

文章编号: 1000-4734(2017)04-0469-06

滇东富乐铅锌矿区及外围闪锌矿流体包裹体特征

念红良¹, 崔银亮^{2*}, 李珍立³, 贾福聚⁴, 陈伟¹, 杨树祥¹, 杨卓¹

(1. 云南省有色地质局 三一七队, 云南 曲靖 655000; 2. 云南省有色地质局, 云南 昆明 650051; 3. 中国科学院 地球化学研究所 矿床地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002; 4. 昆明理工大学, 国土资源工程学院, 云南 昆明 650093)

摘要: 云南罗平富乐铅锌矿是川滇黔铅锌成矿域内赋矿层位最新的大型铅锌矿床, 成矿流体研究薄弱, 铅锌成矿作用过程的认识缺少实际地球化学依据。对该矿床及邻近矿点中闪锌矿流体包裹体的研究表明, 该区矿床(点)闪锌矿中流体包裹体以气液相包裹体为主, 其次为含子矿物多相包裹体, 显微测温获得闪锌矿流体包裹体均一温度主要分布在 120~160 °C 和 180~210 °C 两个区间, 盐度分布在 4%~10% 和 16%~22% 两个区间, 矿区存在低温和中温两类成矿流体, 该类流体属于少量油田水混入的 Na⁺-Mg²⁺-SO₄²⁻-Cl⁻ 型流体, 结合富乐矿区矿体及矿石组构特征分析, 该区成矿流体具有低温和中温流体混合特征, 在成矿流体混合部位形成富厚矿体。该成果为认识该区铅锌成矿作用提供了新的地球化学证据。

关键词: 流体包裹体; 显微测温; 闪锌矿; 富乐铅锌矿床; 滇东

中图分类号: P579; P599; P618.401

文献标识码: A

doi: 10.16461/j.cnki.1000-4734.2017.04.014

作者简介: 念红良, 男, 1974 年生, 高级工程师, 硕士, 主要从事地质矿产勘查工作. E-mail: nhlynqj@163.com

Features of Sphalerite-Hosted Fluid Inclusions of Fule Lead-Zinc Mining Area and Outskirts in Luoping Area, Eastern Yunnan Province, China

NIAN Hong-liang¹, CUI Yin-liang^{2*}, LI Zheng-li³, JIA Fu-ju⁴, YANG Shu-xiang¹, CHENG Wei¹, YANG Zhuo¹

(1. No.317 Geological Part, Yunnan Nonferrous Metals Geological Bureau, Qujing 655000, China; 2. Yunnan Nonferrous Metals Geological Bureau, Kunming 650051, China; 3. State Key Laboratory of Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry Chinese Academy of Science, Guiyang 550002, China; 4. Department of Earth Science, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

Abstract: This paper focuses on sphalerite-hosted fluid inclusions from Fule lead-zinc deposit and outskirts in Luoping County; liquid-vapors fluid inclusions are the main types for the microscopic observation. Ore-forming fluid is mixed with little oil-field water, and is bearing Na⁺-Mg²⁺-SO₄²⁻-Cl⁻ fluids. The homogenization temperature is mainly in the ranges of 120–160 °C and 180–210 °C; the salinity has two peaks at low salinity(4%–10% NaCl_{eq}) and high salinity(16%–22% NaCl_{eq}). Those results reflect that mining area has a mixture of medium- and low-temperature fluid. Combining the characteristic of the ore-body and fabric of minerals, two types of the ore-forming fluids are forming rich ore-body by mixture action. Results provide new geochemical evidence for understanding lead-zinc mineralization in the area.

Keywords: fluid inclusions; Microscopy test; Sphalerite; FulePb-Zn deposit; Eastern Yunnan

滇东罗平富乐铅锌矿区是川滇黔铅锌成矿域内代表性大型铅锌矿床之一, 具有 300 多年开采历史, 矿床以其赋矿层位新(中二叠统阳新组)和富含 Cd、

Ga、Ge、Se 等分散元素为特征^[1-7], 属于典型富含分散元素铅锌矿床。以往研究集中于该矿床的地质特征、成矿条件、找矿预测^[1-3]和地球化学特征^[4-7]

