

文章编号:0258-7106(2005)02-0087-12

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*

张德全¹, 党兴彦², 余宏全¹, 李大新¹, 丰成友¹, 李进文¹

(1 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2 青海省地质调查院, 青海 西宁 810012)

摘要 通过对柴北缘—东昆仑地区一批金矿床中绢云母的 Ar-Ar 测年, 确定金矿床形成于晚加里东期和晚华力西—印支期, 是该区加里东和晚华力西—印支复合造山过程的产物, 是典型的造山型金矿床。金成矿作用主要发生在碰撞造山过程的晚期, 金成矿与柴北缘—东昆仑地区的复合造山作用在时空上的“构造迁移”相一致。

关键词 地球化学; Ar-Ar 测年; 造山型金矿床; 复合造山作用; 柴北缘—东昆仑

中图分类号: P618.51; P597+.3

文献标识码: A

柴达木盆地北缘(以下简称柴北缘)—东昆仑地区是中国西部秦祁昆褶皱山系的一部分, 20 世纪 90 年代以来, 这里陆续发现了一批金矿产地, 它们大多与这里的造山作用有密切的成因联系, 是典型的造山型金矿床(张德全等, 2001)。本文从这些金矿床的放射性同位素测年结果出发, 来探讨金成矿对造山过程的响应。

1 矿床地质特征概述

迄今为止, 除柴达木地块因被新生代沉积(柴达木盆地)广泛覆盖而未发现金矿产地以外, 柴北缘—东昆仑地区的其他所有三级构造区带都或多或少地有造山型金矿的发现。图 1 和表 1 分别给出了柴北缘—东昆仑地区具代表性的 13 处造山型金矿产地所处构造位置及主要地质特征。

从表 1 可以看出这些金矿床的如下主要地质特征:

这些金矿都产于汇聚板片的边缘, 靠近深断裂的部位, 与晚加里东或晚华力西—印支造山过程有关。例如, 柴北构造带中的野骆驼泉(张德全等, 2001; 丰成友等, 2002)、千枚岭、红柳沟、青龙沟(张德全等, 2001)、滩间山(崔艳合等, 2000)、赛坝沟(丰

成友等, 2002)等金矿床, 全部位于该构造带之北侧边缘, 并沿柴北缘深断裂的南侧分布(图 1)。虽然矿床围岩的原岩是多样的, 原岩的时代变化也极大(从元古宙到三叠纪), 但它们都属于绿片岩相变质岩(个别矿点的围岩为元古代片麻岩, 但这些角闪岩相变质岩在加里东造山过程中又广泛地经受了绿片岩相退变质作用, 因此其直接围岩的变质程度仍是绿片岩相)。

严格受构造控制, 是这些金矿床的一个重要特征。大型剪切带通常是区域控矿构造或矿田构造。例如, 柴北缘深断裂西段之南侧, 有野骆驼泉—千枚岭、青龙沟—滩间山等几条长 20~30 km 的 NW 向剪切带, 它们分别控制了野骆驼泉、千枚岭、青龙沟、滩间山等金矿床(点); 五龙沟地区的 1:5 万水系沉积物 Au 异常及所有的金矿床、矿点、矿化点均分布在 3 条长 30~50 km 的 NWW 向剪切带内或其旁侧的低序次剪切带中(钱壮志等, 2000)。大型剪切带内或旁侧的配套构造, 则是控制矿床或矿体的构造。柴北缘—东昆仑地区造山型金矿的矿床或矿体构造, 大体上有两大类: 与剪切带伴生的断裂-裂隙系统, 如野骆驼泉金矿床(丰成友等, 2002); 与褶皱有关的层间滑脱构造, 如滩间山金矿床(崔艳合等, 2000)。

* 本文得到国家自然科学基金(项目批准号:40372051)和国家科技攻关计划(课题任务书编号:2003BA612A-07)的共同资助
第一作者简介 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。
收稿日期 2004-12-06; 改回日期 2004-12-23。李 岩编辑。

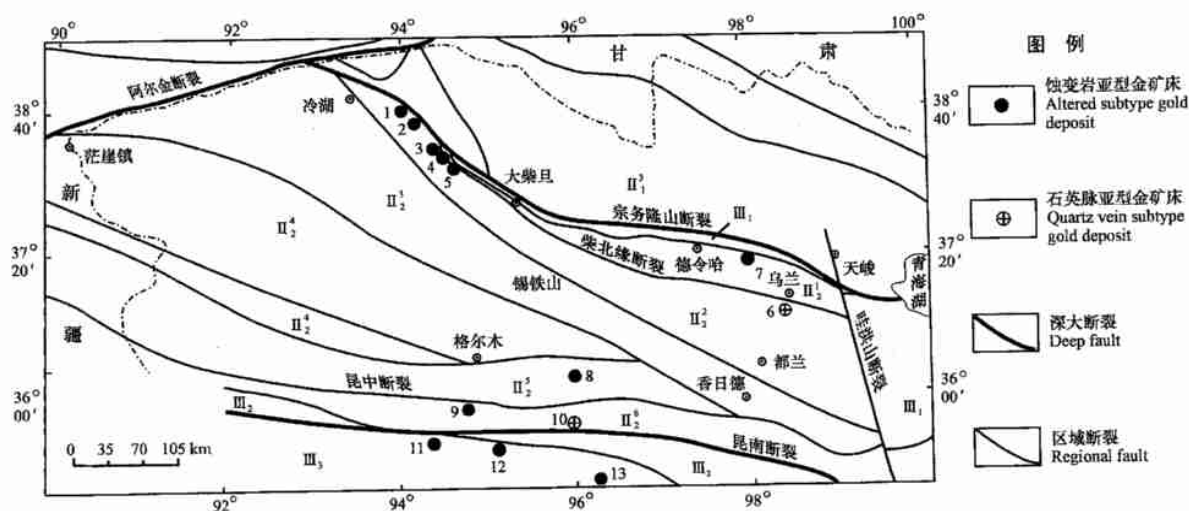


图1 柴北缘—东昆仑地区构造分区及造山型金矿分布图

构造分区: II₁³—南祁连; II₂¹—欧龙布鲁克; II₂²—柴北; II₂³—柴达木; II₂⁴—昆北; II₂⁵—昆中; II₂⁶—昆南;

III₁—宗务隆山-青海湖南山; III₂—阿尼玛卿; III₃—北巴颜克拉。矿产地序号及名称同表1

Fig.1 Sketch map showing tectonic setting and location of orogenic gold deposits in the northern margin of Qaidam Basin and the East Kunlun Mountains

Tectonic units: II₁³—South Qilian; II₂¹—Oulongbuluke; II₂²—North Qaidam; II₂³—Qaidam; II₂⁴—North Kunlun; II₂⁵—Central Kunlun; II₂⁶—South Kunlun; III₁—Zhongwulongshan-Qinghaihunanshan; III₂—Animaqing; III₃—North Bayankela. The serial number and names of the deposits as for Table 1

硅化、黄铁矿化、绢云母化是最常见的热液蚀变,其他如碳酸盐化、绿泥石化等程度不等地发育于不同矿床中。黄铁绢英岩化与金矿化关系最密切,硅化和黄铁矿化的强度往往与金矿化的强度呈正消长关系。总体而言,蚀变岩石的带入组分为 CO₂, H₂O, S, SiO₂, K 及大离子亲石元素。

矿石中金属矿物含量通常在 3%~5% 之间,主要为黄铁矿,有少量或痕量的毒砂、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、辉锑矿等,毒砂仅出现在昆中带以北的各构造带内的金矿中,辉锑矿仅产在昆中带以南的各构造带内的金矿中,并以北巴颜喀拉构造带中的金矿内最发育。自然金和银金矿常呈 0.001~0.1 mm 的颗粒包裹于浸染状黄铁矿内或产于黄铁矿及毒砂的裂隙中,部分自然金和银金矿呈包体产于黄铁矿中,偶见裂隙金。脉石矿物的种属视矿石类型及围岩类型而变化,石英脉型矿石的脉石矿物以块状石英为主,少量碳酸盐矿物(铁白云石、菱锰矿、方解石等)和绢云母;蚀变岩型矿石的脉石矿物为石英、绢云母、绿泥石、碳酸盐、长石等。有两种类型的矿石:

破碎带蚀变岩型和石英脉型。前者是强烈黄铁绢英岩化蚀变的构造岩,矿石与围岩间为非自然边界;后者为含金的硫化物-石英脉,矿石与围岩之间呈现自然边界,但通常含金的硫化物-石英脉产于强烈黄铁绢英岩化的剪切带(亦含金)中。因此,大多数石英脉型矿石都与破碎带蚀变岩型矿石伴生或共生。在世代上,有些石英脉型矿石略晚于蚀变岩型矿石,而有些则几乎同时。根据矿石类型,可将本区造山型金矿细分为破碎带蚀变岩型和石英脉型两个亚类型。

无论石英脉型还是破碎带蚀变岩型矿石,均有低贱金属(Cu, Pb, Zn)、高 Au/Ag 比(变化在 1~10 之间)的特点。As 和 Sb 的含量变化大,总体上,昆中带以北的金矿含 As 高,破碎带蚀变岩亚型比石英脉亚型含 As 高,昆中带以南的金矿含 Sb 高。自区域北部向南部,矿床元素组合由 Au-As 向 Au-Sb 转化。上述元素组合的变异表明,石英脉亚型成矿深度小于破碎带蚀变岩亚型,区域南部金矿的成矿深度小于区域北部金矿(Groves et al., 1998; 2000)。

表 1 柴北缘—东昆仑地区造山型金矿床的地质特征

Table 1 Geological characteristics of the orogenic gold deposits in the northern margin of Qaidam Basin and the East Kunlun Mts

| 序号 | 矿产地 | 构造位置 | 控矿构造 | | 矿体围岩 及时代 | 矿石类型 | 元素组合 | 矿体 | 矿物组合 |
|----|------------|----------|--|--|--------------------|--------------------|-------|--|--|
| | | | 区域构造 | 矿床构造 | | | | | |
| 1 | 野骆驼泉 Au 矿床 | 柴北带西段 | NW 向大型剪切带, 沿达肯大板群片麻岩和下部古生界绿片岩(绿泥绢云片岩和绢云石英片岩夹变砂岩)之间展布 | NW 向大型剪切带旁侧的次级近 SN 向剪切带, 金矿化主要与晚期的左旋斜冲脆性变形有关 | 早古生代(奥陶纪-奥陶纪)千枚岩 | 破碎带蚀变岩型, 偶见含金石英脉型 | Au-As | 4 个矿群共 19 个矿体, 呈左型斜列式展布于近 SN 向的韧-脆性剪切带中 | 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 Au 矿床 | 柴北带西段 | NW 向大型剪切带(与野骆驼泉者同属一条) | NW 向大型剪切带旁侧的 NNW 向次级韧-脆性剪切带 | 早古生代(奥陶纪)绿片岩 | 破碎带蚀变岩型, 少量含金石英脉型 | Au-As | 短而小的矿体, 呈斜列式透镜体群, 沿 NNW 向韧-脆性剪切带展布 | 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 | 红柳沟 Au 矿床 | 柴北带西段 | 发育于滩间山群中的 NW 向大型剪切带 | NW 向大型剪切带旁侧的近 SN 向韧-脆性剪切带群 | 早古生代(奥陶纪)绿片岩 | 破碎带蚀变岩型和石英脉型 | Au-As | 5 个矿体均呈脉状或透镜状斜列式分布于 3 条近 SN 向韧-脆性剪切带中 | 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 |
| 4 | 青龙沟 Au 矿床 | 柴北带西段 | 大型 NW 向剪切带 | NW 向大型剪切带中的 NW 向背斜轴部之韧-脆性断裂 | 中元古界万洞沟群大理岩 | 破碎带蚀变岩型 | Au-As | 主矿体呈厚大的透镜体产于背斜轴部(大理岩)的 NW 向断裂中, 背斜翼部强变形的碳酸盐绢云千枚岩中也有多个短小透镜状矿体 | 黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、白铁矿、自然金、白云石、碳酸盐、绢云母、石英、绿泥石 |
| 5 | 滩间山 Au 矿床 | 柴北带西段 | 大型 NW 向韧-脆性剪切带(与青龙沟之同属一条), 其早期为右旋逆冲剪切(400 Ma), 晚期为左旋斜冲剪切(280 Ma) | NW 向大型剪切带内的 NNE-SN 向褶皱之轴部或两翼的断裂-裂隙带 | 中元古界万洞沟群千枚岩及晚古生代脉岩 | 破碎带蚀变岩型 | Au-As | 矿体呈似层状、脉状、透镜状, 主矿体(占 90% 以上储量)全部产于褶皱轴部及翼部的 NNE-SN 向断裂-裂隙系统中 | 黄铁矿(高钾)、毒砂、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、斜方砷铁矿、自然金、银金矿、石英、绢云母、石墨、绿泥石、铁白云石等 |
| 6 | 赛坝沟 Au 矿床 | 柴北带东段 | 发育于晋宁期英云闪长岩和花岗闪长岩(946 Ma)中的 NNW 向韧-脆性剪切带 | NW 向韧-脆性剪切带, 石英脉与印支期左旋斜冲脆性变形有关 | 新元古代花岗岩、闪长岩 | 石英脉蚀变岩型, 少量破碎带蚀变岩型 | Au-As | 11 个矿体呈透镜状, 在 NW 向韧-脆性剪切带中斜列式展布, 矿体与糜棱面理(SI)之间呈 5~30° 交角 | 黄铁矿、磁铁矿、毒砂、自然金、方铅矿、黄铜矿、闪锌矿、自然金、石英、绢云母、碳酸盐、长石 |
| 7 | 求律特 Au 矿点 | 欧龙布鲁克带东段 | NW 向大型剪切带 | NW 向韧-脆性剪切带, 沿加里东期辉长岩和中晚元古代大理岩接触带展布 | 加里东期辉长岩及中晚元古代大理岩 | 破碎带蚀变岩型, 少量石英脉型 | Au-As | 矿体产于 NW 向韧-脆性剪切带中 | 黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、自然金、绿泥石、绿帘石、斜长石、碳酸盐 |

续表 1 (Table 1 Cont.)

| 序号 | 矿产地 | 构造位置 | 控矿构造 | | 矿体围岩及时代 | 矿石化类型 | 元素组合 | 矿体 | 矿物组合 |
|----|--------------|-----------|---|-------------------------------------|-----------------|-------------------|----------|---|--|
| | | | 区域构造 | 矿床构造 | | | | | |
| 8 | 五龙沟 Au 矿床 | 昆中带中段 | NWW 向大型剪切带, 在晚加里东期显示右旋逆冲剪切, 晚华力西-印支期显示为左旋斜冲剪切变形 | 大型剪切带旁侧的 NW-NNW 向剪切带或断裂-裂隙带 | 加里东期花岗岩及早元古代片麻岩 | 破碎带蚀变岩型 | Au-As-Sb | 矿体呈透镜状, 斜列式成群成带地分布于 NW-NNW 向剪切带和断裂-裂隙系统中 | 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 |
| 9 | 小干沟 Au 矿点 | 昆南带中段 | 发育于浅变质的三叠纪前陆盆地细碎屑岩中的 NNW 向大型剪切带 | 大型剪切带旁侧的 NW 向断裂-裂隙系统 | 三叠纪细碎屑岩 | 破碎带蚀变岩型为主, 少量石英脉型 | Au-Sb-As | 矿体呈透镜状或脉状, 斜列式成群分布于 NW 向断裂-裂隙系统中 | 黄铁矿、方铅矿、黄铜矿、闪锌矿、辉钨矿、自然金、石英、绢云母、绿泥石 |
| 10 | 开荒北 Au 矿床 | 昆南带中段 | 发育于三叠纪前陆盆地油积岩(已变质为低绿片岩相)中的 NNW 向大型剪切带(左旋逆冲剪切) | 大型剪切带内的 NW-NNW 向断裂-裂隙系统 | 三叠纪细碎屑岩 | 石英脉为主, 少量蚀变岩型 | Au-Sb-As | 斜列式含 Au 石英脉群, 沿 NW-NNW 向断裂-裂隙系统充填 | 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 |
| 11 | 东大滩 Sb-Au 矿床 | 北巴颜喀喇带中西段 | 发育于三叠纪复理石/浊流沉积岩系(已变质为低绿片岩相)中的大型 NNW-EW 向剪切带(左旋逆冲剪切) | 大型剪切带内的 NW 向断裂-裂隙系统 | 三叠纪砂板岩(巴颜喀喇群) | 破碎带蚀变岩型为主, 石英脉型次之 | Sb-Au | 透镜状矿体, 沿 NW 向断裂系统斜列式成群产出, 变砂岩中的矿体优于变质岩中者 | 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 |
| 12 | 西藏大沟 Au 矿点 | 北巴颜喀喇带中段 | 发育于三叠纪复理石/浊流沉积岩系(变质达低绿片岩相)中的 EW-NNW 向大型剪切带(左旋逆冲) | 大型剪切带旁侧的 NW 向断裂-裂隙系统 | 三叠纪砂板岩(巴颜喀喇群) | 破碎带蚀变岩型为主, 少量石英脉型 | Au-Sb | 脉状、透镜状矿体, 沿 NW 向断裂-裂隙系统斜列式分布 | 黄铁矿、辉钨矿、方铅矿、石英、绢云母、高岭石、碳酸盐 |
| 13 | 大场 Au-Sb 矿床 | 北巴颜喀喇带东段 | 发育于三叠纪北巴颜喀喇群复理石/浊流沉积岩系(低绿片岩相变质)中的 EW-NNW 向大型剪切带 | 大型剪切带内的 NW 向褶皱轴部(为主)及翼部(次之)的断裂-裂隙系统 | 三叠纪砂板岩(巴颜喀喇群) | 破碎带蚀变岩型为主, 少量石英脉型 | Au-Sb | 脉状、透镜状矿体, 沿 NW 向褶皱轴部及翼部的断裂-裂隙系统构成 3 个斜列式展布的矿群 | 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、绿泥石 |

