doi:10.3969/j.issn.2097-0013.2025.01.005

赣南楂山里超大型萤石矿床成矿流体特征研究

廖志权1.2.3,陈斌锋3,陈 伟3,贺根文3

LIAO Zhi-Quan^{1,2,3}, CHEN Bin-Feng³, CHEN Wei³, HE Gen-Wen³

 东华理工大学地球科学学院,江西南昌 330013;2. 东华理工大学核资源与环境国家重点实验室, 江西南昌 330013;3. 江西省地质局第七地质大队,江西赣州 341000

1. School of Earth Sciences, East China University of Technology, Nanchang 330013, Jiangxi, China; 2. State Key Laboratory of

Nuclear Resources and Environment, East China University of Technology, Nanchang 330013, Jiangxi, China;

3. The Seventh Geological Brigade of Jiangxi Bureau of Geology, Ganzhou 341000, Jiangxi, China

摘要: 楂山里超大型萤石矿床位于武夷山成矿带中部, 是近年来在赣南新发现的矿床, 矿体严格受南华系变质基底与白垩系红层 盆地接触地带发育的北北东向的 F1 断裂构造带控制。本文划分了萤石成矿阶段, 开展了详细的萤石流体包裹体岩相学、均一 温度、激光拉曼光谱成分研究, 讨论了该矿床成矿流体的性质、来源、演化, 对矿床成因进行了初步探讨。研究表明, 萤石流体包 裹体具有相似的特征, 均发育纯气相、气液两相、纯液相 3 种类型的原生包裹体, 其中以富液两相包裹体为主, 均一温度变化在 123~409 ℃ 之间, 平均 224 ℃, 盐度变化于 0.02~2.38%NaCleq 之间, 平均 0.42%NaCleq, 密度变化于 0.43~0.95 g/cm³ 之间, 平均 0.82 g/cm³。由早阶段至主阶段, 均一温度有由高至低的趋势, 密度略有增高趋势, 包裹体成分以 H₂O 为主。总体而言, 成矿 流体属于中低温、低盐度、低密度的 NaCl-H₂O 体系, 成矿流体有大气降水加入, 萤石沉淀机制为流体冷却、古地热水与大气降水流体混合。楂山里萤石矿属浅成中低温热液充填型萤石矿床。

关键词: 楂山里超大型萤石矿床; 流体包裹体; 浅成中低温热液矿床; 充填型矿床; 赣南
 中图分类号: P619.21⁺5
 文献标识码: A
 文重

文章编号: 2097-0013(2025)-01-0063-12

Liao Z Q, Chen B F, Chen W and He G W. 2025. Ore-forming Fluids Characteristics of the Zhashanli Ultra Large Fluorite Deposit in Southern Jiangxi Province. *South China Geology*, 41(1): 63–74.

Abstract: The recently discovered Zhashanli ultra-large fluorite deposit in the southern Jiangxi is located in the central part of the Wuyi Mountains metallogenic belt. The ore body occurs along and is strictly controlled by the F1 fault structure, which strikes NNE and is situated at the boundary between the metamorphic basement of the Nanhuan Group and the Cretaceous red-bed basin. This paper divides the fluorite metallogenic stages and conducts detailed studies on the petrography of fluid inclusions, homogenization temperatures, and the composition of laser Raman spectra of fluorite. It discusses the properties, sources, and evolution of the metallogenic fluids and provides a preliminary exploration of the genesis of the deposit. The study shows that the fluorite fluid inclusions exhibit similar characteristics, developing pure gas-phase, gas-liquid two-phase, and pure liquid-phase inclusions. The predominant type of fluid inclusion is the liquid-rich

收稿日期: 2024-12-12;修回日期: 2025-01-01

基金项目: 江西省赣州市科技局科技计划专项(2022B-GY9938)、江西省地质局青年科学技术带头人培养项目(2024JXDZKJRC01)

第一作者:廖志权(1992—),男,硕士研究生,主要从事矿产勘查与研究,E-mail:547425381@qq.com

two-phase inclusion. The homogenization temperature ranges from 123 °C to 409 °C, with an average of 224 °C. The salinity varies from 0.02% Nacleq to 2.38% NaCleq, with an average of 0.42% NaCleq. The density ranges from 0.43 g/cm³ to 0.95 g/cm³, with an average of 0.82 g/cm³. From the early stage to the main stage, the homogenization temperature shows a decreasing trend, while the density slightly increases. The composition of the inclusions is primarily H₂O. Overall, the metallogenic fluids belong to a low-to-moderate temperature, low-salinity, and low-density NaCl-H₂O system. Atmospheric precipitation is involved in the metallogenic fluids, and the fluorite precipitation mechanism is primarily fluid cooling, with mixing of ancient geothermal water and atmospheric precipitation. The Zhashanli fluorite deposit is an epithermal medium-to-low temperature hydrothermal filling-type fluorite deposit.