收稿日期: 2017-04-01

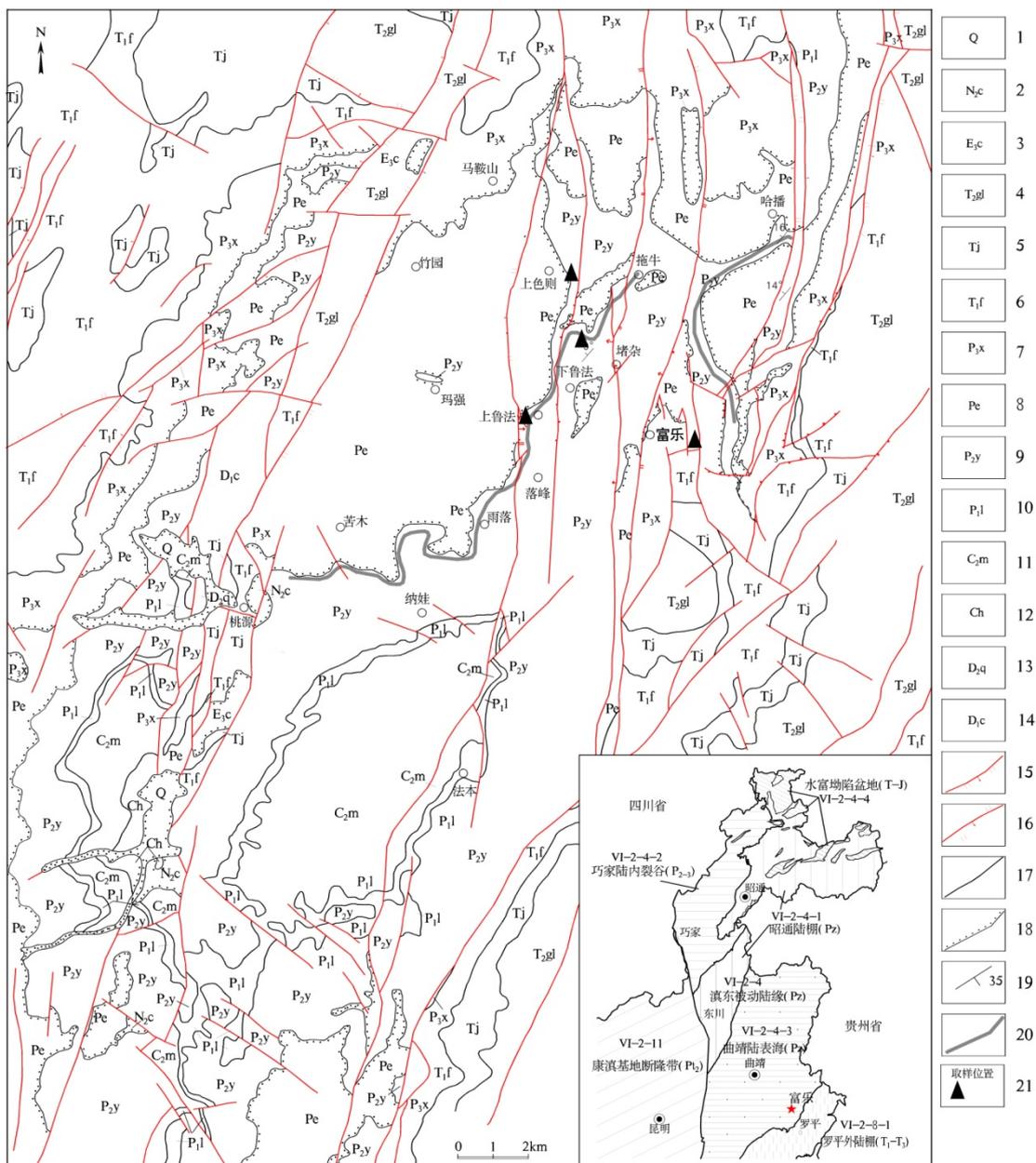
基金项目: 国家自然科学基金重点项目(批准号: 41430315); 973 项目(编号: 2014CB440900)

