

滇西勐糯铅锌矿床流体包裹体研究及矿床成因探讨

邢永辉¹, 缪发金¹, 吴文贤², 马云良³, 张岐能¹, 杨积转¹

(1. 云南省地质矿产勘查院, 云南 昆明 650051; 2. 中国地质调查局军民融合地质调查中心, 四川 成都 610036; 3. 云南省地矿局第四地质大队, 云南 保山 678000)

摘要: 勐糯铅锌矿是保山(地块) Pb-Zn-Cu-Fe-Hg-Sb-As-Au 成矿带内的大型铅锌矿床, 该矿床的成因存在沉积-改造型、喷流沉积型(SEDEX)、热液型矿床(MVT)等不同观点。本文对勐糯铅锌矿床中方解石、石英、重晶石、闪锌矿开展流体包裹体研究, 以探讨该矿床成矿流体来源及矿床成因。结果显示, 该矿床整个成矿期的均一温度服从正态分布, 众数为 170~280 °C, 为中低温; 成矿流体盐度为 4.03%~12.73% NaCl, 属于低盐度的不饱和成矿流体; 整个成矿期的流体密度主要为 0.778~0.978 g/cm³, 显示中等密度特征; 成矿流体以 CO₂、H₂O 为主要成分的低盐度、中等密度流体。结合矿床地质特征、同位素地球化学特征等方面的研究, 认为勐糯铅锌矿床应为与侵入岩浆地质作用有关的中低温热液型铅锌矿床。

关键词: 流体包裹体; 成矿流体; 中低温热液型; 勐糯铅锌矿床; 滇西

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2025.01.003

中图分类号: TD952; P618.42 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532(2025)01-0016-14

引用格式: 邢永辉, 缪发金, 吴文贤, 等. 滇西勐糯铅锌矿床流体包裹体研究及矿床成因探讨[J]. 矿产综合利用, 2025, 46(1): 16-29.

XING Yonghui, MIAO Fajin, WU Wenxian, et al. Study on fluid inclusions and genesis of mengnuo lead-zinc deposit in western yunnan[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2025, 46(1): 16-29.

西南“三江”特提斯成矿域中南段的保山地块(图 1a,b)是我国重要的铁-铜-铅-锌-银-汞-锡-稀有金属矿集区, 勐糯铅锌矿床是区内的重要铅锌矿床, 与北部核桃坪(矿床规模锌矿近大型, 铅矿为中型, 查明 Pb+Zn 金属量 62.76 万 t, 平均品位 Zn 4.81%、Pb 1.0%)、金厂河(矿床规模锌矿为中型, 铅矿为小型, 查明 Pb+Zn 金属量 36.42 万 t, 平均品位 Zn 3.26%、Pb 0.64%)、西邑矿床(矿床规模铅锌均为中型, 查明 Pb+Zn 金属量 66.49 万 t, 平均品位 Zn 2.90%、Pb 2.63%)、南部芦子园(矿床规模锌矿为大型, 铅、铁矿为中型, 查明 Pb+Zn 金属量 232.95 万 t, 平均品位 Zn 2.59%、Pb 1.0%)等矿床构成了我国西南地区

最重要的铅锌生产基地^[1-3]。经过近七十年的勘查与开发, 该矿床已圈定矿体 45 个, 探明 Pb+Zn 金属量 92.94 万 t^[4], 中深部预测 Pb+Zn 资源量 22.28 万 t^[5], 已成为区域内的典型矿床, 因而倍受关注。勐糯铅锌矿床成因相继提出了沉积-改造型^[1-3]、喷流沉积型(SEDEX)^[6]、热液型矿床(MVT)^[7-10]认识。在矿床成因方面存在争议, 开展成矿流体的来源和演化方面的研究是厘定矿床成因的关键信息, 也是建立成矿模型、探讨成矿机制、总结成矿规律的科学依据。勐糯铅锌矿床重晶石脉液相成分、气相成分、溶液压力成果^[1], 反映为多期次和复杂成因类型的矿床。前人通过方解石、石英进行 H-O 同位素、C-O 同位

收稿日期: 2024-08-20

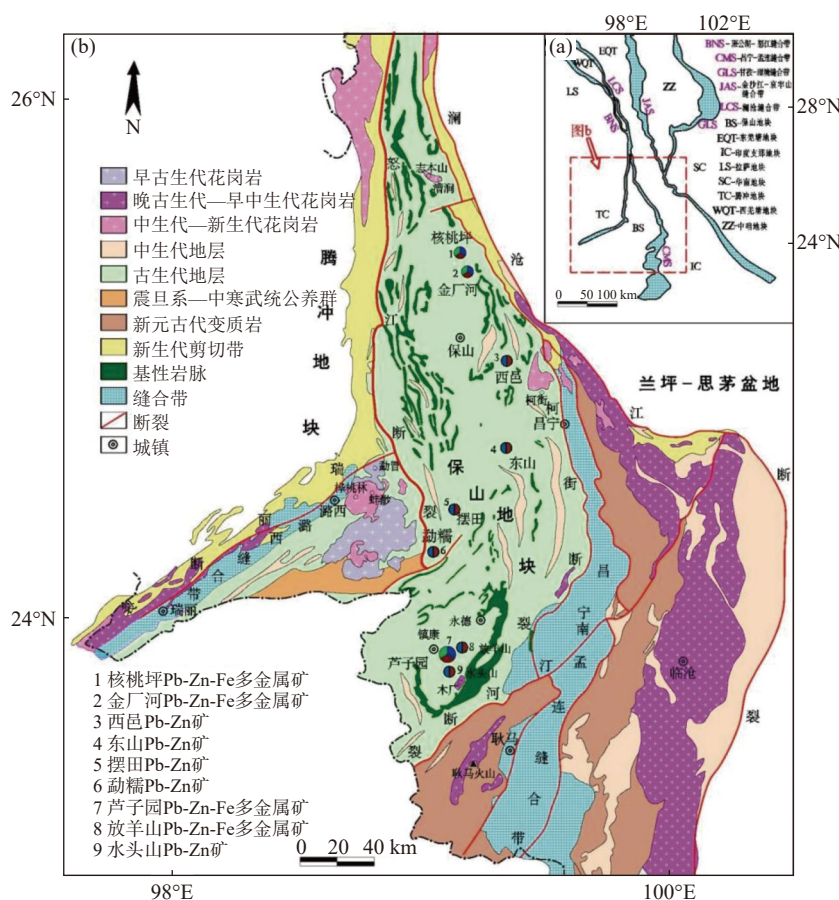
基金项目: 滇西保山地块西缘金多金属矿成矿规律及找矿方向研究; 中国地质大调查项目(DD20243091); 云南永昌铅锌股份有限公司勐糯矿区及外围综合研究与找矿预测(1908YCQX-ZYB11)

作者简介: 邢永辉(1979-), 男, 高级工程师, 长期从事矿产地质调查、矿产勘查与矿床规律研究。

通信作者: 吴文贤(1982-), 男, 正高级工程师, 长期从事找矿预测、地质与地球物理解释研究。

素的研究^[8-9], H-O 同位素表明成矿流体为盆地卤水、有机水和岩浆水混合; C-O 同位素表明成矿流体的主要含碳物种为 H_2CO_3 。前人对矿床流体包裹体方面的研究较少, 对矿床成因的判识依据不足, 在实施“云南永昌铅锌股份有限公司勐糯矿

区及外围综合研究与找矿预测”项目过程中, 在系统开展矿区坑道和钻孔岩心编录的基础上采集样品, 对不同期次的方解石、石英、重晶石、闪锌矿中流体包裹体进行研究, 为探索矿床成因、总结成矿规律等提供依据。



(a) 保山地块构造背景 (b) 保山地块主要构造、岩浆作用和主要矿床位置

图1 保山地块区域地质简图^[11]

Fig.1 Regional geological sketch map of Baoshan block

1 区域地质背景

保山地块位于印度—欧亚板块主碰撞带南东侧, 东临昌宁—孟连缝合带, 西接高黎贡—潞西裂谷, 北部尖灭于澜沧江断裂与怒江断裂之汇拢部位, 整体呈北窄南宽楔形体嵌入临沧地块与腾冲微陆块之间 (图1b)。研究区所属矿带为特提斯成矿域 (I_1) 之三江 (造山带) 成矿省 (II_2) 之保山 (陆块) Pb-Zn-Ag-Fe-Au-Cu-Sn-Hg-Sb-As 成矿带 (III_2) 之保山 (地块) Pb-Zn-Cu-Fe-Hg-Sb-As-Au 矿带 (IV_6)^[11-13]。

区内地层属于典型的“二元”结构, 由变质基底和沉积盖层构成。变质基底为震旦系-中寒武统

公养河群^[14], 由一套轻微变质的页岩、长石石英砂岩夹少量硅质、泥质条带灰岩构成^[15]; 沉积盖层发育一套浅海—潮坪环境的碳酸盐岩、碎屑岩建造^[14-15]。区域褶皱较为发育, 其伴生裂隙、顺层破碎带等次级构造与铅锌多金属成矿作用关系密切; 区域主干断裂有近南北向的怒江断裂、柯街—大山断裂及北东向的南汀河断裂和勐波罗河断裂及北西向的瓦窑河—云县断裂。区域上龙陵—潞西一带岩浆活动频繁, 有加里东晚期—华力西中期、燕山晚期、喜山期, 燕山晚期岩浆活动直接控制了区内稀有金属和有色金属的矿化作用。

