

# 广西盘龙铅锌矿床硫化物电子探针分析及指示意义

张学琳<sup>1</sup>, 幸福生<sup>2</sup>, 罗林菊<sup>1</sup>

<sup>1</sup>桂林理工大学地球科学学院, 广西 桂林

<sup>2</sup>广西中金岭南矿业有限责任公司, 广西 来宾

收稿日期: 2024年3月20日; 录用日期: 2024年4月21日; 发布日期: 2024年4月30日

## 摘要

广西盘龙铅锌矿床位于大瑶山西侧多金属成矿带的南段, 是广西知名的中大型铅锌矿床。矿体主要赋存下泥盆统上伦白云岩地层中, 主要赋矿围岩为白云岩。矿体与围岩界线清楚, 铅锌矿体的延伸展布均受白云岩地层及NE向层间挤压破碎带的严格控制, 矿体形态主要呈层状、似层状产出, 主要的矿石矿物有闪锌矿、方铅矿、黄铁矿, 脉石矿物有白云石、重晶石及石英、方解石等。本文在以矿床的地质特征基础上, 对矿区内不同中段矿石的闪锌矿、方铅矿以及黄铁矿进行了电子探针分析, 测定结果得出, 闪锌矿中的Zn/Fe值为166.13, Fe平均含量为1.31%, 反映其产出在中-浅成低温环境中。方铅矿中的Pb平均含量为85.95%, S平均含量为12.59%, 表现出Pb、S亏损的特征, 黄铁矿中的Fe平均含量为46.52%, S平均含量为51.63%, 其Co/Ni比值小于1, 说明成因类型为沉积型黄铁矿。综合矿床地质特征和硫化物电子探针分析结果, 推测盘龙铅锌矿床类型为MVT矿床。

## 关键词

金属硫化物, 电子探针, 盘龙铅锌矿床, 广西

## Electron Probe Analysis and Indicative Significance of Sulfide in Panlong Lead-Zinc Deposit, Guangxi

Xuelin Zhang<sup>1</sup>, Fusheng Xing<sup>2</sup>, Linju Luo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>College of Geosciences, Guilin University of Science and Technology, Guilin Guangxi

<sup>2</sup>Guangxi Zhongjin Linnan Mining Company, Laibin Guangxi

Received: Mar. 20<sup>th</sup>, 2024; accepted: Apr. 21<sup>st</sup>, 2024; published: Apr. 30<sup>th</sup>, 2024

文章引用: 张学琳, 幸福生, 罗林菊. 广西盘龙铅锌矿床硫化物电子探针分析及指示意义[J]. 地球科学前沿, 2024, 14(4): 511-520. DOI: 10.12677/ag.2024.144048

## Abstract

Electron probe analysis and indicative significance of sulfide in Guangxi Panlong lead-zinc deposit Located in the southern part of poly metallic metallogenic belt on the west side of Dayaoshan Mountain, Guangxi Panlong lead-zinc deposit is a well-known medium-large lead-zinc deposit in Guangxi. The ore body mainly occurs in the upper Lunian dolomite stratum of Lower Devonian series, and the main ore-bearing surrounding rock is dolomite. The boundary between orebody and surrounding rock is clear, and the extension and distribution of lead-zinc ore body are strictly controlled by dolomite stratum and NE-direction interlayer extrusion fracture zone. The orebody form is mainly stratified and stratified, and the main ore minerals are sphalerite, galena, pyrite, and gangue minerals are dolomite, barite, quartz, calcite, etc. Based on the geological characteristics of the deposit, the electron probe analysis of sphalerite, galena and pyrite in different middle ores in the mining area is carried out. The measured results show that the Zn/Fe value of sphalerite is 166.13, and the average Fe content is 1.31%, which reflects that sphalerite is produced in medium-epigenic low temperature environment. The average content of Pb in galena is 85.95%, the average content of S is 12.59%, showing the characteristics of Pb and S loss. The average content of Fe in pyrite is 46.52%, the average content of S is 51.63%, and the Co/Ni ratio is less than 1, indicating that the genetic type is sedimentary pyrite. Based on the geological characteristics of the deposit and the results of sulfide electron probe analysis, it is inferred that the Panlong PB-Zn deposit is a MVT deposit.

## Keywords

Metallic Sulfide Mineral, Electron Probe, Panlong Lead-Zinc Deposit, Guangxi

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

广西盘龙铅锌矿床位于大瑶山西侧多金属成矿带的南段，是广西知名的中大型铅锌矿床，随着矿业公司不断地发展壮大持续地对矿山进行开采和探勘找矿，近年来在矿区深部又发现了隐伏的铅锌矿体。前人对该矿床的基础地质特征、岩石地球化学、矿床类型成因等方面做了大量的工作已得出一些研究成果，因此，本文在前人对该矿区研究的基础上，重点从矿床地质特征和矿物电子探针分析入手，分析金属硫化物的电子探针数据，探讨矿床成因。期望对该矿床今后的勘察与开发有所帮助。

