

文章编号: 1000-4734(2017)06-0693-08

黔西南萤石矿床流体包裹体地球化学特征

代德荣¹, 何小虎², 金少荣¹, 杨德智¹, 董少吉², 周家喜^{2,3*}

(1. 贵州省地质矿产勘查开发局 地球物理地球化学勘查院, 贵州 贵阳 550018; 2. 云南大学 资源环境与地球科学学院, 云南 昆明 650504; 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 550081)

摘要: 对黔西南州普安、晴隆、贞丰和望谟等地4个代表性萤石矿床的成矿特征及其萤石流体包裹体地球化学特征等进行了系统研究。黔西南地区的萤石矿床主要受二叠系茅口组 and 玄武岩组之间的“大厂层”控制, 少量发育于玄武岩及其上覆、下伏灰岩断裂带中。四个典型萤石矿床中不同类型(颜色)萤石流体包裹体地球化学特征存在较大差异, 表现为紫色萤石具有相对较高的均一温度和盐度, 均一温度为157~264℃, 平均190℃, 盐度变化在4.03%~5.26% NaCl equiv.; 浅色萤石具有相对较低的均一温度和盐度, 均一温度为100~176℃, 平均140℃, 盐度变化在1.91%~5.86% NaCl equiv.。显微激光拉曼光谱分析显示, 不同类型(颜色)萤石流体包裹体中的气相成分相似, 主要为H₂、H₂S、CH₄和少量的CO₂及烃类有机物, 液相成分主要为H₂O(L)、HCO³⁻和HS⁻。流体包裹体地球化学特征显示, 黔西南地区萤石矿床成矿流体具有中低温、低盐度特点, 流体体系主体属于NaCl-H₂O体系。结合前人研究资料, 本文认为萤石矿床的成矿流体与区域上的Sb矿床甚至Au矿床属于同一成矿流体, 只是萤石矿床属于这一流体晚期成矿的产物, 即晚期流体通过混合作用和水-岩相互作用等过程在“大厂层”形成似层状、透镜状萤石矿体, 在玄武岩和灰岩断裂带中形成脉状萤石矿体。

关键词: 萤石矿床; 流体包裹体; 均一温度; 盐度; 矿床成因; 黔西南地区

中图分类号: P579; P619.2 **文献标识码:** A **doi:** 10.16461/j.cnki.1000-4734.2018.38.245

作者简介: 代德荣, 男, 1965年生, 高级工程师, 从事矿产勘查与管理工作. E-mail: 383849747@qq.com

Geochemical characteristics of fluid inclusions in fluorite deposits, Southwest Guizhou, China

DAI De-rong¹, HE Xiao-hu², JIN Shao-rong¹, YANG De-zhi¹, DONG Shao-ji², ZHOU Jia-xi^{2,3*}

(1. Institute of Geophysical and Geochemical Prospecting, Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Guizhou Province, Guiyang 5500018, China; 2. School of Resource Environment and Earth Sciences, Yunnan University, Kunming 650504, China; 3. State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550081, China)

Abstract: In this paper, the metallogenic characteristics and geochemistry of fluid inclusions within fluorite from four typical fluorite deposits in Puan, Qinglong, Zhenfeng, and Wangmo counties in Southwest Guizhou have been systematically studied. Orebodies of these fluorite deposits are mainly controlled by the “Dachang Bed”, which is sandwiched between the Permian basalt and Permian Maokou Formation, with minor orebodies developed in faults within the basalt and its overlying and underlying limestone strata. The geochemical characteristics of fluid inclusions within different types (colored) of fluorites from four typical fluorite deposits are quite different. Fluid inclusions in the purple fluorite have relatively high homogenization temperatures varying from 157 to 264 °C (average 190 °C) and salinities varying from 4.03 to 5.26% NaCl equiv. Fluid inclusions in the light colored fluorite have relatively low homogenization temperatures varying from 100 to 176 °C (average 140 °C) and salinities varying from 1.91 to 5.86% NaCl equiv. Microscopic laser Raman spectroscopy analysis shows that the compositions of fluid inclusions within different types

收稿日期: 2018-08-07

基金项目: 国家重点基础研究计划项目(2014CB440905); 贵州省地矿局科研项目(2016[19]); 云南大学引进人才科研启动项目(YJRC4201804); 云南大学国家自然科学基金优秀青年培育项目(2018YDJQ009)

* 通讯作者, E-mail: zhoujiaxi@ynu.edu.cn

(colored) of fluorites are similar, with major gas phases of H_2 , H_2S , and CH_4 , minor gas phases of CO_2 and hydrocarbon, and liquid phase components of H_2O (L), HCO_3^- , and HS^- . The geochemical characteristics of fluid inclusions show that the ore-forming fluids of fluorite deposits in southwestern Guizhou are characterized with the medium-low homogenization temperatures and low salinities NaCl- H_2O system. Combined with previous research data, It is believed that the ore-forming fluids of the fluorite deposits could be sourced from the same original fluids for the Sb and even Au mineralization in the area, but the fluorite deposits were formed, in forms of layered, lenticular fluorite orebodies in the "Dachang Bed" or veining orebodies in faults within the basalts and limestone, by the evolved fluids through the processes of fluids mixing at the early stage and water-rock interactions in the late mineralization stage.