Key words: Zhashanli ultra-large fluorite deposit; fluid inclusion; epithermal medium-to-low temperature hydrothermal deposit; filling-type deposit; Southern Jiangxi Province

萤石是我国重要的战略性矿种,以萤石为原 料的产品除广泛应用于冶金行业和日常化工行业 外,在新材料、信息技术、新能源、生物、高端制 造、节能环保等战略性新兴产业中也应用广泛,素 有"工业味精"之称(王春连等, 2022; 王岩等, 2023)。近年来,随着萤石应用领域的不断扩展, 我国对萤石矿产的需求呈快速攀升态势。萤石虽 然是我国的优势矿种,但分布不均匀,主要集中于 浙江、赣南及内蒙古中东部、新疆等地。赣南是 我国重要的萤石矿聚集区,其萤石资源以量大、质 优闻名国内外。近年江西省地质局第七地质大队 在赣南地区新发现的楂山里萤石矿床,探明 CaF, 矿物量 607.4×10⁴ t (陈伟等, 2023), 达超大 型规模,为江西省内第一大萤石矿床。该矿床位 于石城县境内,距石城县城北东 60°方向约 7.3 km。 该萤石矿床的发现与评价,实现了江西省内超大 型萤石矿床"零"的突破,取得了引人瞩目的成果, 推动了赣南地区乃至江西的萤石找矿工作。

赣南地区萤石矿床根据产出部位及围岩分成 两种:一种产于下白垩统红盆或红盆与前寒武系 变质基底接触的断裂中,以瑞金谢坊、会昌筠门 岭、石城楂山里萤石矿为代表;另一种产于燕山期 黑云母花岗岩内部断裂或其与震旦系-南华系外 接触带中,以永丰南坑、兴国隆坪大型萤石矿为代 表。前人对产于燕山期黑云母花岗岩内部断裂或 其与南华系-震旦系外接触带中的萤石矿开展了 相关研究,认为成矿流体来源于大气降水和地热 水,黑云母花岗岩为萤石成矿提供F来源和热源 (李敬等,2017;杨世文等,2022);然而对产于白垩 系红盆与前寒武系变质基底接触断裂中的萤石矿 床的系统研究较为薄弱,仅有少量学者对瑞金谢 坊、石城楂山里矿床的基础地质特征进行了归纳 (杨明生等,2014;阙兴华等,2017;庄贤贵等,2017)。

赣南石城县楂山里萤石矿属新近发现的超大 型萤石矿床,矿体埋深 0~890 m,突破了同类型 萤石矿床矿体埋深一般只有 100~500 m 的认识 (王吉平等,2014、2015;刘道荣,2018;方贵聪等, 2020),为今后江西乃至全国寻找同类型萤石矿提 供新的找矿勘查思路,极大地拓宽了萤石矿深部 找矿的空间。为更好地了解产于白垩系红盆与前 寒武系变质基底接触断裂处的萤石矿床成矿流性 质、来源及演化,本文基于实际勘查工作成果,对 楂山里萤石矿床地质特征进行了总结,利用萤石 流体包裹体特征探讨萤石脉成矿流体的性质及来 源,进而探讨楂山里萤石矿矿床成因,为深入研究 赣南地区萤石成矿机制与成矿规律,开展赣南地 区萤石找矿工作提供依据。

1 区域地质背景

楂山里矿区地处北北东向南武夷隆起褶皱带,石城-龙南北东向构造亚带与南岭东西向复杂构造带、遂川(兴国)-石城东西向构造亚带交汇复合部位,属于武夷山成矿带的一部分。矿床定位于南华系变质基底与白垩系断陷盆地接触带处。

区域内出露地层主要有南华系-震旦系、白垩

系和第四系。南华系-震旦系由一套以海相类复 理石建造为特征的层状有序变质岩组成,分布广 泛,组成了区内变质基底。白垩系以内陆断陷盆 地形成的磨拉石建造沉积为主,构成了区内的沉 积盖层。第四系分布于河流两岸及沟谷凹陷等低 洼处(图1)。

本区构造活动以北北东向、北东向、东西向 断裂为特征,断裂具多期活动特征,它们的多期次 活动为成矿物质的活化、迁移、富集和赋存提供 了良好条件,其中北北东、北东向断裂为区内萤石 矿主要赋矿构造。

区域内岩浆活动频繁,方式以侵入为主,多期 次活动特征明显,形成区内大面积分布的花岗岩 (表1、图1),其产出以岩基、岩株出露面积最大, 岩瘤、岩滴分布数量最多。岩浆活动时期主要为加 里东期和燕山期,以加里东期活动最为强烈。岩 体外接触带上常见不同程度的热变质作用现象。

2 矿床地质特征

矿区内地层为南华系万源岩组、白垩系茅店 组和第四系联圩组。其中白垩系上统茅店组 (K₂m)出露于矿区西部,呈倾向北北东向的单斜 状,与南华系变质岩断层接触,岩性主要为泥岩、 粉砂岩、砂岩、砂砾岩等。南华系万源岩组 (Nh₁w)出露于矿区东部,为一套中深变质岩系,岩 性主要为片岩和变粒岩。

