 3. 应力拉张区

图10 泗顶矿区区域位置构造图

Fig. 10 Location structure map of Siding mining area

江南古陆周缘为于扬子板块 EN 向, 与华夏板块交接接触带, 在其周围存在多个 MVT 铅锌矿床。MVT 铅锌矿床是受地层层位控制的后生矿床, 是沉积地层中的地下卤水上涌, 在碳酸盐岩的溶洞、不整合面及层间破碎带等空间内充填交代形成的(李智明,

2007)。江南古陆的西南缘, 出露新元古代至新生代地层(余何, 2018), 在寒武系—泥盆系(C-D), 有一套碳酸盐岩广泛发育, 经历漫长的地质演化, 成为很好的控矿岩层。

震旦纪—寒武纪, 扬子陆块北缘处于拉张环境,

具有从早期的边缘裂谷盆地演化为被动大陆边缘盆地的特征,沉积建造以碳酸盐岩为主(曹亮等,2016)。扬子北缘曾经历的澄江期火山弧环境和灯影期稳定陆缘环境这一特殊的构造演化过程(李强等,2009),澄江运动造就了澄江期火山弧“热基底”的发育,为含矿卤水的形成创造条件。灯影期稳定的被动陆缘则形成特殊的容矿岩层。复杂的构造运动,使得扬子北缘具有上下两个构造层。下构造层发育变质火山岩系及晋宁—澄江期花岗杂岩等为基底,一般发育紧闭褶皱;上构造层灯影期发育厚层白云岩(赵长缨等,2015)进入盖层阶段,接受台地相-陆棚相稳定沉积(吴新斌等,2013),表现为大型复式褶皱构造,上下构造层组合成典型的复型穹隆构造。

加里东期,由于受基底(Z-C不整合面)隆起,盖层中普遍发育层间滑动或滑脱褶皱。扬子板块西南缘在碰撞造山过程中SE向、NW向的构造挤压力,在构造应力和重力势的作用下叠加了近SN向左行剪切力,形成近EW向展布的早加里东构造带,形成了NE向基底紧闭褶皱和NNW向基底断裂构造,且孕育着河池-宜州断裂带的雏形(刘博等,2009)。区域应力由“开”向“合”转变,矿区形成NE向褶皱和少量NW向构造,叠加的左行剪切造成了断裂走向为NNE向,并使得断裂呈左行排列(图11)。

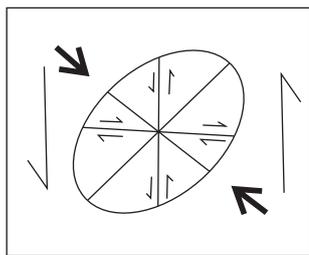


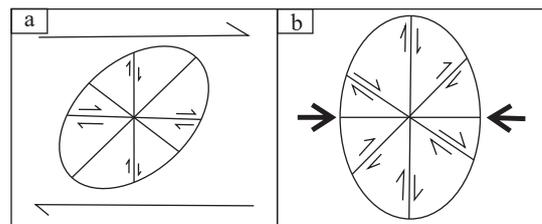
图11 区域加里东期构造应力分析简图(据龚贵伦等,2010修改)

Fig. 11 Schematic diagram of regional Caledonian tectonic stress analysis

华力西期,广西-百越运动后,地层抬升,进入华力西期,区域由深海相抬升为浅海-滨海交互,到石炭纪由凹陷为海盆,沉积一套碳酸盐岩建造(龚贵伦等,2010)。经历华力西期安源-三都运动南北向左旋的挤压且伴随着峨眉地裂运动,此断裂带继续延伸,桂中凹陷沿着深大断裂继续发生裂陷。

