

柴北缘—东昆仑地区造山型金矿床的 流体包裹体研究

张德全¹ 张 慧² 丰成友¹ 余宏全¹ 李进文¹ 李大新¹

(1. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2. 内蒙古自治区地质矿产勘查开发局, 内蒙古 呼和浩特 010020)

摘要: 柴达木盆地北缘 (以下简称柴北缘)—东昆仑地区已经勘查发现了一批造山型金矿, 它们是加里东和晚华力西—印支复合造山作用的产物。通过柴北缘—东昆仑地区 12 处造山型金矿中流体包裹体研究发现, 该区造山型金矿中发育两种不同的成矿流体: 低盐度的 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}-\text{CH}_4$ 流体和低盐度的 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}\pm\text{CH}_4$ 。前者的 X_{CH_4} 、 X_{CO_2} 和 $X_{\text{H}_2\text{O}}$ 分别为 0.14~0.34 (平均值 0.24)、0.11~0.59 (平均值 0.34) 和 0.64~0.31 (平均值 0.42), 温度变化为 180~270℃, 压力为 180~560 MPa, 是晚加里东期碰撞造山作用的产物, 主要沿加里东碰撞造山带边界的上地壳底部—中地壳上部的塑性变形带大规模流动, 并在本区形成了广泛的金矿化; 后者的 X_{CH_4} 、 X_{CO_2} 和 $X_{\text{H}_2\text{O}}$ 分别为 0~0.12 (平均值 0.06)、0.18~0.25 (平均值 0.21) 和 0.79~0.69 (平均值 0.73), 温度变化为 280~449℃ (主要在 280~360℃), 压力为 80~230 MPa, 主要与晚华力西—印支期碰撞造山作用有关, 其中不少矿床还受侵入岩浆作用的影响, 其沿晚华力西—印支期碰撞造山带边界的上地壳大规模流动, 导致了本区造山型金矿的最终定位。上述两期成矿流体的盐度相差不大, 总体变化在 1.4%~11.4% (NaCl) (大部分集中于 2.7%~9.1%)。压力—深度换算结果显示, 本区晚华力西—印支期碰撞造山作用表现出地壳强烈隆升过程, 其最大隆升幅度达 12 km。这说明该区大规模的造山型金成矿作用发生在地壳隆升的背景之下。

关 键 词: 流体包裹体; 造山型金矿; 青海柴北缘—东昆仑

中图分类号: P618.51 **文献标志码:** A **文章标号:** 1000-3657(2007)05-0843-12

柴北缘—东昆仑地区产有多处造山型金矿床, 笔者已经对它们的成矿地质背景、矿床地质特征、控矿构造系统和成矿年龄等, 进行过研究和报道^[1-3], 笔者则从这些矿床中的流体包裹体研究入手, 探讨了柴北缘—东昆仑地区造山型金矿床的成矿流体特征。

1 概 述

1.1 区域构造演化

柴北缘—东昆仑地区的显生宙造山作用具有多岛洋、软碰撞、多旋回复合造山的特点^[4], 其中有 2 个造山旋回与内生金属成矿关系十分密切: 早古生代 (加里东) 旋回和晚古生代—早中生代 (晚华力西—印支) 旋回。据此可以将该区自北向南划分为 10 个次级构造分区 (图 1)^[4], 其中南祁连、柴北缘、昆北、昆南为加里东和晚华力西—印支复合造山带, 欧龙布鲁克、柴达木、昆中为祁连、柴北缘、昆北、昆南早古生代

洋/海盆之间的前寒武纪古陆块, 而宗务隆山—青海湖南山、阿尼玛卿和巴颜喀拉则是与古特提斯洋盆开合有关的晚华力西—印支期造山带。地质和地球物理资料表明, 阿尔金、哇洪山两条深断裂限制了柴北缘—东昆仑地区造山带西、东两侧的边界, 宗务隆山、柴北缘、昆中、昆南、北巴颜喀拉等 NWW 或近 EW 向深断裂则是前述主要三级构造带的边界 (图 1)。这些断裂切割深 (至少达下地壳)、多期次活动, 有些 (如昆南、昆中、柴北缘深断裂) 还是不同时期的缝合带或俯冲—碰撞带, 从而成为汇聚板片的边界^[5]。

1.2 造山型金矿床地质特征

柴北缘—东昆仑地区已经发现和勘查的造山型金矿床有 13 处、矿点多处。本次流体包裹体研究工作涉及到的金矿产地有 12 处。

1.3 样品及研究方法

共计对 4 个构造单元 (柴北缘、昆中、昆南、巴颜喀拉) 中

收稿日期: 2006-11-07; 改回日期: 2007-04-23

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (40372051) 和十一五国家科技支撑计划项目 (2006BAB01A06) 共同资助。

作者简介: 张德全, 男, 1946 年生, 研究员, 博士生导师, 从事矿床地质—地球化学研究; E-mail: dequanzhang@sohu.com。

的 12 处金矿床(点)进行了流体包裹体采样(图 1, 表 1), 样品全部采自这些金矿床(点)中的蚀变岩型和石英脉型金矿石。显微镜下用于岩相学研究和测温的流体包裹体, 全部寄主于石英中。根据热液石英脉的产状、野外露头和显微构造特征以及与黄铁矿的关系等, 可分为 3 个世代; 第一世代石英仅见于早期的剪切带内, 呈椭圆状的旋转碎斑与早期黄铁矿(含金)共生, 代表了早期剪切和金成矿期的产物; 第二世代石英广泛分布于蚀变岩型和石英脉型矿石中, 呈交代成因的细粒石英和(或)黄铁矿-石英细脉, 与其共生的黄铁矿含金最高, 是主成矿期的产物; 第三世代石英产于成矿后的黄铁矿-石英-方解石细脉中, 形成于主成矿期之后。

将样品制作成两面抛光的薄片, 用于流体包裹体的岩相学研究和显微测温。显微测温是在安装于 Leitz Ortholux 光学显微镜上的法国产 Chaixmecca 冷热台上完成的, 温度在 30℃ 以下测试精度为 $\pm 0.1^\circ\text{C}$, 温度在 30℃ 以上时测试精度为 $\pm 1^\circ\text{C}$ 。所测数据包括 CO_2 固相熔化温度($t_m(\text{CO}_2)$)、 CO_2 笼形物熔化温度(t_d)、 CO_2 气-液相部分均一温度($t_h(\text{CO}_2)$)、冰点

(t_{m})和完全均一温度(T_h)。

2 流体包裹体类型及显微测温

2.1 流体包裹体类型

按照室温下相观测和显微热数据, 柴北缘—东昆仑地区造山型金矿中的流体包裹体可以分为 3 个主要类型:

① CO_2 型: 含量最少, 大小变化于 3~8 μm , 室温下由单相或 2 相(液相 CO_2 +气相 CO_2)组成, 发现于第一世代石英和第二世代石英中, 呈等轴或负晶形状, 独立或随意分布, 表现为原生包裹体成因。

② CO_2 - H_2O 型: 所有的矿床中均较常见, 单体大小差别很大, 为 3~10 μm , 发现于第一世代石英和第二世代石英中。 CO_2 相体积在 10%~80%, 室温下由 2 相(CO_2 液相和液相 H_2O , 常见于第一世代石英中)或 3 相(CO_2 液相、 CO_2 气相和水, 常见于第二世代石英中)组成, 常呈负晶形或似圆状, 一般随机分布呈孤立状, 亦见沿生长条带或生长晶纹分布, 为原生包裹体, 少量沿愈合微裂隙成串分布, 属假次生包裹体。

