

新疆塔木—卡兰古铅锌矿带流体包裹体特征

冯光英^{1,2}, 刘 燊², 彭建堂², 张正伟², 戚华文², 朱笑青², 肖加飞², 王长华³

1. 中国科学院 研究生院, 北京 100039

2. 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, 贵阳 550002

3. 东营市勘察测绘院, 山东 东营 257091

摘要:塔木—卡兰古铅锌矿带大体沿塔里木板块西南边缘大断裂展布, 受克孜勒陶—库斯拉甫 NNW 向断裂控制, 目前已发现 20 多个矿床(点)。通过对该矿化带中铁克里克、塔木、阿帕列克和卡兰古 4 个典型矿点的流体包裹体的系统温压测定和模拟计算, 并结合前人的研究成果认为:塔木—卡兰古铅锌矿带的矿床类型为密西西比河谷型铅锌矿床; 4 个矿床成矿压力范围分别为 45~65 MPa、33~45 MPa、36~54 MPa 和 33~45 MPa, 对应的成矿深度平均值分别为 5.85 km、4.24 km、4.94 km 和 4.34 km, 都属于浅成矿床; 成矿流体具有多源性特征。

关键词:塔木—卡兰古铅锌矿带; 流体包裹体; 成矿深度; 流体来源

中图分类号: P618.4

文献标识码: A

文章编号: 1671-5888(2009)03-0406-09

Characteristics of Fluid Inclusions from Tamu - Kalangu Lead - Zinc Metallogenic Belt, Xinjiang

FENG Guang-ying^{1,2}, LIU Shen², PENG Jian-tang², ZHANG Zheng-wei²,

QI Hua-wen², ZHU Xiao-qing², XIAO Jia-fei², WANG Chang-hua³

1. Graduate College, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

2. Institute of Geochemistry/ State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry,
Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China

3. Dongying Institute of Exploration and Mapping, Dongying, Shandong 257091, China

Abstract: Controlled by the NNW-trending Keziletai-Kusilapu fault, the Tamu - Kalangu lead - zinc metallogenic belt is distributed roughly along the large fault at southwestern margin of the Tarim plate. At present, more than twenty deposits or mineralized spots have been found in the belt. Based on the systematical $p-T$ measurements and simulating calculation for the fluid inclusions from four typical deposits, i. e., Tielike, Tamu, Apalieke and Kalangu, together with the available data, the following conclusions can be drawn: these lead - zinc deposits in the Tamu - Kalangu metallogenic belt belong to Mississippi-valley-type (MVT). The mineralizing pressures of the four deposits are 45 - 65 MPa, 33 - 45 MPa, 36 - 54 MPa and 33 - 45 MPa respectively and have corresponding metallogenic depths of 5.85 km, 4.24 km, 4.94 km and 4.34 km, indicating their hypabyssal nature. Furthermore, the ore-forming fluids for these lead-zinc deposits are polygene rather than monophyletic.

收稿日期: 2008-12-08

基金项目: 国家“305”项目(2006BAB07B04-04); 国家自然科学基金项目(40634020, 40673029)

作者简介: 冯光英(1983—), 女, 河北邯郸人, 硕士研究生, 主要从事地球化学研究, E-mail: fengguangying198@163.com

通讯联系人: 刘燊(1974—), 男, 陕西西安人, 副研究员, 主要从事地球化学研究, E-mail: liushen@vip.gyig.ac.cn.

Key words: Tamu - Kalangu lead - zinc metallogenic belt; fluid inclusions; metallogenetic depth; sources of ore-forming fluid

塔木—卡兰古地区位于塔里木盆地西南边缘,属于西昆仑山的山前地带。西昆仑地区发育有铜、铅锌、金和铁等多种金属矿产^[1]。前人在该区发现了一些重要的反映混合流体成矿的地质与地球化学证据,对区域控矿条件^[2]、成矿地质特征和成矿机制^[3]等也做了初步的分析,认为塔木—卡兰古矿带具有巨大的铅锌矿成矿潜力^[4],而且具有 MVT 型铅锌矿床的成矿特点^[5-6],并提出了相应的成矿模式图^[7]。然而,成矿流体的性质和来源方面仍存在较大的争议。因此,还有待进一步研究和讨论。

流体包裹体测温学是研究成矿流体性质的最直接手段,通过在不同温度下对包裹体内相变行为的观察和包裹体分析,能够获得成矿流体的温度、压力、密度和成分等参数,从而获得真实的成矿流体信息,对于认识成矿机制具有重要意义。本文通过对该矿化带中铁克里克、塔木、阿帕列克和卡兰古 4 个典型矿床(图 1)的流体包裹体系统的温压测定和对比,并结合前人的研究成果,还原成矿的物理化学环境,对成矿流体的性质及来源进行探讨。

1 塔木—卡兰古地区成矿地质背景

塔木—卡兰古铅锌矿带大体沿塔里木板块西南边缘大断裂展布^[8-9]。研究区局部出露少量的辉绿岩脉及早二叠世大陆玄武岩(图 1)^[4]。塔木—卡兰古铅锌矿带为层控型铅锌矿带^[10],控矿地层为泥盆系—二叠系一套大陆边缘碎屑岩—碳酸盐岩沉积,所有铅锌(铜、铁)矿床(点)主要沿中泥盆统克孜勒组(D₂k)、上泥盆统克孜拉夫组(D₃q)、下石炭统克里塔格组(C₁k)界面以及下石炭统霍什拉甫组(C₁h)分布。主要铅锌矿体大多沿碎屑岩与碳酸盐岩层间破碎带产出,且均位于碳酸盐岩一侧^[8-9],矿化与角砾岩化有着密切的关系,所有铅锌矿化均伴随有不同程度的角砾岩化,矿体全部产于角砾岩中,属于角砾岩的一部分^[4]。