* 通讯作者, E-mail: cy1186@163.com

等方面，成矿流体研究仅局限于富乐矿区少量白云石、方解石、闪锌矿中流体包裹体的研究^[1,6]，对认识富乐矿床成矿流体性质等作用有限，缺乏与区内其他同类型铅锌矿床（点）的对比。本文通过对富乐矿区及邻近的上色则、拖牛和上鲁法铅锌矿体中矿石矿物闪锌矿流体包裹体特征及显微测温对比研究，并结合前人研究成果，为认识富乐铅锌矿区内的铅锌成矿流体特征，探讨该区铅锌成矿作用提供新的依据。

1 矿床地质特征

富乐铅锌矿区位于扬子陆块区（VI）之二级构造单元上扬子古陆块（VI-2）之三级构造单元滇东被动陆缘（VI-2-4）曲靖陆表海（VI-2-4-3）南部弥勒—师宗断裂北西侧北东向的法本背斜北东端（图1），出露地层主要为第四系、上新统茨营组、渐新统蔡家冲组、中三叠统关岭组、下三叠统嘉陵江组、下三叠统飞仙关组、上二叠统宣威组、上二叠统峨



1.第四系； 2.上新统茨营组； 3.渐新统蔡家冲组； 4.中三叠统关岭组； 5.下三叠统嘉陵江组； 6.下三叠统飞仙关组； 7.上二叠统宣威组； 8.上二叠统峨帽山玄武岩组； 9.中二叠统阳新组； 10.下二叠统梁山组； 11.上石炭统马平组； 12.上石炭统系黄龙组； 13.中泥盆统曲靖组； 14.下泥盆统翠峰山组； 15.实测正断层； 16.实测逆断层； 17.整合地质界线； 18.不整合地界线； 19.地层产状； 20.铅锌矿化层； 21.取样位置

图1 富乐铅锌矿区地质略图
Fig. 1. Geological sketch map of Fule Pb-Zn deposit.

帽山玄武岩组、中二叠统阳新组、下二叠统梁山组、上石炭统马平组、石炭系黄龙组、中泥盆统曲靖组、下泥盆统翠峰山组。

矿区铅锌矿体赋矿地层为中二叠统阳新组, 岩性为白云岩夹灰岩。矿区构造格架以北东向展布的背斜与北东向、近南北向断裂小角度斜交为特征, 其中近南北和北东向断裂对区域内铅锌矿化的形成、分布与富集起着十分重要的控制作用。区域内出露的岩浆岩主要为晚二叠世峨嵋山玄武岩。

目前, 该区铅锌矿床(点)众多, 包括富乐大型矿床及上色则、拖牛和上鲁法等矿床(点)。总体上, 该区铅锌矿体呈透镜状、似层状、囊状、脉状赋存于中二叠统阳新组中, 矿体沿层间裂隙及断裂产出, 矿体在空间上具多层“错位”产出特征。矿区内矿石矿物成份较复杂, 金属矿物主要为闪锌矿和方铅矿, 含少量黄铁矿、异极矿与菱锌矿, 及微量黄铜矿及黝铜矿等。脉石矿物以白云石和方解石为主, 含少量萤石与石英。矿石结构主要为自形-它形不等粒结构, 其次有交代残余结构、溶蚀、粒状结构, 矿石构造主要为浸染状构造、致密块状构造、网脉状构造、角砾状构造、斑点状、蜂窝状和土状构造。本区与铅锌矿化关系密切的围岩蚀变主要为白云石化和方解石化。

2 流体包裹体特征

测试样品采自富乐矿床(不同中段)及邻近的上色则、拖牛和上鲁法铅锌矿化点(图1)的闪锌矿。流体包裹体岩相学研究、显微测温及拉曼光谱分析在中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室完成。流体包裹体分析仪器为 Linkam THMSG 600 型冷热台, 测温范围-196~600 °C, 冷冻数据和加热数据精度分别为 0.1 °C 和 2 °C。拉曼

分析仪器为英国 Renishaw 公司生产的 inVia Reflex 型显微共聚焦激光拉曼光谱仪, 光源为 Spectra-Physics 氩离子激光器, 波长 514.5 nm, 激光的功率为 20 mW, 空间分辨率 1~2 μm, 积分时间为 30~60 s, 100~4000 cm⁻¹ 全波段一次取峰, 激光束斑为 1 μm, 光谱分辨率 2 cm⁻¹。