Keywords: fluorite deposit; fluid inclusion; homogenization temperature; salinity; ore genesis; Southwest Guizhou

萤石是很多国家重要的战略非金属资源之一^[1]。近年来,随着萤石应用领域的不断扩展,对萤石矿产的需求呈现快速增长的态势。因此,开展萤石矿产的区域成矿规律及找矿预测研究具有重要的现实意义^[1]。我国萤石矿产的研究主要集中在东部、东南部,且多与岩浆作用有关的萤石矿床上,并据此认为萤石矿床可能存在成矿的专属性^[2]。对其它地区和类型的萤石矿床,研究较为薄弱。贵州黔西南地区发育许多萤石矿床,这些萤石矿床在空间上与区域内的锑矿床和金矿床具有一定的联系,很可能均与大面积低温作用有关,但是由于缺乏系统研究,对本区萤石矿床的成因机制尚不清楚。前人对该地区萤石的研究主要集中在与锑矿或金矿伴生的脉石矿物萤石上。例如,通过开展脉石矿物萤石的流体包裹体研究,试图揭示锑矿床的成矿流体性质和来源^[3-5],利用萤石开展 Sm-Nd 同位素定年,厘定锑矿床和金矿床的成矿时代^[6-7]等。目前,针对该地区独立萤石矿床流体包裹体的研究尚未见报到。本文对黔西南地区 4 个典型萤石矿床的矿化特征和流体包裹体地球化学特征进行研究,试图为查明本区萤石矿床的成因提供成矿流体信息,同时为探讨黔西南地区萤石矿床的成矿规律和找矿预测提供新的信息。

1 区域地质概况

研究区主要位于黔西南地区扬子陆块一侧右江盆地,毗邻环太平洋构造域与特提斯构造域的结合部位^[8]。研究区产状较为宽缓的褶皱以及张性断裂较为发育。受燕山运动的强烈影响,地壳表层的构造变形比较强烈^[8-9]。研究区地层出露主要为二叠系和三叠系,缺失侏罗系、白垩系及第三系(仅零星分布在研究区西南部),第四系松散堆积的砾石、砂、粘土等冲积、湖沼等陆相沉积物^[9](图 1)。中二叠统茅口组 and 上二叠统峨眉山玄武岩组之间的火山碎屑岩,由于硅化、角砾化和粘土化强烈,被描述为构造蚀变体(SBT)^[10-11]。研究区大部分独立萤石矿床严格受该构造蚀变体的控制,层控特征明显^[12-13]。龙潭组是黔西南地区最主要的煤系地层,产出高氟煤炭资源^[14-15]。区域的岩浆活动不强烈,主要产出晚二叠纪峨眉山玄武岩及其同源基性脉岩^[8]。

2 样品采集和分析方法

2.1 样品采集

样品采自黔西南地区普安、晴隆、贞丰、望谟等地的 4 个独立萤石矿床^[16](图 1)。普安地区萤石矿床中主要为浅色(浅黄色和白色)萤石,呈砂砾状,以脉状产出于峨眉山玄武岩的断层及次级断裂、裂隙内(图 2a);晴隆地区萤石与石英、方解石、辉锑矿等伴生,多为浅色(浅绿色)和紫色,结晶较好,其中紫色萤石一般独立成矿,较少与辉锑矿伴生,它们均严格受到“大厂层”控制(图 2b);贞丰地区萤石矿床以浅色(白色、草绿色)萤石为主,品位高,主要与方解石、石英共生,部分品位较低的萤石产出于硅质岩中,同样受到“大厂层”控制(图 2c);望谟县地区萤石矿床以浅色(白色)萤石为主,局部可见紫色萤石,硬度小,品位较高,与方解石、石英共生,主要产于“大厂层”和其上部吴家坪组灰岩中,前者中的萤石品位较高,后者中的萤石一般品位较低(图 2d)。