## 2. 区域地质背景

该区先后历经了新元古代俯冲、加里东期被动大陆边缘、印支期和燕山期陆内伸展四个重要的构造事件[1]。其中加里东期和印支期两次碰撞造山作用地质演化对于形成如今的构造格架至关重要，在加里东时期发生的碰撞造山活动使大瑶山地区缺失了早古生代地层，寒武系地层成为区内的基底，自寒武纪末发生海侵作用，至印支期都处于海相沉积环境，由于印支时期频繁的碰撞造山活动，扬子地块和华夏古陆发生碰撞拼贴，海相沉积环境转为陆相沉积环境[2]，经历多期次的构造旋回，至此形成了如今的大瑶山多金属成矿带。盘龙铅锌矿区隶属于扬子古板块与华夏古板块之间，地处华南板块南华活动带次级

构造单元——大瑶山隆起与桂中陷带的交接部位，大瑶山西侧铅锌多金属成矿带的南段(图 1)。区域出露地层包括为寒武系、泥盆系、石炭系、二叠系及第四系，其中主要出露的地层为寒武系的碎屑岩系和泥盆系地台型沉积岩。

该区主要构造类型为大型复合式背斜及纵横交错的压扭性大断层，在其深大断裂两侧还发育一系列次级断层。其中，褶皱主要包括寻逢背斜、水晶背斜、三岔背斜、河马向斜、南泗向斜等，本区断裂构造有 NE、NW、SN 三个方向，总体上以近南北向和北东向为主。其中 NE 向凭祥 - 大黎深大断裂带和南北向永福 - 东乡断裂横贯本区[3]。

本区的岩浆岩并不发育。

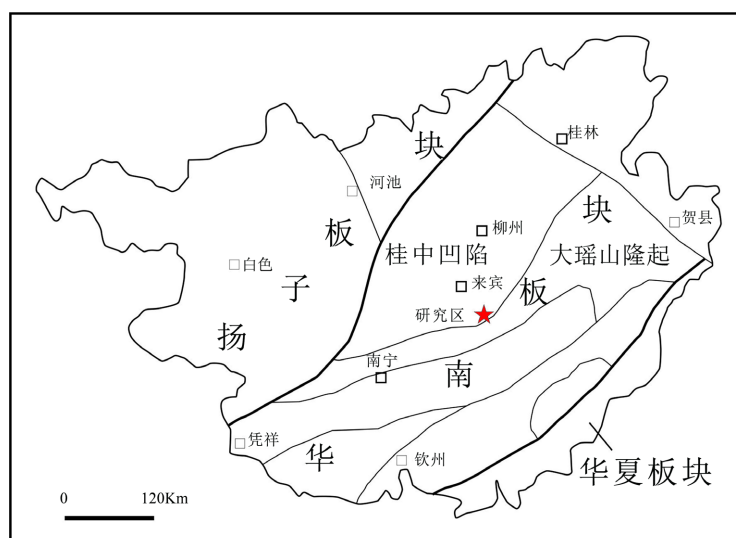


Figure 1. Geotectonic location map of the study area (According to Fu Songwu, 2012 Revision)

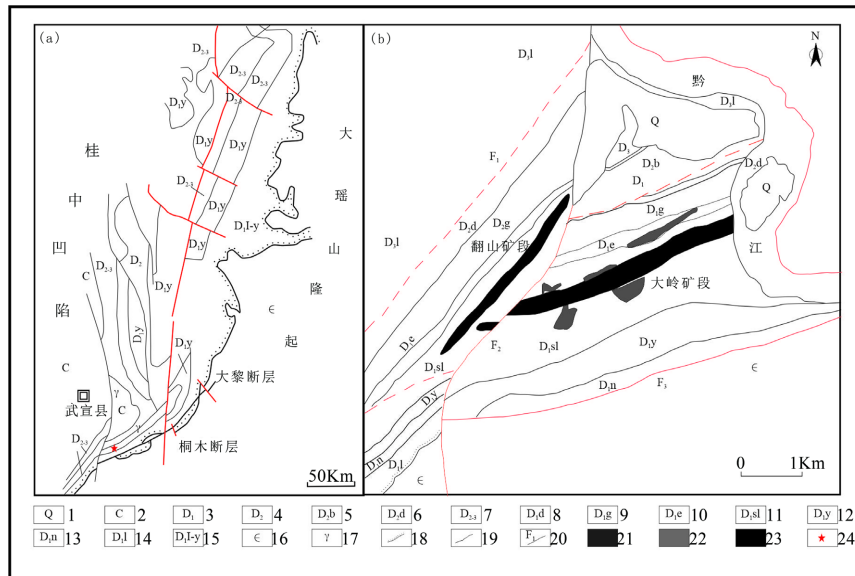
图 1. 研究区大地构造位置简图(据付松武, 2012 修改)

### 3. 矿床地质特征

盘龙矿区铅锌矿体主要产于下泥盆统上伦白云岩碳酸盐岩台地相中，矿体顶、底板围岩为上伦组白云岩。出露的地层主要有寒武系黄洞组( $\epsilon h$ )，下泥盆系郁江组( $D_{1y}$ )、上伦组( $D_{1sl}$ )，二塘组( $D_{1e}$ )，官桥组( $D_{1g}$ )及第四系(Q)。其中寒武系黄洞组岩性为橙黄、浅绿、灰白等色浅变质砂岩和泥岩互层；上伦组岩性为浅灰色泥岩，厚约 150 m 左右；上伦组为本矿区的主要含矿层位，岩性主要为白云岩，白云质灰岩，及少量的硅质岩；底部为褐黄色粉砂质泥岩夹含粒不等粒砂岩，中、下部为薄 - 中厚层状浅灰色质白云岩；上部为深灰色中厚层状白云岩夹少量灰白色硅质岩，发育细脉状及团块状重晶石穿插于其中，其顶部见白云石化、铅锌黄铁矿化现象。二塘组主要以灰白 - 深灰色中厚层灰岩与泥灰岩互层为主，官桥组为灰色 - 灰白色中 - 中粗晶白云岩夹少量生物碎屑灰岩及泥灰岩。第四系为棕红色、黄褐色粘土层。