受中亚塔拉斯—费尔干纳走滑断层的影响,区域主体构造为 NNW 向断裂构造。由 NNW 向克孜勒陶—库斯拉甫断裂和塔木—卡兰古断裂组成的区域性大断裂带是制约矿带空间展布的主要因素。沿 NNW 向断裂带还等距发育小型褶皱构造,是控制矿田(床)分布的重要条件^[4]。

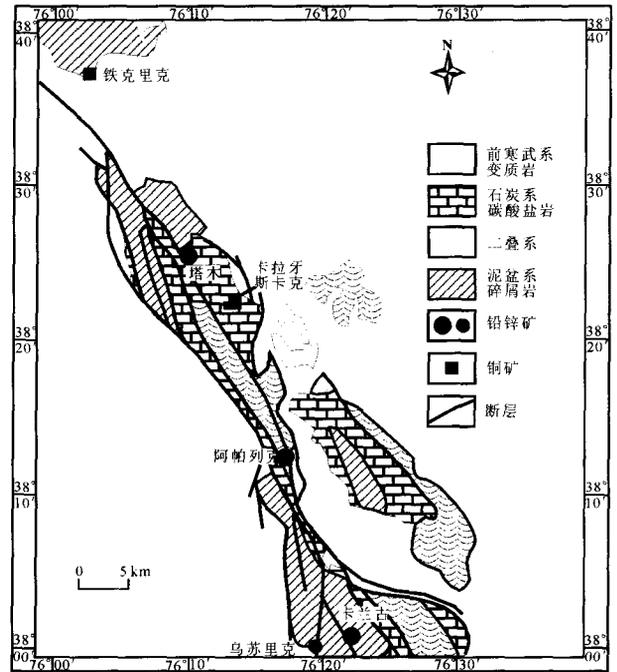


图 1 新疆塔木—卡兰古铅锌矿带地质矿产简图

Fig. 1 Diagrammatic geological map of the Tamu - Kalangu lead - zinc metallogenic belt in Xinjiang, showing the distribution of mineral resources

塔木—卡兰古铅锌矿带(图 1)北起铁克里克,南至托库孜,长 130 km,宽 3~10 km,受克孜勒陶—库斯拉甫 NNW 向断裂控制,矿床和矿点均分布在其东侧,目前已发现 20 多个铅锌矿床(点)。其中铁克里克、塔木、阿帕列克和卡兰古为 4 个典型的矿床。

2 分析和计算方法

测试工作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。包裹体均一温度和冷冻温度测定采用英国产 Linkam THMSG600 型冷热台,技术参数为:铂电阻传感器,测温范围为 -196~600℃。温度显示 0.1℃,控制稳定温度±0.1℃;仪器标定采用标准物质(KNO₃、K₂CrO₃、CCl₄以及人工配制的 NaCl 标准溶液),400℃时相对于标准物质误差为±2℃,-22℃时误差为±0.1℃^[11]。

流体密度的计算根据刘斌等^[12]的 NaCl - H₂O 液相包裹体的密度式计算,计算公式为

$$D = A + Bt + Ct^2。$$

式中: D 为流体密度, g/cm^3 ; t 为均一温度, $^{\circ}\text{C}$; A 、 B 、 C 为无量纲参数, 又是盐度的函数。

$$A = A_0 + A_1W + A_2W^2,$$

$$B = B_0 + B_1W + B_2W^2,$$

$$C = C_0 + C_1W + C_2W^2。$$

式中: W 为 $w(\text{NaCl})$ (盐度), $\%$; A_0 、 A_1 、 A_2 、 B_0 、 B_1 、 B_2 、 C_0 、 C_1 和 C_2 为无量纲参数。 A 、 B 、 C 数值为

$$A = 0.993\ 531 + 8.721\ 47 \times 10^{-3}W - 2.439\ 75 \times 10^{-3}W^2,$$

$$B = 7.116\ 52 \times 10^{-5} - 5.220\ 2 \times 10^{-5}W + 1.266\ 56 \times 10^{-6}W^2,$$

$$C = -3.499\ 7 \times 10^{-6} + 2.121\ 24 \times 10^{-7}W - 4.523\ 18 \times 10^{-9}W^2。$$

压力的计算根据邵洁莲^[13] 计算成矿压力的经验公式:

$$P_1 = P_0 \times T_1 / T_0。$$

式中: $P_0 = 219 + 2\ 620 \times S$, $T_0 = 374 + 920 \times S$; 其中: P_0 为初始压力, Pa ; P_1 为成矿压力, Pa ; T_1 为实测均一温度, $^{\circ}\text{C}$; T_0 为初始温度, $^{\circ}\text{C}$; S 为 $w(\text{NaCl})$ (盐度), $\%$ 。

成矿深度根据孙丰月等^[14-15] 利用计算机分段拟合求得成矿深度和流体压力间的关系式计算得出:

(1) 在测得的流体压力小于 40 MPa 时, 用静水压力梯度来计算, 即用压力除以静水压力梯度 (10 MPa/km);

(2) 测得的流体压力为 40~220 MPa 时, $y = 0.086\ 8 / (1/x + 0.003\ 88) + 2$ 。

另外还给出了大于 220 MPa 时不同阶段的深度计算方法, 因本文研究对象不在此范围, 这里不再赘述。

3 不同矿点的岩相学及流体包裹体特征

新疆塔木—卡兰古带内的铅锌矿床属碳酸盐岩容矿的低温热液型矿床。主要金属矿物为方铅矿和闪锌矿, 含少量黄铁矿、黄铜矿以及白铁矿、毒砂、赤铁矿、磁铁矿、磁黄铁矿、脆硫砷铅矿和钴镍硫化物等。根据组构特征, 矿石大体可分 3 类: 细粒浸染状硫化物矿石、粗粒浸染状硫化物矿石和块状黄铁矿矿石。细粒硫化物矿石内发育大量的胶状、草莓状和“斑点状”结构, 某些具有生物残留的特点。发育 3 个热液成矿阶段, 即块状黄铁矿、细粒硫化物和晚