印支期早期,来自古太平洋构造域的SE向-NW向区域挤压力受到近EW向的河池-宜州断裂带的阻

挡限制(图12a),然后转换为EW向的右行走滑剪切(蒙永潘等,2016),在EW向非共轴力偶作用下形成的逆-右旋平移剪切的河-宜州断裂带,断裂系在平面上相互平行或分支复合,在剖面上呈正花状,而褶皱一般为箱状褶皱,属断弯褶皱类型(汪劲草等,2015),且具有南北向逆冲的分量,河池-宜州EW向断裂带继续向北逆冲,向西扩张,并与早期的向南突出的弧形断裂带复合,且使得加里东期NE-NNE向的断裂带复活发生走滑并由南向北逆冲(王岳军等,2022),产生一系列近SN向右行呈现雁列分布的牵引断裂,如三江-融安断裂带、寿城-屯秋断裂带等,且使得桂北隆起带的一系列SN向断层具有右行平-逆性质。印支晚期,近EW向右行剪切则转化为EW向挤压(图12b),形成印支期褶皱和走向近SN向右行的逆冲断裂体系,并派生NW向、NE向两组共轭剪节理。



a.区域印支早期构造应力分析;b.区域印支晚期构造应力分析
图12 区域印支期构造应力分析简图(据龚贵伦等,2010修改)

Fig. 12 Schematic diagram of structural stress analysis at the Indochina period in the region

燕山期,不同程度侧向挤压活动,河池-宜州断裂带东段继续向南逆冲,弧顶正好与宜州附近交接,且形成一些受牵引作用控制的次级断裂或小褶皱构造。

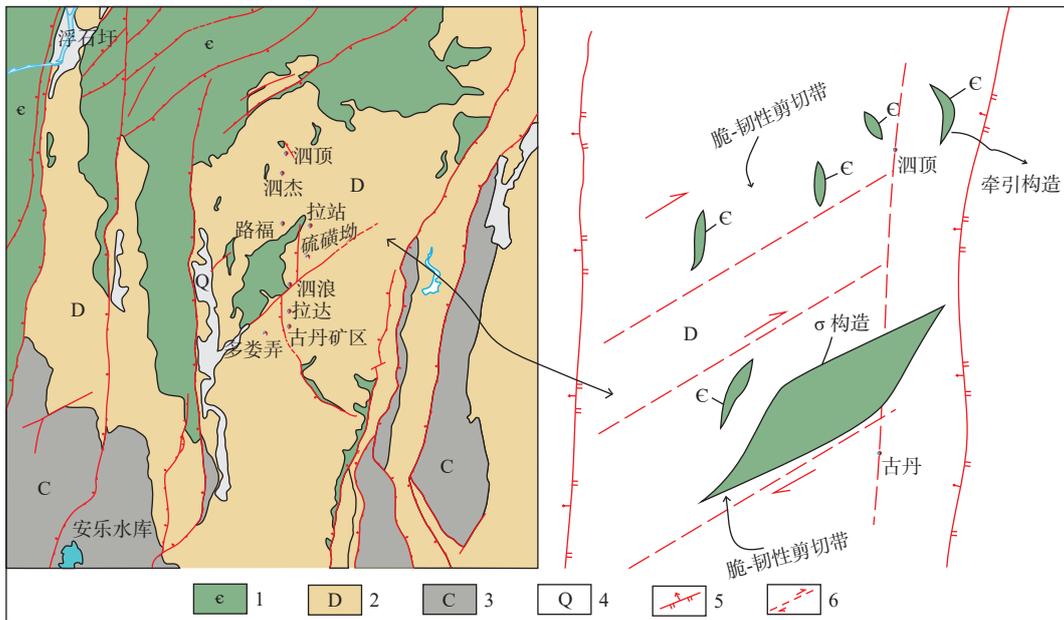
综上所述,澄江运动为含矿卤水和容矿岩层的形成奠定基础;加里东期(C-D)挤压的不均匀性使得泗顶矿区基地的局部隆起,在应力作用下,在泥盆系融县组灰岩沉积后的上拱作用使两个短轴背斜翼部的泥盆系产生了滑脱作用,对铅锌的富集起到了不同的控制作用;印支期动力发生转换,早期SE向区域挤压力转换为EW向右行走滑剪切;晚期近EW向右行剪切则转换为EW向挤压,导致地层发生广泛层滑褶皱,为泗顶矿床的形成提供了优越的构造动力背景。

4.2 矿田构造动力学解析

泗顶矿床位于泗顶-古丹矿田的北部,矿田的形成受到三江-融安断裂带、寿城-屯秋断裂带NE向右行断裂带制约,矿田内的铅锌矿体主要分布于泗

顶-古丹 SN 向右行脆-韧性剪切带上。由于受到加里东期 SN 向挤压的不均匀性, 寒武系基底局部隆起, 为穹隆状短轴背斜的形成奠定基础, 并产生八赖-泗顶-古丹这一近 SN 向右行脆-韧性剪切带(图 13), 为含矿溶液的运移提供良好的通道。在寒武系基底隆起部位, 分布一系列 NE 向右行脆-韧性剪切带, 形成 NE 向紧闭褶皱和倒转褶皱。印支运动时, 由于基底寒武纪地层在两个背斜地段处于隆起状态, 于是在