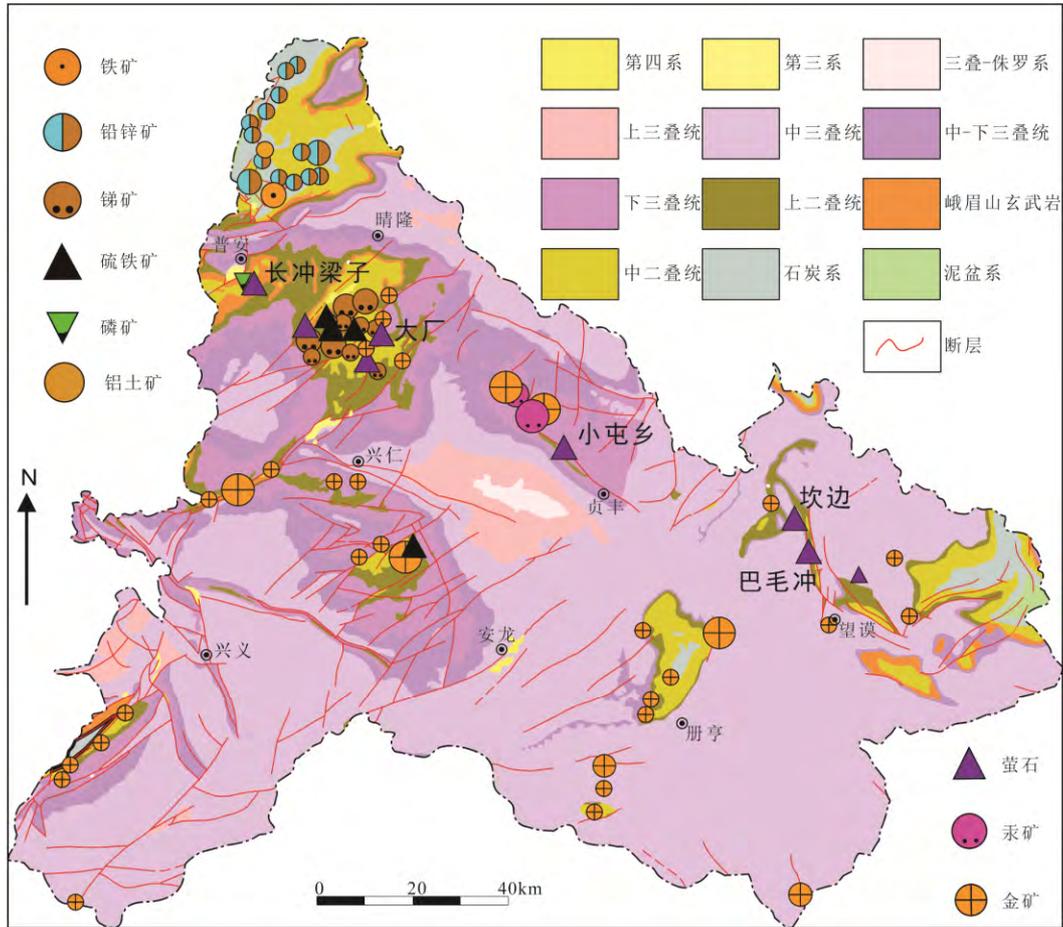
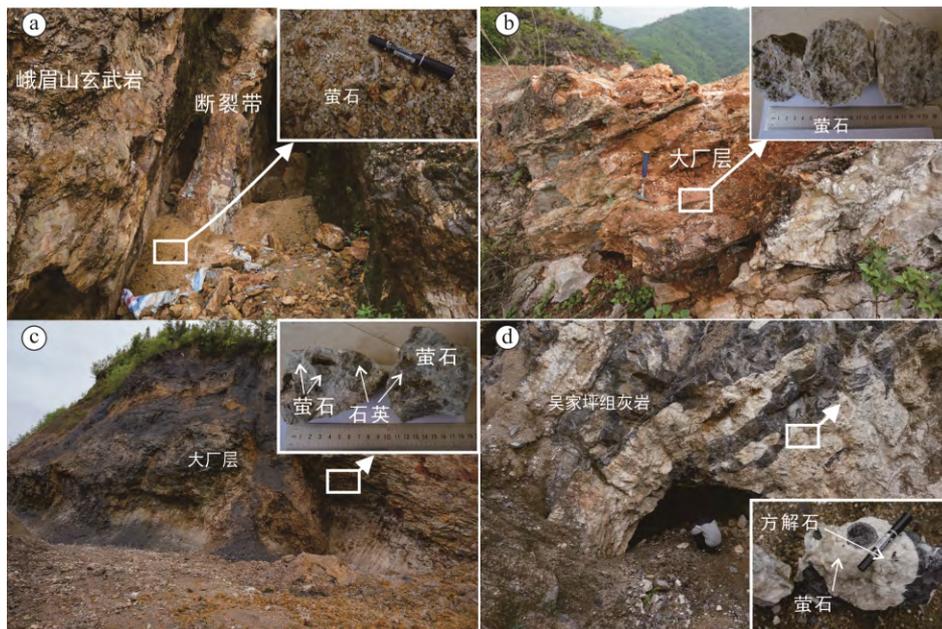


图 1 黔西南地区区域地质简图

Fig. 1. Regional geological sketch map for the southwestern Guizhou.



a. 普安地区萤石矿床野外和样品特征; b. 晴隆地区萤石矿床野外和样品特征; c. 贞丰地区萤石矿床野外和样品特征; d. 望谟地区萤石矿床野外和样品特征

图 2 黔西南地区 4 个典型萤石矿床的地质和矿石特征

Fig. 2. The features of fluorite ores in four typical fluorite deposits in SW Guizhou.

