

黔东盘石—盘信地区铅锌矿床 Rb—Sr 等时线年龄与流体包裹体特征及其找矿意义

谢小峰^{1,2,3}, 杨坤光¹

XIE Xiaofeng^{1,2,3}, YANG Kunguang¹

1. 中国地质大学(武汉)地球科学学院, 湖北 武汉 430074;

2. 贵州省地质矿产勘查开发局一〇三地质大队, 贵州 铜仁 554300;

3. 自然资源部基岩区矿产资源勘查工程技术创新中心, 贵州 贵阳 550004

1. Faculty of Earth Sciences, China University of Geoscience, Wuhan 430074, Hubei, China;

2. Geological Party 103, Guizhou Bureau of Geology & Mineral Exploration and Development, Tongren 554300, Guizhou, China;

3. Technology Innovation Center of Mineral Resources Explorations in Bedrock, Ministry of Natural Resources, Guiyang 550004, Guizhou, China

摘要:黔东盘石—盘信地区铅锌矿床位于雪峰山西缘, 扬子地块与江南造山带的结合部位, 是黔东地区比较典型的铅锌矿床。对该区铅锌矿床成矿期闪锌矿进行 Rb—Sr 等时线法定年, 获得成矿年龄为 486 ± 3 Ma (MSWD=1.2), ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_i 值为 0.70918 ± 0.00002 。成矿期方解石的流体包裹体岩相学、显微测温及成分分析表明, 该区流体包裹体以富液的气液两相包裹体为主, 均一温度为 277°C , 包裹体气相成分以 CO_2 、 H_2O 为主, 个别还含有少量 CH_4 , 液相成分以 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 为主, 少量 K^+ 、 SO_4^{2-} 。综合研究表明: 本区矿床形成于晚寒武世末—早奥陶世初, 晚于赋矿地层寒武系第二统清虚洞组, 属于后生成矿。闪锌矿 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_i 值高于赋矿围岩, 与早寒武世海水的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值相近, 结合区域地层含矿性分析, 推测成矿物质可能来源于下伏寒武系牛蹄塘组黑色岩系; 成矿流体为中低温热卤水成因, 可能还混有其他热液来源, Pb、Zn 元素在成矿流体中以氯化物形式迁移的可能性较大。

关键词: Rb—Sr 等时线年龄; 流体包裹体; 铅锌矿床; 盘石—盘信地区; 贵州

中图分类号: P618.42; P618.43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-2552(2021)05-0772-10

Xie X F, Yang K G. Rb—Sr Isotope ages and fluid inclusion characteristics of Pb—Zn deposit and their prospecting significance in Panshi—Panxin region, eastern Guizhou Province. *Geological Bulletin of China*, 2021, 40(5): 772–781

Abstract: The Pb—Zn deposit in Panshi—Panxin area, located on the Western margin of Xuefeng Mountain and the junction of Yangtze block and Jiangnan orogenic belt, is relatively a typical one in Songtao area, East Guizhou. The Rb—Sr isochronal dating on sphalerite of main metallogenic period yields an age of 486 ± 3 Ma (MSWD=1.2) and ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_i = 0.70918 ± 0.00002 . The results of petrography, microthermometer and composition analysis on fluid inclusion in calcite show that the liquid-rich liquid-vapor-type fluid inclusions are the primary ones with a homogenization temperature of 277.23°C , and vapor phases are dominated by CO_2 and H_2O , with minor CH_4 .

收稿日期: 2019-11-13; **修订日期:** 2020-05-10

资助项目: 国家自然科学基金项目《黔东及其邻区早古生代构造变形及其对华南大陆再造的启示》(批准号: 41472190)、中国地质调查局项目《贵州铜仁松桃锰矿集区矿产地质调查》(编号: DD20190166-17)、《贵州铜仁松桃锰矿集区矿产地质调查(大湾区)》(编号: DD20190166-2020-09)、贵州省地质矿产勘查开发局地质科研专项项目《贵州松桃东部地区构造变形特征及其对铅锌矿的控制作用》(编号: 黔地矿科合[2015]01号)、《黔东松桃地区南华纪锰矿成矿流体特征研究》(编号: 黔地矿科合[2020]03号)

作者简介: 谢小峰(1986-), 男, 在读博士生, 高级工程师, 从事金属矿产地质勘查及研究工作。E-mail: jiansheng2865@126.com

present in individual fluid inclusion, and the ionic compositions are dominated by Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- and minor K^+ and SO_4^{2-} . The comprehensive studies show that the Pb—Zn deposit of this area was formed in the Late Cambrian to Early Ordovician, later than the country rock of Cambrian Second Series Qingxudong Formation, and indicate a genesis of epigenetic deposit. The $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ of sphalerite is higher than the wall rock, similar to the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio of Early Cambrian seawater. Based on the analysis of the ore-bearing potential of the regional strata, it is speculated that the metallogenic material is derived from the Cambrian Niutitang Formation black shale series. The ore-forming fluid is of medium and low temperature hot brine origin and may be mixed with other hydrothermal sources. It is more likely that Pb and Zn migrated in the ore-forming fluid in the form of chloride.