泥盆系融县组灰岩沉积后的上拱作用使两个短轴背斜翼部的泥盆系地层产生了强烈层滑作用, 产出顺层层间断层, 形成滑脱褶皱(王步清等, 2000)。泗顶矿区基底隆起, 形成“开阔向斜, 紧闭背斜”的复式背向斜(图 11), 由于受到 NW 向右行剪切带和 NE 向右行剪切带非共轴作用, 在寒武系基底形成近 NNE 向牵引褶皱、古丹矿区北部形成“眼球状”的 σ 构造(图 13)。



1.寒武系; 2.泥盆系; 3.石炭系; 4.第四系; 5.实推测逆断层; 6.脆-韧性剪切带

图 13 广西融安县泗顶铅锌矿田区域动力解析图

Fig. 13 Regional dynamic analysis of Lead and Zinc mine in Siting, Rong'an County, Guangxi

加里东期, SN 向挤压的不均匀性使得寒武系基底局部隆起, 在扬子板块西南缘碰撞造山过程中 SE 向、NW 向的构造挤压力, 在构造应力和重力势的作用下叠加了近 SN 向左行剪切力形成 NE 向倒转褶皱和紧闭褶皱(刘博等, 2009)。印支期, 来自古太平洋构造域的 SE-NW 向区域挤压力受到近 EW 向的河池-宜州断裂带的阻挡限制, 然后转换为 EW 向的右行走滑剪切(蒙永潘等, 2016), 且使得加里东期 NE 向-NNE 向的断裂带复活发生走滑并由南向北逆冲(王岳军等, 2022)。印支期的 EW 向挤压造成不对称的右行剪切形成断裂的主要格局, SN 向的右行逆冲作用力使得江南古陆周缘下渗的地下水萃取了地层中的成矿物质上涌, 形成含矿卤水。大部分矿体分布在不整合面附近或泥盆系碳酸盐岩地层中, 其上未见矿体形成(图 14a、图 14b), 表明矿区泥盆系碳酸盐岩地层

属于阻挡层, 阻止成矿热液向上运移。

在印支期, 受到 NW 向、NE 向的右行剪切作用使岩层发生变形, 产生 P 破裂、R 破裂, 早期在脆-韧性剪切带中, 成矿流体在此充填交代, 早期脆-韧性剪切带控制的雁列脉型矿体, 发生递进变形, 形成张裂脉状特征的富铅锌矿体, 成矿构造类型为构造-流体型。晚期为脆性破裂控制的蚀变岩型矿, 在 NW 向高角度断层向 SE 端移动的过程中, 矿液流通空间变小, 层间滑动作用增强, 产生擦痕、断层泥及正阶步(图 14c), 并且在主滑面层状灰岩挠曲处形成窗棂构造(B 线理)(图 14d), 强烈的脆性变形, 使得雁列的含方解石脉的叠接带形成碎裂岩构造桥, NE-SE 向右行非共轴剪切使得高角度的 V 号矿体成为层状矿体与上滑动层之间的张性桥构造, 并叠加于早期脉状矿体之上, 形成脆性破裂控制的蚀变岩型贫矿体, 成矿构造类型为构