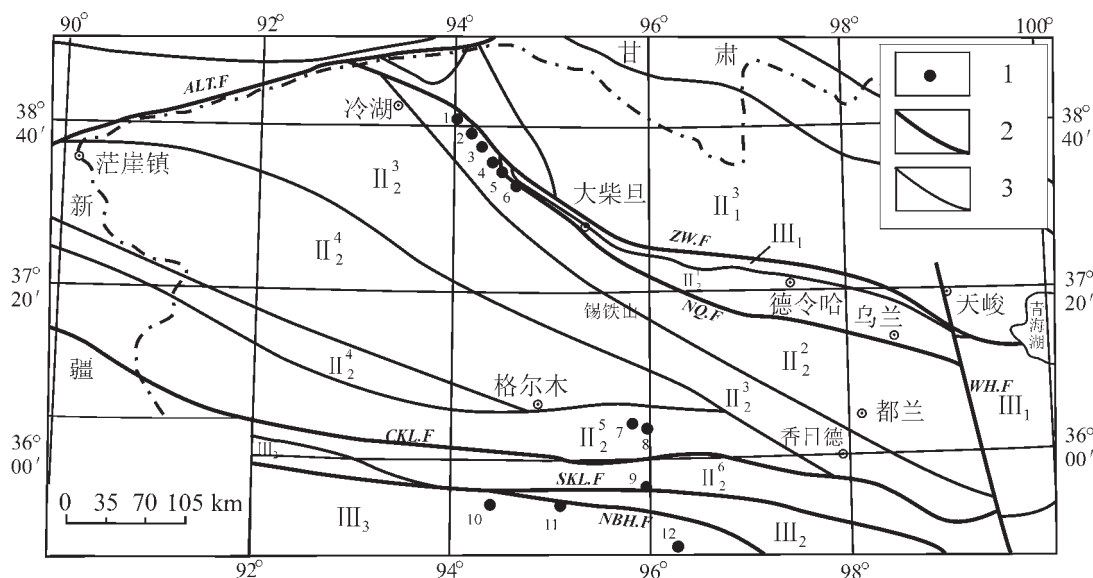


图 1 柴北缘—东昆仑地区构造分区及流体包裹体采样分布图

1—流体包裹体采样点; 2—深大断裂; 3—区域断裂

构造分区: II_1^3 —南祁连; II_2^1 —欧龙布鲁克; II_2^2 —柴北缘; II_2^3 —柴达木; II_3^1 —昆北; II_3^2 —昆中; II_3^3 —昆南;

III_1 —宗务隆山—青海湖南山; III_2 —阿尼玛卿; III_3 —巴颜喀拉

深大断裂: ALT.F—阿尔金; WH.F—哇洪山; ZW.F—宗务隆山; NQ.F—柴北缘; CKL.F—昆南; SKL.F—昆南; NBH.F—北巴颜喀拉

采样点(金矿产地): 1—野骆驼泉; 2—千枚岭; 3—红旗沟—红灯沟; 4—红柳沟; 5—青龙沟; 6—滩间山; 7—打柴沟; 8—五龙沟;

9—开荒北; 10—东大滩; 11—西藏大沟; 12—大场

Fig.1 Sketch map showing tectonic divisions and sampling sites of fluid inclusions in the northern Qaidam basin margin-East Kunlun region

1—Sampling site of fluid inclusions (gold deposit or prospect); 2—Deep fault; 3—Regional fault

Tectonic divisions: II_1^3 —South Qilian; II_2^1 —Oulongbuluk; II_2^2 —North Qaidam; II_2^3 —Qaidam; II_3^1 —North Kunlun; II_3^2 —Central Kunlun;

II_3^3 —South Kunlun; III_1 —Jun U1 Mts.—Nanshan Mts. of Qinghai Lake; III_2 —A'nyemaqen; III_3 —North Bayan Har. Deep Faults: ALT.F—Altyn Tagh;

WH.F—Wahong Mts.; ZW.F—Jun U1 Mts.; NQ.F—North Qaidam; CKL.F—Central Kunlun; SKL.F—South Kunlun;

NBH.F—North Bayan Har. Gold deposits: 1—Yeluotuoquan; 2—Qianmeiling; 3—Hongqigou—Hongdenggou; 4—Hongliugou; 5—Qinglonggou;

6—Tanjianshan; 7—Dachaigou; 8—Wulonggou; 9—Kaihuangbei; 10—Dongdatan; 11—Xizhangdagou; 12—Dachang

表 1 用于流体包裹体研究的柴北缘—东昆仑地区造山型金矿床地质特征 [1-3]

Table 1 Generalized geological characteristics of orogenic gold deposits in the northern Qaidam basin margin—East Kunlun region used in the fluid inclusion study

序号	矿产地 (规模)	构造 位置	控矿构造	矿区侵入岩	成矿时代	矿石类型	元素 组合	矿体	围岩蚀变	矿床矿物
1	野路驼泉 (小型矿床)	柴北缘造山带西 段,柴北缘深断 裂南侧	NW向大型剪切带旁侧的 近SN向断裂—裂隙带, 分布于变质的下古生界火 山—沉积岩中	中酸性岩脉	晚加里东期矿化, 印支期定型,矿石 年龄 246Ma	蚀变岩型, 偶见含金 石英脉	Au-As	4个矿群共9个矿体呈左型斜列 式展布于近SN向的韧性剪切 带中,矿体围岩为强变形的下古 生界绿片岩相岩石	硅化、绢云母 化、黄铁矿化、 碳酸盐化	黄铁矿、毒砂、自然金、 银金矿、石英、绢云母、 绿泥石、碳酸盐矿物、钠 长石等
2	千枚岭 (小型矿床)	柴北缘造山带西 段,柴北缘深断 裂南侧	NW向大型剪切带旁侧的 NNW向断裂—裂隙带, 分布于变质的下古生界火 山—沉积岩中	未见	晚加里东期矿化, 晚华力西—印支期 定型	蚀变岩型为 主,少量含 Au石英脉	Au-As	短而小的矿体,呈斜列式透镜 体群,近NNW向初—脆性剪切 带展布于强变形的下古生界千 枚岩或晚加里东花岗岩长岩中	硅化、绢云母 化、绿泥石化、 黄铁矿化、碳 酸盐化	黄铁矿、毒砂、自然金、 石英、绿泥石、绢云母、 绿帘石、钠长石、碳酸盐 矿物、黑云母等
3	红旗沟—红 灯沟(矿点)	柴北缘造山带西 段,柴北缘深断 裂南侧	NW向大型剪切带旁侧的 NNW向断裂—裂隙带, 分布于变质的下古生界火 山—沉积岩中	中酸性岩脉	晚加里东期矿化, 晚华力西—印支期 定型	蚀变岩型为 主,少量含 Au石英脉	Au-As	呈斜列式透镜体,沿NNW向断 裂—裂隙带分布,矿体围岩为 下古生界滩间山群绿片岩	硅化、绢云母 化、绿泥石化、 黄铁矿化、碳 酸盐化	黄铁矿、黄铜矿、蓝铜矿、 孔雀石、毒砂、石英、绢 云母、绿泥石、钠长石、 碳酸盐矿物
4	红柳沟 (小型矿床)	柴北缘造山带西 段,柴北缘深断 裂南侧	NW向大型剪切带旁侧的 近SN向断裂—裂隙带, 分布于变质的下古生界火 山—沉积岩中	加里东期和 晚华力西期 花岗岩类	晚加里东期矿化, 晚华力西—印支期 定型	石英脉型和 蚀变岩型	Au-As	21个矿体均呈脉状或透镜状、 斜列式分布于3条近SN向断裂— 裂隙带中,矿体围岩为下古生 界滩间山群绿片岩	绢云母化、硅 化、绿泥石化、 黄铁矿化、碳 酸盐化	黄铁矿、黄铜矿、蓝铜矿、 孔雀石、方铅矿、闪锌矿、 自然金、石英、绢云母、 绿泥石、钠长石、碳酸盐 矿物
5	吉龙沟 (中型矿床)	柴北缘造山带西 段,柴北缘深断 裂南侧	NW向大型剪切带中 的NW向褶皱轴部 断裂及两翼层间 断裂—裂隙带,分布 于中元古界大理岩中	晚华力西期 闪长玢岩	晚加里东期矿化, 矿石年龄Ar-Ar年 龄409Ma,晚华力 西—印支期定型	蚀变岩型, 偶见含金 石英脉	Au	主矿体呈厚大的透镜体产于背 斜西翼层间断裂—裂隙带中, 矿体围岩为中元古界万河沟群 大理岩和晚华力西期闪长玢岩	绢云母化、碳 酸盐化、硅化、 黄铁矿化	黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、 黄铜矿、白铁矿、自然金、 白云石、碳酸盐矿物、 绢云母、石英、绿泥石
6	滩间山 (大型矿床)	柴北缘造山带西 段,柴北缘深断 裂南侧	NW向大型剪切带内的近 SN向褶皱之轴部或两翼 的断裂—裂隙带,产于中 元古界炭质千枚岩中	晚华力西期 斜长花岗岩	晚加里东期矿化 (云母Ar-Ar年龄 400Ma),晚华力 西期定型,矿石结 晶年龄Ar-Ar年龄 284Ma	蚀变岩型, 包括蚀变千 枚岩和蚀变 脉岩型矿石	Au-As	呈似层状、脉状、透镜状矿体 群,产于褶皱轴部及翼部的 NNE—SN向断裂—裂隙系统 中,矿体围岩为中元古界万河 沟群炭质千枚岩和晚华力西期 岩脉	硅化、绢云母 化、黄铁矿化、 碳酸盐化	黄铁矿(高砷)、毒砂、闪 锌矿、方铅矿、黄铜矿、 斜方辉铁矿、自然金、银 金矿、石英、绢云母、石 墨、绿泥石、铁白云石等