2 绢云母的⁴⁰Ar-³⁹Ar 测年

2.1 采样位置及样品描述

用于⁴⁰Ar-³⁹Ar 测年的 6 件绢云母样品分别采自柴北缘—东昆仑地区 3 个不同构造分区的 6 个金矿床,它们是:柴北构造区的野骆驼泉、青龙沟、滩间山和赛坝沟金矿床,昆中构造区的五龙沟金矿床和北

巴颜喀拉构造区的大场金矿床。所有的绢云母样品都是从金矿石中分离出来的。各样品的具体采样位置及样品描述见表 2。

2.2 分析结果

样品测试由中国地质科学院地质研究所同位素研究室完成。该测年方法的分析技术和工作流程见陈文等(2002)。样品的 Ar-Ar 分阶段加热测试结果及年龄见表 3 和图 2。

表 2 用于⁴⁰Ar-³⁹Ar 测年的绢云母样品的采样位置及样品描述
Table 2 Locations and descriptions of the sericite samples for ⁴⁰Ar-³⁹Ar dating

| 样号 | 采样位置 | 样品描述 |
|-----------|----------------------|--|
| T WDC | 大场矿区 III矿带 7 号矿体地表采场 | 金矿石, w_{Au} 7.5 g/t, 绢英岩化碎裂砂岩 |
| Sb-4 | 赛坝沟矿区主矿体地表采场 | 金矿石, w_{Au} 18 g/t, 黄铁绢英岩化糜棱岩化花岗闪长岩 |
| Tj801 | 滩间山矿区 19 号矿体地表采场 | 金矿石, w_{Au} 9.3 g/t, 黄铁绢英岩化糜棱岩、碳质千枚岩 |
| DC3-1 | 野骆驼泉矿区 IV-2 矿体 CK5 | 金矿石, w_{Au} 5.5 g/t, 黄铁绢英岩化糜棱岩、千枚岩 |
| QTcl 02-7 | 青龙沟矿区 Tcl 02-7 探槽 | 金矿石, w_{Au} 5.6 g/t, 绢云母化碳酸盐化黄铁矿化碎裂白云岩 |
| W III-1 | 五龙沟矿区 III-1 矿体地表采场 | 金矿石, w_{Au} 7.6 g/t, 黄铁绢英岩化糜棱岩、花岗岩 |

表 3 绢云母样品的⁴⁰Ar-³⁹Ar 分阶段加热数据
Table 3 ⁴⁰Ar-³⁹Ar step heating data for sericite samples

| 样号 | $\theta/^\circ\text{C}$ | $(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$ | $(^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$ | $(^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$ | $(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})^*$ | $^{39}\text{Ar}/10^{-14}$ moles | $t/\text{Ma} \pm 2\sigma$ | ^{39}Ar 累积 / % | |
|-------|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|-------------------------|-------|
| T WDC | 400 | 11.6175 | 0.1400 | 0.0908 | 7.4858 | 646.70 | 160.2 ± 2.8 | 16.33 | |
| | 500 | 11.1840 | 0.0033 | 0.0822 | 10.2074 | 1386.09 | 215.1 ± 2.6 | 51.32 | |
| | 600 | 11.6165 | 0.0035 | 0.0940 | 10.5819 | 845.54 | 222.5 ± 3.3 | 72.67 | |
| | 700 | 11.6465 | 0.0026 | 0.1222 | 10.4418 | 662.57 | 219.7 ± 3.5 | 89.40 | |
| | 800 | 12.9066 | 0.0081 | 0.1179 | 10.5063 | 200.89 | 221.0 ± 3.6 | 94.47 | |
| | 900 | 15.1947 | 0.0154 | 0.0368 | 10.6549 | 117.63 | 223.9 ± 4.0 | 97.44 | |
| | 1000 | 20.9920 | 0.0366 | 0.1228 | 10.1836 | 45.93 | 214.6 ± 9.8 | 98.60 | |
| | 1100 | 19.8003 | 0.0391 | 0.2884 | 8.2499 | 39.59 | 176.0 ± 18.1 | 99.60 | |
| | 1200 | 39.2194 | 0.1171 | 0.5087 | 4.6435 | 9.86 | 101.0 ± 82.4 | 99.85 | |
| | 1400 | 72.9414 | 0.2448 | 2.4691 | 0.7750 | 5.94 | 17.3 ± 154.0 | 100.00 | |
| | Sb-4 | 400 | 19.0366 | 0.0223 | 0.0465 | 12.4414 | 411.12 | 258.9 ± 2.8 | 4.59 |
| | | 500 | 20.4484 | 0.0047 | 0.0684 | 19.0632 | 986.79 | 382.9 ± 3.8 | 15.59 |
| 600 | | 21.4321 | 0.0023 | 0.0412 | 20.7452 | 1326.72 | 413.1 ± 4.2 | 30.39 | |
| 700 | | 21.6148 | 0.0004 | 0.0179 | 21.5045 | 2749.47 | 426.6 ± 4.1 | 61.05 | |
| 780 | | 21.8084 | 0.0021 | 0.0159 | 21.1775 | 1316.98 | 420.8 ± 3.8 | 75.74 | |
| 860 | | 21.8679 | 0.0017 | 0.0051 | 21.3591 | 1231.88 | 424.0 ± 4.1 | 89.48 | |
| 960 | | 22.3550 | 0.0020 | 0.0157 | 21.7616 | 743.24 | 431.1 ± 4.1 | 97.77 | |
| 1060 | | 23.9458 | 0.0084 | 0.0429 | 21.4496 | 130.66 | 425.6 ± 6.6 | 99.23 | |
| 1160 | | 30.0993 | 0.0239 | 0.2413 | 23.0487 | 36.33 | 453.7 ± 15.2 | 99.64 | |
| 1400 | | 27.7792 | 0.0378 | 0.1929 | 16.6080 | 32.72 | 337.9 ± 17.0 | 100.00 | |
| Tj801 | | 400 | 25.4340 | 0.0232 | 0.0321 | 18.5831 | 1114.08 | 374.2 ± 3.4 | 16.48 |
| | | 500 | 19.0586 | 0.0016 | 0.0391 | 18.5827 | 1537.01 | 374.2 ± 3.5 | 39.22 |
| | 600 | 17.1552 | 0.0022 | 0.0097 | 16.5122 | 1017.56 | 336.2 ± 3.3 | 54.27 | |
| | 700 | 15.1210 | 0.0013 | 0.0037 | 14.7439 | 1693.26 | 303.0 ± 2.9 | 79.32 | |
| | 800 | 14.6919 | 0.0025 | 0.0354 | 13.9629 | 800.53 | 288.2 ± 2.8 | 91.16 | |
| | 900 | 14.8794 | 0.0047 | 0.0191 | 13.4787 | 385.68 | 278.9 ± 2.7 | 96.87 | |
| | 1000 | 16.8289 | 0.0120 | 0.0083 | 13.2642 | 145.09 | 274.8 ± 4.5 | 99.02 | |
| | 1100 | 25.2841 | 0.0395 | 0.1510 | 13.6265 | 31.60 | 281.7 ± 20.5 | 99.48 | |
| | 1200 | 30.4279 | 0.0707 | 0.2081 | 9.5405 | 17.87 | 201.8 ± 42.7 | 88.75 | |
| | 1400 | 25.9103 | 0.0516 | 1.0463 | 10.7442 | 16.99 | 225.7 ± 31.9 | 100.00 | |