矿区构造上，区域构造较为发育，可分为褶皱、断裂。褶皱方面，广西运动使该地区的基底受到强烈的挤压[4]，形成了一条近东西向、北北东向的致密线形复合褶皱，使整个盘龙矿区处于该复式褶皱穹状背斜的西翼。断裂方面，盘龙矿区主要存在北北东、北东东向两组断裂构造，区内有北北东向的横断层 F2 和北东东向的逆断层 F1、F3 等 3 条主要断裂(图 2)，前人认为铅锌矿体的分布和形态特征由逆断层 F3 和区内次一级的层间破碎带共同控制[5]。

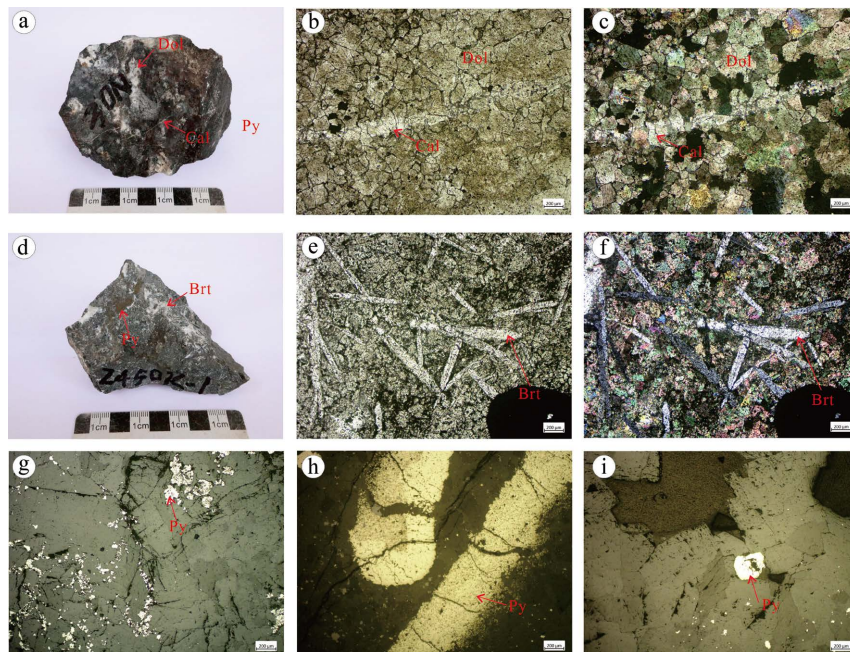
根据之前的研究现状报道了本区内不见岩浆岩的出露。



**Figure 2.** Panlong lead-zinc mine regional geological map: (a) and mine geological map, (b) (modified according to Niu)

**图 2.** 盘龙铅锌矿区域地质图: (a)和矿区地质简图, (b) (据牛佳等, 2012 修改)

1: 第四系; 2: 石炭系; 3: 上泥盆统; 4: 中泥盆统; 5: 中泥盆统巴漆组; 6: 中泥盆统东岗岭组; 7: 泥盆系中统和上统; 8: 下泥盆统大乐组; 9: 下泥盆统官桥组; 10: 下泥盆统二塘组; 11: 下泥盆统上伦组; 12: 下泥盆统郁江组; 13: 下泥盆统那高岭组; 14: 下泥盆统莲花山组; 15: 下泥盆统莲花-郁江阶; 16: 寒武系; 17: 花岗岩体; 18: 不整合线; 19: 地质界线; 20: 断层及编号; 21: 重晶石; 22: 锰铁堆积体; 23: 铅锌矿体; 24: 矿区位置。