续表 1

7	打柴沟 (矿点)	昆中古陆块中 段, 昆中深断裂 北侧	NW向大型剪切带两侧的 次一级NW-NNW向断裂 带, 产于下元古界 片麻岩和加里东期 花岗岩	加里东期和 晚华力西一 印支期花 岗岩	晚加里东期矿化, 印支期定型	蚀变岩型	Au-As- Sb	呈斜列式透镜体, 沿NW-NNW 向断裂一裂隙带分布, 矿体围 岩为下元古界片麻岩和加里东 期花岗岩	硅化、绢云母 化、黄铁矿化	黄铁矿、毒砂、方铅矿、 自然金、银金矿、绢云母、 石英、高岭石
8	五龙沟 (大型矿床)	昆中古陆块中 段, 昆中深断 裂北侧	NW向大型剪切带两侧的 次一级NW-NNW向断裂 带, 产于下元古界 片麻岩和加里东期 花岗岩中	加里东期和 晚华力西一 印支期花 岗岩	晚加里东期矿化, 印支期定型, 矿石 绢云母Ar-Ar年龄 236Ma	蚀变岩型	Au-As- Sb	矿体呈透镜状, 斜列式成群 成带分布于NW-NNW向剪切 带和断裂一裂隙系统中, 下元 古界金水口群片麻岩与加里东 期花岗岩接触带上的矿体规模 较大	硅化、绢云母 化、黄铁矿化 碳酸盐化	黄铁矿、毒砂、方铅矿、 闪锌矿、辉钨矿、黄铜矿、 自然金、银金矿、绢云母、 石英、高岭石、铁白云石、 方解石
9	开荒北 (中型矿床)	昆南造山带中 段, 昆南深断 裂北侧	NWW向大型剪切带内的 NW-NNW向断裂一裂隙 系统, 产于中二叠统粉砂 质板岩中	未见	印支期	石英脉型为 主, 少量蚀 变岩型	Au-Sb- As	NW-NNW向透镜状、串珠状平 行斜列式含Au石英脉群, 产于 中三叠统板岩中	硅化、绢云母 化、黄铁矿化 碳酸盐化	黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、 黄铜矿、辉钨矿、毒砂、 石英、绢云母、绿泥石、 碳酸盐矿物
10	东大滩 (中型矿床)	巴颜喀拉造山带 中西段, 北巴 颜喀深断裂南侧	NWW向大型剪切带内的 NW向断裂一裂隙系统, 产于三叠系碎屑岩中	酸性岩脉时 代不明	印支期	蚀变岩型 为主, 石英 脉次之	Sb-Au	呈透镜状、脉状, 平行斜列式, 分段集中, NW向断裂一裂隙系 统中, 矿体围岩为三叠系变质 碎屑岩。变砂岩中的矿体优于 变泥质岩中的矿体	硅化、绢云母 化、高岭土化、 黄铁矿化、辉 钨矿化	黄铁矿、辉钨矿、方铅矿、 黄铜矿、闪锌矿、自然金、 银金矿、石英、绢云母、 高岭石、碳酸盐矿物
11	西藏大沟 (矿点)	巴颜喀拉造山带 中段, 北巴 颜喀深断 裂南侧	NWW向大型剪切带内的 NW向断裂一裂隙系统, 产于三叠系碎屑岩中	未见	印支期	蚀变岩型 为主, 少量 石英脉	Au-Sb	脉状、透镜状矿体, 沿NW向断 裂一裂隙系统斜列式分布, 矿 体围岩为三叠系变质碎 屑岩	硅化、绢云母 化、高岭土化、 黄铁矿化	黄铁矿、辉钨矿、方铅矿、 石英、绢云母、高岭石、 碳酸盐矿物
12	大场 (大型矿床)	巴颜喀拉造山带 中段, 北巴 颜喀深断 裂南侧	NWW向大型剪切带内的 NW向褶皱轴部及翼部断 裂一裂隙系统, 产于三叠 系碎屑岩中	未见	印支期, 矿石绢云 母Ar-Ar年龄218Ma	蚀变岩型 为主, 少量 石英脉	Au-Sb	脉状、透镜状矿体, 沿NW向褶 皱轴部及翼部的断裂一裂隙系 统构成三个斜列式展布的矿体 群, 矿体围岩为三叠系变质碎 屑岩	硅化、绢云母 化、高岭土化、 黄铁矿化、辉 钨矿化、碳酸 盐化	黄铁矿、辉钨矿、方铅矿、 黄铜矿、自然金、银金矿、 石英、绢云母、高岭石、 碳酸盐矿物、长石