Key words: Rb—Sr isotope age; fluid inclusion; Pb—Zn deposits; Panshi—Panxin region; Guizhou Province

近年,在湘西—鄂西成矿带的花垣地区发现了超大型铅锌矿床,引起人们的广泛关注^[1-2]。黔东松桃盘石—盘信地区位于湘西—鄂西成矿带中南部,且与湘西花垣铅锌矿集区相邻(图1),已发现盘石耙耙寨、嗅脑、康金,盘信老屋场、团塘等铅锌矿点(床),但这些矿点(床)普遍规模不大,矿石品位不高,经济价值较小^[4-6]。李宗发^[4]、杨绍祥等^[7]、周云等^[8]、刘劲松等^[9]对该地区东部湘西地区铅锌矿成矿时代、成矿流体及矿床成因进行了研究,认为湘西地区铅锌矿成矿是多期的,但主要为加里东期成矿;而成矿流体为中低温、高盐度、高密度的热卤水流体,成矿物质主要来源于寒武系组芬兰统牛蹄塘组黑色岩系^[10-13]。通过对铅锌矿成矿地质背景研究,发现松桃盘石—盘信地区成矿地质条件与湘西地区相似,认为该区具有较大的找矿潜力,但从目前的找矿效果看,两者在成矿上还存在差异。为了查明这种成矿差异的原因,指导该地区进一步找矿工作,有必要开展本区铅锌矿成矿时代、成矿流体等方面的研究。本文对这2个问题进行探讨。

1 区域地质概况及矿床地质特征

1.1 区域地质概况

黔东松桃盘石—盘信地区位于雪峰山西缘,扬子地块东南缘与江南隆起带的结合部位,是以新元古界浅变质岩系为基底的复杂构造褶皱带。晋宁期武陵运动使基底遭受变形变质^[14-16]。

区域内主要出露一套浅海台地相碳酸盐岩地层,包括寒武系耙榔组、清虚洞组、高台组、石冷水组、娄山关组、毛田组,奥陶系桐梓组、红花园组、大湾组等。岩性主要为泥粉晶灰岩、粉晶白云岩、粉砂质页岩等。

研究区经历了多期构造运动的复合、叠加和改造,形成以 NNE—NE 向褶皱、断层为主体的构造格架,属中等—复杂构造变形区^[17-21]。加里东运动

使该区一度隆起,缺失上古生界泥盆系和石炭系。印支运动使该区隆升为陆,燕山运动使该区发生强烈变形,形成复杂的断褶带,喜山运动再次发生断块状差异性隆升^[22-23]。区域内褶皱主要为 NE 向盘山背斜,延伸约 9 km。断层构造较发育,三阳断层、红石断层、保侗玉断层控制了研究区的基本构造格架。此外,在 3 条大断层之间还发育龙塘沟断层、嗅脑断层、盘石断层及 NE 向的次级断层(图1)。区内岩浆活动不发育。

1.2 矿床地质特征

松桃盘石—盘信地区铅锌矿床多为矿点,如耙耙寨、团塘、老屋场等,个别能达到小型规模,如盘石嗅脑铅锌矿床。主要赋存于寒武系第二统清虚洞组藻灰岩中,少部分赋存于寒武系芙蓉统娄山关组白云岩中。矿体呈层状、似层状产出,部分产于大型断层旁侧次级断层、节理或裂隙中。

本文选取研究区北部盘石嗅脑铅锌矿床、南部盘信团塘和老屋场铅锌矿点作为研究对象,其特征如下。

(1) 盘石嗅脑铅锌矿床

赋矿层位主要为清虚洞组,岩性为藻灰岩,其次为娄山关组,岩性为白云岩。铅锌矿体产于清虚洞组第二段第二亚段($\epsilon_2 q^{2-2}$)的含藻灰岩中。含矿岩系自上而下分为 3 层:③为浅灰色厚层—块状藻泥粉晶灰岩,局部见砂屑、藻屑灰岩,该层灰岩具质纯、性脆、孔隙较发育等特征,厚 30~40 m;②为浅灰色厚层泥粉晶藻灰岩,岩石中见较多斑块状及斑点状的原生方解石及方解石细脉,应为成岩作用时期形成,同时可见浸染状、星点状闪锌矿、方铅矿,部分方铅矿、闪锌矿分布在方解石边缘,偶见草莓状黄铁矿(图2),厚 50~80 m;①为深灰色中层泥晶灰岩,厚 10~30 m。

矿体主要呈似层状、透镜状,部分矿体呈囊状,总体大致顺层产出,产状与围岩基本一致(图3),倾向 SE,倾角 $10^\circ \sim 31^\circ$ 。

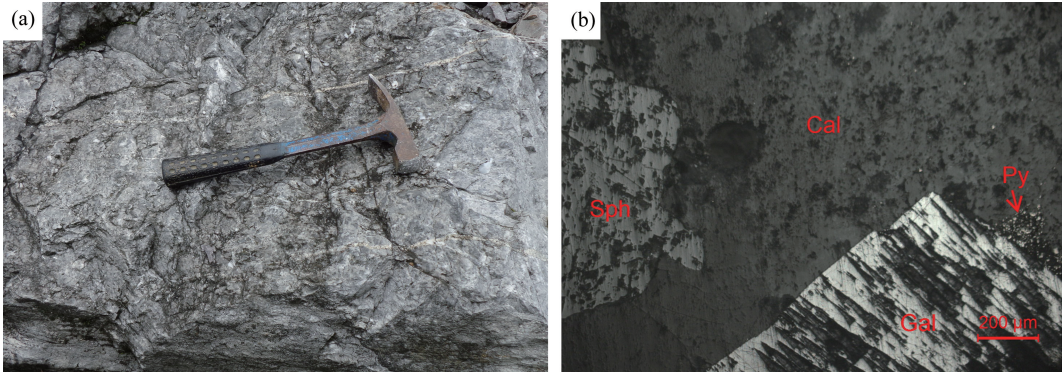


图 2 盘石嗅脑铅锌矿床清虚洞组含矿藻灰岩野外(a)及镜下(b,反射光 10×10)照片

Fig. 2 Field(a) and microscopic(b) photos of ore-bearing algal limestone of Qingxudong Formation in the Panshi Xiunao Pb-Zn deposit
Cal—方解石; Sph—闪锌矿; Gal—方铅矿; Py—黄铁矿