2.2 分析方法

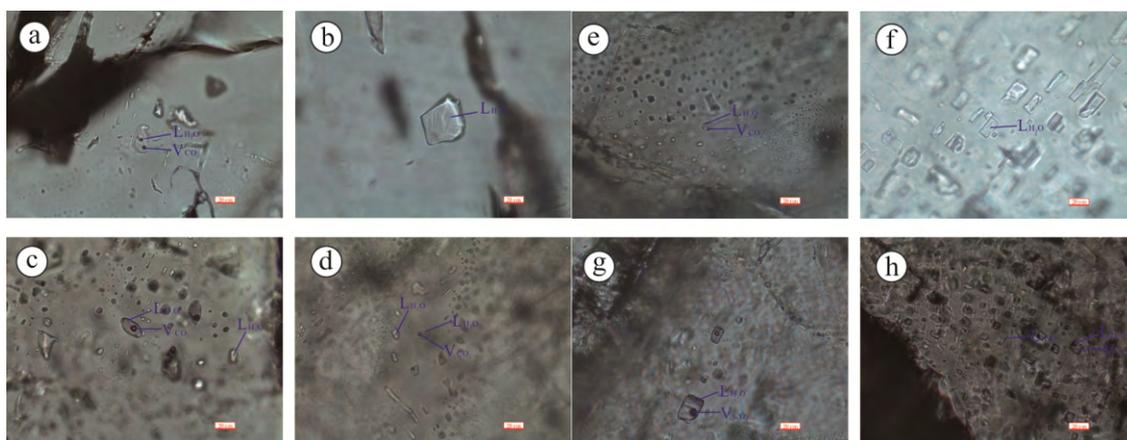
包裹体测温分析采用英国 Linkam THMSG600 型号测温仪器, 该仪器可测得温度范围在 $-200\sim 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间, 温度精度和稳定性为 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$, 最大升降温速率为 $150\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。利用液态氮气进行冷却, 分析精度在低于 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时为 $\pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, 在 $30\sim 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 区间为 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, 在 $300\sim 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 区间为 $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。测温时, 首先将待测温样品放置于显微镜下, 寻找到适合测温的包裹体后将样品置于冷热台上, 使待测温包裹体大致位于视野中央位置, 拍照记录下室温时包裹体的形态特征。测温刚开始时, 可将升温速率设置为 $20\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$, 升温过程中包裹体气泡逐渐变小, 温度即将到达均一温度时将升温速率设置为 $2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 以便于观察。包裹体气泡消失时的温度记录下来, 该温度即为均一温度。冰点温度通过冷冻法进行测定, 先将包裹体降温至冰点温度以下, 使包裹体全部冻结, 然后缓慢升温, 即将达到冰点温度时气泡会突然跳出, 等到冰晶全部熔化就得到冰点温度。

包裹体的成分分析采用单个包裹体激光拉曼光谱分析方法, 在云南大学流体地球化学实验室完成。显微激光拉曼光谱仪为英国 Renishaw InVia Reflex 型, 配有 Ar 离子激光器 532 nm 和 785 nm , 狭缝宽 $50\text{ }\mu\text{m}$, 光栅 1800 cm^{-1} , 扫描时间 30 s , 扫描次数根据需要在 $1\sim 3$ 次不等, 扫描范围为 $1000\sim 4000\text{ cm}^{-1}$, 实验温度为 $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[16]。在显微镜下, 对萤石包裹体片岩相学进行详细的观察, 根据包裹体的特征选取了具有典型代表的原生包裹体样品进行激光拉曼成分分析。

3 黔西南萤石矿流体包裹体特征

3.1 包裹体类型及岩相学特征

根据矿区不同, 将各矿床萤石样品进行切片, 制成包裹体片和薄片, 在偏光显微镜下对不同类型萤石进行详细的包裹体岩相学观测, 按照 Roedder^[17]、卢焕章等^[18]提出的流体包裹体原生、次生的判别依据及包裹体在室温下的相态分类准则, 本文只分析原生包裹体。观察发现, 4 个典型矿床萤石中包裹体形状多为四边形、椭圆形、长条形、不规则形等, 大小差异较大, 多成孤立状、群状分布 (图 3)。包裹体直径多在 $4\sim 30\text{ }\mu\text{m}$ 之间, 最大的可以达到 $40\text{ }\mu\text{m}$ 以上, 气液比 $5\%\sim 10\%$, 最高可达 15% 。包裹体主要为纯液相 (L) 和气-液两相 (L+V) 包裹体, 未发现含子晶的三相包裹体。



a-b. 普安; c-d. 晴隆; e-f. 贞丰; g-h. 望谟

图 3 黔西南地区 4 个典型矿床萤石中流体包裹体特征

Fig. 3. Characteristics of fluid inclusions in fluorites from four typical fluorite deposits in SW Guizhou.

3.2 流体包裹体显微测温学

本次测温选择的包裹体大小多为 $10\sim 25\text{ }\mu\text{m}$, 便于在测温时对包裹体内部相态变化进行观察。进行均一温度测温的包裹体全部为气液两相的包裹体, 形态多为不规则形、椭圆形、四边形等。所有盐

度根据 Hall 等^[19]给出的 H₂O-NaCl 体系盐度-冰点计算公式计算获得。测温结果见表 1。普安地区萤石矿床的矿物组合为浅色萤石-石英, 冰点温度为-2.4~-1.2 °C, 盐度为 2.07%~4.03% NaCl eqv, 完全均一温度范围 100~148 °C (表 1)。晴隆地区萤石矿床的矿物组合有 2 种, 分别为浅色萤石-方解石组合和紫色萤石-方解石组合, 前者中萤石冰点温度为-3.5~-1.1 °C, 盐度为 1.91%~5.71% NaCl eqv, 完全均一温度范围 112~176 °C; 后者中萤石冰点温度为-2.8~-2.4 °C, 盐度为 4.03%~4.65% NaCl eqv, 完全均一温度范围 157~196 °C (表 1)。贞丰地区萤石矿床的矿物组合为浅色萤石-方解石-石英, 萤石的冰点温度为-3.2~-1.6 °C, 盐度为 2.74%~5.26% NaCl eqv, 完全均一温度范围 122~173 °C (表 1)。望谟地区萤石矿床的矿物组合也有 2 种, 分别为浅色萤石-方解石-石英和紫色萤石-方解石-石英组合, 前者中萤石包裹体冰点温度为-3.6~-1.4 °C, 盐度为 2.41%~5.86% NaCl equiv., 完全均一温度范围 115~157 °C, 后者中萤石包裹体冰点温度为-3.2~-2.6 °C, 盐度为 4.34%~5.26% NaCl equiv., 完全均一温度范围 157~264 °C (表 1)。在浅色和紫色萤石均一温度和盐度直方图上 (图 4), 可见紫色萤石包裹体的均一温度明显高于浅色萤石的, 但它们之间的盐度却很相似。