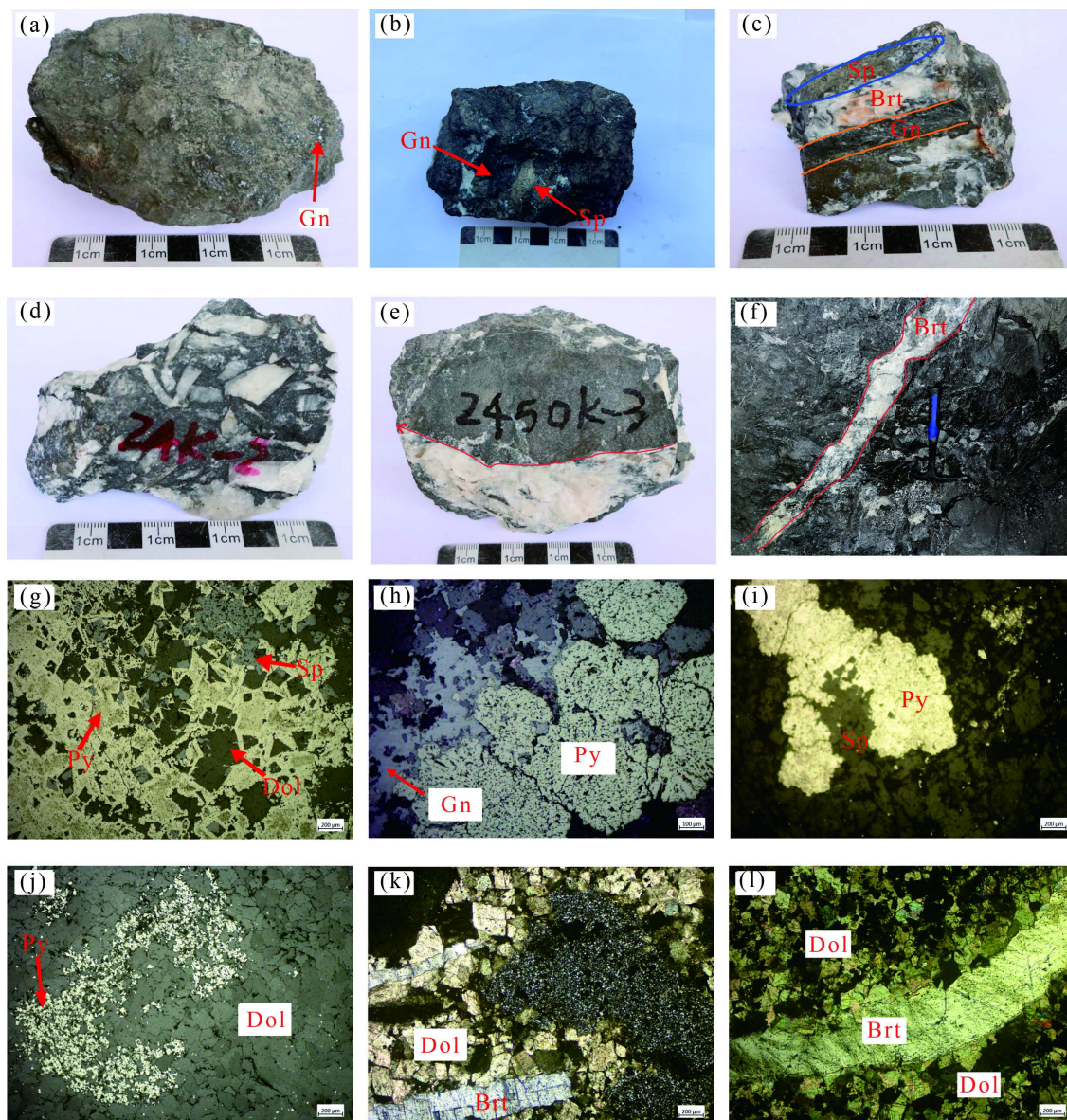


**Figure 3.** Alteration characteristics of the Panlong lead-zinc ore deposit

**图 3.** 盘龙铅锌矿蚀变特征

(a, b, c)白云石化; (d, e, f)重晶石化; (g, h, i)黄铁矿化; 矿物代号: Py-黄铁矿; Brt-重晶石; Sp-闪锌矿; Gn-方铅矿; Dol-白云石; Cal-方解石。

盘龙矿区的围岩蚀变总的较强烈,其分布范围大致位于矿体附近,距离矿体约 1~2 m,最远可达 15 m。根据其围岩的蚀变程度强弱依次为白云石化、黄铁矿化、硅化以及重晶石化四类[6],局部地段可见方解石化。其中与铅锌成矿关系紧密联系的是白云石化、硅化和黄铁矿化三类围岩蚀变(图 3)。同时,本区内铅锌矿化的富集程度与白云岩厚度呈现线性相关[7] [8]。



**Figure.4.** Ore photos and mineral facies micrographs of lead-zinc ore in Panlong mining area

**图 4.** 盘龙矿区铅锌矿矿石照片及矿物矿相显微照片

a: 闪锌矿石, 清晰可见铅灰色半自形方铅矿; b: 方铅闪锌矿石, 闪锌矿与方铅矿共生; c: 闪锌方铅矿石, 条带状闪锌矿、重晶石、方铅矿共生; d: 角砾状构造, 角砾为碳酸盐矿物; e: 块状构造, 矿体与围岩界线清晰可见; f: 井下观察的脉状构造; g: 白云石和黄铁矿紧密共生; h: 方铅矿交代溶蚀黄铁矿; i: 闪锌矿交代晚期黄铁矿; j: 细粒黄铁矿不均匀的分布于围岩中; k: 板状重晶石穿插于白云石粒间中; l: 脉状重晶石穿插白云石于白云石粒间中。

矿区分为大岭矿段和翻山矿段, 后者早已停产, 现在大岭矿段为主要开采矿段, 开采中段有-70 m

至-380 m 等 7 个中段。矿体主要形态呈似层状、透镜状，与地层产状大体一致，均产于 NE 向层间断裂带内。除铅锌矿外，矿区还有伴生矿重晶石矿。铅锌矿体的延伸展布均受白云岩地层及层间挤压破碎带的严格控制[9]，沿走向或倾向白云岩层变狭窄或尖灭，铅锌矿体规模变小，其形态亦变狭窄或尖灭。目前已圈定的矿体中，2 号矿体是区内主矿体，由 2~48 勘探线控制，矿体形态主要为层状、似层状，局部呈透镜状、囊状，一般中间厚，边部薄，呈楔形分枝或尖灭，且有尖灭再现及分枝复合现象。总体倾向北西，倾角 78°~88°，平均 82°。总体上看，矿体厚度及品位有从东至西、从上至下变薄变贫的趋势。矿石的平均品位 Pb 为 1.51%，Zn 为 5.13%。