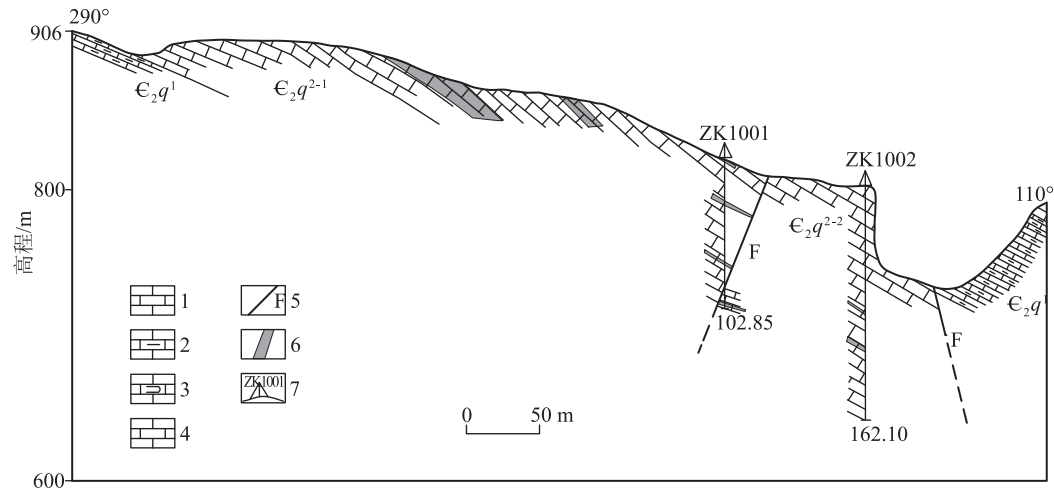


图 3 盘石嗅脑铅锌矿床 10 号勘探线剖面简图

Fig. 3 Geological section of the No.10 exploratory line of Panshi Xiunao Pb-Zn deposit
 ϵ_2q^{2-2} —清虚洞组第二段第二亚段; ϵ_2q^{2-1} —清虚洞组第二段第一亚段; ϵ_2q^1 —清虚洞组第一段;
1—灰岩; 2—泥灰岩; 3—豹皮状灰岩; 4—藻灰岩; 5—断层; 6—矿(化)体; 7—钻孔及编号

金属矿物主要为闪锌矿,其次为黄铁矿和方铅矿,非金属矿物主要为方解石,其次为白云石、重晶石等。矿石结构为自形-半自形结构、他形结构等,矿石构造为浸染状构造、条带状构造、块状构造、花斑状构造等。围岩蚀变主要为方解石化、白云石化,次为硅化、萤石化、沥青化及褪色化。该矿床矿石 Zn 品位为 0.5%~4.0%,Pb 品位变化较大,一般小于 0.5%,矿体厚度一般为 1~3.5 m,个别地段大于 5 m。

(2) 团塘铅锌矿点

铅锌矿矿化在藻灰岩分布的区域均存在,但主

要分布于团塘东部山坡坡顶,矿化集中于藻灰岩底部凹陷部位,铅锌矿体主要呈似层状、透镜状,规模较小,受 NE 向节理裂隙控制较明显,其产状与围岩基本一致,倾向 270°~300°,倾角 4°~20°,矿体具有分支复合、尖灭再现的特点。据工程采样分析,Pb 品位为 0.34%~2.99%,Zn 品位为 1.18%~3.12%,厚度为 0.48~3.95 m,矿石类型为硫化矿(图 4)^[3]。

(3) 老屋场铅锌矿点

受 NNE 向、NE 向断层及其次生断层控制较明显,矿体多呈透镜状、脉状产于断层破碎带中,控制铅锌矿的次级断层具有分支复合、尖灭再现的特

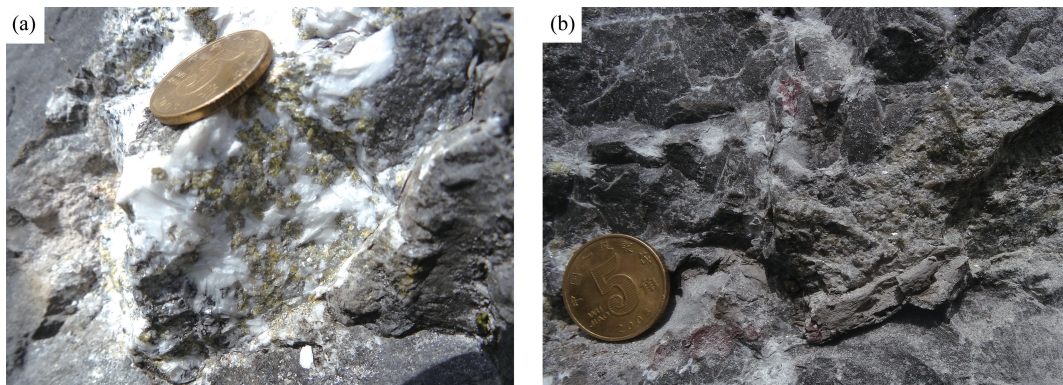


图4 盘信团塘-老屋场铅锌矿点浸染状铅锌矿照片

Fig. 4 The photos of disseminated Pb-Zn ores in the Tuantang-Laowuchang Pb-Zn deposit of Panxin

点。据工程采样分析,Pb 品位为 0.42%~1.89%,Zn 品位为 0.83%~2.11%,厚度为 0.65~6.47 m,矿石类型为硫化矿^[3]。

2 闪锌矿 Rb-Sr 等时线年龄

2.1 样品特征

本次用于 Rb、Sr 同位素定年的样品采自盘石嗅脑铅锌矿床和盘信团塘铅锌矿点,共 7 件样品,赋矿地层均为寒武系第二统清虚洞组第二段第二亚段含矿藻灰岩,取样位置见图 1。样品均为新鲜的含较多闪锌矿的矿石,属成矿阶段的矿物,主要蚀变为方解石化,少量硅化。样品矿物成分较简单,矿石矿物以闪锌矿为主,其次为方铅矿,脉石矿物主要为方解石。方解石以泥-微晶方解石为主,粒度介于 0.004~0.03 mm 之间,部分方解石粒度较大,最大可达 1 mm,相对集中分布;黄铁矿呈半自形-他形粒状,粒度小于 0.01 mm,呈星点状,或聚集成条带状分布;闪锌矿呈他形粒状集合体分布,集合体大小为 1~4 mm;方铅矿呈他形粒状集合体,集合体大小为 0.5~4 mm(图 2、图 4)。