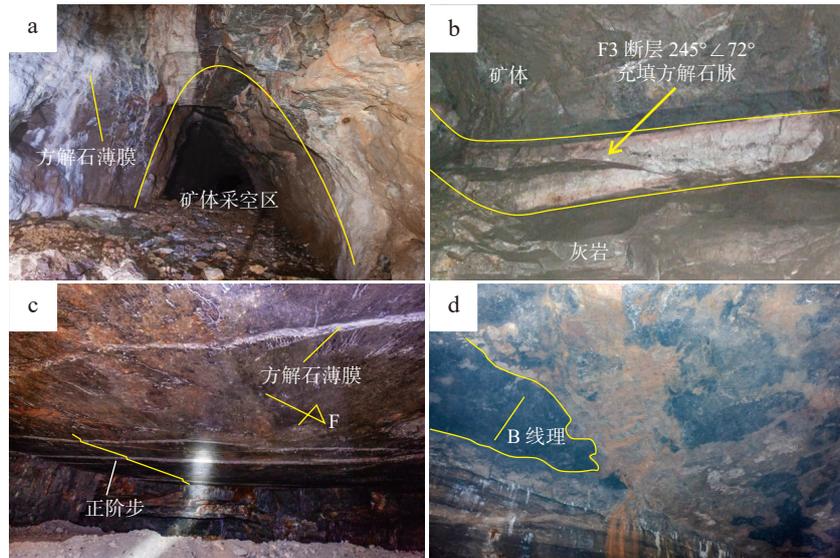


图14 泗顶矿区地质构造现象
a. III号高角度脉状矿体采空区横断面; b.形成于泥盆系碳酸盐岩地层中 III号构造脉型矿体; c.层状矿体上滑面, 上见擦痕、断层泥及正阶步; d.主滑面层状灰岩挠曲形成的窗棂构造(B线理)

图14 泗顶矿区地质构造现象

Fig. 14 Geological structure of Siding mining area

造型。

构造解析表明,泗顶铅锌矿成矿作用发生在脆-韧性剪切带演化到脆性阶段,在脆-韧性阶段发生应变弱化和变形分解作用,NE向、NW向右行脆-韧性剪切带控制的雁列脉产生递进变形弯曲,形成“反S型”张裂隙(图5、图9a);后期地层抬升,上半部分矿体被剥蚀,形成了“牛角状矿体”(图6),控制“牛角状”V号矿体的NW向高角度断裂切穿地层直至寒武系,成矿模式为构造切层脉式,成矿构造类型为构造-流体型。由于NW-SE向非共轴力偶的右行剪切,使得高角度的V号矿体成为层状矿体与上滑动层之间的张性桥构造,与此同时,NW向断层向SE端闭合,层间滑动作用增强,发生强烈脆性变形,脆性变形叠加在脆-韧性变形上,且SE一侧力偶强于NW一侧。因此,NW侧I、IV号矿体在平面图上呈一维层控矿床,成矿构造模式为顺层脉式,成矿构造类型为构造型。

5 结论

(1)泗顶矿区成矿构造类型分为两类,一类为早期构造流体型成矿构造,控制脉状铅锌矿体;另一类为晚期构造型成矿构造,控制蚀变岩型贫矿体,并叠加于早期脉状矿体之上。

(2)矿体形貌由NE向右行张扭性断层控制形成的构造顺层脉型、NW向右行张性断层控制形成的构

造切层脉型和脆-韧性剪切带控制形成的构造-流体型3种矿体形貌组成。基于矿体形貌建立以I、IV号矿体为代表的构造顺层式成矿模式和以V号矿体为代表的构造切层式成矿模式。

(3)区域动力学背景表明泗顶矿区经历了多期构造运动,尤其是印支期的两次动力转换,为矿床的形成提供了优越的动力条件。

(4)矿田动力学分析,认为泗顶铅锌成矿作用发生在脆-韧性剪切带演化到脆性阶段,应力弱化、变形分解、递进变形、非共轴剪切和层间滑动共同控制了各类几何矿体形貌的形成。

致谢: 桂林理工大学汪劲草教授在野外工作和论文修改中给予了悉心指导, 审稿人对论文的修改提出了建设性意见, 在此一并表示衷心地感谢!

参考文献(References):

- 曹江帅. 广西泗顶铅锌矿床成矿流体及成矿机制研究[D]. 广西: 广西大学, 2018.
- CAO Jiangshuai. The Study on Metallogenic Fluid and Mechanism of Siding Lead Zinc Ore Field Guangxi[D]. Guangxi: Guangxi University, 2018.
- 曹亮, 段其发, 张权绪, 等. 扬子陆块北缘冰洞山铅锌矿床闪锌矿 Rb-Sr 定年及其地质意义[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2016, 35(6): 1280-1289.
- CAO Liang, DUAN Qifa, ZHANG Quanxu, et al. Rb-Sr Dating of