阶段的粗粒硫化物阶段。下面就不同矿点的流体包裹体特征 (图 2) 分别作具体的描述。

3.1 铁克里克

该矿床的样品主要为切割含细粒、中细粒或中粗粒方铅矿和闪锌矿的团块状或硅质胶结岩屑石英砂岩的乳白色石英脉, 石英脉宽 1~3 cm。由于该区的白云石和方解石透明度较差, 难以观察到包裹体, 而石英中包裹体较多, 所以本区测定的包裹体的主矿物都为透明度较好且表面干净的石英 (图 2a)。

镜下观察发现, 铁克里克矿床石英脉中发育原生包裹体和次生包裹体两大类。次生包裹体较少, 大多沿裂隙成排成串出现, 且排列有一定的方向性, 包裹体大小和形状都相似, 容易识别。原生包裹体一般分布比较分散, 大小相差也较大, 最小的 1 μm , 甚至难以确认, 最大的可达 22 μm (图 2a), 但主要集中在 2~12 μm 。本文所测定包裹体一般大于 4 μm , 个别小于 4 μm 的包裹体, 边界清楚, 气液比较小, 在升降温过程中现象明显。包裹体类型单一, 主要为气液比较小 (5%~10%) 的气液两相包裹体和少量的纯液相包裹体。形态多为无色椭圆形、长条形或不规则形。该矿区共测得均一温度 107 个, 冰点 73 个, 其均一温度为 101~301 $^{\circ}\text{C}$, 跨度较大, 但主要集中在 180~240 $^{\circ}\text{C}$ (表 1, 图 3a), $w(\text{NaCl})$ 为 2.1%~23.2%, 主要集中在 10%~22% (图 3), 密度为 0.87~1.09 g/cm^3 (图 4)。在铁克里克包裹体的测定中出现了少量温度异常现象, 使得个别包裹体均一温度明显偏高, 甚至超过 300 $^{\circ}\text{C}$, 可能是加热时发生部分渗漏, 导致流体的流失^[16]。

3.2 塔木

塔木的样品主要为方解石/白云石脉或团块, 含棕黄色粗粒闪锌矿及白云岩化灰岩碎片的白云石/方解石脉。该区白云石多为亮晶白云石, 透明度较好, 包裹体发育, 次生包裹体较少, 多为原生, 形态以负晶形为主 (图 2b), 其次为长条形和不规则形。包裹体边界清晰, 气液比小 (5%~10%), 也有个别比值较大 ($\pm 30\%$)。本区共测得均一温度 80 个, 盐度值 50 个, 其中均一温度为 105~218 $^{\circ}\text{C}$, 且主要集中在 120~160 $^{\circ}\text{C}$ (表 1, 图 3a); $w(\text{NaCl})$ 为 2.4%~19.8%, 主要变化区间为 6%~12% (图 3b); 密度范围为 0.92~1.04 g/cm^3 (图 4)。