众所周知,热液矿物 Rb-Sr 等时线定年的基本前提是同源、同时、封闭性、一致的 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 值,以及不同的 $(^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr})_i$ 值。本次用于测试的闪锌矿样品采自同一铅锌矿带局部较小的范围,选择铅锌矿石中不存在脉石矿物穿插、未见裂隙或少见裂隙发育,且结晶较好的斑状矿石作为研究对象,这类闪锌矿纯度较高,最大程度地满足了 Rb-Sr 同位素测年的同时、同源、封闭性和 Sr 初始值一致性的基本前提,同时样品位置不同保证其具有不同的

$(^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr})_i$ 值。

2.2 测试方法及结果

本次样品测试在中国地质调查局武汉地质调查中心同位素实验室完成。将已挑纯的闪锌矿样品放置稀 HCl 中浸泡 12 h,用超纯水清洗后,放入超纯水中用超声波机清洗 3~5 遍,烘干备用。称取适量闪锌矿样品,加入 $^{85}\text{Rb}+^{84}\text{Sr}$ 混合稀释剂,用适量王水溶解样品,采用阳离子树脂(Dowex50×8)交换法分离和纯化 Rb、Sr。同位素质谱分析在热电离子质谱仪 TRITON 上完成,用同位素稀释法计算样品中的 Rb、Sr 含量及铷同位素比值。在分析过程中,用 NBS987、NBS607 和 GBW04411 标准物质分别对仪器和分析流程进行监控,获得 NBS987 的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 同位素组成测定值为 0.71032 ± 0.00004 (2σ),NBS607 的 Rb、Sr 含量与 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值分别为 $\text{Rb} = 523.60 \times 10^{-6}$ 、 $\text{Sr} = 65.54 \times 10^{-6}$ 和 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 1.20050 \pm 0.00004$ (2σ);GBW04411 的 Rb、Sr 含量与 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值分别为 $\text{Rb} = 249.90 \times 10^{-6}$ 、 $\text{Sr} = 158.80 \times 10^{-6}$ 和 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.76009 \pm 0.00003$ (2σ),与其推荐值在误差范围内完全一致^[24-25]。同位素分析样品制备的全过程均在超净化实验室内完成,全流程 Rb、Sr 空白分别为 2×10^{-10} 和 5×10^{-10} 。等时线年龄计算采用 Isoplot 计算程序^[26]。衰变常数 λ 值为 $1.42 \times 10^{-11} \text{ a}^{-1}$,等时线回归计算时, $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 值误差为 3%, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值误差为 0.03%。

盘石-盘信地区 7 件闪锌矿样品 Rb、Sr 同位素测定结果见表 1。闪锌矿中 Rb 含量变化范围为 $0.0881 \times 10^{-6} \sim 0.1681 \times 10^{-6}$,Sr 含量变化范围为 $0.4607 \times 10^{-6} \sim 1.416 \times 10^{-6}$, $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 值变化范围为

表 1 盘石—盘信地区铅锌矿床闪锌矿 Rb、Sr 同位素分析结果

Table 1 Rb-Sr dating data of sphalerites from the Panshi-Panxin Pb-Zn deposit

样号	样品名称	Rb/ 10^{-6}	Sr/ 10^{-6}	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(1\sigma)$
PS-1	闪锌矿	0.1157	1.416	0.2357	0.71079 ± 0.00003
PS-2	闪锌矿	0.1677	0.8443	0.573	0.71318 ± 0.00004
PS-3	闪锌矿	0.1284	1.074	0.345	0.71159 ± 0.00002
PS-4	闪锌矿	0.0881	0.4607	0.5516	0.71300 ± 0.00004
PS-5	闪锌矿	0.1681	0.6278	0.7725	0.71451 ± 0.00005
PS-7	闪锌矿	0.09389	0.643	0.4211	0.71211 ± 0.00002
PS-13	闪锌矿	0.1381	1.399	0.2846	0.71114 ± 0.00002

$0.2357 \sim 0.7725$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值变化范围为 $0.71079 \pm 0.00003 \sim 0.71451 \pm 0.00005$ 。计算获得的等时线年龄为 $486 \pm 3 \text{ Ma}$ ($\text{MSWD} = 1.2$) (图 5), 地质时代为晚寒武世末—早奥陶世初, ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_i 值为 0.70918 ± 0.00002 , 7 件闪锌矿样品点显示出良好的线性关系, 该等时线具有实际地质意义, 可代表成矿阶段的年龄。晚于赋矿地层寒武系第二统清虚洞组年代, 表明该地区铅锌矿床属于后生成矿。

3 方解石流体包裹体特征

本次用于流体包裹体测试的样品采自盘石嗅脑矿床、盘信团塘和老屋场铅锌矿点, 共 8 件样品, 赋矿地层均为清虚洞组第二段第二亚段含矿藻灰岩, 样品均为新鲜的含方解石的矿石, 属主成矿阶段的矿物。方解石为白色、乳白色, 多以脉状、花斑状产出, 以泥—微晶方解石为主, 粒度多大于 0.05 mm , 部分方解石粒度较大, 最大可达 1 mm , 相对集中分布。