2.1 包裹体类型及特征

富乐矿区及邻近矿点显微镜下观察结果表明, 闪锌矿中包裹体众多, 成群分布, 多呈长条形或近圆形, 其大小主要在 2~8 μm 之间, 少数可以达到 10~20 μm, 以气液包裹体为主, 少量含子矿物多相包裹体。根据在室温下对包裹体的形态特征的观察, 并结合包裹体富含组分, 将包裹体分为以下 2 种类型^[8]:

(1) 气液相包裹体: 液相占包裹体体积 50% 以上, 由气液两相组成, 形态多呈多边形(图 2A 和 B)或长条形(图 2C), 偶见近圆形, 包裹体大小变化大, 1~25 μm, 该类包裹体占总包裹体的百分比约为 95%, 气相百分数为 5%~40%, 加热时均一到液相, 该类包裹体多数与富气相包裹体共生并成群分布(图 2B 和 D), 液体成分主要为 H₂O。

(2) 含子矿物的多相包裹体: 由气相+液相+固相组成, 形态多呈近椭圆形、不规则形(图 2A), 大小约为 2~10 μm, 子矿物多呈立方体晶型, 可能为 NaCl 子矿物, 但相对少见, 可能暗示富乐矿床成矿流体存在高盐度成分。

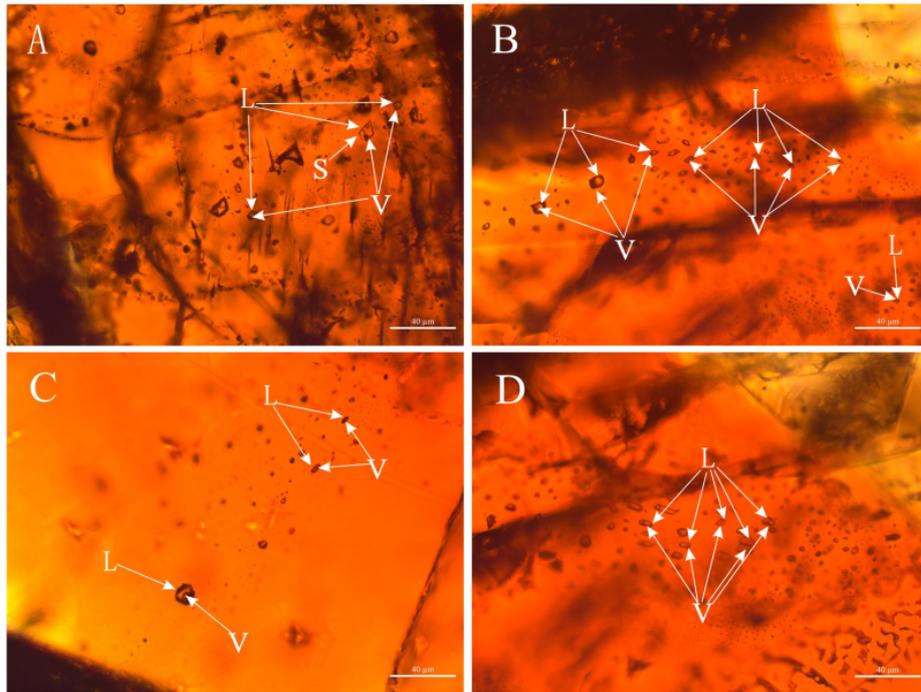
2.2 流体包裹体均一温度、盐度

通过包裹体显微测温, 获得富乐和周围矿点的温度和盐度结果(表 1), 其中盐度计算采用公式^[14] $w(\text{NaCl}_{\text{eq}}) = 0.00 + 1.78 t_m - 0.0442 t_m^2 + 0.000557 t_m^3$ 计算

表 1 富乐矿床及邻近矿点闪锌矿中包裹体均一温度及盐度

Table 1. Homogenous temperature and salinity of sphalerite-hosted fluid inclusions in Fule lead-zinc mining area and outskirts