2 矿床地质特征

矿区内主要发育奥陶至泥盆系地层。出露最老地层为青白口系大汪塘组 (Qbd) (图 2), 最新地层为三叠系喜鹊林组 (Tx), 缺失石炭系沉积。该矿区未见岩浆岩。矿区构造形迹以南北向断裂构造为主, 叠加了后期的北东向走滑断裂, 褶皱构造不发育。构造线方向主要北北东向, 近东西向为后期破矿构造。矿区地层在地表及中部呈 30~50°西倾, 深部为向东陡倾的单斜构造, 其产出与区域构造线一致, 含矿地层及顶底板岩性中发育片理化、千枚岩化, 层间构造发育, 晚期

发育张性构造。矿体呈层状、似层状、脉状产于志留系中上统栗柴坝组一段一层的灰岩中, 控制矿体 45 个。上覆地层为栗柴坝组一段二层的砂岩、千枚岩, 矿体出露长约 10 km, 倾向延伸大于 1 km, 具多脉多层, 一至五层不等, 有尖灭再现的特点 (图 2)。根据产出部位和空间分布特征, 矿体分为 II、III 两个主矿体群。其中, III 号矿群赋存于志留系中上统栗柴坝组一段一层 (S_l^{1-1}) 中下部生物碎屑灰岩中, 单个矿体长 200~2 500 m, 延伸 890 m, 厚 0.29~7.10 m, Pb 平均品位 4.71%, Zn 平均品位 7.62%。

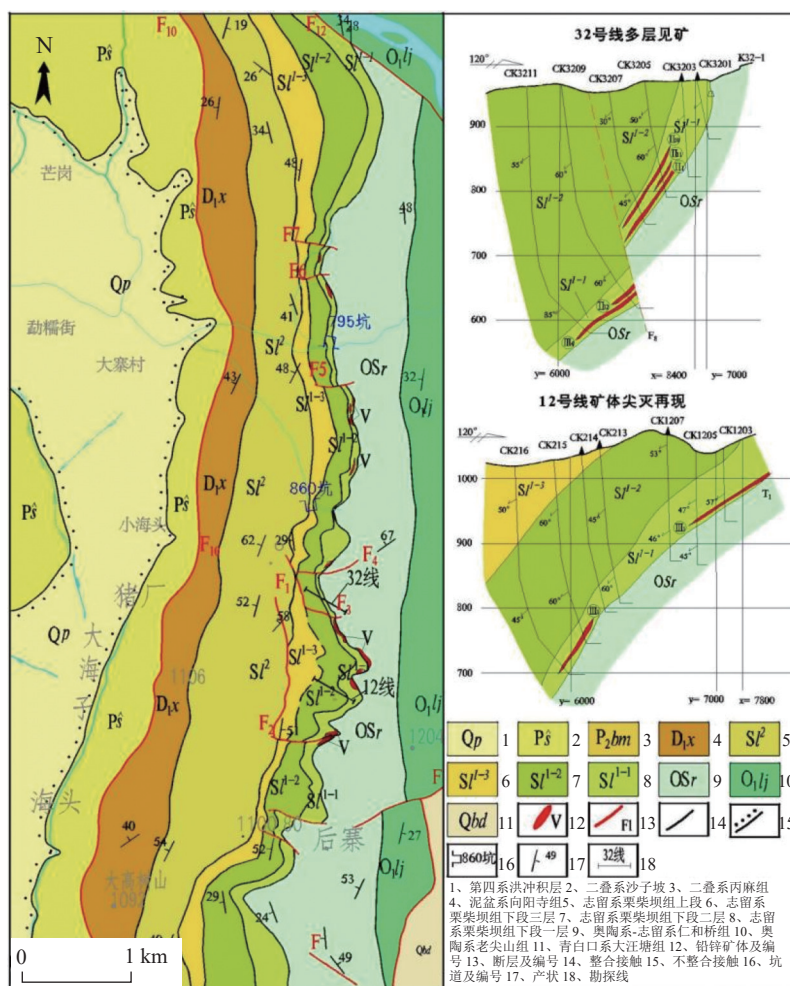


图 2 勐糯铅锌矿床地质简图

Fig.2 Geological sketch map for the Mengnuo lead-zinc deposit

II 号矿群赋存于志留系中上统栗柴坝组一段一层 (S_l^{1-1}) 上部层纹灰岩夹生物碎屑灰岩中, 单个矿体长 450~1 310 m, 延伸 90~780 m, 厚 0.23~4.48 m, Pb 平均品位 3.61%, Zn 平均品位 9.56%。

矿石常见构造主要是沿层或平行层的散点状构造、浸染状构造、细脉条带状构造等构造, 尚有云雾状构造、斑杂状构造、致密块状构造、角砾状构造等构造现象。矿床氧化带经表生淋滤作用, 还有砂土状构造、胶状构造、多孔状构造、

皮壳状构造。

矿石结构有微粒结构、莓球状或球粒状结构、核心结构、同心环带结构、放射状结构；假象结构、再生长结构、定向乳滴结构、港湾状结构、交代残余结构、填隙结构、网格状结构；压碎结构以及表生期环带与反应边结构等。

矿石中金属矿物以闪锌矿、方铅矿、黄铁矿为主，次为硫锑铅矿，仅少量的黝铜矿。闪锌矿呈他形晶集合体，交代黄铁矿使其边界圆滑，也被方铅矿沿裂隙穿切交代，使闪锌矿被包围成大小不等的团块状。方铅矿也呈他形晶集合体，形状不规则交代黄铁矿、闪锌矿，矿物内包裹硫锑铅矿，大部分方铅矿与闪锌矿一起呈条带状分布，但部分呈细粒、细脉星散分布在黄铁矿粒间、闪锌矿裂隙中。黄铁矿多呈他形晶集合体，少量呈长板条的放射状集合体，矿物边部被个别黝铜矿他形晶交代。硫锑铅矿呈板状、纺锤状、

粒状包裹于方铅矿中。

根据成矿地质条件、矿体产出特征、矿物共生组合特征及其穿插关系，结合前人研究成果^[5,16]，将成矿期次划分为沉积期、热液成矿期、表生期（表1），沉积期形成的金属硫化物为黄铁矿，伴生有方解石。热液成矿期又划分了三个阶段：阶段Ⅰ形成的金属硫化物为黄铁矿，伴生有方解石及少量重晶石；阶段Ⅱ为主成矿阶段，形成的金属硫化物为闪锌矿、方铅矿，闪锌矿主要呈浅黄色-红色-红棕色细粒条带状、团斑状、浸染状或胶状产出，部分呈细脉状与方铅矿互层，部分与方铅矿交代，伴有方解石呈细脉状、团包状，大规模产出，并与矿体密切共生，具共生边结构；阶段Ⅲ形成的金属硫化物为闪锌矿，棕褐色-浅黄色粗粒状，以脉状切穿阶段Ⅱ的闪锌矿、方铅矿。表生期主要是氧化矿的成矿期，是地表、近地表的矿（化）体经表生作用的富集过程。

表1 勐糯铅锌矿床矿物生成顺序
Table 1 Mineral formation sequence of the Mengnuo lead-zinc deposit

矿物	期次				
	沉积期	I	II	III	表生期
方解石	■			■	
方铅矿			■	■	
闪锌矿			■	■	
黄铁矿	■	■	■	■	
重晶石		■	■	■	
石英					
白云石					
褐铁矿			■		

3 样品采集和分析方法

通过系统编录矿区坑道及主要钻孔岩心，采集手标本并做了镜下观察，确定以热液成矿期阶段Ⅱ、阶段Ⅲ为研究对象，研究样品采自于矿区Ⅲ号主矿体井下不同标高、不同勘探线的坑道中。在野外和室内详细研究的基础上挑选具有代表性的样品，磨制成包裹体薄片进行流体包裹体岩相学观察及显微测温分析。冷热台型号THMS600，测温过程使用液氮冷冻、电炉丝加热，测温范围为-196~600℃，测量精度为±0.1℃。在流体包裹体测温实验过程中，升降温速度控制在5~20℃/min，接近观察点或相变点附近速度降至