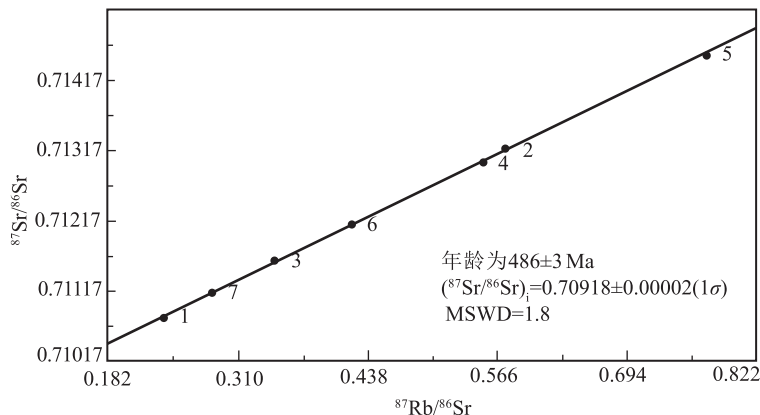


图 5 盘石—盘信地区铅锌矿床闪锌矿 Rb-Sr 同位素等时线

Fig. 5 Rb-Sr isochron of sphalerites from the Panshi-Panxin Pb-Zn deposit

3.1 流体包裹体岩相学特征

本次对方解石中的流体包裹体进行了详细的岩相学观察和描述(表 2)。从表 2 可以看出, 研究区方解石中流体包裹体类型以富液的气液两相包裹体为主, 气液比为 $5\% \sim 20\%$, 偶见含液态 CO_2 的三相包裹体。包裹体呈群状、线状和孤立状, 包裹体大小平均为 $4 \sim 8 \mu\text{m}$, 个别可达 $12 \mu\text{m}$, 多为近椭圆形, 也可见近方形、长条形。包裹体相态及分布特征见图 6, 均一相态绝大部分为液相。

3.2 均一温度

流体包裹体均一温度测试在中国地质大学(武汉)流体地质学实验室进行, 仪器为德国产 Leitz1350 显微热台。本次测试的流体包裹体主矿物均为方解石, 测温片为 8 个, 利用均一法对每个测温片中的原生包裹体进行测温, 平均测试个数为 $15 \sim 20$ 个, 然后取这些数据的平均值代表该样品的均一温度, 测试结果见表 2, 再利用本区所有包裹体均一温度做频率分布直方图(图 7)。从图 7 可以看出, 本区铅锌矿床流体包裹体均一温度范围为 $106 \sim 433^\circ\text{C}$, 平均值为 277°C 。因此, 本区铅锌矿床属于中低温热液矿床。

3.3 流体包裹体成分特征

流体包裹体成分测试在中国地质调查局武汉地质调查中心实验室完成, 其中包裹体气相成分测试仪器为气相色谱仪(GC-2014C); 包裹体液相成分 F^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Br^- 测试方法为离子色谱法(DIONEX ICS-3000), 包裹体液相成分 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Li^+ 测试方法为原子吸收光谱法(日立 Z-2300)。流体包裹体成分测试选取盘石—盘信地区铅锌矿床中的脉石矿物方解石样品 5 件, 流体包裹体气液相成分测试分析结果见表 3。

从表 3 可以看出, 本区流体包裹体气相成分以 CO_2 、 H_2O 为主, 个别还含有少量 CH_4 , 暗示可能有古油气参与成矿活动; 液相成分以 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 为主, 少 K^+ 、 SO_4^{2-} , 根据前人研究成果^[27-28], 上述离子为主的成矿热液有较强的溶解成矿物质的能力。包裹体液相成分中, $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$, 推测 Pb、Zn 元素在成矿流体中以氯化物形式迁移的可能性较大。

表 2 盘石—盘信地区铅锌矿床方解石的流体包裹体岩相学特征及均一温度
Table 2 Petrographic characteristics and homogenization temperature of fluid inclusions
calcite from the Panshi and Panxin Pb-Zn deposit

样号	取样位置	层位	包裹体类型	包裹体形态	大小 /μm	测温 个数	气液比 /%	均一温 度/℃
LT-1	盘石嗅脑	ϵ_2q^{2-2}	气液包裹体	近椭圆-椭圆形	4~10	16	5~20	304.53
LT-2	盘石嗅脑	ϵ_2q^{2-2}	气液包裹体	近椭圆-近方形	4~8	18	5~15	267.56
LT-3	盘信团塘	ϵ_2q^{2-2}	气液包裹体	近椭圆-近方形	4~8	16	3~15	280.92
LT-4	盘信团塘	ϵ_2q^{2-2}	气液包裹体	近椭圆-近方形	3~6	14	5~10	260.29
LT-6	盘信团塘	ϵ_2q^{2-2}	气液包裹体	近椭圆-长条形	4~10	16	5~20	246.13
LT-7	盘信团塘	ϵ_2q^{2-2}	气液包裹体	近方形	3~4	10	5~20	276.80
LT-8	盘信老屋场	ϵ_2q^{2-2}	气液包裹体	近椭圆-长条形	2~6	10	5~20	255.20
LT-15	盘石嗅脑	ϵ_2q^{2-2}	气液包裹体	近椭圆-长条形	4~12	15	5~15	284.64

注： ϵ_2q^{2-2} —清虚洞组第二段第二亚段

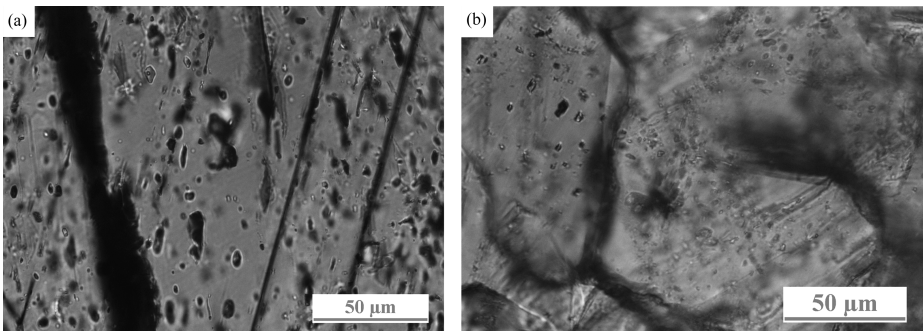


图 6 盘石—盘信地区铅锌矿床方解石流体包裹体显微镜下特征

Fig. 6 Microscopic photos of fluid inclusions in calcite from the Panshi and Panxin Pb-Zn deposit
a—LT-2 原生气液包裹体;b—LT-3 原生气液包裹体