3.3 阿帕列克

阿帕列克的样品主要为含方解石/石英脉的块状矿化硅化灰岩, 其中方解石/石英脉中含有细一中

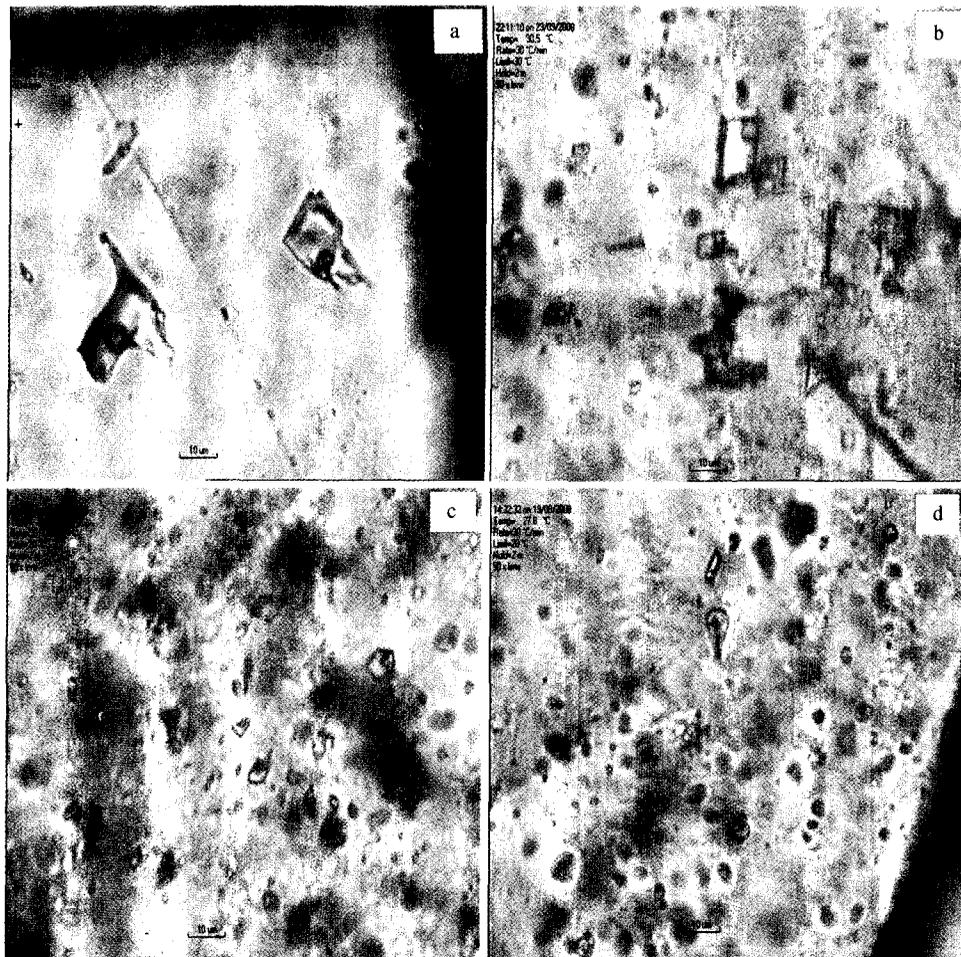


图2 不同矿床中流体包裹体照片

Fig. 2 Fluid inclusion photographs of the four deposits

a. 铁克里克; b. 塔木; c. 阿帕列克; d. 卡兰古

细粒黄铁矿或中—粗粒黄铜矿。方解石因解理较发育,不利于观察包裹体,所以仍以石英中的包裹体为主要研究对象。

阿帕列克的包裹体中次生包裹体较多,分布密集,形态不规则;原生包裹体形态多为椭圆形、圆形和不规则形,大小为 $4\sim 10\ \mu\text{m}$ 。包裹体类型为气液比较小($5\%\sim 10\%$)的气液两相包裹体和少量的纯液相包裹体(图2c)。均一温度范围为 $118\sim 230\ ^\circ\text{C}$,且主要集中在 $150\sim 190\ ^\circ\text{C}$ (表1,图3a); $w(\text{NaCl})$ 为 $2.3\%\sim 20.5\%$,但主要集中在 $12\%\sim 20\%$ (图3b);密度为 $0.92\sim 1.07\ \text{g}/\text{cm}^3$ (图4)。

3.4 卡兰古

卡兰古样品主要为含细粒和中—细粒方铅矿、黄铁矿或黄铜矿及方解石脉或石英团块的硅化灰岩。挑选含有石英的包裹体片进行观察测温。包裹

体多为椭圆形、长条形和不规则形态,气液比为 $5\%\sim 10\%$ (图2d)。本区共测得均一温度74个,盐度值61个。均一温度范围为 $103\sim 230\ ^\circ\text{C}$,主要集中在 $120\sim 160\ ^\circ\text{C}$ (表1,图3a); $w(\text{NaCl})$ 为 $7.7\%\sim 22.0\%$,主要集中在 $10\%\sim 22\%$ (图3b);密度范围为 $0.89\sim 1.09\ \text{g}/\text{cm}^3$ (图4)。

由图3、4可以看出,包裹体的均一温度、盐度和密度值直方图均显示良好的正态分布特征,表明所选包裹体在成矿过程中是同期的,反映了主成矿期成矿流体特征。

根据邵洁莲和孙丰月^[14-15]关于压力和深度的计算方法,得出铁克里克、阿帕列克、塔木、卡兰古4个矿床的压力分别集中在 $45\sim 65\ \text{MPa}$ 、 $33\sim 45\ \text{MPa}$ 、 $36\sim 54\ \text{MPa}$ 和 $33\sim 45\ \text{MPa}$,成矿深度的平均值分别为 $5.85\ \text{km}$ 、 $4.24\ \text{km}$ 、 $4.94\ \text{km}$ 和 $4.34\ \text{km}$,

表 1 塔木—卡兰古铅锌矿带中不同矿点的流体包裹体显微测温结果

Table 1 Microscopical temperature measurements of fluid inclusions in different deposits

样品号	测定数 /个	T_h /°C	T_m /°C	气液比 /%	粒径 / μm	主矿物	$w(\text{NaCl})$ /%	密度 / $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$
TKLK-25	21	148~280	-13.0~-2.6	5~10	3~8	石英	4.3~16.9	0.87~1.02
TKLK-36	14	131~199	-16.7~-5.9	5~10	3~12	石英	9.1~20.0	0.97~1.08
TKLK-28	18	153~229	-21.2~-1.2	5~10	2~6	石英	2.1~23.2	0.91~1.05
TKLK-31	18	101~216	-16.2~-6.2	5~10	7~22	石英	9.5~19.6	0.92~1.09
TKLK-14	21	115~233	-16.5~-7.8	5~10	4~10	石英	11.4~19.8	0.93~1.06
TKLK-38	20	176~233	-14.8~-4.8	5~10	4~13	石英	7.5~18.5	0.91~1.03
TKLK-15	18	180~250	-12.0~-5.3	5~10	3~12	石英	8.3~16.0	0.92~0.96
TKLK-35	13	177~301	-17.5~-6.9	5~10	7~15	石英	10.4~20.6	0.88~1.04
ABLK-36	21	134~230	-17.1~-1.3	5~10	5~10	石英	2.3~20.3	0.92~1.04
ABLK-9	12	135~200	-13.9~-3.5	5~10	4~5	石英	5.7~17.7	0.94~1.06
ABLK-01	22	125~180	-17.7~-3.8	5~20	4~10	石英	6.1~20.5	0.96~1.05
ABLK-02	16	126~205	-15.8~-3.8	5~10	4~6	石英	6.1~19.3	0.96~1.02
ABLK-10	28	118~168	-14.9~-4.4	5~10	4~10	石英	7.0~18.5	0.99~1.07
ABLK-11	18	127~195	-15.3~-6.7	5~10	4~9	石英	10.2~18.9	0.95~1.03
ABLK-15	28	131~190	-14.5~-4.9	5~10	4~10	石英	7.7~18.2	0.94~1.03
TM-19	72	105~218	-16.4~-1.4	5~30	4~12	白云石	2.4~19.8	0.92~1.04
TM-7	12	125~149	-7.7~-1.4	5~10	4~7	白云石	7.7~18.2	0.96~1.00
TM-2	13	118~193	-6.4~-1.2	5~10	3~9	白云石	2.4~19.8	0.92~1.01
KLG-14	22	103~230	-17.1~-5.3	5~10	4~9	石英	8.3~20.3	0.89~1.02
KLG-05	37	114~200	-16.2~-6.2	5~10	3~13	石英	9.5~19.6	0.95~1.096
KLG-10	26	111~180	-19.4~-4.9	5~10	4~10	石英	7.7~22.0	0.97~1.07