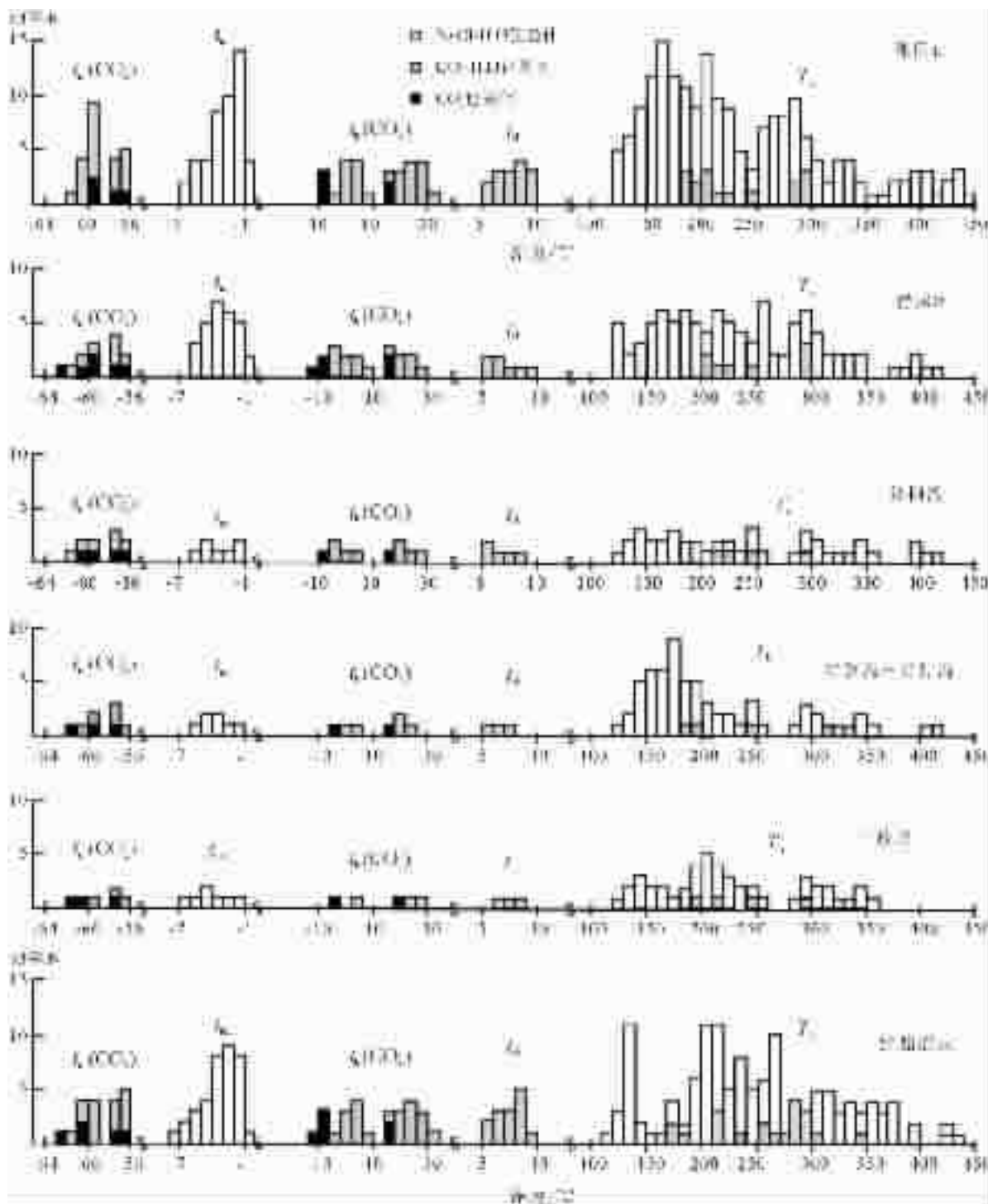


图 2 柴北缘地区造山型金矿流体包裹体显微测温直方图

$t_m(\text{CO}_2)$ — CO_2 固相初熔温度; t_{m} —冰点; t_{d} — CO_2 笼形物熔化温度; $t_{\text{h}}(\text{CO}_2)$ — CO_2 部分均一温度; T_{h} —完全均一温度

Fig.2 Histograms showing microthermometric measurements of fluid inclusions from the orogenic gold deposits

on the northern margin of the Qaidam basin

$t_m(\text{CO}_2)$ —initial melting temperature of CO_2 ; t_{mi} —final melting temperatures of ice; t_d —melting temperatures of clathrates;

 $t_h(\text{CO}_2)$ -partial homogenization temperature of CO_2 ; T_h -total homogenization temperature

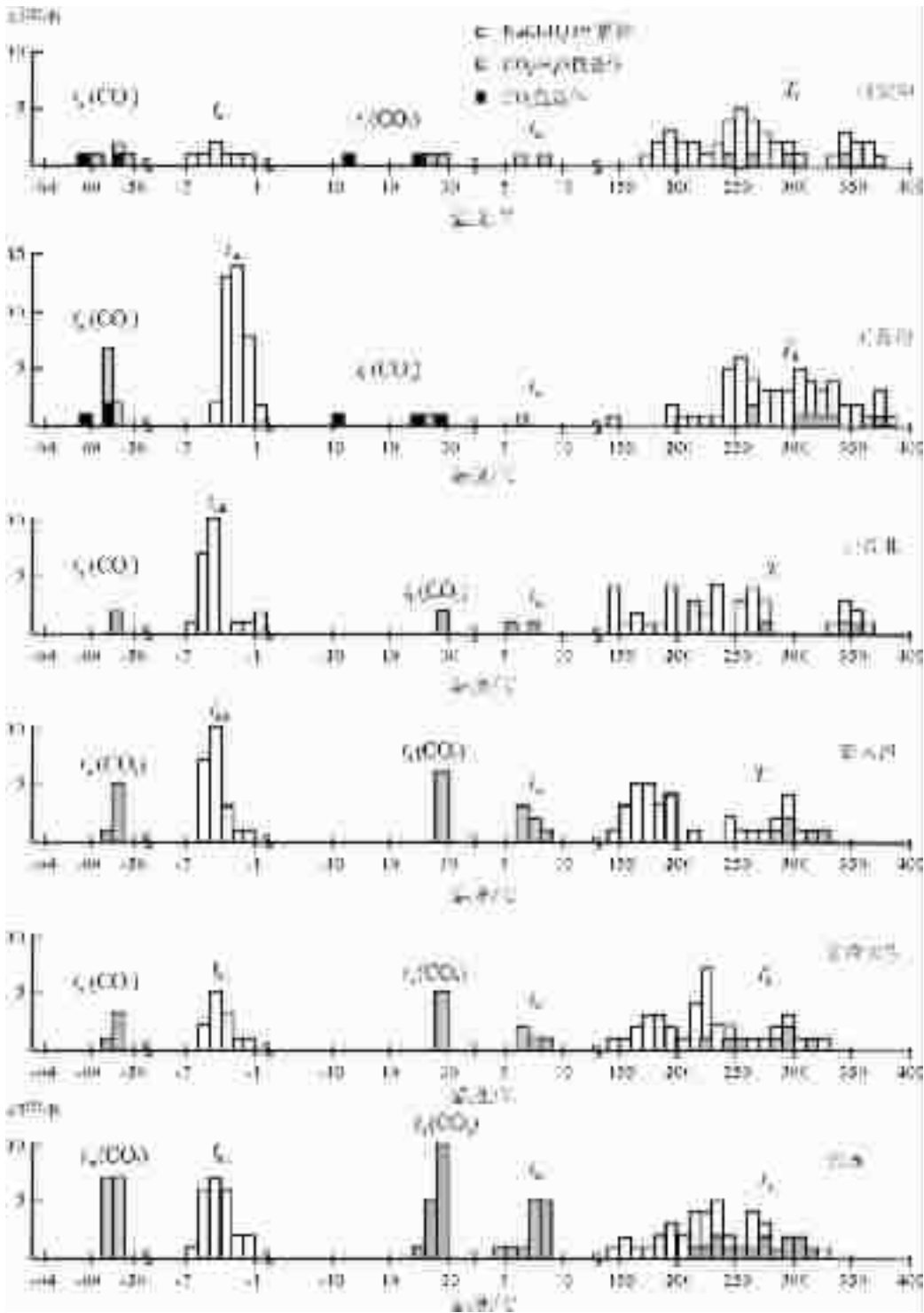


图 3 东昆仑地区造山型金矿流体包裹体显微测温直方图

$t_m(\text{CO}_2)$ — CO_2 固相初熔温度; t_m —冰点; t_d — CO_2 笼形物熔化温度; $t_h(\text{CO}_2)$ — CO_2 部分均一温度; T_h —完全均一温度
Fig.3 Histograms showing microthermometric measurements of fluid inclusions in the East Kunlun region
 $t_m(\text{CO}_2)$ —initial melting temperature of CO_2 ; t_m —final melting temperatures of ice; t_d —melting temperatures of clathrates;
 $t_h(\text{CO}_2)$ —partial homogenization temperature of CO_2 ; T_h —total homogenization temperature

表 2 柴北缘—东昆仑地区造山型金矿流体包裹体显微测温数据
Table 2 Microthermometric data of fluid inclusions from orogenic gold deposits in the northern Qaidam basin margin—East Kunlun region