表 3 盘石—盘信地区铅锌矿床方解石流体包裹体组成
Table 3 Gas-phase composition of fluid inclusions in calcite from the Panshi and Panxin Pb-Zn deposit

样号	取样位置	H ₂ O	CO ₂	CO	CH ₄	H ₂	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Li ⁺	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Br ⁻
LT-1	盘石嗅脑	75.51	39.96	≤0.01	1.13	≤0.01	0.12	7.72	30.62	0.97	≤0.01	≤0.01	14.64	0.04	≤0.01
LT-2	盘石嗅脑	106.15	64.14	≤0.01	0.09	≤0.01	0.98	12.11	14.55	0.65	0.02	≤0.01	28.75	0.69	0.02
LT-4	盘信团塘	72.76	37.79	≤0.01	25.78	≤0.01	1.21	9.06	11.38	6.97	0.05	≤0.01	25.41	0.04	0.02
LT-8	盘信老屋场	54.26	23.19	≤0.01	1.56	≤0.01	≤0.01	1.80	15.03	0.74	0.03	≤0.01	3.93	0.39	≤0.01
LT-15	盘石嗅脑	51.66	21.14	≤0.01	≤0.01	≤0.01	≤0.01	1.85	18.12	2.10	≤0.01	0.04	4.69	2.62	0.06

4 讨 论

4.1 成矿年代

研究区位于湘西黔东铅锌矿集区,前人在该区也做过相关年代学研究。李宗发^[4]、王华云^[5]对湘西黔东地区铅锌矿床的矿石铅同位素组成进行研

究时发现,北起湘西花垣鱼塘,南至黔南都匀牛角塘、荔波古鲁铅锌矿床矿石铅同位素组成十分相似,并计算出矿石铅从矿源铀铅体系中分离出去的时期为加里东晚期。刘劲松等^[9]通过对比黔东湘西地区铅锌矿与古油藏的时空分布关系,提出黔东都匀—湘西花垣一带的铅锌矿形成于加里东中晚期。

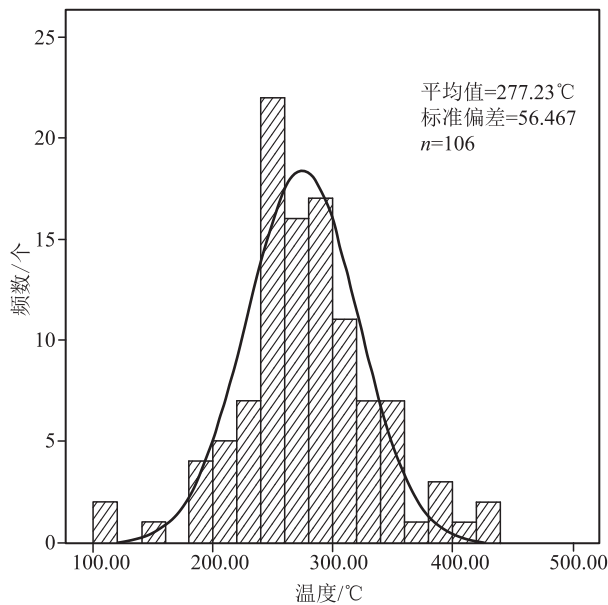


图7 盘石—盘信地区铅锌矿床方解石流体包裹体均一温度直方图
Fig. 7 Homogenization temperature histogram of fluid inclusions in calcite from the Panshi and Panxin Pb-Zn deposit

段其发等^[24]获得湘西“花垣式”铅锌矿床的 Rb-Sr 等时线年龄为 410 ± 12 Ma, 形成于早泥盆世。杨红梅等^[25]在研究黔东铜仁卜口场铅锌矿床时做过闪锌矿 Rb-Sr 定年研究, 测得清虚洞组中闪锌矿的 Rb-Sr 等时线年龄为 483~466 Ma。

从湘西黔东地区前人做的铅锌矿床成矿年龄看, 该区铅锌矿成矿是多期的, 大体分为加里东期成矿和海西期成矿。本文测得的年龄数据 (486 ± 3 Ma) 与杨红梅等^[22]的研究结果一致, 反映黔东松桃盘石—盘信地区铅锌矿成矿时代为加里东期。

4.2 成矿流体

李宗发^[4]在研究湘西黔东地区铅锌矿成矿流体时认为, 本区铅锌矿床为以锌为主的沉积改造型铅锌矿床, 成矿流体为中低温热卤水流体, 成矿金属物质以幔源为主, 壳幔混合。周云等^[29]对研究区东部的湘西地区“花垣式”铅锌矿床做过成矿流体研究, 认为“花垣式”铅锌矿床成矿流体属于低温、高盐度、高密度的地下热卤水成矿溶液, 后期可能有雨水和变质水的加入, 矿物包裹体中含有有机质及 CH_4 和 CO_2 。

从流体包裹体成分的比值判断矿床成矿流体物质来源, 前人也做了大量的研究^[27-28], 普遍认为当 $\text{Na}^+/\text{K}^+ < 2$, $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} > 4$ 时, 为岩浆热液

型; 当 $\text{Na}^+/\text{K}^+ > 10$, $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} < 1.5$ 时, 为热卤水型; 当 $2 < \text{Na}^+/\text{K}^+ < 10$, $1.5 < \text{Na}^+/\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} < 4$ 时, 可能为层控热液型或是沉积型。本区 $\text{Na}^+/\text{K}^+ > 10$ 及 $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} < 1.5$ (表 4), 结合 Cl^- 值高, F^-/Cl^- 值低等特点, 可以判断本区流体为热卤水成因, 可能还混有其他热液来源。