注: T_h . 包裹体均一温度; T_m . 包裹体冰点温度; TKLK. 铁克里克; ABLK. 阿帕列克; TM. 塔木; KLG. 卡兰古。

表 2 塔木—卡兰古铅锌矿带中不同矿床的流体包裹体压力、深度计算结果

Table 2 Pressures and depths of the fluid inclusions in different deposits

矿点	数据/个	压力/MPa	压力峰值/MPa	深度/km	深度平均值/km
铁克里克	49	28~83	45~65	4.2~7.5	5.85
塔木	43	30~52	33~45	3.0~5.8	4.2
阿帕列克	66	33~64	36~54	3.3~6.4	3.9
卡兰古	55	31~63	33~45	3.1~6.4	4.1

见表 2。可见铁克里克的成矿深度与其他矿点相比较大,但总体而言 4 个矿点都为浅成矿床。

4 讨论

4.1 成矿流体的性质

对 4 个矿床的均一温度及盐度值进行对比,可以发现:塔木和卡兰古的均一温度最低(120~

160°C),而且非常接近;阿帕列克次之(150~190°C);铁克里克的均一温度值最高(180~240°C)。典型 MVT 型矿床中流体包裹体的均一温度一般为 100~150°C,很少达到 200°C^[16],可见铁克里克包裹体的温度与之相比偏高,而其余 3 个矿床的均一温度与其较为一致。在盐度直方图中,铁克里克、阿帕列克和卡兰古的 $w(\text{NaCl})$ 峰值相似(12%~20%),

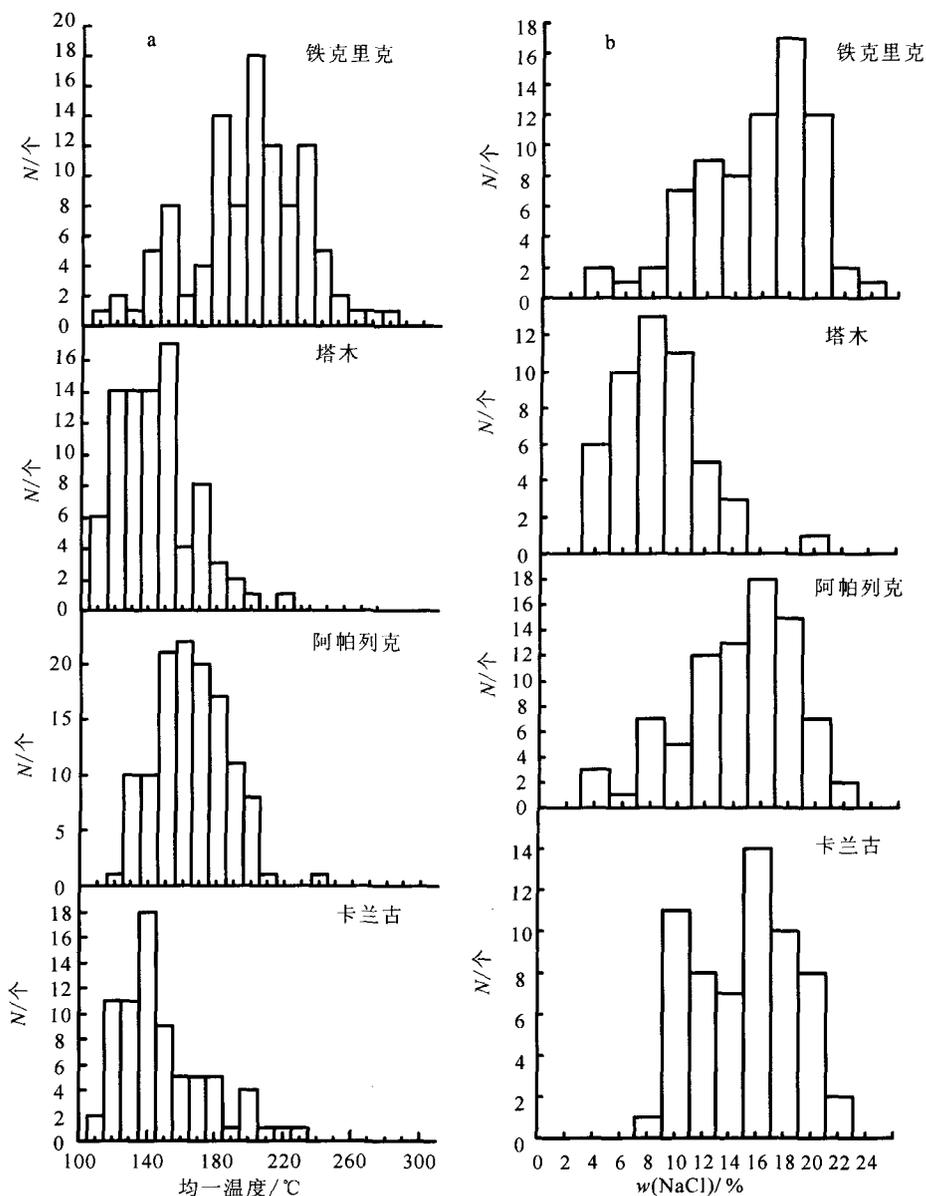


图3 包裹体均一温度直方图(a)和包裹体盐度直方图(b)

Fig. 3 Histogram showing homogenization temperatures(a) and salinities(b) of the fluid inclusions