本区矿石的矿物组成成分较简单，大部分矿石为硫化矿石，部分地表分布有堆积 - 残积型氧化矿石。原生硫化矿石类型以闪锌矿、方铅矿为主，次为黄铁铅矿及闪锌方铅矿(图 4(a)~(c))。原生硫化矿体矿石矿物以闪锌矿、黄铁矿为主，次为方铅矿(图 4(g)~(i))。脉石矿物有白云石、重晶石及石英、方解石和绢云母等(图 4(j)~(l))。

矿石结构主要包括粒状、自形、充填、交代、草莓、镶嵌、压碎、鲕状或假鲕状、碎屑结构等。矿石的构造主要有：角砾状、块状，浸染状、脉状(或网脉状)、条带状构造等(图 4(d)~(f))。

根据已有的资料以及矿石矿物和脉石矿物的组合、类型、相互穿插等特征显示盘龙铅锌矿的矿床成矿过程中，存在三个成矿期：原生沉积期 - 活化改造期 - 地表氧化期[10]，2 个成矿作用阶段：热液成矿阶段 - 次生成矿阶段[11]。

#### 4. 硫化物电子探针分析

本文对盘龙铅锌矿床中不同中段、不同构造的方铅矿、闪锌矿和黄铁矿进行了电子探针测试分析。测试工作在广西隐伏金属矿产勘查重点实验室的电子探针实验室进行。仪器型号为日本电子生产的牛津仪器 JXA8230 型，设备工作环境温度：20~23℃，仪器工作环境湿度：小于 50℃；检测元素范围：5B~92U；加速电压：0.2~30 KV，束电流范围：10~12~10~5 A。

##### 4.1. 闪锌矿

**Table 1.** Electron microprobe analyses (%) of Zn S from the Panlong Pb-Zn deposit

**表 1.** 盘龙铅锌矿闪锌矿电子探针分析结果(%)

样品编号	S	Cu	Zn	Fe	Pb	Mn	Total	Zn/Fe	Zn/S
-380-8S-Py1	31.70	0.00	66.42	0.28	0.03	0.02	98.46	199.80	1.03
-380-8S-Py2	31.84	0.00	64.66	0.59	0.32	0.01	97.42	93.78	1.00
-270-26K-3-Py1	31.60	0.00	65.91	0.21	0.00	0.00	97.72	272.01	1.02
-270-26K-3-Py2	34.03	0.00	58.92	5.27	0.21	0.06	98.49	9.56	0.85
-270-26K-3-Py3	31.49	0.00	66.10	0.22	0.00	0.04	97.85	255.52	1.03
平均	32.132	0	64.402	1.314	0.112	0.026		166.134	0.986

通过对闪锌矿的电子探针数据的综合分析比较(表 1)，盘龙铅锌矿闪锌矿中的锌含量(wt%)的范围 58.92%~66.42%，平均含量为 64.40%，硫(wt%)含量 31.49%~34.03%，平均含量为 32.13%，相对于其理论值(Zn 67.10%，S 32.90%) [12]锌亏损，硫亏损。铁含量(wt%) 0.21%~5.27%，平均含量为 1.31%，铁含量的变化范围多数位于 1% 以下，只有一个测点的含量大于 1%。锰含量 0.01~0.06%，平均含量 0.03%，其变化范围不大。

前人对于闪锌矿中 Fe 含量和 Zn/Fe 比值与其成矿温度做了大量的研究，发现 Zn/Fe 比值可以用来判

断其成矿温度[13] [14] [15], 一般成矿温度达到中高温环境(200℃~300℃)时, 其 Zn/Fe 比值小于 10, 成矿温度为中温环境时(150℃~250℃), 其 Zn/Fe 比值介于 10~100 之间, 成矿温度为低温环境时(低于 150℃), 其 Zn/Fe 比值在 100 之上, 而对盘龙铅锌矿的闪锌矿 Zn/Fe 比值分析得出, 其 Zn/Fe 比值范围为 9.56~255.52, 综合平均在 166.13, 因此可以推断出闪锌矿的成矿温度属于低温环境(低于 150℃)。前人研究认为 Fe 元素可以作为标型矿物, 矿床的成矿条件与闪锌矿中的 Fe 元素含量的多少有着密切的联系[16], 其 Fe 元素含量介于 10~20 之间, 矿床形成于深成 - 浅成环境下, Fe 元素含量位于 3~10 之间, 矿床的成矿条件是中深成 - 浅成环境, Fe 元素含量位于 0~3 时, 矿床的成矿条件是浅成环境, 本矿床中闪锌矿的 Fe 元素含量变化范围位于 0.21%~5.27%, 均值含量为 1.31%, 介于 0~3 之间, 对比 Zn/Fe 比值反映的事实, 二者之间得出的结果基本一致, 所以说, 闪锌矿主要是产出在中 - 浅成低温环境中。