类型	富乐矿床				矿化点(由北往南)			
样号	B-8	FL14-44	FLE-2	1450-2	SSZ-06	TL-08	SLF-02	
矿床/矿点	富乐	富乐	富乐	富乐	上色则	拖牛	上鲁法	
中段(m)	1536	1450	1450	1450				
矿物颜色	浅黄色	红褐色	红褐色	红褐色	黄褐色	棕褐色	红褐色	
均一温度/°C	最小	111.3	127.5	127.2	121.6	150.7	106.0	113.9
	最大	181.2	207.4	231.9	176.1	173.0	215.0	159.5
	平均	142.3 (N=19)	170.7 (N=20)	176.3 (N=19)	142.2 (N=26)	138.4 (N=13)	138.6 (N=20)	142.9 (N=19)
盐度/%	最小	15.6	3.9	2.2	4.0	1.2	2.1	0.2
	最大	20.5	9.5	9.9	22.0	23.2	24.7	21.5
NaCleq	平均	18.4 (N=20)	5.9 (N=20)	5.3 (N=18)	12.8 (N=23)	19.1 (N=7)	15.6 (N=25)	8.0 (N=14)

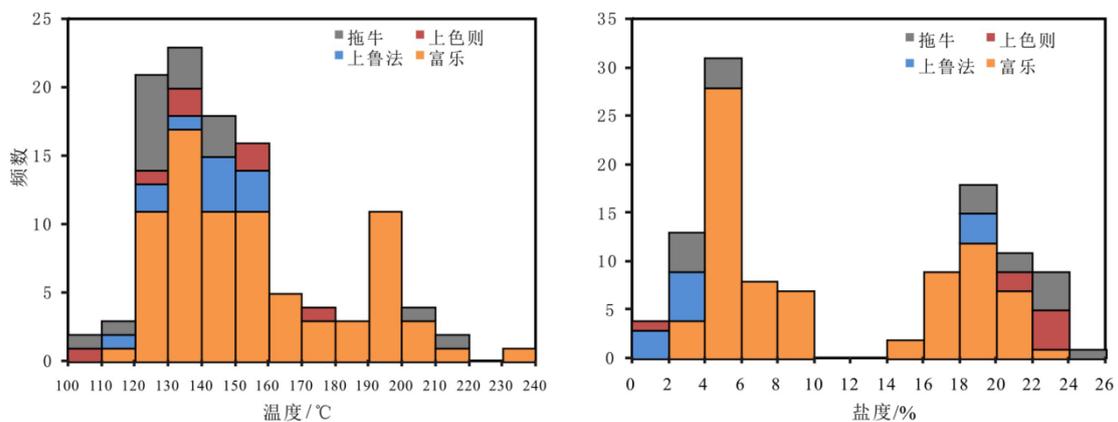


L-液体成分, V-气体成分, S-子矿物

A. 闪锌矿中多边形气液包裹体及含子晶气液包裹体; B. 闪锌矿中成群分布的气液相包裹体;
C. 闪锌矿中气液相包裹体(右上)和近圆形孤立分布的包裹体(左下); D. 闪锌矿中成群分布的气液包裹体

图 2 闪锌矿中包裹体

Fig. 2. Feature of sphalerite-hosted fluid inclusions.



a. 富乐地区闪锌矿包裹体温度直方图; b. 富乐地区闪锌矿包裹体盐度直方图

图 3 闪锌矿中包裹体均一温度、盐度直方图

Fig. 3. Distributions of sphalerite-hosted fluid inclusions' homogenous temperature and salinity.

(t_m 为冰点温度)。结果表明(表 1, 图 3), 该区铅锌矿床(点)中闪锌矿流体包裹体均一温度主要分布在 120~160 °C, 平均 140 °C 和 180~210 °C, 平均 200 °C (图 3a), 流体盐度分布在 4%~10%, 平均 5% 和 16%~22%, 平均 19% (图 3 b)。测试结果在盐度-温度关系图(图 4)中可以看出, 富乐地区铅锌成矿流体温度和盐度的投影点分布于 2 个区域, 尽管温度差别不大, 但盐度差别较明显, 表

明该区铅锌成矿流体以中低温为主, 但可能存在低盐度和高盐度 2 类流体。

2.3 流体成分

从拉曼光谱的分析结果(图 5)可以看出, 富乐矿区闪锌矿流体包裹体的拉曼分析荧光效应比较强烈, 致使谱线不平, 但不影响分析结果。研究结果表明, 闪锌矿中流体成分以 H_2O 为主(峰值分别