续表 3 (Table 3 Cont.)

| 样号 | $\theta/^\circ\text{C}$ | $(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{m}}$ | $(^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{m}}$ | $(^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{m}}$ | $(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})^*$ | $^{39}\text{Ar}/10^{-14}\text{ moles}$ | $t/\text{Ma} \pm 2\sigma$ | $^{39}\text{Ar}_{\text{累积}}/\%$ |
|-----------|-------------------------|--|--|--|-------------------------------------|--|---------------------------|---------------------------------|
| DC3-1 | | | | | | | | |
| | 380 | 16.6068 | 0.0240 | 0.7645 | 9.5672 | 107.00 | 202.3 ± 7.2 | 8.13 |
| | 460 | 11.7575 | 0.0090 | 0.9842 | 9.1849 | 281.59 | 194.7 ± 3.3 | 29.51 |
| | 560 | 14.3740 | 0.0123 | 3.3958 | 10.9936 | 330.19 | 230.6 ± 2.8 | 54.59 |
| | 660 | 15.0508 | 0.0095 | 1.1391 | 12.1391 | 256.80 | 252.9 ± 2.4 | 74.09 |
| | 760 | 16.3994 | 0.0171 | 0.5110 | 11.3698 | 113.52 | 238.0 ± 6.6 | 82.71 |
| | 860 | 21.1029 | 0.0352 | 0.7790 | 11.8065 | 46.37 | 246.6 ± 16.8 | 86.23 |
| | 960 | 19.7692 | 0.0229 | 0.2415 | 11.9469 | 80.40 | 249.3 ± 2.9 | 92.34 |
| | 1060 | 17.8190 | 0.0202 | 0.3021 | 11.8705 | 74.07 | 247.8 ± 9.4 | 97.96 |
| | 1160 | 46.5173 | 0.1220 | 1.0138 | 10.5546 | 10.45 | 222.0 ± 46.6 | 98.76 |
| | 1400 | 41.8027 | 0.0563 | 4.7206 | 25.5801 | 16.35 | 497.2 ± 48.1 | 100.00 |
| QTcl 02-7 | | | | | | | | |
| | 400 | 20.2238 | 0.0171 | 0.0535 | 15.1745 | 309.57 | 311.1 ± 3.5 | 4.17 |
| | 500 | 17.6532 | 0.0044 | 0.0453 | 16.3548 | 603.67 | 333.2 ± 4.1 | 12.31 |
| | 600 | 18.0655 | 0.0018 | 0.0023 | 17.5203 | 830.61 | 354.8 ± 3.5 | 23.51 |
| | 700 | 17.9134 | 0.0009 | 0.0090 | 17.6471 | 1936.17 | 357.1 ± 3.7 | 49.61 |
| | 780 | 18.7416 | 0.0012 | 0.0120 | 18.3806 | 1230.58 | 370.5 ± 3.9 | 66.20 |
| | 880 | 19.9048 | 0.0010 | 0.0088 | 19.6171 | 1212.59 | 392.9 ± 4.4 | 82.54 |
| | 980 | 21.3403 | 0.0028 | 0.0079 | 20.5154 | 501.49 | 409.0 ± 3.8 | 89.30 |
| | 1080 | 22.2110 | 0.0061 | 0.0167 | 20.4175 | 315.37 | 407.3 ± 4.1 | 93.55 |
| | 1180 | 22.4435 | 0.0068 | 0.0705 | 20.4311 | 189.26 | 407.5 ± 4.8 | 96.11 |
| | 1280 | 22.3840 | 0.0054 | 0.0303 | 20.7963 | 217.60 | 414.0 ± 4.4 | 99.04 |
| | 1400 | 23.8179 | 0.0160 | 0.3341 | 19.1020 | 71.30 | 383.6 ± 7.0 | 100.00 |
| W III-1 | | | | | | | | |
| | 400 | 13.4891 | 0.0075 | 0.0583 | 11.2597 | 1251.85 | 235.9 ± 2.3 | 18.70 |
| | 500 | 11.8096 | 0.0016 | 0.0754 | 11.3386 | 2335.42 | 237.4 ± 2.4 | 53.57 |
| | 600 | 11.7651 | 0.0013 | 0.0907 | 11.3739 | 1599.21 | 238.1 ± 2.3 | 77.46 |
| | 700 | 11.5973 | 0.0013 | 0.0518 | 11.2174 | 1256.90 | 235.0 ± 2.2 | 96.23 |
| | 800 | 12.4073 | 0.0058 | 0.0679 | 10.6965 | 173.27 | 224.8 ± 2.8 | 98.82 |
| | 900 | 16.2654 | 0.0242 | 0.0783 | 9.1210 | 39.55 | 193.4 ± 11.1 | 99.41 |
| | 1200 | 19.3170 | 0.0384 | 0.6433 | 8.0277 | 23.20 | 171.3 ± 36.1 | 99.75 |
| | 1400 | 26.2216 | 0.0637 | 0.6476 | 7.4296 | 16.54 | 159.0 ± 64.8 | 100.00 |

* Ar-Ar 同位素测定在中国地质科学院地质研究所同位素实验室进行,样品用铝箔包装后,在中国原子能研究所的反应堆 B5 孔道中进行照射。快中子累积通量达 1.5×10^{18} 中子/cm²。氩同位素分析采用 MM-1200B 质谱仪。 $\lambda = 5.543 \times 10^{-10} \text{a}^{-1}$, $J = 0.012405$ 。

3 关于地质意义的讨论

3.1 各矿床成矿年龄的确认

3.1.1 大场金矿床

由大场矿床金矿石中的绢云母样品(TWDC)在 500~1200℃温度区间的 6 个温度点获得了相近的视年龄值,其累积释放的³⁹Ar 达 83.27%,它们的积分年龄(加权平均年龄) $t_g = (218.6 \pm 3.2) \text{Ma}$ 。6 个点在⁴⁰Ar/³⁶Ar-³⁹Ar/³⁶Ar 图解上构成一条很好的等时线,求得的等时线年龄为(220.3 ± 3.2) Ma,初始的⁴⁰Ar/³⁶Ar 比值为 297.33 ± 11.65,非常接近尼尔值(理想大气值 295.5 ± 5),说明样品不含过剩氩。该样品的积分年龄与等时线年龄在误差范围内完全

一致,因此使用积分年龄值。该矿床矿体的围岩是三叠系巴颜喀拉群砂板岩(表 1),其年龄大于金矿石中的绢云母样品的 t_g 值[(218.6 ± 3.2) Ma],与矿体的后生特征(表 1)是吻合的,且巴颜喀拉海槽于三叠纪末闭合(参见后述),与绢云母样品的 t_g 值一致。上述资料显示,(218.6 ± 3.2) Ma 作为大场金矿床的成矿年龄是适宜的。

3.1.2 五龙沟金矿床

五龙沟金矿床金矿石中的绢云母(W III-1)样品,在 400~800℃温度区间获得了很好的年龄坪,5 个视年龄构成的坪年龄 $t_p = (236.5 \pm 0.5) \text{Ma}$,³⁹Ar 累积释放 98.82%。从 400~1400℃,由所有的 8 个温度点构成的⁴⁰Ar/³⁶Ar-³⁹Ar/³⁶Ar 等时线,求得等时线年龄为(238.6 ± 3.5) Ma,初始的⁴⁰Ar/³⁶Ar 比值