## 4.2. 方铅矿

通过对方铅矿的电子探针数据的综合分析比较(表 2), 盘龙铅锌矿方铅矿中的铅含量(wt%)的范围位于 83.90%~88.40%, 平均含量为 85.95%, 硫含量(wt%) 11.80%~12.94%, 平均含量为 12.59%, 铁含量相对于其理论值(Pb = 86.60%, S = 13.40%) [17]。表现出盘龙铅锌矿明显的亏损硫, 表明在成矿的过程中, 硫逸度存在一定的逃散, 在 4 个方铅矿样品所测的 5 个点中含有微量的锌元素, 表明闪锌矿在方铅矿的结晶沉淀时有参加其过程, 闪锌矿在方铅矿之后结晶。其中 Pb/S 原子个数比值介于 1.03 到 1.16 之间, 平均为 1.057。它的变化范围较小, 说明成矿环境的硫逸度保持相对稳定。

**Table 2.** Electron microprobe analyses (%) of PbS from the Panlong Pb-Zn deposit

**表 2.** 盘龙铅锌矿方铅矿电子探针分析结果(%)

样品编号	AS	S	Cu	Mn	Zn	Fe	Pb	Total	Pb/S
-380-8S-Gn1	0.00	12.71	0.022	0.00	0.067	0.018	86.3	99.117	1.05
-380-8S-Gn2	0.00	11.797	0.00	0.00	1.05	0.032	88.4	101.279	1.16
-70-30S-Gn1	0.00	12.697	0.00	0.026	0.00	0.06	85.4	98.183	1.04
-70-30S-Gn2	0.00	12.833	0.00	0.00	0.00	0.002	85.9	98.735	1.04
-70-30S-Gn3	0.00	12.877	0.00	0.013	0.00	0.042	85.9	98.832	1.03
-320-12k-Gn1	0.00	12.675	0.00	0.002	0.008	0.116	85.6	98.401	1.05
-270-26K-3-Gn1	0.00	12.464	0.00	0.004	0.042	0.098	86.8	99.408	1.08
-270-26K-3-Gn2	0.00	12.779	0.00	0.04	0.206	0.057	86.6	99.682	1.05
-270-26K-3-Gn3	0.00	12.939	0.00	0.004	0.00	0.018	86.8	99.761	1.04
-270-26K-3-Gn4	0.00	12.649	0.00	0.00	2	0.026	85.5	100.175	1.05
-270-26K-3-Gn5	0.00	12.337	0.00	0.004	0.526	0.06	83.9	96.827	1.05
-270-26K-3-Gn6	0.00	12.362	0.02	0.031	0.00	0.027	85.8	98.24	1.07
-270-26K-3-Gn7	0.00	12.61	0.00	0.00	0.00	0.015	84.5	97.125	1.04
平均		12.59				0.044	85.95		1.057

## 4.3. 黄铁矿

通过对黄铁矿的电子探针数据的综合分析比较(表 3), 盘龙铅锌矿黄铁矿中的铁含量(wt%)的范围位于 45.46%~47.41%, 平均含量为 46.52%, 硫含量 50.64%~52.81%, 平均含量为 51.63%, 相对于其理论值

(Fe = 46.55%, S = 53.45%) [12], 表现出硫亏损的特征。说明在其结晶的过程中被其他能发生类质同象的物质代替了, 黄铁矿中的元素含量、比值一定程度上反映了矿床类型以及形成时的条件。

S/Fe 值: 盘龙铅锌矿中黄铁矿 S/Fe (原子数比) 值在 1.89~1.97 之间。变化范围较小, 平均值为 1.93, 相比黄铁矿理论值(S/Fe = 1.999)来说, 表现出明显的富铁贫硫的特征, 前人的研究得出热液型和沉积型黄铁矿其黄铁矿 S/Fe 值不同, 前者亏硫小于理论值, 后者富硫或接近其理论值[17]。所以盘龙铅锌矿床中的黄铁矿的成因是多样性的, 包括了热液成因和沉积成因。其所测的 5 个样品中有 8 个测点含有微量的锌元素, 推断在黄铁矿的结晶沉淀后可能结晶沉淀出闪锌矿等物质。

黄铁矿中的 Co、Ni 含量以及比值不同对矿床的类型有一定的指示意义[17], 前人研究发现不同的矿床如第一类沉积型矿床、第二类热液型矿床以及第三类黄铁火山喷气块状硫化物矿床的 Co、Ni 含量以及 Co/Ni 比值相差较大[18], 第一类中 Co 和 Ni 含量普遍较低, Co/Ni 值 < 1; 第二类矿床中 Co 和 Ni 含量及 Co/Ni 比值变化较大, 为 1.17 < Co/Ni < 5; 第三类矿床 Co/Ni 值高, 为 5 < Co/Ni < 50, 平均为 8.7。而盘龙铅锌矿床中黄铁矿 Co/Ni 值的范围介于 0.75~0.88, 因此, 推断黄铁矿的成因类型为沉积成因。

**Table 3.** Electron microprobe analyses (%) of FeS<sub>2</sub> from the Panlong Pb-Zn deposit  
**表 3.** 盘龙铅锌矿黄铁矿电子探针分析结果(%)