表 1 典型萤石矿床中萤石流体包裹体显微测温结果

Table 1. Microthermometric data for fluid inclusions within fluorites from typical fluorite deposits

样品	矿物组合	矿物	类型	数量/个	气液比/%	冰点/°C	均一温度/°C	盐度/%
PA-02-1	浅色萤石-石英	萤石	L、L+V	6	5~10	-2.4~-1.2	100~148	2.07~4.03
QL-03-1	浅色萤石-方解石-石英	萤石	L、L+V	31	5~10	-3.5~-1.1	112~176	1.91~5.71
QL-13-1	紫色萤石-方解石-石英	萤石	L、L+V	4	5~10	-2.8~-2.4	157~196	4.03~4.65
ZF-08-2	浅色萤石-方解石-石英	萤石	L、L+V	12	5~10	-3.2~-1.6	122~173	2.74~5.26
WM-01-3	浅色萤石-方解石-石英	萤石	L、L+V	11	5~10	-3.6~-1.4	115~157	2.41~5.86
WM-04-1	紫色萤石-方解石-石英	萤石	L、L+V	19	5~10	-3.2~-2.6	157~264	4.34~5.26

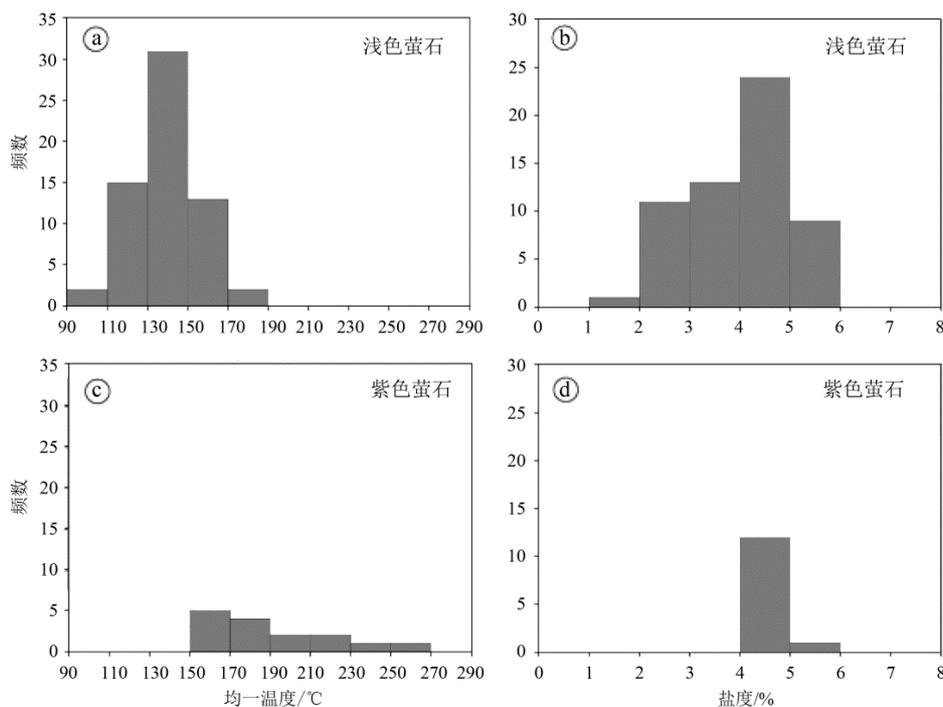


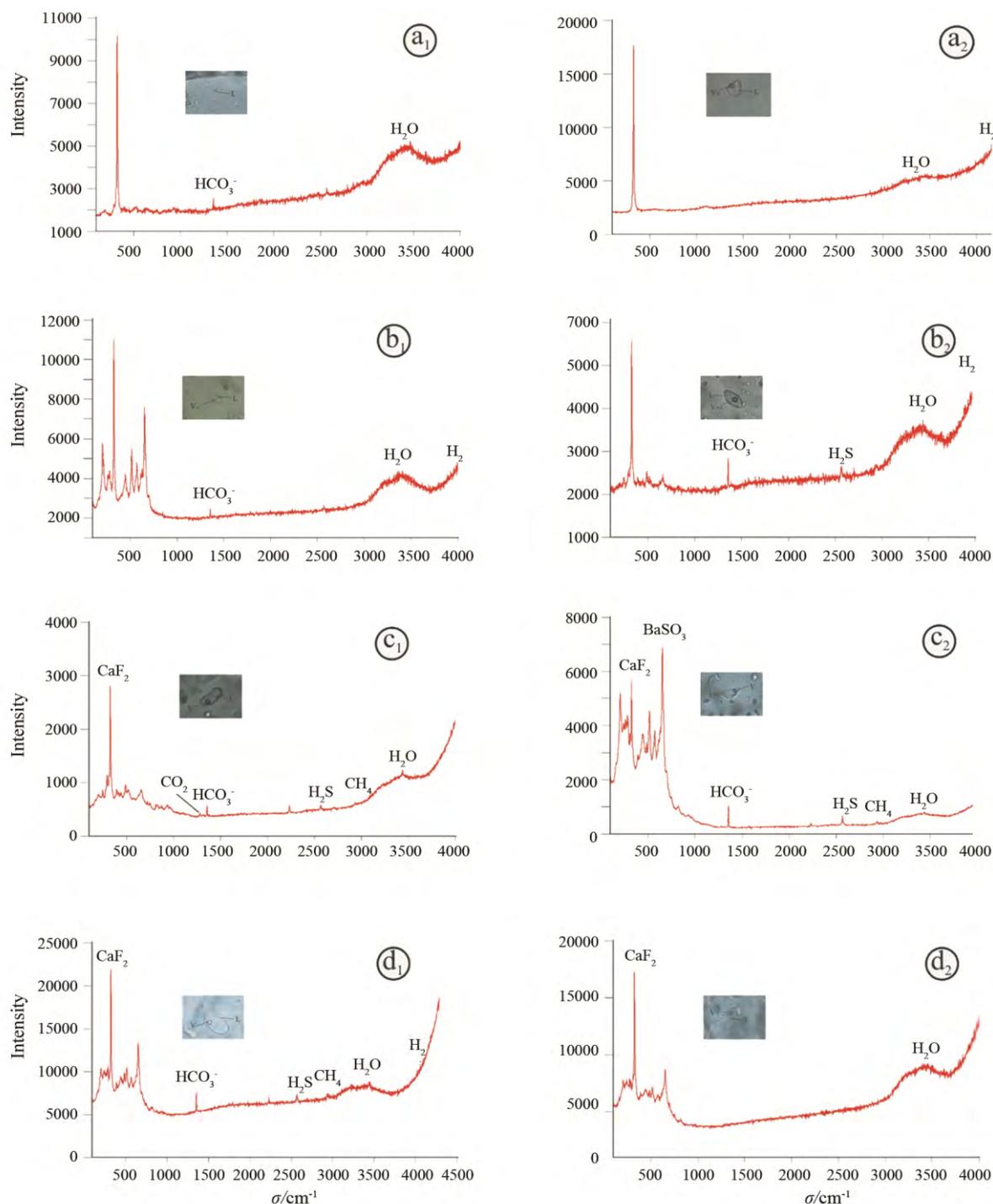
图 4 典型萤石矿床中萤石流体包裹体均一温度与盐度直方图

Fig. 4. Histograms for homogenization temperatures and salinities of fluid inclusions in fluorites from typical fluorite deposits.

3.3 流体包裹体气相成分

使用显微激光拉曼光谱仪对黔西南地区 4 个独立萤石矿床的萤石样品流体包裹体气相成分结果显示, 普安地区萤石中存在纯液相和气液两相 2 种类型包裹体, 包裹体气相成分主要为 H₂ 和水蒸气, 液