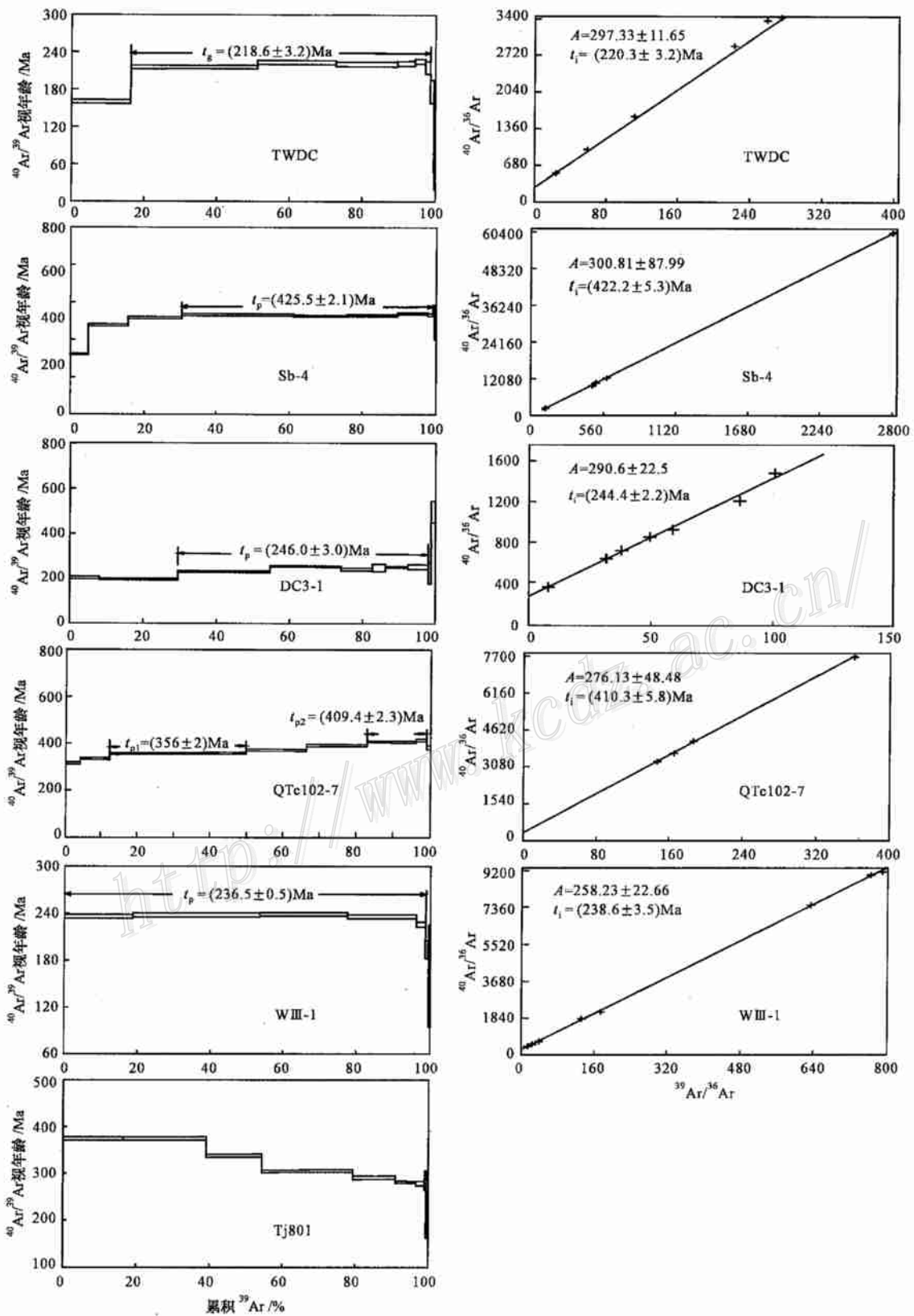


图 2 柴北缘—东昆仑地区造山型金矿床矿石中绢云母的⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄谱(左列)及 Ar-Ar 等时线(右列)
 Fig.2 Spectra of ⁴⁰Ar-³⁹Ar step heating analyses (left) and Ar-Ar isochrone (right) for sericite samples from the orogenic gold deposits in the northern margin of Qaidam Basin and the East Kunlun Mountains

为 258.23 ± 22.66 , 比尼尔值小 37, 该等时线年龄值在误差范围内与坪年龄值完全一致。考虑到高温段 ($900 \sim 1400^\circ\text{C}$) 3 个误差大, ^{39}Ar 释放量很少的数据参与了等时线年龄计算, 故认为坪年龄更为可信。

加里东期花岗岩及古元古代片麻岩是五龙沟矿床金矿体的直接围岩, 本次工作中用于 Ar-Ar 测年的金矿石样品采自产于加里东期花岗岩内的 III-1 矿体(表 1 及表 2), 前人已获得该花岗岩的锆石 U-Pb 年龄为 438 Ma(表 4), 本次获得的五龙沟金矿床金矿石中绢云母的 Ar-Ar 坪年龄 [$t_p = (236.5 \pm 0.5)$ Ma] 远大于该花岗岩的锆石 U-Pb 年龄值, 与该矿床的后生特点(表 1)是一致的。此外, 前还测得五龙沟金矿床 III-1 和 III-2 矿体中磷灰石和锆石的裂变径迹年龄分别为 244.216.6 和 235 Ma(表 4), 与本次获得的五龙沟金矿床金矿石中绢云母的 Ar-Ar 坪年龄一致。因此, 可以确认 (236.5 ± 0.5) Ma 为五龙沟金矿床的成矿年龄。

3.1.3 滩间山金矿床

伴随加热温度的增高, 滩间山金矿床金矿石中绢云母样品(Tj801)的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 视年龄值有逐步降低的趋势。从 $400 \sim 1400^\circ\text{C}$, 共 10 个温度段所获得的视年龄数据, 可以分为 3 部分(表 3): ① $100 \sim 1400^\circ\text{C}$ (高温段) 给出的视年龄值误差极大, 且累计释放的 ^{39}Ar 仅为 0.52%, 这些视年龄数据不可信; ② 低温段 ($400 \sim 700^\circ\text{C}$) 给出的 4 个视年龄值误差小, 累计释放的 ^{39}Ar 高达 79.32%, 但 4 个年龄值差别较

大 ($303.0 \sim 374.2$ Ma); ③ $800 \sim 1000^\circ\text{C}$ 区间的 3 个视年龄值不但误差小, 而且差别不大 ($274.80 \sim 288.20$ Ma), 但累计释放的 ^{39}Ar 仅为 19.7%。考虑到要降低后期扰动的影响, 故取 $800 \sim 1000^\circ\text{C}$ 区间的 3 个视年龄值的加权平均值 $t_g = (284.0 \pm 3.0)$ Ma 作为样品的较可信年龄。

滩间山金矿床的矿体严格受褶皱轴部或两翼的断裂-裂隙带控制(表 1), 后生成矿特点非常明显。中元古代万洞沟群千枚岩是滩间山金矿床矿体的主要围岩, 少数矿体也产于晚华力西期脉岩中。表 4 的数据显示, 前人已获得的该矿床矿体围岩之一的闪长玢岩的全岩 K-Ar 年龄为 (308.8 ± 5.4) Ma, 19 号矿体金矿石中的绢云母 K-Ar 年龄为 (268.9 ± 4.3) Ma。与此同时, 前还测得控制滩间山金矿床和青龙沟金矿床的 NW 向大型韧性剪切带中的黑云母 Ar-Ar 年龄为 401 Ma^①。此外, 滩间山金矿床中成矿明显分为 2 期(崔艳合等, 2000)。上述表明, 控制滩间山金矿的构造应该是晚加里东和晚华力西 2 次造山作用的产物(参见下述)。因此, 本次测得的 Tj801 绢云母样品的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 加权平均年龄值 [$t_g = (284.0 \pm 3.0)$ Ma] 作为滩间山金矿的成矿年龄之一是可行的。