- Sphalerites from the Bingdongshan Pb-Zn Deposit in the Northern Margin of the Yangtze Block and Its Geological Significance[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2016, 35(6): 1280-1289.
- 冯群耀. 广西铅锌矿床类型及主要控矿因素和分布规律的探讨[J]. *矿床地质*, 1984, 3(3): 47-56.
- FENG Qun Yao. A Discussion on Lead-Zinc Deposits in Guangxi-Their Genetic Types the Major Ore-controlling Elements and Ore Distribution Regularity[J]. *Mineral Deposits*, 1984, 3(3): 47-56.
- 龚贵伦, 陈广浩, 林舸, 等. 广东河台金矿构造应力场演化及构造控矿模式[J]. *矿床地质*, 2010, 29(S2): 16-26.
- GONG Guilun, CHEN Guanghao, LIN Ge, et al. Evolution of Tectonic Stress Field and Tectonic Ore Control Mode of Hetai Gold Mine in Guangdong[J]. *Mineral Deposits*, 2010, 29(S2): 16-26.
- 康皓钰, 余何, 张梓贺, 等. 广西泗顶铅锌矿床稀土元素特征[J]. *矿产与地质*, 2018, 32(4): 655-661.
- KANG Haoyu, YU He, ZHANG Zhihe, et al. REE Characteristics of Siding Pb-Zn Deposit in Guangxi[J]. *Mineral Resources and Geology*, 2018, 32(4): 655-661.
- 李强, 王晓虎. 扬子北缘震旦系铅锌矿床成矿地质特征及成矿模式[J]. *资源环境与工程*, 2009, 23(1): 1-6.
- LI Qiang, WANG Xiaohu. Metallogenic Geological Characteristics and Mode of Sinian Lead-Zinc Deposits in the Northern Margin of Yangtze Landmass[J]. *Resources Environment and Engineering*, 2009, 23(1): 1-6.
- 李智明. 扬子北缘及周边地区铅锌成矿作用[D]. 西安: 长安大学, 2007.
- LI Zhiming. The Study on Mineralization of Zinc-Lead Deposits and Prospecting Direction in Northern Margin and Surrounding Area of the Yangtze Platform, China[D]. Shannxi: Chang'an University, 2007.
- 刘博, 李三忠, 周永刚, 等. 桂北河池-宜州断裂带构造特征及其演化: 柳城段浅部到深部结构的启示[J]. *大地构造与成矿学*, 2009, 33(4): 488-496.
- LIU Bo, LI Sanzhong, ZHOU Yonggang, et al. Structural Features and Evolution of the Hechi Yizhou Fault Zone Northern Guangxi insights from Shallow to Deep Structures of Its Liucheng Segment[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2009, 33(4): 488-496.
- 蒙永潘, 杨善畅, 李秀珍. 广西河池-宜州断裂带变形特征及演化探讨[J]. *云南地质*, 2016, 35(6): 466-471.
- MENG Yongpan, YANG Shanchang, LI Xiuzhen. The Deformation Feature and Aprobe Into the Evolution of Hechi-Yizhou Fault Zone in Guangxi[J]. *Yunnan Geology*, 2016, 35(6): 466-471.
- 沈远超, 杨金中, 刘铁兵, 等. 胶东新型金矿-层间滑动角砾岩型金矿床[J]. *地质与勘探*, 2002, 38(2): 11-14.