区内构造以断裂构造为主,主要有北北东向



Fig. 1 Tectonic location map of the Zhashanli mining area (a) and simplified map of regional geology and mineral resources (b)

b图据张斌等(2019)修编

| Τa | able 1 Simpli | ified classifi | cation of magmatic activity in the | Zhashanli a | rea, Shicheng | g County |
|------|---------------|------------------|------------------------------------|-------------|---------------|----------|
| 活动期 | 朝次 | | 十 西 出 乙 米 刑 | 本中 | 些休 | 十西矿之 |
| 期 | 次 | - 15 | 王女石有关空 |) 1/ | 石平 | 土女切) |
| 燕山晚期 | | γπ | 花岗斑岩 | 岩脉 | | |
| 燕山早期 | 第三次 | γK_1 | 中细粒黑云母花岗岩 | 岩瘤 | 海罗岭 | 铌、钽、钨、锡 |
| | 第一次 | $\eta\gamma T_3$ | 细粒黑云母二长花岗岩 | 岩瘤 | 福村 | |
| 加里东期 | 第一次 | γS_1 | 似斑状中-粗粒黑云母花岗岩 | 岩基 | 会同 | 磷钇矿、独居石 |

表1 石城县楂山里地区岩浆活动划分简表

F1、北东向 F2 两组断裂构造。其中 F1 为本区萤 石矿的导矿和主要容矿构造,出露于矿区中部,其 产状总体较稳定,呈近南北走向(约 350°~15°)展 布,局部膨胀收缩,略具"S"形展布特点,由南往北 贯穿矿区,延伸长度大于 1 km,宽度 1~20 m,倾 向 260°~285°,倾角一般为 75°~85°; F2 构造为 F1 的次级构造(图 2)。

矿区地表未见岩浆岩出露,但在钻孔 ZK2-4、 ZK2-9、ZK4-5、ZK4-6、ZK6-5、ZK6-6 和 ZK10-6 中揭露到少量岩浆岩脉,侵入于白垩系沉积岩 和南华系变质岩中,但在赋矿破碎带和萤石矿体 内尚未发现有脉岩的侵入充填对萤石矿体造成破 坏。岩浆岩脉的岩性主要为中细粒黑云母花岗岩 (图 3、图 4c)、辉绿玢岩。

区内围岩蚀变为一套中低温热液蚀变组合, 主要为硅化、蛋白石化、绢云母化、绿泥石化,次 为碳酸盐化、黄铁矿化。蚀变由矿体中心往两侧 呈硅化-蛋白石化-绿泥石化-碳酸盐化带状分布, 蚀变带宽1~5m。

2.1 矿体

楂山里萤石矿床以单一型萤石矿体(脉)构 成,已发现以 V1、V2 为主、V3、V4 和 V5 为次的 五条萤石矿体。矿体产于南华系变质基底与白垩 系红层盆地边缘北北东向的 F1 断裂构造带中 (图 3、图 4a、4b),矿体严格受 F1 断裂控制,沿断 裂裂隙呈似层状、不规则透镜状和豆荚状等不同 形态产出。矿体产状与控矿、赋矿断裂的产状基 本一致,并随断层产状变化而变化。矿体与围岩 接触界线较清晰(图 3、图 4e),形态较为规则,沿 走向和倾向有胀缩现象,表现为舒缓波状。矿体 主要分布在 1 线 ~ 18 线的-600 m 标高以上,并呈 现出由南往北侧伏展布的特点。萤石矿体总体走 向 355°~13°, 倾向西, 倾角 51°~85°, 由南向北侧 伏, 呈似层状、透镜状产出。主要矿体 V1、V2 平 均厚度分别为 4.90 m、5.35 m, 延长分别为 1040 m、1095 m, 延深达 890 m, 全区 CaF₂ 平均 品位 46.17%。目前沿倾向控制最大斜深 890 m, 仍有向深部延伸的趋势。

2.2 矿石

矿区内矿石矿物为萤石,石英为最主要的脉 石矿物,其它矿物还有钾长石、斜长石、黄铁矿、 绢云母以及少量或微量的黑云母、褐铁矿及榍 石等。矿石矿物萤石颜色有白、浅绿、淡紫、深紫 色等,以浅绿色为主,占 85%以上,其结晶形态 有半自形粒状及他形粒状、隐晶质状、糖粒状、 纤维状、不完整立方体和自形晶状(图 4f、4g、 4h、4i)。

矿石结构以自形-半自形中粒结构为主,次为 隐晶质结构、粒状镶嵌结构、碎斑结构和溶蚀结 构。矿石构造以致密块状构造为主,为区内富矿 矿石,少量为角砾状构造、条带状构造和蜂窝状构 造。地表萤石受风化淋滤流失,矿石呈现"蜂窝 状"硅质骨架(图 4d)。