3.1.4 野骆驼泉金矿床

野骆驼泉矿床金矿石中的绢云母样品(DC3-1), 在 $560 \sim 1060^\circ\text{C}$ 区间的 6 个温度段形成一个很好的年龄坪, 其 $t_p = (246.0 \pm 3.0)$ Ma, 累计释放 ^{39}Ar 为

表 4 前人已获得的同位素测年结果

Table 4 Previous age data for the gold deposits listed in Table 1

| 采样位置 | 测试对象描述 | 分析方法 | t/ Ma | 资料来源 |
|--------|---------------------------|---------------------------------|--------------|-------------------------|
| 赛坝沟金矿床 | 花岗闪长岩, 金矿体的围岩 | 全岩 Rb-Sr 等时线 | 946 ± 24 | 丰成友等, 2002 |
| | 碱性长石花岗岩, 矿区北西侧 | 全岩 K-Ar 法 | 230 ± 7 | 张德全等, 2001 ^① |
| 五龙沟金矿床 | 花岗岩, III-1 和 III-2 金矿体的围岩 | 锆石 U-Pb | 438 | 张德全等, 2001 ^① |
| | III-1 矿体金矿石中的磷灰石 | 裂变径迹 | 244(校正值) | 袁万明等, 2000 |
| | III-1 矿体金矿石中的锆石 | 裂变径迹 | 216.6 ± 11.7 | 袁万明等, 2000 |
| | III-2 矿体金矿石中的锆石 | 裂变径迹 | 235.0 ± 8.9 | 袁万明等, 2000 |
| 滩间山金矿床 | 大型 NW 向韧性剪切带中的黑云母 | $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ | 401 | 张德全等, 2001 ^① |
| | 斜长花岗斑岩 | 全岩 Rb-Sr 等时线 | 330.0 ± 24.3 | 张德全等, 2001 ^① |
| | 闪长玢岩, 部分金矿体的围岩 | 全岩 K-Ar 法 | 308.8 ± 5.4 | 崔艳合等, 2000 |
| | 19 号矿体地表采场, 金矿石中的绢云母 | K-Ar 法 | 268.9 ± 4.3 | 张德全等, 2001 ^① |

① 张德全, 等. 2001. 柴达木盆地南北缘成矿地质环境及找矿远景研究(科研报告).

68.45%。与此同时,获得的 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 等时线年龄为 (244.4 ± 2.2) Ma, 初始的 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比值为 290.6 ± 22.5 , 接近尼尔值, 说明无过剩氩。该样品的坪年龄与等时线年龄在误差范围内完全一致, 因此使用坪年龄值。

野骆驼泉矿床是柴北构造分区最西北部的一个金矿床, 其矿体产于早古生代(寒武纪—奥陶纪)千枚岩中, 严格受 NW 向大型剪切带旁侧的次级近 SN 向剪切带控制, 金矿化主要与晚期的左旋斜冲脆性变形有关(表 1)。DC3-1 绢云母样品的 t_p 值 $[(246.0 \pm 3.0)$ Ma] 小于矿体围岩的年龄, 也与该矿床所在的柴北构造分区经历过加里东和晚华力西—印支复合造山作用(参见后述)相符。所以, (246.0 ± 3.0) Ma 可以确认为该矿床的成矿年龄值。

3.1.5 青龙沟金矿床

表 3 和图 2 的数据显示, 伴随温度的升高, 青龙沟矿床金矿石中的绢云母(QTcl02-7)之视年龄值逐步增大。从 400 °C 升温至 1 400 °C, 出现 2 个 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄坪: 第一个坪在 600 ~ 700 °C 区间, 由 2 个点组成, $t_{p1} = (356.0 \pm 2.0)$ Ma, ^{39}Ar 累计释放 37.3%; 第二个坪出现在 980 ~ 1 280 °C, 由 4 个点组成, $t_{p2} = (409.4 \pm 2.3)$ Ma, ^{39}Ar 累计释放 16.5%, 由这 4 个点组成的 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 等时线, 获得等时线年龄 (410.3 ± 5.8) Ma(与坪年龄值在误差范围内完全一致), 初始的 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比值为 276.13 ± 48.48 , 仅比尼尔值小 19。考虑到要降低后期扰动的影响, 故选取 980 ~ 1 280 °C 温度段的坪年龄(t_{p2})作为样品的可信年龄。

中元古界万洞沟群大理岩是青龙沟金矿床矿体的围岩, 主矿体呈厚大的透镜体产于背斜轴部(大理岩)的 NW 向断裂中。该矿床位于滩间山金矿床西北 35 km 左右处(图 1), 区域上, 2 个矿床受同一条大型剪切带的控制(参见前述), 前人测得该剪切带中黑云母的 Ar-Ar 年龄为 401 Ma(表 4)。本次测得 QTcl02-7 绢云母样品的 $t_{p2} [(409.4 \pm 2.3)$ Ma] 与该剪切带中黑云母的 Ar-Ar 年龄值接近, 也与该区域的晚加里东碰撞造山背景一致, 故 (409.4 ± 2.3) Ma 可以代表青龙沟金矿床的一次成矿作用的年龄值。

3.1.6 赛坝沟金矿床

赛坝沟矿床金矿石中的绢云母样品(Sb-4), 从 700 °C 加热至 1 060 °C 累计释放了 68.84% 的 ^{39}Ar , 5 个温度点的视年龄构成了一个较好的坪, 其坪年龄

值 $t_p = (425.5 \pm 2.1)$ Ma。这 5 个点的 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 对 $^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 值形成了很好的线性关系, 据此获得的等时线年龄为 (422.2 ± 5.3) Ma, 初始的 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比值为 300.81 ± 87.99 , 接近尼尔值, 说明无过剩氩。该样品的积分年龄与等时线年龄在误差范围内完全一致, 因此使用积分年龄值。

赛坝沟金矿床位于柴北构造分区的最东南部(图 1), 矿床受发育于英云闪长岩或花岗闪长岩中的 NW 向韧性剪切带控制, 花岗闪长岩的 Rb-Sr 等时线年龄 $[(946 \pm 24)$ Ma, 表 4] 显示矿体围岩形成于晋宁期。该矿区北西侧发育印支期碱性长石花岗岩[全岩 K-Ar 年龄为 (230 ± 7) Ma, 表 4]。Sb-4 绢云母样品的坪年龄值 $[t_p = (425.5 \pm 2.1)$ Ma] 小于矿体围岩年龄, 符合该矿床的后生特征, 可以作为赛坝沟矿床的成矿年龄。

3.2 金成矿与造山作用的关系——金成矿对造山过程的响应

柴北缘—东昆仑地区位于青海省的西部, 是中央造山带的西部成员——秦祁昆褶皱系的一部分, 也是典型的复合造山带(殷鸿福等, 1998)。该地区的地质构造演化主要包括: 前寒武纪古陆形成(造山带基底)、早古生代(加里东)洋盆开合及加里东褶皱山链的形成、晚华力西—印支造山(包括古特提斯洋盆开合和柴北缘及东昆仑—巴颜喀拉褶皱山链的形成)以及中生代叠复造山等 5 个构造旋回。其中, 早古生代造山旋回和晚华力西—印支造山旋回与东昆仑地区金铜多金属成矿关系最密切(张德全等, 2002)。这里自北向南, 包含了 9 个三级构造区带: 欧龙布鲁克、柴北、柴达木、昆北、昆中、昆南、宗务隆山—青海湖南山、阿尼玛卿和北巴颜喀拉(图 1)。

3.2.1 加里东和晚华力西—印支复合造山作用

该区早古生代裂解的结果是形成一系列微陆块及分别位于其北侧和南侧的小洋盆或裂陷槽组成的多岛小洋盆/裂陷槽的构造格局。微陆块主要由一套岩性和层序近似的变质(角闪岩相, 局部达麻粒岩相)古元古代壳岩构成, 自北向南有: 欧龙布鲁克、柴达木(大部被柴达木盆地覆盖)、昆中。上述 3 个微陆块的北南两侧, 则依次是南祁连(已在研究区之外)、柴北、昆北、昆南小洋盆或裂陷槽, 它们有 2 个开裂峰年龄: 其一为新元古代末—寒武纪, 其二为奥陶纪。普遍缺失晚志留世—中泥盆世沉积, 呈带状分布的晚加里东造山花岗岩类以及多条加里东期剪切带, 存在多条晚泥盆世磨拉石沉积带, 表明晚加里