相含 HCO_3^- (图 5a₁,a₂), 检测到少量 NH_3 ; 晴隆地区紫色和浅色萤石中存在大量气液两相包裹体, 在其中检测到 H_2S 、 H_2 、 HS^- 、 HCO_3^- 和烃类有机物, 气相主要为 H_2S 、 H_2O (气)、 H_2 , 液相主要为 H_2O (液)、 HCO_3^- (图 5b₁,b₂)。望谟地区紫色和浅色萤石中也存在大量气液两相包裹体, 气相成分检测到 H_2 、 H_2S 、 CH_4 和少量的 CO_2 (图 5c₁,c₂)。贞丰浅色萤石中存在纯液相包裹体和气液两相包裹体, 气相成分检测到 H_2 、 H_2S 、 CH_4 (图 5d₁,d₂)。



a₁,a₂. 普安; b₁,b₂. 晴隆; c₁,c₂. 贞丰; d₁,d₂. 望谟

图 5 黔西南地区典型萤石矿床中萤石流体包裹体拉曼光谱图

Fig. 5. Raman spectra of fluid inclusions within fluorites from typical fluorite deposits in SW Guizhou.

4 讨论

4.1 成矿流体性质

由表 1 和图 4 可以看出, 黔西南地区 4 个典型矿床浅色萤石中的气液两相包裹体均一温度为 100~176 °C (平均 140 °C), 均一温度比较集中, 峰值在 130~150 °C, 属于低温范畴, 浅色萤石的气液两相包裹体冰点温度变化在 -3.6~-1.1 °C, 对应盐度变化在 1.91%~5.86%, NaCl equiv., 其峰值为 2.0%~5.0% NaCl equiv., 具有低盐度特征; 而紫色萤石中的气液两相包裹体均一温度为 157~264 °C (平均 190 °C), 均一温度比较集中, 峰值在 150~170 °C, 属于中低温范畴, 其气液两相包裹体冰点温度变化在 -3.2~-2.4 °C, 对应盐度变化在 4.03%~5.26% NaCl equiv., 其峰值为 4.0%~5.0% NaCl equiv., 也具有低盐度特征。在盐度-均一温度图解中 (图 6), 全部萤石样品中流体包裹体均显示中低温、低盐度的特点, 该结果与前人对晴隆锑矿伴生萤石流体包裹体的研究结果一致^[4-5]。此外, 均一温度稍高的紫色萤石和均一温度较低的浅色萤石 (图 4), 显示它们可能是同一成矿流体不同阶段的产物。