按主要矿物组合,矿石以石英-萤石型矿石为 主,萤石型矿石仅见于矿体中间部位,萤石-石英 型矿石分布于矿体的边部。

2.3 成矿阶段

根据以往矿区勘查资料,结合本次研究,将楂山里萤石矿床成矿阶段划分为三个阶段(陈伟等, 2023),即成矿早阶段:萤石-石英阶段,以石英为 主,伴生萤石(图 5a、5b);成矿主阶段:石英-萤石 阶段,以萤石为主,伴生少量石英(图 5c);成矿晚 阶段:萤石-方解石阶段,以方解石为主,伴生萤石 (图 5d)。



图 2 楂山里萤石矿床地质简图 Fig. 2 Simplified geological map of the Zhashanli fluorite deposit

3样品采集及分析方法

于楂山里萤石矿床 10 号勘探线钻孔(ZK10-7、ZK10-8)中揭露的主要萤石矿体 V1、V2 按不 同标高采集新鲜萤石矿石样品 6 件,包括 3 件成 矿早阶段浅绿色细晶块状萤石和 3 件成矿主阶段 浅绿色中粗粒块状萤石(图 3、图 4f、4g、4h,表 2)。

流体包裹体片的制备在北京久仁矿产品加工 部完成。样品磨制成流体包裹体片后,在显微镜 下开展了详细的岩相学观察,并拍摄了代表性的 照片。随后,对选定的流体包裹体进行了显微测 温及激光拉曼光谱分析研究。

流体包裹体显微测温工作在东华理工大学核 资源与环境国家重点实验室完成,所用仪器为英 国产的 Linkam-THMS600 冷热台。均一温度测 定时, 仪器的分析精度为±2 ℃, 冰点温度测定时, 分析精度为±0.2 ℃。在详细的岩相学观察基础 上, 对萤石流体包裹体进行系统的显微测温。均一 温度测定时, 开始以 10~15 ℃/min 的速率升高温 度至气泡变小或跳动时, 将速率降低至 2 ℃/min, 直到气泡消失, 此时的温度为均一温度。冰点温 度测试过程中, 先将系统温度以 5~10 ℃/min 的 速率降温至-92 ℃, 确保包裹体完全冻住后, 以 10~15 ℃/min 速率升温至-25 ℃ 时, 将速率降低 至 2~5 ℃/min, 当冰开始融化时, 以 0.5~1.0 ℃/ min 的速率升温至最后一块冰融化, 此时的温度 即为冰点温度。

激光拉曼光谱分析测试工作在南京大学能源 科学研究院的激光拉曼实验室完成,所使用的仪 器为日本 HORIBA 公司的显微激光拉曼光谱仪 (型号 LabRAM HR)。实验条件如下:环境温度控





Fig. 3 Section sketch of geological prospecting line No.10 in Zhashanli fluorite deposit

制在 23 ℃,采用 Si 标准(520.5 cm⁻¹)进行校准,光 源为 Ar 离子激光器(波长 532 nm),光栅设置为 1800,每次扫描时间为 40 秒,重复扫描 3 次,检测 范围覆盖 100 cm⁻¹ 至 4000 cm⁻¹ 的全波段。

4分析结果

4.1 流体包裹体岩相学特征

萤石是较易发育流体包裹体的矿物。显微镜 下观察到楂山里萤石矿区萤石样品中包裹体具有 个体较小、数量多、边界明显的特点。多数包裹 体分布较均匀,常成群成带分布,为原生包裹体。 另外,局部可见少量包裹体沿裂隙展布,定向性较 明显,为次生包裹体。原生包裹体类型主要为富 液相的气液两相包裹体,次为纯液相和纯气相包 裹体(图 6),没有观察到富含 CO₂包裹体和含子 晶多相包裹体。

根据室温下流体包裹体的类型和相态特征, 采用卢焕章等(2004)提出的流体包裹体分类方 案,将楂山里萤石矿床萤石中的原生包裹体分为 以下三种类型:

第 I 类为富液相的气液两相包裹体(图 6a、



图 4 楂山里萤石矿床地质特征图

Fig. 4 Geological features map of the Zhashanli fluorite deposit

a、b.萤石控矿破碎带 F1; c. 钻孔 ZK2-9 揭露的中细粒黑云母花岗岩; d. 地表萤石风化淋滤流失之后的蜂窝状硅质骨架;

e. 萤石沿构造破碎带裂隙充填; f-i.各成矿阶段萤石矿石

表 2 楂山里萤石矿床萤石流体包裹体采样登记表

| Table 2 | Sampling | registration | of fluid | inclusions | s in fluorite | from the | e Zhashanli | fluorite | deposit |
|---------|----------|--------------|----------|------------|---------------|----------|-------------|----------|---------|
|---------|----------|--------------|----------|------------|---------------|----------|-------------|----------|---------|

| 成矿阶段 | 样品号 | 样品名称 | 样品描述 | 采样工程 | 采样深度 (埋深) |
|------|-----------|------|------------|--------|--------------|
| | 23ZSL-4-1 | 萤石 | 浅绿色细晶块状萤石 | ZK10-8 | 260 m |
| 早阶段 | 23ZSL-4-2 | 萤石 | 浅绿色细晶块状萤石 | ZK10-8 | 263 m |
| | 23ZSL-6-2 | 萤石 | 浅绿色细晶块状萤石 | ZK10-7 | 182 m |
| | 23ZSL-4-1 | 萤石 | 浅绿色中粗粒块状萤石 | ZK10-8 | 260 m |
| 主阶段 | 23ZSL-4-3 | 萤石 | 浅绿色中粗粒块状萤石 | ZK10-8 | 287 m |
| | 23ZSL-6-2 | 萤石 | 浅绿色中粗粒块状萤石 | ZK10-7 | 182 m |