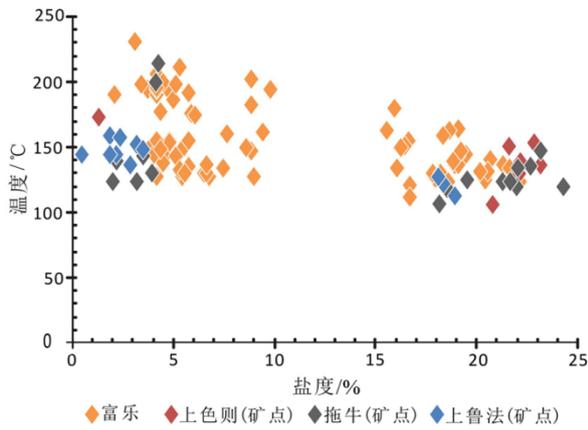


图4 闪锌矿中流体包裹体温度-盐度分布图

Fig. 4. Scatter homogenous temperature and salinity of sphalerite-hosted fluid inclusions.

是 3404、3359、3381), 偶有在 1002 和 1009 出现较低的峰值, 可能是流体在形成包裹体的时候部分包含了少量 CO_3^{2-} 和 HCO_3^- (图 5), 或因为流体中混入了微量碳酸盐岩围岩的成分。而 637、668 出现

的峰值可能是由于矿床中矿物组合相对复杂, 且部分矿物碎屑共生造成的。此外, 柳贺昌对富乐矿区矿化白云石及无矿白云石中群体包裹体成分进行了测定^[1], 其中, 含矿白云石流体包裹体液体成分以 H_2O 为主, 气体成分以 CO_2 、 N_2 为主含少量 CO 和 CH_4 , 流体中富 Na^+ 、 Mg^{2+} 贫 K^+ , 富 SO_4^{2-} 、 Cl^- 贫 F^- , F^-/Cl^- 为 0.14, Ba/Sr 为 6.74。无矿白云石流体成分以 H_2O 为主, 气体成分以 CO_2 、 N_2 为主含少量 CO , 流体中含少量 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} , 富 SO_4^{2-} 贫 Cl^- 、 F^- , F^-/Cl^- 为 10, Ba/Sr 比 5.55。可见, 富乐矿区成矿流体成分与 MVT 型矿床较为相似, 如贵州都匀牛角塘铅锌矿床^[13,15-16], 可能含有部分古油藏卤水。

3 讨论

本次所测闪锌矿流体包裹体的均一温度为 $120\sim 160\text{ }^\circ\text{C}$ 和 $180\sim 210\text{ }^\circ\text{C}$ 两个区间, 前一低温区间为本次对矿区外围上色则、拖牛和上鲁法矿点闪锌矿测试所获温度, 后一中低温区域范围主要为富