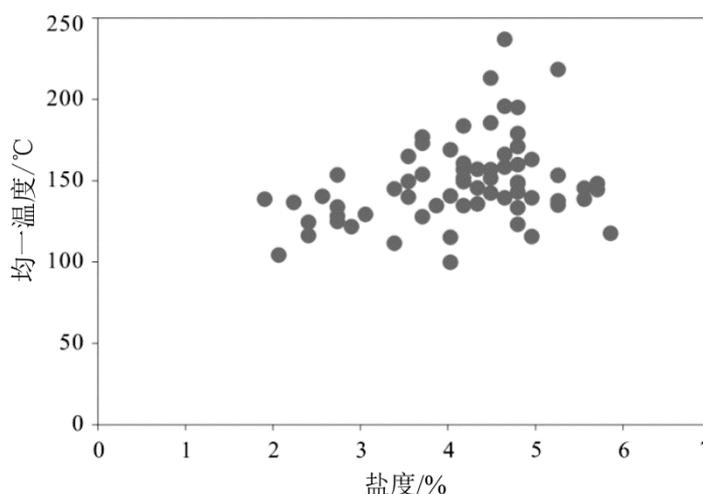


图 6 黔西南地区典型萤石矿床流体包裹体均一温度与盐度图
Fig. 6. Plot for homogenization temperatures vs. salinities of fluid inclusions within fluorites from typical fluorite deposits in SW Guizhou.

黔西南 4 个矿区萤石中流体包裹体气相成分无太大差异, 除普安地区萤石矿外, 其他矿区主要为 H_2S 、 H_2O (气)、 H_2 和少量的 CH_4 、 CO_2 和烃类有机物, 液相成分主要为 HS^- 、 HCO_3^- 和 H_2O 。因此, 研究区萤石矿床的成矿流体组成相对简单, 主体属于 $NaCl-H_2O$ 体系, 与区内锑矿床和金矿床的成矿流体体系相似^[6-7]。

4.2 萤石矿床的成因类型及沉淀机制

以往对研究区萤石的研究主要作为脉石矿物^[3-7], 反映成矿流体的性质和来源, 而对独立萤石矿床的成矿机制讨论较少。通过与晴隆锑矿^[3-6,21-23]和戈塘金矿床^[7]伴生萤石微量和稀土特征的对比, 金少荣等^[24]认为本区独立萤石矿床与伴生萤石具有相似的元素地球化学特征, 暗示它们具有相似的来源, 很可能属于同一成矿流体。本次工作显示, 独立萤石矿床的成矿流体特征与伴生萤石的成矿流体特征也基本一致, 进一步表明独立萤石矿床与区内锑矿床和金矿床的属于同一成矿流体, 只是独立萤石矿床属于这一流体晚期成矿的产物。因此, 本文认为黔西南地区的独立萤石矿床是华南大规模低温成矿作用的一种表现形式, 属于大面积低温成矿域的一部分, 为受构造控制的低温热液脉型矿床。

通常, 萤石的沉淀主要有 3 种机制^[20]: 1) 富 F 和 Ca 的成矿流体温度、压力发生变化; 2) 富 F 流体与富 Ca 流体的混合作用; 3) 富 F 流体与含 Ca 质岩石发生水/岩相互作用。前人对晴隆矿区伴生萤石的 Sr 同位素地球化学研究表明, 该矿床主要来自富放射性 Sr 的外部流体而非赋矿地层和玄武岩本身^[23]。晴隆萤石 Sm-Nd 定年结果显示, 其成矿作用很可能发生在晚侏罗世 (142~148 Ma), 明显比峨眉山玄武岩 (260 Ma) 年轻, 进一步说明包括锑矿化在内的低温成矿作用与峨眉山地幔柱之间没有直接的成因联系^[6]。彭建堂等^[10]通过对伴生萤石中稀土元素地球化学研究, 认为 Ca 主要来自地层碳酸盐岩, F 测由于成矿流体提供, 暗示萤石的沉淀很可能属于流体混合或水/岩相互作用。本区矿床的成矿

流体很可能属于盆地流体^[4, 21-22], 而流体包裹体中烃类有机物的出现, 可能表明富含有机质的流体参与了萤石矿床的形成。F 是构成萤石的主要元素, 如果 F 来自成矿流体, 加之成矿流体中有机质作用明显, 其最可能来自龙潭组煤层, 这与人研究发现龙潭组煤中富含 F 的结果相一致^[25-26]。因此, 本文推测形成本区独立萤石矿床的成矿流体很可能来源或流过了富 F 和有机质以及富放射性成因 Sr 的源区, 同时鉴于萤石矿床主要受“大厂层”和构造的控制, 流体混合最可能是导致萤石沉淀的主要机制。当然不能排除水/岩相互作用在萤石矿床形成中的贡献。

5 结 论

1) 黔西南地区独立萤石矿床成矿流体总体具有中低温、低盐度矿床的特点, 属于 NaCl-H₂O 体系, 气体成分主要为 H₂、H₂S、CH₄ 和少量有机质。

2) 萤石矿床的成矿流体与区域上的 Sb 矿床甚至 Au 矿床属于同一成矿流体, 只是独立萤石矿床属于这一流体相对晚期成矿的产物。通过流体混合和水-岩相互作用等过程在“大厂层”形成似层状、透镜状萤石矿体, 在玄武岩和灰岩断裂带中形成脉状萤石矿体。

致谢: 野外工作得到院里同仁的大力支持和云南大学谈树成教授、王玉朝讲师等的帮助, 成文过程与中国科学院地球化学研究所黄智龙研究员进行了有益讨论, 对他们表示衷心的感谢!