矿产地	包裹体类型	$t_m(\text{CO}_2)/^\circ\text{C}$	$t_h(\text{CO}_2)/^\circ\text{C}$	$t_d/^\circ\text{C}$	$T_h/^\circ\text{C}$	$t_{mi}/^\circ\text{C}$	盐度 ^① ‰ (NaCl)	CH ₄ ^② 摩尔分数
滩间山	CO ₂ 型 ^③	-59.3~-60.5 -56.8~-57.9	-6.1~-7.3 16.1~17.3					0.16~0.24 0~0.07
	CO ₂ -H ₂ O 型 ^③	-59~-61.2 -56.9~-58.3	-1.7~9 17.8~30.2	5.7~9.3	186~250 280~296		7.9~1.4	0.14~0.28 0~0.09
	H ₂ O-NaCl				121~449	-0.9~-7.0	1.6~10.5	
青龙沟	CO ₂ 型 ^③	-59.5~-62.1 -56.7~-57.7	-6.5~-10.3 16.3~17.3					0.18~0.34 0~0.05
	CO ₂ -H ₂ O 型 ^③	-59.1~-61.4 -56.8~-58.7	-2.8~7.9 17.5~29.8	5.5~9.1	200~245 293~299		8.3~1.8	0.15~0.30 0~0.12
	H ₂ O-NaCl				129~418	-0.7~-6.0	1.2~9.2	
红柳沟	CO ₂ 型 ^③	-59.4~-60.6 -56.9~-57.7	-6.1 16.2					0.17~0.25 0~0.05
	CO ₂ -H ₂ O 型 ^③	-59.3~-61.2 -56.8~-57.9	-2.5~5.8 18.3~30	5.6~8.8	213~245 295		8.1~2.4	0.16~0.29 0~0.07
	H ₂ O-NaCl				129~420	-1.2~-5.9	2.1~9.1	
红旗沟— 红灯沟	CO ₂ 型 ^③	-59.5~-61.1 -57.6	-2.7 17.3					0.18~0.28 0.04
	CO ₂ -H ₂ O 型 ^③	-59~-60.5 -56.8~-57.8	-1.7~5.9 18.3~25.9	5.8~8	189~246 311		7.8~3.9	0.14~0.24 0~0.06
	H ₂ O-NaCl				126~413	-1.5~-5.9	2.6~9.1	
千枚岭	CO ₂ 型 ^③	-60.5~-61.1 -57.6	-4.7 16.3					0.24~0.28 0.04
	CO ₂ -H ₂ O 型 ^③	-59.1 -56.9~-57.7	5.8 25.8~26.3	6.1~8.8	191~243 299		7.3~2.4	0.15 0~0.05
	H ₂ O-NaCl				124~358	-1.5~-6.9	2.6~10.3	
野骆驼泉	CO ₂ 型 ^③	-60.5~-62.1 -56.7~-57.8	-7.3~-10.4 16.1~17.4					0.24~0.34 0~0.06
	CO ₂ -H ₂ O 型 ^③	-59.1~-61.3 -56.8~-57.8	-2.3~8.8 17.7~30.6	5.1~9.2	177~261 270~341		8.9~1.6	0.15~0.29 0~0.06
	H ₂ O-NaCl				119~437	-0.9~-7.8	1.6~11.4	
打柴沟	CO ₂ 型 ^③	-60.4 -57.9	-2.3 19.1					0.24 0.07
	CO ₂ -H ₂ O 型 ^③	-59.1 -56.8~-57.8	25.7~26.6	6.1~8.7	247~265 297~341		7.3~2.6	0.15 0~0.06
	H ₂ O-NaCl				171~377	-1.2~-6.7	2.1~10.1	
五龙沟	CO ₂ 型 ^③	-60.4 -58.3~-58.8	-6.2 18.4~26.2					0.24 0.09~0.13
	CO ₂ -H ₂ O 型 ^③	-57.9~-58.8	25.6	6.9	260~270 302~378		5.9	0.06~0.13
	H ₂ O-NaCl				143~382	-0.5~-4.4	0.9~7.0	
开荒北	CO ₂ 型	未发现该类型包裹体						
	CO ₂ -H ₂ O 型	-57.7~-57.8	27.8~28.6	5.7~7.2	272~360		7.9~5.4	0.05~0.06
	H ₂ O-NaCl				143~362	-0.2~-6.1	0.3~9.3	
东大滩	CO ₂ 型	未发现该类型包裹体						
	CO ₂ -H ₂ O 型	-57.6~-58.2	28~29.4	6.4~8.3	282~329		6.8~3.4	0.04~0.09
	H ₂ O-NaCl				144~308	-1.4~-5.6	2.4~8.7	
西藏大沟	CO ₂ 型	未发现该类型包裹体						
	CO ₂ -H ₂ O 型	-57.5~-58.4	27.8~28.8	6.5~8.8	223~314		6.6~2.4	0.04~0.10
	H ₂ O-NaCl				143~321	-1.2~-5.9	2.1~9.1	
大场	CO ₂ 型	未发现该类型包裹体						
	CO ₂ -H ₂ O 型	-57.0~-58.4	21.3~28.8	4.7~8.4	211~315		9.5~3.2	0~0.10
	H ₂ O-NaCl				141~321	-1.4~-6.2	2.4~9.5	

注:①CO₂-H₂O 型包裹体的盐度是根据测得的 CO₂ 笼形物熔化温度 (t_d),应用 Bozzo 等^[6]提出的计算公式求得的;H₂O-NaCl 型包裹体的盐度是根据测得的冰点,通过 Bodnar^[9]的方程计算而得;②CH₄ 的摩尔分数是应用刘斌等^[7]提出的 CO₂-CH₄ 体系中 CH₄ 的摩尔分数计算式求得的;③这些金矿中 CO₂ 型和 CO₂-H₂O 型包裹体的 $t_m(\text{CO}_2)$ 、 $t_h(\text{CO}_2)$ 、 t_d 、 T_h 、CH₄ 摩尔分数值具双峰态分布,因此上述参数用两行分别列出两个峰所代表的数值范围。

③ H₂O-NaCl 型:在 3 类流体包裹体中含量最高,广泛分布于各矿床不同世代的石英中,尤以第二世代(主成矿期)石英最发育。其中第三世代石英中的 H₂O-NaCl 型包裹体呈孤立状、第二世代石英中的 H₂O-NaCl 型包裹体与 CO₂-H₂O 型包裹体共存,第一世代石英和第二世代石英中的 H₂O-NaCl 型包裹体沿愈合的微裂隙成串分布。上述现象说明 H₂O-NaCl 型包裹体既有原生成因(产于第三世代石英和第二世代石英内),也有假次生(产于第二世代石英内)和次生成因(产于第二世代石英和第一世代石英内者)。该类包裹体又可分为气相(气相大于 50%,均一到气相)和液相(气相小于 50%,均一到液相)两个亚类。

需要提及的是,第一世代石英中的 CO₂ 型和部分 CO₂-H₂O 型流体包裹体在室温下是很难辨认的,因为它们的 CO₂ 气-液相部分均一温度($t_h(\text{CO}_2)$)低于室温(图 2~3),只有在冷冻的过程中,才能观察并鉴别到其中的 CO₂ 相。

2.2 显微测温结果

各矿床热液石英中流体包裹体显微测温结果见图 2~3 和表 2。

3 讨论与结论

3.1 流体组成

从表 2 和图 2~3 中可以看出,含碳(包括 CO₂、CH₄ 等)相的流体包裹体的 t_m (CO₂ 固相初熔温度)和 $t_h(\text{CO}_2)$ (CO₂ 部分均一温度)在大部分矿床(点)中呈双峰态分布,只有少部分矿床(点)中呈单峰态分布。结合图 1 和表 1 可知:呈双峰态分布的矿床(点)全部集中在柴北缘深断裂南侧的柴北缘造山带西段(包括野骆驼泉、千枚岭、红旗沟—红灯沟、红柳沟、青龙沟、滩间山),以及昆中深断裂北侧的昆中古陆块中段(打柴沟、五龙沟);而呈单峰态分布的矿床(点)则产于昆南深断裂北侧的昆南造山带中段(开荒北)和北巴颜喀拉深断裂南侧的巴颜喀拉带造山带(东大滩、西藏大沟、大场)。

t_m 和 $t_h(\text{CO}_2)$ 呈双峰态分布的矿床(点)中流体包裹体中估算的 CH₄ 摩尔分数值(0.14~0.34,平均值 0.24;0~0.12,平均值 0.06,表 2)也呈双峰态。由此说明,前者是含 CH₄ 的流体(H₂O-CO₂-CH₄ 体系),后者是不含或很少含 CH₄ 的流体(H₂O-CO₂±CH₄ 体系)。依据有关流体包裹体的状态方程^[8,9]及流体包裹体显微测温数据,刘斌等^[7]建立了估算流体密度、体积、组分和压力的经验式。按照这些经验式估计的上述含 CH₄ 的流体的 X_{CO₂}和 X_{H₂O}之近似值分别为 0.11~0.59(平均值 0.34)和 0.64~0.31(平均值 0.42),不含或很少含 CH₄ 的流体的 X_{CO₂}和 X_{H₂O}之近似值分别为 0.18~0.25(平均值 0.21)和 0.79~0.69(平均值 0.73)。

t_m 和 $t_h(\text{CO}_2)$ 呈单峰态分布的 4 个(开荒北、东大滩、西藏大沟、大场)矿床(点)中含碳相的流体包裹体的 t_m 接近于纯 CO₂ 的初熔温度(-56.6℃),说明其属于不含或很少含 CH₄ 的流体(H₂O-CO₂±CH₄ 体系)。用同样的方法估计出它们的