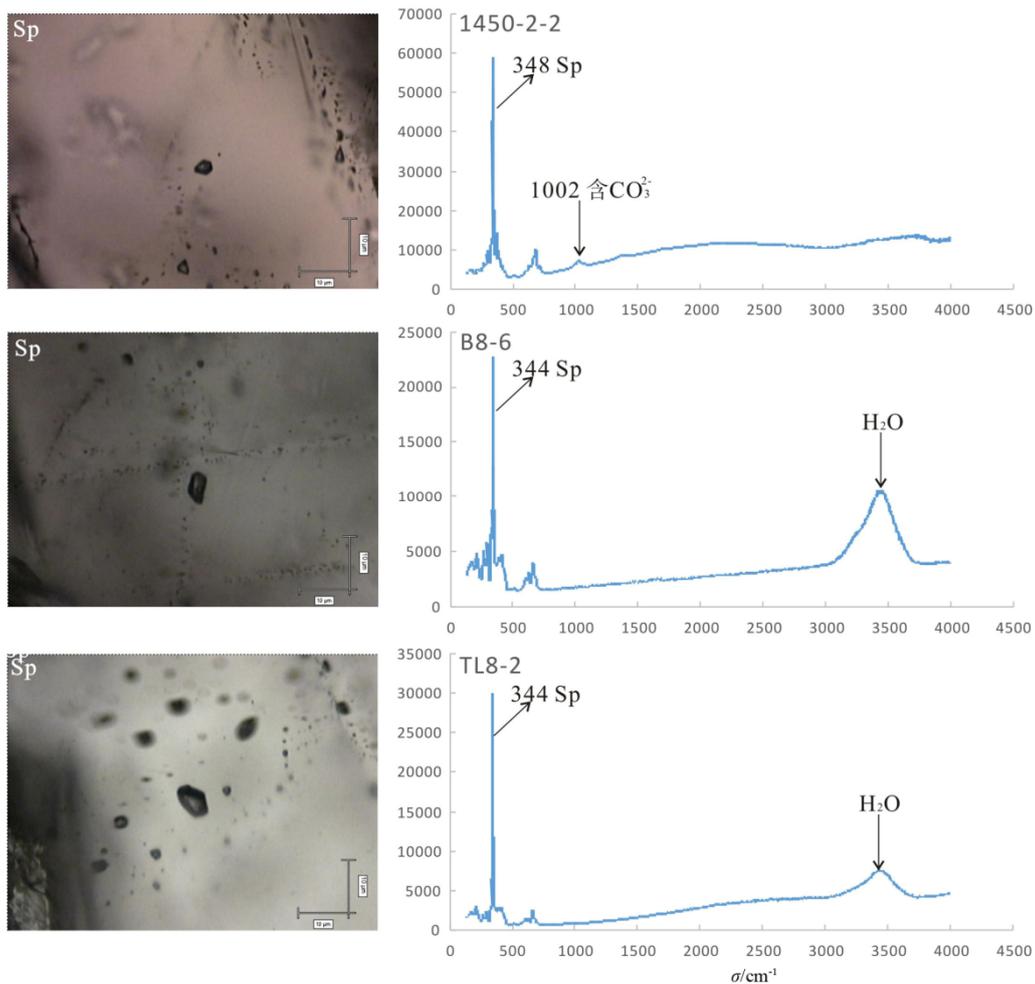


图5 闪锌矿中流体包裹体拉曼测定结果

Fig. 5. Raman result of sphalerite-hosted fluid inclusions.

乐矿区包裹体温度范围,可能暗示本区成矿流体是以富乐矿床为中心向外运移的。前人研究结果表明,川滇黔铅锌成矿域内会泽铅锌矿闪锌矿流体包裹体均一温度也集中在 150~221 °C 和 320~364 °C 两个区间^[10], 相比而言,会泽矿区前一温度区间与富乐矿区后一温度区间重叠,而后一温度区间明显高于富乐矿区。表明富乐矿区与会泽矿区均存在两种类型成矿流体,但温度较高端元差异明显,暗示两个矿区铅锌成矿作用可能存在一定差异。

从温度-盐度关系图(图 4)可看出:拖牛、上色则、上鲁法等矿点(与富乐矿床均属同一成矿系统)成矿温度区间以 120~160 °C 区间为主(图 3),结合上述矿点闪锌矿多呈浸染状、斑点状分布于粗现出两类成矿流体叠加混合作用的特征,这与富乐矿区富厚矿体中晚期块状硫化物矿石穿插、包裹早期浸染状矿石的两阶段成矿特征相吻合^[4];值得注意的是该区矿床(点)成矿流体均包含了低盐度和中等盐度流体包裹体,因此,综合前述成矿流体温度和矿体产出特征,本文认为,富乐地区铅锌成矿流体具有低温和中温两类流体混合特征,正是由于混合作用的不均匀,致使流体盐度也不均匀,在成矿流体混合叠加部位容易形成富厚铅锌矿体。

成矿流体液体成分以 H₂O 为主,气体成分以 CO₂、N₂ 为主含少量 CO 和 CH₄, 流体中富 Na⁺、Mg²⁺ 贫 K⁺, 富 SO₄²⁻、Cl⁻ 贫 F⁻。根据已有研究成果

表明^[15], 油田水无机成分主要阳离子有 Na⁺、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺, 主要阴离子有 Cl⁻、SO₄²⁻、HCO₃⁻、CO₃²⁻; 有机成份主要为烃类、酚、苯、有机酸(环烷酸); 溶解气主要成分主要有 O₂、N₂、CO₂、H₂S、CH₄、He; 微量元素有 I、Br、B、Sr 等。将富乐矿区成矿流体分与油田水成分对比,富乐矿区成矿流体为含有少量 CO₂、N₂、CO 和 CH₄ 的 Na⁺-Mg²⁺-SO₄²⁻-Cl⁻ 型流体,流体成分中具油田卤水成分特征,可能为成矿过程中有少量油田卤水参与的缘故,这与 MVT 型矿床成矿流体类似。