东时期(晚志留世—中泥盆世),东昆仑、柴达木和祁连山再次拼合为一体(姜春发等,1992;陈炳蔚等,1995),并成为中央造山带微板块群的一部分(殷鸿福等,1998)。本区加里东造山遵循的不是威尔逊旋回,而是非威尔逊旋回,具有多岛洋、软碰撞的特点(姜春发等,1992;殷鸿福等,1998),碰撞但不“造山”。该期造山花岗岩的 Rb-Sr 等时线年龄在 492.4 ~ 403.7 Ma 间,以及晚泥盆世磨拉石沉积带的出现,显示该区域加里东造山大约发生在 490 ~ 400 Ma 间。

晚古生代,中央造山带微板块群已先后与欧亚板块合为一体,并总体北移,沿这一微板块群的南缘,由于拉张,出现阿尼玛卿二叠纪小洋盆(图 1 之 II_b),宗务隆山—青海湖南山裂陷槽(图 1 之 III₁)则是西秦岭晚古生代裂陷槽的西延部分,它们均属于古特提斯洋的一部分。晚华力西—印支早期,洋盆由北向南依次向北俯冲,在东昆仑南侧形成早—中三叠世前陆盆地堆积(田军等,2001),在其北侧的微板块南缘,则有晚华力西—印支花岗岩的大规模侵入,形成主动陆缘岩浆弧。北巴颜喀拉(图 1 中的 III₂)是东昆仑造山带南侧的三叠纪被动陆缘,属于该时期特提斯洋的北边缘,其于中—晚三叠世向北俯冲闭合。在先成的柴北缘—东昆仑加里东造山带内,上述晚华力西—印支造山作用显示为强烈的陆内造山过程。鄂拉山群(晚三叠世)陆相高钾钙碱性火山岩、大量晚华力西—印支造山花岗岩、多条相关的剪切变形带等,出现在前述加里东造山带中。这次陆内造山作用的强烈抬升,使柴北缘和东昆仑褶皱山系得以形成,它的主要特点是叠加于加里东造山作用之上,形成叠加的花岗岩带和叠加变形带,并给柴北缘—东昆仑地区带来了极为丰富的金属矿产资源。

3.2.2 金成矿对复合造山过程的响应

本次获得的柴北缘—东昆仑地区 6 个金矿床矿石中绢云母的⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄值,可以分为 2 组:425.5 ~ 409.4 Ma 和 [(284 ~ 218.6) ± 3.2] Ma。前者与本区加里东期碰撞造山过程相吻合,后者则落入本区晚华力西—印支造山过程的年龄范围。这就说明,柴北缘—东昆仑地区的金矿成矿作用有 2 个主要时期:晚加里东期和晚华力西—印支期,它们是本区加里东和晚华力西—印支复合造山作用的产物,是对本区加里东和晚华力西—印支复合造山过程的响应。

前已述及,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。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,它们的形成时代既有晚加里东期,也有晚华力西—印支期。例如,在柴北构造区,本次在青龙沟和赛坝沟金矿床获得了晚加里东期的成矿年龄(409.4 Ma 和 425.5 Ma),与前述加里东造山年龄(490 ~ 400 Ma)相比,显示该期金成矿活动发生在造山晚期;在滩间山金矿床获得了晚华力西期的成矿年龄(284 Ma);在野骆驼泉金矿床获得了印支期的成矿年龄(246 Ma);而在昆中构造区的五龙沟金矿床,则获得了印支期的成矿年龄。在上述构造区中,有些金矿床明显受到加里东期和晚华力西—印支期造山过程的复合控制,如滩间山金矿床就是柴北缘—东昆仑地区 2 期成矿的典型例子(于凤池等,1998;张德全等,2001),因为该矿区不但存在加里东期(黑云母的 Ar-Ar 年龄为 401 Ma,参见表 4)右旋逆冲剪切控矿构造,而且还存在晚华力西期的左旋逆冲剪切控矿构造,本文获得 284 Ma 年龄的绢云母,就采自左旋逆冲剪切控矿构造中的 19 号金矿体。该矿床中大部分晚华力西期左旋逆冲剪切控矿构造是在改造和利用早期的右旋逆冲剪切控矿构造基础上形成的,其主矿体全部产于晚华力西期的左旋逆冲剪切控矿构造中。此外,滩间山金矿床中普遍见到早期(晚加里东期)的黄铁矿强烈碎裂,并被晚期(晚华力西期)黄铁矿胶结,或自然金沿早期黄铁矿中的微裂隙充填(于凤池等,1998)。这说明该矿床存在晚加里东和晚华力西 2 期成矿活动,且以晚华力西期成矿为主,即大部分矿体是晚华力西期最终定型的。

大场矿床位于北巴颜喀拉被动陆缘,该构造带广泛出露下三叠统复理石/浊流沉积岩系,全面缺失中三叠统和上三叠统,说明这里的碰撞造山在中—晚三叠世。该矿床的金矿石中,绢云母 Ar-Ar 年龄为 218.6 Ma,显然其成矿于碰撞造山晚期,本区金成矿主要与造山晚期的地球动力学过程有关。这与 Groves 等获得的统计结果相吻合(Groves et al.,2000)。

柴北缘—东昆仑地区的复合造山作用在空间上存在“构造迁移”,即张裂、俯冲、消减的位置通常随时间而由北向南迁移(殷鸿福等,1998;张德全等,2001)。本次获得的金成矿年龄数据也印证了这一认识:在晚华力西—印支期的成矿年龄数据中,位于北部的柴北构造区的滩间山和野骆驼泉金矿的成矿年龄(284 Ma 和 246 Ma)大于区域中部的昆中构造区的五龙沟金矿的成矿年龄(236.5 Ma),而五龙沟金矿的成矿年龄又大于区域最南部北巴颜喀拉构造区的大场金矿床的成矿年龄(218.6 Ma)。

4 结 论

通过对柴北缘—东昆仑地区一批金矿床中绢云母的 Ar-Ar 测年,获得它们的成矿年龄数据为:赛坝沟矿床(425.5 ± 2.1) Ma,青龙沟矿床(409.4 ± 2.3) Ma,滩间山矿床(284.0 ± 3.0) Ma,野骆驼泉矿床(246.0 ± 3.0) Ma,五龙沟矿床(236.5 ± 0.5) Ma,大场矿床(218.6 ± 3.2) Ma。这些年龄数据显示,上述金矿床形成于晚加里东期和晚华力西—印支期,是该区加里东和晚华力西—印支复合造山过程的产物,是典型的造山型金矿床。金成矿作用主要发生在碰撞造山过程的晚期,自区域北部向南部,金成矿年龄值变小,与柴北缘—东昆仑地区的复合造山作用在时空上的“构造迁移”相一致。