6b、6c、6d), 气液比为 5%~60%, 长轴多集中 在 2~25 μm, 形态大部分为四边形和不规则状, 少量为椭圆状。气相多为水蒸气, 通常呈黑色 及暗灰色, 液相多呈无色透明, 是本次研究最主要 的一类包裹体, 所占比例约 90%。该类包裹体 在萤石成矿的各个阶段均可见, 一般呈成群成带 分布。

第Ⅱ类为纯气相包裹体(PG型)(图 6e),该类 包裹体全部由气体组成,主要是在成矿较早阶段 流体温度很高的情况下捕获的。该类包裹体数量 较少, 粒径较小, 长轴多为 2~17 μm, 呈长方形、 眼球状、正方形、椭圆形, 大多呈黑色或暗灰色, 所占比例较少。该类包裹体多产于萤石成矿早阶 段, 常孤立产出。

第Ⅲ类为纯液相包裹体(PL)(图 6f),全部为 单一液相组成,主要为盐水溶液,呈无色透明,该 类包裹体数量较少,主要产于萤石成矿主阶段。 包裹体粒径较小,长轴多为4~20 μm,形态主要 为椭圆形、不规则状,与富液相的气液两相包裹体 相伴产出。



图 5 楂山里萤石矿床各成矿阶段萤石显微照片

Fig. 5 Microscopic photos of fluorite from different mineralization stages in the Zhashanli fluorite deposit a、b. 成矿早阶段萤石与石英伴生(以石英为主),成矿主阶段萤石沿早阶段萤石-石英脉壁充填生长; c. 成矿主阶段矿石 以萤石为主; d. 晚阶段萤石与方解石伴生,成矿晚阶段萤石-方解石脉沿主阶段萤石脉壁充填



图 6 楂山里萤石矿床萤石流体包裹体类型及形态特征 Fig. 6 Types and morphological characteristics of fluorite fluid inclusions in the Zhashanli fluorite deposit a、b、c、d-气液两相流体包裹体; e-纯气相流体包裹体(PG); f-纯液相流体包裹体(PL)

4.2 流体包裹体均一温度和盐度

楂山里萤石矿床4件包裹体薄片样品共获 得I类富液相的气液两相原生包裹体测温有效数 据共164组,其中成矿早阶段57组数据、成矿主 阶段107组数据;获得冰点温度有效数据共计 135组,其中成矿早阶段50组数据、成矿主阶段 85 组数据。早阶段、主阶段萤石流体包裹体的均 一温度和盐度见表 3、图 7。

成矿早阶段流体包裹体均一温度变化在 123~409 ℃ 之间,平均为 235 ℃,包裹体均一温度主要 集中在 160~300℃ 之间(图 7a);成矿主阶段流体包 裹体均一温度变化在 141 ~ 324 ℃ 之间, 平均为 212
℃, 包裹体均一温度主要集中在 140 ~ 260 ℃ 之间
(图 7b)。由早阶段至主阶段, 均一温度有变低的趋势。
成矿早阶段流体包裹体盐度主要集中分布
于 0.05 ~ 0.40%NaCleq 低盐度区, 平均为 0.28%

| 表3 札 | 楂山里萤石矿床萤石原生包裹体显微测温结果及参数表 |
|------|--------------------------|
|------|--------------------------|

Table 3 Microthermometry results and parameters of primary inclusions in fluorite from the Zhashanli fluorite deposit