4 结 论

(1) 矿区闪锌矿流体包裹体类型以气液相为主,含少量矿物多相包裹体,闪锌矿包裹体均一温度集中在 120~160 °C 和 180~210 °C 两个区域,流体盐度分布在 4%~10% NaCl_{eq} 和 16%~22% NaCl_{eq} 两个区间,属于中低温中低盐度流体。

(2) 矿区成矿流体和矿石组构特征表明矿区闪锌矿可能形成于流体混合作用,成矿流体具低温低盐度和中低温中等盐度流体混合特征,在两种成矿流体混合叠加作用的部位易形成富厚的铅锌矿体。

(3) 本区成矿流体成分与 MVT 型矿床成矿流体类似,铅锌成矿过程中可能有少量油田卤水混合。

致谢: 本文成文过程中,与中国科学院地球化学研究所叶霖研究员进行了有益的探讨,在此表示感谢。

参 考 文 献:

- [1] 柳贺昌,林文达.滇东北铅锌银矿床规律研究[M].昆明:云南大学出版社,1999:184-196.
- [2] 崔银亮,张云峰,郭欣,等.滇东北铅锌银矿床遥感地质与成矿预测[M].北京:地质出版社,2011:1-176.
- [3] 念红良,郑荣华,周家喜,等.滇东富乐铅锌矿区成矿条件及找矿潜力分析[J].矿产勘查,2016,7(6):945-950.
- [4] 李珍立.云南富乐铅锌矿床成矿地质地球化学及找矿方向[D].贵阳:中国科学院地球化学研究所(硕士论文),2016.
- [5] 司荣军.云南省富乐分散元素多金属矿床地球化学研究[D].贵阳:中国科学院地球化学研究所(博士论文),2005.
- [6] 朱传威.川滇黔地区铅锌矿床中分散元素镉和锗同位素地球化学及其应用[D].贵阳:中国科学院地球化学研究所(博士论文),2013.
- [7] 刘莹莹,漆亮,黄智龙,等.滇东北富乐铅锌矿床硫化物 Re-Os 同位素年龄及其地质意义[J].矿物学报,2013(S2):599-600.
- [8] 卢焕章,范宏瑞,倪培,等.流体包裹体[M].北京:科学出版社,2004:132-143.
- [9] 韩润生,李波,倪培,等.闪锌矿流体包裹体显微红外测温及其矿床成因意义——以云南会泽超大型富锗银铅锌矿床为例[J].吉林大学学报:地球科学版,2016,46(1):91-104.
- [10] 周朝宪.滇东北麒麟厂铅锌矿床成矿金属来源、成矿流体特征和成矿机理研究[D].贵阳:中国科学院地球化学研究所(硕士论文),1996.
- [11] 张长青.中国川滇黔交界地区密西西比型(MVT)铅、锌矿床成矿模型[D].北京:中国地质科学院(博士论文),2008.
- [12] 吴越.川滇黔地区 MVT 铅锌矿床大规模成矿作用的年代与机制[D].北京:中国科学院研究生院(博士论文),2013.
- [13] 李贤庆,侯读杰,张爱云.油田水地球化学研究进展[J].地质科技情报,2001,20(2):51-54.
- [14] Hall D L, Sterner S M, Bodnar R J. Freezing point depression of NaCl-KCl-H₂O solutions[J]. Economic Geology, 1988, 83(1): 197-202.
- [15] Ye L, Cook N J, Liu T G, et al. The Niujaotang Cd-rich zinc deposit, Duyun, Guizhou Province, Southwest China: ore genesis and mechanisms of cadmium concentration[J]. Mineralium Deposita, 2012, 47(6): 683-700.
- [16] 叶霖,刘铁庚,邵树勋.富镉锌矿的成矿流体地球化学研究:以贵州都匀牛角塘富镉锌矿床为例[J].地球化学,2000,29(6):597-603.