流体的 X_{CH₄}、X_{CO₂}和 X_{H₂O} 分别为 0~0.10(平均值 0.05)、0.04~0.60(平均值 0.35)、0.35~0.86(平均值 0.60)。

根据 CO₂-H₂O 型流体包裹体的 CO₂ 笼形物熔化温度(t_d)和 H₂O-NaCl 型包裹体的冰点(t_m)估计出的各矿床点流体的盐度值都较低。其中,由 t_d 估计的各矿床点盐度(NaCl)值为 1.4%~9.5%,根据 t_m 估计的各矿床点盐度(NaCl)值为 0.3%~11.4%,二者相差不大(表 2)。这就说明,柴北缘—东昆仑地区的造山型金矿中的流体,不论是 H₂O-CO₂-CH₄ 体系的流体,还是 H₂O-CO₂±CH₄ 体系的流体,均属于低盐度的流体。

上述讨论可以获得的结论是,柴北缘—东昆仑地区产于不同构造区带造山型金矿中的流体有较大差别。产于柴北缘深断裂南侧的柴北缘造山带西段的造山型金矿(包括野骆驼泉、千枚岭、红旗沟—红灯沟、红柳沟、青龙沟、滩间山等矿床(点)),以及昆中深断裂北侧的昆中古陆块中段的造山型金矿(包括打柴沟、五龙沟)中的流体有 2 种:低盐度的 H₂O-CO₂-NaCl-CH₄ 流体和低盐度的 H₂O-CO₂-NaCl±CH₄ 流体;而产于昆南深断裂北侧的昆南造山带中段(开荒北)和北巴颜喀拉深断裂南侧的巴颜喀拉带造山带(东大滩、西藏大沟、大场)的造山型金矿中的流体只有低盐度的 H₂O-CO₂-NaCl±CH₄ 流体一种类型。

笔者详细研究过产于柴北缘深断裂南侧、柴北缘造山带西段的滩间山金矿床中流体包裹体,研究结果表明该矿床中的低盐度的 H₂O-CO₂-NaCl-CH₄ 流体和低盐度的 H₂O-CO₂-NaCl±CH₄ 流体是两个不同造山时期的产物,前者形成早,与晚加里东(400 Ma,Ar-Ar 年龄,表 1)造山作用有关,后者形成晚,是晚华力西(284 Ma,Ar-Ar 年龄,表 1)造山作用的产物。

故笔者也可以认为野骆驼泉、千枚岭、红旗沟—红灯沟、红柳沟、青龙沟(产于柴北缘深断裂南侧的柴北缘造山带西段的造山型金矿)以及打柴沟、五龙沟(产于昆中深断裂北侧的昆中古陆块中段)等金矿中低盐度的 H₂O-CO₂-NaCl-CH₄ 流体和低盐度的 H₂O-CO₂-NaCl±CH₄ 流体分别形成于晚加里东碰撞造山期和晚华力西—印支碰撞造山期,这是因为:

(1)根据区域构造演化,柴北缘造山带和昆中古陆块曾经经历过加里东和晚华力西—印支复合造山作用。产于这两个构造带的上述金矿形成于晚加里东期和晚华力西—印支期(表 1,晚加里东期矿化、晚华力西—印支期定型),是该区加里东和晚华力西—印支复合造山过程的产物^[2]。

(2)上述金矿中 CO₂ 型和 CO₂-H₂O 型流体包裹体的 t_m (CO₂)和 $t_h(\text{CO}_2)$ 呈双峰态分布(表 2,图 2~3),两组不同的 t_m (CO₂)和 $t_h(\text{CO}_2)$ 值是含 CH₄ 流体(H₂O-CO₂-CH₄ 体系)和不含或很少含 CH₄ 流体(H₂O-CO₂±CH₄ 体系)的表现。

(3)从前述流体包裹体的类型及其分布可知:在上述金矿中,含 CH₄ 的流体包裹体通常产于第一世代石英内,由

CO₂型和两相(液相CO₂和液相H₂O)CO₂-H₂O型包裹体组成;不含或很少含CH₄的流体包裹体通常产于第二世代石英内,由CO₂型和三相CO₂-H₂O型包裹体组成。因此,这些金矿中流体包裹体的类型及其产状与滩间山矿区的流体包裹体完全一致。

开荒北、东大滩、西藏大沟、大场矿床(点)的金矿形成于印支期(表1),其中的低盐度的H₂O-CO₂-NaCl±CH₄流体应当是印支碰撞造山作用的产物。

3.2 温度、盐度和压力

按照不混溶流体包裹体的判别准则^[10-11],产于第一世代石英中和第二世代石英内的CO₂型、CO₂-H₂O型,可能还有一些H₂O-NaCl型流体包裹体,应当分属于两种不同的不混溶流体包裹体,它们分别代表了不同时期由于流体不混溶形成的不混溶流体。主要证据是:各个矿床(点)的第一世代石英和第二世代石英中均可见到CO₂含量变化较大的包裹体以及部分H₂O-NaCl型包裹体紧密共存在同一石英颗粒中;不管是均一到CO₂气相还是均一到液相的CO₂-H₂O包裹体,还是均一到液相的H₂O-NaCl型包裹体,它们都有大致相同的均一温度范围,表明它们是同时捕获的。通常认为,从不混溶流体中捕获的包裹体,其两端元组分包裹体的均一温度应代表流体捕获时的温度,而从均匀流体中捕获的包裹体,其均一温度仅为流体形成的温度下限。因此,笔者主要采用不混溶流体包裹体的均一温度来代表相应的流体的温度。

由CO₂-H₂O型和H₂O-NaCl型包裹体的均一温度值共同组成的直方图显示出多峰态分布(图2~3),其中大部分矿床(点)的均一温度具有3~4个峰。在这些均一温度峰中,大部分矿床(点)均有一个低温的峰,其全部由H₂O-NaCl型包裹体的均一温度值构成,峰值及峰区的温度范围在各矿床(点)不完全相同,为120~180℃。这些H₂O-NaCl型包裹体具有两种不同的产状,一是呈原生包裹体分布于第三世代的石英内,二是呈次生包裹体产于第一和第二世代的石英内。因此,可以将这些H₂O-NaCl型包裹体当作成矿后的流体,并从均一温度直方图中扣除由其产生的低温峰。相应地,由形成低温峰的这些H₂O-NaCl型包裹体所具有的极低盐度值,也应当扣除。

由于CO₂-H₂O型包裹体通常呈假次生或原生包裹体产于第一世代石英和第二世代石英中,而且2相(液相CO₂和液相H₂O)CO₂-H₂O型包裹体通常产于第一世代石英中,3相(液相、富CO₂气泡和水)CO₂-H₂O型包裹体通常产于第二世代石英内,因而由这两种不同的CO₂-H₂O型包裹体的均一温度分别构成了两组不同的数据(表2),由这两组不同的温度数据和扣除低温峰之后的H₂O-NaCl型包裹体的均一温度值,共同形成的均一温度峰值区间(图2~3),可以分别大致代表第一世代石英和第二世代石英的形成温度,亦即晚加里东期成矿流体和晚华力西—印支期成矿流体的温度。据此可以确定各矿床(点)不同成矿期流体的温度。

按照上述原则确定的野骆驼泉、千枚岭、红旗沟—红灯

沟、红柳沟、青龙沟、滩间山、打柴沟、五龙沟等矿床(点)晚加里东期成矿流体的温度为180~270℃,晚华力西—印支期成矿流体的温度为280~449℃(主要为280~360℃)。上述两期成矿流体的盐度(NaCl)相差不大,总体为1.4%~11.4%(大部分集中于2.7%~9.1%)。

需要指出的是,除个别矿床(点)之外(如千枚岭),上述矿床(点)中的H₂O-NaCl型流体包裹体的均一温度大多形成一个高温峰,其峰区温度为370~449℃,并以滩间山、青龙沟、五龙沟矿床最明显(表2、图2~3)。根据推算的地热梯度,如此高的温度梯度不可能属于构造(碰撞造山)生热(详见后述),应该与岩浆热液有关,因为这些矿床(点)中都有晚华力西—印支期侵入岩(表1)。