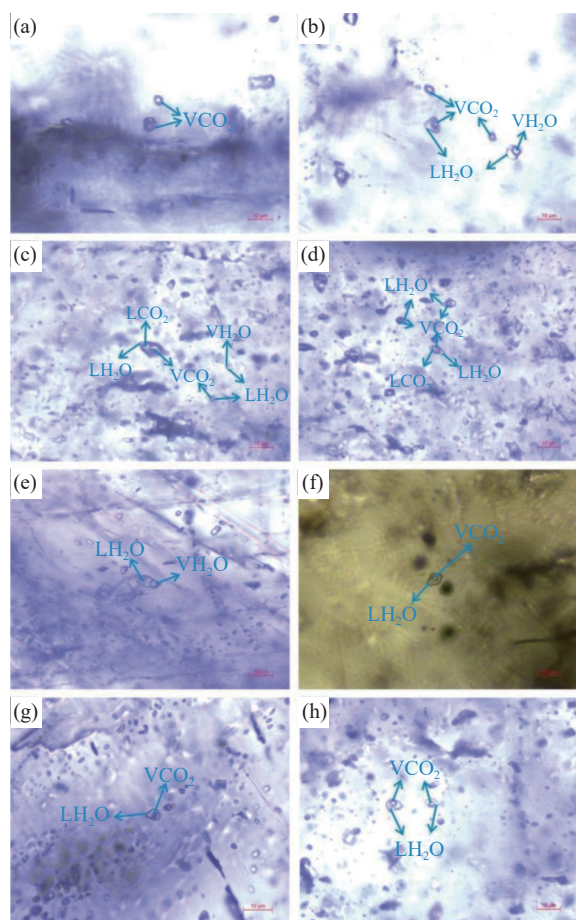
0.1~1℃/min，并进行反复测温检验，以保证相转变温度的准确性。

进行单个包裹体成分显微激光拉曼探针分析，测试仪器为Renishaw inVia Reflex显微激光拉曼光谱仪，激光器波长为514nm，激光功率20mw，光栅2400l/mm，曝光时间20s/1次叠加，光谱分辨率±1cm⁻¹，光谱重复性≤0.1cm⁻¹。测试温度、湿度分别为23℃和45%。

4 分析结果

4.1 流体包裹体岩相学特征

根据方解石、石英、重晶石、闪锌矿中流体



(a) 重晶石中纯 CO_2 气体包裹体; (b) 重晶石中气液包裹体;
(c) 石英中含液体 CO_2 多相包裹体; (d) 石英中含液体 CO_2 多相包裹体与气液包裹体成群分布; (e) 方解石中纯 H_2O 气液包裹体; (f) 闪锌矿中气液包裹体; (g) 重晶石中气液包裹体成串分布; (h) 石英中气液包裹体呈椭圆形、浑圆形。 VCO_2 : 气相二氧化碳; LCO_2 : 液相二氧化碳; LH_2O : 液相水; VH_2O : 气相水。

图3 勐糯铅锌矿床流体包裹体特征

Fig.3 Characteristics of fluid inclusions in the Mengnuo lead-zinc deposit

包裹体在室温下的形态组成特征、升降温过程中的相态变化以及显微激光拉曼探针分析结果,将勐糯铅锌矿床流体包裹体分为四类:纯液体 H_2O 包裹体(图 3e)、气液 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 包裹体(图 3g、h)、气体 CO_2 包裹体(图 3a)和含液体 CO_2 多相包裹体(图 3d)。其中以气液包裹体和含液体 CO_2 多相包裹体为主,两者数量上约占包裹体总数的 98%。

气液包裹体在室温下由气液两相组成,气液比 5%~40%,升温后完全均一至液相。包裹体通常较小,大小多在 3~7 μm ,呈椭圆形、管形、负晶形、不规则形等,分布不均匀,局部成群、成串分布,少量独立分布(图 3b、f)。这一类型包

裹体是勐糯铅锌矿区最主要的包裹体类型。

含液体 CO_2 多相包裹体在室温下水溶液相和气相或气液两相的 CO_2 组成,在室温和冷冻过程中可见典型的“双眼皮”特征($\text{VCO}_2+\text{LCO}_2+\text{LH}_2\text{O}$)(图 3c)。气相充填度通常大于 40%,颜色相对较深,呈椭圆形、浑圆形、负晶形,大小多在 5~10 μm ,多孤立分布。

4.2 流体包裹体显微测温

闪锌矿包裹体的均一温度在 155~238 $^{\circ}\text{C}$ 之间,全部均一至液相(表 2)。均一温度近似服从正态分布,众数为 170~230 $^{\circ}\text{C}$ 之间,均一温度直方图有两个峰(图 4),反映闪锌矿是在两个矿化阶段形成。闪锌矿是最主要的矿石矿物,其包裹体的均一温度代表了主成矿期流体的温度,这说明成矿阶段经历了中温到低温的变化。

重晶石包裹体均一温度在 129~396 $^{\circ}\text{C}$ 之间,全部均一至液相(表 2)。均一温度近似服从正态分布,众数为 160~270 $^{\circ}\text{C}$ 之间,均一温度直方图上只有一个峰(图 4),经历了连续温度变化。重晶石包裹体的均一温度略高于闪锌矿包裹体,二者的温度范围又有部分重叠,又都经历了连续温度变化,这说明从重晶石到闪锌矿结晶,热液温度变化是持续降低的。

方解石包裹体的均一温度在 139~285 $^{\circ}\text{C}$ 之间,全部均一至液相(表 2)。均一温度近似服从正态分布,众数为 190~240 $^{\circ}\text{C}$ 之间,与闪锌矿对应,均一温度直方图有两个峰(图 4),方解石包裹体均一温度范围与闪锌矿包裹体一致,说明闪锌矿和方解石在相似的温度环境下结晶沉淀。

勐糯铅锌矿床中石英矿物中含液体 CO_2 多相包裹体,在室温或降温过程中出现液态 CO_2 , -110 $^{\circ}\text{C}$ 左右 CO_2 相全部冻结,在回温过程中测得固体 CO_2 完全熔化温度为 -59.6~-56.1 $^{\circ}\text{C}$,多数低于 CO_2 的三相点(-56.6 $^{\circ}\text{C}$)。笼形物熔化温度为 7.4~9.8 $^{\circ}\text{C}$, CO_2 相部分均一温度为 24.6~29.4 $^{\circ}\text{C}$,均一至液相。石英包裹体均一温度在 146~389 $^{\circ}\text{C}$ 之间,富液包裹体均一至液相、富 CO_2 三相包裹体均一至气相(表 2)。均一温度近似服从正态分布,众数为 230~300 $^{\circ}\text{C}$ 之间,均一温度直方图上只有一个峰(图 4),略高于闪锌矿均一温度直方图的第二个峰值,经历了连续温度变化。

表2 勐糯铅锌矿床流体温度、盐度特征
Table 2 Characteristics of fluid temperature and salinity in the Mengnuo lead-zinc deposit

样品编号	测定矿物	类型	测定次数	$T_{h,total}/^{\circ}\text{C}$	$T_{m,icc}/^{\circ}\text{C}$	$T_{m,CO_2}/^{\circ}\text{C}$	$T_{h,CO_2}/^{\circ}\text{C}$	$T_{m,clath}/^{\circ}\text{C}$	盐度/% NaCl
MX01860-2	重晶石	L+V	7	177~284	-9.6~-1.1				1.91~13.51
MX01860-3	重晶石	L+V	11	178~261	-8.6~-2.0				3.39~12.39
MX01860-5	重晶石	L+V	5	199~264	-6.5~-2.3				3.87~9.86
	石英	L+V	5	223~306	-8.3~-5.9				9.08~12.05
MX44200-3	石英	L+V	4	224~246	-8.3~-5.8				8.95~12.05
	方解石	L+V	6	206~229	-7.9~-4.1				6.59~11.58
MX44200-5	石英	L+V	2	146~188	-3.7~-3.1				5.11~6.01
	方解石	L+V	7	207~238	-4.5~-3.4				5.56~7.17
MX44200-8	石英	L+V	2	229~320	-4.7~-0.4				0.70~7.45
	方解石	L+V	8	152~285	-5.8~-3.0				4.96~8.95
MX54860-2	重晶石	L+V	7	171~243	-14.3~-7.1				10.61~18.04
	闪锌矿	L+V	15	155~238	-10.7~-6.0				9.21~14.67
MX54860-6	重晶石	L+V	10	141~261	-9.5~-1.7				2.90~13.40
MX725860-1	重晶石	L+V	20	129~332	-9.0~-0.2				0.35~12.85
MX725860-5	方解石	L+V	10	139~194	-6.6~-0.6				1.05~9.98
MX725860-8	方解石	L+V	10	192~256	-7.8~-3.5				5.71~11.46
MX725860-9	石英	L+V	4	150~389	-3.6~-1.0				1.74~5.86
		L+Vco ₂ +Lco ₂	13	187~313		-59.6~-56.4	24.6~29.4	8.3~9.8	0.43~3.33
MX725860-11	石英	L+Vco ₂ +Lco ₂	10	254~294		-58.8~-56.1	25.9~29.3	7.4~9.8	0.43~4.98
MX38860-4	重晶石	L+V	20	139~396	-8.0~-1.5				2.57~11.70

注： $T_{h,total}$ ：完全均一温度； $T_{m,icc}$ ：冰点； T_{m,CO_2} ：固体CO₂完全熔化温度； T_{h,CO_2} ：CO₂相部分均一温度； $T_{m,clath}$ ：笼形物熔化温度。