- SHEN Yuanchao, YANG Jinzhong, LIU Tiebing, et al. Interlayer-Slide-Breccia Gold Deposit-A New Type of Gold Deposits Discovered in Jiaodong Region[J]. *Geology and Prospecting*, 2002, 38(2): 11-14.
- 沈远超, 张连昌, 刘铁兵, 等. 论层间滑动断层及其控矿作用-以山东胶莱盆地北缘金成矿带为例[J]. *地质与勘探*, 2001, 37(1): 11-14+19.
- SHEN Yuanchao, ZHANG Lianchang, LIU Tiebing, et al. Studies on Ore-controlling Factors of Strike-Slip Ductile Shear Zone in Jiaodong Gold Deposit Mengyin County Shandong Province[J]. *Geology and Exploration*, 2001, 37(1): 11-14+19.
- 覃焕然. 试论广西泗顶-古丹层控型铅锌矿床成矿富集特征[J]. *广西地质*, 1986, (2): 51-62.
- QIN Huanran. On the Mineralization and Enrichment Features of Stratabound Pb-Zn Deposits in Siding-Kaodan Field, Guangxi[J]. *Geology of Guangxi*, 1986, (2): 51-62.
- 唐诗佳, 彭恩生, 李石锦, 等. 广西泗顶-古丹铅锌矿床的构造控矿作用及其找矿方向[J]. *桂林工学院学报*, 2001, 21(1): 68-72.
- TANG Shijia, PENG Ensheng, LI Shijin, et al. Structural control on ore and prospective area in Siding-GuDan lead-zinc deposit[J]. *Journal of Guilin Institute of Technology*, 2001, 21(1): 68-72.
- 汪劲草. 成矿构造系列的基本问题[J]. *桂林工学院学报*, 2009, 29(4): 423-433.
- WANG Jincan. Further Research in Metallogenic Series[J]. *Journal of Guilin University of Technology*, 2009, 29(4): 423-433.
- 汪劲草. 成矿构造的基本问题[J]. *地质学报*, 2010, 84(1): 59-69.
- WANG Jincan. Elementary issues of Metallogenic Series[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2010, 84(1): 59-69.
- 汪劲草. 矿体形貌分类及其成矿指示[J]. *桂林理工大学学报*, 2011, 31(4): 473-480.
- WANG Jincan. Classification and Indication of the Orebody Morphology[J]. *Journal of Guilin University of Technology*, 2011, 31(4): 473-480.
- 汪劲草, 李帅, 余何, 等. 韧性剪切带型金矿三阶段构造成矿模式——以广东河台金矿床为例[J]. *大地构造与成矿学*, 2020, 44(1): 20-29.
- WANG Jincan, LI Shuai, YU He, et al. Three-stage Structural Mineralization Model for Ductile Shear Zone Related Gold Deposits: A Case Study of the Hetai Gold Deposit, Guangdong, South China[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2020, 44(1): 20-29.
- 汪劲草, 蒙永潘, 江楠, 等. 广西河池-宜州断裂带是褶皱-冲断带置疑[J]. *桂林理工大学学报*, 2015, 35(4): 860.
- WANG Jincan, MENG Yongpan, JIANG Nan, et al. The Guangxi Hechi-Yizhou Fault Zone is a Fold-the Washout Zone is Questionable[J]. *Journal of Guilin University of Technology*, 2015, 35(4): 860.
- 汪劲草, 彭恩生, 雷鸣波, 等. 湘西金矿沃溪断层的形成与演化[J]. *桂林工学院学报*, 2000, 20(4): 315-318.