样品编号	AS	S	Cu	Co	Zn	Ni	Fe	Sb	Total	S/Fe	Co/Ni	Fe/S
-330-Py1	0.08	51.74	0.01	0.04	0.00	0.00	46.21	0.16	98.24	1.95	0.00	0.51
-330-Py2	0.77	50.84	0.00	0.07	0.02	0.00	46.58	0.08	98.36	1.90	0.00	0.53
-380-12N-Py1	0.02	52.13	0.00	0.06	0.02	0.00	47.17	0.00	99.40	1.93	0.00	0.52
-380-12N-Py2	0.00	50.90	0.00	0.03	0.00	0.00	47.00	0.00	97.93	1.89	0.00	0.53
-70-30N-Py1	0.00	52.28	0.00	0.05	0.00	0.00	47.41	0.00	99.74	1.92	0.00	0.52
-70-30N-Py2	0.00	52.81	0.00	0.03	0.00	0.04	46.86	0.00	99.74	1.96	0.75	0.51
-170-1650k-Py1	2.18	50.64	0.00	0.07	0.00	0.08	45.46	0.06	98.49	1.94	0.88	0.52
-270-26K-3-Py1	1.56	51.49	0.02	0.07	0.03	0.00	45.78	0.03	98.98	1.96	0.00	0.51
-270-26K-3-Py2	0.72	51.97	0.03	0.06	0.02	0.00	46.26	0.00	99.06	1.96	0.00	0.51
-270-26K-3-Py3	1.04	52.21	0.01	0.06	0.06	0.07	46.21	0.03	99.69	1.97	0.83	0.51
-270-26K-3-Py4	0.96	51.49	0.01	0.05	0.01	0.00	46.86	0.00	99.38	1.91	0.00	0.52
-270-26K-3-Py5	1.13	51.74	0.00	0.03	0.03	0.00	46.66	0.00	99.59	1.93	0.00	0.52
-320-12k-Py1	0.83	50.89	0.00	0.04	0.05	0.05	46.28	0.01	98.15	1.92	0.80	0.52
样品编号		51.63					46.52			1.93	0.82	0.52

## 5. 矿床成因探讨

近年来, 随着众多的学者对于盘龙铅锌矿进行深入研究, 得出研究成果显示, 本区的矿床成因有不同的认识, 主要有 3 种成因认识, 分别为喷流沉积型[7] [19] [20] [21] [22]、沉积改造型[10] [11]、MVT 型[6] [23] [24] [25]等诸多观点。本文在结合矿床地质特征和硫化物电子探针分析的基础上, 综合前人的研究成果, 主要从地质、电子探针、包裹体三个方面的证据, 对盘龙铅锌矿床铅锌的矿床类型进行探讨。

### 5.1. 地质特征依据

盘龙铅锌矿的大地构造位置是处于盆地的边缘, 主要构成地质单元为桂中盆地东缘的次级象州断陷



盆地。其赋矿围岩为白云岩，前人认为矿床具有后生矿床的特点。矿区井下常见角砾状构造的矿石，其矿体多为矿化的角砾岩，而判断 MVT 矿床的重要地质特征之一就是角砾岩的发现。所以，从地质特征来看，本矿床的矿床类型与 MVT 型更为接近。

## 5.2. 电子探针依据

本文的电子探针分析结果得出，闪锌矿中的 Zn/Fe 值为 166.13，Fe 平均含量为 1.31%，反映其产出在中-浅成低温环境中。方铅矿中的 Pb 平均含量为 85.95%，S 平均含量为 12.59%，表现出 Pb、S 亏损的特征，黄铁矿中的 Fe 平均含量为 46.52%，S 平均含量为 51.63%，其 Co/Ni 比值小于 1，说明成因类型为沉积型黄铁矿。综合矿床地质特征和硫化物电子探针分析结果，推测盘龙铅锌矿床类型为 MVT 矿床。

## 5.3. 流体包裹体依据

前人对盘龙矿床做了大量流体包裹体分析，主要包括：1) 对重晶石的流体包裹体进行了均一温度的测量，结果显示均一温度介于 94.5~167.3℃，主要集中在 125~155℃，成矿环境为低温。2) 分别对流体包裹体的成矿流体盐度、流体密度、流体压力和深度、成分分析进行了测量，结果显示铅锌矿床成矿流体集中布于 7.5~16.5 (wt% NaCl)；成矿流体密度分布范围为：0.89~1.14  $\rho(\text{g}/\text{cm}^3)$ ；体压力范围为：15.18~63.04 MPa；对应埋藏的深度为 0.613~2.33 Km；流体气相成分以 H<sub>2</sub>O 和 CO<sub>2</sub> 为主。这些数据共同表明了盘龙铅锌矿床的矿化阶段流体为中低温低盐度含 CO<sub>2</sub> 的 H<sub>2</sub>O-NaCl 体系[25]。

因此，综合上述矿床地质特征证据、硫化物电子探针分析结果和已发表的部分流体包裹体数据，本文认为盘龙铅锌矿床应归为 MVT 型矿床。

## 6. 结论

1) 盘龙矿区铅锌矿体主要产于下泥盆统上伦白云岩(D<sub>1</sub>sl)碳酸盐岩台地相中，矿体顶、底板围岩为上伦白云岩，受岩性界面和地层的控制。含矿白云岩厚度与矿体富集程度呈线性相关。

2) 电子探针数据分析结果显示闪锌矿中主要亏损 Zn，方铅矿中主要亏损 S、Pb 和黄铁矿中主要亏损 S，推测这几种矿物在进行流体迁移和沉淀结晶的过程中被其他化学性质相近的物质吸引而发生了一定的类质同像。