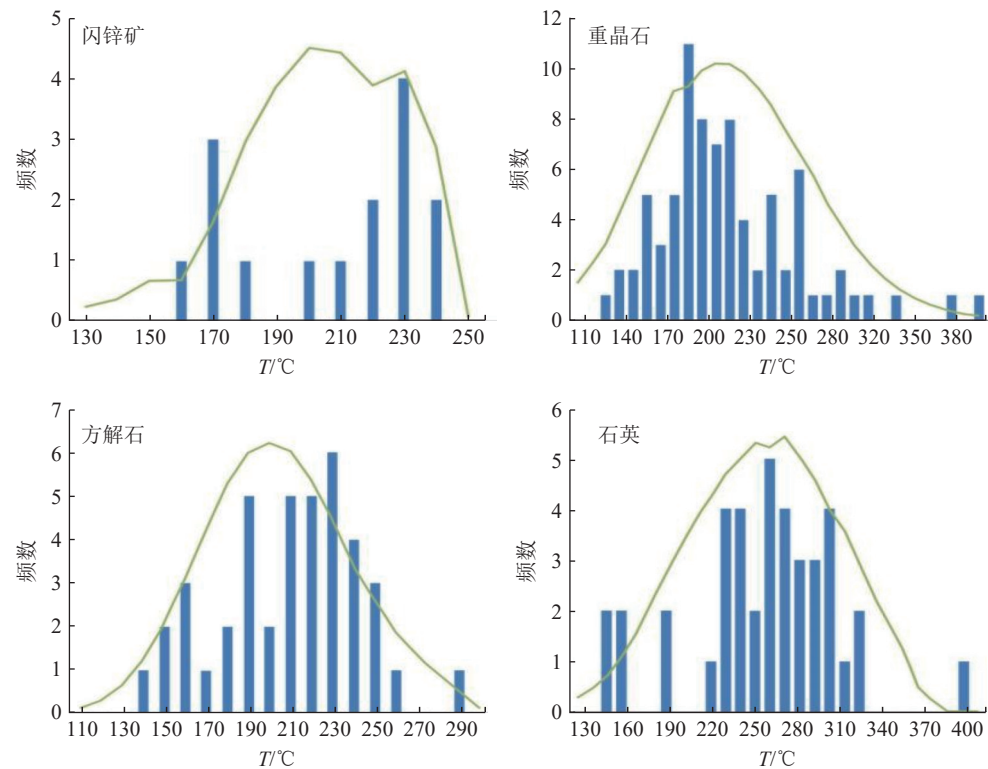


图4 勐糯铅锌矿床流体包裹体均一温度

Fig.4 Homogenization temperature histogram of fluid inclusions in the Mengnuo lead-zinc deposit

勐糯铅锌矿床矿物包裹体的均一温度由高到底依次为：石英包裹体>重晶石包裹体>方解石包裹体>闪锌矿包裹体，各矿物包裹体的温度范围又有部分重叠，都经历了连续温度变化。从石英→重晶石→方解石→闪锌矿结晶，热液温度变化是连续降低的。整个成矿期的均一温度服从正态分布，众数为170~280℃，为中低温。

4.3 流体的盐度和密度

(1) 流体盐度

闪锌矿中的流体包裹体冰点温度一般为-10.4~-6.0℃，多数为-7.1~-9.2℃，对应的盐度一般为9.21%~14.67% NaCl，多数在10.61%~12.73% NaCl之间（表2）。重晶石中流体包裹体冰点温度一般为-14.3~-0.2℃，多数为-1.1~-9.6℃，对应的盐度一般为0.35%~18.04% NaCl，多数在4.03%~12.05% NaCl之间。方解石中流体包裹体冰点温度一般为-7.9~-0.6℃，多数为-3.5~-5.9℃，对应的盐度一般为1.05%~11.58% NaCl，多数在5.41%~9.73% NaCl之间。石英中流体包裹体冰点温度一般为-8.3~-0.4℃，多数为-3.7~-7.7℃，对应的盐度一般为0.43%~12.50% NaCl，多数在2.00%~6.01% NaCl之间（表2）。在流体包裹体均一温度-盐度图上（图5），闪锌矿流体包裹体盐度数据点区域位于最上方，方解石流体包裹体位于闪锌矿流体包裹体下方，重晶石流体包裹体位于方解石流体包裹体下方，石英流体包裹体位于盐度数据点区域最下方，反映早期流体盐度低于晚期，流体的盐度演化是逐渐增大的，盐度由底到高依次为：石英包裹体>重晶石包裹体>方解石包裹体>闪锌矿包裹体，盐度与温度成反比。成矿流体盐度的主

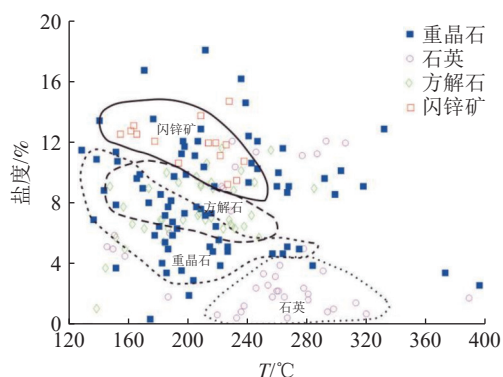


图5 勐糯铅锌矿床流体包裹体均一温度-盐度散点图
Fig.5 Homogenization temperature-salinity scatter plot of fluid inclusions in the Mengnuo lead-zinc deposit

要区间为4.03%~12.73% NaCl，属于低盐度的不饱和成矿流体。

(2) 流体密度

流体的密度是根据NaCl-H₂O体系的温度-盐度-密度关系^[17]求得。流体的密度、盐度、温度有一定的关系，在温度一定的条件下，流体的密度与盐度成正比（图6）。在盐度一定的条件下，流体的密度与均一温度成反比（图7）。闪锌矿中流体的密度为0.899~1.002 g/cm³，多数在0.925~0.978 g/cm³之间（表3）；重晶石中流体的密度为0.526~1.020 g/cm³，多数在0.873~0.959 g/cm³之间；方解石中流体的密度为0.826~0.984 g/cm³，多数在0.889~0.952 g/cm³之间；石英中流体的密度为0.527~0.960 g/cm³，多数在0.778~0.909 g/cm³之间（表3）。说明由早到晚，流体的密度也是逐渐升高的。整个成矿期的流体密度主要为0.778~0.978 g/cm³，显示中等密度特征。

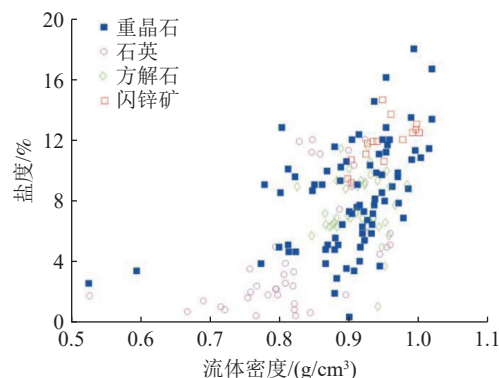


图6 勐糯铅锌矿床流体包裹体盐度-密度图解
Fig.6 Salinity-density diagram of fluid inclusions in the Mengnuo lead-zinc deposit

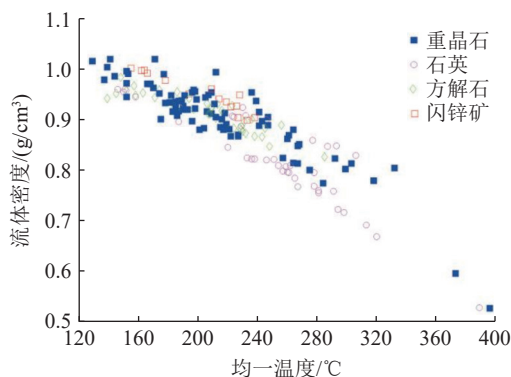


图7 勐糯铅锌矿床流体包裹体均一温度-密度图解
Fig.7 Homogenization temperature-density diagram of fluid inclusions in the Mengnuo lead-zinc deposit

4.4 流体压力

成矿阶段流体压力从NaCl溶液的压力-密度-

表 3 勐糯铅锌矿床流体包裹体密度、压力特征
Table 3 Density and pressure characteristics of fluid inclusions in the Mengnuo lead-zinc deposit

样品编号	测定矿物	密度/(g/cm ³)		成矿压力/(×10 ⁵ Pa)	
		范围	平均	范围	平均
MX01860-2	重晶石	0.774~0.990	0.903	280.86~593.48	422.89
MX01860-3	重晶石	0.848~0.991	0.916	315.02~556.35	458.46
MX01860-5	重晶石	0.814~0.940	0.886	326.10~479.24	391.66
	石英	0.829~0.907	0.858	457.18~545.46	515.96
MX44200-3	石英	0.900~0.924	0.909	453.57~545.46	504.02
	方解石	0.880~0.932	0.918	391.44~530.68	468.86
MX44200-5	石英	0.924~0.960	0.942	355.23~377.03	366.13
	方解石	0.867~0.911	0.889	366.05~406.16	390.48
MX44200-8	石英	0.668~0.887	0.778	250.71~413.39	332.05
	方解石	0.826~0.958	0.915	351.65~453.57	389.28
MX54860-2	重晶石	0.897~1.020	0.959	501.18~765.55	630.62
	闪锌矿	0.899~1.002	0.951	460.80~634.06	541.25
MX54860-6	重晶石	0.869~1.020	0.938	303.76~589.75	446.74
MX725860-1	重晶石	0.779~1.016	0.894	240.17~571.37	437.92
MX725860-5	方解石	0.927~0.984	0.952	260.00~482.70	403.54
MX725860-8	方解石	0.847~0.923	0.893	369.69~526.96	442.26
MX725860-9	石英	0.527~0.960	0.809	242.77~373.35	288.60
MX725860-11	石英	0.722~0.809	0.782	242.77~352.13	293.98
MX38860-4	重晶石	0.526~1.004	0.873	296.17~534.43	387.79