4.3 成矿物质来源

在矿床地质研究中, $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 值常被用来示踪成矿物质来源、岩浆流体、深源流体的壳幔混染作用^[30]。研究区铅锌矿床闪锌矿 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 值为 0.70918 ± 0.00002 , 略大于同期海相碳酸盐 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值 ($0.70886 \sim 0.70921$)^[31], 暗示成矿物质来源于相对富放射性成因 Sr 的源区或成矿流体曾经流经富放射性成因 Sr 的地质体。前人研究表明, 区域上寒武系清虚洞组、娄山关组等地层中成矿元素 Pb、Zn 含量普遍较低, 而下伏的牛蹄塘组炭质页岩中 Pb、Zn 含量较高^[6, 32-33], 可构成本区铅锌矿的矿源层。同时, 研究区铅锌矿床闪锌矿 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 值较接近于早寒武世海水的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值 (0.709178)^[34], 进一步印证了这一点。

4.4 成矿意义

本次铅锌矿床流体包裹体的研究, 揭示本区铅锌矿床成矿流体温度为中低温, 流体为热卤水成因, 可能还混有其他热液来源, 推测 Pb、Zn 元素在成矿流体中以氯化物形式迁移的可能性较大。这不仅补充和完善了本区在成矿流体方面研究的不足, 而且反映本区成矿流体性质与湘西地区基本类似, 但也有一定区别, 如本区成矿流体温度比湘西地区略高, 成矿期次略有不同。

本次获得的铅锌矿床成矿年龄, 结合前人在邻区运用 Rb-Sr 法测得的铅锌矿的年龄, 揭示黔东—

表 4 盘石—盘信地区铅锌矿床方解石的流体包裹体特征成分比值

Table 4 Composition ratio of fluid inclusion in calcite from the Panshi and Panxin Pb-Zn deposit				
样号	Na^+/K^+	$\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$	$\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$	F^-/Cl^-
LT-1	64.33	0.25	0.24	极低
LT-2	12.36	0.83	0.80	极低
LT-4	7.49	0.80	0.49	极低
LT-8	—	0.12	0.11	极低
LT-15	—	0.10	0.09	0.01

湘西地区铅锌矿床主要在加里东期成矿,表明该区普遍存在加里东期中低温热液成矿作用。这次成矿作用可能与加里东运动后的伸展断陷作用引起的盆地流体大规模运移有关,对于今后在研究区及邻区的找矿方向具有一定理论指导意义,即加里东期形成的地质构造及热液活动产物在找矿工作中是不可忽视的因素。

5 结 论

(1)黔东松桃盘石—盘信地区铅锌矿床主成矿阶段闪锌矿 Rb-Sr 等时线年龄为 486 ± 3 Ma,表明矿床形成于晚寒武世末—早奥陶世初,晚于赋矿地层寒武系第二统清虚洞组,反映后生成矿特点。

(2)闪锌矿($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_i 值为 0.70918 ± 0.00002 ,高于赋矿围岩,与早寒武世海水($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)值相近,揭示成矿物质很可能来源于下伏寒武系底部牛蹄塘组黑色岩系。

(3)成矿流体为中低温热卤水性质,可能还混有其他热液来源,Pb、Zn 元素在成矿流体中以氯化物形式迁移的可能性较大。

致谢:在野外调查、资料收集及整理过程中,贵州省地矿局 103 地质大队潘文总工程师、蒋天锐研究员、袁良军研究员、左勇硕士、杨俊华助理工程师、雷永昌高级工程师及田莉萍高级工程师,中国地质大学(武汉)张国印硕士等给予了大力帮助;在实验测试中,中国地质大学(武汉)流体地质学实验室、武汉地质调查中心实验室的相关老师付出了辛勤劳动;在论文撰写及成稿过程中,中国地质大学(武汉)孙华山老师提出了许多宝贵意见及建议,对本文全程指导;此外还得到中国地质大学(武汉)姚书振、丁振举和皮道会老师的帮助,在此一并感谢。