塔木的盐度相比之下明显偏低(6%~12%)。典型MVT型矿床的盐度一般大于15%^[16],可见除塔木的盐度偏低之外,其余3个矿点的盐度都与MVT型矿床的盐度一致。虽然部分包裹体盐度较高,但都没有子晶出现,说明流体中除NaCl外还有一定量的其它阳离子^[12]。密度值与密西西比河谷型铅锌矿床相比,除个别偏低外,大部分较为一致,在1.0 g/cm³以上。将同一包裹体的均一温度和盐度投点于温度-盐度-密度关系图中(图5)可以看出,本区成矿流体主要分布于低温、中-高盐度、中等密度区,与密西西比河谷型矿床的流体特征相似。

4.2 成矿流体的来源

关于塔木—卡兰古铅锌矿带成矿流体来源的问题一直都没有定论。匡文龙等^[6]通过对卡兰古方铅矿中铅同位素比值(²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb=18.059、²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb=15.676、²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb=38.482)的测定表明,未有异常同位素出现,认为成矿作用过程中的主要成矿物质来源于沉积地层之中,没有地幔物质成分的参与。同时祝新友等^[9]对新藏公路剖面 and 恰看特勒克地层剖面的研究表明,两地的石炭系碳酸盐岩中微量元素含量特征大体相似;与地壳中同岩性岩石的克拉克值相比,这些地层中与成矿有关的微量

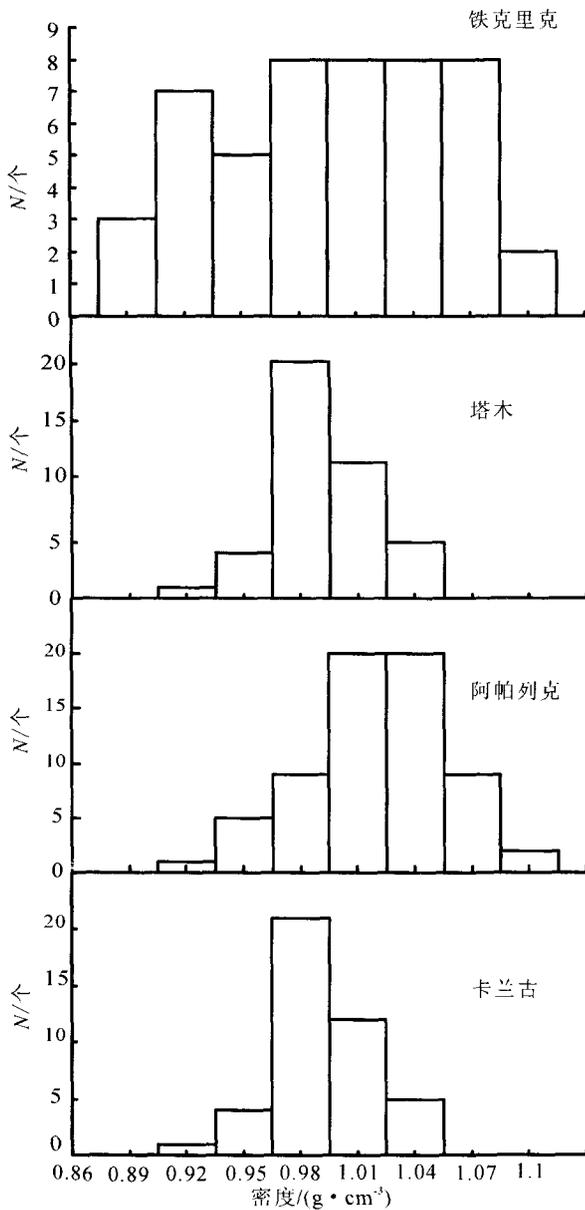


图 4 包裹体密度直方图

Fig. 4 Histogram showing densities of fluid inclusion

元素(如 Pb、Zn、Cu、Ag 和 As)并无明显增高迹象,只是在有热液活动的地段这些元素才有明显增高。这表明塔木—卡兰古铅锌矿床的成矿金属并非来自其容矿地层。

可见,到目前为止成矿流体来源以及流体的迁移形式等都还有待进一步的深入研究,以便为寻找更多的矿点和矿带提供依据。

4.3 成矿流体的多源性

对比地质简图中不同矿床的地理分布可以发现,自北而南依次为铁克里克、塔木、阿帕列克和卡

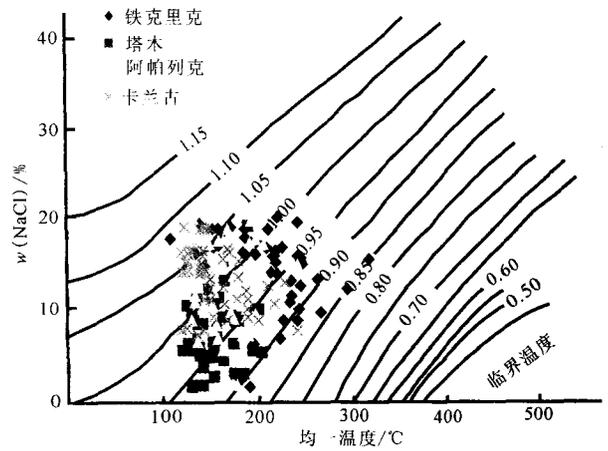


图 5 流体包裹体温度-盐度-密度关系图(底图据顾雪祥和 Ahmad^[11,17])