温度表^[17]中查得饱和蒸汽压力。计算结果闪锌矿流体压力 $460.80 \times 10^5 \sim 634.06 \times 10^5$ Pa, 平均 541.25×10^5 Pa; 重晶石流体压力 $240.17 \times 10^5 \sim 765.55 \times 10^5$ Pa, 平均 442.65×10^5 Pa; 方解石流体压力 $260.00 \times 10^5 \sim 530.68 \times 10^5$ Pa, 平均 417.53×10^5 Pa; 石英流体压力 $242.77 \times 10^5 \sim 545.46 \times 10^5$ Pa, 平均 345.95×10^5 Pa (表 3)。

假如此压力均由上覆岩层的静压力引起, 且上覆岩层厚度每增加 1 km, 压力增加 250 atm^[18]。由 1 MPa=9.87 atm 计算闪锌矿形成时的深度为:

$$H = (54.125 \text{ MPa} \times 9.87 \text{ atm/MPa}) / 250 \text{ atm/km} = 2.14 \text{ (km)}$$

4.5 流体成分

本次研究对闪锌矿、重晶石、方解石、石英等矿物包裹体组成, 采用激光拉曼光谱分析对单个包裹体进行定性分析。激光拉曼光谱显示, 闪锌矿和方解石包裹体的气相成分普遍存在 CO₂ 谱峰, 少量 H₂O 的谱峰, 并含有少量 N₂ 谱峰; 重晶石包裹体的气相成分普遍存在 CO₂ 和 H₂O 的谱峰; 石英包裹体的气相成分普遍存在 H₂O 的谱峰, 少量 CO₂ 谱峰 (图 8)。总的来说, 激光拉

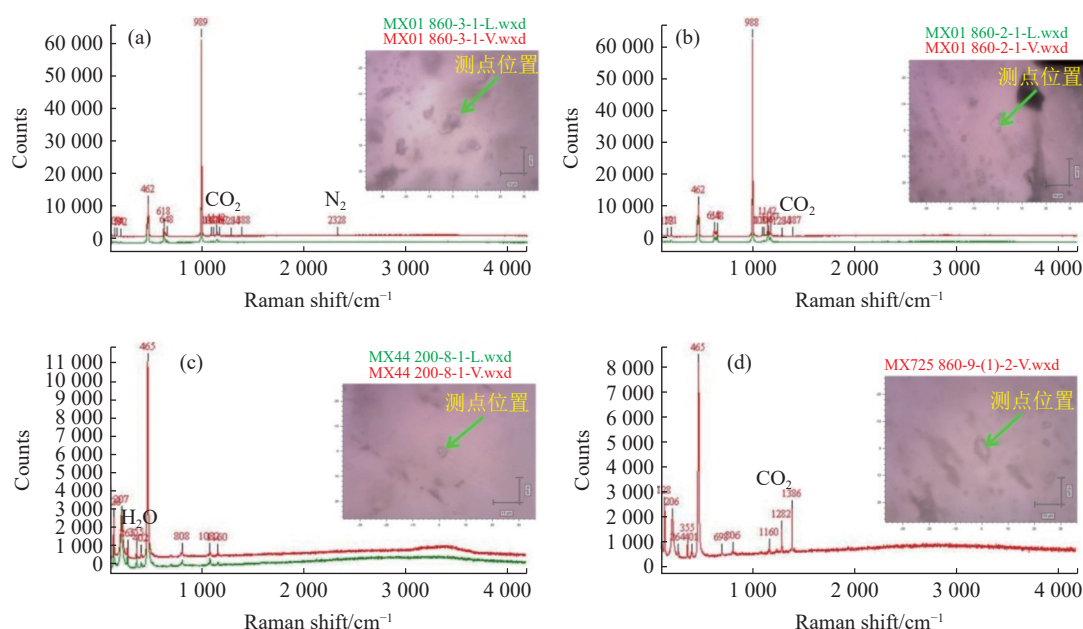
曼测试结果与岩相学观察的相态特征以及显微测温数据基本相符, 随着成矿的进行, 包裹体气相成分中 CO₂ 含量逐渐降低, 水蒸气含量逐渐增多。

对流体包裹体岩相学特征的研究和温度、盐度、密度、成分的测定结果表明, 勐糯铅锌矿床成矿流体属以 CO₂、H₂O 为主要成分的低盐度、中等密度流体, 该矿床属于中低温热液矿床。

5 讨论

5.1 成矿物理化学条件

流体包裹体作为热液矿床一项重要研究内容, 在一定程度上能够重现古流体的物理化学条件。勐糯铅锌矿床流体包裹体 98% 气液包裹体和含液体 CO₂ 多包裹体为主, 少量纯液体 H₂O 包裹体和气体 CO₂ 包裹体。闪锌矿包裹体的均一温度在 155~238 °C 之间, 全部均一至液相, 这说明成矿阶段经历了中温到低温的变化。重晶石包裹体均一温度在 139~396 °C 之间, 全部均一至液相, 这说明从重晶石到闪锌矿结晶, 热液温度变化是



(a) 重晶石中气液 H₂O-CO₂ 包裹体中气相; (b) 重晶石中富 CO₂ 气液包裹体中气相; (c) 纯 H₂O 包裹体中气相; (d) 气体 CO₂ 包裹体中气相。

图 8 勐糯铅锌矿床流体包裹体拉曼光谱

Fig.8 Raman spectroscopy of fluid inclusions in the Mengnuo lead-zinc deposit

持续降低的。方解石包裹体的均一温度在 139~285 °C 之间,全部均一至液相,说明闪锌矿和方解石在相似的温度环境下结晶沉淀。石英包裹体均一温度在 146~389 °C 之间,富液包裹体均一至液相、富 CO₂ 三相包裹体均一至气相,并经历了连续温度变化。整个成矿期的均一温度服从正态分布,众数为 170~280 °C,为中低温。

成矿流体盐度的主要区间为 4.03%~12.73% NaCl,属于低盐度的不饱和成矿流体。整个成矿期的流体密度主要为 0.778~0.978 g/cm³,显示中等密度特征。成矿流体属以 CO₂、H₂O 为主要成分的低盐度、中等密度流体。研究样品中 MX54860-2 重晶石流体包裹体盐度和压力比其余样品偏高的原因可能是由于中-新生代以来地质构造变化勐波罗河断裂和怒江断裂带活动(沿勐糯铅锌矿床发育多个温泉,且出现了热液型石膏)引起深部岩浆活动和地热活动,导致了在流体包裹体群中突然出现一个流体包裹体的压力和盐度升高。

综上所述,勐糯铅锌矿床成矿流体应属于中低温、低盐度、中等密度的流体。

5.2 成矿物质与成矿流体来源

根据矿石硫同位素研究^[16,19],成矿期硫同位素的 $\delta^{34}\text{S}$ 为 -6.45‰~8.5‰,与典型的岩浆热液型矿

床的硫同位素组成(-3‰~7‰)^[19]十分相似,因此认为勐糯铅锌矿床成矿期硫的主要来源是岩浆热液提供。前人对矿区铅同位素的研究成果显示^[20-21],方铅矿与闪锌矿 Pb 同位素组成相对稳定,变化范围最小,指示勐糯铅锌矿床的 Pb 源较为稳定,Pb 来源属于同位素组成相对多源且稳定的地质体。结合前人研究,勐糯铅锌矿床样品投点与镇康芦子园矿床较为相近。与此同时,勐糯铅锌矿床具有相对富集铀铅、亏损钍铅的同位素特征,指示该矿床矿质以富铀铅而贫钍铅的上地壳物质为源,深部壳源或幔源岩浆可能提供了一定铅的来源^[19]。

据脉石矿物方解石、石英的研究显示^[16,19],石英 H-O 同位素分析显示勐糯铅锌矿床主要成矿期的 $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$ 分别为 -90.1‰~-55.1‰和 -71.2‰~-45.1‰; $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 分别介于 3.6‰~10.9‰和 6.0‰~6.5‰之间,说明勐糯铅锌矿床成矿流体有盆地卤水、有机水和岩浆水混合。方解石 C-O 同位素显示,成矿后期方解石以及围岩的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$ 分别为 -2.32‰、-1.60‰~0.20‰、-2.20‰~0.57‰、-6.76‰和 0.29‰~1.38‰,矿体方解石 $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$ 均略低于围岩; $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 分别为 15.90‰、17.19‰~21.32‰、13.21‰~20.36‰、15.94‰和 14.32‰~19.38‰,可见勐糯铅锌矿床的碳有海相碳酸盐岩