产于昆南造山带和巴颜喀拉造山带的开荒北、东大滩、西藏大沟和大场等矿床(点)中H₂O-NaCl型流体包裹体的均一温度缺少上述高温峰(但也有一个低温峰,图3),这些矿床(点)中大多未见与成矿同期的侵入岩。采用同样的方法,获得它们的成矿流体的温度为203~362℃,盐度(NaCl)为2.4%~9.5%。

利用H₂O-CO₂-NaCl体系的P-T-X不混溶曲线^[12]和刘斌等^[7]的经验式进行压力估算,获得野骆驼泉、千枚岭、红旗沟—红灯沟、红柳沟、青龙沟、滩间山、打柴沟、五龙沟等矿床(点)晚加里东期成矿流体的压力为180~560 MPa(青龙沟矿床的最高压力达560 MPa),上述矿床(点)以及开荒北、东大滩、西藏大沟和大场等矿床(点)中晚华力西—印支期成矿流体的压力为80~230 MPa。

图4是根据各矿床(点)不同世代含CO₂流体包裹体的温度和估算的压力,绘制成的温压图解。如果将上述压力值按岩压换算成深度,则柴北缘—东昆仑地区造山型金矿的晚加里东期成矿深度为5.9~18.5 km,晚华力西—印支期成矿深度为2.6~7.6 km(图4)。根据图4中的温度—深度曲线,计算出柴北缘—东昆仑地区晚加里东期的地热增温率为18~27℃/km,晚华力西—印支期的地热增温率为52~81℃/km。

3.3 柴北缘—东昆仑地区的碰撞造山作用与造山型金矿床

柴北缘—东昆仑地区的加里东造山过程包含了柴北、昆北、昆南3个裂陷槽或小洋盆的开裂和闭合。它们的闭合是分别与其相邻的微陆块(欧龙布鲁克、柴达木、昆中)的碰合,碰合的结果是造陆,可能并不造山^[14]。晚华力西—印支时期,古特提斯洋的开合在本区北部的柴北、昆北、昆南加里东造山带内产生陆—陆俯冲或碰撞,强烈的抬升使这里最终隆起成山,从而最终完成了加里东和晚华力西—印支复合造山过程。因此,柴北、昆北、昆中、昆南构造区的金矿床大多与该复合造山过程有关,而区域南侧的巴颜喀拉造山带的金矿床则与印支碰撞造山过程相联系^[14-15]。柴北缘—东昆仑地区造山型金矿有两组成矿年龄^[16](表1),其一是晚加里东期(425.5~400 Ma),其二是晚华力西—印支期(284~218 Ma),也说明金成矿主要与造山晚期的地球动力学过程有关^[16]。

柴北缘—东昆仑地区造山型金矿的晚加里东期成矿深

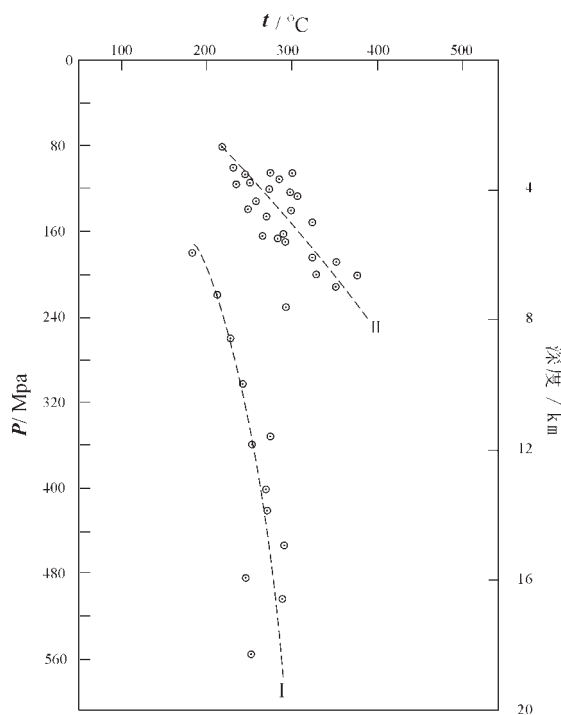


图4 柴北缘—东昆仑地区造山型金矿中含 CO_2 流体包裹体的温度—压力图解

I—晚加里东期流体包裹体温压曲线；

II—晚华力西—印支期流体包裹体温压曲线

Fig.4 Diagram of homogenization temperatures and pressures for CO_2 -bearing fluid inclusions from orogenic gold deposits in the northern Qaidam Basin margin—East Kunlun region

I—Curve of temperature vs. pressure for the late Caledonian fluid inclusions; II—Curve of temperature vs. pressure for the late Variscan—Indosinian fluid inclusions

度为 5.9~18.5 km,也进一步证明晚加里东期金矿化形成于该时期该地区的上地壳底部—中地壳上部的塑性变形带。晚华力西—印支期成矿深度为 2.6~7.6 km,预示本区晚华力西—印支期金成矿是在上地壳环境,也预示着本区晚华力西—印支期碰撞造山是一个强烈的地壳隆升过程,与晚加里东期相比,其最大隆升幅度达 12 km。

前述柴北缘—东昆仑地区晚加里东期的地热增温率 (18~27°C/km) 与碰撞造山带的地热增温率 (25°C/km) 大体一致,表明本区加里东碰撞造山过程中的构造生热,形成了低盐度的 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}-\text{CH}_4$ 流体。晚华力西—印支期的地热增温率为 52~81°C/km,高于碰撞造山带的地热增温率。特别是前述滩间山、青龙沟、五龙沟等矿床第二世代石英中的 $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$ 型流体包裹体均—温度大多有一个高温峰 (最高达 449°C)。如果取这一温度值估算其地热增温率将会更高,接近于现代活动火山带的地温梯度 (100°C/km)。因此推断,晚华力西—印支期的高地热增温率除构造生热外还可能

与同期的岩浆侵入作用有关,因为滩间山、青龙沟、五龙沟等矿床中存在同期中酸性岩浆侵入体 (表 1)。所以,本区有较多造山型金矿的晚华力西—印支期低盐度的 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}\pm\text{CH}_4$ 成矿流体,是碰撞造山作用和与碰撞有关的花岗岩类共同作用的结果。

从表 1 的资料可以看出,柴北缘—东昆仑地区的造山型金矿大多位于大地构造单元边界和/或深大断裂旁侧,并沿发育在上述深断裂旁侧的大型剪切带分布和产出。在柴北缘造山带西段,沿造山带边界 (深断裂) 南侧长 150 km 左右的范围内的 6 处金矿产地 (野骆驼泉、千枚岭、红旗沟—红灯沟、红柳沟、青龙沟、滩间山,图 1) 均发育与碰撞造山作用有关的流体。这表明该地区加里东和晚华力西—印支造山过程中,沿碰撞带的边界有大规模的流体流动。近年来,造山过程中的流体活动,包括流体的分布规律和运移轨迹 (即造山带古流体场的重建)、流体在造山过程中对各种地质作用的参与、造山带演化特征与流体活动幕次的关系,以及造山带流体活动与成矿关系等,已经成为地球科学研究的重要问题之一^[13]。因此,本区金矿床 (点) 中发育的流体包裹体,是研究和重塑该地区古造山过程中的流体作用的最好样品。研究表明:在柴北缘—东昆仑南地区,沿加里东碰撞造山带边界的上地壳底部—中地壳上部的塑性变形带有大规模的低盐度 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}-\text{CH}_4$ 流体流动,并形成广泛的金矿化;沿晚华力西—印支期碰撞造山带边界的上地壳有大规模的 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}\pm\text{CH}_4$ 流动,并导致本区造山型金矿的形成。

3.4 结论

(1) 在柴北缘—东昆仑地区,产于柴北缘造山带和昆中古陆块上的造山型金矿 (包括野骆驼泉、千枚岭、红旗沟—红灯沟、红柳沟、青龙沟、滩间山、打柴沟、五龙沟) 中发育低盐度的 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}-\text{CH}_4$ 和 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}\pm\text{CH}_4$ 两种不同的成矿流体,而产于昆南深断裂北侧的开荒北金矿和产于巴颜喀拉造山带的东大滩、西藏大沟、大场金矿中只发育低盐度的 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}\pm\text{CH}_4$ 成矿流体。