| 成矿 阶段 | | 包裹体 | | | | 冰占 | | */1 | 宓庻 | 成矿压力 | 成矿深度 |
|----------|---|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|--|--|---|--|---|--|---|
| | 样品号 | 类型 (测试数) | 气液比 (%) | 粒度 (µm) | 形态 | (\mathcal{C}) | (%NaCleq) | 坞— 温度(℃) | (g/cm^3) | $(\times 10^5 \text{ Pa})$ | (km) |
| | 23ZSL-4-1 | V-L(6) | 10 ~ 15 | 2~10 | 四边形、不规 则状、眼球状 | -0.07 ~ 0 | 0.02 ~ 0.12 | 156 ~ 202 | 0.88 ~ 0.92 | 109.58 ~ 200.70 | 0.37 ~ 0.67 |
| 早阶段 | 23ZSL-4-2 | V-L(29) | 10 ~ 50 | 3~25 | 四边形、不规 则状、眼球状 | -0.01 ~ 0 | 0.02 ~ 0.51 | 123 ~ 409 | 0.60 ~ 0.95 | 104.06 ~ 536.63 | 0.35 ~ 1.79 |
| | 23ZSL-6-2 | V-L(22) | 10 ~ 50 | 3~15 | 四边形、眼球状、 正方形、三角形 | -0.5 ~ 0 | 0.05 ~ 0.95 | 163 ~ 408 | 0.43 ~ 0.91 | 95.92 ~ 735.31 | 0.32 ~ 2.45 |
| | | | | | | | | | | | |
| | 均值 | | | | | -0.2 | 0.28 | 235 | 0.80 | 320.36 | 1.07 |
| | 均值 23ZSL-4-1 | V-L(92) | 8 ~ 60 | 4 ~ 20 | 四边形、眼球状、 椭圆形、不规则状 | -0.2 -4.3 ~ 0 | 0.28 0.02 ~ 2.38 | 235 141 ~ 261 | 0.80 0.48 ~ 0.93 | 320.36 84.43 ~ 896.10 | 1.07 0.28 ~ 2.99 |
| 十阶码 | 均值 23ZSL-4-1 23ZSL-4-3 | V-L(92) V-L(9) | 8 ~ 60 15 ~ 50 | 4 ~ 20 3 ~ 15 | 四边形、眼球状、 椭圆形、不规则状 四边形、眼球状、 三角形、椭圆形 | -0.2 -4.3 ~ 0 -0.3 ~ -0.1 | 0.28 0.02 ~ 2.38 0.20 ~ 0.60 | 235 141 ~ 261 157 ~ 264 | 0.80 0.48 ~ 0.93 0.76 ~ 0.92 | 320.36 84.43 ~ 896.10 119.03 ~ 465.85 | 1.07 0.28 ~ 2.99 0.40 ~ 1.55 |
| 主阶段 | 均值 23ZSL-4-1 23ZSL-4-3 23ZSL-6-2 | V-L(92) V-L(9) V-L(6) | 8 ~ 60 15 ~ 50 5 ~ 25 | 4 ~ 20 3 ~ 15 4 ~ 20 | 四边形、眼球状、 椭圆形、不规则状 四边形、眼球状、 三角形、椭圆形 四边形、眼球状、 三角形 | -0.2 -4.3 ~ 0 -0.3 ~ -0.1 -0.4 ~ -0.1 | 0.28 0.02 ~ 2.38 0.20 ~ 0.60 0.11 ~ 0.64 | 235 141 ~ 261 157 ~ 264 184 ~ 324 | 0.80 0.48 ~ 0.93 0.76 ~ 0.92 0.63 ~ 0.89 | 320.36 84.43 ~ 896.10 119.03 ~ 465.85 211.26 ~ 636.14 | 1.07 0.28 ~ 2.99 0.40 ~ 1.55 0.70 ~ 2.12 |

注:包裹体显微测温在东华理工大学核资源与环境国家重点实验室完成;盐度据卢焕章等(2004)计算;密度据Bodnar et al.(1984)计算;V-L:气体-液体



Fig. 7 Homogenization temperature and salinity histograms of fluid inclusions from the earlyand main ore-forming stages of the Zhashanli fluorite deposit

NaCleq, 少量分布于 0.51 ~ 0.95%NaCleq (图 7c), 属低盐度流体; 成矿主阶段流体包裹体盐度主要 集中分布于 0.02 ~ 0.60%NaCleq 低盐度区, 平均 为 0.56%NaCleq, 少量分布于 0.64 ~ 2.38%NaCleq (图 7d),属低盐度流体。

根据包裹体密度的计算公式(Bodnar and Bethke, 1984; 卢焕章等, 2004; 朱坤贺, 2023), 可 知早阶段萤石矿的流体密度为 0.43~0.95 g/cm³ (表 3), 平均为 0.80 g/cm³; 主阶段萤石矿的流体 密度为 0.48~0.93 g/cm³(表 3), 平均为 0.83 g/cm³。 早、主阶段成矿流体均属低密度流体。由早阶段 至主阶段,流体密度略有增高趋势。

4.3 流体包裹体成分

对楂山里萤石矿中代表性萤石流体包裹体气 相及液相进行激光拉曼光谱分析。结果显示:早、 主阶段萤石包裹体的气相激光拉曼光谱只检测到 宽泛的 H₂O 的包络峰,而液相组分中也仅检测到 H₂O 的包络峰(图 8)。由此显示楂山里矿床萤石 气液两相包裹体成分均以 H₂O 为主,未检测到 CO₂、N₂、CH₄等气体。





5 讨论

5.1 成矿流体特征及演化

根据测定的流体包裹体均一温度及盐度 (表 3),结合冰点温度及激光拉曼成分分析,楂 山里萤石矿成矿流体属 NaCl-H₂O 体系。萤石主 成矿阶段流体包裹体均一温度变化在 141~ 324 ℃之间,平均为 212 ℃;盐度集中于 0.02~ 0.60%NaCleq,平均为 0.56%NaCleq;密度为 0.48~ 0.93 g/cm³,平均为 0.83 g/cm³,属于中低温、低盐 度、低密度的 NaCl-H₂O 的含矿流体,这种低盐度 中低温溶液形成于大量大气降水加入的情况下, 或者成矿流体本身就是被加热了的早期大气降水 (古地热水)(马承安,1990;韩文彬等,1991;文化 川和汪建中,1992;曹俊臣,1994;徐有华,2008;曾 昭法等,2013;叶锡芳,2014)。