表 4 勐糯铅锌矿床与 SEDEX 型、MVT 型、中低温热液型铅锌矿床特征对比^[21-30]
Table 4 Characteristics of the Mengnuo lead-zinc deposit compared with SEDEX type, MVT type and medium-low temperature hydrothermal type lead-zinc deposit

矿床特征	勐糯铅锌矿床	SEDEX 型铅锌矿床	MVT 型铅锌矿床	中低温热液型铅锌矿床
成矿地质体	碳酸盐岩与千枚岩类组合，断裂及层间构造	碎屑岩-碳酸盐岩（含蒸发岩）为主的沉积岩	以白云岩为主、少数为灰岩	碳酸盐岩，断裂及层间裂隙
赋矿地层	志留系栗柴坝组	主要集中在中上元界及泥盆系地层中	多集中在古生界、三叠系，少量为志留系和二叠系	主要集中在古生界二叠-奥陶系
矿体形态	层状、似层状、豆荚状或透镜状	上部与地层整合接触呈层状、似层状；下部与地层不整合接触呈网脉状、脉状	多为层状、板状和线状，或为穿层的筒状、柱状、团块状和脉状	层状、条带状、块状、脉状
矿物组合	金属矿物：闪锌矿、方铅矿、黄铁矿、毒砂；脉石矿物：以方解石、重晶石、石英为主	金属矿物：闪锌矿、方铅矿、黄铁矿、磁黄铁矿和黄铜矿；脉石矿：白云岩、方解石和石英	金属矿物：闪锌矿、方铅矿、黄铁矿和白铁矿；脉石矿物：白云石、方解石和石英，以及少量重晶石和萤石	金属矿物：黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、磁铁矿等；脉石矿物主要为石英、方解石等。
矿石构造	层状、块状、浸染状、脉状构造	上部矿体中沉积构造发育，包括条带状构造、层纹状构造、粒状层理等，下部常为角砾状构造，脉状构造。	浸染状、角砾状、网脉状、脉状、块状构造	层状、块状、浸染状、脉状构造、角砾状
矿物结构	自形-半自形细粒结构、鲕状结构、胶状结构、交代残余结构	细粒结构、鲕状结构、胶状结构、交代残余结构	粒状结构、交代（交代残余）结构等	自形-半自形结构、粒状结构、交代残余结构
构造背景	保山-镇康弧后盆地，勐糯次级向斜	大地构造上陆壳内部或克拉通内部的裂谷、被动陆缘裂陷盆地	被动大陆边缘的碳酸盐岩台地，前陆盆地边缘和前陆逆冲褶皱带内	被动大陆边缘的碳酸盐岩台地，古生代至三叠纪的浅海相沉积拗陷带
岩浆活动	矿区及周围未见岩浆岩分布	与岩浆活动无直接关系	与岩浆活动无直接关系	与岩浆活动有关系
围岩蚀变	方解石化、重晶石化、绢云母化和硅化	硅化、碳酸盐岩化、重晶石化	碳酸盐化、硅化、重晶石化和萤石化	硅化、绢云母化、碳酸盐化、绿泥石化
控矿构造	勐糯向斜和层间断裂构造	矿床赋存于俯冲带次级褶皱和断裂。	断层及构造裂隙、岩相过度界面、溶塌角砾岩、盆地基底的变化	断层及构造裂隙、层间破碎带
成矿温度	129~389℃，众值在 170~280℃之间	70~350℃，集中在 140~280℃，众值为 225℃	50~250℃，主要集中在 75~150℃	120~306℃，主要集中在 160~280℃
盐度	4.03%~12.73% NaCl eqv	15%~20% NaCl eqv	15%~30% NaCl eqv	0.7%~14% NaCl eqv
C-H-O 同位素	C 来源于海相碳酸盐岩和岩浆或深部地壳，成矿流体来源于盆地卤水、有机水和岩浆水混合	成矿流体主要来源于有机水，晚期可能由岩浆水或大气降水的混入	H-O 同位素显示含矿流体主要为大气降水，可能有岩浆热液活动的显示	C 来源于海相碳酸盐岩，成矿流体主要来源于岩浆水，有大气水加入
Pb 同位素	Pb 来源于上地壳，有地层溶解和深部岩浆作用	Pb 组成均匀，指示成矿金属来源于海相硫酸盐	组成变化大，与赋地层关系密切	Pb 来源于上地壳与地幔混合的俯冲带的岩浆作用区，与岩浆作用有关
S 同位素	$\delta^{34}\text{S}$ 为 -3.6‰~27.9‰，均值为 9.9‰	硫的分布范围较广， $\delta^{34}\text{S}$ 为 -8‰~+30‰，主要集中在 -8‰~+15‰	$\delta^{34}\text{S}$ 为 -25‰~30‰，主要集中在负值范围	硫的值均为 $\delta^{34}\text{S}$ 为 -8.28‰~12‰

和岩浆或深部地壳两个源区， $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 也介于海相碳酸盐岩源与岩浆或深部地壳源之间。C-O 同位素、H-O 同位素及流体包裹体成果表明，勐糯铅锌矿床主要成矿期成矿流体与岩浆热液作用有关。

5.3 矿床成因探讨

综合矿床地质背景、矿床地质特征、矿物学特征、同位素地球化学特征及流体包裹特征等（表 4），总结勐糯铅锌矿床具有如下基本特征：

（1）保山地块目前发现的核桃坪、金厂河、西邑、芦子园、东山等大中型矿床成矿均与岩浆热液作用有关，其中核桃坪、金厂河、芦子园为远程矽卡岩型矿床，地球物理资料显示矿区深部

存在隐伏中酸性岩体^[14,20]。研究显示，成矿期方解石 Sm-Nd 等时线性年龄为 $124\pm\text{Ma}$ ，表明勐糯矿床的成矿作用发生于早白垩世（燕山晚期），该时期保山地块左侧的中特提斯洋闭合，进而腾冲地块与保山地块发生碰撞挤压，就顺层产出大量层间滑脱空间和层间破碎带，为成矿流体的运移提供了良好通道^[7]。笔者认为，勐糯铅锌矿床与上述芦子园等矿床同属于与中酸性岩体有相关的岩浆热液型矿床（图 9），可能离岩体的距离比远程矽卡岩型矿床更远。

（2）矿床围岩蚀变主要有方解石化、重晶石化、硅化及绢云母化等，与保山地块内的东山、西邑等热液型矿床具有相似性，与国内典型的中

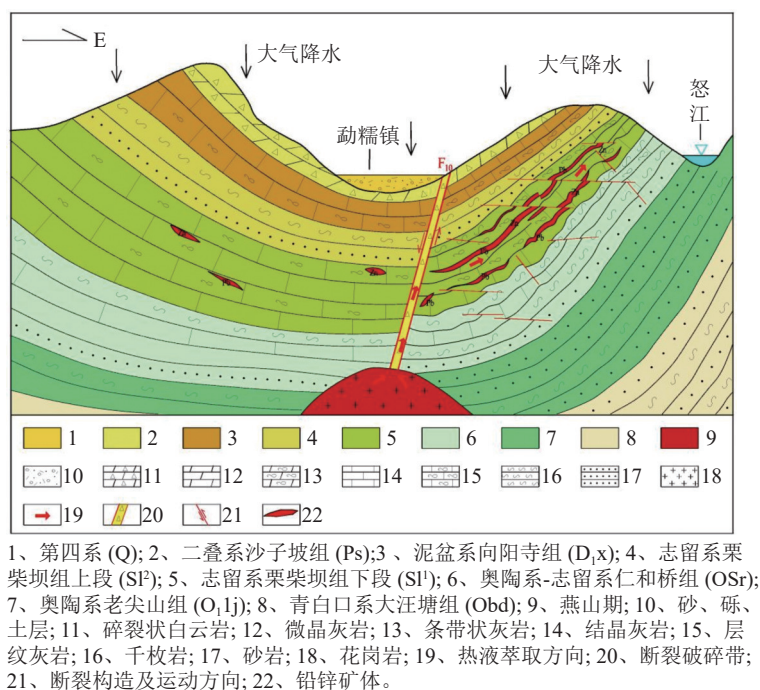


图9 勐糯铅锌矿床成矿模式

Fig.9 Mengnuo lead-zinc deposit metallogenic model

低温热液型铅锌矿床也较为相似(表4)。在矿体形态、矿石构造、控矿构造等特征也与国内典型的中低温热液型铅锌矿床也较为相似。

(3) 前人开展了含矿建造地球化学研究, 其结晶灰岩和围岩的研究结果^[10], 指示结晶灰岩的成因与热水沉积作用关系不大, 这表明前人认为勐糯铅锌矿床是喷流沉积(SEDEX)型的认识依据不足。

(4) 通过 S、Pb、H-O、C-O 同位素的研究表明, 勐糯铅锌矿床成矿期硫的主要来源是岩浆热液提供, 深部壳源或幔源岩浆可能提供了一定铅的来源, 成矿期成矿流体是盆地卤水、有机水和岩浆水混合, 与 MVT 型矿床 H-O 同位素显示的流体特征存在本质差异。