参考文献

- [1] 吕承训,高伟利,张达,等.湖南花垣铅锌矿藻灰岩相层状角砾岩地质特征与矿化阶段划分[J].地质通报,2020,39(11): 1740-1751.
- [2] 高伟利,吕古贤,薛长军,等.湘西花垣铅锌矿田成矿构造系统与成矿规律[J].地质通报,2020,39(11): 1759-1772.
- [3] 谢小峰,杨坤光,潘文,等.贵州松桃东部盘石—盘信地区构造特征及其对铅锌矿的控制作用[J].化工矿产地质,2018,40(2): 65-70.
- [4] 李宗发.湘西黔东地区铅锌矿成因初步探讨[J].贵州地质,1991,29(4): 363-371.
- [5] 王华云.贵州铅锌矿的地球化学特征[J].贵州地质,1993,10(4): 272-290.
- [6] 陈国勇,安琪,范玉梅.黔东地区铅锌矿地质特征及成矿作用分析[J].贵州地质,2005,22(4): 252-259.
- [7] 杨绍祥,劳可通.湘西北铅锌矿床的地质特征及找矿标志[J].地质通报,2007,26(7): 899-908.
- [8] 周云,段其发,彭三国,等.湘西花垣地区铅锌成矿规律及矿床成因探讨[J].矿物学报,2011,31(S1): 234-235.
- [9] 刘劲松,邹先武,汤朝阳,等.湘西黔东地区铅锌矿床与古油藏关系初探[J].华南地质与矿产,2012,28(3): 220-225.
- [10] 李胜苗.湘西北地区铅锌矿成矿规律与成矿预测研究[D].中国地质大学(北京)博士学位论文,2016.
- [11] 谢小峰,潘文,蒋天锐.黔东松桃盘石—盘信地区铅锌矿成矿地质条件分析[J].地质论评,2016,62(S): 355-356.
- [12] 赵爽,潘文,杨胜堂,等.湘西—黔东北地区下寒武统铅锌矿床地质特征及成因探讨[J].贵州地质,2016,33(4): 257-264.
- [13] 李堃,段其发,赵少瑞,等.湖南花垣铅锌矿床成矿物质来源与成矿机制——来自 S、Pb、Sr 同位素的证据[J].地质通报,2017,36(5): 811-822.
- [14] 戴传固,陈建书,卢定彪,等.黔东及邻区武陵运动及其地质意义[J].地质力学学报,2010,16(1): 78-84.
- [15] 孙海清,黄健中,郭乐群,等.湖南冷水溪群划分及同位素年龄约束[J].华南地质与矿产,2012,28(1): 20-26.
- [16] 孟庆秀,张健,耿建珍,等.湘中地区冷水溪群和板溪群锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素特征及对华南新元古代构造演化的意义[J].中国地质,2013,40(1): 191-216.
- [17] 秦松贤,孟德保.湘黔边境加里东板内造山期后正向滑脱构造与成矿[J].地质科技情报,2004,23(3): 11-15.
- [18] 杜远生,徐亚军.华南加里东运动初探[J].地质科技情报,2012,31(5): 43-49.
- [19] 杨坤光,李学刚,戴传固,等.断层调整与控制作用下的叠加构造变形:以贵州地区燕山期构造为例[J].地质科技情报,2012,31(5): 50-56.
- [20] 张国伟,郭安林,王岳军,等.中国华南大陆构造与问题[J].中国科学:地球科学,2013,43(10): 1553-1582.
- [21] 谢小峰,杨坤光,袁良军.黔东地区“大塘坡式”锰矿研究现状及进展综述[J].贵州地质,2015,32(3): 171-176.
- [22] 金宠.雪峰陆内构造系统逆冲推滑体系[D].中国海洋大学博士学位论文,2010.
- [23] 李三忠,王涛,金宠,等.雪峰山基底隆升带及其邻区印支期陆内构造特征与成因[J].吉林大学学报(地球科学版),2011,41(1): 93-105.
- [24] 段其发,曹亮,曾健康,等.湘西花垣矿集区狮子山铅锌矿闪锌矿 Rb-Sr 定年及地质意义[J].地球科学——中国地质大学学报,2014,39(8): 977-999.
- [25] 杨红梅,刘重瓦,段瑞春,等.贵州铜仁卜口场铅锌矿床 Rb-Sr 与 Sm-Nd 同位素年龄及其地质意义[J].大地构造与成矿学,2015,39(5): 855-865.
- [26] Ludwig K R. ISOPLOT 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel [J]. Berkeley Geochronology Center, California, Berkeley, 2003: 1-39.
- [27] 张德会.矿物包裹体液相成分特征及其矿床成因意义[J].地球科

- 学——中国地质大学学报,1992,17(6): 677-688.
- [28] 李成禄.山西省繁峙县义兴寨石英脉型金矿成因矿物学研究 with 深部预测[D].中国地质大学(北京)博士学位论文,2009.
- [29] 周云,段其发,唐菊兴,等.湘西地区铅锌矿的大范围低温流体成矿作用——流体包裹体研究[J].地质与勘探,2014,50(3): 515-532.
- [30] 侯明兰,蒋少涌,姜耀辉,等.胶东蓬莱金成矿区的 S-Pb 同位素地球化学和 Rb-Sr 同位素年代学研究[J].岩石学报,2006,22(10): 2525-2533.
- [31] 周云,段其发,陈毓川,等.湘西花垣铅锌矿田成矿物质来源的 C、O、H、S、Pb、Sr 同位素制约[J].地质学报,2016,90(10): 2786-2802.
- [32] 汤朝阳,邓峰,李堃,等.湘西—黔东南地区早寒武世沉积序列及铅锌成矿制约[J].大地构造与成矿学,2012,36(1): 111-117.
- [33] 雷义均,戴平云,段其发,等.鄂西—湘西北地区铅锌矿矿源层对铅锌矿层产出定位的制约[J].桂林理工大学学报,2013,33(1): 1-6.
- [34] 黄思静,石和,毛晓东,等.重庆秀山寒武系锶同位素演化曲线及全球对比[J].地质论评,2002,48(5): 509-516.

《地质通报》第 40 卷第 6 期要目预告

- 西南三江造山带早古生代岩浆事件及其大地构造意义 尹福光等
- 东北地区前中生代花岗岩类年代学与时空分布 陈会军等
- 东南沿海燕山期火山活动旋回划分及其成矿规律 余明刚等
- 昭苏县北高铝玄武岩的时代、岩石学和地球化学:西天山早石炭世汇聚板块构造的标志 李智佩等
- 海南三亚中元古代变质砾岩的发现及构造意义 赵小明等
- 蒙古-鄂霍茨克洋南向俯冲:小兴安岭西北部“落马湖群”中三叠世岩浆记录 付俊或等
- 龙江盆地西缘中侏罗世孢粉植物群及其古环境意义 张渝金等
- 南秦岭随枣地块耀岭河组双峰式火山岩:对扬子克拉通北缘大陆裂解过程的约束 吴年文等
- 内蒙古北山地区石板井韧性剪切带西段变形特征及年代学约束 张欢等
- 甘孜-理塘俯冲增生杂岩带龙蟠蛇绿岩年龄、地球化学特征及其构造意义 任飞等
- 典型地区基础地质图智能编图实践——以北山地区 1:25 万甜水井幅为例 陈圆圆等
- 基于 ArcGIS 南通市农业生产适宜性评价 林燕等
- 基于多元知识和编图模型的智能地质编图技术及其应用 黄辉等
- 喀拉昆仑山太白山稀土-铌-铁钛多金属矿化带地质特征及矿床成因 王辉等
- 海南省琼中县花岗岩地区含水层电性特征及地下水赋存规律 齐信等