(2) 低盐度的 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}-\text{CH}_4$ 流体的 X_{CH_4} 、 X_{CO_2} 和 $X_{\text{H}_2\text{O}}$ 分别为 0.14~0.34 (平均值 0.24)、0.11~0.59 (平均值 0.34) 和 0.64~0.31 (平均值 0.42),温度为 180~270°C,压力为 180~560 Mpa,是晚加里东期碰撞造山作用的产物,在本区形成了广泛的金矿化;低盐度的 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}\pm\text{CH}_4$ 流体导致本区造山型金矿的最终定位,其 X_{CH_4} 、 X_{CO_2} 和 $X_{\text{H}_2\text{O}}$ 分别为 0~0.12 (平均值 0.06)、0.18~0.25 (平均值 0.21) 和 0.79~0.69 (平均值 0.73),温度为 280~449°C (主要为 280~360°C),压力为 80~230 Mpa,主要与晚华力西—印支期碰撞造山作用有关,其中不少矿床还受侵入岩浆作用的影响。上述两期成矿流体的盐度 (NaCl) 相差不大,总体为 1.4%~11.4% (大部分集中于 2.7%~9.1%)。

(3) 在柴北缘—东昆仑南地区,沿加里东碰撞造山带边界的上地壳底部—中地壳上部的塑性变形带有大规模的低盐度 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}-\text{CH}_4$ 流体流动,并形成广泛的金矿化;沿

晚华力西—印支期碰撞造山带边界的上地壳有大规模的 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}\pm\text{CH}_4$ 流动,并导致本区造山型金矿的形成。

(4)压力—深度换算结果显示,本区晚华力西—印支期碰撞造山作用表现出地壳强烈隆升过程,其最大隆升幅度达 12 km。这说明该区大规模的造山型金成矿作用发生在地壳隆升的背景之下。

致谢:十分感谢青海省地调院和青海省第一地质大队的同行们对野外调查研究和样品采集工作给予的支持和帮助。

参考文献 (References):

[1] 张德全, 丰成友, 李大新, 等. 柴北缘—东昆仑地区的造山型金矿床[J]. 矿床地质, 2001, 20(2):137–146.
Zhang Dequang, Feng Chengyou, Li Daxing, et al. Orogenic gold deposits in the North Qaidam and East Kunlun orogen, West China [J]. Mineral Deposits, 2001, 20(2):137–146(in Chinese with English abstract).

[2] 张德全, 党兴彦, 余宏全, 等. 柴北缘—东昆仑地区造山型金矿床的 Ar–Ar 测年及其地质意义[J]. 矿床地质, 2005, 24(2):87–98.
Zhang Dequan, Dang Xingyan, She Hongquan, et al. Ar–Ar dating and its geological significance of orogenic gold deposits in northern margin of Qaidam and East Kunlun [J]. Mineral Deposits, 2005, 24(2):87–98(in Chinese with English abstract).

[3] 张德全, 王富春, 余宏全, 等. 柴北缘—东昆仑地区造山型金矿床的三级控矿构造系统[J]. 中国地质, 2007, 34(1):92–100.
Zhang Dequan, Wang Fuchun, She Hongquan, Feng Chengyou, et al. Three-order ore-controlling structural system of orogenic gold deposits in the northern Qaidam margin—East Kunlun region [J]. Geology in China, 2007, 34 (1):92–100 (in Chinese with English abstract).

[4] 殷鸿福, 张克信. 中央造山带的演化及其特点[J]. 地球科学, 1998, 23(5):437–442.
Yin Hongfu, Zhang Kexing. Evolution and characteristics of the central orogenic belt[J]. Journal of China University of Geosciences,

1998, 23(5):437–442(in Chinese with English abstract).

[5] Bozzo A T, Chen J R & Barduhn A J. The properties of hydrates of chlorine and carbon dioxide [C]//Delyannis A, Delyannis E (eds.). Fourth International Symposium on Fresh Water from the Sea 1973, 3:437–451.

[6] Bodnar R J. Revised equation and stable for determining the freezing point depression of $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$ solution [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1993, 57:683–684

[7] 刘斌, 沈昆. 流体包裹体热力学[M]. 北京:地质出版社, 1999.
Liu Bin, Shen Kun. Thermodynamics of Fluid Inclusions [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1999(in Chinese).

[8] Jacobs G K, Kerrick D M. Methane:An equation of state with application to the ternary system $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{CH}_4$ [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1981, 45:607–614.

[9] Kerrick D M, Jacobs G K. A modified Redlich–Kwong equation for H_2O , CO_2 and $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ mixtures at elevated pressures and temperatures[J]. American Journal of Science, 1981, 281:735–767.

[10] Hollister L S, Burruss R C, Henry D L, et al. Physical conditions during uplift of metamorphic terranes, as recorded by fluid inclusions[J]. Bull Minera, 1979, 102, 555– 561.

[11] Roedder, E. Fluid inclusions [J]. Mineralogical Society of America Reviews in Mineralogy, 1984, 12:644.

[12] Bowers T S, Helgeson H C. Calculation of the thermodynamic and geochemical consequences of nonideal mixing in the system $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ on phase relations in geologic systems: Equation of state for $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ fluids at high pressures and temperatures [J]. Geochim. Cosmochim. Acta, 1983, 47:1247–1275.

[13] 王宗起, 汤耀庆. 大地构造学研究的新兴前缘学科——造山过程中的流体作用[J]. 地学前缘, 1996, 3(3):131–137.
Wang Zongqi, Tang Yaoqing. A new studying subject of tectonics–geofluid activities in orogenesis[J]. Earth Science Frontiers, 1996, 3(3):131–137(in Chinese with English abstract).

Fluid inclusions in orogenic gold deposits in the northern Qaidam margin–East Kunlun region

ZHANG De-quan¹, ZHANG Hui², FENG Cheng-you¹,
SHE Hong-quan¹, LI Jin-wen¹, LI Da-xin¹

(1. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

2. Inner Mongolia Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Hohhot 010020, Inner Mongolia, China)

Abstract: More than 20 orogenic gold mineral occurrences have been discovered and explored in the northern Qaidam margin–East Kunlun region. They are the product of the late Caledonian and late Variscan–Indosinian multiple collisional orogeny. Based on a study of fluid inclusions in 12 gold deposits in the region, two kinds of ore-forming fluids are recognized in these orogenic gold deposits: low-salinity $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}-\text{CH}_4$ fluids and low-salinity $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}\pm\text{CH}_4$ fluids. The former, whose X_{CH_4} , X_{CO_2} and $X^{\text{H}_2\text{O}}$ values are 0.14–0.34 (mean 0.24), 0.11–0.59 (mean 0.34) and 0.64–0.31 (mean 0.42) respectively, temperatures range from 180 to 270°C and pressures range from 180 to 560 MPa, are the product of late Caledonian collisional orogeny and mainly flowed along the ductile deformation zone between the base of the upper crust and the upper part of the middle crust below the boundary of the Caledonian collisional orogenic belt and formed extensive gold mineralizations in the region. For the latter, the values of X_{CH_4} , X_{CO_2} and $X_{\text{H}_2\text{O}}$ are 0–0.12 (mean 0.06), 0.18–0.25 (mean 0.21) and 0.79–0.69 (mean 0.73), the temperatures range from 280 to 449°C (mostly 280–360°C) and the pressures range from 80 to 230 MPa. They were mainly related to late Variscan–Indosinian collisional orogeny and influenced by magmatic intrusion in some deposits. The fluids flowed extensively along the upper crust below the boundary of the late Variscan–Indosinian collisional orogenic belt, thus resulting in the final location of orogenic gold deposits in the region. The salinities of the two kinds of fluids are approximately consistent, generally varying from 1.4 to 11.4 wt% NaCl equiv and clustering at 2.7–9.1 wt% NaCl equiv. The results of pressure–depth conversion of the ore-forming fluids indicate a process of strong crustal uplift during the late Variscan–Indosinian collisional orogeny in the region, with the maximum uplift magnitude up to 12 km. This shows that the orogenic gold mineralizations in the region took place in a background of crustal uplift.

Key words: fluid inclusion; orogenic gold deposit; northern Qaidam margin–East Kunlun region; Qinghai

About the first author: ZHANG De-quan, male, born in 1946, senior researcher and director of Ph.D students; engages in geological and geochemical research; E-mail: dequanzhang@sohu.com.