References

- Chen B W, Wang Y B and Zuo G C. 1995. Terrain subdivision of the northern Qinghai-Xizang (Tibet) plateau and its tectonic evolution [J]. *Acta Geophysica Sinica*, 38 (Supp. II): 98 ~ 113 (in Chinese with English abstract).
- Chen W, Liu X Y and Zhang S H. 2002. Continuous laser stepwise heating $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating technique [J]. *Geol. Rev.*, 48 (Supp.): 127 ~ 134 (in Chinese with English abstract).
- Cui Y H, Zhang D Q, Li D X, et al. 2000. Geology, geochemistry and origin of the Tanjianshan gold deposit in Qinghai Province [J]. *Mineral Deposits*, 19 (3): 211 ~ 222 (in Chinese with English abstract).
- Feng C Y, Zhang D Q and Li D X. 2002. Geological characteristics and ore-forming age of Saibagou gold deposit, Qinghai Province [J]. *Mineral Deposits*, 21 (1): 45 ~ 52 (in Chinese with English abstract).
- Feng C Y, Zhang D Q and She H Q. 2002. Structural evolution and ore-controlling importance of ductile shear zone: structural control of the Yeluotuoquan gold deposit [J]. *Mineral Deposits*, 21 (Supp.): 582 ~ 585 (in Chinese).
- Groves D I, Goldfarb R J, Gebre-Mariam M, et al. 1998. Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types [J]. *Ore Geol. Rev.*, 13 (1-5): 7 ~ 27.
- Groves D I, Goldfarb R J, Knox-Robinson C M, et al. 2000. Lake-kinematic of orogenic gold deposits and significance for computer-based exploration techniques with emphasis on the Yilgarn Block, Western Australia [J]. *Ore Geol. Rev.*, 17(1-2): 1 ~ 38.
- Jiang C F, Yang J S, Feng B G, et al. 1992. Opening closing tectonics of Kunlun mountains [A]. In: *Geological memoirs* 5, No.12 [C]. Beijing: Geol. Pub. House. 1 ~ 224 (in Chinese with English abstract).
- Li H M, Shen Y C, Hu Z G, et al. 2001. Minerogenetic mechanism and condition of Wulonggou gold deposit in East Kunlun Mountains, Qinghai Province [J]. *Geology and Prospecting*, 37 (1): 45 ~ 52 (in Chinese with English abstract).
- Qian Z Z, Hu Z G, Li H M, et al. 2000. Metallogenic characteristics of gold deposits in the middle belt of eastern Kunlun Mountains [J]. *Mineral Deposits*, 19 (4): 315 ~ 321 (in Chinese with English abstract).
- Tian J, Zhang K X, Gong Y M, et al. 2001. Hercynian-indosinian tectonic lithofacies paleogeography of the south of eastern Kunlun foreland basin of eastern Kunlun orogenic belt [J]. *Geoscience*, 15 (1): 21 ~ 26 (in Chinese with English abstract).
- Yin H F and Zhang K X. 1998. Evolution and characteristics of the central orogenic belt [J]. *J. China Univ. Geosci.*, 23 (5): 437 ~ 442 (in Chinese with English abstract).
- Yu F C, Ma G L and Wei G F. 1998. Geological characteristics and ore-controlling factors of the Tanjianshan gold deposit, Qinghai Province [J]. *Mineral Deposits*, 17 (1): 47 ~ 56 (in Chinese with English abstract).
- Yuan W M, Wang S C and Wang L F. 2000. Metallogenic thermal history of the Wulonggou gold deposits in East Kunlun Mountains in the light of fission track thermochronology [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 21 (4): 389 ~ 395 (in Chinese with English abstract).
- Zhang D Q, Feng C Y, Li D X, et al. 2001. Orogenic gold deposits in the North Qaidam and East Kunlun orogen, West China [J]. *Mineral Deposits*, 20(2): 137 ~ 146 (in Chinese with English abstract).
- Zhang D Q, Zhu H P, Yan S H, et al. 2002. Multiple Paleozoic orogeny and metallogeny [J]. *Mineral Deposits*, 21 (Supp.): 293 ~ 296 (in Chinese).

附中文参考文献

- 陈炳蔚, 王彦斌, 左国朝. 1995. 青藏高原北部地体划分及其构造演化 [J]. *地球物理学报*, 38(增刊 II): 98 ~ 113.
- 陈文, 刘新宇, 张思红. 2002. 连续激光阶段升温 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 地质年代测定方法研究 [J]. *地质论评*, 48(增刊): 127 ~ 134.
- 崔艳合, 张德全, 李大新, 等. 2000. 青海滩间山金矿床地质地球化学及成因机制 [J]. *矿床地质*, 19(3): 211 ~ 222.
- 丰成友, 张德全, 李大新. 2002. 青海赛坝沟金矿地质特征及成矿时代 [J]. *矿床地质*, 21(1): 45 ~ 52.
- 丰成友, 张德全, 余宏全. 2002. 韧性剪切构造演化及其对金成矿的制约——以青海野骆驼泉金矿为例 [J]. *矿床地质*, 21(增刊): 582 ~ 585.

- 姜春发, 杨经绥, 冯秉贵, 等. 1992. 昆仑开合构造[A]. 见: 地质专报(五), 12号[C]. 北京: 地质出版社. 1~224.
- 李厚民, 沈远超, 胡正国, 等. 2001. 青海东昆仑五龙沟金矿床成矿条件及成矿机理[J]. 地质与勘探, 37(1): 65~69.
- 钱壮志, 胡正国, 李厚民, 等. 2000. 东昆仑中带金矿成矿特征及成矿模式[J]. 矿床地质, 19(4): 315~321.
- 田军, 张克信, 龚一鸣, 等. 2001. 东昆仑造山带海西—印支期东昆仑前陆盆地构造岩相古地理[J]. 现代地质, 15(1): 21~26.
- 殷鸿福, 张克信. 1998. 中央造山带的演化及其特点[J]. 地球科学, 23(5): 437~442.
- 于凤池, 马国良, 魏刚锋. 1998. 青海滩间山金矿床地质特征和控矿因素分析[J]. 矿床地质, 17(1): 47~56.
- 袁万明, 王世成, 王兰芬. 2000. 东昆仑五龙沟金矿床成矿热历史的裂变径迹热年代学证据[J]. 地球学报, 21(4): 389~395.
- 张德全, 丰成友, 李大新, 等. 2001. 柴北缘-东昆仑地区的造山型金矿床[J]. 矿床地质, 20(2): 137~146.
- 张德全, 朱华平, 阎升好, 等. 2002. 东昆仑古生代复合造山过程及金属成矿作用[J]. 矿床地质, 21(增刊): 293~296.

Ar-Ar dating of orogenic gold deposits in northern margin of Qaidam and East Kunlun Mountains and its geological significance

ZHANG De-quan¹, DANG Xing-yan², SHE Hong-quan¹, LI Da-xin¹, FENG Cheng-you¹ and LI Jin-wen¹
(1 Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 2 Geological Survey of Qinghai, Xining 810012, Qinghai, China)

Abstract

The region of northern Qaidam margin and East Kunlun Mountains, located in western Qinghai Province, is a typical multiple orogenic belt in western China. The multiple orogenic belt originally consisted of three microplates (Oulongbuluke, Qaidam and Central Kunlun) together with some micro-oceans and/or aulacogens of different stages located respectively on the southern and northern sides of the microplates. During Early Paleozoic, North Qaidam, North Kunlun and South Kunlun extended into aulacogens and/or micro-oceans, which were closed at the end of Caledonian stage due to their soft collision with the contiguous microplates. The microplates were combined with Eurasia into one body in Late Paleozoic and shifted northward. Meanwhile the southern side of these microplates developed into the Animaqing Carboniferous-Permian micro-ocean belonging to Paleotethys, which was closed during Middle-Late Permian. Early-Middle Triassic foreland deposits were formed on the southern side of the microplates, and Late Variscan-Indosinian collisional granite and large-scale shear zones were produced in the inner part of the microplates. At the same time, the sea/ocean shifted southward and Lower Triassic deposits of passive continental margin were developed in northern Bayan Har on the southernmost side of the region, which experienced collision and orogenic movement during Middle-Late Triassic. Thirteen orogenic gold deposits were discovered in the region of northern Qaidam margin and East Kunlun Mountains, all of which were formed in the multiple orogenic movement. Sericite samples selected from gold ores of six representative gold deposits were used to conduct Ar-Ar dating, and their ore-forming ages are as follows: (425.5 ± 2.1) Ma (Saibagou), (409.4 ± 2.3) Ma (Qinglonggou), (284.04 ± 2.95) Ma (Tanjianshan), (246 ± 3) Ma (Yeluotuoquan), (236.5 ± 0.5) Ma (Wulonggou), and (218.6 ± 3.2) Ma (Dachang). These age data show that the gold deposits were formed in late Early Paleozoic and late Late Paleozoic-Triassic and were products of the multiple orogeny in the region during Caledonian and Late Variscan-Indosinian. They belong to typical orogenic gold deposits and were mainly formed in the late stage of collisional orogeny. The gradual decrease in ages of the deposits from north to south is coincident with the spatial-temporal tectonic shift of the multiple orogeny in this region.

Key words: geochemistry, Ar-Ar dating, orogenic gold deposit, multiple orogeny, northern margin of Qaidam and East Kunlun