(5) 对流体包裹体的研究表明, 勐糯铅锌矿床成矿流体应属于中低温、低盐度、中等密度的流体。对比相邻的芦子园矿床, 主成矿阶段成矿流体总体亦呈中低温、低盐度^[14], 说明与远程矽卡岩成矿流体特征相近。

综上所述, 勐糯铅锌矿床成矿温度属于中低温范围, 矿床的形成与中酸性的隐伏岩体有密切的成因关系, 深部岩浆活动为矿床的形成提供了大量的成矿物质和运移能量, 断裂及层间构造为流体的运移和定位提供了有利的空间, 矿体产状

具有层状、似层状、豆荚状或透镜状, 具有尖灭再现的特征, 认为勐糯铅锌矿床属于与燕山期中酸性隐伏岩体有关的中低温热液型铅锌矿床。

6 结 论

(1) 勐糯铅锌矿床中矿物包裹体的均一温度由高到低为: 石英包裹体>重晶石包裹体>方解石包裹体>闪锌矿包裹体。各矿物包裹体的温度范围又有部分重叠, 都经历了连续温度变化, 整个成矿期的均一温度服从正态分布, 众数为 170~280 °C, 为中低温。成矿流体盐度的主要区间为 4.03%~12.73% NaCl, 属于低盐度的不饱和成矿流体; 整个成矿期的流体密度主要为 0.778~0.978 g/cm³, 显示中等密度特征, 成矿流体属以 CO₂、H₂O 为主要成分的低盐度、中等密度流体。

(2) S、Pb、H-O、C-O 同位素的研究表明, 勐糯铅锌矿床成矿期硫的主要来源是岩浆热液提供, 深部壳源或幔源岩浆可能提供了一定铅的来源, 成矿期成矿流体主要来源于岩浆流体, 有有机水和盆地卤水的混入。

(3) 勐糯铅锌矿床属于与燕山期侵入岩浆地质作用有关的中低温热液型铅锌矿床。

参考文献：

- [1] 李文桦, 李雷, 赵荣宽, 等. 龙陵勐兴铅锌矿床的沉积成矿因素[J]. 云南地质, 1985, 4(3):234-244.
- LI W H, LI L, ZHAO R K, et al. On the sedimentary ore-forming factors of the Pb-Zn deposit at Mengxing, Longling county[J]. Yunnan Geology, 1985, 4(3):234-244.
- [2] 邓必方. 保山-镇康地区汞、铅锌矿床的成矿模式[J]. 云南地质, 1995, 4(3):355-364.
- DENG B F. Metallogenic model of mercury and lead-zinc deposits in Baoshan-Zhenkang area[J]. Yunnan Geology, 1995, 4(3):355-364.
- [3] 李志群, 陈耀光, 张泰身, 等. 云南勐糯铅锌矿的成矿地质特征和资源接替[J]. 地质找矿论丛, 2005, 20(2):123-131.
- LI Z Q, CHEN Y G, ZHANG T S, et al. Geological characters and sustainable mineral resources of Mengnuo Pb-Zn ore deposit in Yunnan[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2005, 20(2):123-131.
- [4] 云南冶金资源股份有限公司. 云南省龙陵县勐糯铅锌矿资源储量核实报告[R]. 2022.
- Yunnan Metallurgical Resources Co., Ltd. . Verification report of resources and reserves of Mengnuo lead-zinc mine, Longling County, Yunnan Province[R]. 2022.
- [5] 云南省地质矿产勘查院. 云南永昌铅锌股份有限公司勐糯矿区及外围综合研究与找矿预测成果报告[R]. 2022.
- Yunnan Institute of Geology & Mineral Resources Exploration. Report on comprehensive research and prospecting prediction results of Mengnuo mining area and its periphery of Yunnan Yongchang Lead-Zinc Co. , LTD[R]. 2022.
- [6] 杨开军, 薛力鹏, 陈贤胜, 等. 滇西勐兴铅锌矿床 Sedex 成因论证及找矿思路[J]. 矿产与地质, 2016, 30(3):366-370.
- YANG K J, XUE L P, CHEN X S, et al. Proof of Sedex genesis of Mengxing Pb-Zn deposit in western Yunnan and some prospecting ideas[J]. Mineral Resources and Geology, 2016, 30(3):366-370.
- [7] 刘锦康, 邓明国, 毛政利, 等. 滇西勐兴铅锌矿床热液方解石碳氧同位素、稀土元素特征及其指示意义[J]. 地质与勘探, 2021, 57(4):852-864.
- LIU J K, DENG M G, MAO Z L, et al. Characteristics and indication of carbon-oxygen isotopes and rare earth elements of hydrothermal calcite from the Mengxing Pb-Zn deposit, Western Yunnan[J]. Geology and Exploration, 2021, 57(4):852-864.
- [8] 刘阳, 高志武, 杨辰雨, 等. 滇西勐兴铅锌矿床热液方解石碳氧同位素组成及其意义[J]. 矿物学报, 2021, 41(1):57-68.
- LIU Y, GAO Z W, YANG C Y, et al. Carbon and oxygen isotopic compositions of hydrothermal calcites from the Mengxing Pb-Zn deposit, western Yunnan and their significances[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2021, 41(1):57-68.
- [9] 刘阳. 滇西勐兴铅锌矿床成矿物质及成矿流体来源研究[D]. 昆明理工大学, 2020.
- LIU Y. Material and ore-forming fluid sources of the Mengxing Pb-Zn deposit, West Yunnan Province, SW China[D]. Kunming Univerdity of Science and Technology, 2020.
- [10] 杨青, 陈爱兵, 杨光树, 等. 滇西勐糯铅锌矿区赋矿围岩地球化学特征与地质意义[J]. 矿物学报, 2019, 39(5):527-538.
- YANG Q, CHEN A B, YANG G S, et al. Geochemical characteristics of ore-hosting wallrocks in the Mengnuo lead-zinc deposit, Western Yunnan and their geological significances[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2019, 39(5):527-538.
- [11] 中国地质调查局. 中国矿产志·云南卷·铅锌矿产 [M]. 北京: 地质出版社, 2018.
- China Geological Survey. Mineral history of China · Yunnan Volume · lead and zinc minerals[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2018.
- [12] 李文昌, 潘桂堂, 侯增谦, 等. 西南“三江”多岛弧盆-碰撞造山成矿理论与勘查技术 [M]. 北京: 地质出版社, 2010.
- LI W C, PAN G T, HOU Z Q, et al. The ore-forming theory and exploration technology of the multi-island arc basin-collision orogeny in the "Sanjiang" in southwest China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2010.
- [13] 崔子良, 程家龙, 李俊, 等. 云南保山地块铅锌多金属隐伏矿找矿实践及应用[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2021.
- CUI Z L, CHENG J L, LI J, et al. Prospecting practice and application of lead-zinc polymetallic concealed ore in Baoshan block, Yunnan Province[M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 2021.
- [14] 邓明国, 陈伟, 王学武, 等. 滇西芦子园远程矽卡岩 Pb-Zn-Fe(Cu) 多金属矿床流体包裹体初探及矿床成因探讨[J]. 岩石学报, 2018, 34(7):2001-2017.
- DENG M G, CHEN W, WANG X W, et al. Fluid inclusion and ore genesis of the Luziyuan distal skarn Pb-Zn-Fe(-Cu) polymetallic deposit, West Yunnan, SW China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2018, 34(7):2001-2017.
- [15] 聂飞, 董国臣, 莫宣学, 等. 云南保山西邑铅锌矿床硫铅同位素地球化学特征研究[J]. 岩石学报, 2015, 31(5):1327-1334.
- NEI F, DONG G C, MO X X, et al. The characteristics of sulfur and lead isotopic compositions of the Xiyi Pb-Zn deposit in Baoshan Block, western Yunnan[J]. Acta Petrologica Sinica, 2015, 31(5):1327-1334.
- [16] 全志方. 云南省龙陵县勐糯铅锌矿床矿床成因与成矿规律研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2020.
- QUAN Z F. A Study on metallogenic regularity of the Mengnuo Lead-zinc deposit in Longling Yunnan[D]. Kunming: Kunming Univerdity of Science and Technology, 2020.
- [17] 卢焕章, 李秉伦. 包裹体地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 1990.
- LU H Z, LI B L. Geochemistry of inclusions[M]. Beijing: Geological Press, 1990.
- [18] 顾雪祥, 章永梅, 彭义伟, 等. 西天山博罗科努成矿带与侵入岩有关的铁铜钼多金属成矿系统: 成岩成矿地球化学与

构造-岩浆演化[J]. 地学前缘, 2014, 21(5):156-175.

GU X X, ZHANG Y M, PENG Y W, et al. Iron-copper-molybdenum polymetallic mineralisation system associated with intrusive rocks in the Borokonu ore belt, West Tianshan Mountains: petrogenetic geochemistry and tectono-magmatic evolution[J]. Geological Frontier, 2014, 21(5):156-175.

[19] 刘正良. 滇西勐兴铅锌矿床成矿物质和成矿流体来源研究: 流体包裹体及 C-O 同位素证据[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2023.