参 考 文 献:

- [1] 王吉平, 商朋强, 熊先孝, 等. 中国萤石矿床成矿规律[J]. 中国地质, 2015, 42(1): 18-32.
- [2] 方贵聪, 王登红, 陈振宇, 等. 南岭东段北部花岗岩的萤石成矿专属性研究[J]. 大地构造与成矿学, 2014, 38(2): 312-324.
- [3] 蔡华君. 滇黔桂三角地区铋矿床成矿流体地球化学研究[D]. 贵阳: 中国科学院地球化学研究所(硕士论文), 1995.
- [4] 熊灿娟, 刘建中, 刘帅, 等. 晴隆大厂铋矿流体包裹体研究[J]. 贵州大学学报(自然科学版), 2013, 30(6): 47-52.
- [5] 苏文超, 朱路艳, 格西, 等. 贵州晴隆大厂铋矿床铋矿中流体包裹体的红外显微测温学研究[J]. 岩石学报, 2015, 31(4): 918-924.
- [6] 彭建堂, 胡瑞忠, 蒋国豪. 萤石 Sm-Nd 同位素体系对晴隆铋矿床成矿时代和物源的制约[J]. 岩石学报, 2003, 19(4): 785-791.
- [7] 黄建国, 李虎杰, 李文杰, 等. 贵州戈塘金矿萤石微量元素特征及钷—钷测年[J]. 地球科学进展, 2012, 27(10): 1087-1093.
- [8] 胡斌, 胡瑞忠, 刘川勤. 黔西南水银洞金矿床地质特征及其成矿因素分析[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2006, 25: 141-145.
- [9] 陈本金. 黔西南及邻区大陆动力学背景与地震活动[J]. 大地测量与地球动力学, 2009, 29(1): 53-58.
- [10] 彭建堂, 胡瑞忠, 漆亮, 等. 晴隆铋矿床中萤石的稀土元素特征及其指示意义[J]. 地质科学, 2002, 37(3): 277-287.
- [11] 聂爱国. 黔西南卡林型金矿的成矿机制及成矿预测[D]. 昆明: 昆明理工大学(博士论文), 2007.
- [12] 涂光炽. 中国层控矿床地球化学(第一卷)[M]. 北京: 科学出版社, 1984, 1-12.
- [13] 曹俊臣. 初论中国层控萤石矿床分类及某些地球化学特征[J]. 地质与勘探, 1985, (7): 8-14.
- [14] 代世峰, 任德怡, 马施民. 黔西地方流行病—氟中毒起因新解[J]. 地质论评, 2005, 51(1): 42-45.
- [15] 杨瑞东, 程伟, 高军波, 等. 黔西南煤层中铋、钍、钷和锂元素富集与潜在资源评价[J]. 贵州地质, 2017, 34(2): 77-81+96.
- [16] 贵州省地质调查院. 贵州省萤石矿产资源潜力评价报告[R]. 2012.
- [17] Roedder E. Fluid inclusion [J]. *Mineralogical Society of America, Reviews in Mineralogy*, 1984, 12: 644.
- [18] 卢焕章, 范宏瑞, 倪培. 流体包裹体[M]. 北京: 科学出版社, 2004, 496.
- [19] Hall J, Lu H, Dube B, et al. Fluid characteristics of vein and altered wall rock in Archean mesothermal gold deposits [J]. *Economic Geology*, 1991, 86(3): 667-684.
- [20] Richardson C K, Holland H D. Fluorite deposition in hydrothermal system [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1979, 43: 1327-1335.
- [21] 叶造军. 贵州大厂铋矿流体包裹体与稳定同位素[J]. 地质地球化学, 1996, (5): 18-20.
- [22] 王津津, 胡煜昭, 韩润生. 贵州晴隆铋矿田微量元素地球化学特征及其对成矿流体的指示意义[J]. 矿物学报, 2011, 31(3): 571-577.
- [23] 彭建堂, 胡瑞忠, 蒋国豪. 贵州晴隆铋矿床中萤石的 Sr 同位素地球化学[J]. 高校地质学报, 2003, 9(2): 244-251.
- [24] 金少荣, 陈军, 代德荣, 等. 黔西南高岭萤石矿床微量和稀土元素地球化学特征[J]. 矿物学报, 2018, 38: 684-692.
- [25] 代世峰, 任德怡, 邵龙义, 等. 黔西南晚二叠世煤地球化学性质变异及特殊组构的火山灰成因[J]. 地球化学, 2003, 32(3): 239-247.
- [26] 吴代赦, 郑宝山, 唐修义, 等. 中国煤中氟的含量及其分布[J]. 环境科学, 2005, 26(1): 7-11.