- WANG Jincao, PENG Ensheng, LEI Mingbo, et al. The formation and evolution of Woxi fault, Xiangxi Gold Mine Western Hunan[J]. *Journal of Guilin Institute of Technology*, 2000, 20(4): 315-318.
- 汪劲草, 余何, 江楠, 等. 广西大厂矿田成矿构造系列与成矿系列的时空联系[J]. *桂林工学院学报*, 2016, 36(4): 633-643.
- WANG Jincao, YU He, JIANG Nan, et al. Temporal and spatial relation between the metallotectonic series and metallogenic series in the Dachang orefield, Guangxi[J]. *Journal of Guilin Institute of Technology*, 2016, 36(4): 633-643.
- 王步清, 彭恩生, 唐诗佳, 等. 广西泗顶铅锌矿层间滑动带地质特征及控矿作用[J]. *广西地质*, 2000, 13(2): 35-38.
- WANG Buqing, PENG Ensheng, TANG Shijia, et al. The Geologic Characteristics and Ore-Controlling Action of Interlayer Sliding Belts in SiDing Lead-Zinc Mine[J]. *GuangXi Geology*, 2000, 13(2): 35-38.
- 王维. 广西泗顶-古丹铅锌矿床成矿规律及矿体预测[J]. *南方国土资源*, 2012, (4): 33-35+39.
- 王岳军, 王洋, 张玉芝, 等. 华南印支期变形格局及多陆块围限模型[J]. *大地构造与成矿学*, 2022, 46(3): 399-415.
- WANG Yuejun, WANG Yang, ZHANG Yuzhi, et al. Indosinian Deformation in the South China Block and Interaction with the Adjoining Blocks[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2022, 46(3): 399-415.
- 韦龙明, 林锦富, 李文铅, 等. 广东梅子窝钨矿“五层楼”叠加现象探讨[J]. *地质学报*, 2008, 82(7): 888-893+1018.
- WEI Longming, LIN Jinfu, LI Wenqian, et al. Discussion on “Five stored” Superposed Model of Meiziwo Tungsten Deposit Guangdong[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2008, 82(7): 888-893+1018.
- 吴新斌, 陈剑祥, 郝云蛟, 等. 扬子北缘志留系新滩组震积岩的发现及其地质意义[J]. *西北地质*, 2013, 46(2): 81-86.
- WU Xinbin, CHEN Jianxiang, HAO Yunjiao, et al. Discovery and Geological Significance of the Silurian Xintan Formation Seismit Along the North Margin of Yangtze Plate[J]. *Northwestern Geology*, 2013, 46(2): 81-86.
- 谢世业, 黄有德, 张国林, 等. 广西泗顶-古丹铅锌矿田地质特征成矿规律及找矿标志[J]. *地质找矿论丛*, 2001, 16(1): 38-41.
- XIE Shiye, HUANG Youde, ZHANG Guolin, et al. The Study on the Ore-forming Law and the Prospecting Marks of the Siding-Gudan Lead-Zinc Ore Field, Guangxi[J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 2001, 16(1): 38-41.
- 杨楚雄, 扶同逸, 覃焕然. 广西泗顶-古丹铅锌矿田中、上泥盆统碳酸盐相的特征与成矿关系的探讨[J]. *沉积学报*, 1985, 3(2): 97-107+157.
- YANG Chuxiong, FU Tongyi, QIN Huanran. Study on the Relationship Between the Characteristics of Carbonate Facies of the Upper and Middle Devonian Series and Mineralization of Lead-Zinc Deposits in Siding-Gudan District, Guangxi[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1985, 3(2): 97-107+157.
- 余何. 江南古陆西南缘与层滑作用有关的铅锌矿床的成矿时代与机制[D]. 桂林: 桂林理工大学, 2018.
- YU He. The metallogenic age and ore-forming mechanism of the lead-zinc deposits related to layer-sliding in southwestern margin of Jiangnan Old Land, South China[D]. Guilin: Guilin University of Technology, 2018.
- 赵长缨, 段立志, 马中豪. 上扬子地块北缘灯影组硅质岩系地球化学特征及其成因[J]. *西北地质*, 2015, 48(2): 31-42.
- ZHAO Changying, DUAN Lizhi, MA Zhonghao. Geochemical Characteristics and Genesis of Cherts of Dengying Formation on the North Rim of Yangzi Block[J]. *Northwestern Geology*, 2015, 48(2): 31-42.
- 张长青, 余金杰, 毛景文, 等. 密西西比型(MVT)铅锌矿床研究进展[J]. *矿床地质*, 2009, 28(2): 195-210.
- ZHANG Changqing, YU Jinjie, MAO Jingwen, et al. Advances in the study of Mississippi Valley-type deposits[J]. *Mineral Deposits*, 2009, 28(2): 195-210.
- 周泽昌. 广西融安县泗顶铅锌矿找矿方向探析[J]. *企业科技与发展*, 2011, (13): 124-125+128.
- ZHOU Zechang. Analysis of the prospecting direction of Siding lead and zinc ore in Rong'an County, Guangxi[J]. *Enterprise Technology and Development*, 2011, (13): 124-125+128.
- Gandhi S M, Sarkar B C. Essentials of Mineral Exploration and Evaluation[M]. *Ore Geology Reviews*, 2016, 23-52.
- Huang C, Du G, Jiang H, et al. Ore-Forming Fluids Characteristics and Metallogenesis of the Anjing Hitam Pb-Zn Deposit in Northern Sumatra, Indonesia[J]. *Journal of Earth Science*, 2019, 30(1): 131-141.
- Wang J C, Wang Z Y, Geng W H, et al. Discovery and Significance of Large Detachment Faults in the Western Margin of Yunkai Uplift[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1995: 1369-1373.
- Yu H, Tang J, Li H, et al. Metallogenesis of the Siding Pb-Zn deposit in Guangxi, South China: Rb-Sr dating and C-O-S-Pb isotopic constraints[J]. *Ore Geology Reviews*, 2020, 121(2020): 103499.