3) 闪锌矿中的 Zn 平均含量为 64.40%，S 平均含量为 32.13%，Zn/Fe 值为 166.13，Fe 平均含量为 1.31%，反映其产出在中-浅成低温环境中。方铅矿中的 Pb 平均含量为 85.95%，S 平均含量为 12.59%，表现出 Pb、S 亏损的特征，黄铁矿中的 Fe 平均含量为 46.52%，S 平均含量为 51.63%，其 Co/Ni 比值小于 1，说明成因类型为沉积型黄铁矿。矿床地质特征证据、硫化物电子探针分析结果和已发表的部分同位素数据，推测盘龙铅锌矿床类型为 MVT 型矿床。

## 参考文献

- [1] 郑义, 余盼, 王岳军, 等. 粤西-桂东四套成矿系统地质特征、成因类型及构造启示[J]. 岩石学报, 2017, 33(3): 682-694.
- [2] 周永章, 曾长育, 李红中, 等. 钦州湾-杭州湾构造结合带(南段)地质演化和找矿方向[J]. 地质通报, 2012, 31(2): 486-491.
- [3] 罗永恩. 盘龙铅锌矿床成因及成矿模式[J]. 有色金属(矿山部分), 2009, 61(3): 32-35.
- [4] 吴浩若. 重新解释广西运动[J]. 科学通报, 2000, 45(5): 555-558.
- [5] 梁国宝, 廖开立. 广西武宣县盘龙铅锌矿地质特征及找矿方向[J]. 南方国土资源, 2003(2): 26-29.
- [6] 张善明, 吕新彪, 唐小春, 等. 广西大瑶山西侧综合地质异常与控制矿分析[J]. 地质与勘探, 2010, 46(2): 314-322.
- [7] 薛静, 戴塔根, 付松武, 等. 广西武宣盘龙铅锌矿喷流沉积成矿作用: 稀土元素和硫同位素证据[J]. 大地构造与

- 成矿学, 2011, 35(3): 394-403.
- [8] 周怀玲, 张振贤, 袁少平. 广西大瑶山西侧泥盆纪沉积特征与层控矿床控矿条件[J]. 广西地质, 1990(4): 1-13.
- [9] 梁国宝, 胡明安, 杨振. 广西朋村-盘龙铅锌矿地球化学特征及矿床成因[J]. 桂林理工大学学报, 2015, 35(3): 437-444.
- [10] 徐述腾, 周永章, 郑义, 等. 钦杭成矿带南段盘龙铅锌矿成矿体系环境分析——来自矿石组构的限定[J]. 地质与勘探, 2018, 54(4): 674-688.
- [11] 罗永恩. 广西武宣县盘龙铅锌矿床地质特征及控矿因素分析[J]. 地质与资源, 2009, 18(3): 183-188+196.
- [12] 李胜荣, 许虹, 申俊峰, 李国武. 结晶学与矿物学[M]. 北京: 地质出版社, 2008: 174-175.
- [13] 余琼华, 李若黔, 冯祖同. 南岭地区铅锌矿床中闪锌矿的标型特征[C]//中国地质学会矿物学专业委员会. 全国第一届矿相学学术讨论会矿相学论文集: 1987年卷. 北京: 地质出版社, 1987: 80-85.
- [14] 何朝鑫, 陈翠华, 李佑国, 等. 青海省都兰县双庆铁矿床金属硫化物地球化学特征及其指示意义[J]. 地球化学, 2015, 44(4): 392-401.
- [15] 印修章, 胡爱珍. 以闪锌矿标型特征浅论豫西若干铅锌矿成因[J]. 物探与化探, 2004, 28(5): 413-414, 417.
- [16] 刘铁庚, 叶霖, 周家喜, 等. 闪锌矿的 Fe、Cd 关系随其颜色变化而变化[J]. 中国地质, 2010, 37(5): 1457-1468.
- [17] 徐国风, 邵洁涟. 黄铁矿的标型特征及其实际意义[J]. 地质论评, 1980, 26(6): 541-546.
- [18] Bajwah, Z.U., Seccombe, P.K. and Offler, R. (1987) Trace Element Distribution, Co: Ni Ratios and Genesis of the Big Cadia Iron-Copper Deposit, New South Wales, Australia. *Mineralium Deposita*, **22**, 292-300.  
<https://doi.org/10.1007/BF00204522>
- [19] 李毅. 广西热水沉积矿床成矿规律及找矿方向研究[D]: [博士学位论文]. 长沙: 中南大学, 2007.
- [20] 薛静, 戴塔根, 付松武. 广西武宣县盘龙铅锌矿床成矿地球化学特征[J]. 中国有色金属学报, 2012, 22(2): 533-545.
- [21] 付松武. 广西盘龙铅锌矿床地球化学特征及矿床成因研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 中南大学, 2013.
- [22] 李辰, 欧阳菲, 曾南石, 等. 大瑶山西南段铅锌矿集区矿床地质特征及其成因分类[J]. 有色金属(矿山部分), 2014, 66(6): 43-46.
- [23] 雷良奇, 宋慈安, 赵东军. 大瑶山隆起西南缘 MVT 矿带含矿岩系及流体成矿[J]. 桂林工学院学报, 2006, 26(2): 153-161.
- [24] 祝新友, 甄世民, 程细音, 等. 华南地区泥盆系 MVT 铅锌矿床 S、Pb 同位素特征[J]. 地质学报, 2017, 91(1): 213-231.
- [25] 许浩天. 广西盘龙铅锌矿区白云岩的成因机制及其与成矿关系研究[D]: [硕士学位论文]. 桂林: 桂林理工大学, 2019.