Fig. 5 Diagram showing density - temperature - salinity relation of fluid

图中线条为密度等值线,单位为 g/cm^3

兰古,而均一温度和盐度直方图都显示出铁克里克具有最高值,镜下观察也发现该矿床石英中流体包裹体无论数量还是个体都是最大的;而南部矿区中从阿帕列克到卡兰古均一温度和盐度值都有所下降,由此可以得出该区流体包裹体均一温度和盐度总体上有北高南低的演化趋势,暗示了该区流体有一种由北部矿区(铁克里克)向南部矿区(塔木、卡兰古)流动的趋势。这与王书来等^[5]对该矿带几个典型铅锌矿床(塔木、卡兰古、乌苏里克、卡拉牙斯卡克等)的研究结果一致。然而,研究发现塔木的均一温度和盐度值相对其南部的阿帕列克和卡兰古都低,这种现象可以有以下两种合理解释:

第一,塔木矿床测温过程中所选主矿物为白云石而不是石英;而石英是铅锌矿床中最早出现的沉淀矿物之一,其中的流体包裹体均一温度代表了初始矿液的热状态^[3]。在白云石(方解石)结晶沉淀阶段流体的温度和盐度已经有较大的降低,所以测得的温度和盐度相对偏低。对于某种矿物而言,当盐度和温度等急聚降低后能够形成沉淀,这说明可能有外来流体的混入,使其盐度等物理化学条件发生变化,从而导致矿物发生了沉淀。而且前人也认为在塔木和乌苏里克等矿段的粗粒闪锌矿和方铅矿大量的形成,可能与外来流体的混入有关^[5],由此可知成矿流体并不是单一的,而具有多源性特征。

第二种可能存在的情况是流体在阿帕列克和卡

兰古地区温度和盐度与塔木地区相比确实有所提高,而不仅仅是矿物沉淀先后顺序的问题。如果流体是从北向南流动,必然会导致阿帕列克和卡兰古两个矿床的流体温度要比塔木低,而事实正好相反,这也暗示了可能有其它外来流体的混入。王书来等^[5]也认为如果能证明中粗粒硫化物矿石流体包裹体盐度值在塔木与卡兰古和阿帕列克有明显不同,就可以说明该矿带内可能存在两种以上成矿流体:一种是富含S和Fe,活动稍早的还原性热液(富含H₂S气体);另一种流体富含金属物质,稍晚出现,含矿流体相对贫硫,氧化性较高,活动强度较大,广泛伴随有亮晶白云岩化,形成大量角砾状结构的铅锌矿石和方铅矿。这些特征都得到了岩相学方面的证明,从而再次表明成矿流体的多源性。

此外通过包裹体的观察可以发现,该矿带流体虽然密度较大,但各个矿床包裹体中都未见子晶,这说明成矿流体中无悬浮晶核存在,即流体相当纯净。这种现象可能是由于成矿作用过程中两种以上流体的混合,导致了巨大的化学梯度变化,从而使过饱和度和急剧增加,硫化物快速成核形成沉淀^[6]。

关于成矿流体多源性的另一方面证据来自硫同位素^[4]:矿石硫化物具有一个非常宽广的硫同位素分布范围($\delta^{34}\text{S} = -39.2\% \sim +14.0\%$)。其中,大体以 -10.0% 为界分为两个区:小于 -10.0% 的矿石样品中,硫化物尤其是那些具有极低 $\delta^{34}\text{S}$ 的硫化物均具有分散、细粒、胶状或草莓状等结构的特点;而那些热液活动更加明显或者更多地表现出结晶好的粗粒,多呈细脉浸染状分布的硫化物则多具有较高的 $\delta^{34}\text{S}$ 值。这种现象可能也反映了成矿过程中至少存在两类不同性质或不同来源的成矿流体。

综上所述,塔木—卡兰古铅锌矿带的流体来源可能存在两种甚至两种以上流体的混合叠加。多种流体的参与表明了成矿流体的多源性,预示着该区存在巨大的找矿空间和潜力。这也符合MVT型铅锌矿床的特点,即成群、成带分布,矿带中的矿点非常多,矿带面积大。

5 结论

(1)流体包裹体性质表明塔木—卡兰古铅锌矿带与密西西比河谷型铅锌矿床具有相似的流体特征,各个矿床的均一温度和盐度略有差别,但总体上都为低温、中—高盐度、高密度的流体成矿,矿床类型上属于密西西比河谷型铅锌矿床。

(2)通过压力和深度模拟计算,得出铁克里克、阿帕列克、塔木和卡兰古4个矿床的成矿压力范围分别为45~65 MPa、33~45 MPa、36~54 MPa和33~45 MPa,对应的深度平均值分别为5.85 km、4.24 km、4.94 km和4.34 km。表明4个矿床都为浅成矿床。

(3)通过各个矿床的流体包裹体特征的比较及分析,并结合前人在同位素方面的信息,表明塔木—卡兰古铅锌矿带成矿流体并不是单一的,可能存在两种或两种以上流体的混合,成矿流体具有多源性的特点。

武丽艳博士、齐有强博士、田建吉博士和王涛博士在实验过程、图件处理和成文过程中给予了帮助,在此表示诚挚的感谢!

参考文献(References):

- [1] 董永观,郭坤,肖惠良,等. 西昆仑地区成矿远景[J]. 中国地质,2003,30(2):173-178.
DONG Yong-guan, GUO Kun, XIAO Hui-liang, et al. Ore prospect of west Kunlun area in Western China[J]. *Geology in China*, 2003,30(2):173-178.
- [2] 胡庆雯,朱红英,周圣华. 新疆塔木—卡兰古铅-锌(铜)矿带区域控矿条件[J]. 矿产与地质,2007,21(5):551-554.
HU Qing-wen, ZHU Hong-ying, ZHOU Sheng-hua. Regional ore-controlling conditions of the Tamu - Kalangu Pb - Zn (Cu) ore zone, Xinjiang[J]. *Mineral Resources and Geology*, 2007,21(5):551-554.
- [3] 匡文龙,刘石华,刘继顺,等. 西昆仑地区卡兰古密西西比河谷型铅锌矿床成矿地质特征和成矿作用探讨[J]. 世界地质,2002,21(4):340-346.
KUANG Wen-long, LIU Shi-hua, LIU Ji-shun, et al. Probe into Kalangu MVT type lead - zinc deposit's minerogenetic process and the source of minerogenetic material in west of Kunlun[J]. *World Geology*, 2002, 21(4):340-346.
- [4] 祝新友,汪东波,王书来. 新疆塔里木盆地西南缘铅锌矿找矿潜力分析[J]. 有色金属矿产与勘查,1999,8(6):413-416.
ZHU Xin-you, WANG Dong-bo, WANG Shu-lai. Potential for prospecting of Pb - Zn deposits on the western margin of Tarim basin in Xinjiang[J]. *Geology Exploration for Non-ferrous Metals*, 1999,8(6): 413-416.
- [5] 王书来,汪东波,祝新友. 塔里木西南缘MVT型铅锌矿床流体包裹体研究[J]. 矿产与地质,2001,15(4):