LIU Z L. Ore-forming material and ore-forming fluid Sources of the Mengxing Pb-Zn deposit in western Yunnan Province, SW China: evidence from fluid inclusions and C-O isotopes [D]. Kunming: Kunming Univerdity of Science and Technology, 2023.

[20] 黄华. 云南金厂河铁铜铅锌多金属矿床地质特征及成矿作用研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2014.

HUANG H. The research on geological characteristics and metallogenesis of the Jinchanghe Fe-Cu-Pb-Zn polymetallic deposit, Yunnan Province[D]. Beijing: China University of Geosciences(Beijing), 2014.

[21] 叶天竺, 吕志成, 庞振山, 等. 勘查区找矿预测理论与方法(总论)[M]. 北京: 地质出版社, 2014.

YE T Z, LV Z C, PENG Z S, et al. Theory and method of prospecting prediction in exploration area (General Introduction)[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2014.

[22] 叶天竺, 韦昌山, 王玉往, 等. 勘查区找矿预测理论与方法(各论)[M]. 北京: 地质出版社, 2017.

YE T Z, WEI C S, WANG Y W, et al. Theory and method of prospecting prediction in exploration area (individual discussion)[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2017.

[23] 韩润生, 张艳, 叶天竺, 等. MVT 铅锌矿床成矿规律与找矿预测地质模型[J]. 大地构造与成矿学, 2023, 47(5):915-932.

HAN R S, ZHANG Y, YE T Z, et al. An overview of the metallogeny and geological prospecting model of Mississippi Valley Type (MVT) lead and zinc deposits[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2023, 47(5):915-932.

[24] 高海军. 云南保山-龙陵地区西邑铅锌矿床成矿机制及区域找矿标志[D]. 中国地质大学(北京), 2017.

GAO H J. Ore-foeming mechanism of the Xiyi lead-zinc deposit and regional ore indications in Baoshan-Longling area, Yunnan Province[D]. China University of

Geosciences(Beijing), 2017.

[25] 孙学娟, 倪培, 迟哲, 等. 南京栖霞山铅锌矿成矿流体特征及演化: 来自流体包裹体及氢氧同位素约束 [J]. 岩石学报, 2019, 35(12): 3749-3762.

SUN X J, NI P, CHI Z, et al. The feature and evolution of ore-forming fluid of Qixiashan Pb-Zn deposit, Nanjing: Constraints from fluid inclusion and H-O isotope [J]. Acta Petrologica Sinica, 2019, 35 (12) : 3749-3762.

[26] 王海, 祝新友, 王京彬, 等. 四川天宝山铅锌矿成矿物质来源与成矿机制: 来自流体包裹体及同位素地球化学制约 [J]. 岩石学报, 2021, 37(6): 1830-1846.

WANG H, ZHU X Y, WANG J B, et al. Sources of metallogenic materials and metallogenic mechanism of Tianbaoshan Pb-Zn deposit in Sichuan Province: Constraints from fluid inclusions and isotopic evidences[J]. Acta Petrologica Sinica, 2021, 37 (12) : 1830-1846.

[27] 裴进云, 薛颖, 王勇, 等. 山西省吕梁山黄圈塔铅锌矿地质特征及找矿方向[J]. 地质找矿论丛, 2024, 39(1):026-034.

PEI J Y, XUE Y, WANG Y, et al. Geological characteristics and prospecting direction of Huangquanta Pb-Zn deposit in Lvliangshan area, Shanxi Province[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2024, 39(1):026-034.

[28] 邵拥军, 隗含涛, 郑明泓, 等. 湘东大垆铅锌矿床成矿机理 [J]. 中国有色金属学报, 2017, 27(9): 1916-1928.

SHAO Y J, WEI H T, ZHENG M H, et al. Mineralization mechanism of Dalong Pb-Zn deposit, eastern Hunan Province, China[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2017, 27(9): 1916-1928.

[29] 冯洋洋, 付伟, 李根, 等. 广西西大明山矿集区弄屯铅锌矿成矿特征及矿床成因探讨 [J]. 矿产综合利用, 2024, 45(1):41-49.

FENG Y Y, FU W, LI G, et al. Discussion on metallogenic characteristics and genesis of Nongtun lead-zinc deposit in Xidamingshan polymetallic ore concentration area, Guangxi[J]. [Multipurpose Utilization of Mineral Resources](#), 2024, 45(1):41-49.

[30] 陈毓川, 王登红, 徐志刚, 等. 中国重要矿产和区域成矿规律[M]. 北京: 地质出版, 2015.

CHEN Y C, WANG D H, XU Z G, et al. Important minerals and regional metallogenic regularity in China[M] Beijing: Geological Publishing House, 2015.

Study on Fluid Inclusions and Genesis of Mengnuo Lead-zinc Deposit in Western Yunnan

XING Yonghui¹, MIAO Fajin¹, WU Wenxian², MA Yunliang³, ZHANG Qineng¹, YANG Jizhuan¹
(1.Yunnan Institute of Geology and Mineral Resources Exploration, Kunming 650051, Yunnan, China;
2.China Geological Survey Military-civilian Integration Geological Survey Center, Chengdu 610036, Sichuan, China; 3.The Fourth Geological Brigade of Yunnan Bureau of Geology and Mineral Resources, Baoshan 678000, Yunnan, China)

Abstract: The Mengnuo Pb-Zn deposit is a large Pb-Zn one in the Pb-Zn-Cu-Fe-Hg-Sb-As-Au metallogenic belt of Baoshan (block). There are different views on the genesis of the deposit, such as sedimentary-reworked type, exhalative sedimentary type (SEDEX) and hydrothermal type deposit (MVT). In this paper, the fluid inclusions of calcite, quartz, barite and sphalerite in Mengnuo lead-zinc deposit are studied to explore the source of the ore-forming fluid and the genesis of the deposit. The results show that the homogenization temperature of the whole metallogenic period of the deposit obeys the normal distribution, and the mode is $170 \sim 280^{\circ}\text{C}$, which is medium and low temperature. The salinity of the ore-forming fluid is $4.03\% \sim 12.73\%$ NaCl, which belongs to the low salinity unsaturated ore-forming fluid. The fluid density of the whole metallogenic period is mainly $0.778 \sim 0.978 \text{ g/cm}^3$, which shows medium density characteristics. The ore-forming fluid is low-salinity and medium-density one with CO_2 and H_2O as the main components. Combined with the study of geological characteristics and isotopic geochemical characteristics of the deposit, it is considered that the Mengnuo lead-zinc deposit should be a medium-low temperature hydrothermal lead-zinc deposit related to intrusive magmatic geology.

Keywords: Fluid inclusions; Ore-forming fluids; Medium-low temperature hydrothermal type; Mengnuo lead-zinc deposit; Western Yunnan

////////////////////////////////////
(上接第 15 页)

[22] 刘治成, 郑梦天, 郭宇衡, 等. 川南攀西地区茅坪石墨矿地球化学特征及成矿时代[J]. *矿产综合利用*, 2024, 45(1):73-84.

LIU Z C, ZHENG M T, GUO Y H, et al. Geochemical characteristics and metallogenic age of the Maoping graphite deposit in the Panxi Area, Southern Sichuan[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2024, 45(1):73-84.

[23] 陈超, 孔德才, 田小林, 等. 四川省同德石墨矿床地球化学特征及 Re-Os 同位素定年[J]. *矿产综合利用*, 2023(1):88-98.

CHEN C, KONG D C, TIAN X L, et al. Geochemical characteristics and Re-Os isotopic dating of Tongde graphite deposit, Sichuan Province[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2023(1):88-98.

Formation Age and its Geological Significance of Quartz Diorite from Cryptoexplosive Breccia in Dalucao Rare Earth Mine, Sichuan Province

YANG Wei^{1,2}, XIA Xiaohong^{1,2}, LIU Tuqiang^{1,2}, CHENG Long³, XIE Zhiyuan^{1,4},
LIU Shangrong⁴, TAN Hongqi^{1,2}

(1.Sichuan Geological and Mineral Resources Group Co., Ltd., Chengdu 610016, Sichuan, China; 2.Liu Tuqiang Strategic Mineral Resources Innovation Studio, Chengdu 610016, Sichuan, China; 3.Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, CAGS, Chengdu 610041, Sichuan, China; 4.Sichuan Hedi Mining Development Co., Ltd., Liangshan 615500, Sichuan, China)

Abstract: To limit the diagenetic age of quartz diorite in the crypto-explosion breccia of the Dechang Dalucao in Sichuan Province, LA-ICP-MS zircon U-Pb chronology was carried out. The results show that the LA-ICP-MS U-Pb age of the Dalucao quartz diorite zircon is $(751.7 \pm 4.6) \text{ Ma}$ ($n=39$), indicating that the diagenetic age is Neoproterozoic, which is similar to the formation age of a large number of medium acid intrusions and volcanic rocks in the western and northern margins of the Yangtze Block. The Dalucao crypto-explosion breccia was formed in the shallow part of the crust, which provided a channel and favorable preservation conditions for the formation of rare earth deposits, suggesting that the deep part of the Dalucao has great potential for rare earth prospecting.

Keywords: Dechang; Dalucao; Quartz diorite; Zircon; Geological significance