前人研究表明, 萤石沉淀机制主要为成矿流 体温度和压力降低、不同性质的流体混合、流体 不混溶或沸腾和富氟流体与围岩发生水-岩反应 (吴益平等, 2022; 刘金宇等, 2024; 张建芳等, 2024)。 从楂山里萤石矿床流体包裹体盐度-均一温度协 变图(图 9)可以看出,流体包裹体均一温度与盐 度之间存在较为明显的线性关系。成矿早阶段流 体温度逐渐降低,但盐度基本不变,演化趋势与 C 趋势线相似,表明成矿早阶段萤石沉淀机制主 要为流体冷却作用;成矿主阶段流体随着温度逐 渐降低,盐度呈现逐渐变低趋势,其演化趋势与 B 趋势线相似,表明主阶段萤石沉淀机制为两种 流体混合作用,即相对高温、高盐度的古地热水和 低温、低盐度的大气降水混合。综合来看, 楂山里 萤石沉淀机制为流体冷却、古地热水与大气降水 流体混合作用。

5.2 流体压力和成矿深度

先后有不少学者(刘斌和沈昆, 1999; Driesner and Heinrich, 2007)提出了多种计算流体包裹体压 力的公式和方法。流体压力既可以通过公式计 算,亦可通过相图估算。

本次根据流体包裹体的均一温度和流体盐 度,利用计算流体压力的经验公式:



图 9 楂山里萤石矿床流体包裹体盐度-均一温度协变图

Fig. 9 Salinity-homogenization temperature covariance diagram of fluid inclusions in the Zhashanli fluorite deposit

A. 不同盐度流体等温混溶; B. 与较低温低盐度流体混溶;
 C. 冷却; D. 沸腾; 趋势线据张明玉等(2018)

 $\mathbf{p} = \mathbf{p}_0 \mathbf{T}_1 / \mathbf{T}_0$

 $p_0 = 219 + 2\ 620\ W$

 $T_0 = 374 + 920 W$

式中 T₁ 为实测成矿温度, p 为成矿压力(×10⁵ Pa, W 为流体盐度)(邵洁涟和梅建明, 1986)

计算出楂山里萤石流体包裹体的流体压力。 结果表明,楂山里萤石矿化期流体包裹体的压力 为 8~90 MPa,平均为 34 MPa(表 3)。根据包裹 体的成矿压力,利用经验公式:

h=p×1/(300×10⁵)km(邵洁涟和梅建明, 1986)

计算出楂山里萤石成矿深度为 0.28~2.99 km, 平均为 1.14 km (表 3),属浅成矿床。

5.3 成因类型

楂山里萤石矿床萤石矿体严格受断裂硅化破 碎带控制,显示充填型的特点。萤石包裹体特征 显示:楂山里萤石矿成矿流体为中低温、低盐度、低 密度的 NaCl-H₂O 的含矿热水溶液,主要来源于加 热的早期大气降水与后期大气降水。随着温度、压 力的降低,pH 值升高,矿液在有利空间(破碎带) 沉淀,进而形成楂山里萤石矿床。综上所述,该矿 床成因类型属浅成中低温热液充填型萤石矿床。

6 结论

(1) 楂山里矿床萤石流体包裹体类型主要为 富液相两相包裹体,包裹体成分以H₂O为主。总 体而言, 萤石成矿流体属于中低温、低盐度、低密度的 NaCl-H₂O 体系。

(2) 楂山里矿床成矿流体为被加热了的大气 降水(古地热水), 萤石沉淀机制为流体冷却、古地 热水与大气降水流体混合。

(3) 楂山里矿床属受断裂控制的浅成中低温 热液充填型萤石矿床。

参考文献:

- 曹俊臣.1994.中国与花岗岩有关的萤石矿床地质特征及成 矿作用 [J]. 地质与勘探,30(5):1-6.
- 陈 伟,廖志权,阙兴华,连经纬,冯卫东,张宁发,曹正端,叶江 伟,彭正泉,肖 敏,孙 杨,李 韬,陈巧云,陈 丹. 2023. 江西 省石城县楂山里矿区萤石矿勘探、地热水可行性勘 查报告 [R]. 江西省地质局第七地质大队.
- 方贵聪,王登红,陈毓川,黄凡,王岩,吴家旭,胡世辅.2020.南 岭萤石矿床成矿规律及成因 [J]. 地质学报,94(1):161-178.
- 韩文彬,马永安,王玉荣. 1991. 萤石矿床地质及地球化学特征--以浙江武义矿田为例 [M]. 北京:地质出版社.
- 李 敬,商朋强,王吉平,高永璋,张 浩.2017.水尾山萤石矿稀 土元素地球化学特征及成因 [J]. 中国矿业,26(12): 198-202.
- 刘 斌,沈 昆. 1999. 流体包裹体热力学 [M]. 北京:地质出版 社.
- 刘道荣.2018.浙江萤石矿床勘查深度研究 [J]. 东华理工大 学学报 (自然科学版),41(4):389-394.
- 刘金宇,舒启海,张为,张方方,张玉光,陈福川,吴华英,王庆 飞,邓 军.2024.岩浆热液系统氟的富集与成矿 [J]. 岩 石学报,40(6):1943-1958.
- 卢焕章,范宏瑞,倪 培,欧光习,沈 昆,张文淮. 2004. 流体包 裹体 [M]. 北京:科学出版社.
- 马承安.1990.武义萤石矿床矿物包裹体研究 [J]. 华东地 质,(3):13-24.
- 阙兴华,庄贤贵,冯卫东,张青.2017.石城县楂山里萤石矿床 地质特征及成因探讨 [J]. 中国非金属矿工业导刊,(1): 52-55.
- 邵洁涟,梅建明.1986.浙江火山岩区金矿床的矿物包裹体 标型特征研究及其成因与找矿意义 [J]. 矿物岩 石,6(3):103-111.
- 文化川,汪建中.1992.南坑萤石矿床萤石包裹体特征及成 因研究 [J]. 矿物岩石,(3):74-79.
- 王春连,王九一,游超,余小灿,刘殿鹤,颜开,刘思晗,薛 燕,刘延亭,刘雪,尹传.2022.战略性非金属矿产厘 定、关键应用和供需形势研究[J].地球学报, 43(3):267-278.

- 王吉平,商朋强,熊先孝,杨辉艳,唐尧. 2014. 中国萤石矿成 矿规律 [M]. 北京:地质出版社.
- 王吉平,商朋强,熊先孝,杨辉艳,唐尧.2015.中国萤石矿床 成矿规律 [J]. 中国地质,42(1):18-32.
- 王 岩,王登红,秦锦华,黄 凡,郭娜欣,赵晨辉.2023.南岭东段 区域成矿规律与成矿预测 [J]. 地质学报,97(4):1315-1328.
- 吴益平,张连昌,周月斌,朱明田,陈三中,钟 莉,杨光靖,闫瑜 婉,刘建锋.2022.阿尔金卡尔恰尔超大型萤石矿床成 矿流体特征及形成机制探 [J]. 地质科学,57(2):495-509.
- 徐有华. 2008. 赣南萤石矿成矿地质条件及成矿预测研究 [D]. 中国地质大学 (北京) 博士学位论文.
- 叶锡芳.2014.浙江萤石矿床成矿规律与成矿模式 [J]. 西北 地质,47(1):208-220.
- 杨世文,丰成友,楼法生,许德如.2022.赣南隆坪萤石矿床成 矿流体特征及成矿模式 [J]. 地质学报,96(11):3887-3900.
- 杨明生,杨永锋,赖劲虎.2014.赣南谢坊萤石矿 CaF₂ 与围岩 钙氟特征及成矿意义 [J]. 矿业工程研究,29(4):59-62.
- 曾昭法,曹华文,高峰.2013.内蒙古林西地区萤石矿床流体 包裹体研究 [J]. 地球化学,42(1):73-81.
- 张斌,刘兴平,陈新卫,刘东杰,尹本银,卢海波,杜明辉,赵 键,李随云,郑俊鹏,刘辉,曾祥骏,鲍霖,曹召硕,韩啸 天,孙益斌,王彪.2019. 江西宁都河源-石城海罗岭 锡,锂多金属矿整装勘查区矿产调查与找矿预测子项 目总成果报告 [R]. 江西有色地质勘查二队,湖北省地 质局第六地质大队.
- 张建芳,陈浩然,伍江涵,王振,张琨仑,吕鹏瑞,曹华文,邹 灏.2024.萤石矿床成因研究方法及发展趋势 [J]. 西北 地质,57(4):97-112.
- 张明玉,丰成友,武广,王辉,吴玉,韩梅梅,武文恒.2018.赣 北大湖塘地区昆山钨-钼-铜矿床流体包裹体研究和稳 定同位素特征 [J]. 岩石学报,34(9):2616-2630.
- 庄贤贵,彭琳琳,刘庆鸿,杨锐.2017.江西石城楂山里萤石矿 床地质特征及成因探讨[J].化工矿产地质,39(2):65-71.
- 朱坤贺. 2023. 东昆仑造山带海德乌拉铀矿床成矿流体特征 及其对铀成矿的指示 [D]. 东华理工大学硕士学位论文.
- Bodnar R J, Bethke P M. 1984. Systematics of stretching of fluid inclusions: Fluorite and sphalerite at 1 atmosphere confining pressure[J]. Economic Geology, 79(1): 141-161.
- Driesner T, Heinrich C A. 2007. The system H₂O-NaCl. Part I : Correlation formulae for phase relations in temperature-pressure-composition space from 0 to 1000℃, 0 to 5000 bar, and 0 to 1X NaCl[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 71(20): 4880-4901.