- 238 - 242.
WANG Shu-lai, WANG Dong-bo, ZHU Xin-you. The fluid inclusion in MVT lead - zinc deposit in southwest margin of Tarim[J]. Mineral Resources and Geology, 2001, 15(4): 238 - 242.
- [6] 匡文龙, 刘继顺, 朱自强, 等. 塔西南 MVT 型铅锌矿床成矿作用机制研究——以卡兰古铅锌矿为例[J]. 新疆地质, 2003, 21(1): 136 - 140.
KUANG Wen-long, LIU Ji-shun, ZHU Zi-qiang, et al. Mingerogenetic mechanism of lead - zinc deposits in Southwestern Tarim[J]. Xinjiang Geology, 2003, 21(1): 136 - 140.
- [7] 匡文龙, 古德生, 刘继顺, 等. 西昆仑地区密西西比河谷型矿床的流体包裹体特征研究[J]. 有色冶矿, 2005, 21(2): 1 - 5.
KUANG Wen-long, GU De-sheng, LIU Ji-shun, et al. Probe into fluid inclusions' characteristics of MVT deposit: western Kunlun district in Xinjiang(China)[J]. Non-ferrous Mining and Metallurgy, 2005, 21(2): 1 - 5.
- [8] 祝新友, 汪东波, 王书来. 新疆塔木—卡兰古 MVT 铅锌矿带地质特征[J]. 有色金属矿产与勘查, 1997, 6(4): 202 - 207.
ZHU Xin-you, WANG Dong-bo, WANG Shu-lai. Geology of the Tamu - Kalangu MVT Pb - Zn belt, Xinjiang [J]. Geology Exploration for Non-ferrous Metals, 1997, 6(4), 202 - 207.
- [9] 祝新友, 汪东波, 王书来. 新疆阿克陶县塔木—卡兰古铅锌矿带矿体地质特征[J]. 地质与勘探, 2000, 36(6): 32 - 35.
ZHU Xin-you, WANG Dong-bo, WANG Shu-lai. The characteristics of ore-bodies, Tam - Kalanfu lead - zinc deposits, Arketao County, Xinjiang[J]. Geology and Prospecting, 2000, 36(6): 32 - 35.
- [10] 董连慧, 庄道泽, 冯京, 等. 新疆层控型铅锌矿[J]. 新疆地质, 2007, 25(4): 339 - 344.
DONG Lian-hui, ZHUANG Dao-ze, FENG Jing, et al. The strata bound lead - zinc deposits of Xinjiang [J]. Xinjiang Geology, 2007, 25(4), 339 - 344.
- [11] 顾雪祥, 李保华, 付绍洪, 等. 右江盆地含油气流体的物理化学特征[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2007, 26(3): 214 - 217.
GU Xue-xiang, LI Bao-hua, FU Shao-hong, et al. Physicochemical properties of hydrocarbon bearing fluids in the Youjiang basin, South China[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2007, 26(3): 214 - 217.
- [12] 刘斌, 段光贤. NaCl - H₂O 溶液包裹体的密度式和等容式及其应用[J]. 矿物学报, 1987, 7(4): 345 - 352.
LIU Bin, DUAN Guang-xian. The density and isochoric formulae for NaCl - H₂O fluid inclusion (salinity $\leq 25\text{wt}\%$) and their applications [J]. Acta Mineralogica Sinica, 1987, 7(4): 345 - 352.
- [13] 邵洁莲. 金矿找矿矿物学[M]. 北京: 中国地质大学出版社, 1990: 1 - 158.
SHAO Jie-lian. Prospecting mineralogy of gold ore [M]. Beijing: China University of Geoscience Press, 1990: 1 - 158.
- [14] 孙丰月. 关于脉状热液金矿床成矿深度的思考[J]. 长春科技大学学报, 2000, 30(增刊): 76 - 79.
SUN Feng-yue. The mineralization depth of the vein hydrothermal gold deposits[J]. Journal of Changchun University of Technology, 2000, 30(Sup.): 76 - 79.
- [15] 于晓飞, 孙丰月, 王力, 等. 山东招远灵山沟金矿床成矿流体特征研究[J]. 黄金, 2007, 28(6): 14 - 17.
YU Xiao-fei, SUN Feng-yue, WANG Li, et al. Study on the characteristics of metallogenetic fluid in Lingshangou gold deposit in Zhaoyuan City, Shandong Province[J]. Gold, 2007, 28(6), 14 - 17.
- [16] 卢焕章, 范宏瑞, 倪培, 等. 流体包裹体[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 1 - 487.
LU Huan-zhang, FAN Hong-rui, NI Pei, et al. Fluid inclusion[M]. Beijing: Science Press, 2004: 1 - 487.
- [17] Ahmad S N, Rose A W. Fluid inclusions in porphyry and skarn ore at Santa Tita, New Mexico[J]. Economic Geology, 1980, 75: 229 - 250.